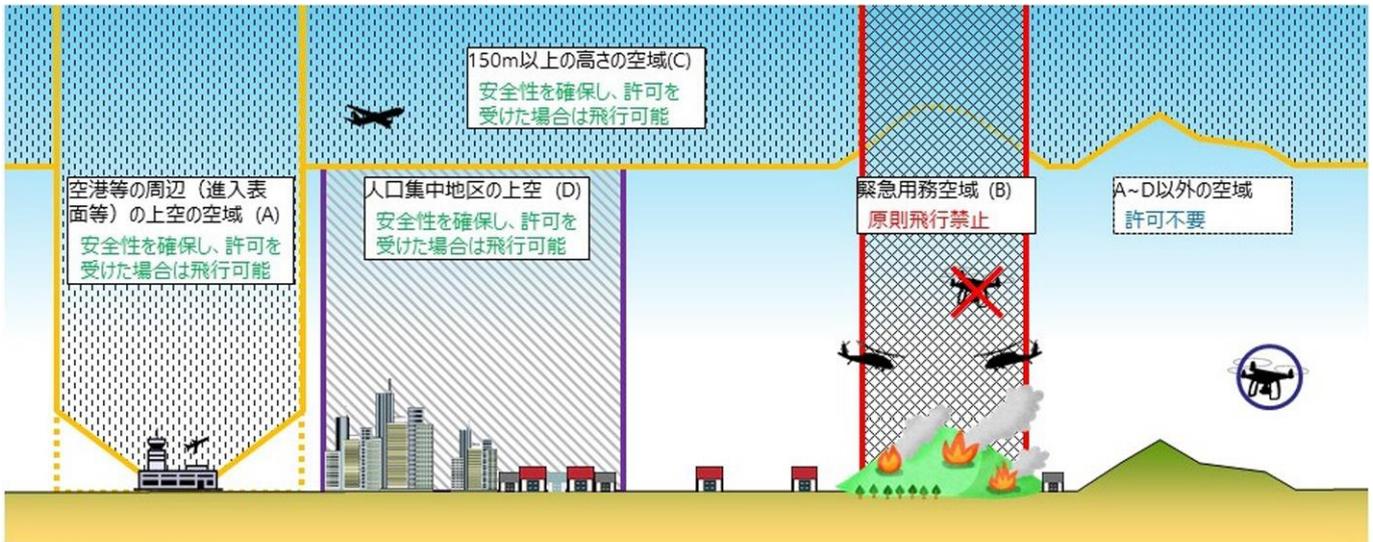




セーフティドローンパイロットを目指して・・・

ドローン学科テキスト



アイラップ
DRONE SCHOOL

目 次

1.はじめに.....	2
2.無人航空機操縦者の心得.....	3
2.1操縦者の役割と責任.....	3
2.2安全な飛行の確保.....	4
2.3事故が起きた時の対応.....	6
3.無人航空機に関する規則.....	7
3.1航空法全般.....	7
3.2航空法以外の法令等.....	25
4.無人航空機のシステム.....	30
4.1無人航空機の機体の特徴(機体種類別).....	30
4.2無人航空機の機体の特徴(飛行方法別).....	34
4.3飛行原理と飛行性能.....	35
4.4機体の構成.....	39
4.5機体以外の要素技術.....	45
4.6機体の整備・点検・保管・交換・廃棄.....	49
5.無人航空機の操縦者及び運航体制.....	50
5.1操縦者の行動規範及び遵守事項.....	50
5.2操縦者に求められる操縦知識.....	55
5.3操縦者のパフォーマンス.....	60
5.4安全な運航のための意思決定体制(CRM等の理解).....	60
6.運航上のリスク管理.....	61
6.1運航リスクの評価及び最適な運航の計画の立案の基礎.....	61
6.2気象の基礎知識及び気象情報を基にしたリスク評価並びに運航計画の立案.....	65
6.3機体の種類に応じた運航リスクの評価及び最適な運航の計画の立案.....	71
6.4飛行の方法に応じた運航リスクの評価及び最適な運航の計画の立案.....	74

1. はじめに

無人航空機は、「空の産業革命」とも言われ、現在、空撮、農薬散布、測量、インフラの点検等に広く利用されており、今後は、都市部も含む物流や災害対応、警備への活用等、さらに多様な分野の幅広い用途に利用され、多くの人々がその利便性を享受し、社会が抱える様々な課題を解決に導くことで、産業、経済、社会に変革をもたらすことが期待されています。

他方、上空を飛行するという無人航空機の特徴から、衝突や墜落といった事故が発生した場合には、重大な被害を生じさせる可能性があり、実際に、人への墜落事故や、航空機とのニアミスといった人命への危険を生じさせるおそれのある事態や、空港付近での目撃情報に基づき、国際空港が一時的に閉鎖されるといった事態が発生しています。

無人航空機の飛行の安全を確保しつつ、上記のような役割を果たしていけるようにするための制度の一つとして、無人航空機操縦者技能証明制度が創設されました。この制度は、学科試験、実地試験及び身体検査により無人航空機を飛行させる人の知識と能力を判定し、これらに合格した人について無人航空機を飛行させるのに必要となる一定の技能を有していることを国が証明するものです。

無人航空機操縦者技能証明(技能証明)を受けるためには、原則として学科試験、実地試験及び身体検査に合格することが必要ですが、登録講習機関(国が登録する民間機関)において無人航空機の操縦に係る必要な講習を受講し、講習の修了審査に合格した場合には実地試験が免除されます。

本テキストは、無人航空機を飛行させるのに必要な最低限の知識要件及び学科試験において求められる最低限の知識要件をまとめたもので、技能証明を取得しようとする人を含む無人航空機を飛行させる人にとっては、このテキストを常に参照し、安全な飛行を行うための必要な知識を身に付けていただきたいと思います。

IRAPドローンスクール
つがる校管理者 太田徳次

2.無人航空機操縦者の心得

2.1 操縦者の役割と責任

2.1.1 操縦者としての自覚

- ①無人航空機の運航や安全管理などに対して責任を負うこと。
- ②知識と能力に裏付けられた的確な判断を行うこと。
- ③操縦者としての自覚を持ち、あらゆる状況下で、常に人の安全を守ることを第一に考えること。

2.1.2 役割分担の明確化

- ①無人航空機操縦者技能証明(以下単に「技能証明」という。)の保有者が複数いる場合は、誰が操縦者なのか飛行前に明確にしておくこと。
- ②補助者を配置する場合は、役割を必ず確認し、相互に安全確認を行う体制としておくこと。

2.1.3 準備を怠らない

無人航空機の事故は、飛行前の様々な準備不足が直接的又は間接的な原因となることが多いことから、事前の準備を怠らないこと。レクリエーション目的で飛行する場合でも、業務のために飛行する場合でも、安全に飛行するためのルールに関する情報、リソース、ツールを入手すること。

2.1.4 ルール・マナーの遵守

- ①安全のために、法令やルールを遵守すること。
- ②空域は、無人航空機のみでなく航空機も利用している。航空機と無人航空機との間で飛行の進路が交差し、又は接近する場合には、航空機の航行の安全を確保するため、無人航空機側が回避する行動をとること。
- ③飛行させる場所ごとのルールや遵守事項に従い、一般社会通念上のマナーを守るとともに、モラルのある飛行を行うこと。
- ④飛行に際しては、騒音の発生に注意をすること。

2.1.5 無理をしない

- ①自然を侮らず、謙虚な気持ちで、無理をしない。
- ②計画の中止や帰還させる勇気を持つこと。危険な状況を乗り切れることも操縦者の責任であり、能力であるが、危険を事前に回避することが、より重要である。

2.1.6社会に対する操縦者の責任

操縦者は、飛行を開始してから終了するまで、全てに責任を問われる。操縦者の最も基本的な責任は、飛行を安全に成し遂げることにある。したがって、飛行の全体にわたって安全を確保するための方法を確認しておく必要があり、その責任は操縦者が負っていることを自覚すること。

2.1.7第三者及び関係者に対する操縦者の責任

第三者や関係者が危険を感じるような操縦をしない、第三者が容易に近づくことのないような飛行経路を選択するなど、常に第三者及び関係者の「安全」を意識すること。

2.1.8事故を起こしたときに操縦者が負う法的責任

衝突や墜落等の事故を起こしたときに、操縦者が負うことのある責任には、「刑事責任」、「民事責任」があり、また「行政処分」を受けることがある。

(1)刑事責任

衝突や墜落により死傷者が発生した場合、事故の内容により「業務上過失致死傷」などの刑事責任(懲役、罰金等)を負う。

(2)民事責任

操縦者は、被害者に対して民法に基づく「損害賠償責任」を負う。

(3)行政処分

航空法(昭和27年法律第231号)への違反や無人航空機を飛行させるに当たり非行又は重大な過失があった場合には、次のような行政処分の対象となる。

- ①技能証明の取消し
- ②技能証明の効力停止(期間は1年以内)

2.2 安全な飛行の確保

2.2.1飛行計画の作成・現地調査

(1)飛行計画の作成

- ①無人航空機の性能、操縦者や補助者の経験や能力などを考慮して無理のない計画を立てる。
- ②近くを飛行するときや飛行経験のある場所を飛行する場合でも、必ず計画を立てる。
- ③何かあった場合の対策を考えておく(緊急着陸地点や安全にホバリング・旋回ができる場所の設定等)。
- ④計画は、ドローン情報基盤システム(飛行計画通報機能)に事前に通報する。ただし、あらかじめ通報することが困難な場合には事後に通報してもよい。

(2)飛行予定地域や周辺施設の調査

- ①日出や日没の時刻等
- ②標高(海拔高度)、障害物の位置、目標物等
- ③離着陸する場所の状況等

2.2.2機体の点検の励行

飛行前には必ず機体の点検を行い、気になるところがあれば必ず整備をしてから飛行を開始する。

2.2.3気象情報の収集

飛行前に、最新の気象情報(天気、風向、警報、注意報等)を収集する。

2.2.4地域情報の収集

地域によっては、地方公共団体により無人航空機の飛行を制限する条例や規則が設けられていたり、立入禁止区域が設定されていたりする場合があることから、飛行予定地域の情報を収集する。

2.2.5連絡体制の確保

飛行の際には、携帯電話(通話可能範囲を確認しておく)等により関係機関(空港事務所等)と常に連絡がとれる体制を確保する。

2.2.6服装に対する注意

- ①動きやすいもの
- ②素肌(頭部を含む)の露出の少ないもの
- ③無人航空機の飛行を行う関係者であることが容易にわかるような服装

2.2.7体調管理

- ①体調が悪い場合は、注意力が散漫になり、判断力が低下するなど事故の原因となる。
- ②前日に十分な睡眠を取り、睡眠不足や疲労が蓄積した状態で操縦しないなど体調管理に努める。

2.2.8技能証明書等の携帯

特定飛行を行う際には、許可書又は承認書の原本又は写し(口頭により許可等を受け、まだ許可書又は承認書の交付を受けていない場合は許可等の年月及び番号を回答できるようにしておく。)、技能証明書(技能証明を受けている場合に限る。)、飛行日誌を携帯する。

2.2.9飛行中の注意

(1)無理をしない

飛行中は、気象の変化に注意し、天候が悪化しそうになれば、飛行途中でもただちに帰還させるか、又は緊急着陸するなど、安全を第一に判断する。危険な状況になった場合、それを乗り切れることも操縦者の能力であるが、危険な状況になる前にそれを察知して回避することが操縦者としてより大切である。

(2)監視の励行

無人航空機の事故のうち、十分に監視をしていなかったことが原因となる事故が多発

している。無人航空機の飛行する空域や場所には、他の航空機をはじめ、ビルや家屋といった建物や自動車、電柱、高圧線、樹木などの飛行の支障となるものが数多く存在する。衝突防止装置を搭載する機体もあるが、衝突防止装置を過信せず、鳥等にも注意を要する。飛行に際しては、周囲の監視が最大の安全対策である。

(3)ルールを守る

飛行中は飛行のルールを守る。また、法令や条例に定められたルール以外にも、ある地域において限定的に行われている地域の特性に応じたルールや社会通念上のマナーについても遵守する。

2.2.10飛行後の注意

(1)飛行後の点検

飛行が終わった後には、機体に不具合がないか等を点検し、使用後の手入れをして次の飛行に備える。

(2)適切な保管

飛行の終了後には、機体やバッテリー等を安全な状態で、適切な場所に保管する。

(3)飛行日誌の作成

特定飛行を行った場合には、飛行記録、日常点検記録、点検整備記録を遅滞なく飛行日誌(紙又は電子データ)に記載する。特定飛行に該当しない飛行の場合でも、飛行日誌に記載することが望ましい。

2.3 事故が起きた時の対応

2.3.1事故を起こしたら

- ①慌てず落ち着いて、ケガの有無や、ケガの程度など、人の安全確認を第一に行う。
- ②機体が墜落した場合には、地上又は水上における交通への支障やバッテリーの発火等により周囲に危険を及ぼすことがないように、機体が通電している場合は電源を切るなど速やかに措置を講ずる。

2.3.2通報先

無人航空機の飛行による人の死傷、第三者の物件の損傷、飛行時における機体の紛失又は航空機との衝突若しくは接近事案が発生した場合には、事故の内容に応じ、直ちに警察署、消防署、その他必要な機関等へ連絡するとともに、国土交通省に報告する。

2.3.3保険

無人航空機の保険は、車の自動車損害賠償責任保険(自賠責)のような強制保険はなく、すべて任意保険であるが、万一の場合の金銭的負担が大きいため、保険に加入しておくといよい。無人航空機の保険には、機体に対する保険、賠償責任保険などいろいろな種類や組合せがあるので自機の使用実態に即した保険に加入することが推奨される。

3.無人航空機に関する規則

3.1 航空法全般

3.1.1航空法に関する一般知識

(1)航空法における無人航空機の定義

航空法において、「無人航空機」とは、

- ①航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船であつて構造上人が乗ることができないもののうち、
- ②遠隔操作又は自動操縦(プログラムにより自動的に操縦を行うことをいう。)により飛行させることができるものであり、
- ③重量が100グラム以上のものを対象としている。

①の「構造上人が乗ることができないもの」とは、単に人が乗ることができる座席の有無を意味するものではなく、当該機器の概括的な大きさや潜在的な能力を含めた構造、性能等により判断される。一方で、「航空機」とは、人が乗って航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船を対象としているため、人が乗り組まないで操縦できる機器であっても、航空機を改造したものなど、航空機に近い構造、性能等を有している場合には、無人航空機ではなく、航空機に分類される。このように操縦者が乗り組まないで飛行することができる装置を有する航空機を「無操縦者航空機」という。飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船のいずれにも該当しない気球やロケットなどは航空機や無人航空機には該当しない。

②は「遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの」としているため、例えば、紙飛行機など遠隔操作又は自動操縦により制御できないものは、無人航空機には該当しない。

③の「重量」とは、無人航空機本体の重量及びバッテリーの重量の合計を指しており、バッテリー以外の取り外し可能な付属品の重量は含まない。なお、100グラム未満のものは、無人航空機ではなく、「模型航空機」に分類される。重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律(平成28年法律第9号。以下「小型無人機等飛行禁止法」という。)において規制対象となる「小型無人機」については大きさや重さにかかわらず対象となり、100グラム未満のものも含まれる。

(2)無人航空機の飛行に関する規制概要

1)無人航空機の登録

全ての無人航空機(重量が100グラム未満のものは除く。)は、国の登録を受けたものでなければ、原則として航空の用に供することができない。登録の有効期間は3年である。また、無人航空機を識別するための登録記号を表示し、一部の例外を除きリモートID機能を備えなければならない。

2)規制対象となる飛行の空域及び方法(特定飛行)

航空法において、無人航空機の飛行において確保すべき安全は、

- 航空機の航行の安全
- 地上又は水上の人又は物件の安全

であり、これらに危害を及ぼすおそれがあるものとして、次に掲げる飛行の空域と方法を規制している。

a.規制対象となる飛行の空域（図-1）

〈航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域〉

- (A)空港等の周辺の上空の空域
- (B)消防、救助、警察業務その他の緊急用務を行うための航空機の飛行の安全を確保する必要がある空域
- (C)地表又は水面から150メートル以上の高さの空域
〈 人又は家屋の密集している地域の上空 〉
- (D)国勢調査の結果を受け設定されている人口集中地区の上空

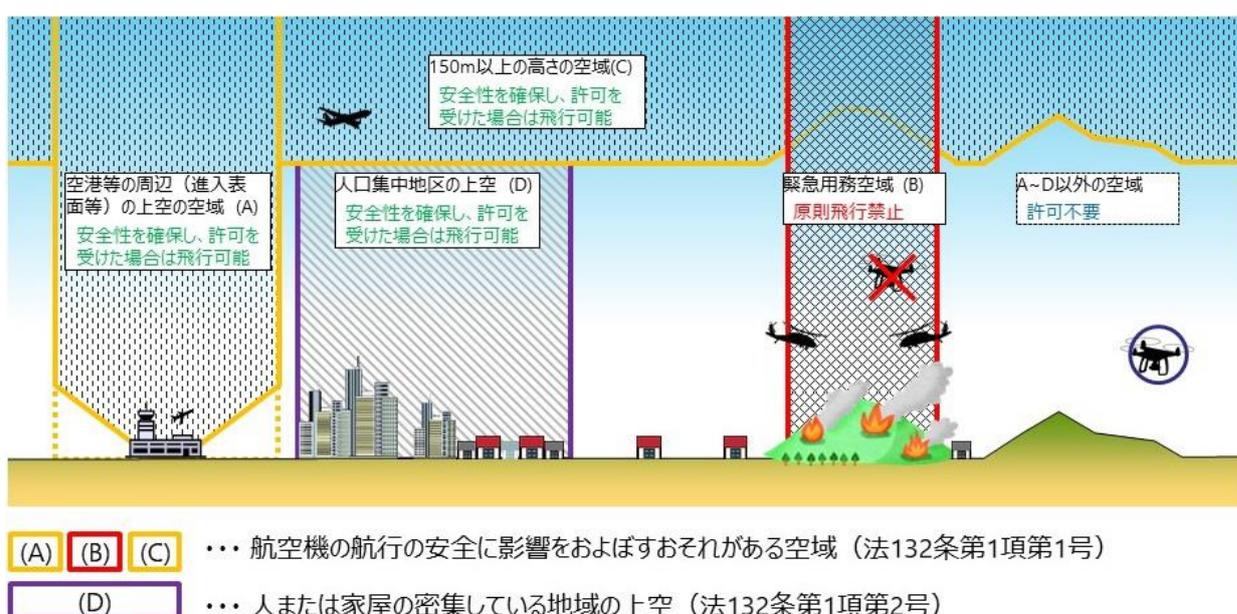


図-1

b.規制対象となる飛行の方法（図-2）

- ①夜間飛行(日没後から日出まで)
- ②操縦者の目視外での飛行(目視外飛行)
- ③第三者又は第三者の物件との間の距離が30メートル未満での飛行
- ④祭礼、縁日、展示会など多数の者の集合する催しが行われている場所の上空での飛行
- ⑤爆発物など危険物の輸送
- ⑥無人航空機からの物件の投下

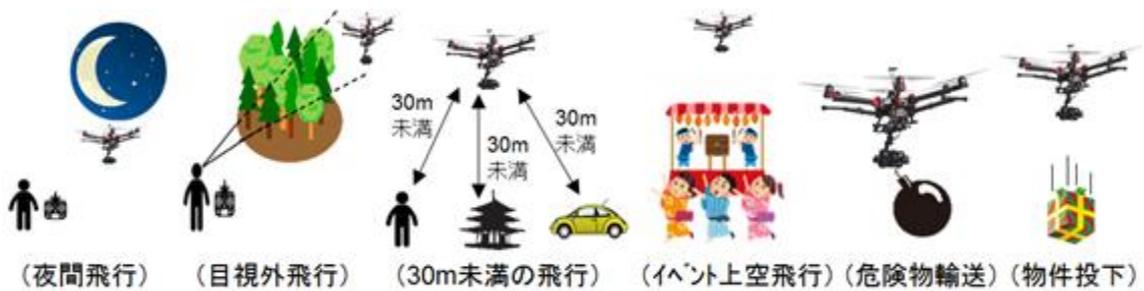


図-2

上記aに掲げる空域における飛行又は上記bに掲げる方法による飛行のいずれかに該当する飛行を「特定飛行」といい、航空機の航行の安全への影響や地上及び水上の人及び物件への危害を及ぼすおそれがあることから原則として禁止されている。

3)無人航空機の飛行形態の分類(カテゴリーⅠ～Ⅲ)

a.無人航空機の飛行形態については、そのリスクに応じて次に掲げるとおりに分類される。カテゴリーⅠ飛行

特定飛行に該当しない飛行を「カテゴリーⅠ飛行」という。この場合には、航空法上は特段の手続きは不要で飛行可能である。

b.カテゴリーⅡ飛行

特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において無人航空機を飛行させる者及びこれを補助する者以外の者(以下「第三者」という。)の立入りを管理する措置(以下「立入管理措置」という。)を講じたうえで行うものを「カテゴリーⅡ飛行」という。

カテゴリーⅡ飛行のうち、特に、空港周辺、高度150m以上、催し場所上空、危険物輸送及び物件投下並びに最大離陸重量25kg以上の無人航空機の飛行は、リスクの高いものとして、「カテゴリーⅡA飛行」といい、その他のカテゴリーⅡ飛行を「カテゴリーⅡB飛行」という。

c.カテゴリーⅢ飛行

特定飛行のうち立入管理措置を講じないで行うもの、すなわち第三者上空における特定飛行を「カテゴリーⅢ飛行」といい、最もリスクの高い飛行となることから、その安全を確保するために最も厳格な手続き等が必要となる。

4)機体認証及び無人航空機操縦者技能証明

特定飛行については、航空機の航行の安全への影響や地上及び水上の人及び物件への危害を及ぼすおそれがあることから、①使用する機体、②操縦する者の技能及び③運航管理方法(許可・承認を受ける)の適格性を担保し、飛行の安全を確保する必要がある。

このうち、①使用する機体及び②操縦する者の技能について、国があらかじめ基準に適合していることを確認したことを証明する「機体認証」及び「技能証明」に関する制度が設けられている。

機体認証及び技能証明については、無人航空機の飛行形態のリスクに応じ、カテゴリーⅠ～Ⅲ飛行に対応した第一種機体認証及び一等無人航空機操縦士、カテゴリーⅡ飛行に対応した第二種機体認証及び二等無人航空機操縦士に区分されている。

機体認証のための検査は、国又は国が登録した民間の検査機関(以下「登録検査機関」という。)が実施し、機体認証の有効期間は、第一種は1年、第二種は3年である。

技能証明のための試験は、国が指定した民間の試験機関(以下「指定試験機関」という。)が実施し、技能証明の有効期間は、一等及び二等ともに3年である。

5)特定飛行を行う場合の航空法上の手続き等

特定飛行の安全を確保するためには、無人航空機の飛行形態のリスクに応じて、①使用する機体、②操縦する者の技能及び③運航管理の方法の適格性を担保する必要があることから、飛行形態の分類に対応して次に掲げるとおりとなる。

a.カテゴリーⅡ飛行

カテゴリーⅡB飛行に関しては、技能証明を受けた者が機体認証を受けた無人航空機を飛行させる場合には、特段の手続き等なく飛行可能である。この場合、国土交通省令で定める飛行の安全を確保するための措置(以下「安全確保措置」という。)として飛行マニュアルを作成し遵守しなければならない。

カテゴリーⅡA飛行に関しては、カテゴリーⅡB飛行に比べてリスクが高いことから、技能証明を受けた者が機体認証を受けた無人航空機を飛行させる場合であっても、あらかじめ③運航管理の方法について国土交通大臣の審査を受け、飛行の許可・承認を受けることにより可能となる。

なお、カテゴリーⅡA飛行及びカテゴリーⅡB飛行はともに、機体認証及び技能証明の両方又はいずれかを有していない場合であっても、あらかじめ①使用する機体、②操縦する者の技能及び③運航管理の方法について国土交通大臣の審査を受け、飛行の許可・承認を受けることによっても可能となる。

b.カテゴリーⅢ飛行

カテゴリーⅢ飛行に関しては、最もリスクの高い飛行となることから、一等無人航空機操縦士の技能証明を受けた者が第一種機体認証を受けた無人航空機を飛行させることが求められることに加え、あらかじめ③運航管理の方法について国土交通大臣の審査を受け、飛行の許可・承認を受けることにより可能となる。

(3)航空機の運航ルール等

1)無人航空機の操縦者が航空機の運航ルールを理解する必要性

無人航空機は、航空機と同様、空中を飛行する機器であることから、万一の場合には、航空機の航行の安全に重大な影響を及ぼすおそれがある。

この観点から、①航空機の航行安全は、人の生命や身体に直接かかわるものとして最大限優先すべきものであること、②航空機の速度や無人航空機の大きさから、航空機側から無人航空機の機体を視認し回避することが困難であること、③無人航空機は航空機と比較して一般的には機動性が高いと考えられることから、航空機と無人航空機間で飛行の進路が交差し、又は接近する場合には、航空機の航行の安全を確保するためにも、無人航空機側が回避することが妥当であり、航空機は、無人航空機に対して進路権を有するとされている。

無人航空機の操縦者は、(a)国が提供している「ドローン情報基盤システム(飛行計画通報機能)」などを通じて飛行情報を共有し、(b)飛行前に航行中の航空機を確認した場合には飛行させないなどして航空機と無人航空機の接近を事前に回避するとともに、(c)飛行中に航行中の航空機を確認した場合には無人航空機を地上に降下させることその

他適当な方法を講じることが求められている。

我が国においても無人航空機と航空機のニアミス事案や無人航空機により空港が閉鎖される事案などが発生しており、ひとたび航空機に事故が発生した場合には甚大な被害が生じるおそれがあることから、航空機と同じ空を飛行させる無人航空機の操縦者も航空機の運航ルールを十分に理解することが極めて重要である。

2)計器飛行方式及び有視界飛行方式

航空機が飛行する方式には、「計器飛行方式(IFR: Instrumental Flight Rules)」と「有視界飛行方式(VFR: Visual Flight Rules)」との2つがある。

計器飛行方式(IFR)は、航空管制機関が与える指示等に常時従って行う飛行の方式である。高速で高高度を移動する旅客機は通常は計器飛行方式(IFR)で飛行する。その他の航空機も有視界飛行方式(VFR)ができない気象状態となった場合には計器飛行方式(IFR)で飛行する。

有視界飛行方式(VFR)は、計器飛行方式(IFR)以外の飛行の方式とされ、航空機の操縦者の判断に基づき飛行する方式である。小型機や回転翼航空機は有視界飛行方式(VFR)で飛行することが多い。空港及びその周辺においては、有視界飛行方式で飛行する航空機も航空管制機関が与える指示等に従う必要がある。

3)航空機の飛行高度

150メートル以下での航空機の飛行は離着陸に引き続く場合が多いが、捜索又は救助を任務としている公的機関(警察・消防・防衛・海上保安庁)等の航空機や緊急医療用ヘリコプター及び低空での飛行の許可を受けた航空機(物資輸送・送電線巡視・薬剤散布)等は離着陸にかかわらず150メートル以下で飛行している場合がある。

無人航空機の操縦者は、航空機と接近及び衝突を避けるため、無人航空機の飛行経路及びその周辺の空域を注意深く監視し、飛行中に航空機を確認した場合には、無人航空機を地上に降下させるなどの適切な措置を取らなければならない。

4)航空機の操縦者による見張り義務

航空機の操縦者は、航空機の航行中は、飛行方式にかかわらず、視界の悪い気象状態にある場合を除き、他の航空機その他の物件と衝突しないように見張りをすることが義務付けられているが、航空機の飛行速度や無人航空機の大きさを考慮すると、航空機側から無人航空機の機体を視認し回避することは困難である。

無人航空機の操縦者は、これを理解したうえで、無人航空機の飛行経路上及びその周辺の空域を注意深く監視し、飛行中の航空機を確認した場合には、無人航空機を地上に降下させるなどの適切な措置を取らなければならない。

5)出発前の航空情報の確認

航空機の機長は、出発前に運航に必要な準備が整っていることを確認することとされ、その一環として、国土交通大臣から提供される航空情報を確認することが義務付けられている。

6)航空機の空域の概要

無人航空機は、高度150メートル以上又は空港周辺の空域の飛行は原則禁止されているが、航空機の空域との分離を図ることにより、安全を確保することとしている。このため、無人航空機がこれらの禁止空域を飛行する場合には、当該空域を管轄する航空管制機関と調整し支障の有無を確認したうえで飛行の許可を受ける必要があるが、そのう

えで、無人航空機の操縦者は、次に掲げる航空機の空域の特徴や注意点を十分に理解して慎重に飛行し、航空管制機関等の指示等を遵守する必要がある。

a. 航空機の管制区域

国は、航空交通の安全及び秩序を確保するため、航空交通管制業務を実施する区域(管制区域)を設定している(管制区域以外の空域を非管制区域という)。

航空交通管制区域は、地表又は水面から200メートル以上の高さの空域のうち国が指定した空域であり、計器飛行方式により飛行する航空機は航空管制機関と常時連絡を取り、飛行の方法等についての指示に従って飛行を行わなければならない。また、航空交通管制圏は、航空機の離着陸が頻繁に実施される空港等及びその周辺の空域であり、全ての航空機が航空管制機関と連絡を取り、飛行の方法や離着陸の順序等の指示に従って飛行を行わなければならない。

b. 空港の制限表面の概要 (図-3)

航空機が安全に離着陸するためには、空港周辺の一定の空間を障害物が無い状態にしておく必要があるため、航空法において、次のような制限表面を設定している。

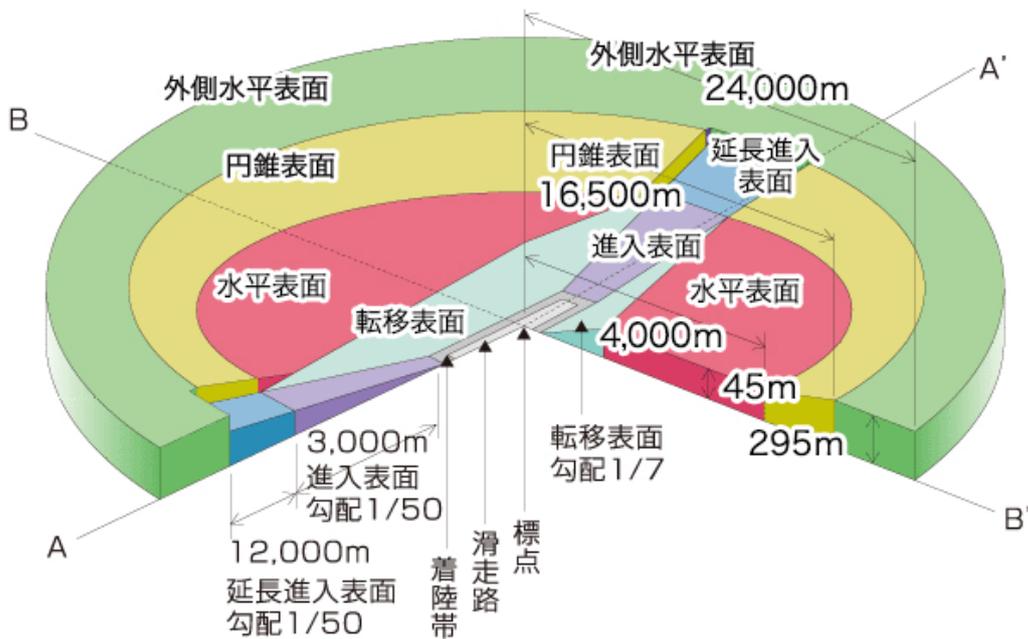


図-3

ア) 全ての空港に設定するもの

- 進入表面: 進入の最終段階及び離陸時における航空機の安全を確保するために必要な表面
- 水平表面: 空港周辺での旋回飛行等低空飛行の安全を確保するために必要な表面
- 転移表面: 進入をやり直す場合等の側面方向への飛行の安全を確保するために必要な表面

イ)東京・成田・中部・関西国際空港及び政令空港において指定することができるもの
東京(羽田)・成田・中部・関西国際空港及び政令空港(釧路・函館・仙台・大阪国際・松山・福岡・長崎・熊本・大分・宮崎・鹿児島・那覇の各空港)においては、航空機が頻繁に離着陸することから、上記ア)の制限表面に加え、次の制限表面も設定されている。

- 円錐表面:大型化及び高速化により旋回半径が増大した航空機の空港周辺での旋回飛行等の安全を確保するために必要な表面
- 延長進入表面:精密進入方式による航空機の最終直線進入の安全を確保するために必要な表面
- 外側水平表面:航空機が最終直線進入を行うまでの経路の安全を確保するために必要な表面

7)模型航空機に対する規制

重量100グラム未満の模型航空機についても、航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのある行為は航空法により規制されている。

- ①航空交通管制圏、航空交通情報圏、航空交通管制区内の特別管制空域等における模型航空機の飛行は禁止されている。また、国土交通省が災害等の発生時に後述の緊急用務空域を設定した場合には、当該空域における飛行も禁止される。
- ②①の空域以外のうち、空港等の周辺、航空路内の空域(高度150メートル以上)、高度250メートル以上の空域において、模型航空機を飛行させる場合には、国土交通省への事前の届出が必要となる。

3.1.2航空法に関する各論

(1)無人航空機の登録

1)無人航空機登録制度の背景・目的

無人航空機による不適切な飛行事案への対応の必要性や無人航空機の利活用の増加に伴い、無人航空機の登録制度が創設された。その目的は、①事故発生時などにおける所有者把握、②事故の原因究明など安全確保上必要な措置の実施、③安全上問題のある機体の登録を拒否し安全を確保することである。

2)無人航空機登録制度の概要

全ての無人航空機(重量が100グラム未満の模型航空機は除く。)は、国の登録を受けたものでなければ、原則として航空の用に供することができない。登録の有効期間は3年である。登録記号を表示し、一部の例外を除きリモートID機能を備えなければならない。

3)登録を受けることができない無人航空機

- ①製造者が機体の安全性に懸念があるとして回収(リコール)しているような機体や、事故が多発していることが明らかである機体など、あらかじめ国土交通大臣が登録できないものと指定したもの
- ②表面に不要な突起物があるなど地上の人などに衝突した際に安全を著しく損なうおそれのある無人航空機
- ③遠隔操作又は自動操縦による飛行の制御が著しく困難である無人航空機

4)登録の手続き及び登録記号の表示

無人航空機の登録の申請は、オンライン又は書類提出により行い、手数料の納付等全ての手続き完了後、登録記号が発行される。

登録記号は、無人航空機の容易に取り外しができない外部から確認しやすい箇所に耐久性のある方法で鮮明に表示しなければならない。登録記号の文字は機体の重量区分に応じて次の高さとし、表示する地色と鮮明に判別できる色で表示しなければならない。

●最大離陸重量25kg以上の機体は25mm以上

●最大離陸重量25kg未満の機体は3mm以上

所有者又は使用者の氏名や住所などに変更があった場合には、登録事項の変更の届出をしなければならない。3年の有効期間毎に更新を受けなければ、登録の効力を失う。

5)リモートID機能の搭載の義務

機体への物理的な登録記号の表示に加え、識別情報を電波で遠隔発信するリモートID機能を機体に備えなければならない。ただし、次に掲げる場合にあっては、リモートID機能の搭載が免除される。

①無人航空機の登録制度の施行前(2022年6月19日)までの事前登録期間中に登録手続きを行った無人航空機

②あらかじめ国に届け出た特定区域(リモートID特定区域)の上空で行う飛行であって、無人航空機の飛行を監視するための補助者の配置、区域の範囲の明示などの必要な措置を講じた上で行う飛行

③十分な強度を有する紐(ひも)など(長さが30m以内のもの)により係留して行う飛行

④警察庁、都道府県警察又は海上保安庁が警備その他の特に秘匿を必要とする業務のために行う飛行

6)リモートID機器の概要及び発信情報

リモートID機能は、識別情報を電波で遠隔発信するためのものであり(内蔵型と外付型がある)、当該機器は技術規格書に準拠して開発・製造される。

リモートID機能により発信される情報には、静的情報として無人航空機の製造番号及び登録記号、動的情報として位置、速度、高度、時刻などの情報が含まれており(所有者や使用者の情報は含まれない)、1秒に1回以上発信される。

(2)規制対象となる飛行の空域及び方法(特定飛行)の補足事項等

1)規制対象となる飛行の空域

a.空港等の周辺の空域

航空法に基づき原則として無人航空機の飛行が禁止されている「空港等の周辺の空域」は、空港やヘリポート等の周辺に設定されている進入表面、転移表面若しくは水平表面又は延長進入表面、円錐表面若しくは外側水平表面の上空の空域、(進入表面等がない)飛行場周辺の、航空機の離陸及び着陸の安全を確保するために必要なものとして国土交通大臣が告示で定める空域である。

ただし、航空機の離着陸が頻繁に実施される新千歳空港・成田国際空港・東京国際空港・中部国際空港・関西国際空港・大阪国際空港・福岡空港・那覇空港では、進入表面等の上空の空域に加えて、進入表面若しくは転移表面の下の上空又は空港の敷地の上空の空域についても飛行禁止空域となっている。

b.緊急用務空域

国土交通省、防衛省、警察庁、都道府県警察又は地方公共団体の消防機関その他の関係機関の使用する航空機のうち捜索、救助その他の緊急用務を行う航空機の飛行の安全を確保するため、国土交通省が緊急用務を行う航空機が飛行する空域(緊急用務空域)を指定し、この空域では、原則、無人航空機の飛行が禁止される(重量100グラム未満の模型航空機も飛行禁止の対象となる)。

災害等の規模に応じ、緊急用務を行う航空機の飛行が想定される場合には、国土交通省がその都度「緊急用務空域」を指定し、国土交通省のホームページ・Twitterにて公示する。

無人航空機の操縦者は、飛行を開始する前に、当該空域が緊急用務空域に該当するか否かの別を確認することが義務付けられている。空港等の周辺の空域、地表若しくは水面から150m以上の高さの空域又は人口集中地区の上空の飛行許可があっても、緊急用務空域を飛行させることはできない。

c.高度150メートル以上の空域

「高度150メートル以上の飛行禁止空域」とは、海拔高度ではなく、無人航空機が飛行している直下の地表又は水面からの高度差が150メートル以上の空域を指す。このため、山岳部などの起伏の激しい地形の上空で無人航空機を飛行させる場合には、意図せず150メートル以上の高度差になるおそれがあるので注意が必要である。

d.人口集中地区 (図-4)

「人口集中地区(DID: Densely Inhabited District / 密集して居住している区域)」は、5年毎に実施される国勢調査の結果から一定の基準により設定される地域である。



図-4

2)規制対象となる飛行の方法

a.日中における飛行

無人航空機の操縦者は、日中(日出から日没までの間)における飛行が原則とされ、それ以外の飛行の方法(夜間飛行)は、航空法に基づく規制の対象となる。

「日中」とは、国立天文台が発表する日の出の時刻から日の入りの時刻までの間を指す。

b.目視による常時監視

無人航空機の操縦者は、当該無人航空機及びその周囲の状況を目視により常時監視して飛行させることが原則とされ、それ以外の飛行の方法(目視外飛行)は、航空法に基づく規制の対象となる。

「目視により常時監視」とは、飛行させる者が自分の目で見えることを指し、双眼鏡やモニター(FPV(First Person View)を含む。)による監視や補助者による監視は含まない(眼鏡やコンタクトレンズの使用は「目視」に含まれる)。

c.人又は物件との距離

無人航空機の操縦者は、当該無人航空機と地上又は水上の人又は物件との間に30メートル以上の距離(無人航空機と人又は物件との間の直線距離)を保って飛行させることが原則とされ、それ以外の飛行の方法は、航空法に基づく規制の対象となる。

「人又は物件」とは、第三者又は第三者の物件を指し、無人航空機を飛行させる者及びその関係者並びにその物件は該当しない。

また、「物件」とは、(a)中に人が存在することが想定される機器、(b)建築物その他の相当の大きさを有する工作物等を指す。具体的な「物件」の例は次のとおり。

- 車両等:自動車、鉄道車両、軌道車両、船舶、航空機、建設機械、港湾のクレーン等
- 工作物:ビル、住居、工場、倉庫、橋梁、高架、水門、変電所、鉄塔、電柱、電線、
- 信号機、街灯等なお、土地や自然物(樹木、雑草等)などは、「物件」に該当しない。

d.催し場所上空

無人航空機の操縦者は、多数の者の集合する催しが行われている場所の上空における飛行が原則禁止されている。

「多数の者の集合する催し」とは、特定の場所や日時に開催される多数の者が集まるものを指す。その該当の有無については、催し場所上空において無人航空機が落下することにより地上等の人に危害を及ぼすことを防止するという趣旨に照らし、集合する者の人数や規模だけでなく、特定の場所や日時に開催されるかどうかによって総合的に判断される。具体的には、次のとおり。

- 該当する例
祭礼、縁日、展示会のほか、プロスポーツの試合、スポーツ大会、運動会、屋外で開催されるコンサート、町内会の盆踊り大会、デモ(示威行為)等
- 該当しない例
自然発生的なもの(信号待ちや混雑により生じる人混み等)
- 風速5m/s超、(風速+飛行速度)7m/s超の場合は飛行禁止
- 飛行高度20m以下の場合、水平距離30m以上の立入禁止区間の設定が必要

e.危険物の輸送

無人航空機の操縦者は、当該無人航空機により危険物を輸送することが原則禁止されている。

「危険物」とは、火薬類、高圧ガス、引火性液体、可燃性物質、酸化性物質類、毒物類、放射性物質、腐食性物質などが該当する。

無人航空機の飛行のため当該無人航空機で輸送する物件は、「危険物」の対象とならない。例えば、無人航空機の飛行のために必要な燃料や電池、安全装置としてのパラシュートを開傘するために必要な火薬類や高圧ガス、業務用機器(カメラ等)に用いられる電池が該当する。

f. 物件の投下

無人航空機の操縦者は、当該無人航空機から物件を投下させることが原則禁止されている。

物件の投下には、水や農薬等の液体や霧状のものの散布も含まれる。無人航空機を使って物件を設置する(置く)行為は、物件の投下には含まれない。

3) 規制対象となる飛行の空域及び方法の例外

a. 捜索、救助等の特例

国や地方公共団体又はこれらから依頼を受けた者が、事故、災害等に際し、捜索、救助等の緊急性のある目的のために無人航空機を飛行させる場合には、特例として飛行の空域及び方法の規制が適用されない。災害時の対応であっても、国や地方公共団体にかかわらない独自の活動にあつては、特例の対象とはならず、国の飛行の許可・承認などの手続き等が必要となる。

b. 高度150メートル以上の空域の例外 (図-5)

地表又は水面から150メートル以上の高さの空域に関しては、航空機の空域と分離する観点から原則として飛行が禁止されているが、煙突や鉄塔などの高層の構造物の周辺は、航空機の飛行が想定されないことから、高度150メートル以上の空域であっても、当該構造物から30メートル以内の空域については、無人航空機の飛行禁止空域から除外されている。ただし、当該構造物の関係者による飛行を除き、第三者又は第三者の物件から30メートル以内の飛行に該当することから、当該飛行の方法に関する手続き等は必要となる。

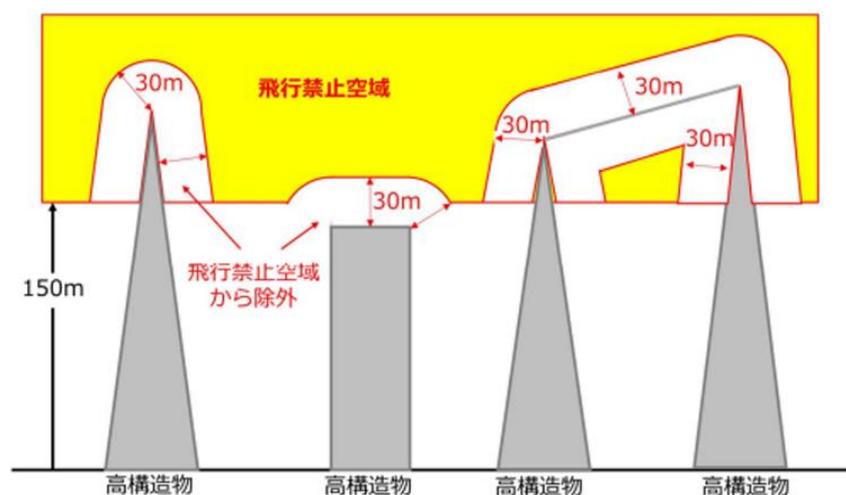


図-5

c. 十分な強度を有する紐等で係留した場合の例外 (図-6)

十分な強度を有する紐(ひも)等(30メートル以下)で係留し、飛行可能な範囲内への第三者の立入管理等の措置を講じて無人航空機を飛行させる場合は、人口集中地区、夜間飛行、目視外飛行、第三者から30メートル以内の飛行及び物件投下に係る手続き等が必要である。

自動車、航空機等の移動する物件に紐等を固定して又は人が紐等を持って移動しながら無人航空機を飛行させる行為(えい航)は、係留には該当しない。

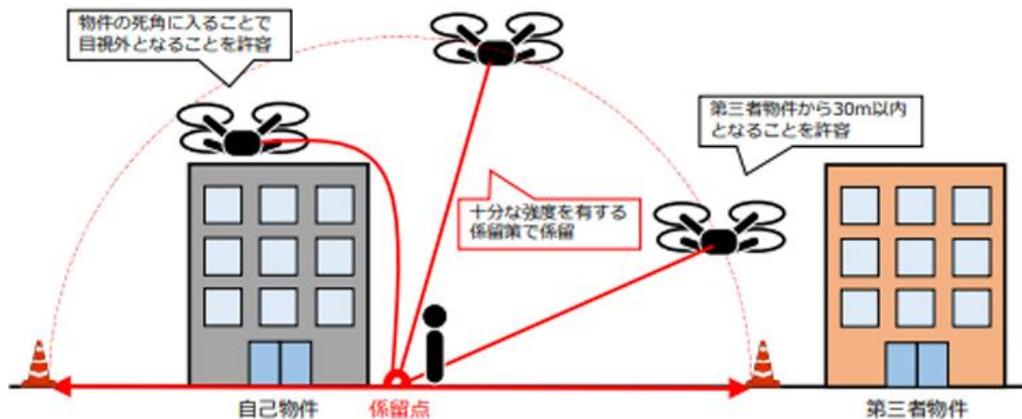


図-6

4) その他の補足事項等

a. 第三者の定義

「第三者」とは、無人航空機の飛行に直接又は間接的に関与していない者をいう。

次に掲げる者は無人航空機の飛行に直接又は間接的に関与しており、「第三者」には該当しない。

(a) 無人航空機の飛行に直接関与している者

直接関与している者とは、操縦者、現に操縦はしていないが操縦する可能性のある者、補助者等無人航空機の飛行の安全確保に必要な要員とする。

(b) 無人航空機の飛行に間接的に関与している者

間接的に関与している者(以下「間接関与者」という。)とは、飛行目的について無人航空機を飛行させる者と共通の認識を持ち、次のいずれにも該当する者とする。

ア) 無人航空機を飛行させる者が、間接関与者について無人航空機の飛行の目的の全部又は一部に関与していると判断している。

イ) 間接関与者が、無人航空機を飛行させる者から、無人航空機が計画外の挙動を示した場合に従うべき明確な指示と安全上の注意を受けている。なお、間接関与者は当該指示と安全上の注意に従うことが期待され、無人航空機を飛行させる者は、指示と安全上の注意が適切に理解されていることを確認する必要がある。

ウ) 間接関与者が、無人航空機の飛行目的の全部又は一部に関与するかどうかを自ら決定することができる。

b. 立入管理措置

特定飛行に関しては、無人航空機の飛行経路下において第三者の立入りを管理する措置(立入管理措置)を講ずるか否かにより、カテゴリⅡ飛行とカテゴリⅢ飛行に区分され、必要となる手続き等が異なる。

立入管理措置の内容は、第三者の立入りを制限する区画(立入管理区画)を設定し、当該区画の範囲を明示するために必要な標識の設置等としており、例えば、関係者以外の立入りを制限する旨の看板、コーン等による表示、補助者による監視及び口頭警告などが該当する。

(3)無人航空機の操縦者等の義務

1)無人航空機の操縦者が遵守する必要がある運航ルール

a.アルコール又は薬物の影響下での飛行禁止

アルコール又は薬物の影響により当該無人航空機の正常な飛行ができないおそれがある間において飛行させないこと。

「アルコール」とはアルコール飲料やアルコールを含む食べ物を指し、「薬物」とは麻薬や覚せい剤等の規制薬物に限らず、医薬品も含まれる。

アルコールによる身体への影響は、個人の体質やその日の体調により異なるため、体内に保有するアルコールが微量であっても無人航空機の正常な飛行に影響を与えるおそれがあるため、体内に保有するアルコール濃度の程度にかかわらず体内にアルコールを保有する状態では無人飛行機の飛行を行ってはならない。

b.飛行前の確認

無人航空機が飛行に支障がないことその他飛行に必要な準備が整っていることを確認した後において飛行させること。

(a)外部点検及び作動点検による無人航空機の状況の確認

各機器の取付状況(ネジ等の脱落やゆるみ等)、発動機・モーター等の異音の有無、機体(プロペラ、フレーム等)の損傷や歪みの有無、通信系統・推進系統・電源系統・自動制御系統等の作動状況などの確認が挙げられる。

(b)無人航空機を飛行させる空域及びその周囲の状況の確認

飛行空域や周囲における航空機や他の無人航空機の飛行状況、飛行空域や周囲の地上又は水上の人(第三者の有無)又は物件(障害物等の有無)の状況、航空法その他の法令等の必要な手続き等の状況、緊急用務空域・飛行自粛要請空域の該当の有無、立入管理措置・安全確保措置等の準備状況などの確認が挙げられる。

(c)飛行に必要な気象情報の確認

天候、風速、視程など当該無人航空機の飛行に適した天候にあるか否かを確認する。

(d)燃料の搭載量又はバッテリーの残量の確認

(e)リモートID機能の作動状況(リモートID機能の搭載の例外となっている場合を除く。)

c.航空機又は他の無人航空機との衝突防止

飛行前において、航行中の航空機を確認した場合には、飛行を行わないこと。また、飛行中の他の無人航空機を確認した場合には、飛行日時、飛行経路、飛行高度等について、他の無人航空機を飛行させる者と調整を行うこと。

飛行中において、航行中の航空機を確認した場合には、地上に降下させるなど、接近又は衝突を回避するための適切な措置を取ること。また、飛行中の他の無人航空機を確認した場合には、当該無人航空機との間に安全な間隔を確保して飛行させ、接近又は衝突のおそれがあると認められる場合には地上に降下させるなど適切な措置を取るとともに、飛行日時、飛行経路、飛行高度等について、他の無人航空機を飛行させる者と調整を行うこと。

d.他人に迷惑を及ぼす方法での飛行禁止

飛行上の必要がないのに高調音を発し、又は急降下し、その他他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと。「他人に迷惑を及ぼすような方法」とは、人に向かって無人航空機を急接近させることなどを指す。

e.使用者の整備及び改造の義務

登録を受けた無人航空機の使用者は、整備及び必要に応じて改造をし、当該無人航空機が安全上の問題から登録を受けることができない無人航空機とならないように維持しなければならない。登録記号の機体への表示も維持しなければならない。

f.事故等の場合の措置

(a)事故の場合の措置

次に掲げる無人航空機に関する事故が発生した場合には、当該無人航空機を飛行させる者は、直ちに当該無人航空機の飛行を中止するとともに、負傷者がいる場合にはその救護・通報、事故等の状況に応じた警察への通報、火災が発生している場合の消防への通報など、危険を防止するための必要な措置を講じなければならない。また、当該事故が発生した日時及び場所等の必要事項を国土交通大臣に報告しなければならない。

i)無人航空機による人の死傷又は物件の損壊

人の死傷に関しては重傷以上を対象とする。物件の損壊に関しては第三者の所有物を対象とするが、その損傷の規模や損害額を問わず全ての損傷を対象とする。

ii)航空機との衝突又は接触

航空機又は無人航空機のいずれか又は両方に損傷が確認できるものを対象とする。

(b)重大インシデントの報告

上記事故が発生するおそれがあると認める事態(重大インシデント)が発生した場合にあっても、国土交通省への報告が義務付けられている。重大インシデントの対象としては、飛行中航空機との衝突又は接触のおそれがあったと認めた事態、重傷に至らない無人航空機による人の負傷、無人航空機の制御が不能となった事態及び無人航空機が発火した事態(飛行中に発生したものに限る。)が含まれる。

2)特定飛行をする場合に遵守する必要がある運航ルール

a.飛行計画の通報等

無人航空機を飛行させる者は、特定飛行を行う場合には、あらかじめ、次に掲げる事項等を記載した飛行計画を国土交通大臣に通報しなければならない(あらかじめ飛行計画を通報することが困難な場合には事後の通報でも可)。具体的には、国が提供している「ドローン情報基盤システム(飛行計画通報機能)」に入力することにより通報する。

(a)無人航空機の登録記号及び種類並びに型式(型式認証を受けたものに限る。)

(b)無人航空機を飛行させる者の氏名並びに技能証明書番号(技能証明を受けた者に限る。)及び飛行の許可・承認の番号(許可・承認を受けた場合に限る。)

(c)飛行の目的、高度及び速度

(d)飛行させる飛行禁止空域及び飛行の方法

(e)出発地、目的地、目的地に到着するまでの所要時間

(f)立入管理措置の有無及びその内容

(g)損害賠償のための保険契約の有無及びその内容

無人航空機を飛行させる者は、通報した飛行計画に従って特定飛行をしなければならない。国土交通省は、当該飛行計画の通報を受けた場合に安全の確保のために必要と認めるときは、特定飛行の日時又は経路の変更など必要な措置を講ずるよう指示する場合があります。当該指示を受けた場合にはその指示に従わなければならない。ただし、安全を確保するためにやむを得ない場合はこの限りではない。

なお、特定飛行に該当しない無人航空機の飛行を行う場合であっても、飛行計画を通報することが望ましい。

b.飛行日誌の携行及び記載

無人航空機を飛行させる者は、特定飛行をする場合には、飛行日誌を携帯することが義務付けられる。飛行日誌は、紙又は電子データ(システム管理を含む。)の形態を問わないが、特定飛行を行う場合には、必要に応じ速やかに参照や提示できるようにする必要がある。

特定飛行を行う者は、無人航空機に関する情報(登録記号、種類、型式、製造者・製造番号等)に加え、次に掲げる事項等を遅滞なく飛行日誌に記載しなければならない。

(a)飛行記録

飛行の年月日、離着陸場所・時刻、飛行時間、飛行させた者の氏名、不具合及びその対応等

(b)日常点検記録

日常点検の実施の年月日・場所、実施者の氏名、日常点検の結果等

(c)点検整備記録

点検整備の実施の年月日・場所、実施者の氏名、点検・修理・改造・整備の内容・理由等



3)機体認証を受けた無人航空機を飛行させる者が遵守する必要がある運航ルール

a.使用の条件の遵守

無人航空機の機体認証を行う場合は、無人航空機飛行規程に定めた無人航空機の安全性を確保するための限界事項等(最大離陸重量、飛行可能高度、飛行可能速度等)を「使用の条件」として指定し、使用条件等指定書として交付することとしている。機体認証を受けた無人航空機を飛行させる者は、当該使用の条件の範囲内で特定飛行しなければならない。

b.必要な整備の義務

機体認証を受けた無人航空機の使用者は、必要な整備をすることにより、当該無人航空機を安全基準に適合するように維持しなければならない。具体的には、無人航空機の機体認証を行う場合に設定される無人航空機整備手順書(機体メーカーの取扱説明書等)に従って整備をすることが義務付けられる。

4)罰則

航空法令の規定に違反した場合には、次の罰則の対象となる可能性がある(技能証明を有する者は、罰則に加えて、技能証明の取消し等の行政処分の対象にもなる可能性がある)。

表-1

違反行為	罰則
●事故が発生した場合に飛行を中止し負傷者を救護するなどの危険を防止するための措置を講じなかったとき	2年以下の懲役又は100万円以下の罰金
●登録を受けていない無人航空機を飛行させたとき	1年以下の懲役又は50万円以下の罰金
●アルコール又は薬物の影響下で無人航空機を飛行させたとき	1年以下の懲役又は30万円以下の罰金
●登録記号の表示又はリモートIDの搭載をせずに飛行させたとき ●規制対象となる飛行の区域又は方法に違反して飛行させたとき ●飛行前の確認をせずに飛行させたとき ●航空機又は他の無人航空機との衝突防止をしなかったとき ●他人に迷惑を及ぼす飛行を行ったとき ●機体認証で指定された使用の条件の範囲を超えて特定飛行をおこなったとき等	50万円以下の罰金
●飛行計画を通報せずに特定飛行を行ったとき ●事故が発生した場合に報告をせず、又は虚偽の報告をしたとき等	30万円以下の罰金
●技能証明を携帯せずに特定飛行を行ったとき ●飛行日誌を備えずに特定飛行を行ったとき ●飛行日誌に記載せず、又は虚偽の記載をしたとき	10万円以下の罰金

(4)運航管理体制(安全確保措置・リスク管理等)

1)安全確保措置等

カテゴリⅡ飛行のうち、カテゴリⅡB飛行については、技能証明を受けた操縦者が機体認証を有する無人航空機を飛行させる場合には、特段の手続きなく飛行可能である。この場合には、安全確保措置として次に掲げる事項等を記載した飛行マニュアルを作成し遵守しなければならない。

- a.無人航空機の定期的な点検及び整備に関する事項
- b.無人航空機を飛行させる者の技能の維持に関する事項
- c.当該無人航空機の飛行前の確認に関する事項
- d.無人航空機の飛行に係る安全管理体制に関する事項
- e.事故等が発生した場合における連絡体制の整備等に関する事項

カテゴリⅡ飛行のうち、カテゴリⅡA飛行については、技能証明を受けた操縦者が機体認証を有する無人航空機を飛行させる場合であっても、あらかじめ「運航管理の方法」について国土交通大臣の審査を受け、飛行の許可・承認を受ける必要がある。

2)カテゴリーⅢ飛行を行う場合の運航管理体制

カテゴリーⅢ飛行を行う場合には、一等無人航空機操縦士資格を受けた操縦者が第一種機体認証を有する無人航空機を飛行させることが求められることに加え、あらかじめ「運航管理の方法」について国土交通大臣の審査を受け、飛行の許可・承認を受ける必要がある。

具体的には、無人航空機を飛行させる者は、第三者上空飛行にあたり想定されるリスクの分析と評価を実施し、非常時の対処方針や緊急着陸場所の設定などのリスク軽減策を講じることとし、これらのリスク評価結果に基づき作成された飛行マニュアルを含めて、運航の管理が適切に行われることを審査される。また、飛行の許可・承認の審査において、無人航空機を飛行させる者が適切な保険に加入するなど賠償能力を有することの確認を行うこととしている。

3)カテゴリーⅢ飛行を行う場合のリスク管理〔一等〕

カテゴリーⅢ飛行を行う場合に、その運航の管理が適切に行われることについては、運航形態に応じたリスク評価を行い、その結果に応じて必要な措置を講じることによって行う。当該リスク評価の手法については別途リスク評価に関するガイドラインに基づいて行うこととしている。

(5)無人航空機操縦者技能証明制度

1)制度概要

無人航空機操縦者技能証明(技能証明)制度は、無人航空機を飛行させるのに必要な技能(知識及び能力)を有することを国が証明する資格制度である。国が指定した民間試験機関(指定試験機関)による学科試験、実地試験及び身体検査により知識及び能力を判定し、これらの試験等に合格した場合には、国が技能証明を行う。

技能証明は、カテゴリーⅢ飛行に必要な技能に係る一等無人航空機操縦士とカテゴリーⅡ飛行に必要な技能に係る二等無人航空機操縦士の2つの資格に区分され、それぞれの資格において、無人航空機の種類(6種類)及び飛行の方法(3種類)について限定をすることとしている。

パワード・リフト機(Powered-lift)の飛行にあたっては、回転翼航空機(マルチローター)及び飛行機の両方の種類の限定に係る資格が必要となる。

表-2

資格の区分	無人航空機の種類限定	飛行の方法の限定
1.一等無人航空機操縦士資格	1-1.回転翼航空機(マルチローター) (重量制限なし)	1.日中飛行・目視内飛行
2.二等無人航空機操縦士資格	1-2.回転翼航空機(マルチローター) (最大離陸重量25kg未満)	2.夜間飛行
	2-1.回転翼航空機(ヘリコプター) (重量制限なし)	3.目視外飛行
	2-2.回転翼航空機(ヘリコプター) (最大離陸重量25kg未満)	
	3-1.飛行機 (重量制限なし)	
	3-2.飛行機 (最大離陸重量25kg未満)	

2)技能証明の資格要件

次に掲げる項目のいずれかに該当する場合には、技能証明の申請をすることができない。

a.16歳に満たない者

b.航空法の規定に基づき技能証明を拒否された日から1年以内の者又は技能証明を保留されている者(航空法等に違反する行為をした場合や無人航空機の飛行にあたり非行又は重大な過失があった場合に係るものに限る。)

c.航空法の規定に基づき技能証明を取り消された日から2年以内の者又は技能証明の効力を停止されている者(航空法等に違反する行為をした場合や無人航空機の飛行にあたり非行又は重大な過失があった場合に係るものに限る。)

次に掲げる項目のいずれかに該当する場合には、技能証明試験に合格した者であっても技能証明を拒否又は保留することができる。

d.てんかんや認知症等の無人航空機の飛行に支障を及ぼすおそれがある病気にかかっている者

e.アルコールや大麻、覚せい剤等の中毒者

f.航空法等に違反する行為をした者

g.無人航空機の飛行にあたり非行又は重大な過失があった者

3)技能証明の交付手続き

技能証明を受けようとする者は、「指定試験機関」が実施する学科試験、実地試験及び身体検査に合格したうえで、国土交通大臣に技能証明書の交付の申請手続きを行う必要がある。この場合において、学科試験に合格しなければ、実地試験を受けることができない。

無人航空機の民間講習機関のうち国の登録を受けた「登録講習機関」の無人航空機講習(学科講習・実地講習)を修了した者にあつては、技能証明試験のうち実地試験を免除することができる。

技能証明試験に関して不正の行為が認められた場合には、当該不正行為と関係のある者について、その試験を停止し、又はその合格を無効にすることができる。この場合において、当該者に対し一定期間試験を拒否することができる。

これらの手続きについては、技能証明の新規交付に係る場合のほか、技能証明を有する者がその限定を変更しようとする場合も同様である。

また、技能証明の有効期間は3年であり、その更新を申請する者は、「登録更新講習機関」が実施する無人航空機更新講習を有効期間の更新の申請をする日以前3月以内に修了したうえで、有効期間が満了する日以前6月以内(図-7)に国土交通大臣に対し技能証明の更新を申請しなければならない。

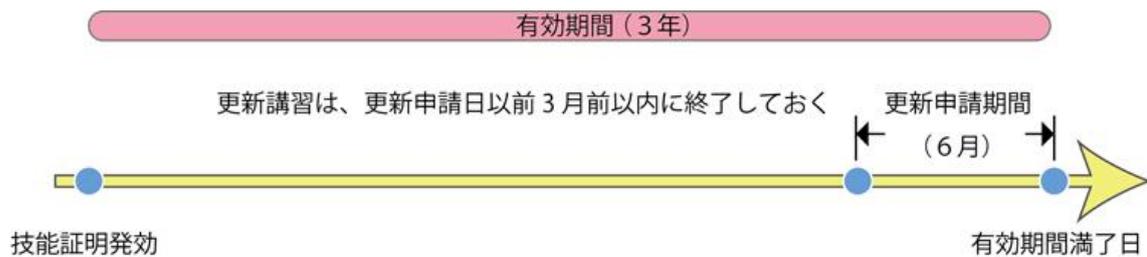


図-7

4)技能証明を受けた者の義務

技能証明を受けた者は、その限定をされた種類の無人航空機又は飛行の方法でなければ特定飛行を行ってはならない(飛行の許可・承認を受けて特定飛行を行う場合を除く)。

技能証明を行うにあたって、国土交通大臣は技能証明に係る身体状態に応じ、無人航空機を飛行させる際の必要な条件(眼鏡・コンタクトレンズや補聴器の着用等)を付することができることとしており、当該条件が付された技能証明を受けた者は、その条件の範囲内でなければ特定飛行を行ってはならない

(飛行の許可・承認を受けて特定飛行を行う場合を除く)。

技能証明を受けた者は、特定飛行を行う場合には、技能証明書を携帯しなければならない。

5)技能証明の取消し等

技能証明を受けた者が次に掲げる項目のいずれかに該当する場合には、技能証明の取消し又は1年以内の技能証明の効力の停止を受けることがある。

- a. てんかんや認知症等の無人航空機の飛行に支障を及ぼすおそれがある病気にかかっている又は身体の障害であることが判明したとき
- b. アルコールや大麻、覚せい剤等の中毒者であることが判明したとき
- c. 航空法等に違反する行為をしたとき
- d. 無人航空機の飛行にあたり非行又は重大な過失があったとき

3.2 航空法以外の法令等

3.2.1 小型無人機等飛行禁止法（公安委員会管轄）

(1) 制度概要

小型無人機等飛行禁止法は、国会議事堂などの重要施設に対する危険を未然に防止し、もって国政の中核機能等、良好な国際関係、我が国を防衛するための基盤並びに国民生活及び経済活動の基盤の維持並びに公共の安全の確保に資するため、これら重要施設及びその周囲おおむね300mの周辺地域の上空における小型無人機等の飛行を禁止するものである。

(2)飛行禁止の対象となる小型無人機等

小型無人機等飛行禁止法により重要施設及びその周辺地域の上空の飛行が禁止される対象は、小型無人機及び特定航空用機器であり、具体的には次のとおりである。

1)小型無人機

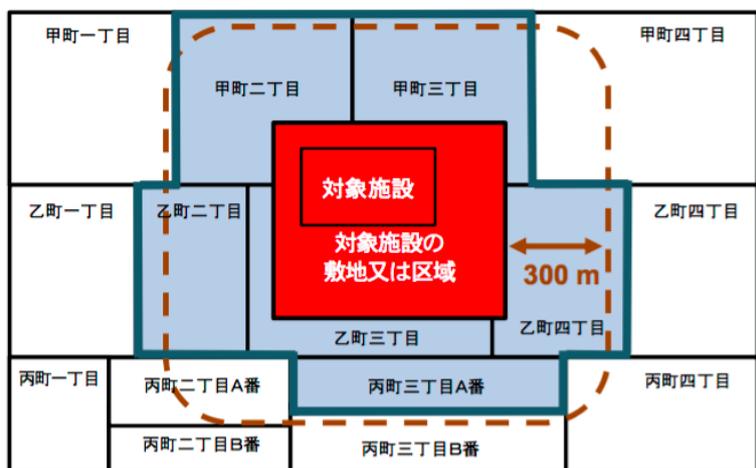
飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船その他の航空の用に供することができる機器であって構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるものと定義されている。航空法の「無人航空機」と異なり、「小型無人機」は大きさや重さにかかわらず対象となり、100グラム未満のものも含まれる。

2)特定航空用機器

航空機以外の航空の用に供することができる機器であって、当該機器を用いて人が飛行することができるものと定義されており、気球、ハンググライダー及びパラグライダー等が該当する。

(3)飛行禁止の対象となる重要施設

小型無人機等飛行禁止法により、重要施設の敷地・区域の上空(レッド・ゾーン)及びその周囲おおむね300mの上空(イエロー・ゾーン)においては小型無人機等を飛行させることはできない。(図-8) その対象となる重要施設は以下のとおり。このほかにも、外国要人の来日等に伴い、一時的に対象施設が追加されることがある。詳細については、警察庁ホームページなどを参照すること。



青色区域(■)及び赤色区域(■)の上空における飛行を禁止

図-8

①国の重要な施設等

- 国会議事堂、内閣総理大臣官邸、最高裁判所、皇居等
- 危機管理行政機関の庁舎
- 対象政党事務所

②外国公館等(外務大臣指定)

③防衛関係施設(防衛大臣指定)

- 自衛隊施設
- 在日米軍施設

④空港(国土交通大臣指定)

- 新千歳空港、成田国際空港、東京国際空港、中部国際空港、大阪国際空港、
関西国際空港、福岡空港、那覇空港

⑤原子力事業所(国家公安委員会指定)

(4)飛行禁止の例外及びその手続き

小型無人機等の飛行禁止の例外は、次に掲げる場合に限られており、航空法に基づく飛行の許可・承認や機体認証・技能証明を取得した場合であっても小型無人機等を飛行させることはできない。

(a)対象施設の管理者又はその同意を得た者による飛行

(b)土地の所有者等又はその同意を得た者が当該土地の上空において行う飛行

(c)国又は地方公共団体の業務を実施するために行う飛行

ただし、対象防衛関係施設及び対象空港の敷地又は区域の上空(レッドゾーン)においては、上記(b)又は(c)であっても対象施設の管理者の同意が必要となる((a)の飛行のみ可)。

飛行禁止の例外にあたる場合であっても、対象施設及びその周囲おおむね300mの周辺地域の上空で小型無人機等を飛行させる場合、都道府県公安委員会等へ通報しなければならない。

(5)違反に対する措置等

警察官等は、小型無人機等飛行禁止法の規定に違反して小型無人機等の飛行を行う者に対し、機器の除去その他の必要な措置をとることを命ずることができる。また、やむを得ない限度において、小型無人機等の飛行の妨害、破損その他の必要な措置をとることができる。

対象施設の敷地・区域の上空(レッド・ゾーン)で小型無人機等の飛行を行った者及び警察官等の命令に違反した者は、1年以下の懲役又は50万円以下の罰金に処せられる。

3.2.2電波法

(1)制度概要及び無人航空機に用いられる無線設備

無人航空機においては、その操縦や画像伝送のために電波を発射する無線設備が利用されている。

これらの無線設備を日本国内で使用する場合には、電波法令に基づき、国内の技術基準に合致した無線設備を使用し、原則、総務大臣の免許や登録を受け、無線局を開設する必要がある(微弱な無線局や一部の小電力の無線局は除く)。本制度の詳細については、総務省電波利用ホームページ等で確認すること。

国内で無人航空機での使用が想定される主な無線通信システムは以下(表-3)のとおり。

表-3

分類	無線局免許	周波数帯	最大送信出力	主な利用形態	無線従事者資格
免許又は登録を要しない無線局	不要	40MHz帯	微弱※1	操縦用	不要
		72MHz帯 73MHz帯			
	不要※2	920MHz帯	20mW	操縦用	
		2.4GHz帯	10mW/MHz※3	操縦用、画像伝送用、データ伝送用	
携帯局(無人移動体画像伝送システムの無線局)	要※4	169MHz帯	10mW※5	操縦用、画像伝送用、データ伝送用	第三級陸上特殊無線技士以上の資格
		2.4GHz帯	1W	操縦用、画像伝送用、データ伝送用	
		5.7GHz帯	1W	操縦用、画像伝送用、データ伝送用	

※1:500mの距離において電界強度が200 μ V/m以下のもの

※2:技術基準適合証明等を受けた適合表示無線設備であることが必要

※3:変調方式や占有周波数帯幅によって出力の上限は異なる

※4:運用に際しては、運用調整を行うこと

※5:地上から電波発射を行なう無線局の場合は最大1W

(2)免許又は登録を要しない無線局

発射する電波が極めて微弱な無線局や、一定の技術的条件に適合する無線設備を使用する小電力の無線局については、無線局の免許又は登録が不要である。無人航空機には、ラジコン用の微弱無線局や小電力データ通信システム(無線LAN等)の一部が主として用いられている。

①微弱無線局(ラジコン用)

ラジコン等に用いられる微弱無線局は、無線設備から500メートルの距離での電界強度(電波の強さ)が200 μ V/m以下のものとして、周波数などが総務省告示で定められている。

無線局免許や無線従事者資格が不要であり、主に、産業用の農薬散布ラジコンヘリ等で用いられている。

②一部の小電力の無線局

空中線電力が1W以下で、特定の用途に使用される一定の技術基準が定められた無線局については、免許又は登録が不要である。例えば、Wi-FiやBluetooth等の小電力データ通信システムの無線局等が該当する。

これらの小電力の無線局は、無線局免許や無線従事者資格が不要だが、技術基準適合証明等(技術基準適合証明又は工事設計認証)を受けた適合表示無線設備でなければならない。具体的には、以下の技術基準適合証明等を受けた旨の表示(技適マーク)(図-9)等により確認すること。



図-9 (技適マーク)

(3)アマチュア無線局

上記の無線局のほか、無人航空機にアマチュア無線が用いられることがある。この場合は、アマチュア無線技士の資格及びアマチュア無線局免許が必要である。なお、アマチュア無線とは、金銭上の利益のためでなく、専ら個人的な興味により行う自己訓練、通信及び技術研究のための無線通信である。そのため、アマチュア無線を使用した無人航空機を、利益を目的とした仕事などの業務に利用することはできない。

また、無人航空機においてFPV(First Person View / 一人称視点映像)といった画像伝送が用いられることがある。

アマチュア無線によるFPV無人航空機については、現在、無人航空機の操縦に2.4GHz帯の免許不要局を使用し、無人航空機からの画像伝送に5GHz帯のアマチュア無線局を使用するケースが多いが、5GHz帯のアマチュア無線は、周波数割当計画上、二次業務に割り当てられている。このため、同一帯域を使用する他の一次業務の無線局の運用に妨害を与えないように運用しなければならない。特に、5.7GHz帯では無人移動体画像伝送システムが用いられているほか、5.8GHz帯は、DSRC (狭域通信:Dedicated Short Range Communications) ※システムに割り当てられており、主として高速道路のETCシステムや駐車場管理等に用いられているので、それら付近での使用は避ける等、運用の際には配慮が必要である。

※Dedicated (ディデケイト / 専用の)

(4)携帯電話等を上空で利用する場合

携帯電話等の移動通信システムは、地上での利用を前提に設計されていることから、その上空での利用については、通信品質の安定性や地上の携帯電話等の利用への影響が懸念されている。こうした状況を踏まえ、実用化試験局の免許を受ける、又は、高度150m未満において一定の条件下で利用することで、既設の無線局等の運用等に支障を与えないことを条件に、携帯電話等を無人航空機に搭載して利用できるよう、制度を整備している。詳細は総務省電波利用ホームページを確認すること。

3.2.3 その他の法令等

上記の法令に加え、その他の法令等又は地方公共団体が定める条例に基づき、無人航空機の利用方法が制限されたり、都市公園や施設の上空など特定の場所において、無人航空機の飛行が制限されたりするケースがある。

こうした法令等や条例については、国土交通省ホームページに一覧等が掲載されている(条例の最新の情報については地方公共団体に確認すること)。

3.2.4飛行自肅要請空域

法令等に基づく規制ではないが、警備上の観点等から警察などの関係省庁等の要請に基づき、国土交通省が無人航空機の飛行自肅を要請することがある。飛行自肅要請空域が設定される場合には国土交通省のホームページ・Twitterにて公示するため、無人航空機の操縦者は、飛行を開始する前に、当該空域が飛行自肅要請空域に該当するか否かの別を確認し、その要請内容に基づき適切に対応すること。

4.無人航空機のシステム

4.1 無人航空機の機体の特徴(機体種類別)

4.1.1無人航空機の種類と特徴



マルチローター



ラジコン飛行機



無人ヘリコプター

写真-1

回転翼航空機(マルチローター)、回転翼航空機(ヘリコプター)及び飛行機などが該当する。

回転翼航空機(マルチローター)及び回転翼航空機(ヘリコプター)は、垂直離着陸や空中でのホバリングが可能という特徴がある。一方で、飛行機は、垂直離着陸やホバリングはできないが、回転翼航空機に比べ、飛行速度が速く、エネルギー効率がいため、長距離長時間の飛行が可能という特徴がある。さらに、回転翼航空機のように垂直離着陸が可能で、巡行中は飛行機のように前進飛行が可能となる、両方の特徴を組み合わせたパワード・リフト機(Powered-lift)もある。

4.1.2飛行機

(1)機体の特徴

飛行機は回転翼航空機と比べ高速飛行、長時間飛行、長距離飛行が可能であるが、一般に、安全に飛行できる最低速度が決められており、それ未満での低速飛行ができない。水平離着陸には広いエリアが必要であり、高度な操縦技能と飛行制御技術が必要である。

一方、適切な機体設計によって無操縦・無制御でも飛行安定が達成でき、仮に故障などによって飛行中に推力を失っても滑空飛行状態になれば、すぐには墜落しない。

飛行機は、翼に揚力を発生させて自重を支えることができるのが特徴である。このため比較的少ないエネルギーで飛行し、長距離飛行が可能になる。エレベーター(上下ピッチ方向)、エルロン(左右ロール方向)、ラダー(左右ヨー方向)、スロットル(推進パワー)の複合的な操縦で飛行する。(図-10)

離着陸には機体のサイズに合わせた滑走路が必要となる。

滑空するため墜落、不時着する場合の落下地点を狭い範囲に抑えることができない。推力により前進し空気を掴み揚力が生まれるので、回転翼航空機とは違いホバリングや後退、横移動はできない。横方向の移動はバンクターン(旋回)で行う。姿勢安定装置を使用しない場合はバンクターンの操作はエルロンとエレベーターの複合である。過度の低速飛行や過度の上昇角度、過度の旋回半径小により翼面から空気が剥離する失速という状態に陥ることがある。失速時は舵の操作が効かなくなる。これは飛行機にとって極めて危険な状態である。失速を回避するためにも操縦には高い技能が求められる。特に技能が必要なのはマニュアル操縦における離着陸である。

離着陸含めてフルオート飛行を行う場合は、発射装置や回収装置などの地上設備が必要となる場合がある。

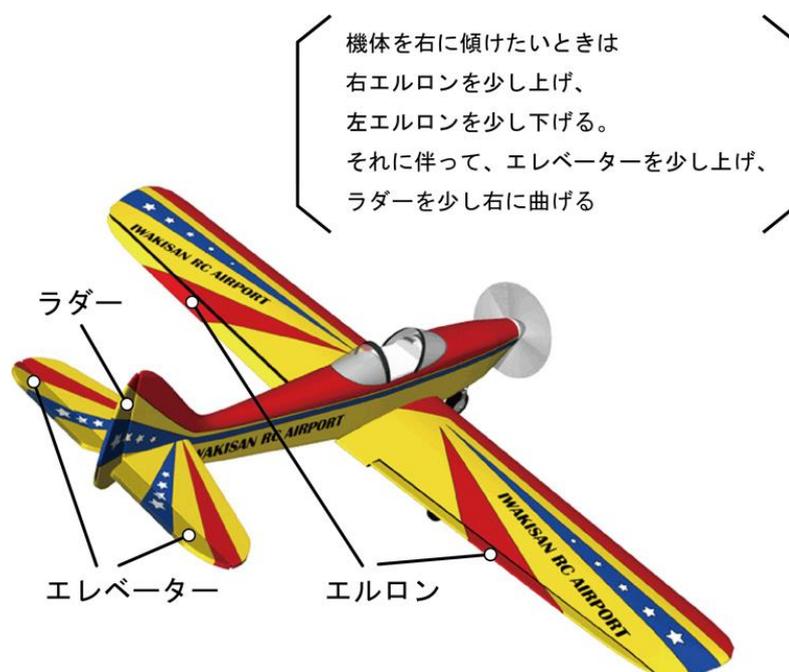


図-10

(2)大型機(最大離陸重量25kg以上)の特徴

大型機(最大離陸重量25kg以上)は主翼面積が大きくなるため、よりペイロード(積載可能重量)を大きくすることができる。ガソリンエンジンなど推進動力の選択肢も広がるのでより長距離・長時間飛行も可能になる。25kg未満の飛行機に比べて風の影響も受けにくくなる。大型機は、事故発生時の影響が大きいことから、操縦者の運航への習熟度及び安全運航意識が十分に高いことが要求される。大型機は機体の慣性力が大きいことから、増速・減速・上昇・下降などに要する時間と距離が長くなるため、障害物回避には特に注意が必要である。緊急着陸地点の選定も小型機より広い範囲が必要となる。一般に小型の機体よりも騒音が大きくなるため、飛行ルート周囲への配慮が必要である。

4.1.3回転翼航空機(ヘリコプター)

(1)機体の特徴

回転翼航空機(ヘリコプター)は、垂直離着陸、ホバリング、低速飛行が可能であるが、これには大きなエネルギー消費がとれない、風の影響を受けやすい。同じ回転翼航空機であるヘリコプター型とマルチローター型で比べると、ヘリコプター型は1組のロータ

ーで揚力を発生させるため、回転翼航空機(マルチローター)に比べローターの直径が大きく、空力的に効率良く揚力を得る事が出来る。

回転翼航空機(ヘリコプター)においては制御により姿勢を安定させ操縦を容易にしている物が多く、特にヨーレート制御はほとんどの機体に装備されている。機体を運動(前後左右上下)させるためにローターの回転面を傾ける機構(スワッシュプレート等)やローターの反トルクを打ち消したり、向き(ヨー方向)を変える操縦に用いるテールローターが必要となり、構造的には複雑となっている。(図-11)



図-1 1

(2)大型機(最大離陸重量25kg以上)の特徴

回転翼航空機(ヘリコプター)において最大離陸重量25kg以上の大型機では慣性力が大きく操舵時の機体挙動が遅れ気味になるため、特に定点で位置を維持するホバリングでは早めに操舵することが必要となる。また一般的に小型の機体よりエンジン騒音やローター騒音が大きくなる。

4.1.4回転翼航空機(マルチローター)

(1)機体の特徴

回転翼航空機(マルチローター)は機体外周に配置されたローターを高速回転させ、上昇・下降や前後左右移動、ホバリングや機体を水平回転させることが出来る。大きなエネルギー消費により、複数のローターを高速回転させ揚力を得て飛行するが、風の影響を受けやすく飛行の安定性を高めるため、フライトコントロールシステムを用いローターの回転数を制御し、機体の姿勢や位置を安定させている。

操縦は送信機に備わるコントロールスティック等を使用して行う。
ローターの数によってそれぞれ呼称が異なる(ローターの数4：クワッドコプター、6：ヘキサコプター、8：オクトコプター)。

モーター性能を同一とした場合、ローターの数が多いほど緻密な制御を行うことができ、飛行の安定性が向上し、ペイロード(積載可能重量)が増える。

ローターの回転方向は、時計回転(CW：クックワイズ)と反時計回転(CCW：カウンタックワイズ)の方向で構成され、反トルクによりの機体の回転バランスを保っている。(図-12)

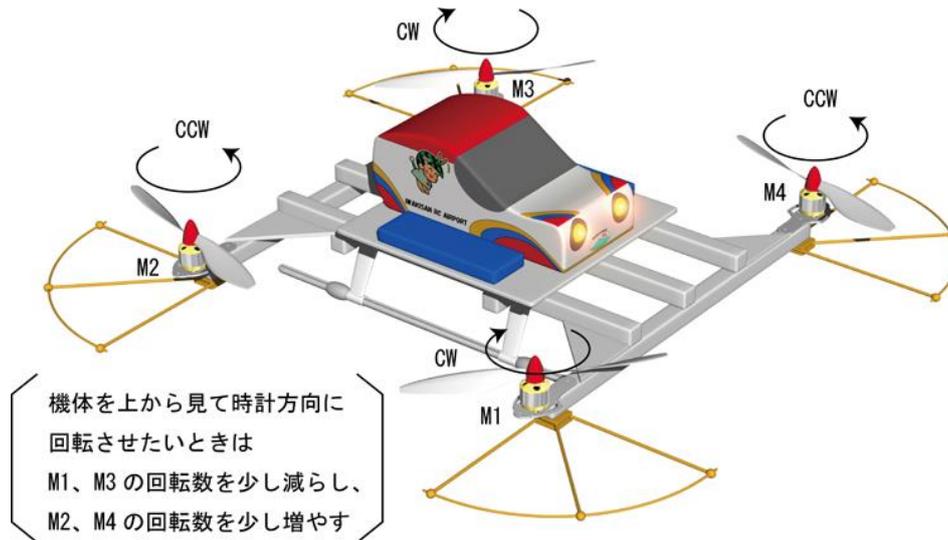


図-1 2

1)上昇、ホバリング、下降

機体に備わる全てのローターを回転させ回転数を増加させていくと、機体重量以上の揚力を得ると上昇し始める。機体重量と揚力が釣り合い、対地高度が安定した状態を継続するとホバリングとなる。

ホバリング状態からローター回転数を下げると降下する。

2)前後、左右移動

機体の前後左右移動は、その指示した側のローターの回転数を下げ、反対側のローター一回転数を上げることで機体が傾き、機体が自転し慣性モーメントにより指示した方向へ移動する。

3)水平回転

ローターの反トルクバランスを崩すと機体の水平回転が始まる。

揚力を得ている状態で、右もしくは左回転を指示すると、指示した回転方向のローターの回転数が下がりトルクバランスが崩れ回転が始まる。

4)機体の動き

回転翼航空機(マルチローター)を操縦する際に、機体の動きを指示するために用いられる用語として以下のものがある。

- スロットル:上昇・下降
- ラダー:機首方向の旋回
- エルロン:左右移動
- エレベーター:前後移動

(2)大型機(最大離陸重量25kg以上)の特徴

回転翼航空機(マルチローター)の最大離陸重量25kg以上の大型機の特徴としては、以下のものが挙げられる。

- 機体の対角寸法やローターのサイズやモーターパワーも大きくなり、飛行時の慣性力も増加し、上昇下降や加減速などに要する時間と距離が長くなる。
- 離着陸やホバリング時の地面効果等の範囲が広がり、高度な操縦技術を要する。
- 飛行時機体から発せられる騒音も大きくなり周囲への影響範囲も広がる。

4.2 無人航空機の機体の特徴(飛行方法別)

4.2.1 夜間飛行

(1) 夜間飛行と日中飛行の違い

航空法では原則として無人航空機は日出から日没までの間において飛行させることになっている。これ以外の夜間(日没から日出までの間)に飛行させる場合は承認が必要である。日没及び日出時刻は地域により異なるため、事前に確認すること。夜間飛行では機体の姿勢や進行方向が視認できないため、灯火を搭載した機体が必要であり、さらに操縦者の手で位置、高度、速度等の情報が把握できる送信機を使用することが望ましい。地形や人工物等の障害物も視認できないため、離着陸地点や計画的に用意する緊急着陸地点、飛行経路中の回避すべき障害物も視認できるように地上照明を当てる。

機体に搭載されたビジョンセンサーが夜間に対応していない場合は、衝突回避・姿勢安定などの安全機能が使用できない可能性があることに注意が必要である。

(2) 夜間飛行のために必要な装備

夜間飛行のための必須装備として、無人航空機の姿勢及び方向が正確に視認できる灯火を有することが求められる。ただし、無人航空機の飛行範囲が照明等で十分照らされている場合は、この限りではない。

4.2.2 目視外飛行

(1) 目視外飛行と目視内飛行の違い

目視外飛行では機体の状況や、障害物、他の航空機等の周囲の状況を直接肉眼で確認することができないので機体に設置されたカメラや機体の位置、速度、異常等の状態を把握することが必要である。

(2) 目視外飛行のために必要な装備

目視外では補助者が配置され周囲の安全を確認ができる場合に必要な装備があり、補助者が配置できず安全を確認できない場合は更に必要な装備が追加される。主なものは、以下のとおり。

① 目視外飛行において補助者が配置され周囲の安全を確認ができる場合に必要な装備

- 自動操縦システム及び機体の外の様子が監視できる装置
- 搭載カメラ：機体の高度、速度、位置、不具合状況等を地上で監視できる装置
- 不具合発生時に対応する危機回避機能(フェールセーフ機能)：電波断絶時の自動帰還や空中停止、GNSS電波異常時の空中停止や安全な自動着陸、電池異常時の発煙発火防止等。

② 補助者を配置しない場合に追加する必要がある装備

- 航空機からの視認性を高める灯火、塗色
- 機体や地上に設置されたカメラ等により飛行経路全体の航空機の状況が常に確認できる装置
- 第三者に危害を加えないことを、製造事業者等が証明した機能
- 機体の針路、姿勢、高度、速度及び周辺の気象状況等を把握できる装置
- 計画上の飛行経路と飛行中の機体の位置の差を把握できる装置

4.3 飛行原理と飛行性能

4.3.1 無人航空機の飛行原理

無人航空機が飛行するためには、重力に対抗する上向きの力を必要とする。飛行機に作用する上向きの力を揚力と言い、主に主翼で発生する。(図-13) 一方、飛行機には飛行速度と逆向きに空気抵抗である抗力が働くが、それに抗するために回転翼であるプロペラ等による推力が必要である。一方、回転翼航空機(ヘリコプター)及び回転翼航空機(マルチローター)においては、重力に対抗する上向きの力はプロペラ(ローター)による推力によって生み出される。機体が運動すると、機体には飛行機と同様に抗力も作用するが、推力の大きさを重力以上にし、機体姿勢を変化させてこれに抗する。これら機体に働く力が釣り合ったとき、機体は速度と姿勢を一定とする定常飛行(釣り合い飛行)を行う。

飛行中の航空機に流入する空気の機体に対する角度を迎角(むかえかく、げいかく)と横滑り角で表す。機体の前後・上下を含む面に空気流入の向きを投影したときに、前後軸とのなす角を迎角という。下方から空気が流入するときに迎角は正である。また、機体の前後・上下を含む面と空気流入の向きの面のなす角を横滑り角という。機体右側から空気流入するときに横滑り角は正である。機体に作用する揚力と抗力などの空気力、モーメントは流入空気の速さとともに、迎角、横滑り角で決まる。

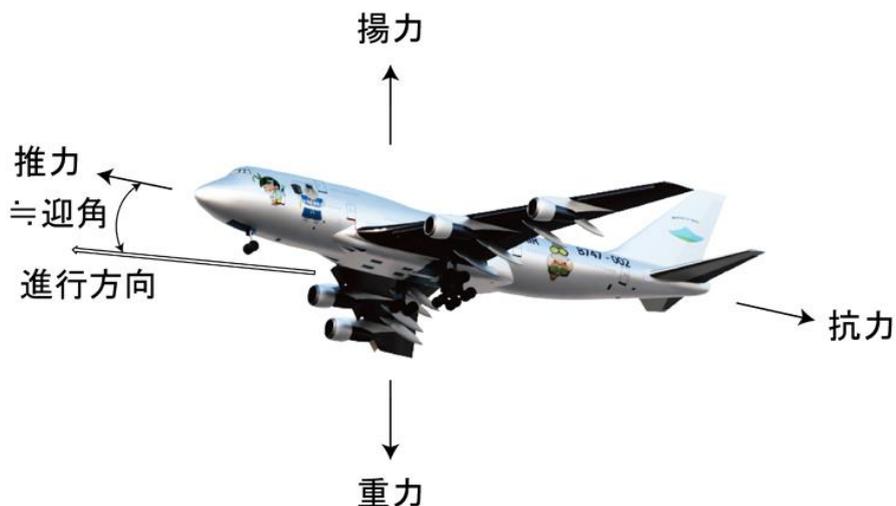


図-1 3

航空機の姿勢はピッチ、ロール、ヨーとよばれる。(図-14) 機体の機首を上げ下げする回転がピッチ、機体を左右に傾ける回転がロール、機体を上から見たときの機首の左右の回転がヨーである。水平状態からのそれぞれの角度をピッチ角、ロール角(バンク角)、ヨー角(方位角)とよび、それらの角速度をピッチ角速度(ピッチング)、ロール角速度(ローリング)、ヨー角速度(ヨーイング)とよぶ。

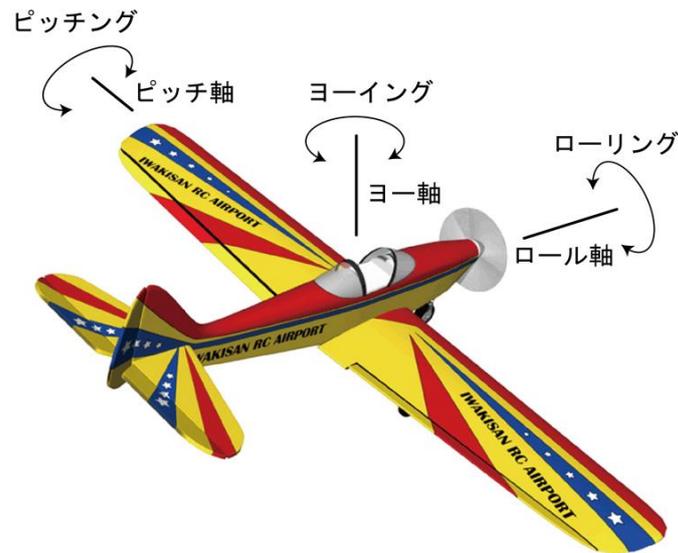


図-1 4

一般に、飛行機はプロペラによる推力によって速さを制御し、また、ピッチ、ロール、ヨーの姿勢を変化させることで飛行速度の向きを制御する。基本的に、ピッチを変化させるための舵が水平尾翼にあるエレベーター(昇降舵)、ロールを変化させるための舵が主翼にあるエルロン(補助翼)、ヨーを変化させる舵が垂直尾翼にあるラダー(方向舵)である(図-10)。

4.3.2揚力発生の特徴

流れる空気の中に翼のような流線形をした物体が置かれると物体には空気力が作用するが、流れと垂直方向に作用する力を揚力、流れの方向に働く力を抗力とよぶ。一般に、翼の断面形状、すなわち翼型は上面の湾曲が下面より大きい形をしており、上面に沿う流速は下面よりも大きく、その結果、上面は下面に比べて大きな負圧の状態になっている。これによって、全体として翼には上向きの揚力が発生する。揚力と抗力の大きさは、流速の2乗、空気密度に比例する。また、翼の前縁と後縁を結ぶ翼弦と流れのなす角を迎角という。空気が下方から流入するときに迎角は正である。一般に、抗力が最小になる迎角で揚力はゼロとなり、迎角が小さい範囲では揚力と抗力は迎角ともに大きくなる。しかしながら、あまり大きな迎角にすると、流れは翼の表面から剥離し、揚力は減じ、抗力が増大する。これを失速とよぶ。

飛行中の飛行機が失速状態に陥ると、機体は急降下を始める。

プロペラは、2枚以上のブレードとよばれる翼が回転して推力を発生する。プロペラの回転にはトルクが必要であり、プロペラを回転させる原動機には反トルクが作用する。

回転翼航空機(マルチローター)はプロペラからの反トルクを相殺するために、偶数個のプロペラを半数ずつ異なる向きに回転させるのが一般である。各プロペラの回転数を変化させ、推力とトルクを変化させてピッチ、ロール、ヨーの運動を行う。

一方、一般的に、回転翼航空機(ヘリコプター)はメインローターの反トルクをテールローターで相殺する。メインローターは1回転する間にブレードのピッチ角を周期的に変化させる可変ピッチ機構を持ち(図-10)、これによって機体のピッチ、ロールの姿勢制御を行い、テールローターの推力を変化させてヨーの姿勢制御を行う。

4.3.3無人航空機の飛行性能〔一等〕

カテゴリーⅢ飛行を行うにあたっては、無人航空機の飛行性能(離陸性能、上昇性能、加速性能、巡行性能、旋回性能、降下性能、着陸性能等)及びこれに影響を与える要因(機体重量、飛行速度、空気密度や風などの大気状態等)について理解することが必要となる。

4.3.4無人航空機へのペイロード搭載

無人航空機には、ペイロードを搭載できない機体を除き、機体ごとに安全に飛行できるペイロードの最大積載量が定められている。ただし、ペイロードの最大積載量とペイロード搭載時の飛行性能は飛行高度、大気状態によっても異なり、また飛行機の場合は離着陸エリアの広さによっても異なる。機体重量が変化すると航空機の飛行特性(安定性、飛行性能、運動性能)は変化するため注意が必要である。機体の重心位置の変化は飛行特性に大きな影響を及ぼすため、ペイロードの有無によって機体の重心位置が著しく変化しないようにしなければならない。

4.3.5飛行性能の基本的な計算〔一等〕

カテゴリーⅢ飛行を行うにあたっては、無人航空機の飛行性能に関わる基本的な計算(機体重量、揚力、推力、空気密度、飛行速度、高度、回転翼の回転速度の関係等)について理解しておく必要がある。

(1)飛行機の揚力・回転翼航空機の推力

飛行機の水平定常飛行においては、機体重量 W 、揚力 L 、空気密度 ρ 、飛行速度 V の間に以下の関係がある。

$$W = L \propto \rho V^2$$

プロペラなどの回転翼の推力 T は、空気密度 ρ 、回転角速度 ω の間に以下の関係がある。

$$T \propto \rho \omega^2$$

回転翼航空機(ヘリコプター)及び回転翼航空機(マルチローター)のホバリング時には、機体重量 W と推力 T の間に以下の関係がある。

$$W = T$$

また、回転翼の消費パワー(仕事率) P は、空気密度 ρ 、回転角速度 ω 、推力 T の間に以下の関係がある。

$$P \propto \rho \omega^3 \propto T \omega$$

大気には標準大気が定められており、空気密度は高度に対して以下の表のように変化する。高度が1000m増加すると、空気密度は約0.9倍になる。

表-4

高度 [m]	空気密度 [kg/m ³]	高度 0m との比
0	1.2250	1.00000
500	1.1673	0.95287
1000	1.1116	0.90746
1500	1.0581	0.86373
2000	1.0065	0.82162
2500	0.95686	0.78111
3000	0.90912	0.74214
3500	0.86323	0.70468

例えば、高度 3000mでの空気密度は高度 0m と比べると、0.74 倍になる。そのため、飛行機が同じ飛行速度で飛行するならば揚力は0.74 倍になる。そこで

$\sqrt{1/0.74} \approx 1.16$ 倍の飛行速度が必要である。回転翼航空機の場合も、同じ回転角速度で発生する回転翼の推力は 0.74 倍になり、同じ機体重量の回転翼航空機を飛行させるためには $\sqrt{1/0.74} \approx 1.16$ 倍の回転翼の回転角速度が必要であり、そのために必要な消費パワーは $(\sqrt{1/0.74})^3 = \sqrt{(1/0.74)^3} \approx 1.6$ 倍になる。

ペイロードが搭載されるなどして飛行機の機体重量が2倍になると、2倍の揚力が必要となり、高度などの他の条件が同じであれば、 $\sqrt{2} \approx 1.4$ 倍の機体速度が必要である。回転翼航空機の場合、機体重量が2倍になると、2倍の推力が必要となり、高度などの条件が同じであれば、 $\sqrt{2} \approx 1.4$ 倍の回転翼の回転角速度が必要で、消費パワーは $(\sqrt{2})^3 = \sqrt{2^3} \approx 2.8$ 倍になる。

飛行機において、機体重量が2倍になると、揚力が2倍必要になり、同じ迎角で飛行するためには $\sqrt{2} \approx 1.4$ 倍の飛行速度が必要になる。飛行中に速度を落としていくと、揚力を得るためには迎角を大きくしなければならない。しかし、迎角が大きくなりすぎると失速する。すなわち、飛行機には最低飛行速度（失速速度）が存在する。飛行速度の増加が必要ということは最低速度もそれに比例して増加することを意味する。すなわち、飛行機の機体重量が2倍になると、最低速度は1.4 倍となる。

(2)飛行機の旋回半径

飛行機がバンク角（ロール角） ϕ の定常旋回飛行を行うためには、力のつり合いから、水平定常飛行と比べて $1/\cos\phi$ 倍の揚力が必要であり、飛行速度 V 、旋回半径 r 、重力加速度 g の間に以下の関係がある。

$$\frac{V^2}{r} = g \tan \phi$$

例えば、飛行速度 10 m/s 、バンク角 20° の場合の旋回半径 r は、重力加速度 $g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$ 、 $\tan 20^\circ \approx 0.36$ であるので、以下のように求められる。

$$r = \frac{V^2}{g \tan \phi} = \frac{10^2}{9.8 \times 0.36} \approx 28 \text{ m}$$

また、 $\cos 20^\circ \approx 0.94$ であるので、1.06 倍の揚力が必要である。

(3)飛行機の滑空距離

飛行機の滑空時に飛行経路が水平面となす角を滑空角（降下角）とよぶ。無推力の定常滑空飛行状態での滑空角 γ は、揚力 L 、抗力 D によって以下のように求められる。

$$\tan \gamma = \frac{1}{L/D}$$

よって、ある高度 h からの滑空距離 d は以下のように求められる。

$$d = \frac{h}{\tan \gamma} = h \times L/D$$

ここで、 L/D は揚抗比である。

例えば、揚抗比15の無推力の定常滑空飛行状態であれば、滑空角 γ は

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{1}{15} \approx 3.8^\circ$$

となり、高度 $h = 100 \text{ m}$ からの滑空距離 d は、

$$d = 100 \times 15 = 1500 \text{ m}$$

となる。

(4)水平到達距離（水平投射の場合）

高度 h を飛行する飛行速度 v の無人航空機が、揚力を失い落下を始める場合を考える。無人航空機を質点とみなせるものとし、空気抵抗は無視できると仮定すると、落下開始地点から地上に墜落するまでの水平距離 x は、

$$x = v \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

で求めることができる。但し、 g は重力加速度である。

4.4 機体の構成

4.4.1 フライトコントロールシステム

(1) フライトコントロールシステムの基礎



写真-2（フライトコントローラー）

フライトコントロールシステムは、搭載されている各種センサ(GPS、ジャイロ、加速度、方位、高度等)からの情報や送信機から発信された情報を処理し機体を制御するための信号を送るシステムである。

なお、センサ類は、キャリブレーションを必要とするものが多いため、各機体で指定された方法で、キャリブレーションが正しく行われているかを常に注意する必要がある。フライトコントロールシステムを構成する一般的なデバイスには以下のものがある。

表-5

種類	機能・特徴
GNSS (Global Navigation Satellite System)	人工衛星の電波を受信し、機体の地球上での位置・高度を取得するデバイス。GPS(Global Positioning System等)
ジャイロセンサ	回転角速度を測定するデバイス。
加速度センサ	加速度を測定するデバイス。
IMU (Inertial Measurement Unit)	3軸のジャイロセンサと3方向の加速度センサ等によって3次元の角速度と加速度を検出する装置。また、メーカーによっては気圧センサを含む場合もある。
地磁気センサ	機体が向いている方向を地磁気を用いて取得するデバイス。
高度センサ	レーザーや気圧センサなどを用い地上からの高度を取得するデバイス。

メインコントローラー	GPSなどの各種センサの情報と送信機の指令をもとに、機体の姿勢を制御するデバイス。
送信機	操作の指令を機体へ送信する、又は機体情報を受信するデバイス。
レシーバー	送信機の情報を受け取る受信機又は送受信機。

(2)無人航空機の飛行に用いられる各種センサの原理及び使用環境

1)ジャイロセンサ

ジャイロセンサは、単位時間当たりの回転角度の変化を検出する装置であり、これにより、風などで機体が傾いたときに、無人航空機の傾きや向きの変化を検出し、フライトコントロールシステムに情報を伝える。

2)加速度センサ

加速度センサは3次元の慣性運動(直行3軸方向の並進運動)を検出する装置であり、無人航空機の速度の変化量を検出するセンサである。ジャイロセンサと合わせて機体の姿勢を制御する。

3)地磁気センサ

地磁気センサは、地球の磁力を検出して方位を測定する。

4)高度センサ

高度の計測には主に以下のセンサがある。気圧センサは、気圧の変化を歪みゲージを利用して読み取り高度を計測する。超音波センサは音波の反射時間から高度を計測する。

LiDAR(ライダー : Light Detection And Ranging / 光による検知と測距)※はレーザー光(赤外線)を照射し反射時間から高度を計測する。

※Detection (ディテクション / 検出、検知)

Ranging (レンジング / 距離を測る)

4.4.2無人航空機の主たる構成要素

(1)無人航空機で使われる電気・電子用語について

電池に関する用語、単位、求め方及びその概要は以下のとおりである。

表-6

用語	単位	求め方	概要
電圧	V	抵抗(R)・電流(A)	<ul style="list-style-type: none"> ●電圧は、電池残量(現時点で放電できる電気量)で決まる。電池の残量が減ると電池の電圧は下がる。 ●放電(飛行)中の電圧降下は、電気回路の負荷抵抗とバッテリーの内部抵抗によって決まる。
出力	W	放電時電圧(V)×電流(A)	<ul style="list-style-type: none"> ●単位時間当たりのエネルギー量を表す。 ●出力が一定の場合、電池残量が少なくなると、放電時電圧が低下するため、電流は増大する。
容量	Ah	電流(A)×時間(h)	<ul style="list-style-type: none"> ●満充電から、電圧が決められた最低電圧(終止電圧)になるまでの間に、利用できる電気量。

			●放電時の電流の大きさや温度によって、利用可能な容量は変化する。
エネルギー容量	Wh	放電時電圧(V)×電流(A)×時間(h)	●容量と同様に、電流や温度によってエネルギー容量は変化する。
充電率	%	現時点で放電できる電気量(Ah)	●満充電で放電できる電気量と現時点で放電できる電気量の比率を表す。
		満充電時に放電できる電気量(Ah)	●0%は仕様上の完全放電状態を、100%は満充電状態を表す。

(2) モーター、ローター、プロペラについて

電動の無人航空機においてローターを駆動するモーターには、ブラシモーターとブラシレスモーターがあり、ブラシレスモーターの特徴は、メンテナンスが容易(モーター内部の清掃、ブラシの交換が不要等)、静音、長寿命であることが挙げられる。また、ローターは通常回転方向(時計回転(CW:クックワイズ)・反時計回転(CCW:カウンタークックワイズ))に合わせた形状となっており、モーターの回転方向に合わせて取り付けるよう注意が必要である。



写真-3 (ブラシレスモーター)



写真-4 (ローター / ブレード)

(3) モーター制御について

モーターの回転数はESC (Electric Speed Controller / エレクトリックスピードコントローラー) により制御されており、モーターで駆動されたローターの回転数を増減させることにより揚力や推力を変化させている。



写真-5 (ESC / アンプ)

4.4.3送信機

(1)送信機から無人航空機へ送信される指令の流れ

無人航空機への指令は送信機から機体へ送られる。機体では、受信機が指令を受け取りメインコントローラーからモーター又はサーボを駆動させ機体を操縦している。



図-1 5 (送信機 / プロポ)



写真-6 (受信機 / レシーバー)

(2)送信機の信号について [一等]

送信機の信号は、同じ周波数帯が密集しているような場所では複数の電波が干渉して混信による誤作動が起きる可能性がある。電波混信の予防として飛行させる前に測定器などで周辺の電波の状態を確認することが望ましい。無人航空機で使用される送信機からの電波だけでなく、無線LANやwi-Fi、高圧送電線の影響を受ける場合もあるため、周辺環境の確認が必要である。

(3)送信機の操縦と機能について

無人航空機は、送信機のスティックを操作して、機体の重心を中心とする3軸の回転(ピッチ(機首を上下する回転)、ロール(機体を左右に傾ける回転)、ヨー(機首の左右への旋回))やローターの推力の増減といった機体の動きの制御を行う。以下のとおりスティック操作による機体の動きの割り当てはモードにより異なる。また、スティックのニュートラル位置を調整するためのトリムスイッチがある場合もある。

①回転翼航空機の場合（図-15）

- (a)スロットル:ローターの推力(揚力)の増減(機体の上昇・下降)
(モード1)右側スティックの上下操作
(モード2)左側スティックの上下操作
- (b)エレベーター:ピッチ方向の操作(機体の前後移動)
(モード1)左側スティックの上下操作
(モード2)右側スティックの上下操作
- (c)エルロン:ロール方向の操作(機体の左右移動)
(モード1/モード2)右側スティックの左右操作
- (d)ラダー:ヨー方向の操作(機首の左右旋回)
(モード1/モード2)左側スティックの左右操作

②飛行機の場合

- (a)スロットル:プロペラの推力の増減(機体の前進速度)
(モード1)右側スティックの上下操作
(モード2)左側スティックの上下操作
- (b)エレベーター:ピッチ方向の操作(機体の上昇・下降)
(モード1)左側スティックの上下操作
(モード2)右側スティックの上下操作
- (c)エルロン:ロール方向の操作
(モード1/モード2)右側スティックの左右操作
- (d)ラダー:ヨー方向の操作
(モード1/モード2)左側スティックの左右操作

4.4.4機体の動力源

(1)機体の動力源について

無人航空機の機体の動力源として主に、電動機かエンジンが使用されている。電動機のメリットは、振動、騒音が少ないため軽量化できるが、飛行時間が短いというデメリットがある。エンジン機のメリットは、飛行時間が長く長距離飛行が可能であるが、エンジンによる騒音が電動に比べ大きいというデメリットがある。

(2)バッテリーの種類と特徴

1)リチウムポリマーバッテリーの特徴

リチウムポリマーバッテリーはゲル状のポリマー電解質を採用したリチウムイオンバッテリーであり、多くの無人航空機に使用されている。

リチウムポリマーバッテリーには、エネルギー密度が高い、電圧が高い、自己放電が少ない、メモリ効果(充電容量が次第に減少する効果)が小さい、電解質が可燃物である等の特徴がある。



写真-7 (リチウムポリマーバッテリー)

2)リチウムポリマーバッテリーの取り扱い上の注意点

リチウムポリマーバッテリーの取り扱い上の注意点として以下のことが挙げられる。

- 充電器は満充電になると充電を停止するが、過充電となる場合があるので、満充電後はコネクタを外す。
- 過放電や過充電を行うと、急速に劣化が進み、寿命が短くなる。
- 過放電や過充電の状態では、通常利用時よりも多くのガスがバッテリー内部に発生し、バッテリーを膨らませる原因となる。
- バッテリーが強い衝撃を受けた場合、発火する可能性がある。
- バッテリーのコネクタの端子が短絡した場合、発火する可能性がある。
- 充放電の繰返しによって内部抵抗が大きくなり、出力できる電流が減少する。

3)複数のセルで構成されたリチウムバッテリーの取扱上の注意

セル間の充電量のバランスを補正しながら充電することが重要である。バランスが著しく崩れたまま充電を行うとセル間の電圧差が生じ、セルによって過放電となる現象が起こり、急速に劣化が進む。そのため、セル間の充電量のバランスをとるバランスコネクタがついているタイプは、充電時にそのコネクタを充電器へ接続することが重要である。

(3)エンジンについて

エンジン機は、エンジンの回転を動力にローターを回転させ揚力と推力を得ている。エンジンには2ストロークエンジン、4ストロークエンジン、グローエンジン等の種類がある。エンジンの種類により、潤滑方式、燃焼サイクル、点火温度等が異なる。燃料にも種類があり、それぞれのエンジンでメーカーが指定する燃料を適切に扱う必要がある。燃料にオイル等を混ぜた混合燃料を使用する場合は、適切な混合比での使用が必要である。

4.4.5物件投下のために装備される機器

無人航空機で物件投下する機器は、救命機器を機体から落下させる装置や農薬散布のために液体や粒剤を散布する装置などがある。物件投下装置は、意図せず物件が落下しない構造となっているが、投下装置の多くは、搭載位置や対象物や手順などが定められているため、各投下装置の特性と機能を熟知しなければならない。特に、物件投下用のウインチ機構で吊り下げる場合は、物件の揺れ、投下前後の重心の変化に注意しなければならない。

農薬散布する装置の多くは、それぞれ決められた飛行速度、飛行高度、飛行の幅などが定められている。ただし、風などの影響で対象区域より飛散する可能性があるため、第三者や第三者の土地に農薬が誤って散布しないように配慮しなければならない。

4.4.6機体又はバッテリーの故障及び事故の分析

(1)機体の故障や事故の分析について〔一等〕

無人航空機の多くは、機体の異常情報を機体本体または送信機のランプや音などで知らせる機能を有している。また、飛行軌跡や機体の情報(フライトデータ)を記録している機種もあり、事故の原因分析を詳細に確認することも可能である。

(2)リチウムポリマーバッテリーに関わる電氣的なトラブル〔一等〕

リチウムポリマーバッテリーに関わる主な電氣的トラブルを以下に示す。

- 満充電のリチウムポリマーバッテリーを使用し無人航空機を急上昇させた場合、直後にバッテリー残量が減った様に見えることがある。これはバッテリーから大きな電流が流れたことで一時的な電圧低下が生じることが原因である。
- 冬季の飛行では飛行時間が半減することがある。気温が低下すると放電能力が極端に低下するためである。
- リチウムポリマーバッテリーは高密度なエネルギーを大容量で出力できるが、バッテリー残量が減り、電圧低下してくると急激に出力が弱くなり、墜落の原因となるので注意する。

4.5 機体以外の要素技術

4.5.1電波

(1)電波の特性

1)直進、反射、屈折、回折(かいせつ)、干渉、減衰

電波の性質の種類と特徴は以下のとおりである。電波には障害物等の後ろに回り込む回折という性質、異なる媒質にぶつかると透過、反射あるいは屈折する性質、周波数の近い電波が重なると電波干渉が発生しお互いを減衰させる性質などがある。2.4GHzの電波は回折しにくく直進性が高いため障害物の影響を受けやすくなる。

表-7

性質の種類	性質の特徴
直進	電波は、進行方向に障害物が無い場合は直進する。
反射、屈折	電波は、2つの異なる媒質間を進行するとき、反射や屈折が起こる。常に反射の法則(入射角と反射角の大きさは等しい)が成り立つ。
回折	電波は、周波数が低い(波長が長い)ほど、より障害物を回り込むことができるようになる。
干渉	電波は、2つ以上の波が重なると、強め合ったり、弱め合ったりする。
減衰	電波は、進行距離の2乗に反比例する形で電力密度が減少する(進行距離が2倍になると電波の電力密度は1/4になる)。周波数により特性は異なるものの、電波は水中では吸収されて大きく減衰される。

2)マルチパス (図-16)

送信アンテナから放射された電波が山や建物などによる反射、屈折等により複数の経路を通過して伝搬される現象をマルチパスという。反射屈折した電波は、到達するまでにわずかな遅れを生じ、一時的に操縦不能になる要因の一つとなっている。マルチパスによって電波が弱くなり一時的に操縦不能になった場合は送信機をできるだけ高い位置に持ちアンテナの向きを変えて操縦の復帰を試みる。

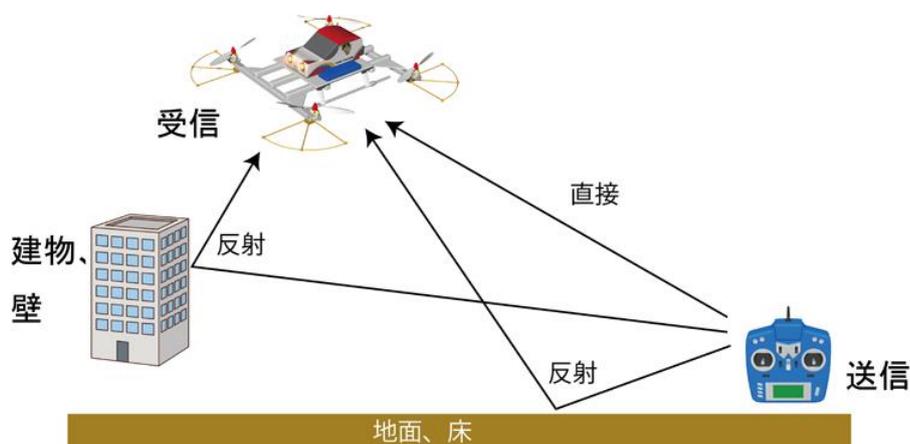


図-16 (マルチパス)

3)フレネルゾーン (図-17)

フレネルゾーンとは無線通信などで、電力損失をすることなく電波が到達するために必要とする領域のことをいう。無線通信での「見通しが良い」という表現は、フレネルゾーンがしっかり確保されている状態であることを意味する。

フレネルゾーンは、送信と受信のアンテナ間の最短距離を中心とした楕円体の空間で、この空間は無限に広がるが、電波伝搬で重要なのは第1フレネルゾーンと呼ばれる部分である。このフレネルゾーン内に壁や建物などの障害物があると、受信電界強度が確保されず通信エラーが起こり、障害物がない状態に比べて通信距離が短くなる。

このフレネルゾーンの半径は周波数が高く(波長が短く)又はお互いの距離が短くなればなるほど小さくなる(2.4GHz帯、5.7GHz帯の場合、2地点が100m離れたケースでは2m以下)。地面も障害物となるため、フレネルゾーンの半径を考慮してアンテナの高さを十分に確保する必要がある。

一般的にフレネルゾーン半径の60%以上を確保すれば自由空間と同じ特性を得られるとされている。

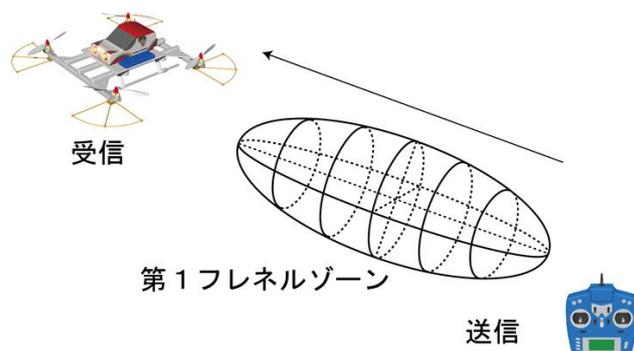


図-17 (フレネルゾーン)

(2)無人航空機の運航において使用されている電波の周波数帯・用途

無人航空機の運航において使用されている主な電波の周波数帯は、2.4GHz帯、5.7GHz帯、920MHz帯、40MHz帯、72MHz帯、73MHz帯、169MHz帯である。169MHz帯は主に2.4GHz帯及び5.7GHz帯の無人移動体画像伝送システムの無線局のバックアップ回線として使用される。電波の周波数帯や出力、使用するアンテナの特性、変調方式、伝送速度などによって通信可能な距離は変動する。

(3)無人航空機以外も含めた日本の電波の利用状況〔一等〕

電波の特性として、波長が長い程直進性が弱く情報伝達容量が小さくなるが減衰はしにくい。逆に波長が短い程直進性が強く情報伝達容量が大きくなるが減衰はしやすい。

無人航空機の制御用通信に多く使用される極超短波(UHF : Ultra High Frequency)は10cm～1mの波長で、超短波(VHF : Very High Frequency)に比べて直進性が更に強くなるが、多少の山や建物の陰には回り込んで伝わる事ができる。伝送できる情報量が大きく、小型のアンテナと送受信設備で通信できることから、携帯電話や業務用無線、アマチュア無線、無人航空機など多種多様な移動通信システムを中心に、地上デジタルTV、空港監視レーダー、電子タグ、電子レンジ等幅広く利用される。

マイクロ波は1～10cmの波長で、直進性が強い性質を持つため特定の方向に向けて発射するのに適している。伝送できる情報量が非常に大きいことから、衛星通信、衛星放送や無人航空機の画像伝送、無線LANに利用される。レーダーもマイクロ波の直進性を活用したシステムで、気象レーダーや船舶用レーダー等に利用される。

(4)電波の送信、受信に関わる基本的な技術

送信機のアンテナから発射される電波の強さは、方向により異なる(無指向性のアンテナの場合は、アンテナの周囲に対して同様に発射される)。アンテナの角度は調整できるので、操縦時の送信機の持ち方や無人航空機の位置を考慮して最適なアンテナ角度を設定する必要がある。

(5)電波の特性に伴って発生する運航上のトラブルの調査・分析〔一等〕

外来電波や他の設備・機器からのノイズにより無線設備の通信環境が不安定になることがある。電波環境の調査として、スペクトラムアナライザを用いて、使用している周波数と同じ電波が現地エリアで使用されている状況や、他の設備・機器からノイズが発生していないかを確認する方法がある。様々な無線局が散在する市街地での飛行のためには、電波環境の調査は非常に重要である。

(6)電波と通信に関わる基本的な計算〔一等〕

カテゴリⅢ飛行を行うにあたっては、電波と通信に関わる基本的な計算(周波数帯や送受信間距離を踏まえ必要となるアンテナの高さ等)について理解しておく必要がある。

1) フレネルゾーン半径と必要なアンテナの高さ

フレネルゾーンの半径 : $R(m)$ 、送受信アンテナ間距離 : $D(m)$ 、使用周波数 $f(Hz)$ 、波長 : $\lambda(m)$ とすると、これらの間には以下の関係がある。

$$R = \sqrt{\lambda \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{1}{D}}$$

上記式を用いた、送受信アンテナ間距離：100m、使用周波数：2.4GHz のときのフレネルゾーンの半径の具体的な導出方法を以下に示す。

上記の前提条件より、

- 送受信アンテナ間距離：D=100m
- 使用周波数： $f = 2.4 \times 10^9 \text{Hz}$
- 波長： $\lambda = (3 \times 10^8) \div (2.4 \times 10^9) = 0.125 \text{m}$ (光の速度を $3 \times 10^8 \text{m/s}$ とした場合) と求めることができる。

以上より、フレネルゾーンの半径 R は、

$$R = \sqrt{\lambda \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{1}{D}} = \sqrt{\lambda \times \frac{D}{4}} = \sqrt{0.125 \times \frac{100}{4}} \approx 1.77 \text{m}$$

よって理想的なアンテナの高さは 1.77m以上となる。

なお、実際にはフレネルゾーン半径の60%以上のアンテナ高さが確保できていれば、フレネルゾーンに障害物がない場合と同等の通信品質を確保できるといわれている。この条件にて必要なアンテナの高さを計算すると、 $1.77 \times 0.6 \approx 1.1 \text{m}$ 以上となる。

4.5.2磁気方位

(1)地磁気センサの役割について

地磁気センサにより、地球の磁気を検出することで機体の向き(方位)や姿勢を知ることができる。地磁気センサは正常な方位を計測しない場合があるが、それは磁力線が示す北(磁北)と地図の北に偏角が生じるためである。

(2)飛行環境において磁気に注意すべき構造物や環境について

地磁気を検出には、鉄や電流が影響を与える。一般的に影響を与えるものは、高圧線や変電所、電波塔、鉄材を多く使用された建物、新幹線や電車の鉄道、自動車、鉄板など鉄材が多く埋め込まれた場所などがあげられる。機体の姿勢や進行方向に影響を与える場合がある。

(3)無人航空機の磁気キャリブレーションについて

無人航空機の磁気キャリブレーションとは、飛行前にその場所の地磁気を検出して方位を取得し、GNSS機能やメインコントローラーに認識させることである。磁気キャリブレーションが正しく行われていないと、機体が操縦者の意図しない方向へ飛行する可能性がある。飛行させる場所により、地磁気の方法は異なるので、磁気キャリブレーションを行うことが重要である。

4.5.3GNSS

(1)GNSSについて

GPS(Global Positioning System)は、アメリカ国防総省が、航空機等の航法支援用として開発したシステムである。GPSに加え、ロシアのGLONASS、欧州のGalileo、日本のQZSS(キューゼットエスエス / 準天頂衛星システム※)等を総称してGNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)と言う。

GNSSは最低4個以上の人工衛星からの信号を同時に受信することでその位置を計算することができる。(図-18) 機体に取り付けられた受信機により最低4基以上の人工衛

星からの距離を同時に知ることにより、機体の位置を特定している。なお、安定飛行のためには、より多くの人工衛星から信号を受信することが望ましい。

※ QZSS: Quasi-Zenith Satellite System (クイザイ ジーネス サテライト システム)

Quasi (準、ほとんど)

Zenith (天頂、観測者の真上)

みちびきから発信される信号 : L1C(1575.42MHz)、
L2C(1227.60MHz)等

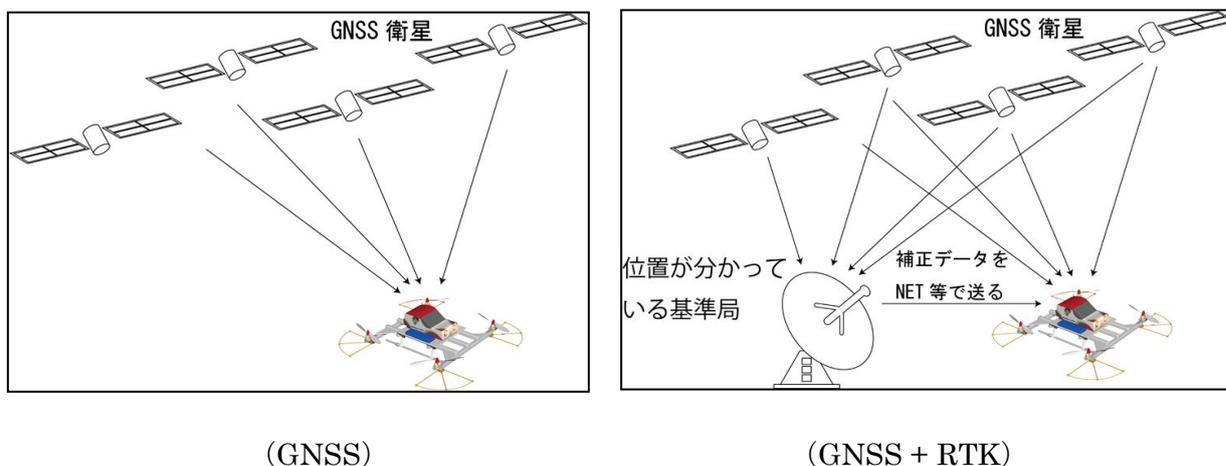


図-18 (GNSS と GNSS+RTK)

(2)GNSSとRTKの精度

GPS測位での受信機1台の単独測位の精度は数十mの精度である。測位方式として固定局と移動局の2つの受信機を使用するRTK(Real Time Kinematic / リアルタイムキネマテック) ※ (図-18) やDGPS(Differential Global Positioning System)などの技術が確立され、これらの測位方式はcm~数mレベルの精度の高い測位が可能である。

※ Real Time : 即時に、時間の遅れなく

Kinematic : 運動学的な、動画、映画、キネマ、シネマ、動きながら

(3)GNSSを使用した飛行における注意事項について

自動操縦では手動操作よりも高精度なGNSS測位が必要である。自動操縦のためにあらかじめ地図上で設定したWay PointはGNSSの測位精度の影響を受けるため、精度が悪化した場合は実際の飛行経路の誤差が大きくなる。

GNSSの測位精度に影響を及ぼすものとしては、GNSS衛星の時計の精度、捕捉しているGNSS衛星の数、障害物などによるマルチパス、受信環境のノイズなどが挙げられる。受信機は、周囲の地形や障害物の状況を考慮して設置する必要がある。一般的に位置精度は、水平方向に比べ高度方向の誤差が大きくなる。

4.6 機体の整備・点検・保管・交換・廃棄

4.6.1 電動機における整備・点検・保管・交換・廃棄

(1) 運航者が実施すべき、定期的な整備・点検項目

運航者(無人航空機を運航する者をいう。以下同じ。)は、飛行前後だけでなく、無人

航空機毎に定められた一定の期間や一定の総飛行時間ごとに整備点検を行う必要がある。そのため、各機体メーカーが設定する整備内容を熟知し、必要なタイミングで修理等の整備を行う必要がある。

(2) リチウムポリマーバッテリーの保管方法

リチウムポリマーバッテリーの保管方法における主な留意点は以下のとおり。

- バッテリーの劣化を遅らせるため、長期間使用しない時は充電60%を目安に保管すること。満充電の状態での保管又は飛行後の放電状態での保管は、電池の劣化が進みやすく電池が膨らみ、使用不可になることが多いので行わないこと。
- 短絡すると発火する危険があるため、バッテリー端子が短絡しないように細心の注意を払うこと。
機体コネクタとバッテリーを接続したままにしないこと。
- 万が一発火しても安全を保てる不燃性のケースに入れ、突起物が当たってバッテリーを傷つけない状態で保管すること。
- 落下させるなど衝撃を与えないこと。
- 水に濡らさないこと。
- バッテリーを高温(35℃超)になる環境で保管しないこと。

(3) リチウムポリマーバッテリーの交換

交換時期のチェックが特に重要なものとして、リチウムポリマーバッテリーが挙げられる。

リチウムポリマーバッテリーが膨らんでいる場合は、過充電などでバッテリー内部に可燃性ガスが発生している可能性があるため、早めに交換を行う。

(4) リチウムポリマーバッテリーの廃棄方法

3～5%の食塩水(水1ℓに対し、食塩30g～50g)にリポを入れて、換気の良い場所で、3日以上放置し放電する。その後、各地方自治体のルールに従って廃棄しなければならない。事業で用いたリチウムポリマーバッテリーを廃棄する場合は、法律に則り「産業廃棄物」として廃棄する。

4.6.2 エンジン機における整備・点検

エンジン機においては、飛行前後以外に一定の期間又は一定の総飛行時間毎に、メーカーが定めた整備項目を整備手順に従って実施する。運航者のエンジンの整備に関する知識及び技能が不足している場合は、専門の整備業者に依頼する。

5. 無人航空機の操縦者及び運航体制

5.1 操縦者の行動規範及び遵守事項

5.1.1 操縦者の義務

(1) 操縦者の義務の概要

航空法においては、無人航空機を安全に飛行させるため、操縦者に対して様々な義務を課している。

これらには、無人航空機を飛行させる者として遵守することが求められる規範ともいうべき根本的なルールが含まれている。

(2)カテゴリーⅢ飛行の操縦者に追加で義務付けられる事項〔一等〕

カテゴリーⅢ飛行を行う場合には、操縦者は一等無人航空機操縦士の技能証明の取得が必要である。

また、その運航の管理が適切に行われることについて、国土交通大臣の許可・承認を受ける必要があるが、運航管理体制の構築に当たっては、操縦者がリスクの高い飛行を行うことについて無人航空機を飛行させる者としての責任を自覚し、運航の中心的な役割を果たさなければならない。

5.1.2運航時の点検及び確認事項

(1)安全運航のためのプロセスと点検項目

安全に運航するために点検プロセスを定め、そのプロセスごとに点検項目を設定する。点検プロセスは機体メーカーの指示する内容に従って実施すること。

1)運航当日の準備

運航当日の準備では、必要な装置や設備の設置を行い、飛行に必要な許可・承認や機体登録等の有効期間が切れていないかを確認する。

2)飛行前の点検

飛行前の点検は必ず機体を飛行させる前に都度行うべき最終点検である。ここではバッテリーのチェックや機体の異常チェックなど無人航空機が正常に飛行できることを最終確認する。

3)飛行中の点検

飛行中の点検は飛行中に行うべき点検である。ここでは、飛行中の機体の状態チェックや、飛行している機体の周囲の状況を確認する。

4)飛行後の点検

飛行後の点検は、無人航空機が飛行を終えて着陸したあとに行うべき点検である。ここでは飛行の結果、無人航空機の各部品の摩耗等の状態を確認する。

5)運航終了後の点検

運航終了後の当日の運航が終了したあとに行うべき点検である。ここでは無人航空機やバッテリーを安全に保管するための点検や、飛行日誌の作成などを確認する。

6)異常事態発生時の点検

飛行中に異常事態が発生した際に確認するべき点検である。ここでは危機回避行動を行い、安全に着陸するための確認項目を確認する。

(2)運航者がプロセスごとに行うべき点検について

以下にはプロセスごとに行うべき点検項目の例を挙げているが、運航する無人航空機の特性やその運航方法によって、必要な点検などを追加で行う必要がある。

表-8

プロセス	点検項目の例
飛行前の準備	<ul style="list-style-type: none"> ①無人航空機の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・無人航空機の登録及び有効期間 ・無人航空機の機体認証及び有効期間並びに使用の条件(運用限界) ・整備状況等 ②操縦者の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・技能証明の等級・限定・条件及び有効期間 ・操縦者の操縦能力、飛行経験、訓練状況等 ③飛行空域及びその周囲の状況の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・第三者の有無、地上又は水上の状況(住宅、学校、病院、道路、鉄道等) ・航空機や他の無人航空機の飛行状況、空域の状況(空港・ヘリポート、管制区域・航空路等) ・障害物や安全性に影響を及ぼす物件(高圧線、変電所、電波塔、無線施設等)の有無 ・小型無人機等飛行禁止法の飛行禁止空域、緊急用務空域、飛行自粛空域等の該当の有無等 ④気象の状況の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・最新の気象状況(天気、風向、警報、注意報等) ⑤航空法その他の法令等の必要な手続き <ul style="list-style-type: none"> ・国の飛行の許可・承認の取得 ・必要な書類の携行(技能証明書、飛行日誌、飛行の許可・承認書等) ・航空法以外の法令等の必要な手続き等 ⑥立入管理措置・安全確保措置 <ul style="list-style-type: none"> ・飛行マニュアルの作成 ・第三者の立入りを管理する措置 ・安全管理者や補助者等の配置・役割・訓練状況 ・緊急時の措置(緊急着陸地点や安全にホバリング・旋回ができる場所の設定等)等 ⑦飛行計画の策定及び通報 <ul style="list-style-type: none"> ・上記事項を踏まえ飛行計画を策定 ・ドローン情報基盤システム(飛行計画通報機能)に入力し通報
飛行前の点検	<ul style="list-style-type: none"> ①各機器は安全に取り付けられているか(ネジ等の脱落やゆるみ等) ②発動機やモーターに異音はないか ③機体(プロペラ、フレーム等)に損傷やゆがみはないか ④燃料の搭載量又はバッテリーの充電量は十分か ⑤通信系統、推進系統、電源系統及び自動制御系統は正常に作動するか ⑥登録記号(試験飛行届出番号及び「試験飛行中」)について機体に表示されているか ⑦リモートID機能が正常に作動しているか(リモートID機能を有する機器を装備する場合) (例)リモートID機能が作動していることを示すランプが点灯していることの確認
飛行中の監視	<ul style="list-style-type: none"> ①無人航空機の飛行状況 <ul style="list-style-type: none"> ・無人航空機の異常の有無 ・計画通りの経路・高度・速度等の維持状況 ②飛行空域及びその周囲の気象の変化 ③飛行空域及びその周囲の状況 <ul style="list-style-type: none"> ・航空機及び他の無人航空機の有無 ・第三者の有無等

異常事態発生時の措置	①あらかじめ設定した手順等に従った危機回避行動をとる ②事故発生時には、直ちに無人航空機の飛行を中止し、危険を防止するための措置を取る ・負傷者がいる場合はその救護・通報 ・事故等の状況に応じた警察への通報 ・火災が発生している場合の消防への通報等 ③事故・重大インシデントの国土交通省への報告
飛行後の点検	①機体にゴミ等の付着はないか ②各機器は確実に取り付けられているか(ネジ等の脱落やゆるみ等) ③機体(プロペラ、フレーム等)に損傷やゆがみはないか ④各機器の異常な発熱はないか
運航終了後の措置	①機体やバッテリー等を安全な状態で適切な場所に保管 ②飛行日誌の作成(飛行記録、日常点検記録及び点検整備記録)等

(3)ガソリンエンジンで駆動する機体の注意事項

ガソリンは危険物に該当するため、乗用車等で運搬する場合には、消防法で定められた22リットル以下の専用の容器で運搬することが必要である。エンジン駆動の場合には機体の振動が大きいいため、ネジ類の緩みなどを特に注意して点検する必要がある。

(4)パイロードを搭載あるいは物件投下時における注意事項

投下場所に補助者を配置しない場合、物件投下を行う際の高度は1m以内である必要がある。

5.1.3飛行申請

(1)国土交通省への飛行申請について

航空法においては、一定のリスクのある無人航空機の飛行については、そのリスクに応じた安全を確保するための措置を講ずることや、国土交通大臣から許可又は承認を取得した上で行うことを求めている。申請書については、当該申請に係る飛行開始予定日の10開庁日前までに、所定の提出先に提出する必要がある。

(2)カテゴリーⅢの飛行申請について〔一等〕

カテゴリーⅢ飛行を行う場合には、一等無人航空操縦士の技能証明を受けた者が第一種機体認証を受けた無人航空機を飛行させることに加えて、その運航の管理が適切に行われることについて、国土交通大臣から許可又は承認を取得する必要がある。具体的には、無人航空機を飛行させる者は、第三者上空飛行にあたり想定されるリスクの分析と評価を実施し、非常時の対処方針や緊急着陸場所の設定などのリスク軽減策を講じることとし、これらのリスク評価結果に基づき作成した飛行マニュアルの提出を含めて、運航の管理が適切に行われることについて申請しなければならない。また、飛行の許可・承認の審査において、無人航空機を飛行させる者が適切な保険に加入し賠償能力を有することの確認を行うこととしている。

カテゴリーⅢ飛行については、通達「無人航空機のカテゴリーⅢ飛行の許可・承認に関する審査要領」に従って申請書を国土交通省航空局に提出しなければならない。

5.1.4 保険及びセキュリティ

(1) 損害賠償能力の確保について

無人航空機を飛行させる場合、飛行中における航空機や他の無人航空機との接触又は衝突、落下等による地上の人又は物件との接触または衝突により、第三者に損害を与えることが想定され、その場合には当該損害を賠償することが求められることがある。このことから、無人航空機を飛行させる場合には、万一の場合に備え賠償能力を確保しておくことが望まれるが、その対応としては、損害保険に加入しておくことが有効と考えられる。このことから国土交通省においては、加入している保険の確認など無人航空機を飛行させる者が賠償能力を有することの確認を、許可・承認の審査の際に行っている。

なお、カテゴリⅢ飛行の場合には、飛行の内容に応じた保険に加入していることが推奨される。

無人航空機の保険については大きく分けて以下の種類がある。

表－9

種類	特徴
機体保険	機体やカメラ自体の損傷に対する保険 ※機体が見つからないと保険が適用されないケースがあるため注意すること。 ※荷物輸送においては、輸送物が保険対象に含まれるか確認すること。
損害賠償責任保険	無人航空機を運航したことによっておこる損害に対する保険(対物・対人)

(2) 無人航空機に係るセキュリティ確保について

無人航空機は、それ自体の財産的な価値を狙った盗難の他、犯罪やプライバシー侵害等の目的で悪用することを意図した運航の妨害や、コントロールの奪取の危険がある。特に無人航空機が悪用された場合、第三者に被害が及ぶことが懸念されることから、無人航空機の所有者及び操縦者は、このような危険から当該無人航空機を守るため、セキュリティの確保に取り組まなければならない。

無人航空機のセキュリティ対策として最も基本的なものは、当該無人航空機及びその遠隔操縦のための機器を適切に管理することで、盗難等を防止することである。

無人航空機にはプログラムに基づき自動又は自律で飛行するものも多くあり、そのようなものは、プログラムを不正に書き換えられる等により、当該無人航空機が奪取されたり操縦者の意図に反して悪用されたりする可能性がある。航空法に基づく機体認証・型式認証に係る安全基準は、無人航空機に係るサイバーセキュリティの観点からの適合性が証明されることも求めており、認証を受けた機体は一定のサイバーセキュリティ対策がされていることから、機体認証・型式認証を受けた機体を利用することで、リスクの軽減策となる。

(3) カテゴリⅢ飛行のリスク評価結果による保険、セキュリティについて [一等]

カテゴリⅢ飛行は、第三者上空を飛行するリスクの高い運航であることから、その飛行の許可・承認の審査にあわせて、無人航空機を飛行させる者が賠償能力を有することの確認を行うこととしているが、その運航形態に応じたリスク評価を行い、その結果に基づき、必要な保険に加入することが望ましい。また、無人航空機の選定や管理におけるセキュリティ対策においても、運航形態のリスク評価に基づき厳格な措置を講じることを考慮する必要がある。

5.2 操縦者に求められる操縦知識

5.2.1 離着陸時の操作

(1) 離着陸時に特に注意すべき事項(回転翼航空機(マルチローター))

1) 離陸

回転翼航空機(マルチローター)はコントローラー等によるスロットル操作によって高速に回転する翼から発せられる揚力が重力を上回ることにより離陸する。機体重量1.5kgほどの回転翼航空機(マルチローター)を例にすると、離陸直後から対地高度1m程度までの間は、回転翼から発せられる吹きおろしの気流が地面付近で滞留し、揚力が増す現象「地面効果」が起こりやすくなる。

2) ホバリング

離陸後、任意の対地高度で一定の高度と位置を継続的に維持することをホバリングという。

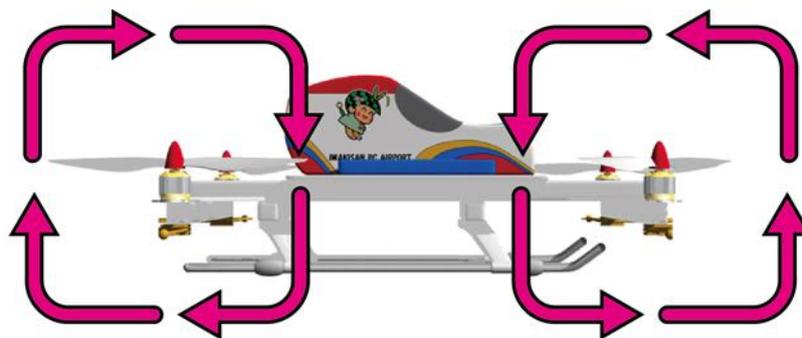
ホバリング状態の機体は回転翼から発せられる揚力と、重力のバランスが保たれている状態を維持している。

回転翼航空機(マルチローター)が飛行時に高い安定性を確保するために方位センサ、地磁気センサやGNSS受信機、気圧センサが用いられている。

緊急時にはセンサ類に頼らない手動操作によるホバリングも要求される。

3) 降下

機体を降下させるには、スロットル操作を徐々に弱め揚力を減少させる。機体を垂直降下させる時に、吹きおろした空気が再び吸い込まれ、回転翼の上下で空気の再循環が発生し急激に揚力を失う現象「ボルテックス・リング・ステート」(図-19)が発生する。降下の際は水平方向の移動を合わせて操作することで墜落防止対策となる。



急激な下降等でブレード下に渦状の風が発生

図-19 (ボルテックス・リング・ステート)

4) 着陸

降下を継続し着陸を行う際には、対地高度に応じて降下速度を減少させる。着地後にコントローラーでローターの回転を停止させる。

5)GNSSを使用しない操作

緊急時にはGNSS受信装置による機体位置推定機能を使用しない機体操作が求められる。

6)GNSSを使用しないホバリング

ホバリング中GNSS受信機能を無効にすると、機体周辺の気流の影響で水平位置が不安定となるためエレベーター操作及びエルロン操作により水平位置を安定させホバリング飛行を維持させる。

7)GNSSを使用しない着陸

上述の操作によりホバリングを安定させながら、スロットル操作により機体を降下させ着陸させる。

機体を垂直降下させる時に発生する「ボルテックス・リング・ステート」や、「地面効果」を抑制するために、細かくエレベーター又はエルロン操作などを行いながら、機体を着地させ着陸を完了させる。

(2)離着陸時に特に注意すべき事項(回転翼航空機(ヘリコプター))

1) 離着陸地点の選定

- 水平な場所を選定すること。離着陸直前は、機体が水平となるため、傾斜地ではテール部などが地面に接触する恐れがある。
- 滑りやすい場所を避けること。離陸前は、ヨー軸まわりの制御が不十分な場合があり、ヨー軸を中心に回転する恐れがある。
- 砂又は乾燥した土の上は避けること。ローターのダウンウォッシュによる砂埃等が飛散し、視界を遮るおそれがある。

2) 離陸方法

- 十分にローター回転が上昇してから、離陸すること。ローター回転が低い状態で無理に離陸させると、機体の反応が遅れることがあり、危険である。
- テールローターの作用で、離陸時に機体が左右いずれかに傾く場合がある。傾く方向はローターの回転方向により異なる。予め傾く方向を確認した上で、離陸させること。
- ローター半径以下の高度では、地面効果の影響が顕著となり、機体が不安定になる。離陸後は速やかに地面効果外まで機体を上昇させること。
- やむを得ない場合を除き、垂直方向の急上昇は避けること。ローター回転が低下し、機体が不安定になるおそれがある。

3) 着陸方法

地面に近づくにつれ、降下速度を遅くし、着陸による衝撃を抑えること。衝撃が大きい場合、脚部が変形又は破損するおそれがある。

地面効果範囲内のホバリングは避け、速やかに着陸させること。

接地後、ローターが停止するまで、機体に近づかないこと。

(3)離着陸時に特に注意すべき事項(飛行機)

1) 離着陸地点の選定

滑走路は水平で草などが伸びていない場所を選定すること。傾斜地では滑走中に不安定になり、また草などが伸びているとプロペラに接触し飛行ができないおそれがある。飛行機の離着陸は風向が重要である。離着陸の方向は向かい風を選ぶのが原則である。横風であってもできる限り向かい風方向を選択する。追い風で行うと失速の危険性が生じ、失速しない速度にすると滑走路を逸脱する危険が生じる。

2) 離陸方法

向かい風方向に滑走できるエリアを確保できたら離陸操縦に入る。
風速を考慮し適切なパワーをかけてエレベーターによる上昇角度をとり離陸する。
上昇角度は失速しないように設定する。安全な高度まで機体を上昇させる。

3) 着陸方法 (図-20)

向かい風方向に滑走できるエリアを確保できたら着陸操縦に入る。
地面に近づくにつれ、降下速度を遅くし、滑空着陸による衝撃を抑えること。衝撃が大きい場合、脚部が変形又は破損するおそれがある。

目測の誤りにより滑走路を逸脱することがあるので、厳重に注意が必要である。

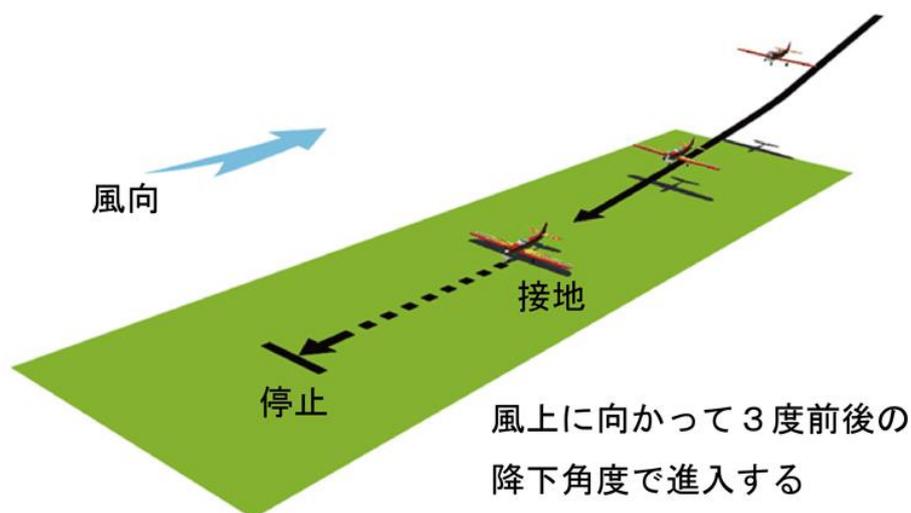


図-20 (着陸方法)

(4)カテゴリーⅢ飛行において追加で必要となる離着陸の注意点 [一等]

カテゴリーⅢ飛行において、離着陸時では以下に注意して行わなければならない。

- 離着陸に際しては、機体と人が接触するなど第三者の安全が損なわれるおそれがないようにする。
- 離着陸時ローターから発せられる風の影響を受け、物などが飛ばされないようにする。
- 近接する壁面や構造物により、離着陸時に機体が不安定になるような環境は離着陸エリアから除外する。
- 離着陸エリア上空周辺に電線などの障害物がない、又は回避できる空域を選ぶ。

5.2.2 手動操縦及び自動操縦

(1) 手動操縦・自動操縦の特徴とメリット

1) 無人航空機の操縦方法(自動操縦と手動操縦)

無人航空機は優れた安定性と高い飛行性能から、人による手動操縦だけでなく、アプリケーションなどにより事前に設定した飛行経路を正確に飛行することが可能となっている。

飛行自体は自動で飛行し、機体に付属している撮影用カメラなどのみ人が操作するような複合的な操縦も行える。

空中写真測量などによる飛行では測地エリアを指定するのみで自動的に飛行経路や撮影ポイントをプランニングする機能も備えられている。

手動操縦は送信機のスティックにより機体の移動を命令して行う。操縦者の操縦技量によって飛行の安定性に差が生じるが、操縦技量が向上すると自動操縦では実現できない複雑で変化に対応した機体の操作が行える。

2) 手動操縦の特徴とメリット

無人航空機の安定飛行に必要なGNSS受信機やセンサを用いた機体を、コントローラースティックで意図した方向に飛行させるが、その制御は全て人が行う。

操縦者の習熟度によって飛行高度の微調整や回転半径や航行速度の調整、遠隔地での高精度な着陸など細かな操作が行え、複雑な構造物の点検作業や耕作地の農薬散布、映画のような芸術性を要求される空撮などでは手動操縦による制御が求められる。

安定した飛行に使われているGNSS受信機や電子コンパス、気圧センサなどが何らかの原因により機能不全に陥ったときには手動操縦による危険回避が求められる。

定められた航路を高精度に飛行をするなど、高い再現性を求められる操縦には不向きである。

3) 自動操縦の特徴とメリット

飛行を制御するアプリケーションソフトに搭載されている地図情報に、予め複数の飛行時のウェイポイント(経過点)を設定し飛行経路を作成する。

ウェイポイントは地図上の位置情報の設定だけでなく、機体の向きや高度、速度など詳細な設定が可能である。

手動操縦に比較して、再現性の高い飛行を行うことができるため、経過観察が必要とされる用地や、離島への輸送、生育状況を把握する耕作地などの飛行に利用される。

(2) 自動操縦におけるヒューマンエラーの傾向

ウェイポイント設定時、飛行経路上の障害物等の確認不足によって衝突や墜落が発生することが想定できる。設定した飛行経路上の障害物等は事前に現地確認を行うこと。

(3) 手動操縦におけるヒューマンエラーの傾向

手動操縦は無人航空機を精細に制御できる反面、操縦経験の浅い操縦士が操作を行うと様々な要因で意図しない方向に飛行してしまう場合がある。

これは操縦者の視線と回転翼航空機の正面方向が異なる場合に発生しやすい。さらに機体と操縦者との距離が離れると機体付近の障害物などとの距離差が掴みにくくなり接触しやすい状況となる。

これらのリスク回避には、機体をあらゆる方向に向けても確実に意図した方向や高度

に制御できる訓練や、指定された距離での着陸訓練などが有効となる。

(4)自動操縦と手動操縦の切り替えにおける操作上の注意と対応

自動操縦中、下記のような状況下で手動操作に切り替える場合がある。

- 作業指示による手動操作
- 何らかの原因で不安定な飛行と判断した場合

手動操縦に切り替えた後は、急な航行速度の低下や失速に備えた操作準備や、障害物への接近を避けるための機体方向の確認、ホバリングしての機体の安定性や周囲の安全の確認などが必要となる。

(5)カテゴリーⅢ飛行において追加となる自動操縦の注意点〔一等〕

カテゴリーⅢ飛行の自動操縦時では、飛行経路及び周辺に送電線や構造が障害とならない飛行範囲や経路を事前に確認し設定する。また、鳥などの野生動物からの妨害を想定し防御や手動操縦での切り替えを速やかに行える体制を整えておく必要がある。

5.2.3緊急時の対応

緊急時には、離陸地点などに戻すことを前提とせず、速やかに近くの安全な無人地帯へ不時着させる。

(1)機体のフェールセーフ機能

送信電波や電源容量の現象などにより飛行が継続できない場合、又は継続できないことが予想される場合は、予め飛行制御アプリケーションのフェールセーフ（Fail Safe / 故障時は安全な側に）機能により、自動帰還モードへ切り替わり、離陸地点へ飛行する。さらにバッテリー残量が極端に少ない場合などはその場で自動着陸を試みる。

フェールセーフ機能発動時、機体の動作をホバリング、その地点での着陸、自動帰還などの設定を行うことができる機体もある。

フェールセーフ機能発動中にバッテリー残量不足等の飛行が継続できない場合、又は予想される場合、機体は着陸動作に遷移し着陸を試みる。

(2)事故発生時の運航者の行動について

運航者は、事故発生時においては、直ちに無人航空機の飛行を中止するとともに、負傷者がいる場合には、第一にその負傷者の救護及び緊急通報、事故等の状況に応じた警察への通報、火災が発生している場合の消防への通報など、危険を防止するための必要な措置を講じ、次に当該事故が発生した日時及び場所等の必要事項を国土交通大臣に報告しなければならない。

(3)カテゴリーⅢ飛行において追加となる緊急時対応手順〔一等〕

第三者上空飛行中に何らかの原因で緊急時の対応が求められた時に備えて、予め対応手順を決め速やかに緊急対応作業が行えるよう継続した訓練が求められる。

- GNSSによる位置の安定機能を用いない飛行訓練
- 機体寸法に応じた緊急着陸点の確保
- フェールセーフ機能が動作しない飛行距離等の把握
- 墜落時の安全優先順位の明確化
- 機体が発火した際の消火方法
- 緊急連絡網の作成

5.3 操縦者のパフォーマンス

5.3.1 操縦者のパフォーマンスの低下

操縦者は疲労を感じても飛行を継続してしまう傾向にあるため、適切に飛行時間を管理する必要がある。操縦者が高いストレスを抱えている状態は安全な飛行を妨げる要因となるため、操縦者との適切なコミュニケーションを運航の計画(飛行計画の作成、運航体制の構築、飛行前の準備、飛行中及び飛行後の対応等の一連の運航全般に係る計画をいう。以下同じ。)に組み込む等ストレス軽減を図る必要がある。

5.3.2 アルコール又は薬物に関する規定

前夜に飲酒した場合でも、翌日の操縦時までアルコールの影響を受けている可能性があることに注意が必要であり、アルコール検知器を活用することも有用である。

5.4 安全な運航のための意思決定体制(CRM等の理解)

5.4.1 CRM(Crew Resource Management)

事故等の防止のためには、操縦技量(テクニカルスキル)の向上は有効な対策だが、これだけでは人間の特性や能力の限界(ヒューマンファクター)の観点からヒューマンエラーを完全になくすことはできない。これに対処するためには、全ての利用可能な人的リソース、ハードウェア及び情報を活用したCRM(Crew Resource Management)※というマネジメント手法が効果的である。

CRMを実現するためにTEM(Threat and Error Management)という手法が取り入れられている。ここで、スレット(Threat) ※は エラー(Error)を誘発する要因であり、操縦者だけではスレットやエラーの発生状況を把握することが困難な場合があり、この場合適切な対処がとれず事故等につながるおそれがある。このため、補助者や関係者との相互監視・確認、機体や送信機の警報、飛行空域周辺状況に関する最新情報の入手など、全ての利用可能なリソースを活用し、エラーにつながりかねないスレット(気象の変化、疲労、機材不具合など)の発生状況を早期に把握・管理し、万一エラーが発生しても事故等に至らないように適切に対処しようとする手法である。

CRMを効果的に機能させるための能力は、コミュニケーション、意思決定、チームの体制構築、ワークロード管理、状況認識管理(図-21)といったノンテクニカルスキルである。

- ※ Crew : クルー / 乗組員、複数の作業員から成る一団、班、チーム
- Resource : リソース / 役に立つ価値があるもの、資源
- Management : マネジメント / 管理、運営
- Threat : スレット / 脅威、危険

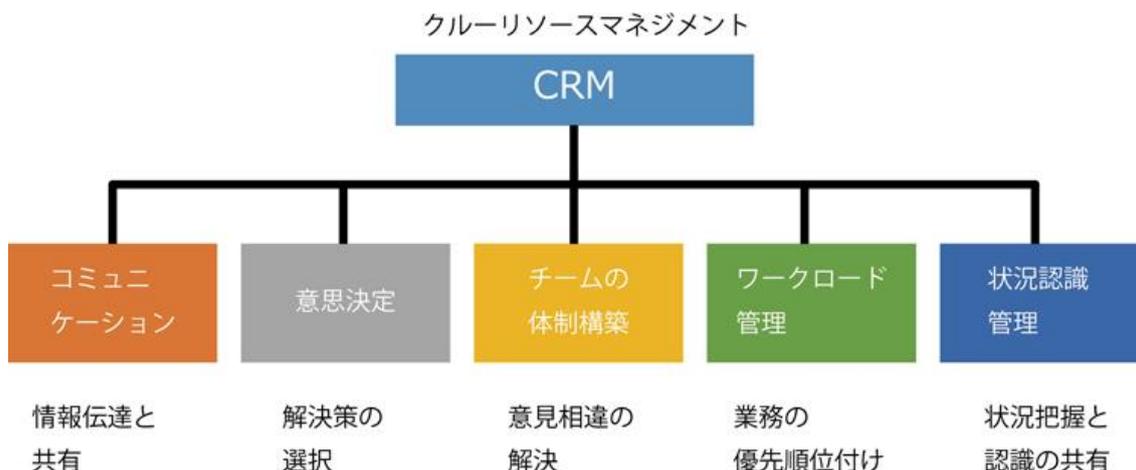


図-2 1

5.4.2安全な運航のための補助者の必要性、役割及び配置

無人航空機を飛行させる操縦者は機体の動きや操縦に集中する必要があり、離着陸エリアを含めた飛行経路の管理を操縦と同時に行うことが困難であるため、飛行準備や飛行経路の安全管理、第三者の立ち入り管理などは補助者が主として行う必要がある。補助者は、離着陸場所や飛行経路周辺の地上や空域の安全確認を行うほか、飛行前の事前確認で明らかになった障害物等の対処について手順に従い作業を行う。

操縦者とのコミュニケーションは予め決められた手段を用いて行い、危険予知の警告や緊急着陸地点への誘導、着陸後の機体回収や安全点検の補助も行う。

無人航空機の飛行経路や範囲に応じ補助者の数や配置、各人の担当範囲や役割、異常運航時の対応方法も決めておく必要がある。

6.運航上のリスク管理

6.1 運航リスクの評価及び最適な運航の計画の立案の基礎

6.1.1安全に配慮した飛行

無人航空機の飛行にあたっては、法令等に基づく基準や要件に適合させるのは当然だが、様々な要素により、飛行中、操縦が困難になること、又は予期せぬ機体故障等が発生する場合があることから、運航者は運航上のリスクを管理することが安全確保上非常に重要である。

すなわち、運航者は行おうとする運航の形態に応じ、事故等につながりかねない危険性のある要素ハザード(hazard)※を具体的に可能な限り多く特定し、それによって生じるリスク(risk)※を評価したうえで、リスクの発生確率を低減させたり、リスクの結果となる被害を軽減したりする措置を講じることで、リスクを許容可能な程度まで低減する必要がある。

※hazard：ハザード / 危険の原因、危険物、障害物、潜在的危険性

Risk：リスク / 将来何か悪い事象が起こる可能性

このようなリスク管理の考え方は、特にカテゴリーⅢ飛行において重要となるが、その他の飛行においても十分に理解したうえで、安全に配慮した計画や飛行を行うことが求められる。

(1)安全確保のための基礎

1)安全マージン

飛行を行う際は、原則として飛行空域に安全マージンを加えた範囲で実施する。

- 飛行経路を考慮し、周辺及び上方に障害物がない水平な場所を離着陸場所と設定する。
- 緊急時などに一時的な着陸が可能なスペースを、前もって確認・確保しておく。
- 飛行領域に危険半径(高度と同じ数値又は30mのいずれか長い方)を加えた範囲を、立入管理措置を講じて無人地帯とした後、飛行する。

2)飛行の逸脱防止

飛行の逸脱を防止するためには、以下の事項を行うことが有効である。

- ジオフェンス (geofence) 機能※を使用することにより飛行禁止空域を設定する。
- 衝突防止機能として無人航空機に取り付けたセンサを用いて、周囲の障害物を認識・回避する。

※ジオフェンス：仮想的な境界線で囲まれた任意のエリア、**geo fence**
geo : geographic (ジオグラフィック/地球、地理)
fence : (フェンス / 囲い、柵、垣根)

3)安全を確保するための運航体制

安全を確保するための運航体制として、操縦と安全管理の役割を分割させる目的で操縦者に加えて、安全管理者(運航管理者)を配置することが望ましい。

(2)カテゴリーⅢ飛行において追加となる重要事項について [一等]

1)想定飛行空間と想定外飛行空間

想定飛行空間は、無人航空機の飛行の目的や、機体やシステムの性能、環境に応じて設定される飛行範囲である。機体や外部システムの異常・外乱の影響で想定飛行空間を外れて飛行してしまうことに備える空間として想定外飛行空間を設定する。

無人航空機の運航が正常に制御できている正常運航時は、標準運航手順に従って飛行を行う。機体や外部システムの異常・外乱の影響で想定飛行空間から外れてしまうおそれ、又は外れてしまった異常事態では、直ちに異常対応手順へと移る。想定外飛行空間は異常対応手順により想定飛行空間へと復旧するのに必要な飛行空間である。

飛行の地上リスクを検討する際には、想定飛行空間だけでなく、想定外飛行空間さらに地上リスク緩衝地域を合わせた範囲を検討し、そのリスクを一定の範囲まで低減するように計画する。飛行の空中リスクを検討する際には、想定飛行空間だけでなく、想定外飛行空間さらに任意で空中リスク緩衝地域を合わせた範囲を検討し、そのリスクを一定の範囲まで低減するように計画する。

隣接領域について、無人航空機が制御不能な形で侵入してしまった場合に高いリスクが想定される場合には、隣接領域に侵入しないための対策を検討する必要がある。

2)安全確保措置に必要とされる安全性の水準、保証の水準

カテゴリーⅢ飛行は地上リスク、空中リスク共に高いことが想定されるため、飛行可否判断は安全確保措置により得られる安全性の水準(安全の増加)と、計画されている安全性の確保が確実に実施されることを示す保証の水準(証明の方法)の双方により評価されるべきである。

例えば、第三者への衝突の衝撃を抑える措置を計画する際、その措置の有効性は、衝突軽減の効果について安全性の水準と、その措置が必要な際に機能するかについて保証の水準の双方で、評価又は計画されるべきである。

安全確保措置に必要とされる安全性の水準、保証の水準は、いずれもその運航形態の持つリスクに応じて検討される。

6.1.2 飛行計画

(1) 飛行計画策定時の確認事項について

飛行計画では、無人航空機の飛行経路・飛行範囲を決定し、無人航空機を運航するにあたって、自治体など各関係者・権利者への周知や承諾が必要となる場合がある。離着陸場は人の立ち入りや騒音、コンパスエラーの原因となる構造物がないかなどに留意する。飛行経路の設定は高圧電線などの電力施設が近くにないか、緊急用務空域に当たらないか、ドクターヘリなどの航空機の往来がないかなどを考慮に入れる必要がある。着陸予定地点に着陸できないときに、離陸地点まで戻るほどの飛行可能距離が確保できないなどのリスクがある場合、別途事前に緊急着陸地点を確保しておくべきである。

飛行計画の全ての工程において安全管理が優先され、離陸前、離陸時、計画経路の飛行、着陸時、着陸後の状況に応じた安全対策を講じ、飛行の目的を果たす飛行計画の策定が求められる。

飛行計画策定時は、機体の物理的障害や飛行範囲特有の現象、制度面での規制、事前に予想しうる状況の変化などを想定した確認事項の作成が求められる。

予定される飛行経路や日時において緊急用務空域の発令など、一時的な飛行規制の対象空域の該当となっていないかなど計画策定時に確認する必要がある。

(2) 事故・インシデントへの対応について

無人航空機の運航中に万が一事故やインシデント（incident）※が発生した場合を想定し、事前に緊急連絡先を定義しておく。負傷者や第三者物件への物損が発生した場合は人命救助を最優先に行動し、速やかに消防署や警察に連絡する。

※インシデント：事故（アクシデント）などの危難が発生するおそれのある事態

(3) カテゴリーⅢ飛行のリスク評価結果による追加点検について〔一等〕

ジオフェンス機能による安全確保により第一種機体認証を得た機体の場合、カテゴリーⅢ飛行において確実に実施すべきジオフェンス設定(範囲や形状)の主な点検事項の例は、以下の通りである。

- 当日の他の航空機との空域調整結果が反映されていること

(4) カテゴリーⅢ飛行において追加となる安全確保について〔一等〕

第三者の上空で不測の事態が発生した際に、機体が直ちに落下することがない様に行う安全確保の例として、以下の事項が挙げられる。

- 必要最低限の数より多くのプロペラ及びモーターを有する機体を使用する
- パラシュートを展開する機能を有する機体を使用する

6.1.3 経路設定

(1) 飛行経路の安全な設定について

飛行経路は、無人航空機が飛行する高度と経路において、障害となる建物や鳥などの

妨害から避けられるよう設定する。障害物付近を飛行せざるを得ない経路を設定する際は機体の性能に応じて安全な距離を保つように心がける。

操縦者の目視が限界域付近となる飛行では、付近の障害物との距離差が曖昧になりやすいため、事前に飛行経路付近の障害物との距離を現地で確認し、必要と判断した場合は補助者を配置することが望ましい。

(2)カテゴリーⅢ飛行において追加となる経路設定の注意点について〔一等〕

カテゴリーⅢ飛行では、墜落を想定し可能な範囲で人が立ち入りにくい飛行経路を設定する。また、飛行経路上で異常運航と判断した際の緊急着陸点や不時着エリアを予め設定する。

機体に備わるフェールセーフ機能の発動と安全対策は、事前に機能動作及び対策手順を確認する。

6.1.4無人航空機のハザードとリスク

無人航空機の運航において、「ハザード」は事故等につながる可能性のある危険要素(潜在的なものを含む。)をいう。「リスク」は無人航空機の運航の安全に影響を与える何らかの事象が発生する可能性をいう。発生事象のリスクは、予測される頻度(被害の発生確率)と結果の重大性(被害の大きさ)により計量する。

6.1.5無人航空機のリスク評価

無人航空機の飛行にあたって、リスク評価とその結果に基づくリスク軽減策の検討は安全確保上非常に重要である。

すなわち、運航形態に応じ、事故等につながりかねない具体的な「ハザード」を可能な限り多く特定し、それによって生じる「リスク」を評価したうえで、リスクを許容可能な程度まで低減する。リスクを低減するためには、①事象の発生確率を低減するか、②事象発生による被害を軽減するか、の両方を検討したうえで必要な対策をとる。例えば、機材不具合というハザードによる墜落というリスクに対しては、機材不具合の可能性を低減するために信頼性の高い機材を使用(上記①)したり、墜落時にパラシュートにより地上の被害を低減(上記②)したりなどの対策が考えられる。

リスクの評価、軽減、管理方法については、代表的なものとしてICAO(イカオ：国際民間航空機関)のSafety Management Manual(Doc9859)(イカオ安全管理マニュアル)やJoint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems(JARUS)(無人航空機システムの規則に関する航空当局間会議)のSpecific Operations Risk

Assessment(SORA)(特定運航リスクアセスメント)等があり、これを理解しておくことは有用である。

6.1.6カテゴリーⅢ飛行におけるリスク評価〔一等〕

無人航空機が制御不能な状態に陥った時、人と衝突し、重大な障害を引き起こす可能性がある。

運航者は、飛行計画上の地上又は水上の人が無人航空機により受けるおそれがある被害に関する安全リスク(地上リスク)の把握を行い、リスクに曝される第三者の人数及び衝突の際の人と与える衝撃を減らすための適切な措置の実施と、無人航空機が制御不能になった場合に備えて設定する緊急事態への対応手順及び計画の有効性について確認する必要がある。また、無人航空機と有人航空機との空中衝突に関する安全リスク(空中リスク)についても把握を行い、衝突を回避するための適切な措置等を実施することも必要である。

運航者は、無人航空機の運航における地上リスク及び空中リスクについてのリスク評価(安全な運航の計画、リスク分析と評価、リスク軽減策の実施、飛行の実施等)を行う必要がある。

(1) カテゴリーⅢ飛行の飛行経路によるリスク評価について [一等]

カテゴリーⅢ飛行を行う場合の飛行経路については、経路下にどれくらい第三者が存在する可能性があるのか、機体に不具合が発生した場合等に地上の第三者がどれくらいリスクに曝されるのか、経路上において有人航空機の飛行が想定されるのかなどを評価し、その結果に基づき、飛行経路を設定するとともにリスク軽減策を講じる必要がある。

(2) カテゴリーⅢ飛行の電波環境によるリスク評価について [一等]

カテゴリーⅢ飛行を行う場合であって、携帯電話事業者の無線通信ネットワークを利用して操縦を行うときは、電波環境についてのリスク評価を行い、その結果に基づき、携帯電話事業者が定める手続きを行った上で使用することとし、複数事業者のネットワークを使用することによる通信系統の冗長化や携帯電話事業者の通信可能エリアに飛行経路が確実に含まれるように設定するなど運航形態に応じた安全対策を講じる必要がある。

(3) カテゴリーⅢ飛行の使用機体の機能と性能によるリスク評価について [一等]

使用する無人航空機については、第一種機体認証を受けたものを使用することに加えて、当該機体認証に係る無人航空機の使用の条件や無人航空機飛行規程の限界事項などの機体の機能及び性能が、行おうとする運航形態に応じたものになっていることについてリスク評価を行い、その結果に基づき、リスク軽減策を講じる必要がある。

(4) カテゴリーⅢ飛行の運航体制によるリスク評価について [一等]

カテゴリーⅢ飛行を行う場合にリスク評価を行うに当たって、その結果に基づき、リスク軽減策を講ずる必要があるが、当該リスク軽減策を講ずるために必要な運航体制を構築しなければならない。

例えば、操縦者については、一等無人航空操縦士の技能証明を受けていることに加えて、行おうとする運航形態に適切な者であることや緊急事態への対応等について訓練を受けていることが求められる。

また、操縦者だけでなく運航に必要な補助者等を含めた協力体制の構築も必要な場合も考えられる。

(5) リスク軽減策を反映した最適な運航の計画 [一等]

運航者は、無人航空機の運航における地上リスク及び空中リスクについてのリスク評価を行い、その結果に基づくリスク軽減策を運航の計画に適切に反映することにより最適な運航の計画を立案し、飛行の安全を確保する必要がある。

6.2 気象の基礎知識及び気象情報を基にしたリスク評価並びに運航計画の立案

6.2.1 気象の重要性及び情報源

(1) 無人航空機における気象の重要性

無人航空機を安全に飛行させるための重要な要素の一つが気象である。航空法では「当該無人航空機及びその周囲の状況を目視により常時監視して飛行させる

こと。」とされている。これは目視可能な距離外での無人航空機の飛行を禁止するだけでなく、近距離であっても無人航空機の飛行状況や他の物件との安全な距離が確保されていることを目視で確認できない雲中や濃霧等の気象状態では無人航空機を飛行させてはならないことを意味する。

安全な飛行を実施するためには、まず一般的な天気予報だけではなく、どのような気象情報や予報が提供されているかを理解する必要がある。そして、自らの作業内容、時間、環境に応じて、雲や視程障害、風向風速及び降水等、自ら行う飛行に影響する気象情報を適切に入手、分析して、離陸から着陸に至るまで支障のある気象状況にならないことを確認した後に飛行を開始しなければならない。

(2)安全な飛行を行うために確認すべき気象の情報源

参考となる気象情報には、以下が挙げられる。

- アメダス
- 気象レーダー
- 実況天気図、予報天気図、悪天解析図

インターネットを活用した気象情報の入手も有効である。

(3)天気図の見方

天気図には、各地で観測した天気、気圧、気温、風向、風力や高気圧、低気圧、前線の位置及び等圧線などが描かれている。実況天気図、予想天気図から気圧配置、前線の位置、移動速度などを確認する。

等圧線の間隔から風の強弱を知ることができ、等圧線の間隔が狭いほど風は強まる。

1)天気記号

快晴・晴・曇・雨・雪・霧などを表す記号である。

2)風

天気記号に付いた矢の向きが風向を表す。風が吹いてくる方向に矢が突き出しており、観測では16又は36方位を用いているが、予報では8方位で表す。矢羽根の数が風力(気象庁風力階級表による風力の尺度)を表す。風力0～12までの13段階で表す。

3)気温

天気記号の左上の数字で、摂氏の度数を表す。

4)気圧

大気の圧力をいい、単位はヘクトパスカル(hPa)で、標準大気圧(1気圧)は、1013 hPaである。

5)等圧線

気圧の等しい点を結んだ線をいう。

6)高気圧 (図-22)

周囲よりも相対的に気圧が高いところを高気圧といい、その中で閉じた等圧線で囲まれたところを高気圧という。北半球では時計回りに等圧線と約30度の角度で中心から外へ向かって風を吹き出している。高気圧の中心部では下降気流が発生し一般的に天気は良い。

7) 低気圧

周囲よりも相対的に気圧が低いところを低圧部といい、その中で閉じた等圧線で囲まれたところを低気圧という。北半球では反時計回りに低気圧の中心に向かって周囲から風が吹き込む。中心部では上昇気流が起これ、雲が発生し一般的に天気は悪い。

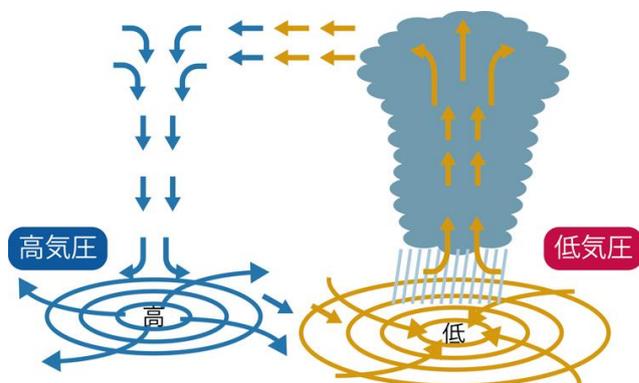


図-22 (高気圧・低気圧)

8) 冬の天気

冬の悪い天気の代表は「雪」と「風」である。シベリア高気圧が優勢になり冬の季節風の吹き出しが始まると、まず気象衛星の雲写真に沿海州から日本海へ流れる帯状の雲が現れる。冬型の天気の典型は西高東低といわれるもので、天気図では西側に高気圧、東側に低気圧という気圧配置で、日本海側に雪をもたらす。

9) 春と秋の天気

日本の天気を支配するのは冬のシベリア高気圧と夏の太平洋高気圧であり、春と秋は両高気圧の勢力が入れ替わる時である。このとき日本付近に両気団の境界ができ、前線が停滞し、広い範囲に悪い天気をもたらす、1週間くらい雨が降り続き、低い雲高や視程障害をもたらす。

10) 前線

温度や湿度の異なる気団(空気の塊)が出会った場合、二つの気団はすぐには混ざらないで境界ができる。境界が地表と接するところを前線という。

a. 寒冷前線

発達した積乱雲により、突風や雷を伴い短時間で断続的に強い雨が降る。前線が接近してくると南から南東よりの風が通過後は風向きが急変し、西から北西よりの風に変わり、気温が下がる。

b. 温暖前線

層状の厚い雲が段々と広がり近づくとき気温、湿度は次第に高くなり、時には雷雨を伴うときもあるが、弱い雨が絶え間なく降る。通過後は北東の風が南寄りに変わる。

c. 閉塞前線

寒冷前線が温暖前線に追いついた前線で、閉塞が進むと次第に低気圧の勢力が弱くなる。

d. 停滞前線

気団同士の勢力が変わらないため、ほぼ同じ位置に留まっている前線で、長雨をもたらす梅雨前線や秋雨前線がこれにあたる。

e. 梅雨前線

梅雨前線とは、四季の変わり目に出現する長雨(菜種梅雨、梅雨、秋霖(しゅうりん 秋の長雨)等)のうち、とくに顕著な長雨、大雨をもたらす停滞前線のことである。

6.2.2 気象の影響

(1) 安全な飛行のために知っておくべき気象現象

1) 雲と降水について

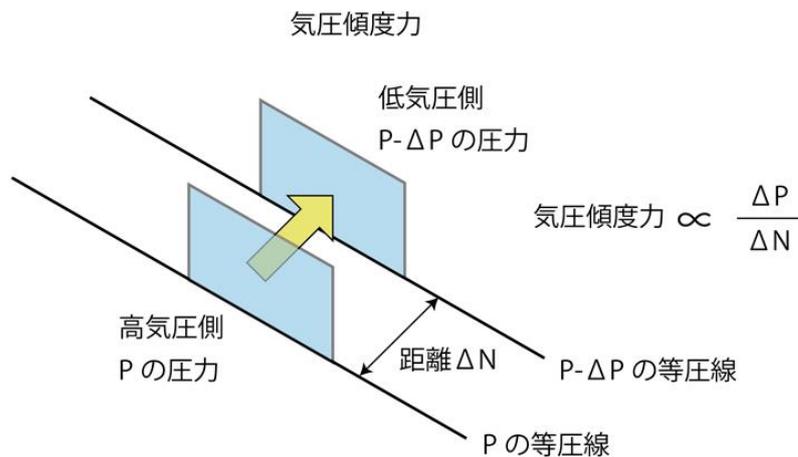
雲には10種雲形と呼ばれる10種類の雲の形がある。

上層雲として巻雲・巻層雲・巻積雲が、中層雲として高層雲・乱層雲・高積雲が、低層雲と下層から発達する雲として積雲・積乱雲・層積雲・層雲がある。このうち層雲系の雲では連続的な降水が、積雲系であれば断続的でしゅう雨性の降水を伴う傾向がある。

2) 風

a. 風と気圧 (図-23)

風とは、空気の水平方向の流れをいい、風向と風速で表す。空気は、気圧の高いほうから低いほうに向かうが、この流れが風である。等圧線の間隔が狭いほど風は強く吹く。



高気圧側から低気圧側へ、等圧線に垂直に、空気を押し動かす力で、その大きさは2点間の気圧差に比例し、距離に反比例する。

図-23 (気圧傾度力)

b. 風向

風向は、風が吹いてくる方向で、例えば、北の風とは北から南に向かって吹く風をいう。風向は360度を16等分し、北から時計回りに北→北北東→北東→東北東→東のように表す。

c.風速

風速は空気の動く早さで、メートル毎秒(m/s)で表す。風は必ずしも一定の強さで吹いているわけではなく、単に風速と言え、観測時の前10分間における平均風速のことをいう。

また、平均風速の最大値を最大風速、瞬間風速の最大値を最大瞬間風速という。風は地面の摩擦を受けるため、一般的に上空では強く地表に近づくにつれて弱くなる。変化の度合いは地表の粗度(樹木や建物などによる凸凹の程度)や風速の大きさによって異なる。一般に地表の粗度が大きいほど、高さによる風速の変化は大きくなる。

d.突風

低気圧が接近すると、寒冷前線付近の上昇気流によって発達した積乱雲により、強い雨や雷とともに突風が発生することがある。日本付近では、天気は西から東に変わるため、西から寒冷前線を伴う低気圧が接近するときは、突風が発生する時間帯を予測することができる。

e.海陸風 (図-24)

気温差があると、気圧差が生じて風が吹く。海陸風は海と陸との気温差によって生じる局地的な風で、日本では、日差しの強い夏の沿岸部で顕著に見られる。地表付近において、昼間は、暖まりやすい陸上に向かって風が吹き、夜間は、冷めにくい海上に向かって風が吹く。風が入れ替わるときには、ほぼ無風状態になり、「朝風」「夕風」と呼ばれる。

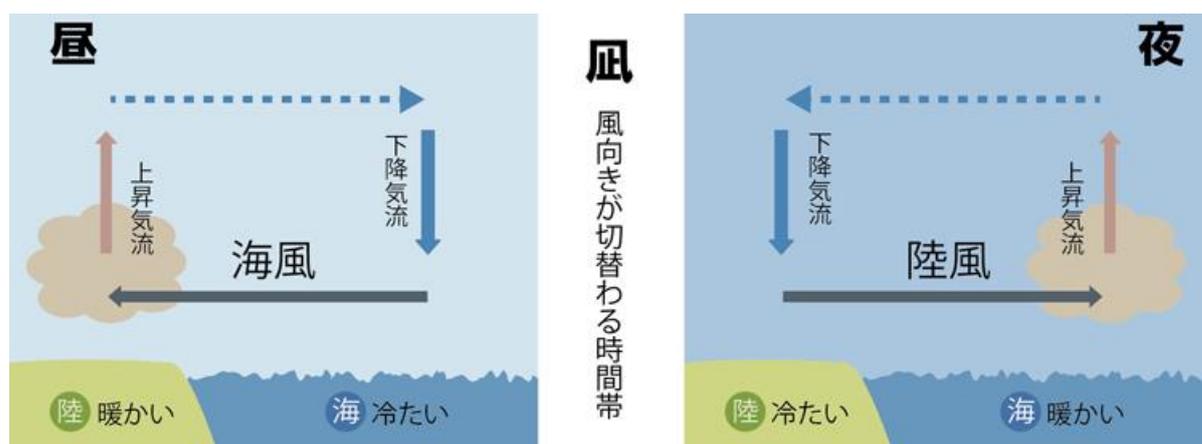


図-24 (海陸風のしくみ)

f.山谷風

山岳地帯に現れる風の一種。昼間は、日射で暖められた空気が谷を這い上がる谷風が吹き、夜間は冷えた空気が山から降りる山風が吹く。

g.風力

風力は、気象庁風力階級表(ビューフォート風力階級)により、風力0から風力12までの13階級で表す。

h. ビル風

高層ビルや容積の大きい建物などが数多く近接している場所及び周辺に発生する風で、強さや建物周辺に流れる風の特徴により分類される(剥離流、吹き降ろし、逆流、谷間風、街路風などがある)。

ビル風は周辺の風より風速が速く継続して吹いていて、その建物群の配置や構成によって吹く風の種類が異なる。

i. ダウンバースト (図-25)

ダウンバーストとは、積乱雲や積雲内に発生する強烈な下降気流が地表にぶつかり、水平方向にドーナツ状に渦を巻きながら四方に広がってゆく状態をいう。その大きさは数百mから10kmにもおよぶ。その中でマイクロバーストと呼ばれるものは、直径が4km程度以下の下降気流で、範囲は小さいがダウンバーストより強烈なものがある。発生時間は数分から10分程度のもので多く、通常の観測網では探知されない局地的なものである。

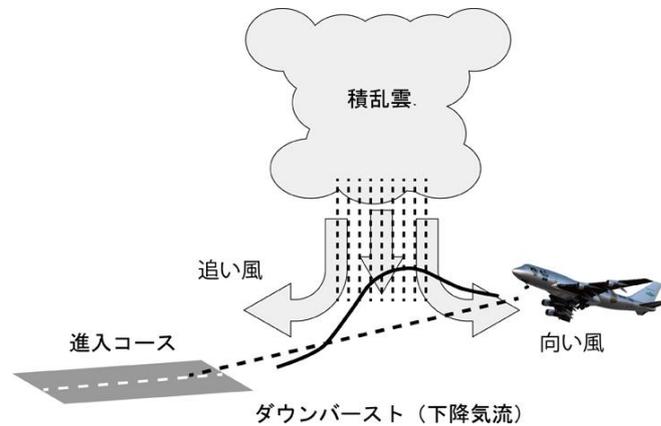


図-25 (ダウンバースト)

(2) 気象に関する注意事項

無人航空機は、運用可能な動作環境が具体的に明示されている。運用可能な範囲内であっても、低温時や高温時には大きな影響をうけることが予想される。特に気温の低い場合はバッテリーの持続時間(飛行可能時間)が普段より短くなる可能性があるため注意が必要である。

地表面が暖められると上昇気流が発生するため、広い面積の太陽光パネルやアスファルト・コンクリートの地面が多い市街地は注意が必要である。また、広い運動場のような場所では、強い日射により上昇気流がおこりつむじ風が発生する可能性がある。

6.2.3 安全のための気象状況の確認及び飛行の実施の判断

(1) 気象状況の把握と飛行の実施の判断

安全のため気象条件を考慮した判断をする場合、降雨時、降雪時、霧の発生時や雷鳴が聞こえる時は飛行の延期や中止が望ましい。

6.3 機体の種類に応じた運航リスクの評価及び最適な運航の計画の立案

6.3.1 飛行機

(1) 飛行機の運航の特徴

滑走により離着陸する飛行機は、回転翼航空機よりも広い離着陸エリアが必要である。また回転翼航空機と比べて、飛行中の最小旋回半径が大きくなることが特徴である。

飛行機の運航は、離陸、着陸共に、向い風を受ける方向から行う。横風の場合でもできるだけ向かい風方向で行う方が操縦の難易度は低くなる。追い風の離着陸は失速のおそれがあるので行わない。回転翼航空機と違いホバリング(空中停止)はできない。上空待機を行う場合はサークルを描くように旋回飛行を行う。着陸は失速しない程度に速度を下げたため、高度なエレベーター操作が必要となる。

(2) 使用機体と飛行計画を元にしたリスク軽減策の検討要素の例〔一等〕

飛行機の飛行計画においては気象、経路、緊急着陸ポイントの確保が重要である。離着陸においては向かい風で行うため風向の予測と風向に適した滑走路の確保が必要となる。また地上風速だけでなく上空の風速の確認(アプリ等)も重要である。地上経路設定においては過度な上昇角度、過度に旋回半径が小さくならないようにする。緊急着陸は滑空により行うので広範囲のエリアが必要となる。リスク低減の対策として以上の点が挙げられるが、飛行計画が正しく設定されているか、複数人で確認を行う運航者の体制も重要である。

(3) リスク軽減策を踏まえた運航の計画の立案の例〔一等〕

1) 離陸及び着陸

- 離着陸地点は操縦者及び補助者と20m以上離れることを推奨する。取扱説明書等に、推奨距離が記載されている場合は、その指示に従う。
- 離着陸地点は滑走範囲も考慮して周囲の物件から30m以上離すことができる場所を選定する。
距離が確保できない場合は、補助者を配置するなどの安全対策を講じる。
- 離陸後は失速しない適度な速度と角度を保って上昇する。
- 着陸は失速しない程度の低速度で滑走路に確実に侵入させ、安全に接地させる。

2) 飛行

- 上昇させる場合は、取扱説明書等で指定された上昇角度以内で飛行させる。
- 旋回させる場合は、取扱説明書等で指定された旋回半径以内で飛行させる。
- 降下させる場合は、取扱説明書等で指定された速度以内で飛行させる。
- 飛行中断に備え、飛行経路上又はその近傍に緊急着陸地点を事前に選定する。
第三者の立入りを制限できる場所の選定又は補助者の配置を検討する。

6.3.2 回転翼航空機(ヘリコプター)

(1) 回転翼航空機(ヘリコプター)の運航の特徴

回転翼航空機(ヘリコプター)は、構造上プロペラガードがない機体が一般的であるため、安全のためにプロペラガード付きの回転翼航空機(マルチローター)よりも広い離着陸エリアが必要である。離着陸において、機体と操縦者及び補助者の必要隔離距離を

取扱説明書等で確認するとともに、十分確保すること。

機体高度が、およそメインローター半径以下になると、地面効果の影響が顕著になりやすいため、推力変化及びホバリング時の安定・挙動に注意が必要である。

前進させながら上昇させた方が必要パワーを削減できるため、垂直上昇は避けることが望ましい。山間部又は斜面に沿って飛行させる場合、吹き下ろし風が強いと上昇できない場合があり、注意が必要である。

垂直降下又は降下を伴う低速前進時は、ボルテックスリング状態となり、急激に高度が低下し回復できない危険性がある。前進させながら降下することは、ボルテックスリング状態の予防に有効である。

オートローテーション機構を装備している機体は、動力が停止しても軟着陸が可能である。ただし、オートローテーションに入るためには必要な操作、飛行高度範囲及び速度範囲がある。

(2)回転翼航空機(ヘリコプター)の使用機体と飛行計画を元にしたリスク軽減策の検討要素の例 [一等]

1)離陸及び着陸

- 離着陸地点において、機体と操縦者、補助者及び周囲の物件との必要な安全距離を確保する。
- 地面効果範囲内の飛行時間を短くする。

2) 飛行

- 余裕を持った上昇率を設定する。
- ボルテックスリング状態を予防できる降下方法を選定する。
- 緊急着陸地点の安全確保方法を飛行前に検討する。
- オートローテーション機能を理解し、飛行訓練を実施する。(オートローテーション機能付きの場合)。

(3)リスク軽減策を踏まえた運航の計画の立案の例 [一等]

1)離陸及び着陸

- 離着陸地点は操縦者及び補助者と20m以上離れることを推奨する。取扱説明書等に、推奨距離が記載されている場合は、その指示に従う。
- 離着陸地点は周囲の物件から30m以上離すことができる場所を選定する。距離が確保できない場合は、補助者を配置するなどの安全対策を講じる。
- 離陸後は速やかに地面効果外まで上昇する。機体状況の確認は地面効果外とする。

2) 飛行

- 上昇させる場合は、取扱説明書等で指定された上昇率以内で飛行させる。
- 前進させながら上昇させる飛行経路を検討する。
- 降下させる場合、ボルテックスリング状態に入ることを予防するため、取扱説明書等で指定された降下率範囲及び降下方法で飛行させること。
- 飛行中断に備え、飛行経路上又はその近傍に緊急着陸地点を事前に選定する。プロペラガード等の安全装備がない機体の場合、第三者の立入りを制限できる場所の選定又は補助者の配置を検討する。

- オートローテーション機能を装備した機体を運航する場合、機能が発揮できる条件を運航の計画に考慮する。

6.3.3回転翼航空機(マルチローター)

(1)回転翼航空機(マルチローター)の運航の特徴

回転翼航空機(マルチローター)は複数のローターを機体周辺に備え、ローターを回転させることにより揚力を得て垂直上昇し、フライトコントロールシステムにより安定した飛行を行うことができる。

(2)回転翼航空機(マルチローター)の使用機体と飛行計画を元にしたリスク軽減策の検討要素の例〔一等〕

1)離陸及び着陸

- 離着陸地点において、機体と操縦者、補助者及び周囲の物件との必要な安全距離を確保する。
- 地面効果範囲内の飛行時間を短くする。

2) 飛行

- 飛行経路において人や物件との必要な安全距離を確保する。
- 緊急着陸地点の安全確保方法を飛行前に検討する。
- 自動帰還時の高度を障害物等が回避できる安全な高さに設定する。

(3)リスク軽減策を踏まえた運航の計画の立案の例〔一等〕

1)離陸及び着陸

- 離陸地点は操縦者及び補助者との距離を3m以上保つか、機体の取扱説明書に推奨距離が記載されている場合はその指示に従う。
- 離陸地点は周囲の物件から30m以上離すことができる場所を選定する。距離が確保できない場合は、補助者を配置するなどの安全対策を講じる。

2) 飛行

- 飛行経路での最高飛行高度の設定を行う。
- 飛行中断に備え、飛行経路上又はその近傍に緊急着陸地点を事前に選定する。プロペラガード等の安全装備がない機体の場合、第三者の立入りを制限できる場所の選定又は補助者の配置を検討する。

6.3.4大型機(最大離陸重量25kg以上)

(1)大型機(最大離陸重量25kg以上)の運航の特徴

大型機(最大離陸重量25kg以上)は、事故発生時の影響が大きいことから、操縦者の運航への習熟度及び安全運航意識が十分に高いことが要求される。大型機は機体の慣性力が大きいことから、増速・減速・上昇・下降などに要する時間と距離が長くなるため、障害物回避には特に注意が必要である。

緊急着陸地点の選定も小型機よりは広い範囲が要求される。一般に小型の機体よりも

騒音が大きくなるため、飛行経路周囲への配慮が必要である。

(2)大型機(最大離陸重量25kg以上)の使用機体と飛行計画を元にしたリスク軽減策の検討要素の例〔一等〕

- 飛行速度に応じた障害物回避に必要な時間や距離を事前に把握する。
- 安全な緊急着陸地点を選定する。
- 離着陸地点及び飛行経路周辺の騒音問題対応を検討する。

(3)リスク軽減策を踏まえた運航の計画の立案の例〔一等〕

リスク軽減策を踏まえ、次の内容を織り込み、運航の計画を立案すること。

- 障害物回避など機体の進行方向を変える場合は、時間的、距離的な余裕を十分に考慮した飛行経路及び飛行速度を設定する。
- 緊急着陸地点は、第三者の進入が少ない場所(河川敷、農地など)を選定する。
- 離着陸地点を含む飛行経路近隣エリアへの事前説明、調整を計画する。

6.4 飛行の方法に応じた運航リスクの評価及び最適な運航の計画の立案

6.4.1夜間飛行

(1)夜間飛行の運航について

夜間飛行は、機体の姿勢及び方向の視認、周囲の安全確認が日中と比較し困難となる。夜間飛行においては、原則として目視外飛行は実施せず、機体の向きを視認できる灯火が装備された機体を使用する。操縦者は事前に第三者の立入りの無い安全な場所で、訓練を実施すること。離着陸地点を含め、回避すべき障害物などには、安全確保のため照明が必要である。

(2)夜間飛行のリスク軽減を図るための対策と提案について〔一等〕

- 操縦者は、夜間飛行の訓練を修了したものに限定する。
- 夜間における機体灯火の視認可能範囲など、飛行範囲を明確にする。
- 操縦者と補助者の連絡方法の有効性を確認する。
- 飛行経路下を飛行管理区域に設定する。
- 第三者が出現する可能性が高い地点の特定と対応方法を検討する。
- 離着陸を予定している場所、回避すべき障害物、緊急着陸予定地点を視認可能とする。

(3)夜間飛行におけるリスク軽減策を踏まえた運航の計画の立案の例〔一等〕

リスク軽減策を踏まえ、次の内容を織り込み、運航の計画を立案すること。

- 夜間飛行においては、目視外飛行は実施せず、機体の向きを視認できる灯火等が装備できる機体を使用し、機体の灯火が容易に認識できる範囲の飛行に限定する。
- 飛行高度と同じ半径内に第三者が存在しない状況でのみ飛行を実施する。
- 離着陸を予定している場所、回避すべき障害物、緊急着陸予定地点を照明の設置等により明確にするとともに、機体が視認できるようにする。
- 飛行経路全体を見渡せる位置に、無人航空機の飛行状況及び周囲の気象状況の変化等を常に監視できる補助者を配置し、補助者は操縦者が安全に飛行させることができるよう必要な助言を行う。
- 第三者が出現する可能性が高い地点には、補助者を配置する。

- 操縦者と補助者は常時連絡が取れる機器を使用する。
- 補助者についても、機体特性を十分理解させておく。

6.4.2目視外飛行

(1)目視外飛行の運航について

1)補助者を配置する場合

目視外飛行の運航は、機体の状況や障害物等の周囲の状況を直接肉眼で確認することができない。

飛行経路全体を把握し、安全が確認できる双眼鏡等を有する補助者の配置を推奨する。目視外飛行においては、次に掲げる機能を装備した無人航空機を使用すること。

- 自動操縦システムを装備し、機体に設置したカメラ等により機体の外の様子が監視できる。
- 地上において、無人航空機の位置及び異常の有無を把握できる(不具合発生時に不時着した場合を含む)。
- 不具合発生時にフェールセーフ機能が正常に作動する。

当該機能の例は、以下のとおり。

- ①電波断絶の場合に、離陸地点まで自動的に戻る機能又は電波が復帰するまでの間、空中で位置を継続的に維持する機能
- ②GNSSの電波に異常が見られる場合に、その機能が復帰するまでの間、空中で位置を継続的に維持する機能、安全な自動着陸を可能とする機能又はGNSS等以外により位置情報を取得できる機能
- ③電池の電圧、容量又は温度等に異常が発生した場合に、発煙及び発火を防止する機能並びに離陸地点まで自動的に戻る機能又は安全な自動着陸を可能とする機能

2)補助者を配置しない場合

補助者を配置しない場合は、無人航空機に求められる要件が追加されることに注意が必要である。

追加される要件を次に掲げる。

- 航空機からの視認をできる限り容易にするため、灯火を装備する。または飛行時に機体を認識しやすい塗色を行う。
- 地上において、機体や地上に設置されたカメラ等により飛行経路全体の航空機の状況が常に確認できる。
- 第三者に危害を加えないことを、製造事業者等が証明した機能を有する。ただし立入管理区画(第三者の立入りを制限する区画)を設定し、第三者が立ち入らないための対策を行う場合、又は機体や地上に設置されたカメラ等により進行方向直下及びその周辺への第三者の立入りの有無を常に監視できる場合は除く。
- 地上において、機体の針路、姿勢、高度、速度及び周辺の気象状況等を把握できる。
- 地上において、計画上の飛行経路と飛行中の機体の位置の差を把握できる。
- 想定される運用に基づき、十分な飛行実績を有する機体を使用すること。
この実績は、機体の初期故障期間を超えていること。

(2)目視外飛行のリスク軽減を図るための対策と提案について〔一等〕

1)補助者を配置する場合

- 操縦者は、目視外飛行の訓練を修了したものに限定する。
- 事前確認などにより、適切な飛行経路を選定する。
- 適切な補助者の配置を検討する。
- 飛行前に、飛行経路下に第三者が存在しないことを確認する。
- 操縦者と補助者の連絡方法の有効性を確認する。

2)補助者を配置しない場合

補助者を配置しない場合は、次の内容を追加する。

- 操縦者は、補助者無し目視外飛行の教育訓練を修了したものに限定する。
- 飛行経路は第三者の存在する可能性の低い場所を選定する。
- 有人機の運航を妨げない飛行範囲を設定する。
- 緊急時の対応と、緊急着陸地点をあらかじめ設定する。
- 立入管理区画を設定した場合、第三者が立ち入らないための方策及び周知方法を設定する。

(3)目視外飛行におけるリスク軽減策を踏まえた運航の計画の立案の例〔一等〕

リスク軽減策を踏まえ、次の内容を織り込み、運航の計画を立案すること。

1)補助者を配置する場合

- 飛行経路及び周辺の障害物件等を事前に確認し、適切な経路を特定し選定すること。
- 飛行経路全体が見渡せる位置に飛行状況及び周囲の気象状況の変化等を常に監視できる双眼鏡等を有する補助者を配置し、操縦者へ必要な助言を行うこと。
- 操縦者と補助者が常時連絡を取れること。
- 補助者が安全に着陸できる場所を確認し、操縦者へ適切な助言を行うことができること。
- 補助者にも機体の特性を理解させておくこと。

2)補助者を配置しない場合

補助者を配置しない場合は、次の内容を追加する。

- 飛行経路には、第三者が存在する可能性が低い場所を設定する。第三者が存在する可能性が低い場所は、山、海水域、河川・湖沼、森林、農用地、ゴルフ場又はこれらに類するものとする。
- 空港等における進入表面等の上空の空域、航空機の離陸及び着陸の安全を確保するために必要なものとして国土交通大臣が告示で定める空域又は地表若しくは水面から150m以上の高さの空域の飛行は行わない。(一時的に地表から150mを超える飛行を行う場合は、山間部の谷間など、航空機との衝突のおそれができる限り低い空域を選定する。)
- 全ての飛行経路において飛行中に不測の事態(機体の異常、飛行経路周辺への第三者の立入り、航空機の接近、運用限界を超える気象等)が発生した場合に、付近の適切な場所に安全に着陸させる等の緊急時の対策手順を定めるとともに、第三者及び物件に危害を与えずに着陸ができる場所を予め選定すること。
- 飛行前に、飛行させようとする経路及びその周辺について、不測の事態が発生した際に適切に安全上の措置を講じることができる状態であることを現場確認する。

- 飛行範囲の外周から落下距離の範囲内を立入管理区画とし、飛行経路には第三者が存在する可能性が低い場所の設定基準を準用する。
- 立入管理区画を設定した場合は、当該立入管理区画に立看板等を設置するとともに、インターネットやポスター等により、問い合わせ先を明示した上で上空を無人航空機が飛行することを第三者に対して周知する。
- 立入管理区画に道路、鉄道、家屋等、第三者が存在する可能性を排除できない場所が含まれる場合には、追加の第三者の立入りを制限する方法を講じる。