資料1－1－3

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

本資料のうち、□は商業機密又は核物質防護の観点から公開できません

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

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

<table>
<tr><th colspan="3">落下事故のカテゴリ</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1）　計器飛行方式民間航空機</td><td colspan="2">①　飛行場での離着陸時</td></tr>
<tr><td colspan="2">②　航空路を巡航中</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2）　有視界飛行方式民間航空機</td><td colspan="2">③　大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）</td></tr>
<tr><td colspan="2">④　小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3）　自衛隊機又は米軍機</td><td rowspan="2">⑤　訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中</td><td>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</td></tr>
<tr><td>⑤－2　その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑥　基地－訓練空域間往復時</td></tr>
</table>

(1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の扱いの変更

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，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

※：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

前回は百里基地－訓練空域間のデータに基づいて落下確率を評価していたが，以下を踏まえ，全国データに基づく基地－訓練空域間往復時の落下確率（以下「全国平均の落下確率」）の2倍値を，百里基地－訓練空域間往復時の落下確率として採用

- 百里基地特有の特殊な機種が配備されていないこと，全国では基地－訓練空域間往復時に合計5件の落下実績があるにも係わらず，百里基地では落下実績がないことを考慮すると，百里基地の落下確率は全国平均に対して同程度又はそれ以下と考えられる。
- 落下実績が存在する全国平均の落下確率を参考とし，保守性を確保するために”全国平均の落下確率の２倍値”を百里基地－訓練空域間往復時の落下確率として採用。
- 防衛省による原子力関連施設上空の飛行は原則として行わないよう制限されていること等※を考慮すると，”全国平均の落下確率の２倍値”は実際の落下確率より十分高いと考えられる。

※：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

Pse＝fse・A／Sse

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）
fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）
A　：対象施設の標的面積（km^2）
Sse：想定飛行範囲内の面積（km^2）

●評価で用いるパラメータの変更前後

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 ≒0.01138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）
A	約0.0152km^2	原子炉施設：約0.0138km^2 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ：約0.00140km^2

●離隔距離の変更前後

落下事故のカテゴリ			変更前	変更後		差の要因※
				原子炉施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋	
1) 計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時		199m	245m	393m	(1)
	② 航空路を巡航中		1,528m	1,873m	2,695m	(1)
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）		186m	229m	372m	(1)
	④ 小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）		72m	89m	175m	(1)
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	176m	217m	355m	(1)
		⑤－2 その他の大型固定翼機，小型固定翼機及び回転翼機	34m	43m	111m	(1)
	⑥ 基地－訓練空域間往復時		22m	22m	78m	(1)，(2)

※（1）：使用済燃料乾式貯蔵建屋の扱いの変更　（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

（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，原子炉施設に対して22mとなり，変更前と同じ。使用済燃料乾式貯蔵建屋に対しては78mとなり，変更前に比べて延長。

また，その他のカテゴリに対しては，（1）の変更に伴い，離隔距離が延長。

●航空機落下確率の変更前後

単位：回／炉・年

落下事故のカテゴリ		変更前	変更後		差の要因※
			原子炉施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋	
1) 計器飛行方式民間航空機	飛行場での離着陸時	約4.32×10^{-9}	約3.98×10^{-9}	約1.80×10^{-9}	(1)
	航空路を巡航中	約6.54×10^{-11}	約5.93×10^{-11}	約4.30×10^{-11}	(1)
2) 有視界飛行方式民間航空機		約1.51×10^{-8}	約1.37×10^{-8}	約9.95×10^{-9}	(1)
3) 自衛隊機又は米軍機	訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中	約2.82×10^{-8}	約2.56×10^{-8}	約1.86×10^{-8}	(1)
	基地－訓練空域間往復時	約3.81×10^{-8}	約4.14×10^{-8}	約3.00×10^{-8}	(1), (2)
合　　計		約8.6×10^{-8}	約8.5×10^{-8}	約6.1×10^{-8}	(1), (2)

※（1）：使用済燃料乾式貯蔵建屋の扱いの変更　（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

(1)及び(2)の変更を踏まえた「基地－訓練空域間往復時」の原子炉施設に対する落下確率は，約4.14×10^{-8}回／炉・年となり変更前に比べて高くなるものの，その他のカテゴリに対しては，(1)の変更に伴い落下確率が低下する方向であり，全体としての落下確率は低下する。

また，原子炉施設及び使用済燃料乾式貯蔵建屋に対する落下確率が判断基準である10^{-7}回／炉・年未満であることを確認。

(1) 指摘事項

χ^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－α）※1%信頼区間はχ二乗分布を使用して，

$$\frac{\chi^2(2N,1-\frac{\alpha}{2})}{2T} \leqq \lambda \leqq \frac{\chi^2(2N+2,\frac{\alpha}{2})}{2T}$$

（N：発生件数，T：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－α：信頼係数

※2：別紙7.16　参考2「χ二乗分布を用いた方法による発生率の算出について」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「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。

・全国平均の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

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 （対象施設の単位面積当たり）	約2.51×10^{-6} （＝0.2275件／20年／4,540km^2）
全国平均の 「基地－訓練空域間往復時」の落下確率 （対象施設の単位面積当たり）	約1.42×10^{-6} （＝5件／20年／175,720km^2）

・防衛省による原子力関連施設上空の飛行は原則として行わないよう制限されていること等※から，実際には東海第二発電所の上空を飛行することはないが，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

※：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。

(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】

航空機落下確率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，ＰＳ－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。

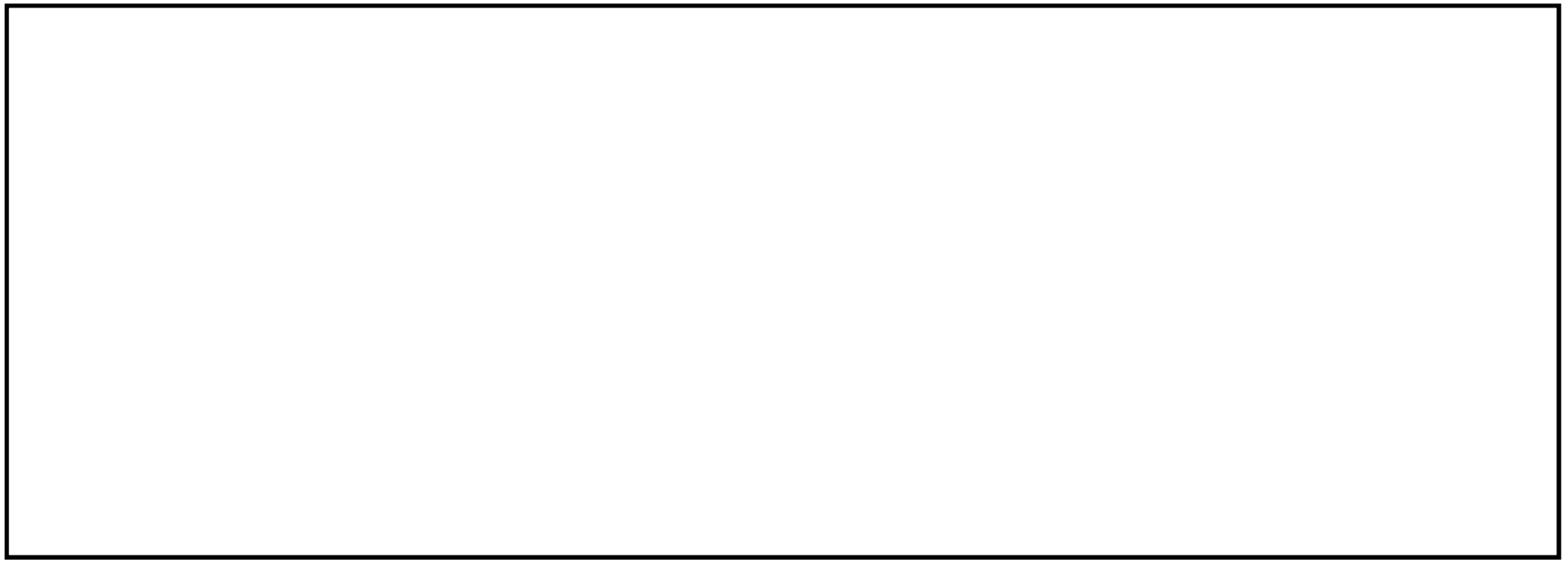

図　タービン建屋平面図

(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「溶融炉灯油タンク」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（℃）	許容温度（℃）
溶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

(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℃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℃となる輻射強度Ｅ（=危険輻射強度）を求める。

【一次元熱伝導方程式】

$$T-T_0=\frac{2E\sqrt{\kappa\ t}}{\lambda}\left[\frac{1}{\sqrt{\pi}}\exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa\ t}\right)-\frac{x}{2\sqrt{\kappa\ t}}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa\ t}}\right)\right]$$

（出典：伝熱工学，東京大学出版会）

Ｔ：許容温度(200℃)，T_0：初期温度(50℃)※，Ｅ：輻射強度(W／m^2)

κ：ｺﾝｸﾘｰﾄ温度伝導率(=λ／ρ C_p)(7.7E-07m^2／s)

ρ：ｺﾝｸﾘｰﾄ密度(2,400kg／m^3)，C_p：ｺﾝｸﾘｰﾄ比熱(880J／kg／K)

λ：ｺﾝｸﾘｰﾄ熱伝導率(1.63W／m／K)，ｔ：燃焼継続時間(28,701s)

ｘ：ｺﾝｸﾘｰﾄ壁表面深さ(0m)

※：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

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 [redacted] 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　$m = \frac{H}{R} \fallingdotseq 3$，$n = \frac{L}{R}$，$A = (1+n)^2 + m^2$，$B = (1-n)^2 + m^2$

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。