

第3回高解像度地形情報シンポジウム

「高精細地形情報のいま: UAVの安全運用と点群データの解析」

2015年11月12日(木) 10:10-11:40

東京大学柏キャンパス総合研究棟6階大会議室

http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

小型無人機の航空安全を 目指した運用の実践

内山庄一郎

国立研究開発法人 防災科学技術研究所

更新:2016(平成28)年4月1日 Rev.1.4

内山庄一郎 (2015) 小型無人機の航空安全を目指した運用の実践: 第3回高解像度地形情報シンポジウム. 1-91



Open Drone Safety Manuals Project 作『小型無人機の航空安全を目指した運用の実践』は
クリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスで提供されています。

※スライド内に引用が示された図表、写真・文章等の著作権は引用元にあります。

小型無人機の航空安全を目指した運用の実践

The new rules for UAV operation in Japan

内山庄一郎(国立研究開発法人 防災科学技術研究所)

【本資料の想定読者】業務(研究・商用等)で無人航空機を使用する方

内容には正確を期しておりますが、誤記、技術の陳腐化、法改正など、本資料の内容が実際と異なる場合があります。無人航空機の利用者は、技術・法規について常に正確な最新情報の収集に努めてください。

一定の知識・技術を有した読者を対象としており、基礎的な解説は省略しています。

本資料は講演用スライドのため、図表を多用し、文字を減らし、口頭で解説することを前提として作成しています。資料の公開にあたり、多数の解説を追記しましたが、それでもなお、説明が不十分な部分が含まれています。

他の無数の著作物と同様、著者の主張が含まれています。ご自身の責任においてご判断のうえ、ご利用ください。

概要

近年ますます利用可能性が高まっているUAV(無人航空機)は、自然環境、災害、社会科学など多様な分野で普及しており、早急な安全運用プロトコルの確立が期待されています。

本資料では、無人航空機の現状と課題について機体、操縦者、運航管理組織、関連法規の各視点から概観し、無人航空機の航空安全の実現に必要な諸要素、つまり、墜落させないこと・事故を起こさないことを前提とした操縦技能・関連知識の獲得、操縦訓練のあり方、機体の整備点検方法、組織としての運航管理など、安全な運航体制の構築に関する具体的な方法について、著者の研究室で実践している内容を紹介します。

講演:2015(平成27)年11月12日

初版発行:2015(平成27)年11月25日

更新:2016(平成28)年4月1日 Rev.1.4

はじめに

“If there is any way to do it wrong, he will”

(失敗する可能性のあるものは、失敗する)

エドワード・アロイシャス・マーフィー・Jr、1949

実際のフライトで起こった出来事をもとに
創作したフィクションです

今思えば無謀かつ危険行為でした。

先日プライベートチームで広場お借りして、
ロープ救助訓練を実施しているところを
UAVで撮影したいと依頼されました。

建物の近くでコンパス、プロポを設定し
GPS HDOPも1.7でした。

行けると思い、
少し浮上させ様子をみました。

しかし、風もないのに左に流れ
操作方向とは
支離滅裂な方向に飛びました。

操作がまともに効きませんでした。

危ないと思い、
高さだけなんとか維持できたので、
ぶつけて落とす事しか思い付かず、
建物の看板にぶつけて落としました。

危うく見えないところに落ちて、
ニュースとなるような
刑事事件に発展するところでした。

すべてのUAVの未来を
奪いかねない行為に
自分の浅はかさを感じました。

30代、男性

(私ではありません)

彼には(私たちには)何ができたのか?

事故は偶然の出来事ではありません
様々な条件の連鎖的な結果です

何も対策をとらずに
電源を入れて飛ばしているだけでは
いつか必ず、重大事故の当事者になります

経験則という根拠のないものに頼らず
いかにして事故を防ぐか
いかにして安全を確保するか
考えて参りましょう

航空安全：三つの観点

機体

操縦者

運航管理

関連法規

機体：「耐空証明」

操縦・整備：「航空従事者技能証明」

電波：「無線従事者免許」

無人航空機運用の現状

・ 機体:「耐空証明」制度が無い

- 機体性能の信頼性・耐久性に関する基準がない
- 設計思想、構造、整備方法、部品の品質、ソフトウェア等、基準も指針もない
- 整備記録(障害・交換・調整・オーバーホール・改造・点検等)の作成・保存の義務もない
- 高コストを投じて開発された機体、おもちゃ、低信頼自作機が同列
- 低信頼機でも業務に使用できてしまう

・ 操縦者:「技能証明」制度が無い

- 操縦者に対する操縦に必要な知識・技能の最低限の保証がない
 - 操縦技能、法規(空域・飛行方法)、航空気象、地形・障害物、飛行計画、運航記録、等
- 有人航空機のルールを知らない
- 気軽な気持ちで有人航空機の空域に侵入する
- 霧石事故(民間機と自衛隊機の空域分離の不完全さによる空中衝突事故)の再来の懸念

・ 運航管理:組織で管理するという概念が無い・薄い

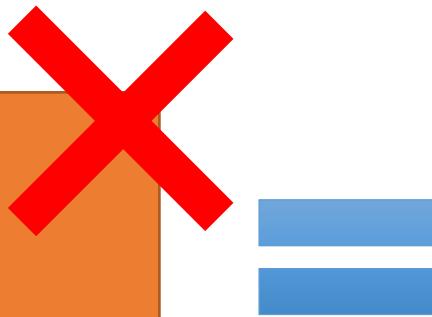
- 組織として運航の安全を確保する最低限のルールが整備されていない
 - 無人航空機の使用者個人の思想、技能、努力に依存
- 事故時には組織は無関係ではない
 - 「機体」「整備」「操縦者」「組織管理」それぞれの状況をどこまで説明できるか

・ 歴史:

- 有人航空機:御巣鷹事故、テネリフェ事故、霧石事故…大きな犠牲を通して反省し、対策し、築いてきた高い信頼
 - 例)R/Tミーティング:1977年12月18日(第一回)より毎月開催され、450回を超える現在もなお継続されている航空関係者による航空安全のための会合
- 無人航空機:小型無人機の普及は高性能なホビー(安い・楽しい)が原点。安全確保に対する考え方まるで異なる

UAV(※)のメリット？

- UAVのメリット：
- ・ 機体が安い
 - ・ 操作が簡単
 - ・ 低参入障壁



- UAVのデメリット：
- ・ 低信頼
 - ・ 脅威
 - ・ 事故多発

無人航空機のメリットを勘違いし
何も学ばず、対策をとらず、
電源を入れて飛ばしているだけでは、
いつか必ず、重大事故の当事者になります

※UAV: Unmanned aerial vehicle: 無人航空機。小型無人機、ドローン、ラジコンなどとも呼ばれる
自動操縦などの高度な機能を持つものをUAS: Unmanned Aircraft System(無人航空機システム)と呼ぶこともある

航空安全：機体編

機体

操縦者

運航管理

関連法規

機体の信頼性を確保するために
UAV運航者が自助努力でできることの一例

「機体」(主にマルチコプター)

- 回転翼機と固定翼機
- 機体構造(マルチコプター)
 - 無人機航空機の一般的な構造(ホビー機)
 - 無人機航空機の一般的な構造(業務用機)
- 無人航空機の航法デバイスの種類と役割
 - フライトコントローラ
- 航法デバイスの障害事例
 - 磁気コンパスの取り付けミス
 - IMU+防振装置の障害
- 機体の信頼性向上のための対策
 - 飛行前点検: UAVオペレーションシート
 - 約90項目の飛行前点検
 - 点検: 飛行の概要、室内チェック
 - 点検: 離陸重量・重心位置
 - 点検: 航法デバイス・フライトプラン
 - 点検: 機体点検・最終点検
 - 確認: 記録事項・監視事項・離陸手順
 - 記録: 着陸・飛行の安全に関する事項等
- 飛行前点検の徹底の効果
- 送信機(プロポ)の基礎
- 電波の性質
- 操縦経験時間の管理

回転翼機と固定翼機

近年の無人航空機に共通の機能(センサー)：

位置測定(GPS)、姿勢制御(慣性計測装置)、機首磁方位(コンパス)や飛行高度(気圧計)の計測

- 恩恵の例：操縦の簡易化(自動で姿勢を保持し、空中の一定の位置でホバリング(回転翼))
- 恩恵の例：自律飛行の実現(あらかじめ設定した経路の自動飛行)



回転翼機の例



固定翼機の例

一般的な特徴：

- 垂直離着陸が可能
- 飛行速度が遅い(10-40km/h)
- 航続時間・航続距離が短い(10数分)
- 直角移動や停止(ホバリング)ができる
- 上昇気流に弱い・耐風性が低い

一般的な特徴：

- 空中離着陸にある程度の広さが必要
- 飛行速度が速い(50-90km/h)
- 航続時間・航続距離が長い(数十分)
- 旋回にある程度の半径(100-200m)が必要
- 耐風性が高い

ホビー機と業務機

- ホビー機
 - メリット
 - ✓ 非常に安い
 - デメリット
 - ✓ 製造後の長期的な保証が無い
 - ✓ 修理保障・パーツ供給期限が短い・定まっていない
 - ✓ 性能に関するメーカーの説明開示がない・不十分
 - ✓ サポート者の知識・技能の低さ
- 業務機
 - ホビー機の上記の長所・短所が(ほぼ)反転する
 - ✓ 特定の目的・業務に特化して企画・設計・製造されている場合が多い
 - ✓ 機体と管理ソフトウェアが一体として開発されている
 - ✓ 正規のメンテナンスやパーツが用意されている
 - ✓ 飛行性能が保証されている
 - 正常動作の保障は当然として、異常時の対策にも注力されている
 - 輸入品の場合、サポート者に十分な知識が無い、回答に時間がかかる、などの場合もありうる
- ホビー機を長期安定的に業務に使うことは不可能
 - ✓ ただし、初心者向けの操縦練習には有効

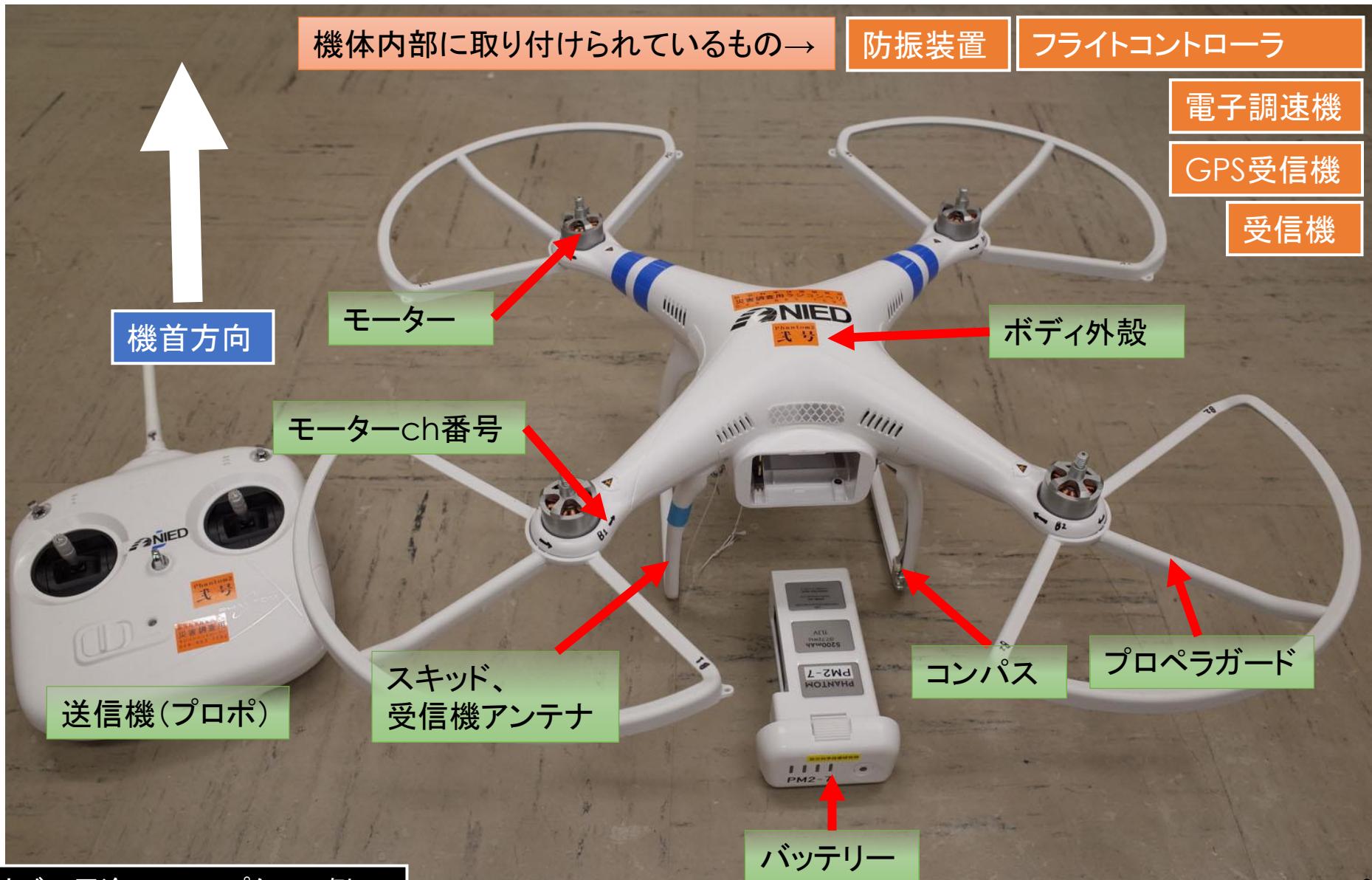
機体構造(マルチコプター)

- 基本的な機体構造を理解していない利用者が多いのでは
 - 機体構造を知っていれば絶対にやらないような過ちをおかす
“失敗する可能性のあるものは、失敗する”
 - 機体構造の知識の欠如による過ちの一例
 - IMUを防振装置に載せない
 - IMUは機体の姿勢変化・加速度を検出するものだが、プロペラ等による微振動はノイズとなるため避けたい。防振装置を介在させない場合、IMUに振動ノイズが直接伝わり、飛行の不安定化をもたらす
 - 磁気コンパスの近くに磁気を発するペイロード(搭載物)を設置する
 - コンパスが狂う。狂うと意図した方向に進まなくなり操縦不能になる。
 - GPS受信機の上にペイロードを搭載する
 - GPS衛星の信号が受信できなくなるため、機体位置が決定できない。ホバリングの水平位置が不安定になる。自動飛行ができなくなる。アーム(プロペラ電源オン)ができなくなる。ジオフェンス(飛行可能範囲)の設定を無視して飛んでゆく、などの障害が発生する。
 - 各種センサーのキャリブレーションを行わない
 - 正常な飛行ができなくなる。いつも「最近、機体が不安定なんです」と言っている方。IMU、コンパス、電圧計など、あらゆるセンサーはキャリブレーションが必要なのです。(マニュアルを熟読し方法を理解しましょう)

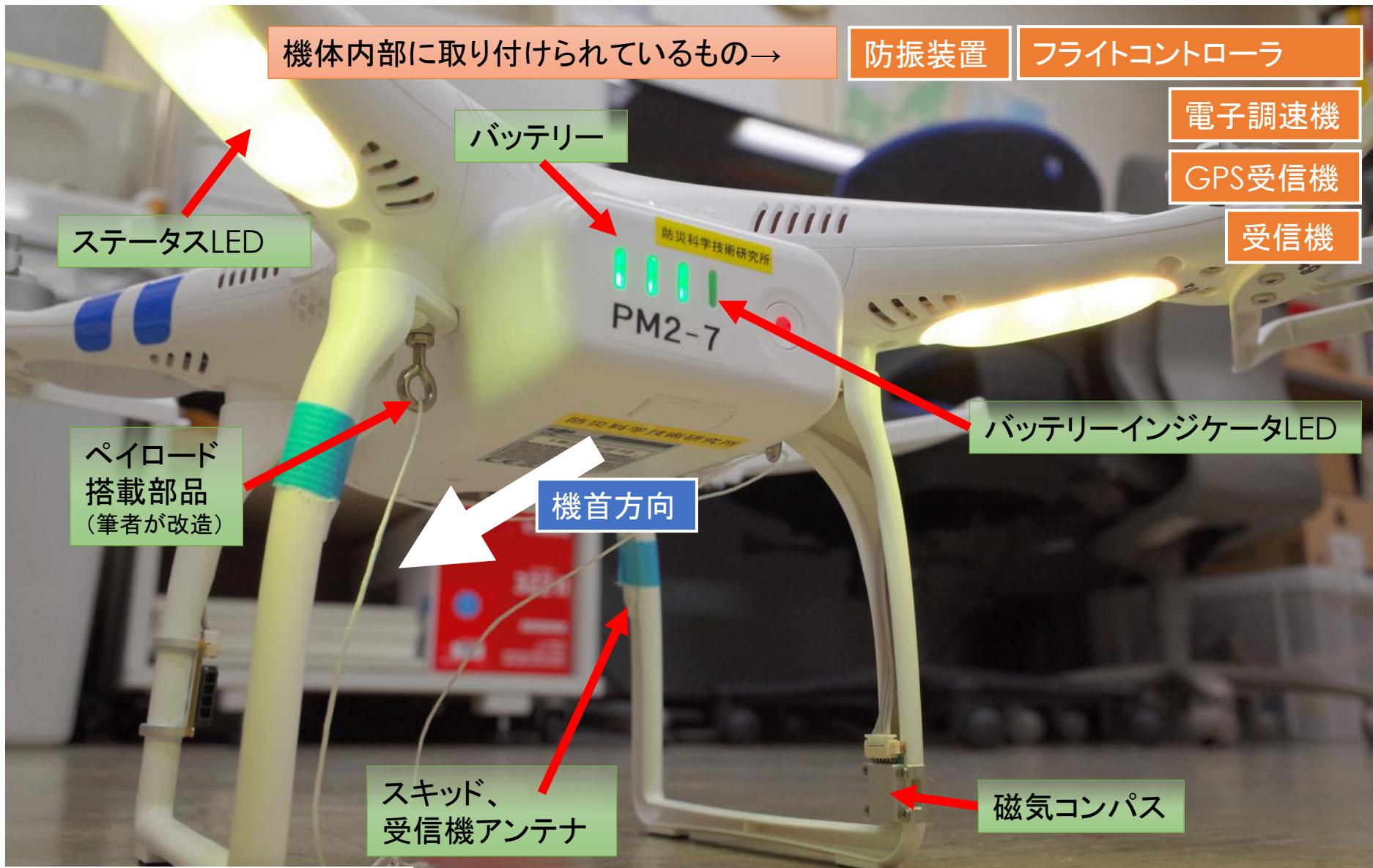
無人航空機の航法デバイスの種類と役割

- IMU(3軸ジャイロセンサーおよび3軸加速度計)
機体の姿勢と姿勢変化(角速度・加速度)の検出
※UAVに搭載されるようなMEMSセンサーでは緯度・方位は計測できない
- GPS受信機(多くの場合、GPS L1波のみ)
機体位置(緯度・経度)の計測
※機体の高度管理はGPS計測高度を使用せず、気圧高度計で検出した値を使用する
精密時刻情報の取得
- 磁気コンパス
機首方位の検出
- 気圧高度計
飛行高度(相対高度)の検出
- 電圧計・電流計
バッテリー電圧・電流の検出
- MPU (Main processor unit)
各航法デバイス情報の処理、飛行制御等

無人機航空機の一般的な構造(ホビーマルチコプター)

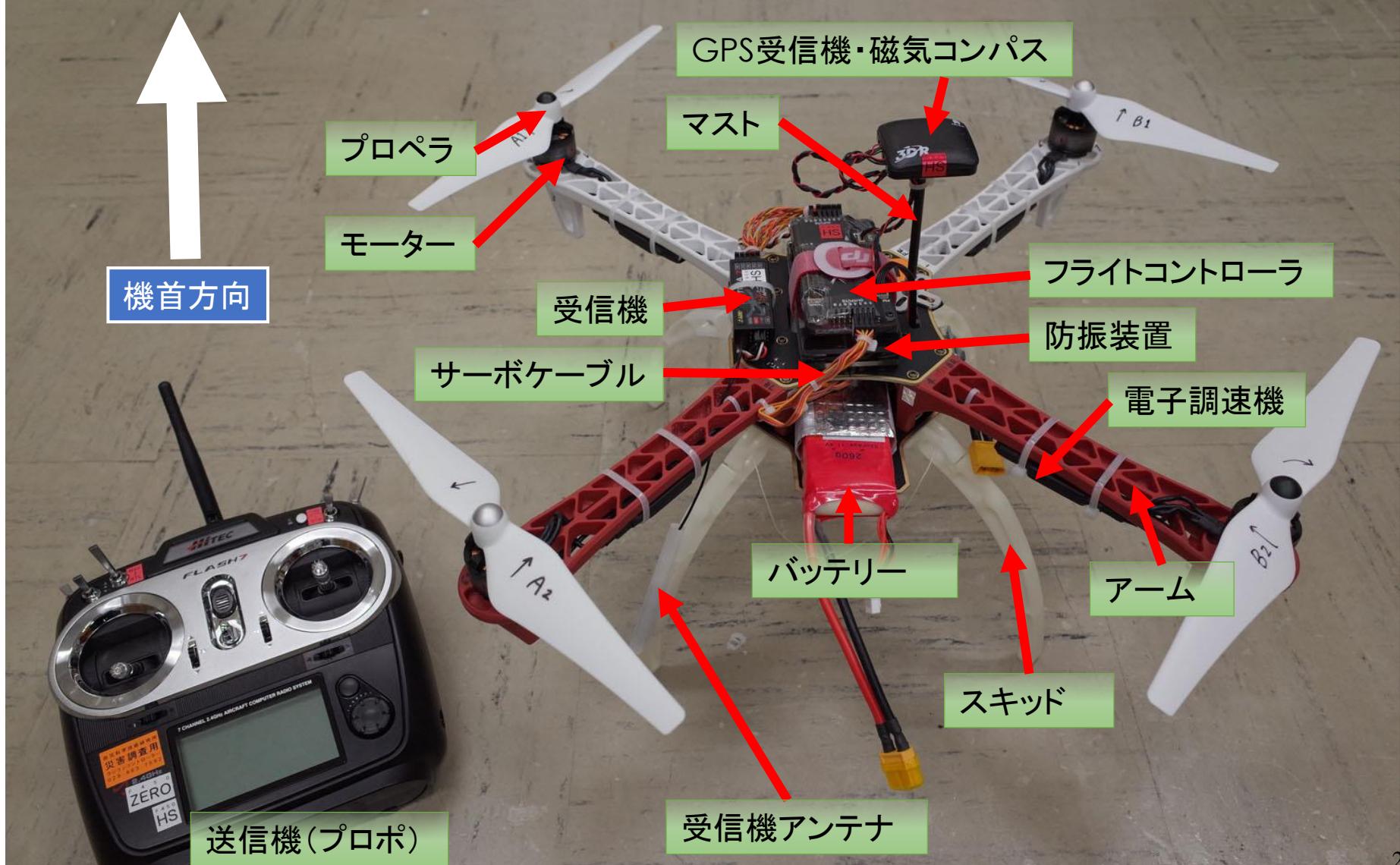


無人機航空機の一般的な構造(ホビーマルチコプター)



無人機航空機の一般的な構造(業務用機)

業務用途自作マルチコプターの例



無人機航空機の一般的な構造(業務用機)

業務用途自作マルチコプターの例

上面基盤: GPS受信機
下面基盤: 磁気コンパス

FC入力端子(6ch)
(送信機→受信機)
Ch.7: RTL
Ch.5: 飛行モード

サーボケーブル

USBコネクタ

7ch受信機
(2.4 GHz)

受信機アンテナ

マスト

フライトコントローラ(FC)

FC出力端子(4ch)
(FC→電子調速機)

防振装置

トップボード

モーターch番号

機首方向

XT60バッテリー端子

フライトコントローラ

3D ROBOTICS: APM 2.6の例

航法デバイス・バッテリー等の配置には意味がある

センサー類はそれを使用する温度、電圧、設置方法などの使用環境条件があり、バッテリー等の機器類の搭載位置を含めて機体全体の重量バランスも考慮されている。

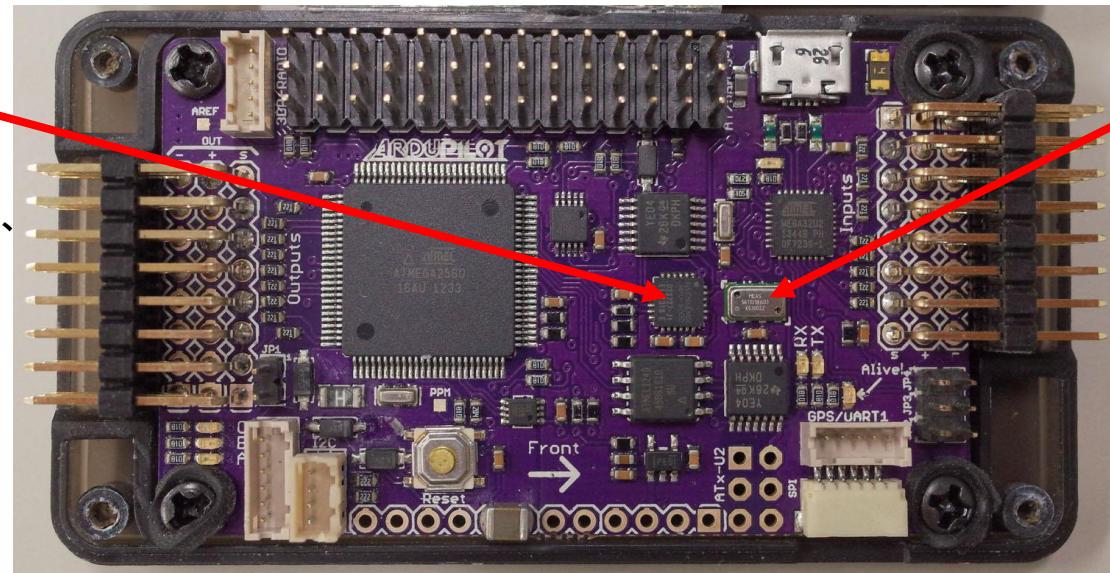
ハードウェアの論理的整合性を破たんさせるだけの素人改造を行うべきではない

3軸ジャイロ+

3軸加速度計：

スマートフォン、タブレット、デジカメ手振れ補正、さまざまな用途に使用されるMEMSセンサー
適切な設置位置・設置方向および適正な環境温度範囲内で使用する必要がある。

例：高熱を発する機器の付近への設置はNG



気圧高度計：

気圧の変化をもとに、機体の飛行高度を検知するセンサー

風や直射日光が当たらず、圧力がかからないように保護の上設置する必要がある。大気圧の静圧がかかる環境であることも必要。例：密閉空間やセンサーむき出しの配置はNG

APM 2.6【オープンソース・ハードウェア】：オープンソース・ハードウェアは設計図が公開されたハードウェアであり、その設計図やそれに基づくハードウェアを誰もが学び、改変し、頒布し、製造し、そして販売できる。

→3D Robotics以外からも安価で販売されている。ライセンス的にOKと思われるが、正常な動作をするかどうかは別問題。

航法デバイスに障害が生じると…例

- IMU+防振装置(3軸ジャイロセンサーおよび3軸加速度計)
浮上した瞬間にどこかへまっすぐ一気に飛んでいく(後のスライドに事例掲載)
離陸後・飛行中の挙動が安定しない
- GPS受信機
安定したホバリングができない
- 磁気コンパス
操縦した方向に飛行しない
- 気圧高度計
機体が大きく上下する
- 電圧計・電流計
電池が無いにも関わらずにバッテリーフェイルセーフが発動しない。気付かずには飛行を継続すれば、いずれ、突然墜落する。
- MPU
故障した場合…何が起こるか分からぬ

この他、

- 意図せぬ飛行(フライアウェイ)
 - トイレットボール現象(磁気コンパス)
(次のスライドに事例掲載)
 - オートパイロット異常動作
 - スロットルが上がらない・下がらない
 - 舵の効きが悪い
 - 自動帰還が作動しない
 - 上空で突然操縦不能になる
- など、様々な異常動作が発生する。

これらを「原因不明の墜落」として片付ける限り、事故は繰り返す。

磁気コンパスの取り付け設定ミス



- ・ 機体:自作試作機
- ・ 条件:敷地内、飛行前点検未実施
- ・ 被害:機体アーム折損。第三者被害・人的被害無し

障害:浮上後、円旋回をはじめた。送信機のステイック操作をするも、意図した方向に飛ばない。しだいに描く円が大きくなるが操縦不能のため、高度を落とし、地面に激しくクラッシュして停止させた。

原因:管理ソフトウェア上の磁気コンパスの設置方向を上下180度反転させた状態で設定していた。
渦を巻いていく様子から、**トイレットボール現象**などと呼ばれるらしい。

IMU+防振装置の障害



航法デバイスに障害が生じると…

多くの無人航空機は冗長性が無い

- 航法デバイスを一系統しか搭載していない
- 故障時の予備系統をもたない場合がほとんど

したがって飛行中に、

- ✓ 航法デバイスに一つでも障害が発生した場合、墜落する可能性が極めて高い

飛行前点検を実施する目的：

- すべての航法デバイスが正常に動作していることを確認するしかしながら、
- 想定外の事態が生じた場合、最終的には「安全に墜落させる」以外の選択肢は無い

機体の信頼性向上のための対策： 具体的に何をすべきでしょうか？

- ・フライトミッション前の室内点検の実施
- ・飛行前点検の実施
- ・メンテナンス記録の作成・保管
- ・飛行記録の作成・保管
- ・素人改造をしない(低信頼機を使わない)
- ・障害・損傷・衝撃を受けた部品を再使用しない
- ・規定の期間で部品の交換を実施する
- ・正規部品を使用する
- ・定期的なオーバーホールの実施

飛行前点検: UAVオペレーションシート

注意！以下の画像は過去のオペレーションシートです。現状と一致しない部分があります

UAVマルチコプターオペレーションシート										Ver.3.1.2 - 2015/5/19
No.	③	日付	2015/5/10	時間	15:39 ~ 16:15	MP/FW	/	WPT通過		
場所	名古屋	OP:	U	FC: V	機体	F550		AUTO 0:42		
室内チェック	日付	/	/	進所		担当		1:1:0		
撮影機器	カメラ	GR-3.4K		GPS同期	10:03 → sec.	Lens cal.		2:2:02		
気象条件	天気	7℃	気温	19.8 ℃	気圧	HPa	風向	190	風速 Ave 3.8 Max 4.9	
コンパス	Auto Des.	[ON] 認証	0 度 0 分	【Rotation: Roll 180】複数		機種方位	OK.	4:2:58		
IMU	Roll	2.89	Pitch	0.49	計測環境	11:52		5:3:00		
GPS	HDDP	1.0	Sat. Count	13	raw.press	1000.33		6:3:45		
気圧計	Altitude	-0.3	Climb Rate	0.0	C.R. 安定	OK.		7:3:53		
Lo-Po	Battery ID	4S-1	セル数	4	S 容量	4600 mAh		8:4:37		
	実測電圧	16.71V	Max. 0.01V	HUD表示	16.70V	調整後HUD表示	OK.	9:4:43		
Falsafe	Battery	145 V Mode RTL	Radio On/Off Ch7:01 GPS Disable, Geofence Disable, GCS Disable					10:5:20		
Flight Plan	WPT数	23	飛行距離	3.825km	対地高度	50 m		11:5:25		
	地上高像度	cm/pix	最大地表高	20 m	クリアランス	30 m		12:6:03		
	FPV書き込み	Write WPTs → Clear Mission → Read WPTs		ファイル名	m2va.			13:6:10		
Wi-Fi OFF	モバイル接続: OFF 【確認】確認									
機体点検	モーターザラッキ	プロペラロック	フレームミタリキ	スキッド取り付け	GPSマスト固定	APMガタつき		14:6:35		
	撮影設定	SS: 1/100 F: 5.6 EV: -0.3 ISO: 1600	ISQ: AUTO	AF: 離遠	WPS: OFF			15:7:11		
カメラ	トップカバー側が進行方向	バッテリー2回上	フォーマット	テスリ撮影	ヒストグラム			16:7:39		
	インターバル	秒	撮影開始	シャッター	取り付け	カララ水平		17:7:52		
プロポ	モードゼロ	タイム位置確認 [OFF / ON]		フライトモード位置確認 [OFF / Lotter / AUTO]				18:8:36		
	全レベル角	電動	機体センサ	電圧 8.2 V	ドリフトなし			19:9:05		
監視	記録事項	AUTO開始-WPT終了時間(右)	帰還モード(RTL / BFS)	開始時間	Disarm時間	ロスト認定時間		21:9:15		
	監視事項	・道状況および周辺安全						22:9:42		
	・OP:機体の目視確認、気象状況、WPT通過報告							23:10:07		
離陸	離陸手順	AltHold → Arm → タイマー開始 → 離陸 → Loiter → ホーリング(安定確認15秒以上) → 「前移動」「左右移動」操作反応確認 → 「左→右回転」操作反応確認 → スロットル位置5%→Auto						24		
	帰還	(RTL / BFS) 手動 / (手)	帰還開始時間	16:05	Disarm時間	11:04		25		
	IMU異常	有 / 有	「有」の場合	Roll Pitch	着陸後Battery電圧	14.96 V		26		
	ログ	DL開始時刻	DL終了時刻	16:15	ログ消去	確認		27		
		ファイル名	2015_05_20	15-55-49.14				28		
備考								29		
								30		
								31		
								32		
								33		
								34		
								35		
								36		
								37		
								38		
								39		
								40		
								41		
								42		
								43		
								44		
								45		
								46		
								47		
								48		
								49		
								50		
								51		
								52		
								53		
								54		
								55		
								56		
								57		
								58		
								59		
								60		
								61		
								62		
								63		
								64		
								65		
								66		
								67		
								68		
								69		
								70		
								71		
								72		
								73		
								74		
								75		
								76		
								77		
								78		
								79		
								80		
								81		
								82		
								83		
								84		
								85		
								86		
								87		
								88		
								89		
								90		
								91		
								92		
								93		
								94		
								95		
								96		
								97		
								98		
								99		
								100		
								101		
								102		
								103		
								104		
								105		
								106		
								107		
								108		
								109		
								110		
								111		
								112		
								113		
								114		
								115		
								116		
								117		
								118		
								119		
								120		
								121		
								122		
								123		
								124		
								125		
								126		
								127		
								128		
								129		
								130		
								131		
								132		
								133		
								134		
								135		
								136		
								137		
								138		
								139		
								140		
								141		
								142		
								143		
								144		
								145		
								146		
								147		
								148		
								149		
								150		
								151		
								152		
								153		
								154		
								155		
								156		
								157		
								158		
								159		
								160		
								161		
								162		
								163		
								164		
								165		
								166		
								167		
								168		
								169		
								170		
								171		
								172		
								173		
								174		
								175		
								176		
								177		
								178		
								179		
								180		
								181		
								182		
								183		
								184		
								185		
								186		
								187		
								188		
								189		
								190		
								191		
								192		
								193		
								194		
								195		
								196		
								197		
								198		
								199		
								200		
								201		
								202		
								203		
								204		
								205		
								206		
								207		
								208		
								209		
								210		
								211		
								212		
								213		
								214		
								215		
								216		
								217		
								218		
								219		
								220		
								221		
								222		
								223		
								224		
								225		

1589		Phantom 3系オペレーションシート		Ver 2.1.0 - 2015/10/14					
No.	1	日付	2015 / 10 / 19	運用時間	14:59 ~	フライトバージョン	28		
場所	NZBn Cr.			OP	V	PO	機種	P2-2	
飛行目的	ADC-mars 724								
		日付	2015 / 10 / 19	場所	XTEO 316	担当	V		
IMU	Basis Cal	OK		Advanced Cal.					
気圧計	確認と注記: Phantom Assistant softwareで誤らかのエラーが表示されていることを確認							OK	
Phantom Assistant Softwareで確認	モード切替があることを確認 FCにデータ接続 ロードマップでモード変更するところ確認 マウント用部品で初期設定クリア 制限 長大半径: 2.00 m, 最高高度: 150 m 性能変更: 低飛昇率, フラット ゴールーム高度: 200 ハイドロ: 飛昇時の音を確認: オフ IMUデータの確認: 必要な出力がしっかり反映 ブロードキャスト: プログラムが正しく実行される 								
パイロット	藤原	姓:藤原	名: 勝也	GPS実験用写真		Lens cap			
気象条件 (2分間測定)	天気	UV	気温	21.9 °C	気圧	1011 hPa			
	風速 (10分間)	Few	風向	050	湿度	Ave: 1.7 m/s Max: 3.4 m/s			
Wi-Fi ODT	モバイル機器: パソ							OT-F	
コンパス	センサーベース: 実装								
機体状態	モード(マグネット) / ブロードキャスト / フームガタツク / マルチコプター								
カメラ	撮影設定 SS EV ISO AUTO AF 無遮光 WB AUTO								
操作(第1) RCX-V	フライモード: バル	トップカバー: 例が飛行方向	パンチリ: 上	フードマット:	テス: 撮影	ヒストグラム			
プロポ	フライモード: 位置確認							全シールド無効	
LiPo	充電電圧 (LED表示): 4								
GPS	Battery ID: 2-b GPSロック確認: OK								
最終確認	LEDステータス確認: OK							確認気象条件: OK	
片側記録	ーム時間: 15:12	離陸時間: 15:12	着陸時間: 15:14						
	→道路や川沿いなど周囲安全								
監視事項	OP: 機体の目視確認、気象状況								
	FC: ミッション進行状況、時間計測								
離陸手順	GPS: Any → テイマー開始 → 葵地 → ホバリング(空撮確認(30秒以上) → 「前後移動」) → 左回転 → 携帯充電確認 → 「右:左回転」携帯充電確認 → ミッション開始								
着陸	帰還方法: Guidance / LowBattery(手動)							帰還開始時間: 15:16	
	着陸後Battery電圧(LED表示): 3							着陸時間: 15:17	
飛行時間	飛行時間(一時記録から離陸時間まで): 5.74								
※飛行後の機体は飛行モード(ティックラミング)で停止。離陸・着陸時にこの機体は飛行モード									

'さきがけ' オペレーションシート Ver.2.0 - 2015/4/28				
No.	/	Flt.ID	LS-045	
日付	2015年5月14日	時間	15:00 ~	
実施場所	Arao-sawa-shita	実施者	U	
HDDP		HDDP 時間	:	
Satcount		対空標識数	78	
天気	八八	気温	°C	
雲量	3	/8	Ave	3.0 m/s
風向	300	(N=0°)	MAX	4.0 m/s
気圧		hpa		
バッテリー	16.65	V	SD カード	No. M-1
No.	2	Check	SD カード Formatted?	
M-m	0.035		Wi-Fi off?	
Area	S	km ²	推定飛行時間	32 min
AGL	150	m	Overlap	75 %
GSD	4.8	cm/px	Sidelap	75 %
天気			気温	°C
雲量		/8	Ave	m/s
気圧		hpa	MAX	m/s
風向		(N=0°)	【飛行前に管轄空港を確認!】	
着陸候補の気象条件				
飛行計画				
着陸候補の気象条件				
参考	Takeoff Pt. 周180° 反転点引 777枚。→ ←ok			
	<ul style="list-style-type: none"> ・空港（民間・自衛隊）から 9km 以内 ・訓練空域 ・飛行禁止空域 <p>【最高高度規制】</p>			

機体の種類に応じた3種類の飛行前点検シートを作成:【目的】全ての航法デバイスの正常動作を確認するため
どんなに急いでいても、いかに飛行時間が短くても、その他いかなる理由があろうとも、
「かならず」飛行前に点検・記録を実施し、異常が見つかれば飛行を中止する。

2014年12月末より実施。防災科学技術研究所では著者(内山)の研究室でのみ実施している。

No.	③	日付	2015/5/20	時間	15:39 ~ 16:15	MP/FW	/	WPT通過
場所	花見	OP:	U	FC: U	機体	F550	AUTO	01:42
室内チェック	日付	/ /	場所		担当			
撮影機器	カメラ	G.R. - 3. No.	GPS同期	10秒 → sec.	Lens cal.			
気象条件	天気	7℃	気温	19.8 ℃	気圧	hPa	風向	190 風速 Ave. 3.8 Max. 4.9
コンパス	Auto Dec. [ON]確認	0 度 0 分	[Rotation: Roll 180]確認		機種方位	OK.		
IMU	Roll 2.89. Pitch 0.49	計測環境	1/2 小					
GPS	HDOP 1.2	Sat. Count 13	raw_press 1000.33					
気圧計	Altitude -0.3	Climb Rate 0.02	C.R.安定 OK.					
Lo-Po	Battery ID 4S-1	セル数 4	S 容量 4600 mAh					
	実測電圧 16.71V Max-Min 0.011V	HUD表示 16.72V	調整後HUD表示 OK. V					
Failsafe	Battery 14.5 V. Mode RTL	Radio: Disable Ch7: RTL GPS: Disable, GeoFence: Disable, GCS: Disable						
Flight Plan	WPT数 23	飛行距離 3.82151km	対地高度 50 m					
	地上解像度 cm/px	最大地表高 20 m	クリアランス 30 m					
	FP書き込み Write WPTs → Clear Mission → Read WPTs	ファイル名 mera.						
Wi-Fi OFF	モバイル機器・APG	【Disconnect】確認						
機体点検	モーターザラつき プロペラロック	フレームガタつき スキッド取り付け	GPSマスト固定	APMガタつき				
カメラ	撮影設定 SS: 1000 f: 5.6 EV: -0.3 ISO: AUTO AF: 無限遠 W: AUTO							
	トップカバー側が進行方向 バッテリー2以上	フォーマット	テスト撮影	ヒストグラム				
	インターパル 秒 撮影開始	シャッター	取り付け	カメラ水平				
プロポ	スロットル・ゼロ タイマー位置確認 OFF / ON	フライトモード位置確認 AutoHold / Loiter / AUTO						
	全レバーサイド 電源ON	機体リンク	電圧 8.2 V	全トリム①				
記録事項	AUTO開始・WPT通過時間(右)	帰還モード(RTL/BFS)・開始時間	Disarm時間	ロスト認定時間				
監視事項	・道路状況および周辺安全							
	・OP:機体の目視追跡、気象状況、WPT通過報告							
離陸手順	AltHold → Arm → タイマー開始 → 離陸 → Loiter → ホバリング安定確認(15秒以上) → 「前後移動」「左右移動」操作反応確認 → 「右・左回転」操作反応確認 → スロットル位置50% → Auto							
着陸	帰還 (RTL/BFS) 手動 / () 帰還開始時間 15:05 Disarm時間 11:04							
IMU異常	無 / 有 「有」の場合 Roll Pitch	着陸後Battery電圧 14.96 V						
ログ	DL開始時刻 16:15	(ログ消去)確認						
	ファイル名 2015_05_20_15-55-49.1g							
備考	※離陸後の操作反応確認は微速(スティック2メモリ以内)でゆっくり、確実に行うこと。 ※事故等発生時は、状況の変化について、プロポのタイマー表示時間を逐一メモすること。 X! Elevation Graph 16:15 -15:39 -36 36'00''							
	救急: 119 警察: 110	フライト責任者						

【UAVオペレーションシート最新版】Open Drones Safety Manuals Project <CC-BY>
http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

注意！画像は過去のオペレーションシートです。
 現状と一致しない部分があります

国際研究開発法人 防災科学技術研究所

点検: 約90項目

- 飛行年月日
- 操縦者の氏名
- 離陸場所及び出発時刻
- 着陸場所及び着陸時刻
- 飛行時間
- 飛行の安全に影響のあった事項
- 室内チェック
- デバイスチェック
- ペイロードチェック
- 機体チェック
- OP/FC役割分担
OP:操縦者、FC:操縦助手
- 離陸後飛行テストプロシージャ
- ウェイポイント(*)経過時間
- 緊急連絡先メモ
- (操縦者の署名)

緑字は2015.12航空法施行後、
 飛行記録として記録することが
 求められている事項

※ウェイポイント(waypoint): 自動飛行の際に機体がを目指す空中の地点。
 飛行前に複数のウェイポイントを設定し、フライトコントローラに記憶させる。
 機体は、設定されたウェイポイントをたどるように自動飛行を行う。

日時場所、室内チェック

注意！画像は過去のオペレーションシートです。現状と一致しない部分があります

UAVマルチコプターオペレーションシート

Ver.3.1.2 - 2015/5/19

No.	③	日付	2015/5/20	時間	15:39 ~ 16:15	MP/FW	/	WPT通過
場所	花見	OP:	U	FC:	U	機体	F550	AUTO 0, 42
室内チェック	日付	/ /	場所			担当		1 1:20
撮影機器	カメラ	GR-3.M.	GPS同期	10秒 -> sec.		Lens cal.		2 2:02
気象条件	天気	7℃	気温	19.8 °C	気圧	hPa	風向	190 風速 Ave. 3.8 Max. 4.9
コンパス	Auto Dec. <input checked="" type="checkbox"/> 確認	0 度 0 分	【Rotation: Roll 180】 <input checked="" type="checkbox"/>					3 2:10

【UAVオペレーションシート最新版】Open Drones Safety Manuals Project <CC-BY>
http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

- No.: その日の飛行の通し番号
- 日付・時間: オペレーション開始・終了時刻(離着陸ではない)
- MP/FW: 管理ソフトウェア Ver.・フライトコントローラファームウェア
- 室内チェック概要(初回のフライトと同じ機体の場合は省略。画像では省略している)
- 撮影機器: ペイロード(搭載物)情報(例: カメラ時刻合わせ、レンズキャリブレーション)
- 気象条件: オペレーション開始後の【2分間計測】による気象状態
 - 離陸前に大きな変化を体感した場合は再計測
 - このシート記入当時は気圧計を所有していなかったので空欄
 - 固定翼機のような飛行時間の長い機体の場合は、離陸前と着陸前の気圧を計測する。気圧差 = 高度差であるため、離陸時との気圧差が大きい場合は着陸時のタッチダウンポイントがずれる可能性がある

離陸重量・重心位置

注意！画像は過去のオペレーションシートです。現状と一致しない部分があります

室内チェック	日付	/ /	場所	担当	2
撮影機器	カメラ		GPS同期	Lens cal.	3
機体重量・重心	最大離陸重量		全備重量	重心位置	ペイロード固定

▶ 最大離陸重量を超えないことを確認

- ✓ 最大離陸重量以上でも離陸が可能な場合もあるが、絶対に行わないこと
- ✓ 耐風性、操縦性、飛行時間、バッテリー電圧低下時の墜落までの時間が極端に低下する

1. 最大離陸重量(安全な運航(離陸・巡航・着陸)が可能な最大重量)

- ✓ 機体のマニュアルまたはメーカーに確認する
- ✓ 自作機の場合、モーターの仕様を確認する
 - 4セルバッテリー駆動モーターの一例) 400g/モーター × 6モーター = 2,400g

2. 離陸重量 (A+B+C)

- A) 機体重量:機体本体の重量
- B) ペイロード重量:カメラ等の搭載物の重量
- C) バッテリー重量

▶ 重心位置の確認と調整

- 水平方向・垂直方向の重心位置が機体中心部に近いこと
 - ホビー機ではユーザーが自由にペイロードを搭載することを考慮していないため、安全に飛行できることを実験で確かめる必要がある
 - 業務用機で、特定のペイロードにのみ対応している場合は、これを変更しないこと
 - 業務用機で、重心位置を調整する機構を持つ場合は、適切に調整する
- ペイロードは機体に固定し、飛行中に重心位置が移動しないよう措置すること

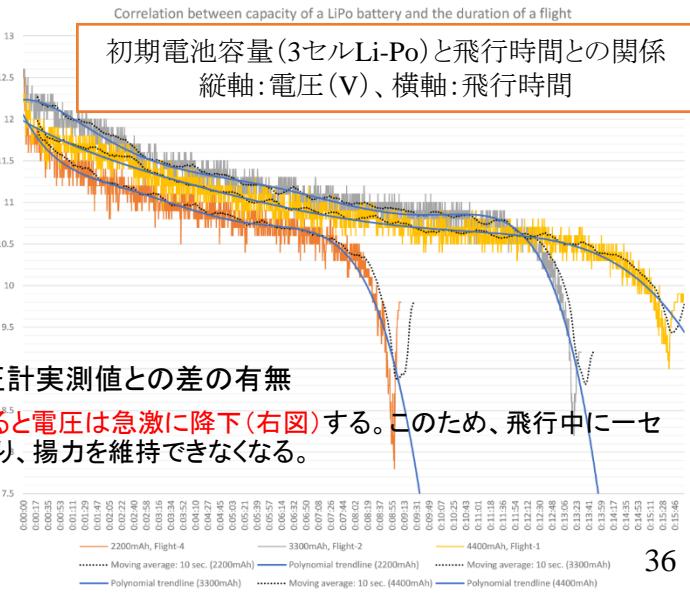
航法デバイス・フライトプラン

注意！画像は過去のオペレーションシートです。現状と一致しない部分があります

※いくつか誤字があります。

計器・飛行設定・飛行計画	コンパス	Auto Dec. <input checked="" type="checkbox"/> 確認 〇 度 〇 分		1/10	高速 Ave. 3.8	Max. 4.9	3 2:10
	IMU	Roll 2.89.	Pitch 0.49	【Rotation: Roll 180】 <input checked="" type="checkbox"/> 確認		機種方位 OK.	4 1:50
	GPS	HDOP 1.2	Sat. Count 13	計測環境 1/2 小			5 1:00
	気圧計	Altitude -0.3	Climb Rate 0.00	raw_press 1000.33		C.R.安定 OK.	6 3:45
	Lo-Po	Battery ID 4S-1	セル数 4	S 容量 4600 mAh			7 3:53
		実測電圧 16.71V, Max-Min 0.011V	HUD表示 16.72V	調整後HUD表示 OK. V			8 4:37
	Failsafe	Battery 14.5 V, Mode RTL	Radio: Disable, Ch7: RTL	GPS: Disable, GeoFence: Disable, GCS: Disable			9 4:43
		WPT数 23	飛行距離 3.8215km	対地高度 50 m			10 5:20
	Flight Plan	地上解像度 cm/px	最大地表高 20 m	クリアランス 30 m			11 5:25
		FP書き込み Write WPTs → Clear Mission → Read WPTs		ファイル名 mera			12 6:03
							13 6:10

- コンパス: 偏角補正設定状態、取り付け向き、機首方位の確認2ヶ所以上
- IMU: 機体を水平な場所に置いて機体が水平かどうか
※キャリブレーションには必ず水準器を使用する
- GPS: HDOP(高度は気圧高度計で計測する)、補足衛星数
※固定翼では2時間程度のHDOP・衛星数の変化も調査する。悪化傾向の場合は飛行しない
目視外飛行(要許可申請)の場合は必ず調査
- 気圧高度計・昇降計: 機体を静置して表示される数値が安定しているかどうか
- Li-Poバッテリ: 固有ID、セル数、容量、計測電圧値、セル間電圧差、機体センサー計測値と電圧計実測値との差の有無
※セル間電圧差が大きい(0.03V以上)の場合は使用しない。電圧放電特性上、一定の電圧を下回ると電圧は急激に低下(右図)する。このため、飛行中に一セ
ル分の電圧が失われることになる。3セルで駆動しているモーターを2セルで駆動するような状態となり、揚力を維持できなくなる。
- フェイルセーフ機能: 設定状態の確認。意図した条件で緊急帰還が動作するように設定する
- 自動飛行用のフライトプラン: WPT数、距離、高度、地上の物件との距離、等



機体点検・最終点検

注意！画像は過去のオペレーションシートです。現状と一致しない部分があります

最終点検	Wi-Fi OFF	モバイル機器・		【Disconnect】確認				14 6:55 15 7:01 16 7:39 17 7:52 18 8:26 19 8:36 20 9:05	
	機体点検	モーターザラつき		プロペラロック	フレームガタつき	スキッド取り付け	GPSマスト固定		
	カメラ	撮影設定 SS: 1/2000 f: 5.6 EV: -0.3 ISO: AUTO		AF: 無限遠 WB: AUTO					
		トップカバー側が進行方向		バッテリー2以上	フォーマット	テスト撮影	ヒストグラム		
	プロボ	インターバル	秒	撮影開始	シャッター	取り付け	カメラ水平		
		スロットル: ゼロ	タイマー位置確認: OFF / ON		ライトモード位置確認: AltHold / Loiter / AUTO				
		全レバー外側	電源ON	機体リリンク	電圧 9.2 V	トリム「0」			

- Wi-Fi等: 機体周辺・送信機周辺では念のためオフにする
- Disconnect: 管理ソフトウェアとの通信切断
- 機体点検1: モーター可動部の正常性、プロペラ取り付け状態の確認
モーター回転にざらつきがある場合、使用しない。異常発熱、回転不足等の障害が発生する
- 機体点検2: ボディ・スキッド・ネジの取り付け状態の確認
- 機体点検3: 航法デバイスの固定状態・取付方向の確認
- ペイロード設定: カメラの撮影設定、取り付け状態、撮影開始の確認
- 送信機: レバー等の初期位置・機能の確認、トリム・電圧の確認、等

記録事項・監視事項・離陸手順

注意！画像は過去のオペレーションシートです。現状と一致しない部分があります

記録事項	AUTO開始・WPT通過時間(右)	帰還モード(RTL / BFS)・開始時間	Disarm時間	ロスト認定時間
監視	・道路状況および周辺安全 ・OP:機体の目視追跡、気象状況、WPT通過報告			21 1:20 2 2:02 3 2:10 4 2:58 5 3:00 6 3:45 7 3:53 8 4:37 9 4:43 10 5:20 11 5:25 12 6:03 13 6:10 14 6:55 15 7:01 16 7:39 17 7:52 18 8:26 19 8:36 20 9:05 21 9:15 22 9:42 23 10:02 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36
離陸手順	AltHold → Arm → タイマー開始 → 着陸 → Loiter → ホバリング安定確認(15秒以上) → 「前後移動」・「左右移動」操作反応確認 → 「右・左回転」操作反応確認 → スロットル位置50% → Auto			

【UAVオペレーションシート最新版】Open Drones Safety Manuals Project <CC-BY>
http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hds3/

- 時間を記録する事項:

離陸・自動飛行開始・ウェイポイント(WPT)通過(右図)・自動飛行終了・自動帰還開始・着陸
機体をロスト(見失った)した場合:ロストを認定した時間

機体搜索のため、離陸場所からの方位・距離を推定する際に重要な情報。機体GPSテレメトリがあればその値をメモ

- その他の記録する事項:

飛行テストの経過ステータス・帰還モード種類

- 監視事項:

機体、ウェイポイント(WPT)通過、周囲の安全、道路状況、気象状況

※OP(操縦者)/FC(監督・飛行助手)

- 離陸手順:チェック項目

前進・後退・右移動・左移動・右回転・左回転についてゆっくりとした手動操縦を行い、正常に(意図したとおりに)動作するか確認する(コンパス、IMU、プロポの動作点検)

ホバリングが安定しているかを観察する(GPS、気圧高度計、IMU、プロポの動作点検)

現在の地上気象条件で安定飛行が可能かを判断する(飛行継続の最終判断)

※現在はホバリング安定確認時間を30秒で運用

着陸・飛行の安全に関する事項等

注意！画像は過去のオペレーションシートです。現状と一致しない部分があります

着陸	帰還	RTL / BFS / 手動 / ()	帰還開始時間	10:05	Disarm時間	11:04	26
	IMU異常	無 / 有	「有」の場合	Roll Pitch	着陸後Battery電圧	14.96	27
	ログ	DL開始時刻	DL終了時刻	16:15	【ログ消去】確認		28
	ファイル名	2015_05_20	15-55-49.1g				29
	※離陸後の操作反応確認は微速(ステイック2メモリ以内)でゆっくり、確實に行うこと						
	※事故等発生時は、状況の変化について、プロポのタイマー表示時間を逐一メモすること						
備考	16:15 -15:39 --- -36 36'00'' Flight Elevation Graph						

【UAVオペレーションシート最新版】Open Drones Safety Manuals Project <CC-BY>
http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

- 着陸に関する事項:

着陸(帰還)方式、帰還開始時間、着陸時間(いずれも飛行開始からの計測時間)

- 着陸後の機体の状態:

IMU異常(使用している機体では、着陸後にIMU姿勢検出に異常が生る場合があるため確認している)

着陸後のLi-Po電圧(今後のフライト計画において気象条件・ペイロード重量とフライト時間との関連を把握するため)

- フライトログの確保:

- 一日に何フライトも飛行を行うので、実際に飛行したフライトプランのログファイル名をメモしておく
- フライトコントローラのログを消去しないと、次のフライトログが正常に記録されない場合がある

- 飛行の安全に影響のあった事項:

気付いたことがあれば記入

- 最後に操縦者が署名を行うことにより、正式な「飛行記録」が完成する

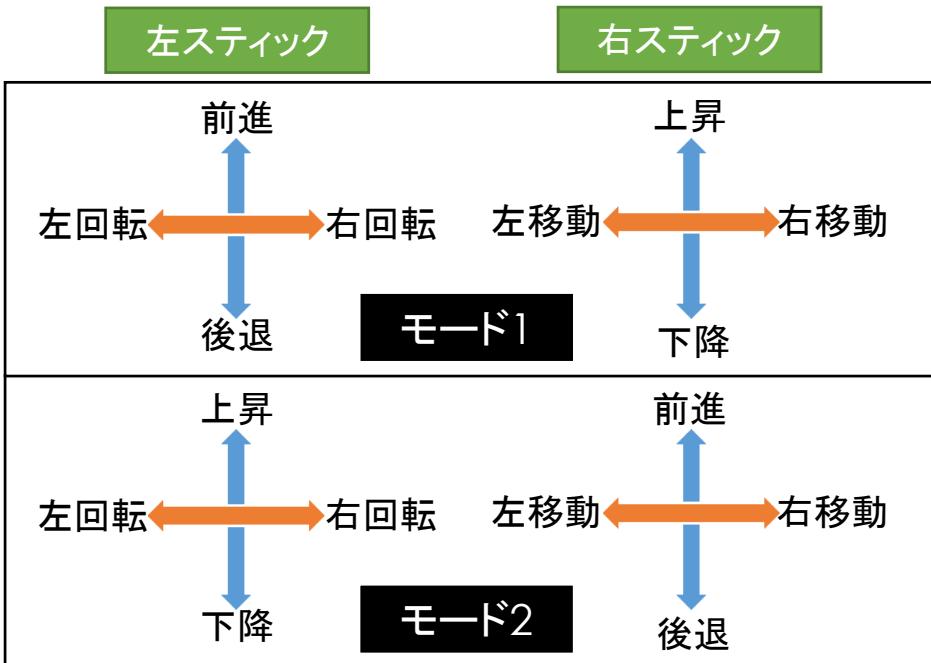
飛行前点検の徹底の効果

- 原因不明の事故(正確には原因を説明できない事故)を大幅に減らすことができる
- 機体、機体パーツ、ペイロード搭載機器、ソフトウェアの異常・故障に気付くことができる
- 飛行前に対策を施すことができる
- 異常な飛行を未然に防ぐ
- 一つ一つの点検に集中することにより、操縦に対する冷静さ、雑念の排除、目の前の作業に対する集中力を維持する
 - ※災害対応時など、周囲の状況が落ち着かない場合などに特に有効
- 非常に多い項目の点検忘れやそれによる不安を解消し、機体状態に安心と自信を得る
- 異常発見時、論理的に飛行の中止を決断し、ステークホルダー等に説明できる
- 飛行現場でPCや管理ソフトウェア、フライトコントローラのアップデートに気付くような事態(※)を回避する
 - ※もし気付いても、未検証での本番飛行は危険。絶対に実施すべきではない

上記はできて当然のことのようですが
対策を能動的に行わない限り
実際には実現できていないのでは？

送信機(プロポ)の基礎

プロポ(送信機)には複数のモードがある
以下はマルチコプター(回転翼)の例



- 複数の操縦者で運用する場合は、**使用するモードを統一**する
 - モードが異なると、飛行中の操縦交代時に対応できない
- もしも測量で使用するならば「モード2」が良い
 - 測量では高度を一定に保って飛行するケースが多い
 - 所定の高度まで上昇後、右スティックだけで移動ができる
 - 誤って機体(カメラ)の向きや高度を変えてしまうことがない

電波の性質

一般的なラジコン用の電波(2.4GHz) :

- 直進性の強い電磁波(電界と磁界の波)
- 遮蔽に弱い(光に似た性質を持つ)
 - ✓ 視通がない場所は届かないと考えて運用するほうが、より安全
 - ✓ 遠距離通信には強いアンテナ出力が必要(ただし無許可改造は違法)
 - ✓ 遠距離通信には受信アンテナの利得も重要(ただし無許可改造は違法)
 - ✓ 送信機のアンテナ角度を適切に調整することも効果的
 - ✓ 緊急の場合、機体の高度を上げることも効果的
 - ✓ 送信機を高い位置に上げることも効果的(車の屋根に上る、等)
- 減衰が大きい(距離が離れると、突然、途切れる)
 - ✓ 例: 1,000mまで飛行できていたのに、1,100mで突然操縦不能になる
- 帯域幅(情報転送速度)が広く、通信できる情報量が多い
- 2.4GHzの場合、通常は混信に強い変調方式が使用されている
 - ✓ 昔ながらのラジコン周波数の場合、混信すると操縦不可能となる場合がある

航空安全：操縦者編

機体

操縦者

運航管理

関連法規

安全な運航の知識・技能を習得・維持するために
操縦者が自助努力でできることの一例

「操縦者」

- 事故原因としての操縦者
 - 極度の安全軽視
 - 飛行ミッションに対する重圧の存在
 - さまざまなヒューマンエラー
- 操縦経験の証明
- 技能の習得と維持
- 操縦者心得
 - 操縦時に想定すべきこと
 - 事例による問題提起
 - 人間の能力の限界
- 飛行可能な空域の判断
- 航空気象
 - 致命的な風を察知せよ
 - 風を区別する:地上風
 - 風を区別する:局地風
 - 積乱雲
- 有人航空機の飛行空域
- 災害時におけるUAVの運用

無人航空機運用の現状：

- 機体：「耐空証明」制度が無い

- 機体性能の信頼性・耐久性に関する基準がない
- 設計思想、構造、整備方法、部品の品質、ソフトウェア等、基準も指針もない
- 整備記録(障害・交換・調整・オーバーホール・改造・点検等)の作成・保存の義務もない
- 高コストを投じて開発された機体、おもちゃ、低信頼自作機が同列
- 低信頼機でも業務に使用できてしまう

- 操縦者：「技能証明」制度が無い

- 操縦者に対する操縦に必要な知識・技能の最低限の保証がない →ラジコン経験年数？？
操縦技能、法規(空域・飛行方法)、航空気象、地形・障害物、飛行計画、運航記録、等
- 有人航空機のルールを知らない
- 気軽な気持ちで有人航空機の空域に侵入する
- 雪石事故(民間機と自衛隊機の空域分離の不完全さによる空中衝突事故)の再来の懸念

- 運航管理：組織で管理するという概念が無い・薄い

- 組織として運航の安全を確保する最低限のルールが整備されていない
無人航空機の使用者個人の思想、技能、努力に依存
- 事故時には組織は無関係ではない
「機体」「整備」「操縦者」「組織管理」それぞれの状況をどこまで説明できるか

- 歴史：

- 航空機：御巣鷹、テネリフェ、雪石…大きな犠牲を通して反省し、対策し、築いてきた高い信頼
R/Tミーティング：1977年12月18日(第一回)より毎月開催され、450回を超える現在もなお継続されている航空関係者による航空安全のための会合
- 無人機：小型無人機の普及は高性能なホビー(安い・楽しい)が原点。安全確保に対する考え方があるで異なる。

事故原因としての操縦者： 人と組織によって引き起こされる事故(1-1)

極度の安全軽視

➤ 使用する機体の理解不十分

- ✓ 機体のマニュアルを読まない
- ✓ 機体・管理ソフトウェアの取り扱いを理解せずに運航する
 - 「バッテリー: 100%」表示の意味はどっち？ストレージ電圧(3セルなら11.2V)？満充電(3セルなら12.6V)？
- ✓ 機体の性能(最大離陸重量、飛行時間、電波到達距離、耐風性能、飛行速度、等)を理解していない

➤ 不適切なメンテナンス

- ✓ 機体・管理ソフトウェアのメンテナンスをしない
- ✓ キャリブレーションを実施しない、失敗しても無視して飛行する
- ✓ ファームウェアアップデート後の飛行テスト、機能テストを実施しない
- ✓ 衝撃を受けたパーツ、破損したパーツを使用する
- ✓ 正規のパーツを使用しない、謎のパーツを使用する
 - 規格の異なるねじを使用し、モーターに干渉し破壊
- ✓ 不合理な改造を行う

➤ 事前準備・関連知識の不足

- ✓ 地形や障害物(植生や建物、電線等)の分布、高さを確認しない
- ✓ 一日を通した気象状態と変化を把握していない
- ✓ 風向・風速・気温を計測しない
- ✓ GPSや電波の基本的な性質に対する理解がない

➤ リスク認識の不足、法令違反

- ✓ 高度制限(150m)を無視する
- ✓ GPS受信完了前の飛行、GPS受信状態が悪い場所での飛行を強行する
- ✓ 機体を目視せず、FPVだけで遠方まで手動操縦することを習慣にする
- ✓ 機体性能を超える飛行を行う(強風時の飛行、尾根越え飛行、不要なアクロバット飛行など)

事故原因としての操縦者： 人と組織によって引き起こされる事故(1-2)

極度の安全軽視

➤ 「意図せぬ事態」(=飛行させるリスク)の想定の甘さ

- ✓ 人のいない場所で飛行させてるので、〇〇は不要、という論理
- ✓ 「安全マージンを十分に取る」という考え方の欠如
- ✓ 「易きに流れる習慣は日常の習慣になる」という人間の習性への理解の欠如

➤ 山中で飛ばすので保険は不要

- 墜落時のLiPoバッテリーの損傷による発火と山林火災発生のリスク(事故例あり)
- 人のいない場所で飛ばすので、少しくらい高く(遠く)飛んでも良い
 - 機体を見失って、そのままロスト(事故例あり)
- 海外だから何をやってもよい
 - 確かに日本国は法規は無関係。しかし、酷い事故例をよく耳にします。その姿勢で本当に良いものでしょうか。

✓ 小さくて軽い機体(数kg)は大きな機体に比して安全

- 小型無人機を2kgの石ころと考えれば、その考えが正しくないことは容易に想像がつく
- 衝突する相手が人間だけとは限らない
- 航空機のエンジンに衝突すれば墜落させる可能性が高い(もっと小さく柔らかい鳥ですら航空機には脅威)
 - ✓ 有人航空機が飛行する空域にドローンが飛行している場合、これを避ける(飛行してはならない)規則の国もある
 - (本ページの趣旨とは異なるが、このルールによって災害対応航空機の活動が遅れた事例もある)
- 高速で走行する自動車・列車に衝突した場合の衝撃は甚大

事故原因としての操縦者： 人と組織によって引き起こされる事故(1-3)

極度の安全軽視

➤ 不適切な運航

- ✓ 非防水の機体を雨中で飛行させる:
 - 操縦不能になり、墜落(複数の事故例あり)
- ✓ 飛行高度・距離を管理しないで飛行させる
 - 操縦者の経験・目視による飛行高度・飛行距離の管理
 - 「機体が見えなくなったら高度150mくらい」など
- ✓ 業務での運航管理方式としては論外な方法
 - 経験則は安全の向上に効果があるが、安全管理の根拠にはならない
 - 想定外の事態においては、まったくあてにならない
 - ✓ 事故が発生しても、当時の状況を根拠を持って正確に説明できない
 - ✓ 機体トラブルか操縦ミスか説明できないということは、操縦者自身の首を絞める

➤ 航空法規を知らない・解釈が誤っている

- ✓ 無人航空機を業務で利用する者でありながら、
 - 平成27(2015)年12月10日に航空法が改正されたことを知らない
 - 法改正の事実を知っていても、その内容を把握していない
 - 明らかに間違った解釈をしている
- ✓ そのような操縦者が行う飛行は、多数の法令違反を伴う飛行となる可能性が高い

事故原因としての操縦者： 人と組織によって引き起こされる事故(1-4)

極度の安全軽視

- 過度な疲労状態での運航
- 操縦技能の不足
 - 通常の操縦訓練の不足
 - 機首方位の喪失
 - ✓ すぐにどちらを向いているか分からなくなる
 - ✓ 意図した方向に機体を飛行することができない
 - ✓ 予定しない場所への進入(コース逸脱)
 - 機体位置の喪失
 - ✓ 機体を見失うほど遠方を手動で飛行させる
 - ✓ 自動操縦のコースを把握していない
 - コース設定のミス
 - ✓ 地形・障害物の高さの認識を誤り、地表に激突
 - ✓ 旋回半径の認識を誤り、地表に激突
 - 非常時の対応訓練の不足
 - フェイルセーフ機能の理解不足
 - ✓ 機体を見失った時に、自動帰還させる方法が分からない
 - ✓ 自動帰還させる操作を行ったが、帰ってこない
 - ✓ 意図した条件でフェイルセーフが自動で起動しない
 - フェイルセーフ機能の設定ミス
 - ✓ 電圧フェイルセーフの起動電圧設定を誤り、飛行中に電池切れ、墜落
 - ✓ 飛行中にGPS信号をロストした時に、その場で着陸を始めて墜落

事故原因としての操縦者： 人と組織によって引き起こされる事故(1-5)

飛行ミッションに対する重圧の存在

組織・関係者・雰囲気・スケジュールなど、外部の有言・無言の圧力

- 絶対に成功させろ、スケジュール的に今しかチャンスはない、etc.

- 無理をして飛行すると事故を引き起こす要因となる

- 冒頭の「30代、男性」氏の例の事故要因の一つかもしれない

- 依頼されたので、何とか飛ばさなくてはならない、という焦りがあったのかもしれない

- 2015年夏ごろのイベント時に(一説によれば)電池切れで墜落したUAV機の事故例の一つの要因かもしれない

- もう少し飛ばせ、という外部からの圧力があったのかもしれない

- 「飛行をしない」判断をする勇気

- 論理的に飛行中止を説明するための仕組みを作ておく

- 飛行前点検における不具合・異常の発生
 - 気象条件などの環境要因の不適合
 - 運航マニュアルへの不適合

- 飛行中止には、オーソライズされた客観的な基準が必要

- 「現場の作業従事者が勝手に飛行中止を判断した」などの理不尽な責任転嫁等を避けるために無理な飛行を行い、結果として作業従事者が事故を引き起こしてしまう
 - 業務での飛行は現場従事者だけの責任ではない
 - 客観的基準を設定し、組織がオーソライズした運航マニュアルが必要

事故原因としての運航体制： 人と組織によって引き起こされる事故(2-1)

➤ 運航体制(現場従事者)における安全軽視

➤ 共通理解の形成がない状態での運航

- ✓ 操縦担当者以外、飛行計画・飛行経路などを理解していない
- ✓ 異常事態が発生しても誰も気付くことができない

➤ 決定権がいびつなチーム

- ✓ 主操縦者に対して新人が一切口出しできないような強い力関係
- ✓ 新人が主操縦者を信頼しすぎて、手順や計画の確認を怠っている
- ✓ 利害関係者が航空安全を無視した要求を出し、主操縦者が拒否しづらい状況

➤ コミュニケーションエラー

- ✓ 誰かが運航上のミス・異常・不安全事象に気付いても指摘しない

➤ 専念の放棄

- ✓ 飛行ミッション中、フライトとは無関係な会話に夢中
- ✓ 主操縦者や運航チーム関係者が自動操縦中に離席

➤ 無計画フライト

- ✓ もともと飛行の予定を立てておらず、地形・障害物の調査も不十分な状態でのフライト

➤ 不良を抱えた機体と知っての運航

- ✓ 機体の機能に不良があることを把握しているが、前回は大丈夫だったから…という状態でのフライト

➤ 通常とは異なる機体・ペイロード・整備状態における慎重さに欠けた運航

- ✓ 通常とは異なる機体状況において、十分な試験飛行を行わずに本番フライトを実施

➤ 助けを求めるべき状況で助けを求める

- ✓ 自分では対処できない、操縦技能を超えた状況を一人で抱え込む

事故原因としての運航組織： 人と組織によって引き起こされる事故(2-2)

➤ 運航組織における安全軽視

- 業務管理者(組織)が現場従事者(操縦者)の技能等を把握していない
 - ✓ 無人航空機の運航状況・操縦者の技能等を組織が把握していない
 - ✓ 「ドローンは簡単なおもちゃ。落としても損失は安い」などという認識を変える
- 機体の価格の問題ではない。自組織が航空法違反に問われた場合、自組織の様々な業務の進行に甚大な影響が生じることは言うまでもない
- 無技能者・無訓練者による運航の放置
 - ✓ 操縦訓練・知識の向上の機会を与えない
 - オフィスがDID地区にある場合、屋外で操縦訓練ができない
 - 操縦訓練のための出張を認めない
 - 第三者障害賠償責任保険が適用される運航とするためには、組織の人間が、組織の備品(無人航空機)を使用し、かつ組織の業務として運航する必要がある点にも留意する
 - 保険の適用範囲を保険会社に確認すること
- 必要な予算・体制の措置の不足
 - ✓ 整備費用の不足
 - ✓ 保険の未加入、加入費用の不足
- 整備不良な機体の運航を放置
 - ✓ 重要な整備に対する理解の不足

事故原因としての運航組織： 人と組織によって引き起こされる事故(2-3)

➤ 運航組織における安全軽視

➤ 操縦者に対する心理的圧迫の存在

- ✓ 単なる見学であっても、強い利害関係者がそこにいるだけで発生
 - 通常お目にかかることのない立場の高い人物の存在
- ✓ 現場の運航関係者として、強い利害関係者が入ると操縦者の正常な判断を阻害
 - 操縦者への業務上の命令権を持つ人物が運航関係者(補助者)として存在

➤ 現場運航への過度な介入

- ✓ 運航知識の無い利害関係者が飛行について直接的な指示をする環境での運航
- ✓ 現場の運航者が安全な運航のための進言ができない環境(強い主従関係)での運航

➤ ハイリスク、あるいは違法な飛行計画の実施命令

- ✓ 許可・申請が必要な飛行を、時間が無い等の理由で無申請で実施させる
- ✓ 他に代替手段がない等の理由で、視界外への飛行を無申請で実施させる

➤ 現場への責任転嫁

- ✓ 成果を強く求めておきながら、飛ばすかどうかの判断は現場に押し付ける

➤ 理不尽な処遇

- ✓ 困難・不安全な運航を押し付けておきながら、
- ✓ 成功しない場合のペナルティーが事実上存在する状態
- ✓ 現場従事者に「安全上の理由で飛ばさない」判断をさせない圧力

人と組織によって引き起こされる事故

運航の骨子として「安全運航のための原則」を構築する

►『運航の安全は、訓練された現場従事者の判断によって確保する』

- ✓ 主操縦者(現場責任者)は、運航と安全確保に関する最終決定権を有する
- ✓ 操縦者は、操縦技術と運航知識の向上に努める
- ✓ 現場の運航関係者は、チームとして運航の安全確保に努める
- ✓ 組織には運航管理者としての責任と義務がある
- ✓ 運航知識の無い利害関係者による現場従事者への心理的圧迫、不適切な業務命令が事故の原因となることを理解し、これを避ける
- ✓ 無人航空機の運航では安全上の理由による緊急操作により、機体の喪失・損傷等の経済的リスクが発生する可能性があることを、組織および現場従事者が理解する

操縦経験の証明: これからは飛行記録を

flight-log_uchiyama.xlsx - Excel

ファイル ホーム 挿入 ページレイアウト 数式 データ 校閑 表示 サインイン

A157 : fx

A B C D E F G H I J K L M N O P

1

2 機体種別: 回転翼 | type of aircraft: multicopter No.

3 番号 年 月日 航空機の型式 機体番号 離発着地 離陸時刻 着陸時刻 飛行時間 飛行内容 操縦者 副操縦者 操縦教員 署名(操縦者または副操縦者) 補足事項

4 Nr year date type of aircraft ID flight base location departur e time arrival time flight time remarks, procedures etc. operator sub- operator instructor signature of operator or sub-operator supplementary notes

145 141 2015 4.18 DJI式 F450APM型 F450HS-P 防災科研(茨城県つくば市) 9:33:46 9:41:09 0:07:23 自然観測(地形計測) 内山庄一郎 146 142 2015 5.15 DJI式 Phantom2型 P2TGU 14:39:48 14:48:30 0:08:42 自然観測(地形計測) 内山庄一郎 147 143 2015 5.15 DJI式 Phantom2型 P2TGU 15:09:46 15:19:02 0:09:16 自然観測(地形計測) 内山庄一郎 148 144 2015 5.19 DJI式 F550APM型 F550REI 10:46:03 10:52:01 0:05:58 その他(性能試験飛行) 内山庄一郎 149 145 2015 5.20 DJI式 F550APM型 F550REI 11:50:44 11:58:03 0:07:19 自然観測(地形計測) 内山庄一郎 150 146 2015 5.20 DJI式 F550APM型 F550REI 12:13:04 12:19:18 0:06:14 自然観測(地形計測) 内山庄一郎 151 147 2015 5.20 DJI式 F550APM型 F550REI 15:55:49 16:06:53 0:11:04 自然観測(地形計測) 内山庄一郎 152 148 2015 9.27 DJI式 F550APM型 F550REI 0:01:30 自然観測(地形計測) 内山庄一郎 153 149 2015 9.3 DJI式 F550APM型 F550REI 防災科研(茨城県つくば市) 15:51:36 16:01:55 0:10:19 その他(近赤外センサー試験) 内山庄一郎 154 150 2015 9.3 DJI式 F550APM型 F550REI 防災科研(茨城県つくば市) 155 151 2015 10.19 DJI式 Phantom2型 P2式号 防災科研(茨城県つくば市) 156 152 2015 10.4 DJI式 Phantom2型 P2式号 防災科研(茨城県つくば市) 157 153 2015 10.4 DJI式 Phantom2型 P2式号 防災科研(茨城県つくば市) 154

回転翼 固定翼 +

▶ 機体種別ごとに、別のログブックで管理
 -回転翼機／固定翼機

※機体種別は巡航時の飛行形態で判定

▶ 飛行時間は「離陸から着陸まで」の時間

▶ 点検やフライト計画、準備時間は含まない

※画像はフライトログブックテンプレート by Open Drone Safety Manuals Project

http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

技能の習得と維持： 計画的な操縦訓練・試験飛行を実施する

• 目的

- 「機体」・「ソフトウェア機能」の理解と操作の習熟
 - 機体のキャリブレーションなどのメンテナンスには専用の管理ソフトウェアが必須
 - 機体と機体を管理するソフトウェアは一体のもの
- 操縦経験の獲得
 - 飛行申請(2015.12.10～)には10時間の飛行経験が必要
- 慣熟および技能維持
 - 操縦者ごとに、慣熟および技能維持のためのマニュアルを作成する
 - マニュアルに従って慣熟および技能維持に努める
 - 「やむを得ず、第三者の上空を飛行させる場合」の飛行申請(2015.12.10～)には飛行予定日前の90日以内に1時間以上の飛行経験が必要
- 機体・機能・ソフトウェアのテスト
 - ファームウェア、新機能追加、使ったことの無い機能は必ずテストを実施する

• 実施方法

- 教官+弟子
 - 十分な操縦経験を有する者が教官となり、適切な安全体制が確保されていると認められれば、[人口集中地区等\(飛行禁止区域\)](#)においても訓練飛行の申請が可能
- フライトシミュレータ
 - 現状では[操縦経験にはならない](#)
 - しかしながら、ソフトウェアによっては技能向上に有効なので積極的に活用すべし
- UAV業界団体・UAV販売会社等が実施する講習会の受講
 - 有効なので活用すべし。ただし、操縦経験は[実飛行時間のみ積算](#)
 - [飛行記録を作成し、飛行記録には操縦者が署名すること](#)
 - 講習会主催者が発行する受講証明等は、飛行記録にならないので注意

操縦者心得：操縦時に想定すべきこと

想定外の事態では、最終的に「安全な墜落」を行う以外の方法は無い

➤ 初心者：

- (機体の目視監視)
- 正常な飛行範囲のイメージ
- 操縦装置の操作手順の理解と正確な操作
- 墜落時の対応(努めて冷静に、走って現場に向かわない、時間を記録、教官に報告)

➤ 中級者：

- 経路、飛行時間、速度、気象、地表との距離、等の明確なイメージ
- 操縦ミス等によって操縦技能を超えた機体状況(機首方位がわからなくなったり、等)に陥るような操縦の予防、および回復措置の対応手順
- プロペラ音、飛行速度、ウェイポイント通過タイムの遅延・加速、バッテリー消費率、等の状況から飛行状態・上空の気象状態を推定し、飛行性能を超えていないことを監視
- 飛行の中止を決断すべき機体挙動と対処方法のイメージ

➤ 上級者：

- 各種の技術的障害発生時の対処
- 飛行経路上のあらゆる機体位置における不時着場所の心づもり
- 異常時の複数の対応手段・適用順序・判断ステップの明確化
- 強制墜落を選択肢に入れた緊急対応手順の構築

事例: NOTAM(飛行通報)を出したが…

無人航空機の運航中に常に注意すべきこと:

- 【重要】NOTAMを発行した場合でも、無人航空機に空域の飛行に関する優先権などは一切無い
- 【重要】NOTAMに加え、「無人航空機の飛行に関する許可・承認」を取得しても同様である
- NOTAM発行の有無にかかわらず周辺の航空機の飛行に十分注意して飛行させる必要がある
- 有人航空機の運航者がNOTAMを確認していない可能性もある(この事例)

Summary Lists

無人航空機のNOTAM(飛行通報)

DATE: 11/04/2015 04:20
 KEYS: LOCATION: RJSS
 PERIOD: [15/11/04 04:20] - [15/11/06 04:20]
 SCOPE: W,AW,EW
 ITEM-E: MODEL

New :Issued within 24 hours ! :Urgent 📋 :Figures are attached ↗ :Linked AIP-SUP

RJSS

1200/15	FROM 15/11/03 23:00 TO 15/11/06 08:00
D)2300/0800	E)MODEL AIRPLANE FLT
1.FLT AREA: WI A RADIUS OF 1KM OF 385354N1405059E (COVER KURIHARA-SHI IN MIYAGI)	2.NUMBER : 1
3.CHARACTERISTICS: LEN/1M WID/0.65M WT/2.5KG COLOR/BLACK	4.WX COND : VMC AND WIND SPEED AT OR BLW 10M/S,EXC RAINY DAY
F)SFC G)2691FT AMSL	

NOTAMで無人機の飛行を通報(飛行の前日に発行)。NOTAMを発行してもその空域に有人機が飛行することもある。今後、UAVの運航事例は増える一方であるため、有人機・無人機ともにさらなる注意が必要です。



- 無人航空機の飛行準備完了
- 飛行予定時間中のGPS HDOPの悪化傾向を確認
- 無人機の離陸を中断
- ヘリの爆音！
- 無人機離陸上昇予定経路上に有人航空機が出現
- 極めて至近距離で対地高度を下げて飛行。無人航空機等の飛行に警戒している様子がない
- 距離計(赤外線・アイセーフ)で距離計測。直線距離で250m未満
- 機体記号確認:JA6xxx(ドクターへリではない)
- 機体記号からWeb検索。管理者(岩手の某所)に電話連絡
- 先方の運航管理者「確かにうちの機ですが??これからNOTAMをみて対応します」(航空機は飛行前にNOTAMを確認する必要があります。)

離陸していたらニアミスしていたかもしれません。

有人機・無人機ともに、お互いにさらなる注意が必要です。

この時、空港事務所から指定された複数の航空無線を聴取していましたが、有人機の接近前後において、通信設定は確認されませんでした。

操縦者心得：操縦時に想定すべきこと：問題提起

先の例では、無人機運航者がGPS HDOPの変化傾向に懸念を抱いたため(仕様上は問題なく飛行できるレベルではあったが)念のため飛行の中止を判断し、離陸を取りやめたため、事故は起きなかった。

では、もし無人機を離陸させていた場合、無人航空機の運航者は何をすべきであったか

条件：

- NOTAMを出していても、ドクターヘリなどによる緊急対応のため、有人航空機が飛行する可能性がある
- NOTAMの発行前に有人航空機が飛行(離陸)している可能性がある(つまり、有人航空機はNOTAMの内容を知らない)
- 有人航空機操縦者は見張り義務により外部監視を行いながら飛行するが、無人航空機の大きさ及びその飛行速度などから無人航空機の発見が遅れる場合がある
- 有人航空機(ヘリコプター)には下方の視界が悪い機種もあり、さらに無人航空機は地表のテクスチャーに隠れる可能性もあって、有人機における回避行動は取れないか、間に合わない可能性がある
- 無人航空機は60km/hで離陸後、数秒以内に80km/hに到達し、上昇角度30度、予定飛行高度250mまで最短12秒で到達、80km/hで巡航する
- 直線距離で250mの位置にいた有人航空機とのニアミスまでの時間は、およそ15秒前後と推定される
- **この時、もしも飛行させる無人航空機が、最新の機材と特別なセンサーを搭載した高額なものだとしたら…**
- 無人航空機の運航者は、この時に使用していた機体についていえば、以下の操縦手段を取ることができる
 1. 右へ旋回回避(航空機の衝突回避行動のルール。操縦装置の画面をワンクリックで起動)
 2. 高度低下指示(10m刻みで指示するため、高度低下には時間がかかる)
 3. 指定地点への飛行(2クリックで指示。指定地点までの旋回方向・ルートは機体任せ)
 4. FTS (Flight termination system)を起動し旋回降下のち、強制墜落(2クリックで指示)
- 2, 3は操作が冗長、あるいは機体の動きが予測できないため、この場合は使えない
- 1は無人航空機の右旋回による回避行動だが、有人航空機が左旋回で飛行していたため、有人航空機が無人航空機に気付いていない場合は、逆に衝突コースにのる可能性が生じる。したがって、この場合は使えない
- したがって、ここでは、「**4. 強制墜落**」が適切な選択となるのではないか。
- その場合、**無人航空機機体の損傷・ロスト時に発生する高額な費用はどうなる？？責任は？？本当に瞬時に決断できる？？**
- 当然、有人航空機搭乗員の人命には代えられない。しかし、無人航空機の回避操作を行わなかつたからといって、必ず衝突するとも限らない。運が良ければ何も起きないかもしれない。単に、無人航空機の機体を失うだけになるかもしれない…
- ニアミスを引き起こすような緊急事態が迫っている時の対応方法、さらに、無人航空機の運航組織において、最悪のケースを回避するために経済的損失が発生することについての理解がなければ、現場のUAV運航者は瞬間的な決断ができないかもしれない

無人航空機操縦時の**心づもりが無いと、瞬間的な判断ができない・間に合わない**という事例による問題提起

操縦者心得：人間の能力の限界

人間の能力の限界を認識する

- 機械(航法デバイス)が使えない人間は無力(慢心しない)
- **人間の認識能力・対応能力の限界を超えない範囲での飛行が原則**
 - 例:FPV(※)に頼った目視外飛行を習慣にしない
 - ✓ 機体がちょっとした障害物の陰に入り電波が遮蔽されると、帰還することが困難になります
 - 例:飛行情報が得られない手動操縦機体(単なるラジコン)の飛行距離・高度管理を目視のみに頼る
 - ✓ 業務での運航管理方式としては論外。根拠のない経験はまったくあてにならない
- 正常な動作を維持するための機体の整備
- 記憶のあいまいさを排除するための各種記録(飛行記録・整備記録)
- 目視の信頼性
 - 遠方の物体までの距離・高さ・速度の認識能力は低い
 - 正確な認識は非常に難しい、または不可能
 - 飛行中のUAVと何か(他UAV機体、有人航空機、鳥、森、etc.)との三次元的な位置関係
 - 目の前に見える山の高さが自分の目線よりも高いか低いか
 - 目視限界(視界外)付近での「勘」に頼った機体の手動操縦
- 記憶の不確かさ
 - 事故時の飛行状態の記憶は非常にあいまい
 - 発生時刻、飛行方向、飛行速度、機体位置、飛行高度、飛行時の音、機首の方位、機体を見失った時間、etc.、いずれも正確に思い出す(認識する)ことは困難

※FPV: First person view(操縦装置に機体カメラ画像をリアルタイムで表示するシステム)

飛行可能な空域の判断：

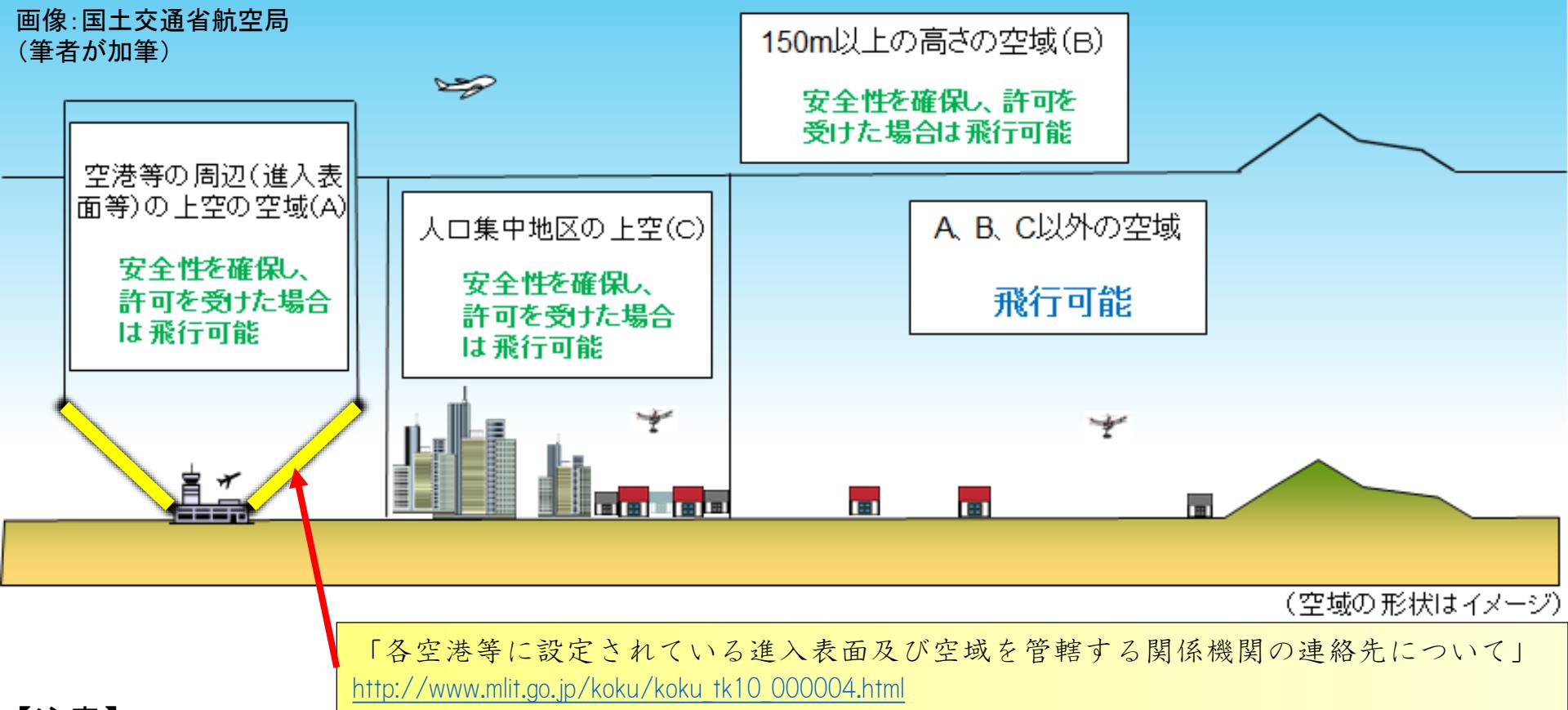
次の流れで判断できます

1. 飛行する対地高度は150m未満ですか？(航空路の有無は無関係)
 - 150m以上での飛行は空域を管轄する関係機関との調整の後、飛行の許可申請を行う
2. 人口集中地区(DID)か否かを確認する
 - jSTAT MAP(Web-GIS)が便利
<https://jstatmap.e-stat.go.jp/gis/nstac/>
 - 総務省統計局の人口集中地区境界図は細部が読みとれないのでNG
3. 区分航空図を判読する
 - 近隣空港の位置を把握する(公共・民間空港、自衛隊、米軍、ヘリポート、その他飛行場。日本には大小200以上の飛行場があります)
4. 近隣空港の制限表面図入手する
 - 国土交通省航空局のWebサイト: 主たる空港の制限表面図を確認できる
「各空港等に設定されている進入表面及び空域を管轄する関係機関の連絡先について」
http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000004.html
 - ここに記載されていない自衛隊や米軍、小さな飛行場、ヘリポートは直接問い合わせる
5. 飛行予定場所が制限表面付近の場合、空港に問い合わせる
6. いずれにも掛からなければ飛行可能

制限表面：空港によって異なる

- 航空法第132条(飛行の禁止空域)

画像:国土交通省航空局
(筆者が加筆)



【注意】

- 制限表面は「空港標点からの比高」により飛行可能な「標高」が決まる
- 地表面からの相対高度ではない
- 高い土地に囲まれている空港(例:広島空港など)の周辺では特に注意

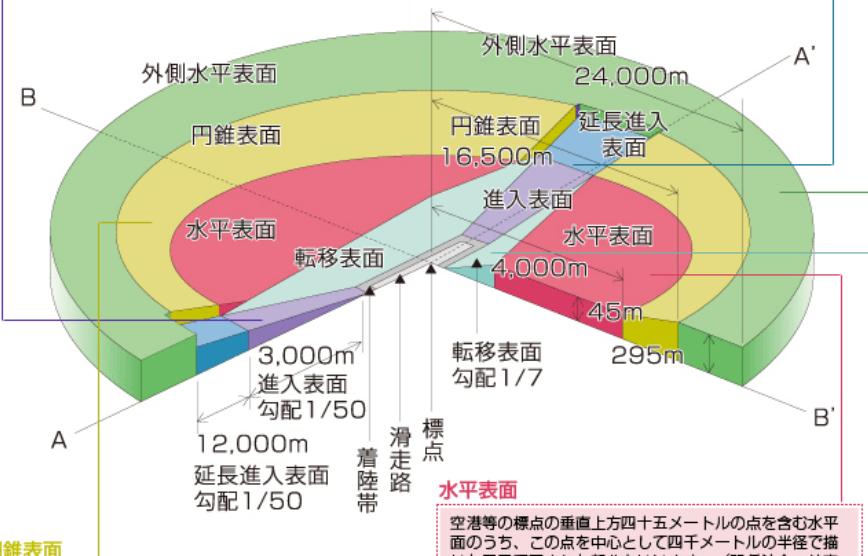
制限表面の例

空港によって大きく異なる。分からなければ必ず問い合わせる。

進入表面

着陸帯の短辺に接続し、且つ、水平面に対し上方へ五十分の一の勾配を有する平面であり、その投影面が進入区域と一致するものをいいます。（関係法令：航空法第2条第8項）

「進入区域」とは着陸帯の短辺の両端及びこれと同じ側における着陸帯の中心線の延長三千メートルの点において中心線と直角をなす一直線上におけるこの点から六百メートルの距離を有する二点を結んで得た平面をいいます。（関係法令：航空法第2条第7項）



円錐表面

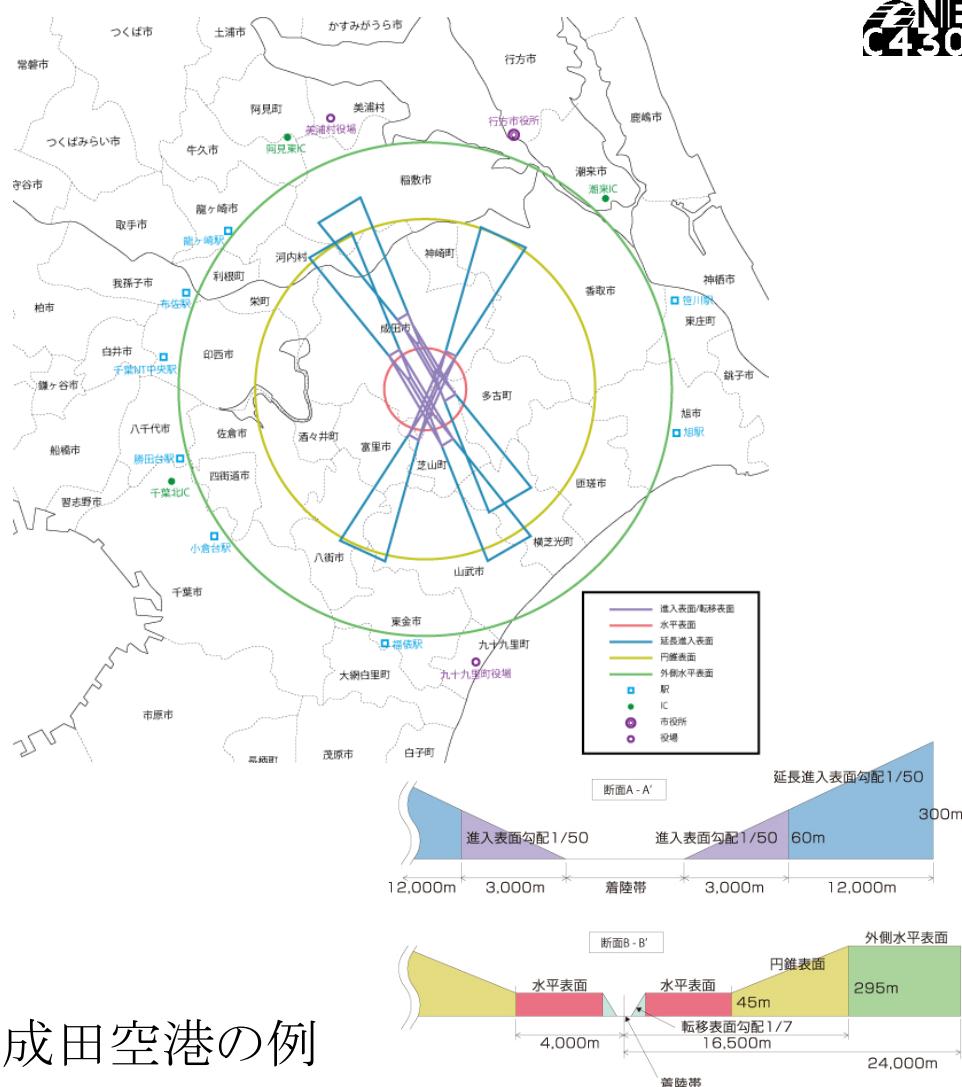
水平表面の外縁に接続し、且つ、空港の標点を含む鉛直面との交線が水平面に対し外側上方へ五十分の一の勾配を有する円錐面であり、その投影面が当該標点を中心として一万六千五百メートルの半径で水平に描いた円周で囲まれるもの（うち、航空機の離陸及び着陸の安全を確保するために必要な部分をいいます。（関係法令：航空法第56条第3項、航空法施行細則第96条）

外側水平表面

円錐表面の上縁を含む水平面であり、その投影面が空港の標点を中心として二万四千メートルの半径で水平に描いた円周で囲まれるもの（投影面が水平表面又は円錐表面の投影面と一致する部分を除く。）のうち、航空機の離陸及び着陸の安全を確保するために必要な部分をいいます。（関係法令：航空法第56条第4項、航空法施行細則第96条の2）

延長進入表面

進入表面を含む平面のうち、進入表面の外側底辺、進入表面の斜辺の外側上方への延長線及び当該底辺に平行な直線でその進入表面の内側底辺からの水平距離が一万五千メートルであるものにより囲まれる部分をいいます。（関係法令：航空法第56条第2項）



成田空港の例

「区域図は参考としてご活用いただき、区域にかかるかの判断が難しい場合は、下記の照会窓口までご連絡ください。」

<http://www.naa.jp/jp/airport/regulation.html>

画像・文・URL引用:成田国際空港株式会社HP

航空気象：致命的な風を察知せよ

・飛行前の気象ブリーフィング：基礎レベル

一日を通した風向・風速・気温・気圧の変化の傾向を把握する：天気予報だけでは不足！

- 気象情報の確認

天気予報からフライト予定地の大まかな気象状態・傾向の把握

- 地上天気図の読みとり

フライト予定地と周辺地域を含む広域の風向・風速の把握

- 「Xバンドマルチパラメータレーダー(XRAIN)」のチェック

降雨域、降雨量、積乱雲の位置、それらの移動方向、移動速度の把握

<http://www.river.go.jp/xbandradar/>

- 「ひまわり8号リアルタイムWeb」のチェック

台風などの大規模気象現象による風向の把握

<http://himawari8.nict.go.jp/>

- マルチコプターのように、プロペラの下降流によって揚力を得る機体は、強い上昇気流にさらされると、プロペラから発生する揚力で機体の重量を維持できず墜落する場合がある
- 上昇気流が発生しやすい気象条件・地形・時間帯に関する理解と予測、危険エリアへの侵入回避が必要

・現場での気象観測

観察、観測、体感、推測

- 観察：特定の局地風が卓越する地形を見過ごさない

- 観測：局地風の風向と風速、その変化を定量的に把握する

- ✓ 携帯用の風速計はUAV運航者の必須装備です

- ✓ 観測結果と地上風に関する情報を比較することで、上空の気象状態を推定する

- 体感：現場で感じる風向・風速・気温・変化に注意深く耳を澄ます

- 推測：飛行する機体の挙動を観察し、上空の気象状態を推測する



必須装備の携帯用風速計

航空気象：風を区別する

空を吹く風は、体で感じる風だけではない

- 天気図から読み取れる**地上風**

大気下層における一般的な風

- フライトの現場で感じる**局地風**

地形などの影響を受けて地表面付近で吹く風

注意すべきシチュエーション：

- 地上風(天気図)と局地風(現場)の風向が異なる場合
- UAVの上昇中や上昇後に予期せぬ方向へ機体が流される
- ✓ 150m程度の対地高度は、局地風から一般風(地上風)へ風向が推移する途中にあたる場合がある

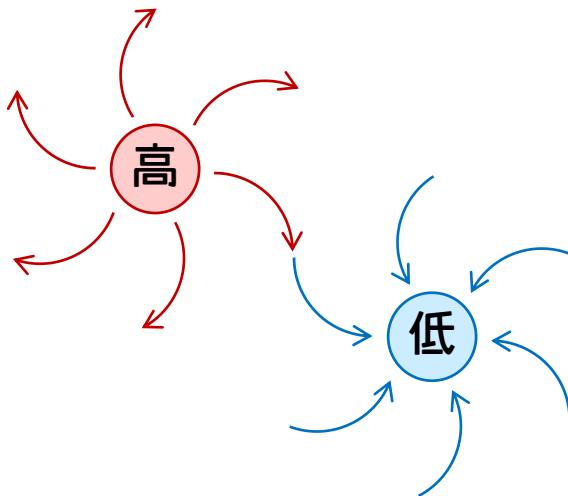
▶ 地上風

天気図から読み取れる風

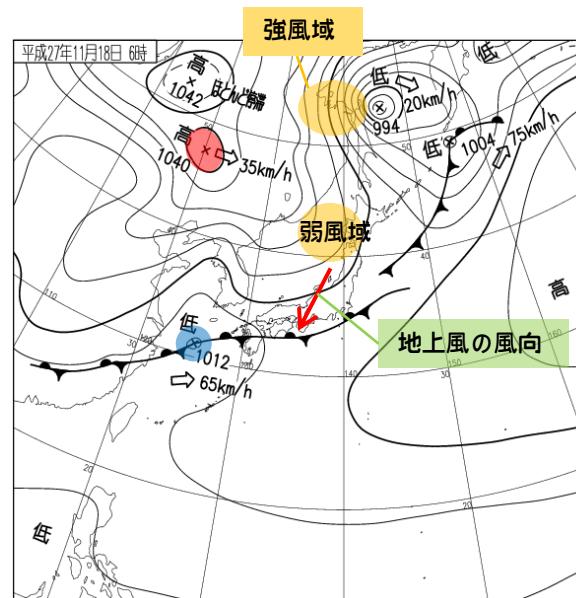
- 気圧と風向の関係

高気圧: 時計回りに吹き出す

低気圧: 反時計回りに吹き込む



地上天気図(気象庁)：左図 H27/11/18 6:00, 右図 同日 12:00



- 風は気圧の高い方から低い方へ、斜めに吹く(陸上では等圧線に対して30~45°)
- 等圧線の間隔が密であるほど風は強く吹く
- 高気圧・低気圧は西から東へ移動する
- 移動性高気圧・低気圧は上空の偏西風に流されて移動する
- 上の例では、低気圧が東北東へ約71km/hの速度で進んでいる



航空気象：風を区別する

➤ 局地風

現場で感じる風

• 海陸風(かいりくふう)

- 海風(うみかぜ)：日中、海から陸に向かって吹く風。最大風速5~6m/s(13時頃、高度200~300m)
- 陸風(りくかぜ)：夜間、陸から海に向かって吹く風。最大風速2~3m/s(24~翌2時、高度50~100m)

➤ 海風 > 陸風

- 海風は海岸から数十～数百kmの内陸まで侵入することがある
- 原理：日中の日射による陸面と海面の加熱の差、または夜間の冷却の差によって発生する

• 山谷風(やまたにかぜ)

- 谷風(たにかぜ)：日中、標高の低い方から高い方へ斜面に沿って吹く風
- 山風(やまかぜ)：夜間、標高の高い方から低い方へ斜面に沿って吹く風

➤ 谷風 > 山風

- 原理：傾斜地において、斜面付近の空気と同高度の一般大気との温度差によって発生する

• 海陸風と山谷風の性質

- 海陸風 > 山谷風
- 山岳域では海風と谷風が合成されて強い風が吹く
- ✓ 一般気象学 p.242-246(海陸風と山谷風)

• 都市における局地風

- サーマル：日中に発生する、暖かい上昇空気塊
- 原理：日射が地表面を加熱し、地表面が空気を暖めて上昇する(都市以外でも発生する)
- ビル風：大きな建物付近で発生する複雑な気流。風向・風速の変化が激しい

注意すべきシチュエーション：

回転翼(マルチコプター等)の飛行において

- 尾根付近や、崖地形の付近を飛行する場合
- 強い上昇気流により墜落する可能性がある
- 都市部、特に建物に接近して飛行する場合
- 建物沿いに吹く風により飛行不安定化の可能性がある

事例：致命的な風を察知せよ



1. 砂防えん堤(高さ約15m)の上から離陸
2. 下流側を撮影し垂直に降下
3. 降下中にバランスを崩す
4. スロットルを最大にするが反応せず、操縦不能となる
5. 墜落
6. バランスを崩してから墜落するまでの時間は2, 3秒



【気象条件】

- 下流から上流に向かって吹く谷風が砂防えん堤に当たり、砂防えん堤の下流側では強い上昇気流が生じていた。体感もあった。

【原因】

- 上昇気流のある場所で機体を垂直に降下した
- 上昇気流を体感していたが、墜落の危険を認知できていなかった
- 慌ててスロットルを上げた

【対策】

- マルチコプターにとって致命的な風を察知する能力(知識、観察力)を身につける
- 上昇気流の無い場所で降下する。やむを得ない場合は垂直降下ではなく斜め降下を行う
- 万が一、上昇気流に遭遇した場合は水平移動で回避する。スロットルを上げてはならない

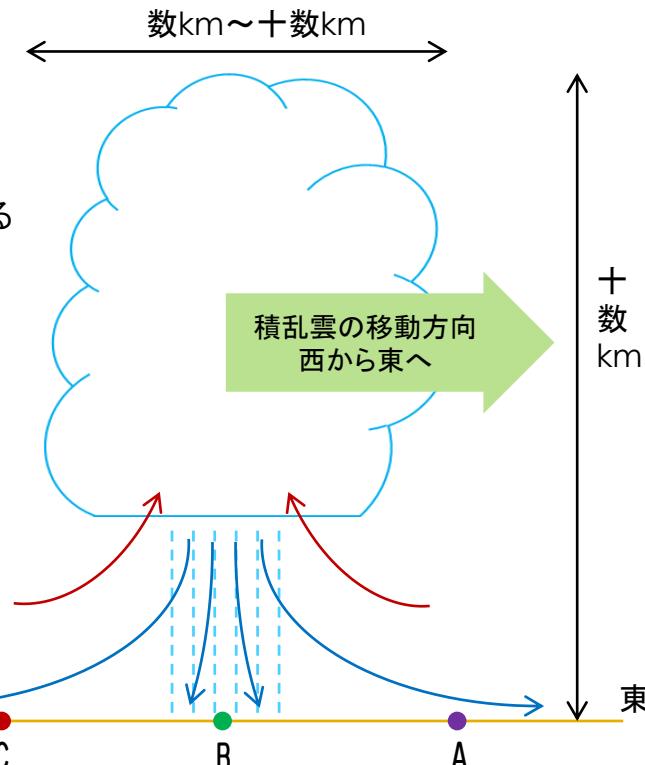
航空気象：積乱雲

▶ 積乱雲

気象状態の激しい変化に注意

注意すべきシチュエーション：

- ・ 固定翼など飛行時間の長い機体や、一日を通して作業を行う場合
- 予想以上に気象状態の変化が速い可能性がある



・ 積乱雲のもたらす大幅な風向変化

- ・ 発達した積乱雲が西から東へ移動しているとき(右図)
 - はじめA地点にいた人は、積乱雲に対してB地点、その後C地点と位置が変化する
 - それにともない、気象状態も大幅に変化する
 - A地点では西風、B地点では強い下降気流と強雨、C地点では東風
- 発達した積乱雲の下では、上昇気流と下降気流(ダウンバースト)が混在する
- 地面に当たった下降気流は、外側へ広がるように吹く
- 落雷⚡にも注意！

・ 積乱雲が発生・発達しやすい条件

1. 大気が不安定である(=下層に暖気、上層に寒気がある)
2. 下層に湿った空気がある
3. 空気が収束する(山岳の存在、等)

➢ よく晴れた夏の午後に発生しやすい

□ 暖気は軽く、寒気は重いため、下層の暖湿気が上昇、上層の寒気は下降し、対流が発生して積乱雲へと成長する

・ Xバンドマルチパラメータレーダー(XRAIN)観測画像を活用して監視

時系列のレーダー画像の変化から、積乱雲の移動方向・移動速度(現場までの到達時間予測)を把握する

国土交通省 XRAIN Webサイト: <http://www.river.go.jp/xbandradar/>

有人航空機の飛行空域

- IFR (※1) (計器飛行方式) : 旅客機(空港で見る大きな飛行機)
- VFR (※2) (有視界飛行方式) : 小型機(ヘリコプター、セスナ等)
- 航空機は全て「航空管制」されている?
 - 答えは「No」。VFR機はパイロットの判断で自由に飛行する(離着陸時や定められた空域以外)
 - パイロットには見張りの義務があるが、有人機の視界はもともと狭い上に、高速で飛行しており、小さくて低速なUAV機体は視認が困難
- 有人航空機の最低安全高度

水平距離600m範囲内のもっとも高い障害物の上端から300mの高度
- 人又は、家屋のない地域、及び広い水面の上空

地上、又は水上の人、又は物件から150m以上の距離を保って飛行
- それ以外の地域の上空

地表面、又は水面から150m以上の高度
- レスキューへリ等

要救護者を発見次第、地表付近まで降下

- ✓ 有人機と無人機の空域が交差している
 - 無人航空機の上限高度: 対地150m
 - 有人航空機の下限高度: 対地150m
- ✓ 小型VFR機の飛行する対地高度の管理はパイロットの勘電波高度計を装備している小型機は、ヘリポートに着陸するような一部の機体のみ
- 有人機が対地高度150m未満で飛行する可能性がある
有人機パイロットが気づかぬうちに飛行している

※1 IFR (Instrument flight rules: 計器飛行方式): 航空管制の指示で飛行する方式

※2 VFR (visual flight rules: 有視界飛行方式): パイロット自身の判断で飛行する方式

災害時におけるUAVの運用

平成27年常総市の水害:何機のヘリが飛んでいるでしょうか→30分で少なくとも14機に遭遇

➤ 現時点では、有人機が過密に飛行する空域で遠方までUAVを飛ばすことは避けるべきと考える



- ・ 災害時には有人航空機と無人航空機の空域が交差する
- ・ 災害対応中の有人航空機、特にSAR (Search and Rescue)ミッション中は、上空および地表付近を飛行し、要救護者の捜索・救助を行う
- ・ 常に有人機どうしの安全確保に高度な技術と注意を要する。小さくて見えにくい無人航空機にも注意を向けるのは難しい
- ・ 災害時等、有人機が過密な状況でのUAV飛行の明確なルール、運用技術が無い
- ・ 航空無線などUAV運航者と有人機との意思疎通の手段がない
- ・ VFR機の多くがSSR Mode-S未装備のため、UAV運航者が地上でVFR機の正確な位置・高度の把握や、事前回避ができない

航空安全：運航管理編

機体

操縦者

運航管理

関連法規

操縦者の知識・技能を確保するために
UAV運航者の所属組織が自助努力でできることの一例

※著者の所属組織における運航管理方針は、現在検討中です。

以下の内容は、著者個人の見解に基づく提案です。

「運航管理」

- 組織文化としての航空安全
- 第三者傷害賠償責任保険への加入
- Li-Poバッテリーの管理
 - 組織としての防火体制
- 運航ルールの作成
- 安全確保のための緊急回避について
 - 組織と操縦者との間で事前に共有しておくべき事項

無人航空機運用の現状：

- 機体：「耐空証明」制度が無い

- 機体性能の信頼性・耐久性に関する基準がない
- 設計思想、構造、整備方法、部品の品質、ソフトウェア等、基準も指針もない
- 整備記録(障害・交換・調整・オーバーホール・改造・点検等)の作成・保存の義務もない
- 高コストを投じて開発された機体、おもちゃ、低信頼自作機が同列
- 低信頼機でも業務に使用できてしまう

- 操縦者：「技能証明」制度が無い

- 操縦者に対する操縦に必要な知識・技能の最低限の保証がない
 - 操縦技能、法規(空域・飛行方法)、航空気象、地形・障害物、飛行計画、運航記録、等
- 有人航空機のルールを知らない
- 気軽な気持ちで有人航空機の空域に侵入する
- 雪石事故(民間機と自衛隊機の空域分離の不完全さによる空中衝突事故)の再来の懸念

- 運航管理：組織で管理するという概念が無い・薄い

- 組織として運航の安全を確保する最低限のルールが整備されていない
 - 無人航空機の使用者個人の思想、技能、努力に依存
- 事故時には組織は無関係ではない
 - 「機体」「整備」「操縦者」「組織管理」それぞれの状況をどこまで説明できるか

- 歴史：

- 航空機：御巣鷹、テネリフェ、雪石…大きな犠牲を通して反省し、対策し、築いてきた高い信頼
 - R/Tミーティング：1977年12月18日(第一回)より毎月開催され、450回を超える現在もなお継続されている航空関係者による航空安全のための会合
- 無人機：小型無人機の普及は高性能なホビー(安い・楽しい)が原点。安全確保に対する考え方があるで異なる。

組織文化としての航空安全：

現場の作業従事者任せになつていませんか？

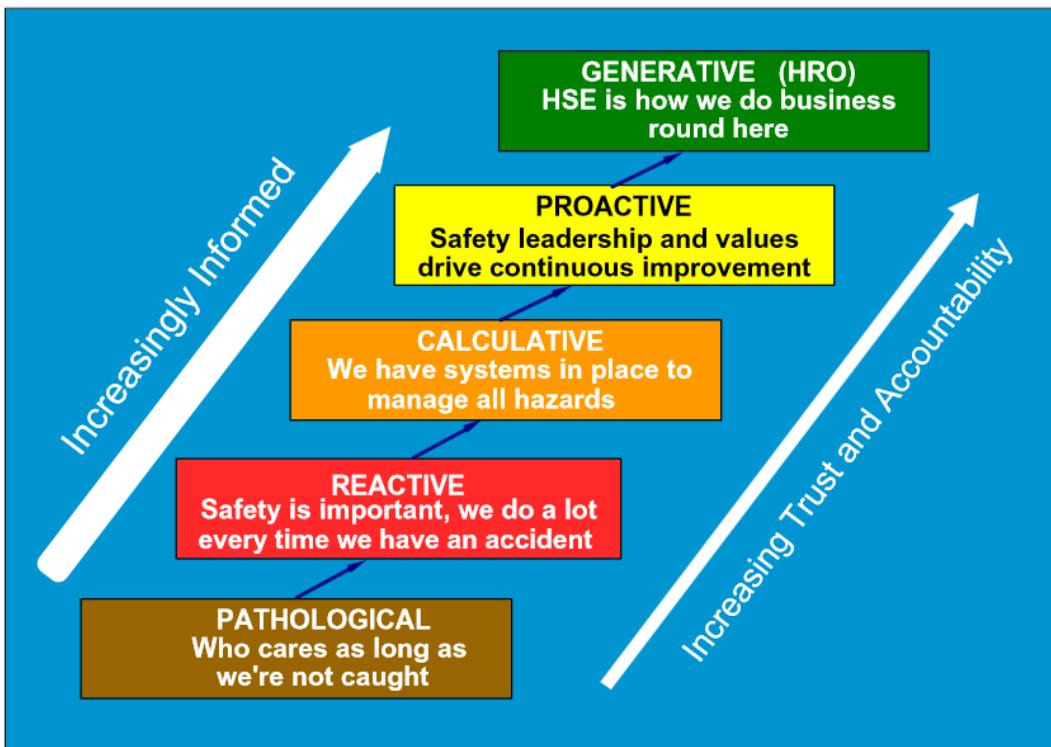


Fig. 2. The HSE Culture ladder.

図2 安全のハシゴ

上の「図2」の引用：

Patrick Hudson (2007) Implementing a safety culture in a major multi-national: Safety Science. **45** (6). 697–722.

右の日本語の文章(引用し、著者が表現を短縮)：
河野実 (2011) 航空安全マネジメント入門: 20-21

- **Pathological(病的)**

安全は、現場の作業従事者によって生じる問題である。事故を起こした者を解雇すればよい。(現状のUAV運航業界?)

- **Reactive(事故対応型)**

安全は重要である。事故が起きた場合は事後に対策を講じればよい。

- **Calculative(違反対応型)**

安全はあらゆる不安全事象に対応できる仕組みの構築によって確保できる。平素から検査等を行い、違反に対して厳しく罰する。

- **Proactive(事前対応型)**

安全はリーダーシップの発揮と安全の意義の理解が無ければ確保できない。現場の作業従事者も、自らが業務改善を行うなどの対策を講じようとする。

- **Generative(活力)**

安全は組織活動の一部である。現場の作業従事者からの新しい着想も採用されるとともに全ての構成員が常に安全の確保に関する気配りを持続している

保険への加入

・遊戯用保険

- 無人航空機を業務で運用する場合、「ラジコン保険(※)」は使用できない

※趣味・ホビーでラジコンを楽しむための、(一財)日本ラジコン電波安全協会の「ラジコン操縦士登録」を行った会員のための保険

・業務用保険

- 第三者傷害賠償責任保険

- 無人航空機専用の保険もある

- 組織で加入済みの保険が適用できる場合も多いので、まずは総務に確認

- 保険加入の予算を切らさないよう、組織として加入

- 研究費で支払う場合など、加入漏れ、予算切れ、個人の主義主張による未加入などが発生

- 保険適用範囲を確認する

- ✓ 組織に所属する者が、組織の備品を、組織の業務として使用した場合のみに適用される

- ✓ 休日に組織の備品を持ち出して練習した場合の事故は保障されない

・事故時の連絡体制の整備

1. 被害者の救護
2. 救急・警察への連絡
3. 所属組織の担当者・上司等への連絡
4. 保険会社への連絡

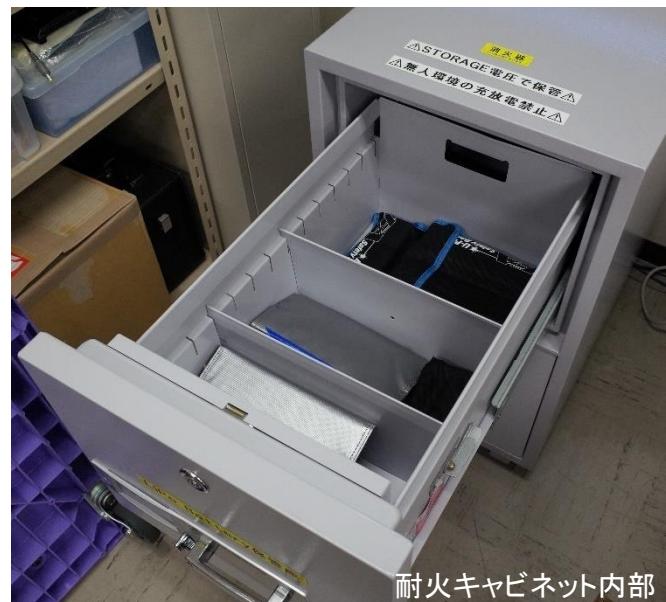
Li-Poバッテリーの管理:

組織における防火管理体制に組み込む

※撮影のための配置。
実際の配置と異なります。



耐火キャビネットの例
(著者の研究室)



耐火キャビネット内部

保管場所(研究室等)でLi-Poバッテリーが発火した場合、組織としても大変な事態になる

- Li-Poバッテリーは爆発的燃焼を生じる性質がある
 - 原因:衝撃・過充電・誤った充電・品質不良(外見から分からぬ)
 - **原因不明の発火事例も多い**(おそらく品質不良・劣化等が原因)
 - 充電設定(バッテリー種類等)を誤ると100%発火するらしい
- **墜落した機体から外れたLi-Poバッテリーに衝撃が加わり火災となる事例が多発**
 - 墜落しても脱落しない固定、外部から強い衝撃が加わらないバッテリー配置
- 必ず耐火キャビネットに保管
 - ✓ 耐火キャビネット周辺に可燃物を置かない
- 必ず耐火袋に入れて充電・携行
- 無人環境で充電しない
- 飛行機には手荷物として持ち込む(預け荷物は不可・違法)
- **絶対に走行中の車内で充電しない**(万が一発火したら火災+交通事故で最悪の事態に)



消火器の設置場所を示す標示
(著者の研究室)

組織としての運航ルールの作成

- 運航ルールを作成すれば飛行申請時に求められるマニュアル(以下の事項)としても活用できる
 - 機体の点検・整備の方法
 - 機体の整備記録の作成方法
 - 操縦者の知識・能力を習得するための訓練方法
 - 能力を維持させるための方法
 - 飛行記録の作成方法
 - 操縦者等が遵守する事項
 - 飛行前の安全確認の方法
 - 安全管理体制
 - 事故時の連絡体制

※緑字は本発表で紹介したオペレーションシート、ノウハウの活用によりカバーできる事項

安全確保のための緊急回避：

組織と操縦者との間で事前に共有しておくべき事項

- ・ 安全確保のための緊急回避操作には、操縦している機体の損傷や、機体のロストなど、経済的損失のリスクがある
 - 有人航空機との衝突回避操作の実施
 - 操縦不能時の強制墜落操作の実施、など
- ・ 安全を確保するために、操縦者に与えられた時間は少ない
- ・ 回避操作の実施を一瞬で決断し、正確に実行する必要がある
- ・ 運航組織とUAV操縦者との間で、安全の確保の重要さ、緊急回避操作における経済的損失リスクの存在、現場における緊急操作判断の困難さ等について情報を共有する
- ・ 緊急時に、操縦者がためらいなく緊急回避操作の決断ができる環境を整える必要がある

航空安全：関連法規編

機体

操縦者

運航管理

関連法規

平成27年12月10日から施行された新航空法について
無人航空機の運航者・運航組織が
把握しておくべきことがらのいくつかを紹介

「関連法規：航空法」

- 航空法の概要
- 航空機以外の飛行物体等における空域の制限
 - 無人航空機の空域の制限
- 無人航空機の飛行方法の制限
- 無人航空機に関する例外と罰則
- 無人航空機の飛行に関する許可・承認の申請
 - 安全運航マニュアルの作成
 - 許可申請を受けた飛行時の事故の報告の義務

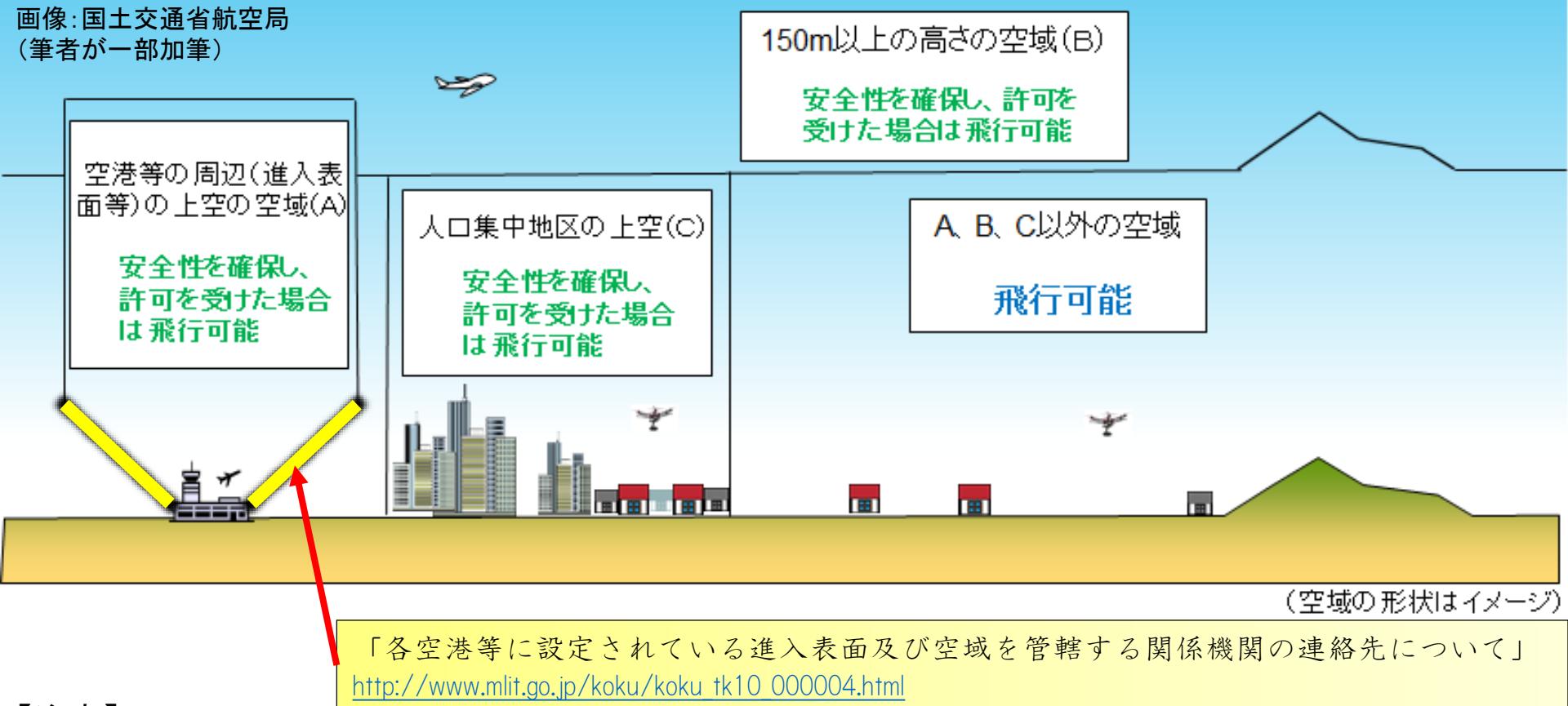
航空法の概要

- 航空法の目的:
 - 航空機の安全な飛行を確保する
 - 非航空機による飛行の障害を取り除く(制限する)
- 航空法における「航空機」とは:
 - (有人の)飛行機・ヘリコプター・グライダー・飛行船(4種類のみ)
 - 無操縦者航空機(大きな無人の飛行船など)
- 航空法では「航空機」以外の物体や行為について、航空機の飛行に影響を及ぼすおそれのある行為を制限している
 - 航空機以外の飛行物体や行為には、以下が挙げられている
 - 無人航空機(200g以上)
 - 熱気球、ハンググライダー、パラグライダー
 - ロケット、花火、ロッケーン等

無人航空機の空域の制限

・ 航空法第132条(飛行の禁止空域)

画像:国土交通省航空局
(筆者が一部加筆)



【注意】

- 制限表面は「空港標点からの比高」により飛行可能な「標高」が決まる
- 地表面からの相対高度ではない
- 高い土地に囲まれている空港の周辺では特に注意

無人航空機の飛行方法の制限

- ・ 航空法第132条の2(飛行の方法)

- (1) 日中に飛行させること
- (2) 目視範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- (3) 人又は建物、自動車などの物件との間に距離(30m)保って飛行させること
- (4) 祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと
- (5) 爆発物など危険物を輸送しないこと
- (6) 無人航空機から物を投下しないこと

無人航空機に関する例外と罰則

- 航空法第132条の3(搜索・救助等のための特例)

都道府県警察その他の国土交通省令で定める者が航空機の事故その他の事故に際し搜索、救助その他の緊急性があるものとして国土交通省令で定める目的のために行う無人航空機の飛行については、適用しない。

- 航空法第157条の4(無人航空機の飛行等に関する罪)

50万円以下の罰金

無人航空機の飛行に関する許可・承認の申請

- 禁止空域での飛行や定められた飛行の方法以外での飛行を実施する場合は、飛行に関する許可・承認を申請する
- 申請期限：
 - 飛行開始予定日の10開庁日前までに申請を行うこと
- 申請の際の必須事項(難易度が高いものを抜粋)：
 - 操縦者の飛行経験: **10時間以上の飛行経験**を有すること
 - 「やむを得ず、第三者の上空を飛行させる場合」、使用する機体について飛行を行おうとする日からさかのぼって**90日以内に1時間以上の飛行経験**を有すること
 - 地表又は水面から150m以上の高さの空域における飛行の場合、「許可申請の前に」空港事務所長等と空域調整を行う
 - 安全確保のための対策に関する**マニュアルを作成**すること
 - マニュアルでカバーすべき項目は次のスライド

➤ よくある誤解：飛行の許可を受ければ、どこで飛ばしても、何を撮影しても良い？

間違います。航空局に対して申請する飛行許可・承認は「航空法で禁止されている飛行」に関する許可です。管理者のいる土地での飛行や撮影は、飛行の許可とは別の問題です。
「航空局から飛行の承認を得た=どこで飛ばして、何をやってもよい」ではありません

安全運航マニュアルの作成

- ・無人航空機の飛行に関する許可・承認の申請時に必要なマニュアルで網羅すべき項目
 - 機体の点検・整備の方法
 - 機体の整備記録の作成方法
 - 操縦者の知識・能力を習得するための訓練方法
 - 能力を維持させるための方法
 - 飛行記録の作成方法
 - 操縦者等が遵守する事項
 - 飛行前の安全確認の方法
 - 安全管理体制
 - 事故時の連絡体制

※緑字は本発表で紹介したオペレーションシート、ノウハウの活用によりカバーできる事項

許可申請を受けた飛行時の事故の報告の義務

- 飛行許可を取得した際の事故等の報告
 - 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
- 報告内容:
 - 操縦者の氏名、日時及び場所、事故概要、等

「まとめ」

- 日本最初の航空殉職者
- 普及ドローン時代の幕開け
- 謝辞
- 無人航空機の運航に有用な参考資料等

まとめ：日本最初の航空殉職者

- 木村、徳田両中尉の遭難



上の写真、殉職者に関する文章の引用：所沢航空発祥記念館

1913(大正2)年3月28日、とうとう日本で最初の航空死亡事故がおきた。事故を起こした飛行機はブレリオ、搭乗者は木村鈴四郎(操縦)と徳田金一両中尉の2名、原因は空中分解による墜落とされている。(中略)

- 飛行すること自体が危険であった時代

幕開け時代の飛行は天候の影響を大きく受け、操縦知識も不十分なうえ、機体強度も弱く飛行自体が危険を伴う行為であった。(以下略)

現代の普及ドローン時代の幕開けは、木村、徳田両中尉の航空の夜明け時代のようです。

我々は過去の教訓を活かさなくてはなりません。
安いから落ちても良い？簡単だから誰でも使える？小さい機体は事故になんて安全？

墜ちることを前提とした機体選定や運用は、極度の安全軽視であり、大きく間違っています。無人航空機の安全文化や健全な発展の妨げにもなるでしょう。

墜落させないこと、事故を起こさないことを前提とした操縦技能の獲得、訓練、整備、運航体制を構築していく必要があります。



謝辞

本稿の執筆にあたり多くの貴重な情報をご教示いただきました。記して感謝を申し上げます。

- ・冒頭の物語提供:30代、男性様
- ・とある気象予報士様
- ・成田国際空港株式会社様
- ・所沢航空発祥記念館様
- ・図・表・文章・写真の引用元の皆様



Open Drone Safety Manuals Project 作『小型無人機の航空安全を目指した運用の実践』は[クリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンス](#)で提供されています。
※スライド内に引用が示された図表、写真・文章等の著作権は引用元にあります。

小型無人機の航空安全を目指した運用の実践
The new rules for UAV operation in Japan
内山庄一郎(国立研究開発法人防災科学技術研究所)

第3回高解像度地形情報シンポジウム
「高精細地形情報のいま: UAVの安全運用と点群データの解析」
2015年11月12日(木) 10:10-11:40
東京大学柏キャンパス総合研究棟6階大会議室
http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

無人航空機の運航に有用な参考資料等

- 【機体構造】あなたの所有する機体のマニュアル
- 【無人航空機の法規】国土交通省 航空局Webサイト:

「無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール」

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html

以下の情報が網羅されています

1. 無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール
2. 無人航空機に係る航空法改正について
3. 許可・承認の申請手続きの概要について
4. 改正航空法に関するよくあるご質問等
5. 無人航空機による事故等の情報提供

- 【有人航空機の法規】TAKE OFF 第4版

日本航空機操縦士協会・ジェネラルアビエーション委員会編集、日本航空機操縦士協会

- 【航空気象】世界で一番わかりやすい航空気象

著者:西守騎世将、成山堂書店、2009年12月初版発行

- 【フライトログブック】Open Drones Safety Manuals Project <CC-BY>

http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

※固定翼・回転翼を別シートに記入してください

- 【UAVオペレーションシート】Open Drones Safety Manuals Project <CC-BY>

http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/resources/151112_hdts3/

- 【航空安全】航空安全マネジメント入門

著者:河野実、鳳文書林出版販売、2009年12月初版発行

- 【航空管制基礎・航空力学基礎・歴史】所沢航空発祥記念館

<http://tam-web.jsf.or.jp/contx/index.php>

- 【航空力学基礎・歴史・航空専門図書の閲覧】航空科学博物館

<http://www.aeromuseum.or.jp/>