

「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】

6. 目標及び達成状況の詳細 (3/3)

6.2. 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」

6.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発

6.3. 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」

6.4. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導研究調査」

(添付資料)

	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—

6.2. 研究開発項目②「無人航空機の通航管理システム及び衝突回避技術の開発」	
6.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発	
6.2.2.1 1) 非協調式SAAの研究開発：電波・光波センサ統合技術の開発	6-1761
6.2.2.2 2) 協調式SAAの研究開発：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	6-1801
6.2.2.3 2) 協調式SAAの研究開発：準天頂衛星対応受信機の低消費電力化の研究開発	6-1808
6.2.2.4 3) 衝突回避システムの小型化・低消費電力化： 衝突回避システムの小型化・低消費電力化の研究開発	6-1823
6.2.2.5 4) 準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化： 準天頂衛星システムに対応した受信機、アンテナ小型化・低消費電力化の研究開発	6-1842
6.3. 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」	
6.3.1. デジタル・スタンダード ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進 (1) デジタル・スタンダード	6-1860
6.3.2. デファクト・スタンダード	6-1868
6.3.3. ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた 連携・支援体制の構築に係る調査研究事業	6-1933
6.4. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導研究調査」	
6.4.1 海外における空飛ぶクルマの実証事例調査： 空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査	6-1942
6.4.2 空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術調査： 空飛ぶクルマに関する海外制度及び国際標準化の動向調査	6-1953
(添付資料1) プロジェクト基本計画	7-1
(添付資料2) 空の産業革命に向けたロードマップ	7-32
(添付資料3) プロジェクト開始時関連資料	7-35
(添付資料4) 特許論文等リスト	7-43

6.2.2. 無人航空機の衝突回避技術の開発

6.2.2.1 1) 非協調式 SAA の研究開発：

電波・光波センサ統合技術の開発

(実施期間：3年間(2017年度～2019年度))

(実施者：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) 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、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。

千葉市ドローン宅配構想を図2.2.2.1-1に示す。

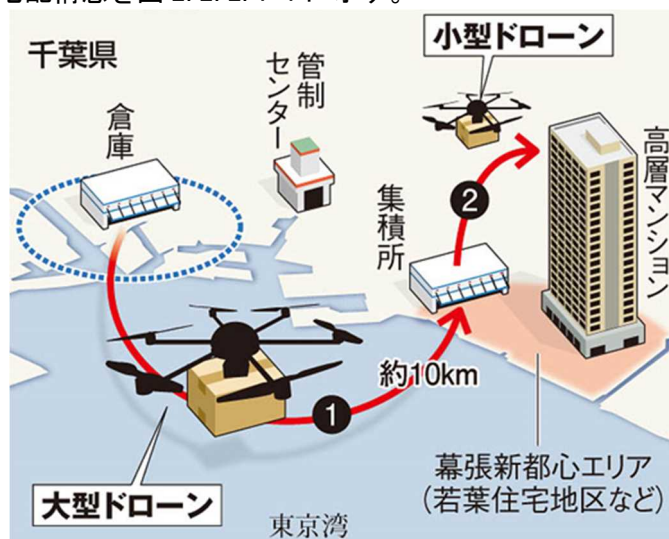
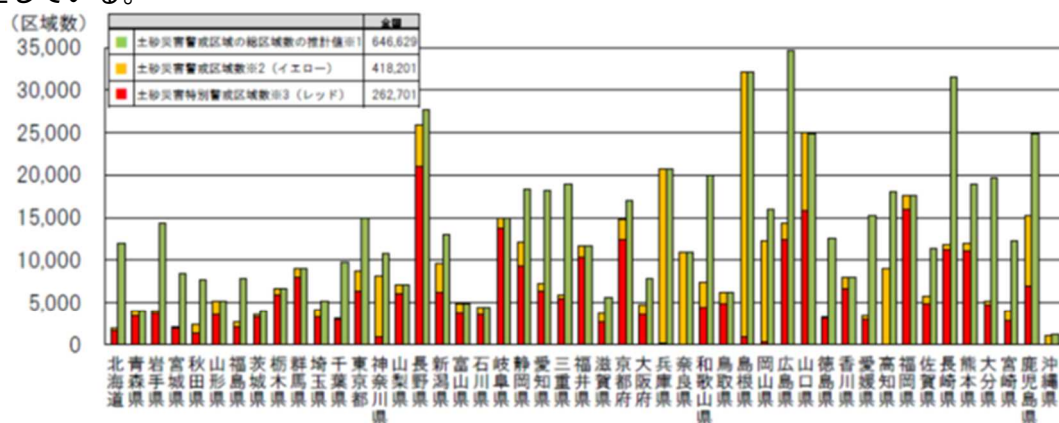


図2.2.2.1-1 千葉市ドローン宅配構想(出典：朝日新聞2016年4月6日朝刊)

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の危険性がある。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 2.2.2.1-2 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がある。
- ※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。

<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/guraf-160229.pdf> より

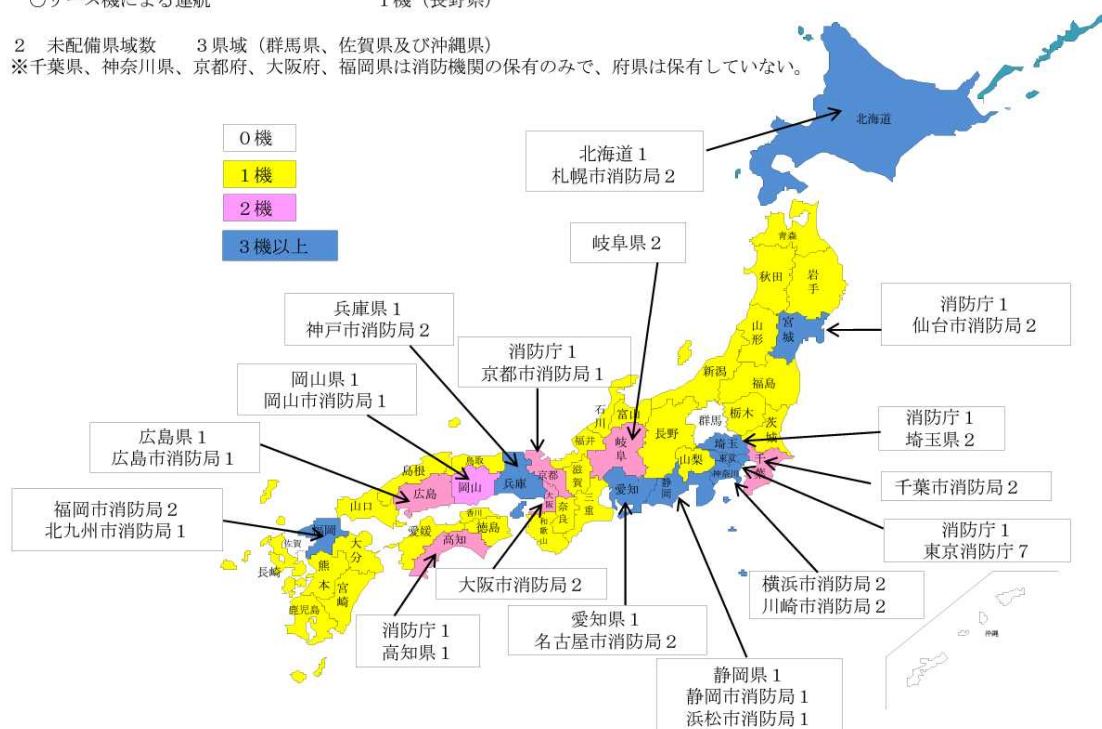
図 2.2.2.1-2 全国の土砂災害警戒区域等の指定状況

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、75 機（図 2.2.2.1-3 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。

- 1 令和元年11月1日現在配備状況 75機（44都道府県、55団体）
- 消防庁保有ヘリコプター 5機（東京消防庁、京都市消防局、埼玉県、宮城県及び高知県が無償使用）
 - 消防機関保有ヘリコプター 31機（東京消防庁、15政令指定都市）
 - 道県保有ヘリコプター 38機（36道県）
 - リース機による運航 1機（長野県）

2 未配備県域数 3県域（群馬県、佐賀県及び沖縄県）
 ※千葉県、神奈川県、京都府、大阪府、福岡県は消防機関の保有のみで、府県は保有していない。



https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/post-54/01/shiryou2.pdf より
 図 2.2.2.1-3 消防防災ヘリコプターの保有状況

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 2.2.2.1-1 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。

表 2.2.2.1-1 無人航空機に係る事故等の一覧（出典：国土交通省航空局）

年（件数）	2015年（全12件）	2016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

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。

この研究開発内容の抜粋を次に示す。

◎「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」基本計画からの研究内容の抜粋

【別紙1】研究開発計画

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. 研究開発の具体的内容

(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。

研究開発目標を表 2.2.2.1-2 に示す。

表 2.2.2.1-2 研究開発目標

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。
高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> ・衝突回避用光学センサの搭載及び動作検証を行う。 ・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 での有効性を飛行試験において検証する。

また、研究開発目標を設定した根拠を表 2.2.2.1-3 に示す。

表 2.2.2.1-3 研究開発目標設定の根拠

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な活用されている。 ■ 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。
電波センサ	<ul style="list-style-type: none"> ・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

(つづき)	<p>め航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となる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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可視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。 ■ 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。 ■ 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。 ■ 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。 ■ 本装置を開発することにより、無人航空機に搭載できる「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。
探知ロジック	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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。 ■ 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。 ■ 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。 ■ 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。 ■ 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。
探知ロジック (つづき)	

<p>高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避</p>	<p>る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 本開発では、小型無人航空機が衝突回避を可能とする認識システム及びシステムのプロトタイプシステムの開発を目標とする。 ■ これまでの飛行から取得されたデータから、小型無人航空機の飛行に適した画像特徴量計算手法を絞り込み、視覚フィードバックによる飛行制御のための高速な特徴点抽出機能を実現する。 ■ 小型無人航空機の飛行に適した特徴点検出アルゴリズムの開発と、ロバストな認識機能を持つ視覚システムを新たに開発する。 ■ また、実際のシステムに容易に組み込み可能な高速ビジョンシステムを開発し、GPUで実装したアルゴリズムのFPGA化による小型化の検討と実装を行う。 <p>【達成目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 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。 <ul style="list-style-type: none"> ・ フレームレート 30~480fps ・ 質量（演算装置含） 3kg程度 ・ 視野角 60度 ・ 解像度 1000~4000万画素 ・ 対象物距離 1m~300m ・ 飛行速度 相対速度30m/sにおける視覚フィードバック制御
------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

目標達成に向けた研究開発スケジュール（実施計画書）を表 2.2.2.1-4 に示す。

表 2.2.2.1-4 研究開発スケジュール

(電波センサ：2017 年度)

開発項目	平成29年度 開発日程表 (日本無線株式会社)				開発目標
	期間	平成29年 4～6月	平成29年 7月～9月	平成30年 10月～12月	
電波センサ			システム開発		<ul style="list-style-type: none"> ・センサ構成上の各種パラメータの検討に着手していること。 ・システム開発に資する部分試作の製造を完了し、各種パラメータの確定に着手していること。 ・信号処理の開発に資する1次試作に着手していること。 ・部分試作、1次試作と併せて使用する試験治具の製作に着手していること。
			部分試作レーダ設計製作		
				1次試作レーダ設計製作1	
				試験治具設計製作1	

(電波センサ：2018 年度)

開発項目	平成30年度 開発日程表 (日本無線株式会社)				開発目標
	期間	平成30年 4～6月	平成30年 7月～9月	平成31年 10月～12月	
電波センサ		1次試作レーダ設計製作2			<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・シミュレーション等により、5kmまでの計画可能な状態とする。 ・無人機自律管理装置とのインターフェースを確立し、地上における実証試験を行う。
			2次試作レーダ設計製作		
				試験治具設計製作2	
				地上連続試験結果の課題反映	<ul style="list-style-type: none"> ・レーダ方式（機械回転/電子走査、変調方式、信号処理等）について検討をおこなひ、システム設計を完了する。

(電波センサ：2019 年度)

開発項目	平成31年度 開発日程表 (日本無線株式会社)				開発目標
	期間	平成31年 4～6月	平成31年 7月～9月	平成32年 10月～12月	
電波センサ		試作レーダ改造		試作レーダ改造	<ul style="list-style-type: none"> ・5km以内の範囲にある目標が、1kmに接近するまでには探知できるシステムを開発する。 ・福島県のロボットテストフィールド等において、5km以内の範囲にある目標が、1kmに接近するまでには探知できることを、飛行試験において検証する。
			データレビュー	データレビュー	

(探知ロジック : 2017 年度)

平成29年度 開発日程表 (株式会社SUBARU)						
開発項目	期間	平成29年		平成30年	開発目標	
		4～6月	7月～9月	10月～12月		1月～3月
探知ロジック			シナリオ設定 →		<ul style="list-style-type: none"> ・アルゴリズムを実現するソフトウェアの製造に着手していること ・無人機自律管理装置の製造に着手していること ・試験治具の製造に着手していること 	
			アルゴリズムの構想検討 →	ソフトウェア製造		
			無人機自律管理装置の仕様検討 →			無人機自律管理装置の製造
			試験治具基本コンセプトの検討 →			
			試験治具構成品の仕様検討 →	試験治具構成品の製造		

(探知ロジック : 2018 年度)

平成30年度 開発日程表 (株式会社SUBARU)						
開発項目	期間	平成30年		平成31年	開発目標	
		4～6月	7月～9月	10月～12月		1月～3月
探知ロジック		ソフトウェア製造			<ul style="list-style-type: none"> ・ソフトウェアの製造を完了させ、無人機自律管理装置に実装可能とし、電波及び光学センサとのインターフェースを確立し、地上における実証試験を行う。 ・シミュレーションにおいて、相対速度100km/h以上における衝突回避の目途をつける。 	
		無人機自律管理装置の製造		インストール		
						地上連接試験結果の課題反映
		試験治具構成品の製造				試験治具の組立

(探知ロジック : 2019 年度)

平成31年度 開発日程表 (株式会社SUBARU)						
開発項目	期間	平成31年		平成32年	開発目標	
		4～6月	7月～9月	10月～12月		1月～3月
探知ロジック		地上連接試験結果の反映検討			<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。 ・福島県のロボットテストフィールド等において相対速度100km/h以上の有効性を飛行試験において検証する。 	
			ソフトウェアの改修			
				インストール		実証試験結果の反映検討
		試験治具の組立				実証試験結果の反映検討

(光波センサ : 2017 年度)

開発項目		平成29年度 開発日程表 (日本アビオニクス株式会社)				開発目標
		平成29年		平成30年		
期間		4～6月	7月～9月	10月～12月	平成30年 1月～3月	
光波センサシステム開発						
(1) 物体認識・識別						
アルゴリズムの具現化 ・最適アルゴリズム選定			→			・アルゴリズムのH/W落とし込みを実施 ・システム開発要件を整理し、最適アルゴリズムを選定する。
・ソフトウェアベース有効性検証				→		・PCシミュレーションにより有効性検証と各種パラメータを確定
・FPGA I/P製作 (その1)					→	・アルゴリズムの内対象物体特徴量抽出部分のハードウェア (FPGA I/P) を製作する。

(光波センサ : 2018 年度)

開発項目		平成30年度 開発日程表 (日本アビオニクス株式会社)				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	平成31年 1月～3月	
(1) 物体認識・識別						
アルゴリズムの具現化 (続き)						
・FPGA I/P製作 (その2)		→				・衝突脅威となる物体の認識・識別アルゴリズムの有効性を検証し、ハードウェアへの落とし込み一式を完了する。
・FPGAシミュレーションとロジック修正			→			・前述アルゴリズムを実装したハードウェアを含む、無人航空機搭載用の画像処理装置1式的设计・製造を完了し、汎用カメラ接続により、地上環境において、模擬物体を正対して距離1kmで認識が可能であり、距離500mで2種の模擬物体の識別が可能なることを検証する。
(2) 画像処理装置の試作						
・基本設計		→				
・詳細設計			→			
・試作製造				→		
・器材評価					→	

(光波センサ : 2019 年度)

開発項目		平成31年度 開発日程表 (日本アビオニクス株式会社)				開発目標
		平成31年		平成32年		
期間		4～6月	7月～9月	10月～12月	平成32年 1月～3月	
(3) 実証試験結果の反映						
・飛行試験準備 試験計画立案 機材準備		→	→			
・飛行試験 (福島)			→			・飛行実証試験の結果により、前述物体認識・識別アルゴリズムまたは、画像処理装置へのフィードバック改修等を行い、実証試験の成果を確実なものとする。
・改善・改修計画立案 飛行試験データレビュー 改修計画立案				→		
・改修設計・シミュレーション					→	・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なることを検証する。
・再実証試験データレビュー					→	

(高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避：2017年度)

平成29年度 開発日程表 (株式会社自律制御システム研究所)					
開発項目	期間	平成29年			開発目標
		4～6月	7月～9月	10月～12月	
①アルゴリズム設計・実装 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					・ホバーまたは静止している機体の認識
②ハードウェア開発 センサ系統 (光波) 要件定義 試作 検証・修正 GPU アルゴリズムのFPGA化 検証・修正					・センサ系統の要件定義 ・センサ系統の試作を行いデータ取得及び機体との接続 ・GPUの要件定義 ・GPUにて基本アルゴリズムの構築
③システム全体の統合・修正					

(高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避：2018年度)

平成30年度 開発日程表 (株式会社自律制御システム研究所)					
開発項目	期間	平成30年			開発目標
		4～6月	7月～9月	10月～12月	
①アルゴリズム設計・実装 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					・衝突回避用光学センサの搭載及び動作検証 ・相対速度40km/hにおける機体認識
②ハードウェア開発 センサ系統 (光波) 要件定義 試作 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					

(高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避：2019年度)

平成31年度 開発日程表 (株式会社自律制御システム研究所)					
開発項目	期間	平成31年			開発目標
		4～6月	7月～9月	10月～12月	
①アルゴリズム設計・実装 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					・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
②ハードウェア開発 センサ系統 (光波) 要件定義 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					

研究開発の実施体制を図 2.2.2.1-4 に示す。

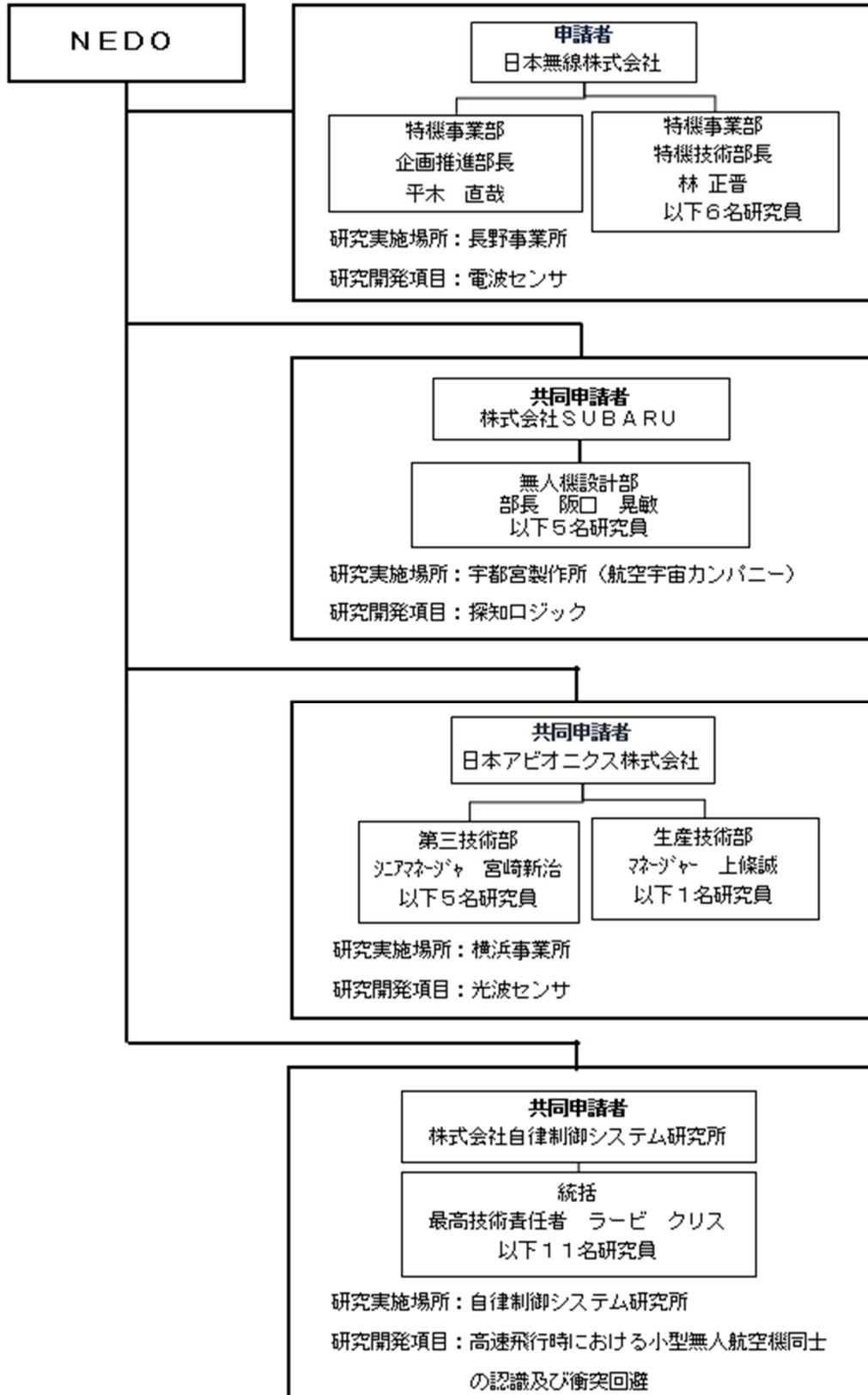


図 2.2.2.1-4 研究開発の実施体制

(4) 研究開発の達成状況

4.1 電波センサ（実施者：日本無線株式会社）

相対速度 100km/h で飛行する有人ヘリコプターを 5km 以遠で探知する事ができた。

最終目標	成果	達成度	備考
・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。	・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できた。	○	
・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 回以上実証する。	・福島ロボットテストフィールド等において、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実施し、有人航空機が探知できる事を確認した。	○	
・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。	・相対速度 100km/h で飛行する有人ヘリコプターを 5km 以遠で探知する事ができた。また、取得したデータを用いて処理アルゴリズムを解析した結果、相対速度 200km/h でも検出可能であることを確認した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.2 光波センサ（実施者：日本アビオニクス株式会社）

有人機を離隔距離 1km で安定的に探知可能な光波センサを開発した。また、離隔距離 500m で「有人機」／「有人機以外」を識別可能であることをシミュレーションにより達成した。

最終目標	成果	達成度	備考
・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。	・探知性能（認識）としては、模擬物体として設定した有人機を離隔距離 1km で安定的に探知することに成功した。 ・また、識別性能としては、離隔距離 500m で「有人機」又は「有人機以外」であることを識別することに成功した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.3 探知ロジック（実施者：株式会社SUBARU）

相対速度 200km/h の非協調衝突回避が可能な探知ロジックを開発し、これを中型無人航空機に実装して、相対速度 100km/h での有効性を飛行試験において検証した。

最終目標	成果	達成度	備考
・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。	・相対速度 200km/h で接近する有人航空機に対する非協調衝突回避を実現できる探知ロジックを開発しハードウェアに実装し	○	

	た。		
・福島ロボットテストフィールド(以下、「福島RTF」)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。	・福島RTF及び愛知県豊川市において飛行試験を実施し、相対速度100km/hに対する非協調衝突回避を実証した	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.4 高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避

(実施者：株式会社自律システム研究所：現_株式会社ACSL)

福島RTFで実施した飛行試験において、相対速度100km/hで飛行する有人航空機を自動検知することに成功した。また、衝突回避試験を実施し成功した。

最終目標	成果	達成度	備考
・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での有効性を飛行試験において検証する。	・衝突回避のアルゴリズムを開発、光波センサを搭載するハードウェアを製造、福島RTFにおいて行われた高速移動する対象機の探知試験を実施し、100km/hで飛行する有人航空機を自動検知することに成功した。また、衝突回避試験も実施して衝突回避に成功した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(5) 成果と意義

5.1. 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) 無人航空機の衝突回避技術の開発

／1) 非協調式 SAA の研究開発／電波・光波センサ統合技術の開発

5.1.1. 「電波センサの評価」(実施者：日本無線株式会社)

(1) 主要性能

開発した電波センサの主要性能を表 2.2.2.1-5 に示す。

表 2.2.2.1-5 電波センサ主要性能表

項目	性能	達成度	備考
探知性能	相対速度100km/hで飛行する有人ヘリコプターを5km以遠で探知可能	○	相対速度 200km/h まで処理可能
消費電力	70W以下	○	
サイズ	30,000cm ³ 以下	○	
重量	5kg (防振具除く) 以下	○	

(2) 系統図

開発した電波センサの系統図を図 2.2.2.1-5 に示す。

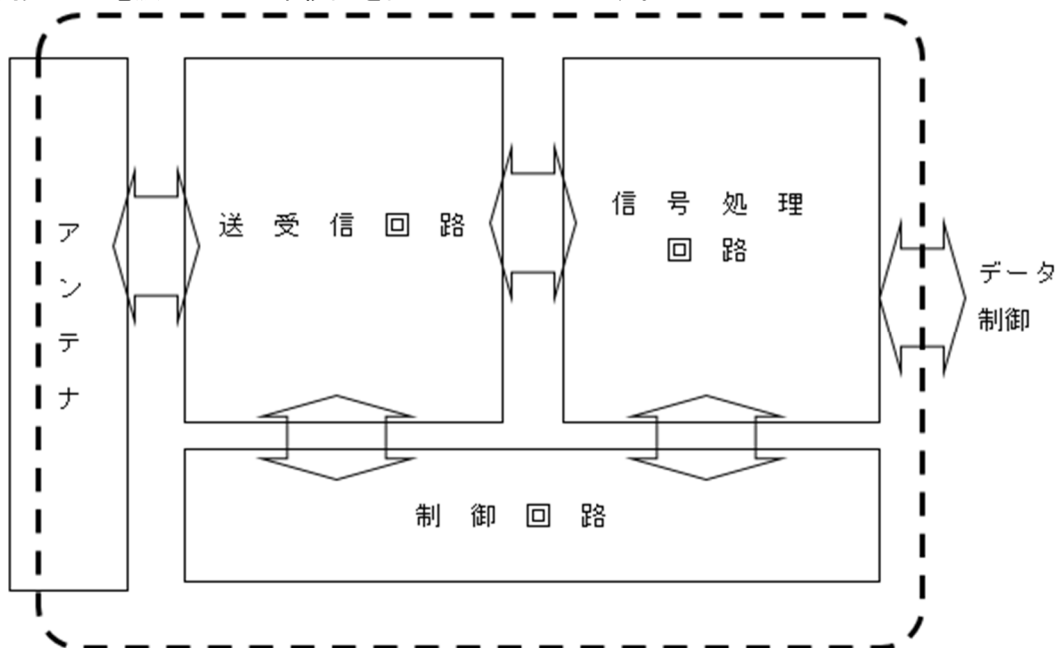


図 2.2.2.1-5 電波センサ系統図

(3) 機能確認

2018 年度は地上試験を中心に評価試験を実施した。試作した電波センサの無線局免許を取得した上で、地上で取得したデータを PC でオフライン処理することで、信号処理アルゴリズムの開発／検証を実施した。図 2.2.2.1-6 は長野市滑空場での実験風景であり、図 2.2.2.1-7 は長野市滑空場で実施した地上試験の結果を示している。



図 2. 2. 2. 1-6 長野市滑空場での実験風景

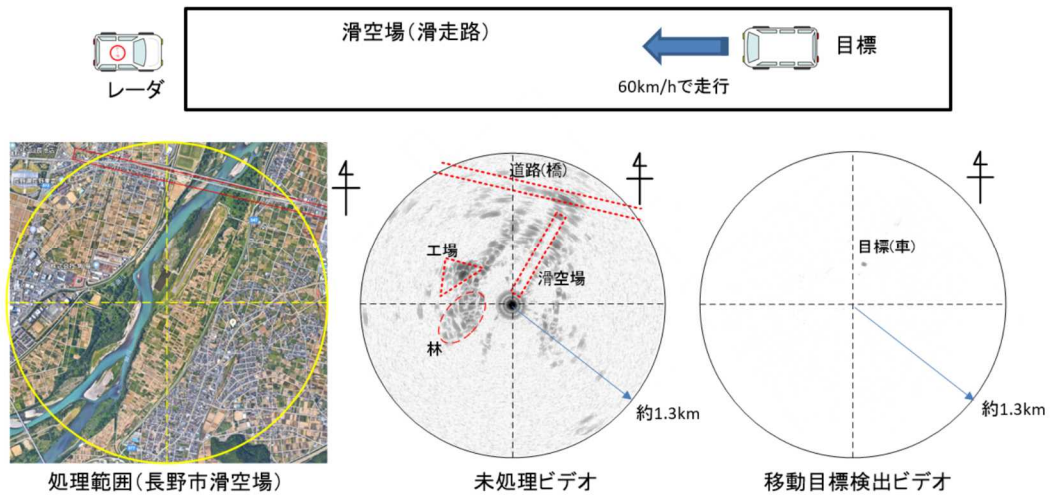
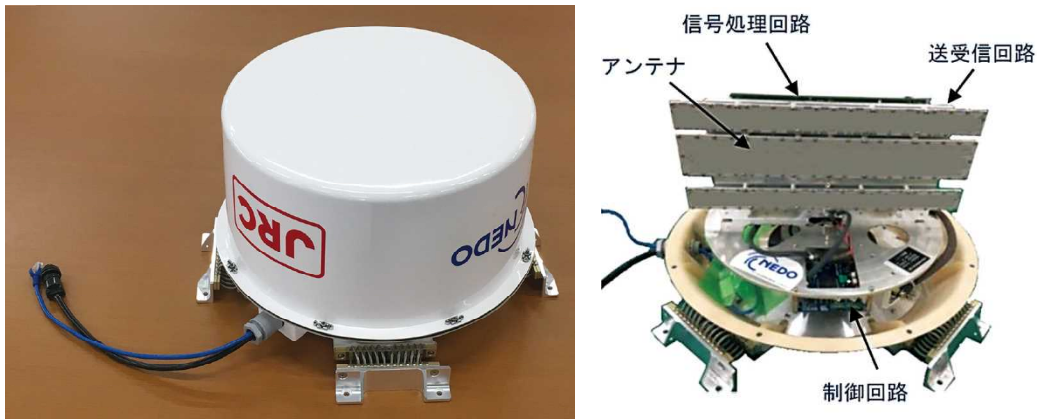


図 2. 2. 2. 1-7 長野市滑空場で実施した地上試験の結果

(4) 性能評価

2019年度は信号処理アルゴリズムを実装した性能評価用の電波センサを製作し、実験無線局の免許を取得した。図 2.2.2.1-8 は試作した電波センサの外観を示している。



Ⅲ2.2.2.1-8 試作した電波センサ

電波センサを中型無人航空機に取り付け、目標として有人ヘリコプター実機を使用して飛行試験を実施し、取得したレーダの出力データをプロットして評価した。図 2.2.2.1-9 は電波センサの出力データをプロットした一例である。

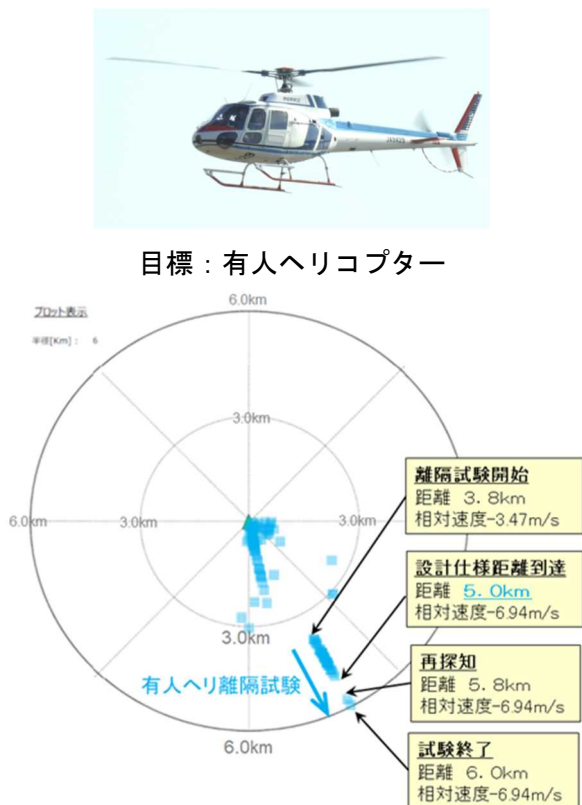


図2.2.2.1-9電波センサの出力データをプロットした例

更に、信号処理を最適化する事により、図 2. 2. 2. 1-10 のレーダ管理装置検出結果に示す通り、目標となる有人ヘリコプターのみを検出結果として表示する事ができる様になった。

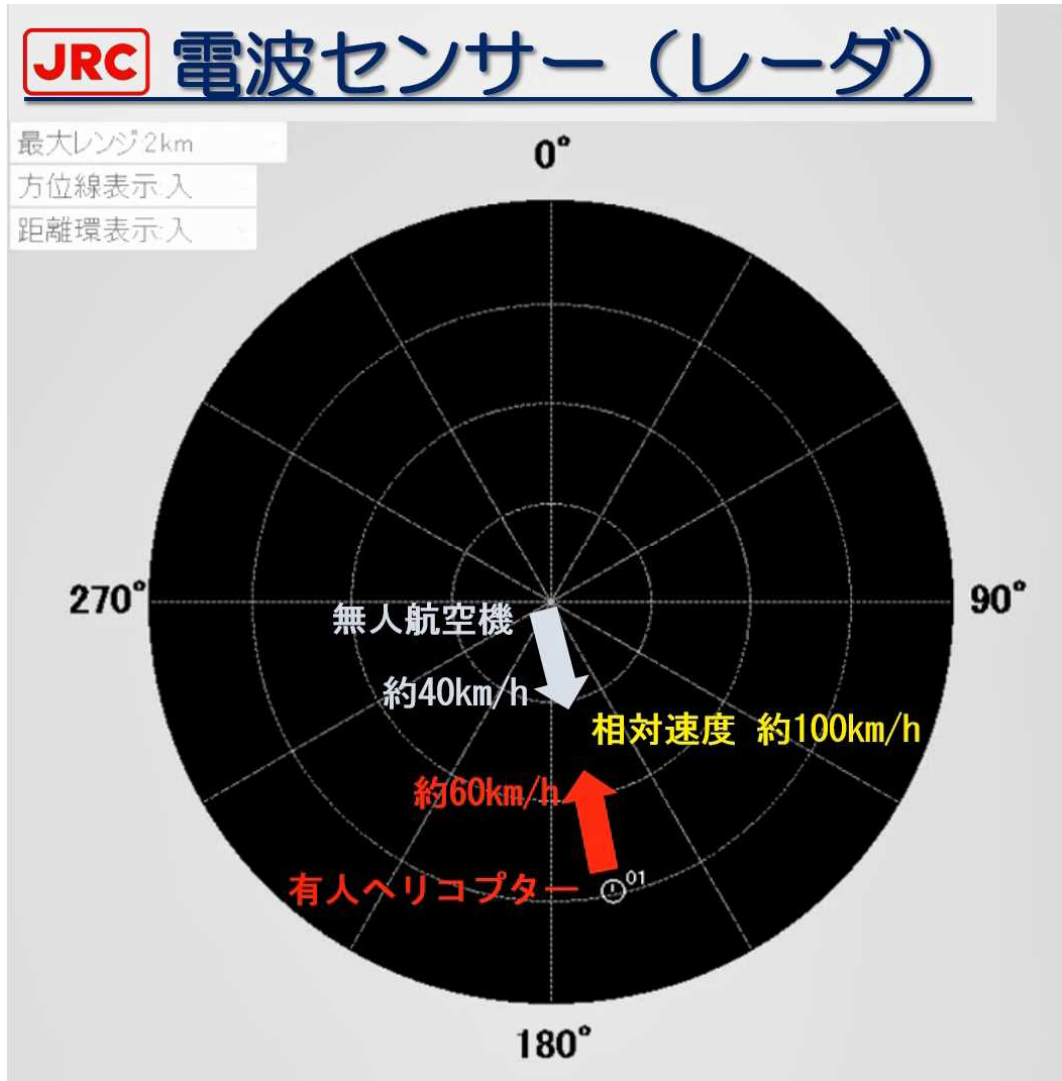


図 2. 2. 2. 1-10 レーダ管理装置での検出目標表示例

以上の実験結果及び取得データを解析した結果、地上のビル等の固定物を取り除き、相対速度 100km/h 程度で移動する目標が検出可能であることを確認した。また、取得したデータを用いて処理アルゴリズムを解析した結果、相対速度 200km/h でも検出可能であることを確認した。

5.1.2. 「光波センサの評価」(実施者：日本アビオニクス株式会社)

(1) 2018年度までの成果

2018年度までの成果としては、物体認識・識別アルゴリズムを開発し、光波センサ各ユニットのハードウェア設計製作を完了。機体振動特性にマッチングした補強および防振機構を搭載、飛行状態において必要解像度・画質の確保を検証した。



図 2.2.2.1-11

前方および全周用光波センサユニット

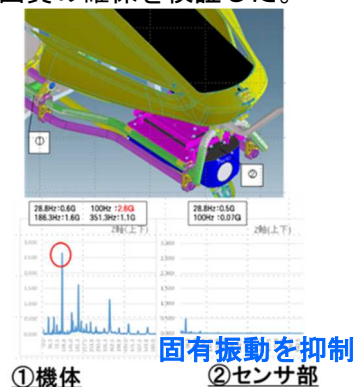


図 2.2.2.1-12

振動実測結果

実空撮映像の処理において背景有利条件では、探知・識別性能の確保ができた。対象距離に依存した識別スコアの変動を改善した。図 2.2.2.1-13 は実空撮映像処理結果と識別スコアのシミュレーション結果を示す。

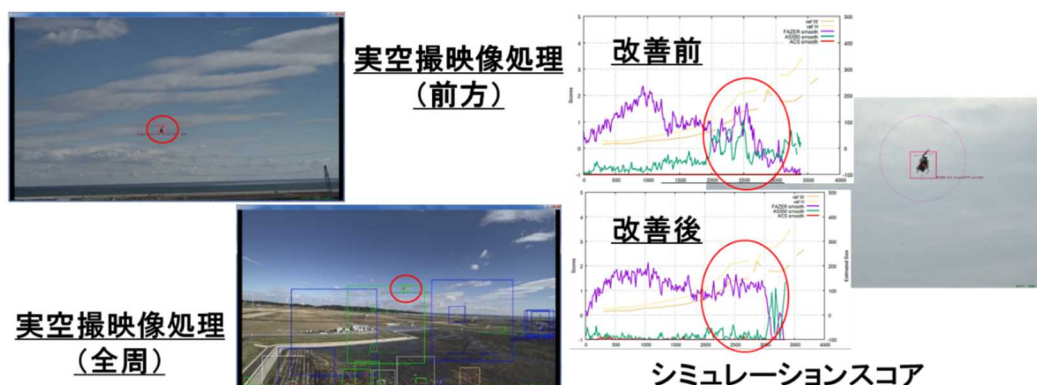


図 2.2.2.1-13 実空撮映像処理結果と識別スコアのシミュレーション結果

2018年度までの研究においては、以下の課題を得て、解決方法について検討した。

表 2.2.2.1-6 光波センサ課題及び解決法の検討

課題	説明	解決方法
探知アルゴリズム	高輝度地上構造物の影響排除	地上(または海上)と、空の境界処理の改善。 現状の輝度による分離する以外に、地平線、水平線認識等の処理追加
識別アルゴリズム	対象機体の向きに依存する不安定要素の安定化	学習データの改善 更なる学習データ数拡充

(2) 2019年度の成果

探知性能

探知性能としては、有人機を衝突回避対象とした試験において当初の目標であった、離隔距離 1000m で安定的に探知することに成功した。

図 2.2.2.1-14 の画像は、離隔距離 1000m における有人機探知状態を示し、赤枠が目標を探知していることを示す。赤枠の下にある数値は、SVM を用いた 4 種の識別器のスコアを表す。グラフは、ある飛行試験における前方カメラユニットの探知状況を示す。横軸が離隔距離、縦軸が探知の有無を表しており、離隔距離 1000m 付近で安定的に探知できていることを表している。離隔距離 800m 付近の探知無しは機体姿勢角の変換により画角外となったことによるものである。

2018 年度までの成果においては、高輝度地上構造物における探知情報が、脅威機の探知情報や識別結果に悪影響を与えていた。

2019 年度の研究においては、空と地上（又は海上）の境界線を検知することができた。検知した境界を基に処理を分別することにより、脅威機の目標情報に対する高輝度地上構造物や海面の影響を低減することができたため、探知状態の安定性を改善できた。

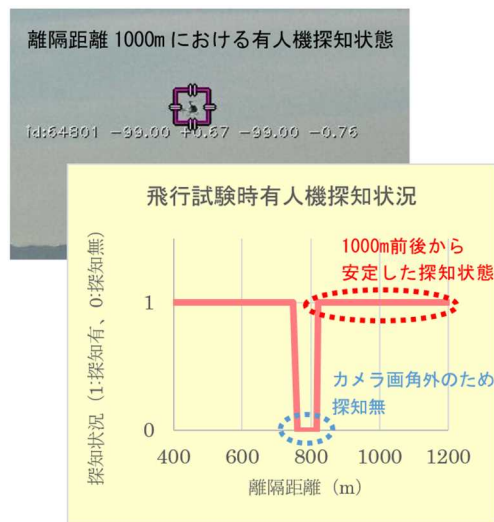


図 2.2.2.1-14
離隔距離 1000m での有人機探知状態

識別性能

識別性能としても、当初の目標であった、離隔距離 500m で「有人機」又は「有人機以外」であることを識別することに成功した。

図 2.2.2.1-15 の画像は、離隔距離 500m において有人機を有人機と識別している状態と離隔距離 500m において、中型無人機を有人機以外と識別している状態を示す。

4 種の識別器のスコアについて、右から 3 番目が有人機のスコアであり、有人機と識別している状態においては、一番高い値となっていることがわかる。

探知同様に識別においても、高輝度地上構造物や海面の影響を受けており、低減することにより、識別結果を改善できた。

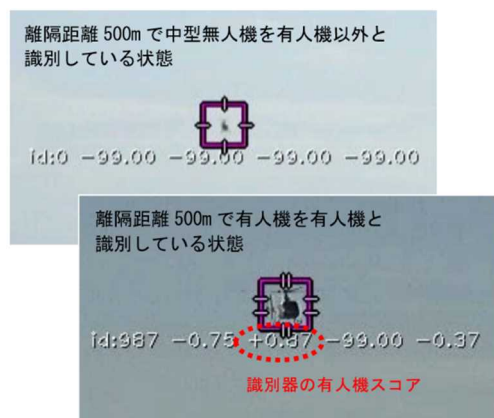


図 2.2.2.1-15
離隔距離 500m での識別状態

その他成果

処理ユニットとしては、耐環境対策を実施した。離島実証実験の長時間飛行を考慮した放熱対策を実施し、運用時間を延長することに成功した。

処理ロジックの更新としては、2018 年度までの研究において未実装であった、全周カメラ処理のカメラ間オーバーラップ領域における物体同定処理の実装を完了した。これにより、カメラ間を移動する脅威機を同一目標として継続して認識することができた。目標情報は、継続して探知している目標の優先順位を高く設定しているため、脅威機の目標情報出力状況が改善した。

また、同様に 2018 年度までの研究において未実装であった、悪天候検知機能（雲密度測定）を実装した。これにより、目標情報と共に雲の分布状況を自律管理装置に出力することができるようになり、地上管理装置において、雲の分布状況を確認可能となった。

悪天候検知機能の検知方法は、全周カメラユニットには左右のユニット合わせて 4 つのカメラがあり、各カメラ画像について空における左右の雲比率を輝度や色情報から算出（下図の悪天候検知機能実装イメージと同様に空が映ることを想定した固定赤枠内の雲比率を算出）し、目標情報と共に出力する。

現状は、機能個別による評価であるが、自律管理装置の悪天候回避において、情報の活用を想定している。

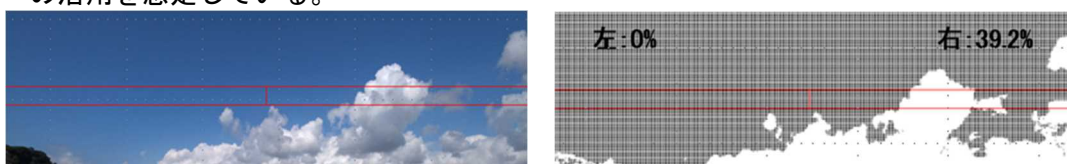


図 2.2.2.1-16 悪天候検知機能実装イメージ

5.1.3. 「探知ロジックの検討」(実施者：株式会社SUBARU)

(1) 探知ロジックの検討

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、全方位から直線飛行で相対速度 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。(図 2.2.2.1-17 参照)

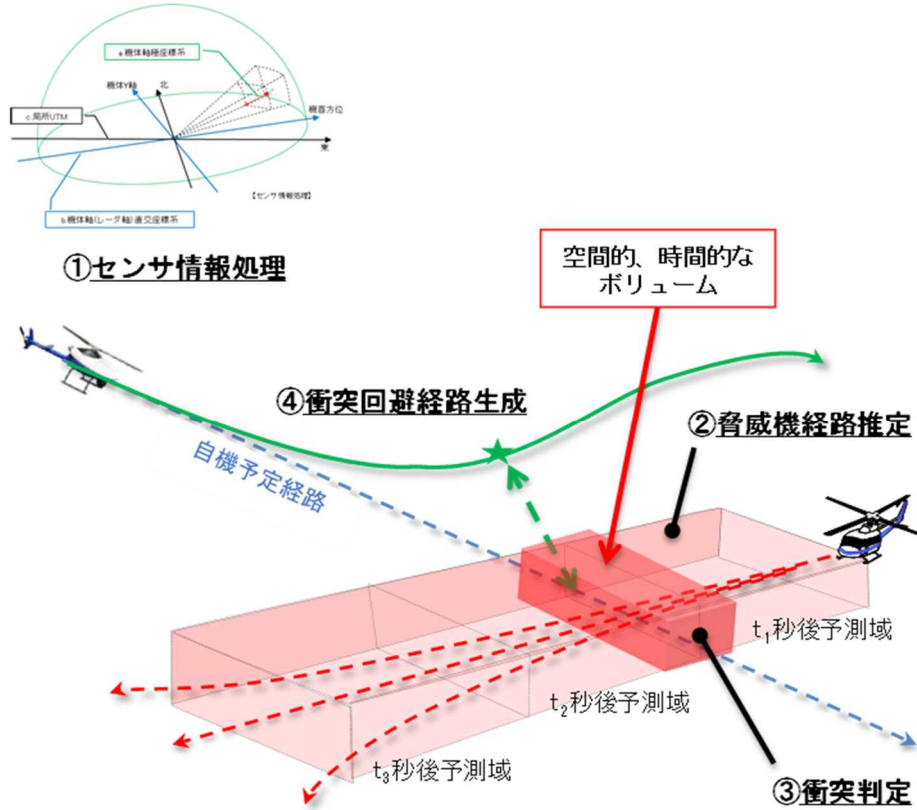
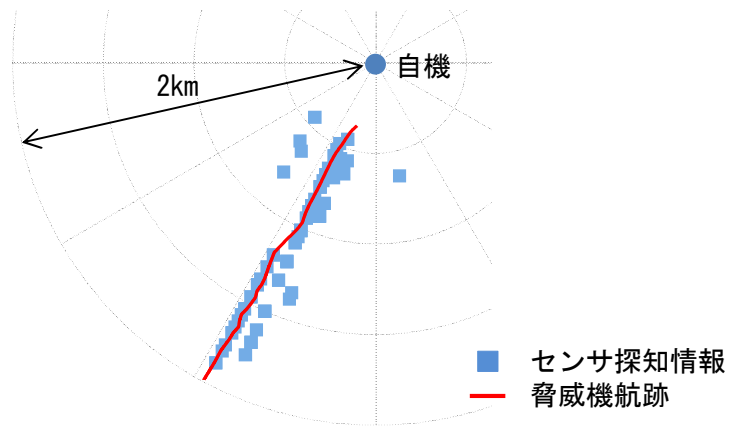


図 2.2.2.1-17 探知ロジック・シミュレーション結果 (1/2)

実フィールドでのセンサ探知情報



実フィールドで取得した
センサの探知情報を
探知ロジックへ反映し
シミュレーションを実施

シミュレーション結果

- (シミュレーション条件)
- ・ 全 312 ケースにて検証
 - ・ 相対方位：全方位
 - ・ 交差位置：衝突コース及び非衝突コースの組み合わせ

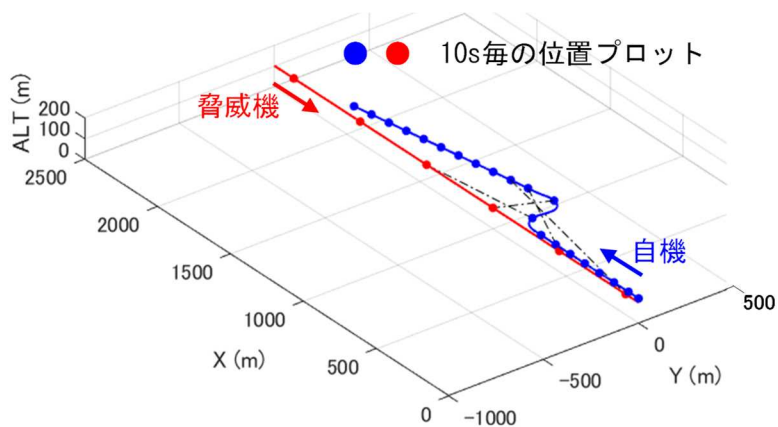


図 2.2.2.1-18 探知ロジック・シミュレーション結果 (2/2)

(2) アルゴリズムの開発

有人航空機等の協調・非協調を含めた既存の衝突回避ルールの調査を踏まえ、衝突回避ルールの基本方針を以下の通り整理し、この基本方針に基づき、相対速度 200km/h での衝突回避を実現できるアルゴリズムを開発した。(図 2. 2. 2. 1-19 参照)

【衝突回避ルールの基本方針】

- 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。

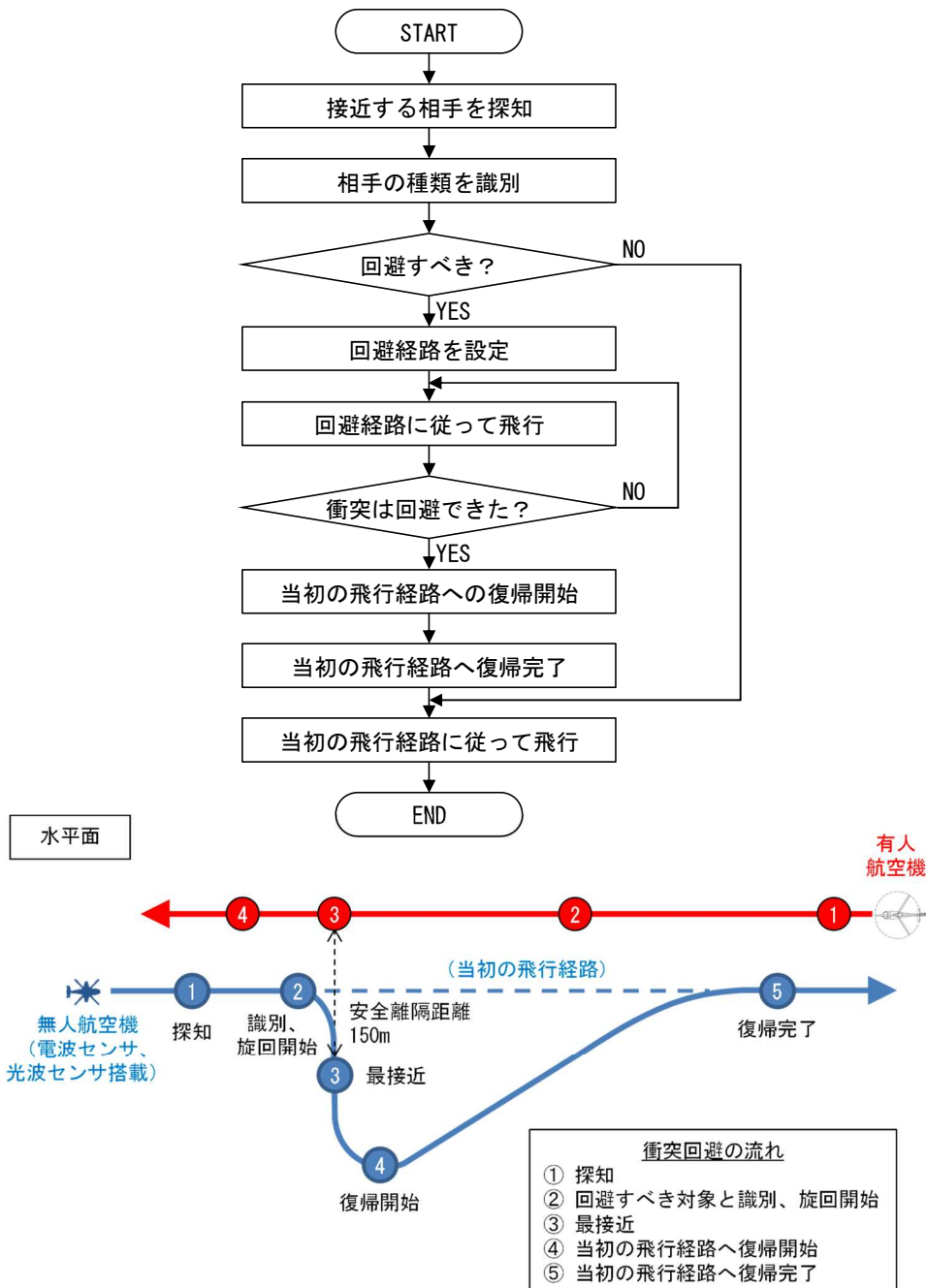


図 2. 2. 2. 1-19 衝突回避アルゴリズム

(3) 搭載ハードウェアの製造

電波センサ及び光波センサから入力されるセンサ情報及び準天頂衛星対応受信機からの自機位置を元に、衝突回避すべき脅威を感知し、旋回・減速・降下／上昇の衝突回避の動作を無人航空機に指示し、衝突回避を実施するための搭載ハードウェア（以下、「自律管理装置」と搭載センサ等とのインターフェースを明確化して、自律管理装置を製造した。（図 2.2.2.1-20 及び図 2.2.2.1-21 参照）

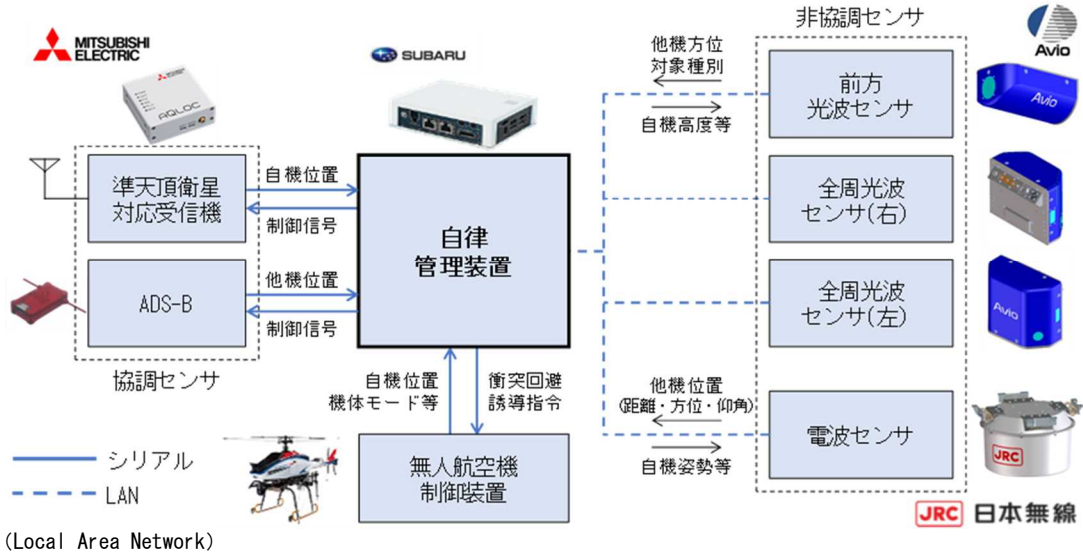


図 2.2.2.1-20 自律管理装置と搭載センサ等とのインターフェース

自律管理装置のハードウェアは、COTS (Commercial Off-The-Shelf) 品とし、狭いスペースや厳しい環境に設置可能な、名刺×2枚サイズの組み込み向けの超小型パソコンを選定して、これに前述の(2)項のアルゴリズムを実現するソフトウェアを実装した。

- ・長さ : 122mm
- ・幅 : 93mm
- ・高さ : 41mm
- ・質量 : 470g



図 2.2.2.1-21 自律管理装置ハードウェア主要諸元

(4) 飛行実証試験結果の反映

想定される様々な実フィールドで取得した搭載センサの探知情報を探知ロジックへ反映し、直線飛行で接近する有人航空機に対する非協調衝突回避を実現できるシミュレーション結果を得て、探知ロジックを確立した。

なお、このシミュレーションは、探知ロジックが将来的に物流や農薬散布などの様々な分野で活用が見込まれる全備重量が 150kg を超え、長時間飛行できるような、大型無人ヘリコプターに対しても正常に機能できることを確認するために、大型無人ヘリコプターを模擬した試験治具と探知ロジックを実装した自律管理装置を接続して実施した。(図 2.2.2.1-22 参照)

また、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、探知ロジックを含む衝突回避システムを実装した中型無人航空機を飛行させ、相対速度 100km/h で接近してくる有人航空機を探知し、衝突回避を行う機能実証を「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」により実施した。(図 2.2.2.1-23 参照)

- ・大型無人航空機を模擬した試験治具と探知ロジックを実装した自律管理装置を接続し、大型無人航空機に対しても探知ロジックが正常に機能できることを確認した。

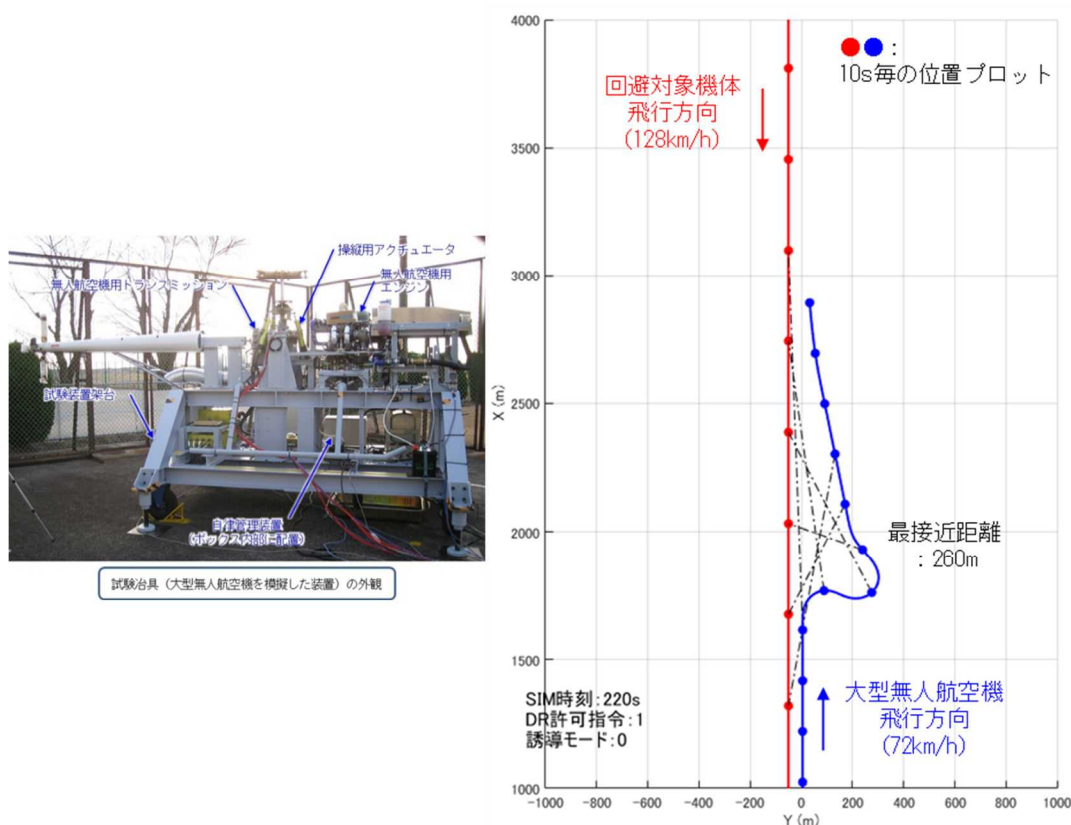


図 2.2.2.1-22 シミュレーション結果
(相対速度 200km/h、回避対象機体正面から接近⇒旋回回避の例)

- ・ 相対速度：100km/h
- ・ 試験場所：福島 RTF 及び福島浜通りロボット実証区域（南相馬市）広域飛行空域
- ・ 飛行試験は、「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／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」により実施した。

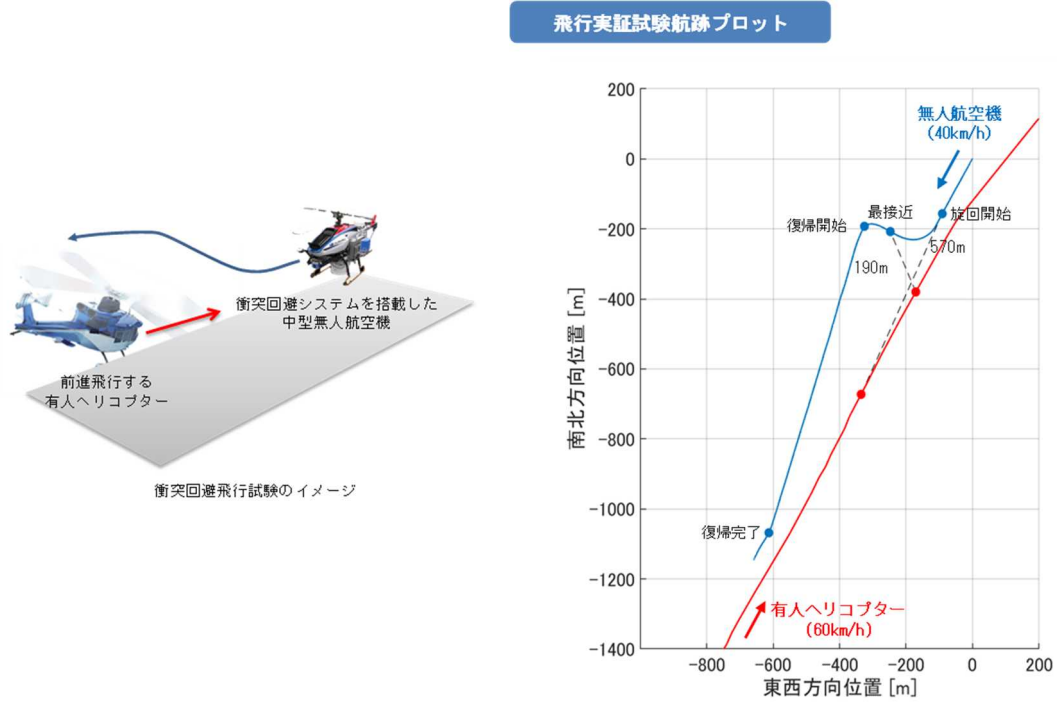


図 2. 2. 2. 1-23 衝突回避飛行実証試験結果

5.1.4. 「高速飛行時における小型無人航空機同士の認識及び衝突回避」

(実施者：株式会社自律制御システム研究所：現_株式会社ACSL)

(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 [m]	角解像度* [deg]	更新レート [Hz]	質量 [g]	価格 [USD]	対象*の検知可能距離 [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

図 2.2.2.1-24 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。

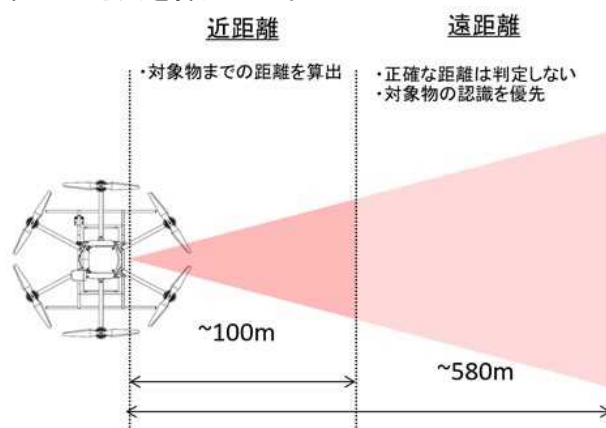


図 2.2.2.1-25 アルゴリズム検知範囲概要図

(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 2.2.2.1-26 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。

表 2.2.2.1-7 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	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 2.2.2.1-8 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

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)	

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は、事業期間内に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、2021年9月の実証実験において相対速度 200km/h での衝突回避試験に世界で初めて成功した。

(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	1	1	1	-	-	-	3
展示会出展	1	1	0	-	-	-	2
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	-	-	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	-	-	-	0
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

(1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

一般にドローンと呼ばれる小型の無人航空機や、それよりも一回り大きく、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、我が国においては、レベル3の無人地帯での目視外飛行及びレベル4の有人地帯での目視外飛行による「離島や山間部等における荷物配送」、「被災状況の把握及び災害対応活動(救助等)の支援」並びに「都市を含む地域における荷物配送」等の離島間を含む物流や災害対処はもとより、広範囲な分野・用途に利活用されると想定している。

これらの利活用においては、より混雑した空域や通信インフラが十分でない空域での運航が必要となるため、無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する高安全な衝突回避システムを使用できるというニーズは、今後ますます顕在化することが期待できる。

この無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術は、図2.2.2.1-27に示すとおり、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」の目視外飛行に関する要件に対して有効であり、実用化を実現することで成長性が見込まれる。

また、物流や災害対応分野の国内における無人航空機の市場予測は、2022年時点で年間おおよそ200億円の市場規模に拡大すると予想されており(図2.2.2.1-28参照)、経済効果も十分に期待できる。

更に、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衝突回避システムを実装した無人航空機が開発できれば、物流や災害対処に限らず、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、今後拡大が期待される民間市場の開拓が可能となり、2025年で約16兆円と推定されている米国など海外への輸出による経済的な効果も合わせて期待できる。(図2.2.2.1-29参照)

以上より、より小型で安価な衝突回避システムの実用化・事業化を実行することで、本事業の成功が見込まれる。

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

無人航空機の目視外飛行に関する要件(概要)

国土交通省

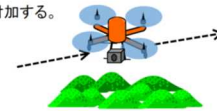
現行の補助者の役割である「①第三者の立入管理」、「②有人機等の監視」、「③自機の監視」及び「④自機周辺の気象状況の監視」を代替するために必要な機上装置や地上設備等の安全対策を含め、新たな要件として以下の通り設定。

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。

出典：国土交通省ホームページ

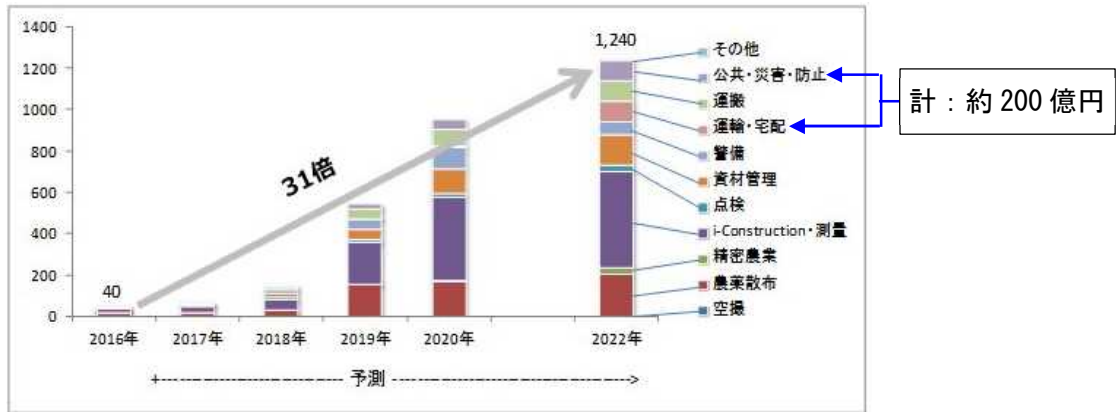
<https://www.mlit.go.jp/common/001227435.pdf>

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

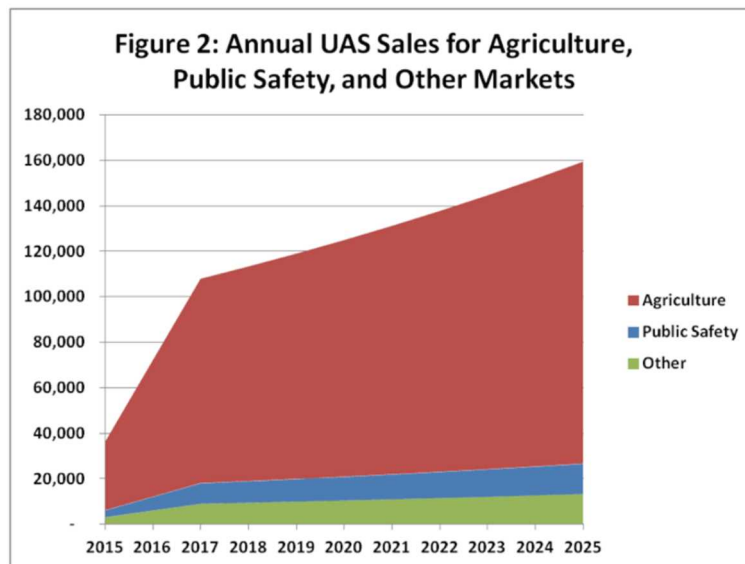
図 2.2.2.1-27 無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術と無人航空機の目視外飛行に関する要件との対応



(シード・プランニング作成)

出典： <https://www.lnews.jp/2017/09/j092517.html>

図 2. 2. 2. 1-28 物流及び災害対応分野の無人航空機の国内市場規模



出典：

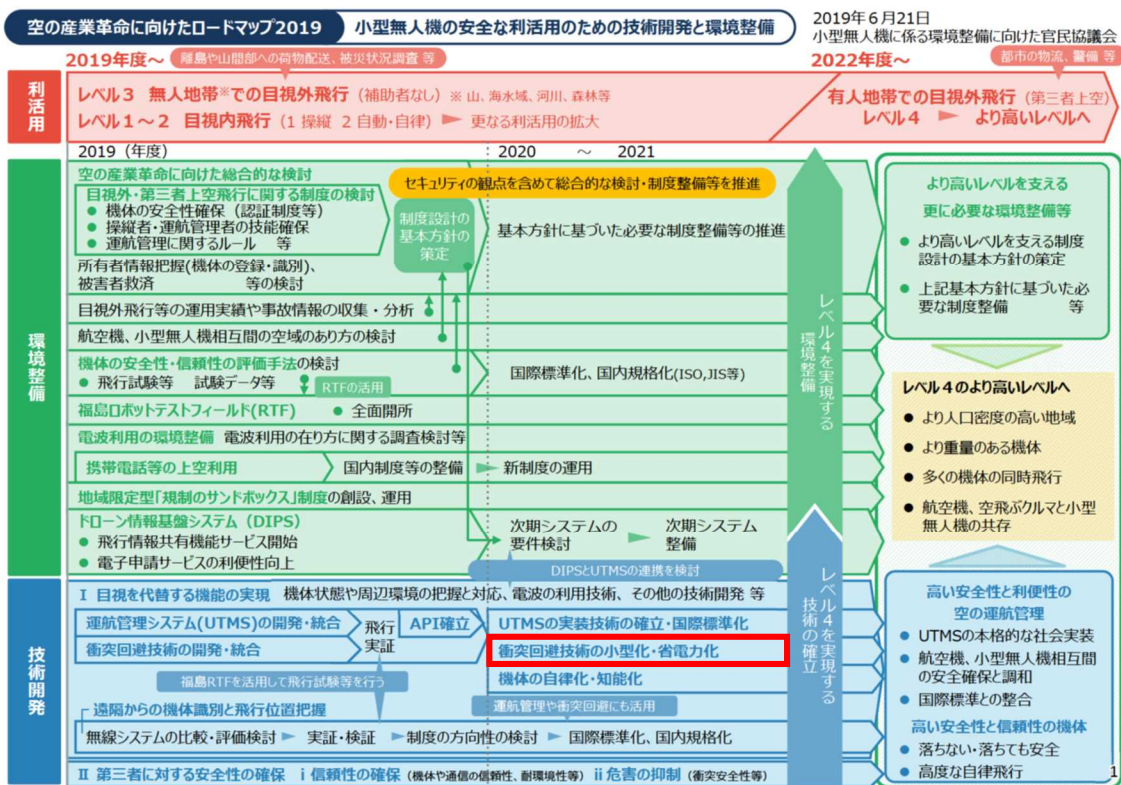
https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf

図 2. 2. 2. 1-29 米国における無人航空機市場の拡大予測

(2) 小型の無人航空機用衝突回避システム

小型無人航空機は、図 2.2.2.1-30 のように経済産業省主催の「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、2022 年度から「有人地帯での目視外飛行（レベル 4）」の実現をロードマップとして掲げ、各種取組みを行なっている。そのロードマップの中で、衝突回避技術（赤枠内）が項目として明記されており、今後の小型無人航空機でのレベル 4 目視外飛行では必須の技術となる可能性が高い。

本事業での研究成果は、国家レベルで推進されている空の産業革命に大きく貢献することが可能となる。なお、現在のところ、相対速度 100km/h で飛行する有人航空機を自律的に衝突回避する、遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載された小型無人航空機は他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載した小型無人航空機は競合が存在しないため、現在のところ優位な立ち位置であると考えられる。



出典：経済産業省ホームページ

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou12.pdf>

図 2.2.2.1-30 空の産業革命に向けたロードマップ 2019

インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2019」によると、2019 年度ドローン市場全体 1,450 億円に対して年間のドローン機体市場は 471 億円 (32%)、2024 年度は 908 億円 (18%) となっている。また、高性能の空撮ドローンが活用されている空撮、土木・建築・点検・防犯市場は 2019 年度で合計 271 億円、2024 年度で 1,914 億円であり、各年度の高性能の空撮ドローン機体市場は各々約 88 億円と 343 億円となる。現状、これらの大部分は外国製のドローンである。

Global Market insights Inc.によると、世界の空撮ドローン市場は 2017 年に 17 億 USD (1,870 億円; 110 円/ドル換算) と推定され、年間 12% CAGR (Compound Average Growth Rate) で成長すると推定されている。結果、2019 年は 21 億 USD (2,346 億円)、2024 年は 38 億 USD (4,134 億円) となる。

本事業で開発するドローンは、海外製の既製品に対して価格競争力を持ちつつ、サイバーセキュリティについては、既製品には無い機能や耐性を有する。リモート ID や LTE 通信等、最先端の機能も実装されている。現在、市場の大部分が外国製ドローンとなっているが、市場シェアを獲得することが期待できる。さらに、助成事業による主要部品高性能化により、さらに競争力を持つと推定される。結果、市場シェアは広がっていくと計画する。従って、市場規模及びシェアは表 2.2.2.1-9 の通りを計画する。

表 2.2.2.1-9 今後の国内外ドローンの市場シェア見込

	市場規模 (国内/国外)	委託シェア (国内/海外)	委託+助成シェア (国内/海外)
2019 年	88 億円 / 2,346 億円	0% / 0%	0% / 0%
プロジェクト終了時	204 億円 / 2,942 億円	5% / 0%	10% / 0%
終了 1 年目	253 億円 / 3,296 億円	8% / 1%	13% / 1%
～			
終了後 4 年目	403 億円 / 4,630 億円	20% / 5%	30% / 7%

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

(1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

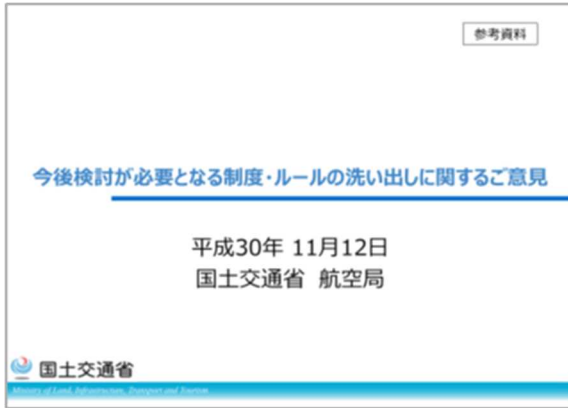
無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術を活用し、無人航空機全体としてのマーケットのみならず安全性や省エネルギーに寄与するセンサや衝突回避判断装置等の無人航空機アプリケーションのマーケットに対して、製品を提供する。

無人航空機としては物流、農業、インフラ監視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とともに、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。

この衝突回避システムの実用化に当っては、下記 2 点の結果などを踏まえながら、電波センサ (レーダ) を担当する日本無線株式会社、光波センサを担当する日本アビオニクス株式会社、準天頂衛星システム対応受信機を担当する三菱電機株式会社と調整を図りながら本研究開発の成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

- ・レーダ、画像認識による衝突回避ルールについては、2018 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 2.2.2.1-31 参照)

- ・ 図 2. 2. 2. 1-32 に示す「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、「多くの機体の同時飛行」や「航空機、空飛ぶクルマと小型無人機の共存」に関する環境整備が今後計画されている。



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(レーザー、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
運航管理ルール	<ul style="list-style-type: none"> ○基本的な運航管理ルール <ul style="list-style-type: none"> ➢ 運航カテゴリーの分類(運航リスク、重量、運用分野、飛行方法等) ➢ 新たな航空機カテゴリーの新設(ホビー用・事業用/後続距離等による分類) 	<ul style="list-style-type: none"> ○基本的な運航管理ルール <ul style="list-style-type: none"> ➢ 航路設定(目視外飛行)の要否 ➢ 飛行速度の制限要否 ➢ 飛行優先権(無人航空機同士)

➢ UTMSや衝突回避センタ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。

目視に頼らない衝突回避ルール

3

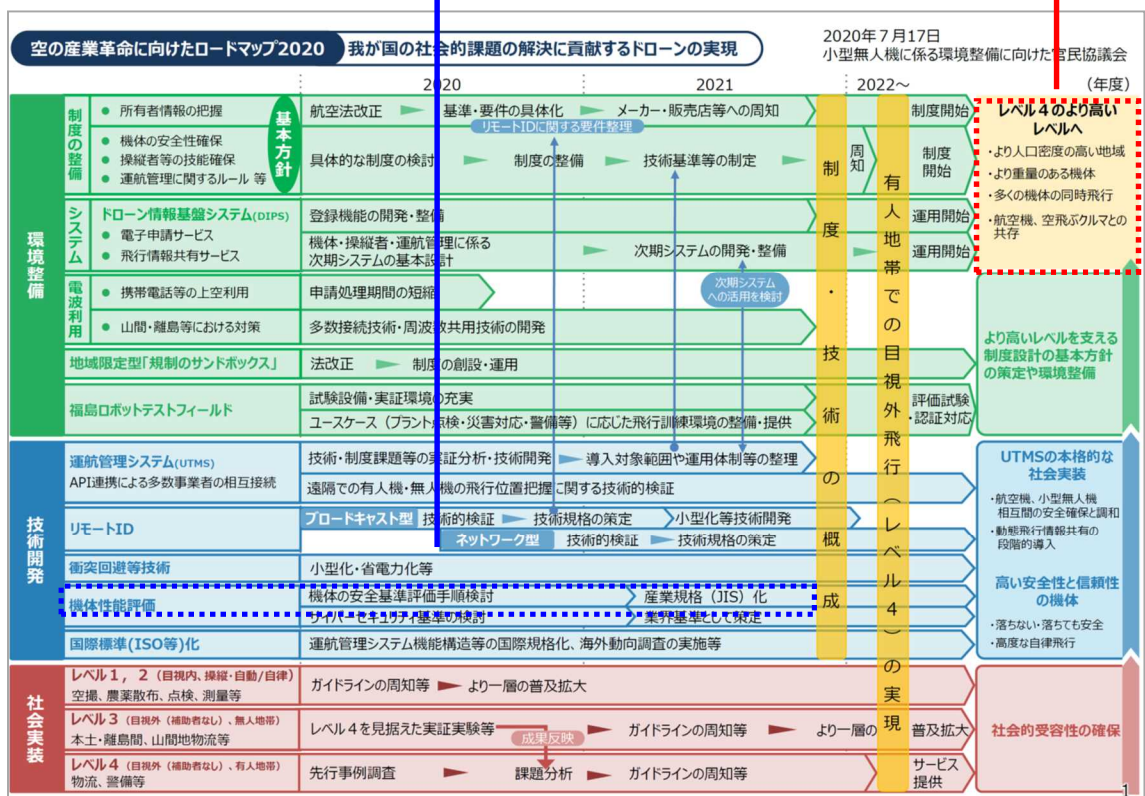
出典：国土交通省ホームページ

- ・ 平成 30 年 11 月 12 日 国土交通省 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

https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/anzenkakuho_dai9/sankou1.pdf

図 2. 2. 2. 1-31 制度・ルール化を検討すべき項目・洗い出し結果

「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 2020：我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現」に示されたとおり、今後「多くの機体の同時飛行」や「航空機、空飛ぶクルマとの共存」に関する環境整備が計画されており、この結果などを踏まえながら、本研究開発の成果を実用化・事業化につなげることを目指す。



出典：経済産業省ホームページ
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/roadmap2020.pdf

図 2.2.2.1-32 空の産業革命に向けたロードマップ 2020 と 衝突回避システム実用化の対応

(2) 小型の無人航空機用非協調式衝突回避システム
 本事業の研究開発成果は、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ドローンとして開発・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になると考えられる。本研究開発成果をドローンへ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、500 万円程度で、年間 200 台程

度の数量を見込んでいる。実用化・事業化のシナリオについて、物流分野においては、過疎地域での物流において積載重量約 5kg 程度までの荷物をラストワンマイル配送する事業から開始されていくと見込んでおり、徐々に人口密集地域でのレベル 4 目視外飛行へ活用が広がっていくと見込んでいる。災害分野においては、大規模災害発生時に可視光カメラや赤外線カメラを搭載したドローンが目視外範囲まで飛行し長距離無線通信を使用したリアルタイム映像通信による調査での活用が期待される。いずれも同時に複数機のドローンや有人機などが飛行することが想定され、研究開発成果を用いた衝突回避技術は非常に有効な手段である。実用化・事業化に向けた計画は下表の通りである。

表 2.2.2.1-10 事業化計画

年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
製品化設計					
信頼性試験		続行/中断判断			
販売					
収益発生					

予想される重大な障害：

製品化設計段階：法規制の強化による利用制限、市場環境の変化によるニーズ減

信頼性試験：想定外の不具合による販売遅延

販売：競合の参入による販売低減

3 実用化・事業化の見通し

(1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

(a) 実用化・事業化に向けた課題と今後の方針

実用化・事業化に向けた課題と今後の方針については、2. 実用化・事業化に向けた具体的取組のとおりである。

(b) 波及効果

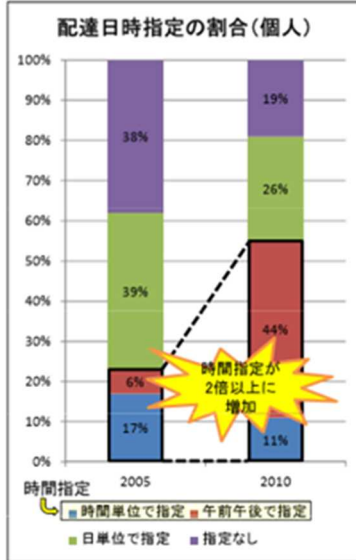
我が国の CO₂ 排出量の約 18% を占める運輸部門（2 億 1,300 万トン）のうち、貨物自動車は運輸部門の約 37%（約 7,800 万トン）を排出しており、物流分野において無人航空機が広く活用されることは、CO₂ 排出量の削減及び省エネルギー社会の実現に大きく貢献することが期待できる。

輸送業者においては、通信販売の急速な利用拡大やネットを利用した個人間売買の増加に伴って宅配便取扱個数が急増しているとともに、クール宅配便や時間帯お届けサービス等、ユーザーニーズの拡大に伴い宅配サービスも多様化し、例えば、「時間指定」の割合が 5 年で急激に増加（図 2.2.2.1-33 参照）している等、きめ細かいサービスへの需要が増大しており、その結果、トラックの積載率も 4 割程度の状況にある。

宅配サービスにおける過疎地域と都市部の輸送効率を比較した場合、一例としては、荷物 1 個あたりのトラック走行距離は、過疎地域の方が都市部より平均で約 6 倍長い。（図 2.2.2.1-33 参照）

こうした中、本研究開発により離島や山間部への無人航空機による小口や即時配送が実現すれば、過疎地における物流改善等を通じてエネルギー消費を大幅に削減

することができる。更に、レベル4を実現する環境整備や本研究開発を含む技術の確立によって、都市部物流が本格化し、都市部における渋滞緩和や再配達の減少等を通じてエネルギー消費を削減することが可能になる。



宅配サービスにおける過疎地域と都市部の輸送効率の比較(例)
(物流事業者A社実績/月間営業日)

地域	トラック走行距離	トラック台数合計	荷物個数	荷物1つあたりのトラック走行距離
過疎地域	約34万(km/月)	約100(台/月)	約30万(個/月)	約1.2(km/個)
都市部	約37万(km/月)	約350(台/月)	約160万(個/月)	約0.2(km/個)

※過疎地域は、過疎地域自立促進特別措置法に基づく地域から選定。
出典 A社実績データより作成

出典 : <https://www.mlit.go.jp/common/001068998.pdf>

図 2.2.2.1-33 宅配サービスにおける配達日時指定の割合及び過疎地域と都市部の輸送効率の比較

(2) 小型の無人航空機用衝突回避システム

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や災害調査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られる。(表 2.2.2.1-11 参照)

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。

表 2.2.2.1-11 物流、インフラ点検以外の用途への適用予測

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

6.2.2.2 2) 協調式 SAA の研究開発 :

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

(実施期間 : 3 年間 (2017 年度~2019 年度))

(実施者 : 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。

当社は、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 2.2.2.2-1)

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

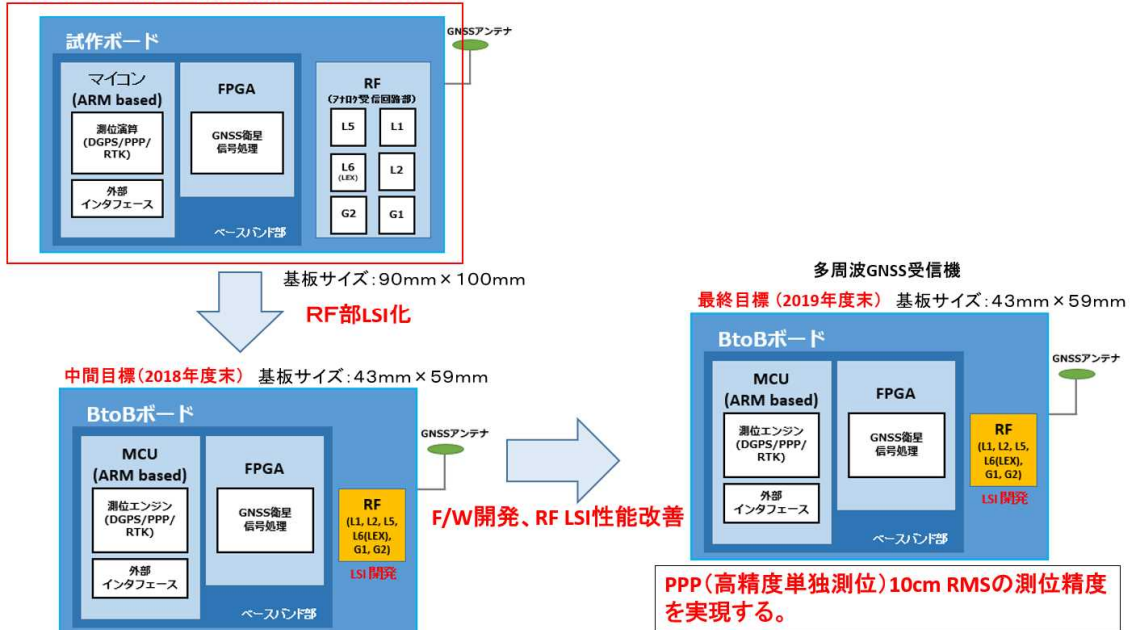


図 2. 2. 2-1 開発の流れ

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。

表 2. 2. 2-1 開発目標と設定根拠

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。		

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

研究開発スケジュール

表 2.2.2.2-1 開発スケジュール

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。

研究開発体制

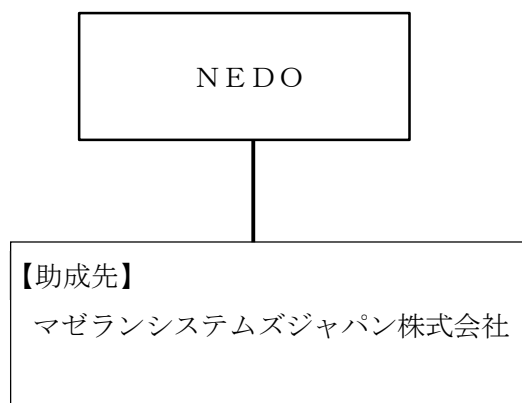


図 2.2.2.2-1 研究開発体制

(4) 研究開発の達成状況

研究開発項目と達成状況を表 2.2.2.2-3 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。

表 2.2.2.2-3 研究開発目標と達成状況

最終目標	成果	達成度	備考
RF 部の LSI 化を実施し、評価ボードを開発する。	4 週波対応 RF 部を LSI 化した評価ボードを作成し、受信機の基本性能を満足することを確認すると共に、課題を明確にした。	◎	
小型 B to B ボードを開発 （目標 43mm×59mm） 低消費電力化（目標 4.5W）	RF 部を LSI 化することにより、目標サイズ・目標消費電力を達成した。 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を達成した。	◎	(*1)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(*1) 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。

(5) 成果と意義

(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) 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 2.2.2.2-3) の開発を行った。

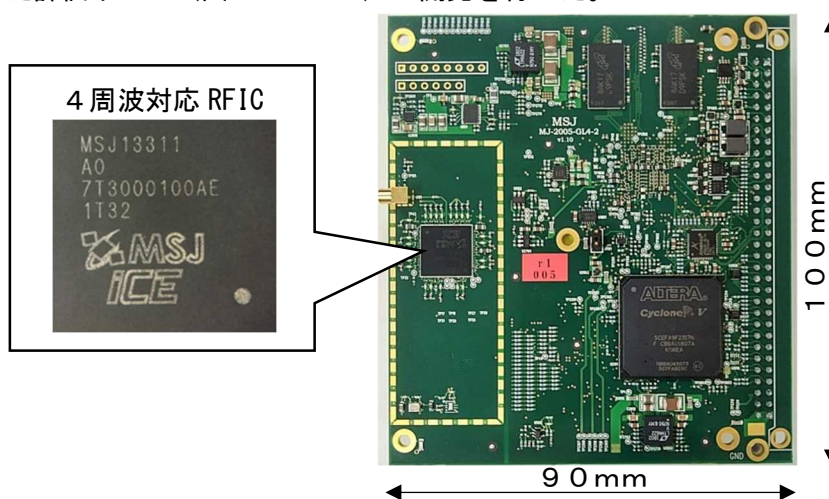


図 2.2.2.2-3 RFIC を搭載した評価ボード

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 2.2.2.2-4 に示す。

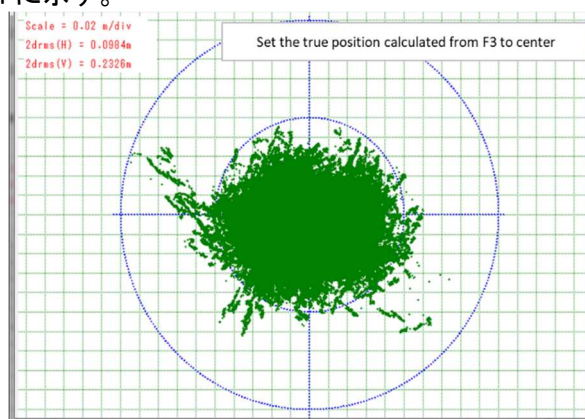


図 2.2.2.2-4 真値に対する精度
(2drms (水平) : 9.84 cm、2drms (高さ) : 23.26 cm)

準天頂衛星 CLAS 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 (Twice the distance root mean square) (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 2.2.2.2-5)

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。

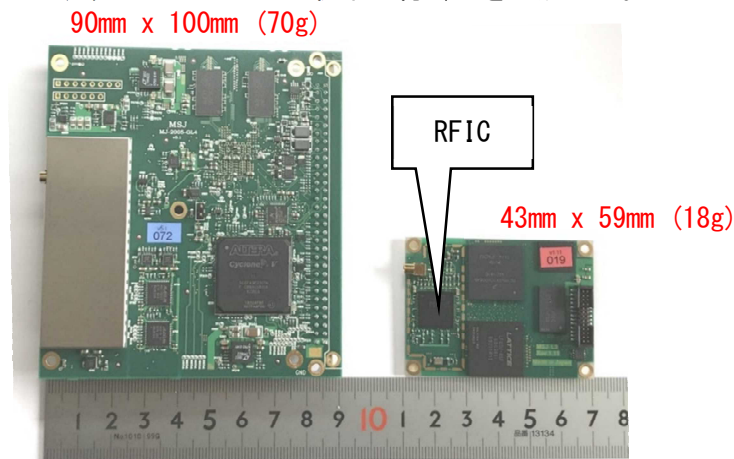


図 2.2.2.2-5 従来型ボード (左側)、小型 B to B ボード (右側)

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 CLAS を使った測位精度 (24 時間定点測位) は図 2.2.2.2-6 の通りである。

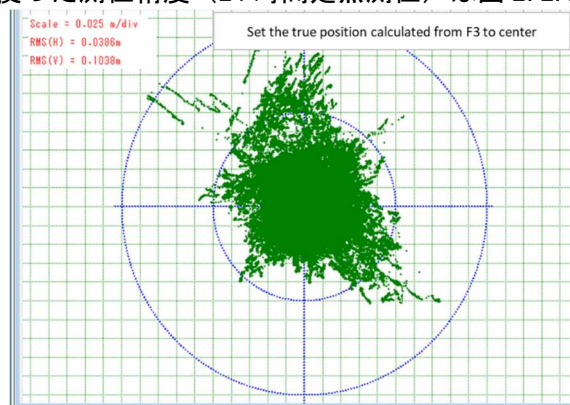


図 2.2.2.2-6 真値に対する精度
(2drms (水平) : 7.72 cm、2drms (高さ) : 20.76 cm)

準天頂衛星 CLAS 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) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	0	0	-	-	-	0
展示会出展	0	2	1	-	-	-	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	-	-	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	-	-	-	0
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

実用化・事業化まで進めるためには RF ASIC の量産化に係る更なる膨大な投資が必要のため、現時点では企業化（事業化）のフェーズには至っていない。
また上記に加え、本事業終了後についてはデジタルベースバンド部の ASIC 開発に注力する方針に切り替えたため、当初の実用化・事業化の予測に対しての進展はない状況である。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

RF ASIC は事業最終年度に完成した。成果物については IC チップレベルでの改善確認はできたが、RF ASIC を基板に搭載し、モジュールレベルでの性能確認は本事業期間中に実施できなかった。本事業の経験を、RF 部以外のデジタル回路の開発、ファームウェアの開発は今後のデジタルベースバンド部の ASIC 化開発に活用する。

3. 実用化・事業化の見通し

本事業の経験をいかした今後のデジタルベースバンド部の ASIC 化開発における、実用化・事業化の見通しは下記の通りである。

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ペ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。

6.2.2.3 2) 協調式 SAA の研究開発：

準天頂衛星対応受信機の低消費電力化の研究開発

(実施期間：3年間 (2017年度～2019年度))

(実施者：三菱電機株式会社)

(1) 事業の背景・意義 (目的・概要)

当社では、準天頂衛星システムのセンチメートル級 (cm級) 測位補強信号に対応した移動体 (陸上) 向け準天頂衛星対応測位受信機製品を販売する一方、様々な用途での使用における搭載性を改善するための小型化開発を実施している。ドローン搭載のように電力制限のある環境では電力消費が運用性に影響を与えることが大きく省電力が求められること、省電力はあらゆる用途において運用性の向上に寄与する項目であり、次の開発段階として重視している。

これまで準天頂衛星 (みちびき)、センチメートル級測位補強サービス、及び移動体 (陸上) 向けセンチメートル級測位補強信号対応の測位受信端末を開発してきており、2015年度から実証用端末 (センチメートル級精度) を販売し各種利用実証を経て、2018年度及び2019年度に準天頂対応受信機の製品リリースを行った。本研究開発の実施に際しては、2019年度にリリースした小型の準天頂対応受信機をベースに、これら技術、設備等を活用して推進した。

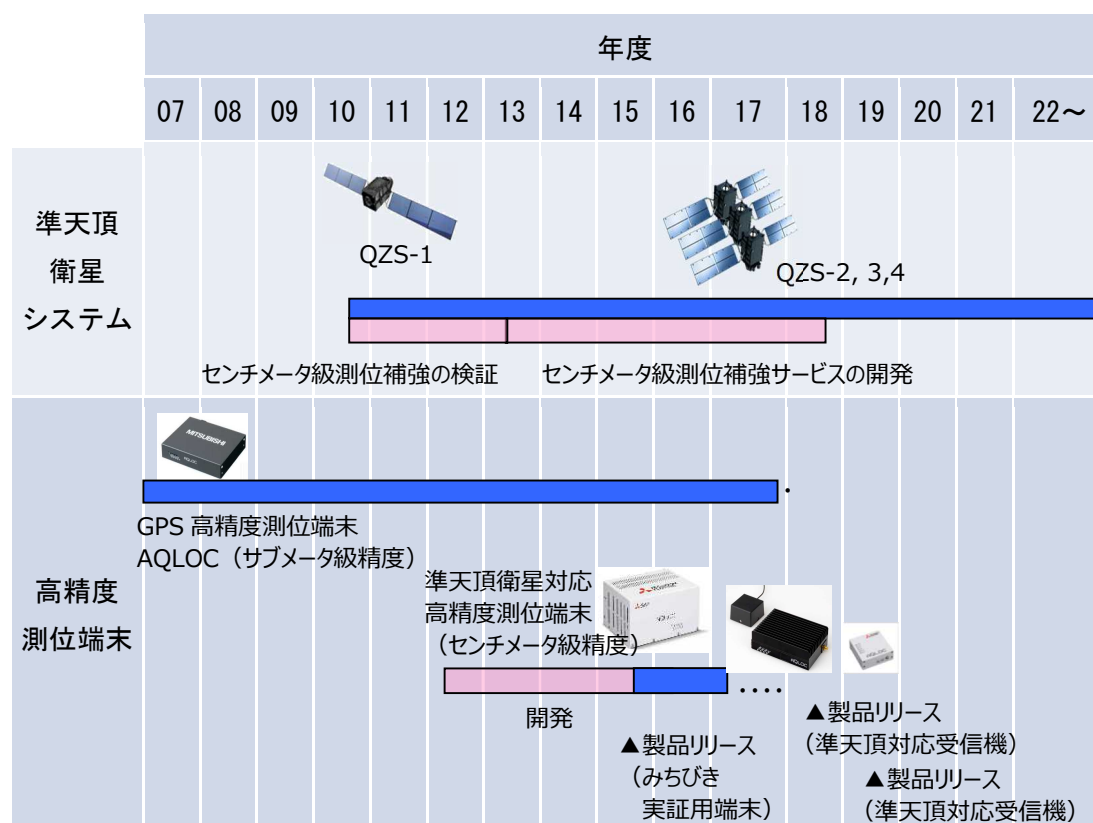


図 2.2.2.3-1 製品開発

(2) 研究開発目標と根拠

センチメートル級測位補強信号を含む受信機において、2019年11月に小型の準天頂対応受信機を製品リリースした。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の余地がある。

- ・当社製品の小型の準天頂対応受信機をベースに、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。

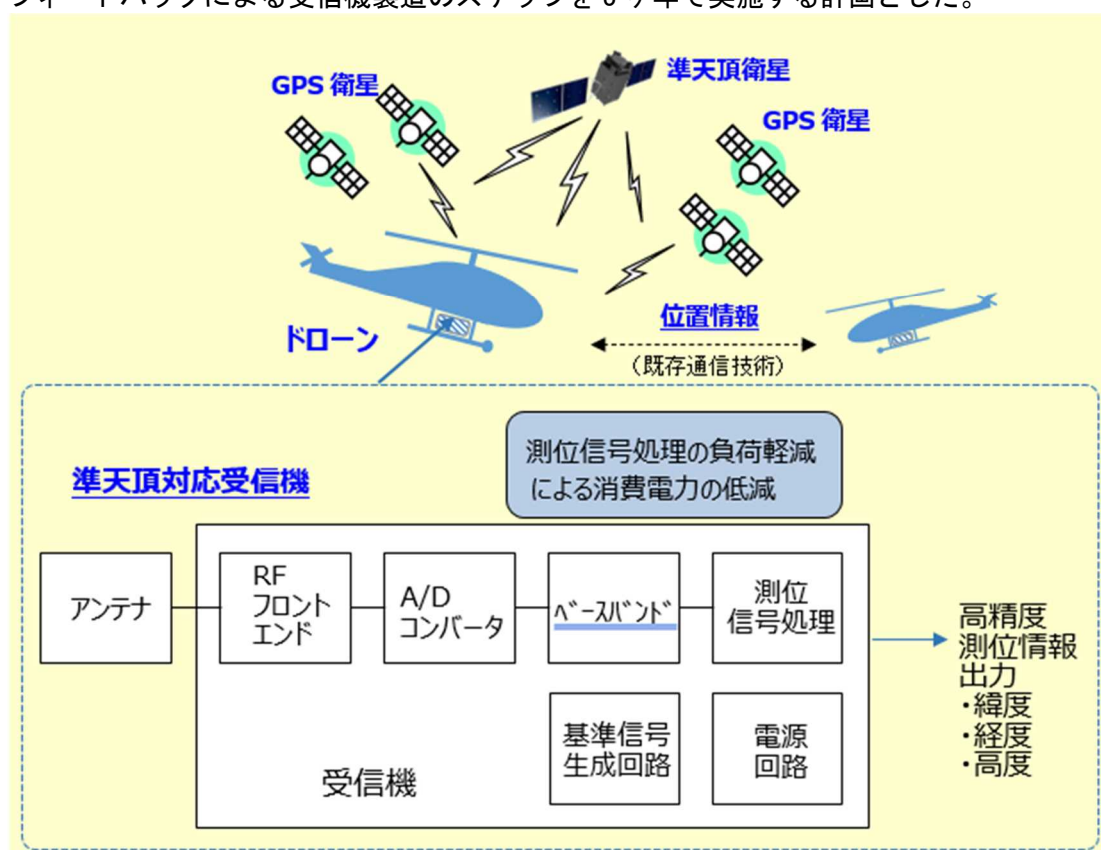


図 2. 2. 2. 3-2 準天頂対応受信機

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、通信の各技術と組み合わせた確認を行う。

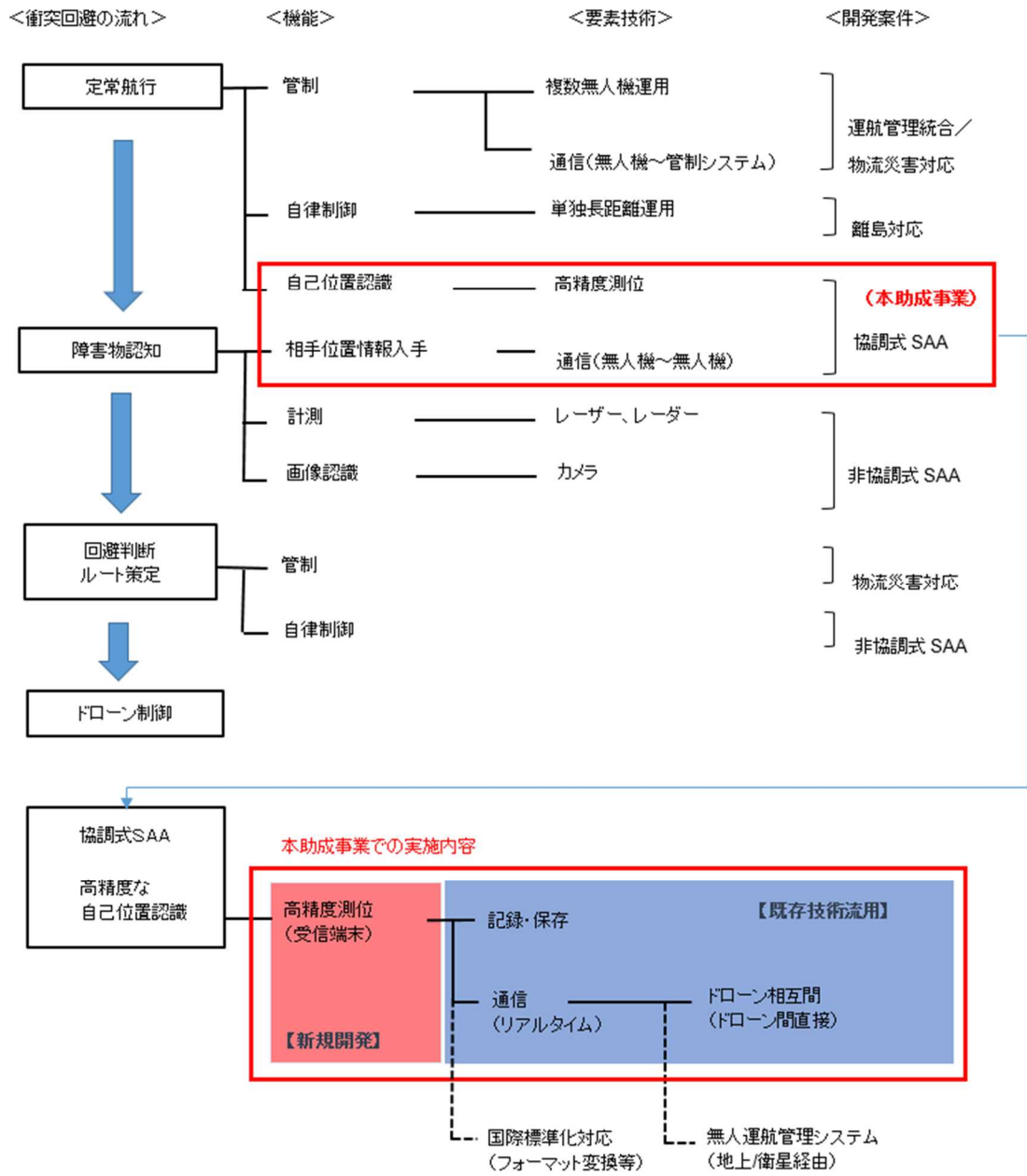


図 2. 2. 2. 3-3 研究の範囲

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

目標達成に向けた研究開発のスケジュールを表 2.2.2.3-1 に示す。
また研究開発の実施体制を図 2.2.2.3-4 に示す。

表 2.2.2.3-1 研究開発スケジュール

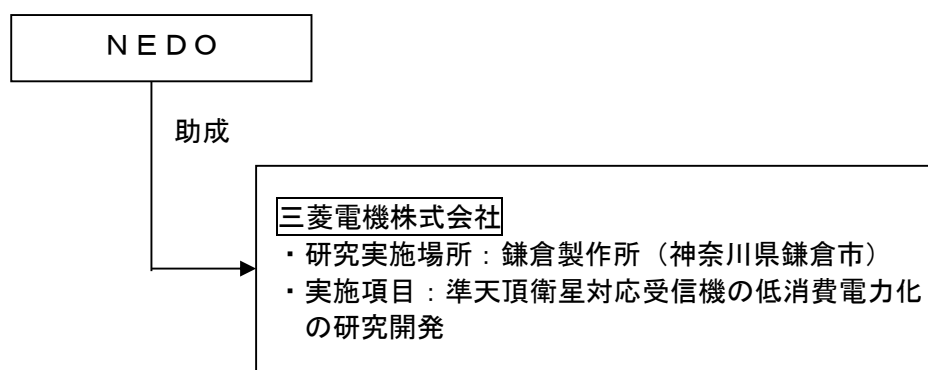
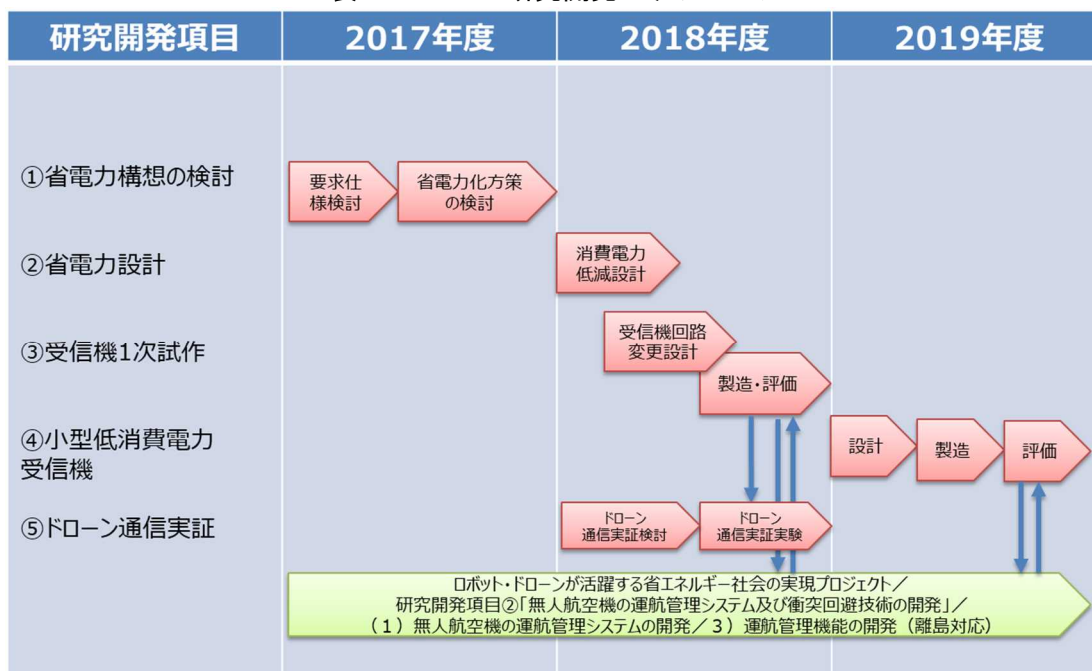


図 2.2.2.3-4 研究開発実施体制

(4) 研究開発の達成状況

研究開発の達成状況を示す。

最終目標	成果	達成度	備考
①省電力化構想の検討 (2017年度) 発熱箇所を分析し省電力化 を行う対象を明確化する	基板上で消費電力の大きい FPGA のプログラムの処理低減検討・試 作を完了 (回路全体で 43%の削減を達成)	○	
②省電力設計 (2018年度) ドローン用途での演算処理 低減プログラム設計を行う	処理低減検討・試作結果を元に部 品再選定(ダウングレード)を行 い、受信機基板全体の消費電力低 減設計を実施	○	
③受信機一次試作 (2018年度) 受信機基板への反映	②で設計した受信機基板の 1次試作を行い、評価・検証	○	
④小型低消費電力受信機 (2019年度) 低消費電力小型受信機の製 作と消費電力現行電力比 20%削減	現行機*1をベースに低消費電力小 型受信機製作、現行電力比 20.4% 削減	○	
⑤ドローン通信実証 (2018年度) 既存技術を用いて飛行情報 を相互に通信できること	受信機を搭載したドローンでの通 信実証実験を行い、飛行情報を相 互に通信し 0.5~0.6s 程度で安定 した通信ができることを実証	○	

*1 : 2019年11月5日販売開始した当社製高精度測位端末「AQLOC-Light」

(5) 成果と意義

5.1 研究開発項目①「省電力構想の検討」(2017年度)

2017年度時点で移動体(陸上)向けとして開発中であった準天頂衛星のセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)に対応する端末を図2.2.2.3-5に示す。測位信号としてGPS及び準天頂衛星のL1, L2, L5の3周波及び補強情報としてL6の計4周波を受信し、センチメートル級の高精度測位を実現している。

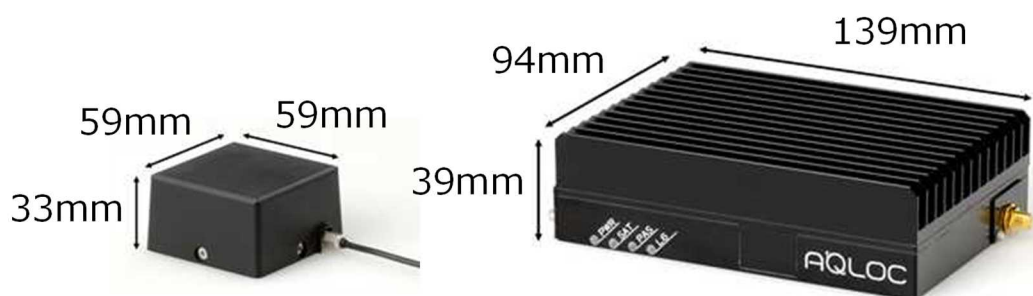


図 2. 2. 2. 3-5 準天頂衛星対応センチメートル級高精度測位端末 AQLOC

省電力化検討のため、シミュレーション及び実機サーマル画像解析にて発熱箇所すなわち高消費電力箇所を特定した。解析結果を図2.2.2.3-6及び表2.2.2.3-2に示す。

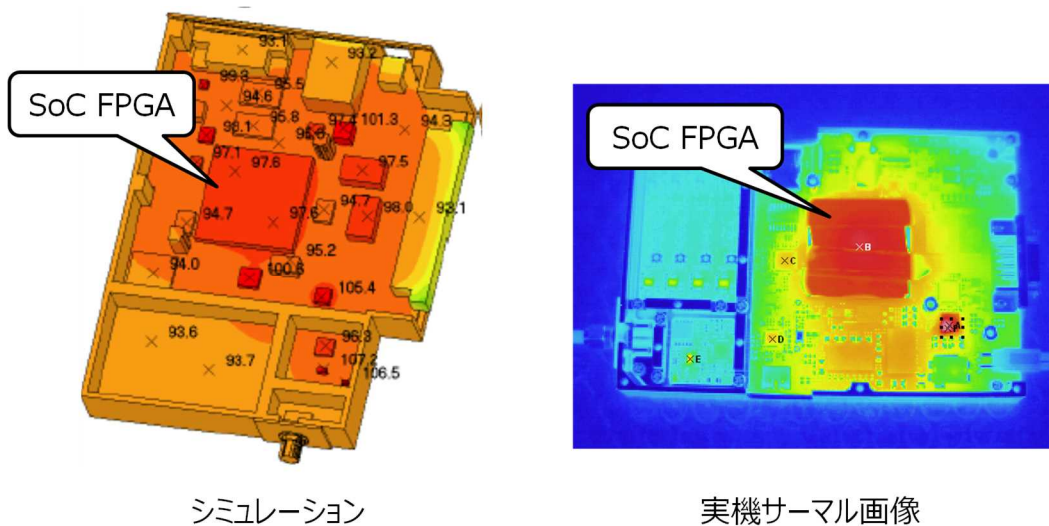


図 2. 2. 2. 3-6 高消費電力箇所の解析結果

表 2. 2. 2. 3-2 部位ごとの消費電力解析結果

No.	名称	回路番号	消費電力(mW)	
			Typ.	
1	RFアンプ	U1		128.1
2	RFアンプ	U2		76.3
3	PLL/VCO	U501		125.1
4	RFアンプ	U502		106.8
5	ポリスケラ	U503		189.1
6	RFアンプ	U504		106.8
7	ADC	U601		530.1
8	SoC FPGA	U602		5587.8
9	QSPI	U603		1.8
10	DDR3	U604		216.0
11	CONFIG ROM	U605		1.8
12	RS232C	U610		178.2
13	終端抵抗レギュレータ	U612		104.6
14	PYT(100BASE)	U613		144.0
15	DDR3	U614		216.0
16	クロックジェネレータ	U801		680.4
17	クロックジェネレータ	U803		81.0
18	DC/DC	U901		507.4
19	DC/DC	U903		709.4
20	DC/DC	U902		764.0
21		その他 (基板)		2490.5
		合計		12945.2

図 2. 2. 2. 3-6 及び表 2. 2. 2. 3-2 の結果より、SoC FPGA の低消費電力化を検討する。FPGA に実装されている信号処理回路の機能毎の回路使用率を図 2. 2. 2. 3-7 に示す。

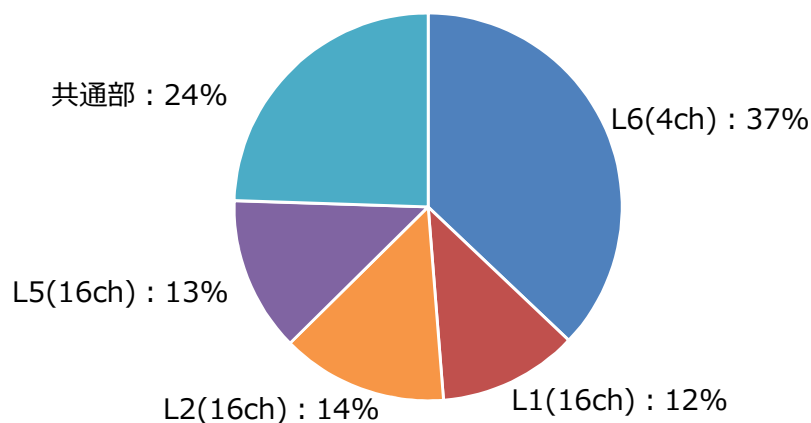


図 2. 2. 2. 3-7 FPGA 回路使用率

低消費電力化のためには低グレードの SoC FPGA で処理可能なように回路規模の削減

が必要である。そこで以下の方策により回路規模の削減を実施した。

回路規模削減方策

- ・ 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

回路規模削減検討の結果を反映した試作プログラムでの機能毎の回路使用率を図 2.2.2.3-8 に示す。

結果として回路使用量を 43%削減することに成功した。

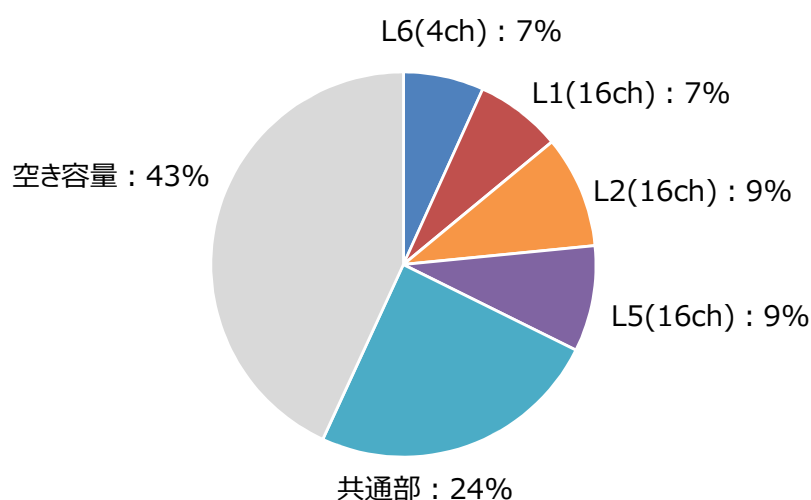


図 2.2.2.3-8 FPGA 回路使用率 (削減結果)

5.2 研究開発項目②「省電力設計」／③「受信機一次試作」(2018 年度)

研究開発項目①の成果に基づき、FPGA の回路使用率を 43%削減したことで FPGA のダウングレードを検討する。現行品のロジックエレメントは 660k であるが 480k にダウングレードし PCA を試作、更なる回路規模削減を検証した。

更なる回路規模削減案として次の方策を挙げ、研究開発項目①の成果と合わせて 61%削減案を検討した。検討結果を図 2.2.2.3-9 に示す。

回路規模の追加削減方策

- ・ L6 の 4ch→2ch 化
- ・ L1, L2 の 16ch→11ch 化
- ・ L5 の削除

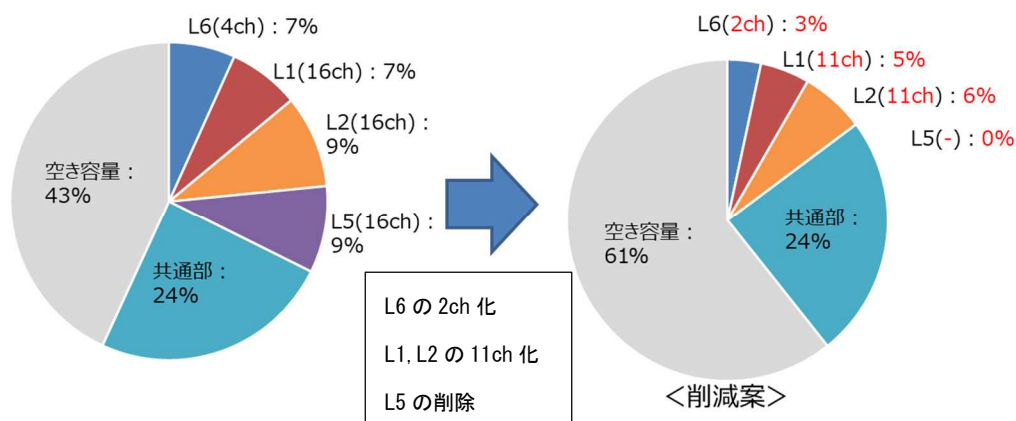


図 2. 2. 2. 3-9 省電力化の追加改善案

5.3 研究開発項目④「小型低消費電力受信機」(2019 年度)

本研究開発は、準天頂衛星対応受信機の消費電力を現行機から 20%削減することを目標としてきた。

一方当社は社内開発で準天頂衛星対応センチメートル級高精度測位端末 AQLOC-VCX II を 2018 年度まで開発継続してきたが、当社の端末事業計画変更により AQLOC-VCX II に優先してより小型軽量の AQLOC-Light の製品化に取り組み、2019 年 11 月販売開始した。このため、AQLOC-VCX II で検討してきた信号処理省力化プログラム(測位演算処理プログラムから L1, L2, L5 の測位信号の処理軽減及び L6 補強信号の処理軽減を適用したプログラム)を活用して AQLOC-Light の改良版(低消費電力版)を製作し、低消費電力化の検証を行った。

研究開発目標は、AQLOC-Light の消費電力(実力値)7.3W に対して 20%削減した 5.84W 以下とする。

消費電力削減にあたっては、汎用性の高い AQLOC-Light からドローン搭載に特化し以下の設計変更を行った。

- ・ CPU クロック低減 (1GHz→900MHz)
- ・ LAN I/F 削除
- ・ Gyro センサ削除
- ・ 供給電源局限 (9~16V→5V±10%)

AQLOC-Light からの電力削減状況を図 2. 2. 2. 3-10、電力削減効果を表 2. 2. 2. 3-3 に示す。

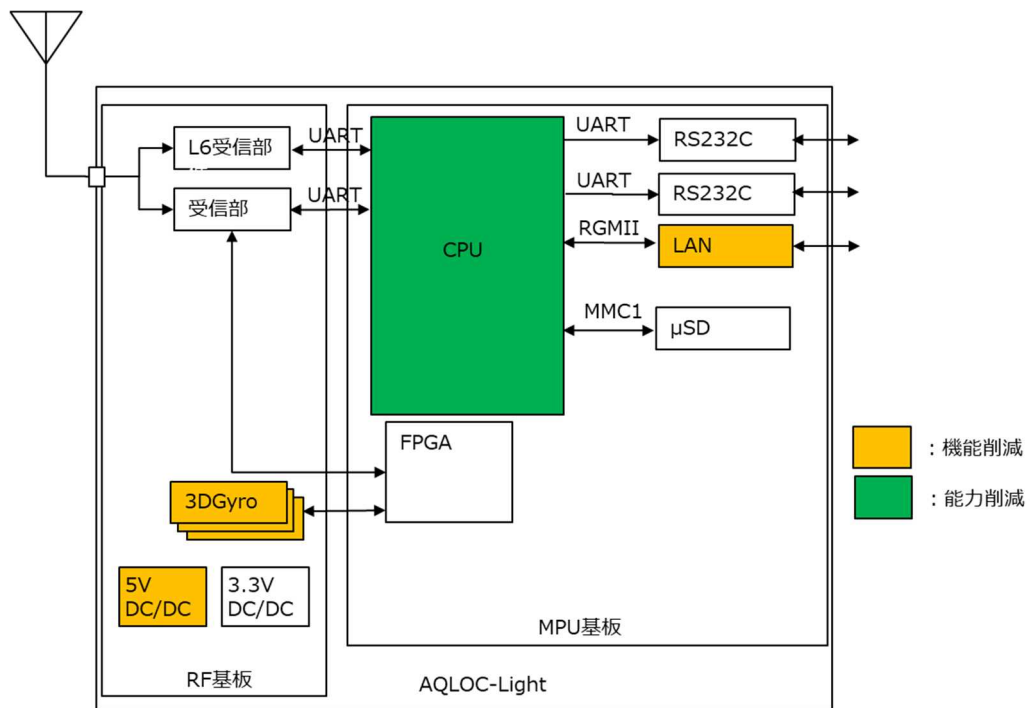


図 2.2.2.3-10 現行機 (AQLOC-Light) からの電力削減

表 2.2.2.3-3 電力削減効果

番号	削減目標	項目	削減効果		備考
			現行機	削減量(率)* 小型低消費電力 受信機削減反映後 の消費電力	
1			7.3W		
2	5.84W	CPU クロック低減		0.88W (12.1%)	(1-2) 6.42W
3	以下	LAN I/F 削除		0.22W (3.0%)	(1-2-3) 6.20W
4	(20%	Gyro センサ削除		0.08W (1.1%)	(1-2-3-4) 6.12W
5	減)	供給電源局限		番号 4 の 5.0%	(1-2-3-4) × 0.95 現行機 : 9~16V 5.81W 変更後 : 5V±10%
6		【削減結果】		7.30W から 1.49W 減	5.81W (20.4%減) 設計値
7		【実測】			5.59W (23.4%減) 実測(平均)値

* : 削減率は番号 1 (7.3W) に対する削減率を示す。

5.4 研究開発項目⑤「ドローン通信実証」(2018年度)

2機のドローンに受信機を搭載し、飛行中の位置情報を地上システムを介して相互に通信する。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。

ドローン通信実証のシステム構成図及び機材の状況を図 2.2.2.3-11 に示す。

フライト日時：2019年1月30日(水)

フライト場所：愛知県豊田市深見町 藤岡ヘリポート

フライト方法：オートフライト

フライトパターン：① 平行通過(図 2.2.2.3-12)

② 交差通過(図 2.2.2.3-13)

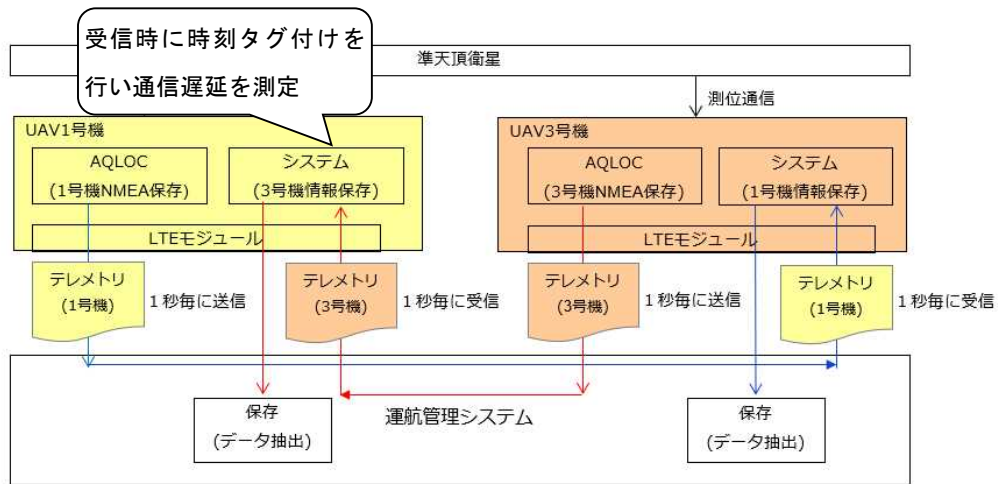
飛行中の相互位置の通信結果を図 2.2.2.3-14 に示す。

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。

通信遅延を最大 1s とした場合、100km/h で飛行すると 1s で 27.8m 進むが、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 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。

これにより、飛行中の相互位置の通信による衝突回避が可能と考える。



<システム構成図>



<UAV>

<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 2. 2. 2. 3-11 ドローン通信実証のシステム構成図及び機材状況

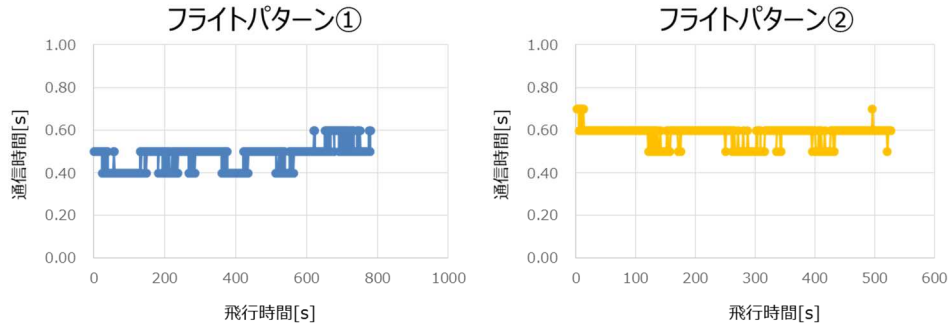


図 2. 2. 2. 3-12 フライトパターン① 平行通過



図 2. 2. 2. 3-13 フライトパターン② 交差通過

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。



通信遅延を最大1sとした場合でも、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。これにより、飛行中の相互位置の通信による衝突回避が可能と考える。

図 2.2.2.3-14 飛行中の相互位置の通信結果

(6) 特許出願数、論文等の発表数

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には、受信機の低消費電力化は必須であり、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。今後は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っていく。

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	0	0	-	-	-	0
展示会出展	0	0	0	-	-	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	-	-	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	-	-	-	0
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

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。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

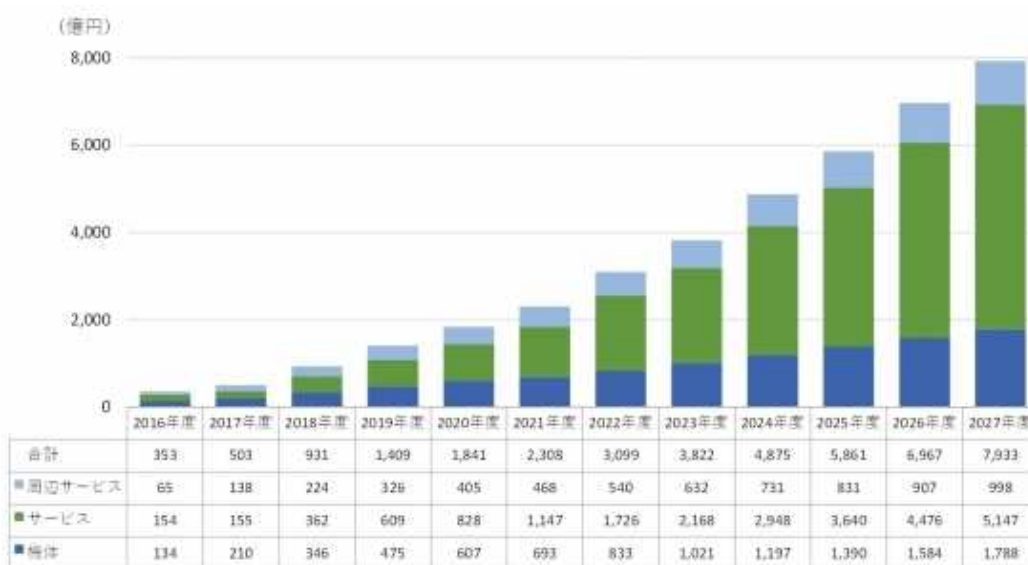
低価格小型軽量型(ボード型)高精度測位端末の開発、多機能測位への対応開発を開始、2023年度以降に販売開始を狙う。ただし昨今の半導体等部品入手難の影響で販売開始時期は流動的である。本研究開発成果であるドローン向け小型低消費電力受信機の成果反映については、上記開発設計過程で明確化する。

3. 実用化事業化の見通し

現行機(高精度測位端末「AQL0C-Light」)の販売は継続、適用範囲拡大を狙いドローン搭載を含む種々のユースケースにおける性能最適化を加え、提案活動を継続するも、具体的商談に至っていない。

このため、現段階では具体的な販売計画には落とし込める状況には無いものの、多機能測位及び低価格小型化のニーズに答えるため社内開発を継続、提案活動と具体的商談への進展状況を見て、本案件に係る事業計画の具体化を進める。

ドローン市場は急速に拡大しており、5年後(2027年度)には機体市場が1,788億円(2022年度の約2.1倍)に達する見込みとの報告もある。2021年度以降も、農業散布、物流、点検、測量などの各分野に向けた機体が投入されており、産業用機体の市場の増大とともにドローン搭載向け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。



出展 : <https://research.impress.co.jp/topics/list/drone/643>

図 2. 2. 2. 3-15 国内のドローンビジネス市場規模の予測

6.2.2.4 3) 衝突回避システムの小型化・低消費電力化：

衝突回避システムの小型化・低消費電力化の研究開発

(実施期間：2年間(2020年度～2021年度))

(実施者：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を拡大するための制度設計、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、ロボット・ドローンの高度利活用が期待されている。

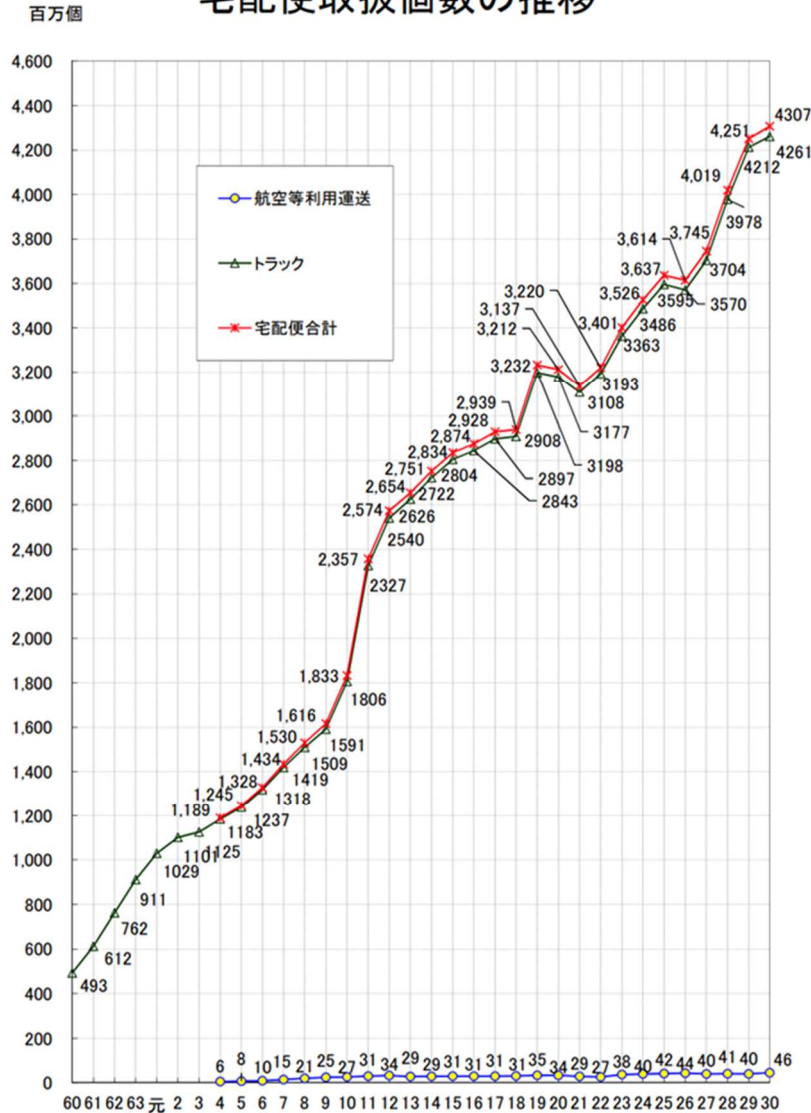
この時、ロボット・ドローンとしての無人航空機がその能力を十二分に発揮するためには、自由でかつ安全な運航が必要不可欠であり、有人航空機のパイロットが危険に遭遇しないように、衝突回避や緊急着陸を実現する小型で高安全なシステムの構築が重要な研究開発要素となっている。

このため、衝突回避対象に電波及び光波センサを搭載し、回避すべき対象を探知するシステムを構築すると共に、探知した回避対象を安全に回避可能な衝突回避アルゴリズム及び故障対応システムの小型化開発を目指す。

ロボット・ドローンの利活用が期待されている物流分野では、以下に示すような課題が挙げられる。

図 2.2.2.4-1 は宅配便取扱個数の年度推移を示している。この図に示すように、物流分野では、2019年の宅配便の取扱個数は約43億個と4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、政府は課題解決のために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、2030年をめどに完全に無人化する目標が発表された。

宅配便取扱個数の推移



(注1) 平成19年度からゆうパック(日本郵便)の実績が調査の対象となっている。
 (注2) 日本郵便については、航空等利用運送事業に係る宅配便も含めトラック運送として集計している。
 (注3) 「ゆうパケット」は平成28年9月まではメール便として、10月からは宅配便として集計している。
 (注4) 佐川急便(株)においては決算期の変更があったため、平成29年度は平成29年3月21日～平成30年3月31日(376日分)で集計している。

図 2. 2. 2. 4-1 宅配便取扱個数の推移
 (国土交通省 「宅配便等取扱個数の調査及び集計方法」)

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、樹木を含む障害物や周辺を飛行する有人航空機、無人航空機についても常時把握し、共通化された回避ルールに則って衝突を回避する技術が不可欠である。

更には、万一の事態に備えて地上の状況についても把握し、人や車、道路、鉄道など重要インフラ設備、及び斜面や樹木の上、水面などは可能な限り回避して、平坦な田畑や公園等の空き地を不時着可能な地点として着陸することは、第三者の安全を担保するための技術として実装すべきである。

そこで、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」において、2017年度から2019年度までに、大型無人航空機向けの衝突回避用電波セ

ンサおよび光波センサシステムが開発され、実証実験が行われた。小型無人機においても、相対 100km/h での衝突回避用光波センサによる衝突回避試験が行われた。

本事業では、より確実な衝突回避システムの完成を目指すため、上記の大型無人航空機向けに開発された電波センサおよび光波センサを小型化し、相対 200km/h での小型無人航空機向け衝突回避システムの実現を目指す。

(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。

この研究開発内容の抜粋を次に示す。

◎「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」基本計画からの研究内容の抜粋

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. 研究開発の具体的内容

(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。

また、本研究開発では以下の事に関する開発を進める。

無人航空機に搭載された各種センサ（光波センサ、電波センサ等）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、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避する技術において各種センサの小型化、軽量化、低消費電力化を行い、衝突回避する技術を開発する。

小型無人航空機において飛行中の有人航空機や他を検知するセンサ、並びに当該セン

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小型無人航空機に搭載可能な非協調式 SAA システムを開発する。

以上の背景を開発の根拠とし、表 2.2.2.4-1 に示す研究開発目標を実現する。

表 2.2.2.4-1 研究開発目標

項目	研究開発目標
電波センサ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小型化・低消費電力化した電波センサ（レーダ）の開発 ・ 電波センサ（レーダ）の設計・製作・評価 ・ サイズ・重量・消費電力：2400cm³・1.2kg・45W 以下を目指す ・ 相対速度 200 km/h 以上での衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証する。 ・ 有人ヘリコプタに対しては 1km 以遠で探知する。
光波センサ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存認識処理方式の最適化によるハードウェアの最小化実現 ・ 2017 年度から 2019 年度の研究開発の成果である認識処理方式を基に処理の冗長的な部分を最適化することにより、一部の処理をソフトウェア化する。また、後述の光波センサユニットへの実装を完了する。 ・ ハードウェア構成の見直しによる構成の縮小 ・ 工業製品化を意識した小型・軽量および低消費電力である光波センサユニット 1 式について設計・製造を完了する。また、飛行試験に向けた実行性能を検証し、試験可能な状態とする。 ・ 光波センサユニットはサイズ：2250cm³ 以下、重量：0.8kg 以下、消費電力：25W 以下を目指す。 ・ 実証試験結果（委託事業）の反映 ・ 衝突回避対象物体の認識データについて検証を行う。 ・ 飛行実証試験の結果により、前述物体認識処理方式へフィードバック改修等を行い、実証試験の成果を確実なものとする。 ・ 相対 200km/h の速度で衝突回避可能な情報を自律管理装置に提供する。
自律管理装置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小型無人機の高速飛行時における障害物の認識及び衝突回避 ・ 小型衝突回避用光学・電波センサの搭載及び動作検証 ・ 衝突回避システムの設計・開発 ・ 200 km/h 以上の相対速度での無人航空機同士での衝突回避システム技術の開発および動作検証

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

目標達成に向けた研究開発スケジュール（実施計画書）を表 2.2.2.4-2 に示す。

表 2.2.2.4-2 研究開発スケジュール

電波センサ研究開発スケジュール（日本無線）

事業項目	2020年度				2021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
衝突回避システムに使用する小型化・低消費電力化した電波センサの開発								
a) システム開発設計		→						
b) 設計・製作			→					
c) 機材評価				→				
d) 電波センサ改造 （評価・レビュー結果の反映）					→		→	
e) データレビュー						→		→

光波センサ研究開発スケジュール（日本アビオニクス）

事業項目	2020年度				2021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
衝突回避用光波センサの小型化開発								
a) 既存認識処理方式の最適化によるハードウェアの最小化		→						
b) ハードウェア構成の見直しによる構成の縮小		→						
c) 実証試験結果の反映					→			

自律管理装置研究開発スケジュール（自律制御システム研究所）

事業項目	2020年度				2021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
小型無人機の障害物認識及び衝突回避								
a) 衝突回避システムの設計・開発		→						
b) 小型光波センサ・電波センサ統合		→						

研究開発の実施体制を図 2. 2. 2. 4-2 に示す。

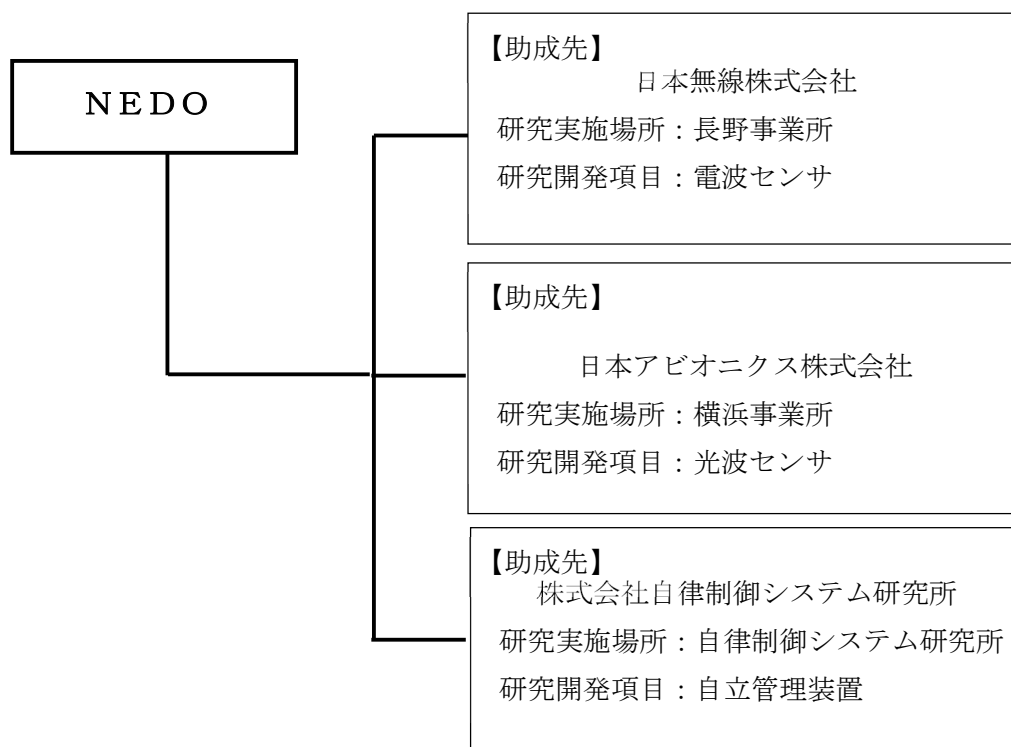


図 2. 2. 2. 4-2 研究開発の実施体制

(4) 研究開発の達成状況

4.1 電波センサ（実施者：日本無線株式会社）

相対速度 200km/h 以上での有人ヘリコプタとの衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証でき、有人ヘリコプタに対しては1km 以遠で探知できた。

最終目標	成果	達成度	備考
<ul style="list-style-type: none"> 相対速度 200km/h 以上での衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証する。 小型電波センサで探知した情報を適切に自律管理装置に提供できることを確認する。 有人ヘリコプタに対しては1km 以遠で探知する。 	<ul style="list-style-type: none"> 電波センサの性能評価データや実証実験で取得したデータを評価、レビューした結果を、電波センサの処理に反映した。 電波センサで探知した情報を、適切に自律管理装置に提供できることが確認できた。 相対速度 200km/h 以上での有人ヘリコプタとの衝突回避を実現するための、小型電波センサ（レーダ）の有効性を検証できた。 有人ヘリコプタに対しては1km 以遠で探知できた。 	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.2 光波センサ（実施者：日本アビオニクス株式会社）

当初の目標に対し、委託事業の飛行試験で取得した映像データを使用したシミュレーションにより、達成した。

最終目標	成果	達成度	備考
<ul style="list-style-type: none"> 飛行実証試験の結果により、前述物体認識処理方式へのフィードバック改修等を行い、実証試験の成果を確実なものとする。 相対 200km/h の速度で衝突回避可能な情報を自律管理装置に提供する。 	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験の結果を物体認識処理方式へフィードバック、処理の改修等を実施し、成果を確実に有効利用した。 相対速度 200km/h で衝突回避可能な情報（小型無人航空機に対する離隔距離 250m 以遠での探知情報）を自律管理装置に提供できた。 	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.3 自律管理装置（実施者：株式会社ACSL）

相対速度 200km/h 以上で無人航空機同士での衝突回避システム技術を開発し、動作検証できた。

最終目標	成果	達成度	備考
<ul style="list-style-type: none"> 200 km/h 以上の相対速度での無人航空機同士での衝突回避システム技術の開発および動作検証 	<ul style="list-style-type: none"> 対有人機で相対速度 200km/h、対無人機で相対速度 100km/h の衝突回避において、光波・電波センサからの情報をもとに回避を行う自律管理装置の開発に成功した。 	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(5) 成果と意義

5.1. 「電波センサ（レーダ）の評価」（実施者：日本無線株式会社）

(1) システム開発設計

電波センサのシステム開発設計を行い、サイズ・重量・消費電力は 2400cm^3 / 1.2kg / 45W 以下を実現できる見込みを得て設計を進めた。開発した新旧電波センサの外形比較写真を図 2.2.2.4-3 に示す。



2017 年度～2019 年度において開発した衝突回避技術に使用する電波センサ

開発した小型化、軽量化、低消費電力化した電波センサ

図 2.2.2.4-3 2017 年度～2019 年度開発電波センサと開発した小型電波センサの比較

(2) 電波センサ設計・製作

電波センサのハードウェアを設計し、製作した電波センサの外観、構成、サイズ・重量・消費電力を図 2.2.2.4-4 に示す。

項目	開発目標値	成果
サイズ	2400cm^3 以下	2080cm^3
重量	1.20kg 以下	1.17kg
消費電力	45.0W 以下	44.9W

図 2.2.2.4-4 開発した電波センサ

(3) 電波センサ評価・最適化

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 3)運航管理機能の開発（離島対応）の飛行試験（以降、飛行実証試験と記載）において、衝突回避の回避対象となる有人ヘリを移動目標とし、無人機に搭載した電波センサの受信ログデータを取得した。取得したログデータを

オフラインで解析・評価・レビューした結果、図 2. 2. 2. 4-5 に示す様に、衝突回避の対象となる有人ヘリを抽出可能な、電波センサの信号処理パラメータを最適化することができ、無人機へ搭載する実際の電波センサへ反映することができた。

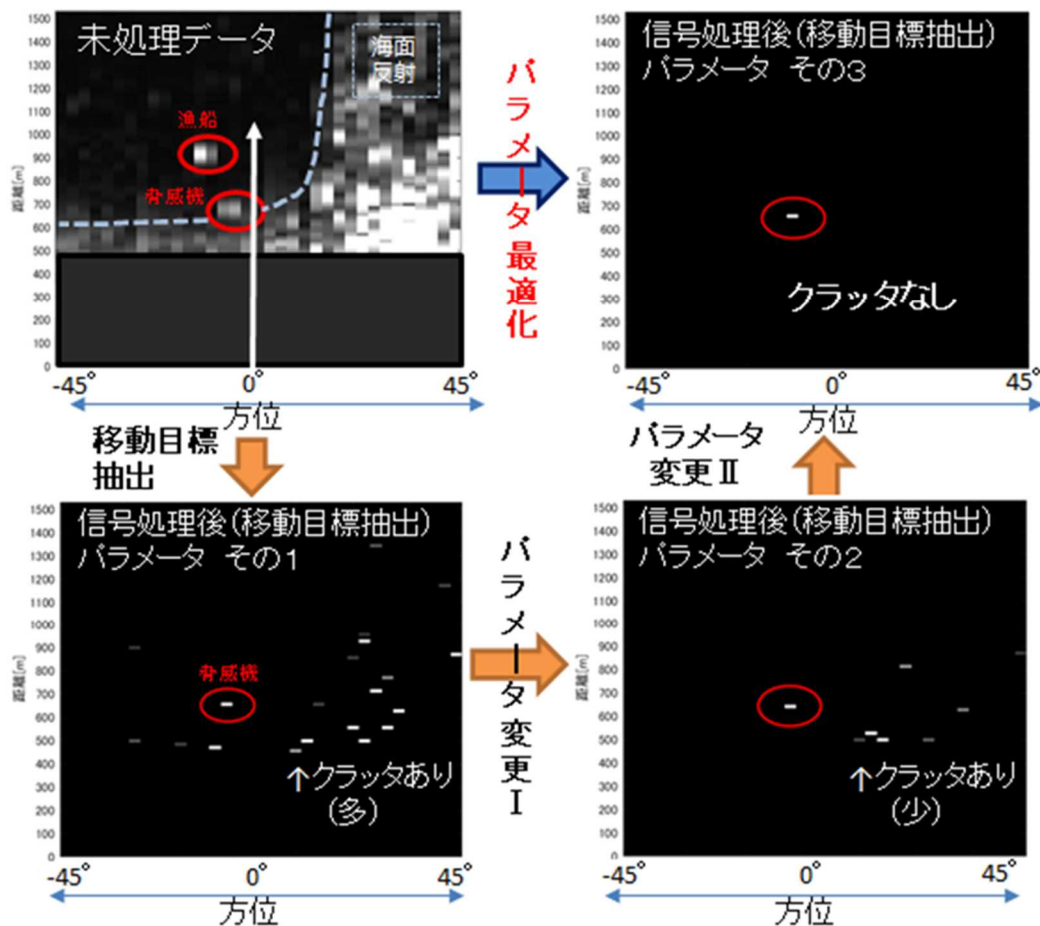
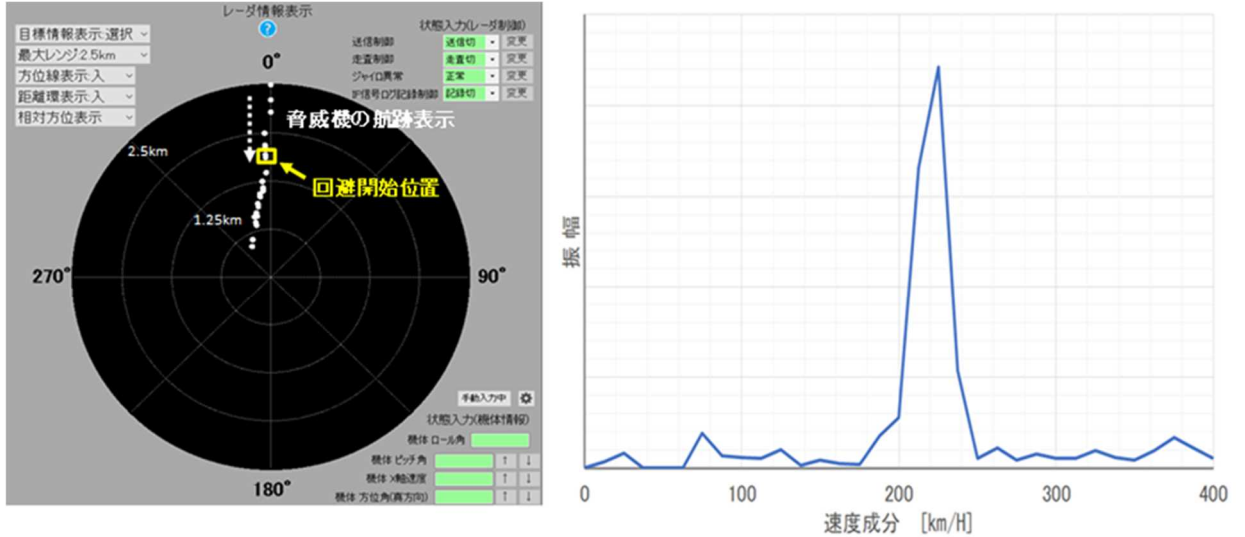


図 2. 2. 2. 4-5 レーダ信号処理パラメータの検証・最適化

(4) 衝突回避用センサとしての電波センサ性能検証

飛行実証試験で相対速度 200km/h 以上で飛行する有人ヘリを 1km 以遠で探知、自律管理装置に探知情報をリアルタイムに情報提供して、想定通りの回避軌道で衝突を回避できるか検証した。飛行実証試験における脅威機の移動軌跡データ、速度状況データを図 2.2.2.4-6 に示す。



飛行試験でのレーダ検出例

飛行試験で脅威機として検出した有人ヘリの速度成分情報

図 2.2.2.4-6 飛行実証試験時の脅威機に関する取得データ

図 2.2.2.4-6 に示す様に、相対速度 200km/h 以上で飛行する有人ヘリを 1km 以遠で探知し、その探知情報を基に自律管理装置が衝突回避動作に入っている事が確認でき、衝突回避用センサとして電波センサの有効性を確認することができている。

5.2. 「光波センサの評価」(実施者：日本アビオニクス株式会社)

(1) 2020 年度までの成果

2020 年度までの開発では、小型・軽量化、低消費電力化した光波センサの設計・製造を行った。2017 年度～2019 年度の成果から大幅に低減すると共に当初の目標を下回る光波センサの製造を実現できた。2020 年度製造の光波センサおよび小型・軽量化、低消費電力化の成果について図 2.2.2.4-7 に示す。

今回、小型・軽量化、低消費電力化するにあたり、構成の変更を行った。大きな変更点は次の3点となる。

- カメラ数の削減 (5 台→4 台)
- CPU 数の削減 (2 台→1 台)
- 映像処理ボードによる処理を CPU に集約

2017 年度～2019 年度開発の構成および今回の構成について図 2.2.2.4-8 に示す。



図 2.2.2.4-7

2020 年度製造の光波センサ

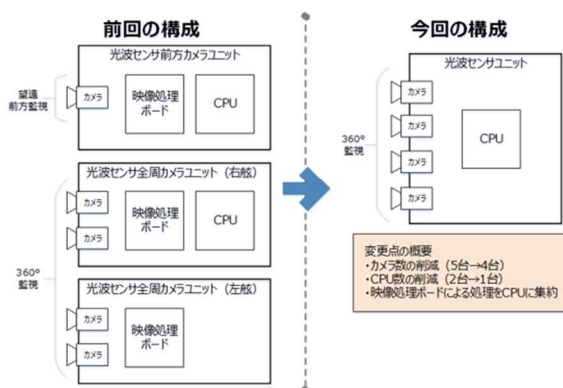


図 2.2.2.4-8

光波センサの構成

2020 年度、構成を変更するにあたり、処理方式の中のハードウェア (FPGA) において実施していた処理について、ソフトウェア化することとした。2020 年度の成果としては、ソフトウェア化の設計まで完了した。処理方式の概要について図 2.2.2.4-9 に示す。

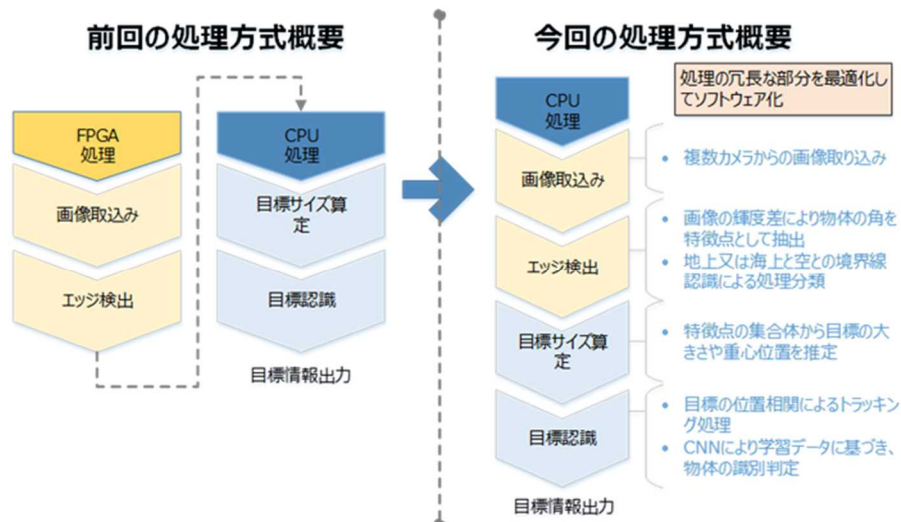


図 2.2.2.4-9 処理方式の概要

(2) 2021 年度の成果

①ソフトウェアの製造

2020 年度の成果を基にソフトウェアの製造を完了した。2021 年度、試験およびシミュレーションによる評価をするにあたり、次の 2 つの動作モードを用意した。イメージを図 2.2.2.4-10 に示す。

- 通常運用モード

試験時に使用するモード。カメラからの映像をリアルタイムで画像処理し、自律管理装置への目標情報の出力を行う。

- シミュレーションモード

シミュレーションに使用するモード。委託事業で取得したデータによる映像を画像処理し、自律管理装置への目標情報の出力を行う。

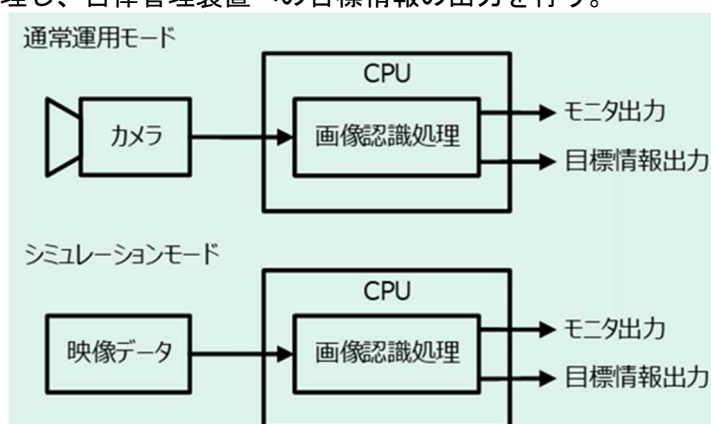


図 2.2.2.4-10 動作モードのイメージ

②シミュレーションによる評価

2021 年度、想定 200km/h を想定した衝突回避試験において、機体動力性能や自律管理装置の処理性能を加味し、衝突回避に必要な離隔距離として、対小型無人航空機：250m 以遠、有人ヘリコプタ：750m と設定した。これを基に委託事業で取得したデータによるシミュレーションで衝突回避に必要な離隔距離において、脅威機の探知が可能であることを確認した。また、探知した脅威機の目標情報が自律管理装置に出力できることを確認した。シミュレーションによる小型無人航空機探知結果を図 2.2.2.4-11 に示す。

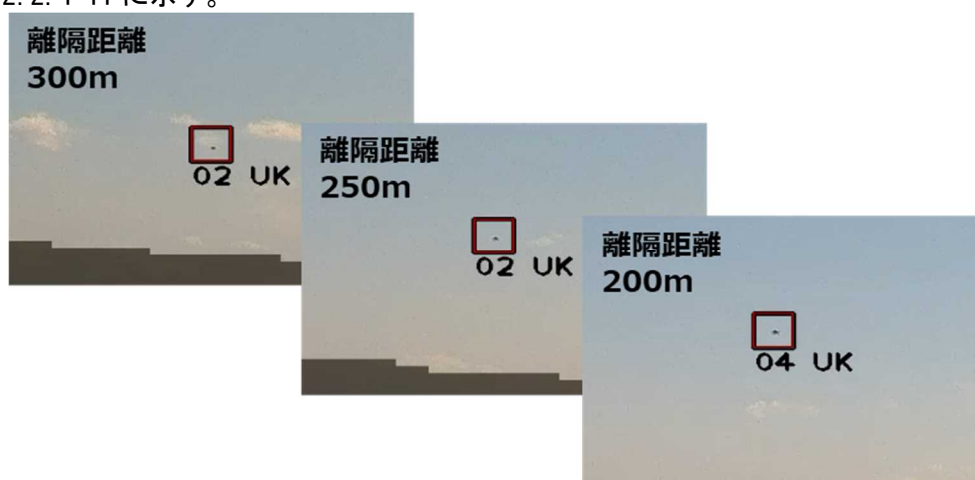


図 2.2.2.4-11 シミュレーションによる小型無人航空機探知結果

③委託事業による実証結果の反映

委託事業による試験では、白波の探知が脅威機の検知に影響を及ぼしている状況が確認された。この事象について解決すべく、コンピュータ解析用データを取得し、シミュレーションにより、解析と改修および評価を実施した。

白波は、太陽光の反射や波の動きによって、刻一刻と状況が変化するため、検知された目標サイズは安定しない。目標サイズの安定性を確認することにより、白波の排除に成功した。白波検知情報排除を図 2. 2. 2. 4-12 に示す。



図 2. 2. 2. 4-12 白波検知情報排除

5. 3. 「自律管理装置の評価」(実施者：株式会社 A C S L)

これまでの主要な研究開発の成果を以下に示す。

(1) 検知/判断

- 対有人機 (相対 200km/h):
電波センサで、距離 1500m 以内で、連続 3 フレーム (3 秒間) 同一セクタ、フレーム間移動 83m 以内、速度正 (接近)
- 対無人機 (相対 100km/h):
光波センサで、10 フレーム中 (1 秒間) で 5 フレーム以上検知
同一目標の判定基準は方位角、仰角ともに $\pm 2^\circ$ 以内

(2) 回避

- 対有人機 (相対 200km/h):
電波センサで、セクタ番号が 17 以上 (=右側に脅威機を検知) \Rightarrow 左に回避
セクタ番号が 18 以下 (=左側に境域を検知) \Rightarrow 右に回避
- 対無人機 (相対 100km/h):
光波センサで、方位角 $0 \sim 180$ (=右側に脅威機を検知) \Rightarrow 左に回避
方位角 $180 \sim 360$ (=左側に脅威機を検知) \Rightarrow 右に回避

(3) 再検知/待機

- 対有人機 (相対 200km/h):
電波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止
- 対無人機 (相対 100km/h):

光波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止

- 回避後に脅威機が検知されなければ、計画されている目的地へ直進

(4) 飛行再開

- 回避後に脅威機が検知されなければ、計画されている目的地へ直進

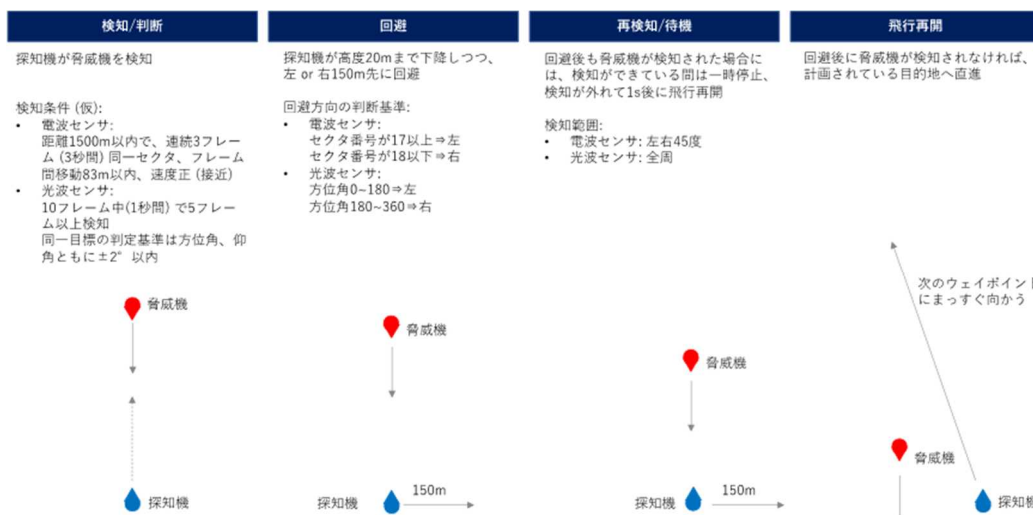


図 2.2.2.4-13 衝突回避アルゴリズムのロジック概要

(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	0	0	-	0
展示会出展	-	-	-	2	2	-	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	3	0	-	3
国内出願	-	-	-	0	0	-	0
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

小型無人機は、図 2.2.2.4-14 のように経済産業省主催の「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、2022 年度から「有人地帯での目視外飛行（レベル 4）」の実現をロードマップとして掲げ、各種取組みを行なっている。そのロードマップの中で、衝突回避技術（赤枠内）が項目として明記されており、今後の小型無人機でのレベル 4 目視外飛行では必須の技術となる可能性が高い。本事業での研究成果は、国家レベルで推進されている空の産業革命に大きく貢献することが可能となる。なお、現在のところ、100km/h で飛行する有人航空機を自律的に衝突回避する、遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載された小型無人機は他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載した小型無人機は競合が存在しないため、現在のところ優位な立ち位置であると考えられる。

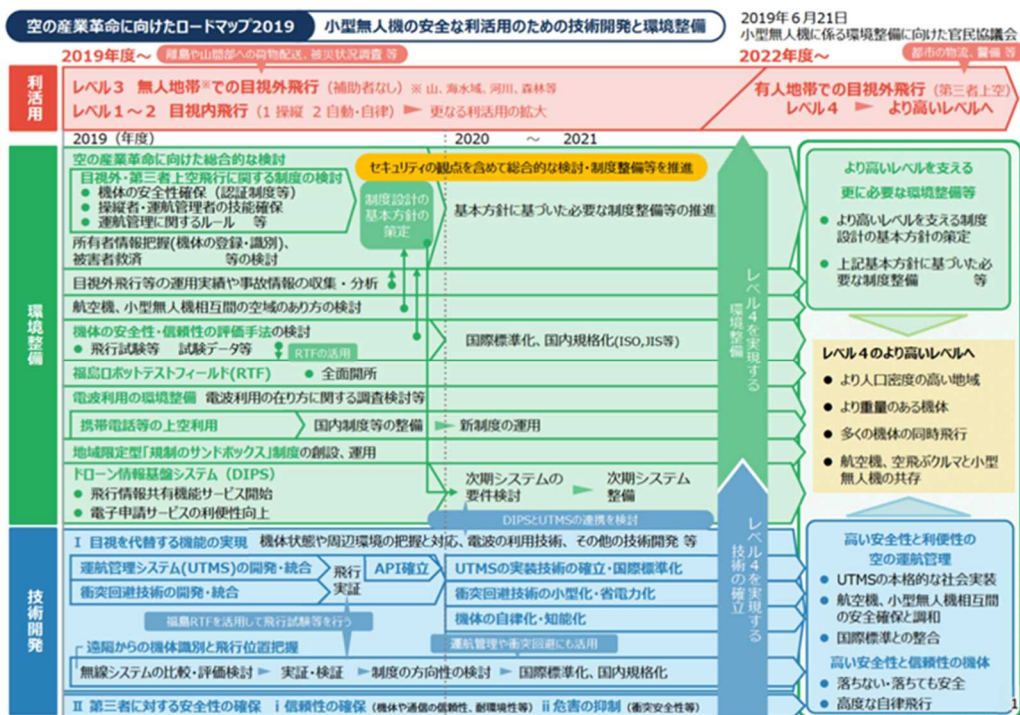


図 2.2.2.4-14 経済産業省「空の産業革命に向けたロードマップ 2019」

インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2019」によると、2019 年度ドローン市場全体 1450 億円に対して年間のドローン機体市場は 471 億円（32%）、2024 年度は 908 億円（18%）となっている。また、高性能の空撮ドローンが活用されている空撮、土木・建築・点検・防犯市場は 2019 年度で合計 271 億円、2024 年度で 1,914 億円であり、各年度の高性能の空撮ドローン機体市場は各々約 88 億円と 343 億円となる。現状、これらの大部分は外国製のドローンである。

Global Market insights Inc.によると、世界の空撮ドローン市場は 2017 年に 17 億 USD（1,870 億円；110 円/ドル換算）と推定され、年間 12% CAGR で成長すると推定されている。結果、2019 年は 21 億 USD（2,346 億円）、2024 年は 38 億 USD（4,134 億円）となる。

本事業で開発するドローンは、海外製の既製品に対して価格競争力を持ちつつ、サイバーセキュリティについては、既製品の無い機能や耐性を有する。リモート ID や LTE 通信等、最先端の機能も実装されている。現在、市場の大部分が外国製ドローンとなっているが、市場シェアを獲得することが期待できる。さらに、助成事業による主要部品高性能化により、さらに競争力が持つと推定される。結果、市場シェアは広がっていくと計画する。従って、市場規模およびシェアは次の通りを計画する。

表 2.2.2.4-3 今後の国内外ドローンの市場シェア見込

	市場規模 (国内/海外)	委託シェア (国内/海外)	委託+助成シェア (国内/海外)
現状	88 億円 / 2,346 億円	0% / 0%	0% / 0%
プロジェクト終了時	204 億円 / 2,942 億円	5% / 0%	10% / 0%
終了 1 年目	253 億円 / 3,296 億円	8% / 1%	13% / 1%
～			

終了後4年目	403億円 / 4,630億円	20% / 5%	30% / 7%
--------	-----------------	----------	----------

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

本事業の研究開発成果は、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ドローンとして開発・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になると考えられる。本研究開発成果をドローンへ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、500万円程度で、年間200台程度の数量を見込んでいる。実用化・事業化のシナリオについて、物流分野においては、過疎地域での物流において積載重量約5kg程度までの荷物をラストワンマイル配送する事業から開始されていくと見込んでおり、徐々に人口密集地域でのレベル4目視外飛行へ活用が広がっていくと見込んでいる。災害分野においては、大規模災害発生時に可視光カメラや赤外線カメラを搭載したドローンが目視外範囲まで飛行し長距離無線通信を使用したリアルタイム映像通信による調査での活用が期待される。いずれも同時に複数機のドローンや有人機などが飛行することが想定され、研究開発成果を用いた衝突回避技術は非常に有効な手段である。実用化・事業化に向けた計画は表2.2.2.4-4の通りである。

表 2.2.2.4-4 事業化計画

年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
製品化設計					
信頼性試験		続行/中断判断			
販売					
収益発生					

予想される重大な障害：

製品化設計段階：法規制の強化による利用制限、市場環境の変化によるニーズ減退

信頼性試験：想定外の不具合による販売遅延

販売：競合の参入による販売低減

3. 実用化・事業化の見通し

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更に顕著化することが予想され、無人航空機の十分な製造・運用実績を有する株式会社ACSL、小型、低消費電力化された電波センサ（レーダ）を実現する日本無線株式会社、同様に小型、低消費電力化された光波センサを実現する日本アビオニクス株式会社で共同し、今回の目的である衝突回避システムの小型化・低消費電力化開発を推進させた。自律的に衝突回避システムを搭載したドローンは物流、インフラ監視等の使用ユーザーを対象に販売もしくはリースで提供する。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、運用の拡大が期待できる。

現在のところ、相対速度 200km/h の有人航空機を自律的に衝突回避する、無人航空機搭載システムは見当たらない。また、無人航空機に搭載することを前提としたレーダは、軍用を除き、24GHz 帯を使用した送信出力、空中線利得に法的制限のあるシステムであり、本事業で開発した電波センサ（レーダ）の機能性能ならびに容積、重量、消費電力を有するものは見当たらない。光波センサに関しては、無人航空機に搭載する 360 度監視システムが海外に存在するが、それは中型・大型無人航空機をターゲットとしており、本開発品の様に重量が軽く小型無人航空機もターゲットとなるセンサは見当たらず、特に国内用途において優位性がある。更に、小型ドローンの競合品としては中国製が存在するが、本事業の開発品である遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載されたドローンは他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載したドローンは競合が存在しないため、現在のところ価格競争における課題は見られない。以上の事を考慮し、本事業終了後 5 年間の売り上げ見通しを以下の通り計画する。

表 2.2.2.4-5 (1) 電波センサ（実施者：日本無線株式会社）

年度	販売平均単価 （万円）	小型機向け 販売数（式）	中・大型機向け 販売数（式）	売上（百万円）
2023	—	—	—	—
2024	—	—	—	—
2025	200	50	—	100
2026	200	100	400	1000
2027	200	200	800	2000

上記の試算は株式会社 ACSL がメーカーとして販売する小型無人機に搭載する衝突回避システム、ならびに株式会社 SUBARU が販売する中型・大型無人機に搭載する衝突回避システムの電波センサを日本無線株式会社が製造するとして試算。小型機向け販売数は、2019 年度株式会社 ACSL 業績と、上記市場規模成長率から、中・大型機向け販売数は、株式会社 SUBARU 試算の機体数から試算している。

表 2.2.2.4-6 (2) 光波センサ（実施者：日本アビオニクス株式会社）

年度	販売単価 （万円）	販売数（式）	売上（百万円）	粗利（百万円）
2023	—	—	—	—
2024	—	—	—	—
2025	75	50	37.5	17.5
2026	75	100	75	25
2027	75	200	150	50

本システムの販売単価は、小型化する光波センサユニットの開発費および部材費から想定。販売数は、株式会社 ACSL の機体に搭載することから、機体数の試算による。

表 2.2.2.4-7 (3) 自律管理装置＋ドローン本体（実施者：株式会社 A C S L）

年度	販売単価 (万円)	販売数 (式)	売上 (百万円)	粗利 (百万円)
2023	—	—	—	—
2024	—	—	—	—
2025	500	50	250	125
2026	500	100	500	250
2027	500	200	1000	500

本システムの販売単価と製品原価は、株式会社 A C S L 製 PF2 の物流仕様を想定。販売数は、2019 年度株式会社 A C S L 業績と、上記市場規模成長率から試算。

なお、物流用途のドローンにおいて価格は未だ公開されていないが、入手できた情報の範囲で比較すると、標準機体で 300 万円、物流仕様（補助者なし目視外飛行などの航空法対応）で 500 万円、プロドローンの標準機体で 250 万円程度（補助者なし目視外対応の機種なし）であり、仮に競合から補助者なし目視外飛行対応の機体がリリースされたとしても、同価格帯となると見通している。

表 2.2.2.4-8 衝突回避システム売上予測

年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
製品化設計	→				
信頼性試験	→ 続行／中断判断▽				
販売				→	
収益発生				→	

上記売り上げに加え、販路拡大のために海外への販売も模索する。

6.2.2.5 4) 準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化：

準天頂衛星システムに対応した受信機、アンテナ小型化・低消費電力化の研究開発

(実施期間：2年間(2020年度～2021年度))

(実施者：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)

1. 研究開発を考えるに至った経緯(動機)

弊社は10数年前に、高精度L1マルチGNSS RTK受信機を開発した。この当時、この種の受信機は主に測量用として使用されていた為、受信機市場において非常に高価(200万円前後)であったが、弊社の受信機は1/10以下のコストで同等以上の性能を実現した。これにより、測量用途以外の、ドローン、トラクター・農機、建機、産業機器、ロボット等の自動運転用として注目され、既に量産機の供給を開始している。

また、近年、同程度のコストで準天頂衛星に対応した多周波受信機の需要が高まってくる状況となっている。

現状は、RF部でデジタル化された信号とPRNコードの相関処理が可能な多周波に対応したLSIが無い為、汎用性が高いFPGAを使用している状況である。そのため、消費電力も高く、測位演算するCPUにも負担が大きい設計となっており、小型で低消費電力な比較的低コストの受信機が実現できない状況である。

今後、海外の受信機メーカーも多周波対応のデバイスを開発し、小型・低消費電力の製品を展開することが予測され、海外メーカーに市場のシェアを奪われる可能性がある。

上記のとおり、4周波数に対応するASIC化されたデジタルベースバンドは市場に無い為、独自に開発する必要がある。

2. 概要

独自に開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチGNSS受信機(基板サイズ：25.37cm²[4.3cm×5.9cm])を元に、デジタルベースバンド部のASIC化を行い、受信機の小型・軽量化、低消費電力化(目標基板サイズ/重量/消費電力：12.5cm²/0.5kg/2W以下)を行う。更にアンテナを小型化し、性能は維持しつつ小型化(目標サイズ：5.9cm×5.9cm×3.3cm以下)を行う。

加えて、当該受信機とアンテナを小型無人航空機に搭載し、協調式SAAによる衝突回避技術の開発を行い、福島県のロボットテストフィールド等で飛行試験を実施する。

(2) 研究開発目標と根拠

事業内容

①デジタルベースバンド部のASIC化及び、モジュールの開発

①-1 デジタルベースバンドのASIC化

受信機のデジタルベースバンド部において FPGA を用いた GNSS 衛星信号処理は、用途に応じた必要な処理を行うといった最適化が可能（対応衛星、チャンネル数、フィルタ、インタフェースなど）である。しかし、FPGA はその汎用性の高さから、サイズと消費電力が大きく、更には1周波（L1）や2周波（L1, L2）に対応した ASIC は存在するが4周波数に対応する ASIC 化されたデジタルベースバンドは市場に無いため、独自に開発する必要がある。これを克服するために、マルチ GNSS（GPS 衛星、GLONASS 衛星、準天頂衛星、Galileo 衛星、Beidou 衛星）の複数周波数に対応した GNSS 衛星信号処理部の ASIC 化を行い、そのデバイスを用いてハードウェア設計と小型モジュールの開発を実施する（図 2.2.2.5-1）。



図 2.2.2.5-1 デジタルベースバンド部の ASIC 化

FPGA を ASIC 化することで、デジタルベースバンド部の消費電力は 2W から 0.5W に削減される見込みであり、受信機の消費電力は弊社既存の多周波受信機（3.5W）に比べ、1.5W 程度まで低消費電力化が期待できる。また、デジタルベースバンド部を ASIC 化することで、FPGA の様にソフトウェアアップデートができなくなることが懸念されるが、ASIC 化については、主にフィルタと GNSS の信号を処理する相関器部分の ASIC 化を行い、MCU は含んでいない。ソフトウェアの変更が必要になる可能性がある高精度測位演算については MCU で行い、外部メモリにソフトウェアを書き込む構成のため、ソフトウェアのアップデートは可能となる。表 2.2.2.5-1 に、対象となる衛星と信号を示す。

表 2.2.2.5-1 対象となる衛星と信号

測位衛星	信号
準天頂衛星 (QZSS)	L1, L2, L5, L6
GPS 衛星	L1, L2, L5
GLONASS 衛星	G1, G2
Galileo	E1, E5a, E5b, E5
Beidou	B1, B2

①-2 評価ボード製作

Digital ASIC 開発のための RTL 設計や FW 開発のため、評価ボードを製作する。評価ボードについては、RF 部に問題が生じるリスクを低減する目的で 2 種類の評価ボードを作成する。

①-3 小型モジュール

上記①-1 にて開発した ASIC 化されたデジタルベースバンド部を搭載したモジュールの開発を行う。目標として、独自に開発した準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機（基板サイズ：25.37cm²[4.3cm×5.9cm]）のデジタルベースバンド部を ASIC 化し、性能は維持しつつ小型化、軽量化、省電力化した準天頂衛星対応高精度多周波マルチ GNSS 受信機（目標基板サイズ・重量・消費電力：12.5 cm²/0.5kg/2W 以下）の開発を行う。また開発する小型モジュールは、表 2 の数値を目標値として小型化・低消費電力化を行う。

①-4 専用 F/W 開発・評価

上記①-1 にて開発した ASIC 化されたデジタルベースバンド部を搭載したモジュールの専用の F/W 開発・評価を行う。

表 2.2.2.5-2 受信機仕様

項目	仕様
捕捉衛星・信号	GPS (L1・L2・L5)、QZSS (L1・L2・L5・L6)、GLONASS (G1・G2)、Galileo (E1・E5a・E5b・E5)、Beidou (B1・B2)
初期位置算出時間	コールド・スタート：90 秒 (typ.) ウォーム・スタート：35 秒 (typ.) ホット・スタート：12 秒 (typ.) 衛星再捕捉時間：4 秒 (typ.)
測位精度 (RMS)	自律測位：1.5m 動的 RTK：5cm+0.7ppm×基線長(km) 静的 RTK：0.5cm+0.7ppm×基線長(km) PPP (MADCOA)：<10cm PPP-RTK (GLAS) 動的：<6.94cm ※ PPP-RTK (GLAS) 静的：<3.47cm ※
出力レート	50Hz
入力フォーマット	NMEA0183 Version 3.0/RTCM SC104 Version 3.1
出力フォーマット	NMEA0183 Version 3.0

※GLAS の公式な精度が記載されている URL を以下示す。

<https://qzss.go.jp/technical/system/l6.html#section02>

②アンテナの小型化

アンテナの小型化は、弊社の仕様に基づき外注による製作を行う（目標サイズ：5.9cm×5.9cm×3.3cm以下）。アンテナの小型化に関し、小型化によるゲインの低下は認めないが、アンテナ側でアンテナ素子の選定、ローノイズアンプのゲイン調整、フィルタの選定等を行い対策する。また、アンテナメーカーと密に連携し、受信機側でもファームによる対応等を行う。以下、表 2.2.2.5-3 に対象となる衛星と信号、図 2.2.2.5-2 に外観・外形・使用条件を示す。

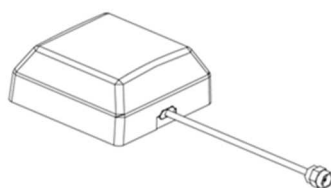
表 2.2.2.5-3 対象となる衛星と信号

測位衛星	信号
準天頂衛星 (QZSS)	L1, L2, L5, L6
GPS 衛星	L1, L2, L5
GLONASS 衛星	G1, G2
Galileo	E1, E5a, E5b, E5
Beidou	B1, B2

・外観

寸法	65.0×65.0×25.0 mm
材質	ABS(T.B.D)
コネクタ	SMA PLUG
ケーブル	RG174(ケーブル長は T.B.D)
重量	100g 以下

・外形(T.B.D)



・使用条件

動作温度	-40~+85°C
保存温度	-40~+85°C
保存湿度	65±20 %RH

図 2.2.2.5-2 外観・外形・使用条件

③衝突回避技術の開発

弊社は小型無人機等の設計、開発、製造会社ではないため、受信機とアンテナを小型無人航空機に搭載し、協調式 SAA による衝突回避技術の開発は、小型無人機等を製造されている株式会社自律制御システム研究所 (ACSL) に外注する。

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

研究開発スケジュール及び、実施体制は下記のとおり。

1. 研究開発スケジュール

表 2. 2. 2. 5-4 研究開発スケジュール

事業項目	2020年度				2021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
①-1 デジタルベースバンドのASIC化						テープアウト	出荷	
①-2 評価ボード製作		部材手配/基板試作						
①-3 小型モジュール					部材手配/基板試作			
①-4 専用F/W開発・評価						専用F/W開発		
②アンテナ小型化				検討/設計/試作/評価				
③衝突回避システム開発					システム開発/飛行試験			

(2) 研究開発体制

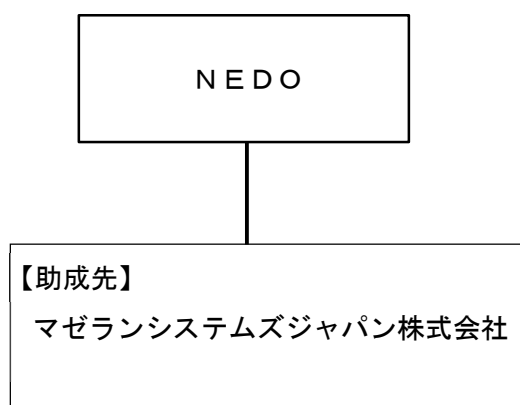


図 2. 2. 2. 5-3 研究開発体制

(4) 研究開発の達成状況

最終目標	成果	達成度	備考
①-1 デジタルベースバンドのASIC化	評価ボードを用いて RTL 開発を行い、2021年9月に Tape Out 完了。論理合成ツールによりネットリストを作成しチップレイアウトを作成。当初の予定通り 2022年1月5日に1 st ES品を入手した。	○	
①-2 評価ボード製作	2021年5月18日に評価ボードを入手し、RTL開発及び専用F/Wの開発に使用開始した。	○	
①-3 小型モジュール	設計した BB ASIC を元に受信機の基板サイズ 12.5cm ² 以下で基板レイアウト設計完了。 重量 (0.5kg 以下) については十数 g 程度であり達成する予定。	△	
①-4 専用F/W開発・評価	小型モジュールの製作が未達のため、本事業内で小型モジュール対応のF/Wを完成させ、評価まで達成することが出来なかった。	△	
②アンテナ小型化	アンテナサイズは 6.5cm×6.5cm×2.54cm を実現し、体積ベースで目標をクリアした。更に測位衛星から送信される信号の L1、L2、L5、L6 帯の 4 周波に対応し、準天頂衛星の GLAS (PPP-RTK 方式) による cm 級高精度単独測位が出来ることを確認した。 また、測位衛星から送信される信号の L1、L2、L5、L6 帯の 4 周波に対応し、準天頂衛星の GLAS (PPP-RTK 方式) による cm 級高精度単独測位が出来ることを実証した。	○	
③衝突回避システム開発	受信機の小型化が間に合わず、既存の 4.3cm×5.9cm の受信機を使用。アンテナは上記小型アンテナを使用し、小型無人航空機に搭載し、協調式 SAA による衝突回避の飛行試験を委託枠 ^(注1) で実施した。	△	

(注1) 委託枠の名称：

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／

8) 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発 (離島対応)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

- ・達成状況：“①-3 小型モジュール”については、半導体不足による影響が生じ、電子部品や基板材料 (基材) も長納期で入手難になっており、製造まで実施することが出来なかった。消費電力 (2W 以下) については今後試作品を製作・評価の上確認する (※ASIC 単体での最大消費電力は 0.5W 以下。)。このため、“①-4 専用 F/W 開発・評価”は実施できず、また、“③衝突回避システム開発”は既存受信機を使用し飛行試験を実施した。

(5) 成果と意義

①-1 デジタルベースバンドの ASIC 化

- ・ブロック図に応じて論理回路（RTL コード）を作成した。
- ・作成した RTL を、論理合成ツールを用いてネットリストを作成した。
- ・RTL 及びネットリストにより、下記項目を実施した。

- (A) ゲート数の算出
- (B) 消費電力のシミュレーション
- (C) 必要なメモリ容量の算出
- (D) ピンアサイン
- (E) ASIC レイアウト設計
- (F) パッケージの選定

- ・完成した BB ASIC (2022 年 1 月 5 日に入手) は以下の通り。

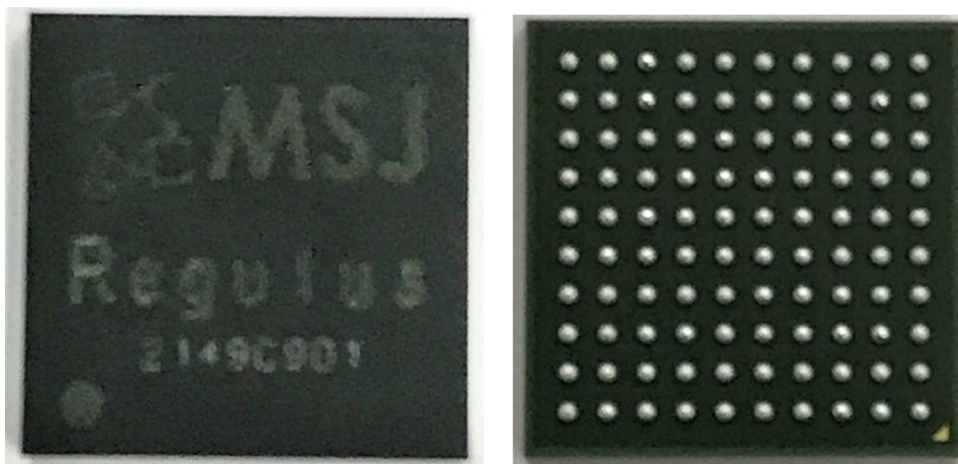


図 2.2.2.5-4 ASIC (Top-View Bottom-View)

①-2 評価ボード製作

RTL 設計や FW 設計、評価において、RF 部に問題が生じるリスクを低減する目的で、下記の RF 部が異なる 2 種類の評価ボードの回路設計及び、基板レイアウト設計、製造を実施した。(デジタル部の回路やレイアウトはほぼ共通)

- ・名称 : AVB-A

既に生産実績があり、市場での使用実績のある RF 回路を搭載したボード。このボードにより RF 部の動作に問題が発生するリスクを避けることが可能。

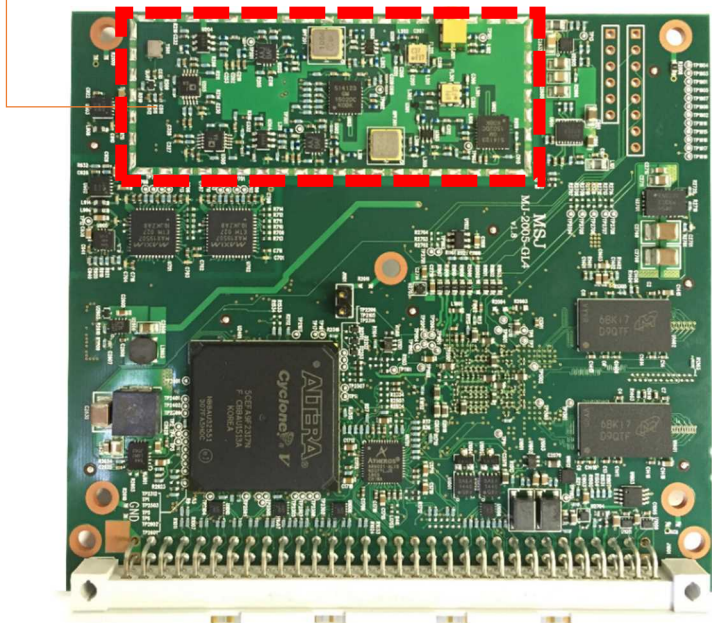
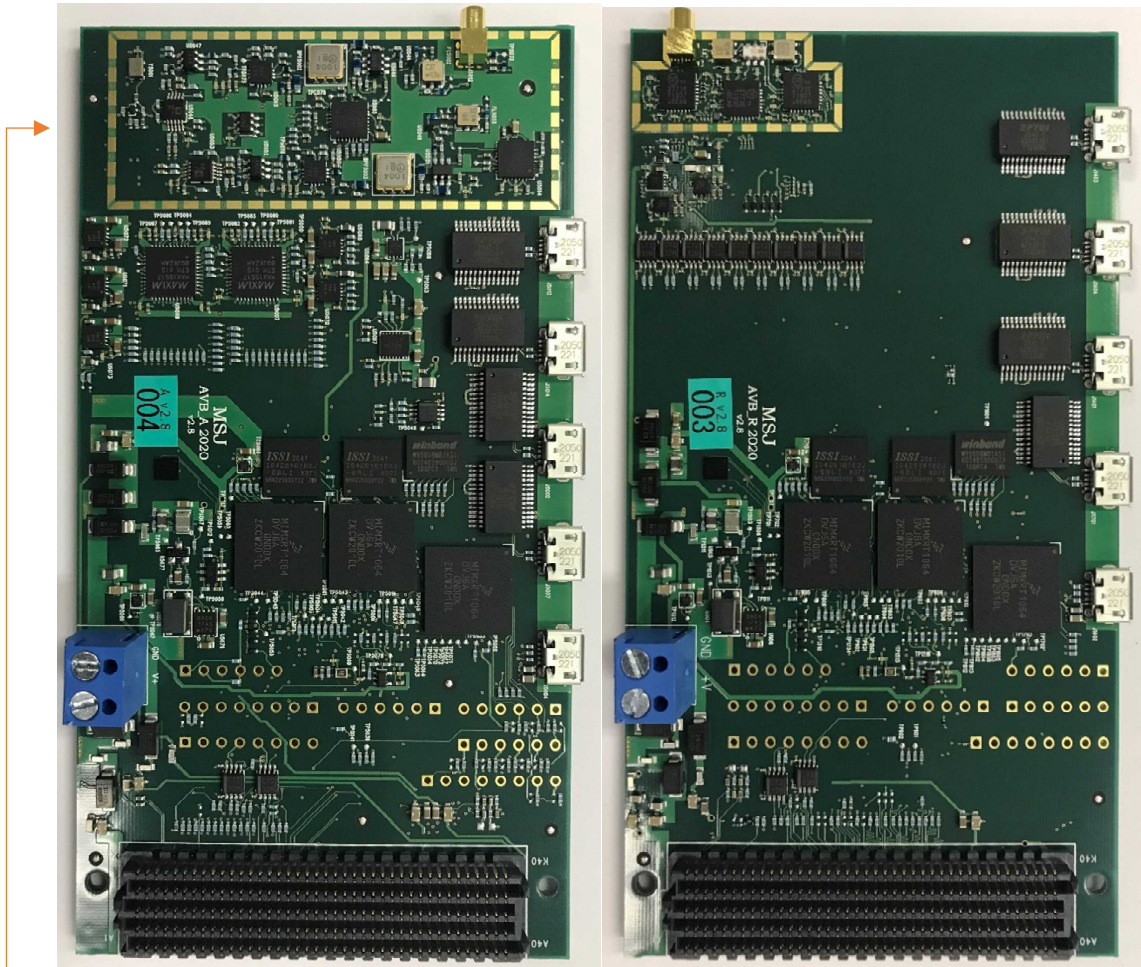
- ・名称 : AVB-R

小型モジュール(基板サイズ 30mm×40mm)を想定し、そのサイズに合わせて RF 回路を設計したボード。このボードにより、事前に RF 部の問題を抽出し、小型モジュールにフィードバックすることが可能。

2 種類の評価ボードの実機は以下の通り。

名称：AVB-A

名称：AVB-R



(参考) 左記基板は既に生産及び、市場での使用実績があるボード。
赤点線内はRF回路部であり、このRF構成をAVB-Aに適用した。

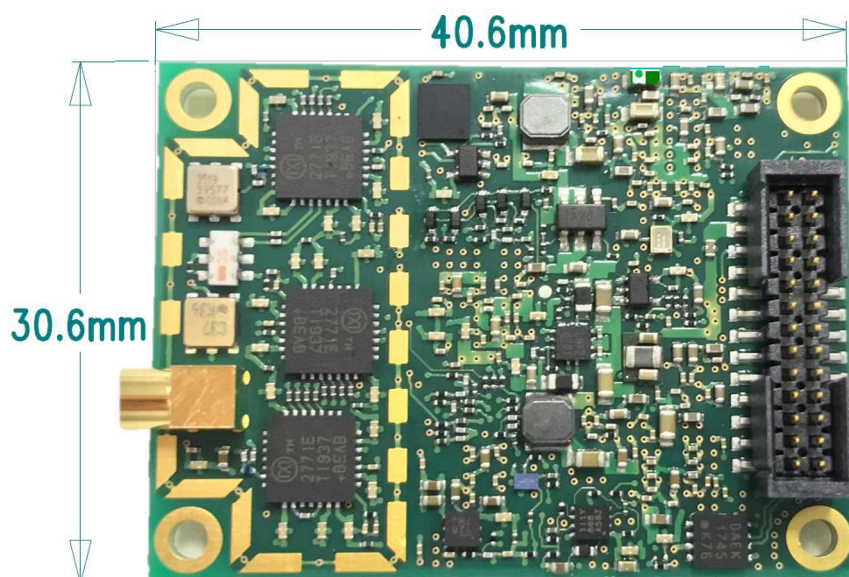
図 2.2.2.5-5 評価ボード

①-3 小型モジュール

BB ASICは2022年1月5日に1st ES品を入手したが、半導体不足による影響が生じ、電子部品のみならず、基板の材料（基材）も長納期で入手難になっており、本事業内で小型モジュールの製造まで達成することが出来なかったが、2022年10月に完成した小型モジュールを入手した。

・面積：3.06cm×4.06cm=12.4236cm²⇒目標値 12.5cm²以下をクリア

・ Top View



・ Bottom View

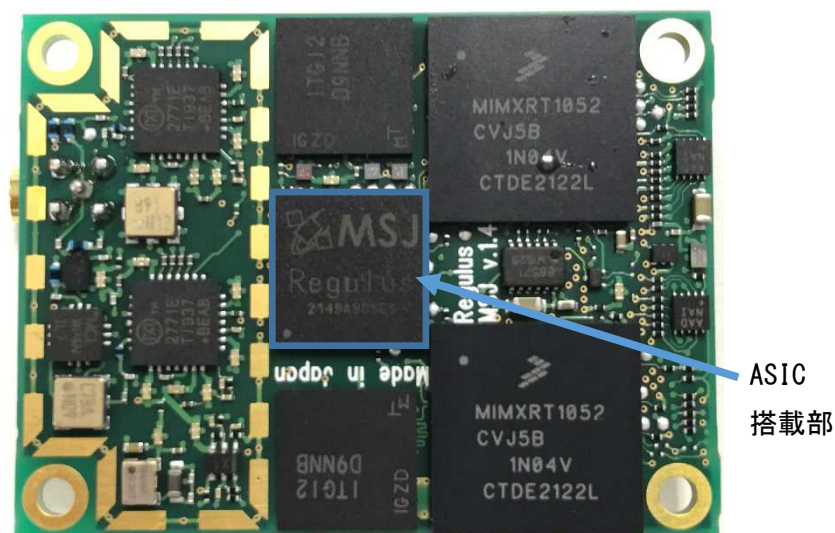


図 2.2.2.5-6 小型モジュール

①-4 専用 F/W 開発・評価

準天頂衛星のセンチメートル級測位補強サービス（CLAS）では、測位精度のより安定したサービスを提供することを目的に、2020年11月30日から補強対象衛星数を最大11機から17機へと拡大された。

これに対応したF/Wの開発を行い、補強対象衛星数11機の場合と17基の場合の精度の比較評価を行った。

CLASの補強対象衛星数11機の場合と17基の場合の精度比較の結果は以下の通り。

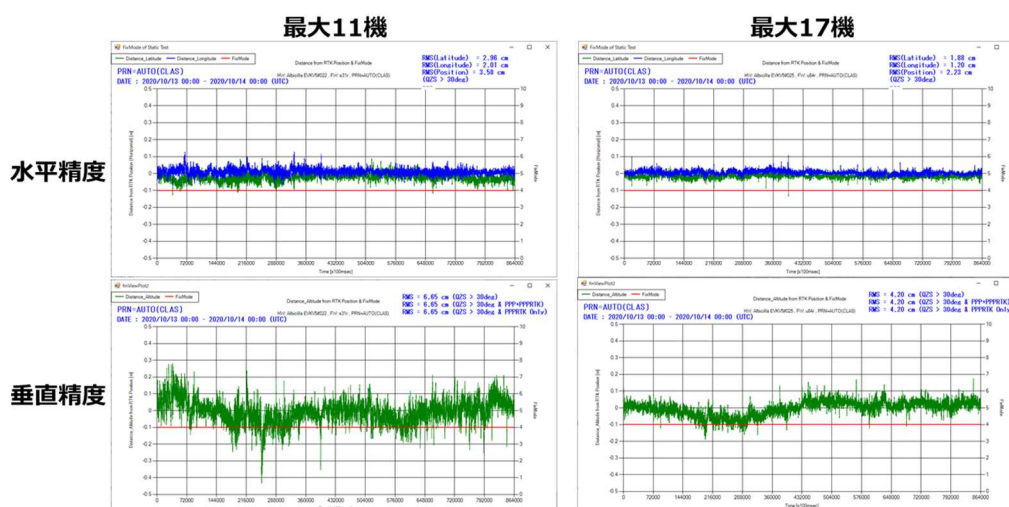


図 2.2.2.5-7 24 時間連続測位の推移プロット図

表 2.2.2.5-5 24 時間連続測位の精度結果

	水平 (RMS)	垂直 (RMS)
最大11機	3.58 cm	6.65 cm
最大17基	2.23 cm	4.20 cm

補強対象衛星数17基の場合、水平方向2.23cm(RMS)、垂直方向4.20cm(RMS(二乗平均平方根: Root Mean Square))であり、11基の場合の水平方向3.58cm(RMS)、垂直方向6.65cm(RMS)より精度が高いことが実証できた。

②アンテナ小型化

受信周波数帯を 2 つに分け、それぞれの周波数帯に対応したパッチアンテナを 2 段構造にすることで、目標としたアンテナサイズ (5.9cm×5.9cm×3.3cm 以下) を体積ベースでクリアした。

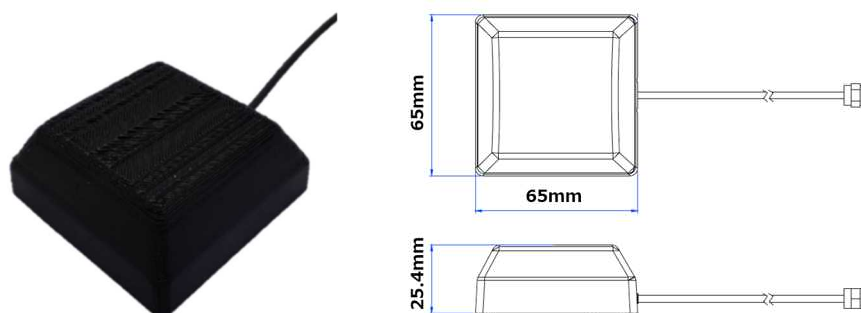


図 2.2.2.5-8 外観 (実物、3D プリンタにて製作)・外形図

測位性能評価

(A) 静止時の測位精度評価

小型アンテナと既存受信機の組合わせで、静止状態での測位性能を評価した。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 (GLAS) の静止時の測位精度仕様は以下の通り。

表 2.2.2.5-6 GLAS 静止時の測位精度仕様

種別	測位誤差	
	水平	垂直
静止	$\leq 6\text{cm}$ (95%) (3.47cm (RMS))	$\leq 12\text{cm}$ (95%) (6.13cm (RMS))

・評価内容

外乱なく衛星からの信号を受信できるオープンスカイ環境下にて測定を行った。GLAS 測位の測位モードが PPP-RTK (高精度単独測位が完了した状態) から、30 分間の定点観測を行い、GLAS 測位時の Fix 率と、水平精度、垂直精度の RMS 値を算出した。

・評価結果

30 分間の定点観測での Fix 率を算出した。
結果は以下の通り。

表 2.2.2.5-7 評価結果

定点観測時間	1800sec
Fix 率	100%

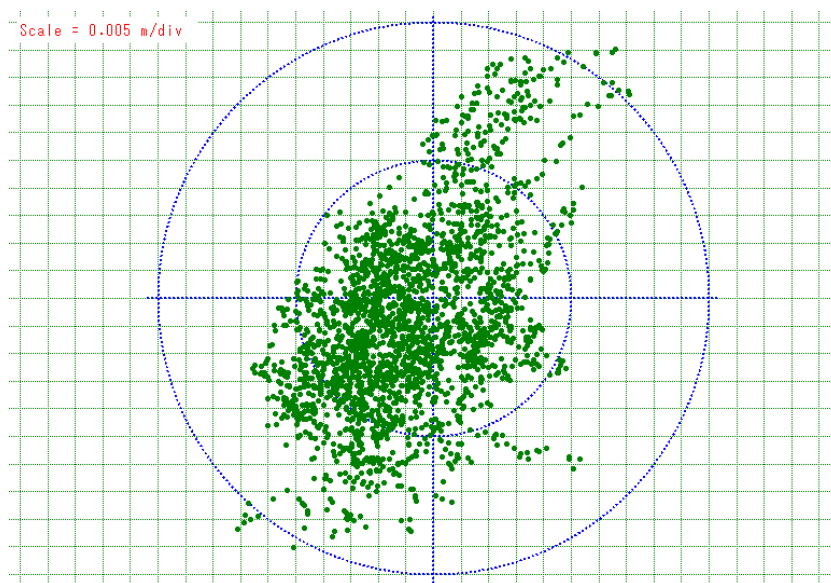


図 2.2.2.5-9 測位精度（水平プロット）

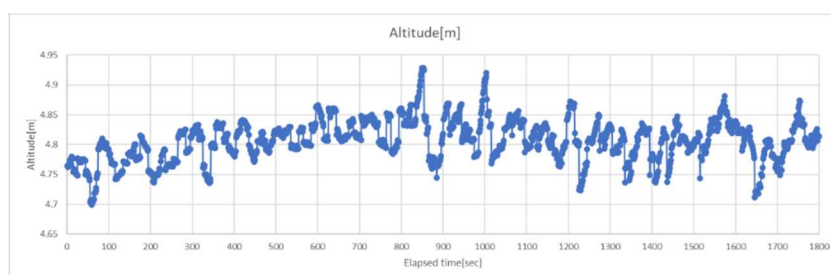


図 2.2.2.5-10 測位精度（垂直プロット）

表 2.2.2.5-8 CLAS 測位精度評価結果まとめ（静止）

種別	測位評価結果	
	水平	垂直
静止	2.13cm (RMS)	3.39cm (RMS)

評価結果から、小型アンテナと既存受信機との組み合わせにて、静止での CLAS 測位精度仕様を満たすことを実証した。

(B) 移動体での測位精度評価

小型アンテナと既存受信機の組合せで小型無人航空機に搭載し、移動体での測位性能を評価した。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 (CLAS) の移動時の測位精度仕様は以下の通り。

表 2. 2. 2. 5-9 CLAS 移動時の測位精度仕様

種別	測位誤差	
	水平	垂直
移動体	$\leq 12\text{cm}$ (95%) (6.94cm (RMS))	$\leq 24\text{cm}$ (95%) (12.25cm (RMS))

・評価内容

予め設定された飛行パターンで飛行を 7 回行った。評価としては 7 回飛行時の CLAS 測位時の Fix 率と、RTK 測位との精度比較検証を行った。小型無人航空機飛行パターンは以下の通り。

- ✓ 最高飛行速度 50km/h (直進飛行)
- ✓ 回避飛行 (高度を下げながら旋回)
- ✓ 離陸地点に帰還

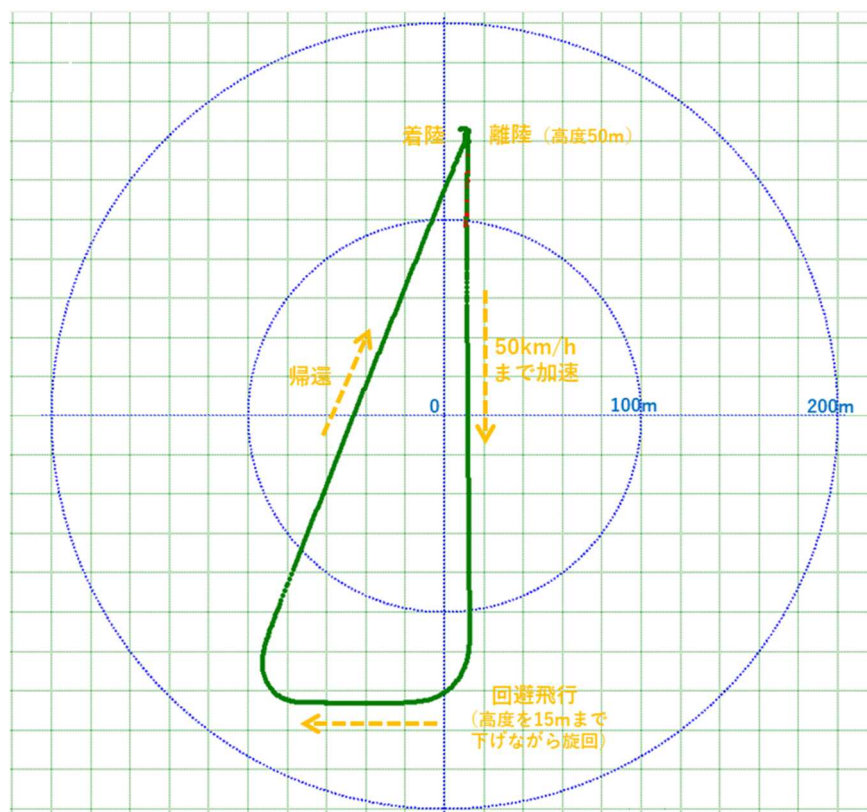


図 2. 2. 2. 5-11 小型無人航空機飛行パターン

・ 機器構成

小型無人航空機（ACSL 製 PF2）に搭載する機器を以下に示す。

RTK 測位との精度比較を行うために、RTK 基地局（Base）を地上に設置した。

小型無人航空機には 2 台の GNSS 受信機を搭載し、一方は CLAS 測位、他方は RTK 基地局からの補正情報（RTCM）を受信し、RTK 測位を行う。RTCM は特定小電力無線を用いて送受信した。

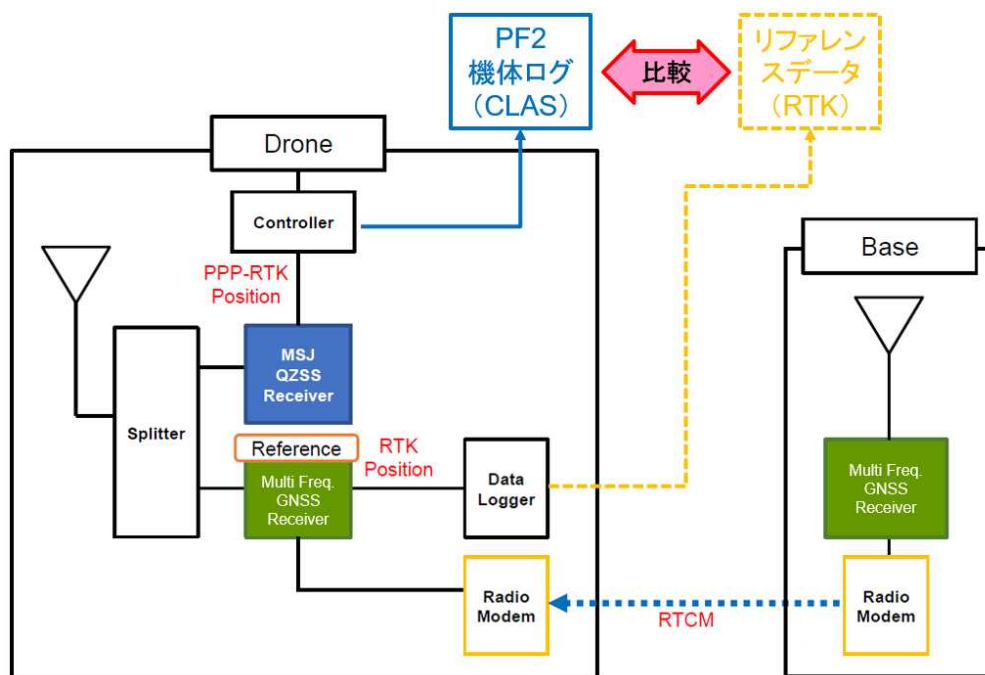


図 2.2.2.5-12 機器構成

・ 評価結果

計 7 回の飛行を行い、飛行時間内での CLAS 測位の Fix 率を算出した。

結果は以下の通り。

表 2.2.2.5-10 CLAS 測位 Fix 率

	1	2	3	4	5	6	7	Total
飛行時間[sec]	190	275	246	127	140	179	110	1267
Fix 率 [%]	100	100	100	100	100	100	97	99.74

計 7 回の飛行試験における CLAS 測位の Fix 率（時間比）は 99.74%となった。

これは、定点観測の Fix 率と同等であり、離着陸、時速 50km/h での飛行、回避飛行による Fix 率への影響がないことを実証した。

次に、計7回の飛行のうち、7回目の飛行での CLAS 測位と RTK 測位の精度比較を行った。

50km/h での飛行及び旋回飛行が含まれる区間のみを抽出し、RTK 測位結果を真値として比較を行った。

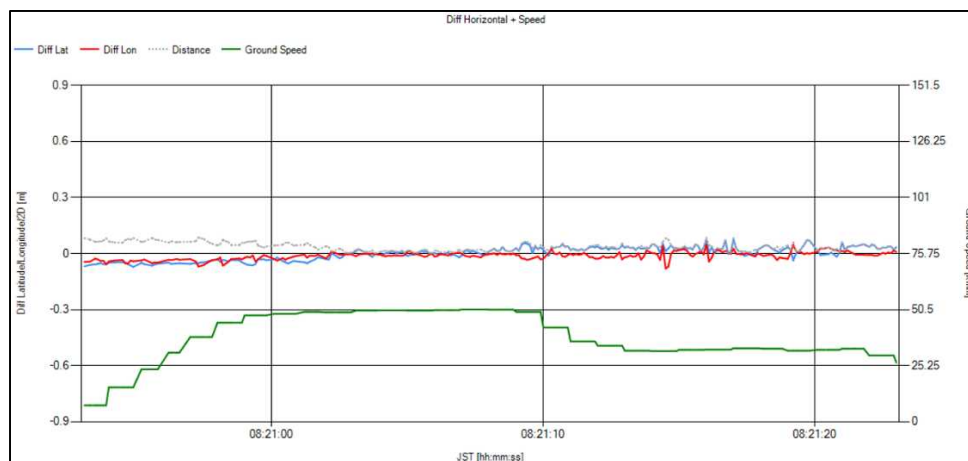


図 2.2.2.5-13 水平精度比較

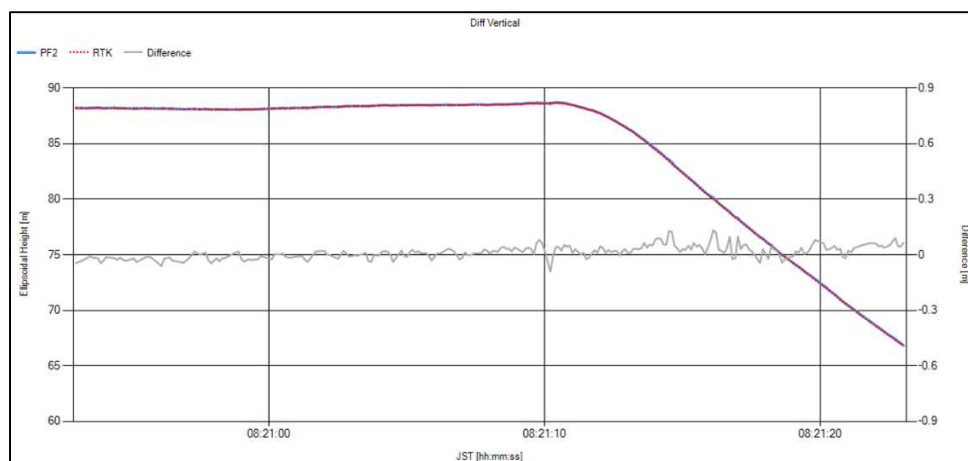


図 2.2.2.5-14 高度精度比較

表 2.2.2.5-11 CLAS 測位精度評価結果まとめ（移動体）

種別	測位評価結果	
	水平	垂直
移動体	4.17cm (RMS)	3.75cm (RMS)

評価結果から、小型アンテナと既存受信機との組み合わせにて、移動体での CLAS 測位精度仕様を満たすことを実証した。

③衝突回避システム開発

小型モジュールの製作が未達のため、本事業内に衝突回避システムによる飛行試験を行うことが出来なかった。

但し、小型アンテナと既存受信機の組合せで小型無人航空機に搭載した衝突回避システムによる飛行試験を委託枠（注2）で実施した。

上記、②アンテナ小型化の（B）移動体での測位精度評価が、委託枠で実施した実証実験の一部である。

（注2）委託枠の名称

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／

8）単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

（6）特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	0	1	-	1
展示会出展	-	-	-	0	1	4	5
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	0	1	1
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	0	0	-	0
国内出願	-	-	-	0	0	-	0
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

（7）実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

まずは、既存取引先を主たるターゲットとし、B to B市場にて現行機種と同等の価格帯（約10万円）でリプレースを提案する。QZSSからの補強情報が受信出来る地域では基地局が不要となるためシンプルな構成となり、さらに本事業による受信機の小型化、軽量化、低消費電力化は大きなアドバンテージになる。また、既存取引先以外でも、受信機の多周波による長基線長での適用や、精度向上等のアドバンテージを訴求出来るため、比較的早いタイミングでの普及が可能となる。

本事業による受信機の小型化、軽量化、低消費電力化を推進する事により、よりコンパクトでの市場導入が可能となり、既存の受信機市場でも、より高い精度が必要とされるドローンをはじめとし、UGV、自動車やパーソナルモビリティ、電動車いす等の自動運転アプリケーションへの短期間での適用が比較的容易になると考える。このタイミングで他のGNSSメーカーへも小型化、軽量化、低消費電力化したモジュールを供給し、

市場への浸透拡大を加速させる事ができるため、ビジネスプランにおいて優位性があると考える。

表 2. 2. 2. 5-12 市場の動向

	市場規模	当社のシェア
1 年目 (2024 年度)	11200 百万円	2%
2 年目 (2025 年度)	11500 百万円	3%
3 年目 (2026 年度)	11800 百万円	5%
4 年目 (2027 年度)	12100 百万円	5%
5 年目 (2028 年度)	12400 百万円	5%

- 市場規模算出の根拠：シードプランニング『衛星測位システム受信機総覧 2019』の、準天頂衛星システム・受信機システム市場規模から算出した。
- シェア見通しの根拠：当社の売上高成長率と市場規模から相対的に算出した。

表 2. 2. 2. 5-13 売上見通し

	販売価格	販売数	売上	製品原価	収益
1 年目 (2024 年度)	10 万円	2,000 個	200 百万円	100 百万円	100 百万円
2 年目 (2025 年度)	8 万円	5,000 個	400 百万円	200 百万円	100 百万円
3 年目 (2026 年度)	6 万円	10,000 個	600 百万円	300 百万円	300 百万円
4 年目 (2027 年度)	6 万円	10,000 個	600 百万円	300 百万円	300 百万円
5 年目 (2028 年度)	6 万円	10,000 個	600 百万円	300 百万円	300 百万円

- 売上見通し設定の考え方：現在、販売中であり本事業の成果物と同等の仕様をもつ多周波マルチ GNSS 受信モジュールの価格（15 万円）と、2020 以降の準天頂衛星システム利用市場規模の拡大（2020 年 2 兆 641 億円、2025 年 2 兆 3,779 億円）に伴う受信機システム市場規模の拡大（2020 年 100 億円、2025 年 115 億円）を鑑みて算出した。

出典：シード・プランニング、『衛星測位システム受信機総覧 2019』

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

事業化のスケジュール

助成期間終了後 5 年間の事業化計画を下記に示す。

表 2.2.2.5-14 事業化のスケジュール

年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
製品設計	→				
設備投資 信頼性試験		→			
生産			◇販売開始（実用化開始）		
販売			◇継続／中断を判断		
収益発生					

表 2.2.2.5-15 市場の動向

	市場規模	当社のシェア
1 年目（2024 年度）	11200 百万円	2%
2 年目（2025 年度）	11500 百万円	3%
3 年目（2026 年度）	11800 百万円	5%
4 年目（2027 年度）	12100 百万円	5%
5 年目（2028 年度）	12400 百万円	5%

- 市場規模算出の根拠：シードプランニング『衛星測位システム受信機総覧 2019』の、準天頂衛星システム・受信機システム市場規模から算出した。
- シェア見通しの根拠：当社の売上高成長率と市場規模から相対的に算出した。

3. 実用化・事業化の見通し

実用化・事業化の今後の方針は上記の「事業化のスケジュール」に記したとおりである。また、本事業の成果（既存のデジタルベースバンド部の ASIC 化）による、衛星測位受信機の小型、軽量、低消費電力化は、ドローンに搭載する場合、ペイロードを大きくでき、更に長い飛行時間を可能とする。

さらに、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。また、機体間の正確な位置情報の共有は、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。

尚、本事業における成果物はドローンのみならず、あらゆる自動運転実現支援ソリューションとなるため、日本国内で世界トップレベルの多周波受信機の開発・製造を進めることは、準天頂衛星（みちびき）対応高精度衛星測位受信機の社会実装を加速させ、今後の産業界の活性化に繋がる。

6.3. 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」

6.3.1. デジタル・スタンダード

ロボット・ドローンに関する国際標準化の推進（1）デジタル・スタンダード

（実施期間：5年間（2017年度～2022年度））

（実施先：PwC株式会社）

（1）事業の背景・意義（目的・概要）

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。

<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関係す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、API をプロジェクトウェブサイトを通じて国内外に公開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（ISO/TC20/SC16）へ引き継ぐ（3-4 件を想定）</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場であり、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。

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

項目	2017年度			2018年度			2019年度			2020年度			2021年度			2022年度		
	10月	12月	3月	10月	12月	3月	10月	12月	3月	10月	12月	3月	10月	12月	3月	10月	12月	3月
(ア)国際的な検討状況の把握	調査項目設計	→			→			→										
	文献調査	→	→		→	→		→	→									
	取りまとめ			→		→			→									
	次年度調査の見直し			→		→			→									
	ISO TC20_SC16の動向把握								→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	国際標準化提案支援(運航管理システム)								→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	国際標準化提案支援(衝突回避システム)								→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
(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	セミナーの実施	→	→		→			→										
	プロジェクト関係者情報共有サイトの運営								→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
(ウ)本プロジェクトの検討状況や成果等の世界への発信	webを活用した発信								→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	シンポジウムの開催		→		→	→	→	→	→									→
(エ)本プロジェクト終了後の継続的な施策の検討	意見の収集						→	→										
	実施計画の変更								→	→								
(オ)ドローンの法的解釈に関する調査検討	調査研究の実施						→	→	→									
	意見の収集						→	→	→									
(カ)国際標準化に向けた運航管理システムAPIの公開対応	システムの構築							→										
	API公開・周知								→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

NEDO



PwC コンサルティング合同会社

- ・ 研究実施場所：
 - ・ Digital & Disruptive Technology ラボ
- ・ 研究項目：
 - ・ 海外におけるドローン活用の調査・研究
 - ・ 国内調査結果の海外発信

【再委託】

一般社団法人ドローン操縦士協会

- ・ 研究実施場所：
 - ・ 潮見ドローン専用飛行場
- ・ 研究項目：
 - ・ 国内におけるドローン活用の調査・研究

(4) 研究開発の達成状況

最終目標	成果	達成度	備考
<p>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（ISO/TC20/SC16）へ引き継ぐ（3-4件を想定）</p>	<p>ISO TC20/SC16において、3件が公開済、1件が進行中となっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・【公開済】 Data model for spatial data (ISO 23629-7) UTM Functional Structure (ISO 23629-5) Unmanned aircraft systems – Part 3: Operational procedures (ISO 21384-3)改訂 <p>他1件の標準化が進行中</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems (ISO/CD 15964) 	○	—
<p>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。</p>	<p>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</p>	○	—

(5) 成果と意義

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4本の規格案を提案した。“UAS traffic management (UTM) – Part 7: Data model for spatial data (ISO 23629-7)”は国際標準として既に公開されている。“UAS traffic management (UTM) – Part 5: UTM functional structure (ISO 23629-5)”は2023/5に公開された。

“Unmanned aircraft systems – Part 3: Operational procedures (ISO 21384-3)”の改訂は2023/10に公開された。“Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems (ISO 15964)”はCD段階となっている。

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・手続支援を実施した。

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た。

(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	0	0	0	0	0	0	0
学会発表・シンポジウム講演等	2	2	2	2	0	1	9
展示会出展	1	1	5	3	4	3	17
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	0	0	0	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	0	0	0	0

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
国内出願	0	0	0	0	0	0	0
外国出願	0	0	0	0	0	0	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

2.1 実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクト成果の ISO における国際標準の成立により、各国のルールに影響を与えることから、国内外の無人航空機の機体や UTM サービス等に日本の技術が実装されやすくなる。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。

2.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

現在、標準化が進展中の3件、UTM Functional Structure(ISO 23629-5) ”、“Unmanned aircraft systems – Part 3: Operational procedures(ISO 21384-3) ” の改訂、Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems(ISO 15964) ” について国際標準としての成立に向けて継続的なサポートを行う。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。

2.3 実用化・事業化の見通し

我が国から提案し、ISO において国際標準化が進んだ “Data model for spatial data (ISO 23629-7) ”、“UTM Functional Structure(ISO 23629-5) ”、“Unmanned aircraft systems – Part 3: Operational procedures(ISO 21384-3) ” の改訂、Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems(ISO 15964) ” 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で活用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。

6.3.2. デファクト・スタンダード

(実施期間：5年間(2017年度~2022年度))

(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、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)

(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。

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・社会実装の加速を目的として、イノベーション・コスト構想の下、福島ロボットテストフィールドでは分野毎に求められるロボットの性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が進められている。

「日本再興戦略(2014)」では、ロボットの国際競技大会の開催を視野に入れ、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、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」)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。

<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、経済産業省及びNEDOが主催し、競技会「World Robot Challenge(以下、「WRC」)」と展示会「World Robot Expo(以下、「WRE」)」からなるロボットの国際大会とする。2021年度に開催する本大会以前に、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2021年に愛知県・福島県で開催を計画し、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行う。

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て開発し、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合わせる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、Robo Cup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、「いかにハードや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し、2021年には、愛知県、福島県での本大会を計画する。

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。

<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インフラ・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

福島県の福島ロボットテストフィールド、愛知県のAichi Sky Expo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、2018年度に予定するプレ大会で活用するプラットフォームや競技設計を行う。（2018年度中間目標）

2018年のプレ大会での結果を受けて、2021年度には、さらに社会実装を意識した新たな競技ルールのもと、WRSの本大会を実施し、コロナ禍においても安全・安心に参加できる大会の形を実現する。

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。

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インフラ・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・実施体制

表 2-3-1 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

研究開発項目	2017年度				2018年度				2019年度				2020年度				2021年度				2022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	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. 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																								
①各委員会の事務局業務																								
②社会実装を進めるための展示手法の研究開発																								
③社会実装を進めるためのコミュニティ形成研究																								
④世界の競技会、展示会との比較分析																								
⑤ロボットの社会実装を進めるための周知活動																								
⑥効果的なアプローチ手法の検証																								
⑦WRSを通じた省エネルギー性を評価する指標の検討																								
⑧競技会場の設営・運営																								
⑨主要ステークホルダーとの調整																								
⑩とりまとめ																								
⑪競技大会規模拡大検討および実施																								
⑫競技会および展示会におけるコロナウイルス感染症対策の実施																								
⑬競技大会の継続実施の検討																								
⑭成果普及セミナー/フォーラム、人材育成プログラムの実施																								
⑮人的交流等の展開																								

表 2-3-2 ものづくり競技手法の研究開発

研究開発項目	2017年度				2018年度				2019年度				2020年度				2021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	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
2 ものづくり競技手法の研究開発																				
①トライアル、デモンストレーションおよび競技の設計	→																			→
②競技フィールドの概略設計・詳細設計																				→
③モデル製品の設計・製作	→	→																		→
④プラットフォームの選定		→	→		→															→
⑤競技ルールの概略設計・詳細設計	→	→																		→
⑥競技の評価試験				→																→
⑦競技チーム等への呼びかけ、対応																				→
⑧トライアル、デモンストレーションの実施	→	→								→										
⑨有識者への意見聴取																				→
⑩とりまとめ		→					→			→			→			→				→
⑪本大会に向けた課題抽出																				→
⑫WRSを通じた省エネルギー性を評価する指標の検討																				→
⑬ブレ大会での競技会の実施								→												
⑭競技審査委員会の設立・運用								→											→	
⑮本大会での競技会の実施																				→

表 2-3-3 サービス競技手法の研究開発

研究開発項目	2017年度				2018年度				2019年度				2020年度				2021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	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
3 サービス競技手法の研究開発																				
① トライアルおよび競技の設計																				→
② 競技フィールドの概略設計・詳細設計																				→
③ 参加チーム等への呼びかけ																				→
④ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施		→		→																
⑤ 有識者への意見聴取		→							→											
⑥ とりまとめ				→					→											→
⑦ シミュレータの開発																				→
⑧ WRSを通じた省エネルギー性を評価する指標の検討																				→
⑨ 清掃評価システムの開発																				→
⑩ 競技審査委員会の設立・運用								→		→									→	
⑪ 2021本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計																				→
⑫ 有識者への意見聴取									→		→									
⑬ 本大会での競技会の実施																				→

表 2-3-4 ジュニア競技手法の研究開発

4 ジュニア競技手法の研究開発																				
① トライアルおよび競技の設計																				→
② 競技フィールドの概略設計・詳細設計																				→
③ 参加チーム等への呼びかけ																				→
④ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施	→				→				→	→										
⑤ 有識者への意見聴取		→				→							→							
⑥ とりまとめ		→							→											→
⑦ WRSを通じた省エネルギー性を評価する指標の検討																				→
⑧ 競技審査委員会の設立・運用								→											→	
⑨ 2021年大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計																				→
⑩ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施																				→
⑪ 有識者への意見聴取																				→
⑫ 本大会での競技会の実施																				→

表 2-3-5 インフラ・災害競技手法の研究開発

研究開発項目	2017年度				2018年度				2019年度				2020年度				2021年度				2022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	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
6 災害競技手法の研究開発																								
① トライアル・デモンストレーションおよび競技の設計	→																							
② 競技フィールドの概略設計・詳細設計									→															
③ 競技ルールの概略設計・詳細設計																								
④ 競技チーム等への呼びかけ、対応																								
⑤ トライアル、デモンストレーション、競技会の実施	→																							
⑥ 有識者への意見聴取																								
⑦ とりまとめ																								
⑧ WRSを通じた省エネルギー性を評価する指標の検討																								
⑨ 競技用シミュレータの開発																								
⑩ 競技審査委員会の設立・運用																								
⑪ 2021本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計																								
⑫ 有識者への意見聴取																								
⑬ 競技用シミュレータ用タスクモデルの開発																								
⑭ 競技大会の継続実施の検討																								

表 2-3-6 全体スケジュール



実施体制

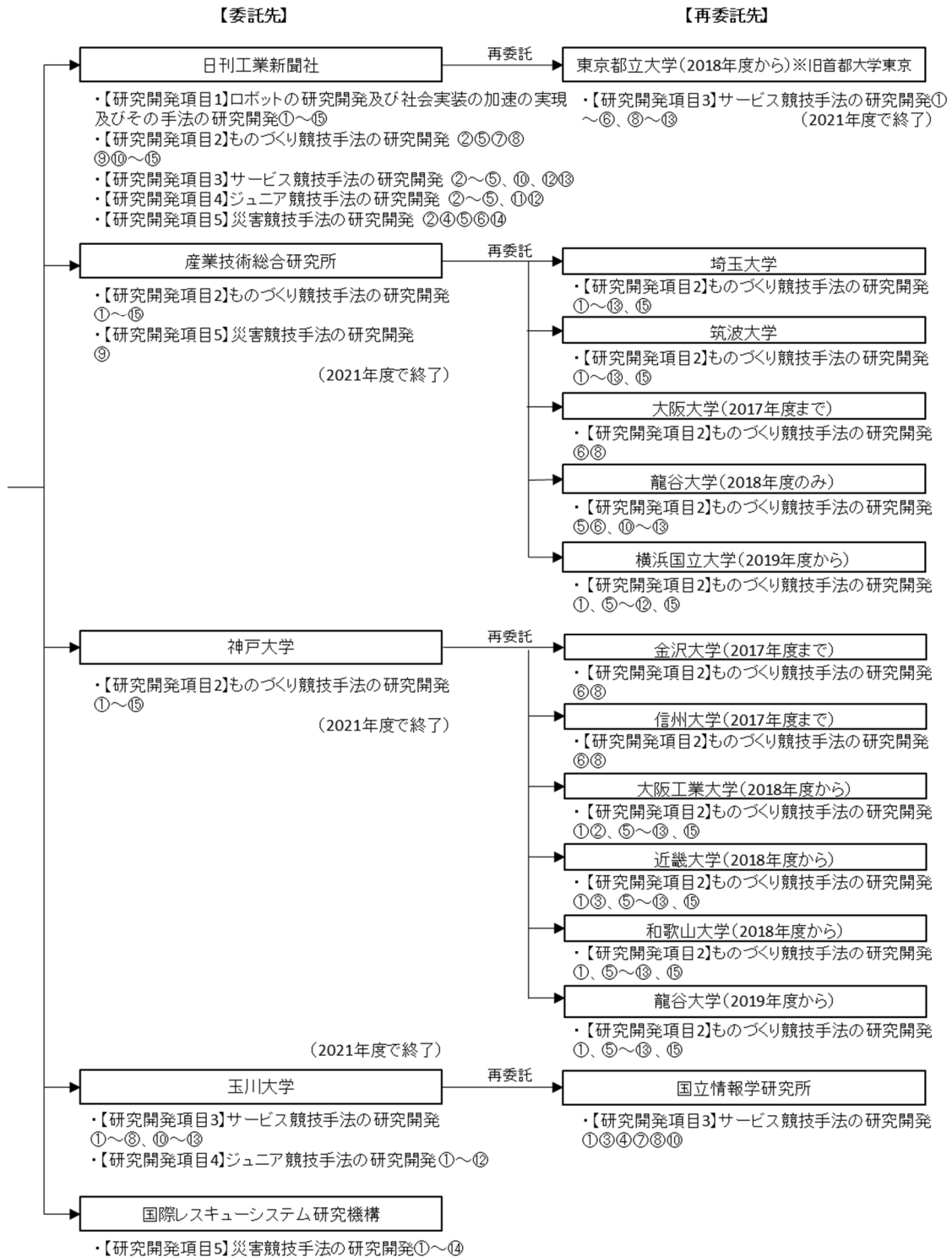


図 2-3-2 実施体制図

【研究開発項目 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

① 各委員会の事務局業務

WRS は、国際的な競技会と展示会であるため、多様なステークホルダーとの利害調整、情報発信が不可欠となる。これらの意見調整のための事務局業務を実施することで、競技会及び展示会の研究開発を進めるためのプロジェクトマネジメントオフィス（PMO）として機能させる。

② 社会実装を進めるための展示手法の研究開発

これまでの展示会にない競技会との連動を行い、WRE の出展者、WRC の競技者が交流する場を設け、ステージやフォーラム、オンラインでの発信などを実施する。

③ ロボットの社会実装を進めるためのコミュニティ形成研究

ロボットの社会実装を加速させるため、本プロジェクトのアウトプット、アウトカムまでを考慮した総合的なコミュニティ形成のための研究を実施する。

④ 世界の競技会、展示会との比較分析

ロボットにかかわる、競技会、展示会が世界中で実施されている。主要な競技会、展示会と比較分析を行い、WRSの独自性向上と、イニシアティブ獲得のための方策を検討する。

⑤ ロボットの社会実装を進めるための周知活動

展示会、トライアルデモ、競技会、Web ページ、動画、展示や競技会でのサイドイベント等を活用して、WRS を世界中に周知する。

⑥ 効果的なアプローチ手法の検証

WRS 周知を図る上で効果的なアプローチ手法を検証するため、マーケティング調査を実施する。特に世界中で認知度を高めていくための戦略的なメディア展開手法を検討する。

⑦ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討

競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑧ 競技会場の設定・運営

競技大会でロボットが活動する際の最適な通信環境の調査・設定を含む競技会場の設営・運営を行う。

⑨ 主要ステークホルダーとの調整

WRS には、各種委員会委員及び資金管理団体を含めた多様なステークホルダーが存在する。これらのステークホルダーとの調整を行い、WRS 開催に向けた準備を行う。

⑩ とりまとめ

WRS の実施によるロボットの研究開発及び社会実装の加速を実現し、研究開発手法として確立するための分析を開始する。

⑪ 競技大会規模拡大検討および実施

初計画から競技者募集枠を拡大（2018 年プレ大会同様規模）したことに伴い、本大会での競技大会実施規模の拡大検討を行う。

⑫ 競技会および展示会における新型コロナウイルス感染症対策の実施

コロナ禍におけるイベント開催を想定し、リアル会場（競技・展示）だけでなくバーチャル会場を設置して全世界からリモート参加が可能な開催手法を構築する。

⑬ 競技大会の継続実施の検討

2023 年度以降の民間主体での継続実施を前提に、2021 年度の本大会の実施結果を考慮しつつ検討、実施する。産業界のより強いコミットメントを得つつ、大学やスタートアップ企業が有するシーズ等が新たなビジネスの創出につながるような仕掛けについて検討する。

⑭ 成果普及セミナー/フォーラム、人材育成プログラムの実施

WRS 成果や開発された技術について、競技委員会、企業の専門家によるセミナー等の開催のほか、周辺研究を活用した人材育成プログラムを行う。

⑮ 人的交流等の展開

WRS 成果や開発された技術を中心に、研究者、技術者等のネットワークを構築するとともに、人的交流事業等を実施する。

【研究開発項目 2】ものづくり競技手法の研究開発

① トライアル、デモンストレーションおよび競技の設計

製品組立チャレンジに関するトライアル、デモンストレーションおよび競技実施に関する競技ルールや審判方法を含む設計を行う。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計

製品組立チャレンジを実施するための競技フィールドの概略設計、詳細設計を行う。

③ モデル製品の設計・製作

製品組立チャレンジで使用するモデル製品の設計・製作を行う。その有効性を検証するため、試験組立を行う。

④ プラットフォームの選定

競技種目や競技ルールに沿ったプラットフォームの選定を行い、競技参加チームに対して公開する。

⑤ 競技ルールの概略設計・詳細設計

製品組立チャレンジを実施する際の競技ルールの設計を行う。後述の評価試験、トライアル、デモンストレーションの分析結果に応じて競技ルールの見直しを随時行う。

⑥ 競技の評価試験

模擬競技フィールドを試作し、産業用ロボットにより、モデル製品の組立を実施し、競技の評価試験を行う。

⑦ 競技チーム等への呼びかけ、対応

学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページなどを活用して、世界中に製品組立チャレンジへの参加を呼び掛けるとともに、本事業の周知を行う。

⑧ トライアル、デモンストレーションの実施

ロボットの国際会議、国際ロボット展などのロボット関係者が集う場において、トライアルやデモンストレーションを実施する。

⑨ 有識者への意見聴取

有識者を糾合した「ものづくり競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。また必要に応じて国内外の専門家の意見聴取を行い、競技内容の改善に努める。

⑩ とりまとめ

2018 プレ大会、2019 トライアル、2021 本大会の競技結果に関する分析を行い、必要に応じて競技内容の検証を行いながら、競技会の成果をまとめる。

⑪ 本大会に向けた課題抽出

2018 プレ大会での競技実施結果を踏まえて、本大会に向けて改善すべき課題を抽出し、競技設計等の見直しを行う。

⑫ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討

競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑬ プレ大会での競技会の実施

プレ大会で製品組立チャレンジを実施する。

⑭ 競技審査委員会の設立・運用

大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。

⑮ 本大会での競技会の実施

本大会（愛知大会）で製品組立チャレンジを実施する。

【研究開発項目 3】 サービス競技手法の研究開発

① トライアルおよび競技の設計

競技委員会を開催し、上記競技に関するルールの設計を行い、必要に応じてトライアル及び競技大会を実施する。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計

競技会で使用するフィールドの概略設計および詳細設計を行う。その有効性を研究するため、トライアル的なフィールドを試作し、実際の競技を行うことで検証する。

③ 参加チーム等への呼びかけ

参加チーム等へ向けて広く世界に周知するため、学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページ等を活用する。

④ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施

トライアル競技会、開催前イベント、競技大会を実施することにより、競技の実証を行う。

⑤ 有識者への意見聴取

有識者を糾合した「サービス競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑥ とりまとめ

競技結果に関する分析を行う。

⑦ シミュレータの開発

社会シミュレーション（社会的相互作用）とロボットシミュレーション（物理的シミュレーション）を統合したシステムを構築し、シミュレータ上での人とロボットのコミュニケーションを競技できる環境を構築する。

⑧ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討

競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑨ 清掃評価システムの開発

清掃タスクの得点を自動的に採点するための清掃評価システムを開発する。

⑩ 競技審査委員会の設立・運用

競技大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。

⑪ 2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計

2021 本大会で使用するフィールドの概略設計及び詳細設計を行う。その有効性を研究するため、必要に応じてトライアル的なフィールドを試作し、実際の競技を行うことで検証する。

⑫ 有識者への意見聴取

有識者を糾合した「サービス競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑬ 本大会での競技会の実施

本大会（愛知大会）でパートナーロボットチャレンジおよびフューチャーコンビニエンスストアチャレンジを実施する。

【研究開発項目 4】 ジュニア競技手法の研究開発

① トライアルおよび競技の設計

競技委員会を開催し、上記競技に関するルールの設計を行い、必要に応じてトライアル及び競技大会を実施する。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計

競技の舞台となる学校や家庭を競技フィールドにする際の種々の問題点を洗い出し、競技会で使用するフィールドの概略設計および詳細設計を行う。

③ 参加チーム等への呼びかけ

参加者への呼びかけや広く世界に周知するため、学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページ等を活用する。

④ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施

トライアル競技会、開催前イベント、競技大会を実施することにより、競技の実証を行う。

⑤ 有識者への意見聴取

有識者を糾合した「ジュニア競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑥ とりまとめ

競技結果に関する分析を行う。

⑦ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討

競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。

⑧ 競技審査委員会の設立・運用

大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。

⑨ 2021 年大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計

競技の舞台となる学校や家庭を競技フィールドにする際の種々の問題点を 2018 年度までに実施したものを元に洗い出し、競技会で使用するフィールドの詳細設計を行う。

⑩ トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施

トライアル競技会、開催前イベント、競技大会を実施することにより、競技の実証を行う。

⑪ 有識者への意見聴取

有識者を糾合した「ジュニア競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。

⑫ 本大会での競技会の実施

本大会でスクールロボットチャレンジおよびホームロボットチャレンジを実施する。

【研究開発項目 5】災害競技手法の研究開発

① トライアル・デモンストレーションおよび競技の設計

競技委員会を開催し、インフラ・災害対応競技に関するトライアル、デモンストレーションおよび競技実施に関する設計を行う。

② 競技フィールドの概略設計・詳細設計

インフラ・災害対応競技を実施するための競技フィールドの概略設計、詳細設計・設置を行う。

- ③ 競技ルールの概略設計・詳細設計
インフラ・災害対応競技を実施する際の競技ルールの設計を行う。その有効性を検証するため、試験装置を試作し、試験を行う。
- ④ 競技チーム等への呼びかけ、対応
学会・展示会・デモ会・競技会・Web ページなどを活用して、世界中にインフラ・災害競技への参加を呼びかけるとともに本事業の周知を行う。
- ⑤ トライアル、デモンストレーション、競技会の実施
ロボット関係者が集う国際会議などでトライアルを行うほか、関連するロボットの競技会や展示会などでデモンストレーションを行う。また、競技フィールドを設置して、競技会を実施する。
- ⑥ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「インフラ・災害対応競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。
- ⑦ とりまとめ
競技結果に関する分析を行う。
- ⑧ WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討
競技手法の検討を通じて、省エネルギー性の高い研究開発を向上させるため、競技において省エネルギー性の高いと評価されたチームが適正に評価されるようにする。
- ⑨ 競技用シミュレータの開発
トンネル事故災害対応・復旧をテーマとした災害対応競技をコンピュータ上の仮想環境において実施可能とするためのシミュレータを開発する。
- ⑩ 競技審査委員会の設立・運用
大会の競技審査のための人員を招集し、審査委員会を設立・運用する。
- ⑪ 2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計
インフラ・災害対応競技を実施するための競技フィールドの詳細設計を行う。
- ⑫ 有識者への意見聴取
有識者を糾合した「インフラ・災害対応競技委員会」等を主催し、競技内容について指導・助言を得る。
- ⑬ 競技用シミュレータ用タスクモデルの開発
トンネル事故災害対応・復旧をテーマとした災害対応競技をコンピュータ上の仮想環境において実施可能とするためのシミュレータ用のタスクモデルを開発する。
- ⑭ 競技大会の継続実施の検討
民間主体での福島県での競技大会継続実施に向け、2021 年度の本大会の実施結果を考慮しつつ検討する。

(4) 研究開発の達成状況

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委員会を開催し、競技会と展示会双方の研究開発を行った。

各競技ともに2018年プレ大会での実績をもとに、競技ルールの再設計やトライアル競技会などを実施し、2021年に本大会を開催した。

競技会では、単に技術を競うだけでなく、社会や暮らしの現場を模した競技フィールドを設けることで、社会実装を意識したロボットやロボットシステムの開発と設計、プログラミングを行った。

WRSを通して、ロボット関連企業による産業界と大学などのアカデミアが合同で技術開発を行うなど産学を結びつけるオープンイノベーションの新しい形となった。また、新型コロナウイルスの感染拡大により、海外チームの来日が難しい中、遠隔参加部門を設けるほか、「WRS バーチャル」での競技会のオンライン配信を行い、世界からの参加者があった。

2021年のWRS本大会では、リアル会場とオンラインでのハイブリッド開催となり、競技会、展示会の新たな手法を開発した。

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
(担当：日刊工業新聞社)

最終目標	成果	達成度	備考
各委員会の事務局業務 ※2021年度まで	諮問会議、実行委員会、競技委員会等の運営および事務局業務を実施した。 競技会、展示会の実施に向けて各委員会の意見を取りまとめてWRSを実施した。	○	
社会実装を進めるための展示手法の研究開発 ※2021年度まで	競技会と展示会を同時開催することにより、ロボット開発者、ユーザー、競技者が交流し、社会実装を促進する展示手法を実現した。 また、本大会では、WRS VIRTUALを開発し、3D空間で自らアバターロボットを操作して移動し、最新のロボット技術や競技会の内容に触れるオンラインの展示手法を開発した。	◎	
ロボットの社会実装を進めるためのコミュニティ形成研究 ※2021年度まで	競技会、展示会（オンラインを含む）を通じて、新たなロボットコミュニティの形成に向けた研究を実施した。 結果として、WRS 競技参加者は約2,000名、競技設計に関わった委員は約200名に上り、WRSの参加者は、プレ大会	◎	

	では約7万6千人、本大会ではオンラインを含めて約8万人が参加し、これまでにない社会実装を進めるコミュニティを実現した。		
世界の競技会、展示会との比較分析 ※2021年度まで	各国の競技会、展示会を比較分析することにより、社会実装を目指した競技会、展示会に向けて検討を行った。	○	
ロボットの社会実装を進めるための周知活動	国際ロボット展やロボカップ、ロボット学会、ICRA等、国内外でのロボット関係者が集う場で周知活動を行った。多くの方に周知させるため、動画コンテンツも充実させて、チーム紹介、競技委員のインタビューなど幅広い活動を行った。TV、新聞などメディアへの露出は合計で1,167件にも上った。	◎	
効果的なアプローチ手法の検証	各競技会では、ロボットメーカー、ユーザー企業なども委員会に加わり、社会実装に向けた効果的な競技設計について検討を行い、トライアル競技、プレ大会を通して検証した。	○	
WRSを通じた省エネルギー性を評価する指標の検討 ※2021年度まで	競技チームに対して、ロボットの出力エネルギー量や省エネルギー性に関する資料を提出させて、評価すること等を実施した。	○	
競技会場の設定・運営 ※2021年度まで	福島ロボットテストフィールド、愛知スカイエキスポ、東京ビッグサイトを使用して、各競技会の実施概要に合わせてレイアウトを行い、WRS大会を運営した。	◎	
主要ステークホルダーとの調整 ※2021年度まで	WRSの開催に向けて、2017年度より、各競技委員との調整、ロボットメーカー、ユーザー企業など約300名、ステージなどの講演者約150名と調整	◎	

	を行い、競技会や展示会の実施を実現した。		
とりまとめ ※2021 年度まで	各競技の設計や展示会の実施にあたり、競技委員会や関係企業、競技参加者を取りまとめた。 特にコロナ禍により 2020 年の本体会が 2021 年に延期となったが、競技会の再設計、運営方法の変更などを含めて関係者と調整し、WRS を実施した。	○	
競技大会規模拡大検討および実施 ※2021 年度まで	2018年のプレ大会の結果を踏まえて、本大会では規模を拡大して開催を検討した。 2020年からの新型コロナウイルスの影響により、海外からのリアル参加が難しくなったが、オンラインでの競技参加を含めて競技規模の拡大を実現した。	○	
競技会および展示会における コロナウイルス感染症対策の実施 ※2021 年度まで	2021年の本大会では、競技参加者およびスタッフの体調管理を行い、会場内パドックでの3密回避の他、会場内の消毒・清掃、参加者の抗原検査などを実施した。	○	
競技大会の継続実施の検討 ※2022 年度	競技大会の継続実施に向けて、ロボット関連企業、ユーザー企業を含めてヒアリングを行い、ロボットの社会実装と Sler の人材育成を目指した競技会の継続を検討した	○	
成果普及セミナー/フォーラム、人材育成プログラムの実施 ※2022 年度	Sler やユーザー、競技参加者を交えた成果普及フォーラムを実施。 人材育成プログラムでは、ドローンを使用した小学生の体験プログラムを行った。	○	

人的交流等の展開 ※2022年度	展示会や国際会議において、競技者、委員、来場者等と幅広い交流を実施した。 FCSCでは、3,000名が参加したロボットの国際会議 IROSでの競技と交流を行った。	○	
---------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	---	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達
・達成状況：2022年度までに全て達成

②ものづくり競技手法の研究開発 ※2021年度まで

(担当：産業技術総合研究所(産総研)、神戸大学、日刊工、埼玉大学、大阪大学、金沢大学、筑波大学、信州大学、龍谷大学、和歌山大学、大阪工業大学、近畿大学、横浜国立大学)

最終目標	成果	達成度	備考
トライアル、デモンストレーションおよび競技の設計	迅速かつスリムに対応できる製品組立システムを構築し、「未来のものづくり」の実現に向けて、トライアルなど新たな競技の設計を行った。	◎	
競技フィールドの概略設計・詳細設計	競技フィールドでは、社会実装を意識して変化に対応でき、安全対策を行ったフィールドを設計した。 2021年の本大会では、AGVを使用して組立製品を搬送するなど現場を想定したフィールドを実現した。	◎	
モデル製品の設計・製作	製品組立チャレンジでは、「タスクボードタスク」で使用するモデル製品を設計・製作した。 「アセンブリタスク」では、19種類 33個の部品を使用するベルトドライブユニットのモデル製品を設計・製作した。	○	
プラットフォームの選定	ロボットメーカーの協力により、競技に対応できる産業用ロボットを選定した。 可搬、サイズ、可動域など各ロボットメーカーとの打ち合わせを行い、ファナック、安川電機、川崎重工、三菱電機、不二越のロボットを選定した。 また、本大会では、トヨタ自	◎	

	動繊機の自動搬送 AGV を選定して競技会場で使用した。		
競技ルールの概略設計・詳細設計	<p>社会実装を意識した競技ルールを設計した。</p> <p>2018年のプレ大会での成果をもとに、2021年の本大会ではさらに高度な課題を設定した。</p> <p>競技本番で使用する部品が前日に渡されて、迅速でスリムな生産システムを構築することを求める等、生産現場のニーズに対応した競技ルールを実現した。</p>	○	
競技の評価試験	<p>トライアルやプレ大会を通して、競技の再設計を図った。</p> <p>また、海外を含めたチーム訪問により、競技の再構築と評価を行った。</p>	○	
競技チーム等への呼びかけ、対応	<p>国内外の優秀なロボットエンジニアの参加を呼びかけた。</p> <p>国際ロボット展、ロボット学会、IROS、ICRA など、関係者が集う機会でも WRS の PR を行った。結果として、ものづくり競技では、プレ大会 16 チーム、本大会 7 チームが選考を通過して競技に進んだ。</p>	○	
トライアル、デモンストラーションの実施	<p>14 万人が参加した 2019 国際ロボット展でもものづくり競技のトライアルデモを実施した。競技ルールの見直し、運用を含めて検証した。</p>	○	
有識者への意見聴取	<p>ロボットメーカー、Slur のほか、ユーザー企業などロボットに関わる有識者に意見聴取を行い、競技設計につなげた。</p>	○	
とりまとめ	<p>競技委員会、競技者、ロボットメーカー、ユーザー企業などの意見をまとめ、競技設計を行い、ものづくり競技をとりまとめた。</p>	○	

本大会に向けた課題抽出	プレ大会の課題を踏まえて、キittingタスクを廃止し、安全に関する講習、現場を意識した AGV の導入等を決定した。	○	
WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討	無駄なくスリムに対応できる生産システムの構築を実現するため、応募時に省エネルギー性に関する提案を求め、評価する指標を検討した。	○	
プレ大会での競技会の実施	国内外より参加した 16 チームにより、「製品組立チャレンジ」を実施。「タスクボード」「キitting」「組立」の 3 つのタスクを競い合った。	○	
競技審査委員会の設立・運用	競技審査委員会では、ロボットに関係する有識者を中心に設立し、会場での審査を行った。	○	
本大会での競技会の実施	本大会では、プレ大会での結果を踏まえて、製品組立の要素技術を組み込んだ「タスクボードタスク」、19 種類・計 33 個の部品を使用する「アセンブリタスク」を実施した。 競技会を通して、空間配置や把持位置などの領域にも広がり、ロボットが賢く、雑多な環境に適応した。 ロボットシステム構築のプロセスやチームワークを見ることで、各チームの技術などを把握した。 また、参加者に向けた安全講習やルール化により、さらに製造現場に適応できる競技会となった。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達
・達成状況：2021 年度までに全て達成

③サービス競技手法の研究開発 ※2021 年度まで

(担当：玉川大学、日刊工業新聞社、国立情報学研究所、東京都立大学)

最終目標	成果	達成度	備考
トライアルおよび競技の設計	「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」の トライアルおよび競技を設計 した。		
競技フィールドの概略設計・詳 細設計 ※2018 年度まで	各チャレンジの競技フィー ルドを設計した。パートナー チャレンジでは、生活の中で人 をサポートするタスクであ り、棚やテーブルを配置する など、暮らしを意識している。 コンビニチャレンジでは、「陳 列・廃棄」「トイレ清掃」「接 客」の3つのタスクを行うた め、コンビニの店舗の一部を 再現したフィールドを設計し た。	◎	
参加チーム等への呼びかけ	ロボカップなどに参加実績の あるチームや関係者などに呼 びかけを行い、プレ大会、本 大会ともに多くのチームが参 加した。	○	
トライアル競技会、開催前イベ ント、競技大会の実施 ※2018 年度まで	ロボットの関係者が集う「ロ ボカップ」「国際ロボット展」 などを利用して、トライアル 競技やデモンストレーション を行った。	○	
有識者への意見聴取 ※2018 年度まで	パートナーチャレンジでは、 トヨタ自動車からプラットフ ォームロボット「HSR」の提供 があり、競技設計を含めて意 見聴取を行った。 また、コンビニチャレンジで は、セブンイレブンからユー ザーとしての意見をまとめ、 実際の店舗でのニーズを競技 に反映した。	◎	
とりまとめ	競技者、ロボットメーカー、 ユーザー企業をとりまとめ て、各チャレンジの設計を進 めた。	○	
シミュレータの開発	仮想現実空間のロボットを使 って、人間とロボットの相互 作用（インタラクション）に より、タスクを達成するた めの知能ロボットシステムの実 験や評価を行うシミュレータ	◎	

	<p>「SIGVers」を開発した。</p> <p>従来のロボットシミュレーターでは難しかった人間と仮想ロボットのインタラクションを可能にした。人間と仮想ロボットがリアルタイムにインタラクションを行いながらタスクを実行する競技会の開催は世界でも初の試みとなった。</p>		
WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討	<p>参加者に対して、省エネルギー化に資するシステムの提案を求めた。</p> <p>現在、コンビニなど店舗では日々排出される多くの廃棄商品が環境負荷や省エネルギーの観点から問題視されており、本競技で培われた自動化技術は、商品の適切なタイミングでの補充や店員を単純労働から解放し接客により多くの時間を掛けることを可能とする。これにより販売機会の損失を防ぎ廃棄商品の削減に寄与することが期待される。</p>	○	
清掃評価システムの開発	<p>トイレ清掃タスクの実施にあたり、模擬尿の除去率を計測する清掃評価システムを開発した。トイレエリアの天井およびドアに設置されたカメラにより、便器上面の縁と床、便座裏と便器側面に付着した模擬尿を画像処理により抽出しその面積を計測する。</p> <p>清掃前、清掃後の状態を撮影し、それぞれの模擬尿の面積を計測し比較することにより除去率を算出した。</p>	○	
競技審査委員会の設立・運用	<p>競技審査委員会では、ロボットに関係する有識者を中心に設立し、会場での審査を行った。</p>	○	

2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2019 年度より	2018年のプレ大会の実績をもとに、競技フィールドの設計を変更した。 パートナーロボットチャレンジでは、2 チームが平行して競技を行い、さらに得点もリアルタイムで分かるように競技フィールドを設計した。 コンビニチャレンジでは、コンビニデザインのコンテストの優秀作品を採用して、人が交流できるような未来の店舗を設計し、競技フィールドとして活用した。	○	
有識者への意見聴取 ※2019 年度より	本大会の競技に向けて、国際会議 IEEE/SICE2020 において、ワークショップを開催し、有識者、関係者への意見聴取を行った。 その他、2019 国際ロボット展、ロボット学会など複数の場所で幅広い意見聴取を行った。	○	
本大会での競技会の実施	2021 年の本大会では、コロナウイルスの感染拡大の影響もあり、無観客での開催となったが、競技中継のほか、感染対策も行い、愛知県のアイチスカイエキスポで開催した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・達成状況：2021 年度までに全て達成

⑤ ジュニア競技手法の研究開発 ※2021 年度まで

(担当：玉川大学、日刊工業新聞社)

最終目標	成果	達成度	備考
トライアルおよび競技の設計	ジュニア競技では、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の競技を設計した。 生活の中でロボットと一緒にどんな課題を解決するのか、またロボットとの協働のアイデアを提示することが出来るかを競う競技となった。 競技では、Pepper や自作のロボットを使用して参加できる競技を設計した。	◎	

<p>競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2018 年度まで</p>	<p>スクールロボットチャレンジでは、学校を意識して Pepper を使用できるフィールドを設計した。ホームロボットチャレンジでは、家を模した小型のフィールドを設計し、人とロボットが協働して暮らすことをイメージして競技フィールドを完成した。</p>	<p>◎</p>	
<p>参加チーム等への呼びかけ</p>	<p>ロボカップの参加チームを中心に、実績のある国内外のチームへ参加を呼びかけた。プレ大会には 30 チーム、本大会には 27 チームが参加した。</p>	<p>○</p>	
<p>トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施 ※2018 年度まで</p>	<p>2017 年には玉川大学でトライアル競技を実施した。国内から 6 チーム、海外から 7 チームが参加し、Pepper を使用したアプリケーションの開発を行った。またタイで開催されたロボカップアジア大会 2017 において、ホームロボットチャレンジのトライアル競技を実施し、競技内容の検討、運営手法を設計した。</p>	<p>○</p>	
<p>有識者への意見聴取 ※2018 年度まで</p>	<p>スクールロボットチャレンジで使用する Pepper は、ソフトバンクの提供であり、競技設計を含めて意見聴取を行った。 また、ロボット教育に関わる多数の関係者の意見をもとに競技ルール等を設定した。</p>	<p>○</p>	
<p>とりまとめ</p>	<p>競技委員会、競技者、ロボットメーカー等のとりまとめを行い、定期的な委員会、ワークショップ、トライアル競技などを実施し、ジュニア競技を開催した。 特に本大会では、コロナ禍によるリモート競技への変更があったが、チーム同士のコラボレーションなど実施し、とりまとめた。</p>	<p>○</p>	

WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討	Pepper を使用した家庭での課題解決型の競技により、将来の暮らしでの省エネにつながる事が期待できる。 また、本大会では、国内外から参加できるリモート競技方針を採用し、省エネにつながる新しい競技ルールを実現した。	○	
競技審査委員会の設立・運用	競技審査委員会では、ロボットに関係する有識者を中心に設立し、会場での審査を行った。	○	
2021 年大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2019 年度より	2021 年の本体会では、新型コロナウイルスの感染拡大により、ジュニア競技はリモートでの参加とした。 そのため、リモートで対応できる競技フィールドを設計し、ライブでチームとのやり取りが出来る会場設計を行った。	○	
トライアル競技会、開催前イベント、競技大会の実施 ※2018 年度より	2019 年には、玉川大学で競技フィールドを想定してトライアル競技を実施した。 2020 年には、ロボカップジャパンオープンにおいて、本大会に向けてリモート参加でのトライアル競技を実施した。	◎	
有識者への意見聴取 ※2019 年度より	本体会では、リモート競技に変更したため、リモート競技の設計にあたり、映像運営に関わる有識者、教育者を含めて意見聴取を行った。	○	
本大会での競技会の実施	コロナ禍により、海外からの来日が難しく、本大会はリモート競技で実施した。 リモート競技の特性を活かして、異なる国のチームによるグローバルコラボレーションによる混成チームが競技を行った。 競技会を通して、オンライン教育を含めた新たなロボットを活用した人材育成の手法を開発することが出来た。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達
・達成状況：2021 年度までに全て達成

⑥ 災害競技手法の研究開発

(担当：国際レスキューシステム研究機構 (IRS)、産総研、日刊工業新聞社)

最終目標	成果	達成度	備考
トライアル・デモンストレーションおよび競技の設計 ※2021年度まで	災害競技では、「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」「災害対応標準性能評価チャレンジ」の3つの競技を設計した。 本大会の会場は福島ロボットテストフィールドを設定し、プラントなどを利用する競技を設計した。	◎	
競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2018年度まで	2018年のプレ大会では、福島ロボットテストフィールドに設置される模擬プラントを使用して競技フィールドを設計した。 災害対応標準性能評価 (STM) チャレンジでは、米国のNISTより専門家を招聘し、STMチャレンジのフィールド設計、国際標準に向けた検討を進めて競技フィールドに反映した。	◎	
競技ルールの概略設計・詳細設計 ※2021年度まで	プラントチャレンジでは、ロボットを使用したインフラ点検に基づくメンテナンス (バルブ開閉等) を目的に競技ルールを設計した。 トンネルチャレンジでは、トンネル災害を想定した情報収集と緊急対応を目的に設計した。 災害対応評価チャレンジでは、災害対応における基本性能を機動性、移動能力、操作能力、探査能力に分けて評価する競技ルールを設計した。	◎	

<p>競技チーム等への呼びかけ、対応 ※2021 年度まで</p>	<p>競技委員を中心に、国内外のロボット競技大会に参加実績のある有力チーム、大学、企業など幅広く呼びかけを行った。 地元の南相馬ロボット産業協議会が連合チームで参加し、本大会では、2 位という成果をあげて、福島ロボット産業の振興にも寄与した。</p>	○	
<p>トライアル、デモンストレーション、競技会の実施 ※2018 年度まで</p>	<p>福島ロボットテストフィールドを競技会場として設定し、国際ロボット展、南相馬市などでトライアル競技、デモンストレーションを実施した。</p>	○	
<p>とりまとめ ※2021 年度まで</p>	<p>3 つのチャレンジで関係する競技委員が異なるが、競技委員会を定期的に開催して、それぞれで進捗やルールを共有して、インフラ災害対応競技を実施することが出来た。</p>	○	
<p>WRS を通じた省エネルギー性を評価する指標の検討 ※2021 年度まで</p>	<p>一般にロボットは大型になる方が、作業性が高くなるが省エネルギー性は悪くなる。競技においては多様な現場ニーズを系統的に競技課題に反映する事で、省エネルギー性の高い小型のロボットでも現場で必要とする作業性有するかどうか、適正に評価される競技課題を検討し競技を実施した。 さらに本大会では、海外から遠隔での競技参加手法を調査し、省エネにつながる新しい競技ルールを検討した。</p>	○	
<p>競技用シミュレータの開発 ※2018 年度まで</p>	<p>トンネル事故災害対応・復旧チャレンジでは、トンネル内での事故を未然に防ぐ点検のほか、火災の消火、人命の救助など再現が困難な状況について、仮想空間内でシミュレータとして実施することが出来る「Choreonoid(コレオノイド)」を開発した。</p>	○	

競技審査委員会の設立・運用 ※2021年度まで	ロボットや災害対応分野のほか、性能評価に関わる専門家による審査委員会を設立して運用した。	○	
2021 本大会の競技フィールドの概略設計・詳細設計 ※2019年度より2021年度まで	本大会では、福島ロボットテストフィールドを使用して競技フィールドを設計した。 プラント災害予防チャレンジは、模擬プラントを利用して競技を行ったほか、性能評価チャレンジ（STM）では、屋内試験棟で競技フィールドを設置した。 競技内容を関係者や来場者にも伝えるため、スクリーンによる中継と解説も実施した。	◎	
有識者への意見聴取 ※2019年度より2021年度まで	インフラ・災害対応に関係する学識者、企業（プラントメーカー）に対して意見聴取を行い、現場で必要とされるニーズを競技設計につなげた。	○	
競技用シミュレータ用タスクモデルの開発 ※2019年度より2021年度まで	仮想空間でシミュレータとして実施できる「Choreonoid(コレオノイド)」を使用して、本大会に向けたタスクを開発した。タスクは以下の通り。 TS1 車両および周辺の調査、救助 TS2 経路の確保 TS3 消火作業 TS4 トンネル壁面、付帯設備の点検	◎	
競技大会の継続実施の検討 ※2022年度	インフラ・災害対応カテゴリーの競技継続に向けて、プラントメーカー、関係団体など幅広い関係者にて検討を行い、次回の開催に向けて具体的なロードマップを策定した。 STM チャレンジの Negotiate タスクが2022年6月の ASTM E54.09 Robotics 委員会で NIST より規格化の対象として議題に挙げられ、WRS の成果の標準化への継続が出来た。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達
・達成状況：2022年度までに全て達成

(5) 成果と意義

研究開発項目 1～5「WRS プレ大会の実施」

4つのカテゴリで競技設計における研究開発を行い、2018年度にWorld Robot Summitのプレ大会（東京大会）を実施した。

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

WRC 競技者：23か国・地域 126チーム WRE 出展者：94社・団体

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、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

競技の実施成果

研究開発項目 2「ものづくり競技手法の研究開発」

【ものづくりカテゴリー】

「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。



写真1 タスクボード競技



写真2 キットティング競技



写真3 安全を配慮した競技ブース



写真4 競技中継による説明

研究開発項目3「サービス競技手法の研究開発」

【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）（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。



写真1 整頓タスク



写真2 ロボットの調整



写真3 競技中継



写真4 バーチャル競技

●【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。

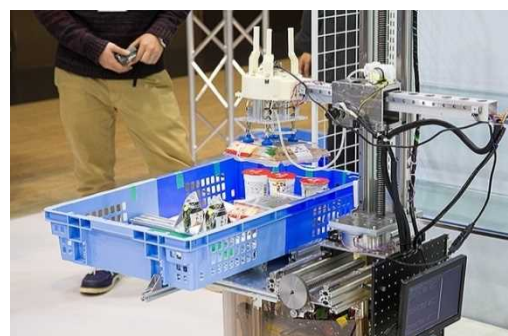


写真5 商品の品出し



写真6 ロボットによる商品入れ替え

研究開発項目 4「ジュニア競技手法の研究開発」

【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。



写真 1 海外チームのプログラミング



写真 2 Pepper を使用した競技

●【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。



写真 3 海外チームによる競技



写真 4 小型ロボットによる競技

研究開発項目 5「災害競技手法の研究開発」

【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プラントやトンネル災害など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。



写真1 バルブの開閉



写真2 海外チームの競技

●【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。



写真3 シミュレータ競技



写真4 競技の中継映像

●【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。



写真5 バルブ回し



写真6 ロボットによる情報収集

プレ大会の結果

2018年の東京大会で実施された競技とその順位については以下の通り。

表 2-5-1 プレ大会の1位～3位

ものづくり カテゴリー	製品組立チャレンジ	1位	2位	3位	
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)	SDU Robotics (University of Southern Denmark)	JAKS (Kanazawa UNIV.)	FA.COM Robotics (office FA.com Co.,Ltd.)	
	パートナーロボットチャレンジ (バーチャルスペース)	Hibikino-Musashi@Home (Kyushu Institute of Technology)	OIT Challenger and Duckers (Osaka Institute of Technology)	AISL-TUT (Toyouhashi University of Technology)	
	フューチャー コンビエンスストア チャレンジ	接客	NICT (National Institute of Information and Communications Technology)	SOBITS (Soka UNIV.)	eR@sers (Okayama Prefectural UNIV)
		清掃	NAIST-RITS-Panasonic (Nara Institute of Science and Technology)	TCR (Connected Robotics Inc)	homer@UniKoblenz (University of Koblenz)
		陳列	TCR (Connected Robotics Inc)	TAK (Tokyo Metropolitan University)	H3 (Human Robot Analysis Inc.)
総合	U.T.T. (TOSHIBA Corp.)	ROC2 (OMRON.corp)	Hi-KCCT (Hitachi, Ltd. Reserch & Development Group)		
		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)	

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以下のチームが特別賞を授与された。

表 2-5-2 プレ大会の特別賞

ものづくり カテゴリー	製品組立チャレンジ	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	パートナーロボットチャレンジ (リアルスペース)	Cambridge Robotics (University of Cambridge)	SDU Robotics (University of Southern Denmark)	Robotic Materials (Robotic Materials Inc.)	O2AS (Osaka UNIV.)
	パートナーロボットチャレンジ (バーチャルスペース)	Hibikino-Musashi@Home (Kyushu Institute of Technology)	AISL-TUT (Toyouhashi University of Technology)		
	フューチャー コンビエンスストア チャレンジ	SOBITS (Soka UNIV.)	NICT (National Institute of Information and Communications Technology)		
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	ROC2 (OMRON.corp)			NAIST-RITS-Panasonic (Nara Institute of Science and Technology)
	トンネル事故災害対応・ 復旧チャレンジ	Nexis-R (Nagaoka University of Technology)			AiSaFu (Sanritz Automation Co.,Ltd.)
	災害対応標準性能評価チャレンジ	ODENS (Osaka Ele.-Comm. Univ.)	MASARU Season 2 (Private)		
ジュニア カテゴリー	スクールロボットチャレンジ	SHINOBI (Kyoto UNIV.)		Telerob (Telerob GmbH)	
	ホーム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)		
		Robo Power (Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology)	Yumekobo Junior (Kanazawa Institute of Technology)	Sinag (Caritas Don Bosco School)	

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 : 野田 哲男 計測自動制御学会 SI 部門表彰委員長

表彰式



写真1 大臣賞受賞チーム



写真2 NEDO 理事長賞受賞チーム

【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、競技者と出展者の交流やマッチングが行われ、成果とフィードバックを得ることが出来た。



写真3 企業による展示



写真4 ロボットのデモ



写真5 プログラミング体験



写真6 海外企業のデモ

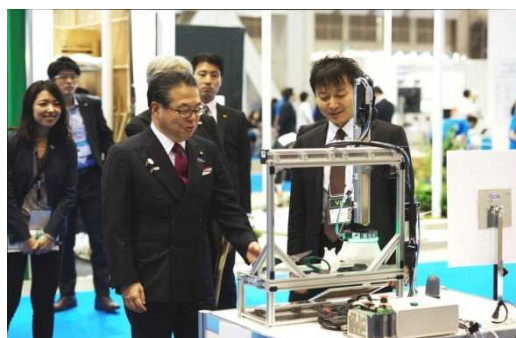


写真7 世耕大臣（当時）による視察



写真8 メインステージ

プレ大会のスポンサー

WRS2018 では、競技参加者の支援や賞金の授与を行うことを目的として、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。



図 2-5-1 スポンサー一覧

研究開発項目 1～5 「WRS 本大会の実施」

WRS 本大会の概要

○2018年のプレ大会の結果を受けて、競技設計の改良とルール設定を行い、2021年に本大会（9月愛知大会、10月福島大会）を実施した。

愛知大会は、新型コロナウイルス感染症の拡大と愛知県での緊急事態宣言により、無観客開催となった。福島大会は、感染者数が減少し有観客での開催が可能となったため、感染対策を徹底して有観客で開催した。

愛知大会の開催概要

名 称：World Robot Summit 2020 愛知大会

主 催：経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

日 時：9月9日（木）～9月12日（日）

場 所：Aichi Sky Expo（愛知県国際展示場） D, E, F ホール

※新型コロナウイルス感染症の感染拡大を受けて、無観客開催とWREのリアル開催は中止
※WRS VIRTUAL（オンライン）を同時開催し、競技のライブ配信や展示などをオンラインで実施した。

WRC 競技者：14か国・地域 58チーム

うち現地参加：4か国・地域 27チーム

※ものづくり、サービス、ジュニアの3カテゴリー

ステージプログラム：12プログラムを開催



写真1 愛知大会開会式



写真2 ものづくり競技中継



写真3 ものづくり競技会場



写真4 ロボットによる整頓

福島大会の開催概要

名称：World Robot Summit 2020 福島大会
主催：経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
日時：10月8日（金）～10月10日（日）
場所：福島ロボットテストフィールド（福島県南相馬市）
来場者数：10月8日（金）853名（晴れ）
 9日（土）1,065名（雨）
 10日（日）1,943名（くもり/晴れ）

合計：3,861名

WRC 競技者：8か国・地域 29チーム うち現地参加：3か国・地域 22チーム
※インフラ・災害対応の1カテゴリ実施

ステージプログラム：9プログラムを開催（併催イベントでの開催含む）

【併催イベント】

名称：ろぼいち（ROBOICHI）
主催：福島県（福島県南相馬市）
日程：2021年10月8日（金）～10日（日）
場所：福島ロボットテストフィールド（福島県南相馬市）
内容：企業展示、体験企画、ステージ企画など



写真1 ロボットによる競技



写真2 シミュレータを使用した競技



写真3 参加型ステージプログラム



写真4 ステージでの発表

研究開発項目 2「ものづくり競技手法の研究開発」

【ものづくりカテゴリー】

ものづくりカテゴリーでは、様々に変化する生産要求の現場の課題を解決するため、迅速かつ無駄なくスリムに対応できる製品組立システムを参加チームが構築し、「未来のものづくり」の実現を目指した。

製品組立チャレンジでは、製品組み立ての要素技術を盛り込んだタスクボードを完成させる「タスクボードタスク」、19種類・計33個の様々な部品を使用するベルトドライブユニットの製品を組み立てる「アセンブリタスク」の2つの競技設計を開発した。

2018年のプレ大会での成果をもとに、さらに高度な課題を設定し、2021年の本大会を行った。会場では、競技本番で使う部品が前日に渡され、迅速でスリムな生産システムを構築が求められた。刻一刻と変わる生産要求に対し、最少の修正で応える必要があり、変化に対応する柔軟さが求められる競技を開発した。また、無人搬送車（AGV）を導入し、実際の現場を意識して組立て製品を搬送した。

本番では、空間配置や把持位置などのロボットの動きを決める領域にも深層学習が広がり、ロボットがより賢く、より雑多な環境に適応した。本大会では、4K ビジョンハンドカメラのフィードバック制御や電気空圧接続ハンドとツール、3D プリンター治具、画像認識のAI活用など新しいアプローチが作り出された。

同時に、競技参加者の技術力も向上し、ロボットSlurの育成にもつながった。競技を通じてシステム構築のプロセスやチームワークを見ることで、各チームの技を「見える化」することも出来た。また専門員による安全講習やルール化によりさらに製造現場に適応できる競技会となった。

一品でも迅速に無駄なく作ることで、環境負荷を抑えつつ、市場ニーズに素早く応えることが出来る独自の競技手法を開発した。



写真1 設計したタスクボード

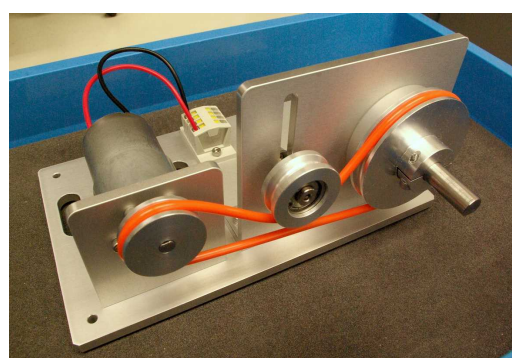


写真2 アセンブリ組立てタスク



写真3 タスクボード競技



写真4 安全対策を行った競技エリア

研究開発項目 3 「サービス競技手法の研究開発」

【サービスカテゴリー】

サービスカテゴリーの「パートナーロボットチャレンジ (リアルスペース)」は、「人とロボットの協調」をコンセプトに、子供や老人と暮らす家庭において、人とロボットが助け合い、豊かな暮らしの実現を目指すための競技手法を開発した。

競技では、同一のプラットフォームとしてトヨタ自動車の「HSR」を使用し、「速さ (Speed)」、「滑らかさ (Smooth/Smart)」、「安定 (Stable)」、「安全 (Safe)」の 4S をテーマに技術を競い合った。

2018 年のプレ大会の成果をもとに、2021 年の本大会では、各チームが HSR の扱いに慣れ、どのようにタスクをクリアするか、チームごとに個性が出た。また同一の機種を使用することにより、3 年間かけたソフトウェアの進化が生まれた。

本大会では、ロボットが停止する時間が各段に減り、動きも滑らかになり、AI による深層学習 (ディープラーニング) が進化した。物体認識の精度が向上し、ロボットの動作合成技術が進展した。これにより、腕や足だけでなく、細々とした動きを重ね合わせる動作を実現した。

今回は人間がいらない環境下で散乱するモノを掴み、片付ける動作を行ったが、社会実装するには、周囲の動きや状況に対応する必要がある。またロボットによる自己修復などのセルフケアについても今後の技術向上が求められる。

一方、コロナ禍において、家庭用ロボットの必要性とニーズが明確になり、その機能は多岐に渡る。本競技では、家庭用ロボットの社会実装に向けて、評価フィールドや評価法をルールとして開発し、性能評価に資する標準環境を設計した。

また、競技会では、トーナメント制を採用し、2 チームが競うことで技術の比較が可能になり、参加者やユーザーとなる技術者にも明確に情報を届けることが出来た。結果として、参加者と企業とのオープンイノベーションが加速し、家庭用ロボットが環境変化に対応するための新たな競技手法を開発した。



写真 1 競技会の模様



写真 2 競技エリアでの調整



写真 3 整頓競技



写真 4 対戦による解説モニタ

サービスカテゴリーの「フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ (FCSC)」は、コンビニにおける各種業務の自動化を目的とした競技手法を開発した。

「陳列・廃棄タスク」では、商品陳列や賞味期限切れの商品をロボットシステムで回収する。対象となる商品はおにぎりやサンドイッチ、弁当など、見た目の形状や柔らかさの異なる商品を選択した。「接客タスク」では、ロボット技術が導入されることにより実現可能となる新たなサービスを競技者が自由に設定し、競技エリア全体を使用してデモンストレーションを行った。

「トイレ清掃タスク」は、便器や床に付着した模擬尿と床に散乱したゴミを清掃する競技を設計した。いずれのタスクにおいても、ロボット技術が導入される未来のコンビニを想定し、参加者はマーカーや独自の陳列棚などを用いて各自のロボットシステムに適した「ロボットフレンドリー」な店舗環境を構築できる競技設計とした。

プレ大会の結果を受けて、2021年の本大会では、競技フィールドであるコンビニをデザインコンペにより決定、コンビニと公園を一体化して地域コミュニティのハブになるものを採用した。これにより、接客タスクにおいて現在のコンビニには無い、新たなサービスの提案を促す設計とした。

また、人間の往来が多い場所でロボットが活躍するためには、イレギュラーな要素が起るため、FCSCでは、作業中に人が近づいた場合、安全に作業を止めて退避し、人が離れてから再開するという機能が求められた。競技会では、レギュラー業務をロボットに任せて、多業務を別のロボットが補う、イレギュラーが起きにくい設備を作るなど新たなロボットシステムも開発された。

コンビニ業界からは、特にトイレ清掃のニーズが強い。コンビニでは清掃した後の清潔さを定量評価することが難しいが、ロボットは自分の動作で綺麗になったか計測し判断しながら動作を調整し、やり直すことが出来る。この評価技術について確立することが出来れば、世界展開の可能性があり、デファクト・スタンダードを勝ち得ることが出来る。FCSCでは、未来のコンビニエンスストアでのロボット活用に向けた新たな競技手法を開発した。



写真5 ロボットによる陳列



写真6 未来のコンビニ競技フィールド



写真7 陳列タスク



写真8 トイレ清掃タスク

研究開発項目 4「ジュニア競技手法の研究開発」

【ジュニアカテゴリー】

次世を担うロボット人材の育成を目的として、19歳以下が参加するジュニアカテゴリーでは、「スクールロボットチャレンジ」と「ホームロボットミニ/リアルチャレンジ」の競技手法の開発を行った。

2021年の本大会では、コロナ禍で世界から中高生などがリモート参加した。学校で働くヒューマノイドロボットと家で働くロボットをテーマに設定。「スクールロボットチャレンジ」では、ソフトバンクの「ペッパー」を標準機として採用した。

すべてのチームがペッパーを使うため、生徒たちが作成したプログラムをアップロードすれば公平に競える点が特徴。本大会では、リモート競技の特性を活かして、異なる国のチームによるグローバルコラボレーションによる混成チームが競技を行った。

準備から発表までの2カ月、全ての過程でオフラインと異なるアプローチが求められた。日本人選手は海外選手との表現力の差に気づかされ、おのおの課題と向き合い、アイデアを形にした。これが疑似的な海外留学と課題解決型学習(PBL)を掛け合わせた体験になった。スクールロボット競技に出場したイタリアと日本のチームは、ヒト型ロボット「ペッパー」が図書館員を担う課題に挑んだ。オンラインで効果的な発表方法を模索し、言葉の壁を越えてより良い発表を目指し、競技課題を克服した。

ホームロボット競技ではミニサイズとリアルサイズの2種目が用意された。盲導犬のように障害物を避けるよう人を案内する。実機が手元にあるホーム競技では、ロボットの動きを伝えるためのカメラワーク、説得力あるプレゼンテーションが必要になる。1日目の指摘を受け、選手たちは最終デモに向け試行錯誤を重ねて、各チームともに大きく進歩した。

今大会はオンライン教育の必要性が高まる中、競技会を通してロボットを活用した新たな教育の可能性を示した。また、人とロボットが協働する社会に向けて、新しい競技手法を開発し、次世代の人材育成に大きく貢献することが出来た。



写真1 リモート参加の様子



写真2 競技の配信



写真3 スクール競技



写真4 遠隔での競技参加

研究開発項目 5 「災害競技手法の研究開発」

【インフラ・災害対応カテゴリ】

インフラ・災害対応カテゴリでは、「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」「災害対応標準性能評価チャレンジ」の3つの競技を開発した。

「プラント災害予防チャレンジ」では、数種類のインフラ点検として、配管結合部の緩み、圧力計の読み取り、バルブ操作などを競技設計した。これは石油プラントで設備を維持する作業員の負担軽減と事故の未然防止を目的としている。

2021年の本大会では、福島ロボットテストフィールドのプラントを使用し、ロボットがプラントを点検中に爆発事故が起き、行方不明になった作業員を探すという災害現場を想定して競技設計を行った。

優勝したチームは、クローラー型と特殊タイヤ型、ドローンの3機体制を敷き、空中と地上から情報収集できるロボットシステムを開発した。作業が点検から被災者捜索に切り替わっても連携を柔軟に組み直せるロボットの構成が生まれた。特にドローンは、らせん階段や高い位置のターゲットなど、地上走行ロボではアクセスしにくい箇所の点検に有効であることが成果として上げられる。

競技では、配管やダクトの狭い空間に腕を伸ばして点検を行うため、アームの機構が重要になった。平行グリッパにベルト状の高摩擦材を組み合わせたハンドを採用し、固いバルブを回す工夫など新たな技術も開発された。

「プラント災害予防チャレンジ」では、日常点検業務で使用するロボットを災害対応に使うための開発の役割も担っている。仮に爆発事故が発生した場合、設置型のセンサなどは壊れてしまうが、ロボットであれば、動くIoTとして事故の初動対応も安全に素早く行うことが出来る。また、競技会での成果をデータフォーマットとして積み上げることで、プラント点検におけるロボット活用の標準化が可能となる。

既に確立されたインフラ保守市場とこれから成長する災害対応ロボットの市場を、競技会を通して結び付けたことは、競技手法の研究開発としての実績である。



写真1 ドローンとの連携による点検



写真2 プラント点検の競技模様



写真3 狭い空間でのバルブ操作



写真4 競技配信

「トンネル事故災害対応・復旧チャレンジ」は、トンネル災害に対応する競技として設計。トンネル災害の予防点検、緊急時の情報収集、対応などを仮想空間で行うシミュレータを使用した世界初の競技会となる。現実の災害対応で求められている作業をモデルとした障害の復旧を競技に設定した。

はじめに狭く暗い災害現場で車内に人が残されていないか調査する。要救助者を発見したら車両のドアを破り救出する。ドアを破るにはスプレッターという工具を使う必要がある。遠隔操作だと難しく、負傷した救助者を運び出す際には、細心の注意を払う必要がある。他にも動線確保のためのがれきの片付けや消火ホースを使った放水、トンネル設備の異常点検を競技化した。一連の競技をたった2人で行うルールとした。複雑で困難な救助作業を少人数で安全に遂行できると示せば、災害対応ロボを運用する制度設計につなげる。ロボット開発では、シミュレーションの比重が増しており、研究開発の道具としても、ロボット競技会の運営においてもシミュレーションの活用が広がっている。

シミュレーションのメリットは、実機競技に比べ参加のハードルが低い。飛行ロボット（ドローン）や多脚ロボット、クローラー式ロボットなど多くの機体を投入して探索技術を競う際に、実機を用意しなくて済む。災害現場を模した広大な競技フィールドも用意できる。実際に DARPA の競技会では、シミュレーション競技で実機競技の10倍近い得点をたたき出していることも参考にした。

本競技で優勝したチームは、大学とベンチャー企業の混合チームであり、通常業務では、建設機械などを遠隔化するシミュレーション技術を開発していた。特にコロナ禍であり、遠隔で協力してプログラミングを開発し、本番の会場で初めて会うメンバーもいた。競技の特性を活かして、各チームともにポストコロナを見据えた臨機応変な開発手法も生まれた。

シミュレーションがロボット開発とビジネスを両立させるキーパーツになり、競技会の競技データを開発にフィードバックすればプラットフォームに育つ可能性がある。本競技手法の開発の成果である。



写真5 シミュレータ競技



写真6 競技配信

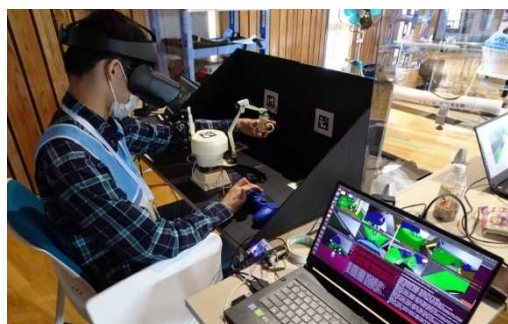


写真7 チームによる操縦



写真8 チームによる競技

「災害対応標準性能評価チャレンジ (STM)」は、ロボットの標準性能を評価する競技手法を開発した。移動能力やセンシング能力、情報収集能力、無線通信能力、遠隔操作性能、現場展開能力、耐久性と、個々の性能の評価となる。配管がれきを模擬したパイプをかき分けて進む課題や、不安定な足場での障害物除去など5課題を設定した。

評価項目を細分化したのは、災害現場によって状況が全く異なるため。競技でプラント災害とトンネル災害を再現しても、全く同じ災害は二度と起こりえない。救助できた、できなかったと成否だけを見ていても意味はない。次に起こるかもしれない災害に備えて、ロボットの基本性能を標準的な方法で評価してカタログ化する必要がある、さまざまな機体の基本性能が可視化されていれば、災害現場に応じて機体を選べる。上位に入ったチームは、11社の共同でクローラーロボットを開発した。4本のクローラーが回転し、アームが伸縮して多様な用途に対応する。アームに設置するセンサはスイッチ、ボタンだけで精密操作できる。

本大会に向けて、クローラーベルト、ボディーサイズ、ハンドなどを改造し、地元の高校の生徒2人が遠隔操作した。決勝に残った国内3チームの一つとして障害のある階段などの移動や、空かない部屋の周囲移動、斜面に設置したメーター、バルブの数値読み取り、バルブの開閉作業などを30分で正確にこなした。

STM 競技で基礎力を評価して、プラント災害競技やトンネル事故災害競技で総合力を評価する。この3つの競技設計がロボットの進歩を見える化するベンチマークになる。競技会でロボットとチームの姿を見せることで、企業は現場への実践導入が行いやすい。

企業にとっても日常業務の中に、災害時でもロボットが力を発揮する仕組みを埋め込んでいく必要がある。現在、インフラ点検などロボット活用のニーズが増えており、生産性向上と災害への備えは両立できることが分かった。インフラ・災害対応カテゴリーの3競技の競技手法の開発は、世界においてもデファクト・スタンダードになり得る成果となった。

米国 NIST では、STM を用い災害対応ロボットの社会実装を推進しており、その一環としてロボット競技会 (ロボカップレスキュー実機リーグ) を実施している。WRS の STM チャレンジでは NIST の取り組みを参考にして連携を図っている。STM チャレンジの Negotiate タスクが 2022 年 6 月の ASTM E54.09 Robotics 委員会で NIST より規格化の対象として議題に挙げられ、WRS の成果の標準化への取組みを進めることが出来た。



写真 9 競技模様



写真 10 フィールド全景



写真 11 バルブ開閉

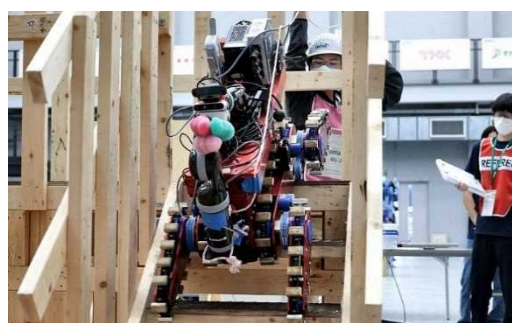


写真 12 階段移動の競技模様

WRS 本大会の結果

WRS 愛知大会

■ものづくりカテゴリー

【現地参加】

- 1位（経済産業大臣賞）： ROBO-SUPPO plus
- 2位（NEDO 理事長賞）： Garage Robotics
- 3位（WRS 実行委員長賞）： O2AC

【遠隔参加部門】

特別賞： YH-CASIA

【学会賞】

- 日本ロボット学会特別賞： JAKS
- 人工知能学会賞： O2AC
- 日本機械学会会長賞： Garage Robotics
- 計測自動制御学会賞： ROBO-SUPPO plus



写真1 ROBO-SUPPO plus

■サービスカテゴリー

パートナーロボットチャレンジ

【現地参加】

- 1位（経済産業大臣賞）： Hibikino-Musashi@Home
- 2位（NEDO 理事長賞）： Team Weblab
- 3位（WRS 実行委員長賞）： OIT-RITS

【遠隔参加部門】

- 1位： TeamTidyboy
- 2位： EPANer
- 3位： Team Northeastern

【学会賞】

- 日本ロボット学会特別賞： eR@sers
- 人工知能学会賞： AISL-TUT



写真2 Hibikino-Musashi@Home

■フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ

【現地参加】

<総合優勝>

（経済産業大臣賞）： NAIST-RITS-Panasonic

<陳列・廃棄タスク>

- 1位（NEDO 理事長賞）： NAIST-RITS-Panasonic
- 2位（WRS 実行委員長賞）： TAK
- 3位（WRS 実行委員長賞）： ChiefScientistOffice

<接客タスク>

- 1位（NEDO 理事長賞）： HARChuo
- 2位（WRS 実行委員長賞）： TAK
- 3位（WRS 実行委員長賞）： onwai

<清掃タスク>

- 1位（NEDO 理事長賞）： NAIST-RITS-Panasonic
- 2位（WRS 実行委員長賞）： TeaM Ususama
- 3位（WRS 実行委員長賞）： MASARU Season 4

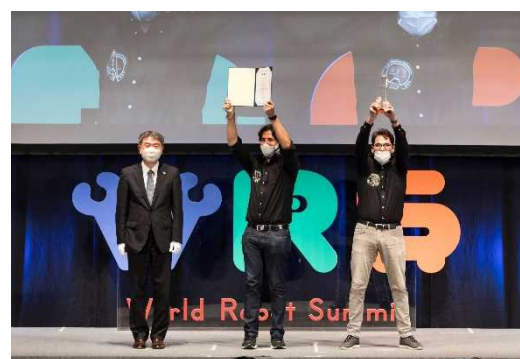


写真3 NAIST-RITS-Panasonic

【遠隔参加部門】

ベストトライアル賞 : U.T.T.

【学会賞】

日本ロボット学会特別賞 : TeaM Ususama

計測自動制御学会賞 : HARChuo

■ジュニアカテゴリー

※ジュニアカテゴリーはオンライン競技で実施

＜スクールロボットチャレンジ＞

1位（経済産業大臣賞）: Saku

2位（NEDO 理事長賞）: SAMAGRAM

3位（WRS 実行委員長賞）: Pacific Hou-0u

＜ホームロボットチャレンジ ミニサイズクラス＞

1位（経済産業大臣賞）:

Tamagawa Academy Science Club

2位（NEDO 理事長賞）: March

3位（WRS 実行委員長賞）: Sinag

＜ホームロボットチャレンジ リアルサイズクラス＞

1位（経済産業大臣賞）:

The essence of the grey region

2位（NEDO 理事長賞）: KIT Happy Robot

※ジュニアカテゴリーはオンライン競技のためスクリーンでライブ発表



写真4 Saku

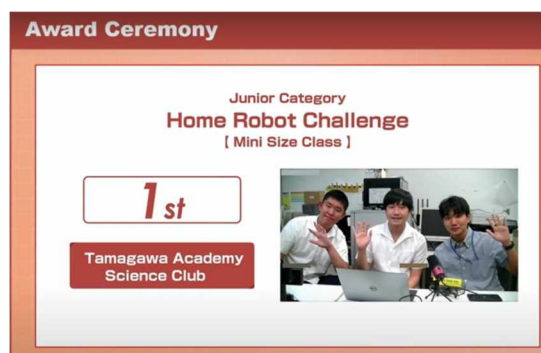


写真5 Tamagawa Academy Science Club

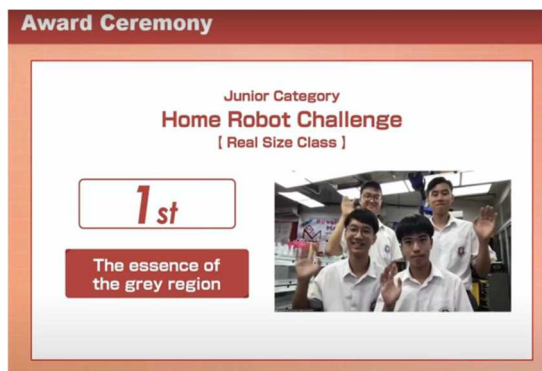


写真6 The essence of the grey region



写真7 表彰式会場

新たな展示手法の開発

WRSは、競技と展示の競演プログラムであり、企業・団体、自治体などによる最新のロボット技術を展示紹介するとともに、国内外の有識者やスポンサー企業によるステージプログラムを実施するものである。一方で、2020年の新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けて、リアル会場での実施が難しくなることも想定し、ハイブリッド開催に向けて独自のバーチャルシステムの開発を行った。

「WRS VIRTUL」は、PCやスマートフォンを活用して、3Dバーチャル空間上で自分のアバターロボットを操作し、WRCの競技のLIVE視聴や競技体験ができる。WREワールドでは、スポンサー企業や関連団体の最新のロボットや技術の資料をダウンロードできるほか、ステージプログラムのLIVE参加も可能となるシステムを構築した。

2021年の愛知大会では、当該期間中に愛知県に緊急事態宣言が発出されたことを受け、新型コロナウイルスの感染防止の観点から、リアル展示と一般の来場は取りやめて、「WRS VIRTUL」としてオンラインでの展示と競技配信を行った。

愛知大会の会場では、ロボットによる遠隔参加システムも採用され、複数のテレプレゼンスロボットが会場を回り、リアルタイムで各会場の様子を観戦した。

コロナ禍で海外からの来場も難しい中、24時間自由に参加ができて、アバターロボットを操作し、テレプレゼンスロボットを通して参加する新しいイベントの形を示すものとなった。

参加者は、愛知大会と福島大会の9月から10月の2か月で、約7万人の参加登録があり、PV数は75万を超えた。また英語対応を行ったため、海外からの参加者も1万人を超えて、国際的にもWRSを周知することが出来た。

WRSでは、競技会と展示会、ステージプログラムを同時に行う初めてのバーチャルシステムによる新たな展示手法が開発された。このプラットフォームを活用して、グローバルなロボットコミュニティの形成が可能となる。



写真1 WRS VIRTULのエントランス



写真2 バーチャル展示会場



写真3 競技体験コンテンツ



写真4 遠隔参加システム

WRS2020 のスポンサー

WRS2020 では、競技参加者の支援や賞金の授与を行うことを目的として、WRS2018 のプレ大会に続き、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、WRS2018 を超える 35 社の協賛があった。

グローバルパートナー



プラチナパートナー



ゴールドパートナー



シルバーパートナー



パートナー



図 2-6-1 本大会のスポンサー

WRS 競技大会の継続実施の検討および成果普及と人材育成(2022)

WRS 競技大会の継続実施に向けて、ロボット関連企業、ユーザー企業を含めてヒアリングを行い、ロボットの社会実装と Sler の人材育成を目指した競技会の継続の取組に関する課題抽出や対策案を検討した。特に福島ロボットテストフィールドを使用するインフラ・災害対応カテゴリーの競技については、プラントメーカー、関係団体など幅広い関係者にて検討を実施し、次回の WRS 開催に向けてロードマップ案を策定した。

また、国際標準化に対しては、STM チャレンジの Negotiate タスクが 2022 年 6 月の ASTM E54.09 Robotics 委員会で NIST より規格化の対象として議題に挙げられ、WRS の成果の国際標準化へ着実に前進させられた。

WRS 起点のコミュニティ形成の取組として、Sler やユーザー、競技参加者を交えた成果普及フォーラムの実施や、展示会や国際会議において、競技者、委員、来場者等と幅広い交流を実施したことで、ステークホルダーの拡大が進展し、ロボットの社会実装を加速するための WRS コミュニティの基礎を構築できた。これにより、産業界からのニーズに基づく新規競技の設計や、自治体や関連団体の主体的な関与による産業振興への発展など、WRS を中心とした波及効果の高まりが見込まれる。

人材育成としては、ドローンを使用した小学生の体験プログラムを行い、将来の WRS ステークホルダーとなるロボット関係技術者の育成に取組、技術者育成の基礎を築くことができた。

(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	1		7	10	11	3	32
学会発表・シンポジウム講演等	2	12	7	2	25		48
展示会出展			7	1	3	6	17
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載		717			444	6	1167
ニュースリリース・プレスリリース		1	1	2	1		5

論文

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	横小路, 横井		World Robot Summit 製品組立チャレンジ	計測と制御, Vol. 56,		2017
2	横小路, 河井, 柴田, 相山, 琴坂, 植村, 野田, 土橋, 阪口, 横井		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		2019
3	横小路 泰義, 河井 良浩, 柴田 瑞穂, 相山 康道, 琴坂 信哉, 植村 涉, 野田 哲男, 土橋 宏規, 阪口 健, 横井 一仁		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		2019
4	Yasuyoshi Yokokohji, Yoshihiro Kawai, Mizuho Shibata, Yasumichi Aiyama, Shinya Kotosaka, Wataru Uemura, Akio Noda, Hiroki Dobashi, Takeshi Sakaguchi and Kazuhito Yokoi		Assembly Challenge: a robot competition of the Industrial Robotics Category, World Robot Summit? summary of the pre-competition in 2018	Advanced Robotics		2019
5	横小路 泰義, 野田 哲男		205X年の日本のある製造現場の風景	ステム制御情報学会会誌 システム/制御/情報		2019
6	野田 哲男		ロボットシステムインテグレーションのレベル分類とWRSにおける安全確保の取組み	機械設計		2020
7	Joe Falco, Kenneth Kimble, Karl Van Wyk, Elena Messina, Yu		enchmarking Protocols for Evaluating Small Parts Robotic Assembly	EEE Robotics and Automation Letters		2020

	Sun, Mizuho Shibata, Wataru Uemura, Yasuyoshi Yokokohji		Systems”		
8	Mizuho Shibata, Hiroki Dobashi, Wataru Uemura, Shinya Kotosaka, Yasumichi Aiyama, Takeshi Sakaguchi, Yoshihiro Kawai, Akio Noda, Kazuhito Yokoi & Yasuyoshi Yokokohji		Task-board task for assembling a belt drive unit,	Advanced Robotics	2020
9	岡田 浩之、稲邑 哲 也、和田 一義		World Robot Summit サ ービスカテゴリーは何を 競ったのか”	日本ロボット学 会誌、37 巻、3 号	2019
10	Jesus Savage, David A. Rosenblueth ,Mauric io Matamoros, Marco Negrete, Luis Contreras, Julio Cruz, Reynaldo Martell,Hugo Estrada, Hiroyuki Okada		Semantic reasoning in service robots using expert systems	Robotics and Autonomous Systems, Volume 114,	2019
11	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Hiroki Igarashi, Yoshikazu Ohtsubo, Noritaka Sato, Masaru Shimizu, Soichiro Suzuki, Tomoichi Takahashi, Shin' ichiro Nakaoka, Mika Murata, Mitsuru Takahashi, Yumi Morita and Elena Mary Rooney,		The World Robot Summit Disaster Robotics Category - Achievements of the 2018 Preliminary Competition,	Advanced Robotics,	2019
12	横小路泰義, 河井良 浩, 柴田瑞穂, 相山康 道, 琴坂信哉, 植村 涉, 野田哲男, 土橋宏		world Robot Summit 2020 ものづくりカテゴ リー競技「製品組立チャ レンジ」の概要	第 64 回システ ム制御情報学会 研究発表講演会 論文集	2020

	規, 阪口 健, 前田雄介, 横井一仁				
13	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植村渉, 横小路泰義		ベルトドライブユニット組立のためのタスクボードの開発	第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集	2020
14	西村和樹, 土橋宏規		平行グリッパによる個体差に依存しない自動組付けの実現に向けたタイミングベルトの形状測定	第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集	2020
15	野田哲男		産業用ロボットの新しい価値基準の創生	第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集	2020
16	K. Tatemura and H. Dobashi: Strategy for Roller Chain Assembly with Parallel Jaw Gripper		The 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation	ICRA 2020	2020
17	野田哲男, 相山康道, 河井良浩		World Robot Summit (WRS)における安全に関する取り組み, システム/制御/情報	システム制御情報学会誌	2020
18	野田哲男		日本機械学会, 機械工学年鑑 17.3 産業分野	日本機械学会	2020
19	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植村渉, 横小路泰義		RS2018 競技用タスクボードを用いた複数ロボットアームによる組立作業の分析	システム制御情報学会論文誌, Vol. 34	2021
20	村川涼, 土橋宏規		丸ベルトのプリーへの組付け作業における難度要素の検討, 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	(SI2021) 講演論文集	2021
21	Yuka Kanaya and Hiroki Dobashi		Case Study on a Grasping Strategy of a Cylindrical Part along Inner Sides of a Parts Tray Using a Parallel Stick Fingered Hand	roc. of the 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2022)	2022
22	K. Nishimura and H.		Robust assembly	Advanced	2022

	Dobashi		strategy of a timing belt in the belt drive unit against its shape uncertainty with a single parallel jaw gripper,	Robotics,		
23	横小路泰義, ものづくり競技委員会(産総研ほか):		WRS2020 ものづくり競技の総括	第 22 回 公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
24	野田哲男, ものづくり競技委員会(産総研ほか)		WRS2020 ものづくり競技における安全衛生ルールは何をもたらしたか?,	22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
25	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植村渉, 横小路泰義		World Robot Summit 2020 ものづくりカテゴリー「タスクボード競技」の競技結果および分析,	第 22 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集		2021
26	琴坂信哉		国際ロボット競技会開催!	埼玉新聞		2021
27	琴坂信哉		特別寄稿 World Robot Summit 2020 製品組み立てチャレンジを終えて	FA ロボットシステムインテグレータ協会会報誌【JARSIA】		2022
28	Luis Contreras, Yosuke Matsusaka, Takashi Yamamoto, Hiroyuki Okada,		sDSPL - Towards a benchmark for general-purpose task evaluation in domestic service robots	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan		2021
29	Yosuke Matsusaka, Luis Contreras, Hiroyuki Okada, Yuka Iwanaga, Takashi		公平性と民主性を両立させた RoboCup 用競技シミュレーションシステムの開発	The 39-th Annual Conference of the Robotics		2021

	Yamamoto,			Society of Japan		
30	Arata Sakamaki, Luis Contreras, Yumiko Muto, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		ホームサービスロボットによる物体認識のためのアクティブセンシング戦略	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
31	Leo Miura, Yumiko Muto, Luis Contreras, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		パーソナルモビリティを活用した人とロボットの協調	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
32	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman filter	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium		2021

学会発表・シンポジウム講演

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	岡田、横小路、田所		2020年 World Robot Summitは何を競うのか？	日本ロボット学会学術講演会(RSJ2017)オープンフォーラムOF3, 東洋大学 川越キャンパス	2017
2	横小路他		World Robot Summit 製品組立チャレンジの競技デザイン	第18回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2017), 1D1-02, 仙台国際センター	2017
3	横小路		World Robot Summit ものづくり分野では何を競うのか？	龍谷大学セミナーハウス ともいき荘	2018
4	江口, 岡田		If You Give Students a Social Robot - World Robot Summit Pilot Study :	HRI 2018, McCormick Place, Chicago, IL, USA	2018
5	TAN, 水地, 萩原, 稲邑		Representation of Embodied Collaborative Behaviors of	HRI 2018, McCormick Place,	2018

			Embodied Collaborative Behaviors in Cyber-Physical Human-Robot Interaction with Immersive User Interfaces	Chicago, IL, USA	
6	田所, 横小路, 木村, 河井, 和田		World Robot Summit について	第 23 回 ロボティクスシンポジウム (ONS1), 静岡県焼津市松風閣	2018
7	岡田, 田所, 横小路		2020 年 World Robot Summit は何を競うのか？,	第 36 回 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018) オープンフォーラム OF1, 中部大学 春日井キャンパス	2018
8	岡田		World Robot Summit パートナーロボットチャレンジで何を競うのか？」	第 36 回 日本ロボット学会学術講演会 RSJ2018	2018
9	Luis Contreras, Hiroki Yokoyama, Hiroyuki Okada,		Multimodal feedback for active robot-object interaction”	arXiv preprint arXiv	2018
10	岡田		「ロボットと暮らす未来の社会」	WRS2018 フォーラム	2018
11	横小路		横小路	第 19 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) 1D1-01, 大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
12	野田		WRS ものづくり競技 2018 のルール策定の背景について	第 19 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) 1D1-09, 大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
13	横小路, 野田		WRS (World Robot Summit) ものづくり競技ランチョンセミナー	第 19 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2018), 大阪工業大学 梅田キャンパス	2018
14	横小路		World Robotics Summit (WRS) 2018 製品組み立てチャレンジの結果と	計測自動制御学会 システムインテグレ	2018

			WRS2020 へ向けての課題	ーション部門 マニ ピュレーション部会 マニピュレーション 冬の学校, 大阪工業 大学 梅田キャンパ ス	
15	横小路		WRS ものづくりカテゴリーでは何を 競うのか?ー競技会を通しての次世 代生産システムの開発促進ー	第 173 回 産学交流 サロン「ひびきのサ ロン」, 北九州学術 研究都市 学術情報 センター	2019
16	横小路		コンペティションによる次世代生産 システムの開発促進と人材育成 ~ World Robot Challenge 2018 もの づくりカテゴリーを例として~	第 12 回 製造・物流 等分野ロボット導入 実証ワーキンググル ープ, あいちロボッ ト産業クラスター推 進協議会, 安保ホー ル	2019
17	琴坂、野田		World Robot Challenge 2018 の成果及びコンペ ィションを活かした人材育成・技術 力向上について	第 12 回 製造・物流 等分野ロボット導入 実証ワーキンググル ープ, あいちロボッ ト産業クラスター推 進協議会, 安保ホー ル	2019
18	横小路 泰義, 田所 諭, 岡田 浩之		020 年 World Robot Summit は何を競 うのか?, RSJ2019 オープンフォー ラム	早稲田大学	2019
19	河井 良浩		ロボットの知能化に向けた産総研の 取り組みについて, 中国地域産総研 技術セミナー	山口	2019
20	Yasuyoshi Yokokohji:		World Robot Summit (WRS) Assembly Challenge - Results of WRS 2018 and Outlook for WRS 2020	IROS 2019 Work Shop: autonomous assembly	2019
21	野田 哲男		WRS における安全確保の取り組みと 協働ロボットの安全設計例,	2019 国際ロボット 展併催セミナー 協 調安全 Safety2.0 が 拓く生産革新と協調 安全ロボットのシス テム構築術	2019
22	植村 渉		工場におけるオートメーション化を 目指したロボット競技大会の紹介	土木学会技 術推 進機構インフラマネ	2020

			RoboCup Industrial と World Robot Summit-ものづくりカテゴリー・製品組立チャレンジの現状とこれから、インフラメンテナンスにおけるロボット活用シンポジウム	ジメント新技術適用推進委員会	
23	鈴木 壮一郎、大金 一二、奥川 雅之、大坪 義一、木村 哲也、田所 諭		狭隘空間を想定した災害対応ロボット用 STM 競技タスクの開発 -World Robot Summit インフラ災害・対応カテゴリープレ大会の事例報告-	第 37 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2019AC1G1-06, 2019 ・大金 一二、 “「WRS インフラ・災害対応カテゴリー競技では何を競い、何を計るのか？」 レスキュー工学シンポジウム	2019
24	村川涼, 土橋宏規		ゴムベルトの組付け作業の難度評価方法	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
25	金谷由佳, 土橋宏規		平行スティック指汎用ハンドによる仕切りに接した円柱部品把持のための操作戦略	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
26	横小路 泰義		[講演] World Robot Summit「製品組立チャレンジ」～ロボット競技会を通じての次世代生産システム開発の促進～	本機械学会中国四国支部技術フォーラム 2020 ものづくり産業のためのロボット技術～これから先、何が可能で何が必要か～	2020
27	本佳典、永野光、田崎勇一、横小路 泰義		組立作業の直接教示と再生に適したマクロ・マイクロロボットの運動学シミュレーション環境の構築,	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
28	吉田知正、永野光、田崎勇一、横小路泰義		ロボットによる精密組立の事前検証のための シミュレーション手法に関する研究	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1G1-16, 福岡	2020
29	K. Tatemura and H. Dobashi		Study on Generality of Roller Chain Assembly Strategy with	2021 IEEE/SICE International	2021

			Parallel Jaw Gripper, Proc	Symposium on System Integration (SII 2021)	
30	M. Fukunishi, H. Dobashi and Y. Yokokohji:		Optimal Design of Rotational Chuck-type Hand with Three Parallel Stick Fingers for Assembly Tasks through Grasp Optimization	2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2021),	2021
31	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge	2021
32	Kenichi Ohara		Stock and Disposal Task	, Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
33	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task	orkshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
34	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
35	Daisuke Yamamoto,		Robot development in a short period of time by Team U.T.T.” , Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
36	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
37	Gustavo Garcia		Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
38	Tsuyoshi Tasaki,		Champion’ s Challenge for Future Convenience Store Robots” , Workshop on Future Convenience Store Challenge,	IEEE/SICE SII	2021
39	Gakushi Maruyama,		Introduction of Intelligent Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving,	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021

			and watching		
40	Masashi Seki,		Team TAK' s approach to the WRS FCSC”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
41	鈴木 壮一郎, 木村 哲也,		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot Summit インフラ・災害対応カテゴリでのケーススタディ,” 計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会	SI2020	2020
42	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki,		esults of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk,	2021
43	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman filter	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium,	2021
44	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
45	Kenichi Ohara,		Stock and Disposal Task” , Workshop on Future Convenience Store Challenge, I	EEE/SICE SII	2021
46	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
47	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021

48	Daisuke Yamamoto		Robot development in a short period of time by Team U.T.T.” , Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
49	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
50	Gustavo Garcia,		“Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
51	Tsuyoshi Tasaki,		“Champion’ s Challenge for Future Convenience Store Robots	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
52	Gakushi Maruyama		Introduction of Intelligent Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving, and watching -	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
53	Masashi Seki,		Team TAK’ s approach to the WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
54	鈴木 壮一郎, 木村 哲也		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot. Summit インフラ・災害対応カテゴリーでのケーススタディ	計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020	2020
55	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru. Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki, Tomoichi. Takahashi		Results of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk	2021

展示会出展

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日刊工	WRS 競技広報	ロボカップジュニア・ジャパンオープン 2019 和歌山	2019. 4. 28~29
2	日刊工	WRS 競技広報	ICRA モントリオール	2019. 5. 20~24
3	日刊工	WRS 競技広報	スマートファクトリーJapan 2019	2019. 6. 5~7
4	日刊工	WRS 競技広報	RoboCup2019 世界大会（シドニー、オーストラ リア）	2019. 7. 2~8
5	日刊工	WRS 競技広報	中小企業 新ものづくり・新サービス展 大阪	2019. 11. 6~8
6	日刊工	WRS 競技広報	中小企業 新ものづくり・新サービス展 東京	2019. 12. 4~6
7	日刊工	WRS 競技広報	2019 国際ロボット展	2019. 12. 18~21
8	日刊工	WRS 競技広報	ひろしま AI・IoT 進化的型ロボット展示会	2020. 12. 10~11
9	日刊工	WRS 競技広報	ロボテス EXPO 2021	2021. 3. 18~19
10	日刊工	WRS 成果報告	ロボカップアジアパシフィック 2021 あいち	2021. 11. 25~28
11	日刊工	WRS 成果報告	スマートファクトリーJapan 2021	2021. 12. 1~3
12	日刊工	WRS 成果報告	2022 国際ロボット展	2022. 3. 9~12
13	日刊工	WRS 成果報告	ロボテス EXPO 2022	2022. 9. 15~16
14	日刊工	WRS 成果報告	Japan Robot Week 2022	2022. 10. 19~21
15	日刊工	WRS 成果報告	IROS 京都	2022. 10. 24~26
16	日刊工	WRS 成果報告	高校生ロボットシステムインテグレーション 競技会	2022. 12. 10~11
17	日刊工	WRS 成果報告	防災産業展 2023	2023. 2. 1~3

新聞・雑誌などへの掲載（多数のため一部掲載）

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	日刊工	各種掲載	日刊工業新聞 掲 載期間 記事多数 につき一部 PU	2016. 1018~2022 . 1116
2		ワールドロボットサミット、来年プレ大会 ーロボ人材の裾野拡大に好機	日刊工業新聞 ピックアップ	2017. 0104
3		ワールドロボットサミット、経産省とNE DOが概要公表ーものづくりなど4競技	日刊工業新聞 ピックアップ	2017. 04. 11
4		ロボットの未来（上）カーネギーメロン大 学ワイタカー記念全学教授・金出武雄氏	日刊工業新聞 ピックアップ	2017. 09. 08
5		経産省とNEDO、ワールドロボットサミ ットの競技者募集を開始	日刊工業新聞 ピックアップ	2018. 01. 24
6		WRSきょう開幕 ロボの現在・未来を発 信	日刊工業新聞 ピックアップ	2018. 10. 17
7		WRS、来年開催へ準備着々	日刊工業新聞 ピックアップ	2019. 07. 30
8		WRS 2020、アンバサダーに俳優のデ	日刊工業新聞	2020. 02. 13

		ィーン・フジオカ氏	ピックアップ	
9		新型コロナ／「WRS2020」延期 コロナ影響、チーム集結難しく	日刊工業新聞 ピックアップ	2020.04.20
10		WRS、愛知・福島で今秋開催 経産省・NEDO	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.07.19
11		経産省など、WRSサイト開設 ロボ競技をライブ配信	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.09.02
12		WRS2020、きょう開幕 ロボ競技に多様なシーン	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.09.09
13		WRS福島大会、きょう開幕 「工場守れ」ロボ活躍	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.10.08
14		WRSアイデアコンテスト、山形大発VBと愛知工業大を表彰	日刊工業新聞 ピックアップ	2022.03.15

ニュースリリース・プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	WRS2018開催について	経済産業省	2018.9
2	WRSについて	経済産業省	2019.6
3	WRSアンバサダーにディーン・フジオカさんが就任します	経済産業省	2020.2
4	WRS2020の開催を延期します	経済産業省	2020.4
5	WRS2020を開催します	経済産業省	2021.7

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

本事業では2017年度より取組を継続したことにより、多くの成果が見えてきた。ロボット新戦略から提起されたWRSの実施において、複数のカテゴリーおよびチャレンジを推進し、世界トップレベルのエンジニア等が競う大会として結実している。今後のWRSを通して社会や暮らしの現場、また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だろう。

プレ大会から本大会の期間にかけては、プレ大会で考案されたチームの優れた手法を、本大会では複数の他チームが採用するなど、コンペティション形式によるイノベーション推進において有用な事例が蓄積された。

将来的には、WRSに参加して新たなロボット技術・システムを開発したベンチャーや企業、大学とユーザー企業やスポンサー企業が連携・提携するなどし、更なる技術開発が行われ、広い範囲で技術が活用されることが期待される。

また、プレ大会の成果を発信しながら本大会の実施につなげたことから、多くのステークホルダーのネットワークが形成された。特に産業界からの強い支持は、スポンサーとしてロボットや競技に関わる部材の提供という形で得ることができた点は大きな成果となった。これは競技会形式のオープンイノベーションによる社会実装や、産業界のリクルート活動において、WRSのメリットの大きさが国内でも浸透してきたことが理由と考えられる。

2022年度における継続開催の検討フェーズにおいても、ステークホルダーの拡大が進展しており、産業界からのニーズに基づく新規競技の設計や、自治体や関連団体の主体的な関与による産業振興への発展など、WRSを中心とした波及効果の高まりが見込まれる。

こうした動きを産官学のそれぞれの知見と財源を適切に連携し、マネジメントしながら

進める必要がある。一方で、成果普及に伴うステークホルダーの拡大が進んでいることから、全体のとりまとめ組織と体制を維持しつつ、2024年度、もしくは2025年度に向け継続することが期待される。

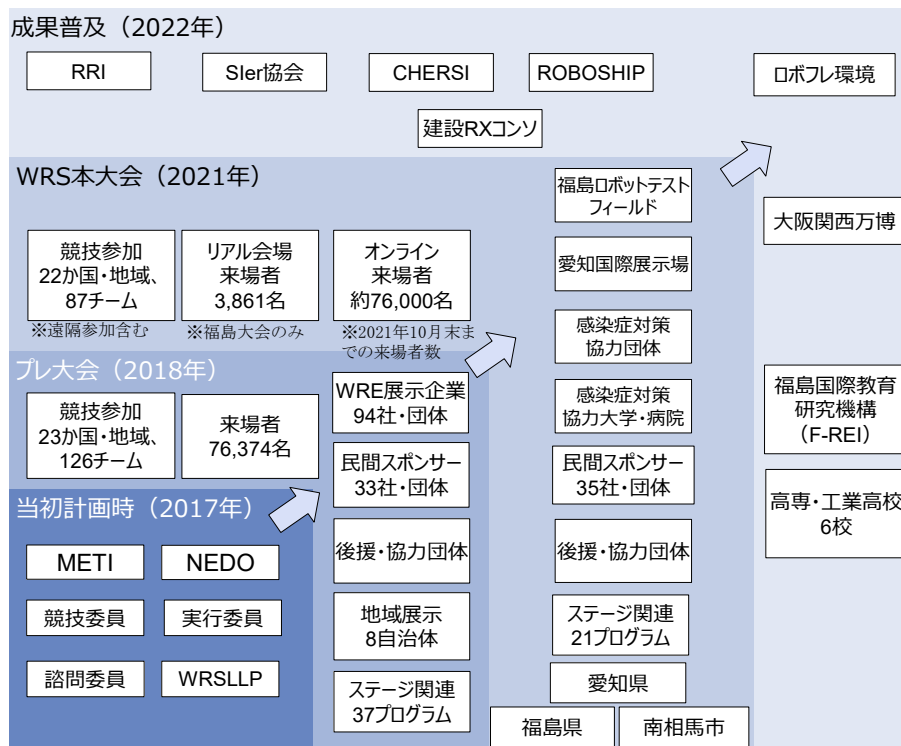


図 2-1 WRS コミュニティの拡大

実用化・事業化に向けた具体的取組

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事が重要であった。前項に記載のとおり、WRSのコミュニティは活動を進めるごとに拡大しつつあり、オープンイノベーションのプラットフォームとして発展継続していく素地が出来てきている。

そこで、2022年度ではWRSの継続について検討し、下記のとおり2025年度をマイルストーンとして想定した。当該年度には、世界から衆目を集める大阪・関西万博が開催される予定であり、WRS2025（仮称）として更なる具体的な取組を進める計画である。

2023年度には、2022年度に実施したWRS2020の効果検証と継続開催に向けた検討結果より、WRS2025に向けて設定する解決したい課題やありたい姿を整理し、具体的なスケジュールを設定する。さらに、新規競技を含む競技設計の開発と見直しを行い、それらを技術課題へ落とし込む競技設計を実施する。開催地や必要なステークホルダーとの調整も併せて実施することとなるが、WRS2025の具体的な情報を発信できるタイミングに合わせ、スポンサー募集を民間主体にて開始する形としたい。競技設計の状況に応じることとなるが、先行する競技についてはトライアルの実施やチーム募集も本格化する見込みである。

2024年度には、継続して競技設計を続けるとともに、各競技にてトライアルを重ねる。トライアルの内、プレ大会の位置づけで運営を含めた比較的本番に近い形での検証が必要となると考えている。このプレ大会では、WRS2025に向けた最終の課題抽出とともに、広く開催に向けた機運醸成とスポンサーの更なる募集活動の進展を計る目的として実施する。

マイルストーンとなる2025年度には、WRS2025を開催する。会場は複数に分かれることが想定されており、開催自治体や万博関係者等と調整のうえ、各会場のテーマも加味しながらWRS2025を実施する。

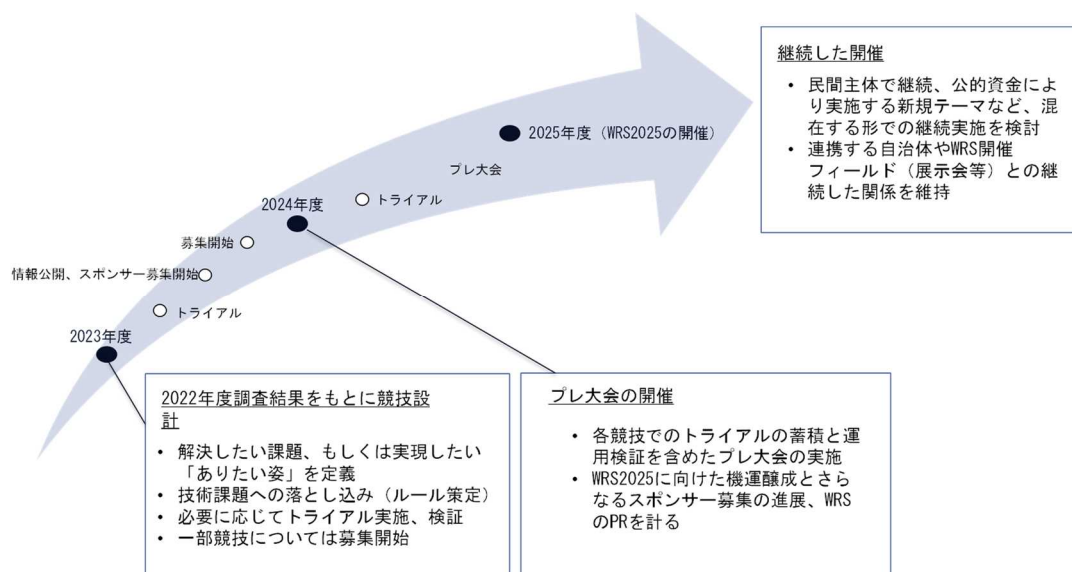


図 2-2 WRS2025 開催に向けたスケジュール想定

実用化・事業化の見通し

(1) 実用化・事業化に向けた課題

・実施競技の選定と競技設計

2022 年度の検討結果をもとに、産業界からの課題抽出と主体的な協力が得られる競技が優先的に検討されるべきと考える。そうした検討の結果、特に新規競技においては、競技設計に確保できる期間が短いことが想定される。

これについては、競技設計においても、ワークショップ形式を取り入れるなど、参加チームが準備に要する時間を短期にできるよう工夫するなど、2022 年度に実施した人材育成の視点を取り入れながら対応することが考えられる。こうした対応により、可能な限り競技設計の期間を確保し、かつロボット人材育成を図るなどの枠組みを検討したい。

・財源とスポンサー募集

国等の資金により担う部分と、WRS2020 の際の WRSLLP によるスポンサー募集による民間資金で担う部分の両輪により官民双方の事業推進が必要である。民側としては国際ロボット大会連盟 (WRSLLP) に代わる新たな受け皿の設計とともに、公的な面を持ち合わせた事業推進にあたり、適切な事務執行が可能な体制を整える必要がある。

この課題については、WRSLLP に関与した事業者を中心とし、必要な関係者を巻き込みながら、新たな資金の受け皿を検討することで、短期かつ効果的にスポンサー募集と運用ができるように取り組む計画とする。

・WRE 等の社会実装の姿を発信する事業の推進

WRS は WRC と WRE の複合的な大会として機能する仕組みである。そのため、競技以外にも WRE 関連のコンテンツ開発にも同時に注力する必要がある。この検討においては、2025 年度予定される大阪・関西万博との連携、社会実装が進むドローンやエアモビリティなど、ロボットを含めた幅広い未来像をテーマにすることが考えられる。

2022 年度より、すでに大阪・関西万博関係者との議論をスタートしており、今後もこうした活動を継続することで、WRS2025 開催における国際的な相乗効果の発揮を狙いたい。

(2) 波及効果

ロボットのユーザー企業やメーカーなど、WRS 実施においては産業界からの支援が必須であると考えられる。WRS の継続実施においては、これら産業界からの支援を継続して確保する必要があり、民間が主体的な課題の抽出と競技課題への組み入れることができるカテゴリーは、ニーズに合わせた競技開発が進展するといった波及効果は大きいと考える。

さらに、WRS2020 においてはコロナ禍の影響により、リアル参加のための制約事項が多数存在した。一方で、来日できなかった海外チームから次の WRS についての問い合わせ

せ等も存在し、国際的にも主要な競技会として認知が進んでいるものとする。WRS2025に向けては、海外チームのより積極的な呼び込みを通し、日本発の競技ルールを世界に向けて発信していく。こうした活動を行うことで、デファクト・スタンダードの確立にWRSは大きく寄与するであろう。

また、2.1に記載とおり、拡大するWRSコミュニティにより、社会実装を目的とした今までにない取組が広がっている。このコミュニティには、アカデミア、企業など広く関係者が入ることのできるオープンな場であり、この場を通して産業界からのニーズの吸い上げと、情報の集約が図れる仕組みとなっている。これをWRS2025に向けて発展させることで、日本発のイノベーションによる社会課題の解決を担うWRSとなることが期待される。

6.3.3. ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた連携・支援体制の構築に係る調査研究事業

(実施期間：1年間(2022年度))

(実施先：PwC株式会社)

(1) 事業の背景・意義(目的・概要)

ドローンは様々な分野における利活用の可能性を秘めており、諸外国では利活用分野の拡大のための技術開発、知財獲得及び標準化活動が活発におこなわれている。一方、わが国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにドローンの高度な利活用が期待されている。

そのため、諸外国と同様、我が国でも様々なユースケースでドローンの普及が進んでいる。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」では、2022年度には、有人地帯における補助者なし目視外飛行(レベル4)の実現が目標とされ、企業の技術開発や実証実験も活発化している。

既にそうした企業は、知財獲得や国際標準化にも関与しており、特にISO/TC20/SC16では、提案した複数の規格が審議されている。

今後、諸外国企業による知財獲得や様々な国際標準化機関における重要規格の審議が活発化する中、我が国としての知財獲得や国際標準化のための連携・支援体制の在り方が問われている。

本調査では、我が国ドローンの関連事業者が知財・国際標準を活用したグローバル展開を円滑に進められるよう、必要となる連携・支援体制を提言する。

<事業概要>

本事業について、以下にその内容を示す。

- ① 国内外の安全性等の証明手法(MoC; Means of Compliance)の調査と提言
 - ② 国際標準化動向と知財動向の調査および提言
 - ③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討
-
- ① 国内外の安全性等の証明手法(MoC; Means of Compliance)の調査と提言
 - ・調査概要
日本が欧米と調和すべき法規制と独自に設定すべき法規制等、識別ができるよう、現在・今後の法規制の動向を比較できるように整理する。また、法規制の決定に影響を与えている組織・標準化団体も明らかにすることで、継続的な情報収集や関与すべき標準化の対象を明確化することを目指す。
 - ・調査方法
文献調査を基本として実施するが、欧米の規制検討・標準化参加者へのヒアリングを実施し、法規制やMoCの策定状況・内容・体制を検証の上、最終化する。
 - ② 国際標準化動向と知財動向の調査および提言
 - (ア) 国際標準化動向
 - ・調査概要
国際標準化については、我が国の企業が国際標準化に参加する際、どの標準化機関・WGに参加すべきか、どの重要人物とコミュニケーションを取るべきかを

把握できるよう、Work Item 一覧だけではなく、標準化機関と検討領域の対応関係や、同一領域内での棲み分け・協力関係を整理する。

- ・調査方法

欧州や米国でドローン関連の国際標準として取りまとめられている資料を基に、各標準化機関（ISO、RTCA、ASTM、SAE、EUROCAE、JARUS）のウェブサイトでも最新動向を調査・更新する。また、知財動向の調査から明らかになる日本が強みを有していると考えられる技術領域についても調査を行う。なお、該当情報を公開資料で把握できない場合は、欧米の国際標準化参加者へヒアリングを実施して最終化する。

(イ) 知財動向

- ・調査概要

国全体としての強み・弱みや、各企業にとって競合・連携先となる企業を把握できるよう、領域別・国別の知財保有状況、主要企業の強み（知財を多く有する技術領域）・弱み、オープンソースを活用している領域を分析する。

- ・調査方法

ドローン関連知財の母集団を作成し、ドローンに関する技術領域を整理した後、国別の知財出願状況から、国レベルでの強みを有すると思われる技術領域を把握する。また、主要なオープンソース技術が存在する領域、および活用状況をまとめる。

③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討

- ・調査概要

企業が知財・国際標準化を活用したグローバル展開を進める上で、自社・業界で実施する事項、産官学が提供すべき支援などを踏まえ、それを実現する体制を策定する。

- ・調査方法

企業が知財・国際標準化を活用したグローバル展開を進める上で、自社・業界で実施する事項、政府から支援すべき事項を10社へのヒアリングで把握・検証し、日本として不足していると思われる取組を特定し、必要となる体制を検討する。ヒアリングにあたっては、欧米の事例を参照しながら企業ニーズを引き出せるよう、欧米における知財・国際標準化の支援体制を予め調査しておく。

また、検討結果については、知財・標準化を推進している複数の企業・団体が集まる場（ISO/TC20/SC16等）において説明し、社会実装に向けた意見のすり合わせを行う。

(2) 研究開発目標と根拠

本事業では、我が国ドローンの関連事業者が知財・国際標準を活用したグローバル展開を円滑に進めるうえで必要となる連携・支援体制を提言することを研究開発目標に設定した。

その根拠として、まず、ドローンは、社会課題の解決をはじめ、様々な分野で革命的な発展をもたらす可能性を秘めており、諸外国では、利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発、知財獲得及び標準化活動が活発に行われている。ドローンの高度利活用による産業創出や市場規模拡大が期待される中、海外のドローン関連事業者は、既に知

財獲得や国際標準化にも積極的に関与し、そうした企業が参加する欧米の標準化団体や国際標準化機関においては、一般公開されていないスコープの棲み分けもなされつつある。他方、知財動向に目を向けると、オープンソース技術も普及し始め、オープンソースをビジネスで活用した事例も見られる。

こうした海外の動向を受け、我が国のドローン関連事業者がグローバル展開を実施するために把握しておくべき情報は多様化・複雑化していると考えられる。各社は、事業戦略とあわせ、市場で優位なポジションの確立、また市場を拡大させるために知財・標準化動向を考慮しながらグローバル展開を進める必要があるが、両方の整合を取って戦略を検討できる企業は限られ、それを実行できている企業はさらに限定されると考えられる。

我が国におけるドローン関連の各事業者が、知財・標準化だけでなく、事業戦略と整合する形でグローバル展開できるようになるため、自社がすべきことと産官学で連携・協力すべきことを明確にし、企業・業界・政府の連携・支援体制を具体化していく必要性は高い。

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

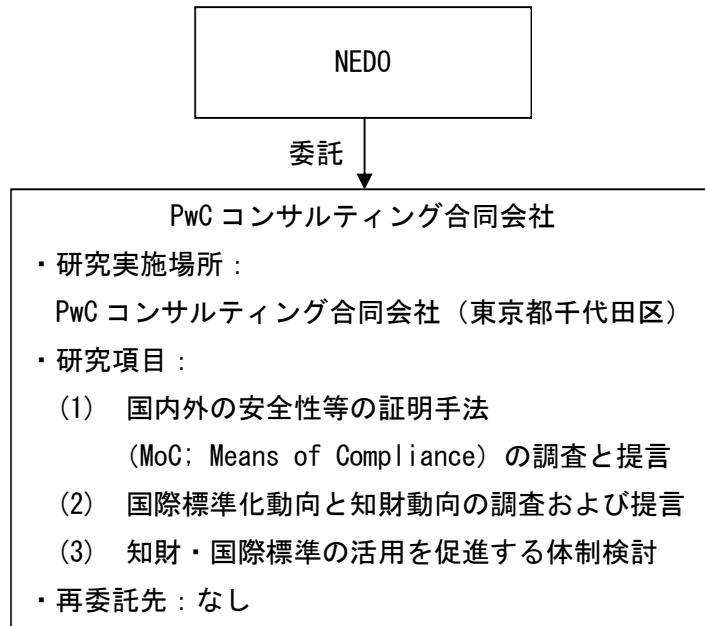
① 実施スケジュール

以下に示すスケジュールで実施する。

事業項目	2022 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
<p>① 国内外の安全性等の証明手法 (MoC: Means of Compliance) の調査と提言</p> <p>1. 情報整理</p> <p>2. 欧米の規制検討・標準化参加者へのヒアリング・検証</p>		→	→	
<p>② 国際標準化動向と知財動向の調査および提言</p> <p>[国際標準化動向の調査]</p> <p>[知財動向の調査]</p> <p>[オープンソース化の動向調査]</p>		→	→	
<p>③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討</p> <p>1. 欧米における支援体制の概要調査</p> <p>2. 国内関係組織へのヒアリング</p> <p>3. 知財・国際標準の活用を促進する体制の検討</p>			→	→
報告書作成				→

② 実施体制

以下に示す体制で調査を実施する。



(4) 研究開発の達成状況

・ 研究開発項目：

ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた連携・支援体制の構築に係る調査研究

最終目標	成果	達成度	備考
我が国ドローンの関連事業者が知財・国際標準を活用したグローバル展開を円滑に進められるよう、必要となる連携・支援体制を提言する。	知財から強みを有すると思われる領域の関連企業にヒアリングした結果、アジア展開を見据えた機体やデータ分析、エンドユーザーの業務システム等の連携、法規制整備・国際標準把握を実施する体制を提言した。	○	知財分析の結果、土木／建築、環境計測分野といったドローンのサービス・ソリューションに強みを有することが明らかとなった

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

・ 達成状況：

国内外の安全性等の証明手法 (MoC: Means of Compliance) の調査及び国際標準化動向と知財動向の調査を実施した。これらの結果を踏まえ、ドローンに関する知財・国際標準を活用したグローバル展開に向けた連携・支援体制案を作成し、企業へのヒアリングを通じて検証した。その結果、強みを持つ土木／建築、環境計測分野のサービスにおいて、産業間で連携してドローンを使った業務効率化を図り、アジアを中心に展開したいという意向を確認した。そのためにも企業へのインセンティブの具体化・標準的な連携の仕組み作り、段階的な許可承認要件の具体化・その検討のための法規制・国際標準の情報収集を両輪として推進する体制が必要となることを提言した。

(5) 成果と意義

① 国内外の安全性等の証明手法 (MoC; Means of Compliance) の調査

日本と欧米における、現在・今後の法規制・国内外の安全性等の証明手法 (MoC; Means of Compliance) の動向を比較しながら整理したことで、我が国のドローンメーカーが欧米の法規制・MoC と整合した製品を製造する際の情報提供や関与すべき標準化の対象を明確化することができた。

欧州の法規制・MoC (抜粋)

カテゴリー	クラス	機体の特性
Specifico	S01	<p>5相当</p> <ul style="list-style-type: none"> ED Decision 2022/002/R AMC4 Article 11 Rules for conducting an operational risk assessment PREDEFINED RISK ASSESSMENT PDRA-S01 Version 1.1 EDITION January 2022の表PDRA-S01.1に、PDRAの特性および条件が記述されている 1.8 UAは、ペイロードを含む最大離陸重量が25kg未満であること 1.8 UAは、最大寸法(例:翼幅、ローター直径/面積、マルチローターの場合のローター間最大距離)が3m未満であること 6.1 UAS運航者は、クラスC5と表示されたUASを使用し、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 16に定義された、そのクラスの要件に準拠すること 6.2 6.1の代替として、UAS運航者は、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 16の要件に準拠するUASを使用することができる。ただし、以下の要件を満たす必要はない 6.2.1 クラスC3 UASまたはクラスC5 UASの識別ラベルを貼付すること 6.2.2 非電動UASの使用によって生じる環境への影響を最小限に抑えることをUAS運航者が保証する場合、電力によってのみ駆動されること 6.2.3 UASの規則で要求されるように、EASAが発行し、適用される制限と義務を提供する通知を含むこと; および 6.2.4 個人製造UASの場合は、ユーザーマニュアルを含める。ただし、その運用と保守、および遠隔操縦者の訓練に関する情報は、飛行マニュアルに含めること 注1: UASは、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 6に準拠するアドオンを使用することにより、同規則Annex Part 4(9)に準拠することができる 注2: UAが規格ANSI/CTA-2063-A1「小型無人航空機システムのシリアル番号」に準拠した物理的なシリアル番号を付けない場合、および/または直接リモートIDの統合システムを持たない場合、同規則Annex Part 6に準拠したアドオンを使用することにより、同Regulation(EU)2019/945 Annex Part 4(9)項に準拠することができる 注3: UASが個人製造の場合、UAに最大離陸重量の識別表示がない場合がある。この場合、UAS運航者は、離陸前のUAの形態において、UAの最大離陸重量が25kgを超えないことを保証すること
	S02	<p>6相当</p> <ul style="list-style-type: none"> ED Decision 2022/002/R AMC4 Article 11 Rules for conducting an operational risk assessment PREDEFINED RISK ASSESSMENT PDRA-S01 Version 1.1 EDITION January 2022の表PDRA-S02.1に、PDRAの特性および条件が記述されている 1.7 UAは、ペイロードを含む最大離陸重量が25kg未満であること 1.8 UAは、最大寸法(例:翼幅、ローター直径/面積、マルチローターの場合のローター間最大距離)が3m未満であること 1.9 UAは、水平飛行における最大対地速度が50m/s以下であること 6.1 UAS運航者は、クラスC6と表示されたUASを使用し、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 17に定義された、そのクラスの要件に準拠すること 6.2 6.1の代替として、UAS運航者は、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 16の要件に準拠するUASを使用することができる。ただし、以下の要件を満たす必要はない 6.2.1 クラスC3またはクラスC6 UAS識別ラベルを貼付すること 6.2.2 非電動UASの使用によって生じる環境への影響を最小限に抑えることをUAS運航者が保証する場合、電力によってのみ駆動されること 6.2.3 UASの規則で要求されるように、EASAが発行し、適用される制限と義務を提供する通知を含むこと; および 6.2.4 個人製造UASの場合は、ユーザーマニュアルを含める。ただし、その運用と保守、および遠隔操縦者の訓練に関する情報は、飛行マニュアルに含めること 注1: UASは、Regulation(EU)2019/945 Annex Part 6に準拠するアドオンを使用することにより、同規則Annex Part 4(9)に準拠することができる 注2: UAが規格ANSI/CTA-2063-A1「小型無人航空機システムのシリアル番号」に準拠した物理的なシリアル番号を付けない場合、および/または直接リモートIDの統合システムを持たない場合、同規則Annex Part 6に準拠したアドオンを使用することにより、同Regulation(EU)2019/945 Annex Part 4(9)項に準拠することができる 注3: UASが個人製造の場合、UAに最大離陸重量の識別表示がない場合がある。この場合、UAS運航者は、離陸前のUAの形態において、UAの最大離陸重量が25kgを超えないことを保証すること

② 国際標準化動向と知財動向の調査

国際標準化動向については、欧米の標準化機関で検討されているドローン関連のワークアイテムや標準化機関同士の関係を整理したことで、今後我が国のドローン関連事業者が国際標準化活動に参加する際、アプローチすべき機関・WG を示すことができる。

知財動向については、欧米に出願している知財の中で特定ユースケースに絞った知財も分析するとともに、今後利用の増加が見込まれるオープンソースベースの活用事例も調査したことで、企業の実ビジネスでより参考となる情報を提供することができた。

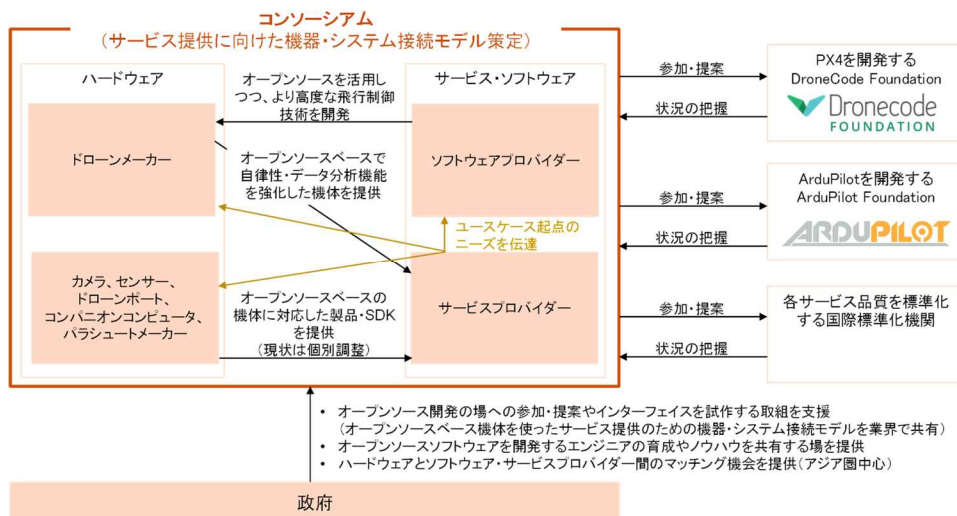
米国において強みを有する日本企業・領域

大項目	中項目	小項目	米国特許商標庁への特許出願数 ¹⁾	日本企業の出願数割合 ²⁾	日本企業の被引用数割合 ³⁾	米国に出願している日本企業のうち、特許数が3位までの企業	米国に出願している日本企業のうち、1社あたり引用数が3位までの企業	日本企業の被引用数割合1以上	日本企業の出願数割合6% ⁴⁾ 以上かつ被引用数割合1以上	
								参考) 台湾で出願している日本企業 ⁴⁾	参考) 台湾で引用されている日本企業 ⁴⁾	
サービス・ソリューション	サービス	運行管理・統合機能	飛行許可	12	92%	1.09	KDDI CORPORATION PRODRONE CO., LTD. RAKUTEN GROUP, INC.	KDDI CORPORATION PRODRONE CO., LTD.		
		ソリューション	プロバイダー	土木/建築	13	31%	1.54	Komatsu Ltd. THE UNIVERSITY OF TOKYO	Komatsu Ltd.	
			軍事	552	1%	2.17	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	SKYROBOT INC.	SKYROBOT INC.
機体・周辺機器	デバイス・動力源・検出技術	エンジン	ロケットエンジン	36	3%	1.08	EBARA CORPORATION	EBARA CORPORATION		
	素材	カーボン		288	3%	1.58	PRODRONE CO., LTD MURATA MANUFACTURING CO., LTD., FTEX, INCORPORATED NEJILAW INC. TORAY INDUSTRIES, INC SUBARU CORPORATION FTEX INCORPORATED	NEJILAW INC. PRODRONE CO., LTD. FTEX INCORPORATED		

③ 知財・国際標準の活用を促進する体制検討

欧米における支援体制と比較して日本に不足していると考えられる事項を把握するとともに、企業のニーズを把握・検証したことで、企業が知財・国際標準化を活用したグローバル展開を進める上で、自社・業界で実施する事項、産官学が提供すべき支援などを踏まえた連携・支援体制を提言することができた。

今後の連携・支援体制



(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	0	0	0	0	0	0	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	0	0	0	0	0	0
展示会出展	0	0	0	0	0	0	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	0	0	0	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	0	0	0	0

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
国内出願	0	0	0	0	0	0	0
外国出願	0	0	0	0	0	0	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

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。

2. 研究開発項目毎の実用化の見通しについて

2.1 実用化・事業化に向けた戦略

①【標準的研究開発テーマ】

ドローン関連事業者によるコンソーシアムの組成を政府や関連企業に働きかけ、日本が強みを有するドローン関連ソリューションの基本構造の標準化やオープンソース技術の開発、企業間のマッチングを促進する。ドローンを活用したサービスの関係者は、ハードウェア、ソフトウェア、サービスプロバイダーと多岐にわたり、互いに容易に連携できるようになれば提供できるサービスの幅も拡大する。特に、データ分析に関するソリューションは、知財面で我が国が強みを有する領域であるとともに、今後も成長が見込まれる。

なお、標準化を提案し、国際標準として成立した結果としては、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。

②【知的基盤・標準整備等を目標としているテーマ】

標準化する領域が我が国のドローン関連事業者にとっての競争領域とならないよう、関係者間の合意形成を図る。また、自社のみで技術者の人材育成や標準化を進めるリソースが十分でない事業者のビジネス支援もできるようノウハウを共有する場としてもコンソーシアムを活用する。

2.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

①【標準的研究開発テーマ】

まず、コンソーシアムが組成された場合、情報発信、他機関との連携、情報共有等、今後の取組促進に向けて必要となる各社の役割や仕組みを明確化する。その上で、標準化すべき技術領域を検討する。

②【知的基盤・標準整備等を目標としているテーマ】

欧米の法規制・MoCの動向を継続的に調査し、ドローン関連事業者に共有していくことで関係者間の認識の統一を図っていく。また、国際標準化動向についても、

規制に影響を与える標準化機関の検討状況や標準の重複・不足を把握しながら、標準化を検討する。

2.3 実用化・事業化の見通し

①【標準的研究開発テーマ】

海外においても同様の標準化検討の動きがある場合は、規格の乱立を避ける必要があるため、我が国のドローン関連事業者が参加するコンソーシアムと海外の事業者との連携を進める。海外の事業者も交えて標準化を検討することで、国際標準化機関における提案に向けて仲間づくりが可能となる。

②【知的基盤・標準整備等を目標としているテーマ】

コンソーシアムの運用状況を確認しながら、より効果的な活用方法を検討していく。

6.4. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導研究調査」

6.4.1 海外における空飛ぶクルマの実証事例調査：

空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査

(実施期間：1年間(2021年度))

(実施先：日本航空株式会社)

(1) 事業の背景・意義(目的・概要)

従来の「ロボット・ドローンの活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」では、ドローンの社会実装に向けた性能評価手法や運行管理システムの開発を行ってきた。その中で、垂直離着陸型無操縦者航空機(いわゆる「空飛ぶクルマ」)の開発が世界各国で進んでおり、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、渋滞緩和、カーボンニュートラルへの貢献など様々な課題への対応が期待されている。

本件では、日本においても空飛ぶクルマの社会実装に向けた取り組みを進めていくため、自動・自律飛行・運航管理等の検討が先行している海外事例を事前に調査するとともに、実装に必要な要素技術や事業モデルを調査・検討し、202年度以降の国家プロジェクト等に繋げていくことを目的とする。そして、効率的な空の移動を実現し、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、地方自治体の抱えるインフラ老朽化や都市部での交通渋滞削減等の社会課題解決に寄与することを目的に、「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」及び「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」を実施した。

「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」においては、海外における先行実証事例の調査を実施し、当該調査結果を基に、日本における実証構想(案)・計画(案)を策定した。

「海外の先行事例の調査」においては、日本における実証実験構想(案)・計画(案)の策定に必要なインプットとするために、海外における空飛ぶクルマに係る実証実験を先行事例として公開情報調査に加え、インタビューを実施した。その内、特に先行して取り組みが進む米国の National Campaign 及び仏国の Re. Invent Air Mobility に加え、空飛ぶクルマの社会実装における地方自治体の役割等を検討している欧州の UIC2 (UAM Initiative Cities Community) を中心に調査を実施した。

National Campaign は、空飛ぶクルマを NAS (National Airspace System) に統合するにあたり、既存規制とのギャップを特定し、各ステークホルダーが従うべきルール (FAA 規制・標準等) を策定することを目的として実施されている。実証実験のシナリオ・検証項目等を NASA が策定し、参加企業が当該シナリオを実行するという政府によるトップダウン的なアプローチを採っている。

Re. Invent Air Mobility は、2024年のパリ五輪において空飛ぶクルマのデモフライトを実施すること及び2030年までのパリ地域への UAM (空飛ぶクルマ及びドローン) 実装に向けエコシステムを形成することを目的に、Choose Paris Region 及び ADP、RATP 主導の下、実施されている。実証実験のシナリオ・検証項目等は参加企業により現在策定中であり、企業によるボトムアップ的なアプローチを採っている。

UIC2 は UAM に対する地域の理解向上を図りながら実装に向けて取り組む自治体連合であり、都市・地域を中心とした住民視点の制度構築が必要という理念の下、社会受容性の観点から都市・地域の役割・権限を議論している。

日本において2025年度を目途に空飛ぶクルマの飛行を実現するためには、政府が指針策定等含め主導しつつ、参加企業が主体となってシナリオ策定・実証実験・テストフライトを行うことで、空飛ぶクルマの社会実装に必要な運航オペレーションを確立す

る必要がある。

「日本における実証構想（案）・計画（案）」については、2025年度までを念頭にした国内での実証実験構想（案）及び各年度の実施内容を含む実施計画（案）を策定した。特に、2025年度における有視界飛行方式による「遊覧飛行」及び「二地点間輸送」を想定ユースケースとし、必要な観点（「安全な運航手段の確立」及び「周辺環境への影響把握」、「顧客の利便性（顧客価値）向上」）を基に設定した6つの検証観点（案）（「飛行計画の策定・遵守」及び「離着陸場とアプローチ」、「不測事態への対応」、「コンフリクト管理」、「騒音評価・分析」、「旅客オペレーションの効率性」）を設定するとともに、当該観点（案）に基づいた2022年度から2025年度の各年度における実証計画（案）を策定した。

「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」においては、国内の有望地域における空飛ぶクルマの利活用モデルの整理、及び利活用モデルから想定される有望ルート候補と、以降の検討に際して対象とする代表ルートを整理した。その上で、離着陸場に必要施設・設備要件、及び離着陸場候補地点の抽出・評価の観点を整理し、代表ルートにおける離着陸場候補地点の抽出・実現可能性評価を実施した。加えて、想定される運航主体のパターンと運航サービスの組み合わせからシナリオを定義し、実現時期別（立ち上げ期・成熟期）にオペレーション体制・事業モデルを整理した上で、代表ルートにおける事業経済性の評価を実施した。前段までの調査内容を踏まえ、今後に向けた課題と解決策を「離着陸場の設置」、及び「オペレーション体制・事業モデルの構築」に向けた観点から整理した。

「国内の有望地域・ルートの検討」においては、有望ルートの要件整理、及び（事業利用に係るユースケース内の）ヒトの移動・モノの輸送に係るユースケース別に具体ルートの評価観点・内容を整理した。これら有望ルートの要件・評価観点等を基に、対象とする地域における空飛ぶクルマの利活用モデルを定義した後、有望ルート候補から以降の検討において対象とする代表ルートを抽出した。

有望ルートの要件整理については、官民協議会ユースケース検討会で整理されている空飛ぶクルマのユースケースの内、事業利用に係るユースケースを対象にして「ヒトの移動」と「モノの輸送」に分類し、有望ルートの要件を整理した。ヒトの移動においては、「潜在的な利用者が多い」・「既存交通モードに課題がある」・「既存交通モードの移動コストが高い」の3つの評価観点を設定し、モノの輸送においては、「潜在的な利用者が多い」・「既存配送・輸送モードに課題がある」の2つの評価観点を設定し、有望ルートの評価を実施した。

前段の有望ルートの評価結果、及び地域特性や交通特性、自治体等のインタビューを踏まえ、地方部（三重県）、都市部（大阪府）、その他（大分市・大分都市広域圏）における空飛ぶクルマの利活用モデルを定義した。三重県では、「観光を軸にした新たな地域交通ネットワークの構築」、大阪府では「既存の交通ネットワークへの高付加価値（混雑回避・遊覧要素）移動モードとしての組み込み」、大分市・大分都市広域圏では「主要交通拠点をハブとする新たな域内交通ネットワークの構築」が空飛ぶクルマの利活用モデルとして想定される。

前段の空飛ぶクルマの利活用モデルを踏まえ、本調査では、三重県における「主要な観光地を結ぶ周遊交通」、及び「荷物配送（海上）」といった複数のユースケースでの活用が見込まれる「鳥羽エリア（鳥羽市旅館街）⇄答志島ルート」と、大阪府における「空港からの二次交通」としての活用が見込まれる「伊丹空港⇄なんば駅ルート」を代表ルートとして抽出し、以降における離着陸場候補地の抽出・実現可能性評価、及び事業経済性の評価を実施した。

「離着陸場候補の調査」においては、空飛ぶクルマの離着陸場の施設・設備要件の整理、及び離着陸場を設置するに際して候補地となり得る地点の抽出を行い、前段で整理

した代表ルートの離着陸候補地点に関して離着陸場設置に向けた実現可能性を評価した。

空飛ぶクルマの離着陸場の施設・設備要件については、米国・欧州の制度化主体（規制当局）や標準化機関等において空飛ぶクルマの離着陸場に関する具体的な要件の規定までには至ってはいないことに鑑み、現行のヘリコプターの離着陸場で求められる施設・設備要件を踏まえ、離着陸場の機能（「Vertistop」・「Vertiport」・「Vertihub」）と実現時期（立ち上げ期・成熟期）の観点から整理を行った。

離着陸場候補地点の抽出・評価については、諸外国において空飛ぶクルマの離着陸場を開発している有識者の知見等を踏まえ、抽出・評価の観点として「エコシステム・ネットワーク」・「空域」・「環境」・「都市計画／制限」・「アクセス性・利便性」・「地域ステークホルダー」・「建設・塗装／その他インフラ」・「設計／運用」の8つを設定した。離着陸場の抽出・評価の観点に基づき、有望ルートにおいて離着陸場候補となり得る地点を抽出し、離着陸場設置に向けた実現可能性の評価を行った。試行的に「鳥羽エリア（佐田浜第一駐車場）」と「なんば駅エリア（新南堀江パーキング）」について細部評価を行い、「鳥羽エリア（佐田浜第一駐車場）」については、2方向の進入表面の設定が可能と想定され、加えて他交通（鉄道）へのアクセス性等が見込まれる一方、近隣の船舶への影響等（地域ステークホルダーへの影響）が以降の留意事項になると想定される。「なんば駅エリア（新南堀江パーキング）」については、中心地のため他交通へのアクセス性、また近隣にイベント会場等が存在することから事業性等も見込まれる一方、空域や周辺的生活環境への影響、地域のステークホルダーへの影響等が留意事項になると想定される。

「オペレーション体制・事業モデル調査（事業経済性）」においては、想定される運航主体のパターンと運航サービスの組み合わせによるシナリオを定義した上で、実現時期別（立ち上げ期・成熟期）のオペレーション体制・事業モデルを整理し、前段で整理した代表ルートにおける事業経済性の評価を実施した。

オペレーション体制・事業モデルについては、想定され得る「運航主体」のパターンと、主たる「運航サービス」のパターンを洗い出した上で、「シナリオ A（エアラインが空港二次交通サービスを展開）」・「シナリオ B（域内密着のヘリオペレーターが域内周遊観光サービスを展開）」・「シナリオ C（空飛ぶクルマメーカーが都市内エアタクサーサービスを展開）」の3つのシナリオとして定義した。定義したシナリオと実現時期（立ち上げ期・成熟期）で比較すると、例えば、オペレーション体制について、シナリオ間では機体の研究開発・製造／MRO（整備）の内製化有無と内製化に伴うパートナーの差異が生じると想定される。

事業経済性については、代表ルートとして選定した「鳥羽エリア（鳥羽市旅館街）⇄ 答志島ルート」と「伊丹空港⇄なんば駅ルート」において、空飛ぶクルマの利活用モデルとシナリオ（運航主体×運航サービス）から想定するユーザーを定義し、人流データやアンケート調査を通じて年間移動者数に対する空飛ぶクルマの想定利用者数、及び運航コストを算出し、想定される売上と比較することで事業経済性（損益分岐点）の評価を実施した。例えば、三重県の「立ち上げ期・大型機・搭乗率 75%」においては運賃（km 単価）「2,400 円」が、大阪府の「立ち上げ期・大型機・搭乗率 75%」においては運賃（km 単価）「1,000 円」が損益分岐点になると想定される。

「今後に向けた課題と解決策の検討」においては、前述の調査結果を踏まえて「離着陸場の設置」、及び「オペレーション体制・事業モデルの構築」に向けた課題とその解決策の検討を実施した。

離着陸場の設置については、「設置場所の選定」・「施設・設備の整備」・「収益化の実現」が課題と想定される。離着陸場の設置に向けて、離着陸場の設置や施設・設備要件に係る各種基準・要件の明確化や標準化、情報基盤の整備、ガイドライン策定等を推進していく必要があると想定される。

オペレーション体制・事業モデルの構築については、「オペレーションの確立」・「収益化の実現」・「社会受容性の向上」が課題と想定される。オペレーション体制・事業モデルの構築に向けて、収益化やオペレーションの確立に資する情報基盤等の整備、各種基準・要件の明確化、社会受容性に係る利便性・安全性の訴求施策を推進していく必要があると想定される。

(2) 研究開発目標と根拠

空飛ぶクルマの発展シナリオを整理の上、2025年までの実証計画、及び2025年以降の自動・自律飛行、高密度運航に向けた技術的検証項目の提案を行う。

「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」では、空飛ぶクルマの先行実証事例について、NASA AAM National Campaign (米)、ParisPontoise airfield (仏)、UAM initiative (欧) など複数の海外動向を調査し、実証結果や課題、今後の実証計画等を整理し、日本における2025年頃までの飛行に向けた実証のための課題整理、実現可能な実証計画の要件整理及び段階的シナリオを策定する。

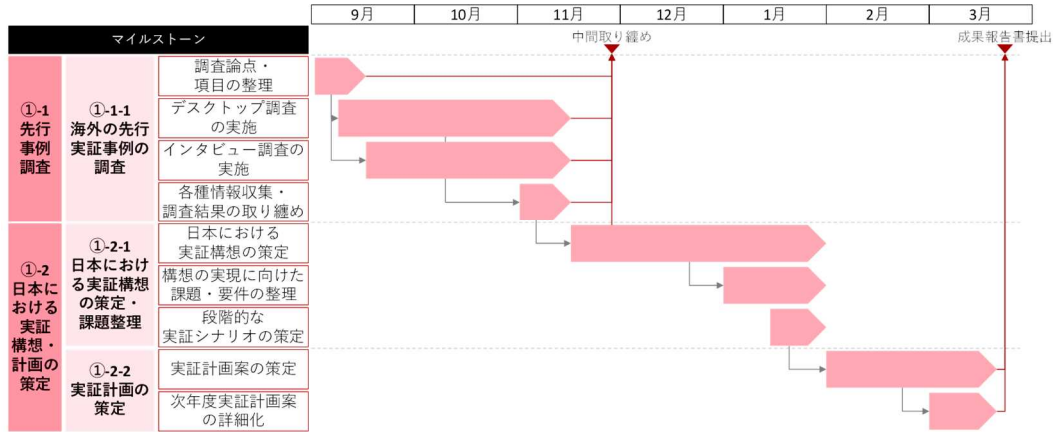
「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」では、空飛ぶクルマの社会実装に向けて、国内の有望地域における具体的な飛行ルートを整理し、空飛ぶクルマの離着陸場に必要要件を調査、整理し、国内の有望地域における具体的な飛行ルートに対し、離着陸場候補地の選定及び各要件に対する実現可能性を評価する。また、国内の有望地域における具体的な飛行ルートを参考に、空飛ぶクルマの期待される事業モデルを調査、整理する。また、それぞれの事業モデルに対し、技術の発展段階ごとのオペレーション体制を整理し、事業経済性を評価する。

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

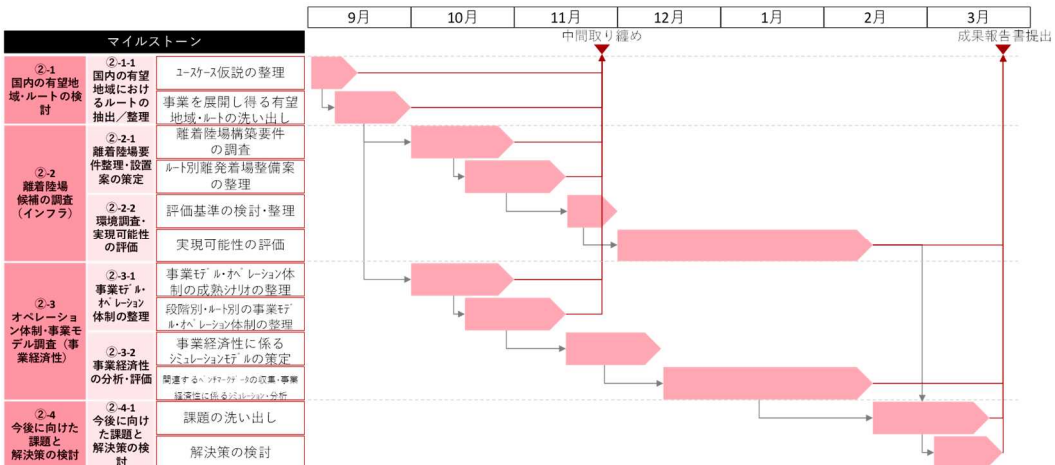
3.1 スケジュール

表 2.4.1-1 実施スケジュール

①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査



②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査



3.2 実施体制

「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」および「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」における実施体制は下記の通り。

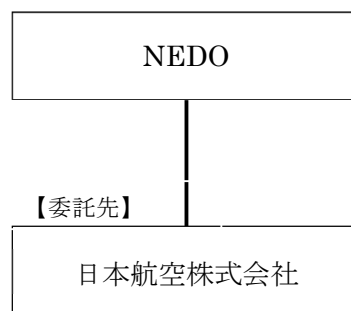


図 2.4.1-1 実施体制

(4) 研究開発の達成状況

①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査

NASA AAM National Campaign (米)、Paris Pontoise airfield (仏) UAM initiative (欧)等の先行事例の調査結果を踏まえて、日本における実証実験策定にむけた示唆出しを実施。2022～2025年度にて実施すべき内容を6つの観点で整理、実証実験計画を策定した。また各観点においてリスクとなりうる事項を抽出した。

最終目標	成果	達成度	備考
日本における実証実験計画の策定	実証実験計画書	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査

国内の有望地域におけるルートの抽出、離着陸場候補地の実現可能性評価の結果を鑑み、成熟シナリオの段階別・ユースケース別の事業モデル・オペレーション体制を整理、事業経済性を評価した。

最終目標	成果	達成度	備考
事業モデル・オペレーション体制の整理	成熟シナリオの段階別・ユースケース別の事業モデル・オペレーション体制	○	
事業経済性の分析・評価	事業経済性に係るシミュレーションモデル	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(5) 成果と意義

5.1. 研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

5.1.1. 「①海外における空飛ぶクルマの実証事例調査」(実施者：日本航空株式会社)

海外における空飛ぶクルマに関する実証実験の先行事例として、「National Campaign(米国)」、「Re. Invent Air Mobility(フランス)」、「UAM Initiative Cities Community : UIC2(欧州)」の調査を実施した。また、SESAR が資金提供を行っている U-space(欧州におけるドローンの運航管理)に関する空飛ぶクルマの実証実験である「Very Large Demonstration」に加え、空飛ぶクルマの実証実験・社会実装に向けた動きがあるその他都市等(イギリス・シンガポール・ドバイ・フロリダ)の調査も実施した。

海外の先行事例調査の結果、米国と欧州で異なるアプローチが採られていることが確認できた。米国では、明確な目標の下、NASA が実証実験シナリオ・検証項目やタイムライン等を策定して、実証実験を主導している(トップダウン型)。

一方、欧州では、都市・地域や参加企業主体で独自に進めている実証実験プログラムを、政府機関等が支援する形を採っている(ボトムアップ型)。

日本における実証実験は、オペレーション確立を中心に、政府が指針策定等含め主導しつつ、参加企業主体で策定したシナリオ及び選定した場所にてテストフライト等を実施する形にすべきであるという示唆を得た。

上述を踏まえ、2025 年度までを念頭に日本における実証構想(いつ頃から、どこで、どのような実証を、どのようなステップで、等の観点)を策定した。さらに、整理した実証構想の実現に向けて空飛ぶクルマに係る各事業領域別に想定される課題・要件の調査・検討を実施した上で、実証実験における検証観点を整理した。整理した実証構想・検証観点を踏まえ、2025 年度までの各年度における実証計画(各年度における実証内容・具体的な検証項目・方法)を策定した。

空飛ぶクルマの社会実装に向けた実証実験計画が策定されたのは日本初であり、社会実装に向けた具体的なステップを業界全体に示すことができた。日本では国を挙げて 2025 年の社会実装開始を目標としている。これまでは概念的な整理や、各自治体が独自のスコープで実証実験等を実施してきている。本調査の結果として日本の実情と先行する海外の事例を調和させる形で計画を示せたことで、実装の蓋然性を高めることができた。

表 2.4.1-2 各年度における検証観点（案）毎の主要検証事項

	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度
1 飛行計画の策定・遵守	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空飛ぶクルマ向けの飛行計画内容を検討・定義する ■ 運航の多頻度・高密度化も踏まえた飛行計画策定・実行に係る手順の実現性を検討する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 飛行計画策定・実行に係る手順の実現性を検討する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航空交通管制圏（クラス D）への進入を考慮した飛行計画を策定し、飛行計画に基づいた管制圏への進入方法の実現性を検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2024 年度までの検討結果を統合し、その実現性を検討する ■ 第三者・物件上空における空飛ぶクルマの飛行に係る飛行計画を策定し、更新の要否及び内容を検証する
2 離着陸場とアプローチ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空飛ぶクルマに係る離着陸・地上オペレーションの手順を検討・定義する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空飛ぶクルマ実機を用いた場合の離着陸・地上オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場関連情報と飛行計画の連携を検証する（天候情報等） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 複数の空飛ぶクルマを用いた場合の離着陸・地上オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場のキャパシティ情報と飛行計画の連携方法を検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 複数の空飛ぶクルマを用いた場合の離着陸・地上オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場のキャパシティ情報と飛行計画の連携方法を検証する
3 不測事態への対応	<ul style="list-style-type: none"> ■ 飛行中の空飛ぶクルマに生じ得る不測事態及び対応するステークホルダーとその役割を検討・定義する ■ 代替離着陸場の設定基準や DAA システムの搭載要否を検討する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 飛行中の空飛ぶクルマに不測事態が生じた際の対応を検証する ■ 不測事態対応が運航密度及び離着陸頻度の上限に与える影響を検討する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航空交通管制圏（クラス D）を含むが第三者・物件上空を含まない陸地又は海上において、複数の空飛ぶクルマが飛行する中で不測事態が生じた際の対応手順を検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航空交通管制圏（クラス D）の第三者・物件上空を含む陸地又は海上で複数の空飛ぶクルマが飛行する中で不測事態が生じた際の対応を検証する
4 コンフリクト管理	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空飛ぶクルマのコンフリクト管理に必要な情報及び情報提供体制を検討・定義する ■ 同一空域内の運航密度や離着陸回数の変化に鑑みて、必要となる情報及び情報提供体制を検討・定義する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 前年度に検討・定義したコンフリクト管理に必要な情報及び情報提供体制の実現性を検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航空交通管制圏（クラス D）における同一空域を飛行する他機体の状況を踏まえた飛行計画内容及び飛行経路の調整・実行可否を検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 第三者・物件上空における同一空域を飛行する他機体の状況を踏まえた飛行計画内容及び飛行経路の調整・実行可否を検証する

5 騒音評価・分析	<ul style="list-style-type: none"> ■ 騒音の評価軸・方法を検討する ■ ヘリコプター等で代替の上での2023年度内容の実施是非を検討する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 空飛ぶクルマ実機の騒音を測定・分析し、機体の騒音特性を把握する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 航空交通管制圏（クラスD）における騒音及び複数の空飛ぶクルマが飛行した際の騒音を測定・分析する ■ 必要に応じて当該エリアにおける飛行経路の調整や離着陸場への施設・設備の追加要否を検討する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 第三者・物件上空における騒音を測定・分析する ■ 必要に応じて当該エリアにおける飛行経路の調整や離着陸場への施設・設備の追加要否を検討する
6 オペレーションの効率性	—	<ul style="list-style-type: none"> ■ 旅客事業に係るオペレーションの実施に必要な手順や機材、人員数、資格要件等を検討・定義する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 前年度の検討・検証に基づいて高密度オペレーションの実現性を検証する ■ 離着陸場内での旅客動線について検討する 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実際の旅客事業の実施を通じて、前年度までの検討内容の実現性を検証する

5.1.2. 「②空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデル調査」(実施者：日本航空株式会社)

空飛ぶクルマに関するオペレーション体制・事業モデルを具体的に調査するべく、本調査では国内有望地域を特定し、具体的な飛行ルートを検討した。検討にあたり、官民協議会ユースケース検討会にて検討されていた空飛ぶクルマのユースケースに基づき、特に事業利用に係るユースケースを対象に検討を実施した。事業利用に係るユースケースから、具体的にどのように有望ルートを導出するのか、また導出するに際してどのように評価を行うべきか、といった考え方を整理した。加えて、有望ルートの評価結果や地域特性・交通特性を踏まえた空飛ぶクルマの利活用モデルの定義、及び利活用モデルから想定される代表ルートの選定までの一連の考え方を整理した。

離着陸場候補の調査として、前段の「国内の有望地域・ルートの検討」で整理した代表ルートにおいて具体的な離着陸場候補地となり得る地点の抽出を行うべく、空飛ぶクルマに関して先進的な制度設計等が進む、欧米等諸外国における空飛ぶクルマの離着陸場に関する具体的な要件の規定有無等を調査した上で、空飛ぶクルマの離着陸場の施設・設備要件、及び離着陸場候補地点の抽出・評価の観点を整理した。当該結果を用いて、候補地における離着陸場設置に向けた実現可能性を評価した。

オペレーション体制・事業モデル調査として、空飛ぶクルマの成熟シナリオ・実現時期(立ち上げ期・成熟期)を整理した後、実現時期と空飛ぶクルマを運航するに際して想定され得る空飛ぶクルマの「運航主体」のパターン、及び主たる「運航サービス」の組み合わせからシナリオを定義し、実現時期別(立ち上げ期・成熟期)にオペレーション体制・事業モデルを整理した。シナリオ別の事業モデル・オペレーション体制も念頭に、「国内の有望地域・ルートの検討」にて整理した三重県・大阪府における代表ルートの事業経済性を評価した。

諸外国においても ConOps (Concept of Operations) に代表される、空飛ぶクルマを社会実装した上での運航概念は作成、公開されてきたが、具体的なユースケースや運航主体、実現時期によってその概念を実現するオペレーション体制を具体的に可視化できたことは世界初と言える。加えて、新しいかつ大きくなりうる空飛ぶクルマ産業において、その運航事業における損益分岐点を含む事業性を、具体的なルートに足をおろして評価できたことも新しい成果であり、今後の産業の創出、発展を実現するために、新規参入する者の試金石を作り上げたと言える。

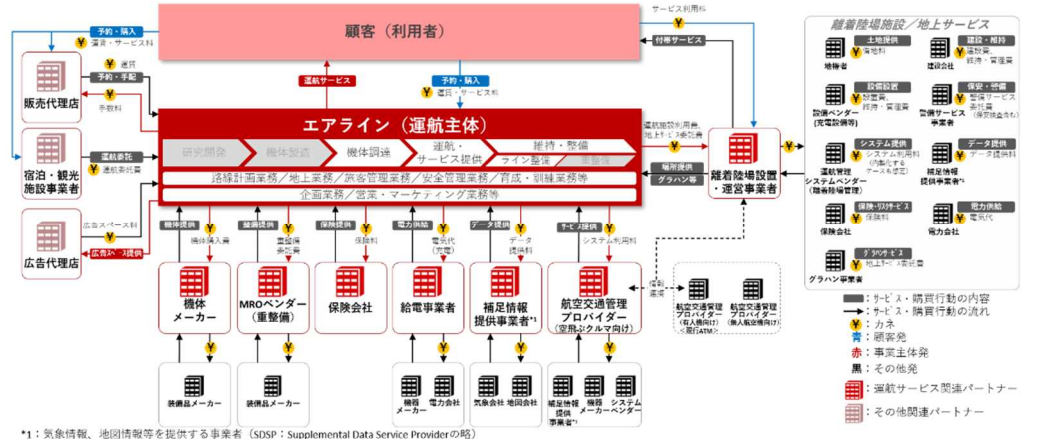


図 2.4.1-2 立ち上げ期：エアラインが空港二次交通サービスを展開する際のオペレーション体制

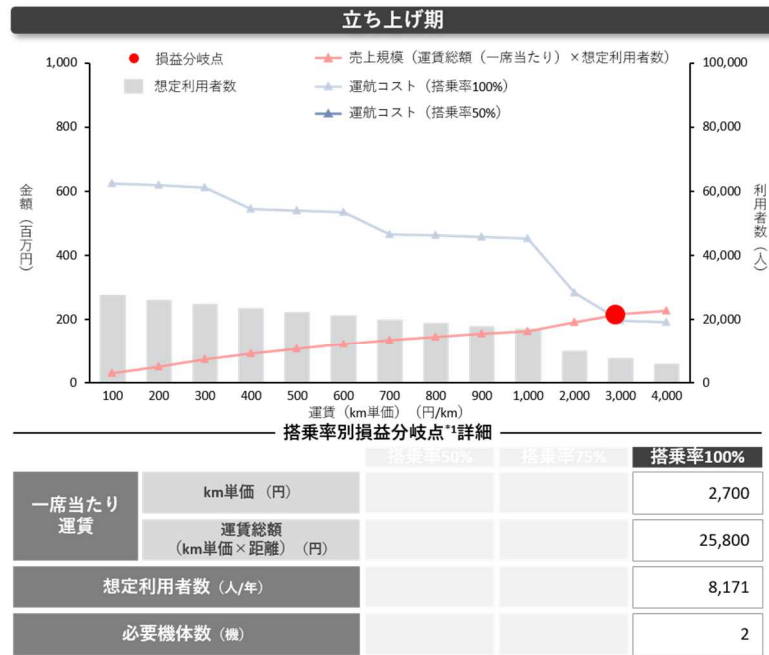


図 2.4.1-3 事業経済性の評価結果 (小型機・立ち上げ期)

(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	-	-	-	-	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	-	0	-	0
展示会出展	-	-	-	-	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	-	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	-	0	-	0
国内出願	-	-	-	-	0	-	0
外国出願	-	-	-	-	0	-	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

調査事業のため非該当。

6.4.2 空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術調査：

空飛ぶクルマに関する海外制度及び国際標準化の動向調査

(実施期間：1年間(2021年度))

(実施先：株式会社三菱総合研究所)

(1) 事業の背景・意義(目的・概要)

<事業全体の背景と目的>

従来の「ロボット・ドローンの活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」では、ドローンの社会実装に向けた性能評価手法や運行管理システムの開発が行われてきた。その中で、垂直離着陸型無操縦者航空機(いわゆる「空飛ぶクルマ」)の開発が世界各国で進んでおり、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、渋滞緩和、カーボンニュートラルへの貢献など様々な課題への対応が期待されている。

本プロジェクトでドローンの社会実装に向けて開発してきた技術等について再整理を行い、日本においても空飛ぶクルマの社会実装に向けた取り組みを進めていく必要がある。そこで、本調査研究を通じて、自動・自律飛行・運航管理等の検討が先行している海外事例を事前に調査するとともに、実装に必要な要素技術や事業モデルを調査・検討し、2022年度以降の国家プロジェクト等に繋げていくことを目的とする。

そして、効率的な空の移動を実現し、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、地方自治体の抱えるインフラ老朽化や都市部での交通渋滞削減等の社会課題解決に寄与することを目的とする。

<考慮すべき背景>

本調査研究の背景となる国内外の動向を以下に整理する。

● 諸外国の ConOps 等の検討状況

米国では、米国 FAA は 2020 年 6 月「Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0」を発表すると共に、2021 年 1 月には NASA が「UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML) 4」を発表した。同文書では、UAM の成熟度レベル UML を定義した上で、UML4 の実現に向けた UAM 運用環境、UAM の包括的な管理フレームワークとその構成要素を示している。豪州では、2020 年 12 月に豪州航空局と EMBRAERX が連携し、UAM を豪州空域に導入するための ConOps「URBAN AIR TRAFFIC MANAGEMENT CONCEPT OF OPERATIONS Version 1」を発表した。本文書は、UAM の初期運用から長期的な UAM 産業発展までを見据えた交通管理システム(UATM: Urban Air Traffic Management)の構想を提案している。英国では 2021 年 1 月、Eve Air Mobility 社を中心とするコンソーシアムが英国航空当局 CAA の規制サンドボックス

プロジェクトに参画し、UAMに関するConOpsの策定に取り組むことを発表している。欧州では、SESARが前述のAMU-LEDプログラムの中で、Concept of Operations (ConOps)を設計し実証することを検討している。また、韓国では、2021年3月にUAM商用化ロードマップが策定された。ロードマップでは、2025年の商用化を目指すと共に、2025～2029年、2030～2034年、2035年以降の3フェーズに分けて目標が設定されている。

- 諸外国の機体の開発動向

2023年～2025年におけるサービス開始を検討している企業として、まずドイツのVolocopterが挙げられ、2人乗りMultirotor方式のVoloCityの開発を進めており、2023年にEASAの型式証明を取得し、サービス開始を目指している。また、米国のJoby Aviationは、5人乗りVectored Thrust方式のS4の開発を進めており、2023年にFAAの型式証明を取得し、2024年のサービス開始を目指している。次いで、ドイツのLiliumは、7人乗りVectored Thrust方式のLilium Jetを開発しており、EASA及びFAAの型式証明を申請し、2024年の運用開始を目指している。これらの機体は操縦士が搭乗した運航を想定した機体である。

他方、中国のEHangは、操縦士が搭乗しない自律制御による2人乗りMultirotor方式の”216”を開発しており、2020年に中国国内において乗客を乗せた形の実証飛行に成功している。前述のVolocopterは、VoloCityについて操縦士が搭乗しない自律制御モデルの機体コンセプトも発表している。フランスのAirbusも遠隔操縦、自律制御の機体開発を進めており、現在は4人乗りMultirotor方式の実証モデルCityAirbusの屋外試験飛行を進めている。Airbusは、2024年パリ五輪での初期サービスを計画すると共に、2030年までに認証取得を予定している。また、米国のWiskも自律制御で2人乗りLift+Cruise方式のCoraの開発を進め、ニュージーランドのカンタベリーとアメリカで、実験用飛行免許の下、約1,000回の試験飛行を実施した(2016年6月時点)。現在新しい第六世代の機体の開発を進めており、2020年代後半にニュージーランドでの商用化を計画している。

開発が進められている機体性能としては、Multirotor方式の機体は2～4人乗りで航続距離30～40km程度、Vectored Thrust方式の機体は5～7人乗りで航続距離200～400km程度、Lift+Cruise方式の機体は2人乗りで航続距離100km程度となっている。これに加え、Liliumは、将来的には15～16席程度のサイズへの拡張を目指すとしている。推進方式としては、上述した先行する機体はフル電動が採用されているが、ハイブリッド方式のコンセプトも提案されている。

- 国際標準化の動向

空飛ぶクルマに関連する国際標準化については、RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics)、EUROCAE (European Organization for Civil Aviation

Electronics)、SAE (Society of Automotive Engineers)、ASTM (American Society for Testing and Materials)、ISO (International Organization for Standardization) で議論が進められている。

RTCA では、eVTOL に関連する委員会として、SC-228 (Minimum Performance Standards for Unmanned Aircraft Systems) が挙げられ、本委員会において UAS 関連の最低運用性能基準 (MOPS) が策定されている他、UAM に関する新たな規格も SC-228 の今後のアジェンダとして検討が行われている状況である。また、バッテリーに関する基準 DO-311 が既に発行されている。EUROCAE では、eVTOL に関連する委員会として、WG-112 (VTOL)、WG-113 (Hybrid Electric Propulsion)、WG-80 (Hydrogen and Fuel Cells Systems)、WG-105 (UAS) が存在し、これらの WG で議論された規格文書のうち、6 件が発行済み、6 件が策定途中である。

ASTM では、F38 (Unmanned Aircraft Systems)、F39 (Aircraft Systems)、F44 (General Aviation Aircraft) 委員会の下で、UAS やその要素技術、eVTOL、電動推進に係る規格が多数検討されており、SAE では、eVTOL に特化した委員会はないものの、E-40 電動推進や AE-7D 蓄電・充電といった関連委員会において、電気航空機のエレクトロニクスおよびエンジニアリング設計に重点を置いた規格が検討されている。ISO では UAS に関する委員会である規格が 10 件程度ある他、TC20/SC16 において、eVTOL 関連の新たな議題として、旅客輸送 UAS の運航手順やバーティポートオペレーションに関する文書の提案がなされているところである。

● 国内の動向

我が国では、経済産業省製造産業局、国土交通省航空局が合同で「空の移動革命に向けた官民協議会」を開催しており、2018 年 12 月 20 日に開催された第 4 回官民協議会において「空の移動革命に向けたロードマップ」を取りまとめた。2020 年度は、官・民の実務者レベルで構成される議論の場として、実務者会合が設置されると共に、ユースケース検討会、機体の安全基準 WG、操縦者の技能証明 WG、運航安全基準 WG が設置され、個別論点毎の検討が進められ、2021 年 5 月 21 日に開催された第 7 回官民協議会において、2023 年～2025 年に向けた短期的な課題整理とユースケースの将来展開イメージ、個別論点毎の制度設計に向けた課題・取組み方針等が示された。2021 年度は、当該検討を進めると共に、2021 年度末に空の移動革命に向けたロードマップの改定が予定されている。

<具体的な成果目標>

こうした国内外の動向を踏まえ、本調査研究では、諸外国の技術や制度、標準化の最新動向を把握する。加えて、自動・自律飛行や高密度運航に向けた重要な要素技術について、将来の機能・性能や実現方式に関する詳細調査を実施する。これらの成果を踏ま

え、以下の成果物を得る。

- 成熟度レベルのフレームワーク

NASA が UAM エコシステムに関する 6 段階の成熟度レベル (UAM Maturity Level : UML) を策定しているが、本調査研究では、NASA UML との整合性を考慮しつつ、地域特性やユースケースなど我が国独自の観点も含めた成熟度レベルのフレームワークを取りまとめる。

- 要素技術のロードマップ

NASA や SESAR 等において、UAM の短期～中長期の段階的な発展イメージが整理されているが、要素技術ごとのロードマップの策定例はない。本調査研究では、成熟度レベルのフレームワークをもとに、各成熟度に対応した要素技術の要求性能や方式を整理し、ロードマップとして取りまとめる。

- ルール形成戦略

我が国の空飛ぶクルマに関するルール形成戦略は、経済産業省において、民間企業の意見や要望を踏まえつつ検討が進められてきている。本調査研究では、海外の技術、制度、標準化の動向を包括的に整理し、特に注力すべき標準化アイテムについては我が国企業による会合参加・調査を実施すると共に、空飛ぶクルマのサービスを実現するシステムアーキテクチャの検討結果も踏まえ、標準化連絡会による民間企業との合意形成を図りながら、ルール形成戦略のアップデートを行う。

(2) 研究開発目標と根拠

本調査研究では、以下の調査を実施する。

① 技術や社会実装の動向調査

空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークや技術ロードマップ策定にあたって考慮すべき国内外の技術開発や社会実装に関する動向を調査する。具体的には、以下の動向について調査する。

- 諸外国の ConOps 等の検討状況の調査
- 諸外国の機体開発・実用化の動向調査
- 諸外国の都市・自治体における社会実装の検討状況の調査
- 国内における取組み事例の調査

② 成熟度レベルのフレームワークの検討

空の移動革命に向けた官民協議会のユースケース検討会の検討状況等を踏まえ、国内

における空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークを策定する。具体的には、空飛ぶクルマの運航の自動化・自律化、高密度化の観点から、空飛ぶクルマの社会実装の成熟度を6程度のレベルに区分し、技術的な要件の大枠を整理する。また、各成熟度レベルのイメージを図化する。

③ 要素技術のロードマップ検討

②で策定した成熟度のフレームワークの各レベルに対応した要素技術の要求値を整理し、技術ロードマップとして取りまとめる。その際、④で実施する詳細調査の検討結果を反映する。具体的には、以下の検討を実施する。

- 要素技術の整理
- 要素技術に関する国内外の動向調査
- 技術ロードマップの策定

④ 要素技術に関する詳細調査

③で要素技術の整理結果に対し、⑤の有識者委員会等で更なる調査が必要とされた要素技術を対象に、専門的な深掘り調査を実施する。本調査では、対象とする要素技術について、自動・自律運航、高密度運航の実現の観点から、以下の調査を実施する。

- 実現方式の整理と各方式の特徴等の整理
- 成熟度レベル毎の要求値や適用方式の整理
- 特定の成熟度レベルに対する当該要素技術のシステム概念検討
- 今後の研究開発要素の整理

詳細調査の対象とする要素技術を以下に示す。

- 機体
- 通信・航法・監視
- 交通管理・フリート管理
- 給電システム
- 気象情報システム

なお、通信については、携帯電話網（LTE）について、低高度空域における電波状況に関するデータ取得を行い、空飛ぶクルマへの適用可能性について考察する。

また、特定の成熟度レベルを対象に、空飛ぶクルマの全体システムアーキテクチャを検討し、各要素技術を実現するコンポーネント間の関係を整理し、適用された方式の整合性等を確認する。

⑤ 有識者委員会等の開催

本調査検討の実施に当たり、有識者委員会と技術WGを設置する。

有識者委員会については、調査検討方針や取りまとめ成果の審議を主な役割とし、学識経験者、研究機関、業界団体、関係省庁を中心に構成する方針とする。技術WGについては、技術ロードマップや要素技術詳細検討のレビュー、情報提供を主な役割とし、関係企業空飛ぶクルマの関係企業を中心に構成する方針とする。

⑥ 国際的な制度や海外制度の動向調査

空飛ぶクルマに係る国際的な制度や海外主管庁の制度等に関する議論の動向について調査し、制度の枠組みや個別論点毎の制度・基準等に関する現状と今後の検討方針について整理する。

⑦ 国際的な標準化の動向調査

空飛ぶクルマの産業規格に関する国際標準化団体における議論の動向について調査し、空飛ぶクルマに関連する既存規格や議論中のWork Item (WI) を抽出し、議論のスコープや規格概要、所掌する団体・委員会、議論状況、将来計画、主管庁の制度への影響等について整理する。

⑧ 国際標準化の対応方針の検討

国際標準化に向けた我が国の方針として、どういった国際標準規格に対して、積極的な提案、情報収集と適切な対処、情報収集等、どのような対処をいつ誰がすべきかを具体的に整理するため、前述の調査項目⑥及び⑦の調査結果を踏まえて、国際標準化に向けた今後の対応方針を整理する。

⑨ 国際標準化連絡会の開催

⑥及び⑦の調査結果を国内関係者に共有すると共に、調査項目⑧で整理する対応方針の調整や⑤で検討するルール形成戦略の議論を行うため、「国際標準化連絡会」を設置し、4回程度開催する。同連絡会には、空飛ぶクルマの機体・装備品メーカーや関連システムベンダ、運航事業者、大学・研究機関の有識者等を幅広く招聘し、40～50人程度の規模で開催することとする。

⑩ ルール形成戦略の策定

⑥及び⑦に基づく制度化動向・標準化動向の調査結果に加え、④におけるシステムアーキテクチャの検討結果を踏まえ、我が国の空飛ぶクルマ産業の発展や市場創出に向けたルール形成戦略として、来年度以降の国際標準化会合や国内の制度検討・技術開発に向けた対応方針を検討する。今年度の国際標準化活動の成果も踏まえながら、⑨で開催する国際標準化連絡会を通じて国内企業・業界団体と連携してルール形成戦略をまとめ

ることにより、日本におけるルール形成文化の醸成、交渉力強化の推進に寄与する。

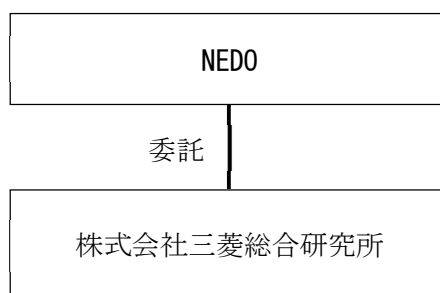
(3) 研究開発スケジュール・実施体制

●スケジュール：

表 2.4.2-1 スケジュール

事業項目	2021 年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①技術や社会実装の動向調査		→		
②成熟度レベルのフレームワークの検討		→		→
③要素技術のロードマップ検討			→	→
④要素技術に関する詳細調査			→	
⑤有識者委員会等の開催				→
⑥国際的な制度や海外制度の動向調査		→		
⑦国際的な標準化の動向調査				→
⑧国際標準化の対応方針の検討		→		
⑨国際標準化連絡会の開催				→
⑩ルール形成戦略の策定				→

●実施体制：



研究実施場所：株式会社三菱総合研究所

研究項目：

- ①技術や社会実装の動向調査
- ②成熟度レベルのフレームワークの検討
- ③要素技術のロードマップ検討
- ④要素技術に関する詳細調査
- ⑤有識者委員会等の開催
- ⑥国際的な制度や海外制度の動向調査
- ⑦国際的な標準化の動向調査
- ⑧国際標準化の対応方針の検討
- ⑨国際標準化連絡会の開催
- ⑩ルール形成戦略の策定

図 2.4.2-1 実施体制

(4) 研究開発の達成状況

①技術や社会実装の動向調査

最終目標	成果	達成度	備考
諸外国の ConOps 等の検討状況の整理	FAA、NASA、SESAR、豪州、韓国の ConOps を整理	○	—
諸外国の機体開発・実用化の動向整理	米国・欧州・中国の 10 メーカーの動向を整理	○	—
諸外国の都市・自治体における社会実装の検討状況の整理	米国・欧州・アジアの 9 都市の動向を整理	○	—
国内における取組み事例の整理	三重県、大阪府、愛知県の取組みを整理	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②成熟度レベルのフレームワークの検討

最終目標	成果	達成度	備考
成熟度レベルのフレームワークを取りまとめ	NASA UML 及び国内の中長期的な社会実装イメージと整合した 6 段階の成熟度レベルのフレームワークを取りまとめ	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③要素技術のロードマップ検討

最終目標	成果	達成度	備考
要素技術の整理	ロードマップの構成として 18 の要素技術項目を整理	○	—
要素技術に関する国内外の動向の整理	上記で整理した要素技術の国内外の動向を整理	○	—
技術ロードマップの策定	上記で整理した要素技術について、成熟度レベルに対応した要求性能と実現方式を整理しロードマップとして取りまとめ	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④要素技術に関する詳細調査

最終目標	成果	達成度	備考
有識者委員会等で更なる調査が必要とされた要素技術に関する詳細調査の実施	機体、通信、航法、監視、交通管理、フリート管理、給電、気象に関する実現方式と成熟度レベル毎の要求値、成熟度レベル4のシステム概念検討を実施	○	—
携帯電話網（LTE）について低高度空域における電波状況に関するデータを取得	高度1000mまでの信号強度、電波品質、スループット、遅延、パケットロスのデータを取得し空飛ぶクルマの利用可能性を考察	○	—
特定の成熟度レベルを対象に、空飛ぶクルマの全体システムアーキテクチャを検討	成熟度レベル4を念頭に、空飛ぶクルマの全体システムのアーキテクチャを整理	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤有識者委員会等の開催

最終目標	成果	達成度	備考
有識者委員会を設置・運営	有識者委員会を設置し、3回開催	○	—
技術WGを設置・運営	技術WGを設置し、4回開催	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑥国際的な制度や海外制度の動向調査

最終目標	成果	達成度	備考
国際的な制度や海外主管庁の制度等の議論動向について整理	ICAO、米国、欧州の動向を整理。加えて、豪州・韓国の制度化方針をConOps調査の中で整理。	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑦国際的な標準化の動向調査

最終目標	成果	達成度	備考
国際標準化団体の議論動向について整理	ASTM、SAE、EUROCAE、RTCA、ISOの動向を整理	○	—
関連する国内企業・産業団体の会合参加等により最新の議論状況の詳細を調査	10の注目WIを特定し、4つについては国内企業を派遣、6つについては国内の従来からの参加者に対してヒアリングを実施	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑧国際標準化の対応方針の検討

最終目標	成果	達成度	備考
国際標準化に向けた我が国の方針整理	国際標準化連絡会の参加企業へのアンケート結果や海外動向をもとに標準化方針を整理	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑨国際標準化連絡会の開催

最終目標	成果	達成度	備考
国際標準化連絡会の設置・運営	連絡会を設置し3回開催すると共に、SAE・AIDAと連携した国際ワークショップを開催	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑩ルール形成戦略の策定

最終目標	成果	達成度 15	備考
ルール形成戦略の取りまとめ	海外動向の調査結果及び標準化連絡会での議論やアンケート結果等を踏まえ、ルール形成戦略を標準化分野ごとに整理	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(5) 成果と意義

5.1 調査項目①「技術や社会実装の動向調査」

空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークや技術ロードマップ策定にあたって考慮すべき国内外の技術開発や社会実装に関する動向を調査した。具体的には、以下の動向について調査した。なお、調査方法は文献調査を中心とし、必要に応じヒアリングを実施した。

5.1.1. 諸外国の ConOps 等の検討状況の調査

諸外国の空飛ぶクルマ (eVTOL、UAM: Urban Air Mobility / AAM: Advance Air Mobility) の制度設計の動向について調査を実施した。具体的には、米国、欧州、その他地域の調査・分析を実施した。

① 米国 (FAA、NASA 等) の動向

(1) FAA における ConOps

2020年6月に米FAAより発表された、Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0において、人や荷物を輸送するeVTOL等のUAM機は、UAMコリドーを利用して運航管理を行う方向性が示された。また、UAMの米国空域への段階的な実装に向けて、まずは既存の航空規則の範疇の運用から開始し、徐々にUAM専用の法改正への改正及び新ルールの策定を通じて、より高密度・複雑性の高い運航を実現する方針が示された。

(2) NASA における ConOps

2020年12月、NASAよりUAM Maturity Levels (UMLs) の枠組みの中で数百のUAMが同時飛行するような中密度及び中程度の複雑性が実現された将来のある時点における運用コンセプトを示した「UAM Vision ConOps v1.0」が発行された。当該ConOpsのスコープではUAMが市民に広く利用されているが、ユビキタス(いつでもどこでも簡単に利用できる)ではない将来が想定されている。

同ConOpsではFAAによるConOpsにて示されるUAM専用の交通路であるUAMコリドーよりも柔軟な空域の利用を提案しており、高レベルなUAM運用を実現するための空域の設計、管理、機体開発、運航、コミュニティ統合を主要な議論の柱としてそれぞれに関連する「課題」を整理している。

② 欧州の動向

(1) SESAR における ConOps

Air Mobility Urban-Large Experimental Demonstration (AMU-LED)

(a) プロジェクト概要

Air Mobility Urban-Large Experimental Demonstration (AMU-LED)は欧州の航空管制近代化プログラムSESARにおけるプロジェクトの一つであり、旅客・貨物輸送を行う

UAM の Concept of Operation の策定及び実証を進めることを目的としている。

本プロジェクトでは、U-space のフレームワークを用いた実証や、旅客・貨物輸送、ドローン配送、インフラ点検、公共・法執行業務の様々なユースケースに基づく実証等、2021 年から 2022 年にかけて、欧州の複数都市において計 100 時間以上の飛行試験が行われる予定。本プロジェクトを通じて収集されたデータは、EASA における規制検討に活用される予定である。

(b) “High Level ConOps - Initial” の概要

2021 年 3 月 29 日、UAM の U-space への統合に関する上位 ConOps 文書の初版として、“High Level ConOps - Initial” が AMU-LED より発表されている。同 ConOps では、中期的な将来（2025–2030 年）において、U1・U2 サービスが実装された U-space 環境下で UAM が運航される将来をターゲットに、UAM の特性、役割・責任分担、空域構成、UAM サービスの概要、セパレーションや干渉回避、有人航空機との共存、緊急時対応、CNS 要件・アーキテクチャ、KPI、ギャップ分析、安全評価手法、認証評価について分析及び整理を行っている。

また、本 ConOps では、Open/Specific/Certified のすべてのカテゴリの運航の統合を促進することを目的に、同カテゴリとは別の、機体性能やニーズと対応した包括的なカテゴリを新たに提言している。

③ その他の動向

(1) 豪州における ConOps

2020 年 12 月、ブラジルの航空機メーカーである EMBRAER 社とオーストラリアの航空管制プロバイダである Airservices 社はオーストラリアの LLA (low-level airspace) に UAM を統合するための運用コンセプト (ConOps) を共同で作成した。

同文書は UATM の実現に関する“技術的”な文書であることが明示されており、異なるコミュニティの統合や協調といった各ステークホルダに期待されるような協力体制などについて十分な議論はなされていない。しかし、オーストラリアの空域への UAM の実装において、それらは重要であると認識されており、技術面だけではない観点での検討結果を含めて今後アップデートされる予定である。

(2) 韓国における ConOps

韓国では、都心内での運用が想定される電動垂直離着陸機 (eVTOL) による人やモノの輸送、他交通機関との接続に関して検討が行われている。また、韓国では UAM は都心のみでの運用だけでなく、都心内外、救急医療、観光事業の促進などあらゆる用途が想定されている。2021 年 9 月、韓国政府は都市型交通 (UAM) の勧告空域における初期実装に関する運用コンセプト「K-UAM Concept of Operation 1.0 (以下、「K-UAM

ConOps」)」を発行した。

当該 ConOps の作成目的は UAM の韓国空域での商用化のため、韓国政府、自治体、産業界、学界、公共機関及びその他利害関係者の業務及び相互理解を推進することである。当該 ConOps は UAM に関する政策協議体である UAM Teams Korea 1 構成員により検討されている。今後利害関係者が増加し、本文書にて言及されている運用コンセプトが実証・検証されるに伴って、初期運用から派生して追加的なシナリオが盛り込まれることが想定されている。

5.1.2 諸外国の機体開発・実用化の動向調査

各国において開発及び検討されている主要な事業用機体とその運用事業者の動向について整理する。なお各機体の諸元は 2.5.4.2 に整理する。

① 米国の動向

本項では米国における主要な機体とその事業者の動向として、以下に示す 6 事業者について整理する。

Joby Aviation

(1) 事業者の概要

Joby Aviation 社は 2009 年に設立された事業者であり、2022 年 2 月現在で 1000 人のエンジニアを抱えている。トヨタや Intel、Uber 等の事業者が出資しており、2021 年 8 月にはニューヨーク証券取引所に上場した。

事業用の機体としては現在 S4 を開発・製造しており、2024 年のサービス開始を予定している。

(2) 機体の開発状況

2012 年に NASA の電動飛行プロジェクトに参加し、2015 年にはサブスケールモデル、2017 年にはフルスケールモデルの飛行実証を実施している。2019 年からは有人機である量産型の試作 1 号機の飛行実証を実施している。2021 年 1 月には量産型の試作 1 号機に引き続き 2 号機の製造を開始し、FAA の特別耐空認証と米国空軍の耐空証明を取得したことを発表した。

今後事業を開始するにあたり、型式に関する証明 (Type Certificate) と生産に関する証明 (Production Certificate)、航空事業に関する証明 (Air Carrier Certificate) の 3 つの認証が必要であるとしている。型式証明については 2022 年前半に量産機の初号機を初飛行させ、2023 年に part23 の基準で FAA からの認証を取得する見通しである。航空事業に関する証明は part135 で 2022 年中に認証を取得する計画である。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-2 に S4 の機体諸元を示す。S4 はパイロット 1 名を含む合計 4 名が搭乗可能であり、最高速度は約 321km/h (200mph)、航続距離は約 241km (150mi) 以上に達する。

表 2.4.2-2 S4 の機体諸元

機体	S4
イメージ図	
サービス開始 予定時期	2024
推進方式	Vectored Thrust
座席数	5(パイロット1、乗客4)
質量	2,177kg (4,800 lb)
ペイロード	453kg (約1,000 lb)
形状	長さ: 6.4m (21フィート) 翼幅: 11.6m (38フィート)
速度	最高速度: 321km/h (200mph)
航続距離	241km (150 mi) 以上

出所) Joby Aviation 社 HP, <https://www.jobyaviation.com/> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

Bell

(1) 事業者の概要

Bell 社は 1935 年に設立された企業であり、80 年以上にわたりヘリコプターを中心とした機体事業を展開している。

事業用の機体としては Vectored Thrust 方式の機体である Nexus 6HX 及びその後継機の 4EX を発表しており、2025 年のサービス開始を計画している。2020 年時点の見通しでは 2020 年代中盤以降に認証を受けるとしている。


(2) 機体の開発状況

2019 年に Nexus 6HX のコンセプトを発表し、2020 年には Nexus 4EX のコンセプトを発表した。2019 年時点では、2023 年までに試験飛行を実施し、その後商用運航を目指すとしていた。Nexus に関する試験としてはダクトファンの地上試験を実施している。また有人機である Nexus とは別に貨物輸送ミッションを想定した無人機である Autonomous Pod Transport (APT) シリーズを開発しており、2021 年 11 月時点で 420 回を超える飛行実証を実施している。

(3) 機体の諸元

Nexus4EX 及び 6HX の機体諸元を表 2.4.2-3 に示す。Nexus 6HX は 6 基のダクトファンを搭載するハイブリッド式の機体であり、最高速度は 155kt (約 288km/h)、航続距離は 130nm (約 241km) である。Nexus 4EX は Nexus 6HX の後継機として発表された機体であり、飛行速度は最大 150mph (約 241km/h) 航続距離は 60nm (約 111km)、安全性については故障発生確率が 10^{-7} から 10^{-9} 程度を想定しているとみられる。

表 2.4.2-3 Nexus4EX 及び 6HX の諸元

機体	Nexus 4EX	Nexus 6HX
イメージ図		
サービス開始 予定時期	2025	2025
推進方式	Vectored Thrust	Vectored Thrust (ハイブリッド方式)
座席数	5(パイロット1、乗客4)	5(パイロット1、乗客4)
質量	3,175kg	2,720kg
ペイロード	272kg	272kg
形状	接地部分：12m×12m (40ft×40ft box)	接地部分：12m×12m, 幅：2.4m
速度	約241km/h (150mph)	約288km/h (155kt)
航続距離	約111km (60nm)	約241km (130nm)

出所) TRANSPORT UP, Bell Nexus, <https://transportup.com/bell-air-taxi/> (閲覧日：2022年2月21日)

Beta Technologies

(1) 事業者の概要

Beta Technologies 社は 2017 年に設立された事業者であり、2024 年を目途に eVTOL による運航サービス事業開始を目指している。

機体としては Alia-250 を開発しており、その給電設備についても合わせて開発している。

(2) 機体の開発状況

Alia-250 は 2020 年に公表された機体であり、2021 年 3 月にニューヨーク州プラッツバーグの空港にあるベータ社の試験施設からバーモント州バーリントン国際空港近くの本社までの試験飛行を実施した。2021 年 7 月には 2 時間 2 分の固定翼モードによる飛行試験を実施しており、最高時速 196km/h、飛行距離は 205nm (約 380km) に達した。充電

システムについては既に米国にて約 60 カ所の充電設備が稼働しており、空港や空港外の場所にスタンドアロンで稼働可能な独自の充電システムを開発している。

2021 年 5 月には米空軍より 2024 年に FAA より MIL-HDBK-516C 規格に準拠した認証を取得しており、2024 年には FAA より part23 での型式証明を取得する計画である。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-4 に Alia-250 の機体諸元を示す。Alia-250 は Lift and Cruise 方式の 6 人乗り機体であり、航続距離は 250nm (約 463km)、巡航速度は 170mph (約 270km/h) を計画している。

表 2.4.2-4 Alia-250 の諸元

機体	Alia-250
イメージ図	
サービス開始 予定時期	米国
推進方式	Lift + Cruise
座席数	6
質量	2,722kg (MTOW)
ペイロード	約635kg (1,400ポンド)
形状	幅: 15.2m 貨物室: 5.7m ³
速度	巡航速度: 270km/h (170mph)
航続距離	約463km (250nm)

出所) Aviation Week, eVTOL エアタクシーの認証取得に向けて加速する UAM 先行者たち | UAM Leaders Accelerate Toward Certification Of eVTOL Air Taxis, <https://aviationweek.com/asia-aerospace-defense/japanese/evtoleatakushinorenzhengqudenixiangketejiasusuruuamxianxingzhetachi> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

Alaka' i Technologies

(1) 事業者の概要

Alaka' i Technologies 社は 2006 年に設立された事業者であり、35 を超える米国特許のほか、複数の外国特許を保有する米国企業である。

機体としては Multicopter 方式の機体である Skai を計画している。

(2) 機体の開発状況

Skai は 2019 年 5 月に発表された機体であり、2020 年時点で第 1 世代試験機の係留飛行を実施している。また第 1 世代に続き第 2 世代の試験機的设计段階であるとしている。

認証については、2019 時点では FAR Part27 の 21.17(b)「特別なクラスの航空機のための」適用除外を使った認証について FAA と協力しており、2021 年 9 月には FAA と G-1 の認証基準に合意し、2022 年にプロトタイプの試験を実施する計画を公表した。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-5 に Skai の機体諸元を示す。Skai は水素燃料電池を搭載しており、1 回（10 分以内）の燃料補給で 4 時間（最大 10 時間）、航続距離にして約 645km を飛行可能であるとしている。飛行速度は最高で 118mph（約 189km）、搭乗員は最大 5 名である。

表 2.4.2-5 Skai の諸元

機体	Skai
イメージ図	
サービス開始 予定時期	公開情報なし
推進方式	Multirotor (ハイブリッド方式)
座席数	5
質量	公開情報なし
ペイロード	約454kg (1000lb)
形状	公開情報なし
速度	約185km/h (115mph)
航続距離	645km

出所) DRONE, Alaka' i Technologies、NASA と「空飛ぶクルマ」機体パートナー選出へ。唯一の水素燃料電池搭載, <https://www.drone.jp/news/2020112411154641276.html> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

Wisk

(1) 事業者の概要

Wisk 社は 2019 年に設立された Boeing 社と Kitty Hawk 社の合弁会社であり、2010 年に設立された Kitty Hawk 社によって開発されていた機体をベースに事業用機体の Cora を開発している。

サービス開始は 2024 年を計画しており、2021 年 5 月には米 Blade 社に対して最大 30 機を提供すると発表した。

(2) 機体の開発状況

2011 年に試験機によるホバリング試験を実施し、2014 年には第 1 世代の機体による実証、2015 年には世界初の有人フル電動フライバイワイヤ (Fly-by-Wire) 機の飛行実証を実施している。2016 年には第 3 世代の試験機を開発し、eVTOL 機による完全なホバリング飛行を実施した。2017 年には第 4 世代試験機を用いて無人飛行による自律飛行試験を実施し、2018 年に第 5 世代の機体として Cora を開発した。なお 2022 年 2 月時点で累計 1500 回以上の試験飛行を実施している。

2019 年には FAA 及びニュージーランド民間航空局より実証用の耐空証明を取得しており、自律飛行及び航空管制システムの統合技術について開発を進めている。なお商用運航に向けた認証は 2024 年を目途に取得するとしている。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-6 に Cora の機体諸元を示す。Cora は 2 人乗りの Lift and Cruise 方式の機体であり、飛行速度は 160km/h、航続距離は 40km である。

表 2.4.2-6 Cora の機体諸元

機体	Cora
イメージ図	
サービス開始 予定時期	2024
推進方式	Lift + Cruise
座席数	2
質量	公開情報なし
ペイロード	181kg
形状	長さ: 6.4m 幅: 11m
速度	最高速度: 160 km/h
航続距離	40km以上

出所) Wisk 社 HP, <https://wisk.aero/news/2020/> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

Archer Aviation

(1) 事業者の概要

Archer Aviation 社は 2018 年に設立された企業であり、2021 年 2 月にニューヨーク証券取引所に上場している。ユナイテッド航空や大手自動車メーカーである Stellantis 社からの出資を受けており、Stellantis 社は複合材の製造とサプライチェーン、ユナイテッド航空は型式証明取得について連携する予定である。

機体は実証機である Maker を開発しており、今後事業用機体を別途開発する見通しである。

(2) 機体の開発状況

Maker は 2021 年 6 月に実証機として公開された 2 人乗りの機体であり、2021 年 12 月にホバリングによる飛行試験を実施しており、2022 年以降も継続的に大規模な飛行試験を実施するとしている。また試験機とは別に事業用機体として 2024 年までに 4 人乗りの量産機を開発する計画を発表した。

認証面については、2021 年 9 月には FAA より part23 に基づく G-1 認証基準について承認を受けており、2022 年には G-2 の段階に進む見通しである。また 2024 年のサービス開始を念頭に FAA より認証を取得するとしている。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-7 に Maker の機体諸元を示す。Maker は 2 人乗りの Vectored thrust 方式の機体であり、飛行速度は 150mph (約 241km/h)、航続距離は 60mi (約 97km) である。

表 2.4.2-7 Maker の諸元

機体	Maker
イメージ図	
サービス開始 予定時期	2024
推進方式	Vectored Thrust
座席数	2
質量	1,508 kg
ペイロード	公開情報なし
形状	公開情報なし
速度	約241km/h (150mph)
航続距離	約97km (60mi)

出所) Archer Aviation 社 HP, <https://www.archer.com/maker> (閲覧日: 2022年2月21日)

② 欧州の動向

本項では欧州における主要な機体とその事業者の動向として、以下に示す 3 事業者について整理する。

Volocopter/ドイツ

(1) 事業者の概要

Volocopter 社は 2011 年に設立されたドイツの機体メーカーであり、日本からは三井住友海上等の企業が出資している。

機体に関しては有人機の VoloCity 及び VoloConnect や無人機の VoloDrone を開発している。

(2) 機体の開発状況

Volocopter 社は近距離交通用の VoloCity、航続距離を延長した VoloConnect を開発している一方で、複数の試験機を用いた飛行試験を実施している。2011 年には試験機である VC1 を用いて史上初めて電動マルチコプタの有人飛行を達成し、その後も 2X 等に代表される試験機を用いて様々な飛行実験を行っている。2016 年には自社開発機体による初の有人飛行試験を実施し、2021 年 8 月には 2X を用いて米国で初となる eVTOL による有人飛行試験を実施した。2022 年 1 月末には VoloCity による飛行試験を開始した。

EASA からの型式証明について、VoloCity は 2023 年までに、VoloConnect は 2026 年ま

で取得するとの見通しを表明している。なお 2021 年時点で EASA より機体設計プロセスに関する認証である DOA (EASA Part-21 J) 及び設計から生産までの認証である POA (EASA Part-21 G) を取得しており、EASA から DOA 及び POA の両方の認証を受けた唯一の eVTOL メーカーとしている¹。また EASA の型式証明と同時に FAA からの型式証明の取得も目指しており、14 CFR 21.17 (b) special class に該当するとしている。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-8 に VoloCity 及び VoloConnect の機体諸元を示す。VeloCity は 2 名が搭乗可能な Multirotor 方式の機体であり、航続距離は 35km、巡航速度は 90km/h、ペイロードは 200kg である。VoloConnect は 4 名が搭乗可能な Lift and Cruise 方式の機体であり、航続距離は最大 100km、巡航速度は 180km/h、ペイロードは最大 400kg を計画している。

表 2.4.2-8 VoloCity 及び VoloConnect の諸元

機体	VoloCity	VoloConnect
イメージ図		
サービス開始 予定時期	2023	2026
推進方式	Multirotor	Lift + Cruise
座席数	2	4 (パイロット1、乗客3)
質量	900kg (MTOW)	公開情報なし
ペイロード	200kg	300~400kg (660~880lb)
形状	長さ: 11.3m 幅: 11.3m 高さ: 2.5m	公開情報なし
速度	最高速度: 110km/h 巡航速度: 100km/h	最高速度: 250km/h 巡航速度: 180km/h
航続距離	35km	約97km (60mi)

出所) Volocopter 社 HP, <https://www.volocopter.com/> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

出所) Volocopter 社, Technical Features, https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/20190819_VoloCity_Specs.pdf (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

Lilium Aviation 社/ドイツ

¹ Volocopter 社, The #UAMglossary is back with the next two terms: DOA and POA.,

<https://www.volocopter.com/newsroom/blog/blog-uamglossary-no-2-doa-and-poa/> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

(1) 事業者の概要

Lilium Aviation 社は 2015 年に設立されたドイツの機体メーカーであり、2021 年 3 月に NASDAQ に上場した。

なお機体については 2025 年のサービス開始を目指して Lilium jet を開発している。

(2) 機体の開発状況

2013 年にコンセプトを発表し、2015 年にはハーフスケールモデルの飛行試験を実施、2017 年にはフルスケールタイプでの飛行試験を実施した。2019 年 5 月には量産機のプロトタイプによる初の飛行試験を実施した。一方で 2020 年 2 月に試験機の初号機を焼失したことから 2021 年 7 月に 2 号機を製造し、飛行試験を開始した。同年 10 月には約 30 分でフル充電が可能な急速充電インフラ開発について ABB E-mobility 社との提携を発表しており、1 日 1 機あたり 20 から 25 フライトの運用を可能にするとしている。

認証に関しては航空の安全に関する相互承認協定 (BASA) のもと、FAA 及び EASA の双方から同時に認証を取得する見通しを公表しており、2020 年時点で EASA から CRI-A01 を取得している。FAA からの認証については part23 での取得を目指している。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-9 に Lilium jet の機体諸元を示す。Lilium jet はパイロット 1 名と乗客 6 名、合計 7 人乗りの Vectored Thrust 方式の機体であり、巡航速度は 280km/h、航続距離は 250km 以上を計画している。

表 2.4.2-9 Lilium jet の諸元

機体	Lilium jet
イメージ図	
サービス開始 予定時期	2025
推進方式	Vectored Thrust
座席数	7 (パイロット1、乗客6)
質量	3,175kg
ペイロード	700kg
形状	長さ：8.5 m 幅：13.9 m
速度	巡航速度：280km/h (175mph)
航続距離	約249km (155mi) 以上

出所) Lilium Aviation 社 HP, <https://lilium.com/> (閲覧日：2022年2月21日)

Airbus/フランス

(1) 事業者の概要

Airbus 社は 1970 年に設立されたフランスの大手航空機メーカーであり、旅客機やヘリコプターをはじめとした様々な機体を製造している。

eVTOL としては CityAirbus 及び CityAirbus NextGen 等の機体を開発している。

Airbus 社は 2024 年開催予定のパリ五輪にて eVTOL の運航を計画する事業者の 1 つであり、ほかに Volocopter 社、Vertical Aerospace 社、Ascendance 社、Lilium Aviation 社、Joby Aviation 社等が協力する可能性がある。

(2) 機体の開発状況

CityAirbus については 2019 年 5 月に初飛行、2020 年 8 月には完全自律飛行に成功している。2021 年 9 月に発表された CityAirbus NextGen は 2023 年の飛行試験開始、2025 年ごろの認証取得を計画しており、航続距離 80km、巡航速度は 120km を計画している。また CityAirbus NextGen は EASA SC-VTOL Enhanced Category に適合しているとしており、大都市での様々なミッションに利用可能としている。これまで Airbus 社では技術実証機である Vahana による試験を実施しており、CityAirbus と合わせて約 240 回の地上試験及び飛行試験を実施し、累計飛行距離は 1000km に及ぶ。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-10 に CityAirbus 及び CityAirbus NextGen の機体諸元を示す。CityAirbus は Multicopter 方式、CityAirbus NextGen は Lift and Cruise 方式の機体であり、それぞれ 4 名が搭乗可能である。

表 2.4.2-10 CityAirbus 及び CityAirbus Nextgen の諸元

機体	CityAirbus	CityAirbus NextGen
イメージ図		
サービス開始 予定時期	2024	2025
推進方式	Multicopter	Lift + Cruise
座席数	4	4
質量	2.2t (MTOW)	公開情報なし
ペイロード	250kg	公開情報なし
形状	長さ: 8m 幅: 8m	公開情報なし
速度	巡航速度: 120km/h	巡航速度: 120km/h
航続距離	30km	80km

出所) Airbus 社 HP, <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

出所) Airbus Completes First Full-Scale Demonstration of CityAirbus Electric Helicopter, <https://www.news18.com/news/auto/airbus-completes-first-full-scale-demonstration-of-cityairbus-electric-helicopter-4026083.html> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

③ その他の動向

本項ではその他の地域における主要な機体とその事業者の動向として、以下に示す中国の 1 事業者について整理する。

EHang/中国

(1) 事業者の概要

2014 年に設立された中国のドローンメーカーである EHang 社は、旅客輸送や消防等の用途を想定した有人の eVTOL を開発している。

eVTOL に関しては、完全自律飛行を行う機体を開発しており、Multicopter 方式の EHang 216 と Lift and Cruise 方式の VT-30 を開発している。

(2) 機体の開発状況



EHang 216 は 2017 以来、世界各国で飛行試験を実施しており、2020 年 5 月には中国民用航空局 (CAAC) より商業貨物輸送の承認を取得した。同年 7 月には中国で観光客を乗せた試験飛行を実施した。また 2021 年 6 月には日本でも飛行試験を実施した。2021 年 12 月には旅客輸送について CAAC からの認証取得が今後数カ月以内に実施される見通しを公表しており、11 月末時点で累計 11 か国、2 万回以上の自律飛行試験の実績を持つ。2022 年 2 月には CAAC より認証を取得するために満たすべき特別条件が公開された。

2021 年 5 月には、都市内での運用を想定している EHang 216 に対して都市間での運用を想定した機体である VT-30 が発表され、既に垂直離着陸等の飛行試験を実施していると公表した。

(3) 機体の諸元

表 2.4.2-11 に EHang 216 及び VT-30 の機体諸元を示す。EHang 216 は Multirotor 方式の 2 人乗り用機体であり、最高速度は 130km/h、最大 220kg のペイロードを搭載した状態での航続距離は 35km 程度である。VT-30 は Lift and Cruise 方式の 2 人乗り用機体であり、最大飛行時間 100 分、最大飛行距離 300km を計画している。

表 2.4.2-11 EHang 216 及び VT-30 の諸元

機体	EHang 216	VT-30
イメージ図		
サービス開始 予定時期	2025	公開情報なし
推進方式	Multirotor	Lift + Cruise
座席数	2	2
質量	公開情報なし	公開情報なし
ペイロード	220kg	公開情報なし
形状	幅：5.61m 高さ：1.77m	公開情報なし
速度	最高速度：130km/h 巡航速度：約100km/h	公開情報なし
航続距離	35km (最大ペイロード時)	300km

出所) Transport up, EHang 216, <https://transportup.com/ehang-216/> (閲覧日：2022 年 2 月 21 日)

出所) EHang 社プレスリリース, <https://www.ehang.com/news/772.html> (閲覧日：2022 年 2 月 21 日)

5.1.3 諸外国の都市・自治体における社会実装の検討状況の調査

諸外国における社会実装の検討状況として、都市や自治体が関連企業と連携し、空飛ぶクルマのサービス実装に取り組んでいる事例を調査した。主要な例として、米国ではフロリダ州オーランド市、ロサンゼルス市、ニューヨーク市、欧州ではパリ地域、その他の地域ではシンガポール、カナダ、ドバイが挙げられる。

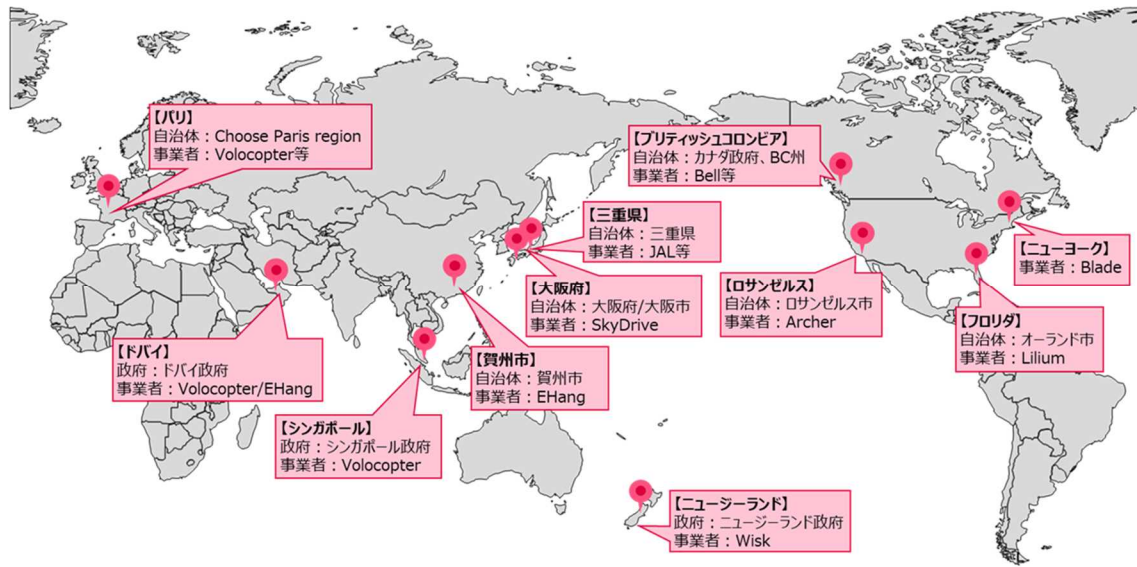


図 2.4.2-2 国内外における社会実装に向けた主な取組

出所) 公開情報より三菱総合研究所作成

① 米国の動向

(1) フロリダ州オーランド市

米国フロリダ州オーランド市は、LiliumならびにTavistock Development Companyとパートナーシップを締結し、オーランド国際空港近くのレイク・ノナ周辺に米国で最初の離発着場を建設して2025年ごろからの商用化を目指している²。Liliumはレイク・ノナに56,000平方フィート（約5,200平方メートル）の離着陸場を建設し、地域に新しい雇用や10年間で170万ドルの経済効果をもたらすと発表している。

また、レイク・ノナがあるオーランド市では、UAM導入に関するホワイトペーパーの中で、地域におけるルートや離着陸場所候補について検討している。

² オーランド市, <https://news.orlando.org/success-stories/why-lilium-established-its-first-u-s-vertiport-in-orlando/> (閲覧日: 2022年2月21日)

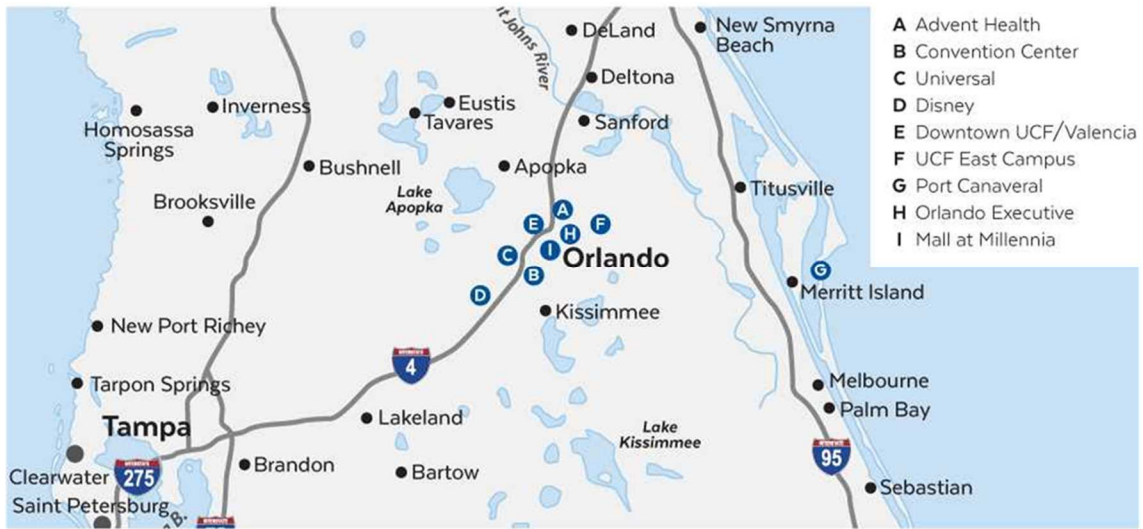


図 2.4.2-3 フロリダ州オーランド市が検討しているポート候補

出所) City of Orlando, “URBAN AIR MOBILITY OVERVIEW

(2) LA

米国カリフォルニア州ロサンゼルス市は、2020年12月にロサンゼルス市長室、ロサンゼルス運輸省(LADOT)、都市交通研究所(Urban Movement Labs, UML)と、2023年頃のUAM導入を目指すコンソーシアムを設立している。都市交通研究所は、ロサンゼルス市と協力して、新しい技術の理解を得ていくための活動をしており、このプロジェクトには、Archer aviation、Hyundai、Volocopterがパートナーとして加わっている³。

(3) ニューヨーク

ニューヨーク市は自治体としてのUAMに関する主体的な取組は発表していない。

ニューヨークに関連するUAM関連事業者としてBladeがある。同社は将来のUAM機の導入に積極的であり、複数の機体メーカーとパートナーシップを締結している⁴。

表 2.4.2-12 Blade社のUAM導入に関する機体メーカーとの連携状況

機体メーカー	パートナーシップの状況
Airbus helicopters	2018年にUAMに関するパートナーシップを締結
Beta technologies	2024~2025年にかけて、Beta technologiesのeVTOLを最大20機購入するMOUを締結
Eve urban air mobility	2026年以降、EmbraerのEve urban air mobilityからeVTOLの提供を受けるパートナーシップを締結

② 欧州の動向

(1) パリ地域

³ Urban Movement Labs, <https://www.urbanmovementlabs.com/projects/> (閲覧日: 2022年2月21日)

⁴ Blade, <https://www.blade.com/UAM-eva> (閲覧日: 2022年2月21日)

パリ地域ではパリの産業振興を行う Choose Paris Region、パリ交通公団（RATP）、ADPグループ（パリ＝シャルルドゴール空港などを運営する空港運営企業）が中心となり、2024年7～8月に開催されるパリオリンピックでのショーケースを目指してUAMの実証実験を進める Re. Invent Air Mobility プロジェクトが進められている。2021～2023年にかけて実証実験が行われるが、協力企業として Volocopter, Airbus, EHang をはじめ 30社が選定されている⁵。

表 2.4.2-13 パリ地域の実証実験におけるパートナー企業

	機関・企業	概要
機体開発	Volocopter	ドイツの eVTOL メーカー
	EHang	中国の eVTOL メーカー
	Airbus	欧州の機体メーカー
	Ascendance Flight Technologies	フランスの eVTOL メーカー
	H ³ Dynamics	シンガポールのドローンメーカー
	Pipistrel	スロベニアの軽飛行機メーカー
	Safran Electronics & Defense	民間・軍事向けの航空機器メーカー
	Vertical Aerospace	イギリスの eVTOL メーカー
	Zipline	医療用ドローンの製造・運用会社
オペレーション	Air France	フランスの航空会社
	CAE	フライトシミュレーターの製造メーカー
	Dassault Falcon Service	ビジネスジェットのメンテナンス会社
	ESTACA	フランスの技術専門大学
	Helifirst	ヘリコプターオペレータ
	Helipass	オンデマンドヘリコプターのプラットフォーム
インフラ	Green Motion	電気自動車 の充電システムプロバイダ
	IDEMIA I&S	セキュリティソリューションプロバイダ
	Leosphere	LIDAR 機器プロバイダ
	Skyports	Vertiport 設計者・オペレータ
空域統合	Cergy University and ESSEC	教育機関によるコンソーシアム
	ENAC	民間機向けの航空専門学校
	Internest	自動着陸用の位置測位システム開発企業
	M3 Systems	位置追跡システム開発企業
	Thales SIX	オンボードの衝突防止システム開発企業
住民理解	Bruitparif	イル・ド・フランス地域の騒音環境技術評価センター
	Ecole Polytechnique	フランスの公立高等教育研究機関
	Envirosuite	環境データからの技術ソリューション
	UC Berkeley Institute of Transportation studies, NEXTOR	FAA が設立したコンソーシアム
	ONERA	フランス国立航空宇宙研究センター
	Royal Netherlands Aerospace Centre	オランダ王立航空宇宙センター

出所) ADP、<https://presse.groupeadp.fr/uam-callforexpressions-winners/> (閲覧日: 2022年2月21日)

⁵ Choose Region Paris, “Re. Invent AirMobility”, <https://www.chooseparisregion.org/calls-for-applications/reinvent-air-mobility> (閲覧日: 2022年2月21日)

(2) ドイツ バイエルン州インゴルシュタット市

2018年、インゴルシュタット市議会は都市のデジタル化戦略の一環として、デジタルモビリティを実証するためのパイロット都市を目指すことを宣言し、EIP-SCC

(European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities) のUAMイニシアチブに参加した。それ以降、インゴルシュタット市は、旅客輸送や救助サービス等にエアタクシーを活用する革新的な都市モビリティモデルの定義に取り組んでいる。

(3) イギリス

イギリスでは、Eve urban air mobility がリーダーとなり、NATS, Heathrow airport, London city airport, Skyports, Vertical Aerospace, Volocopter, atech が加わる Air Mobility Consortium が立ち上げられている。コンソーシアムとして、英国民間航空局の Future Air Mobility Regulatory Sandbox に協力しており、空域にエアタクシー運航を統合するための ConOps の開発を行っている。

③ その他の動向

(1) シンガポール

Volocopter はシンガポール経済開発庁 (EDB) およびシンガポール民間航空庁 (CAAS) と協力して、2023 年末頃までにシンガポールでサービス開始することを発表している。初期段階では、マリーナベイの景色を望む南の海を巡る観光ルートが想定されており、中長期的には、国境を越えたフライトも視野に含まれている。

Volocopter は、2030 年までにシンガポールに 4~6 つのポートを設置し、初期はマリーナベイとセントーサ島を巡る観光ルート、中長期的にはマリーナサウスやチャンギ空港からインドネシアやマレーシアへの国境を越えた便を含むようにネットワークを拡大するとしている。

2024	SHORT-TERM	MID-TERM VISION	LONG-TERM VISION
MARINA BAY Touristic Route	SENTOSA VIEW Touristic Route	MARINA SOUTH Business Traveler and Commuter Routes to Economic Centers in Malaysia/Indonesia	CHANGI AIRPORT Business Traveler and Commuter Routes to Economic Centers in Malaysia/Indonesia

図 2.4.2-4 シンガポールにおける Volocopter のサービス導入ロードマップ

出所) Volocopter, https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/Volocopter_Whitepaper_Singapore-Roadmap_Web-2.pdf (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)



図 2.4.2-5 シンガポールにおける Volocopter の中長期的なルートイメージ
(チャンギ空港からマレーシアの Ibrahim International Business District)

出所) Volocopter, https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/Volocopter_Whitepaper_Singapore-Roadmap_Web-2.pdf (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

(2) カナダ ブリティッシュコロンビア

ブリティッシュコロンビア州では主要都市のバンクーバーを含むメトロバンクーバーエリアにおける UAM の導入に関する検討を実施するコンソーシアムとして CAAM (Canadian Advanced Air Mobility consortium) を立ち上げている。コンソーシアムには行政、企業、大学などが参加しており、UAM の導入効果、ユースケース、インフラの整備方針等について議論が行われている⁶。

(3) ドバイ

ドバイ道路運輸局 (RTA) は” Dubai Self-Driving Transport Strategy & Roadmap” を策定し、2030 年までにモビリティによるトリップの 25% を自動化する目標を掲げている。RTA は、2017 年に EHang 社と空飛ぶクルマを推進するパートナーシップを発表しており、EHang はドバイ民間航空局 (DCAA) の試験場で飛行試験を実施した。さらに、2017 年 9 月には Volocopter 社の機体を 8 分間、500m の距離を無人で飛行させる実証実験を実施している⁷。

5.1.4. 国内における取組み事例の調査

空飛ぶクルマの国内における実装に向けては、地方自治体による支援や後押しが重要と考えられる。ここでは、国内の地方自治体において、空飛ぶクルマの実装に向けた具体的な

⁶ CAAM, <https://canadianaam.com/2021/10/25/toronto-white-paper-press-release/> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

⁷ Volocopter, <https://www.volocopter.com/newsroom/volocopter-as-an-autonomous-air-taxi-in-dubai/> (閲覧日: 2022 年 2 月 21 日)

取組みを行っている事例を調査した。具体的には、三重県、大阪府、愛知県を取組みを調査した。

三重県や大阪府では、自治体としての今後の取組みの方向性を取りまとめたロードマップ策定を行う他、ヘリコプターやドローンを用いた実証実験を進めている。愛知県では、産業振興の観点から、空飛ぶクルマメーカーによる機体開発の後押しを行っている。

① 調査結果

(1) 三重県の取組み

三重県では、地域課題の解決や地域における生活の質の維持・向上、そして新たなビジネス創出を図ることを目的として、民間事業者による実証実験の推進と事業化、県内事業者による空飛ぶクルマに関する将来のビジネス展開を促進している。

2020年3月、三重県における「空飛ぶクルマ」の実現に向けて、活用に向けたスケジュール、産学官による取組を定めた「空飛ぶクルマ三重県版ロードマップ」を策定した。図 2.4.2-6 に当該ロードマップを示す。

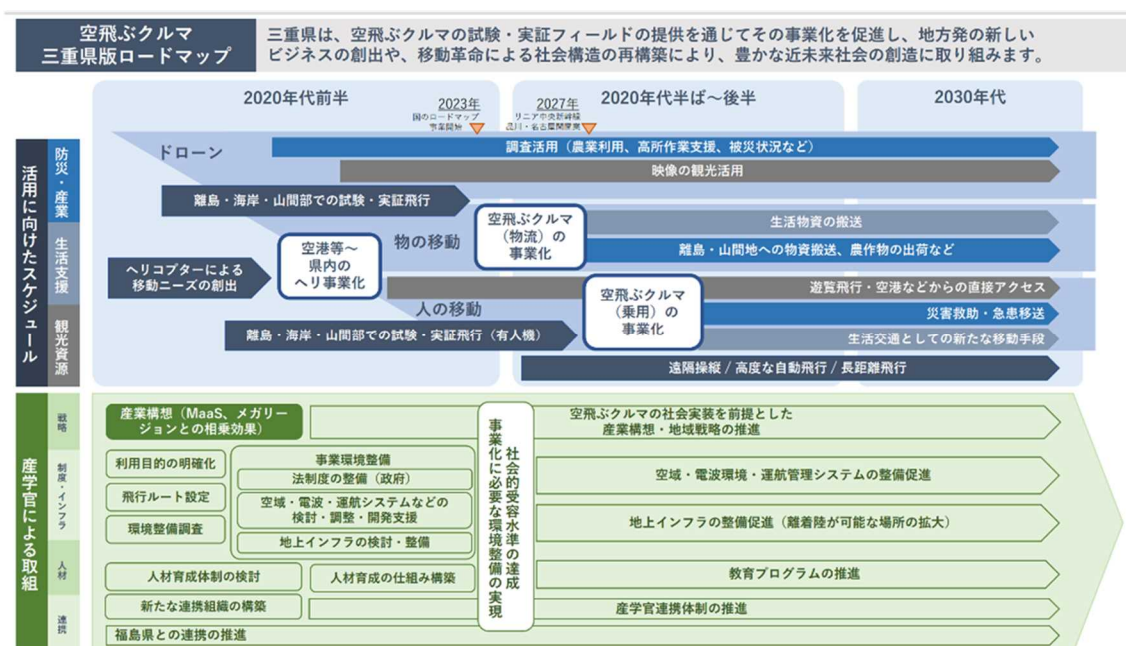


図 2.4.2-6 空飛ぶクルマ三重県ロードマップ

出所) 三重県 Web サイト (<https://www.pref.mie.lg.jp/TOPICS/m0031500179.htm>)

(2) 大阪府の取組み

大阪府は、ポストコロナの成長をけん引する産業の創出、イノベーションの促進のため、空飛ぶクルマ社会実装推進事業に取り組んでいる。2020年11月、大阪府は「空の移動革命社会実装大阪ラウンドテーブル」を設置し、2025年大阪・関西万博をひとつのマイルストーンとして、関係者間で精力的に協議や実証実験を重ね、国の官民協議会の議論に資する具体的な提案を行うほか、様々なステークホルダと連携して、社会受容性

の向上を図るなど、空飛ぶクルマの実現に向けた取組みを加速させていくため、具体的かつ実践的な協議・活動の核として活動を進めていくこととしている。

離着陸場利活用に向けた可能性調査については、大阪市内のビル屋上ヘリポートにヘリコプターを離着陸させ、ビル屋上や当該ビル内部、地上、経路下等の周辺における騒音を測定すると共に、空飛ぶクルマを想定したヘリコプターによる移動を含めた場合と地上交通機関のみを利用した場合とで、移動時間に関する比較検証を行った。

(3) 愛知県の取組み

愛知県では、「あいち産業労働ビジョン」において、戦略的成長産業分野を「次世代自動車」「航空宇宙産業」「ロボット産業」の3分野に設定し、重点的な支援を実施している。愛知県が誇る当該3分野の製造技術を集約し、空飛ぶクルマの開発・生産拠点として整備することを目指している。具体的な取組みとしては、産業空洞化に対応する目的で研究開発・実証実験を支援する「新あいち創造研究開発補助金」制度において、SkyDriveによる空飛ぶクルマの実証実験の取組みが進められている。

また、愛知県豊田市は、SkyDriveと2021年6月に物流ドローンの災害時活用及び社会実装促進に向けた協定を締結した。この協定により、災害時には、豊田市の要請に対して、株式会社SkyDriveが開発した物流ドローンを提供することとしている。

5.2. 調査項目②「成熟度レベルのフレームワークの検討」

空の移動革命に向けた官民協議会のユースケース検討会の検討状況等を踏まえ、国内における空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークを策定する。具体的には、空飛ぶクルマの運航の自動化・自律化、高密度化の観点から、空飛ぶクルマの社会実装の成熟度を6程度のレベルに区分し、技術的な要件の大枠を整理した。

各成熟度レベルについて、国内の社会実装イメージとの対応を整理する。具体的には、ユースケース検討会の議論の状況を参照し、短期～中長期的な社会実装イメージと各成熟度レベルとの対応を整理し、整合性を確保した。

以下に、成熟度レベル設定の考え方を示す。

NASA UMLs等の諸外国の検討事例をもとに、成熟度を説明する基本的な観点として、自動化の進展、運航の複雑性（＝空域利用や気象条件、ポートのキャパシティや周辺環境等）、運航頻度といった複数の観点をもとに成熟度レベルを定義することとした。また、これらの複数の観点について、定量的な数値ではなく、低・中・高、といった段階的なスコアを設定し、その組み合わせにより、6段階の成熟度レベルを設定した。

ユースケースの特性に応じた要素としては、飛行距離や環境条件を考慮した。

空飛ぶクルマの主なユースケースと、その中長期的な実現イメージは、空の移動革命に向けた官民協議会の下に設置されたユースケース検討会の中で検討が進められ、2021年度の検討の結果、図2.4.2-7に示すように整理された。

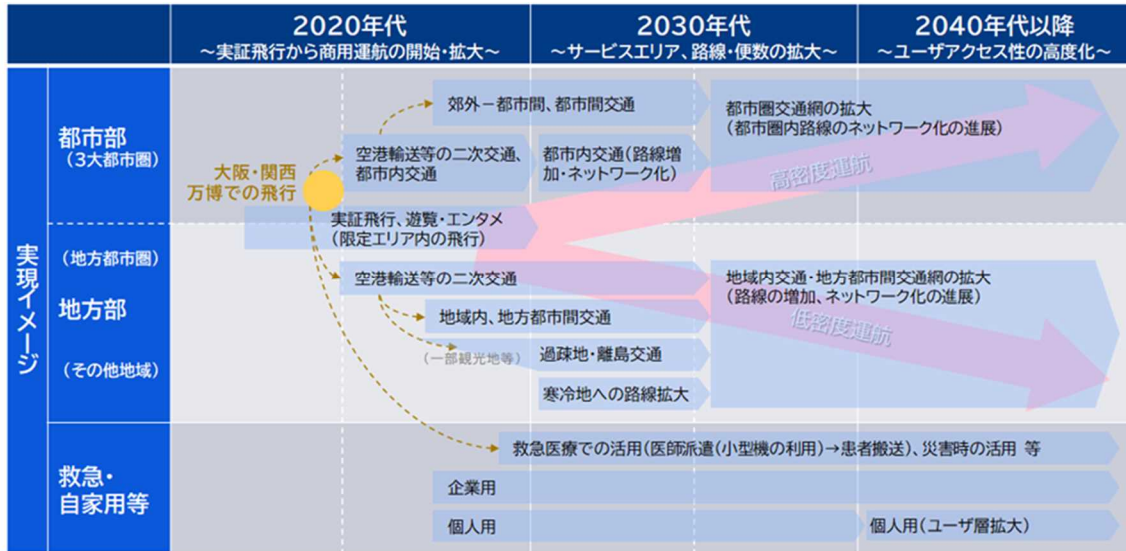


図 2. 4. 2-7 空飛ぶクルマの中長期的な実現イメージ

出所) 空の移動革命に向けた官民協議会ユースケース検討会

成熟度レベルのフレームワークの策定に当たっては、都市部、地方部のユースケースや中長期的な実現イメージを踏まえて、ユースケースに共通の基本要素と、3つのユースケースに特有の要素に分けて整理した。

① ユースケースに共通の基本要素

- (1) 自動化の進展
- (2) 空域利用の進展
- (3) 離着陸場所の進展
- (4) 機体価格
- (5) 安全性

② ユースケースに特有の要素

- (1) 運航密度
- (2) ポート
- (3) 運航サービス価格
- (4) 飛行環境

成熟度レベルのフレームワークの検討結果を以下に示す。

表 2. 4. 2-14 に成熟度レベルの基本要素、表 2. 4. 2-15 にエアタクシー/2次交通(主に3大都市)の要素、表 2. 4. 2-16 に地方都市間交通/2次交通(全国の地方都市)の要素、表 2. 4. 2-17 に離島・過疎地交通の要素を示す。

成熟度レベル1は、実証飛行の段階を示す。

成熟度レベル2は、商用飛行が開始された段階を示す。

成熟度レベル3は、自動化レベルとして、人がシステムを監督的にコントロールする段階に向上し、運航の安全にとって重要なモニタリング機能やシステム内の多岐にわたる特定ハザードの軽減のための介入措置をシステムが提供するが、運航の安全はまだ人が全責任を負う段階となる。

成熟度レベル4は、自動化レベルが、人による監視や自動化機能の不具合に対する対応が不要になるほどの自動化機能が担保されているレベル（但し、システムの安全性とレジリエンスを担保するにあたって、人による全体の監督が引き続き必要）となる。

成熟度レベル5は、自動化レベルが更に向上し、必要時にシステムから人に対してアクションを起こすよう通知されるレベルとなり、リアルタイムの人間の関与が必要ないレベルとなる。

成熟度レベル6は、人による監督も介入も必要ない程度の自動化レベルが達成され、安全のみならず効率の観点でシステムが運用される。

安全性（TLS）については、考え方として、商用運航の開始を示す成熟度レベル2以降に設定し、当初はVFR機やGA機と同等の安全性を達成しつつ、成熟度レベルの向上と共に、目標とする安全性も段階的に向上する方針を整理した。

機体価格については、成熟度レベル1～2は、機体生産数が少ないことから価格「高」としつつ、成熟度レベル3～4では機体生産数の向上と機能向上を含めて中程度に低下、成熟度レベル5は機体生産数の更なる増加により価格低下、成熟度レベル6で大衆化する流れを整理した。運航コストについては、成熟度レベルの高度化と共に段階的に低減する流れを整理しつつ、成熟度レベル4以降、運航密度の違いを反映し、都市部では地方部よりも低価格化が1段階早く実現する流れを整理した。

表 2. 4. 2-14 成熟度レベルの基本要素

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
自動化の進展	人の関与の程度	Human within the loop		Human on the loop		Human over the loop	
	機上パイロットの有無	機上パイロット有り・無しの双方の機体の実証	機上パイロット有りの機体のみが飛行	機上パイロット無しの機体(遠隔操縦、遠隔監視、自律飛行等を含む)も飛行			
空域利用の進展	気象状態	VMC限定	VMC中心(一部緩和)	IMC相当			
	空域利用	・空域分離された限定エリア内の運航	・従来方式・手順(VFR)を原則、一部修正 ・ATMとの通信は従来通り	・従来方式・手順(IMC対応可)を原則、一部修正 ・サービスプロバイダによる運航調整の導入	・サービスプロバイダによるATM・UTMとの連携と交通管理の開始 ・高リスク空域への効率的な進入	・ATM・UTMとの高度な連携 ・自動化された交通管理・空域管理	・他の航空機、無人航空機等との自律的なコンフリクト解消
離着陸場所の進展		人口密集地外(既存ヘリポート等、港湾部への新規設置等)	人口密集地外(既存ヘリポート等、港湾部や観光地への新規設置等)	人口密集地内(ユーザの集まる交通・観光拠点等への拡大、建物屋上を含む)	人口密集地内(商業・オフィスエリア等への拡大)	人口密集地内(ユーザの多い居住エリア内の拠点等、日常生活圏への拡大)	人口密集地内(住宅地近隣を含め、日常生活圏への統合)
機体価格		高		中(製造効率化↓+高機能化↑)		低	最低(大衆化へ)
安全性(TLS)		-		VFR機/GAと同等程度以上(段階的に向上)			

表 2. 4. 2-15 エアタクシー/2次交通(主に3大都市)の要素

成熟度レベル		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
概要		・都市沿岸部等、限定エリアでの実証飛行	・少数の2地点間路線における低頻度の商用運航	・路線数の増加、長距離化・ネットワーク化 ・定時性・就航率の向上 ・ビル屋上ポートの増加	・既存の大規模空港への効率的な運航 ・路線密度・運航頻度の増加 ・システムの自動化レベル向上 ・大人数乗り機体の利用	・商業地を中心にポート数の増加と一部の居住エリアへの導入によるユーザアクセス性の向上	・住宅近隣を含めたポート数の更なる増加とユーザアクセス性の向上
運航密度		低			中	高	最高
ポート	数	少		中		高	最高
	容量	低		中(一部高)		高	
運航サービス価格		-	高	中	低(大衆化へ)		
飛行環境	移動距離	短	中		中(一部長)		
	環境条件	(VMCでの運航)	(VMC中心での運航)	IMC相当での運航、運航条件の拡大(夜間飛行等)	運航条件の拡大(凍結気象状態等)		

表 2.4.2-16 地方都市間交通/2次交通（全国の地方都市）の要素

成熟度レベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
概要	・限定エリアでの実証飛行	・少数の2地点間路線における低頻度の商用運航	・路線数の増加、長距離化・ネットワーク化 ・定時性・就航率の向上 ・ビル屋上ポートの増加 ・自家用機の導入	・既存の大規模空港への効率的な運航 ・導入地域の増加 ・システムの自動化レベル向上 ・大人数乗り機体の利用	・商業地を中心にポート数の増加と一部の居住エリアへの導入によるユーザーアクセス性の向上 ・自家用機の本格運用	・住宅近隣を含めたポート数の増加とユーザーアクセス性の向上 ・自動車との統合型機体の運用
運航密度	低			中		
ポート	数	少	中			
	容量	低	中(一部高)			
	無人運用	－	無人化			
運航サービス価格	－	高	中		低(大衆化へ)	
飛行環境	移動距離	短	中	長		超長
	環境条件	(VMCでの運航)	(VMC中心での運航)	IMC相当での運航、運航条件の拡大(凍結気象状態等)		

※青字は「エアタクシー/2次交通（主に3大都市）」と異なる箇所

表 2.4.2-17 離島・過疎地交通の要素

成熟度レベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
概要	・限定エリアでの実証飛行	・少数の2地点間路線における低頻度の商用運航	・路線数の増加、長距離化・ネットワーク化 ・定時性・就航率の確保 ・自家用機の導入	・導入地域の増加、長距離化 ・システムの自動化レベル向上	・住宅近隣を含めた居住エリアへのポート導入によるユーザーアクセス性の向上 ・自家用機の本格運用 ・自動車との統合型機体の運用	
運航密度	低			中		
ポート	数	少	中			
	容量	低	中(一部高)			
	無人運用	－	無人化			
運航サービス価格	－	高	中 (社会インフラコスト維持低減を考慮したサービス価格低減)		低 (他地域を含めたトータルコスト低減によるサービス価格低減)	
飛行環境	移動距離	短	中	長		超長
	環境条件	(VMCでの運航)	(VMC中心での運航)	IMC相当での運航、運航条件の拡大(凍結気象状態等)		

※青字は「エアタクシー/2次交通（主に3大都市）」と異なる箇所

成熟度レベルのフレームワークは、空飛ぶクルマの進展を概念的に整理したが、成熟度レベルに対応した具体的な運航イメージを作成した。

① エアタクシー/2次交通（主に3大都市）に関する運航イメージ

エアタクシー/2次交通（主に3大都市）のユースケースについて、運航サービスの定量的な指標として、就航率、定時運航性、離着陸頻度、運航規模、移動距離の目安を示す。

表 2.4.2-18 エアタクシー/2次交通（主に3大都市）に関する運航指標（目安）

成熟度レベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
就航率	60～80%	80～90%	90～95%	95～99%	99%超		
定時運航性*	—	3分	2分	1分	30秒	10秒以下	
離着陸頻度	1ポート 当り	30～60分間隔	5～15分間隔	2～5分間隔	1～2分間隔	1分間隔以下	
	1パッド 当り	30～60分間隔	5～15分間隔	5～10分間隔	2～5分間隔	2分間隔以下	
運航規模	機体数	エリアで1～2機	都市圏で 数十機	都市圏で 数十～百機	都市圏で 数百～千機	都市圏で 千～数千機	都市圏で 数千～数万機
	ポート数	—	都市圏で 数十所～十カ所	都市圏で 十～数十カ所	都市圏で 数十～百数十カ所	都市圏で 百数十～数百カ所	都市圏で 数百カ所以上
移動距離	～10km程度	～50km程度		～80km程度			

② 地方都市間交通/2次交通（全国の地方都市）、離島・過疎地交通に関する運航イメージ

地方都市間交通/2次交通（全国の地方都市）、離島・過疎地交通について、運航サービスの定量的な指標として、就航率、定時運航性、離着陸頻度、運航規模、移動距離の目安を示す。

表 2.4.2-19 地方都市間交通/2次交通（全国の地方都市）、離島・過疎地交通に関する運航指標（目安）

成熟度レベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
就航率	60～80%	80～90%	90～95%	95～99%	99%超		
定時運航性*	—	3分	2分	1分	30秒	10秒以下	
離着陸頻度	1ポート 当り	30～60分間隔		15～30分間隔	15分間隔以下		
	1パッド 当り	30～60分間隔		15～30分間隔	15分間隔以下		
運航規模	機体数	エリアで1～2機	エリアで数機	エリアで数十機	エリアで 数十機～百機	エリアで 百～百数十機	エリアで 百数十以上
	ポート数	—	エリアで 数～十カ所	エリアで 十～数十カ所	エリアで 数十～百数十カ所	エリアで 数十～百カ所	エリアで 百カ所以上
移動距離	～10km程度	～50km程度	～100km程度		～200km程度		

5.3. 調査項目③「要素技術のロードマップ検討」

5.2. で策定した成熟度のフレームワークの各レベルに対応した要素技術の要求値を整理し、技術ロードマップとして取りまとめる。その際、5.4. で実施する詳細調査の検討結果を反映する。

5.3.1. 要素技術の整理

空飛ぶクルマの要素技術を網羅的に整理し、技術ロードマップ策定のためのベースとする。整理に当たっては、「技術WG」において議論し、「有識者委員会」の場で審議、承認を得た。

5.3.2. 要素技術に関する国内外の動向調査

要素技術のロードマップ策定に先立ち、要素技術毎に、国内外の技術開発動向を調査した。諸外国の主要プレイヤーにおける製品化動向や中長期的な開発方針を調査すると共に、国内メーカーの技術開発等の取り組み状況を調査し、要素技術の区分ごとに動向を整理した。

以下、主な要素技術について、主要な調査対象と動向を示す。

- ✓ **動力**：全電動推進システムの動力源であるモータの海外メーカーとしては、MaGicALL、Siemens、YASA、Safranなどが挙げられる。
- ✓ **電源**：リチウムイオン電池を中心としつつ、エネルギー密度の向上を求めて、リチウム硫黄電池、リチウム金属電池等の開発が進められている。主な海外メーカーとしては、OXIS Energy、Electric Power Systems、E-One Moli Energy、Amprius Technologies、Sion Power、Hypointなどが挙げられ、エネルギー密度としては、400～500Wh/kgを達成している。また、燃料電池を電源として採用するコンセプトも複数の企業から発表されている。
- ✓ **装備品**：飛行制御システムの海外メーカーとしては、Thales、Moog、Honeywell等が挙げられる。
- ✓ **クラッシュワージネス**：BRS AerospaceがeVTOLについて自動車業界で確立された安全レベルと同等の安全性を担保できる緊急着陸用パラシュートを開発している。
- ✓ **製造技術**：eVTOLの構造素材には、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）が用いられている。eVTOL向けの素材メーカーとしては、海外ではFACC、国内では東レがある。
- ✓ **CNS**：航法システムのメーカーとしては、uAvionixがeVTOL向けGPS「truFYX」を開発した。自律飛行システムやADS-Bシステムに対し、航空グレード基準で信頼性のある位置データを提供可能としている。また、Honeywellは文庫本サイズの軽量の慣性航法システム（INS）「HGuide n380」した。
- ✓ **フリート管理システム・交通管理システム**：海外ではコンセプトレベルの提案が複数行われており、UASの運航管理を行うUTMにeVTOL/UAMを統合するコンセプトと、eVTOL/UAM専用の空域を設定して運航管理を行い、UTMやATMと連携するコンセプトが提案されている。

- ✓ **給電システム**: 機体を直接充電する直接充電方式と、バッテリーを交換するバッテリー交換方式に大きく分けられる。海外では、EHangのEHang 216、BlackFlyのOperner、AirbusのPop.Up Nextは機体の直接充電方式、VolocopterのVoloCityはバッテリー交換方式を検討している。

① **機体**

5.1.2で調査した事業者が計画している機体の諸元について、表2.4.2-20及び表2.4.2-21、表2.4.2-22に整理する。2020年代前半では2人乗りを中心とした機体が多く、2020年代中盤以降は、4~7人程度が搭乗可能な機体を中心となる。

表 2.4.2-20 2020年代前半にサービス開始予定の機体

事業者/機体	サービス開始 予定時期		2024年				
	2023年						
事業者/機体	Volocopter /VoloCity	Joby Aviation /S4	Beta Technologies /Alia(Alia-250)	Archer Aviation /Maker	Wisk/Cora	Airbus /CityAirbus	Vertical Aerospace /VX4
イメージ図							
国	ドイツ	米国	米国	米国	米国	フランス	英国
推進方式	Multicopter	Vectored Thrust	Lift + Cruise	Vectored Thrust	Lift + Cruise	Multicopter	Vectored Thrust
座席数	2	5(パイロット1、乗客4)	6	2	2	4	5(パイロット1、乗客4)
質量	900kg (MTOW)	約2,177kg (4,800 lb)	2,722kg (MTOW)	1,508 kg	公開情報なし	2.2t (MTOW)	公開情報なし
ペイロード	200kg	約453kg (1,000 lb)	約635kg (1,400ポンド)	公開情報なし	181kg	250kg	450kg
形状	長さ: 11.3m 幅: 11.3m 高さ: 2.5m	長さ: 6.4m (21 フィート) 翼幅: 11.6m (38 フィート)	幅: 15.2m 貨物室: 5.7m	公開情報なし	長さ: 6.4m 幅: 11m	長さ: 8m 幅: 8m	長さ: 13m 幅: 15m
速度	最高速度: 110km/h 巡航速度: 100km/h	最高速度: 321km/h (200mph)	巡航速度: 270km/h (170mph)	約241km/h (150mph)	最高速度: 160 km/h	巡航速度: 120km/h	約325km/h (202mph)
航続距離	35km	約241km (150 mile) 以上	約463km (250nm)	約97km (60mi)	40km以上	30km	約161km (100mi)



出所) 各種公開情報より三菱総合研究所作成

表 2. 4. 2-21 2020 年代中盤以降にサービス開始予定の機体

サービス開始 予定時期	2025年					2026年
事業者/機体	Lilium aviation /Lilium jet	Bell /Nexus 4EX	Bell /Nexus 6HX	Ehang /Ehang 216	Airbus/CityAirbus NextGen	Volocopter /VoloConnect
イメージ図						
国	ドイツ	米国	米国	中国	フランス	ドイツ
推進方式	Vectored Thrust	Vectored Thrust	Vectored Thrust (ハイブリッド方式)	Multirotor	Lift + Cruise	Lift + Cruise
座席数	7 (パイロット1、乗客6)	5 (パイロット1、乗客4)	5 (パイロット1、乗客4)	2	4	4 (パイロット1、乗客3)
質量	3,175kg	3,175kg	2,720kg	公開情報なし	公開情報なし	公開情報なし
ペイロード	700kg	272kg	272kg	220kg	公開情報なし	300~400kg (660~880lb)
形状	長さ：8.5 m 幅：13.9 m	接地部分：12m×12m (40ft×40ft box)	接地部分：12m×12m, 幅：2.4m	幅：5.61m 高さ：1.77m	公開情報なし	公開情報なし
速度	巡航速度：280km/h (175mph)	約241km/h (150mph)	約288km/h (155kt)	最高速度：130km/h 巡航速度：約 100km/h	巡航速度：120km/h	最高速度： 250km/h 巡航速度：180km/h
航続距離	約249km (155mi) 以上	約111km (60nm)	約241km (130nm)	35km (最大ペイロード時)	80km	約97km (60mi)

出所) 各種公開情報より三菱総合研究所作成

表 2. 4. 2-22 サービス開始時期が不明な機体

事業者/機体	Alaka'i Technologies /Skai	EHang/VT-30
イメージ図		
国	米国	中国
推進方式	Multirotor (ハイブリッド方式)	Lift + Cruise
座席数	5	2
質量	公開情報なし	公開情報なし
ペイロード	約454kg (1000lb)	公開情報なし
形状	公開情報なし	公開情報なし
速度	約185km/h (115mph)	公開情報なし
航続距離	645km	300km

出所) 各種公開情報より三菱総合研究所作成

表 2. 4. 2-20 及び表 2. 4. 2-21、表 2. 4. 2-22 に示した機体については、その形状や重量、座席数等の観点から多様な設計がなされているが、推進方式の観点からは、大きく分けて Multirotor 式、Vectored Thrust 式、Lift and Cruise 式の 3 種類に区分できる。

推進方式によって航続距離が大きく異なり、機体のユースケースも異なるものとな

る。例えば、**Velocity** などの都市部での運用を念頭に開発される機体には高い安全基準、低騒音、有効な航続距離と速度、十分な乗客定員、運用効率、製品ライフサイクルの信頼性が求められることから、安全性が高く低騒音であり、システムが比較的簡素である **Multicopter** 方式が適していると分析している。また郊外や都市間等の遠距離を飛行するユースケースでは **Lift and Cruise** 方式や **Vectored Thrust** 方式の機体が多くみられた。

② 動力

(1) 技術概要

モータシステムは、モータ、インバータ、ギヤ、冷却機構等で構成され、電気エネルギーを運動エネルギー（ $[W] = \text{回転数}[\text{rpm}] \times \text{トルク}[\text{Nm}]$ ）に変換する。内燃エンジン（**ICE**）と比較して電動モータはピークの回転数が大きく、モータ単体ではエネルギー効率もよいとされているが、その急激な回転速度の増大から加熱が激しく、オーバーヒートを防ぐために相当の冷却が必要となる。この特性から **ICE** と比較して電動モータの冷却システムの構成比は大きく、重量が大きくなることが課題の一つとされている。**NASA** では小型エンジン・大型エンジンの重量構成の例示が図 2.4.2-8 のようになされている。

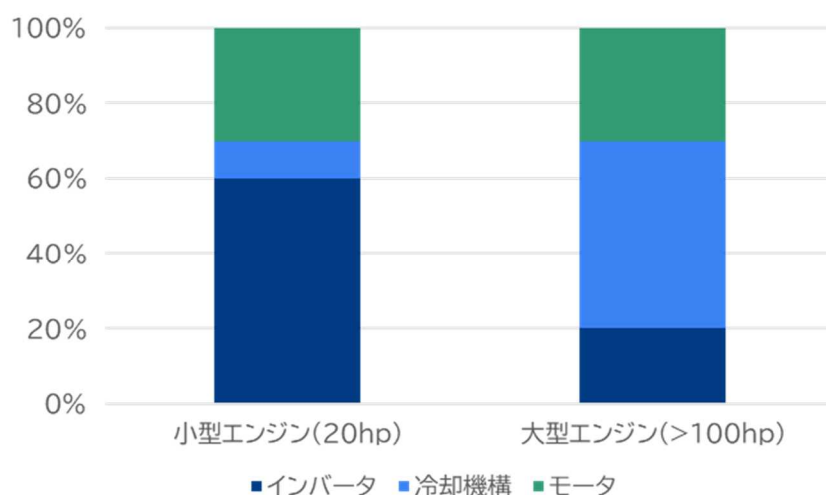


図 2.4.2-8 NASA による小型エンジン・大型エンジンの重量構成




出所) NASA 「Electric Vertical Takeoff and Landing (eVTOL) Aircraft Technology for Public Services - A White Paper」より三菱総合研究所作成、URL：
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205000636/downloads/2021-08-20-eVTOL-White-Paper-Final_V48.pdf

(2) 製品と性能に関する動向

表 2.4.2-23 各社のモータ製品性能に示すとおり、軽量・高出力のモータ製品が各社から発表されている。各社が発表する機体コンセプトに基づく、特に離着陸に要する出力を満たしていないことが分かる。不足分は、モータ性能の技術革新の促進、機体モ

デルの修正、あるいは内燃機関を組み合わせたハイブリッド推進システムの登用といった方法で解消する必要がある。

表 2.4.2-23 各社のモータ製品性能

会社名	米 MAGicALL	独 Siemens	英 YASA
モデル	(公開情報では不明)	SP200D	P400RHC
写真			
出力密度 (kW/kg) ※連続出力時	5.5	4.2	4.2
最大出力 (kW)	75	(公開情報では不明)	160
連続出力 (kW)	60	204	20-100
回転数 (rpm)	(公開情報では不明)	1,300	8,000
トルク (Nm)	最大 130	1,500	最大 370
重量 (kg)	11	49	24
その他仕様	冷却方式：空冷	インバータの種類： SiC	(公開情報では不明)
トルク密度 (Nm/kg)	最大 11.8	最大 30.6	最大 15.4

出所) 以下の出所にに基づき三菱総合研究所作成

MAGicALL) MAGicALL の UP、2021 年 10 月 12 日取得, URL:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.magicall.biz%2F&psig=AOvVaw3kmpHdxLxmhlI87hiJ1TS4&ust=1647669606158000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwii3vbd_c72AhVIDN4KHVY7A4MQr4kDegQIARBD

Siemens) Electric VTOL News 「Airbus CityAirbus」, 2021 年 10 月 12 日取得, URL:

[https://evtol.news/airbus-helicopters/;](https://evtol.news/airbus-helicopters/)

Siemens, 「Electric Flight」, 2021 年 10 月 12 日取得, URL:

<https://press.siemens.com/global/en/feature/electric-flight>

Siemens, 「Siemens eAircraft」, 2021 年 10 月 12 日取得,

URL:[https://www.ie-](https://www.ie-net.be/sites/default/files/Siemens%20eAircraft%20-%20Disrupting%20Aircraft%20Propulsion%20-%20000%20JH%20THO%20-%2020180427.cleaned.pdf)

[net.be/sites/default/files/Siemens%20eAircraft%20-%20Disrupting%20Aircraft%20Propulsion%20-%20000%20JH%20THO%20-%2020180427.cleaned.pdf](https://www.ie-net.be/sites/default/files/Siemens%20eAircraft%20-%20Disrupting%20Aircraft%20Propulsion%20-%20000%20JH%20THO%20-%2020180427.cleaned.pdf)

YASA) YASA, 「YASA P400 R Series」, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: <https://www.yasa.com/yasa-p400/>

(3) 動力の効率性に関する動向

モーターシステムでは、図 2.4.2-9 に示すとおり、エネルギーから運動エネルギーに変換される途中に損失が発生する。損失低減のため、モータ・ギヤ・インバータ等の構成要素を一体化する試みも存在する。

現在の技術では、「システムの平均効率」は 80%程度、維持することが可能であるとされている。将来的には、我が国においては、経済産業省主導の「次世代蓄電池・次世

代モータの開発プロジェクトに関する研究開発・社会実装の方向性」（以下、「国の次世代モータ開発指針」）において、効率的な放熱や損失低減等の施策を通じ、2030年時点で「システムの平均効率」=85%に達成することを目標として掲げられている。

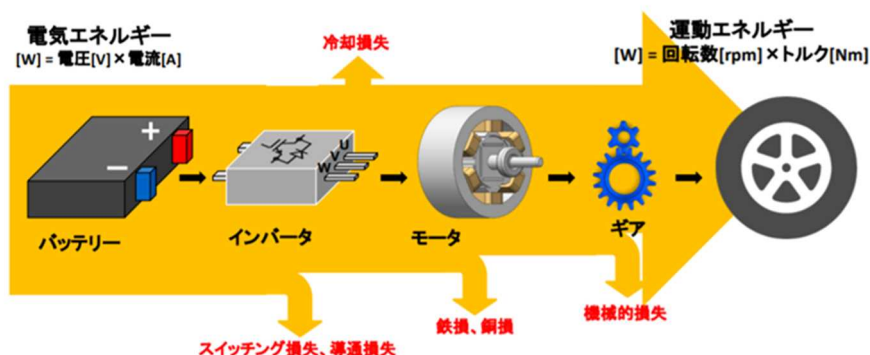


図 2.4.2-9 エネルギー変換の損失イメージ図

出所) 経済産業省, 「次世代蓄電池・次世代モータの開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装の方向性, 2021年10月12日取得, URL:
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restructuring/pdf/003_02_00.pdf

(4) 動力の出力密度に関する動向

最大出力が500W以上の場合、現在の既製品ではモータ単体で4~5kW/kgの出力密度が可能であるとされているが、冷却機構等の合わせたモータシステムとしては2kW/kgに低減するとされている。将来的には、我が国における国の次世代モータ開発指針では、モータシステムの小型・軽量化・高出力化の目標としてモータ単体で8.0kW/kg、モータシステムとして3.0kW/kgの出力密度を目指している。

製造面での課題等が詳しく検討されている例があまりないため、実用化・普及に向けた検討が今後の課題となっている。

(5) 空飛ぶクルマへの適用

表 2.4.2-24 に示すとおり、出力の小さいモータを数多く搭載するか、出力の大きいモータを数点搭載するかは、機体のコンセプトに依存する。

表 2.4.2-24 各機体コンセプトの性能とモータ情報

種別	メーカー	機体名	座席数	最大離陸重量 (MTOW)	積載重量	距離	モータ	備考
可動有	Bell Helicopter	Nexus 4EX ²⁾	5	(公開情報では不明)	(公開情報では不明)	97km	4基	ダクトプロペラを4点搭載。

翼	Airbus (A ³)	Vahana (Beta)	2	815kg	340kg	100km	45kW/ 基を 8 基	プロペラを 8 点搭載。 モーターは MAGicALL 社、 バッテリーは Airbus Defense 社製。
	Joby Aviation	Joby S4	5	2,200kg	380kg	290km	67kW/ 基 を 6 基	
	Lilium Aviation	Lilium Jet	5	(公開情 報では 不明)	(公開 情報 では 不明)	300km	36 基	ダクトファン を 36 点搭載。
固定有翼	Boeing/Aurora Flight Sciences	PAV	2	800kg	225kg	80km	75kW/ 基を 8 基	垂直飛行用の プロペラを 8 点、 前方推進用の プロペラを 1 点搭載。
無翼	Airbus	City Airbus	4	2,200kg	250kg	30km ¹⁾	100kW/ 基を 8 基	プロペラを 8 点搭載。 Siemens 社の モーター 「SP200D」を 独自に再設 計。
	Volocopter	Volocity VC 2-1	2	900kg	200kg	35km	18 基	ブラシレス DC モーターを 18 基 搭載。リチウ ムイオン電池 を 9 点搭載。

出所) 各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

(6) 空飛ぶクルマへの適用における課題

空飛ぶクルマの機体設計では、多くの場合、機体の周囲に複数のモーターが分散されている。離着陸時に高出力の要件を満たす必要がある一方、航空機の性能を妨げないように軽量化が課題となる。

③ 電源

蓄電池

(1) 技術概要

バッテリーは多様な電池系・材料系が存在するが、携帯型電子機器や電気自動車等で普及しているリチウムイオンバッテリー（現行 LiB）の電池系の場合、一般に負極、正極、セパレータ、電解液の材料系で構成され、放電時にはモーターシステム等による負荷、充

電時には充電器を通じて電気エネルギー（[W] = 電圧[V]×電流[A]）を供給・需給する。

リチウムイオンバッテリーの構成では、繰り返し充放電を行う特性（サイクル寿命）に優れるという利点がある一方で、構成する材料の重量や体積がかさむために、実現可能なエネルギー密度に限界（一般に 250～350Wh/kg）があるとされている。この課題を克服するため、先進 Li-B として正・負極や電解質等の材料系の性能向上や次世代型の電池系の開発が進んでいる。これらはエネルギー密度を理論的には大幅に向上するところ、サイクル寿命に課題があるとされている。

(2) 製品と性能に関する動向

表 2.4.2-25 に示すとおり、OXIS Energy 社、Amprius Technologies 社、Sion Power 社等の多数の企業が軽量でエネルギー密度の高い電池を開発している。

表 2.4.2-25 各社のバッテリー製品性能

会社名	OXIS Energy		Electric Power Systems	E-One Moli Energy	Amprius Technologies	Sion Power
	高容量型	高出力型				
分類	リチウム硫黄電池	リチウム硫黄電池	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池	シリコンナノワイヤ/リチウムイオン電池	リチウム金属電池
公称電圧 (V)	2.1	2.1	57.6	3.6	(公開情報では不明)	3.82
電圧範囲 (V)	1.9-2.6	1.9-2.6	40-67.2	2.5-4.2	(公開情報では不明)	(公開情報では不明)
容量 (Ah)	19	14.7	60	4.2	(公開情報では不明)	20
エネルギー (Wh)	42	34	3,500	16	(公開情報では不明)	79
エネルギー密度 (Wh/kg)	300	400	151	230	435 以上	500
充電速度 (h)	4	4	(公開情報では不明)	1.5	(公開情報では不明)	(公開情報では不明)
サイクル寿命	60-100	60-100	300	(公開情報では不明)	数百	1,000
サイズ (mm)	151 × 116 × 10.7	145 × 78 × 10	270 × 217 × 397	直径 21.7, 高さ 70.2	(公開情報では不明)	80 × 91 × 10
重量 (g)	141	85	23,200	70	(公開情報では不明)	158

出所) 各社 HP に基づき三菱総合研究所作成

(3) 出力密度およびエネルギー密度に関する動向

空飛ぶクルマでは、自動車の場合におけるEVのように、完全電動化にあたっては航続距離を向上するための重量エネルギー密度の向上が特に課題となる。つまり、完全電動では高容量系、ハイブリッドの場合は高入出力系である。現行LiBで重量エネルギー密度は一般に250~350Wh/kgが限界とされているが、Li-Air等の次世代電池系では1200Wh/kgのポテンシャルがある。ただし、サイクル寿命は現時点で50回以下であり、サイクル寿命の向上が課題となる。

(4) バッテリー寿命に関する動向

図2.4.2-10は、100%充電し100%放電してしまうような充放電サイクルではなく、サイクル寿命に最も効率的な充放電を行うことによるバッテリーのカレンダー寿命の高度化の試算結果を示している。寿命（ここでは充電率85%とする）を下回るのは、約4,000回の飛行後までとなる。1日12回飛行とした場合、1年に1度のバッテリー交換で済む。このようなカレンダー寿命の高度化には、充放電を効率化するための適切なバッテリーのマネジメントが必要となる。

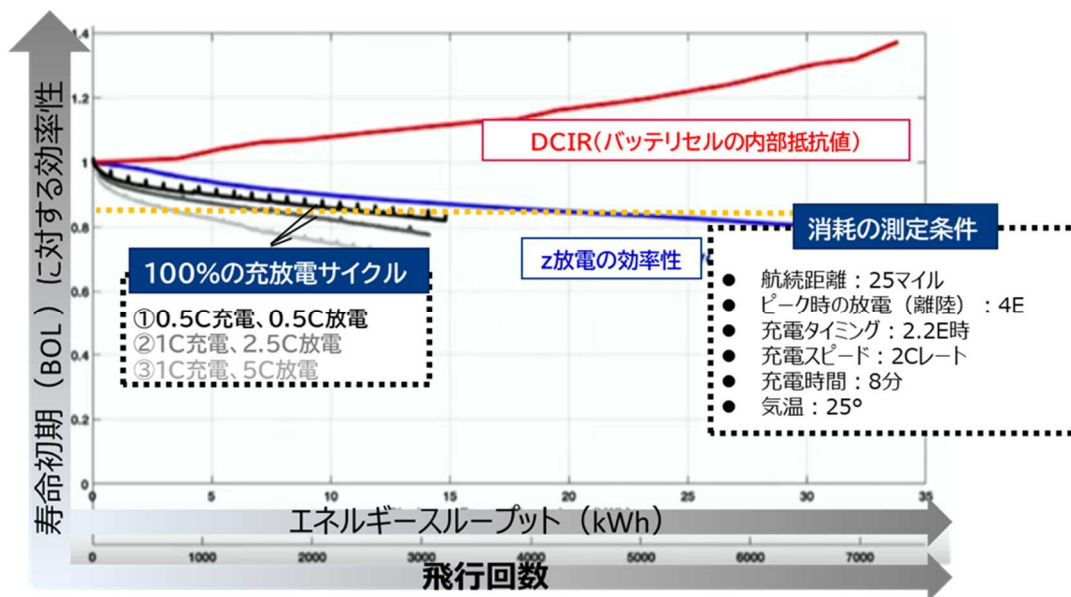


図 2.4.2-10 バッテリーの寿命初期（BOL）に対する効率性と飛行回数の関係

出所) Uber Elevate 2018 講演内容に基づき三菱総合研究所作成

(5) 正極材料に関する動向

現状のリチウムイオン電池では、正極がリチウムイオンの供給源となる。正極材料の高容量化には、容量密度 (Ah/kg) が期待できる硫黄系正極等が検討されている。

(6) 負極材料に関する動向

現状のリチウムイオン電池では、負極として容量と寿命に優れる炭素・黒鉛系材料が主に使用されている。

(7) 電解質材料に関する動向

電解質は電池の入出力特性、寿命、安全性、電圧に直接関わるものであり、高出力が要求される場合高いイオン導電性が要求される。電気伝導率の高い各種電解質材料の組成が検討されている。

(8) 空飛ぶクルマへの適用

空飛ぶクルマにおいては、バッテリーの出力密度 (W/kg、電池重量に対する最大出力) とエネルギー密度 (Wh/kg、電池重量に対する放電容量)、サイクル寿命 (充放電を繰り返すことのできる回数) が離着陸性能と航続距離に影響することとなる。なお、小型化では体積エネルギー密度 (Wh/L) が重要となる。

ホバリングと巡航に必要となる出力密度は機体コンセプト毎に異なる。推進効率の指標である揚抗比 (L/D) が高ければ高いほど、巡航に必要となる出力密度は小さくなり、離着陸効率の指標となるディスクローディング (N/m²) が低ければ低いほど、離着陸に必要となる出力密度は小さくなる。

また、空飛ぶクルマの運用形態としては、巡航がエネルギー密度の大部分を占めることが一般に想定される。このエネルギー密度は充放電を繰り返すうちに充電率が減少する。

燃料電池

(1) 技術概要

燃料電池は、燃料における化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換することにより LiB 電池と比較して高いエネルギー効率を実現することが可能であるとされている。空飛ぶクルマへの適用に関しては、エネルギー密度を向上することにより、航続距離を伸ばすことが可能であるとともに、燃料補充にかかる時間についても、通常のバッテリー充電と比較して短縮可能である。

(2) 製品と性能に関する動向

現在、空飛ぶクルマの動力源の主流は LiB 電池であるが、より長い航続距離を実現するため、水素燃料電池を動力に採用するコンセプトが複数の企業から発表されている。燃料電池を動力として採用している空飛ぶクルマ、小型航空機の例を表 2.4.2-26 に示す。

表 2.4.2-26 燃料電池を動力として採用している eVTOL, 小型航空機の例

機体メーカー	FC メーカー	機体	概要
--------	---------	----	----

-	Ballard (カナダ) / Honeywell	情報なし	2020年10月、Honeywellは燃料電池メーカーであるBallardの航空機事業を買収すると発表し、UAS/UAM向けに燃料電池を供給する方針を発表
Urban Aeronautics (イスラエル)	HyPoint (米国)	CityHawk	座席：～6名(パイロット含) 巡航速度：234km/hr 航続距離, 飛行時間：150km, 20min(4名搭乗時) HyPointの「ターボ空冷」水素燃料電池を採用
Alaka' I Technologies (米国)	情報なし	Skai	航空タクシー、個人用、貨物輸送などの市場を想定 航続距離, 飛行時間：400マイル(644km)、4時間
Pipistrel (スロベニア) /DLR (ドイツ)	Hydrogenics (カナダ)	HY4	最大300マイル飛行可能な19人乗りの水素駆動航空機を開発中 Pipistrelの固定翼機をベースにDLRが設計。2016年9月に燃料電池を搭載して飛行試験を実施した
Airbus	情報なし	情報なし	2020年9月、水素を動力源とする新しい航空機のコンセプトを発表。2035年までに就航予定
ATR	UH2 - Universal Hydrogen (米国)	ATR72	2025年までにゼロエMISSIONの旅客移動用、2025年以降に貨物移動用の地域航空サービスを実現するために十分な電力を生成できる水素貯蔵ポッドを発明し、複数の特許を申請中

出所) 各種公開情報を基に三菱総合研究所作成

④ 装備品

本項では機体の装備品として制御システム、Human Machine Interface (HMI)、Detect and Avoid (DAA) システム、クラッシュワージネスについて整理する。

(1) 制御システム

eVTOLの制御システムは、Fly-By-Wire (FBW) 又はFly-By-Light (FBL) 等の方式が採用されている。一般にFBWは航空機の操舵を電気信号によって行う方式であり、操縦桿とアクチュエータが電線(ワイヤ)で接続されている。FBLは電線を光ケーブルに置き換えることでFBWと比較して配線の軽量化と電磁干渉の低減が可能となる一方で、整備性が悪化するケースも想定される。現在、表2.4.2-27に示すような複数の制御システムについてeVTOLへの適用が検討されている。

表 2. 4. 2-27 eVTOL への適用が検討されている制御システム事例

事業者/機体名	制御システム
Vertical Aerospace/VA-X4	• FBWによる制御 (Honeywell社製アビオニクス)
Lilium aviation/Lilium jet	• FBWによる制御 (Honeywell社製アビオニクス)
Joby Aviation/S4	• FBWによる制御
Bell/APTシリーズ	• FBWによる制御
Volocopter/Volocopter 2X	• FBLによる制御

(2) HMI

ヒューマンインタフェース (HMI) は機体の自動自律化に紐づいており、パイロットによる操縦が想定されている場合はジョイスティック等の機械式インタフェースが装備され、自動自律化が進むにつれてインタフェースは簡素化されると考えられる。

(3) DAA システム

DAA システムについては機体の自動自律化に関する動向を整理した。自動自律化については、初期段階では機上又は地上の人間が操縦を担い、段階的に機上システムによる自動自律化が進むと考えられる。なお機体システムの高度化に伴い HMI も高度化することが予想される。機上の人間が操縦する前提の場合はジョイスティック等の機械式インタフェースが装備されているが、自動自律化が進むにつれて簡素化され最終的には操縦用のインタフェースは搭載されなくなる可能性もある。

(4) クラッシュワージネス

安全に係るシステムとしてクラッシュワージネスについて整理する。図 2. 4. 2-11 に安全に係るシステムの主な構成要素を示す。クラッシュワージネスでは主に障害物や何らかのシステムエラーに伴う墜落を想定したシステムの搭載が想定される。現状は障害物の検知やパラシュート等のシステムを装備するような検討事例が確認できた。

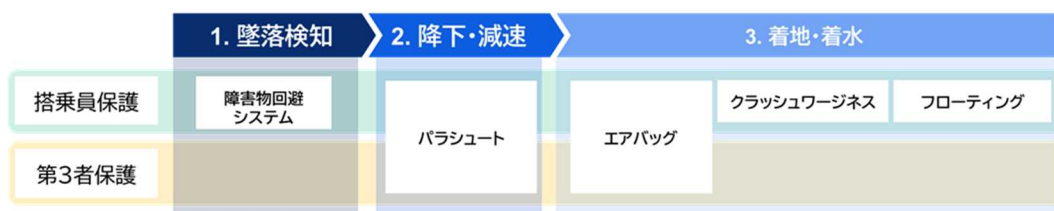


図 2. 4. 2-11 安全システムの主な構成要素

機体全体のクラッシュワージネスについては、図 2. 4. 2-12 に示すようにシミュレーションを活用して評価する手法が Siemens・NIAR (National Institute of Aerospace Research) にて研究されている。Siemens 社の手法では、統合的に評価するプロセスでは不時着時の状態定義や機体のサブシステム、機体が吸収可能なエネルギーなどを定義しモ

デル化 (Simcenter multi-body methodology) を実施するとしている。安全装備の検討範囲としては、乗員の安全性だけではなく表 2.4.2-28 に示すような Pre-crash や Post-crash についても検討している。パラシュートに関しては、eVTOL 機体が自動車と同等の安全性を担保できる緊急着陸用パラシュートを開発している事例 (米 BRS Aerospace 社) が確認できた。なお既存の固定翼機向けパラシュートは他の手段が全て失敗した場合の最終手段として設計されている。

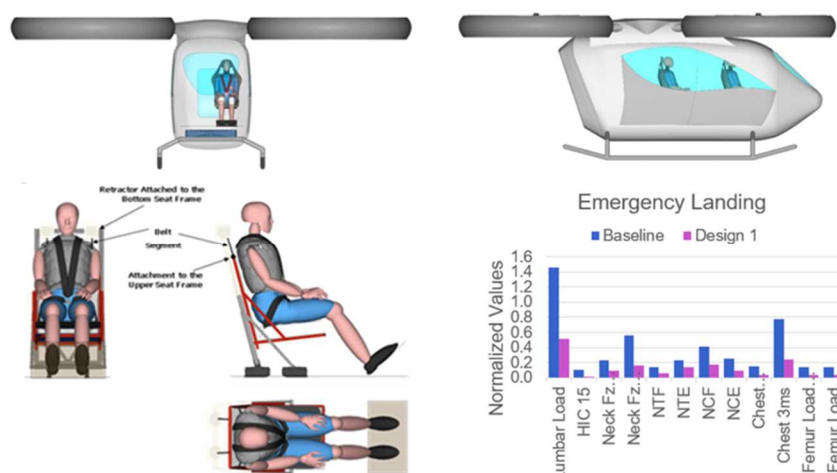


図 2.4.2-12 シミュレーションによる評価イメージ

出所) Siemens, <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/integrated-safety-approach-to-tackle-evtol-crashworthiness/> (閲覧日: 2021 年 10 月 1 日)

表 2.4.2-28 安全装備の検討範囲

項目	内容
Pre-crash/回避	<ul style="list-style-type: none"> 環境認識と飛行経路制御 衝撃速度の緩和 乗員と機体の最適配置
Crashworthiness/乗員の安全性	<ul style="list-style-type: none"> 降着装置と機体の耐衝撃構造 乗員拘束装置と座席でのエネルギー吸収 着陸・離陸場所でのエネルギー吸収
Post-crash	<ul style="list-style-type: none"> バッテリーの火災対策、脱出 救急隊への連絡、損傷診断

出所) Siemens, Accelerate eVTOLs crashworthiness design with an integrated safety development approach, <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/webinar/evtols-crashworthiness-design/88853> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2021 年 12 月 22 日)

⑤ 製造技術

eVTOL の機体製造技術については、機体及び部品の構造材料とそのアセンブリ技術に大別される。eVTOL の機体に利用される構造材料としては、表 2.4.2-29 に示すように軽量かつ強靱な炭素繊維複合材料が採用されている事例がある。例えば Joby 社の機体には複

合材が適用される。現状 eVTOL への材料提供を予定しているサプライヤとしては東レや FACC などが存在する。2018 年に東レが買収した TenCate 社の流れをくむ事業ブランド「Toray advanced composites (TAC)」は熱可塑性樹脂複合材に強みを有しており PEKK, LMPAEEK, PEEK, PPS, PEI の熱可塑性樹脂複合材を製品化している。

また図 2.4.2-13 に示すように、東レでは三菱重工と共同で航空機部材向けの新規 CFRP 成形技術「A-VaRTM」(Advanced-Vacuum assisted Resin Transfer Molding) の開発に取り組んでおり、「プリプレグ成形法に匹敵する高い性能（特に耐衝撃性）と優れた品質安定性を実現」したとしている⁸。またドライ基盤を活用することでより複雑な形状への加工も可能としている⁹。

豪 FACC 社は仏 Airbus 社における翼部品の製造コスト低減と部品の軽量化に取り組んでおり、特許を取得した独自の MARI 法を利用することで、後続のフライス加工（切削加工の 1 種）を不要としてコストを削減し、フィラーとマトリックスの新規開発により炭素繊維強化プラスチックの高強度化（軽量化）の実現を企図している。図 2.4.2-14 に MARI 法の概念図を示す。一般に MARI 法は、繊維強化プラスチック部材の製造法である真空含浸工法 (VaRTM) の 1 種である。従来の製造法よりも未含浸領域が発生しにくいとの特長を有するとされる。

表 2.4.2-29 eVTOL への適用が検討されている構造材料事例

事業者	素材メーカー	概要
Lilium/Lilium Jet	東レ	<ul style="list-style-type: none"> 東レはUAMメーカーと協業しながら、機体の高性能化・省エネルギー化・低コスト化に向けた革新的な複合材料の開発を行っていく方針 東レは、Lilium社とLilium Jet向けCFRPを提供する契約を締結
Joby aviation/S4	東レ	<ul style="list-style-type: none"> Toray Advanced Compositesは複合材料についてJoby Aviationと長期供給契約を締結したと発表
Ehang/Ehang 216	FACC	<ul style="list-style-type: none"> 機体構造には炭素繊維材料やエポキシの複合材、アルミ合金を利用 FACCとEhangはパートナーシップを締結 オーストリアのリンツ市、Ehang、FACCは、リンツ市でUAMのパイロットプログラムを行うことを発表
Beta technologies /Alia-250	Blue Force Technologies	<ul style="list-style-type: none"> 複合材構造を採用
Airbus/City Airbus	公開情報なし	<ul style="list-style-type: none"> 機体構造及びプロペラに炭素繊維複合材量を使用
Archer Aviation/Maker	公開情報なし	<ul style="list-style-type: none"> 機体構造に炭素繊維複合材量を使用 Fiat Chrysler Automobiles (FAC) と提携しており、材料科学のほかサプライチェーンやデザインに関するアドバイスをFACが共有
Vertical Aerospace/VA-X4	公開情報なし	<ul style="list-style-type: none"> 機体構造に炭素繊維複合材量を使用 主翼構造と配線システムの開発・製造はGKN Aerospace社が担当

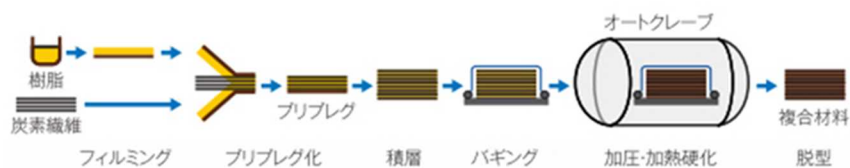
⁸ 東レ プレスリリース,

<http://cs2.toray.co.jp/news/torayca/newsrrs01.nsf/0/3EA62DE43F71E0A149257EBC001E7B67> (閲覧日: 2021年10月5日)

⁹ 経産省中部経済産業局, 技術シーズ集, p9,

<https://www.chubu.meti.go.jp/c32automobile/170206/16siizusyuu.pdf> (閲覧日: 2021年10月5日)

《通常の航空機部品向け成形プロセス オートクレーブ法》



《東レとMHIが開発した新成形プロセス A-VaRTM法》

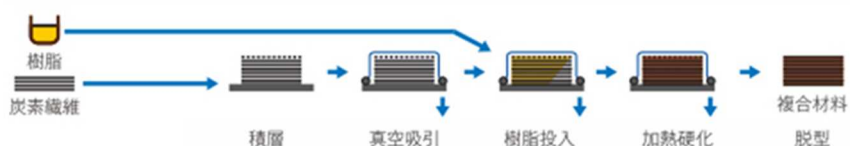


図 2.4.2-13 従来のオートクレーブ法（上）と新規開発した A-VaRTM 法（下）

出所）東レ プレスリリース,

<http://cs2.toray.co.jp/news/torayca/newsrrs01.nsf/0/3EA62DE43F71E0A149257EBC001E7B67>（閲覧日：2021年10月5日）

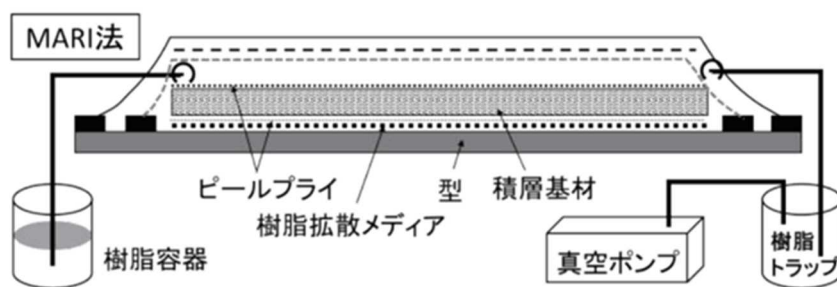


図 2.4.2-14VAP 法と MARI 法の概念図

出所）材料，大型FRP構造物に対する真空含浸形成法適用の発展と確立，

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms/67/10/67_943/_pdf（閲覧日：2021年10月5日）

⑥ CNS

空飛ぶクルマの CNS (Communication, Navigation, Surveillance: 通信・航法・監視) 技術（以下 CNS）の動向調査においては、空飛ぶクルマ向けの CNS 技術はほとんど無く、既存システムの活用が想定されることから、通信、航法、監視の各要素別に既存の通信システムや有人航空機システム向けの技術を参考に、空飛ぶクルマに活用可能と考えられる要素技術の整理を行った。

図 2.4.2-15 は既存民間有人航空機で利用されている通信・航法・監視の例を簡単にまとめたものである。

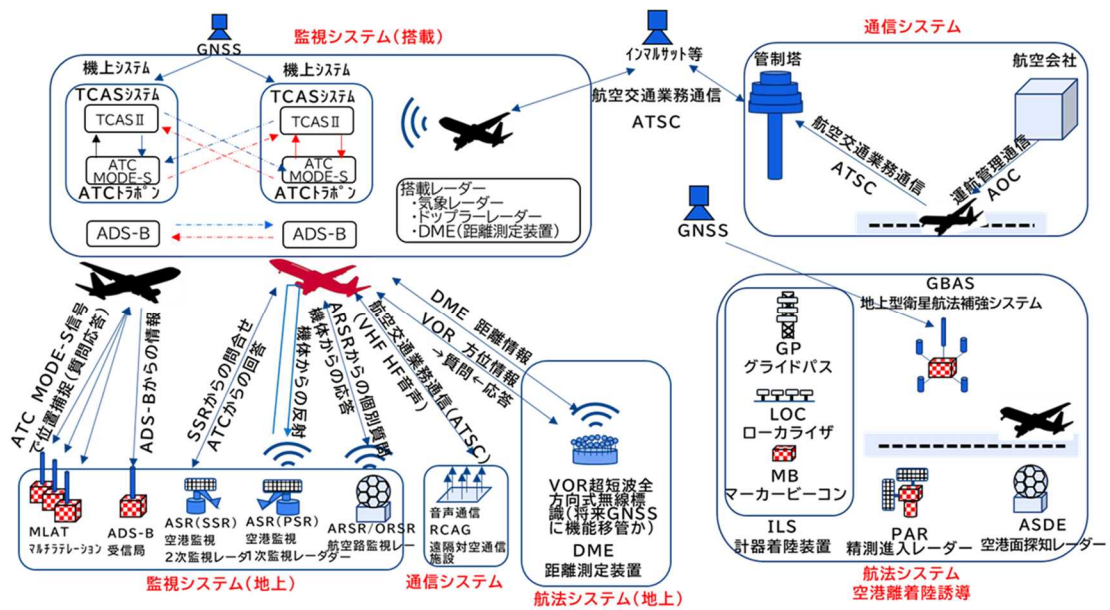


図 2.4.2-15 既存民間有人航空機で利用されている通信・航法・監視システム例

A) 通信

通信では既存民間有人航空機の運用に使用される航空無線システム（音声通信、データ通信）を調査した。さらにその中で地上セルラー及び衛星で使用される周波数、伝送速度、遅延量、同時接続数、普及状況について調査を行った。表 2.4.2-30 既存有人機航空無線システムと空飛ぶクルマに既存有人航空機で使用されている通信システムと空飛ぶクルマに利用可能と想定される通信システムを整理したものを示す。

表 2.4.2-30 既存有人機航空無線システムと空飛ぶクルマで利用が想定される通信システム

		既存有人機航空無線システム(民間)	空飛ぶクルマにおいて利用が想定される通信システム
通信	音声 ・機体間 ・機体地上間	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔対空通信施設 (RCAG) : VHF/UHF 帯無線 <ul style="list-style-type: none"> VHF (RLOS 通信) (118~137MHz) 用途: ATSC, AOC, AAC UHF (RLOS 通信) (225~400MHz) 用途: ATSC HF (RBLOS 通信) (2.85MHz~22MHz) 用途: ATSC, AOC, AAC 	<ul style="list-style-type: none"> VHF セルラー: LTE, 5G, B5G, 6G 衛星通信: GEO/LEO HAPS 直接通信 (LPWA 等)
	データ通信 ・機体間 ・機体地上間	<ul style="list-style-type: none"> VHF ACARS : VHF データリンク: 2.4kbps 用途: ATSC, AOC HFDL : HF 帯長距離データリンク: 0.3~1.8kbps 用途: AOC, AAC VDL : VHF 帯デジタルリンク: 31.5Kbps~4Mbps 用途: ATSC, AOC, ADS-B (ADS-B, TCAS は監視にて扱う) 	
	衛星通信	<ul style="list-style-type: none"> MTSAT、インマルサット、イリジウム 用途: ATSC, AOC, AAC, APC 	

出所) 各種公開情報を基に三菱総合研究所作成

既存民間有人機航空無線システムでは遠隔地の航空機と管制機関は主に遠隔対空通信施設(以下 RCAG)により VHF、UHF 帯の周波数を用いて直接交信を行い、見通し外の洋上管制では HF 帯による通信を行っている。データ通信においては、ATSC などの低レート通信への利用のほか、放送型自動従属監視(以下 ADS-B SSR モード S)にも利用されている。また衛星通信も利用されておりインマルサット及びイリジウム衛星システムでは ATSC、AOC、AAC、航空旅客公衆通信(以下 APC)などの運航業務と旅客通信サービスに利用されている。

空飛ぶクルマに利用可能な通信システムとしては、地上セルラー通信システムや、衛星通信システム、HAPS(High Altitude Platform Station: 以下 HAPS)通信システム、直接通信システムなどが考えられる。国内における 4G/LTE、5G 及び 6G の移動通信システムの通信速度、遅延、使用周波数などの比較を表 2.4.2-31 に示す。

表 2.4.2-31 LTE/5G/6G の特徴比較一覧

世代	使用周波数	伝送速度	遅延量	同時接続数	普及状況/予定
4G/LTE	700~900MHz 帯 3.5GHz 帯	約 1Gbps	約 10ms	10 万台/km ²	山間部や地方の一部で未提供
5G	3.7GHz 帯 4.5GHz 帯 28GHz 帯、他ミリ波帯	約 10 ~ 20Gbps	約 1ms	100 万台/km ²	2022 ~ 2023 で人口カバー率 90%
6G	90G~300GHz テラヘルツも検討中	約 100Gbps 以上	約 1ms 以下	1000 万台/km ²	未定

出所) 5G の通信速度を 4G・Wi-Fi と比較 <https://boxil.jp/beyond/a7028/>、5G と 4G・LTE の違い <https://colorful-life.co.jp/wimax/5g-4g-tigai.html> を基に三菱総合研究所作成(閲覧日: 2022 年 2 月 10 日)

また、衛星システムも低遅延が要求されるデータリンクには LEO、MEO のような低中軌道衛星システムを用い、遅延が許容される旅客通信サービス等には GEO の利用が考えられる。

これらの通信システムのほか、直接通信方式として LPWA (Low Power Wide Area: 以下 LPWA) なども検討されている。LPWA は明確な定義は定まっていないが、長距離のデータ通信、低消費電流という 2 つの特徴を満たしている通信ネットワークを指す。

以上を踏まえ、エリア、上空高度を 10 種に分類・整理した際に、エリア区分ごとに適用可能性のある通信システムを示す。

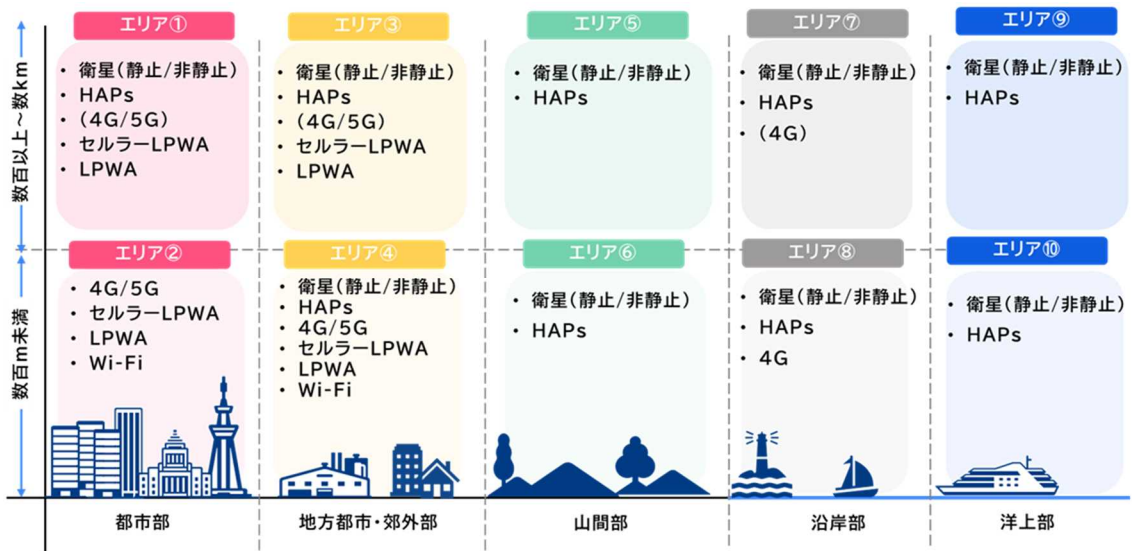


図 2. 4. 2-16 エリアごとの利用可能性のある通信システム

(B) 航法・監視

(1) 航法の技術概要

航法では既存民間有人航空機の運用に使用される位置把握・誘導システムと着陸誘導システムを調査し、これらの機能が空飛ぶクルマではどのような航法システムとして構成されるかを整理した。表 2. 4. 2-32 に既存有人航空機で使用されている航法システム、表 2. 4. 2-33 に既存有人機航法システムに対応する空飛ぶクルマで利用が想定される航法システムを整理したものを示す。

表 2. 4. 2-32 既存有人航空機で使用されている航法システム

種別	既存有人機航法システム(民間)		用途
航法	航空機用無線標識	超短波全方向式無線標識 : VOR	VHF 帯(超短波帯)の電波を用いる航空機用無線標識。標識局を中心として航空機がどの方向にいるかを検知するシステム。
		距離測定装置 : DME	UHF 帯の無線通信により航空機と地上局との距離を航空機から測定する装置
	空港離着陸誘導システム	計器着陸装置 : ILS	着陸進入する航空機に対して、地上施設から指向性誘導電波を発射し、滑走路まで誘導する計器進入システム。進入方向(横位置)を示すローカライザ(LOC)、降下経路(縦位置あるいは高度)を示すグライドパス(GP)、滑走路までの距離を示すマーカビーコン(MB)から構成されている
		地上型衛星航法補強システム : GBAS	地上から GPS の精度や安全性を向上させる補強信号や航空機の進入降下経路情報を送信し、航空機を安全に滑走路へ誘導するためのシステム
		精測進入レーダ : PAR	滑走路に最終進入する航空機を誘導する

		ためのレーダ装置
	空港面探知レーダ：ASDE	空港地表面の航空機や車両等の動きを監視し、それらの交通の安全を図るための高分解能レーダで、飛行場管制業務に使用される。

出所) 国土交通省 用語集 https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m を基に三菱総合研究所作成
(閲覧日：2022年2月10日)

表 2.4.2-33 既存有人機航法システムと空飛ぶクルマで利用が想定される航法システム

種別		既存有人機航法システム(民間)	空飛ぶクルマで利用が想定される航法システム
航法	位置把握・誘導	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 機上位置把握 GNSS (GPS, QZSS, GLONASS, Galileo 等) ➢ 航空機用無線標識 VOR (方位)/DME (距離) 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ GNSS (GPS, QZSS, GLONASS, Galileo 等)
	着陸誘導	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ILS (GP/LOC/MB) ➢ PAR (精測進入レーダ) ➢ ASDE (空港面探知レーダ) ➢ SBAS (衛星型衛星航法補強システム) ➢ GBAS (地上型衛星航法補強システム) 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ GNSS (水平/高度) ➢ SBAS/GBAS (衛星航法補強システム) ➢ 環境認識装置 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 安全確保、危険検出装置 ➢ 意思決定システム ➢ 空間情報統合システム ➢ 各種センサ <ul style="list-style-type: none"> ✓ ビジョンポジショニングセンサ ✓ (画像照合航法) ✓ 障害物検知センサ ✓ 高度センサ ✓ 測距センサ ✓ 方位センサ

出所) 国土交通省 用語集 https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m を基に三菱総合研究所作成
(閲覧日：2022年2月10日)

既存有人機航法システムでは表 2.4.2-32 に示すように航空機の位置を把握・誘導するシステムと空港へ着陸誘導するシステムがあり、位置把握・誘導システムでは、測位衛星を利用した全地球的航法衛星システム (GNSS) や航空機からの問い合わせに対し情報を提供する航空機用無線標識がある。

既存の有人機航法システムに対し、空飛ぶクルマの航法システムでは将来的に無線標識やレーダ設備等の協調型地上インフラ設備が空飛ぶクルマの成熟度レベルに応じて有人機と共用または空飛ぶクルマ専用設備として今後検討されていくと考えられる。一方で重量制限や供給電力に制限がある空飛ぶクルマでは、非協調型でさらに高精度な航法装置を実現するためには飛行制御システムに連動した高精度な環境認識装置や危険検出装置、意思決定システム、空間情報統合システムなどが必要であり、それら装置に与える情報を提供するセンサが重要な要素技術となる。

(2) 監視の技術概要

監視では既存民間有人航空機の運用に使用される監視・衝突回避システムを調査し、これらの機能が空飛ぶクルマではどのような監視システムとして構成されるかを整理し

た。既存有人機の監視システムでは表 2.4.2-34 に示すように地上レーダ、機上レーダ、機上通信による監視システムがある。

表 2.4.2-34 既存有人航空機で使用されている監視・衝突回避システム

種別	既存有人機監視システム(民間)		用途
監視	地上レーダ	航空路監視レーダ : ARSR 洋上航空路監視レーダ : ORSR	レーダにより航空機の位置を検出する他、信号の送受信により、飛行中の航空機の高度や識別番号などの情報を取得するシステム ARSR は航空路を飛行している航空機の誘導と間隔設定に使用するレーダ ORSR は主に洋上の航空路を飛行している航空機の誘導と間隔設定に使用するレーダ
		空港監視レーダ ASR : SSR(2次監視レーダ) PSR(1次監視レーダ)	空港から一定空域にある航空機の位置を感知し、出発・進入機の誘導及び航空機相互間の間隔設定等ターミナル管制業務に使用するシステム
	機上レーダ	航空機用気象レーダ	雷雲などの悪天候領域を感知する気象観測レーダ装置
		ドップラーレーダ	対地速度と偏流角(WCA)を算出する航法用レーダ装置
	機上通信	放送型自動従属監視 : ADS-B	航空機の動態情報を機体間および地上管制施設に対して放送するシステム。実現システムとしては ATC トラポン SSR(Secondary Surveillance Radar)モード S 拡張信号(スキッタ)、UAT(Universal Access Transceiver)、VDL(VHF Digital Link)モード 4がある。
		空中衝突防止装置 : TCAS	航空機同士が空中衝突する危険回避するためのアビオニクス装置。航空機の周囲を監視し、他の航空機が存在を操縦士に警告するシステム
		GNSS	全地球的航法衛星システム(GNSS)を用いて機体の水平位置/高度を算出
		マルチラテレーション : MLAT	空港内及び空港周辺上空の航空機を監視するシステムで、航空機のトランスポンダから送信される信号(スキッタ)を3カ所以上の受信局で受信し、受信時刻の差から航空機等の位置を測定する監視システム

出所) 国土交通省 用語集 https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2022年2月10日)

表 2.4.2-35 既存有人機監視システムと空飛ぶクルマで想定される監視システム

種別	既存有人機監視システム(民間)	空飛ぶクルマで利用が想定される監視システム
監視 衝突 回避	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 地上レーダ <ul style="list-style-type: none"> ✓ ARSR (航空路監視レーダ) ✓ ORSR (洋上航空路監視レーダ) ✓ ASR (空港監視レーダ) ▶ 機上レーダ <ul style="list-style-type: none"> ✓ 気象レーダ ✓ ドップラーレーダ ▶ 機上通信 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ADS-B (放送型自動従属監視) ✓ TCAS (空中衝突警報) ✓ GNSS (全地球的航法衛星システム) ✓ MLAT (マルチラテレーション) ▶ 搭載センサ <ul style="list-style-type: none"> ✓ 高度/速度/温度/姿勢/方位/気圧等 ▶ 対地高度計 (地上接近警報) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 小型 ADS-B ▶ RemoteID (直接放送方式/ネットワーク方式) ▶ 搭載センサ <ul style="list-style-type: none"> ✓ 超音波センサ (水平/垂直/高度) ✓ 光学センサ及び障害物検知レーダ (障害物検知) ✓ 気圧センサ (高度) ▶ ATC トランスポンダ

出所) 国土交通省 用語集 https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html# を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2022年2月10日)

空飛ぶクルマの監視システムでは将来的にはレーダ設備や通信システム等の協調型地上インフラ設備が空飛ぶクルマの成熟度レベルに応じて有人機と共用または空飛ぶクルマ専用設備として検討されていくと考えられる。一方で重量制限や供給電力に制限がある空飛ぶクルマでは、既存システムの小型化や新たな監視システム、衝突防止装置への依存度が高くなると推測される。

(3) 空飛ぶクルマ向け航法・監視システムの開発例

これらの技術の海外動向例として、開発されている航法・監視システム、使用されているセンサ及び企業名一覧を表 2.4.2-36 に示す。

表 2. 4. 2-36 海外で開発されている空飛ぶクルマ向けの監視・航法システム、各種センサ

企業名	センサ/システム名	センサ/システム種別	機能	目的
Volocopter	volochRIS	・環境認識装置/ナビゲーション装置/安全確保, 危険検出装置/意思決定システム/空間情報統合システム ・搭載センサ: 赤外・電気光学カメラ、長距離レーダ、高度計、GNSS ¹⁾ システム:FMS ²⁾ 、ミッションコントロール、ランタイムモニタ	・センサによるセンシング ・危険物検出、認識 ・衝突回避、飛行ルート等の意思決定 ・空域管理システム連携	・自律飛行及び機体制御支援 ・空域管理システム連携
Airbus	Vahana Alpha	・衝突回避システム ・搭載センサ: レーダ、カメラ、LIDAR、エアデータプローブ ³⁾ 、GPS、IMU ⁴⁾ などの機体位置・傾き取得センサ	・センサによるセンシング ・機械学習による知覚認識 ・衝突回避、飛行ルート等の意思決定	・自律飛行及び機体制御支援
uAvionix	truFYX	・GPS	・複数のGNSS (GPS12ch) 及び SABS (3ch) 1 と連携	・位置データ提供
	tailBeaconX	小型 ADS-B out/トランスポンダ	・モード S 拡張信号 (スキッタ) ADS-B out/トランスポンダ、GPS アンテナ受信機含む	・近隣航空機への ADS-B 位置情報の送信
	SkyEcho	小型 ADS-B in/out/トランスポンダ、受信機	・モード S 拡張信号 (スキッタ)、ADS-B in/out/トランスポンダ、GPS アンテナ受信機含む	・近隣航空機との ADS-B 位置情報の送受信
	pingRX	小型 ADS-B 受信機	・ADS-B 信号受信	・近隣航空機の ADS-B 位置情報の受信

1) 全地球航法衛星システム, 2) 飛行管理システム, 3) 迎え角、横滑り角、流速、高度を測定, 4) 慣性測定ユニット

出所) Wing Ober Quebec 「The two challenges of the Bell Nexus project」,

<https://www.wingsoverquebec.com/?p=8301>、uAvionix 「Fly Without Boundaries」,

<https://uavionix.com/products/tailbeaconx/>、uAvionix 「Shaping the Future of Avionics」,

<https://uavionix.com/uam/>などの各種情報を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2022 年 2 月 10 日)

⑦ 地上システム

(A) フリート管理システム・交通管理システム

NASA UAM Vision ConOps UML4 v1.0 においては、フリート管理者と Provider of Services to UAM (PSU) の役割が定められている。それに基づく、フリート管理シ

テムと交通管理システムの役割は以下のとおり想定される。

表 2.4.2-37 フリート管理システムと交通管理システムの役割

システム名	主な役割
フリート管理システム	<ul style="list-style-type: none"> 自社の管理下にある航空機の運航を管理し、各フライトを安全に実施するためのシステム。 規制要件の充足、フライトの計画・実行、運航意図情報の共有、安全な運航の実施のためのシステム。
交通管理システム ※Provider of Services to UAM (PSU) および PSU network より作成	<ul style="list-style-type: none"> ステークホルダに共通の運航状況といった状況認識を提供するためのデータ交換プラットフォームを提供する。 運航計画、UAM 航空機間のデコンフリクション、適合性の監視、緊急時の情報発信などを支援する。 交通管理サービスを提供し、安全な情報交換のためのフレームワークを提供し、飛行計画（飛行経路など）を支援する。

出所) NASA UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML)4 version 1.0に基づき
三菱総合研究所作成

フリート管理システム・交通管理システムに求められる機能は、運航フェーズごとに以下の機能を有する必要がある。

表 2.4.2-38 フリート管理システムと交通管理システムの運航フェーズごとの機能

	飛行前	離陸	上昇・巡航	降下	着陸・地上走行・降機
フリート管理システム	<ul style="list-style-type: none"> 運航計画を提出 乗客情報と目的地を検証 ディスパッチ(フライトプラン作成)の役割を担う 	<ul style="list-style-type: none"> 地上走行、離陸許可を承認する 	<ul style="list-style-type: none"> 運航計画に沿っているかをモニタする 航空機の状況をモニタする 交通管理システムと航空機のオープンなデータ交換を維持する 必要に応じて目的地の変更を行う 	<ul style="list-style-type: none"> 運航計画に沿っているかをモニタする 航空機の状況をモニタする 交通管理システムと航空機のオープンなデータ交換を維持する 	<ul style="list-style-type: none"> 運航計画に沿っているかをモニタする 航空機の状況をモニタする ゲートを割り当てる(UAM 空港運用者と共有する) 航空機がターンアラウンドの準備ができていることを確認する
交通管理システム	<ul style="list-style-type: none"> 戦略的(飛行前の)コンフリクト解決と解決策の交渉を行う 	<ul style="list-style-type: none"> 地上走行、離陸許可および出発順序に関するコマンドを配信する 	<ul style="list-style-type: none"> 運航計画に沿っているかをモニタする 運航計画の更新を伝達 戦術的(飛行中の)コンフリクト解決 	<ul style="list-style-type: none"> 運航計画に沿っているかをモニタする 順序とルート変更の情報を伝達 着陸許可を発出する 	<ul style="list-style-type: none"> 着陸に関してすべての問題がないことを確認 地上走行指示を発出 運航計画をクローズする

			を支援 ・オープンな データ交換 を維持する		
--	--	--	---------------------------------	--	--

出所) NASA UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML)4 Overviewに基づき三菱総合研究所作成

フリート管理システム・交通管理システムに求められる機能は、欧州 U-space コンセプトに基づき下記機能と想定した。(米国の場合も、運用コンセプトは異なるものの同程度の機能が具備されるものと想定。)

表 2.4.2-39 フリート管理システム・交通管理システムに求められる機能

	識別と位置特定	空域管理	ミッション管理	コンフリクト管理	緊急時管理	運用状況モニタリング	表示環境管理	ATCとの接続
サブ機能1	登録	ジオアウェアネス	運用プラン準備/最適化	戦略的コンフリクト解決	緊急事態マネジメント	モニタリング	気象情報	ATCとの手続き上のインターフェース
サブ機能2	登録支援	ドローン航空情報(AIS)管理	運用プラン処理	戦術的コンフリクト解決	インシデント・事故報告	交通情報	地理空間情報サービス	ATCとの協同的インターフェース
サブ機能3	e-identification	ジオフェンス提供(動的ジオフェンス含む)	リスク分析支援		市民レポーティングサービス	航法インフラモニタリング	人工密度マップ	
サブ機能4	追跡(位置レポートの提出)		動的容量管理			通信インフラモニタリング	電磁波干渉情報	
サブ機能5	監視データ交換					法的記録	航法覆域情報	
サブ機能6						デジタルログブック	通信覆域情報	




凡例 U1 U2 U3

出所) 各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

(B) 給電システム

電動航空機や eVTOL 向けの給電システムとしては、表 2.4.2-40 に示すとおり、小型で 22kW という低出力の充電を可能とする SKYCHARGE Mobile や、エネルギー貯蔵システム (BESS) と統合し 500kW という高出力の充電を可能とする Beta チャージパッドが製品として出てきている。eVTOL 向けとして、BESS は将来的に効率的な給電方式として NASA 調査報告書でも挙げられている。軽量化・縮小化が課題であり、その解決策としてバッテリー交換方式も構想されているが、米国・欧州でも航空局の認証を受けるに至っておらず、製品化は未だである。

表 2.4.2-40 各社の給電システム製品性能

会社名	Green Motion/Pipistrel		Beta
モデル	SKYCHARGE Mobile	SKYCHARGE 40	Beta Charging Pad
写真			
充電出力	1 × 22kW	2 × 20 kW 1 × 40 kW	1 × 500 kW
充電時間	約 2 時間 (21kWh の機体の場合)	約 1 時間 (21kWh の機体の場合)	約 1 時間 (350kWh の機体の場合)
出力電圧	530V DC	不明	480V, 208V, 120V DC
給電方式	エンド・ツー・エンド	エンド・ツー・エンド	エネルギー貯蔵システム (BESS)

出所) 以下の出所に基づき三菱総合研究所作成

- ・ POPOSTREL, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/charging-infrastructure/>
- ・ WIRED, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: <https://www.wired.com/story/rest-stop-flying-cars-recharge/>
- ・ greenmotion, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: <https://greenmotion.ch/en/products/skycharge>、<https://greenmotion.ch/en/products/skycharge>
- ・ SEMIKRON, 2021 年 10 月 12 日取得, URL: <https://www.semikron.com/jp/applications/charging-stations-for-electric-vehicles/application-examples.html>

(C) 気象システム

気象システムについては、ドローンを活用した気象情報収集とドローン向けの気象情報 API が製品として提供されている。

表 2.4.2-41 気象情報に関する製品一覧

分類	事業・製品名称	提供事業者名	国
ドローンを活用した 気象情報収集	METSIS (実証プロジェクト)	NLR and Airhub	アメリカ
	MeteoDrone	Meteomatics	スイス
ドローン向けの 気象情報 API	Airmap/Weather Data	Weather Company (IBM)	アメリカ
	Meteomatics Weather	Meteomatics	スイス
	ClimaCell	Clima Cell	アメリカ
	Dark Sky	Darkskyapis	アメリカ
	Sferic API	earthnetworks	アメリカ

(D) 3D マップ

ドローンを活用した地図情報収集のためのソフトウェア製品一覧を以下に示す。様々な企業が参入しており、企業間の提携も行われている。

表 2.4.2-42 ドローンを活用した地図情報収集の製品一覧

事業・製品名称	提供事業者名	国
Pix4Dcapture	Pix4D	スイス
DroneDeploy	DroneDeploy	アメリカ
Propeller	Propeller Aerobotics	豪州
Precision Mapper	PrecisionHawk	アメリカ
DJI Terra	DJI	中国

5.3.3. 技術ロードマップの策定

① 技術ロードマップの考え方と策定方針

成熟度のフレームワークの各レベルに対応した要素技術の要求値と、それを実現するための方式を整理し、技術ロードマップとして取りまとめた。

表 2.4.2-43 に、要素技術のロードマップで整理した技術項目及び整理した主な技術・方式例を示す。また、成熟度レベル 4 を想定した場合、各要素技術がどのステークホルダに必要な技術として位置付けられるかの関係を図 2.4.2-17 に示す。

表 2.4.2-43 要素技術の整理

技術項目		整理対象の技術・方式例
機体		Multicopter, Tiltrotor
動力		モータ、ギヤ、インバータ、冷却機構
電源	蓄電	LiB, Advanced LiB, Beyond LiB
	発電	燃料電池、エンジン発電機
装備品	CNS装備品	通信、航法、監視
	FMS	—
	制御システム	—
	DAA(衝突回避)	協調方式、非協調方式、対地接近
	クラッシュワージネス	座席、フローティング、姿勢安定・降下率低減
製造技術	構造材料	熱硬化材/熱可塑性、オートクレーブ/プレス成形
	アセンブリ技術	ファスナー、熱可塑性・熱硬化、溶着
CNS (通信・航法・監視)	通信	航空通信、衛星通信、HAPS、セルラー、RFネットワーク、C帯(航空移動)
	航法	GNSS、SBAS/GBAS、PNT、RFビーコン、地形・地上構造物データベース
	監視	二次レーダ、一次レーダ、マルチラテレーション、IRセンサ、音響センサ
地上システム	交通管理システム	交通流管理、ポート管制、空域管制
	フリート管理システム	飛行計画、情報管理、フライトウォッチ、スケジュール管理
	給電システム	コンダクティブ充電、電池交換充電、非接触充電
	気象システム	情報(視程、雲底、風、雨、CB)、情報ソース(観測、予測)、情報連携
	3Dマップ	情報(動的データ、仮想データ、障害物情報、地図情報)

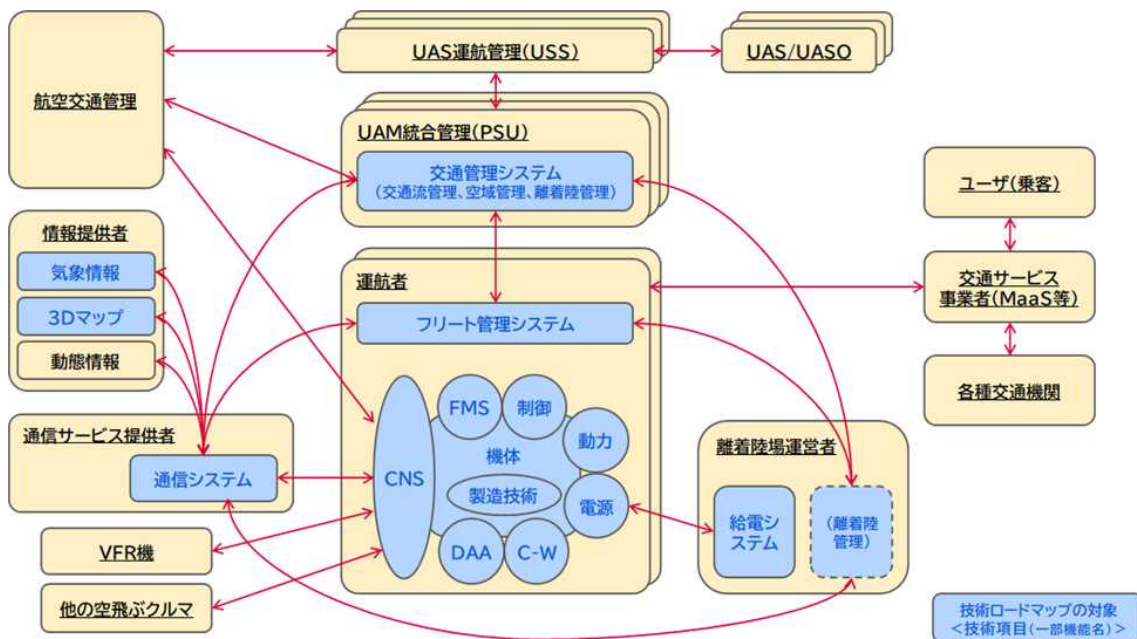


図 2. 4. 2-17 要素技術とステークホルダの整理（成熟度レベル 4 を想定）

また図 2. 4. 2-18 に、要素技術毎のロードマップ策定の前提として、成熟度レベルに示した自動化レベルに対応する、機体と地上システム（運航オペレータ及び PSU）の自動化レベルの分担や、空飛ぶクルマが飛行する空域、他の VFR 機や無人航空機等との混在環境に関するロードマップを示す。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
システム毎の自動化レベル	機体(制御)	Secondary level	Primary level		Fully Automated		
	機体(認知・判断)	Manual		Secondary level	Primary level	Fully Automated	
	運航オペレータ	Manual		Secondary level		Primary level	Fully Automated
	PSU	-	-	Manual	Secondary level	Primary level	Fully Automated
飛行環境	空域	・非管制区域	・非管制区域／管制区域 ・コリドー(空港周辺のみ)	・非管制区域／管制区域 ・コリドー(ルート全体)	・拡張されたコリドー("空飛ぶクルマ飛行区域") ・非管制区域／管制区域	・主に"空飛ぶクルマ飛行区域"	
	VFR機/UASとの混在	・予め空域分離	・VFR機やUASと混在	・コリドー内はVFR機含め一定ルールに基づき飛行 ・UASとはPSUを通じ調整済			
	運航ルール	-	-	・一部、CBRIに基づく運航	・CBRの拡大		

図 2. 4. 2-18 要素技術のロードマップ（前提となるシステム毎の自動化レベルと飛行環境）

② 機体

(1) 指標の選定

指標については機体仕様に関する項目と自動化機能に関する項目、受容性に関する項目の 3 項目を設定した。

機体仕様については、各成熟度レベルに対応した旅客輸送を実現するサービス性能

と、それに対応する推進方式、全備重量等を選定した。

自動化機能については、パイロットのタスクを 12 種類に細分化し、各タスク項目の自動化レベルを **Secondary level**、**Primary level**、**Fully Automated** の 3 段階で整理した。**Secondary Level** はパイロットがメインで操作を実施し自律機能は通知・サポートに留まるレベル、**Primary Level** はパイロット監視の下で自律機能が主体的に操作するが異常時はパイロットが介入するレベル、**Fully Automated** ではパイロットが不要なレベル、とした。

受容性については騒音と排気物の観点から整理した。

(2) 要求値の考え方

機体仕様に関する要求値については、代表的な推進方式として、マルチロータ式及びティルトロータ式 (**Vectored Thrust** 方式) に分け、それぞれ成熟度レベルや運航イメージを踏まえた要求値を設定した。

- マルチロータ方式
 - Volocopter 社 Volocity (プロペラ数 : 18)
- ティルトロータ方式
 - Joby 社 S-4 (プロペラ数 : 6)
 - BELL 社 Nexus4EX (プロペラ数 : 4)
 - BELL 社 Nexus6HX (プロペラ数 : 4)

自動化機能については、成熟度レベルに定義した自動化レベルを実現する上で必要となる、機体のパイロットタスクごとの自動化レベルを 3 段階で整理した。各パイロットタスクの概要を以下に示す。

- **Basic Airmanship/テクニカルスキル**
 - 通常操作手順・非通常操作手順・基本的な操縦操作などのテクニカルスキル全般を指しており、自動化が一番容易なタスクである。
- **Sence & Avoid/周辺監視・回避**
 - 他機の認識・衝突回避、気象状況の認識・悪天認識・回避、障害物認識・回避等の運航に関与する周辺監視・回避を指す。
- **Navigation/航法**
 - 機体位置の特定機能に加えて、指定された位置への移動も含めた機能である。
- **System Management/機体システム管理**
 - **Battery Management** (例 : 温度管理) やシステムの異常検知などの **Health Monitoring** 全般を指す。
 - 異常を表示してパイロットに知らせるのか、表示するだけでなく制御まで行うのか等の機能の範囲は成熟度レベルや、設計思想で変わる。
- **Planning/飛行計画**
 - ブリーフィング、離陸・上昇、巡航、降下・着陸、スポット移動等、飛行のあらゆるフェーズにおける飛行計画を指す。

- **Decision Making/運航判断**
 - 通常・非通常状態における意思決定・判断全般を指すものであり、離着陸の判断に関しては **Take Off & Landing** に整理することとした。
- **Take Off & Landing/離着陸判断・操作**
 - 旅客機の自動着陸のイメージ (**Category 3**) に基づいた離着陸時の判断・操作までを指しており、自動着陸のできる要件が揃った前提で自動着陸が可能となる。
- **Emergency procedure/緊急操作手順**
 - 非通常操作手順の中でもより緊急度が高い操作タスク (例: バッテリ火災、遭難、不時着水) を指す。なおタスクの緊急度までは言及しない。
 - 緊急度の高いタスク全てを自動化した場合はパイロットの警戒を損なう可能性もあるため、全て自動化するのか、最後のタスクはパイロットが担うのかについては技術の進展・設計思想で変わることには注意が必要である。
- **Preflight Check/飛行前確認**
 - 飛行前の外部点検、飛行に必要な点検・確認作業のタスクを指す。
- **Communication/通信**
 - 通信に関する諸作業を指す。
- **Terminal Procedure/離着陸手順 (管制とのやり取り)**
 - 飛行場周辺でのタスク全般を指しており、管制承認の要求・受領・待機や着陸空港の状況 (例: 気象: 他機・スポット等) 確認、管制の指示に従った飛行・位置通報等を含む。
- **Passenger Management/乗客管理**
 - 乗客の要望 (通常・非通常) や状況 (例: 急病、ハイジャック) に対するタスク全般を指す。
 - パイロット不在時は乗客の状態を知らせる機能が必要となる。乗客自体が緊急ボタンを押す・ハイジャックされた場合は、遠隔操作に切り替わるなどの対応が考えられる。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-19 に機体のロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、まず運航イメージに基づき成熟度レベル 4 以降は航続距離の延伸 (200km 以上の移動距離や離着陸時の給電を伴わない連続的な運航も考慮) や乗客数の増加 (16 人乗りを考慮) に対応するため、固定翼を有する **Vectored Thrust** 方式や **Lift and Cruise** 方式による対応が必要となる。

成熟度レベル 4 に該当する自動化レベルの実現時期は、NASA や SESAR の ConOps を踏まえると 2030 年頃以降が想定される。今後、飛行試験や性能評価、認証取得におけるシミュレーション技術の活用について検討が必要である。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
マルチロータ仕様	推進	推進方式	Multi Rotor					
	全備重量	2人乗り [kg]	1,149					
		5人乗り [kg]	-	-	2,498-2,680			
	サービス性能	航続距離[km]	10	50	100			
		速度 [km/h]	100					
		ペイロード [kg]	200			500		
飛行特性	座席数 (含Pilot) [人]	2		5				
飛行特性	上昇速度 [ft/min]	500						
ティルトロータ仕様	推進	推進方式	-	Tilt Rotor				
	全備重量	5人乗り、回転面荷重: 50kg/m ² 程度 [kg]	-	1,949-1,952				-
		5人乗り、回転面荷重: 100kg/m ² 程度 [kg]	-	-	-	1,787		
		16人乗り	-	-	-	6,065		
	サービス性能	航続距離[km]	-	50	100	200	400	600
		速度 [km/h]	-	240				
		ペイロード [kg]	-	500			500/1,600	
		座席数 (含Pilot) [人]	-	5		5/16		
飛行特性	上昇速度 [ft/min]	-	500					
自動化機能 (パイロットタスク)	テクニカルスキル	Secondary level	Primary level		Fully Automated			
	周辺監視・回避	-	Secondary level	Primary level		Fully Automated		
	航法	Secondary level		Primary level	Fully Automated			
	機体システム管理	Secondary level		Primary level		Fully Automated		
	飛行計画	-	Secondary level	Primary level		Fully Automated		
	運航判断	-	-	Secondary level	Primary level	Fully Automated		
	離着陸判断・操作	Secondary level		Primary level		Fully Automated		
	緊急操作手順	-	Secondary level		Primary level	Fully Automated		
	飛行前確認	-	-	-	Secondary level	Primary level	Fully Automated	
	通信	-	-	Secondary level	Primary level		Fully Automated	
	離着陸手順 (管制とのやり取り)	-	-	Secondary level	Primary level		Fully Automated	
	乗客管理	-	-	Secondary level	Primary level	Fully Automated		
	受容性	騒音	人口密集地外(既存ヘリポート等)で許容されるレベル		交通拠点等で許容されるレベル	商業・オフィスビル等で許容されるレベル		住宅地等で許容されるレベル
排気物		従来ヘリレベル(既存ヘリポート等における離着陸想定の為)		自動車レベル(人口密集地における離着陸を想定のため)				

図 2.4.2-19 要素技術のロードマップ (機体)

③ 動力

(1) 指標の選定

動力については、機体の検討結果を踏まえ、マルチロータ方式の機体とティルトロータ式の機体の2種類に対応した動力の指標を設定した。

(2) 要求値の考え方

要求値については、機体の検討において前提としたマルチロータ式、ティルトロータ式の機体を前提として、前述の指標についてのモータシステムとしての要求値を算定した。

電動モータの基本的な性能項目である出力密度については、機体仕様に対応した値を

算定した。フェイル時の短期的な出力密度については、120秒間のホバリングを想定した出力密度を設定した。マルチロータ方式については18ロータ中2ロータがフェイル、ティルトロータ方式については6ロータ中1ロータがフェイルした場合でもホバリング可能な出力を考慮した。

システム平均効率も技術動向を見据えて設定した。寿命については、運航イメージをもとに設定した。

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、モータを中心とした動力システムを構成する部品として、モータ、ギヤ、インバータ、冷却機構を取り上げ、成熟度レベル毎に、要求値を踏まえて想定される技術方式を整理した。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-20 に動力のロードマップを示す。

要求値、方式・種類共に、機体の推進方式であるマルチロータ方式、ティルトロータ方式に分けて、成熟度レベル毎の要求値と方式を整理した。

次世代モータ開発指針によれば、2030年頃までに、モータ単体で8kW/kg、モータシステムで3kW/kgの出力密度、効率85%以上が目標とされている。フェイル時の短時間出力への対応は技術的な課題となることから、モータの性能向上とフェイル時の運用シナリオの両面から対応の検討が必要となる。また、特にフェイル時等の発熱に対する冷却機構が課題となる。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
機体仕様1 (マルチロータ)	要求値	出力密度(kW/kg)@短期(120sec)	2.0	3.5	4.8	-	-	-
		出力密度(kW/kg)@定格	1.2	2.1	2.9	-	-	-
		システムの平均効率(%)	90	90	95	-	-	-
		トルク密度(Nm/kg)	(駆動方式に合わせて出力密度を実現可能なトルク密度を実現)					
		作動領域	(駆動方式に合わせて作動領域を設定)					
	方式種類	寿命(作動時間)	350	1,250	5,000	-	-	-
		モータ	(ラジアル)	(ラジアル/ アキシヤル)	(アキシヤル)	-	-	-
		ギヤ	(駆動方式を問わず、システムTotalで要求出力密度/要求効率を実現 ※ギヤの場合はギヤ重量/効率を含む)					
		インバータ	(Si)	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)
		冷却機構	(水冷/空冷)	(水冷/空冷)	(空冷)	-	-	-
機体仕様2 (ティルトロータ)	要求値	出力密度(kW/kg)@短期(120sec)	-	4.0	4.2	5.3	7.8	8.6
		出力密度(kW/kg)@定格	-	1.3	1.4	1.7	2.6	2.8
		システムの平均効率(%)	-	90	90	95	95	95
		トルク密度(Nm/kg)	(駆動方式に合わせて出力密度を実現可能なトルク密度を実現)					
		作動領域	(駆動方式に合わせて作動領域を設定)					
	方式種類	寿命(作動時間)	-	1,000	3,500	5,000	10,000	50,000
		モータ	-	(アキシヤル)	(アキシヤル)	(アキシヤル)	(アキシヤル)	(アキシヤル)
		ギヤ	(駆動方式を問わず、システムTotalで要求出力密度/要求効率を実現 ※ギヤの場合はギヤ重量/効率を含む)					
		インバータ	-	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)	(SiC)
		冷却機構	-	(空冷)	(空冷)	(空冷)	(空冷)	(空冷)

図 2.4.2-20 要素技術のロードマップ（動力）

④ 電源

(1) 指標の選定

電源については、動力と同様、機体の検討結果を踏まえ、成熟度レベルに対応した機体仕様に関連付けること、成熟度レベルの向上に対応したバッテリー等の性能向上を表現する観点から、以下の指標を選定した。

- 容量密度
- 出力密度
- サイクル寿命
- システム電圧

(2) 要求値の考え方

要求値については、機体仕様に基づく電源への要求性能としては、マルチロータ方式、ティルトロータ方式の推進方式や、航続距離、機体重量等の機体仕様により異なるが、機体の詳細調査結果に基づく、成熟度レベル毎に想定される複数の機体仕様を総合的に考慮して、バッテリーの要求値を設定した。

要求値の算定に当たっては、以下の条件を前提とした。

- サイクル要件

- 飛行時間：20分
- 平均出力：400kW
- 頻度：24 サイクル/日
- パック化重量係数（バッテリーパック重量/バッテリーセル重量）
 - 空冷の場合：1.25
 - 水冷の場合：1.5

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、給電方式としてフル電動と、蓄電・発電のハイブリッドの双方の観点から、成熟度レベル毎の要求を満たす方式の検討を行った。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-21 に電源のロードマップを示す。容量密度と出力密度、サイクル寿命はトレードオフとなるが、本ロードマップでは、それぞれ個別に要求仕様を示している点に留意が必要である。

成熟度レベル 4 の実現には、Li-S、Li-Air 等の Beyond LiB の開発が必要である。

成熟度レベル 5・6 の要求値については、現状の技術見通しではバッテリーによる実現の見込みは立たないレベルであり、発電機と組み合わせたハイブリッド方式の採用が必要である。但し、レベル 5 及び 6 については、機体の航続距離や乗員数の要求を高度に設定しているため、電源の要求値も高くなっていることに留意が必要であり、成熟度レベル 5・6 の全てのユースケース・運航について、当該要求値を満足する必要がある訳ではない。

燃料電池については、海外の開発事例として、空冷式水素燃料電池システムにより容量密度 1500Wh/kh を達成しつつ、出力密度 2,000W/kg を実現しているとしている。我が国においても今後高度な成熟度レベルを実現する上での注力技術となり得る。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
要求値	容量密度(Wh/kg)	200	300	400	550	1,000	1,500	
	出力密度(W/kg)	400	600	1,000	1,500	2,000	2,500	
	セル換算容量密度(Wh/kg)	250	375	500	688	1,250	1,875	
	サイクル寿命(回)	500	500	1,000	1,500	2,000	4,000	
	システム電圧(V)	500	800	900	1,000	1,000以上	1,000以上	
方式・種類	給電方式	フル電動 (容量密度重視)	○	○	○	○	-	
		ハイブリッド (出力密度重視)	-	-	○	○	○	○
	電源種類	蓄電	Current LiB		Advanced LiB	Beyond LiB	-	
		発電	-		燃料電池・エンジン発電機			
	材料	正極材料	金属酸化物系			金属化合物など		-
		負極材料	炭素系材料	炭素系材料+シリコン系材料	シリコン系材料	金属Liなど	-	
BMS	充電率の最適化(SOC)							

図 2.4.2-21 要素技術のロードマップ（電源）

⑤ 装備品

装備品のロードマップとしては、まずは交通管理・フリート管理の視点から機体に求められる基本機能を整理した上で、装備品全体として実現すべき基本的な機能要求を整理した。

(A) 装備品の基本機能

(1) 指標の選定

個別の装備品のロードマップ策定の前提として、装備品全般に係る基本的な機能要求を整理した。

交通管理・フリート管理の視点から機体に求められる基本機能としては、以下の指標を選定した。

- 人間の関与の方式
- 提供情報の種類
- 提供情報の位置づけ
- 経路変更の方法

装備品全体への基本的な機能要求としては、以下の項目毎に整理すると共に、HMIへの機能要求を整理した。

- オンボード
- リモートパイロットステーション
- 自律機のモニタリング
- HMI

(2) ロードマップ

図 2.4.2-22 に装備品の基本機能に関するロードマップを示す。

各成熟度に対応した自動化レベルの定義及び機体におけるパイロットタスクの自動化進展に対応し、交通管理・フリート管理に求められる基本機能（インテント（飛行意図）情報の共有、およびそれを活用した経路調整・変更）と機体（装備品）への機能要求を整理した。特に成熟度レベル 4・5 あたりから機体の高度な自律化が進むことを踏まえ、共有される情報の拡大・高度化が進み、空域全体を考慮した協調的な自律飛行が可能となる流れを整理した。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
求められる基本機能	人間の関与の方式	オンボードパイロット		リモートパイロット		自律機のモニタリング	
	提供情報の種類	他機動態情報共有	他機インテント情報共有		空域インテント情報共有		
	提供情報の位置づけ	アドバイザリ情報			安全を担保する情報		
	経路変更	マニュアル	システムから提案 (Secondary Level)		自動 (Primary Level)	空域全体を考慮した協調的な判断 (Fully Automated)	
装備品全体への基本的な機能要求	オンボード	VFR機パイロットへの動態情報提供 (アドバイザリ情報として)		VFR機パイロットヘインテント (飛行意図) を含めた情報提供、自機パイロットへ経路変更提案 (アドバイザリ情報として)		VFR機パイロットヘインテント (飛行意図) を含めた情報提供、自機経路の自動変更 (安全を担保する情報として)	
	リモートパイロットステーション (遠隔操縦)	-	-	他のリモートパイロットヘインテントを含めた情報提供、自機リモートパイロットへ経路変更提案		リモートパイロットヘインテントを含めた情報提供、自機経路の自動変更	
	自律機のモニタリング	-	-	-	-	多数機・新しい飛行方式のモニタリングに対応するパイロットステーション	
	HMI	シングルパイロットが利用可能なインターフェイス (情報読み取り)		シングルパイロットが利用可能なインターフェイス (情報発信)		安全機能として認証レベルのインターフェイス	多数機・新しい飛行方式のモニタリングに対応するインターフェイス

図 2.4.2-22 要素技術のロードマップ (装備品の基本機能)

(B) CNS 装備品

(1) 指標の選定

CNS 装備品については、データリンク、航法 (衛星航法、バックアップ航法)、監視を指標として設定した。

(2) ロードマップ

図 2.4.2-23 に、CNS 装備品のロードマップを示す。

機上のパイロットが不在となる成熟度レベル 3 以降は、遠隔操縦・遠隔監視になることを踏まえ、データリンクの伝送情報の増加、離着陸にも対応可能な航法精度および信頼性、空域全般に対応した監視装置等が求められるものとした。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
要求値	データリンク	データリンク搭載 (動態情報)	データリンク搭載 (インテント情報)	伝送情報の増加 (C2、気象情報等)				
	航法	衛星航法	-	高精度・高信頼性 (巡航フェーズ)	高精度・高信頼性 (離着陸フェーズ)	高精度・高信頼性 (対応範囲拡大、都市部等)		
		バックアップ航法	-	-	-	衛星航法大規模コンティンジェンシー時に飛行を安全に終了するための機能が必要		
	監視	低高度動態情報共有のための従属監視	-	離着陸場周辺における従属監視	一般空域における従属監視			

図 2.4.2-23 要素技術のロードマップ (CNS 装備品)

(C) FMS

(1) 指標の選定

FMS (Flight Management System) は、飛行管理、システムマネージメント、乗客管理に関する機能を担う技術である。ロードマップの指標としては、自動・自律運航の実現や周辺システムとの連携の観点から、以下を指標として設定した。

- 経路設定
- 動力・バッテリー管理
- 機体システム管理
- 乗客管理

なお、動力・バッテリー管理は機体システム管理の一部であるが、独立して整理することとした。

(2) ロードマップ

図 2.4.2-24 に、FMS のロードマップを示す。

経路設定に関しては、装備品の基本機能における経路変更機能と関連付けて整理した。なお既存機体については、特に成熟度レベル 3 までは、EFB (Electronic Flight Bag) 等の後付けデバイスでの対応も選択肢として想定される。

機体のパイロットタスクの自動化レベルとの対応から、成熟度レベル 1~3 はパイロットの判断が管理の主体となるが、成熟度レベル 4 以降は判断の自動化が管理の主体となるものとした。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	経路設定	手動設定	経路変更を自動提案/地上から受信。パイロットが承認して変更。		経路を自動変更	経路を自動変更 (地上と連携して空域全体を考慮)	
	動力・バッテリー管理	状況表示	経路提案と連動			経路変更と連動	
	機体システム管理	状況表示	経路提案と連動			経路変更と連動	
	乗客管理		—	状況表示		経路変更と連動	

図 2.4.2-24 要素技術のロードマップ (FMS)

(D) 制御システム

(1) 指標の選定

制御システムでは、飛行時に必要な各機能項目の自動化レベルを中心に整理した。具体的な対象項目は以下のとおりである。

- 設定経路追従
- 離着陸
- 故障・異常対応
- 環境対応 (監視)

- 環境対応（気象）

(2) ロードマップ

図 2.4.2-25 に制御システムのロードマップを示す。

機体のパイロットタスクの自動化レベルとの対応から、成熟度レベル 3 以降はほとんどの制御機能が自動化され、成熟度レベル 5 以降は全ての制御項目の完全自動化するものとした。なお、本表で整理した指標に加え、乗客に優しい制御（スタートやスピードのコントロール等）の観点も必要であり、今後拡充が期待される。AI 技術との対応では、“環境変化にロバストな対応”の産業化は 2020 年代後半～2030 年頃が見込まれる。なお、AI は耐空証明の取得にあたり妥当性の検証方法の検討が必要である。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	設定経路追従	Secondary Level ・経路/速度逸脱認識及び警告		Primary Level ・経路追従飛行自動化 ・状況に応じた他経路提示	Fully Automated ・ATC/UTM等と外部連携した自律的経路追従		
	離着陸	Secondary Level ・着陸経路逸脱認識及び警告		Primary Level ・風雪等悪環境下での離着陸自動化	Fully Automated ・タワー等と外部連携した離着陸判断		
	故障・異常対応	Secondary Level ・機体故障/異常認識及び警告 ・特定故障のシステム側介入操作		Secondary Level ・機体故障/異常認識及び警告 ・全てのシステム側介入操作	Primary Level ・機体故障/異常認識 ・全ての故障のシステム側介入操作	Fully Automated ・緊急着陸/着陸地点等判断 ・故障/破損時の飛行対応自律化	
	環境対応・監視	—	Secondary Level ・地物等衝突リスク認識及び警告	Primary Level ・衝突回避飛行自動化		Fully Automated ・ATC/UTM等と外部連携した自律的運航維持	
	環境対応・気象	—	Secondary Level ・悪天時の飛行リスク認識及び警告	Primary Level ・悪天リスク回避飛行自動化		Fully Automated ・突風等悪天時の飛行対応自律化	
方式・種類	制御方式	一般に機体の制御システムとしてはFly-By-Wire(FBW)が主に採用されているが、軽量化が求められる場合はFly-By-Light(FBL)主体に変化する可能性がある。					
	(参考)AI技術発展との対応	行動予測・異常検知		環境変化にロバストな行動		大規模知識理解	

図 2.4.2-25 要素技術のロードマップ（制御システム）

(E) DAA システム

(1) 指標の選定

DAA システムに関する性能指標については、ICAO RPAS Panel 等において、保護すべき空域を定め、それぞれの空域における侵入機との遭遇確率が指標として定義されている。これに基づき、保護すべき空域における遭遇確率として、以下 2 種類を指標として定義した。

- Loss of well-clear risk ratio (LR) : Well Clear 境界内での他機との遭遇確率
- NMAC risk ratio (RR) : NMAC 境界内での他機との遭遇確率

(2) 要求値の考え方

成熟度レベル1~2については、機上パイロットの判断が主体となることから要求値は設定しないこととした。成熟度レベル3以降は、衝突回避システムによる判断の自動化が管理の主体となり、レベル5以降は自律飛行を前提とし緊急操作や動的な経路変更が自動化されるに伴いDAAも完全自動化されていく。LR/RRの具体的な要求値については、航空機やUASについて検討されているが、今後空飛ぶクルマに適した要求値を設定する必要がある。

(3) ロードマップ

図2.4.2-26にDAAのロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、機体のパイロットタスクの自動化レベルとの対応やパイロットの状況との対応が挙げられる。成熟度レベル1~2はパイロットの判断が主体、レベル3以降は判断の自動化が管理の主体となるが、レベル5以降は自律飛行を前提とし緊急操作や動的な経路変更が自動化されるに伴いDAAも完全自動化する。GPWSについては、成熟度レベル4以降は、高密度運航に対応していくためにGPWSも精度向上が必要となる。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	Loss of well-clear risk ratio (LR)	—	—	今後、空飛ぶクルマに適した指標の設定が必要			
	NMAC risk ratio (RR)	—	—				
方式・種類	アラート内容	—	—	他機・障害物、回避経路・方法	—(自動回避)		
	衝突回避(協調方式)	—	—	ACAS-X			
	衝突回避(非協調方式)	—	—	レーザセンサ(LiDAR等)、音波センサ(ソナー等)、RFセンサ、光学センサ			
	対地接近	—	—	GPWS(機体の高度センサ情報に基づき警告)	EGPWS(GNSS+地形データ)		

図2.4.2-26 要素技術のロードマップ (DAA)

(F) クラッシュワージネス

(1) 指標の選定

クラッシュワージネスの指標としては、機内保護に関するもののうち、認証対象の技術と認証外の技術に分けて、性能要求の方向性を整理した。機体認証を受ける上で必要となる項目以外のものについては、社会受容性に大きく影響を受ける項目であり、現状想定されるエアバッグ等の項目を設定した。

具体的な整理区分は以下のとおりである。

- 機内保護 (認証対象)
 - 座席
 - フローティング
 - 姿勢安定・降下率低減：オートローテーション・冗長化
 - 姿勢安定・降下率低減：パラシュート

- 機内保護（認証外）
 - 機内エアバッグ
 - 外部エアバッグ
 - 第三者への警報装置

(2) 要求値・技術方式の考え方

フローティングは、耐空審査上で必要かつ重要なシステムであるが、機体パラシュート同様に TSO が定義しにくいサブシステムでもある。技術的には軽量化、コンパクト化等の高度化が想定される。

姿勢安定・降下率低減については、Bell 社の Nexus のようにオートローテーションを採用する機体や Volocopter 社のように余剰推力等による冗長性を設計に組み込むケースも存在することから、一概に特定のシステムが必須となる状況は想定されない。一方でそれらのシステムを搭載しない場合は、代替手段としてパラシュートの装備等が想定される。

機内エアバッグや外部エアバッグ、第三者への警報装置等は、社会受容性の動向によっては必要となる可能性がある。なお、成熟度レベル 1 及び 2 の段階では第三者への影響が少ないエリアや頻度で飛行することから、第三者保護を目的とするシステムの搭載は優先度が低くなると想定した。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-27 に、クラッシュワージネスのロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、事故発生等に伴う社会受容性の変化に伴い、必要となる装備やその基準も変化する点があげられる。技術的には、ステアリングパラシュートの開発がブレークスルーとなる可能性がある。

なお、クラッシュワージネスについては、技術 WG における議論を踏まえ、社会受容性によって必要とされる装備が変わる点や耐空性の基準に係る部分があることから、制限値等の定量値を設定しないこととした。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
要求値/ 方式・種類	機内保護	座席	軽量化やプリテンショナー等の装備による拘束機能(シートベルト)の高度化					
		フローティング	軽量化、コンパクト化 など					
		姿勢安定・降下率低減 (オートローテーション・冗長化)	システムの信頼性向上 など					
	機内保護 (認証外)	姿勢安定・降下率低減 (パラシュート)	軽量化、低高度開傘、姿勢制御(ステアリングパラシュート)の実現 など (消空やオートローテーション等の手段を持たない機体については代替手段として)					
		機内エアバッグ	社会受容性によっては装備義務化					
		外部エアバッグ	-					
		第三者への警報装置	社会受容性によっては装備義務化					

図 2.4.2-27 要素技術のロードマップ（クラッシュワージネス）

⑥ 製造技術

(A) 構造材料

(1) 指標の選定

構造材料の技術は、その成形時間が短縮されることが期待されるため、成形時間に係る技術項目を中心に検討した。具体的な指標としては、構造材料の素材とその積層手法、成形手法、成形手法に基づく成形時間の4つの指標を設定した。

(2) ロードマップ

図 2.4.2-28 に構造材料のロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、利用する素材によって積層手法や成形手法が異なり、成熟度レベル4から熱可塑性材料が適用されることで、プレス成形による大幅な成形時間の短縮が期待される点が挙げられる。なお一部の特殊な部品では、3Dプリント等の成形手法が適用される可能性がある。

構造材料		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	素材	既存航空機用熱硬化材活用	弾性率・強度向上(約20%)	速硬化性熱硬化材	熱可塑性適用	高弾性・高強度熱可塑性	主:熱可塑性 副:熱硬化材
	積層手法	ハンドレイアップ		AFP(熱硬化)		AFP(熱可塑)	
	成形時間	6時間		4時間	2時間以下	1時間以下	0.5時間以下
	成形手法	オートクレーブ			プレス成形		大型プレス成形

図 2.4.2-28 要素技術のロードマップ (構造材料)

(B) アセンブリ技術指標の選定

(1) 指標の選定

アセンブリ技術については、構造材料と同様に成形の時間短縮に係る技術項目を中心に検討を行った。具体的な指標としては、機体の部品点数及びその接合技術の2つを設定した。

(2) 要求値の考え方

部品点数については、スキン・ストリンガーの一体成形などによって部品点数が減少し、アセンブリの簡素化及び時間短縮化を実現する技術が成熟度レベル5から出現すると考えられる。

接合技術については、現状ではファスナーを用いた接合が主流であり、安全性確保の観点からファスナーレスは困難であることから、成熟度レベル3までは当面ファスナーを用いた接合が用いられる。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-29 に、アセンブリ技術のロードマップを示す。

ロードマップのポイントとしては、熱可塑性材料の使用に伴いレベル5あたりから溶着等の技術を中心とした効率的なアセンブリ技術が適用される点があげられる。技術課題としては、成熟度レベル4以降、熱可塑性・熱硬化材を一体で成形する技術開発や、熱可塑性向けの溶着技術の開発が必要である。

アセンブリ技術		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	部品点数	100(指数・基準)		90		80	60
	接合技術	ファスナー			熱可塑・熱硬化	溶着(熱可塑)	

図 2.4.2-29 要素技術のロードマップ（アセンブリ技術）

⑦ CNS

(A) 通信

(1) 指標の選定

通信の指標については、通信サービスの性能、航空通信として求められる信頼性の双方の観点から、以下の指標を選定した。

- 通信可能範囲
- 通信速度
- 遅延時間
- 完全性
- 継続性
- 可用性

また、各指標の要求値検討の前提として、空飛ぶクルマに搭載された無線局は移動局であることから、その運用条件として、移動局密度、移動局速度を示すこととした。

(2) 要求値の考え方

通信可能範囲については、どのようなエリア・高度をカバーする必要があるかを成熟度レベル毎に示した。

その他の指標については、通信の用途ごとに、各成熟度レベルの要求値を設定した。

表 2.4.2-44 通信の用途

区分	説明
実時間遠隔操縦情報	遠隔操縦者が機体搭載カメラによる一人称視点からの映像を見ながら実時間操縦をするための情報である。
遠隔操縦情報	遠隔操縦者が機体の位置等を確認しながら随時飛行する先を指示する方法による遠隔操縦のための情報である。
動態情報 ルート ポート周辺	機体の ID、位置、速度、方位等からなる情報であり、巡航ルート上とポート周辺とでは機体の密集度が違うことから、やりとりする情報の量も違ってくことを想定し、それらを区別する。
経路情報	動態情報が点の情報であるのに対し、ある程度先経路までを含んだ線の情報を経路情報である。経路情報によって飛行の意図を伝えることができ、飛行経路の調停に使うことができる。
飛行計画	1つの飛行全体にわたる経路情報である。
緊急通信	機体、乗員、及び乗客の緊急事態を伝えるための通信である。乗客が直接使用する場合は、特殊な操作無しに直感的に使用できなければならないことを想定し、映像も含める。
運航環境情報	飛行する機体周辺の気象及び地物の状態等の情報である。機体搭載カメラの画像等を想定する。

要求値は、成熟度レベル及び運航イメージをもとに、運航スケール（飛行距離、飛行高度、飛行速度、飛行間隔（空間/時間）、機体密度等）を検討した上で、各通信指標についてスケールアナリシスの考え方により、おおよそ想定される数値として導出した。

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、成熟度レベル 1-2 については、機上パイロットによる VFR 方式による運航を前提に、従来の VHF 航空通信を基本とし、動態情報の共有として、Iridium 等の低軌道衛星通信の活用を想定した。成熟度レベル 3 以降は、広いカバレッジに対するデータ通信を実現する必要がある、その手段として想定される方式を整理した。

なお、航空移動業務に割り当てられたシステムとしては、VHF 帯航空通信、C 帯（航空移動）、L 帯衛星通信 (GEO/LEO) 等が挙げられる。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-30 に通信のロードマップを示す。

成熟度レベル 1 及び 2 においては機上パイロットが操縦する VFR での運航が基本であり、運航密度及び運航頻度もそれ程高くはない。したがって通信としては VHF 航空無線通信が基本となり、それに気象等の運航環境情報サービス及び乗客が利用する電話等の一般的な通信が加わったものとなる。加えて、動態情報の共有が必要とされる。

成熟度レベル 3 になると路線数の増加、路線の長距離化、ネットワーク化が実現される。機上パイロット無しの機体が飛び始め、夜間飛行、IMC 相当での運航、運航サービスプロバイダによる運航調整も始まる。したがって、運航、安全を支えるための、成熟度レベル 2 までとは質的に異なる通信が必要となる。

成熟度レベル 4 においては成熟度レベル 3 の各要素が量的に拡大、高度化される他、都市部のいわゆるアーバンキャニオンでの運航がなされるようになり、通信もこれに対応しなければならない。

成熟度レベル 5 から 6 にかけて、空飛ぶクルマは人々の生活圏へ接近していく。自家用機の本格的な運用、飛行機数の大幅な増加となり、その極限においては全ての機体の動態を共有しながらの運航管理はもはや成立せず、個々の機体が周囲の機体との通信等により安全を確保しつつ飛行する。

全ての通信要求を満足する技術方式が無いことから、複数方式の組合せにより実現することが必要となる。特に、遅延、完全性、継続性、可用性を保証する通信システムを、商用のセルラー網や衛星通信網で実現できるかどうか、航空業務の通信システムにおいて高度な通信速度を実現可能か、両者をどのように組み合わせるか、と言った点が技術課題として挙げられる。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6		
要求値	通信可能範囲	都市沿岸部、都市周辺部							
		観光拠点、都市周辺部～都市拠点、空港～都市拠点							
		都市拠点間			都市全域				
		-			居住地拠点間	居住地全域			
	移動局密度		高度: 0 - 600 m			高度: 0 - 3,000 m			
	移動局速度		< 0.5 /km ²			5 /km ²	50 /km ²	500 /km ²	
	通信速度	実時間遠隔操縦情報(機体⇒地上)	200 km/h			400 km/h			
		実時間遠隔操縦情報(地上⇒機体)	-			10 Mbps			
		遠隔操縦情報(機体⇒地上)	-			20 kbps			
		遠隔操縦情報(地上⇒機体)	-			300 bps			
		動態情報ルート(機体⇒地上)	-			3 kbps			
		動態情報ルート(地上⇒機体)	-			300 bps			
		動態情報ポート周辺(機体⇒地上)	-			1 kbps			
		動態情報ポート周辺(地上⇒機体)	-			10 kbps			
		経路情報(機体⇒地上)	-			100 bps			
		経路情報(地上⇒機体)	-			1 kbps			
		飛行計画(機体⇒地上)	-			100 bps (1 kbps)			
		飛行計画(地上⇒機体)	-			1 kbps			
		緊急通信(データ)	-			10 kbps			
		緊急通信(音声)	-			100 kbps			
		緊急通信(映像)	-			10 Mbps			
		運航環境情報	-			1 Mbps			
		その他一般	-			10 Mbps			
		遅延時間	実時間遠隔操縦情報	-			10 ms		
			遠隔操縦情報	-			3.6 s		
			動態情報(ルート)	-			0.36 s		
	動態情報(ポート周辺)		-			0.36 s			
	経路情報		-			3.6 s (0.36 s)			
	飛行計画		-			1 s			
	緊急通信		-			10 s			
	運航環境情報		-			1 s			
	完全性		実時間遠隔操縦情報(自動化による安全担保あり)	-			> 1 - 10 ⁻⁷ /FH		
			実時間遠隔操縦情報(自動化による安全担保なし)	-			> 1 - 10 ⁻⁹ /FH		
		遠隔操縦情報(自動化による安全担保あり)	-			> 1 - 10 ⁻⁷ /FH			
		遠隔操縦情報(自動化による安全担保なし)	-			> 1 - 10 ⁻⁹ /FH			
		動態情報、経路情報、飛行計画、緊急通信	-			> 1 - 10 ⁻⁵ /FH			
		継続性	実時間遠隔操縦情報(自動化による安全担保あり)	-			> 1 - 10 ⁻³ /FH		
	実時間遠隔操縦情報(自動化による安全担保なし)		-			> 1 - 10 ⁻⁵ /FH			
	遠隔操縦情報(自動化による安全担保あり)		-			> 1 - 10 ⁻³ /FH			
	遠隔操縦情報(自動化による安全担保なし)		-			> 1 - 10 ⁻⁵ /FH			
動態情報、経路情報、飛行計画	-			> 1 - 10 ⁻³ /FH					
緊急通信	-			> 1 - 10 ⁻⁷ /FH					
可用性	実時間遠隔操縦情報、遠隔操縦情報、動態情報、経路情報、飛行計画	-			> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %		
	緊急通信	-			> 1 - 10 ⁻⁷				
	運航環境情報	> 90 %			> 99 %				
方式・種類	通信方式	LEO(L帯)			航空通信				
		-			LEO(全般)				
		-			HAPS				
		-			GEO				
		-			セルラーネットワーク				
		-			L5G / LTEサイドリンク				
		-			RFネットワーク				
-			C帯(航空移動)						

図 2.4.2-30 要素技術のロードマップ（通信）

(B) 航法

(1) 指標の選定

航法の指標については、航法精度と航空システムとして求められる信頼性の双方の観点から、以下の指標を選定した。

- 位置精度
- 更新頻度
- 完全性
- 継続性
- 可用性

(2) 要求値の考え方

要求値は、成熟度レベル及び運航イメージをもとに、運航スケール（飛行距離、飛行高度、飛行速度、飛行間隔（空間/時間）、機体密度等）を検討した上で、各航法指標についてスケールアナリシスの考え方により、おおよそ想定される数値として導出した。

(3) 技術方式の考え方

技術方式としては、概して **GNSS** を基本とし、必要に応じてそれを強化した航法技術が主流となる。

ポート等への離着陸においては、精密な航法精度が要求される。このために離着陸援助用の **RF** ビーコンや搭載レーダ等の装置の利用が必須となることが想定される。

(4) ロードマップ

図 2.4.2-31 に航法のロードマップを示す。

成熟度レベル 1 及び 2 においては、従来の **VFR** で用いられる航法での飛行となる。ただし、成熟度レベル 2 においては定められたルートを行飛行するにあたり、必須ではないものの **GNSS+SBAS** を援用する可能性が考えられる。

成熟度レベル 3 においては、夜間、**IMC** 相当での飛行、人口密集地域内での飛行がおこなわれ、ポート周辺の混雑度も増加する。このため、決められたルート及びポート周辺ではより正確に飛行でき、低視程条件でも有効な航法技術が必要となる。またこの頃から機上パイロット無しの機体も飛行を始めるため、飛行の自動化を支える航法技術も必要となる。

成熟度レベル 4 以降においては、各要素が量的に拡大、高度化される他、都市部のいわゆるアーバンキャニオンでの運航がなされるようになり、ビルの谷間を正確に飛行する必要が出てくる。ビルの谷間では **GNSS** の受信状況が悪くなる可能性があり、また、建物との正確な相対位置、正確な対地高度の把握が困難となることが予想される。

GBAS、SBAS、RF ビーコン等による航法精度、安全性等の向上が必要となる。

			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
要求値	位置精度	ルート	50m				10 m	1 m	
		ポート周辺	50m		50 m (10 m)		10 m		
		接地点近傍	1 m			10 cm			
	更新頻度 / 遅延時間	ルート	6 s		3.6 s		0.36 s	0.036 s	
		ポート周辺	6 s		3.6 s (0.36 s)		0.36 s		
		接地点近傍	1 s			0.1 s			
	完全性		-	-	> 1 - 10 ⁻⁹ / FH				
	継続性	ルート		-	-	> 1 - 10 ⁻⁷ / FH			
		ポート周辺/接地点近傍		-	-	> 1 - 10 ⁻⁶ / FH			
	可用性			-	-	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	
方式・種類	航法方式		VFR						
			-	GNSS					
			-	GNSS + SBAS					
			-	-	GNSS + GBAS				
			-	-	GNSS + PNT				
			-	-	RFビーコン				
			-	-	RFネットワーク				
			-	-	搭載レーダ				
			-	-	地形データベース				
			-	-	地上構造物データベース				

図 2.4.2-31 要素技術のロードマップ（航法）

(C) 監視

(1) 指標の選定

監視の指標については、監視性能と航空システムとして求められる信頼性の双方の観点から、以下の指標を選定した。

- 監視範囲
- 監視精度
- リアルタイム性
- 取得情報の項目・要件
- 監視数（密度）
- 完全性
- 継続性
- 可用性

(2) 要求値の考え方

要求値は、成熟度レベル及び運航イメージをもとに、運航スケール（飛行距離、飛行高度、飛行速度、飛行間隔（空間/時間）、機体密度等）を検討した上で、各監視指標についてスケールアナリシスの考え方により、おおよそ想定される数値として導出した。

(3) 技術方式の考え方

監視の主な目的は3つある。1つ目は運航支援サービスのための飛行中の空飛ぶクルマの動態把握である。2つ目は混雑空域における安全確保である。3つ目はポート周辺等における外来機等による危険把握である。

技術方式としては、協調監視が基本となり、空飛ぶクルマに適用する協調監視手段に対応しない航空機やUASが混在する混雑空域及びポート周辺等、安全性を高める必要がある空域においては、機上装置に依存しない独立型の非協調監視手段も必要と考えられる。低高度、低RCSかつ多数機に対応しなければならない点で従来の独立監視技術方式とは異なる。

(4) ロードマップ

図2.4.2-32に監視のロードマップを示す。

成熟度レベル1及び2においては、VFR機に使用する装置およびADS-B情報に基づく監視が想定される。成熟度レベル3では運航支援サービスのための動態情報の提供及び空域の安全を高めるための監視が必要とされるようになる。

成熟度レベル4以降は、一定の地域に多数機が存在する状況に監視システムを対応させていかなければならない。成熟度レベル5から6にかけて、空飛ぶクルマは人々の生活圏へ接近していく。自家用機の本格的な運航がされ、機体数の大幅な増加となり、個々の機体が周囲の機体との通信等により安全を確保しつつ飛行する。

		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6
要求値	監視範囲	地域	-	-	ポートから半径1.5 km ルート区間 50 km	ポートから半径1.5 km ルート区間 80 km 都市等飛行域全域	
		高度範囲	-	-	0 - 3,000 m		
		対象	-	-	AAM VFR機 UAS等		
	監視精度	-	-	100 m			
	リアルタイム性	-	-	1 s			
	取得情報の項目・要件	AAM	-	-	位置 ID ステータス		
		VFR機/UAS	-	-	位置 (ID)		
	監視数(密度)	-	-	0.3 /km ²	1 /km ²	10 /km ²	100 /km ²
	完全性	ルート/ポート周辺	-	-	> 1 - 10 ⁻³ /FH		
		接地点近傍	-	-	> 1 - 10 ⁻⁵ /FH		
継続性	ポート周辺/接地点近傍	-	-	> 1 - 10 ⁻⁶ /FH			
可用性	ルート/ポート周辺	-	-	> 99 %			
	接地点近傍	-	-	> 99.5 %	> 99.9 %	> 99.99 %	
方式・種類	従属監視(地上)	(ADS-B/1090ES)		ADS-B/1090ES	ADS-B/UAT		
	独立監視	(二次レーダ)					
		一次レーダ					
		マルチラテレーション					
IRセンサ							
		音響センサ					

図 2.4.2-32 要素技術のロードマップ (監視)

⑦ 地上システム

(A) フリート管理システム

(1) 指標の選定

フリート管理とは空飛ぶクルマの運航事業者自身が運航している、または運航管理を受託しているフライトについて、運航管理をするための地上システムである。ここでは特に飛行計画、情報管理、フライトウォッチ、スケジュール管理の4つの指標を選定した。

- 飛行計画
- 情報管理
- フライトウォッチ
- スケジュール管理

(2) 要求値の考え方

フリート管理システムは地上システム以外の要素技術と地上システムの連携として構成されていることから、どのような機能が実現されるのかという観点で整理することとした。

具体的には、飛行計画、情報管理、フライトウォッチ、ダイヤ・スケジュール管理の各機能に対して、各成熟度レベルを実現するために必要なサブ機能または仕様を整理した。

(3) ロードマップ

図 2.4.2-33 にフリート管理のロードマップを示す。

情報管理は、レベル3からインフライト中の機体データをタイムリーに反映するような仕組みとなる。フライトウォッチ、スケジュール管理は、レベル4から自動化要素が盛り込まれる。

交通管理や周辺システムとの標準インタフェースやセキュリティ対策と共に、成熟度レベル4以降の自動化やオンデマンド運航への対応機能の開発が課題となる。

	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5	レベル6	
飛行計画	VFR飛行計画作成	経路部を詳細化した飛行計画作成(通過予定時刻、高度、速度など)	飛行計画(詳細な軌道情報)を最適経路で作成(パラメータを設定して自動生成)	飛行計画(詳細な軌道情報)を最適経路で作成(パラメータを設定して自動生成) 1日3000便程度(運航者毎) オンデマンドの増加	飛行計画(詳細な軌道情報)を最適経路で作成(パラメータを設定して自動生成) 1日8000便程度(運航者毎) オンデマンド、自家用機の受託増加	飛行計画(詳細な軌道情報)を最適経路で作成(パラメータを設定して自動生成) 1日26000便程度(運航者毎) オンデマンド、自家用機の受託増加	
	-	飛行計画調整	飛行計画の自動調整(交通流管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は更に代替案を生成し調整)				
	-	-	飛行計画を低高度管制へ提出				
情報管理 (個別情報管理)	機体性能データ						
	カンパニーNOTAM						
	情報管理 (共有情報管理)						
	気象情報						
	NOTAM						
	AIP						
	AIC						
	地図地形情報						
	ポート情報						
	-	悪天情報					
-	障害物情報						
-	-	機体性能データ(飛行計画を調整する際に必要となるデータの共有)					
-	-	インフライト中の機体のセンシングデータからタイムリーに情報をアップデートし、全体で共有する。					
-	-	-	交通量予測(空域・コリダー)				
フライトウォッチ	飛行監視 同時飛行1~2機(運航者毎)	飛行監視 同時飛行10機(運航者毎)	飛行監視 同時飛行30機(運航者毎)	飛行監視 同時飛行数百機(運航者毎)	飛行監視 同時飛行千機(運航者毎)	飛行監視 同時飛行数千機(運航者毎)	
	運航機体のステータス管理						
	-	インフライト中の機体からのダウンリンク情報のモニタ(計画との差異、残電力など)			インフライト中の機体からのダウンリンク情報のモニタ(計画との差異、残電力など) 予兆監視		
	-	機体との音声・データ通信(気象情報、飛行計画、フリーテキストなど)		機体との音声・データ通信(気象情報、飛行計画、フリーテキスト、メンテナンスMSG、アンビュランスMSG、エマージェンシーなど)			
	-	情報提供(気象、NOTAM、ポート情報など)、フリーテキストなど)	情報提供(気象、NOTAM、ポート情報など)、フリーテキストなど)	情報提供(気象、NOTAM、ポート情報など)、フリーテキストなど)	情報提供(気象、NOTAM、ポート情報など)、フリーテキストなど)	情報提供(気象、NOTAM、ポート情報など)、フリーテキストなど)	
	-	-	-	飛行監視の自動化	飛行監視の自動化※自動化レベルの向上	飛行監視の自動化※完全レベルの自動化	
	スケジュール管理	-	1日400便程度(運航者毎)	1日1000便程度(運航者毎)	1日3000便程度(運航者毎)	1日8000便程度(運航者毎)	1日26000便程度(運航者毎)
		-	ダイヤ・スケジュール管理・共有		ダイヤ・スケジュール管理・共有 オンデマンドの増加	ダイヤ・スケジュール管理・共有 オンデマンドが増加、自家用の受託	ダイヤ・スケジュール管理・共有 オンデマンドの増加、自家用の受託の増加
-		ダイヤ・スケジュール調整					
-		使用機材管理					
-		運航情報の共有(旅客など)					
-		-	-	スケジュール管理の自動化	スケジュール管理の自動化※自動化レベルの向上	スケジュール管理の自動化※完全レベルの自動化	

図 2.4.2-33 要素技術のロードマップ (フリート管理)

5.4. 調査項目④「要素技術に関する詳細調査」

5.4.1. 詳細調査の位置づけと概要

空飛ぶクルマの要素技術の整理結果に対し、自動・自律運航、高密度運航の実現の観点から重要な技術を対象に、専門的な深掘調査を実施した。具体的な詳細調査の対象と調査方針を表 2.4.2-45 に示す。

表 2.4.2-45 要素技術の詳細調査の対象技術と調査方針

詳細調査対象の技術項目	調査方針
機体	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 成熟度レベルに対応した機体コンセプトの検討を実施 ✓ 動力、電源のロードマップ検討に資するため、成熟度レベルに対応した運航を実現するための動力、電源への要求条件を検討 ✓ 装備品の検討のロードマップ検討に資するため、パイロットタスクに対する成熟度レベル毎の自動化レベルを検討
通信	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実現方式の整理と各方式の特徴等の整理 ✓ 成熟度レベル毎の要求値や適用方式の整理 ✓ 成熟度レベル4に対するシステム概念検討 ✓ 今後の研究開発要素の整理 ✓ 携帯電話網（LTE）について、低高度空域における電波状況に関するデータ取得
航法	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 当該技術の実現方式の整理と各方式の特徴等の整理
監視	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 当該技術の成熟度レベル毎の要求値や適用方式の整理
交通管理システム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 成熟度レベル4に対する当該技術のシステム概念検討
フリート管理システム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 当該技術の今後の研究開発要素の整理
給電システム	
気象システム	
全体システムアーキテクチャ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 成熟度レベル4を対象としたユースケース分析 ✓ 成熟度レベル4を対象としたステークホルダ整理 ✓ 各要素技術を包含する成熟度レベル4を対象とした全体システムアーキテクチャの検討
特許出願動向分析	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 空飛ぶクルマの要素技術項目毎の特許出願動向の調査・分析 ✓ 今後の知財戦略の策定に向けた情報整理

5.4.2. 機体

① 機体規模・性能の検討

本項では表 2.4.2-46 に示すように、UAM の運航コンセプトに基づく成熟度レベル毎のペイロード、巡航速度、航続距離の要求を満たす電動推進の航空機の概念検討を行い、バッテリーモジュール（航空機搭載状態）の容量・出力密度、モータ出力に対する要求を定量的に検討・算出した。主な結果は以下のとおりである。

- マルチロータ（MR200/500）：モータに対する要求が低い。空気抵抗が大きい

め、長距離では容量密度の要求が厳しい。

- ティルトロータ (TR500A/B、TR1600) : バッテリモジュール、モータに対する要求が高い。特に出力密度の要求が厳しい。また長距離では容量密度の要求も厳しくなり、内燃機関を併用したハイブリッド推進等の検討が必要となる可能性がある。
- 共通 : 機体を大型化しても、バッテリモジュールの容量・出力密度に対する要求が一概に高まるわけではない (搭載すべきバッテリモジュールの重量は大きくなる)。モータ出力の要求は、機体の大型化に伴い高くなる。

本検討ではバッテリモジュールの容量・出力密度は航空機搭載状態の実効値として要求を算出している。搭載に際しての重量増 (モジュール化や安全対策等) や容量の使用不可領域を考慮すると、バッテリセル単位ではより高い性能が求められることに注意する必要がある。

表 2.4.2-46 各機体の奨励ケースにおける結果

名称 (仮称)	MR200	MR500	TR500A	TR500B	TR1600	
巡航速度	100km/h	100km/h	240km/h	240km/h	240km/h	
ペイロード	200kg	500kg	500kg	500kg	1,600kg	
全備重量	1,149~1,155kg	2,502kg	1,949~1,952kg	1,787kg	6,065kg	
モータ出力要求	10kW	21kW	82kW	156kW	353kW	
バッテリモジュール性能要求	成熟度レベル1 航続距離10km	容量密度 150Wh/kg 出力密度 550W/kg バッテリ容量 49kWh	容量密度 150Wh/kg 出力密度 500W/kg バッテリ容量 114kWh	-	-	
	成熟度レベル2 航続距離50km	容量密度 300Wh/kg 出力密度 550W/kg バッテリ容量 98kWh	容量密度 250Wh/kg 出力密度 500W/kg バッテリ容量 190kWh	容量密度 250Wh/kg 出力密度 1,100W/kg バッテリ容量 112kWh	-	
	成熟度レベル3 航続距離100km	容量密度 450Wh/kg 出力密度 550W/kg バッテリ容量 146kWh	容量密度 400Wh/kg 出力密度 500W/kg バッテリ容量 304kWh	容量密度 300Wh/kg 出力密度 1,100W/kg バッテリ容量 135kWh	-	
	成熟度レベル4 航続距離200km	-	-	容量密度 450Wh/kg 出力密度 1,100W/kg バッテリ容量 201kWh	容量密度 550Wh/kg 出力密度 1,750W/kg バッテリ容量 197kWh	容量密度 400Wh/kg 出力密度 1,200W/kg バッテリ容量 707kWh
	成熟度レベル5 航続距離400km	-	-	-	容量密度 900Wh/kg 出力密度 1,750W/kg バッテリ容量 322kWh	容量密度 650Wh/kg 出力密度 1,200W/kg バッテリ容量 1,149kWh
	成熟度レベル6 航続距離600km	-	-	-	容量密度 1,250Wh/kg 出力密度 1,750W/kg バッテリ容量 448kWh	容量密度 850Wh/kg 出力密度 1,200W/kg バッテリ容量 1,502kWh

出所) JAXA 作成

② 自動化機能の検討

自動化機能については、パイロットのタスクを細分化し、各タスク項目の自動化レベルを Secondary level、Primary level、Fully Automated の3段階で整理した。

検討した自動化レベルの成熟度レベルとその内容を表 2.4.2-47 に示す。各タスクの自動化レベルを整理するにあたり、NASA の UML、SESAR AMU-LED の検討の中で用いられている定義 (表中、黄色部分) との対応についても考慮した。

なお事故時の責任所在は、パイロットとシステムの責任所在に合わせてセンサ類の要求仕様も変わる可能性があり、認証の観点からも重要である。

表 2.4.2-47 自動化の成熟度レベルの定義と内容

自動化の成熟度レベル	定義	詳細	事故時の責任
1 Human-within-the-Loop (HWTL)	人間が常時オートメーション(システム)を直接的にコントロールする。		パイロット
2 Human-within-the-Loop (HWTL) Assistive		自動化レベルは低く、統合も限定的で、運航の安全に対しては人間が全責任を負う。	パイロット
3 Human-on-the-Loop (HOTL) Comprehensive safety assurance level	・人間がオートメーション(システム)を監督的にコントロールする。 ・人間が積極的にシステムのモニタリングを行い、必要OR望ましいと考えられる場合にフルコントロールをとることができる。	運航の安全にとって重要なモニタリング機能やシステム内の多岐にわたる特定ハザードの軽減のための介入措置(地上への衝突防止、トラフィックの衝突防止等)を提供し、システムの安全性を著しく強化するが、運航の安全はまだ人間が全責任を負う。 人間による監視や自動化機能の不具合に対する対応が不要になるほどの自動化機能のレベルが担保されているレベル。 システムにおける人間の技能要件は、上記自動化機能のゲーパビリティに基づく再定義が想定される。 ただし、本レベルにおいても、システムの安全性とレジリエンスを担保するにあたって、人間による全体の監督が引き続き必要であり、機体に搭乗している場合においても、搭乗していない場合においても、パイロットは一つ一つ個別機体の監督を行うことが求められる。	パイロット
4 Human-on-the-Loop (HOTL) Collaborative and responsible automation level		・人間は、オートメーション(システム)により、アクションを起こすよう通知OR関与される。 ・人間は受動的にシステムのモニタリングを行い、必要が生じた際に、どのようなアクションが必要かについて自動で通知される。	リアルタイムの人間の関与が必要ないレベル。 運航の性能や効率性は人間による受動的な監督や介入により改善される可能性があるが、安全確保の観点では必要ではない。 人間による監督も介入も必要なく、安全のみならず効率の観点でシステムが運用される。
5 Human-over-the-Loop (HOVTL) ; Highly-integrated automated networks	・人間は、調停のできない例外事態、もしくはエスカレーションルールの一環として、オートメーションにより関与させられる。		・機体製造会社(自動化システムの設計が根本原因の場合) ・遠隔操縦関連の会社
6 Human-over-the-Loop (HOVTL) ; System-wide optimization			

上記で整理した自動化の成熟度レベルとパイロットの各タスクを対応させたものを表 2.4.2-48 に示す。パイロットのタスクの自動化レベルは以下に示す区分で示す。

- M: Manual : 手動操縦
- S: Secondary : Pilot がメインで操縦。自律機能は飽くまで各種通知・サポートにとどまる (経路や飛行 Plan 変更、危険情報を表示)。
- P: Primary : 基本は Pilot 監視下の自動操縦。Pilot の承認なしに動くが、Pilot が異常を認識すれば介入する。
- FA: Fully Automated : Pilot が不要なレベル。

表 2. 4. 2-48 自動化の成熟度レベルとパイロットのタスクの自動化レベル

自動化の成熟度レベル		Basic Airmanship	Sense & Avoidance	Navigation	Systems Management	Planning	Decision Making	Takeoff & Landing	Emergency Procedure	Preflight Check	Communicati on	Terminal Procedure	Passenger Management
1	Human-within-the-Loop (HWTL)	S	M	S	S	M	M	S	M	M	M	M	M
2	Human-within-the-Loop (HWTL) Assistive	P	S	S	S	S	M	S	S	M	M	M	M
3	Human-on-the-Loop (HOTL) Comprehensive safety assurance level	P	P	P	P	P	S	P	S	M	S	S	M
4	Human-on-the-Loop (HOTL) Collaborative and responsible automation level	FA	P	FA	P	P	P	P	P	S	P	P	P
5	Human-over-the-Loop (HOVTL) Highly-integrated automated networks	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	P	P	P	FA
6	Human-over-the-Loop (HOVTL) System-wide optimization	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA	FA

出所) JAXA 作成

Navigation と System Management については、運航状況としては低頻度な商業運航が開始しており、飛行可能なエリアも従来機に比べ制限される可能性があるため「飛行予定ルートを表示する・逸脱を知らせる」等の Secondary 機能が実装されている状況を想定した。

レベル 4 では Fully Automated まで自動化が進むタスクが出現し、完全に機体側に制御が委ねられる状況を想定した。なお System Management については「システムの安全性など、人間の監督が必要」なレベルなので、検知・処置方針は自動で示すが最終判断はパイロットが実施すると推測されることから Primary Level とした。

レベル 5 では Fully Automated のタスクが増加し、気象状況やトラフィック状況によらずあらゆる条件下でシステム側が判断可能な状況である。この場合は、パイロットは仮眠をしながら待機することも可能であり、システム側が対処できない事象が生じた場合にはアラームを発するような状況を想定した。なおパイロットがアラームに応えない場合は自動で安全な場所を探して着陸するなどの機能を持つことが予想される。

レベル 6 ではパイロットもコックピットも不要となる完全な自律飛行を示す。

表 2. 4. 2-49 にロードマップの指標とパイロットのタスクの対応を示す。表 2. 4. 2-48 で検討した自動化レベルの内容と装備品の項目との対応を整理した。

表 2.4.2-49 ロードマップの指標とパイロットのタスクの対応

詳細	Basic Airmanship	Sense & Avoidance	Navigation	Systems Management	Planning	Decision Making	Takeoff & Landing	Emergency Procedure	Preflight Check	Communication	Terminal Procedure	Passenger Management
交通流管理・フリート管理に必要な機体装備品					○	○					○	
CNS			○							○	○	
FMS			○		△	△					△	
制御システム	○	○					○					
DAA		○										
System Management (FMSに含める)				○				○	○			
Passenger Management (FMSに含める)												○
地上システム		○	○		○	○	○			○	○	

出所) JAXA 作成

5.4.3. CNS

① 通信

(1) 今後の研究開発要素

今後の研究開発要素項目を列挙する。なお、技術開発のみならず認証のあり方や使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要となる。

- HAPS 基地局を使用したセルラー通信の研究開発
- インフラそのもの及び、セルラー通信において遅延時間、完全性、継続性、可用性を担保する方法の研究開発
- ローカル 5G 及び LTE サイドリンクによる空対空、空対地通信の研究開発
- RF ネットワークの研究開発
- 高信頼性の通信と位置標定が同時に可能な RF ネットワークシステム

② 上空電波測定試験

空飛ぶクルマの運航の自動・自律化・高密度運航の実現にあたり必要となる通信の技術に関する詳細調査の実施を目的とし、上空での LTE 電波状況の測定を行い、空飛ぶクルマの運航や旅客サービス向けの無線通信システムへの適用可能性評価に資する技術的なデータを整理・分析する。

具体的測定内容として、空飛ぶクルマが利用する最高高度を 1,000m と仮定し、

測定用スマートフォンを取り付けた機体を、最高高度 1,000m まで飛行させて、各高度及びバンド毎の LTE 電波状況の測定を実施した。

<試験日程>

- 2021 年 1 月 17 日 (月) ~ 21 日 (金)、1 月 24 日 (月)

<試験時間>

- 各日：午前 6 時～午前 9 時（初日のみ、準備のため午前 5 時 30 分より）

<1,000m～500mの測定可能時間>

- 日の出～7 時 30 分まで

※ 本測定では、日の出から仙台空港の始発便までの間（約 30 分）300m以上の飛行が可能のため。

<250m、200m、150mの測定可能時間>

- 7 時 30 分～9 時まで

<試験場所>

- 福島ロボットテストフィールド 無人航空機エリア内滑走路
- 住所：福島県南相馬市原町区萱浜字新赤沼 83 番南相馬市復興工業団地内
- 緯度：37.631091
- 経度：141.008397
- 上記の緯度経度周辺にて測定試験を実施した。



図 2.4.2-34 福島ロボットテストフィールド施設図及びフライトポイント

出所) <https://www.fipo.or.jp/robot/overview> (閲覧日：2022 年 2 月 11 日)

電波は建物等の遮蔽物がなくとも大気中を伝搬するなかで減衰するため、基地局から距離が離れると一般に信号強度（RSRP）は低下する。また、通常、基地局のアンテナは地表方向に指向性が向けられているため、上空に向かうにつれ、基地局からの放射電力は減少していく傾向にある。

測定においても機体が飛ぶ高度が高くなると基地局から届く電波が弱くなる結果となった。実際には、単一の基地局ではなく複数の基地局が福島ロボットテストフィールド周辺に配置されており、各基地局から届く電波のうち最も信号強度が高い電波を捕捉するため、一部で飛行高度に単調に従わない形となっている。これらの結果は、周波数（バンド）によらず同様の傾向が出ている一方で、同サイズの基地局アンテナであれば高い周波

数ほど地表に向けて鋭い指向性ビームを構成することが可能となるため、高い周波数においては、上空で急激に信号強度が低下する傾向になっている。

また、データの分散傾向については、信号強度及び電波品質は、物理的な性質からは、低高度では建物による遮蔽の影響でばらつきが大きく、見通し状態の上空ではばらつきが小さいことが予想され、800MHzの電波品質（RSRQ）測定値についてこのような傾向がみられるようにも見えるが、その他の信号強度/電波品質の測定結果には顕著な傾向はみられなかった。その上位レイヤであるスループットやpingデータにおいても同様であり、今回の測定の範囲（時間、場所、試行回数）では、分散の傾向についての考察は難しい結果となった。

今後、地上基地局を活用した通信方式を、空飛ぶクルマにて利用していくにあたって、検討されるべき観点の具体案を以下に提示する。実施にあたっては、実施内容等の詳細検討が必要である。

- 異なる環境での電波状況の測定（都市部かつ平野部、郊外地かつ山間部等）
- 上空における電波状況のシミュレーション実施の検討
- 高密度飛行した場合の通信の性能評価
- 移動時の通信の性能評価
- 試験用基地局でのアンテナ指向を上空に向けた場合の通信性能、機体等への影響評価

③ 航法

(A) 技術方式

空飛ぶクルマの航法に利用可能な方式には以下が挙げられる。

- GNSS
- GNSS+SBAS
- NSS+GBAS
- GNSS+PNT
- RF ビーコン
- RF ネットワーク
- 搭載レーダ
- 地形データベース/地上構造物データベース

(B) 将来の機能・性能の要求値に関する調査

(1) 指標

航法の指標として以下を調査した。

- 位置精度：飛行の局面によって異なることが考えられることから、ルート、ポート周辺及び接地点近傍に区分する。
- 更新頻度：飛行の局面によって異なることが考えられることから、ルート、ポート周辺及び接地点近傍に区分する。
- 完全性：航法システムが正常に利用できない場合に警告される確率
- 継続性：航法システムの正常な利用を開始した後に、利用が中断されない確率。ルート及びポート周辺/接地点近傍に区分する。
- 可用性：航法システムを利用開始しようとしたときに正常に利用できる確率

(2) 要求値の調査

調査した指標に対して各成熟度レベルに応じた値を設定する。値は成熟度レベル及び運航イメージにおける表現に対して基本的な数値を想定し、スケールアナリシス的に導出する。導出した値の性質は要求値というよりも、おおよその想定される程度を示した値であり、何等かの限度、制約及び仕様等を明示するものではない。

表 2.4.2-50 エアタクシー／2次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
位置精度						
ルート *1	50 m	←	←	←	10 m	1 m
ポート周辺 *1	50 m	←	50m(10 m)	←	10 m	←
接地点近傍 *2	1 m	←	←	10 cm	←	←
更新頻度						
ルート *1	6 s	←	3.6 s	←	0.36 s	0.036 s
ポート周辺 *1	6 s	←	3.6s(0.36s)	←	0.36 s	←
接地点近傍 *2	1 s	←	←	0.1 s	←	←
完全性 *3	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
ルート *4	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-7}$ /FH	←	←	←
ポート周辺/ 接地点近傍 *5	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性 *6	N/A	N/A	$> 99.5 \%$	$> 99.9 \%$	$> 99.99 \%$	←

表 2.4.2-51 地方都市間交通／2次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
位置精度						
ルート *1	50 m	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	50 m	←	←	50m(10 m)	←	←
接地点近傍 *2	1 m	←	←	10 cm	←	←
更新頻度						
ルート *1	6 s	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	6 s	←	←	3.6s(0.36s)	←	←
接地点近傍 *2	1 s	←	←	0.1 s	←	←
完全性 *3	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
ルート *4	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-7}$ /FH	←	←	←
ポート周辺/ 接地点近傍 *5	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性 *6	N/A	N/A	$> 99.5 \%$	$> 99.9 \%$	$> 99.99 \%$	←

表 2.4.2-52 離島・過疎地交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
位置精度						
ルート *1	50 m	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	50 m	←	←	←	50m(10 m)	←
接地点近傍 *2	1 m	←	←	10 cm	←	←
更新頻度						
ルート *1	6 s	←	←	←	←	←
ポート周辺 *1	6 s	←	←	←	3.6s(0.36s)	←
接地点近傍 *2	1 s	←	←	0.1 s	←	←
完全性 *3	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
ルート *4	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-7}$ /FH	←	←	←
ポート周辺/ 接地点近傍 *5	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性 *6	N/A	N/A	$> 99.5 \%$	$> 99.9 \%$	$> 99.99 \%$	←

以下の注記は 3 表共通である。

- * FH: flight hour、飛行時間
- *1 空間粒度スケールと定められたルート飛行時の空間粒度を比較し小さい方を仮定した。定められたルート飛行時の空間粒度は表 2.4.2-53 による。
- *2 空間粒度スケールを仮定
- *3 ICAO の航法装置に対する規定を参考とした。航法システムの利用不可状態が警告されない確率は成果報告書の「表 5-41 故障確率と耐久性」における「improbable」以下の確率と仮定。
- *4 ICAO の規定を参考とした。
- *5 ICAO の規定を参考とした。1 アプローチあたりの衝突リスクは 10^{-7} 以下。1 アプローチ 5 分として $10^{-7}/5$ 分 $\sim 10^{-6}/\text{FH}$ 。
- *6 運航イメージにおける就航率を妨げることがないよう、欠航率よりも 1 桁低い不能確率となるように仮定

表 2.4.2-53 定められたルート飛行時の時空間粒度

方向	前後	上下	左右
間隔 *1	60 s	500 ft	1500 ft
粒度 *2	6 s	50 ft = 15 m	150 ft = 50 m
*1 TBOV (transit based operational volumes) Savita A. Verma et al., Lessons Learned: Using UTM Paradigm for Urban Air Mobility Operations, NASA Ames, 2020 を参考とする。 *2 間隔の 1/10 と仮定			

(C) システム概念検討

成熟度レベル 4 におけるシステム概念として実現形態の一つを示す。

精度、完全性、搭載機器及び地上設備のコスト等の観点から GNSS+SBAS による航法を基本とする。

GNSS 不全時には地上監視システムで標定した位置情報を機体に伝えるか、または、RF ネットワークを構成し利用することで、精度が悪いなながらも航法の継続あるいは機体を退避させることを可能とする。

ポートにおける離着陸及びアーバンキャニオンでの飛行のため、ポート周辺及び都市部等には適切な間隔で RF ビーコンが設置される。機体は RF ビーコンを受信しつつ搭載レーダで周囲の状況を観測し、その情報と地形データベース、地上構造物データベースとを照合して自己位置を推定する。

機上での処理負荷を軽減するため、エッジコンピューティングを活用し、個々の機体の位置に合わせてデータベースを位置推定に適した形に変換し、逐次機上へアップロードし利用する。

(D) 今後の研究開発要素

今後の研究開発要素項目を列挙する。

- PNT
 - 精度及び完全性等の性能が保証された地上ベースで GNSS を補強する情報を放送する装置研究開発
 - 技術開発のみならず認証のありかた等、制度面での整備が必要

- RF ビーコン
 - 飛行中の機体の位置を精密に決定できる RF ビーコンシステムの研究開発
 - 技術開発のみならず認証のありかたや使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要

- RF ネットワーク
 - 高信頼性の通信と位置標定が同時に可能な RF ネットワークシステムの開発
 - 技術開発のみならず認証のありかたや使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要

- 搭載レーダ
 - 機体搭載が可能で性能要件を満たすレーダの研究開発
 - 技術開発のみならず認証のありかたや使用する周波数帯の確保等、制度面での整備が必要

- データベース航法
 - RF ビーコンや搭載レーダにより得られた周囲の状況を手掛かりに地形データベース、地上構造物データベースと照合して自己位置を高精度に推定するアルゴリズム及びその実装の研究開発

④ 監視

(A) 技術方式

空飛ぶクルマに利用可能な監視の方式は以下が挙げられる

- ADS-B
- UAT/UAT2
- マルチラテレーション
- レーダ
- IR センサ
- 音響センサ

(B) 将来の機能・性能の要求値に関する調査

(1) 指標

監視の指標として以下を調査した。

- 監視範囲：地域、高度範囲及び監視対象からなる。
- 監視精度：監視対象の位置測定精度。
- リアルタイム性：監視情報の更新頻度。
- 取得情報の項目・要件：監視対象として空飛ぶクルマ、VFR 機/UAS の区分を設定し、それぞれについて取得する情報の項目を指標とする。
- 監視数（密度）：監視対象の機数あるいは密度。

- 完全性：監視システムが正常に利用できない場合に警告される確率。ルート/ポート周辺及び接地点近傍に区分する。
- 継続性：監視システムの正常な利用を開始した後に、利用が中断されない確率。
- 可用性：監視システムを利用開始しようとしたときに正常に利用できる確率。ルート/ポート周辺及び接地点近傍に区分する。

(2) 要求値の調査

選定した指標に対して各成熟度レベルに応じた値を設定する。値は成熟度レベル及び運航イメージにおける表現に対して基本的な数値を想定し、スケールアナリシス的に導出する。導出した値の性質は要求値というよりも、おおよその想定される程度を示した値であり、何等かの限度、制約及び仕様等を明示するものではない。

表 2.4.2-54 エアタクシー／2次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
監視範囲						
地域 *1	N/A	N/A	ポートから 半径 1.5 km ルート区間 50 km	← ← ルート区 間 80 km 都市等飛 行域全域	← ← ←	← ← ←
高度 *2	N/A	N/A	0 - 3000m	←	←	←
対象	N/A	N/A	AAM VFR 機 UAS 等	←	←	←
監視精度 *3	N/A	N/A	100 m	←	←	←
リアルタイム 性 *4	N/A	N/A	1 s	←	←	←
取得情報の項目・要件						
AAM	N/A	N/A	位置 ID ス テータス	←	←	←
VFR 機/UAS	N/A	N/A	位置 (ID)	←	←	←
監視数(密度) *5	N/A	N/A	0.3 /km ²	1 /km ²	10 /km ²	100 /km ²
完全性						
ルート/ポー ト周辺 *6	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-3}$ /FH	←	←	←
接地点近傍 *7	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
「ポート周辺」 /接地点近傍 *8	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性						
ルート/ポー ト周辺 *9	N/A	N/A	$> 99 \%$	←	←	←
接地点近傍 *10	N/A	N/A	$> 99.5 \%$	$> 99.9 \%$	$> 99.99 \%$	←

表 2. 4. 2-55 地方都市間交通／2次交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
監視範囲						
地域 *1	N/A	N/A	ポートから 半径 1.5 km ルート区間 100 km	← ←	← ルート区間 200 km	← ← 居住地等飛 行域全域
高度 *2	N/A	N/A	0 - 3000m	←	←	←
対象	N/A	N/A	AAM VFR 機 UAS 等	←	←	←
監視精度 *3	N/A	N/A	100 m	←	←	←
リアルタイム 性 *4	N/A	N/A	1 s	←	←	←
取得情報の項目・要件						
AAM	N/A	N/A	位置 ID ス テータス	←	←	←
VFR 機/UAS	N/A	N/A	位置 (ID)	←	←	←
監視数(密度) *5	N/A	N/A	0.2 /km ²	←	0.3 /km ²	←
完全性						
ルート/ポー ト周辺 *6	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-3}$ /FH	←	←	←
接地点近傍 *7	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
「ポート周辺」 /接地点近傍 *8	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性						
ルート/ポー ト周辺 *9	N/A	N/A	$> 99 \%$	←	←	←
接地点近傍 *10	N/A	N/A	$> 99.5 \%$	$> 99.9 \%$	$> 99.99 \%$	←

表 2.4.2-56 離島・過疎地交通における指標

成熟度レベル	1	2	3	4	5	6
監視範囲						
地域 *1	N/A	N/A	ポートから 半径 1.5 km ルート区間 100 km	← ←	← ルート区間 200 km	← ←
高度 *2	N/A	N/A	0 - 3000m	←	←	←
対象	N/A	N/A	AAM VFR 機 UAS 等	←	←	←
監視精度 *3	N/A	N/A	100 m	←	←	←
リアルタイム 性 *4	N/A	N/A	1 s	←	←	←
取得情報の項目・要件						
AAM	N/A	N/A	位置 ID ス テータス	←	←	←
VFR 機/UAS	N/A	N/A	位置 (ID)	←	←	←
監視数 (密度) *5	N/A	N/A	0.2 /km ²	←	←	←
完全性						
ルート/ポー ト周辺 *6	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-3}$ /FH	←	←	←
接地点近傍 *7	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-5}$ /FH	←	←	←
継続性						
「ポート周辺」 /接地点近傍 *8	N/A	N/A	$> 1 - 10^{-6}$ /FH	←	←	←
可用性						
ルート/ポー ト周辺 *9	N/A	N/A	$> 99 \%$	←	←	←
接地点近傍 *10	N/A	N/A	$> 99.5 \%$	$> 99.9 \%$	$> 99.99 \%$	←

以下の注記は 3 表共通である。

- * FH: flight hour、飛行時間、地上装置の場合はサービス時間で置き換える。
- *1 成熟度レベルフレームワーク及び運航イメージより
- *2 運航スケール特性値より
- *3 (ノミナル速度) x 1s で仮定
- *4 更新頻度として 1s で仮定
- *5 (AAM 機体密度スケール) + (VFR 機密度: 0.1/km²) + (UAS 密度: 0.1/km²) で仮定
- *6 監視システムにおいて誤標定が発生したとしても直ちに重大な安全余裕または機能の低減をきたすことはない。
- *7 地上からの誘導が必須の場合を想定。ICAO の航法装置に対する規定を参考とした。誘導のための監視システムの利用不可状態が警告されない確率は「improbable」以下の確率と仮定した。これは成熟度レベルによらない。
- *8 地上からの誘導が必須の場合を想定。ICAO の規定を参考とした。1 アプローチあたりの衝突リスクは 10^{-7} 以下。1 アプローチ 5 分として $10^{-7}/5$ 分 $\sim 10^{-6}/\text{FH}$ 。これは成熟度レベルによらない。
- *9 仮定
- *10 地上からの誘導が必須の場合を想定。運航イメージにおける就航率を妨げることがないよう、欠航率よりも 1 桁低い不能確率となるように仮定

(C) システム概念検討

成熟度レベル 4 におけるシステム概念として実現形態の一つを示す。

機体で受信した GNSS+SBAS 位置情報を含む情報が UAT により周囲の機体及び地上とで共有されることによる協調・従属監視が基本となり、それを元に運航支援サービスにおける動態管理等がなされる。

機体から放送される UAT の信号は広域に分散配置された地上局で受信され、マルチラテレーションによる協調・独立監視もおこなわれる。

混雑する空域及びポート周辺には、低高度で飛行する GA の他、空飛ぶクルマ、UAS 等低 RCS の物体を捉えることができるレーダが配置され、独立監視がおこなわれる。ポート周辺においては音響センサとレーダが併用され、非協調的な外来機による危険への対応もおこなわれる。

混雑する空域に存在する機体を多種類のセンサで捉えることから、情報の錯綜を防ぎ、情報の精度、確度等を向上させるため、センサ情報の統合処理がなされる。

(D) 今後の研究開発要素

今後の研究開発要素項目を列挙する。

- ADS-B に代わる従属監視方式の研究開発
 - 具体的には UAT あるいは UAT-2 となるが、国内事情に合わせた周波数帯の確保等技術開発のみならず、制度面での整備が必要となる
- ADS-B に代わる従属監視方式を用いた広域マルチラテレーションの研究開発
- 低高度空域監視レーダの研究開発
- 音響センサによる探知技術の研究開発
- 降雨、濃霧時においても使用できる IR センサによる探知技術の研究開発

5.4.4. 地上システム

① フリート管理システム

(A) 技術方式に関する調査

フリート管理システムには「飛行計画」、「情報管理」、「フライトウォッチ」、「スケジュール管理」の 4 つの機能が必要になると考えられる。

(1) 飛行計画機能

飛行計画機能は、空飛ぶクルマの飛行計画を作成し、運航管理者の承認を行い交通管理へ提出する機能である。交通管理から調整があった場合は、飛行計画を変更し、調整を行う。また、ダイバートやエアターンバックなどに対応し、飛行計画を変更する。

- 実装上の課題
 - 自動化も見据えた、交通管理とフリート管理システムの適切なインターフェースの設定とその実装の同期

- 安全が確保された上で、効率的な運航が実現できているかの評価（最適経路の検証）のための動作検証方法、評価に必要なシステム等の開発
- 飛行計画のデータフォーマット等における国際標準その他への準拠に関する方針・ルール決定

(2) 情報管理機能

情報管理機能は、運航に必要な情報の収集・管理を行う機能である。

● 実装上の課題

- 既存航空機運航の枠組みでは議論されていない空飛ぶクルマに適した情報生成や情報共有に関する役割・ルール決定（情報の与信責任、サービスの提供主体、データ交換の仕組み・インタフェースの標準化等）
- 情報アクセスのリアルタイム性の確保
- 情報保管容量の確保
- 情報セキュリティの確保
- 情報管理システムの障害対処手順の確立

(3) フライトウォッチ機能

フライトウォッチ機能は、運航事業者の運航管理者が、自身が運航している機体および運航管理を受諾している機体の運航管理を行うために使用する機能である。この機能により、フライト前～インフライト中～フライト後、ターンアラウンドを含めて、機体の状態や運航の進行状態などを管理しながら、情報提供、空地の連携を行い、地上からの飛行支援を行うことを可能とする。

● 実装上の課題

- 情報品質、鮮度の維持
- 通信品質の変動への対処
- 情報ソースシステム／サービスとのインタフェースの確立
- 情報アクセスのリアルタイム性の確保
- 情報保管容量の確保
- 情報セキュリティの確保
- 情報管理システムの障害対処手順の確立
- 予兆検出技術の確立

(4) スケジュール管理機能

スケジュール管理機能は、平常時のダイヤ、スケジュールの管理に加え、イレギュラー運航や自然災害発生時における計画の見直し、取り消し等の対応を行う。

また、その際に発生する機材繰りに関する使用機材管理も実施する機能である。

● 実装上の課題

- イレギュラー発生時に、通常スケジュールに戻すまでの手順の確立
- 大規模な自然災害時対応の自動化（ポート、空域、コリドー等、それぞれ処理能力の限界がある中での自動化対応。また、需要予測を加味した定期便とオンデマンドの割合調整など）
- リアルタイム性を確保したオンデマンド運航のための技術方式の確立

(B) 将来の機能・性能の要求値に関する調査

成熟度レベルに応じて飛行計画機能に新たに必要となる機能の概要、及びその性能の要求値を次の表に示す。

表 2.4.2-57 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（飛行計画機能）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル 1	VFR 飛行計画作成	取扱便数：10 便（「運航事業者 1 日当たりの取扱便数算出表」の「1 運航事業者 1 日当たりの取扱便数の概数」参照。以下同様）
レベル 2	経路部を詳細化した飛行計画作成 （出発・到着ポートの正確な緯度経度、ウェイポイント、通過予定時刻、高度、速度など）	取扱便数：500 便 定期便
レベル 3	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 飛行計画を交通管理へ提出 飛行計画の調整（交通流管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：1,000 便 定期便
レベル 4	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 飛行計画の自動調整（交通管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：3,000 便 定期便がメイン、オンデマンドが追加
レベル 5	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 飛行計画を交通管理へ提出 飛行計画の自動調整（交通管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：10,000 便 定期便、オンデマンドが増加、自家用機の追加
レベル 6	飛行計画（詳細な軌道情報）を最適経路で作成（パラメータを設定して自動生成） 飛行計画を交通管理へ提出 飛行計画の自動調整（交通管理からの調整経路に対して妥当性を判定し、問題なければ承認、受け入れられない場合は代替案を作成し調整）	取扱便数：30,000 便 定期便、オンデマンドが増加、自家用機が増加

表 2. 4. 2-58 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（情報管理）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル 1	<p>■個別情報管理 機体性能データ カンパニーNOTAM 安全情報</p> <p>■共有情報管理 気象情報 NOTAM AIP 地図地形情報 ポート情報</p>	<p>リアルタイム性が求められる情報項目： カンパニーNOTAM、気象情報、NOTAM、ポート情報 情報セキュリティリスク： 機体性能データ 秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 カンパニーNOTAM 秘匿性：中、完全性：大、可用性：中 安全情報 秘匿性：中、完全性：中、可用性：中 気象情報 秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 NOTAM 秘匿性：中、完全性：大、可用性：中 AIP、AIC 秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 地図情報 秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 ポート情報 秘匿性：小、完全性：大、可用性：中</p> <p>[本表での情報セキュリティリスクの定義] 秘匿性：大（漏洩不可）、中（部分的に漏洩不可）、小（オープンデータ） 完全性：大（改ざんされると事故、運航停止に繋がる）、中（改ざんされても直接事故に繋がらない、運航不可とならない）、小：（改ざんされても運航に影響しない） 可用性：大（ロストすると事故、運航停止に繋がる）、中：（ロストしても事故に繋がらない、運航不可とならない）、小（ロストしても運航に影響しない）</p>
レベル 2	<p>■共有情報管理 レベル 1 で取り扱う情報に加えて以下の情報が追加となる。 障害物情報</p>	<p>リアルタイム性が求められる情報項目： カンパニーNOTAM、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報 情報セキュリティリスク： 障害物情報 秘匿性：小、完全性：大、可用性：中 ※その他の情報のセキュリティはレベル 1 と同様</p>

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル3	<p>■共有情報管理</p> <p>レベル2で取り扱う情報に加えて以下の情報が追加となる。</p> <p>交通量予測（空域・コリドー）</p> <p>悪天情報</p> <p>機体性能データ（飛行計画を調整する際に必要となるデータの共有）</p> <p>※インフライト中の機体のセンシングデータからタイムリーに情報をアップデートし、全体で共有する。</p>	<p>リアルタイム性が求められる情報項目：</p> <p>機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報</p> <p>情報セキュリティリスク：</p> <p>交通量予測（空域・コリドー）</p> <p>秘匿性：小、完全性：大、可用性：中</p> <p>気象情報、障害物情報は機体のセンシングデータからタイムリーに情報をアップデートし、運航に利用するため、可用性リスクが大となる。</p> <p>※その他の情報のセキュリティリスクはレベル2と同様</p>
レベル4	<p>（このレベルでの新たな取り扱い項目無し）</p>	<p>リアルタイム性が求められる情報項目：</p> <p>機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、交通量予測（空域・コリドー）、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報</p> <p>情報セキュリティリスク：</p> <p>情報セキュリティリスクはレベル3と同様</p>
レベル5	<p>■共有情報管理</p> <p>交通量予測（空域・コリドー）</p> <p>※対象エリアが全国へ</p>	<p>リアルタイム性が求められる情報項目：</p> <p>機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、交通量予測（空域・コリドー）、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報</p> <p>情報セキュリティリスク：</p> <p>情報セキュリティリスクはレベル4と同様</p>
レベル6	<p>（このレベルでの新たな取り扱い項目無し）</p>	<p>リアルタイム性が求められる情報項目：</p> <p>機体性能データ、カンパニーNOTAM、気象情報、交通量予測（空域・コリドー）、気象情報、悪天情報、NOTAM、障害物情報、ポート情報</p> <p>情報セキュリティリスク：</p> <p>情報セキュリティリスクはレベル4と同様</p>

表 2.4.2-59 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（フライトウォッチ）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル1	<p>飛行中の機体をMAP表示し、位置、機体の状態など、飛行に必要な最低限の情報のみを表示する。</p>	<p>同時取扱機数：</p> <p>2機</p> <p>（「運航事業者1日当たりの取扱便数算出表」の「同時飛行監視機数の概数」参照。以下同様）</p>

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル 2	<p>運航機体のステータス管理</p> <p>インフライト中の機体からのダウンリンク情報のモニタ（計画との差異、残電力など）</p> <p>機体との音声・データ通信（気象情報、飛行計画、フリーテキストなど）</p> <p>飛行中の機体を MAP 表示</p> <p>情報提供</p>	<p>同時取扱機数：</p> <p>50 機</p>
レベル 3	<p>運航機体のステータス管理</p> <p>機体との音声・データ通信（気象情報、飛行計画、フリーテキスト、メンテナンス MSG、アンビュランス MSG、エマージェンシなど）</p> <p>飛行中の機体を MAP 表示する。MAP 上に空域、コリドー、気象、NOTAM などを重畳表示する</p> <p>情報提供（気象、NOTAM、ポート情報など）</p>	<p>同時取扱機数：</p> <p>100 機</p>
レベル 4	<p>フライト毎に運航の進捗状況を監視し、運航管理者の意思決定が必要な場合のみアラートを出して通知する</p> <p>機体との通信および情報提供は、運航の進捗状況、飛行位置を解析し、機体側が必要とするタイミングで自動的に必要な情報をアップリンクする。</p> <p>機体からのダウンリンクメッセージを解析し、自動応答する。</p> <p>運航管理者の意思決定が必要な場合のみアラートを出して通知する。</p> <p>機体が定期的にダウンリンクする機体状態を監視し、不具合などの予兆監視をする。</p> <p>不具合の予兆がある場合は、アラートを出し不具合の内容を運航管理者へ提示する。</p> <p>※機体が必要とする情報は常に機体側にある状態が基本、必要に応じてリクエストリプライで提供</p>	<p>同時取扱機数：</p> <p>250 機</p>
レベル 5	<p>機体との通信および情報提供は、運航の進捗状況、飛行位置を解析し、機体側が必要とするタイミングで自動的に必要な情報をアップリンクする。</p> <p>機体からのダウンリンクメッセージを解析し、自動応答する。</p> <p>運航管理者の意思決定が必要な場合であっても、意思決定する候補を抽出し、候補から運航管理者が選択する。</p> <p>機体が定期的にダウンリンクする機体状態を監視し、不具合などの予兆監視をする。</p> <p>不具合の予兆がある場合は、アラートを出し不具合の内容を運航管理者へ提示する。</p>	<p>同時取扱機数：</p> <p>650 機</p>

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル6	機体との通信および情報提供は、運航の進捗状況、飛行位置を解析し、機体側が必要とするタイミングで自動的に必要な情報をアップリンクする。 機体からのダウンリンクメッセージを解析し、自動応答する。 運航管理者の意思決定が必要な場合であってもシステムが自動で応答、結果を運航管理者へ通知する。 機体が定期的にダウンリンクする機体状態を監視し、不具合などの予兆監視をする。 不具合の予兆がある場合は、アラートを出し不具合の内容を運航管理者へ提示する。	同時取扱機数： 2,000機

表 2.4.2-60 成熟度レベルに応じて必要となる機能の概要及び性能の要求値（スケジュール管理）

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル1	N/A	取扱便数：10便（「運航事業者1日当たりの取扱便数算出表」の「1運航事業者1日当たりの取扱便数の概数」参照。 以下同様）
レベル2	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 使用機材管理 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：500便 定期便
レベル3	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 使用機材管理 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：1,000便 定期便
レベル4	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 （スケジュール調整の自動化、意思決定要の場合はアラートを出し管理者が判断） 使用機材管理 （機材アサイン、機材変更は自動化、変更結果を管理者へ通知） 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：3,000便 定期便、オンデマンド追加
レベル5	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 （スケジュール調整の自動化、意思決定要の場合は優先度を付けてシステムが候補を提示し、管理者が選択） 使用機材管理 （機材アサイン、機材変更は自動化、変更結果を管理者へ通知） 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：10,000便 定期便、オンデマンド増加、 自家用機追加

成熟度	機能の概要	性能の要求値
レベル6	ダイヤ・スケジュール管理・共有 ダイヤ・スケジュール調整 (スケジュール調整の自動化、調整結果を管理者へ通知) 使用機材管理 (機材アサイン、機材変更は自動化、変更結果を管理者へ通知) 運航情報の社内、旅客への共有	取扱便数：30,000 便 定期便、オンデマンド増加、 自家用機増加

(C) システム概念検討

空飛ぶクルマの運航に必要なシステムの全体アーキテクチャ、及びフリート管理機能の配置場所を、次の図に示す。尚、この図は全体アーキテクチャのイメージ図である。

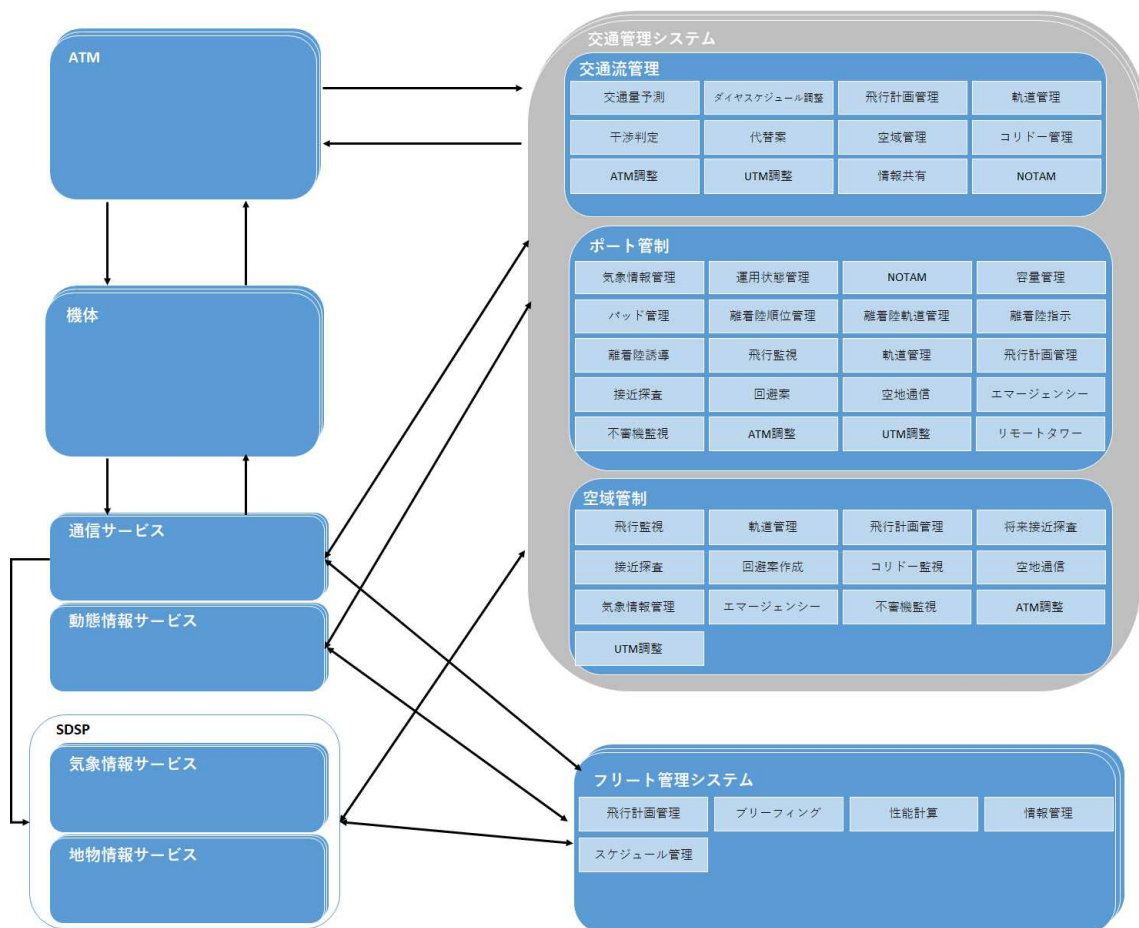


図 2.4.2-35 全体アーキテクチャ及びフリート管理機能の配置

(D) 今後の研究開発要素

機能ごとの技術的な課題と解決のための技術的方向性を記載する。

(1) 飛行計画

- 技術的な課題：
 - 飛行計画調整における交通管理とフリート管理間の適切なインタフェースが必要
 - 飛行計画の最適化要素の導出と最適化要素を加味した最適な飛行計画の作成が必要
- 技術的な方向性：
 - 飛行計画調整における交通管理とフリート管理間のインタフェース標準化、APIが必要となる。
 - 最適化要素は、飛行時間、消費電力だけでなく、トータルコストを考えたミニマムコストである必要がある。飛行時間が長かったとしても、最適な速度で、動力装置などの負荷が少なく飛行した場合は、整備コストが抑えられ、最終的にはミニマムコストとなる。運航に係るコストの洗出しと、最適値の導出が必要である

(2) 情報管理

- 技術的な課題：
 - SDSP、フリート管理、交通管理などの関係者間で共有できる標準インタフェースが必要、飛行計画調整における交通管理とフリート管理間の適切なインタフェースが必要
 - **情報セキュリティ対策が必要**
- 技術的な方向性：
 - SDSP、フリート管理、交通管理などの関係者間で共有するための標準化と、機体へのアップロードを想定したインタフェースの標準化が必要
 - 安全運航に直結するデータについては、一貫性、可用性のリスクに対する対策を講じる必要がある。秘匿性リスクの高い情報については、秘匿性リスクに対する対策を講じる必要がある。

(3) フライトウォッチ

- 技術的な課題：
 - フライトウォッチの可用性リスクへの対応が必要
 - フライトウォッチ業務における意思決定の安全な自動化への対応が必要
- 技術的な方向性：
 - 通信、監視などの運航上必要な重要な情報の可用性が担保されない状態であっても、運航が継続可能となる仕組みが必要である。可用性が担保されない状況を再現し、事前に評価する仕組みが必要である。
 - フライトウォッチを自動化するために、運航管理者が意思決定をする業務の自動化が必要だが、安全を担保して自動化するための技術と自動化出来る範囲の明確化が必要である。

(4) スケジュール管理

- 技術的な課題：
 - オンデマンド運航への対応が必要
- 技術的な方向性：
 - オンデマンド運航の需要予測、機材繰りの最適化、結果の評価が可能な仕組みが必要である。

② 交通管理システム

(A) 技術方式に関する調査

空飛ぶクルマの交通管理に必要な機能についてまとめる。

交通管理は大きく以下の3つに分類し、それぞれの技術方式に関する調査を行う。

- 交通流管理
- ポート管制
- 空域管制

(1) 交通流管理機能

交通流管理機能は、既存有人航空機(VFR)および空飛ぶクルマが飛行する低高度空域の交通流を管理する機能である。また、飛行計画を運航事業者から受領し、飛行計画のチェックを行い承認する。飛行計画を使って干渉判定を行い、飛行前に飛行計画の調整をする。

- 実装上の課題
 - 交通流管理業務の実施主体の明確化(官が行う業務なのか、民でも可能なのか、民が行うなら品質の担保および責任はどうなるのか)
 - 平常時の運航において、必要な情報を、必要なタイミングで収集するための情報管理の方法。特に、空域管理で必要な空域の様々な制約情報の入手方法と情報の精度と鮮度を確保する方法。
 - 精緻な4D軌道情報の生成や入手が、段階的な取り扱いとなることを想定した軌道情報のボリューム的管理との併用の方法
 - 自動化を行う上での責任の所在
 - ATM、UTMと共有すべき情報の整理、インタフェースの設定
 - 複数の交通管理に跨る長距離飛行に対して、交通管理間での情報の連携および複数の交通管理のネットワーク化の方法
 - 情報共有すべき外部機関の整理

(2) ポート管制機能

ポート管制機能は、ポート場面、離発着、ポート周辺空域を管理する機能である。また、ポート気象観測および予報情報、ポートの運用状態を共有する。

ポート管制はポートに管理者が存在する場合とリモートで管理する場合がある。

- 実装上の課題
 - ポート管制業務の実施主体の明確化(官が行う業務なのか、民でも可能なのか、民が行うなら品質の担保および責任はどうなるのか)
 - 平常時の運航において、ポートアサインの優先・非優先を含めた公平性の確保のルール化
 - リモートタワーにて異常を検出した際や有事(災害時等)の際のポートの運用、交通流管理・空域管制およびフリート管理との連携等、イレギュラー運航時の対応やスケジュールのリカバリー運用に対するための各種調整基準
 - 着陸の順位付け情報の提供等、ミッションクリティカルな情報提供サービスを担うためのシステムとしての可用性・事業継続性の基準設定
 - 自動化を行う上での責任の所在

- ATM、UTM と共有すべき情報の整理、インタフェースの設定
- 情報共有すべき機関の整理

(3) 空域管制機能

空域管制機能は、既存有人航空機(VFR)および空飛ぶクルマが飛行する低高度空域を管制する機能である。

インフライト中の機体の接近探査を行い、接近状態が発生した場合は、回避案を作成し、機体へ送信する。また、コリドーを飛行する機体の監視を行う。

● 実装上の課題

- 空域管制業務の実施主体の明確化(官が行う業務なのか、民でも可能なのか、民が行うなら品質の担保および責任はどうなるのか)
- 精緻な 4D 軌道情報の生成や入手が、段階的な取り扱いとなることを想定した軌道情報のボリューム的管理との併用の方法
- 各種警告発出等、ミッションクリティカルな情報提供サービスを担うためのシステムとしての可用性・事業継続性の基準設定
- 自動化を行う上で責任の所在
- ATM、UTM との共有する情報の整理、インタフェースの設定

(B) 今後の研究開発要素

機能ごとの技術的な課題と解決するための技術的な方向性を記載する。

(1) 交通流管理機能

● 技術的な課題：

- バッテリー容量に制限がある空飛ぶクルマは長い空中待機などは出来ない。空中待機など計画外のオペレーションが発生しないようにするためには、事前に計画を調整し、計画に従って飛行することが重要となる。飛行前に調整するためには、交通量、空域使用状況、コリドー使用状況、気象など不確定要素を可能な限り、現実に近い形で予測しなければ計画外のオペレーションは減らない。
- 事前に調整した計画、計画から作成した軌道情報は、予測精度が高くなければ、運航中に計画外のオペレーションや接近状態を発生させてしまう。

● 技術的な方向性：

- 定期便スケジュール、オンデマンドフライトの予測を行い、気象予測、NOTAM、空域、コリドー、ポートの状況などの変動要素を加えて、シミュレーションを行う技術の向上が必要である。飛行前の計画調整が交通管理と運航事業者間で自動で行われる必要がある。
- 飛行計画および飛行計画から作成した軌道情報の精度を上げるには、元になる飛行計画にインプットする情報として経路情報を詳細化するなど、飛行計画を高度化する必要がある。飛行計画を高度化した上で、気象などの変動要素を考慮し、軌道情報を作成する。軌道情報を作成したとしても、あらゆる要因で予測した軌道通りにはいかない。変更があるたびに軌道情報が変わると、軌道情報を使ったあらゆる処理のコストがかかるため、適度なバッファを持った軌道予測が必要となる。

(2) ポート管制機能

- 技術的な課題：
 - 空港内ポートおよび空港周辺に設置するポートから離発着する空飛ぶクルマは、IFR機、および有人機(VFR)との接近状態が発生する可能性がある。
 - ポートは経路の終点であり、複数の出発地から1点に機体が集まり、混雑する。到着ポートの混雑の発生を抑える必要がある。
 - ポート周辺は離発着する機体が低高度で密集しているため、計画外の機体の進入や空中浮遊物などが離着陸機に危険な状態を引き起こす可能性がある。
- 技術的な方向性：
 - 空港の監視レーダの情報と空飛ぶクルマの動態情報のタイムリーな情報共有、軌道情報の不明確な有人機(VFR)との接近探査および回避技術の確立が必要である。
 - 着陸ポートの混雑の発生を抑えるためには、着陸順位を事前に決め、着陸順位に合わせて間隔を保って機体が着陸することが必要。着陸順位に従って、出発から到着までの軌道を調整する技術の確立が必要。
 - ポート周辺の空域に対して、計画外の機体や空中浮遊物を監視・追跡し、必要に応じて制御または措置を行う技術の確立が必要である。

(3) 空域管制機能

- 技術的な課題：
 - 空飛ぶクルマと軌道情報の不明確な有人機(VFR)、小型無人機などとの接近状態が発生する可能性がある。
 - 飛行前に調整した飛行計画および予測軌道は、飛行中に誤差が発生する。誤差の発生が接近状態の発生や混雑による待機を発生させる。
- 技術的な方向性：
 - 軌道情報の不明確な有人機(VFR)、小型無人機との接近探査および回避技術の確立が必要である。
 - 最適なバッファを持った予測軌道の生成と、飛行中の機体の動態情報のタイムリーな連携、地上機上間の軌道連携を行う技術の確立が必要である

③ 給電システム

(A) 技術方式に関する調査

電動モビリティのなかで特に導入が進んでいる二次電池式の電気自動車や電気バスへの給電方法として実現されている次の三種類の給電方式について概要調査を実施した。

調査結果から、空飛ぶクルマに適用した場合の特徴と課題を明らかにし、三種類の給電方式を比較する。さらに、EMS（エネルギー・マネージメント・システム）への適用についても検討を行う。

なお、本節以降は特に断りが無い限り二次電池を単に「電池」と呼ぶ。

- コンダクティブ充電方式
- 電池交換方式
- 非接触充電方式

(1) コンダクティブ充電方式

コンダクティブ充電方式は、電池式電気自動車の充電手段として普及が進んでいる。普通充電と急速充電の二つの充電方法がある。急速充電の規格の一つに「CHAdeMO」があり、我が国の急速充電方式として一般的である。急速充電器により交流から直流に変換し、(高めの)直流電圧で充電することで、普通充電よりも短時間で多くの電力を充電することが可能である。

● 課題

- 急速充電時、電池の温度が上昇すると満充電に時間を要するので冷却機構が必要になる。
- 充電時の電池の温度管理が困難なため、急速充電を行うことで電池の劣化を早める。
- 充電器出力の大容量化でケーブル重量やケーブル径が大きくなる。
- 重量物となるケーブル接続のため、ロボットアームが必要である。

(2) 電池交換方式

電池式電動モビリティへの電池交換による給電方法は、電気自動車や電気バス、電動バイクで採用例が見られる。比較的小型・軽量の電池を搭載する電動バイクでは、人手による電池交換が可能である。

空飛ぶクルマの場合は、電池交換を駐機場で行うと考えられる。このため、充電済みの電池や使用済み電池を電池保管場所に搬入出するための「電池交換台車」が使用されると考えられる。

● 課題

- 電池を挿抜可能とするために、空飛ぶクルマ機体構造が複雑になる。
- 電池保管庫・電池交換台車が別途必要となり設備コストが大きくなる。
- 電池保管庫内の空調管理設備が必要になる。
- 規格化を行うことで異種機体との互換性を持たす必要がある。

(3) 非接触充電方式

非接触充電方式は、工場内の荷物搬送に供せられる自動搬送台車 (AGV) への給電方法として普及が進む一方、電気自動車への給電にも実績ができつつある。また、金属接点が出露せず、感電のリスクがないのが大きな特徴である。

空飛ぶクルマへの非接触充電は、自動搬送台車や電動モビリティへの実装が進む磁界結合 (電磁結合) 方式、特に磁界共鳴方式が使われると考えられる。給電用コイルは駐機パッド上に設置されていて、機体側に搭載されている受電用コイルがその真上の位置になるように駐機する。給電用コイルは大型化されると、埋設配置する必要が生じる。

● 課題

- 空飛ぶクルマ側に受電コイルや充電回路を搭載する必要がある。
- 送受電コイルが合致する位置に機体を駐機する必要がある。
- 高出力化に伴い送受電コイルが大きく、重くなる。

- 送受電コイルの冷却機構が必要となる。

(4) 各方式の比較

以下の4項目について各給電方式の特徴と課題を比較する。

- 満充電への対応
- 空飛ぶクルマ機体構造への影響
- 電池への影響
- 給電設備コスト

表 2.4.2-61 満充電への対応

コンダクティブ充電	(○) 大容量充電が容易 (×) 満充電するには電池の温度管理が必要
電池交換	(○) 電池保管庫で別途充電しているため、満充電の電池を提供可能
非接触充電	(×) 満充電するには電池の温度管理が必要

表 2.4.2-62 空飛ぶクルマ機体構造への影響

コンダクティブ充電	(○) 機体側での電池固定位置の制約はない
電池交換	(×) 電池を挿抜可能とするために空飛ぶクルマ機体構造が制約される
非接触充電	(×) 空飛ぶクルマ側に受電コイルや充電回路を搭載する必要がある 高出力化すると送受電コイルが大きく、重くなる 受電コイルの冷却機構が必要となる

表 2.4.2-63 電池への影響

コンダクティブ充電	(×) 機体側での駐機中の充電電池の冷却が不十分な場合、急速充電を行うことで電池の劣化を早める
電池交換	(○) 電池保管庫での充電のため、充電時の電池の温度管理が容易である 時間をかけて充電するので電池の劣化を遅らせられる
非接触充電	(×) 機体側での駐機中の充電電池の冷却が不十分な場合、急速充電を行うことで電池の劣化を早める

表 2.4.2-64 給電設備コスト

コンダクティブ充電	(×) 重量物となるケーブルの接続のため、ロボットアームが必要である
電池交換	(×) 電池保管庫、電池交換台車が必要である 電池保管庫内の空調管理設備が必要である
非接触充電	(×) 送電コイル設置工事（埋設工事等）が必要である

(B) EMS の検討

(1) 概要

EMS（エネルギーマネジメントシステム）とは、エネルギー管理システムであり、エネルギー使用に関して方針や目的、目標を設定し、計画を立てて、手順を決めて管理する活動を実施できるようにした仕組みを指す。本報告書で記述する EMS はそのうちの一部として充放電を用いた電力の需給制御について述べることにする。

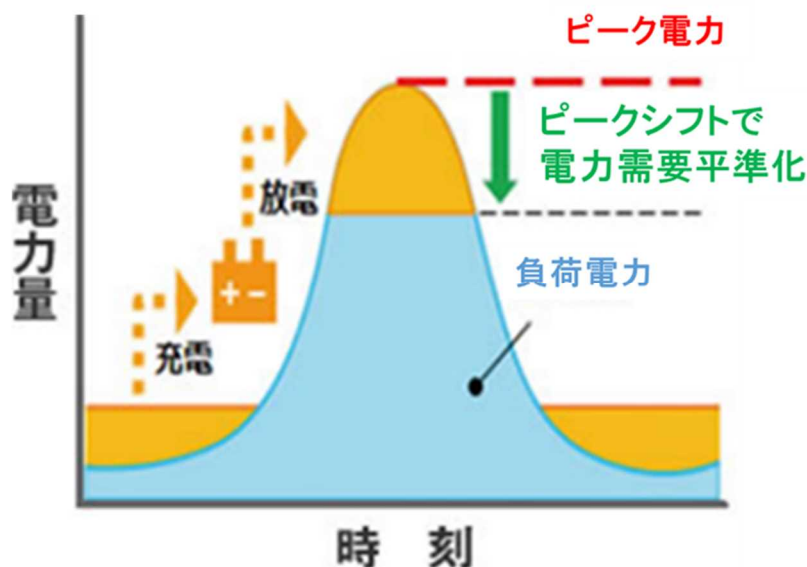


図 2.4.2-36 充放電を用いた電力需給制御の EMS イメージ

出所) エネルギーマネジメントシステム (EMS) とは | 電力計画.com, <https://standard-project.net/energy/ems.html> (閲覧日: 2022 年 2 月 16 日)

電力供給に余裕のある深夜の時間帯に事業所や施設等に設置している蓄電池に電力を蓄えておき（充電）、日中の電力供給がひっ迫する電力ピークの時間帯に蓄電池から放電し、事業所や施設等での電力負荷として使用することにより事業所や施設等での電力のピークシフトの制御を行うものである。

多くの電力会社の電気力料金は、高圧電力契約以上の場合、基本料金と電力量料金の合計により算出され、基本料金は「デマンド料金制度」により決定される契約電力をもとに算出される。

(2) EMS の適用例

EMS を用いた成田空港を想定したエアタクシーへの充電電力量のピークシフト試算を行なった

(a) 成田空港入港者数の時間帯別推移

2018 年 7 月 6 日の成田空港に入港する路線バスの時間帯別台数は午前 7 時台が最も入港台数が多く、次いで 14 時台が多くなっている。

(b) エアタクシーへの時間帯別必要充電電力の想定

今回の検討にあたっては成熟度レベル4（事業拡大段階）に到達したと仮定してエアタクシーへの必要充電電力量を算出する。

成熟度レベル4では、充電するのに必要な電力は約7,235kWに達する。7時台のピーク時間帯において7,200kWの電力が使用されると仮定し、それ以外の時間帯の充電電力も路線バスの入港者数に比例して必要になると考え、1日の時間帯別必要充電電力を想定した。

(c) EMS を活用したピークシフト

7時台と14時台のピーク充電電力を低減するため、比較的電力に余裕のある時間帯に蓄電池もしくはエアタクシーの予備の電池に充電しておくことによって、ピーク電力を目標充電電力値まで低減し、充電に必要な電力量をシフトするEMS（エネルギーマネジメント）を行う。

なお、目標充電電力値は9～13時台の間に電力シフトのために充電する電力量と14～16時台の電力をシフト（低減）する電力量が等しくなるように算出し、4,700kWを得た。時間帯別充電制御のイメージ図は図2.4.2-37のとおりである。

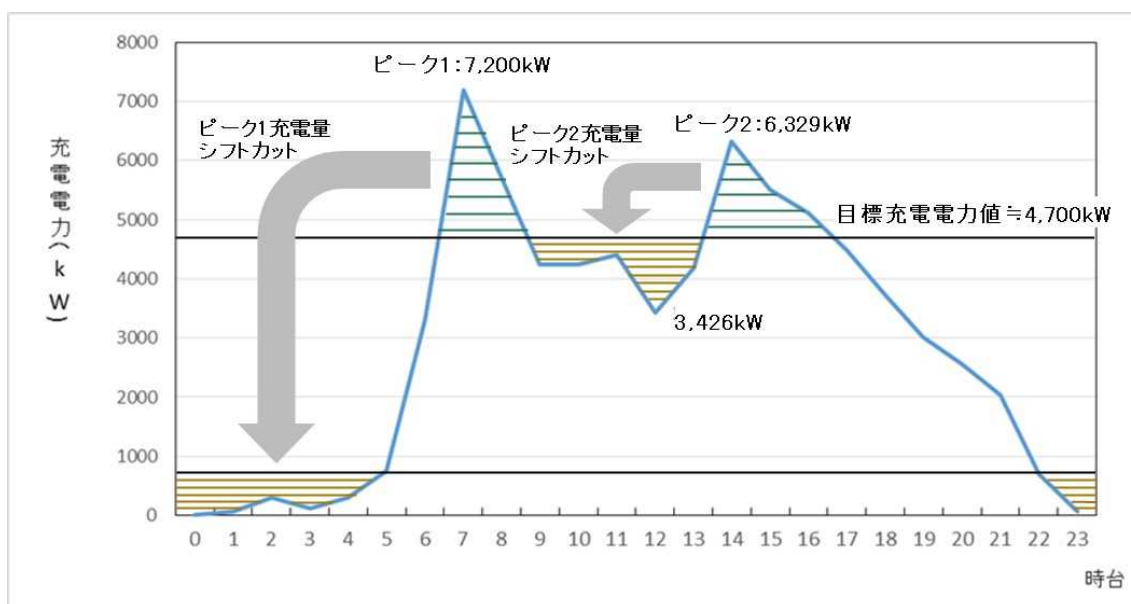


図 2.4.2-37 時間帯別充電制御イメージ

(3) EMS の適用効果

成田空港を想定したエアタクシーの充電に要する最大電力（ピーク電力）を7,200kWから4,700kWに抑制できれば大幅に電気料金の基本料金が低減できる。

成熟度レベル4では、受電電圧22kVを想定しているため関西電力の特別高圧電力A

の 22,000V または 33,000V 供給の適用料金を一例として適用する。これを適用すると基本料金が 1765.5 円/kW のため、充電電力の最大電力を 7,200kW から 4,700kW に低減することにより 1 か月の基本料金は $(7,200 - 4,700) \times 1765.5$ (円/kW) = 4,413,750 円となり約 442 万円が削減できる。

しかし、コンダクティブ充電方式および非接触充電方式を用いたピークシフトのための充電を実施する場合、BESS の設置が必要となるため、別途設置費用と設置面積を考慮する必要がある。

(4) 再生可能エネルギーを含んだ場合の適用効果

再生可能エネルギーのうち住宅用太陽光発電からの余剰電力をピークシフトのためのエアタクシーへの充電に利用することを検討した。

成田空港を想定した場合 7~8 時台のピーク 1 の時間帯と 14~16 時台のピーク 2 の時間帯に充電のピークがある。太陽光発電の発電電力に余剰が生じるのは日中の時間帯であり、9~13 時台の時間帯の太陽光発電の余剰電力を利用し、ピーク 2 の時間帯の電力量シフトを行う。

10kW 未満の住宅用太陽光発電システムの場合、余剰売電が適用される。

ピーク 2 のシフトに要する充電電力量は、14~16 時台の電力を目標充電電力値 4,700kW まで低減するため、あらかじめ 9~13 時台の間に住宅用太陽光発電の余剰電力を利用する。住宅用太陽光発電 1 軒あたり 5kW の余剰電力を図 2.4.2-37 に記載のとおり、9~13 時台の時間帯で最も低い電力 3,426kW から目標充電電力 4,700kW までの電力に利用できるとすると、 $(4,700 - 3,426) \div 5 = 254.8$ となり約 255 軒の住宅用太陽光の余剰電力が利用できる。

我が国においては、大規模空港として、成田空港を含めた 28 の拠点空港が整備されている。これら、拠点空港全てにおいて住宅用太陽光発電の電力を利用すると仮定すると、7,000 軒程の住宅用太陽光発電の導入が見込まれる。

(C) 今後の研究開発要素

実装イメージを実現する上での技術的な課題と解決のための技術的方向性を記載する。

成熟度の上位レベルにある高運航頻度を実現するためには、ポートに着陸した空飛ぶクルマをできるだけ早く離陸できる状態にする必要がある。空飛ぶクルマ給電システムで対応する技術的課題として、電池充電時間の短縮および電池交換時間の短縮をあげる。

(1) 電池充電時間

電池充電時間を短縮するには充電器の高出力化および受電設備の大容量化が必要となる。これらを実現するには次の課題が考えられる。

- 技術的な課題：
 - 電池充電時間の短縮⇒ 充電器の高出力化⇒ 充電器の大型化⇒ 設置スペースの増大
 - 電池充電時間の短縮⇒ 受電設備の大容量化⇒ 受電設備の大型化⇒ 設置スペースの増大
- 技術的な方向性：
 - 次世代パワー半導体デバイスの採用によって損失を低減する
 - 高温環境下でも対応可能とする、スイッチングを高周波数化することで変圧器等の磁気部品を小型化する
 - 機器の排熱、放熱を従来の空冷、もしくは間接水冷に対して、直接水冷型パワー半導体モジュールが提案されている。直接水冷型パワー半導体モジュールは電気自動車の動力制御に使われる車載用インバータに適用され、車載用インバータの小型化、省スペース化に寄与している。
 - 変圧器と特高受電設備を一体構成とすることで受電設備の設置スペースを大幅に削減する提案がなされている。

(2) 電池交換時間の短縮

電池交換方式において大型重量物である電池の挿抜を円滑に実施するためにはスライド機構が使われることが想定される。現状は電池交換台車の位置合わせに時間を要している。

- 技術的な課題：
 - 電池交換台車の電池挿抜にかかる位置合わせの高精度化電池充電時間の短縮
- 技術的な方向性：
 - 電池交換台車が空飛ぶクルマそのものとその姿勢を認識して機体に接近し、さらに電池挿抜作業に適した位置に精度よく移動する必要がある。
 - 空飛ぶクルマの認識と姿勢の推定は、発展著しい機械学習（AI）が適用されることが考えられる。電池挿抜に適した位置に高精度に移動するためには別に高精度位置合わせが必要となるため、高精度に姿勢や位置を測ることが可能な視覚マーカを空飛ぶクルマの電池挿入口付近にあらかじめ貼付して、電池交換台車のカメラセンサで検出することで、電池挿抜位置に適した場所を高精度に推定することできると考えられる。

(F) 考察

(1) 電源容量の抑制

充電出力を決める時に考慮するのは、電池容量と充電可能時間である。機体に搭載されている電池を駐機時間内に充電することが給電システムに求められる。

電池容量と充電時間から充電器に必要な出力が算出される。電源容量はこの充電出力と充電器の数によって決まるため、電源容量の抑制策が必要となる。

電源容量を抑制するには、1ポート内で同時帯に着陸している機体すべてを満充電するのではなく、充電せずに飛び立つ機体や、満充電以下の充電に抑える機体を組み入

れるような運航を考える必要がある。

また、EMSを活用してピークシフトを行うことで、電源容量を抑制させる。

(2) 成熟度レベルごとに推奨する給電システム

表 2.4.2-65 にエアタクシー／2次交通（Vertihub）における推奨する充電方式を表した技術ロードマップを示す。

成熟度レベル 1 では機体側への受電装置搭載を考慮すると非接触充電方式は他の方式より劣る。成熟度レベル 2、3 では電池交換方式の方がコンダクティブ充電方式よりも充電出力が少なく、初期設置費用を抑えられるため優位と考える。成熟度レベル 4 ではコンダクティブ充電方式の場合、充電時間が 10 分であり、急速充電に対応できるのはメリットだが、充電器の初期費用が高くなるのと、電池寿命が短くなるデメリットがある。成熟度レベル 5、6 では電池重量が重くなり、それに対応する電池交換台車の大型化が予想され製作に困難が生じると想定し、コンダクティブ充電方式の方が電池交換方式よりも優位であると評価した。

表 2.4.2-65 Vertihub における最適充電方式を表した技術ロードマップ

【凡例】推奨度数が大きくなるほど適した方式を示す

推奨度3
推奨度2
推奨度1

7.3給電システム 【エアタクシー/2次交通(Vertihub)】

		成熟度レベル1 (NR500)	成熟度レベル2 (NR500)	成熟度レベル3 (NR500)	成熟度レベル4 (TR500A)	成熟度レベル5 (TR500B)	成熟度レベル6 (TR1600)			
ロードマップのポイント		離着陸頻度×パッド数=駐機時間 ⇒ (駐機時間-2分を充電時間とし、蓄電池容量/充電時間=充電出力を算出 充電器はパッドと同数とし、充電出力×充電器数÷効率÷力率=電源容量を算出 受電・給電・電池保管スペースは電源容量とともに増加								
補正内容		電源容量が20,000kVAを超えると受電電圧が特高(154kV)となり、受電設備の規模・コストが増大するため、電源容量20,000kVAが上限となるように駐機時間の補正を行う。 レベル5 駐機時間10分では電源容量が28,246kVAと上限を超えるため、駐機時間を14分に補正し、電源容量を20,000kVA以下にする。 レベル6 駐機時間10分では電源容量が131,754kVAと上限を超えるため、駐機時間を60分に補正し、電源容量を20,000kVA以下にする。								
運行イメージ		航続距離(km) 1ポートあたりの最大離着陸頻度 蓄電池容量(kWh) パッド数 駐機時間 充電(電池交換)時間	10km 30~60分間隔程度(30) 114kWh 1 30分 28分	50km 5~15分間隔(15) 190kWh 2 30分 28分	100km 2~5分間隔(5) 304kWh 4 20分 18分	200km 1~2分間隔(2) 201kWh 6 12分 10分	400km 1分間隔以下(1) 322kWh 10 14分 12分	600km 1分間隔以下(1) 1502kWh 10 60分 58分		
コンタクト充電方式	要求値	充電出力 充電効率(%) 電源容量(kVA) 受電電圧 給電方法	244kW台 90%以上 288kVA 高圧(6.6kV) 手差し	407kW台 90%以上 952kVA 高圧(6.6kV) ロボットアーム	1,013kW台 90%以上 4,741kVA 特高(22kV) ロボットアーム	1,203kW台 90%以上 8,463kVA 特高(22kV) ロボットアーム	1,610kW台 90%以上 18,830kVA 特高(77kV) ロボットアーム	1,554kW台 90%以上 18,173kVA 特高(77kV) ロボットアーム		
	方式・種類	受電スペース(m ²) 充電器スペース(m ²) 必要台数	20.0m ² 5.9m ² 1	20.0m ² 17.2m ² 2	130.0m ² 74.5m ² 4	130.0m ² 130.9m ² 6	190.0m ² 285.1m ² 10	190.0m ² 275.8m ² 10		
	電池交換充電方式	要求値	充電出力 充電効率(%) 電源容量(kVA) 受電電圧 充電時間(分) 給電方法	81kW台 90%以上 288kVA 高圧(6.6kV) 8分 手動	133kW台 90%以上 952kVA 高圧(6.6kV) 8分 自動搬送	338kW台 90%以上 4,741kVA 特高(22kV) 5分 自動搬送	403kW台 90%以上 8,463kVA 特高(22kV) 3分 自動搬送	537kW台 90%以上 18,830kVA 特高(77kV) 3分 自動搬送	518kW台 90%以上 18,173kVA 特高(77kV) 17分 自動搬送	
		方式・種類	受電スペース(m ²) 充電器スペース(m ²) 電池保管スペース(m ²) 走行路スペース(m ²) 電池数 充電器台数 電池交換装置台数	20.0m ² 4.9m ² 1.3m ² 5.5m ² 3 3 1	20.0m ² 13.1m ² 3.3m ² 8.8m ² 6 6 2	130.0m ² 51.7m ² 8.4m ² 17.6m ² 12 12 4	130.0m ² 90.3m ² 10.3m ² 25.8m ² 18 18 6	190.0m ² 194.7m ² 21.5m ² 42.2m ² 30 30 10	190.0m ² 188.5m ² 47.7m ² 42.2m ² 30 30 10	
		非接触充電方式	要求値	充電出力 充電効率(%) 電源容量(kVA) 受電電圧	244kW台 89%以上 303kVA 高圧(6.6kV)	407kW台 89%以上 1,008kVA 高圧(6.6kV)	1,013kW台 89%以上 5,020kVA 特高(22kV)	1,203kW台 89%以上 8,961kVA 特高(22kV)	1,610kW台 89%以上 19,938kVA 特高(77kV)	1,554kW台 89%以上 19,242kVA 特高(77kV)
			方式・種類	給電方法 受電スペース(m ²) 送電ユニット(m ²) 送電コイル数 必要台数	電磁誘導or磁気共鳴 20.0m ² 5.9m ² 1 1	電磁誘導or磁気共鳴 20.0m ² 17.2m ² 2 2	電磁誘導or磁気共鳴 130.0m ² 74.5m ² 4 4	電磁誘導or磁気共鳴 130.0m ² 130.9m ² 6 6	電磁誘導or磁気共鳴 190.0m ² 285.1m ² 10 10	電磁誘導or磁気共鳴 190.0m ² 275.8m ² 10 10

表 2.4.2-66 にエアタクシー／2次交通 (Vertistop) における推奨する充電方式を表した技術ロードマップを示す。

成熟度レベルに係わらずコンダクティブ充電方式、電池交換方式、非接触充電方式の順に優位と考える。その理由として、電池交換方式では既設ビルの屋上において、電池交換台車の走行路スペース確保が困難な場合もあると考える。非接触充電方式では機体側への受電装置搭載に加え、ビル屋上にコイルを設置する場合、大容量になると設置が困難 (埋設不可) になると考える。

表 2.4.2-66 Vertistop における最適充電方式を表した技術ロードマップ

【凡例】 推奨度数が大きくなるほど適した方式を示す

	推奨度3
	推奨度2
	推奨度1

7. 給電システム 【エアタクシー/2次交通(Vertistop)】								
		成熟度レベル1 (MRE00)	成熟度レベル2 (MRE50)	成熟度レベル3 (MRE00)	成熟度レベル4 (TRE00A)	成熟度レベル5 (TRE00B)	成熟度レベル6 (TR1600)	
ロードマップのポイント		駐機時間はエアタクシー(Verti hub)と同様とする。(Mrti stopへの離着陸は最大頻度とはならないと想定) ⇒ (駐機時間-2分を充電時間とし、蓄電池容量/充電時間=充電出力を算出 バッド数=1、充電器=1とする ⇒ 充電出力×充電器数÷効率×力率=電源容量を算出 給電・電池保管スペースは電源容量とともに増加						
補正内容		充電設備への電源は付随建物(ビル屋上であればビル本体)の予備電源(必要に応じ電源増量)を想定しているため、電源容量1,200kWが上限となるように駐機時間の補正を行う。 レベル4: 駐機時間10分では電源容量が 1,411kWと上限を超えるため、駐機時間を14分に補正し、電源容量を1,200kW以下にする。 レベル5: 駐機時間10分では電源容量が 2,523kWと上限を超えるため、駐機時間を21分に補正し、電源容量を1,200kW以下にする。 レベル6: 駐機時間10分では電源容量が13,173kWと上限を超えるため、駐機時間を90分に補正し、電源容量を1,200kW以下にする。						
運行イメージ	航続距離(km)	10km	50km	100km	200km	400km	600km	
	蓄電池容量(kWh)	114kWh	190kWh	304kWh	201kWh	322kWh	1502kWh	
	バッド数	1	1	1	1	1	1	
	駐機時間	30分	30分	20分	14分	21分	90分	
	充電(電池交換)時間	28分	28分	18分	12分	19分	88分	
コンダクティブ充電方式	要求値	充電出力 244kW台	407kW台	1,013kW台	1,005kW台	1,017kW台	1,024kW台	
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	
		電源容量(kVA)	283kVA	476kVA	1,183kVA	1,175kVA	1,183kVA	1,198kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)
	方式・種類	給電方法	手差し	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム
		受電スペース(m)	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m
		充電器スペース(m)	5.9m	8.6m	18.6m	18.5m	18.7m	18.8m
		必要台数	1	1	1	1	1	1
	電池交換充電方式	要求値	充電出力 81kW台	138kW台	338kW台	339kW台	339kW台	341kW台
			充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	283kVA	476kVA	1,183kVA	1,175kVA	1,183kVA	1,198kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)
方式・種類		充電時間(分)	84分	84分	54分	36分	57分	264分
		給電方法	手動	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送
		受電スペース(m)	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m
		充電器スペース(m)	4.9m	6.6m	12.9m	12.8m	13.0m	13.1m
		電池保管スペース(m)	1.3m	1.7m	2.1m	1.7m	2.1m	4.8m
		走行路スペース(m)	5.5m	5.9m	6.2m	6.2m	6.2m	6.2m
非接触充電方式	要求値	充電出力 244kW台	407kW台	1,013kW台	1,005kW台	1,017kW台	1,024kW台	
		充電効率(%)	88%以上	88%以上	88%以上	88%以上	88%以上	
		電源容量(kVA)	303kVA	504kVA	1,253kVA	1,245kVA	1,253kVA	1,268kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.7kV)	高圧(6.8kV)
	方式・種類	給電方法	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴
		受電スペース(m)	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m	0.0m
		送電ユニット(m)	5.9m	8.6m	18.6m	18.5m	18.7m	18.8m
		送電コイル数	1	1	1	1	1	1
		必要台数	1	1	1	1	1	1

表 2.4.2-67 に地方・離島・過疎地における推奨する充電方式を表した技術ロードマップを示す。

成熟度レベルに係わらずコンダクティブ充電方式と電池交換方式は同評価で、非接触充電方式よりも優位と考える。その理由として、各成熟度レベルにおいて、電源容量、受電・給電スペースは各 3 方式ともに大きな違いはなくコスト面も同程度と想定される。ただし、非接触充電方式は他のユースケースの評価と同様に機体側への受電装置搭載が必要であり、他の方式よりも推奨度合いは劣ると考えられる。

表 2.4.2-67 地方・離島・過疎地における最適充電方式を表した技術ロードマップ
【凡例】推奨度数が大きくなるほど適した方式を示す

推奨度3
推奨度2
推奨度1

7.3給電システム 【地方都市間交通/2次交通、離島・過疎地交通】		成熟度レベル1 (MR500)	成熟度レベル2 (MR600)	成熟度レベル3 (MR600)	成熟度レベル4 (TR500A)	成熟度レベル5 (TR500B)	成熟度レベル6 (TR1600)	
ロードマップのポイント		離着陸頻度×パッド数=駐機時間 ⇒ (駐機時間-2分を充電時間とし、蓄電池容量/充電時間=充電出力を算出 充電器はパッドと同数(最大6パッド)とし、充電出力×充電器数÷効率÷力率=電源容量を算出 受電・給電・電池保管スペースは電源容量とともに増加						
補正内容		特になし						
運行イメージ		航続距離(km)	10km	50km	100km	200km	400km	600km
		運航頻度(最大) 1ポートあたりの最大 離着陸頻度	30~60分間隔 程度(60)	30~60分間隔程度 (45)	30~60分間隔程度 (30)	15~30分間隔程度 (20)	15分間隔以下 (15)	15分間隔以下 (15)
		蓄電池容量(kWh)	114kWh	190kWh	304kWh	201kWh	323kWh	1502kWh
		パッド数	1	2	4	6	6	6
		駐機時間	60分	90分	120分	120分	90分	90分
		充電(電池交換)時間	58分	88分	118分	118分	88分	88分
コンダクティブ 充電方式	要求値	充電出力	118kW台	130kW台	153kW台	102kW台	220kW台	1,024kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
		電源容量(kVA)	138kVA	303kVA	723kVA	717kVA	1,541kVA	7,187kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)
		給電方法	手差し	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム	ロボットアーム
	方式・ 種類	受電スペース(m)	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	90.0㎡
		充電器スペース(m)	4.0㎡	8.4㎡	18.2㎡	22.8㎡	33.0㎡	112.9㎡
		必要台数	1	2	4	6	6	6
		充電出力	39kW台	43kW台	53kW台	34kW台	73kW台	341kW台
		充電効率(%)	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上	90%以上
電池交換 充電方式	要求値	電源容量(kVA)	138kVA	303kVA	723kVA	717kVA	1,541kVA	7,187kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)
		充電時間(分)	174分	264分	354分	354分	264分	264分
		給電方法	手動	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送	自動搬送
	方式・ 種類	受電スペース(m)	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	90.0㎡
		充電器スペース(m)	3.4㎡	7.2㎡	15.6㎡	19.3㎡	27.9㎡	78.3㎡
		電池保管スペース(m)	1.3㎡	3.3㎡	8.4㎡	10.3㎡	12.9㎡	28.6㎡
		走行路スペース(m)	5.1㎡	7.3㎡	13.8㎡	18.9㎡	21.3㎡	25.8㎡
		電池数	3	6	12	18	18	18
		充電器台数	3	6	12	18	18	18
	電池交換装置台数	1	2	4	6	6	6	
非接触 充電方式	要求値	充電出力	118kW台	130kW台	153kW台	102kW台	220kW台	1,024kW台
		充電効率(%)	89%以上	89%以上	89%以上	89%以上	89%以上	89%以上
		電源容量(kVA)	146kVA	321kVA	766kVA	759kVA	1,631kVA	7,609kVA
		受電電圧	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	高圧(6.6kV)	特高(22kV)
		給電方法	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴	電磁誘導or 磁気共鳴
	方式・ 種類	受電スペース(m)	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	20.0㎡	90.0㎡
		送電ユニット(m)	4.0㎡	8.4㎡	18.2㎡	22.8㎡	33.0㎡	112.9㎡
		送電コイル数	1	2	4	6	6	6
	必要台数	1	2	4	6	6	6	

④ 気象システム

(A) 技術方式に関する調査

(1) 気象インフラ

空飛ぶクルマの安全運航環境を作る上で活用可能な主な地上気象インフラとその特徴を表 2.4.2-68 に示す。

表 2.4.2-68 空飛ぶクルマ運航を支える地上気象インフラ特徴

	気象庁レーダー (通常配信)	XRAIN(国交省) 通常配信データ	空港ドップラーライ ダー	ドップラーライダー (ビーム型)	雨、霧、雲同時観測 多周波レーダー	ライブカメラ	地上気象観測
	既存システム	既存システム	既存システム	既存システム	開発段階	既存システム	既存システム
観測高度	高度2km面	1km以上	350m-30km	40m-250m	0m-600m中心	見通し距離	地点
観測範囲	全国	半径50km	半径3km		半径10km(目標値)	数十～百km	
観測頻度	5分	1分	10分	10分	5秒(検討中)	1分	1分
解像度	1000m	250m	30,75,150m	20,30,45m	30m	-	-
観測精度(解像度と 更新頻度)	低	中	高	高	高	中	中
観測方向	水平方向	水平方向	水平方向・鉛直方向	水平方向・鉛直方 向	水平方向・鉛直方 向	見通し方向	点
観測面/点	水平面	水平面	水平面・鉛直面	水平面・鉛直面	水平面・鉛直面	表面	点
周波数等	C帯	X帯	光	光	Ku帯以上も含む複 数帯	画像	観測機
価格	数十億(高額)	数億(高額)	億(高額)	千万(高額)	百万(中)	数万～十数万 (低額)	数万～百万(低額)
大きさ	大型	大型	大型	小型	小型	超小型	小型
■観測項目							
降雨	○	○	×	×	○	○	○
雨雪の判別	×	×	×	×	○	×	△
雲内部の強雨、乱流	△	△	×	×	○	×	×
風	△	×	○	○	○	×	○
弱い雨雪雲、霧、ダ スト	×	×	×	×	○	△(表面映像)	×
ドライマイクロパー スト、ガストフロント	×	×	○	○	×	×	×
ウェットマイクロパー スト、ガストフロント	○	○	×	×	○	×	×
◆総合的なメリットデメリット							
メリット	広範囲に強い雨雲 が捉えられる	雨や雪雲を観測。 強い雨雲でも、降 雨減衰を補正して 観測可能。雨雪判 別により、地上で の降水量推定の精 度を高めている	雲の無い晴天時は上 空の風が観測でき る	雲の無い晴天時は 上空の風が観測で きる	空飛ぶクルマ飛行 高度の雨、雪、霧、 吹雪、ダストを伴う 視程悪化状況の自 動判別が出来、ドッ プラーライダーで は観測できない雲 内部の風分布、降 水強度分布、乱流 を細かく検知する 事ができる	雲等、現象表面 (形状)から気 象状況がわか る。画像解析技 術を併せ、ある 程度の視程、雲 底の計測もで きる	地点の降水量、風向 風速値が分かる。安 価の複数台設置 が可能
デメリット	対地高度2kmにお ける雨雲を捉えた ものであり、空飛 ぶクルマが飛行す る低高度の雨分布 ではない。基本的 に雨を伴う雲が中 心/昨今のゲリラ豪 雨等急発達中でま た雨を降らせる直 前の雲は捉えられ ない。また、分解能 が粗く、細かく強雨 域、弱雨域を判別 する事は難しい。	対地高度1kmにお ける雨雲を捉えた ものであり、空飛 ぶクルマが飛行す る低高度の雲分布 ではない。降雨減 衰の補正がかかる が、雨雲中の反射 強度をとらえきれ ない可能性がある。 降水強度の弱 い雲(低高度の層 雲、未発達、消散中 の雲等)は観測で きない。現状、風の 情報は配信されて いないため、風の 情報は得られない。	少しでも雲があると観 測できない エアロソルが多すぎ ると(例えば黄砂)観測範 囲が極端に狭まる	少しでも雲があると観 測できない エアロソルが多すぎ ると(例えば黄砂)観測範 囲が極端に狭まる	開発段階。観測範 囲を狭くコストを 抑えているため、複 数台設置する必要 がある	表面から見え ない現象の内 部(雲内部)は 分からない	その地点のデータし が得られない

(2) 気象情報提供方式

気象情報システムと連携する上で採用すべき方式として RESTful、MQTT、WebSocket を挙げる。

RESTful の技術的特徴として、開発やテストが容易であること、ブラウザベースや Web アプリケーション、API 連携など世の中の Web サービスに広く普及していることである。同じような特徴を持つ SOAP 方式は、開発や学習コストが高いこと、メッセージサイズ、処理負荷、連携難易度が高い特徴があり、必要な時に必要な情報を都度接続により取得する Pull 型の情報連携では、SOAP よりも RESTful がふさわしいと言える。

MQTT と WebSocket は、双方向通信、常時接続、メッセージサイズと処理負荷が小さいという共通する特徴を持つ。また、WebSocket の Publish 機能を使用することで、接続している全システムに対して、一斉同報通知することが可能である。そのため、気象システム⇔UAM 統合管理 (PSU) 、UAM 事業者のフリート管理システムとの連携で活用が想定される。

成熟度レベルに応じた活用としては、成熟度レベル 1-2 では、システム連携先として UAM 統合管理 (PSU) 、UAM 事業者のフリート管理システムを想定している。連携される情報の特徴として、方向が気象システムからの一方通行であること、また、多数の接続が想定されるため、Web インタフェースによる RESTful 方式を採用する。成熟度レベル 3 以降は、機体に配備した観測機からの情報取得 (ダウンロード) があり、MQTT 方式での連携を想定している。また、成熟度レベル 1-2 では操縦士搭乗、成熟度レベル 3-4 においては遠隔での操縦となり、人間による運航を前提としているため、人間の気象判断を容易にするためのユーザインタフェースも併せて必要であると思われる。

成熟度レベル 5-6 では、完全な自律運航となるため、気象システムと UAM 統合管理 (PSU) 、UAM 事業者のフリート管理システム、UAM 機体に対してリアルタイムでの双方向通信が必要となる。

(B) 将来の機能・性能の要求値に関する調査

(1) 指標の調査

空飛ぶクルマ成熟度レベル 1-6 の前提条件とするそれぞれの就航率 (天候起因) 値をもとに、現在の有人航空機 (航空機使用事業) VFR 機の就航率、航空運送事業計器飛行着陸装置 (ILS) による進入方式カテゴリ毎の最低気象条件 (成熟度レベル 1-2 は現 VFR 機運航相当、成熟度レベル 3 以降は国内各空港年間平均就航率) を参考に指標を選定した。

成熟度レベル 1-2 においては、現状の VFR と大きな差は無い為、現在、ヘリコプターや小型固定翼等、航空機使用事業で主に使用されている低空域用気象情報や既存の気象インフラを有効に活用し、空飛ぶクルマの運航オペレーションに適合した、機上操縦側、地上運航管理側へのシステム連携や UI 開発が必要になる。また、この間に成熟度

レベル 3 以降を見越した、地上気象インフラ配備や機体間情報システム整備も必要となる。

更に成熟度レベル 3 以降は人口密集地における機上パイロット無し、地上側での遠隔操縦/監視、自律飛行となる為、自動悪天候回避機能構築に向けて、情報精度、頻度、粒度、いずれも高品質な運航環境作りが必要となる。

航空機の運航に影響を与え、運航判断に必要な項目を抽出し、成熟度レベル毎に指標化し、そのレベルに応じた、インフラ展開、実況解析/予測技術等を定義した。

(a) 視程

成熟度レベル 1-2 は、操縦士が搭乗、VFR 方式による運航となる為、管制圏内圏外それぞれ 5km/1.5km 以上の視程を保てるかどうかを判断するレベルとなる。成熟度レベル 3-4 については、現在の航空運送事業で本土空港レベルの就航率が求められる事から FG 状態で 100m 解像度での視程観測/解析/予測ができる事が求められる。運航頻度の多い Vertiport では視程計の活用や進入方向、Vertiport を俯瞰した画像解析付ライブカメラ等を用いて観測するものとする。更に、成熟度レベル 5-6 については 100m 以下の視程状況において 5-10m 解像度での観測/解析/予測値の検出、算出が要求される。

(b) 雲底

成熟度レベル 1-2 は、操縦士の目視、地上運航管理側ではライブカメラ等、現行の航空機使用事業で活用しているものを用いる。成熟度レベル 3 以降は、1000FT 以下の低雲底下や霧の状態下での飛行が想定される為、シーロメーターの設置、ライブカメラによる雲底画像解析、更に、雲内部の反射強度分布把握、Between、Cloud TOP 情報が必要となる。上記を観測する手段として、空飛ぶクルマの飛行高度となる 1 km 以下の低高度を観測できる Ku 帯以上の周波数を用いた気象レーダの配備が必要となる。

(c) 風

機体の耐風速性能によるが、成熟度レベル 4 以上、就航率 95% 以上の目標値には Minimum でも 20-25KT 相当の耐風速性能は必要と思われる。ただし、横風成分、Tail Wind、Gust、Dry/Wet 状態等も合わせ総合的に判断する事が必要となり、それらを加味したリスク情報の伝え方が求められる。INCLOUD での雲内部の乱流検知も含め、Ku 帯以上の周波数を用いた気象レーダ、多周波を用いたレーダが必要と考える。また、成熟度レベル 3 以降、ルート全体のコリドー化が見込まれる事から先行機からの揺れ情報を後続機に伝え、地上との共有ができる事が望まれる。更に、成熟度レベル 4 以降、運航判断（風）には高精細な「実況解析値」が必須となる。

(d) 雨

成熟度レベル 1-2 は、出発前の既存レーダエコーの確認、運航管理者による地上レーダ動向を無線等を通じて、アドバイザー情報として操縦士に伝える形を想定する。成熟

度レベル 3 以降は雲中飛行時の雨/雪雲内部の CB の分布や強雨域の移動方向の把握が必要となる。空飛ぶクルマが実際に飛行する高度の雨雲を捉えるレーダは現在存在しない。空飛ぶクルマの飛行高度である低空域の雲を捉え、反射強度の弱い雨雲や霧も検知できる、新たなレーダの開発と配備が必要となる。

(e) CB (積乱雲) / 雷

機体への気象レーダ搭載はパイロートの兼ね合いから難しい事も想定されるが、特に成熟度レベル 3 以降、高頻度観測、(空飛ぶクルマ飛行高度レベルの) 低高度スキャン観測ができる気象レーダの配備が必要となる。成熟度レベル 3 以降、高解像度かつ、CB の移動方向、発達消散と機体の進行方向との連動も必要。また、落雷実況と共に、飛行エリアの落雷可能性予測も必要となる。

(f) 着氷

上空の気温実況は高層気象観測の地点等限定的となる。よって、成熟度レベル 3 以降では、飛行中の空飛ぶクルマの機体観測装置で測った気温データの後続機への共有、更にその値を初期値とし、数値予報に同化させた上空気温予測と着氷エリア予測、それを元にしたリスク情報が必要となる。また、既存有人航空機の ACARS データに含まれる上空気温データも共有できる事が望ましい。

(g) 気温

現状、上空の気温実況は高層気象観測の地点のみとなり、地点/観測頻度共に限定的である。一方、成熟度レベル 3 以降では、ルート全体のコリドー化が見込まれる事から先行機の機体観測データの地上と後続機への高速データ配信/共有、機体観測データを初期値とし、数値予報に同化させた上空気温予測活用が望まれる。また、特に空港周辺については、既存有人航空機 ACARS データに含まれる気温の観測データを共有できる事が望ましい。

(h) 火山

活火山周辺のルートを飛行する際には、火山灰回避、飛行計画策定、リルート判断に火山情報が必要となる。噴火発生の際の噴火地点、噴煙柱高度等の VAAC (Volcanic Ash Advisory Center) 航空路火山灰拡散情報センターからのデータやライブカメラ、火山灰拡散予測を元にした、運航可否判断、飛行ルート判断の情報として必要となる。

(i) その他 (災害情報：台風/地震/津波等)

台風情報は運航スケジュール、飛行計画策定に。地震や津波情報は、飛行中に地震が発生した場合、港湾エリアの Vertiport への着陸の安全性、津波影響等判断に利用する。

(3) システム要件の調査

本調査では、気象システムの役割は、運航支援情報提供事業者（SDSP）であると定義した。また、気象情報の粒度として、不特定多数のユーザに対する情報提供である協調領域と特定事業者に対する個別の情報提供である競争領域の2つに分類し、インタフェース先も協調領域ではUAM統合管理（PSU）、競争領域ではUAM事業者のフリート管理システムとUAM機体を定義した。

(D) 5.4.4.4 今後の研究開発要素

環境整備実現に向けて、具体的には以下4点が挙げられる。

- 地上気象観測、ライブカメラ小型/低コスト気象インフラの更なる配備
- 空飛ぶクルマの飛行高度の大気を捉え（晴天時風況のみならず、雲中、霧の中の風況や乱流を含む）運航判断に活かせる「新気象レーダ」の開発（都市部複数地点設置を想定し、小型、高解像度、低コスト、騒音無し）
- 既存気象インフラの利活用（官民が所有する地上観測機/ドップラーレーダ/ドップラーライダー/ドップラーソーダ）
- 観測機の無いエリアを飛行する為の「実況解析値」の運航への活用と、高精細予測データの開発

国内には、諸外国には無い密度での豊富な気象観測インフラも存在する。空飛ぶクルマ安全運航環境構築の為、ゼロからインフラを配備するのではなく、空飛ぶクルマ運航環境に適合したインフラの開発を行いつつも、既存の気象インフラの強みを活かし、それぞれを最大限に活かしていくことが、コスト採算面においても重要であると考え。

また、既存有人航空機と空飛ぶクルマの空の気象情報連携が求められると考える。

5.4.5. システムアーキテクチャ

① 検討方針

以下を目的として、システムアーキテクチャの検討をまとめた。

- 1. 要素技術のロードマップ作成に向けた議論のツール提案
各要素技術のロードマップを作る上で、それらがどういう繋がりを持つのか、またどういうコンセプトや全体像を想定して書くべきなのかを議論するためのツールとして提案するものである。
- 2. 技術課題および標準化項目の整理・可視化のためのツール提案
どういった技術開発が求められるのか、また標準化項目として議論すべきことは何かといったことを整理するのにおいて、包括的で、共通の理解が醸成され、かつ議論が空中戦にならないような、可視化されたイメージが必要である。それに

資するツールとして提案するものである。

● 3. アーキテクチャ作成例の提示

本年度で調査や議論が完結することではなく、むしろさらなる広さと深さを持った議論が必要である。その際、全体感を見ながら議論対象の階層やスコープを絞り、議論が発散しないように整理していく必要がある。そのためのツールとして、図示されたシステムアーキテクチャは有効であり、今年度の調査・検討はその作成例を提示するものである。

以下を前提として、システムアーキテクチャの検討をまとめた。

- 図 2.4.2-38 に示す、NASA によって提案された Urban Air Mobility Maturity Level (UML) の 6 段階の内、UML-4 相当のレベル（数百機の同時運航、高効率な離着陸場、UTM 着想の ATM、簡便な機体運航、低視程下での運航）を想定することとする。
- 上記のレベル設定に伴い、自動・自律運航、高密度運航を前提とした。
- 具体的なニーズや運航方法、各ステークホルダの役割など、現時点では未確定なものが多いため、様々な仮定を置いて検討を行う。

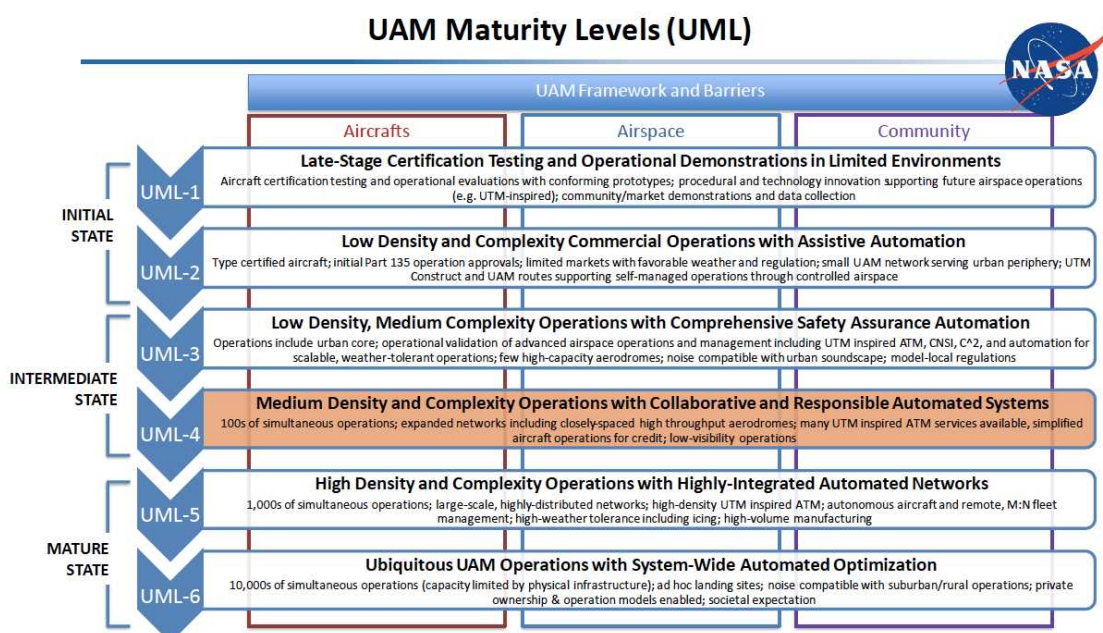


図 2.4.2-38 NASA が提案する UAM Maturity Levels (UML)

出所) NASA (2020), "UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML) 4 Version 1.0", <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205011091/downloads/UAM%20Vision%20Concept%20of%20Operations%20UML-4%20v1.0.pdf> (閲覧日: 2022年2月23日)

② ConOps (ユースケース) の検討

(A) 前提とするユースケース

本検討は、システムアーキテクチャの作成や、技術項目および標準化項目の洗い出しを目的としている。アーキテクチャを作成するためには、ConOps (ユースケース) や、ステークホルダの役割などについて定義した情報が必要である。しかしながら、本邦では議論が進展する段階に至っていない。そのため、ここでは NASA や FAA が作成しているような体系的・網羅的な ConOps の記述は志向しておらず、技術項目や標準化項目を議論する際のシステムアーキテクチャを検討する材料を提供することを目指した。

(B) 本検討における UML-4 の前提条件

本検討においては NASA ConOps における UML-4 の前提だけでは条件が定まらない部分が多くある。そこで、以下の通り本検討のために独自に以下の前提条件を追加した。

- 自律化・自動化に必要な要素技術は、既に確立されているものとする
- 500-3000ft (152-914m) の高度帯を飛ぶ航空機は、全て自律化・自動化されているものとする
- 東京都心部においても、複数の駐機場を持つ Vertiport が新設可能であるとする

(C) 運航／飛行条件の仮目標

本調査の運航条件と飛行条件の仮目標をイメージとして表 2.4.2-69 に示す。

表 2. 4. 2-69 運航／飛行条件の仮目標

運航条件	片道16NM (30km)	地上タクシー(現状)	ヘリタクシー(現状)	eVTOLタクシー(目標)
	所要時間	75分	15分	15分
	運賃	10,000円*	50,000円**	15,000円 (仮:地上タクシー×1.5***)
	就航率	99%	~80%****	95%以上
飛行条件	外部環境	風	メーカー規程の横風制限まで可だが、現実的には約10kt (20m/s)程度 向かい風は15kt (30m/s)までを想定	
	内部環境	機体方式	Lift & Cruise or Vectored Thrust	
		機体性能	上昇/下降速度：500ft/min (2.5m/s) 水平速度：130 kt (240km/h)	
	乗員数	4人		

*NAVITIME (<https://www.navitime.co.jp/>)

**過去のサービス例 (<https://www.mori.co.jp/company/press/release/2009/07/2009072815000001576.html>)

***Uber Technologies Inc. (2016), "Uber Elevate white paper", p. 95, <https://evtol.news/_media/PDFs/UberElevateWhitePaperOct2016.pdf>

****奥野善則, 又吉直樹, 石井寛一, 小林啓二 (2015), "実験用ヘリコプタMuPAL-ε活用実績概要", pp. 7-8.<

https://jjaxa.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=2467&item_no=1&page_id=13&block_id=21>

(閲覧日はいずれも2022年2月14日)

(D) ミッションプロファイル

ミッションプロファイルを想定するにあたり、速度、高度、上昇及び降下率は下記のように設定した。

- 巡航速度：130kt (240km/h)
- 上昇及び降下時の速度：60kt (111km/h)
- 巡航高度：1500ft (457m)
- 上昇及び降下率：500ft/min

巡航高度については付近の建造物の高さ（約 200m）を踏まえて、既存の航空法における最低安全高度¹⁰を考慮し設定されている。巡航速度については既存の公共交通機関に比べて所要時間における差別化を意識し、時速 200 km以上を設定している。飛行のミッションプロファイルを図 2. 4. 2-39 および表 2. 4. 2-70 に示す。片道 16. 2NM (30 km) のケースを想定し、片道 30 kmの行程を約 11 分程度で飛行するものとしている。

¹⁰ 航空法 (1952), <<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=327AC0000000231>> (閲覧日：2022年2月23日)

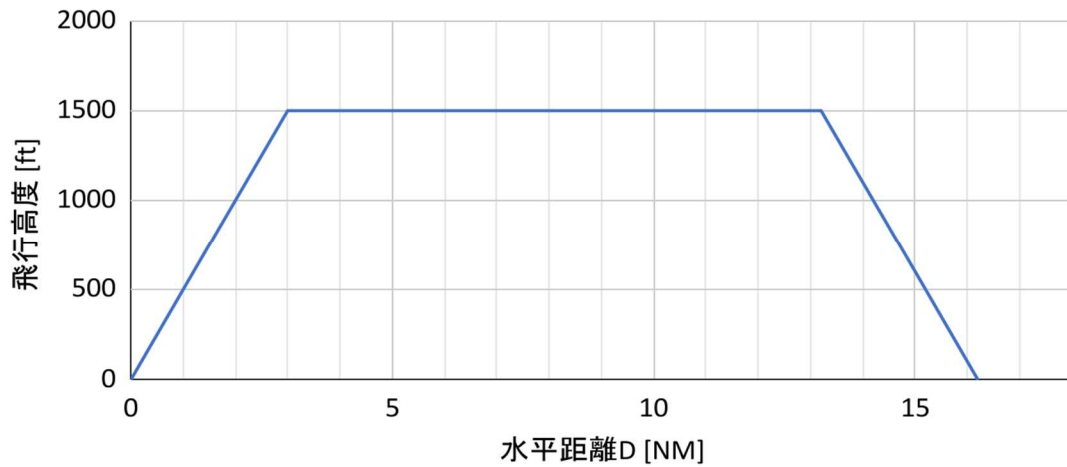


図 2.4.2-39 飛行のミッションプロファイル

表 2.4.2-70 ミッションプロファイル

※トランジションを含む

フェーズ	時間 [min]	各レグの 水平距離 [NM]	水平距離 [NM]	垂直方向 平均速度 [ft/min]	水平方向 平均速度 [kt]	飛行高度 [ft]
離陸-上昇+加速 (※)	3.0	3.0	3.0	500	60	0-1500
水平巡航	4.7	10.2	13.2	0	130	1500
減速+下降(※)	3.0	3.0	16.2	500	60	1500-0
Total	10.7	16.2				

(E) 東京での高密度運航のイメージ

ルートが交差することなく、また同一ルートにおける往復ルートも一旦ないものとして出発地、目的地、そしてそれらを繋ぐ飛行ルートを示したものを図 2.4.2-40 に示す。白枠は仮想の出発地を示しており、それぞれ着陸帯や駐機スポットの数が異なっている。白枠から出ている黄線はルートを示しており、いずれも羽田管制圏への進入点へと向かっている。それぞれは厚木の管制圏にかからないように設定した。ルート上の数値は巡航時の飛行高度を示している。赤丸は、最初の運航機体である#1 が府中 Vertiport を出発した時刻を 0 分とし、その 10.5 分後における各機体の位置を示している。

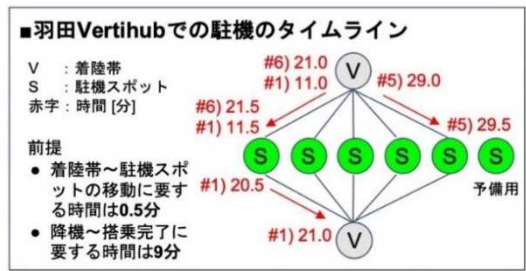
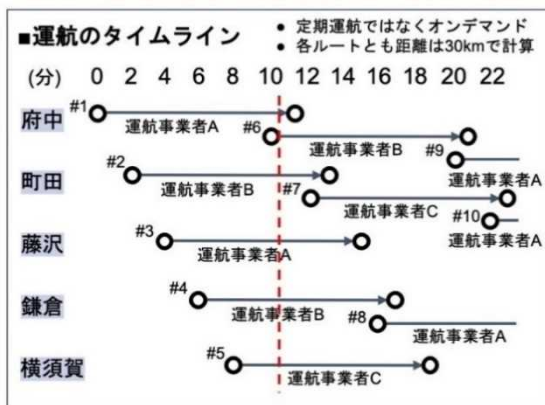


図 2.4.2-40 東京における運航イメージ (仮想例)

出所) OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>) を使用し慶應義塾大学空飛ぶクルマラボ作成

下段左の図は、運航のタイムラインを示す。左側の地名は各出発地を示し、上側の数

字が0分からの経過時間を示している。図中縦方向に引かれた赤点線は10.5分後を示しており、上段の図における機体の位置を示したタイミングである。

下段右の図は、羽田 Vertihub における駐機のタイムラインを示したものである。上述までの条件において、同 Vertihub に何個の着陸帯（記号：○V）と駐機スポット（記号：○S）が必要になるかを検討したものである。前提として、着陸帯から駐機スポットまでの移動に要する時間を0.5分とし、降機から次の搭乗が完了するまでに要する時間を9分とすることで、2個の着陸帯（1つは離陸用）と、6個の駐機スポットが必要になることが示された（6個のうち1個は予備用）。ここでは、#1が羽田からの再離陸に向けて、駐機スポットを離れてタキシングを開始するタイミング（20.5分）と、#6が羽田着陸後に駐機スポットに到着するタイミング（21.5分）の間に1分のマージンがあり、以降の機体も同様に運航がなされることで、理想的には駐機スポットが混雑せずに流れていくことを示している。

続いて、各ルート上における空域の制約を考慮した飛行方法の詳細について述べる。以下の表2.4.2-71に、現行の空域の設定を整理した

表 2.4.2-71 空港からの距離および人口密集度を考慮した管制空域の整理

空港からの距離	～5NM (9km)	5NM (9km) ～ 20NM (37km)	20NM (37km) ～ 40NM (74km)	40NM (74km) ～
人口密集地 (※1)	クラスD	クラスE	クラスE	高度600m以下 クラスG
				高度600m以上 クラスE
非人口密集地 (※2)	クラスD	高度200m以下 クラスG	高度300m以下 クラスG	高度600m以下 クラスG
		高度200m以上 クラスE	高度300m以上 クラスE	高度600m以上 クラスE

※1 少なくとも高度300m以上での飛行が必要

※2 少なくとも高度150m以上での飛行が必要

【出発地～羽田管制圏への進入点】における課題と対応方策案は以下のとおりとなる

表 2.4.2-72 【出発地～羽田管制圏への進入点】における課題と対応方策案

前提	<ul style="list-style-type: none"> どの出発地も羽田空港から約30km以内であり、羽田管制圏への進入点まではクラスE クラスEにおける現状のVFRでは、管制との通信要件や、管制間隔の設定はなし
----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> 人口密集地であり、特に横浜や東京都心部においては高さ 200m 級の建物近辺を通過することを想定し、飛行高度は 1500ft (500m = 200m + 300m) とする
高密度化時の課題	<ul style="list-style-type: none"> UAM のエアタクシー運航が高密度化した際には、現状の方式では間に合わない可能性があり、安全性と効率を両立した交通整理が必要
対応方策案	<ul style="list-style-type: none"> 管制 (ATM) への負荷増大の抑制を考慮し、事前に所定のルート設定をした上で (専用コリドーまでは不要)、そのルートからの逸脱確認用に位置の追跡を行う 一方で、エアタクシー以外の VFR 機にとっての運航制約になりうるため、他の VFR 機との調整が必要。また優先権や進入可能な要件についての整理も必要

【羽田管制圏への進入点～羽田 Vertihub】における課題と対応方策案は以下のとおりとなる

表 2.4.2-73 【羽田管制圏への進入点～羽田 Vertihub】における課題と対応方策案

前提	<ul style="list-style-type: none"> クラス D であり、管制との常時双方向通信が必要 UAM が羽田 Vertihub に 2 分間隔で着陸するとして、1 時間に 30 機。離陸も同頻度とすると 60 機。羽田空港の離着陸回数は現状で約 80 機/時であり、75%の増加に相当
高密度化時の課題	<ul style="list-style-type: none"> Final/Missed approach に入らない範囲で任意のルートを飛行するとした場合、管制側からは常に UAM の動態を監視する必要があり、過大な業務負荷が発生 タワー管制は単波での音声通信を使用しており、通信面でも余裕はないと想定
対応方策案	<ul style="list-style-type: none"> 性能要件を満たした UAM 用に専用コリドー (※) を設定し、管制との通信を最小限に抑制 (※北米においてヘリコプターや GA が管制圏内を飛ぶために設定されている、ヘリコプター/GA ルートのイメージ。経路および高度が固定のため、管制とは最小限の通信で可)

	<ul style="list-style-type: none"> • ルート候補として多摩川上が想定されるが、SVFRのルートと同じであり調整が必要
--	---------------------------------------------------------------------------------------------

③ システムアーキテクチャの検討

上述までの運航イメージを基に、システムアーキテクチャを記述していく。

(A) 自律運航システムのコンセプト

本検討で自動化・自律化されたエアタクシーシステムの全体システムアーキテクチャを記述するにあたり、新たに設定した自動運航システムの概念図を以下に示す。

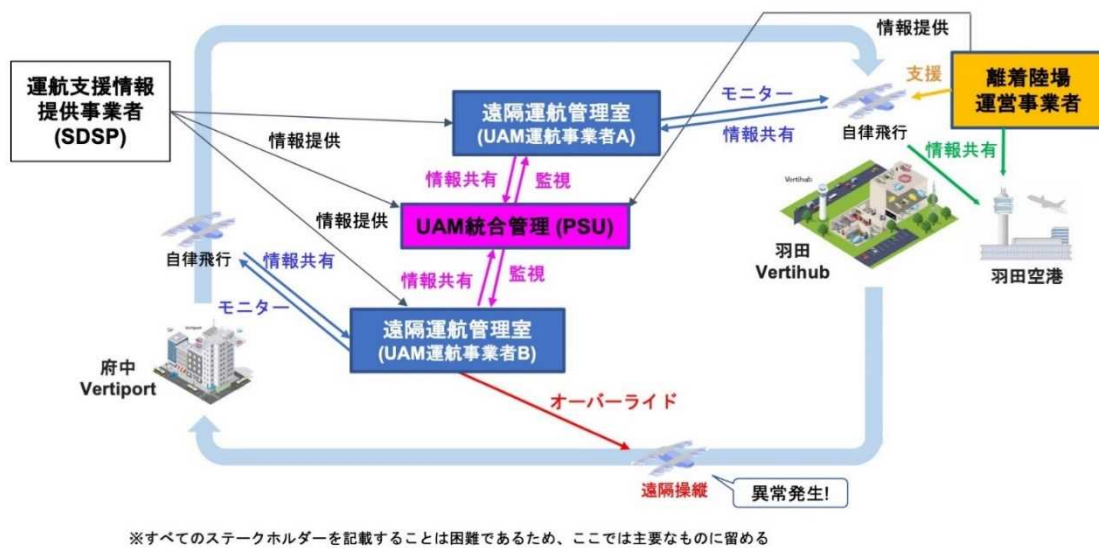


図 2.4.2-41 エアタクシー自律運航システム（全体システム）の概念図

出所）慶應義塾大学空飛ぶクルマラボ作成（一部 NASA 作成イラスト¹¹を使用）

(B) ステークホルダの役割概要

NASA ConOps をもとに、UAM 運航の各フェーズにおける各ステークホルダの基本的な役割を表 2.4.2-74 に纏める。

¹¹ NASA, High-Density Automated Vertiport Concept of Operations
<https://ntrs.nasa.gov/citations/20210016168>

表 2.4.2-74 運航の各フェーズにおけるステークホルダの役割

	飛行前	タキシング ～離陸	上昇 ～巡航	下降	着陸 ～降機
エア タクシー ユーザ	<ul style="list-style-type: none"> - 利用予約 - 離着陸場まで移動 - 機体に搭乗 	<ul style="list-style-type: none"> - 自律飛行の運航サービスを楽しむ形であり、能動的関与は行わない 			
MaaS 事業者	<ul style="list-style-type: none"> - 移動経路候補提示 - 各交通機関と調整 - エアタクシー利用の場合にUAM運航事業者を決定 	<ul style="list-style-type: none"> - エアタクシーを含む各交通機関の運航状況を確認 			
UAM 機体	<ul style="list-style-type: none"> - システムチェック - 出発準備完了確認 	<ul style="list-style-type: none"> - 離陸手順とシーケンスを実行 	<ul style="list-style-type: none"> - 上昇および巡航の手順を実行 - V2V データ交換 - 戦術的デコンフリクトと衝突回避を実行 - 機体の状態とステータスをUAM運航事業者および離着陸場運営事業者に伝達 	<ul style="list-style-type: none"> - 降下手順とシーケンスを実行 - V2V データ交換 - 戦術的デコンフリクトおよび衝突回避を実行 	<ul style="list-style-type: none"> - 着陸に向けオールクリアとなっていることをスキャンし確認 - 着陸手順とタキシングを実行 - 必要なメンテナンス/ターンアラウンドの要件を特定
UAM 運航 事業者	<ul style="list-style-type: none"> - 運用計画への適合性を監視 - 機体の状態監視 - PSU および機体とのデータ交換を継続 - 必要に応じて、目的地などを更新 	<ul style="list-style-type: none"> - タキシング/離陸承認 	<ul style="list-style-type: none"> - 運用計画への適合性監視 - 機体の状態監視および指示 - PSU および機体とのデータ交換を継続 	<ul style="list-style-type: none"> - 運用計画への適合性監視 - 機体監視 	<ul style="list-style-type: none"> - 運用計画への適合性監視 - 航空機監視 - ゲート指定（離着陸場運営事業者と情報共有） - 機体のターンアラウンド準備完了を確認
UAM 統合管理 (PSU)	<ul style="list-style-type: none"> - 戦略的デコンフリクションを実施し、解決策を交渉 	<ul style="list-style-type: none"> - タキシング/離陸許可および出発順序コマンドを送信 - 飛行プランのオープン 	<ul style="list-style-type: none"> - 適合性監視 - 飛行プランの更新を伝達 - 戦術的デコンフリクションを支援 - データ交換を維持 	<ul style="list-style-type: none"> - 適合性監視 - シーケンスやルート変更を連絡 - 着陸許可を発出 - 機体の離着陸場誘導 	<ul style="list-style-type: none"> - 機体の着陸許可完了を確認 - タキシングを指示 - 飛行プランクローズ
運航支援 情報提供 事業者 (SDSP)	<ul style="list-style-type: none"> - 気象・障害物・地形・他機体の位置・機体性能情報などを提供 				
離着陸場 運営 事業者	<ul style="list-style-type: none"> - 旅客・貨物のスクリーニング - 乗客の搭乗 - 出発準備完了確認 	<ul style="list-style-type: none"> - 離陸準備完了確認 	<ul style="list-style-type: none"> - 上昇経路にある他機との間隔調整 	<ul style="list-style-type: none"> - 着陸のユーザのため離着陸場のクリアを確認 - ゲートの割り当て - 着陸パッドと降機エリアを指示 - 着陸誘導を実施 	<ul style="list-style-type: none"> - 着陸場所のオールクリアを確認 - ゲートの割り当て（UAM運航事業者と共有） - 航空機のゲートエリアへの移動承認
航空局	<ul style="list-style-type: none"> - 自動データ交換により運航計画を承認 	<ul style="list-style-type: none"> - 積極的な参加はしないが、空域の権限を保持 			

出所) FAA NextGen Office (2020), "Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations (ConOps) v1.0", p. 5. <https://assets.evtol.com/wp-content/uploads/2020/07/UAM_ConOps_v1.0.pdf> (閲覧日: 2022年2月23日)

(C) 全体のシステムアーキテクチャ

図 2.4.2-42 エアタクシーシステム自動運航システム全体のシステムアーキテクチャ
 図に、NASA ConOps による UAM 通信ネットワークのアーキテクチャをベースに、著者らが
 変更・追記したものを示す。

元々のアーキテクチャに記されている UAM 機体、UAM 運航事業者、UAM 統合管理
 (PSU)、SDSP に加え、上段にはエアタクシーユーザから UAM 運航事業者までの間で関連
 するステークホルダを、下段には離着陸場運営事業者に加え、既存の航空機（無人航空
 機含む）に関するステークホルダを記載している。

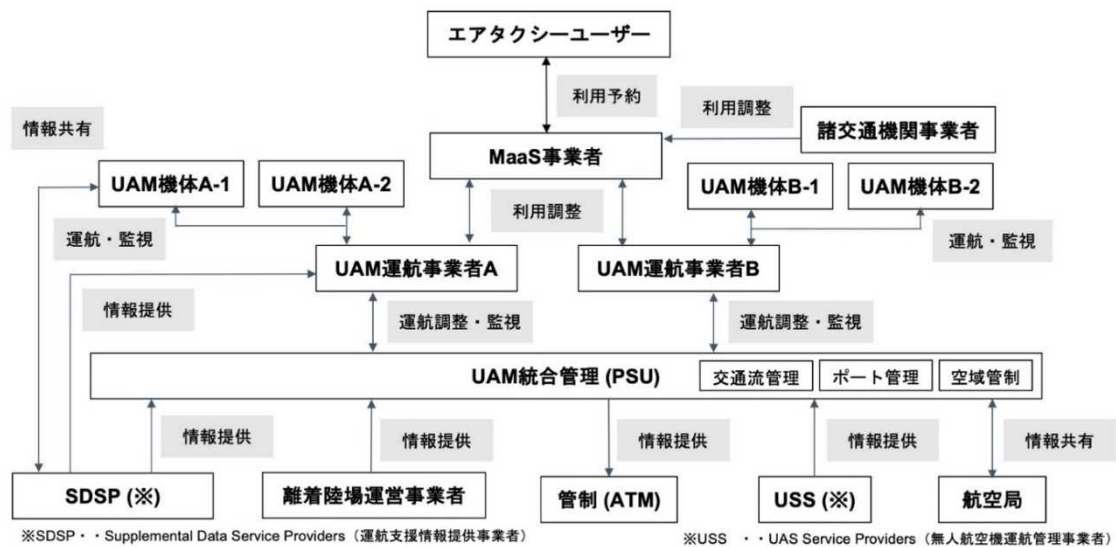


図 2.4.2-42 エアタクシーシステム自動運航システム全体のシステムアーキテクチャ図

(D) 運航シーン毎のシステムアーキテクチャ

図 2.4.2-40 に記した運航イメージの中で、府中 Vertiport～羽田 Vertihub のルート
 を例にとり、利用予約から着陸までのシーンそれぞれのシステムアーキテクチャを以下
 に示す。なおシーン⑤は、オフノミナルケースの一例として取り上げたものであり、ノ
 ミナルケースにおけるシーン④にあたるものである。

- シーン①：利用予約～飛行計画承認
- シーン②：府中 Vertiport からの離陸
- シーン③：エンルート上での機体間隔調整
- シーン④：羽田 Vertihub への着陸
- シーン⑤：エンルート中の緊急着陸

赤字：本シーン最初のプロセス、①：1巡目、②：2巡目、黄色：技術課題、水色：

標準化項目とする

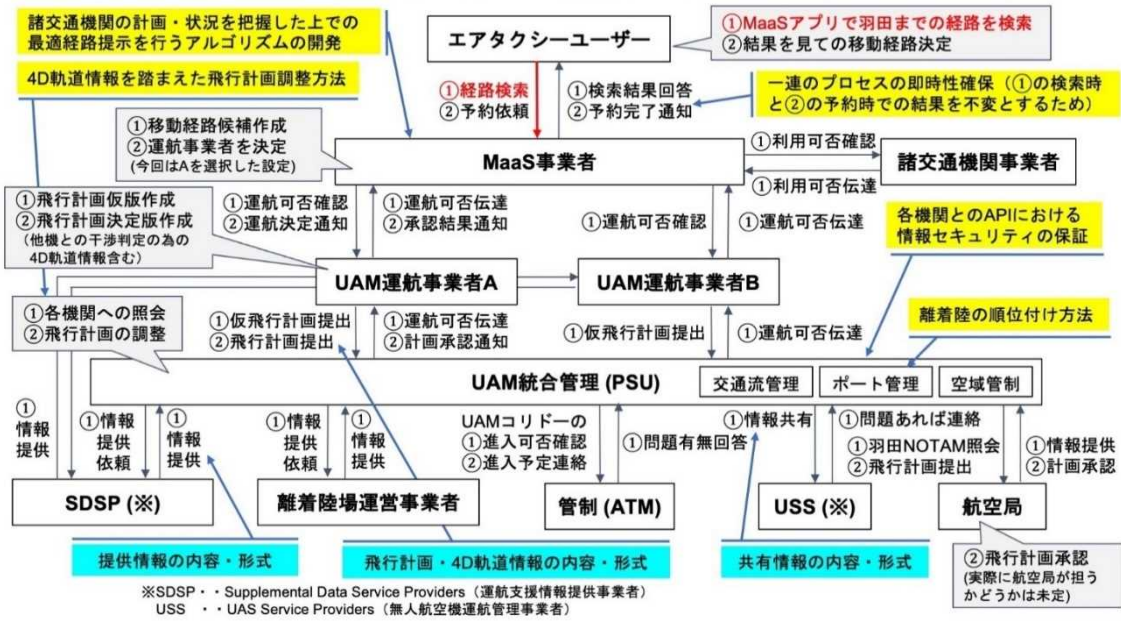


図 2.4.2-43 【シーン①：利用予約～飛行計画承認】におけるアーキテクチャ

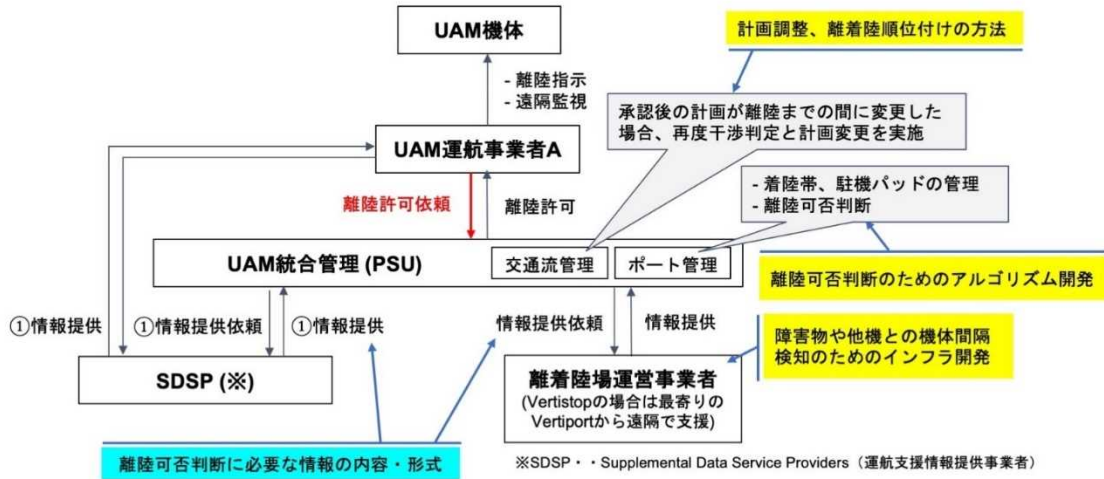


図 2.4.2-44 【シーン②：府中 Vertiport からの離陸】におけるアーキテクチャ

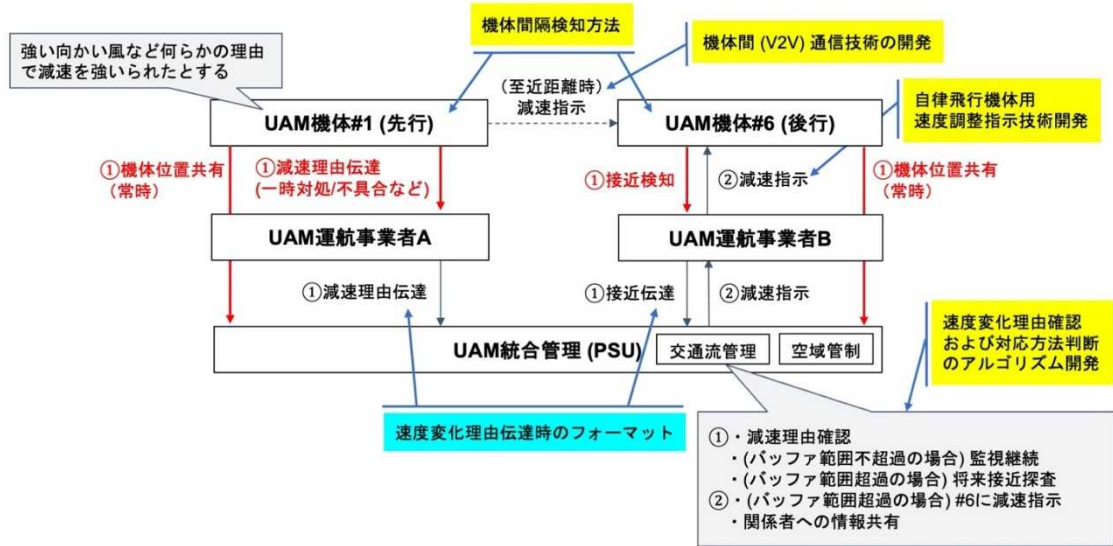


図 2.4.2-45 【シーン③：エンルート上での機体間隔調整】におけるアーキテクチャ

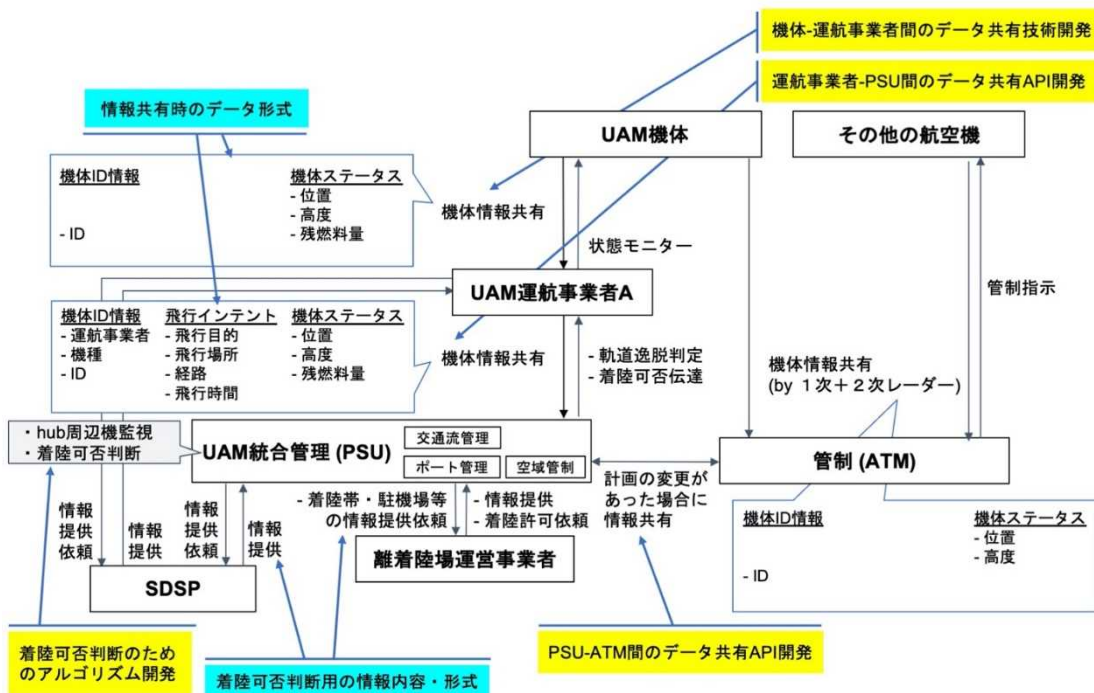


図 2.4.2-46 【シーン④：羽田 VertiHub への着陸（羽田コリドー内の飛行）】におけるアーキテクチャ

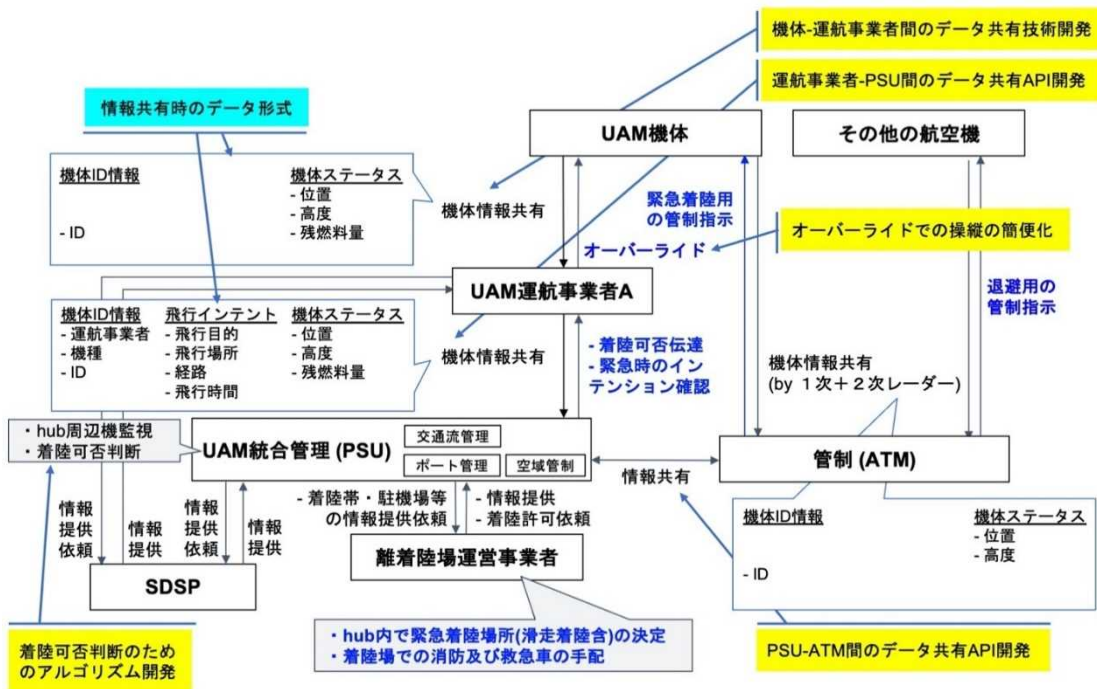


図 2. 4. 2-47 【シーン⑤：エンルート中の緊急着陸】におけるアーキテクチャ

(E) システム構成要素の自動化・自律化の設定

(1) UAM 機体

UAM 機体は、パイロットレスの自律飛行であり、遠隔監視室からの監視を受けながら飛行乱気流対応や突発的な FOD (Foreign Object Debris)¹²等回避のために、自律的な DAA (Detect And Avoid) 機能を有するものとする。以下に三つの主要な機能を示す。

- パイロットレスの自律飛行機能 (4~5 人乗り)

UAM は、飛行計画において設定されたルートに沿って自律飛行する。飛行中、機体位置などの必要な情報を共有し、監視を受けるために、ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) による、遠隔運航管理室と機体との通信を常に実施する。自律飛行における機体制御と乗員の乗り心地の両立は、技術的な課題の一つであると考えられる。

- 自律的な DAA 機能を有する

飛行中、突発的な事象が起きた際、自律的な DAA で対応する。この機能を実現するための、機体の総重量と体積に対する、センサとコンピュータの重量や体積のバランスと、そのコンピューティングとセンシングによる電力消費とバッテリーの容量との兼ね合いは、航続距離等の機体性能に影響を与えるために、検討すべき項目である。

¹² U. S. Army Combat Readiness Center (2019), "Risk Management", <<https://aviation-assets.info/risk-management/risk-of-routine/>> (閲覧日：2022 年 2 月 23 日)

- オーバーライドによる遠隔操縦機能

緊急時、外部からのオーバーライドを受けるために、遠隔運航管理室からのリアルタイム遠隔操縦機能を保有する。外部と機体との通信により遠隔制御を可能とするが、その乗っ取りや遮断や妨害を防ぐ為の、サイバーセキュリティへの対応は課題である。

(2) 遠隔運航管理室 (UAM 運航事業者)

遠隔運航管理室では、各運航事業者が自社機の運航を、事前に作成された飛行計画や機体の位置情報と機体状態を基に、遠隔から自動監視する。動力停止や機体損傷等の異常発生時は、遠隔運航監視室から、機体の遠隔制御のために、オーバーライドして、室内担当者が対応する。自動化するにあたって、人と機械の責任範囲を定めるために、遠隔運航監視室における、主要な機能の、人と機械に対する割り当てを以下の表 2.4.2-75 に纏めている。

表 2.4.2-75 遠隔運航管理室 (UAM 運航事業者) の機能および自動化方針

P : Primary, S : Secondary, — : None

シー ン	機能	機 械	人	理由
①	飛行計画作成	P	S	必要な情報を集めた上で、瞬時の作成が必要
	MaaS 事業者への運航可否伝達	P	S	”
②	PSU への離陸許可連絡	P	S	複数機の運航を同時に捌く必要があり、人では困難
③	自社機の減速理由を PSU に伝達	P	S	機械～機械の伝達において人が介入する必要なし
	機体の動体情報監視	P	S	複数機の運航を同時に捌く必要があり、人では困難
	機体への減速指示	P	S	機械～機械の伝達において人が介入する必要なし
④	各プレイヤーとの情報共有	P	S	人による複数機の同時監視は困難
⑤	オーバーライドして機体を制御	S	P	動力停止等の事象が考えられ、柔軟な対応が必要

(3) UAM 統合管理 (PSU)

UAM 統合管理 (PSU) では、自律飛行機体の挙動を監視する。様々なケースが生じる可

能性があり機械での対処は難しい。そのため、機械がモニタリングを行い、複数運航事業者間のコンフリクト発生時はアラートを出し、人が柔軟に対応する。

(F) 技術・標準化要素のまとめ

以下の表 2.4.2-76 は、「運航シーン毎のアーキテクチャ」に記載されている課題をまとめたものである。自動化のためのアルゴリズム等は競争領域であり、各事業者における技術開発項目としている。一方、各ステークホルダ間での情報のやり取りの部分は協調領域であり、標準化項目としている。

表 2.4.2-76 技術・標準化要素のまとめ

シーン	分類	項目
①	技術	諸交通機関の計画・状況を把握した上での最適経路定時を行うアルゴリズムの開発
		一連のプロセスの即時性確保 (経路検索時と予約時での結果を不変とするため)
		4D 軌道情報を踏まえた飛行計画調整方法
		各機関と PSU 間の API における情報セキュリティの保証
		離着陸の順位付け方法
	標準化	SDSP→PSU、離着陸場運営事業者→PSU への提供情報の内容・形式
		飛行計画・4D 軌道情報の内容・形式
USS→PSU への共有情報の内容・形式		
②	技術	離陸可否判断のためのアルゴリズム開発
		計画調整、離着陸順位付けの方法
		障害物や他機との機体間隔検知のためのインフラ開発
	標準化	離陸可否判断に必要な情報の内容・形式
③	技術	遠隔から自律飛行する機体の速度を調整・指示する技術の開発
		速度変化理由確認及び対応方法判断のアルゴリズム開発
	標準化	速度変化理由伝達時の情報形式
	技術・標準化	機体間隔の検知方法
機体間 (V2V) 通信技術の開発		
④, ⑤	技術	着陸可否判断のためのアルゴリズム開発
	標準化	運航事業者と PSU 間のデータ共有 API 開発・データ形式

		PSU -ATM 間のデータ共有 API 開発
	技術・標準化	機体と運航事業者間のデータ共有技術開発・データ形式
⑤	技術	オーバーライドでの操縦の簡便化

④ まとめと今後の課題

(A) まとめ

今後に向けた参考として、以下の表 2.4.2-77 にまとめた。

表 2.4.2-77 アーキテクチャ構築を進める上で今後調査・検討・確定をする必要のある項目の例

ConOps を作る上での項目	<p>UML-1 から 6 までのそれぞれにおける</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象とするユースケース ミッションプロファイル 運航イメージ（離着陸場・ルート・密度・頻度） <p>など</p>
アーキテクチャを作る上での項目	<ul style="list-style-type: none"> 空域管理方法の考え 各ステークホルダの役割（特に PSU の業務分掌） 各機能における責任の所在 <p>など</p>
技術要素の発展トレンド	<ul style="list-style-type: none"> 自動・自律化技術の実装可能タイミング 他航空機の自動・自律化に向けた進展スピード バッテリーや通信技術等、他の技術動向の進展見込み <p>など</p>

(B) 今後の課題

上記のまとめを踏まえ、今後に向けた課題を以下にまとめた。

- 成熟度レベル 1～6 における ConOps（ユースケース）の策定とシステムアーキテクチャの作成
成熟度レベル 1～3 や 5, 6 においてもシステムアーキテクチャの作成を実施していくことが必要である。その際、技術ロードマップとの整合を取ることも重要であり、関係者間での緊密な連携が必要であると考えられる。
- 自動・自律化に向けた技術課題に対するディスカッション

本調査では自動化・自律化・高密度運航に向けて、全体感を持った形で技術課題および標準化項目の洗い出しを行った。今後は各々で出てきた技術課題について議論を深めていく必要がある。

- 技術課題や標準化項目に対する議論の進化
本検討によって、自動化・自律化、高密度運航における技術課題や標準化項目が明らかになった。今後は本邦の標準化戦略としての優先度をつけながら、より深い階層の検討や議論を進めていく必要がある。

5.4.6. 特許

① 目的

空飛ぶクルマの技術に関する諸外国の特許出願動向を調査し整理することを目的とする。

② 調査範囲

- 出願国先、期間、使用データベースの調査範囲は以下と定義する。
- 出願先国(地域)：日本、米国、中国、欧州、韓国、PCT
- 期間(時点)：2012年以降 ただしデータベース検索日(2022年2月4日)までに公開されているもの
- 使用データベース：ULTRA Patent (Wisdomain, Inc.)

③ 調査方法

(1) 「空飛ぶクルマ」の定義と母集団

本調査における「空飛ぶクルマ」は、下記2点のいずれかの条件を満たすものと定義する。

- 「有人、垂直離着陸可能、電動」の特徴を有すると推定される航空機
- 「flying car」およびその類義語の記載が、発明名称等にある輸送機器前節の調査範囲における上記定義に係る特許を母集団とする。

(2) マクロ調査

各マクロ項目について、以下条件で出願件数を集計した。

- 出願年×出願人国籍(日本、米国、中国、欧州、韓国、他)
- 出願人別の集計
- マクロ項目下の各マイクロ項目の合計値(全期間、全出願国の合計)

(3) ミクロ調査

各マイクロ項目について、以下条件で出願件数を集計した。

- 出願年×出願人国籍（日本、米国、中国、欧州、韓国）
- 出願人別の集計

ただし、マイクロ項目のうち、実際に調査したうえでその特徴が抽出できると判断した項目のみを対象とした。件数が少ないマクロ項目（20件程度まで）については、特許明細書の要約などからマイクロ項目を抽出した（ただし、IPCで適切な区分が可能な場合はIPCを用いる場合もある）。また、件数が少なくないマクロ項目については「IPC」や「キーワード」などによる検索条件を用いてマイクロ項目を抽出し、検索条件によって特徴抽出できないマイクロ項目は調査対象外とした。

(4) 全体俯瞰

マクロ集計、マイクロ集計に加え、全体俯瞰として以下項目の分析を実施した。

- マクロ項目ごとの俯瞰
- 出願人国籍ごと出願数推移俯瞰
- 上位出願人

④ 調査結果

(1) 空飛ぶクルマ調査結果全体のまとめ

(a) マクロ項目ごとの俯瞰

全体として、空飛ぶクルマ本体に深くかかわる「機体形状・方式」、「動力」、「電源」に関連する特許出願が多い。これにクラッシュワージネスが続くが、これは空飛ぶクルマにおいては他の航空機よりも安全性の課題が多いことを示唆している。

一方、これら以外の技術に関する特許出願は少ない。これは通常の航空機やドローン等に共通して使用できる技術を空飛ぶクルマに適用することが想定されているためと考えられる。他方、フリート管理、交通管理については、2019年、2020年と米国において出願数が増加しており、今後も増加傾向が続く可能性がある。

(b) 出願人国籍ごとの出願数推移俯瞰

全体として中国の出願が圧倒的に多い。これに米国が続く。欧州、日本、韓国及びその他の国はこれら2国よりも圧倒的に少なく、米中が2強であるといえる。なお、米国と中国を比較しても中国の方がかなり多いが、中国はそもそも特許出願数が多い傾向がある。全体的にみると、ITやシステムに関する技術については、米国の特許出願の方が多く、それ以外の分野に関しては概ね中国の特許出願の方が多いという傾向がある。これは両国の注力分野の違いを表しているといえるだろう。

(3) 上位出願人

出願人は第1位が FOSHAN SHENFENG AVIATION TECH CO LTD である。2位は JIANGSU

CHANGTAN ROBOT CO LTD でいずれも中国企業である。ただし、JIANGSU CHANGTAN ROBOT CO LTD については詳細不明で、取下や拒絶も多いが、出願数が多くランクインしている（中国にはこのような出願人も多いが、本報告書では除外しない。以下同じ）。3位と4位に米国企業の Kitty Hawk Corporation、Joby Aero, Inc. が続く。5位の FAN LEI（范磊）は中国の個人出願。こちらも詳細不明で、取下や拒絶も多いが、出願数が多いためランクインしている。10以内にランクインした日本企業はなかった。

(4) 今後の方向性

機体、動力、電源については、既に海外の知財が多く出願されている状況にあり、我が国による知財の確保の観点では、レッドオーシャンの状況にある。他方、フリート管理、交通管理については、米国から特許出願の増加傾向がみられる一方で、全体数としては少なく、今後の注目度と競争力確保の余地があるものと考えられる。CNS、気象システム、給電システムについては、既存技術の適用が想定され、空飛ぶクルマに特化した特許の出願は少ないものの、優位性の高い技術開発が行われれば、海外を席捲できる可能性もある。

交通管理、フリート管理に関する技術を中心に、情報提供やインフラ関連の技術について、今後研究開発を進めつつ、知財確保を進めていくことが期待される。

5.5. 調査項目⑤「有識者委員会等の開催」

学識経験者や研究機関、業界団体等の専門家で構成される「空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術に関する有識者委員会」（以下、有識者委員会）を設置した。本有識者委員会では調査全体の計画や検討結果の審議、成熟度レベルのフレームワークと各成熟度レベルにおける要素技術ロードマップ案について審議した。また本有識者委員会にて審議する各成熟度レベルにおける要素技術ロードマップについては、そのレビュー及び修正案検討、関連情報提供を行うため、学識経験者や研究機関、関係企業の専門家で構成する「空飛ぶクルマの社会実装に向けた要素技術に関するワーキンググループ」（以下、技術WG）を設置した。有識者委員会と技術WGの位置づけを図2.4.2-48に示す。

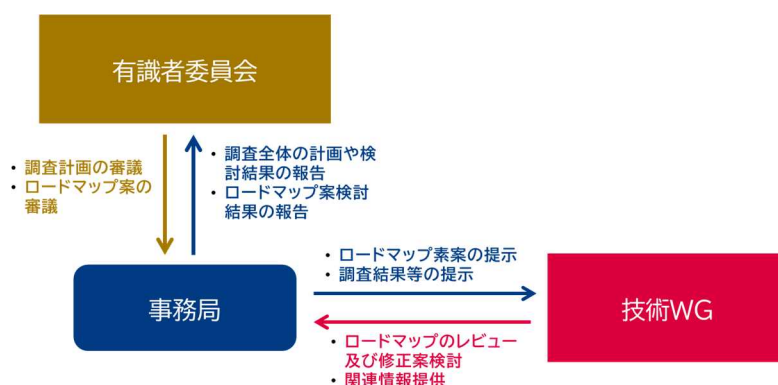


図 2. 4. 2-48 有識者委員会と技術 WG の位置づけ

● 技術 WG の開催

計 4 回の技術 WG を開催した。技術 WG の開催日時と主要議題を以下に示す。

第 1 回技術 WG

開催日：2021 年 10 月 22 日（金）16：00～18：00 開催方法：Web 会議

議題：

- 本事業の概要と検討の進め方
- 成熟度レベルのフレームワークについて
- 要素技術ロードマップの枠組みについて
- その他（今後の進め方等）

第 2 回技術 WG

開催日：2021 年 11 月 24 日（水）10：00～12：00 開催方法：Web 会議

議題：

- 前回 WG 及び有識者委員会の議論について
- 要素技術ロードマップについて
- その他（今後の進め方等）

第 3 回技術 WG

開催日：2022 年 1 月 27 日（木）15：00～17：00 開催方法：Web 会議

議題：

- 要素技術ロードマップについて
- その他（今後の進め方等）

第 4 回技術 WG

開催日：2022 年 2 月 10 日（木）13：00～15：00 開催方法：Web 会議

議題：

- 要素技術ロードマップについて
- その他（今後の進め方等）

● 有識者委員会の開催

計 3 回の有識者委員会を開催した。以下に開催日時と主要議題を示す。

第1回有識者委員会

開催日：2021年11月17日（木）10：00～12：00 開催方法：Web 会議

議題：

- 本事業の概要と検討の進め方
- 空飛ぶクルマの動向
- 成熟度レベルのフレームワークについて
- 要素技術ロードマップの枠組みについて
- 議論
- その他（今後の進め方等）

第2回有識者委員会

開催日：2021年12月2日（木）10：00～12：00 開催方法：Web 会議

議題：

- 前回議論の整理と検討方針について
- 要素技術ロードマップについて
- その他（今後の進め方等）

第3回有識者委員会

開催日：2022年2月24日（木）13：00～15：00 開催方法：Web 会議

議題：

- これまでの議論の整理と対応状況
- 要素技術ロードマップ（案）について
- その他

5.6. 調査項目⑥「国際的な制度や海外制度の動向調査」

① 調査概要

世界各国（特に欧米を中心として）で旅客輸送や救命救急、物資輸送などを目的とした電動垂直離着陸機（eVTOL）の機体開発や運用コンセプトの検討が進められている。また、これらの航空機システムは高密度化、高度自律化されることが想定されており、既存制度との間にギャップが存在すると考えられている。

本セクションでは米国と欧州を対象に、各地域で eVTOL 機を含む空飛ぶクルマの位置づけを整理すると共に、社会実装に向けた制度上の課題の抽出、制度上のギャップ克服に向けて各地域でどのような制度方針が検討されているのか調査を実施した。

(1) 米国における空飛ぶクルマの位置づけ

米国では NASA で提唱されている Advanced Air Mobility (AAM)のうち、都市部と郊外の低高度で乗客や貨物を運送する Urban Air Mobility (UAM)の一種として空飛ぶクルマを位置づけている。

(2) 欧州における空飛ぶクルマの位置づけ

欧州では米国のように航空機として定義せず、機体及び運航者の認証が必要なカテゴリである Certified Unmanned Aircraft System (UAS)の一種に位置付けている。

(3) 空飛ぶクルマの社会実装に向けた制度課題

(A) 調査概要

空飛ぶクルマは都市圏での運航だけではなく、空港へのアクセス、郊外部での運航なども想定され、Vertiport と呼ばれる離発着場から離陸・着陸を行う。

空飛ぶクルマの社会実装に向けて検討する必要があると考えられている制度上の課題を以下に示す。

- 機体に関する制度課題
 - 型式証明・耐空証明の発行。特にバッテリー・垂直離着陸など、既存の航空機の要件の範疇外の特徴をどのように扱うか。
- 操縦者に関する制度課題
 - 機上操縦者及び遠隔操縦者向けの訓練プログラムの策定
 - 機上操縦者及び遠隔操縦者の技能証明の方針
- 運航管理に関する制度課題
 - 郊外部や空港周辺 (Class B) といった異なる空域を運航する場合の要件
 - 既存 VFR 機や UAS との空域の共用 (特に離着陸の際に UAS と空域を共用する可能性あり)
- 離発着場に関する制度課題
 - 空飛ぶクルマ向け離発着場の設置 (特に、離発着場のデザインや設置場所、具備すべき機能や手続きに関する具体要件の設定)

② ICAO の動向

遠隔操縦者航空機システム (RPAS : Remotely Piloted Aircraft System) は、免許を持った航空従事者が遠隔地から操縦する高度に複雑化された航空機とされており、大きな経済的可能性を有するとして、RPAS を既存有人機が存在する環境に安全に統合することが世界的に議論されている。

ICAO においても RPAS の議論にフォーカスした RPASP (Remotely Piloted Aircraft System Panel) が設置され、他の ICAO 専門家グループと共同で、当該領域に関わる研究を行っている。

RPASP では、RPAS の遠隔操縦者ライセンスに関わる議論が進められており、2020 年 7 月、IFR で国際飛行を行う RPAS を対象とした国際標準・勧告方式として ICAO Annex 1 “Personal Licensing”, Chapter 2 “Licensing and Rating for Pilots”, B “Licences and ratings for remote pilots” が発行されている。当該規定は 2022 年 11 月 3 日に適用される。

遠隔操縦者ライセンスに関わる ICAO Annex 1 だけでなく、その他の Annex においても RPAS に関する規定が今後策定される予定である。

③ FAA の動向

Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0 において、米国では空飛ぶクルマを都市部と郊外の低高度で乗客や貨物を運送する Urban Air Mobility (UAM) 機の種類として位置づけ、まずは既存法令の範疇で対応可能な運航から開始し、徐々に高度な運航を行うにしたいが、法令改正等で対応していく考えが以下のとおり示された。

- UAM 導入初期における運用：現行の規制・運用環境下で飛行が認証された機体を使用して実施される。
- ConOps 1.0 における運用：より高密度化された UAM 運用は、既存規制の改訂と UAM コリドーによって実現される。
- UAM 成熟期における運用：新しい UAM 専用の運用ルールやインフラ、高度に自動化された交通管理を導入し、遠隔操縦や自律的に飛行する UAM が、より高密度化された環境で安全に運用できるような環境構築を実施する。

eVTOL の大規模な商業運用を行うためには、機体の型式認証 (Type Certification)、生産認証 (Production Certification)、耐空性認証 (Airworthiness Certification) の取得が必要である。現在、商業化のための第一ステップである型式認証の取得に向けて、多くの eVTOL 機体メーカーが FAA に対して申請を行っている。

当該申請において、FAA は 14 CFR Part 21.17(a) もしくは Part 21.17 (b) の適用を想定しており、前者は、既存の認証基準 (CS-23, CS-27 など) が適用可能な場合に選択され、eVTOL 機特有の特徴に対しては特別条件 (Special Condition) を指定することで対処する。一方で、後者は既存の認証基準の範疇では適用できない特殊なクラスの機体の場合に選択され、既存の耐空性要件と同等の安全性を確保するために、該当する基準を組み合わせることで eVTOL 機体特有の基準が決められることとなる。

現在実施されている多くの eVTOL 機の型式認証において、14 CFR Part 21.17(a) が適用され、特に固定翼機の型式証明基準である 14 CFR Part 23 の改正版 (14 CFR Part 23 amendment 64) をベースに、特別条件を適宜設定しながら個別審査が行われている最中である。Joby 社は 14 CFR Part 23 amendment 64 をベースに認証プロセスが進行している 1 社であり、2022 年 2 月に認証の重要なマイルストーンである適合試験を開始したとの発表がなされており、2024 年の型式認証取得に向けて活発に活動が行われている。

FAA では新たな Vertiport 用の基準に関わる新たな制度の検討を開始している。当面の目標として、Vertiport に関する Advisory Circular を 2024 年 9 月ごろに発行することを設定しており、当該目標に向けて、既存規則とのギャップ分析や機体メーカーへのヒアリングを通じた eVTOL 機のデータ収集、充電インフラ設備の検討等を実施している最中である。

AC 発行に向けたステップとして 2022 年 3 月、Vertiport 設計に係る Engineering

Brief No. 105 の初版（案）が発行されている。

④ EASA の動向

欧州では米国での制度化方針と異なり旅客輸送を含む VTOL 機体は certified UAS の一種に整理されて、検討が進められている。欧州における制度化に係る文書として、2019 年 11 月に EASA より発表された、EASA concept for regulation of UAS ‘certified’ category operations of Unmanned Aircraft Systems (UAS), the certification of UAS to be operated in the ‘specific’ category and for the Urban Air Mobility operations – Issue 2.1 において人や物品を輸送する eVTOL 機は、無人・有人に関わらず、Certified カテゴリの UAS として整理し、VTOL 機体を含む以下の 3 つに区分し、今後 Certified カテゴリの UAS の法規則を整備していくことが示された。

- ① 空域クラス A～C（ICAO 空域分類）での貨物輸送を目的とした UAS の IFR による運用で、飛行場から離陸および／または着陸するもの。
- ② 混雑した環境（例えば都市部）で、U-Space 空域内であらかじめ定義されたルートを使用して離着陸する UAS の運用（運用の一部は混雑していない環境（例えば地方）で行うことも可能）。これには、乗客（例：エアタクシー）や貨物（例：商品配送サービス）を運ぶ無人 VTOL 機の運航が含まれる。
- ③ ②と同じ運航を行う有人の UAS の運用。（U-space のない空域の飛行を含む）

さらに、eVTOL を含む Certified UAS の運用に関して、既存の航空関連法規則とは違う枠組みで、精度設計を進める予定であり、小型 VTOL 機体に係る型式証明の基準として SC-VTOL-01 が策定されている。

2021 年 4 月に発行された Rulemaking Task (RMT) 0230 Regulatory framework to accommodate unmanned aircraft systems in the European aviation system において上記 3 つの運用タイプに関する既存法令の改訂及び新規ルールを整備スケジュールが示された。当該 RMT では以下に示す (A) ～ (F) までの分野別に法整備のスケジュールが示されている。

- A. Open/specific カテゴリの運航ルール
- B. U-space との空域統合
- C. Certified カテゴリの UAS と UAM
- D. UAS と VTOL の機体認証基準と ETSO
- E. 空域利用の要件及び ATM/ANS 相互互換性要件
- F. 環境保護

直近では有人 VTOL 機体に関する既存法令の改正及び新ルールの策定案（RMT. 0230 (C) opinion #1 に係る NPA）は 2022 年公開される予定であることが示された。当該

NPA では、耐空性証明や運送・使用事業、空域管理に係る法令・規則が対象であり、2022年にOpinion #1が公開される予定である。

また、パイロットが搭乗しないVTOL機体に関する既存法令の改正及び新ルールの策定案(RMT.0230 (C) opinion #2に係るNPA)は2023年に公開される予定である。当該NPAでは耐空性証明や運送・使用事業、空域管理だけでなく、リモートパイロットライセンスに係る法令・規則が対象であり、2024年ではOpinion #2が公開される予定である。

機体の安全性に関わる動向としては欧州EASAより小型のVTOL機体の型式証明の特別条件を定めたSpecial Condition (SC)-VTOL-01¹³

及びその遵守方法(現時点では一部基準に対してのみ)を定めたMOC SC-VTOL¹⁴が発行されており、米国に先行して空飛ぶクルマの実装を視野に入れた法整備が進められている。

当該SCは、固定翼機の認証要件をベースとしつつ、回転翼機の認証要件の諸要素を組み込む形で策定されている点が特徴的である。また、適用される基準は機体の種類や目的・特性に応じて2種類に分類される点も特徴的であり求められる要件が異なる。

表 2.4.2-78 SC-VTOL-01における小型VTOLのカテゴリ

カテゴリ	概要
Basic	制御された緊急着陸が可能であり、該当するすべての要件を満たす航空機に対する認定を指す。
Enhanced	混雑地域上での操縦又は旅客の民間航空輸送を目的とする航空機に対してなされる認定を指す。現在お遠投されている各社のeVTOL機は都市部での利用などの目的からEnhancedカテゴリに分類されるケースが多いと想定される。

2020年5月、SC-VTOL-01に対する適合手段(MoC)のMOC SC-VTOL issue114が公開され、規定内容への遵守方法が示された。さらに、2021年6月、MOC SC-VTOLではカバーしきれていない規定項目に対応したMOC-2 SC-VTOL¹⁵ Issue 115が発行され、ほとんどの項目について対応する適合手法が提案されている。今後すべての項目に対応したMOC-3 SC-VTOLが発行される予定である。

欧州では、無人航空機と有人機との空域統合に向けて必要となる新サービスのデジタルインフラ・サービス・手法を含む、UASの飛行管理のためのコンセプトを“U-

¹³ SPECIAL CONDITION Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft

<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC-VTOL-01.pdf> (閲覧日: 2022年2月27日)

¹⁴ MOC SC-VTOL <https://www.easa.europa.eu/downloads/127717/en> (閲覧日: 2022年2月27日)

¹⁵ MOC-2 SC-VTOL <https://www.easa.europa.eu/downloads/128938/en> (閲覧日: 2022年2月27日)

Space”と呼び、2017年より、SESARという新世代の航空管理システムの近代化を目的とした欧州の研究開発プログラムにおいて、研究開発を進めてきた。

SESARでは、U-spaceの開発ステージをU1(基盤サービス)、U2(初期サービス)、U3(高度サービス)、U4(フルサービス)の4段階にわけ、U1は既に社会実装が開始されているとともに、U2についても2020年末時点でほとんどの実証実験が完了している。

SESARでのU-Spaceのコンセプト検討と並行して、EASAは、2021年4月22日、U-spaceの法的枠組みに関する新EU規則2021/664¹⁶を発表しており、2023年1月26日からの遵守が義務づけられた。当該EU規則では、高密度で目視外飛行の運航が実施される将来を想定して、「U-space空域」が新たに定義されているとともに、同空域で提供される運航管理サービス(「U-spaceサービス」)の要件(機能要件等)や、同サービスを提供するU-spaceサービスプロバイダ(USSPs)の認証プロセスについてルールが定められている。また、UAS側への法的枠組みを与えるだけでなく、有人航空機の運航関連の既存規則への追記を規定したEU規則2021/665¹⁷、EU規則2021/666¹⁸も2021年4月22日に発行されており、2023年1月26日より発効予定である。

EU規則2021/664の特徴的な点として、UAS同士やUAS・有人機間の空域共有・運航調整の在り方についてルールを定めていることが挙げられる。主なポイントは以下の通り。

- 航空管制サービスプロバイダ(ANSP)は有人機向けに航空管制サービスを提供し、主管庁の認定を受けたU-spaceサービスプロバイダ(USSPs)がUAS向けにU-spaceサービスを提供する。
- 主管庁は、規定の空域リスクアセスメントを実施した後、「U-space空域」を指定し、本空域を飛行するUASに対してU-spaceサービスの利用を義務付けることができる。
- 非管制空域では有人機は管制を受けずに飛行をするが、U-space空域を飛行する際には、USSPsへの飛行位置情報の報告が義務付けられる。
- U-space空域を管制空域内に設定する場合は、航空管制サービスを受ける有人機とUASが確実に分離されるよう、有人機とUASの空域を動的に分離できなければならない(=動的な空域再設定機能)。

2021年12月、EU規則2021/664, 665, 666に対応するNPA 2021-14 (Development of acceptable means of compliance and guidance material to support the U-space

¹⁶ EU規則2021/664 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0664> (閲覧日: 2022年2月27日)

¹⁷ EU規則2021/665 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0665> (閲覧日: 2022年2月27日)

¹⁸ EU規則2021/666 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0666> (閲覧日: 2022年2月27日)

regulation) が発行されている。本 NPA の目的は U-Space 空域における無人機及び有人機の運用において高レベルの安全性を保つことであり、U-Space に関する EU 規則の具体的な適合手法及びガイダンスがまとめられている。

⑤ その他の動向

空飛ぶクルマに関する議論は海外の主管庁や標準化団体だけではなく、航空及びヘリコプターなどの業界団体においても活発に行われている。業界団体における議論動向として、特にビジネス航空及びヘリコプター業界として有名な、GAMA (General Aviation Manufacturers Association)、HAI (Helicopter Association International)、NBAA (National Business Aviation Association) の 3 団体について、動向を整理した。

(1) GAMA (General Aviation Manufacturers Association) の動向

GAMA (General Aviation Manufacturers Association) は米国に拠点を持つ航空業界団体であり、一般及びビジネス航空業界の経済的影響と社会的利益の促進について活動を行っている組織である。

GAMA における GAMA の委員会のうち Electric Propulsion & Innovation Committee (EPIC) の下で eVTOL を含む UAM 関連の議論がなされており、「Data Communications」「Infrastructure Subcommittee」、「eVTOL Subcommittee」、「Hybrid & Electric Propulsion Subcommittee」、「SVO Subcommittee」などのサブグループで構成されている。

最近では Data Communication において、次世代型の航空機システムの実現に必要な通信システム要件や技術に関して技術レポートを発行している。

(2) HAI (Helicopter Association International) の動向

HAI (Helicopter Association International) は米国に拠点を持つ、ヘリコプターの専門業界団体であり、ヘリコプター業界の安全ガイドラインを設定することなどを通じて、国際的なヘリコプターコミュニティの発展に寄与している。

HAI における空飛ぶクルマ関連の動きとして、2020 年 1 月 HAI が主導して実施した HAI Heli-Expo 2020 にて” Urban Air Mobility Forum” の実施が挙げられる。当該フォーラムでは UA 業界の動向や技術の進歩を含む垂直飛行業界の最新動向と予測が報告されると共に、規制当局である FAA や機体メーカーである Uber も交えてパネルディスカッションが行われた。

(3) NBAA (National Business Aviation Association) の動向

NBAA (National Business Aviation Association) は米国に拠点を持つビジネス航空関連企業による業界団体であり、米国および世界中でビジネス航空が繁栄できる環境を育成することを目的として設立された組織である。

2019年、NBAAは”NBAA Emerging Technologies Committee”と呼ばれる委員会を立ち上げ、無人航空機システム(UAS)、都市航空モビリティ(UAM)、無人交通管理(UTM)、その他の将来の技術や関連するインフラなどの新興航空技術に関する議論を進めている。

5.7. 調査項目⑦「国際的な標準化の動向調査」

空飛ぶクルマ(eVTOL)の標準化は、航空分野での国際規格を検討している米国ならびに欧州の標準化団体での議論を中心に進んでいる。特に、ICAO、ISO、ASTM、SAE、RTCA、EUROCAEで空飛ぶクルマに関連した議論が行われている。これらの国際標準化機関は、各国制度を策定しているFAAやEASAといった航空当局と連携して制度の検討や策定に貢献しており、空飛ぶクルマにおいても同様の関係となっている。

CAO、ISO、ASTM、SAE、RTCA、EUROCAEでは、空飛ぶクルマであるeVTOLの機体から装備品、通信技術、地上インフラなど、幅広い内容を検討している。検討内容は標準化機関ごとに異なり、例えばASTMではeVTOLの機体や推進システムから、地上インフラまで検討されているほか、UAMや民間機でも標準化活動を進めている。一方、RTCAは航空システム分野の標準化活動を中心に行っており、管制や通信技術を含めたCNS技術に関する要件や規格を検討している。

各国際標準化機関は、議論の重複を避けるためにMOUやMOCを締結して規格を共同で検討している。また、組織同士のみならず、ワーキンググループWGや委員会レベルでも連携を行っており、類似テーマに関しては情報共有や協議を行っている。

① 標準化テーマ別の動向

(A) 運用コンセプト(ConOps)

米国、欧州を中心に空飛ぶクルマの運用コンセプトを整理したConcept of Operation(ConOps)が作成されており、NASAやSERARといった主管庁以外の組織でも空飛ぶクルマの社会実装イメージが検討されている。

Eurocaeにおいて、空飛ぶクルマ関連の標準化はWG-112(VTOL)にて検討されており、当該WGの中ではVTOLの電気システムに関する規格や地上インフラ等に関する規格策定のためのSG(Sub Group)に分かれて個別議論が進められている。特に、今後のVTOL機に運用コンセプトを検討するSGとしてSG-7が該当する。

標準化団体における運用コンセプトの議論動向として、2020年9月、特定のユースケースに依存しないVTOL機体全般の利用に関する運用コンセプトを定めた「ED-278 Concept of Operations for VTOL Aircraft - Volume 1: General Considerations」が発行されている。

さらに、2021年7月、ED-278にもとづいて、民間旅客のエアタクシー輸送全般に係る運用コンセプトを定めた「ED-293 Concept of Operations for VTOL Aircraft - Volume 2: Commercial Passenger Air Taxi Transport」が発行されている。

② 自動・自律化

米国、欧州を中心に航空機の自動・自律化に関する議論が進められている最中であり、米国では FAA、NASA だけでなく、民間標準化機関の ASTM の中でも TF を設置して議論が実施されている。また欧州でも AI を活用した自動・自律化の議論が進んでおり、2020 年に商業運航も視野に入れたロードマップも発行されている。

(1) ASTM における自動・自律飛行に関する検討

米国 ASTM では、航空機システムの自動・自律化のため、タスクフォース AC377 が設立され、sUAS や GA、UAM など様々な機体の自律的な設計と運用及びそれらに対するコンセンサス標準策定に関する検討が実施されている。

(2) ASTM での検討内容

米国 ASTM では、eVTOL に係るコンセンサス標準の策定のため、複数技術委員会及びタスクフォースにて議論が進められており、タスクフォース AC433 では、適合手法として受け入れられている ASTM F3264 を eVTOL に適用するためのギャップ分析が行われている。

(3) 地上インフラ (Vertiport)

米国・欧州を中心に空飛ぶクルマの実装に係る地上インフラ、特に離発着場である Vertiport に関する検討が行われている。FAA や EASA にて空飛ぶクルマ専用の Vertiport の基準整備が実施されているほか、民間標準化組織である ASTM や EUROCAE にてそれらの基準に対応する適合手法の策定が進められている。民間の標準化機関にて地上インフラに係る WI (Work Item) が議論されている。

5.8. 調査項目⑧「国際標準化の対応方針の検討」

5.8.1. 検討概要

空飛ぶクルマ (eVTOL) の関連ワークアイテムのうち、今年度は高密度運行の実現に向けて必要となる自動・自律技術や、国内企業からの関心が高いワークアイテムを対象に、各標準化機関への会合参加を通じて情報収集を行った。

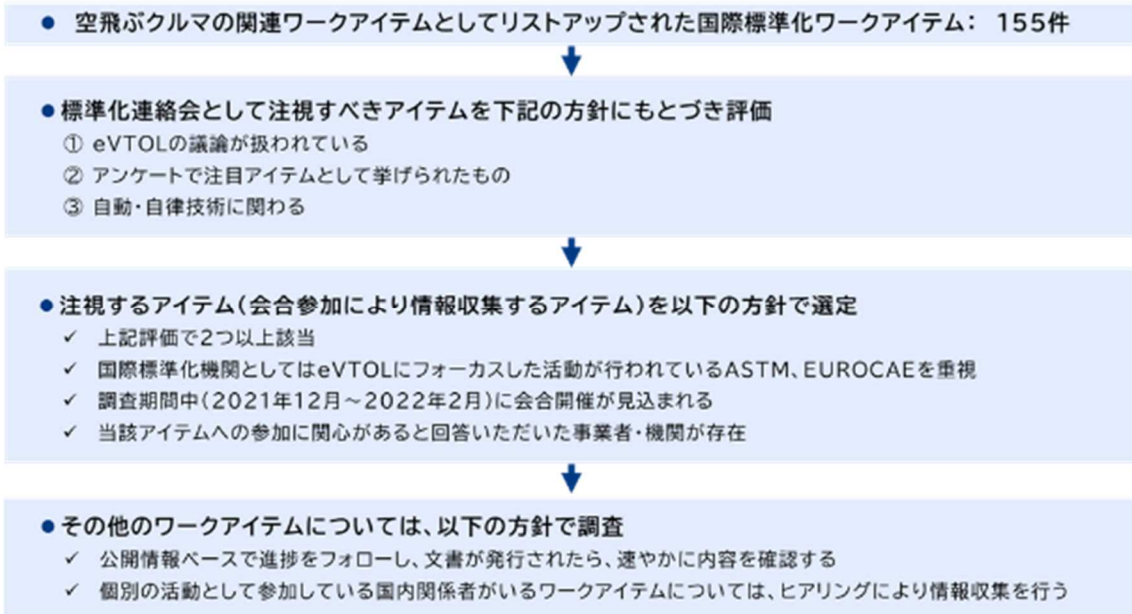


図 2.4.2-49 注視するワークアイテムの選定方法

5.8.2. 国内企業の標準化活動状況と関心事項

国内企業の空飛ぶクルマに関わる標準化活動状況と関心事項を把握するため、第1回標準化連絡会の参加企業・機関を対象にアンケート調査を実施した。アンケート調査の概要と結果を以下に示す。

<アンケート調査概要>

アンケート名 : 標準化活動に関するアンケート
 実施期間 : 2021年10月14日(木)～10月21日(木)
 回答数 : 54社・機関 ※第1回標準化連絡会参加企業のうち13社は回答なし

表 2.4.2-79 アンケート調査項目

設問	内容
問 1	第 2 回目以降の標準化連絡会への参加を希望されるか。
問 2	ASTM, SAE, RTCA, EUROCAE, ISO, ICAO 等における標準化活動に参加しているか。
問 3	参加している (いた)、あるいは今後参加予定の取組み内容はなにか。
問 4	標準化活動を推進する上での課題や必要な支援等はあるか。
問 5	今後、我が国として注目すべきワークアイテムやテーマはなにか。
問 6	注目すべきワークアイテムについて、本事業の一環として情報提供の協力は可能か。
問 7	2021 年中に SAE International との Workshop を開催する場合、参加を希望されるか。
問 8	その他、自由記述。

<アンケート調査結果>

問 1 : 第 2 回標準化連絡会への参加意向

第 1 回標準化連絡会の参加者に、第 2 回以降の標準化連絡会に対する参加意向を確認したところ、アンケート対象者のうち、7 割強が第 2 回標準化連絡会への参加を希望した。

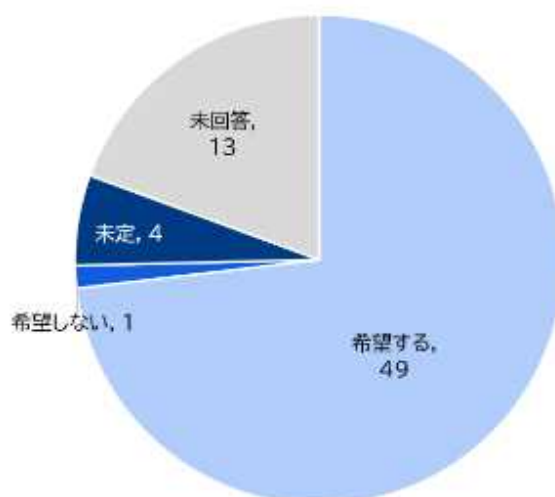


図 2.4.2-50 第 2 回標準化連絡会への参加意向

問2：国際標準化活動への参加状況

国際標準化活動への質問に対しては、アンケートに回答した54社・機関のうち19社・機関で国際標準化機関での活動に参加しているとの回答があった。

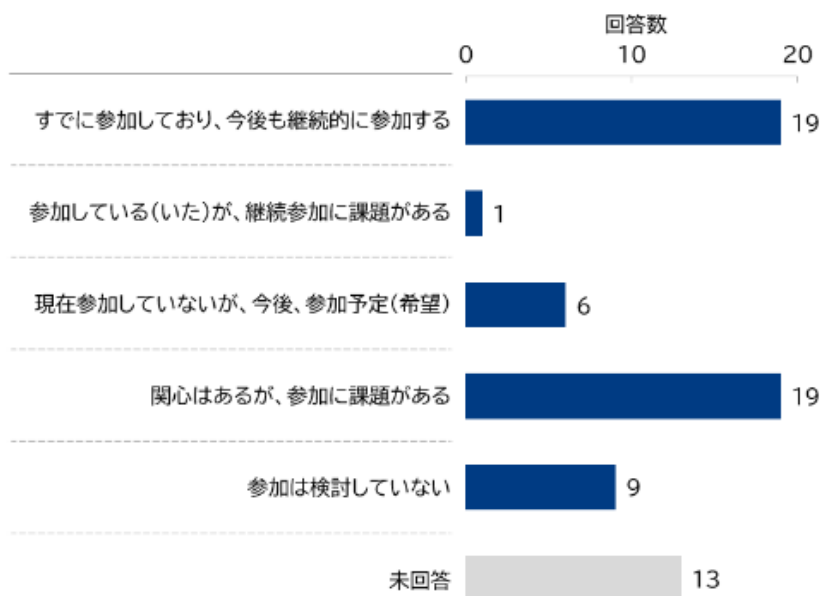


図 2.4.2-51 国際標準化活動への参加状況

国際標準化活動に参加できていない企業・機関には、参加に向けての課題を確認したところ、国際標準化活動への参加課題は主に人的リソース不足との回答があった。また、金銭面での課題や欧米での会合開催を背景にした深夜対応が国際標準化活動への参加にあたっての障壁となっている。

表 2.4.2-80 国際標準化活動への参加にあたっての課題

分類	回答例
人的リソース不足 (10社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人員配置が困難なため ・ 社内リソースおよび技術面に課題がある ・ 標準化活動に参加できるリソースが十分でない ・ ヒューマンリソース不足
金銭的リソース不足 (3社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 活動予算が確保できない ・ 会費等の課題
深夜対応不可 (2社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ オンライン会議になり出張は減ったが、深夜の会議であり、毎週の参加は厳しい ・ SAE等のワーキンググループの開催時間が深夜であり、通常業務との兼ね合いで参加が難しい
知見・経験不足 (2社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 参加するのに必要な能力や経験が分からず、手が挙げにくい。 ・ 英語による交渉が困難（英語能力不足や航空技術力不足、国際会議経験無）

その他	<ul style="list-style-type: none"> アカデミーの立場では参画の意義が薄い 社内及び連携している会社との間で、参加する団体・活動について、調整が完了していない 情報は収集したいが、それ以上の検討ができていない
-----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

問3、問5：国際標準化活動への参加状況、注目アイテム

アンケート調査では、国際標準化活動への参加状況ならびに参加意向・参加希望を確認した。また、各企業・機関で注目している委員会やワークアイテムを確認した。各社・機関からの回答は、国際標準化機関別に整理した。

組織	委員会	参加中	参加予定/希望	注目アイテム有	注目理由
ASTM	F38 Unmanned Aircraft Systems	1 社・機関	1 社・機関	1 社・機関	• 無人航空機の標準化は現在進行中であり、この機会に日本として標準策定に参加する必要がある
	F38.01 Airworthiness	1 社・機関	2 社・機関	4 社・機関	• WK65056:型式証明で重要となるソフトウェアやシステムに関する標準であるため • WK68098:メーカとして信頼性、品質は一丁目一番地
	F38.02 Flight Operations	1 社・機関	2 社・機関	5 社・機関	• WK63418:まだ標準化されていない交渉・調整に注力し、RTCAにおけるDAA性能の指標を空間パワファ設定ルールに反映させる活動が必要 • WK59317:地上インフラの制度設計、技術実装、自動化は、社会実装やスケール化の必要条件
	F39 Aircraft Systems	1 社・機関			(回答なし)
	F39.04 Aircraft Systems			2 社・機関	• WK76044:空飛ぶクルマの要件である自律飛行に関する基本的な部分であるため
	F39.05 Design, Alteration, and Certification ...	1 社・機関		4 社・機関	• 電気エンジンやバッテリーの仕様について世界の標準仕様と日本で行われている内容に乖離が無いか注目したい • WK70381:要素設計の観点から重要
	F44 General Aviation	1 社・機関			(回答なし)
	F44.10 General				(回答なし)
	F44.20 Flight			1 社・機関	• 飛行性能に関わる基本的な部分であるため
	F44.30 Structure				(回答なし)
	F44.40 Powerplant			1 社・機関	• 電動化への対応も重要
	F44.50 System and Equipment		1 社・機関		(回答なし)
	F37 Light Sport Aircraft	1 社・機関			(回答なし)
	その他/全般	1 社・機関 Safety	3 社・機関	1 社・機関	• ASTMの活動は、これまでも技術開発項目抽出に対し大きな影響がある

図 2. 4. 2-52 ASTM への参加状況/参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
SAE	E-40 Electrified Propulsion	5 社・機関	1 社・機関	4 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> 今後の航空機産業(含:空飛ぶクルマ)では電動化の技術革新が産業界を牽引することになり、その標準策定に日本は乗り遅れないようにする必要あり AIR8678:電動推進に関する規格を議論中。日本のものづくりにとってはハードの規格が重要 ARP8677:要素設計の観点から重要
	AE-7 Aerospace Electrical Power and Equipment	1 社・機関	1 社・機関		(回答なし)
	AE-7C Systems	1 社・機関			(回答なし)
	AE-7D Aircraft Energy Storage and Charging	1 社・機関			(回答なし)
	AE-7F Hydrogen and Fuel Cells	1 社・機関			(回答なし)
	AMS AM (Additive Manufacturing)	1 社・機関	1 社・機関		(回答なし)
	A-20 Aircraft Lighting Steering		1 社・機関		(回答なし)
	G-34 Artificial Intelligence in Aviation	1 社・機関	1 社・機関	1 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> 空飛ぶクルマを含む今後の航空機にはAI技術を用いた自律化が必須であり、早い段階で標準策定活動に参加する必要がある。
	S-18 Aircraft and Sys Dev and Safety Assessment	3 社・機関	1 社・機関		(回答なし)
	S-18A Autonomy Working Group	2 社・機関		1 社・機関	(回答なし)
	CMH-17 Composite Material Handbook	1 社・機関			(回答なし)

図 2. 4. 2-53 SAE への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定/希望	注目アイテム有	注目理由	
EUROCAE	WG-80 Hydrogen and Fuel Cells Systems				(回答なし)	
	WG-105 UAS				(回答なし)	
	SG-1 Detect and Avoid				(回答なし)	
	SG-2 C3 Security				(回答なし)	
	SG-3 UTM			1 社・機関	(回答なし)	
	SG-4 Design and Airworthiness			1 社・機関	・機体開発の観点では基礎となるため	
	SG-12 DAA against confliction traffic...				(回答なし)	
	SG-22 Spectrum		1 社・機関		(回答なし)	
	SG-32 UTM E-Identification				(回答なし)	
	SG-62 GNSS for UAS				(回答なし)	
	SG-63 Automatic protection function...				(回答なし)	
	WG-112 VTOL				(回答なし)	
	SG-1 Electrical				(回答なし)	
	SG-2 Lift-Thrust				(回答なし)	
	SG-3 Safety			2 社・機関	・航空業界で最も重視されている安全に関する事項 ・飛行制御に関連した装備品を生産しているため	
	SG-4 Flight			1 社・機関	・ソフトウェア搭載の装備品の設計要求を知るため	
	SG-5 Ground		1 社・機関	1 社・機関	・地上インフラ回りの国内メーカー等の市場参入機会を創出するため	
	SG-6 Avionics			1 社・機関	(回答なし)	
	SG-7 ConOps			1 社・機関	(回答なし)	
	SG-8 Seats				(回答なし)	
	WG-113 Hybrid Electric Propulsion				1 社・機関	・日本において各企業が今後挑んでいく分野であるため
	WG-115 Counter UAS	1 社・機関			(回答なし)	
	WG-117 Topics on Software Advancement	1 社・機関			(回答なし)	
その他/全般			3 社・機関	2 社・機関	・欧州企業だけでなく、世界中の企業が参加しているため動向を把握する重要性が高い。また文化の違いもありFAAIに比べEASAの方が明確な規格・規制を積極的に設定する姿勢があり、これをサポートするためにEUROCAEが動いていることも理由 ・EUROCAE UTMに関する標準:各国で共通的なルールや技術が必須な領域であり注視が必要	

図 2.4.2-54 EUROCAE への参加状況/参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定/希望	注目アイテム有	注目理由
RTCA	SC-228 Unmanned Aircraft Systems	2 社・機関		3 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> UASのC2リンクはLTEの利用が最も現実的であり、早急な規格・基準の整備が必要 DO-362A:目視外運用が標準的となった場合、通信の重要性は高い
	SC-135 Environmental Testing		1 社・機関		(回答なし)
	SC-216 Aeronautical Systems Security			1 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> DO-356A - Airworthiness Security Methods and Considerationは障害対応として必須
	SC-238 Counter UAS Systems	1 社・機関			(回答なし)
	SC-240 Topics on Software Advancement	1 社・機関			(回答なし)
	Forum for Aeronautical Software (FAS)			1 社・機関	

図 2.4.2-55 RTCA への参加状況/参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定/希望	注目アイテム有	注目理由	
ISO	TC20/SC16 Unmanned aircraft systems	2 社・機関	1 社・機関		(回答なし)	
	WG1:全般				(回答なし)	
	WG2:製造・整備	1 社・機関			(回答なし)	
	WG3:運行・手続き	2 社・機関	1 社・機関	2 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> 当該ConOpsで定義される内容の具現化についてシステム、サブシステムでの標準化に注視する必要がある 	
	WG4:UTM	2 社・機関		1 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> 空飛ぶクルマ含め、管制の仕組みが非常に重要なため 	
	WG5:試験・評価	2 社・機関			(回答なし)	
	WG6:UASサブシステム	3 社・機関			(回答なし)	
	TC20/SC17 Airport infrastructure			2 社・機関	1 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> 空飛ぶクルマについてもVertiportが重要な位置付けになると見ており、注目している
	その他/全般	1 社・機関 TC20/SC14 Space systems and operations	1 社・機関	1 社・機関	1 社・機関	<ul style="list-style-type: none"> 既に電動の小型無人機を対象に議論が進められている

図 2.4.2-56 ISO への参加状況/参加意向、注目アイテム有無

組織	委員会	参加中	参加予定／希望	注目アイテム有	注目理由
ICAO	RPAS Panel	1 社・機関	2 社・機関	(回答なし)	(回答なし)
	FLTOPS	1 社・機関		(回答なし)	(回答なし)
	その他		1 社・機関 (運航・整備制度設計)	(回答なし)	(回答なし)

図 2. 4. 2-57 ICAO への参加状況／参加意向、注目アイテム有無

注目分野	回答数	注目すべき内容	注目すべき理由
MoC など	機体	2 社・機関 ・ 耐空性や維持管理 ・ 電動航空機的设计例	・ 安全性確保のため ・ 今後、グローバルな産業エコシステムを形成するときに共通要素の定義は重要になる
	推進システム	2 社・機関 ・ 航空機電動推進用モータ・コントローラの標準化 ・ 航空機システム電動化に向けた標準化 ・ 航空機水素燃料電池ハイブリッド電動システムの標準化、認証取得技術確立	・ 標準化活動への取組み、認証取得技術確立は個社企業で対応するのは困難 ・ CerTCASの活動においてeVTOL標準化活動の取組を検討中
	電源	3 社・機関 ・ 蓄電池や電源システム ・ バッテリーパックの技術標準(一般性能測定方法、安全性確保に必要な要件)	・ 燃料の代わりに飛行用エネルギーとして搭載される高出力/大容量のバッテリーパックの評価や安全性確保に必要な規格が不足しているように思われる ・ 機体重量に大きく響くため、途中段階で不利になると開発プロジェクトがやり直しになるリスクがある
	安全システム	2 社・機関 ・ Safety 全般、空中衝突回避のワークアイテム ・ AAM運航に関わるSafety Management System	・ 何らかの事故発生で市場が無くなるリスクが高いため ・ ヘリ関係の海外運航事業者との連携検討において、国際機関が制定するSMSのオーディット等を求められたが、国内運航事業者での対応がでずしに連携に至らなかった事例があった。AAMのSMS制定議論も進んでいると聞いており、安全面のみならず事業面でも対応が必要になる可能性がある為、フォローしておく必要があると史料
ポート など	地上インフラ	5 社・機関 ・ パーティポート:無人電動貨物機の垂直離着陸インフラ・設備 ・ 地上インフラ関連のワークアイテム	・ 国内の貨物輸送等について各業界で実証実験が進んでおり、旅客輸送と比較しても早い商業化の実現に期待できるのではないかと思います ・ 安全で効率的な充電を実現するには、充電インフラに関するルール形成は重要性が高い ・ 地上インフラは整備のリードタイムが長いので、実装時期に大きく影響する
ConOps など	管制・CNS技術	4 社・機関 ・ UTMや空域管理、管制の分野 ・ 安全運航と運航管理(電動航空機の安全性検討) ・ C2/C3リンク関連のワークアイテム	・ 海外でも納得のいくConOpsが提示されていないため ・ 直近はUASにとっての最重要アイテムであるが、パイロットを不要とする場合にはAAMIにとって最重要
	空域関連	4 社・機関 ・ 空飛ぶクルマが飛行する空域の議論 ・ 空域設計・飛行経路・飛行方式に関する標準	・ 欧米、特に米国では空飛ぶクルマは高度150m以上の主に有人機が飛行する空域を飛行するという前提で議論が進んでいるが、国内では未だに高度150m以下の飛行やドローンとの交錯などの話題が多く、前提が国際動向と乖離している ・ 既存の有人航空機との空域共用は今後の課題と考える。また、事業化のためには多頻度/全天候運航が必要のため、そのための飛行方式の検討が必要
その他	操縦関係	2 社・機関 ・ 操縦士の技能証明 ・ 空クル操縦士／整備士のリソース確保	・ 本邦において操縦士(特に回転翼)は不足しており簡易な制度が希望される ・ 航空事業従事者育成は時間が掛る。現在、空クル向けの訓練制度がない
	素材	1 社・機関 ・ eVTOLに関わる非金属材料のプロセスや安全性に関わる標準・規格	・ 材料が強い日本としては、材料の安全性に関する標準/規格をリードすべき
	保険	1 社・機関 ・ 保険に係わるテーマ	(特に理由の記載なし)

図 2. 4. 2-58 その他注目分野

問 4：国際標準化活動の継続・推進上の課題

国際標準化活動に参加している企業・機関に対して、標準化活動の継続ならびに推進上の課

題を確認した。まだ国際標準化活動に参加できていない企業・機関と同じく、人的リソースおよび金銭的リソースの不足が課題となっている。

表 2.4.2-81 国際標準化活動の継続・推進にあたっての課題

分類	回答例
人的リソース不足 (5社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒューマンリソース不足 ・ それほど大きく無い組織でそれぞれの標準化団体に個別に参加することは難しい
金銭的リソース不足 (8社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工数/資金的に不足している。助成事業などを活用して参加費などが捻出できると良い ・ 活動は全て個社の持ち出しとなっており、予算的な支援（労務費、渡航費、参加費など）をお願いしたい
社内体制不足 (2社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標準化活動は非常に重要だが、すぐに成果が事業に直結しないため企業内の体制構築が難しい
知見・経験不足 (1社・機関)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標準化活動の経験者不足、人材育成
日本での体制構築、 情報開示範囲など	<ul style="list-style-type: none"> ・ 個社で参加して欧米の参加者と議論するのは難易度が高いので日本側の取りまとめ組織があると助かる。議論の進捗状態を整理し、課題を確認して、各社のニーズに照らして何を議論・提案したら良いか支援して貰えると助かる ・ 当局がガイドラインの発行を主導してきた航空業界において、航空局との議論の機会が非常に少ないために各民間規格の位置づけを高めることが現状では非常に難しいと感じている ・ 標準化団体に加盟済の日本企業が参加できる日本支部の設置。日本語での情報共有、日本からのインプットを議論したい。標準化団体に加盟していない企業に対する情報開示ポリシーの不明確さ。日本国内の企業・団体から情報開示を迫られるが、基本は不可。ただし、上位概念の開示であれば、宣伝効果になるので、許容される。その基準があいまい

5.8.3. 注目すべきワークアイテムの選定・調査

図 2.4.2-49 の方針に従い選定されたワークアイテムについては、当該ワークアイテムを検討している各国際標準化機関の委員会で開催されている会合へ参加して情報収集を行った。また、個別の活動として参加している国内関係者がいるワークアイテムについては、ヒアリング調査を行うことで情報収集を行った。

国際標準化機関の会合には、BIRD INITIATIVE 株式会社、株式会社スカイワード・オブ・モビリティーズ、一般社団法人航空イノベーション推進協議会 (AIDA) 航空機装備品認証技術コンソーシアム (CerTCAS)、株式会社 SkyDrive、兼松株式会社に参加頂き、有益な情報を得ることができた。

組織	委員会	eVTOL関連	アンケート結果 (注目アイテム)	自動・自律/ 高密度運航	調査方法
ISO	TC20/SC16 Unmanned aircraft systems		○	○ (UTM)	国内ヒアリング
	TC20/SC17 Airport infrastructure	○	○		国内ヒアリング
ASTM	F38 Unmanned Aircraft Systems		○	○	会合参加
	F39 Aircraft Systems		○	○	国内ヒアリング
	F44 General Aviation	○	○	○	会合参加
SAE	E-40 Electrified Propulsion	○	○		国内ヒアリング
	G-34 Artificial Intelligence in Aviation		○	○	国内ヒアリング
	S-18A Autonomy Working Group		○	○	会合参加
EUROCAE	WG-112 VTOL	○	○	○	会合参加
RTCA	SC-228 Unmanned Aircraft Systems		○	○	国内ヒアリング

図 2.4.2-59 注目したワークアイテムを検討している委員会と調査方法

組織	委員会	注目ワークアイテム	会合参加事業者	ステータス
ASTM	ASTM F38.02 Flight Operations	WK63418 New Specification for UAS Traffic Management (UTM) UAS Service Supplier (USS) Interoperability	BIRD INITIATIVE	2021年11月 F3548-21として成立、PSUのための規格をドラフト中
		WK75923 New Specification for Positioning Assurance, Navigation, and Time Synchronization for UAS	BIRD INITIATIVE	新規格案のBallot中
	ASTM F44.30 Structure	F3083/ F3083M-20a (WK68781) Standard Specification for Emergency Conditions, Occupant Safety and Accommodations	スカイワード・オブ・モビリティーズ	ドラフトレビュー中 (進行度70%) ※100%で発行
		F3114-21 (WK68805) Standard Specification for Structures	スカイワード・オブ・モビリティーズ	校正中 (進行度90%) ※100%で発行
		WK77098 New Practice for External Loads and Aeroelastic Compliance Demonstration for multimodal VTOL/eVTOL aircraft	スカイワード・オブ・モビリティーズ	会合未開催 (初期段階の見込み)
SAE	S-18A Autonomy Working Group	AIR7121 Applicability of Existing Development Assurance and System Safety Practices to Unmanned Aircraft Systems	AIDA-CerTCAS	ドラフトを再構成予定、2023年Q1に投票予定
EURO CAE	WG-112 VTOL SG-3 Safety	ED-XXX Partial Generic Preliminary Aircraft Safety Assessment (PASA) for VTOL	SkyDrive	個別文書ではなく、安全性に関するトピックについて議論中。 ✓ Information Security ✓ Safety Hazard Assessment ✓ Crashworthiness Passenger Injury など
		ED-XXX Information Security Guidance for VTOL and Collaborative Systems	SkyDrive	
		ED-XXX Guidance on the Demonstration of Acceptable Occupant Safety - Injury Prevention Measures	SkyDrive	
	WG-112 VTOL SG-5 Ground	ED-299 Guidance for Vertiport Operators and Operations	兼松	原案作成済み 収集したコメントへ対応中
		ED-XXX VTOL charging infrastructure	兼松	ドラフト作成中 2022年9月発行予定
		ED-XXX Guidance for the use of automated ground movement equipment to move VTOL aircraft with passengers onboard at vertiports and aerodromes	兼松	2021年11月に立ち上げ (検討初期段階)

図 2.4.2-60 注目したワークアイテムの会合参加事業者ならびにステータス

5.9. 調査項目⑨「国際標準化連絡会の開催」

5.9.1. 標準化連絡会の位置づけ

航空機に関わるルール作りのフィールドでは、ASTM, SAE, RTCA, EUROCAE, ISO といった国際標準化機関において、航空機産業メーカ、電機産業メーカ、各国規制当局などを交えて議論がされており、今後、空飛ぶクルマの安全性の証明の手段として各国当局が当該機関のルールを準用する可能性がある。従って、日本が空飛ぶクルマに関する技術開発を主導し、世界に通用する製品開発を進めるためには、国際標準化機関における議論に国内の関連事業者・機関が参加し、ルール形成に関わっていくことが必要不可欠となる。

そこで、空飛ぶクルマに関する制度化や国際標準化の動向を国内の関連事業者・機関に共

有するとともに、参加者からも各社・各機関の国際標準化に関する現状の活動や将来方針を情報共有いただき、我が国として注視すべき領域やそのルール形成への関与の在り方について意見交換する場として「空飛ぶクルマに関する標準化連絡会」を設置した。同連絡会には、60以上の企業、業界団体、研究機関等が参加した。

5.9.2. 開催概要

空飛ぶクルマに関する標準化連絡会は3回開催し、調査結果の共有、ならびに標準化連絡会として注視すべきワークアイテムとその情報収集の方針、ルール形成戦略に関する議論を行った。また、国際標準化活動への理解を深めるため、標準化連絡会のサブイベントとして、AIDA ならびに主要な国際標準化機関の1つである SAE と協力して、「2日連続 SAE International ドローン・eVTOL 標準化セミナー」を開催した。

表 2.4.2-82 空飛ぶクルマに関する標準化連絡会の開催概要

会合	アジェンダ
第1回会合 (2021年10月14日)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 開催趣旨、検討概要の説明 ・ 制度の動向、国際的な標準化動向の調査の結果共有
第2回会合 (2021年12月9日)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 制度の動向調査、国際的な標準化動向の調査の結果共有 ・ 注視すべきワークアイテムと対応方針、役割分担
第3回会合 (2022年2月24日)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各社・機関からの国際標準化対応の報告 ・ 空飛ぶクルマのシステムアーキテクチャーの検討結果の発表 ・ ルール形成戦略の議論

表 2.4.2-83 2日連続 SAE International ドローン・eVTOL 標準化セミナーの概要

プログラム	
1日目 2022/1/13 9:30-10:30	Advanced Air Mobility in Japan
	SAE International Overview
	Discussion
2日目 2022/1/14 9:30-10:30	Drone and eVTOL standardization activities; advanced materials and engines/electrification
	Discussion

5.10. 調査項目⑩「ルール形成戦略の策定」

5.10.1. 今後の標準化対応方針の検討に関するアンケート

空飛ぶクルマの標準化活動に関する今後の方向性について、標準化連絡会の参加者を対象に2022年2月24日(木)～3月3日(木)にアンケートを実施した。

<アンケート調査概要>

アンケート名：空飛ぶクルマに関する今後の標準化対応方針の検討に関するアンケート
実施期間：2022年2月24日(木)～3月3日(木)

回答数 : 27 件

表 2.4.2-84 アンケート調査項目

設問	内容
問 1	ASTM, SAE, RTCA, EUROCAE, ISO, ICAO 等における標準化活動に参加しているか。
問 2	第 3 回空飛ぶクルマに関する標準化連絡会の資料に関して、今後、我が国として標準化の対処が必要なテーマ（装備品・機体、地上インフラ、自動・自律、運航ルールなど）や具体的なワークアイテムについてのご意見を教えてください。
問 3	その他、標準化連絡会へのご意見・ご感想、今後の我が国における標準化活動に関するご意見がございましたら、ご自由に記載ください。

問 1：国際標準化活動への参加状況

国際標準化活動への参加状況は、「すでに参加しており、今後も継続的に参加する」との回答が最も多かった。

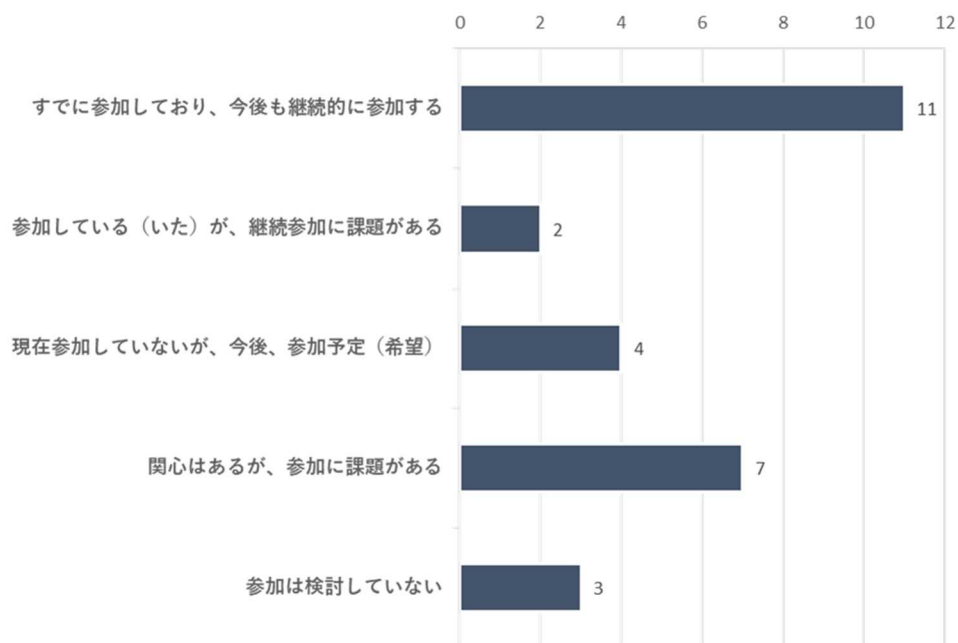


図 2.4.2-61 国際標準化活動への参加状況

問 2：(1) 今後、我が国として標準化の対処が必要なテーマ

今後我が国として標準化の対処が必要なテーマは、直近は「機体・装備品」、「インフラ」、「運航ルール/ConOps」とする意見が多く寄せられた。短期的には「機体・装備品」「インフラ」に注目するという意見が多く、中期的には高密度・多頻度運航に向けた「運航ルール/ConOps」、「自動・自律」に関わるテーマに取り組むべきとの意見が多かった。

	機体・装備品	インフラ	運航ルール/ConOps	自動・自律	その他
直近 (今すぐ)	8件 機体構造や安全性	8件 充電関連 ポート 通信インフラ	9件 我が国としての ConOpsの策定	3件	
短期 (2,3年)	5件 電動推進に関わる標準 化動向の把握	7件 駐機の自動化	3件 我が国のConOpsに基 づく運航ルール検討	4件 今後の発展が見込まれ る市場のため	
中期 (それ以降)	3件 蓄電池、電源システム		8件 高密度・多頻度運航を 可能とするルール検討 CNSインフラ/機上装置	4件 今後の発展が見込まれ る市場のため	1件 操縦者・運航者のライセ ンス

図 2.4.2-62 今後標準化の対処が必要なテーマ

問 2：(2) 今後、我が国としての標準化の対処方針

今後の我が国としての活動方針について、直近は「個社の取組」として「情報収集」を行いつつ、経験者同士の横の連携を促したり取り纏め機関を決めるといった「体制構築」を検討するべきという意見があった。短期的には、規格策定に積極的に関わっていく「情報発信」やそのための国内団体等を設けるとする「体制構築」に取り組むべきとの意見が多い。中期的には国内標準を作り発信していく「情報発信」、業界団体等で役割分担を決めて活動していく「体制構築」を行い、同時に「個社の取組」を強化していくことが望ましいというコメントが多かった。

	情報収集	情報発信	注目分野	体制構築	個社の取組
直近 (今すぐ)	7件	1件 海外と国内の議論の差 分を確認して発信	2件 日本が強い領域に絞る	6件 取り纏め機関を決める 個社で取組みつつ経験 者同士連携・コンソ化	6件 重視しているワークアイ テムに参画していく
短期 (2,3年)	3件	6件 規格策定に積極的に関 わっていく 積極的に参加する個社 が出てくるのが望まし い	1件 標準化で貢献すると情 報が集まり、注目分野も 特定しやすくなると考え られる	4件 国内で連携し団体等と して提言していく 官民協力した推進体制 構築	3件
中期 (それ以降)	2件	4件 海外との整合をとりつ つ国内標準をつくり発 信していく	0件	5件 業界団体で手分けして 活動 人材を決めて継続参加 を支援する	4件 個社の自立的な取組 個社取組を強化

図 2.4.2-63 今後の標準化の対処方針

問3：その他のご意見

その他、標準化活動に関する自由回答として寄せられた意見を下記に整理した。

(a) 調査について

- 米国では国プロとして NASA/NIAR (JAMS) が調査研究を行っている。欧州では DLR が近いものを進めており、こういった活動は着地点として標準化を想定している。従って標準だけでなく主要な国プロのウォッチも重要と考える。
- 海外では自国の機体や運用シナリオを中心に想定しているので、日本が違う特性の機体、シナリオで開発する場合に今後の標準改訂に対応できなくなるリスクがあると感じている。
- 我が国として標準化を進める目的・メリットとそれに伴う各社の実益を具体的な事例で実感できると嬉しい。国家レベルと各社レベルでそれぞれの課題があるが、現状は論点が混在し、課題設定が不十分な印象。(例えば、国内標準化と国際標準化の関係や、国際標準化を実現する方法論など。) 今後、課題を適切に設定した上で、解決のための実効策が明らかになると良い。
- まずは、業界団体、標準化団体、規制当局が一体となっている欧米との違いとその影響分析が第一歩。

(b) 国際標準化機関への参加の質について

- 各規格団体に参加することは大変重要なことであるが、単なる参加だけでなく、継続的な参加が最も重要であると思う。「継続的な参加」というのも2-3年ではなく、もっと長い目線で活動に参加しない限り、各規格の本質を理解することは困難であり、この継続的な参加を各企業が実施していくために必要なことを全体で考えるべきだと思う。

- 現状は規格団体に参加して傍聴という形をとっている企業が多いが、規格作成の Core Member になることにより、より深く各規格を理解できる。規格文書作成の Core Member は大変 Workload が高く、参加継続ためには会社の理解も非常に重要。
- 国内で議論されている内容を海外に積極的に発信していくことが大事だと感じている。欧米の団体は団体間で密に連携しており、それぞれの議論の良いところを積極的に採用している。受け身ではなく、積極的な情報開示により、この枠組みの中に入り込む活動が必要。
- 一方、言語的な課題があるので、日本のグローバル企業の海外現地法人等も絡めて対応することも一案。

(c) 国内の体制について

- 当面は欧米主導で標準化が進むと想定するが、当初より先行する欧米の標準と整合しつつ、将来的には日本およびアジア周辺地域で一体となった検討を推進していくことが必要。そのために国や業界団体が求心力となって推進できる体制が望ましい。
- 技術開発活動と標準化活動を、有機的に紐づけられるよう、オールジャパンで体制面と実行面での組織づくりを推進いただくことを希望する。
- 各分野の開発・検討当事者が参加できることが理想と考える。そのためには参加できていない/参加不十分な分野について具体的な開発・検討が必要となるプロジェクト（受注事業として）を創出していく必要があるのではないか。
- 地上インフラ、運航ルールは、日本国内ユニークな標準が必要となると考えているため、海外標準の調査は必要であるが、それを日本国内にローカライズを推進する団体が必要。ステークホルダが自主的に参集して活動をするような環境づくりを検討する必要があると考えている。
- 装備品・機体関連の標準については、日本国内にローカライズは不要と思われるが、日本製装備品・機体に活用可能な海外標準を識別し、広く適用を推奨する活動があってもよいと思う。このような推進活動を推し進める団体を国内に創設してもよいのではないか。

(d) 連絡会の運営について

- 有識者・有志が WorkingGroup 等の形でもっと集まりやすくして OneTeam 的な感覚で進める覚悟が必要だと感じている。（※EUROCAE だと 2 週間に一度の定期 Mtg+ スピンオフ Mtg が、各 WG/SG 毎に行われており、情報の量・スピード感共に、日本で実施している活動ではとても追い切れない状況）
- 支援方法として、例えば『EUROCAE や SAE 等の活動に参加するための費用を負担したり』 or 『EUROCAE や SAE 等の活動に参加するための手引きをしたり』等の方が効果は

あるのではないか。

- 海外の標準団体の活動に参加することになった企業・メンバーを集めて情報共有会を開催すると有機的に横のつながりができてよいのではないか。
- わが国が得意とする分野に着目して、確かなリソースを長期的に投入することができる領域を特定すること、その特定した領域を専属者が先導することができるように、国がバックアップすることが重要である。

(e) 注目分野・協調領域について

- インフラや交通管理の部分は協調領域が多いので標準化が進行することが想定される。
- 運航ルールの標準作成を進めてもらいたい。
- ポートの設置基準、要件等の整理を議題に挙げてほしい。
- 運航ルールが先に決まらないと、地上や機材の要件を決めるのは難しいと考える。
- 自動車という CISPR25（車載受信機保護のための妨害波の推奨限度値および測定法）の標準化に関しても取り組むべき。

(f) その他

- 日本は全体として航空産業における優位性は低いので、官にも協力をして頂いて底上げの為のプロジェクトを企画して頂きたい。
- 継続した調査を希望。
- 「空飛ぶクルマ」という表現は、新しい航空機の理解を妨げ、世論をミスリードするものであり、ふさわしくないと考えている。
- 標準に準拠するために多大なコストが必要になることがないよう、準拠するためのコストを下げる（たとえば、オープンソースを配布するなど）ような考慮も行いつつ、推進してほしい。

5.10.2. 今後のルール形成戦略

海外動向の調査結果及び標準化連絡会での議論やアンケート結果等を踏まえ、我が国の標準化への対応方針を標準化分野ごとに整理した。

(1) ConOps

(a) 諸外国の動向

各国主管庁、標準化機関、研究開発期間が短期～中長期の ConOps を策定、公表を進めている。主管庁による ConOps は主に制度設計の前提条件、標準化機関による ConOps は標準化検討の前提条件、研究開発期間の ConOps は研究開発計画策定の前提条件として活用されていくものと考えられる。

(b) 標準化対応方針

国内において今後 **ConOps** の策定が進められる見込みであり、国内のユースケースや環境に則した **ConOps** の策定に向け、業界の関係機関の間で認識共有が図られることが必要である。国内の **ConOps** は、各分野の標準化議論において、我が国の状況に対応した標準規格が策定されるよう対応する際のベースの考え方、分野横断の共通的な考え方となることから、**ConOps** 策定に当たっては業界を巻き込んだ議論が行われることが期待される。

(2) 機体・装備品 MoC

(a) 諸外国の動向

国際標準化機関については、**ASTM** では、既存航空機に対する **eVTOL** のギャップ分析を実施した上で、電気推進、操作特性、低空飛行への配慮、垂直荷重への配慮等の観点から **MoC** となる規格の改訂作業、新規策定作業が進められている。**EUROCAE** では、**EASA SC-VTOL** の **MoC** 規格の策定が進められており、順次発行されている。**SAE** では電気推進等の規格が順次発行されている。

(b) 標準化対応方針

国際標準化機関については、**ASTM** では、既存航空機に対する **eVTOL** のギャップ分析を実施した上で、電気推進、操作特性、低空飛行への配慮、垂直荷重への配慮等の観点から **MoC** となる規格の改訂作業、新規策定作業が進められている。**EUROCAE** では、**EASA SC-VTOL** の **MoC** 規格の策定が進められており、順次発行されている。**SAE** では電気推進等の規格が順次発行されている。

海外主管庁については、米国 **FAA** では、**eVTOL** の認証基準のベースとなる **14 CFR Part 23 amendment 64** の主な **MoC** として **ASTM F3264-19** が採用されると共に、現在 **ASTM** 等で検討されている規格も順次 **MoC** として反映されていく見込みである。欧州では、**EASA SC-VTOL** の **MoC** が一部項目について発行されており、今後全項目の **MoC** が発行される見込みである。

(3) 地上インフラ

(a) 諸外国の動向

地上インフラについては、**ASTM** では **Vertiport** の設計や自動化、**SDSP** 関連の規格が検討されている。**EUROCAE** では、同様に **Vertiport** や給電インフラ、各種地上システムの規格策定が進められている。

主管庁については、**FAA** が **Vertiport** に関する **Advisory Circular (AC)** の策定が予定されており、**AC** 策定までの代替手段として **Vertiport** 策定に関わる **Engineering Brief** の策定が進められ、現在ドラフトが公開されている。**EASA** においても **Vertiport** 設計ガイダンスが検討されている。

(b) 標準化対応方針

地上インフラの規格についても、MoCと同様、現在国内の関心のある企業が個別に会合に参加し情報収集を行うと共に、業界団体としての情報収集も行われている。

Vertiportを始め、地上インフラの規格も現在精力的に策定が進められている状況にあることから、引き続き関心のある個別企業、業界団体による情報収集を進め、必要に応じ情報共有していくことが適切である。

また、MoCと同様、これから空飛ぶクルマ市場に参入しようとしている企業も多いことから、標準化会合への参加のハードルを下げる取組みや、会合参加の質を向上させる取組みを行い、標準化活動の底上げを図ることが適切である。具体的には、標準化の技術分野ごとに国内関係者が意見交換、議論できる場を設置すること等の取組みが考えられる。

(4) 自動・自律

(a) 諸外国の動向

ASTMでは、自律運航に係るTFを開催し技術レポートを策定、順次発行している。また、SAEでも自律運航に係るWGを開催し、レポートを策定中である。他方で、自律運航に関するMoCの規格検討には至っていない。

主管庁においても、FAA、EASA共に調査レポートやロードマップを発行しているが、安全基準については未整備の状況にある。

(b) 標準化対応方針

現在、一部の国内企業が関連会合に参加し情報収集を行っている。自動・自律の分野は、機体、地上システムを含め、諸外国でも実装に向けた議論が未成熟な分野であり、2030年以降の長期的なビジョンにもとづく技術提案や規格提案を検討する余地がある。

機体、装備品等、今後国内に技術開発を進める企業がいる場合には、当該技術を前提とした規格化の戦略策定や標準化活動のバックアップをしていくことが想定される。

(3) 運航ルール

(a) 諸外国の動向

ASTMでは、UTMに係る規格が検討されており、USSに係る規格は発行済、これをPSUに拡張する議論が行われている。EUROCAEでは、U-Spaceの規格検討が進められている。

EASAでは、U-Spaceの運用に係るEU規則が発表されると共に、当該規則に係るAMCが発行された。U-Space空域の運用ルール、U-Space空域を飛行する際のUASやUASオペレータの要件等が規定されている。なお、欧州ではeVTOLはUASの一つとして位置付けられ、遠隔操縦されるeVTOLについてはU-Space空域を飛行することが想定されている。

(b) 標準化対応方針

現在、一部の国内企業が関連会合に参加し情報収集を行っている。まだ空飛ぶクルマの運航ルール等に関する議論はまだ開始されたところであり、海外の動向を注視しつつ、日本の都市構造やユースケースをふまえた運航管理手法や運航ルールに関する提案を検討していくことが適切である。特に、国プロでの研究開発や民間の取組と連携した取組みも有効と考えられ、研究開発等の計画を踏まえた標準化活動の方針や計画を検討することが期待される。

(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	-	-	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	-	0	-	0
展示会出展	-	-	-	-	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	-	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	-	0	-	0
国内出願	-	-	-	-	0	-	0
外国出願	-	-	-	-	0	-	0

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

調査事業のため非該当。

「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

ロボット・AI部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

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(2016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2021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(2016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。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

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等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、後述す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等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。また、World Robot Summit の継続的な実施に向けた取組や検討を行う。

研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

- ・空飛ぶクルマの発展シナリオを整理の上、2025 年までの実証計画、及び 2025 年以降の自動・自律飛行、高密度運航に向けた技術的検証項目の提案を行う。

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、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(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。

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2017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。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、【別紙1】の研究開発計画及び【別紙2】の研究開発スケジュールに基づき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）。

【委託事業】

- ・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
- ・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)から3)及び5)から8)及び10)
- ・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」

- ・研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

【助成事業】

- ・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) 省エネルギー性能等向上のための研究開発
 - (3) 無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発
- ・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 4) 及び9)
- ・研究開発項目③「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

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。また、各種ロボットの省エネルギー性能等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。

加えて、無人航空機の産業規格に資する安全基準策定のための性能評価基準の策定に関する研究開発、無人航空機のエネルギーマネジメントシステムに関する研究開発を行う。

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」

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運航管理システム及び衝突回避技術を開発する。また、開発したシステム及び技術を活用した飛行試験を福島県のロボットテストフィールド等で実施する。加えて、無人航空機の機体を遠隔から識別する技術（Remote-ID）を開発し、運航管理システムとの情報共有に関する研究開発を実施する。

加えて、運航管理システムの社会実装に資する機能拡張と地域に広く展開するための実証試験を実施する。

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」

- (1) 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、それらの成果を国際標準化に繋げるための活動を実施する。
- (2) 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。

研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

先行する海外における空飛ぶクルマの実証事例の調査を踏まえ、日本での実証計画、段階的シナリオ等の検討を行う。また、空飛ぶクルマの将来的な社会実装に向けて必要な要素技術の調査・適用可能性等の検証を実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「PM」という。）として、1（3）研究開発の内容のうち、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」、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」及び研究開発項目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・スタンダードについては選定中とし、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」（2）デファクト・スタンダードについてはNEDOロボット・AI部 細谷 克己を、研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」についてはNEDOロボット・AI部 森 理人を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDOは公募により研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外団体の特別な研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは、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」については中央大学工学部精密機械工学科教授 大隅 久氏を、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」については国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構研究領域主幹 原田 賢哉氏を、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」については株式会社日刊工業新聞社業務局イベント事業部部長 林 英雄氏、学校法人玉川学園玉川大学教授 岡田 浩之氏、国立大学法人東北大学教授 田所 諭氏、国立大学法人神戸大学教授 横小路 泰義氏、UC San Diego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。

(2) 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。

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。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、2017年度から2022年度までの6年間とする。なお、研究開発項目毎の本研究開発の期間は、以下のとおり。

[研究開発項目① (1) 1) ~ 6)]	2017年度から2019年度までの3年間
[研究開発項目① (1) 7)]	2020年度から2022年度までの3年間
[研究開発項目① (2)]	2017年度から2019年度までの3年間
[研究開発項目① (3)]	2020年度から2021年度までの2年間
[研究開発項目② (1) 1) ~ 5)]	2017年度から2019年度までの3年間
[研究開発項目② (1) 6)]	2019年度から2021年度までの3年間
[研究開発項目② (1) 7) ~ 10)]	2020年度から2021年度までの2年間
[研究開発項目② (2) 1) ~ 2)]	2017年度から2019年度までの3年間
[研究開発項目② (2) 3) ~ 4)]	2020年度から2021年度までの2年間
[研究開発項目③ (1)]	2017年度から2022年度までの6年間
[研究開発項目③ (2)]	2017年度から2022年度までの6年間
[研究開発項目④]	2021年度の1年間

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2023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。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。また、研究開発成果のうち共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDO及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

② 標準化施策等との連携

委託事業で得られた研究開発成果については、研究開発項目③(1)にて標準化等との連携を図ることとし、標準化に向けて開発する評価手法の提案、データの提供等を積極的に行う。なお、先端分野での国際標準化活動を重要視する観点から、NEDOは、研究開発成果の国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築する。さらに、本プロジェクト終了後の国際標準化活動の継続のための仕組みについて検討する。

③ 知的財産権の帰属、管理等取扱い

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用するプロジェクトである。

(2) 安全の確保

研究開発及び各種試験にあたっては十分な安全対策を講じる。無人航空機の飛行試験等を実施する者は、第三者に対する損害の賠償に備えるため、適切な賠償責任保険（対人及び対物事故支払限度額1億円以上等）に加入する。

(3) プロジェクト基本計画の見直し

PMは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を

行う。

(4) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号二、第3号及び第9号に基づき実施する。

(5) その他

特になし。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2017年1月、制定
- (2) 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
- (3) 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
- (4) 2020年4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、研究開発項目①(3)無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発の追加、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②(2)無人航空機の衝突回避技術の開発のうち項目の追加及び実施期間変更、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
- (5) 2020年4月、World Robot Summitの開催延期に伴う改訂
- (6) 2021年4月、研究開発項目④空飛ぶクルマの先導調査研究を新規研究開発項目として追加すること等に伴う改訂
- (7) 2022年1月、研究開発項目①及びPRISM予算執行のための期間延長等に伴う改訂
- (8) 2022年2月、研究開発項目③(2)の内容追加および期間延長等に伴う改訂

【別紙1】研究開発計画

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. 研究開発の必要性

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実用化による省エネルギー化の実現が期待されている。

しかしながら、開発される無人航空機やロボットは経済性が優先されるとともに、多様な用途に適応させる必要があるため、各種ユースケースに応じた適切な性能と安全性を備え、長時間飛行や連続稼働性能を向上させる研究開発が必要である。また、無人航空機の日視外及び第三者上空等での飛行については、高い信頼性を確保し、人や物件への危害を抑制する他、騒音等の環境への配慮も必要となる。

このため、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な試験方法に加え、長時間飛行や連続稼働性能を向上させる研究開発を実施する。

2. 研究開発の具体的内容

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「無人航空機が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。

7) 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

(i) 求められる性能評価及びセキュリティ対策の研究開発

無人航空機が目視外及び第三者上空等での安全かつ環境に配慮した飛行の実現に向け、ユースケース毎（機体規模や運航方法等）のリスクレベルに応じて無人航空機に求められる安全基準の策定のため、機体の信頼性を向上させる方法及び第三者、航空機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 Lidar とビジョンのセンサーフュージョン等による暗所かつ非 GPS 環境下で飛行可能な小型機体に求められる性能評価基準を研究開発する。

また、無人航空機に求められるセキュリティ対策を検討し、無人航空機のセキュリティ対策基準について研究開発する。

なお、本研究開発に、6) の研究開発成果を反映させるものとする。

(ii) 性能評価基準及びセキュリティ対策基準の策定

ユースケース毎（機体規模や運航方法等）のリスクレベルに応じて求められる安全基準に対応した性能評価基準（信頼性評価、気概抑制評価、騒音評価等）、非 GPS 環境下で飛行可能な機体の性能評価基準を策定する。

また、無人航空機に求められるセキュリティ対策基準を策定する。

(iii) 性能評価基準及びセキュリティ対策基準の検証

複数のユースケースを想定するため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評価試験に加えて異なるユースケースにおける事故発生時を想定した際の危害レベルの定量化及びデータ取得等を実施する。

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て、上記の（ii）で策定された各種セキュリティ対策基準に基づく評価試験を実施する。

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。

(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。

(3) 無人航空機のエネルギーマネジメントに関する研究開発

将来、無人航空機は衝突回避システムや準天頂衛星システム、機体識別（Remote-ID 等）の関連システム等を搭載することで、これまで以上にバッテリー負荷が高まると想定されることから、飛行の長時間化のためのバッテリーの性能向上も含め、安全で長時間の飛行を可能とするエネルギーマネジメント等の、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) 7) 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で策定される性能評価基準と共有する。

3. 達成目標

(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）における適用分野（物流、インフラ点検及び災害対応分野）毎に必要な性能や安全性に関する性能評価基準と検証方法を定め、その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、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。

ユースケース（機体規模や運航方法等）のリスクレベルに応じて、求められる無人航空機の安全基準策定に必要な性能や安全性に関する性能評価基準と検証方法を定め、その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。

なお、研究成果は、関連する国内外の各種産業規格との整合性を図りつつ、性能評価手順書に取りまとめ、研究期間後速やかに公開する。

(2) 省エネルギー性能等向上のための研究開発

技術開発の成果を搭載した各種ロボットにより、例えば、無人航空機においては2時間以上の長時間飛行、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、福島ロボットテストフィールド等で検証する。

(3) 無人航空機のエネルギー管理に関する研究開発

衝突回避システムや準天頂衛星システム、機体識別 (Remote-ID 等) の関連システム等を搭載した無人航空機により、福島ロボットテストフィールド等で10km以上の目視外試験飛行を実施する。

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. 研究開発の必要性

現在、無人航空機は空撮や農薬散布等に多く利用され、操縦者の目視内において、遠隔操縦又は自律飛行によって運用されている。これをレベル1(目視内・操縦飛行)、レベル2(目視内)とした場合、今後は、運航管理システムや衝突回避技術等を活用し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)の本格化に向けて、官民の関係者が一丸となって取り組んでいくべきである。具体的には、無人航空機の自動・安定飛行、有人航空機と無人航空機相互間、無人航空機相互間の安全を確保するためには運用ルールが重要事項と位置づけられ、その策定に際し、無人航空機の衝突回避技術等の研究開発が必要不可欠である。

このため、目視外の飛行等及び離着陸時の安全確保、特定の空域における運航管理システムの研究開発と試験環境整備や、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を行う。

さらに、海外の規格及び規制動向を鑑み、将来的には有人航空機と無人航空機間ならびに無人航空機相互間における衝突回避等のために、有人航空機と無人航空機の双方の各機体の飛行情報を共有できる技術の開発と仕組みの構築が求められる。

これに対応し、必要に応じて地域毎に有人航空機と無人航空機の飛行計画等が関係者において共有・調整が可能となる仕組みの構築や、安全運航を支援する運航管理システムを段階的に構築していくために、地上に設置された無線基地局等を活用した無人航空機の航路設定やフライト情報の収集及び各種情報の管理等に関する研究開発を実施する。

また、災害や事故時の救援、取材活動等における同一空域内での複数の無人航空機の飛行を想定し、無人航空機同士の衝突や通信ネットワークのトラブルに対応する研究開発を行い、無人航空機相互の衝突回避等の運用ルールの導入に資する研究開発を実施する。加えて、無人航空機の普及に伴う機体の登録や識別方法、及び、このシステム全体のセキュリティ等を含めた、機体の遠隔識別(Remote-ID)に関する空域管理等の運用ルールの導入に資する研究開発を実施する。

運航管理システムの社会実装に資する機能の拡張並びに地域により広く展開する為の運用性の検証をするために、実証試験を実施する。

2. 研究開発の具体的内容

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。

さらに運航管理統合機能及び運航管理機能の社会実装に向けた開発を実施する。運航管理統合機能について、社会実装に向けたユーザビリティ向上等の機能拡張の検討、課題の抽出と解決を行う。運航管理機能については、地域ごとに異なるユースケースに対応し得る無人航空機によるサービスの実現を目指し、社会実装に向け、地域に広く展開するための課題の抽出と設計を行う。2020年度に上記の課題抽出と設計を完

了させ一部機能については各エリアで機能検証を実施する。2021 年度に全ての機能を実装し、無人航空機によるサービスの事業化を見据えた実証試験を実施する。

(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。

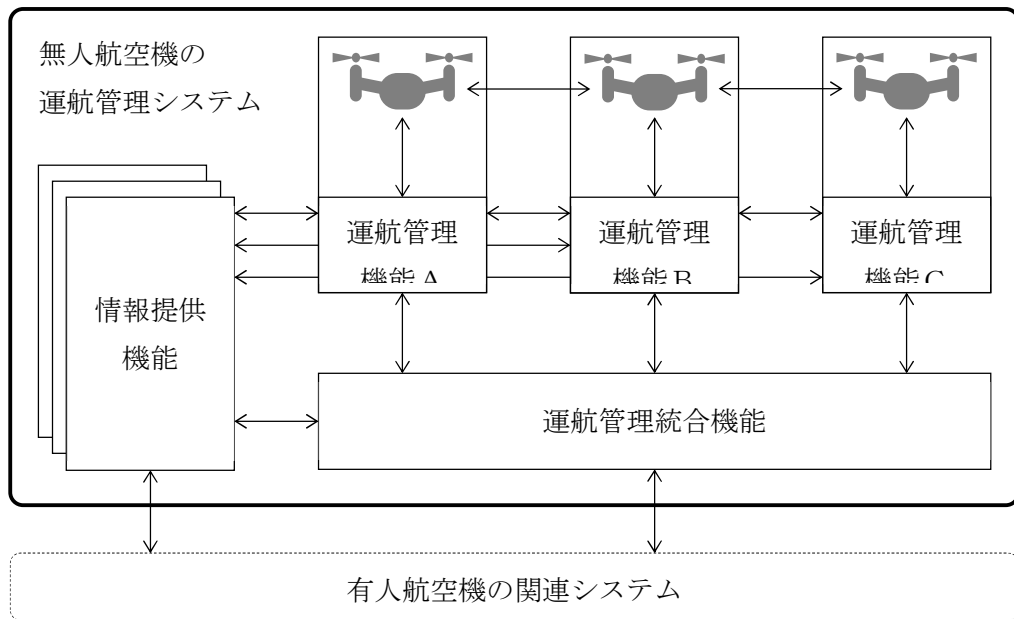


図 無人航空機の運航管理システムのイメージ

以下に各機能の開発内容を示す。

なお、2019 年度以降の事業である 7) から 10) の研究開発項目については、2017 年度から 2019 年度の成果に基づき、社会実装に向けた研究開発を行う。

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を収集し、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。

7) 運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発

複数の運航管理機能が管理する多数の無人航空機が同一の空域を飛行するため、運航管理機能間での飛行計画、空域情報、飛行状況を共有するための運航管理統合機能の機能拡張について開発する。

社会実装のためには、将来的に各地域に展開される運航管理機能に対し運航管理統合機能が提供するサービスが、地域特性に応じて柔軟且つ安心して享受されるようにする必要があります。この実現に向け、運航管理統合機能の機能拡張を行う。併せて、運航管理統合機能による無人航空機を扱う事業者向けのサービスのユーザインタフェースを改善する。

また、全国規模で整備されている既存の地図情報と気象情報を活用し、各情報を運航管理統合機能に取り込み、運航管理機能へのサービス提供を実現する。

加えて、運航管理統合機能の社会実装に向け、異常時の対応処理を拡充して、システムの頑健性を向上するとともに、異常時の対処方針に関する関係者・法制度との要調整事項を明確化する。2020年度に上記の課題抽出と設計を完了させ一部機能については福島ロボットテストフィールドでの機能検証を実施する。2021年度に全ての機能の実装し相互接続試験を実施する。

8) 単独長距離飛行を実現する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、特に3）～4）の研究開発で小型化された各種センサ等を統合し、飛行試験によってその有効性を評価する。

なお、無人航空機の衝突回避技術の統合に当たっては、7）運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発との接続性を踏まえつつ、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運航管理機能について開発を行う。

9) 地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発

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②（1）10）で指定したエリアに、より実用化に適合させた可視化情報を提供する。

なお、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。

また、福島ロボットテストフィールド広域飛行区域を対象としてプロトタイプを開発し、飛行試験することで開発したルート的安全性を検証し全国展開に向けた実用性の向上を図る。

10) 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業

運航管理システムは、無人航空機が有人地帯で目視外飛行する環境下（レベル4）を念頭に置いた場合、個人・企業の複数の無人航空機が同時に同じ空域を飛ぶ際には必要不可欠なシステムである。

これまで福島ロボットテストフィールドにおいて、運航管理が可能な技術の確立のため、運航管理システムの開発を行ってきたが、2022年のレベル4社会の実現に向け、2020年～2021年にかけて運航管理システムの実環境における実証を行う必要があり、技術的な検証を十分に行うためには、無人航空機の活用が想定される運航管理システムに接続した実証事業を実施する。実施体制として、これらの実証事業におけるビジネスモデル、地域における環境整備等を検討・立案推進し得る共同実施者を含める。

なお、実証事業の実施に当たっては、実証を行う地元の地域特性を考慮し、且つ地域産業振興に資するユースケースを複数検証することを目的に、全国の自治体・企業等からの提案・公募を初年度に実施する。また、これらの提案・公募の採択者に対して十分な技術サポートを行う。

提案・公募に際しては、下記のユースケースを明確に示す。

- ・東日本エリアにおける平常時のユースケース
- ・西日本エリアにおける平常時のユースケース
- ・災害対応時のユースケース

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。

（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。

なお、3）、4）については2017年度から2019年度の成果に基づき、社会実装に向けた研究開発を行う。

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。

3) 衝突回避システムの小型化・低消費電力化

2017 年度から 2019 年度に実施した研究開発である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、衝突回避する技術において各種センサの小型化、軽量化、低消費電力化を行い、小型無人航空機に搭載し、衝突回避する技術を開発する。

小型無人航空機において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、並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小型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。

4) 準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化

2017 年度から 2019 年度に実施した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において準天頂衛星システム受信機、アンテナの小型・軽量化、低消費電力化を行い、受信機を小型無人航空機に搭載した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小型無人航空機に搭載可能な協調式 SAA システムを開発する。

3. 達成目標

(1) 無人航空機の運航管理システムの開発

福島県のロボットテストフィールド等に設置された複数の無線基地局等を介した飛行経路を設定し、物流分野等への適応を想定した場合の10km以上の目視外試験飛行を実施する。加えて、災害時に商用通信ネットワークの輻輳や回線断が発生する場合での迅速な状況把握を想定し、可搬型画像伝送システムや衛星通信システム等の地上には設置されていない無線通信システムを活用した無人航空機の試験飛行を実施する。さらに、マルチGNSSによる高精度な位置情報を活用した自律制御と後述する衝突回避技術を搭載した無人航空機の本土及び離島間飛行を実施する。

なお、福島県の浜通り地区での試験飛行は、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の各種情報を重畳した3D可視化マップを活用して設定する。

また、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等の策定においては、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討及び策定を行った上で、運航管理システムの開発及び各種試験に反映させる。

加えて、複数の有人航空機と無人航空機の空域共有に必要な情報共有システム及び通信システムについて、有人航空機の飛行情報に関する仮想情報シミュレータ等を用いた運航管理システムとの相互接続性の評価を実施し、各システムの仕様及び共通IF等の策定においては、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討及び策定を行った上で、情報共有システム及び通信システムの開発及び各種試験に反映させる。運航管理システムの社会実装に向け、実証試験を行い、実用に向けた課題を整理する。

(2) 無人航空機の衝突回避技術の開発

単機による障害物との衝突を回避することに加え、無人航空機同士の衝突の回避までを想定した200km/h以上の相対速度での衝突回避システム技術を開発し、福島県のロボットテストフィールド等において相対速度100km/h以上での飛行試験を実施することで、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する。

また、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ための準天頂衛星システム受信装置を開発し、福島県のロボットテストフィールド等において相対速度200km/h以上での飛行試験を実施することで、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する。

なお、小型無人航空機に搭載するために以下の小型化、軽量化、低消費電力化した衝突回避システムの各種センサ、準天頂衛星システム受信機を開発し、実環境下における当該技術の有効性を検証する。

- ・ 光波センサは全方位をセンシングするものとし、サイズ・重量・消費電力は2250 cm³/0.8kg/25w 以下を目指す

- ・電波センサは全方位をセンシングするものとし、サイズ・重量・消費電力は 2400 cm³/1.2kg/45w 以下を目指す
- ・自律管理装置のサイズ・重量・消費電力は 270 cm³/0.3kg/8w 以下を目指す
- ・準天頂衛星システム受信機のサイズ・重量・消費電力は 12.5 cm³/0.5 kg /2w 以下を目指す

また、衝突回避システムについては、国際的な標準化動向との整合を図りつつ、我が国としての社会実装に資する機能を規定する。

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. 研究開発の必要性

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。

2. 研究開発の具体的内容

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、コア技術の見極めと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。

また、海外の標準化・制度整備動向や国内開発動向の把握を行い、国内プレイヤーのグローバルな産業競争力の強化に向けた提案を行う。

【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（2019 年度実施予定）を目途に施策を立案する。

- ・関連動向の調査・分析を行い、今後の取り組み提案を行う。

欧米の民間標準化団体も含めた標準化・制度整備の動向や国内主要プレイヤーの開発動向等を調査分析し、施策案の提案を行う。

（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、2021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。

3. 達成目標

(1) デジタル・スタンダード

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。

(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。また、国際標準化を推進するための継続的な実施に向けた取組や検討を行う。

研究開発項目④「空飛ぶクルマの先導調査研究」

1. 研究開発の必要性

本プロジェクトにおいて、ドローンの社会実装に向けた性能評価手法や運行管理システムの開発等を行ってきた。

その中で、垂直離着陸型無操縦者航空機（いわゆる「空飛ぶクルマ」）の開発が世界各国で進んでおり、災害時の人命救助、物資輸送、離島・過疎地での旅客・物資輸送、渋滞緩和、カーボンニュートラルへの貢献など様々な課題への対応が期待されており、欧米中における機体開発が先行している。

現時点では、欧米先進国においては、規制制度等の考え方が検討されている段階であり、我が国においても空の移動革命に関する官民協議会等で制度整備の検討がなされている。日本においても海外に遅れを取ることなく、空飛ぶクルマの社会実装に向けた取り組みを進めていく必要がある。

2. 研究開発等の具体的内容

空飛ぶクルマの発展段階の整理（シナリオ作成）を行い、2025年までに必要な技術的検証要素の抽出と具体的な検証項目、実証のプランの作成、2025年以降の自動・自律飛行、高密度運航の実現に向けた技術的な検証項目の整理を行う。

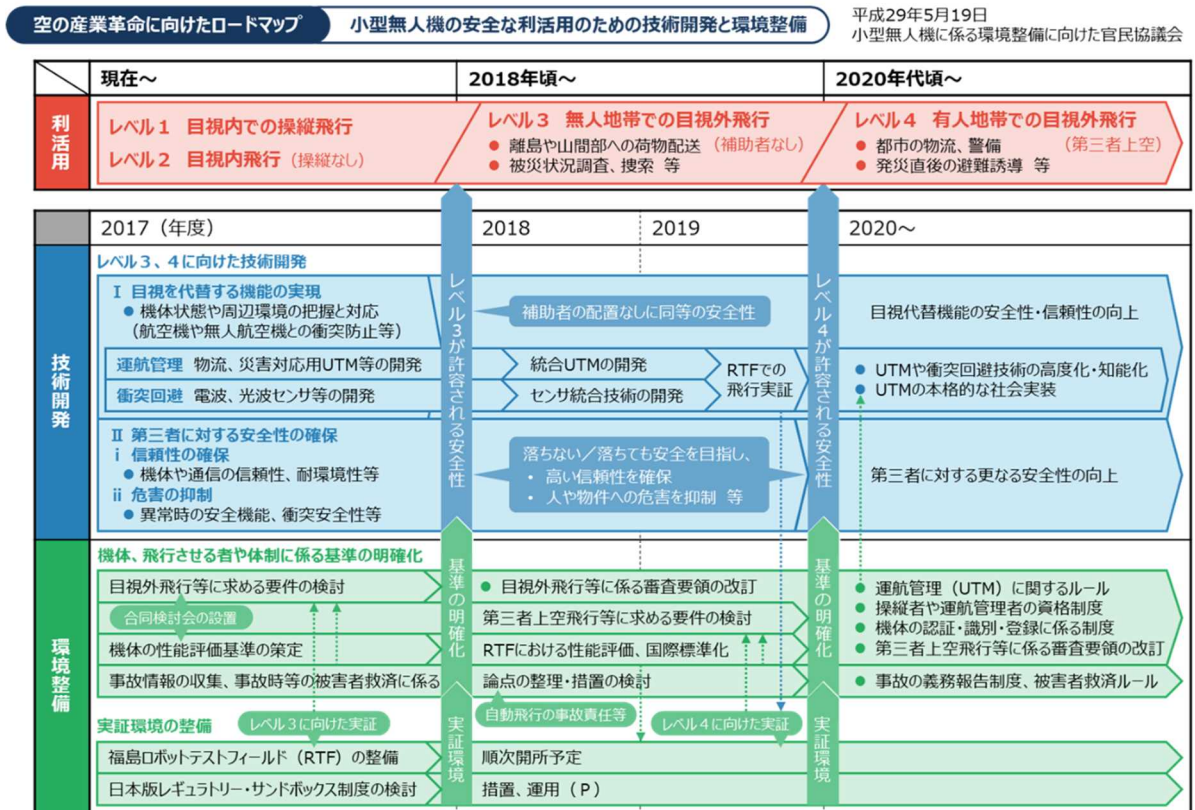
3. 達成目標

空飛ぶクルマの発展シナリオを整理の上、2025年までの実証計画及び2025年以降の自動・自律飛行、高密度運航に向けた技術的検証項目の提案を行う。

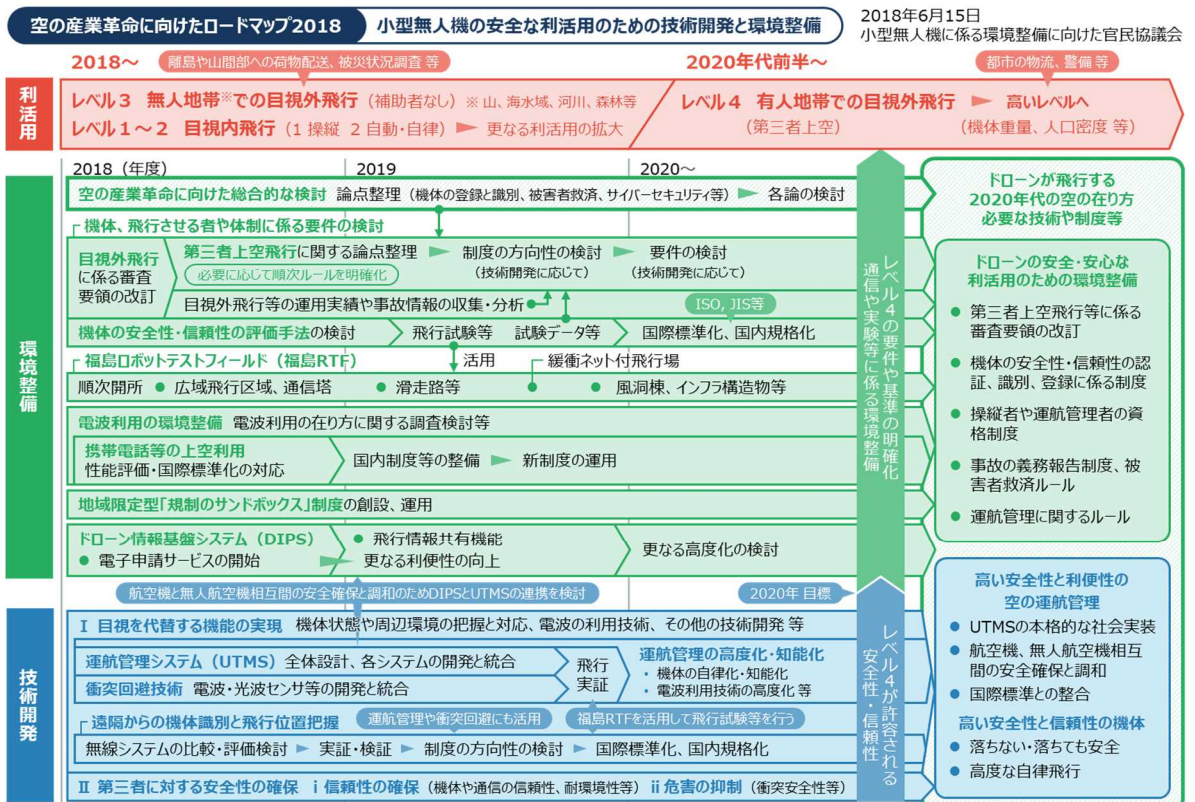
【別紙2】研究開発スケジュール

		2017	2018	2019	2020	2021	2022	
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	1) ~ 6)			7)			
	(2) 省エ ネルギー性 能等向上の ための研究 開発							
	(3) 無人 航空機のエ ネルギーマ ネジメント に関する研 究開発							
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) ~ 5)			6)	7) ~ 10)		
	(2) 無人 航空機の衝 突回避技術 の開発	1) ~ 2)			3) ~ 4)			
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							
	(2) デファ クト・スタン ダード							
研究開発項目④ 空飛ぶクルマの先 導調査研究								

(添付資料2) 空の産業革命に向けたロードマップ



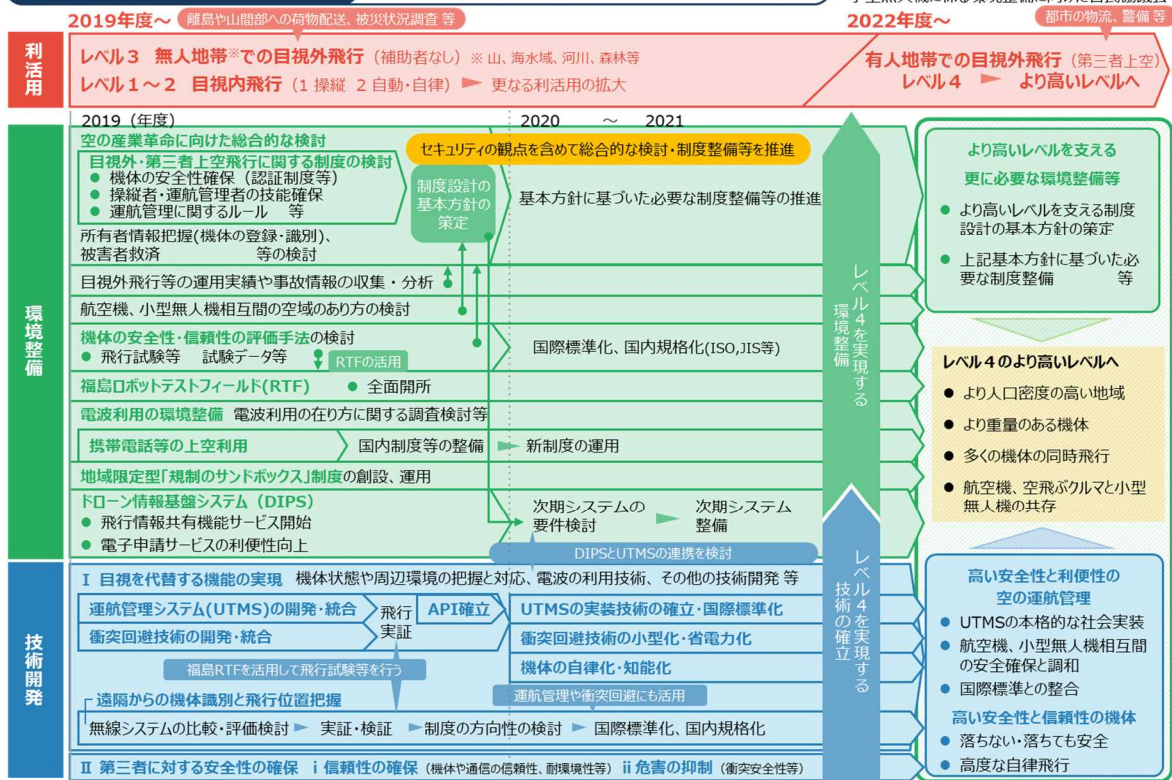
空の産業革命に向けたロードマップ 2017年公表



空の産業革命に向けたロードマップ 2018年公表

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

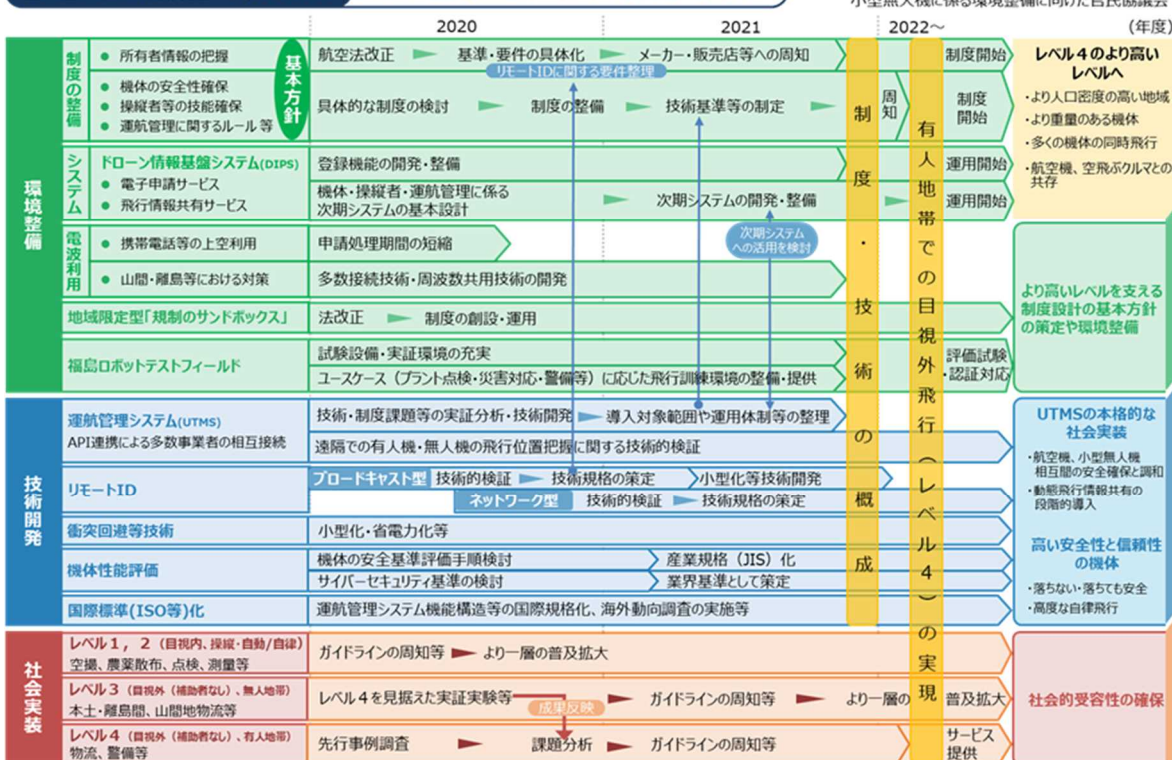
2019年6月21日
小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会



空の産業革命に向けたロードマップ 2019年公表

空の産業革命に向けたロードマップ2020 我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現

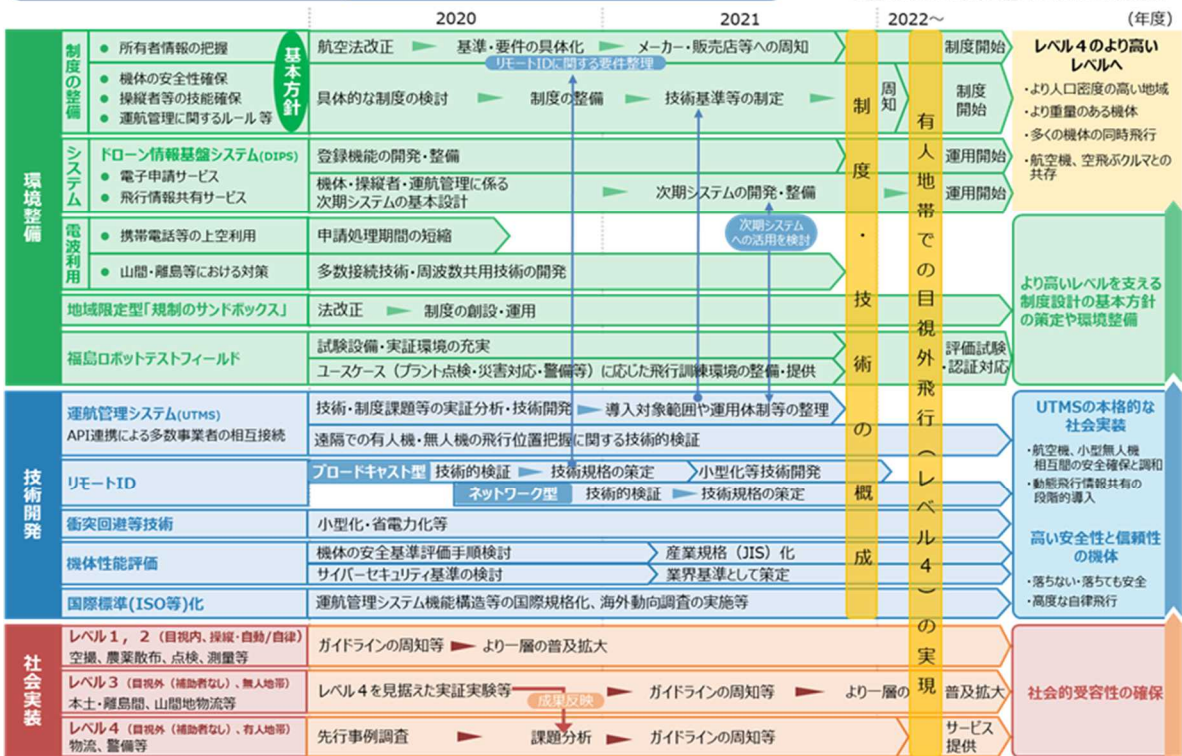
2020年7月17日
小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会



空の産業革命に向けたロードマップ 2020年公表



空の産業革命に向けたロードマップ 2021年公表



空の産業革命に向けたロードマップ 2022年公表

(添付資料3) プロジェクト開始時関連資料

●事前評価結果 (2017 年度)

平成 28 年度事前評価結果

第 48 回研究評価委員会において、平成 29 年度 N E D O 新規案件の事前評価を実施しました。結果は以下の通りです。当該評価結果は、今後基本計画等に反映してまいります。

平成 28 年 9 月

件名	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
推進部署	ロボット・AI 部
総合コメント	新市場分野を開拓する期待が極めて大きい領域であり、当該分野の優位技術を確立していく上で、推進すべきプロジェクトである。運営にあたっては、将来の社会システムを想定し、運行管理システム、安全性・信頼性、国際標準化、法・制度的課題等を考慮し、人選・権限を含んだマネジメントに係る検討も同時に進めること。また、ドローンと陸上・水中ロボットは開発フェーズが異なるので、標準化を連携して進めつつ、開発計画・目標はそれぞれで整理し、区別すること。

●パブリックコメント募集の結果（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基本計画（案）」に対する パブリックコメント募集の結果について

平成29年2月9日
NEDOロボット・A I 部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告致します。

貴重なご意見を頂き、有難うございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成29年1月19日～平成29年2月1日

2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>

計11件

3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
全体について		
<p>[意見1] ドローンが正確にミッションを遂行するためには、システム化と同時に位置姿勢高度等を正確に把握できる技術開発も必須と考える。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。無人航空機の位置高度の精度の高い把握も重要と認識しており、P13 研究開発項目②2(1)3)に記述のとおり、準天頂衛星システムの補強信号を含む高精度な位置情報把握の技術開発を行います。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[意見2] 市販されている光学センサや慣性センサ等では性能が限られているため、それぞれ、新しい高性能なセンサ技術の開発研究が不可欠であり、また、ソフト開発とハード開発の研究が協同することで初めて、省エネに資する性能を持つドローン技術を生み出すことが可能になると思う。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。P10 研究開発項目①2(2)に記述のとおり、無人航空機等の省エネルギー性能等を向上させるために各種ロボットに実装する周辺システムの研究開発を実施します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>

<p>[意見3] AIに情報を取り込むセンサ等のデバイスの革新はモノづくりの原点であり、地味で時間のかかるもので、何らかのブレークスルーが必要になります。本プロジェクトではもちろん、多くのロボットへの取り組みの中で、考慮すべき点であると考えています。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。センサ等のデバイス開発は重要であるため、P15 研究開発項目②2(2)1)に記述のとおり、無人航空機に搭載する各種センサの研究開発も実施します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[意見4] 安全性の観点、システム安全としてのドローンのリスクアセスを入れた方がよいと考える。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。無人航空機の機体の安全性においては、P10研究開発項目①3で記述のとおり、安全性に関する性能評価基準と検証方法を定めることとしています。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[意見5] 本プロジェクトの位置付けを教えてください。また、研究開発終了後の運用に関する制度設計を検討する委員会も必要ではないか。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。本プロジェクトはP2 研究開発の目的・目標・内容の(1)④に記述のとおり、社会実装を目指した研究開発です。なお、制度設計の検討においては、関係機関と連携を図りながら推進していきます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[意見6] 昨今特に米国・中国の隆盛、各国法改正の動き、機体及び通信システム等自体の進化が早いこともあり、研究開発・実証のスピード感を損なわないでほしい。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。P18 研究開発項目③2(1)に記述のとおり、国際的な検討状況等も把握することに加え、本事業の検討状況を国際的に発信する取組も行い、海外の動向とも歩調を合わせる取組を行います。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>1. 研究開発の目的・目標・内容 研究開発の目的</p>		
<p>その他重要事項</p>		

<p>[意見7] P7 5(1)①の「共通基盤」に該当する技術として、例えばどのような成果を想定しているか。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P18研究開発項目③2(1)に記述のとおり、性能評価基準案や運航管理システムのアーキテクチャ、共通API等を想定しております。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[意見8] P7 5(1)①の「共通基盤技術」の研究開発項目間での共有については、どのようなプロセスで行われるのか。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P18研究開発項目③3(1)に記述のとおり、ワーキンググループを設置した上で推進します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[意見9] P7 5(1)②の国際標準化の推進方法や仕組みはどうなっているのか。また、助成事業にて得られた成果については、標準化対象外か。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P18研究開発項目③2(1)に記述のとおり、平成31年度を目途に国際標準化の継続活動のための施策を立案することとしております。また、助成事業の成果反映においては、事業者と協議していきます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[その他] PMやPL、技術検討委員会の設置に関するコメントをいただきました。</p>		
<p>別紙1 研究開発計画書</p>		
<p>[意見10] 運航統合管理機能については、利用者側のユースケース、規模、地域性、管轄、SLAによって要件・仕様・コストも異なってくるため、硬直的にならず、拡張性・柔軟性・連携性等を考慮したシステムデザインを行うべき。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 P15研究開発項目②2(1)5)に記述のとおり、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>
<p>[意見11] 情報提供機能が連動する「有人航空機の関連システム」にて、現状想定されている既設システムはあるか。</p>	<p>[考え方と対応] ご意見ありがとうございました。 現段階で想定している既設システムはありません。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>

<p>[意見12]</p> <p>研究開発項目③のデジュール・スタンダードの取組みが平成33年度まで実施される一方、研究開発項目①、②は平成31年度で終了となる。</p> <p>平成32～33年度間の外部動向の変化により、研究開発項目①、②成果物の国際標準化に向けた見直しが必要となった場合、どのようにフィードバックをかけるのか。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございました。</p> <p>P18 研究開発項目③2(1)に記述のとおり、平成31年度を目途に国際標準化の継続活動のための施策を立案する際に検討していきます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見13]</p> <p>無人航空機の運行管理には、機体の運航と電波の運用を統合的に管理するシステムが必要です。これを構築するためには、関連する規制官庁との協議・調整が不可欠となり、個社での対応は厳しいと考えるが、どのような方針で望むのか。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。</p> <p>本プロジェクトの推進に際して、関連する規制官庁との協議・調整が必要になる場合は、個別に対応します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見14]</p> <p>運航管理機能において、災害時に備えて常設可能なドローン自動運用に関する研究開発も必要ではないか。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。</p> <p>P13 研究開発項目②2(1)2)に記述のとおり、多様な運航管理機能を開発します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見15]</p> <p>ロボット以外の電波利用者との共用検討や運用調整に対する取組方針を教えてください。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。</p> <p>P14 研究開発項目②2(1)4)の情報提供機能で記述している「電波情報の提供」にて対応することを想定しております。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見16]</p> <p>離島対応の運航管理機能において、マルチGNSSや衝突回避技術のみでなく、無線通信が必要になると思う。また、物流・災害対応の運航管理機能において、マルチGNSSや衝突回避技術も必要になると思うが、考え方を教えてください。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。</p> <p>P14 研究開発項目②2(1)3)で記述のとおり、離島間物流のように単独で長距離飛行を行うことを想定しており、本土及び離島間での試験飛行を経て有効性を評価します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>

<p>[意見 17]</p> <p>無線基地局を介した目視外飛行は、災害対応時などでも活用が期待されているため、災害時を想定した実証も実施したほうが良い。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。 P16 研究開発項目②3(1)で記述のとおり、災害対応は、商用通信ネットワークの輻輳や回線断が発生した場合を想定した試験飛行の実施を想定しています。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見 18]</p> <p>バッテリーの充電や取得データのアップロードなども含めた「運用」に関する自動化できているかの基準が必要と思われる。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。 研究開発推進過程において検討していきます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見 19]</p> <p>米航空宇宙局（NASA）によって提唱され且つ既に実験が行われている無人航空機の航空管制システムを念頭に置いた技術開発が有効である</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。 P15 研究開発項目②2(1)5)に記述のとおり、国際的な検討状況との整合を図るために、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し検討していきます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見 20]</p> <p>運航管理統合機能に、運航管理機能から提出される全ての飛行計画情報の取得・管理や、災害等の緊急時に、全ての運航管理機能に対し緊急制御指令を指示する等の機能を追加することを提案する。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。 P12 研究開発項目②2(1)1)に記述のとおり、「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」で包含します。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見 21]</p> <p>運航管理機能同士の連携においても、共通APIを実装することを提案する。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。 P15研究開発項目②2(1)5)に記述のとおり、共通APIは、運航管理システムの各機能間も対象にしており、各種試験に反映させます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>

<p>[意見 22]</p> <p>運航管理機能において、「・管理下にある複数の無人航空機と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もとに、安全の観点から最適な飛行計画を作成する。・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。」を追加すべき。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。 P12研究開発項目②(1)2)に記載のとおり、運航管理機能は、運航管理統合機能及び情報提供機能を利用しつつ運用することを想定していますので、運航管理統合機能が有する機能として例示しています。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

以上

●パブリックコメント募集の結果（2021年度）

「ロボット・ドローンの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 （案）に対するパブリックコメント募集の結果について

2021年5月20日
NEDO ロボット・AI部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集結果をご報告いたします。

貴重なご意見をいただき、ありがとうございました。

4. パブリックコメント募集期間

2021年4月5日～2021年4月19日

5. パブリックコメント投稿数

計2件

6. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
(3) 研究開発の内容		
[意見1] (1件) 空気の流れ、地面効果、機体の形状、ブレードの振動、ロータ回転数変化といった多数の要素が複合・連成する場面では危険を伴うため、シミュレーション技術を核とした技術検証が極めて有効な手段だと考える。	基本計画には、具体的な手法まで明記をしませんが、提案された内容について、有効性等を審査して進めていきます。	特になし。
2. 研究開発の実施方式		
(1) 研究開発の実施体制		
[意見1] (1件) 検証フェーズでは、確立した既知の技術を組み合わせるだけでなく、最新の研究成果や革新技术を積極的に取り込む仕組みを前提に実施する必要があり、アカデミアが中心になったオープンプラットフォームを想定した調査研究の内容及び実施方法（体制・管理等）が適する。	審査の際には、研究体制も考慮して進めていきます。	特になし。

(添付資料4) 特許論文等リスト

2.1.1.1 無人航空機等を活用した物流システムの性能評価手法等に関する研究開発

(実施先：株式会社自律制御システム研究所)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
2	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
3	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心検ロボット」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
4	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心検ロボット」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

2.1.1.2 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

(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)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
2	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 大阪	2018年3月
3	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
4	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

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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	NEDO	2018年1月

2.1.1.3 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

(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ズ ジャパン株式会社)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
2	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
3	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
4	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

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ダム・河川の水中年検ロボットの性能評価基準策定に向けた試験を実施	NEDO	2018年1月

2.1.1.4 調査用無人航空機の評価手法の研究開発

(実施者：株式会社SUBARU)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
2	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
3	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
4	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
5	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
6	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

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	株式会社SUBARU	福島ロボットテストフィールドを活用した無人航空機の開発実証	SUBARU技報第45号	2018年6月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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	NEDO、福島県、福島県南相馬市	2017年12月
2	NEDOとSUBARUなど、福島県で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実施	日本経済新聞	2017年12月

2.1.1.5 陸上移動ロボットの防爆性能評価手法等の研究開発

(実施者：三菱重工業株式会社)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
3	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
4	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
5	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
6	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
7	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆巡回ロボットを活用したプラント点検の高度化について	PwC セミナー	2019年10月
8	大西 献	三菱重工業株式会社	防爆性能を有するモビリティの可能性について	JOGMEC-TRC ウィーク（施設技術の未来像）	2019年10月
9	大西 献	三菱重工業株式会社	移動ロボットの防爆性能評価手法について	MSTC ロボット性能評価人材育成講座シンポジウム	2020年1月
10	水野 直希	三菱重工業株式会社	EX ROVR “ASCENT” における SORACOM サービスの活用	SORACOM Discovery 2021	2021年6月
11	大西 献	三菱重工業株式会社	自動走行ロボットを活用した監視・点検	危険物保安技術協会 新技術を活用した保安設備等の調査研究会	2021年8月
12	大西 献	三菱重工業株式会社	熱画像カメラを搭載した防爆・プラント自動巡回点検ロボット	第4回 ita 赤外線サーモグラフィソリューションセミナー	2022年3月
13	水野 直希	三菱重工業株式会社	製品と共に進化するプラットフォーム	SORACOM Discovery 2022	2022年6月
14	大西 献	三菱重工業株式会社	モバイルロボットの防爆実現方法	日本ロボット学会発表	2022年8月
15	大西 献	三菱重工業株式	性能評価手順書作成への	日本ロボット学会オーブ	2022年8

	会社	取組み	ンフォーラム	月
--	----	-----	--------	---

展示会出展リスト

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ラーション	JOGMEC テクノフォーラム出展	2018年11月
6	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットのデモンストラーション	Sprint Robotics World Conference 2018 USA	2018年11月
7	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットのデモンストラーションおよび特別講演	防爆防災リスク展	2019年11月
8	三菱重工業株式会社	防爆移動ロボットのデモンストラーション	Sprint Robotics World Conference 2022 Nederland	2022年9月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

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
3	三菱重工業株式会社	石油ガスプラントなどでのガス爆発災害の予防と対応に貢献するロボット技術	ロボット学会「ロボット学会誌」（解説記事）	2020年3月
4	三菱重工業株式会社	引火性ガス環境で人に代わって情報収集や作業をする無人モビリティの防爆設計	計測自動制御学会誌「計測と制御」（解説）	2021年4月
5	三菱重工業株式会社	プラント巡回点検防爆ロボットを実用化へ	専門誌「重化学工業」	2022年6月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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 http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100913.html	NEDO	2018年1月

2	プラント巡回防爆ロボット「EX ROVR」の走行試験を実施 JXTG エネルギーと共同で、水島製油所にて	三菱重工業株式会社	2019年6月
3	ENEOSと製油所向けプラント巡回点検防爆ロボットの共同 研究開発契約を締結	三菱重工業株式会社	2020年9月
4	プラント巡回点検防爆ロボット「EX ROVR」第二世代機の 開発を完了 “ASCENT”の製品名で4月から市場投入へ	三菱重工業株式会社	2022年4月
5	日本財団—DeepStar 連携技術開発助成プログラムに採択 され、AIを活用するロボットシステムの研究開発を共同 で実施	横河電機株式会社 三菱重工業株式会社	2022年5月

2.1.1.7 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)

特許件数・出願リスト (出願済み〇件、出願予定1件)

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
1	ドローン静音化技術	イームズロボティクス	静謐性を向上した無人飛行体	予定	—

論文リスト

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	2019/06
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	2019/09
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	2020/01
4	岩田 拓也 他	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第 58 回 飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
5	岩田 拓也 他	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第 58 回 飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
6	岩田拓也、 岡部康平、 伊藤誠	産業技術総合研究所	ドローンの先進安全へむけて	信頼性	有	2021/03

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	岩田 拓也	産業技術総合研究所	日本の政策と法整備状況、世界の状況と将来の技術開発の展開	電気学会茨城支所講演会	2018/10
2	岩田 拓也	産業技術総合研究所	無人航空機ドローンの最近の動向と俯瞰する未来産業	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018	2018/11
3	岩田 拓也	産業技術総合研究所	空飛ぶクルマ・ドローンモビリティ開発の最新動向と今後	大分県産業科学技術センタードローン産業研究会	2018/12
4	岩田 拓也	産業技術総合研究所	空中移動と世界のエネルギーフロー、キャッシュフローの持続可能な発展	第 5 回フレキシブルエネルギーデバイスコンソーシアム講演会	2019/03

5	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	2019/03
6	岩田 拓也	産業技術総合研究所	ドローンと航空機の安全確保について	第10回関東地区航空管制協議会	2019/05
7	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	2019/06
8	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	2019/09
9	岩田 拓也	産業技術総合研究所	National Drone Safety	World of Drones congress 2019	2019/09
10	岩田 拓也	産業技術総合研究所	Drone Testing in Fukushima Robot Test Field.	レーザー学会 2020	2020/1
11	岩田 拓也	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第58回飛行機シンポジウム 2020	2020/11
12	岩田 拓也	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第58回飛行機シンポジウム 2020	2020/11
13	岩田 拓也	産業技術総合研究所	Research of collision safety testing method of hydrogen cylinder for a fuel cell drone	10th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems	2021/04
14	岩田 拓也	産業技術総合研究所	ドローンとロボティクス、その接点	JapanDrone2021 国際カンファレンス	2021/06
15	岩田 拓也	産業技術総合研究所	無人航空機の光学的位置計測速度と空中位置制御に関する研究	日本機械学会 ROBOMECH2021	2021/06
16	幸嘉平太	大分県産業科学技術センター	ドローン空域における無線・磁気の実測と EMC 試験への取り組み	第27回 EMC 環境フォーラム	2021/11
17	岩田 拓也	産業技術総合研究所	産業用ドローンの安全	第44回 2022 産業安全対策シンポジウム	2022/02
18	齋藤 喜康	産業技術総合研究所	Sound power level measurement method for multicopter unmanned aerial vehicles using reverberation room	21st International Meeting on Lithium Batteries	2022/05
19	齋藤喜康, 岡田賢, 岩田拓也	産業技術総合研究所	Safety Tests of Lithium-ion Batteries for UAV Assuming Collision Accident	21st International Meeting on Lithium Batteries	2022/6

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
----	----	-----	-------	------

1	産総研、東大、 安衛研、ACSL、 EAMS, PRODRONE	事業成果物の紹介	JapanDrone2019	2019年3月
2	産総研、東大、 安衛研、EAMS、 PRODRONE	事業成果物の紹介	JapanDrone2020	2020年9月
3	産総研、東大、 安衛研、EAMS、 PRODRONE	事業成果物の紹介	JapanDrone2021	2021年6月

2.1.1.8 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

(実施先：国立研究開発法人 産業技術総合研究所、国立大学法人 東京大学、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 長岡技術科学大学、イームズロボティクス株式会社、株式会社プロドローン、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構)、東京航空計器株式会社、本郷飛行機株式会社

特許件数・出願リスト（出願済み〇件、出願予定1件）

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
1	ドローン静音化技術	イームズロボティクス	静謐性を向上した無人飛行体	予定	—

論文リスト

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 他	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第58回飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
2	岩田 拓也 他	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第58回飛行機シンポジウム講演論文集	有	2020/11
3	岩田拓也、岡部康平、伊藤誠	産業技術総合研究所	ドローンの先進安全へむけて	信頼性	有	2021/03

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	岩田 拓也	産業技術総合研究所	無人機の社会利用とそれを支える安全評価技術	第58回飛行機シンポジウム2020	2020/11
2	岩田 拓也	産業技術総合研究所	小型無人航空機の保守作業に必要な保護具の事例	第58回飛行機シンポジウム2020	2020/11
3	岩田 拓也	産業技術総合研究所	Research of collision safety testing method of hydrogen cylinder for a fuel cell drone	10th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems	2021/04
4	岩田 拓也	産業技術総合研究所	ドローンとロボティクス、その接点	JapanDrone2021 国際カンファレンス	2021/06
5	岩田 拓也	産業技術総合研究所	無人航空機の光学的位置計測速度と空中位置制御に関する研究	日本機械学会 ROBOMECH2021	2021/06
6	岩田 拓也	産業技術総合研究所	産業用ドローンの安全	第44回2022産業安全対策シンポジウム	2022/02

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	岩田 拓也	産業技術総合研究所	JapanDrone2021	2021/06

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	水素燃料電池ドローンにおける高圧ガスの安全に関するガイドライン	経済産業省	2020/04
2	無人航空機性能評価手順書 Ver. 1.0（長距離飛行ミッション編）	経済産業省	2020/05
3	無人航空機性能評価手順書 Ver. 1.0（目視内及び目視外飛行編）	経済産業省	2020/05
4	無人航空機性能評価手順書 Ver. 1.0（第三者上空飛行編）	経済産業省	2020/05
5	無人航空機を対象としたサイバーセキュリティガイドラインを策定	経済産業省	2022/03

2.1.2.2 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)

学会発表

- ・ 鷺見 裕史, 山口 十志明, 島田 寛之, 藤代 芳伸, 淡野 正信, Development of a Portable SOFC System with Internal Partial Oxidation Reforming of Butane and Steam Reforming of Ethanol, 第 232 回米国電気化学会, ナショナルハーバー (アメリカ), 2017/10/04
- ・ 鷺見 裕史, 山口 十志明, 島田 寛之, 藤代 芳伸, 淡野 正信, 【招待講演】 Development of Portable Solid Oxide Fuel Cell System Driven by Hydrocarbon and Alcohol Fuels, 42nd International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites, デイトナビーチ (アメリカ), 2018/01/22
- ・ 高橋 奨, 鷺見 裕史, 藤代 芳伸, 中温作動固体酸化物形燃料電池へのランタンシリケート/セリア二層電解質の適用検討, 平成 30 年度日本セラミックス協会 東海支部学術研究発表会, 名古屋, 2018/12/15
- ・ 鷺見 裕史, 中林 正剛, 川田 哲也, 内山 靖之, 内山 直樹, 市原 和雄, Demonstration of SOFC Power Sources for Drones (UAVs; Unmanned Aerial Vehicles), 第 16 回国際固体酸化物形燃料電池シンポジウム, 京都, 2019/09/10
- ・ 高橋 奨, 鷺見 裕史, 藤代 芳伸, Ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolytes for SOFC operating at intermediate temperature, 第 16 回国際固体酸化物形燃料電池シンポジウム, 京都, 2019/09/12
- ・ 鷺見 裕史, 【招待講演】 Development of Microtubular Solid Oxide Fuel Cells for Mobile Applications, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), 沖縄, 2019/10/28
- ・ 高橋 奨, 鷺見 裕史, 藤代 芳伸, Improvement in sinterability of ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolytes, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), 沖縄, 2019/10/28

文献

- ・ H. Sumi, Y. Yamaguchi, H. Shimada, Y. Fujishiro, M. Awano, "Development of a Portable SOFC System with Internal Partial Oxidation Reforming of Butane and Steam Reforming of Ethanol", ECS Trans., **80(9)** (2017) 71-77.
- ・ H. Sumi, T. Yamaguchi, H. Shimada, Y. Fujishiro, M. Awano, "Internal Partial Oxidation Reforming of Butane and Steam Reforming of Ethanol for Anode-supported Microtubular Solid Oxide Fuel Cells", Fuel Cells, **17** (2017) 875-881.
- ・ H. Sumi, E. Suda, M. Mori, A. Weber, "Infiltration of Lanthanum Doped Ceria into Nickel-Zirconia Anodes for Direct Butane Utilization in Solid Oxide Fuel Cells", J. Electrochem. Soc., **166** (2019) F301-F305.
- ・ S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, "Development of co-sintering process for anode-supported solid oxide fuel cells with gadolinia-doped ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolyte", Int. J. Hydrogen Energy, **44** (2019) 23377-23383.
- ・ H. Sumi, S. Nakabayashi, T. Kawada, Y. Uchiyama, N. Uchiyama and K. Ichihara, "Demonstration of SOFC Power Sources for Drones (UAVs; Unmanned Aerial Vehicles)", ECS Trans., **91(1)** (2019) 149-157.
- ・ S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, "Ceria/lanthanum silicate bi-layer electrolytes for SOFC operating at intermediate temperature", ECS Trans., **91(1)** (2019) 571-577.
- ・ S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, "Modification of sinterability and electrical property by Bi₂O₃ addition to La_{0.333}Si₆O₂₆ for co-sintering with Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}", Chem. Phys. Lett., submitted
- ・ S. Takahashi, H. Sumi, Y. Fujishiro, "Influence of cation interdiffusion on electrical properties of doped ceria/lanthanum silicate composite", Ceram. Int., Submitted.

2.1.3.1 高効率エネルギーマネジメントのための高精度残量計及び高エネルギー密度電池の開発
 (実施先：マクセル株式会社、古河電池株式会社)

特許件数・出願リスト（出願済み 14 件）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	佐野健一	マクセル株式会社	マクセルが描く二次電池の進化と社会課題解決	国際二次電池展 基調講演	2021年9月
2	片山秀昭	マクセル株式会社	硫化物系全固体リチウムイオン電池の開発	日本化学会・GSJ 化学フェスタ	2022年10月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	マクセル株式会社	ポスター	ロボット航空宇宙フェスタふくしま	2020年11月
2	マクセル株式会社 古河電池株式会社	ポスター	Japan Drone2021	2021年6月
3	マクセル株式会社 古河電池株式会社	ポスター	ロボット航空宇宙フェスタふくしま	2021年11月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	古河電池、バッテリーでドローンの社会実装に貢献 安全で長時間の飛行を可能とする、より高いエネルギー密度の電池を開発	古河電池株式会社	2022年3月

2.2.1.1 安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発

(実施者：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)

研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2018/1/10	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）－	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	NEC 水口
2018/1/25	(株)新社会システム総合研究所 主催セミナー	「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	NTT ドコモ原
2018/2/17	「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－	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	NEC 鈴木
2018/3	「日立評論」「Hitachi Review」 2018年 No.2号	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 飯野 他
2018/6/5～ 2018/6/8	2018年度人工知能学会全国大会	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	NEC 町田
2018/11	日本機械学会誌 第121巻 第1200号	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	NTT ドコモ 原、山田
2018/11/29	電子情報通信学会 MWE2018 (microwave workshop & exhibition 2018)	ドローンの広域運航を支えるモバイル通信	NTT ドコモ 原、山田
2019/3/1	同一空域複数事業者飛行試験 プレスリリース	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	NEDO その他連名
2019/3/27	第1回 UTM シンポジウム	福島ロボットテストフィールドにおける実証試験	NEDO その他連名
2019/4/25	月刊テレコミュニケーション 2019年5月号	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	NTT ドコモ
2019/5/13～ 2019/5/17	International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems 2019	Polynomial-Time Multi-Agent Pathfinding with Heterogeneous and Self-Interested Agents	NEC 町田
2019/5/23	プレスリリース	準天頂衛星システム（みちびき）を活用し	NEDO

		たドローン実証実験	その他連名
2019/6/4～ 2019/6/7	2019 年度人工知能学会全国大会	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	NEC 町田
2019/6/12～ 2019/6/14	Location Business Japan 2018 セミナー	DRESS プロジェクトにおける準天頂衛星を活用したドローンの研究開発状況	楽天 久住
2019/6/28	API 仕様書公開 プレスリリース	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 仕様書公開	NEDO その他連名
2019/7/26	安全なドローン運航のための相互接続シンポジウム	運航統合管理システムの研究開発・実証・API の公開について	NEDO その他連名
2019/9/11	SATEX 衛星測位・位置情報展	みちびき実証実験の紹介	NEDO、楽天
2019/10/3	相互接続試験環境構築プレスリリース	同一空域・複数事業者のドローン運航管理システムとの相互接続試験の環境を構築	NEDO、NEC、 NTT データ、 日立
2019/10/30	相互接続試験プレスリリース	一般ドローン事業者も参加したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功－29 事業者が飛行試験を実施	NEDO、その他連名
2019/11/12	ICAO Drone Enable シンポジウム 展示会	日本の運航管理システムの開発の取り組みを紹介	NEDO、NEC、 NTT データ、 日立
2019/11/22	ふくしま航空宇宙ロボットフェスタ	福島ロボットテストフィールドでの運航管理システムの試験の取り組みを紹介	NEDO、その他
2019/11/28	G 空間 Expo2019	みちびき実証実験の紹介	NEDO、楽天

特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2018/2/28	PCT/JP2018/007453	領域評価システム、方法および記録媒体	日本電気株式会社
2018/3/28	PCT/JP2018/012891	経路決定装置、経路決定方法、及び記憶媒体	日本電気株式会社
2018/11/09	特願 2018-041624	無人航空機離着陸施設管理装置、無人航空機管理方法および無人航空機システム	楽天株式会社
2018/12/27	特願 2018-048215	空域管理システム、空域管理方法およびプログラム	楽天株式会社
2019/3/20	特願 2019-052904	飛行計画調整技術	株式会社 NTT ドコモ 日本電気株式会社
2019 年 10 月	特開 2022-147583	無人航空機運航管理における飛	株式会社日立製作所

		行中の衝突判定方式	
--	--	-----------	--

展示会等（「」内は展示テーマ、（）内は発表日付と発表した委託社名）

[2017 年度]

- ・ C&C ユーザーフォーラム&iEXP02017「ドローン運航管理サービス」（2017/11/9、NEC）
- ・ Japan Drone 2018（幕張メッセ）「安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発 2017 年度研究成果」（2018/3/22-24、NEC コンソ連名）

[2018 年度]

- ・ ふくしまロボットフェスタ（ビッグパレットふくしま）「安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発」（2018/11/22-11/23、NEC コンソ連名）
- ・ Japan Drone 2019（幕張メッセ）「安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発」（2019/3/14、NEC コンソ連名）

[2019 年度]

- ・ Location Business Japan 2019（幕張メッセ）「準天頂衛星×ドローン」（2019/6/12、NEDO/楽天連名）

2.2.1.2 警備業務に対応した運航管理機能の研究開発

(実施者：KDDI 株式会社 テラドローン株式会社)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	ジャパンドローン 2018 NEDO ピッチ	2019/3/23
2	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	インフラメンテナンス国民会議 革新的技術フォーラム	2019/5/10
3	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	大阪商工会議所 「ドローンビジネス研究会」	2019/6/21
4	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	会津若松市 「まち・ひと・しごと創生包括連携協議会」	2019/7/24
5	杉田 博司 尾坐 幸一	KDDI 株式会社 セコム株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	第三者上空飛行検討会	2019/12/6
6	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	ジャパンドローン 2019 NEDO ピッチ	2020/3/14
7	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	第一回 UTM シンポジウム	2020/3/27
8	博野 雅文	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	ドローンカンファレンス	2020/11/1
9	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	「ロボット航空宇宙フェスタふくしま 2019」	2020/11/22
10	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	三重県 「空の移動革命実現に向けたシンポジウム」	2021/2/13
11	杉田 博司	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	第四回 UTM シンポジウム	2021/2/14

展示会出展リスト

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	2018/3
2	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	Japan Drone2019	2019/3
3	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～」	ふくしまロボットフェスタ 2019	2019/11
4	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	Japan Drone2021	2021/6

5	KDDI 株式会社	地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業	ふくしまロボットフェスタ 2021	2021/11
6	KDDI 株式会社	KDDI スマートドローンの取り組みについて	Japan Drone2022	2022/6

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	KDDI 株式会社	スマートドローン実現に向けた取り組み	電子情報通信学会誌	2019/6
2	KDDI 株式会社	スマートドローン実現に向けた取り組み	日本機械学会誌	2019/6

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 テラドローン株式会社 セコム株式会社	2018/3/15
2	国内初、人物検知可能なスマートドローンによるスタジアム警備の実証に成功	KDDI 株式会社 テラドローン株式会社 セコム株式会社	2018/12/18
3	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	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 福島県 南相馬市 日本電気株式会社 株式会社 NTT データ 株式会社日立製作所 株式会社 NTT ドコモ 楽天株式会社 KDDI 株式会社 株式会社ゼンリン 一般財団法人日本気象協会	2019/3/1
4	KDDI、テラドローン、セコム、南相馬市において沿岸部および周辺広域施設のドローン警備実証実験を実施	KDDI 株式会社 テラドローン株式会社 セコム株式会社	2020/3/19
5	KDDI とパーソルプロセス&テクノロジー、ドローンの有人地帯における目視外飛行（レベル4）の実現を目指す運航管理機能の開発などの実証事業を NEDO から受託	KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2020/12/11
6	複数のドローンを管制し、安全な同時飛行を実現する「KDDI スマートドローン」の管制システムを開発	KDDI 株式会社	2021/3/25
7	国内最大規模、全国 13 地域で同時に飛行するドローンの運航管理に成功	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社	2021/11/24

		パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	
8	KDDI と JAL、ドローンの社会インフラ化に向け、1 対多運航の実現を目指す取り組みを開始	KDDI 株式会社 日本航空株式会社	2022/8/26

2.2.1.3 複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発

(実施者：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)

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	加川 敏規 小野 文枝 単 麟 三浦 龍 中臺 一博 干場 幸太郎 公文 誠 奥乃 博 加藤 周 児島 史秀	NICT 東工大 神奈川大学 早稲田大学 産総研	Multi-hop wireless command and telemetry communication system for remote operation of robots with extending operation area beyond line-of-sight using 920 MHz/169 MHz	Advanced Robotics DOI: 10.1080/01691864. 2020.1760934	有り	2020年5月
2	三浦 龍 加川 敏規 小野 文枝 単 麟 松田 隆志 児島 史秀	NICT	Propagation Measurements of Multi-Hop Command and Telemetry Communications System in the 169 MHz Band for Drones	Journal of Robotics and Mechatronics Vol. 38, No. 2 Special Issue on Novel Technology of Autonomous Drone	有り	2021年2月
3	三浦 龍 松田 隆志 小野 文枝 単 麟 越川 三保 松浦 武	NICT	Performance of Multi-hop Command and Telemetry Communication System in 169 MHz Band for Operation of Drones Beyond Line-of-Sight	Advanced Robotics and Mechanical Engineering Vol. 3, Issue 5	有り	2022年9月

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
2	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
3	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	ITヘルスケア学会第12回学術大会	2018年6月

			無線通信技術の開発（本成果を一部含む）		
4	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
5	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
6	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
7	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
8	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
9	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
10	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
11	加川 敏規	NICT	見通し外ドローン運用のための 169MHz 帯無線システムの開発	電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会	2019年5月
12	三浦 龍	NICT	安全なドローンの目視外運航に向けた無線通信技術に関する取組み	北陸地域電波関係研究者ネットワーク	2019年10月
13	三浦 龍	NICT	R&D in NICT on Radio Communication Technologies for Safety Operation of Drones	WPMC2019	2019年11月
14	三浦 龍	NICT	ドローン用遠隔制御・通信技術	次世代安心・安全 ICT フォーラム通信技術部会ワークショップ	2019年12月
15	三浦 龍	NICT	目視外ドローン運航のための 169MHz 帯マルチホップコマンド・テレメトリ	電子情報通信学会 RCC 研究会、RCC2021-17	2021年5月

			通信実験		
16	三浦 龍	NICT	レベル4時代におけるドローンの安全運航のためのワイヤレス技術の研究開発	Society RX 研究会	2021年8月
17	三浦 龍	NICT	レベル4時代の安全な目視外運航のための電波技術	EMC 環境フォーラム	2021年11月
18	三浦 龍	NICT	レベル4時代の安全なドローンの目視外飛行に向けた自営型コマンド・テレメトリ通信技術の開発と実証	SICE 九州フォーラム (計測自動制御学会)	2022年10月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日立製作所	ポスタータイトル：小型無人航空機(ドローン等)の安全運航のためのワイヤレス通信技術～見通し外中継制御通信システムの伝搬評価～／～ドローン位置情報共有システムによる運航管理～	Japan Drone 2018	2018年3月
2	NICT	ポスタータイトル：ドローンの見通し外運用を支援するワイヤレス技術 -マルチホップ中継制御通信システム／ドローン位置情報共有システム	ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2018	2018年5月
3	NICT	ポスタータイトル：見えないところを飛ぶドローンをあやつる！	NICT オープンハウス	2018年6月
4	日立製作所	リーフレットタイトル：複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発	Hitachi Social Innovation Forum 2018 TOKYO	2018年10月
5	NICT	ポスタータイトル：ドローン物流を支える無線技術 見通し外中継制御通信システム コマンドホッパー	ヨコスカ×スマートモビリティ・チャレンジ	2019年1月
6	日立製作所	ポスタータイトル：複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発	Japan Drone 2019	2019年3月
7	NICT	ポスタータイトル：ドローンによる災害対応や物流等を支える無線技術「コマンドホッパー」「ドローンマッパー」～見通し外でのドローンの安全運用をめざして～	耐災害 ICT 研究シンポジウム	2019年3月
8	NICT	ポスタータイトル：ドローン制御向け無線中継技術「コマンドホッパー」 飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る「ドローン位置情報共有システム」	ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2019	2019年5月

9	NICT	ポスタータイトル：ドローン物流を支える無線技術見通し外中継制御通信システム コマンドホッパー	ヨコスカ×スマートモビリティ・チャレンジ 2020	2020年2月
---	------	------------------------------------------------	---------------------------	---------

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	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
2	NICT	災害現場等でのドローンの活動範囲を広げるための無線通信技術	日本ロボット学会誌 vol. 38, no. 3 特集「実災害現場に求められるロボット技術」	2020年3月
3	NICT	目視外・見通し外でドローンを用いるための自営型コマンド・テレメトリ通信技術の開発	計測と制御 第60巻、第4号 特集「環境に打ち克つ「強い」無人システム」	2021年4月
4	NICT	目視外飛行するドローンをつなぐ無線技術 —マルチホップから高高度プラットフォームまで—	IEICE Fundamentals Review Vol. 15, No. 3	2021年11月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ニュースリリースタイトル： 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—運航管理システムのAPIの順次公開を目指す—	日立製作所企業情報 ニュースリリース掲載	2019年3月

2.2.1.4 衛星通信を利用するドローンの運航管理システムの開発

(実施者：スカパーJSAT 株式会社)

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	単麟、加川敏規、小野文枝、三浦龍、児島史秀	NICT	Demonstration Experiment of Inter-Aircraft Communication for Location Sharing of Drone and Helicopter	IEICE Technical Report RCC、vol. 118、no. 343		2018年12月
2	Tasuku Nagoya、Jumpei Kuboniwa、Tetsumi Takamori、Ryu Miura、Fumie Ono、Toshinori Kagawa、Shan Lin	スカパーJSAT、NICT	The experiment of Unmanned Aerial System Traffic Management By using satellite communication and the Solar Plane)	信号処理学会		2020年2月
3	安井一平・佐藤昌之・穂積弘毅・河野敬	JAXA	高アスペクト比翼を有する無人航空機用飛行制御システムの安全性確認	日本航空宇宙学会論文集 2021年69巻1号		2021年2月

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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	原財団特別セミナー	2017年12月
2	三浦龍	NICT	ドローンの商用化に向けた取組みと課題／見通し外遠隔制御の通信技術	総務省情報通信政策研修所特定課題研修	2018年2月
3	加川敏規、単麟、小野文枝、三浦龍、児島史秀	NICT	ドローン運行管理のためのドローン位置情報共有システム -ソーラープレーンを用いた見通し外位置情報共有-	2018年電子情報通信学会総合大会	2018年3月
4	高盛 哲実	スカパーJSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理	Japan Drone 2018 (プレゼンテーション)	2018年3月
5	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	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
6	三浦龍	NICT	無人航空機の安全な見通	ITヘルスケア学会第12	2018年6

			し外運航の実現のための無線通信技術の開発	回学術大会	月
7	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	周波数 資源開発シンポジウム 2018	2018年7月
8	Kazama Harada	スカパーJSAT	Development of UAV Traffic Management System Using Satellite Communication	World of Drone Congress (於: 豪州ブリスベン、プレゼンテーション)	2018年8月
9	三浦龍、加川敏規、単麟、小野文枝、李還幫、児島史秀	NICT	ドローンにおける920MHz帯活用の取組み	電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ/NOLTAソサイエティ大会	2018年9月
10	単麟、加川敏規、小野文枝、三浦龍、児島史秀	NICT	Field Tests on 'Drone Mapper' Location Information and Remote ID Sharing Network in the 920MHz Band for Drones	International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2018)	2018年12月
11	単麟、加川敏規、小野文枝、三浦龍、児島史秀	NICT	Demonstration Experiment of Inter-Aircraft Communication for Location Sharing of Drone and Helicopter	IEICE Technical Report RCC, vol.118, no.344	2018年12月
12	高盛 哲実	スカパーJSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理 平成30年度研究開発成果	Japan Drone 2019 (プレゼンテーション)	2019年3月
13	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	耐災害 ICT シンポジウム	2019年3月
14	Misao Furukawa	スカパーJSAT	Development of UAV System for remote sensing	OUTBACK Aerodrone Symposium 2019 (プレゼンテーション)	2019年9月
15	三浦龍、小野文枝	NICT	安全なドローンの目視外運航に向けた無線通信技術に関する取組み	北陸地域電波関係研究者ネットワーク	2019年10月
16	高盛哲実	スカパーJSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理システムの開発	ロボット航空宇宙フェスタ 2019 (プレゼンテーション)	2019年11月
17	三浦龍	NICT	R&D in NICT on Radio Communication Technologies for Safety Operation of Drones	International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2019)	2019年11月

18	三浦龍、小野文枝	NICT	ドローン用遠隔制御・通信技術	次世代安心・安全 ICT フォーラム通信技術部会 ワクショップ	2019年12月
19	三浦龍、小野文枝、単麟、加川敏規	NICT	飛しょう体間位置情報共有システム「ドローン マッパー」とドローンに必要な測位技術	測位航法学会部会	2020年1月
20	高盛哲実	スカパーJSAT	衛星通信と高高度無人機を利用する無人航空機運航管理 FIMS との接続と HAPS	第4回 UTM シンポジウム (プレゼンテーション)	2020年2月
21	安井一平、佐藤昌之、穂積弘毅、河野敬	JAXA	高アスペクト比翼を有する無人航空機用飛行制御システムの安全性確認	日本航空宇宙学会第51期年会	2020年4月
22	Ryu Miura	NICT	Connection Technologies for Drones -for safety operation beyond LOS-	Kansai-Israel Innovation Seminar	2020年11月
23	三浦龍	NICT	ドローンをつなぐための研究開発	東京電機大-DPN セミナー	2021年6月
24	福田紘大	東海大学	日本が誇る CFRP 技術が切り拓くエコモビリティ開発の最前線	JEC Composite Talks (プレゼンテーション)	2022年12月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	NICT	飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る	ワイヤレス・テクノロジー・パーク (WTP)	2018年5月
2	NICT	飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る	NICT オープンハウス	2018年6月
3	NICT	ドローン物流を支える無線技術	ヨコスカ×スマートモビリティ	2019年1月
4	NICT	ドローンによる災害対応や物流等を支える無線技術～飛ぶモノどうし、お互いの位置を知る～	耐災害 ICT 研究シンポジウム	2019年3月
5	スカパーJSAT	パネル Supporting utilization of drones in industry	Satellite 2017	2017年3月
6	スカパーJSAT	パネル Supporting utilization of drones in industry	Satellite 2018	2018年3月
7	スカパーJSAT	パネル Supporting utilization of drones in industry	Communication Asia 2018	2018年6月
8	スカパーJSAT	パネル 衛星ドローンで目視外飛行	国際ドローン展	2018年4月
9	スカパーJSAT	パネル Controlling drones through HAPS or Satellite in non-visible area, including	Satellite 2019	2019年3月

		ocean and mountain	
--	--	--------------------	--

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	NEDO、スカパーJSAT、NICT	世界初！機体間通信実験に成功 ドローンと有人ヘリ間で互いの位置等を共有	電波タイムズ	2018年3月28日
2	NEDO、スカパーJSAT、NICT	スカパーJSAT・NICTなど、ドローン・ヘリ間の位置情報共有	日本経済新聞電子版	2018年4月9日
3	NEDO、スカパーJSAT、NICT	ドローン・ヘリと情報共有 スカパーなど実験 無線で位置把握	日経産業新聞	2018年4月10日
4	NICT	途切れにくい無線技術によるドローンの安定飛行を目指して	電波技術協会報 FORN、No. 323	2018年7月
5	NICT	ドローンにおける電波利用技術	日本機械学会誌、第122巻、第1207号 ※電子情報通信学会誌とのコラボ企画	2019年6月
6	NICT	ドローンにおける電波利用技術	電子情報通信学会誌、Vol. 102、No. 6 ※日本機械学会誌とのコラボレーション企画	2019年6月
7	スカパーJSAT	山岳救助にドローン活用	読売新聞（夕刊）	2019年7月
8	NICT	災害現場等でのドローンの活動範囲を広げるための無線通信技術	ロボット学会誌、2020年38巻3号	2020年5月
9	東海大学	太陽光ある限り飛び続ける、超軽量ソーラー無人飛行機…東海大開発で世界最優秀賞	読売新聞	2021年6月
10	東海大学	無人飛行機 総合力で世界一 東海大学「ソーラーフェニックス」	毎日新聞	2023年1月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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	NEDO、スカパーJSAT、福島県	2017年12月
2	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—ドローンの安全な目視外飛行を可能とする運航管理システムの実現目指す—	NEDO、スカパーJSAT、NICT	2018年3月
3	衛星通信を利用した衛星ドローンの飛行実験を福島 RTF で実施・成功	スカパーJSAT	2019年1月
4	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	スカパーJSAT	2019年5月
5	衛星ドローンで山岳救助	自社株主通信	2019年11月
6	最大級のソーラー無人機を開発	東海大学	2020年2月

2.2.1.5 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

(実施者：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)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
2	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
3	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
4	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	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
5	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
6	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
7	平木 直哉	日本無線株式会社	「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
8	笹本 貴宏	株式会社SUBARU	「無人航空機による有人機に対する衝突回避技術について」	日本ヘリコプタ協会 2019年度総会・講演会	2019年9月
9	山根 章弘	株式会社SUBARU	UAS Detect and Avoid Technology versus Manned Helicopter	EUROPEAN DRONE SUMMIT 2019	2019年9月
10	笹本 貴宏	株式会社SUBARU	自律的ダイナミック・リルーティング技術の紹介 ～開発から三河湾での実証まで～	あいちロボット産業クラスター推進協議会 第14回 無人飛行ロボット活用ワーキンググループ	2020年3月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
----	----	-----	-------	------

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、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	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	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、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	・展示パネル ・電波・光波衝突回避システムを搭載した中型の無人ヘリコプター	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2018	2018年11月
3	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、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	・展示パネル ・電波・光波衝突回避システムを搭載した中型の無人ヘリコプター ・準天頂衛星システム対応受信機搭載ドローン	Japan Drone 2019	2019年3月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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	NEDO、福島県、南相馬市、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、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	2018年12月
2	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	NEDO、福島県、南相馬市、公益財団法人福島イノベーション・コースト構想推進機構、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、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	2019年7月
3	無人航空機が緊急時でも自律的に危険を回避できる技術を実証	NEDO、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、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所	2019年12月

2.2.1.6 無人航空機の安全航行のための空間情報基盤の開発

(実施者：株式会社ゼンリン)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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
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

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	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

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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	NEDO、ゼンリン他	2019年3月
2	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	NEDO、ゼンリン他	2019年6月
3	一般のドローン事業者も参画したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功	NEDO、ゼンリン他	2019年10月

2.2.1.7 ドローン向け気象情報提供機能の研究開発

(実施者：一般財団法人日本気象協会)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
2	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
3	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
4	森 康彰	日本気象協会	ドローン運航管理システムの開発及び相互接続試験 「ドローン向け気象情報提供機能の研究開発」	第4回 UTM シンポジウム	2020年3月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	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
2	日本気象協会	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
3	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

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	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
2	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
3.	日本気象協会	次世代の空の安全 ドローンの産業活用	Focus NEDO 2019 No.75	2019年12月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	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 —安全で効率的なドローン運航の実現を目指す—	日本気象協会 (プレスリリース)	2017年10月

2	ドローン×気象 ドローン初心者がみた『最先端』をレポート	日本気象協会 (HP)	2017年11月
3	世界初の複数ドローンを活用した広域警備の実証実験を、気象情報でサポート ～KDDI、セコム、テラドローンによる実証実験に「ドローン総合気象情報」を提供～	日本気象協会 (HP)	2018年3月
4	日本気象協会、「Japan Drone 2018」にて講演・展示を実施 ～「ドローン総合気象情報」と最新の気象観測ドローンを紹介～	日本気象協会 (プレスリリース)	2018年3月
5	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 —運航管理システムのAPIの順次公開を目指す—	日本気象協会 (プレスリリース)	2019年3月
6	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 —福島ロボットテストフィールドに相互接続試験の環境を整備—	日本気象協会 (プレスリリース)	2019年6月
7	一般のドローン事業者も参画したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功 —29事業者が飛行試験を実施—	日本気象協会 (プレスリリース)	2019年10月

2.2.1.8 運航管理システムの全体設計に関する研究開発

(実施者：国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	Florence Ho、他	NII	Improved Conflict Detection and Resolution for Service UAVs in Shared Airspace	IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol:68, Issue:2	有	2019年2月
2	Prendinger Helmut、他	NII	Pre-flight conflict detection and resolution for UAV integration in shared airspace: Sendai 2030 model case	IEEE Access, vol:7, Issue:1	有	2019年11月
3	Atsushi Oosedo、他	JAXA	Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Simulation of Drone Delivery Models in 2030 Japan	Journal of Robotics and Mechatronics, 33巻, 2号	有	2021年4月

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
3	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 2018)	2018年3月
4	原田 賢哉	JAXA	R&D of UAS Traffic Management in Japan	Global UTM Association Asia Pacific Conference 2018	2018年3月
5	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
6	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
7	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
8	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
9	Florence	NII	Simulating Shared Airspace	The 17th International	2018年7月

	Ho、他		for Service UAVs with Conflict Resolution	Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems	月
10	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
11	原田 賢哉	JAXA	R&D and Related Activities on UTM in Japan	UAS Traffic Management (UTM) International Conference	2018年10月
12	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-	国際航空宇宙展 2018 空飛ぶクルマ・シンポジウム	2018年11月
13	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	2018年12月
14	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
15	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
16	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
17	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
18	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
19	Prendinger Helmut、他	NII	飛行計画申請~承認プロセスのライブデモ	第1回 UTM シンポジウム	2019年3月
20	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
21	Florence Ho、他	NII	Multi-Agent Path Finding for UAV Traffic Management	International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems	2019年5月
22	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
23	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
24	久保 大輔	JAXA	Lessons Learned through UAS/UTM R&D in Japan	Global UTM Association Annual Conference 2019	2019年6月

25	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 (名古屋)	2019年9月
26	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3回 UTM シンポジウム (大阪)	2019年9月
27	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
28	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	危機管理産業展 (RISCON) 2019 セミナー	2019年9月
29	大瀬戸 篤司、他	JAXA	無人航空機の運航管理システムとその運用コンセプトのシミュレーション評価	日本航空宇宙学会 第57回飛行機シンポジウム	2019年10月
30	久保 大輔、他	JAXA	無人航空機の Remote ID 技術とその有人航空機飛行安全への応用の基礎検討	日本航空宇宙学会 第57回飛行機シンポジウム	2019年10月
31	虎谷 大地、他	ENRI	Altitude Reference System for Small Unmanned Aircraft Systems to Resolve Altitude Discrepancies with Manned Aircraft	ICAO' s Drone Enable/3 Symposium 2019	2019年11月
32	原田 賢哉	JAXA	同一空域における複数ドローンの飛行のための運航管理コンセプトとシミュレーションによる検証	ロボット・航空宇宙フェスタ ふくしま 2019	2019年11月
33	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの開発状況	第2回大分県ドローン物流検討会	2020年1月
34	原田 賢哉	JAXA	無人航空機の運航管理システムとそれを取りまく動向	SJAC 無人航空機システム検討委員会 勉強会 (第3回)	2020年1月
35	原田 賢哉	JAXA	ドローン運航管理システムの開発状況	第4回 UTM シンポジウム	2020年2月
36	Prendinger Helmut、他	NII	飛行前の飛行計画干渉の検出と解決 (CDR) 手法 ~アルゴリズム、シミュレーション、および結果~	第4回 UTM シンポジウム	2020年2月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	JAXA	ポスター展示	平成30年度 JAXA 調布航空宇宙センター一般公開	2018年4月
2	JAXA	ポスター展示	JAXA 航空宇宙シンポジウム 2018	2018年10月
3	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
4	JAXA	ポスター及び	Japan Drone 2019	2019年3月

		運航管理シミュレータ展示		月
5	JAXA	シンポジウム開催	第1回 UTM シンポジウム	2019年3月
6	JAXA	ポスター展示	平成31年度 JAXA 調布航空宇宙センター 一般公開	2019年4月
7	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
8	JAXA	シンポジウム開催	第2回 UTM シンポジウム（ドローン運航 管理シンポジウム名古屋）	2019年9月
9	JAXA	シンポジウム開催	第3回 UTM シンポジウム（ドローン運航 管理シンポジウム大阪）	2019年9月
10	JAXA	ポスター展示	ICAO' s Drone Enable/3 Symposium 2019	2019年11月
11	JAXA	シンポジウム開催	第4回 UTM シンポジウム	2020年2月

2.2.1.9 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発

(実施者：日本電気株式会社 株式会社日立製作所 株式会社NTTドコモ KDDI株式会社 Terra Drone株式会社 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ 国立研究開発法人 情報通信研究機構 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 宇宙航空研究開発機構)

特許件数・出願リスト（出願済み2件）

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
特願 2020- 055777	飛行体の不要な動態情報に起因する処理負荷や通信負荷の増加を抑制しながら、飛行状況及び周辺状況に応じた適切な態様で飛行体の動態情報を登録する。	株式会社日立製作所	動態情報登録システム及び動態情報登録方法	出願	2020年3月26日
特願 2022- 149226	補正量算出装置、移動体測位システム、補正量算出方法、及び補正量算出プログラム	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所	補正量算出装置、移動体測位システム、補正量算出方法、及び補正量算出プログラム	出願	2022年9月20日

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	三浦龍 小野文枝 加川敏規 単麟 松田隆志 児島史秀	NICT	レベル4時代におけるドローンの安全運航のためのワイヤレス技術の研究開発	Society RX 研究会	2021年8月5日
2	三浦龍 単麟 松田隆志、 小野文枝 李還幫 松村武	NICT	レベル4時代の安全な空域共有に向けた機体間通信技術の開発	航空医療学会総会	2021年11月19日
3	三浦龍	NICT	レベル4時代の安全な目視外運航のための電波技術	EMC 環境フォーラム	2021年11月24日
4	三浦龍	NICT	レベル4時代の安全なドローンの目視外飛行に向けた自営型コマンド・テレメトリ通信技術の開発と実証	SICE 九州フォーラム (計測自動制御学会)	2022年10月7日
5	三浦龍 松田隆志、	NICT ナシユア	UAVの920MHz帯機体間通信システムの開発とその自動追従飛行	第60回飛行機シンポジウム（日本航空宇宙学	2022年10月11日

	単麟 越川三保 松村武 森英明	ソリュー ションズ (株)	及び接近回避への応用実験	会)	
6	久保 大輔	JAXA	ポータブル ADS-B による有人航空機の位置情報共有とドローン運航者の状況認識向上	日本航空宇宙学会 第 60 回飛行機シンポジウム	2022 年 10 月
7	久保 大輔	JAXA	Electronic Conspicuity デバイス (ポータブル ADS-B 等) による有人航空機の動態把握技術	日本航空宇宙学会 第 59 回飛行機シンポジウム	2021 年 11 月
8	真道 雅人	JAXA	無人航空機と有人航空機の空域共有における安全性・運航効率評価のためのシミュレータ開発	日本航空宇宙学会 第 59 回飛行機シンポジウム	2021 年 11 月
9	Jorg Entgiger	JAXA	Modeling Low Level Flight Patterns of Manned Aircraft from Actual Flight Tracking Data	2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology	2021 年 10 月
10	Daisuke Kubo	JAXA	Manned and Unmanned Aircraft Coordination through UTM for Efficient Disaster Relief Operations	ICAO Drone Enable 2021	2021 年 4 月
11	古賀 禎	MPAT	RTF/南相馬における有人機位置探知システムの研究開発について	超異分野学会 福島ロボットテストフィールド開所記念フォーラム 2020	2020 年 11 月
12	古賀 禎	MPAT		新聞掲載記事 (福島民報社)	2020 年 11 月
13	古賀 禎	MPAT	学会発表 IEEE ICNS2021 (オンライン) Research and Development of a manned aircraft surveillance system for UTM		2021 年 4 月
14	古賀 禎	MPAT	マルチラレーション技術を用いた有人機の位置探知システムの開発について	第 60 回飛行機シンポジウム	2022 年 10 月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	NICT	ドローンの安全・安心を支える無線技術	ワイヤレス・テクノロジー・パーク (WTP2021)	2021 年 6 月 2 日~4 日

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	NICT	目視外・見通し外でドローンを運用するための自営型コマンド・テ	計測と制御 (計測自動制御学会)	2021 年 4 月 1 日

		レメトリ通信技術の開発		
2	NICT	目視外飛行するドローンをつなぐ無線技術 —マルチホップから高高度プラットフォームまで—	電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ誌 Fundamental Review	2022年1月1日
3	NICT	レベル4時代の安全な目視外運航のための電波技術	月刊 EMC	2022年11月号（予定）
4	NICT	ドローン同士の直接通信で編隊飛行、相互の接近を回避 NICT が実証実験に成功 空の安全性向上へ	ロボスタ	2022年4月11日
5	NICT	NICT、ドローン同士の直接通信による自動飛行に成功	マイナビニュース	2022年4月11日
6	NICT	NICT、ドローン同士の直接通信で自動追従群飛行と自律接近回避に成功	日本経済新聞、ドローンジャーナル	2022年4月11日～12日
7	NICT	ブロードキャスト通信を用い相互の位置を確認、ドローンが自力で衝突回避	電波タイムズ	2022年4月12日
8	NICT	NICT、ドローン同士の直接通信による自動追従群飛行と自律接近回避に成功	Digital Shift Times	2022年4月12日
9	NICT	NICT、4機のドローンが自律的に「群飛行」「接近回避」する実証に世界初成功	CNET Japan	2022年4月12日
10	NICT	NICT、ドローン4機の群飛行に成功。自ら接近回避も	Excite ニュース	2022年4月13日
11	NICT	NICT、ドローン4機の群飛行に成功。自ら接近回避も	TECHABLE、mixi	2022年4月13日
12	NICT	世界初、ドローン同士の直接通信で自動追従群飛行と自律接近回避に成功、多数のドローンが飛び交う時代における運用の効率化と空の安全性の向上へ	PR Times、読売新聞オンライン、RBB Today、Drone Wiki、JAcom、	2022年4月11日～13日
13	NICT	ドローン衝突回避技術、ドローン同士で位置情報交換	日刊工業新聞	2022年4月14日
14	NICT	ドローンが自律編隊飛行、互いに通信衝突回避、NICT がシステム	電気新聞	2022年4月14日
15	NICT	4機のドローンを安全に編隊飛行、NICT が世界初の制御技術	日経クロステック、日経エレクトロニクス	2022年4月14日
16	NICT	ドローン4機の群飛行と自律接近回避に成功 NICT が実証実験、新システム開発	電波新聞	2022年4月14日
17	NICT	ドローン4機の群飛行と自律接近回避に成功 NICT が実証実験、新シ	Taiwan Tech Stage	2022年4月14日

		STEM開発		
18	NICT	ドローン編隊、情報通信研究機構が世界初の制御技術	日本経済新聞	2022年4月15日
19	NICT	ドローン同士が直接通信、物流や災害対応など多様な応用が可能に	電経新聞	2022年4月18日
20	NICT	ドローン研究最前線	BSフジ ガリレオX (放映)	2022年6月26日、7月3日(再放送)

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	世界初、ドローン同士の直接通信で自動追従群飛行と自律接近回避に成功 ～多数のドローンが飛び交う時代における運用の効率化と空の安全性の向上へ～	NICT	2022年4月11日

2.2.1.10 運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発

(実施者：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 株式会社ウェザーニューズ)

特許件数・出願リスト（出願済み1件）

番号	内容	出願人	特許名	状態	出願年月
1	動態管理に関わる特許	株式会社日立製作所	運航管理システム、運航管理方法及び運航管理プログラム	出願済み	2021/3/23

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	中台慎二	日本電気株式会社	Auction, Auction, Negotiation Negotiation and Auditand Audit	GUTMA Harmonized Skies 2021/ Airspce Fairness	2021/6/11
2	木島憲一	日本電気株式会社	運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発	DRESS 研究成果報告会	2022/5/20
3	木島憲一	日本電気株式会社	ドローン運航管理システムの研究開発	第60回飛行機シンポジウム	2022/10/11

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)	Japan Drone 2020	2020/9/29
2	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)	ロボット・航空宇宙フェスタ ふくしま 2020	2020/11/27
3	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)、実証実験動画	Japan Drone 2020	2021/6/14
4	コンソ全体	パネル(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発)、実証実験動画	ロボット・航空宇宙フェスタ ふくしま 2020	2021/11/19

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	複数拠点で接続した運航管理統合機能の実証試験に成功	プレスリリース	2021/5/20

2.2.1.11 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

（実施者：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ACSL マゼランシステムズジャパン株式会社）

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	笹本 貴宏	株式会社SUBARU	1A03 無人航空機の有人機に対する衝突回避技術の開発	第58回飛行機シンポジウム	2020年11月
2	三輪田 学	株式会社SUBARU	安全・安心のための無人航空機の衝突回避技術の研究	安全工学シンポジウム2021	2021年7月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
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、株式会社ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	Japan Drone 2020	2020年9月
2	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ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2020	2020年11月
3	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ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	Japan Drone 2021	2021年6月
4	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ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社	無人航空機の運航管理システムの開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の紹介パネル及び動画	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2021	2021年11月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	世界初、相対速度200km/hでの小型無人航空機の自律的な衝突回避に成功	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、マゼランシステムズジャパン株式会社、株式会社ACSL	2021年11月

2.2.1.12 空の道を組み込んだ統合型情報提供機能の実用化

(実施者：株式会社ゼンリン)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	横須賀玲 央	スマートシティ 推進部	空の道を組み込んだ統合 型情報提供機能の実用化	第38回新産業技術促進 検討会シンポジウム	2022年5 月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	ドローン用の地理空間情報に関する国際規格が発行	ゼンリン、日本気象協 会、三菱総合研究所	2021年9 月

2.2.1.13 地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発

(実施者：一般財団法人日本気象協会)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	森 康彰	日本気象協会	地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発	JapanDrone2020 NEDO ブース プロジェクト紹介プレゼン	2020年9月
2	森 康彰	日本気象協会	地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発～風を味方に、空の安全を実現するドローン気象API サービスの実装～	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」最終成果報告会	2022年5月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日本気象協会	パネル・動画展示 (NEDO ブース内)	Japan Drone2020 : パネル展示 (NEDO ブース内)	2020年9月
2	日本気象協会	パネル・気象観測機材・動画展示 (NEDO ブース内)	Japan Drone2021 : パネル展示 (NEDO ブース内)	2021年6月
3	日本気象協会	パネル・動画展示 (NEDO ブース内)	ロボット・航空宇宙フェスタ ふくしま 2021 : 展示 (NEDO ブース内)	2021年11月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1.	日本気象協会	DRESS 研究成果報告	日刊工業新聞	2022年7月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	日本発の提案、“ドローン用の地理空間情報に関する国際規格”が発行～ドローン運航管理システムに係る国際規格として、世界で初めての発行～	日本気象協会 (プレスリリース)	2021年9月

2.2.1.14 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業

(実施者：KDDI株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	杉田 博司	KDDI株式会社	KDDIスマートドローンの取り組みについて	三重県 「空の移動革命実現に向けたシンポジウム」	2021年2月
2	杉田 博司	KDDI株式会社	KDDIスマートドローンの取り組みについて	第四回 UTM シンポジウム	2021年2月
3	清國 将義	パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	点検・警備・物流、3つの実証実験を支えたパーソルP&Tの「ドローン導入効果検討サービス」とは？	ドローンの社会実装を見据えた先駆的企業が語る！最新ユースケースの事例紹介（警備・点検・物流）と実証実験を支える「ドローン導入効果検討サービス」とは？	2022年6月
4	岡田 健司	パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	ドローン運航管理システムを使ったユースケースの紹介と研究成果報告の活用方法について	自治体のドローン利活用の事例紹介とサービス JIS への期待	2022年7月
5	岡田 健司	パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	ドローンソリューションサービスの紹介	第一回ドローンサミット	2022年9月
6	清國 将義	パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	導入効果検討支援サービスについて	第一回ドローンサミット	2022年9月
7	岡田 健司	パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	パーソルP&Tのドローンソリューションサービスのご紹介	CEATEC2022	2022年10月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	「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」の目的や研究内容	JapanDrone2021	2021年6月
2	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	「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」の目的や研究内容	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま 2021	2021年11月
3	KDDI株式会社	KDDIスマートドローンの	Japan Drone2022	2022年6月

		取り組みについて		月
--	--	----------	--	---

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1.	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	空の産業革命に向けて ドローンが日本の空から 届ける新しい未来	日本経済新聞 朝日新聞	2022年2月
2.	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	「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」 の目的や研究内容	NEDO Channel - You Tube	2022年3月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	KDDI とパーソルプロセス&テクノロジー、ドローンの有人地帯における目視外飛行（レベル4）の実現を目指す運航管理機能の開発などの実証事業を NEDO から受託	KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2020年12月
2	複数のドローンを管制し、安全な同時飛行を実現する「KDDI スマートドローン」の管制システムを開発	KDDI 株式会社	2021年3月
3	国内最大規模、全国13地域で同時に飛行するドローンの運航管理成功に関する記者説明会	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2021年11月
4	ドローンが安全に飛び交う社会の実現を促進させる研究成果を発表 -ビジネスモデルの構築方法と、災害時の有効活用について提言-	パーソルプロセス&テクノロジー	2022年2月
5	NEDODRESS ドローン社会実装に向けた地域実証成果発表会	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 KDDI 株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社	2022年2月
6	KDDI と JAL、ドローンの社会インフラ化に向け、1対多運航の実現を目指す取り組みを開始	KDDI 株式会社 日本航空株式会社	2022年8月

2.2.2.1 電波・光波センサ統合技術の開発

(実施者：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)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	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
3	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

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	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	電波・光波センサ統合技術の開発成果	Japan Drone 2018	2018年3月
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	電波・光波センサ統合技術の開発成果 ・展示パネル ・電波・光波衝突回避システムを搭載した中型の無人ヘリコプター	Japan Drone 2019	2019年3月

2.2.2.2 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

(実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社)

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	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
2	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
3	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

2.2.2.4 衝突回避システムの小型化・低消費電力化の研究開発

(実施者：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)

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL	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 3) 衝突回避システムの小型化・低消費電力化	Japan Drone 2020	2020年9月
2	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL	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 3) 衝突回避システムの小型化・低消費電力化	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2020	2020年11月
3	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL	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 3) 衝突回避システムの小型化・低消費電力化	Japan Drone 2021	2021年6月
4	日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL	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 3) 衝突回避システムの小型化・低消費電力化	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2021	2021年11月

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	NEDOの公募による“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”採択に関するお知らせ	日本アビオニクス	2020年8月
2	「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」に採択されました	日本無線株式会社	2020年8月
3	「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」採択に関するお知らせ	株式会社ACSL	2020年8月

2.2.2.5 準天頂衛星システムに対応した受信機、アンテナ小型化・低消費電力化の研究開発
 (実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社)

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	岸本信弘	マゼランシステムズジャパン株式会社	The Progress Report for the 3rd Gen. Module & Digital ASIC	国際ドローン展 特別講演	2021年11月

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
1	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	G空間 EXP02021	2021年12月
2	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	衛星測位・位置情報展 (SATEX) 2022	2022年2月
3	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	東京メトロ展示会	2022年4月
4	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル	JapanDrone2022	2022年6月
5	マゼランシステムズジャパン株式会社	パネル、モックアップ	国際フロンティアメッセ 2022	2022年9月

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	マゼランシステムズジャパン株式会社	連載：電子の統合商社 明光電子の製品紹介③ 準天頂衛星システムによる誤差数センチ以内の測位精度を実現！ 多周波マルチ GNSS 測位モジュール	TRON&IoT 技術情報マガジン「TRONWARE VOL. 196」(2022年8月号)	2022年8月

2.3.2 デファクトスタンダード

(実施者：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、特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構、学校法人玉川学園玉川大学)

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	横小路, 横井		World Robot Summit 製品組立チャレンジ	計測と制御, Vol. 56,		2017
2	横小路, 河井, 柴田, 相山, 琴坂, 植村, 野田, 土橋, 阪口, 横井		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		採録予定
3	横小路 泰義, 河井 良浩, 柴田 瑞穂, 相山 康道, 琴坂 信哉, 植村 渉, 野田 哲男, 土橋 宏規, 阪口 健, 横井 一仁		World Robot Summit 2018 ものづくりカテゴリー競技「製品組立チャレンジ」の概要	日本ロボット学会誌		2019
4	Yasuyoshi Yokokohji, Yoshihiro Kawai, Mizuho Shibata, Yasumichi Aiyama, Shinya Kotosaka, Wataru Uemura, Akio Noda, Hiroki Dobashi, Takeshi Sakaguchi and Kazuhito Yokoi		Assembly Challenge: a robot competition of the Industrial Robotics Category, World Robot Summit? summary of the pre-competition in 2018	Advanced Robotics		2019
5	横小路 泰義, 野田 哲男		205X 年の日本のある製造現場の風景	STEM制御情報学会会誌 システム/制御/情報		2019
6	野田 哲男		ロボットシステムインテグレーションのレベル分類と WRS における安全確保の取組み	機械設計		2020
7	Joe Falco, Kenneth Kimble, Karl Van Wyk, Elena Messina, Yu Sun, Mizuho Shibata, Wataru Uemura, Yasuyoshi Yokokohji		enchmarking Protocols for Evaluating Small Parts Robotic Assembly Systems"	EEE Robotics and Automation Letters		2020
8	Mizuho Shibata, Hiroki Dobashi, Wataru Uemura, Shinya Kotosaka, Yasumichi Aiyama, Takeshi Sakaguchi, Yoshihiro Kawai, Akio Noda, Kazuhito Yokoi &		Task-board task for assembling a belt drive unit,	Advanced Robotics		2020

	Yasuyoshi Yokokohji				
9	岡田 浩之、稲邑 哲也、 和田 一義		World Robot Summit サービスカテゴリーは 何を競ったのか”	日本ロボット学 会誌、37 巻、3 号	
10	Jesus Savage, David A. Rosenblueth , Mauricio Matamoros, Marco Negrete, Luis Contreras, Julio Cruz, Reynaldo Martell, Hugo Estrada, Hiroyuki Okada		Semantic reasoning in service robots using expert systems	Robotics and Autonomous Systems, Volume 114,	2019
11	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Hiroki Igarashi, Yoshikazu Ohtsubo, Noritaka Sato, Masaru Shimizu, Soichiro Suzuki, Tomoichi Takahashi, Shin' ichiro Nakaoka, Mika Murata, Mitsuru Takahashi, Yumi Morita and Elena Mary Rooney,		The World Robot Summit Disaster Robotics Category – Achievements of the 2018 Preliminary Competition,	Advanced Robotics,	2019
12	横小路泰義, 河井良浩, 柴田瑞穂, 相山康道, 琴 坂信哉, 植村渉, 野田哲 男, 土橋宏規, 阪口 健, 前田雄介, 横井一仁		world Robot Summit 2020 ものづくりカテ ゴリー競技「製品組立 チャレンジ」の概要	第 64 回システム 制御情報学会研 究発表講演会論 文集	2020
13	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植 村渉, 横小路泰義		ベルトドライブユニッ ト組立のためのタスク ボードの開発	第 64 回システム 制御情報学会研 究発表講演会論 文集	2020
14	西村和樹, 土橋宏規		平行グリッパによる個 体差に依存しない自動 組付けの実現に向けた タイミングベルトの形 状測定	第 64 回システム 制御情報学会研 究発表講演会論 文集	2020
15	野田哲男		産業用ロボットの申し い価値基準の創生	第 64 回システム 制御情報学会研 究発表講演会論 文集	2020
16	K. Tatemura and H. Dobashi: Strategy for Roller Chain Assembly with Parallel Jaw		The 2020 IEEE International Conference on Robotics and	ICRA 2020	2020

	Gripper		Automation		
17	野田哲男, 相山康道, 河井良浩		World Robot Summit (WRS)における安全に関する取り組み, システム/制御/情報	システム制御情報学会誌	2020
18	野田哲男		日本機械学会, 機械工学年鑑 17.3 産業分野	日本機械学会	2020
19	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植村渉, 横小路泰義		RS2018 競技用タスクボードを用いた複数ロボットアームによる組立作業の分析	システム制御情報学会論文誌, Vol. 34	2021
20	村川涼, 土橋宏規		丸ベルトのプーリへの組付作業における難度要素の検討, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	(SI2021) 講演論文集	2021
21	Yuka Kanaya and Hiroki Dobashi		Case Study on a Grasping Strategy of a Cylindrical Part along Inner Sides of a Parts Tray Using a Parallel Stick Fingered Hand	roc. of the 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2022)	2022
22	K. Nishimura and H. Dobashi		Robust assembly strategy of a timing belt in the belt drive unit against its shape uncertainty with a single parallel jaw gripper,	Advanced Robotics,	2022
23	横小路泰義, ものづくり競技委員会(産総研ほか):		WRS2020 ものづくり競技の総括	第22回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集	2021
24	野田哲男, ものづくり競技委員会(産総研ほか)		WRS2020 ものづくり競技における安全衛生ルールは何をもたらしたか?,	22回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグ	2021

				レーション部門 講演会論文集		
25	柴田瑞穂, 土橋宏規, 植 村渉, 横小路泰義		World Robot Summit 2020 ものづくりカテゴ リー 「タスクボード競技」 の競技結果および分 析,	第 22 回 公益社 団法人 計測自動 制御学会システ ムインテグレー ション部門講演 会論文集		2021
26	琴坂信哉		国際ロボット競技会開 催!	埼玉新聞		2021
27	琴坂信哉		特別寄稿 World Robot Summit 2020 製 品組み立てチャレンジ を終えて	FA ロ ボットシステム インテグレータ 協会会報誌 【JARSIA】		2022
28	Luis Contreras, Yosuke Matsusaka, Takashi Yamamoto, Hiroyuki Okada,		sDSPL - Towards a benchmark for general-purpose task evaluation in domestic service robots	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan		2021
29	Yosuke Matsusaka, Luis Contreras, Hiroyuki Okada, Yuka Iwanaga, Takashi Yamamoto,		公平性と民主性を両立 させた RoboCup 用競 技シミュレーションシ ステムの開発	The 39- th Annual Conference of the Robotics Society of Japan		2021
30	Arata Sakamaki, Luis Contreras, Yumiko Muto, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		ホームサービスロボッ トによる物体認識のた めのアクティブセンシ ング戦略	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
31	Leo Miura, Yumiko Muto, Luis Contreras, Yoshiaki Mizuchi, Hiroyuki Okada,		パーソ ナルモビリティを活用 した人とロボットの協 調	The 39-th Annual Conference of the Robotics Society of Japan,		2021
32	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium		2021

			filter		
--	--	--	--------	--	--

学会発表・シンポジウム講演等リスト

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	岡田、横小路、田所		2020年 World Robot Summitは何を競うのか？	日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017) オープンフォーラム OF3, 東洋大学 川越キャンパス	2017
2	横小路他		World Robot Summit 製品組立チャレンジの競技デザイン	第18回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2017), 1D1-02, 仙台国際センター	2017
3	横小路		World Robot Summit ものづくり分野では何を競うのか？	龍谷大学セミナーハウス ともいき荘	2018
4	江口, 岡田		If You Give Students a Social Robot - World Robot Summit Pilot Study :	HRI 2018, McCormick Place, Chicago, IL, USA	2018
5	TAN, 水地, 萩原, 稲邑		Representation of Embodied Collaborative Behaviors of Embodied Collaborative Behaviors in Cyber-Physical Human-Robot Interaction with Immersive User Interfaces	HRI 2018, MacCormick Place, Chicago, IL, USA	2018
6	田所, 横小路, 木村, 河井, 和田		World Robot Summit について	第23回ロボティクスシンポジウム (ONS1), 静岡県焼津市松風閣	2018
7	岡田, 田所, 横小路		2020年 World Robot Summitは何を競うのか？	第36回 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018) オープンフォーラム OF1, 中部大学 春日井キャンパス	2018
8	岡田		World Robot Summit パートナーロボットチャレンジで何を競うのか？」	第36回 日本ロボット学会学術講演会 RSJ2018	2018
9	Luis Contreras, Hiroki Yokoyama, Hiroyuki Okada,		Multimodal feedback for active robot-object interaction”	arXiv preprint arXiv	2018
10	岡田		「ロボットと暮らす未来の社会」	WRS2018 フォーラム	2018
11	横小路		横小路	第19回 計測自動制御学会 システ	2018

				ムインテグレーション 部門講演会 (SI2018) 1D1-01, 大阪工業大学 梅田キャンパス	
12	野田		WRS ものづくり競技 2018 のル ール策定の背景について	第 19 回 計測自動制御 学会 システムインテ グレーション部門講演 会 (SI2018) 1D1-09, 大阪工業大学 梅田キ ャンパス	2018
13	横小路, 野田		WRS (World Robot Summit) もの づくり競技ランチョンセミナー	第 19 回 計測自動制御 学会 システムインテ グレーション部門講演 会 (SI2018), 大阪工業 大学 梅田キャンパス	2018
14	横小路		World Robotics Summit (WRS) 2018 製品組み立てチャレンジの 結果と WRS2020 へ向けての課題	計測自動制御学会 シ ステムインテグレーシ ョン部門 マニピュレ ーション部会 マニピ ュレーション冬の学 校, 大阪工業大学 梅 田キャンパス	2018
15	横小路		WRS ものづくりカテゴリーでは 何を競うのか? - 競技会を通し ての次世代生産システムの開発 促進 -	第 173 回 産学交流サ ロン「ひびきのサロ ン」, 北九州学術研究 都市 学術情報センタ ー	2019
16	横小路		コンペティションによる次世代 生産システムの開発促進と人材 育成 ~World Robot Challenge 2018 ものづくりカテゴリーを 例として~	第 12 回 製造・物流等 分野ロボット導入実証 ワーキンググループ, あいちロボット産業ク ラスタ-推進協議会, 安保ホール	2019
17	琴坂、野田		World Robot Challenge 2018 の成果及びコン ペティションを活かした人材育 成・技術力向上について	第 12 回 製造・物流等 分野ロボット導入実証 ワーキンググループ, あいちロボット産業ク ラスタ-推進協議会, 安保ホール	2019
18	横小路 泰義, 田所 諭, 岡田 浩之		020 年 World Robot Summit は何 を競うのか?, RSJ2019 オープ ンフォーラム	早稲田大学	2019
19	河井 良浩		ロボットの知能化に向けた産総 研の取り組みについて, 中国地 域産総研技術セミナー	山口	2019

20	Yasuyoshi Yokokohji:		World Robot Summit (WRS) Assembly Challenge - Results of WRS 2018 and Outlook for WRS 2020	IROS 2019 Work Shop: autonomous assembly	2019
21	野田 哲男		WRSにおける安全確保の取組みと協働ロボットの安全設計例,	2019 国際ロボット展 併催セミナー 協調安全 Safety2.0 が拓く生産革新と協調安全ロボットのシステム構築術	2019
22	植村 渉		工場におけるオートメーション化を目指したロボット競技大会の紹介 RoboCup IndustrialとWorld Robot Summit-ものづくりカテゴリー・製品組立チャレンジの現状とこれから, インフラメンテナンスにおけるロボット活用シンポジウム	土木学会技術推進機構インフラマネジメント新技術適用推進委員会	2020
23	鈴木 壮一郎、大金 一二、奥川 雅之、大坪 義一、木村 哲也、田所 諭		狭隘空間を想定した災害対応ロボット用 STM 競技タスクの開発 -World Robot Summit インフラ災害・対応カテゴリープレ大会の事例報告-	第 37 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2019AC1G1-06, 2019 ・大金 一二、“「WRS インフラ・災害対応カテゴリー競技では何を競い、何を計るのか?” レスキュー工学シンポジウム	2019
24	村川涼, 土橋宏規		ゴムベルトの組付け作業の難度評価方法	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
25	金谷由佳, 土橋宏規		平行スティック指汎用ハンドによる仕切りに接した円柱部品把持のための操作戦略	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
26	横小路 泰義		[講演] World Robot Summit 「製品組立チャレンジ」～ロボット競技会を通じての次世代生産システム開発の促進～	本機械学会中国四国支部技術フォーラム 2020 ものづくり産業のためのロボット技術～これから先, 何が可能で何が必要か～	2020
27	本佳典、永野光、田崎勇一、横小路泰義		組立作業の直接教示と再生に適したマクロ・マイクロロボットの運動学シミュレーション環境の構築,	第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2020
28	吉田知正、永野光、		ロボットによる精密組立の事前	第 21 回計測自動制御	2020

	田崎勇一、横小路泰義		検証のための シミュレーション手法に関する研究	学会システムインテグレーション部門講演会, 1G1-16, 福岡	
29	K. Tatemura and H. Dobashi		Study on Generality of Roller Chain Assembly Strategy with Parallel Jaw Gripper, Proc	2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2021)	2021
30	M. Fukunishi, H. Dobashi and Y. Yokokohji:		Optimal Design of Rotational Chuck-type Hand with Three Parallel Stick Fingers for Assembly Tasks through Grasp Optimization	2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2021),	2021
31	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge	2021
32	Kenichi Ohara		Stock and Disposal Task	, Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
33	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task	orkshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
34	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
35	Daisuke Yamamoto,		Robot development in a short period of time by Team U.T.T.” , Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
36	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
37	Gustavo Garcia		Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
38	Tsuyoshi Tasaki,		Champion’ s Challenge for Future Convenience Store Robots” , Workshop on Future Convenience Store Challenge,	IEEE/SICE SII	2021
39	Gakushi Maruyama,		Introduction of Intelligent	Workshop on Future	2021

			Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving, and watching	Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	
40	Masashi Seki,		Team TAK' s approach to the WRS FCSC”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
41	鈴木 壮一郎, 木村 哲也,		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot Summit インフラ・災害対応カテゴリでのケーススタディ, ”計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会	SI2020	2020
42	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki,		results of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk,	2021
43	Jesus Savage, Diego Cordero, Luis Contreras, Marco Negrete, Oscar Fuentes, Hiroyuki Okada		Learning tools for mobile robot localization using visual landmarks and the extended Kalman filter	In Proceedings of the 24th RoboCup International Symposium,	2021
44	Noriaki Ando		Overview of WRS FCSC2020	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
45	Kenichi Ohara,		Stock and Disposal Task” , Workshop on Future Convenience Store Challenge, I	EEE/SICE SII	2021
46	Mihoko Niitsuma		Customer Interaction Task”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
47	Kazuyoshi Wada		Restroom Cleaning Task”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE	2021

				SII	
48	Daisuke Yamamoto		Robot development in a short period of time by Team U. T. T.” , Workshop on Future Convenience Store Challenge	IEEE/SICE SII	2021
49	Ryo Sakai,		A mobile dual - arm robot for stocking and disposing task in the competition of WRS FCSC”	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
50	Gustavo Garcia,		“Toward WRS 2020: Lessons learned in the Future Convenience Store Challenge 2018 and 2019	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
51	Tsuyoshi Tasaki,		“Champion’ s Challenge for Future Convenience Store Robots	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
52	Gakushi Maruyama		Introduction of Intelligent Space(iSpace) into convenience store - Proposal of a system for sales promotion, labor saving, and watching -	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
53	Masashi Seki,		Team TAK’ s approach to the WRS FCSC	Workshop on Future Convenience Store Challenge, IEEE/SICE SII	2021
54	鈴木 壮一郎, 木村 哲也		感染症対策を考慮したロボット競技会運営, World Robot Summit インフラ・災害対応カテゴリーでのケーススタディ	計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020)	2020
55	Satoshi Tadokoro, Tetsuya Kimura, Masayuki Okugawa, Katsuji Oogane, Masaru. Shimizu, Shinichiro Nakaoka, Yoshikazu Ohtsubo, Soichiro Suzuki, Tomoichi. Takahashi		Results of the Disaster Robotics Category of World Robot Summit Preliminary Competition	SPRINT Robotics Conference Invited Talk	2021

展示会出展リスト

番号	所属	展示物	展示会名称	発表年月
----	----	-----	-------	------

1	日刊工	WRS 競技広報	ロボカップジュニア・ジャパンオープン 2019 和歌山	2019. 4. 28~29
2	日刊工	WRS 競技広報	IGRA モントリオール	2019. 5. 20~24
3	日刊工	WRS 競技広報	スマートファクトリーJapan 2019	2019. 6. 5~7
4	日刊工	WRS 競技広報	RoboCup2019 世界大会 (シドニー、オーストラリア)	2019. 7. 2~8
5	日刊工	WRS 競技広報	中小企業 新ものづくり・新サービス展 大阪	2019. 11. 6~8
6	日刊工	WRS 競技広報	中小企業 新ものづくり・新サービス展 東京	2019. 12. 4~6
7	日刊工	WRS 競技広報	2019 国際ロボット展	2019. 12. 18~21
8	日刊工	WRS 競技広報	ひろしま AI・IoT 進化型ロボット展示会	2020. 12. 10~11
9	日刊工	WRS 競技広報	ロボテス EXPO 2021	2021. 3. 18~19
10	日刊工	WRS 成果報告	ロボカップアジアパシフィック 2021 あいち	2021. 11. 25~28
11	日刊工	WRS 成果報告	スマートファクトリーJapan 2021	2021. 12. 1~3
12	日刊工	WRS 成果報告	2022 国際ロボット展	2022. 3. 9~12
13	日刊工	WRS 成果報告	ロボテス EXPO 2022	2022. 9. 15~16
14	日刊工	WRS 成果報告	Japan Robot Week 2022	2022. 10. 19~21
15	日刊工	WRS 成果報告	IROS 京都	2022. 10. 24~26
16	日刊工	WRS 成果報告	高校生ロボットシステムインテグレーション 競技会	2022. 12. 10~11
17	日刊工	WRS 成果報告	防災産業展 2023	2023. 2. 1~3(予定)

学会誌・雑誌、新聞等掲載リスト

番号	所属	記事名	新聞・雑誌等名称	発表年月
1	日刊工	各種掲載	日刊工業新聞 掲載 期間 記事多数につき一部 PU	2016. 10. 8~2022. 1. 116
2		ワールドロボットサミット、来年プレ大会ーロボ人材の裾野拡大に好機	日刊工業新聞 ピックアップ	2017. 01. 04
3		ワールド・ロボット・サミット、経産省と NEDO が概要公表ーものづくりなど 4 競技	日刊工業新聞 ピックアップ	2017. 04. 11
4		ロボットの未来 (上) カーネギーメロン大学ワイタカー記念全学教授・金出武雄氏	日刊工業新聞 ピックアップ	2017. 09. 08
5		経産省と NEDO、ワールド・ロボット・サミットの競技者募集を開始	日刊工業新聞 ピックアップ	2018. 01. 24
6		WRS きょう開幕 ロボの現在・未来を発信	日刊工業新聞 ピックアップ	2018. 10. 17
7		WRS、来年開催へ準備着々	日刊工業新聞 ピックアップ	2019. 07. 30

8		WRS 2020、アンバサダーに俳優のディーン・フジオカ氏	日刊工業新聞 ピックアップ	2020.02. 13
9		新型コロナ／「WRS 2020」延期 コロナ影響、チーム集結難しく	日刊工業新聞 ピックアップ	2020.04. 20
10		WRS、愛知・福島で今秋開催 経産省・NEDO	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.07. 19
11		経産省など、WRSサイト開設 ロボ競技をライブ配信	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.09. 02
12		WRS 2020、きょう開幕 ロボ競技に多様なシーン	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.09. 09
13		WRS福島大会、きょう開幕 「工場守れ」ロボ活躍	日刊工業新聞 ピックアップ	2021.10. 08
14		WRSアイデアコンテスト、山形大発VBと愛知工業大を表彰	日刊工業新聞 ピックアップ	2022.03. 15

ニュースリリース、プレスリリース

番号	記事名	発表元	発表年月
1	WRS 2018開催について	経済産業省	2018.9
2	WRSについて	経済産業省	2019.6
3	WRSアンバサダーにディーンフジオカさんが就任します	経済産業省	2020.2
4	WRS 2020の開催を延期します	経済産業省	2020.4
5	WRS 2020を開催します	経済産業省	2021.7