ISSN 2433-2240(Online)
JAXA-CR-21-003

宇宙航空研究開発機構契約報告

JAXA Contract Report

eVTOLサービスに関する市場規模・eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの委託調査報告書

2022年2月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

This document is provided by JAXA.

委託調査の概要

人口密集地での人員輸送・物流及び観光や二次交通等を目的とした、低高度空域を飛行するeVTOL（有人機、無操縦者航空機、無人機を含み、防災活動に従事するヘリコプタ等も含めても良い）に対して

(1) eVTOLサービスに関する市場規模
(2) eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラ

に関する調査を2019年度に慶應義塾大学と実施した結果について報告する。

2020.06.18

JAXA　航空技術部門　飛行技術研究ユニット　飯島　朋子
次世代航空イノベーションハブ　小林　宙

This document is provided by JAXA.

eVTOLサービスに関する市場規模・eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの委託調査報告書

作成元　慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

2022年2月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

This document is provided by JAXA.

委託調査の報告

（１）eVTOLサービスに関する市場規模調査
（２）eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの調査

2020年3月30日

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
空飛ぶクルマ研究マラボ
中野　冠、中本亜紀

This document is provided by JAXA.

目次

1. ユースケースの提案 ……3
1. 前提 ……3
2. ユースケース……4
2. eVTOLサービスに関する市場規模調査 ……5
1. 調査対象……5
2. 調査方法……6
3. 市場規模の推定……6
1. ニセコモデル……7
2. 長崎モデル ……8
3. 瀬戸内モデル……9
4. サービス必須要件……10
1. ニセコモデル ……10
2. 長崎モデル……11
3. 瀬戸内モデル ……11
3. eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの調査 ……12
1. 調査対象 ……12
2. 調査方法 ……13
3. ユースケースの特徴的な気象条件 ……13
4. 自動化レベルのテーラリング……14
5. 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題 ……14
6. 課題と提案事項……19
4. 無人機に必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの調査 ……23
1. 実証実験の事例：実験概要と気象情報ニーズ ……24
2. 課題と提案事項 ……27
5. eVTOL・無人機のための気象情報サービスのあるべき姿 ……28
1. 気象情報取得のための計測機設置場所の可能性 ……28
2. 気象情報サービスの提案 ……29
3. 気象情報サービスの評価項目 ……29
4. 気象情報サービスの評価 ……30
6. 考察 ……30
7. 今後の研究課題（市場・気象） ……31

This document is provided by JAXA.

1. ユースケースの提案

5

1-1 前提（1）

- 巡航高度150m～1,000m程度を飛行する
- 正常飛行を想定する（全動力停止時の緊急着陸は方法や場所の検討を別途要するため）
- 凍結気象状態（0℃以下視認できる水分がある状態）は目安2℃以下。雲の中を飛行するには、冬季はアンチアイス技術（防氷）やデアイス技術（除氷）が必要となる。
- ユーザーニーズはインタビューに基づく

6

This document is provided by JAXA.

1-1 前提（2）

- eVTOLの耐風性はNECによるCityAirbus機体の耐風性評価より決定する。本報告書には、先方の都合により暫定値は記載しない。
- 着陸場所は代表例を示す
- eVTOLを飛ばす際の制限事項を検討する際には、次のプロセスを踏むことが必要と考えられる（運航会社インタビューより）
  - ① eVTOLの飛翔体（機体）としての運用上の制限事項（マニュアルに記載され、監督省庁からの承認が必要）を規定
  - ② 上記①の「範囲内」で、必要に応じて事業運用上の制限事項（例：運用会社における運航上の風速制限。限界ではない）を規定

機体タイプ		機体としての限界	運用上の制限
eVTOL	CityAirbus		
ヘリ	505	25kt/s（横風）	
	MD900	①エンジン始動・停止時：地面でローターを回すのは50kt/sまで ②横風：ホバリングはヘッドウィンド前提で17kt/sまで	・北総ドクターヘリ：平均25kt/s以下、最大35kt/s以下 ・沖縄ドクターヘリ：エンジン始動・停止時：最大35kt/s（最大瞬間風速を含）離着陸帯が建築物または建築物以外の構造物上にある場合のエンジン始動は30kt/s（最大瞬間風速を含）。飛行：平均風速 25kt/s、ガスト35kt/sの両条件が重なった場合、飛行停止を検討
	R22	25kt (15kt)*	
ドローン	NEC	14m/s	
	ATP	25kt/s（横風）	

*Flight when surface winds exceed 25 knots, incl. gusts, is prohibited.
Flight when surface wind gust spreads exceed 15 knots is prohibited.

7

1-2 ユースケース

	飛行ルート	用途	距離	地理・気象*	市場規模	気象調査
有人機	新千歳ーニセコ	観光目的の ２次交通	約80km	寒冷地、経路途中に山岳あり	○	○
	長崎空港/港ーハウステンボス	IR施設への ２次交通	約22～40km	海上飛行（風）	○	○ （大村湾上空ルートのみ）
	関空ー夢洲 神戸空港ー夢洲	IR施設への ２次交通	約30～45km	海上飛行	― （対象外）	○
	山梨県北杜市ー東京	２拠点居住の 移動手段	約100km	東京都市部上空の気象、経路途中に山岳あり	― （対象外）	○
	岡山空港/駅ー直島 高松空港/駅ー直島	「直島高級ホテルY」への２次交通	約13～37km	海上飛行（風・濃霧）	○	― （対象外）
無人機	熊本赤十字病院ー小国町	医療物流	約700m	山間高冷地	― （対象外）	○

市場規模推定では、我が国において将来を含めて展開が想定される、事業性の観点で有望なケースとして、上記3つのユースケースを選定した。気象調査では、気象・地理条件*で特徴を持つ4つのユースケースを選定した

*ヘリ/eVTOLの運航上、特徴的な条件

8

This document is provided by JAXA.

2. eVTOLサービスに関する市場規模調査

9

2-1 調査対象

- 本作業においてeVTOL(Electric Vertical Take-Off and Landing)とは、推進系を電動化しかつ垂直に離着陸が可能な形態の航空機を指す。ただし、エネルギ源は二次電池、一次電池に限らず、内燃機関と発電機、燃料電池やソーラーパネル等も含むものとする。
- 本作業においては、eVTOLによる旅客サービス、遊覧飛行、災害救援・支援サービス等の人間が搭乗するユースケースについて、潜在・顕在を問わずその需要から我が国における市場規模を調査・推定する。加えて、上記需要に対しサービスの成立に必須な要件を併せて整理する。ただし、上記要件を整理するにあたり、その要件の実現に必要な技術レベルを考慮しない。

10

This document is provided by JAXA.

2-2 調査方法

- 本調査における市場規模の推計に当たっては、主に各種業界団体や行政および産業界有識者へのヒアリングをベースにし、他に既存の各種統計情報や調査報告書を参照している。

11

2-3 市場規模の推定

12

This document is provided by JAXA.

市場規模推定　ユースケース（抜粋して再掲）

ユースケース	主な想定ユーザー	用途	飛行ルート	距離	地理・気象
ニセコモデル	外国人観光客	観光目的の二次交通	新千歳空港→ニセコ	約80km	寒冷地、経路途中に山岳あり
長崎モデル	外国人観光客	IR施設への二次交通	長崎空港/港⇔ハウステンボス	約22～40km	海上飛行（風）
瀬戸内モデル	外国人観光客	観光目的の二次交通	岡山空港/駅⇔直島（「直島高級ホテルY」） 高松空港/港⇔直島（「直島高級ホテルY」）	約13～37km	海上飛行（風・濃霧）

*ヘリ/eVTOLの運航上、特徴的な条件

13

2-3-1　ニセコモデル（冬季4ヶ月稼働）

ユースケース	想定ユーザー属性	ユースケースルート
ニセコモデル	外国人観光客　富裕層	新千歳空港→ニセコエリア（6ホテル）片道

（前提）

1．ヒアリングを行ったニセコの高級スキーリゾート「ニセコ高級ホテルX」の利用客は現地消費額が高い、いわゆる富裕層と想定することができる。

2．同ホテルへのヒアリングによると
・同ホテルは、部屋数100室、稼働率95%、1部屋4-5名のファミリー、冬季は1週間滞在
・富裕層の利用が多い高級リゾートホテルは「スカイニセコ、木ニセコ、ハイアット、ヒルトン、綾、セツなど」（→eVTOLは6ホテルで利用されるとする）
・eVTOLは片道のみ利用が多くなると思われる
・eVTOLを利用する割合は1-10%と思う（→利用率10%と置く）
・現状のヘリが3名搭乗で片道60万円から。その半額、30万円であれば競争力があると思われる（→乗客3名で30万円/機と置く）

- 乗客3名で2機同時飛行（1ファミリーで2機に搭乗となる）
- 荷物も搭載（1人20-40kg）
- 昼間のみの運航
- オンデマンド（利用のタイミングで呼び、時間が合えば使う）
- 冬季含め定時運航率（15分以内の遅延）95%以上（旅客機の就航率95%と同等なら富裕層利用客も納得すると想定）
- 富裕層が多く訪れる冬季4ヶ月のみ運航

120日 ÷ 7日 ＝ 17回転（ファミリー）　⇦「ニセコ高級ホテルX」で、冬季に1部屋が何回転利用されるか＝何ファミリーに利用されるか

17ファミリー × 100室 × 稼働率95% ＝ 1615ファミリー　⇦「ニセコ高級ホテルX」における冬季のファミリー数合計

1615ファミリー × 6ホテル ＝ 9,690ファミリー　⇦6ホテルにおける冬季のファミリー数合計

9,690ファミリー × 2機 × 利用率10% × 運航率95% ＝ 1,842回/4ヶ月　16回/日

年間売上

【30万円/機の場合】1,842回× 30万円/回 ＝ 5億5,260万円/ 4ヶ月

14

This document is provided by JAXA.

（資料）新千歳空港とニセコ・スキーリゾート間の移動手段

スキーリゾート	移動手段
ニセコマウンテンリゾートグラン・ヒラフ	空港からバス(ホワイトライナー・リゾートライナー)で約150分 片道4,000円　空港からレンタカーで約110分(約110km)
ニセコビレッジスキーリゾート	空港からバス(ホワイトライナー・リゾートライナー)で約180分 片道4,000円　空港からレンタカーで約110分(約110km)
ニセコアンヌプリ国際スキー場	空港からバス(中央バス)で約180分。片道2,600円・往復4,500円　空港からレンタカーで約110分(約110km)

15

2-3-2 長崎モデル

ユースケース	想定ユーザー属性	ユースケースルート
長崎モデル①	外国人観光客　富裕層	長崎空港⇔IR区域

長崎県庁との議論で、以下のように前提を置いた。
【長崎空港⇔IR区域】
- 現在は空港から450人／日がハウステンボスに移動。IR後は4倍強を見込み「2000人／日」程度の総移動を想定。
- 現在、レンタカー、タクシー利用者が30%。ターゲット層と考えられる。そのうち50%がeVTOLを利用すると想定される（→利用率50%と置く）
- 富裕層以外もターゲットのため、現在のヘリ（2人乗り48,600円）の半額であれば利用すると思われる（→乗客2名で2.5万円/機と置く）

- 乗客2名で2機同時飛行の場合は、乗客4名の移動が可能
- 荷物も搭載
- 昼間のみの運航
- オンデマンド（利用のタイミングで呼び、時間が合えば使う）
- 定時運航率（15分以内の遅延）95%以上（旅客機の就航率95%と同等なら富裕層利用客も納得すると想定）

2,000人/日

1,400人/日（70%:電車、高速船、バス）

600人/日（30%:レンタカー、タクシー）

600人/日 × 利用率 50% × 365日 ÷ 2人/回 × 運航率 95% × 往復 2 ≒ 104,025回/年　285回/日

年間売上

【2.5万円/機の場合】 104,025回× 2.5万円/回 ≒ 26億62万円/年

16

※長崎モデルは、官民協議会資料（2020年3月17日慶應空飛ぶクルマラボ発表）を参照した

This document is provided by JAXA.

2-3-2 長崎モデル

ユースケース	想定ユーザー属性	ユースケースルート
長崎モデル②	外国人観光客　富裕層	長崎港⇔IR区域

長崎県庁との議論で、以下のように前提を置いた。
【長崎港⇔IR区域】
・客船乗客数は2000-3000人程度(2500人で計算）。パッケージツアー客が80%、ターゲットとする「プレミアム、ラグジュアリー層が20%」。ターゲット層のうち、10%がeVTOLを利用と想定される（→利用率10%と置く）
・乗客2名で4.2万円/機と置く
（※この運賃設定は理由無し。
参考：長崎港～HTB　バス＝1,500円、タクシー18,600円 （NAVITIME））

- **乗客2名で2機同時飛行の場合は、乗客4名の移動が可能**
- **荷物も搭載**
- **昼間のみの運航**
- オンデマンド（利用のタイミングで呼び、時間が合えば使う）
- **定時運航率（15分以内の遅延）95%以上（旅客機の就航率95%と同等なら富裕層利用客も納得すると想定）**

2,500人/日

2,000人/日（80%:パッケージツアー客）

500人/日（20%:プレミアム、ラグジュアリー層）

500人/日 × 利用率 10% × 運航日数 220日 ÷ 2人/回 × 運航率 95% × 往復 2 ≒ 10,450回/220日　48回/日

年間売上

【4.2万円/機の場合】 10,450回× 4.2万円/回 ≒ 4億3,890万円/220日

※長崎モデルは、官民協議会資料（2020年3月17日慶應空飛ぶクルマラボ発表）を参照した

17

2-3-3 瀬戸内モデル

ユースケース	想定ユーザー属性	ユースケースルート
瀬戸内モデル	観光客	岡山空港/駅⇔直島（「直島高級ホテルY」） 高松空港/港⇔直島（「直島高級ホテルY」）

ヒアリングを行った「直島高級ホテルY」年間延べ宿泊者数
＝ 65室/日 × 2人泊/室 × 365日/年 × 0.8（稼働率） ≒ 38,000人泊/年

38,000人泊/年 ÷ 1.8泊（平均宿泊数）＝ 21,100人/年

21,100人/年

4,220人/年（20%:団体） ⇒ チャーターバスを利用

16,880人/年（80%:個人）

13,504人/年（80%:電車）

3,376人/年（20%:タクシー） ⇐ 従来は陸路でタクシー（岡山～宇野 片道7000円/台、1グループ3名程度）及び船を利用していた層がeVTOLを利用すると考えられる（「直島高級ホテルY」ヒアリングより）

- **乗客3名で2機同時飛行の場合は、乗客6名の移動が可能**
- **荷物も搭載**
- 飛行速度220～300km/h
- **昼間のみの運航**
- オンデマンド（利用のタイミングで呼び、時間が合えば使う）
- **定時運航率（15分以内の遅延）95%以上（旅客機の就航率95%と同等なら富裕層利用客も納得すると想定）**

3,376人/年 ÷ 3人/回 × 往復 2 × 運航率 95% ≒ 2,132回/年　6回/日

岡山駅～宇野駅 タクシー
7,390 円（22.5km）48分
岡山空港～宇野駅 タクシー
12,790 円（39.6km）69分
宇野～直島（宮島港）
フェリー20分、旅客船300円 15分
→岡山側からのアクセス（3人当り）
平均 10,990円/台
*タクシー運賃はNAVITIMEより

eVTOLの場合、高速移動と多島美鑑賞の価値を鑑み、地上タクシー運賃の約1.5倍、つまり1.6万円/機支払うと想定 ⇒

年間売上

【1.6万円/機の場合】 2,132回× 1.5万円/回 ＝ 3,411万円/年

18

This document is provided by JAXA.

2-4 サービス必須要件

19

2-4-1ニセコモデル（冬季4ヶ月稼働）

就航率	95%
搭乗者数	4人乗り （パイロット1人、乗客3人）
片道運航距離	80km
その他の必要要件	・新千歳空港において、旅客機とeVTOLの迅速な乗り継ぎ ・性能損失を発生させない設計 （例：アンチアイス技術、デアイス技術）

20

This document is provided by JAXA.

2-4-2 長崎モデル

就航率	95%
搭乗者数	3人乗り （パイロット1人、乗客2人）
片道運航距離	22km～40km
その他の必要要件	・長崎空港において、旅客機とeVTOLの迅速な乗り継ぎ ・海上運用性（腐食を防ぐ、海上飛行後の水洗いのしやすさなど） ・エマージェンシーフロート*、救命胴衣

*フロートがヘリで必要な理由は、飛行機は主翼があるので着水してもしばらく浮いているのに対し、ヘリはそのまま沈んでしまうため、着水のためにはフロートが必要なため。航空法での基準は、旅客を輸送する場合で単発機はオートローテーションの距離を超えた場合、多発機は陸岸から10分以上離れた場合、良識のある運航会社は距離にかかわらずフロートを装備している。フロートは固定式と緊急時膨張式（ポップアウト）がある。固定式は安価だが、空気抵抗が多いため、速度が犠牲になってしまう。

eVTOLについてもヘリと同様に上記の理由から、海上飛行の際はフロートが必要となる。ただしeVTOLはヘリと空気の流れが異なるため、 eVTOLに合わせた、ロータ（ファン）の空気の流れを妨げないフロートの開発が必要。しかしeVTOLはペイロードの制約のため、高いシーステーツ（風浪階級。海の荒れ具合を表す）に対応した軽量のフロートは開発が困難となることが予想され、今後の開発課題である。

（事業用操縦士インタビュー）

21

※長崎モデルは、官民協議会資料（2020年3月17日慶應空飛ぶクルマラボ発表）を参照した

2-4-3 瀬戸内モデル

就航率	95%
搭乗者数	4人乗り （パイロット1人、乗客3人）
片道運航距離	13～37km
その他の必要要件	・岡山空港、高松空港において、旅客機とeVTOLの迅速な乗り継ぎ ・海上運用性（腐食を防ぐ、海上飛行後の水洗いのしやすさなど） ・エマージェンシーフロート、救命胴衣

22

This document is provided by JAXA.

3. eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの調査

23

3-1 調査対象

- 本作業においてeVTOL(Electric Vertical Take-Off and Landing)とは、推進系を電動化しかつ垂直に離着陸が可能な形態の航空機を指す。ただし、エネルギ源は二次電池、一次電池に限らず、内燃機関と発電機、燃料電池やソーラーパネル等も含むものとする。
- 人口密集地での人員輸送・物流及び観光や二次交通等を目的とした、低高度空域を飛行するeVTOL（有人機、無操縦者航空機、無人機む）に対してに必要な気象情報・当該情報を取得するため機体搭載センサー・地上センサー（例：リモート気象観測センサー）や地上インフラ（例：施設他）の調査行う。
- eVTOLに利用する気象情報サービス*のあるべき姿を考察する。

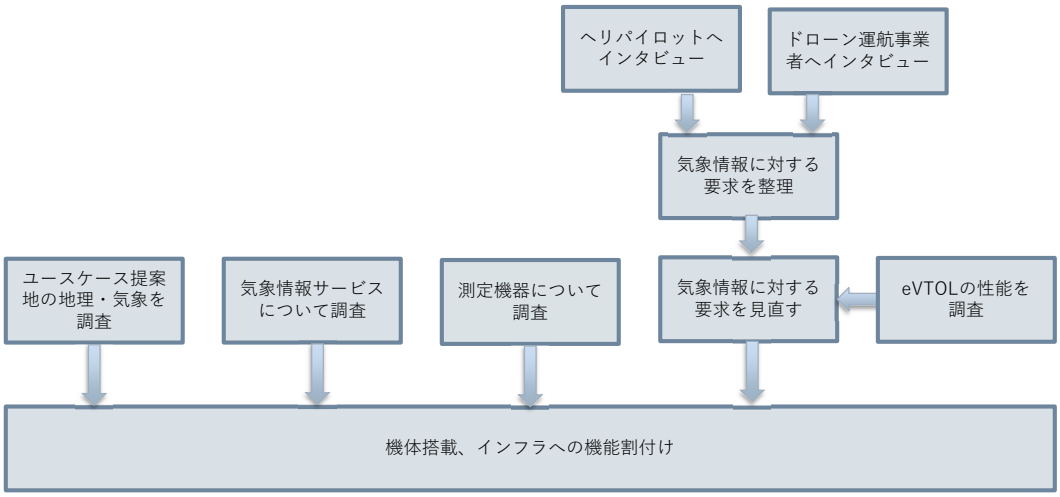
*サービスは「気象情報を提供するための機体搭載センサー、地上センサー、地上インフラ、単体あるいはそれらの組合せ」と定義した

24

This document is provided by JAXA.

3-2 調査方法

- 本調査は下に示すフローに従って進めた。気象との関係において有人機についてはeVTOLと最も近いと考えられるヘリコプターのパイロット、無人機についてはドローン運航事業者、また各ユースケースにおいては、気象台やその地域における航空関係者、行政、観光等の事業者にインタビューを実施した。



25

3-3 ユースケースの特徴的な気象条件

	飛行ルート	用途	距離	地理・気象*	特徴的な気象条件
有人機	新千歳ーニセコ	観光目的の２次交通	約80km	寒冷地、経路途中に山岳あり	10月末～4月半ばに降雪（二次交通ヘリの運航率：感覚で8割）
	長崎空港ーハウステンボス	IR施設への２次交通	約22km	海上飛行（風）	大村湾外に出るときに冬に数回視程障害。冬に強い北西風（ドクターヘリや海上自衛隊ヘリの運航率：年数回除き運航）
	関空ー夢洲 神戸空港ー夢洲	IR施設への２次交通	約30～45km	海上飛行	山越えしなければ気象はほぼ問題にならない（遊覧ヘリの運航率：感覚で9割以上）
	山梨県北杜市ー東京	２拠点居住の移動手段	約100km	東京都市部上空の気象、経路途中に山岳あり	都市部上空で風が強く、乱れることがある。山越え時に気象悪化の可能性あり
無人機	熊本赤十字病院ー小国町	医療物流	約700m	山間高冷地	夏は比較的涼しく、冬は積雪を伴う厳寒

*ヘリ/eVTOLの運航上、特徴的な条件

26

This document is provided by JAXA.

3-4 自動化レベルのテーラリング

本表は「eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの調査仕様書」に提示された自動化レベルを本調査の目的に合わせてテーラリングしたもの。気象情報取得の観点であるパイロットへの情報提供と機体制御に自動化レベルを集約することで、提案の構造を整理することを目的とした。

自動化レベル	内容	自動化レベルのテーラリング	気象情報取得の観点	
			A. 情報提供	B. 機体制御
レベル 1 パイロット支援 （Pilot Assistance）	目的航路の維持、速度維持制御、高度維持制御	レベル α パイロットによるVFR （パイロットによる操縦をシステムが部分的に支援） ・目的航路の維持、速度維持制御、高度維持制御 ・障害時の姿勢制御 ・失速検知・回復		
レベル 2 部分運転自動化 (Partial Automatic Operation)	状況の一部をシステム側が認知・判断する。例えばロータの一つが故障した際に、自動的に姿勢をコントロールしてくれる機能、失速を検知して回復してくれる等			
レベル 3 条件付運転自動化 (Conditional Automatic Operation)	一定の状況下で完全にeVTOLに制御を委ねられる。システム側が要求した際には直ちにパイロットが操縦する	レベル β （システムによる自動運転をパイロットがバックアップ） ・定期航路上での自動飛行 ・所定の離着陸場での自動離着陸 ・緊急時自動着陸		
レベル 4 高度運転自動化（Almost Autonomy）	どのような気象状況、トラフィック等の状況でもシステム側が判断して運転を継続可能。 システム側が対処できない事象が生じた場合に、アラームを発する。パイロットがアラームに応えない場合は、安全な場所を探して着陸するなどの機能を持つ。			
レベル 5 完全運転自動化 （Fully Autonomy）	パイロットも、コックピットそのものも不要となる。完全な自律飛行	レベル γ パイロット不在の自動運航		

27

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

28

This document is provided by JAXA.

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象		気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	eVTOL運航で想定される課題・考察*
風	風向	水平ウィンドシアー 垂直ウィンドシアー マイクロバースト 下降風 （ダウンバースト） ガストフロント 山岳波 ビル風	・アメダス（日本気象協会） ・風車型風向風速計 ・超音波風向風速計 ・ドップラーライダー（LIDAR） ・ドップラーソーダー ・空港気象ドップラーレーダー（DRAW） ・空港気象ドップラーライダー（LIDAR） ・ウィンドシアー警報システム（GPWS/PWS） ・空港低層風情報：ALWIN（DRAW and LIDAR利用） ・低層風情報提供システム：SOLWIN（ドップラーソーダー利用）	・離陸前に空港気象、気象情報、ライブカメラで飛行経路上の風を確認している ・飛行経路上では（飛行前）気象情報からの類推などパイロットの経験知識に頼るところが大きい ・山岳波や乱気流の影響で乗り心地が悪くなるため経路変更の必要が生じる ・到着時間に誤差が生じる
	風速			
	気流			

*eVTOLは飛行高度が現在のヘリと類似する。よって本調査ではヘリパイロットに対し現在のヘリ運航における気象情報・技術の課題とニーズについてインタビューと議論を行い、また気象台や気象情報サービス会社に低層の気象に関するインタビューと議論を行い、それを参考にeVTOL運航で想定される課題・考察を纏めた。

29

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象		気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	運用上の課題・考察
雲	雲量	地上から見える範囲の雲量がどの位か見当をつけるこのは割合に容易であるが、飛行中に上空からその空域にある雲が3/8程度であるとか、5/8であるというように量を見分けることは難しい。	・目視 ・ライブカメラ	・飛行経路上の雲は飛行計画時に地上情報を参考に判断。飛行中にリアルタイムで更新される情報を知りたい ・天気図や衛星写真、ライブカメラ、アメダス等を元に、雲の流れを予測し、運航の可否を判断している ・飛行計画時には飛行経路上の正確な雲高や雲量はわからない ・雲高を定量的に測定する機器（シーロメーター）は空港にのみ設置されており、飛行経路上の雲高はライブカメラ（可能であれば）で判断 ・飛行経路上の雲高を検知することにより、運航可否を精緻に判断でき、運航時間は増えると考えられる ・氷点下では着氷するため雲の中には入れない。飛行中の視程・雲高は規定されている（有視界気象状態） *次ページに続く
	雲高（雲底高度）	VFRの飛行にあたって雲底高度は雲量と密接な関連を持っている。雲量が1/8～4/8程度であれば雲底高度が例え低くても、その雲を避けて有視界飛行状態を保って飛行することができる。雲底高度が低いときにVMCを維持して飛行できるかどうかを見極めるのは、雲量が多くなるにつれて難しくなる。	・目視 ・ライブカメラ ・雲底計（シーロメーター） ・雲高を測る	

30

This document is provided by JAXA.

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象				気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	運用上の課題・考察
雲	雲形（中低層）	中層雲	乱層雲（Ns）	雲底が乱れ雲底高度の低いいわゆる雨雲である。VFRで飛行中に温暖前線が近づいていて、遠くにこのNsを認めたときは、この雲から遠ざかるよう判断することが必要である。	・目視 ・ライブカメラ ・飛行に影響を与える可能性がある雲の存在を認識する	*前ページの続き ・飛行経路上の雲の雲形（雲種）はパイロットが目視で判断している ・雲に入ると視程障害が生じる ・ライブカメラはパイロットの経験により、必ずしも航空機運航を目的としていないカメラ映像を利用する場合もある ・到着地の雲の情報を知りたい。現在は到着地の知人に電話で聞くなどしている
		低層雲	積雲（Cu）	熱的要因により上昇気流があるところに発生する。VFRで飛行するとき、これらの雲の下層の部分がその障害になることがある。Cu形の雲の下では概ね上昇気流があって飛行機の揺れを伴う。		
			塔状積雲（TCu）			
			積乱雲（Cb）			
			積層運（Sc）	下層に発生する雲の中で発生頻度の最も大きい雲。日本では雲底高度2,000～3,000ft（600m～900m）位の場合が多い。		
			層雲（St）	Stが地面まで下がってくると濃い霧となる。したがって飛行場付近にStが発生するとIMCはおろかランディングミニマ以下になることがある。		

31

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象	気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	運用上の課題・考察
雪	航空機運航の観点からは雪は視程障害の1つとして捉えられる。	・航空気象観測報としてMETAR/SPECI/SCAN等の気象通報式で取得 ・気象レーダー	・ヘリコプターは雪がローターブレードに付着すると凍結気象状態となり性能悪化し危険なため降雪時は防氷装置がなければ運航禁止。今後、除氷技術の進展・適用と、防氷・除氷ともにコスト低減が課題。 ・降雪時に事業上の問題は、強い降雪に伴う視程障害による出発・到着の遅延、欠航 ・降雪時に事業上の問題は、ヘリポート、航空保安無線施設の積雪による運航支援機能への障害

32

This document is provided by JAXA.

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象	気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	運用上の課題・考察
煙霧（HAZE）	四季を通じて観測されるが、春先から初秋までに最も多く発生する。放射霧は太陽が出て地表近くの気温が上がり始めると晴れていく。移流霧は太陽が出ても霧が流れてくるため、視程がなかなか回復しないことがある。	・有人観測；目視による卓越視程 ・自動観測：飛行場内に設置されたRVR（runway visual range：滑走路視距離）観測装置（または視程計）により気象光学距離（MOR）が測定される	・飛行中の視程・雲高はVMCによって規定されている ・離陸前に空港気象、気象情報、ライブカメラで飛行経路上の視程を確認している ・雲に入ると視程障害が生じる（再掲） ・霧を含め低視程への対応は現況・予報の情報提供よりも、低高度IFR（41ページで提案）のような航法の検討が必要となる ・パイロットへナイトビジョンゴーグルのトレーニングにより運航率向上（視野が狭くなり対地感覚が課題）
視程	VFRによる飛行は有視界気象状態（VMC：visual meteorological condition）で行われなければならない。管制区、管制圏、情報圏以外の空域を地表または水面から300m以下の高度で飛行する航空機については； ｉ）飛行視程が1,500m以上であること（他の物件との衝突をさけることができる速度で飛行するヘリコプターを除く） ii）雲から離れて飛行でき、かつパイロットが地表または水面を引き続き視認できること。		

33

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象	気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	運用上の課題・考察
雷電	積乱雲（Cb/cumulonimbus）に伴って起こる雷光（Lightning）および雷鳴（thunder）	・航空機に装備されている気象レーダー ・雷監視システム（LIDEN） ・雷ナウキャスト（気象庁）	・完全に避けることはむずかしいため、大気中に放出する装備を機体に搭載する。放出性能を上げてより安全性を高めることが課題 ・現在の航空機であれば搭載されている電子機器に対する落雷の影響は想定されているが、eVTOLの場合は動力源が電気であるため電子機器への誤動作が懸念

34

This document is provided by JAXA.

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象		気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	運用上の課題・考察
海象	海風前線	昼間暖められた陸上の気塊は上昇し、入れ替わりに海風が陸上へと吹き込み、海風と陸上の気魂との間に数百メートルの不連続な層となる。海風前線の付近では上昇流や下降流が発生している場合がある。	・地方海上警報・予報（海上保安庁） ・目視	・離陸前に空港気象、気象情報、ライブカメラで飛行経路上の風を確認している（再掲） ・飛行経路上では飛行前の気象情報からの類推などパイロットの経験知識に頼るところが大きい（再掲） ・飛行中の視程・雲高はVMCによって規定されている（再掲） ・海上においてはブイに計測機を装着して気象を観測している例がある
	海陸風	日中に海から陸に向かう気流と、夜間に陸から海に向かう気流が、沿岸地方でよく認められる。前者を海風、後者を陸風といい、一括して海陸風という。瀬戸内沿岸地方が代表的である。		
	海霧	初夏から夏にかけて千島近海から北海道東海上や三陸沖に良く発生する。海岸近くの飛行場（釧路、帯広、新千歳、函館、三沢、八戸、松島、仙台など）は風向によっては視程がほとんどゼロとなり釧路空港には高性能な計器着陸装置CAT-Ⅲが整備運用されているが、着陸不可能なことがある。		

35

3-5 気象情報とセンサー・インフラの機能、運用上の課題

気象現象		気象情報の概要	当該気象情報を取得するためのセンサー・インフラの機能や要求仕様	運用上の課題・考察・提案事項
気温	気温	大気の温度	・気象観測装置 ・航空地方気象台 ・航空観測所 ・機体に装備されている外気温度計（OAT）	・氷点下では着氷するため雲の中には入れない ・気温が高いと空気密度が低くなると揚力が小さくなる
	露点温度	水蒸気を含む空気が冷却されて凝結が始まる温度		

36

This document is provided by JAXA.

3-6 課題と提案事項

37

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・離陸前に空港気象、気象情報、ライブカメラで飛行経路上の風を確認している ・飛行経路上では（飛行前）気象情報からの類推などパイロットの経験知識に頼るところが大きい ・山岳波や乱気流の影響で乗り心地が悪くなるため経路変更の必要が生じる ・機体の損傷可能性がある ・到着時間に誤差が生じる	・低層風情報提供システム：SOLWIN（ドップラーソーダー利用） *eVTOLでもSOLWINのWIND情報とRAIN情報は非常に有用となると思われるが、eVTOLでの活用には以下の点につきカスタマイズが必要（ヒアリング結果）。 ①eVTOLでパイロットが着陸進入方向が任意で選択できるならば、高度（AGL）、平均風向(DIR)、風速(SPD)の情報しか今のところ使えない。相対風向を任意で変えられるようにしないと、正対風(HW)、横風(XW)成分、風のグラフ（正対風、横風成分）の情報は使えない。 ②着陸間際の情報が取得できる必要がある。予想でわかっても操縦で思い込みとなり危険になる可能性がある。	・経路上に（メトロウェザーの）ドップラーライダーを設置。3Dモデル技術により地形に応じた風向風速情報を提供 ・経路上に小型ウェザートランスミッターを設置。リアルアイム観測、情報提供 ・気象情報提供に加え、機体設計、モーター出力による機体制御技術の向上も必要
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

This document is provided by JAXA.

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・飛行経路上の雲は飛行計画時に地上情報を参考に判断。飛行中にリアルタイムで更新される情報を知りたい ・天気図や衛星写真、ライブカメラ、アメダス等を元に、雲の流れを予測し、運航の可否を判断している ・飛行計画時には飛行経路上の正確な雲高や雲量はわからない ・雲高を定量的に測定する機器（シーロメーター）は空港にのみ設置されており、飛行経路上の雲高はライブカメラ（可能であれば）で判断 ・飛行経路上の雲高を検知することにより、運航可否を精緻に判断でき、運航時間は増えると考えられる ・氷点下では着氷するため雲の中には入れない。飛行中の視程・雲高は規定されている（有視界気象状態） ・飛行経路上の雲の雲形（雲種）はパイロットが目視で判断している *次ページに続く	・空港設置シーロメーター ・ライブカメラ	・離着陸場に小型で、性能を落としたシーロメータを設置。機体自律制御（+表示）で活用 ・経路上に同左シーロメータを2kmで設置。リアルアイム観測、情報提供、機体自律制御（+表示）で活用 ・自機or先導ドローンに搭載。2km先までリアルタイム観測、情報提供、機体自律制御（+表示）で活用 *次ページに続く
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

39

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	*前ページの続き ・雲に入ると視程障害が生じる ・ライブカメラはパイロットの経験により、必ずしも航空機運航を目的としていないカメラ映像を利用する場合もある ・到着地の雲の情報を知りたい。現在は到着地の知人に電話で聞くなどしている。		*前ページの続き ・経路上をカバーするようにライブカメラを設置。 ・パイロットへの情報提供の観点からは、離着陸場での映像提供。 ・機体制御の観点からは、画像情報を（AI等を使って）解析した結果を機体に提供。 ・雲による視程障害については「煙霧」「視程」と同様に扱う
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

40

This document is provided by JAXA.

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・ヘリコプターは雪がローターブレードに付着すると凍結気象状態となり性能悪化し危険なため降雪時は防氷装置がなければ運航禁止。今後、除氷技術の進展・適用と、防氷・除氷ともにコスト低減が課題。 ・降雪時に事業上の問題は、強い降雪に伴う視程障害による出発・到着の遅延、欠航 ・降雪時に事業上の問題は、ヘリポート、航空保安無線施設の積雪による運航支援機能への障害 ・ダウンウォッシュによる着陸時の雪の舞い上がり（ホワイトアウト）	・防氷液 ・氷検知器 ・防氷装置（anti-icing system）	・離着陸場の上を開閉式ドームでおおう（案）（周囲を柱で覆うとダウンウォッシュを増強するため柱で支える構造とする） ・除氷装置 ＊雪による視程障害については「煙霧」「視程」と同様に扱う
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

41

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・飛行中の視程・雲高はVMCによって規定されている ・離陸前に空港気象、気象情報、ライブカメラで飛行経路上の視程を確認している ・雲に入ると視程障害が生じる（再掲）	・航空気象 ・ライブカメラ	・霧を含め低視程への対応は現況・予報の情報提供よりも、低高度IFR*のような航法の検討が必要となる。 ＊低高度IFR：eVTOLで低高度で計器気象状態でも飛行できる運航方法。 障害物避けられ、レーダーに映り、電話が通じる程度の低高度のIFR設定が必要（現在のIFRは飛行高度が高いので凍結気象状態にある可能性が高い。海上や、凍結気象状態になる冬季は、VFRなら飛べる場合も多い） 現在のIFRでは航空管制官の指示に従う必要がある。ここでは航空管制官を必要としない「計器飛行」を想定。eVTOLのための運航管理システムに地上インフラからの気象情報を提供する。 ・ミリ波レーダー等を利用したセンサーによって視程を確保する（低視程下での有視界飛行を可能にする）
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

42

This document is provided by JAXA.

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・完全に避けることは難しい ・現在の航空機であれば搭載されている電子機器に対する落雷の影響は想定されているが、eVTOLの場合は動力源が電気であるため動力系に与える影響は課題となる	・大気中に放出する放電装置（スタティック・ディスチャージャー）を機体に搭載する。 ・気象レーダを機体に搭載	・放電装置の放出性能を上げてより安全性を高めることが必要。
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

43

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・離陸前に空港気象、気象情報、ライブカメラで飛行経路上の風を確認している（再掲） ・飛行経路上では気象情報（飛行前）からの類推などパイロットの経験知識に頼るところが大きい（再掲） ・飛行中の視程・雲高はVMCによって規定されている（再掲）	・海上のブイに計測機を装着して気象情報を取得 ・航空気象 ・ライブカメラ	・「視程」への対応と同様（ただし塩による機器への影響に留意必要）
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

44

This document is provided by JAXA.

3-6 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・氷点下では着氷するため雲の中には入れない	・機体の外気温度計	・新規で必要な情報・技術は特に無し
	風速			
	気流			
雲	雲量			
	雲高			
	雲形			
雪				
煙霧				
視程				
雷電				
海象	海風前線			
	海陸風			
	海霧			
気温	気温			
	露点温度			

45

4. 無人機に必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの調査

46

This document is provided by JAXA.

4-1 実証実験の事例：実験概要と気象情報ニーズ

47

4-1 実証実験の事例：実験概要と気象情報ニーズ（ヒアリング結果）（1）

確認項目		回答
今回の実証実験	目的	豪雨による河川の氾濫で、周辺の道路が寸断され孤立した小国公立病院（阿蘇郡小国町）から医療資機材および血液の搬送要請があったと想定し、生命に直結する血液を確実に届ける
	目標	ドローンの位置情報、輸送ボックスの温度、振動、およびドローンが撮影した画像を通信技術を用いて複数地点で共有
	遠隔操作・ 飛行管理拠点	熊本日赤病院から飛行指示。発災して皆ここに参集し、それぞれの現場に直接行くか経由していくかというストーリー。日赤が県庁や病院の飛行に関する指示役。東京電機大が全体コーディネート。日本医科大学千葉北総病院はDMATとして遠隔地からのファシリテート、コマンダー。イームズロボティクスは機体提供と遠隔地制御のためのボタンによる離 発着の指示、ナビゲーションの作成。NTT ドコモのセルラーをその通信インフラに使用。芝浦工大は位置情報をD24HというSIP4Dのような情報共有サイトに、ドローンとドクヘリの位置情報を描画。
	通信網	NTTドコモ 4G LTE
	結果	ドローンの位置情報、輸送ボックスの温度、振動、およびドローンが撮影した画像を通信技術を用いて複数地点で共有することができたことを確認

*本実証実験でドローンの機体提供、運航を行ったイームズロボティクスへのヒアリング結果。

48

This document is provided by JAXA.

4-1 実証実験の事例：実験概要と気象情報ニーズ（ヒアリング結果）（2）

確認項目		回答
機体	メーカー	イームズロボティクス社
	モデル	UAV-E6106FLMP
	耐風性	地上風速15m/s（上空50mで風速20m/s） *地表面で15m/sの風が吹いているときの、上空50m付近の風を受けて機体が飛んでいると、傾きが何十度と出るので、相対的に約20m/s程度の風が吹いている環境でテストしてきており、機体が飛べる耐風性は20m/sと書いている。さらに改良したい。
	最大離陸重量	15.9kg
	機体重量	6.85kg（バッテリー2本含む機体重量 10.85kg）
	1回の満充電で飛べる最大飛行距離	2kgの重量物を積んだ時に約15分飛行が可能。物流を想定した移動スピードは約12m/sと考えている。 1回の満充電で飛べる最大飛行距離は、その飛行スピードで考えるか、もっと早いスピードで考えるべきかによる。 上空風速20m/sの風でも維持できる移動スピードを考える。片道15分行って帰って来られないと困るので、基本的に飛行時間の半分の時間で余裕を持った12m/sで進むと約5kmが飛行距離になる。14m/sで進むと6km近くになるが、機体の移動スピードは最大100km近く出るので、早いスピードだったらもっと飛ぶ。 機体の傾き自体はfail safeで45度以上傾かないように設定している。その設定を解除すれば機体をもっと傾けて飛行させることはできるが、物流を考えると斜めになっているほど箱の中で物が転がったりするなど、健全に高品質な物流をするのが難しくなる。機体のピッチコントロールを入れたマルチローターシステムが良いのか、物流の箱自体を水平に保つようにした方が良いのかは議論の余地があるが、機構を追加すると重くなるので、シンプルに機体のスペックとそのときの風の状況を鑑みて飛行するかどうか判断するのが良いと思う。

4-1 実証実験の事例：実験概要と気象情報ニーズ（ヒアリング結果）（3）

確認項目		回答
飛行ルート	飛行高度	50m（飛行エリアの航路下の環境による。送電線をまたぐとか、山越えなどの現場環境を鑑みて高度を設定するのがよい）
	上昇/下降率	上昇：約2m/秒、下降：約15秒で50mの高さから4F部分相当病院屋上（高度未確認）へ着陸
	自律飛行	1回は自動で、1回はマニュアルで着陸させた。自動飛行では、着陸地点上空に達すると着陸指示が入り、自動で着陸する。操縦士は見守る。気象情報の取得や作動も自動化されている。
	離陸/着陸時間	25秒 / 15秒
	飛行時間	約3分
	飛行速度	5m/s
	離陸場所	小国小学校　グラウンド（地面）
	着陸場所	小国公立病院　屋上（4F部分相当）
	航路	杖立川上空
	飛行距離	700-900m
搭載物	輸送箱	995g（保冷箱600ｇ、保冷剤140ｇ、オントレイシスタグ90ｇ、加速度ロガー（※機体とキャリアの成り立ちの中で計測されていく、機体内にも加速度計が入っているが、箱の中にも入れているだけなので、実用化後は不要）120ｇ、スマートキー45ｇ）
	輸送品	700g（第1回：模擬血液、凍結血漿、第2回：医療資機材（ピンセットなど））
	搭載物	カメラ

50

This document is provided by JAXA.

4-1 実証実験の事例：実験概要と気象情報ニーズ（ヒアリング結果）（4）

確認項目		回答
当日の気象	日にち	2020/2/26
	時間帯	午前11時フライト開始
	風速	地表で1-2m
	風向き	場所によって異なる。計測していない
	風速・風向計の計測方法は？	通常、手元の風速計
	雲量	N/A
	雲量の計測方法は？	N/A
	雲高	N/A
	雲高の計測方法は？	N/A
	視程	N/A
	視程の計測方法は？	N/A
	閾値は？	強風や、雨が降るかには重きを置いていたが、今回はそれほど綿密に気象情報を計測していなかった。 【風】航空法で5m/sとしているが、予報上10m/s近くになる場合は事前協議になる場合があると周知。オンタイムで離陸できるか、少し延長した方が良いか、相談する形としていた。 【雨】今回はセルラー通信の機体で、雨対策はそこまで厳密ではなかったので、降雨の場合は延期、あるいはやむのを待つと事前に伝えていた。この機体は1mmの雨でも飛べるが、今回は降雨試験ではなかったので、雨は少しリスクをとっていた。他の機体で雨試験をやっているが、300mm/hでも飛行できることを確認している。そうした機体に雨対策をした物流用のキャリアを付ければ同様に飛べるが、10%以下くらいで、降雨によって電池残量（燃費）が悪くなることは試験で把握しているので、そうした点も試験をしたいとして皆と話し合っていた。

4-1 実証実験の事例：実験概要と気象情報ニーズ（ヒアリング結果）（5）

確認項目		回答
ドローン運航における一般的な気象課題		風、霧、雷、雹、低温などが重要。雲は今回の標高では気にしなくてよいが、富士山などでは雲の中に入り、雲の中では霧雨が入っていることもある。雲の動きは重要。気温については、ドクヘリは200km/h近い速度で、高度も高いので凍結気象状態になることもあるが、ドローンが飛行中に凍ることは北海道でありうるか程度。ただしバッテリーの芯まで冷えた状態で飛ばすのは無理がある。すごく寒い状態で雲の中に入って凍結やバッテリー性能が落ちることを考えて飛行可否を考える必要がある。
気象情報サービス	今回の飛行前に使用した気象情報サービス	日本気象協会のtenki.jp、およびお天気クラウド（予報がころころ変わる。そのため今から飛ばすときの雨雲の様子を見て飛行判断している）で予報を参照。
	今後への期待	願わくば、気象協会はAPIを公開しているので、飛行スタート時刻の飛行をシミュレーションして、こういう風、雨になるので、レンジ的にも十分飛ぶことができるというように事前のシミュレーションができるようになるとより良くなると思う。1kmメッシュでは、ドローンはもっと細かく取っているので、高度や範囲の割り方ももう少し細かくし、予報タイミングも使いやすくなっていくとよい。細かいメッシュを組み込んでみたい。遠隔操縦するためのナビゲーションにかますデータ量がどれだけになるかは重要なので、10mメッシュの方がよいが、それほど細かくなくても良い気がする。250mメッシュというよりは100mメッシュのほうが測量飛行や農薬散布飛行のエリアに該当するのでありがたい。もう一つはそれを買うお客様の層が大手と違う。より個人ユースに近い感じになる。どのくらいの費用感でそうしたデータが提供されるかが重要。費用感はそれを使うシェア率にもかかわってくるので一概には言えない。ドローンだけで。趣味の人はたぶん使わないだろうが。でもそういう人も使えるようになればいいと思う。
		飛行自体を高精度にシミュレーションすることが重要。災害時の利活用は不特定の場所だが、通常の物流は定期便、決まった経路。事前に自分たちのナビゲーションに気象予測データを入れて、正しく運航されるかをより高度にシミュレーションできるシステムになっていけばよい。自分たちがそうしたインターフェイスを作ることも重要だし、各社が使っている情報を入れて試していきたい。 機体とナビゲーションが常につながった状態で、環境の予測も常に更新されていることを前提に考えると、いま飛行プランを立てて読み込ませて飛ばしているのは離陸当初だけで、飛行中に風向風速は変化があるので、端末側でより燃費の優れた飛び方に変えるのもありうるかもしれない。ドクヘリやドローンが来た時に衝突回避も含めて考えて行かなければならないので。回避して到達できるか、またはそのときは到達できないので自分で離陸地点に戻るか。地面をセグメンテーションしながらより安全なところに着陸するか。飛行中に計画したこと以外の飛行経路が自動生成されていくと思う。情報連携しながら、どの段階でどうなっていくかは一歩一歩だが、いまよりもインテリジェント化されていくと思う。

This document is provided by JAXA.

4-2 課題と提案事項

53

4-2 課題と提案事項

気象現象		課題	提案事項（ToBe）	
			既存技術	新規技術
風	風向	・飛行前に日本気象協会のtenki.jpやお天気クラウドで強風や雨が降るかを確認している。閾値は機体や実験ケースによる	・天気予報サービス（日本気象協会のtenki.jp、お天気クラウドなど。その他、メトロウェザーなどの3D風況マップやウェザーニューズの高精細気象予測システムが利用されている場合もある。	・より細かいメッシュの天気予報（風、雨、霧、雪、雷、雹の予報）
	風速			
	気流	・強風で機体が墜落や損傷の可能性がある		・よりリアルタイムの予報
雨		・霧、雪、雷、雹も運航で危険		・事前シミュレーションし飛行判断を行うために活用できる気象予測データの提供
霧		・気象情報は高度や範囲の割り方をもう少し細かくし、予報タイミングも使いやすくなっていくとよい		
雪				
雷		・事前に自分たちのナビゲーションに気象予測データを入れて、正しく運航されるかをより高度にシミュレーションしたい		・より拡充した3D風況マップや高精細気象予測システム
雹				
気温				

・「無人航空機の目視外飛行に関する要件」で、目視外補助者無し飛行方式の許可承認に求められる“機体周辺の気象状況の把握”について、「気象項目に関しては各機体メーカが運用限界で定める気象条件の項目（風向、風速、気温、湿度、降雨量、降雪量、天候の変化等）とする」というのが基本的な考えとされていることに留意する。

国土交通省、経済産業省（2018年3月29日），無人航空機の目視外飛行に関する要件
https://www.mlit.go.jp/common/001227438.pdf

54

This document is provided by JAXA.

5. eVTOL・無人機のための気象情報サービスのあるべき姿

55

5-1 気象情報取得のための計測機機設置場所の可能性

気象情報取得方法	気象情報取得のための計測機設置場所	
計測機から取得	離着陸場	空港設備と同様に、離着陸場に計測機を設置
	航路	航路上に計測機を設置 （送電線鉄塔、携帯電話基地局等を想定）
	先導計測機体	ドローンに各種計器を搭載してeVTOLの航路を先導する
	自機体	eVTOLの機体に各種センサーを搭載
気象情報サービスから取得	―	―

・滞空限界時間が長ければセンサーを機体搭載も考えらえるが、短ければインフラに置いて判断した方がよい
・目と鼻の先の気象情報をパイロットは示されても使えない。 悪天候につっこまないようにしないといけない
（事業用操縦士インタビュー）
という点を考慮して、先導機に計測装置を搭載する案は不採用とした。また、自機体搭載はペイロードの圧迫やコストの面で他の方法と比べて優位性がないと判断した。

56

This document is provided by JAXA.

5-2 気象情報サービスの提案

A 情報提供
B 機体制御

レベルα パイロットによるVFR	レベルβ システムによる自動運転	レベルγ パイロット不在の自動運航	飛行前	始動・離陸	水平飛行	着陸・停止
○	◎	◎				SOLWIN
○	◎	◎	経路上のライブカメラによる雲形情報			
○	◎	◎	経路上のドップラーライダーによる風の3D情報			
○	◎	◎	経路上のシーロメーターによる雲高情報			
○	◎	◎		低高度IFR		
○	◎	◎		ミリ波レーダー等による視程補完		

○：パイロットに認識できる表示
◎：機体制御のためのデジタル情報

※無人機のための気象情報サービスは、用途などにより求められる内容の幅が広く、比較が難しい。
そのためeVTOLを対象として、気象情報サービスのあるべき姿の比較を行った。

57

5-3 気象情報サービスの評価項目

評価項目	概要
技術的実現可能性	技術的な観点から見た実現の可能性
経済性	サービスに投下する費用に対して得られる効用の度合 （初期開発費用を除いて評価してもよい。その場合は明示すること）
利便性	サービスが使う側にとって都合がよいこと、直感的に使いやすいこと
持続性	サービスが（環境的、技術的、社会受容性の観点から）継続できる度合
可用性（稼働率）	サービス（システム）が継続して稼働できる能力。「壊れたりせず、使い続けられる」状態を維持し続ける能力。「稼働率」は可用性の数値としての表現。

58

This document is provided by JAXA.

5-4 気象情報サービスの評価

気象情報サービス	評価					運用上のメリット・デメリット	
	技術的実現可能性	経済性	利便性	持続性	可用性（稼働率）	メリット	デメリット
SOLWIN	A	B	A	B	A	現存する技術であるため転用可能	—
経路上のライブカメラによる雲形情報	A	A	B	C	C	初期コスト、維持コストとも低く、実現可能性も高い	機体制御の観点から持続性は低い
経路上のドップラーライダーによる風の3D情報	B	B	C	C	C	機体制御の観点から有用と考えられる	パイロットへの情報提供の観点では効果が限定的
経路上のシーロメーターによる雲高情報	B	B	B	B	C	運航率を高める効果が期待できる	—
低高度IFR	C	C	A	A	A	運航率を高める効果が期待できる	運航管理も含めて実現するための技術的ハードルが高い
ミリ波レーダー等による視程補完	C	B	A	C	A	運航率を高める効果が期待できる	技術的ハードルが高い（パイロットの訓練も含めて）

※相対的にA、B、Cの順に高評価を示す
※各評価項目において各サービス間の相対評価を行った
（例：SOLWINはA3つ、ライブカメラはA2つなので、SOLWINの方が良いというような比較をするものではない）
※提案したユースケースが平時の運航を想定しているため、上記の気象情報サービスを使用する状況は平時を想定している。
有事（自然災害発生時、遭難、被災などエネルギーが限定される状況）は考慮していない

59

6. 考察

- eVTOLの運航においては、ヘリパイロットへのインタビューの結果、気象現象の中でも特に雲と風への対応が重要で、雲が最重要と考えられる。
- eVTOLで必要となる個々の気象情報サービスは、情報提供の観点から見ると、自動化レベルが進むに従って変わってゆくと考える。自動化レベルが低いときはパイロットに視覚的に見せる。自動化レベルが上がるに従って機体、あるいは運航システムが使える形で情報を渡すことになる。
- 各ユースケースの地理・気象条件は異なる。しかしヘリパイロット、気象台、気象サービス会社へのインタビューも踏まえて検討した結果、eVTOLに必要な気象情報・機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラは、各ユースケースで基本的に共通と思われる。ただし海象のみ、海上飛行有の場合は必要で、海上飛行無の場合は不要と考えられる。
- eVTOLの社会実装当初は限定された航路を運航すると想定される。気象情報の取得という観点からは少し外れるが、航路上のインフラと協業することによりゼロ視程でも運航が可能なシステムを構築することは、eVTOLの利用可能性を高めるものと考えられる。

60

This document is provided by JAXA.

7. 今後の研究課題（市場・気象）

- 現在の有視界飛行におけるVMC/IMCデータを分析し、eVTOLの就航率を見積り、市場と気象情報の両研究に適用する
- eVTOLの運航に必要な低高度IFRの検討を進める
- 運航率と運賃をより精緻に考慮して市場規模推定を行う。運航コストを考慮して事業採算性の算定を行う
- 運航頻度や運航密度、空港での旅客機からeVTOLへの乗り継ぎ時間を踏まえた到達時間などを考慮し、機体スペック（形態や動力源を含む）を検討する

61

This document is provided by JAXA.

宇宙航空研究開発機構契約報告　JAXA-CR-21-003
JAXA Contract Report

eVTOLサービスに関する市場規模・eVTOLに必要な気象情報及び、当該情報取得のための機体搭載センサー・地上センサー・地上インフラの委託調査報告書

発　　行　国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構（JAXA）
〒182-8522　東京都調布市深大寺東町7-44-1
URL: http://www.jaxa.jp/
発　行　日　2022年2月4日
電子出版制作　松枝印刷株式会社

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。
Unauthorized copying, replication and storage digital media of the contents of this publication, text and images are strictly prohibited. All Rights Reserved.

This document is provided by JAXA.

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

This document is provided by JAXA.