

RMD-135 Rev.01

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
(NEDO)

次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクト
(ReAMo プロジェクト)



無人航空機の型式認証等の取得のためのガイドライン
安全基準セクション 135 重要な部品(フライトエッセンシャル
パーツ) 解説書

2024 年 3 月

無人航空機の認証に対応した証明手法の事例検討
135 サブ WG 重要な部品(フライトエッセンシャルパーツ)

目次

1	目的.....	3
2	対象の基準「サーキュラー」(引用).....	3
3	「航空局ガイドライン」(引用).....	3
4	解説書.....	5
4.1	サーキュラーNo.8-001 本文に対する解説.....	5
(1)	フライトエッセンシャルパーツの条件.....	6
(2)	セクション 135 の作業の流れ.....	6
(3)	「制限寿命」の考え方(特定された部品をフライトエッセンシャルパーツに 設定する場合).....	7
4.2	「航空局ガイドライン」:基準の概要に対する解説.....	7
(1)	安全性評価の手法.....	7
(2)	「フライトエッセンシャルパーツの特定範囲」の解説.....	7
(3)	検討する対象の粒度(ソフトウェアの扱いを含む).....	8
4.3	「航空局ガイドライン」:適合性証明方法(MoC)に対する解説.....	8
(1)	「フライトエッセンシャルパーツ特定解析書(MoC 3)」の解説.....	8
(2)	「特定解析作業」の流れ.....	9
(3)	「フライトエッセンシャル S/W 特定解析書(MoC 3)」の解説.....	9
Appendix 1	簡易 FMEA の記載例.....	10
Appendix 2	関連資料(JIS W 0711)の説明.....	11
Appendix 3	各セクション特有の用語集.....	12
Appendix 4	関連文書.....	13
Appendix 5	サブ WG の構成員名簿.....	14

1 目的

本解説書は「無人航空機の型式認証等の取得のためのガイドライン」(以降、「航空局ガイドライン」という)安全基準セクション「セクション 135 重要な部品(フライトエッセンシャルパーツ)(以降、「セクション 135」と呼ぶ)」に対する解説書である。

なお、解説対象とする文書は国土交通省航空局から 2022 年(令和 4 年)12 月 2 日発行時点の航空局ガイドラインとする。解説対象に関する詳細は本冊(RMD Rev.01)1.2 を参照すること。

2 対象の基準「サーキュラー」(引用)

「サーキュラーNo.8-001」無人航空機の型式認証等における安全基準及び均一性基準に対する検査要領”(以降、「サーキュラーNo.8-001」と呼ぶ)」の「135 重要な部品(フライトエッセンシャルパーツ)」を以下に引用する。

・135 重要な部品(フライトエッセンシャルパーツ)

- (a) フライトエッセンシャルパーツとは、その不具合により計画外飛行又は回復できない制御不能につながる部品である。
- (b) もし型式設計がフライトエッセンシャルパーツを含む場合、申請者はフライトエッセンシャルパーツリストを作成しなければならない。申請者はフライトエッセンシャルパーツの不具合を防ぐために必須となる整備手順若しくは制限寿命又はその両方を設定し、定義しなければならない。その必須となる処置は、ICA の無人航空機等の安全性を確保するために必須となる点検及び整備の章に記載しなければならない。

3 「航空局ガイドライン」(引用)

「航空局ガイドライン」安全基準「セクション 135」の「基準の概要」、「適合性証明方法(MoC)」、「その他参考となる情報」を以下に引用する。

・135 重要な部品(フライトエッセンシャルパーツ)

基準の概要

本基準は、無人航空機における設計の弱点を洗い出し、それらに対し整備処置の設定を要求するものです。なお、ここで「その不具合」とは複合故障ではなく、単一故障又はエラーを指します。フライトエッセンシャルパーツには、電気・電子部品、構造部品、ソフトウェアを含む機器、装備品など無人航空機を構成する部品及び関連システムのすべての部品が含まれます。

適合性証明方法(MoC):0, 1, 3

(a): セクション 135 フライトエッセンシャルパーツ特定解析書 (MoC 3)

フライトエッセンシャルパーツの特定には安全性解析として FHA (Functional Hazard Analysis)、FTA (Fault Tree Analysis)、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) などが有効です。FHA、FTA、FMEA の実施が困難な場合は、簡易版 FMEA として、すべての部品に対し、その部品が喪失または誤作動を起す要因として考えられる故障モードの列挙、その影響評価を行い、計画外飛行又は回復できない制御不能を引き起こす部品を抽出する方法があります。簡易版 FMEA にて評価する場合の参考として、以下にフライトエッセンシャルパーツ特定解析書(イメージ)を示します。

フライトエッセンシャルパーツ特定解析書(イメージ)

No.	P/N	Nomen	計画外飛行①	① が No の理由		制御不能②	② が No の理由		フライトエッセンシャルパーツ
				故障モード	対策		故障モード	対策	
1	012-xxxx	カウル(ケース)	No	破断	見栄えのため の部品 であり 性能要 求がな いた め。 Ref. Doc xxx	No	破断	見栄えのため の部品 であり 性能要 求がな いた め。 Ref. Doc xxx	NA
2	012-xxxx	BBB	Yes	=	=	Yes	=	=	○
3									
4									

フライトエッセンシャル S/W 特定解析書(イメージ)

No.	P/N	Nomen	Ver.	S/W エラーで計画外飛行になるか①	① が No の理由	セクション 110/135(b)適用 S/W
1	980-XXX	ZZZ	A	No	別の S/W がカバー	No
2	980-XXX	YYY	B	Yes	=	○
3						

(b): フライトエッセンシャルパーツリスト (MoC 0, 1)

(a)項で抽出した結果をフライトエッセンシャルパーツリストにまとめるとともに、フライトエッセンシャルパーツに対し、整備手順若しくは制限寿命又はその両方を設定します。制限寿命については、例えばバッテリーなど部品単体の寿命が決まっていればその寿命を記載します。構造部品については、セクション 315 疲労試験で証明された時間を設定します。寿命がない部品については、使用前点検、定期点検などの整備手順について検討します。

該当する部品の寿命が無人航空機の使用寿命よりはるかに長いものは、寿命の設定は不要ですが、使用前点検、定期点検の要否について検討する必要があります。寿命がなく整備手順も不要のフライトエッセンシャルパーツについてはその理由の説明が必要となります。

最後に設定した整備手順若しくは制限寿命又はその両方を ICA の無人航空機等の安全性を確保するために必須となる点検及び整備の章に記載します。ICA は、セクション 205 に従って適合性を証明します。

※「検査のポイント」および「検査者の関与度(LOI)」については引用記載しない

その他参考となる情報

なし。

4 解説書

4.1 サーキュラーNo.8-001 本文に対する解説

・135 重要な部品(フライトエッセンシャルパーツ)

- (a) フライトエッセンシャルパーツとは、その不具合により計画外飛行又は回復できない制御不能につながる部品である。
- (b) もし型式設計がフライトエッセンシャルパーツを含む場合、申請者はフライトエッセンシャルパーツリストを作成しなければならない。申請者はフライトエッセンシャルパーツの不具合を防ぐために必須となる整備手順若しくは制限寿命又はその両方を設定し、定義しなければならない。その必須となる処置は、ICA の無人航空機等の安全性を確保するために必須となる点検及び整備の章に記載しなければならない。

[引用:サーキュラーNo.8-001]

サーキュラーNo.8-001の本セクションには、“フライトエッセンシャルパーツとは、その不具合により計画外飛行又は回復できない制御不能につながる部品である。”と説明されており、「セクション 005 定義(以降、「セクション 005」と呼ぶ)」には:

-計画外飛行とは、無人航空機が当初計画された着陸地点まで、計画どおりに飛行を完了できないことを意味する。これには、無人航空機の制御下における地表面、障害物などへの衝突または深刻若しくは回復不可能な高度の喪失が含まれる。計画外飛行には、パラシュートなどの回収システムの展開による運用者が指定したりカバリーゾーン外の計画外の着陸も含まれる;

-制御不能とは、無人航空機の制御された飛行状態からの意図しない逸脱を意味する。これには、逆効きまたは縦、横若しくは方向の安定性および操縦性の過度な喪失が含まれる。また、地表面への制御不可能な衝突の可能性が高い計画外または命令外の姿勢への変化が含まれる。

制御不能とは、きりもみ、制御権限の喪失、空力安定性の喪失、飛行特性の発散または同様な事象

を意味し、一般的に墜落につながる状態である。

と説明されている。

計画外飛行と制御不能については、「安全基準の各セクションにおける「安全」等の用語の解釈”(以降、「安全」等の解釈”)においても、全体および各セクションについて解説されているように、本セクションだけ、他セクションと異なり、「回復できない制御不能」と”回復できない”ものに限定された要求となっている。”「安全」等の解釈”では、「(回復できない)制御不能」と、括弧付きにすることで、「回復できない」を薄めた解説となっていることもあり、安全性評価において、回復できる／できないが区別できるレベルの解析は必ずしも必要ない。

(1) フライトエッセンシャルパーツの条件

フライトエッセンシャルパーツとは、その不具合により計画外飛行または回復できない制御不能につながる部品である。

「計画外飛行」の解説(ガイドライン 005 定義より)

「(b) 計画外飛行:計画外飛行とは、無人航空機が当初計画された着陸地点まで、計画どおりに飛行を完了できないことを意味する。

これには、無人航空機の制御下における地表面、障害物等への衝突又は深刻若しくは回復不可能な高度の喪失が含まれる。

計画外飛行には、パラシュート等の回収系統の展開による運用者が指定したリカバリーゾーン外の計画外の着陸も含まれる。」

「回復できない制御不能」の解説(ガイドライン 005 定義より)

「(a) 制御不能:制御不能とは、無人航空機の制御された飛行状態からの意図しない逸脱を意味する。これには、逆効き又は縦、横若しくは方向の安定性及び操縦性の過度な喪失が含まれる。また、地表面への制御不可能な衝突の可能性が高い計画外又は命令外の姿勢への変化が含まれる。

制御不能とは、きりもみ、制御権限の喪失、空力安定性の喪失、飛行特性の発散又は同様な事象を意味し、一般的に墜落につながる状態である。」

(2) セクション 135 の作業の流れ

安全性評価で「フライトエッセンシャルパーツ特定解析書」を作成

※MoC3

↓

上記のフライトエッセンシャルパーツ特定結果から「フライトエッセンシャルパーツリスト」を作製

※MoC0,1

↓

フライトエッセンシャルパーツと特定された部品に対し、整備手順若しくは制限寿命またはその両方

を設定し、ICA に記載する。

☆設定するのは「整備手順」と「制限寿命」のどちらかでも良く、両方でも良い

(3) 「制限寿命」の考え方(特定された部品をフライトエッセンシャルパーツに設定する場合)

フライトエッセンシャルパーツの不具合を防ぐために制限寿命は平均故障間隔 MTBF(Mean Time Between Failures)などを用いる必要があるが、部品の制限寿命がデータ不足で定義できない場合や、部品メーカーから提示されない場合もある。その場合は申請者側での試験・運用実績を根拠として設定することも可能である。例えば、安全基準「セクション 315 疲労試験(以降、「セクション 315」と呼ぶ)では申請者は、実機での飛行試験をベースに、実機での飛行実績をベースに、実証で確認された最大寿命を 2 で割った値とする(ノックダウンファクター 2 を採用する)ことで機体の制限寿命を設定する手法が提案されており、フライトエッセンシャルパーツについても同様に、例えば「相当の負荷で 200 時間使用の確認を行ったので、制限時間をその 1/2 の 100 時間とする」のように設定することが可能と考える。

4.2 「航空局ガイドライン」: 基準の概要に対する解説

(1) 安全性評価の手法

本解説書では、第二種型式認証におけるフライトエッセンシャルパーツの特定のため、安全性解析の一つである「簡易 FMEA」を用い、それを別項で解説する。

※別項: Appendix 1 簡易 FMEA の記載例

(2) 「フライトエッセンシャルパーツの特定範囲」の解説

フライトエッセンシャルパーツと判断する考え方を整理する。セクション 135 の目的は『飛行に関して重要な部品(その不具合により計画外飛行または回復できない制御不能につながる部品)の不具合を防ぐために必須となる整備手順若しくは制限寿命またはその両方を設定し、定義(し、ICA に記載)すること』であり、「使用者が無人航空機ならびに装備品、部品および落下傘等ならびに関連システム(AE)に対して、適切に点検および整備を行う」際に必要な ICA 作成情報の一部を特定しなければならない。

航空局ガイドラインでは「複合故障ではなく、単一故障又はエラーを指す」とあり、本解説書では一例として「簡易 FMEA」を用いてフライトエッセンシャルパーツの特定を行う。ただし、下記のようなケースで単一故障ではそのフライトの「計画外飛行または回復できない制御不能」につながらないケースがあるが、着陸後の点検や次回の飛行前点検では「不具合」と判断され交換、修理となる部品はフライトエッセンシャルパーツとして特定することも、申請者の判断で可能である。

単一故障で計画外飛行または回復できない制御不能にならないが、フライトエッセンシャルパーツとして特定しえるものの例

- 例1) マルチコプターのモータ・ESC・プロペラ破損
- 例2) 並列接続バッテリーパックの電力供給機能喪失

上記の例では機体側のフェールセーフ機能によりそのフライトでは「計画外飛行または回復できない制御不能」には陥らないが、次回のフライトでは点検や整備で不具合対応がされる為、申請者の判断でフライトエッセンシャルパーツと選定することも可能である。セクション 135 のフライトエッセンシャルパーツとして特定されなかったとしても、申請者が「セクション 205 ICA(以降、「セクション 205」と呼ぶ)」の ICA に記載することに問題はない。しかしサーキュラーNo.8-001 のセクション 135 には「その不具合」に対して「複合故障ではなく、単一故障またはエラーを指す」とは記載されておらず、サーキュラーNo.8-001 の記述に対しては不整合のない特定方法と考えられる。

申請者側の判断で「単一故障またはエラー」では「計画外飛行または回復できない制御不能につながる部品」でないと「特定」する範囲を広めに解釈してフライトエッセンシャルパーツとする方が適切な場合もある。申請者はユーザーが安全な運行や整備を行う為の検討を行い、ICA に記載するパーツを特定する必要がある。

セクション 300 における耐久性および信頼性の立証は、無人航空機システムが適切に点検・整備された状態を維持することで安定した耐久性、信頼性を発揮できることが前提になる。またセクション 305 では単一故障発生時の安全性にフォーカスして検証するが、これも適切に点検・整備された状態を維持することで複数故障の発生を相当に低い確率に抑制できることが前提と考えられる。このように安全性の立証手段の前提となる、飛行に必須な部品が適切に点検・整備されていること、あるいは寿命に達する前に適切に交換されているようにすることを保証するために、必要な手順が ICA に記載されていることを網羅的に担保するのがセクション 135 の意図するところと考えることができる。そのため、機能冗長や安全手順などの対策により最終的には単一故障では計画外飛行や回復できない制御不能に至らない部品であっても、そのような対策がない場合に計画外飛行や回復できない制御不能に至るもの(一例としては、簡易 FMEA において、対策前の上位システムへの影響の段階で、計画外飛行や回復できない制御不能に至る可能性があるもの)については、計画外飛行や回復できない制御不能に“繋がる”ものとしてフライトエッセンシャルパーツに識別することが推奨される。

(3) 検討する対象の粒度(ソフトウェアの扱いを含む)

部品のレベル(粒度)は、製品のパーツリストに記載される単位とすることは適切である。ただし、機体の要件から申請者の判断で、パーツリストに記載される単位より粒度の細かなレベルとすることも可能であり、申請者の判断を優先する。エッセンシャルパーツの粒度は、ICA に記載し点検、交換できるレベルであることから考えて、交換できる部品単位で検討し、それ以下の部品での検討は不要(申請者が必要と判断すれば、それを優先する)とも考えられる。それに伴いセクション 135 では「ソフトウェア」は部品とせず、「ソフトウェアを含む機器」の単位で検討することが可能である。

4.3 「航空局ガイドライン」:適合性証明方法(MoC)に対する解説

(1) 「フライトエッセンシャルパーツ特定解析書(MoC 3)」の解説

航空局ガイドラインではFHA、FTA、FMEAなどが紹介されているが、本解説書では、第二種型式認証の場合、「簡易版FMEA」で特定解析を行う方法を解説する。なお、申請者がFHAやFTAを必要と判断した場合は、機体の特長に対して適切な方法での特定解析を推奨する。

※本解説書における「簡易 FMEA」は、航空局ガイドラインにおけるフライトエッセンシャルパーツ特定解析書(イメージ)の内容を包含した独自の例である。

(2) 「特定解析作業」の流れ

1. 製品の部品表の粒度で解析用のリストを作成
2. 部品の機能を定義
3. 故障モードとして「故障状態(現象)」と「推定故障原因」を抽出
4. 影響を「下段システム」と「上段システム」で検討
5. 検知方法を検討
6. 対策を検討
7. 「計画外飛行」「制御不能」「飛行範囲逸脱」の可能性を判断
8. 対象／非対象の判断
9. 「計画外飛行」「制御不能」の部品を抽出してフライトエッセンシャルパーツに設定

※本解説書では、セクション 135 以外の「セクション 105 無人航空機の安全な運用に必要な関連システム(以降、「セクション 105」と呼ぶ)」／「セクション 110 ソフトウェア(以降、「セクション 110」と呼ぶ)」／「セクション 115 サイバーセキュリティ(以降、「セクション 115」と呼ぶ)」／「セクション 305 起こり得る故障(以降、「セクション 305」と呼ぶ)」の対象／非対象の判断も行える解析を行う

(3) 「フライトエッセンシャル S/W 特定解析書(MoC 3)」の解説

航空局ガイドラインにはソフトウェアの特定解析の例も掲載されているが、第二種型式認証においては「ソフトウェアを含む機器」の単位での特定解析を行い、ソフトウェアのみの解析は不要として証明を進めることも可能と考える。ただし、申請者が機体の特長に応じてソフトウェアのみでの特定解析が必要と判断すれば、適切な方法での特定解析を推奨する。またセクション 110 を含めて、安全基準の証明を進める。

Appendix 1 簡易 FMEA の記載例

簡易 FMEA は下記の手順で行うこともできる。

1. 製品の部品表の粒度で解析用のリストを作成
2. 部品の機能を定義
3. 故障モードとして「故障状態(現象)」と「推定故障原因」を抽出
4. 影響を「下段システム」と「上段システム」で検討
5. 検知方法を検討
6. 対策を検討
7. 「計画外飛行」「制御不能」「飛行範囲逸脱」の可能性を判断
8. 対象／非対象の判断
9. 「計画外飛行」「制御不能」の部品を抽出してフライトエッセンシャルパーツに設定

※セクション 135 以外のセクション 105／セクション 110／セクション 115／セクション 305 の対象／非対象の判断も行える解析を行う。

サンプルは別添する。

135_Appendix 1 簡易 FMEA の記載例.xlsx

Appendix 2 関連資料(JIS W 0711)の説明

下記の資料では航空法に定める無人航空機を含む産業用無人航空機システムについて、本質的安全設計方策, 安全防護および付加保護方策ならびに使用上の情報に対する要求事項について規定されている。

日本産業規格 JIS W 0711:2021
無人航空機システム設計管理基準
Unmanned aircraft system design management requirements

上記資料には無人航空機の安全性評価に関する情報が記載されている。

当該解説書は第二種型式認証を対象としており、安全性評価を行う範囲や手法は申請者(設計者)が判断することになるが、無人航空機のブロック図、FT 図、危険源、FMEA 結果などが例示されており参考となる。

Appendix 3 各セッション特有の用語集

セッション 135 特有の用語はないため省略

Appendix 4 関連文書

- (1) 関連文書 日本産業規格 JIS W 0711:2021 無人航空機システム設計管理基準 Unmanned aircraft system design management requirements

Appendix 5 サブ WG の構成員名簿

無人航空機の第二種認証に対応した証明手法の事例検討 WG におけるサブ WG セクション 135 重要な部品(フライトエッセンシャルパーツ)の構成員名簿(サブ WG 主査およびライター)を以下に示す。なお、レビューの構成員名簿は本冊(RMD Rev.01)Appendix4 を参照すること。

役割	氏名	所属
主査、ライター	兵頭 淳	株式会社東京アールアンドデー
ライター	上の 香	合同会社山猿
ライター	中館 正顯	一般財団法人日本海事協会

無人航空機の型式認証等の取得のためのガイドライン解説書

2024年3月

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP22002)の結果得られたものです。
