

空港近傍における次世代航空モビリティの運用環境検討

航空交通管理領域 ※虎谷 大地, 平林 博子, 佐藤 岳
監視通信領域 古賀 禎, 河村 暁子

1 はじめに

近年, ドローンや Advanced Air Mobility (AAM, 空飛ぶクルマとも呼ばれる。)といった次世代航空モビリティの研究開発が進められている。都市部での飛行が想定される AAM は Urban Air Mobility (UAM) と呼ばれ, 空港と都市部をつなぐ交通サービスとしての利用が期待されている。しかしながら, 特に大規模な空港には既に, 旅客機をはじめとした既存の航空機が離着陸しており, 新たに多数の UAM が離着陸するためには, 交通管理や通信・航法・監視の観点から何等かの工夫が必要となる。

UAM が飛行するとされている低高度においては, 従来, 有視界飛行方式 (Visual Flight Rules: VFR) による飛行が行われてきた。VFR は基本的に操縦者の目視に従って飛行するため, 今後の UAM の飛行数増加に向けて, 低高度における交通管理や通信・航法・監視といった, UAM の運用環境を整備していく必要がある。ただし, UAM は現時点において商業飛行可能な機体が存在しないので, それらの航空機がどのように飛行するかは不確実な部分が存在する。本稿では, 現時点において入手可能な情報を基に, 近い将来における混雑空港への UAM の離着陸方法, 及びその運用を支える低高度監視技術について提案する。

2 UAM の機体・飛行空域の想定

現在, UAM の商業飛行は行われていないが, 本稿では近い将来を想定し, 以下のような機体が飛行することを仮定する。

- 操縦者が搭乗して操縦する。
- 基本的に VFR で飛行するが, 一部 UAM のための特別なルールも使用される。
- 放送型自動従属監視 (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, ADS-B) in/out を装備する。
- ヘリコプタと同程度の飛行性能を有する。

UAM の飛行に関しては, 三次元的に定義された専用経路である, UAM コリドーという概念も提案されている[1]。UAM はコリドー内を飛行し, 他の航空機はコリドーに進入しないことで, UAM と既存航空機が分離されることが期待されている。ただし, コリドーを設定しただけでは UAM がコリドーから逸脱しない保証は無く, UAM がコリドーに沿って飛行可能な仕組みを作るためには長期間の議論を要すると考えられる。本稿では近い将来の運用を考えるため, コリドー利用は想定しないものとする。

UAM の空港への離着陸を検討するために, 図1に示す仮想の空港と空域を用いる。この空

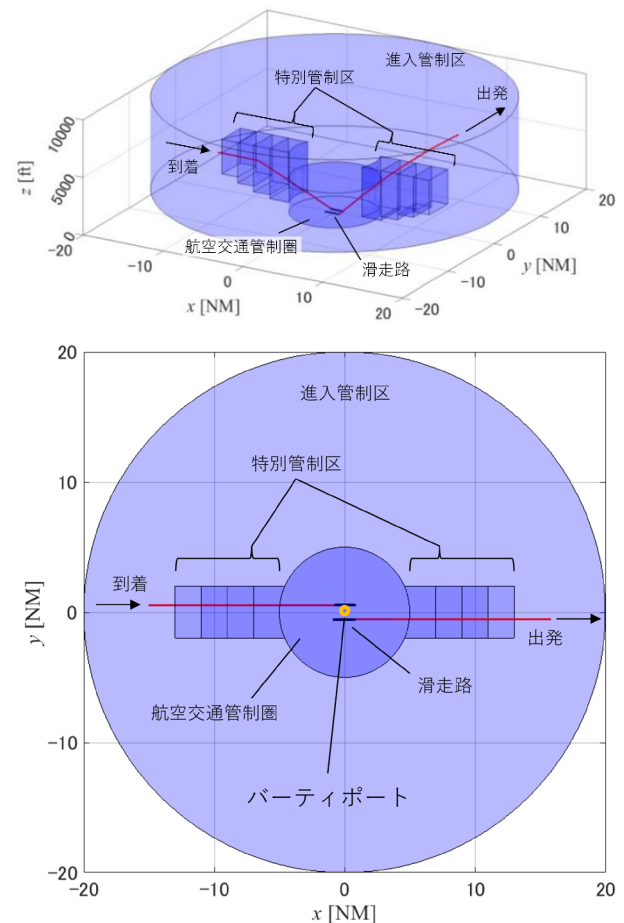


図1 仮想の空港, 滑走路と空域
(上段: 鳥瞰図, 下段: 平面図)

港は1組の平行滑走路を持ち、計器飛行方式（Instrument Flight Rules: IFR）で飛行する航空機が頻繁に離着陸している。空港近傍の空域は日本の混雑空港における典型的な空域構成を模擬している。平行滑走路を持つ空港においては、同時平行進入・出発が行われることもあるが、議論の焦点を絞るため、本稿では同時平行進入・出発は考えず、各滑走路が到着・出発専用として独立して運用されていると仮定する。

UAMが空港に離着陸するにあたり、その離着陸場であるバーティポートは旅客機等との接続性を考慮して、できるだけ空港ターミナルビル近傍に配置することが期待されている。平行滑走路を有する空港においては、滑走路の間にターミナルビルが配置されていることが多いので、本稿では図1において、原点の位置、すなわち平行滑走路の間にバーティポートを配置することを考える。このとき、滑走路にはIFRで飛行する航空機が連続的に離着陸するので、UAMはそれらの航空機と安全な間隔を保ちつつ離着陸しなければならない。

3 UAMの離着陸

図1で示した空港のバーティポートへUAMが離着陸する場合、UAMがIFR機と対向して飛行すると、相対速度が高くなり衝突のリスクが大きくなる。そこで、UAMの離着陸、特に到着の方向は、主に以下の2パターンが考えられる。なお、IFR機、UAMともに不測の事態を考慮する必要があるので、ともに着陸復行についても考慮している。

- 到着パターン1：滑走路に対して垂直
滑走路に対して垂直に到着することで、滑走路以外でUAMがIFR機と接近せずにバーティポートにアプローチすることができる（図2）。ただし、UAMが滑走路を横断するので、滑走路がクリアな状態でしかUAMが着陸することができず、UAMの着陸前に空中待機が発生する可能性がある。加えて、IFR機が高頻度で離着陸する空港においては、UAMの離着陸頻度が低くなる可能性がある。

- 到着パターン2：到着IFR機と平行

IFR機と平行に到着することで、パターン1とは異なり、IFR機が連続して着陸している状況であっても、UAMもバーティポートへアプローチすることができる可能性がある（図3）。このような運用は、Vermaらの先行研究においても想定されている[2]。IFRであれば同時並行進入のマニュアルが整備されているが[3]、UAMの着陸方式に関してはまだ検討の途上である。IFR機とUAMの到着経路の間隔が非常に近くなるので、両者の安全を確保する仕組みが必要である。

出発に関しては、主に以下のようなパターンが考えられる（図4）。

- 出発パターン1：滑走路に対して垂直
- 出発パターン2：出発IFR機の後ろを通過
- 出発パターン3：出発IFR機と平行

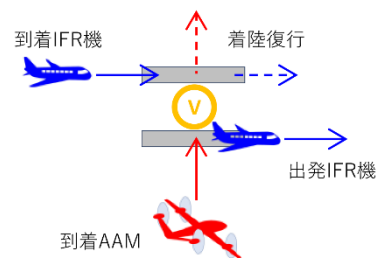


図2 到着パターン1

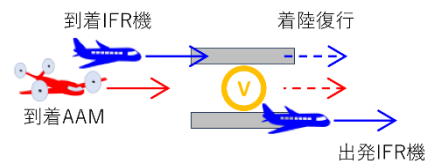


図3 到着パターン2

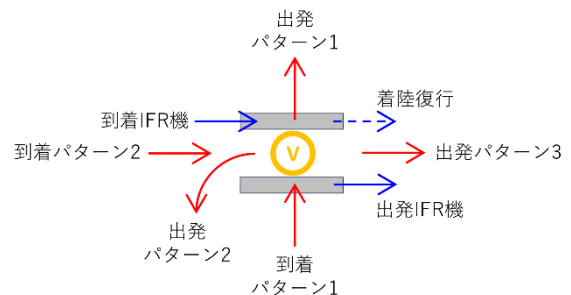


図4 出発パターン

出発と到着、ともに各パターンに利点と欠点があるが、現時点において実際の UAM の運用については不確実性が高く、また、具体的にどの空港に UAM を導入するかによって、空港特有の制約と、実現可能なパターンが変わる可能性がある。そのため、現時点においてはどのパターンが最もよいかを議論するのではなく、実現性の高いパターンを複数あげ、各パターンの利点・欠点を洗い出しておくべきであると考えられる。

ここまでで議論した到着・出発パターンを組み合わせた、空港近傍における UAM の運用イメージの一例を図 5 に示す。ここでは、到着パターン 2 と、出発パターン 2, 3 を用いている。また UAM が様々な方面へ行き来できるように、到着・出発経路を設定している。UAM の経路は IFR 機の経路と一部交差しているが、UAM は IFR 機に比べて低高度（1,000 ft 程度を想定）を飛行するため、基本的には IFR 機と高度分離が可能であると考えられる。しかしながら、滑走路とバーティポートの手前では、一部 IFR 機と UAM の水平・垂直距離が非常に近くなってしまう。この点に関しては、図 6 に示す、近接平行滑走路に対する平行進入における diagonal separation を援用して間隔を保つこと等で緩和できる可能性がある[3]。このとき、UAM は VFR で飛行しているため、基本的に操縦者は目視に基づいて間隔を保つことになるが、IFR 機と UAM は飛行高度・速度ともに異なるため、UAM のパイロットが IFR 機を視認することは困難である。そのため、UAM の操縦者は周囲の航空機の動態情報を取得し、目視による間隔

維持の支援に使用することが推奨される。動態情報を用いた目視間隔の支援としては、cockpit display of traffic information assisted visual separation といった方式が存在する[4]。

本稿では、空港近傍における IFR 機と UAM の競合を中心に議論を進めてきたが、IFR 機に加えて VFR で飛行する小型機等が数多く離着陸する空港も多い。VFR 機については空港ごとの運用の差が大きく、特に具体的な空港について考える際は、場周経路等、対象空港における運用を踏まえて、VFR 機と UAM の競合についても検討する必要がある。

4 低高度動態情報共有システム：TIS-B

UAM は ADS-B in/out を装備すると想定されるので、周囲を飛行する ADS-B out 搭載機の動態情報を機上で取得することができる。しかしながら、一部の IFR で飛行する旅客機や、多くの VFR で飛行する小型機等は ADS-B out を搭載していないため、UAM はこれらの航空機の動態情報を取得することができない。そこで本稿では、図 5 に示した UAM の運用の実現を支援するため、低高度の動態情報共有システムとして、Traffic Information Service-Broadcast (TIS-B) を提案する。

TIS-B とは、二次レーダーやマルチラテレーションシステムなどの地上監視システムで取得した動態情報を、1090 MHz 信号で放送するシステムである。ADS-B out 非搭載だがトランスポンダ搭載の航空機の動態情報を、ADS-B in 搭載機のターゲットディスプレイ上に表示することができる。英国では、低高度空域の近代化

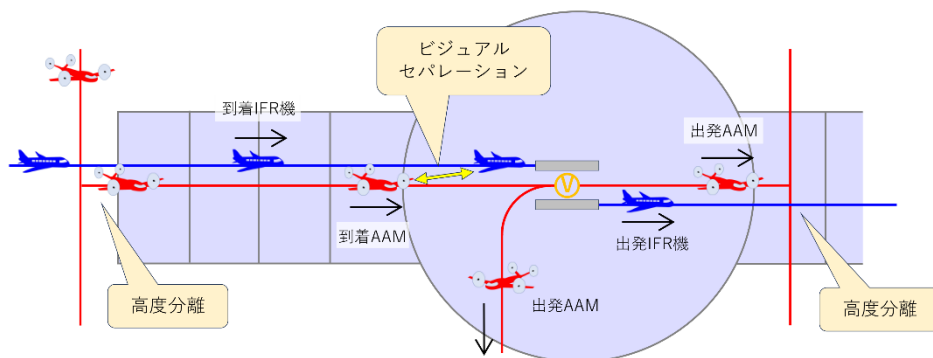


図 5 空港近傍における UAM の運用イメージ

計画の一部として TIS-B の導入を掲げている[5]。

電子航法研究所では低高度における動態情報共有システムとして、仙台空港に設置されているマルチラテレーション実験システムに TIS-B 機能を実装し、2024 年度から初期的な実験を開始している（図 7）。実験により得られた動態情報の一例を図 8 に示す。図 8 において、黄色で示されている ADS-B out 非搭載機は本来

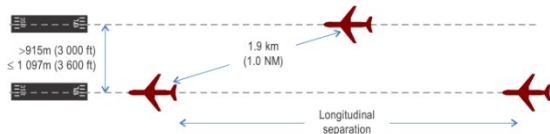


図 6 近接平行滑走路に対する平行進入における diagonal separation（文献 [3] より引用）

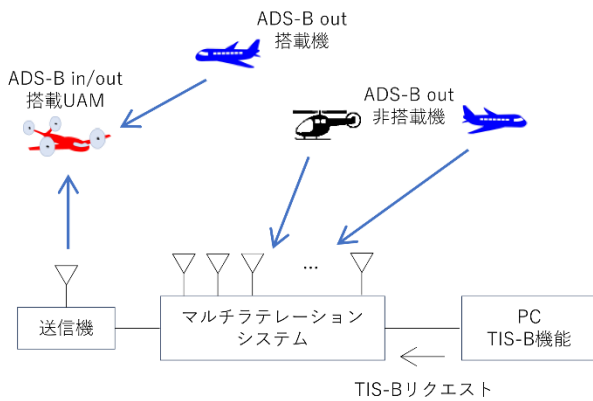


図 7 実験システムの概要



図 8 仙台空港で取得した動態情報の一例

ターゲットディスプレイ上には表示されないが、緑色で示されている ADS-B out 搭載機同様、表示されている。図 8 の TIS-B メッセージは地上の受信局で取得したものであるが、今後、航空機上の ADS-B in で TIS-B メッセージを受信する実験等を行い、TIS-B が低高度における動態情報共有に有効であることを確認していく。

このように TIS-B の導入によって、UAM の操縦者が機上でより多くの周辺航空機の動態情報を取得できるようになり、混雑空港における UAM の離着陸を含む空港近傍における運用の実現に貢献することが期待される。

5 まとめ

本稿では、近い将来における混雑空港近傍での UAM の運用を対象に、実現可能性がありそうな離着陸のパターンを議論した。またそのような運用を支える低高度動態情報共有システムとして TIS-B の実験システムを開発し、初期的な実験結果を示した。今後はより実験システムの評価を進めていくとともに、空港近傍における UAM の運用方法を精緻化させていく。

参考文献

- [1] Federal Aviation Administration, “Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations,” v2.0, 2023.
- [2] S. Verma, V. Dulchinos, R. D. Wood, A. Farrahi, R. Mogford, M. Shyr, and R. Ghatas, “Design and Analysis of Corridors for UAM Operations,” IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2022.
- [3] International Civil Aviation Organization, “Manual on Simultaneous Operations on Parallel or Near-Parallel Instrument Runways (SOIR),” Doc. 9643, 2nd Ed., 2020.
- [4] International Civil Aviation Organization, “Manual on Airborne Surveillance Applications,” Doc. 9994, 2nd Ed., 2020.
- [5] Civil Aviation Authority, “Modernised Lower Airspace in the UK,” https://www.caa.co.uk/media/33jh005c/lower_airspace_caa.pdf (retrieved May 2025)