資料3

リスクに応じた規制の区分の考え方について（民間側構成員資料）

＜目次＞

- 一般社団法人日本マルチコプター安全推進協会 ･･･Ｐ １
- 一般社団法人日本UAS産業振興協議会 ･･･Ｐ ７
- 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 ･･･Ｐ ９
- 日本産業用無人航空機協会 ･･･Ｐ13
- フジ･インバック株式会社 ･･･Ｐ17

無人航空機のカテゴリー分けについての検討材料の提出

一般社団法人
日本マルチコプター安全推進協会

JMSA
Japan Multicopter Safety Association
一般社団法人
日本マルチコプター安全推進協会

カテゴリー分けについての前回の議論

- 前回の分科会で提出されたクラス分け案に対するコメント
  - 目的　ホビー用か事業用か

    事業用では平均的に稼働時間が大きくなると思われるので、定期点検などの義務化などが検討できると考えます

  - 場所　無人地帯・有人地帯・人口密集地域など

    墜落時の人身事故の可能性の有無および、被害者数

  - 機体　機体の質量（もしくは最大離陸重量）

    積荷も含めた重量で規制すべきと考えます。

JMSA
Japan Multicopter Safety Association
一般社団法人
日本マルチコプター安全推進協会

カテゴリー分けの検討材料

- 機体の形状による分類

  これは、操縦の技能が大きく変わる。

  - 固定翼機
  - 回転翼機
    - シングルローター
    - マルチローター

    （固定ピッチの場合は、オートローテーションによる不時着不可）
  - VTOL機/固定翼・回転翼のハイブリッド型など

JMSA
Japan Multicopter Safety Association
一般社団法人
日本マルチコプター安全推進協会

カテゴリー分けの検討材料

- 万一の対人・対物の衝突時の予想被害による分類
  - 落下時の衝突
    - 突起物や鋭利なプロペラの有無
    - 素材（衝突時の壊れ方）
    - 積荷を含む質量
  - 水平方向での衝突
    - 固定翼機で速度が出る場合は運動エネルギーが大きい
    - 回転翼機ではローターによる被害が想定される（操縦者、補助者を含む）
- それぞれ衝突時の被害予想
  - 対人: 軽傷で済むか、重症・死亡事故になる可能性が大きいか
  - 対物:構造物に傷がつくだけで済むか、構造物の破損が予想されるか

JMSA
Japan Multicopter Safety Association
一般社団法人
日本マルチコプター安全推進協会

カテゴリー分けの検討材料

- プログラムによる自動飛行が可能か
  操縦スキル、操作スキルが異なる
    - 自動飛行あり: 飛行ルートの計画スキルが必要
    - 自動飛行なし（マニュアル: 目視）
    - 自動飛行なし（マニュアル:一人称視点）

- 安全技術の採用の程度による区分
    - プロペラガードなど対衝突安全機能
    - 各種フェイルセーフ機能の有無
    - システムの冗長性があるか否か
    - 耐候性（雨・結露など）、対塵性（砂、火山灰など）
    - 障害物の回避システムの有無など

JMSA
Japan Multicopter Safety Association
一般社団法人
日本マルチコプター安全推進協会

カテゴリー分けの検討材料

- 飛行可能時間/距離による区分

  長時間/長距離での運用可能な機体は、長距離を移動してテロ等に悪用される能力があるので、登録制を検討する際に飛行可能時間/航続距離は把握すべきと考えます

  - 現状では30分程度を目安に産業用とホビー用に区別できるのではないか

- （運用面で）

操作およびテレメトリーデータの届かない直線視界外（例えば災害時に山の反対側を自動飛行させる）での運用を認めるか否か

・機体が操縦者の監視下から外れた場合、自動的に帰ってくるフェイルセーフ機構を必須とするのか、機体だけでの自立航行を許すのか

以上

JMSA
Japan Multicopter Safety Association
一般社団法人
日本マルチコプター安全推進協会

JUIDA

UAVの落下リスクの考え方（1）

衝撃（単位：ジュール）＝ $\frac{1}{2}$ x 質量（kg）x 速さ^2（m/s）・・・（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。

1.225 (kg/m^3)　　形によって異なる

質量×重力加速度＝ $\frac{1}{2}$ ×空気密度×速さ^2×投影面積×抵抗係数　・・（2）

重力　　空気抵抗

DraganFlyer X4 相当

質量250g、表面面積0.02m^2、抵抗係数0.3 ➡ 速さ約25m/s ➡ 衝撃約80ジュール

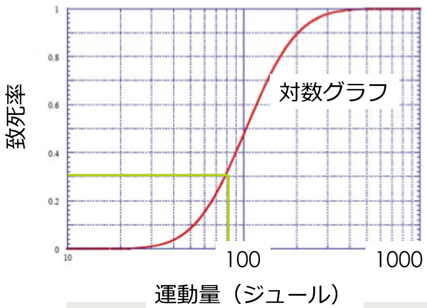
JUIDA

UAVの落下リスクの考え方（2）

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

JUIDA

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飛行時間あたりの致死率＝
飛行時間あたりの故障率×落下エリアの人口×投影面積×曝露確率×致死率　・・・（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/m^2

本レポートでは垂直落下としUAVの代表面積0.02m^{2}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

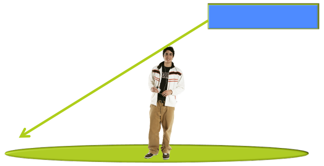
➡ DraganFlyer X4 相当のUAVで上記の条件のもと計算される１飛行時間当たりの致死率は 4.7×10^{-8} 人

➡ 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。

JUIDA

参考

- 式（3）について
  - 実際の落下の衝撃や確率は以下の要因にも左右されるのでモデル化には限界がある（http://eprints.qut.edu.au/6822/1/6822.pdf）
    - ヒューマンファクター（１７%）
    - 実際の軌跡（初期状態、スピード、オペレータスキル）
    - 衝撃の評価
  - 投影面積について、先のスライドではUAVの代表面積を利用していたが、上のリンクの参考資料では機体のグライドを考えた計算式を利用している



（機体の幅＋人の直径）
×
（機体の長さ＋人の直径
＋人の高さ＊sin(グライドの角度）)

JUIDA

フランスの基準：衝撃保護

注１：2015年12月17日発行の"Arrête"を素人翻訳したもの

注２：商業利用、150kg以下、さらに地上につながれていない機体に関する規定のみ抜粋

シナリオS3で2kg以上の機体を利用する場合、最大運用高度からの自由落下でのインパクトが**69ジュール**以下にする保護機能を保持すること。その保護機能は、システムの異常時もパイロットの指示で機能すること。パラシュートからなる場合には展開し安定するまでに15mはかかると留意。

人口集中地区**外**	有視界**外**	S2	飛行ゾーンに第三者が立ち入らない、パイロットから水平1000m以内、２kg以上の機体は高度50m以内の飛行に限る。どの重さでも型式証明要。
		S4	S１・２以外のシナリオ。重量2kg以下、撮影や監視などの用途に限る。どの重さでも型式証明要。（人の集まりから水平50m以内ー通常150m）
	内	S1	第三者上空を飛行しない、パイロットから水平200m以内の飛行に限る。重量25kg以上の場合は型式証明要。
内		S3	第三者上空を飛行しない、重量8kg以下、パイロットから水平100m以内の飛行に限る。重量2kg以上は型式証明要。

人口集中地区：航空情報サービスで提供されている航空地図（500000分の1または250000分の１）で指定されている地域から50m 以内、または人の集まりから水平150m以内

5

JUIDA

フランスの基準：第三者からの距離

注１：2015年12月17日発行の"Arrête"を素人翻訳したもの

注２：商業利用、150kg以下、さらに地上につながれていない機体に関する規定のみ抜粋

S1, S2の場合、水平に半径30mは第三者が入っては行けない。しかし、S1に限っては、水平速度があたえられるならば、保護機能付きの8kg以下の機体、または高度50m以下で利用される2kg以下の機体であれば以下の式で算出される半径まで近づく事がゆるされる（但し10m以下には近づけない）。

S３の場合は、以下の式で出される半径以上距離を保たなくては行けない。

許される半径（m）＝水平速度（m/s）×　落下時間（s）

落下時間：√（２×高度/重力加速度）

人口集中地区**外**	有視界**外**	S2	飛行ゾーンに第三者が立ち入らない、パイロットから水平1000m以内、２kg以上の機体は高度50m以内の飛行に限る。どの重さでも型式証明要。
		S4	S１・２以外のシナリオ。重量2kg以下、撮影や監視などの用途に限る。どの重さでも型式証明要。（人の集まりから水平50m以内ー通常150m）
	内	S1	第三者上空を飛行しない、パイロットから水平200m以内の飛行に限る。重量25kg以上の場合は型式証明要。
内		S3	第三者上空を飛行しない、重量8kg以下、パイロットから水平100m以内の飛行に限る。重量2kg以上は型式証明要。

6

小型無人機の衝突安全について
（JAXAにおける研究事例の紹介）

平成28年 2月1日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
航空技術部門　航空技術実証研究開発ユニット

研究背景・目的

- JAXAが無人機の研究開発に適用している「無人機システム安全技術基準」では、非高密度有人区域上空を飛行する場合において、以下に定義される「予測事故被害者数」（システムの不具合に起因する墜落事故によって地上の第三者が死傷する単位時間当たりの予測値）を規定値以下に抑えることを要求

$$V(t1,t2)[\text{人}] = \int_{t1}^{t2} v(t)dt$$

$v(t)$ ：予測事故被害者数密度 $= f(t) \times P(t) \times S(t) \times r(t)$

$f(t)$ ：機体墜落確率密度 [/s]
$P(t)$ ：機体直下の地区の人口密度 [人/m^2]
$S(t)$ ：墜落時影響面積 [m^2]
$r(t)$ ：墜落時事故被害率（$0 \leqq r(t) \leqq 1$）

- 墜落時事故被害率（墜落時に墜落時影響面積内の人が事故被害を受ける確率）に関する評価方法を提案するとともに、これを低減するための機体設計に対する知見を得ることを目的として標題の研究を実施

Ref.) 宇宙航空研究開発機構 研究開発報告 JAXA-RR-13-002 小型無人機の衝突安全の研究

衝突安全性の評価指標

- 最も典型的な状況でクリティカルになり得る傷害モードとして、頭部に対する正面からの衝突を想定
- 自動車（対歩行者）や公園遊具、ヘルメット等の安全基準を参考に、致命的な傷害の指標として以下を設定

  - 頭部傷害基準, HIC（Head Injury Criterion） ＜ 1000

$$HIC = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t1}^{t2} \mathrm{a}dt \right\}^{2.5} (t_2 - t_1)_{\max}$$

a：合成加速度　t：時間

  - 頭部加速度 ＜ 200G

参考）海外における規制及び研究事例

- フランス民間航空総局（DGAC）の無人機安全基準※1では、有人地帯飛行をおこなうシナリオにおいて、最大離陸重量が2kgを超える機体は落下時の衝撃エネルギを69J以下に制御することが要求されている。
- オーストラリア民間航空安全庁（CASA）では小型無人機の衝突による人体への影響について解析し※2、完全非弾性衝突、無人機側は剛体といった仮定のもとで致命的な傷害の可能性が高くなる機体の質量、衝突速度、機首の曲率といったパラメータを整理している。

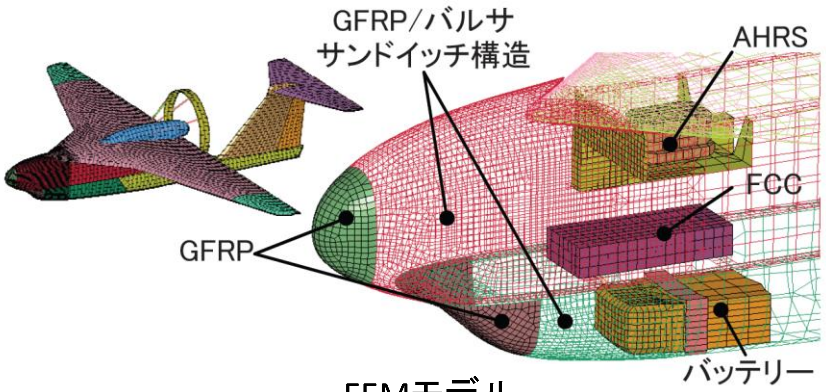
※1) DEVA1207595A, “Order of April 11th 2012 relating to the use of French airspace by remotely piloted aircraft”,

※2) Radi, Alexander, “Human injury model for small unmanned aircraft impacts”, 2013.12.23, Civil Aviation Safety Authority / Monash University

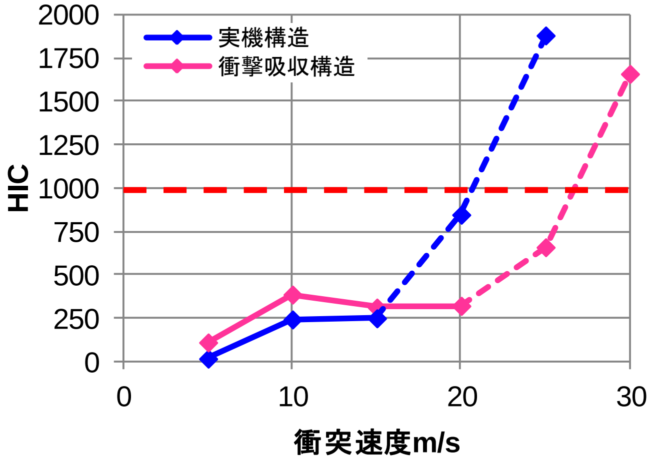
解析/実験による評価例

- JAXAで開発中(2009-13年当時)の災害監視無人機(電動固定翼機、全備重量:5kg)を対象に、FEM解析及び人体ダミーを用いた衝突実験によってHIC及び加速度を評価

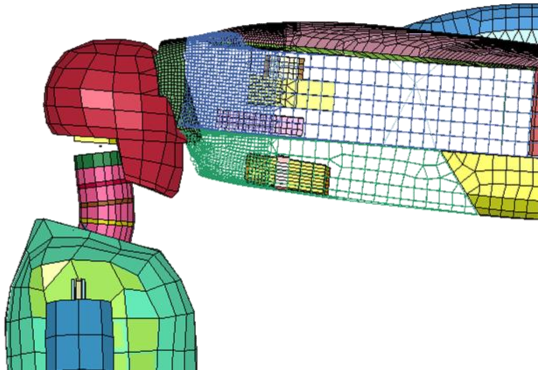
⇒ 機首の衝突安全設計や衝撃吸収プラスチックの適用により、全速度域(最大25m/s)において衝突安全性を確保できることを確認



FEMモデル



FEM解析結果


FEM解析例(衝撃吸収構造、20m/s)

人体ダミーによる衝突実験

無人航空機のクラス分けに係る考慮事項について

2016.2.1

- ◆ クラス分けを検討するにあたっては、安全性確保が大前提となる。確保すべき安全性としては、「地上の第3者への安全性」と「有人航空機及び無人航空機の安全に悪影響を与えないこと」の2点と考える。

- ◆ **地上の第3者への安全性の確保**

一般的に、適用可能な安全性は機体規模による制約が考えられるため、機体規模に応じた対策が考えられる。例を以下に示す。

・機体規模が比較的小さな無人航空機に対しては「墜落時の影響度を許容範囲内に抑えること」

・機体規模が比較的大きな無人航空機に対しては「有人航空機並の耐空性を確保すること」

また、機体規模区分の検討のおいては、飛行させる場所によって墜落時の影響度が異なることも考慮する必要があると考える。

尚、無人航空機が人に衝突した時の衝撃に関する研究がJAXA殿が実施しており、「小型無人機の衝突安全の研究」という、レポートにまとめられている例がある。（https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/a-is/18438/1/62246000.pdf）

- ◆ **有人航空機及び無人航空機（以下「他機」という。）の安全に影響を与えないこと**

他機への安全を確保するためには、以下の要件を満たす必要があると考えられる。この要件は、機体規模に関わらず、具備する必要があるが、具体的な方法については、運用条件（例：目視内、目視外、昼夜等）により異なると考えられる。

①自機を監視できること（例：明るい塗色、衝突防止灯、無線を使用したモニタ等）

②他機を監視、衝突防止できること（例：ｵﾝﾎﾞｰﾄﾞｶﾒﾗ、衝突防止装置等）

③自機の存在を他機に知らせること（例：明るい塗色、衝突防止灯、トランスポンダ等）

④航空交通管制関連部署と連絡手段を確保すること。（例：電話、航空無線等）

参考:「小型無人機の衝突安全性の研究」(JAXA殿レポート)

ISSN 1349-1113
JAXA-RR-13-002

宇宙航空研究開発機構研究開発報告
JAXA Research and Development Report

小型無人機の衝突安全の研究

平林 大輔， 石川 和敏， 金子 宣彦， 村山 勉

2014年2月

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

This document is provided by JAXA.

(3) 30m/s 衝突の場合

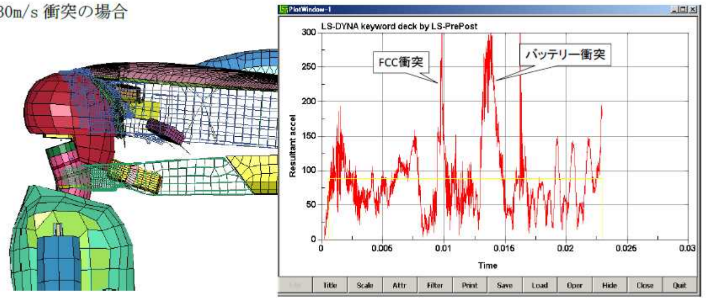


図 5-20 30m/s 衝突解析結果

20m/s 衝突では座屈中に衝突が終了したが(図 5-18)，最後に衝撃吸収構造取付部の下部が破壊しはじめていた．これを境に高速衝突になると衝撃吸収構造取付部全体の破壊となり，機体が大きく破壊した(図 5-19)．この状態では衝撃吸収構造長さ 100mm の時と同じように反力が無くなり，頭部加速度が低い空走区間ができる事で，減速されないまま FCC やバッテリーとの衝突につながった．内部機器との衝突が始まると初期の衝突速度の僅かな違いであっても 30m/s 衝突のように HIC や G の急上昇が起きることが分かった(図 5-20)．

5.3.5 衝撃吸収構造を持った機体の衝突解析まとめ

(1) L150t2.0 の衝撃吸収構造をもつ無人機の衝突安全性能

衝撃吸収構造 t2.0 を用いることで現在の GFRP/バルササンドイッチ構造よりも高い衝突安全性を得られる見込みを得た(図 5-21)．

表 5-6 衝撃吸収構造をもつ実機 FEM 解析結果

FEM モデル名	衝突速度 m/s	HIC	G
N21_150t20_v5	5	110	66
N22_150t20_v10	10	386	136
N03_150t20_v15	15	311	186
N04_150t20_v20	20	321	164
N05_150t20_v25	25	659	168
N23_150t20_v30	30	1660	314

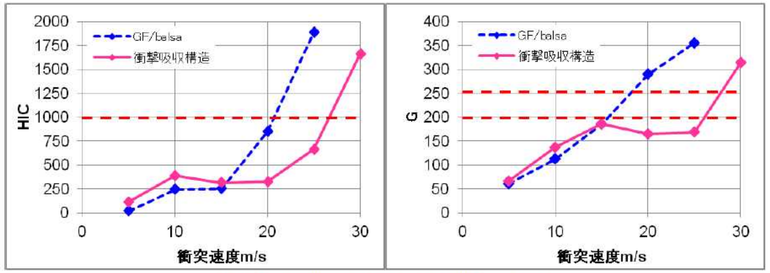


図 5-21 衝撃吸収構造をもつ実機 FEM 解析結果

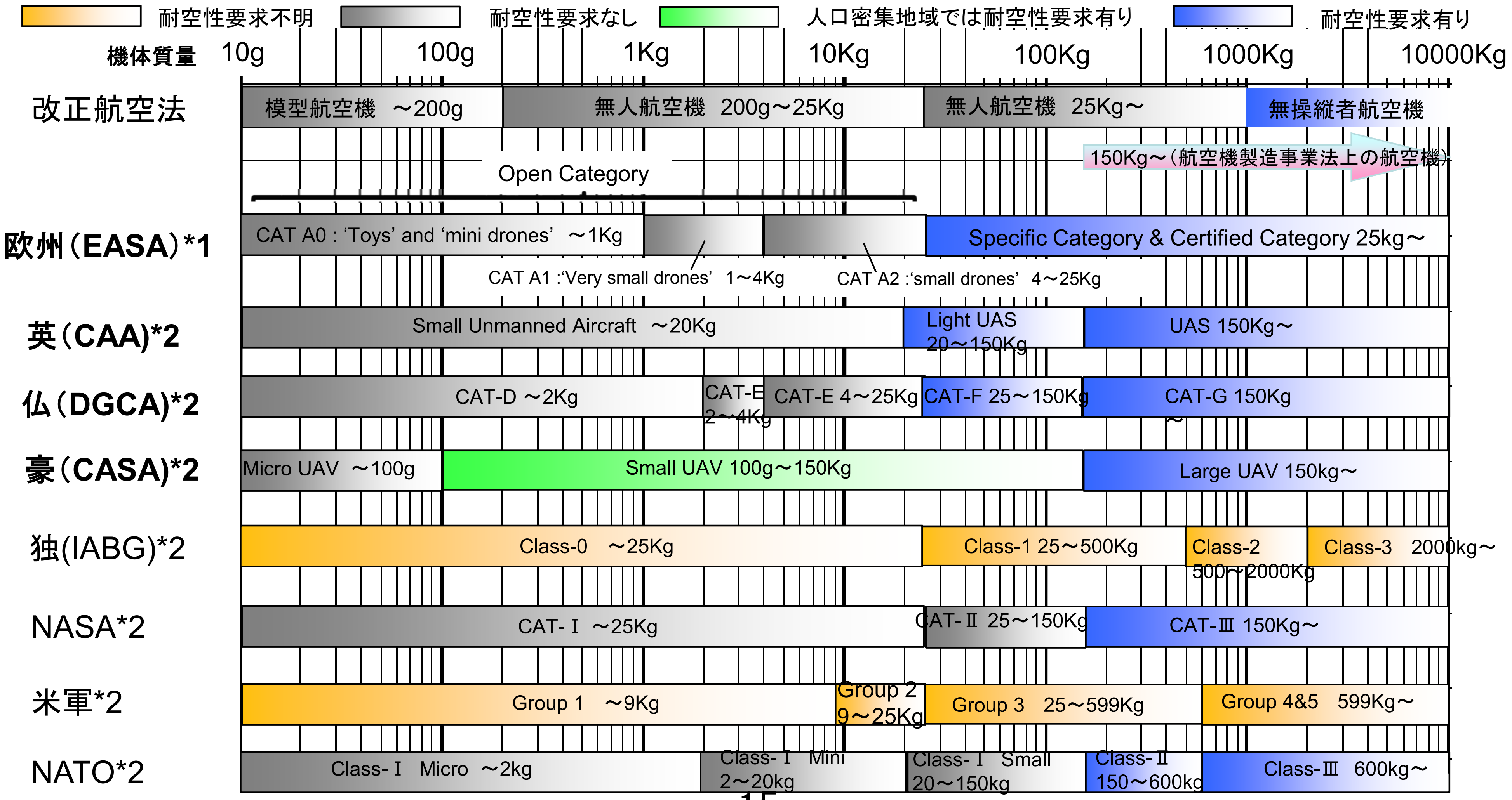
This document is provided by JAXA.

JUAV
日本産業用無人航空機協会
JAPAN UAV ASSOCIATION

各国、各機関の無人航空機のクラス分けの例

- 欧州航空安全機関（EASA)では、リスクベースでクラス分けを提案している。低リスクのOpen Category、中リスクのSpecific Category、高リスクのCertified Categoryである。Specific Category以上は、耐空性に関する規制がある。Open Categoryは、目視内、150m未満、飛行可能空域の限定等のリスク低減のための要求がある。また、耐空性は要求されないが、消費者安全の観点からの規制が提案されるとともに、さらに3つのサブカテゴリーに区分されている。
- 航空当局の規定のうち、英(CAA)、仏(DGCA)では、20kgあるいは25kg以上の機体には耐空性を要求している。豪(CASA)の耐空性要求は、150kg以上であるが、人口密集地域を飛行する機体には150kg未満にも耐空性を要求している。

注1：無人航空機の規定は、「人が搭乗できない」ことであるが、図では便宜的に、質量1000kgを上限として示している。
注2：耐空性要求については、各機関、国によって、レベルの幅がある。下図で示した耐空性要求の有無は、概略と捉えていただきたい。詳細については、出典を参照されたい。



＊1　出典：　Proposal to create common rules for operating drones in Europe,2015年9月発行
＊2　出典：　Perspective on Unmanned Aircraft Classification for Civil Airworthiness Standards, NASA/TM-2013-217969、2013年2月発行

参考:各国、各機関の無人航空機のクラス分けの出典

2015年9月発行

NASA/TM–2013-217969

Perspectives on Unmanned Aircraft Classification for Civil Airworthiness Standards

Jeffrey M. Maddalon, Kelly J. Hayhurst, Daniel M. Koppen, Jason M. Upchurch, and A. Terry Morris
Langley Research Center, Hampton, Virginia

Harry A. Verstynen
Whirlwind Engineering LLC, Poquoson, Virginia

February 2013

2013年2月発行

第二回分科会　資料

『無人機操縦免許に関して』

無人機の操縦免許を下記の（４）段階にランク分けを行う必要があると考えます。

1）総重量 10kg 未満の電動機操縦
2）総重量 25kg 未満のエンジン機操縦
3）総重量 70kg 未満のエンジン機操縦
4）総重量 70kg 以上のエンジン機操縦

『地上局（PC）の標準化』

地上局（PC）の標準化を行なう必要があると考えます。
現状は、メーカー（製造元）により、地上局の仕様が様々です。
今後は、地上局を製造するにあたり仕様（設定方法、必要情報の種類等）を標準化する必要性があると考えます。
又、下記安全表示の項目に関しましては、ご要望でしたら提示することも可能です。

＜例＞

・ウェイクポイントの設定方法
（例えば緯度・経度にて設定を行なう等）
・飛行中の機体の情報の種類
・安全表示の項目（機体異常発生時の警告表示の種類）
・エンジン関連の情報の種類
・電気系の情報の種類

『エンジンの型式証明に関して』

エンジンの型式証明書の発行を行なう必要があると考えます。
方法としては、10時間運転耐久試験を5回行ない、異常が発生しない事を確認して発行を行なうようにします。（耐久試験時間50時間）
弊社のBT-86Bガソリンエンジンは上記の耐久試験後に機体搭載をしています。

『機体の認定に関して』

機体の認定は全ての機体に行う必要があると考えます。
販売するための機体全てが対象。（試験機は除く）
検査内容　：　地上にて機能検査を行なうようにします。
飛行試験に関しては『別添資料-1』に記載します。
検査は2年毎に行なうようにします。

２０１６年１月２６日作成
フジ・インバック株式会社
代表取締役　田辺　誠治

添付資料-1

飛行試験に関して

※弊社で行なっている機体納品前の最低飛行試験項目です。

1．通常離陸

上空自動飛行（燃料 1 時間分搭載）――　飛行時間 1 時間

2．離　陸

1 回目　手動離陸（燃料 50%～60%）―――　飛行時間 2 時間飛行後

2 回目　自動離陸（燃料 50%～60%）―――　飛行時間 3 時間

燃料消費量計算値より算出し、航続距離を求める。

3．着　陸

1 回目　自動着陸（燃料 10%～20%）―――　1 回

2 回目　自動着陸（燃料 50%～60%）―――　1 回

4．飛行速度

最大飛行速度の確認　　自動モードにて

最小飛行速度の確認　　手動モードにて

（失速速度の確認）

5．上昇飛行

上空 2, 000 メートルまでの自動上昇飛行　―――　高度約 200 メートルまでの自動降下飛行

6．衛星通信システム

衛星通信を使用し映像伝送試験　――――　１５分

又は小型衛星通信を使用し位置確認の試験　――――　１５分

7．衛星通信による機体コントロール

衛星通信を使用し、無人機をコントロールできる事を確認　――　２０分

又は小型衛星通信を使用し、無人機をコントロールできる事を確認

――　２０分

8．半自動操縦試験飛行　――――　１５分

9．安全項目の確認

・エンジンリスタート

・パラシュート放出

・衝突防止システム機能確認

10. 各オプション

各機能確認

２０１６年１月２９日作成

フジ・インバック株式会社