

ご報告「次世代小型航空機の活用を想定した混雑空域の 運用共存性の研究」へのコメント

—次世代小型航空機（空飛ぶクルマ等）と従来旅客機の運航の違いについて—

JAXA航空技術部門

航空利用拡大イノベーションハブ長

又吉直樹

又吉略歴

- 1997年：JAXA（旧NAL）入所
- 2000年代：ヘリコプタのIFR運航等の研究に従事
- 2010年代：旅客機の交通管理の研究に従事
- 2020年代：空飛ぶクルマの交通管理の研究に従事

次世代小型航空機（特に空飛ぶクルマ）の特徴

- VTOL機による、街中の離着陸場（バーティポート）の活用
- 低速での飛行（旅客機の1/2～2/3）、短い飛行時間（特にVTOL機）
- オンデマンド運航（エアタクシーなど）
- 自動化・自律化の活用によるパイロットレス運航（機上にパイロットがない）
- 電動、水素等の新しい推進システム ⇒ VTOL/STOL/CTOLで共通 **(脱炭素化)**

特に小型VTOL機で顕著

VTOL(垂直離着陸)	STOL(短距離)	CTOL(従来機)
-------------	-----------	-----------



ドローン AAM(電動ハイブリッド)



Volocopter
1席 35km



Joby 4席 160km



Lilium 6席 160km



Honda 4席 400km

空飛ぶクルマ

ハイブリッド 電動機



Pipistrel Panthera
2-3席? 2700km



ERA 19席
1600km



Heart Aerospace E-30: 30席 800km



MAEVE: 70-100席 1700-2700km

電動機

水素ハイブリッド 燃料電池

水素機



ZeroAvia 40~80席:ATR機

出典：運輸総合研究所 第57回研究会
平田氏発表資料

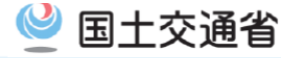
参考：空飛ぶクルマの社会実装の実現イメージ（空の移動革命に向けた官民協議会）

	2025	2020年代後半 (2027/2028~) <small>(※1)</small>	運航頻度の向上	2030年代前半	事業規模拡大等	2030年代後半	全国規模での NW形成	2040年代
意義		<ul style="list-style-type: none"> ①社会課題解決：大都市圏の渋滞回避、山間部や離島を含めた地方の移動の活性化、負担が増大する社会インフラの維持・管理コストの低減 ②ビジネスモデル創出：ポート設置・運営、不動産、保険、観光、MaaS、医療など新たなビジネスへの波及 ③産業基盤構築：機体開発・量産化、機体部品等のサプライチェーン構築、運航や整備等に係る人材の育成 						
全体		商用運航が一部先行する地域で開始		運航頻度が高まり、導入地域が徐々に拡大		運航頻度は更に高まり、より多くの人の日常的な移動手段として定着		日常生活における自由な空の移動が当たり前前の社会を実現
大都市圏	大阪・関西万博 <ul style="list-style-type: none"> 万博会場周辺の飛行を実施。 来場者が空飛ぶクルマの運航を間近で体感し認知度が大きく向上。 	二地点間運航が限定的に開始 <ul style="list-style-type: none"> 既存施設や先行して整備されるVPを活用して、主要なエリアを結ぶ二地点間運航が限定的に開始。 	新たなVPが整備され、都市間運航が拡大 <ul style="list-style-type: none"> 新たなVPがいくつか整備され、大都市圏の中心都市とその数十キロ圏にある都市を結ぶ都市間運航が拡大。 	大都市圏の広域的な運航ネットワークが形成 <ul style="list-style-type: none"> 主要都市を拠点とする運航ルートが更に拡大。 	ネットワーク間の接続 <ul style="list-style-type: none"> より広域での移動が可能に。 			
		遊覧飛行が限定的に開始 <ul style="list-style-type: none"> ベイエリア等における遊覧飛行など、非日常的な体験として商用運航が限定的に開始。 	遊覧飛行拡大、一部で都市内運航が開始 <ul style="list-style-type: none"> 都市中心部とその周辺を結ぶ都市内運航が一部の主要なエリアにおいて開始。 	都市内運航が拡大し、ネットワーク化 <ul style="list-style-type: none"> 屋上など多様なVP整備が進むことで、都市内運航が拡大。都市内ネットワークの原型が形成。 				
		空港アクセスの実現に向けた運用検証 <ul style="list-style-type: none"> 段階的に実証が重ねられ、既存機との運航調整など官民双方でノウハウが蓄積。 	空港アクセスが一部で開始 <ul style="list-style-type: none"> 既存機との調整や空港施設整備などの課題が解決され、空港と大都市圏の商業施設などを結ぶ空港アクセスサービスが一部で開始。 	空港アクセスが拡大・定着 <ul style="list-style-type: none"> オペレーションの成熟により、サービス提供空港数が拡大。導入済み空港ではサービスとして定着。一部で空港間の移動も。 				
地方部	一部で遊覧飛行・貨物輸送の実証が開始 <ul style="list-style-type: none"> 景勝地（多島美、山、世界遺産など）で、空から景色を一望する遊覧飛行など商用運航が開始。 拠点間での貨物輸送の実証が開始。 	観光地・空港へのアクセスや貨物輸送が開始 <ul style="list-style-type: none"> 拠点VPを中心に複数のVPが設置され、遊覧飛行が拡大するとともに、観光地や空港へのアクセスに課題を抱える地域での二地点間運航が開始。 物流拠点にVPが整備され貨物輸送サービスが開始。 	観光利用が定着、地域内運航の開始 <ul style="list-style-type: none"> 全国の観光地で、周辺観光地への移動や地方空港の乗り入れなど観光利用が定着。 観光利用に限らない日常の移動手段としての運航が開始。 運航拡大により、一部地域で広域的な運航ネットワークの原型が形成。 					
利用等 公的			救急医療・災害対応などの公的目的での導入 <ul style="list-style-type: none"> ドクターヘリの空白地域における、既存のドクターヘリの補完などとして活用。 					

空港アクセスは空飛ぶクルマの主要な用途

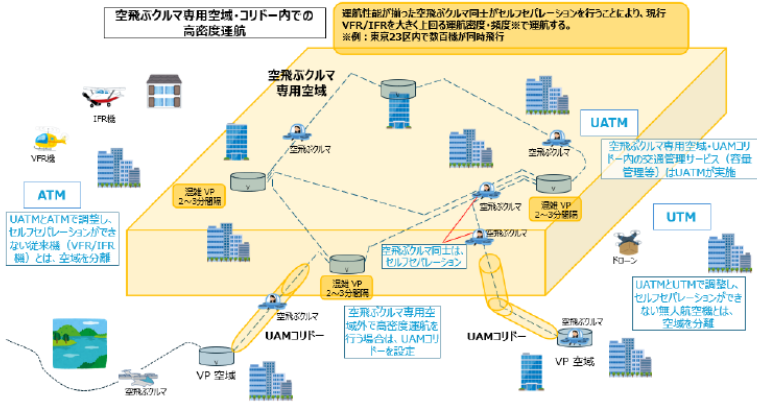
(※1) 一部限定的なエリアでこれに先行する可能性あり。(※2) 自家用運航については、商用運航に合わせて普及することが見込まれる。

【自律飛行等SG】②自動化・自律化が進んだ運航の運用概念図

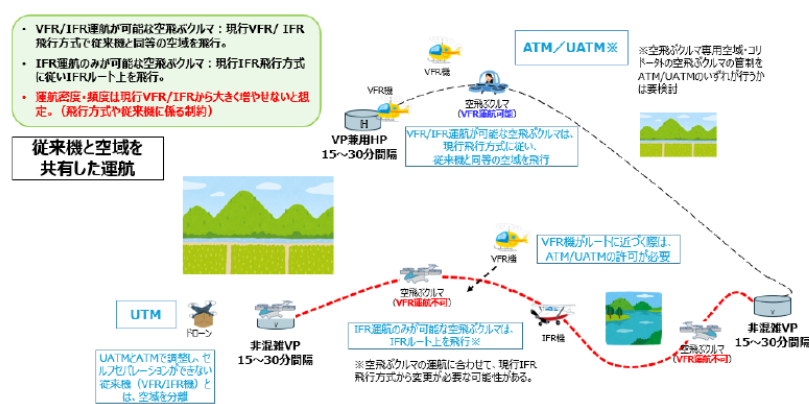


ConOps フェーズ3（2040年前後）で想定される**自動化・自律化が進んだ運航を、飛行空域に着目して3通りに分類し、それぞれの運用条件を運用概念図にまとめた。**

- 自動化・自律化が進んだ空飛ぶクルマ：パイロットが搭乗しない空飛ぶクルマを想定。
- 運用条件：
 - A) 空飛ぶクルマ専用空域・コリドー内での高密度運航**：運航性能が揃った空飛ぶクルマ同士が専用空域・コリドー内でセルフセパレーションを行うことにより、現行VFR/IFRを大きく上回る運航密度・頻度で運航する。
 - B) 従来機と空域を共有した運航**：現行VFR/IFR飛行方式を極力活用。VFR/IFR運航が可能な空飛ぶクルマは、現行VFR/IFR飛行方式で従来機と同等の空域を飛行。IFR運航のみが可能な空飛ぶクルマは、現行IFR飛行方式に従いIFRルート上を運航。ただし、現行の飛行方式や従来機の状態認識等の制約を考慮すると、運航密度・頻度は現行VFR/IFRから大きく増やせないと想定される。
 - C) 空港乗り入れ**：空港への空飛ぶクルマの出入ルート（コリドー等）を設定し、従来機と空飛ぶクルマの交通流を分離して運航。ATMトラフィックの離着陸容量を損なわずに、空飛ぶクルマの離着陸容量を確保する。



A) 空飛ぶクルマ専用空域・コリドー内での高密度運航の運用概念図



B) 従来と空域を共有した運航の運用概念図

空の移動革命に向けた官民協議会がまとめている**空飛ぶクルマの運用概念（ConOps）**では、**2040年前後は、自動化・自律化運航が普及すると考えられている。**

航空局は、産学官のステークホルダが参加した「**自律飛行等SG**」を設置し、**自動化・自律化が進んだ運航の具体化と課題の洗い出しを進めている。**

空港乗り入れについては、コリドー等の活用により従来機と空飛ぶクルマの交通流の分離を想定している。

空飛ぶクルマで想定されるボトルネック 1：駐機場リソースの管理

空港の場合：滑走路がボトルネック

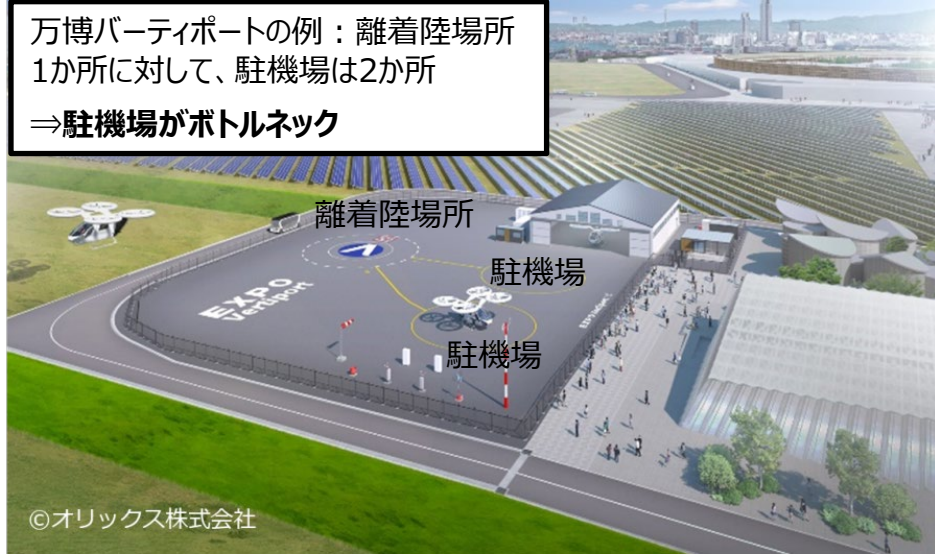
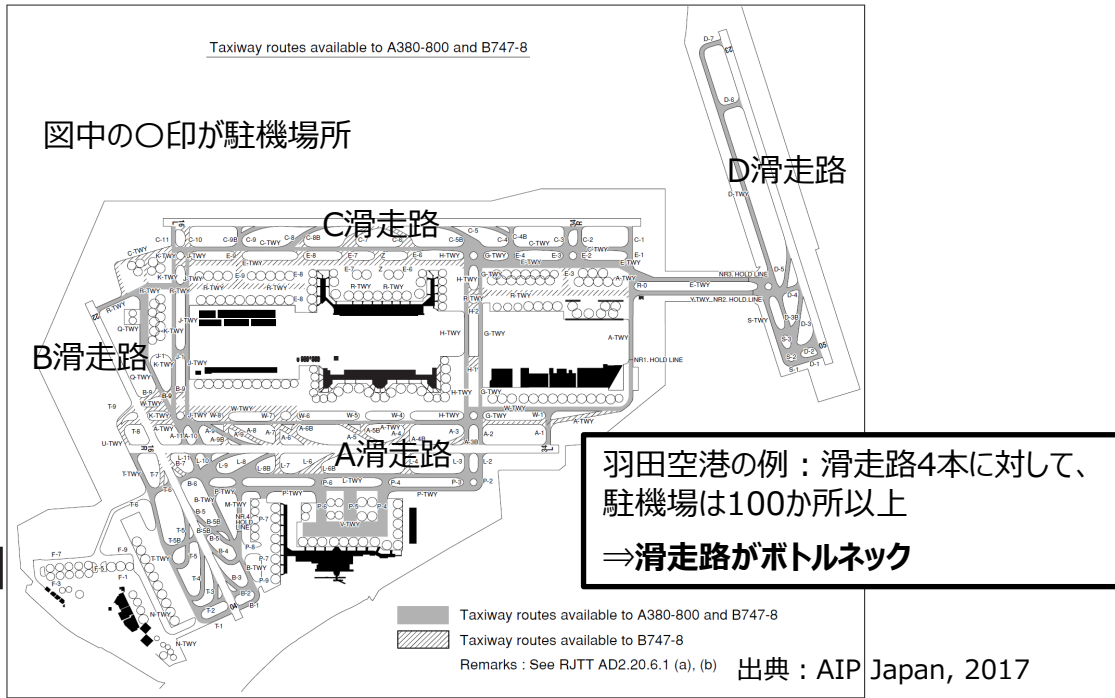
バーティポートの場合：駐機場がボトルネック

滑走路をフルに使うために必要な駐機場の数 = 使用する滑走路数 × 駐機時間 ÷ 滑走路占有時間

空港：駐機時間を40分、滑走路占有時間を2分とすると、滑走路数の20倍の駐機場が必要

バーティポート：駐機時間を20分、離着陸場所占有時間を2分とすると、離着陸場所数の10倍の駐機場が必要

⇒ 街中の限られた敷地で、10か所もの駐機場は確保できない



出典：万博プレスリリース、2024.10.8

空飛ぶクルマで想定されるボトルネック 2：許容できる待機時間の短さ

旅客機の場合：15分以内の遅延は定刻

空飛ぶクルマの場合：5分の遅延が定刻ではない、かも！？

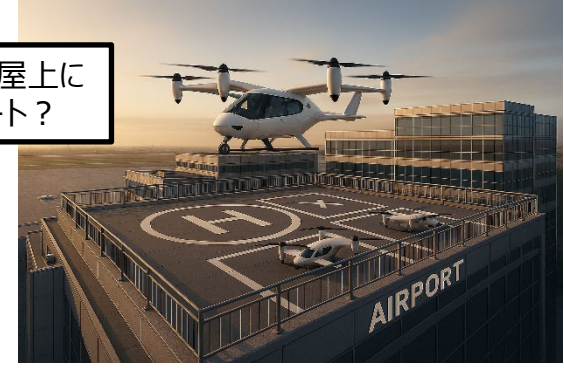
旅客機：飛行時間1.5～3時間（90～180分）

空飛ぶクルマ：飛行時間10～30分（エアタクシーのようなオンデマンド運航もある）

⇒ 空飛ぶクルマの飛行時間は旅客機の1/5～1/10。他交通機関との時間優位性が小さく、15分の遅れは許容し難い。

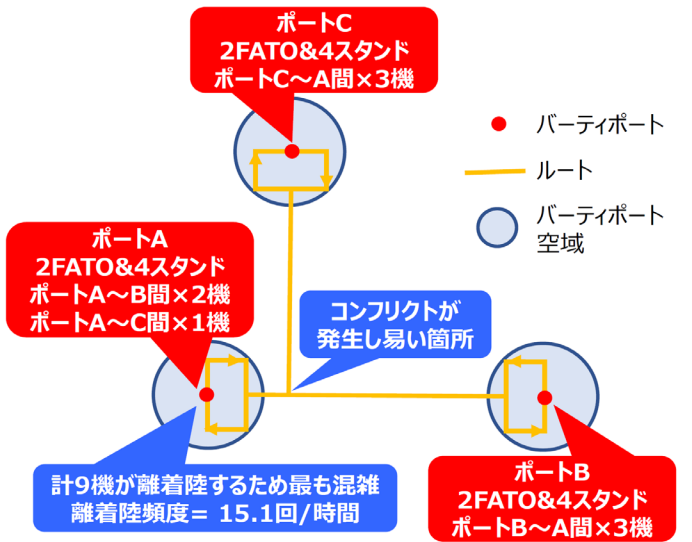
広い空港内では、着陸後の空港内の移動も課題になり得る。⇒VTOLは滑走路に降りる必要はない。

空港ビルの屋上にパーティポート？

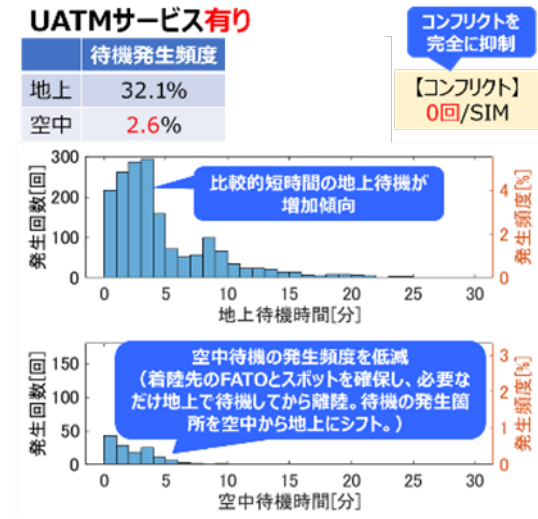
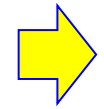
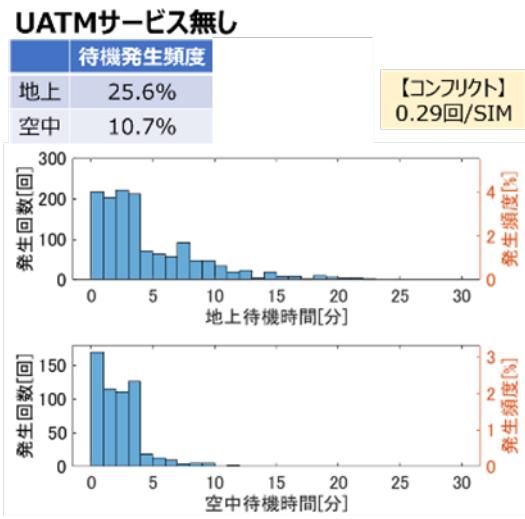


出典：生成AIで作成

交通管理をしても、運航者の時間管理精度が悪ければ、待機はなくせない（空中待機は減らせる）。待機を減らすには、時間管理精度を上げるか、運航数を減らすことが必要。



凡例) UATM：空飛ぶクルマ用の交通管理、FATO：離着陸場所、スタンド：駐機場



出典：ReAmo第5回空飛ぶクルマWG JAXA発表資料

空飛ぶクルマで想定されるボトルネック 3 : 機上にパイロットがない運航のサポート (m:N運航)

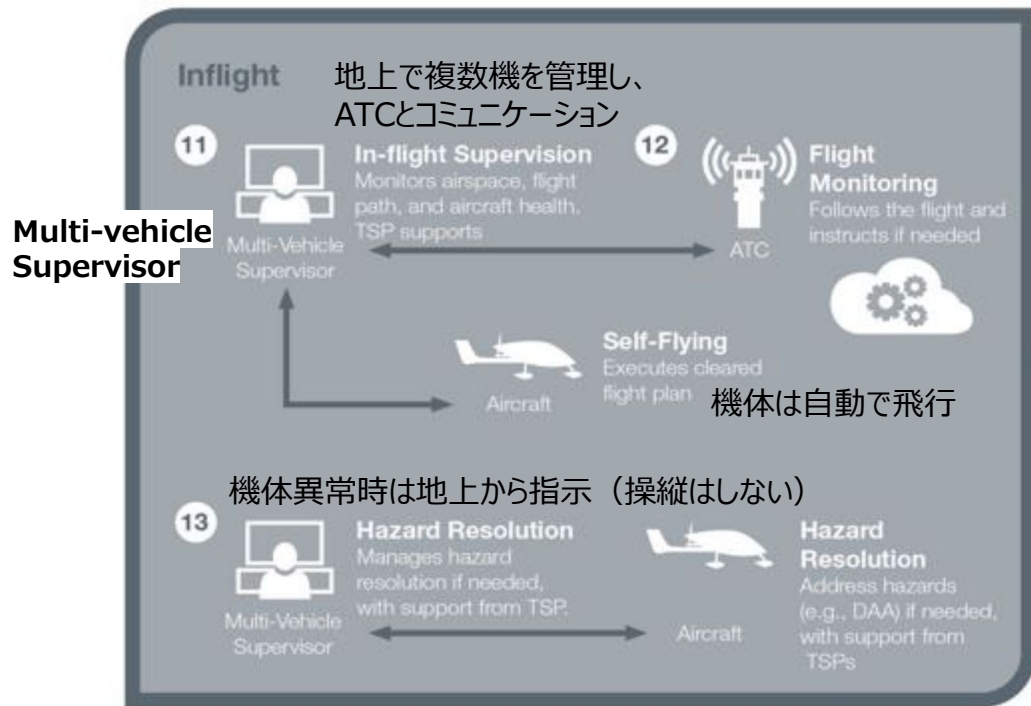
旅客機の場合 : パイロット2名に対して、乗客は100~300名

空飛ぶクルマの場合 : パイロット1名に対して、乗客は2~5名

相対的に、旅客機に比して、空飛ぶクルマのパイロットのコスト (乗客が1名当たり) が高い。

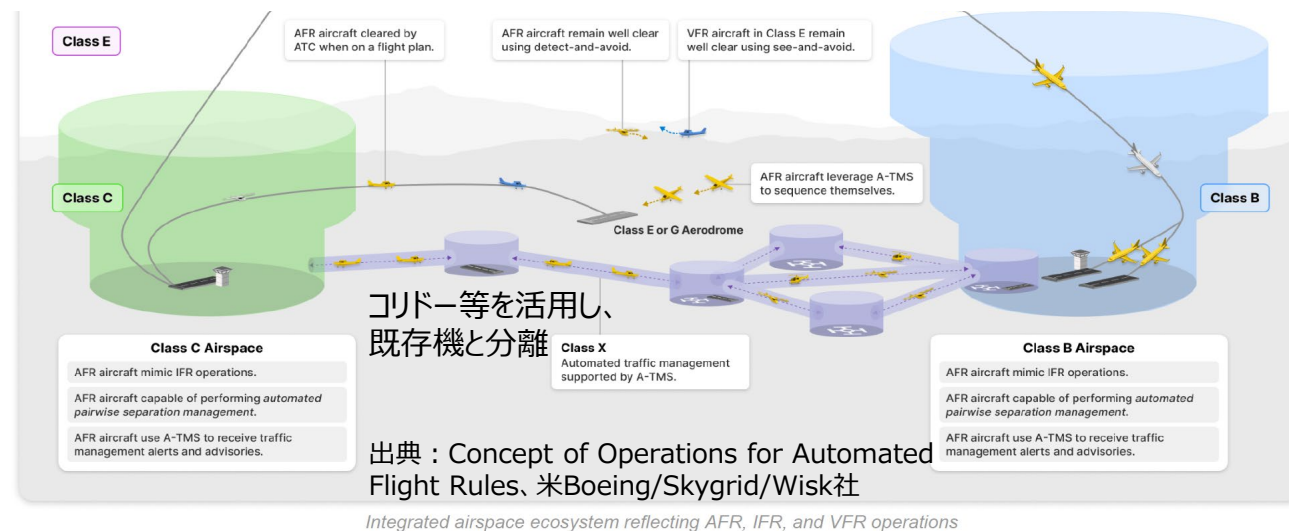
⇒ 少数の地上要員 (m人) で多数の機体 (N機) を運航するm:N運航が目指されている。

他機との衝突回避、自動離着陸が大きな課題 ←どこまで管制サービスや地上施設でサポートできるか？



m対N運航の概念図

出典 : Concept of Operations for Uncrewed Urban Air Mobility, Wisk社



既存のIFR、VFRに加えて、AFRという新しい飛行方式を提唱している

IFR : Instrumented Flight Rules (管制官が他機との衝突回避の責任を負う)

VFR : Visual Flight Rules (パイロットが他機との衝突回避の責任を負う)

AFR : Automated Flight Rules (空域によって他機との衝突回避の責任者が変わる)

空飛ぶクルマで想定されるボトルネック 4：新しい推進システムへの対応

これからのモビリティにとって、脱CO₂の要素は必要

バッテリーのみの場合：航続距離は最大でも100～200km程度



水素燃焼、燃料電池等の水素利用推進システム：従来機と同等の航続距離

従来の航空燃料と異なり、**充電設備や水素燃料の提供設備が必要**

生成AIに聞いてみた「空飛ぶクルマの充電設備の課題」

分類	課題項目	具体的な内容	空港・都市運用への影響
電力・エネルギー	電力容量不足	1機あたり数百kW級の急速充電を複数機同時に行うと、既存空港受電容量を超過	変電設備増強、系統接続調整が必要
	ピーク電力集中	短時間充電が集中し、ピーク電力が極端に大きい	需給調整・電力料金増大、蓄電池併設が前提
バッテリー技術	急速充電による劣化	高レート充電は寿命短縮・安全余裕低下を招く	運航コスト増、機体稼働率制約
	発熱・熱管理	充電中の発熱管理が不十分だと安全リスク	冷却設備追加、重量・スペース増
安全・航空規制	航空機近接での高電圧	ローター・乗客動線近傍で高電圧設備を扱う	感電・アーク対策、冗長設計必須
	火災・消火対応	電池火災は水消火不可の場合あり	専用消火設備、屋上避難計画が必要
建築・立地	屋上荷重制限	充電器・変圧器・蓄電池は重量が大きい	建物補強、設置可能場所の制約
	環境耐性	風雨・塩害・雷など過酷環境	航空用仕様での設備コスト増
運用・オペレーション	充電中の駐機占有	充電時間 = 駐機時間となり回転率低下	離着陸能力の低下、混雑発生
	スケジューリング	残量（SOC）に応じた運航・充電管理が必要	UTM/ATMと連動した運航管理が必須
標準化	充電方式の非統一	電圧・コネクタ・冷却方式が機体ごとに異なる	マルチ対応設備が必要、初期コスト増
	将来互換性	初期仕様が将来標準と不整合の恐れ	設備の早期陳腐化リスク
将来拡張性	水素機との共存	将来、水素eVTOLが混在する可能性	電気・水素設備のゾーニング問題
	エネルギー転換	電動→水素への技術遷移	充電専用設計は長期不適合の恐れ

1. 質問：異なる最終進入経路間の間隔調整や、一定間隔ではない柔軟な間隔調整を可能にする管制支援ツールの開発・導入動向はどうなっているか？
2. 質問：今回の発表はCTOL機の混雑空港乗り入れを対象にしているが、VTOL機（空飛ぶクルマ）の混雑空港乗り入れの課題はどう考えているか？
空飛ぶクルマの主要ユースケースとして、空港乗り入れが想定されている。
3. コメント：電動・水素等の新しい推進設備に対応した駐機場と、そのリソース管理を考慮すべき。
4. コメント：空港近郊の都市部からの空飛ぶクルマ（VTOL）の空港乗り入れと、地方からの次世代小型機の乗り入れ（CTOL中心）の両者の発着枠の割り当てについても考える必要がある（公共性等の観点）。
空飛ぶクルマ（VTOL）の空港乗り入れが、CTOL機の運用と完全に分離できれば問題にならないかもしれないが。。。