

東海第二発電所
外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）
（審査会合における指摘事項の回答）

平成29年9月7日
日本原子力発電株式会社

1. 前回会合からの変更点について (1/4)



前回の審査会合でのご指摘等を踏まえ、航空機墜落による火災影響評価のうち以下の2点を変更した。

- (1) 影響評価対象施設である使用済燃料乾式貯蔵施設の扱い
- (2) 「基地－訓練空域間往復時」の落下事故に対する評価方法

落下事故のカテゴリ	
1) 計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時
	② 航空路を巡航中
2) 有視界飛行方式民間航空機	③ 大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）
	④ 小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤ 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中
	⑤-1 空中給油機等，高高度での巡航が想定される大型固定翼機
	⑤-2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機
	⑥ 基地－訓練空域間往復時

(1) 使用済燃料乾式貯蔵施設の扱いの変更について

以下のとおり，東海第二発電所の原子炉施設*と使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能は独立していることを踏まえ，航空機落下評価において東海第二発電所の原子炉施設と使用済燃料乾式貯蔵施設を独立として扱い評価を実施する。

※：原子炉建屋，タービン建屋，海水ポンプ施設，排気筒等

- ・使用済燃料乾式貯蔵施設は，東海第二発電所の原子炉施設の安全機能に直接的に影響を及ぼすものではなく，また，容器本体で安全機能（臨界防止機能，密封機能，遮蔽機能，除熱機能）を確保する設計。
- ・全交流動力電源喪失時における使用済燃料乾式貯蔵施設の監視設備（一・二次蓋間圧力，表面温度等）及び火災防護設備（火災報知器）の電源供給は東海第二発電所の非常用ディーゼル発電機から給電されるが，状態監視用の設備であり，これらの機能喪失が使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に影響を及ぼすものではない。（事象発生後30分間は専用の蓄電池からの給電が可能。）

(2) 「基地－訓練空域間往復時」の落下事故に対する評価方法の変更について

前回は百里基地－訓練空域間のデータに基づいて東海第二発電所の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率を評価していたが、以下を踏まえ、全国の各基地－訓練空域間のデータに基づき算出した想定飛行範囲内の単位面積当たりの落下事故率 f_{se}/S_{se} を2倍にし丸めた値を東海第二発電所の落下確率にあてはめることで評価した。

- ・東海第二発電所の落下確率評価において想定している百里基地と訓練空域間を往復時の落下事故は評価対象期間である過去20年間において発生していない。一方、全国の各基地と訓練空域間を往復時の落下事故は合計で5件発生しており、百里基地のデータに基づき落下事故が0.5件発生したものとして推定した航空機落下確率に比べて全国の落下事故実績に基づき算出した航空機落下確率は不確かさが小さいと考えられる。
- ・想定飛行範囲内の単位面積当たりの落下事故率 f_{se}/S_{se} は基地毎に大きく異なることが考えにくいこと、防衛省による原子炉関連施設上空の飛行は原則として行わない指導等※から実際には東海第二発電所の上空を飛行することがないことを考慮すると、全国データに基づき算出した値を2倍にし丸めた値には保守性が含まれると考えられる。

※：その他、管制機関の指示又は原子力関連施設の位置等から、やむを得ずその上空を飛行する必要がある場合には、動力装置の停止等緊急事態が発生しても原子力関連施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行することの指導がある。

●基地－訓練空域間往復時の落下確率の評価式

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se}$$

P_{se} ：対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{se} ：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

S_{se} ：想定飛行範囲内の面積（ km^2 ）

1. 前回会合からの変更点について (4/4)



(1)及び(2)の変更を踏まえた「基地－訓練空域間往復時」の落下事故に対する離隔距離

パラメータ	変更前 (χ 二乗分布を用いた方法)	変更後 (全国平均の2倍)
fse	fse=0.2275回/20年 =0.011375回/年	fse=5回/20年 =0.25回/年
Sse	百里基地－訓練空域間の 想定飛行面積 4,540km ²	全国の各基地－訓練空域間の 想定飛行面積の合計 175,720km ²
fse/Sse	約 2.51×10^{-6} 回/ (年・km ²)	3.00×10^{-6} 回/ (年・km ²) (上記パラメータから算出された約 1.42×10^{-6} 回/ (年・km ²) を保守的 に2倍にし, 丸めた値)
離隔距離	22m	原子炉施設 : 22m 使用済燃料乾式貯蔵建屋 : 78m

(1)及び(2)の変更を踏まえた「基地－訓練空域間往復時」の落下事故に対する離隔距離は、原子炉施設等に対して22mとなることから、変更前と同じである。使用済燃料乾式貯蔵建屋に対しては78mとなることから、変更前に比べて大きくなっている。

また、その他のカテゴリに対しては、変更前に比べて離隔距離が大きくなる方向である。

(1) 指摘事項

$\chi^2(1, 0.5) / 2T$ の導出過程を示すこと。

(2) 回 答

ランダム事象が発生する場合において、事象の発生頻度（一定期間に事象が発生する件数）は二項分布に従うとするのが一般的である。

また、事象の発生確率が小さい場合には、ポアソン分布での近似が可能である。

事象の発生頻度がポアソン分布に従う場合、その母平均 λ の $100(1-\alpha)\%$ 信頼区間は χ 二乗分布を使用して、

$$\frac{\chi^2(2N, 1-\frac{\alpha}{2})}{2T} \leq \lambda \leq \frac{\chi^2(2N+2, \frac{\alpha}{2})}{2T} \quad (N: \text{発生件数}, T: \text{期間})$$

で表される※²。

点推定値は、信頼上限及び信頼下限の平均の自由度をもつ χ 二乗分布の中央値を用いて、

$$\lambda = \frac{\chi^2(2N+1, 0.5)}{2T}$$

で表される。

以上より、発生頻度が0件である場合における発生頻度は、発生件数 $N=0$ として、

$$F = \frac{\chi^2(1, 0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

により算出される。

※1: $1-\alpha$: 信頼係数

※2: 別紙7.12 参考1「 χ 二乗分布を用いた方法による発生頻度の算出について」参照

(1) 指摘事項

χ 二乗分布を用いた方法により算出された確率値の保守性を説明すること。

(2) 回 答

東海第二発電所の自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下確率は、 χ 二乗分布を用いた方法のみで保守性を担保しているものではなく、以下のとおり確率値として保守性が含まれていることを確認している。

- ・ 全国平均の航空機落下確率※との比較により、 χ 二乗分布を用いた方法の保守性を確認

※：全国の基地－訓練空域間往復時の落下事故件数（5件）及び全国の想定飛行範囲の面積を用いて評価した航空機落下確率

項 目	航空機落下確率 (回/炉・年)
χ 二乗分布を用いた方法による 「百里基地－訓練空域間往復時」の落下確率	約 3.81×10^{-8} (= 0.2275 件/ 20 年/ $4,540$ km ² × 0.015199 km ²)
全国平均（全国の自衛隊基地を対象）による 「基地－訓練空域間往復時」の落下確率	約 2.16×10^{-8} (= 5 件/ 20 年/ $175,720$ km ² × 0.015199 km ²)

- ・ 防衛省による原子炉関連施設上空の飛行は原則として行わない指導等から実際には東海第二発電所の上空を飛行することがないが、想定飛行範囲内で一様の確率密度分布を用いることにより保守性が確保

(1) 指摘事項

タービン建屋内の影響評価対象の詳細な位置関係とタービン建屋全域に対して影響評価を実施する考え方、また、標的面積の考え方を示すこと。

(2) 回 答

【標的面積の考え方】

航空機落下評価及び航空機墜落による火災影響評価においては、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成25年6月19日 原子力規制委員会決定）」の基準を踏まえクラス1及びクラス2に属する施設又はそれらを内包する建屋を影響評価対象とし、以下のとおりとした。

- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋
- ・海水ポンプ施設
- ・排気筒
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋

なお、使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能は原子炉施設と独立しているため、独立として扱い評価した。

1. 総則

(中略)

本評価ガイドは、発電所敷地への航空機の墜落で発生する火災に対してより一層の安全性向上の観点から、その火災が発電所の敷地内で起こったとしても原子炉施設（本評価ガイドにおける「原子炉施設」は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。）に影響を及ぼさないことを評価するものである。

【タービン建屋内の影響評価対象施設の位置関係等】

タービン建屋内に位置する影響評価対象施設には、P S-2の主蒸気系及びMS-2の放射性気体廃棄物処理系の隔離弁がある。

図のとおり、タービン建屋内の広範囲に位置していることから、タービン建屋全域に対して外部火災の影響を確認している。

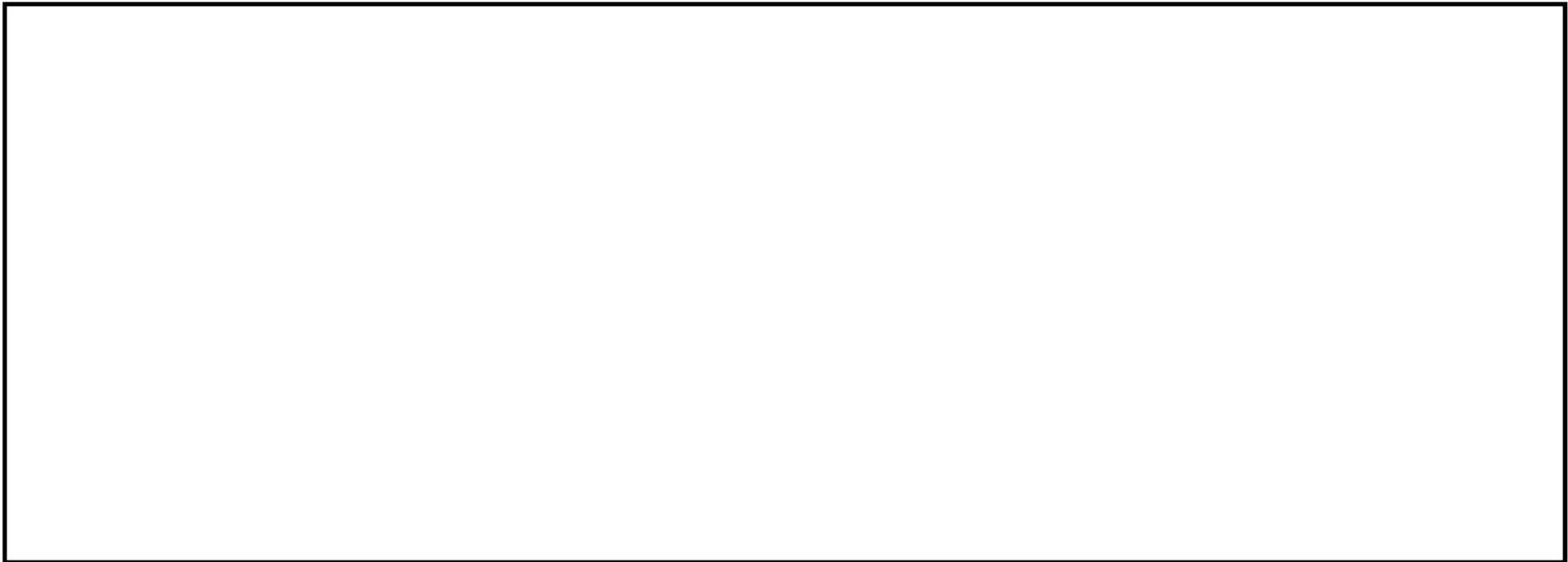


図 タービン建屋平面図

2. 指摘事項の回答 (No. 24)

(1) 指摘事項

航空機と危険物タンクの重畳火災の対象設備の考え方を示すこと。

(2) 回答

- ・ 航空機墜落火災として想定する機種は、航空機墜落火災の評価結果より、最も熱影響が大きい F-15 を選定
- ・ 危険物貯蔵施設等の火災として想定する設備は、F-15 の墜落火災想定位置近傍にある「熔融炉灯油タンク」と「主変圧器」を選定
- ・ 評価の結果、すべての評価結果が許容温度以下となることを確認



図 航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置

表 重畳評価結果

重畳評価の想定ケース	対象施設	評価温度 (°C)	許容温度 (°C)
熔融炉灯油タンク 及び F-15	原子炉建屋	141	< 200
	海水ポンプ室	133	
	タービン建屋	135	
	排気筒	181	< 325
主変圧器及び F-15	タービン建屋	195	< 200

2. 指摘事項の回答 (No. 25) (1/3)



(1) 指摘事項

危険距離の導出・過程について整理して示すこと。

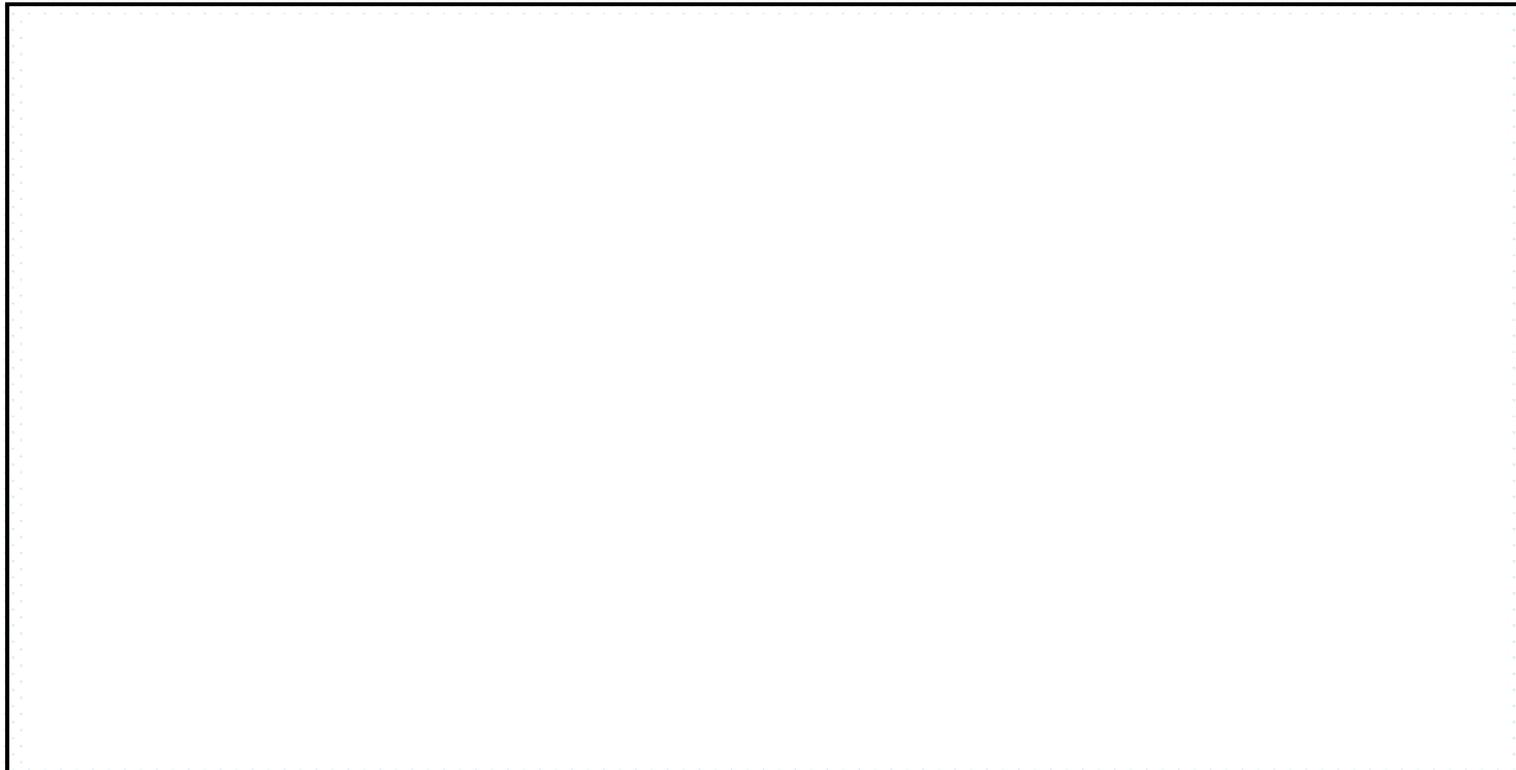
(2) 回答

石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設に対する評価において、影響評価対象施設（原子炉建屋等）のコンクリート表面温度が許容温度 200°C となる時の危険物貯蔵施設から影響評価対象施設までの距離（危険距離）を算出する際の過程を示す。

○評価方法

①危険輻射発散度の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式よりコンクリート表面の温度が 200°C となる輻射強度 E (=危険輻射強度) を求める。



前回審査会合 (8月10日) の資料には②, ③の過程の記載なし。

②危険輻射強度となる形態係数の算出

火炎から任意の位置にある点 (受熱点) の輻射強度は, 輻射発散度に形態係数 Φ を掛けた値になる。

【輻射強度の算出式】

$$E = R f \cdot \Phi$$

E : 輻射強度 (W/m^2), R f : 輻射発散度 (W/m^2), Φ : 形態係数

(出典 : 外部火災影響評価ガイド)

ここで, R f には危険物貯蔵施設

の輻射発散度 $23kW/m^2$ を用いる。

③形態係数から危険距離の算出

順序②となる形態係数となる離隔距離 L を求める。この L が「危険距離」となる。

【形態係数の算出式】 (外部火災影響評価ガイドに記載)

$$\Phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

Φ : 形態係数, L : 危険距離 (m), H : 炎の高さ (m), R : 燃焼半径 (m)

(出典 : 外部火災影響評価ガイド)

④危険距離の算出結果

上記より, 危険距離は41mとなる。

森林火災による影響評価, 燃料輸送車両の影響評価及び漂流船舶の影響評価についても, 同様に算出過程がわかるように修正を行った。