

ドローンの 有人地帯目視外飛行に向けて

鈴木真二 (s.suzuki@uas-japan.org)

東京大学 未来ビジョン研究センター 特任教授

日本無人機運行管理コンソーシアムJUTM 代表

(一社)日本UAS産業振興協議会JUIDA 理事長

福島ロボットテストフィールドRTF 所長

2019. 12. 11 第134回運輸政策コロキウム

ドローンの世界動向

年	
2010年	・Parrot ARドローン発売
2012年	・DJI Phantom 発売
2013年	・Amazon ドローン配送発表
2014年	・ドローンがトライアスロン選手に落下(オーストラリア) ・空撮用の無線操縦ヘリ落下 湘南国際マラソン会場、スタッフ1人けが ・名古屋 テレビ塔の空中撮影ドローン墜落
2015年	・首相官邸でドローン発見

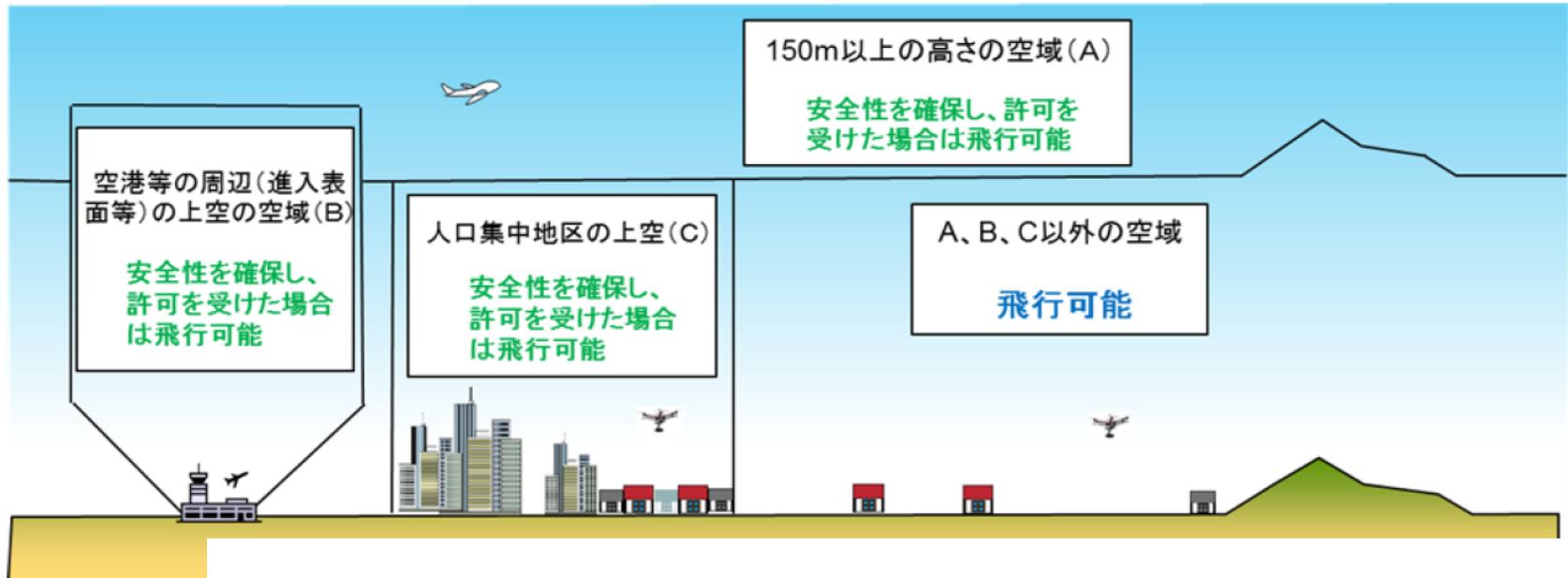
ドローンの世界動向

年	
2016年	・Amazonドローン宅配サービステスト
2018年	・スイス郵便 Matternetのドローンを使った、医療用サンプルなどの輸送開始
2018年	・中国 ドローンの宅配を政府が許可
2019年	・FAA Google Wing, UPSにドローン配送許可

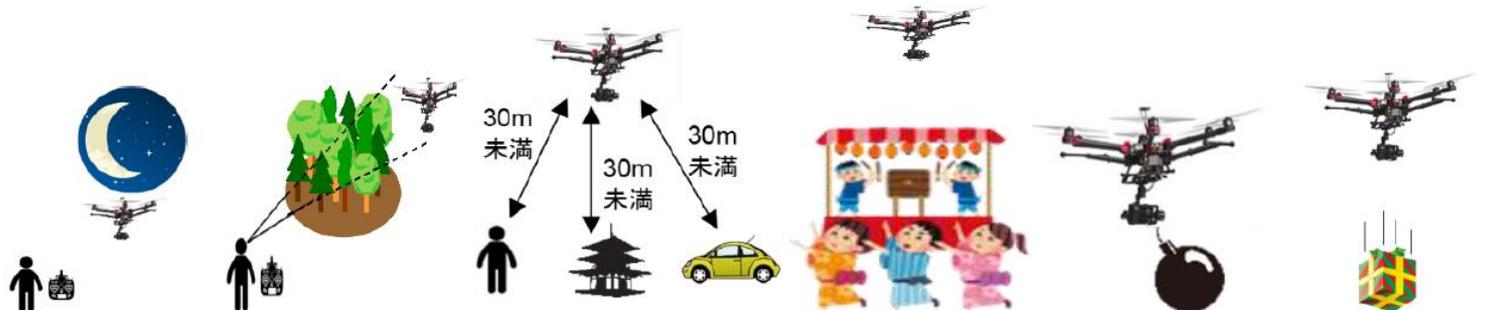
国内の制度

年	
2015年4月 9月 11月 12月	<ul style="list-style-type: none">・首相官邸屋上で不審なドローンが見つかる・航空法改正・安倍総理官民対話「3年以内にドローン物流を」・官民協議会設置・改正航空法施行
2016年4月 6月 7月 8月	<ul style="list-style-type: none">・小型無人機等飛行禁止法施行・官民協議会ロードマップ作成・ドローンにおける携帯電話回線の試験的利用・無人移動体画像伝送システム運用調整
2017年4月	<ul style="list-style-type: none">・講習団体、管理団体の航空局HPへの掲載
2018年	<ul style="list-style-type: none">・ドローン飛行申請のオンライン化(DIPS)・無人地帯目視外飛行の申請要領変更
2019年	<ul style="list-style-type: none">・小型無人機等飛行禁止法改定・有人機(ドクヘリ)との情報共有(FISS)・航空法改正(飛行前点検、飲酒飛行/乱暴飛行禁止)・ロードマップ改定(2022年までに有人地帯目視外飛行)・レベル4を目指したワーキング

現状の航空法上のドローンの規則



〈承認が必要となる飛行の方法〉



ドローン活用のためのロードマップ

空の産業革命に向けたロードマップ

小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備

平成29年5月19日

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会

	現在～	2018年頃～	2020年代頃～
利活用	<p>レベル1 目視内での操縦飛行</p> <p>レベル2 目視内飛行 (操縦なし)</p>	<p>レベル3 無人地帯での目視外飛行</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 離島や山間部への荷物配送 (補助者なし) ● 被災状況調査、捜索 等 	<p>レベル4 有人地帯での目視外飛行</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 都市の物流、警備 (第三者上空) ● 発災直後の避難誘導 等



経済産業省HP

2019年度

離島や山間部への荷物配送、被災状況調査等

2022年度～

都市の物流、警備等

利活用

レベル3 無人地帯※での目視外飛行（補助者なし）※ 山、海水域、河川、森林等

レベル1～2 目視内飛行（1 操縦 2 自動・自律） 更なる利活用の拡大

有人地帯での目視外飛行（第三者上空）

レベル4 ▶ より高いレベルへ

2019（年度）

2020 ～ 2021

空の産業革命に向けた総合的な検討

セキュリティの観点を含めて総合的な検討・制度整備等を推進

目視外・第三者上空飛行に関する制度の検討

- 機体の安全性確保（認証制度等）
- 操縦者・運航管理者の技能確保
- 運航管理に関するルール 等

制度設計の基本方針の策定

基本方針に基づいた必要な制度整備等の推進

所有者情報把握（機体の登録・識別）、被害者救済 等の検討

目視外飛行等の運用実績や事故情報の収集・分析

航空機、小型無人機相互間の空域のあり方の検討

機体の安全性・信頼性の評価手法の検討

- 飛行試験等 試験データ等

RTFの活用

国際標準化、国内規格化(ISO,JIS等)

福島ロボットテストフィールド(RTF) ● 全面開所

電波利用の環境整備 電波利用の在り方に関する調査検討等

携帯電話等の上空利用

国内制度等の整備

新制度の運用

地域限定型「規制のサンドボックス」制度の創設、運用

ドローン情報基盤システム（DIPS）

- 飛行情報共有機能サービス開始
- 電子申請サービスの利便性向上

次期システムの要件検討 ▶ 次期システム整備

DIPSとUTMSの連携を検討

レベル4を実現する 環境整備

より高いレベルを支える 更に必要な環境整備等

- より高いレベルを支える制度設計の基本方針の策定
- 上記基本方針に基づいた必要な制度整備等

レベル4のより高いレベルへ

- より人口密度の高い地域
- より重量のある機体
- 多くの機体の同時飛行
- 航空機、空飛ぶクルマと小型無人機の共存

レベル4を実現する 技術の確立

I 目視を代替する機能の実現 機体状態や周辺環境の把握と対応、電波の利用技術、その他の技術開発

運航管理システム(UTMS)の開発・統合

飛行実証

API確立

UTMSの実装技術の確立・国際標準化

衝突回避技術の開発・統合

衝突回避技術の小型化・省電力化

機体の自律化・知能化

福島RTFを活用して飛行試験等を行う

運航管理や衝突回避にも活用

遠隔からの機体識別と飛行位置把握

無線システムの比較・評価検討

実証・検証

制度の方向性の検討

国際標準化、国内規格化

II 第三者に対する安全性の確保 i 信頼性の確保（機体や通信の信頼性、耐環境性等） ii 危害の抑制（衝突安全）

高い安全性と利便性の 空の運航管理

- UTMSの本格的な社会実装
- 航空機、小型無人機相互間の安全確保と調和
- 国際標準との整合

高い安全性と信頼性の機体

- 落ちない・落ちて安全

環境整備

技術開発

利活用

レベル3 無人地帯※での目視外飛行（補助者なし）※ 山、海水域、河川、森林等

レベル1～2 目視内飛行（1 操縦 2 自動・自律） 更なる利活用の拡大

有人地帯での目視外飛行（第三者上空）

レベル4 ▶ より高いレベルへ

2019（年度）

2020

2021

空の産業革命に向けた総合的な検討

セキュリティの観点から

目視外・第三者上空飛行に関する制度の検討

- 機体の安全性確保（認証制度等）
- 操縦者・運航管理者の技能確保
- 運航管理に関するルール 等

制度設計の
基本方針
の策定

所有者情報把握（機体の登録・識別）、
被害者救済 等の検討

目視外飛行等の運用実績や事故情報の収集・分析

航空機、小型無人機相互間の空域のあり方の検討

機体の安全性・信頼性の評価手法の検討

- 飛行試験等 試験データ等

RTFの活用

福島ロボットテストフィールド(RTF) ● 全面開所

電波利用の環境整備 電波利用の在り方に関する調査検討

携帯電話等の上空利用

国内制度等の整備

地域限定型「規制のサンドボックス」制度の創設、運用

ドローン情報基盤システム（DIPS）

- 飛行情報共有機能サービス開始
- 電子申請サービスの利便性向上

環境整備

レベル4実現を目指したWG

- ・WG1 機体・所有者登録
- ・WG2 機体の安全性確保
- ・WG3 操縦者・運航管理
- ・WG4 運航管理

横断的な検討のためのステアリング
コミティー

I 目視を代替する機能の実現 機体状態や周辺環境の把握と

運航管理システム(UTMS)の開発・統合 飛行実証 API確立

衝突回避技術の開発・統合

衝突回避技術の小型化・省電力化

福島RTFを活用して飛行試験等を行う

機体の自律化・知能化

遠隔からの機体識別と飛行位置把握

運航管理や衝突回避にも活用

無線システムの比較・評価検討

実証・検証

制度の方向性の検討

国際標準化、国内規格化

II 第三者に対する安全性の確保

i 信頼性の確保（機体や通信の信頼性、耐環境性等） ii 危害の抑制（衝突安全

技術開発

の確立
を実現する

● 社会実装

- 航空機、小型無人機相互間の安全確保と調和
- 国際標準との整合

高い安全性と信頼性の機体

- 落ちない・落ちて安全

有人地帯目視外飛行のための課題

- リスクベースの規則
 - 同じ機体でもグランドリスクが高まれば規則を厳しく
- パフォーマンスベースの規則
 - 「人の監視が必要」とすると必ず人を配置しなくてはならない。「監視機能が必要」とすれば人に代わる代替手段が可能で、技術の発展も促す
- オブジェクトベースの規則
 - 利用目的に応じた規則も必要。物流利用か、監視利用か、農業利用か？
- リスク評価手法の標準化
 - 定性的な分析、定量的な分析
- 機体の品質評価・品質管理、オペレーター（個人、組織）の技能や管理能力
- 登録制度、UTM、リモートIDなどのインフラ整備

EASAのRisk Based Approach

- EASA(欧州安全航空局)は産業の発展と安全の確保の調和のためにRisk Based Approachを発表(2015. 3)
- 運航をOpen(公開)、Specified(特例)、Certified(認証)の3レベルに分類
- http://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/205933-01-EASA_Summary%20of%20the%20ANPA.pdf

EASAの規則(2019. 6)

- OPEN

- 25kg未満、目視内飛行を原則、高度120m以下、第三者から安全な距離を保つ。危険物の輸送、落下はしない
- EU各国に機体登録とリモートIDを要求

- Specific

- 運用者は各国航空局へ申請する際に、リスクアセスメントも実施

- Certificate

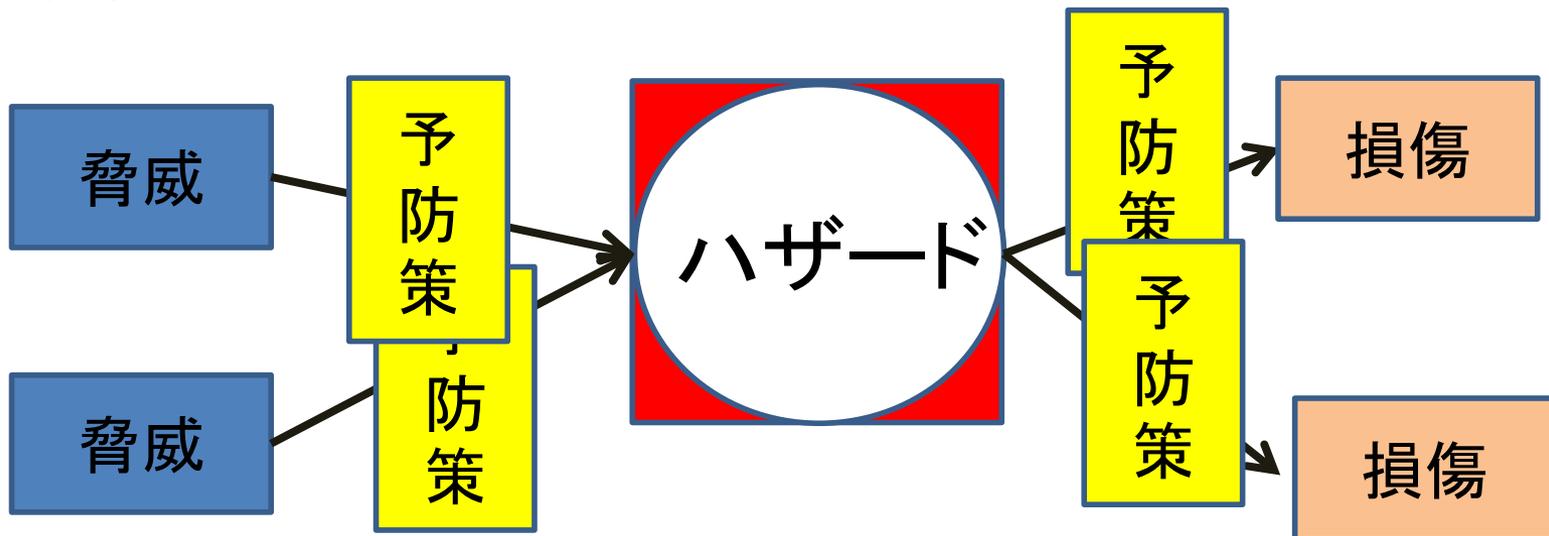
- EU規則に基づき、機体認証、オペレータ免許、遠隔操縦者免許が必要

フランスの商用利用の規則(2017)

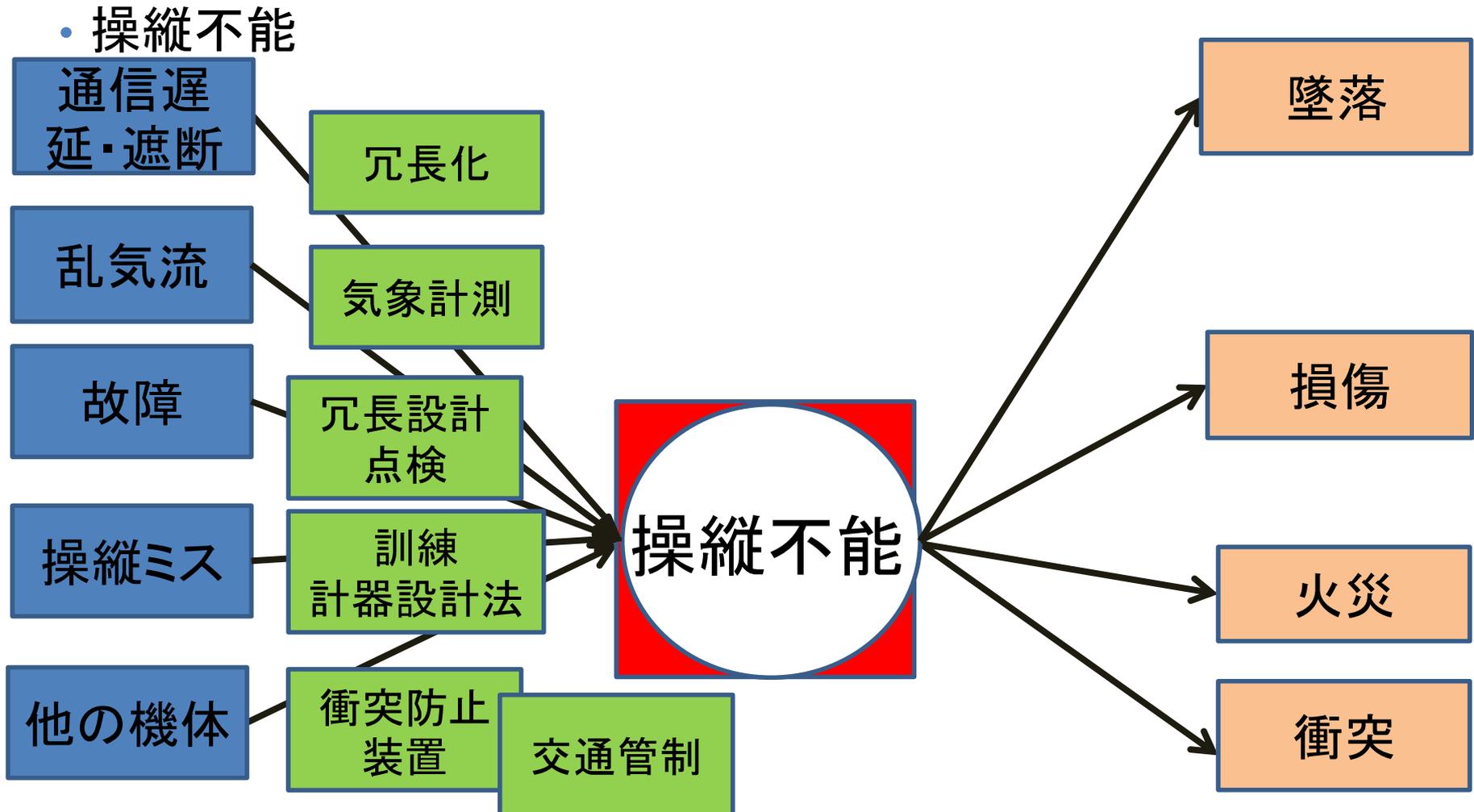
シナリオ	M<2kg	2kg<M<8kg	8<M<25kg	25kg<M<150kg
全シナリオ共通	機体に管理者の氏名、住所貼付			
	操縦者の能力証明書			
	活動内容毎年報告			
シナリオ1 非人口密集地 飛行距離200m以内 高度150m以下	設計証明不要			設計証明必要
	理論的技能証明			実技証明
	MAP(運用マニュアル)の承認			
シナリオ2 非人口密集地 飛行距離1km,高度50m以下 (2kg以下は150m)	設計証明			
	理論的技能証明			実技証明
	MAP			
シナリオ3 第三者上空を除く 人口密集地 距離100m,高度150m以下	なし	設計証明	特別申請	
	理論的技能証明			
	MAP			
シナリオ4 非人口密集地 高度150m、 第三者上空	設計証明	特別申請		
	操縦免許			
	MAP+チェックリスト			

リスク分析(蝶ネクタイ法)

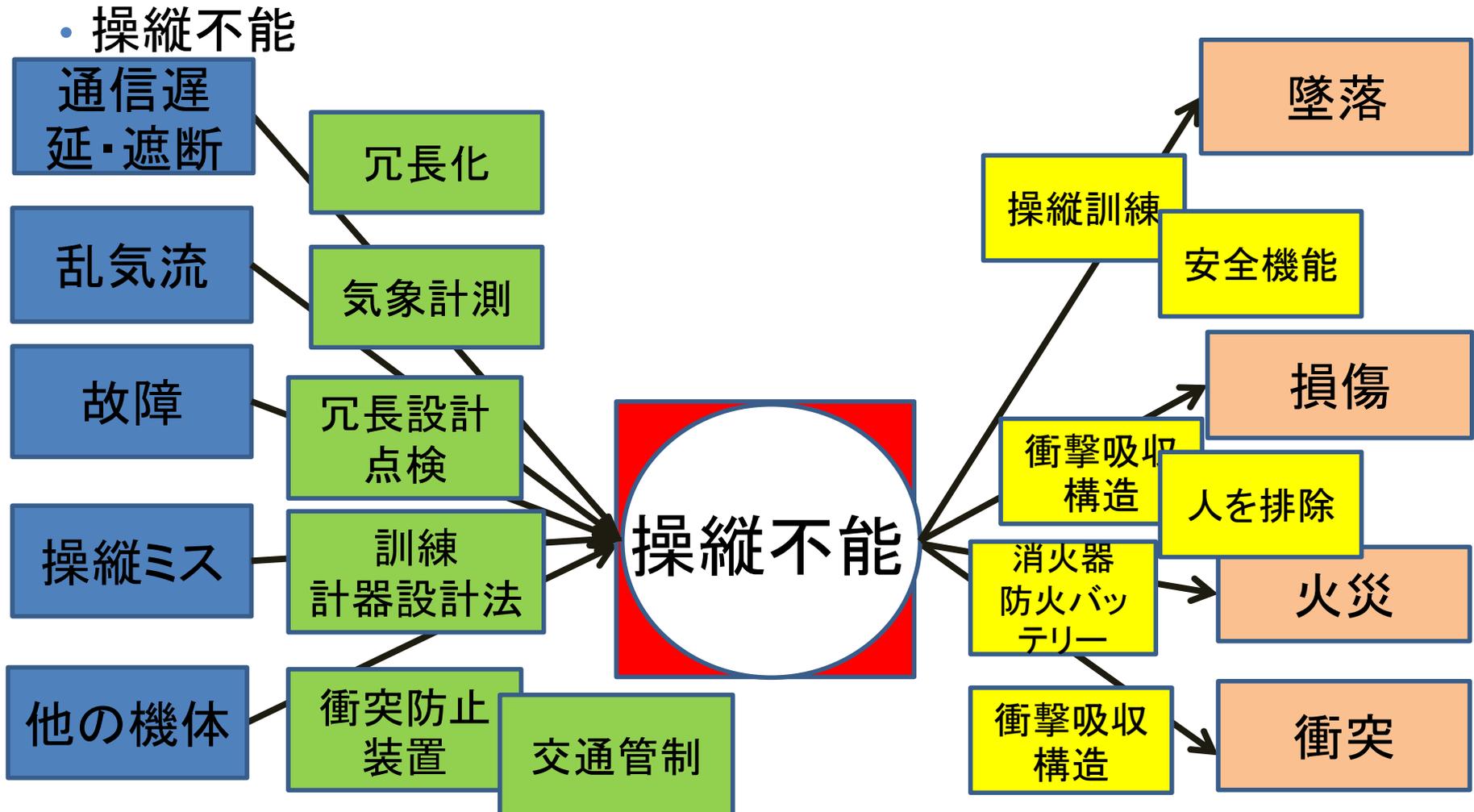
- ハザード解析
 - ハザード: 危害の潜在的な源 (JIS Z 8051:2004)
 - 脅威 (Threat): 一定の管理下に置かない場合はハザードを発生させる恐れ
 - 損傷 (Harm)



ドローンの安全の分析(蝶ネクタイ法)



ドローンの安全の分析(蝶ネクタイ法)



UAVの落下リスクの考え方(1)

$$\text{衝撃 (単位: ジュール)} = \frac{1}{2} \times \text{質量 (kg)} \times \text{速さ}^2 \text{ (m/s)} \cdots (1)$$

- 米国での、登録義務対象となる最低重量の根拠として示された計算
 - Unmanned Aircraft Systems (UAS) Registration Task Force (RTF) Aviation Rulemaking Committee (ARC), Task Force Recommendations Final Report, November 21, 2015

空気抵抗を考慮した落下の衝撃

以下の式 (2) から求める終端速度 (重力と空気抵抗が釣り合う速度) を式 (1) に当てはめる。

$$\underbrace{\text{質量} \times \text{重力加速度}}_{\text{重力}} = \underbrace{\frac{1}{2} \times \text{空気密度} \times \text{速さ}^2 \times \text{投影面積} \times \text{抵抗係数}}_{\text{空気抵抗}} \cdots (2)$$

↑ 1.225 (kg/m³)
↑ 形によって異なる

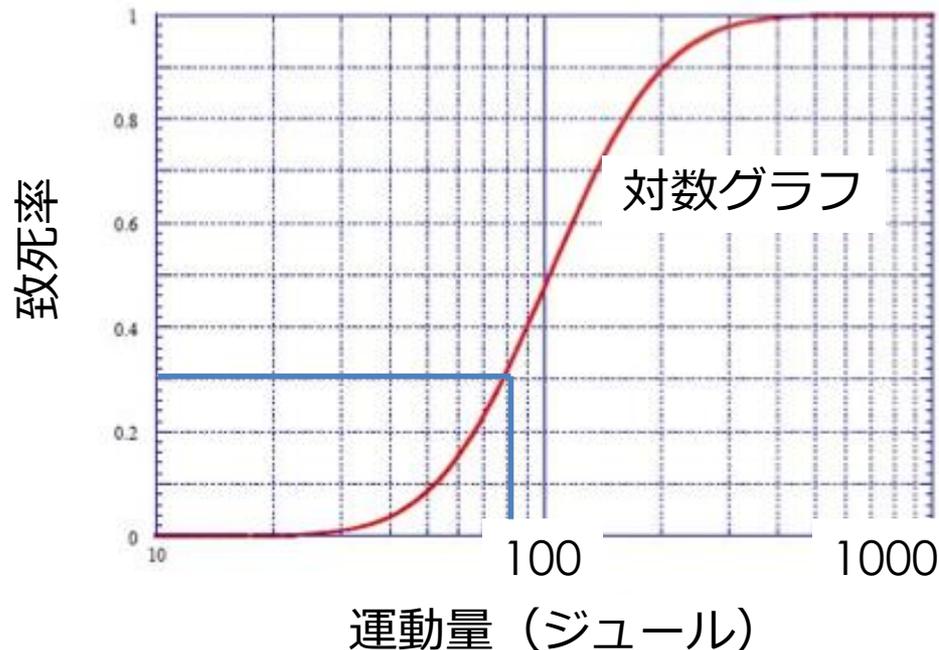
DraganFlyer X4 相当

質量250g、表面面積0.02m²、抵抗係数0.3 ➡ 速さ約25m/s ➡ 衝撃約80ジュール

UAVの落下リスクの考え方(2)

$$\text{衝撃 (単位: ジュール)} = \frac{1}{2} \times \text{質量 (kg)} \times \text{速度}^2 \text{ (m/s)} \cdots (1)$$

- 衝撃と致死率について
 - 前ページのレポート (UAS, RTF, ARC)が引用する資料より
 - 79ジュールで31%の致死率 (<http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA532158>)



参考 (但し落下ではなくある速度で当たった場合の衝撃)

(https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/12_2840.pdf)

	野球ボール	ゴルフボール	UAV1
kg	0.141	0.045	0.431
m/s	42.5	76.0	17.9
ジュール	127	130	69
	UAV2	UAV3	UAV4
kg	0.68	0.91	25
m/s	15.7	26.8	89.4
ジュール	83	327	99927

UAVの落下リスク許容範囲とは？

- 米国での、登録義務対象となる最低重量の根拠として示された計算
 - 前ページのレポート (UAS, RTF, ARC)が引用する資料より

$$1 \text{ 飛行時間あたりの致死率} = \text{飛行時間あたりの故障率} \times \text{落下エリアの人口} \times \text{投影面積} \times \text{曝露確率} \times \text{致死率} \dots (3)$$

本レポートでは100時間に
一回の故障率として計算
* 製品によって異なる。

0.0039人/m²

本レポートでは垂直落下としUAVの代表面積
0.02m²を利用 * 条件によって異なる。

人が外にいる率
ここでは0.3としている

80ジュールの
場合0.3

DraganFlyer X4 相当のUAVで上記の条件のもと計算される 1 飛行時間あたりの致死率は 4.7×10^{-8} 人

本レポートでは、 4.7×10^{-8} 人という数字はジェネラルアビエーションの実際の致死率が 5×10^{-5} であり、民間航空の一般的な考え方は 1×10^{-9} であることから許容範囲として考えたよう。

福島ロボットテストフィールド



<https://www.fipo.or.jp/robot/overview/>

Volocopter、シンガポールで「空飛ぶタクシー」の有人飛行に成功

- https://jidounten-lab.com/x_volocopter-singapore-flyingtaxi
- Volocopterが大型貨物輸送用ドローンのVoloDroneを発表
- <https://jp.techcrunch.com/2019/10/31/2019-10-31-volocopter-unveils-a-new-evtol-drone-for-heavy-lift-cargo-flights/>

Uberの計画

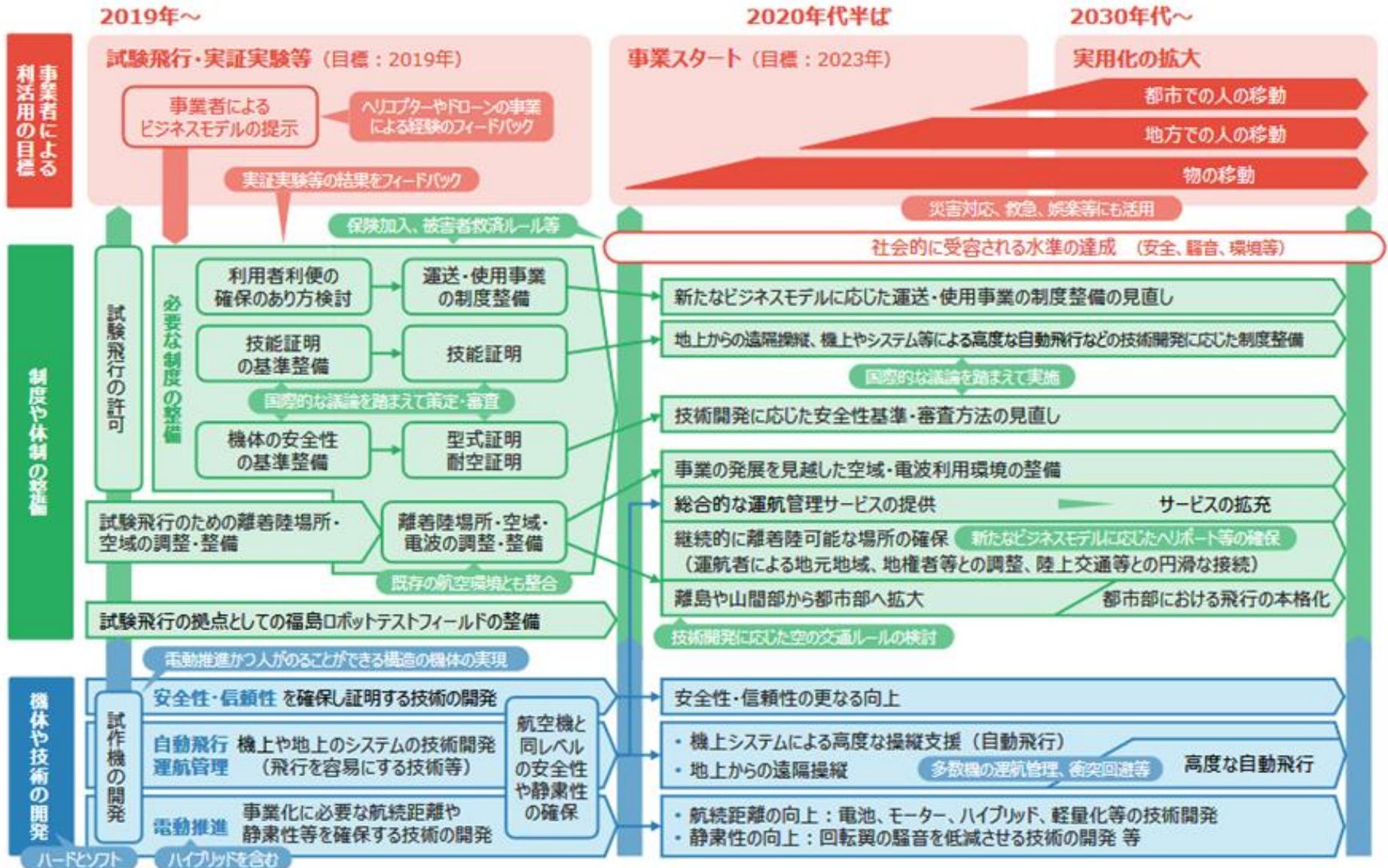
- eVTOLは時速150～200マイル(240～320キロ)。高度300～600メートルを想定している。1回の充電で96キロ飛べるといふ。

<http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1809/18/news048.html>

空の移動革命に向けたロードマップ

2018年12月20日 空の移動革命に向けた官民協議会

このロードマップは、いわゆる“空飛ぶクルマ”、電動・垂直離着陸型・無操縦者航空機などによる身近で手軽な空の移動手段の実現が、都市や地方における課題の解決につながる可能性に着目し、官民が取り組んでいくべき技術開発や制度整備等についてまとめたものである。
(注)今後、他の輸送機器・機関の開発動向を踏まえ、空の利用に関するグランドデザインが必要になることを留意。



利用の段階的な拡大



物の移動



地方での人の移動



都市での人の移動

https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/air_mobility/index.html

米国における認証制定方式

連邦航空局FAA

- ・航空規則制定諮問委員会 (ARAC: Aviation Rulemaking Advisory Committee)
常設の諮問委員会
- ・航空規則制定委員会 (ARC: Aviation Rulemaking Committee)
特定の課題に対する臨時委員会 (製造業、エアライン、大学、研究機関)



非営利民間団体

- ・RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics)
- ・SAE (Society of Automotive Engineers) など
製造業、エアライン、大学、研究機関などにより構成され技術検討を行う

ISO TS20 SC16

無人航空機の国際標準化

- ISO/TC 20/SC 16/WG 1 General
- ISO/TC 20/SC 16/WG 2 Product manufacturing and maintenance
- ISO/TC 20/SC 16/WG 3 Operations and procedures
- ISO/TC 20/SC 16/WG 4 UAS Traffic Management
- ISO/TC 20/SC 16/WG 5 Testing and evaluation

ご清聴ありがとうございました
