

# 空飛ぶクルマに関する技術戦略文書

---

成熟度レベル 4 に向けた技術戦略

2026 年 5 月



## 目次

<b>1. 本文書の概要</b> .....	<b>1</b>
1.1 本文書の目的 .....	1
1.2 本文書の位置づけ .....	1
1.3 本文書における目指すべき空飛ぶクルマの実装イメージ .....	2
1.4 空飛ぶクルマの技術の概要 .....	4
1.4.1 空飛ぶクルマとは .....	4
1.4.2 空飛ぶクルマを構成する要素技術 .....	5
<b>2. 空飛ぶクルマの要素技術における技術課題</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 機体 .....	7
2.1.2 動力 .....	10
2.1.3 バッテリー .....	14
2.1.4 装備品 .....	18
2.1.5 製造技術（構造材料、アセンブリ技術） .....	23
2.1.6 CNS .....	25
2.1.7 地上システム .....	32
2.1.8 システム関連技術 .....	41
<b>3. 日本の強みとなる技術分野</b> .....	<b>44</b>
3.1 日本の強みとなる分野の選定方針 .....	44
3.2 機体メーカー等への技術採用実績のある分野 .....	45
3.2.1 機体メーカーおよび運航事業者との連携状況 .....	45
3.2.2 日本の強みとなる分野の選定 .....	48
3.3 他産業において日本が技術的優位性を獲得している分野であり、空飛ぶ クルマ産業への技術活用が期待される分野 .....	52
3.3.1 日本が強みを持つ産業分野に関する分析 .....	52
3.3.2 日本の強みとなる分野の選定 .....	61
3.4 技術力強化の必要な分野 .....	62
3.4.1 空飛ぶクルマ産業における重要インフラの確保および経済安全保 障上重要な分野の整理 .....	62
3.4.2 成熟度レベル4に向けて特に技術力強化が求められる分野 .....	64
3.5 まとめ .....	72
<b>4. 技術開発の進め方</b> .....	<b>74</b>
4.1 技術開発の方向性 .....	74

4.2 技術分野ごとの技術開発の進め方 .....	75
4.2.1 動力 .....	75
4.2.2 バッテリ .....	76
4.2.3 素材 .....	78
4.2.4 アセンブリ技術 .....	78
4.2.5 給電システム .....	79
4.2.6 交通管理システム .....	80
4.2.7 通信システム .....	81
4.2.8 監視・衝突回避（機上装備品関連） .....	82
4.2.9 制御・誘導（機上システム関連） .....	82
4.2.10 システム関連技術 .....	83
4.3 空飛ぶクルマの社会実装に向けたその他重要な課題 .....	85
4.3.1 インフラの統合システムに関する課題 .....	85
4.3.2 社会受容性の向上に関連する課題 .....	85
<b>Appendix1. 国内における空飛ぶクルマに関する研究開発プログラムの本文書への反映 .....</b>	<b>86</b>

## 1. 本文書の概要

### 1.1 本文書の目的

本文書は、次世代の航空モビリティとして期待される「空飛ぶクルマ」について、今後我が国の強みとなる要素技術分野および注力すべき分野を整理し、それら分野を中心に今後の技術開発の方向性を示すものである。これにより、国内機体メーカーによる製品開発・認証の後押し、および海外への市場展開を見据えた国際競争力のある装備品開発に繋げ、国内における空飛ぶクルマに関わる様々な企業間の協業促進、研究開発促進に寄与することを目的とする。

### 1.2 本文書の位置づけ

本文書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下 NEDO）「次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクト(通称：ReAMo プロジェクト)／全体アーキテクチャ・要素技術調査（以下 本事業）」(2022 年度(令和 4 年度)～2026 年度(令和 8 年度))の成果の一部を公表用として作成したものである。

本事業では、ドローン・空飛ぶクルマ・既存航空機を含めた低高度空域サービスに関する全体アーキテクチャを設計し、今後の段階的なサービス実装に向けた運航、ビジネス、ルール・基準、社会的影響のあり方をデザインするとともに、これを実現するために必要な要素技術のロードマップを策定し、今後の技術戦略を取りまとめることを目的としている。

これらの目的を達成するため、本事業のうち要素技術調査・検討にあたっては、ドローン・空飛ぶクルマに関する機体メーカー・部品メーカー、研究機関、学識経験者等で構成された「要素技術 WG」を設置し、国内における将来の自動・自律飛行、高密度運航の実現に向けた要素技術について協議、整理すると共に、さらなる調査が必要な要素技術を設定し、専門的な深掘り調査を実施した。要素技術 WG では令和 3 年度の NEDO 委託業務「空飛ぶクルマの先導調査研究」の一環で策定した「要素技術ロードマップ」の更新・策定を実施している。当該ロードマップでは、別途定義した成熟度レベルに対応した要素技術の要求値とそれを実現する手段・方式を整理したものである。

本文書では、当該ロードマップで整理した、空飛ぶクルマの要素技術に関する網羅的な要求値やそれを実現する手段・方式をベースに、空飛ぶクルマの要素技術における技術課題を整理した上で、今後日本が強みとして技術開発を加速させていくべき分野および注力すべき分野に関する技術開発戦略を整理する。

なお、本文書は、空飛ぶクルマに関する要素技術の開発メーカー、研究開発機関が使用する場合には、各企業における研究・開発戦略の検討、企業間での協業分野の検討に資する文書として活用されることを想定する。また官公庁、自治体などの公的機関が本文書を使用する場合には、空飛ぶクルマの社会実装／導入補助等において対象となる技術分野の検討などに資する文書となることを想定するものである。

### 1.3 本文書における目指すべき空飛ぶクルマの実装イメージ

本文書において目指すべき空飛ぶクルマの実装イメージは、ReAMo プロジェクトの前身の事業である 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」において策定した、我が国における短期～中長期的な社会実装を見据えた、空飛ぶクルマの成熟度レベルのフレームワークに基づき設定する。

「成熟度レベルフレームワーク」とは、多様な空飛ぶクルマの社会実装を実現するために必要な技術の成熟段階を整理したものであり、空飛ぶクルマの技術開発の現状把握や今後の目標設定を行う際に、機体や装備品、周辺システムといった様々な技術領域を包含する統一的な“ものさし”として活用することを想定したものである。本文書は、6段階の成熟度レベルのうち成熟度レベル 4 における運航イメージの実現を目指すものである。

表 1-1 に成熟度レベル 4 における運航イメージの基本要素を整理する。図 1-1 には成熟度レベル 4 における運航イメージを示す。

機体の操縦については、機上パイロット有りの機体の運航に加え、遠隔操縦・遠隔監視・自律飛行を含む機上パイロット無しの機体の運航が始まることが想定される。飛行環境としては、VMC 飛行環境に加え、IMC 相当の飛行環境における飛行が行われている。

空域の利用方法としては、空飛ぶクルマの運航密度が特に高いルートは AAM コリドーが設定・導入され、空飛ぶクルマの離着陸頻度が特に高いバーティポート周辺には空飛ぶクルマ専用バーティポート空域が設定されることが想定される。AATM サービスを空飛ぶクルマおよびバーティポート管理者および、AASA 内の空域利用者も利用し、AAM 機体—管制—バーティポート管理者での情報連携だけでなく、ATM と AATM 関係者間での情報連携が実施した交通管理が導入される。離着陸場では、離着陸順位調整、パット管理等の離着陸管理の自動化が導入されている。

就航率、移動距離等の運航想定の基本要素については、空の移動革命に向けた官民協議会ユースケース検討会で検討された、我が国の中長期的なユースケースをベースとし、3大都市（エアタクシー・2次交通等）と地方都市（地方都市間交通等）の2つを整理した。3大都市（エアタクシー・2次交通等）ユースケースについては、短中距離での高密度・高頻度運航をコンセプトとして設定されている。地方都市（地方都市間交通等）ユースケースでは、地方部における低頻度・長距離運航をコンセプトとし、機上パイロット無し運航を始めとする、運航に関わるシステムの自動化レベル向上による、運航サービス価格の低価格化を目指すものである。両ユースケースで共通する要素としては、運航の信頼性を示す就航率については旅客機と同等レベルとして 95～99%を目指すものとしている。

表 1-1 成熟度レベル 4 における運航イメージの基本要素

成熟度レベル 4 における運航イメージの基本要素		
空域	<ul style="list-style-type: none"> <li>AAM コリドーの設定： 空飛ぶクルマの運航密度が特に高いルートに設定</li> <li>空飛ぶクルマ専用パーティポート空域の設定： 空飛ぶクルマの離着陸頻度が特に高いパーティポートに設定</li> </ul>	
飛行環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>VMC に加え、IMC 相当の飛行環境における飛行</li> </ul>	
離着陸場へのアクセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>場外離着陸場、パーティポート、空港への空飛ぶクルマの離着陸場設置に加え、 人口密集地内(交通・観光拠点、建物屋上、商業オフィスエリア)における離着陸場の設置</li> </ul>	
機上のパイロットの有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	
運航想定① 3 大都市(エアタクシー・2 次交通等)	就航率	<ul style="list-style-type: none"> <li>95～99%</li> </ul>
	運航密度	<ul style="list-style-type: none"> <li>大阪湾程度の空域(50km 四方程度)で、同時に最大 20～50FLT 程度(路線数の増加を想定)</li> </ul>
	運航頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>パーティポート・空港：離陸・着陸計 20 回/1 時間</li> </ul>
	移動距離	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大片道 60km 程度</li> </ul>
運航想定② 地方都市(地方都市間交通等)	就航率	<ul style="list-style-type: none"> <li>95～99%</li> </ul>
	運航密度	<ul style="list-style-type: none"> <li>各エリアで、同時に最大 5FLT 程度</li> </ul>
	運航頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>パーティポート・空港：離陸・着陸計 4 回/1 時間</li> </ul>
	移動距離	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大片道 100km 程度 (想定ユースケース：地方空港間経路におけるエアタクシーによる観光客の輸送)</li> </ul>

出所)三菱総合研究所作成

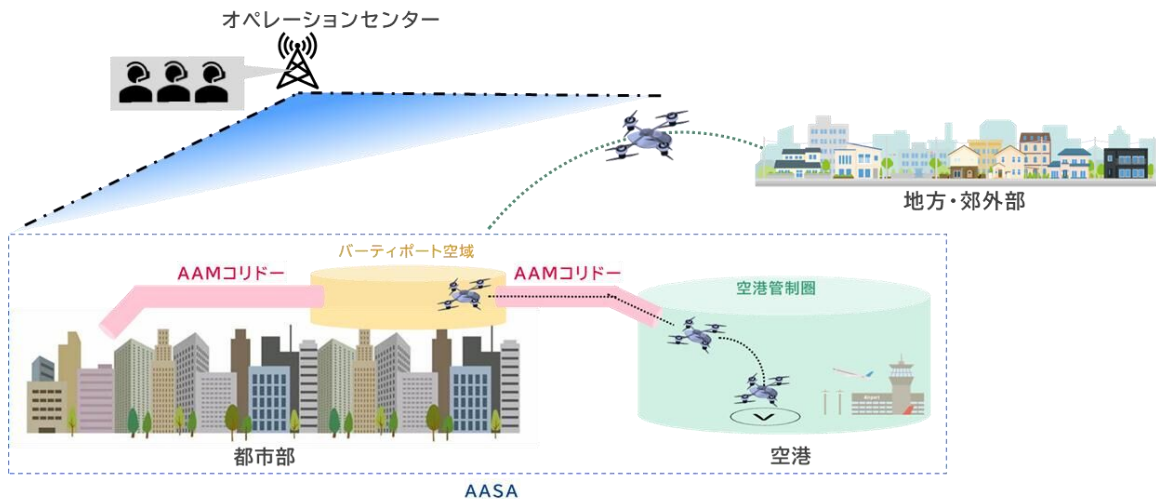


図 1-1 成熟度レベル 4 における運航イメージ(都市部)

出所)三菱総合研究所作成

※空の移動革命に向けた官民協議会 空飛ぶクルマの運用概念を参考に運航イメージを整理

## 1.4 空飛ぶクルマの技術の概要

### 1.4.1 空飛ぶクルマとは

「空飛ぶクルマ」は、「**電動化、自動化**といった航空技術や**垂直離着陸**などの運航形態によって実現される、利用しやすく持続可能な次世代の空の移動手段」である。<sup>1</sup>なお、空飛ぶクルマには無人航空機であるドローンは含まれない。

我が国では、人口減少・少子高齢化に伴う都市部への人口集中や地域経済の疲弊、グローバル化の進展に伴う厳しい国際競争への対応、大規模地震などの自然災害のリスク、地球規模の気候変動や SDGs への対応といった多くの課題に直面している。<sup>2</sup>空飛ぶクルマは、都市部での送迎サービス、離島や山間部での移動手段、災害時の救急搬送などへの活用により、これらの様々な社会課題の解決策として期待されている。更には、人や物の移動において、長距離の輸送に多く用いられている航空機をより身近で手軽な移動手段として活用するための新しい乗り物として、より豊かな体験を享受できる未来社会の実現に貢献するものとして期待されている。諸外国では、eVTOL ( Electric Vertical Take-Off and Landing aircraft) や AAM (Advanced Air Mobility) /UAM (Urban Air Mobility) と呼ばれ、次世代エアモビリティとして欧米企業を中心に型式証明取得に向けた活動が進んでおり、我が国の航空局当局としても各国航空当局との連携が図られている。

空飛ぶクルマは、航空法上は航空機に分類され、その内垂直離着陸飛行機、マルチロータと規定される。空飛ぶクルマは、**電動化、自動化、垂直離着陸**の 3 つの特徴をそなえており、従来の航空機よりもずっと身近な移動手段になると考えられている。

電動化は、従来のヘリコプター等と比較して、CO<sub>2</sub> 排出量を抑え、部品点数が減ることによって製造や整備にかかる費用を低減し、低騒音化が可能になると考えられている。また、動力を電化することは、自動飛行におけるシステム設計との親和性が高いことも期待されている。一方で、中長期的な空飛ぶクルマのユースケースでは、都市間・地方間を運航する長距離の飛行ニーズも想定され、フル電動だけではなく内燃機関とのハイブリッド推進の必要性が検討され始めており、柔軟な対応・検討が必要である。

自動化は、将来的には操縦者が搭乗せず機体自身が状況を判断しながら飛行を行うことができる状態を示す。自動化は、操縦の自動化のみを指すだけでなく、運航管理、離着陸場管理運用等の空飛ぶクルマの運用に関わる様々な業務における自動化が目指されており、これらが自動化されることで利用料金の低減に繋がることが期待されている。空飛ぶクルマの商業運航の開始は 2020 年代後半が目標時期とされているが、商業運航開始当初は操縦士が搭乗した状態で機体を操縦することが想定される。その後、中長期的にはパイロットが搭乗しなくても目的地まで飛行可能な自動化が進むと考えられている。

<sup>1</sup> 日常的な移動手段として利用するイメージで「クルマ」と称されているが、航空法上の航空機に該当し、必ずしも道路を走行する機能を有しているわけではない。また、必ずしも「電動」「自動」「垂直離着陸」だけに限定されず、内燃機関とのハイブリッド推進や有人操縦、水平離着陸のものも開発されている。

<sup>2</sup> 空の有働革命に向けた官民協議会 空飛ぶクルマの運用概念

自動飛行が実現すれば、操縦士に関わる運航コストを削減でき、また航空業界の将来課題となっているパイロット不足に伴う制約等からも解放されることが期待されている。

垂直離着陸は、滑走路を必要とせず、離着陸場から垂直に離陸・着陸することが可能であることを意味する。従来のヘリコプターと比較して省スペースでの離着陸が出来るようになることが期待されていることから、一般的な航空機より身近な移動手段になると考えられている理由の1つとなっている。

このように、空飛ぶクルマが注目されるようになった背景には、空飛ぶクルマを特徴づける電動、垂直離着陸、自動のそれぞれに関わる要素技術が発達し、機体システムとしての実現が見えてきたことが大きい。我が国では、2023年に開催された第9回「空の移動革命に向けた官民協議会」において我が国として初めて、空飛ぶクルマの運用概念（ConOps）が発表され、空飛ぶクルマを我が国で実現し、さらにその規模や運用を拡大していくために必要となる主要な構成要素と関係者について説明がなされた。また、2023年度には2025年開催の大阪・関西万博における空飛ぶクルマの旅客輸送の実現に向けた基準整備を完了し、今後は2020年代後半に向けて機体多様化・自律化・高密度化・就航率向上等に対応した環境整備を進める方針が示された。これら発表により、我が国における空飛ぶクルマの社会実装の実現イメージの整理、環境整備が進められ、2025年度には空飛ぶクルマの導入フェーズの更新および各フェーズの運航イメージの具体化等を目的としてConOpsの改訂が実施されたことで、空飛ぶクルマの商業運航開始の実現可能性が増し、空飛ぶクルマに関わる様々なステークホルダの検討促進および新規参入の原動力となっていると考えられる。

#### 1.4.2 空飛ぶクルマを構成する要素技術

空飛ぶクルマを構成する要素技術を特定し、要素技術ごとに技術課題を整理する。要素技術の構成整理の仮説としては、機体、動力、電源、装備品、製造技術、CNS（インフラ）、地上システム、システム関連技術の大区分から構成されるとし、各区分において要素技術を細分化し整理する。具体的な整理区分を以下および図1-2に示す。

- 機体
- 動力
- バッテリー
- 装備品
  - CNS 装備品
  - FMS
  - 制御システム
  - 監視・衝突回避
  - クラッシュワージネス
- 製造技術
  - 構造材料
  - アセンブリ技術

- CNS
  - 通信
  - 航法
  - 監視
- 地上システム
  - フリート管理
  - 交通管理システム
  - 給電システム
  - 気象システム
  - 3D マップ
- システム関連技術

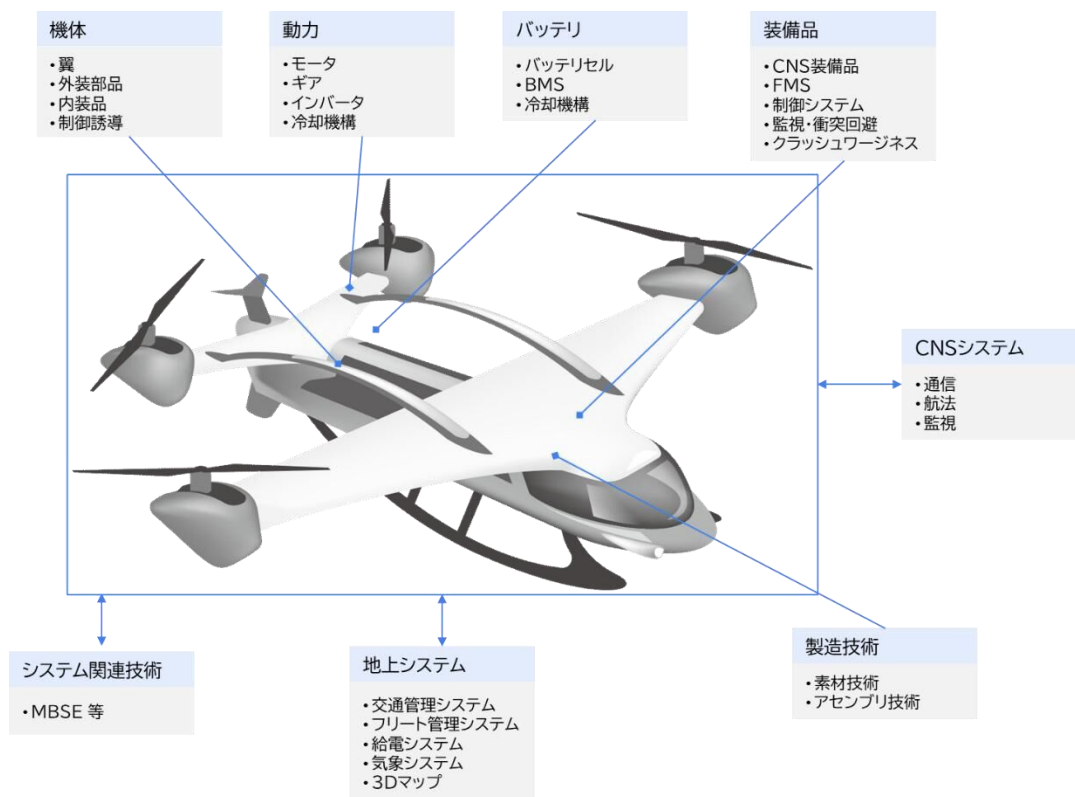


図 1-2 空飛ぶクルマを構成する要素技術

出所)三菱総合研究所作成

## 2. 空飛ぶクルマの要素技術における技術課題

### 2.1.1 機体

#### (1) 技術動向

2020 年代前半から 2020 年代後半にかけてサービス開始が計画されている主な機体の仕様情報を表 2-1 に示す。表 2-2 には、Volocopter 社における空飛ぶクルマの機体のタイプごとの性能等の比較分析結果を示す。機体の方式には Vectored thrust, Lift&Cruise, Multirotor 等があり、Vectored Thrust 方式の機体は航続距離が 195-300km と比較的長く、座席数も 5 であるのに対して、Lift&Cruise 方式の機体は航続距離 50-120km で座席数は 4、Multirotor 方式の機体は航続距離が 35-65km 程度で座席数は 2 で設計されている。Volocopter 社の分析では、ユースケースによって開発する機体のタイプが異なることが示されており、都市部での運用では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 型が適していると分析できる。例えば Volocopter 社が注力している Multicopter 型は安全性やシステムの簡素さ、低騒音性といった特徴から都市部での運用が適している。一方で、航続距離が比較的長く、座席数も比較的多い Vectored Thrust 方式の機体は都市間、地方間等の中長距離の運用が適している。Vectored Thrust 方式のうち Tiltwing 方式と Tiltduct 方式の違いについては、NASA のレポート<sup>3</sup>によると、速度や航続距離等の性能については大きな違いはないものの、ダクト付きプロペラは騒音を低減、遮断させる可能性があり、Tiltduct 方式は音響の観点では都市内移動手段として活用可能性があることを示唆されている。

<sup>3</sup> NASA Langley Research Center , <https://sacd.larc.nasa.gov/wp-content/uploads/sites/167/2022/02/WhitesidePollard2022-Tiltduct.pdf>






表 2-1 2020 年代後半にかけてサービス開始が計画されている主な機体

事業者/製品名	Volocopter /VoloCity <sup>4</sup>	Joby Aviation /S4	Vertical Aerospace /VA-X4	Ehang /Ehang 216	Beta Technologies /ALIA A250
イメージ図					
推進方式	Multicopter	Vecored Thrust	Vecored thrust	Multicopter	Lift + Cruise
座席数	2	5(パイロット 1、乗客 4)	5(パイロット 1、乗客 4)	2	6(パイロット 1名、乗客 5名)
質量	900kg (MTOW)	2,404kg (MTOW)	公開情報なし	620kg (MTOW)	3,175kg (MTOW)
ペイロード	200kg	453kg (約 1,000lb)	450kg	220kg	635kg
形状	長さ: 11.3m 幅: 11.3m 高さ: 2.5m	全長: 7.5m 翼幅: 10.57m 高さ: 3.76m	翼幅: 15m 長さ: 13m	全長: 6.05m 翼幅: 5.73m 高さ: 1.93m	翼幅: 15.2m
速度	最高速度: 110km/h 巡航速度: 92km/h	最高速度: 321km/h(200 mph)	巡航速度: 241km/h	最高速度: 130km/h 巡航速度: 約 100km/h	250 km/h
航続距離	35km	160km	161km	35km (最大ペイロードの場合)	402km
飛行可能時間	公開情報なし	1 時間以上	公開情報なし	21 分	1 時間以上

出所) 各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

<sup>4</sup> Volocopter 社は 2024 年 12 月に破産申請を行うと発表したが、引き続き事業継続を模索しており(2025 年 1 月時点)、本表には含めることとする。

表 2-2 機体タイプごとの性能等の比較

機体タイプ	Multirotor	Lift+Cruise	Vectored Thrust		Helicopter
			Tiltrotor/Tiltwing	Ducted Vectored Thrust	
イメージ図					
ミッション	Urban	Sub-Urban/Inter-City	Sub-Urban/Inter-City	Urban/Sub-Urban/Inter-City	Urban/Sub-Urban/Inter-City
安全性	◎	○	△	○	○
システムの簡素さ	◎	○	△	△	△
低騒音性	◎	△	△	◎	△
燃費・コスト	Urban/Sub-Urbanでは効率的	長距離飛行では、Vectored Thrustと比較し巡航飛行で効率悪化	離着陸での効率が悪化	ホバリング中の効率が悪化	化石燃料の利用と高いオペレーションコストがネック
航続距離[km]	35-65	50-120	195-290	200-330	>400
速度[km/h]	50-110	50-195	195-320	250-300	>210
備考	巡航効率に欠ける為、市場が短距離運用に限られる	小さいプロペラサイズの為、ブレード先端速度が増加し、騒音放出に課題	複雑なプロペラ機構により、機体サイズと重量が大きくなる	ホバリング中は、観測距離100mで60dB未満の会話による騒音レベル	-

出所) Volocopter, THE ROADMAP to scalable urban air mobility White paper 2.0, [https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/20210324\\_Volocopter\\_WhitePaper\\_Roadmap\\_to\\_scalable\\_UAM\\_m.pdf](https://volocopter-statics.azureedge.net/content/uploads/20210324_Volocopter_WhitePaper_Roadmap_to_scalable_UAM_m.pdf) に基づき三菱総合研究所作成(閲覧日:2024年12月9日)

空飛ぶクルマにおける推進システムの方式としては、モータとバッテリーで構成される All electric、あるいは内燃機関とモータ、バッテリーで構成される Hybrid electric による推進システムの適用が検討されている。短期的には All electric 推進システムの機体が主流となっており、試験・実証レベルでの開発は進んでいるものの、認証機として航続距離が 200km を超えるものは現時点では存在しておらず、都市間および都市-地方間の運用における航続距離の長いユースケースへの活用は困難な状況にある。このような背景を踏まえ、近年では、航続距離を延ばすために Hybrid electric 推進システムを選択する機体メーカーが現れ始めている。特に、米国 ASKA の開発機体は航続距離 402km を達成しており、FAA 型式証明の活動が進行している。また、新しい推進方式として水素燃料を活用した推進システムも検討されている。各推進システムに関して、航続距離が 200km を超える主な事例（コンセプト段階含む）を表 2-3 に示す。

表 2-3 推進システム方式ごとの航続距離

推進システム		メーカー	機体	航続距離
All electric		Lilium	7-seater Lilium Jet	250km (運航可能範囲: 175 km)
		Beta Technologies	ALIA-250	500km (試験段階)
Hybrid electric	ガスタービン発電機とバッテリー	本田技研工業	Honda eVTOL	400km (コンセプト段階)
	ガスタービン発電機と、バッテリーリチウムイオン電池とガソリン駆動のレンジエクステンダーとして機能するエンジンによる電源システム	ASKA (NFT)	ASKA	402km (当該スペックにおいて FAA 型式証明の認証活動が進行中)
	ガスタービン発電機とバッテリー	Zuri	Zuri 2.0	700km (コンセプト段階)
	ガスタービン発電機とバッテリー (今後、水素燃料電池への置き換えを検討中)	Dufour Aerospace	Aero3	1,020km (コンセプト段階)

出所) 各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

ガスタービンによる Hybrid electric 推進システムの開発事例としては、Honeywell 社と Rolls-Royce 社の事例が挙げられる。ガスタービン発電機と電池を組み合わせたハイブリッドシステムにおける出力密度は、リチウムイオン電池の 5 倍、燃料電池の約 2 倍に相当するとされており、将来的な空飛ぶクルマの航続距離の長距離化やペイロードの拡大等の技術課題に対応するため、容量密度や出力密度の高い動力源としてハイブリッド向けのターボジェネレーターの開発が活発化している。

## (2) 技術課題

空飛ぶクルマの機体コンセプトは、Multirotor、Vectored Thrust、Lift&Cruise といった機体方式や、採用する推進システムの方式 (All electric、Hybrid electric 等) に応じ、実現される機体サイズや飛行時間、飛行速度、積載量等の特徴が異なることから、オペレータのビジネスモデルやサービス構想に応じ、適切な機体設計が行われ、動力や電源、アビオニクス等のコンポーネントの要求仕様に基づき、装備品の開発あるいは調達が行われる。

その上で、機体開発の技術課題としては、機体認証の取得とサービス要求性能を満足する観点から、以下が挙げられる。

- 要求水準に見合った推力、空力性能、電費、耐久性、量産性、キャビン快適性の確保
- 飛行性能 (離陸、上昇、着陸等)、飛行性 (操縦性、トリム、安定性等)、強度の確保
- 安全性、信頼性の確保
- 社会受容性獲得に向けた騒音、排気ガス等の低減
- サービスの高度化に向けた新たな機体コンセプトの検討 (自動自律化、大型化、高速化、航続距離延伸等)

特にサービスの高度化に向けた新たな機体コンセプトの検討における自動自律化は、現行の航空機の操縦・運用においては、複数の関連情報に基づいてパイロットまたは管制官等が判断し実行している機能についてはその判断基準の指標化・定量化およびアルゴリズムの検討が困難であることから、実現には技術的ブレークスルーが必要になると考えられる。

### 2.1.2 動力

#### (1) 技術動向

モータシステムは、モータ、インバータ、ギア、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

モータの海外メーカーは MAGicALL、Siemens、YASA などが挙げられる。各社のモータの製品仕様を表 2-4 に示す。MAGicALL 社のモータについて連続出力時の出力密度が 5.5kW/kg のように、軽量・高出力のモータ製品が各社から発表されている。エアバス社は、2022 年に電動垂直離着陸機 (eVTOL) 「CityAirbus NextGen」のモータ供給元として同社を選定している。トルク密度については、Siemens 社の SP200D の 30.6Nm/kg が最大となっている。一方、最大出力は 75~204kW で推移しており、各社が発表する機体コンセプトに基づくと特に離着陸に要する出力 (Joby S4 の例では 642kW) 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 (ペイロードの削減等)、あるいは当面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適用といった方法で解消する必要があると考えられる。

表 2-4 海外メーカーのモータ製品仕様

会社名	米 MAGicALL	独 Siemens	英 YASA
モデル	(公開情報からは不明)	SP200D	P400RHC
写真			
出力密度 (kW/kg) ※連続出力時	5.5	5.2	4.2
最大出力 (kW)	75	204	160
連続出力 (kW)	60	204	20-100
回転数 (rpm)	(公開情報からは不明)	1300	8,000
トルク (Nm)	最大 130	最大 1500	最大 370
重量 (kg)	11	49	24
トルク密度 (Nm/kg)	最大 11.8	最大 30.6	最大 15.4

出所)公開情報に基づき三菱総合研究所作成

モータシステムの冷却方式としては、使用する冷媒の種類によって一般的に空冷、水冷、油冷が存在する。モータの各冷却方式の特徴と適用事例を表 2-5 に示す。

空飛ぶクルマ用のモータには、モータのハウジングの外側に冷却ファンが付くだけのシンプルな構成で、部品点数の削減により重量軽減と、故障率が低く信頼性の高いシステムの実現が可能な空冷方式の適用が期待されている。液冷方式は高い冷却性能が期待でき、電気自動車等への活用事例が多数存在する一方で、構造が複雑化することによるシステム重量と部品点数が増加することから、空飛ぶクルマ用のモータとしては技術課題が大きい。

国内メーカーであるデンソーは Honeywell 社と共同開発を進め、出力 100kW 級モータの放熱を空冷により実現するため、ロータから得る冷却風の分析により高効率な空冷設計に反映しているほか、モータ自体にファンを搭載した強制冷却方式を並行して検討している。デンソーが米 Honeywell 社と共同開発したモータは、重量 4kg、出力 100kW



タシステムの発熱が大きくなった際には、モータシステム単体だけではなく機体システム全体での熱マネジメントシステムの開発が必要になる。

また、電動エンジンの認証ガイドラインとされている ASTM F3338-21 “Standard Specification for Design of Electric Engines for General Aviation Aircraft”においては、電磁干渉 (EMI)、高強度放射電磁界 (HIRF)、雷等の耐環境性要求や、異物、氷の吸い込みや鳥衝突等に対する安全性要求が示されている。これらへの対応として、フィルタ部品の挿入や電磁シールド構造を考慮したうえでパフォーマンスを落とさない設計や、空冷方式において異物吸い込み等の影響を最小限に抑える冷却構造を検討することが必要になると想定される。

### 2.1.3 バッテリ

#### (1) 技術動向

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電池（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、放電時にはモータシステム等による負荷、充電時には充電器を通じて電力（ $[W] = \text{電圧}[V] \times \text{電流}[A]$ ）を出し入れする。

リチウムイオン電池の構成では、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、実現可能な容量密度に限界（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。次世代型の電池系としては、リチウム硫黄電池（Li-S）、リチウム空気電池（Li-Air）等が存在する。これらは容量密度を理論的には大幅に向上するものの、サイクル寿命に課題があるとされている。また、液体電解質を用いず、固体電解質がイオン伝導とセパレータの両方の役割を果たす全固体電池がある。全固体電池は、現行 LiB と比較し、充電速度の大幅な向上が可能である他、安全性が高い、動作温度範囲が広い、充電時の発熱による劣化が起きにくい等の特長がある。

また、空飛ぶクルマの航続距離延伸のためには、バッテリーによるフル電動推進方式だけでなく、発電機と組み合わせたハイブリッド推進システムの採用も考えられる。

以下、代表的な次世代バッテリーであるリチウム硫黄電池、リチウム空気電池、全固体電池、及びハイブリッド推進システムの動向を記載する。

#### ● リチウム硫黄電池の動向

リチウム硫黄電池の構造イメージを図 2-2 に示す。

リチウム硫黄電池の理論み密度は 2500Wh/kg であり、従来のリチウムイオン電池と比較し極めて高いが、サイクル寿命の短さや安全性に課題がある。

日本の GS ユアサ社は、400Wh/kg のリチウム硫黄電池の実証に成功しており、500Wh/kg を目標に研究開発を進めている。容量密度向上のためには、正極活物質（硫黄）や電解液に対する改良が課題となっている。

#### <代表事例>

- ▶ 豪州の Brighsun New Energy 社は、電気自動バスにリチウム硫黄電池を搭載した実証を行っている。
- ▶ 豪州の Monash 大学は、リチウム負極にナノ多孔質を被覆することで、サイクル寿命 250 回を達成している。
- ▶ 米国の Drexel 大学は、多孔質カーボンナノファイバー上に硫黄を担持させた集電体兼正極材を使用することでサイクル寿命 4000 回を達成している。

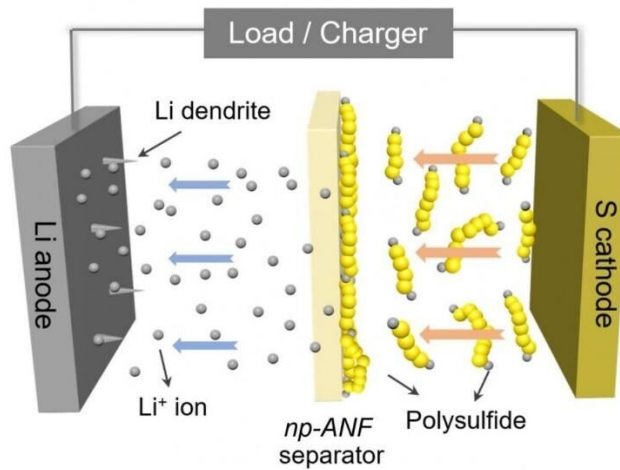


図 2-2 リチウム硫黄電池の構造イメージ

出所) [https://www.arenaev.com/the\\_breakthrough\\_lithiumsulfur\\_battery\\_promises\\_5\\_times\\_more\\_capacity-news-2599.php](https://www.arenaev.com/the_breakthrough_lithiumsulfur_battery_promises_5_times_more_capacity-news-2599.php) (閲覧日: 2024 年 12 月 9 日)

● リチウム空気電池の動向

リチウム空気電池の構造イメージを図 2-3 に示す。

リチウム空気電池の理論容量密度は  $3000\text{Wh/kg}$  であり、従来のリチウムイオン電池と比較し 10 倍以上と高いが、サイクル寿命の短さや安全性に課題がある。容量密度とサイクル寿命にトレードオフがあり、双方を向上させるためには、電解質膜の改良や新規材料の適用が必要である。

<代表事例>

- ▶ 日本の東レは、独自の技術を用いて開発した空気電池用無孔イオン伝導ポリマー膜をセパレータに適用することで、従来の微多孔フィルムと比較し 10 倍以上の安定した電池作動時間を実現している。
- ▶ 日本の NIMS は、 $456\text{Wh/kg}$  の条件で 24 サイクルを達成している。
- ▶ 米国のアルゴンヌ国立研究所は、 $6.6\text{Wh/kg}$  程度の条件において、実用水準となる 1000 回の充放電を達成しており、2030 年代前半の実用化を目指している。

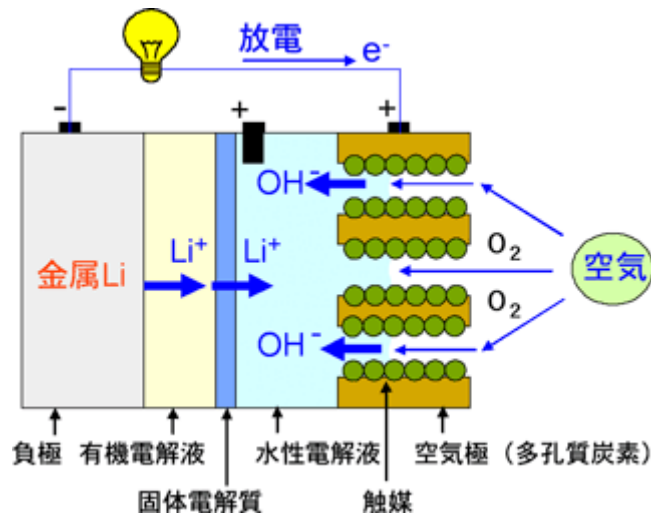


図 2-3 リチウム空気電池の構造イメージ

出所) [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2009/pr20090224/pr20090224.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2009/pr20090224/pr20090224.html) (閲覧日: 2024 年 12 月 9 日)

● 全固体電池の動向

全固体電池と現行 LiB の構造比較イメージを図 2-4 に示す。

全固体電池は、従来のリチウムイオン電池と比較し、充電速度の大幅な向上が可能である他、安全性が高い、動作温度範囲が広く、充電時の発熱による劣化が起きにくい等の特長がある。ただし、従来のリチウムイオン電池と比較し、容量密度を増加させるためには、新しい正極・負極活物質の適用が必要である。また、現在は小型全固体電池の実現にとどまっており、大型化のためには、活物質や電解質の充填技術の向上が必要である。

<代表事例>

- ▶ マクセル社は、200mAh の小型の円筒型全固体電池の開発を行っている。
- ▶ パナソニック HD は、3 分で充電可能な全固体電池を開発し、小型ドローンへ搭載した実証実験を行っている。サイクル寿命は、常温の場合 1 万～10 万回程度である。
- ▶ トヨタ自動車と出光興産は、航続距離約 1200km の電気自動車用全固体電池において、充電時間 10 分以下を目標としており、2027 年以降の実用化を目指している。
- ▶ ソフトバンクと Enpower Japan は、300Wh/kg の全固体電池セルを開発しており、今後長寿命・高出力も検討し、400Wh/kg 以上の全固体電池の早期実用化を目指している。

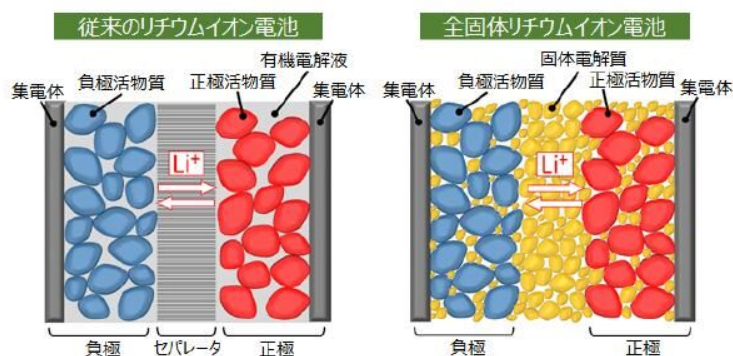


図 2-4 全固体電池と現行 LiB の構造比較

出所) [https://www.iee.jp/pes/termb\\_107/](https://www.iee.jp/pes/termb_107/) (閲覧日: 2024 年 12 月 9 日)

● ハイブリッド推進システムの動向

東北大学、三菱重工航空エンジン株式会社、広島大学は、2024 年度採択の NEDO 先端研究プログラム／新技術先端研究プログラムにおいて、アンモニア燃焼ハイブリッド航空推進システムの研究開発に取り組んでいる<sup>5</sup>。脱炭素化の観点で、日本が世界に対して優位な技術であるアンモニア燃焼により、ハイブリッド電動航空機の実現可能性の検証を行っている。具体的な研究開発項目は、アンモニアハイブリッド航空機概念検討、アンモニアハイブリッド推進システムの研究開発、航空用アンモニア燃焼器の基礎研究である。

(2) 技術課題

空飛ぶクルマに適用するバッテリーとしては、容量密度とサイクル寿命が特に重要な指標となるが、双方の指標は一般的にトレードオフの関係にあるため、同時に性能を向上させることは難しい。

リチウム硫黄電池については、現状実現されている容量密度は理論的な容量密度より低く、容量密度を向上させるためには、特に正極活物質（硫黄）や電解液に対する改良が必要である。また、バッテリーの構造上、サイクル寿命や安全性（漏液・可燃性）にも課題がある。

リチウム空気電池についても、現状実現されている容量密度は理論的な容量密度より低く、容量密度の向上や可逆反応性の成立のためには、電解質膜の改良や新規材料の適用が必要である。また、リチウム硫黄電池と同様、サイクル寿命や安全性（漏液・可燃性）にも課題がある。

全固体電池については、現状は小型の全固体電池の実現にとどまっており、大型全固体電池の開発には、活物質や電解質の充填技術の向上が必要である。また、容量密度とサイクル寿命の双方を向上させることができる可能性はあるものの、容量密度を向上させるためには現行 LiB とは異なる新しい正極・負極材料の適用が必要である。

<sup>5</sup> <https://www.nedo.go.jp/content/100982034.pdf> (閲覧日: 2025 年 3 月 3 日)

また、バッテリーの冷却機構については、機体が大型化しバッテリーの発熱が大きくなった際に、機体システム全体での熱マネジメント機構が必要になると想定される。特に、空飛ぶクルマにおいては、冷却機構を搭載することによる重量増加を最低限にすることが望まれるため、冷却機構の軽量化と十分な冷却性能確保を同時に実現することが課題となる。

#### 2.1.4 装備品

##### (1) CNS 装備品

###### 1) 技術動向

CNS 装備品としては、地上側の CNS 技術オプションに対応する装備を空飛ぶクルマに搭載する必要がある。表 2-6 に、既存有人機システムおよび空飛ぶクルマでの採用が想定される CNS 技術オプションを示す。

表 2-6 CNS 技術の有人機・空飛ぶクルマにおける技術オプション

分類		既存有人機システム	空飛ぶクルマシステム
通信	音声 ・機体間 ・機体地上間	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ VHF HF 通信</li> <li>・ 遠隔対空通信施設(RCAG)</li> <li>・ 衛星通信(航空交通業務通信:ATSC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地上 NW:LTE,5G、B5G,6G</li> <li>・ 衛星 NW:GEO/MEO/LEO</li> <li>・ HAPS</li> <li>・ P2P(LPWA)</li> </ul>
	データ通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ACARS ( Aircraft Communication Addressing and Reporting System)</li> <li>・ CPDLC ( Controller Pilot Data Link Communications)</li> </ul>	
航法	位置把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GNSS (GPS, QZSS, GLONASS, Galileo 等)</li> <li>・ SBAS(衛星型衛星航法補強システム)</li> <li>・ VOR/DME</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GNSS (GPS, QZSS, GLONASS, Galileo 等)</li> <li>・ SBAS(衛星型衛星航法補強システム)</li> </ul>
	着陸誘導	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ILS(GP/LOC/MB)</li> <li>・ PAR(精測進入レーダ)</li> <li>・ GNSS(水平/高度)</li> <li>・ GBAS(地上型衛星航法補強システム)</li> <li>・ SBAS</li> <li>・ 気圧高度計</li> </ul>	
監視・衝突回避	機上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ATCトランスポンダ</li> <li>・ ADS-B(放送型自動従属監視)</li> <li>・ TCAS(空中衝突警報)</li> <li>・ GPWS(対地接近警報装置)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ATCトランスポンダ</li> <li>・ ADS-B(機体動態情報)</li> <li>・ 搭載センサ <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 超音波センサ(水平/垂直/高度)</li> <li>➢ 光学センサ及び障害物検知</li> <li>➢ レーダ(障害物検知)</li> <li>➢ 気圧センサ(高度)</li> </ul> </li> <li>・ ACAS Xr</li> </ul>
	地上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ MLAT(マルチラレーションシステム)</li> <li>・ 地上レーダ(ASR/ARSR/ORSR)</li> <li>・ ASDE(空港面探知レーダ)</li> </ul>	

出所)各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

## 2) 技術課題

CNS 装備品については、空飛ぶクルマへの装備率の向上および装備品の軽量化という課題がある。ただし、従来の既存有人機システムの技術がベースとなっており、空飛ぶクルマに特化した技術課題は少ないと考えられる。

## (2) FMS

### 1) 技術動向

FMS (Flight Management System) とは、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システムである。

空飛ぶクルマへの適用を想定し開発されている FMS の代表事例を表 2-7 に示す。

表 2-7 空飛ぶクルマにおける FMS の代表事例

事例	概要
SmartSky Networks 社 (米国)	<ul style="list-style-type: none"><li>● GE Aviation 社、Mosaic ATM 社と共同で、先進航空モビリティ向けの FMS 及び運航管理システムを開発している。</li><li>● クラウドベースの FMS であり、航空管制官にリアルタイムでより良い運航経路を提供することで空域管理を支援する。</li></ul>
Thales 社 (フランス)	<ul style="list-style-type: none"><li>● Airbus 社の航空機に搭載されている PureFlyt という FMS を開発しており、空飛ぶクルマへの搭載も視野に入れている。</li><li>● 航空交通、天候、その他の飛行環境データに基づき、最適な飛行経路の変更を常に提案する。</li></ul>
Embention 社 (スペイン)	<ul style="list-style-type: none"><li>● 冗長性・高信頼性を有し、空飛ぶクルマに搭載可能な FMS である Veronte Autopilot を開発しており、環境条件やパイロットの技量や機体性能に応じて、飛行を制御することができる。</li><li>● ADS-B、レーダ、Lidar などのセンサを搭載することで、DAA 機能を実現可能である。</li></ul>

出所) 各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

### 2) 技術課題

成熟度レベル 3,4 においては、FMS で飛行経路提案・変更や乗客管理を行うことになると想定される。そのもとで、FMS の技術課題としては、地上システム (交通管理 / フリート管理システム) との連携が挙げられる。

## (3) 制御システム

### 1) 技術動向

空飛ぶクルマの制御システムは、Fly-By-Wire (FBW) 又は Fly-By-Light (FBL) 等の方式が採用されている。図 2-5 に FBW と FBL の特徴比較を示す。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 2-8 に示すような複数の制御システムについて空飛ぶクルマへの適用が検討されている。例えば、Honeywell 社では空飛ぶクルマ向けの FBW システム「Honeywell Compact Fly-By-Wire System」を開発しており、従来の制御システムと

同様の出力を維持しつつ大きさはハードカバーの本サイズまで小型化している<sup>6</sup>。また Honeywell 社では小型フェーズドアレイレーダ（IntuVue RDR-84K）などの衝突回避システムと組み合わせたシステムも開発している。

Fly-By-Wire (FBW)		Fly-By-Light (FBL)	
△(機械式よりは軽量)	重量	○	
○	コスト	△	
○	整備性	△(光ケーブルの扱いが困難)	

図 2-5 FBW と FBL の特徴比較

出所)三菱総合研究所作成

表 2-8 空飛ぶクルマ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

出所)各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

## 2) 技術課題

飛行制御システムについては、従来の航空機で既に採用されている FBW、FBL の適用が検討されているが、冗長化制御ロジックやソフトウェアの信頼性確保が課題となる。

航法センサや航法システム等については、従来航空機の技術がベースとなっており、空飛ぶクルマに特化した技術課題は無いと考えられる。

## (4) 衝突回避システム (DAA)

### 1) 技術動向

DAA システムについては、機体の自動自律化に関する動向に基づき、必要となる環境認識装置、ナビゲーション装置等について整理した。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。例えば図 2-6 に示す Volocity の事例では、機体周囲の環境を認識するカメラやレーダ等のセンサ類や、GNSS 等のナビゲーション装置、安全確保・危険検出システム、意思決定・ナビゲーションシステム、空間情報統合システム等から構成さ

<sup>6</sup> Honeywell, Top 5 Reasons Honeywell's New Compact Fly-By-Wire System is Right for Your Aircraft, <https://aerospace.honeywell.com/en/learn/about-us/blogs/2019/06/top-5-reasons-honeywells-new-compact-fly-by-wire-system> (閲覧日:2021年10月1日)

れる。

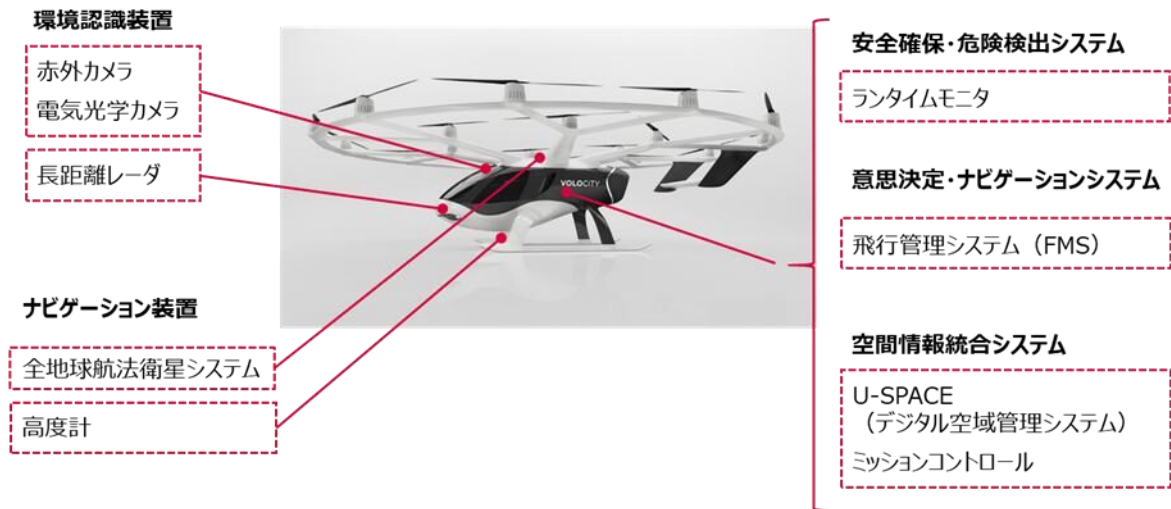


図 2-6 Volocopter/VoloCity の構成

出所) Volocopter, Autonomous Flight, <https://www.youtube.com/watch?v=FrBRugqN8p0> を基に三菱総合研究所作成(閲覧日:2024年12月9日)

既存民間有人航空機の運用に使用される DAA システムとしては、TCAS がある。

表 2-9 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
衝突回避	空中衝突防止装置:TCAS	航空機同士が空中衝突する危険を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、他の航空機の存在を操縦士に警告するシステム

## 2) 技術課題

従来の航空機は、地上の二次レーダをベースに、必要に応じ ADS-B を機上搭載した監視システムが構築されている。また、トランスポンダ情報を活用した TCAS により、空中衝突の回避を実現する。

空飛ぶクルマでは、地上二次レーダによる監視が困難な低高度空域等の飛行が想定されると共に、将来的には遠隔操縦や自律飛行の実現が想定されることから、空飛ぶクルマの飛行プロファイルやユースケース、運航密度等に応じた監視・衝突回避のアーキテクチャ設計が課題となる。個別の課題としては、空飛ぶクルマがトランスポンダや ADS-B を搭載した場合に限られたチャンネルを利用するため周波数帯域のひっ迫が懸念される。また、高頻度運航が想定されるユースケースでは、離着陸場における高密度化が想定されることから、運航密度に対応した監視技術や方式の検討が必要である。

## (5) クラッシュワージネス

### 1) 技術動向

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し、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。空飛ぶクルマへの搭載が検討されている安全システム事例を示す。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存在する。

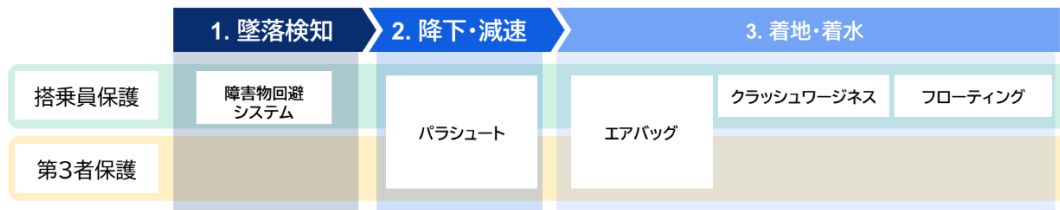


図 2-7 安全システムの主な構成要素

出所)三菱総合研究所作成

表 2-10 空飛ぶクルマへの搭載が検討されている安全システム事例

事業者	搭載システム	概要
Wisk/Cora	パラシュート	・リフトファンが作動しなくなった場合に備えてパラシュートを装備
Lilium aviation/Lilium Jet	パラシュート	・バリスティックパラシュートを装備
Ehang/Ehang 216	障害物回避システム	・ミリ波レーダによる障害物検知機能を搭載
Bell/Nexus	障害物回避システム	・自律飛行のスタートアップであるXwing社が空中マルチセンシングシステムを提供
Alaka'i Technologies/Skai	パラシュート	・墜落時には機体上部よりパラシュートを展開し、車両全体を緩やかに着地させる機能を搭載 ・パイロットが意識不明等に陥った場合に備えて地上からの遠隔操縦にも対応

出所)各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

### 2) 技術課題

搭乗者の安全確保や地上の第三者の安全確保に向けた安全システムの開発が検討されている中、故障検知やパラシュート、エアバッグ、耐衝撃システム、外部警報といった個別システムの作動シーケンスを最適化するためのトータルシステムの設計が求められる。また、ヘリコプターとは異なり、空飛ぶクルマにはオートローテーション機能（エンジン停止時でも、下から上に通過する空気によってロータを回転させて飛行する機能）がないため、クラッシュワージネスに加え、Pre-Crash（姿勢安定や減速）や Post-Crash（脱出や火災対策等）の検討も重要な課題である。

#### 2.1.5 製造技術（構造材料、アセンブリ技術）

##### (1) 技術動向

空飛ぶクルマの機体に利用される構造素材としては、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。現状、空飛ぶクルマへの材料提供を予定しているサプライヤーとしては東レや FACC などが存在する。複数の空飛ぶクルマに材料を供給する

ことが予定されている東レでは、自動車や航空機の分野で既に利用されている Toray Advanced Composites (TAC)の技術を空飛ぶクルマにも活用するとしている。このほか将来的に熱可塑性プリプレグ等の活用が想定される。

表 2-11 空飛ぶクルマへの適用が検討されている素材事例

事業者	素材メーカー	概要
Lilium/Lilium Jet	東レ	・東レは空飛ぶクルマを重点市場と位置づけ、各メーカーの設計方針に沿った炭素繊維複合材料を中心とした材料ソリューションを提供していく方針 ・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	・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	・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、リンツ市で空飛ぶクルマ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	・複合材構造を採用
Airbus/City Airbus	公開情報なし	・機体構造およびプロペラに炭素繊維複合材料を使用
Archer Aviation/Maker	公開情報なし	・機体構造に炭素繊維複合材料を使用 ・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	・機体構造に炭素繊維複合材料を使用 ・主翼構造と配線システムの開発・製造は GKN Aerospace 社が担当

出所)各種公開資料をもとに三菱総合研究所作成

国内メーカーである東レは、既に Lilium や Joby といった空飛ぶクルマ事業者に対して複合材料を供給する契約を締結している。空飛ぶクルマには 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)」の技術も活用するとしている。

TAC は熱可塑性樹脂複合材に強みを有しており、熱可塑性樹脂複合材は従来の熱硬化性樹脂複合材と比較して高い靱性を有する他、熔融・固化による成形が可能であることから成形時間の短縮が可能、オートクレーブを必須としないといった特徴があり、注目されている新しい複合材料である。TAC では、PEKK, LMPAEEK, PEEK, PPS, PEI の熱可塑性樹脂複合材を製品化している。

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と考えられる。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。

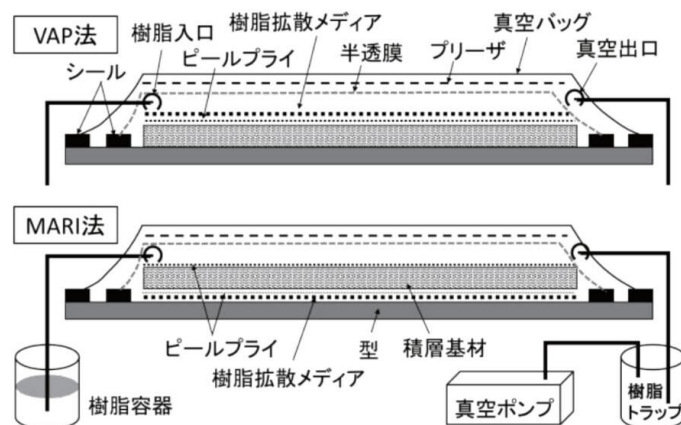


図 2-8 VAP 法と MARI 法の概念図

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](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms/67/10/67_943/_pdf) (閲覧日: 2024 年 12 月 3 日)

## (2) 技術課題

空飛ぶクルマは従来航空機と比べて機体サイズが小型であるため、構造素材の加工技術については、今後より小型で複雑な部品を成型する加工技術が求められ、溶着等の技術を中心とするより効率的なアセンブリ技術の適用が期待される。空飛ぶクルマの社会実装が進み必要な年間生産数が多くなることを想定した場合、プレス成形等の成形加工性の向上、成形時間を含めたサイクルタイムの短縮化が求められる。この解決手段として、熱可塑性樹脂複合材や速硬化の熱硬化性樹脂複合材の適用、プレス成形などの短サイクル成形加工方法などが挙げられる。

また、空飛ぶクルマの機体メーカーはスタートアップが多い中で、オートクレーブや原料保管のための冷凍庫などの大型設備投資が困難であることから、加工・保管コストの低減や、AMS や NCAMP といった材料仕様・データベース認定制度を活用することにより、認定費用や認定期間の低減・短縮を図ることが重要となる。

### 2.1.6 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 2-9 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。詳細については各項にて要素別の整理を示す。

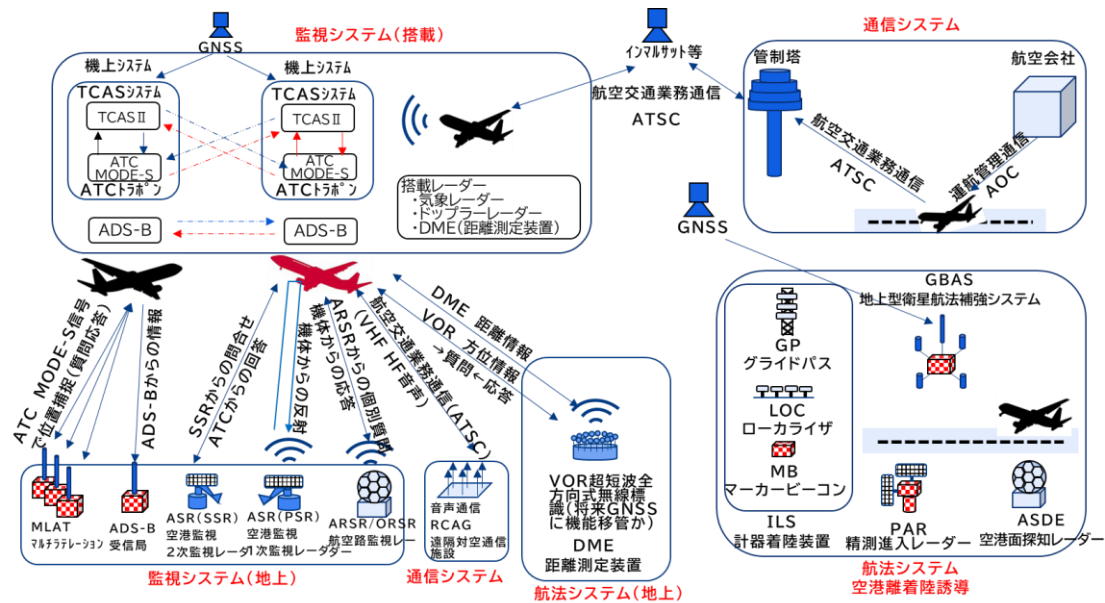


図 2-9 既存民間有人航空機で利用されている通信・航法・監視システム例

出所)三菱総合研究所作成

(1) 通信

1) 技術動向

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、これらの要求性能を空飛ぶクルマの通信システムとして使用可能な既存または将来のインフラを抽出した。さらにその中で地上セルラーおよ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 2-12 に既存有人航空機で利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 2-12 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"> <li>➢ 遠隔対空通信施設(RCAG):VHF/UHF 帯無線               <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ VHF(RLOS 通信)(118~137MHz) 用途:ATSC,AOC,AAC</li> <li>◇ UHF(RLOS 通信)(225~400MHz) 用途:ATSC</li> </ul> </li> <li>➢ HF(RBLOS 通信)(2.85MHz~22MHz) 用途:ATSC,AOC,AAC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ VHF</li> <li>➢ セルラー:LTE,5G、B5G,6G</li> <li>➢ 衛星通信:GEO/LEO</li> <li>➢ HAPS</li> <li>➢ 直接通信(LPWA 等)</li> </ul>
	データ通信 ・機体間 ・機体地上間	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ VHF ACARS:VHF データリンク:2.4kbps 用途:ATSC,AOC</li> <li>➢ HFDL:HF 帯長距離データリンク:0.3~1.8kbps 用途:AOC,AAC</li> <li>➢ 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)</li> </ul>	
	衛星通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ MTSAT、インマルサット、イリジウム 用途:ATSC,AOC,AAC,APC</li> </ul>	

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。これらの VHF・UHF・HF 帯の通信は主に音声通信とデータ通信に用いられており、VHF 帯は 118～137MHz、UHF は 225～400MHz が使用され電波見通し内通信で用いられている。VHF 帯の用途は航空交通業務通信(以下 ATSC)、運航管理通信(以下 AOC)、運航会社業務通信 (以下 AAC)、UHF 帯では ATSC といった運航業務に用いられている。また HF 帯は洋上通信等の電波見通し外通信として 2.85MHz～22MHz が使用されており、用途として ATSC、AOC、AAC といった運航業務に用いられている。またデータ通信においては、ATSC などの低レートの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およ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。

これらの有人航空機の運航業務通信システムに対し、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。地上セルラーシステムとしては、現在運用されている LTE や 5G システムや将来的には B5G,6G も利用が考えられる。国内における 4G/LTE、5G および 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 2-13 に示す。各通信世代の特徴としては、通信速度については 4G から各世代間で約 10 倍ずつ向上しており、遅延時間は 4G から 5G で約 1/10 に向上している。また同時接続数については 4G から各世代間で約 10 倍向上している。使用周波数については、5G では従来の C 帯に加えミリ波帯域も利用され、6G ではさらにテラヘルツの高周波も利用が予定されている。これらセルラーの利用対象としては今後携帯電話のほか、PC 端末から IoT 端末、自動運転、空飛ぶクルマ等に拡大していくと考えられる。

表 2-13 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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	未定

出所)5G の通信速度 <https://www.commuja.jp/article/0142>、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:2024 年 12 月 9 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。(ただし地上ネットワーク部分でも遅延が発生するため通信環境により遅延量

は変化する)

表 2-14 に FAA への新規申請中の事業者も含めた代表的な衛星通信システムの通信速度、遅延、使用周波数などを示す。

表 2-14 代表的な衛星通信システム

衛星種類	周波数帯域	システム名	ユーザーリンク伝送速度 (ダウンリンク、最大)	遅延量	アンテナまたは端末形状
GEO	L 帯	インマルサット	航空機 864kbps	約 250ms	航空機搭載平面アンテナ
	S 帯	N-STAR Widestar II	最大 384kbps		30cm 四方平面アンテナ
	Ku 帯 Ka 帯	インマルサット 5~7	航空機 50Mbps		30cm~90cm Φ 追尾機構付きアンテナ
		Viasat1~3	航空機 70~100Mbps		50cm Φ 程度の追尾機構付きパラボラ
	スカパー JSAT OceanBB	船舶 10Mbps	50cm Φ 程度の追尾機構付きパラボラ		
LEO	L/Ka 帯	イリジウム	1.4Mbps	20~35ms	50cm Φ 程度の追尾機構付きパラボラ
	Ku 帯 Ka 帯	OneWeb	200Mbps	50 ~ 100ms	30~100cm 型アンテナ
		SpaceX	150Mbps	20~35ms	フェーズドアレイアンテナ
		Telesat	数 Gbps	30ms	不明
		Viasat	不明	100ms 以下	不明
		Kepler	15Mbps	不明	30cm Φ 程度のフェーズドアレイアンテナ
Kuiper	不明	不明	30cm Φ 程度のフェーズドアレイアンテナ		

出所) 移動衛星通信システムの現状等 [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000432704.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000432704.pdf) 等を基に三菱総合研究所作成(閲覧日: 2024 年 12 月 9 日)

## 2) 技術課題

従来の航空機は、航空無線による管制官との通信の他、各種の飛行情報に関するデータ通信を実現している。また、ヘリコプターについては、商用システムとして機体の飛行位置等を、衛星通信システムを介して集約するサービスが提供されている。

空飛ぶクルマについては、パイロットが搭乗して運航する場合には、従来無線通信システムの活用が想定される一方、将来の遠隔操縦、自律飛行が進展した場合には、C3 (Command, Control and Communications) リンクの実現が必要となる。

技術課題としては、上記の通信を実現するための無線通信システムとして、既存システムの活用可否の検討を行うと共に、新たな無線システムや通信方式の開発の必要性を検討する必要がある。具体的には、空飛ぶクルマの飛行プロファイルやユースケース、運航密度等に応じた通信カバレッジやチャンネル数、通信速度等の要件を整理した上で、4G/5G 等の携帯電話システムや商用衛星通信システムを利用する場合の通信方式やカバレッジ形成方法、安全性担保に資する通信方式等が課題となる。

## (2) 航法

### 1) 技術動向

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 2-15 に既存有人航空機で使用されている航法システムを示す。また、表 2-16 に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の対比表を示す。

表 2-15 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	位置把握	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
		全地球的航法衛星システム: 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
		衛星型衛星航法補強システム: SBAS	測位誤差や GPS の信頼性に関する情報を衛星経由で航空機へ送信し、航空機の GPS の測位誤差補正を行うことで測位性能を向上させるシステム
	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ービーコン(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

出所)国土交通省 用語集 [https://www.mlit.go.jp/koku/15\\_bf\\_000320.html#m](https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m) に基づき三菱総合研究所作成(閲覧日:2024年12月9日)

表 2-16 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ GNSS</li> <li>➤ SBAS</li> <li>➤ 航空機用無線標識 VOR(方位)/DME(距離)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ GNSS</li> <li>➤ SBAS</li> </ul>
	着陸誘導	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ILS(GP/LOC/MB)</li> <li>➤ PAR(精測進入レーダ)</li> <li>➤ ASDE(空港面探知レーダ)</li> <li>➤ SBAS(衛星型衛星航法補強システム)</li> <li>➤ GBAS(地上型衛星航法補強システム)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ GNSS(水平/高度)</li> <li>➤ SBAS</li> <li>➤ GBAS</li> <li>➤ 各種センサ                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ビジョンポジショニングセンサ</li> <li>✓ (画像照合航法)</li> <li>✓ 障害物検知センサ</li> <li>✓ 高度センサ</li> <li>✓ 測距センサ</li> <li>✓ 方位センサ</li> </ul> </li> </ul>

出所)国土交通省 用語集 [https://www.mlit.go.jp/koku/15\\_bf\\_000320.html#m](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12月9日)

航法システムに関する国内における研究開発事例として、東北大学が、2022年度採択の NEDO 先導研究プログラム/新技術先導研究プログラムにおいて、周波数変調・モード局在複合センサの研究開発に取り組んでいる。外部システムに依存しないナビゲーションシステムを実現する手段として、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を用いた慣性センサを超高感度化する技術を開発し、将来的に超小型の慣性航法装置の実現を目指している。研究開発項目としては、モード分離信号処理方法の確立、多重モード独立制御方法の確立、周波数変調・モード局在制御の実証に取り組んでいる。

諸外国における空飛ぶクルマに向けた航法システムの開発動向としては、SAMVA プロジェクトでは、欧州の衛星ベース補強システム (SBAS) である European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) の支援による eVTOL 運用の実施に重点を置いており、AAM サービスと U-Space 空域の統合を強化するために eVTOL に EGNOS を実装することを目的として研究開発を進めている。2024年にはスペインで実機を使用した飛行実証を完了している。仏 Safran 社は、Archer Aviation と共同で慣性航法システム「SkyNaute ナビゲーションシステム」の開発とテストに注力しており、Midnight に使用している。また当該システムは Wisk Aero が完全自律型の第 6 世代 eVTOL に搭載することも発表されている。

## 2) 技術課題

航法システムについては、従来の既存有人機航法システムの技術がベースとなっており、現時点では空飛ぶクルマに特化した技術課題は無いと考えられる。一方で、中長期的には、高度化した運航に対応するために SBAS による精度向上、RNP のような正確に飛行経路を飛行できる仕組みづくりが課題となると考えられる。

### (3) 監視

#### 1) 技術動向

監視では既存民間有人航空機の運用に使用される監視システムを調査し、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。表 2-17 に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、表 2-18 に既存有人機航法システムに対応する空飛ぶクルマで想定される監視システムを整理したものを示す。

表 2-17 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	地上系	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(二次監視レーダ) PSR(一次監視レーダ)	空港から一定空域にある航空機の位置を探知し、出発・進入機の誘導およ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
		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。
		マルチラテレーション: MLAT	空港内およ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](https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000320.html#m) に基づき三菱総合研究所作成(閲覧日:2024年12月9日)

既存有人機の監視システムでは表 2-17 に示すように地上系、機上系による監視システムがある。

地上系システムのうち地上レーダとしては、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航空路監視レーダ(以下 ARSR)および洋上航空路監視レーダ(以下 ORSR)がある。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し、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である。また空港から一定空域にある航空機の位置を探知し、出発・進入機の誘導およ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空港監視レーダ(以下 ASR)として一次監視レーダの PSR(Primary Surveillance Radar: 以下 PSR)や二次監視レーダの SSR(Secondary Surveillance Radar: 以下 SSR)などがある。PSR は地上レーダ装置から電波を発射し、その反射波を受信処理して航空機の位置情報を取得するのに対して、SSR は航空機に搭載されたトランスポンダ(航空機側に搭載される応答装置)が持つ識別情報と高度情報を得るための質問を行い位置情報とともにこれらの情報を取得するシステムである。

表 2-18 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

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
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ARSR(航空路監視レーダ)</li> <li>・ ORSR(洋上航空路監視レーダ)</li> <li>・ ASR(空港監視レーダ)</li> <li>・ 機上レーダ</li> <li>・ ADS-B(放送型自動従属監視)</li> <li>・ MLAT(マルチラテレーション)</li> <li>・ ASDE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ADS-B</li> <li>・ 超音波センサ(水平／垂直／高度)</li> <li>・ 光学センサおよび障害物検知</li> <li>・ レーダ(障害物検知)</li> <li>・ ARSR</li> <li>・ ASR</li> <li>・ MLAT</li> <li>・ ASDE</li> </ul>

出所)国土交通省 用語集 [https://www.mlit.go.jp/koku/15\\_bf\\_000320.html#m](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:2024年12月9日)

## 2) 技術課題

従来の航空機は、地上の二次レーダをベースに、必要に応じ ADS-B を機上搭載した監視システムが構築されている。

空飛ぶクルマでは、地上二次レーダによる監視が困難な低高度空域等の飛行が想定されると共に、将来的には遠隔操縦や自律飛行の実現が想定されることから、空飛ぶクルマの飛行プロファイルやユースケース、運航密度等に応じた監視・衝突回避のアーキテクチャ設計が課題となる。個別の課題としては、空飛ぶクルマがトランスポンダや ADS-B を搭載した場合に限られたチャンネルを利用するため周波数帯域のひっ迫が懸念される。また、高頻度運航が想定されるユースケースでは、離着陸場における高密度化が想定されることから、運航密度に対応した監視技術や方式の検討が必要である。

### 2.1.7 地上システム

#### (1) 交通管理システム

##### 1) 技術動向

交通管理システムとは、空飛ぶクルマの飛行計画を受け付け、交通流を管理し、フライト中、離発着、地上の機体を監視および管理する地上システムである。交通管理は、主に以下3つの機能／指標に分けられる。

- 交通流管理：空飛ぶクルマが円滑に飛行出来るよう、空飛ぶクルマの飛行計画から有人航空機や他事業者の空飛ぶクルマの運航事業者や管制機関と調整を行う。また、離着陸場や飛行経路の処理能力を超える交通量が発生する場合、離着陸場や飛行経路への交通の流れを制御する。
- 離着陸場管理：離着陸場への進入監視を行い離着陸場周辺の空域において、安全間隔を設定するために離着陸の順番等の調整を行う。

- エンルート（交通）管理：飛行中の空飛ぶクルマが安全に飛行するために空飛ぶクルマ間の安全間隔、空飛ぶクルマの飛行経路の監視を行う。計画からの誤差がバッファの範囲を超えた場合または接近状態を検出した場合は、回避案を作成し、空飛ぶクルマに回避案を送信することで回避指示し、安全間隔が担保されるまで監視する。また、有人航空機との安全間隔も監視し、空飛ぶクルマの安全を確保する。

空飛ぶクルマの交通管理システムの代表事例としては、OneSky 社（米国）の AATM ソリューションが挙げられる。OneSky の AATM ソリューションは、韓国の K-UAM グランドチャレンジの一環で開発されたシステムであり、他システムとの情報交換、空域管理、交通流管理、適合性監視等の機能を持つ。図 2-10 に OneSky の AATM ソリューションにおける適合性監視画面のイメージを示す。オペレータは、この画面により、現在の運航状況が事前に承認された飛行計画の 4D ボリュームに準拠していることを監視する。

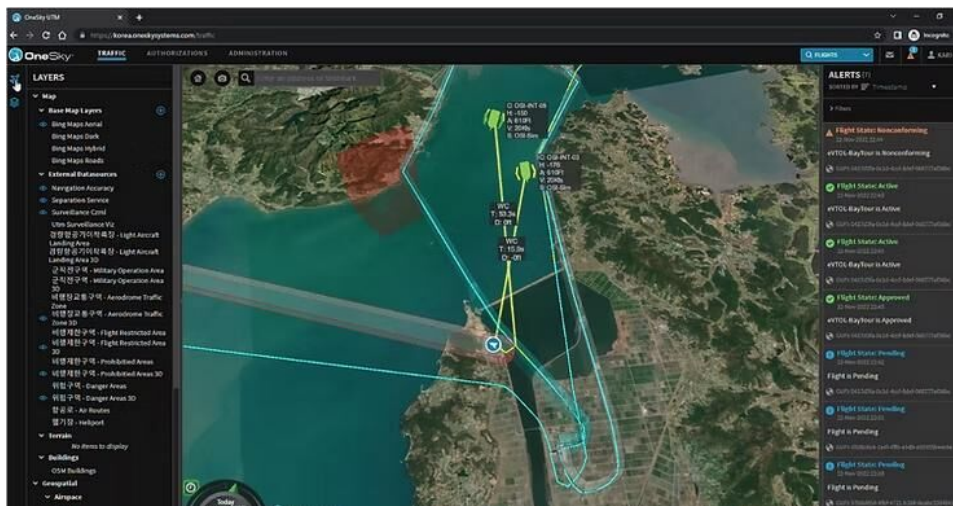


図 2-10 OneSky の AATM ソリューションの適合性監視画面のイメージ

出所) <https://www.onesky.xyz/post/the-onesky-uatm-solution-for-korea-part-three-strategic-deconfliction-conformance-monitoring>(閲覧日:2024 年 12 月 9 日)

## 2) 技術課題

交通管理システムの技術課題としては、関連情報に基づいた「判断」が必要なタスクについて、その判断基準の指標化・定量化およびアルゴリズムの検討が困難であることが挙げられる。

具体的には、機体運航の自動化を実現するための運航判断（気象および周辺監視に基づく判断）、管制の自動化を実現するための緊急時対応・飛行計画の自動調整・機体間隔調整・ATM/UTM 調整、離着陸場の自動化を実現するための離着陸場の場面監視・離着陸支援（リアルタイムな運航状態に応じた、離着陸軌道生成、離着陸誘導等）が主な課題として想定される。

## (2) フリート管理システム

### 1) 技術動向

フリート管理システムとは、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。フリート管理システムの主要機能は以下4つと考えられる。

- 飛行計画：空飛ぶクルマの運航を行うために最も重要な機能であり、交通管理など関係者間で共有および調整が必要な情報を扱う。
- 情報管理：運航事業者および交通管理など関係者間で共有する情報を取扱う。
- フライトウォッチ：運航管理を行うためのメイン機能であり、インフライト中の機体とのやり取りも含む。
- スケジュール管理：運航事業者が運航する機体のスケジュールを管理する機能であり、交通管理など関係者間で共有および調整が必要な情報を扱う。

フリート管理システムの代表事例としては、Volocopter社（ドイツ）のVoloIQが挙げられる。VoloIQは、機体や離着陸場の情報、予約情報、飛行経路・計画、気象条件を統合管理するソフトウェアであり、同社のエアタクシー事業を支えるシステムになると期待されている。

VoloIQの特徴としては以下が挙げられる。

- AIによる機体（VoloCity）管理
- VoloCityから他のモビリティへのシームレスな接続
- 分散型バッテリー施設やVoloPortなどのインフラ管理の最適化
- 自律飛行に備え、複数センサのデータ収集および接続が可能
- クラウドベースの安全かつロバストなシステム設計

### 2) 技術課題

フリート管理システムの技術課題は、それぞれの主要機能に対して、以下の通り整理される。




- 飛行計画：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ーフェースが必要であり、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である。
- 情報管理：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ーフェースが必要であり、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ーフェースが必要である。
- フライトウォッチ：可用性リスクへの対応が必要であり、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である。
- スケジュール管理：オンデマンド運航への対応が必要である。

### (3) 給電システム

#### 1) 技術動向

電動航空機や空飛ぶクルマ向けの給電システムとしては、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。空飛ぶクルマ向けとして、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 (NASA 将来構想では 600kW を 3 基統合した 4x2.5m 又は 2x5m、5,443kg の BESS 構成)。軽量化・縮小化が課題である。一部は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、製品化はまだである。

表 2-19 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) 各社公開情報に基づき三菱総合研究所作成

既に電気自動車等におけるノウハウの蓄積があり、今後空飛ぶクルマへの活用が期待される給電システムの方式としては、コンダクティブ充電方式、電池交換方式、非接触給電方式が挙げられる。各給電方式の特徴を表 2-20 に示す。

表 2-20 給電方式の特徴

給電方式	メリット	デメリット
コンダクティブ充電方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気自動車等の他分野において既に、急速充電方式が確立されている</li> <li>電池を機体に固定できるため機体構造への影響が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>急速充電時、電池の温度が上昇すると満充電に時間を要し、適切な冷却機構が必要</li> </ul>
電池交換充電方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前に時間を掛けて充電することで電池の劣化を軽減可能</li> <li>急速充電より短時間で交換可能</li> <li>電池保管庫内の空調管理設備により、充電時の電池の温度管理が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電池保管庫・電池交換台車が必要で、設備の規模・コストが増大</li> <li>電池保管庫内の空調管理設備が必要</li> <li>電池を容易に(自動的に)取り外し可能とするために機体側の構造上の制限や重量増加が発生</li> </ul>
非接触充電方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>コネクタにおける異物混入、接点の摩耗の発生がない</li> <li>充電設備と機体を一定の範囲に近接させるだけで充電が可能となす、オペレーションの自動化に適する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空飛ぶクルマ側に受電コイルや充電回路の搭載が必要</li> <li>現時点では、技術的に高出力の充電が困難</li> <li>高出力化に伴い送受電コイルが大きく、重量化</li> <li>送受電コイルの冷却機構が必要</li> </ul>

出所)三菱総合研究所作成

コンダクティブ充電方式については、電気自動車用の給電手段とし普及が進んでいる。世界における急速充電規格には、表 2-20 に示すように、CHAdeMO、CCS1、CCS2、GB/T、NACS 等が代表的規格として挙げられ、世界中で既に実用化が進んでいる。特に国内の電動自動車用の急速充電設備に多く採用されている CHAdeMO 規格における現状の最大出力は 400kW 程度であるが、2023 年から実証実験が開始されている最新規格である CHAdeMo 3.0 では 500, 900kW の出力が見込まれている。

電池交換方式は、電気自動車や電気バス、電動バイクで採用例が見られる。同方式では、事前に満充電された電池を確保しておくことにより効率的に給電作業を実施できることが期待される。一方で、電池の保管庫の設置が必要である他、空飛ぶクルマ用の電池は大型の重量物であり機械装置での充電作業が想定され、充電済みの電池が保管されている場所から電池を駐機場まで搬送し、空飛ぶクルマの電池交換を行い、使用済み電池を電池保管場所に搬送するための「電池交換台車」が必要になると考えられる。動向としては、2023 年より交換式バッテリーを用いた軽タイプの電気自動車の集配業務の実証が行われている。中国の NIO では、電気自動車向け電池交換ステーションを約 3,500 カ所設置しており、交換に要する時間は 3~5 分程度を実現している。また、交換式電池の規格化は今後の課題であるが、我が国でも国連基準の制定を目指した取り組みが進められている。

非接触充電方式については、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、電気自動車やドローンへの給電にも検討がなされている。同方式は、金属接点が露出せず、接点劣化・接触不良等がないことが大きな特徴である。一方で、空飛ぶクルマが求める高出力の急速充電が困難であり、直近での空飛ぶクルマへの適用には課題があると考えられる。

電気自動車における急速充電設備としては、充電時の発熱への対応として冷却機構の開発も進んでいる。ドイツの Speck 社は、充電器コネクタの先端を水冷することができる電動モビリティ用急速バッテリー充電器の冷却ポンプを開発している。国内外の充電設備開発メーカーでは、液冷検討の電動モビリティ用ケーブルコネクタの開発検討が進められており、中国 OMG 社では最大 1000kW レベルの電力供給に耐える冷却機構を有するケーブルの検討を行っている。一方、高電圧大電流に耐えるケーブルコネクタは、大型化が想定され、人力での取り回しが不可能となることや運用の安全対策が課題となる。

表 2-21 世界の急速充電規格の比較

規格	チャデモ	CCS1	CCS2	GB/T	NACS
普及地	日本	北米	欧州	中国	—
コネクタの形状					
通信方式	CAN	PLC	PLC	CAN	CAN
最大出力(仕様)	400kW	400kW	400kW	237.5kW	非公開
初号期設置年	2009年	2014年	2013年	2013年	2012年

出所) <https://evdays.tepco.co.jp/entry/2024/01/31/000054> (閲覧日:2024年12月9日)

機体メーカー独自の充電方式の開発事例としては、Joby Aviation の高速充電システムが挙げられる。同社は、自社で開発した急速充電システムである Global Electric Aviation Charging System(GEACS)を採用している。2024年1月には、航空サービスおよびインフラの大手プロバイダである Atlantic Aviation、Helo Holdings (HHI)、Clay Lacy Aviation とそれぞれ充電設備の設置に関するパートナーシップを公表しており、その中で Joby の Global Electric Aviation Charging System(GEACS)の設置を含めた電気インフラの整備を進めている。



図 2-11 Global Electric Aviation Charging System(GEACS)プラグ

出所) <https://aerospaceamerica.aiaa.org/air-taxi-companies-begin-dueling-publicly-over-standards-for-charging-stations/> (閲覧日: 2025 年 3 月 24 日)

## 2) 技術課題

給電システムの技術方式としては、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コンダクティブ充電方式、電池交換充電方式、非接触充電方式の適用が挙げられる。

電池交換方式については、他の方式と比較して機体側の構造の重量増加の課題があり、空飛ぶクルマへの適用にあたっては軽量化の検討が必要となる。

コンダクティブ充電方式は、単一プラグによる充電方式、複数プラグによる充電方式が考えられる。単一プラグによる充電方式の場合は、充電プラグが一つでよい為、機体側の設計がよりシンプルになるメリットがあるものの、高電圧大電流に耐え得る充電ケーブルの開発、機体バッテリー側の高電圧大電流への適合および、ケーブルおよび機体バッテリー側の大規模な冷却対応が必要となる。また、高電圧大電流に耐えるケーブルコネクタは大型化することが想定され、人力での取り回しが不可能となることや運用の安全対策も課題となり得る。

## (4) 気象システム

### 1) 技術動向

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 2-22 に気象情報に関する製品一覧を示す。

表 2-22 気象情報に関する製品一覧

分類	事業名称	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
	WxTech Data	ウェザーニューズ	日本
バーティポート向けの気象情報システム	AWOS for Vertiports	Mesotech	アメリカ
	AviMet AWOS	Vaisalia	フィンランド
汎用向け事業運用支援(アプリ)	ウェザーニューズ for business	ウェザーニューズ	日本

出所)各社公開情報に基づき三菱総合研究所作成

例えば、表 2-23 および表 2-24 に示すとおり、ClimaCell によるドローン向け気象 API では、温度、露点、湿度、風、気圧、降雨等の 11 種類の主要レイヤに関して分単位の気象データが提供されており、加えて、過去～15 日先までの予測を提供している。

表 2-23 提供情報の種類例 (ClimaCell)

気象レイヤ	単位	時間フレーム (注)	グローバル	データのインタフェース				値の形式			
				タイムライン	経路	ガイダンス	地図タイトル	最大値	最小値	平均値	最大・最小の発生時間
温度	C, F	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
体感温度	C, F	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
露点	C, F	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
湿度	%	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
風速	m/s, ft/s	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
風向	D	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
突風	m/s, ft/s	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
地上気圧	hPa, inHg	[0m,+15d]	○	○	○	○		○	○	○	○
海上気圧	hPa, inHg	[-360m,+15d]	○	○	○		○	○	○	○	○
降雨強度	mm/h, in/hr	[-360m,+15d]	○	○	○	○	○	○	○	○	○
降雨確率	%	[0m,+15d]	○	○	○			○	○	○	○

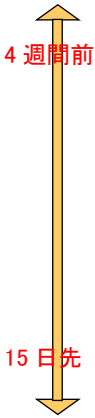
注)-m= 分前～、+d =～日先のデータ提供範囲を示している。

出所)以下の出所に基づき三菱総合研究所作成

・ClimaCell, 2024 年 12 月 9 日取得, URL: <https://docs.tomorrow.io/reference/data-layers-core>

表 2-24 提供情報の種類例と時間軸 (ClimaCell)

時間軸	降水	気温	風速 & 方向	道路 リスク	火災	グローバル 大気汚染	グローバル 気象予報
①過去 -4週間分の時間単位 -6時間分の分単位	○	○	○	○		○	
②リアルタイム -現在	○	○	○	○		○	○
③ナウキャストイング -6時間先の分単位	○	○	○	○	○	○	
④1時間毎 -96時間先	○	○	○	○		○	○
⑤毎日 -15日先	○	○	○				○



出所)以下の出所に基つき三菱総合研究所作成

・ClimaCell, 2024年12月9日取得, URL: <https://docs.tomorrow.io/reference/data-layers-core>

## 2) 技術課題

空飛ぶクルマの就航率の向上には、気象システムの向上が重要となる。空飛ぶクルマの運航において高い就航率を実現するには、観測技術の観点では低高度飛行における夜間・雲中の様な視程の悪い環境でも飛行を可能にするレーダ・ライダーによる観測システムの開発が必要となる。現行の気象レーダシステムは高度 2km 以下の雲・雷の観測が不可能である。ウェザーニューズは、次世代空モビリティの安全運航や最適なルート選定を支援するため、空飛ぶクルマ・ドローンなどが飛行する低高度の気象現象をより細かく観測する世界初の多周波気象レーダが、2029年のプロトタイプ稼働に向け開発を進めている。

現行航空機に対応したレーダ・ライダーは非常に高価であることから、空飛ぶクルマの運航に必要な配置数を確保することが困難という課題もある。従って、空飛ぶクルマに適したレーダ・ライダーの開発をすると共に、そのシステムの低価格化も必要と考えられる。

また、空飛ぶクルマの飛行する低高度には突風等の突発的な気象変動が生じることから、現行のレーダよりも精度の高い観測頻度の実現が求められる。具体的には、雲中の乱流を正確に捉えるには秒単位での観測精度が必要とされる。一方で、レーダの観測範囲と観測頻度はトレードオフの関係にあり、観測精度が高まると観測範囲が狭まり、運航に必要な配置数が増加してしまうことも課題であり、適切なトレードオフ検討が必要となる。

## (5) 3D マップ

### 1) 技術動向

空飛ぶクルマで活用されている、または活用が検討されている 3D マップの事例を表 2-25 に示す。

表 2-25 空飛ぶクルマにおける 3D マップの代表事例

事例	概要
エアロトヨタ※	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3次元点群データを活用し、空飛ぶクルマの離着陸場の適地選定シミュレーションや、コリドーのシミュレーションを行っている。</li> </ul>
Intermap(米国)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高解像度の地形データ「NEXTView」を提供しており、空飛ぶクルマにおいては主に航法で活用される想定である。</li> </ul>

出所)各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

※2025年7月1日より、朝日航洋株式会社からエアロトヨタ株式会社へ社名変更

エアロトヨタ社は、3次元空間情報サービス『good-3D』を提供しており、データ項目としては、土地や建物・植生を含めた点群データ、地物形状モデル、建物・植生を含まない地表面を表す点群データがある。また、静岡県とともに、3次元点群データを空飛ぶクルマの離着陸場の適地選定シミュレーションや、コリドーシミュレーションに活用する取組みも行っている。

Intermap 社(米国)は、高解像度の 3D 地形データ「NEXTView」を提供している。「NEXTView」は世界中の地形データをカバーしており、データ項目としては、地表面に加え、建物、水域、障害物、空港の詳細情報等が含まれる。

## 2) 技術課題

成熟度レベル 3 までは、操縦者が運航の安全性を向上するために必要な地図情報を提供することで十分であるが、成熟度レベル 4 以降においては、ユーザ利便性・快適性や運航の効率性確認のための地図情報や、高密度運航を行うために必要となる障害物の詳細情報を提供することが必要になると考えられる。そういった情報項目を提供することができるかという点が、3D マップの技術課題として想定される。

### 2.1.8 システム関連技術

#### (1) 技術動向

##### 1) MBSE の概要

Systems Engineering (SE) とは、「製品」を「複数のサブシステムによって構成されているシステム」と捉え、それらに求められる機能や関係性を明確にしていく技術的アプローチであり、V 字モデルを用いて説明されることが一般的である。

MBSE におけるモデルは「システムモデル」を指し、SE を実施する過程で明らかにした要求・機能・論理・部品・部品間の関係性などの情報をデータとして紐付けて記録し、それらを図的に整理して示すことができる。「システムモデル」を活用することで、分野が異なる開発担当者間での円滑な情報の受け渡しが可能になる、要求や機能の抜けや漏れに気づきやすくなる、等の効果を見込むことが出来るメリットがある。

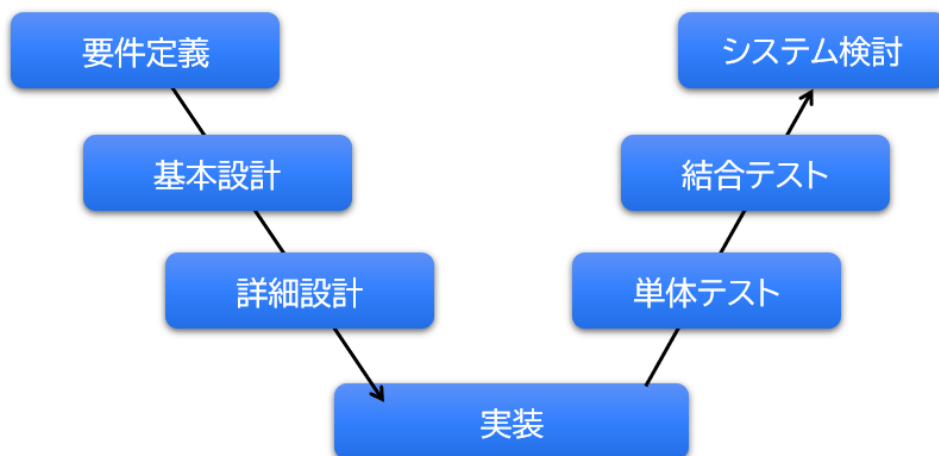


図 2-12 システムズエンジニアリングの概念を示した V 字モデル

出所)三菱総合研究所作成

## 2) 航空分野における MBSE の活用事例

航空宇宙・防衛関連における製品開発では、管理すべき要件とインタフェースの増加により、ドキュメンテーションの管理を MBSE で行うことが主流となっている。NASA の AAM リサーチの他、航空メーカの機体開発におけるドキュメンテーション管理に MBSE は使用されている。ホンダは空飛ぶクルマの機体開発だけでなく、自動車や他の交通手段との連携や管制システム等のモビリティエコシステム全体の設計に MBSE を活用し、相互関係にある周辺のシステムのデザインを行っている。

また、従来の認証プロセスに当てはまらないハイブリッド電気航空機等の新しい航空機に対する新しい認証基準を満たした適切な試験・シミュレーション等を行うために、MBSE を活用した認証ツールへの投資が不可欠とされている。耐空性認証プロセスにおいて以下の内容の管理に MBSE を活用し、設計後の整備・修理における耐空性の確保に繋がられている。

- 部品変更・設計変更の追跡
- 代替部品の使用記録
- 予知整備やトラブルシューティングの効果的な実施
- 設計による信頼性と整備現場で実証した信頼性の整合性の確保

また、国内におけるシステム関連技術に関する研究開発の代表事例としては、京都工芸繊維大学が、2022 年度採択の NEDO 先導研究プログラム/新技術先導研究プログラムにおいて、空飛ぶクルマの高精度飛行予測技術開発に取り組んでいる<sup>7</sup>。飛行試験の完全な再現が可能なシミュレーション技術の構築を目指し、空飛ぶクルマの基本動作（前進、加減速、離着陸、旋回）に関するシミュレーション技術構築や、非常時（強風環境下、失速時）における機体安定化技術の開発を行っている。

<sup>7</sup> <https://www.nedo.go.jp/content/100942094.pdf> (閲覧日:2025 年 3 月 3 日)

## (2) 技術課題

MBSE 等のシステム関連技術は、空飛ぶクルマの認証関連情報、設計関連情報、生産関連情報等について、様々な活用が期待されている。

生産管理分野においては、MBD (Model Based Definition) /MBI (Model Based Instructions) 連携技術に基づき、設計から製造現場までのデジタルツインの構築・導入により、設計変更、不具合、部品改修等の製品情報の管理に活用されることが期待され、開発作業におけるやり直し作業の削減を実現することが可能になる。また、空飛ぶクルマの量産体制の構築、安定生産を実現するには、サプライヤーを含む機体製造全体を一つのシステムとして一貫管理する SCM (Supply Chain Management) の構築・導入が必要となる。

一方で、これらシステム関連技術を活用するためには、開発メーカー個社だけでなく情報を共有する企業間及び業界内において、MBSE 等のシステム関連技術を活用することを前提とした、設計・開発に関する用語やデータ構造のルール化・標準化が課題となる。特に認証情報については、開発メーカーだけでなく認証を審査する側にも MBSE 等を活用する風土醸成を行っていく必要があることも課題に挙げられる。

### 3. 日本の強みとなる技術分野

#### 3.1 日本の強みとなる分野の選定方針

空飛ぶクルマに関連する要素技術開発において、今後日本の強みとなる分野の選定を行う。選定は、以下三つの観点で検討を実施する。

- ・ 空飛ぶクルマの機体メーカー等への技術採用実績のある分野
- ・ 他産業において日本が技術的優位性を獲得している分野であり、空飛ぶクルマ産業への技術活用が期待される分野
- ・ 技術力強化の必要な分野

空飛ぶクルマの機体メーカー等への技術採用実績のある分野に関する検討は、現在開発・製造が進められている機体メーカーまたは空飛ぶクルマの運航を行うことを予定している運航事業者と各要素技術メーカーの連携状況をもとに、現時点で日本企業が強みを持っている分野を主に機体メーカーへの技術採用実績の観点および研究開発実績の観点から選定する。

他産業において日本が技術的優位性を獲得している分野であり、空飛ぶクルマ産業への技術活用が期待される分野に関する検討は、製造業分野全般について市場規模／世界シェア等の観点から日本企業が強みを有している分野を整理した上で、日本企業が強みを有している分野の空飛ぶクルマとの関連可能性（技術・ノウハウ活用の可能性等）を整理する。その整理に基づき、今後、空飛ぶクルマ産業においても日本の強みとなり得る可能性のより高い分野を選定する。

技術力強化の必要な分野に関する検討は、経済産業省より発行の「経済安全保障に関する産業・技術基盤強化アクションプラン改訂版<sup>8</sup>」および「我が国航空機産業の今後の方向性について<sup>9</sup>」における航空機産業戦略（案）を参考に、空飛ぶクルマにおける重要インフラの確保および経済安全保障上重要な技術分野（「我が国が技術優位性を持つ領域」、「破壊的技術革新が進む領域」、「対外依存の領域」）を整理し、そのうち「破壊的技術革新が進む領域」「対外依存の領域」に該当する要素技術の中から、現段階では我が国の技術的優位性が高くない分野であるものの、成熟度レベル 4 に向けて特に技術力強化の必要性が高い分野を選定する。

<sup>8</sup> 経済産業省 大臣官房 経済安全保障室、経済安全保障に関する産業・技術基盤強化アクションプラン改訂版、[https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic\\_security/240515actionplan.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic_security/240515actionplan.pdf)

<sup>9</sup> 経済産業省 製造産業局、我が国航空機産業の今後の方向性について、[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/kokuki\\_uchu/pdf/2023\\_001\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kokuki_uchu/pdf/2023_001_02_00.pdf)

### 3.2 機体メーカー等への技術採用実績のある分野

#### 3.2.1 機体メーカーおよび運航事業者との連携状況

表 3-1 に機体メーカーへの技術採用実績の整理結果を示す（赤字は日本企業）。機体メーカーは、代表的な空飛ぶクルマのメーカーのうち、特に日本企業の技術が採用されているものを選定している。また、技術分野は、2章の要素技術ごとに整理を行っている。

表 3-1 機体メーカーへの技術採用実績

国	ドイツ	ドイツ	英国	米国	ブラジル	日本	日本
企業	Lilium※ <sup>1</sup>	Volocopter※ <sup>2</sup>	Vertical Aerospace	Joby Aviation	Eve Air Mobility	SkyDrive	Honda
機種	Lilium Jet	Volocity	VX4	Joby S4	Eve eVTOL	SkyDrive SD	Honda eVTOL
機体(構造部品製造)	Aciturri (機体製造) Aernnova (推進器搭載システム)	自社 (DG Flugzeugbau を買収)	GKN (翼) Leonardo (機体)	自社 トヨタ (電動化関連部品)	FACC DUC BAE KRD Latecoere RALLC Alltec	ジャムコ (内装品)	-
動力	デンソー& Honeywell (共同開発)	Safran	Hanwha (アクチュエータ)	自社	Nidec Aerospace (ニデックとの JV)	多摩川精機	自社 (ハイブリッド推進)
バッテリー	自社 Customcells	Safran Diehl (BMS)	Molicel	自社	EVE Energy	Electric Power Systems	自社 (ハイブリッド推進)
CNS 装備品	Thales (communication, navigation)	Honeywell (navigation)	Honeywell (アビオニクス)	-	Honeywell (navigation)	Avidyne (アビオニクス)	-
FMS	-	-	Honeywell (アビオニクス)	-	-	Avidyne (アビオニクス)	-
制御システム	Honeywell	Diehl	Honeywell	自社	Liebherr-Aerospace	Thales	-
DAA (衝突回避)	-	-	-	-	-	-	-
クラッシュワージネス	-	-	-	-	-	-	-
構造材料	東レ	-	Syensqo	東レ 日機装 (CFRP 製構造部品)	-	東レ	-

国	ドイツ	ドイツ	英国	米国	ブラジル	日本	日本
企業	Lilium※1	Volocopter※2	Vertical Aerospace	Joby Aviation	Eve Air Mobility	SkyDrive	Honda
機種	Lilium Jet	Volocity	VX4	Joby S4	Eve eVTOL	SkyDrive SD	Honda eVTOL
アセンブリ	Aciturri 自社	自社	-	自社 トヨタ(工程設計、治具・補助ツールの開発の知見提供)	Porsche	自社(Sky Works) スズキ	-
フリート管理システム	自社 GE Aerospace	自社 Swiss-AS(ソフトウェア)	-	自社	自社	-	自社
運航管理システム	-	-	-	-	自社	-	-
給電システム	Star Charge	-	-	自社	ニデック ASI(充電器) EDP(充電インフラ運用)	関西電力	-
気象システム	-	-	-	-	-	-	-
3D マップ	-	-	-	-	-	-	-

出所)各種公開情報に基づき三菱総合研究所作成

※1:Lilium 社は 2024 年 11 月に破産申請を行うと発表したが、M&A・財務再編による事業継続を模索しており(2024 年 12 月時点)、本表には含めることとする。

※2:Volocopter 社は 2024 年 12 月に破産申請を行うと発表したが、引き続き事業継続を模索しており(2025 年 1 月時点)、本表には含めることとする。

### 3.2.2 日本の強みとなる分野の選定

表 3-1 の機体メーカーへの技術採用実績に基づき、日本企業が複数事例で採用されている技術を日本の強みとなる分野として、以下の通り選定する。

#### ● 動力

- デンソーは、Honeywell（米国）と共同で軽量（4kg）・高出力（100kW）が特長のモータを開発しており、Lilium（ドイツ）に採用されている。デンソーは主にステータおよびロータの設計・供給を行っており、Honeywell がシステム全体の組上げを担っている。

図 3-1 に開発されたモータの外観を示す。出力密度 25kW/kg は、空飛ぶクルマ向けの他社製品と比較し 10 倍以上の値である。これには、磁気回路に新技術を導入することによるモータのトルク向上、高強度・軽量な部材をロータに用いることによる軽量化、高熱伝導樹脂材料をステータに用いることによる冷却性能向上、高効率な空冷システム等の技術が寄与していると考えられる。デンソーは、電動モータの提供に加え、Lilium Jet の電動推進システムの量産化に向けた生産の立ち上げや自動化について支援する予定である。

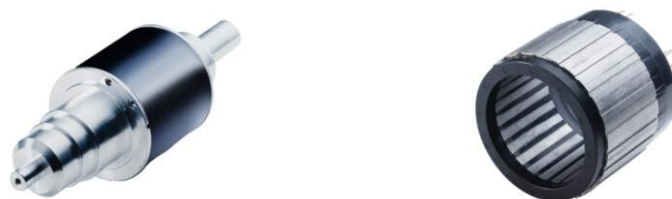


図 3-1 デンソーと Honeywell が共同開発したモータ(左:ロータ、右:ステータ)

出所) <https://www.denso.com/jp/ja/news/newsroom/2022/20220524-01/> (閲覧日:2024年12月19日)

- ニデックは、Embraer（ブラジル）と合弁会社 Nidec Aerospace を設立した。Nidec Aerospace では、電動推進システムの開発を行っており、最初の提供先は Eve Air Mobility（米国、Embraer の子会社）となる。ニデックは、Nidec Aerospace に対して、主に駆動モータに関する技術やノウハウを提供する。Nidec Aerospace は、将来的には空飛ぶクルマだけでなく、様々な電動航空機に電動推進システムを提供する予定としている。
- 多摩川精機は、SkyDrive へ空冷・高出力が特長のモータを供給している。これには、NEDO 委託研究事業「航空機用先進システム実用化プロジェクト」（2021～2022 年度）において開発した出力 100kW の空飛ぶクルマ向けモータの技術が活用されている。NEDO 委託研究事業で開発された 100kW モータの仕様は、定格出力 53.6kW、瞬時最大出力 103.5kW、全体出力密度 3.2kW/kg（モータ部は約 6kW/kg）である。モータの外観を図 3-2 に示す。モ

ータの特徴はモータ部とインバータ部が縦に一体化した「機電一体」である。これにより、構造がシンプルになり軽量化が可能となるだけでなく、密閉することで耐環境性が高まり、民間航空機向け装備品としての認証取得に繋がりやすくなると考えられる。また、冷却機構は、1 個の外部ファンで取り込んだ空気を内部に通過させて全体を冷やし、さらに 1 個の内部ファンで空気を循環させて冷却する空冷機構を採用している。



図 3-2 多摩川精機が開発する空飛ぶクルマ用モータの外観

出所) <https://www.tamagawa-seiki.co.jp/news/detail.php?id=1173> (閲覧日:2024 年 12 月 19 日)

- ▶ 本田技研工業は、自社の Honda eVTOL へ搭載するガスタービン・ハイブリッド推進システムの開発を行っている。図 3-3 にガスタービン・ハイブリッド推進システムのイメージ図を示す。直離着陸用に 8 つのロータ、推進用に 2 つのロータが用いられる。

ガスタービン・ハイブリッド推進システムの開発には、航空機 (HondaJet) や F1 で培った技術が活用されており、空力技術・燃焼技術によるエンジンの効率向上、F1 パワーユニット技術による超高回転ジェネレータ (1 分間に数万回転、ハイブリッド車の 10 倍以上)、減速機構などを設けずにジェネレータを直結させた一体構造によるコンパクト化、等が実現されている。

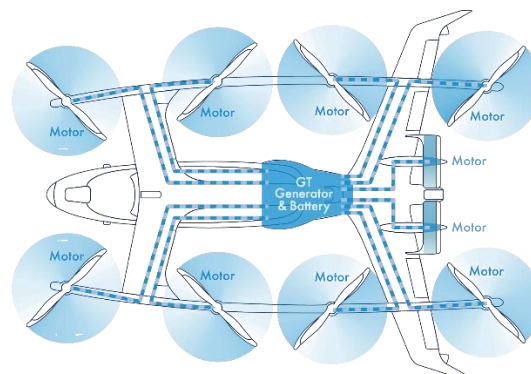


図 3-3 本田技研工業が開発するガスタービン・ハイブリッド推進システムのイメージ図

出所) [https://global.honda/jp/tech/eVTOL\\_gas\\_turbine\\_hybrid\\_system/](https://global.honda/jp/tech/eVTOL_gas_turbine_hybrid_system/) (閲覧日:2024 年 12 月 19 日)

- 構造材料

- 東レは、炭素繊維複合材料（CFRP）を炭素繊維織物・プリプレグ・中間機材等の幅広い形態で製品提供が可能であるという強みを持っており、Lilium（ドイツ）、Joby Aviation（米国）、SkyDrive へ提供を行っている。同社は、2026年度をめどに空飛ぶクルマの機体・翼に用いる CFRP の開発を行う研究施設を開く予定である。
- 積水化学は、Volocopter（ドイツ）が開発する Volocity に対して、航空・自動車・エレクトロニクス分野で培った材料技術（CFRP 等）を活用し、材料技術の適用・共同開発を行っている。加えて、日本における Volocopter の事業拡大の支援を目的に、資本業務提携契約を締結している。
- 日機装は、CFRP 構造部品を Joby aviation（米国）へ出荷している。日機装は、CFRP 製の航空機部品を長年にわたって設計・量産しており、特にジェットエンジン用ナセル部品「カスケード」は世界シェアが 9 割を超える。カスケードは、ジェットエンジンの気流を整える部材であり、気流を効率よく流すために高精度な加工が必要である。同社は、カスケードで培った高精度かつ複雑な CFRP 加工技術を活用し、Joby の機体構造部品の開発・試作を担っている。

- アセンブリ技術

- トヨタ自動車は、Joby Aviation（米国）に対して、生産しやすい工程の設計、治具・補助ツールの開発の知見提供に加え、電動化関連部品の供給を行っている。また、Joby Aviation へ累計 8.94 億ドルの投資を行っており、空飛ぶクルマの研究開発・実用化を支援している。
- スズキは、SkyDrive および製造子会社である Sky Works に対して、出資及び工場の提供等を行っている。将来的には、製造ラインの生産性向上、サプライチェーンマネジメント構築等で支援することが期待されている

- 給電システム：

- 関西電力は、電気自動車や蓄電池等の分野で培った知見を活かし、急速充電かつ効率的なエネルギー管理の実現を視野に、SkyDrive と空飛ぶクルマの充電設備の共同開発を行っている。また、同社は、Vertical Aerospace（英国）と空飛ぶクルマ事業に係る業務提携契約を締結し、日本およびアジア地域における空飛ぶクルマ向け充電器・充電インフラ設備の調査・開発を計画している。
- ニデック ASI は、充電器の技術とバッテリーエネルギー貯蔵システム(BESS)製品のエネルギー管理技術を統合した安全で信頼性のある高効率の電力システム

を開発している。Eve Air Mobility 社の空飛ぶクルマの地上設備マニュアルにおいて、ニデック ASI 製の充電器が推奨されることが決定している。

### 3.3 他産業において日本が技術的優位性を獲得している分野であり、空飛ぶクルマ産業への技術活用が期待される分野

#### 3.3.1 日本が強みを持つ産業分野に関する分析

##### (1) 製造業全般における日本企業の世界シェア

はじめに、製造業全般における日本企業の世界シェアを確認する。ここでは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による「2023年度日系企業のモノとサービス・ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」の調査結果の中から、日系企業、米国系企業、欧州系企業、中国系企業の各産業によって生み出される代表的な最終製品、中間製品、部素材等を含む製品群の世界市場規模と世界シェアに基づき、日本企業がどの産業に強みを有しているかを分析する。

図 3-4 は、2022 年における日本、米国、欧州、中国の企業が生産した主要製品の売上高、世界市場規模、世界シェアを示している。図中のバルーンは日本が生産する主要な品目を表し、バルーンの大きさはその売上高を表している。この内、売上高が 1 兆円を超える製品は 25 品目、そのうち売上高 10 兆円以上の品目は 5 品目である。これらの製品の内訳としては、医療用医薬品以外のすべての品目が自動車・ハイブリッド車関連分野であった。

また、世界シェアが 60%以上の製品は 8 品目あり、カメラ・ゲーム機・エアコン等の家電製品関連が 6 品目、自動車等の部素材・関連製品が 2 品目となっている。

以上の結果から、世界シェア・売上高の観点で日本が強みを持つ産業分野は、自動車・ハイブリッド車分野および家電製品分野といえる。

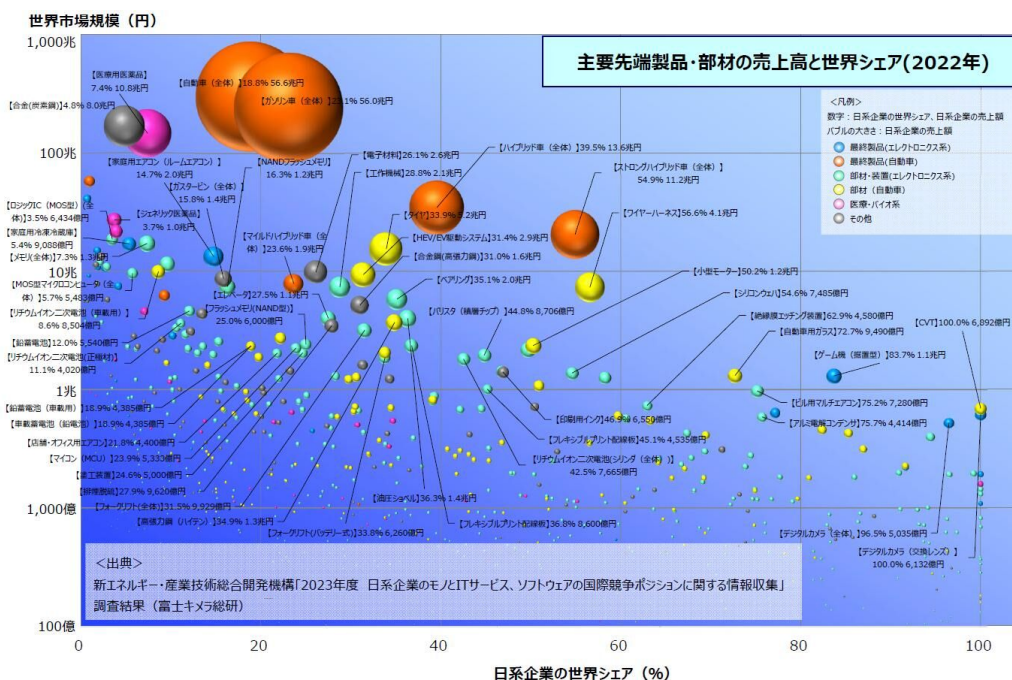


図 3-4 日系企業が生み出した主要先端製品・部材の世界市場規模および世界シェア(2022年) 出所)新エネルギー・産業技術総合開発機構「2023年度日系企業のモノとITサービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」

表 3-2 主要先端製品・部材における売上高 1 兆円以上の製品

#	品目	世界シェア(%)	売上高(兆円)
1	自動車	18.8	56.6
2	ガソリン車	23.1	56
3	ハイブリッド車	39.5	13.6
4	ストロングハイブリッド車	54.9	11.2
5	医療用医薬品	7.4	10.8
6	合金(炭素鋼)	4.8	8
7	タイヤ	33.9	5.2
8	ワイヤーハーネス	56.6	4.1
9	HEV/EV 駆動システム	31.4	2.9
10	電子材料	26.1	2.6
11	工作機械	28.8	2.1
12	ベアリング	35.1	2
13	家庭用エアコン	14.7	2
14	マイルドハイブリッド車	23.6	1.9
15	合金鋼(高張力鋼)	31	1.6
16	油圧ショベル	36.3	1.4
17	ガスタービン	15.8	1.4
18	高張力鋼(ハイテン)	34.9	1.3
19	メモリ	7.3	1.3
20	小型モータ	50.2	1.2
21	NAND フラッシュメモリ	16.3	1.2
22	ゲーム機	83.7	1.1
23	エレベータ	27.5	1.1
24	ジェネリック医薬品	3.7	1

出所)新エネルギー・産業技術総合開発機構「2023 年度日系企業のモノと IT サービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」に基づき三菱総合研究所作成

表 3-3 主要先端製品・部材における世界シェア 60%以上の製品

#	品目	世界シェア(%)
1	CVT	100
2	デジタルカメラ(交換レンズ)	100
3	デジタルカメラ(全体)	96.5
4	ゲーム機	83.7
5	アルミ電解コンデンサ	75.7
6	ビル用マルチエアコン	75.2
7	自動車用ガラス	72.7
8	絶縁膜エッチング装置	62.9

出所)新エネルギー・産業技術総合開発機構「2023 年度日系企業のモノと IT サービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」に基づき三菱総合研究所作成

## (2) 日本が強みを持つ産業分野における空飛ぶクルマとの関連性の検討

前項で特定した日本が強みを持つ産業分野について、空飛ぶクルマとの関連性を整理する。

また、前項で特定した日本が強みを持つ産業分野には該当しないものの、空飛ぶクルマとの関連性が非常に高いと考えられる民間航空機分野についても分析・整理を行う。

### 1) 自動車分野（ハイブリッド車等含む）

自動車分野について、その中間製品のうち世界シェアが 60%を超える製品を表 3-4 に示す。CVT、車載蓄電池、インバータ、モータ等が上位を占め、国内の自動車・ハイブリッド車分野は動力・電源分野に特に強みを有していることが分かる。以降では、各分野における空飛ぶクルマとの関連可能性について述べる。

表 3-4 自動車分野の中間製品における世界シェア 60%以上の製品

#	品目	世界シェア(%)
1	CVT	100
2	車載蓄電池(ニッケル水素電池)	91.6
3	インバータ	82.4
4	自動車用ガラス	72.7
5	モータ(ハイブリッド車用)	69.4
6	ヘッドアップディスプレイ	65.7
7	ドライバーモニタリングシステム(DMS)	61.6

出所)新エネルギー・産業技術総合開発機構「2023 年度日系企業のモノと IT サービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」に基づき三菱総合研究所作成

#### ● モータシステム分野

空飛ぶクルマに求められるモータシステムの特徴としては、軽量化、高トルクでの連続出力、冷却性、高信頼性が代表的なものとして挙げられる。

重量に関する空飛ぶクルマと自動車におけるモータシステムの違いは、機体総重量に対して推力装置、EPU (Electric Propulsion Unit) の重量の割が大きいことである。EPU はインバータとモータ両方を含んだ重量を指している。機体の総重量 2000kg 程度を想定した場合、自動車用の EPU は最大でも 50kg 程度であるのに対し、空飛ぶクルマ用の EPU は 300kg ほどと機体総重量に対する EPU の割合が非常に大きい。機体総重量の増加は、その重量での飛行維持のため多くの電力を必要とする為、バッテリー重量増加に繋がってしまう。また、EPU やバッテリーの重量が増えると、その分ペイロードが少なくなり、ビジネス面へのデメリットも大きい。その為、空飛ぶクルマ用のモータシステムは軽量化が重要な課題となっている。電気自動車用のモータの構造材料には、製造コスト低減の観点で一般的には鉄やステンレス、アルミなどの材料が使用されている。空飛ぶクルマ用にはより比強度の高い材料を使用し、強度の維持と軽量化を両立する必要

があり、例えばチタンや CFRP 等の適用が必要である。

空飛ぶクルマ用のモータシステムには、自動車と比較して高トルクでの連続出力が求められることから、モータからの熱を効率よく排出する高い冷却性も求められる。電気自動車における冷却システムは液冷方式が主流であるが、空飛ぶクルマについては軽量化の観点から空冷方式が望ましいと考えられる。

また、モータ方式についても、自動車用と空飛ぶクルマ用には求められる特性に違いがある。自動車は、市街地における低トルク駆動での主な活用その他、高速走行時の高回転モータ駆動や急坂路走行でも高トルクモータ駆動など可変速度／トルクにおける使用に適したモータの適用が望ましい。空飛ぶクルマ用のモータについては、可変速特性は不要であり、高トルク領域での連続駆動に適したモータの適用が求められる。国内モータメーカーのデンソーはこれらの特徴から、空飛ぶクルマ用のモータについては高トルクを出しやすい表面に磁石を貼り付けた SPM 型のロータを採用している。

以上のことから、自動車用と空飛ぶクルマ用のモータシステムには、主に重量やモータ特性の観点で異なる技術要求が多くあり、そのままの技術適用は難しいのが現状である。一方で、自動車用のモータシステムを開発するデンソーのように、自動車業界で培った品質力や量産力を活かしつつ、空飛ぶクルマに適したモータの検討・開発能力を有する企業も存在することは特筆すべきである。

#### ● 車載用蓄電池分野

ニッケル水素電池は、ハイブリッド車（HEV）における車載用蓄電池として活用されている技術である。ニッケルカドミウム電池に比べて高い容量密度を持ち、過充電や過放電にも強く、比較的安全性が高いこと、比較的環境負荷が低いことから、車載用蓄電池の他、家庭用電子機器など幅広い用途で採用されている。また、比較的安価に製造でき、かつ大容量であることが特徴とされている。一方、自然放電しやすく、二次電池の中では寿命が短いことが課題とされている。

ハイブリッド車用の車載用蓄電池としては、リチウムイオン電池を適用することが一般的であるが、トヨタ自動車は「バイポーラ型」のニッケル水素電池を駆動用の車載電池として世界で初めて採用した新型アクアを発表している。図 3-5 にニッケル水素電池の構造の違いを示す。バイポーラ型とは、集電体の片面に正極をもう一方の面に負極を塗って「バイポーラ電極」とし、これを複数枚重ねる構造の電池モジュールである。従来型のニッケル水素電池に比べて集電体の枚数や電池セルの外装材の使用量など、部品点数を減らせるため小型化に向いており、通電面積が広く大電流を流しやすいことが特徴である。

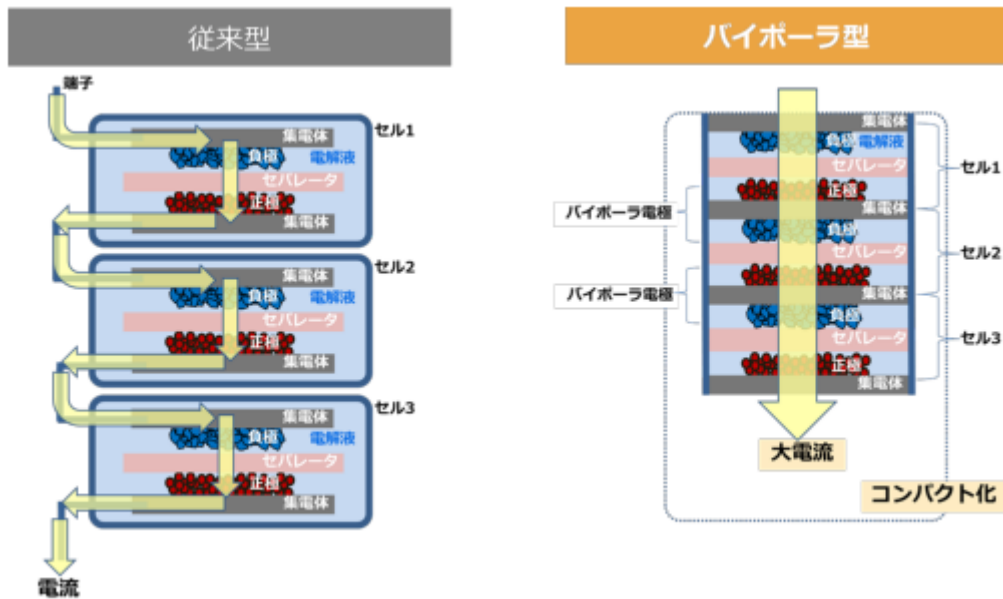


図 3-5 ニッケル水素電池の構造の違い

出所) <https://global.toyota.jp/newsroom/toyota/35550666.html> (最終閲覧日 2024 年 12 月 2 日)

空飛ぶクルマに適用するバッテリーとして満たすべき要求は、軽量かつ大容量であることが挙げられる。トヨタ自動車は、バイポーラ型ニッケル水素電池の容量密度について 1000Wh/L (約 135Wh/kg) と公表している。空飛ぶクルマ用のバッテリーには初期的な導入の時点で最低でも 200Wh/kg 程度の容量密度が必要であり、ニッケル水素電池は空飛ぶクルマへの適用には適さないといえる。

ここで、ニッケル水素電池以外の車載用蓄電池についても触れておく。表 3-5 に蓄電池の種類と特徴を示す。一般的に車載用蓄電池として活用されているリチウムイオン電池は、現行でも 250~350Wh/kg 程度の製品が市場に出ており、短期的には空飛ぶクルマへの適用が可能である。

一方で、今後空飛ぶクルマに求められる航続距離の増加やペイロードの増加に伴い、成熟度レベル 4 にはバッテリーパックあたりの容量密度として 550Wh/kg 程度が要求される。また、サイクル寿命としては 1500 回程度が要求されることが想定される。All electric 推進方式でこの要求値を実現するには、次世代リチウムイオン電池 (リチウム硫黄電池、リチウム空気電池)、全固体電池の適用が必要である。これらの次世代バッテリーは既に電気自動車での活用に向けた研究開発が進められている。リチウム硫黄電池は、日本の GS ユアサ社が 400Wh/kg での実証実験に成功しており、500Wh/kg を目指して研究開発が進められている。また米国の Drexel 大学では、同電池に多孔質カーボンナノファイバー上に硫黄を担持させた集電体兼正極材を使用することでサイクル寿命 4000 回の電池の開発を達成している。リチウム空気電池については、国内メーカーである NIMS が、456Wh/kg、24 サイクルの電池開発を達成している。全固体電池は、国内メーカーではマクセル、パナソニック、ソフトバンクなど多数の企業が開発を進めている。ソフトバンクと Enpower Japan は、300Wh/kg の全固体電池セルの開発に成功しており、パナ

ソニックが開発したドローン搭載用の小型電気での実証では 1 万～10 万回程度の高いサイクル寿命の達成に成功している。その他、自動車メーカーであるトヨタ自動車や日産自動車は 2028 年頃の電気自動車への全固体電池搭載をめざし、生産ライン、サプライチェーンの構築に取り組んでいる。

これらの次世代バッテリーは今後空飛ぶクルマへの技術活用が期待される。一方で、陸上用の自動車から空用への転用という観点で、更なる軽量化、容量密度の向上の他、高信頼性、使用温度範囲等の使用条件の拡大などの課題が挙げられる。軽量化、容量密度の向上に関しては、自動車用に開発される電池は、空飛ぶクルマにおける要求値よりも低い容量密度で製品化されることが想定され、空飛ぶクルマ向けに性能の向上が必要となる。

また、自動車用に製造されたこれらの電池が空飛ぶクルマよりも低い安全規格に基づいて製品化された場合にはそのままの適用は不可となり、空飛ぶクルマに対応した信頼性のより高い安全規格での製品開発が必要となる。最後に、使用温度については、空飛ぶクルマは上空の低温環境等の自動車では想定されていない環境下での運用も想定されるため、使用条件の拡大・検討が必要となると考えられる。

表 3-5 蓄電池の種類と特徴

種類	利点	課題
ニッケル水素電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● メモリ効果がない</li> <li>● 過充電/過放電に強い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自己放電が大きい</li> </ul>
リチウムイオン電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● メモリ効果がない</li> <li>● 動作電圧が高い</li> <li>● 容量密度が高い</li> <li>● 長寿命</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高価</li> <li>● 過充電による損傷</li> <li>● 温度変化に弱い</li> </ul>
リチウム硫黄電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 理論容量密度が 2500Wh/kg と従来のリチウムイオン電池と比較し極めて高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 安全性(漏液・可燃性)が低い</li> <li>● 要求値の容量密度を実現するためには、特に正極活物質(硫黄)や電解液に対する改良が必要</li> </ul>
リチウム空気電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 理論容量密度が 3000Wh/kg であり、従来のリチウムイオン電池と比較し 10 倍以上と高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● サイクル寿命が短い</li> <li>● 安全性(漏液・可燃性)が低い</li> <li>● 容量密度とサイクル寿命にトレードオフがあり、双方を向上させるためには、電解質膜の改良や新規材料の適用が必要</li> </ul>
全固体電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 安全性が高い</li> <li>● 動作温度範囲が広い</li> <li>● 充電時の発熱に強く急速充電が可能</li> <li>● サイクル寿命に優れる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大型全固体電池の開発には、活物質や電解質の充填技術の向上が必要</li> <li>● 要求値の容量密度を実現するためには、新しい正極・負極材料の適用が必要</li> </ul>

出所)各種公開資料に基づき三菱総合研究所作成

● ドライバーモニタリングシステム (DMS)

ドライバーモニタリングシステム (DMS) とは、車搭カメラやセンサを使用して、ドライバーの状態をリアルタイムで監視する技術であり、ドライバーの顔や目の動き、体の姿勢、心拍数や疲労度を検知することで、ヒューマンエラーによる交通事故を防ぐことを目的としたシステムである。同技術は、高度な自動運転の支援機能として重要なシステムである。

国内自動車メーカー SUBARU の開発した DMS は、安全運転をサポートする機能として、①わき見運転時の警報、②眠気・居眠り時の警報に加えて、量産車として世界初のドライバーの③個人認証機能を有している。安全運転をサポートする①、②の機能は、一定時間以上目を閉じていたり、顔の向きを前方から大きく外したりするなど、ドライバーに眠気や不注意があるとシステムが判断した場合、警報音や警告表示で注意喚起をする機能である。③ドライバーの個人認証は、乗車時にドライバーの顔を認識し、あらかじめ

め設定しておいたシートポジションやドアミラー角度へ自動的に調整する機能を有している。

これらの自動運転の支援機能は、空飛ぶクルマの自動操縦において操縦者の支援機能への活用も期待される。特に SUBARU の開発する DMS の個人認証機能については、現状はドライバーの認証に基づいた運転環境の調整にとどまっているが、この個人認証機能を使用すれば認証を取得した操縦者かどうかの照合を行った上で運航を行えるなど、より安全性の高い運用フローの構築やセキュリティに関する対策にも活用されることが期待できると考えられる。

## 2) 家電関連製品分野

家電関連製品分野について、特に大きな世界シェアを有している品目は、表 3-3 より、デジタルカメラ（交換レンズ、本体）、ゲーム機、ビル用マルチエアコンである。いずれの製品も空飛ぶクルマの要素技術への直接的な関連性は低いと考えられる。

## 3) 民間航空機分野

民間航空機に関する機体・エンジン・装備品市場における、外資系企業と日本企業の世界シェアの全体割合を図 3-6 に示す。日本企業の世界シェアは 4.0%と低い。また、個々の最終製品についても日本企業の世界シェアは低いのが現状である。

機体・エンジン・装備品の中間製品の世界シェアを表 3-6 に示す。この表より、機内装備に関連する品目（娯楽システム、手荷物用鏡）は高い世界シェアを有しており、機内での快適性や利便性に関わる製品・部品に強みを有していることが分かる。また、炭素繊維複合材料やチタノ繊維は高いシェアを有しており、航空については素材分野に強みを持っていることが分かる。

もともと空飛ぶクルマの製造には、現行の航空機における部素材、製造に係る様々な知見が活用されており、これら日本が強みを有している航空機関連製品は、いずれも空飛ぶクルマへの技術転用の可能性が高いと考えられる。

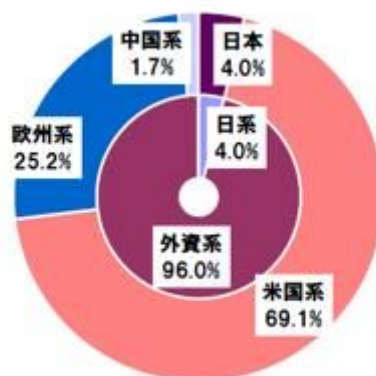


図 3-6 民間航空機に関する機体・エンジン・装備品市場における世界シェア  
出所) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「2023 年度日系企業のモノと IT サービス、ソフトウェアの国際競争  
ポジションに関する情報収集」

表 3-6 機体・エンジン・装備品の中間製品の世界シェア

機体・エンジン・装備品 (中間製品)	日系企業 (百万円)	日系企業 シェア(%)
機体・部品(全体)	144,400	1.8
機体・部品(タイヤ)(内数)	5,000	14.5
エンジン本体	146,000	6.3
与圧・空調システム	△	△
アビオニクス/飛行制御システム	-	-
電源システム	△	△
降着システム	6,300	1.3
化粧室	8,700	27.9
ギャレー	10,500	19.6
娯楽システム	95,000	73.2
座席	2,600	0.9
手荷物用鏡	150	100.0
炭素繊維複合材	56,340	60.5
チラノ繊維	1,280	100.0
バイオジェット燃料(SAF)	-	-

※△は僅少(基本的に売上/市場規模1億円以下)を示している。

出所)新エネルギー・産業技術総合開発機構「2023年度日系企業のモノとITサービス、ソフトウェアの国際競争ポジションに関する情報収集」

#### ● 素材分野

素材については、国内メーカーの東レは有人航空機産業において採用実績の高い CFRP 等の炭素繊維複合材について、既に空飛ぶクルマの製造を行う機体メーカーへの採用実績を複数有している。チラノ繊維は、その高い耐熱性から航空機エンジンの燃焼室やタービンなどの高温エリアで活用される素材である。同繊維は炭化ケイ素 (SiC) で出来た繊維で、耐熱性は 1800℃以上、重さは金属の 3 分の 1 程度である。チラノ繊維は世界で 2 社しか製造していない特殊な繊維材料であり、その 2 社はいずれも国内の材料製造メーカーである宇部興産、日本カーボンである。今後、空飛ぶクルマの更なる高速化や航続距離の増加が求められれば、電動動力だけでなく内燃機関を活用した推進方式の導入も検討されている。そうなれば、チラノ繊維が空飛ぶクルマの内燃機関における素材技術として日本の強みとなることも考えられる。

#### ● 娯楽システム分野

今後空飛ぶクルマがより広く社会に受け入れられていくには、安全性の向上だけでなくキャビン内の快適性の向上が今後さらに求められると考えられる。また、航続距離の増加が求められ、機内滞在時間の増加に伴う機内娯楽システムの需要の高まりも想定される。その観点で、現行航空機分野における機内での快適性や利便性に関わる製品・部品の実績・知見を有していることは、今後空飛ぶクルマにおけるキャビン内の快適性の向上に関わる検討・製品開発において大きな強みとなる可能性がある。

機内娯楽システムに関する代表的な日系メーカーにはパナソニックアビオニクス社が挙げられる。同社は機内向け娯楽システムおよびインターネット接続に関するソフトウェ

アおよび機器の製造およびそのメンテナンス業務を行っている。同社は、日本航空、全日本空輸、ユナイテッド航空、シンガポール航空等の世界 300 社へ機内娯楽システムを含むアビオニクス製品・テクニカルサービスの提供を行った実績を有している。

### 3.3.2 日本の強みとなる分野の選定

3.3.1 項目における分析結果を踏まえ、日本の強みとなる分野を整理する。成熟度レベル 4 において日本の強みとなる分野の仮説としては、自動車分野、民間航空機分野より以下項目を選定する。

- 自動車分野

- 車載用蓄電池

- ◇ リチウムイオン電池
- ◇ リチウム硫黄電池
- ◇ リチウム空気電池
- ◇ 全固体電池

- 自動運転の支援機能（DMS）

※ここで自動運転の支援機能（DMS）は、空飛ぶクルマにおける要素技術としては、機体技術におけるオートパイロット機能の支援機能の一部として活用が期待されるものと整理する。

- 民間航空機分野

- 素材

※ここで娯楽システムについては、成熟度レベル 4 において日本の強みとなる分野の対象外とした。成熟度レベル 4 における運航想定では、最長で片道 100km（航続距離 200km）程度の地方空港間輸送等におけるユースケースでの活用が想定される。要素技術ロードマップにおける成熟度レベル 4 時点でのティルトロータ機の要求仕様より、機体の飛行速度が 240km/h と仮定した場合、片道での機内滞在時間は最大でも 30 分程度と考えられる。機内での娯楽システムの活用が期待されるのは、航続距離が延伸し、機内滞在時間が 1 時間程度など比較的長時間となるユースケースへの活用が想定される成熟度レベル 5 または 6 の年次想定となると考えられる。以上のことから、娯楽システムについては、成熟度レベル 4 において日本の強みとなる分野の対象外とした。

### 3.4 技術力強化の必要な分野

#### 3.4.1 空飛ぶクルマ産業における重要インフラの確保および経済安全保障上重要な分野の整理

「技術力強化の必要な分野」の選定については、重要インフラの確保、経済安全保障の維持強化等の観点で成熟度レベル 4 に向けて技術力を獲得すべき重要分野の分析・整理を行う。

空飛ぶクルマ産業における、重要インフラの確保および経済安全保障上重要な分野の選定については、経済産業省より発行の「経済安全保障に関する産業・技術基盤強化アクションプラン改訂版<sup>10</sup>」および「我が国航空機産業の今後の方向性について<sup>11</sup>」における航空機産業戦略案などを参考に、空飛ぶクルマにおける重要インフラの確保および経済安全保障上重要な技術分野を以下 3 領域に整理する。(図 3-7 参照)

- ✓ 我が国が技術優位性を持つ領域
- ✓ 破壊的技術革新が進む領域
- ✓ 対外依存の領域

「我が国が技術優位性を持つ領域」については、既存の開発・研究において我が国の技術優位性が高い領域であり、3.1 及び 3.2 において日本の強みとして選定している分野が該当すると考えられる。一方で、「破壊的技術革新が進む領域」は、現在世界各国で研究開発が盛んに行われている領域であり、現時点で我が国が技術優位性を有していない分野であっても、今後の研究開発および投資の促進によっては技術優位性が反転する可能性がある領域と言える。また、「対外依存の領域」については、技術以外の要因が差別化要因となり、対外依存を起し我が国の技術優位性が低い領域である。

本検討では、現時点で我が国が技術優位性を有していない分野であるものの、今後の研究開発および投資の促進によっては技術優位性が反転する可能性がある「破壊的技術革新が進む領域」に該当する要素技術を中心に、成熟度レベル 4 に向けて特に技術力強化の必要性が高い分野を選定する方針とする。

<sup>10</sup> 経済産業省 大臣官房 経済安全保障室、経済安全保障に関する産業・技術基盤強化アクションプラン改訂版、[https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic\\_security/240515actionplan.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic_security/240515actionplan.pdf)

<sup>11</sup> 経済産業省 製造産業局、我が国航空機産業の今後の方向性について、[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/kokuki\\_uchu/pdf/2023\\_001\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kokuki_uchu/pdf/2023_001_02_00.pdf)

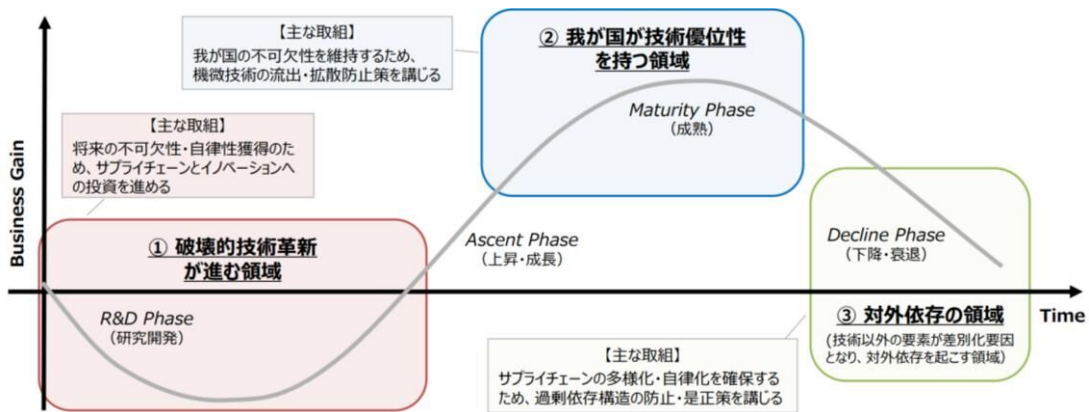


図 3-7 我が国における重要な技術・物資を特定する上での整理・イメージ図

出所) 経済産業省 大臣官房 経済安全保障室、経済安全保障に関する産業・技術基盤強化アクションプラン改訂版

上記の方針に基づき、空飛ぶクルマの要素技術を、空飛ぶクルマにおける重要インフラの確保および経済安全保障上重要な技術分野の 3 領域に整理した概略を図 3-8 に示す。当該図のうち、成熟度レベル 4 に向けて特に技術力強化が求められる技術分野を黄色ハッチング、「破壊的技術革新が進む領域」に含まれる具体的な技術・方式を赤字で示している。各要素技術の 3 領域への振り分けについては、第 2 章に示す各要素技術の動向調査結果および国内の空飛ぶクルマに関する研究開発プログラムの動向等に基づき整理を行った。当該整理において参照した、国内の空飛ぶクルマに関連する研究開発プログラムには、NEDO 先導研究プログラム/新技術先導研究プログラムおよび経済安全保障重要技術育成プログラムから空飛ぶクルマおよび航空機に関連する研究テーマとした。参照した具体的な研究テーマについては Appendix1. 国内における空飛ぶクルマに関する研究開発プログラムの本文書への反映を参照すること。



図 3-8 空飛ぶクルマ産業における重要インフラの確保および経済安全保障上重要な分野の整理案

出所)三菱総合研究所作成

※成熟度レベル 4 に向けて特に技術力強化が求められる分野を黄色ハッチング、うち「破壊的技術革新が進む領域」に含まれるものを赤字表記

### 3.4.2 成熟度レベル 4 に向けて特に技術力強化が求められる分野

図 3-8 より、成熟度レベル 4 に向けて特に技術力強化が求められる分野には、破壊的技術革新が進む領域に該当し、かつ我が国が技術的優位性を現時点で有していない技術・方式を含む、バッテリー、交通管理システム、通信システム、監視衝突回避、制御・誘導（機上システム関連）、システム関連技術の 6 分野を選定した。各分野において「破壊的技術革新が進む領域」に該当し、今後技術力強化が必要と考えられる具体的な技術・方式を表 3-7 に整理する。

対象となる技術・方式のうち、ソフトウェア・システム開発に関する具体的な項目については、ReAMo プロジェクト要素技術 WG において検討・選定した「成熟度レベル 3 及び 4 の運航において優先して拡充が必要な自動化機能」に関する検討結果をベースに設定した。以降では、各要素技術における成熟度レベル 4 における要求値の達成に向けた課題等について述べる。

表 3-7 成熟度レベル 4 に向けて特に技術力強化が求められる技術項目

要素技術項目	対象となる技術・方式
バッテリー	<ul style="list-style-type: none"> <li>●全固体電池</li> <li>●リチウム硫黄電池</li> <li>●リチウム空気電池</li> </ul>
交通管理システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ソフトウェア・システム <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 交通管理 関連システム(機体との連携項目、AATM 機能(DFR の実現に向けた機能実装を一部含む))</li> <li>✓ 離着陸場管理 関連システム(VAS(離着陸場のスロット管理、離着陸支援))</li> </ul> </li> </ul>

要素技術項目	対象となる技術・方式
通信システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>●HAPS</li> <li>●移動通信システム(B5G/6G)</li> <li>●衛星通信 等</li> </ul>
監視・衝突回避 (機上装備品関連)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●機体搭載センサ</li> </ul>
制御・誘導 (機上システム関連)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ソフトウェア・システム <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ オートパイロット機能 関連システム(運航判断、周辺監視・回避、飛行計画の設定、離着陸操作)</li> </ul> </li> </ul>
システム関連技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>●MBSE、MBD、MBI 等 (CbA 等の認証に関するシステム関連技術を含む)</li> </ul>

出所)三菱総合研究所作成

## (1) バッテリ

バッテリー分野では、成熟度レベル 4 相当では容量密度 550Wh/kg 程度、サイクル寿命としては 1500 回程度の達成が要求される。All electric 推進方式においてこれらの要求値を実現するには、次世代リチウムイオン電池(リチウム硫黄電池、リチウム空気電池)、全固体電池の適用が必要である。次世代リチウムイオン電池及び全固体電池は、既に電気自動車分野において研究開発が進められており、その動向は 3.3.1(2) 1) に述べたとおりである。

リチウム硫黄電池は、実証また研究開発段階ではあるものの、現時点で容量密度 400Wh/kg、サイクル寿命 250~4000 回を達成している。成熟度レベル 4 における要求値の達成に向けては、特に要求値の容量密度を実現するために正極活物質(硫黄)や電解液に対する改良が課題となっている。また、漏液や可燃性の観点で安全性にも課題がある。

リチウム空気電池は、研究段階のものを含めて、現時点で容量密度 456Wh/kg、サイクル寿命 24 回を達成している。成熟度レベル 4 における要求値の達成に向けた課題としては、リチウム空気電池は容量密度とサイクル寿命にトレードオフがあり、双方を向上させるためには、電解質膜の改良や新規材料の適用が必要となることが挙げられる。また、漏液や可燃性の観点で安全性にも課題がある。

全固体電池は、実証段階のものを含めて、現時点で容量密度 300Wh/kg、サイクル寿命 1 万~10 万回を達成している。成熟度レベル 4 における要求値の達成に向けた課題としては、空飛ぶクルマのバッテリーとして実装可能な大型全固体電池の開発には、活物質や電解質の充填技術の向上が必要となることが挙げられる。また、要求値の容量密度を実現するためには、新しい正極・負極材料の適用が必要となる。現在、電気自動車用に開発されている全固体電池を空飛ぶクルマに適用する場合の課題としては、固体電解質の固縛機構を設ける場合には構造重量増加に繋がってしまうことが挙げられる。

## (2) 交通管理システム

交通管理システムについては、交通管理の自動化および離着陸場管理の自動化に着目し、成熟度レベル 4 において想定される空飛ぶクルマの運航の自動化において優先して拡充が必要な機能を整理した。各機能の自動化に関する現状の実現値と成熟度レベル 4

において実現が求められる自動化レベル達成に向けた課題を整理する。

はじめに、1.3項目に示す成熟度レベル4において空飛ぶクルマの実装イメージを前提とし、成熟度レベル4において自動化が進展した運航状態におけるステークホルダの主な役割分担の想定を図3-9に示す。ここでは、交通管理の自動化および離着陸場管理の自動化に着目し、主なステークホルダの役割について述べる。

ステークホルダのうち、交通管理の主な役割を担うのはAATMであり、その役割は飛行計画の調整・承認、空域・路線容量管理、間隔調整、ATM・UTM調整、運航情報のAASA関係者への共有などが挙げられる。また、離着陸場管理についてはAATMやグラウンドハンドラとの一部役割分担は考えられるものの、主な役割はパーティポート事業者が担うと考えられる。パーティポート運用事業者の主な役割としては、駐機・離着陸のロット管理（離着陸順位含む）、離着陸誘導、離着陸軌道生成、ポート運用状況のAASA関係者への共有などが挙げられる。AATM-パーティポート事業者間では、運航状況およびパーティポート運用状況に関する情報連携がなされると想定される。

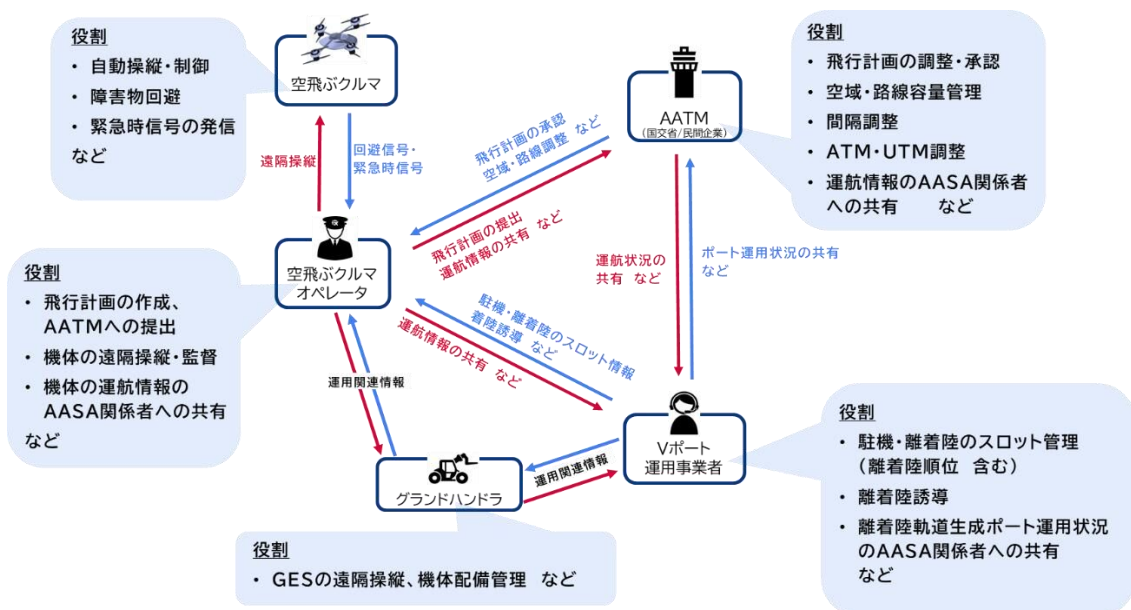


図 3-9 成熟度レベル4において自動化が進展した運航状態におけるステークホルダの主な役割分担

出所)三菱総合研究所作成

上述した、運航管理および離着陸場管理の自動化におけるステークホルダの役割に基づき、成熟度レベル4の運航において優先して拡充が必要な自動化機能を表3-8および表3-9の通り整理した。また各機能について、成熟度レベル4における自動化レベルの要求値、現状の実現値、要求値の実現に向けた課題を示す。現状の実現値には、原則「現在の有人航空機における自動化レベル」を整理する。

各機能の自動化レベルは、Secondary level、Primary level、Fully Automated の3段階で整理している。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。

表 3-8 および表 3-9 に示す機能のうち、赤字で示す機能（交通管理の自動化については、機体との連携項目における緊急時対応機能、AATM 機能における飛行計画の自動調整機能、間隔調整機能、ATM/UTM 調整機能。離着陸場運用の自動化については、離着陸支援機能。）については、関連情報に基づいた「判断」が必要な機能であり、その判断基準の指標化・定量化およびアルゴリズムの検討が困難と考えられ、その実現には技術革新が必要となる。例えば、AATM 機能における「飛行計画の自動調整」については、交通量予測結果に基づき、離陸・上昇、巡航、降下・着陸、スポット移動等、飛行等における飛行計画の調整に関する指令信号のリアルタイム発信が必要となる。従来の旅客機は定期運航を基本としており、ある程度事前に把握した飛行計画情報に基づく調整を行う為、自動化のハードルはそこまで高くないと想定される。一方で空飛ぶクルマの運航はオンデマンドに実施されることも想定され、都度申請・提出される飛行計画を把握し、その時点での運航状況を鑑みて飛行計画を調整するには、複数の関連情報に基づいた複合的な判断が必要となる。この判断を自動化するには、判断に必要な関連する情報、およびその情報の関係性の整理が必要であり、その判断基準の指標化・定量化や判断アルゴリズムをどの様に開発するのかが大きな課題となる。また、その判断アルゴリズムの安全性をどの様に担保するかも検討課題となる。

特に交通管理の自動化における AATM 関連機能については、成熟度レベル 4 以降更に就航率および運航密度を向上するためには DFR 等の新たな飛行方式への対応を想定した開発が必要となる。新たな飛行方式（DFR 等）については、現在諸外国でも概念提示が行われているものの、まだ統一した方向性は定まっていない状況にある。一方で、その飛行方式を実現する構成機能のうち悪天の状況認識力向上、航空機のペアに応じた分離基準設定や空域管理の高度化等の一部機能については、今後の段階的な実装に向けて成熟度レベル 4 においても検討を開始し、実現していく必要があると思料する。DFR の主要構成機能と成熟度レベル 4 において実装を検討すべき機能の対応表を表 3-10 に示す。

表 3-8 成熟度レベル 4 の運航において優先して拡充が必要な自動化機能(交通管理)

	機能名称	機能の概要	要求値	現状の実現値	要求値の実現に向けた課題
交通管理の自動化	機体との連携項目				
	通常時の対応	離着陸操作に関する情報、周辺監視・衝突回避に関する情報のリアルタイムな自動送信。および、それに対する指令発信。 <small>長期的管理</small> <small>リアルタイム</small>	Primary level	Manual	— ※システム連携技術があれば実現可能
	緊急時の対応	緊急時のステータス情報（ハイジャック、通信途絶、その他不具合など）のリアルタイムな自動送信。および、緊急時対応の指定発信。 <small>長期的管理</small> <small>リアルタイム</small>	Secondary level	Manual	● 管制からの指令等については、判断基準の設定などアルゴリズムの検討が困難 ※機体・管制間の情報共有はシステム連携技術があれば実現可能
	AATM				
	飛行計画の自動調整	離陸・上昇、巡航、降下・着陸、スポット移動等、飛行等における飛行計画の調整を指す。 <small>長期的管理</small> <small>短期的管理</small> <small>計画段階</small> <small>リアルタイム</small>	Secondary level	Manual	交通量予測に基づき、出発時刻・飛行速度などの判断、指令信号のリアルタイム発信が必要
	間隔調整	交通量予測等に基づき、空域内の多数機に対する運航間隔の調整を実施。 <small>短期的管理</small> <small>リアルタイム</small>	Secondary level	Manual	
	空域容量管理	定期便スケジュール、飛行計画、気象、NOTAMを加味し空域使用計画を導出し、計画段階における空域管理を指す。 <small>長期的管理</small> <small>計画段階</small>	Secondary level	Manual	— ※コリドー運用方法が定めれば運用計画と調整は可能と想定。
	路線容量管理	定期便スケジュール、飛行計画、気象、NOTAMを加味しコリドー運用計画を導出し、計画段階における路線管理を指す。 <small>長期的管理</small> <small>計画段階</small>	Secondary level	Manual	
	ATM・UTM調整	有人機および無人航空機における空域管理情報（空域・コリドーの利用状況）に関する自動通知。および、AAMとの運航優先順位（空域管理、路線管理含む）の判断。 <small>長期的管理</small> <small>短期的管理</small> <small>計画段階</small> <small>リアルタイム</small>	Secondary level	—	● ATM/UTMとのインターフェース・情報粒度の共通化、システム連携が課題 ● 優先順位付に関する判断基準の設定やアルゴリズムの検討が困難
	低高度NOTAM作成・共有	飛行計画作成時における自動的なNOTAM作成。NOTAM情報の他機・管制への自動共有。 <small>計画段階</small>	Primary level	Secondary level	AISセンター等のNOTAM情報提供機関とのシステム連携に課題
交通量予測	定期便スケジュール、飛行計画、気象、NOTAMを加味し交通量を予測（現在のATFMに相当） <small>計画段階</small>	Primary level	Primary level <small>※現時点でATFM/PTの管制への導入率がある</small>	オンデマンド運航等の動的な運航状況を加味した交通量予測が困難	
<small>凡例</small> <small>長期的管理</small> …長期タイムスパンに基づく管理・判断 <small>計画段階</small> …情報連携・判断のタイミング <small>短期的管理</small> …短期タイムスパンに基づく管理・判断 <small>リアルタイム</small> …情報連携・判断のタイミング					

出所)三菱総合研究所作成

表 3-9 成熟度レベル4の運航において優先して拡充が必要な自動化機能(離着陸場運用)

	機能名称	機能の概要	要求値	現状の実現値	要求値の実現に向けた課題
離着陸場運用の自動化	VAS 駐機・離着陸のスロット管理(離着陸順位ふくむ)	飛行計画段階における、ポート容量に基づいた駐機場・離着陸場のスロット管理。 <small>長期的管理</small> <small>計画段階</small>	Secondary level	Manual	● オンデマンド運航等の動的な運航状況を加味した動的管理が困難
	離着陸支援	リアルタイムな運航状態に応じた、離着陸軌道生成、離着陸誘導(機上と地上軌道連携、予実誤差調整)等の離着陸にかかる支援機能。 <small>短期的管理</small> <small>リアルタイム</small>	Secondary level	Manual	● リアルタイムな運航状況に基づいた離着陸支援に関する、判断基準の設定やアルゴリズムの検討が困難
<small>凡例</small> <small>長期的管理</small> …長期タイムスパンに基づく管理・判断 <small>計画段階</small> …情報連携・判断のタイミング <small>短期的管理</small> …短期タイムスパンに基づく管理・判断 <small>リアルタイム</small> …情報連携・判断のタイミング					

出所)三菱総合研究所作成

表 3-10 新たな飛行方式(DFR)に向けた成熟度レベル4における要求機能

DFRの主要構成機能	成熟度レベル4における要求機能
就航率向上に繋がる機能	①オペレータによる自動的分離 既知の交通やハザード・悪天の状況認識
運航密度の増加に繋がる機能	②協調的コンフリクトマネジメント インテント情報の共有
	③航空機のペアに応じた分離基準の設定 航空機のペアに応じた分離基準の設定
	④制約ある資源の協調的な利活用 インテント情報の共有
	⑤自己組織化とシーケンス —
	⑥空域密度と操作の複雑さの自己規制 ● 空域容量管理の高度化およびDCB ● 飛行方式に応じた空域設定(性能ベースの専用空域を設ける等)

出所)三菱総合研究所作成

### (3) 通信システム

成熟度レベル4においては、1.3項で示す実装イメージの通り、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と想定する。機上パイロット無しの機体も飛び

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、運航の安全を支えるために必要な通信容量、通信速度、カバレッジを満たした、通信システムの構築が必要となる。具体的には、遠隔操縦やモニタリングに必要なデータリンクの常時接続が必要となり、高度数 100m から 3,000m 程度の低高度空域で利用可能な通信方式として、衛星通信網や HAPS の利用、地上携帯電話網（B5G,6G 含む）の上空カバレッジ整備等が必要となる。

通信システムの中でも、「破壊的技術革新が進む領域」に該当する技術である HAPS や 6G 等の次世代の移動通信システム、衛星通信は、今後我が国が技術力強化に向けて注力すべき技術として挙げられる。

HAPS は、実証段階ではあるものの、現時点で伝送速度約 100Mbps、遅延時間約 ~1ms を達成している。国内事業者では NTT グループやソフトバンクが事業化を目指している。その中でも、NTT グループは Airbus 社製「Zephyr」を使用し 2026 年から日本でのサービス開始を目指している。NTT グループでは、2026 年に向けた早期実用化推進と並行し、2027 年までを目途とし高速大容量化・高効率化を追求した HAPS システムの研究開発を進めている。HAPS の実用化に向けた課題としては、技術面では高緯度地域での終日飛行に不向きであることが挙げられる。太陽光発電を動力源としている HAPS の場合、高緯度地域では冬季に太陽光が少なくなることから、通年飛行が出来ない。またバッテリーの劣化による制約も課題であり、バッテリー交換が必要となるため、メンテナンス周期に応じて地上に降下する必要がある。また、HAPS の実用化に向けては制度面の課題もある。機体に関する航空法に基づく型式認証の取得や、基地局として活用するためには電波法に基づく認証の取得および周波数免許の確保が課題となっている。

移動通信システムのうち特に 6G システムについては、実証また研究開発段階ではあるものの、現時点で伝送速度約 100Gbps 超、遅延時間約 1ms 以下を達成している。6G は 5G がカバーできない自然の中や遠隔地域、空は高度 1 万 m ~ 宇宙まで拡大を目標としており、2030 年頃の実用化が想定されている。課題としては、周波数帯域の確保、通信機器や基地局のエネルギー効率の向上が挙げられる。

衛星通信については、宇宙と地上を結ぶ通信リンクにおいて、通信容量増大、即応性向上、通信ネットワークのセキュリティ向上等の課題が顕在化している。これら課題への対応および我が国が他国に依存せず自律的に構築する能力を持つ可能性のある技術の一例としては、衛星光通信ネットワークによる宇宙通信インフラが挙げられる。欧米では安全保障ニーズから国が主導する衛星光通信ネットワークの宇宙通信インフラ構築構想が立ち上がっているが、まだ技術確立には至っていない状況であり、当該技術は我が国が世界市場で技術優位性を持つ可能性があると言える。

通信システム全般の技術課題としては、全ての通信要求を満足する技術方式が無いことから、複数方式に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、といった点が課題として挙げられる。

#### (4) 監視・衝突回避（機上装備品関連）

監視・衝突回避分野については、成熟度レベル 4 で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、他機・障害物の認識、回避経路・方法に関するアラートが発出されるようになると想定する。

既存の旅客機には、衝突防止装置として TCAS が広く搭載されてきたが、TCAS は旅客機を前提として開発されたため、空飛ぶクルマには適さない。そこで米国 FAA は、新たな航空機に対応するために ACAS X シリーズの開発を主導している。ACAS X の回転翼機向けバリエーションである ACAS Xr は、ヘリコプターだけでなく、空飛ぶクルマもサポートするように調整が進められている。2023 年に NASA では ACAS Xr を使用したヘリコプターによる衝突回避及び検知・回避に関する飛行試験を実施しており、ACAS Xr によって出された警告およびガイダンスが有効であることを例証している。

ACAS 市場については、Honeywell、Rockwell Collins、ACSS などの複数の海外企業が競争しており、各企業が自社の技術革新、パートナーシップを通じて市場に大きな影響力を持っている状況であり、今後開発が進む ACAS Xr についても同様に大きな影響力を持っていくと考えられる。この様な空中衝突防止装置のシステム開発市場に、国内メーカーが参入し技術的優位性を獲得していくことには大きなハードルがある。

一方で、空中衝突防止システムに装備されるセンサ等の機上装備品の市場については一定の参入可能性があると考えられる。TCAS は従来トランスポンダーベースで構成されるシステムであるが、ACAS X シリーズではそのシステムの機器は、ICAO のパフォーマンススペースの基準を満たし、ACAS 機器として認証を受けることが出来れば装備が可能である。従って、既存の有人航空機における技術力も活かし、空飛ぶクルマ向けの空中衝突防止システムを構成しうる機上センサ・カメラ等の装備品開発に今後注力していくことで、当該分野についても我が国の参入可能性、ひいては技術的優位性の獲得の可能性があると考えられる。

#### (5) 制御・誘導（機上システム関連）

制御・誘導については、オートパイロット機能に着目し、成熟度レベル 4 における運航の自動化において優先して拡充が必要な機能を整理する。各機能の自動化に関する現状の実現値と成熟度レベル 4 において実現が求められる自動化レベル達成に向けた課題を整理する。

図 3-9 に示す成熟度レベル 4 において自動化が進展した運航状態におけるステークホルダの主な役割分担を参考に、成熟度レベル 4 の運航において優先して拡充が必要なオートパイロット機能を表 3-11 の通り整理した。また各機能について、成熟度レベル 4 における自動化レベルの要求値、現状の実現値、要求値の実現に向けた課題を示す。現状の実現値には、原則「現在の有人航空機における自動化レベル」を整理する。

成熟度レベル 4 の運航において優先して拡充が必要な機能としては、「運航判断」「周

辺監視・回避」「飛行計画の設定」「離着陸操作」を選定した。特に「運航判断」については、気象情報および周辺の監視状況にもとづいた、現在パイロットが行っている複合的な「判断」が必要な機能であり、その判断基準の指標化・定量化およびアルゴリズムの検討が困難と考えられ、その実現には技術革新が必要となる。

「周辺監視・回避」「飛行計画の設定」「離着陸操作」については、既に飛行実証において技術検証が行われており、要求値の達成に向けては大きな障壁はないと考えられる。一方で、これら自動化機能については機体の認証における証明手法等に課題があると考えられる。

表 3-11 成熟度レベル 4 の運航において優先して拡充が必要な自動化機能(機体運航)

	機能名称	機能の概要	要求値	現状の実現値	実現が困難な点
機体運航の自動化	運航判断	気象状況と周辺監視の状況に基づく、通常・非通常状態における意思決定・判断全般を指す。 <small>長期的管理 リアルタイム</small>	Secondary level	Manual	● 気象・周辺監視状況に基づいた判断基準の定量化・指標化、閾値の設定等の意思決定・判断に関するアルゴリズムの検討が困難
	周辺監視・回避	他機の認識・衝突回避、障害物認識・回避等の運航に関する周辺監視・回避を指す。 <small>短期的管理 リアルタイム</small>	Primary level	Manual ※空飛ぶクルマにおける実証レベルではSecondary levelを実現	● 飛行実証における技術検証は行われているが、認証に課題
	飛行計画の設定	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。	Primary level	Manual ※空飛ぶクルマにおける実証レベルではSecondary levelを実現	● 飛行実証における技術検証は行われているが、認証に課題
	離着陸操作	飛行場周辺でのタスク全般を指す。 (例:管制承認の要求・受領・待機・着陸空港の状況(例:気象:他機:スポット等)確認・指示にしたがって飛行・位置通報等)	Primary level	Secondary level ※Airbus「ATTOL」プロジェクトではPrimary levelでの自動離着陸実証を実施	● 飛行実証における技術検証は行われているが、認証に課題
凡例	<small>長期的管理</small> …長期タイムスパンに基づく管理・判断 <small>計画段階</small> …情報連携・判断のタイミング <small>短期的管理</small> …短期タイムスパンに基づく管理・判断 <small>リアルタイム</small> …情報連携・判断のタイミング				

出所)三菱総合研究所作成

## (6) システム関連技術

空飛ぶクルマの設計・製造における MBSE 等のシステム関連技術は、短期的には現行の航空機開発でも活用されている範囲と同様に、製品の要求、機能、システムに関する情報・文書管理・関係性管理に活用されることが想定される。今後、空飛ぶクルマが量産されるようになるには、システム関連技術における複数の技術を連携し、より効率的な開発が求められるようになる。

成熟度レベル 4 においては、MBSE の活用だけでなく、MBSE と MBD (Model Based Development) の連携により製品に関するシミュレーションモデルとシステムモデルの連携を実現し、設計変更や開発作業に要する期間が大幅に削減されることが期待される。また、この様な MBSE と MBD (Model Based Development) の連携技術に基づき、空飛ぶクルマの設計情報が国内の企業間、延いては業界全体で共有・活用されることで、国内の空飛ぶクルマ業界が一体となり効率的な設計開発が可能になることが期待される。

システム関連技術は空飛ぶクルマの機体または装備品の認証関連分野への適用も期待される。一方で、解析ツールを活用した有人航空機の信頼性保証の手順等については、諸外国でも策定段階であり、CbA (Certification by Analysis) の本格的な導入は進んでいない状況にある。そこで、日本が当該技術について今後研究開発を積極的に進めていくことで、海外に対して技術的優位性を獲得していける可能性がある分野であると思料

する。

CbA を認証に活用することで認証に係る作業を効率化し、認証コストの低減が求められているものの、CbA の活用は導入当初からすべての審査項目に適用されることは現実的ではなく、段階的に適用されていることが想定される。成熟度レベル 4 においては、有人航空機の研究・開発において地上試験や飛行試験の代替手段として数値シミュレーション技術の活用検討が比較的進展している、構造技術（強度予測、材料物性の不確定性定量化など）、飛行性技術（縦及び横方向のトリム・静安定、失速など）、クラッシュワージネス等への CbA 適用が期待される。これらの実現のためには、CbA に適用可能な高度なシミュレーション技術そのものの開発も課題となる。

また、設計・開発へのシステム関連技術の適用および認証への CbA の適用が浸透するには、MBSE を前提とした設計・開発システムの普及が必要であり、開発メーカーだけでなく認証を審査する側にも MBSE 等を活用する風土醸成を行っていく必要があることも課題に挙げられる。

### 3.5 まとめ

3.2, 3.3 に基づき選定した日本の強みとなる技術分野は以下の通りである。また、我が国においては、国内企業として機体そのものを製造する能力を有する機体メーカーが存在することも大きな強みとなっていると言える。

- 機体メーカー等への技術採用実績のある分野
  - 動力
  - 素材
  - アセンブリ技術
  - 給電システム
  
- 他産業において日本が技術的優位性を獲得している分野であり、空飛ぶクルマ産業への技術活用が期待される分野
  - 自動運転の支援機能（DMS）  
※機体技術におけるオートパイロット機能（制御・誘導）の支援機能の一部として活用されることを想定
  - 素材
  
- 技術力強化の必要な分野
  - バッテリー
  - 交通管理システム
  - 通信システム
  - 監視・衝突回避
  - 制御・誘導
  - システム関連技術

また、日本の強みとなる技術分野の選定結果を図 3-10 に示す。

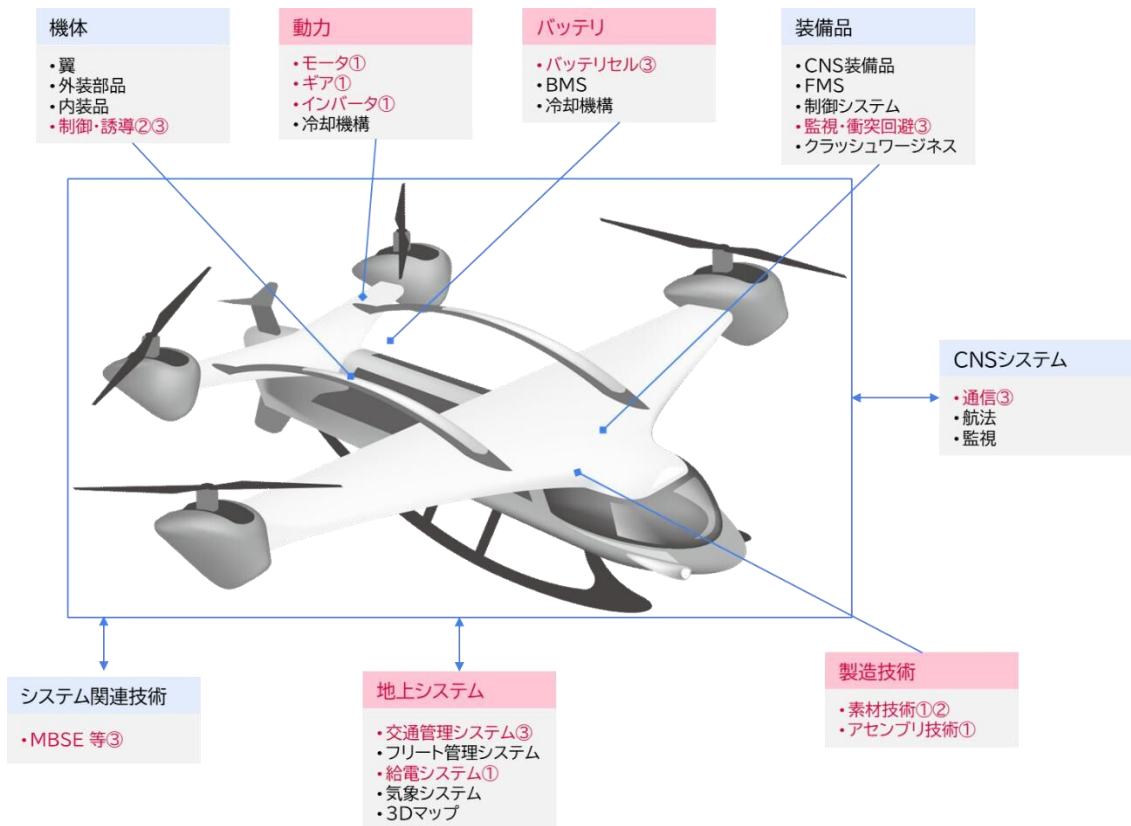


図 3-10 空飛ぶクルマの要素技術において日本の強みとなる分野

出所)三菱総合研究所作成

注：図中①は機体メーカー等への技術採用実績のある分野を表す。

注：図中②は他産業において日本が技術的優位性を獲得している分野であり、空飛ぶクルマ産業への技術活用が期待される分野を表す。

注：図中③は技術力強化の必要な分野を表す。

## 4. 技術開発の進め方

### 4.1 技術開発の方向性

空飛ぶクルマの機体メーカーが独自に機体の開発を進める中、我が国の研究開発としては、以下の観点で要素技術の技術開発を進めることが必要である。

- 国内機体メーカーによる製品開発・認証の後押し、および海外への市場展開を見据えた国際競争力のある装備品開発
- 我が国における空飛ぶクルマの社会実装を実現するためのインフラ整備
- 他市場への技術活用可能となることを意識した技術開発

上記の観点から、我が国に強みのある電気自動車技術の蓄積が活用できる動力やバッテリーの技術開発が重要である。電動推進・動力については、既に国内外の空飛ぶクルマ機体メーカーからの採用実績を有する国内メーカーがある一方、出力密度やトルク密度等の性能向上、冷却性の向上、安全性確保の観点から技術課題が残されている。バッテリーについては、電気自動車向けの次世代バッテリーの開発に強みがある一方、従来の航空機産業向けのバッテリーに関する供給実績が少ないことから、性能向上や小型の機体にフィットさせるための柔軟なシステム設計に加え、認証に耐える安全確保のための技術開発により、国内バッテリーメーカーの市場展開を後押しすることが期待される。

さらに、我が国が既に強みを持っている分野としては、従来の航空機技術の蓄積が活用される素材分野の更なる技術開発も重要である。素材については、CFRP等の複合繊維材料は既に海外の空飛ぶクルマ機体メーカーからの採用実績を有する国内メーカーがある一方で、従来の航空機産業分野で我が国の強みとなっているチタノ繊維等の特殊な素材についても今後の空飛ぶクルマへの適用にむけて技術開発が行われることが期待される。

既に空飛ぶクルマの機体メーカー等への採用実績がある分野としては、上記の動力や素材に加えて、給電システムについても今後注力が必要である。給電システムについては、既に進展している電気自動車に用いられている技術・規格を活用することが期待される一方で、海外市場の獲得に向けては、空飛ぶクルマに対応できる高出力充電の技術・規格を開発していくことが重要である。

また、3.3.1項で整理した通り我が国は自動車産業におけるアセンブリ技術、生産体制の構築に実績・強みを有しており、その技術・ノウハウを空飛ぶクルマにも活用していくことで、単一装備品・中間製品の生産だけでなく最終製品の生産においてもサプライチェーン全体の維持・強化をしていくことが期待される。

空飛ぶクルマの社会実装の観点では、空飛ぶクルマの運航が想定される低高度空域において、有人機や無人航空機とのコンフリクトを解消し、安全かつ効率的な運航を実現するための運航管理システム、監視・衝突回避システムの開発、及びその基盤となる通信システムの開発が必要である。これらの技術については、これまで我が国で進めてきた無人航空機向けの運航管理システム（UTM）の研究開発の知見も活用しつつ、空域の拡張、有人機としての空飛ぶクルマの安全確保に資するアーキテクチャ設計、航空交通管理（ATM）

や UTM との連携についての検討が必要である。

また、空飛ぶクルマの市場は世界的にも注目度が高く、各地で開発が進められており、日本国内では空飛ぶクルマの機体メーカーの設立だけでなく民間航空機や自動車などの他の関連産業においても開発が進んでいる。矢野経済研究所発行の日本マーケットシェア辞典<sup>12</sup>によると、空飛ぶクルマの市場規模は 2030 年で 745 億 5,600 万円、2035 年には 4,527 億 6,000 万円、2040 年には 1 兆 8,135 億円になると推計している。非常に高い成長率で市場が拡大していくことが見込まれているものの、2030 年代においてはその市場規模は 1 兆円に満たず、自動車や航空機の市場と比較すると規模が小さい。このことから、市場の今後の拡大の為に、空飛ぶクルマに特化した技術開発だけではなく、その技術が他市場に活用可能となることを意識した技術開発が重要である。具体的には、電気航空機や電動自動車等への開発技術のフィードバックが期待される場所である。

さらに、市場獲得の観点からは、各技術において認証を取得していくことが重要である。現状の航空機業界において、サプライヤーに Nadcap 認証取得が義務付けられていることを踏まえ、空飛ぶクルマの市場獲得においても、Nadcap 等の認証取得や、標準規格の普及を積極的に推進することが重要である。そのためには、標準化の技術分野ごとに国内関係者が情報共有や意見交換・議論できる場を設置する等の取組みが求められる。

以上を踏まえ、日本の強みとなる技術分野を中心に、今後の技術開発の方向性を分野別に整理する。

## 4.2 技術分野ごとの技術開発の進め方

### 4.2.1 動力

#### (1) 技術開発の目標

モータシステムの技術開発目標としては以下が挙げられる。

- 出力密度の向上
  - マルチロータの場合：定格出力密度 2.9kW/kg、短期出力密度 4.8kW/kg<sup>13</sup>
  - ティルトロータの場合：定格出力密度 1.7kW/kg、短期出力密度 5.3kW/kg<sup>14</sup>
- 高トルクでの連続出力
- 安全性の確保（耐環境性、耐久性）
- 冷却性・放熱性の向上（※軽量化のため、空冷方式での実現が望ましい）

#### (2) 目標達成のための課題および方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- コイル占積率の向上による高出力化、放熱性向上の実現

<sup>12</sup> 矢野経済研究所 日本マーケットシェア辞典 2024 年版

<sup>13</sup> マルチロータにおける短期出力密度は、18 ロータ中 2 ロータがフェイルした際に、120 秒間ホバリング可能な出力として設定

<sup>14</sup> ティルトロータにおける短期出力密度は、6 ロータ中 1 ロータがフェイルした際に、120 秒間ホバリング可能な出力として設定

- 磁気回路設計（SPM方式の採用等）による高トルクの実現
- ロータの磁石配置（多極ロータの採用など）による軽量化の実現
- 異種金属の使用（接合技術に基づく）による軽量化の実現
- 高磁束なコア材/磁石材による軽量化の実現
- 構造部材の使用材料（Al/SiC複合材やCFRP、超高耐熱エンジニアリングプラスチック）による軽量化の実現

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 冷却方式の検討（シンプルなシステム構造で安全性が高く軽量の空冷方式、冷却性能が高いが重量増の液冷方式等）に加え、モータシステム単体だけでなく機体システム全体としても熱マネジメントの検討
- 同サイズで高出力・高トルク・高応答性・軽量化が実現可能なモータ方式の検討（アキシヤルモータ等）
- 耐環境性や安全性への対応（フィルタ部品の挿入や電磁シールド構造を考慮したうえでパフォーマンスを落とさない設計や、空冷方式において異物吸い込み等の影響を最小限に抑える冷却構造）

### (3) 市場獲得目標、シナリオ

モータ製品の市場展開としては、空飛ぶクルマ用の動力技術として既に多数の機体メーカーへの採用実績を有するなど我が国に技術優位性があり、今後も国内外のOEMへの製品供給が期待され、海外市場向けの量産体制の整備が求められる。

一方で市場拡大の観点では、今後実現が期待されるリージョナル機、中～大型の電動旅客機への適用可能性を見据えた、高出力化およびハイブリッド化等に関する技術開発が重要である。

## 4.2.2 バッテリ

### (1) 技術開発の目標

バッテリーの技術開発目標としては以下が挙げられる。

- 容量密度の向上（550Wh/kg）<sup>15</sup>
- 高寿命化（サイクル寿命1500回）
- 安全性の向上
- 空飛ぶクルマにフィットした形状

### (2) 目標達成のための課題および方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

<sup>15</sup> 成熟度レベル4における機体仕様に基づき、バッテリーパックあたりの値として設定。容量密度の値は、推進方式（マルチロータ/ティルトロータ）や、航続距離、機体重量等の機体仕様により異なるが、成熟度レベル4において想定される複数の機体仕様を総合的に考慮して設定。

特に、リチウム硫黄電池、リチウム空気電池は、リチウムイオン電池の技術向上では到達不可能な容量密度を達成できる技術であり、航続距離延伸に対して大きく寄与する技術である。

また、全固体電池は、従来のリチウムイオン電池に対して、サイクル寿命向上、急速充電対応、動作環境温度の拡大、新規の正極・負極材料の適用によっては容量密度向上を実現可能である技術であり、充電時間短縮や航続距離延伸に対して大きく寄与する技術である。

- リチウムイオン電池の容量密度向上
- 電極材料、セパレータ、電解液等の安全設計や BMS、冗長構成等による安全性向上
- 客室空間に合わせたバッテリー形状・分散配置の検討
- リチウム硫黄電池、リチウム空気電池、等の次世代バッテリーの開発
- 全固体電池の開発
- ガスタービン発電機と電池を組み合わせたハイブリッド推進システムの適用
- 燃料電池の適用

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- リチウム硫黄電池、リチウム空気電池等の次世代バッテリーについては、性能向上（容量密度、サイクル寿命等）のための正極・負極材料、電解液・電解質膜の改良や、安全性確保（漏液・可燃性の対策）が必要
- 全固体電池については、大型全固体電池の開発のための活物質・電解質の充填技術の向上や、容量密度向上のための新規の正極・負極材料の適用が必要
- フライトプロファイルに合わせた高出力維持性能の実現と冷却性の向上に加え、バッテリー単体だけでなく機体システム全体としても熱マネジメントの検討
- バッテリー小型化・分散化とマネジメント性の最適化
- 故障確率  $10^{-9}$  に対応した国際規格化と規格への対応

### (3) 市場獲得目標、シナリオ

バッテリーについては、我が国の強みである電気自動車向け製品開発の実績・ノウハウを踏まえ、空飛ぶクルマ向けに効率的な製品開発を進めることが期待される。電気自動車向けのバッテリーモジュールをそのまま空飛ぶクルマに適用することは困難と考えられるが、セル単位で共用することにより製造コスト削減が期待される。また、電気自動車との共通規格化を図ることにより、バッテリー製造ラインや充電インフラ整備におけるコスト効率の向上が期待される。一方で、航空機向けの高い安全規格との整合や航空機向け装備品としての認証取得に向けた取組みが必要である。

また市場拡大の観点では、今後実現が期待されるリージョナル機、中～大型の電動旅客機への適用可能性を見据えた技術開発の方向性も並行して検討することが重要である。

### 4.2.3 素材

#### (1) 技術開発の目標

素材の技術開発目標としては以下が挙げられる。

- 成型加工性の向上
- 成形時間の短縮（2時間以下）
- オートクレーブや冷凍庫が不要となるなどの加工・保管コストの低減

#### (2) 目標達成のための課題および方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- 熱可塑性複合材の適用促進
- 既存の航空機向け材料の適用
- オートクレーブが不要となる成型方法（VaRTM等）の適用
- 空飛ぶクルマのユースケースを踏まえた素材の適用（例：内燃機関を活用した推進方式の導入時における、原動機部品へのチラノ繊維の適用）

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 力学特性を落とさず小さな部材のハイレートな成形が可能な素材開発
- 既存の金属成形加工装置による加工の実現（圧力、温度条件の検討）
- 認証に資するシミュレーション評価技術

#### (3) 市場獲得目標、シナリオ

素材分野の市場展開としては、既に航空機向けの素材供給を進めると共に、空飛ぶクルマについても海外 OEM 向けの供給も既に進んでいることから、海外市場に向けた量産体制を構築しつつ、新素材については、米国等の海外の認証取得を図っていく必要がある。

### 4.2.4 アセンブリ技術

#### (1) 技術開発の目標

アセンブリ技術の技術開発目標としては以下が挙げられる。

- アセンブリの効率化
- 機体製造ラインの構築・生産性向上

#### (2) 目標達成のための課題および方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- 溶着等の高効率なアセンブリ技術の適用
- 機体機構の簡略化による機体部品点数の低減（成熟度レベル 2 の部品点数に対して 9割程度）
- 製品開発における品質保証ツールへのシステム関連技術の活用

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 空飛ぶクルマに適した生産工程・製造ラインの設計

### (3) 市場獲得目標、シナリオ

アセンブリ技術については、日本の精密加工技術の強みを活かした高精度のアセンブリ技術に加え、自動車分野において蓄積した量産化に対する技術・ノウハウを活用することが重要である。比較的小ロットでの機体生産が想定される成熟度レベル 4 までにかけては、我が国が技術優位性のある精密加工技術を活用したアセンブリ技術により、小ロットでも高精度かつ効率的に生産する体制を構築することが重要である。さらに、今後成熟度レベル 5 および 6 にかけて想定される空飛ぶクルマの量産化に向けては、我が国が技術的優位性を持つ自動車分野における量産体制構築に関する技術・ノウハウを国内外の空飛ぶクルマメーカーに対し提供することで、空飛ぶクルマのサプライチェーンマネジメントに参入していくことにより更なる市場獲得を目指していくことが期待される。

## 4.2.5 給電システム

### (1) 技術開発の目標

給電システムの技術開発目標としては以下が挙げられる。

- 充電出力の向上
- 給電オペレーション・メンテナンスの効率化

### (2) 目標達成のための課題および方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- 単一プラグによる高電圧・大電流のコンダクティブ充電方式
- 複数プラグで同時に充電するコンダクティブ充電方式
- バッテリー交換方式
- ロボットアーム（コンダクティブ充電方式）やバッテリー自動交換ロボット（バッテリー交換方式）の活用

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 高電圧・大電流に耐える充電ケーブルの実現
- 充電時にバッテリーを冷却する機構の実現
- 複数プラグで同時に充電するための充電設備の機構改良
- 充電出力増大に対応するための、離着陸場の電力系統設備の電力供給源の確保
- 離着陸場の供給電力の適切な需給調整

### (3) 市場獲得目標、シナリオ

給電システムについては、既に進展している電気自動車に用いられている技術・規格を活用することが重要である。空飛ぶクルマは、電気自動車と比較しより高い充電出力が必要になると想定されるため、高出力充電の技術・規格を開発していくことが市場獲得において重要であると考えられる。

また、今後実現が期待されるリージョナル機、中～大型の電動旅客機への適用可能性を見据えた、更なる高出力充電への対応可能性・課題の抽出を早期に検討し、電気旅客機等への技術活用を意識した技術開発を進めることが更なる市場拡大の観点で重要である。

#### 4.2.6 交通管理システム

##### (1) 技術開発の目標

技術開発目標としては、空飛ぶクルマのユースケースやステークホルダ間の役割整理に応じたアーキテクチャの構築が挙げられる。特に、成熟度レベル 4 において想定される運航の実現に向けては、以下の機能に関する技術開発を進めることが必要である。

- 交通管理の自動化
  - 機体との連携機能（緊急時）
  - 機体数・就航率等のリアルタイムな交通流予測に基づく情報処置・調整機能（飛行計画の自動調整、飛行間隔調整等）
  - ATM/UTM との接続
- 離着陸場運用の自動化
  - リアルタイムな運航状況に応じた離着陸支援機能（離着陸軌道生成、離着陸誘導等）

##### (2) 目標達成のための課題及び方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- 官の交通管制システムと民間の運航管理システムの連携
- 必要な情報提供機能の検討
- 成熟度レベル 5 以降を見据えた、空飛ぶクルマに適した新しい飛行方式（DFR 等）の検討及び、一部機能の実装検討（悪天の状況認識力向上、航空機のペアに応じた分離基準設定、空域管理の高度化等）

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 安全性担保と運航密度に対する処理能力の双方を考慮した情報処理アーキテクチャ・技術（集中管理／分散管理等）
- 飛行計画の拡充・活用（ターンアラウンドタイムや機体整備等バックグラウンドタイムの考慮、搭乗後の機体重量や機体位置推定精度等の運航安全性に関する情報の考慮、運航承認の方法等）
- ATM/UTM との接続 I/F、伝送情報等
- 運航管理の必要情報（気象情報、地図データ、交通情報等）の取得・提供方法
  - 気象情報については、特に悪天候時の飛行を可能とする情報の取得・提供方法
  - 交通情報については、特にオンデマンド運航等の動的な情報の取得・提供方法

- 自動化機能のうち、関連情報にもとづいた「判断」が必要な機能について、その判断基準の指標化・定量化およびアルゴリズムの検討

### (3) 市場獲得目標、シナリオ

交通管理システムについては、従来航空機、無人航空機向けのシステム開発、製品開発の実績に基づく市場展開が想定される。一方で、オンデマンド運航への対応や複雑な関連情報に基づく判断が必要な自動化機能の実装など、従来の航空機システムにはない開発要件については、早期に検討を進めることが市場獲得において重要である。国内向けのシステム整備により実績を蓄積すると共に、国際標準化を進めつつ、海外への市場展開を図る。

## 4.2.7 通信システム

### (1) 技術開発の目標

技術開発目標としては、空飛ぶクルマのユースケースに応じたアーキテクチャの構築が挙げられる。利用可能な通信手段としては、地上の携帯電話システムや衛星通信システム等の適用が想定されるが、通信の用途により安全性の要件や通信速度・遅延等の性能要件が異なり、複数の通信手段の組合せによる構築が必要となる。そこで、以下の観点から、空飛ぶクルマに適した通信システムを検討することが必要である。

- 通信カバレッジの確保
- 機体性能に応じた通信の機能・性能要件とそれを実現する通信方式
- 成熟度レベル 4 における操縦方法（パイロット操縦、遠隔操縦）に応じた通信の機能・性能要件（容量、即時性）とそれを実現する通信方式
- 安全性の確保

### (2) 目標達成のための課題及び方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- 既存無線システムの活用（4G、5G、商用衛星システム等）
- 新たな無線システムの開発と通信方式等の開発（HAPS、B5G/6G、衛星光通信システム等）

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 安全性担保に資する通信方式（送信頻度／信頼性／接続性／遅延等の考慮、P2P型／ネットワーク型等）
- 地上設備の構成・配置とビームカバレッジ設計

### (3) 市場獲得目標、シナリオ

従来航空機、無人航空機向けのシステム開発、製品開発の実績に基づく市場展開が想定される。国内向けのシステム整備により実績を蓄積すると共に、国際標準化を進めつ

つ、海外への市場展開を図る。

特に、4G/5G/6Gの携帯電話網の活用を想定した場合、地上の従来ユーザとの干渉の観点から、国際標準に準拠した方式の適用が求められる。

また、HAPSや衛星光通信等の諸外国でも技術確立がされていない新たな通信方式の開発・国内実用化に取り組み、我が国の技術優位性を獲得することを意識した技術開発を進めることが更なる市場拡大の観点で重要である。

#### 4.2.8 監視・衝突回避（機上装備品関連）

##### (1) 技術開発の目標

技術開発目標としては、空飛ぶクルマに適した新たな衝突回避システムに衝突回避システムにおける国際規格へ対応した機器の開発が挙げられる。要素技術としては、従来の航空機向けの機器、無人航空機向けの機器の活用に加え、空飛ぶクルマ向けに協調方式、非協調方式を含めた、対有人機や無人航空機、あるいは空飛ぶクルマ同士の衝突回避において最適な機器の開発が必要である。

##### (2) 目標達成のための課題及び方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- 既存航空機の技術の適用（ADS-B、トランスポンダ等）
- 無人航空機の技術の適用（機上通信機器、機上レーダ、カメラ等）

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 空飛ぶクルマに適した新たな衝突回避システムにおける国際規格（性能ベース基準を想定）への対応および認証の取得
- 機器の小型・軽量化

##### (3) 市場獲得目標、シナリオ

監視・衝突回避システムについては、海外アビオニクスメーカーが従来航空機向けのシステムをベースに空飛ぶクルマ向けの開発が先行しているが、そのシステムを構成するセンサ・カメラ等の各機器の開発については、小型無人航空機向けの機器や、我が国が強みを有する自動車産業の自動運転技術における衝突回避技術の知見・ノウハウを活かした技術開発が期待される。

今後の市場展開としては、従来航空機、小型無人航空機向けの製品開発の実績に基づく市場展開、自動運転における衝突回避技術の利活用促進が期待される。

#### 4.2.9 制御・誘導（機上システム関連）

##### (1) 技術開発の目標

技術開発目標としては、合理的な信頼性担保と低コスト化、ユースケースに応じた安

全機能の開発、自律性の向上等が挙げられる。特に、成熟度レベル 4 において想定される運航の実現に向けては、以下の機能に関する技術開発を進めることが必要である。

- 機体運航の自動化
  - 運航判断
  - 周辺監視・回避
  - 飛行計画の設定
  - 離着陸操作

## (2) 目標達成のための課題および方策

開発目標達成に向けた現状の技術的アプローチとしては、以下が挙げられる。

- 有人機の制御・誘導システムをベースとしたオートパイロットシステムの設計
- 必要な情報提供機能の検討

その上で、今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- 運航判断機能については、気象・周辺監視状況に基づいた判断基準の定量化・指標化、閾値の設定等の意思決定・判断に関するアルゴリズムの検討に課題

## (3) 市場獲得目標、シナリオ

初期の段階では、従来航空機、無人航空機向けのシステム開発、製品開発の実績に基づく市場展開が想定される。一方で、複雑な関連情報に基づく判断が必要な自動化機能実装など、従来の航空機システムにはない開発要件については、早期に検討を進めることが市場獲得において重要である。国内向けのシステム整備により実績を蓄積すると共に、国際標準化を進めつつ、海外への市場展開を図る。

### 4.2.10 システム関連技術

#### (1) 技術開発の目標

技術開発目標としては、製品の設計開発、認証、生産管理等における各種作業の信頼性向上、効率向上に向け、要素技術（MBSE、MBD、MBI 等）を連携したシステムの構築が挙げられる。

#### (2) 目標達成のための課題および方策

今後の技術課題としては、以下が挙げられる。

- システム関連技術の活用に必要な情報やデータ構造のルール化
- MBSE を前提とした設計・開発システムの普及
- 認証におけるシステム開発技術の活用（CbA 等）においては、開発メーカーだけでなく認証を審査する側にも MBSE 等を活用する風土醸成に課題

#### (3) 市場獲得目標、シナリオ

今後の市場展開としては、従来航空機向けのシステム開発の実績に基づく市場展開が

想定される。一方で、MBSE等のシステム開発技術は従来航空機業界においても、十分に普及が進んでいない状況である。今後は国際標準化との連携を推進することで、本技術の必要性、重要性の機運を醸成していくことが必要である。

また、システム関連技術を各要素技術の設計開発・認証・生産管理等に適用していくことは、設計開発においては部品変更や設計変更等のトレーサビリティ管理、生産管理においてはサプライチェーンの管理など、品質の作りこみに直結する重要な要素である。さらに、システム開発技術が国内企業の設計開発システム等に普及していくことは、我が国製品の品質・信頼性向上の一助となることが期待される。

### 4.3 空飛ぶクルマの社会実装に向けたその他重要な課題

本項では、3章において選定した日本の強みとなる要素技術分野の他、要素技術のシステム統合等の観点で今後空飛ぶクルマの社会実装の実現に向けたインフラ整備等について特記すべき検討課題を整理する。

#### 4.3.1 インフラの統合システムに関する課題

- 顧客管理システムの開発

空飛ぶクルマの商用化に向けては、顧客の利便性の向上のために顧客情報管理システムについても空飛ぶクルマのユースケースに応じたアーキテクチャの検討・構築し、システム開発を進めていくことが必要である。将来的には、顧客情報のビッグデータの分析により、運航の最適化だけでなく、顧客の行動パターン・ニーズに則したルート構築などサービス性の向上に活用されることも期待される。

- 離着陸場運用のスルー化に関する課題（離着陸場の運用効率向上に向けた、離着陸管理（VAS）、保安検査、給電業務、グランドハンドリング業務等の一体管理）

離着陸場運用については、VAS等の離着陸管理だけでなく、保安検査や給電業務、グランドハンドリング業務など、離着陸場で想定される様々な業務の自動化により、離着陸場運用に係る人手の削減や作業時間の短縮、効率化が求められる。

各業務単体の自動化では単体作業の時間短縮、効率化は一定レベルの達成は想定される一方で、離着陸場運用全体の効率向上には、単体作業の自動化を進めつつ、各業務を行う作業員間・ステークホルダ間での関連情報の共有・連携等による、離着陸場で実施される業務の一体管理が必要となる。具体的には、離着陸場運用に関わる業務全体の業務フローの整理等に基づき、ステークホルダ間における各種業務の連携に必要なシステムアーキテクチャの検討を進める必要がある。各業務の自動化に向けた開発と並行して、統合システムの検討を進めることが離着陸場の運用効率向上に向けては必要となると思料する。

#### 4.3.2 社会受容性の向上に関連する課題

社会受容性の向上に関する重要課題の一つとしては空飛ぶクルマの運航における「騒音低減」が挙げられる。成熟度レベル4においては、商業・オフィスビル等で許容されるレベルの騒音低減が求められる。

騒音低減に向けた技術開発としては、翼やプロペラ形状の改良、吸音・遮音材量の開発が進められており、プロペラを要さない新しい機体のコンセプトの検討も行われている。また、機体の改良による騒音対応だけでなく、従来航空機でも取り組まれている、運用時間の制限、着陸経路の高度の設定など運用方法による対策とも組み合わせることで、より環境への影響を小さくするための検討が必要である。

## Appendix1. 国内における空飛ぶクルマに関する研究開発プログラムの本文書への反映

国内における空飛ぶクルマに関する研究開発プログラムの動向として、本文書で参照した NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラムおよび経済安全保障重要技術育成プログラムにおける空飛ぶクルマ、航空機関連の研究テーマを以下に示す。

### (1) NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム

NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラムは、脱炭素社会の実現や新産業の創出に向けて、2040 年以降（先導研究開始から 15 年以上先）に実用化・社会実装が期待される要素技術を発掘・育成し、国家プロジェクトを含む産学連携体制による共同研究等につなげていくことを目的としている。

当該プログラムの採択プロジェクトのうち、空飛ぶクルマ、航空機関連の研究テーマを次頁に示す。

NEDO 先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム採択プロジェクトのうち、空飛ぶクルマ、航空機関連の研究テーマ

採択年度	要素技術 関連カテゴリ	研究開発課題	テーマ名	実施体制
2024	素材	空飛ぶクルマ・ドローン量産化時代に対応する機体長寿命化技術	CFRP製モビリティ機体の量産システム開発	東レ株式会社 【再委託】東レ・カーボンマジック株式会社 【再委託】国立大学法人東京工業大学 【再委託】国立研究開発法人産業技術総合研究所
	動力・機体	脱炭素化に向けた次世代航空機向けアンモニア燃焼技術の検討	アンモニア燃焼ハイブリッド航空推進システムの検討	国立大学法人東北大学 三菱重工航空エンジン株式会社 国立大学法人広島大学
	生産技術	航空機向けの革新的検査技術開発	持続可能な航空機生産に関する研究開発	国立大学法人東海国立大学機構 川崎重工業株式会社 株式会社SUBARU 【再委託】国立大学法人宇都宮大学 三菱重工業株式会社
	システム関連技術	空飛ぶクルマ向け安全飛行技術の研究開発	デジタルフライングカーによる緊急時機体評価システムの構築	国立大学法人京都工芸繊維大学 東レ株式会社
2023	動力・機体	航空機におけるエネルギー転換技術開発	燃料電池航空機の革新的エネルギー転換、推進システム技術の研究	Boeing Japan 株式会社 【再委託】国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 【再委託】国立大学法人九州大学
	素材	航空機向け革新的部素材・製造プロセス技術の開発	リサイクル炭素繊維の連続化技術および航空機適用技術の研究	国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 一般財団法人ファインセラミックスセンター 【再委託】旭光燃糸株式会社 株式会社SUBARU 株式会社ジャムコ
2022	CNS、機体	将来世代に想定される空飛ぶクルマの飛行技術開発	空飛ぶクルマの高精度飛行予測技術開発	国立大学法人京都工芸繊維大学

	CNS	将来世代に想定される空飛ぶクルマの飛行技術開発	空のモビリティ用光集積型 LiDAR センサ	国立大学法人横浜国立大学 一般財団法人光産業技術振興協会【共同実施】国立大学法人東京工業大学 国立研究開発法人産業技術総合研究所
	CNS	将来世代に想定される空飛ぶクルマの飛行技術開発	周波数変調・モード局在複合センサの研究開発	国立大学法人東北大学
2021	機体	空飛ぶクルマ・大型ドローン向け騒音低減化に関する技術開発	低騒音ダクトドロータへのバイオミメティクスの応用	川崎重工業株式会社 【再委託】学校法人君が淵学園崇城大学
	素材	空飛ぶクルマ・大型ドローン向け騒音低減化に関する技術開発	空飛ぶクルマ・大型ドローン用途向け超軽量吸音・遮音材料の開発	国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学 株式会社日本触媒
	機体	空飛ぶクルマ・大型ドローン向け騒音低減化に関する技術開発	静音で高速な、プロペラのない“空飛ぶクルマ”の研究開発	学校法人慶應義塾
	動力	水素を活用した航空機関連技術開発	液体水素を用いた航空機用電動推進システムの研究開発	株式会社IHIエアロスペース 【共同実施】国立大学法人東京大学
	動力	水素を活用した航空機関連技術開発	水素を活用した航空機実現に向けたエンジン、燃料タンクおよび境界層制御技術の研究 開発	川崎重工業株式会社 【再委託】国立大学法人東北大学

出所)公開情報に基づき三菱総合研究所作成

## (2) 経済安全保障重要技術育成プログラム

経済安全保障を強化・推進するため、内閣府や経済産業省、その他の関係府省が連携し、先端的な重要技術の研究開発から技術実証までを迅速かつ柔軟に推進するため、「経済安全保障重要技術育成プログラム」が創設されている。

当該プログラムにおける空飛ぶクルマ、航空機関連の研究テーマを次頁に示す。

経済安全保障重要技術育成プログラムのうち、空飛ぶクルマ、航空機関連の研究テーマ

要素技術 関連カテゴリ	プロジェクト名	研究概要	実施体制
通信システム	光通信等の衛星コンステレーション基盤技術の開発・実証	観測衛星から観測データを使うエンドユーザまで大容量・低遅延でのデータ通信・データ処理のサービスを提供することを可能とする技術の研究開発	株式会社 Space Compass 国立研究開発法人情報通信研究機構 株式会社アクセルスペース 日本電気株式会社
衝突回避、気象	航空安全等に資する小型無人機の飛行経路の風況観測技術	・レーダやカメラなど現行のセンシング技術では観測ができない低高度の空域を対象とした風況観測や障害物検知ができることに加えて、ヘリコプターなどに搭載可能な小型・軽量のドップラー・ライダーを開発 ・安全なエアモビリティ社会の実現のために、ドローンや空飛ぶクルマなどの有人・無人航空機の低高度における安全な運航の確保を目指す	メトロウエザー株式会社
システム関連技術	航空機的设计・製造・認証等のデジタル技術を用いた開発製造プロセス高度化技術の開発・実証	・日本の航空機産業の国際競争力の向上のために、航空機的设计・製造・認証などにMBSEなどのデジタル技術を活用した開発製造プロセス高度化技術の開発・実証を実施。 ・脱炭素化を実現する次世代航空機に加え、空飛ぶクルマ、自動車、船舶、宇宙機など他分野の開発製造プロセス構築への知見を獲得し、将来の活用を目指す。	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 株式会社 IHI 川崎重工業株式会社 株式会社 SUBARU 一般財団法人日本航空機開発協会 三菱重工業株式会社
通信システム	高高度無人機による海洋状況把握技術の開発・実証	・研究開発項目(1)高高度無人機による海洋状況把握技術の研究開発 ・研究開発項目(2)HAPS用高エネルギー密度電池パックおよび高効率発電が可能な太陽電池の研究開発	(1)株式会社 Space Compass、新明和工業株式会社、株式会社三菱総合研究所 (2)ソフトバンク株式会社

出所)公開情報に基づき三菱総合研究所作成