

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外航 03 R 0
提出年月日	令和 5 年11月30日

## 設工認に係る補足説明資料

許認可の経緯を踏まえた航空機防護設計の評価について

## 目 次

1. 概要 .....	1
2. 許認可の経緯.....	1
3. F-4EJ改に対する評価 .....	4
3.1 基本的な考え方.....	4
3.2 評価対象建屋.....	4
3.3 全体破壊防止.....	5
3.4 局部破壊防止.....	5
4. 評価条件及び評価方法 .....	5
4.1 F-4EJ改の衝突時条件.....	5
4.2 全体破壊防止の評価方法 .....	5
4.3 局部破壊防止の評価方法 .....	5
5. 評価結果.....	6
5.1 全体破壊防止に係る評価結果.....	6
5.2 局部破壊防止に係る評価結果.....	7
6. 参考文献.....	7

## 1. 概要

本資料は、再処理施設に対する第2回申請(令和4年12月26日申請)のうち、以下の添付書類に示す航空機に対する防護設計の基本方針について補足説明するものである。

- ◆ 再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-6-1 航空機に対する防護設計の基本方針」

本申請において申請した再処理施設は、近隣に米軍機及び自衛隊機の訓練区域があるという社会的環境を踏まえ、航空機に対する防護設計を行っている。

本資料では、過去に認可を受けた申請対象について、再処理施設の近隣の訓練区域で訓練を実施する航空機の変遷、事業指定(変更許可)の経緯、設工認申請の経緯等を整理するとともに、再処理施設の航空機防護設計の評価のうち既認可の設工認申請書で示していない範囲についての評価結果を示す。

## 2. 許認可の経緯

航空機防護設計を設計条件として航空機防護設計に係る許認可の経緯を第2-1表に示す。

当初、再処理施設の事業指定申請においては、当時三沢基地に配備されていた主要な訓練機の諸元に余裕を見込んだ条件(以下、「防護設計条件」という)を設定し、航空機に対する防護設計を実施することとしてきた。このため、過去に認可を受けた設工認申請のうち、第1回申請(平成5年1月13日申請)～第5回申請(平成8年2月28日申請)の申請対象については、防護設計条件に対する強度評価の結果をそれぞれの申請回次の設工認申請書に示している。

しかし、平成8年末に新たにF-4EJ改が三沢基地に配備される計画があったことを受けて、事業変更許可の申請を行い、第6回申請(平成9年9月22日申請)以降の設工認の申請対象については、防護設計条件に加えてF-4EJ改の諸元に対する強度評価の結果も示している。また、この時点で認可済みであった申請対象については、F-4EJ改に対する航空機防護設計の評価を実施し、安全確保上支障がないことを確認している。

その後、新基準を適用するにあたっては航空機落下確率評価を実施しているが、既に実施している航空機防護設計において建物全体を外壁及び屋根により保護する設計としている建屋を対象に、係数を適用して航空機落下確率評価を実施している。

以上を踏まえ、航空機落下確率評価において係数を適用している建屋のうち、第1回～第5回の設工認申請の対象については、F-4EJ改の衝突を考慮しても安全確保上支障がないことを確認した内容について、補足説明する。

第2-1表 航空機防護設計に係る許認可の経緯 (1/2)

年月日	事業指定関連	設工認関連	その他
平成4年12月	事業指定		
平成5年1月		第1回設工認申請、防護設計条件に対する以下の建屋の航空機防護設計計算書を提出 <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 使用済燃料受入れ。貯蔵建屋*</li> <li>◆ 使用済燃料輸送容器管理建屋*</li> </ul>	
平成5年4月		第1回設工認認可	
平成5年7月		第2回設工認申請、防護設計条件に対する以下の建屋の航空機防護設計計算書を提出 <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 前処理建屋*</li> <li>◆ 分離建屋*</li> <li>◆ 精製建屋*</li> <li>◆ ウラン脱硝建屋*</li> <li>◆ ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋*</li> <li>◆ ウラン酸化物貯蔵建屋*</li> <li>◆ ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋*</li> <li>◆ 制御建屋*</li> </ul>	
平成5年12月		第2回設工認認可	
平成6年4月		第3回設工認申請	
平成6年7月		第3回設工認認可	
平成7年5月		第4回設工認申請	
平成7年9月		第4回設工認認可	
平成8年2月		第5回設工認申請	
平成8年4月	事業変更許可申請（設計条件にF-4EJ改を追加）		指示文書発出（F-4EJ改に対する航空機防護設計の再評価の指示）
平成8年5月		第5回設工認認可	
平成8年10月			指示文書に対する報告書を提出
平成9年7月	事業指定（変更許可）		

第2-1表 航空機防護設計に係る許認可の経緯 (2/2)

年月日	事業指定関連	設工認関連	その他
平成9年9月		第6回設工認申請、防護設計条件及びF-4EJ改に対する以下の建屋の航空機防護設計計算書を提出 <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 高レベル廃液ガラス固化建屋*</li> <li>◆ 分析建屋*</li> </ul>	
平成10年6月		第6回設工認認可	
平成10年6月		第7回設工認申請、防護設計条件及びF-4EJ改に対する以下の建屋の航空機防護設計計算書を提出 <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ハル・エンドピース貯蔵建屋*</li> <li>◆ チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋*</li> </ul>	
平成11年1月		第7回設工認認可	
平成11年2月		第8回設工認申請	
平成11年7月		第8回設工認認可	
平成11年9月		第9回設工認申請	
平成11年12月		第9回設工認認可	
平成26年1月	事業変更許可申請（新基準）		
令和2年7月	事業指定（変更許可）（航空機落下確率評価の結果を追加）		

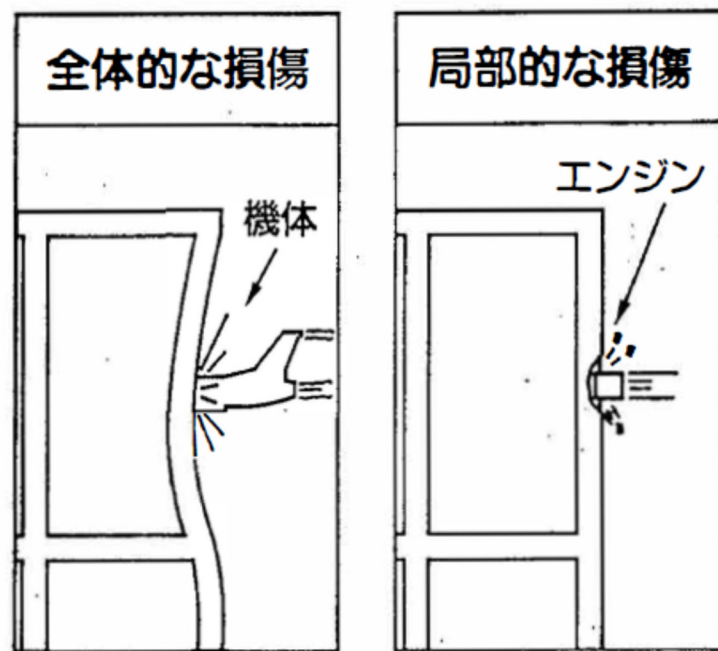
注記 ※航空機落下確率評価において係数を適用した建屋を示している。

### 3. F-4EJ 改に対する評価

#### 3.1 基本的な考え方

航空機は、柔な機体とそれに比べると硬いエンジンから構成されているという構造的特徴があることから、建物の損傷評価においては、機体全体の衝突による鉄筋コンクリート版等の全体的な破壊と比較的硬いエンジンの衝突による貫通等の局所的な破壊という二つの現象を考慮している（第3.1-1図参照）。

航空機防護設計において設定している防護設計条件は、将来配備されるかもしれない航空機等の不確定な要因を考慮して、設計上の裕度を見込んだ条件としている。一方、F-4EJ 改は、特定の航空機が再処理施設に衝突するという具体的な事象を対象としていることから、鉄筋コンクリート版等の実際の挙動についてより正確に、かつ、適切に評価し得る条件を用いることを基本とする。



第3.1-1図 航空機防護設計で考慮する現象

#### 3.2 評価対象建屋

建物全体を外壁及び屋根により保護する設計としており、航空機落下確率評価において係数を適用した建屋のうち、既認可の設工認申請書においてF-4EJ 改に対する評価結果を説明していない以下の建屋を評価対象建屋とする。

- ◆ 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
- ◆ 前処理建屋
- ◆ 分離建屋
- ◆ 精製建屋
- ◆ ウラン脱硝建屋
- ◆ ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- ◆ ウラン酸化物貯蔵建屋
- ◆ ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋

- ◆ 制御建屋

### 3.3 全体破壊防止

事業指定（変更許可）に示す通り、F-4EJ 改を対象とした衝撃荷重の応答について評価した結果、防護設計条件から求まる衝撃荷重応答を上回るものではないことを確認したことから、F-4EJ 改を対象とした衝撃荷重に対する全体破壊防止の評価は省略する。

### 3.4 局部破壊防止

F-4EJ 改のエンジンに対する貫通限界厚さを求め、評価対象建屋の防護版の厚さがこの限界厚さを上回っていることを確認する。

## 4. 評価条件及び評価方法

### 4.1 F-4EJ 改の衝突時条件

#### (1) 航空機総重量

航空機総重量は局部破壊防止の評価では用いないため、記載を省略する。

#### (2) エンジン重量及び給気口部直径

エンジン重量及び給気口部直径は、事業指定（変更許可）及び既認可設工認申請書の第6回申請以降に示した条件と同様であり、以下のとおりとする。

エンジン重量：1.745 t/基

吸気口部直径：0.992 m

#### (3) 衝突時速度

エンジンの衝突速度は、事業指定（変更許可）及び既認可設工認申請書の第6回申請以降に示した条件と同様であり、以下のとおりとする。

衝突速度： 155 m/s

### 4.2 全体破壊防止の評価方法

事業指定（変更許可）に示す通り、F-4EJ 改を対象とした衝撃荷重の応答について評価した結果、防護設計条件から求まる衝撃荷重応答を上回るものではないことを確認したことから、F-4EJ 改を対象とした衝撃荷重に対する全体破壊防止の評価は省略する。

### 4.3 局部破壊防止の評価方法

#### (1) 貫通限界厚さ評価式

既認可の設工認申請書に示した防護設計計算書と同様に、Degen 式に武藤等による実物エンジンを用いた実験から得られた成果を反映した下式に基づいて、貫通限界厚さを求める。

$$e = \alpha_e \cdot e'$$

ただし、

$$1.52 \leq X/d \leq 13.42 \text{ の場合 } e'/d = 0.69 + 1.29 (X/d)$$

$$1.52 \geq X/d \text{ の場合 } e'/d = 2.2 (X/d) - 0.3 (X/d)^2$$

貫入深さ (X) は、

$$X/d \leq 2.0 \text{ の場合}$$

$$X/d = 2 \{ (180/fc'^{0.5}) \cdot 0.72 d^{0.2} \cdot D (V/1000)^{1.8} \}^{0.5}$$

$X/d \geq 2.0$  の場合

$$X/d = (180/\sqrt{fc'}^{0.5}) \cdot 0.72 d^{0.2} \cdot D (V/1000)^{1.8} + 1$$

ここで、

- e : 貫通限界厚さ (in)
- e' : Degen 式による貫通限界厚さ (in)
- X : 貫入深さ (in)
- $\alpha_e$  : エンジンの貫通に関する飛来物係数
- d : エンジン有効直径 (in)
- fc' : コンクリート圧縮強度 (lbf/in<sup>2</sup>)
- D :  $W/d^3$  (lbf/in<sup>3</sup>)
- W : エンジン重量 (lbf)
- V : 衝突速度 (ft/s)

裏面剥離限界厚さは、実物航空機のエンジンを用いた実験に基づき、下式により評価する。

$$s = 1.84 \alpha_s (V_0/V)^{0.13} \times (MV^2)^{0.4} / (d^{0.2} fc'^{0.4})$$

ここで、

- s : 裏面剥離限界厚さ (ft)
- $\alpha_s$  : 飛来物係数
- $V_0$  : 飛来物基準速度 (200ft/s)
- V : 衝突速度 (ft/s)
- M : 飛来物の質量 (lb)
- d : 飛来物の有効直径 (ft)
- fc' : コンクリート圧縮強度 (設計基準強度を用いる, lbf/ft<sup>2</sup>)

## (2) 評価条件

エンジンの条件は、「4.1 (2) エンジン重量及び給気口部直径」による。ただし、安全側に、エンジン2基の断面積と等価な断面積を有し、2基の重量を持つ等価な1基のエンジン (等価直径1.403m, 等価重量3.49t) として評価する。

防護版のコンクリート強度は、既設建屋の実績に基づいた値とし、具体的には使用済燃料受入れ・貯蔵建屋及び使用済燃料輸送容器管理建屋の実績より400kgf/cm<sup>2</sup>とする。

飛来物係数は、局部損傷に関する実験のうち最も信頼性の高い実物エンジン実験の結果に基づき  $\alpha_e = 0.6$  を用いる。

## 5. 評価結果

### 5.1 全体破壊防止に係る評価結果

事業指定 (変更許可) に示す通り、F-4EJ 改を対象とした衝撃荷重の応答について評価した結果、防護設計条件から求まる衝撃荷重応答を上回るものではないことを確認したことから、F-4EJ 改を対象とした衝撃荷重に対する全体破壊防止の評価は省略する。



## 5.2 局部破壊防止に係る評価結果

エンジンによる貫通限界厚さを評価式から求めると 79.1 cmとなる。この貫通限界厚さは防護版の形状, 支持条件等によらない。「3.2 評価対象建屋」に示す建屋の防護版の厚さは110 cm以上であり, 貫通限界厚さを上回っていることからエンジンの貫通は防止されている。

なお, 隣接する区域に防護対象施設のある防護版の裏面剥離(エンジン衝突に伴い, 貫通は防止されて建屋の閉じ込め機能は維持されるものの, コンクリート版の裏面の一部が剥離し建屋内部に飛散する現象)が発生することもない。

## 6. 参考文献

- (1) 再処理事業所再処理施設及び廃棄物管理施設における航空機に対する防護設計の再評価について, 平成8年10月, 日本原燃株式会社
- (2) 再処理事業所 再処理事業指定申請書 本文及び添付書類

以上