

無人航空機性能評価手順書

Ver.1.0

(長距離飛行ミッション編)

2020年5月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

本性能評価手順書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構が、経済産業省「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」の一環として、ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発事業を国立研究開発法人産業技術総合研究所に委託し、同事業における研究成果を取りまとめたものである。

目次

第1章 概要	1
1.1 目的	1
1.2 対象無人航空機	2
1.3 性能評価手順	3
1.4 関連文書	3
第2章 ミッション関連性能項目	4
2.1 性能項目の全体像	4
2.1.1 検討方針	4
2.1.2 検討結果	4
2.2 ミッション概観	7
2.2.1 ミッション前提条件	7
2.2.2 福島ロボットテストフィールドにおける長距離飛行	7
2.3 対象とする性能項目	9
第3章 性能評価手順	10
3.1 離陸に係る性能項目	10
3.1.1 基本飛行性能(離着陸性能)	10
3.2 飛行に係る性能項目	10
3.2.1 基本飛行性能(航続距離)	10
3.2.2 基本飛行性能(飛行安定性)	10
3.2.3 基本飛行性能(誘導精度)	10
3.2.4 異常発生時の落下防止に関する性能(異常回復)	10
3.2.5 異常発生時の落下防止に関する性能(飛行経路逸脱防止)	10
3.2.6 落下時の接触防止に関する性能(落下時の警告)	10
3.2.7 落下時の接触防止に関する性能(落下分散)	10
3.2.8 地上の第三者への危害軽減に関する性能(対人衝突)	11
3.2.10 耐気象環境性能(耐風性能)	11

3.2.11 耐気象環境性能(耐雨性能)	11
3.2.12 耐電磁環境性能(耐電波干渉性能)	11
3.2.13 環境負荷性能(騒音)	11
3.3 着陸に係る性能項目	11
3.3.1 基本飛行性能(離着陸性能)	11
3.3.2 基本飛行性能(誘導精度)	11
第4章 UTM 接続	12

図目次

図 1	性能項目の全体像の検討ステップ	4
図 2	福島ロボットテストフィールドの滑走路(左:南相馬、右:浪江)	7
図 3	南相馬滑走路から浪江滑走路間の長距離飛行イメージ	8
図 4	南相馬滑走路から浪江滑走路間の長距離飛行ルート(案)	8

表目次

表 1	無人航空機性能評価基準検討委員会構成員	2
表 2	性能項目の全体像	5

第1章 概要

1.1 目的

本性能評価手順書(以下、「本書」と略記)は、今後レベル 3 やレベル 4 の展開と共に増加することが期待される無人航空機の長距離飛行ミッションの検証に資する性能評価手順を定めることを目的とする。具体的には、所定の飛行ルートにおいて長距離飛行試験を実施することを想定し、その際に評価すべき性能項目を整理すると共に、その性能評価手順を示す。各性能項目に関する性能評価の考え方、試験方法及び試験施設・設備・機器、性能評価基準例については、関連文書(1.4 参照)の各無人航空機性能評価手順書を参照する形式とした。

本書を活用した長距離飛行試験が可能な飛行ルート例としては、福島ロボットテストフィールドの南相馬滑走路から浪江滑走路間の飛行ルート等の整備が期待される。

無人航空機の技術開発は急速に進んでいる。技術の進歩等により、本書で規定された性能評価手順は、実情に合わなくなることが予想される。性能項目についても、新規で追加すべき項目や規定する必要性がなくなる項目が発生すると考えられる。したがって、本書の内容は、タイムリーに更新される必要がある。

なお、本書の作成に当たっては、表 1 に示す委員で構成される無人航空機性能評価基準検討委員会に諮り、議論を行った。

表 1 無人航空機性能評価基準検討委員会構成員

委員	河村 暁子	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 監視通信領域 主幹研究員
委員	佐々木 徹	一般社団法人日本航空宇宙工業会 技術部 部長
委員	鈴木 真二	一般社団法人日本 UAS 産業振興協議会 理事長
委員	野波 健蔵	一般社団法人日本ドローンコンソーシアム 会長
委員	原田 賢哉	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ 研究領域主幹
委員	三浦 龍	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター 上席研究員
委員	山本 善彦	マクセル株式会社 エナジー事業本部 電池事業部 企画部 企画課 課長
委員	和田 昭久	一般社団法人日本産業用無人航空機工業会 理事
オブザーバ	経済産業省 製造産業局 産業機械課 ロボット政策室	
オブザーバ	国土交通省 航空局 安全部 安全企画課	
オブザーバ	国土交通省 航空局 安全部 航空機安全課	
オブザーバ	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI 部	
オブザーバ	国立研究開発法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門	
オブザーバ	国立大学法人東京大学	
オブザーバ	独立行政法人労働者健康安全機構	
オブザーバ	イームズロボティクス株式会社	
オブザーバ	株式会社自律制御システム研究所	
オブザーバ	株式会社プロドローン	

1.2 対象無人航空機

本書は、航空法第 2 条 22 項及び航空法施行規則第 5 条の 2 で規定される無人航空機のうち、回転翼型の小型無人航空機を対象としており、各章の記述のなかで対象とする無人航空機の機種が限定される場合には、その機種名を明記する。以下に航空法第 2 条 22 項及び航空法施行規則第 5 条の 2 の条文を示す。

航空法第 2 条 22 項

第 2 条 この法律において「航空機」とは、人が乗って航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船その他政令で定める機器をいう。

22 項 この法律において「無人航空機」とは、航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空

機、滑空機、飛行船その他政令で定める機器であつて構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦(プログラムにより自動的に操縦を行うことをいう。)により飛行させることができるもの(その重量その他の事由を勘案してその飛行により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として国土交通省令で定めるものを除く。)をいう。

航空法施行規則第5条の2

航空法第二条第二十二項の国土交通省令で定める機器は、重量が二百グラム未満のものとする。

1.3 性能評価手順

性能評価手順は、性能評価の考え方、性能評価基準、試験方法、試験施設・設備・機器から構成される。性能評価の考え方では、性能項目の目的や概要を示す。性能評価基準では、性能ランク(最大幅でランク0からランク8までの9段階)を設定するとともに、各性能ランクの定義や閾値を示す。性能ランクは、各性能項目の性能を測る物差しとなりうる。試験方法では、試験の概要、試験実施体制、試験系のシステム構成、計測データの解析方法、試験手順等を示す。試験施設・設備・機器では、試験で使用する施設、設備、機器を概説する。

屋内での飛行試験が可能な小型の回転翼機と屋内での飛行試験が不可能な中大型の固定翼機の試験方法が当然ながら異なるように、機種の違いに伴い、試験方法が異なる。また、エンジン駆動の機体とバッテリー駆動の機体とでは、性能項目によっては、試験方法が異なる。さらに、同一の性能項目においても、物流応用、災害対応、目視外飛行、第三者上空飛行等の適用分野に応じて、同一の機体であっても、性能評価手順が異なることに留意する。

1.4 関連文書

本書の関連文書を以下に示す。本書の「第3章 性能評価手順」では、下記の性能評価手順書を参照している。

- 無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)
- 無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)

第2章 ミッション関連性能項目

2.1 性能項目の全体像

2.1.1 検討方針

諸外国の規制文書や標準規格等にもとづき、無人航空機の性能項目の全体像を整理した。具体的には、以下の3ステップで性能項目の全体像を整理し、その結果を俯瞰することにより、性能項目区分を検討した(図1参照)。

- STEP1: 諸外国の規制文書等から無人航空機の要件を整理
 - 対象とした規制文書等: 米国、英国、仏国、中国、EASA、カナダ、豪州、スイス、シンガポールの規制文書等
- STEP2: 標準規格から無人航空機の性能規格を整理
 - 対象とした標準規格: ASTM規格、UL規格のうち、無人航空機の機体やコンポーネントに関する標準規格
- STEP3: 性能項目の全体像を俯瞰し、性能項目区分を整理
 - STEP1及びSTEP2の整理結果にもとづき、性能項目の全体像を俯瞰し、無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の性能項目も踏まえて、適切な性能項目区分を検討

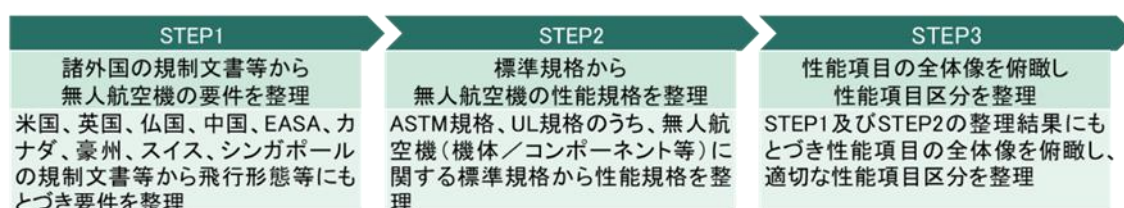


図1 性能項目の全体像の検討ステップ

2.1.2 検討結果

検討方針にもとづき検討した結果、性能項目区分は、飛行性能、安全性能、信頼性能、耐久性能、耐環境性能、環境負荷性能に分けられた。飛行性能は、基本飛行性能、離着陸性能に分けられた。安全性能は、衝突回避に関する性能、異常発生時の落下防止に関する性能、落下時の接触防止に関する性能、地上の第三者への危害軽減に関する性能に分けられた。信頼性能は、システム全般に関する性能、通信系統に関する性能、推進系統に関する性能、電気系統に関する性能、自動制御系統に関する性能に分けられた。耐環境性能は、耐気象環境性能、耐周囲環境性能、耐電磁環境性能、耐危険環境性能に分けられた。また、性能項目区分と紐づくかたちで性能項目例も整理した(表2参照)。

表 2 性能項目の全体像

性能項目区分		性能項目例
飛行性能	基本飛行性能	飛行速度
		航続時間
		航続距離
		飛行高度
		積載重量
		飛行安定性
		誘導精度
	離着陸性能	基本離着陸性能 (離発着面積等)
	狭隘空間における離着陸性能	
安全性能	衝突回避に関する性能	視認性
		衝突回避
	異常発生時の落下防止に関する性能	飛行継続(異常回復)
		飛行継続(飛行経路逸脱防止)
	落下時の接触防止に関する性能	落下時の警告
		落下分散
	第三者への危害軽減に関する性能	対人衝突
		切創
		落下速度低減
		落下時の衝撃吸収
発火・誘爆		
信頼性能	システム全般に関する性能	システム全般
		HW 全般
		SW 全般
		冗長性
	通信系統に関する性能	アンテナ
		送信機
		受信機
		テレメトリ
		通信品質・セキュリティ
	推進系統に関する性能	推進システム
		冷却システム
	電源系統に関する性能	バッテリー

		ジェネレータ	
		ケーブル	
	自動制御系統に関する性能	慣性計測装置(IMU)	
		フライトコントローラ(FC)	
		航法機器	
耐久性能		寿命	
		強度	
		耐食性	
耐環境性能	耐気象環境性能	耐風	
		耐雨	
		耐雪	
		耐氷	
		耐雷	
		耐静電気	
		耐温度	
		耐湿度	
		耐結露	
		耐高度	
	耐周囲環境性能	耐塩霧	
		耐砂塵	
		耐かび	
	耐電磁環境性能	耐電波干渉・耐電波妨害	
	耐危険環境性能	耐防爆	
		耐放射熱	
		耐化学	
		耐生物	
		耐放射性雰囲気	
	環境負荷性能		騒音

2.2 ミッション概観

2.2.1 ミッション前提条件

本書が扱うミッションは、「長距離飛行ミッション」である。長距離飛行ミッションの前提条件を以下に示す。

- 長距離飛行ミッションの前提条件
 - 10km 程度の長距離を飛行する。
 - 目視外を飛行する。
 - 第三者上空を飛行する。
- 上記長距離飛行を実現するための環境条件
 - 上記長距離飛行に適した気象環境や通信環境が確保されていること。
 - UTM に接続すること。
 - UTM に申請した飛行計画にもとづき、飛行経路を正しく飛行すること。飛行経路を正しく飛行したかどうかは、テレメトリ情報をもって検証すること。

2.2.2 福島ロボットテストフィールドにおける長距離飛行

本書を活用した長距離飛行試験が可能な飛行ルートの例として、「福島ロボットテストフィールドの南相馬滑走路から浪江滑走路の長距離飛行」が挙げられる。南相馬滑走路は、南北方向に 500m×20m のアスファルト舗装された滑走路であり、緩衝地帯は滑走路を含む幅 200m である。浪江滑走路は、東西方向に 400m×20m のアスファルト舗装された滑走路であり、緩衝地帯は滑走路を含む幅 100m である(図 2 参照)。両滑走路間の距離は約 13km である(図 3 参照)。飛行ルートの設定に際して、送電設備への接近を最小限に留め、巨大構造物が少なく、第三者上空を飛行する可能性が低いルートを選定する。2020 年 2 月末日時点において、飛行ルートは検証中であり、飛行ルートは最新状況を踏まえること。飛行ルート案を図 4 に示す。



図 2 福島ロボットテストフィールドの滑走路(左:南相馬、右:浪江)

画像出典: 福島ロボットテストフィールド提供



図 3 南相馬滑走路から浪江滑走路間の長距離飛行イメージ

画像出典: 福島ロボットテストフィールド提供



図 4 南相馬滑走路から浪江滑走路間の長距離飛行ルート(案)

画像出典: 株式会社ゼンリン作成・提供

2.3 対象とする性能項目

長距離飛行ミッションに関連する性能項目について、離陸に係る性能項目、飛行に係る性能項目、着陸に係る性能項目に分類し、以下に示す。また、離陸前には、UTM への接続、通信カバレッジの確認、気象条件の確認を行うことが重要である。

- 離陸前の確認事項
 - UTM への接続
 - 通信カバレッジの確認
 - 気象条件の確認

- 離陸に係る性能項目
 - 基本飛行性能(離着陸性能)

- 飛行に係る性能項目
 - 基本飛行性能(航続距離)
 - 基本飛行性能(飛行安定性)
 - 基本飛行性能(誘導精度)
 - 異常発生時の落下防止に関する性能(異常回復)
 - 異常発生時の落下防止に関する性能(飛行経路逸脱防止)
 - 落下時の接触防止に関する性能(落下時の警告)
 - 落下時の接触防止に関する性能(落下分散)
 - 地上の第三者への危害軽減に関する性能(対人衝突)
 - 地上の第三者への危害軽減に関する性能(切創)
 - 耐気象環境性能(耐風性能)
 - 耐気象環境性能(耐雨性能)
 - 耐電磁環境性能(耐電波干渉性能)
 - 環境負荷性能(騒音)

- 着陸に係る性能項目
 - 基本飛行性能(離着陸性能)
 - 基本飛行性能(誘導精度)

第3章 性能評価手順

3.1 離陸に係る性能項目

3.1.1 基本飛行性能(離着陸性能)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 4.4」を参照すること。

3.2 飛行に係る性能項目

3.2.1 基本飛行性能(航続距離)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 5.2.1」を参照すること。

3.2.2 基本飛行性能(飛行安定性)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)の 5.1」を参照すること。

3.2.3 基本飛行性能(誘導精度)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)の 5.2」を参照すること。

3.2.4 異常発生時の落下防止に関する性能(異常回復)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 6.6.2」を参照すること。

3.2.5 異常発生時の落下防止に関する性能(飛行経路逸脱防止)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 6.6.2」を参照すること。

3.2.6 落下時の接触防止に関する性能(落下時の警告)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 6.6.3」を参照すること。

3.2.7 落下時の接触防止に関する性能(落下分散)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)の 5.3」を参照すること。

3.2.8 地上の第三者への危害軽減に関する性能(対人衝突)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)の 5.4」を参照すること。

3.2.9 地上の第三者への危害軽減に関する性能(切創)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)の 5.5」を参照すること。

3.2.10 耐気象環境性能(耐風性能)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 4.3」を参照すること。

3.2.11 耐気象環境性能(耐雨性能)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 4.5.1.4」を参照すること。

3.2.12 耐電磁環境性能(耐電波干渉性能)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 4.5.3.1」を参照すること。

3.2.13 環境負荷性能(騒音)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 4.7.1」、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)の 5.6」を参照すること。

3.3 着陸に係る性能項目

3.3.1 基本飛行性能(離着陸性能)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(目視内及び目視外飛行編)の 4.4」を参照すること。

3.3.2 基本飛行性能(誘導精度)

具体的な性能評価手順は、「無人航空機性能評価手順書 Ver.1.0(第三者上空飛行編)の 5.2」を参照すること。

第4章 UTM 接続

福島ロボットテストフィールドの南相馬滑走路から浪江滑走路間における長距離飛行に際して、離陸前に UTM に接続することが重要である。離陸前、飛行中、着陸後における UTM とのやり取りイメージは以下のとおりである。

- 離陸前
 - UTM に接続する。UTM に接続することにより、飛行ルートや緊急着陸場等に関する地図情報や気象情報が得られる。
 - 飛行計画を UTM に申請する。飛行計画の不備や他の飛行計画との干渉がないことが確認された後、飛行申請が許可される。

- 飛行中
 - 機体の位置や状態(バッテリー電圧等)に関するテレメトリ情報を UTM にリアルタイムで送信する。
 - 干渉等のインシデントが発生した場合は、自律的もしくはオペレータの操作を介して、回避行動をとること。

- 着陸後
 - UTM に申請した飛行計画にもとづき、飛行経路を正しく飛行したかどうかは、テレメトリ情報をもって検証を行うこと。
 - 長距離飛行ミッションを振り返り、ランク付けを行うこと。ランク付け例を以下に示す。
 - ◇ A ランク:全長 13km を 15 分で飛行
 - ◇ B ランク:全長 13km を 20 分で飛行
 - ◇ C ランク:全長 13km は飛行できず、10km 程度を飛行
 - ◇ D ランク:全長 13km は飛行できず、5km 程度を飛行
 - ◇ E ランク:D ランクをみたさない

なお、本書に記載している事項については、研究開発プロジェクト※の成果の一部であり、機体やシステムの安全性や信頼性を保証するものではない。本書に基づく試験等など本書の利用に関連して利用者または第三者に生じた損害について、一切の責任を負わないものとする。

※ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

プロジェクト期間は 2017 年度～2021 年度の 5 年間

https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100080.html