

添付資料-3 最新知見を踏まえた航空機落下確率等の再評価

目 次

1. 航空機落下確率の再評価について…………… 添 3-1-1
2. 航空機墜落による火災の再評価について…………… 添 3-2-1

1. 航空機落下確率の再評価について

令和5年3月31日に原子力規制庁から「航空機落下事故に関するデータ(平成13～令和2年)における軍用機事故データ調査方法の改善及びそれに伴う当該データの増加」(NIN4-20230331-tc)が発出されており、「NRA技術ノート 航空機落下事故に関するデータ(平成13～令和2年)」(令和5年3月 原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門)(以下「令和4年度NRA技術ノート」という。)において、平成13年1月から令和元年12月までの期間の航空機落下確率評価で対象とする事故の件数が増加したことから、航空機落下確率の再評価を実施した。

川内1号機に対する航空機落下確率について、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」(平成21・06・25 原院第1号)に基づき再評価を実施した結果、約 5.3×10^{-8} 回/炉・年となり、判断基準値である 10^{-7} 回/炉・年を下回ることを確認した。

評価対象事故、評価に用いた数値及び評価結果について、以下に示す。

1.1 評価対象事故

発電所 及び 号機	1) 計器飛行方式民間航空機の 落下事故		2) 有視界飛行 方式民間航 空機の落下 事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下 事故	
	①飛行場での離 着陸時におけ る落下事故	②航空路を巡航 中の落下事故		①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	②基地－訓練 空域間往復時 の落下事故
川内1号機	×注1	○注2	○	○ 〔訓練空域外を 飛行中の落下 事故〕	○注3

○:対象、×:対象外

注 1:滑走路方向から $\pm 60^\circ$ の範囲に発電所が位置する空港があるが、当該空港の最大離着陸距離が、発電所から当該空港までの距離より小さいため、評価対象外とした。

注 2:発電所周辺に存在する航空路と発電所との距離が、それぞれの航空路の幅より短い場合は、評価対象とした。

注 3:自衛隊機の想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する。

1.2 評価に用いた数値

1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

② 航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率(回/年)

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数(飛行回/年)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

W : 航空路幅(km)

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率
(回/(飛行回・km))

G_c : 巡航中事故件数(回)

H_c : 延べ飛行距離(飛行回・km)

発電所及び号機	川内1号機
パラメータ	
対象航空路	直行経路: KUMAMOTO (KUE) – SAILS 広域航法経路 (RNAV): Y501 (ADNOK – IKASU)
N_c 注1	182.5 (直行経路) 365 (広域航法経路 (RNAV))
A 注2	0.0103
W 注3	14.816 (直行経路) 18.52 (広域航法経路 (RNAV))
f_c 注4	0.5 / 11,759,413,566 = 4.25 × 10 ⁻¹¹
P_c	1.40 × 10 ⁻¹¹

注1: 国土交通省航空局への問合せ結果(令和4年のピーク日の交通量)を365倍した値。なお、直行経路については、ピーク日における飛行回数が0回のため、保守的に0.5回とみなし、年間182.5回とした。

注2: 原子炉格納容器、原子炉補助建屋等、海水ポンプエリア等の合計値として、標的面積を0.0103km²とする。

注3: 直行経路については、「飛行方式設定基準」に基づき、中心線から両側に4nm(1nm=1.852km、全幅: 14.816km)とする。広域航法経路(RNAV)については、「AIP JAPAN」の航法精度に基づき、中心線から両側に5nm(全幅: 18.52km)とする。

注4: 巡航中事故件数(G_c)は、平成13年～令和2年の間で0件(「令和4年度NRA技術ノート」)のため0.5件と仮定する。

延べ飛行距離(H_c)は、平成13年～令和2年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1.輸送実績」における運航キロメートルの国内の値(幹線、ローカル線、不定期の合計値)を合計した値。

2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha)$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率(回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率(回/年)

S_v : 全国土面積(km²)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

α : 対象航空機の種類による係数

発電所及び号機	川内1号機
パラメータ	
f_v 注1	大型固定翼機 0.5/20=0.025 小型固定翼機 22/20=1.100 大型回転翼機 1/20=0.050 小型回転翼機 17/20=0.850
S_v 注1	372,000
A	0.0103
α 注2	大型固定翼機、大型回転翼機: 1 小型固定翼機、小型回転翼機: 0.1
P_v	7.48×10^{-9}

注 1: 「令和 4 年度 NRA 技術ノート」より算出した。なお、大型固定翼機の事故件数は 0 件のため、0.5 件と仮定する。

注 2: 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」より。

3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

① 訓練空域外を飛行中の落下事故

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_o} \right) \cdot A$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率(回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率(回/年)

S_o : 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(km²)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

発電所及び号機 パラメータ	川内1号機
f_{so} 注1	自衛隊機 15/20=0.75 米軍機 4/20=0.20
S_o 注1	自衛隊機 294,000 米軍機 372,000
A	0.0103
P_{so}	3.18×10^{-8}

注1:「令和4年度 NRA 技術ノート」より算出した。

- ② 基地－訓練空域間往復時の落下事故(想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合)

$$P_{se} = \left(\frac{f_{se}}{S_{se}} \right) \cdot A$$

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)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積(km²)

A : 原子炉施設の標的面積(km²)

発電所及び号機 パラメータ	川内1号機
f_{se} 注1	0.5/20=0.025
S_{se} 注2	19,400
A	0.0103
P_{se}	1.33×10^{-8}

注1:「令和4年度 NRA 技術ノート」の自衛隊機の事故件数は0件のため、0.5件と仮定する。

注2:「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」より算出した。

1.3 落下確率値の合計値

(回/炉・年)

発電所及び号機	1) 計器飛行方式民間航空機の 落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機 の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の 落下事故		合 計
	① 飛行場での離 着陸時における 落下事故	② 航空路を巡航 中の落下事故		① 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	② 基地－訓練空 域間往復時の 落下事故	
川内1号機	—	1.40×10^{-11}	7.48×10^{-9}	3.18×10^{-8}	1.33×10^{-8}	約 5.3×10^{-8}

2. 航空機墜落による火災の再評価について

2.1 はじめに

令和5年3月31日に原子力規制庁から「航空機落下事故に関するデータ(平成13～令和2年)における軍用機事故データ調査方法の改善及びそれに伴う当該データの増加」(NIN4-20230331-tc)が発出されており、「NRA技術ノート 航空機落下事故に関するデータ(平成13～令和2年)」(令和5年3月 原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門)(以下「令和4年度 NRA技術ノート」という。)を踏まえた航空機墜落確率の再評価を実施している。

今回、航空機墜落確率から算出した防護対象施設までの離隔距離が変更となったことから、航空機墜落による火災の影響について、再評価を実施した。

川内1号機に対する航空機墜落による火災の影響評価について、「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 原規技発第13061912号)(以下「ガイド」という。)に基づき、再評価を実施した結果を以下にまとめる。なお、航空機墜落による火災の影響評価については、川内1/2号機で離隔距離をそれぞれ算出し、評価上厳しくなる条件を設定している。

2.2 航空機墜落による火災の評価結果

航空機墜落による火災の評価結果は以下のとおりであり、詳細は表1に示す。

(防護対象施設：建屋)

- ・3)自衛隊機又は米軍機のうち、②その他大型回転翼機、小型翼機及び回転翼機(F-15)(以下、「②その他大型回転翼機等(F-15)」という。)以外の航空機機種については、今回の離隔距離が設計及び工事計画認可申請書(以下「既設工認」という。)記載の危険距離(防護対象施設の表面温度が許容温度になる距離)より大きいことから、外部火災防護を満足することを確認した。
- ・②その他大型回転翼機等(F-15)については、今回の離隔距離が既設工認記載の危険距離より小さいことから、今回の離隔距離における防護対象施設の評価温度の評価を行ったところ、放熱を考慮することにより、防護対象施設の評価温度が許容温度以内であることを確認した。

(防護対象施設：海水ポンプ、燃料取替用水タンク及び復水タンク)

- ・今回の離隔距離が既設工認記載の危険距離より大きいことから、外部火災防護を満足することを確認した。

2.3 敷地内危険物タンク火災と航空機墜落による火災の重畳火災の評価結果

敷地内危険物タンク火災のうち評価結果が最も厳しい大容量空冷式発電機用燃料タンク火災と前項の航空機墜落による火災のうち評価結果が最も厳しい②その他大型回転翼機等(F-15)火災との重畳火災について、川内1/2号機で重畳火災による影響が最も大きい2号炉燃料取扱建屋に関する重畳火災の評価温度の評価を行ったところ、放熱及び延焼評価を考慮することにより、今回の離隔距離における防護対象施設の評価温度が防護対象施設の許容温度以内であることを表2のとおり確認した。

表1：航空機墜落による火災の評価結果

	1) 計器飛行方式民間航空機		2) 有視界飛行方式民間航空機の航空機落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機			
	① 飛行場での離着陸時	② 航空路を巡回中		① 訓練域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中※1 ① 空中給油機等、高高度での巡行が想定される大型固定翼機	② その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機	③ 基地－訓練空域間往復時	
(A) 今回の離隔距離※2	—※4	2981m	84m	196m	17m	54m	
対象機種※3		B747-400		KC-767	F-15	P-3C	
防護対象施設： 建屋		(B) 既設工認の危険距離	78m		61m	20m	29m
		(C) 今回の評価温度	—		—	173℃※6	—
		(D) 許容温度	—		—	200℃	—
		判定	○ ((A) > (B))		○ ((A) > (B))	○ ((D) > (C))	○ ((A) > (B))
防護対象施設： 海水ポンプ		(E) 既設工認の危険距離	56m	—※5	46m	16m	22m
		判定	○ ((A) > (E))		○ ((A) > (E))	○ ((A) > (E))	○ ((A) > (E))
防護対象施設： 燃料取替用水タンク	(F) 既設工認の危険距離	15m		12m	4m	6m	
	判定	○ ((A) > (F))		○ ((A) > (F))	○ ((A) > (F))	○ ((A) > (F))	
防護対象施設： 復水タンク	(G) 既設工認の危険距離	38m		28m	9m	14m	
	判定	○ ((A) > (G))		○ ((A) > (G))	○ ((A) > (G))	○ ((A) > (G))	

※1：訓練空域外を飛行中の落下事故

※2：川内 1/2 号機で離隔距離をそれぞれ算出し、評価上厳しくなる条件を設定する。

※3：既設工認以降の航空機機種に見直しがないことを確認しており、既設工認と同じ対象機種を記載する。

※4：川内原子力発電所付近の空港の最大離着陸地点までの距離は、当該発電所と空港の距離よりも短いため、評価対象外。

※5：「3) 自衛隊機又は米軍機のうち、②その他の大型固定翼機、小型翼機及び回転翼機」に包絡できることから、評価対象外

※6：放熱を考慮した評価結果を示す。

表2：敷地内危険物タンク火災と航空機墜落による火災の重畳火災の評価結果

航空機機種※1	危険物タンク※1	防護対象施設	評価温度（燃焼継続時間）※2	評価結果（許容温度）	備考
F-15 (17m)	大容量空冷式発電機用燃料タンク 2 基 (1 号機:18m, 2 号機:36m)	2 号炉燃料取扱建屋（障壁）	243℃ (3.7 時間) ※2	○ (350℃※3)	図 1
F-15 (20m) ※4	大容量空冷式発電機用燃料タンク 1 基 (2 号機:26m) ※4	2 号炉燃料取扱建屋（障壁なし）	174℃※4	○ (200℃※5)	図 2

※1：括弧書きは防護対象施設との距離を示す。

※2：放熱を踏まえた評価結果を示す。

※3：既設工認時に実施した障壁の耐火試験（350℃以上で4時間加熱保持）で防護対象施設のコンクリート最高温度が約40℃で、防護対象施設の許容温度200℃を満足できていることから、本評価の許容温度を耐火試験条件350℃とする。

※4：放熱及び延焼評価を踏まえた評価結果を示す。

具体的には、航空機墜落による火災で危険物タンクに延焼する距離を評価した結果、約4mとなっており、図2のと通りの配置の大容量空冷式発電機用燃料タンク2基同時に延焼することがないことから、航空機F-15(20m)と大容量空冷式発電機1基(26m)の重畳火災での評価温度を示す。

※5：防護対象施設の建屋コンクリート許容温度200℃とする。

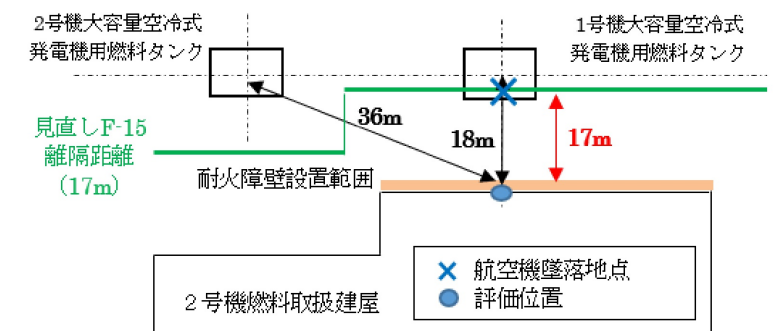


図1 2号炉燃料取扱建屋（障壁）評価条件

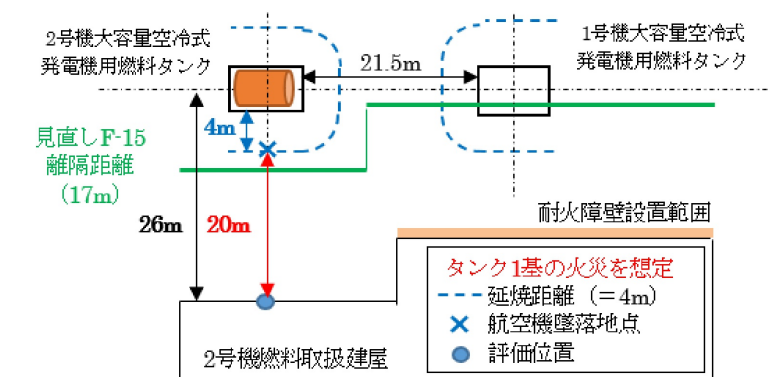


図2 2号炉燃料取扱建屋（障壁なし）評価条件

航空機墜落による火災等の評価式

1. 落下地点の想定

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」(平成 21・06・25 原院第 1 号)に基づき算出した航空機落下確率を踏まえ、落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する標的面積を算出し、標的面積より防護対象施設からの離隔距離を求めた。

1) 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)

$$P_c = \frac{f_c \cdot N_c \cdot A}{W}$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

W : 航空路幅 (km)

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率 (回/(飛行回・km))

G_c : 巡航中事故件数 (回)

H_c : 延べ飛行距離 (飛行回・km)

発電所及び号機 パラメータ	川内1号機	川内2号機
対象航空路	直行経路 : KUMAMOTO (KUE) - SAILS 広域航法経路 (RNAV) : Y501 (ADNOK - IKASU)	
N_c^{*1}	182.5 (直行経路) 365 (広域航法経路 (RNAV))	
A^{*2}	0.0103	0.0104
W^{*3}	14.816 (直行経路) 18.52 (広域航法経路 (RNAV))	
f_c^{*4}	0.5 / 11,759,413,566 = 4.25×10^{-11}	
P_c	1.40×10^{-11}	1.42×10^{-11}

※1 : 国土交通省航空局への問合せ結果 (令和4年のピーク日の交通量) を365倍した値。なお、直行経路については、ピーク日における飛行回数が0回のため、保守的に0.5回とみなし、年間182.5回とした。

※2 : 原子炉格納容器、原子炉補助建屋等、海水ポンプエリア等の合計値として、川内1号機の標的面積を0.0103 km^2 、川内2号機の標的面積を0.0104 km^2 とする。

※3 : 直行経路については、「飛行方式設定基準」に基づき、中心線から両側に4nm (1nm=1.852km、全幅 : 14.816km) とする。広域航法経路 (RNAV) については、「AIP JAPAN」の航法精度に基づき、中心線から両側に5nm (全幅 : 18.52km) とする。

※4 : 巡航中事故件数 (G_c) は、平成13年~令和2年の間で0件 (「令和4年度NRA技術ノート」) のため

0.5件と仮定する。

延べ飛行距離(H_c)は、平成13年～令和2年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の値（幹線、ローカル線、不定期の合計値）を合計した値。

以上より、 $P_c=10^{-7}$ となる標的面積 A を算出すると、1号機及び2号機で73 (km²) となる。算出した標的面積より、1号機及び2号機の防護対象施設からの離隔距離を $L=2981$ (m) とする。

2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = \frac{f_v}{S_v} (A \cdot \alpha)$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

α : 対象航空機の種類による係数

発電所及び号機 パラメータ	川内1号機	川内2号機
$f_v^{※1}$	大型固定翼機 0.5/20=0.025 小型固定翼機 22/20=1.100 大型回転翼機 1/20=0.050 小型回転翼機 17/20=0.850	
$S_v^{※1}$	372,000	
A	0.0103	0.0104
$\alpha^{※2}$	大型固定翼機、大型回転翼機 : 1 小型固定翼機、小型回転翼機 : 0.1	
P_v	7.48×10^{-9}	7.55×10^{-9}

※1:「令和4年度 NRA 技術ノート」より算出した。なお、大型固定翼機の事故件数は0件のため、0.5件と仮定する。

※2:「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」より。

以上より、 $P_v=10^{-7}$ となる標的面積 A を算出すると、1号機及び2号機で0.13 (km²) となる。算出した標的面積より、1号機の防護対象施設からの離隔距離を $L=84$ (m)、2号機の防護対象施設からの離隔距離を $L=85$ (m) とする。

3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

①訓練空域外を飛行中の落下事故(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)

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_o} \right) \cdot A$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率 (回/年)

S_o : 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 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

発電所及び号機 パラメータ	川内1号機	川内2号機
f_{so}^{*1}	自衛隊機 0.5/20=0.025 米軍機 1/20=0.050	
S_o^{*1}	自衛隊機 294,000 米軍機 372,000	
A	0.0103	0.0104
P_{so}	2.26×10^{-9}	2.28×10^{-9}

※1:「令和4年度 NRA 技術ノート」より算出した。なお、自衛隊機の事故件数は0件のため、0.5件と仮定する。

以上より、 $P_{so}=10^{-7}$ となる標的面積 A を算出すると、1号機及び2号機で0.45 (km²)となる。算出した標的面積より、1号機及び2号機の防護対象施設からの離隔距離を $L=196$ (m) とする。

②訓練空域外を飛行中の落下事故（その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機）

$$P_{so} = \left(\frac{f_{so}}{S_o} \right) \cdot A$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率（回／年）

S_o : 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（km²）

A : 原子炉施設の標的面積（km²）

発電所及び号機 パラメータ	川内1号機	川内2号機
$f_{so}^{※1}$	自衛隊機 15/20=0.75 米軍機 3/20=0.15	
$S_o^{※1}$	自衛隊機 294,000 米軍機 372,000	
A	0.0103	0.0104
P_{so}	3.04×10^{-8}	3.07×10^{-8}

※1：「令和4年度 NRA 技術ノート」より算出した。

以上より、 $P_{so}=10^{-7}$ となる標的面積 A を算出すると、1号機及び2号機で0.033（km²）となる。算出した標的面積より、1号機及び2号機の防護対象施設からの離隔距離を $L=17$ （m）とする。

③ 基地－訓練空域間往復時の落下事故（想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合）

$$P_{se} = \left(\frac{f_{se}}{S_{se}} \right) \cdot A$$

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）

S_{se} : 想定飛行範囲の面積（km²）

A : 原子炉施設の標的面積（km²）

発電所及び号機 パラメータ	川内1号機	川内2号機
$f_{se}^{※1}$	0.5/20=0.025	
$S_{se}^{※2}$	19,400	
A	0.0103	0.0104
P_{se}	1.33×10^{-8}	1.34×10^{-8}

※1：「令和4年度 NRA 技術ノート」の自衛隊機の事故件数は0件のため、0.5件と仮定する。

※2：「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」より算出した。

以上より、 $P_{se}=10^{-7}$ となる標的面積 A を算出すると、1号機及び2号機で0.077（km²）となる。算出した標的面積より、1号機及び2号機の防護対象施設からの離隔距離を $L=54$ （m）とする。

2. 航空機墜落による火災の評価式

航空機墜落による火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、防護対象施設が昇温されるものとして、以下の式を用いて評価する。

1) 表面からの放熱を考慮しない場合（既設工認より引用）

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{at}}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4at}\right) - \frac{x}{2\sqrt{at}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \right]$$

燃焼継続時間における防護対象施設の表面温度（ $x = 0$ 、 $t = \tau$ ）は以下のとおり。

$$T_S = T_0 + \frac{2E}{\lambda} \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}} \quad (\text{式 1})$$

出典：伝熱工学（2012年7月4日 第9刷 東京大学出版会）

2) 表面からの放熱を考慮する場合（後続プラントで評価に用いている手法より引用）

$$T = T_0 + \frac{E}{h} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) - \exp\left\{\frac{h}{\lambda}x + \left(\frac{h}{\lambda}\sqrt{at}\right)^2\right\} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}} + \frac{h}{\lambda}\sqrt{at}\right) \right]$$

燃焼継続時間における防護対象施設の表面温度（ $x = 0$ 、 $t = \tau$ ）は以下のとおり。

$$T_S = T_0 + \frac{E}{h} \left[1 - \exp\left[\frac{h^2}{\lambda c_p} \tau\right] \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2}{\lambda c_p} \tau}\right) \right] \quad (\text{式 2})$$

出典：建築火災のメカニズムと火災安全設計

（平成19年12月25日 財団法人日本建築センター）

（記号）

記号	単位	定義【入力値】
T	℃	評価温度
T_S	℃	燃焼継続時間における表面の評価温度（式1もしくは式2より算出）
T_0	℃	初期温度【50℃】
E	W/m^2	輻射強度（ガイドの評価式より引用）
a	m^2/s	コンクリート 温度伝導率（ $= \lambda/\rho \cdot C_p$ ）
λ	$W/m \cdot K$	コンクリート 熱伝導率【1.74】
C_p	$J/kg \cdot K$	コンクリート 比熱【963】
ρ	kg/m^3	コンクリート 密度【2,400】
t	s	燃焼開始からの時刻
τ	s	燃焼継続時間（ガイドの評価式より引用）
x	m	コンクリート深さ
h	$W/m^2 \cdot K$	コンクリート表面熱伝達率【17】

3. 敷地内危険物タンク火災と航空機墜落による火災の重畳火災の評価式

敷地内危険物タンク火災と航空機墜落による火災の重畳火災において、熱流束境界条件における温度分布を以下の式を用いて評価する。

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^{n+1} + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda_c} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n \quad (\text{式 3})$$

出典：伝熱工学（2012年7月4日 第9刷 東京大学出版会）

上式の q_s は、受熱面輻射強度の時間変化及び放熱を考慮し、以下のとおりである。

1) 表面からの放熱を考慮しない場合

$$q_s = E^{n+1} \quad (\text{式 4})$$

2) 表面からの放熱を考慮する場合

$$q_s = E^{n+1} - h(T_i^{n+1} - T_1) \quad (\text{式 5})$$

(記号)

記号	単位	定義【入力値】
T	℃	評価温度 (式3より算出)
Δt	s	時間差分 (上添字 n)
Δx	m	空間差分 (下添字 i)
q_s	W/m^2	コンクリート表面熱流束 (式4もしくは式5より算出)
r	—	$r = a \cdot \Delta t / \Delta x^2$
a	m^2/s	コンクリート 温度伝導率 (= $\lambda/\rho \cdot C_p$)
λ	$W/m \cdot K$	コンクリート 熱伝導率【1.74】
C_p	$J/kg \cdot K$	コンクリート 比熱【963】
ρ	kg/m^3	コンクリート 密度【2,400】
E	W/m^2	輻射強度 (ガイドの評価式より引用)
h	$W/m^2 \cdot K$	コンクリート表面熱伝達率【17】

4. 敷地内危険物タンク火災と航空機墜落による火災の重畳火災時の延焼評価式

敷地内危険物タンク火災と航空機墜落による火災の重畳火災評価を実施する上で、航空機と危険物タンクの重畳火災が起こりうる範囲を特定するために、航空機墜落による火災で危険物タンクが延焼する範囲を危険物タンク表面からの放熱を考慮し、以下の式を用いて評価する。

$$T^{n+1} = T^n + \frac{Q^n \cdot \Delta t}{c} \quad (\text{式6})$$

(記号)

記号	単位	定義【入力値】
T	K	敷地内タンク温度 (式6より算出)
Δt	s	時間ステップ
C	J/K	敷地内タンク内油熱容量【 4.59×10^7 】 (大容量空冷式発電機用燃料タンク燃料より算出)
Q	W	入熱量 ($= E \cdot A_{in} - Q_v \cdot A_{out}$)
E	W/m^2	航空機の輻射強度 (ガイドの評価式より引用)
A_{in}	m^2	敷地内タンクの入熱面積【61】
A_{out}	m^2	敷地内タンクの放熱面積【61】
Q_v	W/m^2	周囲への放熱量 ($= h(T - T_{ov})$)
T_{ov}	K	外気温度【50】
h	$W/m^2 \cdot K$	敷地内タンク表面熱伝達率【17】