

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の
実現プロジェクト」中間評価報告書

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実
現プロジェクト」中間評価報告書

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目次

| | |
|--------------------------------|----------|
| はじめに | 1 |
| 審議経過 | 2 |
| 分科会委員名簿 | 3 |
| 評価概要 | 4 |
| 研究評価委員会委員名簿 | 6 |
| 研究評価委員会コメント | 7 |
| | |
| 第1章 評価 | |
| 1. 総合評価 | 1-1 |
| 2. 各論 | 1-4 |
| 2. 1 事業の位置付け・必要性について | |
| 2. 2 研究開発マネジメントについて | |
| 2. 3 研究開発成果について | |
| 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | |
| 3. 評点結果 | 1-16 |
| | |
| 第2章 評価対象事業に係る資料 | |
| 1. 事業原簿 | 2-1 |
| 2. 分科会公開資料 | 2-2 |
| | |
| 参考資料1 分科会議事録 | 参考資料 1-1 |
| 参考資料2 評価の実施方法 | 参考資料 2-1 |
| 参考資料3 評価結果の反映について | 参考資料 3-1 |

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第60回研究評価委員会（2019年12月20日）に諮り、確定されたものである。

2019年12月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

- 分科会（2019年9月24日）

- 公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

- 第60回研究評価委員会（2019年12月20日）

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」

中間評価分科会委員名簿

(2019年9月現在)

| | 氏名 | 所属、役職 |
|----------------|---------------------|--|
| 分科 会長 | こばやし てつのり 小林 哲則 | 早稲田大学 理工学術院 情報理工学科 教授 |
| 分科 会長 代理 | りのいえ けんいち 李家 賢一 | 東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授 |
| 委員 | かいおう だいすけ 貝應 大介 | 株式会社ロボデックス 代表取締役 |
| | すのはら ひさのり 春原 久徳 | ドローン・ジャパン株式会社 取締役会長/ セキュアドローン協議会 会長 |
| | はせがわ ただひろ 長谷川 忠大 | 芝浦工業大学 工学部 電気電子情報工学専攻 教授 |
| | はせがわ やすひさ 長谷川 泰久 | 名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノ機械 理工学専攻 教授 |
| | みやうち ひろゆき 宮内 博之 | 国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ 主任研究員 |

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

ロボット・ドローンの利活用という、サービス高度化に基づいて様々な産業創出が期待される重要課題について、堅実な体制に基づき概ね順調に開発を進めており、高く評価できる。国際的な流れを見据えながら、デジュール・スタンダードやデファクト・スタンダードに取り組んでいることも評価ができる。

一方、多くの人がいる都市部において、複数の無人航空機の運用を目指しており、サービスの事業化を考えた場合、安全対策に関する検討も必要だと考える。プロジェクトの進捗管理においては、ユーザー視点をより積極的に取り入れることができる体制を取ることが望まれる。今後、各企業が実用化・事業化に向けて負担しなくてはならないコストの低減効果についての具体的な査定結果があると、本事業の貢献を具体的に評価可能となる。

今後については、ドローンを実際に飛行させて評価分析するなど評価員を設置して海外メーカーの技術的な評価をすることが必要である。また、活用の観点だけでなく、悪意ある第三者などへのリスク要因を踏まえ、制度設計とともに、開発事案と連動させていく必要がある。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

ドローンの高度利活用は、サービス高度化および産業創出が期待される重要課題であり、これを推進する本事業目的は妥当である。政府の政策動向、特に人口集中地区における目視外飛行の実現にむけて、その実現課題を洗い出すとともに、その航行管理する手法の検討および基本システム開発を 2017 年より行ったのは、その実現におけるステップとして適切であった。無人航空機の衝突回避に関わる統合的な運航管理システム、日本の国際競争力の強化のための国際標準化への取り組みは、多くの技術分野にまたがる共通基盤を早期に実現することが求められ、民間活動だけで達成することは困難であって、NEDO の事業として相応しい。消防などの公共安全に関与が深い高温や防火対応のドローンなどに関しても、民間のみで開発を行うには負担が大きく、今回の取り組みの中で行ったのは妥当であった。

一方、多くの人が行き交う都市部の頭上を多数のドローンが飛行することを目指すのであれば、安全面を最大の課題とすべきであると考えられる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

プロジェクト全体の指揮系統については、明確になっており、その点は妥当である。大きな全体予算の中からの的確に各事業へ配分されていて、概ね目標に対しての達成がなされており、開発マネジメントは適切である。知的財産権に関して、非公開とすべきキーとなる技術については、的確に対応しており、押さえるべきところはきちんと押さえられていると判断される。また、独立して国際標準化を推進するプロジェクトがあり、かつ国際標準化の成果

も出ている点も評価できる。

一方、海外メーカーの動向調査をさらに充実させ、リアルタイムに情報共有する必要がある。最初に示されている全体計画は明確なものの、個別の成果それぞれが全体計画にどのように寄与できたかのまとめが必要である。

今後については、研究開発の運営管理を行う技術委員会に、ドローン技術の現状に精通した上でユーザーの立場からの意見を反映できる常任の外部有識者を含めると更に良い。また、国内外の動向を注視し、技術の進歩や社会・経済情勢の変化に応じて、新たな技術開発項目の追加の要否について、今後も定期的に検討が行われると良い。

2. 3 研究開発成果について

物流を中心とした用途のための UTM (Unmanned Traffic Management : 無人航空機管制) に関しては、基本機能を網羅するベースシステムが出来た。省エネルギー性能等向上のために、火災現場のような特殊環境下での飛行が可能になることも、十分に意義がある。

一方、安全な社会実装を実現するためには、様々な環境下における自立性、フェールセーフなどシステムとしての安全性、悪意ある第三者を想定したセキュリティなどについて、さらなる検討が必要である。

World Robot Summit については、競技会を通じてどのように研究開発成果を世界のデファクト・スタンダードにつなげようとするのかについてしっかり考えてほしい。また、本事業の研究開発成果を、無人航空機を知らない一般の方々にも分かりやすく伝える工夫が必要であると考えられる。

なお、研究開発の実施内容については、最終目標へ向けた開発スケジュールや具体的開発項目をより明確化することを望む。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

試作品、システム等の社会的利用が開始されるという観点での実用化に向けて、十分な道筋が検討されている。想定する市場の規模・成長性等は大きいことが予想され、経済効果等を期待できる。

一方、無人航空機の安全性・騒音などの性能評価について、社会的利用の価値を高めるために、人を意識した研究開発も実施されることを期待する。ここでの研究開発成果は、国際標準化されないと実用化を完了したとは言えないので、それぞれの研究開発毎に検討を強化していただきたい。

なお、実用化・事業化に向けては、民間企業だけでは実証実験からの壁があるため、NEDO が制度設計や実用化のステップを構築していくことが必要である。短期で開始可能なビジネスモデルを複数・同時並行して準備、推進、育成していけるような戦略の準備を期待する。

研究評価委員会委員名簿

(2019年12月現在)

| | 氏 名 | 所属、役職 |
|-----|--------------------|---|
| 委員長 | こばやし なおと 小林 直人 | 早稲田大学 研究戦略センター 副所長・教授 ／研究院 副研究院長 |
| 委員 | あさの ひろし 浅野 浩志 | 一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション 創発センター 研究参事 |
| | あたか たつあき 安宅 龍明 | 先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事 |
| | かめやま ひでお 亀山 秀雄 | 東京農工大学 名誉教授 |
| | ごないかわひろし 五内川 拓史 | 株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長 |
| | さく まいちろう 佐久間 一郎 | 東京大学大学院 工学系研究科 教授 |
| | たからだ たかゆき 宝田 恭之 | 群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授 |
| | ひらお まきひこ 平尾 雅彦 | 東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授 |
| | まつい としひろ 松井 俊浩 | 情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 ／国立研究開発法人産業技術総合研究所名誉リサーチャ |
| | まるやま まさあき 丸山 正明 | 技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師 |
| | よしかわ のりひこ 吉川 典彦 | 名古屋大学 名誉教授 |
| | よしもと ようこ 吉本 陽子 | 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員 |

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第60回研究評価委員会（2019年12月20日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- ロボット・ドローン技術は、期待される機能を発揮するための技術開発と、安全性確保を含めた運航システムの確立が極めて重要であり、国内の公的機関との連携、さらには国際的な協力が必要である。様々な利用における期待が大きいため、慎重にかつ迅速に研究開発を進めていただければと思う。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

ロボット・ドローンの利活用という、サービス高度化に基づいて様々な産業創出が期待される重要課題について、堅実な体制に基づき概ね順調に開発を進めており、高く評価できる。国際的な流れを見据えながら、デジュール・スタンダードやデファクト・スタンダードに取り組んでいることも評価ができる。

一方、多くの人がいる都市部において、複数の無人航空機の運用を目指しており、サービスの事業化を考えた場合、安全対策に関する検討も必要だと考える。プロジェクトの進捗管理においては、ユーザー視点をより積極的に取り入れることができる体制を取ることが望まれる。今後、各企業が実用化・事業化に向けて負担しなくてはならないコストの低減効果についての具体的な査定結果があると、本事業の貢献を具体的に評価可能となる。

今後については、ドローンを実際に飛行させて評価分析するなど評価員を設置して海外メーカーの技術的な評価をすることが必要である。また、活用の観点だけでなく、悪意ある第三者などへのリスク要因を踏まえ、制度設計とともに、開発事案と連動させていく必要がある。

〈肯定的意見〉

- ・ ロボット・ドローンの利活用という、サービス高度化に基づいて様々な産業創出が期待される重要課題について、堅実な体制に基づき概ね順調に開発を進めており、高く評価できる。
- ・ 大都市圏に限らず遠隔地への輸送も含めた物流の発展のためには、本プロジェクトで得られた研究開発成果は非常に重要である。
- ・ 世界的に遅れているドローン関連ではあるが、日本の有力な企業が終結して基板技術の開発、社会実装に向けて貢献していることは素晴らしいと思います。航空機関連のルールから電波やプライバシーまで多岐にわたる運用に向けての策定を民間企業だけではなく公平な立場をもって **NEDO** が取りまとめているからこそ実現できていると思います。スピード感をもって社会実装に向けて頑張ってください。
- ・ **Level4** 実現のためのベース開発作りの強い意欲が見られ、相応のものが開発できており、また、民間企業が独自で行い難い分野に対して、取り組みを行ったことに関しては概ね評価できる。
- ・ また、その観点において、国際的な流れを見据えながら、デジュール・スタンダードやデファクト・スタンダードに取り組んでいることも評価ができる。
- ・ 一部においては、技術優位性が見られるものも開発できており、ドローン活用のシーンの拡がりに貢献し、日本独自の方向性の足掛かりができたものもあった。
- ・ 国際競争力の激しい無人航空機分野に関するプロジェクトで、サービスの実用化へ向け **NEDO** が取り組むべき事業だと考える。また、各研究開発目標はバランスよく設定され、かつ多少の差はあるものの、概ね順調に進捗しており、今後に期待できる。さらに、国際標準化について開発実施者に任せるのではなく、研究開発目標の1つとして実

施し成果もでており、実用化・事業化へ向けた取り組みとして評価できる。

- ・ 社会ニーズが高く、貢献が期待される事業であり、研究開発マネジメントにも問題なく、当初の目標どおりの成果が得られていることが確認できました。これらの成果は、ドローンの実用化・事業化に大きく貢献することが大いに期待できる。
- ・ ロボット・ドローンが活躍する実現プロジェクトとして、機体の性能評価基準、運航管理システム、国際標準化のいずれも NEDO の関与が必要と考えられる社会的意義のある取り組みであり、着実に研究開発を実行し、成果を出していると判断される。

〈改善すべき点〉

- ・ プロジェクトの進捗管理においては、ユーザー視点をより積極的に取り入れることができる体制を取ることが望まれる。
- ・ ドローン本体の飛行安全性の実現と、国際標準のもとでの製品の実用化という二点が今後の最重要課題と考えられるので、それらの点での活動をお願いしたい。
- ・ 現在の検討では、素性があらかじめ判明している飛行体について運航管理することになっているが、今後多量の機体が飛行することを考えると、素性の判明していない機体と同じ空域に飛び込んでくることもあり得るので、それによって安全面、保安面、輸送効率性などさまざまな点で問題が起こる可能性があるため、これらも検討していただきたい。
- ・ 事業スタート時点から海外等の技術進歩は目覚ましいです、日々の情報収集と共有、方向修正への展開をしなければなりません。
- ・ 既に既存技術になっているものもみられ、国内外のドローン関連の先端技術動向を意識し、場合によっては、その成果を組み込んで、より高度な技術に昇華していくような形で、目標や予算措置に対しての柔軟な仕組みが必要。
- ・ Level4 での実用にとって、一番重要なセキュリティの観点に欠けている。
- ・ デファクト・スタンダードの取り組みとして意識しているロボットオリンピックが、イベント的要素が強く、デファクト・スタンダードへの方向性が弱い。(最低でも、どのエリアにおいて、デファクト・スタンダードを目標としていくのかという全体的なアーキテクチャ設計が必要)。
- ・ 多くの人がいる都市部において、複数の無人航空機の運用を目指しており、サービスの事業化を考えた場合、安全対策に関する検討も必要だと考える。技術的な課題が多くあることは理解できるが、事業化へ向けた安全および法整備も並行して推進することも必要だと考える。
- ・ 本事業の成果によって、今後、各企業が実用化・事業化に向けて負担しなくてはならないコストの低減効果についての具体的な査定結果があると、本事業の貢献の一面を具体的に評価可能となる。
- ・ 機体の性能評価基準、運航管理システム、国際標準化の個別間の関係を明確化して報告書の作成や成果の公表をされると、より本事業の社会的価値が高まると考えられる。

〈今後に対する提言〉

- ・ (プロジェクト自体の問題ではなく、事業原簿の構成の問題であるが、) 事業原簿が、単に研究開発項目の報告を羅列した形になっており、プロジェクトの全体像、結論がわかりにくい。全体を俯瞰したうえで、それぞれの研究開発項目のプロジェクト全体の中での位置づけを明確化する章や、それぞれの項目の結論を総括してプロジェクト全体としての結論、今後の開発の方向性としてまとめる章などを加えると、全体が読みやすくなる。今後、検討いただきたい。
- ・ 無人航空機が飛行する空域には、将来いわゆる空飛ぶクルマ (Urban Air Mobility, UAM) も飛行することになる。UAM は有人機のため航空法を担う国交省が深くその運航に係わってくることになるので、無人航空機分野でも国交省とこれまで以上の密接な連携をお願いしたい。
- ・ 海外メーカーの動向分析を具体的にすべきです。例えば性能を評価できる評価員を設置して技術的な評価をするなどが必要でドローンであれば特に実際に飛行させて評価分析すべきです。
- ・ 今回の中間報告における開発成果物において、まずは活用可能な現実的な領域において、限定的に、かつ、定常的に活用していくことにより、実際上の課題の抽出や足りない部分などが出てくるので、そういった活用提案を行う。
- ・ 今後の実用に向けての開発が必要な事案に対しては、国内外の技術を見渡し、その予測も含め考慮した上で、その内容を決めていく。
- ・ 活用の観点だけでなく、悪意ある第三者などへのリスク要因を踏まえ、制度設計とともに、開発事案と連動させていく。
- ・ 無人航空機を活用したサービスの事業化を実施するにあたり、インフラ・安全・法整備等、技術的な課題以外にも多くのハードルがある。一方で、本プロジェクトでは、顕著な研究開発成果も出てきている。そのため、現段階で可能なサービスから事業化していき、その事実を国内外へ発信していく戦略が良いように考える。
- ・ 2020 年度から始まる「実用化促進フェーズ」には、プロジェクトの評価項目に、産業・経済へのインパクト (例えば、スタートアップの数や投資額、サービス件数、サービスを行った総飛行時間など) を加えて頂けると良い。
- ・ NEDO の成果の公表先となる国民 (人) に対して、無人飛行機の安全性を強く意識した研究開発と情報発信を行われることを期待する。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

ドローンの高度利活用は、サービス高度化および産業創出が期待される重要課題であり、これを推進する本事業目的は妥当である。政府の政策動向、特に人口集中地区における目視外飛行の実現にむけて、その実現課題を洗い出すとともに、その航行管理する手法の検討および基本システム開発を 2017 年より行ったのは、その実現におけるステップとして適切であった。無人航空機の衝突回避に関わる統合的な運航管理システム、日本の国際競争力の強化のための国際標準化への取り組みは、多くの技術分野にまたがる共通基盤を早期に実現することが求められ、民間活動だけで達成することは困難であって、NEDO の事業として相応しい。消防などの公共安全に関与が深い高温や防火対応のドローンなどに関しても、民間のみで開発を行うには負担が大きく、今回の取り組みの中で行ったのは妥当であった。

一方、多くの人が行き交う都市部の頭上を多数のドローンが飛行することを目指すのであれば、安全面を最大の課題とすべきであると考えられる。

〈肯定的意見〉

- ドローンの高度利活用は、サービス高度化および産業創出が期待される重要課題であり、これを推進するとする事業目的は妥当である。ドローンの実用化に向けて、機体性能技術、運行管理技術、衝突回避技術を確立し、国際標準化を目指すとする設定は妥当である。
- 目的達成のためには、多くの技術分野にまたがる共通基盤を早期に実現することが求められ、民間活動だけで達成することは困難であって、NEDO の事業として相応しい。2030 年における市場規模は 1000 億を超えると予想されており、投じた研究開発費との比較において十分である。
- 都市部で物流無人機が飛行でき、有人機と同一空域で共存できることという 2 つの目的は、国際競争力、エネルギー需給ならびに社会から求められるという点（市場動向）から、今後の我が国の社会で必要とされることであり、目的は妥当である。
- 大変重要な事業であり、新しい時代に不可欠なプロジェクトです。特にまだ新しい分野であるドローンの分野では、各種未整備なルールや複数の省庁が関係する許認可など民間企業だけでは乗り越えられない状況や社会実装を実施するには一定の公共性が必要ですので公平な立場で NEDO の事業として推進していくことが不可欠です。
- 政府の政策動向、特に人口集中地区における目視外飛行の実現にむけて、その実現課題を洗い出すとともに、その航行管理する手法の検討および基本システム開発を 2017 年より行ったのは、その実現におけるステップとしてよかった。
- 諸外国の対応状況を見据えて、その時点での設計を行った点も評価できる。
- 消防などの公共安全に関与が深い、高温や防火対応のドローンなどに関しても、民間のみで開発を行うには、投資回収までのタームがかかり、負担が大きいため今回の取り組みの中で行ったのはよかった。

- ・ 国際競争の激しい無人航空機分野、特にドローンを活用したサービスに関連するプロジェクトで、今後の市場規模などを鑑みると NEDO が牽引すべき事業の 1 つであり妥当と考える。
- ・ ドローンの普及に必要となる技術開発・制度整備において、個々の企業規模では開発が困難な内容に焦点を絞り、効率良くプロジェクトを進めておられる。特に新サービス・新産業の創出に貢献が期待できる事業であり、プロジェクトの研究開発費に見合うものである。また、早期に実用化しビジネスモデルを呈示することで国際貢献・展開が期待できる。
- ・ ロボット・ドローンが活躍する実現プロジェクトとして、機体の性能評価基準、運航管理システム、国際標準化のいずれも NEDO の関与が必要と考えられる。
- ・ 特に無人航空機の衝突回避に関わる統合的な運航管理システム、日本の国際競争力の強化のための国際標準化への取り組みは評価に値する。

〈改善すべき点〉

- ・ 本プロジェクトは、空を飛ぶというドローンの機能は確立されたものということを前提として、それに付加的に例えば情報通信関連の機能を追加することでプロジェクトが求める目標を達成できるという考えが、プロジェクト関係者の奥底にあるように感じられる。しかしながら、ドローンの飛行機能は未完成なもので、多くの人が行き交う都市部の頭上を多数のドローンが飛行することを目指すのであれば、安全面を最大の課題とすべきであると考えられる。
- ・ 早急にある一定以上の成果を上げなければ世界における競争力を取り戻せなくなってしまいう最終局面です。2017 年の事業開始から 3 年後の中間評価で方向性の微修正では、世界市場に則さないと思われまます。
- ・ レベル 4 での物流といったアプリケーションにむけた開発項目に偏りすぎており、そのほかのドローンの要素技術に関わる技術課題（フライトコントローラーの安定性、安全性強化、非 GNSS 空間での利用など）へのアプローチが弱い。
- ・ 各省庁間でだぶった形での開発項目もあり、各省庁間での調整が図られたい。
- ・ 各機能評価において、その全体像を見据える中での評価項目の設定およびその提示が必要。
- ・ ドローン技術・サービスについて、世界の開発状況・実績を踏まえて、日本の役割・アドバンテージ・戦略が、具体的な数値を持った明確な形で、プロジェクト内で共有されていない印象を受けた。
- ・ 機体の性能評価基準、運航管理システム、国際標準化の個別のプロジェクトは価値のあるものであるが、本プロジェクトを実現するための個別間の関係を明確化されると、より本事業の社会的価値が高まると考えられる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

プロジェクト全体の指揮系統については、明確になっており、その点は妥当である。大きな全体予算の中からの的確に各事業へ配分されていて、概ね目標に対しての達成がなされており、開発マネジメントは適切である。知的財産権に関して、非公開とすべきキーとなる技術については、的確に対応しており、押さえるべきところはきちんと押さえられていると判断される。また、独立して国際標準化を推進するプロジェクトがあり、かつ国際標準化の成果も出ている点も評価できる。

一方、海外メーカーの動向調査をさらに充実させ、リアルタイムに情報共有する必要がある。最初に示されている全体計画は明確なものの、個別の成果それぞれが全体計画にどのように寄与できたかのまとめが必要である。

今後については、研究開発の運営管理を行う技術委員会に、ドローン技術の現状に精通した上でユーザーの立場からの意見を反映できる常任の外部有識者を含めると更に良い。また、国内外の動向を注視し、技術の進歩や社会・経済情勢の変化に応じて、新たな技術開発項目の追加の要否について、今後も定期的に検討が行われると良い。

〈肯定的意見〉

- ・ ニーズを踏まえて、適切な目標が設定されている。
- ・ 目的実現のために、適切な開発計画が設定されている。
- ・ 有識者を交えた技術委員会を組織するなど、概ね状況に適切に対応する管理体制が敷かれている。
- ・ 市場動向を踏まえて、何をすべきかを理解した上での目標設定はきちんとされている。
- ・ プロジェクト全体の指揮系統については、明確になっており、その点は妥当である。
- ・ 各年度毎に進捗状況を把握できており、遅れが生じた場合の対応も適切に行っているように見られる。
- ・ 知的財産権に関して、非公開とすべきキーとなる技術については、的確に対応しており、押さえるべきところはきちんと押さえられていると判断される。
- ・ 2017年時点での事業目標項目としては、とても優れた内容です。大きな全体予算の中からの的確に各事業へ配分されていると思います、またロボット、ドローンを積極的に事業展開している主だった企業が参加されているのはビジョンが明確だったからだと思います。福島ロボットテストフィールドが今後さらに積極的な利用可能になるので劇的な開発スピードが楽しみです。
- ・ 概ね目標に対しての達成がなされており、開発マネジメントは適切である。
- ・ 国際標準化や知的財産への一般的なアプローチも適切である。
- ・ 事業の各研究開発目標が適切に設定され、目標毎の進捗に多少の差はあるものの、概ね順調に目標が遂行されており評価できる。また、国際標準化に関して開発実施グループに任せるのではなく、独立して国際標準化を推進するプロジェクトがあり、かつ国際標準化の成果も出ている点も評価できる。

- ・ 福島ロボットテストフィールドの整備、ドローン機体の性能評価基準と性能向上、運行管理システムの開発、国際標準化の推進といった 4 本柱となるテーマ設定・目標設定が妥当であり、PM のリーダーシップのもと、実施者の選定、責任体制、進捗管理が十分なされている。
- ・ 研究開発目標・計画・実施体制・進捗管理・知的財産に関する整備に至る一連のマネジメントは達成されていると判断される。
- ・ 個別要素について、本事業を達成するためのプラットフォームとなる福島ロボットテストフィールドの整備、そして運航管理システムにおける API の公開は、無人航空機の社会実装を実現化する観点から評価に値する。

〈改善すべき点〉

- ・ 各研究開発項目間での役割分担、成果管理が一部不明確。安全基準や騒音基準は、いくつかの研究開発項目間で共通に検討する必要があるものと考えているが、検討を個別・独立に行ったように見受けられる。それぞれの結果を整合性ある形でまとめ、プロジェクト全体としての結論、あるいは方向性を示すことが望まれる。
- ・ 研究開発計画については、予算措置が必要ということで、来年度以降はほとんど白紙の状態になっているが、何をせねばならないかとの長期的な見通しは立っているはずであり、それに基づいて、どのように残り 2 年を実施したいかの、希望に留まるかもしれないが、その全体像を示して欲しい。
- ・ 最初に示されている全体計画は明確なものの、報告書内の記述は、各参加者が個別に行った内容を羅列しただけに感じられ、個別の成果それぞれが全体計画にどのように寄与できたかのまとめがあるともっと良い。
- ・ 技術進歩が想像を超えるスピードで進歩しているので、いち早く方向修正及び目標達成が求められます。要素技術の達成に追われ知的財産まで対応できていないように思われますので、今後は国際的な競争のため積極的に申請できる体制が必要。
- ・ 社会実装フェーズでは、ぜひ年に一度以上の研究開発の方向修正と実事業を経験されている多数のユーザーにヒアリングを実施、事業に的確なフィードバックが必要と思われれます。
- ・ 海外メーカーの動向調査をさらに充実させ、リアルタイムに情報共有する必要がある。
- ・ 要素技術開発と運用に分けたビジョンの共有が必要。
- ・ 2016 年時点における企画や発案は妥当でも、ドローンなどの業界は国内外含めて、開発スピードが速く、陳腐化・一般化しやすい。四半期もしくは半期ぐらいの間で、国内外の状況を第三者も交えて検証し、追加だけでなく、縮小もしくは方向転換などの柔軟な対応が、効率的な予算活用のためにも必要だろう。
- ・ 目標達成という点では評価されるが、一方で NEDO のような機関における開発項目としては、順調に行き過ぎているようにも感じられ、もう少し、その開発目標に関して高く設定するとともに、日本の強み（各センサデバイスなど）を活かす形での目標設定が必要。

- ・ 多くの人がいる都市部で、複数の無人航空機の運用を目指しており、安全対策・整備に関するプロジェクトの検討も必要だと考える。
- ・ ドローンの活躍分野であるインフラ点検用ドローンの開発についてのみ、進捗管理が十分でない印象を受けた。
- ・ 国際標準化について、海外のベンチマークだけでなく、日本における取組みをより具体的に見える形で進めることが必要であると考えられる。

〈今後に対する提言〉

- ・ 研究開発の運営管理を行う技術委員会に、ドローン技術の現状に精通した上でユーザーの立場からの意見を反映できる常任の外部有識者を含めるとなお良い。
- ・ 国際標準化に関しては、無人機に限らず、有人機体や装備品分野でも我が国の対応は遅れているところがある。機体は異なっても共通で認識出来る点は多いはずなので、このような分野の関係機関と連携して活動されることが望ましい。
- ・ 今回の「中間評価」とはどのような全体像の中間なのかが明確ではなかったので、随時継続的に全体のビジョンを浸透させる必要がある。各事業体の個別プロジェクトがどのように全体にかかわるのかを把握させる。特に海外メーカーは3か月で技術が進歩しているので、一部は参考にするべきですし、都度の微修正ができる体制づくりが必要。
- ・ 開発の局面において、日本全体の底上げのため、今後を活かすという視点では、うまくいった結果の公表だけでなく、うまくいかなかった／工夫が必要だったといった過程での話が各社にとって非常に参考になる。そういった各種開発事項に関する内容も開示されることが望ましい。
- ・ 無人航空機に関連した研究開発のスピードは早く、3年前に設定した目標がすでに既存技術になってしまう可能性もある。国内外の動向を注視し、目標のアップデートも含めて検討されることを望む。
- ・ ドローン機体の技術開発において、耐熱、電源、衝突回避について取り組まれているが、ドローンを用いたビジネスモデルを構築するうえで、技術の進歩や社会・経済情勢の変化に応じて、新たな技術開発項目の追加の要否について、今後も定期的に検討が行われると良い。
- ・ 本事業の無人航空機の安全な運航管理・性能基準において、地上で影響を受ける国民(人)を意識した研究開発や評価方法も取り入れて頂きたい。

2. 3 研究開発成果について

物流を中心とした用途のための UTM (Unmanned Traffic Management : 無人航空機管制) に関しては、基本機能を網羅するベースシステムが出来た。省エネルギー性能等向上のために、火災現場のような特殊環境下での飛行が可能になることも、十分に意義がある。

一方、安全な社会実装を実現するためには、様々な環境下における自立性、フェールセーフなどシステムとしての安全性、悪意ある第三者を想定したセキュリティなどについて、さらなる検討が必要である。

World Robot Summit については、競技会を通じてどのように研究開発成果を世界のデファクト・スタンダードにつなげようとするのかについてしっかり考えてほしい。また、本事業の研究開発成果を、無人航空機を知らない一般の方々にも分かりやすく伝える工夫が必要であると考えられる。

なお、研究開発の実施内容については、最終目標へ向けた開発スケジュールや具体的開発項目をより明確化することを望む。

〈肯定的意見〉

- ・ 「開発項目②(1)無人航空機の運行管理システムの開発」については、順調に目標を達成しており、高く評価できる。
- ・ 「開発項目③(2)デファクト・スタンダード(World Robot Summit)」については、多くのスポンサー・参加者を集めた、関心度の高い競技会を企画することに成功している。
- ・ 性能評価に関して、安全評価を行い、性能評価基準を確立することは非常に重要である。
- ・ 省エネルギー性能等向上のために、火災現場のような特殊環境下での飛行が可能になることは、十分に意義があることである。
- ・ 運航管理システムに関して、自動化されたシステムを構築している点は評価できる。
- ・ 衝突回避技術に関しては、高度な技術をほぼ実用化に近いレベルにまで確立されているように思われる。
- ・ 国際標準化については、今回の成果が広く普及するためには、非常に重要な点であり、活動は評価できる。
- ・ デファクト・スタンダードに関しては、競技会の立案と準備は滞りなくされていると判断できる。
- ・ UTM や衝突回避は非常に重要な基礎技術であり、社会実装には欠かせない技術の一つを初期段階で開発するのは非常に意義のある事だと思います。中間評価からの方向修正ができる体制を整えているので効果的に成果を達成できると思います。
- ・ 物流を中心とした用途のための UTM に関しては、基本機能を網羅するベースシステムが出来た。また、API を開示し、各機体や各アプリケーションを接続可能にする機構もよい。
- ・ 防火・防爆対応のドローンも世界的にも優位性が高い。

- ・ 主要課題である無人航空機の運航管理システムを中心に中間目標に対する進捗が良く、技術的にも顕著なものもあり評価できる。
- ・ 福島ロボットテストフィールドの整備、ドローン機体の性能評価基準と性能向上、運行管理システムの開発および衝突回避技術の開発、国際標準化の推進（デジュール、デファクト）といった4テーマにおいて、当初の計画どおりの成果が得られている。特に、運行管理システム開発および衝突回避技術開発では、実施者のこれまでの蓄積された技術を活かし、完成度の高い成果が得られている。
- ・ 研究開発目標、意義、成果の達成の可能性は満足していると判断される。特に、無人航空機の運航管理システムについて評価に値する。
- ・ 福島ロボットテストフィールドの整備により、様々な高度な技術開発が可能になると考えられる。

〈改善すべき点〉

- ・ 「開発項目③(1)デジュール・スタンダード」において、事業原簿には文献調査をしてISO TC20/SC16に企画案を提出したとだけあって、具体的に調査の結果何がわかって、どのように活かしているのか記載がない。概要が分かる程度に調査内容等を記載する必要がある。
- ・ 「開発項目③(2)デファクト・スタンダード(World Robot Summit)」では、単に適切なテーマで競技会を開催するにとどまらず、競技会を通じて何を成果として、どのように共有していくのかについて、具体的方法論を持つことが重要と考える。例えば、パターン認識関連の競技会では共通データベースと共通評価の指針が成果として積み上がる。そうした「積み上がるもの」を意識した企画にすることが望まれる。
- ・ 性能評価に関して、ドローンの重量は一定では無く、さまざまな重量範囲に分類されるはずなので、異なる重量の機体に適用できる一般的な性能評価基準を、重量の違いを考慮に入れて検討してもらいたい。
- ・ 省エネルギー性能等向上に関して、耐火性能を有するプロペラを作成するために、現在では耐火材のコーティングが行われているようであるが、コーティングに伴うプロペラの空力性能の低下は大幅ではないかと思われる。この点で他の手段を活用する等の詳細な検討が望まれる。
- ・ 運航管理システムに関して、現状では予め本プロジェクト組織内で既知の機体のみ運航管理を考えていると思われるが、将来的に都市部で多数の機体が飛行するようになると、組織外の機体も飛行するようになると思われ、そのような機体に対する対応もできるようなシステム構築が望まれる。
- ・ 衝突回避技術については、回転翼機体のみを現在対象として考えているようだが、長距離輸送を考えると、固定翼機体も対象として考えるようにしていただきたい。
- ・ 国際標準化については、喫緊の課題といっても良いので、もっと活動規模を大きくしても良いのではないかと思われる。
- ・ デファクト・スタンダードに関しては、競技会開催後にでも本来の目的である我が国

での研究開発成果が世界のデファクト・スタンダードになっていく方策をしっかりと考えていただきたい。

- 今回の NEDO 事業に参加していないドローン企業には情報は明確に伝わっていない。
- 日本国としての方向性を明確に周知するべき。
- 研究開発される UTM や独自のシステムが、市場で大半を占める海外製ドローンに対応できていない現状を整理して、明確な方向性を示し、修正するべき。
- 「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」という本研究開発そのものが多くの開発項目に分かれており、全体的には UTM を中心としたシステムの部分が多い。それを構成する要素技術部分において、3年前には各々が進んだ内容であったものの、現状では既に民間にて社会実装されている部分も多く、そういった意味で全体のシステムそのものにおいて、技術優位性が乏しく、また、社会実装としての技術・ユーザビリティ上での優位性が少なく、実業化（ユーザー視点での具体的メリット）を示す内容が乏しい。
- 燃料電池などのいくつかの技術において、実証実験の実施のみとなっており、課題の抽出および次のステップが見えていない。
- ドローンをハードウェアとしてのみ捉えている視点が強く、システムとして捉えておらず、安定的に安全な社会実装に向けたステップまでのハードルが高い。
- ドローンを用いた物流・インフラ点検のテストフィールドが整備されつつある状況において、インフラ点検用のドローンの開発状況・準備状況について不明な点があった。
- 本事業の成果を、無人航空機を知らない一般の方々にも分かりやすく伝える工夫が必要であると考えられる。

〈今後に対する提言〉

- 「開発項目①(1)性能評価基準等の研究開発」において、評価軸がドローン自体のハードウェアの評価に偏っている。運行時のフェールセーフがどれだけ考慮されているかといった観点での評価も加えてはどうか。
- 現在、国際標準化は別立てで活動されているようであるが、各研究開発項目それぞれ独自の国際標準化に関する課題があると考えられ、それぞれの課題毎に国際標準化に関する検討を行っていくことも実用化に向けて効果的と思われる。
- 日本国として独自のルールの上に運用があるので、本来は海外のドローンメーカーよりも優位であるが、現状は海外のメーカーが国内でもスタンダードになってしまっている。このことを早急に分析し、対応の方向を明確にしなければなりません。
- 海外メーカーのドローンを評価、解析するべきです。
- 各利用用途に応じて、ドローンをその目的実現のためのシステムの一部とする視点が必要で、そのためには以下の強化が必要。様々な環境化における自律性の向上。Diagnostic やフェールセーフ、二重化など、システムとしての安全性の向上。悪意ある第三者を想定したセキュリティの向上。
- 研究開発の実施内容については良いが、最終目標へ向けた開発スキームについて、よ

り明確化することを望む。

- 開発されたドローン用の運行管理システムを世界へ展開し、イニシアティブを取る戦略の検討が望まれる。
- 有人飛行用の運行管理システムと開発されたドローン用の運行管理システムのデータ共有やコンパチビリティについての検討が期待される。
- 本事業の実現においては無人航空機の安全な運航管理・性能基準が求められるが、有人地帯・人口集中地区での目視外飛行を想定し、NEDOの成果の公表先となる国民(人)への安全性を強く意識した研究開発にも取り組まれることを期待する。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

試作品、システム等の社会的利用が開始されるという観点での実用化に向けて、十分な道筋が検討されている。想定する市場の規模・成長性等は大きいことが予想され、経済効果等を期待できる。

一方、無人航空機の安全性・騒音などの性能評価について、社会的利用の価値を高めるために、人を意識した研究開発も実施されることを期待する。ここでの研究開発成果は、国際標準化されないと実用化を完了したとは言えないので、それぞれの研究開発毎に検討を強化していただきたい。

なお、実用化・事業化に向けては、民間企業だけでは実証実験からの壁があるため、NEDO が制度設計や実用化のステップを構築していくことが必要である。短期で開始可能なビジネスモデルを複数・同時並行して準備、推進、育成していけるような戦略の準備を期待する。

〈肯定的意見〉

- ・ 試作品、システム等の社会的利用が開始されるという観点での実用化に向けて、十分な道筋が検討されている。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等は大きいことが予想され、経済効果等を期待できる。
- ・ 想定する製品・サービス等は、社会ニーズに合致すると考えられ、社会的効果が大きいことが期待される。
- ・ 今回の成果である例えば運航管理システムや衝突回避技術等に関しては、試作品という今回四角囲いされている部分の定義という意味では十分なレベルにあると考えられ、その点で、成果の実用化・事業化に関する戦略は明確であり、かつ経済効果を期待できる。
- ・ UTM などドローンの運用の関わる技術をグローバルスタンダードに向けて推進していることは非常に評価できます。企業が実用化、事業化するための国内におけるベースルールを一日でも早く構築できることを期待いたします。
- ・ 単独のプロダクトとしては一部実用化・事業化に向けた段階に向けて進む可能性があるものがあった。
- ・ 中間評価ということもあり、具体的な実用化・事業化の事例はなかったが、これまでの成果から本プロジェクト期間内に成果の実用化・事業化について大きな期待が持てた。
- ・ サイバーセキュリティなど、新たに重要となる項目が発生した場合に、それらに取り組みなど、実用化・事業化に向けて検討項目に漏れのないようなフレキシブルな取り組みが評価できる。
- ・ 標準化について、世界の動向を踏まえて、日本の役割を明確にし、それに取り組んでおられる。
- ・ 無人航空機の運航管理システムの成果は実用化・事業化が期待できる。
- ・ 福島ロボットテストフィールドは、ドローン活用の市場を拡大化させることに大きく

貢献すると考えられる。

〈改善すべき点〉

- ・ 国際標準化されないと、ここでの研究開発成果は、日本語本来の意味での実用化を完了したとは言えないので、ぜひ国際標準化を、それぞれの研究開発毎に検討を強化していただきたい。
- ・ 実際にドローンをすでに活用している企業が、具体的にどのように利用できるのかを明確にし、発信することで、海外製ドローンを活用しているユーザー企業がもっと興味を持てる事業にするべき。この事業に興味を持つ企業が増えることでさまざまな情報を取得でき適切な方向修正が可能になる。
- ・ 事業の進捗を明確化するべき。
- ・ 技術優位性の高い内容が少なく、要素技術として、実業化のステップが進めるものが少ない。
- ・ 国民の税金を投下しているという観点において、公共のインフラもしくは広く開発技術供与を行い、公共が利する実用という視点と民間企業が自己資金で行うには公共性が高く、投資回収に時間がかかる、もしくはリスクが高い事業という視点が明確に分かれておらず、その目標や焦点が定まっていない。前者の公共での実用化という視点においては、実用化に向けた予算措置が必要であり、そのための調整やコンセンサスの醸成も必要であり、そのステップが見えにくい。
- ・ ドローンの実用化・事業化に取り組む予定の企業・団体からの要望・意見などの調査・検討があると、2020年度から始まる「実用化促進フェーズ」への参考となるかと思われる。
- ・ 300°C耐火型ドローンの開発について、使用する側のニーズとコスト面を検討する必要があると考えられる。
- ・ 無人航空機の安全性・騒音などの性能評価について、社会的利用の価値を高めるために人を意識した研究開発も実施されることを期待する。

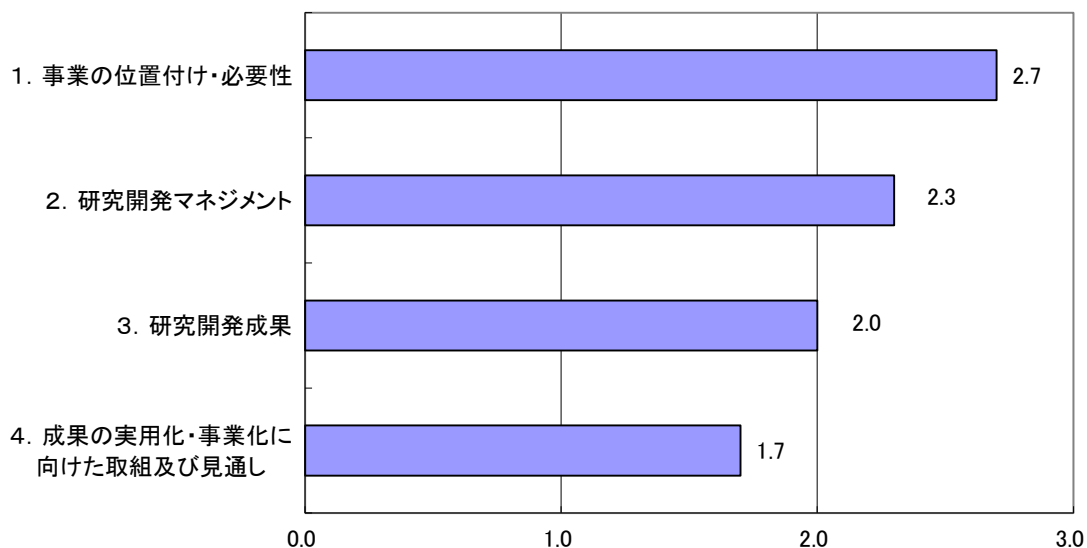
〈今後に対する提言〉

- ・ 本プロジェクトで掲げられている二つの大きな目的（二つの「...飛行できる社会」の実現）の達成までは、まだまだ長い道のりがあると判断される。その中では本プロジェクトの成果だけでなく、ドローン（無人航空機）本体の安全性確保のための技術的発展が必要であり、その点での検討も行っていただきたい。
- ・ 今後「WRS」を「国際ドローン展」のような展示会もかね、RTFで年に1回開催し、ドローン企業などの出展を可能として、実際の飛行が敷地内のあちらこちらで見学できるような運営をしたらいかがでしょうか？既存の展示会では、来場者が室内で少し飛ばすだけのデモンストレーションは飽きています。
- ・ 実用化・事業化に向けては、民間企業であっても、以下のような実証実験からの壁がある。精度検証（成功率や各種条件、ユーザビリティなど）、横展開のための体制作り

(マニュアルやトレーニング)、実運用体制構築、リスク管理(コンプライアンス、ブランドイメージ、セキュリティ、各種リスクなど)。上記を踏まえての費用対効果の算出や予算化。以上のような目線を踏まえ、制度設計や実用化のステップを構築していくことが必要。

- ・ 汎用的な技術レベルを上げて様々なサービスに対応していくことも必要ではあるが、顕著な研究開発成果も出ており、可能なサービスから事業化していく戦略が良いように思われた。
- ・ 実用化・事業化には、短・中・長期で実現できる様々なサービスがあるかと思われるが、早い段階で開始できるサービスを突破口とすべく、短期で開始可能なビジネスモデルを複数・同時並行して準備、推進、育成していけるような戦略の準備を期待します。
- ・ 無人航空機を利用する一般ユーザーに対しても、本事業の成果を取り入れられるシステムを整備されること、そして都市・地域の住民が上空で無人航空機が安全に飛行していることが分かる形での情報発信をされることを期待する。

3. 評点結果



| 評価項目 | 平均値 | 素点 (注) | | | | | | |
|------------------------------|-----|--------|---|---|---|---|---|---|
| | | A | A | A | A | A | A | C |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 2.7 | A | A | A | A | A | A | C |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 2.3 | B | A | B | B | B | A | B |
| 3. 研究開発成果について | 2.0 | A | A | B | B | B | C | C |
| 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | 1.7 | A | B | B | B | B | C | D |

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

| | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「ロボット・ドローンが活躍する
省エネルギー社会の実現プロジェクト」

事業原簿【公開】

| | |
|-----|---------------------------------------|
| 担当部 | 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部 |
|-----|---------------------------------------|

—目次—

| | |
|-----------------------------------|-------|
| 概要 | 2 |
| プロジェクト用語集 | 8 |
| I. 事業の位置付け・必要性について | I-1 |
| 1. 事業の背景・目的・位置づけ | I-1 |
| 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性 | I-4 |
| 2.1. NEDO が関与することの意義 | I-4 |
| 2.2. 実施の効果（費用対効果） | I-4 |
| II. 研究開発マネジメントについて | II-1 |
| 1. 事業の目標 | II-1 |
| 1.1. アウトプット目標 | II-1 |
| 1.2. アウトカム目標 | II-2 |
| 1.3. アウトカム目標達成に向けての取組 | II-3 |
| 2. 事業の計画内容 | II-4 |
| 2.1. 研究開発の内容 | II-4 |
| 2.2. 研究開発の実施体制 | II-17 |
| 2.3. 研究開発の運営管理 | II-18 |
| 2.4. 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性 | II-19 |
| 3. 情勢変化への対応 | II-22 |
| 4. 評価に関する事項 | II-22 |
| III. 研究開発成果について | III-1 |
| 1. 事業全体の成果 | III-1 |
| 2. 研究開発項目毎の成果 | III-4 |
| IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | IV-1 |
| 1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて | IV-1 |
| 1.1. 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方 | IV-1 |
| 1.2. 事業全体の 実用化・事業化に向けた戦略 | IV-1 |
| 2. 研究開発項目毎の実用化の見通しについて | IV-2 |
| (添付資料) | |
| ・特許論文等リスト | a-1 |

概 要

| | | 最終更新日 | 2019年9月13日 |
|--------------------|--|----------|------------|
| プロジェクト名 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト | プロジェクト番号 | P17004 |
| 担当推進部／PM及び担当者 | <p>ロボット・AI部</p> <p>【研究開発項目①、②、③(1)】 <プロジェクトマネージャー (PM) > 宮本 和彦 (2017年4月～2019年9月現在)</p> <p><プロジェクト担当者> 山中 寛幸 (2017年4月～2018年11月) 永松 純 (2017年4月～2019年9月現在) 山名 宏昭 (2018年10月～2019年9月現在) 寺島 政博 (2019年4月～2019年9月現在) 中里 亮 (2019年4月～2019年9月現在)</p> <p>【研究開発項目③(2)】 <プロジェクトマネージャー (PM) > 和佐田 健二 (2017年11月～2019年9月現在 (※2019年2月よりPM))</p> <p><プロジェクト担当者> 速水 一行 (2017年4月～2017年9月現在) 原 大周 (2017年4月～2017年10月) 藤井 祐造 (2017年4月～2018年5月現在) 金子 智幸 (2017年4月～2018年7月現在) 井上 麻里 (2017年4月～2018年9月現在) 細谷 克己 (2017年10月～2019年9月現在) 石原 拓郎 (2018年4月～2019年9月現在) 飛塚 雄二 (2018年10月～2019年9月現在) 直井 理恵 (2019年3月～2019年9月現在)</p> | | |
| 0. 事業の概要 | <p>小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となるインフラ点検分野において、無人航空機やロボットの活用による省エネルギー化の実現が期待されている。このため、本プロジェクトでは、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施する。</p> <p>また、技術開発スピードが速く、デファクトが鍵を握るロボットについては、世界の最新技術動向を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する手法を推進する。</p> | | |
| I. 事業の位置付け・必要性について | <p>物流やインフラ点検分野等の省エネルギー化の実現に向けて、例えば次のようなロボット・ドローンの活躍が期待されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 小口輸送において、積載率の低いトラックに代わり即時配達を行い、再配達率を下げることでエネルギーの無駄を減らすドローン。 ➢ 既存インフラを長寿命化させ、大量の資源とエネルギーを消費する建て替えを減らすための点検作業を支援するロボット・ドローン。 <p>そのため本事業では、物流やインフラ点検等の分野で活用できるロボット・ドローンの社会実装を世界に先駆けて進めるため、それらの性能を定量的に評価するための基準の策定やシステムの開発を行う。また、開発されたロボット・ドローン技術やシステムの今後の国際標準化に向けた取組を併せて実施することで、世界の省エネに貢献するとともに、我が国発の省エネ製品・システムの市場創造・拡大を実現する。</p> | | |

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

【アウトプット目標】

平成 29 年度から平成 33 年度までの 5 年間で福島県のロボットテストフィールド等を活用した本プロジェクトを通じ、物流、インフラ点検及び災害対応分野等における無人航空機やロボットの社会実装に向けた取組みを推進するとともに、国際標準の獲得に繋げる。このため、各研究開発項目の主な目標は、以下のとおりとする。

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

- ・ 3 分野（物流、インフラ点検及び災害対応分野）における各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）の性能評価基準に基づく各種試験方法を福島県のロボットテストフィールド等に提案する。また、福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用し、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするための信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準を開発する。
- ・ 無人航空機等に省エネルギー性能等を向上させるための研究開発成果を搭載することで、2 時間以上の長時間飛行や火災現場等の特殊環境下での連続稼働を実現する。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

- ・ 無人航空機の物流分野等への適応を想定し、福島県のロボットテストフィールド等に設置された無線基地局等を介して 10km 以上の目視外試験飛行を実施する。
- ・ 単機による障害物との衝突回避に加え、無人航空機同士の衝突回避までを想定し、200km/h 以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発する。
- ・ 無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等を重畳した 3D 可視化マップを開発し、福島県のロボットテストフィールド等での各種飛行試験に活用する。
- ・ 国内外の関係者を構成員とする委員会を構成の上、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等を策定し、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。
- ・ 無人航空機の遠隔識別に必要な通信方式やセキュリティの検証、通信機器の設計や関連する要素技術等を開発し、運航管理システムとの情報共有を実施する。

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

- ・ 本プロジェクトの成果（性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための提案すべき技術を含む活動計画を国へ提言し、標準化団体へ引き継ぐ。
- ・ 福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施する。

【アウトカム目標】

空撮や農薬散布など従来の無人航空機を活用したビジネスに加え、新たな技術を導入した物流ビジネスの荷物配送業務や災害対応等に展開するとともに、測量や観測、警備など様々な分野にも本プロジェクトの成果を繋げていく。無人航空機による荷物配送は目視外飛行が前提となり、配送先での離着陸など複雑なプロセスを伴うものとなる。今後、早ければ 2018 年頃に無人航空機での荷物配送サービスが開始され、2020 年代頃以降には、あらかじめ設定されたルートどおりに飛行するだけでなく、衛星測位情報など高精度な位置情報を利用した運航管理システムや衝突回避等の技術の導入による他の有人航空機や無人航空機、障害物等を避けながら有人地帯での目視外飛行を本格化させるロードマップ（小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ（平成 28 年 4 月 28 日小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会決定））の実現に寄与する。

| 事業の 計画内容 | 研究開発フェーズ | | | | | 実用化促進フェーズ | | | | | | |
|---|---|---|----------------------------------|--------|------------------|-----------|--------|---|--|--|--|--|
| | 研究開発項目 | | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 (中間評価) | 2020年度 | 2021年度 | | | | | |
| 【研究開発項目①】 ロボット・ドローン機体の 性能評価基準等の 開発 | (1)性能評価基準等の研究開発 <委託> | | → | | → | | | | | | | |
| | (2)省エネルギー性能等向上のための研究開発<助成> | | → | | → | | | | | | | |
| | 【研究開発項目②】 無人航空機の 運航管理 システム及び衝突回 避技術の開発 | (1)無人航空機 の運航管理シ ステムの開発 | 1)運航管理統合機能の開発<委託> | → | | → | | | | | | |
| | | | 2)運航管理機能の開発 (物流及び災害対応等)<委託> | → | | → | | | | | | |
| | | | 3)運航管理機能の開発 (離島対応)<委託> | → | | → | | | | | | |
| | | | 4)情報提供機能の開発<助成> | → | | → | | | | | | |
| | | | 5)運航管理システムの全体設計に関 する研究開発 <委託> | → | | → | | | | | | |
| | | | 6)遠隔からの機体識別に関する研究 開発 <委託> | | | | → | → | | | | |
| | 【研究開発項目③】 ロボット・ドローンに関 する国際標準化の推進 | (1)デジュール・スタンダード <委託> (2)デファクト・スタンダード (World Robot Summit) <委託> | → | | → | → | → | | | | | |
| | | | → | | → | → | → | | | | | |
| 研究開発予算の 推移 (単位：百万円) | 会計・勘定 | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | 総額 | | | | | | | |
| | エネルギー特別会計 | 3,145 | 3,184 | 3,450 | 9,778 | | | | | | | |
| | 委託 | 2,628 | 2,681 | 2,971 | 8,280 | | | | | | | |
| | 助成 (負担率 1/2 または 2/3) | 517 | 503 | 478 | 1,499 | | | | | | | |
| 開発体制 | 経済産業省 担当原課 | 製造産業局 産業機械課 | | | | | | | | | | |
| | プロジェクトリーダー | 中央大学 教授 大隅久 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 研究領域主幹 原田賢哉 株式会社日刊工業新聞社 林英雄 玉川大学 教授 岡田浩之 東北大学 教授 田所諭 神戸大学 教授 横小路泰義 カリフォルニア大学サンディエゴ校 准教授 江口愛美 | | | | | | | | | | |

| | | |
|--|---------------|---|
| | <p>委託・助成先</p> | <p><u>研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」</u></p> <p>(1) 性能評価基準等の研究開発</p> <p>1) ～ 5) 性能評価手法等の研究開発 (委託、2017年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・株式会社自律制御システム研究所 ・富士通株式会社 ・日本電気株式会社 ・株式会社イクスリスサーチ ・株式会社エンルート ・株式会社プロドローン ・朝日航洋株式会社 ・パナソニック株式会社 ・パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社 ・株式会社SUBARU ・三菱重工業株式会社 ・一般財団法人製造科学技術センター <p>6) 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準 (委託、2018～2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国立研究開発法人産業技術総合研究所 ・株式会社自律制御システム研究所 ・独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 ・国立大学法人東京大学 ・株式会社プロドローン ・イームズロボティクス株式会社 <p>(2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発 (助成、2017～2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・株式会社エンルート ・株式会社プロドローン <p><u>研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」</u></p> <p>(1) 無人航空機の運航管理システムの開発</p> <p>1) 運航管理統合機能の開発 (委託、2017～2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・株式会社NTTドコモ ・楽天株式会社 ・株式会社日立製作所 ・日本電気株式会社 ・株式会社エヌ・ティ・ティ・データ <p>2) 運航管理機能の開発 (物流及び災害対応等) (委託、2017～2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Terra Drone株式会社 ・KDDI株式会社 ・株式会社日立製作所 ・国立研究開発法人情報通信研究機構 ・スカパーJSAT株式会社 <p>3) 運航管理機能の開発 (離島対応) (委託、2017～2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本アビオニクス株式会社 ・株式会社SUBARU ・三菱電機株式会社 ・株式会社自律制御システム研究所 ・日本無線株式会社 <p>4) 情報提供機能の開発 (助成、2017～2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般財団法人日本気象協会 (助成) ・株式会社ゼンリン <p>5) 運航管理システムの全体設計に関する研究開発 (委託、2017～2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 <p>6) 遠隔からの機体識別に関する研究開発 (委託、2019～2021年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 ・国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 ・国立研究開発法人情報通信研究機構 ・株式会社エヌ・ティ・ティ・データ |
|--|---------------|---|

| | | <ul style="list-style-type: none"> ・ Terra Drone株式会社 ・ KDDI株式会社 ・ 株式会社NTTドコモ ・ 株式会社日立製作所 ・ 日本電気株式会社 <p>(2) 無人航空機の衝突回避システムの開発</p> <p>1) 協調式 SAA (助成、2017~2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ マゼランシステムズジャパン株式会社 ・ 三菱電機株式会社 <p>2) 非協調式 SAA (助成、2017~2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日本無線株式会社 ・ 株式会社SUBARU ・ 日本アビオニクス株式会社 ・ 株式会社自律制御システム研究所 <p>研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」</p> <p>(1) デジュール・スタンダード (委託、2017~2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ PwCコンサルティング合同会社 <p>(2) デファクト・スタンダード (委託、2017~2019年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ・ 株式会社日刊工業新聞社 ・ 学校法人玉川学園玉川大学 ・ 特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構 ・ 国立大学法人神戸大学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--|-----|--------|------|----|-----|--------------------|--|-----------------------|---|---------------------------|---|----------------------------|---|-------------------------|--|--|---|-----------------------|--|-----------|---|
| <p>情勢変化への対応</p> | <p>小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会が取りまとめる「空の産業改革に向けたロードマップ」において示されたレベル4 (有人地帯での目視外飛行) の実現を見据え、研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」について、目視外及び第三者上空当での飛行に向けた無人航空機の信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準の項目追加を行った。</p> <p>加えて、技術的成果が得られたが実用化や普及に至るまでに相当の開発リスクが伴う研究開発項目について、加速予算により下記に示す研究開発の前倒し及び項目追加を行った。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>評価に関する事項</p> | <p>事前評価</p> | <p>2016年度実施 担当部：ロボット・AI部</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <p>中間評価</p> | <p>2019年度実施</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Ⅲ. 研究開発成果について</p> | <p>【事業全体】 全体として研究開発の進捗は順調で、各研究開発項目の成果は将来的な事業につながっていくことが期待できる。各項目の中間評価時点における目標達成度について、下表に示す。なお、◎は大きく上回って達成を、○は達成を、△は達成見込みもしくは一部達成を、×は未達を示す。</p> <table border="1" data-bbox="443 1570 1353 2016"> <thead> <tr> <th>研究開発項目</th> <th>中間目標</th> <th>成果</th> <th>達成度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①-(1) 性能評価基準等の研究開発</td> <td>各種ロボット(無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等)の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。</td> <td>・ロボット性能評価手順書の公開(3テーマ)</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>①-(2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発</td> <td>各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する高効率エネルギーシステム技術開発を実施する。無人航空機においては、火災現場等の特殊環境下での連続稼働が可能であることを検証する。</td> <td>・300°C耐火型ドローン開発、サンプルモニタリング</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>②-(1) 無人航空機の運航管理システムの開発</td> <td>本プロジェクトにおける運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを開発する。</td> <td>・同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システム開発／実証 ・API公開</td> <td>◎</td> </tr> <tr> <td>②-(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発</td> <td>無人航空機が地上及び空中の物件等を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術を開発する。</td> <td>・衝突回避飛行試験</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> | | | 研究開発項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | ①-(1) 性能評価基準等の研究開発 | 各種ロボット(無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等)の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。 | ・ロボット性能評価手順書の公開(3テーマ) | ○ | ①-(2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発 | 各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する高効率エネルギーシステム技術開発を実施する。無人航空機においては、火災現場等の特殊環境下での連続稼働が可能であることを検証する。 | ・300°C耐火型ドローン開発、サンプルモニタリング | ○ | ②-(1) 無人航空機の運航管理システムの開発 | 本プロジェクトにおける運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを開発する。 | ・同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システム開発／実証 ・API公開 | ◎ | ②-(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発 | 無人航空機が地上及び空中の物件等を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術を開発する。 | ・衝突回避飛行試験 | ○ |
| 研究開発項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①-(1) 性能評価基準等の研究開発 | 各種ロボット(無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等)の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。 | ・ロボット性能評価手順書の公開(3テーマ) | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ①-(2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発 | 各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する高効率エネルギーシステム技術開発を実施する。無人航空機においては、火災現場等の特殊環境下での連続稼働が可能であることを検証する。 | ・300°C耐火型ドローン開発、サンプルモニタリング | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②-(1) 無人航空機の運航管理システムの開発 | 本プロジェクトにおける運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを開発する。 | ・同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システム開発／実証 ・API公開 | ◎ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ②-(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発 | 無人航空機が地上及び空中の物件等を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術を開発する。 | ・衝突回避飛行試験 | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 研究開発項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 |
|-----------------------|--|--|-----|
| ③-(1) デジュール・スタンダード | 標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、国際的に連携しながら検討と開発を進め、本プロジェクトの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。 | ・ISO/TC20/SC16NP提案 運航管理システム 情報提供機能 | ○ |
| ③-(2) デファクト・スタンダード | 福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit(日本発のルールに基づいた新たな競技等)を、4 カテゴリー(ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア)で実施するため、競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームの検討を行い、平成30年度に予定するブレ大会で活用するプラットフォームの準備を行う。 | ・ブレ大会World Robot Summitを 開催 | ○ |

【個別テーマ】
個別テーマについては、事業原簿 第三章を参照。

| | |
|----------------------|--|
| 投稿論文 | 3 件 |
| 特 許 | 「特許出願」 9 件 (予定含む) |
| その他の外部発表 (プレス発表等) | 【研究開発項目①、②、③(1)】 「研究発表・講演」112 件 「展示会の出展」22 件 「学会誌・雑誌等への投稿」20 件 「新聞記事掲載」170 件 【研究開発項目③(2)】 「テレビ番組」26 番組 「新聞への掲載」86 件 「国内 Web 掲載」429 件 「海外 Web 掲載」176 件 |

IV. 実用化・事業化の見通しについて

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に係る試作品、システム等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、また当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動に貢献することをいう。詳細については、事業原簿第四章を参照。

| | | |
|---------------|------|---|
| V. 基本計画に関する事項 | 作成時期 | 2017 年 1 月 作成 |
| | 変更履歴 | 2018 年 2 月：研究開発項目①(1)性能評価基準等の研究開発のうち、項目の追加及び実施期間変更に伴う改訂 2019 年 2 月：研究開発項目②(1)無人航空機の運航管理システムの開発のうち項目の追加及び実施期間変更、研究開発項目③(2)デファクト・スタンダードに係るプロジェクトマネージャー変更、プロジェクトリーダーの氏名及び所属機関名追記に伴う改訂 |

プロジェクト用語集（五十音順）

| 用語 | 意味 |
|-------|---|
| ADS-B | Automatic Dependent Surveillance-Broadcast の略。有人航空機の位置情報を取得する装置のこと。 |
| AIS | Automatic Identification System の略。呼出符号、船名、位置、針路、速力、目的地などの船舶情報をVHF帯電波で自動的に送受信し、船舶局相互間、船舶局と陸上局間で情報の交換を行うシステムのこと。 |
| API | Application Programming Interface の略。ソフトウェアコンポーネントが互いにやり取りするために使用するインターフェースの仕様のこと。 |
| GLAS | Centi-meter Level Augmentation Service の略。センチメートル級測位補強サービスのこと。GPSの10メートル級の測位誤差を補正する測位補強信号を準天頂衛星から無償配信する。 |
| DAA | Detect And Avoid の略。 |
| DIPS | Drone/UAS Information Platform System の略。国土交通省が管理するドローン情報基盤システムのこと。 |
| FAA | Federal Aviation Administration の略。アメリカ連邦航空局のこと。 |
| FI | Flight Information の略。飛行情報のこと。 |
| FIMS | Flight Information Management System の略。運航管理統合機能のこと。 |
| GCS | Grand Control Station の略。地上局のこと。 |
| GNSS | Global Navigation Satellite System の略。全球測位衛星システムのこと。GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星（QZSS）等の衛星測位システムの総称である。 |
| GPS | Global Positioning System の略。アメリカ合衆国によって運用される衛星測位システムを指す。 |
| HIC | Head Injury Criteria の略。頭部損傷基準値のこと。 |
| ICAO | International Civil Aviation Organization の略。国際民間航空機関のこと。国際航空運送の安全・保安等に関する国際標準・勧告方式やガイドラインの作成等を行う。 |
| I/F | Interface の略。 |
| ISO | International Organization for Standardization の略。国際標準化機構のこと。 |
| JARUS | Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems の略。有志国の航空当局により無人機システムに関する規制の国際標準化について議論するために発足された。 |

| | |
|---------|---|
| Ku バンド | 無線通信で用いられる周波数帯域のうち、12~18GHz の帯域のこと。 |
| LIDAR | Light Detection And Ranging の略。光を用いたリモートセンシング技術の一つであり、光を使用してさまざまな周囲環境を 2 次元または 3 次元的にセンシングするテクノロジーおよび機器の総称である。 |
| LSI | Large-Scale Integration の略。大規模集積回路のこと。 |
| Lバンド | マイクロ波の周波数帯域の一つのこと。1GHz 帯の極超短波であり、通信やレーダーなどに用いられる。 |
| MEMS | Micro Electro Mechanical Systems の略。微小な電気機械システムのことであり、半導体のシリコン基板・ガラス基板・有機材料などに、機械要素部品のセンサ・アクチュエータ・電子回路などをひとまとめにしたマイクロレベル構造を持つデバイスを指す。 |
| NTP サーバ | Network Time Protocol の略。正しい時刻情報を取得・配信しているサーバーのこと。 |
| PPP | Precise Point Positioning の略。高精度単独測位のこと。近接の基準局のデータを利用せずに、搬送波位相で数 cm の精度を達成する方式である。 |
| QZSS | Quasi-Zenith Satellite System の略。準天頂衛星システムのこと。 |
| RF | Radio Frequency の略。電磁波や電気信号のうち、無線信号に利用できる周波数のこと。 |
| SAA | Sense And Avoid の略。 |
| SC16 | Sub Committee の略。分科委員会のことであり、SC16 は無人航空機システムを対象とする。 |
| SDSP | Supplemental Data Service Provider の略。情報提供機能のこと。 |
| TC20 | Technical Committee の略。技術委員会のことであり、TC20 は航空機および宇宙機を対象とする。 |
| UAS | Unmanned Aircraft System の略。無人航空およびその制御システムの総称。 |
| UASO | UAS Operator の略。UASO が管理する無人航空機を安全に飛行させる責任を持つ。 |
| UASSP | UAS Service Provider の略。の UASO を安全に飛行させるため、運航管理サブシステムにおいて、UASO に対する運航管理サービスを提供する。 |
| UTM | Unmanned Traffic Management の略。無人航空機管制のこと。 |
| 高高度無人機 | パイロットが搭乗せずに無人で高度 20,000m 程度を飛行可能な航空機のこと。防災、監視、気象・環境観測、情報収集などの分野や用途で利活用が進むことが期待されている。 |
| 光波センサー | 主として近傍の対象を課し映像より検知／識別可能な映像処理装置のこと。 |

| | |
|-------------|---|
| コンフリクト | 複数の同種の何かが同じ資源を同時に利用しようとし、競合状態になってしまうこと。 |
| 準天頂衛星 | 特定の一地域の上空に長時間とどまる軌道（準天頂軌道）をとる人工衛星のこと。高い測位精度が特徴。 |
| 第三者上空飛行 | 無人航空機の運航に関与しない第三者の上空を飛行すること。 |
| ダウンウォッシュ | ヘリコプターが飛ぶためにローター（回転翼）により作り出される、下方に吹き下ろされる風のこと。 |
| 通信衛星 | 静止衛星及び周回衛星があり、広域性、同報性、耐災害性等の特長を生かして、企業内回線、地上回線の利用が困難な山間地・離島との通信、船舶・航空機等に対する移動通信サービスのほか、非常災害時の通信手段確保等に活用されている。 |
| テレメトリ | 遠隔測定法のこと。観測対象から離れた地点から様々な観測を行い、そのデータを取得する技術のこと。 |
| 電波センサー | 主として遠方の対象を検知可能なレーダのこと。 |
| ドップラーソーダ | 音波を上空に発射し、空気の密度（温度）の違いによる反射波を受信して風向・風速を計測する手法のこと。地上から上空 1km 程度までの大気の状態の測定も可能とする。 |
| ドップラーライダー | レーザー光を上空に発射し、エアロゾルからの散乱光を受信して風向・風速を計測する手法のこと。従来型の風向風速計では計測できなかった上空や前方の離れた地点の計測を可能とする。 |
| トラヒック | LAN、電話回線などの回線利用量または送られる情報量のこと。 |
| ハンドオーバー | 移動中に無線端末で通信する際に、交信する基地局を切り替える動作のこと。 |
| 福島 RTF | 福島ロボットテストフィールドの略。物流やインフラ点検、大規模災害などに対応する陸・海・空のロボットの一大拠点として、福島県南相馬市・浪江町に整備されている。 |
| ペイロード | 主に航空機を対象に、実際に搭載した旅客、貨物、郵便物等の重量のこと。 |
| ベースバンド信号 | 圧縮信号に対する、圧縮前の信号のこと。 |
| ヘカトンケイルシステム | 各種無人機による能動的情報収集やフィードバックを半自律的に統合するシステムのこと。 |
| マルチコプター | ヘリコプターのように回転翼を用いて飛行する機体のうち、3 つ以上のモーターを持つものこと。 |
| マルチホップ | 無線機に備え付けられたセンサを中継器として利用し、長距離通信を可能とするネットワーク技術のこと。通信経路とも呼ばれる。 |
| メッシュデータ | 地図上で格子状に区切ったデータのこと。 |

| | |
|----------|---|
| 目視外飛行 | 無人航空機の操縦者が、自分の目によって無人航空機の位置や姿勢及び航行の安全性を確認できない飛行のこと。 |
| ラストワンマイル | 通信や物流の業界において、利用者の最寄りに位置する基地局から受け取るユーザーまでを結ぶ最後の区間のこと。 |
| ローラ方式 | LPWA (Low Power, Wide Area) という少ない消費電力で広いエリアをカバーする無線通信方式の一つのこと。 |

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

(1) 政策的な重要性

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されているとともに、政府の目指す名目 GDP600 兆円の実現に向けた新産業創出と市場規模拡大が期待されている。

このような中、日本再興戦略 2016（平成 28 年 6 月 2 日 閣議決定）において、社会課題を解決し、消費者の潜在的ニーズを呼び起こす、新たなビジネスを創出する第 4 次産業革命に勝ち残るための具体的な政策の一つとして、「小型無人機の産業利用拡大に向けた環境整備」や「防災・災害対応に係る IoT・ビッグデータ・人工知能・ロボット等の活用推進」が掲げられており、特に、無人航空機においては、官民協議会において、中長期のロードマップ等も示されている。

加えて、製造業の新たな競争力強化及びものづくり産業の革命のために必要な政策の一つとして、産業用ロボット技術の研究開発・社会実装の加速のための環境整備の一環であるイノベーション・コースト構想の下、福島県の浜通り地区で実証実験を行うテストフィールド整備や、分野毎に求められるロボットの性能、操縦技能等に関する国際標準を見据えた評価基準及びその検証手法の研究開発の開始、東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催される 2020 年に、世界が注目する高度なロボット技術を内外から集結させ、様々な社会課題の解決を目指した競技やデモンストレーションを行う国際競技大会を開催することが掲げられている。

更に、地球温暖化対策計画（平成 28 年 5 月 13 日 閣議決定）において、輸送効率・積載効率の改善による物流体系のグリーン化促進が掲げられており、ロボット・ドローンの活用によるグリーン化加速への期待も大きいところである。

(2) 我が国の状況

我が国の CO2 排出量の 17%を占める運輸部門（2 億 1,700 万トン）のうち、最も多くを占める要因が貨物車及びトラック（7,600 万トン）であるため、物流分野において無人航空機が広く活用されることは、CO2 排出量の削減及び省エネルギー社会の実現に大きく貢献することが期待される。

また、輸送事業者においては、ネット通販の拡大等を通じて荷主や消費者のニーズが多様化したことにより小口輸送が急速に拡大しており、その結果、トラックの積載率も 5 割を切っている状況にある。こうした中、無人航空機による小口や即時配送が実現すれば、都市部における渋滞緩和や再配達の減少及び過疎地における物流改善等を通じて、エネルギー消費を削減することが可能となる。

一方、高度成長期以降に整備された社会インフラは、今後 20 年で建設後 50 年以上

経過する割合が急速に増加するため、効果的かつ効率的なインフラの長寿命化が喫緊の課題である。このため、インフラ維持管理及び更新に従来どおりの支出を行うと仮定した場合、2037年度には現在の投資総額を上回り、2011年度から2060年度までの50年間に必要な更新(約190兆円分)のうち、約30兆円分(全体の約16%)の更新ができなくなるとともに、インフラ維持管理の技術者の高齢化が著しいため、一定レベルの知見を有する技術者が不足するという試算もある。

他方で、先進的な自治体では、一律に設定される設計耐用年数に基づく更新投資ではなく、インフラ毎に最新技術を用いて劣化や損傷の程度に基づく耐久性を判断して長寿命化を図ることで、総事業費の縮減を図り、CO₂等の環境負荷低減を目指す取組も進みつつある。

このような背景の下、インフラ点検分野における整備及び点検業務にロボットや無人航空機を活用することで、建設現場のベテラン人材の不足を補いつつ、より効率的な整備及び点検が実施可能となるとともに、既存インフラの長寿命化が図られることにより、建て替えによる資源の消費を抑え、ひいてはCO₂の削減を主とした環境負荷の低減に繋げることが可能となる。

(3) 世界の取組状況

物流分野における無人航空機の活用については、世界的に開発競争が加速しており、米国ではNASAを中心に機体の性能評価のみならず、将来のインフラ輸出も見据えた社会実装に向けたシステム開発にも着手している。また、欧米では標準化に向けた活動が活発化しており、我が国もその動向を把握しつつ、研究開発及び標準提案を進める必要がある。

また、インフラ点検分野におけるロボットの活用については、開発は進んでいるものの標準化はなされていないことから、国内の課題を背景に開発を進めつつ、安全規格の国際基準(ISO13482)を策定した生活支援ロボットの例にならい、日本発の国際標準を積極的に推進していくことが重要である。

(4) 本事業のねらい

小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となるインフラ点検分野において、無人航空機やロボットの活用による省エネルギー化の実現が期待されている。

このため、本プロジェクトでは、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施する。

NEDOが考える将来の無人航空機が活躍する社会は

多くの物流無人航空機が都市部で飛行できる社会

※数字は日本国内



提供:株式会社ゼンリン

2010年代
宅配便取扱個数の増加
約40億個/年 (125百万個増/年)

2020年代 50億個/年の時代

無人航空機が物流フライトで活躍
都市部等の第三者上空での目視外飛行を実現

有人ヘリコプター等と「同一空域」で安全に飛行できる社会



提供:株式会社SUBARU

2010年代
ドクターヘリ等有人ヘリコプターの活躍
全国43道府県に53機配備 (2018年度)
出勤実績 25000件 (2016年度報告)

2020年代 80機程度の可能性

無人航空機とのニアミスを確実に回避
ラジコン・無人機等とのニアミス報告
2016年 4件

図 I 1-1 NEDO が考える将来の無人航空機が活躍する社会

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1. NEDO が関与することの意義

日本再興戦略 2016 において、社会課題を解決し、消費者の潜在的ニーズを呼び起こす、新たなビジネスを創出する第 4 次産業革命に勝ち残るための具体的な政策の一つとして、「小型無人機の産業利用拡大に向けた環境整備」が掲げられており、これら環境整備には、ロボット・ドローンが安全・安心に活躍する社会の実現が重要である。

そのためには民間企業等各々が持つ、最先端技術を集結させる必要があるため、「性能評価基準等の研究開発」をはじめ「運航管理統合機能の開発」など委託 8 事業及び「省エネルギー性能等向上のための研究開発」をはじめとした助成 4 事業、合計で 12 事業となる研究開発等を実施している。

この研究開発等には、2019 年度において延べ 43 者にもなる事業実施者が参画しており、ひとつの研究開発項目の実現には、複数の事業実施者がコンソーシアムを組み対応することが必須であり、研究開発には実証試験も含め複数年の期間が必要となる。

また、運航管理システムの開発では、研究開発項目間の連携が必要であり、事業実施者が一体となり確実な成果が得られるようマネジメントをする必要がある。

前述の「小型無人機の産業利用拡大に向けた環境整備」のためには、国（NEDO）がイニシアティブを取り、将来の運航管理システムを想定し、安全性・信頼性を確保しながら、法・制度的課題等を整理し、国際標準化をマネジメントしながら、本プロジェクトを推進していくことが必要である。

2.2. 実施の効果（費用対効果）

空撮や農薬散布など従来の無人航空機を活用したビジネスに加え、新たな技術を導入した物流ビジネスの荷物配送業務や災害対応等に展開するとともに、測量や観測、警備など様々な分野にも本プロジェクトの成果を繋げていく。

無人航空機による荷物配送は目視外飛行が前提となり、配送先での離着陸など複雑なプロセスを伴うものとなる。

早ければ 2018 年頃に無人航空機での荷物配送サービスが開始され、2020 年代頃以降には、あらかじめ設定されたルートどおりに飛行するだけでなく、衛星測位情報など高精度な位置情報を利用した運航管理システムや衝突回避等の技術の導入による他の有人航空機や無人航空機、障害物等を避けながら有人地帯での目視外飛行を本格化させるロードマップ（小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ（平成 28 年 4 月 28 日小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会決定））の実現に寄与する。

また、加えて次に示す CO2 排出削減および市場創出の実現に寄与する。

① 省エネ効果

物流分野における無人航空機の活用については、2020年にEコマースや物流大手、ベンチャー企業等が試験的に無人航空機による配送を実施することで、約260トンのCO2排出削減効果が期待でき、2030年には多数の事業者の無人航空機による配送業への参入と技術の進展による24時間配送サービスが実現した場合、約8.6万トンのCO2排出削減効果が見込まれる。

また、インフラ点検分野については、2030年に全国の長大橋の10%がロボットや無人航空機を活用した整備や点検に置き換わった場合、約30万トンのCO2排出削減効果が見込まれる。

② 市場形成

NEDOが実施した「ロボット産業の新規市場創出に向けた国内外動向及び市場分析に係る情報収集」等の市場推計によると、本プロジェクトでターゲットとする物流、インフラ点検及び災害対応等分野に加え、実施する開発及び試験の応用展開可能な警備等其他分野を含めた市場ポテンシャルは、2030年で約8,000億円と推測されており、日本における早期の市場拡大と日本企業の海外市場への参入により更なる事業拡大に寄与する。

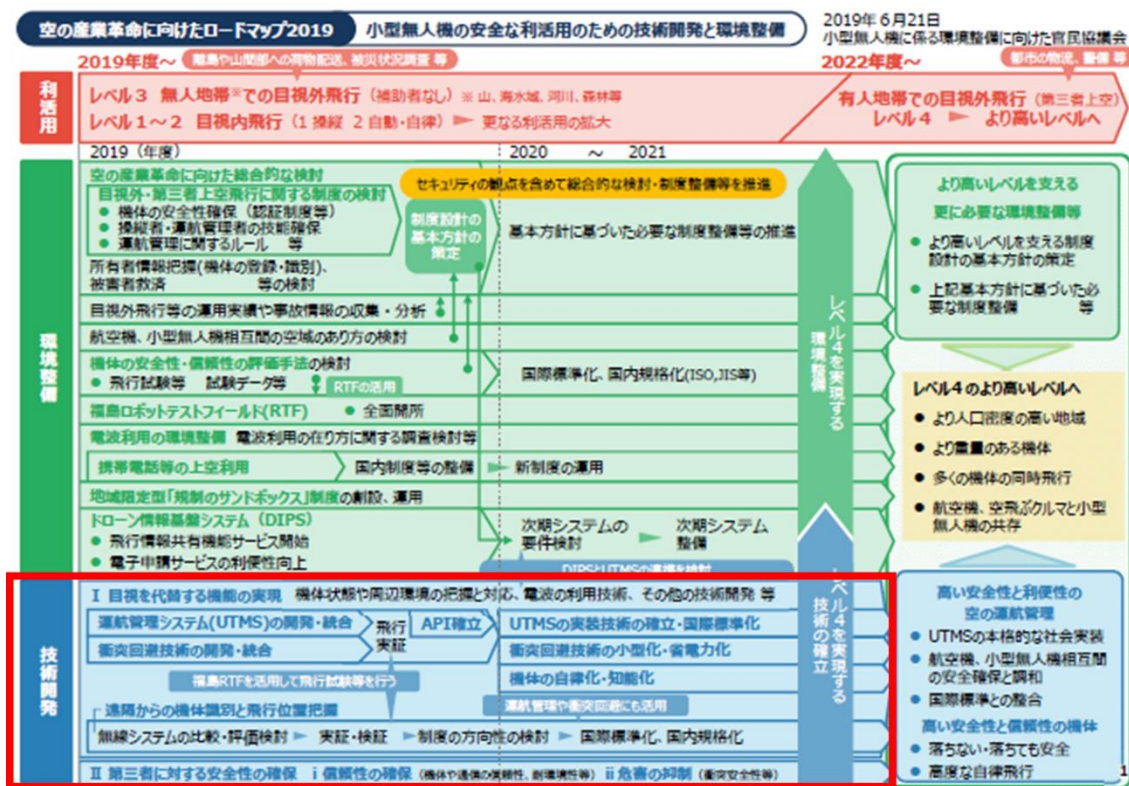


図 I 2-1 空の産業革命に向けたロードマップ 2019（2019年6月21日公表）

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1. アウトプット目標

平成 29 年度から平成 33 年度までの 5 年間で福島県のロボットテストフィールド等を活用した本プロジェクトを通じ、物流、インフラ点検及び災害対応分野等における無人航空機やロボットの社会実装に向けた取組みを推進するとともに、国際標準の獲得に繋げる。

各研究開発項目の主な目標は、以下のとおりとする。

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

- ・3 分野（物流、インフラ点検及び災害対応分野）における各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）の性能評価基準に基づく各種試験方法を福島県のロボットテストフィールド等に提案する。また、福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用し、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするための信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準を開発する。
- ・無人航空機等に省エネルギー性能等を向上させるための研究開発成果を搭載することで、2 時間以上の長時間飛行や火災現場等の特殊環境下での連続稼働を実現する。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

- ・無人航空機の物流分野等への適応を想定し、福島県のロボットテストフィールド等に設置された無線基地局等を介して 10km 以上の目視外試験飛行を実施する。
- ・単機による障害物との衝突回避に加え、無人航空機同士の衝突回避までを想定し、200km/h 以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発する。
- ・無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等を重畳した 3D 可視化マップを開発し、福島県のロボットテストフィールド等での各種飛行試験に活用する。
- ・国内外の関係者を構成員とする委員会を構成の上、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等を策定し、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。
- ・無人航空機の遠隔識別に必要な通信方式やセキュリティの検証、通信機器の設計や関連する要素技術等を開発し、運航管理システムとの情報共有を実施する。

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

- ・本プロジェクトの成果（性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、

各機能の仕様及び共通 IF 等)の国際標準化を獲得するための提案すべき技術を含む活動計画を国へ提言し、標準化団体へ引き継ぐ。

- ・福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit (日本発のルールに基づいた新たな競技等)を、4 カテゴリー(ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア)で実施する。

1.2. アウトカム目標

空撮や農薬散布など従来の無人航空機を活用したビジネスに加え、新たな技術を導入した物流ビジネスの荷物配送業務や災害対応等に展開するとともに、測量や観測、警備など様々な分野にも本プロジェクトの成果を繋げていく。

無人航空機による荷物配送は目視外飛行が前提となり、配送先での離着陸など複雑なプロセスを伴うものとなる。今後、早ければ 2018 年頃に無人航空機での荷物配送サービスが開始され、2020 年代頃以降には、あらかじめ設定されたルートどおりに飛行するだけでなく、衛星測位情報など高精度な位置情報を利用した運航管理システムや衝突回避等の技術の導入による他の有人航空機や無人航空機、障害物等を避けながら有人地帯での目視外飛行を本格化させるロードマップ(小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ(平成 28 年 4 月 28 日小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会決定))の実現に寄与する。

ア) 省エネ効果

物流分野における無人航空機の活用については、2020 年に E コマースや物流大手、ベンチャー企業等が試験的に無人航空機による配送を実施することで、約 260 トンの CO2 排出削減効果が期待でき、2030 年には多数の事業者の無人航空機による配送業への参入と技術の進展による 24 時間配送サービスが実現した場合、約 8.6 万トンの CO2 排出削減効果が見込まれる。

また、インフラ点検分野については、2030 年に全国の長大橋の 10%がロボットや無人航空機を活用した整備や点検に置き換わった場合、約 30 万トンの CO2 排出削減効果が見込まれる。

イ) 市場形成

NEDO が実施した「ロボット産業の新規市場創出に向けた国内外動向及市場分析に係る情報収集」等の市場推計によると、本プロジェクトでターゲットとする物流、インフラ点検及び災害対応等分野に加え、実施する開発及び試験の応用展開可能な警備等他分野を含めた市場ポテンシャルは、2030 年で約 8,000 億円と推測されており、日本における早期の市場拡大と日本企業の海外市場への参入により更なる事業拡大に寄与する。

1.3. アウトカム目標達成に向けての取組

本プロジェクトの参加事業者が一体となり確実な成果が得られるよう、研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」(1)性能評価基準等の研究開発は平成29年度に集中的に実施し、策定が完了した基準から、随時、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」(1)デジュール・スタンダードに繋げる。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」については、平成30年度を目途に「目視外・無人地帯」での運用を可能とし、その後は「目視外・有人地帯」での運用に向けた高度化を図る。なお、諸外国の標準化動向と整合をとり、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」(1)デジュール・スタンダードを推進する。加えて、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」(2)デファクト・スタンダードにおいては、日本発のルールで開発競争が加速する手法を活用した研究開発及び社会実装の加速手法を並行して推進する。

さらに、特に小型無人機については、内閣官房による「小型無人機に係る環境整備にむけた官民協議会」で合意された「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」に沿って研究開発を実施する。

2. 事業の計画内容

2.1. 研究開発の内容

本プロジェクトでは小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となるインフラ点検分野において、無人航空機やロボットの活用による省エネルギー化の実現が期待されている中、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施する。

本プロジェクトの参加事業者が一体となり確実な成果が得られるよう、研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」(1)性能評価基準等の研究開発は平成29年度に集中的に実施し、策定が完了した基準から、随時、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」(1)デジュール・スタンダードに繋げる。研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」については、2018年度を目途に「目視外・無人地帯」での運用を可能とし、その後は「目視外・有人地帯」での運用に向けた高度化を図る。なお、諸外国の標準化動向と整合をとり、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」(1)デジュール・スタンダードを推進する。加えて、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」(2)デファクト・スタンダードにおいては、日本発のルールで開発競争が加速する手法を活用した研究開発及び社会実装の加速手法を並行して推進する。

さらに、特に小型無人機については、内閣官房による「小型無人機に係る環境整備にむけた官民協議会」で合意された「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」に沿って研究開発を実施する。

なお、産学官の複数事業者等が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業については、委託事業として実施する。また、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進されるべき研究開発については、助成事業として実施する（NEDO 負担率：大企業 1/2 助成、中堅・中小・ベンチャー企業 2/3 助成）。

中間評価

| 研究開発項目 | | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | |
|--|--|----------------------------------|------|------|------|------|--|
| 【研究開発項目①】 ロボット・ドローン 機体の性能評価基準 等の開発 | (1)性能評価基準等の研究開発 <委託> | → | | | | | |
| | (2)省エネルギー性能等向上のための研究開発<助成> | → | | | | | |
| 【研究開発項目②】 無人航空機の運航管 理システム及び衝突 回避技術の開発 | (1)無人航空機 の運航管理シ ステムの開発 | 1)運航管理統合機能の開発<委託> | → | | | | |
| | | 2)運航管理機能の開発 (物流及び災害対応等) <委託> | → | | | | |
| | | 3)運航管理機能の開発 (離島対応) <委託> | → | | | | |
| | | 4)情報提供機能の開発<助成> | → | | | | |
| | | 5)運航管理システムの全体設計に関 する研究開発 <委託> | → | | | | |
| | | 6)遠隔からの機体識別に関する研究 開発 <委託> | → | | | | |
| | (2)無人航空機 の衝突回避技 術の開発 | 1)非協調式SAA <助成> | → | | | | |
| | | 2)協調式SAA <助成> | → | | | | |
| 【研究開発項目③】 ロボット・ドローン に関する国際標準化 の推進 | (1)デジュール・スタンダード <委託> | → | | | | | |
| | (2)デファクト・スタンダード (World Robot Summit) <委託> | → | | | | | |

図 II 2-1 プロジェクト全体スケジュール

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

物流、インフラ点検及び災害対応分野等での活用が期待される各種ロボット（無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等）の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。加えて、目視外及び第三者上空等での飛行に向けた無人航空機の安全性及び信頼性等の評価手法及び評価基準を開発する。

また、各種ロボットの省エネルギー性能等の向上に資する高効率なエネルギーシステムに関する研究開発を実施する。

(1) 性能評価基準等の研究開発

1) 無人航空機を活用した物流分野

(i) 求められる性能評価の研究開発

目視外等での積載飛行、設定された長距離空路での安定飛行のための機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

(ii) 性能評価基準の策定

機体技術基準（衝突障害回避、自律飛行、電源発火、安全落下、機体回収等）、制御技術基準（風、雨、雷、濃霧等外乱要因、夜間飛行、位置情報等）、運用技

術基準（半自動、全自動飛行、通信・電波障害対応等）の性能評価基準を策定する。

(iii) 性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、10km 程度での飛行試験、模擬滑走路での離着陸試験、模擬積載物運搬飛行試験、模擬外乱環境下での積載物運搬飛行試験等、上記の（ii）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験を実施する。

2) 無人航空機を活用したインフラ点検分野

(i) 求められる性能評価の研究開発

構造物及び点検個所へのアクセス飛行、点検データ取得に必要な安定飛行、取得データ管理、取得データ活用に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

(ii) 性能評価基準の策定

機体技術基準（衝突障害回避、自律飛行、電源発火、安全落下、機体回収等）、制御技術基準（近接撮影、打音検査密着、壁面追従、位置精度、操縦性、安全性、風、雨、雷、濃霧等外乱要因、夜間飛行、位置情報等）、運用技術基準（半自動、全自動飛行、通信・電波障害対応等）の性能評価基準を策定する。

(iii) 性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、テスト飛行エリアでの飛行試験、模擬環境再現エリア（橋梁、テストピース等）の飛行点検試験、点検データ取得シミュレーション・実装・飛行試験、データベース運用シミュレーション及び実装試験等、上記の（ii）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験を実施する。

3) 水中ロボットを活用したインフラ点検分野

(i) 求められる性能評価の研究開発

水中構造物及び点検個所へのアクセスや位置情報取得、水中点検データ取得に必要な近接撮影、水中作業に適した点検データ管理等に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

(ii) 性能評価基準の策定

機体技術基準（推進力、速度、回頭性、安定性、連続稼働、測位条件、操縦性等）、制御技術基準（リモート、位置決め、動作・姿勢制御等）、データ管理基準（水中近接撮影、濁度、照度、明度、撮像機能、精度、解像度、姿勢記録等）の性能評価基準を策定する。

(iii) 性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、実験水槽での水中動作試験、実験条件可変実験での水中動作試験、模擬環境再現水槽での水中動作試験、実験条件可変水槽での水中センシング試験、データベース運用シミュレーション及び実装試験等、上記の（ii）で策定された各種性能評価基準に基づく稼働試験を実施する。

4）無人航空機を活用した災害対応分野

（i）求められる性能評価の研究開発

災害調査やデータ取得に必要な安定飛行、災害調査データに適したデータ管理等に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

（ii）性能評価基準の策定

機体技術基準（衝突障害回避、自律飛行、電源発火、安全落下、機体回収等）、制御技術基準（高度、速度、姿勢、計測環境、高精度位置精度、操縦性、安全性、風、雨、雷、濃霧等外乱要因、夜間飛行、位置情報等）、運用技術基準（半自動、全自動飛行、通信・電波障害対応等）、データ管理基準（3Dモデルデータ、照度、明度等）の性能評価基準を策定する。

（iii）性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、10km程度での飛行試験、調査データ取得、再現性確認試験、模擬環境再現エリアでの飛行点検試験、模擬外乱環境下での計測飛行試験等、上記の（ii）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験を実施する。

5）陸上ロボットを活用した災害対応分野

（i）求められる性能評価の研究開発

災害構造物・調査個所へのアクセス、災害調査データ取得に必要な安定移動、災害調査作業に適したデータ管理等に求められる機体、システム及びデータ管理等の性能評価を研究開発する。

（ii）性能評価基準の策定

機体技術基準（踏破性、速度、回頭性、安定性、防爆性、引火（ガス）、気温、湿度、腐食性等）、制御技術基準（探査、作業動作、姿勢制御等）、運用技術基準（非接触充電、連続稼働、操縦性、半自動、全自動走行、通信、電波障害対応等）、データ管理基準（照度、明度、目視精度、解像度、姿勢記録、レーザレンジファインダ等）の性能評価基準を策定する。

（iii）性能評価基準の検証

福島県のロボットテストフィールド等を活用し、例えば、防爆実験室での耐圧試験、模擬インフラ施設（トンネル等）での動作試験、点検データ取得、再現性

確認試験、データベース運用シミュレーション、実装試験等、上記の（ii）で策定された各種性能評価基準に基づく稼働試験を実施する。

6) 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準

(i) 求められる性能評価の研究開発

無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするため、機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法に加えて無人航空機の騒音対策に資する性能評価基準を研究開発する。

(ii) 性能評価基準の策定

機体技術基準（信頼性及び安全性、危害抑制、騒音対策等）、制御技術基準（危害抑制機能の自動作動等）等の性能評価基準を策定する。

(iii) 性能評価基準の検証

複数事業者の機体を福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用して飛行させ、上記の（ii）で策定された各種性能評価基準に基づく飛行試験に加えて複数の無人航空機が同時に発生する総音圧レベルや異常発生時を想定した際の衝撃量の定量化及びデータ取得等を実施する。

なお、本事業を円滑に推進するための委員会を設置し運営する。また、進捗及び成果は「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（以下、「検討会」という。）」等に報告し、それらの検討に資するものとする。

| 対象分野 | 対象ロボット |
|---------------|----------|
| 橋梁点検 | 無人航空機 |
| ダムおよび河川点検 | 水中点検ロボット |
| トンネル災害/プラント災害 | 陸上移動ロボット |

① ロボットの性能及び安全性の**評価軸**
 ② 評価軸に沿った**性能レベル（数値）**
 ③ これを評価するための**標準的な試験方法**

各種試験

試験用橋梁 完成予想図 屋内水槽試験棟 完成予想図

試験用トンネル 完成予想図 試験用プラント 完成予想図

【出所】福島県HPより抜粋

図Ⅱ2-2 「性能評価基準の研究開発」の狙い

（2）省エネルギー性能等向上のための研究開発

各種ロボットの省エネルギー性能等を向上させるための研究開発として、例えば、燃料電池等の重量エネルギー密度の高い電源を搭載する等により無人航空機の長時間飛行を可能とする研究開発、特殊環境下（火災現場等）での連続稼働等の研究開発を実施するとともに、これら技術の実装技術として低コスト及び軽量化、残量モニタリング等の周辺システムの研究開発を実施する。

なお、本技術開発の初年度の成果は、（1）性能評価基準等の研究開発で策定される性能評価基準と共有する。

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

物流や災害対応等の無人航空機の目視外飛行の本格化を目指して、同一空域内における複数の有人航空機や無人航空機の同時運用を可能とするために、地図情報や気象情報等を参照し作成される飛行計画について、安全性は勿論のこと省エネルギー等効率の観点も考慮した無人航空機の運航を管理する運航管理システムに関する研究開発を行う。

また、無人航空機が地形や建造物、空中を飛行する他航空機等を検知し衝突を回避す

る技術に関する研究開発を行う。

(1) 無人航空機の運航管理システムの開発

本プロジェクトにおける運航管理システムは下図に示すとおり、運航管理統合機能、運航管理機能、情報提供機能から構成され、無人航空機の安全な運航をサポートする。

以下に各機能の開発内容を示す。

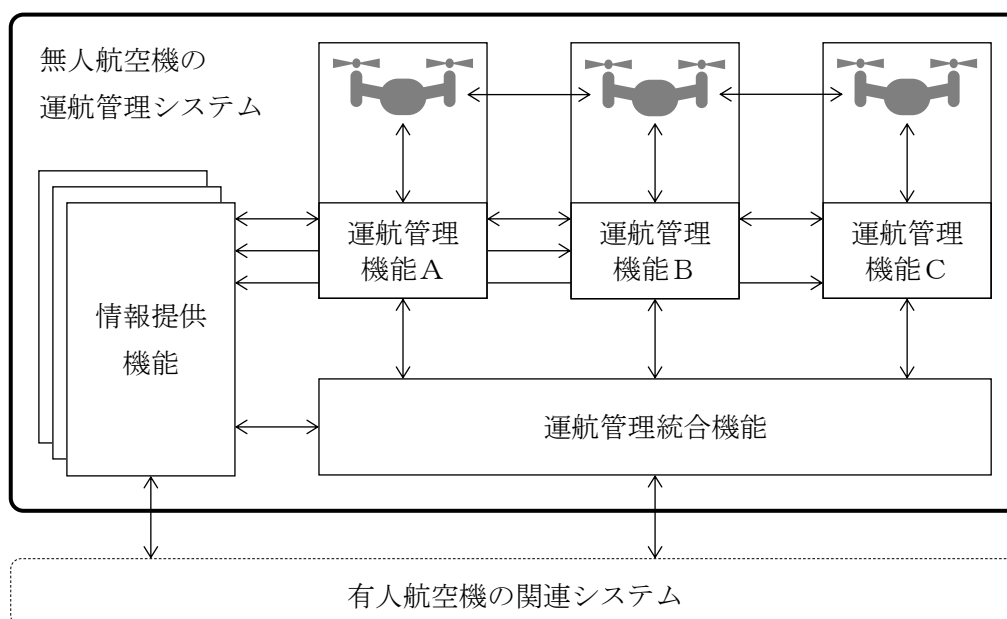


図 II 2-3 無人航空機の運航管理イメージ

1) 運航管理統合機能の開発

無人航空機による物流や災害対応等においては、複数の運航管理機能が管理する無人航空機が同一の空域を飛行することが想定される。このような状況における無人航空機の安全な飛行を実現するため、例えば、以下のような機能を有する運航管理統合機能を開発する。

なお、運航管理統合機能は、十分なセキュリティ強度を確保するよう必要な対策を講じる。

- ・無人航空機の運用者が運用する無人航空機の機体情報（所有者及び利用者に関する情報を含む）を管理する。
- ・無人航空機の運用者が提出する飛行計画に対して、他の無人航空機及び有人航空機の飛行計画、機体情報及び利用する電波の情報、ならびに地図情報及び気象情報等の様々な情報を統合し、安全の観点から承認又は不承認等を判断して通知する。

- ・承認済みの飛行計画について、状況の変化に伴う変更（例えば、気象の急変に伴う飛行の中止、優先すべき飛行計画の提出に伴う飛行経路の変更等）を指示する。
- ・飛行中の無人航空機の情報収集し、安全の観点から適切な指示（例えば、衝突の危険性を検知したときの飛行経路の変更等）を行う。
- ・その他、多数の無人航空機の安全な飛行を実現するために必要な機能。

2) 運航管理機能の開発（物流及び災害対応等）

運航管理統合機能及び情報提供機能を利用しつつ、物流や災害対応等（※1）において複数の無人航空機を運用するため、例えば、以下のような機能を有する運航管理機能（無人航空機との間の無線通信（※2）の機能を含む）を開発し、福島県のロボットテストフィールド等を利用した運航管理システムによる無人航空機の飛行試験を行う。

なお、運航管理機能は、十分なセキュリティ強度を確保するよう必要な対策を講じるとともに、1) 運航管理統合機能や4) 情報提供機能との連携は、5) の共通インターフェースを利用して行う。また、運航管理機能は、将来的に用途、無線通信種別又は地域等によって複数のものが共存すると想定されるため、本プロジェクトにおいても多様な運航管理機能を開発する。さらに、我が国で運用される運航管理システムについて国際的な整合を図るため、一部海外事業者の運航管理機能を利用した検証も可能とする。

- ・無人航空機の機体情報（所有者及び利用者に関する情報を含む）を管理する。
- ・情報提供機能を利用し、無人航空機の飛行計画を作成する。
- ・運航管理統合機能に飛行計画を提出し承認等を得る。または、各運航管理機能間で無人航空機の飛行情報等を授受し、飛行計画の見直しを行う。
- ・自らが管理する無人航空機の状態を監視しつつ、飛行に関する指示等を行う。

（※1）

・物流分野

無人地帯での目視外飛行（レベル3）（例えば、離島や山間部等への荷物配送）及び有人地帯での目視外飛行（レベル4）（例えば、都市を含む地域における荷物配送）を可能とする運航管理機能。なお、無人航空機との通信には、携帯事業者のネットワークに加えて、無人地帯（離島や山間部等）向けには、そのような地域でも利用可能な無線通信を利用できるようにする。

・災害対応

災害発生直後に複数の無人航空機を同時運用することで、速やかな災害対応を

可能とする運航管理機能。なお、無人航空機との通信には、災害時には携帯事業者のネットワークが輻輳することも想定し、例えば、可搬型画像伝送システムや衛星通信システム等の無線通信を利用できるようにする。

- ・その他の分野

必要に応じて、その他の分野における運航管理機能についても開発と各種試験を行う。

(※2)

- ・携帯事業者ネットワーク、可搬型画像伝送システム、衛星通信システム、その他の周波数帯（特定小電力無線等）の利用による無線通信。

3) 運航管理機能の開発（離島対応）

準天頂衛星システムの補強信号を含むマルチ GNSS（Global Navigation Satellite System：全球測位衛星システム）により取得した高精度な位置情報により無人航空機の自律制御を行う。なお、本制御システムは、国内のみならず海外での利用も目指すものとする。

また、安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために、(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発 において開発された技術を統合し、飛行試験によってその有効性を評価する。

離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した飛行試験においては、初年度に技術課題抽出のための飛行試験を実施することとし、福島県のロボットテストフィールド等を利用した衝突回避技術を実装した長距離飛行試験を経て本土及び離島間における飛行試験を行う。

4) 情報提供機能の開発

無人航空機の安全飛行に関連する情報を、運航管理機能や運航管理統合機能等に対して API (Application Programming Interface) 等により提供する機能を開発する。

また、無人航空機が安全に飛行するために必要な情報の項目とデータ種別等についても検討し、情報を収集する技術の開発、特に福島県の浜通り地区における可視化情報を整備する。

なお、そのような情報(※3)として、例えば、以下に掲げるものを想定するが、将来的に情報提供システムは複数のものが共存すると考えられるため、外部のシステムに提供するための共通 API 等の実装を考慮した多様な情報提供機能を開発する。

(※3)

・ 飛行情報

運航管理統合機能に対して事前に提出する飛行計画、飛行中の無人航空機の情報（高度、位置、速度、飛行時間等）及び飛行実績に関する情報（事故情報を含む）等の無人航空機の飛行に関する情報。

・ 機体情報

無人航空機の種類、型式、性能に関する情報、個別の機体を識別する記号、所有者及び利用者に関する情報。

・ 地図情報

地形及び建造物等の三次元情報、飛行が可能な空域及び飛行が禁止された空域、その他の地図情報として提供されるべき無人航空機の飛行のための情報。特に福島県の浜通り地区における地図情報を整備する。

・ 気象情報

無人航空機が飛行する空域における、風（風向及び風速等）、降水、気温及び気圧等の無人航空機の飛行に影響を与える気象観測情報及び予測情報。特に福島県の浜通り地区における気象情報を整備する。

・ 電波情報

無人航空機が飛行する空域における電波の利用状況に関する情報。特に福島県の浜通り地区における電波情報を整備する。

・ 空域監視情報

無人航空機が飛行する空域における無人航空機や有人航空機等の高度、位置、速度及びサイズ等の情報。特に福島県の浜通り地区における空域監視情報を整備する。

・ ドローンポート情報（無人航空機の離着陸地点の情報）

無人航空機が離着陸するドローンポートの満空情報、離着陸の可否に関する情報。

5) 運航管理システムの全体設計に関する研究開発

無人航空機の運航管理システム全体のアーキテクチャの設計と共通インターフェース（運航管理システムの各機能間、運航管理システムと有人航空機の関連システム間、無人航空機間（後述する（2）2）協調式 SAA を含む上図の矢印を指す））で情報を授受するための共通の API（Application Programming Interface）及びデータフォーマット等の策定、セキュリティ対策の検討等を行い運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。

また、シミュレーションにより空域の安全性を評価し、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。

なお、以上の検討事項については、国際的な検討状況との整合を図りつつ、1)～4)の事業者の他、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討する。

6) 遠隔からの機体識別に関する研究開発

遠隔からの機体識別 (Remote-ID 等) に必要な、要件定義・通信方式の選定を行い、データ形式・運用シーケンス等を検討し、機体搭載用の送信機・受信機を具備した無人航空機の機体識別情報、及び位置情報等を共有する通信システムのプラットフォームを開発する。また、有人航空機と無人航空機の空域共有を想定した飛行情報 (無人航空機の運航管理者情報機能、飛行計画管理機能、機体情報管理機能等) の情報共有システムを開発する。

さらに、運航管理システムに統合するためのアーキテクチャ設計、API 及びデータフォーマット等を策定、セキュリティ対策の検討等を行い、無人航空機の機体情報の遠隔把握や地上の通信インフラを介した情報共有に関する各種試験へ反映させる。

なお、以上の検討事項については、国際的な検討状況との整合を図りつつ、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討する。

(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

無人航空機が地上及び空中の物件等 (地形、樹木、建造物、有人航空機、無人航空機、鳥及び悪天候等) を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術 (いわゆる Sense And Avoid (SAA) に関する技術) を開発する。

なお、開発する技術は無人航空機の機上に搭載できるものとし、他分野で既に確立されている技術も応用しつつ、本プロジェクト終了時までには当該技術を実装した無人航空機の実用化を目指すものとする。また、開発した技術を (1) 無人航空機の運航管理システムの開発 3) 運航管理機能の開発 (離島対応) に提供し、福島県のロボットテストフィールド等を利用した飛行試験に協力する。

1) 非協調式 SAA

無人航空機に搭載された各種センサ (光学カメラ、LIDAR、レーダ等) からの情報をもとに、飛行の妨げとなる物件等の位置等を特定し、他の情報 (気象、機体の飛行性能等) も加味した上で、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避する技術を開発する。

例えば、飛行中の有人航空機や他の無人航空機、低高度飛行の妨げとなる送電線 (高圧鉄塔間に加えて電柱間等の細径の電線を含む) 及び飛行に大きな影響を与える悪天候等を検知するセンサ、ならびに当該センサを用いた物件等の検知、衝突回避の飛行経路生成及び機体の飛行制御を即時に行える無人航空機に搭載可能な

演算ボードやフライトコントローラ等を含む非協調式 SAA システムを開発する。

2) 協調式 SAA

有人航空機及び無人航空機、無人航空機同士が、飛行中の飛行情報（高度、位置、速度等）を相互に通信し共有することで衝突回避する技術を開発する。

例えば、カメラ等の情報と地図情報の照合等により高精度な測位を実現するための準天頂衛星システムを利用した無人航空機に搭載可能な協調式 SAA システムを開発する。

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

無人航空機産業の発展には関連する各種技術等の国際的優位性確保が不可欠であるが、我が国が強みを有する分野の技術活用が期待されていることから、コア技術の見極め、取り扱いを決定する体制を構築しながら、各社共通基盤となるデジュール・スタンダードの早期確立を図る。あわせて、我が国発の目標設定に基づいた技術の競争の場（大会）を設定することによりデファクト・スタンダード化を推進する。

なお、デジュール・スタンダードの提案技術の選定に際しては、各企業及び機関が保有する既得知的財産の扱いや、プロジェクト成果として出願を予定するものも含め、権利帰属に関する慎重な取り扱いが必要となるため、知財調査に立脚した知財戦略に基づくライセンス・フリーや条件付き開示等について合意形成を図りながら共通ルールを設定する。また、欧米等の諸外国の標準化動向を把握するために関連する同活動への参画を進め、研究開発項目①（１）及び研究開発項目②の開発成果を国際標準に繋げる。

一方、デファクト・スタンダードの取組においては、有識者を糾合し課題先進国である我が国が世界共通になりうる課題設定を行うこと、技術開発を加速させるために海外からも参加者を募ること、そのためのプラットフォームを用意すること、社会実装を加速させるためにロボットの認知度向上を図ること、を念頭に競争の場（大会）を設定する。

（１）デジュール・スタンダード

研究開発項目①及び研究開発項目②について、国際機関や諸外国の団体及び事業者等（以下、「海外の関係者等」という。）の動向を把握し国際的な連携を図りながら検討と開発を進め、それらの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化のために、例えば、次のような取組を行う。

【取組の例】

- ・ 国際的な検討の状況を把握する。
海外（特に米国、欧州、イスラエル、ロシア、中国、韓国、東南アジア等。以下同じ。）の関係者等との直接の情報交換や文献調査等を通じて、国際的な動向を把握し定期的（最低でも4半期単位）に報告書にまとめ、本プロジェクトの関係者等に共有する。
- ・ 本プロジェクトの検討状況や成果等を世界に発信する。
国際的な検討の場や海外の展示会等において、本プロジェクトにおける検討の状況を発信する。また、本プロジェクトにおける関連資料（本基本計画、各委員会、報告会等における公開可能な資料）を英訳し、速やかにweb掲載や海外の関係者等への共有を行う。
- ・ 国際的な意見を本プロジェクトに反映する仕組みを構築する。
海外の関係者等と継続的な情報交換を行うとともに、本プロジェクトの検討内容についての意見交換を行う。また、海外の関係者等を日本に招聘し意見交換できる場を設ける。
- ・ 本プロジェクト終了後の継続的な施策を検討する。
本プロジェクトの中間評価（平成31年度実施予定）を目途に施策を立案する。

（2）デファクト・スタンダード

1) プラットフォーム

競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームを活用し、研究開発及び社会実装に資するものとする。

2) 競技やデモンストレーションによるイノベーション促進手法研究開発

挑戦的なテーマを設定して参加を募り、参加者によるエネルギー消費削減の観点を含む技術開発課題解決に向けた競争の場（大会）を活用する研究開発手法に取り組む。当該手法により参加者のモチベーションを高めて技術を競いあわすことでイノベーションを促進する。また、ロボット技術の社会実装を促進するためには、ロボットを活用する場を紹介し、一般市民にその有用性を示すことが必要不可欠であることから、ロボット関連のデモンストレーションを行う。なお、平成32年度の本大会を成功に導くため、必要に応じて本大会以前に試行的な取組等を行う。さらに本大会に向け専任のPMを指名し体制を強化する。

ント事業部副部長 林 英雄 氏、玉川大学教授 岡田 浩之 氏、東北大学教授 田所 諭 氏、神戸大学教授 横小路 泰義 氏、カリフォルニア大学サンディエゴ校 准教授 江口 愛美 氏を研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

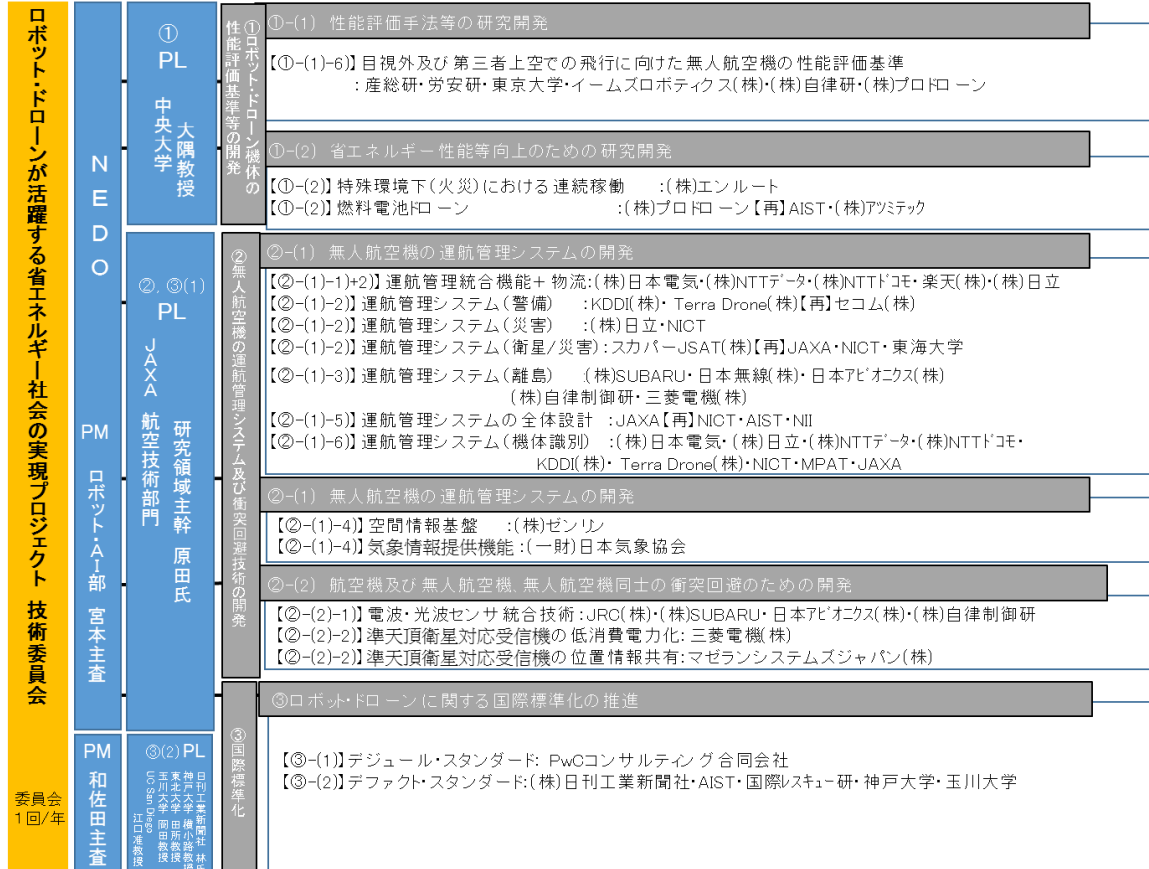


図 II-2-5 プロジェクト全体体制図（2019 年度）

2.3. 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

①研究開発の進捗把握・管理

PM は、プロジェクトリーダーや研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会等を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。加えて、外部有識者で構成する「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」技術委員会を組織し、プロジェクト全体の方向性、妥当性について議論を行

っているほか、全実施者間の交流によって協調、連携活動を促進する全体会議を開催している。

| 氏名 | 職位 | 勤務先 |
|-------|-----|-------------------------------|
| 浅間 一 | 委員長 | 国立大学法人東京大学 |
| 青木 義満 | 委員 | 慶應義塾大学 |
| 大橋 正良 | 委員 | 福岡大学 |
| 小林 正啓 | 委員 | 花水木法律事務所 |
| 鈴木 真二 | 委員 | 国立大学法人東京大学 |
| 中島 徳顕 | 委員 | 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 |
| 野波 健蔵 | 委員 | 株式会社自律制御システム研究所 |
| 藤島 実 | 委員 | 国立大学法人広島大学 |
| 米沢 晋 | 委員 | 国立大学法人福井大学 |

表 II 2-1 技術委員会の構成メンバー

②技術分野における動向の把握・分析

PM は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策等を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

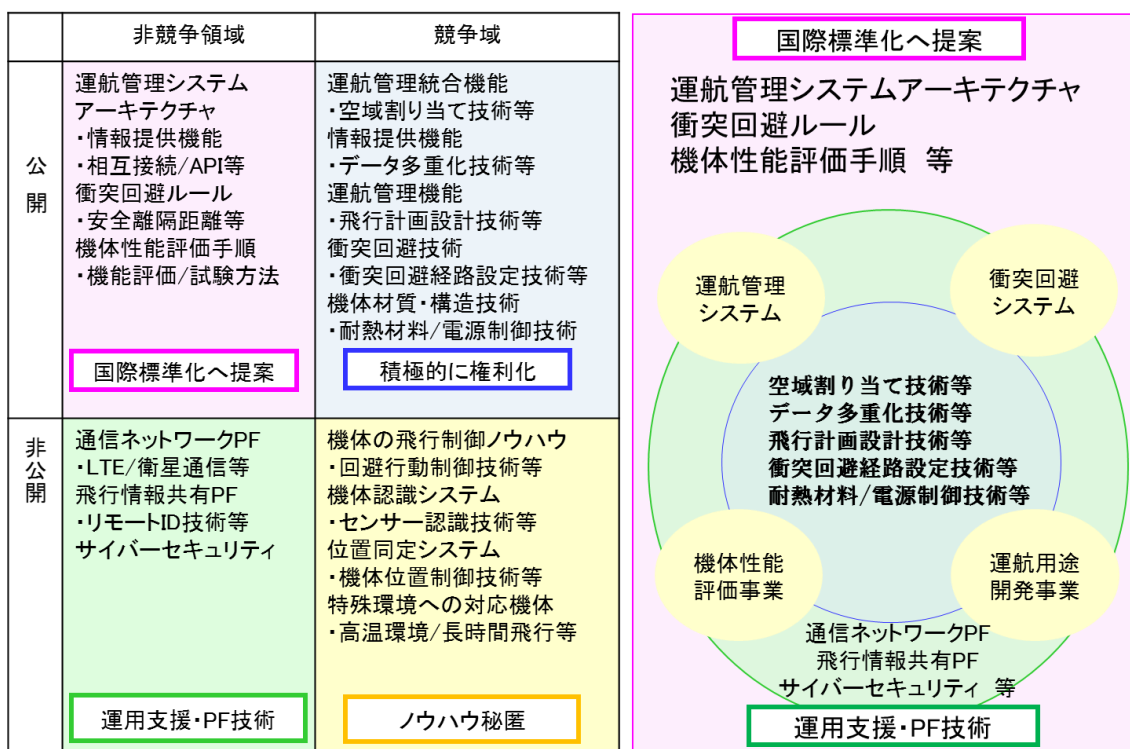


図 II 2-6 各技術分野における動向の把握・分析（模式図）

2.4. 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

2.4.1. 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメント

本プロジェクトにおいて研究開発を行う航管理システムや衝突回避技術について、将来の実用化・事業化を目指し、使用環境の整備や実装加速に向けた取り組みを進める。具体的な取り組み、進捗状況を下図に示す。

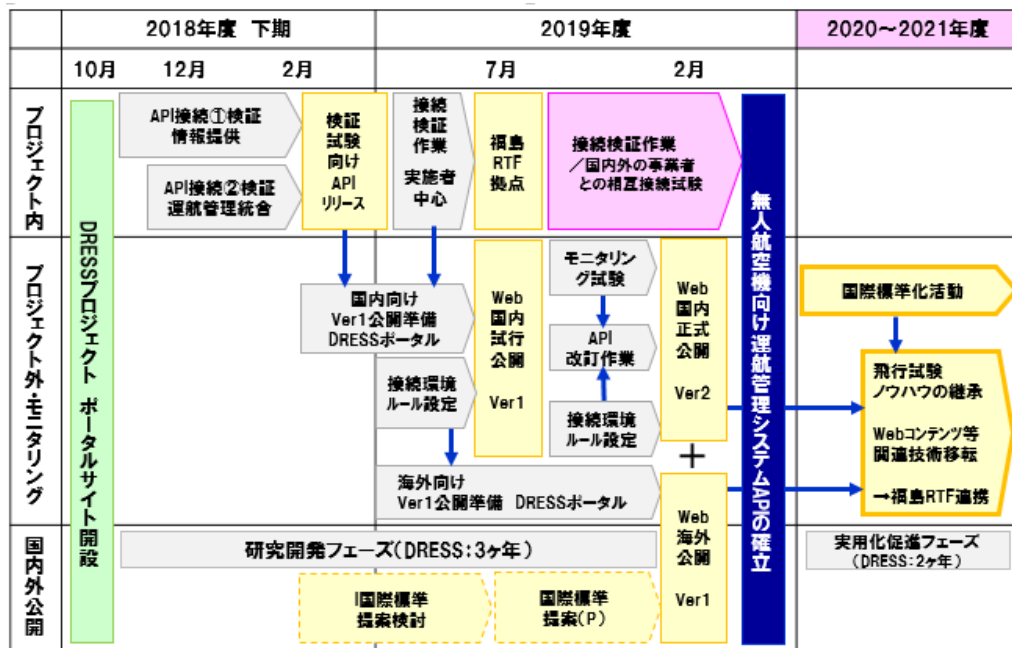


図 II 2-7 運航管理システムの運用環境の整備

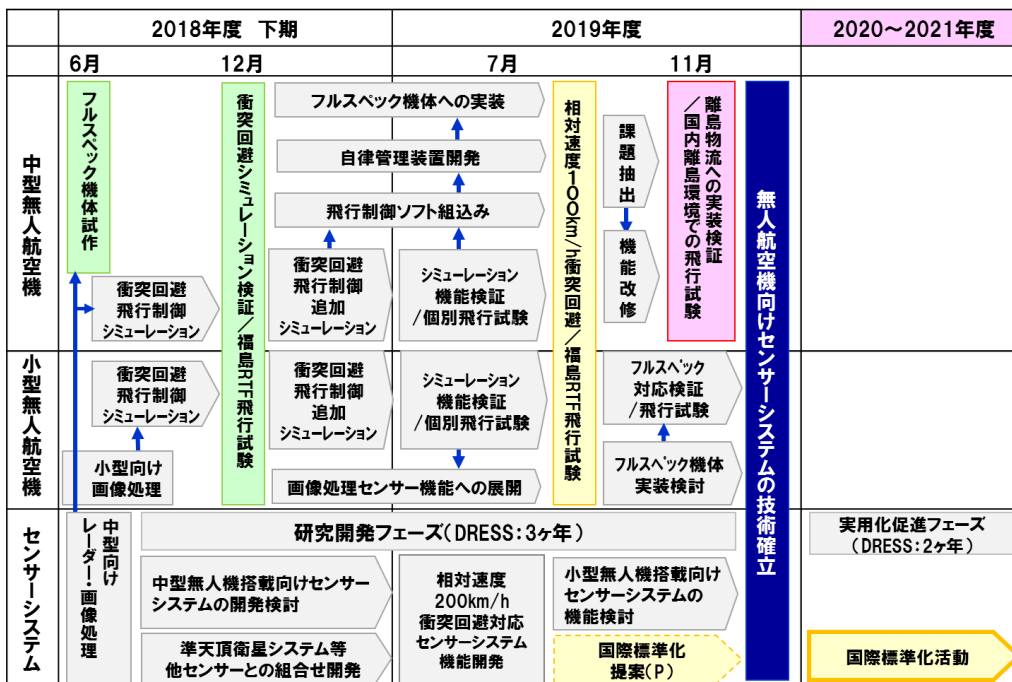


図 II 2-8 衝突回避技術の加速

2.4.2. 研究成果の公表・ポータルサイトの開設

2018年9月25日に外部ポータルサイト (<https://nedo-dress.jp/>) を開設し、プロジェクトの内容、研究開発の進捗・成果状況、リリース・イベント状況を掲載した。国内外からのアクセスがあり、ロボット・ドローン事業への関心度の高さを裏付けることができた。

また、本ポータルサイトにて API 仕様の公開し、一般事業者の参画・オープン飛行環境で1時間・1平方km・100機飛行を模擬するデモを実施することにより、相互接続試験参加者より広く意見を収集し、運航管理システムの実用化を目指す。



図 II 2-9 プロジェクトポータルサイト

3. 情勢変化への対応

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会が取りまとめる「空の産業改革に向けたロードマップ」において示されたレベル4（有人地帯での目視外飛行）の実現を見据え、研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」について、目視外及び第三者上空当での飛行に向けた無人航空機の信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準の項目追加を行った。

加えて、技術的成果が得られたが実用化や普及に至るまでに相当の開発リスクが伴う研究開発項目について、加速予算により下記に示す研究開発の前倒し及び項目追加を行った。

- ・ 自律的ダイナミックリルーティング技術飛行試験における飛行シナリオのシュミレーションパターン追加
- ・ 複数ドローンによる同一空域における安全な物流の実現に資するための追加的研究
- ・ ドローンの飛行に伴う法的解釈に関する検討会（国交省・経産省・民間団体）設置
国内外の関連する法制度の調査

4. 評価に関する事項

NEDO は技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

研究開発の中間目標に対する達成度について、下表に示す。全体として研究開発の進捗は順調と見られ、各研究開発項目の成果は将来的な事業化につながる事が期待できる。なお、表中の「◎」は目標を大きく上回って達成したことを、「○」は達成したことを、「△」は達成見込みもしくは一部達成したことを、「×」は目標未達を示す。

| 研究開発項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 |
|------------------------------|--|--|-----|
| ①-(1) 性能評価基準等の研究開発 | 各種ロボット(無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等)の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。 | ・ロボット性能評価手順書の公開(3テーマ) | ○ |
| ①-(2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発 | 各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する高効率エネルギーシステム技術開発を実施する。無人航空機においては、火災現場等の特殊環境下での連続稼働が可能であることを検証する。 | ・300℃耐火型ドローン開発、サンプルモニタリング | ○ |
| ②-(1) 無人航空機の運航管理システムの開発 | 本プロジェクトにおける運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを開発する。 | ・同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システム開発/実証 ・API公開 | ◎ |
| ②-(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発 | 無人航空機が地上及び空中の物件等を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術を開発する。 | ・衝突回避飛行試験 | ○ |
| ③-(1) デジュール・スタンダード | 標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、国際的に連携しながら検討と開発を進め、本プロジェクトの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。 | ・ISO/TC20/SC16NP提案 運航管理システム 情報提供機能 | ○ |
| ③-(2) デファクト・スタンダード | 福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit(日本発のルールに基づいた新たな競技等)を、4 カテゴリー(ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア)で実施するため、競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームの検討を行い、平成30年度に予定するプレ大会で活用するプラットフォームの準備を行う。 | ・プレ大会World Robot Summitを開催 | ○ |

表Ⅲ1-1 中間目標に対する達成度

また、研究開発成果の最終目標の達成に向けた、現状および達成に向けた活動について、下表に示す。

| 研究開発項目 | 最終目標 | 現状 | 達成に向けた活動 |
|----------------------------|---|--|--|
| ①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 各種ロボットの性能評価基準に基づく各種試験方法等を福島県のロボットテストフィールド等に提案 ➢ 無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするための信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準を開発 ➢ 2時間以上の長時間飛行や火災現場等の特殊環境下での連続稼働を実現 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準の策定 ✓ 耐火性ドローンのモニタリングを実施 ✓ 機体開発燃料電池の開発を推進 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 福島ロボットテストフィールドにおいて、実環境試験を加速 ◆ 2時間以上の長時間飛行試験を実施 |
| ②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 福島県のロボットテストフィールド等に設置された無線基地局等を介して10km以上の目視外試験飛行を実施 ➢ 無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等を重畳した3D可視化マップを開発し、福島県のロボットテストフィールド等での各種飛行試験に活用 ➢ 無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通IF等を策定 ➢ 無人航空機の遠隔識別に必要な通信方式やセキュリティの検証、通信機器の設計や関連する要素技術等を開発 ➢ 衝突回避技術を実装した無人航空機の実用化を目指す | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 福島ロボットテストフィールドにおいて各種飛行試験を実施 ✓ 運航管理システムのAPIを公開 ✓ 相対速度100km/hにおける衝突回避試験を実施 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 福島ロボットテストフィールドの試験環境整備 ◆ API公開に伴う相互接続試験を実施 ◆ 200km/h以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発 ◆ 正確な位置情報を共有するための準天頂衛星システム受信装置を開発 |
| ③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 本プロジェクトの成果の国際標準化を獲得するために提案すべき技術を含む活動計画を国へ提言と国際標準化団体への引継 ➢ World Robot Summit 2020の開催 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 情報提供機能について ISO/TC20/SC16 へのNP提案 ✓ 競技カテゴリー、開催会場、日程について決定済み | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 運航管理機能や衝突回避技術に関する国際標準へのNP提案を推進 ◆ World Robot Summit 2020開催に向けて、競技参加者の募集等の準備を実施中。 |

表Ⅲ1-2 成果の最終目標の達成に向けて

知的財産権の確保や成果の普及として特許出願などのほか、積極的な広報活動も行われており、下表に実績数を示す（ただし、項目③-(2)を除く）。詳細については添付資料を参照。

| | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 (9月作成時) | 合計 |
|----------------------|--------|--------|-------------------|-----|
| 特許出願 | 2 | 4 | 3 | 9 |
| 論文 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 研究発表・講演 | 42 | 48 | 22 | 112 |
| 展示会への出展 | 8 | 11 | 3 | 22 |
| 学会誌・雑誌等への投稿 | 4 | 8 | 8 | 20 |
| NEDO ニュースリリース の発出 | 12 | 6 | 6 | 24 |
| 新聞への掲載 | 69 | 54 | 47 | 170 |

表Ⅲ1-3 特許出願、成果の発表等

2. 研究開発項目毎の成果

2.1. 研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

2.1.1. 性能評価基準等の研究開発

2.1.1.1. 無人航空機を活用した物流分野（実施先：株式会社自律制御システム研究所）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

昨今のネットショッピングの利用増加に伴い、個別宅配件数は著しく増加しており、利用者が宅配を依頼した後に実際に受け取るまでの時間差は物流業界で大きな課題となっている。特に2017年に問題となった宅配クライシスは、ドライバー等の人的資源の不足、またそれに伴う財政的資源の確保が困難となる中で、利用者が受け取ることができず再宅配になる件数は全体の約20%程度まで増加しドライバーの負担を圧迫したことが原因である。その一時的な対策としてコンビニエンスストアでの受取代替や宅配ボックスの設置等もあるが、いずれも根本的な解決には至っていない。また定期航路が少ない離島や高齢化が深刻な山村等においては在住者の購買自体が難しいという問題も益々深刻化してきている。このような中、小型無人航空機を活用した宅配業やインターネットサービス業等への代替又は事業化支援は、物流拠点における業務効率化のみならず、渋滞の緩和、離島や山村等へのサービス格差是正等を解決することが期待され、またラストワンマイル、すなわち物流業者と利用者を結ぶ最後の区間において掛かる人的及び財政的資源に関する根本的な解決を図ることが期待される場所である。また第2回未来投資に向けた官民対話において、「早ければ3年以内に無人航空機を活用した物流の実現を目指す」方針が表明され、国土交通省が進める小型無人航空機を活用した過疎地等における物流システムが検証されている中、本研究開発は小型無人航空機を活用した物流分野の性能評価手法を確立し、福島ロボットテストフィールド等での求められる性能試験の実施を経て長距離の物流システム事業化への貢献を目標としている。

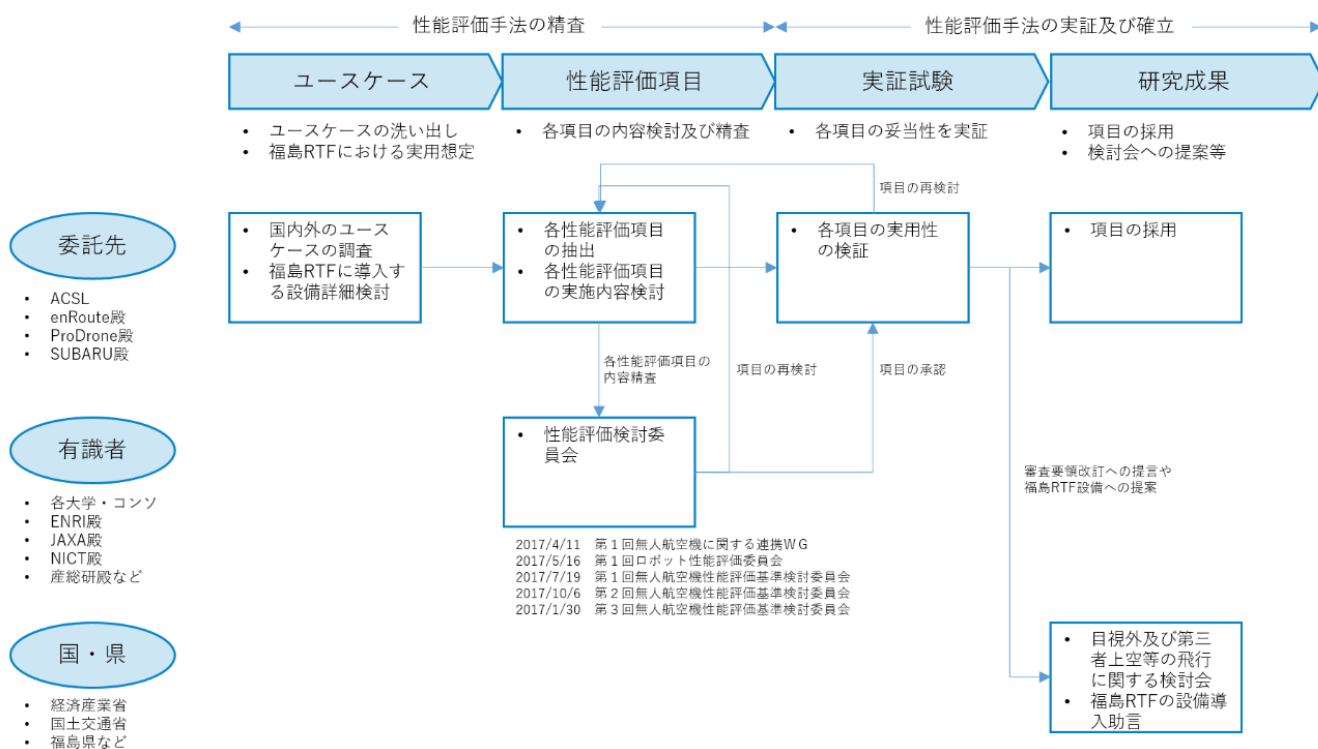
本研究開発では、物流システム事業のサービス向上と新たな市場創出のために、物流ユーザのニーズに適合した機能及び性能と安全性能として求められる機能要件の洗い出し、物流における小型無人航空機の性能評価基準検討を実施した。検討の過程においては試験方法の妥当性（現実性）を検証するための実証実験も実施した。

現在の小型無人航空機の運用は、空撮業をはじめ、農業、計測業、インフラ点検等、操縦者から直接見える約200m以内の目視内飛行が殆どを占める。しかし、物流業での利用はそれらとは異なり長距離での運用を余儀なくされるため、長距離かつ目視外飛行の実現が必須となる。現行法に則った目視外飛行を行うためには、様々な規制や機体情報、状態映像等を伝送するための無線システムの上空電波強度限界等の制約がある。このような物流分野における運用面の特徴を技術要素として定義する場合、実際の運用者となる物流事業者が

求めるスペックや異なる無人航空機を比較する際の選定基準となる項目という観点と、無人航空機の製造側であるメーカーの技術者が技術水準をベンチマークするための項目の観点という2つが存在する。本研究開発では両者が共通のモノサシで議論できる性能評価基準の導出を出発点としている。

また、本研究開発は「空の産業革命に向けたロードマップ」において環境整備の一部として位置付けられており、その成果が第三者上空等に求める要件の検討や目視外飛行等に係る審査要領の改訂、そして福島ロボットテストフィールド（以下、福島RTF）の整備へとフィードバックされることも本研究開発を推進する目的のひとつである。

研究の推進に当たってはメーカー、ユーザ、有識者の声を反映させるため、定期的に「無人航空機性能評価基準検討委員会」の場において進捗を確認いただき、効率的かつ効果的な研究開発を実施する。研究開発のフローを図Ⅲ2.1.1.1-1に示す。



図Ⅲ2.1.1.1-1 研究開発フロー

本研究開発では、表Ⅲ2.1.1.1-1に記載の小型無人航空機評価試験を行い、それぞれの評価項目についての評価基準案を検討した。

| | 項目 | 試験 | 実施場所 |
|---|----------|--------------|------------|
| A | 安全性能 | 空気抵抗終端速度計測 | 福島 RTF |
| | | パラシュート終端速度計測 | 福島 RTF |
| | | 鉄平板損傷非破壊検査 | JSR |
| B | 航続・離着陸性能 | 飛行・着陸精度計測 | 福島 RTF |
| C | 長距離飛行性能 | 消費電力計測試験 | JAXA 調布 |
| D | 環境負荷性能 | 騒音計測 | 産業技術研究センター |
| E | 耐環境性能 | 電磁界ばく露試験 | 電力中央研究所 |
| | | EMC 試験 | SGS ジャパン |
| | | バッテリー性能試験 | ダイヤサービス |

表Ⅲ2.1.1.1-1 実施試験項目一覧

A) 安全性能

① 落下終端速度

直径 1m 程度、重量 8kg の小型無人機で、高度 150m からの自由落下および安全装置（パラシュート）展開の条件で試験を実施。結果は、自由落下で終端速度は 15m/s 程度、パラシュートで 5m/s で収束し、落下時の運動エネルギーはそれぞれ 850J 程度と 87J 程度となった。評価基準には無人航空機の安全基準で広く用いられている運動エネルギーでの評価を提案。ランク分けは頭部衝突時の致死基準である 80J という値を設定根拠とした。

② 落下時の鉄平板損傷度合

直径 1m 程度、重量 8kg の小型無人航空機を、高度 55m からの鉄平板上に自由落下させ、鉄平板の損傷度合を検査した。検査結果では、接触部 32 箇所のうち、13 箇所ですべて 0.1mm 以下の凹みが見られ、溶接部に損傷は認められなかった。機体が鉄板に衝突することによる損害は限定的であると結論付け、安全性能の評価試験方法として基準書に含めなかった。

B) 航続・離着陸性能

GPS による測位結果で制御される小型無人機を一方からの外乱影響を最小化するため東西南北に自律飛行・離着陸させ、小型無人機単体の飛行精度の測定を行った。平均風速 5m/s 程度の環境下で、最大誤差は 0.7m、平均誤差は 0.3m 程度であった。この結果を元に、同様の試験件方法および平均誤差を評価基準として提案。ランク分けは離着陸場の面積を元に設定した。

C) 長距離飛行性能

風洞実験において 3 社の無人航空機を飛行させ、消費電力を測定。どの機体も概ね、10-12m/s で消費電力最小（=最大飛行時間）となり、17m/s で最大飛行距離を実現できる

ことが分かった。機体構成に関わらず、同様の結果が求められたことから試験方法として風洞での行う妥当性を確認した。飛行速度、ペイロードによって評価する軸が異なるため、ランク分けを実施せず、これらの各値での飛行可能距離を表にし、当該機体の飛行性能とすることを合わせて提案。

D) 環境負荷性能 - 騒音

無響室において無人航空機を架台に固定し、ホバリング想定で機体周囲 12 点で騒音測定を行った。測定する角度によって結果は大きく異なり、最大で 80dB (上下 45° 方向)、最小で 70dB (水平方向) となった。試験方法として機体より 3m の上下中央 3 点において騒音を測定し、A 特性騒音レベルを評価基準として提案。ランク分けは環境基準のおける値を根拠に設定した。

E) 耐環境性能 - 耐電磁界、耐温度

① 耐電磁界性能

予備試験として EMC 試験を実施し、高電圧送電線が発生する周波数の電磁ノイズに対する小型無人機の影響を確認した。試験から 50/60Hz の周波数では目立った影響が認められなかった。次に実際に無人航空機を高圧送電線に近づける電磁界曝露試験を行った。電界 500kV、磁界 100 μ T において、電界試験では 80cm において電源喪失、磁界試験では地磁気を用いた制御では離隔 20m 相当の磁界でセンサ異常(方位誤差により飛行困難)が発生することが分かった。飛行時と架台固定時で結果に差異がなかったことから、試験方法として、架台固定状態で上記試験を実施し、センサ異常が認められる距離を安全離隔距離として評価基準に用いることを提案。点検やその他の運用方法における高圧送電線との距離を元にランク分けを行った。

② 耐温度性能(バッテリー試験)

各試験項目における試験方法の検討に際し、試験条件としての気温によるバッテリー特性の変化を定量的に検証する試験を実施した。試験条件として考えられる、マイナス 20°C から 40°C の環境下で一定負荷を印可し放電時間と各時刻における電圧値を計測した。試験の結果から低温環境下(マイナス 20°C から 10°C)においては一般的な試験場所の標準状態である 25°C との結果と大きく乖離することが分かった。この結果から各試験項目の実証実験実施時には低温環境における値でないことを確認した結果のみを採用した。

(2) 研究開発目標と根拠

1. ユースケースの分析

物流に関わる性能評価基準の項目について検討するために物流分野における無人航空機

を用いた事例を研究し、ユースケースを導出した。ユースケース導出においては、楽天株式会社（以下、楽天）が取り組んでいるサービス（事業名：楽天ドローン）に関するヒアリング等を通して検討した。楽天の主な取組事例は以下のとおりである。

取組 1. 千葉県のカメルリゾートゴルフ場内の宅配（2016年4月から現在）

取組 2. 福島県南相馬市でのローソンと共同で実施する宅配（2017年10月から現在）

これらは事業化されているとはいえ、いずれも第三者の進入が最小化できる環境や非人口密集地など限定的な運用である。またターゲットとしているのはラストワンマイルを想定した、2kg～2.5kgのペイロードの配達である。



図Ⅲ2.1.1.1-2 楽天ドローンの運用のイメージ（出展：ITmedia 他）

ヒアリングの結果、物流分野でのドローン活用における課題として抽出した内容は以下のとおりである。

| 項目 | 現状 | 課題 |
|----------|--|--|
| 長距離運用 | 外部からの監視が必要なため、目視外運用が容易ではない ペイロードによって飛行できる距離が異なる | 補助者や監視カメラに頼った監視 ペイロードに応じた機体スペックの明確化 |
| 飛行安全性 | 落下の可能性は無視できるほどではない | 落ちても安全と断言できる基準 パラシュート等の搭載 |
| 飛行/離着陸精度 | 機体の運用は各運用者の管理 第三者が存在する場所での飛行及び離着陸は安全上困難 | 単機による運用 余裕を持った経路や離着陸エリアの確保 |

表Ⅲ2.1.1.1-2 無人航空機を利用した物流における課題

2. 研究開発項目の導出

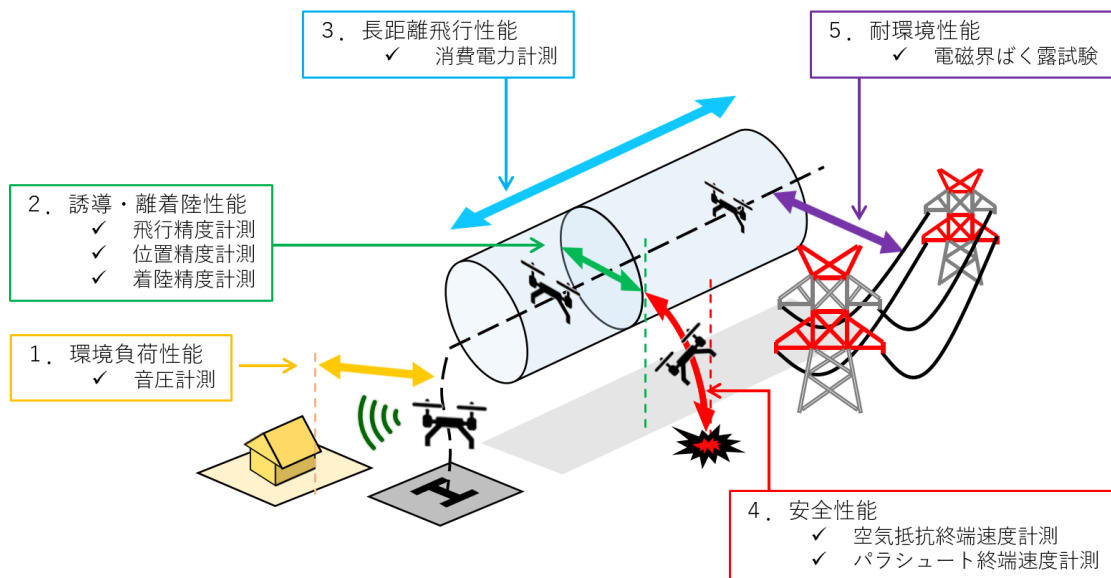
ユースケースの分析から物流分野特有の機体性能評価基準を研究開発項目とした。本性能評価の試験は主に福島 RTF での運用を想定した。福島 RTF における想定は以下のシナリオである。

区間：福島県南相馬市～浪江町間の最大 13km 程度

ペイロード：最大 2.5kg 程度

飛行経路：第三者の進入を最小化した経路で飛行

物流用途を想定した各検証項目を図Ⅲ 2. 1. 1. 1-3 に示す。



図Ⅲ 2. 1. 1. 1-3 想定するシナリオと研究開発項目

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| 事業項目 | 2017年度 | | | |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| ① 目視外飛行実現のための制度的課題解決に向けた検討 | → | | | |
| ② 性能評価手法のブラッシュアップ | → | | | |
| ③ 試験方法及び測定項目の見直し | → | | | |
| ④ 無人航空機の安全性能に関する試験 | | → | | |

表Ⅲ2.1.1.1-3 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

本研究開発では無人航空機の活用ロードマップにおけるレベル3の実現に向けて、特に、物流分野のための無人航空機の安全性に関する検討を実施し標準的な性能評価試験方法等の妥当性の検証を含む3つの項目において活動を実施してきた。実施計画書内容に対応する達成事項を以下の表Ⅲ2.1.1.1-4に示す。

| 番号 | 目的・項目 | 達成事項 |
|----|-------------------------------|---|
| 1 | 補助者なし目視外飛行実現のための制度的課題解決に向けた検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・実際にサービスインを行う企業と意見交換を行い、現状の課題整理と解決に向けた対策を検討した。 ・他の無人航空機メーカーと協力し、目視外及び第三者上空等の飛行に関する検討会へ試験結果を報告と施策提言を行った。 |
| 2 | 試験方法及び測定項目の策定 | <ul style="list-style-type: none"> ・性能を評価するための試験方法と測定項目を策定した。 ・性能評価検討委員会において、性能評価基準項目、試験方法、測定項目の精査を実施した。 ・福島 RTF に導入される設備について、ユーザ側の意見として設備の詳細な部分を助言した。 |
| 3 | 無人航空機の性能評価に関する試験 | <ul style="list-style-type: none"> ・以下の五種類の試験を実施してデータを解析し、性能評価手法の妥当性を検証した。 ・このうち、2と4については福島 RTF 予定地で実施した。 |

| | | |
|--|--|--|
| | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 環境負荷性能（音圧計測試験） 2. 誘導・着陸性能（飛行精度・位置精度・着陸精度計測試験） 3. 長距離飛行性能（消費電力計測試験） 4. 安全性能（終端速度計測試験） 5. 対環境性能（電磁界ばく露試験） |
|--|--|--|

表Ⅲ2.1.1.1-4 研究開発事項の達成状況

また、本研究開発では A)～E) までの 5 項目の小型無人航空機評価試験を行い、それぞれの評価項目についての評価基準案を検討した。

A) 安全性能

① 落下終端速度

直径 1m 程度、重量 8kg の小型無人機で、高度 150m からの自由落下および安全装置（パラシュート）展開の条件で試験を実施。結果は、自由落下で終端速度は 15m/s 程度、パラシュートで 5m/s で収束し、落下時の運動エネルギーはそれぞれ 850J 程度と 87J 程度となった。評価基準には無人航空機の安全基準で広く用いられている運動エネルギーでの評価を提案。ランク分けは頭部衝突時の致死基準である 80J という値を設定根拠とした。

② 落下時の鉄平板損傷度合

直径 1m 程度、重量 8kg の小型無人航空機を、高度 55m からの鉄平板上に自由落下させ、鉄平板の損傷度合を検査した。検査結果では、接触部 32 箇所のうち、13 箇所で 0.1mm 以下の凹みが見られ、溶接部に損傷は認められなかった。機体が鉄板に衝突することによる損害は限定的であると結論付け、安全性能の評価試験方法として基準書に含めなかった。

B) 航続・離着陸性能

GPS による測位結果で制御される小型無人機を一方からの外乱影響を最小化するため東西南北に自律飛行・離着陸させ、小型無人機単体の飛行精度の測定を行った。平均風速 5m/s 程度の環境下で、最大誤差は 0.7m、平均誤差は 0.3m 程度であった。この結果を元に、同様の試験件方法および平均誤差を評価基準として提案。ランク分けは離着陸場の面積を元に設定した。

C) 長距離飛行性能

風洞実験において 3 社の無人航空機を飛行させ、消費電力を測定。どの機体も概

ね、10-12m/s で消費電力最小 (=最大飛行時間)となり、17m/s で最大飛行距離を実現できることが分かった。機体構成に関わらず、同様の結果が求められたことから試験方法として風洞での行う妥当性を確認した。飛行速度、ペイロードによって評価する軸が異なるため、ランク分けを実施せず、これらの各値での飛行可能距離を表にし、当該機体の飛行性能とすることを合わせて提案。

D) 環境負荷性能 - 騒音

無響室において無人航空機を架台に固定し、ホバリング想定で機体周囲 12 点で騒音測定を行った。測定する角度によって結果は大きく異なり、最大で 80dB (上下 45° 方向)、最小で 70dB (水平方向)となった。試験方法として機体より 3m の上下中央 3 点において騒音を測定し、A 特性騒音レベルを評価基準として提案。ランク分けは環境基準のおける値を根拠に設定した。

E) 耐環境性能 - 耐電磁界

① 耐電磁界性能

予備試験として EMC 試験を実施し、高電圧送電線が発生する周波数の電磁ノイズに対する小型無人機の影響を確認した。試験から 50/60Hz の周波数では目立った影響が認められなかった。次に実際に無人航空機を高圧送電線に近づける電磁界曝露試験を行った。電界 500kV、磁界 100 μ T において、電界試験では 80cm において電源喪失、磁界試験では地磁気を用いた制御では離隔 20m 相当の磁界でセンサ異常 (方位誤差により飛行困難) が発生することが分かった。飛行時と架台固定時で結果に差異がなかったことから、試験方法として、架台固定状態で上記試験を実施し、センサ異常が認められる距離を安全離隔距離として評価基準に用いることを提案。点検やその他の運用方法における高圧送電線との距離を元にランク分けを行った。

② バッテリー試験

各試験項目における試験方法の検討に際し、試験条件としての気温によるバッテリー特性の変化を定量的に検証する試験を実施した。試験条件として考えられる、マイナス 20°C から 40°C の環境下で一定負荷を印可し放電時間と各時刻における電圧値を計測した。試験の結果から低温環境下 (マイナス 20°C から 10°C) においては一般的な試験場所の標準状態である 25°C との結果と大きく乖離することが分かった。この結果から各試験項目の実証実験実施時には低温環境における値でないことを確認した結果のみを採用した。

(5) 成果の詳細

1. 検証予備試験

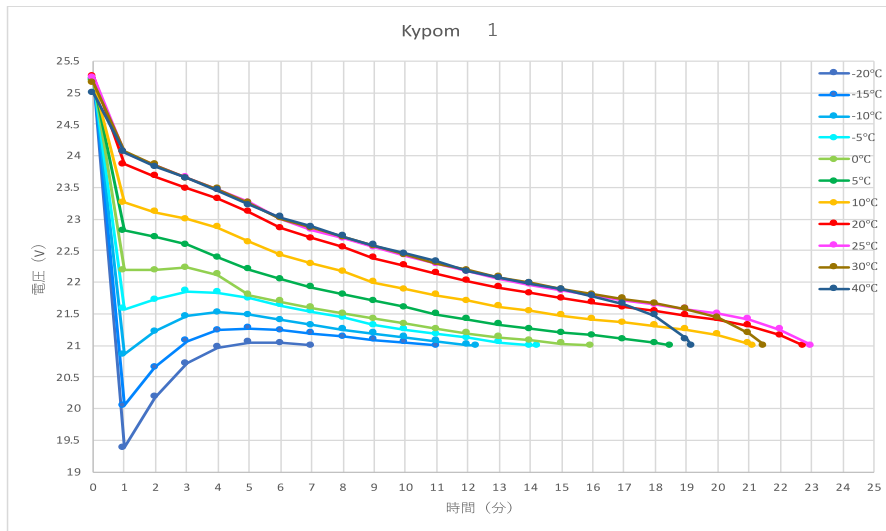
A. バッテリ

小型無人航空機の動力源の多くはバッテリーである。これは小型軽量でありながら比較的大きなエネルギー密度をもち、かつ取り扱いが容易であることに起因する。ただし多くの無人航空機に用いられている LiPo バッテリは、事故があった際に発火する危険があり安全対策は必須である。加えて温度による性能のバラツキが大きいため、この温度特性を正しく把握せずに標準的な試験方法を策定するのは困難である。検証試験の実施にあたっては、福島 RTF をはじめ様々な屋外フィールドにおいて試験を実施するため、試験時の気温により試験結果が再現性の無いものにならないように予めバッテリーの温度特性を詳しく検証した。表Ⅲ2.1.1.1-5 に試験概要を示す。

| 項目 | 内容 |
|------|---|
| 試験日時 | 2017年1月10日～1月29日 |
| 試験場所 | 自律制御システム研究所内の敷地に設置した恒温槽 |
| 試験方法 | 恒温槽において複数温度環境下でバッテリーの放電を行い、その際の出力特性を計測する。 |
| 測定項目 | 放電電圧(V) |

表Ⅲ2.1.1.1-5 バッテリ検証試験概要

試験結果を図Ⅲ2.1.1.1-4 に示す。この結果より、バッテリーの放電特性は温度に大きく依存することが確認できた。また-10℃以下の場合、使用開始と同時に飛行不可となる基準を下回る電圧となることが確認できた。ただし、今回の性能評価基準の各項目の検証試験を行うことを想定する気温の範囲(0～25℃)では特性に大きな問題はない。また使用前にあらかじめバッテリーを保温することで特性を一定にできるので、試験への影響は最小化できることも確認できた。



図Ⅲ2.1.1.1-4 バッテリ検証試験結果

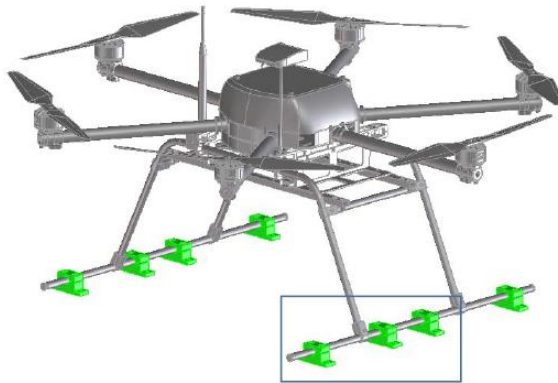
B. 振動試験

各飛行試験において機体の構造特性に起因する影響を最小化するために、供試体である PF1 の振動試験を実施した。これは通常の飛行状態ではなく、架台に固定した状態で実施する試験（後述の、「音響計測試験」および「電磁界ばく露試験」）において、機体振動特性が試験結果に影響を及ぼすか否かを確認する目的と、試験に用いる架台の構造的強度を算出するために実施した。表Ⅲ2.1.1.1-6 に試験概要を、図Ⅲ2.1.1.1-5 に振動試験の固定方法を示す。

| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験日時 | 2017年1月31日 |
| 試験場所 | 都立産業技術研究センター 振動試験室 |
| 試験方法 | 無人航空機を脚部において固定し、3~500Hz の範囲で加振し、機体振動特性を取得する。 |
| 測定項目 | 共振周波数 (Hz) |

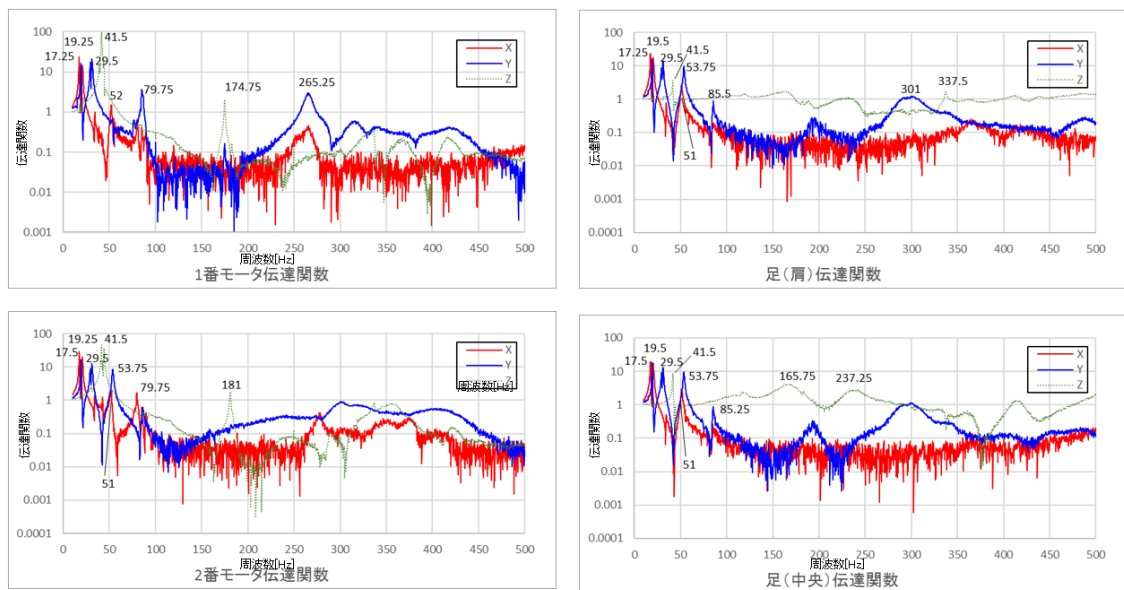
表Ⅲ2.1.1.1-6 振動試験概要

振動試験1:脚部固定



図Ⅲ2.1.1.1-5 振動試験の固定方法

試験の結果を図Ⅲ2.1.1.1-6に示す。この結果より、機体振動特性を明らかにすることができ、合わせて、機体特性が飛行中と大きく異なることも確認できた。



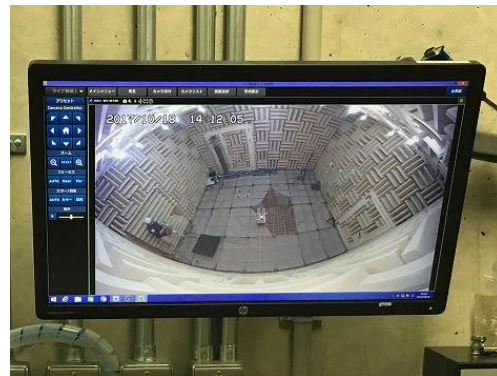
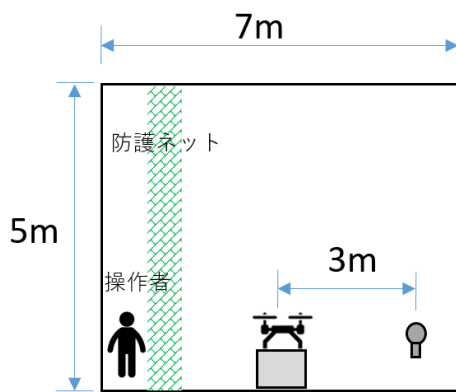
図Ⅲ2.1.1.1-6 振動試験結果

2. 環境負荷性能

騒音は現状の法規制においても様々な制約が存在するため、無人航空機から発生される騒音は、どのような特性をもっており、騒音規制に照らし合わせた際に、どれほどのレベルのものであるかを検証する必要がある。表Ⅲ2.1.1.1-7に試験概要を、図Ⅲ2.1.1.1-7に試験の様子を示す。

| 項目 | 内容 |
|------|---|
| 試験日時 | 平成 29 年 10 月 18 日～19 日 |
| 試験場所 | 都立産業技術研究センター 無響室 |
| 試験方法 | 無人航空機を架台に固定した状態でロータを回転させ、機体横方向の 9 地点で音圧レベルを測定する |
| 測定項目 | 音圧レベル (dBA) |

表Ⅲ 2. 1. 1. 1-7 音響計測試験概要



図Ⅲ 2. 1. 1. 1-7 騒音計測試験のセットアップと試験を実施している様子

試験結果を図Ⅲ 2. 1. 1. 1-8 に示す。この結果より、音圧レベルは機体上部および下部方向で大きく発生し、ロータ面では小さくなることが分かった。PF1 においてはその差が約 11dB となった。これは人間が感じる音の差で 10 倍以上の音の違いがあるということである。離着陸時の周辺家屋に対する騒音は機体下部から発生する音量が影響することになるため、無人航空機が発生する騒音の指向性を理解することは重要である。



図Ⅲ 2. 1. 1. 1-8 音圧を測定した点とそれぞれの点での音圧レベルの比較

検証試験結果から導出した試験方法を表Ⅲ2.1.1.1-8 に、ランク分けを表Ⅲ2.1.1.1-9 に示す。検証試験結果より、騒音特性を把握するためには上下と中央を測定すれば良いため測定点は3点としている。なお測定点の距離を3mとしているため、実際の敷地境界での騒音レベルを計算する際は次式を用いることができる。

$$L_2 = L_1 - 20 \log(r_2/r_1) \quad (1)$$

ここでは L_2 が敷地境界における音圧レベル、 r_2 が音源である無人航空機から敷地境界までの距離である。また L_1 は本試験における測定点での音圧レベルで r_1 が測定点までの距離(3m)である。

| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験方法 | 1. 無響室内にマイクを無人航空機から3m地点でロータ面、上部45度方向、下部45度方向の3方向に設置する。 2. 無人航空機をホバリングさせた状態で、20kHzまでの音圧を測定する。架台に固定した場合には、事前にホバリング時のプロペラ回転数を把握し再現することとする。 3. 測定した音圧はJIS C 1502-1990規格に則ったA特性音圧とする。 |
| 測定項目 | 3か所での音圧(dBA) |
| 必要設備 | 無響室 |

表Ⅲ2.1.1.1-8 試験方法

| ランク | 基準(閾値) | 基準(閾値)の考え方 |
|-----|---------|--|
| 0 | 100dBA> | (参考)電車が通る時のガード下 |
| 1 | 90dBA | (参考)騒々しい工場内 |
| 2 | 80dBA | (参考)窓を開けた地下鉄の車内 |
| 3 | 70dBA | 幹線交通を担う道路に近接する空間における昼間の基準値 (福島県環境条例) |
| 4 | 60dBA | 福島RTF(第三種地域)における昼間の基準値(福島県環境条例) |
| 5 | 50dBA | 環境基本法におけるAA地域・昼間の基準値 |
| 6 | 40dBA | 環境基本法におけるAA地域・夜間の基準値 (法令で定められている最も厳しい値) |

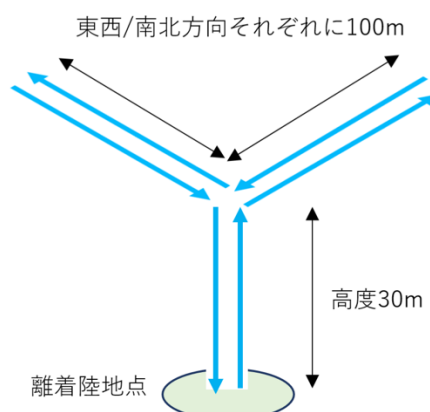
表Ⅲ2.1.1.1-9 ランク分け

3. 誘導・離着陸性能

無人航空機を目視外または第三者上空飛行させる場合には、予め規定された飛行航路に対してどれほどの精度で飛行可能かを把握することが重要である。また、配達先などで無人航空機が離着陸する場合には、安全確保のための空間的要件の導出も必要であり、離着陸場形状を定義する重要な指標となるため、誘導精度とともに離着陸精度も評価することが必要である。表Ⅲ2.1.1.1-10に試験概要を、図Ⅲ2.1.1.1-9に飛行経路図を示す。

| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験日時 | 2017年12月18日～20日 |
| 試験場所 | 福島ロボットテストフィールド |
| 試験方法 | 無人航空機を規定の飛行ルートで飛行させ、機体に搭載された位置測位装置、機体自体が誘導された位置、および外部から観測した機体位置の誤差を計測する。 |
| 測定項目 | 最大誤差(m)、着陸時の位置精度と誤差の方角(m. deg) |

表Ⅲ2.1.1.1-10 誘導・離着陸精度検証試験概要

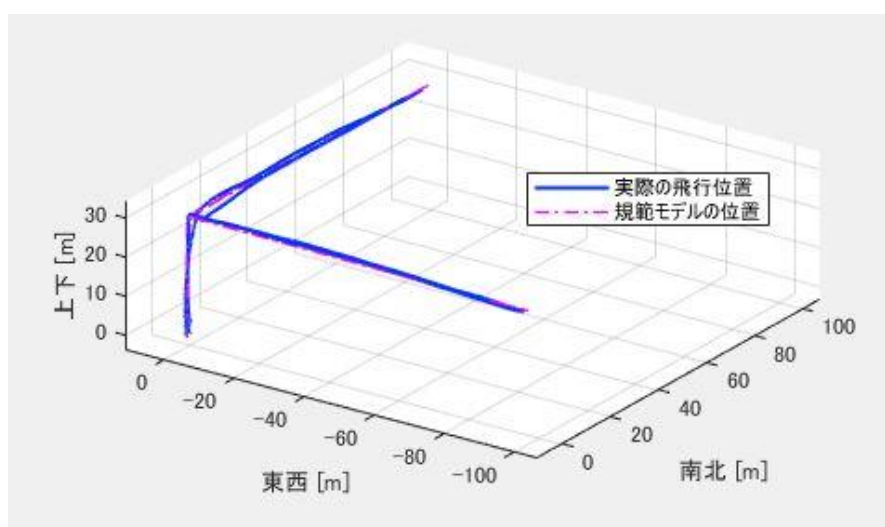


図Ⅲ2.1.1.1-9 誘導・離着陸精度検証試験に用いる飛行経路図

試験結果を表Ⅲ2.1.1.1-11に、3次元的に表現した飛行の経路を図Ⅲ2.1.1.1-10に示す。本試験は屋外で行うため外乱による結果のばらつきが生じる。そのため、試験を4回繰り返すことで結果を平均化した。測位装置にはGNSSや準天頂衛星があるが、これらは測位時刻や環境によって誤差が変動する。そこで無人航空機自身の性能を把握する際は誘導精度に注目する。ただし、実運用において機体位置は測位装置による誤差も加味したものにすることに注意することが必要である。

| | 東西方向 | | 南北方向 | | 着陸 | 平均風速 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------------|---------------|
| | 位置精度 | 誘導精度 | 位置精度 | 誘導精度 | 位置精度 | (開始時) |
| 1 回目 | 0.67m | 0.42m | 1.00m | 0.67m | 250° , 1.5m | 249° , 5.5m/s |
| 2 回目 | 1.05m | 0.29m | 1.19m | 0.70m | 240° , 2.2m | 234° , 3.9m/s |
| 3 回目 | 1.13m | 0.63m | 1.08m | 0.70m | 220° , 0.9m | 208° , 4.5m/s |
| 4 回目 | 1.45m | 0.40m | 1.02m | 0.37m | 175° , 0.9m | 204° , 2.6m/s |
| 平均 | 1.08m | 0.43m | 1.07m | 0.61m | N/A, 1.34m | N/A |

表Ⅲ2.1.1.1-11 誘導・離着陸精度検証試験結果



図Ⅲ2.1.1.1-10 3次元飛行軌跡

検証試験結果より導出した試験方法を表Ⅲ2.1.1.1-12 に、ランク分けを表Ⅲ2.1.1.1-13 に示す。性能評価基準においては位置精度ではなく、無人航空機の制御方法に由来する誘導精度のみを見ることとした。測位装置の性能である測位精度は別途検証するものとする。

| 項目 | 内容 |
|------|---|
| 試験方法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 無人航空機を離陸後 30m の高度において東西／南北方向へそれぞれ 100m 移動する飛行経路で自律飛行させる。 2. 無人航空機が規定の飛行経路を飛行する際、計測器で位置を外部から測定する。 3. 各移動について無人航空機の位置と計画されていた位置との差異を平均誤差で評価する。 |

| | |
|------|----------------------------|
| 測定項目 | 飛行経路における機体位置と目標位置の最大誤差 (m) |
| 必要設備 | 100x100m 程度の広さが確保可能なフィールド |

表Ⅲ2.1.1.1-12 試験方法

| ランク | 基準(閾値) | 閾値の考え方 |
|-----|--|---|
| 0 | 誘導精度は 水平:50m 超、 垂直:100m 超 である | ランク1を満たさない無人航空機を想定して設定した。誘導精度が明示されていない無人航空機はこのランクに該当する |
| 1 | 水平:50m、垂 直:100m の誘 導精度を有 する | 水平精度は米国規定上の GPS の最大誤差として設定。垂直精度は、GPS や準天頂衛星等の垂直精度が概ね水平精度の 1.5~2 倍程度であることから垂直精度の 2 倍の値として設定した。 |
| 2 | 水平:5m、垂 直:10m の誘 導精度を有 する | 水平精度は「ヘリポート」に着陸できる程度の精度として設定。垂直精度は GPS や準天頂衛星等の垂直精度が概ね水平精度の 1.5~2 倍程度であることから垂直精度の 2 倍の値として設定した。 |
| 3 | 水平:1m、垂 直:2m の誘導 精度を有す る | 水平精度は「駐車場」に着陸できる程度の精度として設定。垂直精度は GPS や準天頂衛星等の垂直精度が概ね水平精度の 1.5~2 倍程度であることから垂直精度の 2 倍の値として設定した。 |
| 4 | 水平:6cm、垂 直:12cm の誘 導精度を有 する | 内閣府発行の「準天頂衛星システムの運用等事業 業務要求水準書(案)」のセンチメートル級測位補強サービスの静止体に対する要求精度に基づき設定した。 |
| 5 | 水平:1cm、垂 直:2cm の誘 導精度を有 する | 水平精度は RTK-GPS 相当の精度として設定。垂直精度は GPS や準天頂衛星等の垂直精度が概ね水平精度の 1.5~2 倍程度であることから垂直精度の 2 倍の値として設定した。 |

表Ⅲ2.1.1.1-13 ランク分け

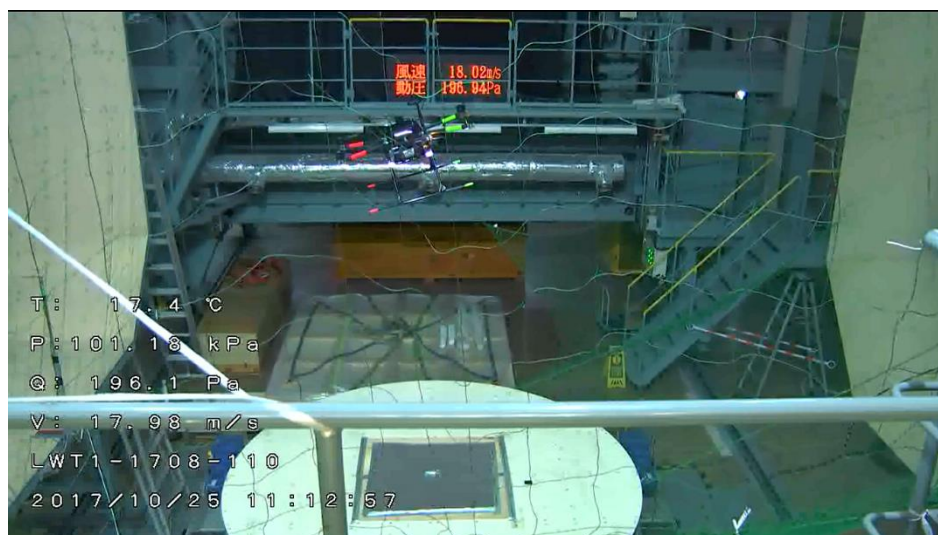
4. 長距離飛行性能

物流用途における無人航空機の実運用では、ペイロードである配達物の重量が飛行ごとに変化することが想定される。またペイロード重量は無人航空機の航続距離等の飛行性能と密接に関わっている。そのため、物流用途に特化した無人航空機の総合的な評価指標として、長距離飛行性能を評価することは重要である。表Ⅲ2.1.1.1-14 に試験概要を、図Ⅲ

2.1.1.1-11 に試験の様子を示す。なお本検証試験では異なる機体構成やメーカーでも問題なくデータが取得できるかを確認するため、無人航空機メーカー3社で同様の試験を実施した。

| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験日時 | 平成 29 年 10 月 10 日～31 日 |
| 試験場所 | JAXA 調布 6.5x5.5m 大型低速風洞 |
| 試験方法 | 無人航空機を大型低速風洞内で複数ペイロードおよび複数風速（飛行速度）の組み合わせで飛行させ、その際の消費電力を測定する。 |
| 測定項目 | 消費電力（W） |

表Ⅲ2.1.1.1-14 長距離飛行性能検証試験概要

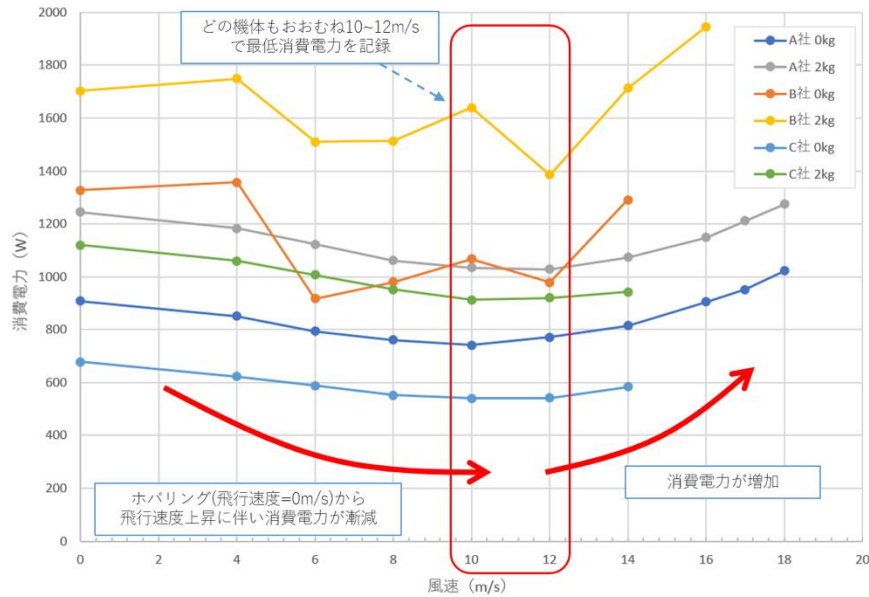


図Ⅲ2.1.1.1-11. 長距離飛行性能検証試験の様子

試験結果を図Ⅲ2.1.1.1-12 から図Ⅲ2.1.1.1-13 に示す。消費電力曲線は試験において実測した電流値と電圧値の1分間の平均を用いて次式を適用し算出したものである。

$$P = VI \quad (2)$$

図Ⅲ2.1.1.1-12 より、各機体はホバリングと同様のなる飛行速度が 0m/s から飛行速度の上昇に伴い消費電力が漸減し、おおむね 10~12m/s で最低消費電力を記録していることがわかる。



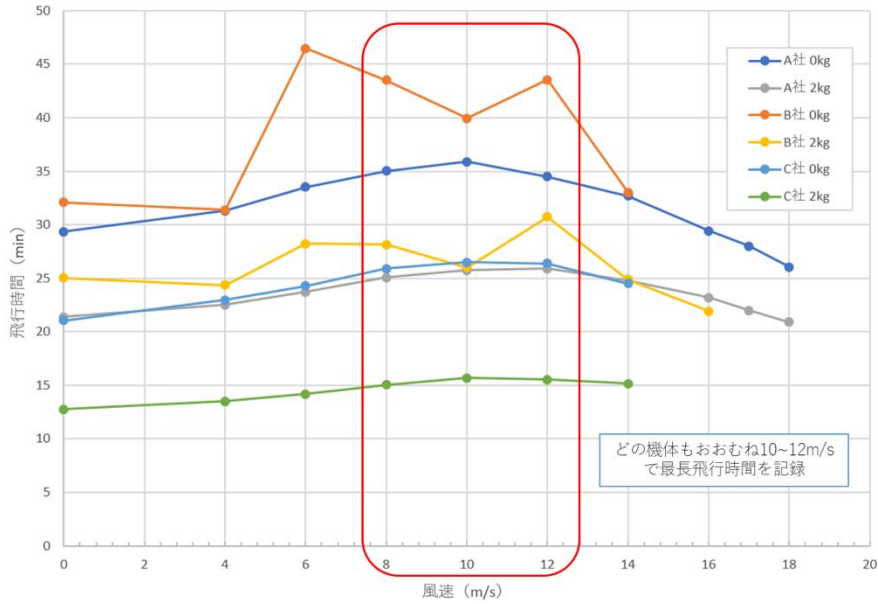
図Ⅲ2.1.1.1-12 消費電力曲線

次に図Ⅲ2.1.1.1-13は飛行時間曲線を示す。これは搭載バッテリーの容量から電力量 E_{bat} を計算し、消費電力曲線で求めた消費電力を用いて理想的な飛行時間を用いて算出したものである。飛行時間 T_{flight} をバッテリーの持続時間とみなすと、次式を求めることができる。なおミッションプロファイルからバッテリー容量の80%までの飛行時間での飛行距離を航続距離とみなすので、式ではその補正を行う。

$$E_{bat} = V_{bat} W_{bat} \quad (3)$$

$$T_{flight} = \frac{E_{bat}}{60 P} \times 0.8 \quad (4)$$

実際にはバッテリー特性は飛行時間に伴い変化するため、必ずしも飛行時間の実測値とは一致しない。図Ⅲ2.1.1.1-13より、どの機体もおおむね10~12m/sで最長飛行時間を記録していることがわかる。

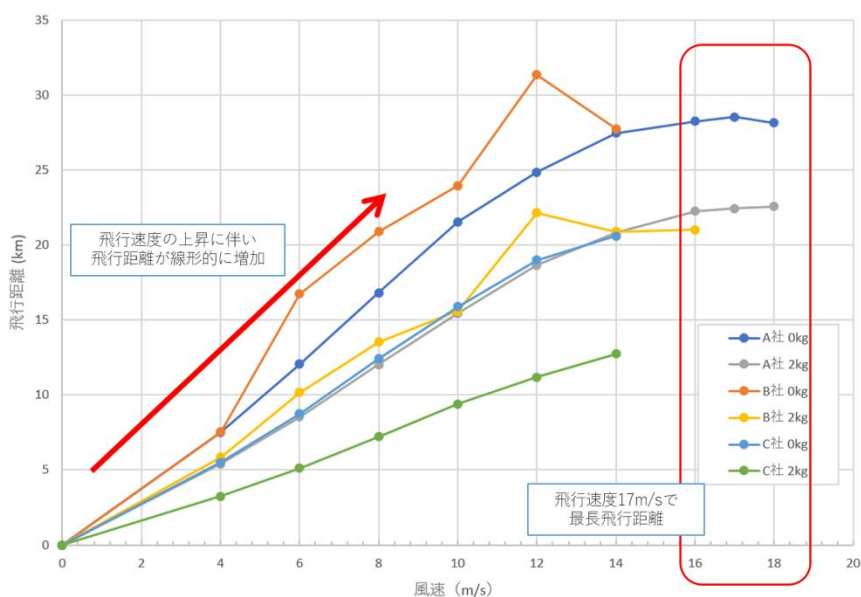


図Ⅲ2.1.1.1-13 飛行時間曲線

次に図Ⅲ2.1.1.1-14 は飛行距離曲線を示している。これは飛行時間曲線の結果を用いて算出したものである。距離は時間と飛行速度 U_{flight} の積になるので、航続距離 D_{flight} は次式で求めることができる。なお飛行時間曲線が理想的なバッテリー消費から算出されているため、飛行距離曲線も理想的な結果である。

$$D_{flight} = T_{flight} U_{flight} \quad (5)$$

図Ⅲ2.1.1.1-14 より、どの機体においても飛行速度の上昇に伴い、飛行可能距離が飛行速度の上昇に伴い線形的に増加し、今回試験した中では最大値を 17m/s で記録していることがわかる。



図Ⅲ2.1.1.1-14 飛行距離曲線

本検証試験結果より導出した試験方法を表Ⅲ2.1.1.1-15に、ランク分けを表Ⅲ2.1.1.1-16に示す。本性能評価項目においてはランク分けではなく飛行時間と飛行距離を一元的に評価することができる性能評価マトリクスを用いて評価することを提案している。なお、ここでは性能評価マトリクスの使い方を分かりやすく示すため、25km以上(実際は20kmであるがミッションプロファイルからバッテリー容量の80%が巡航区間であると定義されるため $20/0.8=25$)の区間を緑色、南相馬市から浪江町間にあたる16.3~25km(実際は13kmであるがミッションプロファイルからバッテリー容量の80%が巡航区間であると定義されるため $13/0.8=16$)の区間を黄色、16.3km以下の区間を赤色で示した。

| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験方法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 風洞内で試験を行う条件(飛行速度・ペイロード)の組合せを決定する。 2. 各条件において無人航空機を1分間飛行させ、その際の電流値と電圧値を記録する。 3. 測定結果より消費電力を計算し、飛行時間、飛行距離を推定する。 |
| 測定項目 | 消費電力(W) |
| 必要設備 | 大型低速風洞 |

表Ⅲ2.1.1.1-15 試験方法

| 対気速度 \ ペイロード | 0.0 kg | 1.0 kg | 2.0 kg |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| 8 m/s | 35 min (16.8 km) | 29 min (13.9 km) | 25 min (12.0 km) |
| 10 m/s | 36 min (21.5 km) | 30 min (18.0 km) | 26 min (15.5 km) |
| 12 m/s | 35 min (24.8 km) | 30 min (21.5 km) | 26 min (18.7 km) |
| 14 m/s | 32 min (27.5 km) | 28 min (23.6 km) | 25 min (20.8 km) |
| 16 m/s | 29 min (28.2 km) | 26 min (24.9 km) | 23 min (22.3 km) |
| 18 m/s | 26 min (28.1 km) | 23 min (25.2 km) | 21 min (22.6 km) |

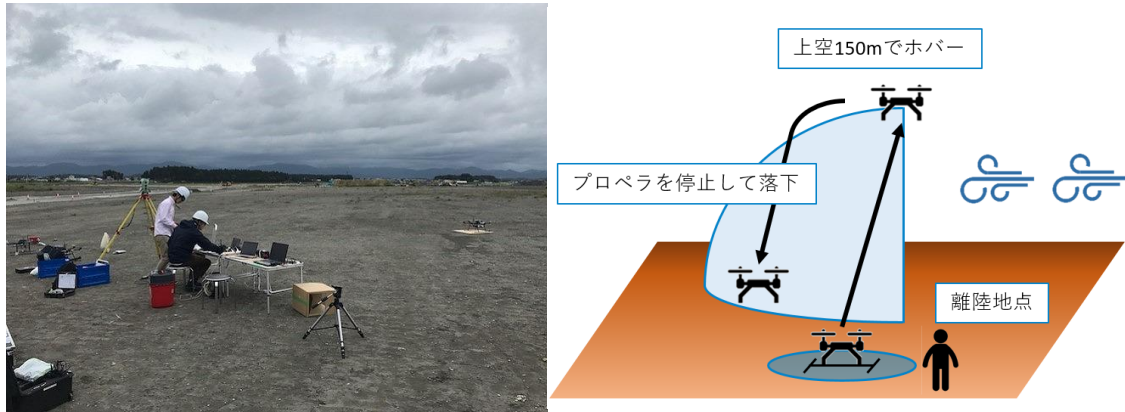
表Ⅲ2.1.1.1-16 性能評価マトリクス

5. 安全性能

物流分野のみならず無人航空機の真の社会実装には安全性の担保が最重要課題である。本項目では現在の技術レベルと必要安全性のバランスに即した形で評価できる落下安全という部分に注目して性能評価手法の検討を行った。本性能評価にあたっては対人と対物の2つの観点での検証を実施した。まず対人想定で行った検証試験について記述する。表Ⅲ2.1.1.1-17に試験概要を、図Ⅲ2.1.1.1-15に試験の様子を示す。

| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験日時 | 平成29年9月17日・10月7日・11月5日・平成30年2月22日・3月2日 |
| 試験場所 | 福島ロボットテストフィールド |
| 試験方法 | ・無人航空機を150mの高度から落下させ、自由落下した場合と速度減速装置(パラシュート)を利用した際の落下速度や2次元的な落下位置の分散を計測する。 |
| 測定項目 | 終端速度(m/s)、経過時間(s)、落下位置(m) |

表Ⅲ2.1.1.1-17 安全性能検証試験概要(対人想定)



図Ⅲ2.1.1.1-15 安全性能検証試験の様子と概要図

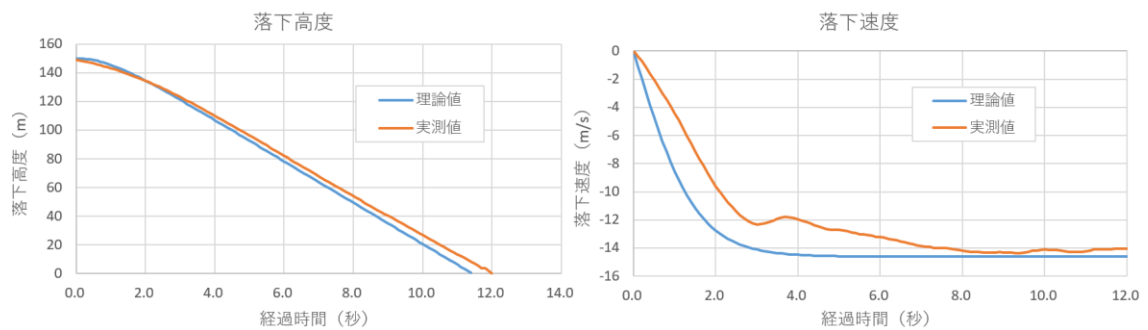
自由落下のケースの試験結果を図Ⅲ2.1.1.1-16、パラシュートを開傘したケースの試験結果を図Ⅲ2.1.1.1-17 にそれぞれ示す。なお落下高度は次式を用いて理論値を導出できる。

$$h(t) = \frac{m}{k} \ln \left(\cosh \left(t / \sqrt{m/gk} \right) \right), \text{ where } k = C_d \rho A / 2 \quad (6)$$

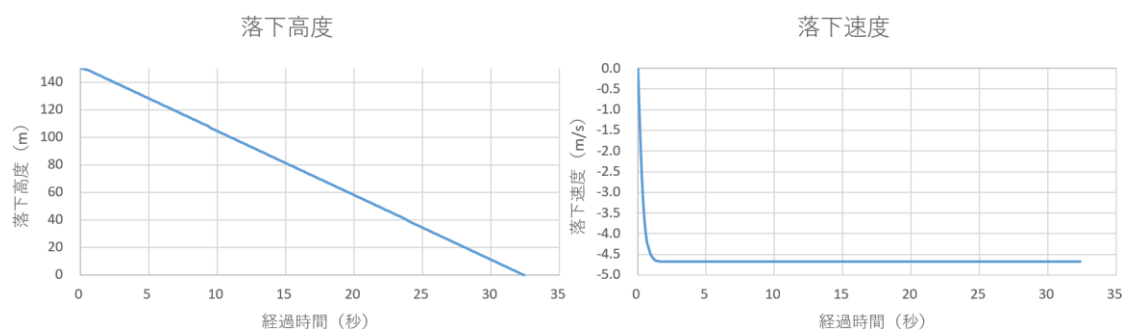
次に落下速度と経過時間をそれぞれ、次式を用いて求める。

$$v(t) = \sqrt{mg/k} \tanh \left(t / \sqrt{m/gk} \right) \quad (7)$$

$$t = \sqrt{m/gk} \operatorname{acosh} \left(e^{hk/m} \right) \quad (8)$$



図Ⅲ2.1.1.1-16 自由落下の試験結果



図Ⅲ2.1.1.1-17 パラシュート開傘の試験結果

終端速度から安全性能を評価するにあたり、航空法の重量規制の根拠にもなっている運動エネルギーを用いた。試験結果を表Ⅲ2.1.1.1-18に示す。なお運動エネルギーは次式を用いて算出した。

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (9)$$

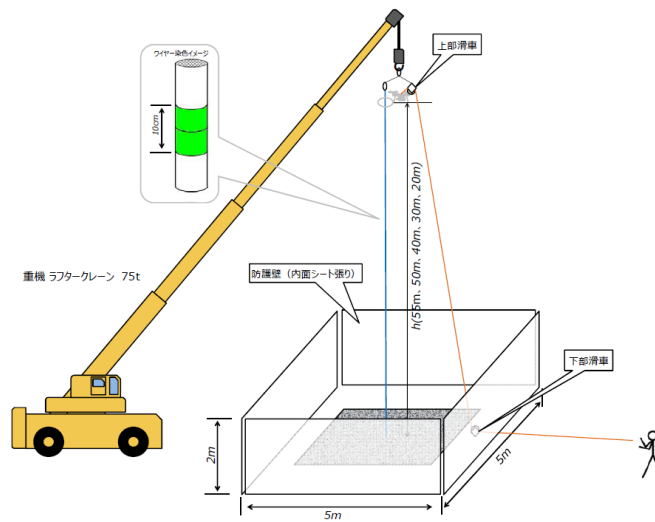
| 項目 | 自由落下 | パラシュート開傘 |
|------------|--------------|----------|
| 落下中の姿勢 | 水平(通常又は上下反転) | 水平(通常) |
| 落下時間(秒) | 12.0 | 32.4 |
| 終端速度(m/s) | 14.6 | 4.68 |
| 運動エネルギー(J) | 854.98 | 87.61 |

表Ⅲ2.1.1.1-18 安全性能検証試験結果

無人航空機の運用では第三者上空での飛行を前提とするため、機体が落下した際には人命への影響を考慮することが最優先であるが飛行空域に存在する第三者物件への影響も定量的に把握する必要がある。そこで安全性能検証では福島 RTF における落下試験に加え、鉄板への損傷を確認するため、JSR 鹿島工場敷地内でも落下試験を実施した。表Ⅲ2.1.1.1-19に試験概要を、図Ⅲ2.1.1.1-18にセットアップの概要図を示す。

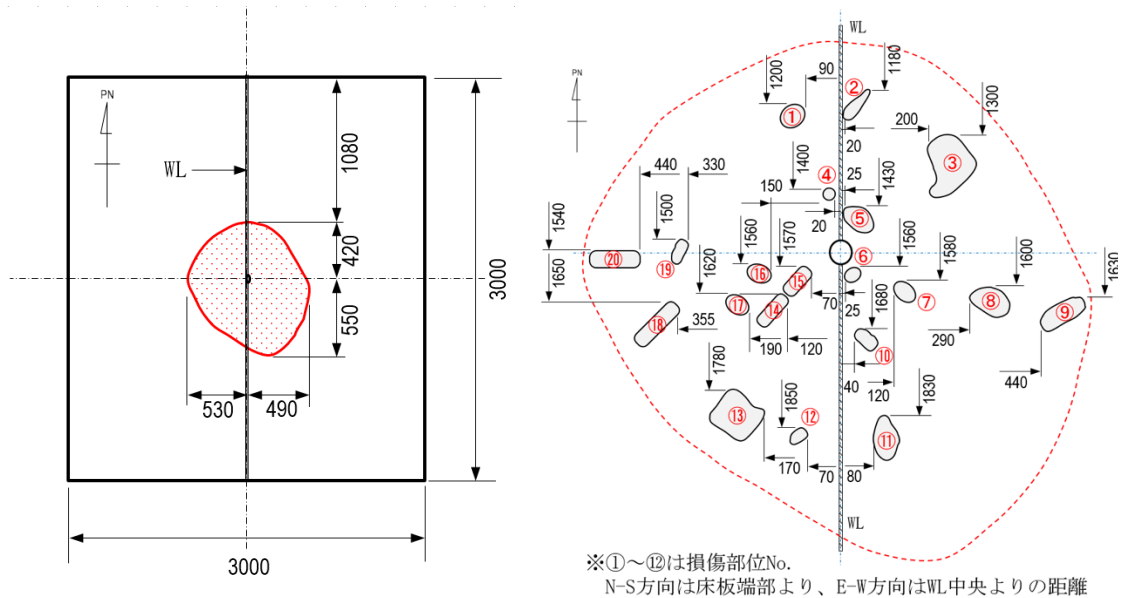
| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験日時 | 平成 30 年 2 月 6 日 |
| 試験場所 | JSR 鹿島工場内フィールド |
| 試験方法 | <ul style="list-style-type: none"> 無人航空機を 55m, 50m, 40m, 30mの高度からガイドワイヤで拘束した状態で落下させ、自由落下した場合の鉄板に対する損傷を計測する。 破片等の飛散状況をハイスピードカメラで撮影する。 |
| 測定項目 | 目視損傷検査、磁粉探傷試験 |

表Ⅲ2.1.1.1-18 安全性能検証試験概要(対物想定)



図Ⅲ2.1.1.1-19 対象落下試験セットアップ概要図

試験の実施にあたり、損傷具合を正確に把握するために試験片の非破壊検査を実施した。非破壊検査の内容はそれぞれ JIS Z 2355 (超音波パルス反射法による厚さ測定方法) と JIS Z 2320 (非破壊試験-磁粉探傷試験) である。ここで試験の最大落下高度である 55m より無人航空機を落下させたケースにおける損傷例を図Ⅲ2.1.1.1-19 に示す。



図Ⅲ2.1.1.1-19 損傷範囲と詳細分布

本試験ケースにおける損傷の代表例として図Ⅲ2.1.1.1-19 に示したうちの③について図Ⅲ2.1.1.1-20 に示す。この損傷では鉄板にスレと塗装剥離が確認された。また塗装を剥離した後の詳細確認では鉄板に最大 0.1mm 未満の凹みが確認された。



図Ⅲ2.1.1.1-20 塗装を剥離する前の損傷状況と塗装剥離後の母材損傷状況

試験の結果、目視検査によっていずれの高度から落下でも表面の塗装に軽度の損傷が見られた。また損傷の深さは最大0.2mmの凹みであった。ただし磁粉探傷試験の結果ではいずれのケースにおいても傷による指示模様は認められなかった。このように無人航空機の落下による鉄板構造への影響は限定的であることが確認できた。

これらの検証試験を元に導出した試験方法を表Ⅲ2.1.1.1-20に、ランク分けを表Ⅲ2.1.1.1-21に示す。自由落下の場合もパラシュート開傘の場合も終端速度に到達するまで数十メートルあれば十分であると判明したため落下開始地点を高度100mとした。

| 項目 | 内容 |
|------|---|
| 試験方法 | 1. 無人航空機を100mの高度まで上昇させる。 2. 無人航空機の推進装置（ロータ）を停止し、落下を模擬する。 3. 衝突速度低減装置（パラシュート等）は落下を開始してから起動する。 4. 無人航空機が着地する際の終端速度を計測する。 |
| 測定項目 | 終端速度 (m/s) |
| 必要設備 | 200x200m程度の広さが確保可能なフィールド |

表Ⅲ2.1.1.1-20 試験方法

| ランク | 基準(閾値) | 閾値の考え方 |
|-----|--------|------------------------------------|
| 0 | 80 J以上 | ランク1を満たさない無人航空機、又は明示されていない無人航空機が該当 |
| 1 | 80 J未満 | 致命的な障害を与える運動エネルギーのしきい値とされる値より設定 |

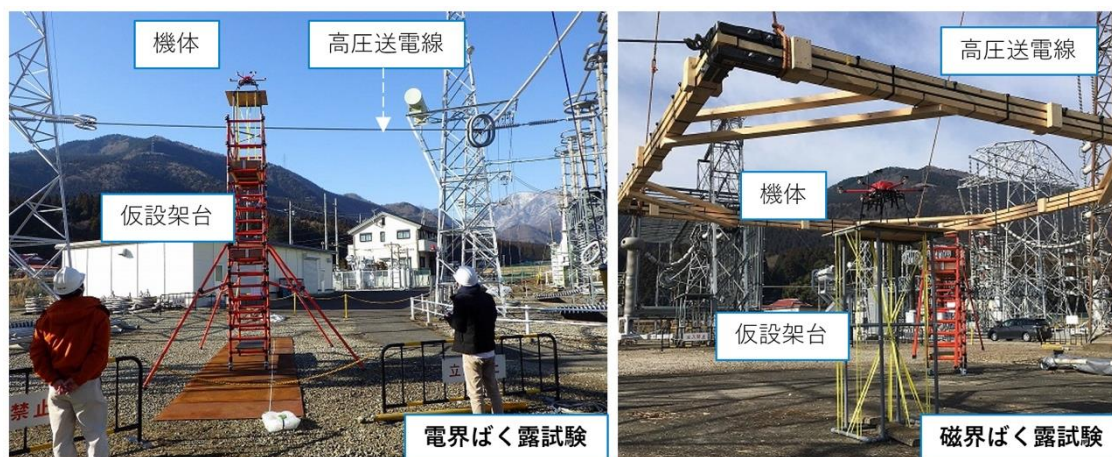
表Ⅲ2.1.1.1-21 ランク分け

6. 耐環境性能

現状の無人航空機の運用においては、高圧線、変電所、電波塔及び無線施設等の施設の付近では電波障害等により操縦不能となることが懸念されるため、十分な距離を保って飛行させることとされている。ただし高圧送電線からの定量的な離隔距離は規定されておらず、また小型無人航空機にどのような影響があるのかについても明確にされていない。そのため、本項目では無人航空機の耐環境性能としての電磁環境ばく露耐性を検証した。表Ⅲ2.1.1.1-22 に試験概要を、図Ⅲ2.1.1.1-21 に試験の様子を示す。なお電界は電線に印加される電圧によって決まるが、ここでは日本国内で使用される最大電圧である 500,000V を用いる。磁界の強度を決める電流値は電力需要によって時々刻々と変化するため、想定される最大レベルである電線に 1,000A を課電し、2m 離れた地点で発生する磁界を基準とした。また試験には、磁界に大きく影響を受けると想定された GPS と磁気コンパスによって制御される機体と画像処理のみで制御される機体の 2 種類を使用した。

| 項目 | 内容 |
|------|---|
| 試験日時 | 2017 年 1 月 15 日～19 日 |
| 試験場所 | 電力中央研究所 塩原実験場 |
| 試験方法 | 無人航空機を架台に固定した状態およびホバリングさせた状態で電界発生装置と磁界発生装置において電磁環境にばく露させ、その影響を測定する。 |
| 測定項目 | 各種機体データ |

表Ⅲ2.1.1.1-22 電磁界ばく露検証試験概要



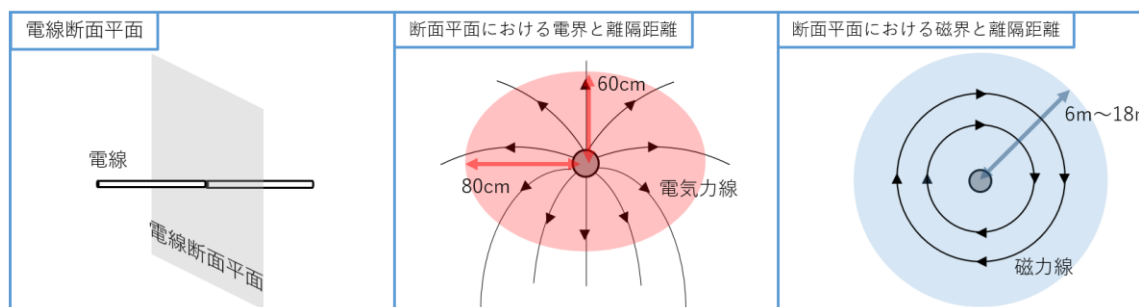
図Ⅲ2.1.1.1-21 電磁界ばく露検証試験の様子

試験結果を表Ⅲ2.1.1.1-23 に、離隔距離を図示したものを図Ⅲ2.1.1.1-22 に示す。電界のばく露試験では無人航空機が機体の制御方法に関わらず、80cm の離隔距離で挙動に異常が生じた。次に磁界のばく露試験では GPS と磁気コンパスを用いる機体が $30 \mu\text{T}$ の磁

気で異常を示した。これは1,000Aでは6m地点に相当する。画像処理のみで制御される機体は磁界に対して特に影響を受けないことも確認できた。

| 機体 | 制御方法 | 電界 | | 磁界 | | 離隔距離 |
|------------|-------------|---|---|---|---|------------------|
| | | 水平方向 | 垂直方向 | 高圧線南北方向 | 高圧線東西方向 | |
| PF1 標準 | GPS+ 磁気コンパス | 61.5 kV/m 印加時、 電源断 例)500kV 時 80cm 相当 | 82.1 kV/m 印加時、 電源断 例)500kV 時 60cm 相当 | 36 μ T 印 加時、磁 束密度/方 位異常 例)3kA 時 15m 相当 | 30 μ T 印 加時、磁 束密度/方 位異常 例)3kA 時 18m 相当 | 6m~18m (季節変動) |
| PF1-Vision | 画像処理 | 61.5 kV/m 印加時、 電源断 例)500kV 時 80cm 相当 | 82.1 kV/m 印加時、 電源断 例)500kV 時 60cm 相当 | 異常なし | 異常なし | 80cm |

表Ⅲ2.1.1.1-23 電磁界ばく露検証試験結果



図Ⅲ2.1.1.1-22 電界と磁界の離隔距離

検証試験結果より導出した試験方法を表Ⅲ2.1.1.1-24 と表Ⅲ2.1.1.1-25 に、ランク分けを表Ⅲ2.1.1.1-26 に示す。検証試験では無人航空機を架台に固定した場合と飛行させた場合の両方で試験を実施したが、結果が同じであったため、試験方法としてより安全な架台固定式を提案した。

| 項目 | 内容 |
|------|---|
| 試験方法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 試験対象となる無人航空機を耐電圧架台に固定し、起動する。 2. 無人航空機のテレメトリデータを監視し、通常時のデータを記録する。 ここでは1分間のデータの平均値を正常値とする。 3. 電界試験装置に500,000Vを印加した状態で無人航空機のテレメトリデータを監視し、通常時と比較し異常値(正常値から20%以上異なる値)がないか確認する。 4. 異常がなければ電界試験装置への通電を停止し、架台を次の水平距離まで移動する。 5. 上記の3~4の工程を繰り返し、異常が認められる水平距離を測定する。 |
| 測定項目 | 機体テレメトリデータ、異常が発生する水平距離(m) |
| 必要設備 | 電界発生装置 |

表Ⅲ2.1.1.1-24 電界ばく露試験方法

| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 試験方法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 試験対象となる無人航空機を非磁性架台に固定し、起動する。 2. 無人航空機のテレメトリデータを監視し、通常時のデータを記録する。 ここでは1分間のデータの平均値を正常値とする。 3. 磁界試験装置に試験する離隔距離に相当する磁界を発生させる電流を印加した状態で無人航空機のテレメトリデータを監視し、通常時と比較し異常値(正常値から20%以上異なる値)がないか確認する。 4. 異常がなければ磁界試験装置への印加する電流を次に試験する電流に変更する。 5. 上記の3~4の工程を繰り返し、異常が認められる印加電流を測定し、その際に相当する離隔距離を求める。 |
| 測定項目 | 機体テレメトリデータ、異常が発生する水平距離(m) |
| 必要設備 | 磁界発生装置 |

表Ⅲ2.1.1.1-25 磁界ばく露試験方法

| ランク | 基準(閾値) | 閾値の考え方 |
|-----|--------|---|
| 0 | 30m> | ランク1を満たさない無人航空機 |
| 1 | 30m | 遠望目視レベルの点検を実施する距離 |
| 2 | 11m | 移動式クレーンの離隔距離を想定し設定(電力会社が求める500,000V送電線における離隔距離) |
| 3 | 3m | スクリーニング点検等のために撮影を実施する距離 |
| 4 | 1m | 詳細な点検を可能とする距離 |

表Ⅲ2.1.1.1-26. ランク分け

(6) 知的財産権及び成果の普及

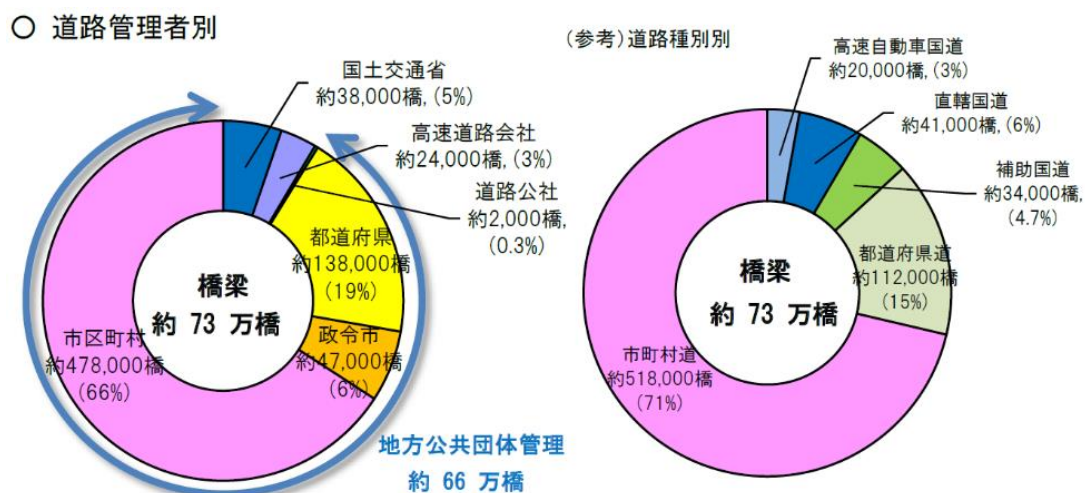
知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.1.1.2. 無人航空機を活用したインフラ点検分野

(実施先：富士通株式会社、日本電気株式会社、株式会社イクシス、株式会社エンルート、株式会社プロドローン)

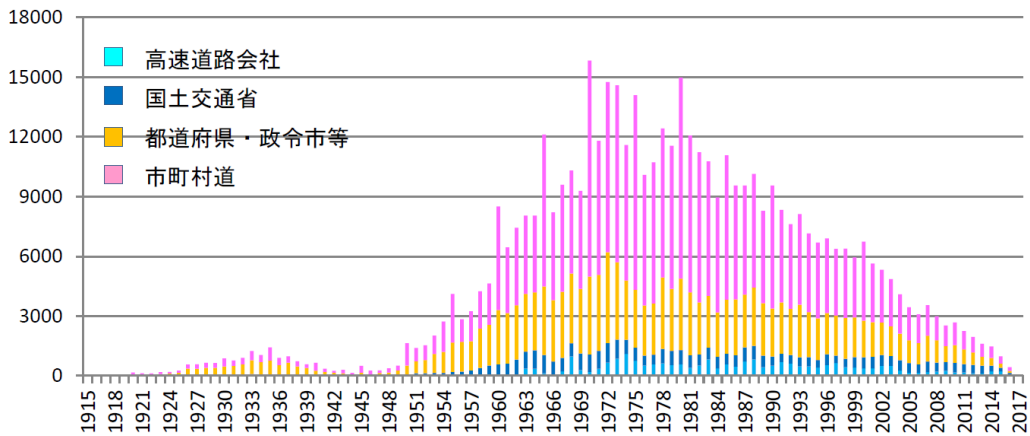
(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

わが国にある約 73 万の橋梁（図Ⅲ2.1.1.2-1 参照）は、高度成長期から集中的に整備されてきた社会インフラである（図Ⅲ2.1.1.2-2 参照）。近年この社会インフラの老朽化は急激に進みつつあり、建設後 50 年以上経過した橋梁の割合は、2017 年段階では 23%であったが 2027 年には 48%に達する（図Ⅲ2.1.1.2-3 参照）。このため老朽化による橋梁の安全性及び利便性の低下や修繕・更新工事費用の急激な増加が社会課題となっており、平成 26 年 6 月に「橋梁定期点検要領」が改定された。この改定によりそれ以前までは全国約 2 万橋を対象に行なわれていた「近接目視」や「打音」による維持管理のための定期点検を約 73 万橋の全橋梁に対して実施することになり、点検対象橋梁の数が大幅に増加することとなった。一方、技能労働者は現在約 340 万人であるが、労働者の高齢化等により今後 10 年間で約 110 万人離職するといった予測もある。したがって、急激に増加する維持管理費・点検費用の抑制や点検効率化が喫緊の課題となっており、維持管理分野への ICT の活用が期待されている。



道路メンテナンス年報 平成29年8月 [国土交通省](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h28/29_03maint.pdf) から引用

図Ⅲ2.1.1.2-1 管理者別の橋梁数



※この他に建設年度不明橋梁約 23 万橋

(出典) 道路局調べ(H29.3 時点)

道路メンテナンス年報 平成29年8月 [国土交通省](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h28/29_03maint.pdf) から引用

図Ⅲ2.1.1.2-2 建設年度別橋梁数



※この他に建設年度不明橋梁約 23 万橋

(出典) 道路局調べ(H29.3 時点)

道路メンテナンス年報 平成29年8月 [国土交通省](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h28/29_03maint.pdf) から引用

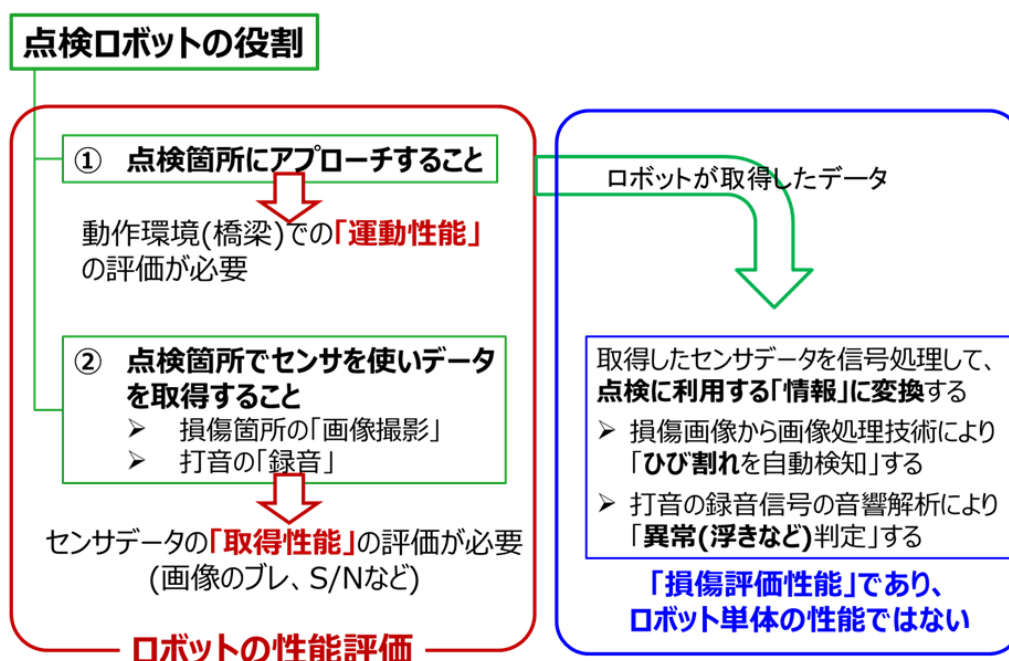
図Ⅲ2.1.1.2-3 建設後 50 年を経過した橋梁の割合

このような背景のもと、社会インフラに対する老朽化状態の把握や点検のために、周囲状況を自律的に把握しつつ高所や危険な場所にある対象物への移動・接近を実行する、無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットの開発が活発になっている。例えば、国家プロジェクトである「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」[1]や「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) /インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」[2]におけるインフラ点検用の各種ロボットの研究開発が挙げられる。また、民間でも各種インフラ点検ロボットが開発され、現場実証[3]等で実験・評価が行われている。更に、海外でも無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットの研究開発が進められており、今後、国内外を問わずインフラ点検ロボットの開発は益々加速されていくと予想される。

インフラ点検ロボット（図Ⅲ2.1.1.2-4 参照）の役割は、通常の Unmanned Aerial Vehicle (UAV) と比較して以下の 2 点で異なる。

- 1) 通常の UAV は物件に近づかないが、インフラ点検ロボットは点検箇所へ近接及び接触する。
- 2) 点検箇所の状態把握に役立つデータを取得する。

平成 28 年度の「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／ロボット性能評価手法等の研究開発／無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」では、図Ⅲ2.1.1.2-4 の“①橋梁のデータ取得個所に接近するときの構造物周辺における UAV の「運動性能」”と“②UAV に搭載されたセンサを用いて橋梁点検に必要なデータ（近接画像、打音データなど）を取得する「データ取得性能」”を明らかにするための評価手法を開発した。



図Ⅲ2.1.1.2-4 インフラ点検ロボットの役割

1. 目的

平成 29 年度の研究開発の目的は、インフラ点検ロボットにおける運動性能とデータ取得性の評価基準とその評価手法をブラッシュアップすることである。運動性能においては、位置性能・姿勢性能といった評価基準と評価方法を明確にする。また、点検業者（ユーザー）が行いたいミッションを把握し、ミッション（目的）、シナリオ、環境条件などを定義した上でのミッション試験を検討し、性能評価基準と評価方法を明確にする。更に、実証実験を通じて各評価基準と評価方法を検証するとともに、各評価に必要な計測装置を検討し、実証実験を実施したうえで妥当性を確認する。なお、実際の橋梁点検におい

では風の影響が大きいいため、その影響を評価するために実証実験環境において再現性のある人工風を生成できる風向風速装置を検討・検証する。

2. 概要

本目的を達成するためにインフラ点検ロボットの性能評価の評価基準と評価手法の策定、検証のための実証実験の施設構築や実施等を各社で以下のように分担した。

「インフラ点検ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」（富士通株式会社）

- ・インフラ点検ロボットの近接画像データ取得性能評価基準とその評価手法の策定と実証実験による検証

「打音検査ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」（日本電気株式会社）

- ・インフラ点検ロボットの打音データ取得性能評価基準とその評価手法の策定と実証実験による検証

「無人航空機および各種インフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」（株式会社イクシス）

- ・インフラ点検ロボットの運動性能（位置精度）の評価基準とその評価手法の策定と実証実験による検証

「無人航空機を活用したインフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」（株式会社エンルート）

- ・実証実験用施設構築、風向風速装置開発と近接画像データ取得性能評価を通じての検証

「無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットのユースケース分析および性能評価手法等の研究開発」（株式会社プロドローン）

- ・インフラ点検ロボットの運動性能（姿勢精度）の評価基準とその評価手法の策定と実証実験による検証

なお、本研究開発は、ロボット技術や橋梁点検業務等の有識者で構成される「橋梁点検のための無人航空機 性能評価検討委員会」での議論や審議内容を踏まえて進めた。

（2）研究開発目標と根拠

① 「インフラ点検ロボットシステム」のインフラ点検適用検討（全社共通）

橋梁点検分野でのロボットシステム適用に関しては、国土交通省の定める点検要領への準拠に加え、ロボットシステムに求められる性能そのものを明確化する必要がある。昨年度は国土交通省をはじめとする関連機関へのヒアリング調査や関連文献調査等により、ニーズの掘り起こしと性能評価基準（案）の作成を実施した。本研究開発においては、NEDO と共に国土交通省をはじめとする関連ステークホルダーと協議を行い、性能評価基準や測定項目、測定条件等の見直しを実施し、今後、優先すべき測定項目等を明らかにすると共に、

福島ロボットテストフィールド（以下、福島 RTF）の施設・設備継続提案等へ反映する。
具体的な役割分担は以下のとおり。

② 「インフラ点検ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」（富士通株式会社）

富士通株式会社（以下、富士通と略記）は、現在の近接目視点検の支援、高度化に利用できるインフラ点検ロボットシステムのロボット性能の評価軸（評価項目）、試験方法の妥当性確認及び評価値（数値）の決定のための研究開発を行う。2016年度の研究開発では推進委員長の指導の下、橋梁点検業務の有識者へヒアリング調査の結果、ドローンやロボットによる近接画像収集に対しての測定項目を以下の（A）と定義し性能評価基準と試験方法を定めた。また、（A）評価するための必要条件を（B）とした。

測定項目（A）：画像収集に要する時間

必要条件（B）：測定箇所の網羅性（漏れが無いこと）

（A）に関しては、現場の運用性を考慮した場合、短時間で終わることが望ましく、少なくとも点検員の近接目視に要する時間より短時間であることが必要である。また、（B）に関しては、部材に対する点検箇所として、「全面」と「指定点検箇所」があるが、いずれの場合も、目的箇所に対して漏れがあってはならない。

近接画像データ取得性能の測定項目と測定条件を明らかにする。

特に、点検業者（ユーザー）が行いたいミッションを把握し、ミッション（目的）、シナリオ、環境条件などを定義した上でのミッション型試験を検討し、近接画像データ取得の性能評価検証技術の測定方法の詳細を検討する。追加実施項目として、開発する検証技術の正当性と試験項目および評価基準の妥当性を検証するため、以下の模擬橋梁を用いた検証を実施、妥当性のエビデンスを取得する。

屋外に設置した簡易模擬橋梁の周囲に各種センサを配置して、近接画像データ取得性能評価に必要なセンサ種類や配置を検討する。ミッション型試験は高橋脚を想定し、床版は個別性能評価試験にて検証する。

また、外部からミッションにおける詳細な飛行ルートおよび飛行状態を記録し、取得した近接画像データを突き合わせて近接画像データの収集漏れの有無判断を行う。

近接画像取得環境を記録するための環境計測記録項目を策定する。

さらに、近接画像評価のためのテストチャートを検討試作、簡易模擬橋梁に設置し、評価を行う。本検証を通じ、性能評価基準の妥当性確認と評価値を策定する。

加えて、福島RTFへ試験のための設備等を提案していく。

③ 「打音検査ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」（日本電気株式会社）

日本電気株式会社（以下、日本電気と略記）は打音検査によるインフラ点検ロボットシステムが備えるべき性能および安全性の評価軸、それを測定するための標準的試験方法を研究開発する。

無人航空機等を用いた打音検査は、高所や危険な現場など人が近づきにくい場所に対しても足場を組む必要なしにアプローチして効率的な点検を実現し、また、対象部位の表面を直接たたくため対象内部の劣化や欠陥、締結構造の緩みの検出など、トンネル・橋梁などのインフラ点検における内部欠陥検出への効果が期待される。一方で、一点ずつの確実な対象表面への接触、打検位置の管理・記録、壁など構造物へ無人航空機の近接飛行、など困難な課題も多く含む。本打音検査ロボットシステムの実用化には、これらの課題を解決し適切な性能と安全性をロボットシステムが備える必要がある。

2017年度は点検業者（ユーザー）が行いたいミッションを把握し、ミッション（目的）、シナリオ、環境条件などを定義した上でのミッション型試験を検討し、打音によるデータ取得の性能評価検証技術の測定方法の詳細を検討する。追加実施項目として、開発する検証技術の正当性と試験項目および評価基準の妥当性を検証するため、以下の模擬橋梁を用いた検証を実施、妥当性のエビデンスを取得する。

③-1 屋内に設置した簡易模擬橋梁によるロボット性能評価試験技術の検証

屋内に設置した簡易模擬橋梁の周囲に各種センサを配置して打音検査ロボットによる検査動作の計測を繰り返す初期検証により、打音検査ロボットおよび打音検査ツールの位置・姿勢計測に必要なセンサ種類や配置を検討する。

③-2 屋外に設置した簡易模擬橋梁によるロボット性能評価試験技術の検証

③-1で得られた結果を検査手法にフィードバックするとともに、打音によるデータ取得に関するロボット性能検証を所定の屋外環境下で実施可能なセンサ設置構造を検討・製作する。屋外に設置した簡易模擬橋梁に当該センサを設置し、ロボットのデータ取得性能評価試験を実施、試験方法と評価基準の妥当性を検証する。得られた結果はエビデンスとして記録する。以上を通して打音によるデータ取得性能評価項目と評価基準及び評価方式を策定する。

④「無人航空機および各種インフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」（株式会社イクシス）

株式会社イクシスは、無人航空機等を用いてインフラ点検を行う際に必要となる機体の性能を評価するための評価軸の策定および性能レベルを数値化するために、特に機体の位置測定手法の確立を研究開発する。

インフラ点検において無人航空機等を用いる場合、要点検箇所へアクセスする必要があるが、その際の位置決め精度は一定の評価基準の下で数値として示される必要がある。

2017年度は、これらの課題を解決するため、位置精度の測定項目と測定条件を明らかにする。加えて、福島RTFへ試験のための設備等を提案していく。また、以下を実施する。

- ・複数種類のドローンをミッションプロファイルに即して飛行させ、その姿勢を 3D モーションキャプチャで位置姿勢計測を行い、停止位置偏差を求める。
- ・操縦者の練度の違いを比較するため、複数オペレータにて飛行試験を行う。
- ・複数の停止位置偏差結果から、性能評価指標を決定する。
- ・性能評価指標に基づき数値化を行い、指標の妥当性を検討する。

⑤ 「無人航空機を活用したインフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」（株式会社エンルート）

耐風性能の測定項目と測定条件を明らかにする。加えて、具体的な試験方法や使用する測定器等の仕様を検討し福島 RTF へ試験のための設備等を提案していく。

点検業者（ユーザー）が行いたいミッションを把握し、ミッション（目的）、シナリオ、環境条件などを定義した上でのミッション型試験を検討し、耐風性能として、強風環境での近接画像データ取得を行った場合の性能評価検証技術及び、測定方法の詳細を検討する。追加実施項目として、開発する検証技術の正当性と試験項目および評価基準の妥当性を検証するため、以下の模擬橋梁を用いた強風環境での検証を行い、妥当性のエビデンスを取得する。

- ・屋外に設置した簡易模擬橋梁によるロボット性能評価試験技術の耐風性能検証

屋外に設置した簡易模擬橋梁の周囲に送風機を配置して近接画像データ取得を行い、風量や、風向きを変化させて計測を繰り返す初期検証により、送風量や送風機の位置・風向き、風速計測に必要な風速計の種類や配置を検討する。

・耐風性能検証で得られた結果を検査手法にフィードバックするとともに、近接画像データ取得に必要な損壊部を模擬した簡易なテストピースを検討・設置する。簡易なテストピースを設置し、ロボットのデータ取得性能評価試験を実施、試験方法と評価基準の妥当性を検証する。得られた結果はエビデンスとして記録する。以上を通して強風環境による橋梁点検データ取得性能評価項目と評価基準及び評価方式を策定する。

⑥ 「無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットのユースケース分析および性能評価手法等の研究開発」（株式会社プロドローン）

無人航空機を用いたインフラ点検においては、特殊な形状の対象に近接することになるため、開放空間での運動特性、安定性能とは異なる能力が必要であり、評価手法も変える必要がある。

姿勢精度の測定項目と測定条件を明らかにする。加えて、具体的な試験方法や使用する測定器等の仕様を検討し福島 RTF へ試験のための設備等を提案していく。

なお、現段階で想定する評価項目は以下のとおりである。

- 1) 上下左右前後の位置変動量、および時間あたり変動量
- 2) 3 軸の回転変化量、および時間あたり変動量
- 3) 気圧もしくは風量センサの値変動量、および時間あたり変動量（参考値）

前記の取組により、この評価項目の妥当性を評価し具体的な検証方法を検討していく。
また、以下を実施する。

- ・当初想定していた中型～大型の点検用ドローンに加え、狭隘部の点検などにも検討可能なより軽量のドローンについてもミッションプロファイルを実施し、計測を行う。
- ・狭隘部撮影に関し、特殊なカメラを想定し、ミッションプロファイルを実現する複数の手法を検討、および計測し、評価手法として追加の可能性を検討する。
- ・性能評価指標に基づき数値化を行い、指標の妥当性を検討する。

(3) 研究開発スケジュール

次ページの表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| 事業項目 | 2017 年度 | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|
| | 第 1 四半期 | 第 2 四半期 | 第 3 四半期 | 第 4 四半期 |
| ① 「インフラ点検ロボットシステム」のインフラ点検適用検討（全社共通） | | | | → |
| ② 「インフラ点検ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」（富士通株式会社） | | | | → |
| ③ 「打音検査ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」（日本電気株式会社） | | | | → |
| ④ 「無人航空機および各種インフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」（株式会社イクシス） | | | | → |
| ⑤ 「無人航空機を活用したインフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」（株式会社エンルート） | | | | → |
| ⑥ 「無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットのユースケース分析および性能評価手法等の研究開発」（株式会社プロドローン） | | | | → |

表Ⅲ2.1.1.2-1 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

2016年度は橋梁点検業務に関する有識者へのヒアリング調査を実施し、インフラ点検ロボットの運動性能とデータ取得性能の重要性を明らかとした。2017年度は運動性能およびデータ取得性能の測定項目と測定条件を明らかとするとともに、点検業者（ユーザー）の点検ミッションを把握し、点検シナリオ、環境条件などを定義した上でのミッション試験を検討した。また、橋梁点検業務では風の影響が無視できないため再現性ある人工風を生成する送風装置を含む実証試験環境を構築した。そして、同試験環境での実証実験を通して評価基準や評価方法を検証し、福島ロボットテストフィールド（以下、福島RTF）に対して試験設備等を提案した。

具体的な研究開発内容は以下のとおりである。

1. 「インフラ点検ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」

性能評価基準検討委員会の議論等を踏まえ、2016年度に開発した性能評価基準と評価方法を見直した。また、評価を実施する際の測定機器や近接画像撮影評価用テストピースを検討した。その検討結果に基づき簡易模擬橋梁にて実証実験を行い、策定した性能評価基準とその評価方法、計測機器等の妥当性を検証し、エビデンスを取得した。

2. 「打音検査ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」

コンクリート橋梁の床版と桁及び橋脚への打音データ取得性能の測定項目と測定条件を明らかとするとともに、まず屋内での初期検証によりカメラの配置及び指向方向の妥当性を検証した。次に、屋外に設置した模擬橋梁を用いて無人航空機による打音検査に対する性能評価手法を検証した。点検シナリオ、環境条件などを定義した上でのミッション型試験により、モーションキャプチャ測定結果から位置誤差と角度誤差を導出し試験方法の妥当性のエビデンスを取得した。

3. 「無人航空機および各種インフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」

UAVを利用して橋梁点検を行う場合、風などの影響で支承部へのアクセスが難しいと考えられる。そこで、UAVの運動性能（位置性能）評価において、支承部に着目してUAVの性能評価手法を検討した。実証実験においてその手順を検証し、その結果から性能評価基準を定め、評価基準書案へ反映した。

4. 「無人航空機を活用したインフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」

橋梁点検において最大の敵となるのは風であり、再現性のある実証実験環境を構築する事でUAVの風に対する性能評価が可能となる。そこで、再現性のある人工風を生成する送風装置を開発し、近接画像データ取得性能評価のための実験を通して検証した。また、実証実験場においては安全対策を施した環境を構築した。

5. 「無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットのユースケース分析および性能評価手法等の研究開発」

インフラ点検ロボットシステムの性能評価手法の研究開発において、特にドローンの運動性能の評価手法を検討した。本年度はその評価方法の妥当性検証と精査のため、非開放空間における運動性能評価手法を掘り下げて検証した。特に構造へ近接したドローンの運動をモデル化し、その運動性能のパラメータを定量化することに注力し、評価手法を提案した。

2016年度作成した性能評価基準と評価手法案を、性能評価基準検討委員会での協議等の結果も踏まえブラッシュアップした。評価方法としては、点検業者（ユーザー）が行いたいミッションを把握し、ミッション（目的）、シナリオ、環境条件などを定義した上でのミッション試験を策定した。具体的にはエラー！参照元が見つかりません。に示した道路橋定期点検要領の評価単位に準じた3つのモデル（①上部構造、②下部構造、③支承部）のミッション試験を策定した。ブラッシュアップした評価基準や評価方法の妥当性を検証するため、エンルート・ドローンフィールド東金の簡易模擬橋梁に実証実験環境を構築した。特に、橋梁の近傍では風がUAVの飛行に大きく影響を与えることから、可変型風向風速装置を開発し、人工風を含めた運動性能試験が実現できる環境を整備した。そして、この実証実験環境にてデータ取得性能と運送性能の評価基準と評価手法案を検証し、妥当性のエビデンスを取得した。本結果を踏まえて性能評価手順を立案し、福島RTFに向けた測定装置等を提案した。以上より、本研究開発の目的を達成した。

（5）成果の詳細

1. 「インフラ点検ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」（富士通株式会社）

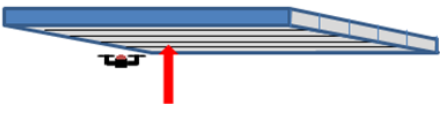
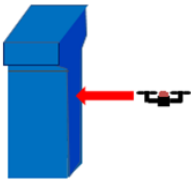
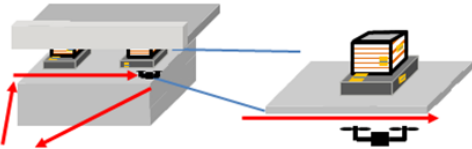
UAVを用いた橋梁の近接画像データ取得においては、撮影に要する時間と画像品質が重要となる。加えて、それら要素は風や太陽光などの時々刻々と変化する自然環境条件下で飛行するUAVの運動性能と搭載するカメラの撮影機材性能との総合性能に依存する。そこで、近接画像データ取得性能をブラッシュアップした。データ取得性能の評価項目としては、機体性能や環境を含む撮影条件を明確にした上で撮影に要する「時間」と取得した近接画像の「品質」を基本的な性能基準と定めた。このうち「時間」においては、UAVの離陸地点から近接撮影を行う空域までの移動時間や撮影にかかる時間を計測することとした。また、「品質」においては、ひびわれ、亀裂、剥離・鉄筋露出、腐食、漏水・遊離石灰などの損傷を人が視認できる程度の品質を有していることが最低条件であるという考え方にに基づき、取得した近接画像を主観評価するものとし、近接画像データ取得性能の評価基準を表Ⅲ2.1.1.2-2のように定めた。

| 指標 | 内容 |
|------|--|
| 作業時間 | 近接画像データを取得するのに要する時間 |
| 網羅性 | 全撮影対象画像に対して判読できた撮影箇所の数との比 ※特定箇所のデータ取得の場合は、以下の値で定義する。 ・特定画像に対して判読できた撮影箇所の数との比 |

表Ⅲ2.1.1.2-2 近接画像の取得に関する性能評価基準

また、性能評価基準検討委員会での協議等に基づき、性能評価手法は道路橋定期点検要領（平成26年6月国土交通省道路局）の評価単位である3つのモデル（表Ⅲ2.1.1.2-3参照）に準じたミッション試験として定め、昨年度の評価手法案に対して以下の見直しを実施した。

- ・今後のドローンの性能向上に対応できるように評価ランクは設けず評価時の実測値を記録する。
- ・性能評価基準と定めたデータ取得性能の網羅性では、点検ロボットの撮影特性を明らかにするため撮影成功箇所を具体的に図示する。
- ・インフラ点検時の作業工数を見積れるようデータ取得時間に加え、機体準備等の時間を含むミッション試験全体の各作業時間を記録する。

| | | |
|------|---------------------------|--|
| 上部構造 | コンクリート床版 コンクリート桁 鋼桁 |  |
| 下部構造 | コンクリート橋脚 鋼橋脚 |  |
| 支承部 | 支承・沓座 |  |

表Ⅲ2.1.1.2-3 道路橋定期点検要領の評価単位に準じた3つのモデル

以上の実証実験結果を踏まえ、表Ⅲ2.1.1.2-2に示した性能評価基準の作業時間については、エラー！ブックマークが定義されていません。頁のエラー！参照元が見つかりません。に示した手順で測定することにした。また、網羅性については、試験ミッションでの撮影箇所に対して、判読できた撮影箇所の比率で定めた。特に、撮影箇所が今回用いたテ

ストピースの場合には、判読対象はテストピースの実線の線幅を用い、判読可否はあくまで指定の線幅の線が判読できたかどうかで判断することとした。実証実験結果を踏まえて、作成した近接画像データ取得性能評価結果表への記載例を表Ⅲ2.1.1.2-4に示す。

| | | | | |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| データ 取得性能 | UAV飛行経路 データ取得成功箇所 (○：成功、×：失敗) | | | |
| | データ取得箇所 | | 全箇所・広域 / 特定箇所 | |
| | 画像 | 線幅 | 0.1mm・0.2mm・0.3mm・0.5mm・1.0mm | |
| | | 網羅性 | 38 / 45 | |
| | 打検 | 打検器 先端 | 位置誤差 | mm |
| | | | 角度誤差 | 度 |
| | | 網羅性 | / | |
| | 作業時間 | 機材準備時間 | | 3分43秒 ※備考：組立済機体に対し機体チェック、テスト飛行等を実施 |
| | | 飛行時間 | 工程A(離陸→移動) | 17秒 |
| | | | 工程B(データ取得) | 1分20秒 |
| 工程C(帰路→着陸) | | | 15秒 | |
| バッテリー交換時間 | | 0秒 (交換して再飛行する場合) | | |
| 機材撤収時間 | | 50秒 ※備考：機体を梱包し、実験エリアから退避 | | |
| 合計 | | 6分25秒 | | |

表Ⅲ2.1.1.2-4 近接画像データ取得性能評価に関する結果表の記載例

2. 「打音検査ロボットシステムの性能評価手法等の研究開発」(日本電気株式会社)

データ取得にあたっては、対象部位のデータを漏れなく取得する網羅性とデータ取得時間が重要となる。打音による対象部位の損傷の「うき」に関するデータ取得では、打検器を対象部位に接触させ対象部位表面を叩いた結果の音データを記録する。性能評価に当たっては、打検器先端の対象部位への接触がどのくらい確実に実行されたかの測定により網羅性を評価する。そこで、打検器先端の指定位置への位置精度(位置誤差)と対象部位表

面となす角の規定値からのずれ（角度誤差）の大きさを評価し、対象部位に対して打検動作の実行を確認した部位の比率を網羅性の指標とする。

打音データ取得性能は、対象のうち指定部位全体に渡って広く必要なデータを取得する「指定部位のデータ取得（広域）」と、過年度データ取得箇所の損傷の進行度合いを確認するなどの目的でピンポイントに必要なデータを取得する「特定箇所のデータ取得」の二種にて評価する。性能評価にあたり、「指定部位のデータ取得（広域）」では打検器先端の指定位置への位置精度（位置誤差）と対象部位表面となす角の規定値からのずれ（角度誤差）を網羅性の性能評価指標とし、「特定箇所のデータ取得」ではさらに指定位置を細かく指定して検査を実施する。

以上に実行時間の測定結果を加えた4種の指標に関して評価を実施し、総合的に当該ロボットの性能評価を実施する。

| 指標 | 内容 |
|------------|---|
| 実行時間 | 指定作業の実行時間 |
| 打検器先端：位置誤差 | 打検器先端の指定位置への位置決め精度 |
| 打検器先端：角度誤差 | 打検器先端の対象面との接触角度精度 |
| 網羅性 | 対象部位に対して打検器によって検出できた部位総数の比 ※特定箇所のデータ取得の場合は、以下の値で定義する ・特定部位に対して検出できた部位総数の比 |

表Ⅲ2.1.1.2-5 打音の性能評価指標

計測結果を記録する帳票のフォーマットを検討し性能評価検討委員会での議論も踏まえ、性能評価手順を立案した。打音検査ロボットのデータ取得性能評価手順として性能評価の考え方、テストピース、測定方法、ミッション試験などについてまとめた。実際の性能評価はミッションプロファイルに従い、「風速」「環境照度」の条件を変えて（環境条件を変えられない場合は評価時の環境条件を測定・記録する）屋外で試験を実施し、評価結果表に試験結果を記入する。なお、複数回試験を実施した場合には、結果表には試験結果の最悪値を記載することとする。

3. 「無人航空機および各種インフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」

（株式会社イクシス）

ドローンの運動性能（位置精度）を評価するにあたり、橋梁上部構造の点検において風などの影響により、その運動性能に大きな差が生じやすく、また点検においてその性能が非常に重要になる部位として支承部を候補として挙げた。

支承部は幾つかの種類があるが、上部構造と下部構造を接続する部分で上部構造の重量及び振動を一手に支える重要部位であり、かつ損傷も出やすい部位である。そのため点検

においては必ず実施され沓座の破損具合、ボルトの緩みなど橋梁点検要綱に沿って行われる。

このような部位にドローンの活用を想定した場合、支承部に近接して高精細な画像を取得する必要があり、また5年に1度の定期点検時に、毎回同じ位置から撮影できることも、経時変化を比較するうえでも重要である。

しかしながら支承部は上部構造と下部構造を接続する部位であるため、非常に複雑な風が吹くことが分かっており、このような環境下で正しくドローンの運動性能が評価できることが求められる。

そこで本研究開発では、風の影響下でのドローンの運動性能評価を行う。

その手順としては、橋軸方向から支承部を抜けてくる方向からの風速を表Ⅲ2.1.1.2-6による4つのレベルで設定する。

| レベル | 範囲 | 考え方 |
|------|--------------------------|--|
| レベル0 | 無風 | UAVを用いて点検できることが必須条件 |
| レベル1 | 平均風速 3m/s 未満 | レベル2に至らない中間の風速として設定 |
| レベル2 | 平均風速 5m/s 未満 | 独自の飛行マニュアルを作成せず、「航空局標準飛行マニュアル」を用いる場合には、「風速 5m/s 以上の状態では飛行させない」とあるので、性能評価の目安になるように、この値を本レベルの値として採用する。 |
| レベル3 | 平均風速 5m/s 以上 10m/s 未満 | 労働安全衛生規則では「事業者は、高さが2メートル以上の箇所で作業を行なう場合において、強風、大雨、大雪等の悪天候のため、当該作業の実施について危険が予想されるときは、当該作業に労働者を従事させてはならない。」（第五百二十二条）と定められており、「強風」は「10分間の平均風速が毎秒10メートル以上」とされている。人と同程度の作業能力を有するロボットは最大で平均風速 10m/s の状況下での作業性能を有している必要があり、このレベルの値として採用する。 |

表Ⅲ2.1.1.2-6 風速レベルの考え方

以上の実証実験より表Ⅲ2.1.1.2-7に示す評価結果表へ試験結果の最悪値を記載することとする。

| | | |
|-------|--|--|
| 部位※ | コンクリート床版／コンクリート桁／鋼桁／ コンクリート橋脚／鋼橋脚／支承／沓座 | |
| 接近距離* | 1m未満 (cm) ・ 1m ・ 2m ・ 3m ・ 4m | |
| 試験結果 | 最大変化量 Δ / [cm] | |
| | 最大変化量 Δz [cm] | |
| | 外乱復元時間 [s] | |

※該当するものに○を付ける

* 設定した距離に○をつける。1m 未満については実際の設定距離を記載する

表Ⅲ2.1.1.2-7 構造物近傍での安定性能に対する評価結果表

4. 「無人航空機を活用したインフラ点検ロボットの性能評価手法等の研究開発」 (株式会社エンルート)

本研究開発では、人工的な風を設定して評価を実施する。

送風機1台による評価は一方向からの一定風速(人工流1)に対する能力の測定である。実際の環境のほうが厳しい環境となるが、その厳しさを定量的に再現性高く生成することが困難であったため、限られた環境での再現性を重視し、多少厳しい状況で、足切り程度には判断できる環境として送風機2台による人工流(人工流2)も設定して計測した。

風速装置の回転数を調整出来るマイコン制御機能を開発し送風能力を可変可能とした。開発した可変型・風向風速装置のうち、地上置き装置は送風機の車輪で移動が容易となるよう開発した事で、送風距離、送風方向、送風強度を容易に変更が可能になった。地表以上の送風では重機を使い移動させる事で、指定した方向から無段階の風を構築する事を可能にした。

5. 「無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットのユースケース分析および性能評価手法等の研究開発」(株式会社プロドローン)

詳細は本節B)で記述するが、運動性能(姿勢精度)の評価指標として、外乱の有無による水平および垂直の変動距離[cm]、および外乱からの復元時間[sec]を採用した。

機体の傾斜角を評価指標として採用しなかった理由は、固定ピッチドローンにおける水平移動では姿勢変化を必要とするため、外乱を吸収、相殺するためには傾斜が必須であり、すなわち、外乱に対し現在位置を維持するためには、外乱の方向や強さに応じて積極的に姿勢を変動させる必要があり、傾斜の度合（姿勢角の変動量）で安定性を規定することが適切でないためである。

外乱の程度が大きくなると、姿勢を変動させて現在位置を維持することが困難となり、結果として水平位置や垂直位置が変動する。これはドローンが外乱に対応しきれなかった結果であり、この移動量を安定性の指標とすべきと考えた。すなわち「揺れたとしても動かない」ドローンを安定したドローンとして評価した。

測定では、外乱と水平および垂直に移動量を主として測定し、姿勢変動角は参考値とし、IMUの演算による値を測定した。

また、外乱として人工風の検討を行なった。送風機1台による評価は一方向からの一定風速に対する能力の測定である。オペレータの操作感覚および測定結果からも実際の環境のほうが、厳しいことが判明したが、その厳しさを定量的に再現性高く生成することが困難であったため、限られた環境での再現性を重視し、多少厳しい状況で、足切り程度には判断できる環境として送風機2台による人工流も設定して計測することとした。

なお、その時の「風速」は、表Ⅲ2.1.1.2-8に示すレベルの値を設定するものとし、開放空間となる環境で送風機1台毎に指定の値になるように設定した。

さらに外乱としての人工流は、表Ⅲ2.1.1.2-9に示すパターンとした。

上記の設定に関して、補足を記述する。

簡易模擬橋梁での実証実験では、剪断流を作ることができたが、その後ろに安定した渦管は生成しなかった。

レイノルズ数を上げることにより渦管は発生しやすくなるが、このレイノルズ数を上げることは、すなわち、より風速を上げるか、橋梁の幅を広くするか、空気密度を上げる（湿度を上げる）かなどの環境変更が必要である。しかし、今回調達可能な装置と設備ではこれらを容易に実現することが難しく、代替案として対向した位置に別の送風機を設置することである程度再現性のある乱流を作り計測した。それが渦管でないとしても、発煙筒で簡易に検証した結果、機体サイズ程度の乱流は生成できており、UAVの運動安定性能という観点のみで評価すれば、実際の環境を十分推測可能な測定ができたと考える。

| レベル | 範囲 | 考え方 |
|------|--------------------------|--|
| レベル0 | 無風 | 無風で点検出来る事が必須条件 |
| レベル1 | 平均風速 3m/s 未満 | レベル2に至らない中間の風速として設定 |
| レベル2 | 平均風速 5m/s 未満 | 独自の飛行マニュアルを作成せず、「航空局標準飛行マニュアル」を用いる場合には、「風速 5m/s 以上の状態では飛行させない」とあるので、性能評価の目安になるように、この値を本レベルの値として採用する。 |
| レベル3 | 平均風速 5m/s 以上 10m/s 未満 | 労働安全衛生規則では「事業者は、高さが2メートル以上の箇所で作業を行なう場合において、強風、大雨、大雪等の悪天候のため、当該作業の実施について危険が予想されるときは、当該作業に労働者を従事させてはならない。」（第五百二十二条）と定められており、「強風」は「10分間の平均風速が毎秒10メートル以上」とされている。人と同程度の作業能力を有するロボットは最大で平均風速10m/sの状況下での作業性能を有している必要があり、このレベルの値として採用する。 |

表Ⅲ2.1.1.2-8 風速レベル

| パターン | 人工流の区分 | 内容 | 風速レベル |
|------|--------|-----------------------------|-------|
| 1 | 人工流なし | 自然風のみ | — |
| 2 | 人工流1 | リフターに搭載した送風機1台による水平方向流 | レベル1 |
| 3 | | | レベル2 |
| 4 | | | レベル3 |
| 5 | 人工流2 | 送風機2台を用い異なる方向からの風が合流した空間で評価 | レベル1 |
| 6 | | | レベル2 |
| 7 | | | レベル3 |

表Ⅲ2.1.1.2-9 人工流パターン

(6) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.1.1.3. 水中ロボットを活用したインフラ点検分野

(実施先：パナソニック株式会社、朝日航洋株式会社、パナソニックシステムソリューションジャパン株式会社)

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

ダム及び河川における水中ロボットを実際の現場に導入する前に性能を評価するための評価項目や評価方法等の手法を研究開発した。研究体制は、ダム水中ロボットの研究開発及び性能評価手法の研究開発を担当するパナソニック株式会社と、河川水中ロボットの研究開発を担当する朝日航洋株式会社、並びに研究開発プロジェクトを推進するパナソニックシステムソリューションズ ジャパン株式会社の3社で実施し、また当該分野の有識者との推進委員会を構成し、専門的な意見を頂きながら推進した。

現在、公共インフラの老朽化、防災・減災対策として公共インフラの維持管理が社会課題の一つとして取り上げられ、ロボット利活用による点検業務の効率化や安全性向上が期待されている。本研究開発の目的は、水中ロボットを活用した水中インフラ点検を実施する上での機体の性能評価手順等を、点検業者のミッションを把握し「ミッション型試験」を前提としたものとして開発すると共に、福島ロボットテストフィールドの施設・設備の提案を実施することである。

本研究開発では、インフラ点検用途等に開発され、相応の評価を得ているダム及び河川向けの水中ロボットを準備し、水中ロボットの性能評価手法を検討する。

水中ロボットは、国土交通省「次世代インフラ用ロボット現場検証委員会」の水中維持管理部会河川の部で試行導入に推薦された河川用ロボット（朝日航洋）と、同委員会ダムの部で試行導入に推薦されたダム用ロボット（パナソニック）を基にして性能評価手法の研究開発を実施した。また、当該分野の有識者との推進委員会を構成し、専門的な知見を加味して研究開発を推進する。

ダム、河川等の水域インフラ構造物は、インフラによって環境条件、点検項目、点検方法も異なり、水中ロボットに求められる性能品質も異なるため、インフラ毎に整理し、評価手法をまとめることとした。さらに性能評価施設案についても、併せて検討する。

以下に主な研究内容を記載する。

(1) 保有情報の共有と整理

ダム及び河川点検におけるロボットに要求される機能、点検内容、環境条件等を実施機関間で共有し、水中ロボットの性能評価手法の検討に必要な事項を整理する。

(2) 推進委員会での議論・検討

ダム及び河川における水中ロボットの点検項目、点検における性能、性能評価項目、性能評価手法等の検討に関して、推進委員会を3回実施し、有識者の助言、意見等を参考にしながら客観性のある研究開発を推進する。

附属書 2 に推進委員会議事録を記載する。

(3) 性能評価手法の検討

①性能評価における要求品質の検討

上記(1)、(2)の情報を基に、要求品質展開表(附属書3)を作成し、水中ロボットに共通な要求仕様と対象別の固有な要求仕様を整理する。

②性能評価項目と環境条件の検討

推進委員会での議論を踏まえ、水中ロボットの性能評価項目と性能を評価するための環境条件を整理する。

③性能評価手順案の検討

性能評価項目に対する評価指標等を検討し、性能評価項目、環境条件、性能評価指標等の性能評価に必要な事項を整理し、性能評価手法としてまとめ、「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価基準検討委員会(以下、性能評価基準検討委員会)」及び推進委員会での議論を踏まえ、ダム及び河川における水中ロボット性能評価手順案を検討する。

④性能評価施設の検討

水中ロボット性能評価用の水槽施設の環境条件、構成案等を検討し、福島ロボットテストフィールドへ性能評価施設の提案を行う。

(2) 研究開発目標と根拠

①保有情報の整理・共有(担当:パナソニック、朝日航洋)

各社それぞれがダム・河川のインフラ点検に求められると想定されている点検項目(環境条件を含む)とロボットの性能(現状のダイバーとの対比によるロボット点検の効果明確化を含む)、及びこれまでに実施した評価内容を抽出し共有化を図る。不足の情報がある場合は、補完調査を実施する。

②有識者(推進委員会含む)等へのヒアリング調査

(担当:パナソニック、朝日航洋、パナソニック システムソリューションズ ジャパン)

ダム・河川の管理者が要求する点検項目や環境条件(水中環境の変化を含む)、並びにテストピースにより、所望のテストが模擬できているか否かを調査する。

- ・調査項目: ロボットを活用したインフラ点検要領調査(ダム点検、河川点検)
- ・調査目的(その必要性含む): 今後、構築が予想されるロボットを活用したインフラ点検要領で定められる基本点検内容と整合する評価項目になっているかの方向性的見極め
- ・調査方法: インフラ維持管理に関連する有識者へのヒアリングにより、「今後の

ロボットを活用したインフラ点検要領策定」の方向性を探る。なお、本調査においては、具体的な機材使用の想定はなく、ドキュメントとしては、平成 28 年の活動成果である基準書を活用した調査活動を想定している。

③既存施設を用いた評価手法の検討（担当：パナソニック、朝日航洋）

③-1 ダム点検：福島 RTF 大水槽を想定した試験方法について以下の点を具体化する。

- 1) 福島 RTF にて想定するダム基本点検における性能評価項目と試験方法
- 2) 検査対象(テストピース)の仕様と配置に関する考え方

③-2 ダム点検：福島 RTF 小水槽を想定した試験方法について以下の点を具体化する。

- 1) 福島 RTF にて想定する性能評価項目と試験方法
- 2) 検査対象(テストピース)の仕様と配置に関する考え方

③-3 河川点検：福島 RTF 大水槽を想定した試験方法について以下の点を具体化する。

- 1) 福島 RTF にて想定する性能評価項目と試験方法
- 2) 検査対象(テストピース)の仕様と配置に関する考え方

③-4 河川点検：福島 TF 小水槽を想定した評価手法の実験的模擬試験

- 1) 福島 RTF にて想定する性能評価項目と試験方法
- 2) 検査対象(テストピース)の仕様と配置に関する考え方

④他業種等へのヒアリング

当該プロジェクトを通し、平成 28 年度に検討した性能評価手法（性能指標、施設仕様、等）の妥当性を証明するが、船舶の設計や実験の知見を有す企業に協力を仰ぎ、その方向性や考え方に偏りや不足がないか見識を得る。調整する必要があると判断した場合は、速やかにフィードバックする。

⑤複数機種、複数センサによる評価手法の妥当性検証（担当：パナソニック、朝日航洋）

平成 28 年度に検討した性能評価手法（性能指標、施設仕様、等）を、自社保有のロボットやセンサだけでなく、必要に応じて、その他のロボットやセンサを使って実証することで、その妥当性を検討し、調整する必要があると判断した場合は速やかにフィードバックする。実証フィールドは実際のダム/河川だけではなく、既存の水利実験水槽やドライドックを利用し、施設仕様や付属設備の過不足も確認・検討する。

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| 事業項目 | 平成 29 年度 | | | |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 第 1 四半期 | 第 2 四半期 | 第 3 四半期 | 第 4 四半期 |
| ①保有情報の整理・共有 | → | | | |
| ②有識者(推進委員会含む)等へのヒアリング調査 | | → | | |
| ③既存施設を用いた評価手法の検討 | | | | → |
| ④他業種等へのヒアリング | | | | → |
| ⑤他機種、他センサによる評価手法の妥当性検証 | | | | → |

図Ⅲ2.1.1.3-1 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

河川とダムに存在する水域構造物の点検に資する水中ロボットの性能評価のための手順を定めた性能評価手順を立案した。この性能評価手順は、単に水中ロボットの性能に優劣をつけるものではなく、ロボット開発者とロボット利用者が「共通のモノサシ」で評価するための手法であり、ロボットの開発者にとっては、自ら開発した水中ロボットの業界ポジション把握やこれから開発する水中ロボットのターゲット設定、または、開発途上の水中ロボットの評価検証に活用することができ、水中ロボットの導入を検討される点検業者や施設管理者等のロボットユーザーにとっては、使用目的に合致した水中ロボットを選定する上での参考とすることができるものでもある。

立案した性能評価手順は、性能評価の軸となる性能評価項目と各性能評価項目に対する考え方を示し、加えて性能試験方法と試験環境を例示している。試験方法は、ミッション型試験と個別性能試験の2種類の試験に大別した。ミッション型試験は総合性能を評価する試験であり、河川やダムの点検シナリオ(手順)と検査項目、環境条件、および試験結果を設定している。この試験を実施することで、被評価対象の水中ロボットの点検ミッション遂行性能を評価することができる。個別性能試験は特定の性能を評価する試験であり、試験手順、試験項目、環境条件、および試験結果を設定している。再現性のある共通の試験条件下で評価することにより、客観性の高い評価結果を得ることができる。

(5) 成果の詳細

1. 河川点検用ロボット

1-1. 要求品質

既存の点検要領情報と国土交通省 実証実験、試行導入活動内容を踏まえ、河川に存在する水域構造物の点検に資する水中ロボットの性能を評価するための項目を考慮し、河川点検における要求品質展開表を作成したうえで、河川点検用ロボットに対する要求品質の全体像を確認した(別添附属書3参照)。本研究開発では、展開表の要求品質の中で代表的な要求品質の性能評価を対象としている。

1-2. 点検目的、点検対象項目

1-2-1. 点検目的

「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」に基づき、以下点検を対象とする。

| 治水上の機能 | 点検内容 |
|--------------|--|
| 河道の流下能力 | 河積の減少をもたらす河道形状の変動 |
| | 流下阻害となる樹木繁茂等 |
| 河川管理施設の所要の機能 | 各施設そのものに生じた変状 |
| | 施設の機能・構造安定性に影響を及ぼす河床低下や河岸侵食、局所洗掘等の河道変化 |

図Ⅲ2.1.1.3-2 点検対象

1-2-2. 点検対象項目

「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」には自然および人工構造物に対する点検事項が広く規定されており、次表はその抜粋をまとめたものである。平成26年度から2カ年にわたり国土交通省が実施した「次世代社会インフラ用ロボット現場検証」では、河川の水中部のうち「河道」および「護岸・護岸基礎部」の点検に着目し、ロボットの能力や耐久性の確認が実施された。これに準じ、本研究開発では、ロボットによる点検対象・点検事項を次表の下線項目に絞って性能評価手順を策定した。

| 対象 | | 点検事項（抜粋） | |
|---------|----------------|------------------------|------------------------------------|
| 河道（低水路） | | 土砂堆積、樹木の繁茂、流木、構造物の沈下、等 | |
| 河川管理施設 | 堤防 | 土堤 | |
| | | 護岸、鋼矢板護岸、根固工、水制工 | 目地の開き、亀裂、破損、洗堀、侵食、劣化、腐食、沈下、崩れ、陥没、等 |
| | | 高潮堤防、特殊堤、陸閘 | |
| | 河川構造物（周辺の堤防含む） | 樋門等構造物周辺の堤防 | |
| | | 構造物本体 | 劣化、腐食、沈下、傾き、洗堀、吸い出し、土砂堆積 |

図Ⅲ2.1.1.3-3 点検対象事項

1-3. 試験環境及び設備

1-3-1. 試験環境

(a) 屋内水槽

河川点検用ロボットの個別性能評価が可能な水槽を用いる。

※福島ロボットテストフィールドの大水槽（30m×12m×D7m）相当とする。

(b) 濁水調整水槽

河川点検用ロボットが具備する光学カメラの性能評価が可能な水槽を用いる。

※福島ロボットテストフィールドの小水槽（5m×3m×D2m）相当とする。

※濁水作成は、ホルマジン等の試験試薬を添加し、調整する。

(c) 屋外水槽

河川点検を想定したミッション型試験が可能な GNSS 受信可能環境下の水槽を用いる。

※福島ロボットテストフィールドの水没市街地フィールド（50m×25m×D0.7m、うち一部 10m×10m×D5m）相当とする。

※水槽や周囲の広さ、GNSS 受信、が必要な個別性能試験（通信性能評価や位置認識性能評価等）は屋内水槽でなく本水槽を利用する。

1-3-2. 評価設備、模擬体

性能評価試験では、「河道」、「護岸・鋼矢板護岸」、「根固工・水制工」の点検事項に対し、ロボットがそれらの変状検出能力を有しているかを判定可能な評価設備や模擬体を用意する。模擬体は、1回の試験で模擬体自体の長さや高さ、色、面積などに変化がなくてはならない。また水中での模擬体の設置に関しては、試験のために発生させた

水流やロボットが移動する際に発生する水流で位置ズレなどが生じないように固定する。なお、濁りがある河川では、水中部にある点検対象の形状把握のためにソナー（音響測深機、音響スキャナー、等）を用いる場合が多いが、クラックや目地開きなど護岸変状を把握する際には光学カメラを用いる場合もある。点検対象ごとの模擬体例とともに、点検対象の計測において使用を想定しているセンサーを以下に示す。

| 点検対象 | イメージ | 仕様 |
|----------|------|--|
| 河道（低水路） | | <p>傾斜や微小深度変化の認識可否を把握できる模擬体を制作する。</p> <p>例：①三角柱（1.8m×1.8m×H1.56m） ②四角柱（0.9m×0.9m×H0.5m） ③四角柱（0.9m×0.9m×H0.1m） ④角柱（0.9m×0.9m×H0.05m）</p> <p>センサー： 音響測深機、等</p> |
| 護岸、鋼矢板護岸 | | <p>水槽側面を護岸に見立てる、または、水槽側面に鋼矢板等を設置する。</p> <p>センサー： 音響測深機、音響スキャナー、等</p> |
| | | <p>ダム点検用ロボットの評価設備とテストピース（コンクリートクラック、解像度チャート、等）を使って、護岸変状検出能力を把握する。</p> <p>センサー： 光学カメラ、等</p> |
| 根固工、水制工 | | <p>金属製の枠を作り、発砲スチロール等で枠内を埋めることで簡易的な模擬体を製作する。</p> <p>センサー： 音響測深機、音響スキャナー、等</p> |

図Ⅲ.1.1.3-4 点検対象ごとの模擬体例および想定するセンサー

1-3-3. 試験に用いる装置及び測定機器

(a) 光束透過率測定器

濁水水槽での濁水調整のため、指標である光束透過率を測定することが可能な測定機器を用いる。

(b) 濁度計

濁水の指標として参考データとして濁度を用いることがある。その濁度を測定する際に、散乱光式の濁度計測器を用いる。

(c) 自動追尾型トータルステーション

水上を航行するロボットの位置を外部から観測する手段として、自動追尾型トータルステーションを用いる。ロボットにターゲットを取り付け連続で位置を観測し、ロボットの動作に関する情報を取得する。

1-3-4. 校正方法

(a) 試験装置・測定機器類

試験に用いる装置類は、定期的に校正された機器を使用する。

(b) 模擬体

模擬体を使用する前に校正済みのノギスなどの計測機器を用いて精度に誤差が生じていないかの確認を実施する。

(c) 水槽の水の濁り

性能評価試験実施前に試験結果に水の濁りの確認をするため、光束透過率を測定し初期の状態と同等であることを確認したうえで、点検条件を記録すること。

(例) 光束透過率計と濁度の値を例として記載

■屋内水槽の水の濁り

光束透過率測定距離が 30cm の状態において、波長 555nm での光束透過率が 95%以上であることを確認する。

■濁水調整水槽の水の濁り

波長 555nm における光束透過率により調整する。

例えば、光束透過率測定距離が 30cm の状態において、波長 555nm での光束透過率が 81% (ホルマジンのみで濁水を調整した場合の濁度 1 相当)、56% (ホルマジンのみで濁水を調整した場合の濁度 3 相当) など。

1-4. 試験方法

1-4-1. ミッション型試験

河川点検において、点検エリアへのロボット搬入出は 1 つの課題である。点検エリアを計測する際に、河道の地形や草木によって現場脇からロボットを進水できないため

に、現場から離れた進水ポイントから浅瀬等を回避しつつ点検エリアへ移動して所要の計測を実施した後に、再び進水ポイントへ戻ってロボットを回収する場合がある。そのため点検エリアへのアプローチ手段は点検方法と同様にミッションの一部として重要な要素であり、ロボットの特徴（そのロボットを現場で使う際の注意点）が現れる部分である。



図Ⅲ2.1.1.3-1 点検エリアおよび進水ポイント

また、点検エリア付近に陸部がない、陸部があっても操縦者が入り込めない、等で、近くからの目視操作が困難な場合も想定される。この場合には、遠方陸部から目視外操作が可能か（もしくは自動航行可能か）、操縦者が水上から点検エリアに近づく必要があるか、でロボットの適用範囲や作業効率が変わってくる。

以上の運用場面を想定し、本ミッション型試験の点検シナリオと確認事項を以下に示す。

点検シナリオ：

ロボットを進水できるポイント、並びに、目視操作可能なポイント、が付近になく、周辺が浅瀬の点検エリアにおける、河川構造物基礎部および周辺河床の状況把握

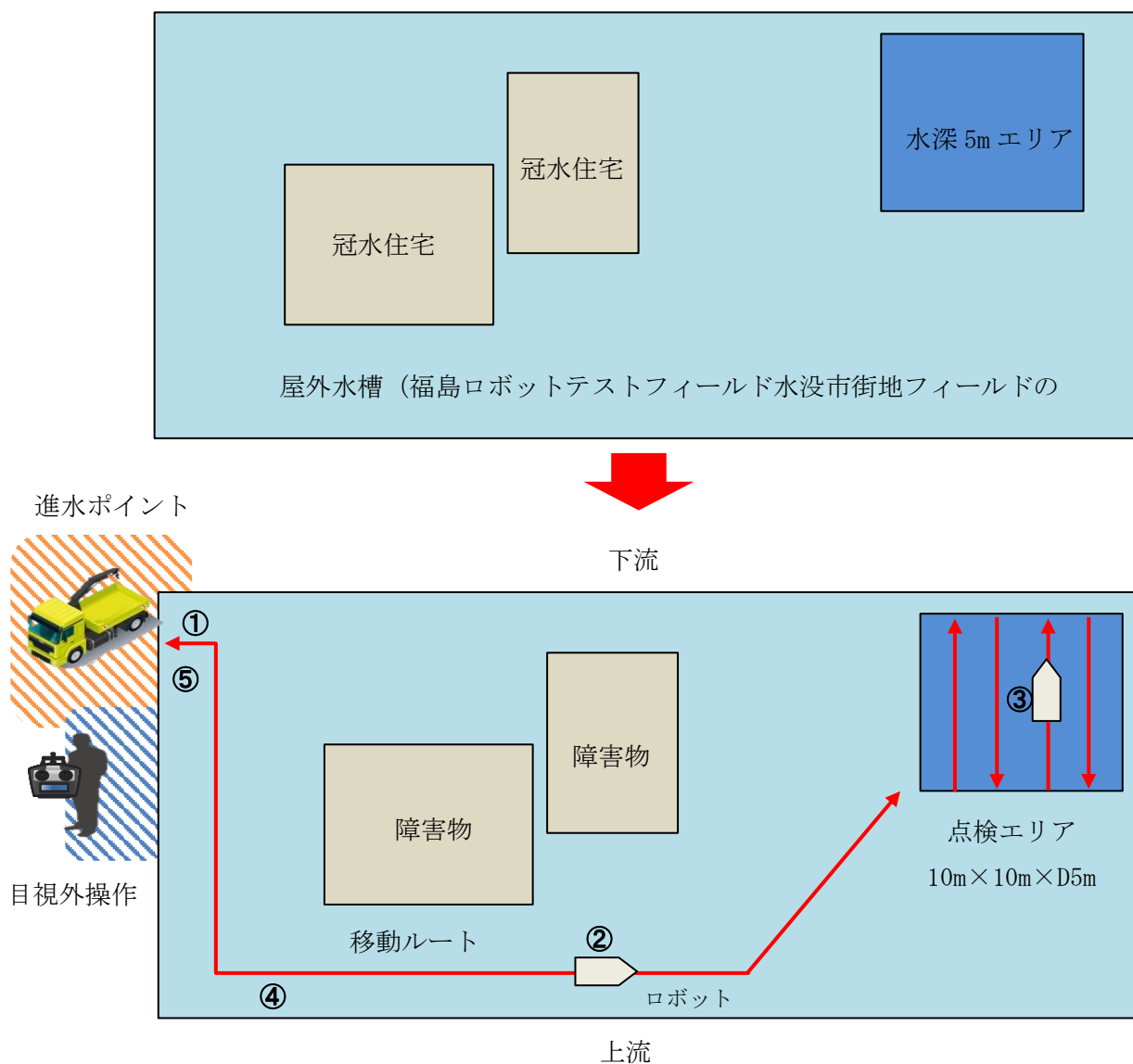
| 確認項目 | 着目点 |
|-------|---------------------------------------|
| 搬入 | 搬入手段（ワンボックス車、ユニック車） |
| 準備・進水 | 準備時間、必要人員、進水手段、安全性 |
| 移動 | 自動航行、手動航行、目視内、目視外、通信の安定状態、有人船による運搬の要否 |
| 点検 | 位置精度、分解能、目視内、目視外、通信の安定状態、必要人員 |
| 陸揚・撤収 | 撤収時間、必要人員、陸揚手段、安全性 |

表Ⅲ2.1.1.3-5 ミッション型試験における確認事項

河川点検用ロボットの多くはGNSSを使ってロボット自身や計測対象の位置を把握するため、本ミッション試験はGNSS受信環境下の屋外水槽を使用して実施する。点検エリアから離れた箇所に進水ポイントを設定し、進水ポイントから点検エリアが見えないよう視界を遮る障害物を配置する。進水ポイントから点検エリアまでの移動において浅瀬が障害になることも想定しているため、点検エリア以外が浅い水槽とするか、台等を沈め浅瀬を模擬的に作り出す。

福島ロボットテストフィールドでは、水没市街地フィールドを下図のように河川の一部と想定し本ミッション型試験を実施する。

左岸下流部を進水ポイント、右岸下流部の深さ5mのエリアを点検エリア、として設定する。



図Ⅲ.1.1.3-2 実験のイメージ

冠水住宅を草木等の障害物と見立て、進水ポイントから点検エリアの見通しは目視困難とする。進水ポイントから点検エリアまでのロボット移動手段は問わない。移動手段は、事前にルートを設定し自動で移動する方法、左岸陸部から目視外で遠隔操作する方法、有人船にロボット操縦者が乗りロボットを追従しながら目視操作する方法、等が考えられる。点検エリアに到着した後はエリア全域のデータが取得できるよう、ロボットを操作する。データ取得後、ロボットを進水ポイントまで移動させ、陸揚を行う。

手順 :

- ① 進水ポイントでロボットを準備し、進水させる。
- ② 障害物を回避しロボットを点検エリアへ移動させる。
- ③ 点検エリアでロボットを使い計測する。
- ④ 障害物を回避しロボットを進水ポイントへ移動させる。
- ⑤ 進水ポイントでロボットを陸揚し、撤収する。

なお、点検エリアでの計測は、後述の個別性能試験「3.4.2 (e) データ取得性能評価 (GNSS 受信環境下)」と同様の内容とする。

1-4-2. 個別性能試験

(a) 運動性能評価

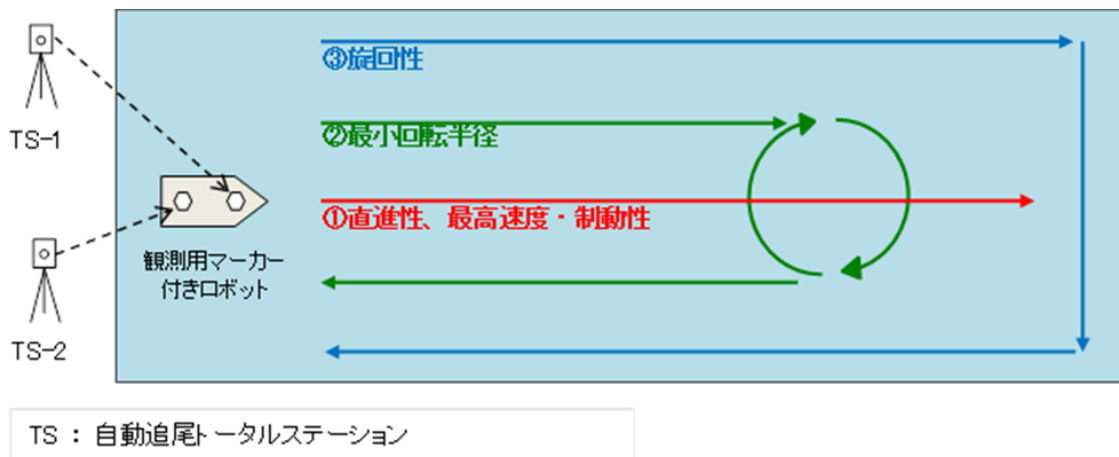
本試験では水上での移動や計測に係る基本的な運動性能（直進性、最高速度・制動性、最小回転半径、旋回性）を確認する。水上でのロボットの動きを、試験施設が備える観測機材（本書では自動追尾トータルステーション）を使用して記録し、その航跡を解析することでロボットの動きの特徴を捉える。ロボットの動きを支援する機能（直進を維持する機能等）が備わっている場合は、それも特徴として評価すべき対象となる。

手順：

- ① ロボットに観測用マーカー（観測機材が追尾するマーカー）を取り付ける。
- ② ロボットを水槽に進水させ、開始位置に移動させる。
- ③ ロボットを一定速度で直進航行させる。（直進性-下図①）
- ④ 最高速度に達するまで直進航行させ、急停止させる。（最高速度・制動性-下図①）
- ⑤ ロボットを最小半径で旋回させる。（最小回転半径-下図②）
- ⑥ ロボットを水槽形状に合わせて航行させる。（旋回性-下図③）
- ⑦ 記録した航跡から、各運動性能を評価する。

条件等：

- ・ 外部環境の影響を受けない屋内水槽を利用することで、適正比較や再評価可能とする。
- ・ ロボットの位置および機首方向を連続して記録する。（本書では、自動追尾型トータルステーションを2基使って、機首方向の記録を提案する。）
- ・ 機首方向を正確に求められるようにするため、観測機材間の時間を事前に同期する。
- ・ 屋内水槽の利用を前提としているため、GNSSを使った航行支援機能はここでは評価対象としない。（ミッション型試験において評価対象とする。）
- ・ 試験は繰り返し実施し、偶発的な結果や操作ミスを排除する。



図Ⅲ.2.1.1.3-3 運動性能評価

(b) 連続動作性能評価

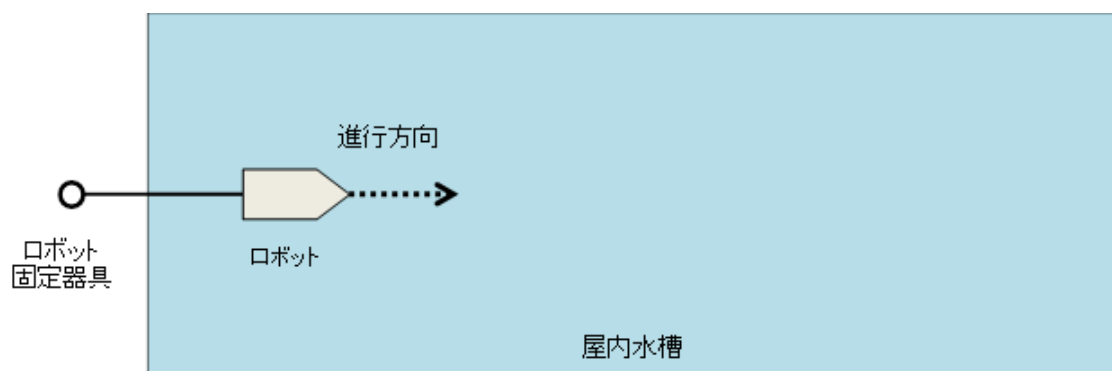
ロボットが水上を航行するタイプの場合、動力源は必ずしもバッテリーである必要はないが環境への配慮からバッテリーを採用する場合が多い。現状、バッテリーはロボットのサイズや動作に大きく影響し、ロボットに対する要求とその連続動作時間がトレードオフとなる原因のひとつになっている。連続動作時間が短い場合には、作業過程においてバッテリー交換（または充電）が頻繁に発生し、作業効率の妨げになる可能性が高い。従って、ロボットの連続動作性能の評価は、その利用シーンをイメージする上で重要である。

手順：

- ① ロボットに位置を固定する器具（ロープ等）を取り付ける。
- ② ロボットを水槽に進水させ、水槽内で固定される位置へロボットを移動させる。
- ③ 計測可能な状態で推進出力を一定させ、ロボットを連続動作させる。航行開始した時刻を記録する。出力は評価対象ロボットの計測時の出力とする。
- ④ 一定出力を保てなくなった時点の時刻を取得し、開始時刻との差分を取って、連続動作時間とする。

条件等：

- ・ 外部環境の影響を受けない屋内水槽を利用することで、適正比較や再評価可能とする。
- ・ ロボットに、位置を固定する器具が取り付けられること。また、ロボットの出力を固定でき、かつ出力変化を把握できること。



図Ⅲ2.1.1.3-4 連続動作性能評価

(c) 通信性能評価

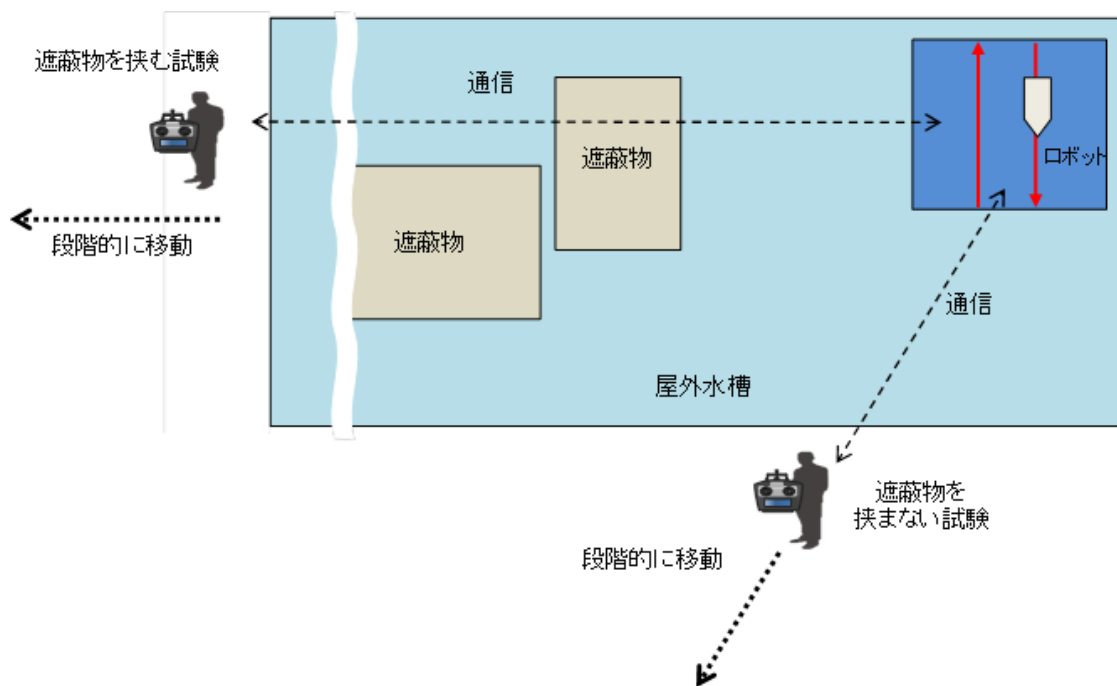
ロボット動作の命令や映像・データの確認のために無線を利用する機会が多いが、河川は、幅が広い、蛇行している、岩や草木等の遮蔽物が存在する、等現場状況が多岐にわたるため通信の距離や指向性がロボットの適用範囲に大きく影響を及ぼす。また、自動航行機能を有するロボットでも、無線通信による状況確認は安全側面から必要となるため、ロボットの通信性能の評価は、その利用シーンをイメージする上で重要である。

手順：

- ① ロボットを水槽に進水させる。
- ② 計測可能な状態で、ロボットを往復航行させる。
- ③ オペレータ・地上局との距離を段階的に離し、②と同様の航行試験を行う。
- ④ 計測または操縦ができなくなった距離を記録する。
- ⑤ 中継器等を介して遮蔽物を回避できる場合は、必要機材をロボット開発者側で用意・設置し、遮蔽物を挟んで同様の試験を実施する。

条件等：

- ・ ロボットと地上局（ないしオペレーター）の距離が十分に確保でき、現場環境の模擬に適した、屋外水槽を利用する。



図Ⅲ2.1.1.3-5 通信性能評価

(d) 位置認識性能評価 (GNSS 受信環境下)

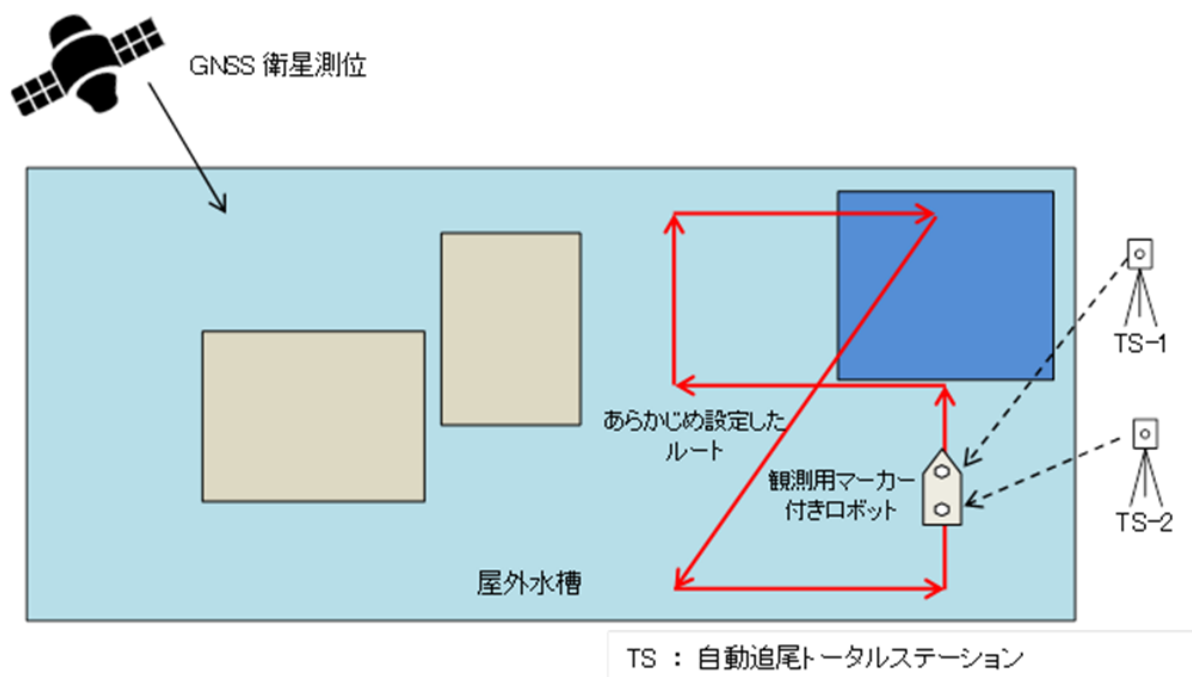
河川点検用ロボットの多くは、GNSS を使用して位置 (ないし必要に応じて機首方向) を特定している。ロボットが即時に把握している位置情報は、水上で計画どおりに動作する上で重要な情報である為、試験施設が備える観測機材 (自動追尾トータルステーション等) を使用して記録し、ロボットの位置認識性能を確認する。

手順：

- ① ロボットに観測用マーカー (観測機材が追尾するマーカー) を取り付ける。
- ② ロボットを水槽に進水させる。
- ③ あらかじめ設定したルートをロボットで航行する。同時に観測機材 (本書では自動追尾型トータルステーション) によりロボットの航跡を記録する。
- ④ ロボット自身が記録した航跡と観測機材 (本書では自動追尾型トータルステーション) で記録した航跡を比較する。

条件等：

- ・ GNSS が受信可能で、現場環境の模擬に適した、屋外水槽を利用する。
- ・ ロボットの位置および機首方向を連続して記録する。(本書では、自動追尾型トータルステーションを2基使って、機首方向の記録を提案する。)



図Ⅲ.2.1.1.3-6 位置認識性能評価 (GNSS 受信環境下)

(e) データ取得性能評価 (GNSS 受信環境下)

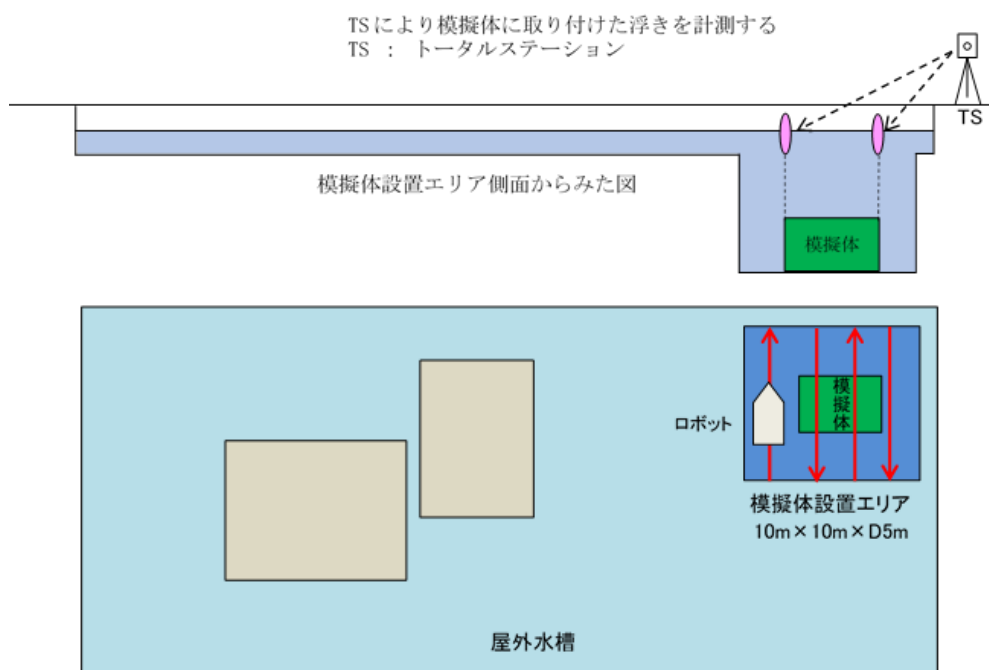
濁りがある河川では、水面下にある点検対象の形状把握にソナーを用いるのが有効であり、河川点検用ロボットの多くは、ソナーを使って河床や護岸の形状データを取得する。また点検対象の位置は、GNSS を使って特定する能力を標準的に保有している。ロボットが取得したデータの特徴を把握することは、目的や環境に対しロボットの適用可否を検討するうえで重要となる。当試験では、事前に形状と位置を計測した模擬体を用意し、ロボットが取得した模擬体のデータ (形状と位置) を事前計測結果と比較することで、ロボットのデータ取得性能を評価する。水槽底に沈めた模擬体の位置は、模擬体に取り付けた浮きを使って特定する。

手順：

- ① 形状計測済みの模擬体を水槽底に沈め、設置する。
- ② 模擬体の位置をトータルステーションで計測する。模擬体は水面下に沈んでいるため、模擬体端点につけた浮きの位置を計測する。
- ③ ロボットを水槽に進水させる。
- ④ ロボットにより模擬体を計測する。
- ⑤ ロボットが計測したデータ (後処理が必要な場合はその処理後のデータ) と事前計測結果を比較する。

条件等：

- ・ GNSS が受信可能で、現場環境の模擬に適した、屋外水槽を利用する。



図Ⅲ2.1.1.3-7 データ取得性能評価 (GNSS 受信環境下)

(f) データ取得性能評価（非 GNSS 環境下）

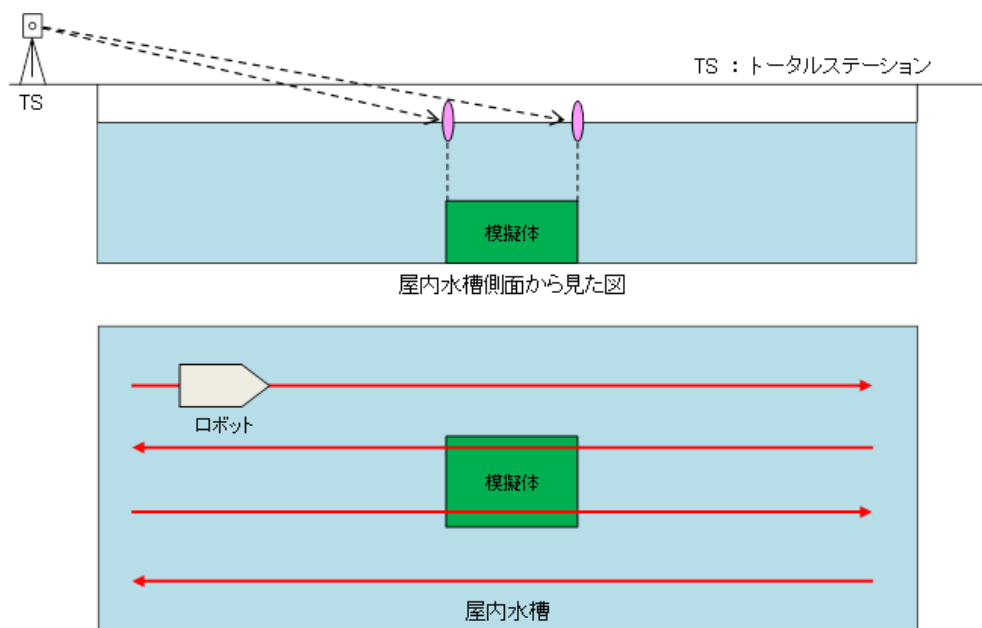
橋梁など遮蔽物の存在で GNSS が受信できない環境も存在する。前述の「(e) データ取得性能（GNSS 受信環境下）」では、GNSS を使用して計測を行うロボットを対象としているが、本試験では、それに代わる仕組み（例えばトータルステーション）を使って位置情報を補完するロボットを対象とする。屋内水槽を非 GNSS 環境に見立て水槽底に模擬体を沈めて、(e) と同様のデータ取得性能評価を実施する。

手順：

- ① 形状計測済みの模擬体を水槽底に沈め、設置する。
- ② 模擬体の位置をトータルステーションで計測する。模擬体は水面下に沈んでいるため、模擬体端点に付けた浮きの位置を計測する。
- ③ ロボットを水槽に進水させる。
- ④ ロボットにより模擬体を計測する。
- ⑤ ロボットが計測したデータ（後処理が必要な場合はその処理後のデータ）と事前計測結果を比較する。

条件等：

- ・ 外部環境の影響を受けない屋内水槽を利用することで、適正比較や再評価可能とする。
- ・ 橋梁下などの GNSS 非受信環境での河床点検を想定し、試験を行う。
- ・ 非 GNSS 環境下でも計測が可能なロボットを対象とする。ロボットの位置を補完する機材が必要な場合は、ロボット開発者側で用意・設置する。



図Ⅲ2.1.1.3-8 データ取得性能評価（非 GNSS 環境下）

(g) データ取得性能評価（構造物本体）

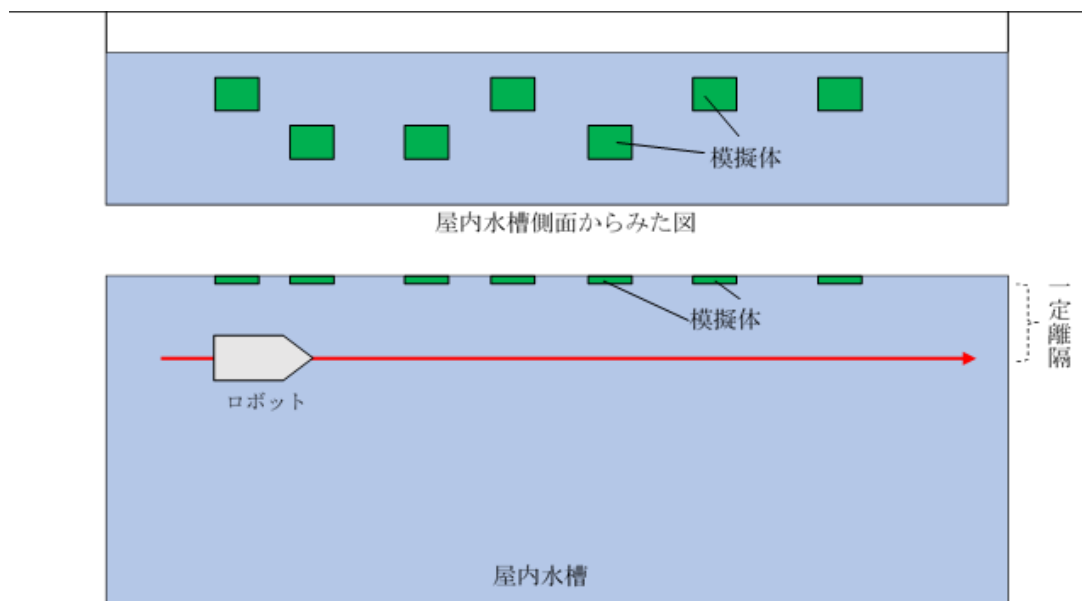
護岸等を光学カメラ等で水上から点検するロボットも存在する。本試験では、屋内水槽の水槽壁面を護岸に見立て、水槽壁面に配置した模擬体を計測しその結果を評価する。光学カメラ等による被写体の見え方は濁りの影響を受けるが、屋内水槽は濁りがないため、本試験実施前に濁水調整水槽を使って搭載カメラの最適な離隔距離を測定し、その離隔距離を維持した状態でロボットを計測航行させる。

手順：

- ① 模擬体を水槽壁面に設置する。
- ② ロボットを水槽に進水させる。
- ③ 一定離隔距離を維持しながら、水槽壁面を計測する。離隔距離は、事前に濁水調整水槽を使って測定する。
- ④ 計測データから変状箇所を特定し、実際の模擬体の変状と比較する。
- ⑤ 計測時間と計測面積から、時間当たりの出来高を算出する。

条件等：

- ・ 外部環境の影響を受けない屋内水槽を利用することで、適正比較や再評価可能とする。
- ・ 非 GNSS 環境下でも計測が可能なロボットを対象とする。ロボットの位置を補完する機材が必要な場合は、ロボット開発者側で用意・設置する。
- ・ 護岸の撮影能力（気中および水中）を評価するため、壁面に模擬体を設置する。模擬体の諸元は、ダム点検用ロボットの 4.3.2「評価設備、模擬体」に準じたものとする。



図Ⅲ2.1.1.3-9 データ取得性能評価（構造物本体）

1-5. 試験結果の表示

1-5-1. 校正結果の表示

試験装置・測定機器類においては、校正証明書などの管理を規定された方法で行う。

また、水槽の水の濁りに関しては試験前に確認を実施し、確認結果を点検シートに記載し、同様に管理する。

1-5-2. 性能試験結果の表示

以下の性能試験結果一覧を作成し、その点検結果の詳細を別紙で作成する。

| | 項目 | 着目点、結果 | 設備 | 備考 |
|----------|--------------------------|--|--------------------|---|
| ミッション型試験 | 点検対象 | 河床、護岸基礎 | — | — |
| | 搬入 | 搬入手段(ワンボックス車、ユニック車) | ※1 屋外水槽、模擬体 | GNSS受信可、障害物有り、等、現場環境に近い屋外水槽を使用する。点検エリアまでのアプローチも試験対象とし、搬入・準備から撤収までロボット点検に係る一連の作業を総合的に評価する。本ミッション型試験の各項目結果を参考にして、多彩な現場環境におけるロボットの適用性を、ユーザーが判断できることを目的とする。 |
| | 準備・進水 | 準備時間、必要人員、進水手段、安全性、動画映像※3 | | |
| | 移動 | 自動航行、手動航行、目視内、目視外、通信の安定状態、有人船による運搬の要否、動画映像※3 | | |
| | 点検 | 位置精度、分解能、目視内、目視外、通信の安定状態、必要人員、動画映像※3 | | |
| | 陸揚・撤収 | 撤収時間、必要人員、陸揚手段、安全性、動画映像※3 | | |
| 個別性能試験 | 運動性能 | 直進性、最高速度、制動性、最小回転半径、旋回性 | ※1 屋内水槽 | |
| | 連続動作性能 | 〇〇時間 | ※1 屋内水槽 | 出力は計測時の出力 |
| | 通信性能 | 〇〇m | ※1 屋内水槽 | |
| | 位置認識性能 | 誤差±〇〇m | ※1 屋内水槽 | |
| | データ取得性性能 (GNSS受信環境下) | 位置精度: ±〇〇cm、分解能〇〇cm | ※1 屋内水槽、模擬体 | |
| | データ取得性性能 (GNSS非受信環境下) | 実施の可否、位置精度: ±〇〇cm、分解能〇〇cm | ※1 屋内水槽、模擬体 | |
| | データ取得性性能 (構造物本体) | 位置精度: ±〇〇cm、分解能〇〇cm | ※1 屋内水槽、濁度調整水槽、模擬体 | |
| 水中ロボット諸元 | 外径寸法/重量 | **×**×**[mm]/**[g] | ※2 | |
| | 主要搭載物 | 動力 : 船外機〇〇台 計測装置 : ビデオカメラ〇〇台、ソナー〇〇台 電源 : リチウムイオンバッテリー(24V80Ah) 〇〇台 | | |
| | 動作電圧 | 船外機 : 〇〇VDC ソナー : 〇〇VAC | | |
| | 通信規格 | Wi-Fi : 〇〇GHz MU1N : 〇〇MHz プロボ : 〇〇GHz | | |

表Ⅲ2.1.1.3-6 性能評価結果 一覧(例)

※1 福島ロボットテストフィールドに設置されている設備相当

※2 ロボット開発で使用した設備

※3 ミッション型試験の動画映像について

各項目の作業を映像で記録し、付属すること。

現場適用のイメージ補助として利用する。

2. ダム点検用ロボット

2-1. ダム水中点検の背景

2-1-1. ダム水中点検の現状

1) 点検手法

点検を規制する法令は無く、自主的な取り組みとなっている。

潜水士が水中に潜り、構造物を目視して確認する事が現在主流の方式である。

2) 点検基準

堤体の外観の変状、ダム制御設備など

3) ダイバーの費用等

水中点検は 1,000～1,600 万円/1 日

4) 課題

① 人的課題（高齢化、トイレ等）

肉体的に過酷であり、危険を伴う作業である事から、人件費が高いほか、それでも人手が集まりにくい事が課題となっている。作業面では自分の現在地を把握するのが難しい、水深が深いと点検作業が長く続けられないという問題もある。

② 技術的課題（繰り返し精度、ログ等）

人手（目視）が主体である為、潜水士の経験値による判断が全てであり、繰り返し精度はあまり高くない。また、結果報告もペーパーによるものであり、ログの電子化などの IT 活用も遅れている。

2-1-2. ダム水中点検のロボット化

1) 現状

ROV (Remotely operated vehicle) タイプのロボットが主流となっている。人間が操作するものと自律制御型のものがある。単なる制御技術から、自位置把握やマップ生成など情報収集技術の強化が進められている。

2) 技術動向

- ・映像から損傷箇所を自動抽出し、位置・サイズを定量的に二次元マップ化
- ・GPS 情報と周辺環境データから水平位置を、水中ロボットと接続したケーブルの長さから垂直位置を把握し、点検映像と位置情報を紐付け

3) 課題と解決策

- ① 電源・・・・・・電池の高効率化(リチウムイオン電池搭載など)
- ② 耐久性・・・・・・軽量、耐腐食性の強い素材(FRP、カーボンなど)
- ③ 暴走懸念・・・・・・制御の二重化、無線断線時の自動停止機能など

2-2. 要求品質

既存の点検要領情報と国土交通省 実証実験、試行導入活動内容を踏まえ、ダムに存在する水域構造物の点検に資する水中ロボットの性能を評価するための項目を考慮し、ダム点検における要求品質展開表を作成したうえで、ダム点検用ロボットに対する要求品質の全体像を確認した(附属書3参照)。本研究開発では、本展開表の要求品質の中の代表的な要求品質の性能評価を対象とした。

2-3. 点検目的、点検対象項目

2-3-1. 点検目的

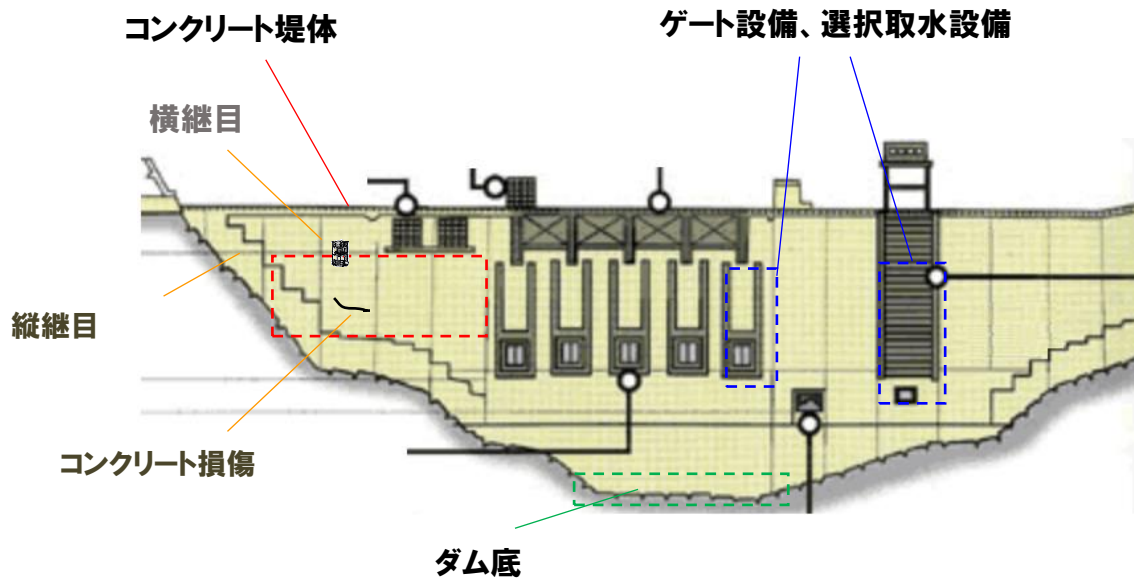
ダムの老朽化への対応として、長期的な経年変化の状況やダム土木構造物内部及び機械設備の状態に着目し、ダム土木構造物・機械設備の健全度について調査、評価を行い、その結果から得られる維持管理方針を日常管理や定期検査等に反映させ、効果的・効率的なダムの維持管理の実現が急務となっている。

このような背景の中で、ダム堤体やダムゲート設備等の効率的な維持管理を目指し、水中での変状を点検することを目的とする。

2-3-2. 点検対象項目

本研究開発では、ダムにおける以下の項目を点検対象とした。

- 1) コンクリート堤体壁面の変状
 - ① コンクリート損傷
 - ② 横継目の開き、縦継目の開き
- 2) ゲート設備、選択取水設備の状況
- 3) 堆砂面・流木等(ダム底)の状況



図Ⅲ2.1.1.3-10 ダムの模式図

| 点検項目 | ユースケースイメージ |
|---|------------|
| 1) コンクリート堤体壁面の変状 ① コンクリート損傷 ② 横継目の開き、縦継目の開き | |
| 2) ゲート設備、選択取水設備の状況 | |
| 3) 堆砂面・流木等（ダム底）の状況 | |

表Ⅲ2.1.1.3-7 ダムにおける点検項目

2-4. 試験環境及び設備

2-4-1. 試験環境

(a) 屋内水槽

ダム点検用ロボットのミッション型性能評価が可能な水槽を用いる。

※福島ロボットテストフィールドの大水槽（30m×12m×D7m）相当とする。

(b) 濁水調整水槽

ダム点検用ロボットの濁水中における視認性能評価が可能な水槽を用いる。

※福島ロボットテストフィールドの小水槽（5m×3m×D2m）相当とする。

※濁水作成は、ホルマジン等の試験試薬を添加し、調整する。

2-4-2. 評価設備、模擬体

(a) 評価設備、模擬体

国土交通省が発行しているダム総合点検実施要領・同解説に添ったミッション型点検に使用する評価設備(案)を用いる。また、模擬体(案)は、実際のダムに設置される構造物等に見立て、テストピース化したものとする。

以下に、テストピースの例を挙げる。

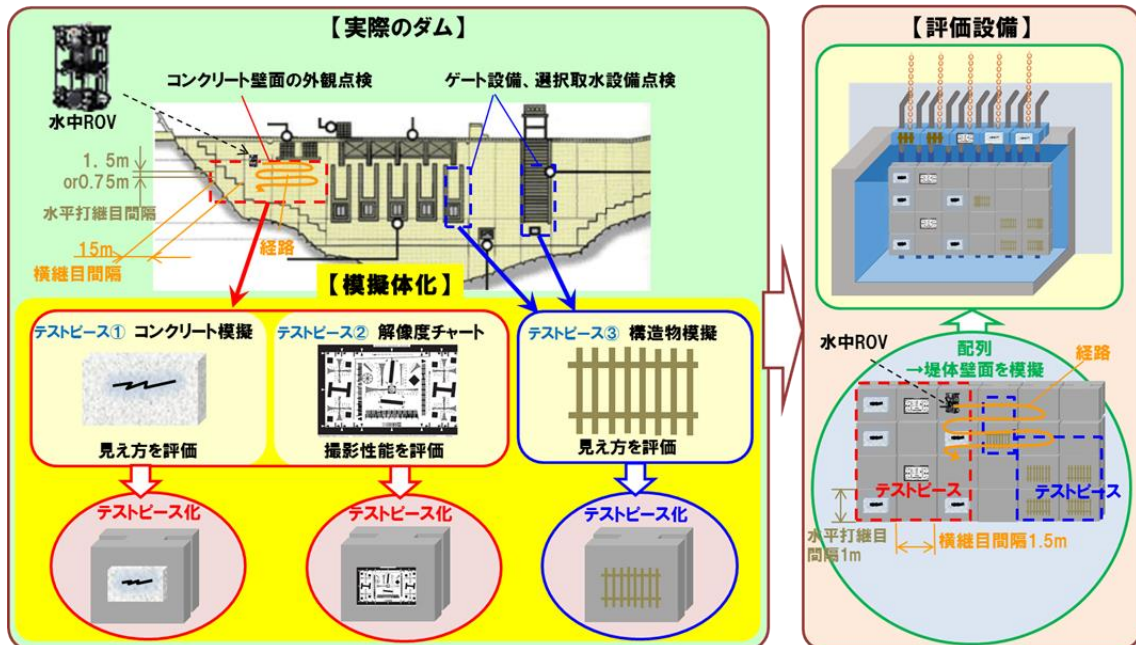
テストピース①：実際のダムにおける堤体のコンクリート壁面の外観点検を想定して見立てたコンクリートを模擬したものとする。テストピースの表面には、実際のダムにおける堤体のコンクリート壁面に発生する傷や異物を見立てた切創や凹凸形状などを付加する。

テストピース②：実際に点検する種々の被写体を撮影する撮影機器の解像性能を評価するための解像度チャート(例えばISO12233規格に準拠したISO解像度チャートなど)とする。

テストピース③：実際のダムの堤体に設置されたゲート設備、選択取水設備点検を想定して見立てた構造物を模擬したものとする。主に金属製の構造物(例えばグレーチングなど)が相応である。

※参考文献：ダム総合点検実施要領・同解説


平成25年10月 国土交通省 水管理・国土保全局・河川環境課




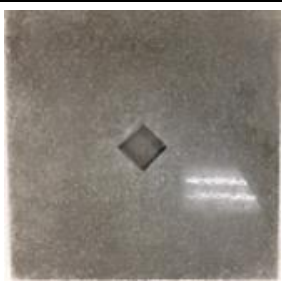
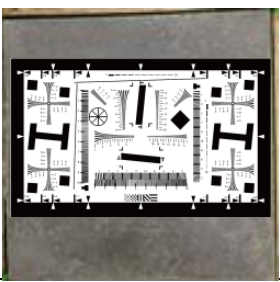




図Ⅲ2.1.1.3-11 実際のダムに対応して模擬体化し評価設備に設置するテストピース（例）

評価設備におけるテストピースは、各種類のものをランダムに配置できるよう構成し、試験毎に配置の変更が可能なものとする。またテストピースを構成するために定型の枠を用いて互いを隣接させ規則的に配列することでその接合部を継目とし実際のダムにおける継目の間隔を縮小した壁面に見立てる。テストピースはインフラ構造建築物に近い材質や色を選択し、1回の試験実施前後で劣化によりそれ自体の長さや高さ、色、面積などに変化があってはならない。

点検項目ごとに対応するテストピース例を以下に示す。

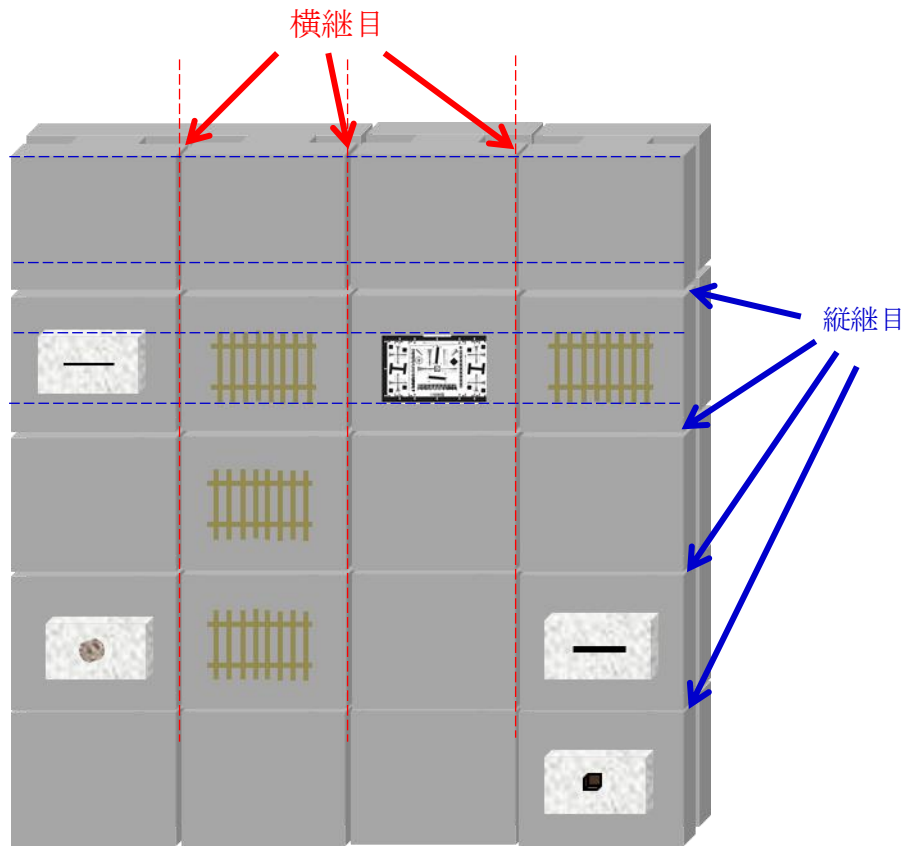
| 対応点検項目 | 模擬体 | イメージ図 | 仕様 | 仕上がり精度 |
|---------------------------------|----------------|---|---|---------|
| 1) コンクリート 堤体壁面の変状 (損傷、凹凸) | ノーマル (損傷無し) |  | 素材：コンクリート サイズ：370×370 ×D30mm 外観：損傷無し | ±0.5 mm |

| | | | | |
|--------|---------------------------|---|---|---------|
| | 傷パターン A (2mm幅損傷) |  | 素材：コンクリート サイズ：370×370 ×D30mm 外観：損傷有り 長さ 400mm 幅 2mm 深さ 2mm | ±0.5 mm |
| | 傷パターン B (5mm幅損傷) |  | 素材：コンクリート サイズ：370×370 ×D30mm 外観：損傷有り 長さ 400mm 幅 5mm 深さ 2mm | ±0.5 mm |
| | 凸パターン |  | 素材：コンクリート サイズ：370×370 ×D30mm 外観：円柱 凸パターン 直径 78mm 高さ 21.5mm | ±0.5 mm |
| | 凹パターン |  | 素材：コンクリート サイズ：370×370 ×D30mm 外観：菱形柵状 凹パターン 対角 70mm 深さ 18mm | ±0.5 mm |
| 対応点検項目 | 模擬体 | イメージ図 | 仕様 | 仕上がり精度 |
| | 解像度チャート (傷検出精度 確認用) |  | 素材：耐水シート サイズ：420×297mm 素材：耐水シート サイズ：420×297mm 外観：ISO12233 規格 準拠解像度チャート | — |

| | | | | |
|----------------------------|----------------|---|---|---|
| 2) ゲート設備、 選択取水設備の状 況 | ゲート模擬 (錆無し) |  | 素材：鋼 グレーチング (既成品) サイズ：315×315mm 外観：生地 | — |
| | ゲート模擬 (錆あり) |  | 素材：鋼 グレーチング (既成品) サイズ：315×315mm 外観：錆風塗装 | — |

表Ⅲ2.1.1.3-8 点検項目ごとに対応するテストピース例

水中でのテストピースの設置に関しては、ロボットが移動する際の水流などによる位置のズレなどが生じないように固定する。コンクリート壁面のエリア点検 横継目の開き 縦継目の開きに対する点検は、例えば図Ⅲ2.1.1.3-12 に示すようにテストピースを配置し、各枠の継目を横継目開き、水平打継目開きと見立て、点検観測する。



図Ⅲ2.1.1.3-12 水中でのテストピースの設置について

テストピースの配置は、一定期間毎に変更することで未知の損傷箇所探索検証も可能に点検試験毎に入れ替えを行うことで、未知の損傷箇所探索検証も可能なものとする。

2-4-3. 試験に用いる装置及び測定機器

(a) 光束透過率測定器

濁水水槽での濁水調整のため、指標である光束透過率を測定することが可能な測定機器を用いる。

※ダムでの光束透過率測定実施例については、附属書に記す

(b) 濁度計

濁水の指標として参考データとして濁度を用いることがある。その濁度を測定する際に、散乱光式の濁度計測器を用いる。

2-4-4. 校正方法

(a) 試験装置・測定機器類

試験に用いる装置類は、定期的に校正された機器を使用する。

(b) 模擬体

模擬体を使用する前に校正済みのノギスなどの計測機器を用いて、精度に誤差が生じていないか確認を実施する。

(c) 水槽の水の濁り

性能評価試験実施前に試験結果に水の濁りの確認をするため、光束透過率を測定し、初期の状態と同等であることを確認したうえで、点検条件を記録すること。

(例) 光束透過率計と濁度の値を例として記載

■屋内水槽の水の濁り

光束透過率測定距離が 30cm の状態において、波長 555nm での光束透過率が 95%以上であることを確認する。

■濁水調整水槽の水の濁り

波長 555nm における光束透過率により調整する。

例えば、光束透過率測定距離が 30cm の状態における、波長 555nm での光束透過率が 81% (ホルマジンのみで濁水を調整した場合の濁度 1 相当)、56% (ホルマジンのみで濁水を調整した場合の濁度 3 相当) など。

2-5. 試験方法

本節で述べるミッション型試験および個別性能試験を実施し、0 に例示する検証結果を作成することで、ロボットの性能を判断する資料とする。また、試験方法は技術の進化、試験設備の更新等に応じて改訂されることが想定される。

ダム点検用試験方法

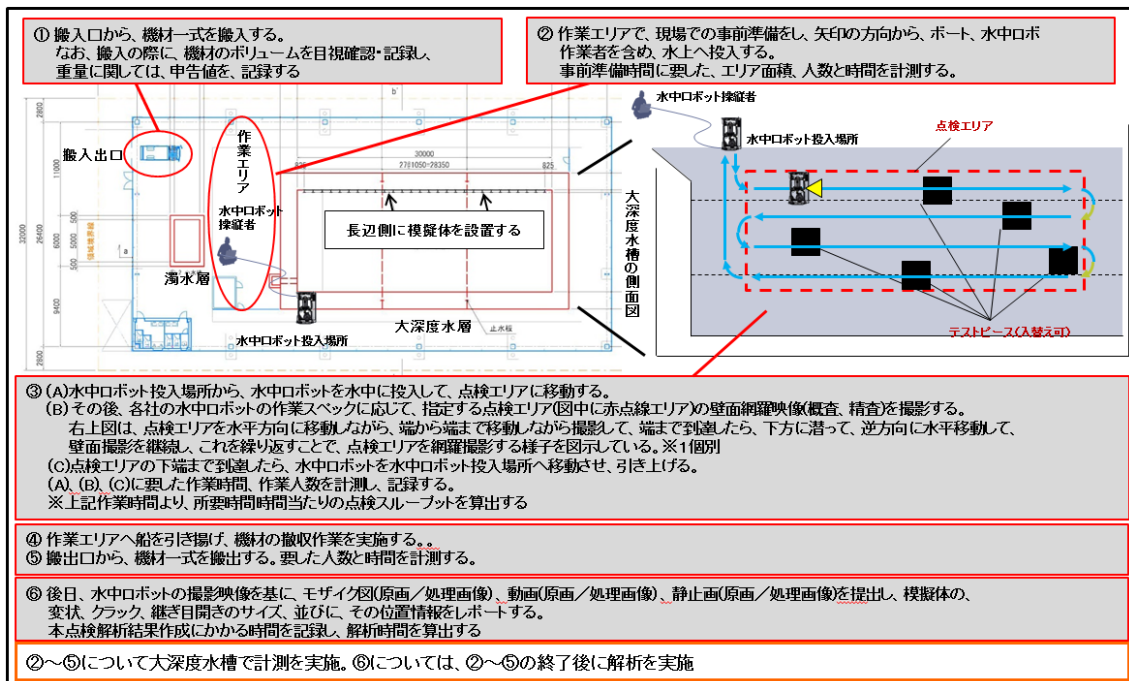
試験方法は、ロボットのタイプに依存する場合がある。この観点から、性能評価試験は、ミッション型試験(シナリオ、調査等のミッション、環境条件が設定された試験)および、個別性能試験(特定の性能のみを評価する試験)を行う。

2-5-1. 性能試験 ミッション型試験(共通)

ダムを点検するロボットの点検対象は、ダム堤体周辺に設置される構造物等である。本研究開発では、ダム堤体周辺の水中を航行し設置される構造物等の情報を収集するタイプのロボットを評価対象とした。本章では、点検対象物により異なる点検ごとのシナリオにおける作業について説明する。

この中で全点検シナリオに共通の作業は、次の通りである。

- ① 搬入口から機材一式を搬入する。
- ② 作業エリアで、現場作業の事前準備を行い、水中ロボットを水中へ投入する。
 ロボット操縦者は、点検中のロボットの場所、動作が把握できない作業エリアで操縦することとする。
 また、ロボットのケーブル処理も同様に点検中のロボットの場所、動作が把握できない作業エリアで作業を行う。
- ③ (A) ロボットの投入場所から点検ポイントに移動する。
 (B) 各点検シナリオに基づく作業に移る。(個別)
 ※4.4.1.2 性能試験 ミッション型試験で詳細試験内容を記す。
 (C) 点検エリアから、各点検シナリオに応じた点検作業を行った後、点検エリアからロボットの投入場所へ移動する。
- ④ ロボットの投入場所からロボットを引き上げる。機材の撤収作業を実施する。
- ⑤ 搬出口から、機材一式を搬出する。要した人数と時間を計測する。
- ⑥ 後日、ロボットの撮影映像を基に、モザイク図(原画/処理画像)、動画(原画/処理画像)、静止画(原画/処理画像)を提出し、模擬体の、変状、クラック、継ぎ目開きのサイズ、並びに、その位置情報をレポートする。本点検解析結果作成にかかる時間を記録し、解析時間を算出する



図Ⅲ2.1.1.3-13 全点検シナリオに共通の作業

2-5-2. 性能試験 ミッション型試験（個別）

上記共通作業の中で、③における各点検シナリオに基づく作業としては、以下の3種類のシナリオに応じた作業を行う。

点検シナリオ 1 堤体、ダムゲート点検（試験環境：屋内水槽）

ダムの中で、堤体の壁面およびダムゲートの点検における作業について説明する。この中で、さらに以下の3種類に分類する。

点検シナリオ 1-1 概査

点検シナリオ 1-2 精査

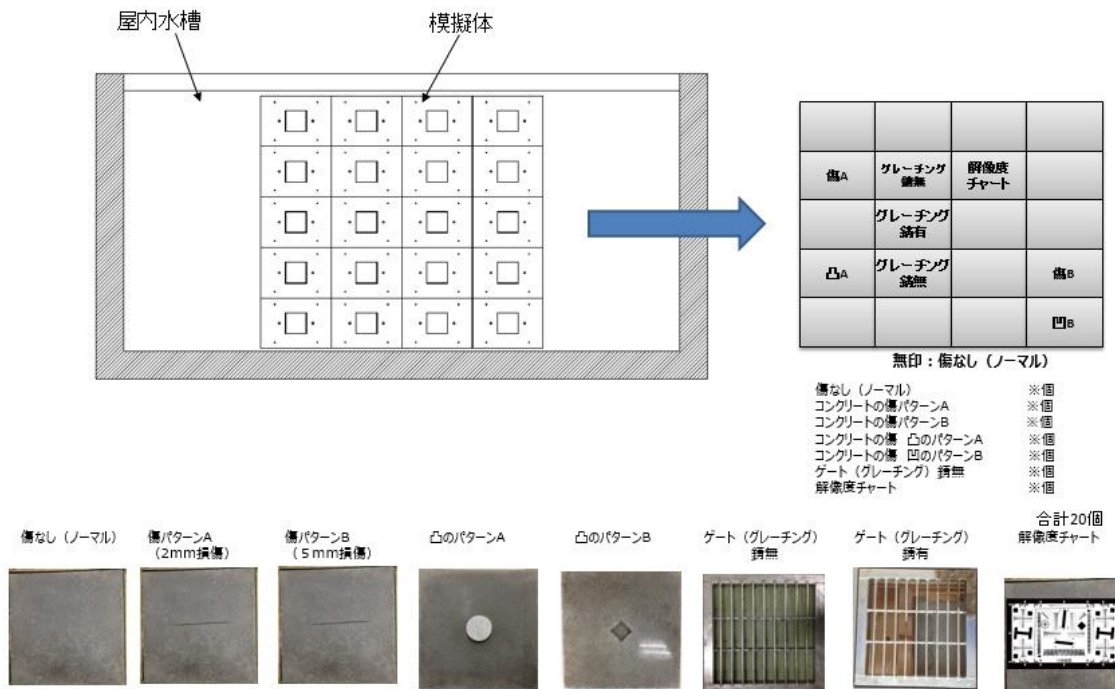
点検シナリオ 1-3 概査/精査兼用（概査を行いながら、特定の構造物に都度着目して精査を行う作業）

点検シナリオ 2 横継目開き調査、堆砂面調査（試験環境：屋内水槽）

点検シナリオ 3 縦継目開き調査（試験環境：屋内水槽）

以下に性能試験 ミッション型試験ごとの個別内容を示す。

以下の点検シナリオに使用する模擬体施設は、屋内水槽にて下図のような状態で設置する。模擬体は、例えば下図のように配置する。



図Ⅲ2.1.1.3-14 施設の概略図（模擬体の配置例）

2-5-3. 性能試験 個別性能試験（共通）

上述ミッション型試験以外に個別に評価することが必要な項目として、以下の濁水中視認性試験を行う。

濁水中視認性試験

試験環境（濁水調整水槽：5m×3m×D2m）において、ロボットの形状等の要因により、試験投入可否が想定されるが、ここでは濁度調整水槽にロボットを投入できる場合の試験内容を記載する。参考として投入できない場合は、ロボットの映像装置、照明装置を濁水調整水槽に投入できるよう新たに構成し、試験を行う。ただし、映像装置と照明装置との構成や構造により、濁水中での視認性特性が変化することが考えられるため、映像装置と照明装置との構成、構造は、ロボットに準じたものとする。

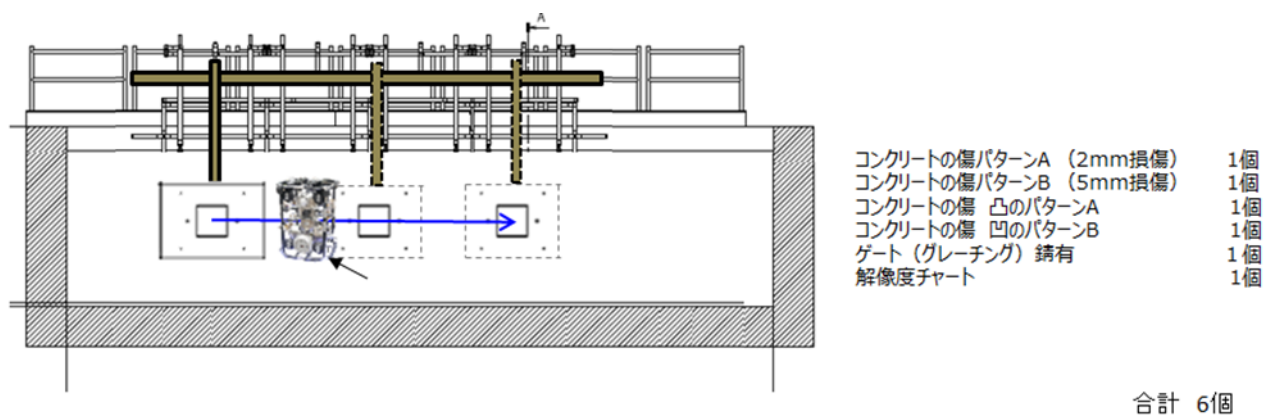
手順

- ① 以下の損傷箇所を模擬したテストピースを、各々都度入れ替え設置し、上記ミッション型試験に示したのと同様の作業を行う。

用いるテストピースは、下記の6種類である。

- 1) コンクリートの傷パターンA
- 2) コンクリートの傷パターンB
- 3) 凸のパターン
- 4) 凹のパターン
- 5) 解像度チャート
- 6) ゲート模擬(錆無し)
- 7) ゲート模擬(錆あり)

- ② 上記ミッション型試験の場合同様、各作業の結果を記録する。



図Ⅲ2.1.1.3-15 施設の概略図

（模擬体を撮影できる場所にロボット停止させ、損傷箇所を撮影する）

2-6. 試験結果の表示

2-6-1. 校正結果の表示

試験装置・測定機器類においては、校正証明書などの管理を規定された方法で行う。

また、水槽の水の濁りに関しては試験前に確認を実施したうえで、確認結果を点検シートに記載し同様に管理する。

2-6-2. 性能試験結果の表示

以下の性能試験結果一覧を作成し、その点検結果の詳細を別紙で作成する。結果については、画一的な合否判定結果を示すのではなく、具体的な数値など、客観的な指標に対する評価結果により表現する。

| 項目 | 着目点、結果 | 設備 | 備考 | |
|----------|-------------|---|--|--|
| ミッション型試験 | 点検対象 | 堤体、ダムゲート、継目開き調査 | — | |
| | 点検シナリオ1 | 1-1 概査: 堤体、ダムゲート 1-2 精査: 堤体、ダムゲート 1-3 概査/精査兼用: 堤体、ダムゲート | ※1 屋内水槽、模擬体 点検作業時間 ・点検動画映像※3 ・点検損傷の有無、 損傷寸法確認結果 損傷場所の特定 ・継目開き寸法確認結果、 場所の特定 ・モザイク図 ・点検解析時間※4 | 点検作業時間より、点検工数を算出し、水中ロボットによる点検性能(動作性能、点検精度)考慮に使用。また、点検結果を解析する時間を算出し、点検解析にかかる工数を把握する |
| | 点検シナリオ2 | 継目開き調査(横継目開き)、堆砂面調査 | | |
| | 点検シナリオ3 | 継目開き調査(水平打継目開き) | | |
| 個別性能試験 | 濁水中視認性試験 | 濁水 underwater の視認性確認 | | |
| | 漏水検知(参考) | 有無 : OorX | ※5 | |
| | 清掃機能(参考) | 有無 : OorX | ※5 | |
| 水中ロボット諸元 | 外径寸法/重量 | **×**×**[mm]/**[g] | ※2 | |
| | 推進方向 | 前後移動制御: OorX 上下 : OorX 左右 : OorX | ※2 | |
| | 航行速度 | 航行速度 *~**m/s | ※2 | |
| | 姿勢制御 傾斜角 | 有無 : OorX 傾斜角 : 最大**度 | ※2 | |
| | 距離制御 | 測定可能距離:**~**[cm] | ※2 | |
| | 潜行能力 | 最大***[m] (耐圧 * [MPa]) | ※1 耐圧性能評価試験機を使用することも可 (試験機仕様: 内寸φ1.5×H1.5m、最大2MPa) ※2 | |
| | 照明 | 照度: 水中点検対象物1mの距離の照度:***lx以上 | ※2 | |
| | 使用温度 | *°C~**°C | ※2 | |
| | ROV航行時間 | 最大**分 | ※2 | |
| | カメラ | 解像度: ****x** 15fps 水平画角(水中): ***° 垂直画角(水中)**° | ※2 | |

表Ⅲ2.1.1.3-9 性能試験結果 一覧(例)

※1 福島ロボットテストフィールドに設置されている設備相当

※2 ロボット開発で使用した設備

※3 ミッション型試験の点検動画映像について

ミッション型試験 シナリオ1、2、3の以下の映像を記録し、附属すること。

- ・ ロボット操作映像（水中ロボットから、みた操縦映像、水槽側から、見た水中ロボットの点検映像）
- ・ 点検映像（鮮明化技術等がある場合は、その技術適用前後比較映像）

※4 点検解析時間

点検シナリオ 1, 2, 3 の水中ロボットの点検撮影映像をもとにモザイク図、動画（原画／処理画像）、静止画（原画／処理画像）を提出し、テストピースの、変状、クラック、継ぎ目開きのサイズ、並びに、その位置情報をレポートする。本解析結果作成にかかる時間を記録し、解析時間を算出する。

※5 個別試験、漏水検知、清掃機能は、個別試験の参考としたため、本書での記載は省略する。

漏水検知：コンクリート打継ぎ面の開きによりダム上流からの漏水の状況を確認する検査

清掃機能：ダム上流面を被覆する藻などを清掃する機能

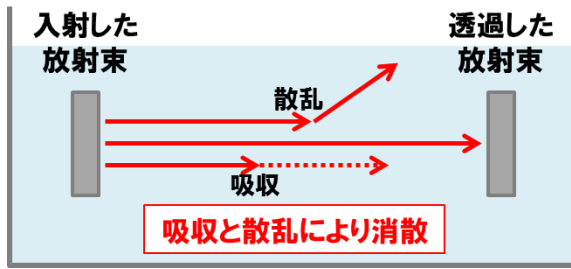
3. 濁水化検討

現在、日本の河川やダムなどの水の濁りを表す指標として、濁度（NTU など）が用いられている。しかし、カメラの視認性で判断しようとした場合、濁度では懸濁物質の粒径やクロロフィルなどによる水の着色によって、視認性と相関が取れない可能性がある。

そこで、新たに水の濁りを表す指標としては、光束透過率を用いる必要があると考える。しかし、この光束透過率での指標が定まっていないため、実験室で行った濁度（NTU）と光束透過率との相関を参考として添付する。

《光束透過率》

通常、光束透過率を測定する機器は、光束透過率を算出するソフトが入っているが、今回の実験に使用した水中連続分光吸収係数／光束消散係数計においては、消散係数を算出するソフトを用いている。そのため、消散係数を光束透過率に換算するための式を下記に示す。なお、今回はカメラで撮影した距離と同等の 30 cm の距離での光束透過率を求めた。



光束透過率

光束の長さに対して小さい直径をもつ
光束についての透過率

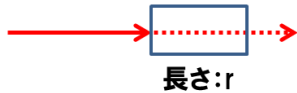
消散率(吸収率と散乱率の和):C



消散係数 $c = -\Delta C / \Delta r$ [1/m]

消散係数から透過率を計算

消散率(吸収率と散乱率の和):C



消散係数 $c \cdot r = -\log_e(1-C)$



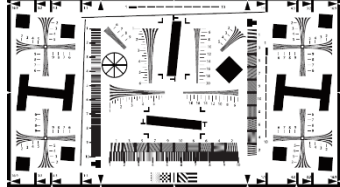
消散係数 $c = \frac{1}{r} \ln \frac{1}{T}$


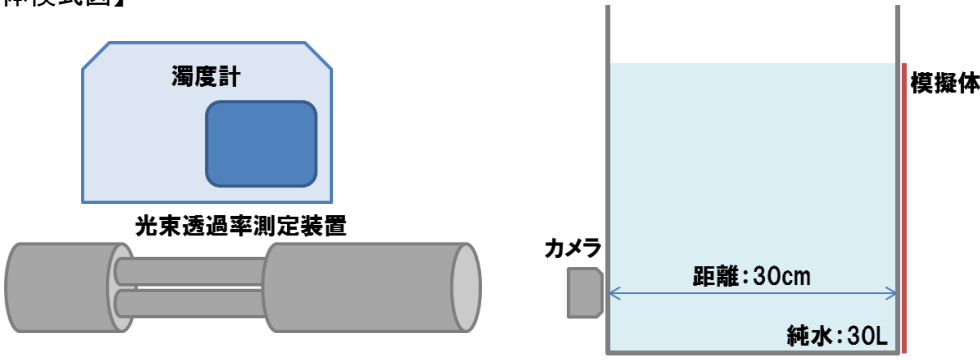
透過率 $T = 1-C$

透過率 $T = \frac{1}{e^{cr}}$

図Ⅲ.1.1.3-16 光束透過率の算出方法

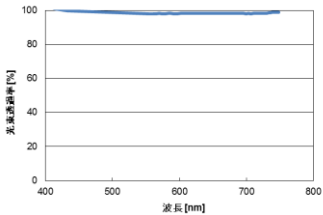
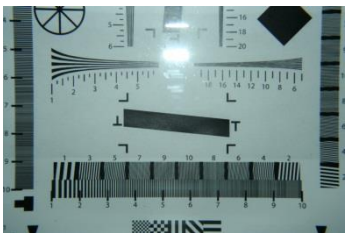
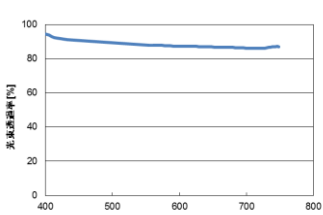

《実験条件》

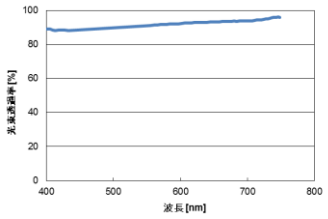
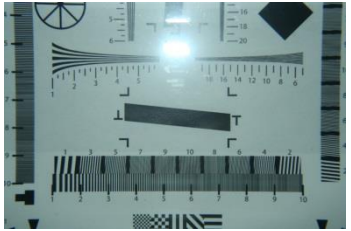
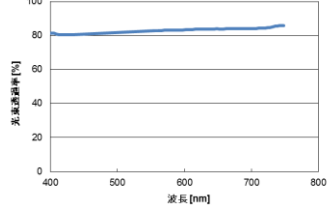
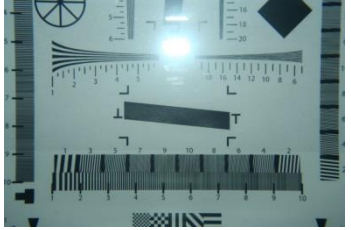
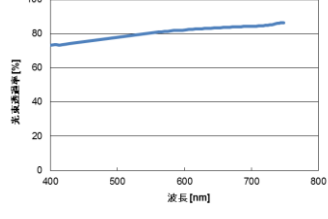
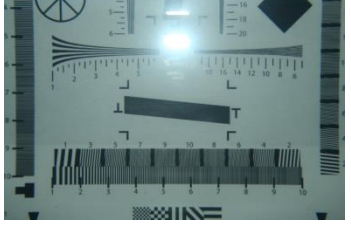
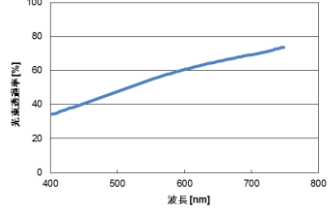
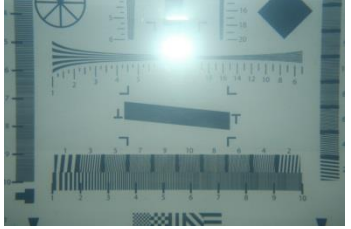
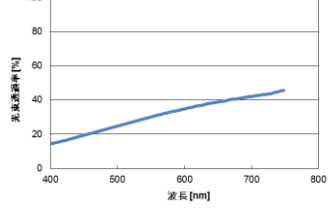
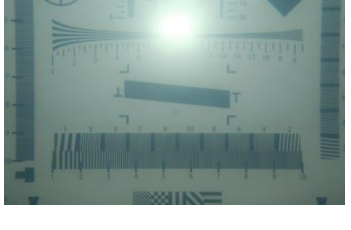
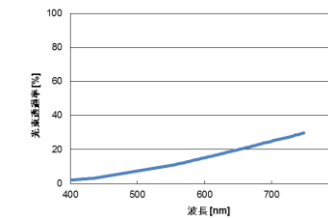

| 計測装置 | |
|--|---|
| <p>【濁度計】 高感度ラボ用濁度計 型式：2100N メーカー：ハック社製</p>  | <p>【光束透過率測定装置】 水中連続分光吸収係数／光束消散係数計 メーカー：WET Labs 社製 型式：ac-s</p>  |
| 試験環境 | |
| <p>【懸濁物質】 ホルマジン標準液 4000 度・400 度 メーカー：キシダ化学</p> | <p>【模擬体】 ISO12233 チャート</p>  |
| <p>【カメラ】 メーカー：Canon モデル：Canon EOS Kiss Digital N 絞り値：f/11 露出時間：1/8 秒</p> | <p>【水槽】 アクリル水槽 外寸：60.0 cm × 30.0 cm × 36.0 cm 内寸：58.5 cm × 28.5 cm × 33.5 cm</p> |

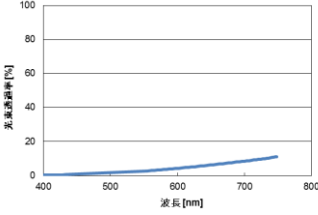

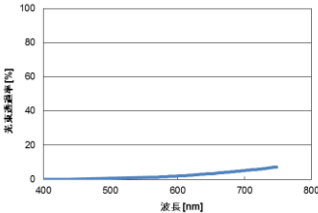

| | |
|---|--|
| <p>ISO 速度 : ISO-400 露出補正 : 0 ステップ 焦点距離 : 28 mm フラッシュモード : フラッシュ (強制) 大きさ : 2496×1664 幅 : 2496 ピクセル 高さ : 1664 ピクセル 水平方向解像度 : 72dpi 垂直方向解像度 : 72dpi ビット深さ 24</p> |  |
| <p>【全体模式図】</p>  | |

表Ⅲ2.1.1.3-10 実験条件

《実験結果》

| 濁度 [NTU] | 光束透過率グラフ | 光束透過率 [%] | カメラでの視認性 |
|---------------|---|-----------|---|
| 0.050 (純水) |  | 98.1 |  |
| 0.185 |  | 88.0 |  |




| | | | |
|-------|---|------|---|
| 0.411 |  | 91.2 |  |
| 0.588 |  | 82.7 |  |
| 0.921 |  | 80.7 |  |
| 3.030 |  | 55.5 |  |
| 4.900 |  | 30.8 |  |
| 10.0 |  | 11.1 |  |

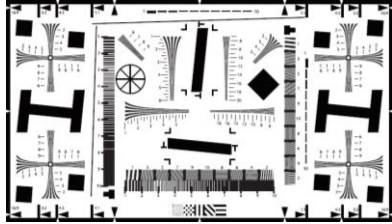
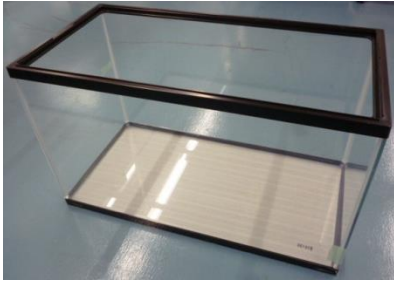
| | | | |
|------|---|-----|---|
| 15.0 |  | 2.8 |  |
| 20.0 |  | 1.1 |  |

表Ⅲ2.1.1.3-11 実験結果

実際の環境で光束透過率をどのように測定するかサンプルとして、福島県南相馬市での測定の様子を参考として添付する。

《実験条件》

| 計測装置 | |
|---|--|
| <p>【光束透過率測定装置①】 水中連続分光吸収係数／光束消散係数計 メーカー：WET Labs 社製 型式：ac-s</p>  | <p>【光束透過率測定装置②】 海域基礎データ取得装置 メーカー：エスエーエス株式会社</p>  |
| <p>【濁度計】 高感度ラボ用濁度計 型式：2100N メーカー：ハック社製</p>  | |

| 試験環境 | |
|--|--|
| <p>【カメラ】 メーカー：Canon モデル：Canon EOS Kiss Digital N 絞り値：f/11 露出時間：1/8 秒 ISO 速度：ISO-400 露出補正：0 ステップ 焦点距離：28 mm フラッシュモード：フラッシュ（強制） 大きさ：2496×1664 幅：2496 ピクセル 高さ：1664 ピクセル 水平方向解像度：72dpi 垂直方向解像度：72dpi ビット深さ 24</p> | <p>【模擬体】 IS012233 チャート</p>  <p>【水槽】 アクリル水槽 外寸：60.0 cm × 30.0 cm × 36.0 cm 内寸：58.5 cm × 28.5 cm × 33.5 cm</p>  |

表Ⅲ2.1.1.3-12 実験条件

《測定場所》

福島県南相馬市 横川ダム





《測定方法》
 【光束透過率測定装置①】
 水深約 20m の場所で、採水器を用いて採取した約

500ml の水を実験室に持ち帰り、測定。

附属書 A と同様、波長 555nm での 30 cm の距離での透過率である。



《採水風景》

《リゴーB号透明採水器》

【光束透過率測定装置②】

堤体の上から測定装置を水深約 20m の場所まで沈め、測定。

深度ごとの 1m の距離での透過率が測定値として得られる。そのため、20m 付近の 3 点を平均して値を求めた。また、ここで、求めた値は、緑の波長 (525nm) での透過率である。



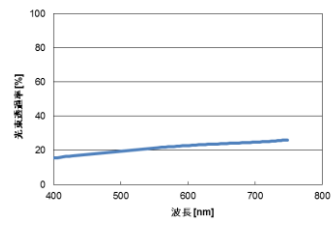

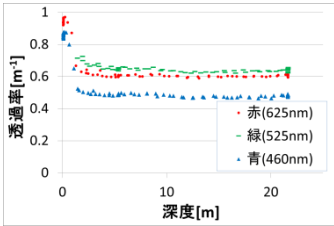
《測定風景》

【濁度計】

水深約 20m の場所で、採取した約 500ml の水を実験室に持ち帰り、測定。

※光束透過率測定装置②にも濁度計が搭載してある。そのため、この値も下記の表中に記載した。

《測定結果》

| 測定装置 | 濁度 | 光束透過率グラフ | 光束透過率 [%] | カメラでの視認性 |
|----------------------|----------|--|--------------------|---|
| ① 水中連続分光吸収係数／光束消散係数計 | 10.0 NTU |  | 21.5 (波長：555nm) |  |
| ② 海域基礎データ取得装置 | 0.7 FTU |  | 87.1 (波長：625nm) | — |

表Ⅲ2.1.1.3-13 測定結果

※ カメラでの視認性に関しても、現場で約 30L の水を採取して、確認。

ここで、光束透過率計①と②に大きな差があるが、これは①が堤体の際から採水したのに対し、②は堤体から 10m 程度離れた箇所を測定した。そのため、水の濁りに差が生じたと考えられる。そのため、実際の水中ロボットが測定する位置と同等の位置での測定が必要である。

(6) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.1.1.4. 無人航空機を活用した災害対応分野（実施先：株式会社 SUBARU）

（１）事業の背景・意義（目的・概要）

我が国における災害危険箇所は国土の広範囲にわたり多数存在している。

土砂災害については、全国に約65万か所の警戒区域があり、年間平均して1000件の土砂災害が発生している。

また、河川の氾濫による水害についても、洪水予報河川として約430河川、水位周知河川として、1500以上の河川が指定されている。

こういった極めて広範囲で、高い頻度で災害が発生する危険性がある状況の中で、災害発生時に迅速な被害状況の確認に有効となる航空機の数に極めて限られている。更に、有人航空機では、悪天候下における計器飛行方式や、夜間の運用を実施する場合は、それらに対応した設備を有する飛行場を拠点とする必要があり、災害現場への進出に制約が多い。

従って、有人航空機を補完し、迅速かつきめ細やかに災害に対処できる無人航空機が我が国の国民の安全・利便性の向上には不可欠であり、市場予測によると、2020年時点で年間約20億円の市場規模に急速に拡大すると予想されている。

特に、現在、実用化されている無人航空機は、小型のマルチコプターのような、携帯電話等の一般家電製品レベルの技術に基づき開発されたもの、もしくは、軍用途を前提に開発されたものが大多数であり、国内の有人地域を前提とした飛行中の安全性の確保・第三者被害の観点では、まだ技術的に成熟したものとは言えない。

この無人航空機を活用した災害調査に関しては、従来の無人航空機では、無人航空機を利用した災害調査任務の具体化、運用安全性の確保、国際標準化への対応、が実用化への課題となっている。

そこで、従来の小型無人航空機（マルチコプター型ドローン）と異なり広範囲な利用が期待できる大型無人航空機を前提として、無人航空機の高精度の位置測位が可能となる我が国独自の準天頂衛星を利用したシステムを活用することで、無人航空機の3次元的位置を精密に測定し、災害状況を正確かつ迅速に把握すると共に、有人航空機と無人航空機が入り混じる複雑な空域等における安全性を確保し、前述の課題に対応する。

本研究開発では、このような災害対応の無人航空機の性能評価に必要な評価環境・評価項目・評価基準等を明らかにした。また、無人航空機の経済産業省が公表している、「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」に示されるレベル3の実現に向けて、特に、無人航空機の安全性に関するデータ取得のための試験を実施し標準的な試験方法等の検討を実施した。

無人航空機を活用した災害調査に関しては、従来の無人航空機では、①無人航空機を利用した災害調査任務の具体化、②運用安全性の確保、③国際標準化への対応、が実用化への課題となっている。そこで、従来の小型無人航空機（マルチコプター型ドローン）と異なり広範囲な利用が期待できる大型無人航空機を前提として、無人航空機の高精度の位置測位が

可能となる我が国独自の準天頂衛星を利用したシステムを活用することで、無人航空機の3次元的位置を精密に測定し、災害状況を正確かつ迅速に把握すると共に、有人航空機と無人航空機が入り混じる複雑な空域等における安全性を確保し、上記の課題に対応する。本事業ではこのような災害対応の無人航空機の性能評価に必要な評価環境・評価項目・評価基準等を明らかにする。無人航空機の経済産業省が公表している、「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」に示されるレベル3の実現に向けて、特に、無人航空機の安全性に関するデータ取得のための試験を実施し標準的な試験方法等の検討を進めた。

(2) 研究開発目標と根拠

2017年度は、2016年度に委託を受けた「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／ロボット性能評価手法等の研究開発／調査用無人航空機の評価手法の研究開発」で導かれた災害調査のために必要な無人航空機の性能評価に必要な評価項目の中の適用できる既存の規格・基準が無いものの中で、災害現場においてユーザーの注目度が高い評価項目である安全性の、衝突回避と信頼性に関する評価項目について、その具体化を進める。

①安全性に関する評価基準の具現化のための調査

災害運用下における安全性の評価について衝突回避と運航管理の観点から、回避距離の定義や回避余裕時間の設定、回避機動の方法など現時点で標準化されていない項目について有識者の意見を反映し適切な評価基準を設定する。

また、安全性については無人航空機の特徴（人が搭乗していない、機体が比較的安価など）を考慮し、有人航空機の安全基準と異なり、自機の保護を優先せず、第三者の財産の保護を前提とした検討を進め、評価基準を設定する。

②災害調査用無人航空機のシステム構想

2016年度委託を受けた「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／ロボット性能評価手法等の研究開発／調査用無人航空機の評価手法の研究開発」で導出された運用任務を実現するための無人航空機の、機体規模や飛行性能の構想を検討し、シミュレーションにより検証し、システム性能を検討する。

③技術動向の調査

無人航空機に関連する国際的な技術動向を調査し本研究の資とした。衝突回避と信頼性について以下の方針で動向を調査する。

a) 衝突回避

・標準化機関として欧米の航空局を中心に、衝突回避技術の実証が進んでいるところであ

り、実証技術の進み具合、狙っているゴール、現状及び達成しようとしている技術レベル、達成時期について実状を把握する。

・調査方法は、ヒアリング及び文献調査により実施する。

b) 信頼性

・航空機以外の各産業（鉄道、自動車、協働ロボット等）における信頼性の保証・試験・評価手法について把握する。

・調査方法は、ヒアリング及び文献調査により実施する。

④国際標準化に向けた提案検討

災害調査用の無人航空機の評価基準についてISO等に提案するための情報提供を行う。

⑤衝突回避に係わる基礎データの取得

災害現場における有人航空機又は無人航空機との衝突回避に係わる視認性、回避機動能力及びダウンウォッシュ影響についての基礎データを取得し、衝突回避の性能評価に反映する。

a) 視認性

有人航空機から見た無人航空機の視認性、並びに、無人航空機のカメラ等を通じて見た有人航空機の視認性について評価する。

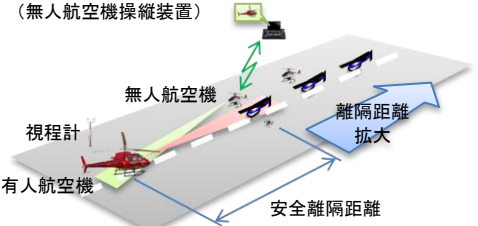
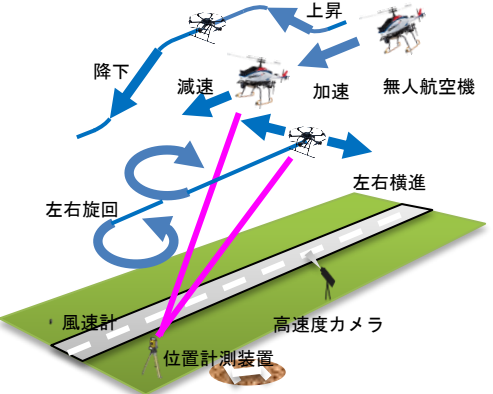
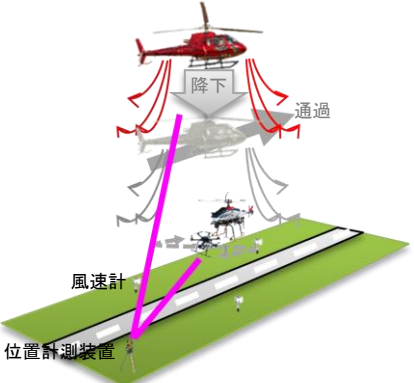
b) 回避機動能力

無人航空機が衝突回避を行うときの機動能力について評価する。

c) ダウンウォッシュ影響

有人航空機の下方を無人航空機が飛行することを想定し、有人航空機が発生させるダウンウォッシュ（吹き下ろし）による無人航空機への飛行の影響を確認する。

試験方法及び試験イメージを表Ⅲ.1.1.4-1に示す。

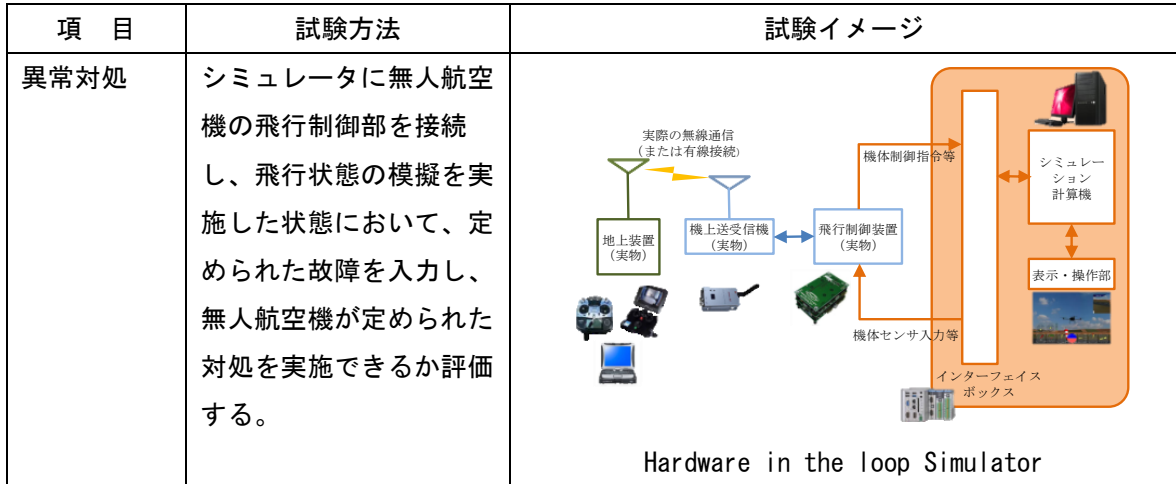
| 項目 | 試験方法 | 試験イメージ |
|------------|--|---|
| 視認性 | 複数の離隔距離（安全離隔距離前後）で無人航空機／有人航空機が有人航空機／無人航空機から目視可能か確認する。 （地上試験／飛行試験） |  |
| 回避機動能力 | 大型／小型無人航空機で、上昇／降下／旋回／加速／減速／横進を実施し、衝突回避時の飛行経路設定の基礎データを取得する。 |  |
| ダウンウォッシュ影響 | ホバリング中の無人航空機の上空から有人航空機を降下又は通過し、接近させ、有人航空機の吹き下ろしの影響を把握する。 |  |

表Ⅲ.1.1.4-1 衝突回避に係わる基礎データ取得の試験方法及び試験イメージ

⑥異常対処の検証

空域からの逸脱防止に関して、各種の故障が発生した場合の無人航空機の対処をシミュレータにより検証するためのシュミレーションツールを構築する。

試験方法及び試験イメージを表Ⅲ2.1.1.4-2に示す。



表Ⅲ2.1.1.4-2 無人航空機の異常対処検証の試験方法及び試験イメージ

(3) 研究開発スケジュール

次ページの表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| 事業項目 | 2017年度 | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| 性能評価基準書案作成 | → | | | |
| ① 安全性に関する評価基準の具現化のための調査 | → | | | ↑ |
| ② 災害調査用無人航空機のシステム構想 | | | → | |
| ③ 技術動向の調査 | → | | | |
| ④ 国際標準化に向けた提案 | → | | | |
| ⑤ 衝突回避に係わる基礎データの取得 | → | | → | |
| ⑥ 異常対処の検証 | → | | → | |

表Ⅲ2.1.1.4-3 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

本研究開発では、我が国で多数発生する土砂災害に対する無人航空機の活用を実現するため、そのユースケースに対応した課題を解決するための特に大型無人航空機を主とした性能評価手法を明確化した。

2017年度は、2016年度に委託を受けた「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／ロボット性能評価手法等の研究開発／調査用無人航空機の評価手法の研究開発」で導かれた災害調査のために必要な無人航空機の性能評価に必要な評価項目のうち、適用できる規格・基準がないものの中で、災害現場においてユーザーの注目度が高い評価項目である安全性の衝突回避と信頼性に関する評価項目について、その具体化を進めた。

具体化にあたっては、衝突回避技術の国際的な技術動向及び航空機以外の産業における信頼性の評価方法について調査し、その動向を明確化したとともに、有人航空機から無人航空機の見え方を確認する視認性、有人航空機の下方を飛行する場合の無人航空機への影響、及び無人航空機が衝突回避を行うときの機動能力についての基礎データを取得し、この結果を踏まえ、衝突回避をするための評価基準の明確化を行った。これらの内容は、国土交通省と経済産業省が主催している「無人航空機の目視外及び第三者上空等の飛行に関する検討会」に報告され、今後の目視外飛行に必要な無人航空機の要件検討の資とされることとなった。

我が国においては、極めて広範囲で、高い頻度で災害が発生する危険性がある状況の中で、災害発生時の救助活動や被害状況を迅速に把握するためにかかせない有人航空機は数が限られている。

従って、有人航空機を補完し、迅速かつきめ細やかに災害に対処できる無人航空機が我が国の国民の安全・利便性の向上には不可欠であるが、現在実用化されている無人航空機は、国内の有人地域を前提とした飛行中の安全性の確保・第三者被害の観点では、まだ技術的に成熟したものとは言えない。

本研究開発により、我が国で、日常的に運用が可能な安全性・信頼性の極めて高い無人航空機が開発され、災害対処に限らず、広範囲な用途で、現有の無人航空機に対して高い競争力を発揮し、新たな民間市場の開拓や海外への輸出による経済的な効果への貢献等に寄与することを期待する。

(5) 成果の詳細

1. 安全性に関する評価基準の具現化のための調査

安全性に関する評価基準の具現化にあたっては、衝突回避技術及び航空機以外の産業における信頼性の評価方法について調査し、その動向を明確化した（「技術動向の調査及び国際標準化に向けた提案検討」参照）とともに、有人航空機から無人航空機の見え方を確認す

る視認性、有人航空機の下方を飛行する場合の無人航空機への影響などの基礎データを取得（「衝突回避に係わる基礎データの取得」参照）し、この結果を踏まえ、衝突回避をするための評価基準の明確化を行い、無人航空機性能評価基準書に反映した。無人航空機性能評価基準書に反映した内容を表Ⅲ2.1.1.4-4に示す。

なお、これらの内容は、国土交通省と経済産業省が主催している「無人航空機の日視外及び第三者上空等の飛行に関する検討会」に報告され、今後の目視外飛行に必要な無人航空機の要件検討の資とされることとなった。

| 性能評価基準書の項目等 | | 性能評価基準書への反映事項 |
|--------------------------------|---|---|
| 7.2.2 目視内飛行での操縦者からの視認性（視認可能距離） | 試験方法 <ul style="list-style-type: none"> 視程が5km以上確保されていることを、視程計等を用いて確認する。 評価者は3名以上とし無人航空機を、ランクに対応する離隔距離に配置する。この際、評価者と無人航空機の間には障害物があることはない。 評価者は地上の無人航空機を目視し、無人航空機であること及び無人航空機の機首方向を判別できるかを評価する。 評価者の過半数が判別できることを確認する。 | 背景空を均一に入れた状態で、日中に実施することを追加 |
| | 試験機器 <ul style="list-style-type: none"> 試験実施時の視程が5km以上確保されていることを確認可能な視程計 | |
| 7.5.4 安全性 | 全般 | JIS B 9700（機械類の安全性－設計のための一般原則－リスクアセスメント及びリスク低減）の評価手法と同様に、無人航空機としても、危険源（可動部の予期しない移動、故障等）を設定し、これに対するリスク低減 |

| | | |
|-----------------------------|-------------|--|
| | | の方策を取るような全般注意事項を追記 |
| 7.5.4.6 衝突回避 ①回避するための機能 | 試験方法 | 実際の衝突回避性能・機能を保証できる適切な代替手段の一例として、回避機動能力試験と同様に回避に要する時間を計測し、この結果から自機と回避対象との相対速度の許容値を満足していることを確認可能な試験方法を追加 |
| 7.5.4.6 衝突回避 ②回避されるための機能 | 被探知性向上機能の内容 | 灯火類の分類追加、背景の違い（空／地面）による塗色の視認性追加及び灯火以外の視認性を向上させる機能の削除 |

表Ⅲ2.1.1.4-4 安全性に関する無人航空機性能評価基準書への反映事項

2. 災害調査用無人航空機のシステム構想

2016 年度委託を受けて「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／ロボット性能評価手法等の研究開発／調査用無人航空機の評価手法の研究開発」で導出された運用任務を実現する災害調査用無人航空機のシステム構想を明確化した。

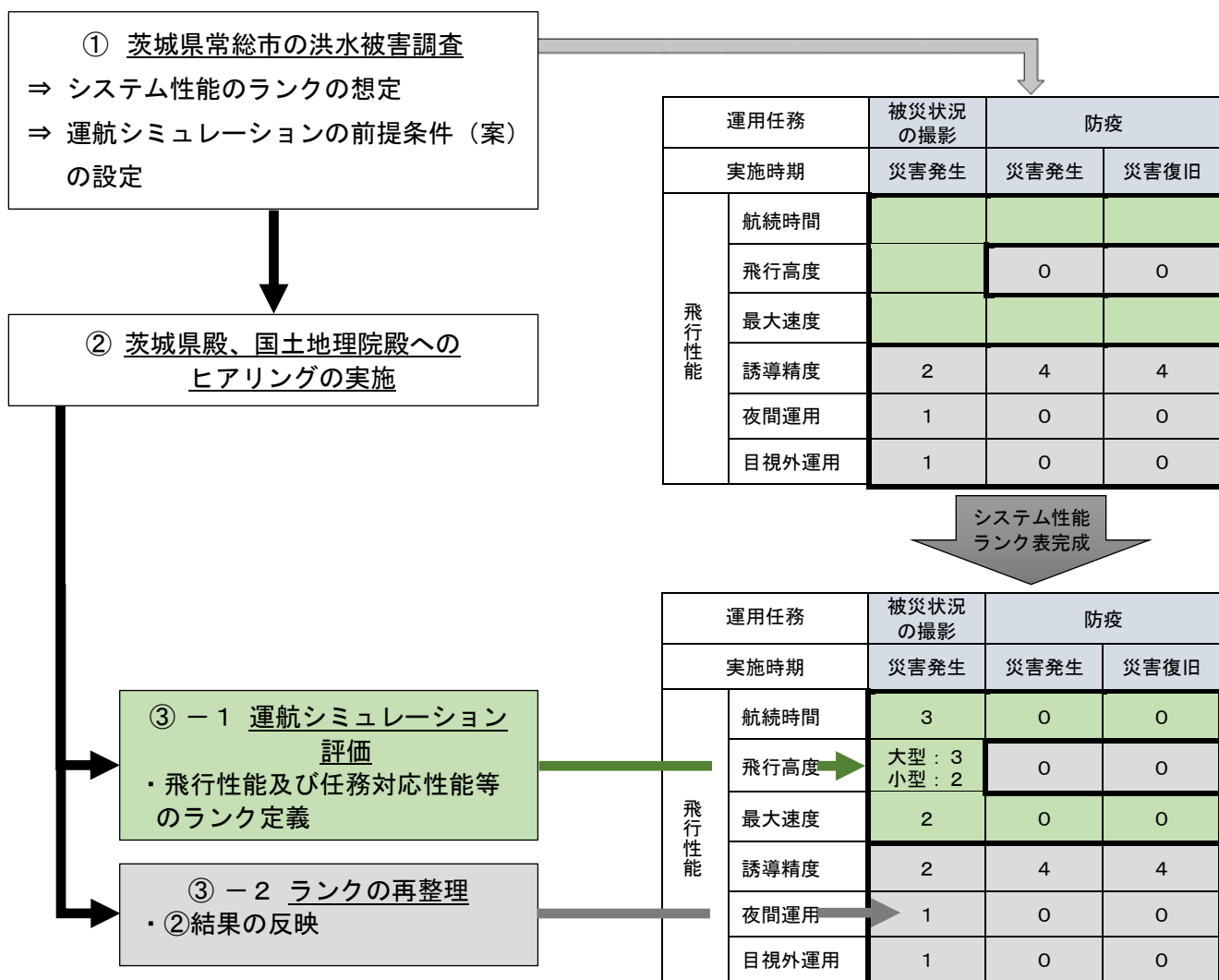
(1) 「2015年9月の関東・東北豪雨による茨城県常総市の洪水被害」を対象として、
図Ⅲ2.1.1.4-1 の検討フローに従い運用任務に必要なシステム性能のランクを設定した。

- ① : 洪水被害状況・災害対応状況等から、運用任務に要求されるシステム性能のランクを想定するとともに、運航シミュレーションを実施する上での前提条件（案）を検討した。
- ② : ①の結果について、茨城県殿、国土地理院殿にヒアリングを実施した。
- ③-1 : ②の結果を反映した前提条件に基づき運航シミュレーションを実施し、検討・評価を行い飛行性能及び任務対応性能等のランク想定を定義した。
また、耐環境性能についても、「災害予防」、「災害発生時」及び「災害復旧」の運用任務の実施時期に対応した茨城県常総市における耐風速等の調査を行い、この条件を付加して運航シミュレーションを実施した。
- ③-2 : ②の結果からランクの再整理を実施した。

(2) 2016 年度に導出した、災害調査用無人航空機を活用できる8つの運用任務を表Ⅲ2.1.1.4-5 及び図Ⅲ2.1.1.4-2 に示す。また、災害調査用無人航空機の設計・製造・運用任務に必要なシステム性能26項目のランク分けを表Ⅲ2.1.1.4-6 に、耐環境性能の

評価項目 2 3 項目のランク分けを表Ⅲ2.1.1.4-7に示す。

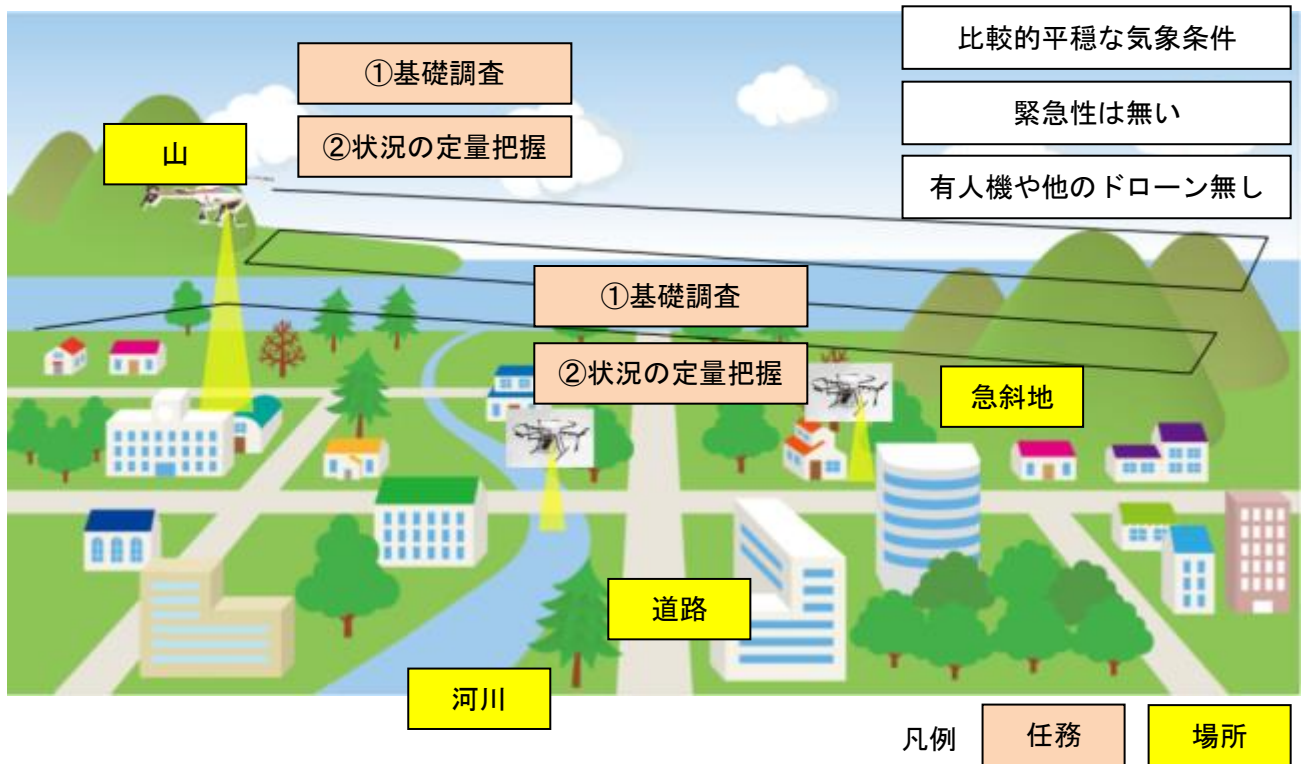
- (3) 茨城県常総市の洪水被害発生時及びその前後の時期に茨城県下妻において観測された大気・気象環境に基づく、「災害予防」、「災害発生時」及び「災害復旧」に要求されるそれぞれの耐環境性能の想定を表Ⅲ2.1.1.4-8に示す。
- (4) 運用任務毎の運航シミュレーション結果に基づく運用任務毎のシステム性能のランク想定の一覧を表Ⅲ2.1.1.4-9に示す。また、運航シミュレーションの条件と結果、及びこの結果に基づく大型無人航空機と小型無人航空機それぞれに要求されるシステム性能のランク想定の一例を表Ⅲ2.1.1.4-10に示す。



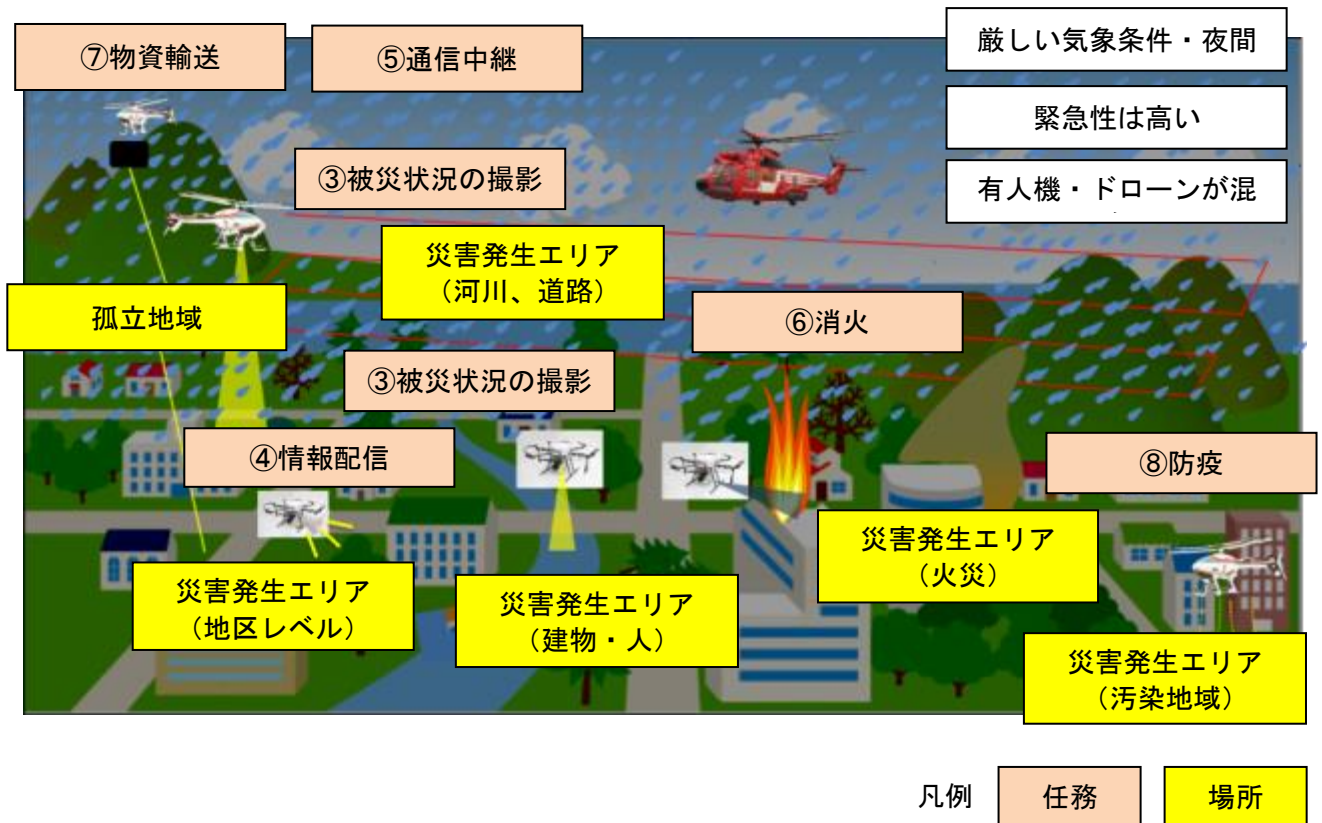
図Ⅲ2.1.1.4-1 災害調査用無人航空機のシステム構想検討フロー

| 番号 | 任 務 | 場 所 | 対 象 | 実施時期 | 具体的な方法 |
|----|-------------|------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| ① | 基礎調査 | 河川、山、道路、急傾斜地 | 地形 | 災害予防 | 撮影 |
| ② | 状況の 定量把握 | 河川、山、道路、 急傾斜地 | 地形 | 災害予防・災 害復旧 | 撮影（空中写真測 量） |
| | | | | | 撮影（レーザ測量） |
| ③ | 被災状況 の撮影 | 災害発生エリア | 人、建築物、河川、道 路、火災、災害状況 | 災害発生時 | 撮影 |
| ④ | 情報配信 | 災害発生エリア | 避難指示 | 災害発生時 | 輸送（スピーカー） |
| | | | 支援情報 | 災害発生時・ 災害復旧 | |
| ⑤ | 通信中継 | 孤立地域 | 通信手段の確保 | 災害発生時 | 輸送、通信中継 |
| ⑥ | 消火 | 火災発生エリア | 最重要防御地域 | 災害発生時 | 輸送（消火弾） |
| ⑦ | 物資輸送 | 孤立地域 | 救援物資 | 災害発生時 | 輸送（水、毛布） |
| ⑧ | 防疫 | 災害発生エリア | 消毒 | 災害発生時・ 災害復旧 | 輸送（消毒液） |

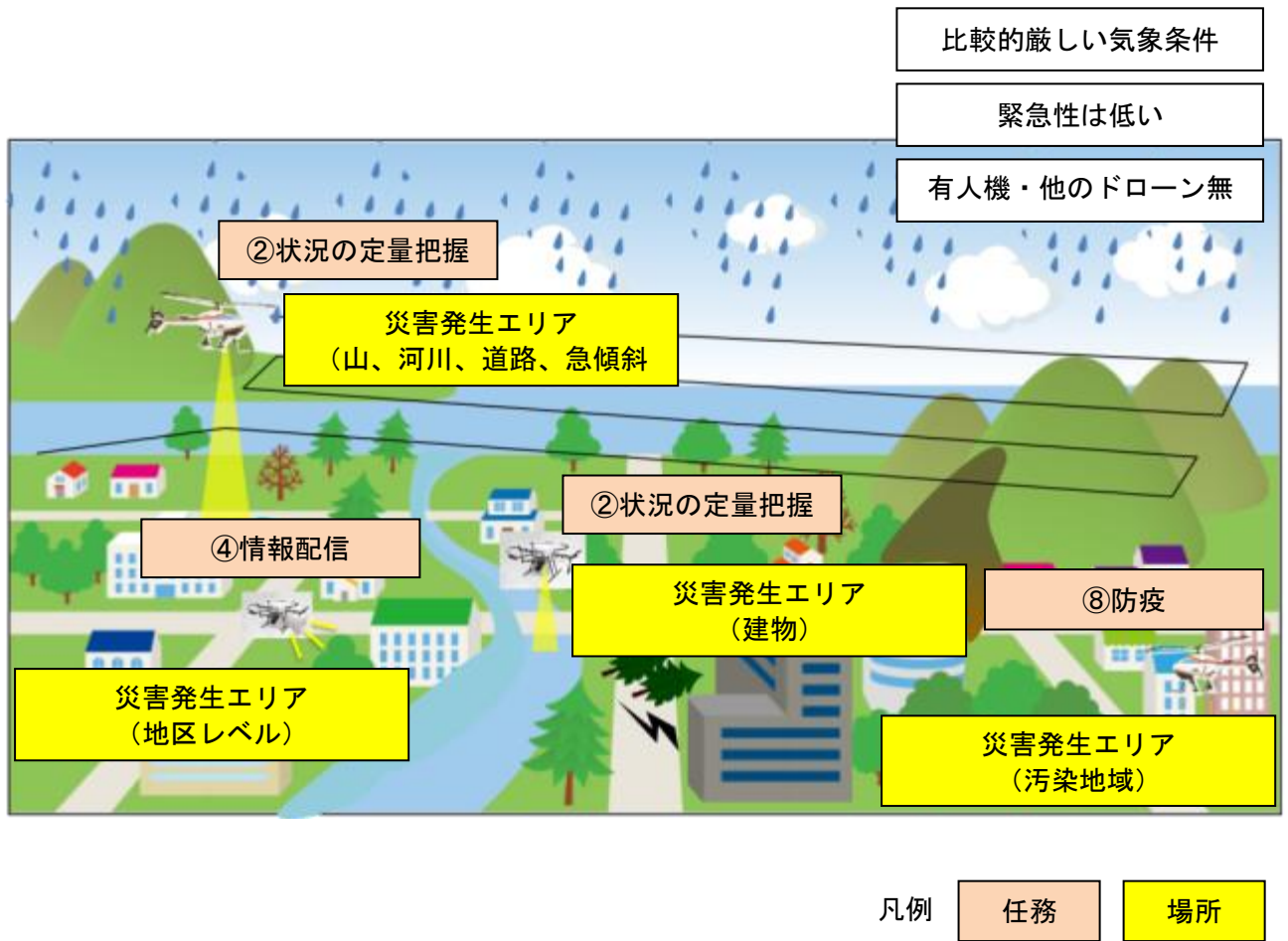
表Ⅲ2.1.1.4-5 災害調査用無人航空機の運用任務



図Ⅲ2.1.1.4-2 災害調査用無人機の運用任務（災害予防）（1／3）



図Ⅲ2.1.1.4-2 災害調査用無人航空機の運用任務（災害発生時）（2／3）



図Ⅲ.1.1.4-2 災害調査用無人航空機の運用任務（災害復旧）（3 / 3）

| 区分・項目 | | ランク0 | ランク1 | ランク2 | ランク3 | ランク4 | ランク5 | ランク6 | ランク7 | ランク8 | |
|------------|----------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|----------------|------------------|--|
| 飛行性能 | 航続時間 | 15分未満 | 15分 | 30分 | 1時間 | 2時間 | 3.5時間 | 6時間 | 12時間 | 12時間超 | |
| | 飛行高度 | 300m未満 | 300m | 500m | 1000m | 2100m | 2800m | 3800m | 3800m超 | | |
| | 最大速度 | 30km/h未満 | 30km/h | 60km/h | 100km/h | 150km/h | 250km/h | 350km/h | 350km/h超 | | |
| | 最低速度 | ランクは特に設定せず、飛行可能な最低速度を計測し、明記することとする。 | | | | | | | | | |
| | 誘導精度 | 水平:50m超 垂直:100m超 | 水平:50m 垂直:100m | 水平:5m 垂直:10m | 水平:1m 垂直:2m | 水平:6cm 垂直:12cm | 水平:1cm 垂直:2cm | | | | |
| | 夜間運用 | 不可能 | 可能 | | | | | | | | |
| | 目視外運用 | 不可能 | 可能 | | | | | | | | |
| | 行動半径 | 100m未満 | 100m | 2km | 10km | 30km | 70km | 150km | 350km | 350km超 | |
| 任務対応 | 撮影 | 精度 | 水平:50m超 垂直:100m超 | 水平:50m 垂直:100m | 水平:5m 垂直:10m | 水平:1m 垂直:2m | 水平:6cm 垂直:12cm | 水平:1cm 垂直:2cm | | | |
| | | 質量 | 1kg未満 | 1kg | 3kg | 10kg | 20kg | 55kg | 55kg超 | | |
| | | 識別性能 | 150m ₂ 以上から 3kmを識別 | 150m ₂ 以上から 122mを識別 | 150m ₂ 以上から 2mを識別 | 150m ₂ 以上から 0.5mを識別 | | | | | |
| | | 更新 | なし | 1分超/回 | 1分/回 | 1Hz | 30Hz | 30Hz超 | | | |
| | 輸送 | 3kg未満 | 3kg | 10kg | 20kg | 55kg | 350kg | 1000kg | 1000kg超 | | |
| | 中継 | 100m未満 | 100m | 2km | 10km | 30km | 70km | 70km超 | | | |
| 安全性 | 異常発生時対応 | | 飛行困難な異常とそれを検出する機能・異常対応機能の有無を記載する。 | | | | | | | | |
| | ジオフェンス機能 | | 無 | 有(静的) | 有(動的) | | | | | | |
| | 衝突回避 | 回避する | 回避可能な対象と自機と回避対象の相対速度の許容値を記載する。 | | | | | | | | |
| | | 回避される | 被探知性向上機能の有無を記載する。 | | | | | | | | |
| | 事故対応 | 失探防止 | 位置送信無 | 位置送信有 | | | | | | | |
| | | 防失防止 | 水没防止無 | 水没防止有 | | | | | | | |
| 要因特定 | | 記録無 | 記録有 | | | | | | | | |
| ターンアラウンド時間 | | 12時間超 | 12時間 | 4時間 | 1時間 | 30分 | 10分 | 10分未満 | | | |
| 部品交換間隔 | | 明示無 | 8時間未満 | 8時間 | 60時間 | 250時間 | 750時間 | 3000時間 | 3000時間超 | | |
| 信頼性 | | 明示無 | 1件超 /100時間 | 1件 /100時間 | 1件 /1000時間 | 10件 /10万時間 | 5件 /10万時間 | 1件 /10万時間 | 0.1件 /10万時間 | 0.1件未満 /10万時間 | |
| 騒音 | | 100dB超 | 100dB | 80dB | 60dB | 40dB | 40dB未満 | | | | |
| 廃棄 | | 特別管理産業 廃棄物、特別 管理一般廃棄 物を含む | 産業廃棄物 を含む | 特別管理一般 廃棄物、産業 廃棄物 を含まない | | | | | | | |

表Ⅲ.1.1.4-6 システム性能評価項目及びランク設定

- ・ジオフェンス機能：無人航空機に対し、仮想的な境界を設定する機能のこと。
- ・特別管理産業廃棄物及び特別管理一般廃棄物：廃棄物処理法で定められる爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有する廃棄物のこと。

| 区分 | 項目 | ランク0 | ランク1 | ランク2 | ランク3 | ランク4 | ランク5 | ランク6 | ランク7 | ランク8 | |
|-----------|------------------|--------------------------------|--|-------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------|---------|----------|---------|
| 大気・気象環境 | 耐高度性 | 300m未満 | 300m | 500m | 1000m | 2100m | 2800m | 3800m | 3800m超 | | |
| | 耐温度性 | 高温側 | 35°C未満 | 35°C | 40°C | 50°C | 60°C | 60°C超 | | | |
| | | 低温側 | 5°C超 | 5°C | 0°C | -10°C | -20°C | -25°C | -32°C | -46°C | -46°C未満 |
| | 耐降雨性 | 無 | 10mm/h未満 | 10mm/h | 20mm/h | 30mm/h | 50mm/h | 80mm/h | 160mm/h | 160mm/h超 | |
| | 耐雪性 | 降雪 | 無 | 有 | | | | | | | |
| | | 積雪 | 無 | 有 | | | | | | | |
| | 耐湿度性 | 65%未満 | 65% | 85% | 95% | 95%超 | | | | | |
| | 耐結露性 | 無 | 有 | | | | | | | | |
| | 耐氷性 | 無 | 有 | | | | | | | | |
| | 耐雷性/ 耐静電気性 | 無 | 被雷/静電気 対策有 (フライトエッ センシャルな構 成品) | 被雷/静電気 対策有 (機体全体) | | | | | | | |
| 耐風速 | 風力階級 3 | 風力階級 5 | 風力階級 6 | 風力階級 7 | 風力階級 8 | 風力階級 9 | 風力階級 10 | | | | |
| 周囲環境 | 耐かび | 無 | 有 | | | | | | | | |
| | 耐塩霧 | 無 | 有 | | | | | | | | |
| | 耐砂じん(塵) | 無 | 有 | | | | | | | | |
| | 離発着性能 (離発着面積) | 20000m ² 超 | 20000m ² | 2500m ² | 400m ² | 12.5m ² | 2.8m ² | | | | |
| | 視認性 (視認可能距離) | 50mで視認 不可 | 50m | 200m | 500m | 1000m | 1000m以遠 | | | | |
| 電磁的 環境 | 耐電磁波 干渉 | 加害 | 無 | 有 | | | | | | | |
| | | 被害 | 無 | 有 | | | | | | | |
| 危険環境 | 防爆 | 無 | 危険度2区域 | 危険度2区 域、1区域 | 危険度2区 域、1区域、0 区域 | | | | | | |
| | 耐放射熱 | 2kW/m ² に耐 えられない | 2kW/m ² | 8kW/m ² | 8kW/m ² 超 | | | | | | |
| | 耐化学 | 無 | 有 | | | | | | | | |
| | 耐生物 | 無 | 有 | | | | | | | | |
| | 放射性雰囲気性 | INES 0+ | INES 3 | INES 5 | INES 6 | INES 7 | | | | | |

表Ⅲ2.1.1.4-7 耐環境性能評価項目及びランク設定

- ・風力階級 : 気象庁が定義する風速の大きさを表現する尺度のこと。
- ・危険度区域 : JIS C 60079-10 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具—第10部 : 危険区域の分類で定義される区域のこと。
- ・INES : 国際原子力機関と経済協力開発機構原子力機関が制定した原子力事故・故障の評価の尺度を表現する国際原子力事象評価尺度のこと。

| 区分 | 項目 | | 耐環境性能想定 (2015年茨城県常総市の洪水被害) | | | 出典及び想定理由等 |
|---------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|---|
| | | | 災害予防 (9/1~9/7) | 災害発生時 (9/8~ 9/15) | 災害復旧 (9/16~9/30) | |
| 大気・気象環境 | 耐高度性 | | 24m+任務による高度設定 | | | 常総市の標高(5~24m)の最大値 |
| | 耐温度性 | 高温側 | 32℃ (9/2の値) | 29℃ (9/12の値) | 30℃ (9/28の値) | 茨城県下妻の各期間内における最大値 |
| | | 低温側 | 21℃ (9/5の値) | 15℃ (9/15の値) | 13℃ (9/30の値) | 同上 |
| | 耐降雨性 | | 1mm/h (9/2の値) | 51mm/h (9/9の値) | 11mm/h (9/17の値) | 同上 |
| | 耐雪性 | 降雪 | 無 | 無 | 無 | 同上 |
| | | 積雪 | 無 | 無 | 無 | 同上 |
| | 耐湿度性 | | 85% (9/2の値) | 98% (9/8の値) | 98% (9/17の値) | 同上 |
| | 耐結露性 | | 無 | 無 | 無 | 結露の有無は確認できなかったため |
| | 耐氷性 | | 無 | 無 | 無 | 0℃以下となった日は各期間中なし |
| | 耐雷性 ／耐静電気性 | | 無 | 無 | 有 | 茨城県水戸の天気概況より |
| 耐風速 | | 12m/s (9/2の値) | 14m/s (9/9の値) | 10m/s (9/29の値) | 茨城県下妻の各期間内における最大値 | |
| 周囲環境 | 耐かび | | 無 | 無 | 無 | かびの発生を伴った環境等への遭遇は確認できず |
| | 耐塩霧 | | 無 | 無 | 無 | 塩水霧囲気を伴った環境等への遭遇は確認できず |
| | 耐砂じん(塵) | | 無 | 有 | 有 | グラウンド等への砂塵環境下での離発着が必要と想定 |
| | 離発着性能 (離発着面積) | | 無 | 400m ² | 400m ² | 災害応急離着陸場等への狭小エリアへの離発着は必要と想定 |
| | 視認性 (視認可能距離) | | 視程 5km | 視程 2km | 視程 3km | 茨城県つくば(館野)観測の平成27年の各期間内における「1時間ごとの値」の「視程」の最小値 |
| 電磁的環境 | 耐電磁波 干渉 | 加害 | 無 | 有 | 有 | 救難・救助ヘリとの混在飛行時には必要と想定 |
| | | 被害 | 無 | 有 | 有 | 同上 |
| 危険環境 | 防爆 | | 無 | 無 | 無 | 爆発性雰囲気下における運用は確認できず |
| | 耐放射熱 | | 無 | 無 | 無 | 火災現場における運用は確認できず |
| | 耐化学 | | 無 | 無 | 無 | 化学災害下における運用は確認できず |
| | 耐生物 | | 無 | 無 | 無 | 生物災害下における運用は確認できず |
| | 耐放射性雰囲気 | | 無 | 無 | 無 | 放射性物質が存在する環境下での運用は確認できず |

表Ⅲ2.1.1.4-8 「災害予防」／「災害発生時」／「災害復旧」の耐環境性能想定

| 運用任務 | | ① 基礎調査 | ② 状況の定量把握 | | ③ 被災状況の 撮影 | ④ 情報配信 | | ⑤ 通信中継 | ⑥ 消火 | ⑦ 物資輸送 | ⑧ 防疫 | | |
|----------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 実施時期 | | 災害予防 | 災害予防 | 災害復旧 | 災害発生 | 災害発生 | 災害復旧 | 災害発生 | 災害発生 | 災害発生 | 災害発生 | 災害復旧 | |
| 飛行性能 | 航続時間 | ランク3 1時間 | ランク3 1時間 | ランク3 1時間 | ランク3 1時間 | 大型ランク5 3.5時間 小型ランク2 30分 | 大型ランク5 3.5時間 小型ランク2 30分 | 大型ランク3 1時間 小型ランク0 15分未満 | | 大型ランク0 15分未満 小型ランク2 30分 | ランク0 15分未満 | ランク0 15分未満 | |
| | 飛行高度 | 大型ランク3 1000m 小型ランク2 500m | 大型ランク3 1000m 小型ランク2 500m | 大型ランク3 1000m 小型ランク2 500m | 大型ランク3 1000m 小型ランク2 500m | ランク1 300m | ランク1 300m | ランク0 300m未満 | 常総市 洪水被害 時に火災 発生は 無かつた ので、 消火につ いての必 要ランク の想定は 実施せず 。 | ランク0 300m未満 | ランク0 300m未満 | ランク0 300m未満 | |
| | 最大速度 | 大型ランク4 150km/h 小型ランク2 60km/h | 大型ランク4 150km/h 小型ランク2 60km/h | 大型ランク4 150km/h 小型ランク2 60km/h | ランク2 60km/h | ランク0 30km/h未満 | ランク0 30km/h未満 | 大型ランク4 150km/h 小型ランク2 60km/h | | 大型ランク4 150km/h 小型ランク2 60km/h | ランク0 30km/h未満 | ランク0 30km/h未満 | ランク0 30km/h未満 |
| | 最低速度 | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | 20km/h | 20km/h | 0km/h (ホバリング) | | 0km/h (ホバリング) | 10~20km/h | 10~20km/h | 10~20km/h |
| | 誘導精度 | ランク2 水平5m 垂直10m | ランク2 水平5m 垂直10m | ランク2 水平5m 垂直10m | ランク2 水平5m 垂直10m | ランク2 水平5m 垂直10m | ランク2 水平5m 垂直10m | ランク2 水平5m 垂直10m | | ランク2 水平5m 垂直10m | ランク3 水平1m 垂直2m | ランク4 水平6cm 垂直12cm | ランク4 水平6cm 垂直12cm |
| | 夜間運用 | ランク0 不可能 | ランク0 不可能 | ランク0 不可能 | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク0 不可能 | ランク1 可能 | | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク0 不可能 | ランク0 不可能 |
| | 目視外運用 | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク1 可能 | | ランク1 可能 | ランク1 可能 | ランク0 不可能 | ランク0 不可能 |
| | 行動半径 | ランク4 30km | ランク4 30km | ランク4 30km | ランク4 30km | ランク4 30km | ランク4 30km | ランク4 30km | | ランク4 30km | ランク4 30km | ランク2 2km | ランク2 2km |
| 任務対応 | | | | | | | | | | | | | |
| 撮影 | 精度 | ランク3 水平1m 垂直2m | ランク3 水平1m 垂直2m | ランク3 水平1m 垂直2m | ランク3 水平1m 垂直2m | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | |
| | 質量 | 大型ランク3 10kg 小型ランク0 1kg未満 | 大型ランク3 10kg 小型ランク0 1kg未満 | 大型ランク3 10kg 小型ランク0 1kg未満 | 大型ランク3 10kg 小型ランク0 1kg未満 | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | |
| | 識別性能 | ランク2 2m ² 識別 | ランク2 2m ² 識別 | ランク2 2m ² 識別 | ランク2 2m ² 識別 | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | |
| | 更新 | ランク4 30Hz | ランク4 30Hz | ランク4 30Hz | ランク4 30Hz | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | |
| 輸送 | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | ランク3 20kg | ランク3 20kg | (不要) | (不要) | 大型ランク5 350kg 小型ランク2 10kg | ランク1 3kg | ランク1 3kg | | |
| 中継 | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | ランク3 10km | (不要) | (不要) | (不要) | (不要) | | |
| ターンアラウンド 時間 | 大型ランク4 30分 小型ランク5 10分 | 大型ランク4 30分 小型ランク5 10分 | 大型ランク4 30分 小型ランク5 10分 | ランク3 1時間 | ランク4 30分 | ランク4 30分 | 大型ランク4 30分 小型ランク5 10分 | 大型ランク4 30分 小型ランク5 10分 | ランク4 30分 | ランク4 30分 | ランク4 30分 | | |
| 部品交換間隔 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | ランク2 8時間 | | |
| 信頼性 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | ランク3 1件/1000時 間 | | |
| 騒音 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 廃棄 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |

表Ⅲ2. 1. 1. 4-9 運用任務毎のシステム性能ランク（運航シミュレーション結果反映）

※安全性の要求については、「無人航空機の目視外及び第三者上空等の飛行に関する検討会」の結論に準じるものとし本研究における想定は実施しない。

※騒音、廃棄については今回の使用を想定した洪水被害への対応任務を実行する上で必要な性能に直接影響しないため、想定しないこととした。

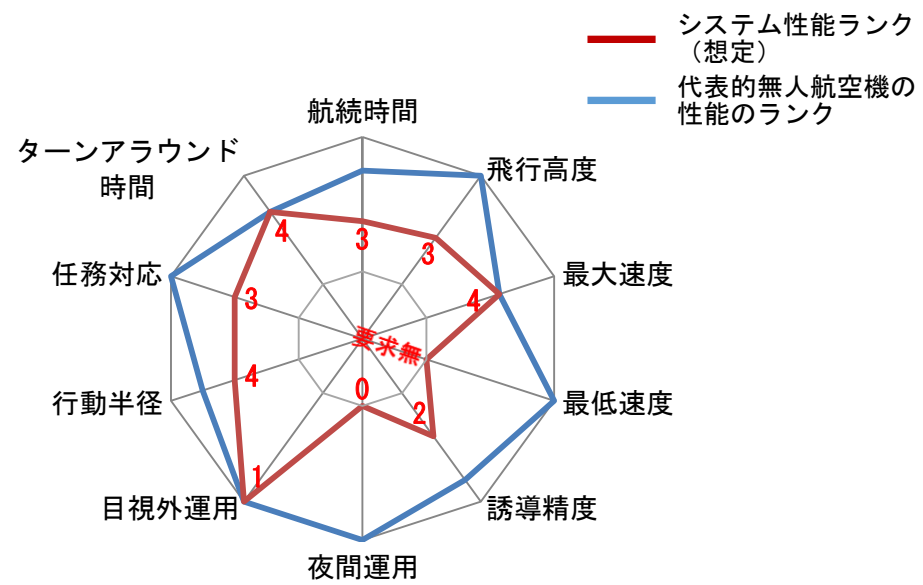
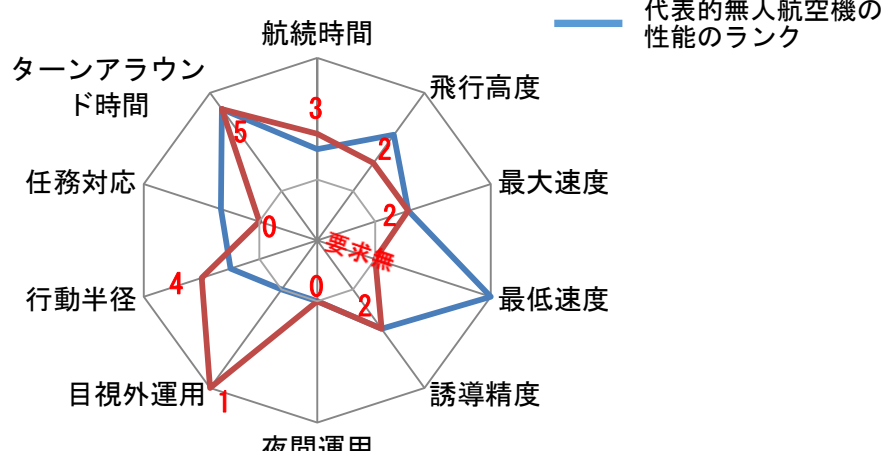
表Ⅲ2.1.1.4-10 運航シミュレーション条件・結果及びシステム性能のランク想定の一例

(1/4) 運用任務：①基礎調査／②状況の定量把握

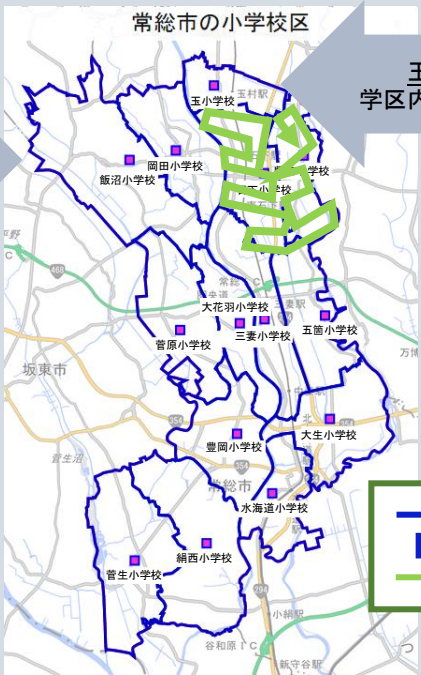


| 項目 | 大型無人航空機 | 小型無人航空機 |
|--------------|---|--|
| 飛行高度 | 1,000m | 500m |
| 最大速度 | 150km/h | 60km/h |
| 搭載質量 | 10kg | 1kg未満 |
| 飛行機数 | 2機 | 19機 |
| 運航シミュレーション条件 | <p>飛行経路</p> <ul style="list-style-type: none"> （離陸）石下総合運動公園多目的広場 ⇒ 鬼怒川に沿って飛行・撮影（距離：22.5km）⇒ （着陸）きぬ総合公園多目的広場（または石下総合運動公園多目的広場） 途中航続時間が不足する場合は、その他の災害応急離着陸場に着陸し、再発進しても良い。 <p>時間的制約等</p> <ul style="list-style-type: none"> 60分以内に鬼怒川の全体を飛行 状況の確認頻度：60分に1回 <p>風向・風速</p> <p>風速：14m/s、風向：東南東</p> | |
| 運航シミュレーション結果 | <p>航続時間</p> <p>32分 ⇒ ランク3</p> <p>飛行経路</p> <p>離着陸位置 石下総合運動公園 多目的広場</p> | <p>40分 ⇒ ランク3</p> <p>4つのブロック毎を、それぞれの小型無人航空機により撮影</p> <p>●印：離発着位置</p> |

表Ⅲ.1.1.4-10 運航シミュレーション条件・結果及びシステム性能のランク想定の一例

(2/4) 運用任務：①基礎調査／②状況の定量把握

| | |
|------------------------------|--|
| <p>運用任務内容</p> <p>大型無人航空機</p> | <p>常総市の鬼怒川河川（距離22.5km）の状況を、1時間に1回の頻度で撮影・取得する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 基礎調査及び状況の定量把握の性能ランク要求は、<u>代表的な大型無人航空機の性能と比較し十分に実現性がある。</u> 大型無人航空機2機を河川に沿って交代で飛行・撮影して、河川状況を定量的に把握する。  <p style="text-align: right;"> — システム性能ランク (想定) — 代表的無人航空機の性能のランク </p> |
| <p>小型無人航空機</p> | <ul style="list-style-type: none"> 航続時間伸延＋目視外運用可能＋行動半径拡大の要求以外は、現状の代表的な小型無人航空機の性能ランクとほぼ同程度の性能ランク要求である。 河川を4ブロックに分割し、区域毎にそれぞれの小型無人航空機を飛行させ、河川状況を定量的に把握する。  <p style="text-align: right;"> — システム性能ランク (想定) — 代表的無人航空機の性能のランク </p> |

表Ⅲ2.1.1.4-10 運航シミュレーション条件・結果及びシステム性能のランク想定の一例
(3/4) 運用任務：④情報配信

| 項目 | | 大型無人航空機 | 小型無人航空機 | |
|--------------|--------------|---|---|--------------|
| 運航シミュレーション条件 | 飛行高度 | 300m | | |
| | 最大速度 | 20km/h | | |
| | 搭載質量 | 20kg | | |
| | 飛行機数 | 2機 | 19機 | |
| | 飛行経路 | <ul style="list-style-type: none"> 刈幅：180m 飛行パターン：ラダーパターン  | | |
| | 学区 | <ul style="list-style-type: none"> 飯沼小学校学区（面積：17.75km²） 玉小学校学区（面積：4.71km²） | | |
| | 時間的制約等 | 1時間で1学区を網羅 | | |
| | 風向・風速 | 風速：14m/s、風向：東南東 | | |
| | 運航シミュレーション結果 | 航続時間 | 飯沼小学校学区 | 約170分 ⇒ ランク5 |
| | | | 玉小学校学区 | 約55分 ⇒ ランク3 |
| 飛行経路 | | 飯沼小学校学区 | 玉小学校学区 | |
| | |  |  | |

表Ⅲ2.1.1.4-10 運航シミュレーション条件・結果及びシステム性能のランク想定の一例
(4/4) 運用任務：④情報配信

| | |
|------------------------------|---|
| <p>運用任務内容</p> <p>大型無人航空機</p> | <p>市の各学区内をラダーパターンで情報配信する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 航続時間3.5時間以上+輸送20kg（防災用スピーカーの搭載）の性能ランク要求は、代表的な大型無人航空機で実現可能な要求である。 |
| <p>小型無人航空機</p> | <ul style="list-style-type: none"> 有人航空機に搭載実績のある防災用スピーカーの質量は現状約20kg程度あるので、このスピーカーを搭載可能なように輸送の性能ランクを現状の1→3まで増大するか、またはスピーカーの軽量化を図る必要がある。 |

3. 技術動向の調査及び国際標準化に向けた提案検討

衝突回避技術の国際的な技術動向及び航空機以外の産業における信頼性の評価方法について調査した。

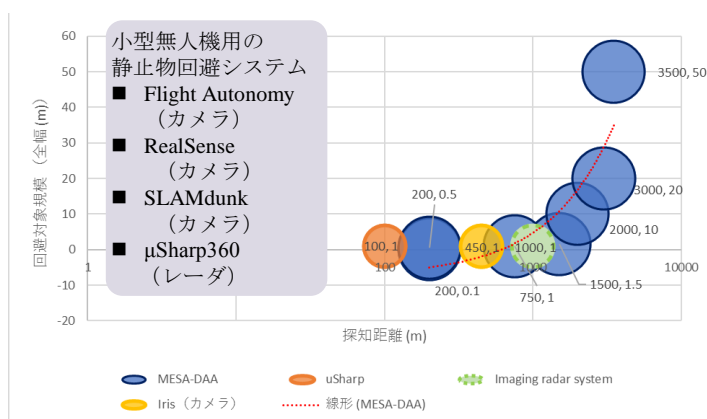
3.1. 衝突回避

世界各国において無人航空機向けに検討されている衝突回避技術について調査した。

衝突回避技術は、システムとセンサそれぞれに開発が進められており、センサの技術レベルは、探知距離×回避対象規模の整理結果から解るように、小型無人航空機に搭載可能で探知距離が長い製品が出現する傾向にある。（表Ⅲ2.1.1.4-11 参照）

一方衝突回避の性能評価としては、センサの探知距離だけではなく、回避に必要な時間を考慮する必要があるため、自動車と同様に相対速度×回避対象による評価方法が妥当と考えられる。

| システム名称 | 主なセンサ | 探知距離 | 回避対象の規模 |
|----------------------|-------|--|---|
| MESA-DAA | レーダ | オペレーション範囲：3.4km センサ>3km 小型無人機>750m 鳥>200m | Cessna140：10m×6.55m Phantom4：350m（対角） |
| μ Sharp | レーダ | 0.5～120m | <ul style="list-style-type: none"> 対象：移動対象物、静止物（壁、建物、樹木） 規模：公開情報では取得できず |
| Imaging radar system | レーダ | 約1km（目標値） | <ul style="list-style-type: none"> 対象：レーダ信号を反射するあらゆる障害物 規模：公開情報では取得できず |
| Iris system | カメラ | 約450m（1500ft） | 明記されていないが、動画では450m先の小型無人機の検出例を紹介 |



探知距離×回避対象規模（2020年予測）

表Ⅲ2.1.1.4-11 衝突回避技術の動向

3.2. 信頼性

他分野の信頼性、安全性の保証・試験・評価手法について整理し、無人航空機の信頼性、安全性を評価する上での基礎情報を調査した。

表Ⅲ2.1.1.4-12 に示すとおり、協働ロボットは安全性に関する規格が整備され、リスクアセスメントの手法を導入し、ロボットと人との協働作業を可能にしているため、この評価手法を導入することにより、無人航空機に適合した信頼性、安全性の評価方法を整備できる可能性がある。

| 調査領域 | 調査対象に選定の着目点 | 信頼性の保証・試験・評価手法についての調査結果 |
|----------------|---|---|
| エレベーター | <ul style="list-style-type: none"> • 使用者を特定せずに運用されている一種の自動運転システムである。 • 実用化されて以降、事故が発生するたびに、その対策が法制化されてきた歴史がある。 | 法令・JIS・業界団体標準が規定・整備されており、体系を整理する上での参考になる。 |
| 自動列車運転装置 (ATO) | <ul style="list-style-type: none"> • 駅を出発した以降、次の駅に停車するまでの運行が自動的に行われるシステムである。 • 乗車する運転者は、走行に関しては、非常停止以外の操作を行うことはない。運転者が登場せずに、遠隔監視で運行しているシステムも存在している。 | 法令で要求事項は規定されているが、細部の基準についてはメーカー各社の規格であり、非公開のため、無人航空機への適用方法を探るのは難しい。 |
| 協働ロボット | <ul style="list-style-type: none"> • 人に対するリスクを低減することで、通常のロボットには必ず必要とされる柵を不要とし、ロボットと人の協働作業を可能にしたシステムである。 | 人との共存や接触時の規格が整備されており、リスクアセスメントの手法も明確となっているため、無人航空機の評価手法に適用の可能性はある。 |
| 自動車自動運転システム | <ul style="list-style-type: none"> • 完全自動化（レベル5）を目指して、自動車業界だけでなく、ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）関係の業界も開発に参加し、世界的にも大きな変革として着目されている。 • 現状では部分的自動化（レベル2）は自動化されているが、それ以上のレベルの実現には解決すべき課題が多い。 | 法整備や体系の整理については、これから実施する見込みであり、今後の方向性を見通す上で参考となる。 |

表Ⅲ2.1.1.4-12 他分野の信頼性の動向

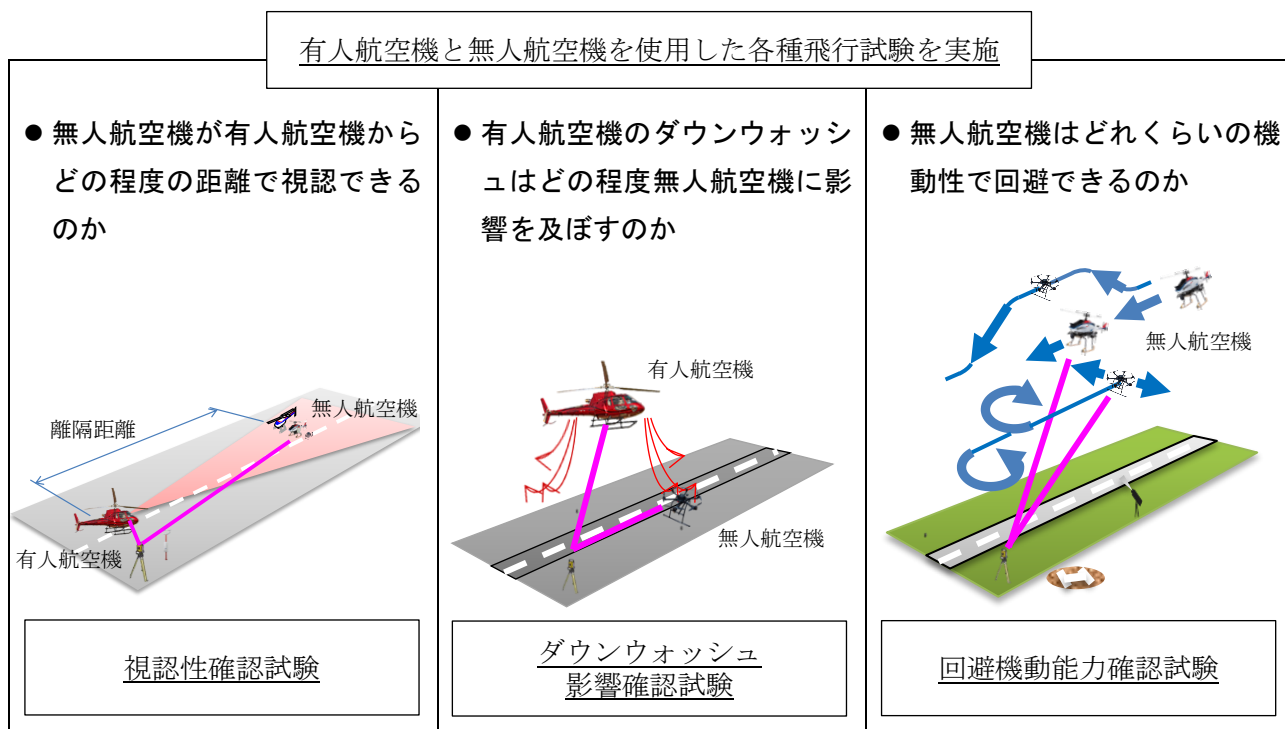
4. 衝突回避に係わる基礎データの取得

衝突回避の性能評価基準の設定のためには、衝突回避の基本ルールを制定する必要があるが、これを整備するには「有人航空機が回避できるのか?」「無人航空機が回避できるのか?」「最低限確保すべき安全距離はどの程度なのか?」といったことが明確となる必要がある。

このため「無人航空機が有人航空機からどの程度の距離で視認できるのか」の「視認性確認試験」、「有人航空機のダウンウォッシュはどの程度無人航空機に影響を及ぼすのか」についての「ダウンウォッシュ影響確認試験」、及び「無人航空機はどれくらいの機動性で回避できるのか」の「回避機動能力確認試験」の基礎データを取得した。

衝突回避に係わる基礎データ取得の試験の概要を図Ⅲ2.1.1.4-3に示す。

衝突回避に係わる基礎データは、2017年12月11日～22日にかけて、福島ロボットテストフィールド建設予定地において、株式会社SUBARUとりまとめのもと、株式会社自律制御システム研究所、株式会社エンルート、株式会社プロドローン、ヤマハ発動機株式会社の日本の無人航空機メーカーが一同に介し、有人航空機と無人航空機を使用した各種飛行試験を実施し取得した。



図Ⅲ2.1.1.4-3 衝突回避に係わる基礎データ取得の試験概要

4.1. 視認性確認試験

視認性確認試験に使用した無人航空機は機種、大きさ、色、灯火の違いにより15種類

を準備し、更に背景の違い及び明るさの違いによる見え方の違いのデータを取得した。使用した機種の外観を図Ⅲ2.1.1.4-4に示す。

試験は、有人航空機と無人航空機の距離を150mから最大400mまで離隔し、有人航空機に搭乗しているパイロットから視認が可能か否かの試験を実施した。

この結果、無人航空機の視認性は、背景とのコントラストが強い塗色や、ストロボライトを搭載することで、向上が期待できることや視程の極端な低下等が無い気象条件においては、塗色が黒以外か灯火有りのものは150mの相対距離であれば無人航空機の発見後の目視は可能であることが判明した。



PF1 (軸間距離1173mm)
株式会社自律制御システム研究所



QC730 (軸間距離730mm)
株式会社エンルート



PD6B

(軸間距離1620mm)



XF1

(軸間距離1534mm)



XF1

(軸間距離1534mm)



XS1

(軸間距離1058mm)

株式会社プロドローン



FAZER R G2
ヤマハ発動機株式会社



RPH2
株式会社SUBARU

図Ⅲ2.1.1.4-4 使用した無人航空機の外観

試験の実施状況の例として、コントラストの違いによる見え方の違いを図Ⅲ2.1.1.4-5に示す。また、得られた視認可能距離のまとめを表Ⅲ2.1.1.4-13～表Ⅲ2.1.1.4-15に示す。



機体色：赤
コントラストが弱い



機体色：白
コントラストが強い



機体色：黄
コントラストが最も強い

図Ⅲ2.1.1.4-5 コントラストの違い

(相対位置) 有人航空機：地面／無人航空機：地面 147ケース



| 項目 | 時間 色・灯火 | 日中 | | | | | | 薄暮 | | | | | |
|-------------|---------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 相対距離 (m) | | | | | | | | | | | |
| | | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 自律制御システム研究所 | 黒 | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | — | — | — | — |
| | 赤 | ○ | ○ | ○ | ○ | × | — | ○ | ○ | × | — | — | — |
| | 白 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | × | — | — |
| | 橙 | ○ | ○ | ○ | ○ | × | — | ○ | ○ | ○ | ○ | × | — |
| | 白+灯火 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| エンルート | 白 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | +灯火 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| プロドローン | 黒 (PD6B) | ○ | ○ | × | — | — | — | × | × | — | — | — | — |
| | 黄 (XF1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | ○ | — | — | ○ |
| | 黒／銀 (XF1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | × | — | — |
| | 黒／銀 (XS1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | × | — |
| | 黒 (PD6B) + 灯火 | ○ | ○ | × | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ヤマハ発動機 | 白／黒／青／赤 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SUBARU | 白／青／赤 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | +灯火 | — | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

- : 分析の結果視認可能と判断したもの
- : 分析の結果視認不可と判断したもの
- : 視認可能
- ×
- : 視認不可のため取得しなかった、当該距離よりも遠い距離または灯火無しで視認できたため取得しなかったケース

表Ⅲ. 1. 1. 4-13 有人航空機及び無人航空機が地面にある場合の視認可能距離

(相対位置) 有人航空機：空／無人航空機：地面 98ケース



| 項目 | 時間 色・灯火 | 日中 | | | | | | 薄暮 | | | | | |
|-------------|-----------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 相対距離 (m) | | | | | | 相対距離 (m) | | | | | |
| | | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 自律制御システム研究所 | 黒 | ○ | ○ | ○ | × | × | — | ○ | ○ | × | × | × | × |
| | 赤 | ○ | ○ | × | × | × | × | — | — | — | — | — | ○ |
| | 白 | — | — | — | — | — | ○ | — | — | — | — | — | ○ |
| | 橙 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — | — | — | — | ○ |
| | 黒+灯火 | — | — | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| エンルート | 白 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | +灯火 | — | — | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| プロドローン | 黒 (PD6B) | ○ | ○ | ○ | ○ | × | — | ○ | ○ | × | — | — | — |
| | 黄 (XF1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — | — | — | — | ○ |
| | 黒/銀 (XF1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — | — | — | — | ○ |
| | 黒/銀 (XS1) | — | — | — | — | — | ○ | — | — | — | — | — | ○ |
| | 黒 (PD6B)+ 灯火 | — | — | — | — | — | — | ○ | ○ | × | — | — | — |
| ヤマハ発動機 | 白/黒/青/ 赤 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SUBARU | 白/青/赤 | — | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | +灯火 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ |

■ : 分析の結果視認可能と判断したもの

■ : 分析の結果視認不可と判断したもの

○ : 視認可能

×

— : 視認不可のため取得しなかった、当該距離よりも遠い距離または灯火無しで視認できたため取得しなかったケース

表Ⅲ.2.1.1.4-14 有人航空機が空、無人航空機が地面にある場合の視認可能距離

(相対位置) 有人航空機：地面／無人航空機：空 133 ケース



| 項目 | 時間 色・灯火 | 日中 | | | | | | 薄暮 | | | | | |
|-------------|--------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 相対距離 (m) | | | | | | 相対距離 (m) | | | | | |
| | | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 自律制御システム研究所 | 黒 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 赤 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 白 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 橙 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 日中：黒＋灯火 薄暮：赤＋灯火 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — | — | — | — | ○ |
| エンルート | 白 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ＋灯火 | ○ | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| プロドローン | 黒 (PD6B) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 黄 (XF1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | ○ | — | — | ○ |
| | 黒／銀 (XF1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 黒／銀 (XS1) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 黒／銀 (XS1) ＋灯火 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ |
| ヤマハ発動機 | 白／黒／青／赤 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

- : 分析の結果視認可能と判断したもの
- : 分析の結果視認不可と判断したもの
- : 視認可能
- × : 視認不可
- : 視認不可のため取得しなかった、当該距離よりも遠い距離または灯火無しで視認できたため取得しなかったケース

表Ⅲ.2.1.1.4-15 有人航空機が地面、無人航空機が空にある場合の視認可能距離

4.2. ダウンウォッシュ影響確認試験

ダウンウォッシュ影響確認試験は、ドローンメーカー3社の無人航空機を使用して実施した。有人航空機はドクターヘリによく使われる機体の大きさに該当するヘリコプターのうち、国内において最も機数が多く、試験の安全性を考慮しエンジンを2基搭載しているAS355を使用した。

試験は、衝突回避の際に遭遇しうる最大の影響として、有人航空機がホバリングしている際に下方を通過した場合の影響の確認と、前進している有人航空機の下方を通過した際の影響の2種類を考慮し試験を実施した。

ダウンウォッシュは、環境風により流され、機体の真下に降下しなくなるため、風が極力無い早朝に試験を実施した。

また、無人航空機への影響が未知数であったため、ダウンウォッシュが有人航空機との相対距離でどの程度発生するかを計測し安全を確保した上で、相対高度を設定し試験を実施した。

試験の結果、有人ヘリ(2.5トン級)が前進飛行している場合、速度28km/h(15kt)、高度差20mでは、有人ヘリの後方約340m付近で風速6m/s程度のダウンウォッシュが観測された。

有人ヘリ(2.5トン級)が前進するケースでは、無人航空機が、下方30mにいても、無人航空機の飛行が破綻するような影響を与えることはなかった。

また、ホバリングしている有人ヘリ(2.5トン級)の下方50mであれば、無人航空機の飛行が破綻するような影響を与えることはなかった。

ホバリングのダウンウォッシュ試験の状況を図Ⅲ2.1.1.4-6に示す。また、前進飛行のダウンウォッシュ試験の状況を図Ⅲ2.1.1.4-7に示す。



図Ⅲ2.1.1.4-6 ダウンウォッシュ影響確認試験－ホバリング試験実施状況



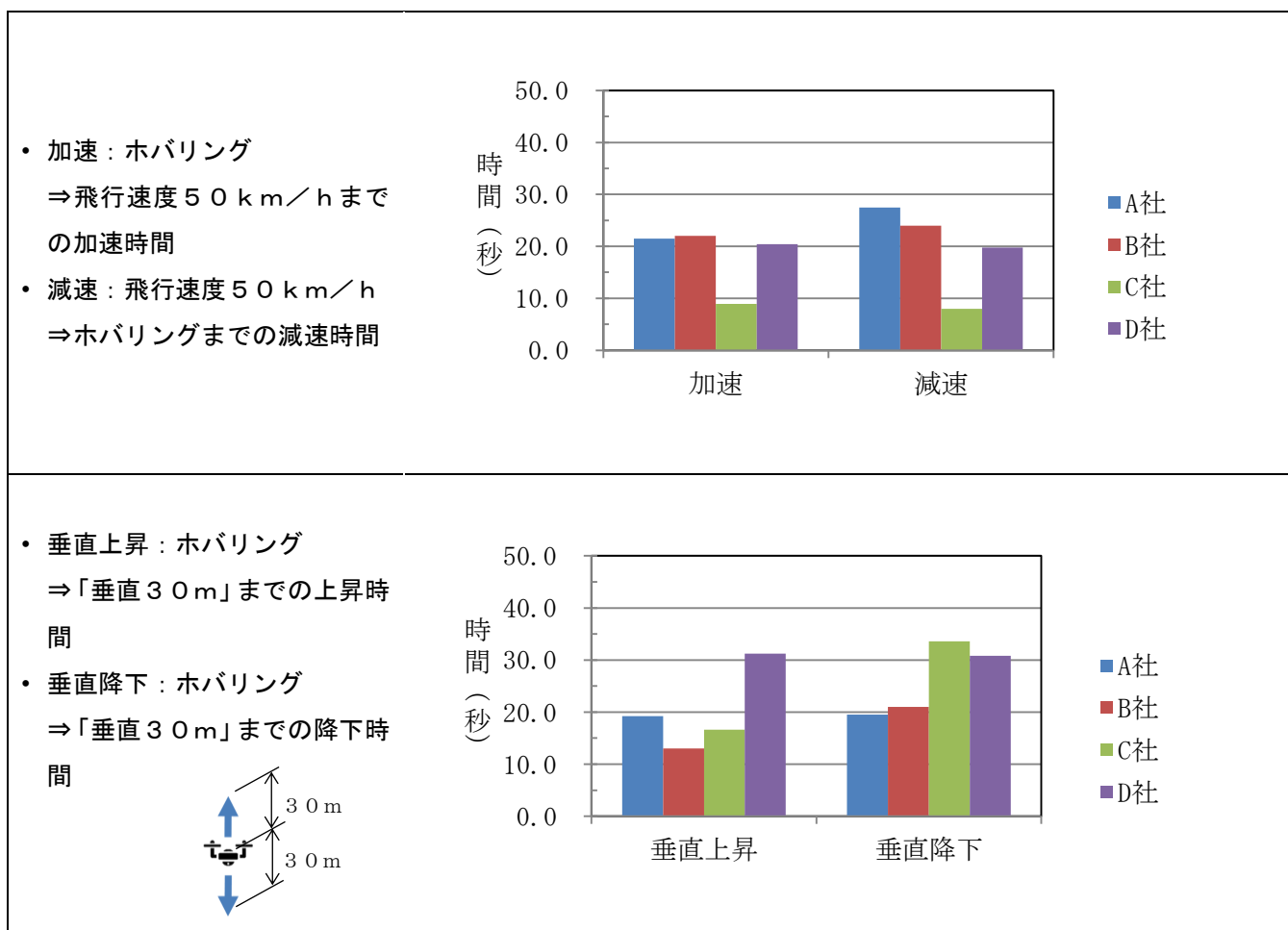
図Ⅲ2.1.1.4-7 ダウンウォッシュ影響確認試験－前進飛行試験実施状況

4.3. 回避機動能力確認試験

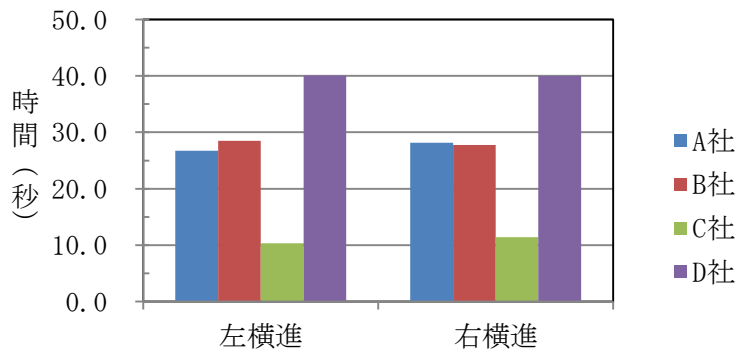
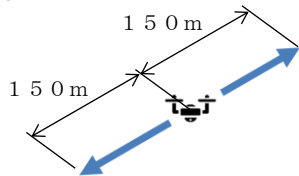
無人航空機が衝突回避を行うときの機動能力についての基礎データを取得した。

無人航空機がホバリングしている状態において、有人航空機の最低安全離隔距離相当の回避行動を行う時間、及び無人航空機が巡航速度相当で飛行している状態において、有人航空機の最低安全離隔距離相当の回避行動を行う時間をそれぞれ計測した。

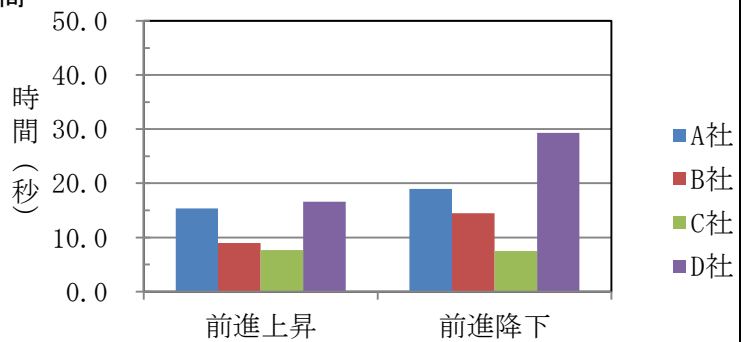
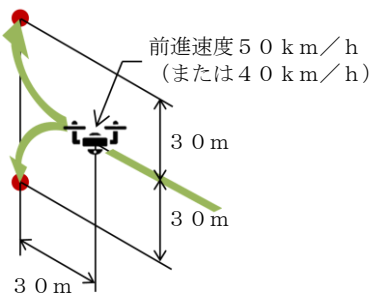
図Ⅲ2.1.1.4-8に示すとおり、それぞれの機動時間は異なり、約10～40秒程度の時間を要することが判った。



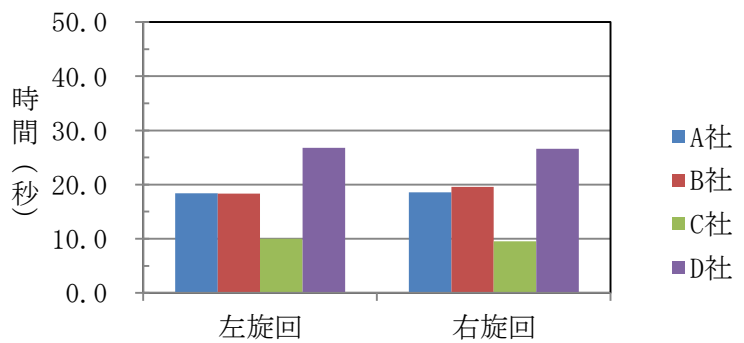
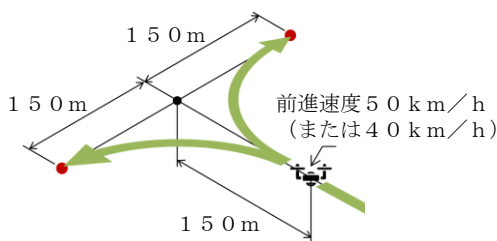
- 左横進：ホバリング
⇒「左150m」までの横進時間
- 右横進：ホバリング
⇒「右150m」までの横進時間



- 前進上昇：前進速度50km/h（または40km/h）
⇒「前30m+上30mの位置」までの上昇時間
- 前進降下：前進速度50km/h（または40km/h）
⇒「前30m+下30mの位置」までの降下時間



- 左旋回：前進速度50km/h（または40km/h）
⇒「前150m+左150mの位置」までの旋回時間
- 右旋回：前進速度50km/h（または40km/h）
⇒「前150m+右150mの位置」までの旋回時間

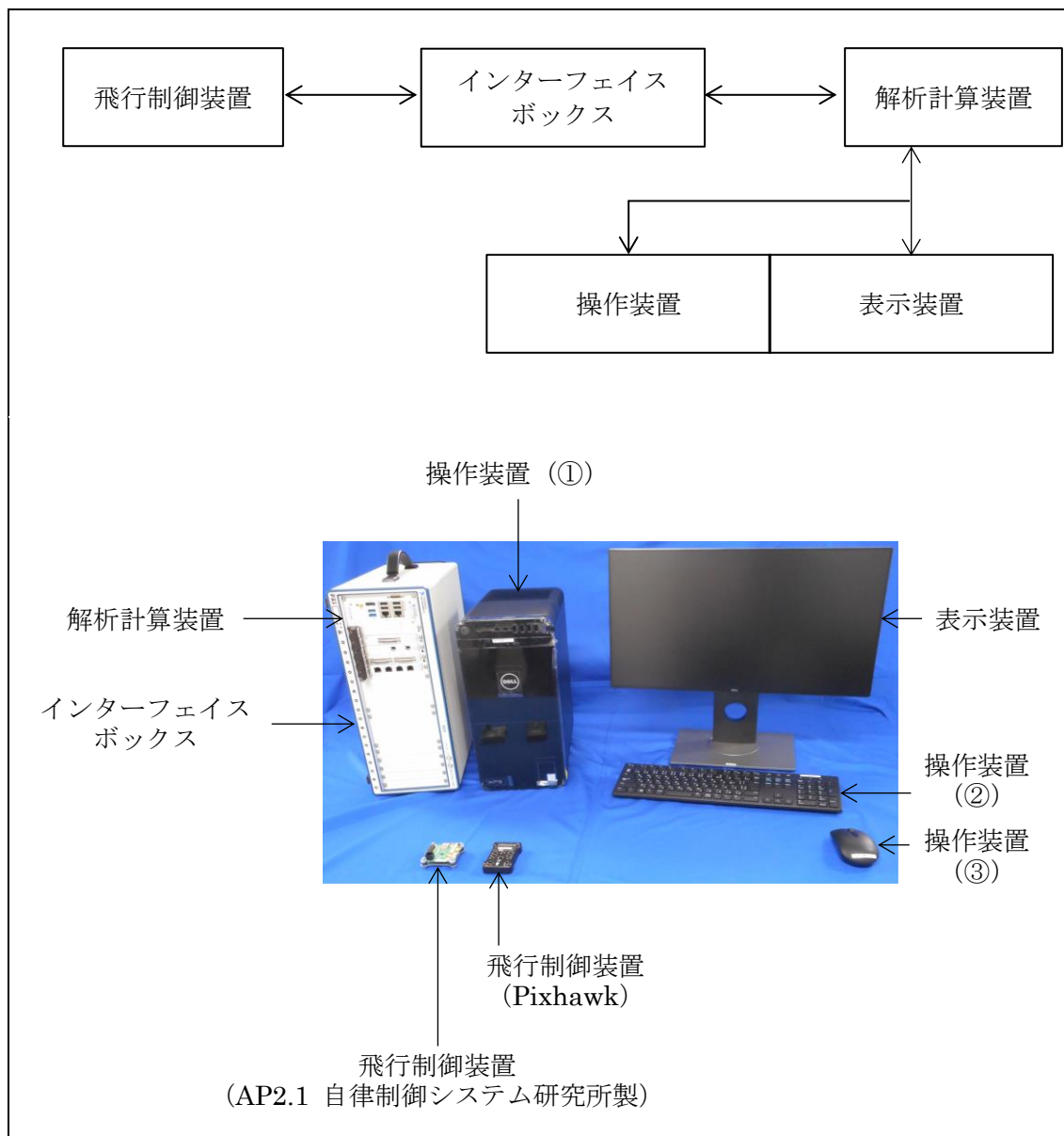


図Ⅲ.1.1.4-8 回避機動能力確認試験結果

5. 異常対処の検証

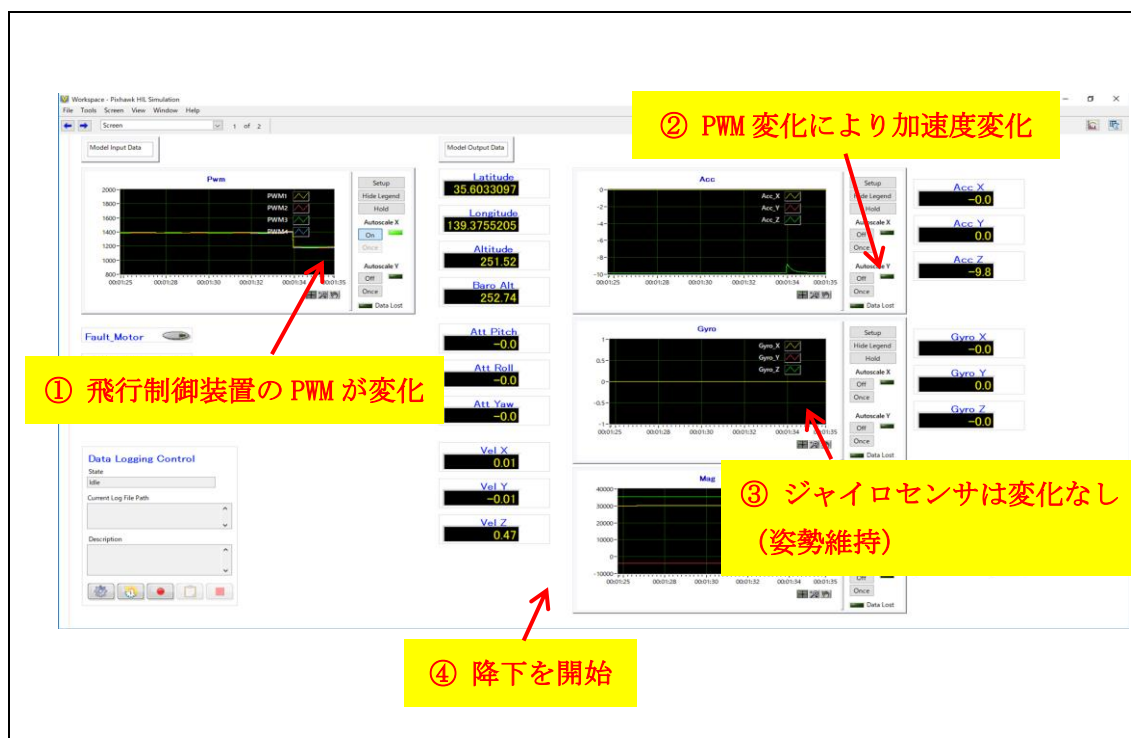
故障状況として、電波の途絶／地上の不時消失、モーターの動作停止、センサ故障／操縦不能を操作装置から操作を実施し、これに対応する模擬信号を解析計算装置から出力し、この際の飛行制御装置の動作を表示装置にて確認した。

この無人航空機が定められた対処を実施できるか評価するために構築した検証ツールの概要を図Ⅲ2.1.1.4-9に示す。



図Ⅲ2.1.1.4-9 異常対処の検証ツールの概要

図Ⅲ2.1.1.4-10 に示すとおり、電波の途絶を模擬する操作を操作装置から入力すると、飛行制御装置がPWM（Pulse Width Modulation：パルス幅変調）を変化させ、途絶時に対応した速度等の制御を実施することを確認した。



図Ⅲ2.1.1.4-10 異常模擬の検証試験結果（電波の途絶／地上装置の不時消失）

（6）知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.1.1.5. 陸上ロボットを活用した災害対応分野（実施先：三菱重工業株式会社）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

近年、大規模災害やインフラの老朽化、産業施設等の事故が世界各地で発生しており、災害・事故時だけでなく、平時でも使用でき、迅速な事態收拾を可能とする特殊環境用ロボット（防災・減災、災害対応、インフラメンテナンスロボット等）の配備が急務となっている。

しかし、我が国は『ロボット大国』と言われ、優れた技術がありながら、特殊環境用ロボットは、未だ十分な産業化・市場化に至っていない。特殊環境用ロボットの産業化の促進や産業競争力の強化を図るためには、各種ユースケースに応じた適切な性能と安全性を備える必要がある。求められる性能水準、安全性等を、競合する海外製ロボットとも客観的な評価基準のもとで比較可能とした上で、我が国の特殊環境用ロボットの優位性を明らかにし、特殊環境用ロボットの国内外の産業施設、インフラ等への配備の促進に取り組むことが効果的である。そのため、本研究開発では、災害対応陸上移動ロボットを対象とし、その性能及び安全性の評価軸、評価軸に沿った性能レベル（数値）、それを測定するための標準的試験方法を研究開発する。

2016年度は災害対応陸上移動ロボットのうち社会的ニーズの高いトンネル災害に対応するファーストレスポンドに関する性能評価基準を開発したが、2017年度はその対象としてプラント災害に追加し、日常的に使用されるプラント巡回点検への適用も可能とする災害対応ロボットの性能評価手法を開発するとともに、福島ロボットテストフィールドの利用を視野に入れた実ロボットによる試験方法の検証等を実施した。

共用ロボットの仕様策定とプラント災害対応性能評価基準の立案

ロボットユーザ（石油オペレータや消防など）と協力し、プラント点検など日常業務とトンネルやプラントの災害にも対応可能な共用ロボットの仕様を策定するとともに、共用ロボットとしての総合性能の妥当性を確認する方法として、模擬プラント・模擬トンネルを使ったミッション型の性能評価手法を立案した。

共用ロボットの基本性能評価基準の立案

共用ロボットの基本性能を、大規模な模擬プラントを使わずに検証しユーザが比較検討するための指標となる「基本性能評価手順」をまとめた。踏破性・探査性に関しては、NIST（アメリカ国立標準技術研究所）災害対応ロボットSTM（標準評価方法）を基本としながらも、トンネル災害・プラント災害対応で必要となる性能を検証すべく日本独自の評価手法を立案した。耐環境性・防爆性に関しては、既存規格を移動ロボットに適用しやすい形態にまとめ直した。

性能評価基準（案）に基づく検証方法の具現化と検証

立案した総合性能評価手法に関して、福島ロボットテストフィールドを想定してミッション型試験として具現化するとともに、模擬環境で共用ロボット試作機を含む複数ロボットによる実走検証を行いブラッシュアップした。一方、基本性能評価手法として、“ジャングルジム（※）”をベースにプラントやトンネル倒壊狭隘部の通過性を検証するための手法として改良し、複数ロボットを用いた実走によるデータ取得をするなど NIST への提案準備を行った（※ 木村哲也，大金一二：“標準性能試験法を用いた災害対応ロボット開発”，第 57 回自動制御連合講演会予稿集（2B01-2）2014 年）。

推進委員会の立ち上げ・運営 / 性能評価手順書“使い方ガイド”の整備

以上の検討過程において、識者・ユーザ・メーカーによる推進委員会を立ち上げ意見を伺い、推進委員会等での検討過程でどう考えて基準を立案・改良したかをまとめた。最後に、今後のアップデート体制と NIST への確実な提案などを課題として提起した。

(2) 研究開発目標と根拠

災害対応陸上移動ロボットの共通基本性能および防爆性能に関する性能評価基準（案）は以下のとおりである。

| 災害対応陸上移動ロボット性能評価基準 | 性能評価基準のベース | 具体的な試験方法に展開されているか？ | 今後の展開 |
|--------------------|---|--|---|
| 共通基本性能 | NIST標準試験法  | ○  | 日本発の性能評価基準を提案 NISTが対象としていないプラントやトンネル災害対応基本性能 |
| 個別性能 | 耐環境性能 JIS  | ○  | |
| | 防爆性能  | × 移動ロボット用として展開されていない 新たな性能評価基準に展開 防爆虎の巻  | 移動ロボット特有の防爆性能 |
| | 各ユーザ・場所ごとの特殊性能要求 ・個別の作業要求 ・特有環境 | × トンネル災害対応性能評価基準  | プラント災害対応性能評価基準  |
| 2016年度案 | その他 ・壁面・水陸両用 ・耐放射線性など | × (個別) | |

図Ⅲ 2. 1. 1. 5-1 性能評価基準（案）

本事業では、上記の中で社会実装の可能性の高い、プラント巡回点検ロボットと共用可能な災害対応ロボット（共用ロボット）の性能評価基準を開発する。

そのための具体的な手法は以下のとおり。

① 共用ロボットの仕様策定とプラント災害対応性能評価基準の立案

ユーザ（石油オペレータなど）と協力して、共用ロボットの仕様と、模擬プラントと共用ロボットを使って実施する性能評価手法を策定する。これをベースに、福島ロボットテストフィールドの模擬プラントの詳細仕様に対して提案を行うとともに、「プラント災害対応性能評価基準」としてまとめる。

② 共用ロボットの基本性能評価基準の立案

トンネル災害やプラント災害対応ロボットとしての共用ロボットの基本性能を、第一次評価として大規模な模擬プラントを使わずにユーザが比較検討するための指標となる「基本性能評価基準」を立案する。

③ 性能評価基準（案）に基づく検証方法の具現化と検証

災害対応陸上ロボットの基本性能評価基準のうち、災害対応と日常巡回点検の双方に共通する最も基本的かつ厳しい「不整地走破機能」と、上記②で新たに立案した「プラント災害を想定した基本性能基準」に基づく検証用共用ロボットの仕様と試験方法を検討する。合わせて、将来 NIST 国際規格へ提案するために必要となるデータ種別や取得方法も検討し、検証用共用ロボットを用いて性能データ採取することで新しい「基本性能評価基準」の妥当性を検証する。

④ 推進委員会の立ち上げ・運営

⑤ 性能評価基準“使い方ガイド”の整備

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| 事業項目 | 2017 年度 | | | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 第 1 四半期 | 第 2 四半期 | 第 3 四半期 | 第 4 四半期 |
| ① 共用ロボットの仕様策定とプラント災害対応性能評価基準の立案 | → | | | |
| ② 共用ロボットの基本性能評価基準の立案 | | → | | |
| ③ 性能評価基準（案）に基づく検証方法の具現化と検証 | | | → | |
| ④ 推進委員会の立ち上げ・運営 | | | | → |
| ⑤ 性能評価基準“使い方ガイド”の整備 | | | → | |

表Ⅲ.1.1.5-1 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

防爆性能が必要と思われる災害（トンネル災害、プラント災害など）現場でのロボットニーズ調査に基づき、防爆移動ロボットの性能評価手法を立案し実ロボットによる検証テストによって手法の妥当性を確認することができた。さらに、福島に建設中のロボットテストフィールドに対して、各種設備・施設の提案・調整ができたことで、本研究事業の目的は達成できたと考えられる。

一方、本報告書で前述したように、災害への備えだけのために防爆ロボットを維持することは経済的な理由で社会実装が困難であることが明確になった。そこで本研究では、従来から対象としてきたトンネル災害に留まらず、日常使いとしての巡回点検ニーズと災害時の探査ロボット（ファーストレスポンド）としてのニーズとを共用可能な石油化学プラントや鉄鋼プラントへも対象を広げることにより、社会実装への期待がもてるようになった点が成功であり、実際に多くの国内外の石油化学プラントメーカー等から検討依頼がある。

さらに、災害対応ロボットのテスト手法として世界的にデファクトになりつつある NIST に対して、日本独自のテスト方法を提案する準備が完了したことも大きな成果である。

ロボット技術は日進月歩であり、その評価手法も順次更新されるべきものであることから、今後定期的にメンテナンスされ、ロボット開発者とロボットユーザとの“共通のモノサシ”として普及し、ロボットの社会実装が進んでいくことを希望する。

(5) 成果の詳細

2016 年度において、災害対応陸上移動ロボットのうち社会的ニーズの高いトンネル災害に対応するファーストレスポンドに関する性能評価基準を開発したが、今年度は対象としてプラント災害を追加し、プラント巡回点検への適用可能な災害対応ロボット（以下共用ロボットと略称する）の性能評価手法を開発するとともに、福島ロボットテストフィールドの利用を視野に入れた実ロボットによる試験方法等の検証・ブラッシュアップを実施した。以下実施項目ごとに詳細を述べる。

共用ロボットの仕様策定とプラント災害対応性能評価基準の立案


トンネル災害対応ロボットのニーズをヒアリングした結果防爆移動ロボットへのニーズが明確化されたものの、災害対応に限定した防爆ロボットは、マーケットが小さく高価になるため、いつ発生するか分からない災害のためにロボットを維持メンテナンスし続けることは、費用対効果の面で障壁が高いという課題も明確になった。

一方、産業プラントへのヒアリングの結果、プラント災害対応と日常点検で求められる機能は、トンネル災害対応で求められる機能と類似していることが判明した。プラント（平常時、災害時）とトンネル（災害時）に求められる機能について表Ⅲ2.1.1.5-2 にまとめる。

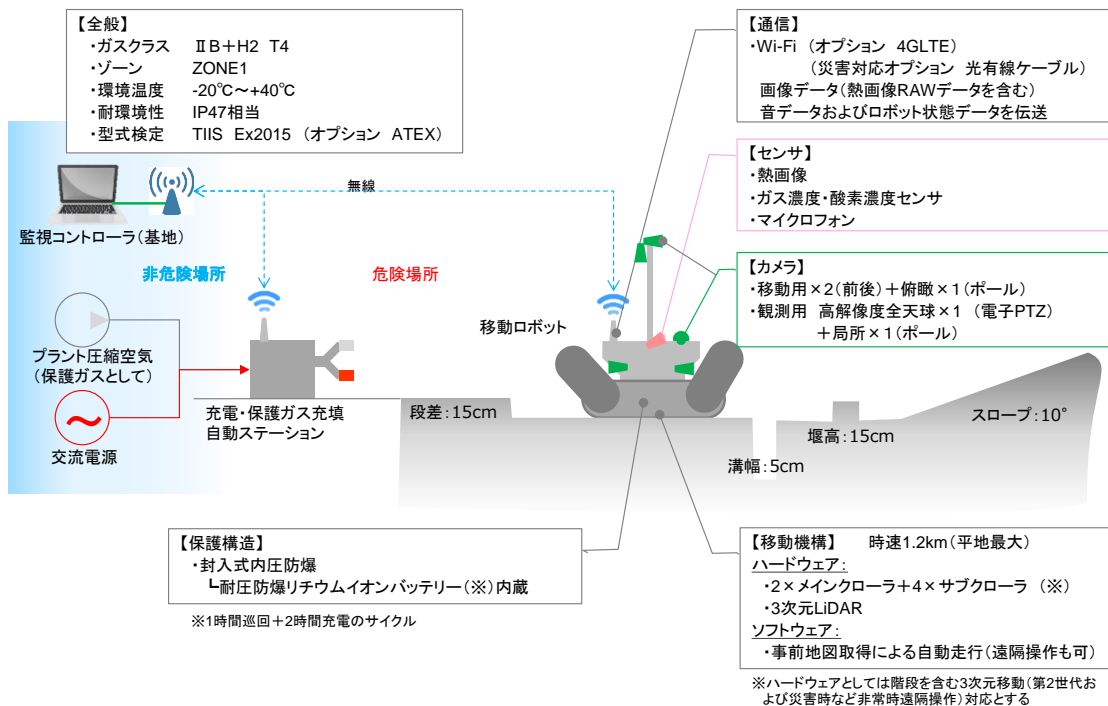
| | | プラント | | | | | | トンネル | | | | | | | |
|----------|--------------|--|------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------|---|--------------|------------|-----------------------|------------|---------------------|--------------|------------|
| 点検区分 | 平常時巡回監視・点検 | | | | | | 自然災害または事故対応 | | | | | | | | |
| 現状頻度 | 日に2~3回 | | | | | | 非常にまれ | | | | | | | | |
| 作業 | 液・ガス 漏れ検知 | メータ 確認 | 機器動作 確認 | センサ 動作確認 | 生成物 サンプル | 状況確認 (映像,ガス 濃度) | 漏洩箇所 特定 | 被害拡大 を防ぐ機 器操作 | 生存者探 索・救助 | 消火 | 状況確認 (映像,ガス 濃度) | 漏洩箇所 特定 | 被害拡大 を防ぐ機 器操作 | 生存者探 索・救助 | 消火 |
| 対象物 | タンク 配管 | 圧力,液 量メータ | 回転機械 配管 | 液量セン サ ハンドル | コック ピン チューブ | 配管 フランジ | 配管 フランジ | バルブ ハンドル SW | 人 倒壊物 | ホース 消火栓 | 壁面天井 設備 | ガス湧出 | バルブ ハンドル SW | 人 倒壊物 | ホース 消火栓 |
| 必要機能 | 環境 | [防塵 (Zone1) : Upstream (洋上プラント)] | | | | | | [防塵 (Zone1,水素対応) : Downstream (製油所, 化学プラント等)] | | | | | | | |
| | 移動 | [砂利, 段差, 配管またぎ&くぐり, 階段, 斜面, はしご, ドア] | | | | | | [倒壊状況で移動 (カレシ, 倒壊物による狭路部通過)] | | | | | | | |
| | 計測 | [カメラ, サーモグラフィ, ガス検知器による計測 (ロボットセンサ計測+アーム先端センサ計測)、中央制御室への無線データ転送] | | | | | | [高温(150℃)、煙、粉塵] | | | | | | | |
| | 作業 (アーム) | [異温,異音,異臭,振動] | | | | | | [ホース運搬,放水] | | | | | | | |
| ロボット導入価値 | [危険作業代行] | | | | | | [省人化] | | | | | | | | |
| | [計測精度向上] | | | | | | [位置情報統合] | | | | | | | | |
| | [異常早期検知] | | | | | | [広範囲,連続計測] | | | | | | | | |

表Ⅲ2.1.1.5-2 プラント（平常時，災害時）とトンネル（災害時）に求められる機能

これら3つのタイプのロボットを、共用可能な1つのロボット機能としてまとめ、各タイプ特有の機能はオプション機能として装備可能となるように、ユーザ（石油オペレータや消防など）と協力し、プラント点検など日常業務と災害だけでなくトンネル災害にも対応可能な共用ロボットの仕様を策定した。策定した共用ロボットの世代分け機能を表Ⅲ2.1.1.5-3に、そのうち第一世代機の仕様を図Ⅲ2.1.1.5-2に示す。

| | 共通仕様 | 災害対応 | 日常プラント巡回点検 | 災害対応ロボット ↓ 日常はプラント巡回をする 共用ロボット実現のための リスクを洗い出した （主としてハードウェアの 防爆化の課題） |
|------|---|--|---|--|
| 第一世代 | <機能・用途> ・防爆性能 Zone1危険場所 水素ガス対応 ・耐環境 屋外IP47相当 | <機能・用途> ・不整地走行 ・遠隔操作で状況確認 暗闇での目視，ガス検知 ・有線・無線両用 | <機能・用途> ・ワンフロア走行（段差，小口径配管，スロープ） ・自動巡回して画像・熱画像，ガス濃度・音取得 ・無線 （WiFiまたは4GLTE） ・ステーションで自動非接触充電（非危険場所） |  強化ガラス越しにLIDAR検出できるか  Geガラスが防弾衝撃試験に耐えるか  ガス検（本質安全防爆）と移動ロボットのI/F  マイクが防爆すきまで音を拾えるか |
| 第二世代 | | +形状測定 | +階段昇降を含む多層階走行 +マニピュレータによる計測範囲拡大 +計器読み取り・異常音解析などの知能化 |  非接触充電が防爆仕様に行けるか ロボットの重量増・重心高により踏破性などの性能がどの程度損なわれるかが分かっていない |
| 第三世代 | | +マニピュレータによるドア開け，隔離弁操作，消火用弁操作 | +マニピュレータによるバルブ操作，資料採取など +危険場所での充電・保護ガス充填 |  マニピュレータが移動タイプで防爆に行けるか  危険場所で非接触充電可能か（電磁波による引火） |

表Ⅲ2.1.1.5-3 共用ロボットの世代ごと機能



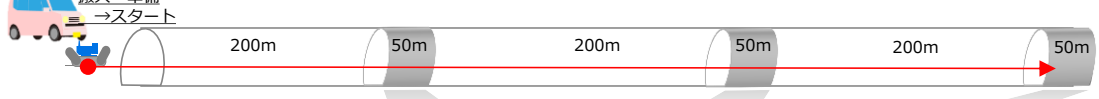
図Ⅲ2.1.1.5-2 共用ロボットの概略仕様

共用ロボットは、産業プラント等での巡回点検等日常的利活用に資する機能を具備することで社会実装を進め、当該ロボットのマーケットを拡大するとともに価格低廉化を実現することで、災害対応への展開を期待するビジネスモデルを想定する。

次に、共用ロボットとしての総合性能の妥当性を確認する方法として、模擬プラント・模擬トンネルを使用したミッション型の性能評価手法を立案した。トンネル災害を想定したミッション型試験の考え方を図Ⅲ2.1.1.5-3に、プラント災害を想定したミッション型試験の考え方を図Ⅲ2.1.1.5-4に示す。

実災害現場の想定

笹子トンネル天井版落下事故（2012年12月2日発災）の現場状況と人（消防隊など）の活動記録を参考に、人が入構せず情報収集を可能とする陸上移動型ロボットの性能を評価する手法と場を提案する。



**福島RTFを使った
ミッション型試験**

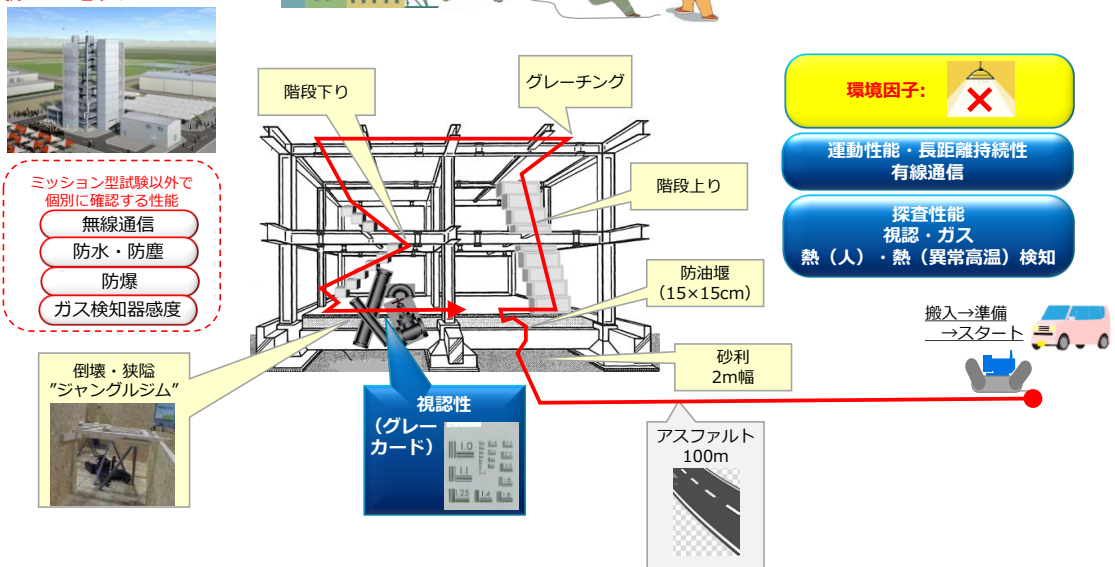


図Ⅲ2.1.1.5-3 トンネル災害を想定したミッション型試験の考え方

実災害現場の想定

石油化学プラントでガス発生警報が発せられると、作業員はいったん避難した上でシステムを止め、火災が発生していないことを確認した後、ガス検出器を持ちながら風上側から接近して状況を確認している。この時の現場状況と人の活動状況を参考に、人が立ち入らずに情報収集を可能とする陸上移動型ロボットの性能を評価する手法と場を提案する。

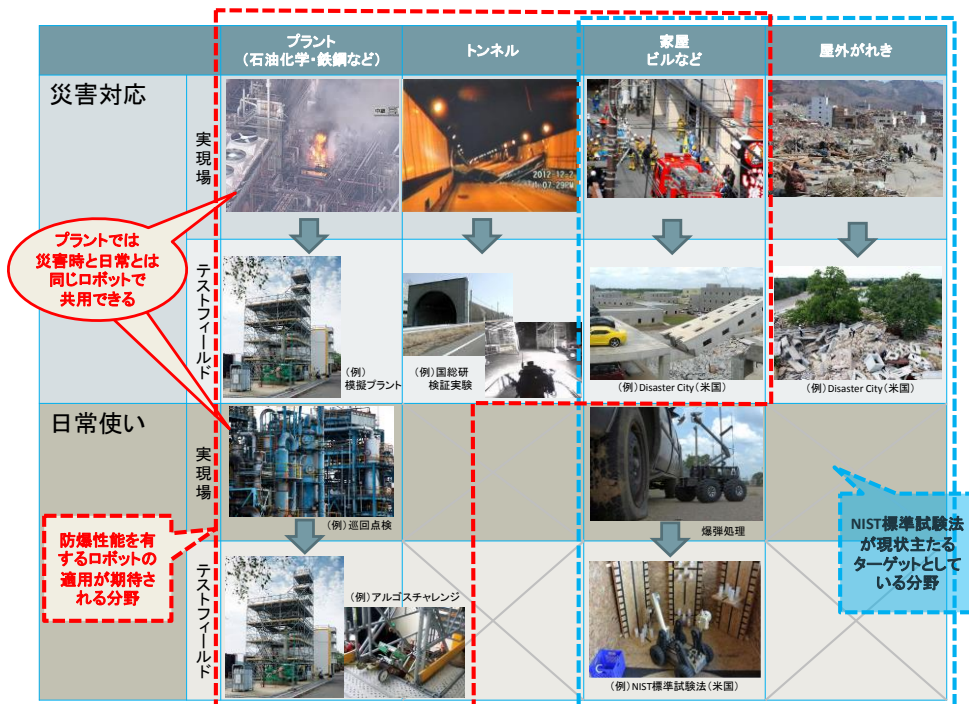
**福島RTFを使った
ミッション型試験に
新STMを組み込み**



図Ⅲ2.1.1.5-4 プラント災害を想定したミッション型試験の考え方

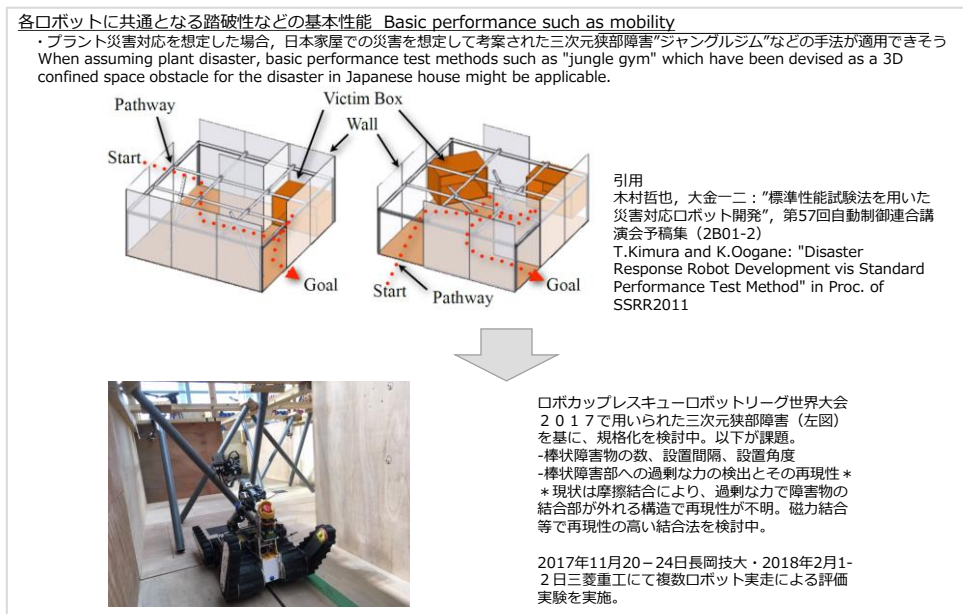
共用ロボットの基本性能評価基準の立案

共用ロボットの基本性能を、大規模な模擬プラントを使わずに検証し、ユーザが比較検討するための指標となる「基本性能評価手順」をまとめた。踏破性・探査性に関しては、NIST（アメリカ国立標準技術研究所）災害対応ロボット STM（標準評価方法）を基本とした。しかしながら、NISTは2001年9月に発生した同時多発テロの経験を起点としているため、自然災害なども多い我が国のニーズを網羅しているとは言い難い。NISTと日本国内において、災害対応ロボットのカバーする範囲の違いを図Ⅲ2.1.1.5-5に示す。



図Ⅲ2.1.1.5-5 災害対応ロボットのカバー範囲比較

本研究開発では、トンネル災害・プラント災害対応で必要となる性能を検証すべく日本独自の評価手法を立案した。具体的には、図Ⅲ2.1.1.5-6のとおり、“ジャングルジム”をベースにプラントやトンネル倒壊狭隘部の通過性を検証するための手法として改良することを立案した。

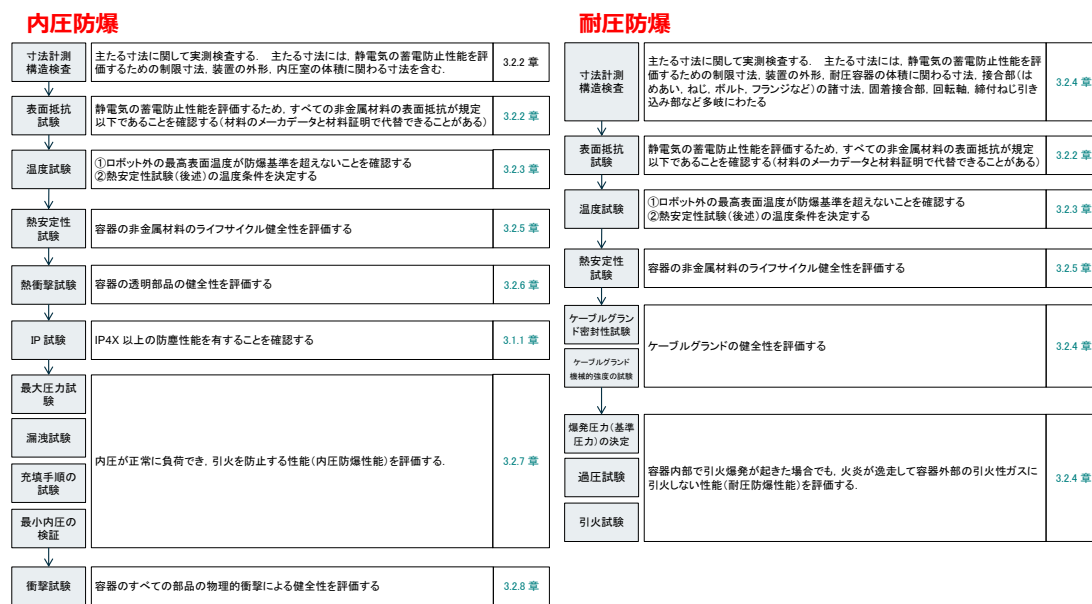


図Ⅲ2.1.1.5-6 狭隘部の通過性を検証する基本性能評価手法“ジャングルジム”概要

耐環境性に関しては、一般的となりつつある IP 試験の JIS を引用するにとどめた。

防爆性に関しては、既存防爆規格を移動ロボットに適用しやすい形態にまとめ直した。ロボットの主たる防爆構造である「内圧防爆」と「耐圧防爆」の試験構に関して図Ⅲ2.1.1.5-7に概略記載する。また、ロボット特有の事項で、現状の防爆規格では網羅できない事項（心配事）に関して、下記3点をまとめた。

- ・ バッテリー充放電に関わる温度上昇への対応
- ・ 静電気への対応
- ・ メカニカルスパークへの対応

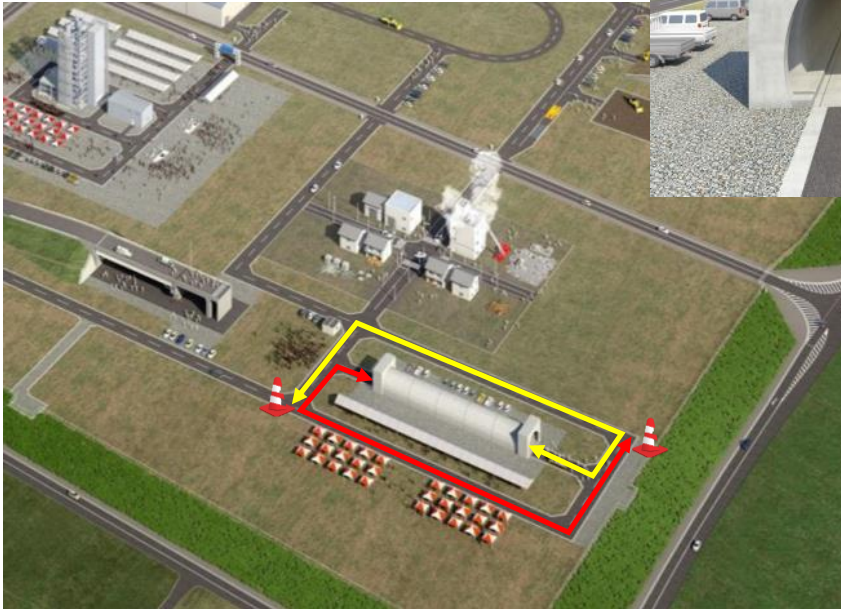


図Ⅲ2.1.1.5-7 ロボット用としての防爆規格適用試験の概要

性能評価基準（案）に基づく検証方法の具現化と検証

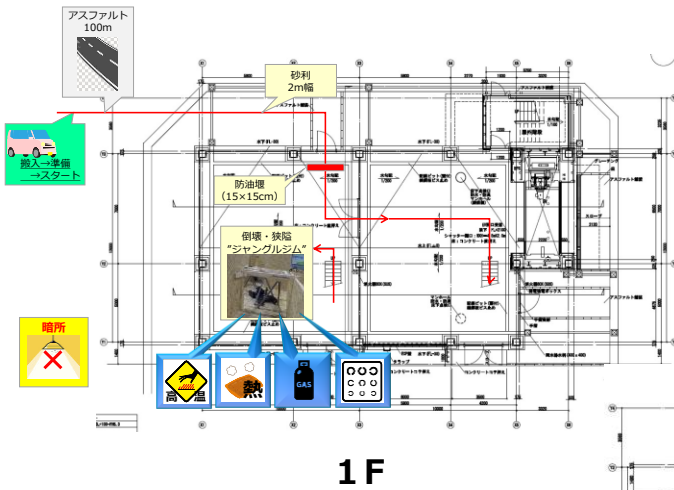
立案した総合性能評価手法を、福島ロボットテストフィールドを使用して実施するミッション型試験として具現化した。図Ⅲ2.1.1.5-8 および図Ⅲ2.1.1.5-9 に、トンネルおよびプラント災害を想定したミッション試験を福島ロボットテストフィールドで実施する場合のルートを示す。

現段階ではロボットテストフィールドは未完成であるため、具現化したミッション試験の妥当性を評価するために、模擬環境で共用ロボット試作機を含む複数ロボットによる実走検証を行った。図Ⅲ2.1.1.5-10 および図Ⅲ2.1.1.5-11 に、ミッション試験の模擬方法（モックアップ）を示す。図Ⅲ2.1.1.5-10 のトンネル災害装置ミッション試験の検証モックアップは、現状実用化および研究開発中の機体すべてにおいてクリアできない程の難レベルであったため、図Ⅲ2.1.1.5-12 に示すように、ロボット毎に差がわかるようにレベルに調整した。

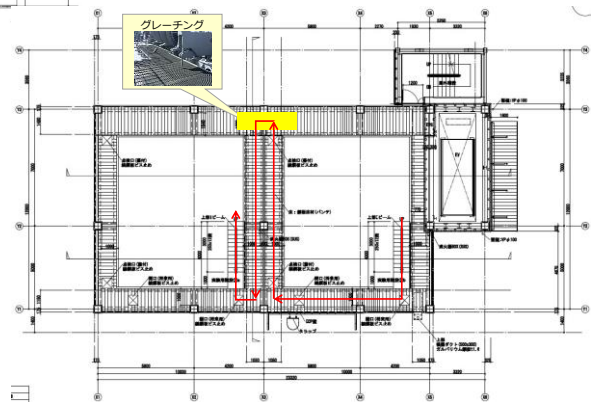


【出展】福島ロボットテストフィールドカタログ
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/253>

図Ⅲ2.1.1.5-8 福島ロボットテストフィールドを使った
 トンネル災害想定ミッション型試験



中2F



図Ⅲ2.1.1.5-9 福島ロボットテストフィールドを使った
 プラント災害想定ミッション型試験

ミッション型試験の検証
(三菱重工神戸造船所)

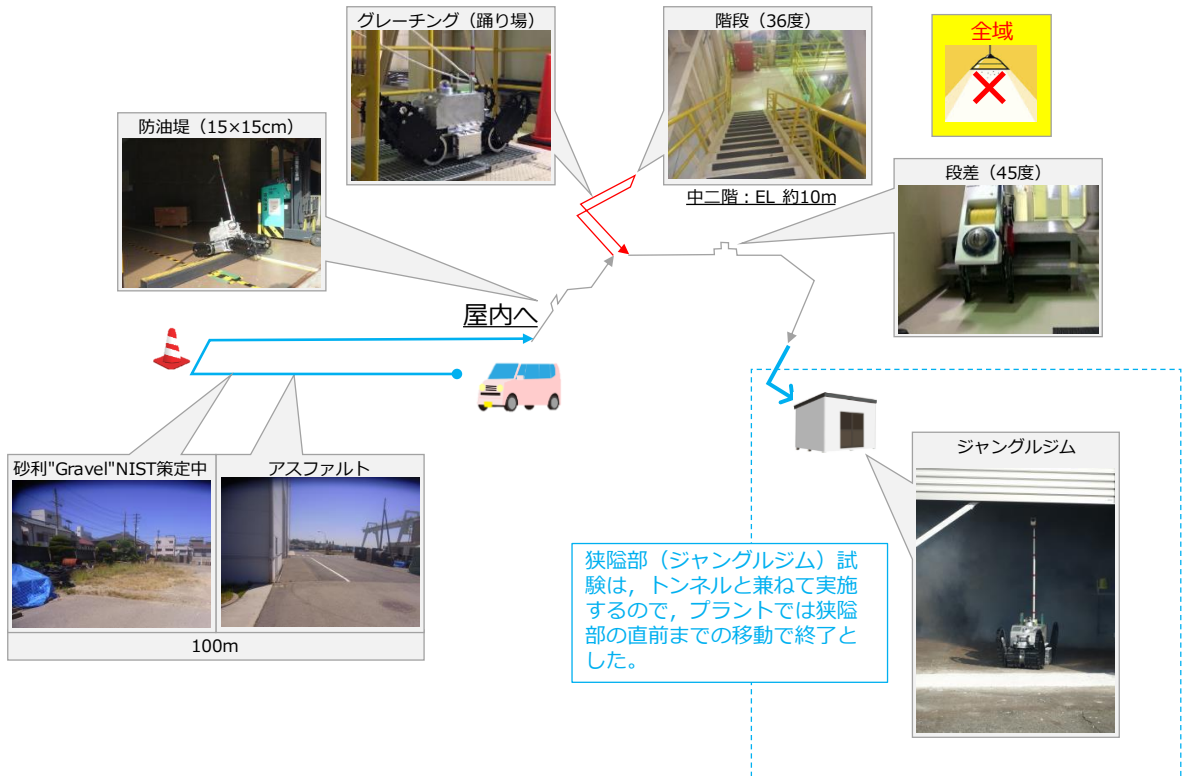
| 実施手順 (合計750m) (暗所) | | |
|--------------------|---------|---|
| P0 | 搬入 | 準備 / 動作確認 |
| G1 | 往復 | アスファルト100m往復 |
| T1 | — (50m) | 水浸→障害物 (Stepfields) →狭隘 (ジャングルジム) |
| G2 | 往復 | 砂利道100m往復 |
| T2 | — (50m) | 狭隘 (ジャングルジム) (煙) → 障害物 (Stepfields) →水浸 |
| G3 | 復路 | アスファルト100m往復 |
| T3 | — (50m) | 水浸→障害物 (Stepfields) (降水) →狭隘 (ジャングルジム) |

操作席として狭隘部近傍にワンボックスハイブリッド車 (AC100V付) を用意する。無線ロボットの電波が届かない場合はその旨記録し、車でロボットを追いかける (ただし自視外範囲)。

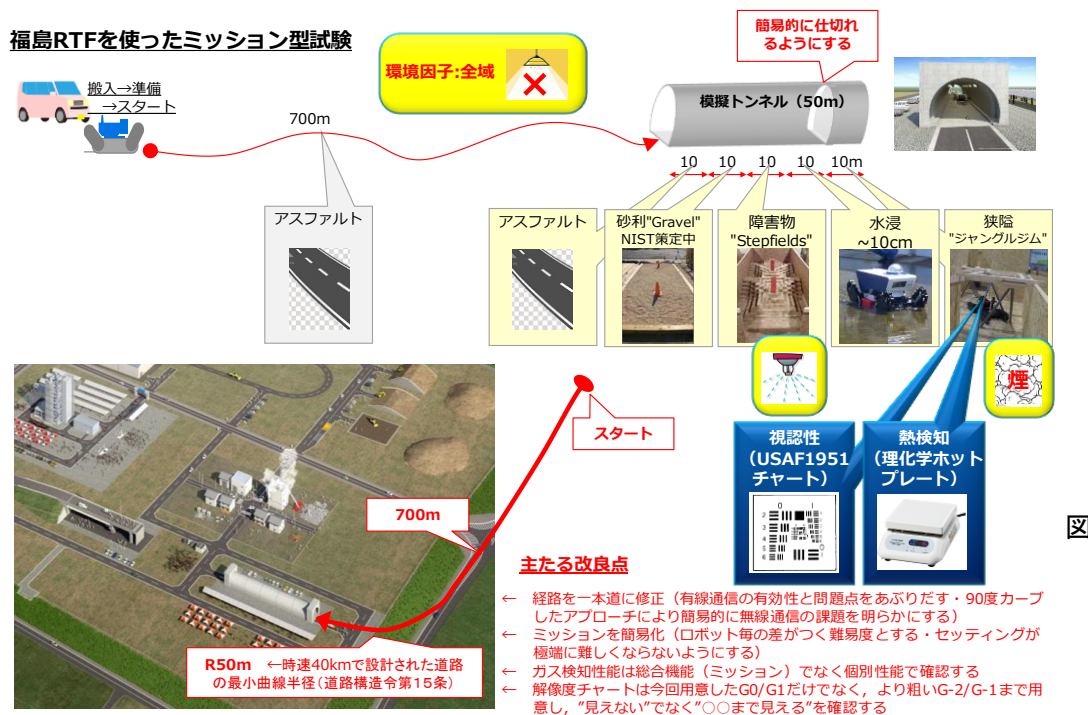
★T2 (暗所&煙)・T3 (暗所)の狭隘部 (ジャングルジム) 内ではそれぞれ視認 (高所/狭所), ガス検知, 熱検知 (低温/高温※) 性能試験を実施する。ただし, ロボットに検知能力を有しない場合はその旨記録し試験は実施しない。

※狭隘部試験は, トンネルとプラントとを兼ねて, トンネルで実施 (高温熱検知はプラント特有なので注意)

【出典】 Google 図Ⅲ2.1.1.5-10 トンネル災害想定ミッション試験の検証方法



図Ⅲ2.1.1.5-11 プラント災害想定ミッション試験の検証方法



Ⅲ2. 1. 1. 5-12 トンネル災害想定ミッション試験の検証方法の調整結果

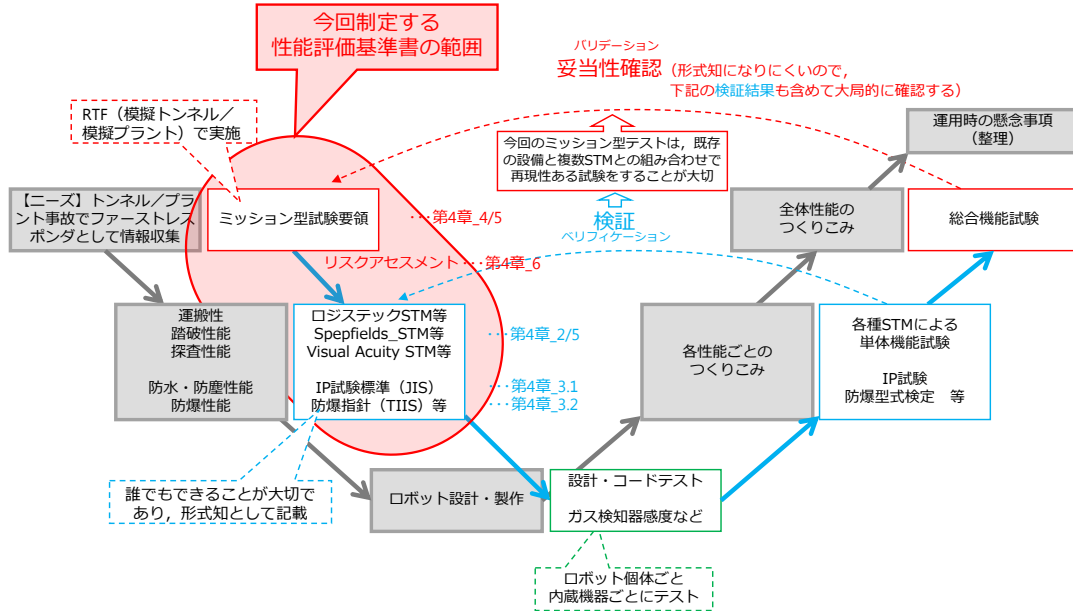
一方、日本独自の基本性能評価手法として、プラントやトンネル倒壊狭隘部の通過性を検証するための手法として立案した“ジャングルジム”に関しても、複数ロボットを用いた実走 (図Ⅲ2. 1. 1. 5-13) によるデータ取得をするなど NIST への提案準備を行った。



図Ⅲ2. 1. 1. 5-13 “ジャングルジム” 実装検証の様子

推進委員会の立ち上げ・運営 / 性能評価基準“使い方ガイド”の整備

以上の検討過程において、識者・ユーザ・メカによる推進委員会を立ち上げ意見を伺い、推進委員会等での検討過程でどう考えて基準を立案・改良したかをまとめた。性能評価手法のロボット開発における“Wモデル”中の位置づけとして図Ⅲ2.1.1.5-14に、使い方ガイドの内容例を図Ⅲ2.1.1.5-15に示す。



図Ⅲ2.1.1.5-14 ロボット開発“Wモデル”における本成果の位置づけ

0. はじめに『性能評価基準制定の Before & After』
 仕様が具体的に！ →ユーザは他ロボットとの定量的な比較が可能
 メーカーは性能表記をあれこれ悩まずにすむ

(例) 三菱重工製防爆ロボット

After

| | |
|--------|---|
| 外形寸法 | L710×W420×H540mm |
| 本体質量 | 60kg |
| 走行速度 | 1.2km/h |
| 昇降角度 | 45° |
| 踏破性 | Stepfields Om/s (ASTM E2828による) ジャングルジム Δm/s (ASTM 〇〇〇による) |
| 環境情報取得 | 画像計測性能 PTZカメラ ○×※ (ASTM E2566による) ガス検知器 |
| 連続稼働時間 | リチウムイオン電池 1.0時間 (ASTM 〇〇〇による) |
| 耐環境性 | IP47相当 |
| 防爆性 | Ex px d II B+H ₂ T4 Gb |
| 通信 | 有線1000m (ファイバ長) (性能評価基準○. ○に基づきRTFで試験) 無線130m (ASTM E2854/2855による) |
| その他 | 操縦性 ASTM E2829/2830クリア トンネル災害ミッション型試験 (性能評価基準 ○. ○)を○時間○分でクリア 詳細は、 http://〇〇〇〇.co.jp の記録動画参照 |

Before

| | |
|--------|-----------------------------------|
| 外形寸法 | L710×W420×H540mm |
| 本体質量 | 60kg |
| 走行速度 | 1.2km/h |
| 昇降角度 | 45° |
| 環境情報取得 | PTZカメラ、ガス検知器 |
| 連続稼働時間 | リチウムイオン電池 1.5時間 |
| 耐環境性 | IP47相当 |
| 防爆性 | Ex px d II B+H ₂ T4 Gb |
| 通信 | 有線1000m/無線100m |

図Ⅲ2.1.1.5-15 使い方ガイド内容例 (抜粋)

最後に課題として、性能評価手順のアップデート体制やNIST への確実な提案の他、福島ロボットテストフィールドでの試験実施に際して、環境（場所）提供に加え、試験機材の準備や記録活動への助勢がよりロボットの社会実装への助けとなること等を提起し、本事業を完了した。

（6）知的財産権及び成果の普及

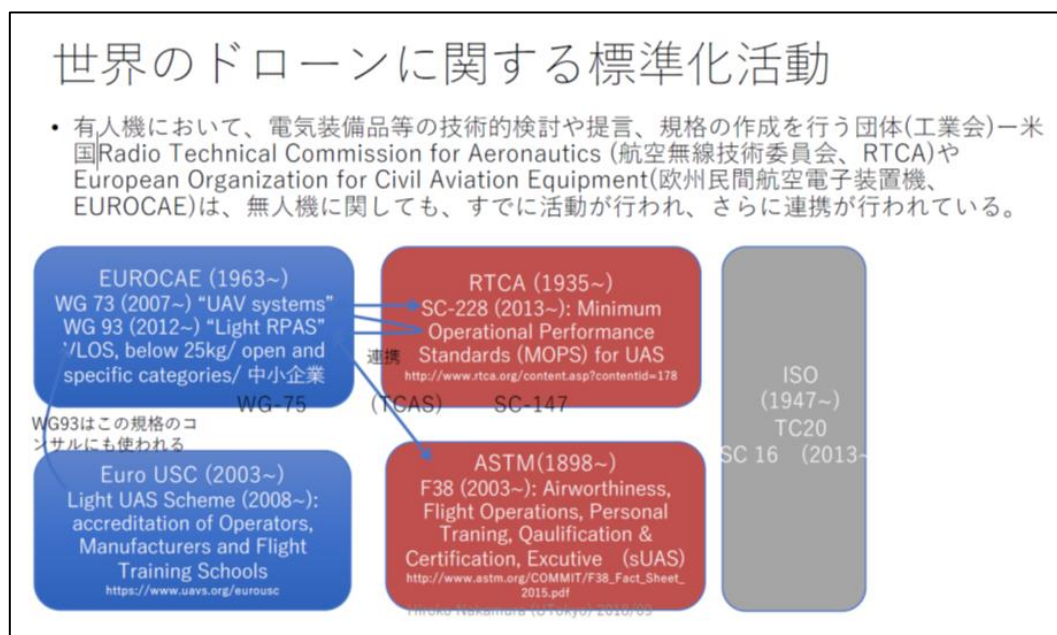
知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.1.1.6. 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準

(実施先：国立開発法人産業技術総合研究所、株式会社自律制御システム研究所、独立行政法人労働安全衛生総合研究所、国立大学法人東京大学、株式会社プロドローン、イームズロボティクス株式会社)

(1) 事業の背景・意義 (目的・概要)

小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となるインフラ点検分野において、無人航空機やロボットの活用による省エネルギー化の実現が期待されている。新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／性能評価基準等の研究開発／目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準」に係る委託業務事業の一環として、無人航空機性能評価基準の研究を実施している。近年、小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる物流分野や災害対応等において、無人航空機の利用が期待されている。これらの利用分野において、無人航空機による目視外及び第三者上空での安全な飛行を実現する為、信頼性の高い機体の設計や安全機能等の性能評価に関する具体的な試験法案及びその評価手法の開発がドローン版耐空証明には必要とされる。現在、目視外及び第三者上空飛行を可能にするための安全性評価や安全規格およびその試験法等を整備する標準化活動は、図Ⅲ2.1.1.6-1のように世界中で研究開発が実施されしのぎを削っている。



図Ⅲ2.1.1.6-1 世界のドローンに関する標準化活動

図Ⅲ2.1.1.6-1 に示す通り、米国 ASTM (旧称は米国材料試験協会 (American Society for Testing and Materials)) は、2003 年という早期から耐空証明、運航管理、操縦訓練における品質認証や認可事業を実施している世界最大・民間・非営利の国際標準化・規格設定機関である。工業規格の ASTM 規格を設定・発行しているこれは、1898 年に鉄道線路の鋼の標準規格認証で認証事業をスタートさせた ASTM が、2001 年に ASTM International に社名を変更し、超小型航空機の規格を整備した後に無人航空機の規格の整備を開始している。図Ⅲ2.1.1.6-2 に示す通り、無人航空機は F38 委員会の中で規格が議論されている。重要な動向は、図Ⅲ2.1.1.6-3 に示す通り、第三者認証と航空法の間接関係を政府の制度として構築してきたことである。図Ⅲ2.1.1.6-4 に ASTM の無人航空機の F38 委員会で議論されている多岐にわたる項目を示す。これにより、詳細な技術の民間専門機関と政府機関が連携して、その時代の最新技術に適合した法整備や法律運用が可能な体制が航空の分野でも構築されてきたことになる。



図Ⅲ2.1.1.6-2 ASTM のワーキンググループ

ASTM LSA Trainingマニュアルより

ASTMと航空法

- Regulations と Standards
 - Regulation: A rule or order issued by an executive authority or regulatory agency of a government and having the force of law
 - Standard: The definition of terms; classification of components; delineation of procedures; specification of dimensions, materials, performance, designs, or operations; measurement of quality and quantity in describing materials, processes, products, systems, services, or practices; test methods and sampling procedures; or descriptions of fit and measurements of size or strength

Regulatory System Approach

ASTM標準が含まれている
National Technology Transfer and Advancement Act of 1995は民間標準の活用によりスピードアップを促進している

FAA (LSA/Part 23)で認められているASTM標準

| FAA Accepted ASTM Consensus Standards - LSA | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Consensus Standard Title | ASTM No. | ASTM No. | ASTM No. | ASTM No. | ASTM No. |
| 1. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 2. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 3. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 4. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 5. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 6. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 7. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 8. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 9. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |
| 10. Aircraft Performance | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 | F2251-04 |

Hiroko Nakamura (C) 2015

図Ⅲ2.1.1.6-3 第三者認証機関と航空法

一方、そのような航空分野の活動を行ってこなかった日本では、無人航空機が登場したことにより、民間専門機関と政府機関の連携の場として、官民協議会を立ち上げ「空の産業革命に向けたロードマップ」等を作成するなどの活動を実施してきた。

2017年5月に改訂が行われた「空の産業革命に向けたロードマップ」では、飛行させる空域や飛行の方法に応じて飛行レベル1~4を定義し、2018年頃に無人地帯での目視外飛行（レベル3）、2020年代頃以降に有人地帯（第三者上空）での目視外飛行（レベル4）による無人航空機の利活用を本格化させるとしている。これを実現するための環境整備の一環として、2017年度に国土交通省と経済産業省が事務局となって「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」が開催され、2018年3月にレベル3の実現に向け「無人航空機の目視外飛行に関する要件」が取りまとめられたところであり、今後「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領（以下、審査要領）」に反映される見込みである。

| F38 Unmanned Aircraft Systems | | Proposed Standards |
|--|-------------------------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • F38.01 Airworthiness • F38.02 Flight Operations • F38.03 Personnel Training, Qualification and Certification • F38.90 Executive | Active Standards | WK16285 250~550kgの固定翼の設計/性能仕様 |
| | F2851-10: UAS登録と表示 (小型を除く) | WK27055 UAS遠隔IDとトラッキングに関するPractice |
| | F2910-14: 小型UASの設計と構築の標準仕様 | WK53964 VTOLの設計、構築、テスト |
| | F2911-14e1 小型UASの製造 Acceptance | WK56338 第三者上空運航のための新しい仕様 |
| | F3002-14a 小型UASのC2システム設計の標準仕様* | WK56338 第三者上空を飛ぶUASの安全性 |
| | F3003-14 小型UASの品質保証の標準仕様 | WK59171 小型UASのパラシュート |
| | F3005-14a 小型UASのバッテリーの標準仕様* | WK60936 小型UASの音響ベースのDetect and Avoid |
| | F3201-16 UASのソフトウェアの依存性確認 | WK60937 UASのための燃料電池の設計 |
| | F3269-17 複雑な機能を持ったUASの飛行安全に関する方法 | WK57659 固定翼UAS設計、構築、立証 |
| | F3298-18 固定翼UASの設計、構築 (立証済) 2018/09 | WK62668 Detect and Avoid 性能要求 /WK62668 DAA |
| | | WK62670 大型UAS設計と構築 |

図Ⅲ2.1.1.6-4 F38 委員会の中で議論されている項目

こうした流れを受け、今後はレベル4の実現、つまり、第三者上空での目視外飛行の実現に向けた要件検討が求められている。これに資するため、第三者上空における目視外飛行が可能な無人航空機の性能評価のための基準や手法、ならびにその技術的な検証データが必要とされている。このため、本プロジェクトでは、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活用できる無人航空機の性能評価手法を検討するとともに、性能評価手法を検証するための飛行試験等を実施する。

物流、インフラ点検及び災害対応等の分野で活用できるロボット及び無人航空機の性能評価手法の開発を促すとともに、それらを社会実装するためのシステム構築等を進める。具体的には、以下の研究開発項目について実施する。

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

(1) 性能評価基準等の研究開発

6) 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準

(i) 求められる性能評価の研究開発

目視外及び第三者上空飛行に向けた性能評価基準の導出のため、国土交通省航空局審査要領の耐空類別 N 類相当の分析及び世界の性能評価基準分析を実施する。

(ii) 性能評価の手法の検討

(i) の評価項目の他に、落下分散、衝突安全、騒音評価の評価項目の機体技術(信頼性及び安全性、危害抑制、騒音対策等)、制御技術の性能評価手法を分析し、(危害抑制機能の自動作動等)の性能評価基準に資する素案を作成する。

(iii) 性能評価基準の検証

落下分散、衝突安全、騒音評価等の評価を運用条件シナリオに合わせて福島テストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用して飛行させ、上記の(ii)で作成された各種性能評価基準に資する飛行試験に加えて複数の無人航空機が同時に発生する総音圧レベルや異常発生時を想定した際の衝撃量の定量化及びデータ取得等を実施する。

なお、本事業を円滑に推進するための委員会を設置し運営する。また、進捗及び成果は「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」等に報告し、それらの検討に資するものとする。

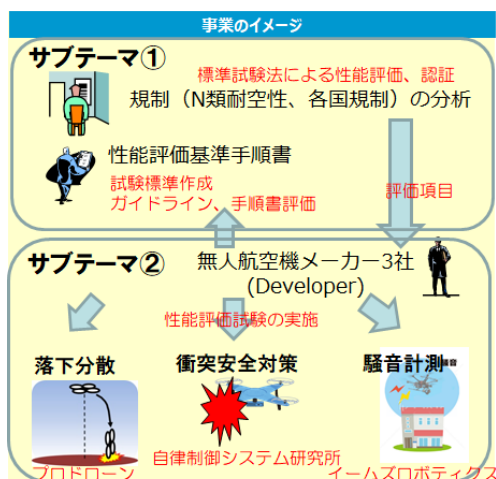
(2) 研究開発目標と根拠

本事業では、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするために、機体の安全性や信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法に関する研究開発の結果を取りまとめることを目標としている。具体的には、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするために、落下時の地上危害に関する分散、対人衝突安全に関する研究、第三者上空飛行時の騒音の評価手法の研究開発を実施している。目視外及び第三者上空等での飛行に向けた性能評価手法を検討し、福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用した検証を行う。達成目標については、図Ⅲ2.1.1.6-5のように検討会等での議論を踏まえて必要に応じて改定する。

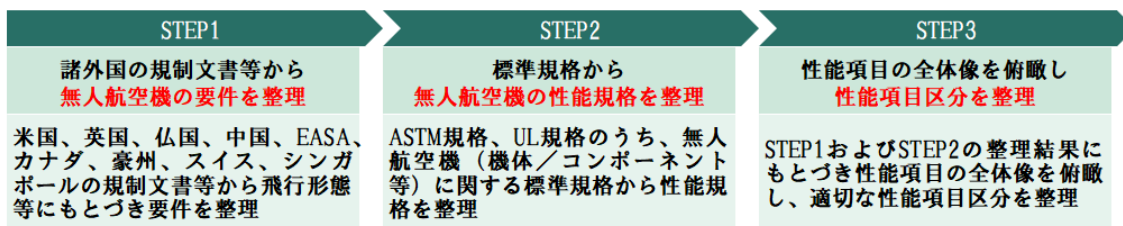


図Ⅲ2.1.1.6-5 性能評価基準等研究開発プロジェクト概要

検討会等での議論を踏まえ必要に応じた性能評価を図Ⅲ2.1.1.6-6のサブテーマ①で分析し、サブテーマ②の研究開発目標へフィードバックを行う。性能項目分析のステップは、図Ⅲ2.1.1.6-7に示す通りである。

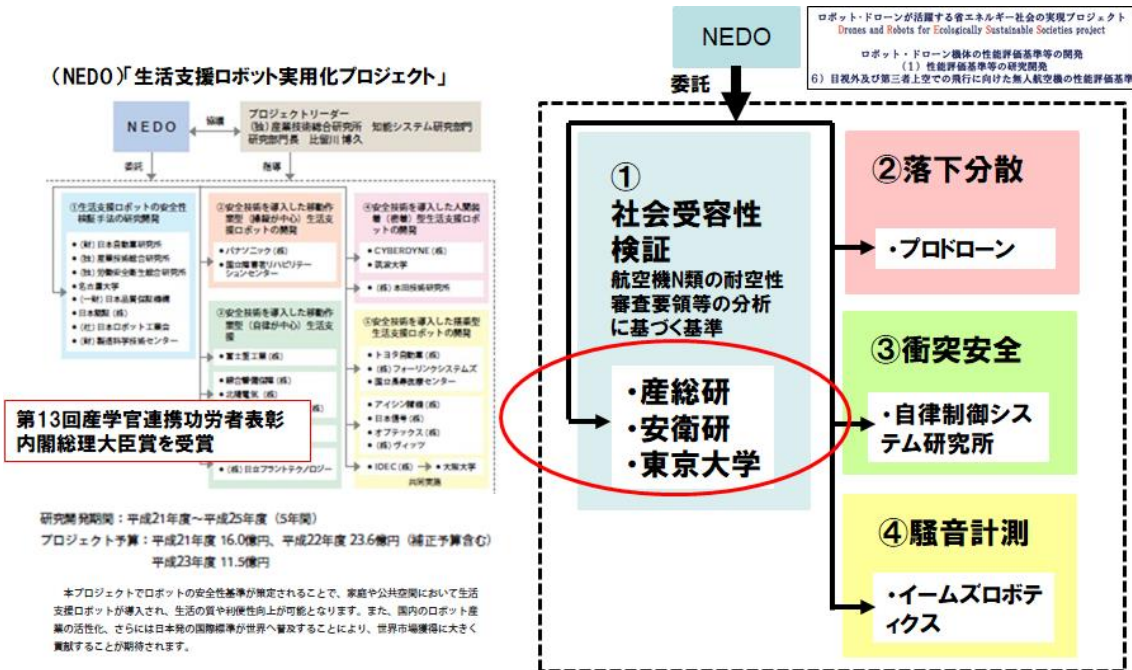


図Ⅲ2.1.1.6-6 性能評価手法及び評価基準検討とデータ取得試験／飛行試験

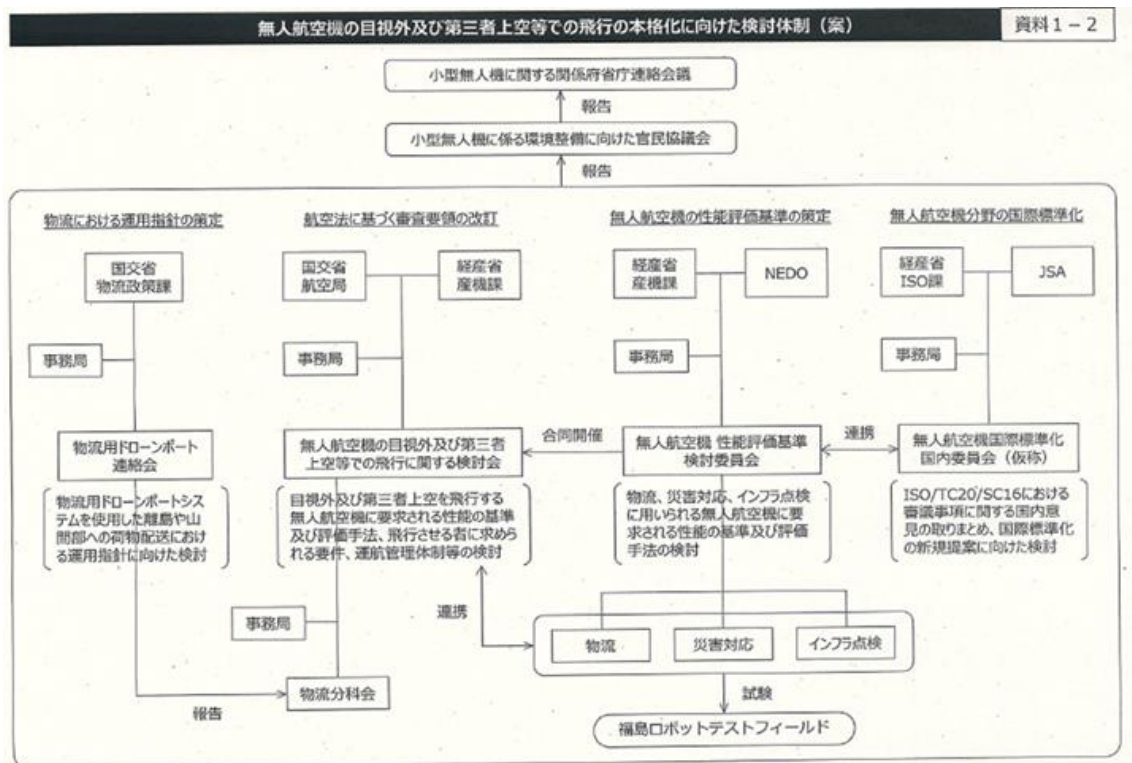


図Ⅲ2.1.1.6-7 性能項目分析ステップ

海外の動向や国際規格、航空局等様々な最先端の情報から性能項目の分析を実施し、その議論を踏まえて必要に応じて目標を改定する研究開発体制は、図2.1.1.6-8に示す通り、第13回産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞を受賞したNEDO事業と同様の体制となっており、技術力を有する国立研究開発法人、独立行政法人、大学と、事業化能力を有する国内大手メーカー3社で構成する研究開発体制となっている。また、図2.1.1.6-9に示す通り、実施者自ら又は連携企業等の事業化に限らず、ルール作りや国際標準化等でその成果が広く国民生活や経済社会への関与が期待できる。



図Ⅲ2.1.1.6-8 研究開発体制



図Ⅲ2.1.1.6-9 成果が広く国民生活や経済社会へ関与できる体制

(3) 研究開発スケジュール

図Ⅲ2.1.1.6-10に示す。



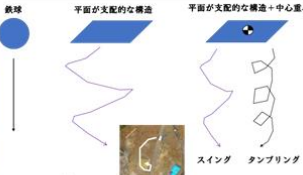
| 事業項目 | 2018年度 | | | | 2019年度 | | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| 1) 無人航空機の性能評価手法の開発 (担当: 産総研) | | | 委員会開催 | | | | | |
| 2) 無人航空機の性能評価手法の素案の作成 | | | PJ推進会議開催 | | | | | |
| ① 無人航空機飛行性能の検討 (産総研) | | | 福島RTF実証試験 | | | | | |
| | | | 航空機N類耐空性能分析技術の研究 | | | 風洞試験研究開発 | | |
| | | | イームズ社と試験手法開発 | | | | | |
| | | | メーカー3社騒音計測試験 | | | | | |
| | | | 野外騒音評価法比較検証 | | | | | |
| | | | 落下試験装置研究開発@福島RTF | | | 大型落下試験装置研究開発@鳥羽 | | |
| | | | アンテナ性能評価研究開発 (メーカー3社アンテナ試験) | | | | | |
| | | | 標準試験法 (STM) 研究開発 | | | | | |
| ② 無人航空機の飛行性能の調査 (東大) | | | 各国認証制度等分析の研究 | | | | | |
| | | | 落下分散地上危害低減技術 (スカイガードレール) 研究開発 | | | | | |
| ③ 対人衝突安全性の検討 (安衛研) | | | 対人衝突安全性評価の研究 | | | | | |
| | | | 対人切傷安全性評価の研究 | | | | | |
| | | | 対人衝突安全試験装置開発 (福島ロボットテストフィールドで実証試験) | | | | | |
| | | | 新型衝突安全試験装置開発@清瀬 | | | | | |
| ④ 無人航空機の安全性に関する研究開発 (自律研) | | | 対人衝突頭部インパクト試験装置開発 | | | | | |
| | | | 騒音計測試験@産総研 | | | | | |
| | | | 落下・対人衝突試験@福島ロボットテストフィールド | | | | | |
| | | | アンテナ性能評価試験@富岡 | | | 風洞試験研究開発@航装研 | | |
| ⑤ 無人航空機の環境に関する研究開発 (イームズロボティクス) | | | 騒音計測研究開発 (メーカー3社騒音計測試験支援) | | | | | |
| | | | 騒音計測試験@産総研 | | | | | |
| | | | 落下・対人衝突試験@福島ロボットテストフィールド | | | | | |
| | | | アンテナ性能評価試験@富岡 | | | | | |
| ⑥ 無人航空機の危害抑制に関する研究開発 (プロドローン) | | | 落下分散試験手法開発@鳥羽 | | | | | |
| | | | 騒音計測試験@産総研 | | | 燃料電池ドローン衝突試験@城里 | | |
| | | | 落下・対人衝突試験@福島ロボットテストフィールド | | | | | |
| | | | アンテナ性能評価試験@富岡 | | | | | |
| | | | 福島RTF実証試験 | | | | | |

図Ⅲ2.1.1.6-10 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

① 国立開発法人産業技術総合研究所

騒音計測、落下分散、衝突安全のそれぞれの評価方法において、野外での実環境と室内での精密計測環境との差分評価を実施するために、2019年12月5-7日の期間に福島ロボットテストフィールドにて、野外試験を実施した。その結果を図Ⅲ2.1.1.6-11にまとめた。

| 項目 | 概要 | 試験風景 | 試験結果例 |
|------|---|--|--|
| 騒音 | 製造メーカーの負担を軽減可能かつ実測値に近似可能な計測方法の一つとして、残響室法（比較測定法）に基づいた音響パワーレベル測定による騒音評価を実施した |  |  |
| 落下分散 | 目視外飛行の要件の検討において議論となった無人航空機の落下分散に関して、初速等の初期条件や落下姿勢を考慮しながら、シミュレーションや落下試験等による評価を実施した |  |  |
| 衝突安全 | 落錘荷重試験などを用いた衝突試験法を検討すると共に、頭部インパクトを用いた衝撃力計測を実施し、衝撃荷重の人体影響の検証や、HIC等の評価指標を検討した |  |  |

図Ⅲ2.1.1.6-11 福島ロボットテストフィールドでの野外試験の結果まとめ

騒音計測、落下分散、衝突安全の研究開発目標における2019年度全体の研究開発成果を表Ⅲ2.1.1.6-1にまとめた。騒音計測では、残響室法を用いた音響パワーレベル計測という国際標準に合致した計測法を検証し、従来の野外計測やSPL計測と比較して標準偏差の少ない優れた計測法を確立した。落下分散においては、どのようにドローンは落下するのかを解明し、落下終端速度計測やヒラヒラ落下する落下メカニズムを解明した。衝突安全においては、頭部インパクトを用いた頭部対人衝突試験法を開発し、福島ロボットテストフィールドにおいてHIC値の計測に成功した。

| | 主な研究開発課題 | 主な研究開発成果 |
|------|-------------|--------------------------|
| 騒音 | 共通計測手法開発 | 音響パワーレベル計測でXm地点でのSPL換算表示 |
| | 計測装置開発 | 計測架台、残響箱の開発 |
| | 大型機用計測手法開発 | 1ローター1モーター計測からの近似算出手法 |
| | 実測フィールド計測 | 実測値との比較のための実測手法開発 |
| | 低騒音化プロペラ技術 | 課題検討 |
| 落下分散 | 共通計測手法開発 | 落下試験装置開発 |
| | 左右幅落下分散 | 毎秒4m未満で±5m以下の落下分散 |
| | 前後落下分散 | 試験手法の開発（斜め型落下試験装置） |
| | 大型機用落下試験装置 | 張力調整技術と強度データ収集 |
| | 終端速度計測手法 | どのドローンも概ね毎秒15m近辺 |
| 衝突安全 | 衝突加速度計測手法開発 | 頭部インパクト計測手法開発 |

表Ⅲ2.1.1.6-1 2019年度全体の研究開発成果まとめ

②株式会社自律制御システム研究所

(i) 求められる性能評価の研究開発

目視外及び第三者上空飛行に向けた性能評価基準の導出のため、国土交通省航空局審査要領の耐空類別N類相当の分析及び世界の性能評価基準分析を実施した。

(ii) 性能評価の手法の検討

騒音評価、落下分散、衝突安全の評価項目の機体技術、試験技術、安全技術、制御技術の性能評価手法を分析し、危害抑制機能等の性能評価基準に資する試験を実施した。

(iii) 性能評価基準の検証

騒音評価、落下分散、衝突安全等の評価を運用条件シナリオに合わせて福島テストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用して飛行させ、上記の(ii)で作成された各種性能評価基準に資する飛行試験を実施した。

③独立行政法人労働安全衛生総合研究所

・目標概要

無人航空機が目視外及び第三者上空等での飛行に従事する労働者等（操縦者、保守管理者）への危害を抑制する方法を主に検討し、それらの方法を講じることで確保される対人安全性を評価する手法を研究開発する。

・目標詳細

目視外及び第三者上空飛行におけるドローン事業従事者である労働者等の労働環境となる離発着時の高度10m以下の環境にて、労働者等の安全を確保する研究開発を実施する。評価手法の検討を行う際には、類似した安全基準などを参考にする。一例として、保護具（保

護ヘルメット、耐切創手袋)等の労働環境で使用される機器等の安全基準(JIS規格)をドローンとの対人衝突安全対策として比較検討する研究開発を実施する。また、ドローンに合わせた落錘荷重試験などを用いた衝突安全試験法の検討により、ドローン製造者の検査コスト負担を軽減する試験法や、ドローンの衝突試験などで衝撃荷重の人体影響を検証することも検討する。

④国立大学法人東京大学

無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするために、海外諸外国において講じられる機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を調査検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法について検討した。具体的には、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするために海外諸外国において講じられる、機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を調査検討すると共に、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法についての検討を行った。更に、小型無人航空機の利用分野毎のリスクアセスメントの実施、目視外及び第三者上空飛行無人航空機に求められる性能評価項目案の検討、NEDO 研究成果及び国内基準検討動向の調査、海外基準検討動向の調査、性能評価に関する調査を行った。

また、機体の落下分散に関する地上への危害低減の安全性能評価手法の一つとして、高速道路や鉄道路線など、無人航空機の落下に伴う地上設備への危害低減のためのカードインフラの検討を実施した。機体の落下分散範囲に該当する地上がガードレールで覆われている上空であれば、低リスクで無人航空機は横切ることが可能なスカイガードレールを研究検討調査した。自動車と異なり飛行機械は軽量でないと飛ばないために非常に軽量に製作されていることから、過剰な耐力や高コストの施工とならないように、少ない部品の種類の組み合わせで施工可能なために、産業的に普及することを考慮した構造となっている。実際に、スカイガードレールユニットを2個つないだ構造体を、2019年3月13-15日に幕張メッセで開催されたジャパンドローン展のNEDO出展ブースにて、実物展示を実施した。

⑤イームズロボティクス株式会社

目視外及び第三者上空でドローンが飛行すると、ドローンの騒音が問題になる可能性がある。有人飛行機の場合も各地の空港では、付近の住民が空港会社に対し飛行機の騒音問題に対して、集団訴訟を起こしすべての空港で住民側が勝訴している。

これまでドローンの騒音に対しては、音圧の測定方法、大きさの基準もない状態である。そこで、研究開発の目標は各ドローンメーカーで統一できるドローンの騒音測定方法を確立することと、騒音は環境省騒音基準などから30m離れた地点で55dB以下を目標とする。

＜測定方法の確立＞（2018年度）

一般的な騒音の計測方法は、騒音計を用いる方法である。ドローンの場合、飛行しているドローンを地上で人が感じる音の大きさ＝音圧レベル、を測定する。ただしドローンの場合、ドローンの種類、荷物の重さ、距離、風などの測定環境で変化するため、すべての条件で測定することは現実的ではない。

そこで、ドローンから発生している音の全エネルギー＝音響パワーレベルを測定し地上での音圧レベルを計算する方法が実用的である。

・残響室法を選択

音響パワーレベルの測定方法には、無響室法と残響室法がある。無響室法はドローンの周囲 360 度の空間にマイクを設置し測定する。指向性も得られが、機体やマイクの設置方法が大変難しくなる。どの壁面も平行になっていない残響室は機体やマイクの設定が容易で、指向性は得られないもののドローンの音響パワーレベルの測定に適している。

・残響室での測定方法検討

問題は、残響室は閉ざされた空間のため、操縦者がドローンを目で確認しながら測定することができない。残響室内は衛星測位システムが使用できず、安定したホバリング飛行は操縦者の高い技量が必要で、ドローンが暴走した場合、機体、マイク、残響室壁面に大きな損傷がでる可能性がある。

そこで体重計に固定した測定方法を実施した。操縦者がだれでも測定可能で、暴走する心配もなく、さらに、ホバリング時の荷重からそのまま 30%、50%、70%と増やすことで飛行時の音響パワーレベルも測定することができる。

・ドローンを台に固定することによる影響調査

ここで確認したのは、ドローンを台に固定した場合と自由に飛行している時の音圧に大きな差異があるか、との点である。

体育館のような広い室内で 5m 離れた場所でホバリング、台に固定したドローンの音圧を測定。音響パワーレベルは測定できないが、固定、非固定での音圧を比較した。

(ドローンは弊社 2 機種と 1 機種のプロペラ違い、A 特性、overall)

| | 695 | 695 プロペラ 変更 | 470 |
|----------|---------|----------------|---------|
| ホバリング | 77.1 dB | 73.3 dB | 70.9 dB |
| 台固定 0%出力 | 76.1 dB | 72.0 dB | 72.3 dB |
| 差 | -1.0 dB | -1.3 dB | +1.4 dB |

* 台固定 0%出力はホバリング時と同等の出力

表Ⅲ2.1.1.6-2 ドローンから 5m の地点での音圧レベル

全周波数合計では±1.5 dB 程度で一致しており、音圧全体からは誤差の範囲として、ドローンを台に固定して計測しても問題はないと判断できる。

これらの試験によって残響室内でドローンを固定して計測する方法で、株式会社自律制御システム研究所のドローンの計測も行った。

・福島ロボットテストフィールド (RTF) での野外試験

残響室での計測結果と、RTF 野外計測との相関関係を調べた。残響室で音響パワーレベルを計測した 3 機種 (弊社 2 機種、ACSL1 機種) をホバリングさせ、真下、斜め 45 度下に 10m から 50m まで 10m 刻みで音圧を計測、さらに高度 10m でホバリングさせ、ほぼ真横に 10m から 50m まで 10m 刻みで音圧を計測した。

この実測値と音響パワーレベルから計算した数値を比較した。

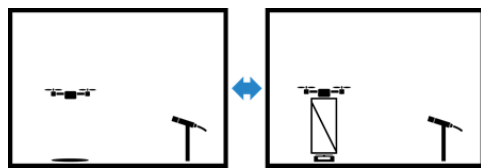
(5) 成果の詳細

①国立開発法人産業技術総合研究所

2019 年度における本研究開発事業では、

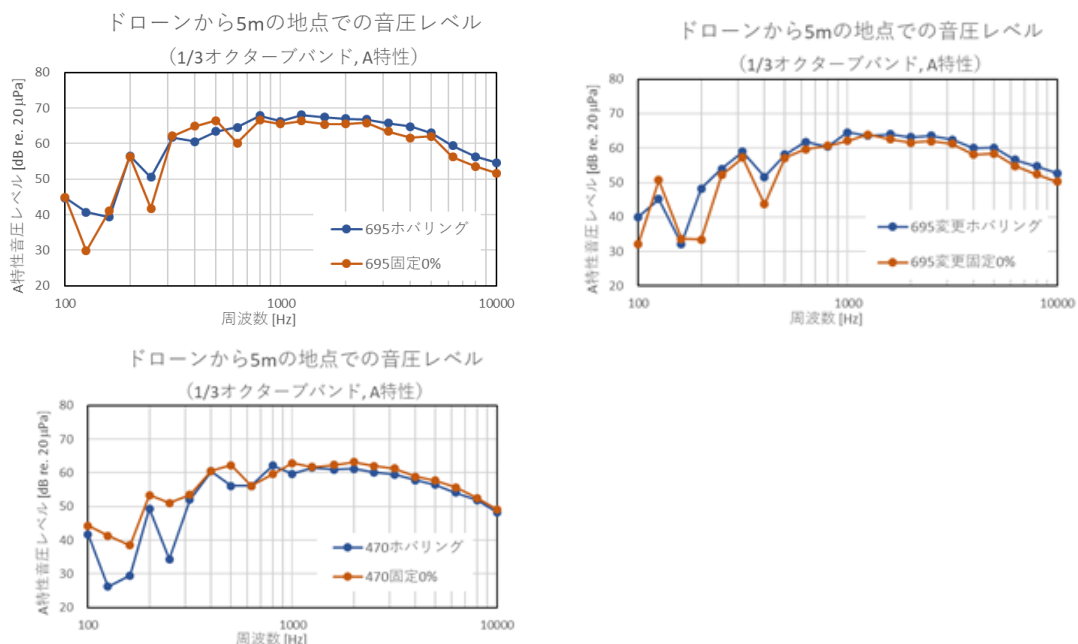
- ・無人航空機の安全な目視外および第三者上空飛行の実現を目指した、世界中の安全規格や安全方策の調査、
- ・落下時の挙動運動観測と終端速度計測、
- ・落下安全範囲のセオリー、
- ・騒音音響計測法の確立、
- ・騒音スペクトル構造の解明、
- ・対人衝突試験法の開発、
- ・HIC(Head injury criterion) 値の計測の成功

等の高密度な成果を得ているが、この中の騒音音響計測法の確立は、計測試験場所が産業技術総合研究所で、音響における国家標準計測を担当する部署で音響計測を実施しているため、ここで成果の詳細を示す。



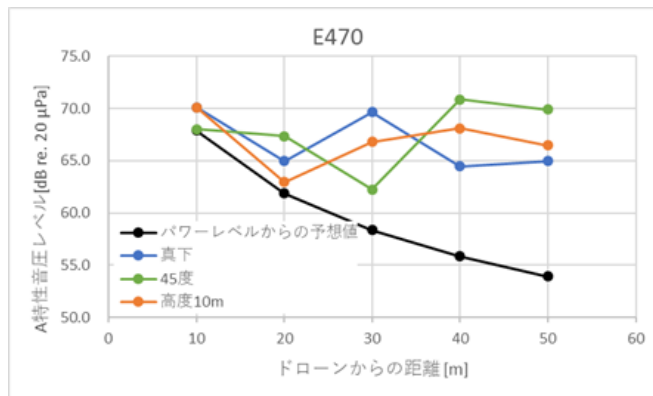
| | 695 | 695プロペラ変更 | 470 |
|---------|---------|-----------|---------|
| ホバリング | 77.1 dB | 73.3 dB | 70.9 dB |
| 台固定0%出力 | 76.1 dB | 72.0 dB | 72.3 dB |
| 差 | -1.0 dB | -1.3 dB | +1.4 dB |

図Ⅲ2.1.1.6-12 空中に浮いた状態と測定台に固定した状態での音響計測結果比較結果

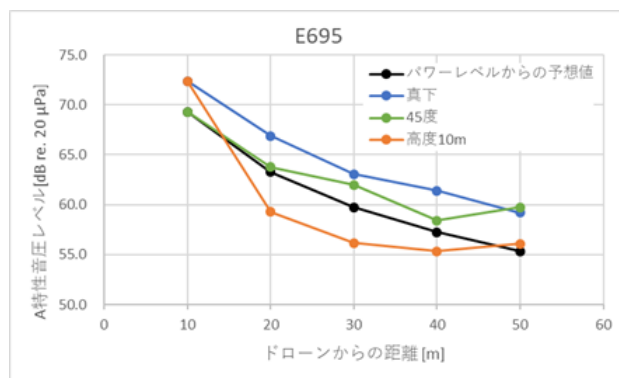


図Ⅲ2.1.1.6-13 空中に浮いた状態と測定台に固定した状態で計測した音響スペクトル

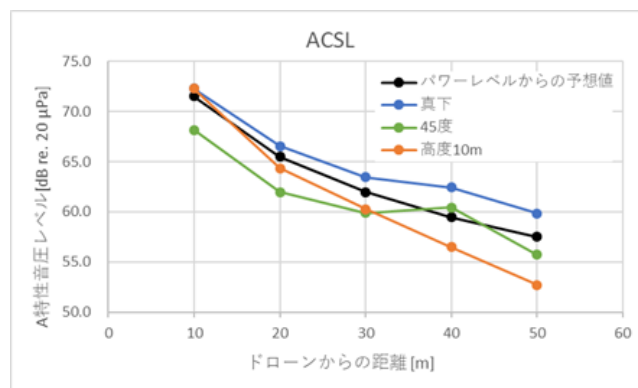
現在従来騒音計測法として、農薬散布用無人ヘリの騒音計測法があり、それは50m離れた場所で、高度3mにホバリングさせた無人ヘリの姿勢を4方向（東西南北方向）に変化させてSPL測定を実施するものがあるが、福島ロボットテストフィールドにおける野外では、風の音を測定器が収集してしまう問題があり、気象条件を厳選しなければ公平性再現性が保てないことが判明したことから、残響室を用いた音響パワーレベル測定を測定法として研究開発した。残響室法ではドローンを測定台に固定したままプロペラを回転させるため、図Ⅲ2.1.1.6-12のように、空中に浮いた状態と測定台に固定した状態で音響計測を行い、差異を評価した。その結果図Ⅲ2.1.1.6-12の右表の通り、差が1.4dB以下で音響計測上はその差は無視できる結果が得られた。実際のスペクトルを図Ⅲ2.1.1.6-13に示すが、ほぼ全ての周波数領域において顕著な差が観測されなかったことから、測定台を用いた残響室法での音響パワーレベル計測が騒音計測法として適用可能であると考えられる。



図Ⅲ2.1.1.6-14 毎秒7 m程度の風速環境における音響計測結果



図Ⅲ2.1.1.6-15 毎秒5 m程度の風速環境における音響計測結果



図Ⅲ2.1.1.6-16 毎秒3 m程度の風速環境における音響計測結果

次に、野外での実環境における計測値と測定台を用いた残響室法での音響パワーレベル計測の差について福島ロボットテストフィールドを使用した試験で検証した。毎秒7 m程度の風速環境において、野外での測定値はその風の音を計測マイクが拾うことにより、図Ⅲ2.1.1.6-14のような距離に依存せず高い音圧レベルを示すデータが収集されてしまう。音響計測においては野外計測が性能評価に不向きな理由である。

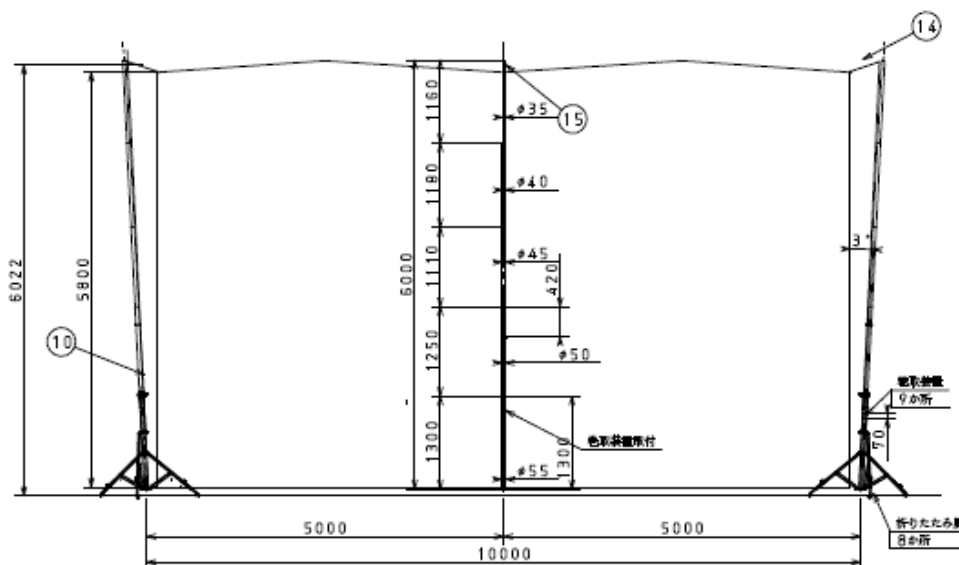
図Ⅲ2.1.1.6-15 に風速5 m毎秒程度の環境における音響計測結果を示す。風速の低減により、風の影響が減少し、残響室での音響パワーレベル測定からの数値（黒線）に近い特性を示すようになってきていることがわかる。

さらに、図Ⅲ2.1.1.6-16には風速3m毎行程度の良好な計測環境における音響計測結果を示す。風の影響が更に減少し、残響室での音響パワーレベル測定からの数値（黒線）に近い特性を示すようになってきていることがわかる。また、残響室での音響パワーレベル測定からの数値（黒線）は、野外におけるドローン直下での計測、ドローンが45度に見える位置での計測、ドローンを高度10mでホバリングさせた時の計測の差、すなわちドローンが発する音の分布を平均化した値を残響室での音響パワーレベル測定からの数値（黒線）が示していることがわかる。このことは、残響室での音響パワーレベル測定法がドローンの騒音計測法として適していることを示していると考えられる。

あと、落下終端速度測定試験や落下姿勢計測試験等で多用された図Ⅲ2.1.1.6-17の落下受止装置の研究開発を行った。終端速度が毎秒15mもの速度に達するドローンが無傷で受止めるため、100mmもある特殊な目の網と図Ⅲ2.1.1.6-18のように配置されるしなやかに変形する炭素繊維複合材製の支柱構造とそのオフセット角で張力を調整する機構により、落下受止装置として高い性能を示し多くの落下試験を成功させた。



図Ⅲ2.1.1.6-17 ドローン落下受止装置とドローン落下用クレーン



図Ⅲ2.1.1.6-18 ドローン落下受止装置の支柱構造

②株式会社自律制御システム研究所

(i) 求められる性能評価の研究開発

諸外国の動向調査結果、H28-29 年度成果で整理された性能項目をもとに、無人航空機性能評価手順書の全体骨子（性能項目区分+性能項目）を整理した。

| 性能項目区分 | 性能項目例 | 性能項目区分 | 性能項目例 | 性能項目区分 | 性能項目例 | | | | | | |
|----------|-----------------|-----------|------------------|-----------------|--------|----------|--------------|----------|-----|--------|----|
| 飛行性能 | 基本飛行性能 | 信頼性 | システム全般 | 耐環境性能 | 気象全般 | | | | | | |
| | | | | | | 飛行速度 | 機体全体 (HW&SW) | 温度 | | | |
| | | | | | | 航続時間 | HW全般 | 風 | | | |
| | | | | | | 飛行距離 | SW全般 | 高度 | | | |
| | | | | | | 飛行高度 | 推進システム | 降雨 | | | |
| | 飛行安定性 | | 燃料システム | | | 雪 | | | | | |
| | 重量 | | 冷却システム | | | 湿度 | | | | | |
| | 誘導精度 | | バッテリー性能 | | | 結露 | | | | | |
| | 離着陸性能 | | 基本離着陸性能 (離着陸面積等) | | | ジェネレータ性能 | 氷 | 耐周囲環境 | 水 | | |
| | | | 狭い空間における離着陸性能 | | | ケーブル | 雷 | | | | |
| 安全性 | | 衝突回避 | 電気系統 | 通信システム (C2リンク等) | 耐電磁環境 | 静電気 | | | | | |
| | | | | | | | 衝突回避能力 | | | 冗長性 | かび |
| | | | | | | | 視認性 | | | アンテナ性能 | 塩霧 |
| | 飛行継続 (異常回復) | | | | | | 送信性能 | 砂塵 | | | |
| | 飛行継続 (飛行経路逸脱防止) | | | | | | 受信性能 | 水 | | | |
| 飛行中断 | テレメトリ | 電波干渉・電波妨害 | | | | | | | | | |
| 落下時の接触防止 | 通信品質・セキュリティ | 耐危険環境 | 防爆 | | | | | | | | |
| 落下時の警告 | ティ | | | 放射熱 | | | | | | | |
| 落下分散 | 寿命 | | | 化学 | | | | | | | |
| 落下時の危害軽減 | 落下速度低減 | | | 耐久性 | 強度 | 耐危険環境 | 放射性雰囲気 | | | | |
| | | | | | | | | 落下時の衝撃吸収 | 耐食性 | | |
| | | 発火・誘爆 | 構造の耐久性 | | | | | | | | |
| | | | | 環境負荷性能 | 騒音、廃棄等 | | | | | | |


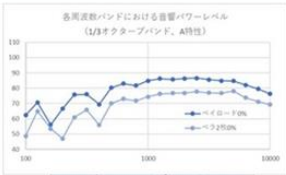

表Ⅲ2.1.1.6-3 無人航空機性能評価手順書の全体骨子

(ii) 性能評価の手法の検討

騒音評価については、近年の国際標準計測法となっている音響パワーレベル計測での騒音計測を実施した。計測には残響室法を用いている。ドローン騒音計測の手法として、ドローンを固定する測定台に推力計測装置を装備した計測装置を開発し、実際に空中でホバリング中のドローンの騒音計測と比較して、±1.5dB以下の誤差でほぼ同一の音響スペクトルデータ計測結果が得られた。

落下分散については、ドローンの落下メカニズムの解明を行うための落下試験装置の開発を実施した。落下試験装置は、ドローンの落下を受止める装置で、縦横高さがそれぞれ10m×10m×6mとなっている。落下により終端速度に達したドローンは、高さ6mの距離で速度ゼロまで減速される。終端速度はほぼどのドローンも毎秒15mで、このときのGは最大7Gであった。減速加速度は、受止め装置のテンションの制御によりコントロールされている。


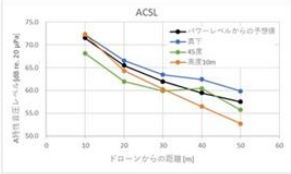

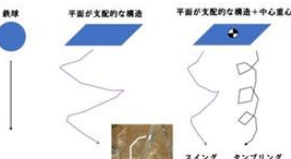
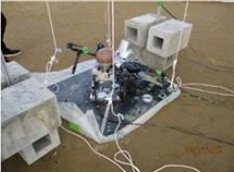
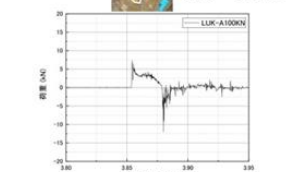
衝突安全評価装置は、頭部へのドローンの衝突による危害の評価を行うための装置で、頭部インパクトと呼ばれる人間の頭部の構造を有する計測装置で、衝撃加速度計、荷重計測装置などを内部に搭載している。

| 項目 | 概要 | 試験風景 | 試験結果例 |
|------|--|---|---|
| 騒音 | 製造メーカーの負担を軽減可能かつ実測値に近似可能な計測方法の一つとして、残響室法（比較測定法）に基づいた音響パワーレベル測定による騒音評価を実施した |  |  |
| 落下分散 | 目視外飛行の要件の検討において議論となった無人航空機の落下分散に関して、落下試験に必要な落下受止め試験装置の開発を実施した |  |  |
| 衝突安全 | 落錘荷重試験などを用いた衝突試験法を検討すると共に、頭部インパクトを用いた衝撃荷重の計算を実施した。リスクアセスメントシートの開発も実施した。 |  |  |

図Ⅲ2.1.1.6-19 騒音評価、落下試験評価、対人衝突安全評価の試験手法の開発成果

(iii) 性能評価基準の検証

騒音評価については、無人航空機が発生する総音響エネルギーである音響パワーレベルから導出される距離による音圧レベル特性と、実際に野外で計測した距離による音圧レベル特性の比較を実施し、前者が安定して騒音性能の評価を表示していることを示した。落下試験からは、平面を多用するマルチローター型無人航空機ドローンの特性により、カードのようにヒラヒラ落下するメカニズムを解明した。衝突安全評価では、自動車の対人衝突安全評価に使用する頭部衝撃指数（HIC）の計測を実施し、最も衝撃持続時間の短いHIC15の計測において、220という値を得た。これは、自動車で致死の値とされるHIC=1000と比較すると小さい値として計測されることがわかった。

| 項目 | 概要 | 試験風景 | 試験結果例 |
|------|---|---|---|
| 騒音 | 残響室法（比較測定法）に基づいた音響パワーレベル測定と野外実測値の比較を行い騒音計測手法の評価を実施した |  |  |
| 落下分散 | 目視外飛行の要件の検討において議論となった無人航空機の落下分散に関して、初速等の初期条件や落下姿勢を考慮しながら、シミュレーションや落下試験等による評価を実施した |  |  |
| 衝突安全 | 落錘荷重試験などを用いた衝突試験法を検討すると共に、頭部インパクトを用いた衝撃力計測を実施し、衝撃荷重の人体影響の検証や、HIC等の評価指標を検討した |  |  |

図Ⅲ2.1.1.6-19 福島ロボットテストフィールドでの試験結果

③独立行政法人労働安全衛生総合研究所

・概要

実施課題及び主な成果

- リスク分析の実施
 - ドローン配送システムを想定したリスクアセスメント雛形の提案
 - ドローン配送システムで想定される重要ハザードの収集
 - ドローンの安全教育の実態調査
- 落下衝突試験の実施
 - ドローン落下衝突試験装置試作
 - 屋外上空 20m ドローン落下試験実施
 - 頭部障害基準（HIC₁₅）適用の検討
 - ドローン落下模擬（代替）試験装置試作
- 回転翼接触試験の実施
 - 回転翼（プロペラ）市場調査
 - 回転翼（プロペラ）事故状況調査
 - 回転翼（プロペラ）リスク評価試験装置試作
 - 回転翼（プロペラ）リスク評価試験実施

・成果詳細

- リスク分析の実施
 - ドローンが関係するシステムの安全性評価は、ドローンを設計・製造し、仕組

みを理解している製造業者がもっとも実施しやすい。そこで、本プロジェクトに参画している製造業者と連携し、運送・配送システムの実用化を検討している運用側の事業者等でも、安全性評価を実施できるように、リスクアセスメントの実施手引等を作成して一般に公表することを提案した。

- リスクアセスメントの手法としては、生活支援ロボットや介護ロボットで活用されてきた、ハイブリッド法による手法とその記入書式を定めた雛形を採用した。雛形を採用するにあたり、リスク分析の目的に照らして、FTA (Fault Tree Analysis) の緩やかな原因分析の観点を新たに書式へ取り入れた。
 - リスクアセスメントの一覧に共通して挙げられると想定できる事項（危険源）を、「重要危険源」と呼び、この重要危険源を、製造業者、使用者、第三者で想起して共有することを目的とした。そして、そのための雛形を作成して公表することとした。
 - ドローンが安全に活用されるためには、操縦者による安全確保が欠かせない。ドローン本体の安全性が向上しても、操縦者の知識や技能が不足している場合は、安全性は十分に維持されない。そこで、現状の操縦者に対する教習制度についても、調査を行い、実際に安全管理についての講習を受講することにより、現状を把握することとした。
 - JUJIDA（日本 UAS 産業振興協議会）認定資格では、操縦技能だけでなく安全運航管理についても実習を行なっている。この安全運航管理の講習内容を調査するため、実際に受講して教育内容を把握することとした。両講習ともに有意義なものであり、ドローンの安全管理において非常に重要な役割を果たしているものと判断された。
- 落下衝突試験の実施
 - ドローンが落下して人に衝突する場面を想像すると、人の頭や顔にドローンが直撃する事例が最も危険と考えられる。人体頭部に加わる衝撃の影響を評価する指標として、頭部障害基準 (HIC: Head Injury Criterion) があり、この指標の利用は国際的に定着している。この基準 HIC は衝撃により人体頭部に加わる加速度から、頭部に生じる障害の程度を算定する。ドローン落下による人体への影響を把握するため、HIC も含めて、衝撃力を計測する装置を独自に開発した。計測項目は
 - ・ 落下速度 ([m/s])
 - ・ 頭部衝撃荷重 ([N])
 - ・ 頭部加速度 ([m/s²])とした。
 - 配送システムへの活用を予定しているドローンを用いて、実際に屋外で落下衝撃計測試験を実施した。移動式クレーンを用いてドローンを高度 20m から

自由落下させて計測部に激突させた。計測試験の結果は、直撃しなかった場合も含めて、全ての試行で、所定の計測結果（落下速度、頭部衝撃荷重、頭部加速度）が得られた。

- ドローンが頭部ダミーに直撃した成功試行での計測値は 7kN 超えと高く、人体に甚大な傷害を与える水準に達している。一方で、机上で想定した衝撃荷重値よりかは値が低くなった。合成加速度は 1300m/s^2 超えとなったが、肝心の HIC_{15} は 200 程度と低い水準値となった。衝突時間が極めて短時間であるため、HIC 値が低くなる結果となった。
- 試験方法として、ドローンを実際に落下させて計測装置に衝突させる方法は、安全性の評価として最も再現性が高い一方で、その手間や試験の成功率は課題となる。試験自体の安全性管理や保守管理も課題となりうる。そこで、ドローンを上空に吊り下げて落下させる方式を代替する方式を検討し、その方式による試験装置を試作した。動作確認により性能が確認でき次第に、ドローンを用いた試験を実施する。
- 回転翼接触試験の実施
 - 現在、ドローン用の回転翼（プロペラ）を製造しているメーカーは多くなく、中国メーカーの回転翼を選定しているドローンメーカーは少なくない。国内のメーカーもあるが多くはない。現在の回転翼の種類として、樹脂を単純に射出成形するものと炭素繊維を混合した成形が主流である。いずれにせよ回転翼の種類はさほど多くはないものの、その飛行性能（推力や効率）と安全性（リスク）の関係は検証・解明されていない。
 - ハンドキャッチと呼ばれる、本来はドローンの運用管理として不適切な使用方法がインターネットの動画などを介して知られており、緊急回避的な手段としてではなく、興味本位でドローンを手で掴む運用実態がある。そのハンドキャッチなどの不用意な人の接近により、ドローンの回転翼で手指を切る事故が知られている。公式な実態調査はまだなされていないが、インターネットの動画などで手指損傷の報告が多数確認できた。
 - ドローンは、インフラの点検、空撮、測量、農薬散布などに用いられているが、ドローンが付近住民等に激突し回転するプロペラで指を切創するなどの事故が発生している。このような事故の防止対策を検討するためには、まずは、ドローンでどのような危害が生じるのかを実験により検証することが必要である。ここでは、回転するプロペラによる危害に着目した。
 - 産業現場で用いられる耐切創手袋を装着した場合に、どの程度、危害が軽減できるかを明らかにする試験装置を構築した。
 - ◇ ドローンのプロペラをその機種種の最高回転数で回転させ、移動速度 $2[\text{m/s}]$ で疑似手に衝突させて、プロペラによる切創等の状況を観察した。

- ◇ 使用するプロペラは、点検や空撮等で用いられる代表的なものを使用。
- ◇ 擬似手は、皮膚をシリコン、骨を木の棒（直径 8mm）で作成した。
- ◇ 耐切創手袋は産業現場でよく用いられるもので、模擬手に被せた。
- 現在主要なプロペラを用いてリスク評価を実施した。主に下記の事項が確認された。
 - ◇ 折り畳み機構を有しない機種が、より危害が大きくなる傾向がある。
 - ◇ 炭素繊維樹脂素材は、衝突で割れてより広範囲に飛散する。
 - ◇ プロペラや割れた破片が人に突き刺さるおそれは十分にある。
 - ◇ 飛散物を想定してゴーグル（保護眼鏡）の着用が必須である。

④国立大学法人東京大学

無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするために、海外諸外国において講じられる機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を調査検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法について検討した。具体的には、無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするために海外諸外国において講じられる、機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を調査検討すると共に、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法についての検討を行った。詳細は以下のとおり。

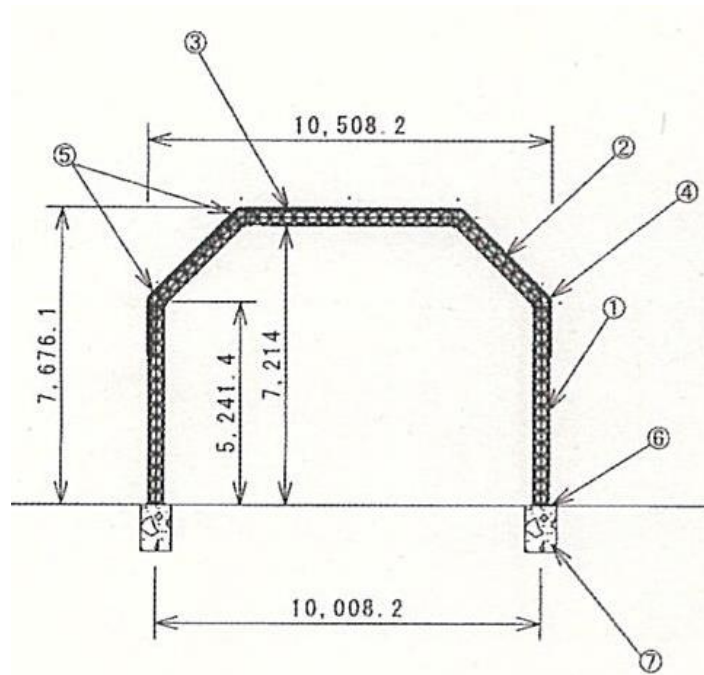
1. 海外で行われているリスクベースによる性能評価基準策定の活動にならい、目視外第三者上空飛行する最大離陸重量 25kg 未満のマルチコプターを対象に、利用分野（物流と災害時の情報収集）毎、飛行前から飛行後までのフェーズ毎にリスクアセスメントを行い、目視外及び第三者上空飛行無人航空機に求められる性能評価項目案を検討すると共に、過去の NEDO 研究成果である「無人航空機性能評価手順書（案）Ver. 1.0」で整備されている性能評価項目の網羅性を確認し、航空機としての信頼性や位置精度などの新たに性能評価の必要がある項目を洗い出した。
2. 「無人航空機性能評価手順書（案）Ver. 1.0」と既存の国内基準である JUAV の「産業用無人航空機安全基準『小型回転翼無人航空機・第三者無人地帯用』」を比較検証し、相互の位置づけを確認した。
3. 小型無人航空機に関する海外の基準検討動向のうち、主にリスクベースによる性能評価基準策定の検討を行っている活動に焦点をあてて調査を行い、MITRE（The MITRE Corporation）の sUAS（Small UAS）耐空性評価ツール（sAAT）に関する文書は、リスクアセスメントの結果を性能評価基準等への反映も念頭に置いていること、ASTM（米国材

料試験協会)のF3178-16「Standard Practice for Operational Risk Assessment of Small Unmanned Aircraft Systems」は、システム安全(MIL-STD-882)と同様の手法であり、①で実施したリスクアセスメントと同様の手法であること、ISO(国際標準化機構)のUAV機体の製造及び補修に関する基準案では、有人航空機のようにシステム毎に細かく規定され、安全要求は、システム固有の安全基準として、各システムの章の中に定められていること、また、耐環境性能に関しては、有人航空機の基準である、RTCA/DO-160を参照していることなどが分かった。

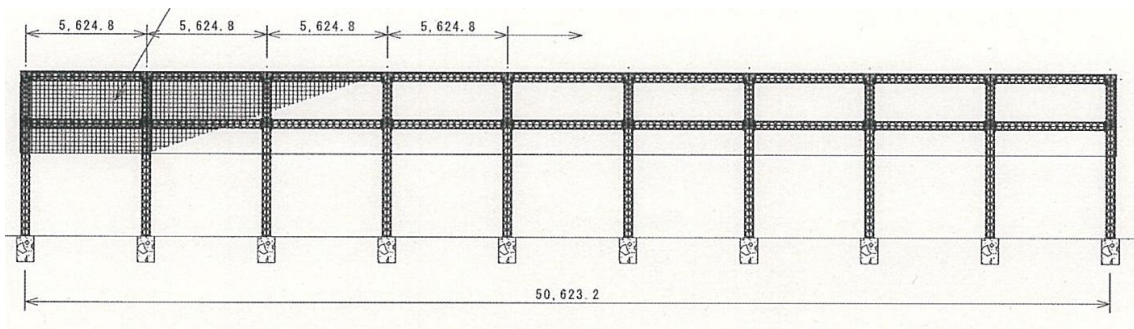
4. 性能評価に関する調査として、米国NUAIR(The Northeast UAS Airspace Integration Research Alliance)主催のシンポジウムに参加し、米国の小型無人航空機の取り組みを調査し、テロ対策が進む米国では、「小型無人航空機のサイバーセキュリティ」に関する意識が非常に高いことを確認した。

5. 性能評価手法に関するヒアリングを同分野で研究実績が豊富なNIST(アメリカ国立標準技術研究所)、長岡技術科学大学(以下、「長岡技大」という)、労働安全衛生総合研究所(以下、「労安研」という)に対し行った。NISTのヒアリングでは小型無人航空機の性能評価に関する標準試験方法(STM: Standard Test Method)の検討動向が得られたと共に、小型無人航空機分野で正式に規格化されたNFPA(米国防火協会)文書を調査することで無人機の遠隔操縦性能とペイロード性能に関する具体的な評価手法を確認した。また、長岡技大から、「無人航空機性能評価手順書(案)Ver. 1.0」に対し、システムズエンジニアリング的アプローチで整備していくべきとの助言が得られた。安全評価試験に詳しい労安研からは、基準や試験方法の開発に向けては、リスクアセスメントをベースにメーカーへのヒアリングを重ねながら、現実的なものを開発していくことが重要であるとの知見を引き出した。

また、機体の落下分散に関する地上への危害低減の安全性能評価手法の一つとして、高速道路や鉄道路線など、無人航空機の落下に伴う地上設備への危害低減のためのカードインフラの検討を実施した。図Ⅲ2.1.1.6-20はスカイガードレールの正面から見た図で、図Ⅲ2.1.1.6-21はスカイガードレールの側面の図である。



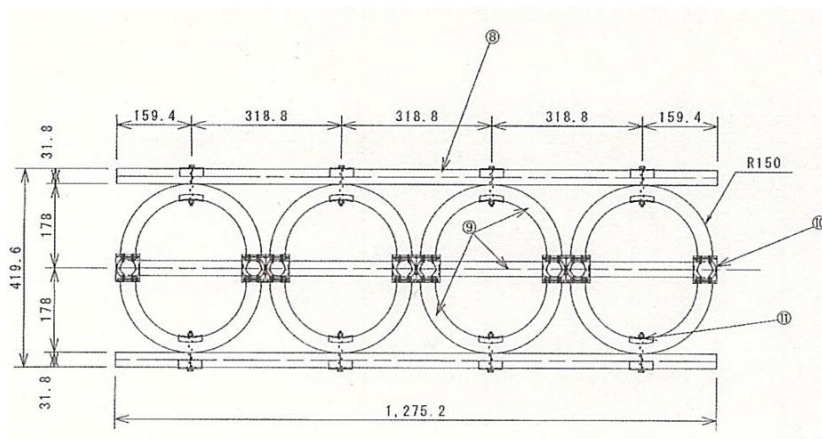
図Ⅲ2.1.1.6-20 スカイガードレールの正面



図Ⅲ2.1.1.6-21 スカイガードレールの側面

高速道路や鉄道路線など、無人航空機の落下に伴う地上設備への危害低減のためのカードインフラで、このガードレールで覆われている上空であれば、低リスクで無人航空機は横切ることが可能となる。

自動車と異なり飛行機械は軽量でないと飛ばないために非常に軽量に製作されていることから、過剰な耐力や高コストの施工とならないように、図Ⅲ2.1.1.6-22に示すような少ない部品の種類の組み合わせで施工可能なために、産業的に普及することを考慮した構造となっている。



図Ⅲ2.1.1.6-22 ダブルリング構造体

⑤イームズロボティクス株式会社

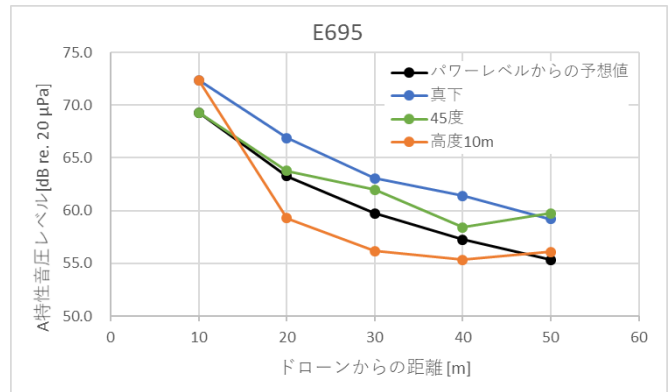
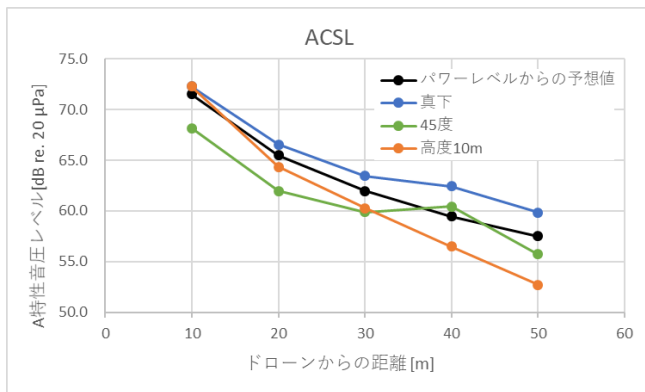
福島ロボットテストフィールドでホバリングするドローンを真下、45度、真横に10mから50mまでの計測した音圧をグラフ化した。さらに、音響パワーレベルから「距離ごとの音響パワーレベルと音圧レベルの数値差 (dB)」を引いた予想値グラフ (黒線) を検証した。

470機の場合、風速10m毎時と強い風が吹き計測値がバラバラでしたが、ACSL機と695機はほぼ4つのグラフの傾向が同じであった。

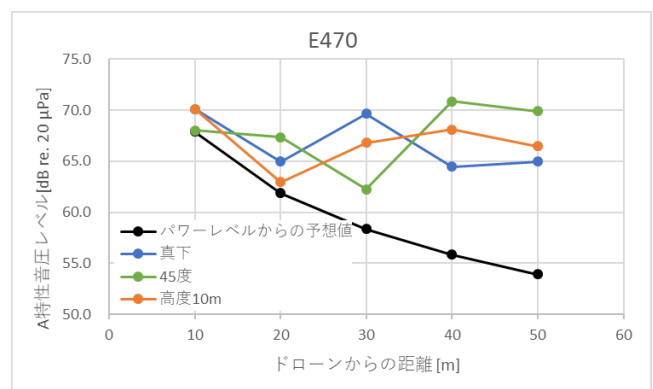
従って、残響室でドローンの音響パワーレベルを計測し、距離による減衰値からドローンの音圧が計算できる方法がドローンの音圧を表現する適正な手段であることを確認することができた。

| 機体 | ACSL | E695 | E470 |
|---------|---------|---------|---------|
| ペイロード0% | 99.5 dB | 97.3 dB | 95.9 dB |

表Ⅲ2.1.1.6-4 残響室で測定されたドローンの音響パワーレベル (A特性、overall)



| 距離[m] | 数値差[dB] |
|-------|---------|
| 10 | -28.0 |
| 20 | -34.0 |
| 30 | -37.5 |
| 40 | -40.0 |
| 50 | -42.0 |



図Ⅲ2. 1. 1. 6-23 距離ごとの音響パワーレベルと音圧レベルの数値差 (dB)

(6) 最終目標の達成の見通し

①国立開発法人産業技術総合研究所

無人航空機の日視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするための、機体の騒音計測、落下分散、衝突安全、アンテナ性能評価の評価方法の確立という最終目標であるが、それぞれ最適な評価方法の確立を達成した。今後は、検討会等での議論等から浮上する新たな課題（飛行安定性、誘導精度、地上への危害低減）等の解決を目標としてその達成を目指す。

②株式会社自律制御システム研究所

各種実証実験により基礎データの取得が進んでいる。全体として開発は概ね計画通りに進捗しており、最終目標は達成の見通しである。

③独立行政法人労働安全衛生総合研究所

当初計画した課題については、概ね予定通りの実施状況である。計画に対する課題達成としては順調であるが、目標を完全に達成するためには新たに発生した（確認できた）課題の

解決が必要であり、最終目標達成のための計画を再度検討する必要がある。既に、再検討した計画の下で、関係機関と連携調整して始動しており、当初の最終目標への新たな達成課題に取り組んでいる。具体的に述べると、自動車の衝突安全基準である HIC15 をドローンの対人衝突安全の基準に直接適用することには課題があることが、実験的に確認できた。これは世界的に新規の知見（成果）である。自動車分野の専門家の協力を得て慎重に検討を進めている。予定通りの目標を達成すべく万全の体制で実施できているものと思慮する。

④国立大学法人東京大学

無人航空機の日視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするために、海外諸外国において講じられる機体の信頼性を向上させる方法及び第三者に対する危害を抑制する方法を調査検討し、それらの方法を講じることで確保される信頼性及び安全性を評価する手法について検討する研究については、上記の海外等に関する詳細な調査研究を実施し、特に海外における性能評価に伴う規格策定の分析結果は国土交通省航空局の方向性を本プロジェクトの方向性と合致させる重要な役割を担った。また、機体の落下分散に関する性能評価手法として、地上危害低減の安全策に注目し、シミュレーションより実物製作の手法を選択したことにより、より具体的な機体の落下分散に関する安全性能評価に必要な技術的要求性能を明らかにすることができた。

⑤イームズロボティクス株式会社

ドローンの音圧を表現する手段は 2018 年度に残響室法からドローンの音響パワーレベル、音圧測定する方法が確立された。

<ドローン静音化技術> (2019 年)

ドローンの機体独自の静音化技術を検証する。プロペラ翼端の形状、Electric Speed Controller (ESC) による静音効果等の試験を実施する。

下表は、音響パワーレベルから 30m 離れた理論値を示しているが、目標値の 55dB 以下とするには、現状のドローンの音響パワーレベルを 5dB から 10dB の低減が必要である。

| | ACSL | E695 | E470 |
|---------------------------|------|------|------|
| 音響パワーレベル* 1 | 99.5 | 97.3 | 95.9 |
| 30m 離れた理論値-37.5 を引いた数字 | 62.0 | 59.8 | 58.4 |
| NEDO 目標値 55 までの値 | 7.0 | 4.8 | 3.4 |

* 1 昨年残響室データ（数字はすべて dB）

表Ⅲ2.1.1.6-5 音響パワーレベルから 30m 離れた理論値

静音化技術は 2019 年を通して研究開発するが、現時点（2019 年 7 月）でプロペラ回転面に工夫することで静音化が図れることが分かってきた。現在特許出願準備中であり、今後も残響室内で試験をしてより静かなドローン技術を検証して目標達成を図る。

（7）知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.1.2. 省エネルギー性能等向上のための研究開発

1) 殊環境下における連続稼働等が可能な機体の研究開発

(実施先：株式会社エンルート)

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

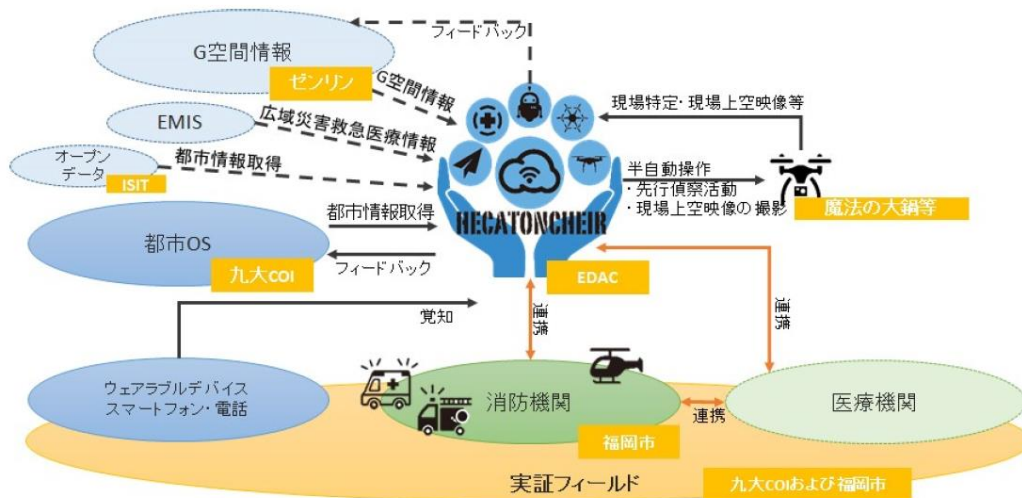
1. 研究開発の動機・背景

関係府省庁、メーカー、利用者等の団体をメンバーとする「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において検討された、中長期の「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」では、安全確保に向けた制度設計の論点を整理、検討の方向性が提示され、安全確保に向けた制度設計の方針を取りまとめられており、その中の利活用分野の1つに「災害対応」があるが、火災現場の情報収集（空撮、計測等）や火災現場における捜索・救助支援は喫緊のテーマとなっている。

救急医療・災害対応無人機等自動支援システム活用推進協議会（EDAC）が主催する「救急医療・災害対応におけるIoT利活用推進コンソーシアム」では、ドローンなどの技術を災害・救急用途に活用することを目指し、ヘカトンケイルシステムのリファレンスモデル（図Ⅲ2.1.2-1）を構築し、特区制度を活用した実証実験を開始している。各種のウェアラブルデバイスやスマートフォンアプリ、119番通報などによる受動的情報収集と、ドローンなどの無人機による能動的情報収集やフィードバックを半自律的に統合することで、迅速な現場特定による、傷病者に接触するまでの時間短縮や迅速な被害状況の把握による、必要な消防力の早期投入などが期待されている。

しかし、ドローンを活用した空撮や計測は急速に普及をしているものの、風雨、降雪などに耐える全天候型の機体は少なく、火災、火山災害等の劣悪環境下において正常に飛行可能な機体は存在せず、通常は一定の条件下でなければ、ドローンは飛行が出来ず情報を得ることは出来ないのが実態である。

そこで本事業では、「災害対応」分野における技術開発として、災害現場等の情報収集や捜索・救助支援を確実にを行うため、過酷環境への耐性向上を実現させるための小型無人機（ドローン）の技術開発を行い、火災現場等であっても連続稼働が可能なドローンを開発する。また、安全を考慮した機体設計を行い、災害時の運行管理システムや衝突回避技術等の技術とも連携をすることで、物流、インフラ、測量等の分野においても、環境に左右されず安定した飛行が可能な小型無人機の研究開発を実施する。



図Ⅲ2.1.2-1 ヘカトンケイルシステムの概要
 (出典：救急医療・災害対応におけるIoT利活用推進コンソーシアム)

2. 研究開発の意義

(a) 耐火用ドローン開発

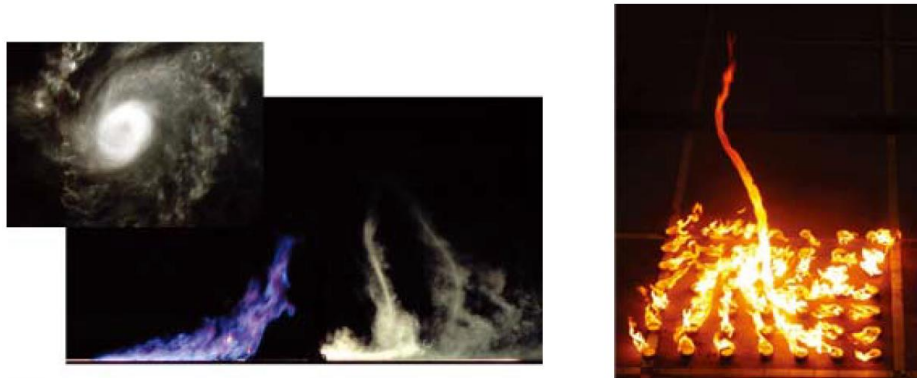
①断熱メカニズム解明と評価法の確立

消防研究センターの研究によると、大規模な市街地火災では、「旋風」と呼ばれる竜巻状の空気の渦(巨大なつむじ風)が発生して大きな被害をもたらすことがあり、この旋風は、人や物を吹き飛ばすだけでなく、その猛烈な風によって急速な延焼を引き起こしたり、火炎を含んだ竜巻状の渦である「火災旋風」に発展したりすることがあるという。(図Ⅲ2.1.2-2)

また、火災時に発生する旋風のなかでも、横風が吹いている条件での火災域の風下に発生する旋風はその報告例が非常に多く、被服廠跡を襲った旋風も当時の証言や気象条件、火災状況などからこのタイプのものであった可能性が高いと考えられる。

しかし、旋風の発生条件や発生メカニズムはいまだ解明されておらず、その対策も全くとられていないのが現状のようである。

そこで本研究では、火災域の風下に発生する旋風の発生を考慮し、ドローンの耐熱対策だけでなく、火災旋風による空気の流れの影響なども、熱流体シミュレーションにより解析をすることで、安全かつ長時間の飛行が可能なドローンを短期間に試作開発する計画である。



図Ⅲ2.1.2-2 旋風（左）と火災旋風（右）の実験
（出典：消防庁 消防大学校 消防研究センター）

②ドローン機体設計

通常のドローンは、カメラや、センサを搭載しての空撮、観測飛行をするのが一般的だが、現状のままでは、耐火対策は全く施されておらず、機体全体を新たに設計しなおす必要がある。当社の産業用ヘキサコプターには、雨天対応型の機体もあるが、雨天時空撮を目的とした製品であり、全てのパーツにおいて断熱対策を行い、連続飛行が可能なドローンを試作開発する計画である。

なお、ドローンのパーツとなる、フレーム、モータ、プロペラ、バッテリー、センサ、カメラ、フライトコントローラ等は、事前に熱伝導等の解析を実施し、断熱または耐熱などの対策を講じることで、耐熱温度 1,000℃と飛行時間 3 分以上を実現することを目標とする。

ドローン向けモータの市場は、中国 T-motor 社や DJI 社が世界を席巻しているが、近年、市場の拡大を見込み、日本電産社やシナノケンシ社などのモータ大手企業がドローン向け製品を開発し始めている。ただし、防塵・防水対応の製品はあるものの、火災現場等の特殊環境下で連続稼働が可能な製品は存在しない。

通常、ドローン用のモータは、冷却効果を高めるためコイルが露出しているが、外部からの対策としては、断熱ケースやコイル皮膜加工等が有効と考える。対策としては、フレーム等と同様に、ケースに断熱材や耐熱塗料を利用する方法や、冷気を送風するなど、モータ内部による発熱を外に排出する工夫を施す計画である。

また、センサ機器等は、より精密で熱に弱い部品であるため、部品全体を容器に収め、内部の冷却が出来るような仕組みを検討する。（図Ⅲ2.1.2-3）

特殊環境下でモータやセンサ機器等に不調が生じた場合、即時にドローンが墜落する危険があるため、耐熱対策は非常に重要である。



図Ⅲ2.1.2-3 当社仕様の部品

③設計機体のシミュレーション等

耐火ドローン開発で目標となる耐熱温度 1,000°Cと飛行時間3分以上を達成するため、想定環境における開発機材のシミュレーション及び評価を実施する。基本的なパーツは当社の産業用ドローンをベースに熱に耐えられるような改良を施し、個々のパーツの構造解析や熱伝導解析等を実施し、全体の機体設計を完成させる計画である。

(b) 自律制御機能開発

①熱源に対する自律制御機能の開発

火災が発生した場合、消火活動を行う前に、熱源の特定や燃焼温度を把握することが有効であるが、当社では、ドローンを利用して、燃焼している物質の特定や、サーモセンサを用いた画像処理によって人体を認識し、ドローンを誘導するような仕組みは既に実用化をしている。

ただし、特殊環境下でドローンを飛行させるためには、ドローン自体を熱源から守る必要があり、本事業では、機体を守るための自律制御機能を開発する。通常、ヘリコプター等では火災発生時に上空を飛行することはできないが、ドローンであれば、火災現場上空においても飛行が可能であり、熱源に対する自律制御によって、リアルタイムに熱源との距離を制御することで、限界まで火災現場に接近することが可能となる。

②衝突回避機能の開発

DJI社のドローン「Phantom 4」では、ボディ前と下部分に、計4つのセンサが搭載され、最大で前方約15m、下方約10mまで離れた障害物の認識が可能となっているが、主にドローン本体の衝突による落下を回避するものであり、特殊環境下での利用は想定されていない。本事業では、火災現場等においても利用可能なカメラや各種センサ等を開発し、制御ソフトウェアによって障害物との衝突回避が出来る機体を完成させる。

③落下時の安全対策機能の開発

ドローンの安全対策としては、空港周辺や人口密集地上空の飛行などで国の許可や承認が必要となる改正航空法が昨年12月から施行され、一定の安全確保が図られているが、さらに、「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」では、「異常診断」のため、機体が自らの異常を検知し、安全な緊急着陸など適切な対応を行う機能や、「落下時の安全性」のため、万が一、落下しても地上の人や物件が安全であること（落下の衝撃が小さい、電池の破損等による火災が起きない等）を定義している。「異常診断」については、前述の「衝突回避機能の開発」によって、一定の安全性を確保できるが、「落下時の安全性」は、火災現場等の環境では、ドローンに搭載されている、リチウムポリマーバッテリーが、熱によって発火する可能性があり最悪の場合、火災を拡大させてしまう危険がある。そのため、本事業では、バッテリーを急速放電出来るような仕組みも研究課題として取り組む予定である。

(c) 通信用ソフトウェア開発

①通信プロトコルと映像蓄積機能の開発

火災現場等の特殊環境下で空撮した映像をリアルタイムで地上に伝送するために、5GHz帯の中継システムを利用し、ハイビジョン等、高画質映像を最大で1000mまで伝送し、映像中継できるようにする。また、ミッション・プランナー（自動航行用ソフト）を使って、人間にとって危険な領域であっても、地図上の空域を自動航行することが可能である。緊急時にはパイロット（消防団員等）が操作しなくても確認したい地域を空撮し、映像をリアルタイムに中継する事と、通信プロトコルと映像蓄積機能を開発する事で、通信が途中で途絶し、復帰した場合も違和感なく災害時の被災状況の確認が可能となる。災害救助で活躍する隊員の命守ることを目的とした次世代型無人機中継システムを開発する。

②通信モジュール等の開発

テザリングによる通信を利用し、ドローンに搭載したフライトコントローラとスマートフォンを接続させる。ドローンは、Pixhawk（ピクスホーク）という制御装置にArduPilot（アルジュパイロット）というオープンソースを組み合わせたフライトコントローラを搭載しており、携帯会社の閉域網に接続できる。また、Raspberry Pi（ラズベリーパイ）というシングルボードコンピュータで機能するブリッジ（中継）用のシステムを介して、ドローンのフライトコントローラとスマートフォンの通信モジュールが、相互に信号を交換できるようになり、遠隔オートパイロットが可能となる

(d) 実証試験

①試作品の性能評価等

本事業では、ドローンの仕様作成を当社が実施し、機材の加工やソフトウェア開発は外注する計画である。フレームとプロペラは単体での性能評価が可能であるが、モータ、バッテ

り、センサ、カメラ、フライトコントローラ等は耐熱カバー内（機体本体）に全て入れて評価をする予定である。なお、主要パーツの性能評価は、外注先が公設試や民間の試験施設を利用し基本機能を満たしていることを確認し、ドローン全体は、当社がパーツを組み立てて最終評価を実施する計画である。

②福島県ロボットテストフィールド等で実証実験

国と県が共同で進めている福島・国際研究産業都市（イノベーション・コースト）構想において、福島県は、ロボット産業の拠点施設「ロボットテストフィールド」と国際産学官共同利用施設を南相馬市原町区、テストフィールドに付随する小型無人機（ドローン）離着陸訓練場を浪江町に整備しているが、物流やインフラ点検、大規模災害などに対応する陸・海・空のロボットを対象として、ロボットの使用が想定される多様な環境を模擬できる大規模な実証フィールドとなっており、実証試験を支援する基本的な環境試験・計測・加工設備や、研究者を支援する長期間滞在設備を備えられる予定である。ロボットテストフィールドが備える主な機能として、インフラ点検・災害対応エリアの施設では、火災現場等の特殊環境を再現できるような多様な環境が整備される予定であり、本事業の成果となる「特殊環境下における連続稼働等が可能な機体（ドローン）」の成果を実証試験する計画である。

3. 研究開発の目的

我が国の10年間の出火件数をみると、建物の不燃化や耐震構造等も進み、5万7,460件であった。平成17年以降おおむね減少傾向となっており、平成27年中の出火件数は、3万9,111件と前年に比べ4,630件（10.6%）減少し、平成17年中の出火件数の68.1%となっている。また、火災による死者数も、2,195人を記録した平成17年以降おおむね減少傾向にあり、平成27年中の火災による死者数は、1,563人と前年に比べ115人（6.9%）減少した。また、平成17年中の火災による死者数の71.2%となっている。

上記の現状を踏まえ、火災災害時の人命救助に役立つドローン研究開発を目的とする。

厳しい火災現場の特殊環境下での連続稼働を実現するために、機体の耐火性や耐熱性、及び自律制御機能により安定性を強化し、更に火災現場の映像伝送等の仕様検討していく計画の提案となっている。

4. 事業の概要

現在、ドローンの商用利用として、災害対策、空撮・測量、点検・メンテナンスまで市場は拡大している。火災現場等の特殊環境下での連続稼働が可能なドローンが、本事業により製品を完成すれば、防災、災害対応だけでなく、あらゆる環境での需要拡大が期待できる。

本事業では、各項目間の連携にも配慮しながら、以下の研究開発項目について実施する。

- (a) 耐火ドローン開発
- (b) 自律制御機能開発

(c) 通信用ソフトウェア開発

(d) 実証試験

(2) 研究開発目標と根拠

1. 研究開発の目標

本事業では、省エネルギー性能等向上のための研究開発の1つとして、特殊環境下における連続稼働等が可能な機体を試作開発するために、以下の目標を掲げ、2019年度末までに、試作機2機体を完成させ、福島県ロボットテストフィールド等で災害現場等の劣悪環境を再現し実証試験を実施する。

また、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」により研究開発される、性能評価基準、複数機の運航管理システム及び他の機体や建物との衝突回避技術等とも連携し、福島県のロボットテストフィールド等における実証を通じて、その成果を国際標準化に繋げることを目標とする。

| 項目 | 中間目標 (2018年度末) | 最終目標 (2019年度末) |
|-----------------|--|---|
| (a) 耐火ドローン開発 | ①断熱メカニズム解明と評価法の確立 ②ドローン機体設計 (フレーム、モータ、プロペラ、バッテリー、センサ、カメラ、フライトコントローラ等) ③設計機体のシミュレーション等 | 耐火ドローンの試作品を2機体(50cm×50cm程度と120cm×120cm程度)製作し、開発した全ての機器を搭載する。また、耐熱温度1,000℃と飛行時間3分以上を目標とする。 |
| (b) 自律制御機能開発 | ①熱源に対する自律制御機能の開発 ②衝突回避機能の開発 ③落下時の安全対策機能の開発 | ドローンに搭載したセンサー等で、耐熱温度の上限(約1,000℃)を超えそうな場合、機体を熱源から遠ざけ、自主防衛出来るようにする。 |
| (c) 通信用ソフトウェア開発 | ①通信プロトコル等の開発 ②通信モジュール等の開発 | 位置、気圧、災害情報等を5GHz帯の電波を利用し耐火ドローンと通信できるようにする。 |
| (d) 実証試験 | ①外注先・公設試等を利用し、試作品の性能評価等を実施する。 ②個別に開発した機器を福島県ロボットテストフィールド等で実証実験する。 | 他の技術開発の成果を搭載し、福島県ロボットテストフィールド等での実証試験を行う。 |

表Ⅲ2.1.2-1 研究開発項目の目標

2. 研究開発の根拠

(1) 中間目標 (2018年度末) の理由

特殊環境下における連続稼働等を実現するためには、火災等の際に発生する熱や疾風のから機体を防御するための個別の断熱メカニズムの解明と評価方法が必要となる。ドローンの機体パーツである、フレーム、モータ、プロペラ、バッテリー、センサ、カメラ、フライ

トコントローラ等の機械特性を考慮した構造や熱伝導等のシミュレーションを実施し、実験による評価の前に理論的メカニズムの解析を行うことが必要となる。

火災時等では、熱の影響により、各種センサが正常に稼働出来ない危険もあり、センサからの情報だけでなく、熱源に対する自律制御機能、衝突回避機能、落下時の安全対策機能を開発する必要があり、機体を制御するために、通信用のソフトウェア開発も重要となる。

また、2018年度末の目標である、「試作品2機体、耐熱温度1,000℃と飛行時間3分以上」を達成するためには、ドローンの機体に関わる全てのパーツにおいて、実験や評価を繰り返す必要があり、そのために当社で実験が出来ない場合は外注先や公設試等を利用する計画である。

個別に開発した試作品は、福島県ロボットテストフィールド等で実証実験を実施し、2018年度から実施する最終的な実証実験に有益となるデータを蓄積する。

(2) 最終目標（2019年度末）の理由

2019年度末までに開発した全ての機器を搭載したドローンを2機体完成させ、耐熱温度1,000℃と飛行時間3分以上を実現するための実証実験を繰り返し、測定・検証をすることで、試作品の性能評価を実施する。

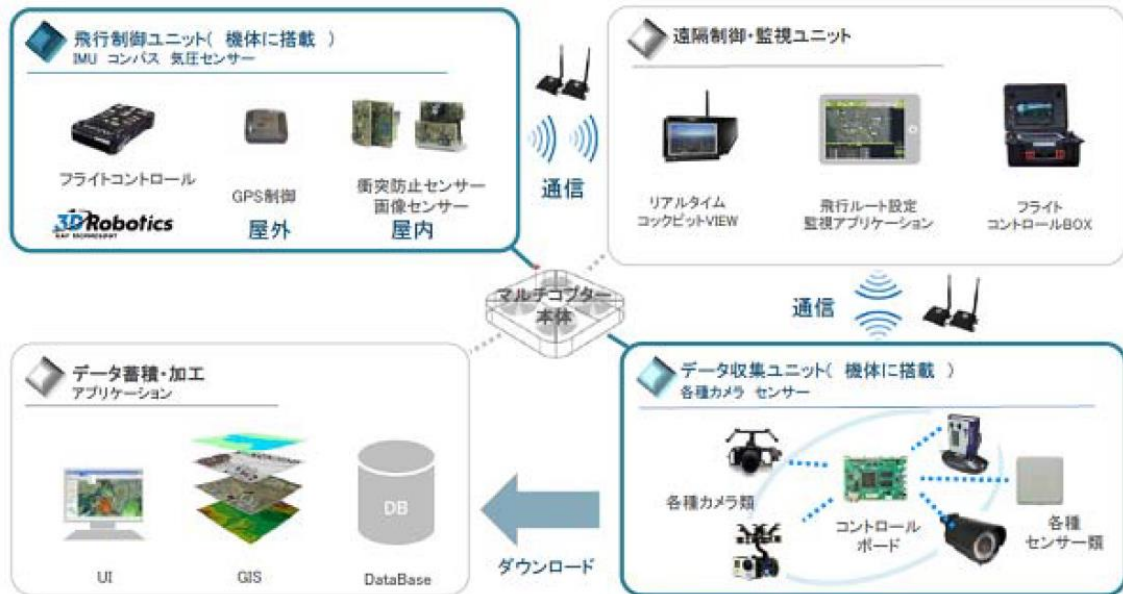
併せて、位置、気圧、災害情報等を5GHz帯の電波を利用し耐火ドローンと通信できることも確認し、限りなく火災時等の特殊環境を想定した実験を行い実用化が可能となる精度を目指す。

通信用ソフトウェアの精度を向上するために、風雨や火災等の環境を想定した実験を繰り返す必要があり、現在の通信手段でなく、新たな通信プロトコルや通信モジュールを開発し、特殊環境下におけるドローンの連続稼働を実現する。

また、本事業により研究開発した成果は、他の技術開発の成果も取り入れ、福島県ロボットテストフィールド等での実証試験する計画である。

3. 研究開発の独創性・新規性の根拠

本事業の研究開発テーマである「特殊環境下における連続稼働等が可能な機体の研究開発」に関する特許取得はないが、当社が目指すソリューションでは、ドローン本体と、様々なセンサ、カメラ等のデータ収集機器を組み合わせ、用途に応じた制御プログラムを自社開発しており、本事業の基盤となるノウハウを有している。



図Ⅲ2.1.2-4 当社が目指すソリューションの概念図

(3) 研究開発スケジュール

表Ⅲ2.1.2-2 に示す

| 開発項目 | 平成30年度 開発日程表 | | | | 開発目標 |
|--|-----------------|-----------------|---------|-------|-----------------|
| | 平成30年 | | | 平成31年 | |
| 期間 | 4～6月 | 7月～9月 | 10月～12月 | 1月～3月 | |
| 1. 耐火ドローン開発 (1)断熱メカニズム解明と評価法の確立 (2)ドローン機体設計 (3)設計機体のシミュレーション等 | 試作2号機仕様検討 | 設計・シミュレーション・試作 | 実験・評価 | | 試作2号機完成 |
| 2. 自律制御機能開発 (1)熟源に対する自律制御機能の開発 (2)衝突回避機能の開発 (3)落下時の安全対策機能の開発 | 自律制御機能Ver.2仕様検討 | 設計・ソフト開発・デバッグ | 実験・評価 | | 自律制御機能Ver.2 |
| 3. 通信用ソフトウェア開発 (1)通信モジュール等の開発 | 通信機器仕様検討 | 設計・モジュール設計・デバッグ | 実験・評価 | | 通信ソフトVer.2 |
| 4. 実証試験 (1)試作品の性能評価等 (2)福島県ロボットテストフィールド等で実証実験 | 実験準備 | 実験・評価 | | | 試作2号機による実証実験・評価 |

表Ⅲ2.1.2-2 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

研究開発項目と2018年度末の達成状況を表Ⅲ2.1.2-3に示す。

2年間に実施した機体パーツの解析結果から、ドローン試作品の耐火試験は耐熱温度300℃に引き下げて、2018年度末の中間目標を設定した。最終年度は当初の助成事業実施計画に沿って、機体耐熱加工の研究開発を継続する。

| 項目 | 最終目標（2019年度末） | 達成状況（2018年度末） |
|-----------------|---|--|
| (a) 耐火ドローン開発 | 耐火ドローンの試作品を2機体（50 cm×50 cm程度と120 cm×120 cm程度）製作し、開発した全ての機器を搭載する。また、耐熱温度1,000℃と飛行時間3分以上を目標とする。 | 耐火ドローンの試作品を2機体（120 cm×120 cm程度）製作した。耐熱温度300℃と飛行時間1分の耐熱試験を実施した。 |
| (b) 自律制御機能開発 | ドローンに搭載したセンサ等で、耐熱温度の上限（約1,000℃）を超えそうな場合、機体を熱源から遠ざけ、自主防衛出来るようにする。 | ドローンに搭載したセンサ等で、耐熱温度の上限（約300℃）を超える場合、機体を熱源から遠ざけ、自主防衛制御を可能とした。 |
| (c) 通信用ソフトウェア開発 | 位置、気圧、災害情報等を5GHz帯の電波を利用し耐火ドローンと通信できるようにする。 | 目視外飛行想定920MHz帯遠隔通信モジュールの基礎開発をした。 |
| (d) 実証試験 | 他の技術開発の成果を搭載し、福島ロボットテストフィールド等での実証試験を行う。 | 埼玉県寄居町の採石場において、耐火ドローンの試作品を約5分の熱源近傍による耐熱ストレス試験、熱源への突入フライト試験を実施した。 |

表Ⅲ2.1.2-3 研究開発項目と達成状況

(5) 成果の詳細

(a) 耐火ドローン開発

ドローン耐熱化のためのボディケースやフレーム、プロペラ等の機体パーツは、JIS規格の材料特性を参考に、材料選定した上で機体パーツを試作した。特に、センサを保護するボディケースの耐熱試験は、1000℃の熱源近傍で3分間のケース内温度をシミュレーションし、断熱メカニズムを解明した。プロペラの推力試験は、高温の中では空気の密度が低下するため、翼形状と断面形状を改良することでモータの消費電力等を比較し、高効率で最適なプロペラ形状を試作した。

(b) 自律制御機能開発

ドローンが熱源（火元）の進入方向に対して、ドローンの前面に取り付けた赤外線カメラ等を使い、熱源を感知して、機体が旋回する自主防衛制御機能を基礎開発した。フライト試験において、ミッションプランナーの回避軌道によるドローンの熱源回避を確認した。

(c) 通信用ソフトウェア開発

目視外並びに長距離の飛行を想定したドローンの自律制御の安全性を確保するため、フライトコントローラに接続する 920MHz 帯利用のテレメトリ通信ユニットを基礎開発した。従来のドローンは 2.4GHz 帯無線モジュールを利用しているが、ドローンの実運用・実績を考慮し、2018 年度は 920MHz 帯無線モジュールを検討した。

(d) 実証試験

埼玉県寄居町の採石場において、経験値の高い危険物取扱者の配置による耐火試験環境を設定した。ドローンは、サーモテープによる耐熱性のストレス試験、空撮試験、爆風上空におけるプロポ操作の機体制御試験等のフライトを実施した。また、落下時の安全対策向上のため、機体飛散等による二次災害防止対策の必要性を確認した。

6) 最終目標の達成の見通し

2018 年度の耐熱温度 300℃で飛行時間 1 分のノウハウをベースに、2019 年度末最終目標の耐熱温度 1000℃で飛行時間 3 分を実現するために機体の素材の見直し、耐熱の素材検討及び冷却装置の実装等検討中である。ドローン試作品の機体耐熱加工、撮影機能、自動航行機能の検証を中心に実施することにより、運用面の幅を広げた研究開発ができる見込みである。

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2) 長時間作業を実現する燃料電池ドローンの研究開発

(実施先：株式会社プロドローン)

(1) 事業の背景・意義 (目的・概要)

1. ドローンのニーズ

「日本再興戦略 2016」において、新産業を創出する第 4 次産業革命の具体的な施策の一つとして「小型無人機の産業利用拡大に向けた環境整備」が挙げられている。近年、ネット通販の拡大等によって貨物輸送の小口化が進んでいるが、地球温暖化対策の観点から、輸送・積載効率の改善による物流のグリーン化促進が望まれている。CO₂ 排出量の 17 % を占める運輸部門の内、貨物車及びトラックから排出される CO₂ 排出量は年間 7600 万 t にのぼるが、この内 10 % の貨物輸送をドローンに置き換えた場合、ディーゼル車から電気自動車に置き換えたのと同程度の省エネ (-58 %) が期待される。また、ドローンは地震や水害・火災等過酷な災害現場での作業も可能であり、道路の寸断等によって孤立した地域へ物資を供給できるようになるため、防災面からも普及拡大が望まれている (図Ⅲ2.1.2-5 左図)。

一方、高度経済成長期に整備された社会インフラの老朽化が課題となっており、効果的かつ効率的なインフラの長寿命化が求められている。橋梁・トンネル等のインフラは高所・狭所等作業困難な場所に建設されていることが多く、検査だけでも莫大なコストが掛かっている。これをドローンによって効果的かつ効率的に検査し、16 % のインフラについて長寿命化が達成された場合、再建設によって排出される CO₂ や廃棄物の抑制等、環境負荷低減に貢献することができる。また、インフラ維持管理の技術者の高齢化が進む中、ドローンによるインフラ検査の自動化は、将来の人材不足に対する懸念を払拭することが期待される。



CO₂排出量の17%を占める運輸部門の内、
宅配便等の小口輸送をドローンに置き換え
+
災害現場等における作業・物流での活用

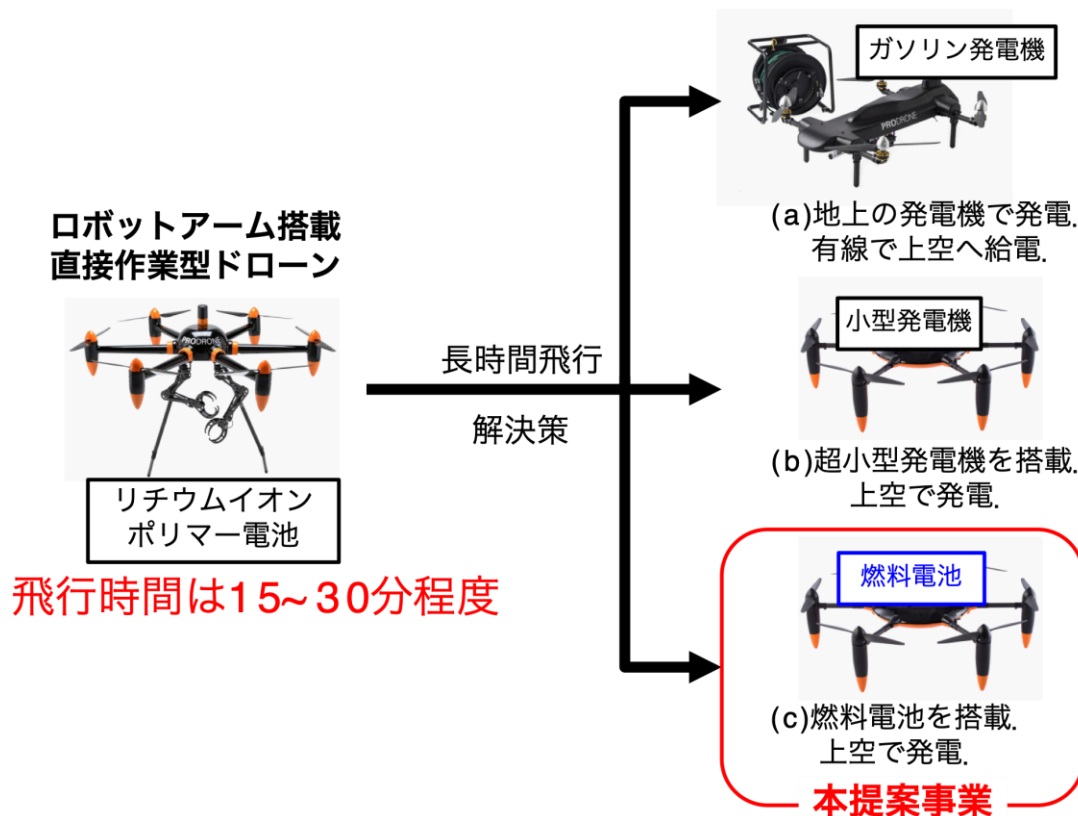
効果的かつ効率的なインフラ検査
インフラ長寿命化によるコスト削減
+
自動化による人材不足の解消

図Ⅲ2.1.2-5 ドローン化によるメリット

2. ドローンの飛行時間の問題

株式会社プロドローンでは、小口輸送やインフラ検査に活用可能な産業用ドローンの開発・販売を行っている。特に、ペイロード 30kg 以上の大型ドローンやロボットアームを用いて直接作業が可能なドローンでは世界的にも先進の技術を有している。これらのドローンは、電源として大容量リチウムイオンポリマー二次電池を用いている。しかし、リチウムイオンポリマー電池のエネルギー密度は 0.2 kWh/kg(0.5 kWh/L) 程度しかないので、飛行・作業時間が 15~30 分に留まっている。電池の搭載本数を増やすと自重も増加するため、2 本積みば 2 倍の時間飛行できるというわけではない。自重と飛行時間のバランスを計算した結果、最も効率の良い点が 15~30 分である。

小口輸送における荷物や、インフラ検査における測定機器等の重量物を搭載する業務では、さらに飛行・作業時間が短くなってしまいう問題がある。農薬散布や航空測量においても、事前に大量の二次電池を充電しておく手間が問題となっている。地震や水害・火災等の災害現場では二次電池を充電するための電源が確保できない場合が多く、長距離・長時間飛行ができるドローンの開発があらゆる分野で望まれている。



図Ⅲ2.1.2-6 (株)プロドローンでの飛行時間を伸ばすための取り組み

図Ⅲ2.1.2-6に示すように、株式会社プロドローンでは飛行時間を延長するために様々な研究開発を行ってきた。図Ⅲ2.1.2-6 (a)は、地上のガソリン発電機で発電し、金属電線を通してドローンに電力を供給する有線給電システムである。地上の発電機の燃料が続く限り飛行が可能だが、行動範囲は金属線のケーブル長に制限されるため、広域の輸送や点検、測量などには適さない。図Ⅲ2.1.2-6 (b)は、発電用に模型用エンジンを搭載したドローンである。エンジンで発電機を回転させる方式だが、効率の良い発電機が作れなかったため飛行には至っていない。図Ⅲ2.1.2-6 (c)は、上空で溶液と触媒を反応させて水素を生成し固体高分子形燃料電池(PEFC)で電力を発生させるドローンである。これを開発した2014年当時の燃料電池・水素発生器は重量が大きい割に電力が少なく、電流サポート用のリチウムイオンポリマー電池と併用してやっと20分飛行したのみで、燃料電池だけの単独飛行は実現できなかった。(世界初の燃料電池搭載ドローンだったが、委託先との守秘義務によって公式発表はしていない。)

3. 燃料電池

密度の高い燃料を用いることによって長時間運転を実現することができる。固体高分子形燃料電池(PEFC)は重量エネルギー密度 33 kWh/kg の高圧水素を燃料に用いることができ、燃料電池自動車等の動力源として実用化している。しかし、体積エネルギー密度がリチウムイオンポリマー電池の2倍程度(1 kWh/L)しかないため、特に高出力が求められる大型ドローンでは高圧水素タンクの容積が大きくなってしまいう問題がある。



図Ⅲ2.1.2-7 二次電池・燃料のエネルギー密度

共同研究先である国立研究開発法人産業技術総合研究所と株式会社アツミテックは、固体酸化物形燃料電池(SOFC)を用いた「コンパクトハイパワー燃料電池システム」を開発している(平成29年2月9日プレスリリース)。SOFCは600℃以上の高温で作動し、酸化物イオン(O²⁻)が伝導種であるため、水素以外に液化石油ガス(LPG)等の炭化水素やエタノール等のアルコールを燃料として用いることができる。既に商品化されているLPG駆動エンジン発電機(900W)の熱効率は7~15%に対して、開発した燃料電池(100~400W)の熱効率は30~40%と高く、CO₂排出量を大幅に低減することが期待される。市販のLPGカセットボンベ

2本(500g)は6.5 kWhのエネルギーを有しており、熱効率30%の場合、大型ドローンの飛行に必要な800Wを2時間以上出力できる計算になる。二次電池を充電するための電源が確保できない災害現場等でも、カセットボンベを交換、またはエタノールを補充するだけで継続的に利用することが可能になる。また、セラミックスで構成されるSOFCはエンジンよりも重量が軽く、ドローンの飛行に適した発電システムである。



図Ⅲ2.1.2-8 LPG 駆動エンジン・燃料電池の熱効率

4. 本事業の目標

本事業では、①燃料電池用ドローンの設計・開発、②長時間作業を実現するSOFC材料技術開発、③上空でも電力供給可能な燃料電池システム開発を行う。①では、既に商品化されているPEFCシステム及び高圧水素タンク等を用いて燃料電池で駆動するドローンの設計・開発を行い、将来的には②および③で開発されたシステムに置き換えて実証を行う。②では、LPGまたはエタノール燃料を用いた時の出力や耐久性を向上させ、長時間・繰り返し飛行・作業ができるSOFC材料を開発する。③では、飛行のために軽量・コンパクト化し、低温・低気圧・強風の上空でも安定に発電できるSOFCシステムを開発する。

(2) 研究開発目標と根拠

下表に研究開発目標を記載する。

| 項目 | 中間目標（平成 30 年度末） | 最終目標（平成 31 年度末） |
|----------------------------|--|---|
| 燃料電池ドローンの設計・開発 | PEFC システム及び高圧水素タンク等を用いて 2 時間以上飛行する中型燃料電池ドローンを開発・実証する。 | PEFC システム又は SOFC システムを用いて 2 時間以上飛行する大型燃料電池ドローンを開発・実証する。 |
| 長時間作業を実現する SOFC 材料技術開発 | LPG またはエタノールを用いて 300 時間連続運転で劣化率 5 %以内を実現する SOFC 材料を開発する。 | LPG またはエタノールを用いて 100 回繰り返し起動停止で劣化率 5 %以内を実現する SOFC 材料を開発する。 |
| 上空でも電力供給可能なドローン用燃料電池システム開発 | 地上にて、LPG またはエタノールを用いて 2 時間以上発電する SOFC システムを開発する。 | 上空にて、LPG またはエタノールを用いて 2 時間以上発電する SOFC システムを開発する。 |

表Ⅲ2.1.2-4 研究開発目標

① 燃料電池ドローンの設計・開発

- ・リチウムイオンポリマー電池を搭載した中型ドローンの世界記録が 88 分であることから、中間目標として、既に商品化されている PEFC システム及び高圧水素タンク等を用いて 2 時間以上飛行できる中型ドローンを開発し、燃料電池の有効性を実証する。
- ・燃料電池搭載の大型ドローンを開発し、プロジェクトの目標である 2 時間以上の飛行・作業を実証する。PEFC/SOFC のどちらかにはこだわらず、双方の可能性を追求していく。

② 長時間作業を実現する SOFC 材料技術開発

- ・「コンパクトハイパワー燃料電池システム」開発において、LPG またはエタノールを用いて 100 時間連続運転を実証した。外部改質器を用いない SOFC の耐久性としては世界最高レベルにあるが、更に耐久性を向上させる SOFC 材料を開発し、300 時間連続運転で劣化率 5 %以内を実現する。
- ・ドローンの飛行では、室温と 600 °C 以上の高温との熱サイクルが伴う繰り返し起動停止特性も求められる。熱衝撃に強い SOFC セラミック材料を開発し、100 回繰り返し起動停止で劣化率 5 %以内を実現する。

③ 上空でも電力供給可能なドローン用燃料電池システム開発

- ・海外において 100 W 級ポータブル SOFC システムの開発が行われている例もあるが、400

W 級 LPG 駆動 SOFC システムを持ち運び可能にしたのは「コンパクトハイパワー燃料電池システム」が世界初である。大型ドローンを飛行させるためには、更なる高出力化と軽量・コンパクト化の相反する課題を克服する必要があり、中間目標として地上にて LPG またはエタノールを用いて 2 時間以上発電する 800 W 級 SOFC システムを開発する。

- ・上空では気圧や気流の変化等、地上では想定されない不確定要素があり、ドローンに SOFC システムが搭載された例は未だない。①で取得したデータを元に上空でも LPG またはエタノールを用いて 2 時間以上発電する 800 W 級 SOFC システムを開発する。

(3) 研究開発スケジュール

【2017 年度】

海外製の既製品の PEFC を何社か検討し、購入して基本的なデータや動特性を計測する。並行して、プロドローン製の中型・大型ドローンをリチウムイオン電池で飛行させ、電力消費パターンを計測する。空撮や輸送、農薬散布、点検などの様々なユースケースのパターンを収集し、モデル化と評価指標の作成を行う。その後、PEFC とドローンの特性を比較し、燃料電池をドローンに搭載した際の運用モデルを作成する。また、離着陸時や突風時の高負荷を補うため、高効率な電源切り替えマネジメント装置を設計・開発する。年内目標としては、既製品 PEFC と電源マネジメント装置を使用して燃料電池の電力のみでの飛行（長時間で無くても良い）を目指す。

また、共同研究先の産総研・アツミテックにて、LPG、エタノールで 300 mW/cm²（現行比 1.5 倍）の出力密度が得られる SOFC 材料を開発し、水素燃料で大型ドローンの飛行に必要な 800 W の出力が得られる SOFC システムの設計を完了する。

【2018 年度】

昨年度作成した電源マネジメント装置の量産化して利用し、高負荷時の挙動検証を行う。これらは必ずしもドローンに搭載して実験する必要はなく、有線給電による検証でもかまわない。また、燃料電池搭載を前提として特別軽量化したモノコックボディの専用の中型ドローンを開発する。年内目標としては、福島ロボットテストフィールド（福島 RTF）にて 2 時間を目指したフライト実験を実施する。

また、共同研究先の産総研・アツミテックにて、LPG またはエタノールを用いて 300 時間連続運転で劣化率 5 %以内を実現する SOFC 材料、及び 2 時間以上発電する SOFC システムを開発する。

【2019 年度】

LPG またはエタノールを用いて 100 回繰り返し起動停止で劣化率 5 %以内を実現する SOFC 材料、及び上空にて LPG またはエタノールを用いて 2 時間以上発電可能な SOFC システムを

開発する。

前年度の評価から抽出した課題を解決し、SOFC システム搭載型の大型ドローンを開発する。福島 RTF において耐久飛行実験を実施し、最大何時間飛べるかチャレンジする。また、燃料電池搭載の専用ドローンとしての販売以外にも、燃料電池だけを既存のリチウム電池の代替として販売する可能性も検討する。マルチローター型ドローンだけでなく、ヘリコプター型や固定翼型など様々な機体への搭載も検証する。

(4) 研究開発の達成状況

① 燃料電池ドローンの設計・開発

【機体開発】

株式会社プロドローンでは、クライアントの要求に応じてオーダーメイドでドローンを開発しているため、機体の大きさやモータ、電池などに縛られることなく自由に機体が開発できる(図Ⅲ2.1.2-9)。燃料電池を搭載して飛行するドローンにおいても、PEFC の場合は機体の構造材の一部を水素圧力タンクと一体化して作ったり、SOFC の場合は耐熱隔壁のスペースを考慮し重心位置に電池を配置したりすることも可能である。また、極度に軽量の機体が必要な場合には、金型を作成してモノコックボディで作ることも可能である。

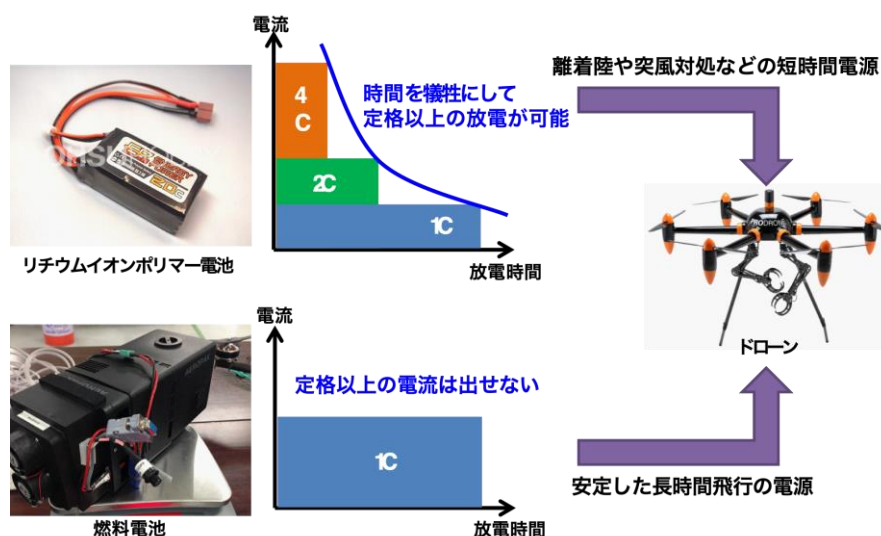


図Ⅲ2.1.2-9 (株)プロドローンでは様々なデザインやモノコックボディのドローンの開発が可能

【電池・制御回路開発】

リチウムイオンやニッケル水素などの化学的な二次電池が、例えば 10000mAh の仕様になっている場合、電流 10000mA (10A) を 1 時間放電し続けることが可能である。この 10A・1 時間という定格電流での放電 (1C 放電) に対して、20A で 30 分 (2C 放電)、40A で 15 分 (4C 放電) という使い方もできる (図Ⅲ2.1.2-10 左上)。10000mAh の電池で 15 分飛ぶ機体は、瞬間的に 40A 放電 (4C) してホバリングしている計算になる。実際には、離着陸時に大電流が必要となるので理論通りにはならず、機体毎に電力消費パターンを計測する必要がある。燃料電池は化学電池ではあるが、定格 (1C) 以上の放電は出来ない (図Ⅲ2.1.2-10 左下)、最大電力点追従 (MPPT) が必要、といった特性は太陽電池に近い。例えば前述した内容を受けて 40A 出力の燃料電池を作った場合、40A を超える電流は取り出せない。従って、離着陸

の際や瞬間的な突風に対処する際は、リチウムイオン電池などを補助電池として不足電流を補う必要がある。そこで、燃料電池だけで飛行したり、燃料電池と補助電池を両方使って飛んだり、あるいは燃料電池の余剰電流で補助電池を充電したりといった電源の切り替えを行うマネジメント回路基板が必要になる(図Ⅲ2.1.2-10右)。太陽電池システムの充放電回路やノートパソコンのバッテリーの充放電回路と比較して、ドローンでは瞬間的な負荷変動が大きいいため特別なマネジメント回路を開発する必要がある。短いスイッチング時間と大電流を考慮したパワーFETの選定や、発振対策の回路設計など高い専門性が必要となる。



図Ⅲ2.1.2-10 リチウムイオン電池と燃料電池の長所を活かした電源管理が必要

② 長時間作業を実現する SOFC 材料技術開発

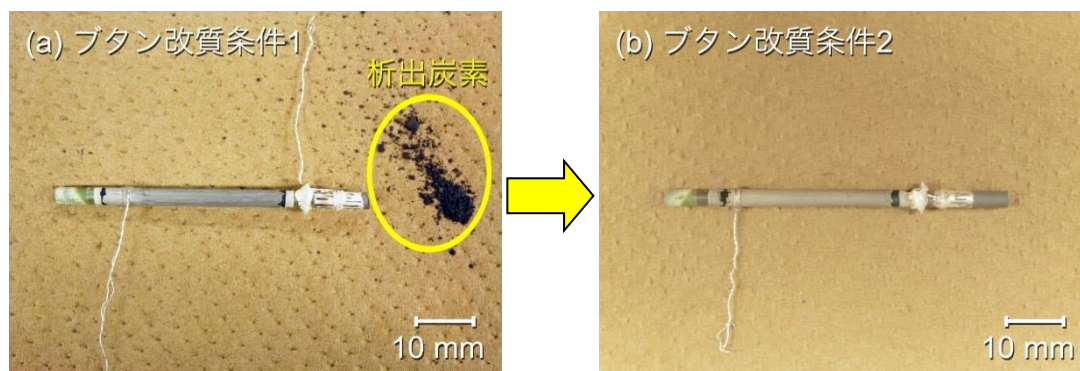
【LPG、エタノール燃料使用時の耐久性向上】

SOFCは、原理的に水素以外に液化石油ガス(LPG)等の炭化水素やエタノール等のアルコールを燃料として用いることができる。しかし、炭化水素やアルコールをSOFCに直接供給すると、熱分解によって燃料側の電極(燃料極)上で炭素析出が起これ、電極性能が急激に低下することが知られている(図Ⅲ2.1.2-11)。共同研究先の産総研では、LPGやエタノールを直接供給しても炭素析出を抑制できるナノ構造電極を開発し、さらにLPG/空気比やエタノール/水比等の改質条件最適化によって、100時間以上の連続発電ができる運転制御技術を確認した(図Ⅲ2.1.2-12左)。運転時間を更に延ばし、300時間連続運転で劣化率5%以内を実現するために、電極触媒の改良等、耐久性を向上させるためのSOFC材料技術を開発する。

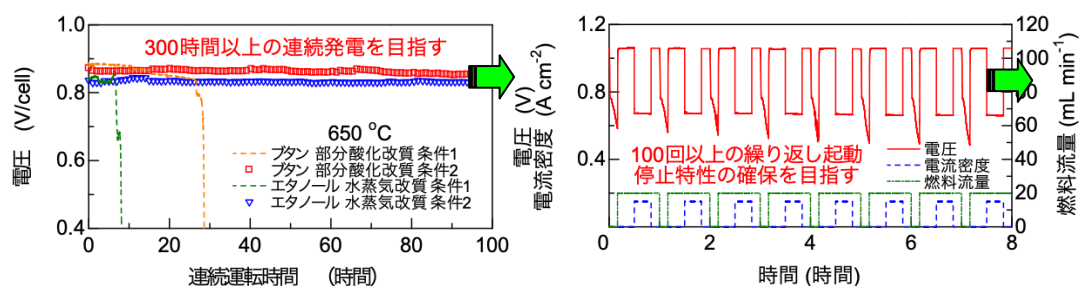
【繰り返し起動停止時の信頼性向上】

また、SOFCは600℃以上の高温で作動するため、白金等の高価な貴金属触媒を使用する必要がなく、一般的に安価なニッケル触媒が用いられている。しかし、ドローンの飛行で頻繁に繰り返されると想定される運転停止(燃料供給停止)の際に燃料極側への空気の混入が

想定され、ニッケル触媒の酸化によって電極性能が低下してしまう問題がある。ニッケルの酸化は粒子内部から金属ニッケルが拡散することによって被膜が外側へ成長し、スポンジ状に異常膨張することが知られており、SOFC の機械的信頼性を損なう最も大きな要因となっている。これまでに、10 回程度の起動停止に耐え得る燃料極の開発を行ってきたが(図Ⅲ 2.1.2-12 右)、繰り返し回数を更に多くし、100 回繰り返し起動停止で劣化率 5 %以内を実現する SOFC 材料技術を開発する。



図Ⅲ 2.1.2-11 ナノ構造電極および運転制御技術の確立による LPG 直接供給時の炭素析出の抑制



図Ⅲ 2.1.2-12 LPG, エタノール駆動 SOFC の連続発電(左)と繰り返し起動停止特性(右)

③ 上空でも電力供給可能な燃料電池システム開発

【SOFC システムの高出力・軽量化】

共同研究先の株式会社アツミテックでは、LPG で駆動する「コンパクトハイパワー燃料電池システム」を開発している。電極内部で燃料を改質し、起動用バーナーを搭載するため、外部改質器や起動用の外部電源が不要で、断熱材などの部材の配置を最適化して非常にシンプルかつコンパクトな SOFC システムとなっている。更に振動や衝撃に対して有利で電極抵抗の極めて少ない独自のメタルサポート構造の SOFC セルの技術も有しており、これをベースにして大型ドローンの長時間飛行・作業を実現するため、システムの再設計によって更なる高出力化と軽量・コンパクト化を進め、LPG またはエタノールを用いて 2 時間以上発電

する 800 W 級 SOFC システムを開発する。

【上空で発電可能な SOFC システムの開発】

また、上空では気圧や気流の変化等、地上では想定されない不確定要素がある。特に、LPG / 空気比等の改質条件の見直しが必要になることが想定されるため、ドローンの飛行に適した SOFC システム運転制御技術を開発し、実際に上空で LPG またはエタノールを用いて 2 時間以上発電できることを実証する。



図Ⅲ.1.2-13 コンパクトハイパワー燃料電池システムの外観と構成

(5) 成果の詳細

【機体開発】

軽量化を課題として開発を進めるが、当初スタンドアロンで稼働する SOFC 燃料電池スタックは 20kg 近い重量となることが想定された。

このため最大ペイロードを 30kg とし、重心が上下にずれてもこれを吸収できるための構造を備えた試験用の機体を設計・製作した。

また SOFC のセルは 650 度以上の高温で稼働する必要がある。燃料電池スタックとしても熱を保持し外部との熱交換を遮断する仕組みを持つが、外部に露出している部分は高温となるため、搭載部近傍の熱対策が必要となり、20kg 近い重量の燃料電池スタックを振動から守る構造を一体化して作成した。

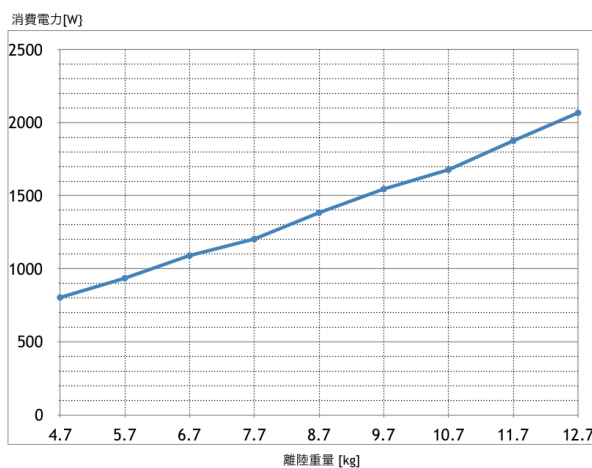
燃料電池スタックの排熱は二箇所 duct を設置し、ドローンの主要な構造に高温の排気が当たらない構成としている。シンプルな構造ながら、ペイロードに応じて最適な回転を調整できる仕組みや、重心を調整する仕組み、および負荷を考慮した動力特性を設定することができる専用の機体となった。



図Ⅲ2.1.2-14 機体開発

【電池・制御回路開発】

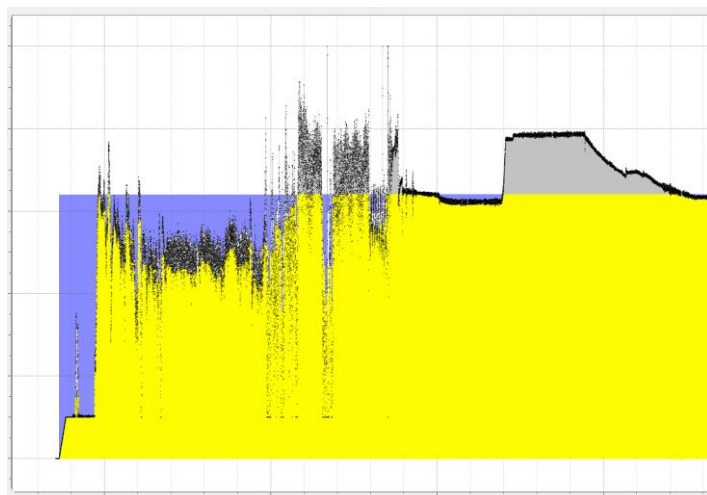
下図は最初に作成したハイブリッド回路である。燃料電池の出力は短い時間、たとえば100ミリ秒程度で数倍の大電流を供給することはできない。このため、大きな電流供給能力を持つ二次電池を組み合わせる必要がある。下図は重量に対する電力の割合である。重量と電力が概ねリニアな相関を持っているのがわかる。



図Ⅲ2.1.2-15 重量に対する電力の割合

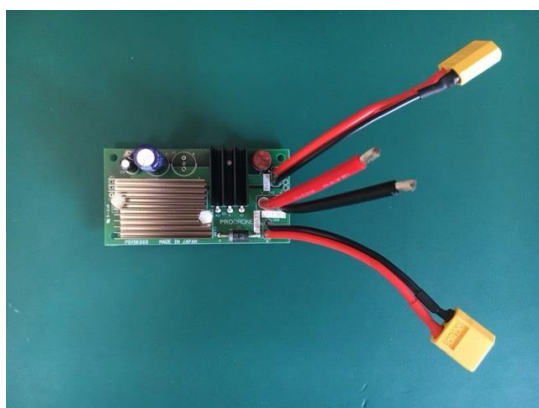
これは平均電力であるが、これを横軸に時間を設定すると、下図のようになる。短時間で急峻な電力の増減が発生していることがわかる。

特にグラフ左側の離陸後の移動や上昇で消費電力の増減が激しい。グラフ右側は一定速度での巡航状態であるが、外乱となる風が弱かったため、あまり消費電力に増減がない。黄色い部分が燃料電池の出力から賅われる電力とすれば、青い部分が余剰電力であり、灰色の部分が不足する電力で、これを二次電池から賅う必要がある。



図Ⅲ2.1.2-16 平均電力

この電力測定を元に、受動回路のみで構成したハイブリッド回路を作成した。下図は設計・製作したハイブリッド回路である。部品点数も少なく、かつロスが少なくコストも安いなどのメリットがあったが、長時間飛行を考慮した場合、二次電池の放電量が制御できず、充電機能がないことと併せて十分な信頼性を確保することができなかった。



図Ⅲ2.1.2-17 ハイブリッド回路

このため一旦二次電池にすべての電力を蓄え、出力はすべて二次電池から行うシリーズハイブリッド構成を検討した。下図はシリーズハイブリッド装置の外観である。

100msec以下の時間単位で常時の数倍の電流を供給する必要があり、また放電に対して十分高速な充電性能を持ち、さらに大電流での充電に対して耐久性があり、温度耐性もあるデバイスとして、東芝製のSCiBを利用した。

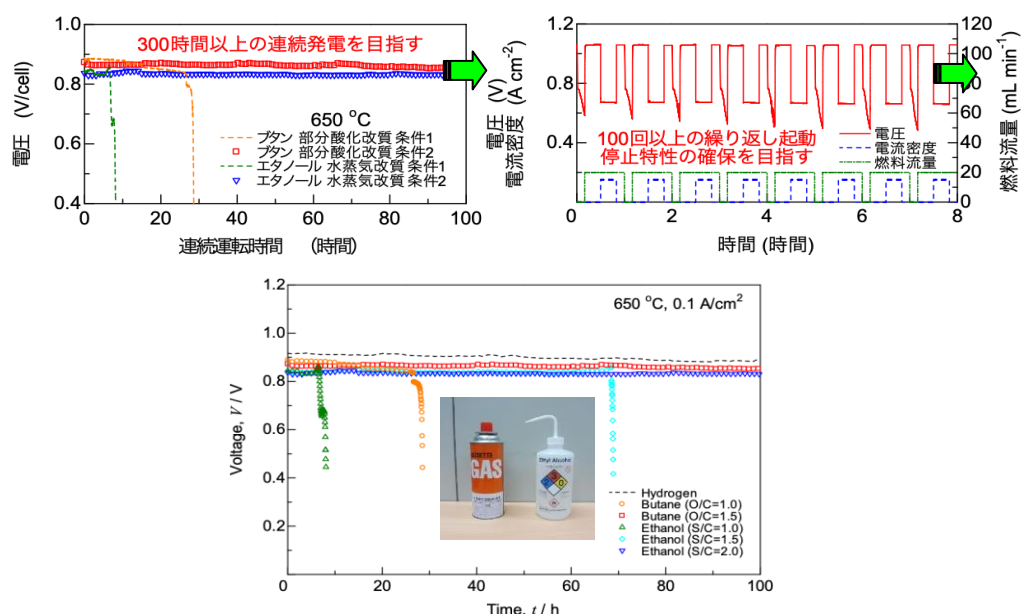
SCiBは、リチウムイオン電池に分類されるが、現在の多くのドローンに使用される主流の電池である、リチウムポリマー電池と同じくリチウムイオンを電荷として利用する原理は同じだが、酸化物系材料(チタン酸リチウム)の採用などにより、外力などで内部短絡が生じても熱暴走を起こしにくく、充放電20,000回以上の長寿命、6分間での急速充電、キャパシタ並みの入出力密度、 -30°C の低温での動作等、優れた諸特性を持つ。

SOFC燃料電池スタックは基本的にこのSCiBを充電することに専念できるため、緩やかな出力制御での運用が可能で効率や寿命を最適化した環境で動作させることができる。

また、SCiB自体は単体でもドローンを動作させることができるため、ハイブリッドシステムに起因する特殊な制約がなく、従来と同様な使いかたが可能となった。

【LPG、エタノール燃料使用時の耐久性向上】

SOFCは、原理的に水素以外に液化石油ガス(LPG)等の炭化水素やエタノール等のアルコールを燃料として用いることができる。しかし、炭化水素やアルコールをSOFCに直接供給すると、熱分解によって燃料側の電極(燃料極)上で炭素析出が起こり、電極性能が急激に低下することが知られている。LPGやエタノールを直接供給しても炭素析出を抑制できるナノ構造電極を開発し、さらにLPG/空気比やエタノール/水比等の改質条件最適化によって、100時間以上の連続発電ができる運転制御技術を確認した。

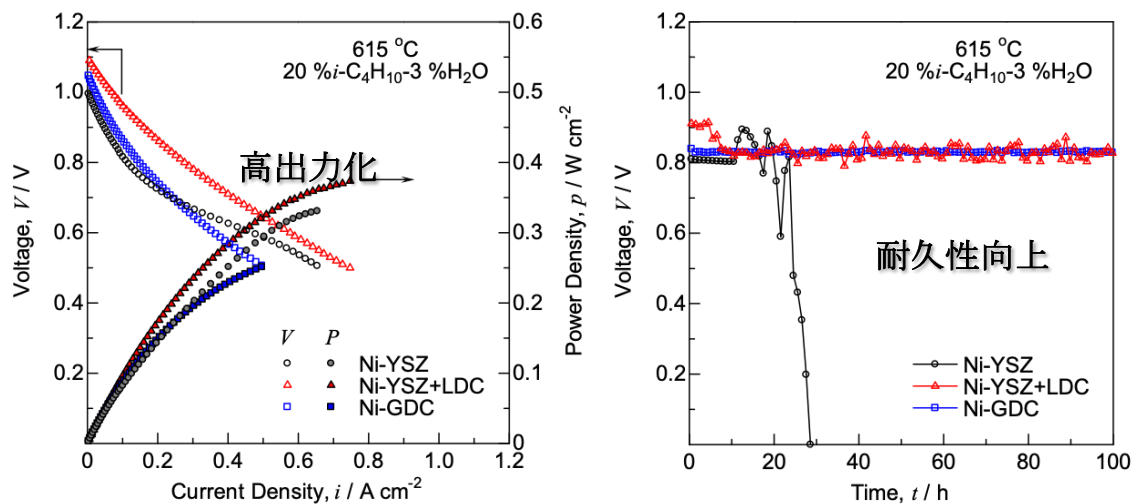


図Ⅲ.1.2-18 100時間以上の連続発電

【繰り返し起動停止時の信頼性向上】

また、SOFCは600℃以上の高温で作動するため、白金等の高価な貴金属触媒を使用する必要がなく、一般的に安価なニッケル触媒が用いられている。しかし、ドローンの飛行で頻繁に繰り返されると想定される運転停止（燃料供給停止）の際に燃料極側への空気の混入が想定され、ニッケル触媒の酸化によって電極性能が低下してしまう問題がある。ニッケルの酸化は粒子内部から金属ニッケルが拡散することによって被膜が外側へ成長し、スポンジ状に異常膨張することが知られており、SOFCの機械的信頼性を損なう最も大きな要因となっている。これまでに、10回程度の起動停止に耐え得る燃料極の開発を行ってきたが、繰り返し回数を更に多くし、100回繰り返し起動停止で劣化率7%以内を実現した。

下図は触媒機能を付与したセルの出力と耐久性を示すグラフである。ともに大幅な向上を実現した。



図Ⅲ.1.2-19 触媒機能を付与したセルの出力と耐久性を示すグラフ

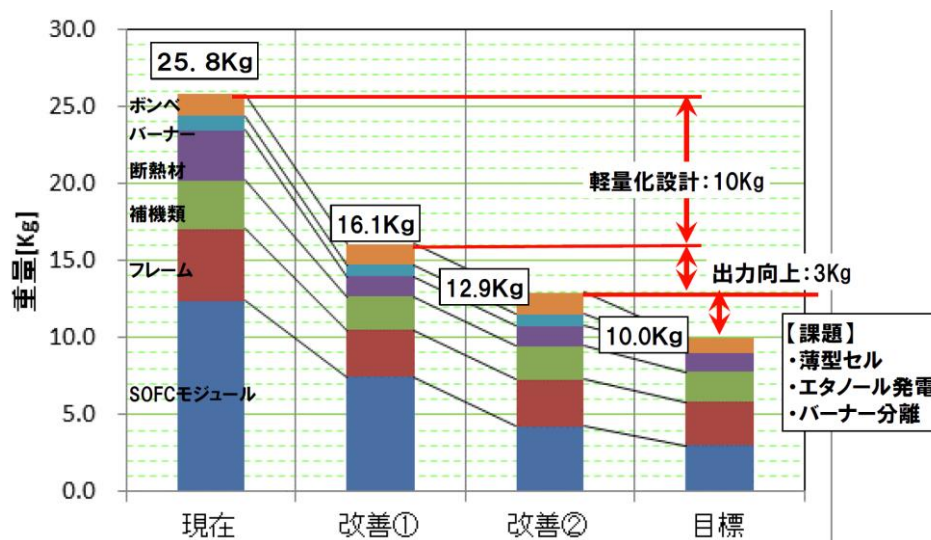
【SOFC システムの高出力・軽量化】

共同研究先の株式会社アツミテックでは、LPGで駆動する「コンパクトハイパワー燃料電池システム」を開発している。電極内部で燃料を改質し、起動用バーナーを搭載するため、外部改質器や起動用の外部電源が不要で、断熱材などの部材の配置を最適化して非常にシンプルかつコンパクトなSOFCシステムとなっている。更に振動や衝撃に対して有利で電極抵抗の極めて少ない独自のメタルサポート構造のSOFCセルの技術も有しており、これをベースにして大型ドローンの長時間飛行・作業を実現するため、システムの再設計を行い、更なる高出力化と軽量・コンパクト化を進めた。

昨年度まででLPGを用いて400W級SOFCシステムを開発し地上給電によるフライトテストを行った。

また次ページの図は軽量化の概略である。ユニットを並列接続した形で、小規模から中規

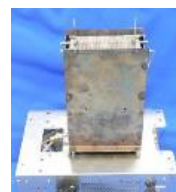
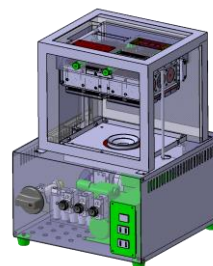
模までスケラブルな構成を可能とした。



図Ⅲ2.1.2-20 軽量化の概略

(6) 最終目標の達成の見通し

- ・ 複数モジュールの連結 (目標: モジュール4個)
 - ⇒ 熱量アップ (バーナー容量変更)
 - ⇒ バーナー排ガスの導入
 - ⇒ 断熱構造の見直し
- ・ 軽量化
 - ⇒ 部品点数の削減
 - ⇒ セルの薄肉化 研磨
- ・ 出力密度の向上 (目標: 390mW ⇒ 600mW/cm²)
 - ⇒ 集電材の拡散接合
 - ⇒ ガス拡散性の向上
 - ⇒ ユニットの温度分布の改善



- ・ハイブリッド回路
 - ⇒出力 5000W 以上
 - ⇒SOFC 出力の効率化

- ・ハイブリッドドローン
 - ⇒二時間超のフライト
 - ⇒世界初 SOFC エンジンでのフライト



(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2. 研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

2.2.1. 無人航空機の運航管理システムの開発

2.2.1.1. 運航管理統合機能の開発、2.2.1.2. 運航管理機能の開発 1) 物流/災害分野 (実施先：日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティデータ、株式会社 NTT ドコモ、楽天株式会社、株式会社日立製作所)

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

1. 事業の目的

2016年度、政府省庁主導で開催された「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ¹⁾が策定された。当該ロードマップにおいては2020年代以降に無人航空機の目視外・有人地帯における都市を含む地域での荷物配送を含む物流分野での利活用が実現される姿として掲げられている。さらに同協議会においてまとめられた「小型無人機の更なる安全確保に向けた制度設計の方向性」²⁾においても目視外飛行の実現においては安全が確保できる運航管理システムの構築やそれに伴う制度整備の重要性がうたわれている。

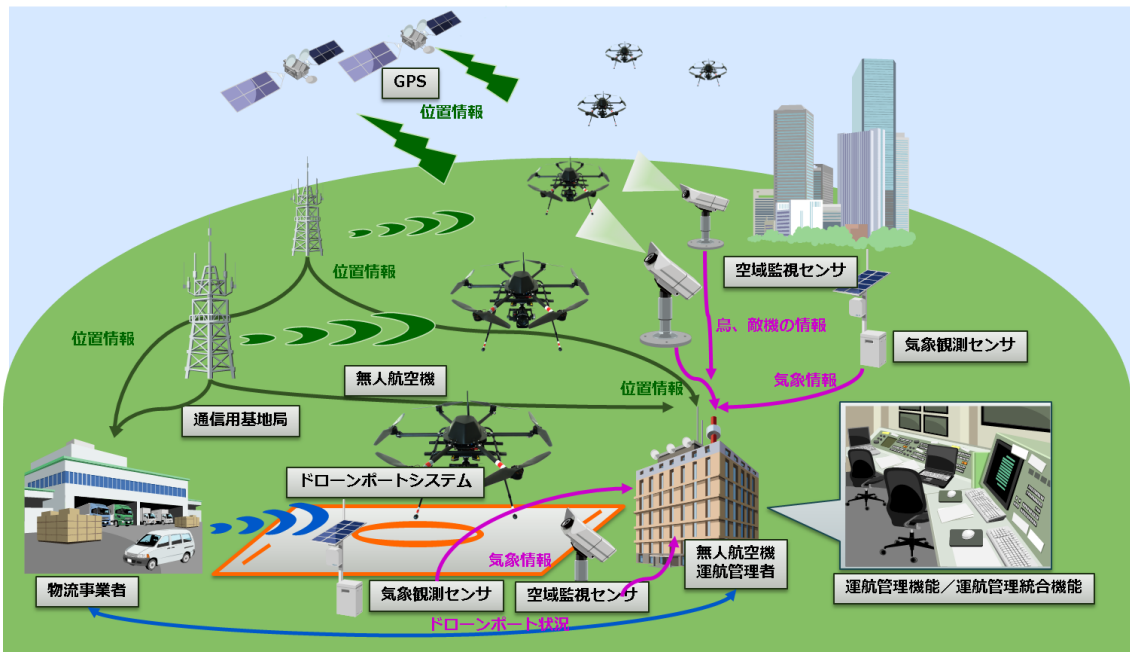
また経済産業省は、米国（NASA）や欧州（Eurocontrol/EUROCAE）における無人航空機の運航管理システム（UTM）の開発動向を視野に入れ、無人航空機システムの国際標準化推進体制と技術開発体制の整備を行おうとしている。

かかる国内外の状況において、我が国が無人航空機の幅広い利活用を目的とした国際競争力を備えた運航管理システムの研究開発を行うことは今後の我が国における無人航空機産業の国際的優位性を確立する上で極めて重要である。

以上の観点から、本研究開発においては無人航空機の、特に物流分野に代表される複数の無人航空機が空域を共有しつつ相互に安全確保が行える運航管理・情報共有の在り方を研究開発の主題とし、将来、多数の無人航空機が目視外環境下において、安全な飛行が可能となるよう、無人航空機の運航管理システムを構築する必要があると考える。さらに本研究開発は、運航管理システムが具備すべき要件として空域・空間や電波といった有限の資源の効率的な活用を目的として、複数の無人航空機間の衝突を回避しつつ運航の最適化を図ることにより省エネルギー社会の実現に貢献することを目標とした。

参考資料

- 1) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/shiryoku6.pdf>
- 2) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/dai6/siryoku3.pdf>



図Ⅲ.2.2.1.1-1 運航管理システムのイメージ図

2. 事業の概要

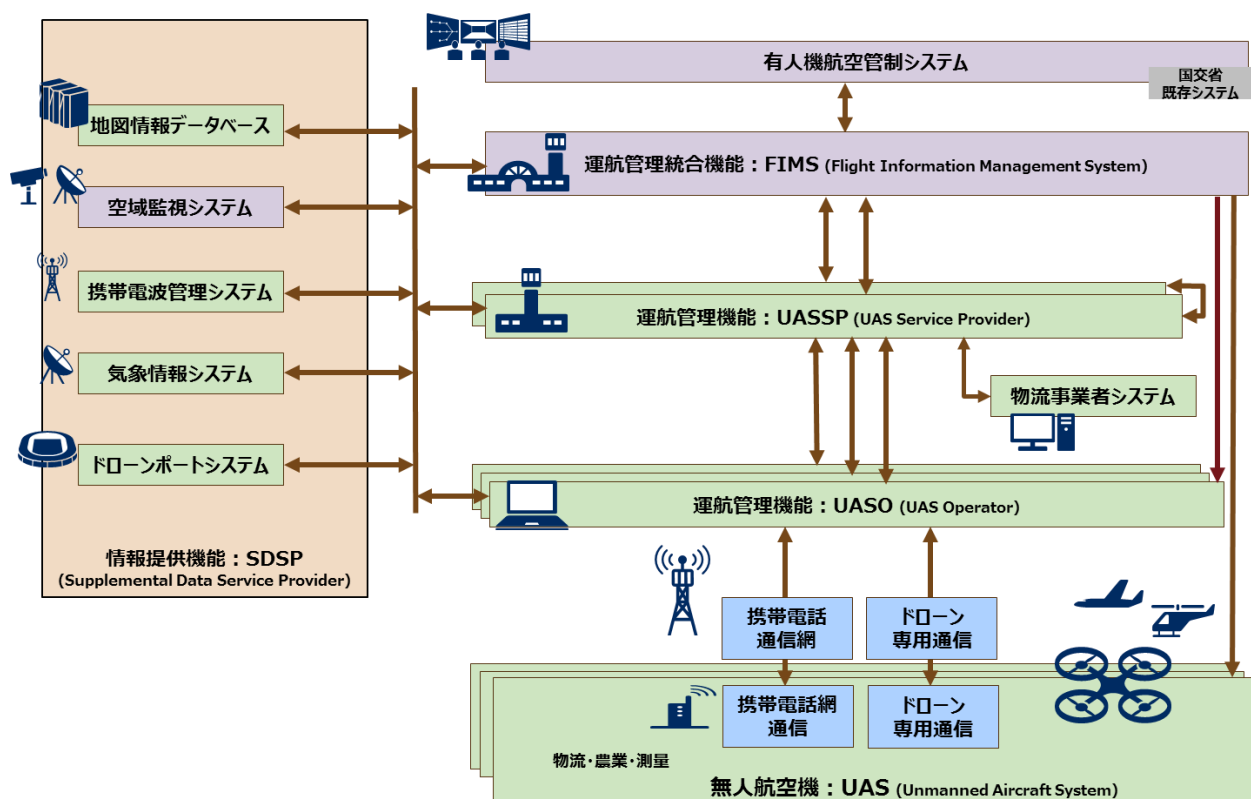
(1) 研究のスコープと進め方

本プロジェクトでは、無人航空機の運航管理を実現するために、有人航空機航空管制、通信、物流、無人航空機、気象、地図の実績のある企業による共同実施体制を組み、以下のアプローチによる研究開発を行った。

- ① 運航管理システムのアーキテクチャの提案
- ② 無人航空機の運用を想定したユースケースの策定、および策定したユースケースから運航管理統合機能、運航管理機能の役割分担を策定し、機能間のインターフェースの策定の提案
- ③ 提案に基づく実験システムの構築
- ④ 運航管理システム全体の福島ロボットテストフィールドへの実装と実証実験による検証

(2) 運航管理システムのアーキテクチャの提案

提案する運航管理システムの基本アーキテクチャを図に示す。



図Ⅲ.2.2.1.1-2 運航管理システムの基本アーキテクチャ

本提案時での各機能の役割を以下とする。また、詳細の役割・機能分担については本研究の中で明確化した。

運航管理統合機能(以下、FIMS[Flight Information Management System]と呼ぶ)：

- ・ 運航管理機能から要求された無人航空機の飛行空域の効率的な割り当て、承認を実施する。
- ・ 無人航空機の飛行空域の安全性(他の空域との接近状態等)の確保を行う。
- ・ 有人航空機航空管制システムとの連携を図り、有人航空機との空域調整を実施する。
- ・ 無人航空機の緊急制御を実施する。

運航管理機能(以下、UASSP[UAS Service Provider]と呼ぶ)：

- ・ 割り当てられた空域を飛行する個々の無人航空機の安全性の確保を行う。
- ・ 無人航空機の出発承認・誘導を実施する。
- ・ 運航管理機能(UASSP)間で空域の調整を実施する。

運航管理機能(以下、UASO[UAS Operator]と呼ぶ)：

- ・ 無人航空機と直接通信を行い、現在位置情報等の情報を運航管理統合機能、運航管

理機能(UASSP)に提供する。

- ・ 通信経路として携帯電話通信網の他に無人航空機専用通信を用意し、非常時の通信経路の切り替えを実施する。

情報提供機能(以下、SDSP[Supplemental Data Service Provider]と呼ぶ)：

- ・ 運航管理統合機能(FIMS)、運航管理機能(UASSP)、運航管理機能(UASO)で必要な以下の情報の提供を行う。

地図データベース：

無人航空機の飛行に必要な地形および建造物等の三次元情報、飛行が可能な空域及び飛行が禁止された空域、その他の地図情報として提供を行う。

空域監視システム：

レーダー等で無人航空機を監視し、検出した機体情報の提供を行う。

携帯電波管理システム：

無人航空機が飛行する空域における電波の利用状況に関する情報の提供を行う。

気象情報システム：

無人航空機の飛行する空域における、風(風向及び風速等)、降水、気温及び気圧等の無人航空機の飛行に影響を与える気象観測情報および予測情報に気象情報(風向、風速等)の提供を行う。

ドローンポートシステム：

無人航空機の離着陸するドローンポートの満空情報、離着陸の可否に関する情報の提供を行う。

無人航空機(以下、UAS[Unmanned Aircraft System]と呼ぶ)：

- ・ 本プロジェクトの研究では、25kg以下の小型無人航空機のうちマルチロータヘリ型の無人航空機を対象とする。

(3) 共同実施者の研究分担

以下に、本プロジェクトにおける共同実施者の研究内容を示す。

| 研究項目 | 内容 |
|-----------------------------------|----------------------|
| ① 運航管理統合機能のフライト管理に関する研究(日本電気株式会社) | |
| A FIMSのフライト管理に関する研究 | 機能分担、ルールに関する研究 |
| B FIMSとUASSPとの連携の研究 | FIMSとUASSPのIF開発 |
| C FIMSとUASO/UASとの連携の研究 | FIMSとUASO/UASのIF開発 |
| D 空域監視システムとFIMS/UASSP/UASOの連携の研究 | 空域監視システムの基本装置製造とIF開発 |
| E 気象情報システムのFIMS/UASSP/UASOの連携の研究 | 気象情報システムの基本装置税像とIF開発 |

| | | |
|---|---------------------------------------|--|
| F | FIMS の AI の研究 | フライト管理などへの AI 適用 |
| ② 運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ） | | |
| A | FIMS の空域情報管理に関する研究 | 機能分担、ルールに関する研究 |
| B | FIMS と有人航空機情報との連携の研究 | FIMS と有人航空機関連システムとの IF 開発 |
| C | 地図情報データベースと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究 | 3D マップの物流応用拡張と IF 開発 |
| ③ 電波品質に基づく運航管理機能に関する研究（株式会社 NTT ドコモ） | | |
| A | 電波品質等の情報に関わる研究 | 電波品質情報に関わる装置製造と IF の開発 |
| B | UASSP/UASO と UAS 間機能に関する研究 | 障害時の無線機切り替えを含む、装置製造と IF 開発 |
| C | UASSP と UASSP 間連携に関する研究 | UASSP 間の機能分担、ルールに関する研究 |
| D | 携帯電波管理システムと FIMS/UASSP/UASO 間連携に関する研究 | 携帯電波管理システムの機能分担、ルールに関する研究 |
| ④ 事業サービスに応じた運航管理機能の開発（楽天株式会社） | | |
| A | UASSP と UASO の連携の研究 | IF 開発 |
| B | 物流サービスに応じた UASSP の研究 | 機能分担、ルールに関する研究 |
| C | その他サービスに応じた UASSP の研究 | 機能分担、ルールに関する研究 |
| ⑤ 運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究（株式会社日立製作所） | | |
| A | 運航状況管理における統合的判断の研究 | 運航状況の把握と診断/警報発出条件等に関する研究および開発 |
| B | 外部機関連携機能の開発 | 防災ヘリ等の動態管理システム/無人移動体画像伝送システム運用調整サービスとの IF 開発 |

表Ⅲ2.2.1.1-1 共同実施者の研究分担

（２）研究開発目標と根拠

本プロジェクトでは、最終年度までに福島ロボットテストフィールドに運航管理システムを実装し、実証実験によるシステムの検証をする。具体的に以下の検証を実施する。

- 南相馬～浪江町の 12km の距離を飛行すること。
- 実際の物流のシーンにあわせ、注文、モノの発送、受取、までの一連の運用を実施すること。
- 複数事業者の運航管理システムで管理された無人航空機が同じ空域を飛行すること。

- 10機程度を同時に飛行させ、すれ違い、追い越しなどのシーンで衝突しないこと。
- 指定された空域を逸脱しないこと。
- 指定された空域の気象状況や飛行物体の位置・速度が複数事業者の運航管理システムで共有できること。
- 災害発生時など通信網が使えなくなった場合に、バックアップ通信網に切り替え、運航を継続できること。バックアップ通信網としてはロボット用無線帯域を用いた通信システムを利用すること。
- 2以上の運航管理機能を有するシステムと結合した検証を実施すること。
- 3以上のベンダーが提供する無人航空機を利用した検証を実施すること。
- 各サブシステムの接続にはセキュリティの担保をすること。
- 運航管理システムによる省エネルギー効果を評価すること。
- 1時間1平方km100機の密度で運航管理システムの相互接続試験を実施すること。

本プロジェクトの目標の設定根拠について述べる。社会実装を想定し、複数事業者、複数ベンダーの機体がある状態での試験を実施する。さらに将来、無人航空機が物流等のサービスで本格運用される時を想定し、1時間1平方km100機の密度でシステムの動作を検証する。

(3) 研究開発スケジュール

次ページに各社の研究開発スケジュールを示す（実線は実績、破線は予定）。

| 事業項目 | 2017年度 | | | | 2018年度 | | | | 2019年度 | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| ①日本電気株式 A)~C) ・運航管理システム機能設計 ・FIMSシステム設計 ・FIMS評価機材開発 ・FIMS評価 ・FIMSシステム設計(追加) ・FIMS評価機材開発(追加) ・全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |
| D)~E) ・空域監視、気象情報システム設計 ・空域監視、気象情報システム評価機材開発 ・FIMSと接続評価 ・空域監視、気象情報システム設計・追加開発 ・追加開発 ・全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |
| F) ・AIシステム設計 ・AI評価機材開発、評価 ・全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |
| ②株式会社エヌ・ティ・ティ・データ A)~B) ・運航管理システム機能設計 ・FIMSシステム設計 ・FIMS評価機材開発 ・FIMS評価 ・FIMS評価機材開発(追加) 全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |
| C) ・地図情報データベース設計 ・地図情報データベース評価機材開発 ・全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |
| ③株式会社NTTドコモ A)~D) ・UASSP、携帯電波管理システム機能設計 ・UASSP、携帯電波管理システム評価機材開発 ・他システムとの接続評価 ・評価機材開発(追加) ・全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |
| ④楽天株式会社 A)~C) ・要件定義・設計 ・システム開発 ・単体評価・検証 ・他システムとの接続評価 ・プログラム改修・改良 ・全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |
| ⑤株式会社日立製作所 A)~B) ・運航管理システム機能設計 ・FIMS評価機材開発 ・FIMS評価 ・FIMS評価機材開発(追加) ・全体評価 | | → | → | → | | | → | → | → | → | → | → |

表Ⅲ2.2.1.1-2 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

[運航管理システムの実証試験に関する達成状況（日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天）]

2018 年度に「福島ロボットテストフィールド」（福島県南相馬市）にて同一空域で複数事業者の無人航空機が安全に飛行するための運航管理システムの実証試験を行った。実証試験の結果、運航管理統合システム（FIMS）が正常に作動し、基本的な運航管理機能に基づいて同一空域において、複数の運航管理事業者（UASSP）の飛行を支援できることを確認した。さらに、今回の試験では、無人航空機を活用した「災害調査」、「警備」、「物流」、「郵便」の 4 つの利用シーンを想定し、合計 10 機の無人航空機を目視外で自律飛行させることに成功した。

また、開発した運航管理システムの普及に向けて、現在参画している無人航空機事業者以外の国内外の無人航空機事業者が、運航管理統合機能と接続した無人航空機運航試験を福島ロボットテストフィールド内で実施できるよう、運航管理システムの API を 2019 年度 6 月に公開した。さらに、運航管理システムについて、国際標準への提案を見据え、あらゆる無人航空機事業者が安心・安全に無人航空機を運航できる社会を目指す。

「①運航管理統合機能のフライト管理に関する研究」（日本電気株式会社）

(A) FIMS のフライト管理に関する研究/ (B) FIMS と UASSP との連携の研究/ (C) FIMS と UASO/UAS との連携の研究

運航管理統合機能のフライト管理に関する研究の研究開発目標と達成状況を以下の表 III 2.2.1.1-3 に示す。フライト管理として飛行計画の段階でのコンフリクト判定プログラム、および、飛行計画の登録プログラムの開発が完了し、運航管理機能との接続試験を行った。接続試験は、福島ロボットテストフィールドを活用した複数機の無人航空機の飛行を伴う試験であり、想定したアーキテクチャの最適性確認を行った。今後、更なるユースケースを想定した評価を実施することで目標達成できる見通しが立った。

(D) 空域監視システムと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究

空域監視システムは UAS が飛行する空域をカメラなどのセンサを利用して監視して、空域に存在する飛行物体の位置、速度などを計測した情報を FIMS/UASSP/UASO に提供する。どのようにやりとりするかインターフェースについて研究を行った。更に、福島ロボットテストフィールドでの実証研究に向けて、上記のインターフェースの研究結果を反映した空域監視システムの試験用装置を製造した。具体的には、FIMS/UASSP/UASO に提供するに有効な情報内容について検討し、インターフェース仕様を整備した。実証実験に向けて、飛行体の自動検知と識別機能、位置推算機能を有するステレオカメラ方式の評価装置を 1set 製造した。

(E) 気象情報システムと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究

UAS が離陸前に飛行可能かどうかを判断する為に必要な気象情報、更に UAS が飛行中の安全を確保する為に必要な気象情報を集約し、これらの観測/予測データを FIMS/UASSP/UASO に提供する為の「気象情報試験システム」を製造し、気象が要因となる事故を未然に防ぎ、安全運航管理に役立てる事を目標とした。具体的には、有人航空機に提供の航空気象情報より更に低高度の高解像度な情報提供となる無人航空機向けに必要な気象情報の選定を行い、気象情報システムのデータを FIMS/UASSP/UASO とどのようにやりとりするかについて研究を行った。また、データフォーマット・送信頻度・データ受け渡し手続き等の IF 及び気象の急変（UAS 飛行ルート周辺での急激な雨雲発達、落雷等）が発生した場合に、迅速な危険回避のアラート提供の設計、開発を行った。

F) FIMS の AI の研究

FIMS が UASSP に空域を割り当てる際、適切な枠組みがない場合、特定の UASSP や事業者が使用の如何に関わらず大部分の空域を独占してしまい、空域の公平性が損なわれるという問題が生じる。また、有人航空機の臨時飛行や天候変化といった事象に応じて、UASS の運航リスクを低減するための空域の再割当ても検討する必要がある。このような課題を解決するため、空域の安全性や効率性に加え、複数 UASSP 間の公平性と計画変更の柔軟性といった観点から、空域利用を最適に調整するための FIMS の AI 機能の研究を行った。

これまでに、UASO (UASSP) 間の飛行計画調整の枠組みとして 1 対 1 交渉、および、多数 UASO 間の調整調停の 2 つの枠組みを提案。

UASO 間の 1 対 1 の飛行計画交渉については、交渉プロトコルの提案と、飛行中に計画変更が必要となった場合を想定した簡易シミュレーションにより評価を完了した。

また、多数 UASO 間で計画調整を行う場合について、飛行計画調整を調停するコーディネータ機能の設計と、コアアルゴリズム実装、簡易シミュレーション評価を完了した。

| 研究分担 | 研究目標 | 成果 | 達成状況 |
|-----------------------|--|--|------|
| A) FIMS のフライト管理に関する研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 運航管理システム全体としての各機能での役割の検討を行い FIMS の機能を定義し、運航管理システムおよび空域利用等に関するユースケースの検討を行う。 ・ 検討結果を基に FIMS の試験装置を製造する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS の試験装置を実装するにあたって FIMS/UASSP 各機能の役割定義を実施し、最適なアーキテクチャ、ソフトウェア構造を検討し FIMS 内の機能一覧を完成させた。 ・ フライト管理として飛行計画の段階でのコンフリクトの判定方針を策定した。 ・ 整理した機能に基づき FIMS 試験装置の製造を行った。 | ○ |

| | | | |
|----------------------------|---|---|--------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS のコンフリクト管理、ターゲット管理、運航実績および無人航空機への指示について検討を行う。 ・ 検討結果を基に FIMS の試験装置を製造する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS 機能を実装するにあたり必要なアプリケーション・フレームワーク開発し、FIMS 開発担当他社に提供を行った。 | ◎ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS の緊急時の運用フロー、ユースケースを検討および有人航空機管制システムへの情報提供の検討を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS の更なるユース検討を実施中である。 | △ (2019 年度内に達成見込み) |
| B) FIMS と UASSP との連携の研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS-UASSP 間での空域情報共有等、FIMS-UASSP 間の共有情報について検討を行う。 ・ FIMS-UASSP 間で授受するデータの構造やデータ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェースについて検討を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS-UASSP (UASO 含む) 間インターフェース仕様の初版を完成させた。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2017 年度に作成する FIMS の試験装置と UASSP の試験装置との連携の評価を行う。 <p>福島ロボットテストフィールドにおいて 4 事業者の UASSP による 10 機の無人航空機を飛行させ、飛行計画管理やコンフリクト管理の検証を実施する。なお、限られた空域での多数機の飛行試験になるため、十分な安全対策を施す。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ UASSP との接続評価を完了した。福島ロボットテストフィールドを活用した複数機の無人航空機の飛行を伴う試験であり、想定したアーキテクチャの最適性確認を行った。 ・ インターネットを介した接続であることを考慮し、セキュリティ向上のため FW/IDS を導入した。 | ◎ (目標を大幅に達成) |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2018 年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、FIMS-UASSP 間の有用性および実用性を検証する。 ・ 福島ロボットテストフィールドに FIMS 機能のサーバを実装し、FIMS 機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性および実用性を検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2019 年 7 月時点で福島ロボットテストフィールド設置用の FIMS サーバを構築中であり、8 月末までに現地設置を完了できる見込みである。 ・ 9 月以降、社会実装時の運用を想定し、一般の無人航空機事業者で持ち合わせるシステムとの接続を可能とさせる見込みである。 | △ (2019 年度内に達成見込み) |
| C) FIMS と UASO/UAS との連携の研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS からの UASO および UAS にどのような指示が出来るかの検討を行う。FIMS-UASO/UAS 間で授受するデータの構造やデータ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェースについて検討を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS-UASSP (UASO 含む) 間インターフェース仕様の初版を完成させた。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2017 年度に作成する FIMS の試験装置と UASO/UAS の試験装置との連携の評価を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS-UASO との連携について検討を行った。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2018 年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、FIMS-UASO/UAS 間の有用性および実用性を検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2018 年度に実施した接続評価試験のユースケースを拡張し、異なるユースケースの策定検討を実施中である。 | △ (2019 年度内に達成見込み) |
| D) 空域監視システムと | <ul style="list-style-type: none"> ・ UAS をカメラなどのセンサを利用して監視する仕組みについて検討し、検討結果を基に空域監視システムの試験装置を製造する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 実証実験に向けて、飛行体の自動検知と識別機能、位置推算機能を有するステレオカメラ方式の試験装置を 1set 製造した。 | ○ |

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
| FIMS/UASSP/UASO の連携の研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2019 年度に作成する空域監視システムの試験装置と FIMS の試験装置との連携の評価を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS/UASSP/UASO に提供するに有効な情報内容について検討し、インターフェース様式を整備した。 | △（2019 年度に達成見込み） |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2018 年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、空域監視システムの有用性および実用性を検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 機能・性能を向上のため、更なる改良を行い、実証実験用評価装置を 2set 製造し、有効性および実用性の評価を行う。 | △（2019 年度に達成見込み） |
| E) 気象情報システムの FIMS/UASSP/UASO の連携の研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・ UAS が飛行中の安全を確保する為に必要な気象情報について検討し、検討結果を基に予測システムの試験装置を製造する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 有人航空機に提供の航空気象情報より更に低高度の高解像度な情報提供となる無人航空機向けに必要な気象情報の選定を行った。 ・ これに基づき、API 仕様を整備し、プロトタイプを製造した。また、実証実験に必要な気象観測機器の現地調査検証と配備を実施した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 気象情報観測／予測システムと FIMS の試験装置との連携の評価を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 気象情報システムのデータフォーマット・送信頻度・データ受け渡し手続き等の API 仕様を整備。 ・ 気象の急変（UAS 飛行ルート周辺での急激な雨雲発達、落雷等）が発生した場合に、迅速な危険回避のアラート提供の設計を行った。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2018 年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、気象情報システムの有用性および実用性を検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2018 年度のプロトタイプで抽出した課題改善を目的とした改良を行い、その評価と福島 RTF における実証評価にて、有効性および実用性の検証を行う。 | △（2019 年度に達成見込み） |
| F) FIMS の AI の 研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS による最適な空域管理のためのユースケースを検討し、検討結果を基に AI システムを設計する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS による調整が必要なユースケースを検討し、それに基づいて、UASO の業務都合を考慮した飛行計画調整 AI システムのアルゴリズム提案、プロトタイプ設計、開発と評価を行った。 | ◎（目標を大幅に達成） |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2017 年度に設計した FIMS の AI システムの開発と評価を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2017 年度の成果をもとに、UASO (UASSP) 間の飛行計画調整の枠組みとして 1 対 1 交渉、および、多数 UASO 間の調整調停の 2 つの枠組みを提案。 ・ UASO 間 1 対 1 の飛行計画交渉については、プロトコル提案と、プロトタイプ実装を行い、飛行中に計画変更が必要となった場合を想定した簡易シミュレーションによる評価を完了した。 ・ 多数 UASO 間の調整の調停を行うコーディネータ機能の設計を完了した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ 2018 年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、FIMS の AI 機能の有用性および実用性を検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ JAXA 無人機シミュレータを用いた飛行中の計画交渉・調整を評価するため、接続インターフェースの設計を完了した。 | △（2019 年度内に達成見込み） |

| | |
|--|--|
| | ・コーディネータ機能のコアアルゴリズム実装と簡易シミュレーション評価を完了した。 |
|--|--|

表Ⅲ.2.2.1.1-3 フライト管理機能に関する研究開発目標と達成状況

「②運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究」(株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

A) FIMS の空域情報管理に関する研究

UASSP や FIMS 飛行計画管理が効率的な空域の割り当ておよび使用を考慮する際に必要とする共通的な空域情報と、それらの情報の一元的な管理および共有の方法について研究を行った。H30 年度までに地表障害物情報・飛行禁止空域情報を統合的に管理するとともに、FIMS および UASSP が無人航空機の飛行計画段階および飛行中における建物・地表・空域への接近判定に活用可能な機能を実装し API として提供することができた。

B) FIMS と有人航空機情報との連携の研究

有人/無人航空機双方がそれぞれ必要とする情報と情報連携機能について評価を行った。H30 年度までに FIMS/UASSP と有人航空機との間で、無人航空機の飛行計画と動態情報を、また有人航空機の動態情報を共有するためのインターフェースを策定し実装した。また、有人航空機側の模擬システムを製造し、FIMS/UASSP の間で必要な情報を共有できることを検証した。

C) 地図情報データベースと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究

物流・災害対応の個別用途に必要となる地図情報の拡張仕様、提供手法の設計・開発を実施した。H30 年度までに全国避難所情報およびイベント情報を収集しデータベース化した。さらに、これらの情報を FIMS/UASSP に提供するためのインターフェースを実装した。

| 研究分担 | 研究目標 | 成果 | 達成状況 |
|-----------------------|--|--|------|
| A) FIMS の空域情報管理に関する研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 運航管理システム全体としての各機能での役割を検討する。 ・ 運航管理システム全体としての空域運用に関するユースケースを検討する。 ・ FIMS で一元管理し UASSP と連携すべき空域情報を検討する。 ・ FIMS-UASSP 間のインターフェースを検討する。 ・ 空域情報管理のための試験装置を導入する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 限られた空域内を安全かつ効率的に多くの無人航空機を飛行可能とするシステムアーキテクチャおよび機能を共同実施者と共に検討し決定した。 ・ 決定したアーキテクチャに基づき、FIMS と UASSP との間で共有すべき空域情報案を検討し、外部インターフェース・DB 設計書を作成した。 ・ 一部試験装置の構築を行った。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・ FIMS-UASSP 間の空域情報連携 I/F を開発する。 ・ FIMS と一部 UASSP を接続し、空域情報共有の評価を行 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 試験装置にインターフェースを実装し、FIMS 他機能および一部 UASSP と接続し評価を行った。 | ○ |

| | | | |
|---------------------------------------|---|--|-------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> う。 ・評価で明らかになった運用面/技術面の課題を整理し、機能・性能の向上策を検討する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・飛行禁止空域・地表障害物情報提供 API を製造し公開した。 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・複数の UASSP と接続し、共同実施者全体で空域情報を共有できる環境を整備する。 ・幾つかのユースケースに基づき実証実験を行い、構築した空域情報管理システムの有効性および複数 UASSP 間での空域調整運用の有効性・効率性を評価する。 ・福島ロボットテストフィールドへの FIMS 機能のサーバ構築にあわせ、空域情報管理機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性および実用性を検証する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・複数 UASSP および SDSP と接続し、空域情報今日中の実証・評価を行った。 ・評価で明らかになった課題等、以下の項目について最終年度内に機能向上を検討し評価を行う予定。 <ul style="list-style-type: none"> - 高精度障害物情報を用いた FIMS での衝突検知手法の検討および実装 - 特定空域における無人航空機の交通量を定量的に測定する手法の検討 - 避難所情報およびイベント開催エリア上空の飛行規制情報の FIMS への組み込み | <p>△ (2019 年度内に達成見込み)</p> |
| B) FIMS と有人航空機情報との連携の研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・運航管理システム全体としての各機能での役割を検討する。 ・運航管理システム全体としての有人航空機情報連携に関するユースケースを検討する。 ・FIMS で一元管理し UASSP と連携すべき有人航空機情報を検討する。 ・FIMS-有人航空機関連システム間のインターフェースを検討する。 ・有人航空機情報連携のための試験装置を導入する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・限られた空域内を安全かつ効率的に多くの無人航空機を飛行可能とするシステムアーキテクチャおよび機能を共同実施者と共に検討し決定した。 ・決定したアーキテクチャに基づき、FIMS と UASSP との間で共有すべき有人/無人航空機情報案を検討し、外部インターフェース・データベース設計書を作成した。 ・一部試験装置の構築を行った。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・FIMS および UASSP と連携すべき有人航空機情報のデータベースを構築する。 ・FIMS と有人航空機関連システムとの I/F を製造する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・有人/無人航空機動態情報を共有するデータベースを構築した。 ・これらの情報を共有するための API を製造し公開した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・FIMS/UASSP/UASO 全体を連携させ、ユースケースに基づいた実証実験を行い、有人/無人航空機を含めた空域全体の安全性・効率性を向上させるために求められる有人航空機との情報連携要件（情報の種類、情報連携の手段・頻度など）を纏める。 | <ul style="list-style-type: none"> ・有人航空機側システムの模擬装置を製造し、FIMS と UASSP 間で情報連携して評価できる環境を構築した。 ・引き続き様々な情報提供者から得られる有人航空機動態情報を効率的に収集/管理するための技術を検討し、評価を行う。 | <p>△ (2019 年度内に達成見込み)</p> |
| C) 地図情報データベースと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・物流/災害対応等の個別用途に必要な地図情報の要件定義を行う。 ・要件に応じた地図情報の拡張仕様を規定する。 ・規定した仕様の実装に向け仕様に準じた情報の収集・ | <ul style="list-style-type: none"> ・要件定義を実施し、必要となる地図情報のデータ項目及び特性を規定した定義書を作成した。 | ○ |

| | | | |
|--|--|---|-----------------------|
| | 整備手法を検討するとともに、地図情報 DB と FIMS/UASSP/UASO のインターフェースを検討する。 | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> 前年度に策定した個別用途向けの仕様に準じて追加の地図情報を整備する。 物流向け地図情報提供 API については試験装置を製造する。 | <ul style="list-style-type: none"> 地図情報の実現可能な収集・整備手法を明らかにし、地図情報提供 API の試験装置の開発計画を策定した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> 飛行実験用に地図情報 API の試験装置を提供する。 | <ul style="list-style-type: none"> 全国避難所/イベント情報データベースの構築および API 提供を実施した。 データ項目等の仕様検討実施中。並行して FIMS で の活用に向けた検討実施中。 | △ (2019 年度内に達成見込み) |

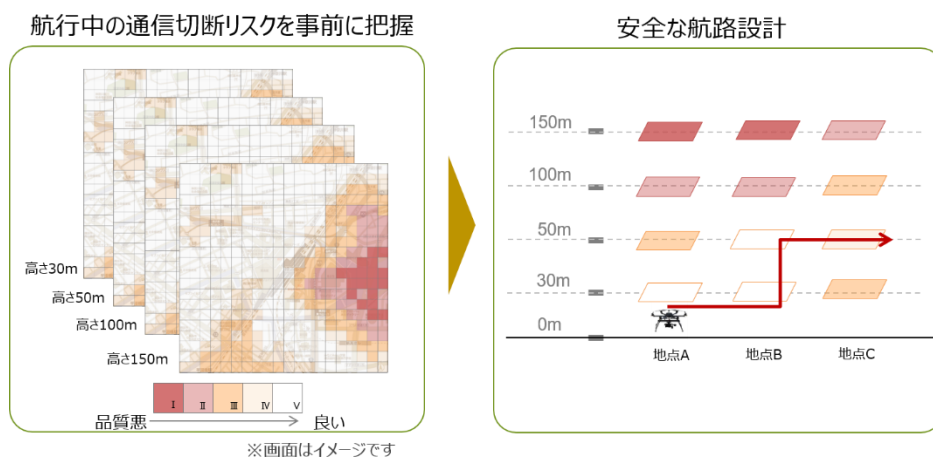
表Ⅲ2.2.1.1-4 空域情報管理機能に関する研究開発目標と達成状況

「③電波品質に基づく運航管理機能に関する研究」(株式会社 NTT ドコモ)

無人航空機(UAS)の安全な目視外飛行を実現するためには、UAS が飛行中でも地上の UASSP/UASO から UAS に対し、状態監視(位置、高度、機体状態など)や制御指示(フライトプランの変更など)ができるよう、広域、高速かつ大容量の通信環境が必要となり、上空における携帯電話等の活用が期待されている。

上空での携帯電話の利用については、既存の地上ユーザの通信や他の業務への影響が無いように、携帯電話を活用した無人航空機の管理および運用が必要となる。

以上の経緯を背景に、NTTドコモは電波状況を考慮した運航管理システム(図Ⅲ2.2.1.1-3)の開発を実施し、本テーマの研究開発項目および目標を表Ⅲ2.2.1.1-5のように定めた。



図Ⅲ2.2.1.1-3 上空の電波状況を考慮した運航管理(イメージ)

| 研究分担 | 研究目標 | 成果 | 達成状況 |
|----------------------------|--|--|-------------------|
| A) 電波品質等の情報に関わる研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・電波品質を基にしたフライトプラン策定のため、地図情報等に電波情報を加えたFI (Flight information) のデータ構造等の定義 ・UASからのテレメトリ情報をもとにしたFIの更新手法等の検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・FIのデータ構造等の定義について、2017年度に設計完了した。 ・FIの更新手法について、アーキテクチャの設計を完了した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年の検討内容をもとにした、FI機能の開発 ・B)の機能と連携した、FIの更新実証 | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年に試作および福島ロボットテストフィールドでの実証実験を完了した。 ・FIの更新手法について、実証実験にて計画段階のFIと飛行中のFIを取得、比較しFI更新の有用性を確認した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年の実証結果をもとにしたシステム改善 ・開発したIFの機能を用いた、福島ロボットテストフィールドでの実証 ・実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出 | <ul style="list-style-type: none"> ・実測した電波情報のFIへの更新機能について実装中。 | △ (2019年度内に達成見込み) |
| B) UASSP/UASOとUAS間機能に関する研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・UASSP/UASOとUAS間の機能に関する処理内容、データの構造、データ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェース等についての検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年度に当該インターフェースの設計を完了した。 ・UASSP/UASOとUAS間をLTEで接続するモジュールを試作し、所望の性能が得られることを確認した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年の検討内容をもとにした、UASSP/UASO及びUASの機能の開発 ・開発した機能を用いた実証 | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年に試作および福島ロボットテストフィールドでの実証実験を完了した。 ・PS-LTEに対応した複数無線システムを活用したマルチ接続機能を開発し、UASSP/UASOとUAS間の接続試験を完了した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年の実証結果をもとにしたシステム改善 ・開発したUASSP/UASO及びUAS間の機能を用いた、福島ロボットテストフィールドでの実証 ・実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出 ・海外製UASへの携帯電話通信機器の搭載に係る調査検討、および福島ロボットテストフィールドでの検証支援 | <ul style="list-style-type: none"> ・開発したUASSP/UASO及びUAS間の機能を用いた、福島ロボットテストフィールドでの実証に向け、実施仕様を検討中。 ・海外製UASへの携帯電話通信機器の搭載に係る検討、および福島ロボットテストフィールドでの検証支援に向けて仕様詳細を策定中。 | △ (2019年度内に達成見込み) |
| C) UASSPとUASSP間連携に関する研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・UASSP間の機能に関する処理内容、データの構造、データ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェース等についての検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年度に当該インターフェースの設計を完了した。 | ○ |

| | | | |
|--|--|--|------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年の検討内容をもとにした、UASSP間の機能の開発 ・他システムとのI/F機能実証 | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年に試作およびスタブを用いた性能試験を完了した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年の実証結果をもとにしたシステム改善 ・開発したUASSP間の機能及び他システムを用いた、福島ロボットテストフィールドでの実証 ・実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出 | <ul style="list-style-type: none"> ・実際のUASSP間での接続試験を実施予定。 | △(2019年度内に達成見込み) |
| D) 携帯電波管理システムとFIMS/UASSP/UASO間連携に関する研究 | <ul style="list-style-type: none"> ・携帯電波管理システムとFIMS/UASSP/UASO間の機能に関する処理内容、データの構造、データ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェース等についての検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年度に当該インターフェースの設計を完了した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年の検討内容をもとにした、携帯電波管理システムとFIMS/UASSP/UASO間の機能の開発 ・A)の機能と連携した、FIの更新実証及び評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年に試作および福島ロボットテストフィールドでの実証実験を完了した。 ・FIの更新手法について、実証実験にて計画段階のFIと飛行中のFIを取得、比較しFI更新の有用性を確認した。 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年の実証結果をもとにしたシステム改善 ・開発した携帯電波管理システムとFIMS/UASSP/UASO間の機能を他研究課題の実証に活用し、その実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出 | <ul style="list-style-type: none"> ・実測した電波情報のFIへの更新機能について実装中。 | △(2019年度内に達成見込み) |

表Ⅲ.2.2.1.1-5 運航管理機能に関する研究開発目標と達成状況

「④事業サービスに応じた運航管理機能の開発」(楽天株式会社)

UASSPはUASOとFIMSの双方とコミュニケーションをとる機能を有しており、これはUASの効果的かつ効率的な運航管理実現のために重要な構成機能の1つである。今後、UASの運航数は大きく増加すると予測されるが、UASSPとFIMS間、複数のUASSP間、およびUASSPとUASO間の連携に関する最適なルールや要件を整理することは、UASの安全な運航とその管理のために必要不可欠である。

本研究テーマでは、UASの安全な運航管理を実現するため、具体的なアプリケーションの分野として物流分野に焦点をおくとともに、他のサービス分野での利活用も視野に入れて、以下の3項目について研究開発を実施した。

(A) UASSPとUASOの連携に関する研究開発

安全なUASの運用を実施するために、UASSPに集約すべき情報(FIMS/他のUASSP/SDSP/物流システムからの情報)について検討・整理するとともに、UASSPがUASOに与えるべ

き情報について要件定義を行った。さらに、複数の UASO から UASSP が取得すべき情報（例えば UAS の機体情報、飛行場所、飛行時間、操縦者の情報など）についても検討した。上記のとおり UASSP と UASO 間で共有されるべき項目を整理し、その情報共有の方法について適切なデータ連携が行えるよう、データフォーマット、送信頻度、データ受け渡し手続き等のインターフェースについて設計を行った。

(B) 物流サービスに応じた UASSP の研究開発

省エネルギー社会の実現を推進するため、また社会的な課題（例えば買い物弱者の増加やトラック運転者の不足）に対する解決策として UAS の活躍が期待されており、物流分野における UAS の活用については、海外や我が国において既に積極的な取り組みが始まっている。その一方、原則として目視内飛行が求められるなどの制約も存在している。

「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」が取り纏めた「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」では、2018 年頃以降に無人地帯での目視外飛行（レベル 3）及び有人地帯での目視外飛行（レベル 4）が記載されており、これに沿って物流分野で UAS の利活用を加速させるためには目視外飛行の実証に積極的に取り組むことが必要である。

本研究項目では物流 UAS の安全な目視外飛行を実現するために、UASSP と物流システムに関して、a) UASSP と物流システム間の情報連携機能、b) 最適な配送経路の調整・修正機能、c) 配送状況の追跡機能、d) 物流 UAS のデータ集積・分析機能、e) 物流システムと連携するためのインターフェースの開発、f) ドローンポートシステムとの連携機能、g) ドローンポートシステムと連携するためのインターフェースの開発、の 7 点について、必要に応じて飛行試験を含めた検討を行った。

(C) その他サービスに応じた UASSP の研究

物流を Point to Point の移動（線での飛行）とすると、点検・測量・農業は一定空間内での移動（面での飛行）であり、飛行ならびに運航管理の形態が異なる。物流のように線での飛行とは異なり、面での飛行を行うサービスでは、飛行承認を受けた UAS が一定の空間を一定時間占有することになる。UASSP には、これら 2 種類の異なる飛行形態に対応し得ることが求められるため、UASSP に求められる機能を検討し、a) UASSP が把握・共有すべき、面での飛行を行う UAS の情報、b) 面での飛行を行う UAS の飛行空域に対する管理機能、c) 最適な飛行空間の調整・修正機能、d) 以上の各機能と UASSP が連携するためのインターフェース開発、の 4 点について研究開発を行った。

以上の各項目に関して、3 年間の研究開発目標と 2019 年 7 月現在における達成状況は、以下の通りである。

| 研究分担 | 研究目標 | 成果 | 達成状況 |
|-------------------------|--|--|------------------|
| A) UASSP と UASO の連携の研究 | ・ UASSP と UASO 間の連携に関する要件定義および I/F の検討 | ・ UASSP と、UASO および FIMS のそれぞれとの間の連携に関して、種々のユースケースを検討し、UASSP として必要となる機能を明らかにして、要件定義を行うとともに、API の検討を行った。 | ○ |
| | ・ UASSP と UASO との IF の開発および検証 ・ 他システムとの連携について検証 | ・ 上記の検討結果に基づき、UASSP と UASO および FIMS との API 開発を行うとともに、その実機検証を行った。 ・ 他システムとの連携について検討を行い、複数の UASO から UASSP が取得すべき情報（UAS 機体情報、飛行場所、飛行時間、操縦者の情報など）の明確化を行った。 | ○ |
| | ・ FIMS、他の UASSP、SDSP との連携に関する追加実証およびシステムの改善 | ・ UASSP と、FIMS、他 UASSP、SDSP との連携に関して、それぞれの API の検討ならびに見直しを行い、実証に向けてソフトウェアの構築、改良を行う。 | △（2019 年度に達成見込み） |
| B) 物流サービスに応じた UASSP の研究 | ・ 物流システムに特化した UASSP 機能の要件定義 ・ 物流システム及びドローンポートシステムと UASSP 間で授受するデータに関する IF の検討 | ・ 物流システムのために必要となる UASSP 機能に関して、種々のユースケースの検討を通して要件定義を行った。 ・ 物流システムと UASSP との間で授受するデータ、ならびにドローンポートシステムと UASSP との間で授受するデータに関して検討を行い、それぞれの API 仕様の策定を行った。 | ◎ |
| | ・ UASSP と物流システムおよびドローンポートシステムとの IF の開発 ・ 開発したシステムの検証 ・ 従来の GPS による測位情報と比較し精度が向上する準天頂測位情報を利用した飛行試験による飛行経路精度や着陸精度等の検証 | ・ UASSP と物流システム、ならびに UASSP とドローンポートシステムのそれぞれの間の API に関して具体的な開発を行うとともに、その実地検証を行った。また、荷物収納機能を備えたドローンポート機構の試作を行った。 ・ 準天頂衛星による測位情報を利用した飛行試験として、周囲に構造物を有する屋内環境における飛行のためのシステム構築ならびに飛行試験を実施し、着陸精度等の検証を行った。 | ◎ |
| | ・ 物流システムやドローンポートシステムと連携した UASSP が提供する情報を利用し、正常時及び異常時の双方を想定した状況下での、無人航空機物流の実証実験 ・ 準天頂衛星による高精度測位情報を利用した飛行における経路精度、着陸精度等の検証、空域割当方式に関する検討 ・ ドローンポートの改良、小型化 | ・ UASSP と物流システム、ドローンポートシステムとの連携のもとに、正常時及び異常時の双方を想定した状況における無人航空機物流の実証実験を実施する。 ・ 準天頂衛星による測位情報を利用した飛行試験を行い、各種条件下での経路精度、着陸精度等の計測とその結果の分析を実施するとともに、空域割当方式に関する検討を行う。 ・ 準天頂衛星による高精度化を前提として、ドローンポ | △（2019 年度に達成見込み） |

| | | | |
|--------------------------|--|---|------------------|
| | | トの小型化を図るとともに、先の試作機で明らかとなった課題に対応した改良を行う。 | |
| C) その他サービスに応じた UASSP の研究 | ・ その他サービス（点検、測量、農業、撮影等）に対応した UASSP 機能の要件定義 | ・ 物流に代表される点接続型とは異なる面型の飛行を行う点検、測量、農業、撮影等のサービスに対応する UASSP 機能に関して、ユースケースに基づき要件定義を行った。 | ○ |
| | ・ 2017 年度に検討する機能の開発および検証 | ・ 上で行った要件定義に基づき、具体的機能に関する API の開発とその検証を実施した。 | ○ |
| | ・ FIMS、他の UASSP、SDSP と連携した UASSP が提供する情報を利用し、正常時及び異常時の双方を想定した状況下での、点検、測量、農業、撮影等の物流用途以外の UAS の運航管理の実証実験 | ・ UASSP と、FIMS、他 UASSP、SDSP との連携に対して、物流用途以外の運航に関する飛行試験を、正常時及び異常時の双方を想定して行い、開発した API の実証を行う。 | △（2019 年度に達成見込み） |

表Ⅲ2.2.1.1-6 運航管理機能に関する研究開発目標と達成状況

「運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究」（株式会社日立製作所）

A) 運航状況管理における統合的判断の研究

運航計画申請の審査（承認、不承認等）を行うためには、様々な情報（利用者情報、機体情報、飛行情報、地図情報、気象情報、電波情報、空域監視情報、ドローンポート情報 等）を基にして総合的な判断を行う必要がある。また、運航計画の審査結果（不承認の場合は、その理由も含む）を申請元である運航管理機能に対して確実に通知し、運航管理機能における運航計画の見直し等に役立てる必要がある。

また、運航中の無人航空機に、安全な運航に問題がある場合（問題が発生する兆候がある場合を含む）には、該当する運航管理機能へ警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、機体の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

本研究では、安全な運航に問題があると運航管理統合機能で判断するための運航ルール（例：提出された運航計画に問題がないか（他提出運航計画/飛行禁止エリアとの干渉 等）、運航計画申請の内容から逸脱した運航を実施、通信断絶等による機体位置情報が更新されない、運航禁止空域（臨時、常設）への接近・侵入、他の無人航空機や有人航空機との接近・衝突、地形・建造物との接近・衝突、気象状態の急変等）について、研究開発テーマ「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会と連携した検討を実施し、その検討結果を機能実装した、プロトタイプによる有効性判断を実施した。

B) 外部機関連携機能の開発

無人航空機を取巻く主な共有の資源として、空域と電波の2種類が存在する。

空域を共有の資源として活用する有人航空機については、主に高高度の空域を利用する旅客機と比較的低高度の空域を利用する消防・防災ヘリ等が存在する。空域の安全性を確保するためには、無人航空機と同様に、有人航空機の運航計画や位置情報等を運航管理統合機能で把握することは必要不可欠である。一方、電波を共有の資源として活用する既存の地上無線局に関しては、（一財）総合研究奨励会「日本無人機運行管理コンソーシアム」（以降、JUTMと記す）が無人移動体画像伝送システムの運用調整サービスを運用しており、同システムと同周波数帯を利用する既存の地上無線局（医療機関、電力会社等）に関する情報を保有している。

本研究開発では、共有資源である電波と空域に関する情報と、接続する手法を検討した。

連携する外部機関と入手する情報としては、主に有人航空機動態情報、無人移動体画像伝送システムを想定の上で、有人航空機動態情報の運行状況管理機能連動、電波監理コンセプトとの接続を実施した。

| 研究分担 | 研究目標 | 成果 | 達成状況 |
|-----------------------|---|---|------------------|
| A) 運航状況管理における統合的判断の研究 | <ul style="list-style-type: none"> 「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に参画し、システムアーキテクチャ及び共通インターフェースの仕様を委員会メンバーとともに決定する。 委員会で決定した仕様に基づき、運航管理統合機能のシステム設計（概要設計及び詳細設計）内容の整合性調整を図る。 「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会メンバーと、本機能の運用に関する意見交換を行い、運用方法の早期検討と設計内容への反映を行う。 運航計画管理機能のプロトタイプ開発を行う。 プロトタイプの評価を行い、2018年度のプログラム開発に反映するための課題抽出を行う | <ul style="list-style-type: none"> NEC コンソ 5 社にてシステムアーキテクチャ/共通インターフェースを検討 「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に提示の上決定。 運行状況管理機能プロトタイプ開発を実施 プロトタイプ評価の上、インターフェースの有用性を確認。インターフェース仕様詳細への課題を抽出 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> 2017年度実施内容に基づき、プログラム開発を行う 運航管理統合機能プログラムと結合し、福島ロボットテストフィールドによる飛行を含む、運航管理統合機能の結合試験を実施。 | <ul style="list-style-type: none"> 運行状況管理機能プログラム開発を実施 FIMS3社プログラムで結合し、福島ロボットテストフィールドにて、10機同時飛行実証にて結合動作を確認 | ◎（目標を大幅に達成） |
| | <ul style="list-style-type: none"> 2018年度に実施した結合試験の結果を元に、処理方式の改良を行い、機能の完成度を高める。 福島ロボットテストフィールド実証と評価を行い、本 | <ul style="list-style-type: none"> 10機同時飛行実証にて、課題抽出を実施。 2019年10月及び12月飛行実証にむけて、 | △（2019年度内に達成見込み） |

| | | | |
|-----------------------|---|---|------------------|
| | <p>機能を容易に利用可能であることを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実システムとの接続が実現困難となる場合は、シミュレータを活用した実証及び評価を行う。 ・福島ロボットテストフィールドへのFIMS機能のサーバ構築にあわせ、運航状況管理機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性及び実用性を検証する。 | Inflight中のインシデント対応機能の実装を推進中。 | |
| B)外部機関 連携機能の 開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に参画し、システムアーキテクチャ及び共通インターフェースの仕様を委員会メンバーとともに決定する。 ・委員会で決定した仕様に基づき、運航管理統合機能のシステム設計（概要設計及び詳細設計）内容の整合性調整を図る。 ・防災ヘリ等の動態管理システム、無人移動体画像伝送システム運用調整サービスとのインターフェース情報の明確化・具体化を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・NECコンソ5社にてシステムアーキテクチャ/共通インターフェースを検討 ・「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に提示の上決定。 ・有人航空機動態情報との連携機能設計、電波監視コンセプトを含めた、無人移動体画像伝送システム運用調整サービスとの連携シーケンス検討を実施 | ○ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2017年度実施内容に基づき、プログラム開発を行う ・運航管理統合機能プログラムと結合し、福島ロボットテストフィールドによる飛行を含む、運航管理統合機能の結合試験を実施。 | <ul style="list-style-type: none"> ・運行状況管理機能プログラム開発を実施 ・FIMS3社プログラムで結合し、福島ロボットテストフィールドにて、10機同時飛行実証にて結合動作を確認 ・有人航空機動態情報連携について確認を実施 | ◎ |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・2018年度に実施した結合試験の結果を元に、処理方式の改良を行い、機能の完成度を高める。 ・福島ロボットテストフィールド実証と評価を行い、本機能を容易に利用可能であることを確認する。 ・実システムとの接続が実現困難となる場合は、シミュレータを活用した実証及び評価を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> ・10機同時飛行実証にて、課題抽出を実施。 ・2019年10月及び12月飛行実証にむけて、電波監視コンセプトとの接続実装を実施 | △（2019年度内に達成見込み） |

表Ⅲ2.2.1.1-7 運航状況管理機能に関する研究開発目標と達成状況

(5) 成果の詳細

[全体アーキテクチャ設計に係る成果] (日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天)

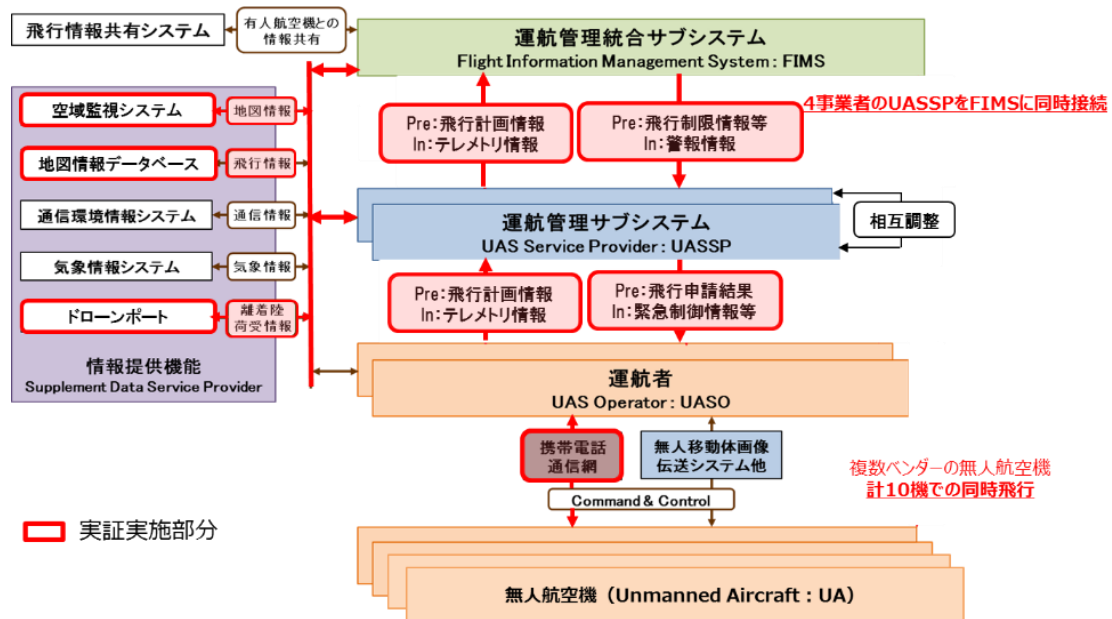
運航管理システム全体として、FIMS/UASSP/UASO 各機能 (各サブシステム) の役割定義を行った。また、FIMS としての機能検討を行い、FIMS 機能一覧および FIMS-UASSP 間インターフェース仕様を完成させた。

| インターフェース名 | 情報の流れ | | 通信方式 |
|------------|-------|-------|---------|
| | FROM | TO | |
| 飛行計画情報 | UASSP | FIMS | REST |
| | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 飛行計画申請結果通知 | FIMS | UASSP | REST |
| 運航状況情報 | UASSP | FIMS | REST |
| 近傍機体情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 警報情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| | UASSP | FIMS | REST |
| 空域問い合わせ情報 | UASSP | FIMS | REST |
| 有人航空機動態情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 飛行禁止空域情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 飛行注意空域情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |

表Ⅲ.2.2.1.1-8 FIMS-UASSP 間インターフェース

[2018 年度実証試験の成果] (日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天)

「物流」、「郵送」、「災害調査」、「警備」の各利用シーンにおいて、同一空域 (福島 RTF 約 50ha)、かつ目視外での 4 つの異なる事業者の無人航空機 10 機の同時自律飛行試験に成功した。これにより、本アーキテクチャの有用性が立証され、試作した運航管理統合サブシステムを用いて、複数の運航管理サブシステムの計 10 機の飛行経路変更や離発着タイミングの最適化を図ることが可能となった。



図Ⅲ.2.2.1.1-4 運航管理アーキテクチャと実証実施機能

【2019年度相互接続試験に向けた成果】（日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天）

同一空域で複数事業者の無人航空機が安全に飛行するための運航管理システム相互接続試験の環境整備に向けて、運航管理システムの API の仕様書を公開した。

この API 仕様書を利用することにより、NEDO プロジェクトに参画していない国内外の無人航空機事業者が福島ロボットテストフィールド内で運航管理システムと相互接続試験を行うためのソフト開発が可能となった。

「①運航管理統合機能のフライト管理に関する研究」（日本電気株式会社）

(1) FIMS 実装要件の整理

FIMS に求められるシステム要件の整理を行った。要件の整理にあたっては、2030 年における無人航空機による物流量（宅配個数）を試算した上で、運用の仮説を定義した。FIMS 実装要件は、運用の仮説に基づき、研究期間内における要件と 2030 年頃の社会実装要件とで分けて整理した。

2030 年における宅配便取扱個数は 56 億個に増加すると推定される（出所 (A) の宅配便個数過去 10 年の平均増加率から推定）。2030 年に宅配便の半数が無人航空機に置き換わると仮定すると、1 日当たり無人航空機の年間配送個数は、 $56 \text{ 億個} \times 50\% / 365 = 770 \text{ 万個}$
 1 秒あたりの飛行申請件数は、 $770 \text{ 万個} / 12\text{H} / 3600 \text{ 秒} = 180 \text{ 申請/秒}$ （1 日当たり配送 12 時間稼動と仮定）1 配送当りの無人航空機の平均飛行時間を 20 分とした場合、必要な機体数は、180 申

請×20分×60秒=21万機

2030年に全国で物流無人航空機として21万機が飛び交うと推定。

出所：(A)H28 国交省「宅配便等取扱個数の推移」

表Ⅲ2.2.1.1-9 2030年における無人航空機による物流量（宅配個数）の試算

| 分類 | 研究期間内 | 社会実装時（2030） |
|---------|--|---|
| ルール／法律 | 現行航空法に則る 機体管理/利用者管理は、 ・物流/災害ミッション ・飛行計画申請 ・衝突判定の基準に必要な情報を 仮設定する | ・機体認証／登録の義務化 ・運用者に対する免許制度 |
| 対象機体 | 実施計画書の記載内容に準ずる | TBD |
| 同時飛行機数 | 南相馬市から浪江町までの13キロの区間を、操縦者が肉眼で機体を確認することなく飛ばす「目視外」の状況で、10台以上を運航させることを目指す | 日本全国で21万機 |
| 機体性能 | ・現状存在する機体 ・マルチコプター ・UASO/UASSP間IFを搭載 | ・航続時間2時間 ・最高速度100km/h以上 ・非協調SAA搭載 |
| 運用時間 | 実証実験に支障がないこと | 24時間365日 |
| 運用者 | 実証実験に支障がないこと | 存在し、運航の監視を行う |
| 管理者／保守者 | 実証実験に支障がないこと | 存在し、システムの管理／監視を行う |

表Ⅲ2.2.1.1-10 運用の仮説

| 定義 | 研究期間内 | 社会実装時 (2030) |
|-------------------|--|--|
| トランザクション数 | TBD | 日本全国で 21 万機分の飛行計画及び動態を同時処理できる事 |
| データ容量 | 飛行計画: $100 \text{ 件} \times 1024 \times 30 \text{ 日} = 3\text{MB}$ 運航状況情報: $100 \text{ 機} \times 100\text{byte} \times 3600 \text{ 秒} \times 12\text{H} \times 30 = 13\text{GB}$ コンフリクト: $1 \text{ 日} 100 \text{ 件} 30 \text{ 日} \times 256 = 0.8\text{MB}$ 警報: $1 \text{ 日} 100 \text{ 件} 30 \text{ 日} \times 256 = 0.8\text{MB}$ 他: 地図/気象等 SDSP の情報格納。 100GB 程度あれば十分と想定。 | 飛行計画: $28 \text{ 億 件} \times 1024\text{byte} \times 5 \text{ 年} = 14.3\text{TB}$ 運航状況情報: $21 \text{ 万機} \times 100\text{byte} \times 3600 \text{ 秒} \times 12\text{H} \times 365 \text{ 日} \times 5 \text{ 年} = 1,660\text{TB}$ コンフリクト: $28 \text{ 億 件} / 10000 \times 256\text{byte} = 71.7\text{MB}$ 警報: $1 \text{ 件} \times 365 \text{ 日} \times 5 \text{ 年} \times 256\text{byte} = 0.5\text{MB}$ 他: 地図/気象等 SDSP の情報格納。 最低 1,700TB は必要と想定。 |
| 同時アクセス数 (対 UASSP) | 6 UASSP | 10 UASSP |

表Ⅲ2.2.1.1-11 FIMS 実装要件 (処理能力)

| 定義 | 研究期間内 | 社会実装時 (2030) |
|--------------------|--------------------------|--------------|
| 現況管理⇒ コンフリクトの通知 | 位置情報受信⇒コンフリクト通知送信まで1秒以内 | TBD |
| 管理者画面 設定変更の応答性 | サーバサイドでの要求受付⇒応答完了までに1秒以内 | TBD |

表Ⅲ2.2.1.1-12 FIMS 実装要件 (応答性)

| 定義 | 研究期間内 | 社会実装時 (2030) |
|-------------|---------|--------------------------------------|
| 操作端末 | PC(Web) | PC(Web/専用ビューア) |
| 視認性等 HMI 基準 | - | TBD |
| 変更容易性 | 考慮無し | デザイン変更スキンやテーマ等を導入し、視認性の要求に容易に対応可能とする |

表Ⅲ2.2.1.1-13 FIMS 実装要件 (操作性)

| 定義 | 研究期間内 | 社会実装時（2030） |
|----------|-----------------------------|-------------|
| 機能拡張の容易性 | 2030 年における機能拡張方法を意識した SW 実装 | TBD |
| 接続容易性 | 2030 年における機能拡張方法を意識した SW 実装 | TBD |
| 性能向上の容易性 | 2030 年における機能拡張方法を意識した SW 実装 | TBD |

表Ⅲ2.2.1.1-14 FIMS 実装要件（拡張性）

| 定義 | 研究期間内 | 社会実装時（2030） |
|--------|---|---|
| 認証 | 方式検討に留める もしくは、 ユーザ／パスワード認証 | <ul style="list-style-type: none"> ・アカウントによるユーザ／パスワード認証 ・UASSP 等との通信は、API キー/Oauth2.0 等を用いた認証による、承認された UASSP との通信のみ許容 ・シングルサインオン |
| 通信暗号化 | SSL による通信暗号化（自己証明書でも可） | SSL/TLS による暗号化、サーバ証明書必須 |
| アクセス制御 | 運用者/システム管理者で、データアクセス制御を実施 | FIMS 運用者/FIMS システム管理者で、データアクセス制御を実施 |
| ログ管理 | 1 ヶ月 <ul style="list-style-type: none"> ・ソフトデバッグログ ・警報・コンフリクト ・飛行状況情報 ・飛行計画 | 5 年と仮定 （他案件の法的制約等参考） <ul style="list-style-type: none"> ・ソフトの動作ログ（異常のみ） ・警報 ・コンフリクト ・飛行状況情報 ・飛行計画 |

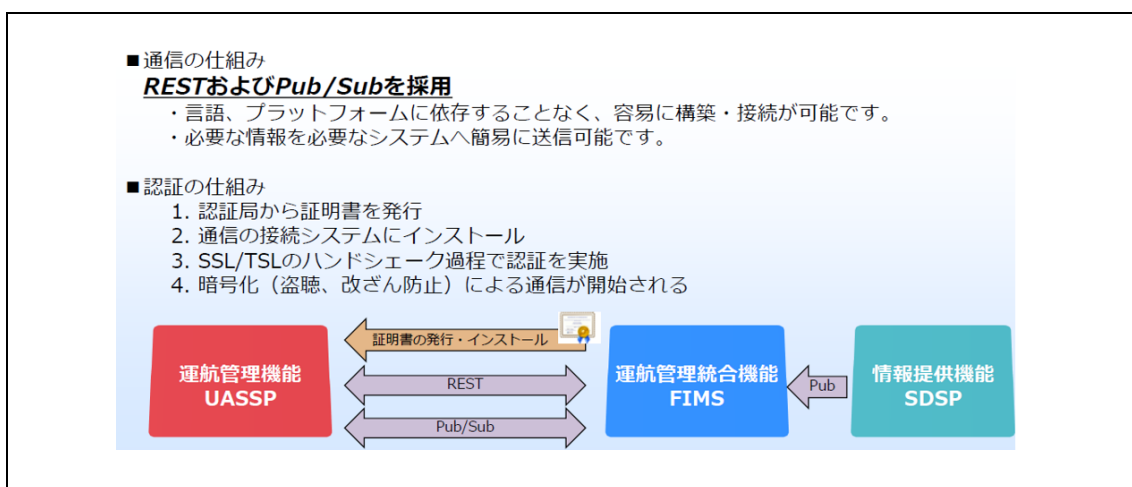
表Ⅲ2.2.1.1-15 FIMS 実装要件（セキュリティ）

| 定義 | 研究期間内 | 社会実装時（2030） |
|--------------------|--|---|
| 使用時間 | 実証期間（2W） | 24 時間 365 日 |
| 業務継続性 | - | TBD |
| （冗長化の場合） 切り替え時間 | 10 分以内（ACT/CoIdSBY で、ACT 系障害時は待機系システムをブートするなど） | 60 秒以内 |
| 時刻精度 | NTP サーバによる時刻同期（誤差 1ms 以内） | ・オンプレミスの場合、FIMS NW 内に Stratum1 の GPS クロックを設置。GPS⇒FIMS⇒UASSP で時刻同期を実施 ・クラウドの場合、クラウド選定の条件とする |
| 運用監視 | - | 各サーバの障害監視を実施 ・ハードウェア ・ソフトウェア ・ネットワーク |

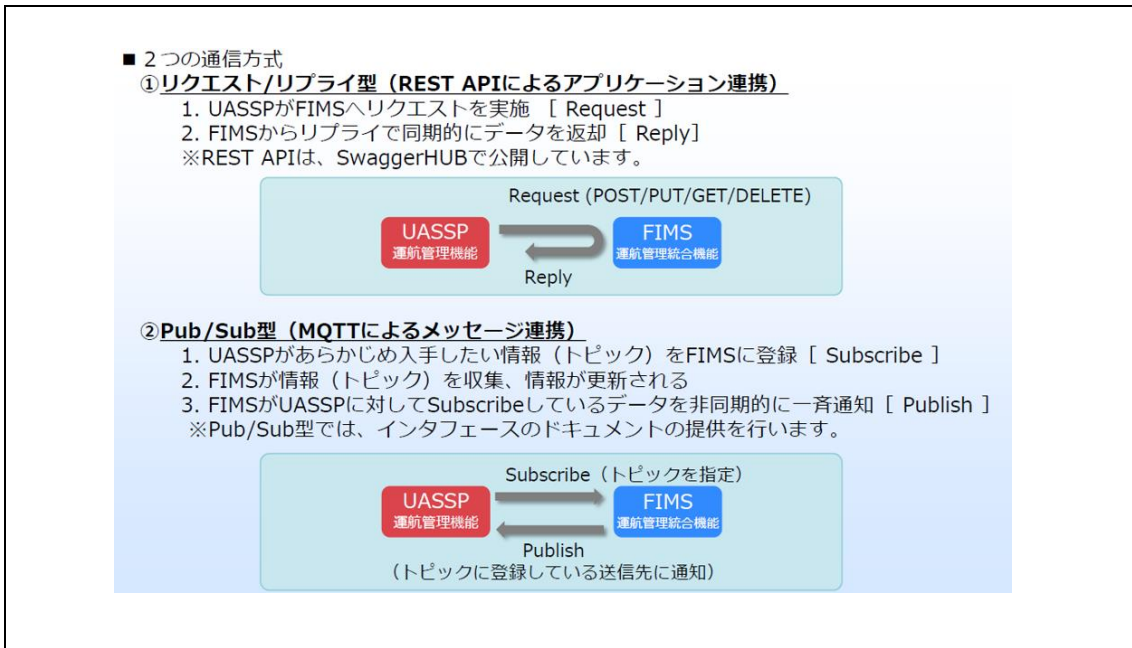
表Ⅲ2.2.1.1-16 FIMS 実装要件（その他）

(2) FIMS-UASSP 間インターフェースの定義

FIMS-UASSP 間インターフェースについては、接続要件定義、業務インターフェース定義を行った。接続要件は、インターネットを介して接続する様々な UASSP を考慮し、プラットフォームに依存させない通信方式（REST、Pub/Sub）、証明書を用いた認証方式を確定させた。通信および認証の仕組みのイメージ以下の図Ⅲ2.2.1.1-5 に示す。



図Ⅲ2.2.1.1-5 通信および認証の仕組み



図Ⅲ.2.2.1.1-6 REST と Pub/Sub

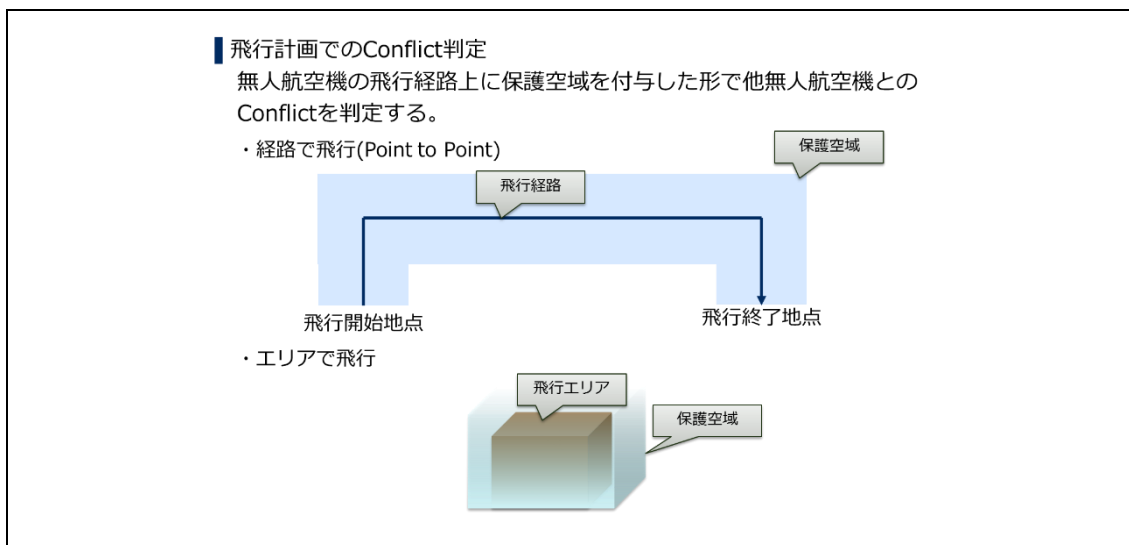
業務インターフェースについては、運航管理システムで想定するユースケース、FIMS および UASSP に対して求められる実装要件を考慮して確定させた。確定インターフェースを以下の表Ⅲ.2.2.1.1-17 に示す。

| インターフェース名 | 情報の流れ | | 通信方式 |
|------------|-------|-------|---------|
| | FROM | TO | |
| 飛行計画情報 | UASSP | FIMS | REST |
| | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 飛行計画申請結果通知 | FIMS | UASSP | REST |
| 運航状況情報 | UASSP | FIMS | REST |
| 近傍機体情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 警報情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| | UASSP | FIMS | REST |
| 空域問い合わせ情報 | UASSP | FIMS | REST |
| 有人機動態情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 飛行禁止空域情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |
| 飛行注意空域情報 | FIMS | UASSP | Pub/Sub |

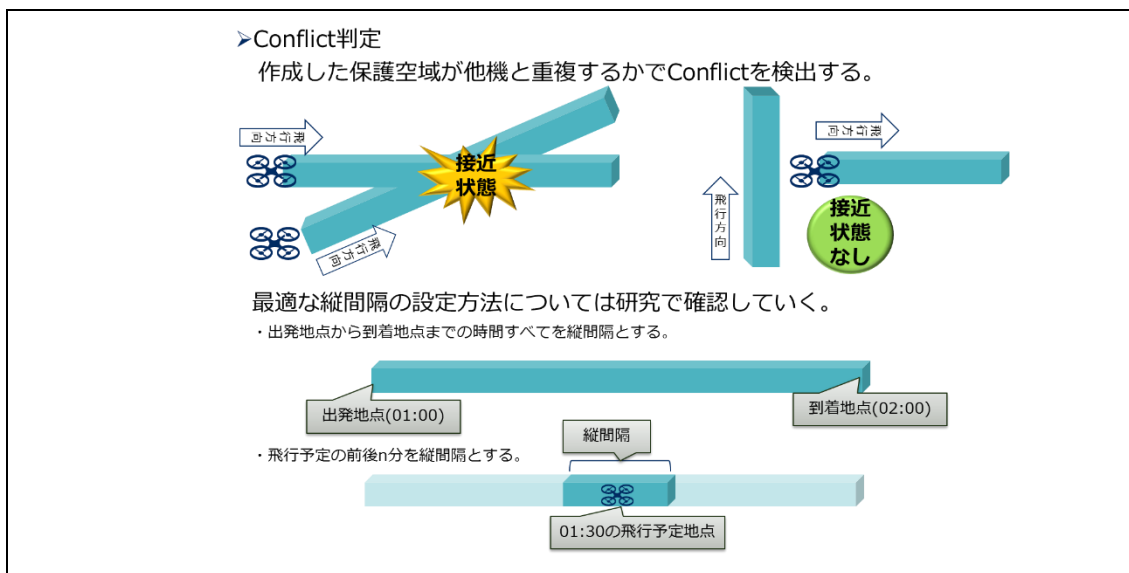
表Ⅲ.2.2.1.1-17 FIMS-UASSP 間インターフェース (再掲)

(3) フライト管理機能の開発

フライト管理として飛行計画の段階でのコンフリクト判定プログラム、および、飛行計画の登録プログラムの開発を行った。コンフリクト判定は、無人航空機の飛行計画における飛行経路上に保護空域を設定し、その保護空域の重なり判定による方式とした。判定方式については、「飛行計画基準」としてまとめた。保護空域の設定、コンフリクト判定のイメージを以下の図Ⅲ2.2.1.1-7 および図Ⅲ2.2.1.1-8 に示す。



図Ⅲ2.2.1.1-7 保護空域の設定



図Ⅲ2.2.1.1-8 コンフリクト判定

(4) FIMS-UASSP 接続評価の実施

2017～2018 年度で作成した FIMS 評価機材と UASSP 評価機材を接続し福島ロボットテストフィールドで災害が発生したことを想定し「災害調査」「警備」「物流」「郵便」の 10 機の無人航空機を目視外で自律同時飛行の接続評価試験を実施した。FIMS システムで設計した飛行計画の策定、コンフリクト判定が問題なく動作し、安全な運航が実施できることを確認した。

(5) 空域監視システムの開発

空域監視の目的・監視範囲に基づくカメラやレーダー等のセンサ方式の整理を行った。その推定要件に基づく、機能・性能検討とインターフェース仕様の整備を行った。

ポート上空を監視領域とする、ステレオカメラ方式の試験用装置を試作製造した。画像処理技術により、複数飛行体の自動検知と無人航空機識別機能、位置の推算機能を有する。また、画像処理機能を持たないカメラ映像監視システムも構築し、2018 年度の実証実験で利用した。(構内遠隔監視利用にて 5GHz 無線 LAN 通信による映像伝送を確認。)

(6) 気象情報システムの開発

飛行計画策定・飛行前判断・安全飛行管理に必要な気象要素と粒度の検討と、それに基づく API 仕様書の整備、プロトタイプ作成。及び実証実験に必要な気象観測機器の現地調査検証と配備を実施。

FIMS 試験装置との連携開発。気象の急変が発生した際、UAS が危険回避する為のアラート仕様の構築と実装、連携検討を行った。

(7) FIMS の AI の研究

UASSP/UASO 間の飛行計画調整が必要なユースケースを検討し、それに基づいて、UASSP を介した UASO 間の 1 対 1 の計画交渉、および、多数 UASO 間の計画調停機能の提案を行った。

前者の 1 対 1 の飛行計画交渉に関しては、飛行中に計画からの逸脱などで他者計画との干渉が避けられない場合を想定し、UASSP/UASO 間で飛行計画を調整するインターフェースを試作し、簡易シミュレーションにより評価を完了した。

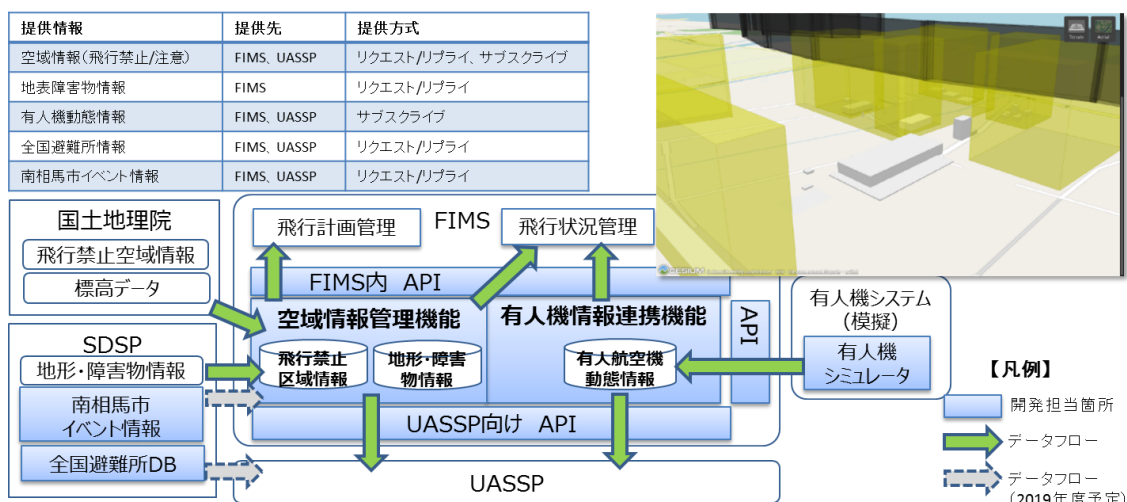
後者に関して、多数 UASO 間で調整を行う場合には、合意が得られずに交渉が決裂してしまう可能性が高いこと、また、衝突を回避する計画を第三者が強制的に決定する場合、事業者が望まない飛行経路が割り当てられる可能性がある、といった課題がある。このような課題を解決するため、多者間の経路調整を調停するコーディネータ機能の研究開発を実施。UASO 個々の飛行経路に対する望ましさを予測するモデルを学習し、各々の業務都合を考慮した計画調停を行うコーディネータ機能を設計し、コアアルゴリズム実装と簡易シミュレーション評価までを完了した。

「②運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究」（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）

空域情報管理については、飛行禁止空域・地表障害物情報を統合的に管理/共有する基盤を開発し、FIMS および UASSP との連携実証を行った。FIMS との連携においては、飛行計画管理機能・飛行状況管理機能が本基盤の提供する機能を活用することで、飛行計画および飛行中の無人航空機の飛行禁止空域の侵害や地表・障害物への接近を検知する機能を実現できることを確認した。UASSP との連携においては、本基盤機能の提供する飛行禁止/注意空域情報提供の API を活用することで、福島ロボットテストフィールド内の工事中エリアなどの飛行禁止空域を各 UASSP に確実に共有することができた。これにより安全を担保しつつ複数の無人航空機を飛行させることができ、本機能の有用性を確認できた。今後は、より高精度な建物データを用いた接近検知の仕組みを実装し、有効性の評価を行う予定である。

有人航空機との情報連携については、有人航空機の動態情報を外部から入手し FIMS の他機能および UASSP に提供する API を開発した。また、有人航空機側システムに対して無人航空機の飛行計画および位置情報を提供する API を開発した。研究段階においては、実際に接続可能な相手側の有人航空機側システムが無いため、模擬機能を開発して実証を行った。今後、実際の航空機の動態情報を取得して FIMS の他機能で活用できる仕組みを構築し、有人/無人航空機機間の情報共通の仕組みを検証する。

地図情報データベースについては、物流/災害対応等の各用途で必要となる地図情報の項目及び要件を検討し、災害時の医療・支援物資輸送および緊急時の着陸可能場所として利用可能と想定される避難所情報と、飛行禁止空域となるイベント開催エリアの情報を提供することとした。昨年度までにこれらの情報を現地調査により収集しデータ化するとともに、他システムに情報提供するための API を開発・公開して実証を行い、情報の有効性を確認した。今後は南相馬-浪江町間の長距離飛行の実現に向け、飛行を推奨するエリア・経路を決定するための調査・開発を行う予定である。



図Ⅲ.2.1.1-9 空域情報管理

「③電波品質に基づく運航管理機能に関する研究」(株式会社 NTT ドコモ)

(A) 電波品質等の情報に関する研究

2017 年度に本研究に必要インターフェース仕様を設計、2018 年度には上空の携帯電波情報を考慮した飛行計画の策定が可能な UASSP を開発し、福島 RTF にて実証実験を実施、当初計画通りの性能が得られることを確認した。(図Ⅲ2.2.1.1-10)

(B) UASSP/UASO と UAS 間機能に関する研究

PS-LTE と LTE のマルチ接続通信環境を構築し、無人航空機に搭載した端末との疎通試験、性能試験、通信経路切替試験を実施して、無人航空機フライトに向けた基礎検証を完了した。(図Ⅲ2.2.1.1-11) 2019 年度は福島ロボットテストフィールドにおいて、実環境下における通信性能試験を実施する予定である。

あわせて、海外製の無人航空機や空撮および測量等を目的に広く市中で調達可能な無人航空機を既に活用している事業者が個別に機能開発することなく FIMS に接続できるように、開発した自社 UASSP を活用した接続支援を行う。

(C) UASSP と UASSP 間連携に関する研究

2017 年度に本研究に必要となるインターフェース仕様を設計、2018 年度は当該のインターフェースを用いて、FIMS への飛行計画申請前に UASSP 間にて事前調整を行う UASSP 間機能を開発、基本的な動作試験を実施し、当初見込み通りの動作性能を確認した。2019 年度は実際に開発された UASSP 間で当該インターフェースを用いた接続実証実験を行う予定である。

(D) 携帯電話システムと FIMS/UASSP/UASO 間連携に関する研究

上空の携帯電波状況の収集に対応した UASSP/UASO を開発し、福島 RTF にて実証実験を実施した。



図Ⅲ2.2.1.1-10 携帯電波情報の可視化および飛行計画策定への反映



図Ⅲ2.2.1.1-11 PS-LTE/LTE マルチ接続通信環境

「④事業サービスに応じた運航管理機能の開発」(楽天株式会社)

(A) UASSP と UASO の連携に関する研究開発

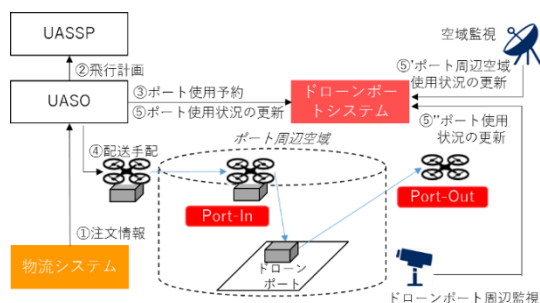
まず、物流アプリケーションの実運用経験に基づき、通常時の物流シーンおよび災害発生時における物資搬送シーンのユースケース・シナリオを作成した。また FIMS と複数 UASSP を含むユースケースに関して、飛行前から飛行後までのシーケンス検討を行い、UASSP-UASO 間共有情報、送信頻度等を含むインターフェース仕様初版を策定した。

次いで、通常時の物流シーンおよび災害発生時における物資搬送シーンに対して、注文から配送までの一貫コンセプトを確立し、飛行申請・承認取得、状況把握などの機能を備えた UASSP インターフェースを開発した。

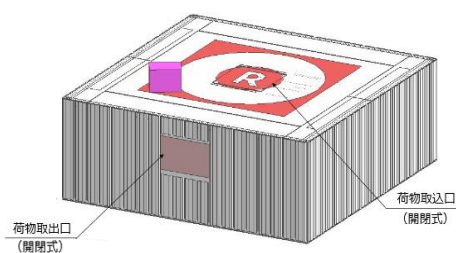
(B) 物流サービスに応じた UASSP の研究開発

物流システムにおける情報とオペレーションの流れを整理し、無人航空機の発着と物資の搭載、卸下を行うためドローンポートシステム(図Ⅲ2.2.1.1-12)の要件定義を行った。また、ドローンポート周辺空域の状態を監視するセンサを含むシステムの構成、予約システムの仕様を明らかにするとともに、インターフェース仕様の初版を策定した。

次いで、物流システムにおける情報とオペレーションを考慮し、無人航空機の発着と物資の収納を行うためのドローンポート機構(図Ⅲ2.2.1.1-13)の試作を行った。本装置は荷物の自動収納と電子錠による開扉機能を備えたものである。併せてドローンポート予約システムの試作を行った。



図Ⅲ2.2.1.1-12 ドローンポートシステム



図Ⅲ2.2.1.1-13 ドローンポート機構

(C) その他サービスに応じた UASSP の研究

点と点を結ぶ形で経路が定義される物流に対して、空撮、測量など、一定の面領域内を飛行する形態のアプリケーションの分析を行い、これらの用途においても対応可能となるよう、インターフェース仕様への反映を行った。

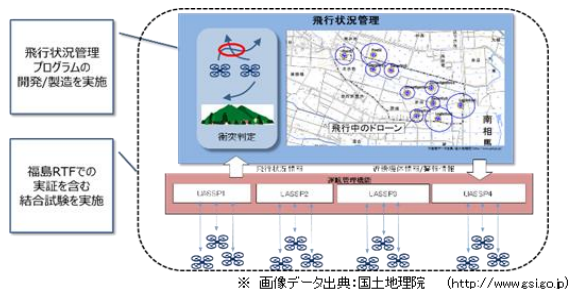
また、従来の GPS による測位と比較して高精度な準天頂衛星による測位情報を利用した飛行制御技術により、飛行経路精度、着陸精度の向上が可能であることを確認した。具体的には、予備試験の結果として着陸位置誤差 25cm 以下であることを確認済である。

「⑤運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究」 (株式会社日立製作所)

(A) 運航状況管理における統合的判断の研究

飛行中の運航状況の管理観点から、飛行中のコンフリクト判定基準、警報一覧の整理を実施した。これら成果をベースとし、運航管理統合機能の運航状況管理関連のアーキテクチャ／インターフェース仕様策定した。インターフェース仕様のうち、無人航空機運航管理に必要な一部機能(飛行計画情報、飛行計画申請結果通知、運航状況情報、近傍機体情報、飛行禁止エリア情報)を実装した FIMS 飛行状況管理部プロトタイプを構築し、動作検証、インターフェースによる情報交換の有用性を評価した。

さらに、飛行中のコンフリクト判定基準、警報一覧と、これら成果をベースとし、運航管理統合機能の運航状況管理関連のアーキテクチャ／インターフェース仕様 2.0 版を制定した。運航状況情報、近傍機体情報、警報情報の API 及び情報を元に衝突判定、警報判定処理を実装した FIMS 飛行状況管理部を製造し、動作検証、実証実験を行った。



図Ⅲ2.2.1.1-14 飛行状況管理機能概念図



図Ⅲ2.2.1.1-15 飛行状況管理画面

(B) 外部機関連携機能の開発

無人移動体画像伝送システム運用調整サービス、ドクターヘリ動態管理システムとの情報要素を精査し、インターフェース仕様の初版を作成した。また、無人移動体画像伝送システム運用調整サービスの情報を活用するために、JAXA 殿開発予定の電波伝搬シミュレータとの連動業務フローを策定した。

NTT データ様機能が受信した飛行禁止エリア情報、有人航空機情報、3D 障害物情報を運航管理統合機能内で共有し、運航状況管理機能内で衝突判定/警報判定に使用するフレームワークを実装した。

(6) 最終目標の達成の見通し

「①運航管理統合機能のフライト管理に関する研究」(日本電気株式会社)

運航管理システム全体での接続評価試験を継続して実施し、FIMS-UASSP 間の有用性および実用性を検証する。検証にあたっては、2018 年度に実施した接続評価試験のユースケースを拡張し、異なるユースケースを策定すると共に、同時飛行機数の増加を目指す。また、福島ロボットテストフィールドに FIMS 機能のサーバを実装し、FIMS 機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性および実用性を検証する。継続した接続評価、実用性の検証により最終目標の達成を目指す。

空域監視システムについては、カメラ監視による基本構成と監視領域の目途が立った。処理情報は、FIMS/UASSP の他、直接に無人航空機活用事業者(OP)への提供も有効と考える。

気象情報システムについては、2020 年度に UASSP/UASO へ気象情報提供を開始する予定である。

FIMS AI システムについては、1 対 1 の飛行計画交渉、多数の飛行計画調停機能に関して、運航管理システム全体を模擬した試験システムと JAXA の無人機シミュレータとを接続し、より現実的なシミュレーションにて有効性および実用性の評価を行うことで、目標を達成する見込みである。

「②運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究」(株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

空域情報管理の研究については、10 月を目途に高精度地表障害物データを用いた衝突検知の機能を実装し実証する計画である。交通量検証方式については年内に実装し評価を行う計画である。有人航空機情報との連携の研究については既に開発を完了しており、年内に実証を行う計画である。地図情報データベースについては、年末に予定している実証に向けて開発を進めており、予定通り完了する見込みである。以上より、最終目標は達成できる見込みである。

「③電波品質に基づく運航管理機能に関する研究」(株式会社 NTT ドコモ)

(A) 電波品質等の情報に関する研究、および(D) 携帯電話システムと FIMS/UASSP/UASO 間連携に関する研究については、2018 年度までに試作した UASSP に対し、2019 年度は上空の電波状況に基づく飛行計画の安全性評価機能を実装し、2019 年度の実証試験において評価する計画であり、最終目標は達成の見込みである。

(B) UASSP/UASO と UAS 間機能に関する研究については、2018 年度までに試作した PS-LTE 端末を無人航空機に搭載し、2019 年度の実証実験において実環境下における性能試験を実施する計画であり、最終目標は達成できる見込みである。同様に、自社 UASSP を介した FIMS への接続支援についても、市中で調達可能な無人航空機を対象とした接続試験を 2019 年度実施する計画であり、最終目標は達成できる見込みである。

(C) UASSP と UASSP 間連携に関する研究について、2019 年度は二社の UASSP 間で接続実証試験を行う計画であり、最終目標は達成できる見込みである。

「④事業サービスに応じた運航管理機能の開発」(楽天株式会社)

UASSP に関する最終目標である、A) FIMS、他の UASSP、SDSP との連携の実証、ならびに、B) 物流システムおよびドローンポートシステムとの I/F 改良、正常時、異常時を想定した無人航空機物流実験、C) 物流用途以外の運航管理実証実験、の 3 項目については、2019 年 10 月および 12 月の実証試験にて確認を行い、達成の見込みである。

ドローンポートの改良に関しては、現在幅、奥行き共に約 2m と、一般自動車用の駐車スペースに設置可能なサイズまで小型化することを目指して設計中であり、2019 年 12 月までに試作ならびに無人航空機着陸実験を含む機能確認を行い、達成の見込みである。

準天頂衛星測位情報を利用した飛行における経路精度、着陸精度等の検証試験に関しては、2019 年 10 月までにデータ計測とその結果の整理を行い、性能検証を完了することとしており、達成の見込みである。

「⑤運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究」(株式会社日立製作所)

2018 年度までの実現内容に加え、2019 年度に以下の追加機能実装を行い、最終目標の実現を達成する。

A) 気象(降雨、風速)、機体異常の警報発出の追加、Inflight 中に機体からの警報を検知した場合、飛行禁止エリアを生成する等の方法を用いて、Inflight 中のインシデント対応方式を実装し、10 月実証及び 12 月実証にて評価する。

B) 電波監理コンセプトとの接続インターフェースを実装し、シミュレーションを含めた評価を実施の上、電波監理の有用性について評価を実施する。

以上 2 点について、2019 年 10 月及び 12 月の 2 段階で機能実装を行うことで、最終目標を達成する見通しである。

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

研究開発の成果は運航管理統合機能 API としてプロジェクト外に公開した。併せて福島 RTF に運航管理統合機能の装置を設置し、無人航空機の飛行実証を行う国内外の事業者幅広く利用いただき実績を積むことで事業化に繋げる。

また、本プロジェクトで設計した運航管理システムのアーキテクチャについて、国際標準化に向け ISO へ提案をすすめる。2019 年 6 月にロンドンで開催された ISO TC20/SC16（無人航空機分野）での WG4 のミーティングにおいて、UTM Functional Structure に関する NP 提案に向けた取り組みを推進したいことを提言し、認められた。今後 36 か月で、各国の UTM 関係者と協議し、UTM Functional Structure に関する規格文書の作成をする計画である。

2.2.1.2. 運航管理機能の開発

2) 警備分野（実施先：KDDI 株式会社、Terra Drone 株式会社）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

近年の GPS 技術の普及及び Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を利用した慣性航法装置等の出現に伴い、小型の無人航空機でも高精度な測位を利用した自律飛行が可能となっている。また、平成 28 年 6 月に閣議決定がなされた日本再興戦略 2016 において、小型無人機の産業利用拡大に向けた環境整備が第 4 次産業革命の実現に向けた具体的な施策の 1 つとして掲げられており、平成 29 年 5 月に取りまとめが行われた「空の産業革命に向けたロードマップ ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」では、飛行させる空域や飛行の方法に応じて飛行レベル 1～4 を定義し、2018 年頃からレベル 3 の飛行（無人地帯における目視外飛行）による利活用、2020 年代前半からレベル 4 の飛行（有人地帯における目視外飛行）による利活用を本格化させることを目標とする計画が公表されたこうした技術・政策の両面で、無人航空機の利用を促進する環境整備がなされていることを背景に、測量、物流、インフラ点検、警備等の分野において、無人航空機の利用が拡大しつつある。

このような無人航空機の産業利用が拡大すると、同時運用機数が増加し、無人航空機同士の衝突や無人航空機の意図しない領域への侵入等が生じることで、社会の安全を脅かす可能性がある。無人航空機を安全に運用するためには、無人航空機の飛行計画を集約し、飛行経路上の地理空間情報や気象条件等を考慮した上で、離発着や飛行経路を一元的に管理する運航管理システムが必要である。

他方、近年の国際情勢の不安定化や 2020 年に開催を控えている東京オリンピック等を踏まえると、強固な警備体制の構築が重要となる。無人航空機の持つ俯瞰性や高い機動性は、特に都市エリアにおける警備体制の強化に大きく貢献する。また、海域においては、不審船の効率的な監視が急務となっている。現在、一定以上の規模の船舶は自動船舶識別装置 (Automatic Identification System: AIS) により船舶信号を送信しており識別が可能となっているが、小型の船舶についてはその限りではなく、不審船か否かの判別する場合には個別対応が必要とされる。無人航空機を利用することで、不審船の識別と海域警備の効率化・省力化が期待される。

こうした背景を踏まえ、本研究開発では、無人航空機の警備分野への適用を想定した運航管理機能の開発と、様々な警備ミッションで目視外飛行を行う複数の無人航空機の運航管理実証を行い、都市エリアを含めた広域警備への無人航空機の導入を後押しすることを目的とする。特に、無人航空機の広域運用を実現するための通信ネットワークとして期待される、LTE 網を介した無人航空機の運航管理機能を開発・実証し、広域警備における無人航空機の実用性を示す。

研究開発項目としては、次の3項目を設定した。

- ① 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発
- ② 警備用無人航空機の運航管理機能の開発
- ③ 警備業務に対応した運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実証

上記研究開発項目毎の概要は以下の通り。

① 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発

本研究開発項目では、無人航空機の警備用アプリケーションの実証のために使用される運航管理機能の開発を実施した。具体的な実施内容を以下に示す。

(1) 警備業務における無人航空機の要求条件整理

現状の警備業務のタイプや業務フローの分析を行い、無人航空機の利用が期待されるユースケースを複数抽出し具体化する。

抽出したユースケースに対し、無人航空機の要求条件を整理する。無人航空機の要求条件としては、大きく飛行シナリオに関する条件、搭載ペイロードに関する条件、無人航空機の機体に関する条件が挙げられる。

飛行シナリオに関する条件については、運用機数、離陸要件、飛行経路・高度の要件、飛行環境（地理空間、気象、通信用電波等）、監視対象との離隔要件、周辺構造物との離隔要件、運用機数、不審者等への対処等について検討する。

搭載ペイロードについては、画像取得用のカメラへの要件（画素数、感度、波長等）、警告用マイク等、必要なペイロードとその要求仕様について整理する。

最後に、無人航空機の機体に関する条件としては、飛行シナリオや搭載ペイロードを実現するために必要となる機体の要件として、積載重量、飛行速度、連続飛行時間、自律制御要件、衝突防止要件、安全対策等を整理する。

(2) 無人航空機を利用した警備アプリケーション試作

(1)の検討結果をもとに、本研究開発の飛行実証の対象となる、広域警備に適したアプリケーションの試作を行う。

広域警備においては、長距離飛行と上空からの画像取得を行うと共に、不審者等を発見した際には、監視対象に応じた対処が必要となる。例えば、不審者に対しては、証拠となる顔等の画像取得や、逃走する不審者の追跡、あるいは音声等による警告等を行うことが想定される。技術的には、カメラ等による人や顔の検出とフォーカシング・追跡の実現、これらの夜間対応、無人機側フライトコントローラとの連携技術等が想定される。定期巡回途中から、特定不審者の追跡を実施する場合には、他の無人機の運航に影響を与える可能性があり、警備用無人航空機向けの運航管理機能としても対処が必要な要件となる。

本研究では、このような、警備用運航管理機能の開発と連動する警備アプリケーションを特定し、その試作を行うと共に、広域警備を想定した運航管理実証において、広域警備における無人航空機利用の有効性を検証する。

② 警備用無人航空機の運航管理機能の開発

本研究開発項目では、警備業務における無人航空機の要求条件を検討し、その成果を運航管理機能開発にインプットするとともに、無人航空機を利用した警備アプリケーションを試作し、その成果をもとにした飛行実証を実施した。具体的な実施内容を以下に示す。

(1) 警備業務における運航管理機能の要件定義

研究開発項目①で検討した警備業務の無人航空機の要求条件をもとに、これを実現するために必要な運航管理機能の要件定義を行う。

運航管理機能の基本機能としては、機体登録情報などの機体管理機能、航空管制に係る機能（フライトプランの作成・編集・検証等に係るフライトプラン管理機能、機体から位置情報等の受信やフライトプランから想定される干渉（コンフリクト）の自動解消などを担う飛行情報管理機能等）、各種メディアへの表示機能などのユーザインタフェース等が挙げられる。

加えて、警備業務における複数のユースケース（広域定期巡回、特定施設警備、広域巡回中の異常対応等）が同じエリアで運用される場合、飛行計画段階における干渉防止に加え、突発的な機体側の自律制御に対応した運航管理が求められる。特に、都市エリアにおいては、高精度な地理空間情報に基づく運航管理が要求される。また、監視対象の動きに応じた自律制御が行われる場合、機体テレメトリの転送頻度やディスプレイへの表示更新頻度の向上等も想定される。

さらに、警備業務においては、飛行だけでなく、無人航空機に搭載されたペイロード制御の要求も想定される。例えば、搭載された監視用カメラの向きやズーム、警告用マイクの設定変更、さらには機体に付属するロボットアームの制御等が挙げられる。

こうした諸条件を踏まえ、警備業務に必要な運航管理機能項目を整理し、新規開発あるいは既存機能の改修が必要な機能を特定すると共に、その要件を定義する。

(2) 警備業務における運航管理機能の開発

(1)で定義した要件を踏まえて、各機能のソフトウェア開発を実施する。

特に開発が必要な機能項目としては、飛行計画管理やリアルタイムフライトに関する機能がある。例えば、飛行計画の検証機能では、複数の飛行計画の干渉が想定される場合、一定の干渉条件に基づき、飛行計画の許可が行われるところ、警備業務のユースケースに適した干渉条件のパラメータ設定や検証ロジック策定等が想定される。また、リアルタイムフライトに関しては、監視対象を追跡する際の追跡ロジックの開発、周辺構造物との離隔条件や

衝突回避ロジックの開発等が想定される。

このように、警備業務に必要な運航管理機能の要件定義結果に基づき、必要な機能開発を実施する。

(3) 情報提供機能・統合管理機能等とのインタフェース開発

他の研究開発テーマとして、情報提供機能、統合管理機能とのインタフェース開発を行う。

情報提供機能については、地理空間情報や気象情報、通信用電波情報等の提供が予定されており、共通 API が提供される。これに対応した、当該運航管理機能側のインタフェースを整備し、提供される情報の取得と運航管理機能への反映を可能とする。

統合管理機能については、当該運航管理機能から機体情報や飛行計画等の情報を提供すると共に、統合管理機能側から計画承認、あるいは飛行計画変更等の指示が提供され、当該運航管理機能への反映が必要となる。これに対応した、当該運航管理機能側のインタフェースを整備し、情報の授受を可能とする。

③ 警備用無人航空機の運航管理機能の開発

本研究開発では、研究開発項目①②で開発した研究開発成果について、LTE 網を介した長距離飛行試験を実施し、警備業務に対応した運航管理機能の総合的な実証・評価を行った。また、有意義な飛行実証試験を行うための、実証・評価基盤整備を実施した。実証・評価基盤の整備としては、以下の5項目を実施した。

- 運航管理システム・LTE 連携機能開発
- 警備用運航管理者向け情報提供機能整備
- LTE 実証エリア整備
- 警備用無人航空機の試作
- 市場動向調査
- 検証会議開催

研究項目ごとの具体的な実施内容を以下に示す。

(1) 実証・評価基盤の整備

i. 運航管理システム・LTE 連携機能開発

LTE 網を介した無人航空機の運航管理を実現するため運航管理システム・LTE 連携機能を開発する。KDDI 株式会社が自主開発した LTE 連携運航管理システムのプロトタイプを基盤とし、基本機能の整備・検証を実施すると共に、警備業務のユースケースに対応した機能改修・新機能開発を実施する。

基本機能としては、無人航空機に搭載した LTE 通信モジュールを用いて、LTE 網を介した運航管理システムにアクセスし、制御情報・テレメトリ情報の送受信を行う。まずは、

安定した無人航空機の運航制御の確認、基地局ハンドオーバーによる長距離運航管理機能の確認を行う。さらに、研究開発項目①で検討した警備業務における無人航空機の要求条件をもとに、LTE 網に対する要件を検討する。例えば、監視対象の動きに応じた無人航空機の自律制御に対応した機体テレメトリの転送頻度の向上を実現するための、LTE 通信モジュールの仕様改修等が想定される。

こうした LTE 網側の機能開発を実施すると共に、要求される運航管理システムとのインタフェース等を開発する。

ii. 警備用運航管理向け情報提供機能整備

別途実施される「情報提供機能の開発」では、無人航空機の運航管理に共通的な地理空間情報、気象情報、通信用電波情報等が整備されることが想定される。こうした警備用運航管理機能から特に要求される情報提供機能の整備を行う。

具体的には、研究開発項目①で検討した警備業務における無人航空機の要求条件や研究開発項目②で検討した運航管理機能の要件定義を踏まえ、情報提供機能に対する要件定義を行うとともに、要件定義の結果を踏まえた地理空間情報等の開発や情報提供機能側の API 開発を行う。

iii. LTE 実証エリア整備

実証試験の実施エリアにおける LTE 網の整備を行う。1 年目は相模湖プレジャーフォレスト、2 年目は埼玉スタジアムにおける実証試験に向けて追加的なリソース配置を含め、LTE カバレッジの検討を実施した。3 年目は、福島県浪江町の沿岸エリアにおける LTE 実証エリアの整備を検討する。

iv. 警備用無人航空機の試作

警備用アプリケーションに対応した運航管理機能の飛行実証で使用する無人航空機の試作を行う。具体的には、研究開発項目①で検討した無人航空機の要求条件に基づき、必要な要件を具備した無人航空機を制作する。

警備用無人航空機では、異常対応時の自律制御に対応した機能の開発、監視対象に対する安全対策、高精細映像伝送、長距離飛行等の要求に対応する。

v. 市場動向調査

本研究開発の実施方法やアウトプットの方向性を有意義なものにするため、本研究の技術開発要素に関する海外の開発・実証動向や実用化・商用化に向けた取組み状況を調査する。

vi. 検証会議開催

本研究開発の方法と結果・課題等を共有し、対処方針を調整する検証会議を開催する。本研

究開発の実施機関、再委託機関及び主要な外注機関のメンバーで構成し、2 ヶ月に 1 回程度の頻度で定期的に開催する。

(2) 実証試験の実施・評価

i. 実証試験の計画策定・評価

上述の検証会議の場において、実証試験の計画策定や課題整理、結果の評価等を実施する。1 年目に 3 年間の実験スケジュールと達成目標を確認すると共に、各年度に計画の見直しを行う。また、各年度の実験結果を評価、課題抽出と対応方針を検討する。

ii. 要素技術の飛行実証

1～2 年目において、各研究項目の要素技術開発の成果に関する飛行実証を行う。この実証では、個々の研究開発項目における成果の検証、研究項目間の部分的な機能統合の検証を行うことを目的とする。また、2 年目までに無人航空機による長距離飛行の確認、警備アプリケーションの実装性、運航管理機能の検証を行い、広域警備アプリケーションにおける無人航空機利用の可能性を技術的に確認する。

iii. 広域警備アプリケーションの総合実証

都市エリア等における広域警備アプリケーションに関する総合的な運航管理機能の実証を行う。具体的には、広域定期巡回、特定施設警備、異常時対応等の複数ユースケースに対応した飛行シナリオを設定し、それぞれ飛行計画の策定から離陸、運航、警備アプリケーションの作動、着陸までの流れを同時に実施する。

1 年目は遊園地の警備、2 年目はスタジアムの警備を対象に実証を行い、広域警備アプリケーションの実用性を確認すると共に、これを実現する運航管理機能開発成果の実効性を確認した。3 年目は、広域の重要施設の警備を対象とした実証を行う。

iv. 沿岸警備アプリケーションの総合実証

沿岸警備を想定した、無人航空機の飛行実証を行う。重要施設及び周辺の沿岸の巡回警備と突発的運航といったユースケースに対する運航管理機能と、10km 程度以上の長距離飛行を実証し、広域監視への適用可能性を確認する。

(2) 研究開発目標と根拠

「① 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発」に関する研究開発項目では、無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発を、無人航空機のユーザの視点から実施する。また、「② 警備用無人航空機の運航管理機能の開発」に関する研究開発項目では、無人航空機の警備用アプリケーションの実証のために使用される運航管理機能の開発を目

的とする。最後に、「③ 警備業務に対応した運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実証に関する研究開発項目」に関する研究開発項目では、研究開発項目①、②で開発した研究開発成果について、LTE 網を介した長距離飛行試験を実施し、警備業務に対応した運航管理機能の総合的な実証・評価を行う。

研究開発項目毎の中間目標及び根拠の詳細は以下の通り。

① 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発

| | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 平成 29 年度の中間目標 | 設定根拠 |
| 警備業務における無人航空機の要求条件の整理 | 別途開発する運航管理機能の要件定義に寄与するため |
| 無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作（限定的な機能の動作確認） | 平成 30 年度 of アプリケーション試作における課題を抽出するため |

| | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 平成 30 年度の中間目標 | 設定根拠 |
| 無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作・検証 | 飛行実証に備えるとともに、今後の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため |

② 警備用無人航空機の運航管理機能の開発

| | |
|---------------------|--|
| 平成 29 年度の中間目標 | 設定根拠 |
| 警備利用に必要な運航管理機能項目の整理 | 別途開発する運航管理システムの開発項目の検討に寄与するため |
| 運航管理機能の要件定義 | |
| 運航管理機能の一部機能開発と検証 | 飛行実証に備えるとともに、段階的に機能の検証を行い、30 年度以降の研究開発課題の課題を抽出するため |

| | |
|----------------------|---------------------------------------|
| 平成 30 年度の中間目標 | 設定根拠 |
| 警備利用に必要な運航管理機能の開発と実装 | 飛行実証に備えるとともに、今後の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため |

③ 警備業務に対応した運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実証

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| 平成 29 年度の中間目標 | 設定根拠 |
| 運航管理システム・LTE 連携の基本機能整備 | 平成 29 年度の飛行実験に備えるため |
| LTE を介した運航管理に基づく飛行実証 | LTE 網の有用性や有効性について評価し、将来開発の課題を抽出するため |

| | |
|--------------------------------|--|
| 平成 30 年度の中間目標 | 設定根拠 |
| 運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実装 | 平成 29 年度業務の成果も踏まえ、30 年度の飛行実験に備えるため |
| 警備用無人航空機の試作（警備アプリケーションに対応） | 飛行実証に備えるとともに、今後の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため |
| LTE を介した運航管理に基づく 10km の目視外飛行実証 | LTE 網を介した長距離飛行試験を行い、LTE 網を介した無人航空機の広域警備の実証・評価を行うため |

なお、最終目標は、研究項目ごとではなく、本研究開発全体として以下の通りとする。

| | |
|--|--|
| 平成 31 年度の最終目標 | 設定根拠 |
| 複数ユースケースの無人航空機に対する運航管理機能の実証 | 広く将来の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため |
| 広域警備アプリケーション、海域警備アプリケーションの実証 | 無人航空機の持つ俯瞰性や高い機動性を生かした警備用無人航空機の産業利用書く際に資するため |
| LTE を介した運航管理に基づく 10km 以上 (30km 程度を目標) の目視外飛行実証 | LTE 網を介した無人航空機の実用性を示すため |

(3) 研究開発スケジュール

全体の研究開発スケジュールは下表の通り。

| | FY-H29 | | | | FY-H30 | | | | FY-H31 | | | |
|--|-----------------|----|----|----|----------------------|----|----|----|------------------------|----|----|----|
| | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q |
| 1 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発 (実施主体:セコム 参画:KDDI) | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 警備業務における無人航空機の要求条件検討 | 用途・要求条件整理 | | | | | | | | | | | |
| 1.2 無人航空機を利用した警備アプリケーション試作 | アプリ設計 | | | | アプリ試作 | | | | 検証・修正 | | | |
| 2 無人航空機の警備利用に必要な運航管理機能の開発 (実施主体:テラドローン) | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 警備業務における運航管理機能の要件定義 | 機能要件定義 | | | | | | | | | | | |
| 2.2 警備業務における運航管理機能の開発 | | | | | 機能開発、インターフェース開発、検証 | | | | | | | |
| 2.3 情報提供機能・統合管理機能等とのインターフェース開発 | | | | | インターフェース開発 | | | | | | | |
| 3 警備業務に対応した運航管理システム・LTE連携機能の開発・実証 (実施主体:KDDI 参画:テラドローン、セコム) | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 実証・評価基盤の整備 (KDDI) | | | | | | | | | | | | |
| 3.1.1 運航管理システム・LTE連携機能開発 | 基本機能の要件定義基本機能開発 | | | | 追加機能開発 (警備アプリ対応等) | | | | 検証・修正 | | | |
| 3.1.2 警備用運航管理向け情報提供機能整備 | 要件定義 | | | | 地図・API制作 | | | | 運用・保守 | | | |
| 3.1.3 LTE実証エリア整備 | 実証エリア設計 | | | | 実証エリア整備 | | | | 運用・保守・改修 | | | |
| 3.1.4 警備用無人航空機の試作 | 要件定義・設計 | | | | 要件定義・設計 | | | | 検証・改修 | | | |
| 3.1.4 市場動向調査 | 動向調査 | | | | 動向調査 | | | | 動向調査 | | | |
| 3.1.5 検証会議開催 | | | | | 開発・実証方針調整、進捗調整、成果検証等 | | | | | | | |
| 3.2 実証実験の実施・評価 (KDDI、テラドローン、セコム) | | | | | | | | | | | | |
| 3.2.1 実証実験の計画策定・評価 | 全体計画策定・評価指標策定 | | | | 年度計画策定 | | | | 評価・課題整理 | | | |
| 3.2.2 要素技術の飛行実証 | | | | | | | | | 年度計画策定 評価・課題整理 ・まとめ | | | |
| 3.2.3 広域警備アプリケーションの実証実験 | | | | | | | | | | | | |
| 3.2.4 沿岸警備アプリケーションの実証実験 | | | | | | | | | | | | |

表Ⅲ.2.1.2-1 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

各項目の目標に対する成果及び達成状況は下表の通り。

| | 中間目標 | 成果 | 達成状況 |
|------------------------------------|---|---|------|
| ① 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発 | (平成 29 年度) 警備業務における無人航空機の要求条件の整理 | 「計画的運航」と「突発的運航」それぞれについて要件を整理 | ◎ |
| | (平成 29 年度) 無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作(限定的な機能の動作確認) | 私有地内の巡回監視(計画的運航)を軸に、手動操作による突発的運航を組み合わせたユースケースを対象に実証シナリオを構築し、これに対応した警備アプリケーションを試作 | ◎ |
| | (平成 30 年度) 無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作・検証 | 計画的運航と突発的運航を組み合わせたユースケースを対象に実証シナリオを構築し、これに対応した警備アプリケーションを試作 | ◎ |
| ② 警備用無人航空機の運航管理機能の開発 | (平成 29 年度) 警備利用に必要な運航管理機能項目の整理 | 研究開発項目①で検討した警備アプリケーションを踏まえ、運航管理機能項目を整理 | ◎ |
| | (平成 29 年度) 運航管理機能の要件定義 | 上記運航管理項目の要件やプロトコル検討を実施 | ◎ |
| | (平成 29 年度) 運航管理機能の一部機能開発と検証 | LTE 網を介したリアルタイム通信、自動離陸の精緻な時間管理、3D 地図に基づく飛行高度制御、高度階層を含む複数機同時制御と衝突回避、等の機能を開発・検証 | ◎ |
| | (平成 30 年度) 警備利用に必要な運航管理機能の開発と実装 | UTMの基本的な階層構造を前提とした上でのUASSP(運航管理サブシステム)としての機能を開発。俯瞰ドローンのカメラによる自動異常検知を端緒として、巡回ドローンの飛行計画を変更し突発的運航を可能にする機能を開発。 | ◎ |
| ③ 警備業務に対応した運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実証 | (平成 29 年度) 運航管理システム・LTE 連携の基本機能整備 | 通信要件や情報伝達機能要件の整理を受け、飛行実証に向け開発 | ◎ |
| | (平成 29 年度) LTE を介した運航管理に基づく飛行実証 | 遊園地警備を対象に、LTE 網を介した4機同時飛行制御・空域管理に成功すると共に、警備アプリから運航管理システム、各無人航空機に至るシステム間の接合と情報伝達を確認 | ◎ |
| | (平成 30 年度) 運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実装 | 機体数、飛行エリア、映像伝送品質、アプリ端末数等、運用要件検討のための検証データを取得し、LTE 連携機能を開発・実装するとともに、地図情報、気象情報、電波情報に関する高精度な3D 情報等の情報提供機能を開発・実装 | ◎ |

| | | | |
|--|---|--|---|
| | (平成 30 年度) 警備用無人航空機の試作 (警備アプリケーションに対応) | ユースケースや警備アプリケーションの検討結果をもとに、4 機の無人航空機 (俯瞰ドローン 2 機、巡回ドローン 2 機) を試作するとともに、シナリオに応じた 4K 映像伝送等のペイロードも開発。 | ◎ |
| | (平成 30 年度) LTE を介した運航管理に基づく 10km の目視外飛行実証 | スタジアム警備を対象に、LTE 網を介した運航管理機能を実証。数 km の目視外飛行を確認。令和元年度に予定する沿岸警備実証において 10km の目視外飛行を達成見込み。 | △ |

表Ⅲ2.2.1.2-2 各項目における中間目標および達成状況

(5) 成果の詳細

無人航空機を利用した警備アプリケーションの要件や、運航管理機能の要件、LTE 連携機能の要件等の検討を踏まえ、平成 29 年度は、遊園地施設を対象とした無人航空機による巡回警備と異常発見・即時対応をユースケースとして、iPad を活用した警備アプリケーションを試作すると共に、2 エリア・高度 2 階層における無人航空機の 4 機同時飛行に対する運航管理を実証した。また、平成 30 年度は、スタジアムを対象とした無人航空機による巡回警備と異常発見、不審者対応をユースケースとして、iPad を活用した警備アプリケーションを試作すると共に、複数ドローンの連携による不審者検知から現場への急行、追跡の自動化とそれを実現するための運航管理機能開発を行った。

(6) 最終目標の達成の見通し

これまでに、計画的運航および突発的運航、俯瞰監視及び詳細監視等、複数のユースケースや飛行携帯の無人航空機に対する運航管理機能の実証が進められており、「複数のユースケースや飛行携帯の無人航空機に対する運航管理機能の実証」に関する最終目標は概ね達成済みである。

また、「広域警備アプリケーション、沿岸警備アプリケーションの実証」に関する最終目標については、埼玉スタジアムや相模湖フォレストにおいて、高高度ドローンを用いた広域俯瞰監視の警備要件、機体要件、運航管理要件等を検討・実証済みであり、令和元年度中に、沿岸警備アプリケーションの実証を完了する見込みである。

沿岸警備アプリケーションの実証において、「LTE を介した運航管理に基づく 10km 以上 (3 の目視外飛行実証)」の最終目標の達成を予定している。

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2.1.2. 運航管理機能の開発

3) 災害分野(実施先:株式会社日立製作所、国立研究開発法人情報通信研究開発機構)

(1) 事業の背景・意義(目的・概要)

ドローンに代表される無人航空機は、物流や災害対応、インフラ点検、報道、農業等の様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、日本国内のみならず、諸外国においても利活用分野拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発に行われている。

日本国内においても、「2016年4月28日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において、小型無人機の利活用と技術開発のロードマップが策定されており、産業活性化の牽引力となることが期待されている。

一方で、今後は同一空域内で複数の無人航空機が飛び交うケースが増加し、運行の安全性の確保と効率向上を図るために、無人航空機の運航管理が必要となる。

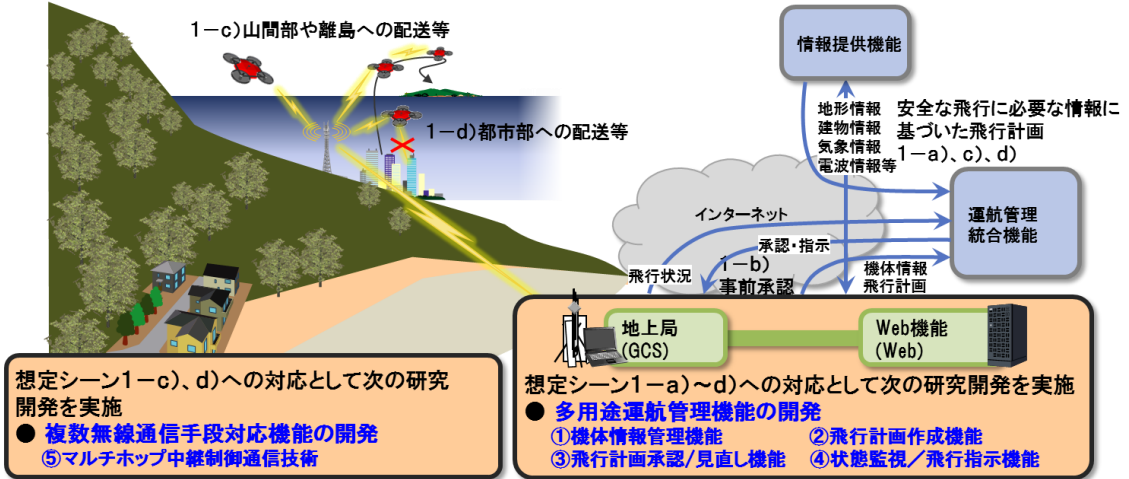
物流分野では離島や山間部、更には都市部での荷物配送のニーズがあり、災害分野では発災直後に複数の有人航空機／無人航空機の同時運用のニーズがある。

これらについては、空域を飛び交う無人航空機の増加に伴う運航管理機能の高度化が必要であると共に、長距離飛行や地形起伏／建物の影響による通信途絶への対応が必要である。

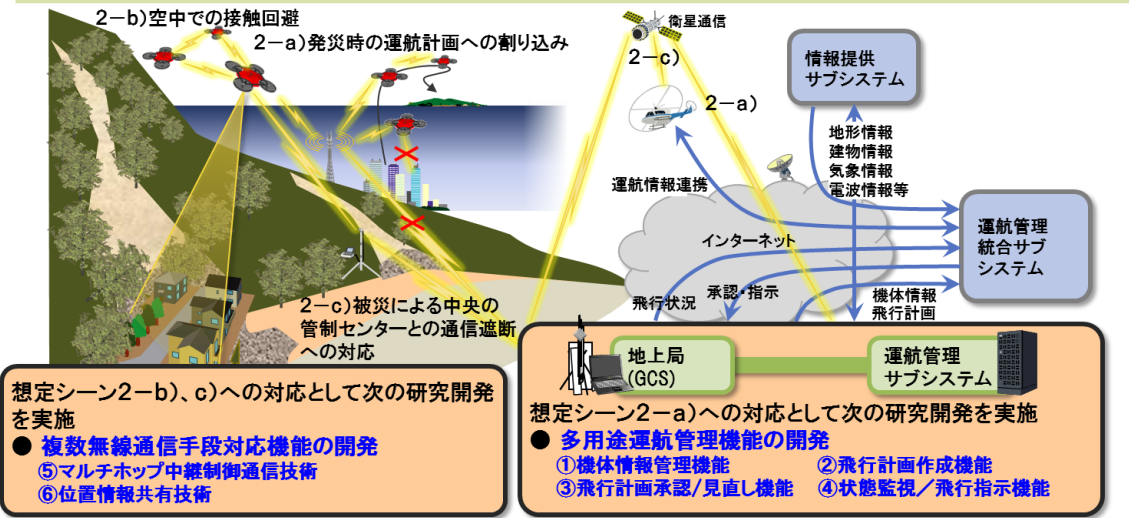
そこで、本研究開発では、複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発と実用化により、「安全かつ広域をカバーする無人航空機活用機会の創出」及び「国際競争力を有する運航管理技術の確立と事業化により、日本経済再生・復興の加速及び省エネルギー社会を実現すること」を目的とする。

本事業は、多数の無人航空機活用事業者が利用する複数の機体が、同一空域内で飛行することを想定し、無人航空機の安全な飛行支援のために必要となる機能の研究開発を行うと共に、福島ロボットテストフィールドと積極的に連携した研究開発機能の評価・検討を行う。本事業における想定運用シーンを以下に示す。

想定シーン1 物流：郵便物、荷物の無人航空機による配送
 a)安全な飛行に必要な情報(地形、建物、気象、電波情報等)に基づく飛行計画の作成
 b)無人航空機は、事前に承認された計画に従い飛行
 c)地形の起伏が大きい山間部や、離島への配送等、目視外の長距離飛行
 d)建物等、衝突リスク、通信遮蔽リスクのある都市部への配送等



想定シーン2 災害対応
 a)被災地に向けて情報収集、捜索・救助、物資輸送等の有人/無人航空機が多数出動し、飛行計画に割込が発生
 b)被災地近辺空域では、緊急活動と平常運用の機体が乱舞する為、空中での接触や落下の危険への対応が必要
 c)被災により中央の管制センターとの通信が遮蔽された場合の飛行状況の把握や運航統制への対応が必要



図Ⅲ.2.2.1.2-1 想定運用シーン

これらの想定運用シーンに対して、本事業では2つのサブテーマ毎に研究開発を行う。

(1) 多用途運航管理機能の開発

多用途運航管理機能の研究開発では、①機体情報管理機能、②飛行計画作成機能、③飛行計画承認/見直し機能、④無人航空機の状態監視/飛行指示機能の開発を行う。

各機能の開発にあたっては、用途、無線種別又は地域等による相違、及び国際的な整合を考慮した研究開発を行う。

これらの開発により、GCS (Grand Control Station: 地上局) から送信される現況情報

と情報提供機能から取得する無人航空機が安全に飛行するために必要な情報（飛行情報、機体情報、地図情報、気象情報、電波情報、空域監視情報、ドローンポート情報等）をクラウド連携にて管理し、帳票出力及び地図上にマッピングすることで、飛行計画の作成を可能とする。また、作成した飛行計画は、運航管理統合機能に Web 経由で承認依頼を行い、承認結果及び指示内容に従い、修正を行うことを可能とする。飛行時には、飛行状態及び気象情報等をリアルタイムで監視し、運航管理統合機能にて情報共有の上、飛行時の指示を受信し、無人航空機の安全な飛行を可能とする。

開発に際しては、運航管理統合機能及び情報提供機能と連携を図りながら、福島ロボットテストフィールドでの検証・評価を行い、その評価結果を基に、実用化に向けた改修・改良を随時実施していく。

(2) 複数無線通信手段対応機能の開発

複数無線通信手段対応機能の研究開発では、マルチホップ中継制御通信技術と位置情報共有技術の開発を行う。

これらの実現により、無人／有人地帯での目視外飛行（レベル3および4）を実現するための安全かつ確実な運航管理機能の実現に必須となる基盤技術を確立し、携帯電話ネットワークがカバーしていない山間部等や、災害時に輻輳や基地局障害により携帯電話ネットワークが使用困難な状況においても、無人航空機の制御と状態監視を可能とする。

遅延時間保証型でかつ信頼性の高いマルチホップ中継制御通信システムを開発し、フィールドにおいて無人航空機を飛行させて実証評価を行う。

(2) 研究開発目標と根拠

研究開発を推進することにより、2017年度の目標として、情報提供機能の利用及び運航管理統合機能と連携した多用途運航管理機能のプロトタイプ開発に対する概ねの研究開発を終え、以降の2019年度までの研究開発期間内で、テストフィールドでの実証により安全性と受容性の評価を行い、実用性の高いシステムを構築する。以下に、各研究開発テーマの目標を示す。

(1) 多用途運航管理機能の開発

物流、災害対応及びその他の分野で活用する多用途運航管理機能を実現するため、機体情報管理機能、飛行計画作成機能、飛行計画承認／見直し機能、無人航空機の状態監視／飛行指示機能について、以下の目標を設定し、研究・開発を進める。

| 完了年度 | 目標 | 選定根拠 |
|----------------|---|--|
| 2017年度 中間目標 | 運航管理システムアーキテクチャ、セキュリティ強度の確保方法及び共通インタフェース仕様の策定 | 運航管理システムの全体設計と本機能は非常に密接な関係があるため、各々の研究開発テーマを担当する事業者が共同で検討を行う必要がある。 |
| | 研究開発機能のシステム設計（概要設計及び詳細設計） | |
| | 運航管理統合機能や情報提供機能とのインタフェース情報の明確化・具体化 | 以降のプログラム開発を行うために、連携する機能とのインタフェース情報はシステム設計段階で策定しておく必要がある。 |
| | 物流事業者や災害対応事業者、インフラ点検事業者等の複数分野の事業者との意見交換を行い、ニーズ把握と設計内容への反映 | 無人航空機の活用が想定される実事業者のニーズを早期に把握し、設計内容へ反映する必要がある。また、事業分野により異なるニーズが発生する可能性があるため、システム設計段階でこれらのニーズを整理しておく必要がある。 |
| | プロトタイプ開発・検証 | |
| 2018年度 中間目標 | システム設計内容を基に、プログラム開発 | ロボットテストフィールドにおける実証までに、プログラムを開発しておく必要がある。 |
| | 運航管理統合機能や情報提供機能と連携して福島ロボットテストフィールドでの実証・評価 | 実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行い、最終年度の改修・改良作業にインプットする必要がある。 |
| 2019年度 最終目標 | 2018年度の実証評価結果を基に、HMI及び処理方式の改良 | 本事業終了後に実用化されることを見込み、2018年度までの検証・実証の評価結果（利用者、運用者の意見取込み含む）を取込み、実運用に耐えうるシステムを完成させる必要がある。 |
| | 複数無線通信手段対応機能と連携し、複数ドローンによる福島ロボットテストフィールド周辺で10km以上の飛行実証と評価 | |

表Ⅲ2.2.1.2-3 多用途運航管理機能の開発目標

(2) 複数無線通信手段対応機能の開発

本技術は、山や建物等の遮蔽により目視外かつ直接電波見通し外となった状況でも、地上設置あるいは複数の無人航空機に搭載した中継局が互いに連携し、途切れることのない連続的な無人航空機の制御・監視を可能とする。遅延時間を制限するため、ホップ数は最大3ホップまでとする。

本システムは、物流や災害対応等で想定されている距離である対向で1km～10km程度の伝搬距離（周波数と送信出力による）が期待でき干渉も受けにくい特定小電力無線局（UHF帯）や無

人移動体画像伝送システム局（VHF帯）等の利用を想定する。地上から制御コマンドを送信してから制御対象となる無人航空機がこれをマルチホップ経由で受信し、さらにそのテレメトリ信号が同じくマルチホップ経由で地上まで到達するまでの3ホップの場合の合計遅延時間は100ミリ秒以下とする。これは、時速70kmで飛行している場合に約2m進む時間であり、一般的なGPSによる位置誤差とほぼ同程度のオーダーである。

また位置情報共有のための無線通信システムでは、操縦者自身の制御局あるいは無人航空機、あるいは本システムを搭載した有人航空機を中心として半径2km以上の範囲における5機以上の無人航空機や有人航空機の位置や高度、識別情報等の情報を1秒に1回以上の頻度で1つの画面に表示することを可能とする。

上記を実現するためのステップとして、以下の目標を設定し、研究・開発を進める。

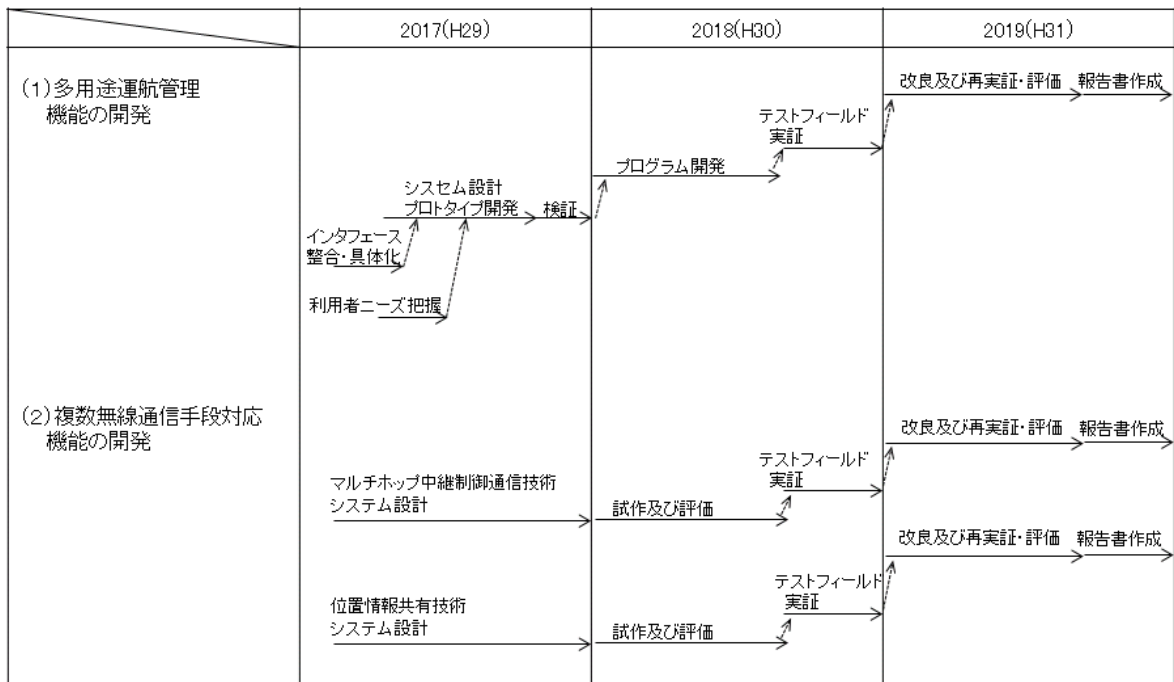
| 完了年度 | 目標 | 選定根拠 |
|----------------|----------------------------------|--|
| 2017年度 中間目標 | 研究開発システムの設計 （マルチホップ中継制御通信） | 山や建物等の遮蔽により目視外かつ直接電波見通し外となった状況でも、地上設置あるいは複数の無人航空機に搭載した中継局が互いに連携し、途切れることのない連続的な無人航空機の制御・監視を可能とする必要がある。以降の試作評価に先立ち、システム設計を行う必要がある。 |
| | 研究開発システムの設計 （位置情報共有） | 上空での衝突防止という観点で、異なる事業者が運用する無人航空機間や無人航空機とその近傍を飛行する有人航空機との間での位置情報等の共有が必要である。以降の試作評価に先立ち、システム設計を行う必要がある。 |
| 2018年度 中間目標 | 研究開発システムの試作評価 （マルチホップ中継制御通信） | 設計結果に基づく試作評価により、課題抽出を行う。 |
| | 研究開発システムの試作評価 （位置情報共有） | 設計結果に基づく試作評価により、課題抽出を行う。 |
| | ロボットテストフィールド実証 （マルチホップ中継制御通信） | 試作システムでの課題を解決しロボットテストフィールドでの実証評価を行う。 |
| | ロボットテストフィールド実証 （位置情報共有） | 試作システムでの課題を解決しロボットテストフィールドでの実証評価を行う。 |
| 2019年度 最終目標 | 実証評価結果に基づく改良 | 本事業終了後に実用化されることを見込み、2018年度までの検証・実証の評価結 |
| | ロボットテストフィールドによる再 | |

| | | |
|--|-------|-------------------------------|
| | 実証と評価 | 果を取込み、実運用に耐えるシステムを完成させる必要がある。 |
|--|-------|-------------------------------|

表Ⅲ2.2.1.2-4 複数無線通信手段対応機能の開発目標

(3) 研究開発スケジュール

下図のとおり研究開発スケジュールを示す。



図Ⅲ2.2.1.2-2 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

項目ごとに、研究開発の中間目標および達成状況を示す。

(1) 多用途運航管理機能の開発

| 完了年度 | 目標 | 達成度 | 成果 |
|----------------|---|-----|--|
| 2017年度 中間目標 | 運航管理システムアーキテクチャ、セキュリティ強度の確保方法及び共通インタフェース仕様の策定 | ○ | 運航管理システム開発推進委員会、及び、その作業部会へ参画し、システムアーキテクチャ及び共通インタフェースの仕様を委員会メンバーとともに決定。 |
| | 研究開発機能のシステム設計(概要設計及び詳細設計) | ○ | 委員会で決定した仕様と本機能のシステム設計内容を整合し、作成。 |

| | | | |
|----------------|---|---------------|---|
| | 運航管理統合機能や情報提供機能とのインタフェース情報の明確化・具体化 | ○ | 各サブシステムとのインタフェース情報の項目及び内容を具体化。 |
| | 物流事業者や災害対応事業者、インフラ点検事業者等の複数分野の事業者との意見交換を行い、ニーズ把握と設計内容への反映 | ○ | 各事業者に対して、運航管理システムに関するニーズについて意見交換を実施し、システム設計の一部に反映。 |
| | プロトタイプ開発・検証 | ○ | 委員会、作業部会での策定した仕様を確認するためのプロトタイプを開発し、福島ロボットテストフィールドにおいて検証を実施。 |
| 2018年度 中間目標 | システム設計内容を基に、プログラム開発 | ○ | システム設計の内容を元に開発を実施。平成29年度の全体設計に準拠し、運航管理統合サブシステム及び情報提供サブシステムとのインタフェース部分について開発。 |
| | 運航管理統合機能や情報提供機能と連携して福島ロボットテストフィールドでの実証・評価 | ○ | 福島ロボットテストフィールドにて運航管理統合サブシステム、情報提供サブシステムと連携し、複数事業者のドローンが飛行する状況下において、「郵便」利用のシーンにて、実運用に向けた機能評価を実施。 |
| 2019年度 最終目標 | 2018年度の実証評価結果を基に、HMI及び処理方式の改良 | △ (今年度見込み) | 2018年度実証評価で得られ課題を基に機能改修を実施中。2019年10月の実証で再評価を行う予定 |
| | 複数無線通信手段対応機能と連携し、福島ロボットテストフィールド周辺で10km以上の複数ドローンによる再実証と評価 | △ (今年度見込み) | 2019年10月に福島ロボットテストフィールド周辺にて10km以上の複数ドローンによる実証を実施予定 |

表Ⅲ2.2.1.2-5 多用途運航管理機能の達成状況

(2) 複数無線通信手段対応機能の開発

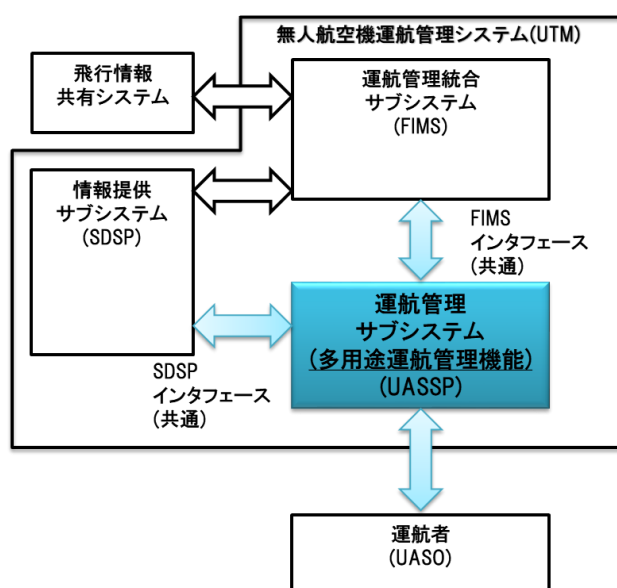
| 完了年度 | 目標 | 達成度 | 成果 |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------|--|
| 2017 年度 中間目標 | 研究開発システムの設計 (マルチホップ中継制御通信) | ○ | マルチホップ中継制御通信の長距離化に関する 920MHz 帯・169MHz 帯の両モードを備えた無線通信手段のシステム設計を実施した。 |
| | 研究開発システムの設計 (位置情報共有) | ○ | 位置情報共有システムを UTM (多用途運航管理システム) に接続するインタフェースのシステム設計を実施した。1 秒ごとにデータ更新する場合の同時接続台数は、スロット固定の場合で最大 50 機までとした。 |
| 2018 年度 中間目標 | 研究開発システムの試作評価 (マルチホップ中継制御通信) | ○ | 920MHz 帯無線を長距離化するための地上局用高出力モジュール (出力 250mW) の試作評価を実施した。 |
| | 研究開発システムの試作評価 (位置情報共有) | ○ | UTM へのインタフェース機能 (LAN) をもつ位置情報共有システムの試作評価を実施した。 |
| | ロボットテストフィールド 実証 (マルチホップ中継制御通信) | ○ | ロボットテストフィールドにおいて試作機をドローン及び車両に搭載した実証実験を行った。その結果、条件が良ければ 920MHz 帯では 1 ホップ当り 2km~3 km、169MHz 帯では、1 ホップ当り 5 km 以上 (1W 出力の場合は非見通しを含み 10 km 以上) の通信距離が得られることを確認した。 |
| | ロボットテストフィールド 実証 (位置情報共有) | ○ | ロボットテストフィールドにおいて試作機をドローンに搭載した実証実験を行った。その結果 4km ほどの距離を隔てて地上局側でドローンの位置把握が可能であることを確認した。 |
| 2019 年度 最終目標 | 実証評価結果を基づく改良 | △ (今年度 見込み) | 長距離化の改修について免許・登録の手続きを実施するとともに、多用途運航管理機能との連携実験も含め、ロボットテストフィールドにおいて 10 月~12 月の期間で再実証実験を行う予定。 |
| | ロボットテストフィールドによる再実証と評価 | △ (今年度 見込み) | |

表Ⅲ2.2.1.2-6 複数無線通信手段対応機能の達成状況

(5) 成果の詳細

(1) 多用途運航管理機能の開発

運航管理システム開発推進委員会にて策定された運航管理コンセプト/アーキテクチャを基に多用途運航管理機能のプログラム開発を実施した。また運航管理統合サブシステム、情報提供サブシステムとのインタフェースにおいても、委員会にて策定された共通のインタフェースに準拠し、多用途運航管理機能の開発を行った。準拠した運航管理アーキテクチャを以下に示す。



図Ⅲ2.2.1.2-3 運航管理アーキテクチャ

多用途運航管理機能を開発する上で、以下のサブ機能の開発を行った。

① 機体情報管理機能の開発

無人航空機の機体情報として、無人航空機の種類、型式、性能に関する情報、個別の機体を識別するID、所有者及び利用者に関する情報がある。

本研究開発では、これらの機体情報を管理する機能について開発を行った。

② 飛行計画作成機能の開発

飛行計画作成する上で、情報提供サブシステムより地図情報、気象情報を取得、運航管理統合サブシステムより飛行禁止空域及び他運航管理サブシステムの飛行計画情報を取得し、それぞれの情報を地図上に重畳表示することにより、運航者による飛行計画の作成を支援する機能、作成した飛行計画が飛行禁止区域、他飛行計画等との干渉がないことの検証を行う機能の開発を行った。

③ 飛行計画承認/見直し機能の開発

作成した飛行計画を運航管理統合機能へ承認依頼を行う機能、依頼した飛行計

画に対する承認結果及び指示内容を受領する機能、受領した情報を基に飛行計画を修正する機能の開発を行った。

④ 無人航空機の状態監視/飛行指示機能の開発

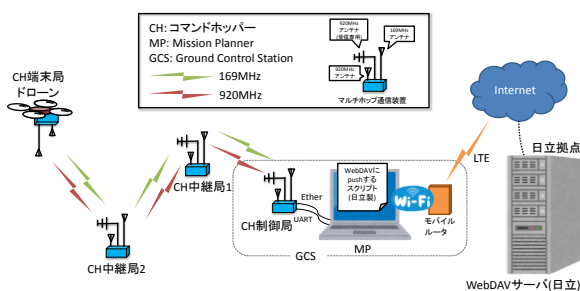
無人航空機の飛行中における機体情報(位置情報、障害情報など)を収集し、地図上に重畳表示し、監視する機能、収集した機体情報を運航管理統合サブシステムへ通知する機能の開発を行った。

また機体の位置情報より他無人航空機、飛行禁止空域との近接状況、飛行計画からの逸脱監視を行うとともに、運航管理統合サブシステムより通知された警報情報を受信し、運航者に対して注意喚起する機能の開発を行った。

上記のサブ機能の開発により多用途運航管理機能を実現した。2019年2月に福島県ロボットテストフィールドにて同一空域で複数事業者のドローンが安全に飛行するための運航管理システムの実証実験に参加し、郵便物の配達を模擬した運用シーンにおいて、開発機能の有用性の実証を行った。

(2) 複数無線通信手段対応機能の開発

山間部や離島などにおいて、目視外かつ直接電波が届かない環境や長距離となる環境でドローンを運用する場合、無線リンクを常時確保する手段として、コマンド・テレメトリ通信マルチホップ通信システムが有効であり、かつその減衰や干渉に対する信頼性を高める手段として、複数無線通信手段を備えることが効果的である。本研究開発では、その長距離化と高信頼化を実現するための手段として、920MHz帯と169MHz帯のデュアルバンドを備え、かつ920MHz帯には従来方式に比べ高出力化した無線モジュールを採用するとともに、これを多用途運航管理システムに接続するインターフェースの設計を進めた。そのブロック図を図Ⅲ2.2.1.2-4に、システム諸元を表Ⅲ2.2.1.2-7に示す。



図Ⅲ2.2.1.2-4 長距離対応型マルチホップ通信システムのブロック図

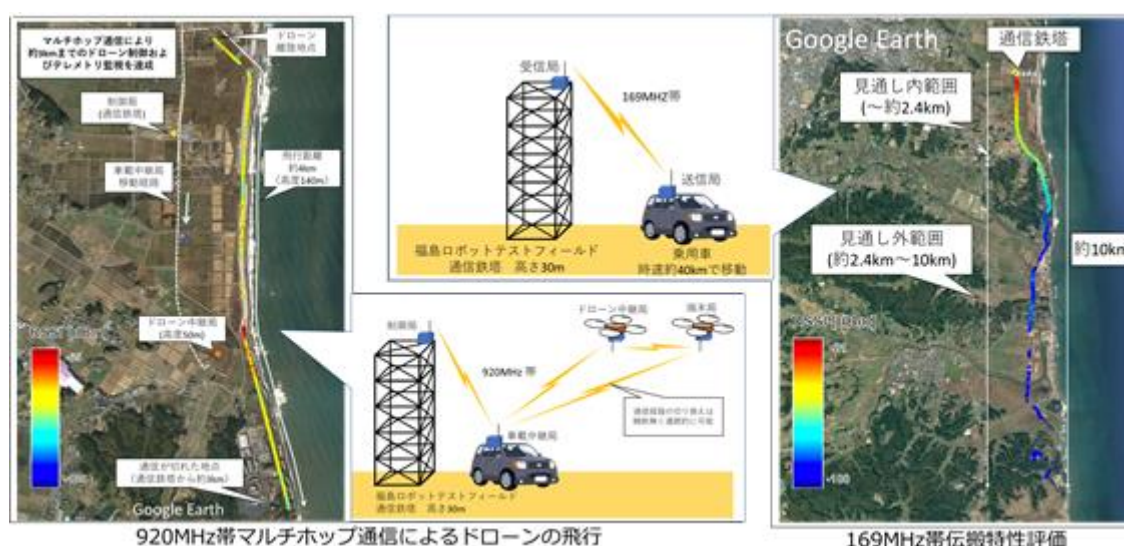
| | 通常通信モード | 通常通信モード (長距離版) | バックアップ 通信モード |
|-------------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| 利用周波数帯 | 920MHz | 920MHz | 169MHz |
| 送信電力 | 20mW以下 | 250mW以下 | 1W以下 (上空は10mW以下) |
| 伝送速度 (制御局→端末局) | 5~27.5kb/s | 5~27.5kb/s | 0.5~4kb/s |
| 伝送速度 (端末局→制御局) | 30~64kb/s | 30~64kb/s | 4.5~10kb/s |
| サイズ (アンテナ含まず) | 130 x 99 x 40 mm | | |
| 重量 (バッテリー含まず) | 約340g | | |
| 消費電力 | 約4W | 約4W | 10mW出力時: 約4W 1W出力時: 約5W |

表Ⅲ2.2.1.2-7 通信システムの諸元

設計したシステムの評価を行うため、福島ロボットテストフィールドにおいて、920MHz帯及び169MHz帯の長距離伝搬特性データを取得する実験を行った。図Ⅲ2.2.1.2-5 左の

図は 920MHz 帯を従来の送信出力（20mW）で使用した場合のマルチホップ（3 ホップ）での受信電界強度の分布を示す。原町通信塔最上階に制御局、自動車のルーフ上とドローンに中継局を 1 局ずつ搭載し、制御対象となる端末局ドローンを飛行させた。その結果、制御局から約 3km 付近まで端末局ドローンを飛行可能であることが確認できた。また図Ⅲ 2. 2. 1. 2-5 右側の図は 169MHz 帯（送信出力 1W）における受信電界強度分布を示す。高さ 30m の原町通信塔最上階と広域を移動する車載局（ルーフ上）の間の 1 ホップで測定した。送信局から約 2.4km 地点までは見通し内範囲であるが、送信局から約 2.4km～約 10km は見通し外範囲である。見通し外範囲であっても 169MHz 帯で通信が可能であることを本実験で確認できた。また UTM との接続機能の確認も実施できた。

最終年度においては、920MHz 帯の高出力モジュールの及び 169MHz 帯によるドローン長距離飛行実証を実施する予定である。



図Ⅲ 2. 2. 1. 2-5 920MHz 帯のマルチホップ通信及び 169MHz 帯シングルホップ通信における距離減衰特性

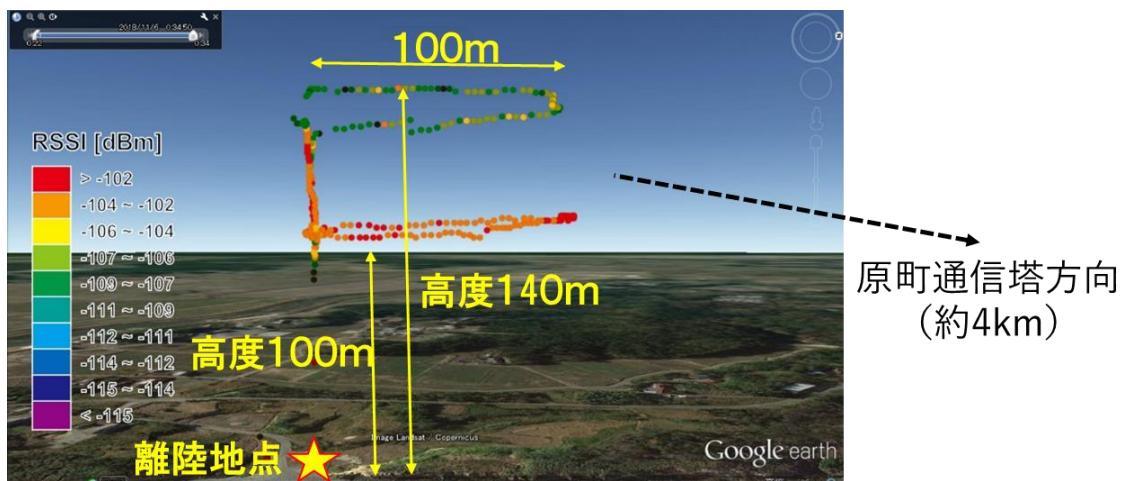
一方、位置情報共有システムは、異種事業者による複数のドローンを地上のネットワークを経由せずに直接、移動体端末間の通信によってそれぞれの位置情報を交換し、UTM に集約することを可能とするものであり、1 秒ごとにデータ更新する場合の同時接続台数を最大 50 機とする（スロット固定の場合）とともに、UTM への接続インターフェースの設計と開発を行った。図Ⅲ 2. 2. 1. 2-6 にそのシステム構成を示す。



図Ⅲ2.2.1.2-6 移動体端末間の直接通信によるドローン位置情報のUTMへの集約

図Ⅲ2.2.1.2-7は、位置情報共有システムをドローンに搭載して福島ロボットテストフィールドで実施した飛行中のドローンの位置把握実験（受信局は原町通信塔最上階に設置）で得られた受信電界強度データである。地上局から約4km離れた場所を飛行するドローンの位置が把握できていることが確認できる。

最終年度においては、把握した飛行中の複数ドローンの位置データをUTMの画面上に表示する実証実験を行う予定である。



図Ⅲ2.2.1.2-7 位置情報共有システムによるドローンの位置把握実験（記録されたドローン軌跡と受信強度）

（6）最終目標の達成の見通し

（1）多用途運航管理機能の開発

2018年度の開発と実証において、同一空域・複数ドローンによる運航管理システムの有用性を確認することができた。2019年度は開発したシステムに対して、より実用性に向けた改良を加え、複数無線通信手段対応機能と連携し、複数ドローンの10km以上の飛行試験実証を行うことで、最終目標を達成する予定である。

(2) 複数無線通信手段対応機能の開発

長距離及び目視外・見通し外で運用されるドローンとの間の通信を維持し、運航管理機能において情報管理ができるようにするためのマルチホップ通信システム及び位置情報共有システムのシステム設計と試作開発を完了するとともに、並行して利用可能なデバイスにより基本的な通信評価をロボットテストフィールドで実施し、その有効性が確認できた。2019年度は、試作したデバイスを用いた飛行実証評価を行うとともに、多用途運航管理機能と連携し、試作システムの一部を利用した複数ドローンの10km以上の飛行試験実証を行うことで、最終目標を達成する予定である。

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2.1.2. 運航管理機能の開発

4) 衛星/災害分野（実施先：スカパーJSAT 株式会社）

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

1. 事業目的

①現状の課題

昨今、ドローンの物流・インフラ点検・災害対応分野等で活躍する社会の実現に向けた動きが活発化しているが、その中で、安全かつ効率的にドローンを運用するためには、運航管理が最も重要な要素のひとつであると考えられる。従来の運航管理では、ドローンの運航をおこなうオペレータ（以下オペレータ）同士が、連絡を取り合いながら安全な運航をおこなっているが、複数のドローンを飛ばす場合は、連携を取るための情報が輻輳して安全な飛行ができない。

また、自動飛行をおこなう際に、LTE等の移動通信網不感地帯（例えば、海上、山岳地帯等）に入った場合は、オペレータとの通信が確保されないためにドローンの飛行状況が全く把握できず、更に緊急時における帰還や着陸命令等を送信することも出来ない。さらに、防災対策の観点からドローンは活火山の定点観測等にも利用ができると言われているが、移動通信網不感地帯では上記問題から定常的に活用することが難しい。

②本研究開発の目的

上記課題の解決方法として、本研究開発では通信衛星や高高度無人機を使ったドローン運航管理システムを構築・活用することにより、通信インフラが整わない場所や状況において安全かつ効率的なドローンの運用を実現させることを目的とする。

2. 事業概要

①課題解決に向けた研究開発の主な要素

本課題の解決に向け、主に以下の内容について研究開発及び調整を行う。

(1) 衛星通信を利用した運行管理システムの構築

災害発生時には、通信網の遮断や輻輳によって運用ができない可能性があり、また山間部や僻地、離島等、通信インフラが整っていない箇所での運用も困難を極める。このような技術的課題を克服するため、ドローンの飛行計画と運航情報をリアルタイムでサーバーに蓄積したものを、WEB等のユーザーインターフェースを介し、衛星通信を利用することによりオペレータが自機を含めたドローンの運航状況を確認可能なシステムを構築する。



図Ⅲ2.2.1.2-8 衛星を利用した管理システムの優位性

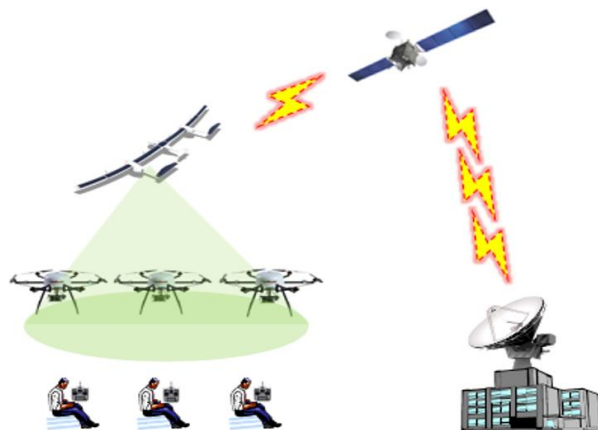
移動通信網不感地帯での飛行情報（テレメトリ（機体識別コード、飛行位置、飛行方向、飛行速度、飛行高度、バッテリー状態、等）の送信を実現するため、衛星通信装置を搭載したドローンを活用する。

また、オペレータの通信回線の確保として、WiFi アクセスポイントと Ku バンドの通信衛星システムを組み合わせた衛星 WiFi スポットを構築することにより、移動通信網不感地帯においても運航管理センターとの通信回線の提供を可能にする。さらに、オペレータが、衛星 WiFi スポットを通じて、ドローンからの位置情報等を受け取り、衛星経由でドローンに制御信号を送ることを実現する。

(2) 高高度無人機を利用したドローンの一括管理

衛星通信が可能なドローンについては、通信装置が非常に高額であることから、利用者が限定されてしまうことが懸念される。また、衛星通信装置はある程度の重量があることから、小型のドローンに搭載することは難しく、災害時等で利用可能な機体は限られてしまい、現場の状況に沿った柔軟な機体選定が困難となる。

そこで、ドローンよりもさらに上空に、衛星通信装置を搭載した高高度無人機（母艦）を定点飛行させ、配下の空域にあるドローンの位置情報等を一括管理できるシステムを構築する。



図Ⅲ2.2.1.2-9 高高度無人機によるドローンの一括管理イメージ

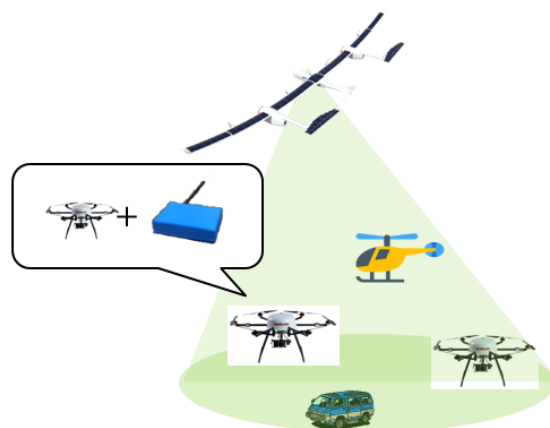
母艦となる高高度無人機は、太陽電池を搭載したソーラープレーンを想定し、高度2000m前後の空域を日の出から日没まで飛行可能なものを目指す。また、配下のドローンの位置情報等は、搭載した衛星通信装置経由で運行管理センターへ送信する。

ドローン～高高度無人機間の通信は、小電力かつ軽量の通信ユニットを活用することにより実現する。

(3) ドローン・高高度無人機搭載用小型小電力無線ユニット開発（高高度無人機～ドローン間通信用）

災害時に活躍するドローンの機体選定に制限がかからないことが必須となるため、小電力の通信が可能で、軽量（500g程度を想定）、かつ必要な情報（機体識別コード、飛行位置、飛行速度、飛行高度等）の通信が可能な通信ユニットを開発する。

また、高高度無人機～ドローン間の長距離通信を低コストで実現可能な通信システムに関し、これまで実績のある技術の中から2つの小電力通信方式を選定し、通信距離、通信容量、通信頻度に関する評価検討を行う。



図Ⅲ.2.1.2-10 高高度無人機による小型小電力無線ユニット搭載ドローン等の一括管理イメージ

(4) 本運行管理システムの実運用に向けた関係各署との調整

本研究開発は、技術的なハードルだけでなく、高高度無人機の運用や安全管理において国土交通省、無線通信の周波数割り当てや無線装置の認可等において総務省、他の関係省庁との連携が必要であるため、積極的に活動を行う。

②研究開発結果を活用した想定事業

本運行管理システムの開発により、災害発生時に緊急的に出動する目視内飛行を行

う小型ドローンや、目視外飛行をする中型以上のドローン等の一括管理が実現する。また、小型小電力無線ユニットを有人機等にも取り付けることで、高高度無人機の配下であればドローンのみならず有人機等の運行状況も一括で把握することが可能となる。

また、高高度無人機においては、将来的に実現すべき課題である長時間飛行を実現することにより、カメラ（許容ペイロード内ならば、赤外線カメラや分光カメラ）を搭載する事で、高高度からの広域監視をするドローンとしての役割も果たすことが可能である。

本システムを活用できるフィールドとして、山間地域での遭難者対策、洋上の不審船等の監視、火山地帯の定点観測等が挙げられ、防災・安全対策の市場に対し大きく寄与できることが想定される。

（２）研究開発目標と根拠

・通信衛星を利用したドローン運行管理システムの開発

【2017 年度】

1) 年度目標

衛星通信装置搭載型ドローン（以下衛星ドローン）を活用し、目視外の自動飛行を福島テストフィールド等で行い、ドローンの位置情報や飛行状態等をスカパーJSAT 横浜衛星管制センター（以下 YSCC）内に構築する運航管理システム（以下 UTM）で管理可能な状態とする。

また、災害時や山間部といった移動通信網不感環境での運用を想定し、オペレータが衛星 WiFi スポットを使用して衛星ドローンの飛行状態を監視する事が出来ることを目標とする。

2) 実施内容

（ア）衛星ドローンの設計

単独で UTM との通信が可能となる、衛星ドローンの設計を行う。主に、機体形状、飛行時間、運航管理システムとのインターフェースや衛星通信装置の最適な設置箇所等を検討する。

（イ）衛星ドローンの制作

（ア）で設計をした内容を基に、飛行させない状態での衛星通信装置を使用した単体通信試験や、機器同士の干渉（物理的及び電波的）の有無、衛星通信装置を実装しての飛行性能確認試験等、衛星ドローンの製作を行う。

（ウ）衛星通信装置非搭載型ドローンの設計

高高度無人機と通信を行う小型小電力無線ユニットを搭載するための、衛星通信装置非搭載型ドローン（以下ドローン）の設計を行う。また、設計にあたり、安全性や他の装置との物理的な干渉が起きないように検討を行う。

（エ）ドローンの製作

(イ)で設計をした内容を基に、小電力型通信装置に見立てたダミーを使用した機器同士の干渉(物理的及び電波的)の有無、飛行性能の確認試験等、ドローンの製作を行う。

(オ) UTMの設計

UTMのハードウェア、ネットワーク、ソフトウェアの設計を行う。また、衛星ドローンに搭載した衛星通信装置からのデータ処理や、ドローンに搭載する小電力通信装置からのデータ処理、および通信インターフェースに関する設計も行う。

(カ) UTMの構築

UTMサーバーやネットワーク機器は、YSCCに構築する。また、UTMソフトウェアは、単体試験が終わったところで、UTMサーバーに実装する。

(キ) Lバンド衛星通信ネットワークの構築

衛星ドローン及び高高度無人機に搭載する衛星通信装置は、Lバンド衛星通信サービスを利用する想定とする。また、Lバンド衛星通信事業者の保有する衛星通信設備～UMT間との通信に必要なネットワークを構築する。

(ク) UTMのシステム試験

ドローンに見立てたシミュレーターを使用し、UTMの機能が設計どおりに機能するか試験する。また、衛星Wi-Fiスポットを使用し、衛星通信網不感地帯でもUTMが正常に利用できることを試験する。

(ケ) 衛星ドローンの通信試験

衛星ドローンの飛行情報を、通信衛星経由でUTMまで送る試験を行う。また、飛行試験場所は、メーカーのテストフィールドもしくは福島ロボットテストフィールドで行う。

(コ) UTM配下での衛星ドローンの単機飛行試験

衛星ドローンの飛行情報を通信衛星経由でUTMへ送り、飛行試験を行っている現地オペレータが、PC等の端末から運航管理情報をリアルタイムで確認する試験を行う。また、オペレータの通信環境は、LTEまたは衛星WiFiスポットで行う。

(サ) 衛星WiFiスポットの通信試験

福島ロボットテストフィールド等で、衛星WiFiスポットの通信試験を行う。また、試験の対向となる設備は、YSCC内に設置をしたUTMとする。

(シ) 衛星WiFiスポットを経由したドローンからの画像伝送試験

災害現場を想定した試験として、衛星ドローンに搭載したカメラの画像データを衛星WiFiスポット経由でUTMへ送る。オペレーターは、衛星ドローンを目視外飛行させた状態で、UTMに送られる画像データをLTEや衛星WiFiスポット経由でPC等の端末から確認できるものとする。また、

試験場所は福島ロボットテストフィールドで行う。

(ス) ドローンの単独飛行試験

小型小電力無線ユニットを搭載したドローンの位置情報等を、リアルタイムでUTMに送信する試験を行う。また、飛行試験場所は、メーカーのテストフィールドもしくは福島ロボットテストフィールドで行う。

【2018年度】

1) 年度目標

衛星ドローンを使ったUTMの実用化を目指した改修と試験を行い、安全な運行ができるところまでを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 衛星ドローンの画像データ伝送システムの改修

衛星ドローンにトラヒックを軽減するためのエンコーダを組み込み、移動通信網不感地帯でもリアルタイムで飛行情報と画像データをUTMに送信できるような機能の組み込みを行う。また、試験は前段階として飛行させない状態での単体通信試験を実施し、問題ないことを確認後、福島ロボットテストフィールド等で飛行試験に移行するものとする

(イ) 衛星ドローンに指示コマンドの送信をするための改修

衛星ドローンが、移動通信網不感地帯やオペレータの見通し外での運行中においても、衛星回線経由で緊急時のコマンドを受け付けるようにするための機能の組み込みを行う。

また、試験は前段階として飛行させない状態での単体通信試験を実施し、問題ないことを確認後、福島ロボットテストフィールド等で飛行試験に移行するものとする。

(ウ) 追加機能を使った衛星ドローン単機での飛行試験

(ア)、(イ)で行った改修を反映させた機能確認のための飛行試験を行う。

(エ) 複数のドローンを使用した飛行試験

衛星ドローンとドローンを同時に飛行させ、UTMシステム上で各機の運行状況を確認する試験を行う。また、問題発生時や衝突回避対応を想定した、衛星ドローンへの帰還コマンドの送信及び動作確認試験も行う。

(オ) ドローンの飛行試験場所

主に福島ロボットテストフィールドを想定し、状況や試験内容によってドローンメーカーの試験場所等を利用するものとする。

【2019年度】

1) 年度目標

2018 年度に行った試験結果を解析し、また 2020 年度以降の事業化に必要な安全対策や機能強化を組み込んだ改修を行って、要求性能を満たす事を目標とする。

2) 実施内容

(ア) 衛星ドローンの改修

2018 年度に実施した試験の結果を解析して、最適化が必要な部分の改修を行う。また、2020 年以降の事業化に必要な安全対策や機能強化を組み込んだ改修を行う。

(イ) 複数ドローンの飛行試験

福島ロボットテストフィールドを試験場所とし、衛星ドローンとドローンを同時に飛行させ、UTMシステム上で各機の運行状況を確認する試験を行う。また、問題発生時や衝突回避対応を想定した、衛星ドローンへの帰還コマンドの送信及び動作確認試験も行う。

・ 小型無線装置の制作

【2017 年度】

1) 年度目標

ペイロードの重量が最大 1kg 程度のドローンにも、特にカスタマイズ等をせずとも簡単に搭載でき、位置情報のロギングと送受信が可能な小型小電力無線ユニットを製作する。

周波数帯は、920MHz の小電力で利用できるものとし、GPS の内蔵及び個別の電源(バッテリー)を持たせることにより、機体に影響を与えない独立したユニットを目指す。

開発後は、ドローンに搭載した状態での通信性能を測定し、データを集めて解析する所までを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 通信装置の仕様作成

ペイロードが最大 1kg 程度のドローンに搭載可能なユニットを目指し、ローラ方式で周波数 920Mhz を利用すること前提に、適切な仕様を検討する。また、本ユニットは対向側として東海大学の既存ソーラープレーンに搭載して試験を行うことを想定して設計を行う。

(イ) 通信装置の製造

小型小電力無線ユニットの製造は、メーカーに外注し、単体での対向試験も行う。

(ウ) 通信装置の地上試験

小型小電力無線ユニットを地上で対向させて通信試験を行う。920Mhz 小電力無線の限界通信距離、安定使用が可能な距離、通信品質等を測定する。試験は、上記の要件を満たすため、見通し距離 10km 程度が必要となる

ため、適切な距離が確保できる場所を選定し、実施する。

(エ) 通信装置をドローンに搭載しての試験

小型小電力無線ユニットをドローンに搭載し、対向側の小型小電力無線ユニットを東海大学所有のソーラープレーンに搭載して、ドローンからの位置情報を受信する通信試験を行う。

この試験では、ドローン飛行時の通信性能、通信品質やドローンから発生するノイズの影響等を測定し、解析データを取得する。取得したデータはNICTと共有をし、さらなる性能向上に向け活用をする。

また、試験は大樹航空宇宙実験場（北海道大樹町）や福島テストフィールド等を実施場所とする。

【2018年度】

1) 年度目標

2018年度に解析した試験データを基に、NICTとの協力で新たに設計をする小型小電力無線ユニットの製造を行い、単体での試験を行うところまでを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 小型無線通信装置の制作

NICTと検討をした小型無線装置の設計図を基に、メーカーに製造をさせ、基本機能の試験等を行い完成させる。

・衛星を使ったドローン運行管理システムの総合試験

【2019年度】

1) 年度目標

福島テストフィールドを使った総合試験を行い本研究開発の目標をすべて完了させ、成果はデモを通じて発表する。

2) 実施内容

(ア) 福島テストフィールドを使った総合試験

高高度無人機1機、衛星ドローン1機、小型通信装置搭載ドローン2機を飛行させ、UTMが仕様通りに機能するかを試験する。

また、試験飛行高度は2000m前後を目標とするが、各実施事項での遅れの発生や飛行に適した気象条件が折り合わない等、不測の事態が発生することを鑑み、委託期間内で到達できる高さを試験高度とする。

(イ) 福島テストフィールドを使ったデモンストレーション

(ア) の試験構成で災害発生時を想定したデモンストレーションを福島テストフィールドで行う。

・試験を行う為の許認可・法整備等の調整作業

【2017 年度】

- (ア) 現用ソーラープレーンの飛行許可（高度 150m 以上）
- 国土交通省 東京航空局 仙台空港事務所
2017 年度にロボットテストフィールドにて高高度無人機を高度 150m 以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、事務所からの質問等に適宜対応する。
 - 国土交通省 東京航空局 釧路空港事務所
2017 年度に大樹町多目的航空公園から高高度無人機を高度 150m 以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、事務所からの質問等に適宜対応する。
- (イ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度化
- 総務省東北総合通信局無線通信部
ドローンと地上間の通信を行うための周波数（400MHz 帯）等の新たな割当に係る活動を行う。

【2017 年度～2018 年度】

- (ウ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度化
- 総務省総合通信基盤局電波部基・衛移課
将来高度 20,000m での高高度無人機の飛行を事業化するためには、多数の一般ドローンを高高度無人機によって管理することが必要となり、その際一般ドローンと高高度無人機間の通信の帯域も広くする必要があり、小型無線設備の電力も増やす必要がでてくる。
これらの課題をクリアするために 5.03GHz 帯等の法制度化に向けた活動を行う。

【2017 年度～2019 年度】

- (エ) 高高度無人機（高度 20,000m 前後 + α ）に対する機体性能基準・安全基準
- 国土交通省 航空局 安全部 航空機安全課
将来高度 20,000m での飛行を事業化するために必要となる高高度無人機に対する性能・安全基準について、具体的な相談をしつつ、性能基準や安全基準の法制度整備に向けた活動を行う。
 - ICAO 等の国際標準化に係る活動
- (オ) 高高度無人機、衛星ドローン、一般ドローンと有人機の衝突回避に係る法制度
- 国土交通省 航空局 安全部 安全企画課
- (カ) 高高度無線機、ドローン等の無線免許取得
- 総務省東北総合通信局無線通信部

高高度無人機の制御用回線（UHF 等）無線局の免許申請に係わる対応を行う。

衛星ドローン、衛星 WiFi スポットの可搬局等、人工衛星を相手とする無線局の免許申請に係わる対応を行う。

【2018 年度～2019 年度】

(キ) 高高度無人機の飛行許可と安全対策（高度 150m 以上）

→ 国土交通省 東京航空局 仙台空港事務所

2018 年度、2019 年度にロボットテストフィールドにて高高度無人機を高度 150m 以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、事務所からの質問等に適宜対応する。

→ 国土交通省 東京航空局 釧路空港事務所

2018 年度、2019 年度に大樹町多目的航空公園から高高度無人機を高度 150m 以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、適宜、事務所からの質問等に対応する。

(3) 研究開発スケジュール

以下のとおり、各項目における開発スケジュールを示す。

| 事業計画 | 平成29年度 | | | | 平成30年度 | | | | 平成31年度 | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| H29 ①-2-(ア) 衛星ドローンの設計 | ■ | | | | | | | | | | | |
| ①-2-(イ) 衛星ドローンの制作 | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| ①-2-(ウ) 衛星通信装置非搭載型ドローンの設計 | ■ | | | | | | | | | | | |
| ①-2-(エ) ドローンの製作 | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| ①-2-(オ) UTMの設計 | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| ①-2-(カ) UTMの構築 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ①-2-(キ) レンズ衛星通信ネットワークの構築 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ①-2-(ク) UTMのシステム試験 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ①-2-(ケ) 衛星ドローンの通信試験 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ①-2-(コ) UTM配下での衛星ドローンの単機飛行試験 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ①-2-(サ) 衛星WiFiスポットの通信試験 | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ①-2-(シ) 衛星WiFiスポットを経由したドローンからの画像伝送試験 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ①-2-(ス) ドローンの単独飛行試験 | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| H30 ①-2-(ア) 衛星ドローンの画像データ伝送システムの改修 | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| ①-2-(イ) 衛星ドローンに指示コマンドの送信をするための改修 | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| ①-2-(ウ) 追加機能を使った衛星ドローン単機での飛行試 | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| ①-2-(エ) 複数のドローンを使用した飛行試験 | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| H31 ①-2-(ア) 衛星ドローンの改修 | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| ①-2-(イ) 複数ドローンの飛行試験 | | | | | | | | | | ■ | ■ | |

図Ⅲ.2.2.1.2-11 通信衛星を利用したドローン運行管理システムの開発

| 事業計画 | 平成29年度 | | | | 平成30年度 | | | | 平成31年度 | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| H29 ②-2-(ア) 機体設計 | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(イ) 部品の調達 | | | | | | | | | | | | |
| H30 ②-2-(ア) 機体製作(パーツの品質試験含む) | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(イ) 地上試験 | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(ウ) 地上走行試験 | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(エ) 実機での遠隔操縦による飛行試験 | | | | | | | | | | | | |
| H31 ②-2-(ア) 高高度無人機の改修 | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(イ) 地上試験 | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(ウ) 地上走行試験 | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(エ) 実機での遠隔操縦による飛行試験 | | | | | | | | | | | | |
| ②-2-(オ) 実機での自動操縦による飛行試験 | | | | | | | | | | | | |

図Ⅲ.2.1.2-12 高高度無人機の機体開発

| 事業計画 | 平成29年度 | | | | 平成30年度 | | | | 平成31年度 | | | |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| H29 ⑤-2-(ア) 通信装置の仕様作成 | ■ | | | | | | | | | | | |
| ⑤-2-(イ) 通信装置の製造 | | ■ | | | | | | | | | | |
| ⑤-2-(ウ) 通信装置の地上試験 | | | ■ | | | | | | | | | |
| ⑤-2-(エ) 通信装置をドローンに搭載しての試験 | | | | ■ | | | | | | | | |
| H30 ⑤-2-(ア) 小型無線通信装置の制作 | | | | | ■ | | | | | | | |

図Ⅲ2.2.1.2-13 小型無線装置の製作

| 事業計画 | 平成29年度 | | | | 平成30年度 | | | | 平成31年度 | | | |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| H29 ⑦-2-(ア) 福島テストフィールドを使った総合試験 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| ⑦-2-(イ) 福島テストフィールドを使ったデモンストレーション | | | | | | | | | | | ■ | |

図Ⅲ2.2.1.2-14 衛星を使ったドローン運行管理システムの総合試験

| 事業計画 | 平成29年度 | | | | 平成30年度 | | | | 平成31年度 | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 | 第1 四半期 | 第2 四半期 | 第3 四半期 | 第4 四半期 |
| ⑧-(ア) 現用ソーラープレーンの飛行許可(高度150m以上) | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ⑧-(イ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度化 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ⑧-(ウ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度化 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ⑧-(エ) 高高度無人機(高度20,000m前後+α)に対する機体性能基準・安全基準 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ⑧-(オ) 高高度無人機、衛星ドローン、一般ドローンと有人機の衝突回避に係る法制度 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ⑧-(カ) 高高度無線機、ドローン等の無線免許取得 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| ⑧-(キ) 高高度無人機の飛行許可と安全対策(高度150m以上) | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |

図Ⅲ2.2.1.2-15 試験を行う為の許認可・法整備等の調整作業

(4) 研究開発の達成状況

(1) 2017 年度の研究開発計画

・小電力通信装置の開発

中型ドローンを調達し、小電力通信装置の初期開発を完了させる。

[研究開発成果]

- ①429MHz (LoRa 方式) 無線装置、②920MHz (LoRa & FSK 方式) 無線装置を製作し、位置情報を送受信することを実現した。

・衛星ドローンの開発

衛星通信装置搭載型ドローンを製作し、衛星通信経由でテレメトリ情報を UTM へ送るための基本機能の試験までを完了させる。

[研究開発成果]

UTM と通信を行う FEP も含めて完成して、計画通り UTM を介してドローンの運行をリアルタイム管理することが出来た。

- ・ 運航管理システム（UTM）の開発

UTM として必要最低限の機能を持たせたバージョン 1 を開発する。

[研究開発成果]

衛星経由・地上ネットワーク経由リアルタイムで複数のドローンの運行を管理する機能を完成させた。

(2) 2018 年度の研究開発計画

- ・ 小電力通信装置の開発

小型軽量化した小電力通信装置の開発を行い、実証実験を行う。汎用性のある GUI の開発を行う。

回り込みや森林地帯でも通信距離が確保できる 400MHz 帯の無線機の開発を行う。

[研究開発成果]

小型化した小電力通信装置が完成し、福島 RTF にて、8km 程度の距離にデータ送信が可能であることを確認した。

GUI が完成し、小電力無線装置の設定情報やメッセージなどを、プログラミングなしで追加できるようになった。

400MHz 帯の無線機を完成させた。

SUBARU コンソーシアムでの飛行実験において、無人ヘリやドローンに小電力通信装置を搭載。当該機器の汎用性が高いことを証明した。

- ・ 衛星ドローンの開発

飛行安定性と運用性の向上を目指した機体の改良を行う。目視外飛行で衛星経由での制御を行う。

[研究開発成果]

前年度に完成させた衛星ドローンの本格的な飛行試験を福島 RTF およびその周辺エリアで行い、試験した結果およびデータを分析した。

衛星ドローンの飛行安定性と運用性を向上させるための機体改良を行った。

衛星経由でコマンドを送信してドローンの制御ができるよう改良を行った。

福島 RTF およびその周辺エリアにおいて、衛星経由でドローンを制御する目視外飛行試験を行った。

- ・ 運航管理システム（UTM）の開発

衛星ドローンに対して、制御コマンドを送ることができるように機能を追加。2D 地図の読み込みインターフェースの追加。

衛星ドローンや小電力通信装置を使った運用試験を実施する。

[研究開発成果]

衛星ドローンに対して、コマンド制御ができるように UTM の改良を行い、福島 RTF での目視外飛行において、そのことを実証した。

2D 地図の読み込みインターフェース機能を追加した。

(5) 成果の詳細

① 運行管理システム(UTM)の開発

(ア) UTM 開発

(1) 2017 年度

1. 2018 年 2 月 19 日～22 日 (スカパーJSAT 横浜管制局)

UTM、衛星ドローン、小電力無線機の結合試験を実施した。

- ・衛星ドローンの飛行計画を登録し、リアルタイムで衛星ドローンからの位置情報を受信し、UTM 地図上にリアルタイムで表示する事ができた。。
- ・小電力無線機の飛行計画を登録し、リアルタイムで衛星ドローンからの位置情報を受信し、UTM 地図上にリアルタイムで表示できた。

(2) 2018 年度

1. 2018 年 11 月 27 日 (東金屋内試験場)

衛星ドローンを UTM から飛行制御を行う試験を実施した。スカパーJSAT 横浜管制局の運行管理者から UTM 経由での遠隔制御に成功し、試験場のオペレータとの制御切り替えもスムーズに行えた。

2. 2019 年 1 月 16 日～18 日 (福島 RTF)

UTM から衛星ドローンの目視外飛行を遠隔監視制御する実証実験を行った。

同時に小電力無線装置からの位置情報も管理する事が出来た。

(イ) 衛星ドローン開発

(1) 2018 年度

1. 2018 年 7 月 10 日 (和光屋内試験場)

衛星ドローンの自立飛行を実施、飛行中に位置情報を衛星経由で UTM が、リアルタイムで把握する事に成功した。

2. 2018 年 8 月 22 日～23 日 (福島 RTF)

福島ロボットテストフィールドの飛行エリアを使って衛星ドローンの飛行実証を行った。UTM での運行管理を行い、飛行中の制御も成功した。

3. 2018 年 11 月 26 日～27 日 (東金屋内試験場)

性能向上型衛星ドローンを使って飛行試験を実施し成功した。

UTM との通信も成功した。

4. 2019 年 1 月 16 日～18 日 (福島 RTF)

福島 RTF で衛星ドローンの自律飛行を実施した。

風が 10～15 m/s 吹く中で、往復距離 2 km の飛行実証を行い成功した。

UTM から衛星経由での制御を行う見通し外飛行を成功させた。

(2) 2019 年度

1. 2019 年 5 月 29 日（鳥取県大山）

衛星ドローンと小電力無線装置、COMPASS と連携した遭難救助実証実験を実施した。鳥取県警様のご協力の元衛星ドローンと小電力通信装置を持った救助隊（3 班）が連携をして、救難本部内からそれぞれのチームの動きを把握し、遭難者を発見（衛星ドローン）し、救助隊が救助する事に成功した。

② 高高度無人機

(ウ) 機体開発、

(1) 2017 年度

1. 2017 年 11 月 27 日～30 日（福島スカイパーク）

東海大学所有のソーラープレーン（Sunfalcon2）を改良して、小電力通信機を実装した、通信実験と発電量など飛行データ取得も目的とした飛行試験を行った。

(2) 2018 年度

1. 2019 年 2 月 10 日～16 日（沖縄県伊是名島飛行場）

開発したソーラー無人機を使った飛行性能試験を行った。

3 回合計 20 分程度の飛行を実施した。

飛行試験の結果機体の一部に不具合が見つかり、設計の変更と改修が必要であることが分かった。

(エ) 自動操縦システム開発

(1) 2017 年度

1. 2018 年 2 月 10 日～16 日（沖縄伊是名島飛行場）

開発した装置を実装し、一部の飛行データの収集と解析を行った。

③ 小型無線装置の製作

(1) 2017 年度

1. 2017 年 11 月 27 日～30 日（福島スカイパーク）

周波数及び通信方式の違う 2 種類の小電力無線機をソーラープレーンに実装し、ドローンに実装した省電力無線機と目視外飛行を模擬して省電力通信装置を搭載した自動車との通信試験を行った。

その結果、高度約 300 m で飛行するソーラー無人機との通信で、LoRa 方式の通信機は、最長 8 km 離れたところから位置情報を受信する事が出来た。

ドローンからもノイズ等の影響なく位置情報の送信ができる事を確認した。

2. 2018年3月2日（愛知県愛西市の木曾川河川域）
有人ヘリに高高度無人機搭載予定の小電力通信親機を搭載し、ドローンに搭載した省電力通信子機との通信実証実験を行った。
920MHz帯の無線機ではあったが、想定通りの通信速度（キャパシティ）を確保した上で、約9km離れて位置情報を受信する事ができた。
- (2) 2018年度
 1. 2019年1月16日～18日（福島RTF）
福島RTFで高高度無人機搭載予定の小電力親機の改良型をドローンに搭載して高度約140mをホバリングさせて、改良型（小型化やデータの変更が可能）小電力子機を搭載した自動車で走り、約6km離れても安定して位置情報を送ることができた。（距離が10km未満だったのは、福島RTFでは、障害物のない直線距離を取るのが難しかった。）
- (3) 2019年度
2019年5月29日（鳥取県大山）
衛星ドローンと小電力無線装置、COMPASSと連携した遭難救助実証実験を実施した。
鳥取県警様のご協力の元衛星ドローンと小電力通信装置を持った救助隊（3班）が連携をして、救難本部内からそれぞれのチームの動きを把握し、遭難者を発見（衛星ドローン）し、救助隊が救助する事に成功した。

④ 総合試験

2019年10月～11月に実施予定

⑤ 許認可・法整備等

●高高度無人機の飛行許可（150m以上）

2017年11月に実施した福島スカイパークでの飛行試験に向けて、国土交通省の航空局、安全企画課、航空機安全課、運航安全課に説明し、仙台空港事務所にて申請し、許可を受けた。

●高高度無人機の機体性能、基準・安全基準

高高度無人機の機体性能を航空機安全課に相談し、省内で調整して頂いた結果、航空法の“無人航空機”に分類されることを確認した。無人航空機に課される基準・安全基準に則り、高高度無人機を開発した。

●高高度無人機とドローンの運航管制用の周波数法制度化

高高度無人機経由のドローンの運航管理用の周波数として、WRC-12で無人機の運航管制用に分配された5GHz帯（5030—5091MHz）を利用可能とするため、ICAOのRPASP14回会合（2019年6月開催）に日本国案として入力し、国際基準SARPs

の改訂（2021年3月）を目指している。

●高高度無人機の運航管制用の無線局免許

高高度無人機の運航管制用に351MHz帯、高高度無人機と小型無人機間の管制用の周波数として以下の無線局免許を取得した

| | | | |
|----------------------------------|------------------------------|-------|--------------------------|
| 非常系機上局（簡易無線） | 351 MHz 帯 | 5 W | 簡易無線 |
| ドローンマッパー® （位置共有システム、 NICT） | 397.4MHz 帯 （帯域幅 20kHz） | 250mW | 実験局（地上にて試験する ために利用予定） |

(6) 最終目標の達成の見通し

① 運行管理システム(UTM)の開発

(ア)UTM 開発

開発は現在ほぼ終わっていて、総合試験で FIMS との接続実証を行う。

(イ)衛星ドローン開発

基本的な飛行性の歯、山岳部や強風時でも安定した飛行を行い、衛星経由での位置情報の収集や制御も確認できているレベルになっており、残件である 10 km 程度の飛行を可能とする性能強化を残すのみである。

(現在開発中)

② 高高度無人機の機体開発

機体開発はほぼ終了しており、8月、9月の飛行試験を行う予定である。

③ 高高度無人機の自動操縦システム

機器開発はほぼ終了しており、実装も完了している。

シミュレータを使って動作の確認は完了している。

9月の飛行試験で自動操縦を行う予定。

④ 小型無線装置の製作

遮蔽物に強い 390MHz 帯の無線機を開発しており、その試験を残すのみ。

また、機能強化を行う予定であり、実証実験を通じて成果を出す予定。

⑤ 総合試験

9月末に高高度無人機と小電力無線子機を搭載したドローンとで衛星経由の位置情報を UTM で管理する予定。

10月中旬に FIMS と UTM を接続し、衛星ドローン、小電力無線搭載のドローンを飛行させたコンソとの合同飛行実証実験を行う予定。

⑥ 許認可・法整備等

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2.1.3. 運航管理機能の開発（離島分野）

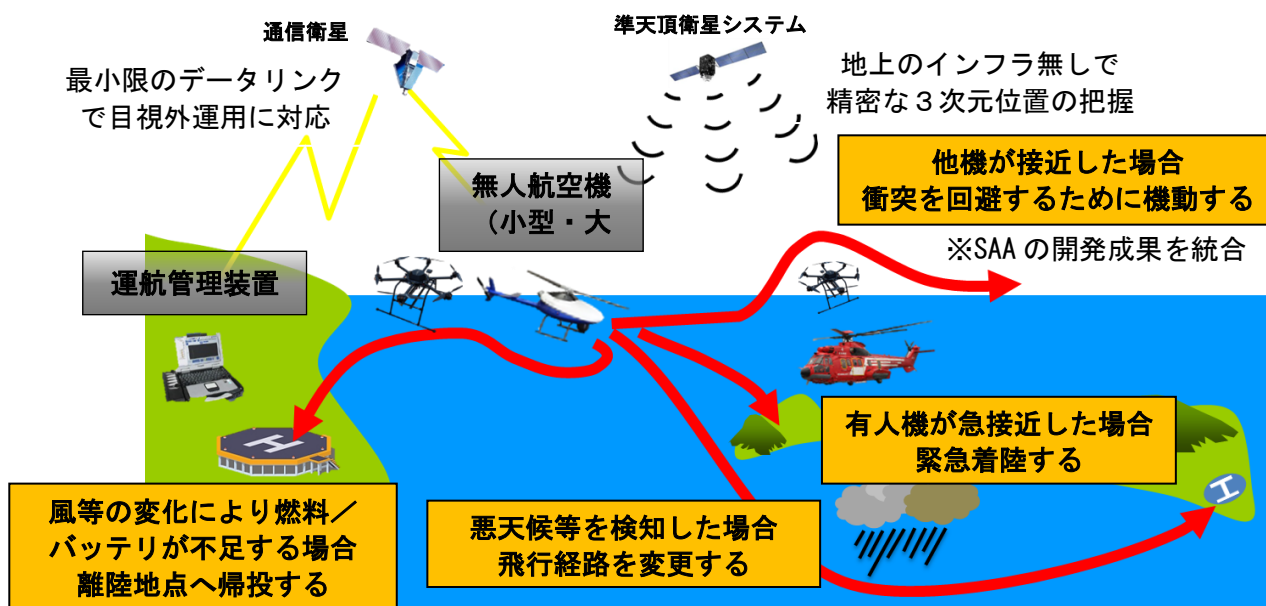
（実施先：株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所、三菱電機株式会社）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されており、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第6回）（2017年5月19日開催）にて取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ」に沿って、離島や山間部での無人航空機による荷物配送の実現等を目指し、官民一体となって取り組んでいると認識している。

この「空の産業革命に向けたロードマップ」に示された無人地帯での目視外飛行（レベル3）（例えば、離島や山間部への荷物配送）及び有人地帯での目視外飛行（レベル4）（例えば、都市の物流、警備）の本格化に向けては、他の飛行体（有人航空機、無人航空機等）や障害物との衝突を回避しつつ飛行するための衝突回避技術の開発が必要不可欠である。

このため、離島間物流（以下、離島運航）のように、地上と無人航空機間の通信インフラが十分に整備されておらず、また、様々な状況の変化が想定される長距離飛行において、無人航空機が自律的に飛行経路を変更し、準天頂衛星システムを利用して精密に飛行する技術（＝自律的ダイナミック・リルーティング技術）を実装したシステムを開発する。この自律的ダイナミック・リルーティング技術の実装イメージ図を図Ⅲ2.2.1.3-1に示す。



図Ⅲ2.2.1.3-1 自律的ダイナミック・リルーティング技術の実装イメージ図

また、自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発に当たっては、準天頂衛星システムによる高精度な位置情報に基づく自律飛行を実装する無人航空機を用いた基礎的な性能データを取得した後、自律的ダイナミック・リルーティング技術を開発し、それを実装した無人航空機を用いて、福島ロボットテストフィールドにて、定量的な性能評価を実施し、本土及び離島間での実環境下における飛行試験を行いその有効性を評価する。

本土～離島運用を想定した運航管理システム＝飛行空域に十分な地上設備なしで実現



- ① 準天頂衛星システム → 地上装置なしで精密な3次元位置測定を実現
- ② 通信衛星データリンク → 地上装置なしで目視外運用を実現
(通信遅延・データ量制約あり)



②の課題を①を用いて解決するために、自律的ダイナミック・リルーティング技術を開発

(2) 研究開発目標と根拠

(1) 技術課題と解決手法

自律的ダイナミック・リルーティング技術は、周辺状況の変化を把握し、飛行経路を再設定する技術であり、飛行経路の再設定は、衝突回避も統合されたものである。

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画に示される研究開発内容に対する技術課題とその解決手法について表Ⅲ2.2.1.3-1に示す。

| 研究開発内容（基本計画） | 技術課題 | 解決手法 |
|---|--|--|
| ① 準天頂衛星システムの補強信号を含むマルチ GNSS (Global Navigation Satellite System) により取得した高精度な位置情報により無人航空機の自律制御を行う。 | ①-1 長距離の飛行を行うため、飛行中に発生する機器故障や気象急変など状況変化が予測できない。 | ①-1 無人航空機の内部データや準天頂衛星システム等を含む搭載センサの情報により、自機の故障や、気象条件の変化など周辺状況変化の把握ができる状況判断アルゴリズムの開発 |
| | ①-2 主として洋上となる離島までの飛行経路においては、地上と無人航空機間に、十分な伝送速度と伝送容量を有する通信インフラが確保できないため、地上の操作員からの詳細な管理・操作ができない。 | ①-2 地上操作員からの最小限の管理・操作でも、周辺状況の変化に対応した無人航空機の飛行経路を再設定できる自律的な経路生成アルゴリズムの開発および、時間遅れ・伝送容量制約が大きい見通し外通信インフラでも、最小限の無人航空機からの情報と無 |

| | | |
|---|--|--|
| | | 人航空機への操作で、安全性・信頼性の確保が可能な地上管理装置の開発 |
| ② 安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために無人航空機の衝突回避技術の開発において開発された技術を統合する。 | ②-1 目視外における衝突回避を実施する場合、無人航空機は、有人航空機や無人航空機において標準化されたルールにしたがった衝突回避の機動を行う必要がある。 | ②-1 将来的には国内／国際的な標準化を考慮し、様々な衝突シナリオ（衝突対象、相対速度、自機の飛行状態）に対応する標準的な衝突回避ルールの設定 |
| | ②-2 本土・離島間の長距離飛行において想定される様々な衝突リスクに対応する必要がある。 | ②-2 準天頂衛星システムによる位置情報の共有や、有人航空機に搭載される ADS-B データの利用、無人航空機に搭載された電波センサや光波センサによる衝突対象の探知情報など、複数の協調 SAA と非協調 SAA を組み合わせることで、より多様な衝突リスクを回避する衝突回避技術の統合の実施 |

表Ⅲ.2.2.1.3-1 研究開発内容（基本計画）に対する技術課題とその解決手法

(2) 飛行実証

技術課題と解決手法で示した研究開発成果を実証するために以下のステップで飛行実証を実施する。

(a) 基礎データの取得（2017 年度及び 2018 年度に実施）

準天頂衛星システムの高精度位置情報を使用した無人航空機の誘導制御の基本性能データと、離島運用を想定した各種センサの基礎データを取得し、自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発の資を得る。

加えて、自律的ダイナミック・リルーティング技術を搭載した無人航空機と有人航空機を福島ロボットテストフィールド等で飛行させ、空中で停止している有人航空機に無人航空機が接近した際に、各種センサが有人航空機を検知し予め定めた回避機動の動作検証試験を実施する。

なお、福島ロボットテストフィールドでの試験の際に、大型無人航空機の安全対策としての有人航空機での監視や地上からの操作による緊急時操縦、小型無人航空機が有人航空機に想定外に異常接近した際の衝突防止等、安全対策の処置を強化する。

また、これまで実施しているシミュレーションは自機と回避対象機が 1 対 1 の場合を想定しているが、より実フライトに近い環境での検証のために、回避対象機を増やしたパターンを追加検証する。

(b) 定量的な評価試験（2019年度に実施予定）

開発した自律的ダイナミック・リルーティング技術を用い、設定した運航シナリオが安全に実現できることを、計測設備が整備された福島ロボットテストフィールドにおいて実証し、定量的な性能を把握する。

また、レーダのノイズにまぎれて探知できないまま相手が接近する場合やレーダの上下方向覆域外からの脅威機が接近する場合といった、特殊な状況まで想定し、近距離で探知した場合でも確実に衝突回避を行うための緊急回避機能についても追加検証する。

(c) 実環境での飛行実証（2019年度に実施予定）

離島運航シナリオを設定し、本土及び、離島間において実環境下での自律的ダイナミック・リルーティング技術の有効性を評価する。

(3) 研究開発スケジュール

目標達成に向けた研究開発スケジュールを表Ⅲ2.2.1.3-2に示す。

| 項目 | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | |
|-----------------------|---------|---------|---------|------------|
| ダイナミック・リルーティングシステムの開発 | | 設計・製造 | 地上試験 | 試験結果の反映・改善 |
| 飛行実証 | 基礎データ取得 | 基礎データ取得 | 定量的評価試験 | 実環境評価試験 |

表Ⅲ2.2.1.3-2 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

①株式会社 SUBARU

研究開発の達成状況の一覧を表Ⅲ2.2.1.3-3に示す。

| 項目 | 研究開発項目 | 達成状況 | 評価／ 成果の詳細の参照 項目 |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|
| ダイナミック・ リルーティング システムの開発 | 長距離飛行を 行うための状 況判断 | 本システムが探知する状況と、その状況 への飛行対処の具体的内容を検討し対処 方法をソフトウェアに実装した。 | ○ 2.5.1(1) |
| | 離島における 無人航空機の 管理 | 全体構想の案を構築し、離島運用におけ る管理方法について具体化した。運行管 理統合システム等との連携については、 引き続き全体設計結果と協調して進め る。 | ○ 2.5.1(2) |
| | 衝突回避のル ールの設定 | 諸外国の状況を踏まえた、有人航空機等 の協調・非協調を含めた衝突回避のル ールを調査し、ルール(案)について設定し た。 | ○ 2.5.1(3) |
| | 協調・非協調の 衝突回避技術 の統合 | センサ間のインタフェースを明確化し、 長距離の飛行において、回避を行うこと ができるシステム製造を完了し、シミュ レータによる検証を実施した。 | ○ 2.5.1(4) |
| | ダイナミック・ リルーティン グシステムの 製造 | ダイナミック・リルーティング技術を実 証するためのシステムを製造し、各装置 が正常に動作していることを確認した。 | 2.5.1(5) |
| 飛行実証 | 搭載センサの 基礎データ取 得 | 離島での運用を想定した実環境における 実装するセンサの探知データを取得し た。 | ○ 2.5.2(1) |
| | 飛行実証試験 | 飛行実証試験に向けた衝突回避事前確認 (対無人航空機)飛行試験及び無人航空 機衝突回避機能を飛行実証するための衝 突回避基本性能評価飛行実証試験を完了 した。 | ○ 2.5.2(2) |

表Ⅲ2.2.1.3-3 研究開発の達成状況

②日本無線株式会社

研究開発目標と達成状況の一覧を表Ⅲ2.2.1.3-4に示す。

| 項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|----------------------------|----------------------------|--|------------------|-----------------------------|
| ダイナミック・リレーティング技術の開発（電波センサ） | 衝突回避システムのインターフェース設計 | 各装置を接続し、正常に通信が可能であることを確認した。 | ○ | |
| | 電波センサの探知距離等の基礎データ取得 | 衝突回避に要求される電波センサの仕様を明確化した。 | ○ | |
| | 使用する電波センサの基本性能等の確認 | 試作した電波センサを用いて、電波の質や目標検出処理内容の確認をおこなった。 | △ (二次試作で達成予定) | 処理パラメータの最適化により探知性能の確認をおこなう。 |
| | 衝突回避システムの地上統合試験による基礎データ取得 | 地上統合試験において電波センサの探知データが自律管理装置で受信できることを確認した。 | ○ | |
| | 衝突回避システムの衝突回避に関する飛行試験による実証 | 相対速度 100km 程度で飛行する目標を 1km 以上で探知できることを確認した。 | △ | 処理パラメータの最適化により探知性能の確認をおこなう。 |

表Ⅲ2.2.1.3-4 研究開発目標及び達成状況

③日本アビオニクス株式会社

研究開発目標と達成状況の一覧を表Ⅲ2.2.1.3-5に示す。

| 項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----|-------|
| ダイナミック・リレーティング技術の開発（光波センサ） | 衝突回避システムのインターフェース設計 | 各装置を接続し、正常に通信が可能であることを確認した。 | ○ | |
| | 光波センサの離島を想定した探知・識別評価用の基礎データ取得 | 処理の基本検証に要する各種条件の動画データを取得完了した。 | ○ | |
| | 使用する光波センサの基本性能等の確認 | 試作した光波センサを用いて、探知・識別処理基本方式の妥当性を検証した。 | ○ | |

| | | | | |
|--|----------------------------|---|---|--------------------------|
| | 衝突回避システムの地上統合試験による基礎データ取得 | 地上統合試験においてセンサの探知データが自律管理装置で受信できることを確認した。 | ○ | |
| | 衝突回避システムの衝突回避に関する飛行試験による実証 | 実環境での飛行試験で脅威機（有人ヘリコプタ）前方 1km 以遠の物体探知が可能なことを検証した。周囲環境による誤検知要素の課題を抽出した。 | △ | 周囲環境毎に合致した処理方式の最適化を実施する。 |

表Ⅲ2.2.1.3-5 研究開発目標及び達成状況

④株式会社自律制御システム研究所

【達成目標】

離島運航を想定した運航管理システムは、飛行空域に十分な地上の通信設備なしで実現する必要がある。通信衛星データリンクの活用により、地上の通信設備が整っていない場合でも目視外運用の実現が可能となるが、通信衛星データリンクは通信遅延・データ量制約があるため、間欠的な運航管理となる。これを補間するため、地上の通信設備が無い場合でも精密な3次元位置測定を実現可能とする準天頂衛星システムを用い、自律的ダイナミック・リルーティング技術を開発する。

【達成状況】

2019年度の研究開発では以下の5つの項目について検討及びこれを実現する装置の開発を実施した。

- ① 長距離飛行を行うための状況判断、
- ② 離島における無人航空機の管理、
- ③ 衝突回避のルールの設定、
- ④ 協調・非協調の衝突回避技術の統合、
- ⑤ 自律的ダイナミック・リルーティングシステムの製作

ロボットテストフィールドにおける実証実験にて衝突回避技術を統合した小型無人航空機の検証も実施しており、開発は計画通り進捗している。

⑤三菱電機株式会社

研究開発目標と達成状況の一覧を表Ⅲ2.2.1.3-6に示す。

| 項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----|
| 準天頂衛星対応受信機のドローンへの搭載 | 準天頂衛星対応受信機及び小型アンテナの中型・小型無人航空機への搭載 | スバル、自律研とのI/F調整、干渉確認を行い、無人航空機への搭載を実施 | ○ |
| フライトデータ取得 (福島RTF) | 福島RTFにおけるフライトデータ取得 | 小型・中型無人航空機へ搭載し、フライト時の測位データの取得を実施 | ○ |
| 基礎データ取得 (離島・海上) | 準天頂衛星対応受信機及び小型アンテナにより離島及び海上での測位データ取得 | 沖縄、瀬戸内海において測位データ取得を実施 | ○ |

表Ⅲ2.2.1.3-6 研究開発目標及び達成状況

(5) 成果の詳細



①株式会社 SUBARU

1. ダイナミック・リルーティングシステムの開発

(1) 長距離飛行を行うための状況判断

自律的ダイナミック・リルーティングシステムが「探知し回避する障害の種別」と「それに対する対応方法」について表Ⅲ2.2.1.3-7の通りに、また、「探知し回避する障害の種別」と「安全距離及び探知方法」を表Ⅲ2.2.1.3-8の通りに設定し、装置に実装した。

自機の飛行状態における状況とそれぞれに対する対応方法について大型無人航空機と小型無人航空機について下表の通り対応するよう実装した。

| 探知し回避する障害の種別 | 対応方法 | | |
|--------------|--|--|--|
| | 中型無人航空機  | 小型無人航空機  | |
| 有人航空機 | 「衝突回避のルールの設定」の項目にて説明 | | |
| 無人航空機 | | | |
| 鳥 | 「衝突回避のルールの設定」の項目にて説明 | | |
| 地形・樹木 | 上昇 | | |
| 鉄塔 | | | |
| 悪天候（雲・雨域） | 旋回 | | |
| 風速変化 | 予定経路を変更し、離陸地点又は着陸地点の近い方へ直線飛行 | | |
| 故障 | バッテリー低下／推力低下 | 緊急着陸地点 、離陸地点、着陸地点の近い方へ直線飛行 | |
| | 航法データ異常 | | |
| | 通信途絶 | | |
| 帰投困難 | その場降下 | | |

表Ⅲ.2.2.1.3-7 探知し回避する障害の種別とそれに対する対処方法

| 探知し回避する障害の種別 | 安全距離 | | 中型無人航空機 | | 小型無人航空機 | |
|--------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------|------------------|--------------|
| | 離隔距離 | 離隔高度 | 探知方法 | 監視範囲 | 探知方法 | 監視範囲 |
| 有人機 | (※1) 150m | (※1) 30m | ①ADS-B ②レーダ ③光波センサ | 全周 (360°) | ①ADS-B ②光波センサ | 前方 (180°) |
| 中型無人機 | (※2) 自機寸法×5 | (※2) 自機寸法×5 | ①レーダ ②光波センサ | | ①光波センサ | |
| 小型無人機 | | | | | | |
| 鳥 | | | | | | |

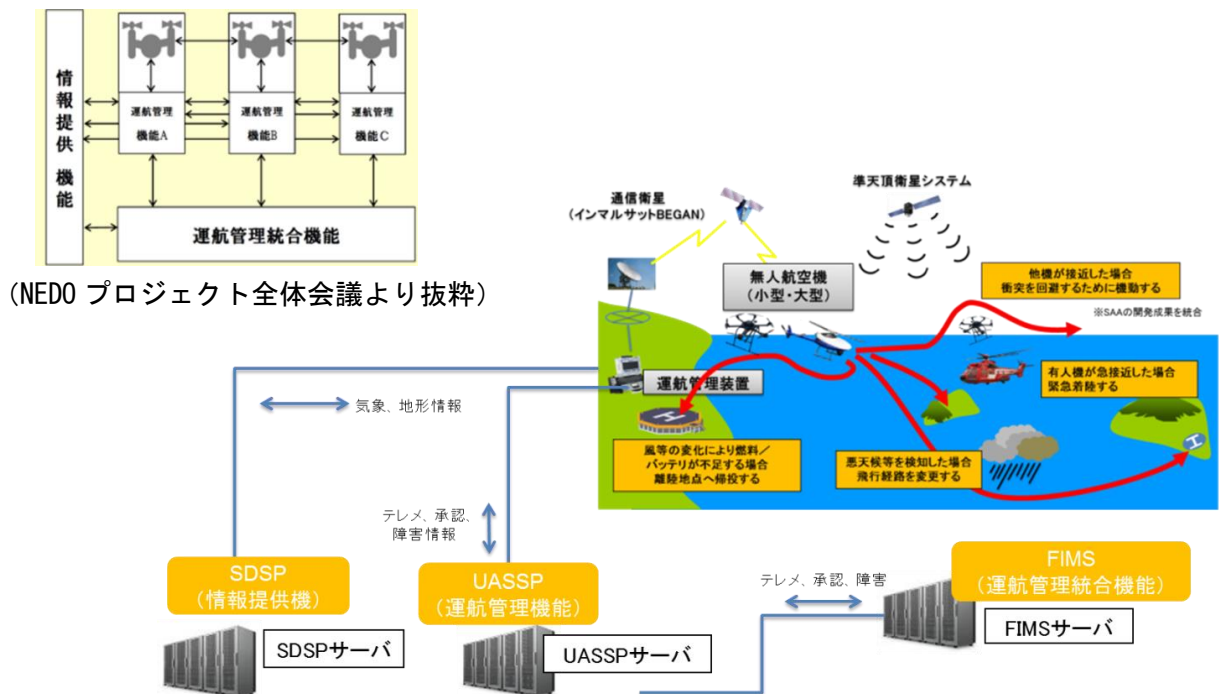
| | | | | | | |
|---------------|--------------|---|-----------------------------|--|-----------|---|
| 地形・樹木 | (※3) 30m | — | ①レーダ | | | |
| 鉄塔 | (※3) 30m | — | | | | |
| 悪天候 (雲・雨域) | (※4) 700m | — | ①UTM 気象情報 ②レーダ ③光波センサ | | ①UTM 気象情報 | — |

表Ⅲ2.2.1.3-8 「探知し回避する障害の種別」と「安全距離及び探知方法」

- ※1: ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト 性能評価基準等の研究開発 調査用無人航空機の評価手法の研究開発の試験結果
- ※2: 過去飛行実績による（コンソ独自設定）
- ※3: 無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン（国土交通省）の第3者との距離
- ※4: 航空法における高度3000m未満の有視界飛行条件における雲からの離隔距離に100mの余裕を加算

(2) 離島運航における無人航空機の管理

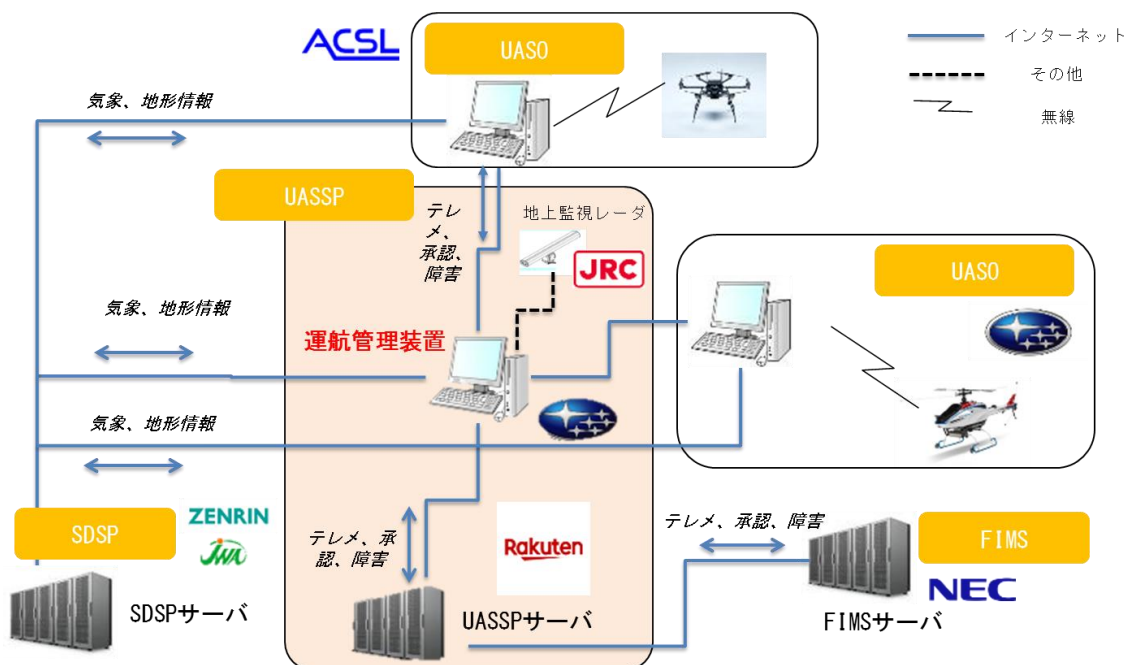
全体構想の案を構築し、離島運用における管理方法について、図Ⅲ2.2.1.3-2の通り具体化した。運行管理統合システム等との連携については、引き続き全体設計結果と協調して進める。



(NEDO プロジェクト全体会議より抜粋)

図Ⅲ2.2.1.3-2 離島運航における無人航空機の管理（1 / 2）

無人航空機の管理の全体構想は、図Ⅲ2.2.1.3-3の通りとし、離島運用における離島用の運航管理機能（UASSP）として、運航管理装置を経由して無人航空機と統合運航管理システムを接続することによる管理を行う方針とした。



図Ⅲ2.2.1.3-3 離島運航における無人航空機の管理（2 / 2）

(3) 離島運航における衝突回避のルールの設定

離島運航における衝突回避を実現するために、有人航空機等の既存の協調・非協調を含めた既存の衝突回避のルールの調査を表Ⅲ2.2.1.3-9の通り実施した結果、現状明確にルールが定められているものは存在しなかった。このため、調査結果を踏まえ、衝突回避ルールの基本方針を以下の通り整理した。

- 有人航空機に対し、無人航空機が回避を行う。
- 回避行動は、減速、旋回、上昇、降下のいずれかを選択する。
- 無人航空機同士は、互いに右へ進路を変更する。

衝突回避ルールの基本方針を考慮し、無人航空機の性能を考慮した衝突回避を行うことが必要であるため、本プロジェクトにおいては表Ⅲ2.2.1.3-10の衝突回避ルールを基本として検証を行う。

| 項目 | 区分 | 回避ルール |
|-----------------|----------------|--|
| 日本航空法 | 有人航空機 無人航空機 | <ul style="list-style-type: none"> ・進路の優先権を種別ごとに設定（無人航空機は最も低い優先権） ・同順位の航空機においては、互に進路を右に変更 ・追い越す場合は右を通過 |
| ACAS II (ICAO) | 有人航空機 | <ul style="list-style-type: none"> ・一定の距離に近づくと上下方向の速度を相互に指示 |
| ACAS III (ICAO) | 有人航空機 | <ul style="list-style-type: none"> ・一定の距離に近づくと、上下、水平方向の回避を指示 |
| RTCA DO-362 | 無人航空機 | <ul style="list-style-type: none"> ・150m 以上の空域における衝突回避の方法について、探知情報に基づき回避行動（旋回、上昇、降下）をとるよう規定されている。 ・回避ルールについての明示は無い |
| ACASX (NASA) | 有人航空機 無人航空機 | <ul style="list-style-type: none"> ・エアライン等で使用されている衝突防止装置 (TCAS) の発展型として検討が進められており、旅客機のような大型機との衝突回避を想定している。 |

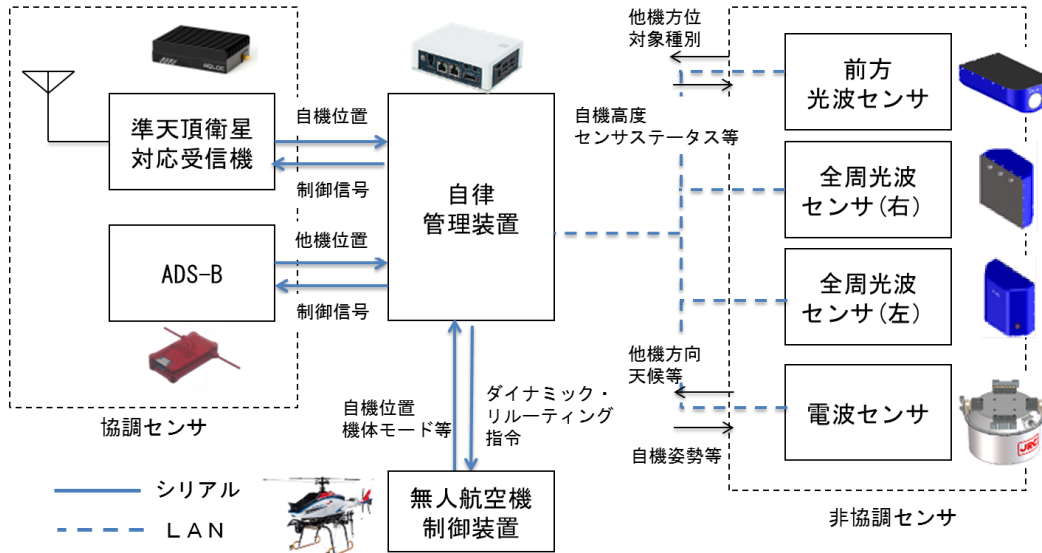
表Ⅲ2.2.1.3-9 既存の衝突回避ルール

| 回避し回避する 障害の種別 | 回避行動を実施する無人航空機の種別 | |
|--|---|---|
| | 中型無人航空機 | 小型無人航空機 |
| 有人航空機  |  | 正面から接近： 降下 上記以外： 減速 （停止） |
| 中型無人航空機  | 正面からの接近： 旋回 上記以外： 減速 > 旋回 > 降下 / 上昇 の優先順位で経路を選択 | 正面から接近：降下し、状況が改善されない場合は 右旋回 上記以外：減速（停止） |
| 小型無人航空機  | | |

表Ⅲ2.2.1.3-10 衝突回避ルール

(4) 協調・非協調の衝突回避技術の統合

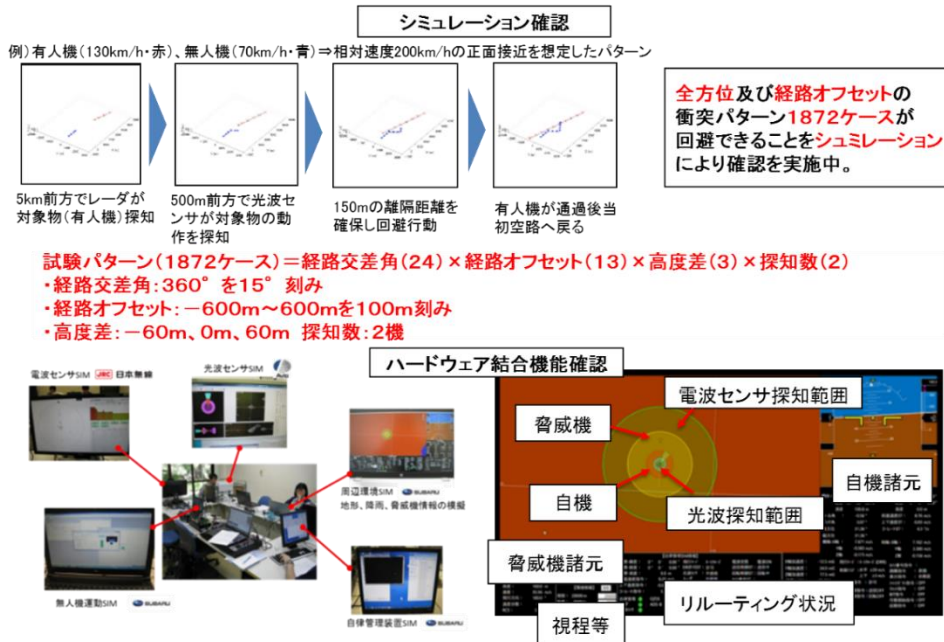
センサ間のインタフェースを明確化し、長距離の飛行において、回避を行うことができるシステム製造を完了した。図Ⅲ2.2.1.3-4に各センサ間インタフェースを示す。



図Ⅲ2.2.1.3-4 各センサ間インタフェース

(5) 自律的ダイナミック・リルーティングシステムの製造

自律的ダイナミック・リルーティング技術の実証システムを製造し、機能が正常に発揮できることを確認すると共に、実際のセンサのモデルを組み込んだ図Ⅲ2.2.1.3-5に示すケースのシミュレーションを実施した。



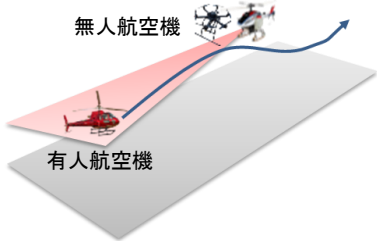
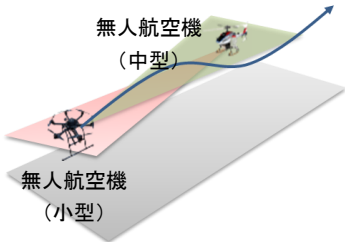
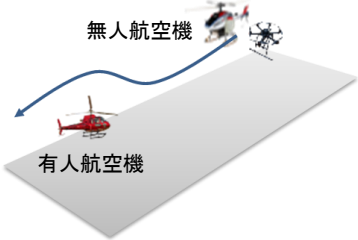
図Ⅲ2.2.1.3-5 シミュレーション実施の様相

2. 飛行実証

(1) 搭載センサの基礎データ取得

開発したシステムを実証するために、①有人航空機探知試験として、各種センサを搭載した空中で停止している無人航空機に有人航空機が接近し、探知性能を確認する。②無人航空機探知試験として、各種センサを搭載した空中で停止している無人航空機（中型）に無人航空機（小型）が接近し、探知性能を確認する。③無人航空機回避機動基礎試験として、無人航空機が回避機動を模擬し、飛行中の有人航空機の探知性能を確認する。3つの実証試験を実施した。試験の概要を表Ⅲ2.2.1.3-11に示す。

試験は、共同実施者12社・機関、50名規模の参加者と協力し、安全を確保しつつ、5日間で、100ケースの基礎試験データを取得できた。実証試験の実施状況を図Ⅲ2.2.1.3-6に示す。

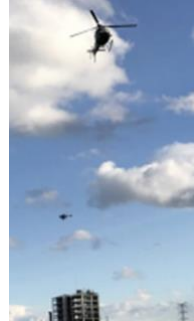
| 試験名称 | 試験概要 |
|---------------|---|
| 有人航空機探知試験 | <p>各種センサを搭載した空中で停止している無人航空機に有人航空機が接近し、探知性能を確認する。</p>  |
| 無人航空機探知試験 | <p>各種センサを搭載した空中で停止している無人航空機（中型）に無人航空機（小型）が接近し、探知性能を確認する。</p>  |
| 無人航空機回避機動基礎試験 | <p>無人航空機が回避機動を模擬し、飛行中の有人航空機の探知性能を確認する。</p>  |

表Ⅲ2.2.1.3-11 搭載センサ基礎データ取得の試験概要

- **リリース**：試験状況についてプレスリリースを実施し、共同通信、時事通信、日本経済新聞、福島民友、福島NHK等で報道された他、1月号の航空情報にて試験結果についての記事が記載され広く周知できた。



福島民友
 ドローン衝突防げ！
 センサー作動試験
 福島県から夢や期待
 発信
<http://www.minyu-net.com/news/news/FM20181215-334410.php>



日本経済新聞（北海道・東北版）
 無人航空機の衝突回避試験実施 NEDO など福島県で
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZ03896261014122018L01000/>



航空情報（1月号）
 世界初、衝突回避の試験実施

- **試験結果**：共同実施者 12 社・機関、50 名規模の参加者と協力し、安全確保の上、5 日間で、100 ケースの基礎試験データを取得できた。

試験実施状況（高度 30m で無人航空機・有人ヘリコプターすれ違い）



有人ヘリコプター機内



無人航空機飛行前確認



地上モニタ

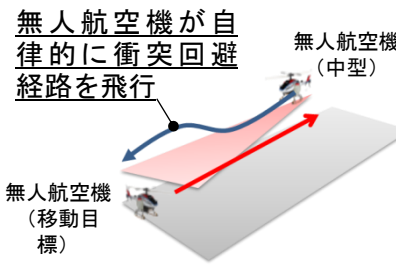
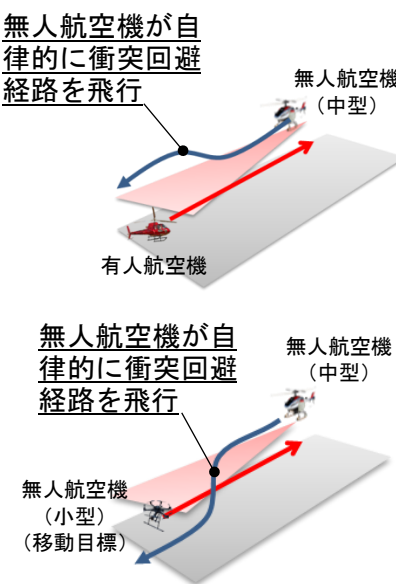
図Ⅲ.2.2.1.3-6 搭載センサ基礎データ取得試験の実施状況

(2) 飛行実証試験

飛行実証試験に向けた衝突回避事前確認（対無人航空機）飛行試験、無人航空機衝突回避機能を飛行実証するための衝突回避基本性能評価飛行実証試験を実施した。試験の概要を表Ⅲ2.2.1.3-12に示す。

衝突回避事前確認（対無人航空機）飛行試験においては、中型無人航空機の衝突回避機能の検証として、レーダ及び光波センサの探知状況を相対速度 100km/h 以下の飛行状態で確認するとともに、自律管理装置がセンサの探知状況により、無人航空機に対し指示指令を出力し経路を変更できることを飛行状態で確認した。

また、衝突回避基本性能評価飛行実証試験においては、無人航空機に搭載するレーダ及び光波センサにより、相対速度 100km/h 以下で接近してくる有人航空機及び小型無人機を飛行中に探知し、衝突回避を行う機能を実証することができた。

| 試験名称 | 試験概要 |
|----------------------|---|
| 衝突回避事前確認（対無人航空機）飛行試験 | <p>無人航空機に搭載するレーダ及び光波センサにより、有人航空機を模した相対速度 100km/h 以下で接近してくる移動目標を飛行中に探知し、衝突回避を行う基本的な機能を検証する。</p>  <p>無人航空機が自律的に衝突回避経路を飛行</p> |
| 衝突回避基本性能評価飛行実証試験 | <p>無人航空機に搭載するレーダ及び光波センサにより、相対速度 100km/h 以下で接近してくる有人航空機及び小型無人機を飛行中に探知し、衝突回避を行う機能の実証を行う。</p>  <p>無人航空機が自律的に衝突回避経路を飛行</p> <p>無人航空機が自律的に衝突回避経路を飛行</p> |

表Ⅲ2.2.1.3-12 衝突回避事前確認（対無人航空機）飛行試験及び衝突回避基本性能評価飛行実証試験概要

②日本無線株式会社

電波センサを無人航空機に搭載して他機材との接続試験をおこない、相互に干渉等はなく正常に動作できることを確認した。

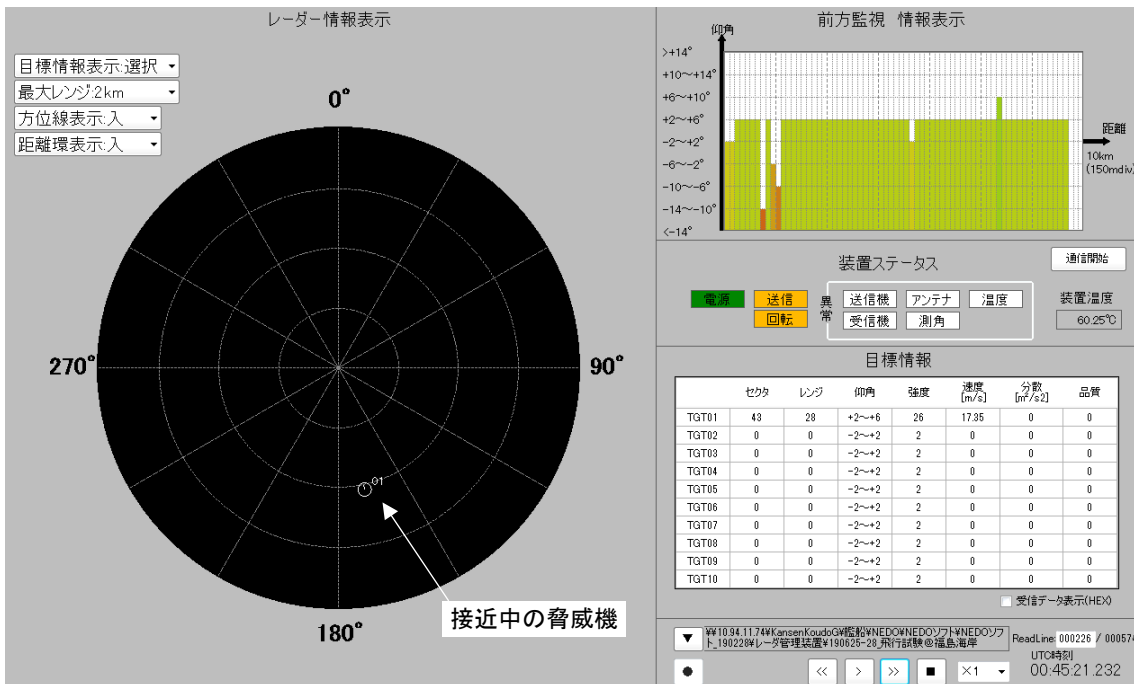
電波センサを無人航空機に搭載して探知機とし、有人ヘリ相当の反射板を取り付けた脅威機を目標として衝突回避を模擬した飛行試験を実施した。試験の結果、脅威機を1km以遠で検出して自律回避に必要な情報を出力できることを確認した。



図Ⅲ2.2.1.3-7
探知機への電波センサの搭載状況



図Ⅲ2.2.1.3-8
脅威機に取り付けた反射板



図Ⅲ2.2.1.3-9 飛行試験における探知データの例

③日本アビオニクス株式会社

光波センサを無人航空機に搭載して他機材との接続試験をおこない、相互に干渉等は無く正常に動作できることを確認した。

光波センサを無人航空機に搭載して探知機とし、中型無人航空機を脅威機目標として衝突回避を模擬した飛行試験を実施した。試験の結果、脅威機を 500m 以遠で探知して自律回避に必要な情報を出力できることを確認した。これは有人ヘリコプターを脅威機とした場合、1km 以上以遠と想定される距離である。



図Ⅲ2.2.1.3-10 探知機への光波センサの搭載状況



図Ⅲ2.2.1.3-11

前方カメラによる脅威機の探知状況例



図Ⅲ2.2.1.3-12

全周囲カメラによる脅威機の探知状況例

④株式会社自律制御システム研究所

(1) ダイナミック・リルーティングシステムの開発

①長距離飛行を行うための状況判断の実装

自律的ダイナミック・リルーティングシステムが「探知し回避する障害の種類」と「それに対する対応方法」について具体的内容を検討し対応方法をソフトウェアに実装した。

| 探知し回避する障害の種類 | 対応方法 | | |
|--------------|--|--|--|
| | 中型無人航空機  | 小型無人航空機  | |
| 有人航空機 | 「衝突回避のルールの設定」の項目にて説明 | | |
| 無人航空機 | | | |
| 鳥 | 無人航空機に準じる | | |
| 地形・樹木 | 上昇 | | |
| 鉄塔 | | | |
| 悪天候(雲・雨域) | 旋回 | | |
| 風速変化 | 予定経路を変更し、離陸地点又は着陸地点の近い方へ直線飛行 | | |
| 故障 | バッテリー低下／推力低下 | 緊急着陸地点、離陸地点、着陸地点の近い方へ直線飛行 | |
| | 航法データ異常 | | |
| | 通信途絶 | | |
| 帰投困難 | その場降下 | | |

表Ⅲ.2.2.1.3-13 探知し回避する障害の種類と対応方法及び安全距離

②離島における無人航空機の管理の実装

全体構想の案を構築し、離島運用における管理方法について具体化した。運行管理統合システム等との連携については、引き続き全体設計結果と協調して進める。

③衝突回避のルールの設定

諸外国の状況を踏まえた、有人航空機等の協調・非協調を含めた衝突回避のルールの調査し、ルール(案)を設定した。

④協調・非協調の衝突回避技術の統合

センサ間のインターフェースを明確化し、長距離の飛行において、回避を行うことができるシステム製造を完了予定である。

⑤自律的ダイナミック・リルーティングシステムの製造

ダイナミック・リルーティング技術を実証するためのシステムを製造し、各装置が正常に動作していることを確認した。

(2) 飛行実証

①準天頂衛星システムを使用した基本性能取得

ACSL-PF1 に小型化した準天頂衛星システムを統合し、水平・上下方向の位置精度向上を確認した。

②搭載センサの基礎データ取得

離島での運用を想定した実環境における実装するセンサの探知データを取得した。

⑤三菱電機株式会社

(1) 準天頂衛星対応受信機のドローンへの搭載

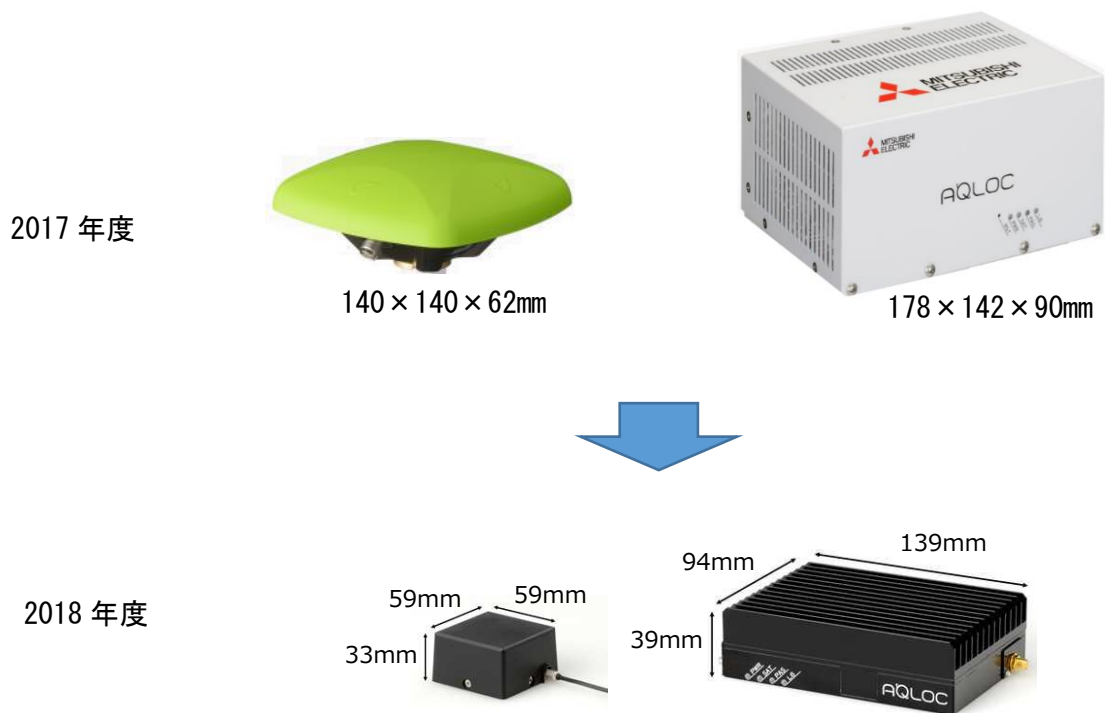
中型・小型無人航空機に対し、受信機及びアンテナの取付け位置の調整を実施。受信機及びアンテナの寸法・重量、無人航空機のプロペラとの干渉などを考慮し、地上での測位確認を実施の上、取付け位置を決定した。



図Ⅲ2.2.1.3-13 準天頂衛星対応受信機のドローンへの搭載

受信機及びアンテナの寸法・重量は、2017年度と比較し、以下のとおり小型・軽量化を図っている。

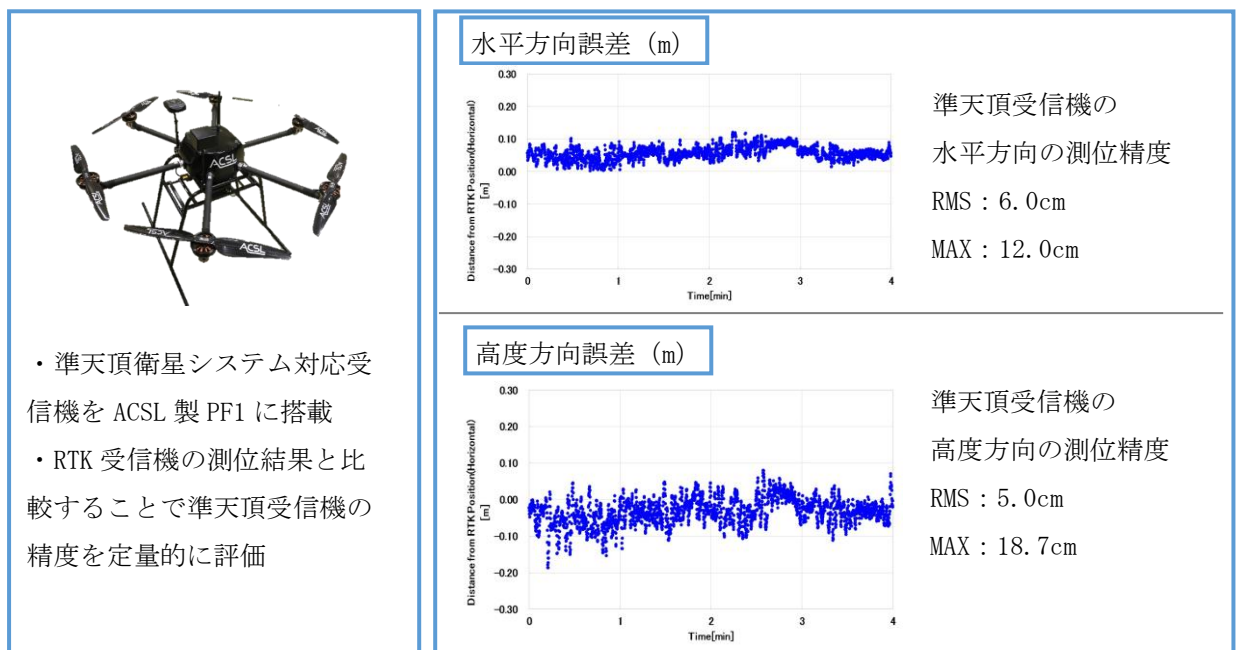
- アンテナ寸法：1215cm³ → 115cm³と91%の小型化
- 受信機寸法：2275cm³ → 510cm³と78%の小型化
- 全体重量：4kg → 0.8kgと80%の軽量化



図Ⅲ.2.2.1.3-14 受信機及びアンテナの小型化

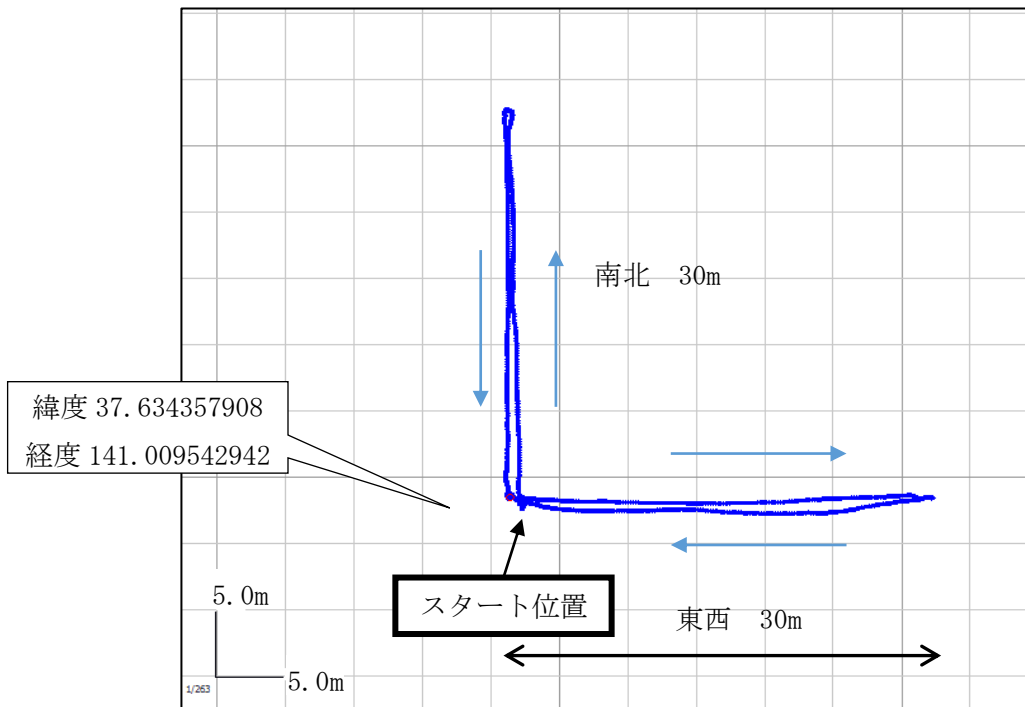
(2) フライトデータ取得（福島 RTF）

評価用準天頂衛星システム対応受信機を統合した ACSL-PF1 での受信機測位精度評価



図Ⅲ.2.2.1.3-15 準天頂受信機と RTK 受信機（真値）の測位精度比較

計測時の ACSL-PF1 の飛行経路は、高度 30m で東西、南北に移動飛行させた。このときの RTK 測位結果を下記に示す。



飛行経路 30m 上空
図Ⅲ.2.2.1.3-16 RTK 測位結果

(3) 基礎データ取得（離島・海上）

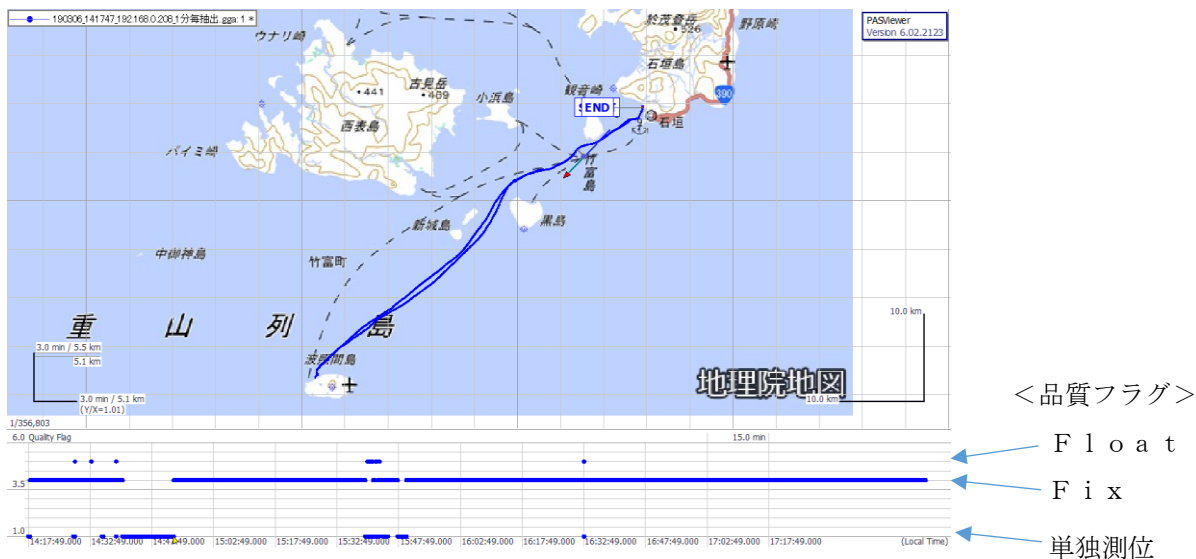
離島間でのドローン飛行に対し、離島内及び離島間の海上における準天頂衛星の補強情報を用いた測位検証のため、沖縄及び瀬戸内海にて基礎データの取得を実施した。

石垣島、波照間島、西表島における測位検証例を以下に示す。
小型アンテナを船舶前方に設置し、船内にて準天頂衛星対応受信機にて測位状況のデータを取得した。

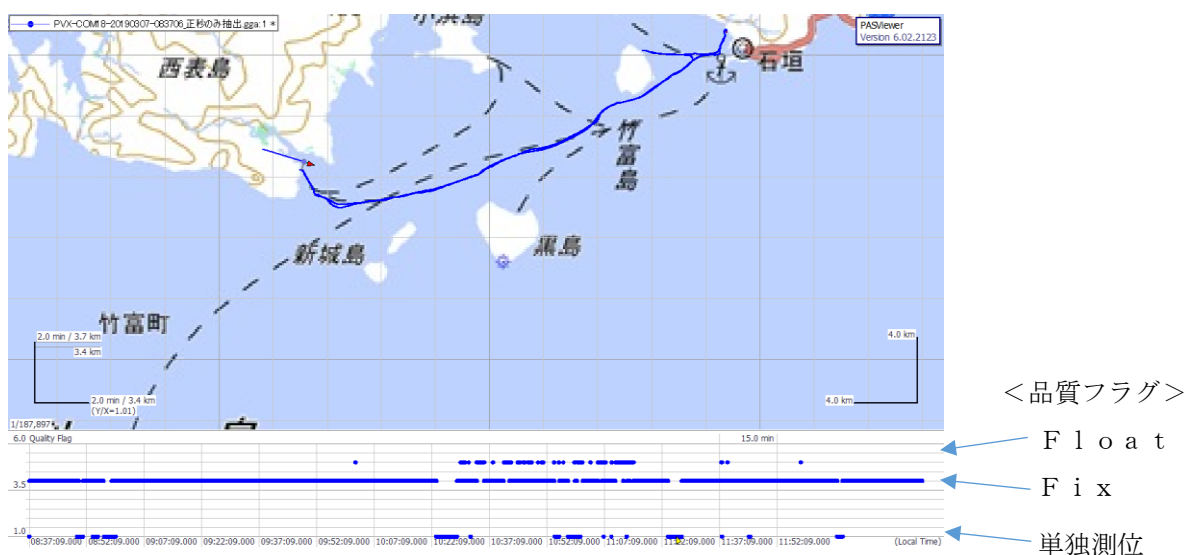
単独測位となる区間はあるが、概ね準天頂衛星の補強情報を受信可能であり、F i xまたはF l o a t状態を継続していることを確認した。



a) 石垣港（石垣島）～竹富港（竹富島）～大原港（西表島）～石垣港（石垣島）



b) 石垣港（石垣島）～竹富港（竹富島）～大原港（西表島）～石垣港（石垣島）



図Ⅲ2.2.1.3-17 石垣島、波照間島、西表島における測位検証例

(6) 最終目標の達成の見通し

①株式会社 SUBARU

計画通り、2019年7月末現在、衝突回避に係る定量的な評価試験までを完了している。今後は、①周辺状況の変化を把握し、飛行経路を再設定する機能の定量的な評価試験と②衝突回避を含む自律的ダイナミック・リルーティング技術の実環境での飛行実証を行う計画であり、この試験の実施計画については、試験実施内容、実施場所、安全対策等の実施計画を策定しており、表Ⅲ2-4-1の研究開発スケジュール通りに、本研究開発の最終目標は達成の見通しである。

②日本無線株式会社

①クラッタ除去

現状では波浪や地上を走行する車両等の不要信号（クラッタ）を誤検出することがあるが、今後の試験で信号処理の最適化を進め誤検出の発生を減らす予定である。

②探知距離

有人ヘリに対する探知距離（概ね5km程度）について、信号処理のパラメータの最適化を図りながら確認中である。

③日本アビオニクス株式会社

①地上構造物等の誤検知抑制

現状では地上構造物や、海上の白波等環境要因による誤検知が発生することがある。処理方式に空中部と地上（海上）部の識別処理を追加、改善することにより誤検知抑制を図り検証する。

②物体の探知結果分裂の抑制

現状では探知する単一物体が近距離となった場合に、1目標から2目標に分裂探知することがある。時間相関の処理を改善し、分裂の抑制を図り検証する。

④株式会社自律制御システム研究所

これまでの開発は計画通り進捗し、基本的なルール設定やハードウェア開発等は概ね完了している。システム全体の調整やフィールドでの実証を残すのみとなり、最終目標は達成の見通しである。

⑤三菱電機株式会社

上記のとおり中間目標は達成する見通しを得ている。今後は、更なる小型・軽量化した受信機のドローン適用を検討する。

最終目標としては、安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために、準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスに対応した受信機による高精度位置情報を

無人航空機の衝突回避技術に統合する。そのため、2017年度、2018年度に実施した基礎データや福島RTFでの実証結果を反映し、2019年度の本土、離島間における実環境下での自律的ダイナミック・リルーティング技術の有効性を確認するで、最終目標を達成する見込みである。

(7) 知的財産権及び成果の普及

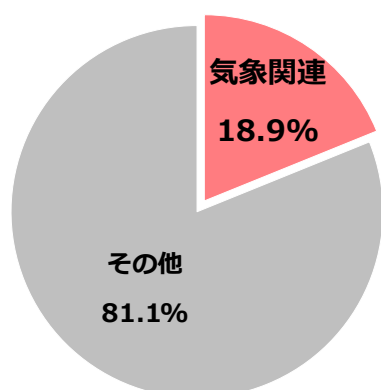
知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2.1.4. 情報提供機能の開発

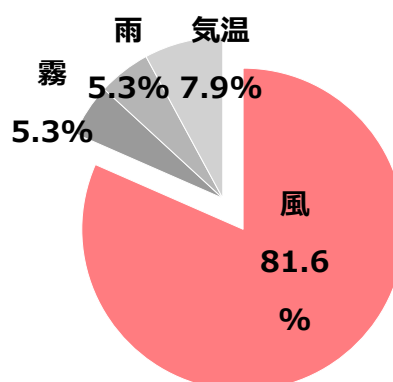
1) ドローン向け気象情報提供機能の研究開発（実施先：一般財団法人日本気象協会）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

無人航空機（以下、ドローンという）は、離着陸時、空路の飛行中などで様々な気象に遭遇する。ドローンが遭遇し、飛行に影響を与える気象は、突風、強風、高温・低温、高湿度、降雨、降雪、雷、霧など様々な現象がある。2016年4月～2019年3月までに、国土交通省に報告されたドローンの事故・トラブルのうち、全体の18.9%が気象に関連した事故・トラブルであった（図Ⅲ2.2.1.4-1）。気象に関連する事故トラブルの内訳をみると、風に関連する事故トラブルは81.6%であった（図Ⅲ2.2.1.4-2）。



図Ⅲ2.2.1.4-1 国土交通省に報告された事故のうち気象に関連する事故の割合



図Ⅲ2.2.1.4-2 気象に関連する事故トラブルの気象要因別の内訳

資料：「無人航空機に係る事故トラブル等の一覧（国土交通省）」を独自に集計
集計期間：2016年4月～2019年3月

今後、「空の産業革命に向けたロードマップ2019（2019年6月21日、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会）」に従い、有人地帯での目視外飛行や都市での物流や警備等などのより高いレベルでの運航が実現した場合、より多くのドローンが様々な気象に遭遇する確率は大きくなることが想定される。

ドローンの安全を確保するために気象は重要であり、「無人航空機の目視外飛行に関する要件（2018年3月29日、国土交通省）」では、自機周辺の気象状況の監視が要件の一つに挙げられた。ここでは、「飛行経路又は機体に設置した気象センサー、カメラ等により気象状況の変化を把握し、運用限界を超える場合は、付近の安全な場所に着陸するなど、適切な対策をとることができること。」とされた。地上付近は、周囲の雑木林や住宅などの抵抗により、風が弱くなる場合がある。風向・風速計を用いた直接観測では、地上に近い場所での観測となるが、地物の影響を大きく受け、空路となる高度の風とは大きく異なることがある。また、高度が高くなるほど風速は大きくなるのが一般的であり、安全なドローンの飛行のためには、飛行高度の風の把握及び予測が重要となる。一方、飛行高度の風を観測することは容易ではない。このため、多くのドローン運用者は、ドローンの飛行高度の風の状態を知

らないままに飛行を開始することが多い。このような状況が、気象、特に風による事故トラブルの要因の一つであり、ドローン運用者が飛行前に上空の状況を把握できれば、ドローン飛行の安全性を高めることが期待できる。

一方、気象庁または民間気象事業者が提供する気象情報のほとんどは、地上の気象情報がほとんどである。航空運輸事業者向けには上空の気象情報はあるものの、1000m 以上の高層の気象情報(航空気象情報)となる。このため、ドローンの飛行高度である高度 150m 以下の気象情報は、観測や予測がほとんど提供されていない。また、この高度では、地形や建物の影響により複雑に変動する風が発生するため、解像度の低い数値気象予測データを単純に内挿する方法では、実態とかけ離れた情報となることがある。ドローンは、有人航空機に比べ小さく、微細な気象の変化による影響を大きく受け、航続距離や飛行時間も短いことから、時空間的に高解像度な気象情報が必要となってくる。

以上を踏まえ、本研究開発では、ドローン飛行高度での風観測技術について整理し、気象観測ドローンを用いたリアルタイムモニタリングによるドローンの飛行高度での気象実況情報の開発、リモートセンシングを用いた飛行高度での高解像度な気象情報の開発を行った。これらのデータを分析し、ドローン専用の高解像度な 3 次元の風向風速の実況推計値と予測を開発した。さらに、この情報に加え、入手可能な気象情報のうち、ドローン運航に有用な気象情報を整理し、気象情報提供機能としてドローン気象情報 API を開発した。

本研究で開発したドローン気象情報は、ドローンが安全かつ効率的な運航を実現するために重要なデータとなる。このデータの標準化を図ることにより、ドローン運航管理システムの開発を効率的に進めることが可能となる。また、新たな運航管理事業者の市場参入を容易にし、国内産業の発展が期待できる。そこで、ドローン関連技術の国際競争力の強化を目的に、ドローン運航管理に係る気象情報についても国際標準化を目指した。

(2) 研究開発目標と根拠

研究開発目標を表Ⅲ2.2.1.4-1 に示す。

| 開発項目 | 研究開発目標 |
|-----------------------------|---|
| ① ドローン向け強風ノウハウキャスト情報提供機能の開発 | 100m メッシュの高度 30~150m の風実況推定値の実現 100m メッシュの高度 30~150m の 60 分先予測の実現 |
| ② ドローン向け総合気象情報提供機能の開発 | ドローン向け総合気象情報提供機能としてニーズの高い風、降水、雷、台風などの実況及び予測情報をポイントデータまたはメッシュデータとして、運航管理システムに提供する機能を開発し、UTM に試験提供する。 |
| ③ 気象観測ドローンによる、上空の気象観測データの取得 | 気象観測ドローンによる上空風のリアルタイムモニタリングの実現 |
| ④ ドローン気象情報提供機能の国際標準化 | ドローン気象情報提供機能の国際標準化提案 |

表Ⅲ2.2.1.4-1 研究開発目標

ドローン気象情報のニーズを把握するために、初年度（2017年度）に DRESS プロジェクトの参加機関、2017年10月に実施された JUTM 実証実験の参加機関を対象として、ドローン気象情報に係るアンケート調査を実施した。この結果に基づき、本研究の最終目標を設定した。なお、アンケートは、45 機関に行い、回答率 60%であった。

① ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発

ドローンの目視外飛行で、目的地までの片道飛行時間を 30 分と想定した場合、目先 60 分先までの気象予測情報が重要であり、30 分以上前にシビアな気象現象の有無を予測する必要がある。また、ドローン気象情報に係るアンケート調査でも、実況また 0~6 時間先までの短時間の予測を 5~10 分の時間解像度、水平メッシュ 100m、高度 30~150m での提供を希望するニーズが高かった。そこで、福島ロボットテストフィールド（以下、RTF という）を中心としたエリアで、高解像度な風実況推定値並びに 0~9 時間先までの高解像度風予測の開発を行った。

② ドローン向け総合気象情報提供機能の開発

ドローン気象情報に係るアンケート調査では、実況及び 0~6 時間先までの予測のニーズが高く、予測時間が長くなるほどニーズが下がっていた。気象予測の特性から 1 週間先のピンポイント予測は、位置ずれや時刻ずれを要因とする精度低下が発生することから、高解像度情報のニーズもいまのところ高くはない。そこで、本研究のドローン向け総合気象情報提供機能として、要望の高いポイント予測と高解像度メッシュ予測を提供するドローン気象情報 API を開発した。対象とする情報は、風、雨とし、参考情報として雷、気象警報・注意報などの情報を提供可能な機能を開発し、UTM に試験提供することを目標とした。

③ 気象観測ドローンによる上空の気象観測データの取得

ドローンが飛行する高度 30~150m の気象観測データで、入手可能なデータは非常に少ない。また、観測手法もドップラーソーダ、ドップラーライダーなど高価なりモートセンシング機器を用いる方法が主流である。そこでドローン自体に気象センサーを搭載し、自律航行しながら気象観測を行うことで、従来よりも安価に観測データをリアルタイムに取得する機能を実現する。

④ ドローン気象情報提供機能の国際標準化

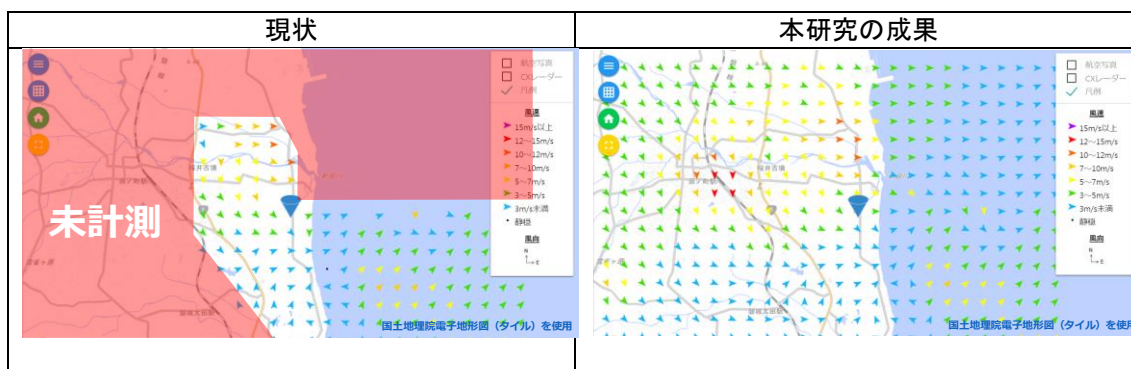
ドローン関連技術の国際標準化に向けた取り組みは、各国で進みつつある。しかし、ドローン運航の判断に活用するドローン気象情報は、国際的な提案はなされていない。ドローン気象情報の標準化に向けた議論は、国内でも十分には行われておらず、今後、運航管理に利用する気象情報の標準化に向けた議論を進めるために、国内委員会ならびに国際会議への提案を目標とした。

(5) 成果の詳細

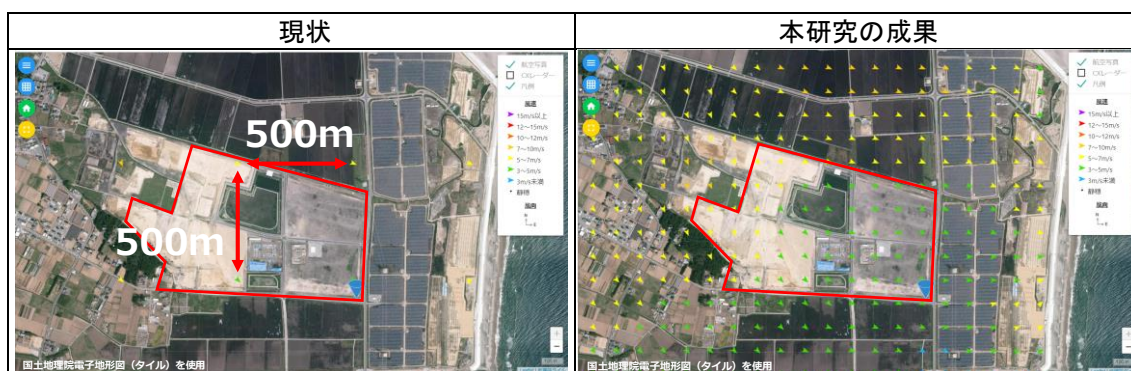
1. ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発

① リアルタイム高解像度風実況推定

RTF の 3D スキャニングライダー（以下、3D ライダーという）の観測データを用いて、高度 30、50、100、150m の風向・風速を 100m メッシュの高解像度で 5 分毎に推計することにより、3 次元・リアルタイム・高解像度・風向風速・実況推定データを作成するシステムを構築した。RTF の 3D ライダーは、500m メッシュ毎に風向風速を観測している。3D ライダーは、レーザー光線によるリモートセンシングであるため、光を遮る障害物があると、その方向の風向・風速を観測できない。また、ドローンが飛行する RTF は、南北 500m × 東西 1000m の敷地であり、500m メッシュの観測では、数点しか観測値が得られない。さらに、線形補完では、メッシュ間の細かな地形効果が得られず、物理学的な整合性を満たすことができない。そこで、本研究では、物理学的整合性を満足できる手法として、気象学的補完技術を適用し、未計測エリアの推定および高解像度化を実現した（図Ⅲ 2.2.1.4-3 および図Ⅲ 2.2.1.4-4）。



図Ⅲ 2.2.1.4-3 3D ライダーの未計測エリアの推計

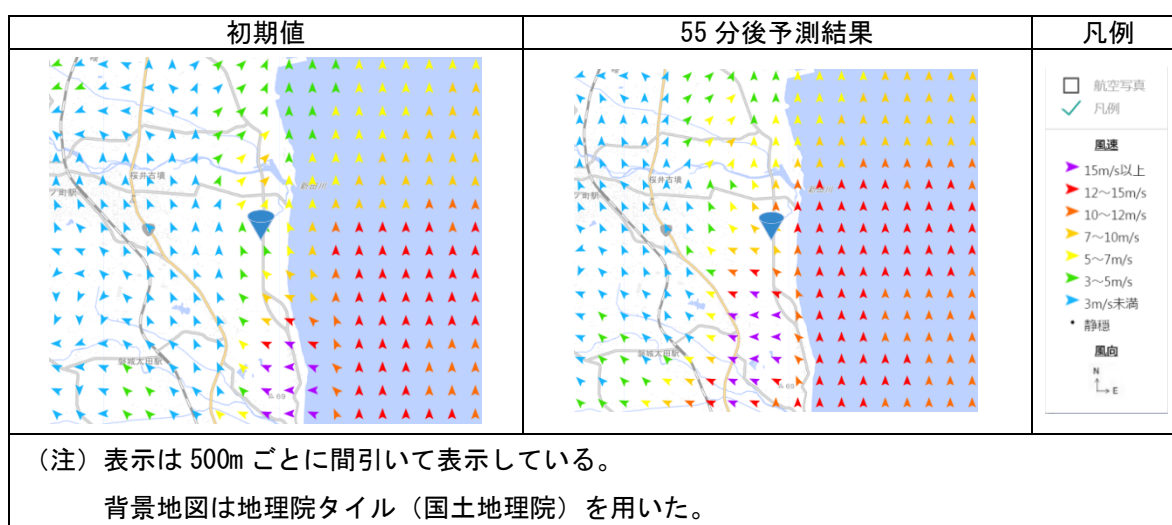


図Ⅲ 2.2.1.4-4 風向風速実況推定の 100m メッシュへの高解像度化

② ドローン向け強風ナウキャスト（60分先予測）

リアルタイム高解像度風実況推定から得られる強風の特徴量から移動ベクトルを算出し、60分先までの風向・風速予測（ドローン向け強風ナウキャスト）を開発した。予測の更新頻度は5分とし、60分先までの予測を10分間隔に予測する。空間解像度は、実況推定と同様に水平100mメッシュとし、高度30、50m、100m、150mを予測する。予測例を図Ⅲ2.2.1.4-5に示す。

これにより、ドローン飛行を開始後30～60分先までの風の変化予測が可能となった。

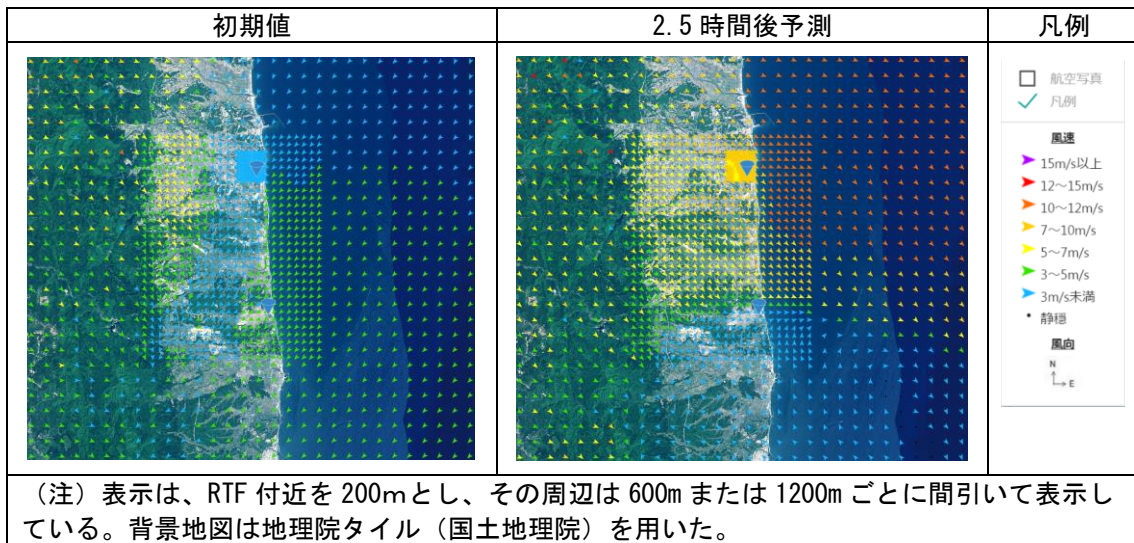


図Ⅲ2.2.1.4-5 ドローン向け強風ナウキャスト（60分先予測）の予測例

③ 気象モデルを用いたドローン向け風予測（9時間先予測）

3Dライダーの観測を基にしたドローン向け強風ナウキャストでは、3Dライダー観測データが得られないと予測ができない。そこで、3Dライダーを利用せずに高解像度な風予測を実現するために、気象モデルを利用する手法を開発した。入力値に気象庁が発表するLFM（局地モデル）を用い、気象モデルWRFを用いて200mメッシュまで高解像度化した。なお、LFMは1時間毎に更新があり、地上予測の解像度は、水平2kmメッシュ、時間間隔30分、予測時間は初期時刻から10時間先までの予測となる。

本研究で開発した予測は、更新頻度をLFMに合わせ1時間とし、初期時刻から10時間先までの風向風速を10分間隔で予測する。空間解像度は、水平200mメッシュ、高度30、50m、100m、150mとしている。この予測例を図Ⅲ2.2.1.4-6に示す。



図Ⅲ2.2.1.4-6 気象モデルを用いたドローン向け9時間先の風予測の例

2. ドローン向け総合気象情報提供機能の開発

風の高解像度情報は「1. ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発」により推計および予測が可能となった。このほか、ドローンの運航に影響する降水、雷、気温、アラートなどの情報は既存の気象情報を利用し、ドローン気象情報 API により情報提供機能を実現した。

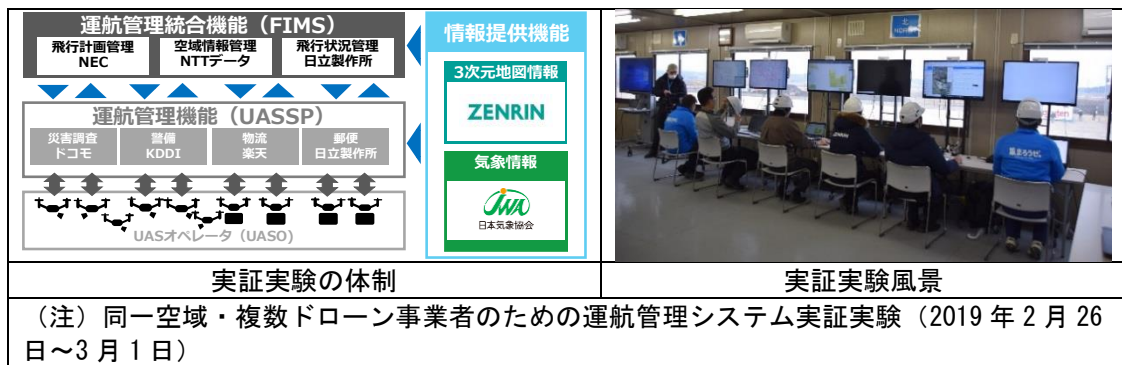
ドローン気象情報 API に実装した気象情報を表Ⅲ2.2.1.4-4 に示す。データ形式は GeoJSON を基本とした。提供範囲は福島県エリアとした。

| 気象要素 | 協調領域 | 競争領域 |
|------|----------------------------------|---|
| 風 | LFM (GeoJSON) MSM (GeoJSON) | ドローン向け強風ナウキャスト (60 分先予測) (GeoJSON) ドローン向け風予測 (9 時間先予測) (GeoJSON) JWA1 kmメッシュ (GeoJSON、JWA 独自形式) |
| 雨 | LFM (GeoJSON) MSM (GeoJSON) | 高解像度降水ナウキャスト (GeoJSON、JWA 独自形式) JWA1 kmメッシュ (GeoJSON、JWA 独自形式) |
| 雷 | なし | LIDEN 雷情報 (GeoJSON、JWA 独自形式) 雷ナウキャスト (GeoJSON、JWA 独自形式) |
| 気温 | LFM (GeoJSON) MSM (GeoJSON) | JWA1 kmメッシュ (GeoJSON、JWA 独自形式) |
| アラート | 気象警報・注意報 (気象庁 XML) | — |
| その他 | 府県天気 (気象庁 XML) 台風情報 (気象庁 XML) | — |

(注) () はデータ形式を示す。

表Ⅲ2.2.1.4-4 ドローン気象 API で実装した気象情報

ドローン気象情報 API の有効性を検証するために、2019 年 2 月 26 日～3 月 1 日に実施したドローン運航管理システムの合同実証試験で、UTM 向け地理空間情報としてゼンリンの地図情報と連携して情報提供を行った。実証実験の体制は、図Ⅲ2.2.1.4-7 のとおりであり、統合機能、運航管理機能と連携した。



図Ⅲ2.2.1.4-7 ドローン運航管理システム実証実験の体制と実験風景

このほか、気象情報の有効性を検証するために、2017年度から他の研究課題のコンソーシアムの実証実験にも同行し気象情報を提供するとともに、ドローン運航の現場での気象情報のニーズの把握に努めた。

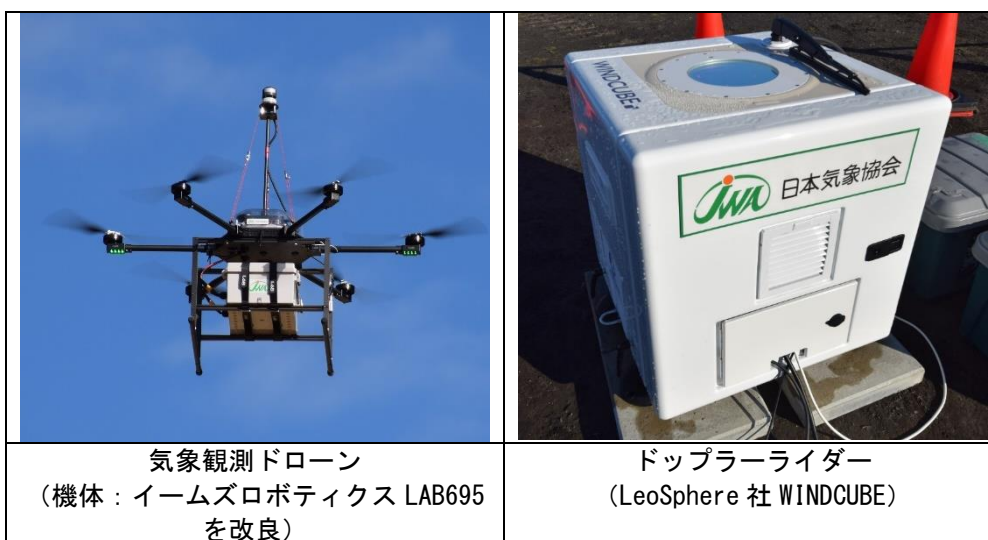
| 年度 | 提供先 | 目的 | 提供時期 |
|--------|----------|-----------------------------|------|
| 2017年度 | JUTM | JUTM 福島社会実証 | 10月 |
| | スカパーJSAT | NEDO DRESS スカパーJSAT コンソ実証実験 | 11月 |
| | SUBARU | NEDO DRESS SUBARU コンソ実証実験 | 12月 |
| | KDDI | NEDO DRESS KDDI コンソ実証実験 | 2、3月 |
| 2018年度 | スカパーJSAT | NEDO DRESS スカパーJSAT コンソ実証実験 | 8月 |
| | NEC等 | NEDO DRESS NEC コンソ実証実験 | 9月 |
| | SUBARU | NEDO DRESS SUBARU コンソ実証実験 | 12月 |
| | NEC等 | NEDO DRESS 合同実証実験 | 2、3月 |
| 2019年度 | NEC等 | NEDO DRESS 合同実証実験 | 4月 |
| | SUBARU | NEDO DRESS SUBARU コンソ実証実験 | 7月 |

表Ⅲ2.2.1.4-5 気象情報提供の実績

3. 気象観測ドローンによる上空の気象観測データの取得

ドローンが飛行する高度で気象情報を取得する手段として、気象センサーを搭載したドローンが直接観測を行うことによって、リアルタイムに気象を把握するシステムを開発した。ここで得られたデータは、ドローン気象情報APIで提供可能とした。

ドローンに気象センサーを搭載した場合、その搭載位置や飛行方法により観測精度に影響を及ぼす。特に、風はその影響が顕著である。そこで、ドローンのロータ風の影響を回避し、高い精度で測定可能な気象観測ドローンを開発した。観測精度が確認できている風向風速の鉛直分布が測定可能なドップラーライダーと同時観測を行い、精度検証を行ったところ、良好な観測精度が確認できた。



図Ⅲ2.2.1.4-8 気象観測ドローンとドップラーライダー

4. 国際標準化

ドローン気象情報の国際標準化に向けて、国内外の知財・開発動向・ニーズ調査を実施した。海外調査（中国、米国、豪州）を行い、運航管理システムで利用する気象情報の開発状況とニーズを把握した。国際標準化に向けて、ISO/TC20/SC16 にゼンリンと共同で「地理空間情報データモデル」として NP 提案を行った。「地理空間情報データモデル」のなかで、気象情報は、動的情報と位置づけ提案している。



図Ⅲ2.2.1.4-9 地理空間情報データモデルのイメージ

(6) 最終目標の達成の見通し

ドローン運航ための気象情報を整備し、UTM が利用可能となるドローン気象情報 API の開発を行うとともに、地理空間情報としてゼンリンの地図情報と連携を図った。10 月の合同実証で、データ連携の実証実験を行う予定である。また、同時に気象観測ドローンによるリアルタイムモニタリングを行い、このデータも合わせて、ドローン向け気象情報提供機能の有効性を確認する。国際標準化に向けて、ISO/TC20/SC16 で NP 提案は採択されており、順次、標準化に向けて手続きを進めていく。これらにより、最終目標は達成する見通しである。

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2.1.4. 情報提供機能の開発

2) 無人航空機の安全航行のための空間情報基盤の開発（実施先：株式会社ゼンリン）

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

2016年6月に閣議決定された「日本再興戦略2016」のなかで、“早ければ3年以内にドローンを使った荷物配達を可能とすることや災害現場における被災状況調査・捜査・救助、インフラ維持管理、測量、農林水産業などを含む様々な分野でより一層活用されることを目指す”（当時）としており、政府も無人航空機の活用拡大を後押ししている。

図-1に示すように「小型無人機の利活用と技術ロードマップ」では、無人航空機の飛行レベルを4段階に分類し、各段階の実現目標時期を定めている。



図Ⅲ2.2.1.4-10 ロードマップ

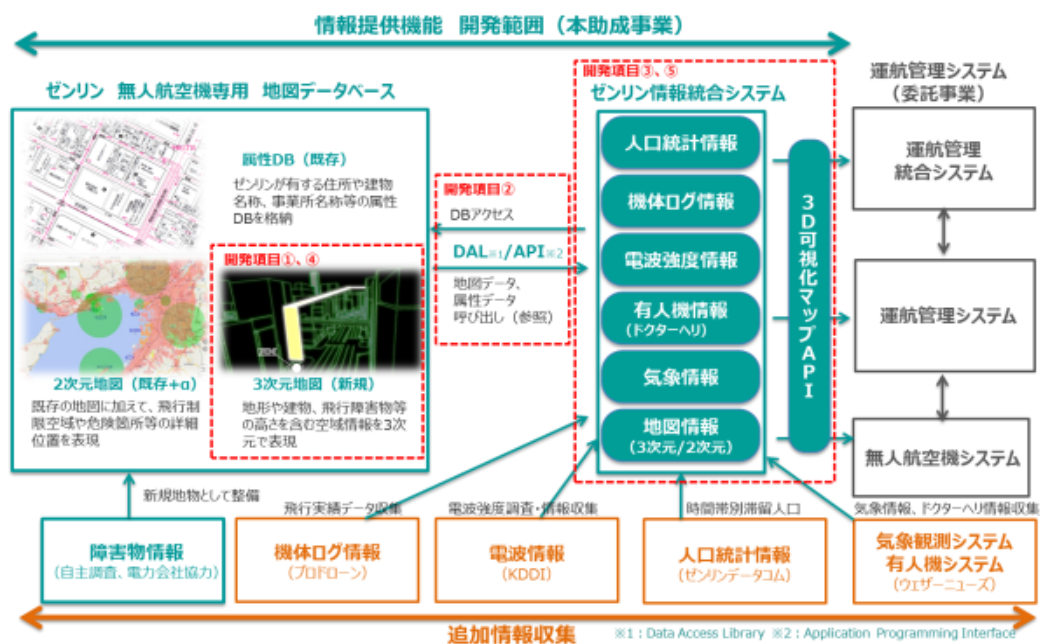
現状ではレベル3の技術実証が一部エリアで始まっているが、依然、空撮や測量、農薬散布等の狭域且つ目視内での利用用途に限定されていることが多い。飛行レベル3及び4を実用化するためには、物流や警備などの新たな用途へ活用の幅を広げる必要があり、その実現に向けては、安心・安全に飛行するために必要な3次元地図データベースが不可欠と考えている。

本開発は、地図情報をプラットフォームとして、無人航空機の安全飛行に必要な各種情報を重畳した「3D可視化マップ」の飛行実験への提供をアウトプット目標とし、現在不足している情報や技術を新たに整備・開発することを目的とする。本開発のシステム全体像を図Ⅲ2.2.1.4-11に示す。なお、本書でいう「3D可視化マップ」とは、地図情報に気象情報や電波強度情報等を重ね合わせたものを指す。また、「3次元地図データベース」は、無人航空機の運行管理に必要な障害物情報や規制空域情報等により飛行可能空域を3次元で表現したものを指す。

はじめに、既存で当社が整備・提供している地図情報に加えて、①新たに無人航空機の運航管理に必要な3次元地図データベースを新規に開発する。また、②地図データベースを外部システムからアクセス可能とする提供機能を開発する。次に、③無人航空機の安全飛行に必要な情報を集約する情報統合システムを開発する。地図情報以外の不足情報に

関しては、各情報保有主体から調達することを予定している。

加えて、事業の継続性と競争力を担保するために④3次元地図データの更新技術を開発する。本項目では、コストや更新体制等の運用モデルを合わせて整理する。最後に、⑤福島県浜通り地区を対象とした無人航空機の飛行実験への3D可視化マップの提供を通じて、システムの統合検証・評価を実施する。



図Ⅲ2.2.1.4-11 システムの全体像

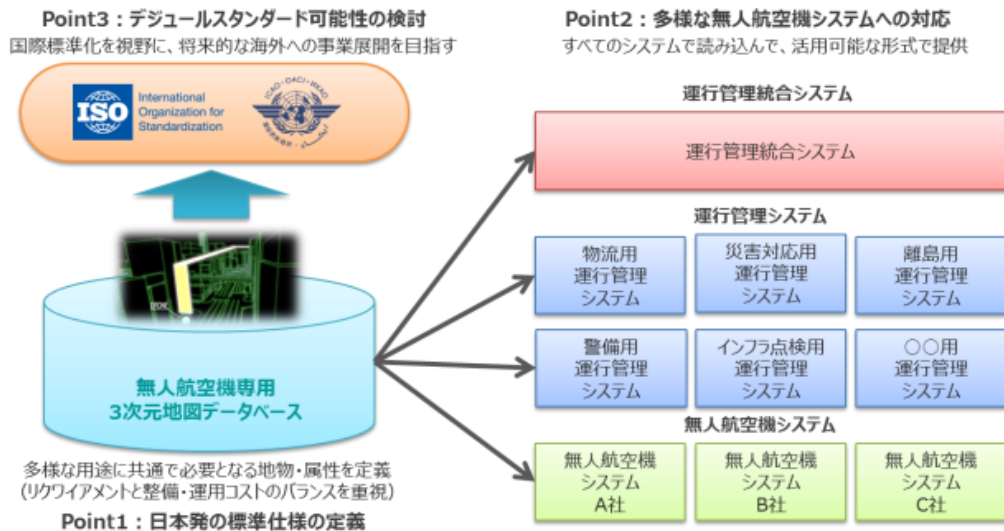
1：無人航空機専用の3次元地図データベースの開発

① 要件定義・共通仕様策定

飛行計画や運行管理に必要となる3次元地図データベースの共通的な要件を定義するとともに、データベースの共通仕様を定める。具体的には、要件として想定される無人航空機の用途ごと（物流、災害対応、離島等）に必要な地物・属性を整理するとともに、その最大公約数を共通仕様として、各分野で共用性の高い地物・属性として規定する。特にデジタルスタンダードの獲得を狙うには、海外の多様な地理的要因や経済性に適応可能とする、過剰なスペックにならない仕様とすることが重要と考える。

そのため、各地物に求める要求精度や新規取得を要する地物・属性の整備コストも併せて整理し、事業の全国・海外展開を見据えて実行可能かつ最適な仕様を策定する。

また、可能な限り国内外の地図データベース事業者の動向調査を実施し、本仕様の海外展開の可能性を検討する。図Ⅲ2.2.1.4-12に3次元地図データベース開発のポイントを示す。



図Ⅲ.2.2.1.4-12 3次元地図データベース開発のポイント

② 福島県浜通り地区の出典情報収集

実験フィールドとなる福島県浜通り地区において、上記①で定めた仕様に準じた地図を制作するために必要となる情報を得るための原典資料を収集する。特に、既存の地図で未整備の、無人航空機の飛行障害となる地物（鉄塔、高圧線など）の電力インフラ情報について、電力会社等と連携した情報収集手法を検討し、原点資料の収集を行う。

③ 現地調査による情報収集

実験フィールドとなる福島県浜通り地区において、上記②では収集が困難な情報の取得などを目的として、現地の計測など現地調査を行う。

④ プロトタイプデータ開発

上記②および③のデータをもとに当社が保有している地図化技術を用いて、飛行実験フィールドとなる福島県浜通り地区における3次元地図データベースを開発する。

⑤ サービス用DBの設計・プロトタイプ開発

本項目では、実サービスを考慮した多様な地図フォーマットへ対応するための中間ファイルであるサービスDBを設計し、プロトタイプデータを試作する。具体的には、地図データの標準的なフォーマットであるGeoJSON形式（ベクトル形式）やGeoTiff形式（ラスタ形式）等へ変換するプログラムに対応可能とする。また、精度（詳細度）が異なるデータを扱えることを設計上の要件とし、構造物データとの連携の可能性を検討する。

⑥ 国際標準開発

本項目では、国際標準化に向けた知財戦略の検討およびISO/TC20/SC16へのNP提案を実施する。また提案にあたっては、当社とともに情報提供機能を担当する日本気象協会と連携し実施する。

2：地図データベース提供機能の開発

① 要件定義

3次元地図を情報統合システムに接続する地図提供機能に関する要件を定義する。特に、情報統合システムとのインタフェースとなる、DAL(Data Access Library)およびAPI(Application Programming Interface)の定義が可能となるよう要件定義を行う。

② 設計

地図提供機能の概略設計を行う。具体的には、システムの全体設計を行うとともに、インタフェースとなるDAL、APIの論理設計及び物理設計を行う。

③ 開発

インタフェースとなるDAL、APIの開発を行う。

④ 検証

前項で開発する情報統合システムから地図データベース提供機能を介して地図データベースにアクセスし、意図した3次元地図情報や属性DB等が取得できるかなどに関する検証を行う。

3：情報統合システムの開発

① 要件定義

気象やLTE電波などの無人航空機の飛行安全性に係る多様な情報を収集する情報統合システムに関する要件定義を行う。具体的には、気象情報、有人機情報(ウェザーニューズ)、電波強度情報(KDDI)などを対象に、それぞれの情報保持者から仕様等の情報収集を行い、統合するための要件を定義する。本検討では、3次元地図データベースの仕様同様にデジュールスタンダードの獲得と海外への事業展開を見据えて、行計画や運行管理に最低限必要となる項目を集約するためのシステムの要件定義を対象とする。また、人口統計情報などの地表面の人の滞留情報などの集約方法に関する要件も検討する。

| 情報項目名 | 概要 | 空間解像度 | 更新頻度 |
|-------------------|---|---|---------|
| 気象情報 | 上空の風向・風速・天気等の気象予測情報。予定経路における気象条件を把握するために利用 | 1kmメッシュ～ 高度は4段階 (0m, 50m, 100m, 150m) | 1時間～3時間 |
| 有人機情報 (ドクターヘリ) | ドクターヘリ等の有人機の飛行位置情報。有人機との衝突可能性を飛行計画段階で把握するために利用 | ポイント | 逐次反映 |
| 電波強度情報 | LTE通信網の上空の電波強度を調査した結果を統計化した情報。電波の強弱をヒートマップで表現し、予定経路の通信安全性を予測 | 1kmメッシュ～ 高度は4段階 (0m, 50m, 100m, 150m) | 年1回以上 |
| 機体ログ情報 | 無人航空機の飛行実績情報。飛行経路の緯度経度高度やGPSの補正数、通信状態等の、無人航空機の飛行安全性を回る尺度として利用 | ポイント | 逐次反映 |
| 人口統計情報 | 携帯電話のGPS情報を集計・統計化した時間帯別の人口滞留情報。滞留人口の有無によって、地表面の人的被害を最小化するエリアを規定 | 500m～1kmメッシュ | 月1回～年1回 |

図Ⅲ.2.2.1.4-13 収集する情報項目（案）

② 設計

前項で要件定義を行った情報統合システムの設計を行う。具体的には、クラウドサーバ上に、本プロジェクトで開発する3次元地図や既存の2次元地図、気象、電波、機体情報などを一元的に集約し運行管理システムに提供する機能の設計として、必要な機能モジュールの具体化などを行う。

③ 各種情報の収集

情報統合システムに取り込むための気象情報、電波情報、機体のログ情報等の収集を行う。

④ 開発

前項で設計を行った結果を踏まえ、統合システムの開発を行う。

⑤ データ取得 API の開発

地図データ（2次元、3次元）をGeoJSON形式でダウンロードする機能を具備したデータ取得APIを開発する。開発にあたっては、サービス用DBと連携し、より利用者が扱いやすいデータ構造での提供を目指す。

⑥ 検証

開発した情報統合システムを運行管理システム等に試験接続し、3次元地図情報とともに、気象情報、電波情報、機体のログ情報などが適切に取得可能かどうかの検証を行う。なお、本項目は別途委託事業で開発する運行管理/運航管理統合システム事業者と連携し、検証を行う。

4：3次元地図データベースの更新技術の開発

① 要件定義

地物毎に3次元地図の更新タイミング、手法に関する要件を具体化する。要件定義では、更新に必要となるコストや技術課題も併せて整理する。

② 更新技術の調査・実地検証

無人航空機に搭載されたセンサやカメラなどを用いて地図情報を更新するための技術に関して調査を行う。その上で、センサやカメラを用いた地図更新の可能性について実地検証を行う。

③ 運用モデルの策定

事業の全国展開を見据え、3次元地図データベースや各種情報の更新についてどのように運用を行うかのコストを含めたモデルを策定する。具体的には、必要なアクタの列挙を行うとともに作業分担、継続的にを行うための仕組み（各者のインセンティブ）を整理する。

④ 更新実験

①から③までの検討を踏まえ、必要なアクタを巻き込んだかたちで3次元地図の更新に関する実験を行う。具体的には、プロジェクト期間中で1年間程度の期間をとり、実際の3次元地図の更新作業について、本実験成果を用いて行う。

⑤ 外部取得データを用いた更新手法の検討

本項目では、今後、大量のドローンが空を舞う世界を見据えて、自社保有以外のドローンから取得可能な外部データを用いた地図更新手法を検討する。まずは、ドローンから取得可能なデータ（オルソ画像、測量データ、ジャイロセンサ等）を調査し、あわせてドローンの実測により実データを収集する。収集したデータを用いて、地図更新の変化トリガーの取得可否や精度、更新頻度、コスト等を整理し、実運用を可能とする更新手法を考案する。

5：飛行実験によるシステム統合検証・評価

① 外部システムと情報統合システムの接続試験

福島県相馬市で実施予定の各種飛行実験へ向けて、実験で用いる運航管理システム等と情報統合システムの接続試験を本番環境で行う。なお、本項目は別途委託事業で開発する運行管理/運航管理統合システム事業者と連携し、検証を行う。

② 3D可視化マップの提供による評価

各種飛行実験に、本プロジェクトのアウトプット目標である風向や風速、電波状況等を地図に重畳した「3D可視化マップ」を提供し、開発した地図やシステムの最終評価を行う。

(2) 研究開発目標と根拠

本事業のアウトプット目標である「3D 可視化マップ」の飛行実験への提供に向けて下記の観点から目標値 (KPI) を設定した。

- ① 開発システムの検証完了および正常稼働・・・検証完了率 100%、システム稼働率 99.9%
- ② 3次元地図データベースの品質の担保・・・水平位置精度 σ 1.75(地図情報レベル 2,500)、
エリア網羅性 100%、正確性 100%
- ③ 3次元地図データベースの更新作業の品質・・・作業完了率 100%、エラー率 0%

①に関しては、一般的な情報システムの要求水準を満足することを条件として設定している。②③は、現時点で競合サービスが存在していないため、当社の既存地図データベースで要求する品質水準を目指すこととする。特にデータベースの3大要求品質である精度・鮮度・網羅性と、実運用にかかるコストの最適なバランスを最重要視し、コスト競争力の高い製品として全国展開が可能となることを達成基準 (KGI) とする。

| 項目 | 中間目標 (2018 年度末) | 最終目標 (2019 年度末) |
|-----------------------------------|---|-----------------|
| 1. 無人航空機専用の 3次元地図データ ベースの開発 | 飛行実験フィールドである福島 県浜通り地区の3次元地図デー タベースの仕様に準じた整備を 完了する。 (開発完了) 【目標】 ・水平位置精度・・・ σ 1.75m ・対象エリア網羅率・・・100% ・地物・属性網羅率・・・100% | (2018 年度末で開発完了) |
| 2. 地図提供機能の開発 | 無人航空機の安全飛行に必要と なる地図情報 (3次元/2次元) を API 経由で提供する機能を開 発し、情報統合システムとの接 続検証を完了する。 (開発完了) 【目標】 ・接続検証完了項目数・・・100% ・システムエラー発生率・・・ 0% | (2018 年度末で開発完了) |

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| <p>3. 情報統合システムの開発</p> | <p>気象、電波、機体情報等の無人航空機の安全飛行に必要な多様な情報を収集し、これらの情報を一元的に集約する統合システムを開発し、外部の運行管理システム等との接続試験による検証を完了する。</p> <p>(開発完了)</p> <p>【目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接続検証完了項目数・・・100% ・システムエラー発生率・・・0% ・システム稼働率・・・99.9% | <p>(2018年度末で開発完了)</p> |
| <p>4. 3次元地図データベースの更新技術の開発</p> | <p>無人航空機のセンサ・カメラ等から得られる地物情報の活用可能性を視野に入れた、実運用を見据えた3次元地図の更新技術を開発する。</p> <p>必要なアクタを巻き込んだかたちで3次元地図の更新に関する実験を行う。</p> <p>【目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・更新作業完了率・・・100% ・更新コストの算定・・・100% ・更新頻度・・・1回以上/年 | <p>前年度のから1年間程度の期間をとり、実際の3次元地図データベースの更新作業を実施し、コスト・体制を含めた運用モデルを策定する。</p> <p>【目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・更新作業完了率・・・100% ・更新エラー発生率・・・0% ・運用モデルの決定・・・100% |
| <p>5. 飛行実験によるシステム統合検証・評価</p> | <p>統合システムと飛行実験で使用する運行管理システム等を本番環境で接続し、検証を実施する。</p> <p>【目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接続検証項目 完了数・・・50% | <p>飛行実験の本番環境でのシステム検証を完了し、本助成事業の成果目標である3D可視化マップを提供する。</p> <p>【目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接続検証項目 完了数・・・100% ・システムエラー発生率・・・0% ・飛行実験時のシステム稼働率・・・99.9% |

| | | |
|--|--|------------------------------|
| | | ・飛行実験における本システムに起因するエラー率・・・0% |
|--|--|------------------------------|

表Ⅲ2.2.1.4-6 研究開発目標

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、年度ごとに研究開発スケジュールを示す。

| 開発項目 | 期間 | 2017年度 開発日程表 | | | | 開発目標 |
|---------------------------|----|---------------|----------------|------------------|----------------|---------------------|
| | | 2017年 4～6月 | 2017年 7月～9月 | 2017年 10月～12月 | 2018年 1月～3月 | |
| 1. 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発 | | | | | | ・仕様書策定完了 ・情報収集完了 |
| (1)要件定義・共通仕様策定 | | → | | | | |
| (2)福島県浜通り地区の出典情報収集 | | | | → | | |
| (3)現地調査による情報収集 | | | | → | | |
| (4)プロトタイプデータ開発 | | | | → | | |
| 2. 地図提供機能の開発 | | | | | | ・要件定義完了 ・設計完了 |
| (1)要件定義 | | → | | | | |
| (2)設計 | | | | → | | |
| (3)開発 | | | | → | | |
| 3. 情報統合システムの開発 | | | | | | ・要件定義完了 ・設計完了 |
| (1)要件定義 | | → | | | | |
| (2)設計 | | | | → | | |

表Ⅲ2.2.1.4-7 研究開発スケジュール (2017年度)

| 開発項目 | 期間 | 2018年度 開発日程表 | | | | 開発目標 |
|---------------------------|----|---------------|----------------|------------------|----------------|---|
| | | 2018年 4～6月 | 2018年 7月～9月 | 2018年 10月～12月 | 2019年 1月～3月 | |
| 1. 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発 | | | | | | データ開発完了 |
| (4)プロトタイプデータ開発 | | → | | | | |
| 2. 地図提供機能の開発 | | | | | | 機能開発・検証完了(実験環境) (稼働率99.9%、エラー率0%) |
| (3)開発 | | → | | | | |
| (4)検証 | | | | → | | |
| 3. 情報統合システムの開発 | | | | | | システム開発・検証完了(実験環境) (稼働率99.9%、エラー率0%) |
| (3)各種情報の収集 | | → | | | | |
| (4)開発 | | → | | | | |
| (5)検証 | | | | → | | |
| 4. 3次元地図の更新技術の開発 | | | | | | 更新実験完了 (更新率・・・100%、更新コスト算定・・・100%、更新頻度・・・1回以上/年) |
| (1)要件定義 | | → | | | | |
| (2)更新技術の調査・実地検証 | | | → | | | |
| (3)運用モデルの策定 | | | | → | | |
| (4)更新実験 | | | | → | | |
| 5. 飛行実験によるシステム統合検証・評価 | | | | | | 本番環境での統合試験の開始 (検証・・・50%完了) |
| (1)外部システムと統合システムの試験 | | | | | → | |

表Ⅲ2.2.1.4-8 研究開発スケジュール (2018年度)

| 開発項目 | 2019年度 開発日程表 | | | | 開発目標 |
|-----------------------|---------------|----------------|------------------|----------------|---|
| | 2019年 4～6月 | 2019年 7月～9月 | 2019年 10月～12月 | 2020年 1月～2月 | |
| 5. 飛行実験によるシステム統合検証・評価 | | | | | 3D可視化マップの飛行実験への提供 (検証完了数・・・100%、 エラー発生率・・・0%、稼働率・・・99.9%) |
| (1)外部システムと統合システムの接続試験 | → | | | | |
| (2)3D可視化マップの提供による評価 | | | | → | |

表Ⅲ2.2.1.4-9 研究開発スケジュール (2019年度)

(4) 研究開発の達成状況

下表のとおり、目標に対する研究開発の達成状況を示す。

| 項目 | 中間目標 (2018年度末) | 達成状況 |
|---------------------------|--|---|
| 1. 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発 | 飛行実験フィールドである福島県浜通り地区の3次元地図データベースの仕様に準じた整備を完了する。 (開発完了) | 福島県浜通り地区のデータベース整備を完了。策定したデータベースの仕様を <u>ISO TC20 SC16</u> へ提案し、2019年1月に <u>NP提案を通過した。</u> (ISO/AWI 23629-7 Data model related to spatial data for UAS and UTM) |
| 2. 地図提供機能の開発 | 無人航空機の安全飛行に必要なとなる地図情報(3次元/2次元)をAPI経由で提供する機能を開発し、情報統合システムとの接続検証を完了する。 (開発完了) | 計画遅延なく開発を完了した。 |
| 3. 情報統合システムの開発 | 気象、電波、機体情報等の無人航空機の安全飛行に必要なとなる多様な情報を収集し、これらの情報を一元的に集約する統合システムを開発し、外部の運行管理システム等との接続試験による検証を完了する。 (開発完了) | 日本気象協会の風速・風向、雨量の現況データを統合したAPI群を開発し、 <u>外部システムとの接続を完了した。</u> |

| | | |
|------------------------|--|---|
| 4. 3次元地図データベースの更新技術の開発 | 無人航空機のセンサ・カメラ等から得られる地物情報の活用可能性を視野に入れた、実運用を見据えた3次元地図の更新技術を開発する。 必要なアクタを巻き込んだかたちで3次元地図の更新に関する実験を行う。 | 更新技術の要件定義を完了。更新実験は未実施のため来年度に実施する。 |
| 5. 飛行実験によるシステム統合検証・評価 | 統合システムと飛行実験で使用する運行管理システム等を本番環境で接続し、検証を実施する。 | 運航管理統合機能（FIMS）と一部の運航管理機能（UASSP）と接続し、飛行実験によりシステム稼働検証を完了した。 |

表Ⅲ2.2.1.4-10 研究開発の達成状況

（5）成果の詳細

中間目標に対するおもな成果を以下に示す。

① 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発を完了

【成果1】南相馬～浪江町の3次元地図データベースの整備を完了

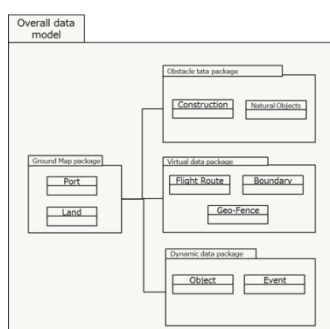
【成果2】当社データベース仕様を軸に ISO TC20 SC16 への NP 提案を実施。平成 31 年 1 月「ISO/AWI 23629-7 Data model related to spatial data for UAS and UTM」として、正式にアイテム登録を完了

② 情報統合システムの開発を完了

【成果1】日本気象協会の気象実況データを統合した、統合型情報提供機能の開発を完了

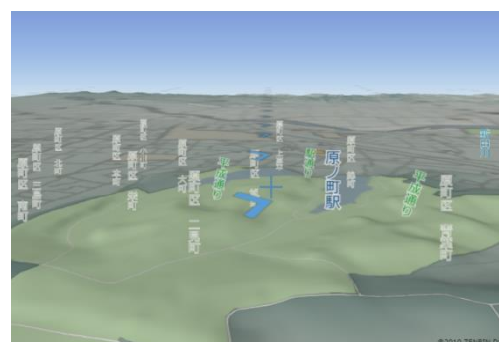
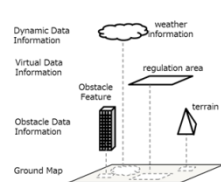
【成果2】汎用フォーマットで地図情報をダウンロードする API の追加開発を完了

【成果3】2018 年 11 月 プロジェクト内での API 公開を完了



図Ⅲ2.2.1.4-14

地理空間情報のデータモデル



図Ⅲ2.2.1.4-15

気象情報の3次元表示結果

③ 飛行実験によるシステム統合評価/検証を実施

【成果 1】 FIMS、一部の UASSP とのシステム接続を完了。

【成果 2】 2019 年 3 月 飛行実験によりシステムの接続性及び正常稼働を確認

(6) 最終目標の達成の見通し

2019 年度は、開発したデータベースやシステムの改修に加え、API 仕様の国内外の事業者への公開および接続検証を実施し、企業化に向けて最終の課題の整理に取り組んでいく。最終目標は達成する見通しである。

(7) 知的財産権及び成果の普及

本成果に関しては、助成期間終了後の 2020 年度を目途に企業化を予定。ライセンスモデル（想定価格 10,000 円/月）での API 提供により、2024 年度には 800 百万円の事業規模を目指す。また、ISO へ提案中の「ISO/AWI 23629-7 Data model related to spatial data for UAS and UTM」に関しては 2021 年度の国際標準発行を目標に引き続き取り組んでいく。

2.2.1.5. 運航管理システムの全体設計に関する研究開発

(実施先：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

運航管理システムとは、無人航空機の機体や操縦者等の登録・管理を行うとともに、空域や電波の共用を効率的に行うための地上支援システムである。特に目視外飛行を実現するためには、操縦者の目視に代わって周囲の状況を認識し、衝突等のリスクを回避する必要があるが、これを機上のセンサのみで実現するのは技術的に困難であるため、運航管理システムを通じて空域の情報を共有することが期待されている。

本事業の目的は、多数の無人航空機が目視外で運用される環境において、空域の安全はもとより利用効率など多様な要求を満たすための運航管理の方法（運航管理コンセプト）を定め、それを実現するための仕組み（運航管理システムのアーキテクチャ）を設計することである。そのためのツールとして運航管理シミュレータを開発し、空域の安全性や利用効率等を評価してコンセプト/システム設計に反映するとともに、このシミュレータによってシステム開発要素（運航管理統合機能、運航管理機能等）の部分的な検証や、各機能を組合せたシステム統合実証を支援し、運航管理システムの有効性を確認する。これらの概要を以下に示す。

課題①：運航管理コンセプトの定義

無人航空機の用途・利用形態、関連技術、法規・基準整備等に関する現在～10年後までの動向を調査・分析して複数のユースケースを作成する。この無人航空機のユースケースをもとに、目視外飛行を実現するための運航管理方法を立案する。すなわち、空域の安全を確保しつつ求められる無人航空機の運用を実現するための空域設計/管理や衝突回避の方法に加え、電波管理（通信の安全と容量拡大/効率化のための動的な周波数割当て等）、機体管理（セキュリティやプライバシー問題への対処のための機体及び運用者の登録・認証・識別等）も含めた統合的な「運航管理」のあり方を具体化する。そして、それを実現するための全体システム（運航管理システム及び接続する外部システム）やその運用に関する基本構想を「運航管理コンセプト」として定める。

また、提案する運航管理コンセプトが真に社会実装に耐えるものとなっているのかを評価することも重要な課題であり、一般社会に受け入れられるための安全性や、事業者が受容可能な運用コスト等の評価指標の設定にも取り組む。

課題②：運航管理システムのアーキテクチャ設計

運航管理コンセプトから定義されるシステム要件に加え、スケーラビリティやセキュリティにも留意して運航管理システムのアーキテクチャ設計を行う。また、システム構成要素（サブシステム）間及び外部システムとのインターフェース仕様を定め、API やデータフォ

ーマット等を策定する。

これらに際して、運航管理統合機能/運航管理機能として想定しているシステム要件や前提とする環境条件（例えば通信ネットワークや監視システムなど）を適切にシステムアーキテクチャに反映するために、設計/検討作業は各機能の開発事業者（システム開発事業者）を含む作業部会によって実施する。システムアーキテクチャやインターフェース仕様については、後述する運航管理シミュレータによって、その妥当性を検証する。また、当該システムは多数の外部システムと接続し、人間の関与も含まれる複雑なシステムとなるため、ハザード解析手法を用いた安全評価を実施して設計に反映する。

課題③：運航管理シミュレータの開発、及び運航管理コンセプト/システムの評価・検証

無人航空機の運用環境等を模擬して運航管理による空域の安全性や効率等を評価する「運航管理シミュレータ」を開発し、以下の目的に供する。

目的 1. 運航管理コンセプト/システムアーキテクチャの評価・改善

運航管理コンセプトの定義やシステムアーキテクチャ設計に対して、安全性や効率などの評価指標からその妥当性を評価し、設計にフィードバックする。先進的な運航管理手法/アルゴリズム等の研究を行うためのプラットフォームとしても利用する。

目的 2. システム開発要素の検証

運航管理統合機能/運航管理機能/情報提供機能を接続した統合シミュレーション/実証試験等を支援し、運航管理システムの有効性等を評価/検証する。

課題④：運航管理システム開発推進委員会の開催

運航管理システムのコンセプト定義及び設計に際しては、本プロジェクトに参画するシステム開発事業者をはじめ多様なステークホルダや有識者による委員会を設置し、その知見や技術を糾合してこれに取り組む。

なお、上記の各課題への取組みにおいては、それぞれに幅広い専門性や技術基盤が必要になるため、以下の研究機関の協力を得て実施する。

情報通信研究機構：通信及び電波管理（再委託）

産業技術総合研究所：機体管理及び安全性検証（再委託）

国立情報学研究所：実時間システムの設計及びアルゴリズム（再委託）

電子航法研究所：有人航空機との情報共有（研究協力）

(2) 研究開発目標と根拠

運航管理コンセプトは、前提とする無人航空機の飛行形態（例えば自動化の程度）や運用環境（通信・監視インフラ等）に依存する。また、それによって実現できる安全性や効率のレベルも異なる。したがって、目指す運用レベルに応じた運航管理コンセプト～運航管理システムを構築する必要がある。本事業では、平成31年度（令和元年度）までのプロジェクトにおけるシステム開発（技術開発）や、その成果に基づく早期の社会実装を想定した運航管理コンセプト/システムを対象とするが、5～10年後における無人航空機の飛行形態や運用環境を想定した先進的な運航管理コンセプトの研究にも取り組む。

本事業における年度毎の中間目標及び最終目標は、各事業者によるシステム開発への反映を想定して以下のように設定した。その具体的な内容や範囲は、運航管理システム開発推進委員会に諮り、主要なステークホルダの意見を反映して設定する。

【平成29年度の間目標】

- システム開発事業者等との連携体制として推進委員会/作業部会を設立する。
- 運航管理コンセプトを定義し、運航管理システムのアーキテクチャ記述書を策定する。
ただし、
 - 例えば福島ロボットテストフィールドなど限定的な地域や運用条件下で早期に社会実装～運用されることを想定した運航管理コンセプト/システムを対象とする。
 - 空域の安全性等に対して定量的な目標は定めないが、システム設計に対しては安全解析による定性的なリスク評価を行う。
 - 成果物（システムアーキテクチャ記述書）は各機能に適用され、平成31年度までに開発・試験に供されなければならない。したがって、その仕様についてはシステム開発事業者と調整し、合意を得る。

【平成30年度の間目標】

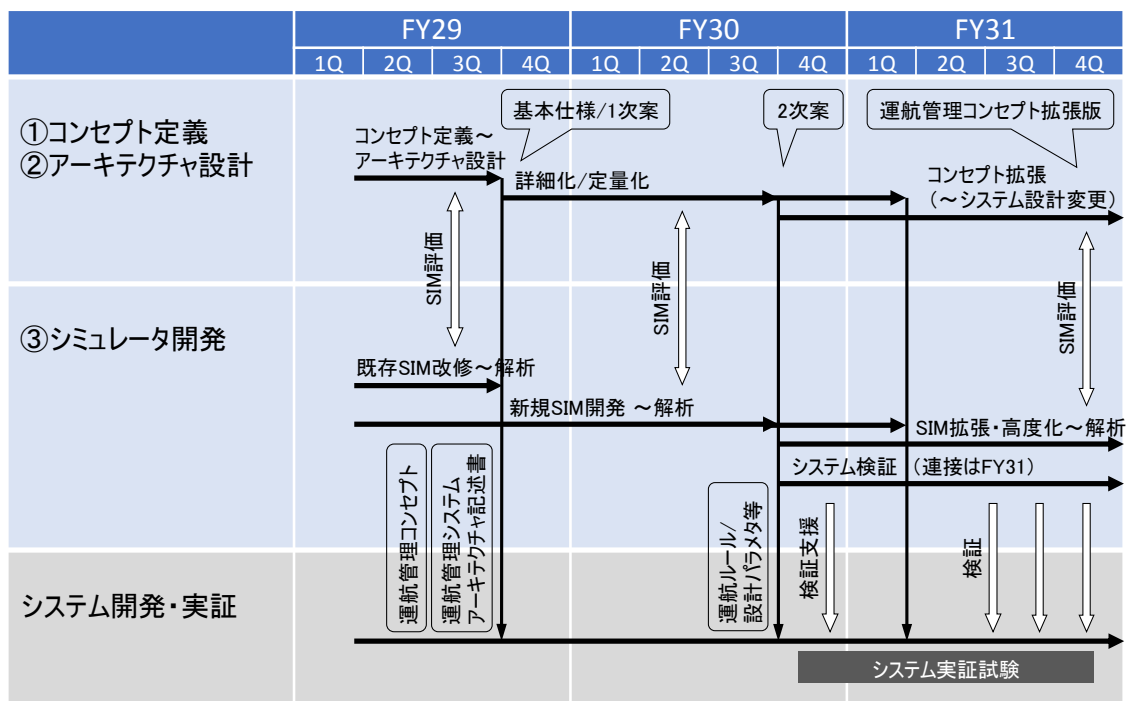
- 運航管理シミュレータの基本機能を実装して空域の安全性等を評価可能にするとともに、前年に策定した運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャ設計に対する評価と改善を行い、結果をシステム開発事業者等と共有する。

【平成31年度（令和1年度）の最終目標】

- 運航管理シミュレータをシステム開発要素（運航管理機能等）と接続して統合シミュレーションを行い、システムの妥当性、有効性を検証・評価する。また、可能な範囲で無人航空機システムとも接続し、実飛行運用条件におけるシステム実証を行う。
- 将来の先進的な運用環境を想定し、有人地帯における目視外飛行への発展を見据えた先進的な運航管理コンセプトを提案するとともに、その実現に必要な課題を抽出して開発計画を策定する。

(3) 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールを下表に示す。



表Ⅲ2.2.1.5-1 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

研究開発項目毎の目標と達成状況を下表に示す。

| 項目 | 平成 29 年度 | 平成 30 年度 | 達成度 | 今後の課題 |
|--------------------|--|--|-----|-----------------------------------|
| 運航管理コンセプトの定義 | <ul style="list-style-type: none"> 空域管理や電波管理等の基本的な要件や方法を検討し、運航管理システムの基本コンセプトを策定 | <ul style="list-style-type: none"> 空域管理方法の具体化 電波管理の範囲や方法の基本となる考えや前提を整理 | ○ | シミュレーション評価やシステム検証の結果を反映する |
| 運航管理システムアーキテクチャの設計 | <ul style="list-style-type: none"> システムアーキテクチャ基本仕様の策定 基本コンセプトに対する安全性解析実施 | <ul style="list-style-type: none"> インターフェイス情報等を管理し、API 接続を支援 拡張を視野に FTA, FMEA 解析実施 | ○ | システム実証試験にて設計結果を検証し、先進的なアーキテクチャを検討 |

| | | | | |
|--------------------------------------|---|--|---|---|
| 運航管理シミュレータの開発、及び運航管理コンセプト/システムの評価・検証 | <ul style="list-style-type: none"> ・シミュレータ基本機能の設計完了後、製作着手 ・CDR アルゴリズムの開発とシミュレーション検証 | <ul style="list-style-type: none"> ・無人機シミュレータを含む基本機能の実装 ・シミュレータによるコンセプト評価及び設計パラメータ定量化 ・スケーラビリティ評価 | ○ | システム開発要素との接続機能、高速化や解析機能等の開発、災害対応モデル等多様な条件での評価及び実環境でのシステム検証の支援 |
| 運航管理システムの開発推進委員会の開催 | <ul style="list-style-type: none"> ・基本コンセプト、システムアーキテクチャ基本仕様についての合意形成 | <ul style="list-style-type: none"> ・具体化した運航管理コンセプトや運航ルール等についての合意形成 | ○ | 実証試験の検証計画やその結果に基づく運用コンセプト文書の合意形成 |

表Ⅲ2.2.1.5-2 研究開発目標と達成状況

達成度

◎：目標を大きく上回って達成している、または、前倒しで達成できている

○：達成している、または、ほぼ達成している

△：部分達成している、または、主要な部分で進展があったため、達成見込みがある

×：未達である、または、不十分である

以下に詳細な研究開発項目毎の実施内容及び達成状況を示す。

① 運航管理コンセプトの定義

a) 空域管理及び評価指標の検討

平成 29 年度は、運航管理コンセプトを空域の安全かつ効率的な利用（空域管理）の観点から検討し、基本的な要件や方法を整理した。そして、その核となる飛行計画管理（飛行前における飛行計画の調整による安全確保）及び動態管理（飛行中における飛行状態の調整による安全確保）におけるコンフリクトの検出・解消機能について、アーキテクチャ設計及びシミュレータ開発に反映した。また、安全性や効率等に係る評価指標を選定し、シミュレータによる評価/検証計画を策定するとともに、その前提とする無人機のユースケース（インフラ点検、物流等の各用途における運航状況をモデル化したデータベース）を整備した。

平成 30 年度は、空域の安全かつ効率的な利用方法（空域管理コンセプト）について、その具体的な検討を進めた。飛行計画管理に関しては、計画上の飛行経路/空域に所定のバッファ（保護空域/間隔）を加えた空間・時間範囲を「飛行計画領域」として定め、その干渉の検出及び解消方法を具体化した。動態管理に関しては、飛行禁止空域等からの回避/退避方法や、無人機間の間隔維持～衝突回避方法を具体化した。特に無人機間の衝突回避方法については、従来の航空機向けの衝突回避ロジックを拡張したルールベースの方法に加え、飛行計画情報を用いた経路最適化アルゴリズムにより多数の無人機の交錯にも対応可能な方法を開発した。また、効率的かつ柔軟な空域利用のあり方について検討し、飛行中の経路変

更への対応や、局所的な空域管理に対する方案を示した。

平成 31 年度（令和元年度）は、より多様な条件に対するシミュレーション評価や実環境におけるシステム検証を通じて、空域管理コンセプト/運航ルールの改善や拡張を進める。

b) 電波管理の検討

平成 29 年度は、電波の安全かつ効率的な利用のための管理方法について検討を行った。対象とする電波情報（周波数資源）の監視を基本とする管理方法（電波管理コンセプト）を推進委員会/作業部会に提案してコメントを収集した。その結果、電波に関する運航管理システムの機能や責任分岐点が定義されていない部分もあるため、現段階で想定可能な範囲に限定し、また通信システム毎に、電波管理コンセプトを検討する方針を定めた。

平成 30 年度は、電波管理の範囲や方法について、その主体や責任に関する前提や基本となる考えを整理するとともに、各通信方式（事業者免許バンド、免許・調整バンド、共用バンド）に対して、必要な機能とその配置（システム構成要素への割付け）を定めた。

平成 31 年度（令和元年度）は、電波伝搬シミュレーションによる定量的評価等を進め、電波管理コンセプトに反映する。

c) 機体管理及びセキュリティ対策の検討

平成 29 年度は、セキュリティ対策について懸念事項の意見収集を実施し、内容の抽出と分類を行った。セキュリティと安全が混合している事案は、区別を行い、分類した結果、情報管理と人的管理、電波管理の 3 つの要素に係る対策が必要であることが分かった。また、情報管理については既存のセキュリティ技術が充当可能であること、電波管理についてはセキュリティを脅かす具体的手法の分析が必要なこと、人的管理には飛行情報を共有する航空管制側とのセキュリティギャップが問題となることが分かった。

平成 30 年度は、前年度の検討結果に加え、現在セキュリティ対策の指針となっている経済産業省及び総務省で策定した「IoT セキュリティガイドライン ver1.0」を参考に、情報システムとして考えられうるリスクを洗い出しセキュリティ箇所の検討を行った。

更に、運航管理システムのセキュリティガイドラインを検討するため、運航管理システムのセキュリティ面での社会受容性を得ることが重要であると考え、運航管理システムのセキュリティ認証として適用可能な既存国際認証規格の調査を行い、適用方法を検討した。また、その一例として ISO/IEC 27001 及び ISO/IEC 27006 を運航管理システムの認証に適用したケースについて具体的な検討を行った。

平成 31 年度（令和元年度）は、運航管理システムを運用する組織がセキュリティの第三者認証を取得する条件や方法等を取りまとめ、無人航空機の運航管理に係る規格を立案する。

② 運航管理システムアーキテクチャの設計

a) 運航管理システムの要件定義及びアーキテクチャ設計

平成 29 年度は、運航管理システムの構成、就中、無人航空機間の間隔維持、衝突回避における運航管理統合機能と運航管理機能の機能分担に着目してアーキテクチャ設計をおこなった。JAXA による初期案、システム開発事業者からの対案をベースに検討し、最終的な基本構成案を得て推進委員会に提示した。このアーキテクチャ（基本仕様）では、運航管理統合機能が空域全体の最低限の安全性を担保する一方で、複数の運航管理機能が互いに飛行計画を共有し、また場合によっては運航管理機能間で直接調整をおこなうなどの機能を持つことにより、ユーザの求める多様かつ高度なサービスを提供可能な設計とした。また、これらの機能（システム構成要素）間の共通インターフェースに対して通信プロトコル等を定め、アーキテクチャ記述書を策定した。

平成 30 年度は、前年度に策定したシステムアーキテクチャ（基本仕様）におけるインターフェース情報等を管理し、システム構成要素（運航管理統合機能、運航管理機能、情報提供機能）間の API 接続を支援した。また、有人航空機の接近情報や Remote ID 等、基本アーキテクチャには含まれない拡張要素に関する基礎検討を行った。更に、年度末に開催した UTM シンポジウムにおいて、AI・IoT・ビッグデータという観点からの UTM の発展性と、Urban Air Mobility や High Altitude Platform System への UTM 概念の適用に関する討論を行った。

平成 31 年度（令和元年度）は、API により複数の運航管理機能を接続したシステム実証試験（相互接続試験）等において、アーキテクチャ設計の結果を検証し、要すれば改善案を立案する。また、先進的な運航管理コンセプトに応じたシステムアーキテクチャの検討を進め、その実現に向けた開発計画を策定する。

b) 安全性の解析・評価

平成 29 年度は、運航管理システムやそこに接続する各無人航空機システムの不具合、違反行為、悪意の攻撃等により空域全体に発生するハザードを明らかにし、必要な対策等を検討するための安全性解析を実施した。空域に発生しうるハザードを識別したうえでそれらを起点とした FTA 解析をおこない、またシステムの構成要素を起点とする FMEA 解析、さらにそれらシステム要素間の関係性に着目した STAMP 解析等を実施することにより、運航管理システムの各要素、不具合モードと空域全体のハザードとの関係を整理し、システムセキュリティの検討にあたって参考となる知見を得た。

平成 30 年度は、前年度に実施した運航管理システムの基本コンセプト（運航管理統合機能（FIMS）を介した情報共有を基本とするコンセプト）に対する安全性解析に対して、その拡張を視野に入れ、

Case1: 運航管理統合機能（FIMS）を持たず、運航管理機能（UASSP）間の調整により CDR をおこなう分散型のコンセプト

Case2: 基本コンセプトに、機上センサや機体間通信による衝突回避（DAA）を組み合わせたコンセプト

Case3: UASSP 間の相互調整による分散型コンセプトに機上センサや機体間通信による DAA を組み合わせたコンセプト

の 3 ケースについて FTA、FMEA 解析を行い、特に各サブシステムに不具合が生じたシナリオについて、飛行安全のみならず無人航空機の運航の重大な阻害や空域の利用効率の大幅な低下を防ぐ観点から空域への影響を評価して比較した。

③ 運航管理シミュレータの開発、及び運航管理コンセプト/システムの評価・検証

a) 運航管理シミュレータの開発

平成 29 年度は、シミュレータを用いたシステム/開発要素の検証についてシステム開発事業者と調整し、運航管理統合機能(FIMS)/運航管理機能(UASSP)間および複数 UASSP の同時接続等に係る仕様を策定。基本設計を完了し、製作に着手した。

平成 30 年度は、前年度に実施した基本設計に基づいて運航管理シミュレータの開発を進め、FIMS、UASSP、無人機シミュレータを含む基本機能の実装を完了。並列化/高速化処理によって 150 機以上の無人航空機の同時飛行のリアルタイム解析を可能とした。また、飛行計画管理における申請～承認プロセスについて、無人機オペレータの操作を含む評価・検証を行うためのシミュレータも開発した。電波管理コンセプト（免許・調整バンドや共用バンドの安全性向上に資する機能等）の評価のためのネットワークシミュレーションモジュール（電波伝搬シミュレータ）については、複数無人機間の干渉計算機能（時間率の考慮）の追加と、地形データ読み込み機能の追加、共通 API への対応を実施した。

平成 31 年度（令和元年度）は、システム実証試験（相互接続試験）等においてシステム開発要素と接続するための機能、多様な条件に対する評価を効率的に行うための高速化や解析機能等の開発を実施する。

b) 運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャの評価

平成 29 年度は、既存シミュレータ（プロトタイプ）を用いて以下を実施した。

(1) 運航管理コンセプト及び解析手法の検討

安全性・効率に関する評価指標を定義し、運用に係る諸条件（運航密度、制限速度、通信頻度など）の影響を統計解析によりモデル化した。また空域の安全性に係る基本的な特性を把握して運航管理コンセプト（運航ルール）に反映し、安全性を維持しながら効率を最大化する空域管理手法等を検討した。

(2) コンフリクト検出・解消(CDR : Conflict Detect and Resolution)手法の開発

(2-1) 飛行計画管理（Pre-flight フェーズ）における CDR アルゴリズム

スケラビリティの観点から適切なアルゴリズムを評価・検証するとともに、空路設定に

よるコンフリクト（～計算負荷）低減方法を検討した。

(2-2) 動態管理（In-flight フェーズ）における CDR アルゴリズム

既存の衝突回避アルゴリズムをもとに、通信遅延や優先度、協調の有無などの影響/要素を考慮した CDR アルゴリズムを開発し、シミュレーション及び飛行試験により検証した。

平成 30 年度は、空域の利用効率やスケーラビリティの観点から運航管理コンセプト/システムアーキテクチャを評価するために、大都市における物流やインフラ点検など複数ミッションの大規模・高密度な運航環境を具体化したモデルケースを作成した。そして、このモデルケースに対する運航管理コンセプト（飛行計画管理及び動態管理における運航ルール等）の安全性及び効率を評価し、離隔距離等の設計パラメタの定量化を行った。また、飛行計画管理における申請～承認プロセスについて、モデルケースに対するスケーラビリティを評価し、考案したバッチ処理方式によるスループット改善等の効果を確認した。

平成 31 年度（令和元年度）は、災害対応ミッションを想定したモデルケース等を作成し、より多様な条件に対する運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャの評価を行って、これらの改善/拡張を図る。

c) システム開発要素の検証

平成 30 年度は、運航管理シミュレータを用いたシステム開発要素の検証に向けて、運航管理機能と無人機システムとのインターフェースに関する確認・調整等を行った。また、システム実証試験におけるデータを入手し、オフラインでのシステム評価・検証に着手した。平成 31 年度（令和元年度）は、10 月に予定されているシステム実証試験（相互接続試験）等においてシステム開発要素と接続し、実環境におけるシステム及び運航ルール等の検証を支援する。

④ 運航管理システムの開発推進委員会の開催

上記①～③を幅広いステークホルダと連携・協力して実施するため、システム開発事業者、業界団体、学識経験者等から構成する「運航管理システム開発推進委員会」及び「作業部会」を設置した。

平成 29 年度は、作業部会において、アーキテクチャタスクフォース（TF）、システム実装 TF、及び実証計画 TF の 3 つのテーマに分けて議論を行い、その結果を推進委員会で審議して合意形成を図った。準備会合 1 回、推進委員会 3 回、及び作業部会 6 回の会合を開催した。

平成 30 年度は、推進委員会を 3 回、作業部会を 8 回開催した。また、研究開発成果をより広範なステークホルダと共有し、意見や要望を研究開発に反映するために、UTM シンポジウムを開催した。

平成 31 年度（令和元年度）には、推進委員会、作業部会とともに、複数回の UTM シンポ

ジウムを開催する予定。

(5) 成果の詳細

(1) システムアーキテクチャ (CDR 機能分解)

運航管理システムにおいて各システム構成要素が担う基本的な役割/責任と、飛行計画管理及び動態管理における無人航空機間のコンフリクト検知・解消 (CDR: Conflict Detection and Resolution) 方法を以下に設計した。

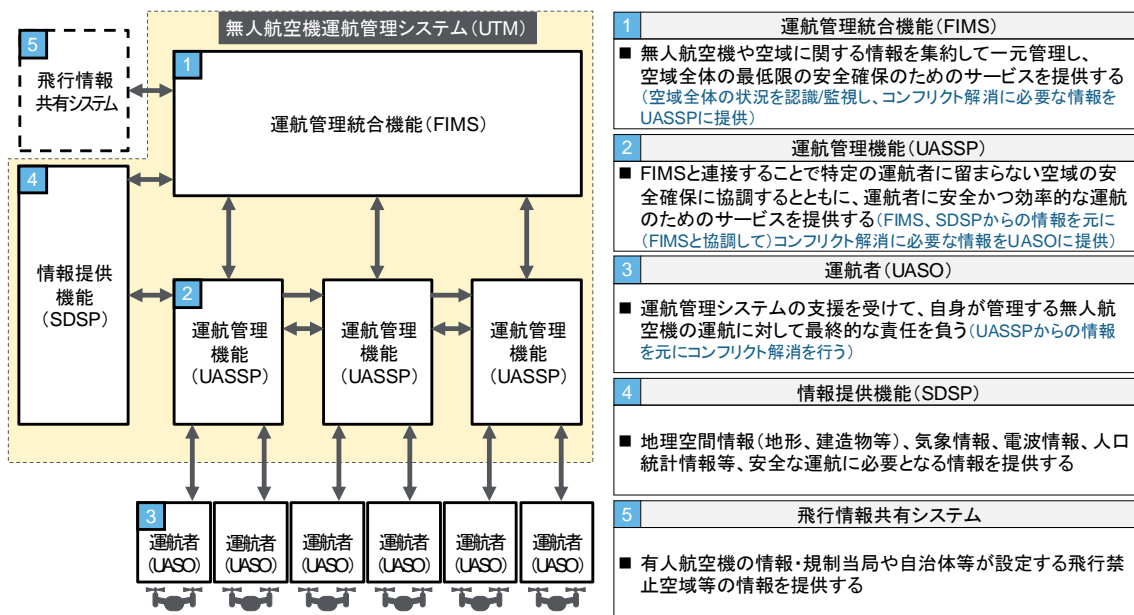
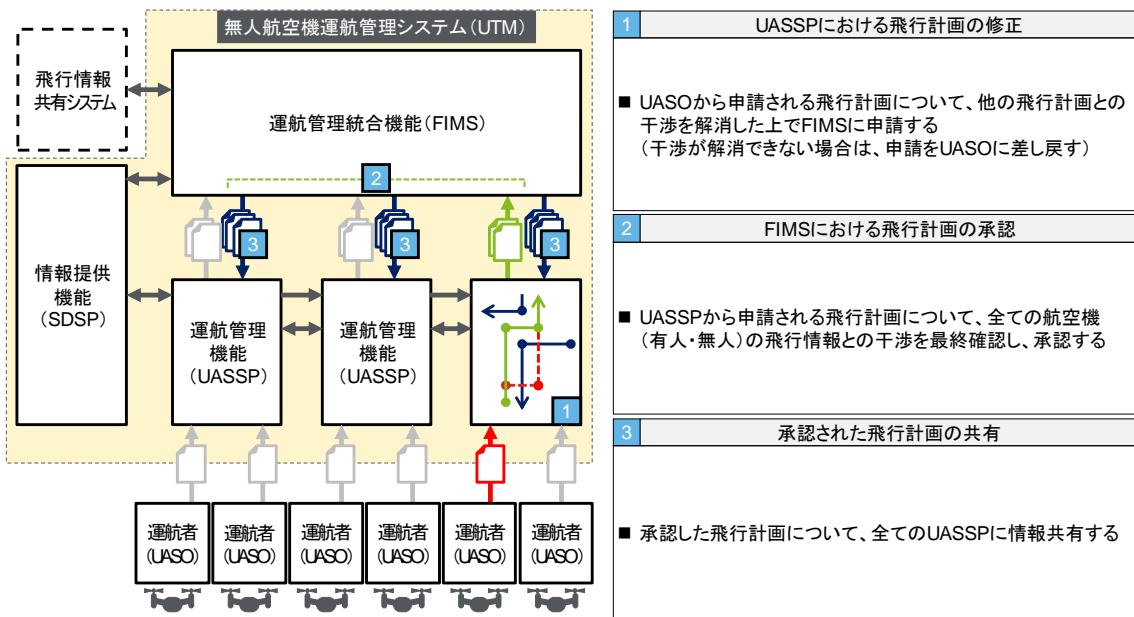
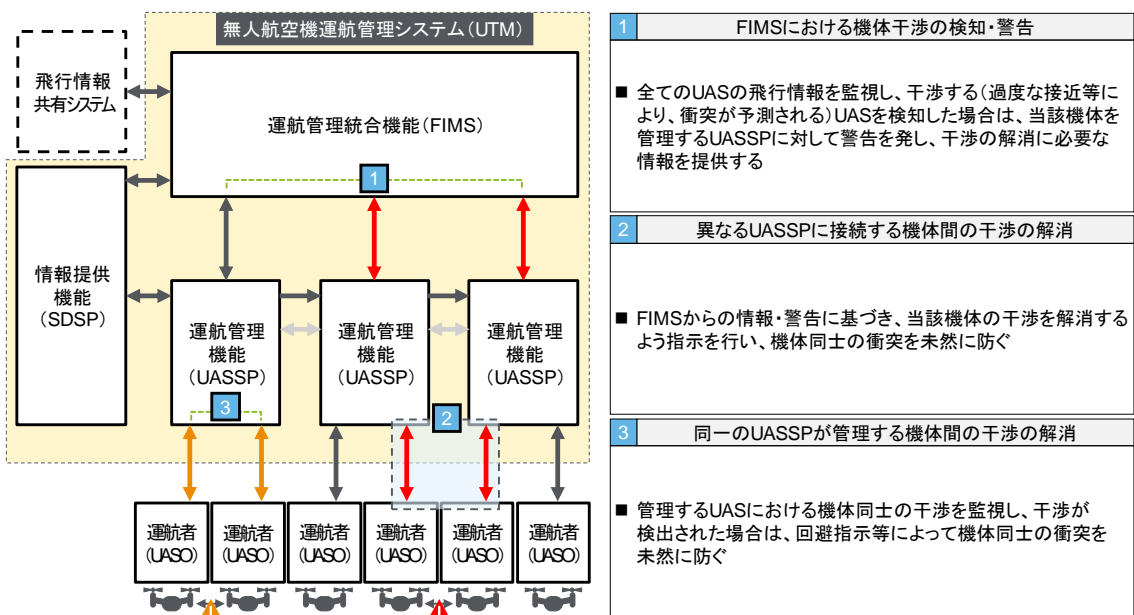


図 III 2. 2. 1. 5-1 システム構成要素の役割分担



図Ⅲ.2.2.1.5-2 飛行計画管理におけるコンフリクト検知・解消(Pre-flight CDR)の機序



図Ⅲ.2.2.1.5-3 動態管理におけるコンフリクト検知・解消(In-flight CDR)の機序

運航管理統合機能（以下、「統合機能」）に情報を集約するのは以下の理由による。

○情報の流通量

複数の「運航管理機能」間で全ての情報を共有するためには相互に大量のデータを伝送しなければならない。「統合機能」に情報を集約し、必要な情報を対象となる「運航管理機能」に限定して展開することによって、データ伝送量を抑制することができる。また、回線品質

を担保しなければならない対象も限定される。

○一元的な判断

現状では、あらゆる状況に対して一意に回避指示等を提供するアルゴリズムを構築できるかどうか分からない。通信の遅れ等による状況認識の齟齬によって、「運航管理機能」間で異なる結果（回避指示）が生じる可能性が危惧される。「統合機能」が一元的な状況認識に基づく判断を行うことによって、各「運航管理機能」が矛盾しない対応を取ることができると。

しかし、システムに求められる機能が「統合機能」に集中し、発展のボトルネックになるのは好ましくない。そこで、将来的には「統合機能」への依存を緩和すべく、以下の方針を掲げている。

○運航管理機能間の調整

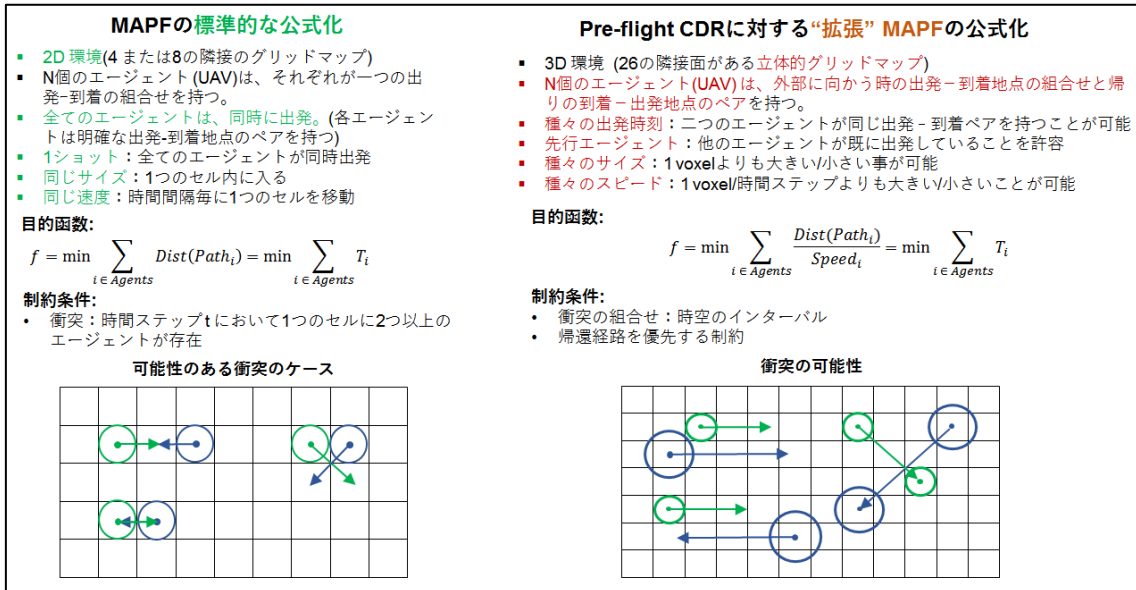
特に時間的に余裕のある飛行計画管理（Pre-flight CDR）では「運航管理機能」間に独自の調整機能を許容する。また、将来的に通信速度の向上やよりロバストな CDR アルゴリズムの開発が為されれば、「統合機能」の役割を縮小し、「運航管理機能間」の調整を主体にする方向の見直しを行う。

○機上衝突回避（ABDAA）との整合

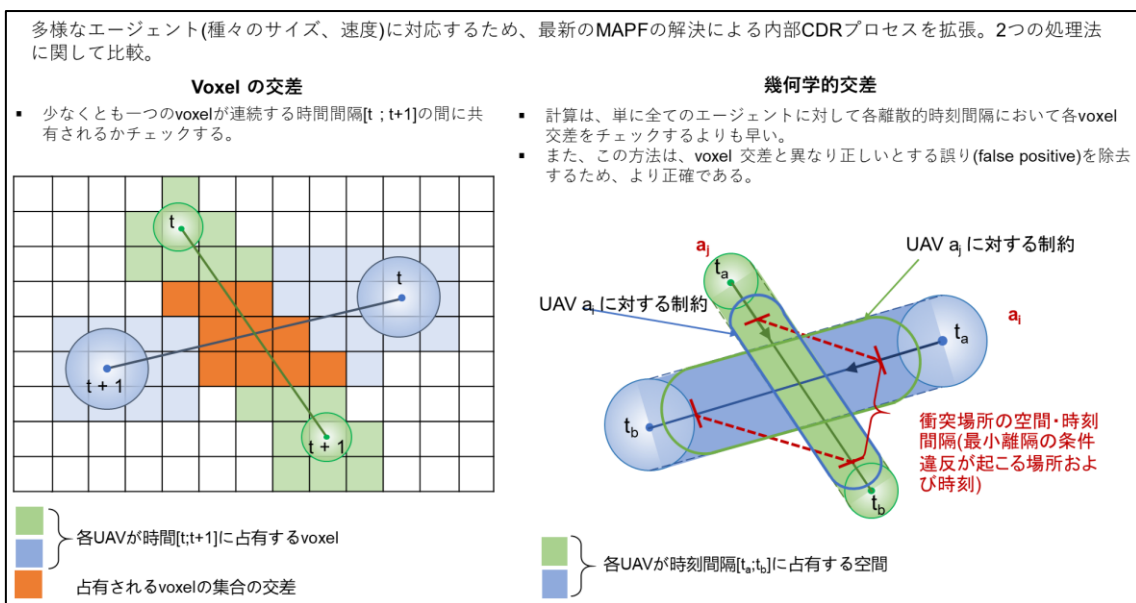
将来的に無人機の性能が向上して機体間通信や機上センサ等による確実な衝突回避が可能になれば、「統合機能」「運航管理機能」による CDR の機序を見直す。

(2) 飛行計画管理における CDR（Pre-flight CDR）方式/アルゴリズム

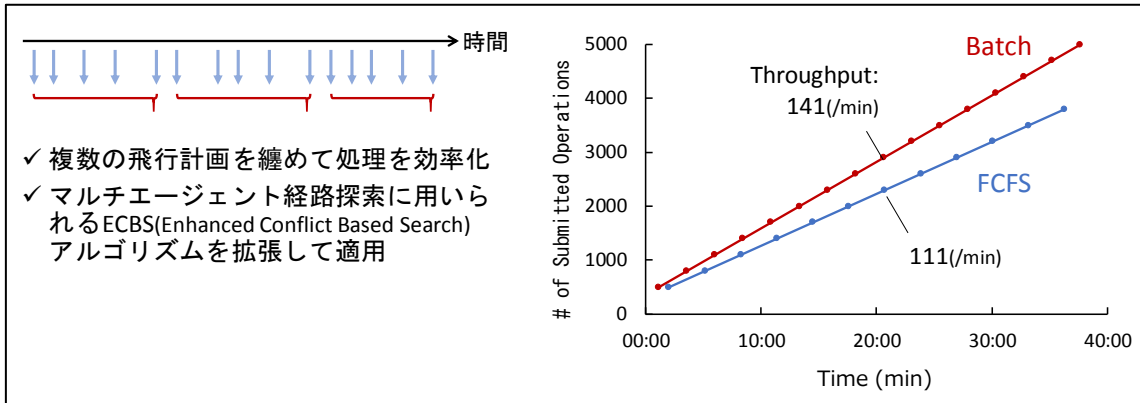
飛行計画（飛行前に計画された飛行経路、通過時間を含む 4DT）のコンフリクトを検出・解消する具体的方法について、FCFS (First-Come First-Serve) 方式と、バッチ処理による最適化方式を開発し、シミュレーションによってその有効性を評価した。これらは、ロボットによる倉庫のオートメーション等に利用されている既存の 2 次元 MAPF (Multi-Agent Path Finding) 問題を 3 次元空間及び異種エージェントに拡張したもの（図 III 2. 2. 1. 5-4）。その解法については、最適性、完全性に加えて拡張性の観点から比較検討し、FCFS 方式には Cooperative A*、バッチ処理による最適化方式では ECBS (Enhanced Conflict-Based Search) アルゴリズムを選択した。また、コンフリクトの検知には、従来の Voxel 基準に比べて多様な飛行速度や離隔距離に対応し計算負荷も少ない幾何学的手法を適用した（図 III 2. 2. 1. 5-5）。そして、これらの方式/アルゴリズムを実装したシミュレーションによって大規模・高密度運航モデルケースに対する飛行計画の処理数（スループット）を比較し、バッチ処理方式/ECBS アルゴリズムの有効性を確認した（図 III 2. 2. 1. 5-6）。



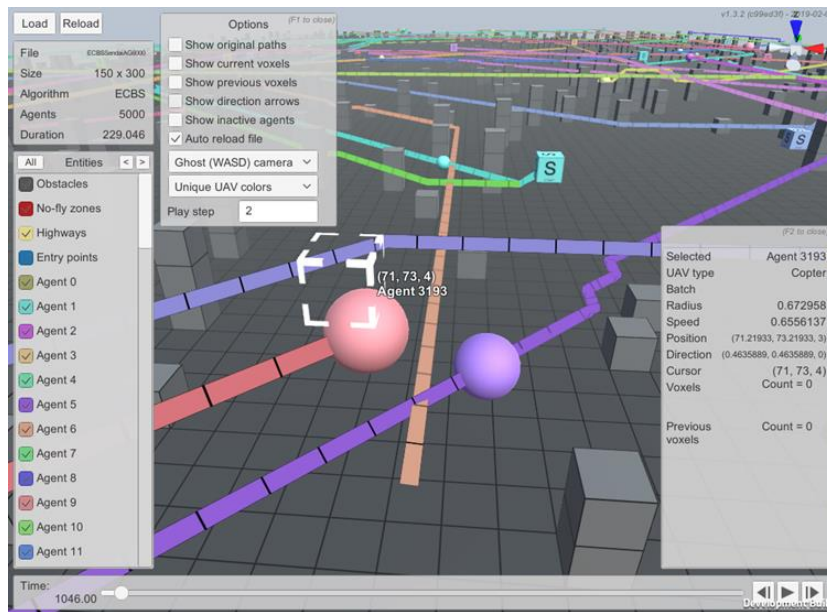
図Ⅲ.2.2.1.5-4 MAPF 問題としての定式化



図Ⅲ.2.2.1.5-5 コンフリクト検知の高効率手法



図Ⅲ.2.2.1.5-6 バッチ処理方式によるスループット向上



図Ⅲ.2.2.1.5-7 シミュレーションにおける3次元可視化支援ツール

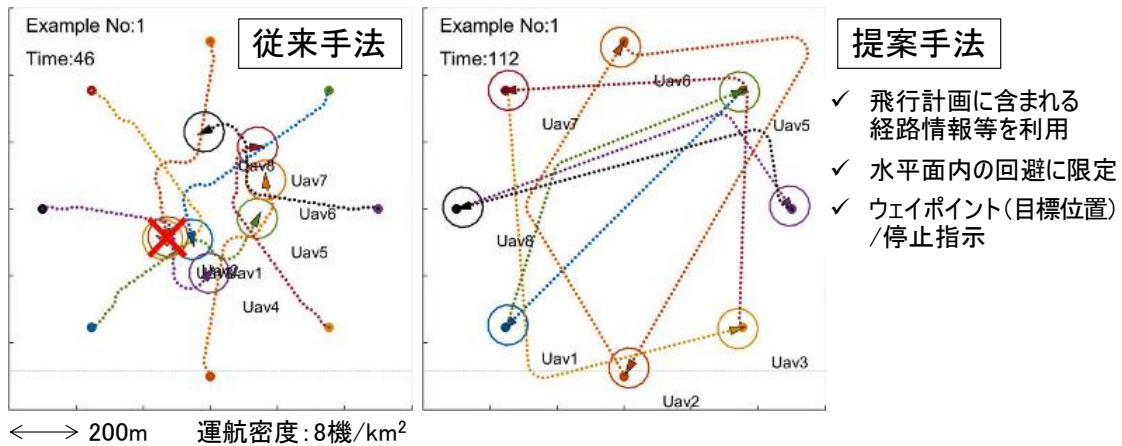
各エージェント(UAV)の当初及び変更された飛行経路や各時刻における位置が表示され、アルゴリズムの動作を理解し視覚的に解を精査することができる

(3) 動態管理におけるCDR (In-flight CDR) 方式/アルゴリズム

飛行中/動態管理におけるコンフリクトの検出・解消方法については、無人航空機のオペレータによる判断と制御の観点から、できるかぎり簡単な方法が望ましい。その候補となるのは船舶や航空機の衝突回避に適用されるルールであるが、多数の機体が交錯するような状況でのコンフリクトの解消は難しい。

そこで、飛行計画として共有されるウェイポイント情報(目的座標及び時刻)を用いて、逐次計算によることなく少数のウェイポイントで回避経路を指定できる方法/ロジックを開発し、無人機が高密度に飛行しコンフリクトが多発する条件における有効性をシミュレ

ーションによって確認した。



図Ⅲ.2.2.1.5-8 多数機の交錯に適用可能なCDRアルゴリズム
進路を逐次変更しつづけなければならない従来手法に対して、
提案手法ではウェイポイント1点の追加でコンフリクトを解消

(6) 最終目標の達成の見通し

現在は、運航管理シミュレータによる運航管理コンセプト/システムアーキテクチャの設計・改善を進めるとともに、シミュレータをシステム開発要素（運航管理統合機能、運航管理機能等）と接続するための機能改修を実施している。これらの結果をもとに、本年度下期に計画中のシステム実証試験（相互接続試験、等）において、シミュレータを接続し、運航管理コンセプト（運航ルール）やシステムアーキテクチャの妥当性、有効性を検証・評価する予定である。

また、これらの取り組みと並行して、災害時や高密度の運航環境にも適用可能なより高度/先進的な運航管理コンセプト（拡張コンセプト）の検討を進め、その具体的な方法/アルゴリズムの開発に着手しており、事業期間内に最終目標を達成できる見込み。

なお、これらの研究成果については、ひきつづき推進委員会等を通じて関係者との合意形成を進めるとともに、シンポジウムを開催して更に広範なステークホルダとの共有を図る。

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発

2.2.2.1. 非協調式 SAA

(実施先：株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所)

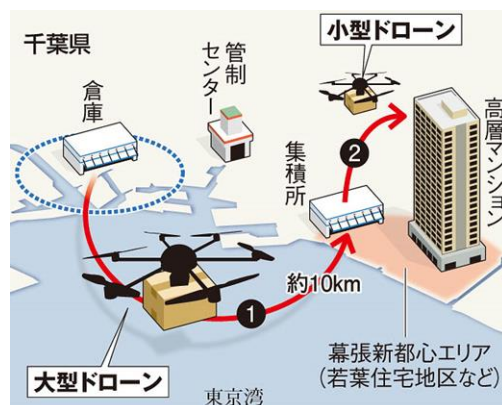
(1) 事業の背景・意義 (目的・概要)

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されている。この際、ロボット・ドローンとしての無人航空機がその能力を十二分に発揮するためには自由かつ安全に運航することが必要不可欠であり、有人航空機のパイロットが危険を避けるように衝突回避を実現する小型で高安全なシステムの構築は重要な研究開発要素である。このために、有人航空機等の衝突回避対象に対して、電波及び光波センサにより回避対象を感知するシステムを構築する。

特に、物流分野、あるいは災害対応を想定すると、以下に示すような課題が挙げられる。

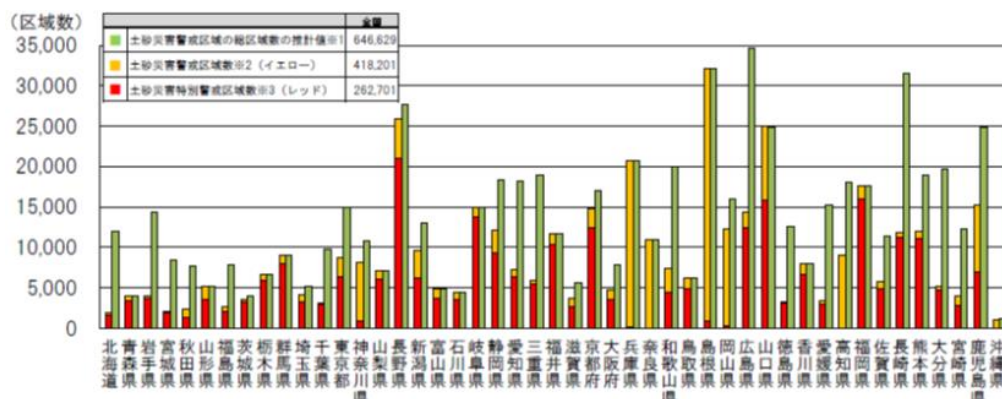
物流分野では、2016年の宅配便の取扱個数は約38億個と6年連続で過去最高を更新し、この10年で3割増加している。個数が増加する理由としては、消費者のニーズの変化やインターネット通販の拡大による小口化及び多頻度化が進んでいることが挙げられるが、併せてトラックドライバーの不足も顕著になってきていることから、一部では遅配も生じている。現在の宅配業界は長時間労働である反面、他業界に比べて賃金が低い状況にあり人手不足に陥っているため、ヤマト運輸は取扱個数の抑制や配達時間の指定を廃止する等を検討するまでになっている。こうした状況を受け課題解決のため、政府は国家戦略特区法改正案を提出する方針で、先端技術の実験に取り組みやすい環境を整備する予定になっており、また2030年をめどに完全に無人化する目標が発表された。

千葉県ドローン宅配構想を図Ⅲ2.2.2.1-1に示す。



図Ⅲ2.2.2.1-1 千葉市ドローン宅配構想 (出典：朝日新聞 2016年4月6日朝刊)

一方、災害対応に関しては、我が国における災害危険箇所は国土の広範囲にわたり多数存在しており、地震については、首都直下型（推定値／死者：約 11,000 人、全壊家屋：約 85 万棟、経済損失：約 112 兆円）、東海（推定値／死者：約 9,200 人、全壊家屋：約 26 万棟、経済損失：約 37 兆円）、東南海・南海（推定値／死者：約 18,000 人、全壊家屋：約 36 万棟、経済損失：約 57 兆円）、日本海溝・千島海溝周辺海溝型の主な大規模地震をはじめ、ほぼ国土全域に地震発生危険性がある。また、土砂災害については、全国に約 65 万か所の警戒区域があり（図Ⅲ2.2.2.1-2 参照）、年間平均して 1,000 件の土砂災害が発生している。



※1. 土砂災害警戒区域の総区域数の推計値
都道府県により推計した、土砂災害警戒区域の総数。
平成27年3月末時点の値であり、基礎調査の進捗に伴い変更の可能性はある。

※2. 土砂災害警戒区域（イエロー：警戒避難体制の整備）（土砂災害防止法） < 1/2,500の地形図より抽出 >
土砂災害が発生した場合には住民等の生命又は身体に危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域。

※3. 土砂災害特別警戒区域（レッド：開発行為に対する規制）（土砂災害防止法）
土砂災害警戒区域のうち、土砂災害が発生した場合には建築物の損壊が生じ住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域。

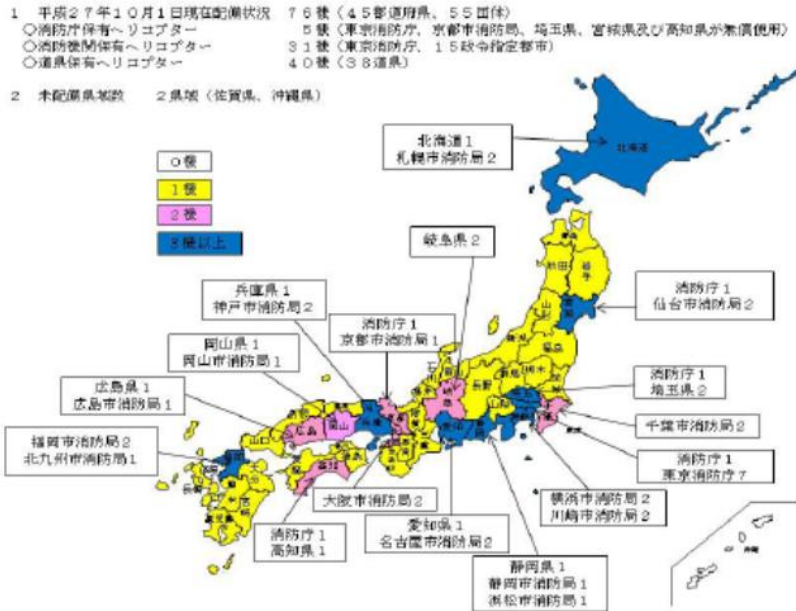
図Ⅲ2.2.2.1-2 全国の土砂災害警戒区域等の指定状況

(<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/guraf-160229.pdf> より)

こういったきわめて広範囲で、高い頻度で災害が発生する危険性がある状況の中で、災害発生時に迅速な被害状況の確認に有効となる航空機の数は極めて限られており、消防防災ヘリについては、76機（図Ⅲ2.2.2.1-3 参照）災害派遣に対応可能な防衛省機約 550 機となっている。さらに、有人航空機では、悪天候下における計器飛行方式や、夜間の運用を実施する場合は、それらに対応した設備を有する飛行場を拠点とする必要があり、災害現場への進出に制約が多い。

従って、有人航空機を補完し、迅速かつきめ細やかに災害に対処できる無人航空機が我が国の国民の安全・利便性の向上には不可欠である。

第1図 消防防災ヘリコプターの保有状況



第2表 消防防災ヘリコプター保有状況の推移

(機)

| 区分 \ 年 | 平成22年 | 平成23年 | 平成24年 | 平成25年 | 平成26年 | 平成27年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 総務省消防庁 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| 消防機関 | 31 | 30 | 30 | 30 | 31 | 31 |
| 都道府県 | 39 | 38 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 計 | 71 | 70 | 73 | 75 | 76 | 76 |

(注)各年10月1日現在の値を示す。

図Ⅲ2.2.2.1-3 消防防災ヘリコプターの保有状況

(http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/kyukyukyojo_genkyo/h27/03_kouku.pdf より)

上記のように、物流分野や災害対応において、無人航空機の活用が期待されており、飛行回数の爆発的な増加が想定されるが、国土交通省航空局による事故等の情報提供によると、表Ⅲ2.2.2.1-1に示すように操縦者の操縦経験や補助者の有無に関わらず接触や接近事例が発生している。事案の報告がないことも考慮すると、より多くの事案が発生していると考えられており、今後増々接触及び接近事案が増加することが懸念される。

| 年（件数） | 平成27年（全12件） | 平成28年（全41件） |
|-------------------|-------------|-------------|
| 樹木や電線等の静止物への接触 | 1 | 9 |
| ドクターヘリ等の無人航空機への接近 | 3 | 1 |

表Ⅲ2.2.2.1-1 無人航空機に係る事故等の一覧（出典：国土交通省航空局）

また、無人航空機を活用して効率よく任務を行うためには、飛行の高速化が必要である。飛行の安全な高速化のためには、樹木を含む地上の障害物や周辺を飛行する有人航空機や無人航空機についても常時把握を行い、衝突を回避する技術が不可欠である。

(2) 研究開発目標と根拠

研究開発目標は、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画に示される研究開発内容に基づいて設定した。

研究開発目標を表Ⅲ2.2.2.1-2に示す。

| 項目 | 研究開発目標 |
|--------|---|
| 電波センサ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 5km 以内の範囲にある相対速度 200km/h 以上の目標が、1km に接近するまでには探知できるシステムを開発する。 ・ 無人航空機に搭載するための事前検証を完了し、衝突回避を行うための有人航空機の探知を少なくとも 1 回以上実証する。 ・ 福島ロボットテストフィールド等において、5km 以内の範囲にある相対速度 100km/h 以上の目標が、1km に接近するまでには探知できることを実証する。 |
| 光波センサ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 飛行環境において、衝突回避対象を正対して距離 1km で認識が可能であり、距離 500m で 2 種の衝突回避対象の識別が可能であることを検証する。 |
| 探知ロジック | <ul style="list-style-type: none"> ・ 相対速度 200km/h 以上の衝突回避が可能なシステムを開発する。 ・ 福島ロボットテストフィールド等において相対速度 100km/h 以上での有効性を飛行試験において検証する。 |

表Ⅲ2.2.2.1-2 研究開発目標

また、研究開発目標を設定した根拠を表Ⅲ2.2.2.1-3に示す。

| 項目 | 研究開発目標 |
|-------|---|
| 電波センサ | <ul style="list-style-type: none"> ■ 電波を利用して目標を探知、測距するレーダは、現在も交通、航空分野において様々に活用されている。 ■ 船舶に対しては、国土交通省令第八四号「船舶設備規程」においてレーダの搭載が義務付けられており、ある種の船舶に対しては自動物標追跡装置、自動衝突予防援助装置の機能も要求され、航行安全に寄与している。 ■ 航空機に関しては、前方の雨の範囲を検知する気象レーダが搭載され、安全航行に寄与している。 ■ 自動車についても安全運転支援システムのセンサとして近年レーダが注目され、研究や一部実用化も進められている。 ■ これらの既存技術を航空機の衝突回避に応用、適用する場合、以下のような課題がある。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶用レーダは大きさや重量の点において、無人航空機程度のプラットフォームに搭載することが難しい。 ・ 船舶レーダは、プラットフォームならびに対象とする目標の運動が比較的低速であるため、航空機を対象とする場合はデータの更新速度をより高速にする必要がある。 ・ 航空機気象レーダは目標とする対象物が気象すなわち雨雲であるため航 |

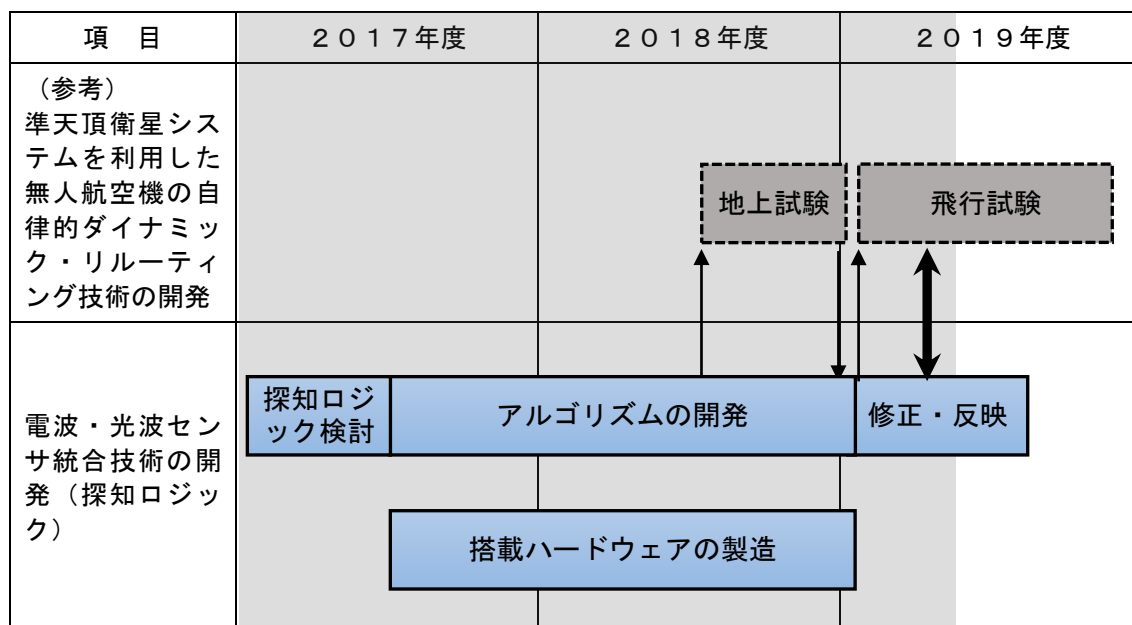
| | |
|--------|---|
| | <p>空機を対象とする場合は信号処理等を新たに開発する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・また、航空機気象レーダは前方のみが監視対象であり、無人航空機で必要となる全周囲観測ができない。 ・車載レーダは探知距離が数百メートルであり、無人航空機が回避行動をとるうえで必要となる探知距離が確保できない。 <p>■ これらの課題を克服し、船舶レーダよりもデータ更新速度が速く、航空機等の目標物探知に信号処理を特化し、衝突回避行動に必要な探知距離と観測範囲を有するレーダの開発ならびに評価が必要である。</p> <p>■ 他の光学センサや衝突回避アルゴリズムとの整合性を高めた無人航空機衝突回避用レーダを実現することは、今後様々な分野で活躍が期待され、飛行機数の増大が見込まれる無人航空機の分野にとって、安全安心に寄与でき、その効果が我が国発で実証されれば、当該装置の海外への輸出による経済的な効果も期待できる。</p> |
| 光波センサ | <p>■ 視覚カメラを利用した技術分野は「コスト・メリット」「小型軽量」の観点から、自動車自動運転技術や小型ドローンの衝突回避技術に活用されており、技術の発展が目覚ましい分野である。</p> <p>■ ただし自動車自動運転技術は、車間距離等を考慮して30-100m程度の短距離で人物、自動車等の識別を行うことを主体としている。</p> <p>■ またドローンの衝突回避技術は、現状のドローンの用途が空撮、インフラ点検等、比較的低速で飛行すれば良いものに限られているため、300m以下の短距離を対象としている。</p> <p>■ しかしながら、高速運輸、災害監視等を目的とした大型無人航空機においては、回避対象物体との相対速度を考慮して「長距離で脅威物体の検知・識別を行う」必要がある上、「検知対象物体として有人航空機、無人航空機、ドローン等、空中の脅威物体に特定した特徴量の抽出」を行う必要がある。</p> <p>■ 従って、本装置を開発することにより、比較的小型な無人航空機を含む広範囲の無人航空機に搭載できる「小型、軽量、かつ低コストの衝突回避システム」を実現でき、国内民間市場への広がりが期待できると共に、海外への輸出による経済的効果も期待できる。</p> |
| 探知ロジック | <p>■ 航空業界における衝突回避システムは、ADS-Bをはじめとする航空機衝突防止装置にみられるような相互通信によるものや地上管制システムからの指示によるもの及び、パイロットの目視により衝突回避を実現している。</p> <p>■ 衝突回避システムは近年、自動車業界において、極めて近距離及び低速度における障害物の探知が急速に発展しており、センサの小型化と低価格化が急速に進んでいる。</p> <p>■ 無人航空機を想定すると、有人航空機用の衝突回避システムは大型かつ高価であり、自動車用の衝突回避システムは、安価であるが、探知距離が短く無人航空機には適さない。</p> <p>■ このため、無人航空機に衝突回避システムを適用するには、パイロットの目視に替わる衝突回避システムであることに加え、装置の小型化及び低価格化が必要である。</p> <p>■ 衝突回避するための条件は多種多様であり、小型で低価格化を実現するためには、複数のセンサを適切に組み合わせる必要があり、複数のセンサからの情報を統合するための衝突回避アルゴリズムが必要である。</p> |

表Ⅲ2.2.2.1-3 研究開発目標設定の根拠

(3) 研究開発スケジュール

①株式会社 SUBARU

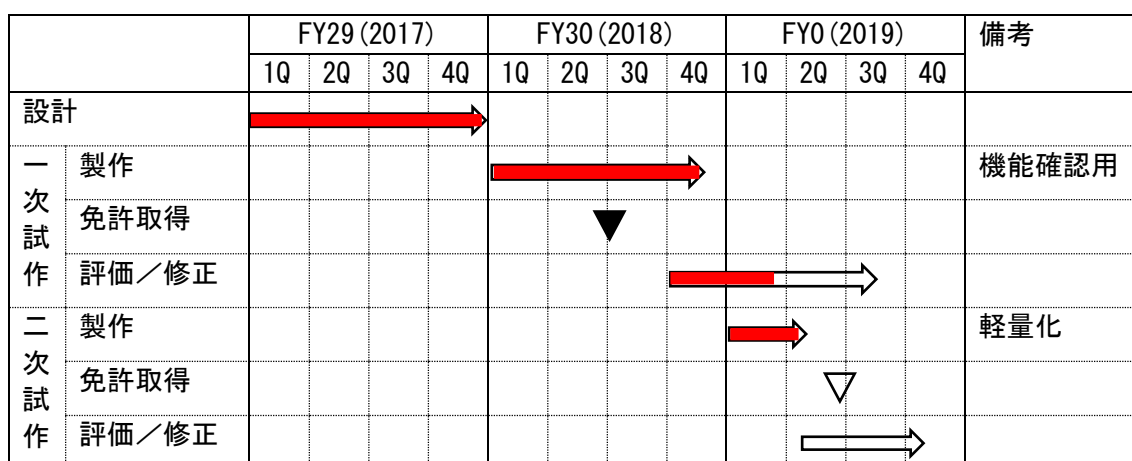
探知ロジックの開発について、目標達成に向けた研究開発スケジュールを表Ⅲ2.2.2.1-4に示す。



表Ⅲ2.2.2.1-4 研究開発スケジュール(株式会社 SUBARU)

②日本無線株式会社

電波センサの開発について、目標達成に向けた研究開発スケジュールを表Ⅲ2.2.2.1-5に示す。



表Ⅲ2.2.2.1-5 研究開発スケジュール(日本無線株式会社)

③日本アビオニクス株式会社

光波センサの開発について、目標達成に向けた研究開発スケジュールを表Ⅲ2.2.2.1-6に示す。

| | FY29 (2017) | | | | FY30 (2018) | | | | FY0 (2019) | | | | 備考 |
|---------|-------------|----|----|----|-------------|----|----|----|------------|----|----|----|----|
| | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | |
| 処理方式の検証 | → | | | | | | | | | | | | |
| 試作 | 設計 | | | | → | | | | | | | | |
| | 製造 | | | | | | ▼ | | | | | | |
| | 評価 | | | | | | | | → | | | | |
| 検証反映 | 問題抽出 | | | | | | | | → | | | | |
| | 改修設計 | | | | | | | | → | | | | |
| | 評価/修正 | | | | | | | | | | → | | |

表Ⅲ2.2.2.1-6 研究開発スケジュール（日本アビオニクス株式会社）

④株式会社自律制御システム研究所

アルゴリズムおよびハードウェアの開発について、目標達成に向けた研究開発スケジュールを表Ⅲ2.2.2.1-7に示す。

| 開発項目 | 期間 | | | | 最終開発目標 |
|----------------|--------|--------|--------|--|---|
| | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | | |
| ①アルゴリズム設計・実装 | | | | | 福島ロボットテストフィールド等において、相対速度100km/hにおける機体認識及び衝突回避を少なくとも1回以上実証 |
| 障害物検知システムの開発 | | | | | |
| 既存ハードウェアの選定・実装 | → | | | | |
| アルゴリズム設計 | → | | | | |
| 検証・修正 | → | | | | |
| 軌道予測アルゴリズムの開発 | | | | | |
| アルゴリズム設計 | | → | | | |
| 検証・修正 | | → | | | |
| 回避アルゴリズムの開発 | | | | | |
| 航法規則の策定 | | | → | | |
| アルゴリズム設計 | | | → | | |
| 検証・修正 | | | → | | |
| ②ハードウェア開発 | | | | | |
| センサ系統（光波） | | | | | |
| 要件定義 | → | | | | |
| 試作・開発 | | → | → | | |
| 検証・修正 | | | → | | |
| GPU | | | | | |
| アルゴリズムのFPGA化 | → | → | → | | |
| 検証・修正 | | | → | | |
| ③システム全体の統合・修正 | | | | | |
| 実証試験 | | → | → | | |

表Ⅲ2.2.2.1-7 研究開発スケジュール（株式会社自律制御システム研究所）

(4) 研究開発の達成状況

①株式会社 SUBARU

探知ロジックについて、研究開発の達成状況を表Ⅲ2.2.2.1-8に示す。

| 項目 | 研究開発項目 | 達成状況 | 評価 |
|--------|-------------|---|----|
| 探知ロジック | 探知ロジックの検討 | センサ性能を考慮した探知ロジックを構築した。 | ○ |
| | アルゴリズムの開発 | 探知ロジックを実現するソフトウェアの仕様を確定し、アルゴリズムを実現するソフトウェアの製造を完了した。 | ○ |
| | 搭載ハードウェアの製造 | アルゴリズムが実装できる搭載ハードウェアに、実装を完了した。 | ○ |

表Ⅲ2.2.2.1-8 研究開発の達成状況

②日本無線株式会社

電波センサの開発について、研究開発の達成状況を表Ⅲ2.2.2.1-9に示す。

| 項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|----------|--|--|------------------|-----------------------------|
| 電波センサの開発 | 試作機の製造を完了させ、地上において動作可能な状態とする。 | 機能評価用として一次試作をおこなった。 | ○ | 二次試作において軽量化を実施する。 |
| | シミュレーション等により、5kmまでの計測が可能な状態とする。 | 10kmまでの処理範囲の実装をおこなった。 | ○ | |
| | 自律管理装置とのインタフェースを確立し、地上における実証実験が可能な状態とする。 | 自律管理装置との接続を確認した。 | ○ | |
| | 無人航空機に搭載するための事前検証を完了し、衝突回避を行うための有人航空機の探知を少なくとも1回以上実証可能な状態を確立する。 | 電波センサ単体での事前検証を確認した。 | ○ | |
| | 福島県のロボットテストフィールド等において、5km以内の範囲にある相対速度100km以上の目標が、1kmに接近するまでには探知できることを実証可能な状態を確立する。 | 相対速度100km程度で飛行する目標を1km以上で探知できることを確認した。 | △ (二次試作で達成予定) | 処理パラメータの最適化により探知性能の確認をおこなう。 |

表Ⅲ2.2.2.1-9 研究開発の達成状況（日本無線株式会社）

③日本アビオニクス株式会社

光波センサの開発について、研究開発の達成状況を表Ⅲ2.2.2.1-10に示す。

| 項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|----------|--|----------------------------------|-----|--------------------------|
| 光波センサの開発 | シミュレーションにより探知および識別の処理方式妥当性を検証する。 | 評価用映像を用い処理方式の検証を行った。 | ○ | |
| | 試作機の製造を完了させ、地上において動作可能な状態とする。 | 試作機の製造を行った。 | ○ | |
| | 自律管理装置とのインタフェースを確立し、地上における実証実験が可能な状態とする。 | 自律管理装置との接続を確認した。 | ○ | |
| | 機体実装し、飛行状態において処理に必要な画質が得られる事を検証する。 | 防振機構が正常に作動し適切な画像の取得を確認した。 | ○ | |
| | 福島県のロボットテストフィールド等において、1km 以内の範囲にある相対速度 100km 以上の目標を探知できることを実証可能な状態を確立する。 | 脅威機（有人ヘリコプタ）前方 1km 以遠からの探知を検証した。 | △ | 周囲環境毎に合致した処理方式の最適化を実施する。 |

表Ⅲ2.2.2.1-10 研究開発の達成状況（日本アビオニクス株式会社）

④株式会社自律制御システム研究所

【達成目標】

高速時の認識用光波センサの試作、及び GPU による高速演算機能を有する小型軽量高速ビジョンのプロトタイプシステムを搭載し、相対速度 100 km/h 程度での飛行速度における衝突回避を実現することを目指す。

【達成状況】

2019 年度の研究開発では以下を実施した。

1. アルゴリズム開発
2. 搭載ハードウェア製造(光波センサ)
3. 統合・実証・修正・反映

2018 年 12 月に福島ロボットテストフィールドにおいて行われた高速移動する対象機(有人航空機・小型無人航空機)の探知試験においては、100km/h で飛行する有人航空機、40km/h で飛行する小型無人航空機を自動検知することに成功した。また、相対速度 40km/h における衝突回避試験も実施し、衝突回避に成功した。

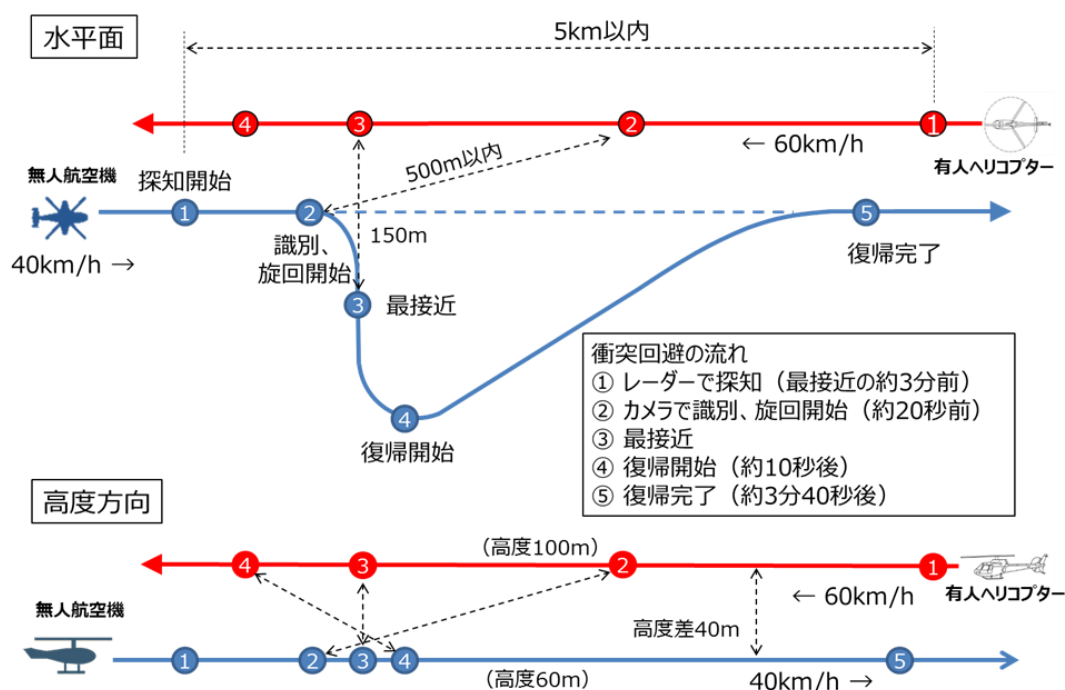
(5) 成果の詳細

①株式会社 SUBARU

探知ロジックは、予定された経路を飛行するためには、衝突回避の機動を最小限に留める必要がある。

このため、搭載センサの探知分解能を加味し、脅威機の経路を予測することで安全を確保しつつ、回避手段として、水平旋回に加え、減速・上昇・降下から最適な経路を選択する探知ロジックを構築した。

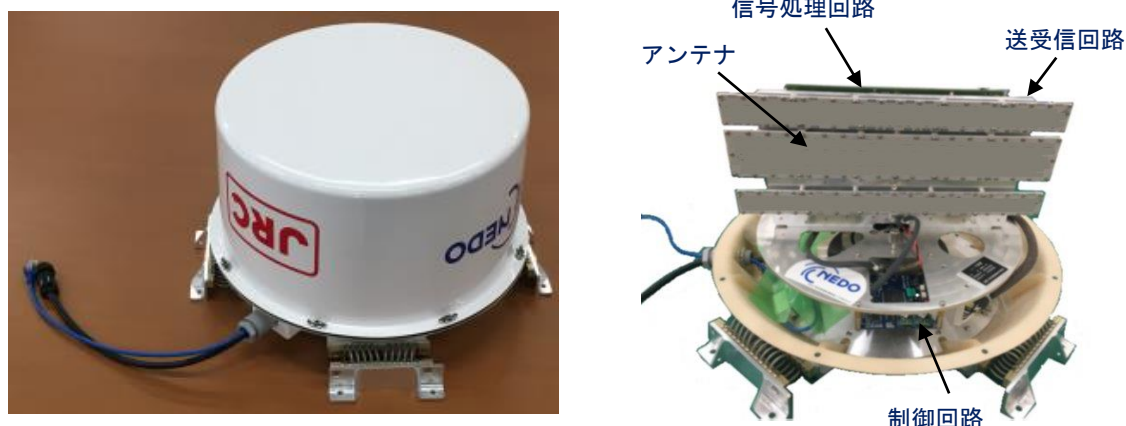
この探知ロジックについて、全方位から直線飛行で接近する相対速度 200km/h の有人航空機に対する非協調衝突回避を実現できる飛行シミュレーション結果を得た。相対速度 100km/h 場合の飛行シミュレーションの回避機動の一例を図Ⅲ.2.2.1-4に示す。



図Ⅲ.2.2.1-4 相対速度 100km/h 場合の飛行シミュレーション回避機動の一例

②日本無線株式会社

機能確認用の一次試作をおこない、実験無線局の免許を取得した。



図Ⅲ2. 2. 2. 1-5 試作した電波センサ

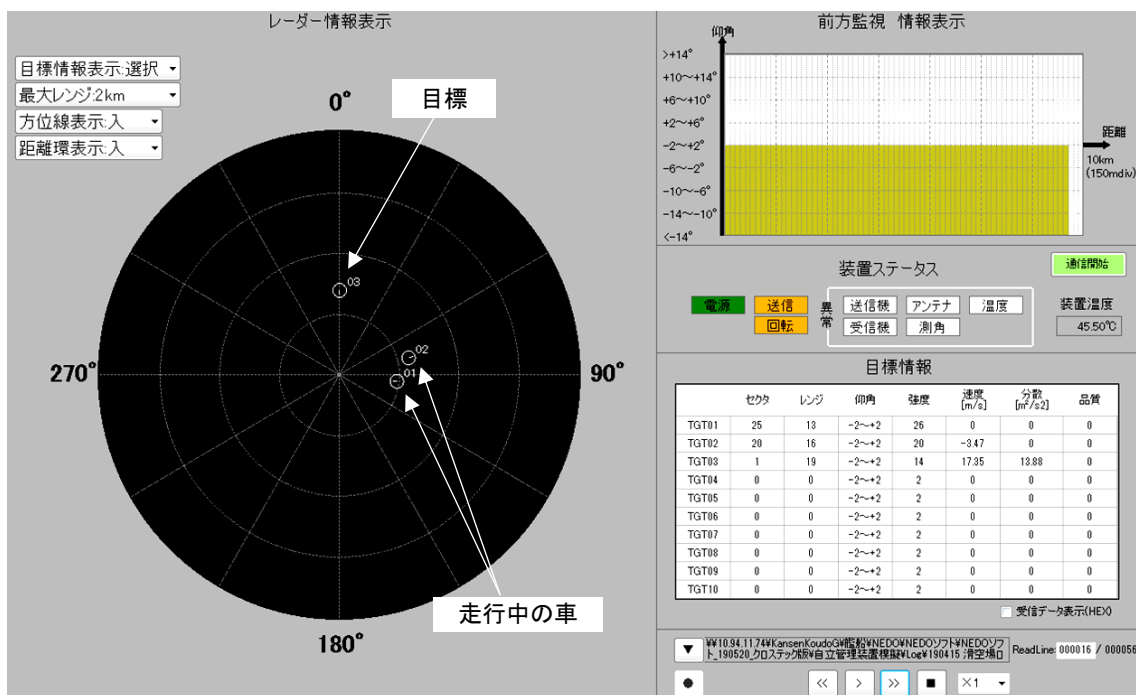
試作した電波センサを車両に取り付け、目標として有人ヘリ相当のリフレクタを取り付けた車を使用して長野市滑空場で走行試験をおこなった。

その結果、地上のビル等の固定物を取り除き、相対的に移動する目標が検出可能であることを確認した。

また、自律管理装置との接続をおこない、検出した目標データを正常に出力できることを確認した。



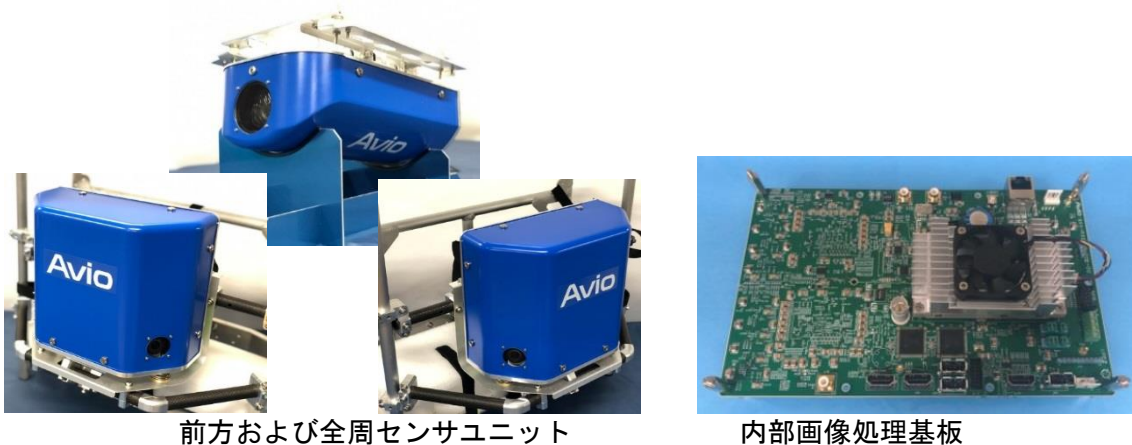
図Ⅲ2. 2. 2. 1-6 地上走行試験状況



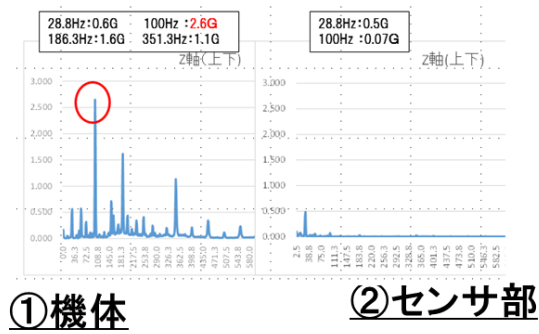
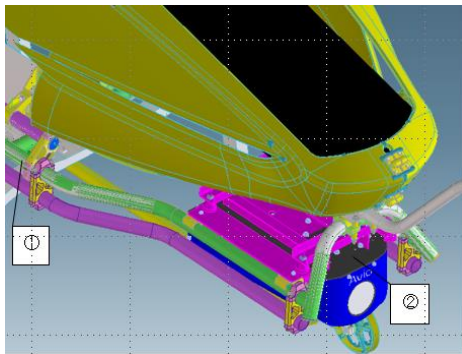
図Ⅲ2.2.2.1-7 地上走行試験における探知データの例

③日本アビオニクス株式会社

機能確認用の試作を行い、機体に実装、自律管理装置とのインターフェースを確認すると共に、飛行条件における防振機構の振動実測および画像の取得を行い、振動によるぶれの影響が生じず、必要な解像度および画質が得られることを検証した。

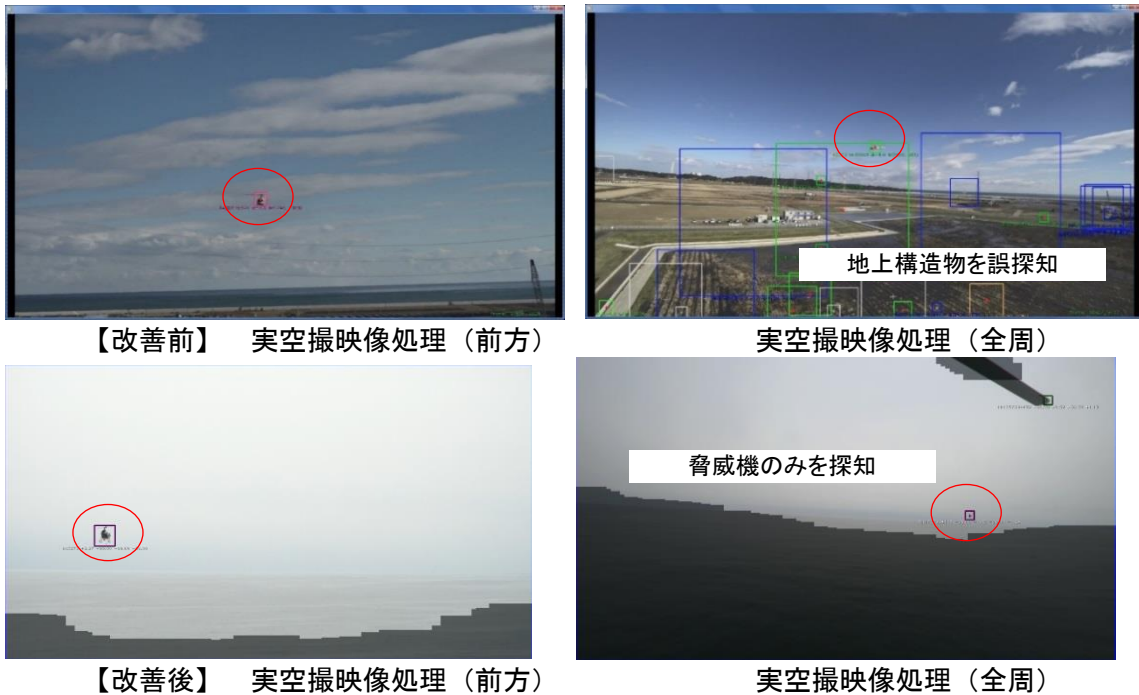


図Ⅲ2.2.2.1-8 試作した光波センサ



図Ⅲ2.2.2.1-9 防振機構の振動実測結果

飛行試験により中型無人航空機を脅威機として500m以遠の探知が可能なことを確認した。これは有人ヘリコプターを脅威機とした場合の1km以遠の探知と等価な結果である。試験結果より周囲環境の影響による各種誤検知の課題を抽出し、順次処理方式への盛り込み、評価を実施している。以下は、地上構造物の誤検知対策の実施例である。



図Ⅲ2.2.2.1-10 地上構造物の誤検知対策の実施例

④株式会社自律制御システム研究所

これまでの主要な研究開発の成果を以下に示す。

1. 障害物検知センサの選定と障害物検知アルゴリズムの実装

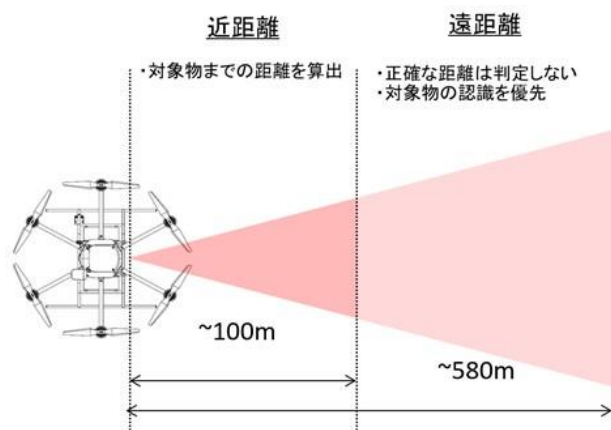
衝突回避に必要な距離を算出し、障害物検知センサ選定のための条件とした。選定にあたっては算出した必要距離を加味した上で複数方式のベンチマークを行い、高速飛行での衝突回避に必要な距離で検知可能な Vision 方式を採用した。

| センサー方式 | 製品名 | 最大認識距離 | 角解像度* | 更新レート | 質量 | 価格 | 対象*の検知可能距離 |
|--------|-----------------------|--------|-------------|-------|-------|--------|------------|
| | | [m] | [deg] | [Hz] | [g] | [USD] | [m] |
| Vision | ZED Stereo camera | 制限なし | 0.6° | 30 | 200 | 600 | 95 |
| Radar | Echodyne MESA-DAA | 3400 | 1.0° | 1 | 730 | 10,000 | 57 |
| Radar | DroneShield RadarZero | 750 | 1.0° x 3.0° | - | 1,250 | - | 57 |
| LiDAR | Velodyne VLP-16 | 100 | 0.1° x 2.0° | 20 | 830 | 12,000 | 100 |
| LiDAR | 北陽 YVT-35LX | 35 | 0.1° x 2.0° | 20 | 650 | 6,000 | 35 |

* Visionは認識に必要な20pixelで推定 * 直径1mの小型無人機を想定

表Ⅲ2.2.2.1-11 3D 測距センサの比較

遠距離と近距離で異なる処理を組み合わせることで検知性能の向上と早期の回避行動を実現した。まず遠距離での検知においては、遠望カメラレンズを搭載し、対象物を画像認識で一次スクリーニングする。ここでは対象物の早期検知を優先し、距離算出は対象物の基準寸法を元にした近似値を用いる。次に近距離での検知について、まず周囲の環境全体との距離を把握する必要がある。そのために映像内の全ピクセルと自己との距離を対応させ、深度マップを生成する。自動運転などで一般的に用いられる障害物検知アルゴリズムを比較検討し、Center-Symmetric Census Transform と Semi-Global Matching を組み合わせた方法を採用した。



図Ⅲ2.2.2.1-11 アルゴリズム検知範囲概要図

2. 搭載ハードウェア製造(光波センサ)

マルチコプター型の無人航空機の高速飛行時の飛行特性を理解するために 2018 年 10 月に大型低速風洞で実際の無人航空機を飛行させる飛行特性検証試験を実施した。対象物検知のためには加減速時のカメラ視野を水平維持し、振動から防ぐ必要がある

ため、この試験で得られたデータを基にして高速域でも安定した検知性能を維持可能なカメラジンバルを製造した。



図Ⅲ2.2.2.1-12 カメラジンバル CAD 図とその可動範囲

開発したアルゴリズムを搭載するためのハードウェアは光波センサ、光波センサ処理装置、光波センサ搭載ジンバルから構成される。

3. 統合・実証・修正・反映

2018年12月に福島ロボットテストフィールドにおいて高速移動する対象機(有人航空機・小型無人航空機)の探知試験を実施した。以下に検知試験結果を示す。

| | |
|---|-----------------|
| 対象機 | 有人ヘリ (AS350) 正面 |
| 飛行速度 | 100km/h |
| 検知距離 | 580m |
| 検知画像 (赤枠で示すのが開発したアルゴリズムにより対象物が自動検知された様子) | |

表Ⅲ2.2.2.1-12 福島ロボットテストフィールドにおける有人機検知試験結果

| | |
|---|--|
| 対象機 | 小型無人機 (PF1) |
| 飛行速度 | 40km/h |
| 検知距離 | 100m |
| 検知画像 (赤枠で示すのが開発した アルゴリズムにより対象物 が自動検知された様子) |  |

表Ⅲ.2.2.1-13 福島ロボットテストフィールドにおける無人機探知試験結果

(6) 最終目標の達成の見通し

①株式会社 SUBARU

探知ロジックを含む衝突回避システムを実装して、2019年7月21日から26日に福島浜通りロボット実証区域(南相馬市)広域飛行空域において、無人航空機に搭載するレーダ又は光波センサにより、相対速度100km/hで接近してくる有人航空機及び小型無人航空機を飛行中に探知し、衝突回避を行う機能の実証を、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」により完了している。

今後は想定される様々な実フィールド・データにおけるセンサの探知情報を取得・反映し探知ロジックを確立する計画であり、本研究開発の最終目標は達成の見通しである。

②日本無線株式会社

① 軽量化

一次試作においてはレーダ装置質量が目標(約5kg)を超過(約7kg)しているが、二次試作では使用材料の変更や構造見直し等で軽量化を図り、目標を達成見込みである。

② 探知能力

地上/海面反射等不要信号の除去は適時最適化作業継続中であり、今年度内に完了予定である。

また、探知性能(有人ヘリを概ね5kmで検出)に関しては検証中である。

③日本アビオニクス株式会社

① 地上構造物等の誤検知抑制

現状では地上構造物や、海上の白波等環境要因による誤検知が発生することがある。処理方式に空中部と地上（海上）部の識別処理を追加、改善することにより誤検知抑制を図る。

② 物体の探知結果分裂の抑制

現状では探知する物体が近距離となった場合に、1目標から2目標に分裂することがある。時間相関の処理を改善し、分裂の抑制を図る。

④株式会社自律制御システム研究所

2018年度の開発及び実証実験により、既に相対速度40km/hにおける機体認識及び衝突回避を達成している。最終目標である相対速度100km/hにおける機体認識及び衝突回避においても、目標達成に必要な検知・回避に関するアルゴリズムやハードウェアの開発は概ね完了しており、最終目標は達成の見通しである。

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.2.2.1. 協調式 SAA

1) 正確な位置情報を共有するための準天頂衛星対応受信機の研究開発 (実施先：マゼランシステムズジャパン株式会社)

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

準天頂衛星システムによる「サブメータ測位補強、センチメータ測位補強サービス」は、2018年11月にサービスが開始されたことで大きく注目されている。現在のカーナビやスマートフォンなどでは、GPS等の信号として1周波で測位を行っているが、測位精度向上のため2周波の受信機を計画している海外メーカーがある。

また、需要拡大のために安価で小型な受信機が必要となるが、現在2周波以上に対応した受信機(特にLSI化されたもの)は国内には存在しておらず、単機能部品の組合せで回路を構成している。そのため、高価で小型化できない状況にある。

マゼランシステムズジャパン株式会社は、ローコストでありながら、GPSやGLONASS衛星を使ったマルチ受信が可能な高精度RTK受信機を独自で開発出来る数少ないメーカーである。既に農業機械、産業機械や建設機械、ロボット等の自動運転用途に量産ベースで供給を開始しており、特にその高精度技術に関しては、世界トップレベルの豊富な技術資産と経験を保有している。

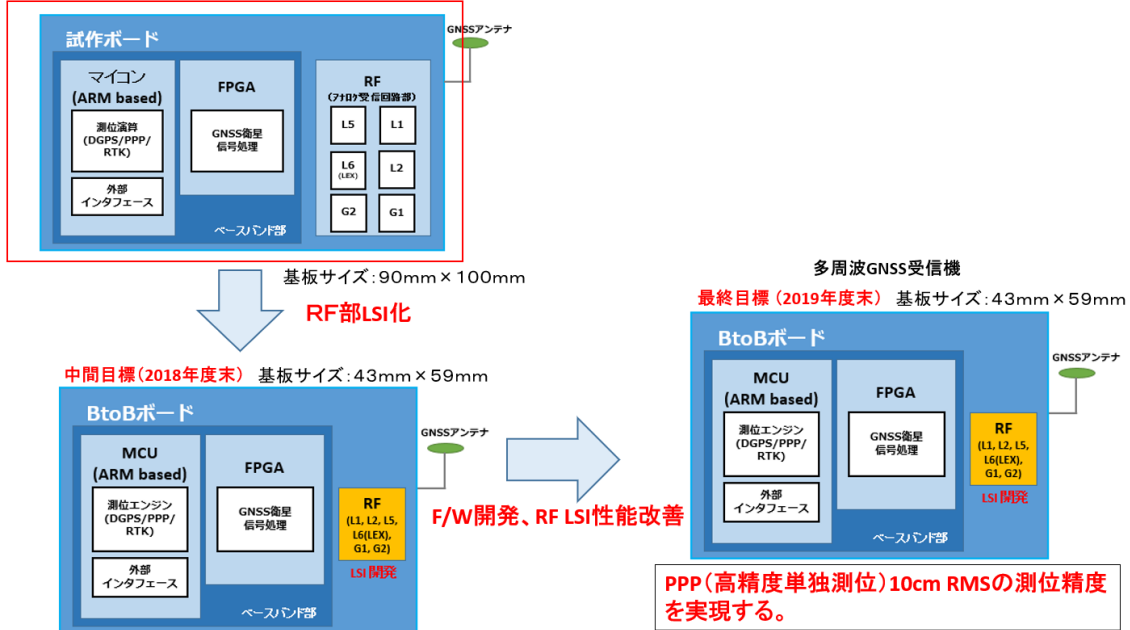
また、「2015年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチGNSS受信機開発で築いた技術資産を有効活用し、更に現在の大型な評価基板のRF(高周波回路)部をLSI化することにより、高精度でかつ小型、軽量、省電力化を実現することが可能になる。

これにより、ドローンに搭載してもペイロードへの影響や消費電力を最小限に留め、有人航空機と無人航空機、無人航空機相互間で各々の正確な位置情報を共有することが可能になり、ドローン同士の衝突回避や衝突防止に役立てることが出来る。併せて正確な機体の制御が可能になり、ドローン同士が密集した状況での離着陸や飛行が可能になる。

(2) 研究開発目標と根拠

本研究の中間目標として、「2015年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチGNSS受信評価ボード(基板サイズ: 90mm×100mm)のRF部をLSI化し、小型B to Bボード(目標基板サイズ: 43mm×59mm以下)の開発を行う。最終目標として、高精度多周波GNSS受信機(基板サイズは前年度と同じ)として、小型、軽量、省電力化を図り、性能は従来と同等とし、PPPによる位置精度10cm以内を目標とする(図Ⅲ2.2.2.2-1)。

2015年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業での成果物



図Ⅲ2.2.2.2-1 開発の流れ

また、この技術を無人航空機の運航管理機能の開発等に提供し、協調式 SAA に活用することで、無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発に役立てる。

具体的には、高精度位置情報をドローン間の相互通信により相手へ通知し、相互で高精度位置情報を共有することを目標とする。

| 項目 | 最終目標 | 設定根拠 | 中間目標 | 設定根拠 |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|---|----------------------|
| ドローン搭載用、準天頂衛星システム対応高精度受信機の開発。 | 開発された評価ボードにて PPP (高精度単独測位) 10cm RMS の測位精度を実現する。 | 従来のボードの性能と同等とするため。 | RF 部の LSI 化を実施し、評価ボードを開発する。 目標基板サイズは 43mm × 59mm 以下。 | 評価ボードの小型、軽量、省電力化のため。 |
| | 無人航空機の運航管理機能の開発等にこの技術を提供し、福島県のロボットフィールド等を利用した飛行試験に協力する。 | 基準局不要の準天頂衛星システム対応高精度受信機を活用いただくため。 | | |

表Ⅲ2.2.2.2-1 開発目標と設定根拠

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| 項目 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 最終目標値 |
|-----------------------------------|--------------|-------------|-----------------------------|------|-------------------------------------|
| RF 部 LSI 化 | 仕様検討／設計／製造 → | | 特性改善／改版 → | | RF 部 LSI 化 |
| RF チップ 評価ボード開発 | 回路・基板設計／製造 → | | 性能評価 → | | PPP による位置 精度 10cm 以内 |
| 小型 B to B ボード開発 (43mm×59mm) | | ボード製作 → | 性能評価 → ボード改版 → 性能評価 → | | |
| 専用 F/W 開発 | | 専用 F/W 開発 → | | | |
| 飛行情報の相互 通信に関する開 発 | 飛行試験(1) | 飛行試験(2) | 飛行試験(3) | | 高精度位置情 報を相互通信 により相手へ 通知する。 |

表Ⅲ2.2.2.2-2 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

研究開発項目と達成状況を表Ⅲ2.2.2.2-3に示す。「2015年度 中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」で開発した、従来型の準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信評価ボード（基板サイズ：90mm×100mm）のRF部をLSI化することにより、中間目標である基板サイズ43mm×59mm以下の小型B to Bボードを実現した。

| 中間目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|-----------------------------|---|-----|--|
| RF 部の LSI 化を実施し、評価ボードを開発する。 | RF 部を LSI 化することにより、従来の基板サイズ90mm×100mmを、目標である43mm×59mmのサイズを達成した。 | ◎ | RF チップの一部機能に問題があり、メタルレイヤーの配線変更等による性能改善が必要。 |

表Ⅲ2.2.2.2-3 研究開発目標と達成状況

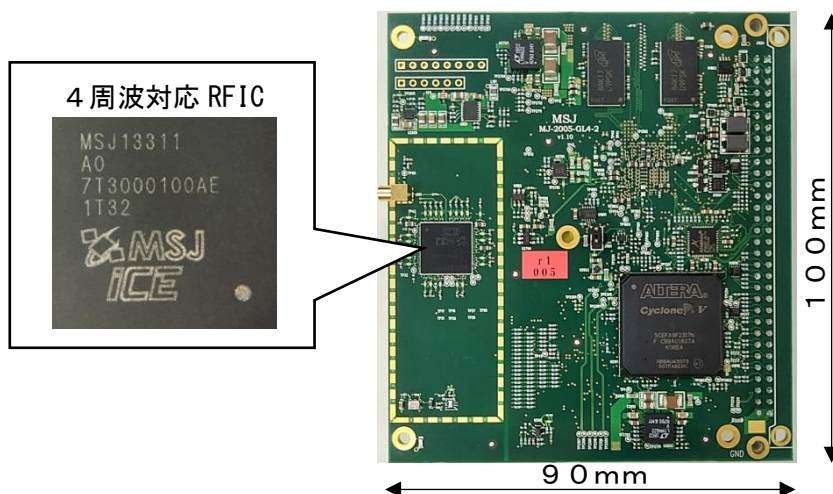
(5) 成果の詳細

(1) RF 部の LSI 化、評価ボードの開発

従来型の準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機の RF 部は、既存の単機能部品を組合せて構成されており、GNSS から 4 周波の信号 (L1, L2, L5, L6 帯) を受信できる仕様となっている。

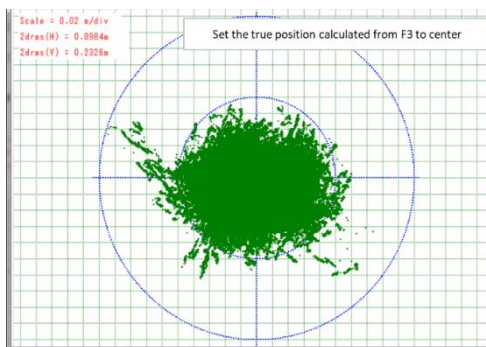
この単機能部品の組合せを LSI 化し 4 周波に対応した 1 チップの RF デバイス (以下、RFIC という) は世界に存在しておらず、小型、軽量、省電力化のため、この RF 部の LSI 化の開発を行った。

その後、この RFIC を評価するため、従来のディスクリート部品で構成された RF 部をこの RFIC に変更した評価ボード (図Ⅲ2.2.2.2-2) の開発を行った。



図Ⅲ2.2.2.2-2 RFIC を搭載した評価ボード

RFIC の性能としては、一部機能に課題はあるものの、受信機としての基本性能は満足しており、評価内容の一部抜粋ではあるが、準天頂衛星の CLAS を使った測位精度 (24 時間定点測位) を図Ⅲ2.2.2.2-3 に示す。



図Ⅲ2.2.2.2-3 真値に対する精度
(2drms (水平) : 9.84 cm、2drms (高さ) : 23.26 cm)

天頂衛星 GLAS の補強信号を利用し、高精度単独測位 (PPP) での測位精度は 2drms (水平) で 10cm 以下であり、測位精度の最終目標値を達成した。

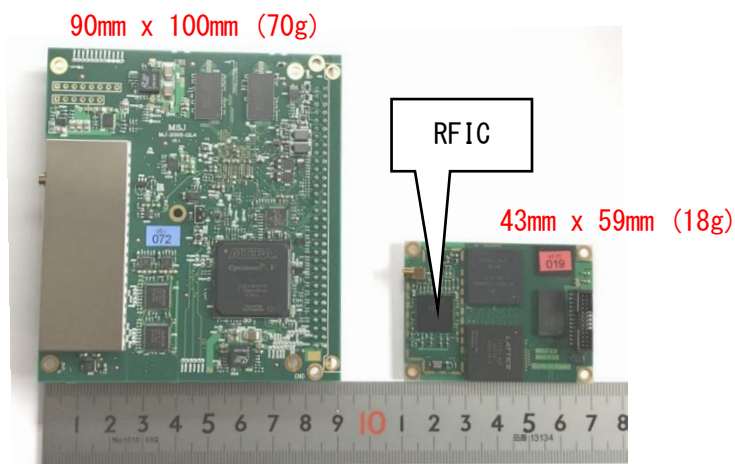
RFIC の課題としては、①LNA の周波数特性不良、②高調波による受信感度不足が見られた。

(2) 小型 B to B ボードの開発

評価ボードと同時並行で開発を進めていた基板の小型化については、目標である 43mm × 59mm のサイズを達成した (図Ⅲ.2.2.2-4)。

また、消費電力については、従来型ボードの約 9W に対し、約 4.5W と半分の消費電力に抑えることが出来た。小型、軽量化については従来の約 1/4 を達成した。

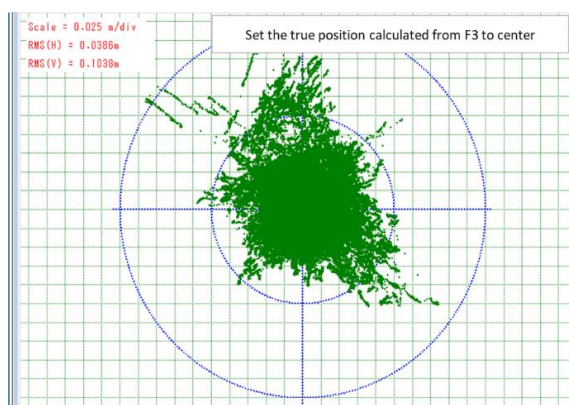
z



図Ⅲ.2.2.2-4 従来型ボード (左側)、小型 B to B ボード (右側)

小型 B to B ボードの性能としては、評価ボードとは異なる小型 LNA を搭載しており、ゲインが不足していたため受信感度が低い傾向となった。外部にアンプを後付けすることで評価ボードと同等の受信感度を得られることを確認した。

準天頂衛星の GLAS を使った測位精度 (24 時間定点測位) は図Ⅲ.2.2.2-5 の通りである。



図Ⅲ.2.2.2-5 真値に対する精度
(2drms (水平) : 7.72 cm、2drms (高さ) : 20.76 cm)

準天頂衛星 GLAS の補強信号を利用し、高精度単独測位 (PPP) での測位精度は 2drms (水平) で 10cm 以下であり、測位精度の最終目標値を達成した。

RFIC の課題としては、①LNA の周波数特性不良、②高調波による受信感度不足であり、評価ボードと同じである。

この受信機のサイズ (43mm×59mm) で準天頂衛星の L6 の補強信号に対応し高精度単独測位ができ、かつ、RTK でも利用できる受信機は世の中に存在せず、世界初の成果物である。

(6) 最終目標の達成の見通し

RFIC を搭載した小型 B to B ボードの目標サイズである 43mm×59mm を達成した。また、評価ボード (基板サイズ: 90mm×100mm) 及び小型 B to B ボード共に最終目標とする高精度単独測位 (PPP) による位置精度 10cm 以内を達成した。

RFIC の課題である①LNA の周波数特性不良、②高調波による受信感度不足については調査継続中ではあるが、メタルレイヤー配線見直し、クロック信号の入力部変更、パッケージ変更等により性能改善出来る見通しである。

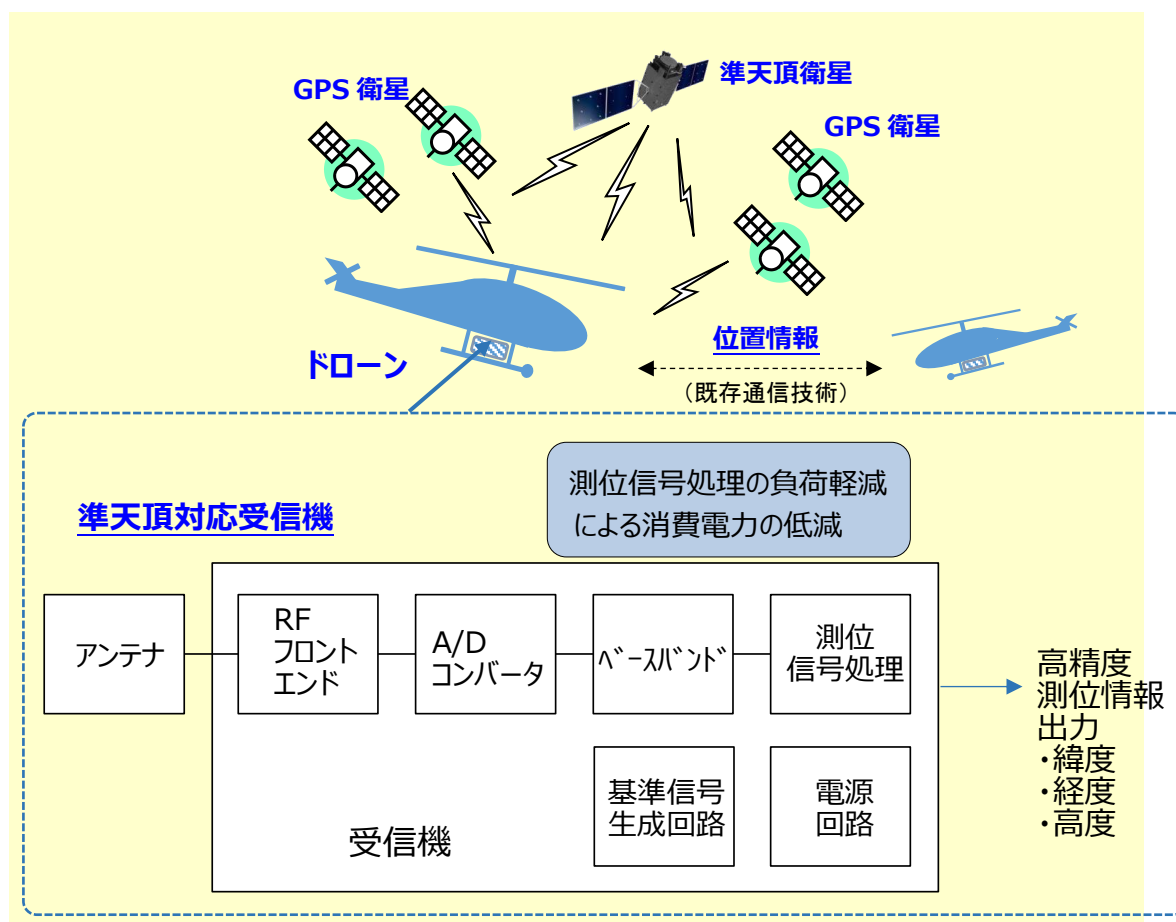
(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

(2) 研究開発目標と根拠

cm級測位補強信号を含む受信機において、2019 年度に製品化予定で小型端末を開発している。ただし、様々な用途への適用や将来運用の拡張性に対応できるようにカスタマイズ性を重視した設計であり、バッテリー運用による電力に制約がある用途向けにおいては消費電力に改善余地がある。

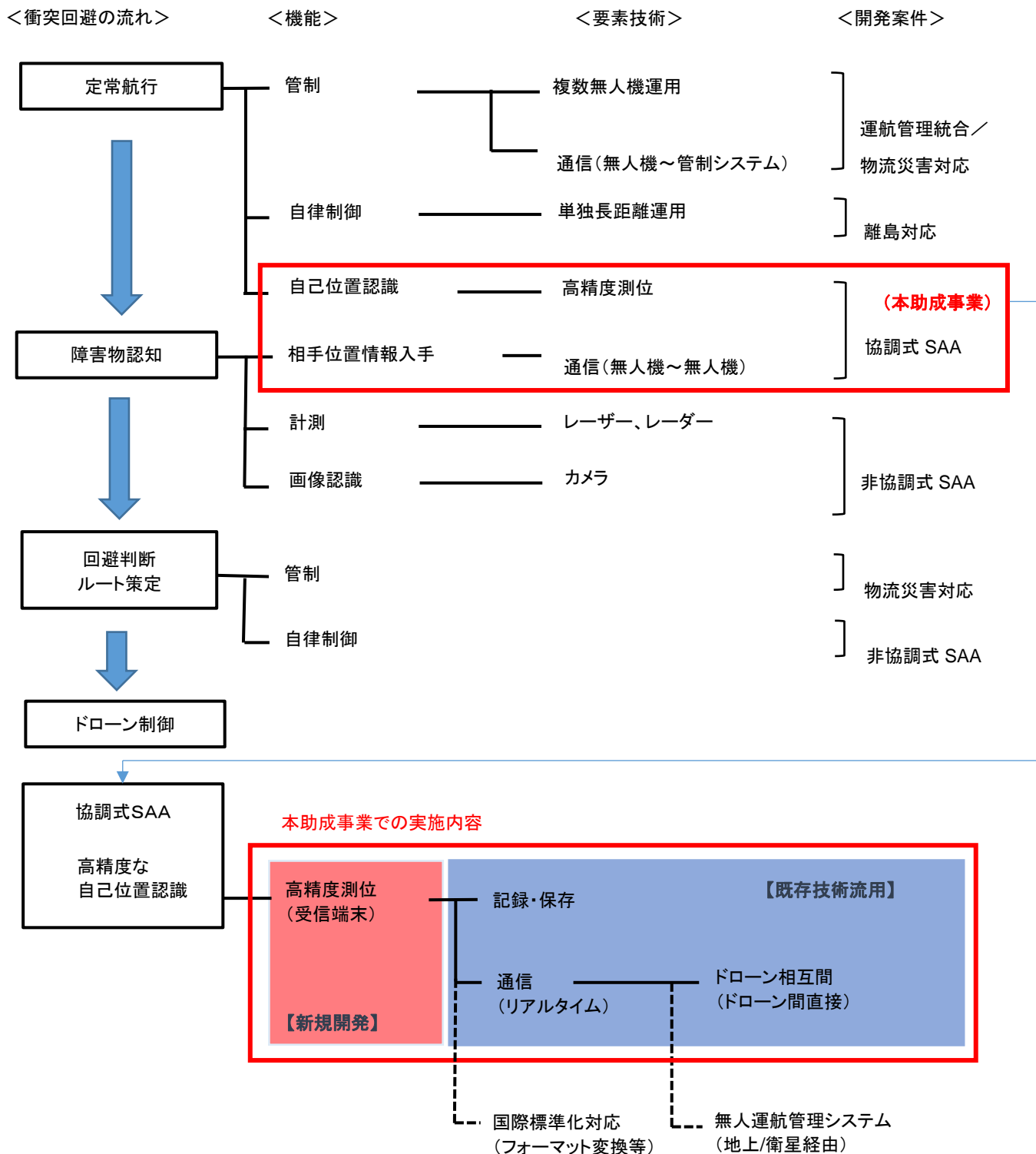
- ・三菱電機株式会社製品の小型受信機をベースに、ドローン用途としての測位信号処理等を削減する方向で最適化を行い、主にベースバンド信号処理での処理負荷を軽減し消費電力を削減する(受信機消費電力 現行電力比 20%削減を目標)。
- ・要求分析によるドローン搭載用途での仕様検討、省電力設計、1 次試作と評価、評価結果フィードバックによる受信機製造のステップを3ヶ年で実施する計画とした。



図Ⅲ2.2.2.2-7 ドローン用途としての準天頂対応受信機

協調式 SAA の重要な技術課題は、高精度な自己位置認識であり、そのためには高精度な自己位置の測位が必要である。

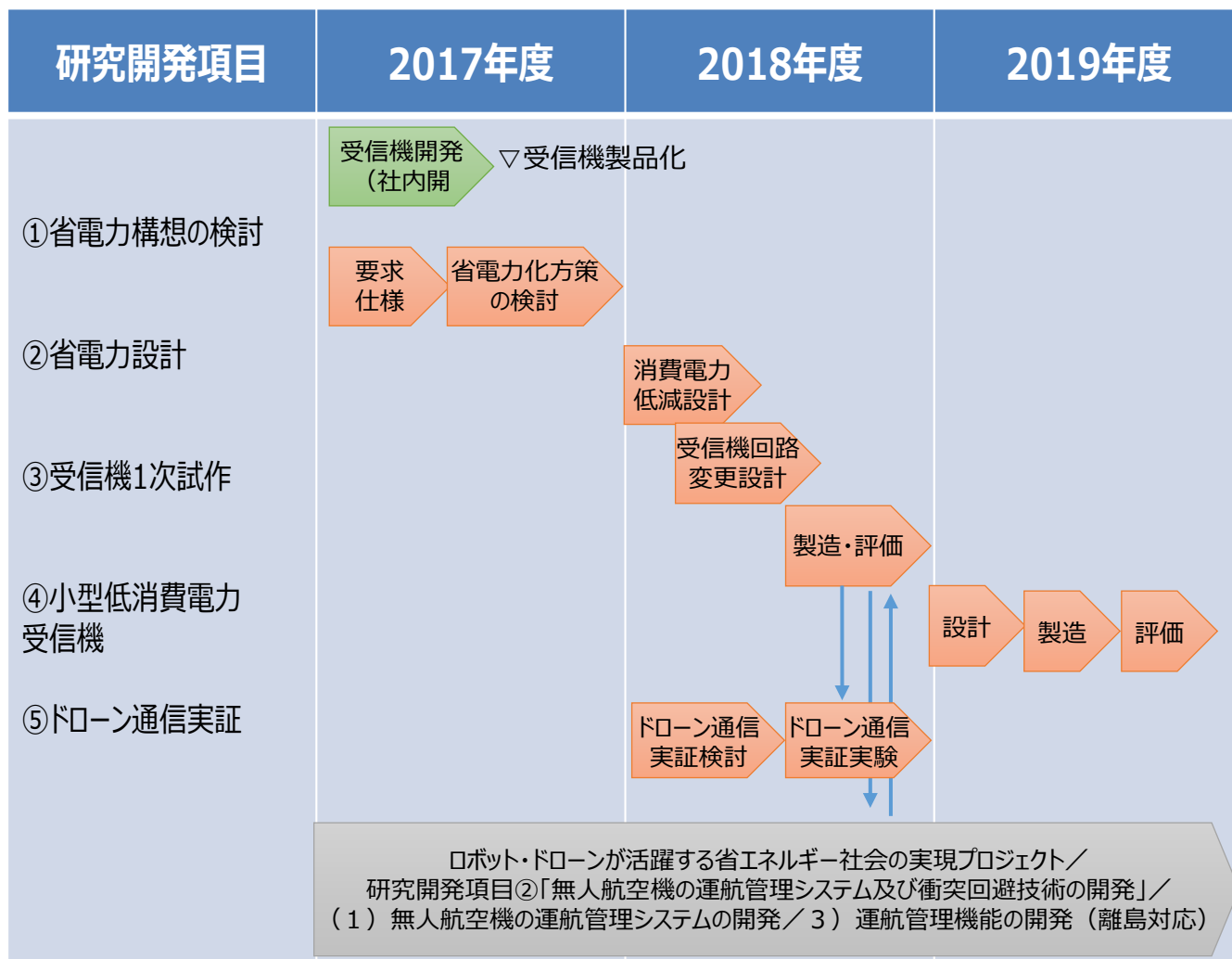
本助成事業では、飛行中ドローンの位置情報を高精度に測位する小型で省電力な受信端末を開発し、記録・保存、通信の各技術との組み合わせた確認を行う。



図Ⅲ.2.2.2-8 本助成事業の内容

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。



表Ⅲ2.2.2.2-4 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

研究開発目標と達成状況を表Ⅲ2.2.2.2-5に示す。

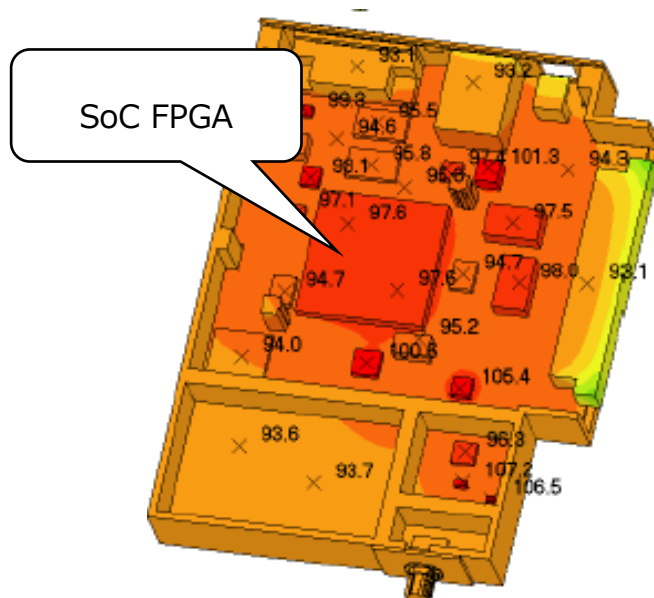
| 項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 |
|--------------|-------------|---|-----|
| 省電力化 方策検討 | 発熱箇所の分析・特定 | 受信機基板の発熱箇所について、シミュレーション及び実機のサーマル画像で分析 | ○ |
| 消費電力 低減設計 | 処理低減プログラム設計 | L6信号対応部分を中心に回路規模削減を図り、回路全体で43%の削減 | ○ |
| ドローン 通信実証 | ドローン間での通信実証 | 2機のドローンに受信機を搭載し、地上システムを介して相互に飛行中の位置情報を相互に通信し、0.5~0.6s程度で安定した通信が行えることを確認 | ○ |

表Ⅲ2.2.2.2-5 研究開発目標と達成状況

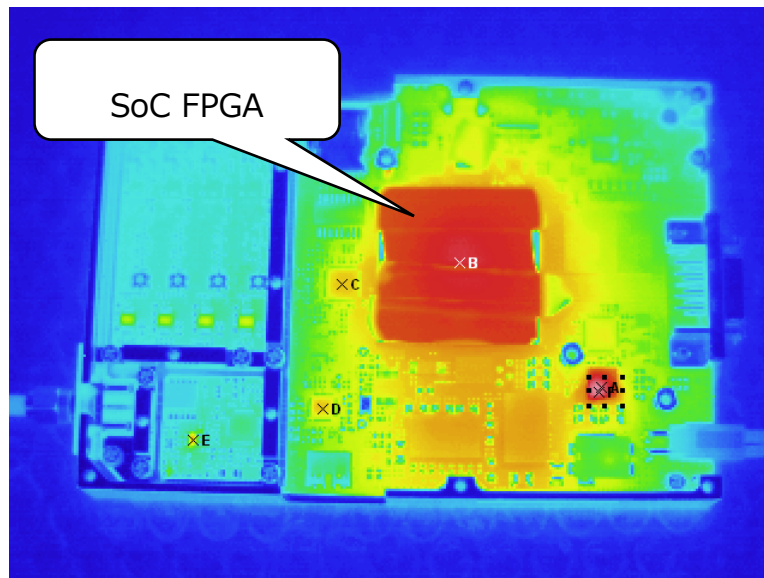
(5) 成果の詳細

(1) 受信機発熱箇所の分析

受信機基板の発熱箇所について、シミュレーション及び実機のサーマル画像で分析。



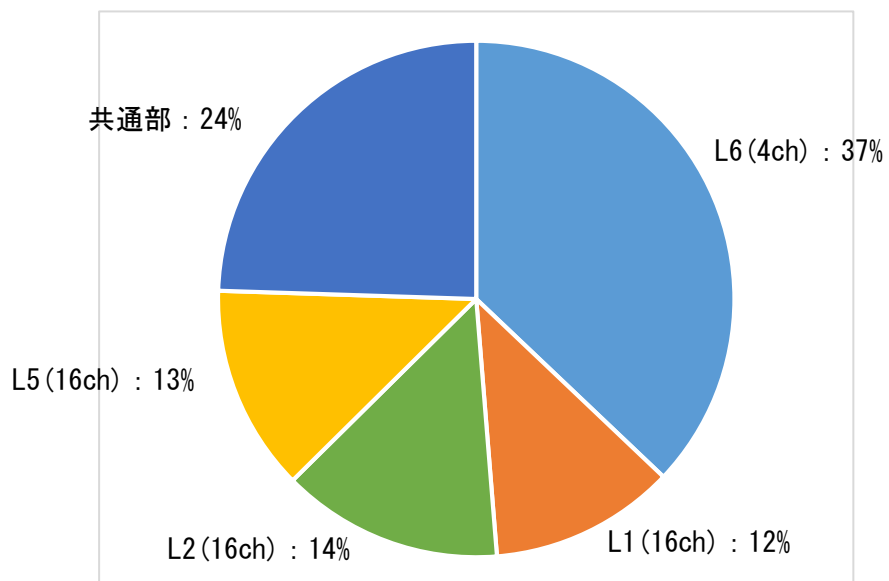
図Ⅲ2.2.2.2-9 シミュレーション



図Ⅲ.2.2.2.2-10 実機サーマル画像

(2) 処理低減試作プログラムの製造

SoC FPGA に実装されている信号処理回路は L6 信号対応部分が大部分を占めていた。L6 信号対応部分を中心に回路規模削減を図る。



L1C/A : 変調方式 BPSK、ビットレート 50bps

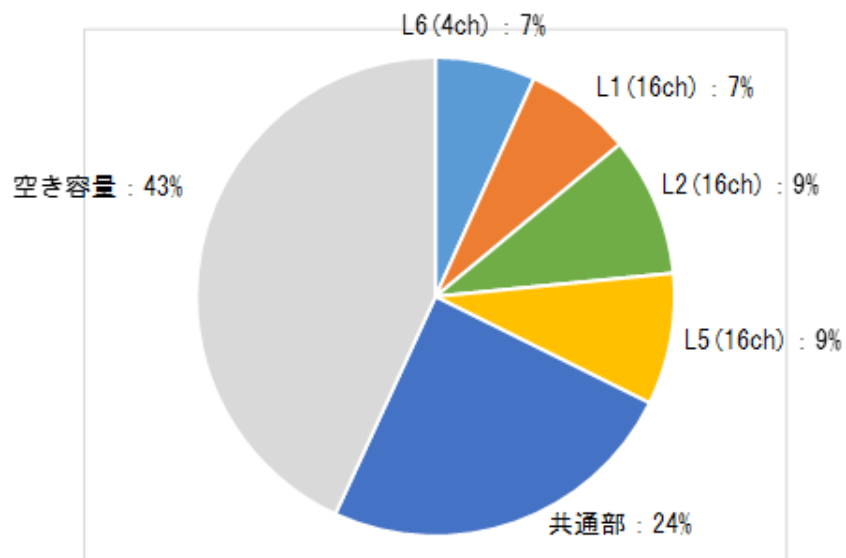
L2C : 変調方式 BPSK、ビットレート 25bps

L6 : 変調方式 GSK、ビットレート 2,000bps × 2

→ L6 は高ビットレートのため、処理負荷大

図Ⅲ.2.2.2.2-11 回路規模削減の検討

回路全体で 43%の削減を達成。



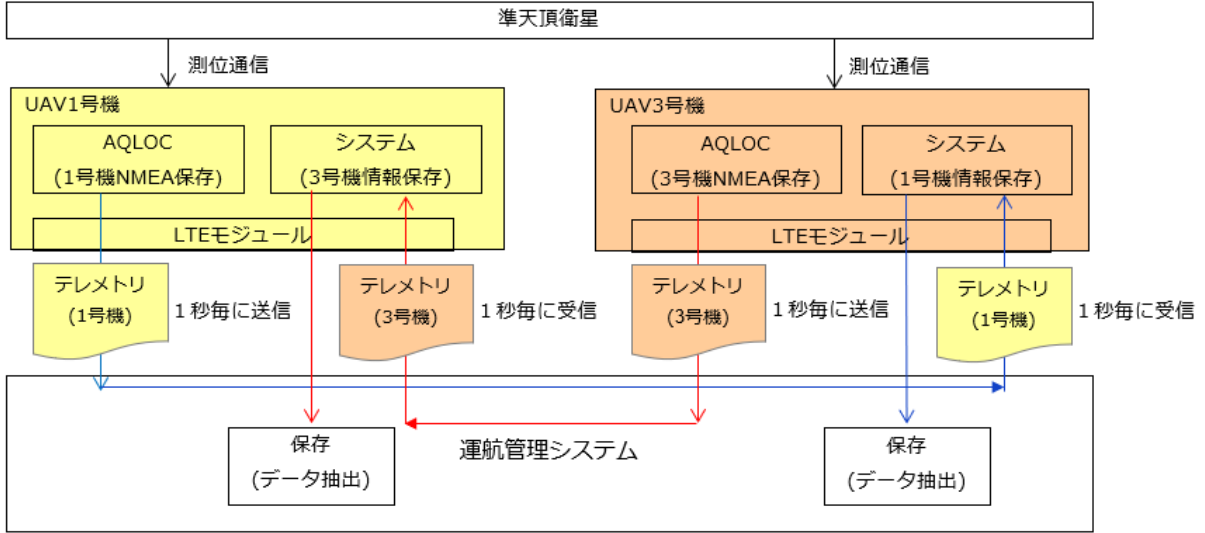
回路規模削減のポイント

- ・ 積分回路の共用化・時分割化
- ・ データ保持用レジスタを共用化
- ・ データ保持用レジスタを RAM に置き換え

図Ⅲ. 2. 2. 2-12 回路規模削減の達成

(3) 飛行(位置)情報通信実験

2機のドローンに受信機を搭載し、地上システムを介して相互に飛行中の位置情報を相互に通信する。この際、通信時間の確認を実施し、相互通信による衝突回避の検討を実施した。

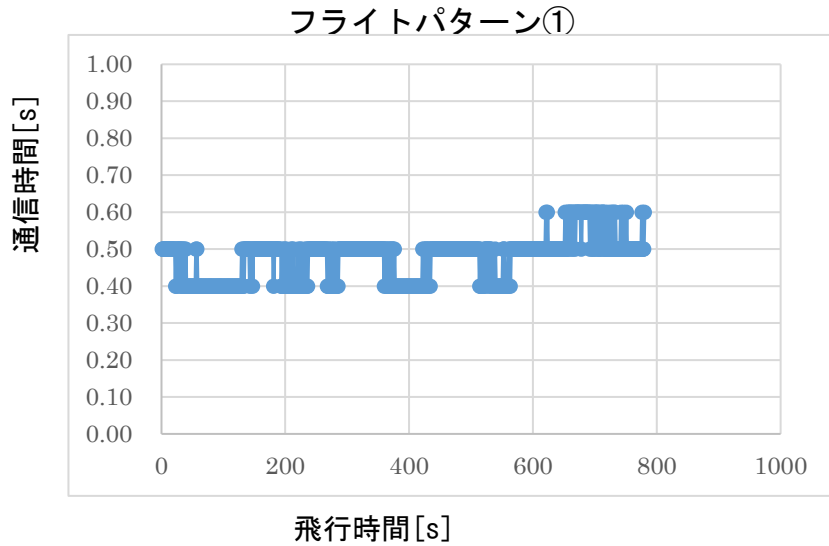


| 項目 | UAVスペック |
|---------|------------|
| 機体直径 | 1544mm(芯間) |
| 機体高 | 983mm |
| 機体重量 | 12.34kg |
| ペイロード | 10kg |
| 動力バッテリー | 16000mAh×2 |
| 最高速度 | 60Km/h |

図Ⅲ.2.2.2-13 相互通信による衝突回避の検討

飛行中の相互位置の通信結果を示す。

フライトパターン①②ともに通信時間として 0.5~0.6s 程度で安定した通信が行えることを確認した。

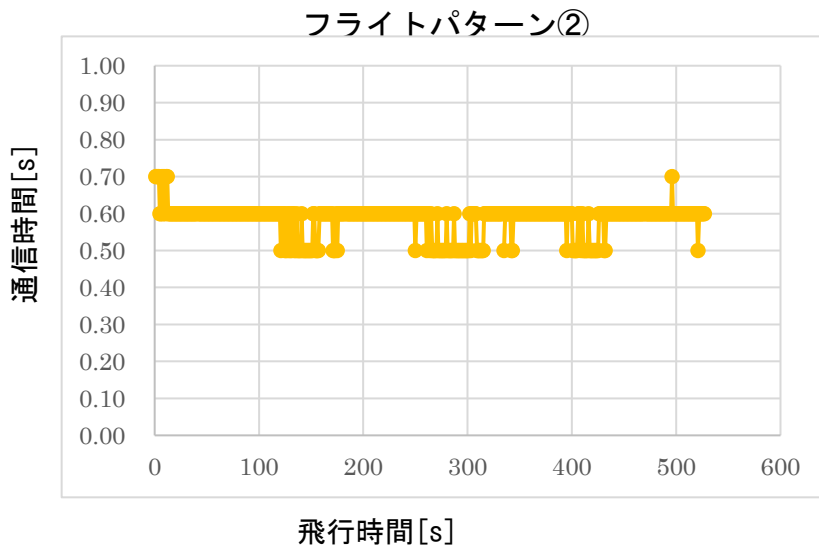


フライトパターン①

約 200m 離れた位置から

ドローン 2 機の並行すれ違い

- ・ UAV1 号機
飛行速度：5m/s
飛行高度：50m
- ・ UAV3 号機
飛行速度：5m/s
飛行高度：20m



フライトパターン②

約 200m 離れた位置から

ドローン 2 機の交差すれ違い

- ・ UAV1 号機
飛行速度：3m/s
飛行高度：60m
- ・ UAV3 号機
飛行速度：3m/s
飛行高度：20m

図Ⅲ 2. 2. 2-14 飛行中の相互位置の通信結果

マージンを考慮し、通信遅延を 1s とすると、100km/h で飛行した場合は 1s で 27.8m であり高精度測位時の測位精度(水平 12cm、垂直 24cm)はこれに比べて十分小さい。

相互通信により取得した位置情報に対して、速度を考慮した 1s 程度の時間外挿と、測位品質(高精度測位、単独測位等の測位ステータス)を考慮した測位マージンを考慮することが望ましいと考えられる。

(6) 最終目標の達成の見通し

上記のとおり中間目標は達成する見通しを得ている。今後はドローンに特化した部品の見直しや更なる処理軽減等を検討し、ドローン向け低消費電力受信機を目指す。

(7) 知的財産権及び成果の普及

準天頂衛星システムを利用した高精度測位をドローンに適用するためには、受信機の低消費電力は必須であり、本開発によりドローンの準天頂衛星システム利用が普及すると考える。またドローンの準天頂衛星システム衝突回避に向けたドローンの相互通信をノウハウとして蓄積した。なお委託業務で得た成果も反映し、他の受信機と差別化する開発を行う。

2.3. 研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

2.3.1. デジタル・スタンダード（実施先：PwC コンサルティング合同会社）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

1. 目的

無人航空機による「空の産業革命」を早期に実現させるためには、将来的な無人航空機の利活用を見据え、関係者が共通認識を持って研究開発や環境整備を進めていく必要があるが、その要素技術の開発進捗のスピードは極めて速いだけでなく、今後、利活用・研究開発の動向や諸外国の制度設計に関する検討状況等も常に変化していくことが予想されている。

また、無人航空機の機体の認証及び操縦者の資格については、その対象、手法、基準、実施の主体等について、安全の確保を前提として制度の柔軟性の確保、諸外国の制度との協調、効率的な制度運用、段階的な取組の検討を踏まえ、今後慎重な議論がなされていく見通しである。

一方、先般施行された改正航空法により、我が国においても無人航空機の運航に関し欧米先進国と同等のルールが導入されたと言える。しかしながら、無人航空機の機体や操縦者、運航管理体制のルールについては、諸外国でも整備途中の段階にあり、また、ICAO や JARUS、ISO といった場での国際ルールや国際標準化の検討も開始された状況であることから、議論の方向性も現時点では見通せない。

今後、海外市場での我が国関係企業の競争力確保を考えれば、国際協調を念頭に制度設計していく必要性も鑑み、国際的なルール検討の場に積極的に参画し、国際的な動向を把握するとともに、我が国産業の強みが発揮できるよう、我が国の取組や技術開発の動向を国際的議論に反映させる必要がある。そのため、標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、本プロジェクトにおける検討・開発の国際的な連携を進め、将来的に本プロジェクトの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。

2. 事業概要

- (ア) 国際的な検討状況の把握
- (イ) 国際的な意見の本プロジェクトへ反映する仕組みの構築
- (ウ) 本プロジェクトの検討状況や成果等の世界への発信
- (エ) 本プロジェクト終了後の継続的な施策検討
- (オ) ドローンの法的解釈に関する調査検討
- (カ) 国際標準化に向けた運航管理システム API の公開対応

(ア) 国際的な検討状況の把握

ドローンに係る技術開発動向や、標準化動向について、海外の文献調査や現地調査を実施し、報告書を作成することを目標とする。

調査方法は、文献調査を基本として実施する。なお、調査対象技術領域や調査対象機関については、以下とする。を想定しているが、本プロジェクトにおける研究開発動向や平成 30 年度の調査結果の内容等を鑑みて詳細を決定する。

調査対象技術領域は、本プロジェクトにおいて研究開発を推進している航空管制システムや情報提供システム及び省エネルギー技術とする。

調査対象機関は、上記にかかる技術について研究開発及び標準化等に取り組んでいる米国(NASA・FAA)、EU(SESAR・EUROCONTROL)、ISO(TC20/SC16)や、それらの活動に参加している企業とする。

調査結果の本プロジェクト関係者への共有は、後述するプロジェクト関係者情報共有サイト等やセミナー等において提供する。

(イ) 国際的な意見の本プロジェクトへ反映する仕組みの構築

(ア)において得た結果や構築した人的ネットワークを用いて、海外動向等の情報共有を行う、以下に記載するセミナーを実施するとともに、やプロジェクト情報共有サイトにおいて本プロジェクト関係者に提供する。

○ セミナーの実施

本プロジェクトの研究開発の促進のため、主にプロジェクト関係者を対象としてセミナーを開催し、国際的な検討状況等を周知する。

<対象者>

本プロジェクト各テーマ関係者、NEDO、経済産業省関係者

<セミナー実施時期/回数・場所>

数十人程度収容できるセミナー会場を確保し実施する

<例：実施内容>

無人航空機に係る国際的な検討状況

無人航空機の技術動向

国際標準化の検討状況

無人航空機の法規制にかかる動向

○ プロジェクト関係者情報共有サイトの運用

本プロジェクトにおける情報共有を活性化することで、各テーマの研究開発の目的を達成することに繋げるため、本プロジェクトの各チームがそれぞれ利用可能な関係者情報共有サイトを運用する。情報共有サイトは、各プロジェクトにおける資料の共有、情報伝達、

会議調整が行える機能を搭載したものとする。また、(ア)の調査結果や、その他プロジェクト全体に係る資料等の共有化を随時実施し、情報が適切に共有されることを目指す。

(ウ) 本プロジェクトの検討状況や成果等の世界への発信

以下のとおり、本プロジェクトの検討状況や成果等を世界に発信する仕組みを構築し、本プロジェクトの成果を国内・海外の関係者等へ周知を行うと共に、本プロジェクトに対する諸外国からの関心度や意見等を集約・分析する。

○ Web を活用した発信

本プロジェクト情報を国内外に周知するためのプロジェクトホームページ（日本語版及び英語版）を運営することを目標とする。プロジェクトポータルサイトには、本プロジェクトの実施動向（実施内容及び実証試験予定や実証結果）及び関係するコンテンツ等を随時掲載し更新する。なお、本プロジェクトの各テーマが作成する資料や実証動画については、関係者に提供依頼等を行い資料収集し掲載を行う。また、プロジェクトホームページのアクセス解析（訪問者の地域、訪問時間帯、訪問ページ等）を実施し、諸外国などの関心度を把握する。

○ シンポジウムでの発信

本プロジェクトの国内外の発信を目的として、シンポジウムでの発信の場を設定し、本プロジェクト各テーマの活動状況及び成果について周知を図ることを目標とする。そのため、来場者が多く国際的に情報の発信が可能な無人航空機関連のイベントにおいて、本プロジェクトのデモンストレーションや発表が実施可能なブースを構築し周知を図る。イベントにおいては、事務局としてこれらにかかる運営や各プロジェクトとの調整を実施する。また来場者アンケートを実施しレポートとして取りまとめ、各プロジェクトの今後の活動に生かすためのフィードバックを行う。

(エ) 本プロジェクト終了後の継続的な施策検討

本プロジェクトの中間評価（平成31年度）に向けた実施計画をまとめる。
本プロジェクトが終了後、我が国が強みを有する技術分野の特定と国際標準化を獲得するための継続的な施策について、プロジェクト関係者と合意形成を図る。

(オ) ドローンの法的解釈に関する調査検討

無人航空機の利活用に係る安全性の担保や商用利用に関するルール検討を進めることを目的として、国内外の法制度等の調査を実施すると共に有識者等からの意見を収集する。調査内容は、無人航空機を用いた物流等に関するケースを対象として、①国内法制度上の課題、②海外主要国の法制度動向とする。

また、上記調査の結果を有識者に提示し、日本の制度面における課題や今後対応すべき内容・方向性等の意見を収集する。

(カ) 国際標準化に向けた運航管理システム API の公開対応

本プロジェクトにおいて開発している無人航空機の運航管理システムについて、プロジェクトウェブサイトを通じて国内外に API の公開をすることで、運航管理システムの国際標準化に向けた環境作りを行う。公開にあたっては、API の各種説明資料の公開や質問受付、利用登録等の諸機能を構築するとともに、公開後における各種質問等の対応を行う。また、API について、EU・中国・オーストラリア・米国においてイベント等を通じた発表を行い、日本の運航管理システムについて周知を行う。

(2) 研究開発目標と根拠

関連する海外の主要標準化団体（ISO 等）の会合への派遣や先行する諸外国の関連団体（例えば、米国の NASA、FAA 等）との研究者との意見交換・交流を通じて、最新の標準化動向を把握しつつ、国内関係官庁の政策のみでなく制度設計見直しに関する検討活動や、既に活動されている関連団体、協議会等の活動との協調を図り、本プロジェクトの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を国へ提言し、国際標準化団体へ引き継ぐ。

なお、グローバル市場の拡大に寄与する技術領域においては、複数分野、異なるロボット領域の研究者及び技術者等により構成されるワーキンググループを設置した上で推進し、知的財産の権利帰属等の合意形成を図りつつ、我が国の国際標準化団体へ技術提案を実施するとともに、標準化活動に資する技術者の育成を行う。

| 研究開発目標 | 根拠 |
|--|--|
| <u>本プロジェクトの成果（特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通 IF 等）の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を国へ提言し、国際標準化団体へ引き継ぐ</u> | 国際標準化団体、特に ISO の TC20/SC16 Unmanned Aircraft System は欧米に加えてアジアの主要国も参加する世界的なドローンの国際標準策定のためであり、本プロジェクトの成果を標準化する場として相応しい。 |
| <u>我が国の国際標準化団体へ技術提案を実施するとともに、標準化活動に資する技術者の育成を行う</u> | 本プロジェクト参加各社において、ISO 等の国際標準化活動に習熟した人材が限定的であるため、人材育成の必要性は高い。 |

表Ⅲ2.2.3.1-1 研究開発目標と根拠

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| 項目 | 平成29年度 | | | | 平成30年度 | | | | 令和元年度 | | | | 令和2年度 | 令和3年度 |
|-------------------------------|---------------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|
| | 第1四半期 | 第2四半期 | 第3四半期 | 第4四半期 | 第1四半期 | 第2四半期 | 第3四半期 | 第4四半期 | 第1四半期 | 第2四半期 | 第3四半期 | 第4四半期 | | |
| (ア) 国際的な検討状況の把握 | 調査設計 | | 調査実施 | | 調査設計 | | 調査実施 | | 調査設計 | | 調査実施 | | | |
| (イ) 国際的な意見の本プロジェクトへ反映する仕組みの構築 | セミナー実施 | | セミナー実施 | | セミナー実施 | | セミナー実施 | | セミナー実施 | | セミナー実施 | | | |
| | 情報共有サイトの構築・管理 | | | | | | | | | | | | | |
| (ウ) 本プロジェクトの検討状況や成果等の世界への発信 | 外部ポータル設置 | | | | | | | | 外部ポータル管理 | | | | | |
| | シンポジウム開催 | | | | | | シンポジウム開催 | | | | シンポジウム開催 | | | |
| (エ) 本プロジェクト終了後の継続的な施策の検討 | 意見収集 | | | | | 実施計画修正 | | | 実施計画修正 | | | | | |
| (オ) ドローンの法的解釈に関する検討会設置等 | | | | | | | 検討会開催 | | | | 検討会開催 | | | |
| (カ) 国際標準化に向けた運航管理システムAPIの公開対応 | | | | | | | | システム構築 | | API公開・周知 | | | | |

表Ⅲ2.2.3.1-2 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

下表のとおり、達成状況を示す

| 研究開発項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|-----------------------|---|--|-----|---|
| ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 | 本プロジェクトの成果(特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通IF等)の国際標準化を獲得するための規格提案を国際標準化団体に対して行う。 | ISO TC20/SC16において、下記2件の標準化が進行中 <ul style="list-style-type: none"> Data model related to spatial data for UAS and UTM (ISO 23629-7) UTM Functional Structure (ISO 23629-5) 更に他2テーマに関する標準化の準備を実施中 | ○ | 国際評価団体へ引き継ぐだけではなく、実際に国際標準として成立するまでの継続的な支援が必要となるため、支援体制を検討する |

| | | | | |
|--|-------------------------------------|---|---|---|
| | 標準化活動に従事する技術者に対する知見獲得・標準化活動支援を開始する。 | ISO TC20/SC16 議長や米国の性能評価基準専門家を招聘してシンポジウムを開催、標準化担当者への手続き・文書策定支援を実施 | ○ | — |
|--|-------------------------------------|---|---|---|

表Ⅲ2.2.3.1-3 中間目標と達成状況

(5) 成果の詳細

ISO TC20/SC16において、本プロジェクトの成果として、参画企業が2本の規格案を提案した。それぞれ“UTM data and information transfer at interface of traffic management integration system and UAS service suppliers — Data model related to spatial data for UAS and UTM (ISO 23629-7)”がWD段階、“UTM Functional Structure (ISO 23629-5)”がNP提案段階に進んでいる。

また、標準化活動に資する技術者育成のため、米国においてドローンの性能評価基準を開発した専門家や ISO/TC20/SC16 議長を招聘したレクチャー、国際標準化団体への規格案作成・手続支援を実施している。

その他、事業内容（ア）～（カ）に記載した海外情報の収集・分析、国内外での情報発信イベント実施、Web サイト運営、法的解釈に関する調査等、国際標準化を下支えする事業も実施している。

(6) 最終目標の達成の見通し

下表のとおり、達成に向けた見通しを示す。

| 研究開発項目 | 現状 | 目標 | 達成見通し、理由 |
|-----------------------|---|--|---|
| ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 | ISO TC20/SC16において、下記2件の標準化が進行中 ・ Data model related to spatial data for UAS and UTM (ISO 23629-7) ・ UTM Functional Structure (ISO 23629-5) 更に他2テーマに関する標準化の準備を実施中 | <u>本プロジェクトの成果(特に性能評価基準、無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通IF等)の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を国へ提言し、国際標準化団体へ引き継ぐ</u> | 左記のISO23629-7, ISO23629-5については国際標準化まで3カ年の合意形成期間に入っており、他のテーマについてもISO及び国内団体と標準化方法の検討に入っている。 このため、目標は達成される見通しである。 |
| | ISO TC20/SC16議長や米国の性能評価基準専門家等を招聘してシンポジウムを開催、標準化担当者への手続き・文書策定支援を実施 | <u>我が国の国際標準化団体へ技術提案を実施するとともに、標準化活動に資する技術者の育成を行う</u> | 特にISO23629-5については技術者が新たにISOでの標準化に参画した他、今後標準化されるテーマでも技術者の参画に向けた支援を開始している。 このため、目標は達成される見通しである。 |

表Ⅲ2.2.3.1-4 目標達成に向けた見通し

(7) 知的財産権及び成果の普及

知財の確保実績と成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

2.3.2. デファクト・スタンダード

(実施先：株式会社日刊工業新聞社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人神戸大学、国際レスキューシステム研究機構、学校法人玉川学園大学)

(1) 事業の背景・意義（目的・概要）

1. 事業の目的

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。

製造業の新たな競争力強化及びものづくり産業の革命のために必要な政策の一つとして、ロボット技術の研究開発・社会実装の加速のための環境整備の一環であるイノベーション・コースト構想の下、福島県の浜通り地区で実証実験を行うテストフィールド整備や、分野毎に求められるロボットの性能、操縦技能等に関する国際標準を見据えた評価基準及びその検証手法の研究開発の開始、東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催される2020年に、世界が注目する高度なロボット技術を内外から集結させ、様々な社会課題の解決を目指した競技やデモンストレーションを行う国際競技大会を開催することが掲げられている。また、「日本再興戦略（2014改定）」では、2020年のオリンピック・パラリンピック東京大会等に合せたロボットの国際競技大会の開催を視野に入れ、加えて日本の最先端技術を世界に発信するとしている。さらに、「ロボット新戦略（2015）」では、ロボットの研究開発を加速し、実社会への導入・普及を図る、すなわち社会実装を進める一つの方法として、様々なロボットを対象とした競技会や実証実験、デモンストレーションを実施することを掲げている。

技術開発スピードが速く、デファクトが鍵を握るロボット分野において、有識者を糾合し課題先進国である我が国が世界共通になりうる課題設定を行うこと、技術開発を加速させるために海外からも参加者を募ること、そのためのプラットフォームを用意すること、社会実装を加速させるためにロボットの認知度向上を図ること、を念頭に競争の場（World Robot Summit：以下、「WRS」という。）を設定する。本事業を通じたデファクト・スタンダードの取組において、世界の最新技術やニーズを日本に集めるとともに、日本発の競技ルールを開発し、技術開発の競争が加速する手法を開発することを目的とする。

2. 事業の概要

デファクト・スタンダードの取組において、我が国の研究開発力を促進させるとともに、イニシアティブを取り得る位置づけとするため、人間とロボットが共生し、協働する世界（新しいロボットイノベーション）の実現に向けて、世界からロボットに関する叡智を結集して、様々な課題にチャレンジする競技や展示を行い、技術開発や社会実装を加速させることで、暮らしや産業、社会がどのように変わるかを見せる場（WRS）を設定する。WRSは、NEDO及び経済産業省が主催し、競技会「World Robot Challenge（以下、「WRC」とする）」

と展示会「World Robot Expo（以下、「WRE」とする）」からなるロボットの国際大会とする。2020年度に予定されている本大会以前に、必要に応じてトライアル試験等の試行的な取組等を行う。WRSは2020年に愛知県・福島県で開催を予定しており、これに先立ち2018年に東京でプレ大会の開催や競技毎にトライアルを実施する等の試行的な取組を計画している。

ロボットのバリューチェーンは、ロボットを活用したビジネスモデルをハードとソフトから捉え、開発し、プロトタイプを作っていくことで形作られていく。想定した社会課題をどのように解くかを意識してイノベーションを起こすことを企図した事業設計を行う。挑戦的なテーマを設定して参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場（大会）を活用する研究開発手法に取組む。当該手法により参加者のモチベーションを高めて技術を競いあわすことでイノベーションを促進する。

これまで主要な競技会として、官民双方のアプローチが存在し、DARPA Robotics Challenge（米国）のように国が主導した賞金の競技会の他、RoboCupのように、世界中のロボット研究コミュニティを形成する世界的な競技会が存在する。そのような中、ロボットの国際大会を、国が主導して行うはじめての競技会形式により、社会実装を進めるための研究開発を実施する。

また、ロボット技術の社会実装を促進するためには、ロボットを活用する場を紹介し、一般市民にその有用性を示すことが必要不可欠であることから、ロボット関連のデモンストレーションを行う。通常の展示会は、「いかにハードを売るか」、「いかにソリューションを売るか」という点に力点がおかれるのが一般的だが、WREでは、人とロボットが協働する世界を実現するため、体験型の展示、ユーザーと連携した展示を意識し、幅広い交流を図ることを目的とする。WREは、社会実装展示として競技会と連動し、試行的取組として、2018年にWRCと同時期に東京ビッグサイトにおいてプレ大会の開催を企画する。

これらの競技、展示を通じて、社会実装と研究開発の両輪を回すことが、本事業の核心となる。具体的には、競技手法を検討することで研究開発を促進させる効果をもたらし、展示手法を検討することにより社会実装を加速させることができる。

これらの活動を包括的に行うため、実行委員会、実行委員会諮問会議、ものづくり競技委員会、サービス競技委員会、インフラ・災害対応競技委員会、ジュニア競技委員会等から構成される多数の委員会を組織し、競技会と展示会双方の研究開発を進める。なお、これらは新しい社会実装手法としての試みであり、関連するステークホルダーとの関係を強化し、研究開発を推進するために、広報手段も重要な研究開発要素となるため、WEB・動画等も含めた展開・周知を行う。

3. 事業の内容

各種委員会・ワーキンググループの開催を通じて、以下の事項を進める。

- ① ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発
- ② ものづくり競技手法の研究開発
- ③ サービス競技手法の研究開発
- ④ プラント・災害競技手法の研究開発
- ⑤ ジュニア競技手法の研究開発

(2) 研究開発目標と根拠

福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施する。（最終目標）

競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームの検討を行い、平成30年度に予定するプレ大会で活用するプラットフォームの準備を行う。（2018年度中間目標）

上記の取組を通じて、世界からロボットに関する叢智を結集して、様々な課題にチャレンジする競技や展示を行い、技術開発や社会実装を加速させる。

研究開発項目と研究開発目標

① ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発

国際的な競技会と展示会であるWorld Robot Summitの開催を通じて、研究開発を促進し、社会実装を加速するため、各種委員会等を通じて、多様なステークホルダーとの利害調整、情報発信等を実施し、研究開発手法として確立する。

② ものづくり競技手法の研究開発

競技会形式による製品組立に関する挑戦的なテーマを設定して、参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場を活用する研究開発手法を確立する。

③ サービス競技手法の研究開発

家庭において人々の日常生活をサポートするパートナーロボット、店舗でのサービスロボットに関して挑戦的なテーマを設定して、参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場を活用する研究開発手法を確立する。

④ プラント・災害競技手法の研究開発

プラント災害予防、トンネル事故災害対応復旧をテーマとして、競技会形式による性能評価試験及び標準評価試験法を開発する。

⑤ ジュニア競技手法の研究開発

学校生活をサポートするロボット及び家庭内で問題解決を図るロボットに関して提案を募り、競争の場を活用する研究開発手法を確立する

(3) 研究開発スケジュール

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

| | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発 | | | → | | |
| ものづくり競技手法の研究開発 | ▲ | | | ▲ | → |
| サービス競技手法の研究開発 | ▲ | | ▲ | → | |
| プラント・災害競技手法の研究開発 | ▲ | | ▲ | → | |
| ジュニア競技手法の研究開発 | ▲ | | ▲ | → | |

▲ : トライアル検証の実施

表Ⅲ2.3.2-1 研究開発スケジュール

(4) 研究開発の達成状況

下表のとおり、目標に対する達成度を示す。

| 研究開発項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 |
|--------------|--|---------------------------------|-----|
| デファクト・スタンダード | 福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施するため、競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームの検討を行い、平成30年度に予定するプレ大会で活用するプラットフォームの準備を行う。 | ・プレ大会 World Robot Summit を開催 | ○ |

表Ⅲ2.3.2-2 目標に対する達成度

愛知県に完成する国際展示場「AICHI SKY EXPO」、福島県のロボットテストフィールドで、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施するためには、あらかじめ競技大会と展示会の共同実施の予行演習が必要となる。そのために、2018年10月に東京ビッグサイトで東京大会（プレ大会）を実施した。東京大会の概要は「(5) 成果の詳細」に記述する。

(5) 成果の詳細

本事業では2018年度にWorld Robot Summitの東京大会を実施した。

成果の詳細は以下の通りである。

【開催概要】

名称：World Robot Summit 2018（東京大会）

日時：10月17日（水）－ 10月21日（日）10：00-17：00

場所：東京ビッグサイト 東6、7、8ホール

WRE 出展者：94社・団体

WRC 競技者：23か国・地域 126チーム

来場者数：76,374名

ステージプログラム：37プログラムを開催

主 催：経済産業省

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

後 援：総務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、国土交通省

協力団体：IROS2018、日本ロボット学会、人工知能学会、日本機械学会

計測自動制御学会、ロボカップ

同時開催：Japan Robot Week 2018（主催：日本ロボット工業会、日刊工業新聞社）

【競技の実施成果】

①ものづくりカテゴリ

「迅速な一品ものづくり」を目指し、さまざまに変化する生産要求に、迅速かつ無駄なくスリムに対応できるシステムを構築することを目指し、モデル製品組み立てのためのロボットシステムの迅速な立ち上げと、素早く正確な組み立てを競った。

特に数ミリメートルの小さい部品は、金属光沢等のノイズにより認識するのが難しく、バラ積みの小ネジをいかにロボットが認識して掴むか、各チームのアイデアが光った。

参加チームからは、「競技会を通じて、技術力の向上とユーザーとの連携が出来た」「事業化に向けたスタートが切れた」等の声が上がった。



図Ⅲ.2.3.2-1 競技会の様子（ものづくりカテゴリ）

②サービスカテゴリー

人間とロボットの協働を目指し、家庭における整理整頓、収納等の片づけや留守番対応のほか、店舗業務の自動化を目的に、食品等、複数種類の商品の品出しや入替、客や従業員とのインタラクション、トイレの清掃等、店舗を舞台にした世界初の競技となった。

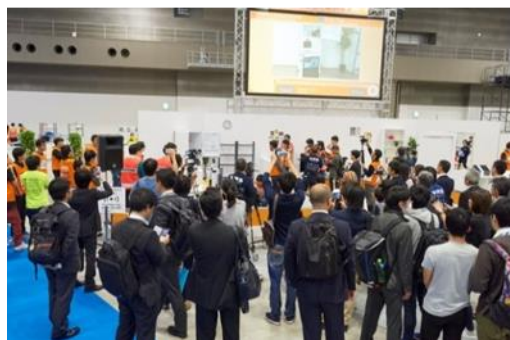
- 【パートナーロボットチャレンジ（リアルスペース）】

- 【パートナーロボットチャレンジ（バーチャルスペース）】

家庭における片付け（整理整頓、収納等）や留守番対応を目的とした競技を実施。

人間が生活する雑多な空間では、ロボットのモノの認識が阻害されるため、画像認識や空間把握、把持、移動等、ロボット技術が網羅的に求められる競技設計を行った。

競技エリアでは、居間を再現し、ロボットが人の生活環境で何ができるかを競った。



図Ⅲ.3.2-2 競技会の様子（パートナーロボットチャレンジ）

●【フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ】

食品など複数種類の商品の品出し・入替、客や従業員とのインタラクション、トイレの清掃を目的に競技を実施。タスクをこなして従業員の手間を軽減しつつ、安心感を与えるスムーズな動きなど、人と共存するロボットとしての工夫が求められた。実際のコンビニエンスストアでの活用できる技術やシステムが生まれた。

参加チームからは、ロボットシステムの事業化に向けて本格的に取り組む等の成果があった。



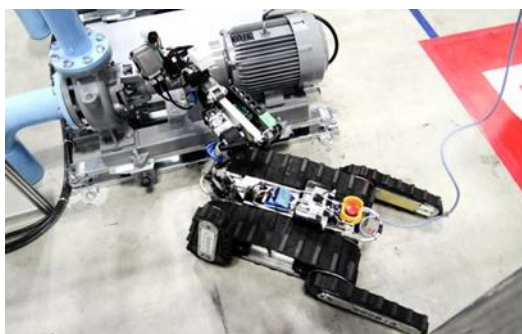
図Ⅲ2.3.2-3 競技会の様子（フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ）

③インフラ・災害対応カテゴリー

インフラ、災害予防・対応等における問題解決に向け、ロボットを使用したプラント災害予防やトンネル災害対応といった人間がアクセスできない現場等での特別困難な課題を解決するため、人々の間でロボットに関連したコンセンサスを構築した。トンネル災害に対応する世界初の競技となった。

●【プラント災害予防チャレンジ】

数種のインフラ点検項目に基づく点検、メンテナンス（バルブ開閉）の競技を実施。クローラー型ロボットや飛行ロボット（ドローン）がプラント内を動き回り、カメラやセンサーで確認した結果を基に、配管が林立する狭い空間でバルブ開閉等の軽作業を行った。



図Ⅲ2.3.2-4 競技会の様子（プラント災害予防チャレンジ）

●【トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ】

トンネル災害を想定した情報収集、緊急対応（人命救助、障害物排除等）の競技を実施。仮想環境におけるシミュレータ上でがれきの上を進み、工具を使ってドアを破り、消火ホースで火を消すなど高度な技術が必要となり、実環境を想定した競技となった。



図Ⅲ.2.3.2-5 競技会の様子（トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ）

●【災害対応標準性能評価チャレンジ】

災害予防・対応で必要となる標準性能評価（移動、センシング、情報収集、無線通信、遠隔操作、現場展開、耐久性等）を競う。

階段や斜面等、さまざまな現場を再現した舞台上で競技を行い、上位チームはメーター読み取りやバルブ回し、引っかかったパイプを引き抜くなど、ロボットアームの器用さが問われるタスクで高得点を挙げた。



図Ⅲ.2.3.2-6 競技会の様子（災害対応標準性能評価チャレンジ）

④ジュニアカテゴリー

19歳以下の若い世代の育成を目的に、学校や家庭というリアルな環境を想定したオープンタスク、チームワーク、開発プロセスを競った。また、タスクに対する解決方法と実現方法を、各チームが会場にて発表し、独創的で革新的なアイデアを披露した。

●【スクールロボットチャレンジ】

学校環境においてニーズのありそうなタスクとそれを実現するプラットフォームロボット「Pepper」を使用してプログラミングを行う競技。

競技中、雑音等が影響を与えましたが、修正を加え、改善して各チームが競い合った。



図Ⅲ.2.3.2-6 競技会の様子（スクールロボットチャレンジ）

●【ホームロボットチャレンジ】

サービス分野と同様のタスクを設定し、家庭で活用するロボットを製作し競技を行った。

ロボットの基本性能を試すほか、自由な発想に基づいたロボット活用による問題解決手法も競い合った。ミニチュアサイズの家を舞台に、家庭で働くロボットのアイデアが生まれた。



図Ⅲ.2.3.2-7 競技会の様子（ホームロボットチャレンジ）

○実施された競技とその順位については以下の表に示す。

| | | 1位 | 2位 | 3位 | |
|------------------------|-------------------------------|--|--|--|---|
| ものづくり カテゴリー | 製品組立チャレンジ | SDU Robotics (University of Southern Denmark) | JAKS (Kanazawa UNIV.) | FA.COM Robotics (office FA.com Co.,Ltd.) | |
| サービス カテゴリー | パートナーロボットチャレンジ (リアルスペース) | Hibikino-Musashi@Home (Kyushu Institute of Technology) | OIT Challenger and Duckers (Osaka Institute of Technology) | AISL-TUT (Toyoashi University of Technology) | |
| | パートナーロボットチャレンジ (バーチャルスペース) | NICT (National Institute of Information and Communications Technology) | SOBITS (Soka UNIV.) | eR@sers (Okayama Prefectural UNIV) | |
| | フューチャー コンビニエンスストア チャレンジ | 接客 | NAIST-RITS-Panasonic (Nara Institute of Science and Technology) | TCR (Connected Robotics Inc) | homer@UniKoblenz (University of Koblenz) |
| | | 清掃 | TCR (Connected Robotics Inc) | TAK (Tokyo Metropolitan University) | H3 (Human Robot Analysis Inc.) |
| | | 陳列 | U.T.T. (TOSHIBA Corp.) | ROC2 (OMRON.corp) | Hi-KCCT (Hitachi, Ltd. Reserch & Development Group) |
| 総合 | | U.T.T. (TOSHIBA Corp.) | | | |
| インフラ・ 災害対応 カテゴリー | プラント災害予防チャレンジ | Hector Darmstadt (Technische Universitaet Darmstadt) | Raptors (Lodz University of Technology Institute of Automatic Control) | AiSaFu (Sanritz Automation Co.,Ltd.) | |
| | トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ | REL/UoA (University of Aizu) | MASARU Season 2 (Private) | ODENS (Osaka Ele.-Comm. Univ.) | |
| | 災害対応標準性能評価チャレンジ | SHINOBI (Kyoto UNIV.) | Telerob (Telerob GmbH) | AutonOHM (Technische Hochschule Nuremberg) | |
| ジュニア カテゴリー | スクールロボットチャレンジ | I want to eat RAMEN! (Ibaraki Prefectural Takezono Highschool) | SMILE (Niimi Daiichi Junior High School) | DSTY (German School Tokyo Yokohama) | |
| | ホームロボットチャレンジ | Tamagawa Academy Science Club (Tamagawa Academy) | Sinag (Caritas Don Bosco School) | Robo Power (Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology) | |

表Ⅲ 2. 3. 2-3 実施された競技とその順位

第1位には経済産業大臣賞が、第2位にはNEDO 理事長賞が、第3位にはWRS 実行委員長賞が授与された。表彰式での授与者各賞以下の通り。

経済産業大臣賞 : 石川 昭政 経済産業大臣政務官

NEDO 理事長賞 : 石塚 博昭 NEDO 理事長

WRS 実行委員長賞 : 佐藤 知正 WRS 実行委員長

○特別賞として各学会からそれぞれの独自の観点によって以下のチームが特別賞を授与された。

| ものづくり カテゴリー | | 日本ロボット学会特別賞 | 人工知能学会賞 | 日本機械学会 会長賞 | 計測自動制御学会賞 |
|------------------------|-------------------------------|--|--|---|---|
| サービス カテゴリー | 製品組立チャレンジ | Cambridge Robotics (University of Cambridge) | SDU Robotics (University of Southern Denmark) | Robotic Materials (Robotic Materials Inc.) | OZAS (Osaka UNIV.) |
| | パートナーロボットチャレンジ (リアルスペース) | Hibikino-Musashi@Home (Kyushu Institute of Technology) | AISL-TUT (Toyoashi University of Technology) | | |
| | パートナーロボットチャレンジ (バーチャルスペース) | SOBITS (Soka UNIV.) | NICT (National Institute of Information and Communications Technology) | | |
| インフラ・ 災害対応 カテゴリー | フューチャー コンビニエンスストア チャレンジ | ROC2 (OMRON.corp) | | | NAIST-RITS-Panasonic (Nara Institute of Science and Technology) |
| | プラント災害予防チャレンジ | Nexis-R (Nagaoka University of Technology) | | | AiSaFu (Sanritz Automation Co.,Ltd.) |
| | トンネル事故災害対応・ 復旧チャレンジ | ODENS (Osaka Ele.-Comm. Univ.) | MASARU Season 2 (Private) | | |
| ジュニア カテゴリー | 災害対応標準性能評価チャレンジ | SHINOBI (Kyoto UNIV.) | | Telerob (Telerob GmbH) | |
| | スクールロボットチャレンジ | SMILE (Niimi Daiichi Junior High School) | Merrimac State High School STEAM Academy (Merrimac State High School) | | |
| | ホームロボットチャレンジ | Robo Power (Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology) | Yumekobo Junior (Kanazawa Institute of Technoigy) | Sinag (Caritas Don Bosco School) | |

表Ⅲ2.3.2-4 特別賞受賞者

表彰式での授与者各賞以下の通り。

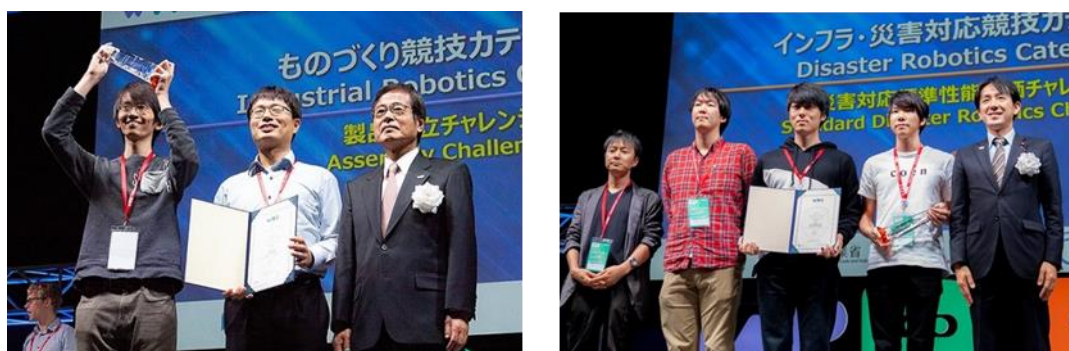
日本ロボット学会特別賞：澤 俊裕 日本ロボット学会会長

人工知能学会賞：浦本 直彦 人工知能学会会長

日本機械学会 会長賞：川田 宏之 日本機械学会副会長

計測自動制御学会賞：計測自動制御学会 SI 部門 野田 表彰委員長

○表彰式

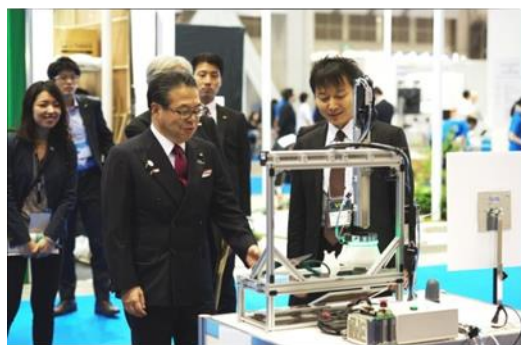
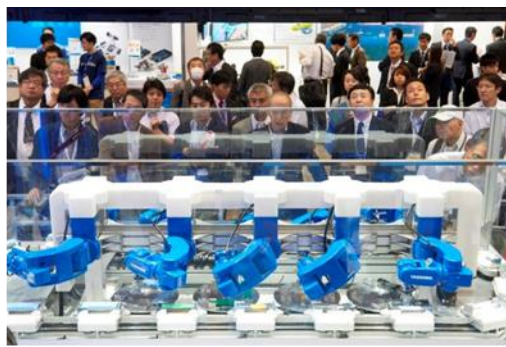


図Ⅲ2.3.2-8 表彰式の様子

【展示会の実施成果】

ロボットメーカーやユーザー企業による最新技術やニーズの紹介を行った他、フォーラム等を開催した。

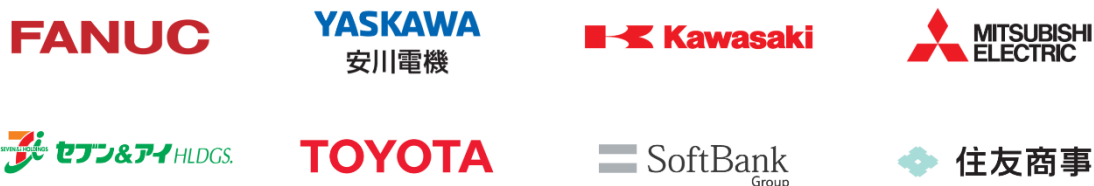
展示会と競技会を同時開催することにより、競技会参加者と出展者との交流やマッチングが行われ、競技参加者と出展者ともに高い評価を得ることが出来た。



図Ⅲ. 3. 2-9 展示会の様子

WRS では、競技参加者の支援や賞金の授与を行うことを企図して、スポンサーを募集した。スポンサーの募集は国際ロボット大会連盟有限責任事業組合で実施した。WRS2018 に協賛した企業・団体の 33 社は以下の通りである。

Global Partner



Official Partner



Gold Partner

Silver Partner



Supporter



図Ⅲ.2.3.2-9 スポンサー企業

(6) 最終目標の達成の見通し

愛知県国際展示場「AICHI SKY EXPO」、福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit（日本発のルールに基づいた新たな競技等）を、4 カテゴリー（ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア）で実施することが決定している。

愛知県国際展示場「AICHI SKY EXPO」では、2020年の10月8日（木）～11日（日）の4日間、ものづくりカテゴリー、サービスカテゴリー、ジュニアカテゴリーの各競技及び各種展示等を行う予定である。

福島県のロボットテストフィールドでは、8月20日（木）～22日（土）の3日間、インフラ・災害対応カテゴリーの競技を実施する予定である。

目標の見通しとして、各競技を通じて設計された新たな技術・システムなどが実用化されて、ユーザー企業や現場に導入され、さらに関連技術が加速することを見込んでいる。

(7) 知的財産権及び成果の普及

成果普及活動の実績は添付資料の表にリストに記載している。

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1.1. 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」とは、当該研究開発に係る試作品、システム等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、また当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動に貢献することをいう。

1.2. 事業全体の実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクトにおいては、5年間の事業期間のうち2017年度から2019年度の3年間を「研究開発フェーズ」として定め、各研究開発項目において要素技術開発や実証実験の実施等を進めている。2020年度以降は「実用化促進フェーズ」として定め、各研究開発項目成果の実用化・事業化を目指し、プロジェクトを推進する。

また、こうした「研究開発フェーズ」や「実用化促進フェーズ」において、研究開発項目の一つとして国際標準化の推進を図り、将来の実用化・事業化を見据えた形でプロジェクトを実施している。

| | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 |
|---------------------------|----------------------------|--------|--------|---------------|--------|
| 研究開発項目①、② 各種研究開発 | 研究開発フェーズ (要素技術開発、実証実験等) | | | 実用化促進 フェーズ | |
| 研究開発項目③ 国際標準化活動 の推進 | 国際標準化活動 | | | | |

図IV1.2-1 本プロジェクトにおける実用化・事業化に向けた戦略

2. 研究開発項目ごとの実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

2.1. 研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

2.1.1. 性能評価基準等の研究開発

2.1.1.1. 無人航空機を活用した物流分野（実施先：株式会社自律制御システム研究所）

（1）実用化・事業化の見通し

本研究開発の成果として、第三者上空および長距離目視外飛行を行うために必要となる技術的項目について基準を検討したことが挙げられる。これは今後行われることが想定される航空法の審査要領の改正という形で実用化、社会実装されることが期待される。特に安全性能の面では終端速度や落下分散についての実測を行ったことで必要となる安全対策装置のパラメータの有効性を示すことができた。

また、本研究開発で検証が行われた誘導精度・離着陸精度は無人航空機の運航管理システムにおける飛行経路や同一空域に飛行可能である無人航空機の数を決める重要なパラメータであり、今回提案した基準が生かされることが期待される。

（2）事業化までのシナリオ

無人航空機の目視外及び第三者上空飛行等に必要となる機体の性能を評価する手法について「無人航空機性能評価基準検討委員会」（以下「検討委員会」という。）において検討し、2019年度までに取りまとめて公表する。検討委員会は、政府の「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」及び「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」における議論の内容を踏まえて検討を行う。

また、検討委員会は、2017年度までの無人航空機に関する性能評価基準の研究開発の成果を引き継ぎ、その早期の公表に向けて、検討委員会において必要な検討を行う。

（3）波及効果

本研究及び後続の研究開発によって性能評価基準の策定および関係省庁や業界団体との合意形成が実現した暁には、各機体メーカーやドローンを利用したサービスを提供する業者等がこれに準拠した形で事業を運営することとなる。これにより本研究で示した各性能に関する研究開発が促進され、第三者上空および長距離目視外飛行をより安全な形で社会実装することが可能となると考えている。

2.1.1.2. 無人航空機を活用したインフラ点検分野

(実施先：富士通株式会社、日本電気株式会社、株式会社イクスリサーチ、株式会社エンルート、株式会社プロドローン)

(1) 実用化・事業化の見通し

本研究開発の成果は特定のロボットシステムの性能評価手法である。評価手法の実用化・事業化とは、その手法による評価結果が評価対象となるロボットシステムの機能性能を適切に示すものであるとして、広く使用されることである。この観点から実用化の見通しについて述べる。

本研究開発にて策定した無人航空機等を活用したインフラ点検ロボットシステムの性能評価手法を基にして、2018年5月に「橋梁点検のための無人航空機に関する性能評価手順書」が経済産業省から公表された。これにより実際の環境を模擬した施設における適切な評価手法としての周知がなされ、実用化の第一歩となった。今後、性能評価手順書の活用が進むことが期待される。

また、橋梁管理者・点検業務受注者においては新技術利用の動きが活発になっており、橋梁点検業務における無人航空機の活用要請が進むことが予想される。そのため、性能評価手順書による評価は、ロボット開発者・ユーザーとなる点検業務受注者・橋梁管理者間の性能確認手段として有効に機能し、多く活用されることになろう。結果として、策定した性能評価手法は、それぞれの事業に大きく貢献すると期待する。

(2) 事業化までのシナリオ

前項に述べたように性能評価手法の研究開発により、性能評価手順書が定められ、公表された。これを受けて、2018年度に「NEDO プロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開／ロボット性能評価手法に係る特別講座」にて、性能評価手順書と福島ロボットテストフィールド(以下、福島 RTF)の活用によるインフラ点検などにおけるロボットの開発促進や活用加速、普及拡大を目指した人材育成事業が開始されている。また、本講座にはロボット開発者や点検業務受注者を始めとする多くの方々に参加されており、性能評価手順と2020年全所開所予定の福島 RTF への関心の高さを示していると言えるだろう。

講座の中では、性能評価手順書に基づいて、福島 RTF にて実際の性能評価作業が試行される予定になっている。さらに、講座を通じて、受講者が実践して得られた知見やノウハウなどのヒアリング調査などを実施して性能評価手法の見直しおよび改訂も計画されている。また、このような場を通じて、受講者であるロボット開発者や点検業務受注者・橋梁管理者など関係者間の意見交換による実用性向上も図れるであろう。

以上のように、研究成果である性能評価手法は、手順書としての公表、手順書利用のための教育、実環境を模した福島 RTF での手順書を用いた評価作業の試行、同施設での試行結果等を踏まえた改訂と進むことによって、実用化がさらに進展していくと期待される。

(3) 波及効果

本研究開発は福島 RTF で適用されることを目指して研究開発を進めてきた。今後は立案した性能評価手を基に福島 RTF での評価施設が構築され、同施設にてインフラ点検ロボットの性能評価が大いに実施されることにより、日本のインフラ点検ロボットの研究開発が促進することを期待する。

2.1.1.3. 水中ロボットを活用したインフラ点検分野

(実施先：パナソニック株式会社、朝日航洋株式会社、パナソニックシステムソリューションジャパン株式会社)

(1) 実用化・事業化の見通し

本研究開発テーマであるダム・河川点検のための水中ロボットの性能評価手法は、実現場での試行や導入の前段階において模擬環境下で点検作業に求められるロボットの性能を予め検証することで、ロボット開発者と点検業者との間で共通の認識を保有するとともに、ロボット開発者にとっては自社製品の性能把握を、また点検業者にとっては客観的なロボットの性能比較を可能とすることを目的としている。

一方、福島イノベーション・コースト構想に基づいた「福島ロボットテストフィールド」(福島 RTF)として、物流、インフラ点検、大規模災害などへの活用が期待される無人航空機、災害対応ロボット、自動運転ロボット、水中探査ロボットといった陸・海・空のフィールドロボットを主対象に、実際の使用環境を拠点内で再現しながら研究開発、実証試験、性能評価、操縦訓練を行うことができる拠点が整備されている。

今後、本研究開発テーマの成果物である「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書」が、この福島 RTF における事業の1つである、水中ロボット性能評価事業の立ち上げに貢献できる見通しと考える。

(2) 事業化までのシナリオ

下記①～③で、事業の立ち上げが目論まれており、本テーマの実施者は、①の実施、②へは、研究代表者がステアリング委員として参画することで、③での事業立ち上げ貢献に繋げることができると考えている。

① ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書策定

- ・2016年度 インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／ロボット性能評価手法等の研究開発／インフラ維持管理等に資する水中ロボットの性能評価手法等の研究開発
- ・2017年度 ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／性能評価基準等の研究開発／インフラ維持管理等に資する水中ロボットの性能評価手法等の研究開発 2016～2017年度、上記テーマに参画し、現場環境を模擬した試験施設が整備され、一定範囲内に制御された条件のもとでの試験が可能となるという想定のもと、そのような条件で実施する性能評価の項目・試験方法・結果の表示を定めた「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書」を策定した。

② 2018年度～2020年度 NEDO プロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開／ロボット性能評価手法に係る特別講座

ロボット性能評価手法及び福島 RTF が多くの国内外のロボットメーカー及びユーザに利用されるために設定された講座であり、主要カリキュラムの一つは、①の成果である「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書」の内容を踏まえて策定されており、また、福島 RTF での実習も予定されている。

③2020年3月 福島ロボットテストフィールド（福島 RTF）の全ての施設オープン

福島 RTF における水中ロボットの性能評価施設は、①の成果である「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書」の内容を踏まえたものとなる予定であり、まずは、②において育成された人材を起点にしたユーザーによる福島 RTF の活用で、水中ロボットに関する性能評価事業が立ち上がることが期待されている。併せて、水中ロボットによるインフラ点検事業が本格的に立ち上がれば、ユーザー層も広がり、事業が軌道に乗ることが期待される。

（3）波及効果

本テーマの実施者には、2.2①に先立って、2014～2015 年度に国交省の次世代社会インフラ用ロボットの現場検証に参画し、水中ロボットを活用したインフラ点検の現場実証の実績がある。さらに、ダム点検に関しては、2016 年度より、自社開発の水中ロボットによる点検ビジネスを開始している。①の「ダム・河川点検のための水中ロボット性能評価手順書」では、性能評価試験として、ミッション型試験（シナリオ、調査等のミッション、環境条件が設定された試験）および、個別性能試験（特定の性能のみを評価する試験）を定めており、特に、ミッション型試験は、これら現場検証の経験を踏まえた内容になっており、今後、国交省にて定められると思われる水中ロボットを活用したインフラ点検手順と整合した性能評価が期待できるものとする。

2.1.1.4. 無人航空機を活用した災害対応分野（実施先：株式会社 SUBARU）

（１）実用化・事業化の見通し

我が国においては、極めて広範囲で、高い頻度で災害が発生する危険性がある状況の中で、災害発生時の救助活動や被害状況を迅速に把握するためにかかせない有人航空機は数が限られている。

従って、有人航空機を補完し、迅速かつきめ細やかに災害に対処できる無人航空機が我が国の国民の安全・利便性の向上には不可欠であるが、現在実用化されている無人航空機は、国内の有人地域を前提とした飛行中の安全性の確保・第三者被害の観点では、まだ技術的に成熟したものとは言えない。

このため本研究開発により、我が国で、日常的に運用が可能な安全性・信頼性の極めて高い無人航空機を提供する。

（２）事業化までのシナリオ

ドローンをはじめとする無人航空機の活用は爆発的に拡大しており、その有用性については十分に証明されつつある段階にある。一方、ドローンはその特性上、飛行する時間及び搭載できる機器が限られており、大型の計測器材の運搬、設置や、交通手段が断たれた場合の緊急物資輸送等の過酷な環境の中での使用を要求される災害時には必ずしもその能力を発揮できるとは考えられない。

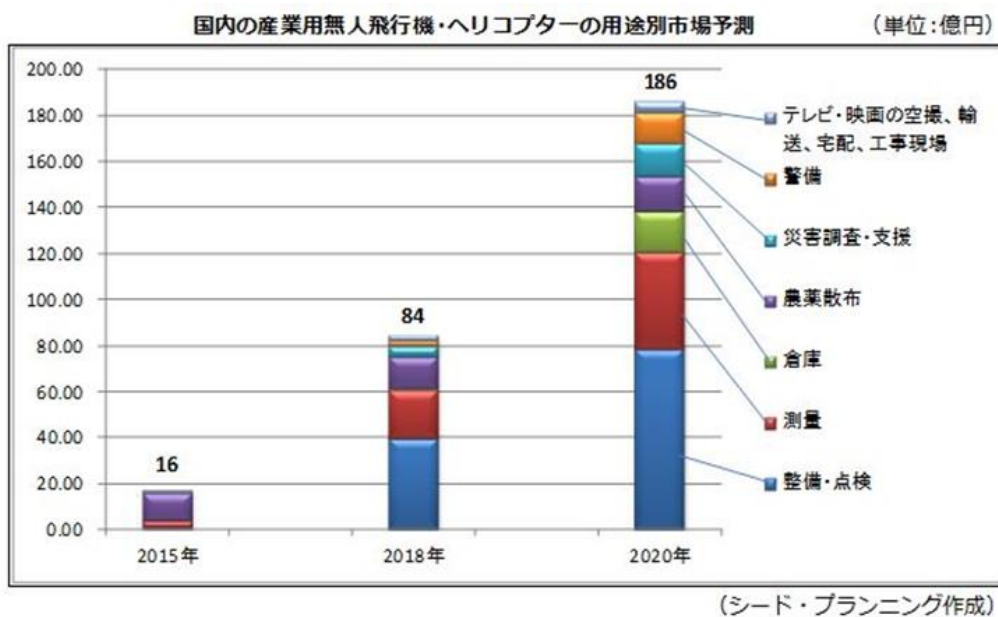
このため、より大型の無人航空機を災害時に使用できるというニーズは今後顕著化することが予想され、大型の無人航空機の十分な製造・運用実績を有する株式会社 SUBARU によりこれを実行することで、本事業の成功が見込まれる。

（３）波及効果

本研究開発により、我が国で、日常的に運用が可能な安全性・信頼性の極めて高い無人航空機が開発できれば、災害対処に限らず、広範囲な用途で、現有の無人航空機に対して高い競争力を発揮し、あらたな民間市場の開拓が可能となり、海外への輸出による経済的な効果も期待できる。

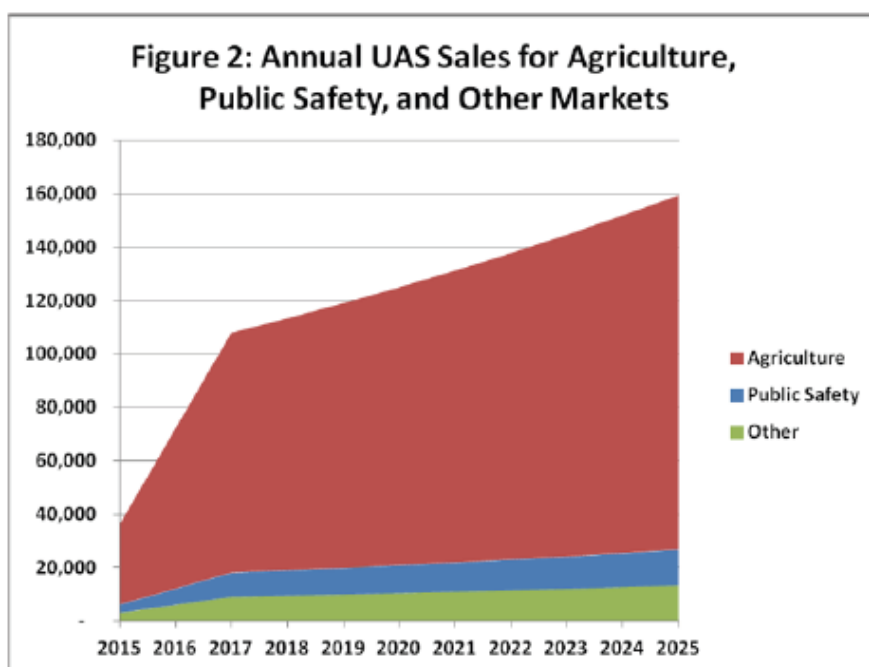
国内の無人航空機の市場予測によると、2020年時点で年間約20億円の市場規模に急速に拡大すると予想されている。（図IV2.1.1.4-1 参照）

また、米国での民間用途の無人航空機産業は、2025年で、約16兆円と推定されている。（図IV2.1.1.4-2 参照）



図IV2. 1. 1. 4-1 国内無人航空機の市場予測

(<https://www.seedplanning.co.jp/press/2015/2015041501.html>)



図IV2. 1. 1. 4-2 米国無人航空機市場の拡大予測

(https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf)

2.1.1.5. 陸上ロボットを活用した災害対応分野（実施先：三菱重工業株式会社）

（１）実用化・事業化の見通し

本研究開発の成果をもとに、同事業他分野の成果とあわせ、2017年度から別途 NEDO プロジェクトを核として「ロボット性能評価人材育成講座」を実施中である。本講座は、MSTC 様が主体となり、以下の3分野（陸上・水中・橋梁）の専門家に講師になっていただき、一般募集した受講者に対して、座学およびロボットテストフィールド等を使用した実習により、ロボットの性能評価手法を会得してもらおうとする試みである。

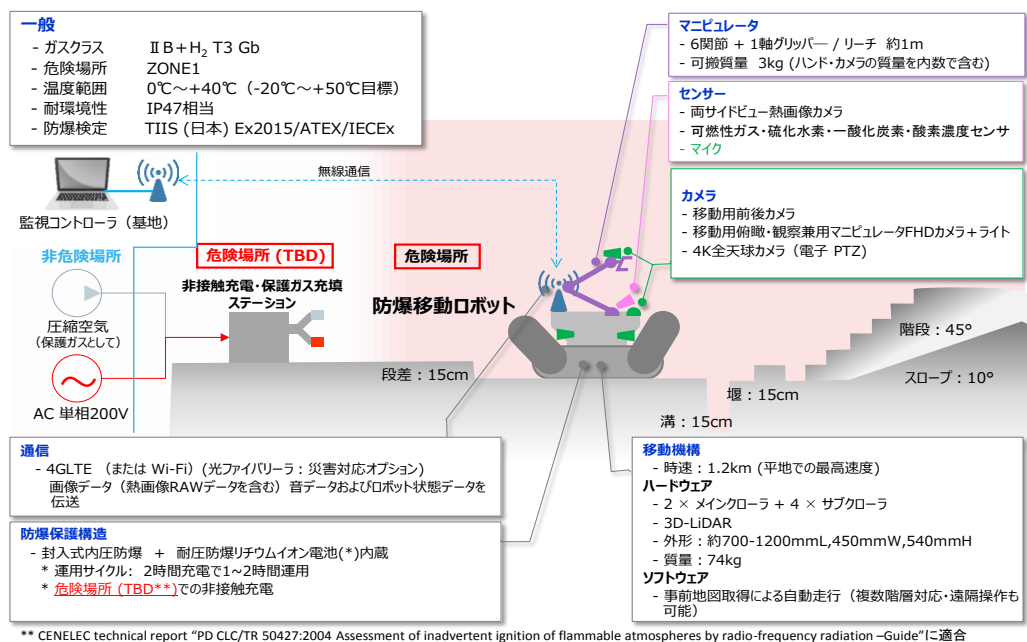
- ①無人航空機を活用した橋梁点検分野（橋梁）
- ②ロボットを活用したダム及び河川点検分野（水中）
- ③ロボットを活用したトンネル及びプラント災害調査分野（陸上）

本講座には 100 数十名の参加があり、三菱重工業株式会社も陸上分野のアドバイザーとして参加させていただいているが、すでに実マーケットが存在する橋梁点検分野が最も活況であり、分野ごとの参加人数だけを見ると、三菱重工業株式会社が担当した「トンネル及びプラント災害調査分野（陸上）」は”反応がにぶい”と言わざるを得ない。陸上分野においては、ロボットの性能評価手法の制定・普及と並行して、災害対応ロボット自体のマーケット創出も必要であり、本研究開発実施中から災害時と通常時とのデュアルユース（特に、プラントにおける災害時のファーストレスポンドと通常時の巡回点検を1つのロボットで共用できる可能性があること）をキーとして挙げていた。

本研究開発完了後、デュアルユースロボットのマーケティングを実施し、石油ガス分野等におけるニーズを確認した。特に、海上や過疎地など現状その点検に多くの人手を割いているプラントなどでのニーズが高く、さらに防爆性能を要する環境ではカメラやセンサなどの選択肢が狭いため、防爆移動ロボットで代替できる可能性が高いことがわかった。ここを突破口として陸上移動ロボットの市場を創出し、本研究開発で開発した性能評価手法を利用してユーザとメーカーとを密に接続することにより市場を拡大させていく。

（２）事業化までのシナリオ

現在、石油ガスプラントにおいて遠隔操作および自動巡回点検をする防爆移動ロボットを開発中であり、国内外の石油ガス事業者さまと PoC（Proof of Concept）テストを実施中である。開発中のプロトタイプ機の仕様を次図に示す。



図IV. 1. 1. 5-1 プロトタイプ機の仕様

現在三菱重工業株式会社では、防爆性能が必要な石油ガスプラント向けの”特殊な”ロボットを開発し、これを陸上移動ロボットのアーリーアダプタとして市場を創出すべく活動中である。本研究開発で開発した性能評価手法のうち防爆に関する部分をフル活用するとともに、ユーザに新たなニーズがあり現状の基準や規格に言及のないもの（例えば非接触給電など）について防爆型式検定を取得すべく認証機関とあらたな評価手法作成に向けて相談を継続している。一方、移動ロボットの性能評価手法のうち、基本性能に関する部分については認知度がまだまだ低いと言わざるを得ない。海外（特に米国）においては、さすがにNISTが制定したStandard Test Methods for Response Robots (STM) は知名度があり、たとえば米国ユーザ(石油ガスプラント事業者)に代表的なSTMであるStepFields (ASTM E2828) 試験状況を見せると定性的な評価は上がる。しかしながら、防爆移動ロボットは、いままでなかった市場でのあたらしい製品であるため、標準的な性能評価手法が直観的にユーザのメリットにつながらないようであり、結局ユーザごとの自らのテストフィールド、すなわちユーザ所有の実プラントで個別にPoCテストをしながら、性能を評価している。実態としては各ユーザごとにほぼ同じ内容の性能評価をしており、ユーザ・メーカーともに多くの労力を払っているため改善が望まれる。ユーザ同士の情報交換をアレンジし、ユーザ個別のPoCテストには共通評価項目が多いとの相互理解を醸成することにより、以下のとおり性能評価手法を普及させていくことができると考えている。

- (STEP1) 特定ユーザのPoCテストへの共同参加で共通の実評価
- (STEP2) パブリックのテストフィールドで共同での実評価
- (STEP3) メーカーでの標準的な評価をしたカタログデータで性能評価

(3) 波及効果

三菱重工業株式会社では現在、石油ガス分野向けの防爆移動ロボットの上市に向けて開発を進めているが、台数が増えれば価格も下がり、アフターサービス等のすそ野も自然と広がっていくことから、石油ガス以外や災害対応専用など他分野の陸上移動ロボットの普及につながる。これと並行して性能評価手法の標準化と普及を進め、本研究開発の目的であるユーザとメーカーとの情報共有が安価に図れるようになり、陸上移動ロボットの市場をさらに拡大させると期待する。

2.1.1.6. 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準

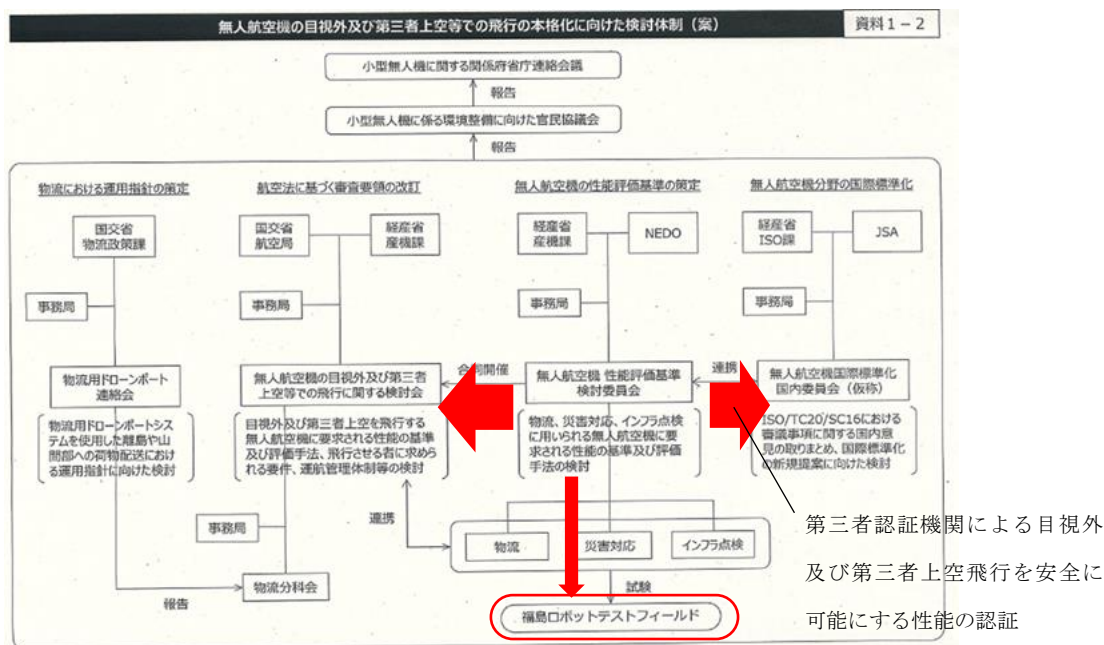
(実施先：国立開発法人産業技術総合研究所、株式会社自律制御システム研究所、独立行政法人労働安全衛生総合研究所、国立大学法人東京大学、株式会社プロドローン、イームズロボティクス株式会社)

(1) 実用化・事業化の見通し

本事業では、ドローンの性能評価手法の開発をターゲットとしているため、事業として即収益が生じる類いのものとは異なるが、本事業で開発された試験法が低コストかつ高効率で再現性の高いものであれば、実際に機体を開発製造する製造メーカーの新製品新事業の実用化事業化に貢献するものと考えられる。

(2) 事業化までのシナリオ

ドローンの性能を評価する有効性の高くかつ洗練された試験法の開発は、国際標準化にも有用で、第三者認証機関による目視外及び第三者上空飛行を安全に可能にする性能の認証が可能になれば、その機体を製造する製造メーカーの事業化が促進される。図IV2.1.1.6-1にその体制を示す。



図IV2.1.1.6-1 第三者認証による事業化促進シナリオ

(3) 波及効果

本事業で研究開発した試験法の波及効果として、将来の機体や事業の開拓を円滑かつ精度良く推進させる効果が考えられる。第13回産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞を受賞したNEDO事業の場合、開発した試験法をベースにISO13482が策定され、図IV2.1.1.6-2のようにCYBERDYNEのHALやパナソニックのリショーンなど多くの先進的なサービスロボットの实用化に効果が波及した。ドローンの場合も同様に現在ドローンのISO規格の制定が進行中であるため、図IV2.1.1.6-3のように将来同様の波及効果が期待される。



図IV2.1.1.6-2 ISO13482 が策定され多くの先進的なサービスロボットが認証された



図IV2.1.1.6-3 性能評価試験法の開発による国際標準課とドローン産業への波及効果

2.1.2. 省エネルギー性能等向上のための研究開発

1) 殊環境下における連続稼働等が可能な機体の研究開発

(実施先：株式会社エンルート)

(1) 実用化・事業化の見通し

エンルートの開発した製品・サービスは、災害現場において、本研究で開発した各種調査機器を用いて災害対策に役立つ様々な情報を提供すること、並びに、平常時には、地域消防機関と開発した技術を基に、火災現場等を想定した各種災害の予測・調査をおこなうことを支援することである。想定する主な販売予定先は、全国の消防機関と火山災害対策のある地域の国や県、市町村の防災・災害担当部局、研究機関である。

今回の研究開発で得たノウハウは、一般的な火災、大規模火災、火山災害以外の災害分野でも適応できるため、開発した技術の波及効果としての展開が期待できる。

(2) 事業化までのシナリオ

- ① 消防機関の訪問による現場ヒアリング、機体耐熱検証、テスト飛行、性能評価を繰り返し、実用化開発を行う。
- ② デモ機運用による現場からのフィードバックを得て製品設計に反映する。
- ③ ドローン用パーツの加工実績が有するパートナー業者の評価選定する。
- ④ 耐火ドローンの市場ニーズを調査分析する。
※消防・警察、防災災害関連企業、高熱環境施設を持つ研究機関・企業
- ⑤ 市場ニーズに見合う製品計画を立案する。
- ⑥ 製品計画に沿った実用機の開発・生産を行う。

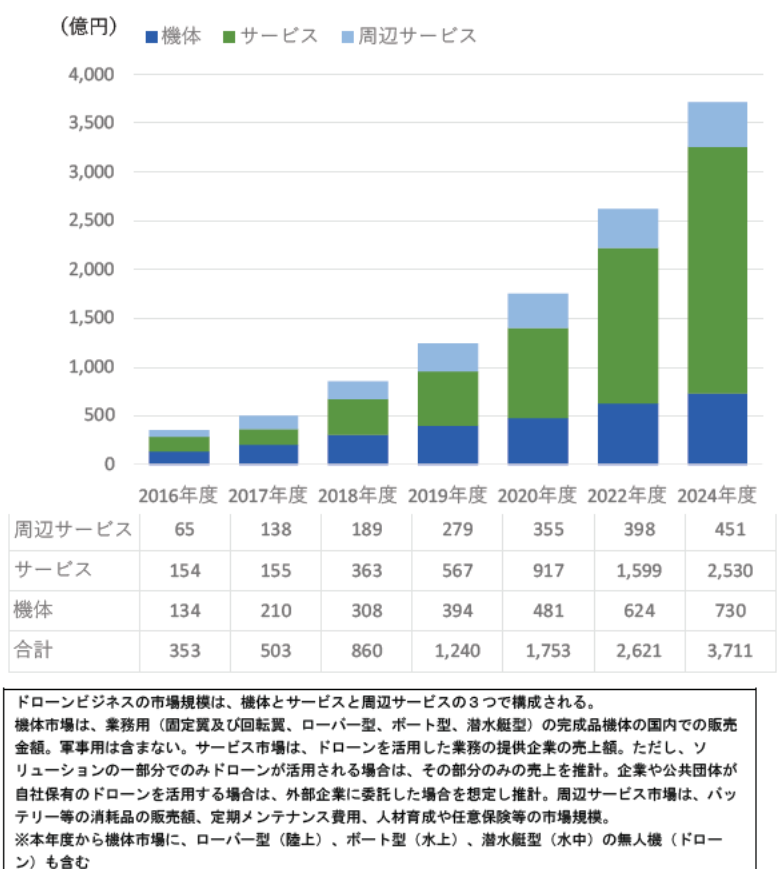
(3) 波及効果

本事業で開発する耐火ドローンは、既に消防関係に導入している有線給電やカメラ等を搭載したドローンに耐熱加工を施すことで、火災現場等において、近距離上空から俯瞰した映像撮影することができる。

さらに消防隊員の現場での活動状況を光学カメラ・赤外線カメラを使い、災害対策本部とリアルタイム映像伝送で災害対策本部に共有できる。

これにより災害対策本部からの迅速且つ的確な遠隔指示命令は可能となり、消火活動後の再燃防止消火活動や避難活動に極めて有効なツールになるものと見込んでいる。

日本国内のドローンビジネスの市場規模は、機体とサービスと周辺サービスの3つで構成される。消防や警察によるドローンの常備化が進むことも予想される。(「ドローンビジネス調査報告書 2019」引用) 耐熱加工機体を軽量化する等、より安全に、より使いやすく、運用面を重視した技術開発を進めることができればブランド力の強みが可能となる。



出所：インプレス総合研究所作成

資料 3.1.2 国内のドローンビジネス市場規模の予測

図IV2.1.2-1 国内のドローンビジネス市場規模の予測
 (出典：ドローンビジネス調査報告書 2019【インフラ・設備点検編】)

2) 長時間作業を実現する燃料電池ドローンの研究開発 (実施先：株式会社プロドローン)

(1) 実用化・事業化の見通し

以下の内容について実用化に向け開発を行う。

- 1) ドローン搭載用 SOFC エンジン
- 2) ドローン搭載用ハイブリッドシステム
- 3) 燃料電池システム搭載可能なドローンおよび制御装置
- 4) UTM 対応制御ソフトウェア

(2) 事業化までのシナリオ

開発フェーズと製品化フェーズに分類して考える。

<開発フェーズ>

- ・フェーズ 1
軽量・高耐久性 SOFC ユニットの開発
- ・フェーズ 2
SOFC ユニットの効率を最大化するハイブリッド回路の開発
- ・フェーズ 3
上記を搭載した大型ドローンの設計製作と浮上試験
- ・フェーズ 4
信頼性、メンテナンス性、耐久性など製品化に必要な非機能要件の明確化と対応開発
(含む UTM 対応開発)
- ・フェーズ 5
福島 RTF での二時間フライトテスト

<製品化フェーズ>

- ・フェーズ 1
SOFC ユニットの製品化 (特に耐久性と運用性の向上)
- ・フェーズ 2
SOFC ドローンの製品化 (特に信頼性と電力効率の向上)
- ・フェーズ 3
DasS としての機体システム構築

(3) 波及効果

LiPo 電池では不可能であった、高ペイロードで長時間運行可能なドローンの実現において、環境負荷が少なく、低騒音な燃料電池システムとハイブリッド回路は今後の大型ドローンの中心的な動力源となることが期待される。

また、本研究開発成果の実現により、特にドローンを用いた市場、特に物流や警備、監視などの市場でサービスのしくみのみならず、市場そのものを大きく変える可能性がある。このうち物流市場は目的と運搬物の性質から大きく分けて二種類考えられる。ひとつは生活必需品の運搬サポートを目的とする地方特に中山間地の物流と、高額であったり緊急の用途で、生活を豊かにするための嗜好品などの運搬を行う都市物流である。

都市部ではドローンがフライトするにあたっての法的制約や安全性の確保が難しく、まず地方物流から活用されていくことが想定されるが、この際の要件としては、中山間地で 10～20kg、20km といった値が提示されている。ペイロードが 20kg 可能なドローンは現在の一般的な実装では概ね離陸重量が 45kg 程度になると考えられ、標準的な LiPo バッテリーを使用した場合、安全を見込むと 5km 以下しか運用できない。

大型ドローンに用いられる標準的な大型バッテリーは例えば 22V、16Ah 程度であるが、この重量は 2.5kg 程度あり、バッテリーを増やすことで離陸重量が増えてしまうため、バッテリーを増やして航続距離を伸ばすには限界がある。こうした事例においては、できなかったことができる、ようになるため、一気に現実的な運用が見えてくる。

2.2. 研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

2.2.1. 無人航空機の運航管理システムの開発

2.2.1.1. 運航管理統合機能の開発、2.2.1.2. 運航管理機能の開発 1) 物流/災害分野

(実施先：日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社 NTT ドコモ、楽天株式会社、株式会社日立製作所)

(1) 実用化・事業化の見通し

運航管理統合機能

(日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社日立製作所)

無人航空機は、物流分野のみならず、橋梁、道路、トンネルといった社会インフラ点検、災害地における救援支援、空撮等、様々な分野での活用が期待されている。更に、その市場は今後、益々拡大していくものと予想されている。

しかしながら、無秩序に無人航空機が飛行する様になれば、限りあるリソースである「空」に混雑が発生し「空」リソース枯渇による無人航空機の衝突等が発生する可能性が高まるため、安全性が低下する。無人航空機および空域の統制／管理により、「空」の安全を保つ必要がある。複数の無人航空機が空域を共有しつつ、多数の無人航空機が目視外環境下において、安全な飛行を可能とさせる運航管理統合機能（FIMS）の存在が必要となる。

本研究開発対象である FIMS は、低高度空域を管理する社会インフラシステムに位置づけられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され、国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方及びそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、運航管理を主体とする運営事業は、必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

運航管理機能（災害分野）（株式会社 NTT ドコモ）

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会における”空の産業革命に向けたロードマップ”に則り、NTTドコモは携帯電話事業者として、携帯電話等の上空利用に係る性能評価・国際標準化の対応を推進するとともに、本研究開発プロジェクトにおいては、”目視を代替する機能の実現に係る運行管理システム（UTMS）の全体設計および各システムの開発および統合”について、運航管理統合コンソの一員として取り組んでいる。

並行して、同ロードマップに示されているように、物流、災害対応、農林水産業、インフラ維持管理、測量、警備など様々な分野での無人航空機の活用および高度化が見込まれており、NTTドコモは、無人航空機を活用するユーザと機体メーカーや AI を活用した解析サービスを提供する事業者をつなぐドローンプラットフォームを 2019 年 3 月より商用サービスを開始している。

本テーマで開発した開発した機能およびインターフェースは個社に限らず無人航空機を

活用した事業全体を底上げし、無人航空機の早期社会実装を促進するものであることから、自社無人航空機事業の推進においても実用化が見込まれる。

運航管理機能（物流分野）（楽天株式会社）

UASの実運用拡大に伴い、運航管理システムの必要性はますます高まると考えられ、公的な運航管理を司るFIMSへの接続を希望する事業者に接続・管理サービスを提供する存在としてのUASSPに対する必要性ならびに機能向上が求められて行くものと予想される。本研究の研究開発項目は、A) UASSPとUASOの連携、B) 物流サービスに応じたUASSP、C) その他サービスに応じたUASSP、であり、物流用途はもちろん、それ以外の様々な用途に対しても柔軟に対応可能なサービスプロバイダとしてのUASSPシステムに対する社会的ニーズの増大が見込まれるものである。本研究開発では、物流を代表例とする具体的な用途を想定し、実用化、事業化を視野に入れた形でUASSPシステムの仕様を策定し開発を進めている。

（２）事業化までのシナリオ

運航管理統合機能

（日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社日立製作所）

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ 2019」に協調しつつ運航管理事業の在り方を継続して検討する。様々な運航ルールの仮説をたて、実証実験を継続して行い、技術開発を促進する。更には、その検証結果をもととした運航ルールの策定に関して積極的に関係省庁へ提案を継続し、環境整備の促進を図ると共に、運航管理事業を確立させる。あわせて、関連する海外の主要標準化団体（ISO等）の会合への派遣や先行する諸外国の関連団体（例えば、米国のNASA、FAA等）との研究者との意見交換・交流を通じて、最新の標準化動向を把握しつつ、国内関係官庁の政策のみだけでなく、本プロジェクトの成果の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を提言していく。

運航管理機能（災害分野）（株式会社NTTドコモ）

本研究開発で得られた知見については、運航管理統合システムの社会実装の進捗にあわせて既に商用サービス中のドコモドローンプラットフォームの事業の高度化に向けて適宜反映する計画である。

例えば、携帯電話等の上空利用に係る電波管理機能と運航管理機能の連携強化を通じた無人航空機の運航管理の安全性向上、ならびに携帯電話を活用した無人航空機（セルラードローン）の普及拡大を推進していく計画であり、2020年代に全国規模でのセルラードローンの運航が可能なシステムの構築を検討している。

運航管理機能（物流分野）（楽天株式会社）

研究開発実施者の楽天（株）は、無人航空機を用いた物流サービスの実用化を目指した運用を積極的に進めており、国内各地において具体的な運用実績を蓄積しつつある。また、物流用途のみならずその他の用途に対しても利用可能な運航管理プラットフォームの提供を目指して検討ならびに試行を進めている。今後とも、このような形で UASSP の実運用への適用事例を増やししながら、着実に事業化を進めて行く。

（３）波及効果

運航管理統合機能

（日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社日立製作所）

運航管理事業の確立とともに無人航空機を活用するサービスますます発展すると想定される。運航管理統合機能により、安心・安全に無人航空機が利活用されることになり、物流等の分野で、今後加速していくと予想される労働者人口不足の課題を解消する１つの手段となり、経済成長を促す無人航空機産業の発展に貢献すると考えられる。

運航管理機能（災害分野）（株式会社 NTT ドコモ）

ドコモの運航管理システムは、通信機能とテレメトリ取得、運航管理接続機能を一つの小型デバイスに統合した構成としており、国内の産業用無人航空機だけでなく海外製無人航空機や民生用無人航空機にも適用可能な構成となっている。このため、比較的小規模な無人航空機事業者においても比較的容易に適用できることから、運航管理統合システムへの接続に係る負担を軽減し、本テーマで開発した運航管理統合システムの社会受容性の早期醸成に貢献できるものと考えられる。

本プロジェクトの成果を別途検討が進む上空での携帯電話等の活用に係る検討と合わせることで、例えば、無人航空機のインフラ構築に係るコスト低減、無人航空機の単位面積・単位時間あたりの飛行可能台数ならびに航続距離の拡大といった効果が見込まれる。

運航管理機能（物流分野）（楽天株式会社）

無人航空機運航数の大幅な増加には、航空法などの法的な問題を含めて様々な課題の解決が必要であると考えられるが、そのための環境整備の一つとして、UASSP を含む運航管理システムの実用化は極めて重要な要素である。また逆に、運航管理システムの実運用が開始される状況になれば、無人航空機を使用する事業者の増加が見込まれ、サービスプロバイダとしての UASSP に対するニーズの増大が期待される。すなわち、本研究開発の直接的な結果としての UASSP の具体化は、競争領域としての UASSP 事業の発展のみならず、車の両輪として、様々な用途、分野への無人航空機の普及促進が、波及効果として期待できる。

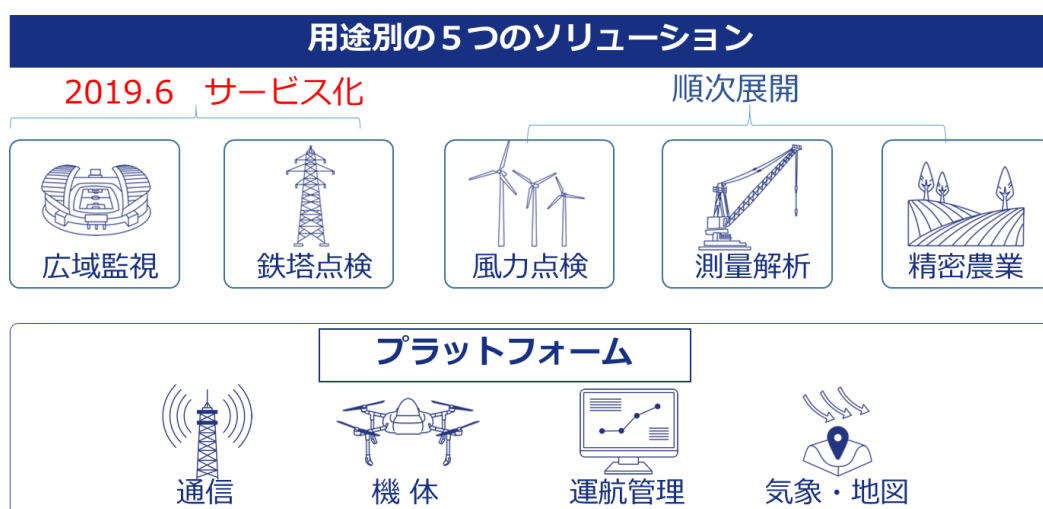
2.2.1.2. 運航管理機能の開発

2) 警備分野（実施先：KDDI 株式会社、Terra Drone 株式会社）

（1）実用化・事業化の見通し

KDDI 株式会社はLTE を用いた運航管理システムを用いた実用化 SL としてジャパンドローン展で商用化発表を行い、2019 年 6 月に本格展開に向けた商用化サービスをリリースした。

LTE 運航管理システムとしては空の産業革命に向けたロードマップの 2019 年版に記載された携帯電波の上空電波利用をターゲットに広く民間で活用可能なシステム開発を行う予定である。



図IV2. 2. 1. 2-1 用途別のソリューション

（2）事業化までのシナリオ

2022 年のレベル 4 に向けた商用化ロードマップ案を以下に示す。2020 年度からは本格的なレベル 3 ドローン警備を実現。またレベル 4 に向けてはまずは過疎地におけるドローン警備を事業化ターゲットとする。

実証実験との関連付けとして 2018 年度までのスタジアム警備実証はレベル 3 およびレベル 4 に相当する内容を複合的に実施。2019 年度は 2022 年度の過疎地におけるレベル 4 警備実装に向けた社会訴求を行う予定である。

| | | ～2018年度 | 2019年度 | 2020年度～ | 2022年～ | 202X～ | |
|------------|----------|---|---|--|---|--|--|
| 政府ロードマップ | | レベル3の運用開始 | レベル3の高度化(長距離飛行、機体大型化、多用途の機体の複数機同時飛行等) ★ 運航管理の制度化方針検討 | レベル4の運用開始(過疎地) | レベル4の高度化(都市部) | | |
| 社会実装ロードマップ | 警備ユースケース | 私有地での計画的運航 | 私有地での計画的・突発的運航 | 無人地帯での俯瞰・巡回監視(特定エリア) △レベル3対応 | 過疎地第三者上空の俯瞰・巡回監視(広域) △レベル4対応 | 都市部第三者上空の俯瞰・巡回監視・追跡 | |
| | 主な機能要件 | <ul style="list-style-type: none"> 機体の監視 UASSP内の飛行計画管理機能(preflight) ※実装済み | <ul style="list-style-type: none"> UASSP内の飛行計画管理機能(pre&inflight) 空域情報取得・優先空域設定(preflight) | <ul style="list-style-type: none"> DIPS・FIMS・SDSP情報による飛行計画・空域管理機能(pre&inflight) 第三者の安全確保機能 | <ul style="list-style-type: none"> ※レベル3要件に加え 登録・認証機能 自動リルーティング より高度な空域管理機能 予実管理機能 | <ul style="list-style-type: none"> 制限空域等の動的ジオフェンス 地上の自動ステータス把握 | |
| 開発ロードマップ | 実証試験 | <スタジアム警備> 俯瞰監視 巡回・不審者追跡 | <広域エリア警備> 巡回監視 | | | | |
| | UTM機能 | 飛行計画管理機能(preflight) | UASSP内の管理、干渉判定 | DIPS・FIMS・SDSP情報に基づく管理 | | | |
| | | 飛行計画管理機能(inflight) | UASSP内の管理、軌道上GoTo | DIPS・FIMS・SDSP情報に基づく管理 | 自動リルーティング | | |
| | | 空域管理機能 | 飛行前空域情報取得・優先空域設定 | 飛行中空域情報取得(有人機情報含む) FIMS/InterUSSへの対応 | 高度化(動的空域管理等) 空域管理等の法制度対応 | | |
| | | 登録・認証 | | 機体登録 | 機体認証への対応 | | |
| | | 予実管理 | | | | | |

図IV.2.2.1.2-2 商用化ロードマップ案

(3) 波及効果

2020年度からのLTE 運航管理を用いた本格的なドローン市場の創出、および2022年度に予定されているレベル4警備市場が構築されることが見込まれる。

2.2.1.2. 運航管理機能の開発

3) 災害分野(実施先:株式会社日立製作所、国立研究開発法人情報通信研究開発機構)

(1) 実用化・事業化の見通し

(1) 多用途運航管理機能の開発

「複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発」で得られた技術は、物流及び災害対応等の分野で、同一空域内で複数の小型無人航空機が飛び交うケースが増加するものと想定される。物流分野では、離島や山間部、さらに将来的には都市部での荷物配送の所要があり、目視外、携帯網無し、気象／地形／建造物等の空間情報、落下リスク等を考慮した機能が必要となる。

また、災害分野では、発災後に複数の有人航空機／小型無人航空機同時運用のニーズがあり、有人航空機情報、携帯網無し等を考慮した通信機能が必要となる。

本研究にて得られた技術を日立の運航管理システムに併合し、製品やサービスの形態で小型無人航空機の運用を計画している物流事業者、国、自治体等の防災関連組織、インフラ点検を計画する公共的施設管理者／電気事業者／ガス事業者／鉄道事業者／電気通信事業者に対して提供を行う。

(2) 複数無線通信手段対応機能の開発

複数無線通信手段対応機能のうち、マルチホップ通信システムについては、山間部や離島に加え、ビルの多い都市部など、電波遮蔽の多い地域での目視外・見通し外運用や長距離運用が要求されるような場所でのドローン運航に役立つものと期待され、アプリケーションは災害対応、物流、インフラ点検、空撮、測量など多岐にわたるものと考えられる。現在のところ、電力インフラ事業者及び山岳遭難救助へのドローン応用を目指すベンチャー企業から、本研究開発の成果に匹敵する既存技術は見当たらないとして、本成果である複数無線通信手段対応のマルチホップ通信システムの導入に強い関心が寄せられており、それぞれ、共同研究契約及び作業取り決め書の取り交わしを行い、本成果をベースにした実用化に向けた検討を開始している。

また、位置情報共有システムについては、すでに実用化可能なレベルに達しているものの、本格的に実用化するためには動作や機構の信頼性、他方式（Bluetooth など）との互換性、GUI の改良などが必要である。すでに試作機製造を担当した国内ベンチャー企業が実用化に向けた検討を開始している。

(2) 事業化までのシナリオ

(1) 多用途運航管理機能の開発

プロジェクト期間内に開発を完了するとともに、前項で挙げた業者／機関に対するマーケティングを合わせて実施する。事業者／機関が持つ既存の運用システムへの実装が必要な場合には、必要に応じ、共同開発あるいは委託開発によりカスタマイズ対応できるような製品コンセプトとして製品化を図る。

(2) 複数無線通信手段対応機能の開発

本研究開発と並行して実施するポテンシャルユーザとしてのインフラ事業者やサービス事業者との共同研究や共同実験を通じてアプリケーション実証を進めるとともに、メーカーとも連携して量産に向けた品質向上と生産体制の検討を行い、本成果の一部についての商品化と事業化を目指す。

(3) 波及効果

本研究開発の成果により、山間部利用や災害時利用も想定した目視外飛行および直接電波見通し外飛行の手段が増え、物流やインフラ点検、災害対応等へ安全かつ広域をカバーできる無人航空機活用の道が開け、経済再生への貢献が期待される。また海外製品にはない日本独自技術として、海外製無人航空機にも採用されることを目指すことにより、国際競争力の強化にもつながるものと期待される。

複数無線通信手段対応機能のうち、位置情報共有システムについては、運航管理システムにおける情報収集手段となるだけでなく、その機体間通信（V2V）技術がドローン間の協調型衝突回避技術や連携飛行技術への応用展開が可能であり、そうした分野での成果も期待される。

2.2.1.2. 運航管理機能の開発

4) 衛星/災害分野（実施先：スカパーJSAT 株式会社）

（1）実用化・事業化の見通し

2017 年度の研究開発課題（事業化検討）

1. 国内マーケット

- ・特に LTE 不感地帯や山間僻地、島嶼エリアにおける災害対策、物流・インフラ点検等のニーズを探ることで事業化検討を行うため、複数の関係機関、企業へのヒアリング調査を実施した。衛星ドローンを中心として、スカパーJSAT 株式会社グループの研究開発に対する期待感や潜在ニーズがあることが確認できた

2. 海外マーケット（調査対象国：インドネシア）

- ・インドネシア政府の防災機関へのヒアリング訪問を通じて、既に災害状況等の把握のため、無人機システム（UAS）を利用していることが分かった。
国の特性上、災害監視ニーズは間違いなくあり、いつでもどこでもつながって、長時間運用可能な無人機の運航管理システムがあれば使ってみたい、とのポジティブなコメントもあった。

2018 年度の研究開発課題（事業化検討）

1. 国内マーケット

- ・国内マーケットに対しては、防災・遭難対策・へき地物流・リモートセンシング等にフォーカスして、官公庁や企業へのヒアリング調査を実施するとともに来年度の実証実験計画を策定した。

2. 海外マーケット

- ・海外展開も視野に、オーストラリアをメインターゲットに、特に農業・牧畜・海洋・鉱業分野での利用をターゲットとしたヒアリング調査を実施し、将来のビジネスモデルの検討を行っている。

（2）事業化までのシナリオ

1. 国内事業展開

運行管理システム（UTM）の開発を受けて、災害発生時等に緊急出動するマルチコプター小型ドローンや、目視外飛行をする中型以上の固定翼ドローン等の一括管理が実現する。本研究開発における成果の一つである小電力無線通信ユニットを無人機ほかに搭載することで、対向する高高度無人機の配下であればドローンのみならず無人機等の運行状況も一括で把握することが可能となる。また、統合 UTM との接続の実現により、他の用途やネットワークに属する無人機や有人機の運行状況を俯瞰的に把握する

ことができることとなり、より効率的且つ有効的な無人機利活用の世界が広がることとなる。スカパーJSAT 株式会社としては、運行管理業務に携わることはもとより、無人機に搭載される各種センサから得られるあらゆるデータのインテリジェンス化を図ることで、付加価値の高いサービスの提供を行い、社会的課題の解決等への貢献を果たしていきたいと考えている。

2. 海外事業展開

オーストラリアのような広大な国土を持つ海外諸国への事業展開を見据えると、長距離且つ長時間の飛行が可能な高高度無人機の利活用が求められることとなる。開発機をベースに将来的に克服すべき課題である長時間飛行の実現を果たすことにより、多種多様なカメラ（許容ペイロード内ならば、赤外線カメラや分光カメラなど）を搭載することで、高高度からの広域リモートセンシングを可能とするドローンとして最大限の効果をもたらすことが可能となる。本システムを活用するためには機体開発の継続推進による飛行性能の向上とともに、ユーザーズに機動的に対応可能な運用体制（駐機、保守メンテ含む）の構築が不可欠であるため、現在、事業パートナー候補との協議も並行して行っている。実際にこのような事業モデルを展開できる利活用分野としては、山間地域での遭難者対策、洋上の不審船等の監視、火山地帯の定点観測等が挙げられ、防災・安全対策の市場に対して寄与貢献できることが見込まれるため、事業化検討の活動により拍車を掛けていきたいと考えている。

（3）波及効果

高高度無人機の商用化については、成層圏プラットフォームの実用化にむけた開発が海外で進む中、スカパーJSAT 株式会社としても来る 5G 時代に向けて成層圏から通信サービスを提供するプラットフォーム STRAPS (Stratospheric Platform Station) を目指している。スカパーJSAT 株式会社の目指す飛行船型 STRAPS は、超低遅延、圧倒的な大容量通信が特徴で搭載機器やサービスエリアを柔軟に変更できるメンテナンス性にも優れており、携帯事業者向け 5G バックホール回線やブロードバンド通信提供の他、空飛ぶクルマ、無人機の運航管制、観測データ収集・監視用リモートセンシングなど、5G 時代のグローバルニーズに応えることを想定している。

現在、スカパーJSAT 株式会社は Elefante Group (EG) 社と Lockheed Martin (米国) 社が共同で機体とサービスを開発し、アメリカをはじめアジア・中近東・アフリカでのサービス提供を検討中で、当初は 2023 年度の国内サービス開始に向け、EG 社と共同で市場調査・事業検討を行っている。

2.2.1.3. 運航管理機能の開発（離島分野）

（実施先：株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所、三菱電機株式会社）

（1）実用化・事業化の見通し

①株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社

今後、ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、無人航空機が活躍する場面は災害現場など特殊な環境から人口密集地のような環境まで広く様々な用途で使われると予想されている。この中で、我々企業としては、無人航空機全体としてのマーケットのみならず安全性や省エネルギーに寄与するセンサや衝突回避判断装置等の無人航空機アプリケーションのマーケットに対して、製品を提供する。

無人航空機としては農業、インフラ監視、物流等の使用ユーザーを対象に販売もしくは使用ユーザーに対するリース会社に提供する。無人航空機用衝突回避システムとしては、無人航空機製造メーカーに販売する。

当該装置を搭載した無人航空機は目視外並びに第三者の上空を飛行することが期待でき、運用を拡大することができる。

②株式会社自律制御システム研究所

本事業の研究成果は、2020 年代前半を目処に衝突回避ルールが整理された後、要件に合致する形で衝突回避システムを搭載した無人航空機として開発・製造・販売する。特に本機能は、今後の小型無人航空機の広い社会実装に向けた、レベル 4 目視外飛行（有人地帯目視外）実用化のための重要な安全機能となると考えられる。様々な無人航空機に搭載可能な形で当該システムを応用した衝突回避システムの開発・製造・販売を計画しており、量産機体に搭載する場合は、400 万円程度で、年間 1,000 台程度の数量を見込んでいる。

③三菱電機株式会社

本研究開発を反映した準天頂衛星対応受信機（低消費電力版）は、2019 年の成果を元に 2020 年に製品化し、2020 年度中に販売予定。

ドローン市場は急速に拡大しており、5 年後(2024 年度)には機体市場が 908 億円（2018 年度の約 2.6 倍）に達する見込みとの報告もある。2019 年度以降は、農薬散布や物流などで大型の産業機の活用が進むことで、産業用機体の市場が増えており、準天頂衛星対応受信機の実用化事業化の見通しは高いと考える。

(2) 事業化までのシナリオ

①株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社

小型無人航空機とは異なり、より大きなペイロードや長時間の飛行が可能となる大型の無人航空機は、我が国において、今後広範囲、多岐にわたる用途に活用されると想定している。しかし、大型の無人航空機は、より混雑した空域の中での運航が必要となるため、実用化においては、本衝突回避システムが必要とされていると考えた。

また、本研究で開発中の技術は、国土交通省の定める「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」に、目視外飛行に関する要件とし、2019年9月18日に図IV2.2.1.3-1の通り整理された。

協調・非協調の衝突回避のセンサで、**飛行経路付近の障害物を探知し、衝突回避もしくは、緊急的な着陸を行う。**

国土交通省

無人航空機の目視外飛行に関する要件(概要)

現行の補助者の役割である「①第三者の立入管理」、「②有人機等の監視」、「③自機の監視」及び「④自機周辺の気象状況の監視」を代替するために必要な機上装置や地上設備等の安全対策を含め、新たな要件として以下の通り設定。

全般的要件

(当面の要件)

現行の技術レベルでは補助者の役割を機上装置や地上設備等で完全に代替できないため当面は以下の条件を付加する。

- 飛行場所は第三者が立ち入る可能性の低い場所(山、海水域、河川・湖沼、森林等)を選定すること。
- 飛行高度は、有人航空機が通常飛行しない150m未満でかつ制限表面未満であること。
- 使用する機体は想定される運用で十分な飛行実績を有すること。

(その他)

- 不測の事態が発生した場合に備え、着陸・着水できる場所を予め選定するとともに、緊急時の実施手順を定めていること。
- 飛行前に、飛行経路又はその周辺が適切に安全対策を講じることができる場所であることを現場確認すること。
- また、運航にあたっては、当該要件に関わらず、運航者自らが飛行方法に応じたリスクを分析し安全対策を講じること。

個別要件

①第三者の立入管理

○機体性能・運用条件を考慮した落下範囲を算出・設定(立入管理区画)し、以下のいずれかの措置を講ずることによって第三者の立入管理ができること。

- ・機体や地上にカメラ等を装備又は設置し、進行方向の飛行経路下に第三者が立ち入る兆候等を常に遠隔監視できること。
- ・立入管理区画について、近隣住民等に対し看板等の目印やポスター・インターネット等により広く周知すること。

②有人機等の監視

○有人機からの視認性向上のため機体に灯火・塗色を施し、以下のいずれかの措置を講ずることによって有人機などの監視ができること。

- ・機体や地上にカメラ等を装備又は設置し、飛行する空域の有人機の有無等を常に遠隔監視できること。
- ・無人機の飛行予定を有人機の運航者に事前に周知するほか、有人機の飛行日時・経路等を確認し有人機との接近を回避できること。

③自機の監視


○機体の状態(位置、速度、姿勢、飛行経路との差等)を把握し、機体の異常が判明した場合には、付近の安全な場所に着陸させるなど、適切な対策をとることができること。

④自機周辺の気象状況の監視

○飛行経路又は機体に設置した気象センサ、カメラ等により気象状況の変化を把握し、運用限界を超える場合は、付近の安全な場所に着陸するなど、適切な対策をとることができること。

⑤操縦者等の教育訓練

○異常状態を把握した機体に対し、機体性能・周辺の地形・飛行フェーズ・不具合の有無等のあらゆる要素を勘案した上で、最適な判断を迅速に行い操作できること。



(国土交通省ホームページより)

機上の電波センサ(大型無人航空機)もしくは地上からの情報により**雨雲の接近などを探知し、安全な飛行経路に変更する。**

飛行中の風速変化により、燃料消費/バッテリー消費が想定外に大きい場合、飛行を中断して**離陸地点に引き返す。**

推力の低下、通信の途絶、機体の動揺増加などから故障判定を行い、**最寄の非常着陸地点に着陸する。**

図IV2.2.1.3-1 本研究で開発中の技術と無人航空機の目視外飛行に関する要件との対応

レーダ、画像認識による衝突回避ルールについては、平成30年11月12日に国土交通省がとりまとめた「今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見」では、継続した検討が必要と整理されている（図IV2.2.1.3-2参照）とともに、2019年6月21日「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ 2019 ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」においては、2019年度の環境整備として“制度設計の基本方針の策定”が行われる計画であり、これらの結果を踏まえながら衝突回避システムを実用化する。

ドローンをはじめとする無人航空機の活用は爆発的に拡大しており、その有用性については十分に証明されつつある段階にある。一方、無人航空機はその特性上、飛行する時間及び搭載できる機器が限られており、大型で高価な衝突回避システムでは本来の性能を制約してしまうため、必ずしもその能力を発揮できるとは考えられない。

このため、より小型で安価な衝突回避システムを使用できるというニーズは今後顕著化することが予想され、大型無人航空機システムの十分な開発・製造・運用実績を有する株式会社SUBARUと、様々なレーダの開発・製造・評価の実績を十分に有する日本無線株式会社、大型無人航空機に搭載する電子装置の開発・製造・評価の実績を十分に有する日本アビオニクス株式会社、準天頂衛星センチメータ一級測位補強信号用の「みちびき実証用受信端末」の開発の実績を十分に有する三菱電機株式会社によりこれを実行することで、本事業の成功が見込まれる。

資料 2

今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見

平成30年 11月12日
国土交通省 航空局

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

| 国土交通省 | | |
|-------------------------|---|--|
| 制度・ルール化を検討すべき項目・論点の洗い出し | | |
| 検討すべき大項目 | 早期にルール化すべきもの (早期に検討すべき内容) | 継続した検討が必要なもの (結論までに時間を要する内容) |
| 衝突回避ルール | <ul style="list-style-type: none"> ○目視による衝突回避ルール ○飛行ルートとの分離を前提とした機体の種類、目的、エリア等に応じた衝突回避ルール ○有人機に対する見張り義務及び回避義務法制化 ○飛行ルートのパフファエリアや衝突回避時の回避距離の設定基準策定 ○空港周辺等の飛行禁止空域の見直し ○UTMSを利用した衝突回避ルール <ul style="list-style-type: none"> ➢ UTMSの位置づけ、運用主体 ➢ UTMSの要件の整理 ➢ UTMSを活用した許可承認ガイドライン ➢ 3次元地図情報活用 ○衝突回避センサーの標準搭載 | <ul style="list-style-type: none"> ○遠隔からの機体識別・飛行位置情報の把握 ○UTMSを利用した衝突回避ルール <ul style="list-style-type: none"> ➢ UTMSを前提とした飛行ルール ➢ UTMS事業者の認証 ➢ UTMS利用事業者の認証 ➢ UTMSの性能認定制度と第三者機関による認定 ○有人機へのADS-Bの搭載義務化 ○UTMS以外の目視に頼らない衝突回避ルール(レーダー、画像認識等) ○飛行目的に応じた運航情報の公開範囲の検討 |
| | ➢ UTMSや衝突回避センサーの技術的要素を踏まえ、実用化の段階に応じて義務化できるものの範囲を議論していく必要があるのではないか。 | |

(出所：国土交通省資料)

図IV2.2.1.3-2 制度・ルール化を検討すべき項目・洗い出し結果

②株式会社自律制御システム研究所

事業化に向けたシナリオを下図のとおり示す。

| 助成期間終了後 実用化開発項目 | 平成32年度 | 平成33年度 | 平成34年度 | 平成35年度 | 平成36年度 | 予想される 重大な障害 |
|---------------------------|----------------|--------------|-----------|----------|--------|-----------------------------|
| ①製品試作/評価 | 第1次 (サンプル機) | 第2次 (製品版) | ◇継続/中断を判断 | | | ⑤ 法的規制 市場環境変化 競合参入 |
| ②量産設計/評価 | | | ◇継続/中断を判断 | | | |
| ③製造/品証確認 | | サンプル機 製造 | | 量産機製造 | | |
| ④販売 | | | サンプル機販売 | ◇量産機販売開始 | | |
| 投資金額(百万円) | 50 | 50 | 30 | 30 | 30 | |
| 売上高(百万円) | 0 | 0 | 200 | 800 | 1,600 | |
| 収益(百万円) | 0 | 0 | 120 | 480 | 960 | |
| 直接新規雇用者数(累積人) | 0 | 2 | 5 | 7 | 10 | |
| 間接雇用数を含む新規創出 雇用者数(累積人) | 0 | 2 | 7 | 10 | 12 | |

図IV2. 2. 1. 3-3 事業化までのシナリオ（株式会社自律制御システム研究所）

③三菱電機株式会社

本研究開発で、準天頂衛星対応受信機のプロトタイプによる評価を行い、ドローン対応に必要な加速度チューニング等の実証試験、技術確立等を行うこととする。

さらに、必要に応じて国内外のドローン機体メーカーやシステムメーカーをパートナーとして選定することにより、ユーザ側のニーズを的確に把握し、成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

(3) 波及効果

①株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社

一例として、前述の大型の無人航空機を農薬散布分野において運航した場合の省エネルギー効果の例を以下に示す。

2030年に農薬散布にて使用される無人航空機による燃料削減効果は、約191トンであると予想される。

【燃料削減効果の算出根拠】

現在の大型無人航空機の登録機数は約2700機で、2020年には、無人航空機の市場規模は、現在の市場の約10倍に、また、2020年の市場予測の中で各利用分野における約8.2%が農薬散布に用いられると予想されている。

(<https://www.seedplanning.co.jp/press/2015/2015041501.html>)

この予想と同程度の割合が2030年もあると想定し、

・2700機×10倍×8.2%=約2200機

の無人航空機が年間30回農薬散布に運用されると仮定し、1年間の燃料削減量を算出した。

農薬散布における有人ヘリと無人航空機の燃費比率を図IV2.2.1.3-4に示す。



図IV2.2.1.3-4 農薬散布における有人ヘリと無人航空機の燃費比率

②株式会社自律制御システム研究所

本研究開発の成果を適用する機器及びシステムは物流分野用途に限らず他の分野への応用が可能である。以降の市場拡大としては本研究開発において目標とする自己位置推定、環境認識による障害物回避、飛行軌道実時間生成などの技術により初めて可能となる真の意味での自律飛行機能が必要となる用途への適用が急速に進捗すると考える。具体例としては、自律飛行機能が不可欠である目視外飛行の運用が前提となる災害対応や火山・森林観測支援、あるいはメディアの緊急報道支援への展開が候補として挙げられ、各市町村や警察消

防本部、研究機関やテレビ局等も視野に入れた展開が期待されるほか、インフラ点検等の分野においても点検場所への移動あるいは点検対象との干渉回避等を考えれば十分に応用可能であるとする。

2022年度ごろからは、衝突回避機能を有した無人航空機を有した他企業の参画も活発化することが予想され、市場の規模は急速に拡大すると考えられる。

| 適用可能範囲 | 想定される市場 | 用途 |
|---------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 災害対応支援 (監視及び配送等) | 各市町村 地方警察消防本部等 | 災害時において地理的に孤立した被害者に対して緊急物資輸送及び監視支援 |
| 観測支援 (火山及び森林監視等) | 各省庁 研究機関等 | 既存無人航空機の課題である飛行時間を解決した長距離化実現による観測支援 |
| 緊急報道支援 | 大手テレビ局等 | 災害時に中継で使用されるヘリコプターに代わる報道支援 |
| 道路運営 | 大手道路運営業等 | 道路橋、トンネル等の点検 |
| 鉄道運輸 | 大手鉄道業等 | 鉄道橋、トンネル等の点検 |
| 土木修繕 | 大手企業等 | 修繕対象の点検確認 |

表IV2.2.1.3-1 物流、インフラ点検以外の用途への適用予測

③三菱電機株式会社

準天頂衛星対応受信機により、高精度なドローンの自己位置認識が出来るようになり、本研究開発による衝突回避技術と共用することで、様々なドローンサービスへの展開が見込める。具体的には、地域物流に必要なラストワンマイルへのドローン適用であり、離島物流や過疎地域の物資輸送、個人宅への玄関前へのピンポイント輸送やインフラ詳細監視等が考えられ、より一層の日本ドローン市場拡大に向けた貢献に期待できる。

2.2.1.4. 情報提供機能の開発

1) ドローン向け気象情報提供機能の研究開発（実施先：一般財団法人日本気象協会）

（1）実用化・事業化の見通し

本研究では、ドローン専用の風情報として、高度 30～150m、水平 100～200m メッシュの高解像度な風向・風速の実況推定データと予測データを開発した。これらの情報と合わせ、既存の気象情報のうち、ドローン運航に有効な気象情報を整理し、ドローン気象情報 API として情報提供機能を開発した。さらに、ドローン飛行高度の風実況値を取得する方法として気象観測ドローンによる観測、風の鉛直分布を観測するドップラーライダー、3次元の風分布を観測する 3D スキャニングライダーを整理し、それぞれの利用技術を開発した。これらの成果により、ドローン気象情報提供機能の基盤技術を構築することができた。

本助成事業の終了後に、サービス提供に向けて、システムの可用性、処理安定性の向上、運用保守・管理体制の整備を行うことにより、運用版ドローン気象情報提供サービスとして事業化を行うことが可能となる。

事業化では、ドローン運航支援のための気象観測、実況情報提供、予測情報提供、アラート情報提供を想定している。また、UAS0 などの運用者向けに、ドローン気象情報閲覧サービスを検討する。

これらのサービスにより、ドローン専用の気象情報として、実況推定、0～60 分先の予測、当日・翌日・翌々日予測、週間予測などを提供する。これらの情報は、無人航空機の飛行直前での飛行判断（実況値、10～60 分先予測）、飛行に必要な燃料やバッテリーの搭載計画（当日予測）、ドローンの飛行計画作成（当日・翌日・翌々日予測）や、無人航空機を効率的に運用するための週間計画（週間予測）など、運航管理支援から運用者の安全対策など様々なシーンでの利用を想定する。

（2）事業化までのシナリオ

本事業終了後、ドローン運航の頻度の多いエリアを選定し、ドローン気象情報 API のサービスインを目指す。本成果について、山間部や海上での有効性・精度等を確認したうえで、山間部向けサービス、海上向けサービスに展開し、サービスエリアを拡大する。最終的には、すべてのエリアを統合したサービスに展開予定である。

当面は、UAS0 向けサービスを軸とするが、UTM 普及に合わせ運航管理向けサービスとしてシステム安定性を向上させたサービスに機能向上を図る。ドローン活用社会の実現に向けたドローンの産業利用が拡大に連動させながら、運用者が利用可能なドローン気象閲覧サービスや、運航管理者が利用するデータ連携サービスなどに当協会のドローン気象サービスを展開していく。

また、これらの事業化に合わせ、本サービスの普及の促進に向け国際標準化を進め、普及

を促進する。

| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| 標準化の推進 | ▶ | | | | | |
| 個別エリアサービス提供 | ▶ | | | | | |
| サービスエリア拡大 | | ▶ | | | | |
| 全国サービス | | | | ▶ | | |

表IV2. 2. 1. 4-1 ドローン気象情報提供機能の事業化シナリオ

(3) 波及効果

本成果を事業化したサービスを利用することにより、ドローン運航時の気象リスクの軽減されることが期待できる。ドローン運用者が、飛行前にドローン飛行可否が可能となるほか、目視外飛行で気象リスクの高いエリアへの侵入の防止、気象リスクの低いエリアの優先利用、気象急変時の安全な避難措置など、ドローンの運用や運航の安全性を向上することが可能となる。ドローンの安全性が向上することは、ドローンの普及の促進にも寄与することが期待できる。また、飛行頻度が増加するに従い、気象による遅延、運航停止は、ドローン事業の収益に直結するようになるため、より精度の高い気象情報の提供により、効率的なドローン運航に寄与できる。

2.2.1.4. 情報提供機能の開発

2) 無人航空機の安全航行のための空間情報基盤の開発（実施先：株式会社ゼンリン）

（1）実用化・事業化の見通し

本事業では、通信状況の情報（無人機の安全航行に関わる通信の電波情報の調査・重畳）、有人機の情報、気象情報、地図情報、インフラ等の障害物情報、人口統計情報（時間帯別の滞留人口統計の重畳）等の無人航空機の飛行安全に関係する多様な情報をクラウドサーバ上に一元的に集約し3次元地図上に表現する「無人航空機専用3D可視化マップ」およびそのAPIを開発する。このAPIを通じて、想定ユーザーである無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者のシステムに対して上記の統合情報を提供するクラウド型情報提供システムを実現する。サービスの適用先である無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者は、本開発の成果として想定されるAPIを各々が持つ運航管理のシステムに組み込むことにより、本開発の成果品である一元化された多様な情報を持つ無人航空機専用3D可視化マップと運航管理を統合することが可能となる。販売形態としては、本クラウドサービス利用のライセンス販売を想定している。

実用化を確実にするために、デジュールスタンダード獲得の施策としてISO TC20 SC16へ国際標準提案を実施済みであり、2021年度を目途にIS発行となる見込みである。また、他社との競争優位性として、地図に関しては、ゼンリングループでこれまで作成し管理、メンテナンスを行っているデータベースを転用することが可能であり、新規で開発および取得すべきデータは少ないことから、製造コストの面で他社より優位性がある。また、質の担保においても、別事業において運用体制を確立しており、その体制を転用できることから、新規で構築するよりも質やコストの面で優位性がある。

また、気象情報など本製品へ重畳するデータについては、外注先からの提供を予定しているが、外注先データベースと弊社開発システムをつなぐAPIの開発も想定している。データ自体は外注先が合意すれば競合他社も購入可能であるが、APIによるシームレスな統合は競合他社と比較して、情報のリアルタイムな更新という点において優位性がある。そのため実用化は達成するものと見込んでいる。

（2）事業化までのシナリオ

事業化に向けたスケジュールを下記に示す。助成期間終了後、データベースのユーザー評価や拡張性の検討・実行を通じて製品化フェーズへ速やかに移行する。次に拡張部分の設備投資及び生産により、製品化を実現する。2022年度には販売を開始する見込みである。

事業化スケジュール

| 助成期間終了後 実用化開発項目 | 令和2年度 | 令和3年度 | 令和4年度 | 令和5年度 | 令和6年度 | 予想される 重大な障害 |
|------------------------------|-------|----------|----------|-------|-------|---------------------------------------|
| ①無人航空機の3次元データベースの評価・拡張性検討・実行 | → | | | | | ①顧客要求等により拡張性の要件が大幅に変更になった場合（開発実行の再延長） |
| | ◇ | 継続/中止の判断 | | | | |
| ②拡張部分の設備投資及び生産 | | → | → | → | → | ②市況悪化による部材及び人権費等の高騰 |
| | | ◇ | 継続/中止の判断 | | | |
| ③販売 | | → | → | → | → | ③ドローン市場の鈍化等による販売量の減少 |

表IV2.2.1.4-2 事業化スケジュール

(3) 波及効果

本開発製品が実装される頃に配送用無人航空機の実業化が想定される。年間宅配便取扱個数 37 億個の内 10%が無人航空機配送になると仮定した場合、約 8 万台の無人航空機が必要となる。また、その他の用途としても無人航空機の利用拡大が予想されていることから、現状の 2 千台/年から平成 40 年には本開発製品実装後に約 10 万台（配送用無人航空機 8 万台＋その他用途無人航空機 2 万台）/年となることが予想される。

この配送用無人航空機に注目した場合、8 万台の配送用無人航空機の想定輸送量は 420 万トン/年であり、一方で、営業用貨物自動車の輸送量は 29 億 8900 万トン/年であることから、将来的に全輸送量の 0.14% (=420/29,8900*100) が貨物自動車から無人航空機に代わると考えられる。営業貨物自動車の CO2 排出量は 3,831 万トン/年であることから、それが 0.14%削減されることになるため、全体として 53,634 トン/年の CO2 排出量となることが予想される。

また、本開発では、様々な無人航空機の航空安全に関わる情報を重畳した 3 次元地図が作成されることになるが、無人航空機以外の分野、例えば自動車の自動運転に用いる地図への利用など、高いスケーラビリティが期待される。

2.2.1.5. 運航管理システムの全体設計に関する研究開発

(実施先：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)

(1) 実用化・事業化の見通し

本事業は、複数の民間事業者による競争的な運航管理/情報提供サービスの展開を可能とする運航管理システムの構築を目指しており、そのための運航管理コンセプト/システムアーキテクチャの設計を進めている。したがって、本事業の成果（運航管理コンセプト/システムアーキテクチャ）に基づき、複数の民間事業者（本プロジェクトにおいてシステム開発を担っている事業者に限らない）が運航管理/情報提供システム（サービス）を実用化・事業化することを想定している。

但し、そのためには、システム間の情報共有のために必要な統合機能（を担うシステム）について、航空局が整備・運用を開始した DIPS/飛行情報共有機能との役割を見直し、両者を接続または再構築する必要がある。また、共通化すべき運航ルール等に対する合意形成や制度化が必要であり、そのために本事業では推進委員会やシンポジウムを開催してドローンの運航事業者をはじめとするステークホルダと広く協調・連携しながら研究開発を進めているところであるが、今年度からは官民協議会において運航管理を含む制度設計の基本方針の検討が始まり、実用化・事業化の見通しが高まっている。

(2) 事業化までのシナリオ

運航管理システムの本格的な実用化・事業化（社会実装）に向けて、段階的にその運用を拡大しながら必要な制度等の整備を進めてゆく必要がある。すなわち、リスクの低い地域や利用形態等に限定したシステムの試験的運用（実証プログラム）を開始し、実環境における運用データを収集・分析する。その結果に基づいて運航管理コンセプト/システムアーキテクチャの検証と改善を続けるとともに、必要な制度化等を進めてゆく。

運用データの分析やシステムの検証等には、本事業で開発した運航管理シミュレータを活用することを計画している。また、同シミュレータを研究基盤として活用し、大学・研究機関等による先進的な運航管理コンセプト/システムの研究開発を促進することにより、この分野の中長期的な発展に貢献したいと考えている。

(3) 波及効果

本事業の成果は、研究開発の直接の目的である無人航空機の安全かつ効率的な目視外飛行を可能にすることによって、物流をはじめとする様々な分野にその利用を拡大し、「空の産業革命」の実現に貢献するものである。これに加えて、本事業の成果は、非管制空域を利用する新しい航空輸送システム（空飛ぶクルマ等）に対しても、その実現を支える運航管理（交通管理）の研究/技術基盤となることが期待される。

2.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発

2.2.2.1. 非協調式 SAA

(実施先：日本無線株式会社、株式会社 SUBARU、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所)

(1) 実用化・事業化の見通し

①株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社

今後、ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、無人航空機が活躍する場面は災害現場など特殊な環境から人口密集地のような環境まで広く様々な用途で使われると予想されている。この中で、我々企業としては、無人航空機全体としてのマーケットのみならず安全性や省エネルギーに寄与するセンサや衝突回避判断装置等の無人航空機アプリケーションのマーケットに対して、製品を提供する。

無人航空機としては農業、インフラ監視、物流等の使用ユーザーを対象に販売もしくは使用ユーザーに対するリース会社に提供する。無人航空機用衝突回避システムとしては、無人航空機製造メーカーに販売する。

当該装置を搭載した無人航空機は目視外並びに第3者の上空を飛行することが期待でき、運用を拡大することができる。

②株式会社自律制御システム研究所

本事業の研究成果は、2020 年代前半を目処に衝突回避ルールが整理された後、要件に合致する形で衝突回避システムを搭載した無人航空機として開発・製造・販売する。特に本機能は、今後の小型無人航空機の広い社会実装に向けた、レベル 4 目視外飛行（有人地帯目視外）実用化のための重要な安全機能となると考えられる。様々な無人航空機に搭載可能な形で当該システムを応用した衝突回避システムの開発・製造・販売を計画しており、量産機体に搭載する場合は、400 万円程度で、年間 1,000 台程度の数量を見込んでいる。

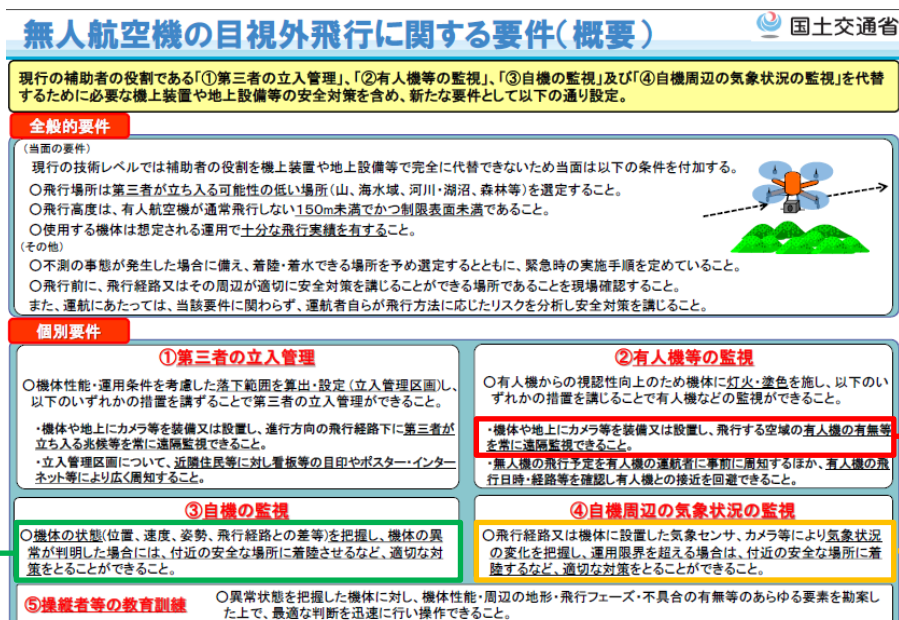
(2) 事業化までのシナリオ

①株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社

小型無人航空機とは異なり、より大きなペイロードや長時間の飛行が可能となる大型の無人航空機は、我が国において、今後広範囲、多岐にわたる用途に活用されると想定している。しかし、大型の無人航空機は、より混雑した空域の中での運航が必要となるため、実用化においては、本衝突回避システムが必要とされていると考えた。

また、本研究で開発中の技術は、国土交通省の定める「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」に、目視外飛行に関する要件とし、2019年9月18日に図IV2.2.2.1-1の通り整理された。

協調・非協調の衝突回避のセンサで、**飛行経路付近の障害物を探知し、衝突回避もしくは、緊急的な着陸を行う。**



(国土交通省ホームページより)

機上の電波センサ(大型無人航空機)もしくは地上からの情報により**雨雲の接近などを探知し、安全な飛行経路に変更する。**

飛行中の風速変化により、燃料消費/バッテリー消費が想定外に大きい場合、飛行を中断して離陸地点に引き返す。

推力の低下、通信の途絶、機体の動揺増加などから故障判定を行い、最寄の非常着陸地点に着陸する。

図IV2.2.2.1-1 本研究で開発中の技術と無人航空機の目視外飛行に関する要件との対応

レーダ、画像認識による衝突回避ルールについては、平成30年11月12日に国土交通省がとりまとめた「今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見」では、継続した検討が必要と整理されている（図IV2.2.2.1-2参照）とともに、2019年6月21日「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ2019～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」においては、2019年度の環境整備として“制度設計の基本方針の策定”が行われる計画であり、これらの結果を踏まえながら衝突回避システムを実用化する。

ドローンをはじめとする無人航空機の活用は爆発的に拡大しており、その有用性については十分に証明されつつある段階にある。一方、無人航空機はその特性上、飛行する時間及び搭載できる機器が限られており、大型で高価な衝突回避システムでは本来の性能を制約してしまうため、必ずしもその能力を発揮できるとは考えられない。

このため、より小型で安価な衝突回避システムを使用できるというニーズは今後顕著化することが予想され、大型無人航空機システムの十分な開発・製造・運用実績を有する株式会社SUBARUと、様々なレーダの開発・製造・評価の実績を十分に有する日本無線株式会社、大型無人航空機に搭載する電子装置の開発・製造・評価の実績を十分に有する日本アビオニクス株式会社、準天頂衛星センチメータ一級測位補強信号用の「みちびき実証用受信端末」の開発の実績を十分に有する三菱電機株式会社によりこれを実行することで、本事業の成功が見込まれる。

資料 2

今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見

平成30年 11月12日
国土交通省 航空局

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

| 国土交通省 | | |
|-------------------------|--|--|
| 制度・ルール化を検討すべき項目・論点の洗い出し | | |
| 検討すべき大項目 | 早期にルール化すべきもの (早期に検討すべき内容) | 継続した検討が必要なもの (結論までに時間を要する内容) |
| 衝突回避ルール | <ul style="list-style-type: none"> ○目視による衝突回避ルール ○飛行ルートの分離を前提とした機体の種類、目的、エリア等に応じた衝突回避ルール ○有人機に対する見張り義務及び回避義務法制化 ○飛行ルートのバッファエリアや衝突回避時の回避距離の設定基準策定 ○空港周辺等の飛行禁止空域の見直し ○UTMSを利用した衝突回避ルール <ul style="list-style-type: none"> ➢ UTMSの位置づけ、運用主体 ➢ UTMSの要件の整理 ➢ UTMSを活用した許可承認ガイドライン ➢ 3次元地図情報活用 ○衝突回避センサーの標準搭載 | <ul style="list-style-type: none"> ○遠隔からの機体識別・飛行位置情報の把握 ○UTMSを利用した衝突回避ルール <ul style="list-style-type: none"> ➢ UTMSを前提とした飛行ルール ➢ UTMS事業者の認証 ➢ UTMS利用事業者の認証 ➢ UTMSの性能認定制度と第三者機関による認定 ○有人機へのADS-Bの搭載義務化 ○UTMS以外の目視に頼らない衝突回避ルール(レーダー、画像認識等) ○飛行目的に応じた運航情報の公開範囲の検討 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ➢ UTMSや衝突回避センサーの技術的要素を踏まえ、実用化の段階に応じて義務化できるものの範囲を議論していく必要があるのではないか。 | |

(出所：国土交通省資料)

図IV2.2.2.1-2 制度・ルール化を検討すべき項目・洗い出し結果

②株式会社自律制御システム研究所

事業化に向けたシナリオを下図のとおり示す。

| 助成期間終了後 実用化開発項目 | 平成32年度 | 平成33年度 | 平成34年度 | 平成35年度 | 平成36年度 | 予想される 重大な障害 |
|---------------------------|----------------|--------------|-----------|----------|--------|-----------------------------|
| ①製品試作/評価 | 第1次 (サンプル機) | 第2次 (製品版) | ◇継続/中断を判断 | | | ⑤ 法的規制 市場環境変化 競合参入 |
| ②量産設計/評価 | | | ◇継続/中断を判断 | | | |
| ③製造/品証確認 | | サンプル機 製造 | | 量産機製造 | | |
| ④販売 | | | サンプル機販売 | ◇量産機販売開始 | | |
| 投資金額(百万円) | 50 | 50 | 30 | 30 | 30 | |
| 売上高(百万円) | 0 | 0 | 200 | 800 | 1,600 | |
| 収益(百万円) | 0 | 0 | 120 | 480 | 960 | |
| 直接新規雇用者数(累積人) | 0 | 2 | 5 | 7 | 10 | |
| 間接雇用数を含む新規創出 雇用者数(累積人) | 0 | 2 | 7 | 10 | 12 | |

図IV2.2.2.1-3 事業化までのシナリオ（株式会社自律制御システム研究所）

(3) 波及効果

①株式会社 SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社

一例として、前述の大型の無人航空機を農薬散布分野において運航した場合の省エネルギー効果の例を以下に示す。

2030年に農薬散布にて使用される無人航空機による燃料削減効果は、約191トンであると予想される。

【燃料削減効果の算出根拠】

現在の大型無人航空機の登録機数は約2700機で、2020年には、無人航空機の市場規模は、現在の市場の約10倍に、また、2020年の市場予測の中で各利用分野における約8.2%が農薬散布に用いられると予想されている。

(<https://www.seedplanning.co.jp/press/2015/2015041501.html>)

この予想と同程度の割合が2030年もあると想定し、

・2700機×10倍×8.2%=約2200機

の無人航空機が年間30回農薬散布に運用されると仮定し、1年間の燃料削減量を算出した。

農薬散布における有人ヘリと無人航空機の燃費比率を図IV2.2.2.1-4に示す。



図IV2.2.2.1-4 農薬散布における有人ヘリと無人航空機の燃費比率

②株式会社自律制御システム研究所

本研究開発の成果を適用する機器及びシステムは物流分野用途に限らず他の分野への応用が可能である。以降の市場拡大としては本研究開発において目標とする自己位置推定、環境認識による障害物回避、飛行軌道実時間生成などの技術により初めて可能となる真の意味での自律飛行機能が必要となる用途への適用が急速に進捗すると考える。具体例としては、自律飛行機能が不可欠である目視外飛行の運用が前提となる災害対応や火山・森林観測支援、あるいはメディアの緊急報道支援への展開が候補として挙げられ、各市町村や警察消

防本部、研究機関やテレビ局等も視野に入れた展開が期待されるほか、インフラ点検等の分野においても点検場所への移動あるいは点検対象との干渉回避等を考えれば十分に応用可能であると考ええる。

2022 年度ごろからは、衝突回避機能を有した無人航空機を有した他企業の参画も活発化することが予想され、市場の規模は急速に拡大すると考えられる。

| 適用可能範囲 | 想定される市場 | 用途 |
|---------------------|-------------------|-------------------------------------|
| 災害対応支援 (監視及び配送等) | 各市町村 地方警察消防本部等 | 災害時において地理的に孤立した被害者に対して緊急物資輸送及び監視支援 |
| 観測支援 (火山及び森林監視等) | 各省庁 研究機関等 | 既存無人航空機の課題である飛行時間を解決した長距離化実現による観測支援 |
| 緊急報道支援 | 大手テレビ局等 | 災害時に中継で使用されるヘリコプターに代わる報道支援 |
| 道路運営 | 大手道路運営業等 | 道路橋、トンネル等の点検 |
| 鉄道運輸 | 大手鉄道業等 | 鉄道橋、トンネル等の点検 |
| 土木修繕 | 大手企業等 | 修繕対象の点検確認 |

表IV2. 2. 2. 1-1 物流、インフラ点検以外の用途への適用予測

2.2.2.2. 協調式 SAA

1) 正確な位置情報を共有するための準天頂衛星対応受信機の研究開発 (実施先：マゼランシステムズジャパン株式会社)

(1) 実用化・事業化の見通し

開発した RFIC を使うことにより、受信機の小型、軽量、省電力化が可能であることを確認した。

また、RFIC の技術的課題はあるものの、準天頂衛星の CLAS 信号を使った高精度単独測位 (PPP) で 10cm 以内の精度を実現した。課題である RFIC の性能改善を実施することにより実用化、事業化の見通しは更に高まると考える。

尚、この受信機のサイズ (43mm×59mm) で準天頂衛星の L6 の補強信号 (CLAS 及び MADOCA 方式) に対応して高精度単独測位ができ、かつ、RTK でも利用できる受信機は世の中に存在せず、世界初の製品になり得る。

(2) 事業化までのシナリオ

RFIC の技術的課題については試作機を製作、評価を行い、課題の改善確認を行う。併せて、(株)自律制御システム研究所 (ACSL) のドローンに搭載して飛行実証試験を行い、機体間通信により正確な位置情報をドローン間で共有することが出来ることを確認する。これら飛行試験を経て、ドローンに搭載可能な準天頂衛星対応小型受信機として 2020 年 2 月までにリリースを行い、事業化を進める。

(3) 波及効果

高精度でかつ小型、軽量、省電力化を達成することにより、ドローンに搭載してもパイロードへの影響を少なく出来、消費電力を最小限に抑えることが出来る。準天頂衛星を使い単独で cm 級の高精度測位ができることで、今まで RTK 測位で必要であった補正情報を生成するための基準局の設置や補正情報を機体に送信する通信手段が不要になり低コスト化が図れ、かつ、基準局と機体間の通信距離を気にする必要がなくなる。更に有人航空機と無人航空機、無人航空機相互間で各々の正確な位置情報を共有することが可能になり、ドローン同士の衝突回避や衝突防止に役立てることが出来る。併せて正確な機体の制御が可能になり、ドローン同士が密集した状況での離着陸や飛行が可能になる。

ドローンだけではなく、農機や建機等の自動運転やガイダンス用途にも展開が可能であり、高精度単独測位が必要な様々な分野での利活用が期待できる。

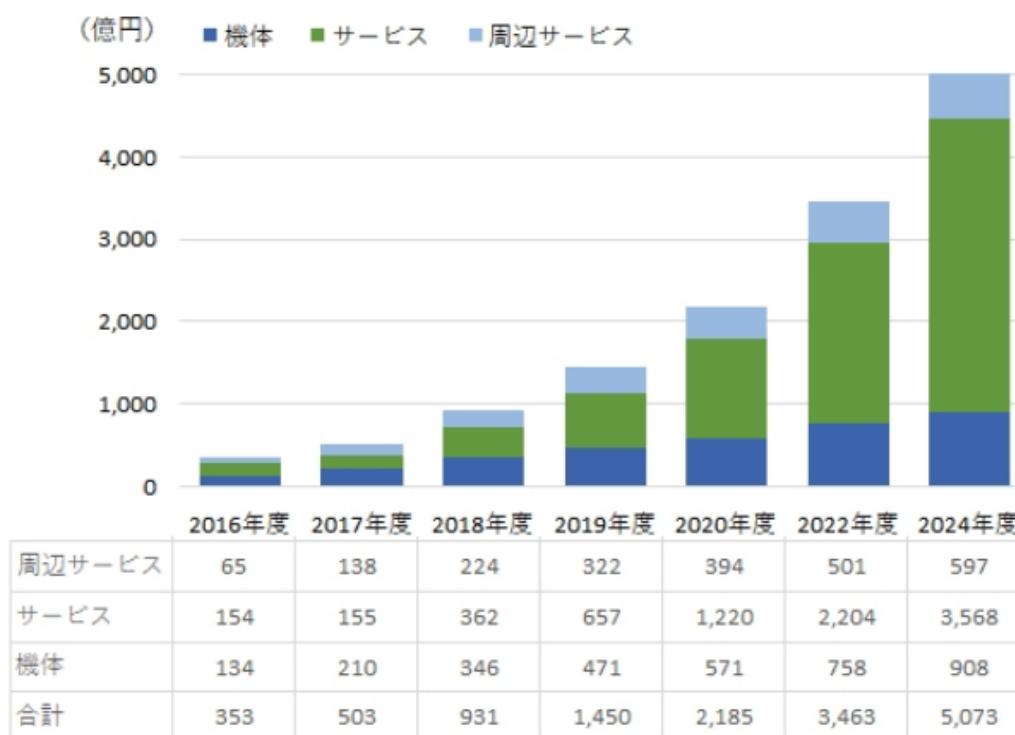
2.2.2.2. 協調式 SAA

2) 準天頂衛星対応受信機の低消費電力化の研究開発（実施先：三菱電機株式会社）

(1) 実用化・事業化の見通し

本研究開発を反映した準天頂衛星対応受信機（低消費電力版）は、2019 年の成果を元に 2020 年に製品化し、2020 年度中に販売予定。

ドローン市場は急速に拡大しており、5 年後(2024 年度)には機体市場が 908 億円（2018 年度の約 2.6 倍）に達する見込みとの報告もある。2019 年度以降は、農薬散布や物流などで大型の産業機の活用が進むことで、産業用機体の市場が増えており、準天頂衛星対応受信機の実用化事業化の見通しは高いと考える。



インプレス総合研究所『ドローンビジネス調査報告書2019』

出展： <https://research.impress.co.jp/topics/list/drone/552>

図IV.2.2.2-1 ドローン市場

(2) 事業化までのシナリオ

本研究開発で、準天頂衛星対応受信機のプロトタイプによる評価を行い、ドローン対応に必要な加速度チューニング等の実証試験、技術確立等を行うこととする。

さらに、必要に応じて国内外のドローン機体メーカーやシステムメーカーをパートナーとして選定することにより、ユーザ側のニーズを的確に把握し、成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

(3) 波及効果

準天頂衛星対応受信機（低消費電力版）により、高精度なドローンの自己位置認識が出来るようになり、様々なドローンサービスへの展開が見込める。具体的には、ピンポイント輸送や高精度農薬散布、インフラ詳細監視等が考えられ、より一層のドローン市場拡大に貢献に期待できる。

2.3. 研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

2.3.1. デジタル・スタンダード（実施先：PwC コンサルティング合同会社）

（1）実用化・事業化の見通し

ISO の TC20/SC16 Unmanned Aircraft System においては、17 か国が参加し、国際標準化作業が進展している。なお、ISO による国際標準として成立した結果として、技術・基準等が世界各国のルールに適用され、ルールに準じた製品やサービスが普及していくと考えられる。

現在、我が国から提案し、ISO において国際標準化作業中の Data model related to spatial data for UAS and UTM (ISO 23629-7)、“UTM Functional Structure(ISO 23629-5)は、無人航空機のサービス成立のための基盤技術・ルールであることから多くの無人航空機関連サービスに搭載される可能性が高く、実用化及び普及が進んでいく見込みである。

（2）事業化までのシナリオ

まず、現在、標準化提案済の Data model related to spatial data for UAS and UTM (ISO 23629-7)、“UTM Functional Structure(ISO 23629-5)について、国際標準化を成立させる。また、その他の研究成果（2 提案）についても ISO へ新規提案し、本プロジェクトの研究成果の国際標準化を増加させる。ISO による国際標準化が成立することにより、研究開発成果が海外を含めて普及することとなり、本プロジェクト成果の事業化の後押しとなる。

（3）波及効果

本プロジェクト成果の ISO における国際標準化の成立により、ルールとして決定されることから、国内外の無人航空機の機体や UTM サービス等を実装されることとなる。今後、無人航空機関連市場は世界的に拡大していくことが予想されていることから、市場成長に伴って、本プロジェクト成果が普及していくこととなる。

2.3.2. デファクト・スタンダード

(実施先：株式会社日刊工業新聞社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人神戸大学、国際レスキューシステム研究機構、学校法人玉川学園大学)

(1) 実用化・事業化の見通し

本事業で開発された各競技のタスクやその競技に出場したチームのロボット技術・システムが実用化されることを目指している。

(2) 事業化までのシナリオ

本事業は WRS2018 (プレ大会) と WRS2020 (愛知・福島大会) から構成される。WRS2018 では、各競技のタスクに取り組むことで、ロボットの社会実装の実現に近づく技術が生まれ、2020 年の本大会につながるものが重要であった。

現在、WRS2018 の振り返りを踏まえて、WRS2020 では昨年度よりロボットの社会実装の実現に近づくタスクにすべく、各競技委員会が競技の再検証とその結果を踏まえた競技設計を実施している。ものづくりカテゴリー、サービスカテゴリー及びインフラ・災害対応カテゴリーでは、ロボットが活用される現場において、どのような要素がロボットの活躍につながるかを精査し、必要な要素を取り込むべく、各競技委員会は競技委員会内の企業に属する委員やスポンサー企業などから意見を吸い上げて、競技を設計している。

それらの活動を通して、現時点での現場もしくは数年後の未来の現場で活用されるロボット技術が生み出されていくこととなる。それらの現場で活用されるロボット技術を生み出したベンチャーや大学とスポンサー企業やユーザーが連携し、提携するなどし、更なる技術開発などが行われる体制が整うことで、より広い範囲に技術が活用されることが重要である。

また、大学の研究室の場合には、WRS へ出場することで脚光を浴び、企業からの共同研究へ進むなどの事例が出てくることも想定している。

事例が1つでも出ることで、WRS という大会が社会実装のシステムとして注目され、同様の事例が少しずつ増えていくことになる。このようなエコシステムが構築されることで、WRS が継続的に開催され、ロボットに関するオープンイノベーションのプラットフォームとなることを目指している。

(3) 波及効果

・オープンイノベーションの推進

本事業では競技委員会が中心となり、競技の構築を行ってきた。競技委員会は産業界と研究者が連携して、競技手法の開発を行っている。社会実装を目指すため、技術開発・研究視点のみならず産業界の意見を積極的に取り入れている。

・人材育成

事業実施者は社会実装されるための競技ルールを設計する過程において、国内外問わず多くの世界トップレベルの研究者と連携する機会を多く持つことになり、より高度なロボット人材の育成や連携がなされている。

競技参加者に関しては、競技に対する技術開発を通じて、他の競技参加者や企業とも情報交換等を行うことで、自らの技術レベルを把握し、一層の技術開発が可能となる。

また、社会実装を目的とした競技会に参加することにより、各現場におけるロボットのニーズを把握することが出来るほか、ロボット業界に関係する参加者にとっては、システムエンジニア（SIer）としての成長にもつながる。

・スポンサー制度の構築

本事業では、国のプロジェクトにもかかわらず、多くの民間スポンサーの協賛を受けて実施している。WRS2018では、33のスポンサーが参加し、金銭的な支援だけでなく、ソフトウェアの提供や競技に使うロボット及び部品の提供を受けている。

世界的なロボットメーカーやユーザー企業がスポンサーとなることで、ロボット関係者にかかわらず、幅広い分野の関係者からも興味を持ってもらうことが可能なプロジェクトになっている。

添付資料

1. 特許論文等リスト

以下に、本プロジェクトに関連する特許の件数及び論文リストを掲載する。

1.1. 特許件数

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

- ① - (1) 性能評価基準等の開発
出願（予定） 1 件
- ① - (2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発
出願（済） 1 件

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

- ② - (1) 無人航空機の運航管理システムの開発
出願（済） 5 件
出願（予定） 2 件
- ② - (2) 無人航空機の衝突回避技術の開発
出願 なし

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

- ③ - (1) デジュール・スタンダード
出願 なし
- ③ - (2) デファクト・スタンダード
出願 なし

1.2. 論文リスト

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

① - (1) 性能評価基準等の開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年月 |
|----|-------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----|--------------------|
| 1 | 岩田 拓也、山田 桂輔 | 産業技術総合研究所 | 無人航空機の性能評価手法に関する研究開発 | 日本機械学会ロボメック 2019 講演集 | 無し | 2019 年 6 月 |
| 2 | 五十嵐 広希 | 長岡技術科学大 | 小型 UAV のプロペラによる危害の基礎的評価 | 第 37 回 日本ロボット学会 学術講演会 | 無し | 2019 年 9 月 |
| 3 | 岩田 拓也、岡部 康平 | 産業技術総合研究所、労働安全衛生総合研究所 | 福島ロボットテストフィールドとドローン試験 | 第 40 回 レーザー学会 学術講演会 | 無し | 2020 年 1 月 (予定) |

① - (2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発

なし

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

② - (1) 無人航空機の運航管理システムの開発

なし

② - (2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

なし

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

③ - (1) デジュール・スタンダード

なし

③ - (2) デファクト・スタンダード

なし

2. 外部発信リスト

以下に、本プロジェクトの外部発信に関するリストを掲載する。なお、研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」のうち「(2) デファクト・スタンダード」については、別途掲載する。

2.1. 学会発表・シンポジウム講演等リスト

NEDO による学会発表・シンポジウム講演

| 番号 | 発表者 | タイトル | 学会・シンポジウム名称 | 発表年月 |
|----|-------|--|---|----------|
| 1 | 宮本 和彦 | ロボット性能評価手法の研究開発とテストフィールドの活用 | 「物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム」 | 2017年3月 |
| 2 | 宮本 和彦 | パネルディスカッション | 福島県南相馬市ロボット産業セミナー | 2017年10月 |
| 3 | 宮本 和彦 | ドローンが飛び交う未来に向け！ ＝ドローンの社会実装を加速させる新たな NEDO プロジェクトを始動＝ | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2017 | 2017年11月 |
| 4 | 山中 寛幸 | ドローン活用等に関する最新技術動向 | スマート農業等に関する利活用技術セミナー | 2017年12月 |
| 5 | 宮本 和彦 | ＝ 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島 ＝ | ロボットの実用化に向けた性能評価手法および 福島ロボットテストフィールドの活用 | 2018年2月 |
| 6 | 宮本 和彦 | ＝ 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 東京 ＝ | ロボットの実用化に向けた性能評価手法および 福島ロボットテストフィールドの活用 | 2018年2月 |
| 7 | 宮本 和彦 | 各種ロボットの性能評価基準と無人航空機の目視外飛行を目指した研究開発 | 総務省情報通信政策研究所 平成 29 年度 特定課題研修科（テーマ：「ドローン」） | 2018年2月 |
| 8 | 宮本 和彦 | ＝ 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 大阪 ＝ | ロボットの実用化に向けた性能評価手法および 福島ロボットテストフィールドの活用 | 2018年3月 |
| 9 | 宮本 和彦 | ＝ 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 名古屋 ＝ | ロボットの実用化に向けた性能評価手法および 福島ロボットテストフィールドの活用 | 2018年3月 |
| 10 | 宮本 和彦 | ロボットの実用化に向けた性能評価手法および福島ロボットテストフィールドの活用 | ASTM International Standards Committee for Homeland Security Applications | 2018年3月 |
| 11 | 宮本 和彦 | プロジェクト全体概要 | Japan Drone 2018 | 2018年3月 |
| 12 | 宮本 和彦 | ドローンが飛び交う社会を目指して | Location Business Japan 2018 | 2018年6月 |
| 13 | 宮本 和彦 | NEDO が取組む『ロボット・ドローンが | 日本計画研究所セミナー | 2018年6月 |

| | | | | |
|----|-------|---|--|----------|
| | | 活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト』の進捗、課題と新事業の創造 | | |
| 14 | 宮本 和彦 | ドローンが飛び交う社会を目指して | World Robot Summit 2018 | 2018年10月 |
| 15 | 宮本 和彦 | パネルディスカッション | 福島県南相馬市ロボット産業セミナー | 2018年10月 |
| 16 | 宮本 和彦 | ドローンが飛び交う社会を目指して | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2018 | 2018年11月 |
| 17 | 宮本 和彦 | NEDO プロジェクト活動状況と福島ロボットテストフィールドの活用 | NEDO 講座シンポジウム in 福島 | 2019年1月 |
| 18 | 宮本 和彦 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト | Japan Drone 2019 | 2019年3月 |
| 19 | 宮本 和彦 | 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準 | 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 | 2019年3月 |
| 20 | 宮本 和彦 | 協定と福島ロボットテストフィールドを活用した最先端のドローン技術開発の成果と社会実装に向けた今後の取り組み | 福島ロボットテストフィールドでのドローン実証試験の成果と今後（記者説明会） | 2019年4月 |
| 21 | 宮本 和彦 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト | 大分県ドローン協議会 総会 | 2019年5月 |
| 22 | 宮本 和彦 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト | Location Business Japan 2019 | 2019年6月 |
| 23 | 宮本 和彦 | DRESS プロジェクトについて | 安全なドローン運航のための相互接続シンポジウム ～今なぜAPI公開と相互接続なのか～ | 2019年7月 |
| 24 | 宮本 和彦 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト | JAXA UTM シンポジウム（名古屋） | 2019年9月 |
| 25 | 宮本 和彦 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト | JAXA UTM シンポジウム（大阪） | 2019年9月 |

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

① - (1) 性能評価基準等の開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会・シンポジウム名称 | 発表年月 |
|----|------|-----------|--------------------------------|-------------|---------|
| 1 | 大西 献 | 三菱重工業株式会社 | 防爆型式検定を国内で初めて取得した遠隔操作移動ロボットの報告 | 日本ロボット学会発表 | 2017年9月 |

| | | | | | |
|----|--------|-----------------|--|-----------------------------------|----------|
| 2 | 戸塚 正一郎 | 株式会社 SUBARU | 福島ロボットテストフィールドにおける衝突回避システムの開発について | 南相馬市ロボット産業セミナー | 2017年10月 |
| 3 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | “ぶつからないクルマ” から “ぶつからないドローン” へ | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2017 | 2017年11月 |
| 4 | 大西 献 | 三菱重工業株式会社 | 防爆移動ロボットの開発とプラント点検への応用 | 石油学会発表 | 2017年11月 |
| 5 | 稲垣 航治 | 株式会社自立制御システム研究所 | 「トンネル災害やプラント災害／点検のための陸上ロボット」に関する成果報告 | 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島 | 2018年2月 |
| 6 | 佐藤 均 | 富士通株式会社 | 橋梁インフラ点検性能評価手法及び実証実験に関する成果報告 | 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島 | 2018年2月 |
| 7 | 九郎丸 俊一 | パナソニック株式会社 | 「ダム・河川インフラ点検水中ロボット性能評価手法及び実証試験に関する成果報告」 | 「物流・インフラ点検・災害対応 ロボットシンポジウム in 福島」 | 2018年2月 |
| 8 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | 災害調査用無人航空機の評価手法の研究開発 | 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島 | 2018年2月 |
| 9 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | 福島ロボットテストフィールドにおける有人ヘリ・無人機の試験実施結果及び性能評価基準書への反映事項 | 目視外第三者上空要件検討の事前調整会 | 2018年2月 |
| 10 | 大西 献 | 三菱重工業株式会社 | 陸上移動ロボットの防爆性能評価手法等の研究開発 | RTF 着工式シンポジウム発表・出展 | 2018年2月 |
| 11 | 稲垣 航治 | 株式会社自立制御システム研究所 | 「トンネル災害やプラント災害／点検のための陸上ロボット」に関する成果報告 | 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 大阪 | 2018年3月 |
| 12 | 稲垣 航治 | 株式会社自立制御システム研究所 | 「ダム・河川点検のための水中点検ロボット」に関する成果報告 | 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 名古屋 | 2018年3月 |
| 13 | 稲垣 航治 | 株式会社自立制御システム研究所 | 「ダム・河川点検のための水中点検ロボット」に関する成果報告 | 物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 東京 | 2018年3月 |
| 14 | 高梨 伸彰 | 日本電気株式会社 | 橋梁インフラ点検性能評価手 | 物流・インフラ点検・災害 | 2018年3月 |

| | | | | | |
|----|------------|-------------|---|--|---------|
| | | | 法及び実証実験に関する成果報告 | 対応ロボットシンポジウム in 大阪 | |
| 15 | 高梨 伸彰 | 日本電気株式会社 | 橋梁インフラ点検性能評価手法及び実証実験に関する成果報告 | 物流・インフラ点検・災害 対応ロボットシンポジウム in 名古屋 | 2018年3月 |
| 16 | 佐藤 均 | 富士通株式会社 | 橋梁インフラ点検性能評価手法及び実証実験に関する成果報告 | 物流・インフラ点検・災害 対応ロボットシンポジウム in 東京 | 2018年3月 |
| 17 | 九郎丸 俊一 | パナソニック株式会社 | 「ダム・河川インフラ点検 水中ロボット性能評価手法及 び実証試験に関する成果報 告」 | 「物流・インフラ点検・災 害対応 ロボットシンポジウ ム in 大阪」 | 2018年3月 |
| 18 | 九郎丸 俊一 | パナソニック株式会社 | 「ダム・河川インフラ点検 水中ロボット性能評価手法及 び実証試験に関する成果報 告」 | 「物流・インフラ点検・災 害対応 ロボットシンポジウ ム in 名古屋」 | 2018年3月 |
| 19 | 九郎丸 俊一 | パナソニック株式会社 | 「ダム・河川インフラ点検 水中ロボット性能評価手法及 び実証試験に関する成果報 告」 | 「物流・インフラ点検・災 害対応 ロボットシンポジウ ム in 東京」 | 2018年3月 |
| 20 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | 災害調査用無人航空機の評価 手法の研究開発 | 物流・インフラ点検・災害 対応ロボットシンポジウム | 2018年3月 |
| 21 | 友永 行信 | 株式会社 SUBARU | 災害調査用無人航空機の評価 手法の研究開発 | 物流・インフラ点検・災害 対応ロボットシンポジウム | 2018年3月 |
| 22 | 大西 献 | 三菱重工業株式会社 | 陸上移動ロボットの防爆性能 評価手法等の研究開発 | ロボットシンポジウム発 表・出展（大阪、名古屋、 東京） | 2018年3月 |
| 23 | 大西 献 | 三菱重工業株式会社 | 防爆型式検定を国内で初めて 取得した遠隔操作移動ロボッ トの自律化と応用 | 日本ロボット学会発表 | 2018年9月 |
| 24 | 岩田 拓也 | 産業技術総合研究所 | 目視外及び第三者上空での飛 行に向けた無人航空機の性能 評価基準 | JapanDrone2019 | 2019年3月 |
| 25 | 岩田 拓也、山田桂輔 | 産業技術総合研究所 | 無人航空機の性能評価手法に 関する研究開発 | 日本機械学会ロボメック 2019 講演集 | 2019年6月 |

| | | | | | |
|----|------------|-----------|-----------------------------|----------------------------------|---------|
| 26 | 大西 献 | 三菱重工業株式会社 | 防爆移動ロボットによる石油 ガスプラント巡回点検 | 日本ロボット学会発表 | 2019年9月 |
| 27 | 五十嵐 広 希 | 長岡技術科学大学 | 小型 UAV のプロペラによる危 害の基礎的評価 | 第 37 回 日本ロボット学会 学術講演会 | 2019年9月 |
| 28 | 岩田 拓也 | 産業技術総合研究所 | National Drone Safety | World fo Dronse congress 2019 | 2019年9月 |

① - (2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会・シンポジウム名称 | 発表年月 |
|----|-----|----|------|-------------|------|
|----|-----|----|------|-------------|------|

なし

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

② - (1) 無人航空機の運航管理システムの開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会・シンポジウム名称 | 発表年月 |
|----|--------------|--------------|---|---|----------|
| 1 | 大瀬戸 篤 司、他 | JAXA | 小型無人航空機運航管理シ ミュレーションにおける 衝突要因解析 | 日本航空宇宙学会 第 55 回 飛行機シンポジウム | 2017年11月 |
| 2 | 原 尚史 | 株式会社 NTT ドコモ | 「ドローン最新動向と3社の 戦略」セルラードローン』構 想の実現に向けて | (株)新社会システム総合研 究所 主催セミナー | 2018年1月 |
| 3 | 藤田 将史 | 株式会社日立製作所 | 「運航管理機能の開発（物流 及び災害対応等）」／「複数無 線通信網を利用した多用途運 航管理機能の開発」について | Japan Drone 2018 DRESS プロジェクトフォーラ ム | 2018年3月 |
| 4 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | 準天頂衛星システムを利用し た無人航空機の自律的ダイナ ミック・リルーティング技術 の開発 | JapanDrone2018 DRESS プロジェクトフォーラ ム | 2018年3月 |
| 5 | 森 康彰 | 日本気象協会 | 「ドローン向け気象情報提供 機能の研究開発」 | JapanDrone2018 DRESS プロジェクトフォーラ ム | 2018年3月 |
| 6 | 河野 敬 | JAXA | Recent Progress in Regulation and R&D Program of Small UAS in Japan | Second Meeting of ICAO Asia/Pacific Unmanned Aircraft Systems Task Force | 2018年3月 |

| | | | | | |
|----|------------------|---------------------|--|---|---------|
| 7 | 原田 賢哉 | JAXA | 運航管理システムの 全体設計に関する研究開発 | Japan Drone 2018 DRESS プロジェクトフォーラム | 2018年3月 |
| 8 | 原田 賢哉 | JAXA | R&D of UAS Traffic Management in Japan | Global UTM Association Asia Pacific Conference 2018 | 2018年3月 |
| 9 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローンの交通整理 | Japan Drone2018 国際コンファレンス | 2018年3月 |
| 10 | 三浦 龍 | NICT | ドローンの電波利用技術に関 する動向と NICT の研究開発動 向（本成果を一部含む） | インフラメンテナンス国民 会議革新的技術フォーラム | 2018年5月 |
| 11 | 原田賢哉 | JAXA | ドローンの運航管理システム に関する研究開発動向 | インフラメンテナンス国民 会議 革新的技術フォーラム | 2018年5月 |
| 12 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローン運航管理システムの 開発動向 | ワイヤレス・テクノロジー ・パーク 2018 | 2018年5月 |
| 13 | 町田 真直 | 日本電気株式会社 | 繰り返し貪欲組合せオークシ ョンを用いた利己的マルチエ ージェント経路計画 | 2018年度人工知能学会全国 大会 | 2018年6月 |
| 14 | 三浦 龍 | NICT | 無人航空機の安全な見通し外 運航の実現のための無線通信 技術の開発（本成果を一部含 む） | ITヘルスケア学会第12回学 術大会 | 2018年6月 |
| 15 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローンの運航管理システム | 日本ロボット学会 第114回 ロボット工学セミナー | 2018年6月 |
| 16 | 三浦 龍 | NICT | 目視外の安全なドローン運用 を支える 電波利用技術につい て（本成果を一部含む） | 周波数資源開発シンポジウ ム 2018 | 2018年7月 |
| 17 | Florence Ho、他 | NII | Simulating Shared Airspace for Service UAVs with Conflict Resolution | The 17th International Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems | 2018年7月 |
| 18 | 塚田 大 | 株式会社自律制御シ ステム研究所 | Safely Enabling UAS Operations Via Dynamic Re- routing Technology | World of Drone Congress (WoDC) | 2018年8月 |
| 19 | 三浦 龍 | NICT | ドローンにおける 920MHz 帯活 用の取組み | 電子情報通信学会ソサイエ ティ大会 | 2018年9月 |

| | | | | | |
|----|----------------|-----------------|--|--|----------|
| 20 | 大瀬戸 篤司、他 | JAXA | 無人航空機の運航管理システムにおける飛行中の衝突回避に対する深層強化学習の適用検討 | 日本ロボット学会 第36回学術講演会 | 2018年9月 |
| 21 | 原田 賢哉 | JAXA | R&D and Related Activities on UTM in Japan | UAS Traffic Management (UTM) International Conference | 2018年10月 |
| 22 | 原 尚史、 山田 武史 | 株式会社 NTT ドコモ | ドローンの広域運航を支えるモバイル通信 | 電子情報通信学会 MWE2018 (microwave workshop & exhibition 2018) | 2018年11月 |
| 23 | 単 麟 | NICT | Field Tests on 'Drone Mapper' Location Information and Remote ID Sharing Network in the 920MHz Band for Drones | Wireless Personal Multimedia Communication Symposium (WPMC) 2018 | 2018年11月 |
| 24 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | ”ぶつからないドローン”を目指して！ ～無人航空機の衝突回避技術の開発～ | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2018 NEDO セッション講演 | 2018年11月 |
| 25 | 塚田 大 | 株式会社自律制御システム研究所 | 無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティングシステムにおける風速推定手法の開発 | 第56回飛行機シンポジウム | 2018年11月 |
| 26 | 深田 雅之 | 株式会社ゼンリン | 「空の道」ドローンの安全な飛行を支援！～ドローン向け空間情報基盤の開発～ | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2018 NEDO セッション講演 | 2018年11月 |
| 27 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローン運航管理システムの開発動向 -ドローン物流や空飛ぶクルマの実現に向けて- | 空飛ぶクルマ・シンポジウム(国際航空宇宙展2018) | 2018年11月 |
| 28 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローン産業の未来を切り拓く！JAXAの挑戦 ～無人航空機運航管理システムの研究開発動向～ | 大阪商工会議所 ドローンビジネス研究会 例会 | 2018年12月 |
| 29 | 原田 賢哉 | JAXA | 「空の産業革命」の実現に向けた官民・国内外の取り組み | 電気通信協会 フォーラム | 2018年12月 |

| | | | | | |
|----|---------------|---|--|---|----------|
| 30 | 原田 賢哉 | JAXA | 無人機の安全性向上へ向けた最新技術と将来 -無人航空機運航管理システムの研究開発動向 | 第1回静岡県無人機安全協会フォーラム | 2018年12月 |
| 31 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | 無人航空機の衝突回避システムの開発 | 精密工学会 画像応用技術専門委員会 2018年度第5回定例研究会 | 2019年1月 |
| 32 | Florence Ho、他 | NII | Improved Conflict Detection and Resolution for Service UAVs in Shared Airspace | IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY | 2019年2月 |
| 33 | - | 日本電気株式会社、株式会社日立製作所、株式会社 NTT データ、株式会社 NTT ドコモ、楽天 | 福島ロボットテストフィールドにおける実証試験 | 第1回 UTM シンポジウム | 2019年3月 |
| 34 | 藤田 将史 | 株式会社日立製作 | 「運航管理機能の開発（物流及び災害対応等）」／「複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発」について | Japan Drone 2019 DRESS プロジェクトフォーラム | 2019年3月 |
| 35 | 三浦 龍 | NICT | 小型無人機の電波利用技術に関する動向と NICT の取組み | Japan Drone 2019 特別セミナー | 2019年3月 |
| 36 | 加川 敏規 | NICT | 見通し外ドローン制御を可能とする 169MHz 帯の伝搬特性評価 | 2019年電子情報通信学会総合大会 | 2019年3月 |
| 37 | 三浦 龍 | NICT | 災害現場でのドローンの活動範囲を広げるための無線通信技術（本成果を一部含む） | 耐災害 ICT 研究シンポジウム（講演） | 2019年3月 |
| 38 | 山根 章弘 | 株式会社 SUBARU | 準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現（DRESS）プロジェクトフォーラム | 2019年3月 |
| 39 | 森 康彰 | 日本気象協会 | 「ドローン向け気象情報提供機能の研究開発」 | JapanDrone2019 NEDO DRESS プロジェクトフォーラム | 2019年3月 |
| 40 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローンの利用拡大～空飛ぶクルマの実現に向けた我が国の取組み | Japan Drone 2019 国際セッション | 2019年3月 |

| | | | | | |
|----|---------------|----------|---|---|---------|
| 41 | 原田 賢哉 | JAXA | 運航管理システムの全体設計に関する研究開発 | DRESS プロジェクトフォーラム (Japan Drone 2019) | 2019年3月 |
| 42 | 原田 賢哉 | JAXA | 運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャ | 第1回 UTM シンポジウム | 2019年3月 |
| 43 | 平木 直哉 | 日本無線株式会社 | 講演タイトル「無人航空機搭載レーダについて」 | シンポジウム「信越情報懇談会電波利用委員会」 | 2019年5月 |
| 44 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローン運航管理システムの開発動向 | ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2019 セミナー | 2019年5月 |
| 45 | Florence Ho、他 | NII | Multi-Agent Path Finding for UAV Traffic Management | International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems | 2019年5月 |
| 46 | 町田 | 日本電気株式会社 | Polynomial-Time Multi-Agent Pathfinding with Heterogeneous and Self-Interested Agents | International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems 2019 | 2019年5月 |
| 47 | 町田 | 日本電気株式会社 | マルチエージェント経路計画のためのエージェントグループ化を伴う正直申告メカニズム | 2019年度人工知能学会全国大会 | 2019年6月 |
| 48 | 森 康彰 | 日本気象協会 | 『「ドローン向け気象情報」- 未来社会の安全性実現に向けて-』 | ロケーションビジネスジャパン 2019 | 2019年6月 |
| 49 | 原田 賢哉 | JAXA | UTM/運航管理システムの研究開発動向 | JUAV 産業用無人航空機の現状と利に関する研究会 | 2019年6月 |
| 50 | 大瀬戸 篤司、他 | JAXA | 無人航空機運航管理システムに共有された運航情報を用いた多数の無人機の衝突回避経路の生成 | 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2019 in Hiroshima | 2019年6月 |
| 51 | 久保 大輔 | JAXA | Lessons Learned through UAS/UTM R&D in Japan | Global UTM Association Annual Conference 2019 | 2019年6月 |
| 52 | 原田 賢哉 | JAXA | ドローン運航管理システムの運用コンセプト | 第2回 UTM シンポジウム | 2019年9月 |
| 53 | 久保 大輔 他 | JAXA | 無人航空機の運航管理システム (UTM) の技術動向と将来課題 | 日本ロボット学会 第37回学術講演会 | 2019年9月 |

② - (2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会・シンポジウム名称 | 発表年月 |
|----|-------|-------------|--|---|----------|
| 1 | 平木 直哉 | 日本無線株式会社 | 講演タイトル「電波・光波センサ統合技術の開発」 | Japan Drone 2018 | 2018年3月 |
| 2 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | ”ぶつからないドローン”を目指して！～無人航空機の衝突回避技術の開発～ | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018 NEDO セッション講演 | 2018年11月 |
| 3 | 阪口 晃敏 | 株式会社 SUBARU | 無人航空機の衝突回避システムの開発 | 精密工学会 画像応用技術専門委員会 2018年度第5回定例研究会 | 2019年1月 |
| 4 | 山根 章弘 | 株式会社 SUBARU | 準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現 (DRESS) プロジェクトフォーラム | 2019年3月 |
| 5 | 平木 直哉 | 日本無線株式会社 | 講演タイトル「電波・光波センサ統合技術の開発」 | Japan Drone 2019 | 2019年3月 |
| 6 | 平木 直哉 | 日本無線株式会社 | 講演タイトル「無人航空機搭載レーダについて」 | シンポジウム「信越情報懇談会電波利用委員会」 | 2019年5月 |

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

③ - (1) デジュール・スタンダード

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会・シンポジウム名称 | 発表年月 |
|----|-----|----|------|-------------|------|
|----|-----|----|------|-------------|------|

なし

2.2. 展示会出展リスト

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

① - (1) 性能評価基準等の開発

| 番号 | 所属 | 展示物 | 展示会名称 | 発表年月 |
|----|-----------|---------------------|----------------------------|----------|
| 1 | 三菱重工業株式会社 | 防爆移動ロボット展示 | 南相馬シンポジウム出展 | 2017年10月 |
| 2 | 三菱重工業株式会社 | 防爆移動ロボット展示 | JOGMEC テクノフォーラム出展 | 2017年11月 |
| 3 | 三菱重工業株式会社 | 防爆移動ロボット展示 | 国際ロボット展出展 | 2017年11月 |
| 4 | 三菱重工業株式会社 | 防爆移動ロボット展示 | World Robot Summit 2018 出展 | 2018年10月 |
| 5 | 三菱重工業株式会社 | 防爆移動ロボットのデモンストレーション | JOGMEC テクノフォーラム出展 | 2018年11月 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|----------|----------------|---------|
| 6 | 産総研、東大、安衛研、ACSL、 EAMS、PRODRONE | 事業成果物の紹介 | JapanDrone2019 | 2019年3月 |
|---|-----------------------------------|----------|----------------|---------|

① - (2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発

| 番号 | 所属 | 展示物 | 展示会名称 | 発表年月 |
|----|-----------|--|--------------------------|---------|
| 1 | 株式会社エンルート | 特殊環境下における連続稼働可能など機体の実現 300°C耐火ドローン 「QC730FP」 | JapanDrone2019 の展示・セッション | 2019年3月 |
| 2 | 株式会社エンルート | 特殊環境下における連続稼働可能など機体の実現 300°C耐火ドローン 「QC730FP」 | 国際ドローン展 2019 の展示 | 2019年4月 |

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

② - (1) 無人航空機の運航管理システムの開発

| 番号 | 所属 | 展示物 | 展示会名称 | 発表年月 |
|----|----------------------|---|--|----------|
| 1 | KDDI 株式会社、テラドローン株式会社 | 「DRESS プロジェクトフォーラムドローンの社会実装加速のための研究開発～ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト～」 | Japan Drone2018 | 2018年3月 |
| 2 | 日本気象協会 | パネル展示、ドローン機体展示（イームズロボティクスブース内） | Japan Drone2018：パネル展示、ドローン機体展示（イームズロボティクスブース内） | 2018年3月 |
| 3 | JAXA | ポスター展示 | FY30 JAXA 調布航空宇宙センター 一般公開 | 2018年4月 |
| 4 | JAXA | ポスター展示 | JAXA 航空宇宙シンポジウム 2018 | 2018年10月 |
| 5 | 日本気象協会、株式会社ゼンリン | パネル展示（NEDO ブース内） | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018：展示（NEDO ブース内） | 2018年11月 |
| 6 | JAXA | ポスター展示 | ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018 | 2018年11月 |
| 7 | 日本気象協会 | パネル展示（NEDO ブース内） | Japan Drone2019：パネル展示（NEDO ブース内） | 2019年3月 |

| | | | | |
|----|------|--------------------------|------------------------------|---------|
| 8 | JAXA | ポスター及び 運航管理シミュレータ展示 | Japan Drone 2019 | 2019年3月 |
| 9 | JAXA | ポスター展示 | FY31 JAXA 調布航空宇宙センター 一般公開 | 2019年4月 |
| 10 | JAXA | ポスター展示及び 運航管理シミュレータ展示 | JAXA 航空宇宙シンポジウム 2019 | 2019年9月 |

② - (2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

| 番号 | 所属 | 展示物 | 展示会名称 | 発表年月 |
|----|-----------------------|--|-----------------------------|---------|
| 1 | 株式会社 SUBARU | 準天頂衛星システムを利用 した無人航空機の自律的ダイ ナミック・リルーティン グ技術の開発 | Japan Drone 2018 | 2018年3月 |
| 2 | マゼランシステムズジャパ ン株式会社 | 正確な位置情報を共有する ための準天頂衛星対応受信 機の研究開発 | Japan Drone 2018 | 2018年3月 |
| 3 | マゼランシステムズジャパ ン株式会社 | 自動運転を支える高精度測 位 | イノベーション・ジャパン 2018 | 2018年8月 |
| 4 | マゼランシステムズジャパ ン株式会社 | ・準天頂衛星対応多周波マ ルチ GNSS 受信機 ・多周波対応アンテナ | Location Business Japan2019 | 2019年6月 |

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

③ - (1) デジュール・スタンダード

なし

2.3. 学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

NEDO による学科誌・雑誌等投稿

| 番号 | 記事名 | 雑誌名称 | 発表年月 |
|----|--|------------------------|------------------|
| 1 | 【ドローン活用最前線】「空からの物流革命」 実現に向け、山積する課題に取り組む | 株式会社 MM 総研によるレポート | 2018年5月 |
| 2 | DRESS プロジェクトの成果と課題について | 日本機械学会誌 | 2018年11月 |
| 3 | ロボットの性能評価手法に関する研究開発と 環境整備 | 雑誌「金属」 | 2019年7月 、8月 |
| 4 | ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社 会の実現プロジェクト | 国際交通安全学会誌 IATSS Review | 2019年10月 発刊予定 |

研究開発項目①「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

① - (1) 性能評価基準等の開発

| 番号 | 所属 | 記事名 | 新聞・雑誌等名称 | 発表年月 |
|----|-----------|--|-----------|----------|
| 1 | 三菱重工業株式会社 | プラント自動巡回点検する防爆移動ロボット<引火性ガス雰囲気内で無線移動可能な防爆モビリティの開発と応用> | 専門誌「配管技術」 | 2018年11月 |
| 2 | 三菱重工業株式会社 | 引火性ガス雰囲気内で無線移動可能な防爆ロボット（石油ガスプラントを自動巡回点検するロボットの開発） | 専門誌「検査技術」 | 2019年4月 |

① - (2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発

| 番号 | 所属 | 記事名 | 新聞・雑誌等名称 | 発表年月 |
|----|----|-----|----------|------|
| なし | | | | |

研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

② - (1) 無人航空機の運航管理システムの開発

| 番号 | 所属 | 記事名 | 雑誌等名称 | 発表年月 |
|----|-----------|--|---|---------|
| 1 | 日本電気株式会社 | 東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会に向けた取り組みについて | 月刊パテント（日本弁理士会） －特集（東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会）－ | 2018年1月 |
| 2 | 日本電気株式会社 | 東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会に向けた取り組みについて | 月刊パテント（日本弁理士会） －特集（東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会）－ | 2018年1月 |
| 3 | 日本電気株式会社 | 4章ドローンの管制システム／運行管理システム構築に向けて | 「ロボコンマガジン」 2018年2月別冊（株式会社 オーム社） －ドローンの産業活用のすべて－ | 2018年2月 |
| 4 | 株式会社日立製作所 | まちづくりに貢献する日立ドローンプラットフォーム | 「日立評論」「Hitachi Review」2018年No.2号 | 2018年3月 |
| 5 | 日本気象協会 | ドローン専用天気予報 | 日本経済新聞 | 2018年4月 |

| | | | | |
|----|---|--|--------------------------|----------|
| 6 | NICT | 途切れにくい無線技術による小型無人機の飛行に向けて～ 920MHz 帯と 169MHz 帯の活用 ～ | 電波技術協会報 FORN, No. 323 | 2018年7月 |
| 7 | 株式会社 NTT ドコモ | 特集 空の産業革命－「飛行ロボット」としての次世代ドローン・ドローンの広域運航を支えるモバイル通信 | 日本機械学会誌 第121巻 第1200号 | 2018年11月 |
| 8 | 日本電気株式会社、株式会社日立製作所、株式会社 NTT データ、株式会社 NTT ドコモ、楽天 | 同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムの実証 | 同一空域複数事業者飛行試験 プレスリリース | 2019年3月 |
| 9 | 株式会社 NTT ドコモ | オールジャパンで取り組む NEDO「DRESS プロジェクト」ドローン「目視外飛行」の早期実現へ | 月刊テレコミュニケーション 2019年5月号 | 2019年4月 |
| 10 | 日本気象協会 | 特集 安全対策 さらば運用リスク PART.3 気象編 | ドローン.biz | 2019年8月 |

② - (2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

| 番号 | 所属 | 記事名 | 新聞・雑誌等名称 | 発表年月 |
|----|----|-----|----------|------|
|----|----|-----|----------|------|

なし

研究開発項目③「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

③ - (1) デジュール・スタンダード

| 番号 | 所属 | 記事名 | 新聞・雑誌等名称 | 発表年月 |
|----|----------------------|--|-------------------|---------|
| 1 | PwC コンサルティング 合同会社 | DRESS プロジェクトブース内取材 | NHK News | 2019年3月 |
| 2 | PwC コンサルティング 合同会社 | NEDO・NEC・NTT データ・日立・ゼンリン・日本気象協会など、ドローン事業者向け運航管理システムの API 仕様書公開 | 日本経済新聞社 | 2019年6月 |
| 3 | PwC コンサルティング 合同会社 | Fukushima drone test-bed researchers issue API-based UTM specification request | Unmanned Airspace | 2019年6月 |
| 4 | PwC コンサルティング 合同会社 | 「福島ロボットテストフィールド」ドローン運航管理システム API 公開 | エキサイトニュース | 2019年6月 |

NEDO によるニュースリリース（NEDO ホームページ掲載）

| 番号 | 記事名 | 発表年月 |
|----|---|----------|
| 1 | ロボットやドローンの社会実装を加速させる新たな研究開発に着手 | 2017年5月 |
| 2 | ドローン向け気象情報提供とドローンによる気象観測の実証試験を南相馬市で実施へ | 2017年10月 |
| 3 | NEDO と福島県がロボット・ドローンの実証に関する協力協定を締結 | 2017年11月 |
| 4 | 衛星通信を利用した高高度無人航空機の飛行・通信実験を福島県で実施 | 2017年12月 |
| 5 | 日本初、同一空域で有人ヘリコプターと無人航空機の安全性能試験を福島県で実施 | 2017年12月 |
| 6 | 橋梁点検に用いる無人航空機の性能評価基準策定に向けた飛行試験を実施 | 2018年1月 |
| 7 | 「物流・インフラ点検・災害対応ロボットシンポジウム in 福島」を開催へ | 2018年1月 |
| 8 | ダム・河川の水中心点検ロボットの性能評価基準策定に向けた試験を実施 | 2018年1月 |
| 9 | 災害現場で用いる陸上移動ロボットの性能評価基準策定に向けた試験を実施 | 2018年2月 |
| 10 | 世界初、4G LTE で自律飛行する複数ドローンを活用した広域警備に成功 | 2018年3月 |
| 11 | 世界初、ドローンと有人ヘリの機体間で位置情報共有のための通信実験を実施 | 2018年3月 |
| 12 | Japan Drone 2018 で「DRESS プロジェクトフォーラム」を開催へ | 2018年3月 |
| 13 | 無人航空機の新たな安全評価基準の開発に着手 | 2018年5月 |
| 14 | インフラ点検や災害対応に活用する「ロボット性能評価手順書」を公表 | 2018年5月 |
| 15 | 福島ロボットテストフィールドが一部開所 | 2018年7月 |
| 16 | 世界初、無人航空機に搭載した衝突回避システムの探知性能試験を実施 | 2018年12月 |
| 17 | 同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムを実証 | 2019年3月 |
| 18 | 世界初、火災現場への進入と近距離空撮が可能な 300℃耐火型ドローンを開発 | 2019年3月 |
| 19 | NEDO と南相馬市がロボット関連人材育成などに関する協力協定を締結 | 2019年4月 |
| 20 | 準天頂衛星システム「みちびき」を活用したドローン実証実験を実施 | 2019年5月 |
| 21 | 衛星ドローンによる山岳遭難者救助活動の実証実験に成功 | 2019年5月 |
| 22 | 無人航空機の遠隔からの機体識別技術などの研究開発に着手 | 2019年6月 |
| 23 | 同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システムの API 仕様書を公開 | 2019年6月 |
| 24 | 世界初、相対速度 100km/h での無人航空機の衝突回避試験を実施 | 2019年7月 |

新聞記事掲載件数（※新聞については年度ごとの件数のみ記載する）

2017年度（計 69件）

| | |
|--------------|-----|
| 朝日新聞 | 1件 |
| 化学工業日報 | 7件 |
| 建設通信新聞 | 9件 |
| 交通毎日新聞 | 1件 |
| 山口新聞 | 1件 |
| 産経新聞 | 1件 |
| 電気新聞 | 5件 |
| 電波新聞 | 2件 |
| 日刊建設産業新聞 | 9件 |
| 日刊建設工業新聞 | 4件 |
| 日刊工業新聞 | 10件 |
| 日経産業新聞 | 1件 |
| 日本経済新聞 | 1件 |
| 日本証券新聞 | 1件 |
| 福島民報 | 12件 |
| フジサンケイビジネスアイ | 3件 |
| 毎日新聞 | 1件 |

2018年度（計 54件）

| | |
|--------------|-----|
| 朝日新聞 | 1件 |
| 化学工業日報 | 3件 |
| 河北新報 | 3件 |
| 北日本新聞 | 1件 |
| 建設通信新聞 | 3件 |
| 山陰中央新報 | 1件 |
| 産経新聞 | 1件 |
| 電気新聞 | 5件 |
| 電波新聞 | 5件 |
| 日刊建設産業新聞 | 2件 |
| 日刊建設工業新聞 | 1件 |
| 日刊工業新聞 | 10件 |
| 日経産業新聞 | 3件 |
| 日本経済新聞 | 3件 |
| 日本証券新聞 | 1件 |
| 福島民報 | 6件 |
| 福島民友 | 3件 |
| フジサンケイビジネスアイ | 1件 |
| 読売新聞 | 1件 |

2019年度（計 47件）

| | |
|----------------|----|
| 朝日新聞 | 1件 |
| 化学工業日報 | 8件 |
| 河北新報 | 2件 |
| 建設通信新聞 | 1件 |
| 交通毎日新聞 | 1件 |
| 下野新聞 | 1件 |
| The Japan News | 1件 |
| 電気新聞 | 4件 |
| 電波新聞 | 6件 |
| 日刊建設産業新聞 | 2件 |
| 日刊工業新聞 | 6件 |
| 日経産業新聞 | 4件 |
| 日本経済新聞 | 2件 |
| 福島民報 | 3件 |
| 福島民友 | 3件 |
| 読売新聞 | 2件 |

2.4. 「③ - (2) デファクト・スタンダード」について

2.4.1. 主な報道一覧

| 項目 | 内容 | 日時 | | |
|---|------------------------|-----------------|-------------------|------------|
| TV/ 海外TV 【計26番組】 | 情報ライブ ミヤネ屋 NTV | 2018年 10月17日 | | |
| | ひるおび TBS | | | |
| | ゴゴスマ〜GOGO!Smile!〜 TBS | | | |
| | ワイド!スクランブル 第1部 EX | | | |
| | ニュースチェック11 NHK | | | |
| | 「Nスタ」 TBS | | | |
| | 「NEWS23」 TBS | | | |
| | 「スーパーJチャンネル」 EX | | | |
| | 報道ステーション EX | | | |
| | ゆうがたサテライト TX | | | |
| | 「ワールドビジネスサテライト」 TX | 10月18日 | | |
| | 「ちんぷいぷい」 MBS | | | |
| | NHKニュースおはよう日本 NHK | | | |
| | 「Oh!4NEWSLIVE」 NTV | | | |
| | あさチャン TBS | | | |
| | 「ピピット」 TBS | | | |
| | 「グッド!モーニング」 EX | | | |
| | 「Newsモーニングサテライト」 TX | | | |
| | 「おはようコールABC」 ABC | | | |
| | 「ニュース」 ドイツ公共放送連盟 (ARD) | | | |
| 「とくダネ」 CX | 10月19日 | | | |
| 「news every.」 NTV | | | | |
| 「newsroom tokyo」 newsroom tokyo | 10月20日 | | | |
| 「チャンネル1 ニュース (14:00)」 イラン・イスラム共和国放送 (IRIB) | | | | |
| 「CBS THIS MORNING」 CBS | 10月22日 | | | |
| 「newsline」 NHK-WORLD | 10月22日 | | | |
| 新聞 【計86紙】 | 朝日小学生新聞 | 会期前後 含む | | |
| | 朝日新聞 | | | |
| | 朝日中高生新聞 | | | |
| | 伊勢新聞 | | | |
| | 茨城新聞 | | | |
| | 若手日報 | | | |
| | 大阪日日新聞 | | | |
| | 科学新聞 | | | |
| | 神奈川新聞 | | | |
| | 北日本新聞 | | | |
| | 岐阜新聞 | | | |
| | 京都新聞 | | | |
| | 建通新聞東京 | | | |
| | 高知新聞 | | | |
| | 神戸新聞 | | | |
| | 公明新聞 | | | |
| | 佐賀新聞 | | | |
| | 山陽新聞 | | | |
| | 四国新聞 | | | |
| | 静岡新聞 | | | |
| | 下野新聞 | | | |
| | 上毛新聞 | | | |
| | 千葉日報 | | | |
| | 中日新聞 | | | |
| | 電波新聞 | | | |
| | 電波タイムズ | | | |
| | 東京新聞 | | | |
| | 徳島新聞 | | | |
| | 長崎新聞 | | | |
| | 奈良新聞 | | | |
| | 新潟日報 | | | |
| | 西日本新聞 | | | |
| | 日刊建設工業新聞 | | | |
| | 日刊建設産業新聞 | | | |
| | 日刊工業新聞社 | | | |
| | 日経産業新聞 | | | |
| | 日本海新聞 | | | |
| | 日本経済新聞 | | | |
| | 日本物流新聞 | | | |
| | 東奥日報 | | | |
| | 福井新聞 | | | |
| | 福島民報 | | | |
| | フジサンケイビジネスアイ | | | |
| | 北陸中日新聞 | | | |
| | 北國新聞 | | | |
| | 毎日新聞 | | | |
| | 宮崎日日新聞 | | | |
| | 空蘭民報 | | | |
| | 業事日報 | | | |
| | 山形新聞 | | | |
| | 山口新聞 | | | |
| | 山梨日日新聞 | | | |
| | 読売新聞 | | | |
| | 琉球新報 | | | |
| | 他 | | | |
| | Web 【計429件】 | | @S [アットエス] | 会期前後 含む |
| | | | @T COM (アットティーコム) | |
| 47NEWS (よんななニュース) | | | | |
| AGARA 紀伊民報 | | | | |
| Ameba News (アメーバニュース) | | | | |
| Amp | | | | |
| BIGLOBE ニュース | | | | |
| CLUB Panasonic | | | | |

| 項目 | 内容 | 日時 | |
|----------------------------|--|----------------------|------------|
| Web 【計429件】 | dメニューニュース | 会期前後 含む | |
| | E START | | |
| | eo ニュース | | |
| | Felia! (フェリア) | | |
| | FM NACK5 79.5MHz (エフエムナックファイブ) | | |
| | goo ニュース | | |
| | GREE ニュース | | |
| | HUFFPOST (ハフポスト) | | |
| | Infoseek ニュース | | |
| | ITmedia | | |
| | IWATE NIPPO (岩手日報) | | |
| | iza (イザ) | | |
| | LINE NEWS (ラインニュース) | | |
| | livedoor ニュース | | |
| | LNEWS | | |
| | mixi ニュース | | |
| | MONOist (モノイスト) | | |
| | msn エンタメ | | |
| | msn ニュース | | |
| | NewsCafe | | |
| | NewsPicks | | |
| | NewsWalker (ニュースウォーカー) | | |
| | NHK NEWS WEB | | |
| | OKWAVE Guide | | |
| | ORICON NEWS | | |
| | OVO [オーヴォ] | | |
| | SankeiBiz (サンケイビズ) | | |
| | So-net ニュース | | |
| | TV LIFE | | |
| | Web 東奥 | | |
| | Yahoo! ニュース | | |
| | ウーマンエキサイト | | |
| | エキサイトニュース | | |
| | オリコンミュージックストア | | |
| | カナロコ | | |
| | グプシー | | |
| | ザテレビジョン | | |
| | 産経ニュース | | |
| | テリースポーツニュース online | | |
| | デーリー東北 | | |
| | テレ朝 news | | |
| | テレ朝 POST | | |
| ニコニコニュース | | | |
| ニフティニュース (@nifty ニュース) | | | |
| ニュースイッチ Newswitch | | | |
| ビジネス+IT | | | |
| フリキャンニュース | | | |
| マイナビニュース | | | |
| マビオンニュース | | | |
| メーテレ (メーテレ) | | | |
| めるも | | | |
| ロボスタ | | | |
| 楽天 WOMAN | | | |
| 共同通信 47NEWS | | | |
| 産経フォト | | | |
| 他 | | | |
| 海外WEB 【計176件】 | Media Statements - Queensland Government | Australia | 会期前後 含む |
| | Bdnews24.com | Bangladesh | |
| | Belga Image | Belgium | |
| | News - MSN CA | Canada | |
| | ChinaDaily.com.cn | China | |
| | EBL News | Croatia | |
| | Vastuullisuusutiset.fi | Finland | |
| | Euronews | France | |
| | The Economic Times | India | |
| | The Jakarta Post | Indonesia | |
| | MSN Ireland | Ireland | |
| | The Middle East North Africa Financial Network | Jordan | |
| | Arab Times | Kuwait | |
| | The Sun Daily | Malaysia | |
| | XYZ News - Nigeria | Nigeria | |
| | Oman Observer | Oman | |
| | Business Recorder | Pakistan | |
| | ABS-CBN News | Philippines | |
| | Gulf Times | Qatar | |
| | Business Review | Romania | |
| | Newstube.ru | Russia | |
| | Arab News | Saudi Arabia | |
| | The Straits Times | Singapore | |
| | South Coast Herald | South Africa | |
| | Agencia Soyndie | Spain | |
| | MyScience.org - Careers and Science | Switzerland | |
| | The Nation | Thailand | |
| | Daily Sabah | Turkey | |
| | NewsHub | Ukraine | |
| | Khaleej Times | United Arab Emirates | |
| Robotics & Automation News | United Kingdom | | |
| CBS News | United States | | |
| 他 | | | |

2.4.2. プレス来場者リスト (計 195 社)

Abaca Press
 AFP通信社
 agefotostock
 ANADOLU AGENCY
 ARD ドイツテレビ東京支局
 BS テレ東
 CQ出版
 econ NEWS network
 Gichoビジネスコミュニケーションズ
 Glasona International Coporation
 IDG
 IMPRESS WATCH
 IRIBイランテレビ放送局
 ITメディア
 J-ONE
 KADOKAWA
 K-relations
 M&C
 MR工房
 NTTDATA
 Office Yamamoto
 PRT News PRESS
 ROSSIYA SEGODNYA
 Sabeevo
 somethingfun!
 TBSテレビ
 TOKYO MX
 UBMジャパン
 Viibar
 アイティメディア
 朝日小学生新聞社
 朝日新聞出版
 朝日放送テレビ
 アフロ
 アベルザ
 アルジャジーラ
 アルム出版社
 石川テレビ企業
 医療界経済出版
 インプレス
 エアゾール産業新聞社
 エフエム京都
 エプリー
 旺文社
 大塚商会
 オートメーション新聞社
 オーファクトリーエンターテイメント
 オーム社
 オフィス・ストラティン
 オプトロニクス社
 オムロンヘルスケア
 化学工業日報社
 科学新聞
 ガスエネルギー新聞
 環境新聞社
 ガンマ通信
 共同通信社
 クリーンエネルギー調査・研究所
 クリエイティブ・リンク
 ケイオフィス
 経済界
 経済産業新報社
 ゲッティイメージズジャパン
 ゲンダイ
 公益財団法人 日本ドットコム

工業技術新聞社
 工業新報社
 工業通信
 航空新聞社
 講談社
 幸福の科学出版
 公明新聞
 コーティングメディア
 ゴルフダイジェスト社
 在日フランス商工会議所
 産業タイムズ社
 産業通信
 産経新聞
 産報出版
 サンポスト
 シー・ポートセンター
 シーエムシー・リサーチ
 シースリーフィルム
 ジェイバックワールド
 時事通信社
 実業之富山社
 ジャパンタイムズ
 集英社
 潤滑通信社
 小学館
 商工経済新聞社
 商店建築社
 新樹社
 新建新聞社
 新作プレスセンター
 新農業林社
 新農林生
 水産経済新聞社
 水道産業新聞社
 セレクト
 全国共同出版
 全国賃貸住宅新聞社
 全国農業委員会ネットワーク機構
 全国海苔貝類漁業協同連合組合
 創価大学
 総合報道
 素形材通信社
 たわむれ
 中小企業基盤整備機構
 中日社
 中日新聞東京本社
 ディープウェイクスト
 ディップ
 テツアドー出版
 テックウェーブ
 テレビ朝日
 テレビ東京
 テレビユー福島
 電機書院
 電波新聞社
 ドイツ通信社
 東京書籍
 投資経済社
 東洋経済新報社
 塗装出版社
 塗装報知新聞社
 トムソン・ロイター・ジャパン
 トムソン・ロイター・マーケット
 トライセック
 塗料報知新聞社

内外出版
 ナショナルジオグラフィック
 日印協会
 日刊板紙段ボール新聞社
 日刊建設通信新聞社
 日刊工業新聞社
 日刊自動車新聞社
 日経BP社
 日経映像
 日経新聞社
 日テレアックスオン
 日報ビジネス
 日本経済新聞社
 日本原子力産業協会
 日本工業出版
 日本産機新聞社
 日本食糧新聞社
 日本設備工業新聞社
 日本畜産振興会
 日本テレビ放送網
 日本ビル新聞社
 日本物流新聞社
 日本放送協会
 ニュースダイジェスト社
 ニューズピックス
 ネオス
 ねこのひげ
 農経新報社
 パシフィックブリッジメディアコンサルティング
 ピーオーピー
 ビジネスガイド社
 ファスニングジャーナル
 富士ゼロックス
 フジテレビ
 物流機械新聞社
 ブルームバーグ・エル・ピー
 プレントラスト社
 文化放送
 ベリーマン
 北海道建設新聞社
 マイナビ
 マイナビ出版
 毎日映画社
 毎日新聞社
 マガジンボックス
 誠文堂
 みなと山口合同新聞社
 メカニカル・テック
 メディア・ヴァーグ
 メディア・ジャーナル
 メディアナレッジ
 メディアネット インター
 モンルイエージェンシー
 矢口写真事務所
 油業報知新聞社
 横浜エフエム放送
 読売新聞社
 読売テレビ放送
 ライノス・パブリケーションズ
 リフォーム産業新聞社
 リンクトイン
 レーザー・コンシェルジュ
 ロイター・ニュース・アンドメディア・ジャパン
 ロジスティクス・パートナー
 日経サイエンス

2.4.3. 出展リスト

下記展示会、学会等にブースを出展し、World Robot Summit に関する活動を PR した。

2017 年度

| 番号 | 展示会、学会名称 |
|----|-------------------|
| 1 | ロボカップジャパンオープン |
| 2 | ROBOMECH 2017 |
| 3 | 人工知能学会 |
| 4 | ICRA 2017 |
| 5 | ロボカップ世界大会 |
| 6 | 日本ロボット学会 |
| 7 | IROS 2017 |
| 8 | 国際ロボット展 |
| 9 | ロボデックス 2017 |
| 10 | ロボカップジュニアジャパンオープン |
| 11 | Robot on the rise |

2018 年度

| 番号 | 展示会、学会名称 |
|----|---|
| 1 | ロボカップジャパンオープン |
| 2 | ICRA 2018 |
| 3 | スマートファクトリーJapan2018 |
| 4 | 2018 防災産業展 in 東京 |
| 5 | 植物工場・スマートアグリ展 2018／グリーンビルド展 2018 ／バイオマスエキスポ 2018 |
| 6 | ROBOMECH 2018 |
| 7 | 人工知能学会 |
| 8 | サービスロボット開発技術展 |
| 9 | ロボカップ世界大会 |
| 10 | 浜松ロボットフォーラム |
| 11 | 日本ロボット学会 |
| 12 | IROS 2018 |

2019 年度

| 番号 | 展示会、学会名称 |
|----|------------------------|
| 1 | ROBOMECH 2019 |
| 2 | ICRA 2019 |
| 3 | ロボカップ世界大会 |
| 4 | The rise of the robots |
| 5 | Maker Faire Tokyo 2019 |

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」(中間評価)

(2017年度～2021年度予定)

プロジェクトの概要説明

NEDO ロボット・AI部

2019年9月24日

0

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」全体概要

プロジェクト概要

| | | | |
|------|------------------|--------|--------|
| 実施期間 | 2017年～2021年(5年間) | | |
| 事業規模 | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 |
| | 33億円 | 32.2億円 | 36億円 |

■小口輸送の増加や積載率の低下などエネルギー使用の効率化が求められる**物流分野**や、効果的かつ効率的な点検を通じた長寿命化による資源のリデュースが喫緊の課題となる**インフラ点検分野等**において、**無人航空機やロボットの活用による省エネルギー化の実現**が期待されている。

■本プロジェクトでは、物流、インフラ点検、災害対応等の分野で活用できる**無人航空機及びロボットの開発を促進**するとともに、**社会実装するためのシステム構築及び飛行試験**等を実施する。

実施体制(委託先・助成先)現在のべ44組織

- (1)(国研)産業技術総合研究所/東京大学/(独)労働者健康安全機構/株式会社自律制御システム研究所/イームズロボティクス株式会社/プロドローン
(2)株式会社エンルード/株式会社プロドローン
- (1)日本電気株式会社/株式会社エヌ・ティ・ティ・データ/株式会社NTTドコモ/楽天株式会社/株式会社日立製作所/KDDI株式会社/Terra Drone株式会社/株式会社日立製作所/(国研)情報通信研究機構/スカパーJSAT株式会社/株式会社SUBARU/日本無線株式会社/日本アビオニクス株式会社/株式会社自律制御システム研究所/三菱電機株式会社/株式会社ゼンリン/(一財)日本気象協会/(国研)宇宙航空研究開発機構/(国研)海上・港湾・航空技術研究所
(2)日本無線株式会社/株式会社SUBARU/日本アビオニクス株式会社/株式会社自律制御システム研究所/マゼランシステムズジャパン株式会社/三菱電機株式会社
- (1)PwGコンサルティング合同会社
(2)株式会社日刊工業新聞社/(国研)産業技術総合研究所/神戸大学/国際レスキューシステム研究機構/玉川大学

①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発

(1)性能評価基準等の研究開発

各種ロボット(無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等)の**性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定**する。

(2)省エネルギー性能等向上のための研究開発

各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する**高効率エネルギーシステム技術開発**を実施する。

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発

(1)無人航空機の運航管理システムの開発

本プロジェクトにおける**運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能**から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを開発する。

(2)無人航空機の衝突回避技術の開発

無人航空機が地上及び空中の**物件等を検知**し、即時に当該物件等との**衝突を回避**し飛行するための技術を開発する。

③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進

(1)デジュール・スタンダード

標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、国際的に連携しながら検討と開発を進め、本プロジェクトの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。

(2)デファクト・スタンダード

技術開発スピードが速く、デファクトが鍵を握るロボットについては、世界の最新技術動向を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する手法を推進する(**World Robot Summit**)。

1

経済産業省

NEDO ロボット・AI部

理事 今井 淨
部長 弓取 修二

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

PM 宮本 和彦 他4名

- ①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発
 - (1)性能評価基準等の研究開発
 - (2)省エネルギー性能等向上のための研究開発
- ②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
 - (1)無人航空機の運航管理システムの開発
 - (2)無人航空機の衝突回避技術の開発
- ③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進
 - (1)デジュール・スタンダード



PM 和佐田 健二 他4名

- ③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進
 - (2)デファクト・スタンダード



- 本プロジェクトにおいて**福島県**や**南相馬市**と**協力協定**を締結し、**福島ロボットテストフィールド**の活用に向け連携強化
- PMを2名設置し、効率的にプロジェクトをマネジメントする体制を構築



①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発（宮本PM）

- ・福島ロボットテストフィールドへ評価/試験方法・設備スペックをご提案
- ・テストフィールド建設予定地での各種試験の実施（2016～2017年度）

②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発（宮本PM）

- ・福島ロボットテストフィールド等を活用した飛行試験（2018～2019年度）
- ・運航管理システムのAPIなどを公開し、国内外の人材が集う環境を整備

③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進（宮本PM、和佐田PM）

- ・福島ロボットテストフィールド等での飛行試験を通じた国際標準化活動の推進
- ・競技会と展示のコンビネーションを通じて、世界のロボットの叡智を集結させ競演会“World Robot Summit”の成功（2020年度）

プロジェクトの概要説明

【項目①、②、③ (1)】

NEDO ロボット・AI部

PM 宮本和彦

4

I. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

多くの物流無人航空機が都市部で飛行できる社会



出所: 株式会社ゼンリン提供

有人ヘリコプター等と「同一空域」で安全に飛行できる社会



出所: 株式会社SUBARU提供

5

I. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

未来投資会議

成長戦略実行計画案 2019年6月5日閣議決定／24頁

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai28/siryou1.pdf>

===

3. モビリティ

(3)ドローンの有人地帯での目視外飛行

①現状

ドローンについては、無人地帯での目視外飛行が可能になり、荷物配送を実施する事業者も登場したが、地方の配達困難地域での配送、農作物の生育状況の把握、**老朽化するインフラの点検**、高齢化が進む**市街地の広域巡回警備**などを可能とするためには、**有人地帯での目視外飛行を可能とする必要がある**。

有人地帯におけるドローンの活用例としては、

- (a) 陸上輸送が困難な地域での生活物品や医薬品などの配送、
- (b) 散在する農地の作物の生育や害虫・病害の発生を空からまとめて広域的に確認、
- (c) 人の手で確認しにくい街中の橋、建物や道を広域的に点検、
- (d) 高齢化が進む地方の市街地などでの広域巡回警備、などが想定される。

②対応の方向性

飛行禁止区域を除き、飛行ルートの安全性確保を前提として、**有人地帯での目視外飛行の目標時期を2022年度目途**とし、それに向けて、本年度中に制度設計の基本方針を決定するなど、具体的な工程を示す。

===

I. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆技術戦略上の位置付け

出所：「小型無人機に関する関係府省庁連絡会議」（2019年6月21日公表）
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/index.html>

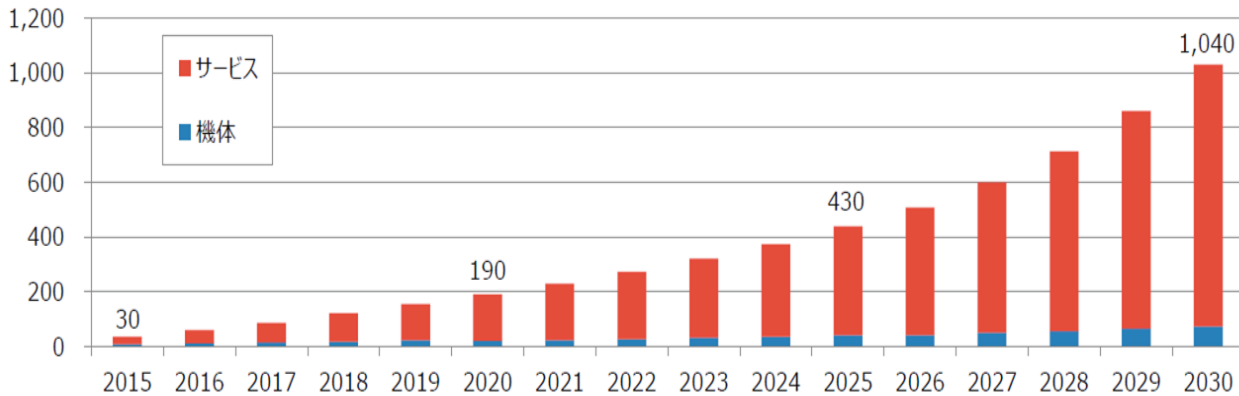


I. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較／国内の市場動向

- ・日本市場は2020年に200億弱、2030年に1000億円超に達する見通し
- ・市場規模の構成は ドローンに関連するサービスが多くを占める
- ・今後 サービスの高度化や拡張が鍵を握る

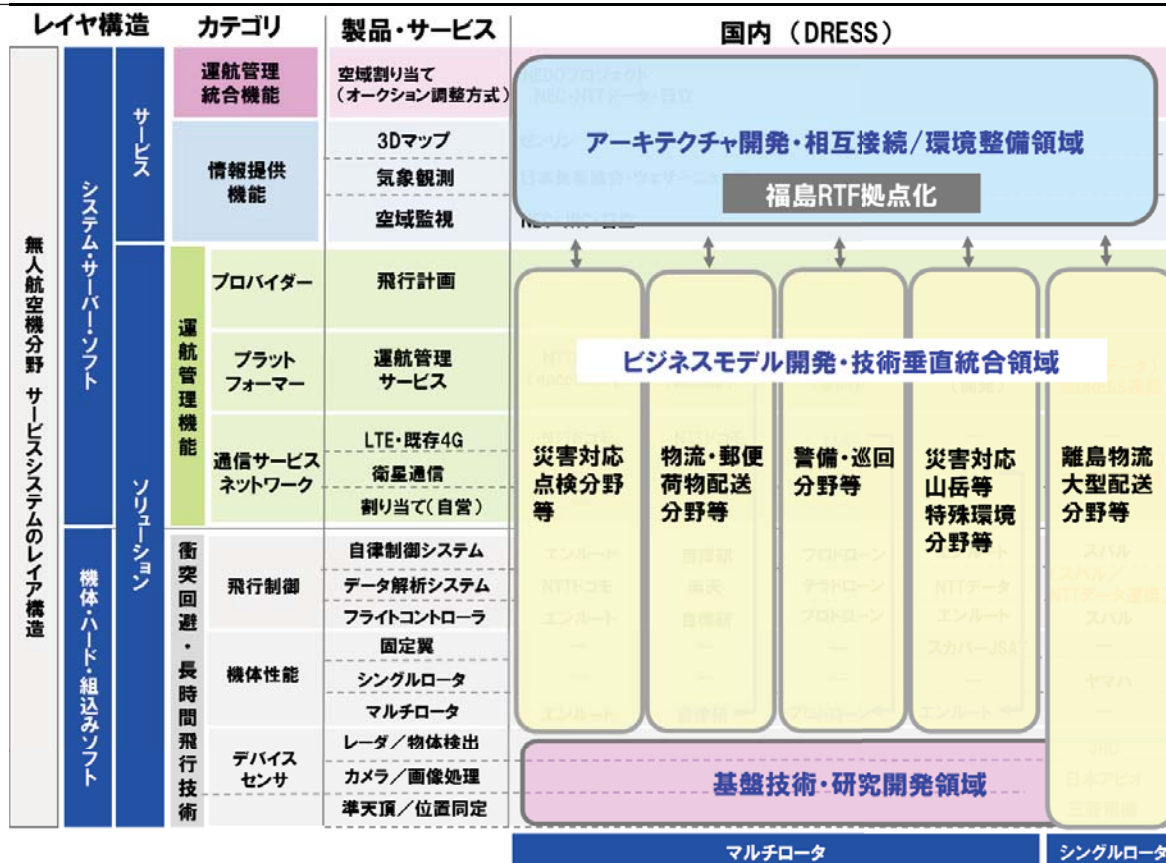
日本のドローン市場規模(億円)



出所：日経BP クリーンテック研究所
<http://cleantech.nikkeibp.co.jp/report/drone201506/pdf/sample0-0-0.pdf>

I. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較／産業構造分析に基づく競合技術の位置づけ



I. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆他事業との関係／ドローンに関する国内外の主要プロジェクトについて

- ・国内外のプロジェクトにおいては、利活用の推進か、特化した研究開発プロジェクトを実施
- ・一方で、本プロジェクトは、利活用の創出を見据えつつ機体性能基準、運航管理、衝突回避、国際標準化まで統合的な研究開発を実施

| | 組織・プロジェクト名 | プロジェクトの目的・概要 |
|----|--|---|
| 海外 | アメリカ航空宇宙局(NASA) The Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System Project (17-20年度 (フェーズ2)) | 無人航空機と有人機が安全に運航するための技術的障壁を解消するための研究を実施 (有人機と無人機の衝突回避(固定翼、150m以上)、C2通信技術及びそれらの実証実験) |
| | NASA UTM (2014年-2019年) | 運航管理システム、無人機同士の衝突回避技術、機体ID管理、通信技術、サイバーセキュリティ、ジオフェンシング等に関する研究・開発 |
| | SESAR Joint Undertaking (欧州委員会と欧州航空航法安全機構が設立) U-Space (2017年-期間未定) | 無人航空機と有人機が安全に運航できる環境を整備するための技術開発を実施 CORUS: U-Spaceのオペレーションコンセプトを確立し、実現に必要な技術開発を特定 Perceps: 地上と空中の協調的および非協調的な障害物の検出に関し、ドローンの自動化レベルを高めるためのセンサー・通信・および情報処理機能の開発 TERRA: U-Spaceのコンセプトに沿ったドローン運航のための性能要件を定義し、その要件を満たす地上設備技術の有無を特定 |
| 国内 | 農林水産省 農業分野における補助者なし目視外飛行実証PJ(令和元年度) | 農業用ドローンの普及拡大に向けた官民協会の枠組みを活用し、 農業分野における補助者なし目視外飛行による取組事例を早期に創出し、横展開を図ることにより、農業現場への普及拡大を加速。 |
| | 農林水産省 スマート農業技術の開発・実証プロジェクト(平成30年度) | 省力化・高品質生産等を実現するためのスマート農業の普及・実装。ドローンにおいては、農業散布・営農・生育診断等の事例を創出。 |
| | 国土交通省 CO2排出量削減に資する過疎地域等における無人航空機を使用した配送実用化推進調査 (平成30年度) | 過疎地域等におけるドローン物流モデルの構築を行うもの。 5つの実証地域において、協議会を主体とするドローン物流の検証実験により必要なデータ等を取得。各実証の課題整理・分析を横断的に行い、 ドローン物流の実用化に求められる要件及び過疎地域等におけるCO2排出量削減効果のあるドローン物流の基本モデルの評価・改善を実施。 |
| | NEDO DRESSプロジェクト (平成29年～平成33年度) | 物流、インフラ点検、災害対応等の様々な分野で活用できる無人航空機及びロボットの開発を促進するとともに、社会実装するためのシステム構築及び飛行試験等を実施。具体的には、 機体性能評価基準等の開発、運航管理システムの開発、有人機・無人航空機(150m以下)の衝突回避技術の開発、国際標準化の推進まで一連の研究開発を行い、統合的な飛行試験等を実施。 |

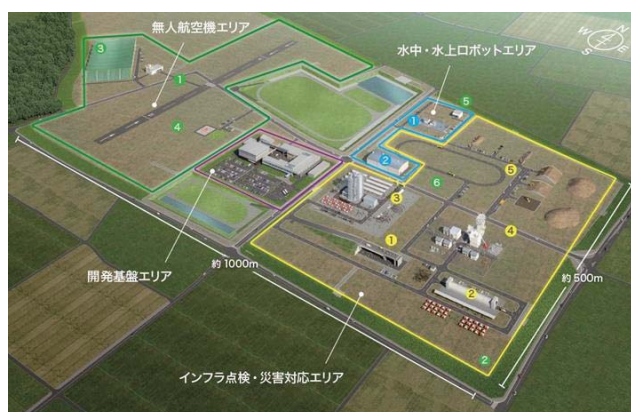
出所：PwC提供 (NEDO DRESSプロジェクトにおける委託業務) 10

I. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆他事業との関係／福島イノベーション・コースト構想(※)への貢献

福島ロボットテストフィールド (南相馬市・浪江町)

- ・建設期間:2016年度～2019年度 (2018年度より順次開所)
- ・南相馬市・復興工業団地内の東西約1000m×南北約500m(約50ha)
- ・浪江町・棚塩産業団地内に長距離飛行試験滑走路(約13km)



出所：福島イノベーションコースト構想推進機構ホームページ
<https://www.fipo.or.jp/robot/overview/>



出所：福島県ホームページ
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/list275-1006.html>

(※)福島イノベーション・コースト構想とは東日本大震災及び原子力災害によって失われた福島県浜通り地域等の産業を回復するため、当該地域の新たな産業基盤の構築を目指す国家プロジェクト(経済産業省、復興庁)

I. 事業の位置付け・必要性 (2) NEDOの事業としての妥当性

◆NEDOが関与する意義

自律制御無人機による長距離荷物配送



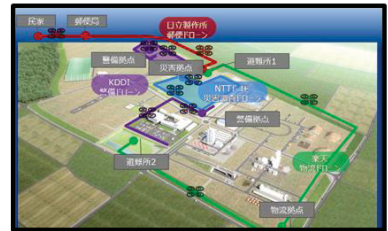
少量荷物を約12km配送(2017.1.12)

有人機と無人機の同一空域飛行



有人機から無人機の視認性を確認(2017.12.15)
衝突回避システムの探知性能を確認(2018.12.14)

同一空域・複数事業者の同時飛行



災害調査、警備、物流、郵便、合計10機のドローンを目視外自律飛行(2019.3.1)

無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発

- ✓ 福島ロボットテストフィールド等を活用した飛行試験
 - 研究開発型ベンチャー含むオールジャパン体制(現在のべ42組織)で、先進的な社会実装を進める。
- ✓ 運航管理システムのAPIなどを公開し、国内外の人材が集う環境を整備
 - 現在参画しているドローン事業者以外の国内外のドローン事業者が活用できる環境づくりを進める。
 - 福島県及び南相馬市と協力協定を締結し、福島ロボットテストフィールドの活用を進める。

I. 事業の位置付け・必要性 (2) NEDOの事業としての妥当性

◆実施の効果／省エネ効果、市場形成

プロジェクトの想定予算規模 (エネルギー特別会計)

| 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 総額 |
|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 33億円 | 32.2億円 | 36億円 | (P)40億円 | (P)40億円 | 約180億円 |

➤ 省エネ効果

将来の物流分野における無人航空機の活用によりCO2排出削減効果が期待

| | 期待されるCO2の削減効果 | 想定 |
|-------|---------------|---|
| 2020年 | 約260トン | ベンチャー企業等による試験的な無人航空機による配送 |
| 2030年 | 約8.6万トン | 多数の事業者の無人航空機による配送業への参入と技術の進展により、24時間配送サービスが実現 |

➤ 市場形成

物流、インフラ点検、災害対応、警備等分野のロボット市場が2030年には約8,000億円と推測される中、日本における早期の市場拡大と日本企業の海外市場への参入により更なる事業拡大に寄与

Ⅱ. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆事業の目標と根拠

研究開発項目①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発

(1)性能評価基準等の研究開発 (2017～2019)

各種ロボット(無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等)の**性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定**する。

(2)省エネルギー性能等向上のための研究開発(2017～2019)

各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する**高効率エネルギーシステム技術開発**を実施する。

研究開発項目②無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発

(1)無人航空機の運航管理システムの開発(2017～2021)

本プロジェクトにおける**運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能**から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを開発する。

(2)無人航空機の衝突回避技術の開発(2017～2019)

無人航空機が地上及び**空中の物件等を検知**し、即時に当該物件等との**衝突を回避**し飛行するための技術を開発する。

研究開発項目③ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進

(1)デジュール・スタンダード(2017～2021)

標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、国際的に連携しながら検討と開発を進め、本プロジェクトの成果を**国際標準化に繋げるための活動**を実施する。

Ⅱ. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

| 研究開発項目 | | 研究開発フェーズ | | | 実用化促進フェーズ | | |
|--|----------------------------|------------------------------|--------|------------------|-----------|--------|--|
| | | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 (中間評価) | 2020年度 | 2021年度 | |
| 【研究開発項目①】 ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発 | (1)性能評価基準等の研究開発 <委託> | → | | | | | |
| | (2)省エネルギー性能等向上のための研究開発<助成> | → | | | | | |
| 【研究開発項目②】 無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発 | (1)無人航空機の運航管理システムの開発 | 1)運航管理統合機能の開発<委託> | → | | | | |
| | | 2)運航管理機能の開発(物流及び災害対応等)<委託> | → | | | | |
| | | 3)運航管理機能の開発(離島対応)<委託> | → | | | | |
| | | 4)情報提供機能の開発<助成> | → | | | | |
| | | 5)運航管理システムの全体設計に関する研究開発 <委託> | → | | | | |
| | | 6)遠隔からの機体識別に関する研究開発 <委託> | | | | → | |
| | (2)無人航空機の衝突回避技術の開発 | 1)非協調式SAA <助成> | → | | | | |
| | | 2)協調式SAA <助成> | → | | | | |
| 【研究開発項目③】 ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 | (1)デジュール・スタンダード <委託> | → | | | | | |

Ⅱ. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール／研究開発のステップアップ目標

個別最適化／提案技術のブラッシュアップ(2017年度)

- ① 無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発
- ・ 情報提供機能の整備／空間情報・電波環境測定・気象情報提供
 - ・ 個別運行管理機能の具体化／ビジネスモデルのターゲット設定
 - ・ 情報統合機能の開発／アーキテクチャ設計

全体最適化／プロジェクト内での成果統合化(2018年度)

- ② 情報提供機能／運航管理・統合機能／衝突回避技術の統合化
- ・ 統合型情報提供機能の具現化／ISO/TC20/SC16提案
 - ・ 一部の運航管理機能＋運航管理統合機能の試行的導入
 - ・ フルスペック衝突回避技術を搭載した機体開発

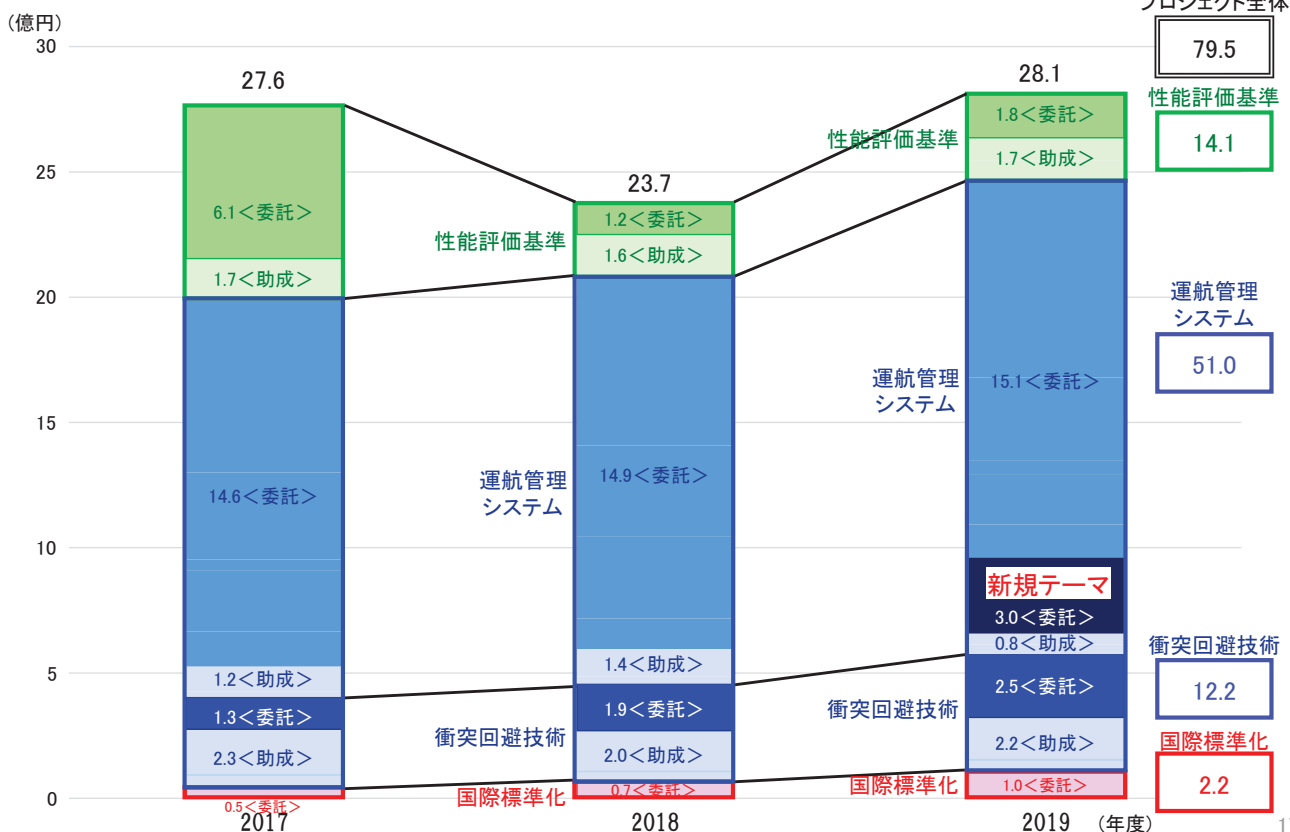
プレ実装／実運用・オープン飛行試験(2019年度)

- ③ 福島ロボットテストフィールドでの飛行試験・接続検証
- ・ 運航管理統合機能の福島ロボットテストフィールドでの拠点化
 - ・ プロジェクト内外／海外プレイヤーの運行管理機能との接続飛行試験
 - ・ 飛行試験フィールドのオープン化／民間事業者との接続飛行試験(～年度末)

16

Ⅱ. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ プロジェクト費用の推移



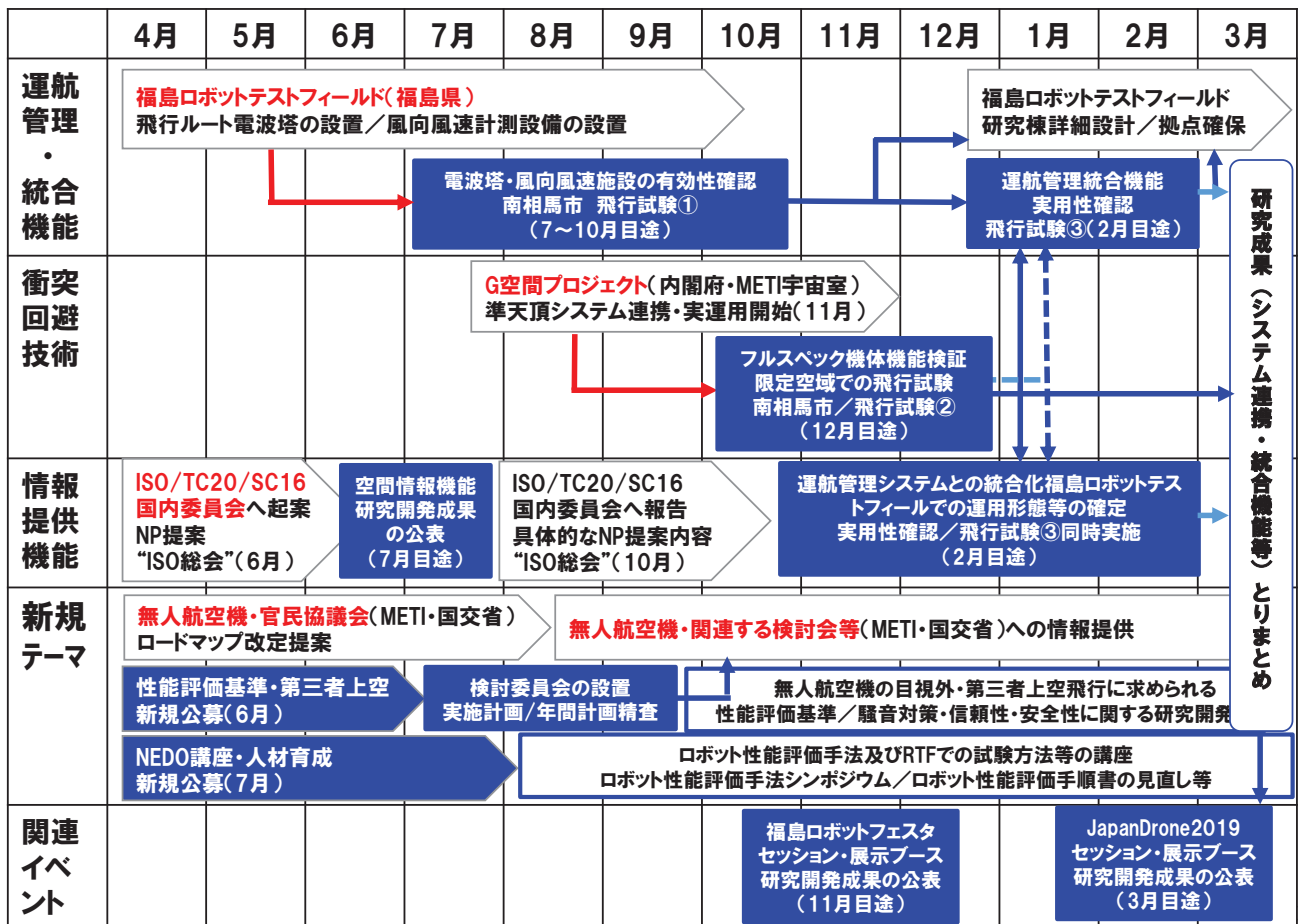
Ⅱ. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

| ◆ 第三者有識者(技術委員会)によるテーマ別年度評価と予算推移 | | 上段: 査定率 下段: 技術委員会評価(前年度) | | |
|---------------------------------|---|-----------------------------|-----------|-----------|
| 研究開発項目 | | 2017 | 2018 | 2019 |
| ① ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発 | 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準 <委託> 産総研、労安研、東京大学、イームズロボティクス、自律研、プロドローン | — | 新規 | 1.48 B |
| | 特殊環境下(火災)における連続稼働 <助成> エンルート | 新規 | 1.00 A | 1.00 S |
| | 燃料電池ドローン <助成> プロドローン | 新規 | 0.90 B | 1.00 A |
| ② 無人航空機の運航管理システムの開発 | 運航管理統合機能+物流 <委託> 日本電気、NTTデータ、NTTドコモ、楽天、日立 | 新規 | 0.99 B | 1.14 A |
| | 運航管理システム(警備) <委託> KDDI、Tera Drone | 新規 | 0.90 B | 1.02 A |
| | 運航管理システム(災害) <委託> 日立、NICT | 新規 | 0.80 C | 1.51 S |
| | 運航管理システム(衛星/災害) <委託> スカパーJSAT | 新規 | 1.00 A | 1.02 B |
| | 運航管理システム全体設計 <委託> JAXA | 新規 | 0.84 C | 1.02 A |
| | 運航管理システム(機体識別) <委託> 日本電気、日立、NTTデータ、NTTドコモ、KDDI、Tera Drone、NICT、MPAT、JAXA | — | — | 新規 |
| | 空間情報基盤 <助成> ゼンリン | 新規 | 1.22 A | 1.17 S |
| | 気象情報提供機能 <助成> 日本気象協会 | 新規 | 1.42 A | 1.52 A |
| ② 無人航空機の衝突回避技術の開発 | 運航管理システム(離島) <委託> SUBARU、日本無線、日本アビオニクス、自律研、三菱電機 | 新規 | 1.19 B | 1.21 B |
| | 電波・光波センサ統合技術 <助成> 日本無線、SUBARU、日本アビオニクス、自律研 | 新規 | 0.90 B | 1.00 A |
| | 準天頂衛星対応受信機の低消費電力化 <助成> 三菱電機 | 新規 | 0.90 B | 1.00 B |
| | 準天頂衛星対応受信機の位置情報共有 <助成> マゼランシステムジャパン | 新規 | 1.13 B | 1.72 A |
| ③ ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 | デジュール・スタンダード <委託> PwCコンサルティング合同会社 | 新規 | 0.98 C | 1.69 A |

Ⅱ. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制 / 42実施者(2019年度)

| | | | |
|--|---|-----------------------------------|--|
| ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト 技術委員会 委員会 1回/年 | PM ロボット・AI部 宮本主査 N E D O PL JAXA 航空技術部門 研究領域主幹 原田 賢哉氏 | ①-① 性能評価手法等の研究開発 | 【①-(1)-6】 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準 : 産総研・労安研・東京大学・イームズロボティクス(株)・(株)自律研・(株)プロドローン |
| | | ①-② 省エネルギー性能等向上のための研究開発 | 【①-(2)】 特殊環境下(火災)における連続稼働 : (株)エンルート 【①-(2)】 燃料電池ドローン : (株)プロドローン【再】AIST・(株)アツミック |
| | | ②-① 無人航空機の運航管理システムの開発 | 【②-(1)-1)+2】 運航管理統合機能+物流 : (株)日本電気・(株)NTTデータ・(株)NTTドコモ・楽天(株)・(株)日立 【②-(1)-2】 運航管理システム(警備) : KDDI(株)・Terra Drone(株)【再】セコム(株) 【②-(1)-2】 運航管理システム(災害) : (株)日立・NICT 【②-(1)-2】 運航管理システム(衛星/災害) : スカパーJSAT(株)【再】JAXA・NICT・東海大学 【②-(1)-3】 運航管理システム(離島) : (株)SUBARU・日本無線(株)・日本アビオニクス(株)自律制御研・三菱電機(株) 【②-(1)-5】 運航管理システムの全体設計 : JAXA【再】NICT・AIST・NII 【②-(1)-6】 運航管理システム(機体識別) : (株)日本電気・(株)日立・(株)NTTデータ・(株)NTTドコモ・KDDI(株)・Terra Drone(株)・NICT・MPAT・JAXA |
| | | ②-① 無人航空機の運航管理システムの開発 | 【②-(1)-4】 空間情報基盤 : (株)ゼンリン 【②-(1)-4】 気象情報提供機能 : (一財)日本気象協会 |
| | | ②-② 航空機及び無人航空機、無人航空機同士の衝突回避のための開発 | 【②-(2)-1】 電波・光波センサ統合技術 : JRC(株)・(株)SUBARU・日本アビオニクス(株)・(株)自律制御研 【②-(2)-2】 準天頂衛星対応受信機の低消費電力化 : 三菱電機(株) 【②-(2)-2】 準天頂衛星対応受信機の位置情報共有 : マゼランシステムズジャパン(株) |
| | | ③ 国際標準化 | 【③-(1)】 デジュール・スタンダード : PwCコンサルティング合同会社 |



Ⅱ. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 動向・情勢の把握と対応 / “プロジェクト実施者の声” 収集 “情報共有の場” の設定

プロジェクト全体会議の設置 / 1回 / 四半期程度の開催

- ・プロジェクト進捗状況の発表
- ・課題の共有と解決策の検討
- ・プロジェクト推進に伴う情報共有
 - テーマの統合化・福島RTFや関係自治体等の状況
 - 関連する政策動向等の情報共有
 - **実施者共通の課題に対する解決策検討** 等



2018年11月13日(火)
南相馬市からの情報提供



2017年8月3日(木)
G空間情報センターからの
情報提供

Ⅱ. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 開発促進財源投入実績

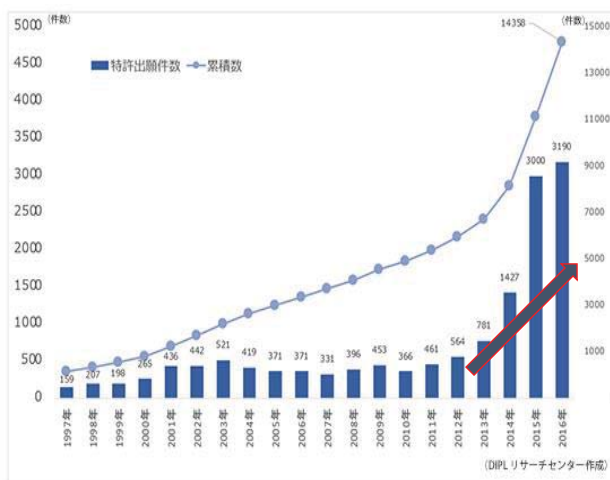
| 件名 | 年度 | 金額 (百万円) | 目的 | 成果 |
|---|--------|-------------|---|--|
| 自律的ダイナミックルーティング技術飛行試験における飛行シナリオのシミュレーションパターン追加 | 2018年度 | 32.8 | 同年12月、福島ロボットテストフィールドで実施した「無人航空機に搭載した複数のセンサシステムと準天頂衛星システムを統合した事前検証を目的とした地上試験」における飛行シナリオのシミュレーションパターン数を追加(312→400パターン程度)することにより、離島物流のための海上飛行時に必要な準天頂衛星システムの高精度位置情報を使用した無人航空機の誘導制御の基本性能データ取得と衝突回避のための各種センサの基礎データを取得する。 | 自律的ダイナミックルーティング技術の精度向上に資するデータが得られ、次年度の離島における長距離飛行試験の実施が可能となり、有人機・無人機における衝突回避の実用化を加速することができた。 |
| 複数ドローンによる同一空域における安全な物流の実現に資するための追加的研究 | 2018年度 | 59.4 | 福島ロボットテストフィールドにおける運航管理統合機能の実運用性検証において、飛行させる機体数を増やし、「10台のドローンによる同一空域(500m×1,000m)における運航管理統合機能の飛行試験」を行うことで運航管理システムに関する立証データの充実及びドローンの目視外飛行に関する社会受容性の向上を図る。 | 多数の無人機の運航管理に関する基礎データ収集と検証を実施し、次年度の運航管理統合機能の改修内容等の課題を明らかにできた。加えて、本取組成果をISOへのNP提案に反映。 |
| ドローンの飛行に伴う法的解釈に関する検討会(国交省・経産省・民間団体)設置 国内外の関連する法制度の調査 | 2018年度 | 10.0 | 日本の法制度及び判例等に基づいたドローンの安心で安全な活用方向性の明確化。海外先進国のドローン活用のための法的制度等の現状を明らかにし、ドローンを活用したプロジェクト海外展開や海外との協調のあり方を検討。 | 日本における法制度および判例事例の調査、海外の整理、国際機関等における指針等の調査・整理し、各国法制度状況、判例状況を加味することで、ドローンの活用に向けた実証・商品化等における国内の注意事項、海外での注意事項等の整理ができた。 |

22

Ⅱ. 研究開発マネジメント (5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性

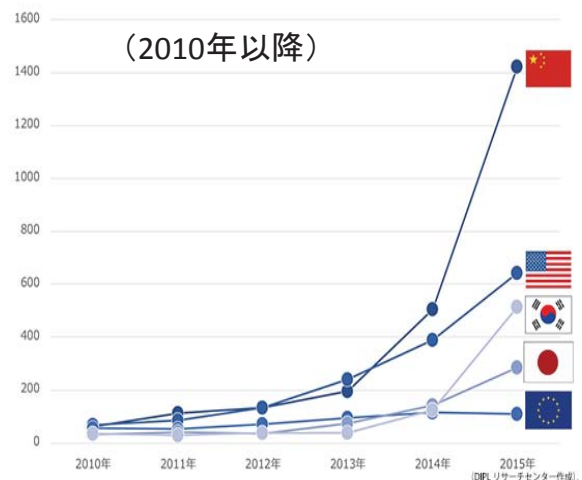
◆ 知的財産権等に関する戦略/関連知財の出願状況の分析

ドローンに関する特許出願件数(全世界)



出所：DIPLリサーチセンター作成（ドローンジャーナル記事より）
<http://www.watch.impress.co.jp/headline/docs/extra/drone/1079767.html>

ドローンに関する特許出願件数国別順位



出所：DIPLリサーチセンター作成（ドローンジャーナル記事より）
<http://www.watch.impress.co.jp/headline/docs/extra/drone/1079767.html>

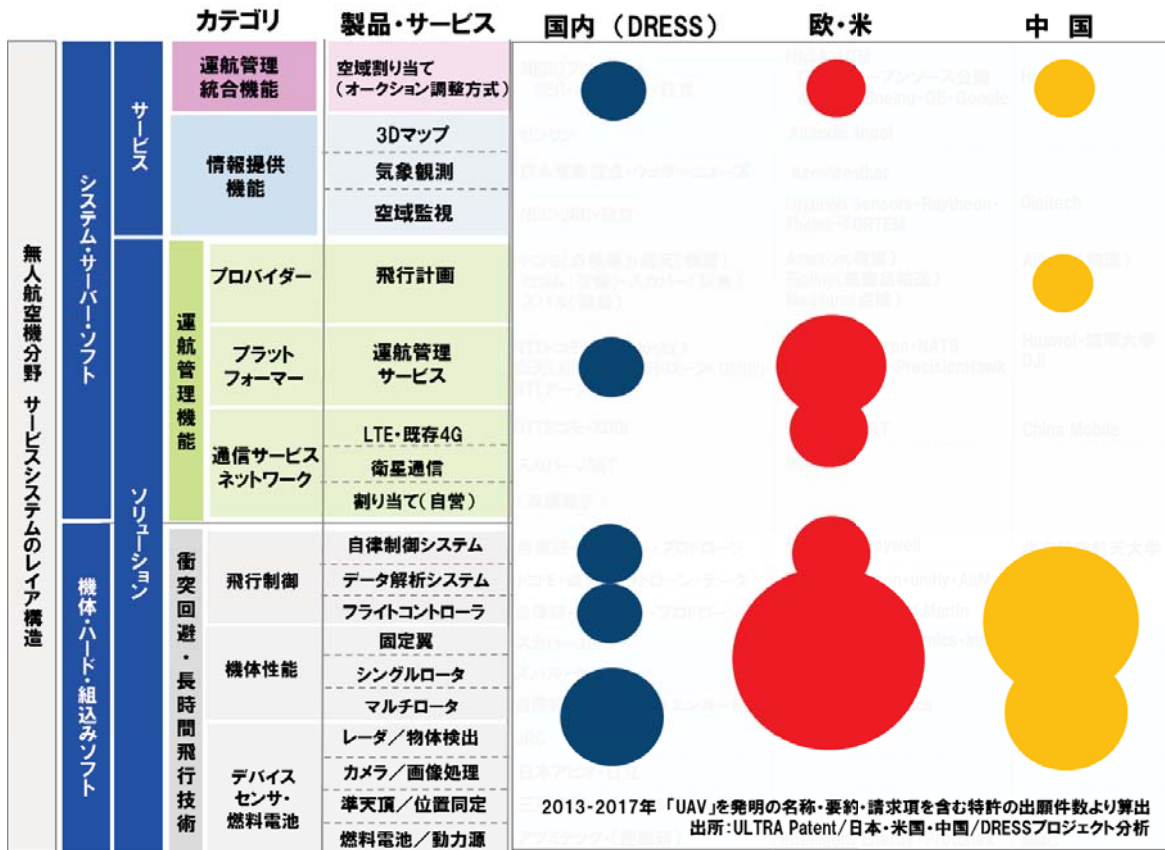
【海外(中・米)知財戦略の傾向】

- ・ 知財戦略(国際特許取得)等を利用した「オープン/クローズ化」事業・R&D戦略を推進
- ・ コア技術である「フライトコントローラー」「セーフティー機能」は、クローズ化
- ・ アプリケーション、クラウドサービスやSDK(Software Development Kit)はオープン化

3

II. 研究開発マネジメント (5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆ 知的財産権等に関する戦略／ドローン分野の国内外関連知財の出願イメージ



24

III. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

| 研究開発項目 | 中間目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------------|--|--|-----|--|
| ①-(1) 性能評価基準等の研究開発 | 各種ロボット(無人航空機、陸上ロボット、水中ロボット等)の性能評価基準を、分野及びロボット毎に策定する。 | ・ロボット性能評価手順書の公開(3テーマ) | ○ | ・第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準の策定 |
| ①-(2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発 | 各種ロボットの連続稼働時間の向上等に資する高効率エネルギーシステム技術開発を実施する。無人航空機においては、火災現場等の特殊環境下での連続稼働が可能であることを検証する。 | ・300℃耐火型ドローン開発、サンプルモニタリング | ○ | ・福島ロボットテストフィールドでの性能評価検証 |
| ②-(1) 無人航空機の運航管理システムの開発 | 本プロジェクトにおける運航管理システムは、情報提供機能、運航管理機能、運航管理統合機能から構成されるものとし、無人航空機の安全な運航をサポートする各種機能・システムを開発する。 | ・同一空域・複数ドローン事業者のための運航管理システム開発/実証 ・API公開 | ◎ | — |
| ②-(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発 | 無人航空機が地上及び空中の物件等を検知し、即時に当該物件等との衝突を回避し飛行するための技術を開発する。 | ・衝突回避飛行試験 | ○ | ・主に物流用途を想定した実環境下における当該技術の有効性を検証 |
| ③-(1) デジュール・スタンダード | 標準化を推進する国際機関や諸外国の団体等の動向を把握し、国際的に連携しながら検討と開発を進め、本プロジェクトの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。 | ・ISO/TC20/SC16NP提案 運航管理システム 情報提供機能 | ○ | ・ISO提案促進と国際標準化団体への引継 ・運航管理システムアーキテクチャ ・衝突回避ルール |

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、× 未達

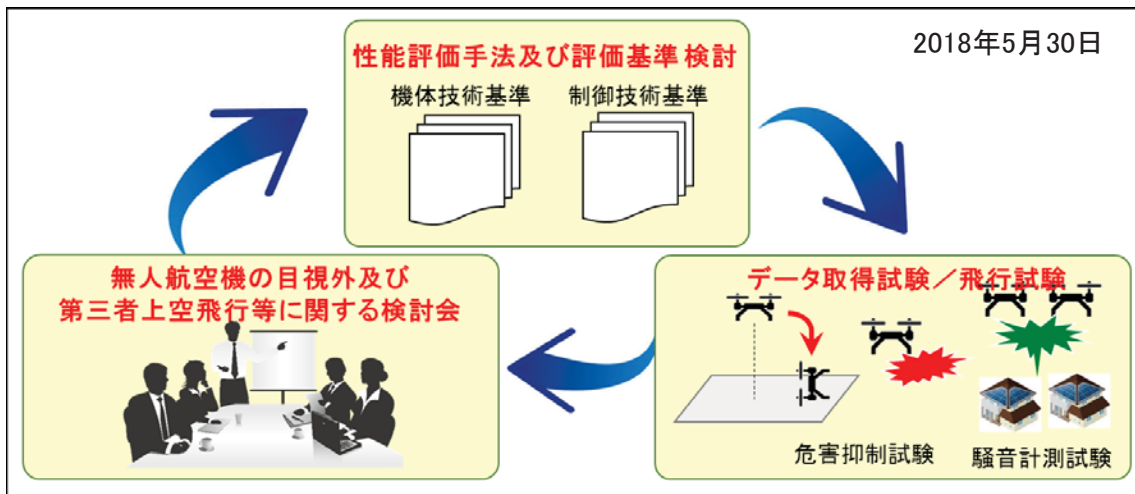
25

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各研究開発項目毎の目標と達成状況

【①-(1)-6】 目視外及び第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準

目視外及び第三者上空等での飛行に向けた研究開発(2018-2019)



目視外及び第三者上空等での飛行に向け、例えば、**住宅地での昼間飛行を想定した場合の55デシベル以下等の飛行地域の特性を考慮した基準**、ペイロード含む総重量が10kg程度の無人航空機が着陸または墜落した際に、**約80ジュール(250g以下の機体が墜落した際の衝突エネルギー)と同等まで抑制するための基準**を策定し、福島ロボットテストフィールドや福島浜通りロボット実証区域等を活用した検証を行う。なお、達成目標については、今後の検討会等での議論を踏まえて必要に応じて改定する。

28

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各研究開発項目毎の目標と達成状況

【①-(2)】 特殊環境下(火災)における連続稼働

世界初、火災現場への進入と近距離空撮が可能な300℃耐火型ドローンを開発-4月にサンプルモニタリングを開始し、「消防士の空飛ぶチームメイト」を目指す-

- ①世界で初めて、**火災現場に進入**し、火元の上空5mから10mからの**近距離空撮**が可能な**300℃耐火型ドローン**を開発。目標販売台数500台/価格未定
- ②「消防士の空飛ぶチームメイト」の実現を目指す。
はしご車が入ることができない狭い道路、ビルや工場内の要救助者の救出ルート確認、隣接建物などへの延焼状況の把握、消火活動後の再燃防止、山岳地帯や水辺など
- ③(株)エンルートは、**4月から消防機関などへ製品サンプル提供とモニタリング**を開始し、性能評価のフィードバックを進め、**2019年10月から受注開始予定**。



今回開発した300℃耐火型ドローンの製品標準品 QC730FP



火災現場を想定した実証試験の様子

29

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

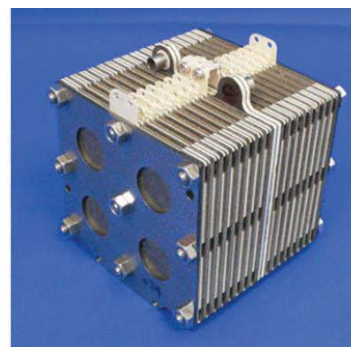
◆各研究開発項目毎の目標と達成状況

【①-②】 燃料電池ドローン

長時間作業を実現する固体酸化物系燃料電池ドローンを開発

-LPG燃料電池により様々な地域での物流、インフラ点検、災害対応等を目指す-

- ①LPG等の炭化水素燃料が利用可能な固体酸化物系燃料電池(SOFC)の高出力化及び軽量化による上空でも発電できるSOFCシステムを開発
- ②LPG駆動SOFCは市販のLPGカセットボンベを燃料として利用可能であり、水素インフラ整備前の地域においても使用が可能
- ③重量当たりのエネルギー密度をリチウムポリマー電池の約60倍を実現
今後の実証試験により長時間飛行を確認



飛行試験中の固体酸化物形燃料電池ドローンとsofcシステムおよびスタック

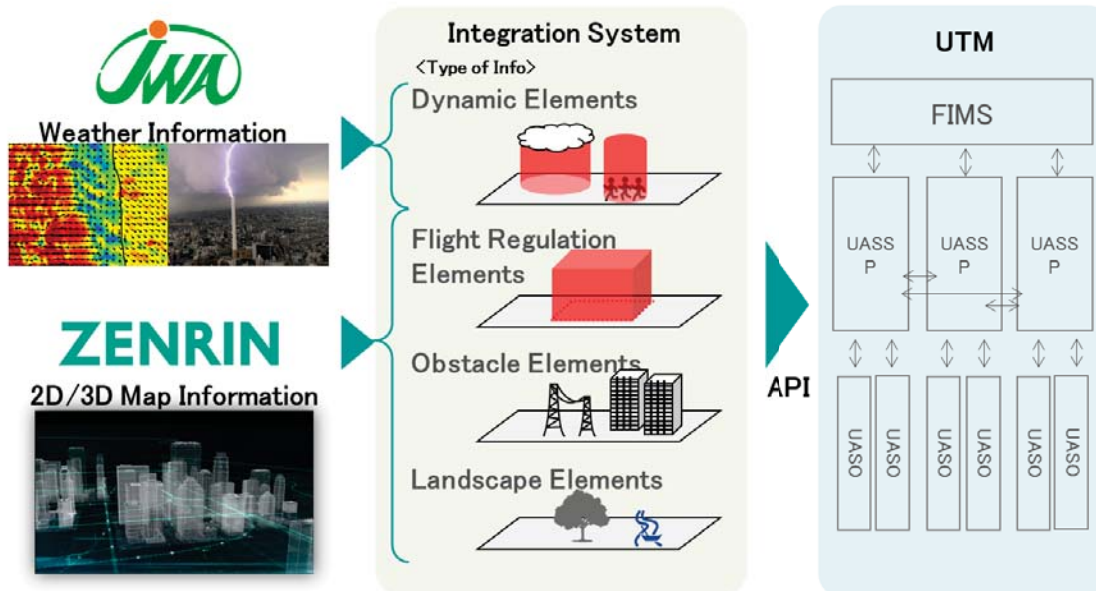
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各研究開発項目毎の目標と達成状況

【②-①-4】 空間情報基盤 【②-①-4】 気象情報提供機能 【③-①】 デジュール・スタンダード

情報提供機能の開発と国際標準化への提案

2019年1月7日 ISO/TC20/SC16地理空間情報データモデルのNP提案が承認

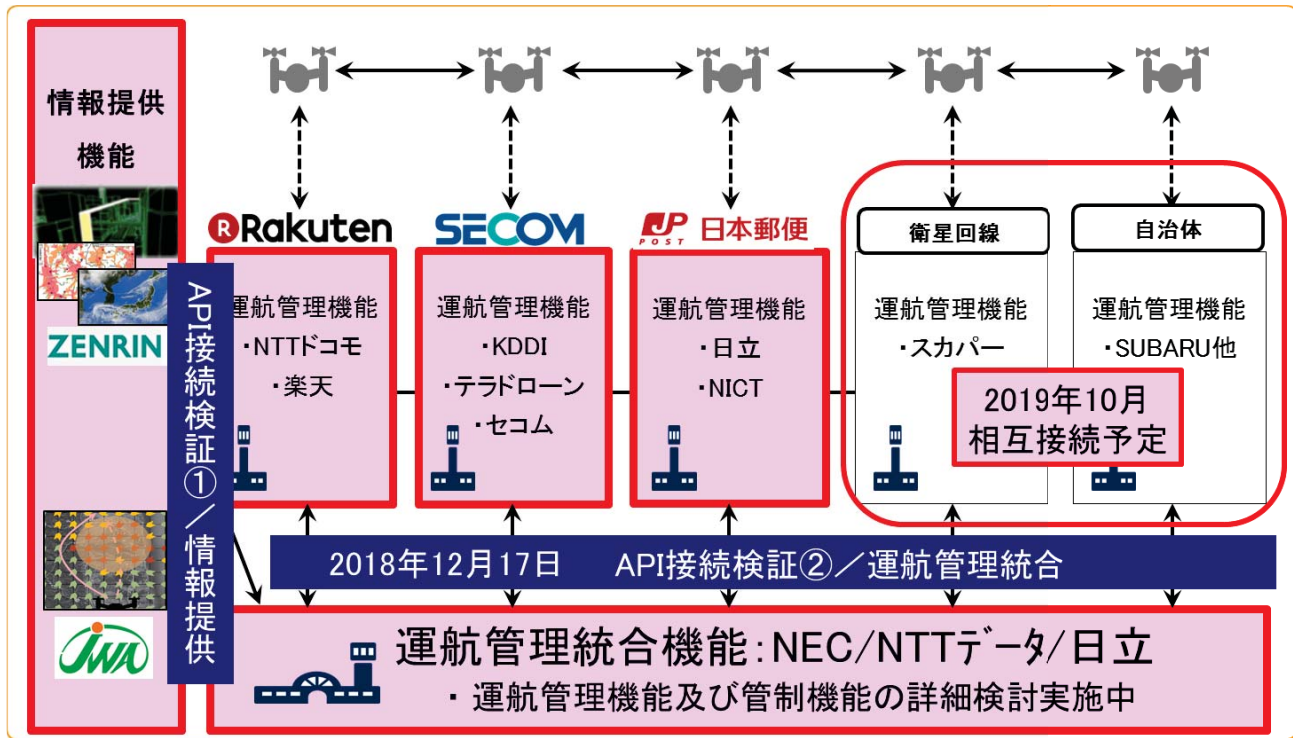


Currently promoting this model as an international standards (ISO TC20 SC16)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各研究開発項目毎の目標と達成状況

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 【②-(1)-1)+2】 運航管理統合機能+物流 | 【②-(1)-2】 運航管理システム (警備) |
| 【②-(1)-2】 運航管理システム (災害) | 【②-(1)-2】 運航管理システム (衛星/災害) |
| 【②-(1)-3】 運航管理システム (離島) | 【②-(1)-5】 運航管理システムの全体設計 |



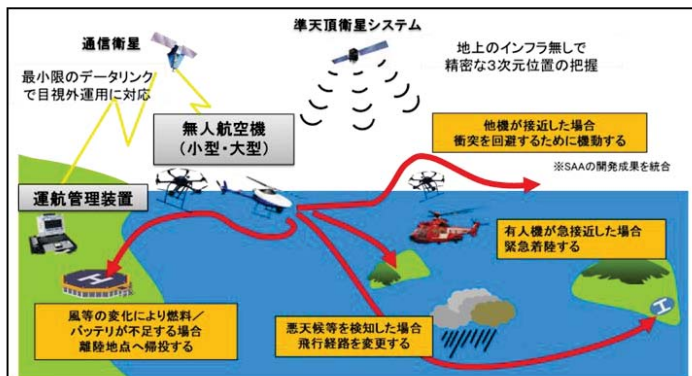
Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各研究開発項目毎の目標と達成状況

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 【②-(1)-3】 運航管理システム (離島) | 【②-(2)-1】 電波・光波センサ統合技術 |
| | 【②-(2)-2】 準天頂衛星対応受信機の低消費電力化 |
| | 【②-(2)-2】 準天頂衛星対応受信機の位置情報共有 |

準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発

②(1) 無人航空機の運航管理システムの開発 (離島)



②(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発



本土～離島運用を想定した運航管理システム = 飛行空域に十分な地上設備なしで実現

準天頂衛星システムによる無人航空機の精密な3次元位置の測位に基づき、衝突回避や緊急着陸、飛行経路の変更を、自動的に無人航空機が判断、実施する技術

Ⅲ. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 成果の最終目標の達成に向けて

| 研究開発項目 | 最終目標 | 現状 | 達成に向けた活動 |
|-----------------------------|--|--|---|
| ① ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 各種ロボットの性能評価基準に基づく各種試験方法等を福島県のロボットテストフィールド等に提案 無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行を安全かつ環境にも配慮して行えるようにするための信頼性及び安全性等の評価手法及び評価基準を開発 2時間以上の長時間飛行や火災現場等の特殊環境下での連続稼働を実現 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 第三者上空での飛行に向けた無人航空機の性能評価基準の策定 ✓ 耐火性ドローンのモニタリングを実施 ✓ 機体開発燃料電池の開発を推進 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 福島ロボットテストフィールドにおいて、実環境試験を加速 ◆ 2時間以上の長時間飛行試験を実施 |
| ② 無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 福島県のロボットテストフィールド等に設置された無線基地局等を介して10km以上の目視外試験飛行を実施 無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等を重畳した3D可視化マップを開発し、福島県のロボットテストフィールド等での各種飛行試験に活用 無人航空機の運航管理システムの全体設計、各機能の仕様及び共通IF等を策定 無人航空機の遠隔識別に必要な通信方式やセキュリティの検証、通信機器の設計や関連する要素技術等を開発 衝突回避技術を実装した無人航空機の実用化を目指す | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 福島ロボットテストフィールドにおいて各種飛行試験を実施 ✓ 運航管理システムのAPIを公開 ✓ 相対速度100km/hにおける衝突回避試験を実施 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 福島ロボットテストフィールドの試験環境整備 ◆ API公開に伴う相互接続試験を実施 ◆ 200km/h以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発 ◆ 正確な位置情報を共有するための準天頂衛星システム受信装置を開発 |
| ③ ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 | <ul style="list-style-type: none"> 本プロジェクトの成果の国際標準化を獲得するために提案すべき技術を含む活動計画を国へ提言と国際標準化団体への引継 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 情報提供機能についてISO/TC20/SC16へのNP提案 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 運航管理機能や衝突回避技術に関する国際標準へのNP提案を推進 |

34

Ⅲ. 研究開発成果 (3) 成果の普及

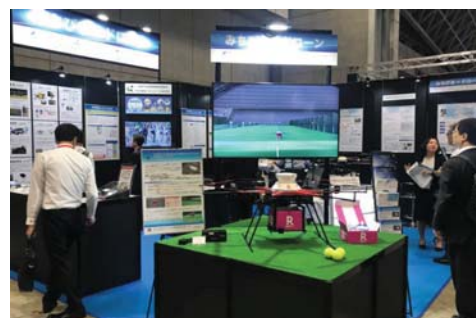
◆ 成果の普及

※2019年度9月13日現在

| | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | 計 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 論文 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 研究発表・講演 (NEDO主催) | 42 (8) | 48 (5) | 22 (1) | 112件 (14) |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 73 | 62 | 55 | 190件 |
| 展示会への出展 | 8 | 11 | 3 | 22件 |



プロジェクトの取組に関する講演会を東名阪で開催
(2019年3月、主催:NEDO、JAXA)



内閣府ブースでの機体展示
(2019年6月)

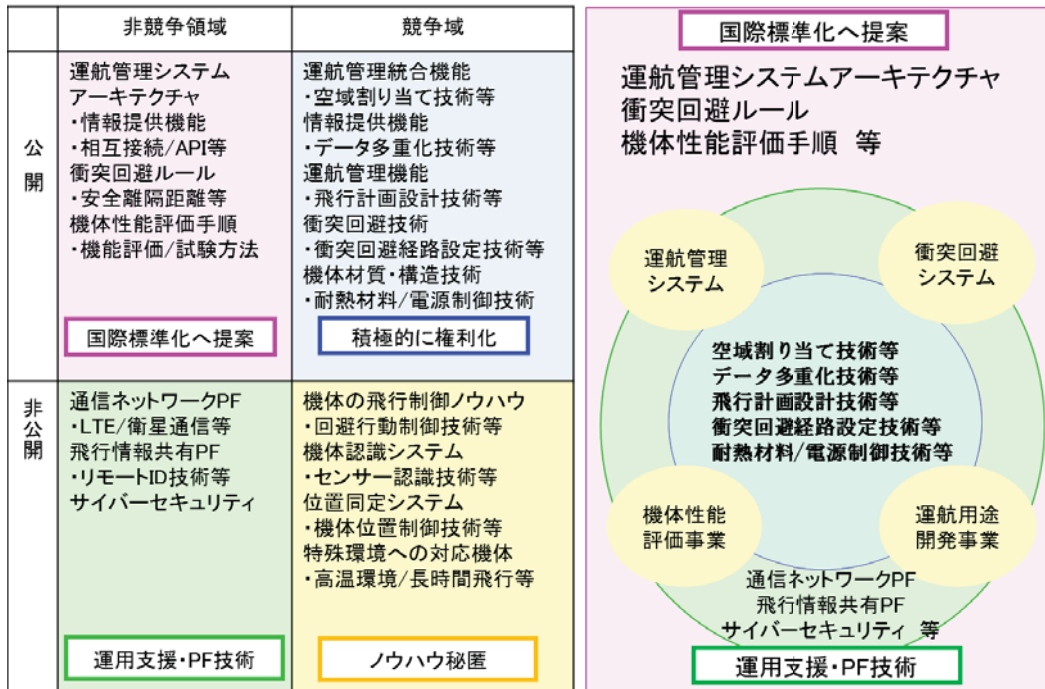
35

Ⅲ. 研究開発成果 (4)知的財産権等の確保に向けた取組

◆知的財産権の確保に向けた取組

※2019年度9月13日現在

| | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | 計 |
|------|--------|--------|--------|----|
| 特許出願 | 2 | 4 | 3 | 9件 |



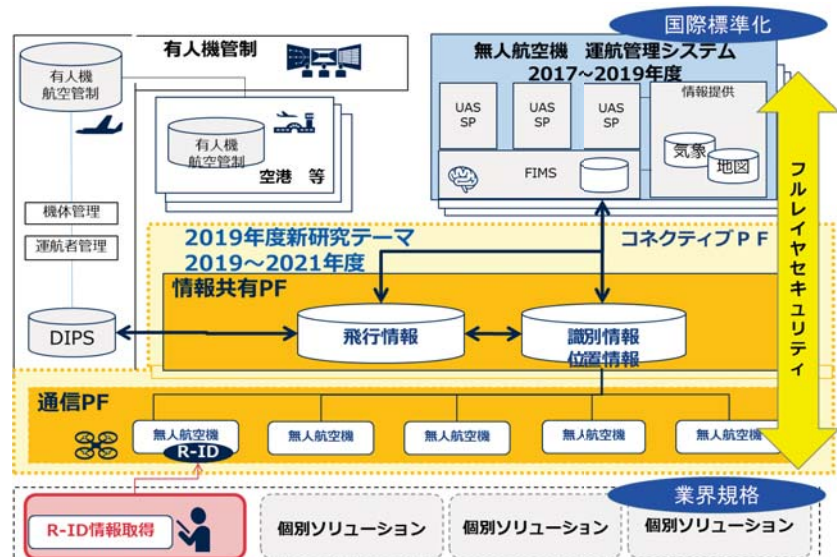
Ⅳ. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

「実用化・事業化」の考え方

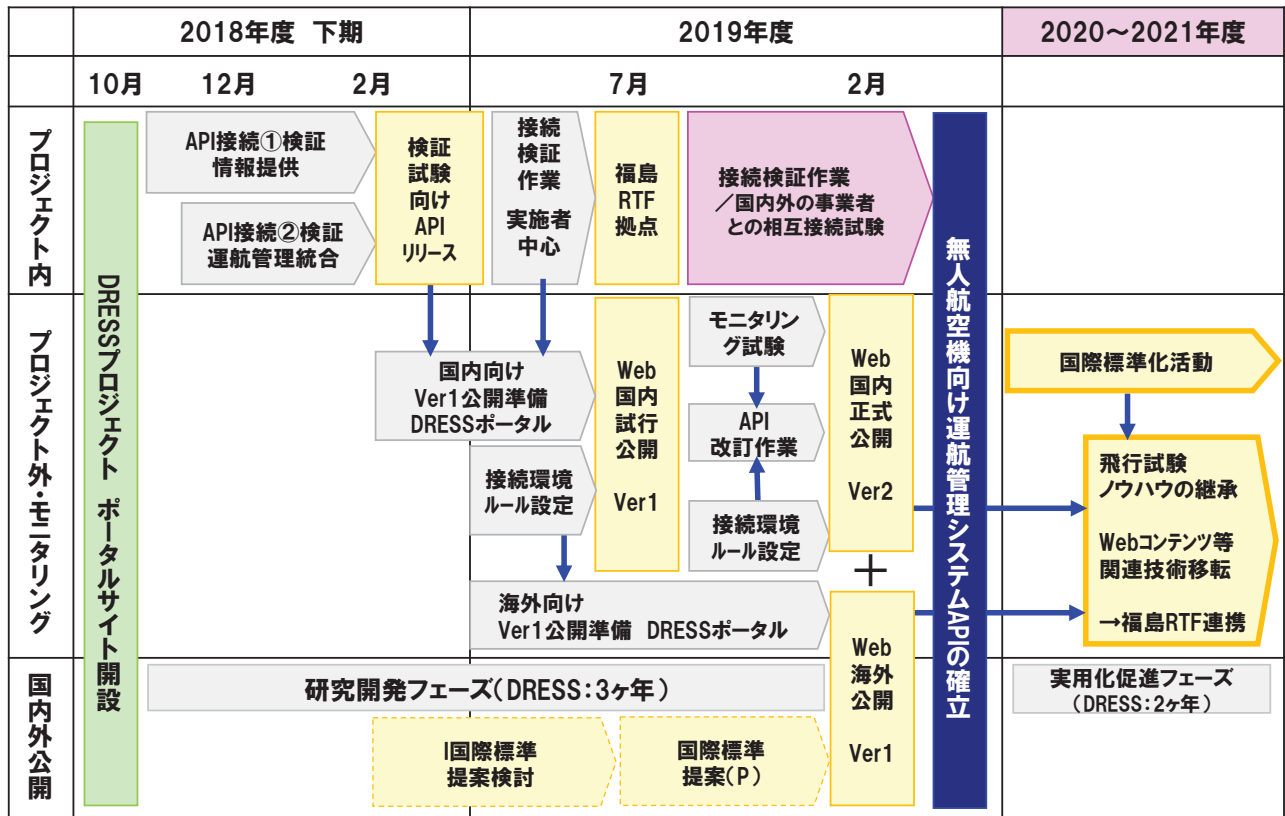
当該研究開発に係る試作品、システム等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、また当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動に貢献することをいう。

具体的な実用化・事業化のモデル図



IV. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組／(例) 運航管理システムの運用環境の整備

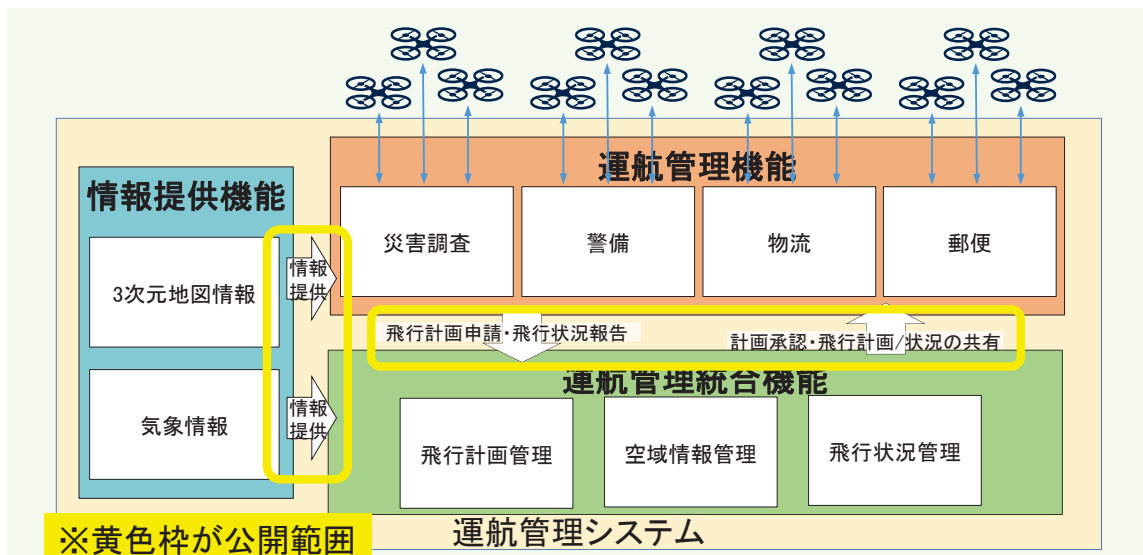


38

IV. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組／Web API仕様の公開

- 運航管理統合機能、情報提供機能にインターネット接続
- ドローンの飛行計画や位置情報、地図・気象情報を共有可能
- 6月28日からAPI仕様書を配布
- 7月末にSwagger HUBによる Web API仕様を公開



39

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

／2019年8月7日 運航管理統合機能へのAPI接続説明会を実施(22社が参加)

運航管理システムの必要性

- 1. 安心・安全で効率的に大量の無人航空機の運航を管理するシステムの実現
- 2. 目視外環境下での複数の無人航空機の空域の共有と相互の安全確保
- 3. 空域・空間や電波といった有限の資源の効率的な活用
- 4. 無人航空機による物流等のサービスによる省エネ社会の実現



ロボットテストフィールドでの研究の目標

- 福島ロボットテストフィールドに運航管理システムを実装し実証する
- ドローンが飛び交う時代を想定し様々な事業者システムを接続・統合
- 南相馬市～浪江町の13kmの間での目視外の状況で、複数の運航管理機能で管理された複数機体製造事業者のドローンを1時間 1平方km 100機以上の密度で飛行
- 物流、災害調査等の様々な利用シーンで衝突させずに運航する



実施者からの全体説明



実施者からの地図情報提供説明

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し (3) 成果の実用化・事業化の見通し

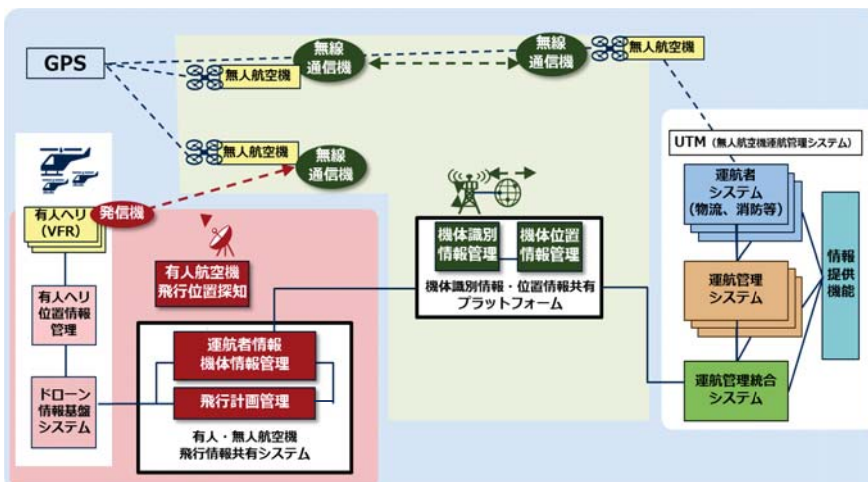
◆ 成果の実用化・事業化の見通し／社会実装に向け運用支援・PF技術を強化

無人航空機向け運航管理システムAPIの確立等により、実用化・事業化(システムの社会的利用)の見通しが立ったところ



2019年度より新規項目「無人航空機の安全な目視外・第三者上空飛行の実現」を追加し、実用化・事業化に向けより一層推進

| | 非競争領域 | 競争域 |
|-----|---|--|
| 公開 | 運航管理システムアーキテクチャ ・情報提供機能 ・相互接続/API等 衝突回避ルール ・安全離隔距離等 機体性能評価手順 ・機能評価/試験方法 国際標準化へ提案 | 運航管理統合機能 ・空域割り当て技術等 情報提供機能 ・データ多重化技術等 運航管理機能 ・飛行計画設計技術等 衝突回避技術 ・衝突回避経路設定技術等 機体材質・構造技術 ・耐熱材料/電源制御技術 積極的に権利化 |
| 非公開 | 通信ネットワークPF ・LTE/衛星通信等 飛行情報共有PF ・リモートID技術等 サイバーセキュリティ 運用支援・PF技術 | 機体の飛行制御ノウハウ ・回避行動制御技術等 機体認識システム ・センサー認識技術等 位置同定システム ・機体位置制御技術等 特殊環境への対応機体 ・高温環境/長時間飛行等 ノウハウ秘匿 |



プロジェクトの概要説明

【項目③ (2) デファクト・スタンダード】

NEDO ロボット・AI部

PM 和佐田健二

0

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

社会的背景



写真:首相官邸ホームページより

- 2014年5月、安倍総理が「2020年には世界中のロボットを集めた、ロボットの技能を競うロボットのオリンピックを目指していきたい」と発言。
- その後、「日本再興戦略」(2014年6月)、及び「ロボット新戦略」(2015年2月日本経済再生本部決定)に盛り込まれた。

1

◆政策的位置付け

■「日本再興戦略」改定(2014)

3. (3) iii) ロボットによる新たな産業革命の実現 (抜粋)

「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会等に合せたロボットオリンピック(仮称)の開催を視野に入れるなど、ロボットスーツや災害対応ロボットをはじめとした様々な分野のロボットやユニバーサルデザインなどの日本の最先端技術を世界に発信する。」

■「ロボット新戦略」(2015)

第2部 第1章 第8節ロボットオリンピック(仮称)の検討(抜粋)

「ロボットの研究開発を加速し、実社会への導入・普及を図る、すなわち社会実装を進める一つの方法として、様々なロボットを対象とした競技会や実証実験、デモンストレーション、すなわちロボットオリンピック(仮称)を実施する。」

◆事業の目的

事業の目的

デファクト・スタンダードの取組において、有識者を糾合し課題先進国である我が国が世界共通になりうる課題設定を行うこと、技術開発を加速させるために海外からも参加者を募ること、そのためのプラットフォームを用意すること、社会実装を加速させるためにロボットの認知度向上を図ること、を念頭に競争の場(大会:World Robot Summit)を設定する。

◆技術戦略上の位置付け

1)プラットフォーム

- 競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームを活用し、研究開発及び社会実装に資するものとする。

2)競技やデモンストレーションによるイノベーション促進手法研究開発

- 挑戦的なテーマを設定して参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場(大会)を活用する研究開発手法に取り組む。当該手法により参加者のモチベーションを高めて技術を競いあわすことでイノベーションを促進する。
- また、ロボット技術の社会実装を促進するためには、ロボットを活用する場を紹介し、一般市民にその有用性を示すことが必要不可欠であることから、ロボット関連のデモンストレーションを行う。
- 2020年度の本大会を成功に導くため、必要に応じて本大会以前にトライアル試験等の試行的な取組等を行う。

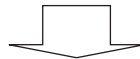
◆国内外の研究開発の動向と比較

| ものづくり分野 | 主催 | 規模 | 概要 |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|
| EuRoC (European Robotics Challenges) | EuRoCコンソーシアム(大学、企業など9団体) | ヨーロッパの100以上のチームが参加。3つのステージによる選抜等を経て、6チームがファイナルステージへ | 研究者・Sier・エンドユーザーで構成されたチームが、3つのカテゴリ(再構成可能な製造セル、ショップでのマニピュレーション、ドローン等による監視)にエントリーし競技を行う。 |
| 生活支援分野 | | | |
| RoboCup@Home | RoboCupの1競技として開催 | 10カ国20チーム | ロボットがキッチンやリビングルームなどの家庭環境で、ロボットが様々な課題(人の顔と名前を覚えて挨拶など)をこなし、その精度を競う。 |
| 災害対応分野 | | | |
| DARPA災害対応ロボティクスチャレンジ(2015年のみ) | アメリカ国防高等研究計画局(DARPA) | 6カ国23チーム | 災害対応ロボット開発の促進を目的とし、設定したタスクをロボットに課し、タイムを競う。2013年に予選会が行われた。 |
| RoboCup Rescue | RoboCupの1競技として開催 | 実機リーグ:6カ国8チーム シミュレーションリーグ:9カ国19チーム | 実機リーグ:災害現場に見立てた競技場で、遠隔操作や自律型のロボットによって調査を行いその精度を競う。 シミュレーションリーグ:ソフトウェア上のシミュレーションにより、バーチャルにレスキューロボットが災害救助を行う。 |
| euRathlon(2013年、2014年、2015年、2017年) | euRathlon Project(funded by EU) | ヨーロッパから16チーム | 災害対応に関連するロボットの競技会で、陸・海・空でのアウトドア環境におけるロボット競技を行う。 |

◆NEDOが関与する意義

競技やデモンストレーションによるイノベーション促進手法の研究開発は、

- 日本政府(経済産業省およびNEDO)が主催する競技会と展示会の競演会であり、我が国の研究開発力を促進させるとともに、イニシアティブを取り得る位置付け。
- 技術開発スピードが速く、デファクトが鍵を握るロボット産業の競争力強化のため、世界の最新技術動向を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する手法を開発することが必要。
- 他国においても、政府機関主導で競技会方式によって研究開発の促進を図っている。



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

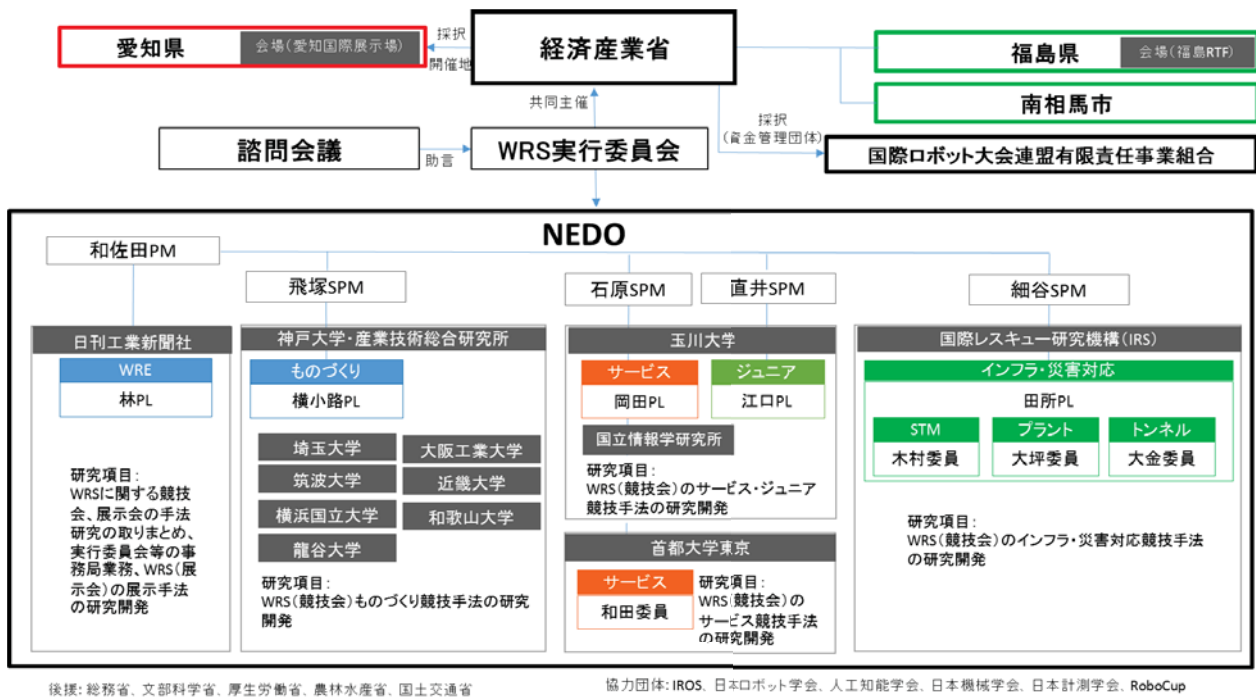
6

◆事業の目標

- 福島県のロボットテストフィールド等で、World Robot Summit(日本発のルールに基づいた新たな競技等)を、4 カテゴリー(ものづくり、サービス、インフラ・災害対応、ジュニア)で実施する。(最終目標)
- 競技種目及び競技ルールに沿ったプラットフォームの検討を行い、平成30年度に予定するプレ大会で活用するプラットフォームの準備を行う。(平成30年度中間目標)
- 世界からロボットに関する叢智を結集して、様々な課題にチャレンジする競技や展示を行い、技術開発や社会実装を加速させる。

7

◆ 研究開発の実施体制



◆ 研究開発の実施体制

World Robot Summit 諮問委員会

- | | |
|---|---|
|  <p>委員長 金出 武雄 カーネギーメロン大学 ワイタカー記念全学教授</p> |  <p>北野 宏明 ロボカップ国際委員会 ファウンダー (株) ソニーコンピュータサイエンス研究所代表取締役社長/所長、沖縄科学技術大学院大学 教授</p> |
|  <p>浅川 智恵子 IBM フェロー /カーネギーメロン大学客員教授</p> |  <p>小田 真弓 (株) 加賀屋 女将</p> |
|  <p>トーマス バウアーハンズル フラウンホーファー生産技術・オートメーション研究所 所長、シュトゥットガルト大学 工業生産管理研究所 所長</p> |  <p>ギル プラット トヨタリサーチインスティテュート 最高経営責任者(CEO)、トヨタ自動車(株) エグゼクティブテクニカルアドバイザー、(前)米国防総省国防高等研究計画局(DARPA) プログラムマネージャー</p> |
|  <p>ヘンリック クリステンセン カリフォルニア大学サンディエゴ校 コンピューター工学部 教授/状況適応型ロボット技術研究機構ディレクター</p> |  <p>ヤンシェン シュウ 香港中文大学深圳校 学長</p> |
|  <p>中鉢 良治 (国研) 産業技術総合研究所 理事長</p> |  <p>山崎 直子 宇宙飛行士</p> |
|  <p>池内 克史 東京大学 名誉教授 マイクロソフトリサーチアジア 首席研究員</p> | |

◆ 研究開発の実施体制

World Robot Summit 実行委員会



委員長
佐藤 知正
東京大学 名誉教授



委員
石黒 周
千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター
副所長



委員
須藤 勝
富士ソフト企画株式会社 代表取締役社長
全日本ロボット相撲大会 大会委員



委員
松日薬 信人
芝浦工業大学 工学部 機械機能工学科 教授
複合領域産学官民連携推進本部 副本部長



委員 兼
ジュニア競技委員会委員長
江口 愛美
ロボカップ国際委員会理事及びジュニア担当
副会長
Bloomfield College 准教授



委員
西崎 頼親
電通ロボット推進センター
チーフロボットプランナー/コピライタ



委員 兼
ものづくり競技委員会委員長
横小路 泰義
神戸大学大学院 工学研究科 教授



委員
高西 淳夫
早稲田大学 理工学術院 教授



委員
林 英雄
日刊工業新聞社 業務
局 イベント事業部
部長



委員
和田 一義
首都大学東京 システムデザイン
研究科 准教授



委員 兼
インフラ・災害対応競技委員会委員長
田所 諭
東北大学大学院 情報科学研究科 教授



委員
富士原 寛
一般社団法人日本ロボット工業会 専務
理事



委員 兼
サービス競技委員会委員長
岡田 浩之
ロボカップ日本委員会会長
玉川大学 工学部 情報通信工学科 教授



委員
國吉 康夫
東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授



委員
半田 博幸
株式会社 安川電機
技術開発本部 開発研究所
つくば研究所 所長

委員
山本 貴史
トヨタ自動車株式会社 未来創生セン
ター R-フロンティア部 2020ロボッ
ト開発室 主査

委員
浅田 稔
一般社団法人日本ロボット学会 会長

委員
石井 孝裕
経済産業省製造産業局産業機械課
ロボット政策室 室長

委員
弓取 修二
国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
ロボット・AI部 部長

◆ 研究開発の実施体制

実行委員会



委員長
佐藤 知正
東京大学 名誉教授

競技委員会

国内外の有識者で委員を構成



ものづくり競技委員会 委員長
横小路 泰義
神戸大学大学院 工学研究科 教授



サービス競技委員会 委員長
岡田 浩之
ロボカップ日本委員会専務理事
玉川大学 工学部 情報通信工学科 教授



インフラ・災害対応競技委員会 委員長
田所 諭
東北大学大学院 情報科学研究科 教授



ジュニア競技委員会 委員長
江口 愛美
ロボカップ国際委員会理事及びジュニア
担当副会長
/ Bloomfield College 准教授

◆ 研究開発の進捗管理

- ロボット国際競技対価のコンセプト、競技分野、競技種目、競技ルール、開催形式等の検討及び決定を行うため、実行委員会を開催。(全18回)
- 実行委員会における検討項目について、諮問会議に諮問。(全6回)
- PL・競技委員長会議を開催し、実行委員会の決定実行の反映及び進捗確認を実施(全54回)
- 各競技委員会はトライアルを実施し、その結果を反映し、競技フィールド等のプラットフォームのブラッシュアップを図った。

※実行委員会の議題例

| 日程 | 会議名 | 主な議題 |
|------|-------|--|
| 第16回 | 実行委員会 | <ul style="list-style-type: none"> ➢ 競技参加者の公表と参加状況について ➢ 競技ルールについて ➢ 安全確保策について ➢ WRS紹介動画について ➢ 地域展示に係る意見交換会について ➢ 展示会含む広報活動について ➢ スポンサーに関して ➢ WRS2018競技の評価項目について ➢ WRS2018競技・展示日程について ➢ WRS2018会場レイアウトについて |

12

- World Robot Summit (総称: WRS) は、人間とロボットが共生し協働する世界の実現を念頭に、世界のロボットの叡智を集めて開催する競演会。
- ロボットの競技会「World Robot Challenge」と、最新のロボット技術を展示する「World Robot Expo」からなる。
- 世界中のロボット関係者が一堂に集まり、リアルな日々の生活、社会、産業分野でのロボットの社会実装と研究開発を加速させることを目的とする。



13

【競技会】 
World Robot Challenge (WRC)



4 カテゴリーで叡智を競う

- ものづくり
- サービス
- インフラ・災害対応
- ジュニア

【展示会】 
World Robot Expo (WRE)



ロボット導入の事例を世界発信

- 国が主導する最新のロボット関連展示
- 一般出展エリア

【シンポジウム / ワークショップ】
世界各国の有識者等によるフォーラム、
協賛企業によるワークショップなど



【サイドイベント】
会場内外での参加型、体験型などのイベント



ものづくりカテゴリー
Industrial Robotics Category



サービスカテゴリー
Service Robotics Category



インフラ・災害対応カテゴリー
Disaster Robotics Category



ジュニアカテゴリー
Junior Category



◆事業実施の背景

社会的背景

- 生産年齢人口の減少(2050年代になると、先進主要国で生産年齢人口比率は60%を割り込む)により、労働力不足が深刻になる。
- 近年のサービス産業への労働者の集中(先進主要国の全就業者数に占める第3次産業就業者数の比率は、70%以上にまで高まっている。)を考えると、「ものづくり分野」の労働人口は、ますます減少することが見込まれるため、これを打開するために、「ものづくり分野」に適用できるロボットの実現を加速する必要がある。
- ロボット活用を考える上では、自動車や電気電子産業を中心に活用が進んできた大企業だけでなく、中堅・中小企業へのロボット導入が大きな課題であり、今後、汎用的かつ小回りがきくロボットの開発や人と協調して働くような、人とロボットの新たな関係実現が必要である。

◆事業実施の背景

社会的背景

- 人々の生活の中に当然のようにロボットが入る時代を迎え、人間とバランス良く協働して様々なサービスを実現するロボットが求められている。
- サービス産業の多くは労働集約的であり、単純作業が一定割合存在するため人手不足が課題となる。単純作業を中心に、潜在的なロボット活用ニーズは高く、バックヤードを中心とした対物プロセスの自動化や中長期を見据えた対人プロセスの自動化を検討する必要がある。
- 人とロボットの高度なコミュニケーションのAI技術による学習、クラウドによるビッグデータの情報共有、IoT技術によるインターネットから情報収集及び利用など、人と協働する安全安心なサービスロボットやその環境の実現のための技術が求められている。

◆事業実施の背景

社会的背景

- 近年、世界中で、自然災害、人為災害が頻発している。災害ロボット技術を確立することにより、災害を未然に防ぎ、緊急時に人命を救い、災害復旧を支援することが求められている。特に、プラント等の産業施設、トンネルや地下街等の閉鎖空間においては、いったん事故が起きると人間が入ることが困難なケースや、極めて危険な場合もあり、ロボットによる代替作業が必要である。
- また、高度成長期に整備されたインフラが急速に老朽化してきており、維持管理・更新の作業と費用の増加が予想され、点検、診断、補修、更新等の省力化が期待されている。一方、災害発生後の応急復旧での2次災害発生リスク低減が求められている。
- 多様な災害現場に対応する災害ロボットを効率的に開発するためには、共通基盤技術を適切に評価する標準性能評価法(以下、STM)を設定し、ロボットの多様な性能を見える化することが重要である。STMは国際的にもその利用が広がっており、ここでの課題に適したSTMの開発が求められている。

◆研究開発目標と根拠

| 研究開発項目 | 研究開発目標 |
|----------------------------------|--|
| ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発 | 国際的な競技会と展示会であるWorld Robot Summitの開催を通じて、研究開発を促進し、社会実装を加速するため、各種委員会等を通じて、多様なステークホルダーとの利害調整、情報発信等を実施し、研究開発手法として確立する。 |
| ものづくり競技手法の研究開発 | 競技会形式による製品組立に関する挑戦的なテーマを設定して、参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場を活用する研究開発手法を確立する。 |
| サービス競技手法の研究開発 | 家庭において人々の日常生活をサポートするパートナーロボット、店舗でのサービスロボットに関して挑戦的なテーマを設定して、参加を募り、技術開発課題解決に向けた競争の場を活用する研究開発手法を確立する。 |
| プラント・災害競技手法の研究開発 | プラント災害予防、トンネル事故災害対応復旧をテーマとして、競技会形式による性能評価試験及び標準評価試験法を開発する。 |
| ジュニア競技手法の研究開発 | 学校生活をサポートするロボット及び家庭内で問題解決を図るロボットに関して提案を募り、競争の場を活用する研究開発手法を確立する。 |

◆ 研究開発のスケジュール

| | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ロボットの研究開発及び社会実装の加速の実現及びその手法の研究開発 | | | → | | |
| ものづくり競技手法の研究開発 | ▲ | | → | | |
| サービス競技手法の研究開発 | ▲ | | → | | |
| プラント・災害競技手法の研究開発 | ▲ | | → | | |
| ジュニア競技手法の研究開発 | ▲ | | → | | |

▲ : トライアル検証の実施

World Robot Summit 2018
TOKYO

@東京ビッグサイト
10月17日～21日

World Robot Summit 2020
AICHI / FUKUSHIMA

@愛知県国際展示場 (10月)
福島ロボットテストフィールド (8月)
8月20日～22日・10月8日～11日

2018

2019

2020

同時開催 : Japan Robot Week 2018

同時開催予定 : ロボカップアジアパシフィック大会
Japan Robot Week 2020

World Robot Summit 2018
TOKYO

名称 World Robot Summit 2018
開催地 東京ビッグサイト 東6～8ホール
開催時期 2018年10月17日～21日
総来場者数 : 76,374人
主催 経済産業省・NEDO



World Robot Summit 2020
AICHI / FUKUSHIMA

名称 World Robot Summit 2020
開催地 愛知県国際展示場 (Aichi Sky Expo)
開催時期 2020年10月8日～11日
※インフラ・災害対応カテゴリーの競技は以下のとおり
開催地 福島ロボットテストフィールド
開催時期 2020年8月20日～22日
主催 経済産業省・NEDO

<http://worldrobotsummit.org/>

競技会 (World Robot Challenge 2018)



- 4カテゴリで、9種目の競技を実施
- World Robot Challenge 2018の賞金総額は、1億円以上

| カテゴリ | 種目 | 競技内容 | 賞金 |
|-----------|---|--|--|
| ものづくり | 製品組立チャレンジ | ベルトドライブユニット組立及びそれに関連するタスクポードとキッキング | 2,100万円 (1位: 1,500万円、2位: 500万円、3位: 100万円) |
| サービス | パートナーロボットチャレンジ (家庭内の各種作業支援チャレンジ) リアルスペースリーグ トヨタ自動車株式会社のHSR使用 | 1.モノを取ってくる 指示された物体を指定された場所に持つくる 2.部屋の片付け 正しくない位置にあるモノを指定された場所に片付ける 3.デモンストレーション 人を安心・幸せにしてくれるパートナーロボットの未来の姿を提示する | 1,400万円 (1位: 1,000万円、2位: 300万円、3位: 100万円) |
| | パートナーロボットチャレンジ (家庭内の各種作業支援チャレンジ) バーチャルスペースリーグ トヨタ自動車株式会社のHSR使用 | 1.汎用目的のサービロボットの 案内や対話等のタスクにロボットが対応 2.インタラクティブ清掃 ロボットが人間の所作を観察し、対象物とゴミ箱を認識 3.ヒューマンナビゲーション バーチャル環境で、利用者が目的物を見つけられるように、ロボットが案内 4.オープンタスク シミュレーターを使用し、人とロボットが多様な手段を用いてコミュニケーション等を行う | 1,400万円 (1位: 1,000万円、2位: 300万円、3位: 100万円) |
| | フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ (店舗における各種業務の自動化チャレンジ) | 1. 陳列・廃棄タスク おにぎり、お弁当などの自動補充、消費期限切れ商品の廃棄を実施 2. 接客タスク 近未来の顧客サービスの提案と実演 3. トイレ清掃タスク トイレの便器、床、壁の清掃 | 1,390万円(1位の中で優れた者に+100万円) 陳列・廃棄タスク (1位: 300万円、2位: 100万円、3位: 30万円) 接客タスク (1位: 300万円、2位: 100万円、3位: 30万円) トイレ清掃タスク (1位: 300万円、2位: 100万円、3位: 30万円) |
| インフラ・災害対応 | プラント災害予防チャレンジ | 日常点検/設備調整: 指定された場所にあるバルブ等を視認・調整 異常検知: 発生場所が不明なパイプラインの異常音・振動を測定し、結果を報告 設備診断: タンクや煙突などの大規模構造物を対象とし、設備の健全性を診断 災害対応: 点検中に発生した事故への対応 | 1,400万円 (1位: 1000万円、2位: 300万円、3位: 100万円) |
| | トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ | 障害の走検、車両調査、道具を使用した車両内の調査と救助、経路の確保、消火作業、人命救助活動の6タスク | 1,400万円 (1位: 1,000万円、2位: 300万円、3位: 100万円) |
| | 災害対応標準性能評価チャレンジ | 災害予防・対応が必要となる標準性能レベルを評価 (例: 移動能力、センシング、情報収集、無線通信、遠隔操作、現場展開、耐久性等) | 1,400万円 (1位: 1,000万円、2位: 300万円、3位: 100万円) |
| ジュニア | スクールロボットチャレンジ ソフトバンクロボティクス株式会社の Pepper を使用 | 1. スキルチャレンジ 2. オープンデモンストレーション 競技者がロボットのデモを行う 3. テクニカルインタビュー 審査員が競技者に面接を行う | 無し |
| | ホームロボットチャレンジ | サービスカテゴリのパートナーロボットチャレンジと同様のタスクを設定し、ロボットを製作 スキルチャレンジ、オープンデモンストレーション、テクニカルインタビューに挑戦 | |

競技者は、WRSのウェブサイト(<http://worldrobotsummit.org/>)で募集。募集期間は、3月15日まで (インフラ・災害対応は、2月28日まで)。

チームサポート

- 有識者による審査委員会において審査を行い、競技会に参加する一部のチームに対して渡航費等の一部を支援。
- 競技種目の内、製品組立、フューチャーコンビニエンスストア、プラント災害予防、災害対応標準性能評価の各チャレンジについては、有識者による審査委員会等による審査を経て、開発の一部を支援することがある。

・チーム単位でのサポート上限額※1

(単位) 千円

| カテゴリ | チャレンジ | 渡航費※2 | | 滞在費※3 | ロボットの運搬費 | |
|-----------|-----------------------|-------|-----|-------|----------|-----|
| | | 海外 | 国内 | | 海外 | 国内 |
| ものづくり | 製品組立 | | | | 400 | 100 |
| サービス | パートナーロボット (リアルスペース) | | | | - | - |
| | パートナーロボット (バーチャルスペース) | | | | - | - |
| | フューチャーコンビニエンスストア | | | | 400 | 100 |
| インフラ・災害対応 | プラント災害予防 | 500 | 100 | 250 | 400 | 100 |
| | トンネル事故災害対応・復旧 | | | | - | - |
| | 災害対応標準性能評価 | | | | 400 | 100 |
| ジュニア | スクールロボット | | | | - | - |
| | ホームロボット | | | | - | - |

※1 ただし、実費を補助することになるため、実際の実受額が支援可能額を下回ることがある。

※2 渡航費: 往復の航空運賃、日本国内の新幹線・特急利用にかかる経費。

※3 日本国内での宿泊費。

参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」(中間評価)分科会 議事録

日 時：2019年9月24日(火) 9:30～16:55

場 所：大手町サンスカイルーム A室

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 小林 哲則 早稲田大学 理工学術院 情報理工学科 教授
分科会長代理 李家 賢一 東京大学 大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 航空宇宙工学専攻 教授
委員 貝應 大介 株式会社ロボデックス 代表取締役
委員 春原 久徳 ドローン・ジャパン株式会社 取締役会長/セキュアドローン協議会 会長
委員 長谷川 忠大 芝浦工業大学 工学部 電気電子情報工学専攻 教授
委員 長谷川 泰久 名古屋大学 大学院 工学研究科 マイクロ・ナノ機械理工学専攻 教授
委員 宮内 博之 国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ 主任研究員

<推進部署>

弓取 修二 NEDO ロボット・AI部 部長
宮本 和彦(PM) NEDO ロボット・AI部 特定分野専門職
和佐田 健二(PM) NEDO ロボット・AI部 主査
永松 純 NEDO ロボット・AI部 専門調査員

<実施者>

岩田 拓也 産業技術総合研究所 主任研究員
森 豊樹 株式会社エンルート 開発本部長
寺井 理詠子 株式会社エンルート
西沢 俊広 日本電気株式会社 マネージャー
山根 章弘 株式会社SUBARU 部長
笹本 貴宏 株式会社SUBARU 係長
杉原 潤一 PwC コンサルティング合同会社 マネージャー
下山 智央 PwC コンサルティング合同会社 マネージャー
林 英雄 株式会社日刊工業新聞社 事業部長

<評価事務局>

梅田 到 NEDO 評価部 部長
塩入 さやか NEDO 評価部 主査
谷田 和尋 NEDO 評価部 主査

議事次第

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 プロジェクトの概要説明 (【項目①、②、③前半】)
事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.2 プロジェクトの概要説明 (【項目③後半】)
事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答
6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 【項目①】「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」
 - (1) 性能評価基準等の研究開発
 - 6.2 【項目①】「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」
 - (2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発
 - 6.3 【項目②】「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」
 - (1) 無人航空機の運航管理システムの開発
 - 6.4 【項目②】「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」
 - (2) 無人航空機の衝突回避技術の開発
 - 6.5 【項目③】「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」
 - (1) デジュール・スタンダード
 - 6.6 【項目③】「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」
 - (2) デファクト・スタンダード
7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

1. 開会、資料の確認

- ・開会宣言（評価事務局）
- ・配布資料確認（評価事務局）

2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明した。
- ・出席者の紹介（評価事務局、推進部署）

3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、すべての議題を公開とした。

4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

(1) プロジェクトの概要説明（【項目①、②、③前半】）

事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

(2) プロジェクトの概要説明（【項目③後半】）

事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント、研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【小林分科会長】 ありがとうございます。

技術の詳細につきましては、議題6で扱いますので、ここでは事業の位置付け、必要性、マネジメントについて意見をお願いいたします。

【李家分科会長代理】 資料の5ページにある「背景と事業の目的」のところとも関連するかもしれませんが、先ほど動画を見せていただきましたけれども、都市内の多くの物流のために、無人航空機を活用するという話とともに、都市間をハイウェイのようなもので結んで物資を輸送するという御説明がありました。物流に関しては、今回のプロジェクトとはまた別のところで実施しているのか、それともそういった都市間の大量物資の輸送も考えておられるのか、それを確認させていただけますか。

【宮本PM】 制度、ルール上におきましては、例えば地権者との契約の関係ですとか、これからいろいろな部分で議論していただくという部分があると思います。一方で、ラストワンマイルと言われる集荷配送の集中する都市部の運航につきましては、かなり頻繁に小型の機体が飛ぶと想定する一方、ハイウェイにおきましては、決められたルートをただ何度も往復するという、プロフィット、いわゆる事業化メリットを出そうとする、こういう運用が非常に求められるところだと思います。

私どもの今プロジェクトで、五つの運航管理のメンバーが進めているのですが、離島で御紹介いたしました、SUBARU社のチームですけれども、シングルローターで110キロ以上の機体を、これは衝突回避をうまく連動させていただいているのですが、こういう機体で、いわゆるペイロードの大きな、長距離の運航ができるような形の研究開発とうまく運航管理システムを統合させるような、接続させるような取組を本年度進めるようにしております。

運航管理システムにつきましては、既にこれはもうIP（Internet Protocol：インターネット・プロトコル）で接続になってきます。日本全国で展開ができる状況になってきますので、あとはそれにどのよ

うな事業として飛行計画が繋がるか課題でございますので、この10月に全てが揃いましたらば、基本的には設定さえ航路ができれば、運航ができるようなバックアップはとれるだろうと認識しているところではあります。

【李家分科会長代理】 管理的なことに関わるかもしれませんが、今日のお話のドローンを飛ばす世界というのは、今回、開発されているAPI（Application Programming Interface：ソフトウェアコンポーネントがお互いにやりとりするために使用するインターフェース仕様）等で全てをドローン管理していて、個人が所有するようなドローンが勝手に入ってくるようなことを想定しない、そういった空域を設定していろいろな研究開発をされているのか、その辺の背景を教えてくださいいただけます。

【宮本 PM】 どこまでの機体をこのシステムに統合させるかという議論は、やはり制度ルールの中で、もう少し御議論していただく必要があると認識しております。基本的に私どもが考えているAPIは御承知のとおり、接続は小型であっても大型であってもできるわけでありまして。あとはその接続する事業者の皆様のいわゆるコストパフォーマンスを含めた、また事業との貢献さ、または機体の危険性、安全性といったような観点をもって、社会としてどのような運航管理システムがいいかという議論は、多分2022年度まで、こういう技術ができることを前提に議論されていくと考えていると思っております。

逆に言いますと、このような技術が確立したことをしっかりお示ししないと、なかなか論旨が発散するというリスクが出てきますので、その意味では、私どもの成果を可及的速やかに公表しておりますし、しっかりと制度、ルールにも御提案をさせていただいているという活動を推進しているところでございます。

【春原委員】 2016年にプロジェクトが発案されて、2017年から2019年、3年間実施されたということですが、お聞きした中に素晴らしい技術もあります。一方、ドローンの世界は非常に技術開発が早い世界でもあります。

本プロジェクトで開発された技術と、現在世の中に出ている開発された技術とを比較するというか、今はこういったことをやっていたけれども、世界や日本の企業が現在このような位置づけにあるというような現状認識を示すようなものをまとめるという活動はされていますか。

【宮本 PM】 おっしゃるとおり、この分野の研究開発は非常にスピードが速いです。技術的に速いです。個々のドローンの性能が幾ら上がっても、今、お示したように、ドローンの密度が高まった状態での運航でのリスクは回避できないと認識しております。そのためには、その回避するためのシステムが必要であり、実はこのシステムというのは早くから議論をされている中で、まだ国際標準に至っていないというような認識です。

私どもの考え方としては、3年前にこのプロジェクトをスタートしたときには、日本はこのシステムにつきましても、国際的にそれほどインパクトは持っていなかったという認識でございました。

ここにきまして、しっかりと提案をできる環境整備まで何とか追いついたということになりますと、グローバルにこのシステムのアーキテクチャがうまく普及することになれば、国内だけでなく海外につきましても比較的優位、先行優位性をもって産業振興が推進できるだろうという基本的な認識に立ちまして進めていきます。

ただし、このシステムというのは、なかなかやはりデジュール化が難しいところは御承知のとおりでございます。私どもの相互接続をするという、これは単にリポートするだけではなくて、しっかりと国内外の皆さんは接続して安心を担保してきっちり認識していただくことが必要と考えておまして、これがいわゆる世の中との比較というか接続することによって安全を担保するということの合理性をもって、提案を推進する、そういう活動マネジメントを推進しているというところでございます。

【春原委員】 今回のワールドロボットサミットが2020年に開催されるということで、今、プランが動いているということですが、先ほどのデジュール・スタンダードであれ、デファクト・スタンダードであ

れ、恐らくはこういったものが、イベントリーに一回行われただけでできるものではないというのは分かっていることだと思います。こういった活動を継続していくのかどうかはいかがでしょうか。

とりあえずはこのワールドロボットサミット 2020 の成功に向けてというところであるのか。特に先ほどもちよつとあったような DARPA ロボティクスチャレンジ（アメリカ国防総省の機関である国防高等研究計画局（DARPA）が主催する災害救助用のロボット競技大会）みたいなものは、若干軍事系に寄っていたり、災害系に寄っていたりするところはありますけれども、毎年開催されることで、課題の認識とか、今ある技術の位置といったものが認識できるというものです。私はその継続性というものが大切であり、第1回目を開催するということが非常に大変なことだということは認識していますが、継続というのをテーマに入れていただけたらと思っています。

【和佐田 PM】 おっしゃるとおり継続性が非常に重要だという御指摘はいろいろな方からも頂いておまして、一応このプロジェクト自体は 2020 年の成功に向けて、今いろいろな取組をしているところです。具体的には、今、経済産業省と進めているワールドロボットサミットという企画です。7月に、ロボットによる社会変革推進会議という国の審議会が開催され、報告書が出ていて、この中で、ワールドロボットサミットは 2024 年の実施を目指すということになっていますので、活動自体は継続されていくものと考えていますし、今回の事業で得られた結果を生かして継続していくということになるかどうかと思います。

【弓取部長】 私は、この競技会というのは世界各国で、先ほどおっしゃった DARPA ロボティクスチャレンジにしてもそうなのですが、いろいろ競技会というのが開催されているわけですが、これは単にイベントではなくて、オープンイノベーションツールの研究開発の一つの方法になるのではないかと思います。

社会課題というのをオープンな場で、これが課題ではないかと思っていますと、それは違うという反響があります。社会課題があったとしても、それを誰がどういった形で、ソリューションを提供してくれるのかということをお示しすること、誰がやるのかも含めてお示しすること、そうすると人も流動化してきます。

そういった意味で、やり方を継続していく、これは非常に重要で、先ほど和佐田 PM から申し上げましたように、2024 年開催ということについては言及されているわけですが、NEDO の使命としましては、2018 年に開催して、開催に意味がないと言われたら、もちろん 2020 年は続けられないわけですが、2018 年については良好と言っていました。2020 年開催に向けて、全力で 2024 年も開催すべきであると。さらにその先も考えるべきであるという声を頂けるような、その競技会をお見せするということが極めて重要なのではないかと。そういった思いで研究開発、マネジメントサイドとしては取り組んでおります。

【小林分科会長】 興味深い話題なのですが、サミットの詳細を伺ってからまたそういうものの方向性についてまた議論したいと思います。

春原委員の最初のコメントに戻って、当たり前の技術もあるのではないかという話だったのですが、マネジメントという観点からそれについてお話ししておきたいと思います。四半期に1回、問題点を共有するような会議があるということだったので、そういったものには実施者以外の人たちも入るような仕組みはあるのですか。

【宮本 PM】 この四半期に1回の合同会議につきましては、実施者の皆様の成果の御報告並びに何かお困りごとを共有するということが加えまして、外部の状況につきまして適宜情報を共有するように進めました。

具体的に申し上げますと、例えば自治体がどのような動きをしていて、今、福島ロボットテストフィールドではどんな活用ができるかといったような工程の情報共有をしていただくだけでも、試験計画

がリーズナブルに組めるとかいうメリットが win-win で出てくるというようなこともありますし、または国の流れの中で、例えば準天頂衛星の状況がどんな形になっていて、それがどのような形で組み込めるかということも関係省庁の皆様から情報提供、公開できる部分だけ頂くだけでも、十分皆様が同じターゲットに向けて推進する意味では効率が上がったということで、可能な限り関係者の皆様からの情報共有というのは、この場面でしていただくようには推奨してきたところです。

【小林分科会長】 質問の趣旨は、もちろん参加者が技術的に皆さん、高水準の方々集まっていらっしゃると思いますけれども、それ以外にも技術動向などに詳しい方がほかにもいらっしゃる可能性があるから、そういう方にも参加する機会が与えられているかと、そういう質問です。

【宮本 PM】 それは一般の委員ですか。

【小林分科会長】 一般の委員がいても良いと思いますけれども、そういう御意見番みたいな人たちがいても良いと思います。要するに、プロジェクトの推進者以外の人たちが入る仕組みが特定であってもあるか、ないか。

【宮本 PM】 それはあります。私どもが技術委員会をきっちり設定していますので、その先生方に参加を頂きまして、御意見を頂くというのは当然年に1回だけでは評価しにくいところもありますから、それは適宜実施させていただいております。ただ、一般の方が入られるということはないと思います。

【小林分科会長】 難しいですね。だったら、そういう機会が有効に機能すれば、春原委員の御意見みたいなものには対応できるかもしれません。

【宮内委員】 先ほどの質問に少し関係しますが、資料 4-1 で、NEDO に関しては社会への説明責任といったことが非常に大事だとおっしゃっていましたが、多分ドローンを知らない方、特に運航管理システムにおいて、本当に第三者の上空で飛ばしているのかと心配されている方が多分いらっしゃると思います。そういう意味で、運航管理システム上で、人、例えば通行人に対する配慮を加味しているかどうかも検討していただければと思います。

また、最終年度、5年目の段階だと思いますけれども、ドローン事業者というような専門家ではなくて、一般国民に本当に分かるように安心して使えるような、そういったアウトプットを出すことを実際にお考えになっているのかをお聞きしたいと思います。

【宮本 PM】 まず、私どもが国民の皆様には確かなかなかお伝えするのが難しいところです。成果のところでも少しお示ししましたけれども、展示会ですとかシンポジウムにつきましては、100回以上開催させていただいております。

それは、ある意味、何度も何度もこういうことが起きたということをちゃんと正確にお伝えをする。そして、そこでやはりアンケートですとか、なかなか御意見を出しにくいところはあると思いますが、それをちゃんと頂きながら、実施者の皆様と共有していくということは、やはり愚直に進めているということがまずお勧めするところです。

実際に第三者上空を飛行するということになると、実はこのシステムだけではなくて、その機体に求められるものがどうであるかというのは、この後に少し御説明いたしますが、性能評価という形でやはり検討しています。衝撃がどこまで押さえられるか、または騒音をどこまで押さえることが必要かといった部分、これは来年度になると思いますが、本年度研究が終わりますので、その成果を早急に取りまとめて可能な限り、経済産業省と相談の上、公表したいと思います。そこでまずは御参考にさせていただくというふうにしていきたいと思います。

それから、安心して接続していただくかということになりますと、プロジェクトのメンバーが幾ら接続できたからといっても、やはりこれは理解が得られないと思います。したがって、先ほど API の公開ということを申し上げました。これを今、ネットでアタッチしていただくと、どなたでも接続できる環境ができてきています。これは日本全国、実は海外からもできると思います。

課題が二つありまして、とはいえ、この API の内容自身がプログラムですから、なかなか接続したい事業者の技術的なバックヤードに基づいて、ちょっと接続しにくい部分はまだあります。そこにつきましては、何度も何度もシンポジウムを実施して、興味がある方から接続していただくような形で実績を積み活動をしています。

もう一つは、実際に接続をするときに、これはちょっとしにくいという御意見を当然いただきますから、それをこのプログラムの中で、改変を今進めているところです。そういうことで、可能な限りそういう接続性の良さを実感していただく、それは一般に私ども公開しておりますので、どんな方でも接続に来ていただく、相談に来ていただくことが可能な環境整備まではできました。

あとはこの 10 月以降、実際に飛行試験をお示して、そういう皆さんを可能な限り本年度 2 月を目途にしていますけれども、たくさん福島に来ていただきまして、体感をしていただくというフェーズに入る。これが私どものオープン試験の試行の一環です。あとは海外の皆様にも並行してお知らせをしていくという活動に注力したいと思っています。

【弓取部長】 一般の方への御理解を進めるという意味で、NEDO の中でいろいろプロジェクトがありますが、このプロジェクトからのメディアへの発信はもう本当に上位 5 プロジェクトのうちに入るという、非常に多くのメディア発信をさせていただいているというのと、それとこれは私どもが新たな試みとして、私ども直接ではないですが、南相馬の小学生に対してもドローンはこんなものなのですよということを、これは来月開催する予定です。子供が知ることによって、親にそれが影響していく、そういったことも含めて考えております。

【小林分科会長】 やはり個人的なものも含めたというのはフェーズの違うところとらえていると考えてよろしいですね。

【宮本 PM】 それは個人が運用するドローンということですか。

【小林分科会長】 もともとそういう質問だったと思いましたが、違いますか。

【宮内委員】 運用側ではなくて、ドローンが飛んでいるときに、例えば通行人とか、全く分からないわけです。それは非常に不安なので、そういった情報提供という御質問です。

【弓取部長】 社会受容性の問題ですか。

【宮内委員】 そういうことです。

【長谷川泰委員】 資料の 15 ページに、2019 年度までが研究開発フェーズ、2020 年度以降が実用化促進フェーズとあります。線表を見ますと、左側の 19 年度までがほとんどであって、20 年度以降には余り繋がってなくて、同じく 9 ページにも同じような流れがありますけれども、これまでは技術開発を色々されました。

次の実用化促進フェーズになりますと、多分フィールド、災害、離島、色々あると思いますけれども、そこへうまく繋がっていく、メンバーがどううまく横に年度を超えて、担当とか戦略とか、どうなっているのかをもう少しお聞かせください。

【宮本 PM】 この内容につきましては、今の中間評価の時期は、責任を持った御回答がしにくい時期であります。ただし、今お話されたとおり、研究開発フェーズは一旦終わりますので、今、契約していただいている実施者とは、一旦この契約で終わってしまうこととなります。

可能な限り、来年度以降、今、お話がありました社会実装に向けた新たなテーマをもう少し詳細を詰めながら立ち上げていきたいと思っていますと御認識していただけたらと思います。ただ、それはまだできていないので、このような中間評価における評価委員の御意見をうまく反映をして進めていきたいと考えているところです。

【長谷川泰委員】 そうしますと、色々とアプリケーションというか、促進の方では余り、特に戦略的に色付けはされずに、とりあえず大きくまた公募されるという理解でよろしいですか。

【宮本 PM】 公募です。私どもはこれまでも色付けもしておりませんし、課題提案型の公募ですので、それをしっかりと第三者の採択委員に評価していただいて採用させていただいております。今後もその方向で推進していく予定です。

【長谷川泰委員】 例えば公募でも、すぐに実用化できるものと、結構足の長いプロジェクトのものと、多分いろいろとあると思いますけれども、やはり戦略をもって、バランスなのですか、ちょっと分からないですけども、そういうことでまた進められるということですか。

【宮本 PM】 基本的な考え方はやはり 5 年間でお示ししているのです、この 5 年間でしっかり成果を出していただくことです。さらに、冒頭にお示しましたように政策的には 2022 年度は非常に重要なタイミングになりますので、そこで実現できるということに加えて、研究開発フェーズではありませんから、社会実装に資する御提案を積極的に出していただくようお願いをするような対応をしようと思っています。

【小林分科会長】 成果の共有、実施者間の成果の共有という意味で、例えば運航管理に関しては、システムティックにそれが行われて、成果も出ていて良いと思えました。一方、性能評価基準の策定に当たりまして、分野及びロボットごとに策定するという形で進んでいると思われ、それは報告書を見てもそういうような形ですけども、もちろんアプリケーションごとに評価しなければいけないことがあるということはよく分かりますが、ドローンをひとまとめにしてみたときに、例えば安全であるとか騒音であるとかに関して言えば、それは共通のものがあつた方が良いのではないかと思います、その辺の情報共有についてはどのようなマネジメントの体制で行っていますか。

【宮本 PM】 冒頭御説明いただきました性能評価、既に三つの性能評価、アプリケーションごとで御提示しております。公開をさせていただきました。これはいわゆるイノベーションコースト構想に基づいた福島ロボットテストフィールドの施設が建ちます。この施設を有効に未来永劫うまく使っていただくための一つの考え方として、ユーザーが評価できる、研究開発者がどこまでターゲットできるかということ、それは計測システムを含めてということを意図しましたので、個々に建っていく設備に対して、水中、陸上、ドローンがインフラ点検、トンネル災害、それから橋梁点検で運用できるようなアプリケーションごとでの手順書を策定して提案をさせていただきました。

一方、ドローンにつきましては、性能評価の、第三者の上空のドローンは実はおっしゃるとおり共通性の非常に高い、プラットフォーム的な性能評価になります。これはあくまでも一つ一つのアプリケーションに基づいたということではなく、後ほど御報告をしてもらいますけれども、ここは前者の三つの性能評価というよりは、ドローン全体、共通の性能をいかに評価できるかということに主眼を置いた形で構成をしているということになります。

【小林分科会長】 資料を見ますと、ドローンの中でのアプリケーションの分野が幾つか分かれていて、それごとに安全の基準の提案、別の提案があつたように見えたものですから、今みたいな質問をしましたが、そういうことはないということでしょうか。

【宮本 PM】 はい、項目で言う、ブルーのところの個別のアプリケーションを考えているメンバーのものと、緑で示している性能評価のところのメンバーのミッションがちょっと違っておりまして、ミッションの性能評価という部分につきましては、ドローン全体の目視外第三者上空のための性能評価を集中して検討していただいております。それが衝突とか騒音対策という共通の課題をいかに低減できるような性能を評価するかということを検討しております。

【小林分科会長】 プロジェクトの詳細の発表の内容を聞いてからまた伺わせていただきますけれども、このプレゼンテーション資料をざっとしか読めなかったのですけれども、読んだところでは、安全と騒音に関して、複数の提案が個別に出ているような印象があつたものですから、今みたいな質問をさせていただきます。また内容詳細を聞いた上で質問をさせていただきます。

【長谷川忠委員】 プロジェクトとしては、素晴らしく進んでいるなという印象を持ったのですが、実際にこれからフィールド実験が始まって、人の上を飛ばしながらサービスを行うという場合に、ドローンでするので、落ちることがあるのではないかと思います。先ほどの宮内委員の質問と似ているかもしれませんが、そういう意味で言うと、安全というものに関する取組がないのかと思って聞いていましたが、その辺についてはどのようにお考えですか。

【宮本 PM】 性能評価の御質問でございましたら、性能評価上の安全担保というものと個別の飛行計画をする実施者の皆さんの安全というものはやはりレイヤーとしては、実動部分と評価の部分ということで、少し異なると技術的には認識しています。

先ほど申し上げましたとおり、安全に飛んでいるところをしっかりと確認するという社会受容性を見るとするならば、しっかりと飛ばしてみ、それで大丈夫だということを社会に御認識していただく。逆に紙で性能評価だけをお示ししても、実際にそれで担保ができるかできないかと言いますと、やはり実際に飛ばしてみるということが重要だと認識しています。

2年たちますと、実際に皆さんの家の上を飛ぶわけなので、その2年間までの間のこの2年は福島ロボットテストフィールドという、これはテストができるフィールドですから、ここでしっかり安全性も含めて確認していただくような場所にしていく、これが環境整備の一つだと考えておりますし、それをベースにこれまでイノベーションコースト構想で共有してきたということでございます。

【長谷川忠委員】 分かりました。これからということですね。

WRS（ワールドロボットサミット）についてですが、言い方が難しいですが、内容がちょっと違うという認識をもって話を聞いていました。質問は、デファクト・スタンダードという項目で、WRSだということだったのですが、実際にこれを実施することによって、実施自体に関してはもちろん賛成ですが、実施することによって、デファクト・スタンダードというのはどのようにして実現していくのかという構想を教えてくださいました。

【小林分科会長】 時間がかかるようであれば、詳細のところでの議論をと思いますが、簡単であれば一言、二言で終わることであれば。

【和佐田 PM】 それぞれカテゴリ毎に特徴がありますので、では後ほど、説明させていただきます。

6. プロジェクトの詳細説明

(1) 【項目①】「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

(1)性能評価基準等の研究開発

実施者より資料6に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【宮内委員】 我々としては、人を中心に考えますので、ちょっと気になるのが騒音に関しては、10メートルくらいが一番厳しいということですが、やはり高度150メートルくらいで飛ばすタイプと、高度10メートルくらいのかなり人が、接近して異様に感じるような、こういったところの使い分けというのはされた方が良くはないかと感じます。

また、第三者上空ということは、例えば先ほどの質問にもありますが、人がいた場合、プライバシーとか、今、総務省では2016年に出しておりますけれども、そういったところも是非、ちょっと難しいところだと思いますけれども検討されたら良いかと感じます。

それと性能項目で、これはハードウェアが非常に多いと思いますけれども、ソフトウェアからの対策もあると思いますので、そういったフェールセーフというのも考えられた方が良くはないかなと感じました。

【岩田主任研究員】 ありがとうございます。

【春原委員】 騒音と落下分散と衝突安全、そういった3項目を全体像の中で、性能評価で、なぜこの三つを優先して行っているのか。そのほかに関しての性能評価に対しての何らかの指針というかやり方といったものが出ているのか、あるのかという点を質問いたします。

【宮本 PM】 NEDO から回答します。性能評価の項目ですが、実は2017年、この前のフェーズで先ほど三つのテーマを公表した手順書ということを御紹介しましたが、その段階で、物流ですとか、個別のソリューションで飛ばすときの機体の性能評価というのを別のグループで検討してくれていたのですが、それを公表するときに、第三者上空の項目が落ちていたので、NEDO からこの3項目について研究を新たに追加してほしいということで、継続案件とした構成になっております。

ですから、実際には3項目だけではなくて、最後のページで見ていただいたように、基本的なところは全て網羅できるような形で、この手順書の取りまとめの推進をしてきていただいているところです。

【春原委員】 中身を検証しないと、これがどれだけ網羅的なものになっているのかというのは、気になります。私自身もドローンを飛ばしている中で、エラーの一つがヒューマンエラーです。操作ミス、設定ミス。次が電源周り、次が電波周り、最後にGPSとかセンサ周りです。新しくちょっとリスクとしてあるのが、悪意ある第三者といったようなところです。

この辺の項目が、ある種安全に関わるリスク要件として出てきているときに、一つは当然飛ばす前のときの状況、飛んでいるときの状況、飛んでエラーが起こったときの低減するためのもの、こういったものが性能評価の中にきちんと埋め込まれて、かつ先ほどちょっとお話もありましたが、何かハードウェアに非常によりすぎている、もともとは、ドローン自体は自律、自律の安定性といったところの話、例えばそれはEKF (Extended Kalman Filter : 拡張カルマンフィルタ) 技術やPID制御 (Proportional-Integral-Differential Controller) といった自己位置の推定、それをモーターに伝えるといったようなところ、こういったところの話やあとダイアログスティックがどうなっているか。二重化含めてのフェールセーフがどうなっているか。

それに加えて、セキュリティ、もう少し言うと、本来であればドローンを操るための送信機や、下の中におけるテレメトリーを受け取る仕組みというようなところの実際の安全という意味においては、非常に性能評価として重要ですが、今回のこの中でいくと、全くちょっとその辺が見えないのは、私自身も評価しにくいという印象を抱いています。

【宮本 PM】 こちらは御指摘いただいたとおり、機体の中でもかなりハードに傾倒した内容にしています。ハードにして、それをいわゆるイメージで言いますと、車検でどこかでレベルで評価をする、その場所が福島であって、これを満足していれば機体として飛ばすに見合うだろうということを各国、海外との余り相違差がないような括りで設定をしていただきました。

ということを考えまして、今、御指摘を頂いております、例えば悪意を持ったときの対応方法ですとか、ソフトウェアの部分での評価につきましては、ここでは余り議論ができてなかったことは事実であります。

それについては今日御指摘いただきましたので、少し御意見としてお伺いしておきたいところです。そこは私どものフォーカスはそこには入っていなかったということです。

【春原委員】 安全といった面と今回の性能評価、先ほどあったとおりアプリケーションごとによって幾つか性能が出ているという意味でいくと、実際ドローン自体は手段にすぎないので、目的に対するその性能評価といったものをどう見るのかといったところです。物流については、案外大切なのにどうしてこれをやってないかいつも思いますが、重量が変化したとき、もしくは重量の中のバランスが崩れたときに、どういった状態になるのかといったことは物流のドローンを考えるときに、非常に重要な案件かと思いますが、その辺が欠けている点です。

検査に関しても、この中で拝見しますと、やはりドローンのことばかり書いてあって、検査のところ

で非常に重要なのは実はカメラのシステムやカメラを支えるためのもの、そういったカメラ自身がきちんとその場所をとらえているのか、どういった制度、性能であるべきなのかというところがないと、目的に対する性能評価という意味では、全く不十分なのではないかというふうに考えています。

あとは、災害のところも三つあります。一つは災害調査、もう一つは遭難救助、もう一つは物資搬送、この三つくらいが災害のときに使うドローンの役割です。当然その中において、目的に対する性能評価も違いますし、安全に対する性能評価も違ってくるという意味では、もう少し丁寧にやはりこの性能評価を詰めないといけないのではないかと考えております。

【宮本 PM】 決して丁寧にやってないわけではないのですが、今、御指摘いただきました、これは用途に対してという、今、色々な用途を頂きましたけれども、そこは今対象になっていない、機体全体の共通項として取りまとめをしました。ですから、そこは抜けております。

今後、全てのテーマをやるというのは少し現実的ではないので、重要性についても関係者と色々議論しながら、具体的な用途に対しての性能評価ということは少し継続して検討してまいりたいと思いますので、よろしくをお願いします。

【小林分科会長】 全体、運航を見据えたプロジェクトなので、今の御指摘、非常に重要だと思いますので、是非ともこれに組み入れていただければと思います。

【李家分科会長代理】 今もいろいろ議論がありましたように、安全に関する非常に重要な取組であると思います。一つ、コメントですが、落下するときの基準づくりとか、どうやって計測するかということを作っていくということでしたが、機体の重量は想定されているのはどのくらいなのかと感じました。最初の方のスライドで、各国の無人航空機の定義で、アメリカだったら 25 キロ以上とか、EASA（欧州航空安全機関）だと 150 キロとか、中国だと 250 グラムとか非常に細かく分けられていました。多分このプロジェクトで考えていらっしゃるドローンというのは、ある程度の重量が想定されていると思うので、今回、ここでつくられるような手順書というのは、このプロジェクトで想定されているような重量に関することなのか、その辺のところもう少し明確にして、手順書等をつくっていただければ良いかなと感じました。

【貝應委員】 落下のときですけれども、今、これはホバーリングの状態、テストされていると思いますけれども、直進をずっとして、加速がついているときは計算上、どのような形で安全性は評価できるのですか。

【岩田主任研究員】 福島のテストフィールドで、我々落下受け止め装置を斜めにして、横から入ってきて、そこで電源オフになってからどういう軌跡が起るか、そういった測定試験も実施しています。今ちょっと分析中なので、また結果が出次第報告いたします。

【小林分科会長】 最初、マネジメントのところ、安全性について質問した関係で、補足の質問をさせていただきたいのですが、今のプレゼンは非常に整理されていて、先ほど私がコメントしたようなことはちょっと見えてなかったのですが、資料を見ますと、例えば騒音の評価の方法についても違うやり方が提案されていたり、あと安全性についても若干違うものが書かれたりしますけれども、それはこれに統合されたという理解でよろしいですか。

【宮本 PM】 機体の部分につきましては、こちらに統合というイメージでございます。あくまでも機体です。

(2) 【項目①】「ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発」

(2)省エネルギー性能等向上のための研究開発

実施者より資料6 に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【長谷川泰委員】 資料の 12 ページにプロペラの角度とその飛行性能とかトルクとかの比較、13 ページが結果です。そちらでなぜそのような結果が出たかという解析というのはありますでしょうか。例えばそれは姿勢が真っ直ぐなら一番トルクが少なくなったとか、左側の図ですと飛行性能というのは何の性能なのかちょっとよく分からなかったのですが、縦軸が小さくて見えなくて。もう少しここを説明していただけますでしょうか。

【森開発本部長】 この結果は、実際にドローンに搭載した形でのプロペラの推力、トルク等を試験はしていません。単純にこのような形で、プロペラ単体で角度を変えるということでシミュレーションした結果になります。したがって、質問に対する答えにはなっていないのかもしれませんが、トルクの方はほとんどリニアに、やはり外向きになる方がプロペラにかかる力が弱いというかトルクが少なくてもその回転が出るというような結果でした。推力の方は、若干でこぼしていますが、あくまでもこのプロペラ単体のシミュレーションの結果ということになります。

【長谷川泰委員】 会場の後方に展示されているプロペラの角度を見ても、真っ直ぐに全てなっているのですが、開いた方が良いという結果が今回得られたということでしょうか。

【森開発本部長】 プロペラ単体ではそういう結果が出ております。確かに今回のプロペラ形状はフラットでそのまま造っているのですが、今年度はこの辺も含めて検討したいと思っています。

【長谷川泰委員】 プロペラ単体で行うことにどれぐらいの意味があるのかということと、やはりシステムとして全体として良いものにしていきたいと思っているのですが。そこをもう少し調べていただければと思います。

【森開発本部長】 はい、ありがとうございます。

【宮内委員】 この動画を最初メディアで見せてもらったときに、この研究の価値をまず高める上で既存のドローンとの比較がないので、これがいかにすごいのかというのが直観として分かりませんでした。例えばちょっとリスクはあるのですが、当然リチウムイオンバッテリーを使っているので、通常のものだとすぐに発火してしまいますとか。その比較があると、この研究の価値が高まると感じました。

【森開発本部長】 ありがとうございます。

【宮内委員】 社会実装を考えたときに、多分このドローンはかなり高価なものだろうと思います。なおかつ ArduPilot のフライトコントローラーを使ってらっしゃるので、一般ユーザーではかなりハードルが高いのではないかなと思います。もしできましたら、当然この事業外だとは思いますが、汎用性とか、あるいは使用性など、こういったところを少し分析していただけると、より広まるのではないかなという様に感じました。

【森開発本部長】 承知しました。ありがとうございます。

【春原委員】 私はこの研究は、成果としても非常に素晴らしいものが出ているなというふうに評価しております。やはり各国でこの火災、山火事含めて色々な形での課題に対してなされるというところでは、非常にエンルート社の細かい部分のものが生かされているという部分があります。さらに、オートパイロットを使われているという意味では、実はオープンイノベーションということで、世界中でこういった、例えば今回もこれで非常に難しいのは、炎が上がっているときに非常に気流が変化しやすいと、こういったときのいわゆるコントロールに関して、エンルート社の色々な部分がすごいのですが、ある意味世界中のディベロッパーがこういった機体、気流の変化というのに対してどれだけ安定して飛ばすのかということに対しての成果が実はこの機体に生かされているということです。

これは、フライトコントローラーは大きく分けると 3 つあって、一つは、BGI 社のものです。BGI 社は、携帯電話で比較するとアップルと同じ戦略ですね、閉じた戦略。もう一つ、アンドロイドとこれは同じ戦略で、オープンソースで世界中の研究者が今あれこれブラッシュアップしながら開発してい

ます。もう一つはプロペラの話ですね。プロペラの話に関してはどうしても自社の開発で全てということなので、ある意味エンルート社自身が自分のよさを生かすために非常に良い方法をとられているのだと思います。これはずっとこういう形の中で生かしていただけたら良いなという様に思っております。

【森開発本部長】 大変貴重な意見、ありがとうございました。

【小林分科会長】 気流の変化の話が出たので、それにどれぐらい適応できるかということの評価していかなければいけないという動機があると思うのですけれども、そのあたりは難しいのだということが資料にも書いてあったのですが、もう少し詳しく教えていただけますでしょうか。

【森開発本部長】 炎もリアルタイムに色々な燃え方をする中で、空気密度が変化し、上昇気流も時々刻々変化しています。そこが非常に難しいところです。全てがオートパイロットでそれができれば良いのですけれども、なかなかそこが、一般的にある程度気圧がずっと低いところを飛ぶということであるならばそこはそれほど難しい技術ではないかという様に我々思っているのですけれども、リアルタイムに色々なものが変化する。特に火災は、実際の現場ですといきなり爆発するとかいうようなことがございますので、そういうときに対応すべく、そこは日々ちょっとAIのプログラムも考えて開発しています。

【小林分科会長】 評価という観点で、実際の状況をつくれないのだけれども、二つの風の出るものを使ってそれで評価しているというようなことが書いてあったと思うのですけれども。こういったものは火災現場に限らず、インフラの整備などにも共通に使えるものなのかなとも思っています。ただ、それが二つのファンを使ったということは書いてあるのですが、それをどの様にコントロールしたかが書いてないものですから、具体的にはどうやっているか、今後どうするつもりかということをお教えいただければと思います。

【森開発本部長】 今回の場合はこの火災の上昇気流に特化した実験でしたので、今おっしゃった細かいところまでは実はできていないというのが現状です。

【宮本 PM】 NEDO から回答します。確かに実験として、ファン複数で気圧差を再現する実験はしています。性能評価的にはそういう手法をとったのですが、実際にここを飛ばしてみても、そのところで炎をくぐったときの、これは複数回やっていますので、気圧差に対しての手は何も打っていないということではないのです。

【小林分科会長】 手を打っていないということをおっしゃっている訳ではないのですけれどもね。例えば再現性のある方法で、何がしかの評価値が出るということは価値があるだろうと。そうしたときに、再現性というのはどうやって保証して、その程度の状況をつくっているのかというのが知りたかったから、では具体的にファン二つはどうやって使ったのですかと、そういう質問なのですね。

ごめんなさい、ちょっと勘違いをしているかもしれません。この実験ではなくて、インフラの整備のところで出てきた話だったかもしれないのですけれども。

【宮本 PM】 それはインフラの性能評価のときには、その二つのファンでという気流差で分析をしたところはあります。別のプロジェクト、これではないです。性能評価という項目で研究しています。

【小林分科会長】 分かりました。今説明ができないということですね。いや、質問はどういうことかということ、二つのファンをどうやって使いましたかという質問だから、こうやって使いましたという答えを期待しているのだけれども、それは今の段階では出ないというふうに考えてよろしいですね。

【宮本 PM】 具体的には、橋梁の横に角度 90 度、45 度、変えた形で二つのファンを同時に風で乱流をつくるというために二つのファンを使ったということです。

【小林分科会長】 ファンを別にコントロールして、ゆらぎを与えるというようなことはせずに、定常的なファンを角度だけ変えて当てたと言うことですね。乱流はその状況をつくることを期待したと、そうい

うことですね。

【宮本 PM】 はい、そういうことです。

【小林分科会長】 分かりました。どうもありがとうございます。

【李家分科会長代理】 少し細かいことで恐縮ですが、ジルコニアで色々なものをコーティングしてつくられたというお話ですが、プロペラの実物を拝見したら、しっかりコーティングされていたのですけれども、そうするとプロペラ自体の性能も結構変わるのかなと思ったのですが、そのあたりのところ調べられていますでしょうか。

【森開発本部長】 プロペラもかなり試行錯誤しまして色々なタイプをつくりました。おっしゃるとおり、ジルコニアを塗ることで、数ミクロンといえども厚みがあって、実は揚力がうまく出ないこともありました。今回は、前回プレス発表したものはジルコニアなのですけれども、更にもうちょっと削り出しで、アルミのプロペラの形状を変えて、今年はちょっとセラコートも視野に入れて、ジルコニアだけではなくて、同じような耐熱性を持つもので適正なものを今ちょっと探しているというような形になります。

【長谷川忠委員】 NEDO への質問になると思います。建て付けを教えてくださいたいのですが。これ省エネルギー性能と向上のための研究開発というタイトルに対して、今回のプロジェクトの内容はどういう建て付けになっているのかを説明してください。

【宮本 PM】 承知しました。私ども基本計画に置きましては、長時間で稼働できるという項目と、特殊環境下での飛行を可能にする機械の開発をということで公募させていただきました。複数の応募がある中で、一つはこの特殊環境下の中の火災の現場で使えるという建て付けで採択をさせていただいたところであります。

【長谷川忠委員】 特殊環境下というのが省エネルギー性能とどう関連されているのですか。

【宮本 PM】 長時間飛行する、特殊環境下でも長時間の稼働を可能にするというところでした。ですから、考え方なのですけれども、とてもではないけれども、これは特殊環境下の火災の中では長時間飛行できないわけですね、結果としまして。それを長時間で飛行できるようにということが一つの考え方です。

(3) 【項目②】「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

(1) 無人航空機の運航管理システムの開発

実施者より資料6 に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【李家分科会長代理】 2点、質問します。1点目は、この運行管理システムでドローンを飛ばすためには、ドローン本体にはハードウェアといいますか、どのようなものを装備しなければいけないのかという点です。2点目は、最後の方で御紹介いただいた統合管制室設置のイメージというのがありましたけれども、今後こういったものが実用化されたときには、都市内にこういった言ってみれば航空管制室みたいなものを設置して管理していくということになるのかなと思ったのですが。マンパワー的には人間がどれぐらい必要になるのか。

【西沢マネージャー】 まず、ドローンの機体に何かセンシングをつけるかどうかという話なのですが。今回はあくまでも運行管理機能のサービスプロバイダーと FIMS (Flight Information Management System : 運行管理統合機能) という統合機能の接続になります。ドローンがどこを飛んでいるかなどの情報の通信はいわばグラウンドコントロールステーションと呼ばれる、各運行管理事業者が準備をするところで位置情報とかをそこで一旦収集していただいて、その情報を、インターネットを介して送っていただくということになります。事業者によっては、ドコモ社や KDDI 社は機体自身に携帯電話

を搭載して、そこから位置情報とかの情報を直接インターネットに上げるような仕組みを提供しています。

二つ目の質問ですが、正直これ将来どのような事業者が主体になってこういう運行管理の統合機能を提供するかということは、今まさに法整備も含めて議論がされているところです。実際、飛行計画が提出されて承認をしたりするのは全部自動で実行しますので、どちらかというマンパワーというよりはサーバーの能力ですね、こちらの能力が、将来100万機ドローンが飛ぶとかというようにときに、こちらのサーバー側の機能とか、あとアルゴリズムですね、これらがよりスケラビリティを持って高速に処理できるような機能を提供しなければいけないというふうに考えています。

【李家分科会長代理】 そうしますと、最初の点で、本プロジェクトでは、もう決まった事業者のドローンが飛ぶことが分かっているので良いのですけれども、個人の所有するドローンがこの中に入り込んで一緒に飛べるとか、そういったことまでも可能になると考えればよろしいでしょうか。

【西沢マネージャー】 そこはまさに法整備がどうなるかというところだと思います。

【李家分科会長代理】 技術的にはということです。

【西沢マネージャー】 技術的には、オーケーです。

【長谷川泰委員】 ドローンがこれから高密度で飛び交うという際には、運行管理の一番の目的は衝突を回避することだと思うのですが、どこまでギリギリまで詰められるかだと思います。要するにドローン間の距離ですね、それをどれぐらいの値で管理しているのか、分かりやすい値でお示しいただきました。ただ、本来はもう少し技術的な数値で密度ですかね、ドローンの密度が必要だと思います。速度と密度が関係するので、多分難しいと思うのですが、密度について、もう少し教えていただきたいと思います。

【西沢マネージャー】 まず、密度の話の前に、目標設定、なぜ1平方キロメートルあたり、1時間あたり、100機であることから説明をさせていただきます。現在、年間50億個の荷物が物流で運ばれています。その物流の頻度とか、宅配の施設の拠点数とかから算出すると、東京都では1時間1平方キロメートルに100フライト飛ぶような評価になっています。目標設定をそこに置いて、現在、どのぐらいの密度にするかということ議論しようとしています。そうすると、同時に飛ぶのが1平方キロメートル二、三十機になります。この密度でどう管理をするかというところがポイントになってきます。

【長谷川泰委員】 そうすると、現在の物流のレベルで見積もるとこれぐらいがリアリティのあるところであるということですね。

【西沢マネージャー】 そうです。

【長谷川泰委員】 ドローンになるともっと物流は増えるかもしれないということでしょうか。

【西沢マネージャー】 一応物流が将来増えたことを想定しています。

【長谷川泰委員】 物流の手段が変われば、多分利用量も変わると思います。要するに、今後サービスがどんどん増えていって、物流がまた変わるかもしれないと思います。そのときにはやはりどこまでいけるのかというのを大体ちゃんと見積もっておられているわけですね。数字的にちゃんと目標を持っておられるということですね。

【西沢マネージャー】 そうです。

【春原委員】 今回の運行管理統合システムをつくって、非常に良い箱ができたという印象は持っています。運行管理機能と運行管理統合システムの接続に関しては、いわゆるインターネットという形で考えてよろしいですね。

【西沢マネージャー】 はい、そうです。

【春原委員】 クラウド型の仕組みということですね。

【西沢マネージャー】 そうです。

【春原委員】 この運行管理機能自体はフィールドで使うケースが多いのです。フィールドで、特に農林水産にしても先ほどの物流にしても、もともとの適用先が都会とか人口集中地区というところにあると思いますが、多分、最初に動き出すのは地方ではないかと思います。その差異、オフラインのときの管理をどのようにするのかについては、何か今ありますか。いわゆる運行管理機能と運行管理システムの統合のところの繋がるラインがフィールドなどでないということですね。

【西沢マネージャー】 今は基本的には繋がっていることが前提の範囲にしています。したがって、離島などでは衛星回線を使って繋ぐとかそういうことを想定して、今研究をしているということです。オフラインのケースはまだ研究範囲の外に置いてあります。

【春原委員】 特にシミュレーションみたいなものも含めて、物流のケースは定期便だと思うのです。決まったコースを決まった時間に動くというのであれば、多少ちょっとそういう運行管理機能側に計画を立てて送って、オーケーだよとあって、そのとおりにいくのであればオーケーにするみたいな機能を入れていただきたいなと思います。特に今回の災害調査のケースでみると、御存じのとおり千葉でも携帯電話が繋がらないというケースはまああると思います。今回僕も良い箱ができたなと思っているので、様々な用途に対応できるものにしていただきたいなと思います。

【宮本 PM】 そこは NEDO も、経産省と国交省との間で議論を進める中で、今ありましたプライオリティーですとかコネクションですとか、多分ケースバイケースであると思います。技術的にはある程度バックヤードはできたのですが、それを応用するときには今のような運用というのは管理の中の範疇において現実性があるかどうかの議論も並行して進めていくという認識はあります。しっかり検討させていただきます。

【春原委員】 次に、恐らくコンフリクトの X、Y の幅と Z の幅をどういうふうを設定しているのかというところは、ある種仕様で決めていただきたいと思っています。

【西沢マネージャー】 承知しました。機体の速度とかによっても、安全距離をどのぐらい確保しなくてはいけないかというのは変わってきます。今回我々の仕組み的には、機体の性能なども全部管理できるようになっていて、機体ごとに安全距離をどのぐらいに定義するか、警報を出す距離をどうするかというのもパラメータとして設定できるようにしています。今後シミュレーター等でしっかりその値をどうするのが妥当かを検討していきたいと考えております。

【宮本 PM】 NEDO から補足します。今御指摘ありました、特に垂直方向の精度について言いますと、もともとの機体の位置情報が GNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球航法衛星システム) という部分でのぶれ方が少し気になるところです。私どもは並行して QZSS (Quasi-Zenith Satellite System : 準天頂衛星システム) を使いましたドローン、これにつきましてはかなり密度が高く、今のような、先ほどの御質問もそうですけれども、かなり精度を高く運用ができる高密度な航路設計ができると思います。残念ながらまだ機体に搭載できるセンサが入手できませんので、並行して開発を進めていきますから、来年度以降予算措置も含めましてそれは前向きに検討してまいりたいと考えております。

【春原委員】 実用化についてです。さっきも言ったとおり、良い箱ができたので実用化しないともったいなと思うので、ちょっと今の 20 種類の 50 機体とか、今回の場合については非常によく分かるのですけれども、やはり世の中の実用化レベルがあるので、そこに合わせて、例えばものをきちんと管理できるというようなところから一つ一つ詰めていながら、アプリケーションを足していくという方式をとらないと、若干厳しいのかなというふうに思います。

あとは、API をオープンにやるということは非常に僕も良いことであると思います。同様な運用管理ソフトは世界中で色々な形で利用されています。楽天社などもエアマップという形で運営されていて、これにどうやって統合していくのかみたいな課題があるので、API は非常に良いことだと思うの

ですけれども、一方で、やはりオープンにすることに対してのリスクは生じます。それは来年度以降その辺もプランに入れていくというお話はあったのですが、それをやはりきちんと定義していただきたいと思います。実用になるとやはりその部分が非常に気になるようになります。実証実験はその日にうまくいけば良いという考えはあるのですが、実用の際には、日常の中でそれが行われるといったことを念頭に置いて、丁寧に進めていただけたら良いと思います。

【宮本 PM】 NEDO から御回答いたします。遠隔からの機体識別のテーマ、本年度から立ち上がりました。まさにそこがターゲットになると認識しています。しっかりと推進をさせていただきます。

(4) 【項目②】「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

実施者より資料6 に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【長谷川忠委員】 具体的にどのタイミングというかどういうルールにのっとって回避行動を始めるという様にされているのですか。

【山根部長】 タイミングについてはこちらに書いているとおりなのですが。

【長谷川忠委員】 例えばよくあるのは、あるエリアに入ったら回避行動を始めるとか、そういうトリガーがあると思うのですが、そのトリガーはどの様にされているのですか。

【山根部長】 すみません、ちょっと詳細な部分については、先ほど宮本 PM からありましたノウハウ部分もあってお話できません。

【宮本 PM】 単純にトリガーといいますか、基本的には 360 度レーダーで常に探しています。5 キロ程度前に検知をして、その対象物が画像処理で何かということ認識した上で、適切な回避をするのが約 500~600 メートル手前という意味です。

【長谷川忠委員】 単純にエリアに入ったかどうかを見ているということですね。

【長谷川忠委員】 ダイナミックルーティング、いわゆるパスプランニングしているのだと思うのですが、これは本当に動的パスプランニングをされているのですか、それとももう決まった経路をトリガーが入ったら動かすということをしているのですか。

【山根部長】 動的に実行しています。詳しく言うと、レーダーで入ってきた情報を、レーダーなので位置だけではなくて速度、方位も全部取得できます。それをもとにある程度予測をしています。予測に従ってこうよければ確実によけられるという経路を探索して、その都度探索して確実によけられる経路というのを設定するというやり方をしています。

【長谷川忠委員】 そのときに、その前の御発表のところで、運用システムがあって、ほかのドローンがどう動くかという情報は多分常に見られるのだと思うのですが、その情報も含めてパスプランニングをされているのですか。

【山根部長】 現状、まず現在ターゲットにしているのは有人機との回避なので、有人機の情報というのは UTM (Unmanned Traffic Management : 無人航空機管制) の中に入ってこないという前提で実施しています。無人機同士の回避、それも UTM の中で情報を持っている機体あるいは持っていない機体、それぞれに対して必要なのですが、それは今後のやり方だと思っています。

【長谷川忠委員】 ということは、ダイナミックにパスプランニングをされているので、例えば有人機が今一定動いていますけれども、途中で何かを変えてもちゃんとした対応できるという様に考えてよろしいですか。

【山根部長】 ケースバイケースで、例えばわざと向かって来られるとよけられないですが、基本的には相手の飛行状況が変わると、それに対応してよけるように経路を設定します。

【宮本 PM】 技術的にはもうそこは確立できたという様な認識であります。

【長谷川忠委員】 課題として小型化があるという話をされました。今重量は 10 キロちょっとありますよね。

【山根部長】 おっしゃるとおりです。

【長谷川忠委員】 これはどのぐらいまで小さくなるものなのですか。小さくする予定なのですかといった方が良いですかね。

【山根部長】 その目標設定も含めて今後決めていかないといけないと思っています。おっしゃるとおり、今 5 キロ×2 プラス 500 グラムです。10 キロちょっとです。今回飛行試験のプラットフォーム機体が 30 キロ機体です。弊社の SUBARU の機体ではないのですが、弊社が目指しているのはもうちょっと大きな機体ということで、今のサイズぐらいであれば何とか大丈夫ということ。おっしゃるとおり、小型化については、小型化といっても色々なサイズがあるので、その中でどこを目指さなければいけないのかというのは、研究課題だと思っています。

【宮本 PM】 少なくとも今展示をいている中型といわれる 10 キロ程度までは標準的に搭載をするような形を考えなければいけないと思っています。

【長谷川忠委員】 なぜ聞いたかということ、恐らくですけども、トレードオフかなと思っています。小型化して省電力すると多分性能も落ちるのではないかと思ったのです。今相対速度 100 キロということなので、大体 1 秒間に 25 メートル近づいてしまうので、多分 500 メートルぐらい手前ぐらいから反応しないと動けなくなります。そのくらいの性能を担保できるのかなと思ったので聞いたのですけれども。

【宮本 PM】 技術的に言いますと、レーダー自身は今モーターで回転するタイプを使っているのですけれども、これを小型化する際にはフィールドアレイという技術を採用して、360 度に展開をしていくという技術的な方向性は見えていますので、その技術を何とか搭載したいというふうに考えています。これは御承知のとおりかなり技術的には進んできていますので、それほどトレードオフはないというふうに考えているところですが、実際にそれを小型化するという実績がありませんので、それは研究開発の課題としても認識をしているというふうなところです。

【小林分科会長】 衝突回避に関して、技術と一緒にルールというのが非常に重要だと思っているのですけどね。まだ有人のものと無人のものが想定だということでは詰めてはいないのだと思うのですけれども、例えば 15 ページを見ると、無人と無人が来たときに、どういう状況にある方がよければいけないとか、どういう行動をしなければいけないとかいうそういう観点ではないですよ。例えば正面から来るというときは両方にとって正面から来ることになるのだけれども、それが例えば北から来たやつが上がらなければいけないとか、南から来る無人機は下に下がらなければいけないとかやらないと、両方で下がったらおかしな話ですよ。そういう点が何かちょっと考慮されていないのだなというのがあったのですが。

【宮本 PM】 考慮はしています。まず、ルールをつくるころは非常に難しい課題であることは認識しているのですけれども、前の発表で御説明させていただきましたとおり、世界においてこれが明確に定義化されているものはありません。ですから、ルールを考えたときに、ただ自分たちの技術のルールができたということに加えて、それが合理的に運用できるようなルールにする方向性を一つとりたいと今年度思っています。

もう一つ、今の議論があるのでありますが、先ほどのこのタイプのセンサはある程度の閾値を持ったエリアに入ってきたところから回避行動をとったときに、例えば無人機と無人機がそれぞれ同じようなシステムを持っていれば、その行動がリアルタイムに相互に認知できるようになるはずなので、そうすると回避をするということのルーティングで回避ができるという概念でこのセンサを開発頂いているということです。

【小林分科会長】 センサを開発しているのは良いのですが、そうではなくて、ルールとしてバグがあるので

はないのですかという指摘なのです。

【宮本 PM】 具体的なバグといいますと。

【小林分科会長】 また両方で下がってしまったら回避にならないでしょうという。だから、その状況に応じたところがなければいけないのではないのですかということです。それは決めれば良いことで、難しいことではないのだけれども、そういうものを配慮して決めたらどうかと思います。

【山根部長】 今おっしゃられた、例えばここがまさにそれで、無人機、無人機の場合はお互い降下してしまいます。なので、お互い降下すると、向かい合ってしまうので、それでも改善しない場合はお互い右旋回する。向かい合ったときはお互い右というのは、これ有人航空機でも共通のルールなのですね。基本的には有人航空機のルールを参考にしてやっています。

【春原委員】 これは実機で使われているアルゴリズムを今回持ってきたのかどうかということです。いわゆる実機での実装の中の経験があることなのです。したがって有人航空機に関してのものは有人航空機同士、これを搭載しているとぶつからないものとして割とポピュラーなテクノロジーなのです、新たにこの部分が大変だったのでつくりましたというところがあるのか、そこを伺いたいと思います。

【山根部長】 おっしゃるとおり、参考にした TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System : 空中衝突防止装置) というのがありまして、実は弊社はずっと無人機を開発していますので、そういう点を参考にしていきます。ただ、今回の、さっき申し上げた、予測をして運行していくというアルゴリズムについては、本当にここは無人機特有のところなので、新しい研究要素として取り組ませていただいています。

【宮本 PM】 技術的に言いますと、レーダーの技術はドップラー反射技術ですので、それほど難しいということではございませんが、この周波数帯は実はまだ実験免許局なのです。これはまだ空で使える、一般に使える周波数帯ではないところを初めて利用させていただいたということになります。したがって、既存技術は色々なところ、もう車でも使われている技術なのですけれども、空で、また高度 150 メートル以下で対象物をこのような形で設定したのは初めてである点を御理解頂きたいところです。そのリスクはありました。それを今ここまで開発して実証できたところです。

【春原委員】 ほかの建物みたいなものも含め、これから画像解析の中でクリアするのだと思うのですけれども、あとは小型化するというのは必然的に小さいものに載せられるようにしたときに、小さいものをどのぐらい判断できるのかとかいうのは実機同士、いわゆる有人同士でないところの話なのかなというの思っています。

【宮本 PM】 その辺もアルゴリズム自身は、もう今基本的な概念が設定できましたので、小型化をすることによるリスクというところの方が少し今は注目しなければいけないところでありますので、まずそれを実施していく。アルゴリズム自身はこれで技術確立ができたのは非常に大きな成果だと私ども認識していますので、このレベルを下げない形で小型化を図るところがマネジメントとして重要であると認識しています。

【春原委員】 次に、このシステムは物流の仕組みの中で使うのかなというところなのですが、日本では今さほどではないですが、当然この技術を世界に持っていかうといった場合に、世界の物流に関して、今動いているので多いのは、固定翼若しくは VTOL (Vertical Take-Off and Landing Aircraft, : 垂直離着陸機) といったところになってきたときに、先ほどの回避のアルゴリズムとか、あと性能といったところも含めて、少しやはり固定翼にフォーカスをすると思います。この衝突回避のシステムが、例えば今ルワンダで血清を運ぶというところをやっている、あれは 20 キロの距離を毎日 10 回とかもう既にやっている、ああいったところにもどのぐらい彼らのところでヘリが飛んでいるかみたいなのはあります。ただ実際ヘリも飛んでいますし、私も 1 カ月ぐらい前に行ったのですけれども、

そういう意味ではそういったせっかくつくった技術が日本だけではなくて世界にといったところで考えると、ちょっと固定翼はやはり意識してほしいなというところですよ。

【山根部長】 ありがとうございます。今後検討させていただきます。システムというよりはこういったルールをまず国際的には提案しようとしています。そこは固定翼、回転翼という区別がなく、ある程度共通の部分があって、その中で固定翼の場合は、回転翼の場合はというまた区分けというふうになっていくと思います。そういった考え方で検討させていただきたいと思います。

【春原委員】 こういった回転翼に比べると、停止もできないし、減速もなかなかきつい部分もあるので、その分ほかの回避行動はとりやすいことはあるので、その辺で何かできたらと思います。

【宮本 PM】 まず国際標準にルールもついでいきます。どこまでオーケーいただくかは別としまして、ディベートしっかりさせていただこうと思います。二つ目に、海外の状況、VTOL 等も有翼機についての状況も私どもよく把握をしているところでもあります。今回シングルローターでここまで小型化してまいりますけれども、その小型化をする段階において、当然無人航空機の VTOL も当然あるわけでございますので、そこに適用できるような形で研究開発の中で組み込む、予算措置を進めていくように少し努力していこうというふうに考えます。

【李家分科会長代理】 今の最後の御質問に関してですが、ちょうど航空機メーカーの方がいらっしゃるのと同じなのですが、今日の話は前提としては回転翼ばかりで、今初めて固定翼の話が出てきたのですが、有翼の方が圧倒的に飛行効率が高いわけで、今日のお話にあったある程度長距離を飛ばす機体に関しては当然ながら有翼機の方が良いだろうなとは思っているのですが、その辺のところ、今回はヘリを使われて試験されていますけれども、ドローンのような都市部を飛ばすようなところにも有翼の機体が活用できるような可能性があるかどうか、伺いたいです。

【山根部長】 まず、国際的な競争力というお話もあつたのですが、まず国内を考えた場合に、やはり日本の国情を考えると、滑走路の必要な固定翼よりも滑走路の要らない垂直離着陸、そういう意味では最近翼はあるけれども垂直離着陸の可能な機体というのが随分出てきていますので、そういう意味では VTOL の可能な機体というところが最初かなと思ってやっています。当社は無人ヘリもやってみましたので、まずはここをターゲットに、そこから入って、そのほか小型の無人機、それから有翼も含めて広げていくと、そういう考え方です。

【李家分科会長代理】 そうすると、将来的には何らかの翼を使うような機体もドローンとしてあり得ると思っておけばよろしいですか。

【宮本 PM】 そこはもうまさに日本の今改正航空法の無人航空機がそこまで包含されているということがございますので、基本的に技術はそれをきっちり対応していくということの方針にさせていただいていますので、もちろんフォーカスします。そこはフォーカスしないということは一切ないと御理解していただいて良いと思います。

【長谷川泰委員】 これが3対問題だとどうなるのかなという質問です。要するに今1対1ですよ。3機目が出てきたときにどうするのか。それはもうもともとの運行システムでそれは許可しないようにするのか、話がどんどん難しくなってしまうのですけれども、そんなのは航空機ではもう要らないのかどうかという、御意見だけお願いします。

【山根部長】 3機目が無人機か有人機かによってまたそれも違ってくると思うのですが、今シミュレーションの中では相手が1機目のその後ろにまた有人機が来たらどうなるのというのも含めて検討は進めています。一方で、自分の後ろに別の無人機がいるとか、横に無人機がいるとか、そういったところはやはり運行管理の中で組み合わせます。そうすると大事なものは、先ほど飛行経路でよける絵が描いてあつたのですが、よけるときにどれぐらいよけるのかというのが重要で、それをもとに運行管理の中で決めるハイウェイとかレーンみたいなものを設定していかないといけないというこ

とを以前に ISO の方からも言われていますので、そういう点も考慮しながらやっていきたいと思っています。

【宮本 PM】 二つ考慮のポイントがありまして、10月にこの機体も私どもの運行管理システムにしっかり接続をするということをお示ししたとおり、この機体自身がその行動に耐え得るものかどうかの検証をいたします。ただし、150メートルの離隔ということに対して、それが運航管理システムに、先ほど御報告いただいたところの影響度合いについては今後高密度化の中で検討を進めるべきことだという点の一つ認識しています。

二つ目に、無人機航空機以外に有人航空機がどの程度同一区域にいるかということにつきましては、私どもは最終のフェールセーフとしてこのセンサ、機能を理解しているのですが、やはりそれぞれ無人機を運航するもの、有人機を運行するものの情報をうまく共有するというで、ある程度リスクヘッジを前段階で排除しておきたいという様には考えております。そのために、今年立ち上げました遠隔からの機体識別、これは無人機側の空域の中の密度を明確にチェックするのですけれども、それを有人機側とうまくマージできるような形で今後経産省様とまた国交省様とよく相談をして進めていきたいという様に考えているところです。

【長谷川泰委員】 最後は鳥もあると思うのですけれども。

【山根部長】 3匹目が鳥かもしれないです。

【弓取部長】 VTOL の話も、午前中のハイウェイの話もそうなのですけれども、官民協議会というのがございまして、そこで事業者と国と議論しておりますので、基本的にはその議論をベースにそこにとってやっていくということですので、そこで議題に出て VTOL をやるべきとなれば、当然基本計画の変更もあり得るというふうに考えています。現状ではまだないので、やっていないという整理でございまして。

(5) 【項目③】「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

(1) デジュール・スタンダード

実施者より資料6に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【小林分科会長】 どうもありがとうございました。まだ時間もあるので、どういう活動をされたかよく分かったのですけれども、その活動で何を心得、どうやってそれが生きたかというのをもうちょっと補足して説明いただきたいのですが、例えば最初に調査したというのですが、調査で例えば各国の強みと日本の強みと比較しましたみたいな話があったのですけれども、そういったものではどうだったのだとか、あるいは法的整備の問題どうだったのだとか、それでそれを踏まえてどういう提案をしていて、それにはどういう知見が役立っているのだとか、そのコンテンツの部分が知りたいのですけれども。

【杉原マネージャー】 最初こういった事例で各国の調査をしたときに、日本としてやはり、この部分ですね、この UTM の部分については、各国ともどこが主導権をとれているわけではないなといったことがほかの特許の中身等を見ても調査をした時点で認識できました。ですので、これに加えて、各国の UTM の整備状況というのがどういったペースでどういったところまで進んでいるかという調査も別途実施しまして、日本としてこの UTM、今開発 3 年間やってきたものというのが十分 ISO で提案しても新規性があるし、各国と国際標準化に向けて討議できるような状況ではないかということ NEDO の皆様ですとか実施者の皆様と議論しまして、実際に UTM の提案に結び付いているといったこともございます。

あとは、別途これとは全然違うのですけれども、バッテリーについても調査を実施しておりまして、

燃料電池ですとかリチウムイオン電池ですとか色々な形態の電池を積んだドローンが何時間どれぐらいのペイロード飛んでいるかというようなことも別途整理しまして、やはり一定のペイロードになると飛べる時間が短くなってくると、それはどのようなバッテリーであっても同じであるということから、そのペイロードに対して飛んでいる時間が一定の時間確保するという空白地域をいかに埋めていくかということが重要であるというような議論を皆様とさせていただきたいというようなことを調査しながら色々させていただいております。

【小林分科会長】 調査研究なので、報告を聞く人は調査の内容を知りたいと思うのですね。例えばこの資料を読んでも詳細というのが数行しかないという、そういう状況はちょっとやはり読む人はフラストレーション起こるかなと思います。少し何らかの形で補足していただければと思いますけれども。

【宮本 PM】 私ども今推進している研究開発ですが、いわゆる国際標準をどう築いていくかというこのプロセスがすごく重要でございまして、そのプロセスに基づいてしっかりほかの実施者の皆さんがということになっているわけですね。すなわち、彼らが全て調査をして、彼らが技術の課題を明確にするというプロセスではなくて、通常の調査事業と違まして、こういう状況に陥ってそれぞれの実施者の皆さんが課題をちゃんと認識をしているという中で、最後は標準にちゃんと繋げるような活動をこのルーティングワークで回せるようになってきているということが大きな成果だと思うのですね。

【小林分科会長】 でも、枠を書いて何やりますというのはどのプロジェクトも同じで、それがその研究の過程の中で何が得られて、具体的にどうやって繋がっているかというのをやはりもうちょっと知りたいなという気持ちがあります。それはやはり事業報告の中でも、どこかに散在して書いてあるのかもしれないのだけれども、読み取りづらかったですというコメントです。

【宮内委員】 国際標準化は非常に重要だと思いますし、空域に関しては是非進めていただきたいという様に思っています。一方、我々のように建築物に関連するものとしては、例えばドローン配送で建物にリンクするとか、そういう地上関係のところも是非情報共有というか意見交換の場を頂きたいなという様に思っています。それは多分インフラもそうであって、空域と地上と連携することによって、よりドローンが活用できる場というのが広まると思いますので、是非そういった情報共有、公開をお願いしたいと思います。

【宮本 PM】 このプロジェクトは冒頭申し上げましたとおり、標準においては国際標準をターゲットにしました。これまで色々な国内のそれぞれの分野で国際標準を進めている中で、少しこういう新たなルーティングワークで成果が出だしたといったところは大きな成果と認識をしているところであります。これに伴いまして、例えばエアリスクだとかグランドリスクというのは当然今後色々な場面で議論されてくると思うのですが、私どもはこういう活動の成果は速やかに公開をしますし、それについて何か問合せがありましたら真摯にお答えをするという準備はこれまでもしてきましたし、これからもしていきますので、是非成果についても活用していただいたら幸いです。

【長谷川忠委員】 私は良い取組だなと思って聞いていました。サポートされているわけですよ、このループの中で。ただ、成果も出ているので、きちんとされているのだなという印象を持ったのですが。一つあるとすると、逆に調べられてこういうふうな標準化のところをねらった方が良いのではないかという提案はないのですか。

【宮本 PM】 基本的な今のお話の中でこういう分析をしますと、やはりオープンクローズという部分についてはソート分析ができるようになるのですね。例えば先ほどの耐火ドローンについて言いますと、基本的にはランチェスターの法則という経済議論に基づいた形での推進方法の提案がこの中で生まれてくるというふうに認識をしています。それはNEDOとして把握をしっかりとした上で、先ほどの四半期に1回の会議ですとか、そういったところで実施者の皆さんと合意形成を図って、納得性を持って推進をしていくというプロセスを踏んでいるのでうまくこれが回るというふうに考えていただい

ります。

【長谷川忠委員】 私の質問は、プロジェクトの成果を標準化しようという話で流れているのですけれども、そうではなくて、せっかくコンサルの方が入って調べられているので、ここの部分をねらうべきかどうか、ここをねらった方が良いのではないですかという質問なのです。

【宮本 PM】 このプロジェクトは、先ほど冒頭ありましたように、このプロジェクトの成果を速やかに展開するというございました。

【弓取部長】 先ほどプレゼンで少し触れましたけれども、気象情報を、運行管理システム全体を提案する前に、まずはやはり気象情報をきちんと入れ込もうではないかというところにすき間があるというのは新たなファインディングであって、そこからちょっとこじ開けていくべしという、そういう結論が出て、そこから入って行って NP 提案が見事通って、そこからほかのシステムのところまで今度拡張していこうとしているのですね。なので、非常にまず戦略的に調査をしていただいて、その提案に基づいて突っ込んでいったところがまさにピタッと当たったと。当たったと言いますか、うまく響いたということで、非常に大きなその部分は成果だったと思います。気象情報まで、風の風向まで取り込んだ運行管理システムをやろうという発想はなかったものですから、その点です。

【小林分科会長】 そういった事例が絶対あるのだと思うのですね、色々なことを実施されていて、それが例えばプレゼンなり報告書なりから読み取れるようにしていただきたいというのが私のお願いであります。

【李家分科会長代理】 私も非常に重要な取組だと思いました。航空機の世界で、有人機で言いますと、例えば装備品などでこれと同じような国際標準化で完全に日本が出遅れて色々苦勞されていると伺っていますので、まだ世界の方でも確立されていないようなこの分野でうまく日本の成果が発信できればと思っています。

一つ教えていただきたいのですが、先ほどおっしゃったかもしれないのですけれども、中国の動きなのですが、中国もやはり積極的にこの ISO の標準化に入ろうとしているのでしょうか。

【杉原マネージャー】 はい、積極的に参加しようとはしております。ただ、全ての分野でそうかというとは必ずしもそういうわけではなくて、やはり特定の大学の教授の方が専門で研究されているような領域については、中国として積極的に参加されていて、例えば UTM に関してとかは余り中国からは積極的な提案とかはないという状況です。

(6) 【項目③】「ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進」

(2) デファクト・スタンダード

実施者より資料6に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【宮内委員】 先ほど春原委員がおっしゃったのと同じ意見なのですけれども、こういったすばらしい技術というのがやはり社会で使われていくというのが大事だと思いますので、今後継続もそうなのだと思います。追跡調査をしていただければと思っています。実際に企業で使われているのかどうかなど、本当に社会に根付いているということが多分分かると思いますので、是非そういう追跡をお願いしたいと思います。

【林事業部長】 ありがとうございます。まさしくおっしゃるとおりで、各参加チームのアンケートだけではなくて、もうその、今も実は1年近くたちましたので、実際チームに訪問して、経産省、NEDOの方々と一緒に、事務局も一緒に訪問して追跡調査をさせていただいて、その具体的な課題も含めてヒアリングして、それを皆様にちょっとフィードバックしようというふうに動いております。

【小林分科会長】 追跡調査と絡むのですけれども、こういうコンペディションベースの開発というのは色々

な役割があって、例えばすそ野を広げるとか、ジュニア対象の催しをやってらっしゃるとか、大学が実施していること自体もすそ野を広げるという意味合いあると思いますけれども。あとは、技術展示としてインパクトを与えるとか色々あると思うのですけれども。ここでメインの目的としているデファクトに繋げるという観点で、技術なり何なりが生み出されて、それが共有するという点に関して何か特別の仕組みづくりを、デザインをされていますでしょうか。例えば私の専門分野において、80年代後半から90年代にかけて結構こういうコンペベースで技術を開発、私音声認識もやっているのですが、そういうはしりでやっていたと思うのですね。そうして、やはりそのときの財産が残っているのですね、技術はもう当時の技術などは全部凌駕されてしまって、もう入れ替わってしまっているのだけれども、そういう財産が残って、ツールなりデータなりが活用されているわけですね。そういった試行も含めてここで何を積み上げていこうかということに対して何かプランがありますでしょうか。

【和佐田主査 (PM)】 NEDO から回答させていただきます。午前中に頂いた質問も同じ趣旨かと思いますが、今回9種目設定している中で分かりやすいといえますか最もお答えに近いのが、災害対応ロボットのSTM、スタンダードテストメソッド、こちらの方なのですが、まだこちらの方今の段階ではこういったタスクを設定して災害対応ロボットの性能をいわゆる測る物差しをつくっていこうという段階です。こちらに関しては、もう既に米国のNIST (National Institute of Standards and Technology: アメリカ国立標準技術研究所) と一緒に、かつNISTが今まで補完できていなかったところですね、こちらの方を競技形式にして、まさに残る形で構築していこうと思っています。

一方で、このSTMという観点で見ると、このほかのサービス分野もものづくりもそうですが、まだいわゆる特定の評価方法では確立されていません。ですので、このSTMの今は災害対応ロボットだけが明示されておりますが、ほかの競技会に関してもいわゆるSTMのやり方を広げていこうというのを戦略的に今考えておるところです。

【小林分科会長】 1点気になるのは、こういったコンペのテーマを結構アプリに載せてしまうと、似たようなアプリで違うこと、ちょっとだけ違う、似て非なるものみたいなのを各社メーカーがやっているときになかなか集まらないのではないかなという気もするのです。いずれ大学のためのものになってしまうとか。だから、ここでつくるものがやはり基礎技術としてベースになって積み上がっていくようなものを意識してテーマ設定されると良いのかなと、ちょっとこれは分からないですけれども、我々の分野、私の分野の経験で言うとそういったこともあっていいのかなと思いました。

【春原委員】 今回はこういう形で行うということで理解はしました。ただ、ちょっと私もつたいないなと思っているのは、今回福島いわゆるロボットテストフィールドといった世界でもまれなフィールドでの実験、実証ができる場所があるのに際して、若干このチャレンジの項目が室内とかいわゆる屋外を対象にしていないというのは若干ちょっと残念かなと思います。プラント災害とかあるとは思いますが、どちらかというとならば今回の日本で打ち上げた「みちびき」も含め、様々なベースのテクノロジーといったものに対して、やはりそこが活躍するのは屋外のフィールドの移動型ロボット、フィールドの移動型の自律ロボットといったところがまずはベースにあって、日本はコマツの建機やそういう意味だとクボタの自動トラクターといったところで、世界の中で一番かどうかというのはちょっと、コマツは僕一番ではないかなと思っています。そういった実際のフィールドで活躍する農機、建機といったところですね、これから非常に世界の中で大切なフィールドロボットといったものを本来だと福島テストフィールドでそれを発信していくというのがやはり、僕らも今回このロボット・ドローンが活躍するところのテーマでいくと、もうちょっとこのテーマ若しくは今回のこのNEDOの取組の中でやった管理システムといったものを次回には提供する中で、これを上手に使う中でどういった社会実装に向けての新しいテクノロジーをそこに付加できるのかというようなことをやはりやっていくことが、旗を振っていくという意味では非常に重要で、これはまだまだ世界中フィールドロボッ

トは弱い部分です。そういう意味では、そういったところをきちんと場所もあるし、例えばコマツや今のクボタみたいな人たちにこういった苦勞があったぜというような話をしていただきながら、官民共々日本の国力を示していこうということを次回にはテーマとして掲げていただきたいというのが私の意見です。

【林事業部長】 ありがとうございます。まさしくおっしゃるとおりで、今回も一から競技設計を皆さん委員の方々にしていただいたのですが、色々な意見が実はもう出ております。実際にコマツさんにも御協力いただいたら良いのではないかとか、ただスケジュール的なものとか色々やはりこの RTF の利用に関しても色々なところもございましたのでこういった形にはなりましたけれども、2020 年、また併催イベントとか色々な形の出し方があると思いますので、そういったところも含めて検討を進めていきたいという様に思っております。ありがとうございます。

【小林分科会長】 そのほかいかがでしょう。どうぞ。

【長谷川忠委員】 意見がダブるかもしれませんが、この項目はデファクト・スタンダードということなのですが、ロボットコンテストをやると課題設定にもよるのですが、その課題をうまくこなすためのアイデアが出てきてしまって、本来求めていた技術にならないとか、賞金を出していますので、賞金をとるためには技術はやはりクローズしたいというのが基本的な考え方だと思うのです。そうなってくると、ここで求めているデファクト・スタンダードに対してすごく逆向きをやっているような気がちょっとするのですけれども、そうになってないのだとは思っているのですけれどもね。その辺の説明をきちんとしていただかないと、ちょっと何やっているのだろうという感じがしてしまうのです。この WS に対しては別に私は批判的ではなくて、肯定派なのですが、その辺の建て付けをきちんと説明していただきたいなと思います。

例えば分科会長から御説明がありましたけれども、実際そうやるためのデザインはどうなっているのですかという質問に対して答えていなかったのも、もし答えられるのであれば、この取組をすることによってきちんとスタンダードつくれているのですというふうなスキームを御説明いただきたいなと思います。

【林事業部長】 このワールドロボットサミット自体全体として初めての試みとなっております、この競技、カテゴリ自体もそれぞれ大学の先生方だけではなくて、メーカー、ユーザーの方々とかメーカー企業の方々も一緒になってこの競技、実際のニーズを出して、そしてこの競技をつくり上げているというところでもございまして、その競技が実際に行う成果に関しても、フィードバックしてそれを更にまたよりよいものにしていくというようなサイクルを目指して行っております。その中でやはり大切なのが、このコミュニティづくりというか、実際そういったネットワークが生まれてきてまして、そういったところに WRS 自体が技術の加速が生まれていって、実際に社会実装に繋がっていくような枠組みをとっていききたいというふうに思っております。

こういった産学官が一緒になってここまでの規模の大会といたしますか、そして実際にイメージできるというか、社会でどういった課題があるということも分かるような競技会、大会というのは初めてだと思いますので、この第一歩を通じて、これも実際に見直しをどんどんかけていきたいという様に思っています。実際にこれを行ったことによってこれ意味ないなと、実際にこれなかなか難しい、社会実装に向けてはなかなか難しいということであれば、それは見直ししていきたいと思っていますし、そういったところではアウトプットできるような枠組みとして実施をしていきたいと、そのために皆様で本当に委員会となって連携しながら今動いているというところでもございます。

【長谷川忠委員】 例えば上位に入ったチームの技術を公開してもらおうとか、そのような取組はできないのですか。

【和佐田 PM】 今全部ではないのですが、大会が終わった後にシンポジウムの形で上位入賞チームのいわ

ゆるノウハウですとかはプレゼンスタイルでやってもらっています。ちょっとこれを全競技に広げられるかどうかはまだお約束できないのですが、そういった形で今回得られた知見をシェアしていくというのは、この結果報告にも盛り込んでいきたいと考えております。

【弓取部長】 幾つかやり方があって、一つは先ほど NIST と申し上げましたけれども、世界の標準をやっている機関とタイアップしていく、取り込んでいく。これ今回 NIST だけなのですけれども、できればヨーロッパ、EU でも、あるいは中国、こういったところと組んでいくというのは将来的には考えていって良いと思っています。まだこれ第 1 回目でさきがけですので、やり方としてどうかということでは標準団体とタイアップしていく。

もう一つは、ものづくりのところでは日本の産ロボ関係の先生方に集まっていただいて、産ロボのものづくりの組立てができる産ロボというのはどういうタスクで評価するのかというのを日本発で出していく。これについては実はネットワークはもう少しグローバルにしたかったのですが、これはまだできていない。これはアカデミアのネットワークと先ほど申し上げましたけれども、ネットワークをつくっていくというやり方が一つ。

さらに、実際の製品をトヨタの HSR (Human Support Robot) と申し上げましたけれども、そういった社会実装するために開発したものをデファクト化していくための手法として使えないか。幾つか違った観点なのですけれども、幾つかのやり方というのをこの中で試しているというところ。発展形としてはもう少しグローバルにやっていきたい、次回ですね、と思っています。

【和佐田 PM】 あと、マネジメントの体制のところになるかと思うのですが、全競技種目を通して、委員のメンバー、2018 が終わった段階で更に産業界の先生に競技委員として入っていただいて、ジュニアを除く競技会に関しては 3 分の 1 以上が産業界の方になるように更に有識者の方を増員する形で競技のブラッシュアップを図っています。

【小林分科会長】 いかがでしょうか。イベントとしては大成功なのだと思うのですが、これだけのスポンサーを集めて、なかなかできないですね。だから、逆にそれに甘んじてしまうようなところがちょっと懸念されるかなと。要するに最初の大目的を忘れてしまっても結構成功なのですよ、これきっと。ちょっとそのところだけ気をつけていただければ。

7. 全体を通しての質疑

全体を通しての質疑応答が行われた。

【貝應委員】 ドローン関係なのですけれども、色々なテーマを聞かせていただいて非常に重要なテーマばかりを研究していただいているので、すごく興味もありました。どうしてもドローンの業界でいきますと、世界的にシェアをとっている外国のメーカーがありますが、その動向を見ながら今回色々テーマを実施していただいたところに対しての、避けては通れないので、コメントみたいな形でちょっと一言いただければと思います。

【宮本 PM】 海外の機体メーカー、非常に今シェアも大きくて、十分承知をしているところであります。今回はシステムとして、まずは 2022 年度日本として機体を飛ばすということの優先度合いを重点的に努めたということがポイントであります。すなわち、この 2022 年度の第三者上空目視外飛行については、多分国内外どの機体も先ほど御説明させていただきましたように、あのシステムで安全に、まず安全に飛行させるということがこのプロジェクトの最も注力したところであります。

あと、一部ランチェスターの中で耐火ドローンのような特殊環境でというような御紹介もさせていただきましたけれども、基本的に本日御報告させていただく中間評価の研究開発フェーズにつきましては、まずは研究開発でございましたから、しっかりとした基本計画でお示しをさせていただいた内容

をしっかり成果として出していただくという認識であります。

以降、これから社会実装に入っていきますので、また皆様方の御意見を頂きながら、テーマの方もつくり変えになってくると思いますので、その辺は考慮を十分してまいりたいというふうに考えるところです。

【春原委員】 3つぐらい質問させてください。一つは、今回実用化というところを最終的な目標とするところ、発表の中で実用化に対して述べられている方もいましたが、大体がなかなか実用化に向けてのビジョンや考え方というようなところが見えてこない部分がありました。何らかのコメントが欲しかったなというところです。

次に、中に結構興味深い色々な技術項目ですね、パラシュートの話であったり電池の話であったり、幾つかあったのですけれども、今回かなり絞った内容ということで、この辺も聞きたいし質問したいというようなことに対して、何か紙に書いて質問するしかないのかなというふうに思っているのが二つ目ですね。

さらに、特にこの手のもので僕自身すごく大切なのは、皆さん当然できたお話をなさるのですが、できなかった話がすごく重要だと思うのですね。こういうことを目指していたけれども、こういうところにまだ課題があったというようなものを、やはり当然開発しているところにおいてはそういったものが出てくると思うので、そういったコメントがあると良いなというところでした。

【小林分科会長】 後で書面での質疑というのはちょっと避けたいというところがありまして、だからできれば時間もあることですので、かいつまんで幾つかこの場で質疑応答していただければと思うのですけれども。よろしいですか。

【宮本 PM】 まず一つ目でございます、実用化目標。色々なパターンがあります。今日お聞きいただきましたように、企業さんがビジネスを想定する機体についてはかなり具体的な内容での実用化の御報告をさせていただきました。他方、私どもが委託でお願いをしている会社につきまして、技術的には非常に良いものができ上がりました。今後これらが社会実装になったときのビジネスモデルというのは、現時点私どもはまだ明確にお示しができていないところでありまして。よって、そういう意味では少し今日、冒頭私どもの実用化の定義をお示しさせていただいたと思うのですけれども、今後制度、ルールとうまく両輪を合わせた形で社会実装を図っていくという形で現時点この3カ年の研究開発ベースの技術の成果という形の評価をお願いしたいというものが率直な意見であります。1点目です。

2点目です、電池、パラシュートその他につきまして、ありがとうございます。性能評価のところまで今日お示しさせていただきましたように、衝突でありますとか騒音でありますとか、特に特出しをした形で第三者上空の中で御説明をさせていただきました。パラシュートですとか電池ですとかという基本的な機体についての性能評価につきましても、合わせた形で今の性能評価基準書を取りまとめます。これは今年度中にしっかりさせていただきますので。これは経産省によく御相談させていただきました、良いタイミングで公表いたしますので、またそこで見ていただくという形をとらせていただきたいと思います。

3点目でございますが、課題です。率直な感覚で言いますと、私ども2017年から始まったときはこれ全て課題テーマだなという認識でスタートしたところです。日本はドローンにつきましては3周遅れでスタートだとまで揶揄する中で、やはりこれだけのメンバーがこれだけの統合でやっとここまでできたというのが私どもNEDOの率直な感想であります。実はまだ研究開発ですから、この後の社会実装においてこの課題を明確にしなければいけないと率直に思っております。今はできるために投資をしてきましたから、できなくては困るわけで、その中でも一部小型化の課題も出てきましたし、今御指摘いただいているようなところも幾つか出てきていますので、それを一つずつ確実にこの2年でつぶしていくというような形に対応してまいりたいというふうに考えております。色々課題を乗り越え

てきて、後ろに展示をさせていただいているような中間生成物ができ上がってきたと今日は御報告させていただいたということが率直なところです。

【長谷川泰委員】 冒頭の説明で、福島県の RTF の準備が今年度で大分整いつつあると。その整いつつある施設の中で、橋梁とかダムとか、あとトンネルとか、そういう点も中に含まれているとお聞きしました。その器が今できたところで、ドローンの方はどれぐらい準備が整っているのか。資料にも短くは書いてあるのですけれども、なかなか写真とか詳細なのがなく、ちょっとどれぐらい、あと 2 年というか、2020 年、21 年、あと 2 年しかないところまでできるだけ実用化に向けて取り組むというのに、どれぐらいロケットスタートというか、すぐこのフィールドを使って評価できるぐらいの準備、どれぐらい準備ができているかというところがお伺いしたいです。

【宮本 PM】 まず、前提条件で誤解のないように申し上げますと、福島ロボットテストフィールドの施設に投資をしておりますのは NEDO ではありません。あくまでも NEDO は限られた 21 施設に対しての試験方法とその試験の試験方法を御提案させていただいた。それが多く御採用いただいたという実態の中で、性能評価のところの議論もございましたが、ユーザーから見たソリューションをもった一つのユースケースをベースにしたものが橋梁点検又はダムですとか、今の陸上のトンネル災害対応ということで成果として公表させていただきます。ドローンにつきましては、先ほども御議論ございましたが、ただ今まさに共通的な性能評価が必要だという認識の中で、第三者上空にいて、長距離目視外で飛ばす。下に第三者の家があるないにかかわらず、そこを私どもの運行管理システムと衝突回避がうまく機能するかというためには、比較的長距離で、比較的自由に飛べるようなエリアが必要であります。少し今日御報告ができてなくて申し訳なかったところもありますが、南相馬市の 50 ヘクタールのロボットテストフィールドの中から南に 13 キロ下ったところに浪江町というところがございます。浪江町は昨年やっと少し帰還ができるようになったところです。ここにドローンが離着陸できる離着陸場を、これも本年度末までに目的で、今構築いただいているところでございます。そうしますと、先ほど少し実施者の報告からございましたように、テストフィールドにあります管制ができるような拠点エリアを活用して、その長距離を、先ほどお話ししました少しドローンハイウェイをイメージした形で、何度も何度も安心して実験ができるフィールドが今年度末、また来年度の頭ぐらいからは運用できていると思っています。

まだ浪江町の離着陸場が完成していないので、そこはまだ使えないのですけれども、そのちょっと北側で南相馬市小高区という地区があります。ここに仮の離着陸場をつくらせていただいています。ここと南相馬市の間で少し距離が短くなりますけれども、ちょっと長距離の実験も南相馬市と福島県と相談をしながら、できることから早く、1 日も早くやっというふうな取組をさせていただいているところであります。

【長谷川泰委員】 そうしますと、インフラは余り視野に入れておられないのか、ちょっとそこら辺がよく分からなかったのですが、インフラ点検の方が。

【宮本 PM】 インフラ点検の方ですね。こちらはドローンを使ったインフラ点検をベースにつくりますけれども、これはもちろん施設ができましたら、性能評価基準書もありますし、手順書もできていますので、それをうまく使っていただいて計測しながら、まさに設備を使いこなしていただくようなフェーズに移っていただくというふうに思っているところです。

【長谷川泰委員】 それで、今日御説明いただいた運行管理システムの中にも、そのインフラ点検用にもうまく利用できる方向にあるということですか。

【宮本 PM】 はい、ここもう少し色々な考え方があると思うのですが、一般的なインフラ点検を目視でというような運用がメインだと思います。しかもエリアが限定される部分があると思います。ただし、複数の、というのは先ほどのコンセプトで言いますと例えば目視であっても、飛行するものについてのり

スクを回避するために、将来的にそこを接続するということは十分可能となりますので、技術的には接続が可能になりますから、今のインターネットでアクセスしていただければ、試験をしながら、アクセスをしながら、情報を相互に取り込むというウィンを実際の皆さんにやっていただくことは十分可能な環境整備ができたところです。

【李家分科会長代理】 午前中に宮本 PM から御説明いただいた件なのですが、今年度で研究開発フェーズが終わって、来年度から実用化促進フェーズになるということで、もう一度確認させていただきたいのですが。一旦今回の色々なプロジェクトは終わって、新たに先に続くということですね。今後の2年間確実に決まっているのは先ほどのスケジュール表で矢印が入っているものだけという感じですが。今日色々お話を伺いますと、運行管理システム、これは実用化に向けて色々作業がありそうですし、長距離飛ぶ飛行の衝突回避に関してもまだまだやることはありそうです。あとは、安全ですね、墜落関係でも非常にたくさんやることもありそうなので、その辺の今後のお考えというか見通しをちょっと教えていただければと思います。

【宮本 PM】 先ほど申し上げました、プロジェクトの前半部分は御認識いただいた内容どおりでございます。予算措置が今年度で一旦終わりますので、それにつきましては当初契約どおり一旦契約は終了します。来年から新しい契約をいたします。その場合にも新たなテーマで作ります。そのときはきちっと私どもが課題設定型の公募をさせていただき段取りになると思いますので、そこまでもう少し内容を詰めさせていただきというスペースが予算措置の中で発生すると思います。

今日色々コメントいただきましたので、こちらで頂いたコメントも少し念頭においてその辺を進めさせていただきたいと考えているところでございますが、予算措置につきましてはこの場で回答できる環境ではない、立場ではございませんので、そのように御理解を頂きたいと思えます。

【小林分科会長】 最後にちょっと蛇足のようなものなのですがすけれども、一言だけ、この分科会資料についてちょっと意見させていただきたいのですけれども。正直言って、この資料は、読みにくかったです。プロジェクトでやったことを網羅して各方面から上がってくるものをまとめるとういう形にならざるを得ないのかなという気はするのですけれども、やはりプロジェクトとしてのまとまりというのでしょうかね、全体の俯瞰したような役割分担の形とか、あと途中で似たようなところを各所でやられたときに、それをどうやってまとめてどちらに包含されているのかとか、そういう全体の流れが分かるような形で是非とも次の分科会資料は意識してまとめていただけると良いかなと思えました。よろしく願います。

【宮本 PM】 御意見承りました。ありがとうございます。

【小林分科会長】 難しいことは、こういうプロジェクトではこうなりがちだというのは理解した上で申し訳ないのですけれども、よろしく願います。

8. まとめ・講評

【小林分科会長】 まとめ・講評に移りたいと思います。宮内委員から始めて、最後に私が講評したいと思います。それでは、よろしく願います。

【宮内委員】 非常に社会的意義がある事業課題だと判断いたします。一方で、分科会長も触れられていましたが、情報発信の方法に工夫が必要だと思えました。本日の報告の中では、達成度が一番高い「運行管理システム」が非常に重要だと思えます。当然、国家戦略を考えながら開発を実施する必要があると思いますので、個別の技術は非常に価値があると思いますが、その構造、ヒエラルキー、起承転結というのをもう少し念頭に置いて、今後実施された方がより価値が上がるのではないかと感じました。

【長谷川泰委員】 福島ロボットフィールドは、大変すばらしいものをつくられたと思いました。また運行管理システムのAPIの公開と国際標準化の推進を実施され、合わせて3つの柱で開発を遂行されたことは、大変すばらしいと思います。一つの企業ではできないことを、この事業において、複数の企業で開発されたことは、大変意味があり、予算を投入してやるべきすばらしいことが実施されたと思います。また、時代の流れに応じ、テロ対策とかセキュリティに関しても、フレキシビリティをもって必要に応じて新しくテーマもつけ加えるという、大変すばらしい内容だと思いました。

この3本柱はすばらしい内容でしたが、それが本当にこの3本でよかったのか、又は4本目が必要だったかどうかをこの後2年かけて実用化の方で検証していくとよいと思います。その際にもフレキシビリティを持って必要であれば新しい4本目の柱を立てて取り組んでいただきたいと思います。

【長谷川忠委員】 私も、各項目の実施結果については非常にすばらしいと評価でき、今後期待できると思いました。ただ、宮内委員と同じで、それぞれの開発項目の繋がりがあまり明確ではなくて、個別に独立して実施しているようなイメージを持ってしまいます。その説明はきちんとしていただきたいと思います。なお、標準化のところはきちんとコンサルがついていて独立で動いているという点は、非常によかったと思います。

また、実際に事業化をきちんとしたいということで、更に人の頭上を飛ばして試験を実施するといわれましたが、それに関しては、安全性という議論がどうも欠けているような気がしています。アカデミアの私が言うのも何なのですが、安全性に関しては、少し意識をされた方が、今後報告する際に国民が受け入れやすいという気がしました。少し抜けているかなという気がします。

最後に、衝突回避の件です。外国の方から電線によくドローンが引っかかると言われたことがありました。上昇時、下降時に、電線を認識してよける衝突回避の技術ありませんかと昔聞かれました。ドローン同士がぶつかるかという話よりは実は多いのかなというちょっと気がいたしました。一つ課題として頭に入れておいていただけると良いという印象を持ちました。

【春原委員】 現在、各実施者は、実証実験から実用化に向けての壁に直面していると思います。私はコンサルなので、特に実感します。実証実験のときには、ドローンで何ができるかとか、どこまでできるかとか、どんな機材やスペックが必要かとかを考えればいいのです。一方、実際に実用化フェーズに入ったときには、10回実施したら10回成功するかといった、いわゆる精度検証をどの程度実施できるかが重要です。また、ユーザービリティを含めた横展開に向けての体制づくりが非常に大切です。特にドローンの場合には、実用化のときに必ず壁になるのは、都市型のビジネスではないということです。各地域の中で生きるビジネスというのは、地域の中で実施していただくしかありません。そのためにはやはり横展開に向けて使いやすいシステムでないと使えないということがあります。もう一つ、ビジネスに向けての、実運用の体制構築をどうするのか。全般的には、企業は費用対効果の算出、何がメリットかというものがないとビジネスは続きません。ここまで様々な実証実験を実施しましたが、実用化のフェーズになると、実は全く違う世界がそこに開けるということです。当然リスク管理、コンプライアンスの話、ブランドイメージの話、セキュリティの話、あとは、中国のドローン製造企業のDJI社を含めた中国リスクの話があります。これらの課題が、実用化フェーズでは非常に重要なテーマになってきます。NEDOは技術サイドから入り、本プロジェクトを経て実用化に持っていくという点が、この2年の課題ですので、まずできるところからきちんと仕上げていくのがよいと思います。

【貝應委員】 ドローンについては、中国のメーカーが高いシェアをとっているため、日本のドローンの関連企業は、小規模、大規模を含めて、70%~80%はDJI社の製品を使っていると思います。今回実施したテーマ、UTMについては、まだ少し先のことだと考える企業が非常に多いと思います。ただ、その中でも、ドローンを活用して活動されている企業が存在しますので、そういう方の意見を反

映できる体制があると、もう少しリアルタイムで、今のタイミングで実施できること、実施しなくてはいけないことというのが、明確になるのではと思います。

あとはお願いなのですが、僕もドローンの業界にいますが、ドローンに携わっていると、やはり携帯電話の「日本のガラケー」のような立場になりかねないと危惧しています。ドローンにおける「スマートフォン」のようなものが入ってきてしまう恐れを感じていますので、どうか日本から海外に展開していただき、グローバルスタンダードになるような勢いで是非頑張ってくださいと思います。

【李家分科会長代理】 今日の詳しい話で、本当に未来に向けて希望が持てることが、少し見えたと思っております。

空を飛ぶものは落ちてくることは避けられないため、やはり安全管理体制という点は絶対忘れてはいけないことだと思います。本プロジェクトですと、限られた、素性の分かった業界の方々が飛ばされているということで、大きな問題にならないと思うのですが、今後都市部でどんどん飛行するということになってくると、色々なほかの方が参入してくると思いますので、その上でも安全が確保されるようになればと思います。

今日は余り触れられていませんが、このドローン以外ですと、UAM (Urban Air Mobility : 空飛ぶクルマ) に関する研究とかの検討がかなり実施されていまして、そうなりますと、最初にもお話あったような、高度 150 メートル以下の無人機が飛ぶ領域のところをやはり UAM が飛ぶようになります。有人機ですから完全に国交省の管轄になっていくと思います。午前中から色々お話がありましたが、国交省ともかなり連携をとられているということですのでけれども、このドローンの運航、UAM の運航も入りますけれども、そういったところになるとかなり安全面も考えながら確実に飛んでいくための、法律的なことが大量に出てくるかと思しますので、この点に関しても検討も続けていっていただければと思います。

【小林分科会長】 社会的に非常に重要なテーマで、皆さん期待も大きいテーマを、おおむねプロジェクトとしては順調に進んでいるのかなと思ひまして、推進者の皆様の御努力に敬意を表したいと思います。

その一方で幾つかコメントもありましたように、安全をメインに、技術の共有とか底上げとか、そういったものの課題も見えてきましたので、残りの期間にきちんとソリューションを持って進めていただければと思っております。

【谷田主査】 どうもありがとうございました。

【弓取部長】 本日は大変長い時間、そして貴重な御意見いただきまして、ありがとうございます。

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクトという非常に大きなプロジェクトなので、どうやったらこういった社会が実現できるのか。このプロジェクトだけでももちろん実現できるものではないと、これはもう重々承知しているのですが、大きな家を建てるべくそのベースプレート、置石といいますが、きちんと石を置けているかな、その上に柱をみんなで立てようと思っていただけのような石が置けているか。さらには、そこに柱を立てて、その柱と柱の横の柱がどう通っていくのかというイメージが皆さんと共有できているかどうか、この辺は非常に我々自身、我々自身が設計図をきちんと持って皆さんと共有しなければいけないなということは重々よく分かりました。その上で、色々安全性の点御指摘いただきましたけれども、ポジティブにとらえまして、ある程度石が置けているからこそもう一つ石を置けばもっと良いものができるよというようなサジェッションを頂いたものと理解させていただいております。一生懸命置いた石ですので、その上に立派な家が建つように、皆様の意見をお聞きしながら邁進していくつもりですので、よろしく御示唆のほどお願いいたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

- 資料 1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料 3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料 4-1 NEDO における研究評価について
- 資料 4-2 評価項目・評価基準
- 資料 4-3 評点法の実施について
- 資料 4-4 評価コメント及び評点票
- 資料 4-5 評価報告書の構成について
- 資料 5 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
- 資料 7 事業原簿（公開）
- 資料 8 今後の予定

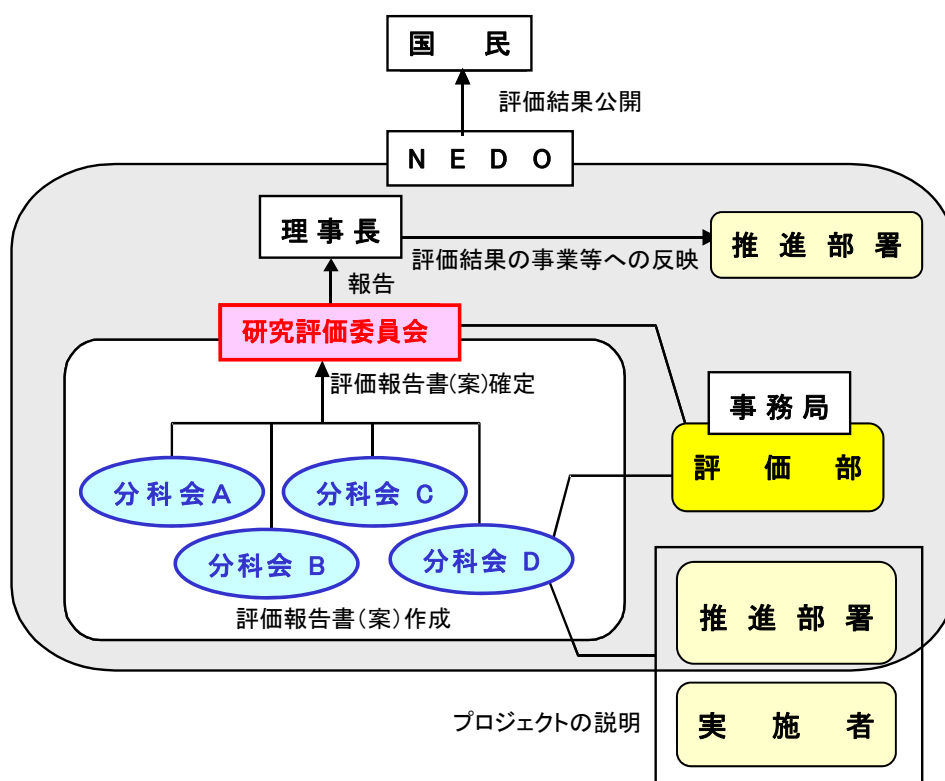
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」 に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。

- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、システム等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、また当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動に貢献することをいう。

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

以上

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」（中間評価）の評価結果の反映について

| 評価のポイント | 反映（対処方針）のポイント |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・多くの人が行き交う都市部の頭上を多数のドローンが飛行することを目指すのであれば、安全面を最大の課題とすべきであると考えられる。 ・海外メーカーの動向調査をさらに充実させ、リアルタイムに情報共有する必要がある。 ・最初に示されている全体計画は明確なものの、個別の成果それぞれが全体計画にどのように寄与できたかのまとめが必要である。 ・今後については、研究開発の運営管理を行う技術委員会に、ドローン技術の現状に精通した上でユーザーの立場からの意見を反映できる常任の外部有識者を含めると更に良い。 ・また、国内外の動向を注視し、技術の進歩や社会・経済情勢の変化に応じて、新たな技術開発項目の追加の要否について、今後も定期的に検討が行われると良い。 ・安全な社会実装を実現するためには、様々な環境下における自立性、フェールセーフなどシステムとしての安全性、悪意ある第三者を想定したセキュリティなどについて、さらなる検討が必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> ・「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」基本計画（以下基本計画）の研究開発項目①（１）７）に無人航空機に求められる安全基準策定のための研究開発として反映 ・基本計画の研究開発項目③（１）デジュール・スタンダードに海外メーカーの動向調査・共有について反映済 ・基本計画の研究開発項目②（１）７）運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発に反映 ・今後技術委員の選定にあたって検討する ・プロジェクト推進の過程で定期的に検討する ・基本計画の研究開発項目②（１）６）遠隔からの機体識別に関する研究開発に反映済 |

| 評価のポイント | 反映（対処方針）のポイント |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ World Robot Summit については、競技会を通じてどのように研究開発成果を世界のデファクト・スタンダードにつなげようとするのかについてしっかり考えてほしい。 ・ また、本事業の研究開発成果を、無人航空機を知らない一般の方々にも分かりやすく伝える工夫が必要であると考えられる。 ・ なお、研究開発の実施内容については、最終目標へ向けた開発スケジュールや具体的開発項目をより明確化することを望む。 ・ 無人航空機の安全性・騒音などの性能評価について、社会的利用の価値を高めるために、人を意識した研究開発も実施されることを期待する。 ・ ここでの研究開発成果は、国際標準化されないと実用化を完了したとは言えないので、それぞれの研究開発毎に検討を強化していただきたい。 ・ なお、実用化・事業化に向けては、民間企業だけでは実証実験からの壁があるため、NEDOが制度設計や実用化のステップを構 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 災害対応ロボットについては米国 NIST（ National Institute of Standards and Technology：アメリカ国立標準技術研究所）と連携して、競技形式を通じた研究開発成果によって、標準評価手法（STM）の確立を目指す。 他の競技種目に関しても、デファクト・スタンダードにつなげるため、STM の方式を参考に、成果を世界へ広げていくことを視野に、2020 年大会では、各種目ともプレ大会と同規模または同規模以上の参加者を世界中から募る。 ・ 外部ポータルを活用し、API を含めた各種情報の公開、アクセス実績の集計等により、より分かりやすい研究開発成果発信のための PDCA サイクルを構築 ・ 基本計画に社会実装 2 カ年の計画を明記 ・ 基本計画に記載のとおり実施済みであるが、研究開発項目①(1) ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発の成果として性能評価手順書にて公開 ・ ISO への提案を通じて「無人航空機国際標準化国内委員会」への引継を検討 ・ 「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」との活動を通じて、関係組織との連携を図る |

| 評価のポイント | 反映（対処方針）のポイント |
|---|--|
| <p>築していくことが必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・短期で開始可能なビジネスモデルを複数・同時並行して準備、推進、育成していけるような戦略の準備を期待する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・基本計画の研究開発項目②（1）10）運航管理機能実証において地方に広く展開し、複数のユースケースにおけるビジネスモデルを見据えた実証を行う |

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 梅田 到

担当 谷田 和尋

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162