

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外外火 04 R0
提出年月日	令和 3 年 2 月 12 日

外部火災防護設計の基本方針に関する補足説明資料
【航空機墜落による火災について】

目 次

1. はじめに	1
2. 航空機墜落による火災の条件	1
3. 熱影響評価の共通データ	4
4. まとめ	7
5. 参考文献	7

1. はじめに

航空機墜落による火災については、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」(以下「外部火災ガイド」という。)によらず、建屋外壁等で火災が発生することを評価の前提とし、火災影響評価にあたってのモデル化の考え方については、外部火災ガイドを参考に評価を行い、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわないことを確認することとしている。ここでは、航空機墜落による火災の火災源の考え方について示す。

2. 航空機墜落による火災の条件

(1) 航空機墜落による火災の想定

航空機墜落による火災の想定は、以下のとおりとする。

- a. 航空機墜落地点は、建屋外壁等の設計対処施設への影響が厳しい地点とする。
- b. 評価対象航空機のうち、燃焼時間が最も長く、設計対処施設への熱影響が厳しくなるものを熱影響評価の対象航空機とする。
- c. 航空機は、燃料を満載した状態を想定する。
- d. 航空機の墜落によって燃料に着火し、火災が起ることを想定する。
- e. 気象条件は無風状態とする。
- f. 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- g. 油火災において任意の位置にある輻射強度を計算により求めるには、半径が1.5m以上の場合で火炎の高さを半径の3倍にした円筒火災モデルを採用する。

(2) 墜落による火災を想定する航空機の選定

外部火災ガイドを参考に、航空機墜落による火災の対象航空機については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率評価について(平成21年6月30日 原子力安全・保安院)」(以下「航空機落下評価ガイド」という。)の落下事故の分類を踏まえ、以下の航空機の落下事故における航空機を選定する。

- a. 自衛隊機又は米軍機の訓練空域内を訓練中及び訓練空域周辺を飛行中の落下事故の航空機

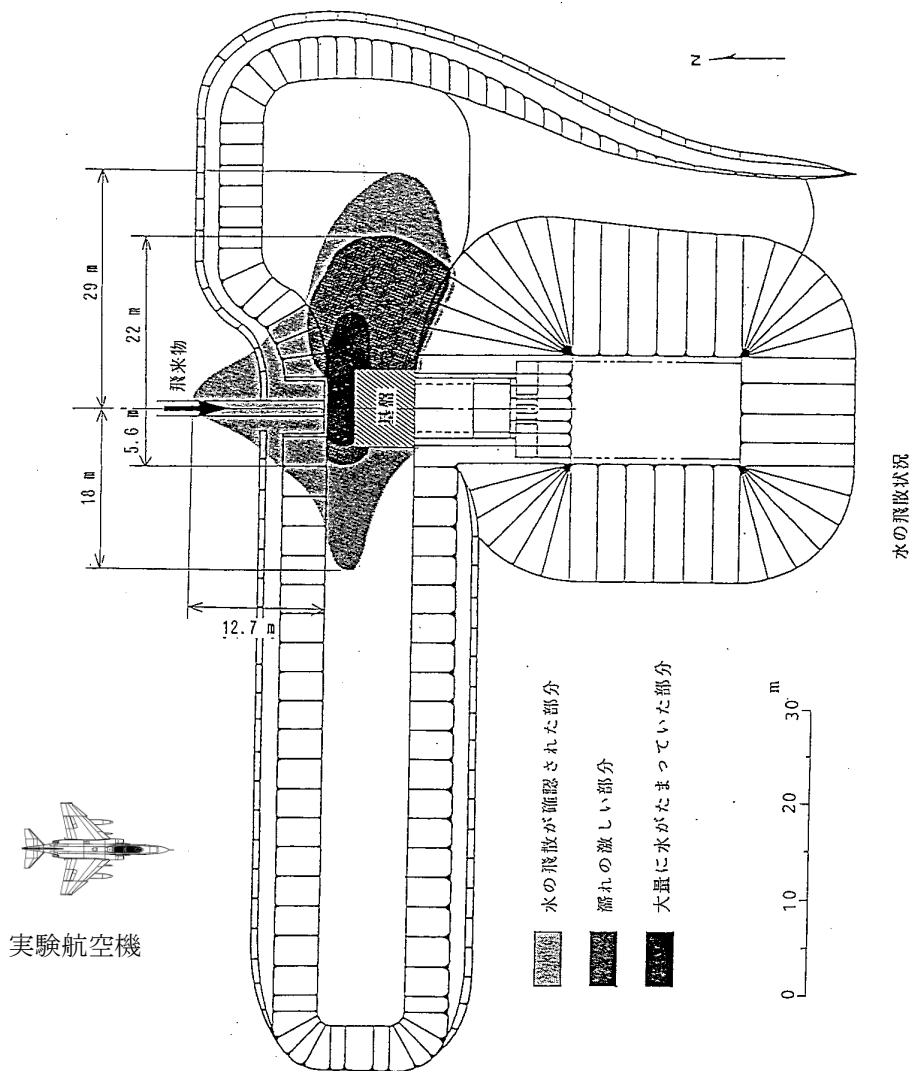
外部火災ガイドを参考として、燃料積載量が最大の自衛隊機であるKC-767を選定する。また、再処理施設の南方向約10kmに三沢対地訓練区域があり、自衛隊機及び米軍機が訓練を行っている。このため、三沢対地訓練区域を訓練飛行中の自衛隊機又は米軍機のうち、当社による調査結果から、自衛隊機のF-2及び米軍機のF-16を選定する。さらに、

今後訓練飛行を行う主要な航空機となる可能性のあるF-35についても選定する。

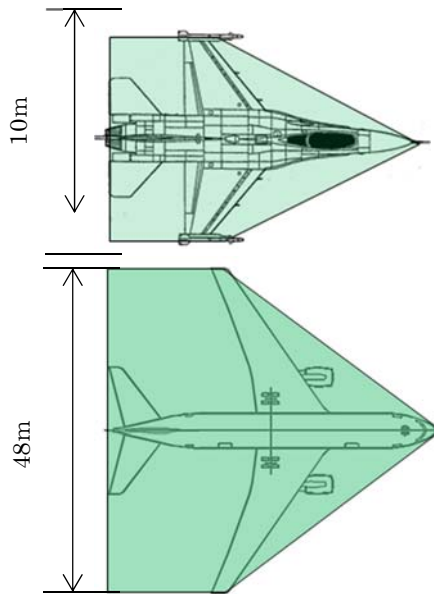
各航空機の燃料積載量を第2-1表に示す。

第2-1表 航空機の燃料積載量

対象航空機	燃料積載量 (m ³)
KC-767	145.1 ⁽¹¹⁾
F-2	10.4 ⁽²⁾⁽³⁾
F-16	9.8 ⁽¹⁾⁽³⁾
F-35	10.8 ⁽³⁾⁽⁴⁾



第2-1図 実物航空機の衝突実験時の模擬燃料(水)の飛散状況



第 2 - 2 図 航空機の機体投影面積（上図：F-16，下図：KC-767）

b. 計器飛行方式民間航空機の墜落による火災の想定について

直行経路を巡航中の計器飛行方式民間航空機の落下事故については，航空機落下の発生確率評価の [1] 式を用いると，航空機落下の発生確率が 10^{-7} 回／年となる範囲が敷地外となる。

$$P_c = \frac{f_c \times N_c \times A}{W} \quad \dots [1]$$

P_c : 再処理施設への巡航中の航空機落下確率 ; 1×10^{-7} (回／年)

A : 標的面積 (k m^2)

W : 航空路幅 ; 14.816 (k m P_c : 再処理施設への巡航中の航空機落下確率 (回／年)

N_c : 評価対象とする直行経路の年間飛行回数 (1,825 (飛行回／年) (注 1))

W : 航空路幅 (14.816 (k m)⁽⁵⁾)

$$f_c = G_c / H_c \quad \dots [1-1]$$

f_c : 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率 (回／(飛行回・ k m))

G_c : 巡航中事故件数 (0.5 (回) (注 2))

H_c : 延べ飛行距離 (11,256,599,138 (飛行回⁽⁶⁾・ k m)⁽⁷⁾) (注 3))

(注1) 国土交通省航空局に問い合わせた結果(平成27年の札幌管制区のピーク日の交通量)を365倍した値。

(注2) 事故件数は平成10年1月から平成29年12月の間⁽⁶⁾⁽⁸⁾0回であるが、厳しい評価となるように0.5回とした。

(注3) 平成10年から平成29年における各暦年別の延べ飛行距離を合算した値。

敷地外における外部火災については、石油備蓄基地に配置している51基の原油タンク(約11.1万 m^3 /基)の原油全てが防油堤内に流出した全面火災を想定している。計器飛行方式民間航空機の墜落による火災について、最大の燃料積載量(約240 m^3)である機種⁽⁶⁾⁽⁸⁾の火災を想定しても、石油備蓄基地火災の規模を踏まえると、計器飛行方式民間航空機の墜落による火災は、近隣工場等の火災影響評価に包絡される。

(3) 燃焼面積の設定について

燃焼面積については、米国サンディア研究所で実施された実物航空機の衝突実験において、搭載燃料の模擬のためタンクに充填した「水」の飛散範囲を参考とした。水は第2-1図のとおり同縮尺で併せて示す実物航空機(破線囲)の投影面積に比して広範囲に飛散しているが、大量に水がたまっていた部分と航空機の面積が同程度であることがわかる。よって、燃焼面積としては、第2-2図に示す機体投影面積とする。

3. 熱影響評価の共通データ

(1) 航空機墜落地点について

再処理施設は敷地内に放射性物質を取り扱う建屋が多く、面的に広く分布していることを踏まえ、離隔距離を想定しない航空機墜落による火災としてとらえ、建屋外壁等の設計対処施設への影響が厳しい地点とする。また、航空機墜落事故として単独事象を想定する。

(2) 火災源から受熱面への輻射強度の算出

a. 形態係数の算出

形態係数は、外部火災ガイドを参考として以下の前提に基づき[2]式より算出する。

- i. 航空機墜落による火災は、墜落の状況によって様々な燃焼範囲の形状が想定されるが、円筒火災を生ずるものとする。
- ii. 燃焼面積は、航空機の投影面積と等価な円を仮定する。
- iii. 以上より形態係数は0.5とする。

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

ただし

$$m = \frac{H}{R} = 3 \cdots [3]$$

$$n = \frac{L}{R}$$

$$A = (l + n)^2 + m^2, \quad B = (l - n)^2 + m^2$$

ここで、

ϕ : 形態係数

L : 離隔距離 (m)

H : 火炎の高さ (m)

R : 燃焼半径 (m)

b. 受熱面における輻射強度の算出

輻射強度は外部火災ガイドを参考として、[4] 式より算出する。航空機燃料の輻射発散度については、第3-1表のガソリン・ナフサの値を用いる。

また、設計対処施設のうち外部火災防護対象施設を収納する建屋及び危険物貯蔵施設等については、太陽光の入射として 0.4 kW/m^2 ⁽⁹⁾ を加算する。

以上より輻射強度は約 30 kW/m^2 とする。

$$E = Rf \cdot \phi \cdots [4]$$

ここで、

E : 輻射強度 (W/m^2)

Rf : 輻射発散度 (W/m^2)

ϕ : 形態係数

第3-1表 物質固有の輻射発散度

物質名	輻射発散度	物質名	輻射発散度
カフジ原油	41×10^3 (35×10^3)	メタノール	9.8×10^3 (8.4×10^3)
ガソリン・ナフサ	58×10^3 (50×10^3)	エタノール	12×10^3 (10×10^3)
灯油	50×10^3 (43×10^3)	LNG (メタン)	76×10^3 (65×10^3)
軽油	42×10^3 (36×10^3)	エチレン	134×10^3 (115×10^3)
重油	23×10^3 (20×10^3)	プロパン	74×10^3 (64×10^3)
ベンゼン	62×10^3 (53×10^3)	プロピレン	73×10^3 (53×10^3)
n-ヘキサン	85×10^3 (73×10^3)	n-ブタン	83×10^3 (71×10^3)

(単位は W/m^2 , かつこ内は $kcal/m^2h$)

「外部火災ガイド」より抜粋

(3) 燃焼時間

燃焼時間は, [5] 式より算出する。

燃焼速度については, 文献⁽¹⁰⁾から油面降下速度 $8.0 \times 10^{-5} m/s$ とする。

燃焼範囲は航空機の投影面積を文献⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽¹²⁾の図面から設定し, KC-767は $1,500m^2$, F-2は $110m^2$, F-16は $90m^2$ 及びF-35は $110m^2$ となる。

燃料量は, 第2-1表からKC-767は $145.1m^3$, F-2は $10.4m^3$, F-16は $9.8m^3$ 及びF-35は $10.8m^3$ である。

上記データ及び[5]式より, 燃焼時間はKC-767及びF-2が約1,200秒, F-16が約1,400秒及びF-35が約1,300秒である。

$$t = \frac{V}{A \times v} \cdots [5]$$

ここで,

t : 燃料時間 (s)

V : 燃料量 (m^3)

A : 燃料範囲 (m^2)

v : 燃焼速度 (m/s) (ガソリンの燃焼速度 $4.8mm/min$ より算出)

(4) 熱影響評価の対象航空機

上記(1)から(3)を踏まえ, 航空機墜落による火災の火災源の諸元をまとめた結果を第3-2表に示す。第3-2表より, 火災による熱影響が最も厳しいのはF-16である。

第3-2表 熱影響評価の対象航空機

対象航空機	燃焼面積 (m ²)	燃料積載量 (m ³)	輻射強度 (kw/m ²)	燃焼速度 (m/s)	燃焼時間 (s)	選定 結果
KC-767	約 1,500	145.1	29,400	8.0×10 ⁻⁵	約 1,200	×
F-2	約 110	10.4			約 1,200	×
F-16	約 90	9.8			約 1,400	○
F-35	110	10.8			約 1,300	×

4. まとめ

2. ～ 3. の検討の結果から、航空機墜落による火災で考慮する対象航空機は、評価対象施設への熱影響が最も厳しいF-16とする。

5. 参考文献

- (1) John.W.R.Taylor. ed. Jane's All the World's Aircraft 1987-88. Jane's Publishing Company Limited, 1987.
- (2) Paul.Jackson. ed. Jane's All the World's Aircraft 1997-98. Jane's Information Group, 1997.
- (3) NASA. "Analysis of NASA JP-4 Fire Tests Data and Development of a Simple Fire Model". NASA Contractor Report. 1980, CR-159209.
- (4) Paul, Jackson. Jane's All The World's Aircraft: Development & Production 2017-2018. HIS Markit, 2017.
- (5) 国土交通省航空局. 飛行方式設定基準. 2006.
- (6) 原子力規制委員会. 航空機落下事故に関するデータ. 2016, NTEC-2016-2002.
- (7) 国土交通省. 航空輸送統計調査 年報 (平成 25 年-29 年).
- (8) 国土交通省. 運輸安全委員会. 報告書検索結果. <http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/aircraft/air-kensaku-list.php?sort=asc&by=o> (参照 2018-05-10)
- (9) IAEA. IAEA 安全基準 IAEA 放射性物質安全輸送規則のための助言文書 (No. TS-G-1. 1). 改訂 1, 2008.
- (10) 日本火災学会編. 火災便覧 新版, 共立出版, 1984.
- (11) 佐瀬亨, 航空情報 特別編集 世界航空年鑑 2018-2019 年版, せきれい社, 2019.
- (12) ボーイング社ホームページ資料. 767 Airplane Characteristics for Airport Planning.