

[特別講演] 日本の空域における次世代エアモビリティのための運用環境前提の検討

航空交通管理領域 ※虎谷 大地

General Atomics Aeronautical Systems, Inc. 小手川 達也

1 はじめに

従来、航空機というと、操縦士が搭乗して操縦する旅客機やヘリコプタが主であった。しかしながら近年、無人航空機 (small unmanned aircraft systems: sUAS, ドローンとも呼ばれる) や、無操縦者航空機 (remotely piloted aircraft systems: RPAS) といった新しいタイプの航空機が登場しており、既に一部が実用化されている。また、空飛ぶクルマ (urban air mobility: UAM, electric vertical take-off and landing: eVTOL 等とも呼ばれる) の実現に向けた研究開発が活発に進められており、今後も新しいタイプの航空機が増えると予想されている。これらの新たな航空機は次世代エアモビリティとも呼ばれており、以下の特徴を有することがある点において、従来の航空機と異なっている。

- 操縦士が機体に搭乗しない
- 比較的低高度を飛行することがある
- 装備品が異なる
- その他、本稿の議論とは関連が薄いですが、電動のものがある、法律上の区分が異なる等の違いもある

従来の航空交通システムでは上記のような航空機は想定されていなかったため、既存の航空機の運用環境に次世代エアモビリティが混在すると、既存航空機と次世代エアモビリティ間、または次世代エアモビリティどうしの安全が担保できない可能性がある。そこで本稿では、次世代エアモビリティが混在した環境における空の安全、特に空中衝突に関するリスクである空中リスクを緩和することについて考える。特に、空中リスクを議論する上で必要な、運用環境前提 (operational services and environment definition: OSED) を構築することで、次世代エアモビリティと既存航空機が混在する環境の安全を保つことへの貢献を目的とする。

2 先行研究

既存航空機との空中リスクについては、特に RPAS において活発に議論されてきた。RPAS は地上からの遠隔操縦であるため、既存航空機では機上の操縦士の目視による見張りによって保たれていた周辺航空機との安全を、どのように担保するかが課題であった。米国の航空無線技術委員会 (Radio Technical Commission for Aeronautics: RTCA) では、操縦士の目視を代替する手段として、Detect and avoid (DAA) システムの標準化が行われてきた [1]。その過程において、DAA システムの性能要件を検討するために、システムが使用される前提条件 (想定される RPAS の飛行のしかた、RPAS が飛行する空域のシステム構成、空域内の他の航空機の交通密度の分布等) として OSED が作成された [2]。RPAS における検討では、作成した OSED を用いることで DAA システムに必要とされる検知範囲等が検討された。しかしながら、この OSED は米国の空域とその交通密度分布を前提としたものであるため、他の地域への RPAS 導入にあたっては対象地域を前提とした OSED を別途作成する必要がある。

同様の検討は sUAS に対しても試みられている。sUAS は次世代エアモビリティの中でも特に低高度を飛行するため、低高度の航空交通の特徴を特定する必要がある。しかしながら、低高度においてはレーダー覆域が狭くなり、またトランスポンダ等の装備品が不十分な航空機が多くなるため、低高度の航空交通を把握するのは容易ではない。そのため利用可能なデータとモデリング技術を組み合わせた、既存航空機と sUAS の接近遭遇モデルの構築方法等が提案されている [3]。

日本においては、筆者らが RPAS 導入に向けて OSED 構築に利用可能なデータの検討を行った [4]。その検討では、計器飛行方式

(instrument flight rules: IFR) で飛行する航空機に関しては、レーダーや統合管制情報処理システムのデータから十分な情報を得ることができたが、有視界飛行方式 (visual flight rules: VFR) で飛行する航空機に関する情報が不十分であった。前述したように、次世代エアモビリティは比較的低高度を飛行することが多く、同じく低高度を飛行する VFR 機と接近遭遇する可能性が高い。そこで本稿では、VFR で飛行する航空機の OSED 構築について検討する。

3 課題とアプローチ

先行研究では主に、レーダーデータを用いて交通密度分布を把握していたが、航空管制で主に用いられる二次レーダーのデータを用いた場合、トランスポンダ等の装備状況や覆域によって VFR の交通流を捕捉することが困難であるという問題点がある。そのため RTCA の OSED では、米空軍の一次レーダーのデータを用いることで低高度の交通流データを収集していた。低高度における網羅的な一次レーダーのデータを収集することは容易ではないので、本稿では飛行計画をベースとしたアプローチをとり、VFR で飛行する航空機のおおまかな分布を把握することとする。

また交通密度分布の把握に加えて、航空機の装備品状況も調査する。例えば、周辺を飛行する航空機が放送型自動従属監視 (automatic dependent surveillance-broadcast: ADS-B) , 特に ADS-B out を装備していれば、次世代エアモビリティが ADS-B in を装備することで周囲の航空機を把握することが可能となり、目視の代替の一助とすることができる。しかしながら、次世代エアモビリティが飛行することがある低高度においては、VFR で飛行することが多い一般航空 (ジェネラルアビエーション, 以降「ジェネアビ」と表記) が多く飛行している。ジェネアビは IFR で飛行する航空機に比べると装備品が充実していないことが多く、特に ADS-B の装備率は非常に低いとされている。一方、日本のジェネアビは欧米に比べるとトランスポンダの装備率は非常に高いとされている。そのため、空中衝突警報システム (traffic alert and collision avoidance system: TCAS) を装備し

た機体であれば、トランスポンダを装備した機体の接近を把握することができる。以上のように、空中リスクや目視の代替の観点からは、次世代エアモビリティの周辺を飛行する航空機の装備品も重要である。

交通密度分布と装備品状況をあわせることで、次世代エアモビリティが低高度において、他の航空機とどのように接近遭遇しうるかをモデル化するための前提を構築していく。

4 利用データ

VFR の交通密度分布と装備品状況を調べるために、文献 [5] で用いられた VFR 飛行計画を主に用いた。データの収集期間は 2018 年度の 35 日間で、軍用機等の飛行は除いた。諸外国では VFR の飛行計画を網羅的に収集していないことが多いが、日本においては出発地の半径 9km を超える飛行においては、原則として飛行計画を提出する必要がある。

5 装備品状況

装備品状況に関しては、日本航空機全集 [6] に記載のある航空機 (2021 年末日時点のデータ) から、大破や展示等により飛行の可能性が低い機体を除いたもののみを調査対象とし、飛行計画の第 10 項 b からトランスポンダと ADS-B の有無を調査した。参照した飛行計画の期間よりも後に登録された機体に関しては、Flightradar24 等の情報を用いて装備品を推定した [7]。

機体数ベースの装備品の状況を表 1 に示す。ここで、「N」は監視機器を搭載していないか使用不能の場合を表しており、「不明」は参照情報から機体が発見できなかった場合 (VFR 飛行計画の期間中に飛行がなかった、飛行計画の提出が必要無い飛行しかなかった等) を表している。表 1 より、N の機体が約 3% 存在するが、これらは全て滑空機であった。一方、全航空機の ADS-B の装備率は 20% 近くとなっているが、IFR で飛行する可能性の高いジェット機の機数が 625 機であり、ADS-B 装備機の大半は VFR で飛行しない機体であると考えられる。なお、表 1 で示した結果は機体数ベースであり、空中リスクの観点からは飛行数ベースの

結果の方が実態に即していることに注意されたい。

飛行数ベースの装備品の状況を表2に示す。この結果はVFR飛行計画から抽出したものであり、データ収集期間のVFRのみの結果となっている。表2より、表1と比べてADS-Bの装備機の割合が大きく下がっており、VFRで飛行する機体のADS-B装備率が非常に低いと考えられる。加えて、モードA、Nの割合も小さくなっており、これらの装備品が不十分な飛行の数は、飛行数ベースで見るとさらに小さくなることが分かった。

6 交通密度分布

VFR飛行計画の出発・到着地点、及び計画経路の各地点は、IFRの飛行計画と異なり、地点名と緯度経度によって共有される定義を持っておらず、地点名のテキストのみで記述されている。そのためVFR飛行計画からは、実際の航跡を一意的経路として推定することは容易ではない[8]。そこで本稿では、以下に示す方法で大まかな飛行範囲を推定した。

表1 機体数ベースの装備品の状況
(全航空機)

	機数	割合 [%]
ADS-B	502	18.9
モードS	757	28.5
モードC	750	28.3
モードA	24	0.9
N	78	2.9
不明	543	20.5
計	2,654	100.0

表2 飛行数ベースの装備品の状況
(VFRのみ)

	飛行数	割合 [%]
ADS-B	216	0.8
モードS	15,553	58.2
モードC	10,763	40.3
モードA	104	0.4
N	76	0.3
計	26,712	100.0

- i. 出発・到着地点をジオコーディングを用いて緯度経度に変換
- ii. 文献[5]の実際の飛行時間と計画速度から、最大飛行距離 D_{max} を推定
- iii. 図1の方法で最大飛行範囲を推定

ここでジオコーディングとは、地名のようなテキストデータを特定の緯度経度に変換する機能である。本稿では、主に国土地理院のジオコーディングを用いた[9]。また、実際の飛行時間はデータが無い便も多く存在するため、その場合は、実際の飛行時間のデータが存在する便から求めた以下の係数を予定飛行時間に乗ずることで、実際の飛行時間を推定する。

飛行時間係数

$$= \frac{\text{実際の飛行時間の平均}}{\text{予定飛行時間の平均}} \quad (1)$$

なおこの係数は、滑空機、回転翼機、固定翼レシプロ機、固定翼ターボプロップ機、固定翼ジェット機という区分ごとに算出した。図1の方法は、最大飛行範囲を出発・到着地点を焦点とする楕円と仮定しており、出発・到着地点が同一の場合は円となる。実際の飛行は常に計画速度で飛行し続ける訳ではなく、かつ図1の青線のように直線的に飛行し続けるとは限らないため、ここで推定する飛行範囲は広めに見積もった値となる。

図2に、全飛行の最大飛行範囲を重ね合わせた交通密度分布を示す。色が濃い範囲が、最も交通密度が高いことを表す。この密度分布では図3に示したように、緯度経度を0.1度ごとに区切ったグリッドを作成し、図1の方法で推定

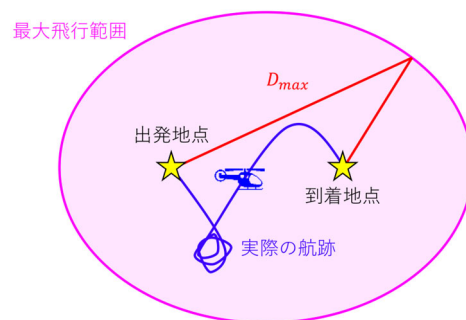


図1 最大飛行範囲の推定

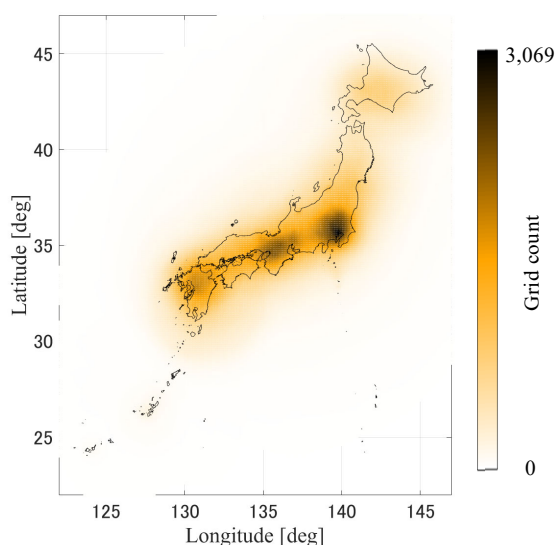


図2 VFRの交通密度分布
(地図情報は [10] を参照)

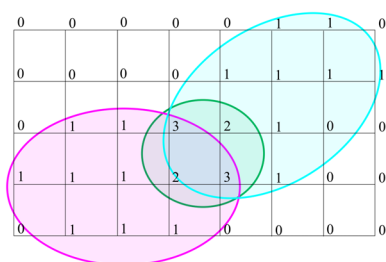


図3 交通密度分布の計算のしかた

した各便の飛行範囲の内側に入るグリッド数をカウントすることで交通密度分布とした。

図2より、東京を中心とした関東地方が最もVFRの交通密度が高く、次いで名古屋から神戸にかけてのエリア、そして九州北部の色が濃くなっている。図2は飛行範囲を広めに見積もった交通密度分布であるが、VFRの飛行範囲をおおまかに捉えることができると考えらる。そのため次世代エアモビリティを導入する際には、色が濃いエリアを飛行するとVFR機と遭遇接近する可能性が高くなることに注意が必要である。

7 まとめ

本稿では、次世代エアモビリティ導入に向けたOCEDの作成について検討を行った。VFR飛行計画等の情報を利用して、日本の航空機の装備品状況を調査し、VFR機の交通密度分布を作成した。

今後は作成した装備品状況や交通密度分布を

用いて、想定される次世代エアモビリティごとに空中リスクの算定を行い、必要であれば装備品を検討することで、定量的な空中リスク緩和について議論を行う予定である。

謝辞

運航管理データのご提供にご尽力いただきました、航空局運用課、及び航空交通管理センターの関係各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] RTCA, Inc. SC-228, “Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Detect and Avoid (DAA) Systems,” RTCA DO-365, 2017.
- [2] RTCA, Inc. SC-203, “Operational Services and Environmental Definition (OSED) for Unmanned Aircraft Systems (UAS),” RTCA DO-320, 2010.
- [3] A. Weinert, N. Underhill, and A. Wicks, “Developing a Low Altitude Manned Encounter Model Using ADS-B Observations,” Proc. IEEE Aerospace Conference, 2019.
- [4] 虎谷大地, 小手川達也, “無操縦者航空機の導入に向けた運用環境定義の検討,” 飛行機シンポジウム, 2021.
- [5] 平林博子, “運航管理データを用いた有視界飛行方式の飛行傾向分析,” 電子航法研究所報告, No. 133, 2020.
- [6] 鳳文ブックス, “日本航空機全集 2022 年版,” 2022.
- [7] Flightradar24 AB, “Flightradar24”, <https://www.flightradar24.com/> (accessed May, 2022)
- [8] 虎谷大地, 平林博子, “ドローンとの情報共有のための有視界飛行方式の飛行計画データ利用に関する一検討,” 宇宙・航行エレクトロニクス研究会, 2020.
- [9] 国土地理院ウェブサイト, “地理院地図,” <https://maps.gsi.go.jp/> (accessed May, 2022)
- [10] 国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト, “国土数値情報, 海岸線データ,” <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-C23.html> (accessed May, 2022)