

はじめに

無人操縦航空機の発展と、その機能を十二分に活用した多くの産業利用は近年益々注目されています。

現場では高いレベルの技術ニーズが進むと同時に、使用される航空機の性能向上にともない、オペレートする操縦士にも相応の知識が必要になってきています。

本テキストの内容は、航空工学の基礎知識、気象学の基礎知識、関係航空法の知識、関係空域の区分並びに同知識、ドローンを中心とした関連無線操縦航空機の知識並びに技術的な裏付けが求められています。

無人航空機操縦士養成協会は、無人航空機産業を益々発展させるために、産業貢献と運行上の安全な飛行と操縦士の技術的向上を目指し、国土交通省の求める無人航空機操縦士としてのスキルを満たす人材育成を目的として設立されました。

受講者は、より現実的実践的な教育計画に基づき、知識および技能を習得し、修了者は操縦者技術証明書の取得が可能となります。

次のステップとして安全運航管理者講習を受講することにより、安全運航管理者証明書の取得が可能です。

INDEX

Chapter	1	無人航空機概論	5
Chapter	2	法規制・ルール	13
Chapter	3	気 象	31
Chapter	4	基本航空力学	47
Chapter	5	技 術	57
Chapter	6	運 用	63
Chapter	7	実技マニューバ	73

Chapter 1

無人航空機概論

Chapter 1 無人航空機概論

Section 1 定義と歴史

無人航空機の定義

私達が知るドローンとは、航空法上、無人航空機と呼ばれます。

改定前航空法にはドローン、すなわち無人航空機というくりはなく、航空法上、航空機とは「空中の移動に供する乗り物」とあったのが、改定航空法ではドローンを航空機として扱い、航空機とは「**空中の移動に供する物**」となった。

航空機を分類すれば、次のように区分することが出来る。

飛行機

固定された翼を有し、エンジンの推力で揚力を得る航空機。



回転翼機

ヘリコプター。ジャイロコプターで回転する翼で揚力を得る航空機。



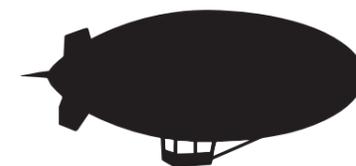
滑空機

固定翼を持つがエンジンなどの動力は有しないグライダー。



ライターゼンエアー

空気より軽い航空機。飛行船、熱気球など。



※航空法上の区分は上記となるが、飛行機を回転翼に対して固定翼と呼ぶ場合も有る。

無人航空機とは、構造上人が乗ることが出来ないもの、遠隔操作または自動操縦により飛行させることが出来るものを言う。(200g未満の自重のものは航空機と看做されない)
すなわち自重200g以下の無人航空機の操縦には、操縦技能証明の必要はない。

UAV = Unmanned Aerial Vehicle
UAS = Unmanned Aircraft System
RPAS = Remotely Piloted Aircraft Systems

無人航空機の区分と特長

<p>回転翼機</p> <p>ローター、プロペラの回転により、揚力や推力を生み出し空中を移動する 飛行可能距離は短い 垂直離着陸、空中での停止飛行も可能</p>	<p>固定翼機</p> <p>固定された翼を有し、エンジンによる推力により、主翼に揚力を生み出し浮上飛行する</p>	<p>飛行船、気球</p> <p>空気より軽い気体の利用により浮上して飛行する 大気に左右され操縦性は悪い</p>
<p>テルト機</p> <p>回転翼、固定翼の両方の能力を持ち合わせた航空機で古くはVTOLと呼ばれることもあり、近年ではオスプレーが有名である</p>	<p>シングルローター</p> <p>ローターがひとつなので、バランスの調整は難しいが、機体構造はシンプルである</p>	<p>マルチコプター</p> <p>ローターが3軸以上の回転翼機 3枚：トライコプター 4枚：クアドロコプター 6枚：ヘキサコプター 8枚：オクタコプター</p>

無人航空機をめぐる現状と未来

無人航空機の区分

無人航空機を大きく分けると、3つに分けることが出来る。それは利用実態と自重とでの区分である。今後、時代とともに無人航空機の大型実用化が進み、ヘリコプターの領域にまで活躍の領域が広まるであろう。

<p>大型機</p> <p>数百kg～数百トン規模 関連技術の確立</p>	<p>主な用途： 国際間運行を含む長距離輸送 貨物機における無人省力化</p> <p>目的用途の拡大</p>
<p>中型機</p> <p>25kg以上～150kg程度 今後の産業拡大</p>	<p>主な用途： 農業散布 軽量貨物の物資輸送 農業散布は日本が先行実現(ヘリコプター)</p>
<p>小型機</p> <p>25kg以下</p>	<p>主な用途： 空中撮影 測量</p> <p>海外製も含め 大幅な販売価格のダウンにより、ドローンが身近になり、ホビーとしても身近になった</p>

歴史における無人航空機

いろいろな産業機器がそうであるように、無人航空機の歴史も、軍事目的から始まっている。すでに1930年にはその開発と実験が始まり、GPS技術の進化とともに飛躍的に広まり、軍事技術はそのまま民間技術の発展の手助けとなっている。

軍事

第二次大戦前後にかけて、すべての航空機は軍事利用に目を向けられた。

- * 1930年代は飛行機を無人で遠隔操作により飛行させる試みが始まった。
- * 1935年には英国で有人練習機を改造した標的機が製造開始。
- * 1940年に米国でラジコン固定翼機を改造した標的機が「ターゲット ドローン」と命名され正式採用された。

戦後

- * 第二次大戦後、ドローンを遠隔操作でなく自動で飛行させる研究が進行。
- * 小型無人航空機航法技術は、GPS（全地球測位システム）により実用化と飛躍的な進歩を遂げている。

民間

農薬散布ヘリコプター

- * 農薬散布から始まった無人ヘリコプターの産業利用が1980年代に研究が始まり、1990年から機体の販売が開始された。

電動マルチコプター

飛行機、ヘリコプターが主流であった航空撮影は、高高度撮影となりエリア的そして気象的条件で制限されるが、低高度や特定エリアに限れば小型無人操縦航空機、すなわち電動マルチコプターと呼ばれるものの進出がめざましい。

電動マルチコプターは1990年代からその研究が進み、2010年にフランスのトイメーカーである「パロット社」がマルチコプターとして発売したのがきっかけとなり、ホビーユースの機体が世界市場に出回った。

同時に、革命的なバッテリーの軽量化や高性能技術の発展ならびに通信技術、GPSの目覚ましい技術進歩が小型無人航空機の発展を後押ししてきた。

Section 2 適用事例

無人航空機の民間使用事例は、まだそれ程大きなものではない。従来からヘリコプターや飛行機で行われていた高高度・広範囲での撮影、調査、測量分野への進出が目立っている。

無人航空機の民間事例

利用分野	事例
物流	輸送、保管、役務
農業、林業	農薬散布、設備点検、育成管理、いけす管理
建築、土木	測量 現状建築物の点検監視、高層建築物の細部監視点検 歴史的な重要建築物の日常点検
調査	災害調査、遺跡調査、森林観察、事故調査 道路調査、地図制作、河川・海岸調査 送電用鉄柱 アンテナの点検管理
撮影	立ち入り困難場所、人文字等記念撮影 展示用プロモーション撮影、写真による商用写真 動画によるテレビCM、番組撮影 大型施設の記念写真、大規模開発の準備写真・測量準備資料
報道	テレビ報道、新聞、雑誌
その他	防災・防犯システムとしての動画、ソーラーパネルの運営管理 警備・環視システム 資産評価

無人航空機における今後のテーマとして考えられる課題を列記してみよう。

テクニカルテーマ

項目	課題	対応
航法	GPS精度向上 GPS信号不可能状態での位置推定	GBAS, SBAS (Ground and Satellite based Augmentation System)
制御	自律制御の確立 遠距離操作の確実性	衝突防止 マンマシンインターフェース
機体	長時間滞空の確立 構成部品の信頼性向上	バッテリーの軽量化 燃料電池 認証技術
通信	画像伝送 リアルタイム 視程外飛行	デジタル伝送規格 新規格 自動飛行、衛星通信 携帯回線

システムのテーマ

項目	課題	対応
操縦者	技能証明	操縦許可の制度化 (技能・知識)
機体	安全性、信頼性の確保	機体検査制度の導入
事故対策	事故の把握 安全運行の向上	個別事故の届け出制度の確立 事故分析とデータ公開
運行基準	飛行高度 飛行エリア 航空法	最高飛行高度 飛行禁止エリアの設定と掌握 関連航空法の学習と理解
賠償責任問題	法の体系化	法的制度の義務化

Chapter 2

法規制・ルール

Chapter 2 法的規制とルール

Section 1 国際的なルールと法整備

無人航空機の発展とともに、事故の発生も増し、2002年のオーストラリアをはじめとして、各国においての方位整備が進められてきた。2021年にはIC内の国際民間協定においても、シカゴ条約改定等が行われ、無人航空機の規制と関連法の整備が進められています。

国際的な無人航空機の法整備の動向

機関・政府	制定	備考
オーストラリア	2002年	
英国	2002年	2010年に改訂
フランス	2014年	FPDCがガイドライン制定
カナダ	2014年	2016年全面改訂
ニュージーランド	2015年	
バハマ・南アフリカ	2015年	
日本	2015年12月10日	
米国	2016年6月28日交付	2016年8月29日施行
EU	2017年(予定)	欧州統一規格
ICAO	2021年(予定)	シカゴ条約改定、RPASの規定

Section 2 国内法の動向

安全確保の総括的な仕組み

国際法	シカゴ条約 (ICAO) 国際民間航空条約
国内法	最低限度規制 関連法規が多い



無人航空機に関する主な国内法

無人航空機を運航するには概ね10本の法律や法令条例が直接間接に関り、それらを列記すると下記のようになります。

航空法並びに同法施行規定、無人航空機等飛行禁止法、道路交通法、民法、

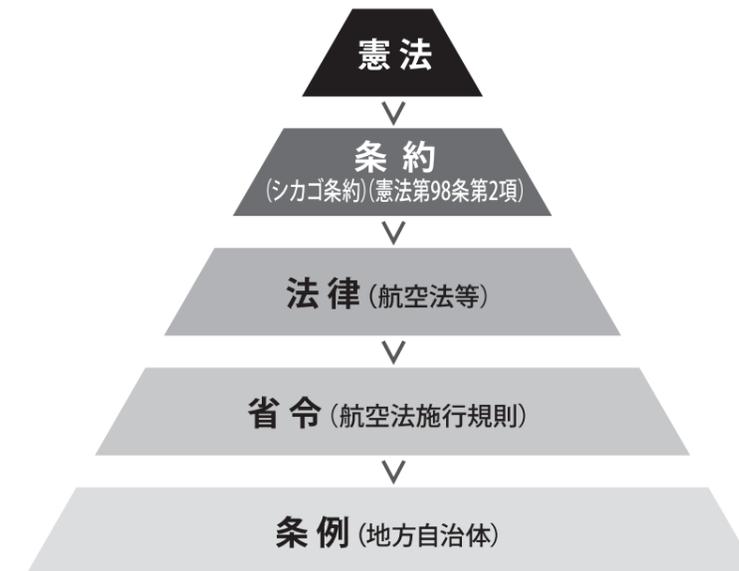
個人情報保護法、電波法、外為法、産廃法、刑法、各条例。

その中でも無人航空機の運航に直接かわる法律法令は、下記のものに代表されます。

- 航空法・同法施行規則
- 無人航空機等飛行禁止法
- 電波法
- 道路交通法
- 個人情報保護法

法の種類と優先順位

無人航空機に関する法律・法令は、前述したとおりですが、それら法の種類と優先順位を表記します。



特別法は一般法に優先する。

特別法：適応範囲が狭い対象の限られた法律 (航空法等)

一般法：適応範囲が広い総括的な法律 (民法等)

また新法は旧法に優先する。

無人航空機等飛行禁止法

対象施設等の指定

対象施設

- ① 国の重要な施設等
 - ア、国会議事堂等
 - イ、内閣総理大臣官邸等
 - ウ、対象危険管理行政機関
(機関・庁舎を政令で指定)
 - エ、最高裁判所
 - オ、皇居
 - カ、対象政党事務所
- ② 対象外国公館等
- ③ 対象原子力事業所(類型を政令で規定)

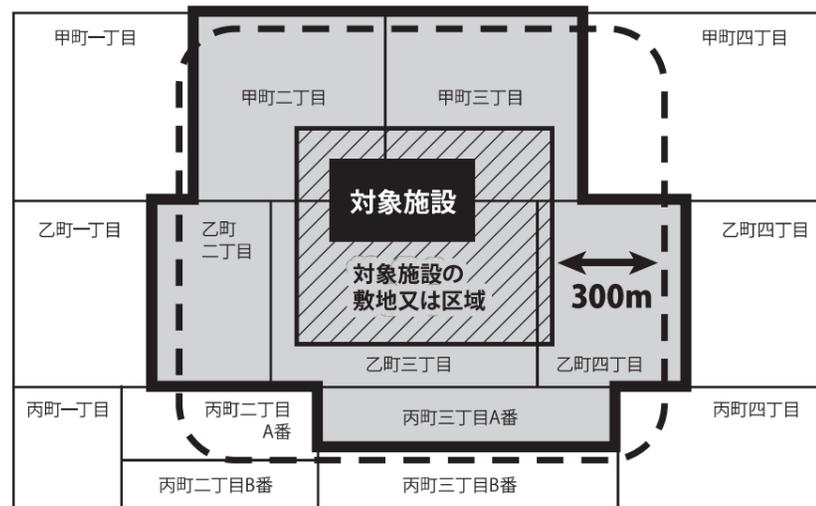


**国の重要な施設
や在外公館、原子力発電所上空
の飛行禁止**

対象施設周辺地域

対象施設の敷地又は区域の周辺300mを基準として、
例えば番地単位で指定することを想定

各指定者は、対象指定施設等を指定するときはあらかじめ、警察庁長官等と協議しなければならない



灰色区域 及び斜線区域 の上空における飛行を禁止

※通用除外を受ける場合であっても、国家公安委員会規則で定めるところにより、
小型無人機等の飛行を行う旨を都道府県公安委員会等に通報しなければならない。

無人航空機等の飛行禁止

① 無人航空機の飛行

「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出来る機器であつて、構造上人が乗ることが出来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。」

② 特殊航空用機器を用いて人が飛行すること

「航空法上航空機以外の航空の用に供することが出来る機器であつて、当該機器を用いて人が飛行できるもの(高度又は進路を容易に変更することができるものとして国家公安委員会規則で定めるもの)に限る。」

警察官等は、本法の規定に違反して無人航空機等の飛行を行う者に対し、機器の撤去その他の必要な処置をとることを命ずることが出来る。

また、即時強制として当該無人航空機等の飛行の妨害、破損その他の必要な処置をとることが出来る。

前頁飛行禁止に関する 説明区分図色分け説明を下記に示す

- 灰色区域**上空における飛行
警察官による排除命令・排除処置の対象
(命令違反:懲役1年以下・罰金50万円以下)
- 斜線区域**上空における飛行
上記排除命令・排除処置に加え
懲役1年以下・罰金50万円以下の刑事罰(直罰)の対象

改正航空法における無人航空機

【条文】

航空法上の無人航空機の対象について（法第2条第22項関係）---航空機の航行の安全並びに地上及び水上の人及び物件の安全が損なわれるおそれがないもの。

【法の適用対象機種】

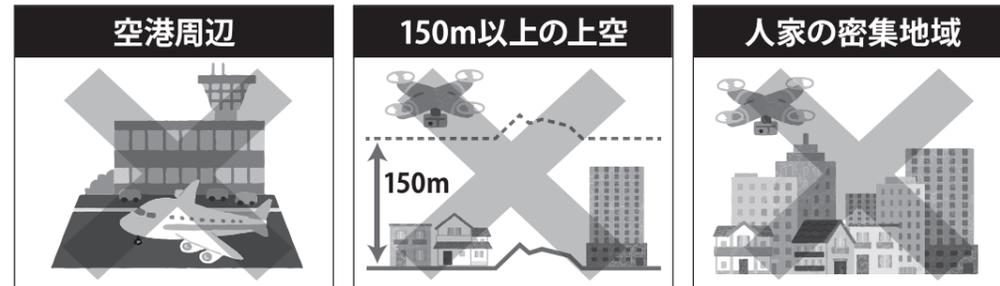
人が乗ることが出来ない構造の飛行機（固定翼機）、回転翼機（ヘリコプター、マルチコプター）、滑空機、飛行船（気球）、その他遠距離操作や自立飛行する機械（地上から有線にて操作する機器を含む）で重量200g以上のもの（重量には電池、付属品一式を含む。但し液体燃料は含まない）を対象とする。

【法の適用対象外の機種】

模型飛行機：重量200g未満

【飛行禁止空域】

次の場所では、無人航空機の飛行は禁止されている。飛行させたい場合には、国土交通大臣による許可が必要となるので、所定の手続きを行うこと。

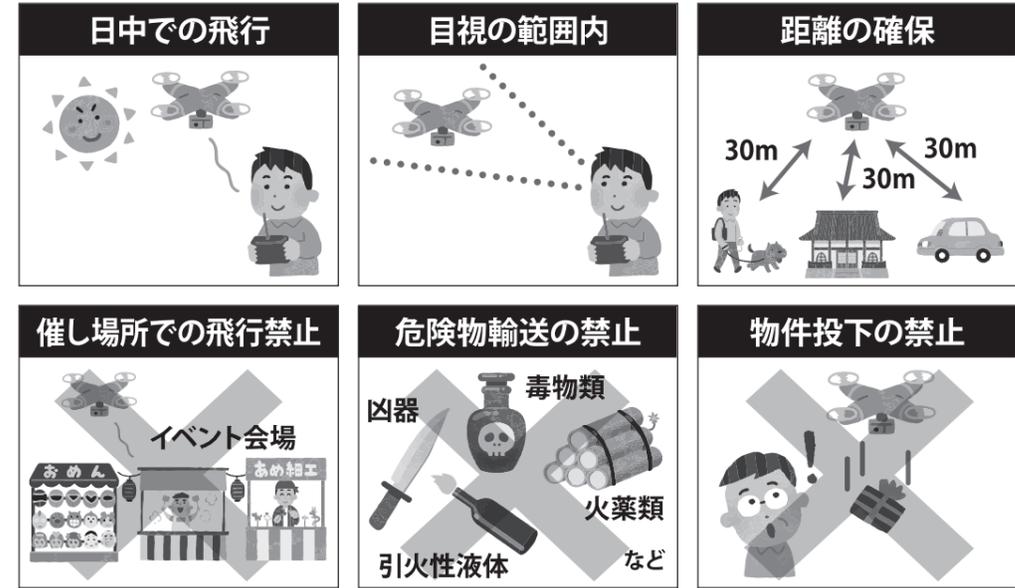


※出典：国土交通省 改正航空法概要ポスター抜粋

航空法を改正し、無人航空機を定義（施工規則で200g未満は除く）。

【飛行の方法】

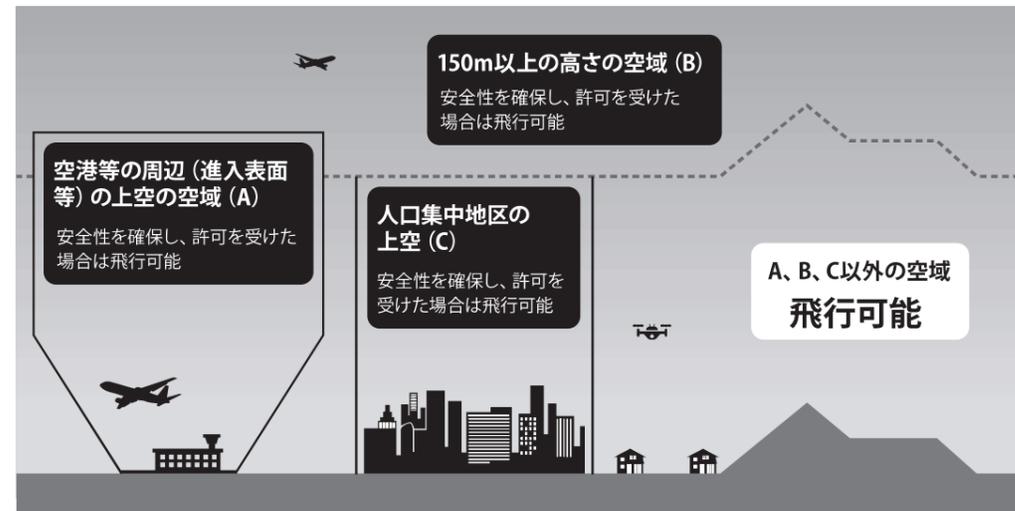
無人航空機を飛行させる際には、次の方法に従って飛行させる。これらの方法によらずに飛行させたい場合には、国土交通大臣による承認が必要となるので、所定の手続きを行うこと。



※出典：国土交通省 改正航空法概要ポスター抜粋

- ・飛行禁止エリアの制定
- ・飛行方法の規制

【許可を必要とする空域】 (空域の形状はイメージ)



※出典：国土交通省

【空域 (B) : 航空法における空港】

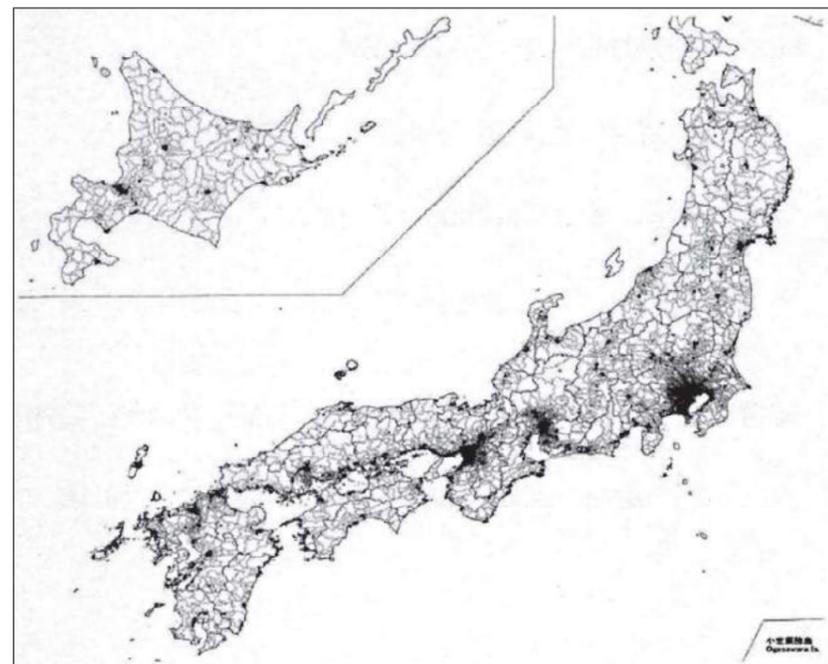
航空法における空港とは、日常的に航空機の離発着に供する施設であり、空港等又は政令で定める航空保安施設を設置しようとするときは第38条の定めに従い国土交通大臣の許可を受けなければならない。 *米軍管理の飛行場、軍用(自衛隊)は除く

【第79条: 離着陸の場所】

航空機(国土航空省令で定める航空機を除く)は、陸上であつては空港等以外の場所において、水上機に有つては国土交通省令で定める場所において、離陸し着陸してはならない。
ただし、国土交通大臣の許可を受けた場合は、この限りでない。
但し書きで許可された飛行場「場外離着陸場」は除く

【空域 (C) : 人口集中地区】

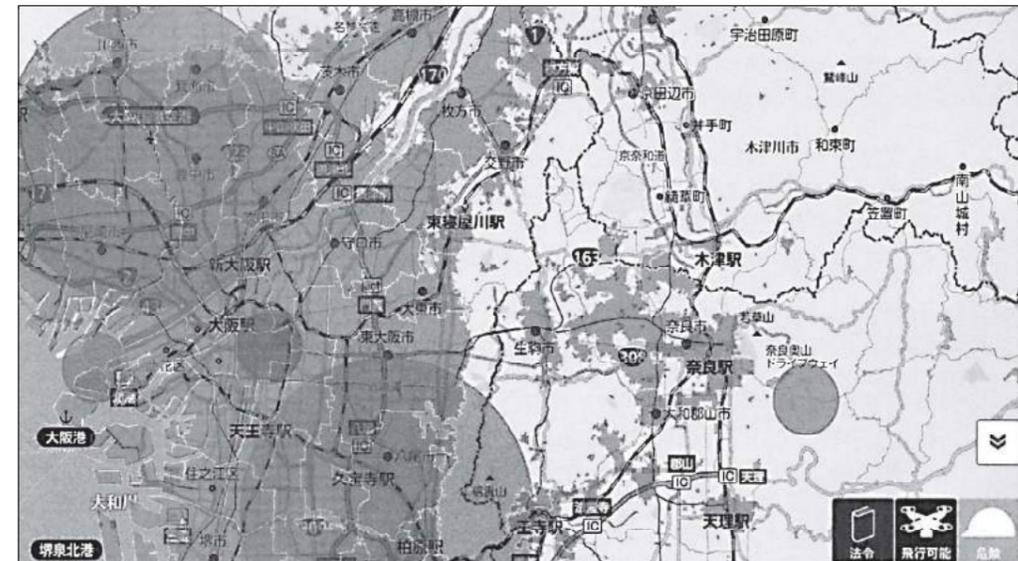
平成22年の国勢調査の結果による人口集中地区の上空
飛行させたい場所が人口集中地区に該当するかは、航空局ウェブサイトを通じて確認。
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html



※出典: 国土交通省

【飛行禁止エリア例】

ドローン専用飛行支援地図サービス SORAPASS



【飛行方法解説】

項目	内容
日中	日の出から日没まで(気象庁発表)
目視(有視界)	肉眼で見ること 望遠鏡、モニターで見ることは目視ではなく 有人機でいう有視界飛行の規定は、航空法で定めるところである
距離の確保	第三者、第三物からの距離
催し場所	イベント、祭礼、デモ、スポーツ大会など自然に人が集まった場合は該当しない
危険物	航空法施行規則第194条(輸送禁止の物件、可燃物、毒物など)
投下	地上からの距離にかかわらず、機体から搭載物を切り離す行為

【飛行方法の特例】

搜索、救助などの特例

航空機（国土航空省令で定める航空機を除く）は、陸上であっては空港等以外の場所において、水上機に有っては国土交通省令で定める場所において、離陸し着陸してはならない。
ただし、国土交通大臣の許可を受けた場合は、この限りでない。
但し書きで許可された飛行場「場外離着陸場」は除く

緊急認可に関する特例

許可申請は飛行開始予定日の10開庁日前までに文書により行う必要があるが、
「(ア) 事故及び災害に際して緊急に支援活動をする必要がある場合、事故及び災害の報道取材のため緊急を要する場合、その他特に緊急を要する場合には、電子メール又はファクシミリによる申請で足りるとされ、
(イ) 災害対策基本法の定める災害にあたる場合又はこれに類する場合で、かつ、緊急に支援活動をする必要がある場合には、電話による申請で足りるとされている。

道路交通法

道交法には上空・空中に対する規制はない。航空法により規定された航空機（無人航空機を含む）は原則として飛行に制限はないが、無人航空機の場合は、例えば地上1mでの飛行も可能なため四項の警察の判断が優先する。

第77条 次の各号のいずれかに該当する者は、それぞれ該当各号にあげる行為について当該行為に関わる場所を管轄する警察署長（以下の節において「所轄警察署長」という）の許可（当該行為に関わる場所が同一の公安委員会の管理に属する二つ以上の警察署長の管轄にわたるときは、そのいずれかの所轄警察署長の許可。以下この節において同じ）を受けなければならない。

前各号に掲げるもののほか、道路において祭礼行事をし、またはロケーションをする等、一般交通に著しい影響を及ぼすような通行の形態もしくは方法により道路を使用する行為又は道路に人が集まり一般交通に著しい影響を及ぼすような行為で、公安委員会が、その土地の道路又は交通の状況により、道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑をはかるため必要と認め定めたものを使用する者。

民法

民法第207条：土地の所有権

土地の所有権は、法令の制限内においてその土地の上下に及ぶ。
有人航空機は航空法において公共性を謳われているため、この条項は適用されないが（特別法の優位性）無人航空機に関しては公共性を謳うのは無理があり、また地上や水面の近くを飛行するなど地権者に対する影響は非常に大きいことから依然としてこの条項は有効であると解釈される。

航空法第1条：法の目的

この法律は、国際民間航空条約の規定並びに同条約の附属書として採択された標準、方式及び手続きに準拠して、航空機の航行の安全及び航空機の航行に起因する障害の防止を図るための方法を定め、並びに航空機を運航して営む事業の適正かつ合理的な運営を確保して運送の安全を確保すると共に、その利用者の利便の増進を図ることにより、航空の発達を図り、もって公共の福祉を増進することを目的とする。

民法第1条：基本原則

私権は、公共の福祉に適合しなければならない。

電波法

無線局の開設

電波法第4条 無線局を開設しようとする者は、総務大臣の許可を受けなければならない。
ただし、次の各号に掲げる無線局についてはこの限りではない。
発射する電波が著しく微弱な無線局で総務省令で定める者（微弱無線局）。

電波法施行規則の改正

- * 2016年8月31日、小型無人航空機（ドローン）で使える電波の出力が最大1Wまでに改正された（従来は10mw）。
- * 従来は10mwまでは微弱無線局であるが、これを超えると個別に無線局の免許が必要となる。
- * 1w出力の場合、電波到着距離は微弱電波に比べ2～3倍となる。

個人情報保護法

総務省のガイドライン

小型無人機「ドローン」による映像撮影等のインターネット上での取り扱いに関わる注意

*無人の小型航空機である「ドローン」は、普段人の目が届かない民家やマンションの部屋の中などを空から撮影することが可能で、ドローンを用いて撮影した画像映像を被撮影者の同意なくインターネット上で公開する場合には、被撮影者のプライバシー及び肖像権を侵害する恐れがある。

*このため小型無人機（ドローン）を用いて撮影した写真・映像をインターネット等で公開する場合には、被撮影者のプライバシー及び肖像権、並びに個人情報保護に配慮しなければならない。具体的には撮影に際し被撮影者の同意を取ることを前提とし、困難な場合には以下の処置をとる必要がある。

- ・人物の顔や車のナンバープレート等個別識別が可能なものはボカシを入れるなどの処置をすること。表札、住居の外観、洗濯物、その他、生活状況を推測出来るような私物等も個人情報保護法の対象となる可能性がある。
- ・特に、小型無人機（ドローン）による撮影映像等をインターネット等で公開するサービスを提供する事業者においては特に注意が必要。

小型無人機ドローンを用いて画像・映像を撮影し、さらに被撮影者の同意なくその画像・映像を公開した場合、以下のリスクを負うことになります。

*民事上、撮影者は被撮影者に対して、不法行為に基づく損害賠償請求を負うことになる（民法第709条：故意又は過失によって他人の権利または法律上保護される利益を侵害した者は、これによって生じた損害を賠償する責任を負う。）

*浴場、更衣場や便所など人が通常衣服をつけないような場所を撮影した場合には、刑事上、軽犯罪法の対象となる恐れがあります（軽犯罪法第1条：左各号の1に該当する者は、これを留置又は科料に処する。同法第23号：正当な理由がなくて人の住居、浴場、更衣場、便所、その他人が通常衣服をつけないような場所をひそかにのぞき見た者）。

*個人情報取り扱い業者による撮影の場合には、無断での撮影行為不正手段による個人情報の収集に当たり、個人情報保護法の違反行為となる恐れがあります（個人情報の保護に関する法律第17条：個人情報取扱業者は、偽りその他不正の手段により個人情報を取得してはならない）。

*表札、住居の外観、洗濯物その他生活状況を推測できるような私物もプライベートとして法的保護の対象になることがある。

外為法・産廃法・刑法

外国為替及び外国貿易法

- * 特定技術を特定国あるいは特定組織に販売する場合、経済産相の許可が必要
- * 無線航空機関連では特定の飛行制御装置、センサーなど

廃棄物の処理及び清掃に関する法律

- * 不法投棄の罰則は個人は懲役または罰金。法人に対しては高額な罰金

刑法第129条（過失往来危険）

- * 過失により、汽車、電車若しくは艦船の往来の危険を生じさせ、又は汽車若しくは電車を転覆させ、若しくは破壊し、若しくは艦船を転覆させ、沈没させ、若しくは破壊した者は、30万円以下の罰金に処する。

参考 米国法（FAR）の概要：小型無人航空機抜粋

- 1、重量55ポンド以下（25kg以下）に適合。
- 2、地表から400ft以下（約120m）。
- 3、目視範囲内（VLOS=Visual Line of Sight）。
- 4、第三者の上空、屋内、社内では飛ばさない方が良い。
- 5、昼間のみ。ただし日の出30分前、日没30分後では衝突防止灯をつける。
- 6、航空機の進路を妨げない。
- 7、FPV飛行は目視には該当しないが許可により使用できる（FPV=First Person View）。
- 8、最高飛行速度は対地速度で時速100mph（160km）以内とする。
- 9、有償での貨物運送は以下の条件でのみ可能
 - *総重量（機体と積載物）が55ポンド以下。
 - *可視範囲で移動中やの車や飛行機で空の操縦ではないこと。
 - *ハワイ州、コロンビア州、を除く国内もしくは米国領土。
 - *リモートパイロットの承認は16歳以上であること。FAAが認可した試験センターにおいて筆記試験に合格するまたはパイロット資格を持ち、24ヶ月以内の飛行経験があり、UASに関するFAAのリモート訓練コースを修了していること。

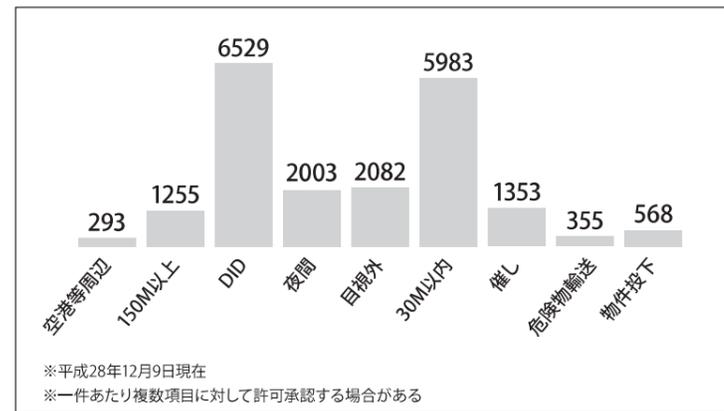
Section 3

国内の飛行状況

改正航空法の運用状況

1年間（平成27年12月10日～平成28年12月9日まで）に、12,300件の申請（事前相談を含む）を受け、10,120件の許可・承認を行っています。

※1日当たり平均して、約50件程度の申請を受け、それらを処理している。

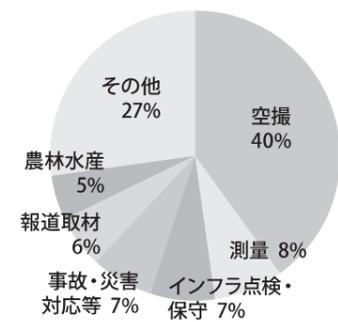


※出典：国土交通省

許可等を行ったものは、人口集中地区（DID）上空での飛行等に係わるものや空撮等を目的とするものが多数を占めている。

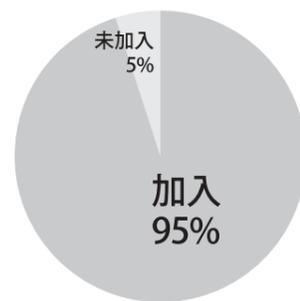
※ただし、許可等に当たっては、原則として第三者上空を避けて飛行させることを求めている。

目的別許可承認状況



※平成28年12月9日現在
※許可等の際に確認したもの

保険加入状況

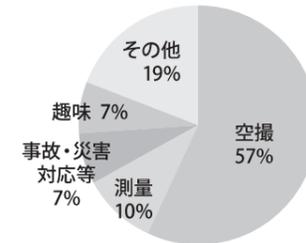


※出典：国土交通省

保険加入の浸透に見られるように、操縦者等の安全意識も向上していると考えられる。

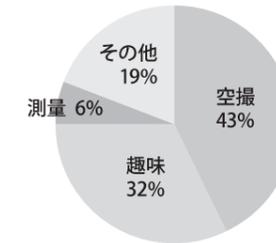
目的別許可承認件数

空港等周辺



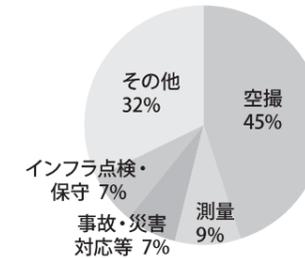
合計 376件

150M以上



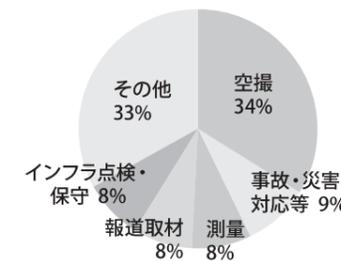
合計 1,572件

DID



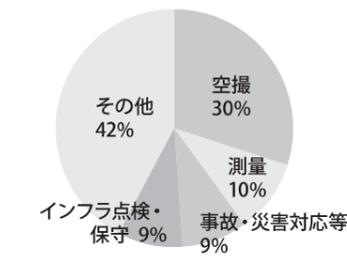
合計 12,586件

夜間



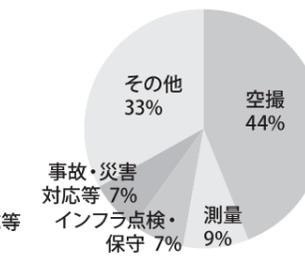
合計 5,258件

目視外



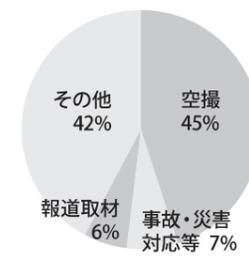
合計 5,847件

30M以内



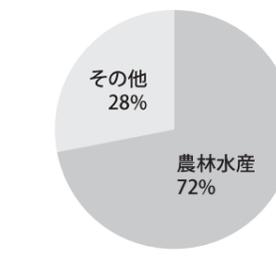
合計 11,901件

催し



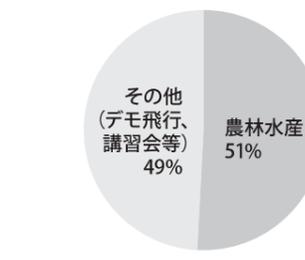
合計 2,591件

危険物輸送



合計 463件

物件投下



合計 836件

※平成28年12月9日時点 ※出典：国土交通省

Chapter 3

気象

Chapter 3 気象

Section 1 航空機と気象

航空機にとって天気の予測

空中の移動に供する航空機にとって、飛行地現在の気象や今後の気象を知ることは重要です。

小型無人航空機にとって、気象判断により生命の危険を脅かすという事も皆無なはずですが、今後、小型無人航空機で商業飛行を行う場合、クライアントと約束した実施日の天候は商業飛行を左右する重要な要素となります。

当講習会を終了した後、ドローンパイロットとして商業飛行をする例として

- *写真撮影
- *テレビCMをはじめとする動画撮影
- *測量
- *災害復旧支援

その他にも、これから始まろうとするドローン関連ビジネスは、農業・運送・施設管理と幅広い業務が考えられますが、すべての飛行が天候に左右されやすく、すべての飛行業務は良い天候下であればあるほどいい仕事結果が期待できます。

「いいドローンパイロットは、いい気象予報士でもある。」

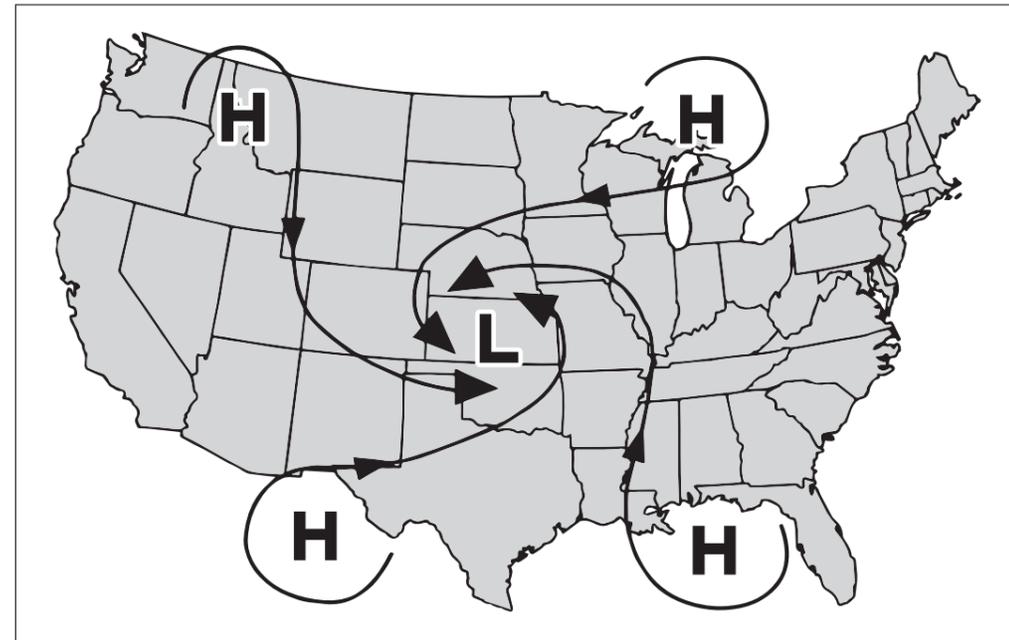


高気圧と低気圧

空気の流れの基本は、一番空気が熱せられる赤道から南極、北極への空気の流れ、すなわち熱い空気が持ち上げられ、冷たい空気は下へ下がるという理論です。

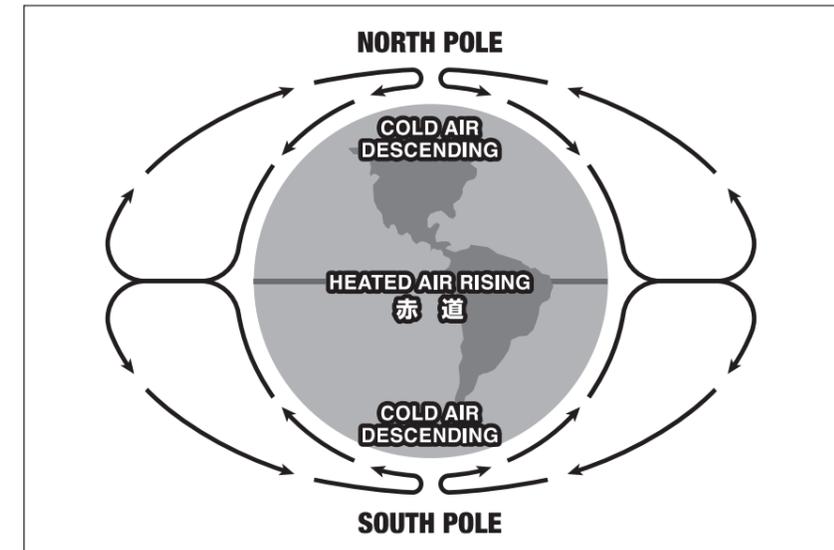
そして地球表面上には、周囲に比べ気圧が高いところと低いところがあります。

周りに比べて高いところの事を私たちは高気圧、反対に低いところは低気圧と呼んでいます。高気圧は北半球では右回りに中心部から空気が噴き出しており、低気圧には左回りに空気が吹き込んでいます。



大気循環の原因

寒冷空気が赤道へ流れ込む経路と、赤道の空気が上空に押し上げられ、南極、北極の上空へ流れる経路によって、地球上には大きな2つの循環が起きます。

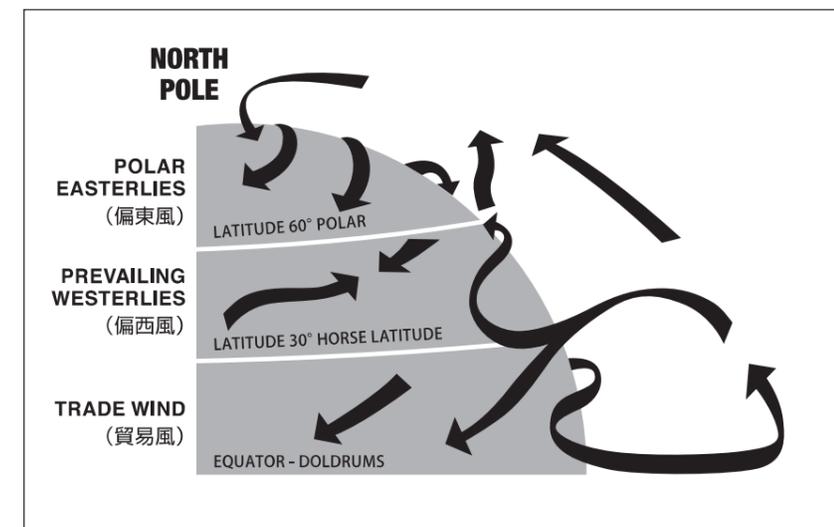


地球が停止しているときの大気循環のモデル

この理論上の流れには、他のいろいろな力が作用します。

特に、大きな力は地球の自転です。北半球では、地球の右回転が右側に偏らせるような流れに変えます。

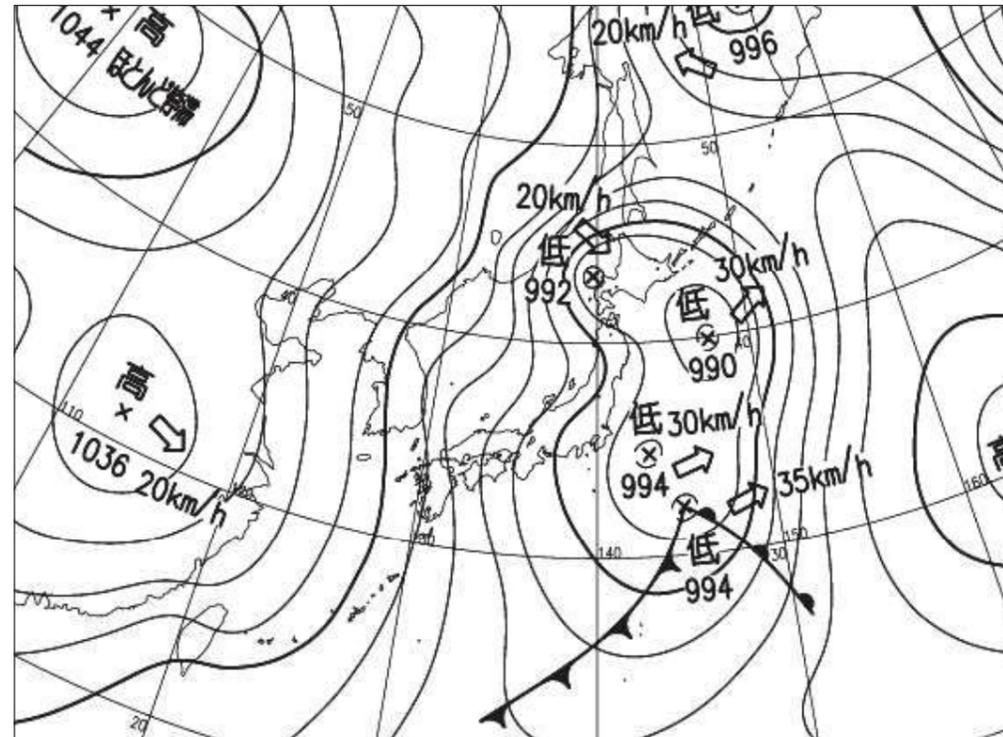
下図は、北半球に限定した大気の流れが、自転によってどのように変化するかを説明したものです。



北半球での大気の大循環

Section 3

天気図と等圧線



上記に示すのが天気図で、等圧線とは同じ気圧エリアを結んだものである。天気図上、「H」または「高」で示された所が高気圧エリアで、「L」または「低」で示されたのが低気圧です。等圧線の間隔が狭いほど風力は強くなります。

Section 4

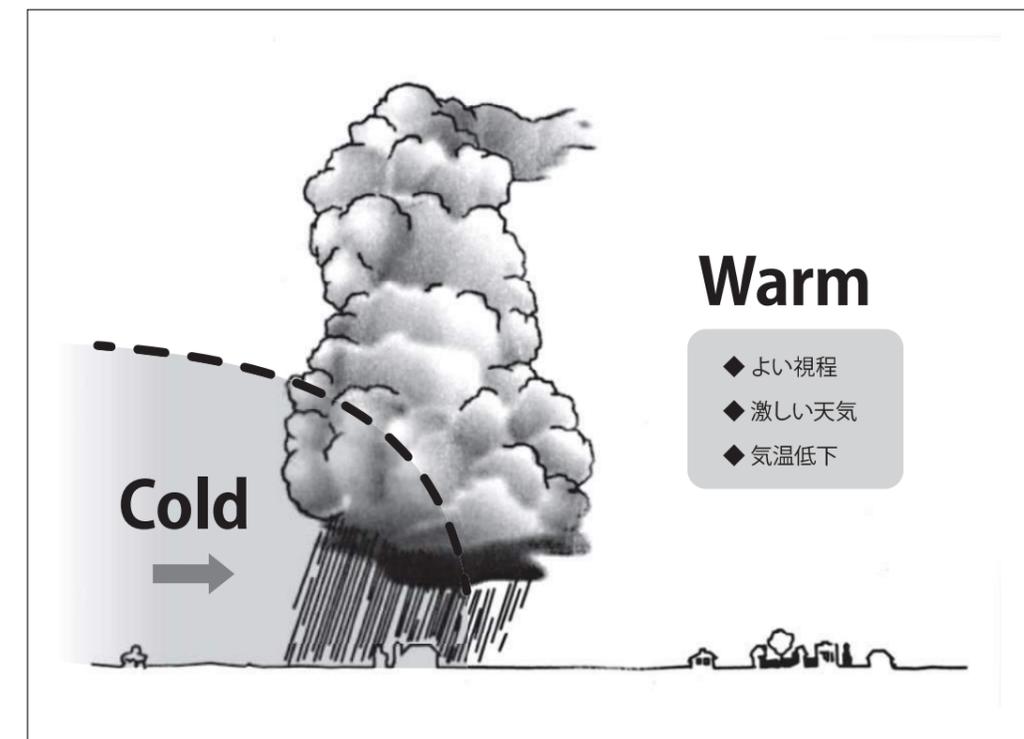
前線と雲

前線

前線は簡単に言えば、冷たい空気集団と温かい空気集団のぶつかり合うーその名の通り最前線の事を言い、大きく分ければ寒冷前線と温暖前線そして停滞前線その他もありますが、今回は寒冷前線・温暖前線について説明します。

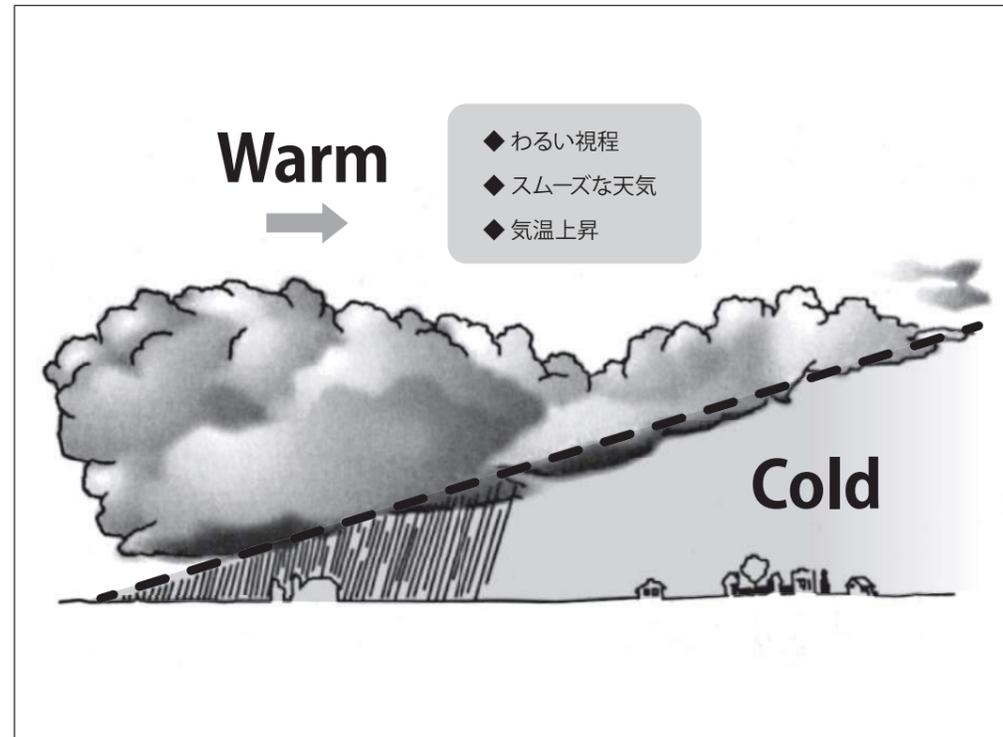
寒冷前線

下記の表を見ていただいたらお判りの通り、暖かい空気集団の中にもぐるように冷たい空気集団が入ります。視程は悪くないのですが、激しい天候で前線通過と同時に気温の降下が見られます。

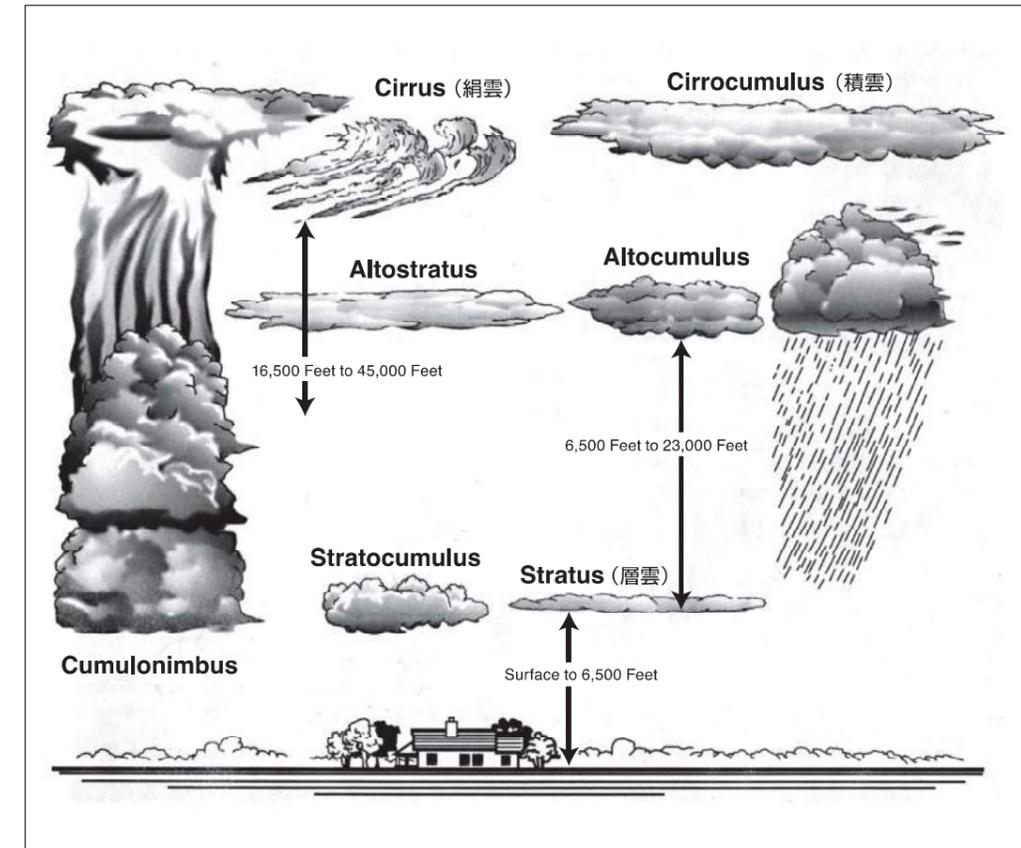


温暖前線

次に温暖前線について説明します。温暖前線は冷たい気団の上に暖かい気団がかぶさるようになる現象を言い、空気のコンディションはスムーズですが視程は悪く前線通過と同時に気温の上昇が見られます。



雲の種類と高度



雲の区分

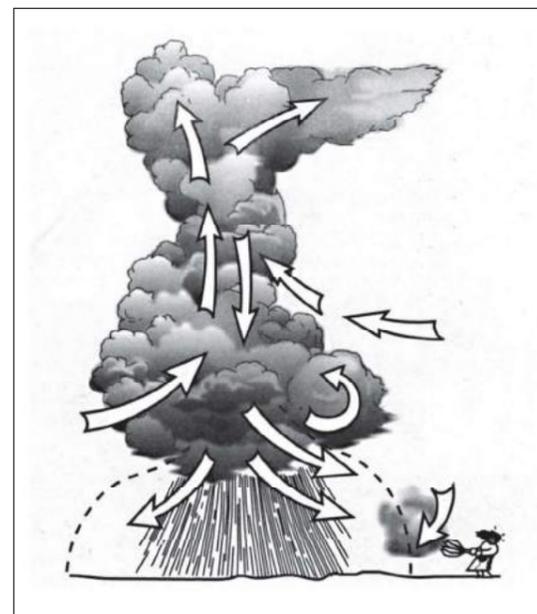
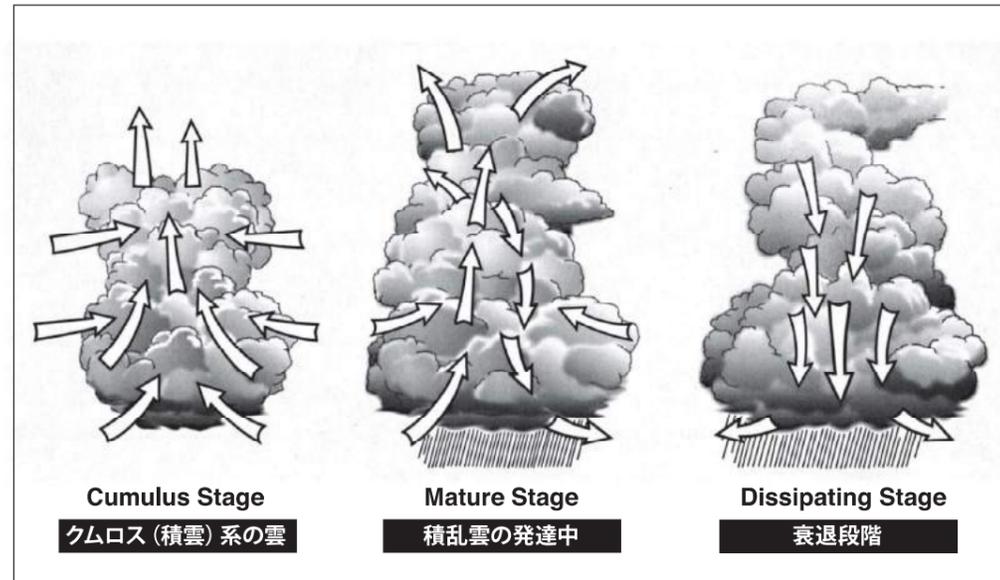
Cumulus系	Stratus系	Nimbus系	Cirrus
・積雲 ・縦に高い雲	・層雲 ・平らに広がった雲	・雨雲 ・雪雲	・絹雲

高さで区分
Stratus AltoStratus Cirrostratus Cirrus

悪天候をもたらす雲
Stratocumulus Nimbostratus Cumulonimbus

Section 5

積乱雲のメカニズム



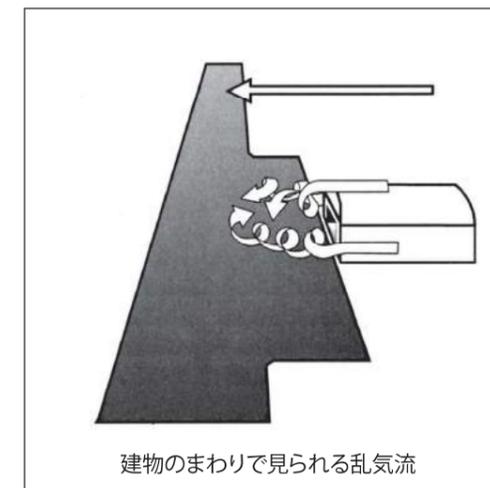
積乱雲は上記写真のようにクムロス系の雲の発生から始まり、雲中の気流の急激な上昇活動により発達していく。積乱雲とは皆さんの知るカミナリ雲で、激しい雨とカミナリで積乱雲の発生を見ると、速やかに飛行を中止すべきです。

Section 6

乱気流

一般的な乱気流をイメージ付けるには、台風などで川に水が増したとき、橋げたの下流側に小さな渦を見ることがあり、空中においても同様（空気の流れでも同じ現象が起きる）です。

しかしこれら空気の乱れは人間の目には見えず、例え大型航空機でも時として、重大なアクシデントとなる場合もあり、無人航空機操縦者においても十分注意を払う必要があります。



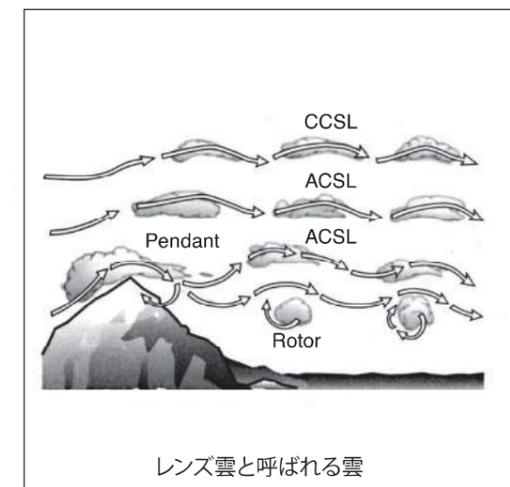
建物のまわりで見られる乱気流



山の風下で見られるケース



山に当たった風は風下側で気流が乱れ乱気流となる



レンズ雲と呼ばれる雲

Section 7

風向予測が難しい強風例

無人航空機パイロットにとって予測が難しいのがビル風です。下記の図に示すように、ビルに当たった風の風下には乱れた風の流れが発生します。ビルの周辺で飛行を行う時には、十分な下見の上、これら乱気流に注意する必要があります。



以前、東京羽田空港を離陸した英国BOAC機が、富士山で墜落したのもその事例です。航空機パイロットには「晴れた富士には近づくな」という格言もあります。

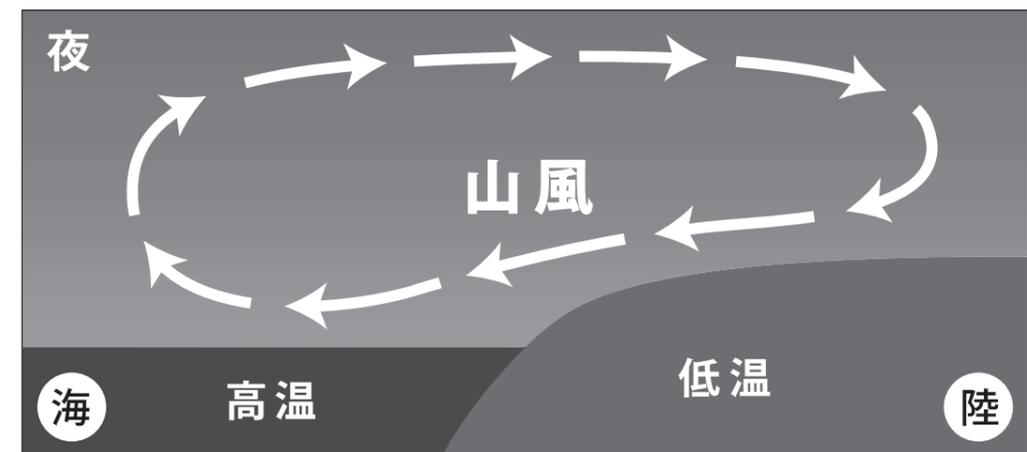
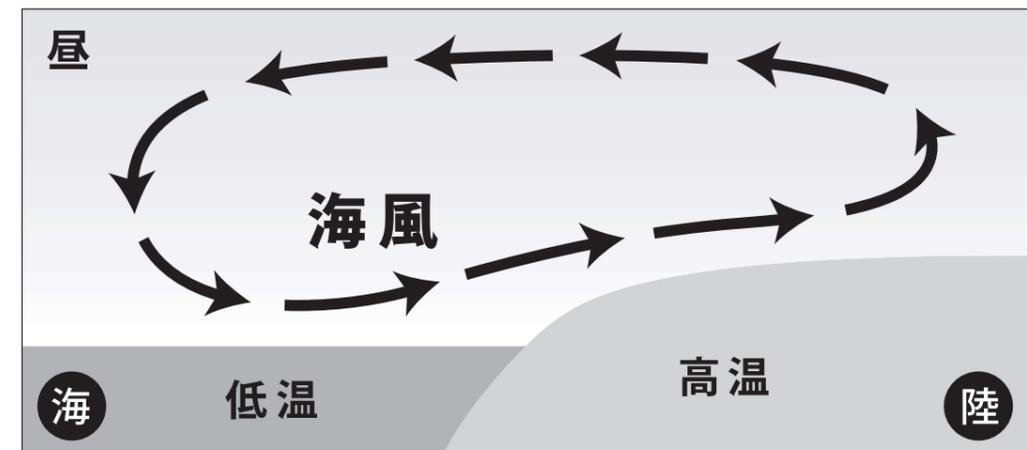


Section 8

ローカルウインド

山風・海風

日中、陸地は熱せられ、空気は上昇する。海面は地上と比べ温度は低く、気流の流れは「海から陸地へ」の流れになります。反対に夜間は、陸地の温度の低下が早く、海面の温度変化がゆるやかなため、海高地低となり、風は「陸地から海方向へ」の流れとなります。



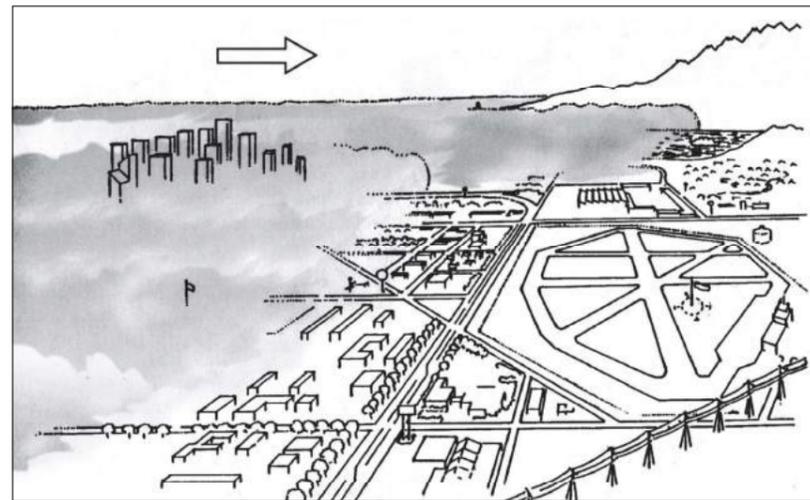
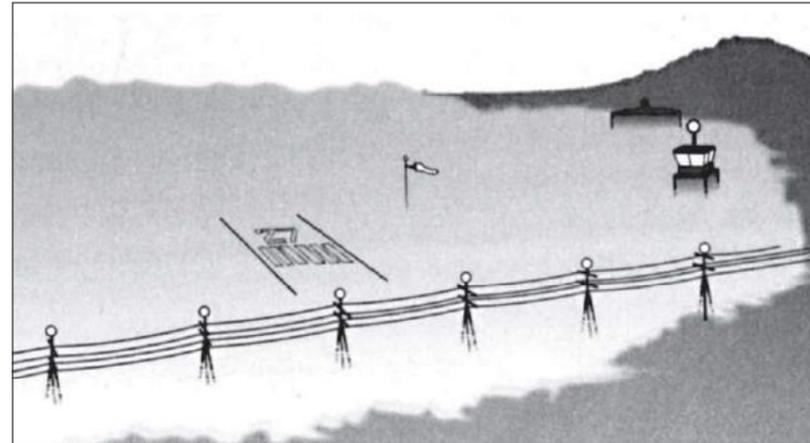
Section 9

霧

通常、風がなく曇もない快晴の日に発生することが多いのが快晴霧です。

しかし霧発生メカニズムには、気温と露結温度を考えるべきです。

地上に何かの原因で冷たい空気が流れ込み、気温と露結温度が逆転するということにも霧は発生します。



- 地上気温が氷点下より高ければ露 (DEW)
- 地面近くで気温が下がり露天温度との差がなくなると、空気中の水蒸気は凝結して目に見える状態、すなわち霧 (FOG)

霧の発生ロケーション

種類	季節	場所	条件
放射霧	10～3月	内陸・盆地	・降雨後の夜間～翌朝 ・湿度90%以上
移流霧	4～8月	東北太平洋沿岸・北海道太平洋沿岸	・北東・南東の風
蒸発霧	冬	海上・湖面・川面	・気温が高め ・降雨がある
前線霧	春・秋		・降雨時気温が高め ・降雨時気温が低下

霧の種類とメカニズム

種類	メカニズム
移流霧	暖湿気流が冷た地表面や海面を移動すると発生。
放射霧	風が弱く晴れ多夜に地表が冷やされて発生 (放射冷却)。冬場に内陸で発生。日の出1～3時間で解消する。
前線霧	温暖前線の通貨に伴って発生
滑昇霧	山の斜面をはい上がる上昇気流により発生
蒸発霧	比較的暖かい水面上を冷気が流れると発生

Section 10 天気予測

今後、プロとして、またホビーとして無人航空機にて撮影業務を行う場合、撮影日程の決定の一番のキーポイントとなるのが、当日の天候です。実際に人が乗る飛行機・ヘリコプターと違い、気象の読み違いのため命を落とすことはないとしても、

- ①撮影ができなかった
- ②遠方のロケだったのに1日が無駄だった
- ③撮影はかろうじてできたが、クライアントからのクレームが来た
- ④雲中飛行となり機体をロスしてしまった

というような結果となることも考えられます。そこで私達は、気象予測のデータ収集に努力しなければなりません。手軽なところではテレビ・ラジオの天気予報、またインターネットによる天気予報では天気図や週間予報も収集可能です。

私達パイロットが利用する情報の中でgpv informationというのがあり、雨量・天気・風力・風向・気圧すべての情報を得ることができます。

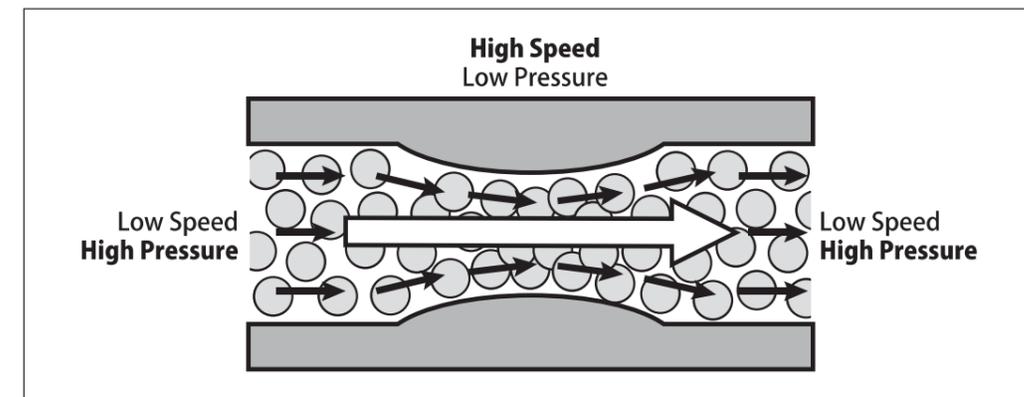
Chapter 4

基本航空力学

Chapter 4 基本航空力学

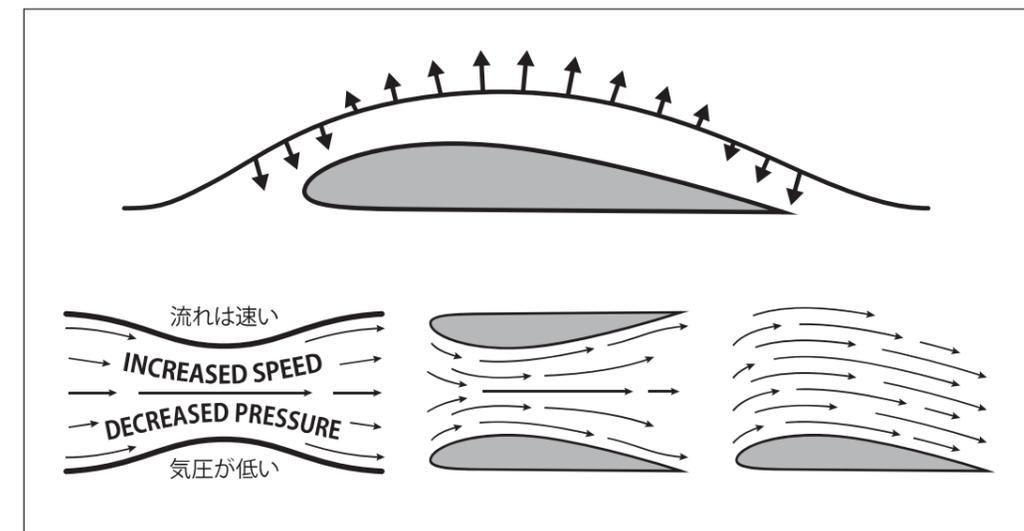
Section 1 飛行原理

飛行原理は、中学高校の物理の時間で習ったことがある「ベルヌイの法則」で、揚力の起こる原理を説明することができます。

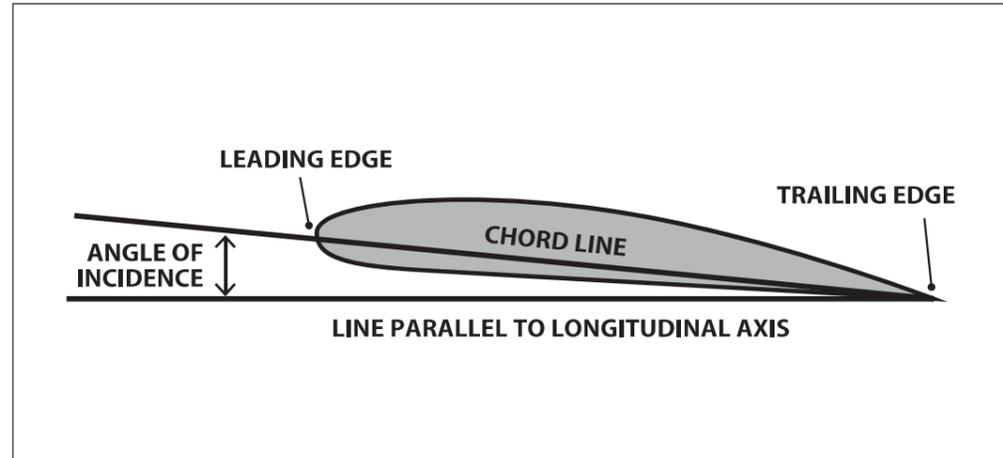


この原理は空気流体を翼形フォイルに当てはめれば下記の図のように、翼面下部の空気はスムーズにながれ、上面は気流が早く流れることが理解できます。

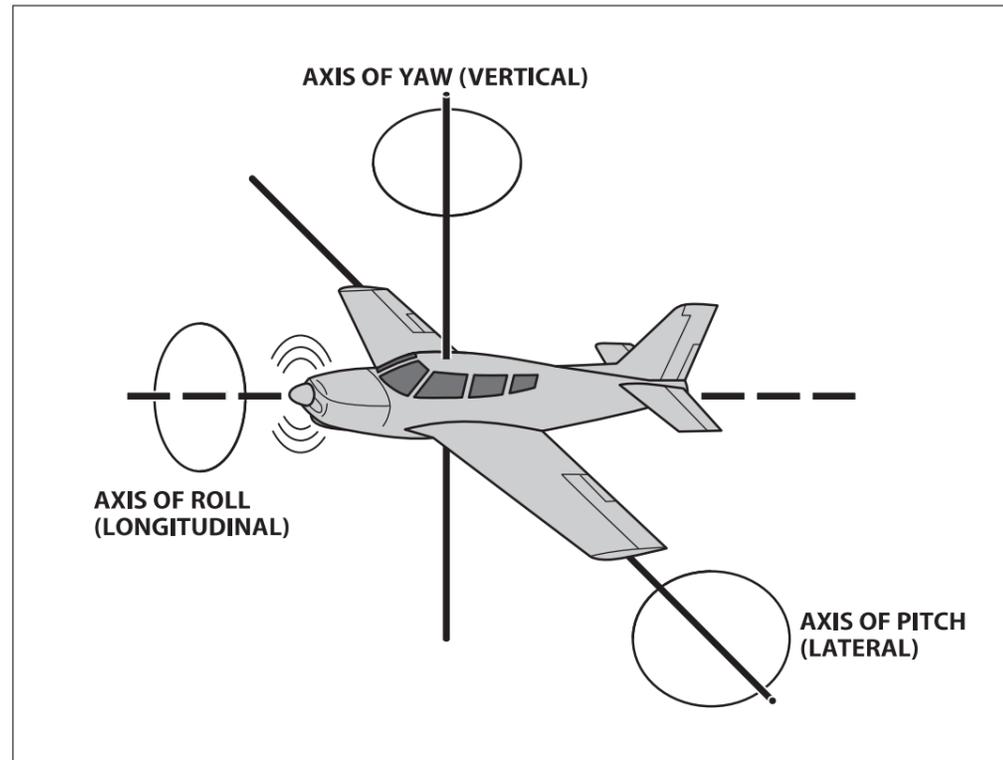
ハイスピード ローベロシティというベルヌイの原理が明かすように気流の流れが早い、すなわち「気圧が低い上面に気圧が高い下面から力が流れる」、それが揚力です。



翼の名称

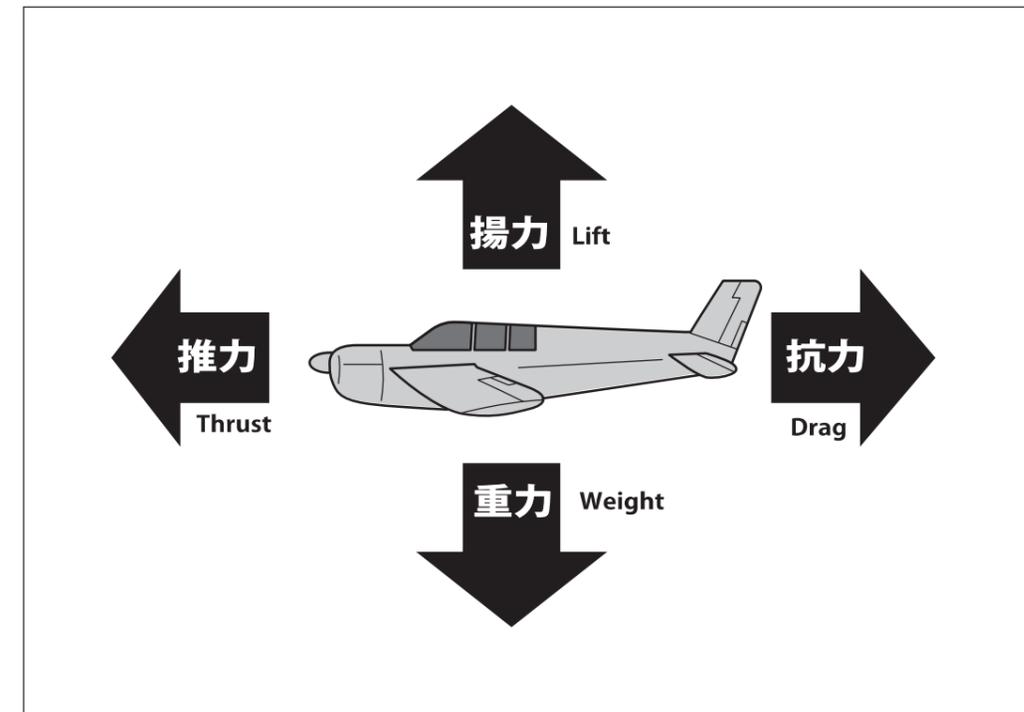


飛行機の運動軸



四つの力

下記の図を見ていただければお判りの通り、飛行機を例にとると、飛行機の水平飛行とは、推力・揚力・重力・抵抗という4つの力のバランスが取れている状態をいいます。プロペラから起こされる前に行く力を「推力」、これに反する空気抵抗たる「抗力」、そして翼から派生する浮き上がろうとする力、すなわち「揚力」と、これに相反する「重力」がイコールの時、飛行機の上昇降下がなく加速減速がない状態が「水平飛行」です。



Section 2

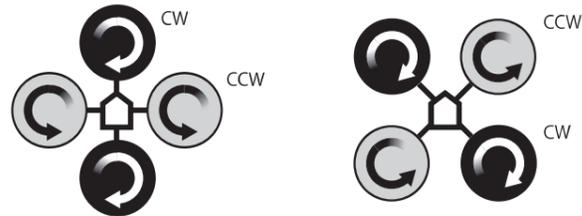
マルチコプターの飛行

各種マルチコプター

3つ以上のローターを同時に回転させ飛行する回転翼機をマルチコプターを呼び、ローターの数により名称が異なります。

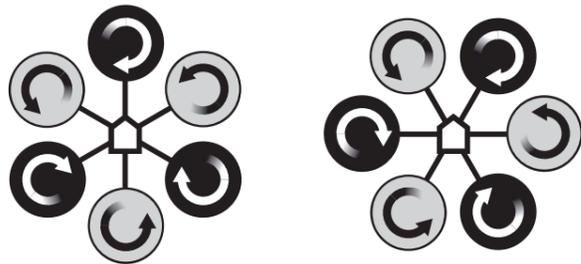
クアッドコプター

ローター数4つ



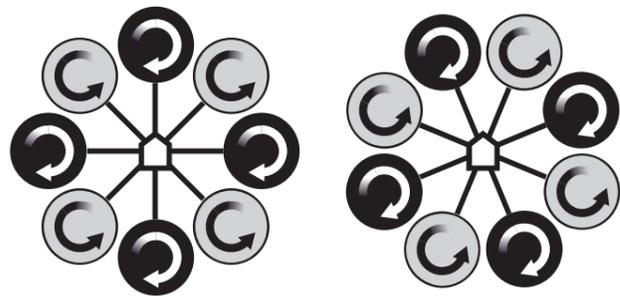
ヘキサコプター

ローター数6つ



オクタコプター

ローター数8つ



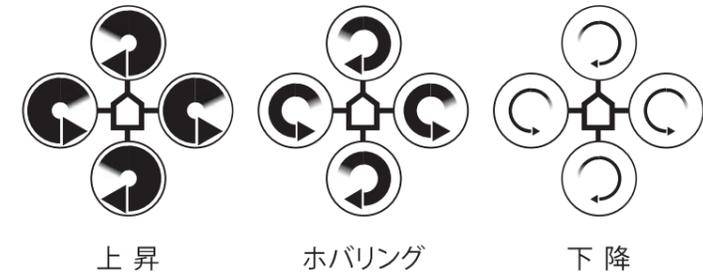
ローターの回転方向が時計回り (Clock Wise [CW]) と、反時計回り (Counter Clock Wise [CCW]) と交互に構成される。

マルチコプターの飛行原理

複数のローター回転数をそれぞれ制御することで、上昇下降、左右移動、前後移動、回転が実現します。

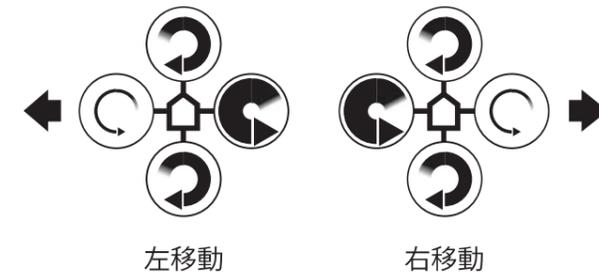
上下下降

全てのローターの回転数を同じにする。回転数により上昇下降またはホバリングが可能。



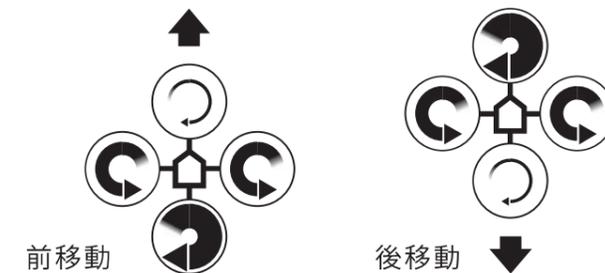
左右移動

進行したい方向のローター回転数を下げ、逆側のローター回転数を上げる。



前後移動

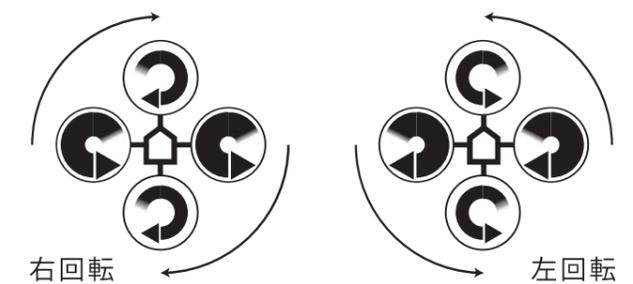
進行したい方向のローター回転数を下げ、逆側のローターの回転数を上げる。



回 転

回転したい方向と逆に回転するローターの回転数を上げる。

※ヘリコプターの反作用の応用



Section 3 機体の構造

無人航空機は大きく見ると下記のパーツから成り立ちます。

- ①フレーム
- ②アーム
- ③ECS
- ④モーター
- ⑤スキッド
- ⑥バッテリー
- ⑦プロペラ (ローター)
- ⑧プロポ (送信機・受信機)



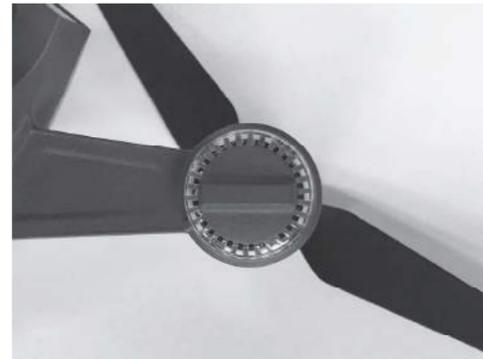
フレーム



プロペラ (ローター)



プロポ (送信機・受信機)



モーター

機体の主要部

モーター (ローター)

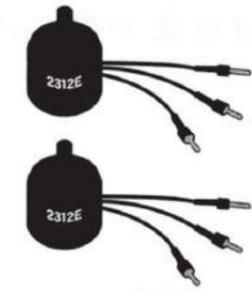
マルチコプターで主に用いられるモーターの正式名称は「ブラシレスDCモーター」。

モーターには回転方向が違う2種類があります。

- ・時計回り方向 clock wise (CW)
- ・反時計回り方向 counter clock wise (CCW)

ブラシレスDCモーターの特徴

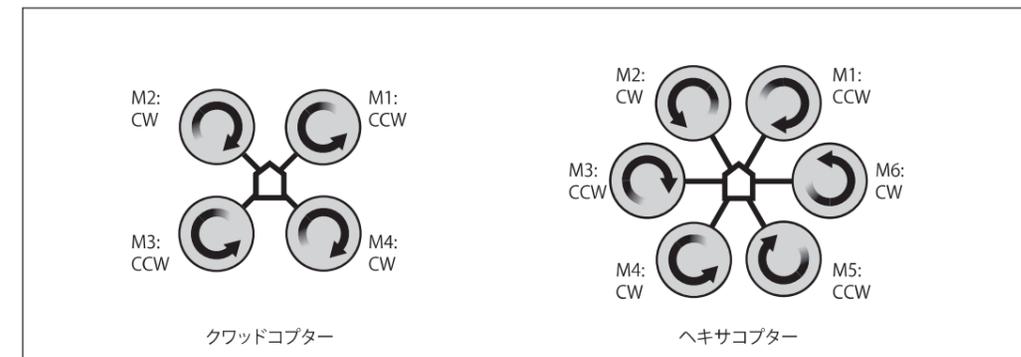
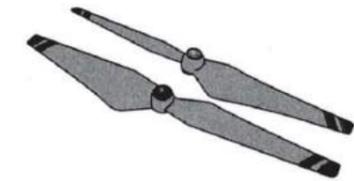
- ・機械的接触部分が少なくメンテナンスが容易
⇒モーター内部の清掃、ブラシの交換が不要
⇒静音、寿命が長い
- ・モーターに流す電流を制御する必要がある
⇒ESCが必要
- ・冷却性を求めるためコイルがむき出しになっていて水滴による錆、砂や埃などの異物混入に弱い



プロペラ

揚力を発生させ飛行するための翼。ブレードともいう。

モーターの回転方向に適した向きCW用とCCW用があります。



Chapter 5

技 術

Chapter 5 技術

Section 1 FCSフライトコントロールシステム

GPS／コンパス

〈GPS〉 Global Positioning System

- ・衛星の電波から機体の地球上での位置・高度を取得するシステム

〈コンパス〉

- ・機体に向いている磁気方向を取得するデバイス

PMU／LEDモジュール

〈PMU〉 Power Management Unit

- ・電源管理ユニット

〈LEDモジュール〉

- ・LEDランプとして機体の位置を確認
- ・発光パターンの組み合わせで機体の状態を確認
- ・パソコンとUSB接続し、MCのセッティングが可能

MC

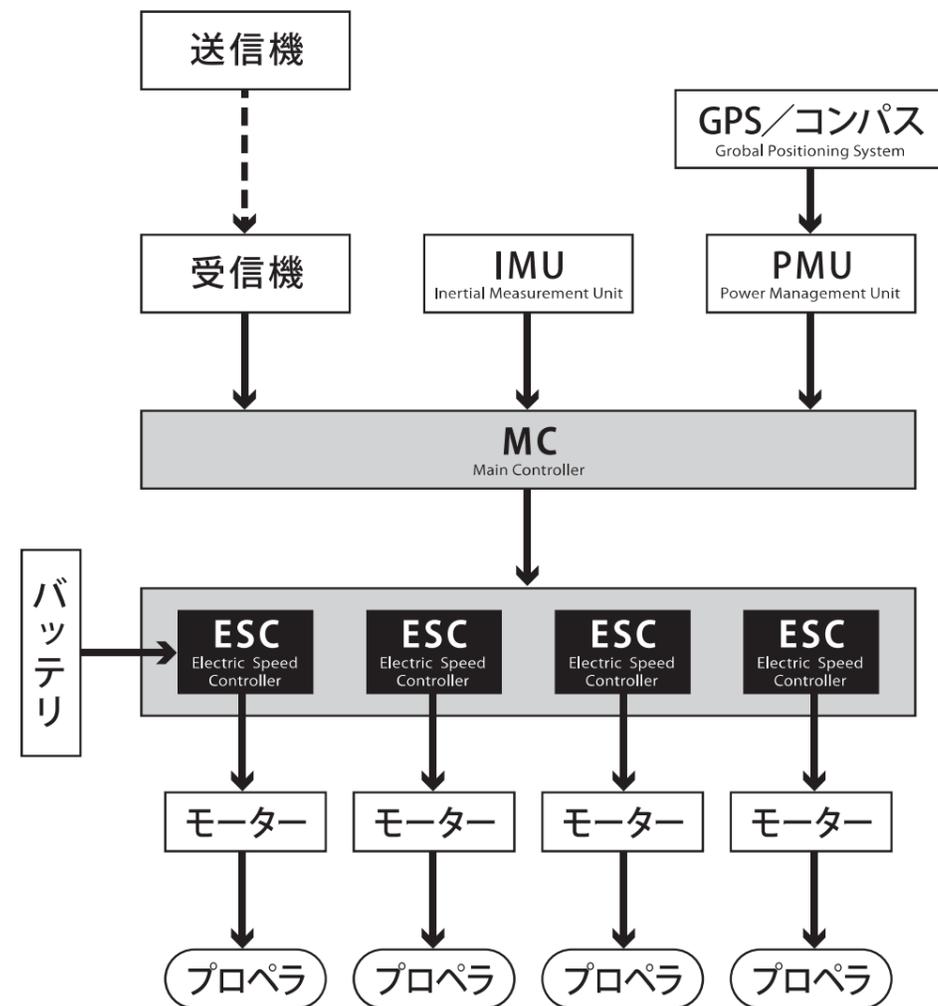
〈Main Controller〉

- ・GPSなどの各種センサーの情報とプロポの指令をもとに、機体の姿勢を制御するデバイス

〈IMU〉 Inertial Measurement Unit (慣性計測装置)

- ・ジャイロセンサー (回転)
- ・加速度センサー (傾き)
- ・気圧センサー (高度)

無人航空機の制御システム



GPS (Global Positioning System) とは

GPSとは複数の衛星より受信した電波信号により受信位置を確定するシステム。受信位置の三次元座標と正確な時刻情報を特定するために4基以上の衛星からの信号が必要です。

単独測位

カーナビなどに利用される民生用システム。誤差は10m程度。無人機航空機にも使用されます。

リチウムポリマー (LIPO) バッテリとは

無人航空機に使用されているLIPO (リポ) は本来リチウムイオンポリマーの略で、もともと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。

その特長は

- ①エネルギー密度が高い
- ②電圧が高い
- ③自己放電が少ない
- ④メモリ効果が少ない
- ⑤電解液が可燃物

Section 2 通信・電波

無人航空機は電波によりコントロールされ、撮影された映像も電波により送り返されており、それらの電波帯は以下の通りです。

2016年8月31日以前における電波法では、無人航空機において使用可能な周波数は2.4GHz、5.7GHz、169MHz、73MHzで、送信出力も低くおさえられていましたが、改正電波法により最大出力が1Wまで増加されました。

産業用周波数の割当

73MHz帯には、主に農業散布用ヘリコプターが使用割当されており、無人ヘリコプターで使用可能な産業用模型飛行機用周波数は7波です。

Chapter 6

運用

Chapter 6 運用

Section 1 飛行範囲

目視飛行とは

飛行させる者の目で見えて飛行させることを指し、双眼鏡等による監視は含まない。

目視外飛行とは

上記以外の飛行を言い、モニター監視、FPV (First Person's View) 等、飛行には申請が必要。

飛行方法

- ・日中 (日の出から日没まで)
- ・目視範囲で無人航空機とその周辺を監視して飛行させる
- ・第三者と第三者の建物などの物件との間に距離 (30m) を保って飛行させる
- ・祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空には飛行させない
- ・爆発物など危険物を輸送しない
- ・上空から物を投下しない

飛行場所

- ・空港等の周辺
- ・飛行中の航空機に衝突する可能性がある所
- ・第三者の上空、学校、病院などの不特定多数の人が集まる場所
- ・高速道路や新幹線等の上空および周辺
- ・鉄道車両や第三者の自動車等の30m以内
- ・高圧線、変電所、電波塔及び無線施設の付近

天候・気象・条件

- ・地上風速5m/s以上の場合は飛行の中止をする。各無人航空機の耐風性能を理解しておくこと
- ・降雨時や降雪時
- ・雷鳴が聞こえる時、視界不良時
- ・夜間飛行
- ・天候の急変時

電波

- ・技術適合認証のない機材
- ・改造された送信機

Section 2 操縦時の注意点

風の影響

小型飛行物体は進行方向や風向により微量な風でもコントロールを失ったり墜落を招くことがあるので、飛行前や飛行中の風は十分な注意が必要。

吹きおろし

自己プロペラの吹きおろし風を機体に受けることによるセリング現象を受けると機体はダウンドラフトに入り操縦不能に陥る場合もあります。

地面効果

地表近くではプロペラからの吹きおろし風（下降流）が停滞し下から機体を支え得る現象が起きます。逆に地面近くで揚力が増す現象。

乱気流

山や丘、ビルなどの風下で起きる現象。機体の制御が困難になります。

GPS/コンパス

GPSやコンパスは、電波塔などの強磁性の場所などの近くでは電磁波の影響を受け、墜落に陥る場合もあるのでGPS感度には、常時確認する必要があります。

① フライト前

①	各器具の取り付け	正常
②	ネジ類	緩みなし
③	LED点灯	正常
④	モーター	異音無し
⑤	プロペラ	亀裂摩耗無し
⑥	バッテリー電圧	正常
⑦	送受信機の感度	正常
⑧	積載重量	範囲内
⑨	飛行エリア	クリア

② フライト中

①	離陸、着陸	安定
②	ホバリング	安定
③	GPS感度	安定
④	全ての動き	正常
⑤	プロペラ回転	正常
⑥	バッテリー残量	注意

※離陸ポイントからのオーバーディスタンスに注意

③ フライト後

①	機体ダメージ	無し
②	発熱部品	正常
③	プロペラダメージ	無し
④	機体・ネジ類のゆるみ	正常

Section 4 安全について

安全対策

- ① 安全運行管理者 1 名、操縦者 1 名、補助 1 名の 3 名体制での運行が望ましい。
- ② 飛行前チェックリストに従い機体及びエリアの確認を実施する。
- ③ 機体性能や操縦技術を上回る飛行は行わない。
- ④ 着陸後も飛行終了チェックリストに従い機体の確認を実施する。

注意) 万が一墜落した場合は

- ① 可燃物から離れたところに置く。
- ② 15分以上可燃物から隔離し、発熱、変形などの異常がないことを確認の後処理をすること。

事故対応

- * けが人の手当及び周囲の安全の確保
- * 必要に応じ消防、警察への通報
- * 機体は延焼の恐れがない場所に隔離、一定時間放置(30分以上)
- * 土地管理者、施設管理者への事故報告
- * 国土交通省航空局への報告

国土交通省航空局 安全部 無人航空機窓口

TEL 03-5253-8111 (内線50157/50158)

機体自体の安全機能

小型無人航空機には、飛行中異常事態が起きた場合に対応する安全機能が設定されている機種もあります。操縦者はあらかじめそれら安全機能も事前に把握し飛行する必要があります。

● バッテリー切れ

バッテリー電圧低下(残量)による墜落や操縦不能を防ぐため、事前に電圧を指定し、その時点で離陸地点へ戻す設定が出来ます。

● 通信切れ

何らかの理由で通信が一定時間遮断した場合に、その時点で着陸や離陸地点へ戻す設定が出来ます。

● その他

機体モデルにより安全機能は異なるので、事前に確認設定したうえで飛行すること。

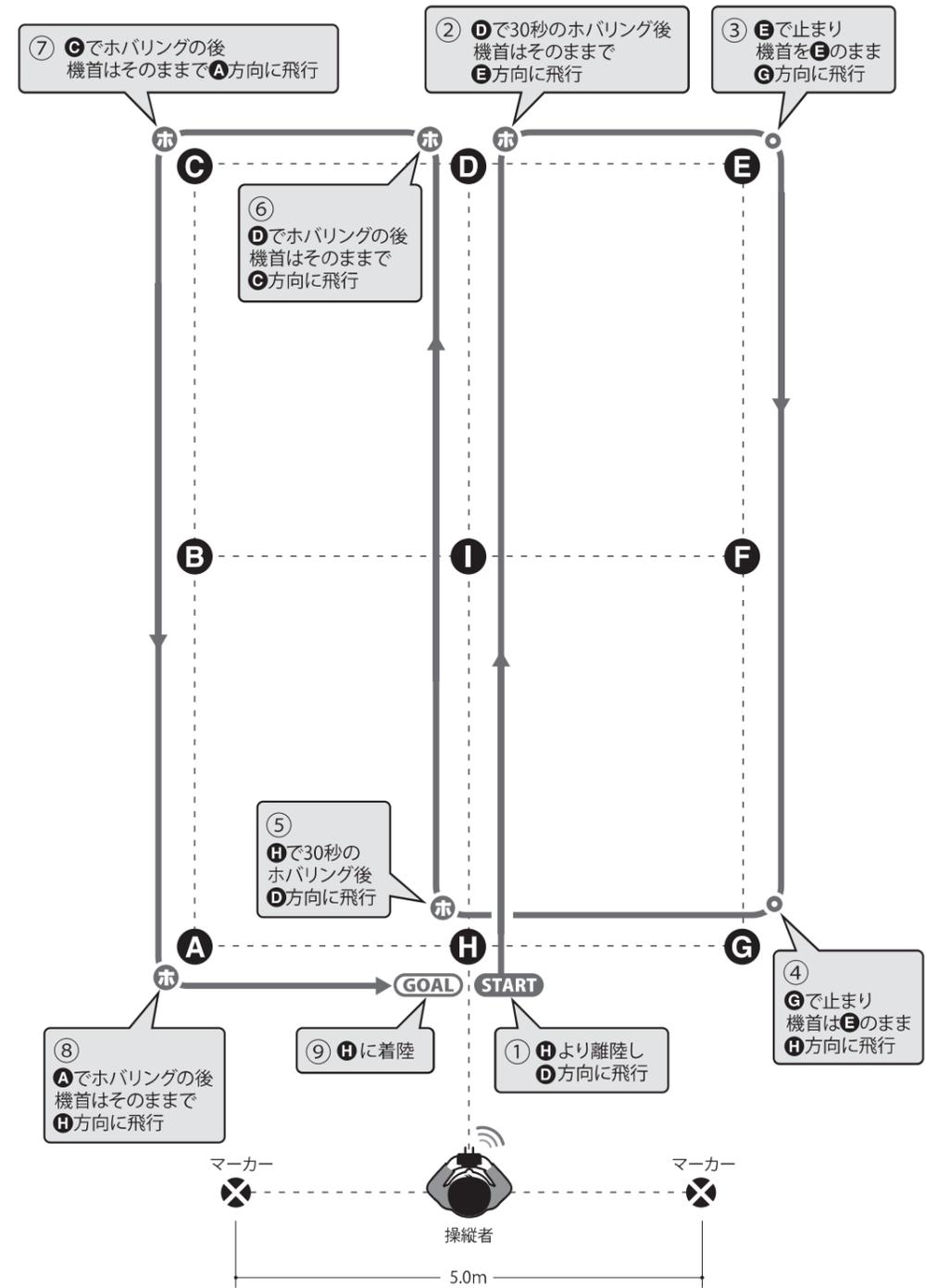
Chapter 7

実技マニューバ

マニューバと実技コース

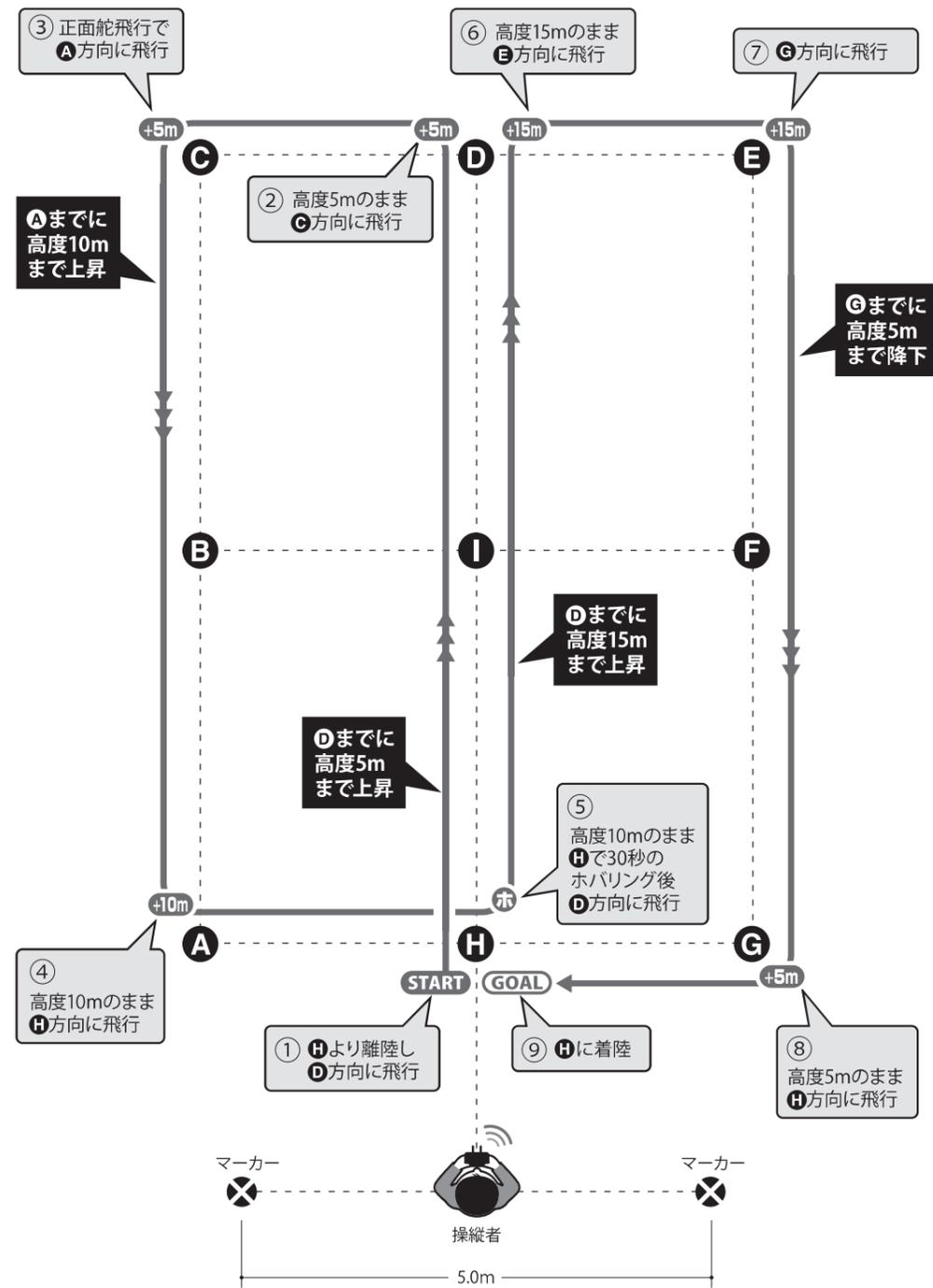
1 前方向の移動

機首方向はいつでも進行方向
水平飛行、水平ターンとコントローラの関連を学びます。



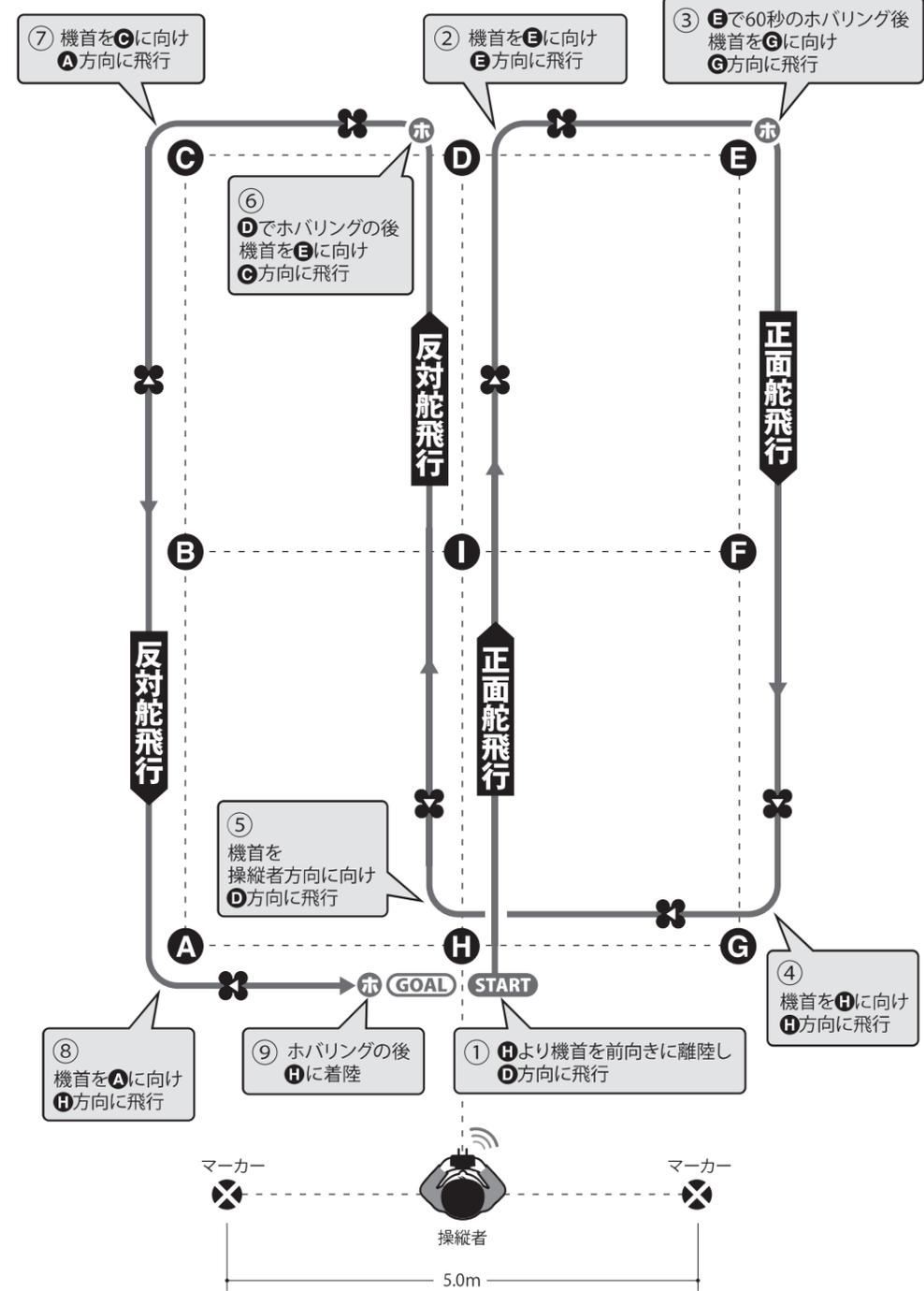
2 高度変化

正面舵飛行と高度変化を学びます。



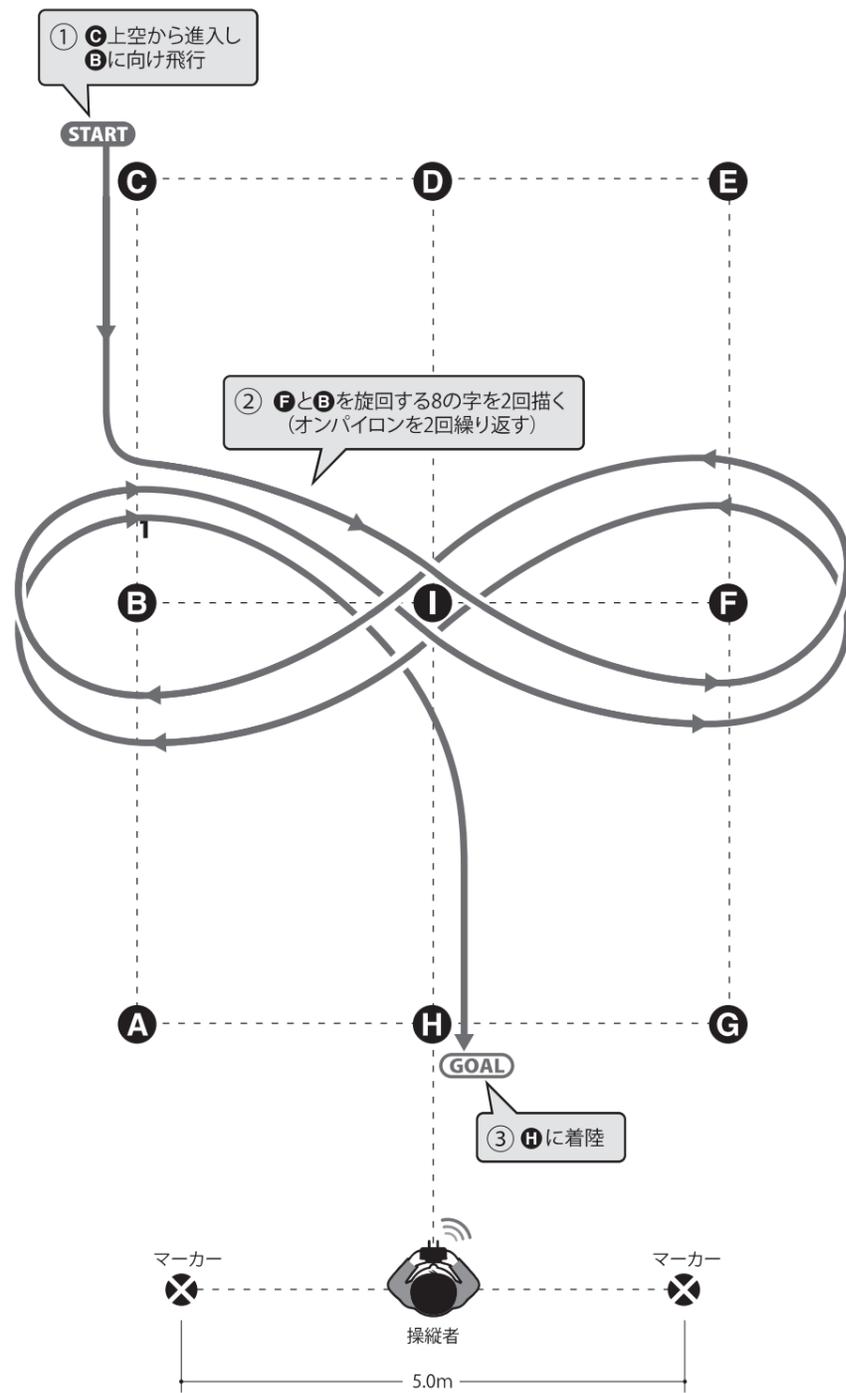
3 前後方向の移動

正面舵飛行と反対舵飛行を学び、相反するコントローラの動きに慣れます。



4 オンパイロン

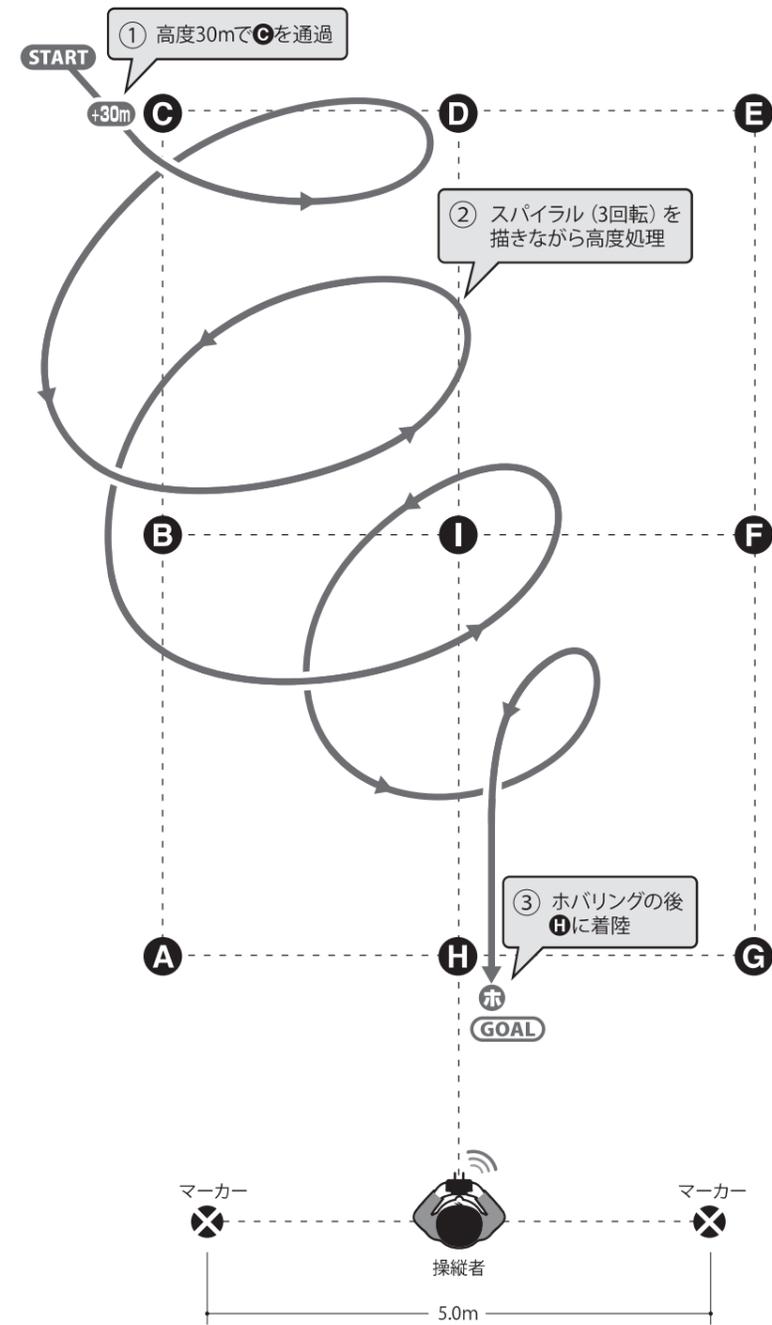
オンパイロン(8の字飛行)を実習することにより、ターゲット飛行を習得します。



5 スパイラル着陸

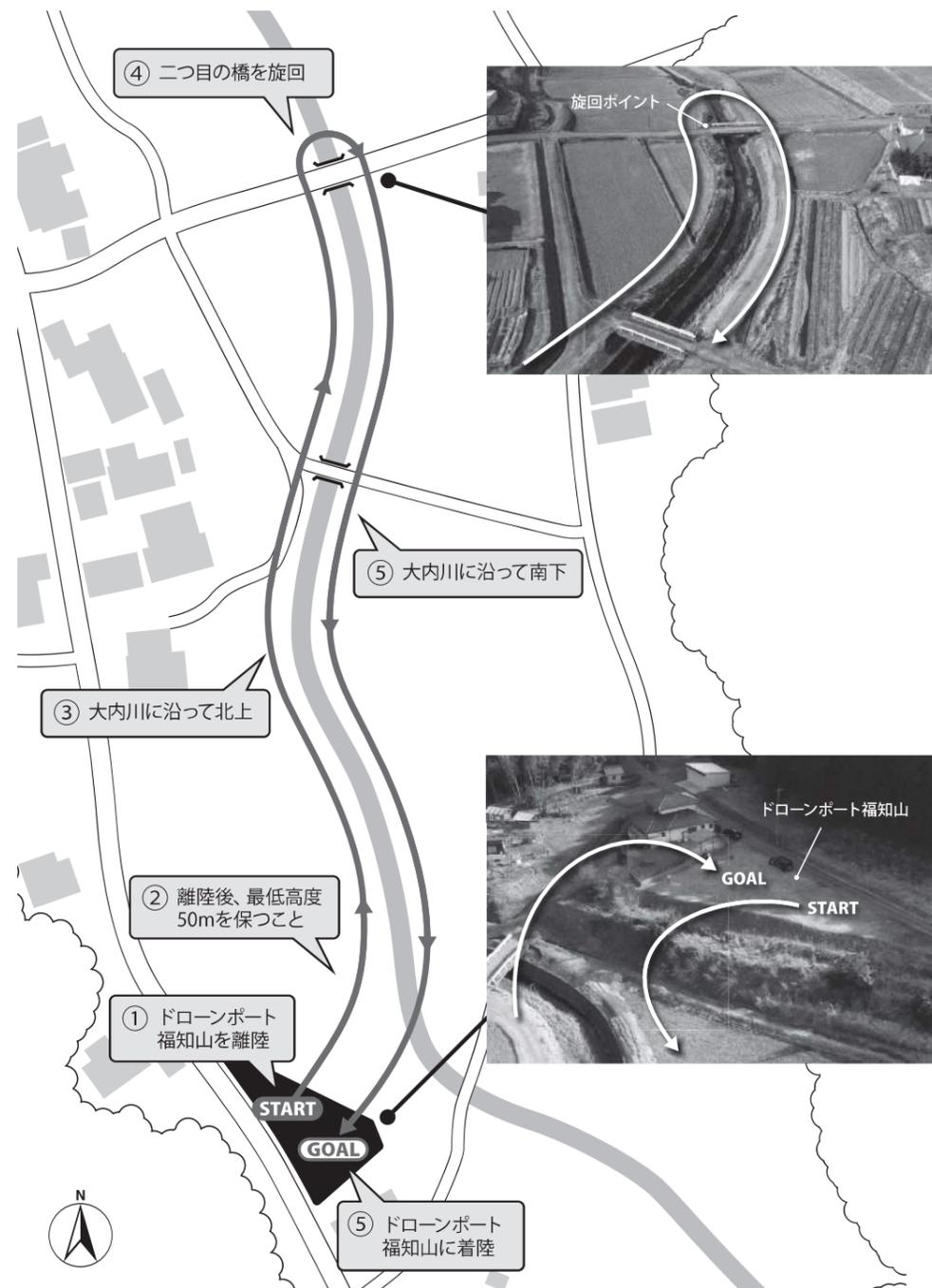
高度の処理とセトリング防止の飛行法を学びます。

※セトリング…前進速度ゼロの状態以降下をすると、自機のプロペラが起こす吹き降ろし風に機体が入ってしまい、降下が止まらなくなること



6 クロスカントリー

より実務飛行に近いフライトトレーニングです。



7 実技試験

操縦士課程

- ・〈1〉〈2〉〈3〉の各マニューバを完全に習得
- ・実技試験において実技コースを離陸前点検から着陸後点検まで、一連のマニューバを遂行できること
- ・〈6〉河川上空クロスカントリー飛行ができること

業務操縦士課程

- ・〈1〉〈2〉〈3〉の初級課程のマニューバを操縦補助装置なしで実施
- ・〈4〉〈5〉のマニューバを補助装置付きで実施
- ・〈6〉河川上空クロスカントリー飛行ができること
- ・各専門課程の実技を実施

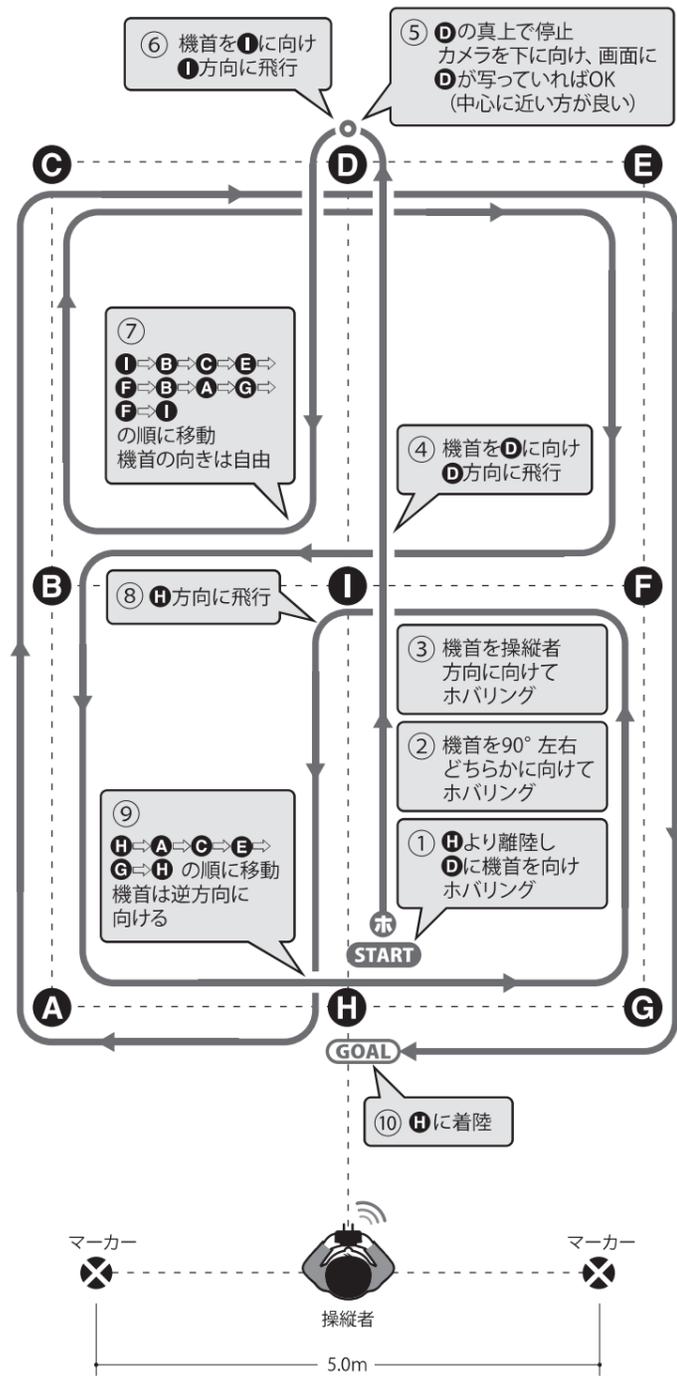
教育操縦士課程

- ・〈1〉〈2〉〈3〉〈4〉〈5〉〈6〉の各マニューバの全過程を操縦補助装置なしで実施
- ・検定員を受講者に見立て、一連のマニューバを口頭で説明しながらデモンストレーションを行えること

※ 各講習団体は〈6〉のクロスカントリーコースに準じてコースを設定すること

実技試験コース

※できるだけゆっくりとしたスピードでフライトする



実技試験採点項目

実技試験は100点満点からの「減点方式」で採点されます。

		操縦士	教育操縦士	
1	離陸 (電源ON、始動、上空誤差)	電源:機体→送信機	-2点	-4点
		始動:声掛けなし	-2点	-4点
		誤差:30~50cm	-2点	-4点
		50cm以上	-5点	-7点
2	②、③での安定性 (舵の正確さ)	探り、戻し操縦	-1点/回	
3	Dポイントへの移動 (直進飛行)	移動中の停止	-1点/回	
4	Dポイント上空	操縦士	映っていない	-3点
		教育操縦士	中心から50cm以内	減点なし
			カメラに映っている	-2点
		映っていない	-5点	
5	Iポイントへの移動	探り、戻し操縦	-1点/回	
		移動中の停止	-1点/回	
6	Iポイント上空(誤差)	誤差:30cm以内	減点なし	
		30~50cm	-2点	-4点
		50cm以上	-4点	-7点
7	⑦での各ポイント 誤差、安定性	誤差:50cm以内	減点なし	
		50cm~1m	-1点	-2点
		1m~2m	-2点	-3点
		2m以上	-5点	-7点 2カ所の2m以上誤差で試験中止
		探り、戻し操縦	-1点/回	
		移動中の停止	-1点/回	
8	⑧、⑨での各ポイント 誤差、安定性	誤差:50cm以内	減点なし	
		50cm~1m	-1点	-2点
		1m~2m	-2点	-3点
		2m以上	-5点	-7点 2カ所の2m以上誤差で試験中止
		探り、戻し操縦	-1点/回	
		移動中の停止	-1点/回	
9	制限時間、着陸	13分以上	-1点/分	
		電源:送信機→機体	-2点	-4点

文部科学省委託事業
平成30年度「専修学校による地域産業中核的人材養成事業」
学びのセーフティネット機能の充実強化
高等専修学校と外部とのネットワーク化の推進

地方都市で学ぶ高等専修学校生の経済的自立を
支援する地域ネットワークシステムの構築

高等専修学校版ドローン操縦士養成
教習用テキスト

—高等専修学校版ドローン操縦士養成カリキュラム準拠—

学校法人大岡学園 大岡学園高等専修学校
平成31年3月

連絡先：〒668-0065 兵庫県豊岡市戸牧500
学校法人大岡学園 大岡学園高等専修学校
TEL：0796-22-3786 FAX：0796-24-2282

●本書の内容を無断で転記、記載することは禁じます

本テキストは、文部科学省の生涯学習振興事業委託費による委託事業として、学校法人大岡学園 大岡学園高等専修学校が実施した平成30年度「専修学校による地域産業中核的人材養成事業」の成果物として発行したものです。