

## 農業用自動運転ドローンに関する安全性確保ガイドライン

### 1. 基本的な考え方

本ガイドラインは、農業用途の自動運転ドローン（以下「自動運転ドローン」）の安全性を確保することを目的とし、安全性確保の原則、リスクアセスメントの実施、安全方策の実施、関係者の役割等についての指針を示すものである。

本ガイドラインの策定にあたっては、「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン（農林水産省）」「次世代ロボット安全性確保ガイドライン（経済産業省）」と、国際規格である「ISO ガイド 51（安全規格ガイドライン）」「ISO14121（リスクアセスメント規格）」との整合性に配慮した。

なお、本ガイドラインは、自動運転ドローン技術の導入が途上の段階にあることから、ガイドライン策定後の自動運転ドローン技術の使用状況、安全技術の進展状況等を踏まえて、適宜見直しを行う。

### 2. 適用範囲

本ガイドラインは、使用者の監視の下で使用する、農作業（防除、施肥、播種、生育監視、等）を目的としたマルチロータ型の無人航空機であって、無人航空機の運転タスク（離着陸、ホバリング、加減速、吐出量調整、速度維持、高度維持、旋回、経路維持）、飛行計画、緊急退避の全てをシステムが自動で実施する。緊急退避判断の一部を監視者が実施する自動運転ドローンについて適用する。

農業用ドローンの自動化レベルと定義（別表A）を以下とし、本ガイドライン適用範囲はレベル3（レベル2も包含可能）に相当する。

#### レベル0 手動操縦

運転タスク（離着陸、ホバリング、加減速、吐出量調整、速度維持、高度維持、旋回、経路維持）の全てを、操縦者が手動で実施する。

なお、監視は必要・補助者は必要・オペレーター教習は必要・事故発生時の責任所在については使用者とする。

#### レベル1 運転支援

運転タスク（離着陸、ホバリング、加減速、吐出量調整、高度維持、速度維持、旋回、吐出量調整）の一部を操縦者の指示によりシステムが実施する。

なお、監視は必要・補助者は必要・オペレーター教習は必要・事故発生時の責任所在については使用者とする。

#### レベル2 部分自動

運転タスク（離着陸、ホバリング、加減速、吐出量調整、速度維持、高度維持、旋回、経路維持）の全てをシステムが自動で実施する。飛行経路生成・緊急退避・緊急退避判断を操縦者が行う。なお、監視は必要・補助者は必要・オペレーター教習は経路生成と緊急退避操作のみ必要・事故発生時の責任所在については使用者及び一部メーカーとする。

#### レベル3 高度自動

運転タスク（離着陸、ホバリング、加減速、吐出量調整、速度維持、高度維持、旋回、経路維持）、飛行経路生成、緊急退避の全てをシステムが自動で実施する。緊急退避判断の一部を監視者が実施する。

なお、監視は必要・補助者は不要・オペレーター教習は不要（オペレータはコンピュータのため）・事故発生時の責任所在についてはメーカーとする。

#### レベル4 完全自動

運転タスク（離着陸、ホバリング、加減速、吐出量調整、速度維持、高度維持、旋回、経路維持）、飛行計画、緊急退避、緊急退避判断の全てをシステムが自動で実施する。

なお、監視は不要・補助者は不要・オペレーター教習は不要・事故発生時の責任所在についてはメーカーとする。

本ガイドラインは、自動運転ドローンの設計、製造、輸入、管理、販売及び使用の各段階を対象とする。

### 3. 用語の定義

本ガイドラインで用いる用語の定義は、以下のとおりとする。

- ・ 無人航空機：航空法（昭和27年法律第231号）第2条第22項に定める「無人航空機」
- ・ 自動運転ドローン：農作業（防除、施肥、播種、生育調査、等）に用いることを目的としたマルチロータ型の無人航空機であって、センサ・知能・制御を組み合わせたシステム（ロボット

技術)により、使用上必要な全ての動作(離陸、ホバリング、加速、農薬吐出、吐出量調整、速度維持、高度維持、経路維持、減速、着陸、等)を、使用者が操縦することなく、自動実行するものをいう。

- ・ 監視：自動運転ドローンの稼働状態やその周辺状況を目視やモニターの情報等により確認し、必要な場合に危害を回避する操作を行うことをいう。
- ・ 使用者：自動運転ドローンを使って農作業を行う者をいう。
- ・ 製造者：自動運転ドローンの設計、製造、又は輸入を行う者をいう。
- ・ 販売者：自動運転ドローンの販売や修理を行う者をいう。
- ・ 危険源：危害を引き起こす潜在的根源をいう。(例：回転するプロペラ、機体の位置エネルギー)
- ・ 危険事象：人や物が危険源にさらされ危害に至る出来事をいう。(例：回転するプロペラが人の頭部に接触、落下した機体が頭部に衝突)
- ・ 危害：危険事象を回避できず、身体的傷害、健康障害、又は物損が発生した状態をいう。(例：手指切断、頭蓋骨骨折、頸部切傷大量出血、電線切断)
- ・ 発生確率：単位使用時間あたりの発生件数をいう。(例：墜落の発生確率は、 $10^{-6}$ 回/時間)
- ・ 危険事象の曝露：人が危険源にさらされている状態をいう
- ・ 危険事象の回避性：人や物が危険源にさらされる危険事象を人の認知と行動により回避可能性をいう
- ・ 危害のひどさ：危険事象により人や物に及ぼした危害の大きさをクラス分けしたものをいう。(例：頭部損傷は、5段階評価で5)
- ・ リスク：危険事象の発生確率と危険事象の危害のひどさの組み合わせをいう。
- ・ 残留リスク：リスクに対して対応後に残るリスクをいう。
- ・ リスクアセスメント：全ての危険事象について発生確率と危害のひどさが許容範囲内にあることを評価するプロセスをいう。
- ・ 安全：全てのリスクが許容範囲内であると認識されている状態をいう。
- ・ 安全方策：リスクの低減(危険源の除去を含む。)のための手段をいう。
- ・ 本質安全方策：リスクの根本となる要因(危険源の除去を含む)に対して直接対策する安全方策をいう。
- ・ 機能安全方策：危害を及ぼすリスクを、機能や装置などの付加機能により、許容可能なまでに低減するやり方をいう。(例：センサを用いた電子制御による機能)
- ・ ハードウェア方策：メカニカル機構のみの方策(制御による機能を伴わない)をいう。
- ・ ソフトウェア方策：制御による機能を伴う方策(機能安全など)をいう。

#### 4. 安全性確保の原則

- ・ 安全方策は、原理的に可能である限り、危険源そのものを減らす方策（以下 本質安全方策）により行うこと。
- ・ 本質安全方策によりリスクが許容可能範囲に低減できない場合は、危険源の人への暴露の確率を減らす方策（以下 機能安全方策）により行うこと。
- ・ 本質安全方策と機能安全方策によってもリスクが許容可能範囲に低減できない場合は、安全方策の多重化を行うこと。
- ・ 残留リスクに対しては許容できるレベルになるまで機能安全方策を追加すること（例：インターロック機能：部品の耐用時間を検出して飛行を禁止する等）。なお機能安全方策を追加で対応しきれない残留リスクに対しては、対応の内容を明記してユーザーへ確実に認知させること（例：ユーザーアナウンス：液剤希釈率のミス防止のためのステッカー、タブレット確認表示の二重告知等）
- ・ 使用者への指導、注意喚起、訓練、等は、本質安全と機能安全と安全方策多重化によりリスクが許容できるレベルになった上での、あくまで補助的な手段に留めること。
- ・ 一般製品（家電・工業製品）にも求められる既存の安全性確保は、ドローンへも同レベルで適用する（例：JIS B規格等 突起物・熱保護などの規定）

#### 5. 使用される状況

- ・ 自動運転ドローンは、圃場内で使用することを前提とする。
- ・ 圃場は、家屋、病院、学校、他作物圃場、道路、鉄道、等が隣接していることを前提とする。
- ・ 離着陸地点に関しては圃場に隣接しているが圃場外にあることを前提とする。
- ・ 使用者は、体力、集中力、注意力、判断力、技能及び習熟度に大きな差があることを前提とする。
- ・ 使用環境は、日本国内で発生する可能性のある自然条件（突風、高温、濃霧、降雨、等）のもとで使用されることを前提とする。

#### 6. 製造者の取組

##### 6-1 リスクアセスメントの実施

製造者は、以下の手順（リスク分析の実施、リスク評価の実施）により、リスクアセスメントを行うこと。

##### 6-1-1 リスク分析の実施

リスク分析は、以下の手順（危険源の同定、危険事象の同定、危険事象の発生確率の推定）により行うこと。

- ・ 危険源の同定

危険源の同定にあたっては、ISO の危険源同定リストを使用すること。（別表 1）

危険源の同定にあたっては、自動運転ドローンに自明かつ重要な危険源である、①回転体、②農薬、③バッテリー、④運動体、の 4 つを含めること。

なお、同定の進め方の具体例については、進め方ガイド“危険源の同定”（別表 1-1）を参照、結果の具体例については結果具体例“危険源の同定結果”（別表 1-2）を参照。

- ・ 危険事象の同定

危険事象の同定にあたっては、自動運転ドローンの状態遷移図（別表 2-a）や、対象アイテムと個別事象組合せ表（別表 2-b）を使用すること。

危険事象の同定にあたっては、死亡事故、人身事故、重大な健康被害の発生につながる以下の 1～8 の危険事象を含めること

- |                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| ① 危険源：回転体（切傷）      | 危険事象：回転中のプロペラが人に接触する。        |
| ② 危険源：回転体（物損）      | 危険事象：回転中のプロペラが物に接触する。        |
| ③ 危険源：電源（発火）       | 危険事象：充電中、保管中、飛行中のバッテリーが発火する。 |
| ④ 危険源：運動体（衝突）      | 危険事象：機体が飛行中に人に衝突する。          |
| ⑤ 危険源：運動体（墜落）      | 危険事象：機体が墜落して人に衝突する。          |
| ⑥ 危険源：農薬（大量投下 圃場内） | 危険事象：農薬を圃場内に過剰投下する。          |
| ⑦ 危険源：農薬（大量投下 圃場外） | 危険事象：農薬を圃場外に過剰投下する。          |
| ⑧ 危険源：農薬（飛散）       | 危険事象：農薬を圃場外に飛散させる。           |

補足）農薬とは液剤、粒剤の両方を対象範囲とする

なお、同定の進め方については、進め方ガイド“危険事象の同定”（別表 2-1）、結果具体例については結果具体例“危険事象の同定結果”（別表 2-2）を参照。

- ・ 危害ひどさの評価

危害のひどさは、各危険事象毎に個別に評価すること。

危害のひどさの評価にあたっては、危害ひどさを S0~S4 までの 5 段階のクラスに分け、危害に応じたクラスの評価基準を定義した、危害ひどさのクラス 評価基準一覧表（別表 2-3）を使用すること。

・ FTA の実施

危険事象のうち死亡事故及び人身事故につながる危険事象については、危険事象を発生させる可能性がある全ての要因を洗い出し因果関係を整理し FT 図に展開すること。前述①~⑧については死亡事故及び人身事故につながる可能性が高いので、①~⑧をツリーのトップとした各 FT 図を作成しなければならない。

なお、結果具体例については結果具体例“FT 図結果”（別表 3-1~8）を参照。

・ 発生頻度の算出

展開された FT 図を使い、各要因事象（故障等）の発生頻度を見積もることで、各危害の発生確率を算出すること。

発生確率に関する種類については主に、A) 機器の故障、B) 環境外乱、C) 人のミス、D) 危害の回避性、E) 状況の確率、に分けられる。なお危害発生の確率の算出にあたっては危害発生の確率算出式（別表 4）の定義に従って算出すること。これらの主要な要因事象の発生確率の確率表を作成しなければならない。確率表の具体例は“確率表”（別表 4-1）を参照。

具体例の一部を以下に示す。発生頻度は、単位稼働時間あたりの回数で表現する。

※ 数字の目安：

毎回 =  $10^0$ /h、月に一度 =  $10^{-1}$ /h、年に一度 =  $10^{-3}$ 回/h、数年に一度 =  $10^{-4}$ 回/h、  
MTBF100 時間 =  $10^{-3}$ 回/h、MTBF1000 時間 =  $10^{-4}$ 回/h

例) 確率・頻度の具体例

（以下、数値は平成 29 年度までの検討・実証データに基づいた値であり、平成 29 年度現在の仮値。平成 30 年以降の加わるデータ等によって値は見直す可能性あり）

A) 機器の故障の発生頻度

センサ系

- ・ 加速度&角速度センサの機能失陥 ( $10^{-5}$  回/h)

制御系

- ・ 制御系ソフトウェアの機能失陥 ( $10^{-6}$  回/h)

#### 電源系

- ・ 電圧監視のみによるバッテリー残量推定の機能失陥 ( $10^{-2}$  回/h)

#### 通信系

- ・ 1 系統の通信が遮断 ( $10^{-2}$  回/h)

#### 駆動系

- ・ モータドライバの機能失陥 ( $10^{-2}$  回/h)

#### 散布系

- ・ ポンプの吐出量制御の機能失陥 ( $10^{-5}$  回/h)

#### 構造系

- ・ プロペラガード構造の機能失陥 ( $10^{-5}$  回/h)

#### B) 環境外乱の発生頻度

- ・ 平均風速 3m/s 状況下の 10m/s 以上の突風 ( $10^{-2}$  回/h)
- ・ 角度 10 度以上の地磁気の歪み (暗渠の鉄鞘管、揚水ポンプ、等) ( $10^{-2}$  回/h)
- ・ 通信遮断を発生させる電磁ノイズ ( $10^{-4}$  回/h)

#### C) 人のミスの発生頻度

- ・ 飛行対象圏場の選択を誤る。 ( $10^{-1}$  回/h)
- ・ 緊急介入操作後の誤操作 ( $10^{-2}$  回/h UI による)

#### D) 危害の回避性の確率

- ・ 高度 30cm で速度 20km/h で近づく機体を認知し、回避できない可能性 ( $10^{-2}$ )
- ・ 落下した機体がプロペラ回転を停止するまでの時間 2sec 以内に、人が近づきプロペラガード内に手を入れて回転部に触れる可能性 ( $10^{-7}$ )

#### E) 状況の確率

- ・ ドローンのバッテリーを交換する (稼働時間中 5%)
- ・ ドローンが飛行する (稼働時間中 50%)

なお、各確率の数値については、あくまで現時点での具体例として記載しているが、リスクアセスメントの高度化を資するため、製造者からの提供情報を収集した結果から数値を最適値へと適宜更新する。

#### 6-1-2 リスク評価の実施

リスクの評価は、FT図を用いて算出された危害発生の確率と、危害のひどさのクラスから定義した評価基準によって行う

評価基準については、危害ひどさ5段階のクラス(S0~S4)毎に個別で確率の数値が定義される。評価基準を定義した、リスク評価基準一覧表(別表2-4)を使用すること。

なお、危害発生の確率のFT図を用いた算出の具体例については、進め方ガイド“FT図を用いた危害発生確率の算出”(別表6-2)を参照、結果の具体例については結果具体例“危害発生確率”(別表6-1)を参照。

リスクの評価にあたっては、各危険事象毎に個別に評価し、危害発生の確率が評価基準を満たしていれば、適切であると評価する。

例) 危害ひどさクラスに応じた評価基準、及び目安

危害ひどさ S4 (致命的な傷害)  $10^{-8}$  回/h 以下 ※参考: 自動車事故の100分の1程度

危害ひどさ S3 (重度及び生命を脅かす傷害)  $10^{-7}$  回/h 以下 ※参考: 自動車事故の10分の1程度

危害ひどさ S2 (軽傷、中程度の傷害)  $10^{-7}$  回/h 以下 ※参考: 自動車事故の10分の1程度

危害ひどさ S1 (傷害無し、機体破損あり)  $10^{-5}$  回/h 以下 ※参考: 自動車故障と同程度

## 6-2 安全方策(本質安全方策・機能安全方策)の検討

製造者は、危険事象の発生確率を下げるための、以下の手順で安全方策を行う。

- ・ 安全方策は、原理的に可能である限り、危険源の直接要因そのものを減らす方策(以下 本質安全方策)により行う。
- ・ 本質安全方策によりリスクが許容可能範囲に低減できない場合は、危険源と人及び物との暴露の確率を減らす方策(以下 機能安全方策)により行う。
- ・ 安全方策の適用の可否はリスク評価(危害のひどさのクラスと危害発生の確率から評価)の結果から決定する。リスク評価の評価基準を満たせずリスク評価結果が“適切ではない”に該当した危険事象に対しては、安全方策を適用しなければならない。(補足、リスク評価結果が“適切である”に該当した危険事象に対しては、安全方策を適用しなくてもよい。)
- ・ 安全方策を適用後に再度リスク評価を実施し、評価基準を満たしリスク評価結果が“適切である”ことを確認した結果を残すこと。(例: リスク評価結果表の「リスクアセスメント結果 ※安全方策適用後」の欄に記載)

- ・ 適用した安全方策は、該当する FT 図にてトップの事象に至ることを防止できる方策であること。なお、作成した FT 図は、適用した安全方策の箇所が追跡できることを配慮する事
- ・ 安全方策の手段は、ハードウェア方策・ソフトウェア方策をどちらかを選択しその内容を明記する。
- ・ 安全方策には検知機能（事象の検知、状態の検知）や制限機能も含まれる
- ・ 安全方策のうち、検知機能を適用する場合は、検知した後のアクションである退避機能についても併せて適用する
- ・ 退避機能は退避の具体的な内容を明確にすること（例：ホバリング、後退、帰還、着陸、緊急停止、飛行禁止など）
- ・ 本質安全方策と機能安全方策によってもリスクがリスク評価基準内に低減できない場合は、安全方策の多重化を行う
- ・ 緊急介入機能（空中停止・緊急帰還・緊急着陸・緊急停止など）については、機能安全方策として実装されていなければならない
- ・ なお、安全方策設定の進め方については、進め方ガイド“安全方策”（別表 5-3）を参照。
- ・ 機能安全方策は、センサやアクチュエータ等のデバイスを用いた電子制御の方策なので故障検知機能（フェールセーフアクション）が実装されている事を大前提とする。
- ・ 補足）農薬とは液剤、粒剤を対象範囲とし、肥料と種子の散布については粒剤と同じ機能が適用される

### 6-2-1 安全方策

検討の結果、抽出された安全方策を危険源毎に以下に示す。なお、安全方策のまとめ一覧については、結果具体例“安全方策結果”（別表 5）を参照。

#### ① 回転体(切傷・物損)

##### 1. プロペラガード

プロペラガード回転するプロペラと人との接触を防ぐための、物理的な機構を有すること。

##### 2. 接触検知機能

機体が人や物に接触したことを検知して、退避動作（ホバリング・後退）を行う機能を有すること。退避動作ができない場合には、プロペラの回転を強制停止する機能を有すること。

##### 3. 墜落検知機能

機体の姿勢制御失陥等で落下が開始したことを検知して、プロペラの回転を強制停止する機能を有すること。

##### 4. 衝突検知機能

機体が衝突したことを検知して、プロペラの回転を強制停止する機能を有すること。

## ② 運動体（墜落）

### 5. 高度制限機能

使用者がどのような操作を行っても、出荷時に予め設定された高度（大人の身長程度）を超えない機能を有すること。

### 6. 強風検知機能

姿勢制御や散布に影響を及ぼす強い風速を検知して、帰還もしくは着陸（離陸時であれば飛行禁止）する機能を有すること。

### 7. 接触検知機能

姿勢制御が失陥する程の強い接触を検知して、後退もしくは着陸する機能を有すること

### 8. 引っ掛かり検知機能

飛行が妨げられる異物が機体に引っ掛かったことを検知して、着陸、もしくは緊急停止する機能を有すること

### 9. 重量検知機能

飛行姿勢が崩れる程の重量物が機体搭載されたことを検知して、飛行禁止（離陸後であれば帰還もしくは着陸）する機能を有すること

### 10. バッテリー残量算出機能

飛行に使用できるバッテリー残量が算出できる機能を有すること。なおバッテリー劣化による残量低下の影響を検出する機能を有すること。

### 11. バッテリー残量低下時退避機能

飛行に使用できる残電気量が低下した場合、墜落を回避するのに十分な残量にて、帰還する機能を有すること

### 12. 異種バッテリー搭載検知機能

品質保証されていない規定外のバッテリーが搭載されたことを検知して、バッテリーから充放電を禁止する機能を有すること。

## ③ -1 運動体（衝突）

### 13. 速度制限機能

使用者がどのような操作を行っても、出荷時に予め設定された上限速度（自転車の速度程度）を超えない機能を有すること。

### 14. 衝撃吸収機構

プロペラガード等にて機体が万が一障害物や人と衝突した際に衝撃を吸収する機構を有すること

### ③-2 運動体（衝突\_飛行エリア逸脱による）

#### 15. 飛行エリア制限機能

飛行エリアを圃場外に設定できない機能を有すること。

#### 16. 方位検出失陥検知機能

機体が故障ではなく環境外乱(GPS 起因、地磁気の攪乱など)により方位検出が失陥した状態を検知して、退避機能として移動を中断しホバリング、着陸する機能を有すること

#### 17. 位置検出失陥検知機能

機体が故障ではなく環境外乱(GPS 起因など)により位置（緯度・経度）検出が失陥した状態を検知して、退避機能として移動を中断しホバリング、着陸する機能を有すること

#### 18. 飛行精度保証機能

指定された飛行経路と実飛行経路との差分の分布が、 $5\sigma < 0.5\text{m}$ (圃場隣接物)であること。  
指定された折り返し地点と実折り返し地点の差分の分布が、 $5\sigma < 0.5\text{m}$ (圃場隣接物)であること。

### ④ 電源（発火）

#### 19. バッテリー過電流防止機能

バッテリーが発火を誘発する高電流（外部短絡など）を検出して、電力供給を遮断する機能を有すること。

#### 20. バッテリー温度保護機能

バッテリーの内部温度が高温状態を検知して、飛行を中断する機能を有すること。また充電の場合は高温状態を検知して充電を中断する機能と、低温状態を検知して充電を中断する機能を有すること。

#### 21. バッテリー過充電防止機能

バッテリー過電圧も含めた過充電に至る前に、充電を遮断する機能を有すること。

#### 22. バッテリー過放電防止機能

バッテリー発火の起因となるレベルの過放電に至る前に、バッテリーからの放電を禁止する機能を有すること

#### 23. バッテリー衝撃検知機能

バッテリーパックに衝撃（バッテリーパックの地面への落下等）が加わったことを検知して、放電や充電を禁止する機能と有する（機体、及び充電機に備える機能でもよい）こと

#### 24. バッテリー充放電回数検知機能

バッテリーの膨張、発火を誘発する充放電の回数の到達を検知して、放電や充電を禁止する機能と有する（機体、及び充電機に備える機能でもよい）こと。但し、セル膨張が起因のセル内部短絡に至らない事を機構で保証しているバッテリーの場合はこの機能が実装されなくてもよい。

25. 墜落検知機能

機体の姿勢制御を失陥等で落下したことを検知して、電源回路を遮断する機能（主に機体に備える機能）を有すること。

26. 衝突検知機能

機体が衝突した事検知して、電源回路を遮断する機能（主に機体に備える機能）を有すること。

⑤ 農薬（大量投下\_圃場内） 補足）農薬とは液剤、粒剤を対象範囲とする

27. 吐出量検知機能

散布中の農薬吐出量（液剤の場合 ml/sec、粒剤の場合 g/sec）を検知する機能を有すること。

28. 吐出量制御機能

農薬吐出量を規定吐出量の±10%の精度で制御する機能を有すること。

29. 散布速度均質性制御機能

散布飛行速度にかかわらず、対象圃場へ均質に農薬散布量を制御する機能を有すること。  
（例：加速減速時の吐出量）

30. 散布経路均質性制御機能

散布飛行経路にかかわらず、対象圃場へ均質に農薬散布量を制御する機能を有すること。  
（例：散布幅に応じた吐出量）

31. 低速飛行時吐出禁止機能

散布中の飛行速度が一定飛行速度を下回った時に、吐出を停止する機能を有すること。

32. 農薬漏れ検知機能

配管故障などによる農薬の漏れを検知する機能を有すること。

33. 吐出緊急遮断機能

農薬の漏れを検知した場合に、吐出を緊急遮断する機能を有すること。併せて継続した大量漏れにならない様、配管経路上にも遮断する機構を有すること。なお、ドローンの飛行機体部分と散布機構部分が付け替え可能であるドローンである場合は、規定外の散布機構が搭載されたことを検知して、吐出を禁止する機能を有すること。

34. 墜落時吐出遮断機能

機体の姿勢制御を失陥して墜落が開始された場合に、吐出を緊急遮断する機能を有すること。

⑥ 農薬（大量投下\_圃場外）補足）農薬とは液剤、粒剤を対象範囲とする

35. 圃場外吐出遮断機能

散布飛行位置が指定圃場外であることを検出して、吐出を遮断する機能を有すること。

⑦ 農薬（飛散）補足）農薬とは液剤、粒剤を対象範囲とする

36. 高度上昇時吐出遮断機能

散布飛行時に散布高度を検出して、一定高度以上になった場合に、吐出を停止する機能を有すること。

37. 強風時吐出遮断機能

散布飛行時に風速を検出して、一定時間継続（3秒間の平均値（風速を気象庁の定める最大瞬間風速の定義※0.25sで計測）して一定風速以上（3m/sec以上※地上防除の指導要綱に定める基準）を検出した場合に、農薬の吐出を停止する機能を有すること。

38. 農薬散布時ドリフト抑制機能

農薬散布時のドリフト抑制する機能を有すること。ドリフト抑制性能の目標として、ドリフト率が散布規定量100%散布区域から、距離3mで0.3%、距離5mで0.1%、距離10mで0.01%以内を目標（地上防除のドリフト性能と同等）とする。なお、本機能は液剤を対象とし、粒剤は対象外とする

⑧ 緊急介入

39. 緊急介入機能

自動運転中に、使用者が緊急介入を行う手段を有すること。緊急介入指令を受けた場合、回避行動はホバリング、帰還、着陸、回転停止（墜落）とする

⑨ サイバーセキュリティ

40. 通信内容の暗号化機能

ドローンの機体との全ての通信経路は、通信を通じた悪意のある第三者からの操作・乗っ取り等を防護できるよう、通信内容を暗号化する機能を有すること

41. 通信相手の認証機能

ドローンの機体との通信は、通信を通じた悪意のある第三者からの操作・乗っ取り等を防護できるよう、送受信する通信相手を認証する機能を有すること

42. プログラム署名認証機能

ドローンのソフトウェアのプログラムは悪意のある第三者からの改竄等を防護できるよう、ソフトウェアのアップデートの際に、プログラムの署名認証の機能を有すること

#### ⑩ フェイルセーフ

##### 4.3. 故障検知機能

故障した場合に危害発生に至る、センサ・デバイス・アクチュエータ・電源・通信等の故障の検知する機能と有すること。故障検知した場合、ホバリング、帰還、着陸、回転停止（墜落）の何れか退避行動・縮退行動を取ること

#### ⑪ 飛行履歴記録

##### 4.4. フライトレコーダー機能

飛行中の機体の制御に関連する入力情報（位置センサ、高度センサ、速度センサ、加速度センサ、姿勢センサ、の時系列変化）、及び出力情報（モーター指令値、ポンプ吐出量指令値、バルブ開閉指令など）について、全記録を残す機能を有すること。

なお、インターロック、部品耐久性監視に関する方策は残留リスクの対応結果（別表 5-1）を参照のこと

#### 6-2-1 残留リスク

- ・ 残留リスクに対しては許容できるレベルになるまで安全方策を追加すること（例：主に機能安全方策、インターロック機能：部品の耐用時間を検出して飛行を禁止する等）
- ・ なお安全方策追加で対応しきれない残留リスクに対しては、対応の内容を明記してユーザーへ確実に認知させること（例：ユーザーアナウンス：液剤希釈率のミス防止のためのステッカー、タブレット確認表示の二重告知、等）
- ・ 残留リスクの対応結果を作成しなければならない。残留リスク対応の具体例は“残留リスク対応結果表”（別表 5-1）を参照。

#### 6-3 妥当性確認

製造者は、安全性の機能が満足しているかを確認する為に、妥当性確認の試験を行う。

なお、農薬散布時のドリフト性能試験については、慣行の地上農薬散布機との性能位置づけを明確する為に、試験を行う。

試験確認、及び提出しなければならない妥当性確認 試験内容は以下とする。

- A) 飛行精度試験
- B) 衝突試験
- C) 散布均質性試験
- D) 散布ドリフト性能試験
- E) 飛行安定性試験

妥当性確認の試験にあたっては、試験の条件と手法、根拠、判定基準が記載される試験仕様が規定され、それに従って実施した試験の結果を試験報告書として作成しなければならない。試験仕様の具体例は“試験仕様”、試験結果の具体例は“妥当性確認試験結果”（別添資料 A, B, C, D, E）を参照。なお、試験報告書のフォーマットについても上記資料に含まれる。

以下に試験の具体例（概要）を示す。

例) 妥当性確認 試験 A 飛行精度試験

・試験方法

代表的な散布を想定した飛行を 30 回以上繰り返し、指定された飛行経路と実飛行経路との差分を計測する。計測値は、測定した全データを頻度解析し  $3\sigma$  の値にて判定をする。

・判定基準

指定された飛行経路と実飛行経路との差分（ $3\sigma$ ）距離が、水平方向  $\pm 30\text{cm}$  以下・高さ方向  $\pm 10\text{cm}$  以下・オーバーラン  $30\text{cm}$  以下 であること。

例) 妥当性確認 試験 B 衝突試験

・試験方法

最高速、及び最大重量にて飛行し、人間を模擬した衝突 G が計測可能な衝突ダミーの頭部に衝突させる。衝撃時に計測された加速度、及びプロペラとの接触有無について計測する。衝突が最も厳しくなる運動エネルギーが最大となる速度・積載量の条件にて実施する

・判定基準

衝撃時に計測された加速度から HIC（Head Injury Criterion 頭部傷害指数）が  $876$  以下であること。及びプロペラ接触が全くないこと。

※HIC 876の根拠：HICとは、自動車「歩行者保護性能試験(認証試験)」の他、航空機、公園・遊具保護マットにも規格として使用される頭部の安全基準。その中での最も安全なレベル(876)の数値から引用。

例) 妥当性確認 試験C 散布均質性試験

・試験方法

圃場内の24地点に感水紙を配置して、圃場内全面を散布し、感水紙の付着量を計測する。全感水紙から集計された落下薬剤密度から算出される散布区域内散布率、及び散布の目標値の達成度、散布バラつきを解析した値から判定をする。

・判定基準

散布区域内 散布率(%) : 80%以上

散布区域内の全地点の落下薬剤密度 標準偏差-平均値 割合(%) 30%以下

散布区域内の全地点の落下薬剤密度 平均値-目標密度割合(%) : ±10%以内

であること

例) 妥当性確認 試験D 散布ドリフト性能試験

・試験方法

圃場周辺の80地点に感水紙を配置して、圃場内全面を散布し、感水紙の付着量を計測する。全感水紙から集計された落下薬剤密度から算出される散布区域内散布率、散布区域境界散布率、及びドリフト率(圃場境界から3m、5m、10m)を解析した値から判定をする。

・判定基準

散布区域内 散布率(%) : 80%以上、散布区域境界散布率30%以上

ドリフト率 圃場境界から3m地点で、0.3%以下、5m地点で0.1%以下、10m地点で0.01%以下であること。

※根拠：地上防除方法(ブームスプレーヤー、背負式動力噴霧器、等)と同等以上の性能

例) 妥当性確認 試験E 飛行安定性試験

・試験方法

自動飛行中において飛行安定性に対して厳しい飛行モードを実施し、姿勢を崩し墜落へ至らない事を評価する。飛行モードについてはドローン飛行理論上、姿勢制御が最も厳しいシビア飛行

モード、及び実際に市場で発生した墜落事故に基づいた墜落事故飛行モードを実施する。なお墜落に影響するバッテリー条件についても充電量上限だけでなく充電量下限の条件も含める。

- ・判定基準

- シビア飛行モード、墜落事故飛行モードの全モードにて墜落なきこと

なお、前述 6-2-1 記載の①～⑪に対する 4.4 の安全方策の機能については全て確認試験を実施するのが望ましい。試験が可能であれば試験結果を添えて提出する。試験が不可能だった場合は、安全方策の機能の実現手段の詳細を提出する。

実現手段の詳細については、機能の実現に対して下記の内容を含めること

- ・ソフトウェア方策の場合は、制御の概要を明記する事。及び入力（センサ等）、出力（デバイス・アクチュエーター等）を明記する事
- ・ハードウェアが関連する場合は、構成や機構を明記する事

フォールト注入試験については、故障発生時の挙動の妥当性を判断するのも含めるため実機状態が好ましいが、システム結合状態の机上試験、コンポーネント単位での試験で代替可能な場合は、その試験結果での報告も許容する

なおソフトウェアについても、制御ロジック（パラメータ設定値も含む）の検証結果を残すこととする。

以下に試験の具体例の一部を示す。

例) 安全方策 バッテリー衝撃検知機能の妥当性確認試験

- ・試験方法

- バッテリーパック単体を高さ 1m からコンクリート地面に落下させたあと、ドローン機体に搭載し起動する。及び充電器に搭載し充電器を起動する

- ・判断基準

- ドローン機体に搭載し起動しても、バッテリーから放電が遮断されること。及び充電器に搭載し充電器を起動してもバッテリーへの充電が遮断されること。

例) 安全方策 緊急介入機能の妥当性確認試験

- ・試験方法

風・機体速度共に最悪条件にて飛行中に、緊急停止操作を実施する

- ・判断基準

緊急介入指令後、1sec 以内に退避行動が実行され、且つ危険な挙動がなきこと。

例：安全方策 故障検知機能の妥当性確認試験

- ・試験方法

システム搭載の各センサ、各デバイスに対して想定されるパターンの故障を発生させて、故障の検知の可否、及び故障検知後の挙動を確認する。

- ・確認基準

故障が確実に検知されること。及び故障検知後、想定通りの行動が実施され、且つ危険な挙動がなきこと。

#### 6-4 使用上の情報の提供

- ・ 製造者は、使用者に対し、自動運転ドローンを安全に管理、販売又は使用するために必要な情報を、訓練、教習又は説明により提供すること。
- ・ 本質安全方策、機能安全方策により低減が可能であるリスクの低減については、管理上、販売上又は使用上の情報の提供で代替してはならない。

#### 6-5 登録

- ・ 製造者は、リスクアセスメントの結果、実施した保護方策の内容、性能の検証結果を、国に登録すること。
- ・ 登録内容は結果まとめ、及び 導出の裏付けに関連する資料である下記の全資料とする
- ・ A) 結果のまとめ
  - A-1) 危険源の同定結果
  - A-2) 危険事象の同定結果
  - A-3) 危害の発生確率
  - A-4) 安全方策
  - A-5) リスク評価結果
  - A-6) 妥当性確認 試験結果

#### A-7) 残留リスク対応結果

#### B) 結果の導出の裏付け資料

B-1) FT 図 (①回転体 人身傷害、②回転体 物損、③運動体衝突、④運動体墜落、  
⑤電源発火、⑥薬剤大量投下 圃場内、⑦農薬大量投下 圃場外、⑧薬剤飛散過大)

B-2) 確率表

#### C) 同定の導出の裏付け資料

C-1) 危険源同定リスト

C-2) 状態遷移図

C-3) 対象アイテムと個別事象 組合表

#### D) システム及び機能の裏付け資料

D-1) ハードウェア アイテム一覧

D-2) システム構成図 (通信系・電源系)

D-3) ソフトウェア機能構造図 (機能役割・入出力情報)

### 6-6 事故報告

製造者は、事故、故障、事故を引き起こしうる状況等が発生した場合には、状況及び対応内容を記録し国に速やかに連絡すること。

### 7. 販売者の取組

- ・ 販売者は、製造者が指定した販売上の訓練、教習又は説明を受講すること。
- ・ 販売者は、製造者から得られた販売上の情報に基づき、自動運転ドローンを販売すること。
- ・ 販売者は、使用者に対し、自動運転ドローンを安全に使用するために必要な事項を提供すること。
- ・ 販売者は、使用者に対し、必要に応じて自動運転ドローンの使用に関する訓練、講習会又は説明を行うこと。
- ・ 販売者は、自動運転ドローンに係る負傷事故や安全上の重大な故障等があった場合に、製造者に連絡するとともに、被害防止の観点から、迅速な対応できる体制を整えること。

### 8. 使用者の取組

- ・ 使用者は、製造者が指定した使用上の訓練、教習又は説明を受講すること。
- ・ 使用者は、製造者から提要される使用上の情報、リスクの存在、保護方策を理解し、自動運転ドローンの使用を想定している圃場やその周辺における環境等を確認した上で適切に判断すること。

- ・ 使用者は、人的事故、物的事故、安全に関わる故障、又は事を引き起こしうる状況等が発生した場合には、速やかに製造者又は販売者に連絡すること。
- ・ 自動運転ドローンの安全性向上等の観点から、製造者、販売者に対して、使用を通じて得られた安全性の確保等に関する情報を提供すること。
- ・ 農薬取締法を遵守すること。農薬取締法に定められた、適用作物、希釈倍数、使用液量、使用時期を守ること。
- ・ 航空法を遵守すること。航空法に定められた、航空法に基づく許可書・承認書の原本又は写しを携帯すること。

## 9. 国の施策

- ・ リスクアセスメントの高度化に資するため、製造者が実施したリスクアセスメントに関する情報提供を求める。
- ・ 農業用自動運転ドローンの使用に際して発生した、事故及び故障に関する情報を収集する。
- ・ 自動運転農業ドローンのリスクアセスメントの高度化を図るため、関係者に情報提供する。