

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設（「常陽」）

第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）

（その2：耐外部火災設計）

2023年4月7日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所高速実験炉部

第 6 条：外部からの衝撃による損傷の防止

(その 2：耐外部火災設計)

目 次

1. 要求事項の整理
2. 設置許可申請書における記載
3. 設置許可申請書の添付書類における記載
 - 3.1 安全設計方針
 - 3.2 気象等
 - 3.3 設備等
4. 要求事項への適合性
 - 4.1 基本方針
 - 4.2 耐外部火災設計
 - 4.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第 6 条）への適合性説明

(別紙)

- 別紙 1：外部火災に対する安全施設の安全機能の確保
- 別紙 2：森林火災における発火点の設定
- 別紙 3：大洗研究所の植生
- 別紙 4：森林火災の評価における火炎中の風速の補正
- 別紙 5：森林火災の影響評価における火災諸元の設定
- 別紙 6：大洗研究所と鹿島臨海地区石油コンビナート等特別防災区域の位置
- 別紙 7：影響評価の対象とする危険物貯蔵施設等の位置
- 別紙 8：航空機落下に係る離隔距離
- 別紙 9：森林火災に係る熱的影響評価結果
- 別紙 10：コンクリートの許容値の設定
- 別紙 11：熱的影響評価の対象壁の位置及び建物内部への熱影響
- 別紙 12：危険物屋外タンクに係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果

別紙 13 : 高圧ガス貯蔵設備に係る熱的影響評価結果

別紙 14 : 危険物を搭載した車両の火災・爆発に係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果

別紙 15 : 航空機落下による火災に係る火災諸元の設定及び熱的影響評価結果

別添 1 : 平成 29 年 3 月 30 日申請時の評価

別添 2 : 平成 29 年までのデータによる評価

別紙 16 : 航空機落下による火災と森林火災等の重畳

別紙 17 : 防火帯の設置計画

別紙 18 : 外部火災の二次的影響に対する防護措置

別紙 19 : 自衛消防隊の資機材及び活動体制

別紙 20 : 「常陽」森林火災評価の特徴

(添付)

添付 1 : 設置許可申請書における記載

添付 2 : 設置許可申請書の添付書類における記載 (安全設計)

添付 3 : 設置許可申請書の添付書類における記載 (適合性)

「 本日ご提示範囲 」

航空機落下による火災に係る火災諸元の設定
及び熱的影響評価結果

1. 影響評価に係る火災諸元の設定

影響評価にあたり航空機カテゴリ毎に落下を想定する機種を第 1.1 表に示す。計器飛行方式民間航空機及び有視界飛行方式民間航空機（大型機）は、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち、燃料積載量が最大の航空機を想定機種として選定した。有視界飛行方式民間航空機（小型機）は、平成 4 年から平成 23 年までの有視界飛行方式民間航空機（大型固定翼機、大型回転翼機、小型固定翼機及び小型回転翼機）の落下事故のうち、燃料積載量が最大の航空機を想定機種として選定した。自衛隊機又は米軍機については、訓練空域外を飛行中の対象航空機は、全国の自衛隊機及び米軍機のうち、用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定した。基地－訓練空域間を往復時の対象航空機は、百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定した。

影響評価に係る火災諸元の設定に当たっては、これらの航空機落下により、燃料油が当該航空機の燃料タンクの配置及び大きさから算出する範囲に漏えいし、全面火災が生じることを想定し、以下の項目について評価する。ここでは、想定される燃料油の漏えい面積を円筒の底面と仮定し、火炎長を燃焼半径の 3 倍とした円筒火炎モデルを使用するものとする。火災諸元の設定を第 1.2 表に示す。

- ・ 燃焼半径
- ・ 火炎長
- ・ 燃焼速度
- ・ 燃焼継続時間
- ・ 火炎副発散度

第 1.1 表 航空機カテゴリ毎に落下を想定する機種

航空機カテゴリ	想定機種	燃料種類	燃料積載量 (m ³)	燃料油漏えい面積 (m ²)
計器飛行方式民間航空機 (飛行場での離着陸時)	B747-400 ^[1]	JET A-1	216.84	700
計器飛行方式民間航空機 (航空路を巡航中)	B747-400 ^[1]	JET A-1	216.84	700
有視界飛行方式民間航空機 (大型機)	B747-400 ^[1]	JET A-1	216.84	700
有視界飛行方式民間航空機 (小型機)	AS332L1 ^[2]	JET A-1	3.0	18.8
自衛隊機又は米軍機 (訓練空域外を飛行中) ※ 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	KC-767	JP-4	145.03	405.2
自衛隊機又は米軍機 (訓練空域外を飛行中) ※ その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	F-15	JP-4	14.87	44.6
自衛隊機 (基地－訓練空域間を往復時)	F-15	JP-4	14.87	44.6

[1] 日本原子力発電株式会社、「東海第二発電所 外部火災影響評価について」(新規制基準適合性に係る審査(第167回審査会合)の資料)、平成26年12月
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11174357/www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yyuushikisya/tekigousei/power_plants/h26fy/20141202.html

[2] JNES、「航空機落下事故に関するデータの整備(JNES-RE-2013-9011)」、平成25年11月

第 1.2 表 (1) 火災諸元の設定 (B747-400)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	14.927	$R = \sqrt{700/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	44.781	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	216.84	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.039	文献調査結果 ^[1]
燃料密度	ρ	kg/m ³	850	文献調査結果 ^[2]
燃焼速度	v	m/s	4.59×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	t	h	1.875	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	50,000	文献調査結果 ^[1]

[1] 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

[2] 昭和シェル石油、「安全データシート(Jet A-1)」、平成 30 年 2 月

第 1.2 表 (2) 火災諸元の設定 (AS332L1)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	2.446	$R = \sqrt{18.8/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	7.339	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	3.0	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.039	文献調査結果 ^[1]
燃料密度	ρ	kg/m ³	850	文献調査結果 ^[2]
燃焼速度	v	m/s	4.59×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	t	h	0.966	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	50,000	文献調査結果 ^[1]

[1] 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

[2] 昭和シェル石油、「安全データシート(Jet A-1)」、平成 30 年 2 月

第 1.2 表 (3) 火災諸元の設定 (KC767)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	11.357	$R = \sqrt{405.2/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	34.071	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	145.03	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.051	文献調査結果 ^[1]
燃料密度	ρ	kg/m ³	760	文献調査結果 ^[1]
燃焼速度	v	m/s	6.71×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	T	h	1.482	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	58,000	文献調査結果 ^[1]

[1] 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

第 1.2 表 (4) 火災諸元の設定 (F-15)

項目	記号	単位	値	備考
燃焼半径	R	m	3.768	$R = \sqrt{44.6/\pi}$
火炎長 (火炎高さ)	L_f	m	11.304	$L_f = 3R$
燃料油貯蔵量	V	m ³	14.87	
質量低下速度	M	kg/m ² /s	0.051	文献調査結果 ^[1]
燃料密度	ρ	kg/m ³	760	文献調査結果 ^[1]
燃焼速度	v	m/s	6.71×10^{-5}	$v = M/\rho$
燃焼継続時間	t	h	1.38	$t = \frac{V}{3600 \times \pi R^2 \times v}$
火炎輻射発散度	Rf	W/m ²	58,000	文献調査結果 ^[1]

[1] 「Fire Dynamics Tools (FDTs) - Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805)」より引用

2. 影響評価結果

2.1 建物外壁

評価対象施設の外壁表面温度評価に係る評価式等を以下に示す。当該評価式等により、評価対象施設の外壁輻射強度を算出し、評価対象施設外壁表面温度を評価する。

評価対象施設外壁表面温度の最高温度は、自衛隊機又は米軍機の落下事故（基地－訓練空域間を往復時の落下事故）における約 97℃であり、許容温度である 200℃を下回る（第 2 表参照）。

外壁における輻射強度 E (W/m²) : E = RfΦ

形態係数 Φ

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

$$m = \frac{L_f}{R} \doteq 3, \quad n = \frac{L_i}{R}, \quad A = (1+n)^2+m^2, \quad B = (1-n)^2+m^2$$

L_i : 離隔距離 (m)

外壁表面温度

$$T = T_0 + \frac{2 \times E \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp \left(-\frac{\chi^2}{4 \times \alpha \times t} \right) - \frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc} \left(\frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \right) \right]$$

T₀ : コンクリート外壁表面初期温度 (40℃)

2.2 建物天井スラブ

天井スラブの評価は以下の理由により、外壁の評価に包含される。

- ① 火炎長が天井スラブより低い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ② 火炎長が天井スラブより高い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、離隔距離が大きくなることから、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。
- ③ 火炎からの離隔距離が等しいとした場合においても、垂直面（外壁）と水平面（天井スラブ）の形態係数は、垂直面の方が大きいことから、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

第2表 航空機落下に係る熱的影響評価結果

			離隔距離 (m)	形態係数 (-)	外壁における 輻射強度 (W/m ²)	外壁表面温 度 (°C)
(1) 計器 飛行方式民間 航空機の 落下事故	① 飛行場での離着陸時 における落下事故		737	7.94×10^{-4}	40	42
	② 航空路を巡航中の落 下事故		837	6.14×10^{-4}	31	41
(2) 有視界飛行方式民間 航空機の落下事故	大型機		355	3.45×10^{-3}	173	48
	小型機		204	2.77×10^{-4}	14	40
(3) 自衛 隊機又は米 軍機の落下 事故	訓練空域内 で訓練中及 び訓練空域 外を飛行中 の落下事故	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	338	2.19×10^{-3}	127	45
		② その他 の大型固定 翼機、小型 固定翼機及 び回転翼機	61	7.44×10^{-3}	431	57
	基地－訓練空域間を往復 時の落下事故		33	2.47×10^{-2}	1434	97

平成 29 年 3 月 30 日申請時の評価

平成 29 年 3 月 30 日付けで申請した原子炉設置変更許可申請書における第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）に係る航空機落下にあつては、主に平成 25 年までのデータに基づき航空機落下確率を評価し、熱的影響評価を実施している。

第 1 表に計算条件を、第 2 表に計算結果を示す。

第 2 表に示すとおり、評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 97℃であり、許容温度である 200℃を下回ることを確認した。

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件 (1/2)

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (飛行場での離着陸時における落下事故)]

項目	申請時
国内での離着陸時事故件数(件)	4 ^[1]
国内での離着陸回数(離着陸回)	32,780,942 ^[2]
当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数 (離着陸回/年)	4,202 ^[3]

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (航空路を巡航中の落下事故)]

項目	申請時
巡航中事故件数(件)	0.5 ^[1]
延べ飛行距離(飛行回・km)	10,132,601,674 ^[1]
評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)	・航空路(直行経路を含む。): 365 ^[4] ・RNAV経路: 36,865 ^[4]

[有視界飛行方式民間航空機の落下事故]

項目	申請時
対象航空機の落下事故件数(件)	・大型固定翼機 0.5 ^[1] ・小型固定翼機 35 ^[1] ・大型回転翼機 1 ^[1] ・小型回転翼機 25 ^[1]
全国土面積 (km ²)	372,000 ^[1]

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件の対比 (2/2)

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故)]

項目	申請時
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 0.5^[1] ・米軍機 1^[1]
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 8^[1] ・米軍機 4^[1]
全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積 (km ²)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 295,000^[1] ・米軍機 372,000^[1]

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (基地－訓練空域間を往復時の落下事故)]

項目	申請時
基地と訓練空域間を往復中の落下事故件数(件)	0.5 ^[1]

[引用元]

- [1] 「航空機落下事故に関するデータの整備」 JNES-RE-2013-9011 原子力安全基盤機構
- [2] 「航空輸送統計年報 第1表 総括表」、「空港管理状況調書」 平成25年 国土交通省 航空局
- [3] 「暦年・年度別航空管理状況調書」 平成25年 国土交通省 航空局
- [4] 国土交通省 航空局への問い合わせ結果 (平成24年下期のデータ)

第2表 航空機落下に係る熱的影響評価結果

項 目		申請時	
(1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時における落下事故	43℃ (離隔距離：591m)	
	② 航空路を巡航中の落下事故	44℃ (離隔距離：523m)	
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	大型機	48℃ (離隔距離：355m)	
	小型機	41℃ (離隔距離：156m)	
(3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故	訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	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	46℃ (離隔距離：338m)
		② その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	49℃ (離隔距離：87m)
	基地－訓練空域間を往復時の落下事故	97℃ (離隔距離：33m)	

平成 29 年までのデータによる評価

平成 29 年 3 月 30 日付けで申請した原子炉設置変更許可申請書における第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）に係る航空機落下にあつては、主に平成 25 年までのデータに基づき航空機落下確率を評価し、熱的影響評価を実施している。

これに対し、原子力規制庁より令和元年 12 月に平成 10 年 1 月から平成 29 年 12 月までの 20 年間に国内で発生した航空機事故データについて、報告されたことを踏まえ、最新の知見を反映した場合の航空機落下確率を評価し、熱的影響評価を実施する。

第 1 表に計算条件の対比を、第 2 表に計算結果の対比を示す。

第 2 表に示すとおり、最新の知見を反映した評価対象施設外壁表面温度の最高温度は約 97℃であり、最新の知見を反映した場合にあつても、許容温度である 200℃を下回ることを確認した。

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件の対比 (1/2)

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (飛行場での離着陸時における落下事故)]

項目	最新知見	申請時
国内での離着陸時事故件数(件)	2 ^[1]	4
国内での離着陸回数(離着陸回)	36,378,238 ^[1]	32,780,942
当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数 (離着陸回/年)	5,692 ^[2]	4,202

[計器飛行方式民間航空機の落下事故 (航空路を巡航中の落下事故)]

項目	最新知見	申請時
巡航中事故件数(件)	0.5 ^[1]	0.5
延べ飛行距離(飛行回・km)	11,327,599,138 ^[1]	10,132,601,674
評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)	・航空路(直行経路を 含む。):912.5 ^[3] ・RNAV経路:36,865 ^[3]	・航空路(直行経路を 含む。):365 ・RNAV経路:36,865

[有視界飛行方式民間航空機の落下事故]

項目	最新知見	申請時
対象航空機の落下事故件数(件)	・大型固定翼機 0.5 ^[1] ・小型固定翼機 29 ^[1] ・大型回転翼機 2 ^[1] ・小型回転翼機 18 ^[1]	・大型固定翼機 0.5 ・小型固定翼機 35 ・大型回転翼機 1 ・小型回転翼機 25
全国土面積 (km ²)	372,969 ^[1]	372,000

第1表 離隔距離の評価における主な計算条件の対比 (2/2)

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故)]

項目	最新知見	申請時
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 0.5^[1] ・米軍機 1^[1] 	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 0.5 ・米軍機 1
訓練空域外での空中給油等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機の落下事故件数(件)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 9^[1] ・米軍機 3^[1] 	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 8 ・米軍機 4
全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積 (km ²)	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 294,881^[1] ・米軍機 372,472^[1] 	<ul style="list-style-type: none"> ・自衛隊機 295,000 ・米軍機 372,000

[自衛隊機又は米軍機の落下事故 (基地－訓練空域間を往復時の落下事故)]

項目	最新知見	申請時
基地と訓練空域間を往復中の落下事故件数(件)	0.5 ^[1]	0.5

[引用元]

- [1] 「航空機落下事故に関するデータ(平成10～29年)」 NTEN-2019-2001 原子力規制庁
- [2] 「暦年・年度別航空管理状況調書」 平成26年 国土交通省 航空局
- [3] 国土交通省 航空局への問い合わせ結果 (平成29年下半期のデータ)

第2表 航空機落下に係る熱的影響評価結果の対比

項目		最新知見 の反映	申請時
(1) 計器飛行方式民間 航空機の落下事故	① 飛行場での離着陸時における落 下事故	42℃ (離隔距離： 768m)	43℃ (離隔距離： 591m)
	② 航空路を巡航中の落下事故	44℃ (離隔距離： 550m)	44℃ (離隔距離： 523m)
(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	大型機	55℃ (離隔距離： 265m)	48℃ (離隔距離： 355m)
	小型機	41℃ (離隔距離： 182m)	41℃ (離隔距離： 156m)
(3) 自衛隊機又は米軍 機の落下事故	訓練空域内で訓 練中及び訓練空 域外を飛行中の 落下事故	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	46℃ (離隔距離： 338m)
		② その他の大 型固定翼機、小型 固定翼機及び回 転翼機	49℃ (離隔距離： 85m)
	基地－訓練空域間を往復時の落下事 故	97℃ (離隔距離： 33m)	97℃ (離隔距離： 33m)