

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-50-1 (改訂0)
提出年月日	平成30年4月12日

東海第二発電所
工事計画に係る説明資料
(発電用原子炉施設に対する自然現象等の
損傷の防止に関する説明書)

平成30年4月
日本原子力発電株式会社

1. 添付資料に係る補足説明資料

「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に係る添付資料の記載内容を補足するための説明資料リストを以下に示す。

工認添付資料	補足説明資料
V-1-1-2-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書	1. 航空機落下確率評価について
	2. 洪水及びダムの崩壊に対する考慮について
	3. 降水について
	4. 落雷について

2. 別紙

- (1) 工認添付資料と設置変更許可まとめ資料との関係【自然現象等による損傷の防止】

工認添付資料と設置変更許可まとめ資料との関係【自然現象等による損傷の防止】

工認添付資料		設置変更許可まとめ資料		引用内容
V-1-1-2-1	発電用原子炉施設に対する 自然現象等による損傷の防 止に関する説明書	DB	第5条 津波による損傷の防止	資料そのものを概ね引用
		DB	第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻, 火山, 外部火災, その他外部 事象)	資料そのものを概ね引用

V-1-1-2に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

V-1-1-2-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書

補足説明資料目次

1. 航空機落下確率評価について
2. 洪水及びダムの崩壊の影響評価について
3. 降水について
4. 落雷について

1. 航空機落下確率評価について

1. 航空機落下確率評価について

1.1 工事計画変更認可申請時の航空路の確認について

東海第二発電所の航空機落下確率評価において考慮すべき航空路については、工事計画変更認可申請時に、設置変更許可申請書添付書類六に掲載している航空路（添付資料1）から防護設計の要否を判断する基準を超えるような変更がないことを航空路誌（平成26年3月6日改訂版）（添付資料2）にて確認している。

1.2 工事計画変更認可申請時のその他のデータの確認について

東海第二発電所の航空機落下確率評価で使用される、最近の20年間（平成5年～平成24年）の航空機落下事故評価に用いる最新データ*1、*2において、有意な変更がないことを確認している。

以上より、航空機落下確率評価において使用するその他データにおいて、防護設計の要否を判断する基準を超えるような変更がないことを確認している。

*1 航空機落下事故に関するデータ（平成28年6月 原子力規制委員会）

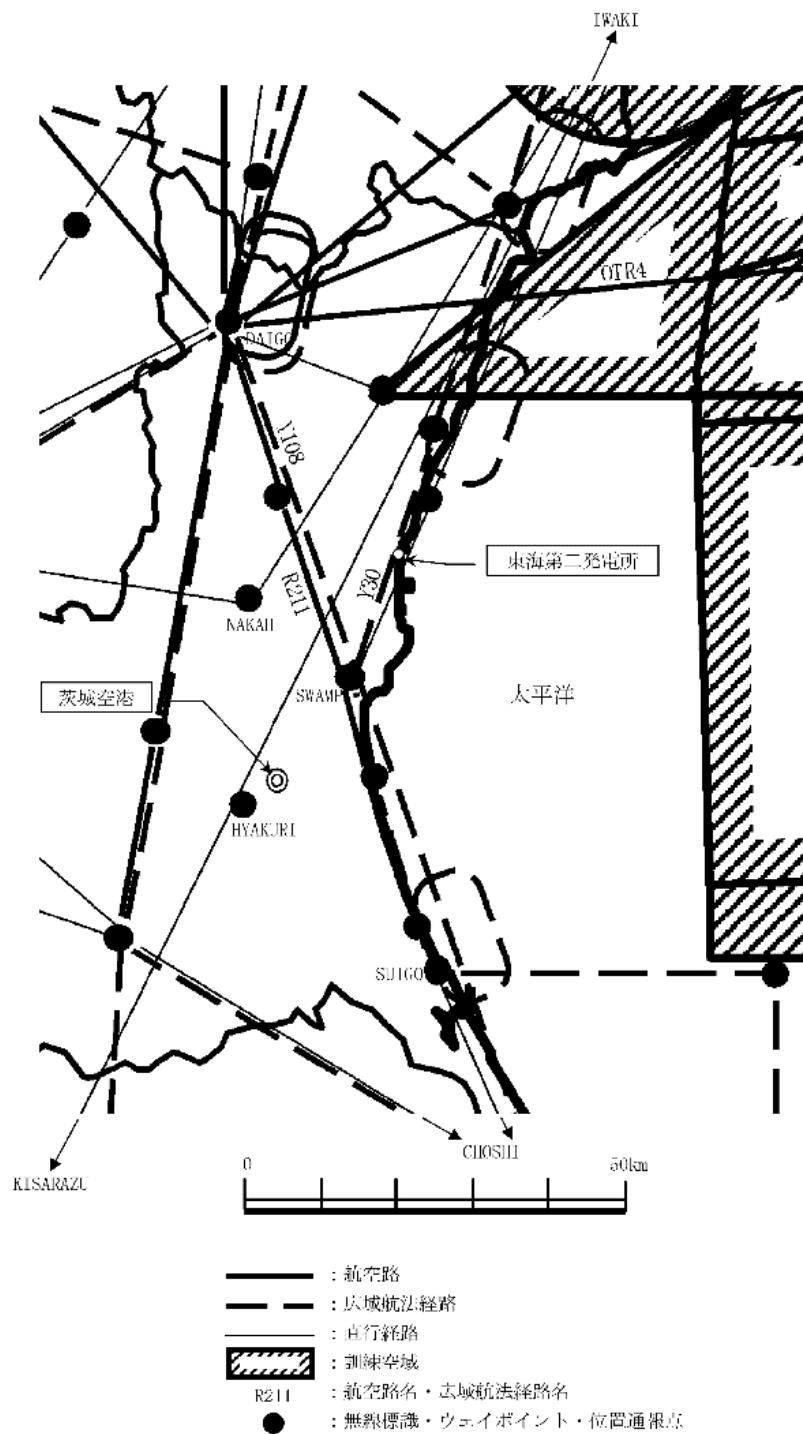
*2 航空輸送統計年報、第1表総括表 輸送実績

1.3 今後の確認について

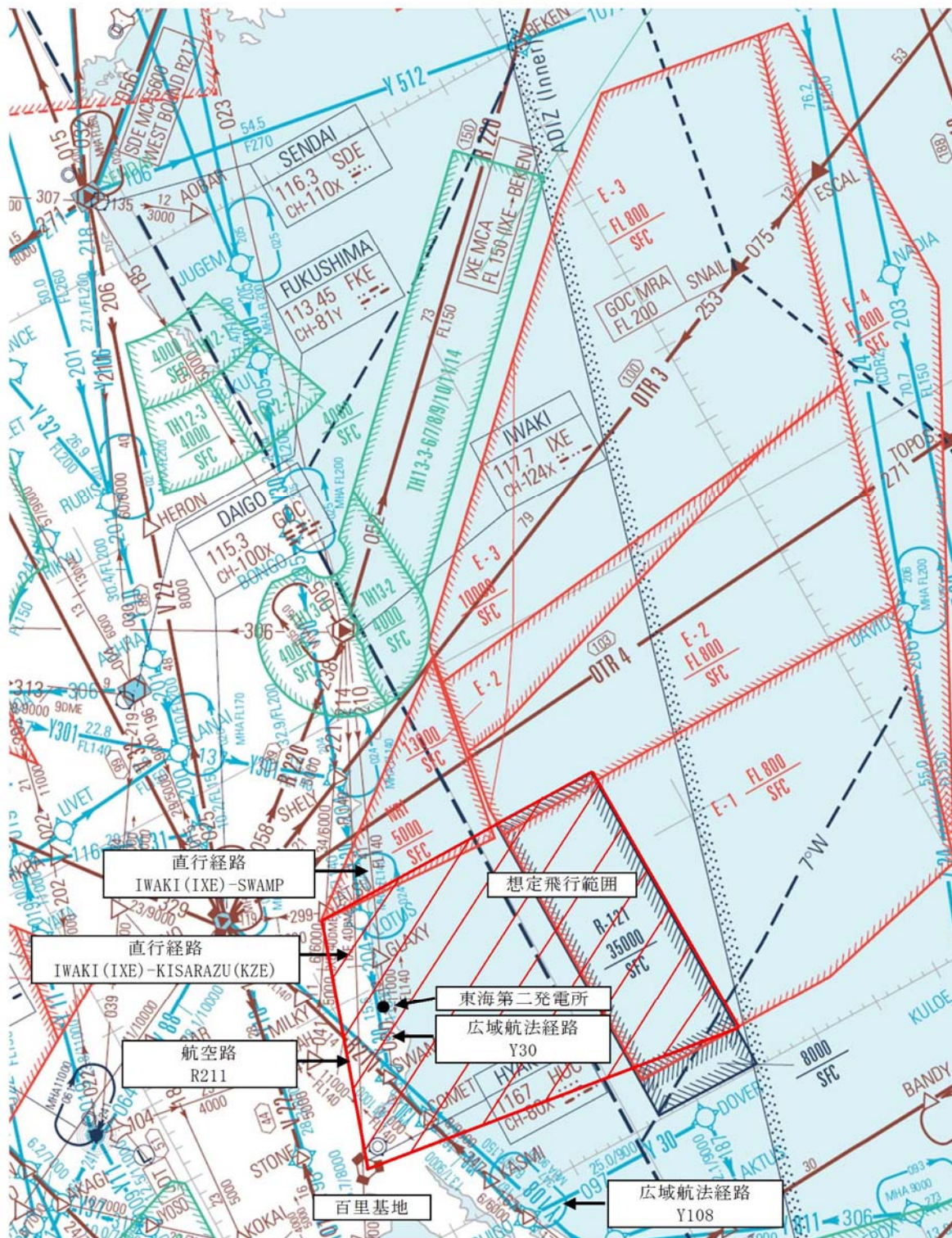
今後は外部火災評価のうち、航空機墜落による火災影響を定期的に評価する際に、航空路を含めた航空機落下確率評価に用いる最新データの変更状況を確認し、防護設計の要否を判断する基準を超える変更がないことを確認する。

以上

設置変更許可申請時の航空路（設置変更許可申請書 添付資料六より引用）



工事計画認可申請時の航空路



*赤実線：東海第二発電所の航空機落下確率を算出する上で考慮している航空路

(「航空路誌 (平成26年3月6日改訂版)」より抜粋)

【設置変更許可申請まとめ資料「6条（外部からの衝撃による損傷の防止）」より概ね抜粋】

「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」に基づく評価結果について

東海第二発電所の原子炉施設への航空機落下確率は、以下に示すとおり 10^{-7} (回/炉・年) を超えていないため、「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」に定められた判断基準を満足する。

発電所名称	落下確率 (回/炉・年)
東海第二発電所	約 8.5×10^{-8}

以上

評価対象事故及び評価に用いた数値について

1. 評価対象事故

発電所 名称	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
東海第二発電所	○*1	○*2	○	○*3 〔訓練空域外を飛行中の落下事故〕	○*3

○：対象 ×：対象外

*1：茨城空港の最大離着陸地点までの直線距離（以下「最大離着陸距離」という。）を半径とし、滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域内に発電所が存在するため、評価対象とした。
(添付資料1)

*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、当該航空路を評価対象とした。
(添付資料2)

*3：発電所上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため、訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とした。
また、東海第二発電所周辺の太平洋沖上空に自衛隊機の訓練空域があり、発電所は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲内に位置することから、自衛隊機の基地－訓練空域間を往復時の落下事故を評価対象とした。
(添付資料2)

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（飛行場での離着陸時における落下事故）

$$Pd, a = fd, a \cdot Nd, a \cdot A \cdot \Phi d, a(r, \theta)$$

Pd, a : 対象施設への離着陸時の航空機落下確率 (回/年)

$fd, a = Dd, a / Ed, a$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率 (回/離着陸回)

Dd, a : 国内での離着陸時事故件数 (回)

Ed, a : 国内での離着陸回数 (離着陸回)

Nd, a : 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)

A : 対象施設の標的面積 (km^2)

$\Phi d, a(r, \theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数 ($1/\text{km}^2$)

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
飛行場		茨城空港
fd, a^{*1}		約 1.43×10^{-7} (=4/27, 887, 158)
Nd, a^{*2}		4, 210
A^{*3}		約0.0221
$\Phi d, a(r, \theta)^{*4}$		約 2.98×10^{-4}
発電所からの距離		約36km
滑走路方向に対する角度 ^{*5}		約 9.60°
最大離着陸距離 ^{*6}		約56km (30nm)
Pd, a		約 3.98×10^{-9}

* 1 : 離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において離着陸時に1件、着陸時に3件。(添付資料3)

離着陸回数は、平成5年～平成24年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1.輸送実績」における運航回数の国内の値及び国際の値の合計値。(添付資料4)

* 2 : 「数字でみる航空2014」にある平成24年飛行場別着陸回数と同数を離着陸回数とし、その和を飛行場別離着陸回数とした。

* 3 : 別紙のとおり。(添付資料5)

* 4 : 別紙のとおり。(添付資料6)

* 5 : 別紙のとおり。(添付資料1)

* 6 : A I Pを参照した。(添付資料7)

(2) 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）

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A/W$$

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

$f_c = G_c/H_c$: 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)

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 : 対象施設の標的面積 (km²)

W : 航空路幅 (km)

発電所名称 パラメータ	東海第二発電所	
対象航空路* ¹	直行経路： IWAKI (IXE) —SWAMP IWAKI (IXE) —KISARAZU (KZE)	広域航法経路： Y30 (LOTUS—SWAMP)
f_c * ²	約 5.13×10^{-11} (=0.5/9,740,013,768)	
N_c * ³	365 (H24年データ)	1095 (H24年データ)
A * ⁴	約0.0138	
W * ⁵	14.816	18.52
P_c	約 5.93×10^{-11}	

* 1 : 別紙のとおり。

(添付資料2)

* 2 : 延べ飛行距離は、平成5年～平成24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合計値。

(添付資料4)

巡航中の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において0件であるため、0.5件発生したものとして評価した。

(添付資料3)

* 3 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果 (ピークデイの値) を365倍した値。

(添付資料8)

* 4 : 別紙のとおり。

(添付資料5)

* 5 : 直行経路については「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については、航法精度を航空路の幅とみなして用いた。(1nm=1.852kmとして換算した。)

(3) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = (f_v/S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

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 : 対象施設の標的面積 (km²)

α : 対象航空機の種類による係数

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
f_v^{*1}	大型固定翼機	0.025 (=0.5/20)
	大型回転翼機	0.05 (=1/20)
	小型固定翼機	1.75 (=35/20)
	小型回転翼機	1.20 (=24/20)
S_v^{*2}		37.2万
A^{*3}		約0.0138
α^{*4}		1 (大型機), 0.1 (小型機)
P_v		約 1.37×10^{-8}

* 1 : 「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)による。なお、大型固定翼機の事故件数は平成5年～平成24年において0件であるため、0.5件発生したものとして評価した。(添付資料9)

* 2 : 「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)による。

* 3 : 別紙のとおり。(添付資料5)

* 4 : 「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(内規)」による。

(4) 自衛隊機又は米軍機の落下事故（訓練空域外を飛行中の落下事故）

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

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）

A : 対象施設の標的面積（ km^2 ）

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（ km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所
f_{so}^{*1}		自衛隊機 0.35 (=7/20) 米軍機 0.25 (=5/20)
S_o^{*1}		自衛隊機 29.5万 (=約37.2万-約7.72万) 米軍機 37.2万 (=約37.2万-約0.05万)
A^{*2}		約0.0138
P_{so}		約 2.56×10^{-8}

* 1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）による。

(添付資料10)

* 2 : 別紙のとおり。

(添付資料5)

(5) 自衛隊機又は米軍機の落下事故（基地-訓練空域間往復時の落下事故）

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

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} : 想定飛行範囲の面積（ km^2 ）

パラメータ	発電所名称	東海第二発電所 (自衛隊機の評価)
f_{se}^{*1}		0.25 (=5/20)
S_{se}^{*2}		175,720
f_{se}/S_{se}^{*3}		3.00×10^{-6}
A^{*4}		約0.0138
P_{se}		約 4.14×10^{-8}

* 1 : 「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月原子力規制委員会）により、百里基地-訓練空域間の想定飛行範囲内における自衛隊機の移動時の事故件数は平成5年～平成24年において0件であり、全国の基地-訓練空域間往復時の事故件数（5件）を用いた。

(添付資料10, 11)

* 2 : 全国の基地-訓練空域間往復時の想定飛行範囲の面積。

(添付資料11)

* 3 : f_{se} , S_{se} から算出された約 1.42×10^{-6} 回/（年・ km^2 ）を保守的に2倍にして丸めた値。

* 4 : 別紙のとおり。

(添付資料5)

3. 落下確率値の合計値

単位：回/炉・年

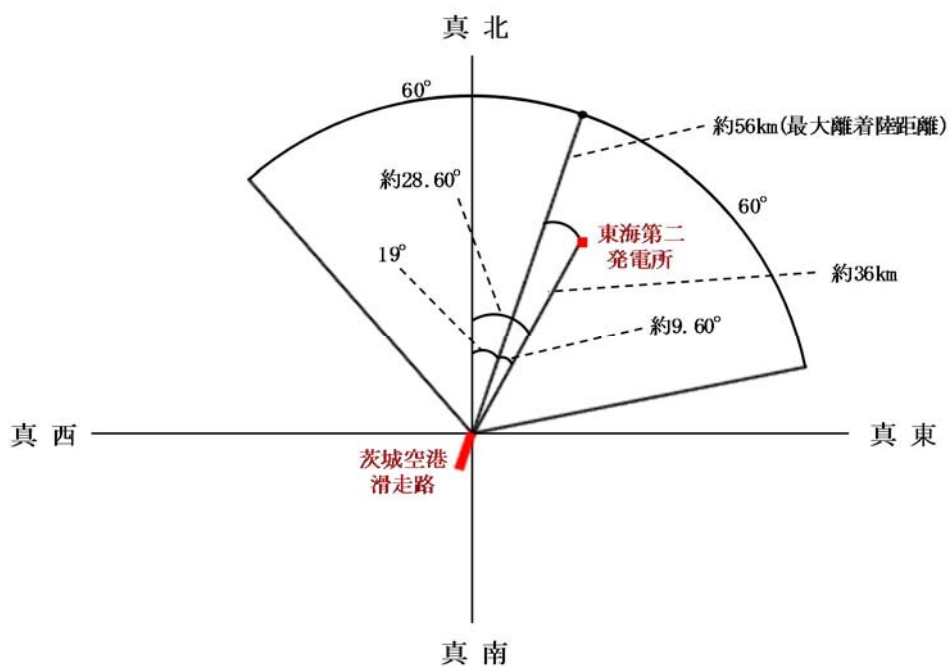
発電所名称	1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故		合計
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡航中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	② 基地－訓練空域間往復時の落下事故	
東海第二発電所	約 3.98×10^{-9}	約 5.93×10^{-11}	約 1.37×10^{-8}	約 2.56×10^{-8}	約 4.14×10^{-8}	約 8.5×10^{-8}

茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港—東海第二発電所の
角度について

茨城空港の滑走路の方位は、 19° （真方位）（A I P記載のデータ）である。

また、茨城空港—東海第二発電所の方位は、約 28.60° （真方位）（茨城空港と東海第二発電所の緯度、経度より計測した。）である。

したがって、茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港—東海第二発電所の角度は、約 9.60° となる。



各施設周辺における航空路と各航空路の幅について

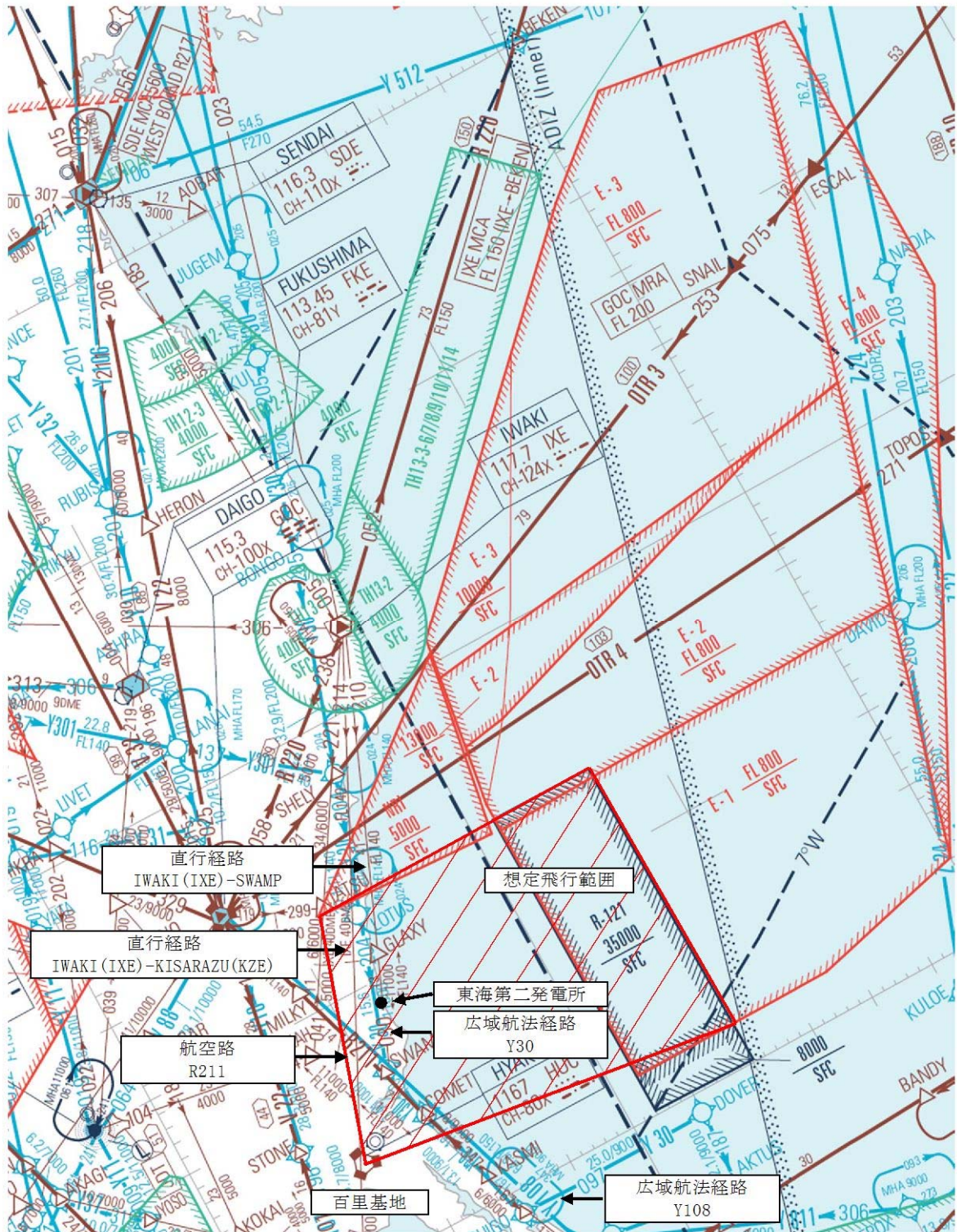
周辺の航空路の名称	航空路の中心線と 発電所間の 最小距離* ¹	片側の 航空路幅* ²	判定
航空路 R211 (DAIGO(GOC)－SWAMP)	約 11.36km	7km	×
直行経路 (IWAKI (IXE)－SWAMP)	約 0.68km	7.41km (4nm)	○
直行経路 (IWAKI (IXE)－KISARAZU (KZE))	約 4.13km	7.41km (4nm)	○
広域航法経路 Y30 (LOTUS－SWAMP)	約 1.18km	9.26km (5nm)	○
広域航法経路 Y108 (DAIGO(GOC)－CHOSHI (CVC))	約 11.44km	9.26km (5nm)	×

○：評価対象 ×：評価対象外

*1：施設と航空路の緯度及び経度より計測した。

*2：航空路 R211 については、「航空路の指定に関する告示」に記載の値とした。直行経路については、「航空路等設定基準」を参照した。RNAV 経路については、航法精度を航空路幅とみなして用いた。(1nm=1.852km として換算した。)

エンルートチャート（東海第二発電所付近）



出典：ENROUTE CHART（2014年3月6日改定）

計器飛行方式民間航空機 大破事故概要

(平成5年～平成24年)

離着陸時の大破事故

(離陸時)

発生年月日	場所	機種	機体の損傷	運航形態
平成8年 6月13日	福岡空港	ダグラス DC-10-30型	大破	離陸

(着陸時)

発生年月日	場所	機種	機体の損傷	運航形態
平成5年 4月18日	花巻空港	ダグラス DC-9-41型	大破	着陸
平成6年 4月26日	名古屋空港	エアバス・インダ ストリー A300B4-622R型	大破	着陸
平成21年 3月23日	成田国際空港滑走 路上	ダグラス MD-11F型	大破	着陸

巡航中の大破事故

発生年月日	場所	機種	機体の損傷	運航形態
該当なし	—	—	—	—

日本国機の運航回数及び運航距離

- ・計算に用いる数値は、「航空輸送統計年報 第1表 総括表」の次の値とする。
 - ①日本国機の運航回数は、国内便、国際便ともに定期便＋不定期便の値。
 - ②日本国機の運航距離は、国内便のみの定期便＋不定期便の値。
- ・日本国機の国際便は、日本から海外までの距離が記載されているが、日本国内での運航距離ではないため、保守的に考慮しない。
- ・日本に乗り入れている外国機は、運航距離について実績の公開記録がないため、保守的に考慮しない。
- ・ただし、日本国機の国際便及び外国機の落下事故が、日本国内で落下した場合は評価対象とする。

	日本国機の運航回数 (運航回)			日本国機の運航距離 (飛行回・km)
	国内便	国際便	計	国内便
平成5年	466,787	57,451	524,238	326,899,203
平成6年	484,426	60,038	544,464	343,785,576
平成7年	531,508	67,908	599,416	380,948,123
平成8年	543,238	72,425	615,663	397,146,610
平成9年	562,574	77,134	639,708	420,920,228
平成10年	587,308	83,070	670,378	449,784,623
平成11年	594,957	85,804	680,761	459,973,069
平成12年	660,979	87,977	748,956	480,718,878
平成13年	671,618	86,824	758,442	489,803,107
平成14年	683,929	93,062	776,991	498,685,881
平成15年	700,184	92,381	792,565	519,701,117
平成16年	698,960	101,659	800,619	517,485,172
平成17年	709,377	106,078	815,455	527,370,038
平成18年	740,741	104,798	845,539	555,543,154
平成19年	741,949	112,605	854,554	559,797,874
平成20年	733,979	118,503	852,482	554,681,669
平成21年	716,640	110,234	826,874	544,824,157
平成22年	716,538	101,721	818,259	548,585,258
平成23年	717,100	96,292	813,392	555,144,327
平成24年	770,262	105,086	875,348	608,215,704
合計	13,033,054	1,821,050	14,854,104	9,740,013,768

*：離着陸回数は、国内便の場合は離陸回数＝着陸回数＝運航回数とし、国際便の場合は、離陸回数＝着陸回数＝1/2 運航回数とする。

(離着陸回数＝離陸回数＋着陸回数＝国内便運航回数×2＋国際便運航回数＝13,033,054×2＋1,821,050＝27,887,158)

航空機落下確率評価における標的面積の考え方について

1. 基準の要求事項

航空機落下評価に用いる基準及び航空機墜落による火災影響評価に用いる基準の要求事項は、それぞれ以下のとおり。

(1) 航空機落下確率評価

○実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（平成21年6月30日原子力安全・保安院制定）

解説4-3 離着陸時及び巡航中の計器飛行方式民間航空機の原子炉施設への落下確率評価における入力パラメータ等に関する考え方（第4章）

(4) 原子炉施設への標的面積 (A)

原子炉施設への航空機落下に対する影響評価を行う場合において、航空機落下事故時の安全性を確保する観点から重要なのは、大量の放射性物質を蓄えている炉心や使用済燃料プールを保護すること、並びに、原子炉の安全停止（炉心冷却も含む。）を確保することである。したがって、原子炉施設への航空機落下確率評価では、これらを踏まえ、安全上重要な構築物、系統及び機器の設置状況、航空機の大きさ、突入する角度、滑り込み等を勘案して標的面積を決める必要がある。（以下略）

(2) 外部火災影響評価

○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）

附属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について

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。

2. 航空機落下確率評価における標的面積

1. (2)の基準を踏まえ、航空機墜落による火災影響評価においては、以下の屋外の外部事象防護対象施設を標的対象として選定する。

- ・原子炉建屋
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋
- ・海水ポンプ室

また、外部事象防護対象施設には該当しないが、以下の対象については、クラス1, 2施設若しくはそれらを内包する施設であることに鑑み、標的対象に加えて航空機墜落火災に対する健全性を評価する。なお、評価の結果、タービン建屋又は排気筒の健全性が確保できない場合は、代替設備による機能維持や安全上支

障のない期間での補修等の対応が可能か確認する。

- ・タービン建屋（第1図，第2図参照）
- ・排気筒

なお，使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能については，以下のとおり使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の原子炉施設と独立していることから，航空機落下確率評価においては使用済燃料乾式貯蔵建屋単独で評価を実施することとした。

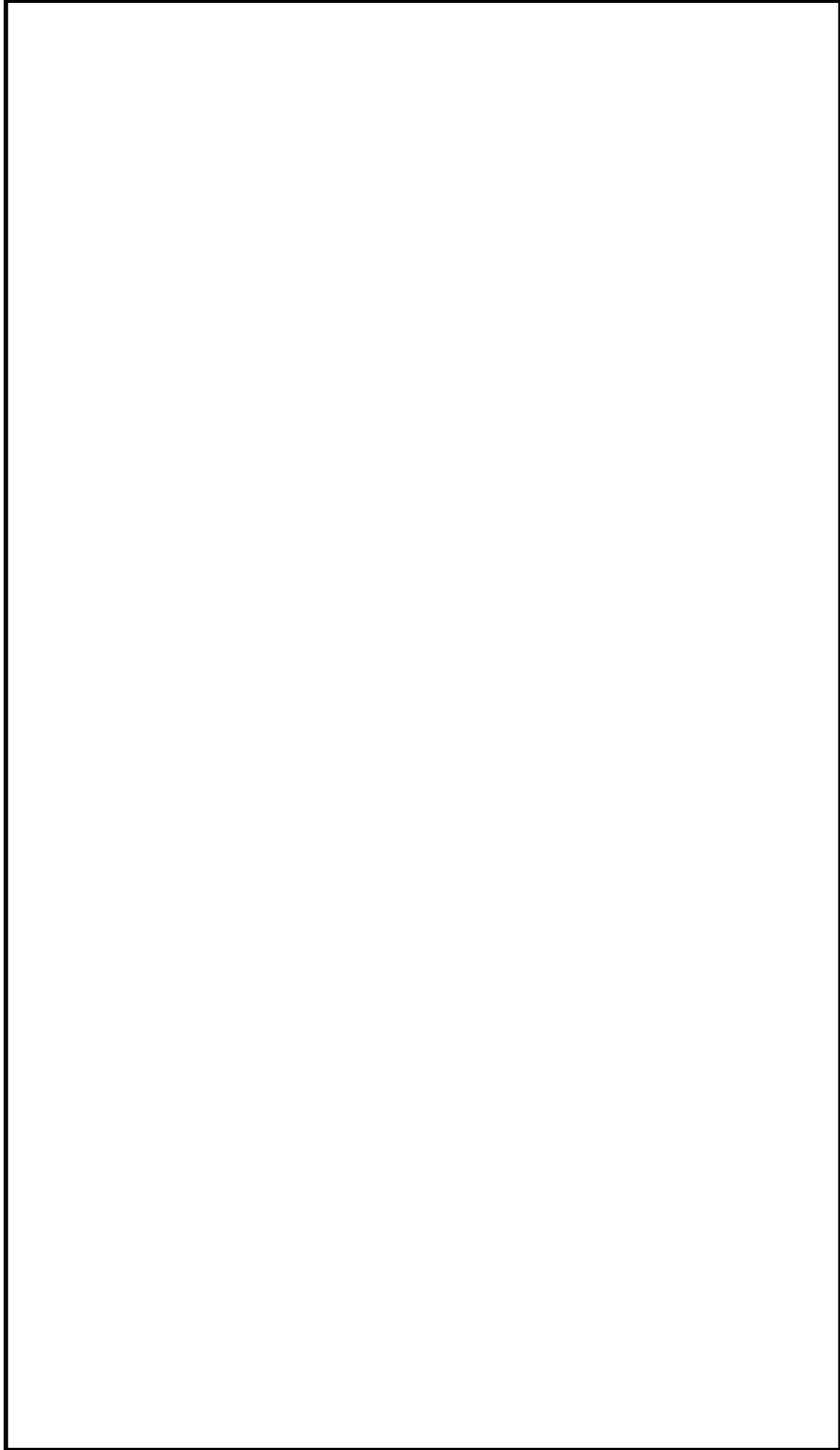
- ① 使用済燃料乾式貯蔵建屋は，使用済燃料乾式貯蔵建屋以外の原子炉施設の安全機能に直接的に影響を及ぼすものではなく，また，乾式貯蔵容器本体で安全機能（臨界防止機能，密封機能，遮蔽機能，除熱機能）を確保する設計である。
- ② 使用済燃料乾式貯蔵建屋の監視設備（乾式貯蔵容器の一・二次蓋間圧力，乾式貯蔵容器の表面温度等）及び火災防護設備（火災報知器）への電源供給については，全交流動力電源喪失時には，事象発生後30分は専用の蓄電池から供給可能だが，その後は非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）から給電する設計である。ただし，監視設備及び火災防護設備（火災報知器）は状態監視用であり，その機能喪失は乾式貯蔵容器の安全機能に影響を及ぼすものではない。

一方，従来の航空機落下確率評価においては，1.(1)の基準を踏まえ，以下のSSCを評価対象としていた。

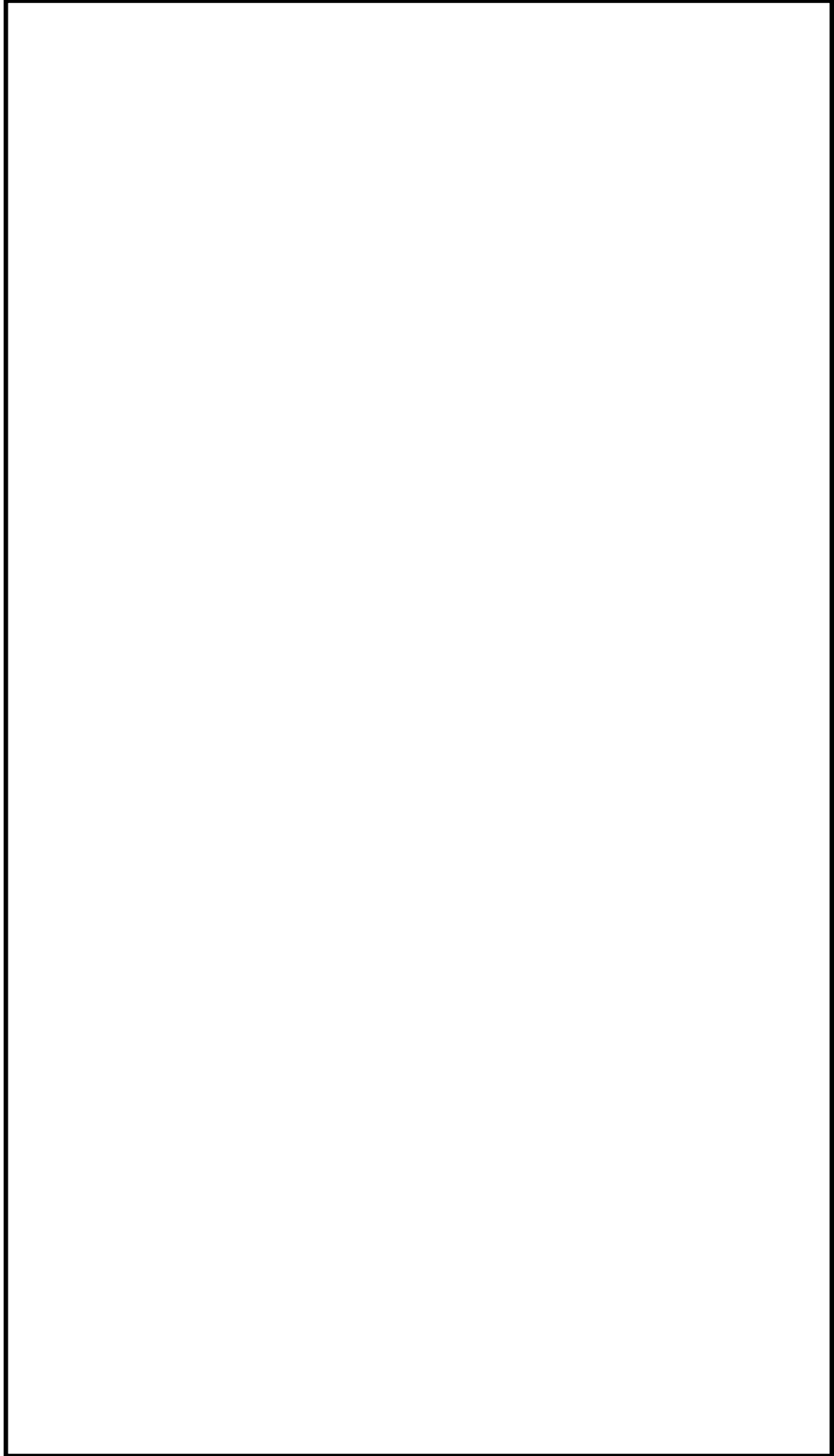
- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋（第3図参照*¹）
- ・海水ポンプ室
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋*²

*¹：原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器を含む区画

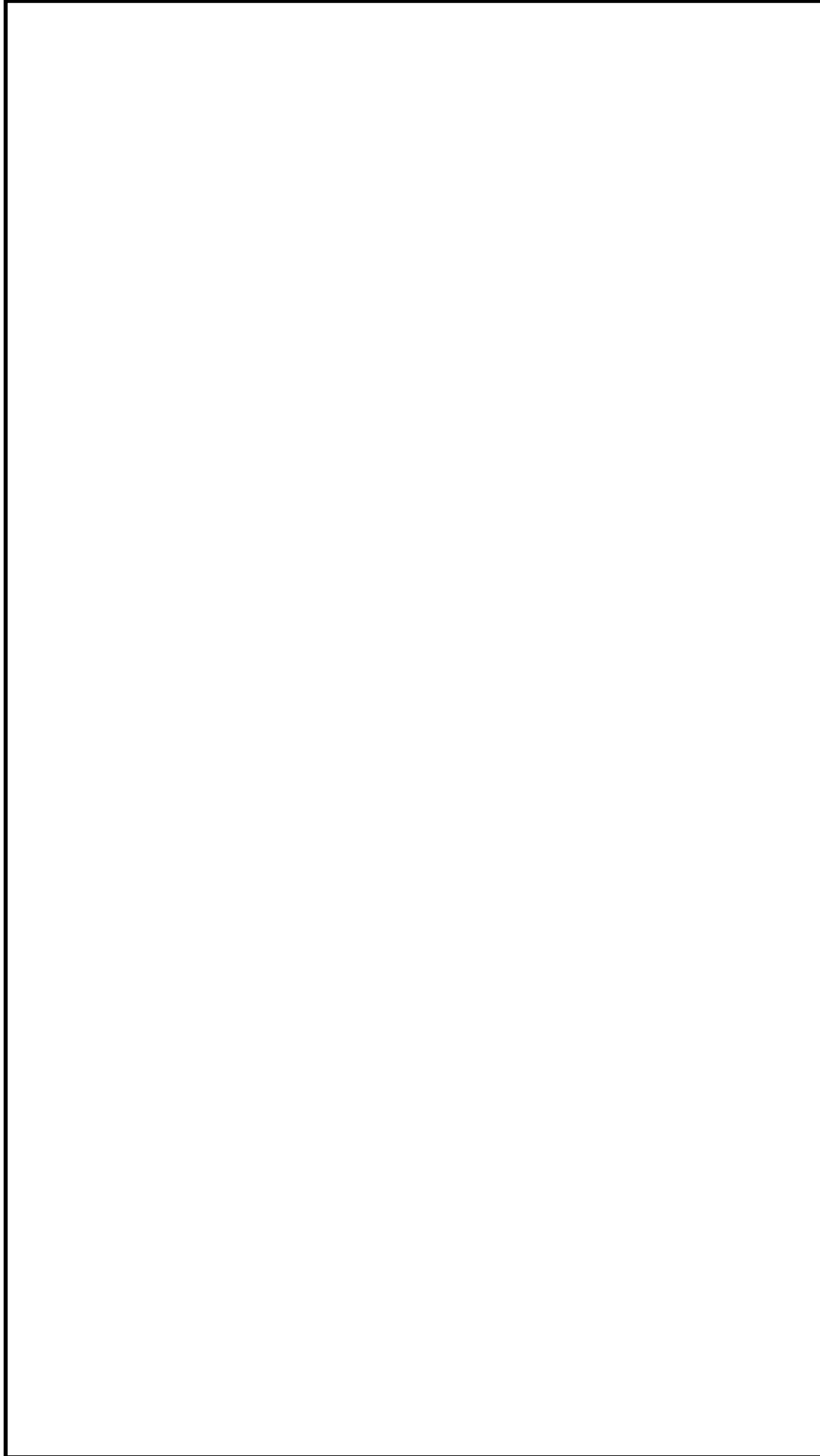
*²：使用済燃料乾式貯蔵建屋が各原子炉施設から独立して設置されているため，平成21年の実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価の際は個別に航空機落下確率を評価した



第1図 タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置（地上1階）



第2図 タービン建屋内の安全上重要な系統及び機器の配置 (地上2階)



第3図 タービン建屋内の原子炉補機冷却系ポンプ及び熱交換器の配置

計器飛行方式民間航空機の飛行場を離着陸時における落下事故の
確率分布関数について

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に基づき、計器飛行方式民間航空機の「①飛行場（茨城空港）での離着陸時」における落下事故の確率分布関数には、滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離（ r_0 ）内の内円で滑走路方向両側に対し $\pm 60^\circ$ 以内の扇型に一様な分布又は周方向で正規分布を仮定し、評価結果が厳しい方を用いる。下式にて評価した結果、今回の評価では、下表に示すとおり厳しい方である正規分布を仮定した方法を用いることとする。

（一様分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} \quad (/km^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (km^2)$$

（正規分布）

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} f(x) \quad (/km^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (km^2)$$

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cong 2.1 \times \exp\left(\frac{-30.42x^2}{\pi^2 r_p^2}\right)$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = \int_{-\pi r/3}^{\pi r/3} P dx = \frac{2}{3} \pi r_p$$

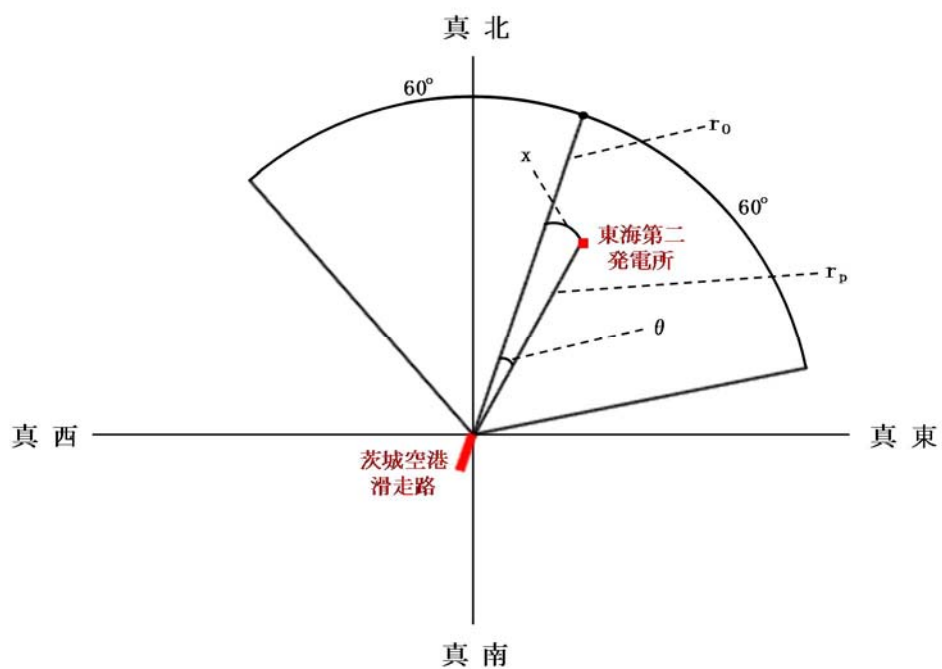
$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_p : 滑走路端から原子炉施設までの距離（径方向）（km）

x : 滑走路軸上から原子炉施設までの距離（周方向）（km）

$$x = r_p \times \theta$$

θ : 滑走路方向に対する空港－原子炉施設の角度（rad）



項目	確率密度 (/km ²)
一樣分布	約 1.55×10^{-4}
正規分布	約 2.98×10^{-4}

各施設付近の空港と施設との距離について

発電所 名称	空港名	施設と空港 の距離*1	最大離着陸 距離*2	判 定
東海第二 発電所	成田空港	約 80km	約 39km (21.2nm)	×
	茨城空港	約 36km	約 56km (30nm)	○

○：評価対象 ×：評価対象外

*1：施設と空港の緯度、経度より計測した。

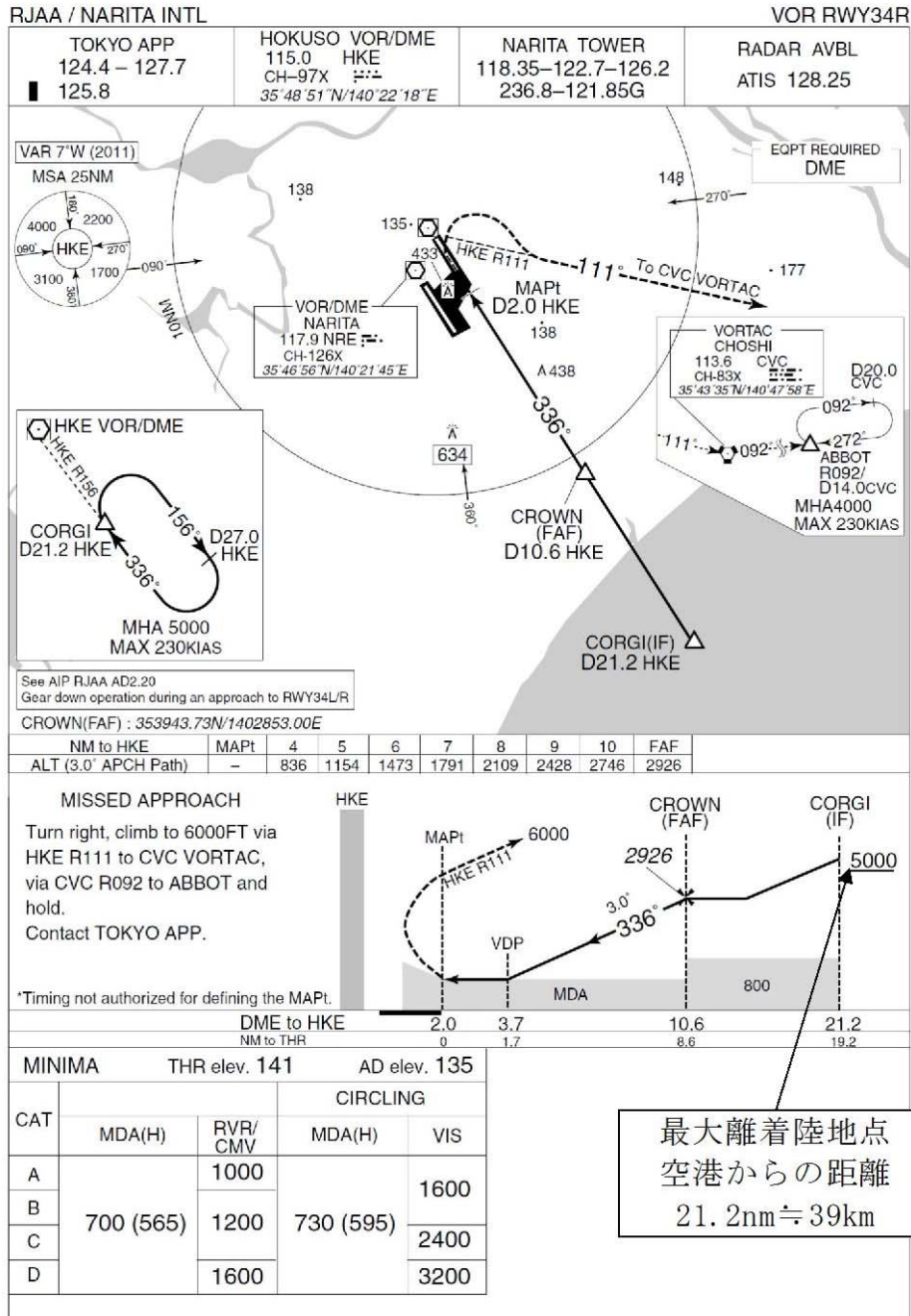
*2：AIPを参照した。

成田空港の最大離着陸地点までの距離
 (成田空港～東海第二発電所の距離：約 80km)

RJAA-AD2-24.31

AIP Japan
 NARITA INTL

INSTRUMENT APPROACH CHART



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:17 OCT 2013)

19/9/13

出典：A I P

茨城空港の最大離着陸地点までの距離
 (茨城空港～東海第二発電所の距離：約 36km)

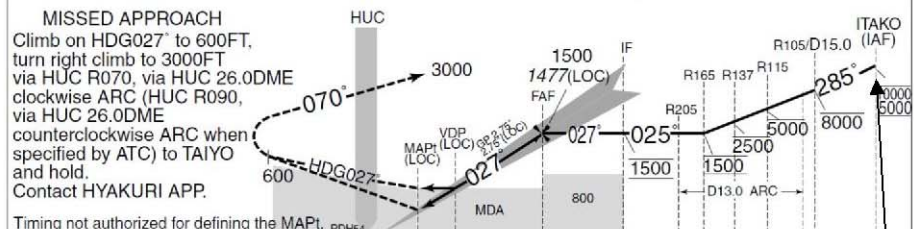
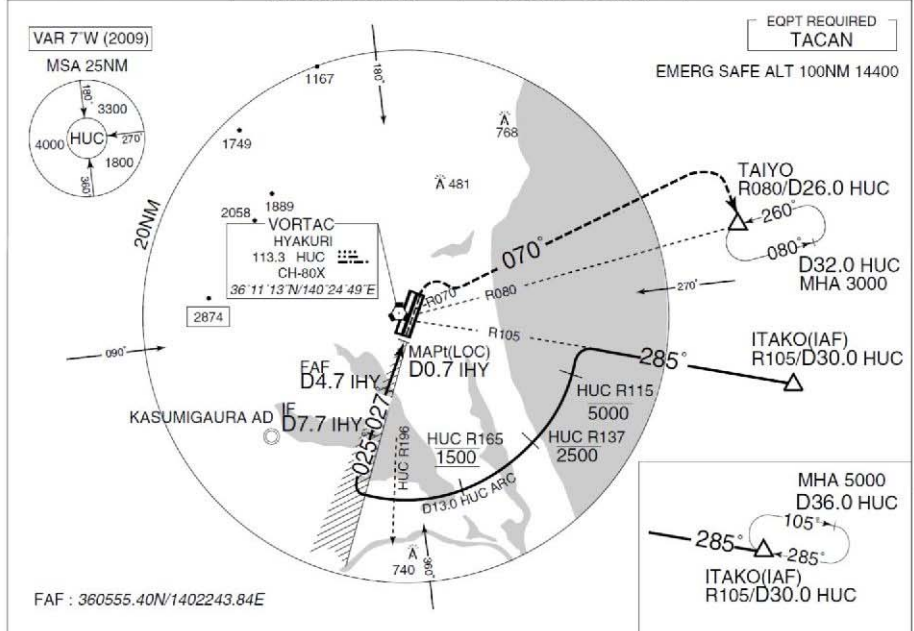
RJAH-AD2-24.15

AIP Japan
 HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI ILS Y or LOC Y RWY03R

HYAKURI APP 120.1 - 123.875 305.7 - 362.3	ILS - LOC 109.3 IHY ILS-GP 332.0 ILS-DME CH-30X	HYAKURI TWR 118.025- 126.2 236.8 - 323.8 119.5G - 275.8G	RADAR AVBL
---	--	---	------------



DME to IHY	0.7	1.4	4.7	7.7
NM to THR	0	0.5	1.2	4.5

MINIMA	THR elev. 107		AD elev. 107		
	CAT I		LOC	CIRCLING	
CAT	DA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	RVR/CMV	MDA(H) VIS
A				900	
B	307 (200)	750	480 (373)	1000	580 (473) 1600
C					2400
D				1400	660 (553) 3200

最大離着陸地点
 空港からの距離
 30nm ≒ 56km

評価対象となる航空路等の飛行回数

評価対象となる航空路等	ピーク日の飛行回数*1	年間飛行回数*2
直行経路 (IWAKI (IXE) - SWAMP)	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 0 (9 月 19 日)	182.5
直行経路 (IWAKI (IXE) - KISARAZU (KZE))	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 0 (9 月 19 日)	182.5
広域航法経路 Y30 (LOTUS - SWAMP)	H24 年上半期 : 0 (6 月 8 日) H24 年下半期 : 3 (9 月 19 日)	1,095

*1 : 国土交通省航空局に問合せ入手したデータ。ここで、ピーク日とは、東京航空交通管制部が全体として取り扱った交通量が半年間で最も多かった日のこと。

*2 : ピーク日の飛行回数 (0 回の場合は、0.5 回とした。) を 365 倍した値。

有視界飛行方式民間航空機 大破事故概要
(平成5年～平成24年)

(大型固定翼機)

発生年月日	場所	型式
該当なし	—	—

(大型回転翼機)

発生年月日	場所	型式
平成13年5月19日	三重県桑名市播磨付近	エアスパシアル式AS332L1

(小型固定翼機)

発生年月日	場所	型式
平成6年4月6日	広島県佐伯郡	セスナ式208B
平成6年5月7日	高知県吾川郡池川町	セスナ式172P
平成7年7月29日	北海道赤平市	パイパー式PA-28-140
平成7年10月9日	北海道中川郡豊頃町	ピッツ式S-2B
平成8年2月9日	長崎県東彼杵群川棚町	ブレンノーマン式BN-2B-20
平成8年11月20日	静岡県伊東市	セスナ式172K
平成9年8月21日	茨城県竜ヶ崎市	パイパー式PA-28-140
平成9年10月26日	鹿児島県垂水市	セスナ式152
平成9年11月2日	熊本県八代郡	セスナ式172N
平成10年3月21日	高知県室戸市	ビーチクラフト式A36TC
平成10年4月20日	滋賀県琵琶湖	セスナ式177RG
平成10年8月25日	岐阜県大野郡荘川村	パイパー式PA-28-161
平成10年9月23日	大阪府高槻市	セスナ式P210N
平成10年9月24日	茨城県霞ヶ浦	ソカタ式TB10
平成11年3月24日	大分県大分郡野津原町	セスナ式172M
平成11年8月1日	大分県大分郡庄内町	富士重工式FA-200-180
平成11年8月13日	長野県斑尾山	セスナ式172P
平成13年3月25日	香川県小豆群上庄町豊島	パイパー式PA-28-181
平成13年5月19日	三重県桑名市播磨付近	セスナ式172P
平成13年8月16日	岡山県久米郡柵原町	セスナ式172NAT
平成14年1月4日	熊本県琢磨群琢磨村	セスナ式172P
平成14年3月1日	北海道帯広市美栄町	リングスビー式T67MMK II
平成14年6月23日	山梨県南巨摩群南部町	ソカタ式TB21
平成15年3月24日	茨城県那珂郡緒川町	ガルフストリームコマンドー式695
平成15年7月11日	宮城県宮崎市	ビーチクラフト式A36
平成16年1月22日	山梨県甲府市	セスナ式172P
平成16年9月11日	兵庫県養父市	セスナ式172M
平成16年9月20日	兵庫県三原郡南淡町	ソカタ式TB10
平成17年3月2日	大阪市平野区瓜破	ビーチクラフト式E33
平成19年9月1日	宮崎空港南東約1kmの海上	ビーチクラフト式A36
平成19年11月15日	岐阜県中津川恵郡山山頂付近	セスナ式404
平成22年7月28日	北海道松前郡福島町岩部岳東方の山中	セスナ式TU206G
平成23年1月3日	熊本空港から北東約14kmの矢護山南南東斜面	パイパー式PA-46-350P

発生年月日	場所	型式
平成23年7月26日	静岡市清水区の興津川河口から富士川河口沖の駿河湾	エクストラ式 EA300/200 型
平成23年7月28日	北海道河西郡芽室町剣山山中	ビーチクラフト式 A36 型

(小型回転翼機)

発生年月日	場所	型式
平成5年7月27日	福島県双葉郡大熊町	ベル式 206B
平成5年12月23日	岐阜県郡山郡八幡町	ロビンソン式 R22Beta
平成6年10月18日	大阪府泉佐野市	エアスパシアル式 AS355F1
平成6年11月13日	鹿児島県大島郡笠利町	ベル式 206B
平成8年4月27日	長野県長野市篠ノ井	エアスパシアル式 AS355F1
平成8年6月10日	鹿児島県鹿児島市岡之原町	ロビンソン式 R22Beta
平成9年1月24日	愛知県岡崎市	エアスパシアル式 AS365N2
平成9年5月21日	長野県茅野市	エアスパシアル式 SA315B アルヴェットIII
平成9年7月3日	三重県名張市	エアスパシアル式 SA315B アルヴェットIII
平成10年5月3日	神奈川県横須賀市津久井浜	エアスパシアル式 AS350B
平成12年4月24日	三重県長島町木曾川左岸の河原	ヒューズ式 269C
平成12年11月9日	岐阜県郡上郡高鷲村	ロビンソン式 R22Beta
平成14年5月5日	愛媛県松山空港の西南西 16km 付近海上	ロビンソン式 R44
平成14年6月12日	新潟県東蒲原郡上川村	ベル式 206L-4
平成16年3月7日	長野県木曾郡南木曾町	エアスパシアル式 AS355F1
平成16年12月24日	佐賀県有明海海上	ロビンソン式 R44
平成17年5月3日	静岡県静岡市清水区草薙	アグスタ式 A109K2
平成19年6月2日	岐阜県中津川市岐阜中津川場外離着陸場の北約 1.3km 付近	ベル式 412
平成19年10月27日	大阪府堺市堺区遠里小野町3丁目	ロビンソン式 R22BETA
平成19年12月9日	静岡県静岡市葵区南沼上 988	ユーロプター式 EC135T2
平成20年7月6日	青森県下北部大間町大間崎沖の海面	エアスパシアル式 AS350B
平成21年2月10日	群馬県利根郡みなかみ町	ベル式 206L-3
平成21年7月20日	但馬飛行場の南東約 15km	ロビンソン式 R44 II
平成22年8月18日	香川県沖多度郡多度津町佐柳島沖	ベル式 412EP

自衛隊機及び米軍機 大破事故概要

(平成5年～平成24年)

(訓練空域外を飛行中)

・自衛隊機

発生年月日	場 所	型 式
平成9年1月13日	宇都宮市坂戸町の鬼怒川河川敷	OH-6D
平成13年2月14日	千葉県市原市天羽田	AH1S, OH-6D
平成14年3月7日	大分県万年山山頂南東2km	OH-6D
平成16年2月23日	三重県鳥羽市と磯部町の境にある青峰山の南東約1km	AH1S
平成17年4月14日	新潟県阿賀町の御神楽岳斜面	MU-2
平成17年9月18日	長崎県佐世保市大瀨町の陸上自衛隊相浦駐屯地内	AH1S
平成19年3月30日	徳之島天城岳山頂付近	CH-47JA

・米軍機

発生年月日	場 所	型 式
平成6年10月14日	高知県土佐郡吉野川	A-6
平成11年1月21日	岩手県釜石市橋野町山林	F-16
平成16年8月10日	東京都小笠原諸島北硫黄島	S-3 バイキング
平成16年8月13日	沖縄県宜野湾市の沖縄国際大学構内	CH-53D シースタリオン
平成20年10月24日	沖縄県名護市真喜屋のサトウキビ畑	セスナ機

(基地—訓練空域間往復時)

・自衛隊機

発生年月日	離陸場所 (所属)	場 所	型 式
平成9年8月21日	木更津駐屯地 (陸自)	茨城県竜ヶ崎市	OH-6D
平成11年11月22日	入間基地 (空自)	埼玉県狭山市入間川河川敷	T-33A
平成12年3月22日	松島基地 (空自)	宮城県女川町指ヶ浜山林	T-2
平成12年7月4日	松島基地 (空自)	宮城県牡鹿町山中	T-4
平成13年9月14日	小月航空基地 (海自)	山口県下関市楠乃霊鷲山西側斜面	T-5

基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下確率の推定について

1. 想定飛行範囲の面積を用いた評価式の保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は、下式のとおり評価している。

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se} \quad \dots \dots \dots (A)$$

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)

A : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積 (km^2)

(A)式によると、想定飛行範囲の面積 (S_{se}) が小さいほど、大きな落下確率となる。これは、基地－訓練空域間を簡易的に一様に飛行すると仮定しているためである。

しかし、「原子力関連施設上空の飛行制限について (通達)」に示すとおり、実際には原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること、やむを得ず原子力関連施設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から、発電所上空を含めて基地－訓練空域間を一様に飛行することはなく、かつ、基地－訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられる。

以上のことから、想定飛行範囲の面積が小さくなるほど、より保守的な落下確率を与えることとなる。
(「想定飛行面積と航空機落下確率の関係 (概略図)」参照)

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

昭和 44 年 2 月 6 日
陸幕航第 59 号

改正 平成 10 年 3 月 23 日陸幕運第 145 号 平成 19 年 1 月 9 日陸幕法第 1 号
平成 19 年 3 月 28 日陸幕法第 61 号 平成 21 年 2 月 3 日陸幕法第 10 号

各方面総監
中央即応集団司令官 殿
中央管制気象隊長
航空学校長

陸上幕僚長の命により
総務課長

（例規 99）

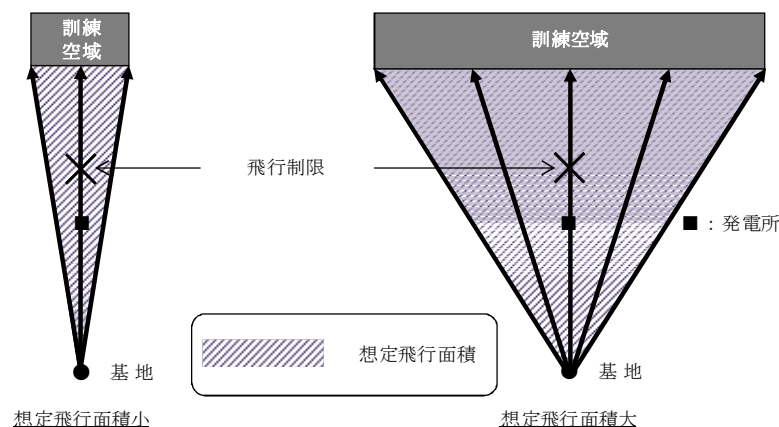
原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

標記について、さきに防衛事務次官の指示に基づきその実施について通達したところであるが、その後さらに細部について示されたので、今後下記により実施されたい。

なお、陸幕航第 583 号（43. 9. 2）は廃止する。

記

- 1 原子力関連施設上空の飛行は、原則として行わないものとする。
- 2 管制機関の指示又は原子力関連施設の位置等の関係から、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これらの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ものとする。
- 3 原子力関連施設は航空路図誌（防衛省監修）に記載され、その設置・廃止等の状況は逐次追録されるので、関係者に当該施設の位置を周知徹底させるものとする。



想定飛行面積と航空機落下確率の関係（概略図）

また、新規制基準に係る適合性の審査の申請をしている発電所のうち、自衛隊機の基地－訓練空域間往復時の航空機落下確率を(A)式により評価しているプラントは、東海第二発電所を含めて6つあり、これらのプラントにおける想定飛行範囲の面積は下表のとおりである。

発電所名称	想定飛行範囲の面積 (km ²)
東海第二発電所	4,540
川内原子力発電所1, 2号炉	19,400
玄海原子力発電所3, 4号炉	10,200
伊方発電所3号炉	40,080

上述のとおり、原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること等を踏まえると、東海第二発電所では、他プラントに比べて想定飛行範囲の面積が小さいため、他プラントの落下確率に比べてより大きな保守性を含んでいると考える。

2. 「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出について

1. のとおり、「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率は大きな保守性を含んでいることから、以下を踏まえ、本航空機落下確率の算出においては、実際に落下事故実績のある全国の基地と訓練空域間を往復時の落下事故件数及び全国の基地の想定飛行範囲の面積を用いて算出した全国平均の基地－訓練空域間往復時の航空機落下確率を2倍した値（以下「全国平均の落下確率の2倍値」という。）を「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率とする。

- ・百里基地特有の特殊な機種は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件の落下事故実績があるにも関わらず、百里基地では落下事故実績がないこと等を考慮すると、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。
- ・落下事故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。

- ・百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲の面積が小さいこと、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倍値には実際の落下確率より十分高いと考えられる。

項目	航空機落下確率 (回/炉・年)
全国平均の落下確率の2倍値	約 4.14×10^{-8} ($=3.00 \times 10^{-6}$ (回/年・ km^2) * 約 0.0138km^2)

* : 5 件/20 年/175, 720 km^2 = 約 1.42×10^{-6} (回/年・ km^2) を保守的に2倍にし、丸めた値

2.1 全国平均の落下確率の2倍値を用いることの保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」は過去20年間落下実績がなく、航空機落下確率算出時の発生件数の与え方に不確かさが存在する一方で、全国の基地－訓練空域間の往復時は過去20年間で5件落下実績が存在する。全国平均の落下確率は、評価の母集団を大きくすることにより落下事故件数を実績値(5件)に基づき評価していること、基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことを考慮すると、全国平均の落下確率は国内における平均的な落下確率として信頼性があると考えられるが、本評価では保守的に全国平均の落下確率の2倍値を用いることとする。

また、原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること、やむを得ず原子力関連施設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について評価上考慮しておらず、この点においても保守性は確保されている。

2.2 他の評価手法との比較

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率の算出にあたっては、「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準（レベル1PRA編）：2013」（一般社団法人 日本原子力学会）（以下「PRA学会標準」という。）において、過去発生していない起回事象に対する起回事象発生頻度の算出方法として使用が認められている、以下の χ 二乗分布を用いた方法を使用することも考えられる。

$$F = \chi^2(1, 0.5) / 2T = 0.2275/T \quad (\text{回/年})$$

T : 対象期間 (=20年)

その適用性及び保守性については参考1のとおりであるが、 χ 二乗分布を用いた方法よりも全国平均の落下確率の2倍値は以下のとおり大きくなっている。

項目	航空機落下確率 (回/炉・年)
全国平均の落下確率の2倍値	約 4.14×10^{-8} ($=3.00 \times 10^{-6}$ (回/年・ km^2) * 約 0.0138km^2)
χ 二乗分布を用いた方法	約 3.46×10^{-8} ($=0.2275$ 件/20年/4,540 km^2 * 約 0.0138km^2)

χ 二乗分布を用いた方法の適用性及び保守性について

航空機落下確率評価では、過去 20 年間における落下事故件数の統計データに基づき航空機落下確率を算出しているが、平成 5 年～24 年において、以下のカテゴリについては落下事故が発生していない。

- (1) 計器飛行方式民間航空機の「航空路を巡航中」の落下事故
- (2) 有視界飛行方式民間航空機の「大型機」の落下事故（大型固定翼機）
- (3) 自衛隊機又は米軍機の「訓練空域外を飛行中」の「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」の落下事故
- (4) 自衛隊機又は米軍機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故

そのうち、(4) のカテゴリに対する航空機落下確率の推定には、PRA 学会標準において、過去発生していない起回事象に対する起回事象発生頻度の算出方法として使用が認められている、以下の χ 二乗分布を用いた方法を用いることも考えられる。この χ 二乗分布を用いた方法について、その方法の適用性 (1. 参照) 及び保守性 (2. 参照) を以下に示す。

$$F = \chi^2 (1, 0.5) / 2T = 0.2275 / T^{*1} \quad (\text{回/年})$$

T : 対象期間 (=20 年)

* 1 : 導出方法は参考 2 参照

1. 航空機落下確率評価への χ 二乗分布を用いた方法の適用性

PRA 学会標準の参考文献として引用されている NUREG/CR-4407 “Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants” (参考 3 参照) によると、事象発生頻度の推定方法として、 χ 二乗分布を用いた方法を適用するためには、事象発生頻度がポアソン分布に従っていることが条件となる。

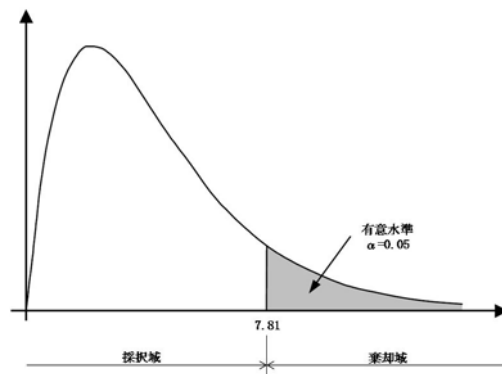
ポアソン分布は、一般的に確率が極めて小さい事象 (例えば、交通事故による 1 日の死亡数) の発生頻度を処理する確率モデルとして使われるが、航空機の年間の落下事故率がポアソン分布に従うかどうかを判断するために、国内における昭和 58 年～平成 23 年の 29 年間の国内の自衛隊機の「基地－訓練空域間往復時」の落下事故率を対象に、母集団の分布形の検定に使用される χ 二乗分布を用いた適合度検定 (χ 二乗検定) を実施した。本検定は、観測度数と理論度数の差が有意かどうかについて、 χ 二乗分布を用いて検定する統計的手法である。

適合度検定の結果を下表に示す。

落下事故件数 x [件]	落下事故件数に対する実年数 f [年]	ポアソン分布 P(f) *1	ポアソン分布から推定した理論年数 e*2 [年]	χ^2 *3
0	23	約 0.759	約 22.0	約 0.0447
1	4	約 0.209	約 6.07	約 0.707
2	2	約 0.029	約 0.84	約 1.61
3	0	約 0.003	約 0.08	約 0.0770
4 以上	0	約 0.000	約 0.01	約 0.00562
合計	29	1.00	29.0	約 2.45

- * 1 : $P(x) = \frac{\exp(-m) \cdot m^x}{x!}$
 m : 落下事故件数標本平均 (約 0.276 件)
 x : 落下事故件数
- * 2 : $P(f) \times 29$ [年]
- * 3 : $(f - e)^2 / e$

検定統計量である χ 二乗分布の自由度は 3 (= (組分けの数 5) - 1 - 推定される母数の数 1) であり、一般的に用いられる有意水準 $\alpha = 0.05$ を用いると、検定の判定点は χ 二乗分布表より 7.81 (= $\chi^2(3, 0.05)$) で与えられる。



χ 二乗分布表

自由度	上側有意確率										
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.5	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.0039	0.0158	0.455	2.710	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01003	0.02010	0.0506	0.1026	0.211	1.386	4.61	5.99	7.38	9.21	10.6
3	0.07172	0.1148	0.2158	0.352	0.584	2.37	6.25	7.81	9.35	11.3	12.8
4	0.2070	0.2971	0.484	0.711	1.06	3.36	7.78	9.49	11.1	13.3	14.9
5	0.4117	0.554	0.831	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.8	15.1	16.8

χ 二乗値は約 2.45 であり、判定点より小さいことから、観測度数 (ここでは、実年数) と理論度数 (ここでは、理論年数) の差は有意であるとは言えない。

したがって、国内の自衛隊機の基地-訓練空域間往復時の落下事故率にポアソン分布を当てはめることは可能であり、航空機落下確率評価に χ 二乗分布を用いた方法を適用することが可能であると判断した。

2. χ 二乗分布を用いた方法の保守性について

別紙 7.12 本文 1. に記載のとおり、実際には原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること等を考慮すると、基地-訓練空域間往復時の自衛隊機が発電所に落下する確率は極めて小さいと考えられることから、 χ 二乗分布を用いた方法においても保守性は確保されていると考えられる。

χ 二乗分布を用いた方法による発生率の導出について

ランダムに事象が発生する場合において、事象の発生率は二項分布に従うとするのが一般的である。

また、発生件数が小さい場合には、ポアソン分布での近似が可能である。

発生率がポアソン分布に従う場合、その平均値 λ の 100 (1- α) %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。

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。なお、NUREG/CR-4407 においても、点推定値の算出に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いる。

以上より、発生件数がポアソン分布に従う場合、0 件 (N=0) である場合における発生率Fは、

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

により算出される。

【解説】

(1) 確率分布

① 二項分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布を二項分布という。

$$p(x) = {}_n C_x p^x (1-p)^{n-x} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n)$$

これは、確率 p をもつ事象が n 回の観察で x 回発生する確率を表している。

② ポアソン分布

離散型確率変数 x の確率関数が次の式で表される分布をポアソン分布という。

$$p(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n, m \text{ は正の定数})$$

これは、単位時間中にある事象が発生する平均回数を m とするとき、単位時間中にその事象が x 回発生する確率を表している。

この分布は、非常に多くの観察回数のうち発生件数が少ない事象によく当てはまり、二項分布の平均値 $m=np$ を一定のまま観察回数 n を無限に大きくしたときの極限として導かれる。

なお、変数 X_1, \dots, X_n が平均値 λ のポアソン分布に従っており、それらが独立であるとき、その和 $Y = X_1 + \dots + X_n$ は、平均値 $n\lambda$ のポアソン分布に従い、これをポアソン分布の再生性という。

③ ガンマ分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布をパラメータ α, β の χ 二乗分布という。

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (x > 0, \alpha > 0, \beta > 0)$$

ここで、 $\Gamma(\alpha)$ はガンマ関数であり、

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

で表される。

④ χ 二乗分布

確率変数 x の確率密度分布が次の式で与えられる分布を自由度 m の χ 二乗分布という。

$$f(x) = \frac{1}{2^{\frac{m}{2}} \Gamma(\frac{m}{2})} x^{\frac{m}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}} \quad (x \geq 0)$$

これは、 $\alpha = m/2, \beta = 2$ の γ 分布の確率密度分布である。

(2) 区間推定

真の値がある区間に含まれる確率のことを信頼度といい、その区間の下限値を信頼下限、上限値を信頼上限という。このある区間に含まれる確率を $1-\alpha$ とするとき、信頼度 $100(1-\alpha)\%$ の信頼区間という。また、この α のことを有意水準という。

(3) 精密法によるポアソン分布の母平均 λ の区間推定

確率変数 X が母平均 λ のポアソン分布に従うとき、上側確率は以下のとおり表される。

$$P(X \geq x) = Q(x; \lambda) = \sum_{k=x}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

一方、パラメータ α, β のガンマ分布 $\text{GAM}(\alpha, \beta)$ に従う確率変数を G とすると、

$$P(G \leq \beta \lambda) = F_G(\beta \lambda; \alpha, \beta) = \int_0^{\beta \lambda} \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} dx$$

ここで、

$$u = \frac{e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}, \quad dv = x^{\alpha-1} dx$$

とおくと、

$$du = \frac{-e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx, \quad v = \frac{1}{\alpha} x^\alpha$$

であるから、部分積分を用いて、

$$\begin{aligned} F_G(\beta \lambda; \alpha, \beta) &= \left[\frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \right]_0^{\beta \lambda} + \int_0^{\beta \lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx \\ &= \frac{(\beta \lambda)^\alpha e^{-\frac{\beta \lambda}{\beta}}}{\alpha \beta^\alpha \Gamma(\alpha)} + \int_0^{\beta \lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\alpha \beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} dx \\ &= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \int_0^{\beta \lambda} \frac{x^\alpha e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha + 1)} dx \\ &= \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} + \Gamma_G(\beta \lambda; \alpha + 1, \beta) \end{aligned}$$

となるから、

$$\begin{aligned} Q(x; \lambda) &= \sum_{\alpha=x}^{\infty} \frac{\lambda^\alpha e^{-\lambda}}{\alpha!} = \sum_{\alpha=x}^{\infty} [F_G(\beta \lambda; \alpha, \beta) - F_G(\beta \lambda; \alpha + 1, \beta)] \\ &= F_G(\beta \lambda; \alpha, \beta) \end{aligned}$$

の関係が得られる。

また、ガンマ分布で $\alpha = m/2, \beta = 2$ のとき、 $\text{GAM}(\alpha, \beta)$ は自由度 m の χ^2 乗分布になることに注目すると、

$$x = \frac{m}{2}, \quad \beta = 2$$

とおけば、 $m = 2x, \beta \lambda = 2 \lambda$ となるから、

$$Q(x; \lambda) = F_{\chi^2}(2\lambda; 2x)$$

と、ポアソン分布の上側確率は、自由度 $2x$ の χ 二乗分布の 2λ までの累積確率で表される。

ここで、ポアソン分布の再生性 ((1)②参照) より、

$$P(Y \geq y) = F_{\chi^2}(2n\lambda; 2y) = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

が成り立つ。この関係から、

$$\begin{aligned} P(Y \leq y) &= 1 - P(Y \geq y + 1) = 1 - P(\chi_{2(y+1)}^2 \leq 2n\lambda) \\ &= P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda) \end{aligned}$$

より、

$$P(Y \leq y) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2(y+1)}^2 \geq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2}) \geq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(2(y+1), \frac{\alpha}{2})}{2n} \geq \lambda$$

となり、同様に、

$$\begin{aligned} P(Y \geq y + 1) &= 1 - P(Y \leq y) = 1 - P(\chi_{2y}^2 \geq 2n\lambda) \\ &= P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda) \end{aligned}$$

より、

$$P(Y \geq y + 1) = \frac{\alpha}{2} = P(\chi_{2y}^2 \leq 2n\lambda)$$

$$\chi^2(1 - \frac{\alpha}{2}, 2y) \leq 2n\lambda$$

$$\frac{\chi^2(1 - \frac{\alpha}{2}, 2y)}{2n} \leq \lambda$$

となる。

以上より、ポアソン分布の平均値 λ の $(1 - \alpha) \times 100\%$ 信頼区間は、

$$P\left(\frac{1}{2n} \chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2(2y) \leq \lambda \leq \frac{1}{2n} \chi_{\frac{\alpha}{2}}^2(2(y+1))\right) = 1 - \alpha$$

で表される。(出典：蓑谷千鳳彦，「数理統計ハンドブック」，みみずく舎，2009年)

NUREG/CR-4407 の概要について

NUREG/CR-4407” Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants” は、確率論的リスク評価で使用する安全上重要な配管の破損頻度をデータの収集及び統計的な分析により推定することを目的として実施された研究の成果をまとめた報告書である。

本報告書では、破損が発生していないカテゴリの配管破損の発生頻度の点推定値について以下の式を用いて整理している。

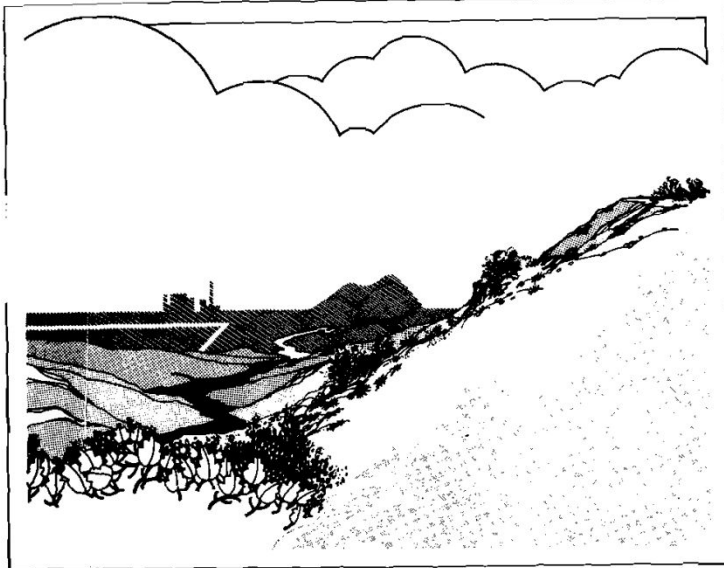
$$F = \frac{\chi^2(1, 0.5)}{2T} = \frac{0.2275}{T}$$

なお、本報告書では配管破損の発生頻度の点推定値に対して χ 二乗分布を用いた方法を採用しているが、航空機落下事故についても配管破損と同様に発生頻度が小さい事象であり、ポアソン分布に従うことから、航空機落下事故の発生頻度の点推定値に対して χ 二乗分布を用いた方法を採用することは可能であると考えられる。

(NUREG/CR-4407 抜粋)

Pipe Break Frequency Estimation for Nuclear Power Plants

F O R M A L R E P O R T



**Idaho National
Engineering Laboratory**

Managed by the U.S. Department of Energy

NUREG/CR-4407
EGG-2421
May 1987

Ronald E. Wright
Judy A. Steverson
William F. Zuroff



Work performed under
DOE Contract No. DE-AC07-76ID01570

for the **U.S. Nuclear
Regulatory Commission**

CONTENTS

ABSTRACT	ii
EXECUTIVE SUMMARY	iii
ACKNOWLEDGMENTS	vi
INTRODUCTION	1
OVERALL METHODOLOGY	3
FAILURE DATA	7
POPULATION DATA	11
RESULTS	22
REFERENCES	28
APPENDIX A—USING SUBJECTIVE DATA TO ESTIMATE PIPE BREAK FAILURE RATES	A-1
APPENDIX B—INFORMATION PROVIDED TO QUESTIONNAIRE RESPONDENTS	B-1
APPENDIX C—QUESTIONNAIRE RESPONSES	C-1
APPENDIX D—NARRATIVE SUMMARIES OF PIPE BREAK EVENTS	D-1
APPENDIX E—SUMMARIES OF SELECTED PIPE BREAK STUDIES	E-1
APPENDIX F—FAILURE RATE ESTIMATION METHODS	F-1

Table 15. Frequencies of pipe breaks categorized by leak rate

Leak Rate	Numerator (N failures)	Denominator (T operating years)	Lower Bound $\chi^2_{(0.05, 2N)}/2T$	Point Estimate ^a	Upper Bound $\chi^2_{(0.95, 2N+2)}/2T$
PWR					
Non-LOCA ^b					
≥ 1, < 15 gpm	5	484.73	0.0041	0.0103	0.0217
≥ 15 gpm	4	484.73	0.0028	0.0083	0.0189
LOCA ^c					
50 to 500 gpm	0	484.73	0	0.0005	0.0062
> 500 gpm	0	484.73	0	<u>0.0005</u>	0.0062
BWR					
Non-LOCA ^b					
≥ 1, < 15 gpm	1	313.36	0.002	0.0032	0.0151
≥ 15 gpm	9	313.36	0.0150	0.0287	0.0501
LOCA ^c					
500 to 5000 gpm	0	313.36	0	0.0007	0.0096
> 5000 gpm	0	313.36	0	<u>0.0007</u>	0.0096

a. Point estimate $\lambda = N/T$ if $N > 0$; if $N = 0$, $\lambda = \chi^2_{(0.50, 2N+1)}/2T$.

b. Non-LOCA systems are those systems that if disabled, could not mitigate a LOCA (see Table 1).

c. LOCA systems are those systems susceptible to piping failures that could result in loss of reactor coolant (see Figure 1).

APPENDIX F

FAILURE RATE ESTIMATION METHODS

METHODS USED

This appendix shows the methods used to estimate the pipe failure rates using the observed failure data and the operating experience.^{F-1}

The following well-known statistical methods were used for Type-I censored data with replacement.^{F-2} The general methods for estimating rates on a yearly basis and on a transient basis are

$$\lambda(\text{yearly}) = \frac{N}{T} \quad (\text{F-1})$$

$$\lambda(\text{transient}) = \frac{N}{D} \quad (\text{F-2})$$

where

- λ = estimated failure rate
- N = number of reported pipe failures
- T = total number of operating years experienced
- D = total number of transients.

Confidence limits for yearly failure rates were based on the assumption that the underlying pipe failure time distributions are exponential and, therefore, that the resulting data can be represented by a Poisson process. In transient evaluations, N is assumed to be binomially distributed. However, because the probability of failure is small, the Poisson distribution may be used to approximate this variable for cases where the number of transients is large. The generalized formulas for estimating 100(1 - α)% confidence limits on the failure rates are

$$\frac{\chi_{\alpha/2}^2(2N)}{2T} \leq \lambda(\text{yearly}) \leq \frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(2N + 2)}{2T} \quad (\text{F-3})$$

and

$$\frac{\chi_{\alpha/2}^2(2N)}{2D} \leq \lambda(\text{transient}) \leq \frac{\chi_{1-\alpha/2}^2(2N + 2)}{2D}, \quad (\text{F-4})$$

where

$\chi_a^2(b)$ = the chi-square variate at cumulative probability "a", with "b" degrees of freedom.

In these equations, α is the fraction left out of the intervals. For example, with 90% confidence limits, α is 0.10, $\alpha/2$ is 0.05, and upper limit uses the 95th percentile.

If D , the number of transients, is small, then the Poisson approximation of the binomial distribution is not adequate, and 100(1 - α)% confidence limits for the transient failure rate are

$$\frac{NF_L}{D - N + 1 + NF_L} \leq \lambda(\text{transient}) \leq \frac{(N + 1)F_U}{D - N + (N + 1)F_U} \quad (\text{F-5})$$

where

- F_L = $F_{\alpha/2}(2N, 2D - 2N + 2)$
- F_U = $F_{1-\alpha/2}(2N + 2, 2D - 2N)$
- $F_a(b,c)$ = F variate at cumulative probability "a", with "b" and "c" degrees of freedom.

As before, for 90% confidence limits, the 0.05 and 0.95 quantities are used ($\alpha = 0.10$).

In this study, yearly rate confidence limits were always based on Equation (F-3). Transient rate confidence limits were based on Equation (F-4) if $D - N \geq 100$, and on Equation (F-5) otherwise.

The lower limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5) are not defined in cases where no failures are observed

(N = 0). Zero is the appropriate lower limit in these cases. However, Equations (F-1) and (F-2) also give zero as the point estimate when N = 0. More realistic point estimates for such cases are

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2T}, \quad (F-6)$$

$$\lambda = \frac{\chi_{0.50}^2(2N + 1)}{2D}, \quad (F-7)$$

and

$$\lambda = \frac{(2N + 1)F_M}{2D - 2N + 1 + (2N + 1)F_M}, \quad (F-8)$$

where

$F_M = F_{0.50}(2N + 1, 2D - 2N + 1)$ and the F and χ^2 distribution percentile and degree of freedom notations are as defined above.

Equation (F-6) applies for yearly rates and is used with the upper bound from Equation (F-3). For transients, Equation (F-7) is used with the upper bound from Equation (F-4) and Equation (F-8) is used with Equation (F-5). Equations (F-6) and (F-7) are applicable to events occurring according to a Poisson distribution regardless of the number of failures observed. A similar comment applies to Equation (F-8) and the binomial distribution. Typical estimates from Equation (F-6) are in the following table for comparison with Equation (F-1). Equation (F-6) has been used in other failure data studies, such as Reference F-3.

<u>N</u>	<u>λ</u>
30	30.15/T
20	20.15/T
10	10.15/T
5	5.15/T
2	2.18/T
1	1.19/T
0	0.23/T

The estimates of Equations (F-6) through (F-8) can be obtained in two ways. The first is to consider shrinking the confidence intervals of Equations (F-3), (F-4), and (F-5) to the case where $\alpha = 1.00$ and both $\alpha/2$ and $1 - \alpha/2$ are 0.5. Because of the differing degrees of freedom, the intervals do not shrink to a single point. The equations use an average for the differing degrees of freedom. Because the estimates use 50th percentiles, they are related to medians.

The second way of considering Equations (F-6) through (F-8) uses the medians directly. In a Bayesian context, λ is regarded as a random variable. With Poisson sampling and a noninformative conjugate prior distribution, the posterior distribution for the occurrence rate has a gamma distribution with parameters^{F-4}

$$(\alpha, \beta) = (N + 1/2, 1/T). \quad (F-9)$$

Because the gamma distribution with parameters (N,2) is identical to the chi-square distribution with 2N degrees of freedom,^{F-5} Equation (F-6) can be shown to be the median of the distribution described by Equation (F-9). Using a similar relation between β and F distributions, Equation (F-8) can be derived as the median of the posterior failure rate distribution obtained in sampling from a binomial distribution with a noninformative conjugate prior distribution.

In summary, Equations (F-6), (F-7), and (F-8) describe median-point estimates for the failure rate. They can be used when N = 0, and are more conservative in that case than the point estimates given in Equations (F-1) and (F-2). In this work, they are used with the upper confidence limits in Equations (F-3), (F-4), and (F-5), respectively, whenever no failures are observed.

In estimating the above confidence limits, all components in the sample were assumed to have exactly the same true failure rate. No effort was made to account for possible variations arising from the mixture of populations having different true failure rates. For further discussion of the assumptions and limitations of these confidence limits, see References F-2 through F-6.

REFERENCES

- F-1. S. R. Brown, M. Trojovsky, *Data Summaries of Licensee Event Reports of Inverters at U.S. Commercial Nuclear Power Plants January 1, 1976 to December 31, 1982*, NUREG/CR-3867, Idaho National Engineering Laboratory, August 1984.
- F-2. L. J. Bain, *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models*, New York: Marcel Dekker, Inc., p. 157.
- F-3. *NPRDS 1978 Annual Reports of Cumulative System and Component Reliability*, NUREG/CR-0942, Southwest Research Institute, September 1979.
- F-4. G. E. P. Box and G. C. Tiao, *Bayesian Inference in Statistical Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1973.
- F-5. N. R. Mann, R. E. Shafer, N. D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974.
- F-6. N. L. Johnson and S. Kotz, *Discrete Distributions*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1969, pp. 58-59 and 96.

使用済燃料乾式貯蔵建屋への航空機落下確率評価について

東海第二発電所の使用済燃料乾式貯蔵建屋は、各原子炉施設から独立して設置されていることから、個別に航空機落下確率を評価した。

1. 評価対象事故及び評価に用いた数値は、以下のとおり。

(1) 評価対象事故

原子炉施設に同じ。

(2) 評価に用いた数値

使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平面積(約 0.001399km²)及び投影面積(約 0.001887km²)
が 0.01km²を下回っているため、標的面積は 0.01km²とする。

それ以外の数値は原子炉施設に同じ。

2. 評価結果

以下に示すとおり、10⁻⁷(回/炉・年)を超えていないため、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率評価に対する評価基準について」に定められた判断基準を満足する。

発電所名称	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	
東海第二発電所	約 1.80×10 ⁻⁹	約 4.30×10 ⁻¹¹	約 9.95×10 ⁻⁹	約 1.86×10 ⁻⁸	約 3.00×10 ⁻⁸	約 6.1×10 ⁻⁸

2. 洪水及びダムの崩壊の影響評価について

【設置変更許可申請まとめ資料「6条（外部からの衝撃による損傷の防止）」より概ね抜粋】

2-1. 洪水影響評価について

東海第二発電所の敷地は、久慈川河口の右岸側に位置している。

敷地の周辺にある河川としては、敷地の北方約2kmに久慈川が、南方約3kmに新川が位置している。（図2-1参照）

国土交通省関東地方整備局（以下「整備局」という。）が開示している浸水想定区域図における久慈川水系がおおむね100年に1回程度起こる大雨*の浸水想定区域に対し、久慈川水系の洪水が想定を超えた場合においても、発電所に影響が及ぶことはなく、洪水の影響を考慮する必要はない。

* 久慈川水系の洪水防護に関する基本の計画となる降水量

- ・久慈川流域の上流2日間の総雨量235mm
- ・里川流域の2日間の総雨量302mm
- ・山田川流域の上流2日間の総雨量315mm

① 久慈川水系の洪水が想定を超えた場合

整備局が開示している浸水想定範囲及び東海村が発行している洪水ハザードマップによれば、発電所近隣の水田が浸水する想定であるが、その浸水深さは1m～5m未満となっており、敷地勾配及び浸水高さ分布から、最大で約EL.7mに達すると想定される。

洪水発生に伴い発電所敷地内に水が浸入するルートとして、国道245号線から発電所構内進入道路を経て浸水するルートが考えられるが、発電所構内進入道路の入口が約EL.15mの標高に位置し、最大の浸水量である約EL.7mに達すると仮定しても余裕があるため、発電所に影響が及ぶことはない。

（図2-2、図2-3及び図2-4参照）

② 新川の洪水が想定を超えた場合

東海村が発行している洪水ハザードマップによれば、発電所が浸水範囲ではないこと、また、敷地の地形及び表流水の状況によれば、新川は敷地の南側の丘陵地を挟んだ反対側に位置していること、浸水は丘陵地を遡上することはないことから、

（図2-1及び図2-3参照）

2-2. ダムの崩壊影響評価について

発電所の敷地周辺にある、ダムの崩壊により発電所に影響を及ぼす可能性のある河川としては、敷地の北方約2kmに久慈川が位置している。久慈川水系には支川の山田川に竜神ダムが、敷地の北方約30kmに位置している。（図2-5及び表2-1参照）

ダムの崩壊に伴う流出水は、周辺敷地状況より、久慈川は敷地の北方を太平洋に向かい東進していること、久慈川から発電所に向かって上り勾配（EL.3m～EL.21m）となっていることから、発電所に影響が及ぶことはない。

以上のことより、ダムの崩壊により発電所に影響が及ぶことはなく、ダムの崩壊を考慮する必要はない。

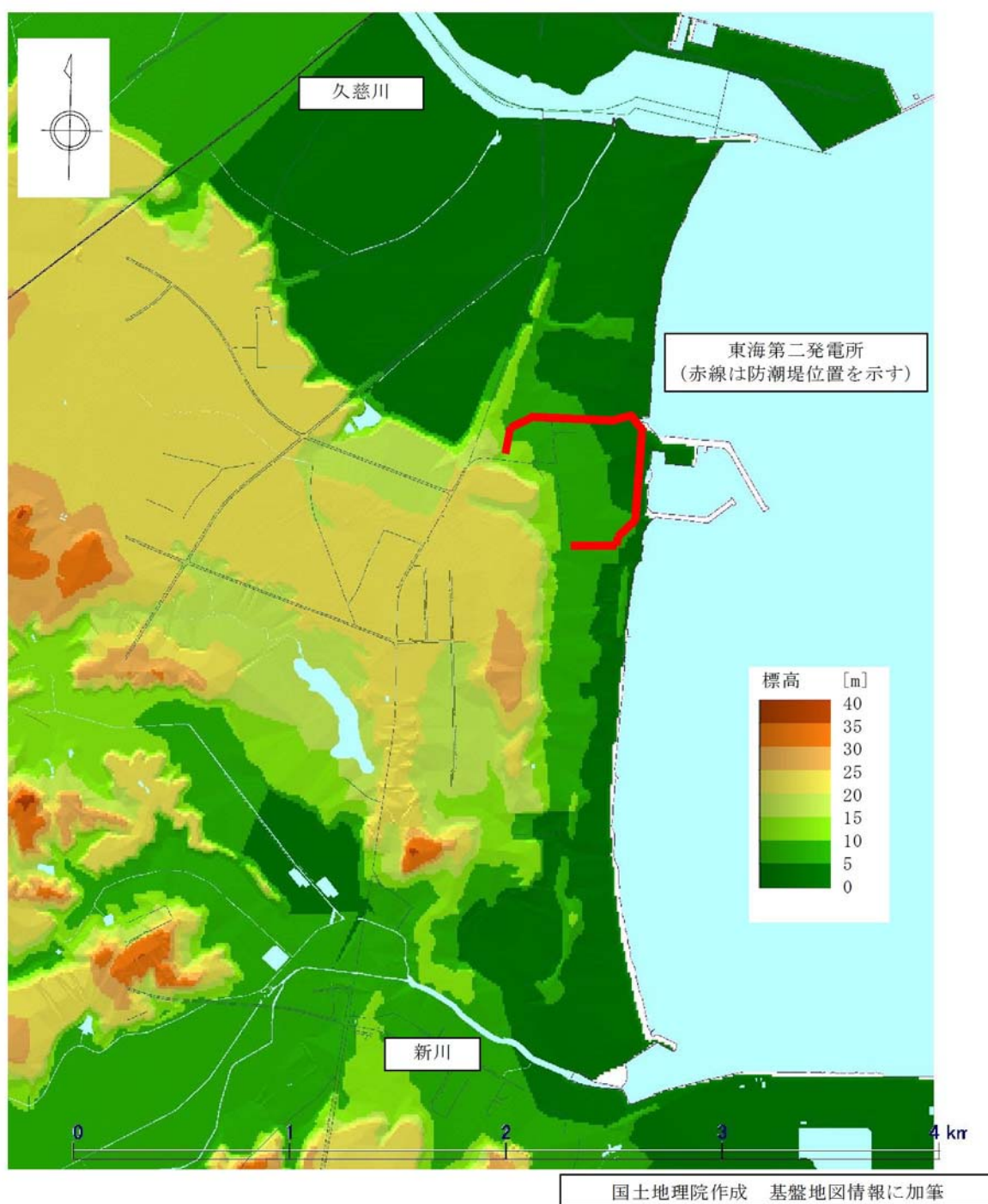


図 2-1 発電所敷地周辺の河川と標高の関係図

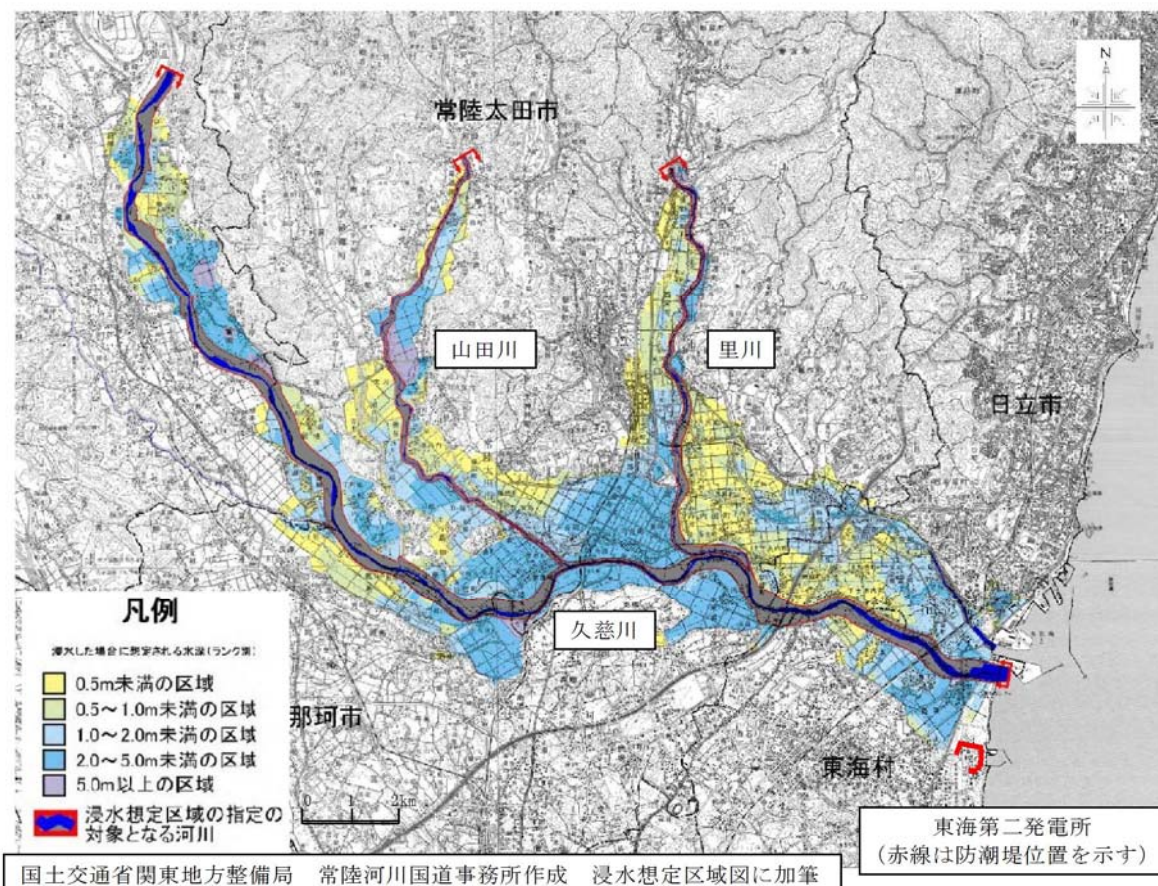


図 2-2 久慈川洪水時浸水想定区域図

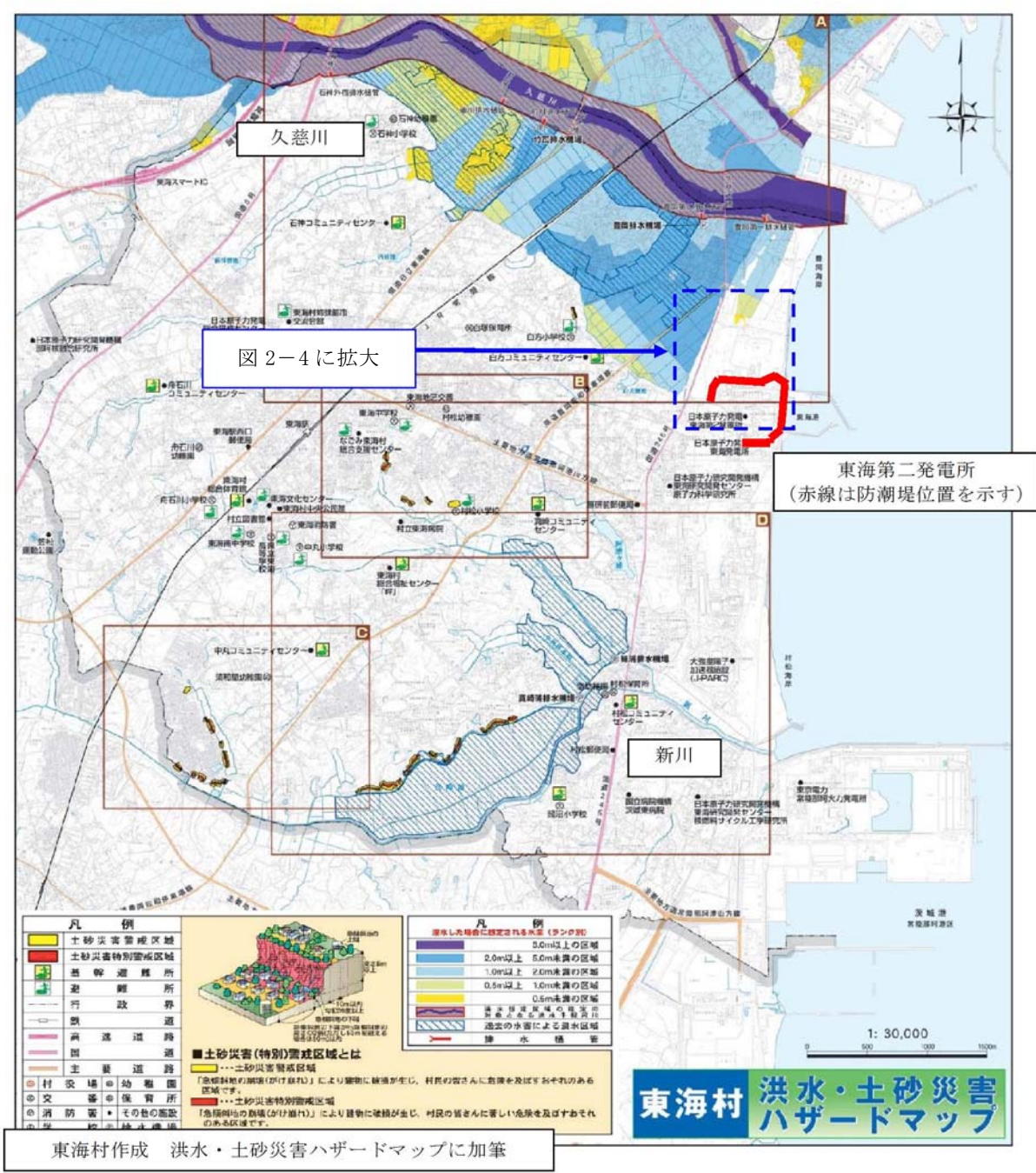


図 2-3 洪水ハザードマップ

発電所構内進入道路入口付近の状況は以下のとおりであり、発電所に影響が及ぶことはない。

- ①国道245号は、北側より進入道路に向かって上り勾配であり、進入道路入口ではEL. 15m以上である。
- ②国道245号の西側のうち進入道路入口より北側は、水田（浸水想定区域）であり、EL. 5m以下の低地である。
- ③国道245号の西側のうち進入道路入口より南側は、EL. 15m以上であり、かつ浸水想定区域より発電所に向かって下り勾配となる箇所がない。

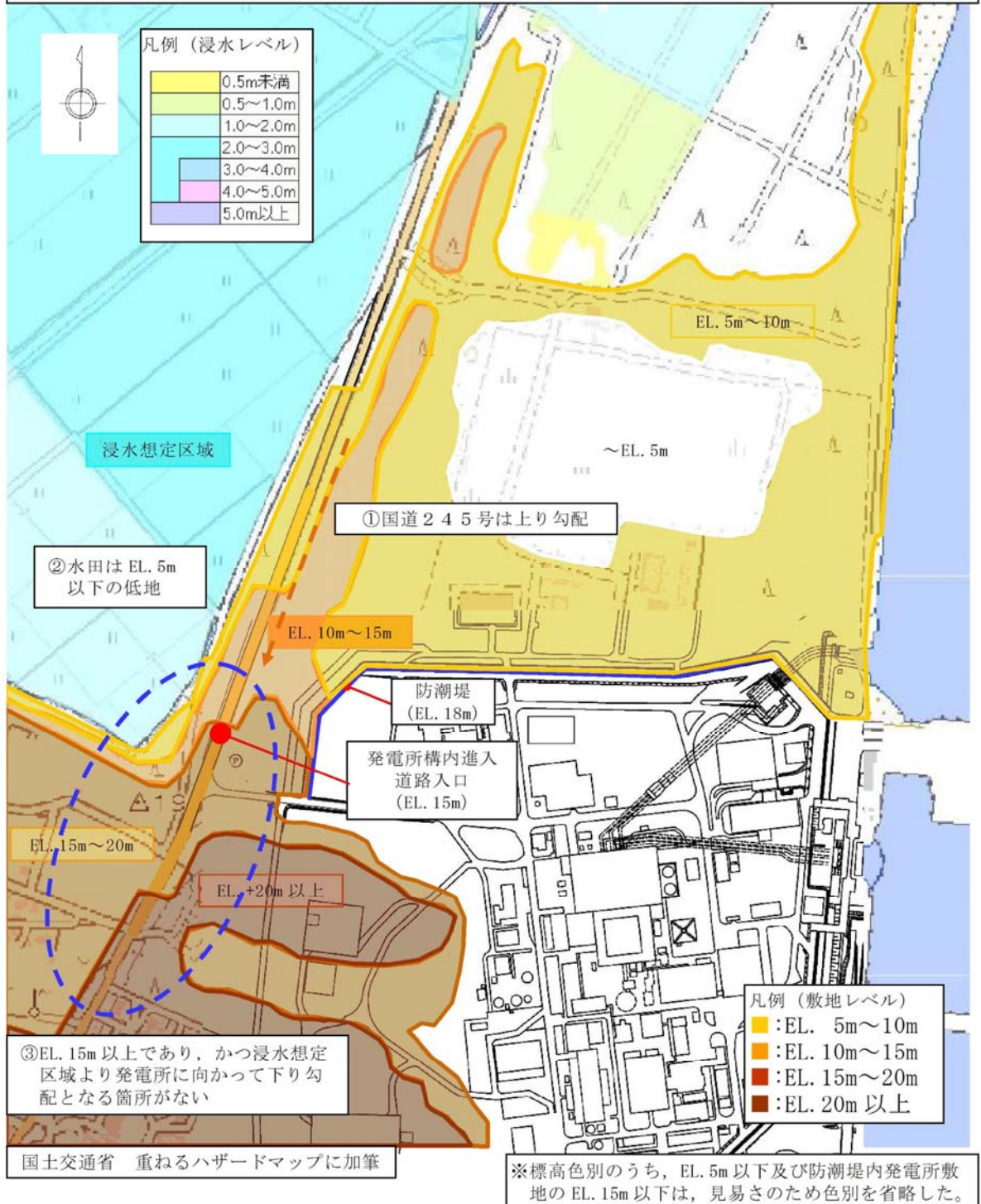


図2-4 発電所敷地周辺の浸水想定図及び浸水ルート付近の標高

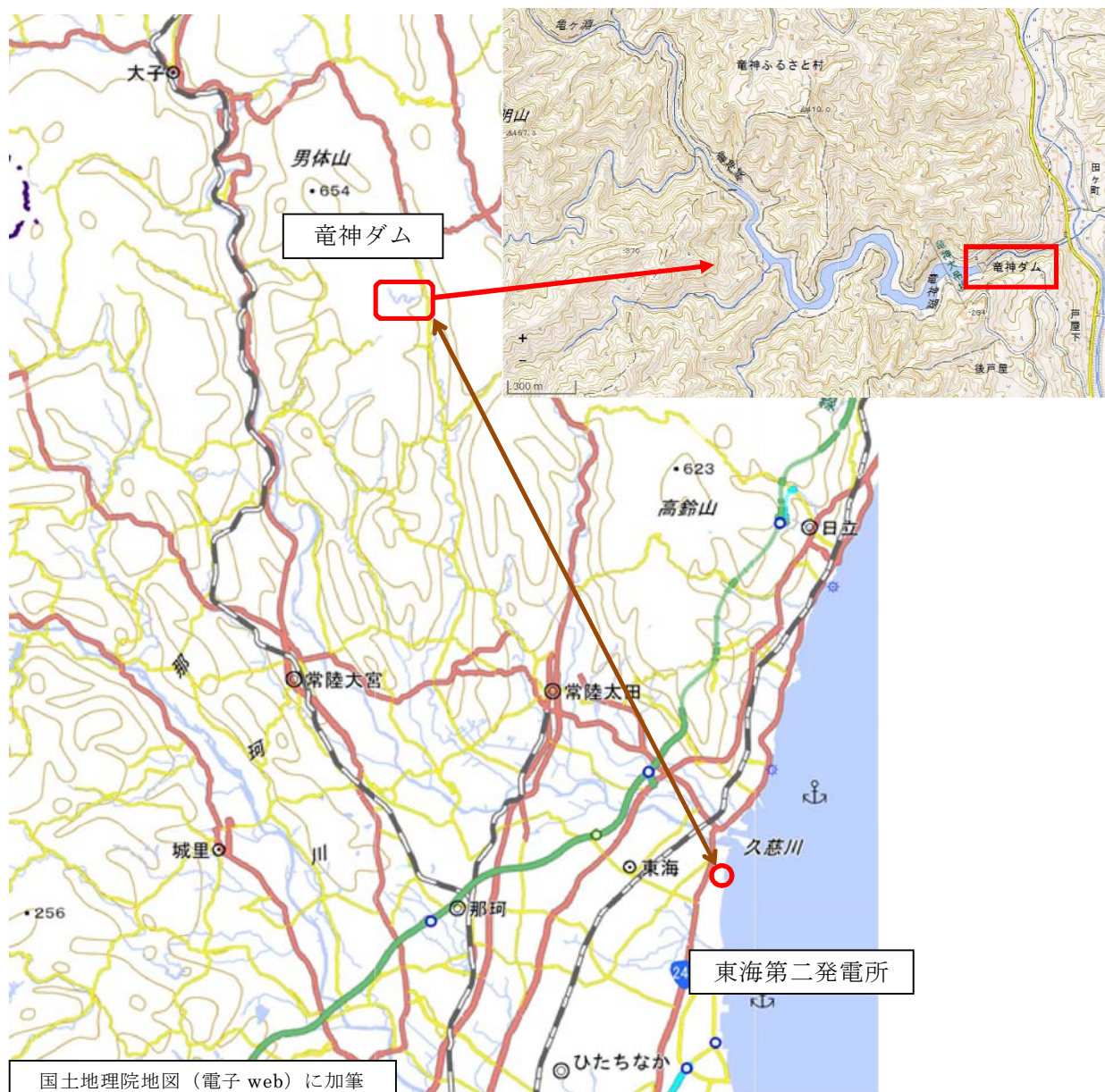


図 2-5 敷地周辺のダム

表 2-1 竜神ダム諸元

河 川	久慈川水系山田川支川竜神川
目 的	洪水調整, 農業用水, 上水道
型 式	重力式コンクリートダム
堤 高	45m
堤 頂 長	90m
総貯水容量	3,000,000m ³
有効貯水容量	2,700,000m ³

茨城県土木部 水戸土木事務所ホームページより抜粋

3. 降水について

【設置変更許可申請まとめ資料「6条（外部からの衝撃による損傷の防止）」より概ね抜粋】

3. 降水について

東海第二発電所の最寄りの気象官署である水戸地方気象台（水戸市）での観測記録（1906年1月～2012年3月）によれば、最大1時間降水量は81.7mm/h（1947年9月15日）である。

森林法に基づく林地開発許可に関する審査基準等を示した「森林法に基づく林地開発許可申請の手びき」（平成28年4月茨城県）及び茨城県宅地開発関係資料集《技術基準及びその他編》（監修 茨城県土木部都市局建築指導課，一般社団法人 茨城県建築士会発行）により、雨量強度は127.5mm/hと算出した。

＜降水による敷地内浸水影響評価＞

1. 雨水流出量の算出

＜条件＞

降雨強度は、設計基準としての降水量（127.5mm/h）とする。

雨水流出量 Q_1 の算出には、「森林法に基づく林地開発許可申請の手びき」（平成28年4月茨城県）を参照し、以下の合理式（ラショナル式）を用いる。

$$Q_1 = 1/360 \cdot f \cdot r \cdot A$$

ここで、

Q_1 ：雨水流出量（ m^3/s ）

f ：流出係数（開発部：0.9，林地：0.5）

r ：設計基準としての降水量（127.5mm/h）

A ：集水区域面積（ha）

また、集水区域面積は、第3-1表のとおり。

第3-1表 集水区域面積内訳

流域	流域面積 (ha)	開発部面積 (ha)	林地面積 (ha)
①	14.5	13.6	0.9
②	18.7	16.6	5.2
③	8.56	8.56	0.0
④	0.92	0.92	0.0
⑤	2.81	2.81	0.0

2. 流末排水路排水量の算出

＜条件＞

構内排水路における流末排水路排水量 Q_2 の算出には、「開発行為の技術基準」（平成10年10月茨城県）を参照し、以下のマンニング式を用いる。

$$Q_2 = V \cdot A$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

ここで、

Q_2 : 流末排水路排水量 (m^3/s)
 V : 平均流速 (m/s)
 A : 流末排水路流水断面積 (m^2)
 n : マニングの粗度係数
 R : 径深 = A/S (m) (S : 潤辺 (m))
 I : 勾配

また、流末排水路は、以下を考慮して設定する。

- ①排水路設置位置は、集水区域毎に、敷地勾配及び流下経路を考慮し、地表面の降水の流下状況を踏まえ、敷地傾斜等に従い流下する箇所に設定する。
- ②排水路構造は、防潮堤部に設置することから、防潮堤断面方向の構造を考慮し、かつ敷地標高及び潮位を考慮した管径、勾配及び設置本数を設定する。
- ③排水路の機械的強度は、他の外部事象によって発生する衝撃によって排水機能を損なうことのない設計とする。

2.1 敷地勾配及び流下経路を考慮した地表面の降水の流下状況

発電所敷地(防潮堤内へ降水が流下する発電所敷地外を含む)を標高及び幹線排水路の設置状況より以下の5つの流域に分割し、各々の流下経路を検討する。

流域① : 東海第二発電所原子炉建屋より北側 (EL. 4m~EL. 8m)

流域② : 敷地西側の高台 (EL. 11m 以上)

流域③ : 東海発電所敷地を含む敷地南側 (EL. 8m)

流域④ : 取水口エリア (海水ポンプ室含む) (EL. 3m)

流域⑤ : 東海第二発電所原子炉建屋の南側 (EL. 8m)

流域①の降水は、流域①内に設置されている幹線排水路へ導かれ、流末排水路①-2(既設排水路)を通して海洋へ排水される。また、敷地勾配を考慮すると標高の低い流域①の北東部(EL. 8m から EL. 4m へ下る)へ地表面を流下すると想定される。

流域②の降水は、流域②内の低地である EL. 11m に設置する幹線排水路へ導き、海洋へ排水する。

流域③の降水は、流域③内に設置されている幹線排水路へ導かれる他、地表面を流下すると想定される。

流域④の降水は、流域④内の排水路により海洋へ排水する。なお、防潮堤の構造や周辺の道路の敷設状況より、隣接している流域①、③及び⑤から降水へは流下しない。

流域⑤の降水は、流域⑤内に設置されている幹線排水路へ導かれる他、地表面を流下すると想定される。

2.2 流末排水路の設置位置の設定

2.1 で考慮した結果より、各流域に対する流末排水路の設置箇所は以下とした。

流域①の降水のため、流末排水路①-2 による排水の他、標高の低い流域①の北東部(EL. 8m から EL. 4m へ下る)へ地表面流下水の流末排水路①-1 を設置する。

流域②の降水のため、流域①、③及び⑤へ流下しないよう、流域②内の低地である EL. 11m に設置する幹線排水路から流末排水路②の経路を設置する。

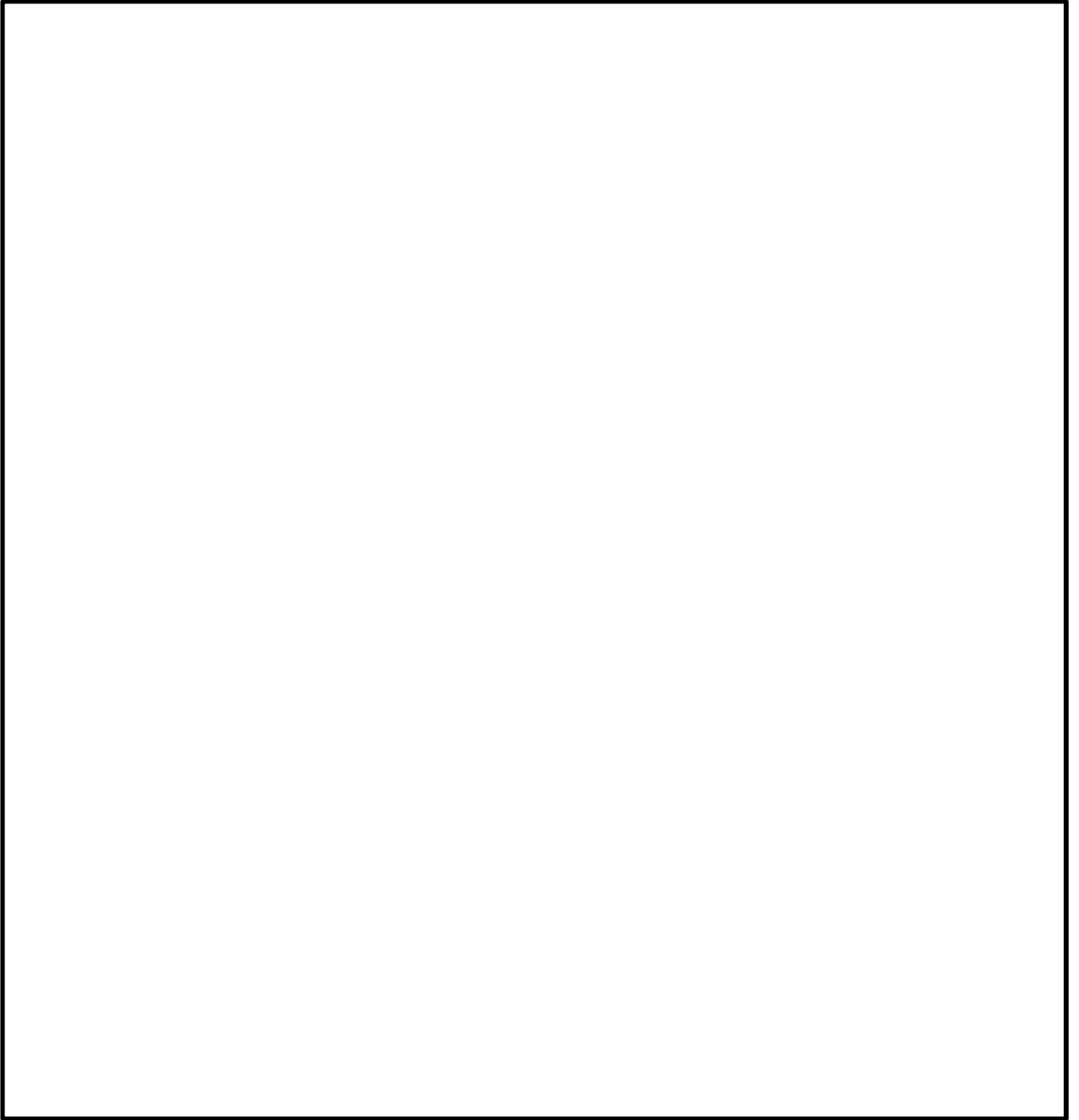
流域③の降水のため、幹線排水路からの流末排水路③-1、地表面流下水の流末排水路③-2 を設置する。

流域④の降水のため、流末排水路④を設置する。なお、隣接する流域①、③及び⑤の降水が流入しないよう、流入経路となる可能性のある箇所は堰等を設置し、他流域からの流入防止を行う。

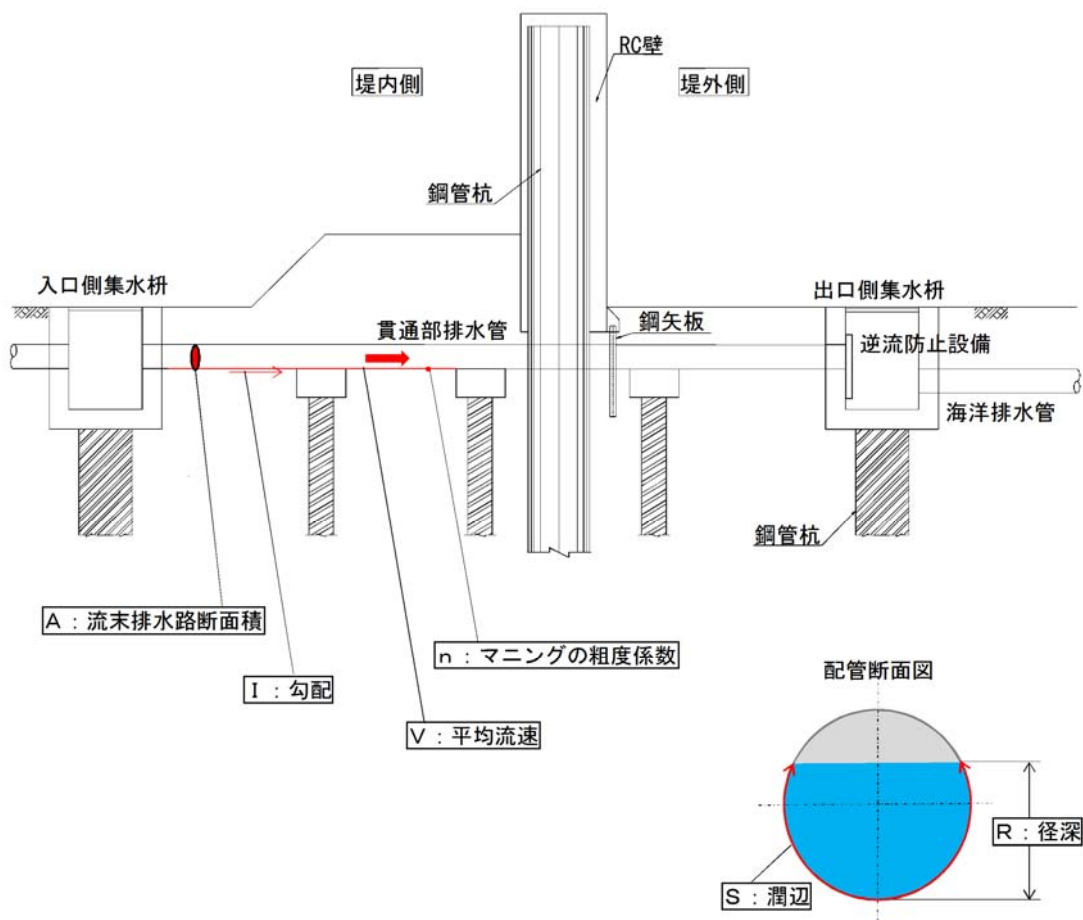
流域⑤の降水のため、流末排水路⑤を設置する。

なお、流域②、③及び⑤の降水のうち、当該流域内の幹線排水路に集水されず地表面を流下する降水は、順次敷地標高の低い流域へ流下・排水され、最終的には流域①に設置される流末排水路①-1 へ流入する可能性があるが、流末排水路①-1 の排水量には流域①の雨水流出量と比較して十分な余裕があることから、遅滞なく海域に排水が可能であり、敷地内が浸水することはない。

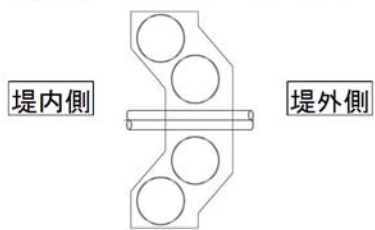
集水流域、幹線排水路及び流末排水路位置を第 3-1 図に、流末排水路構造を第 3-2 図に、敷地高さ及び地表水の流下想定を第 3-3 図に示す。



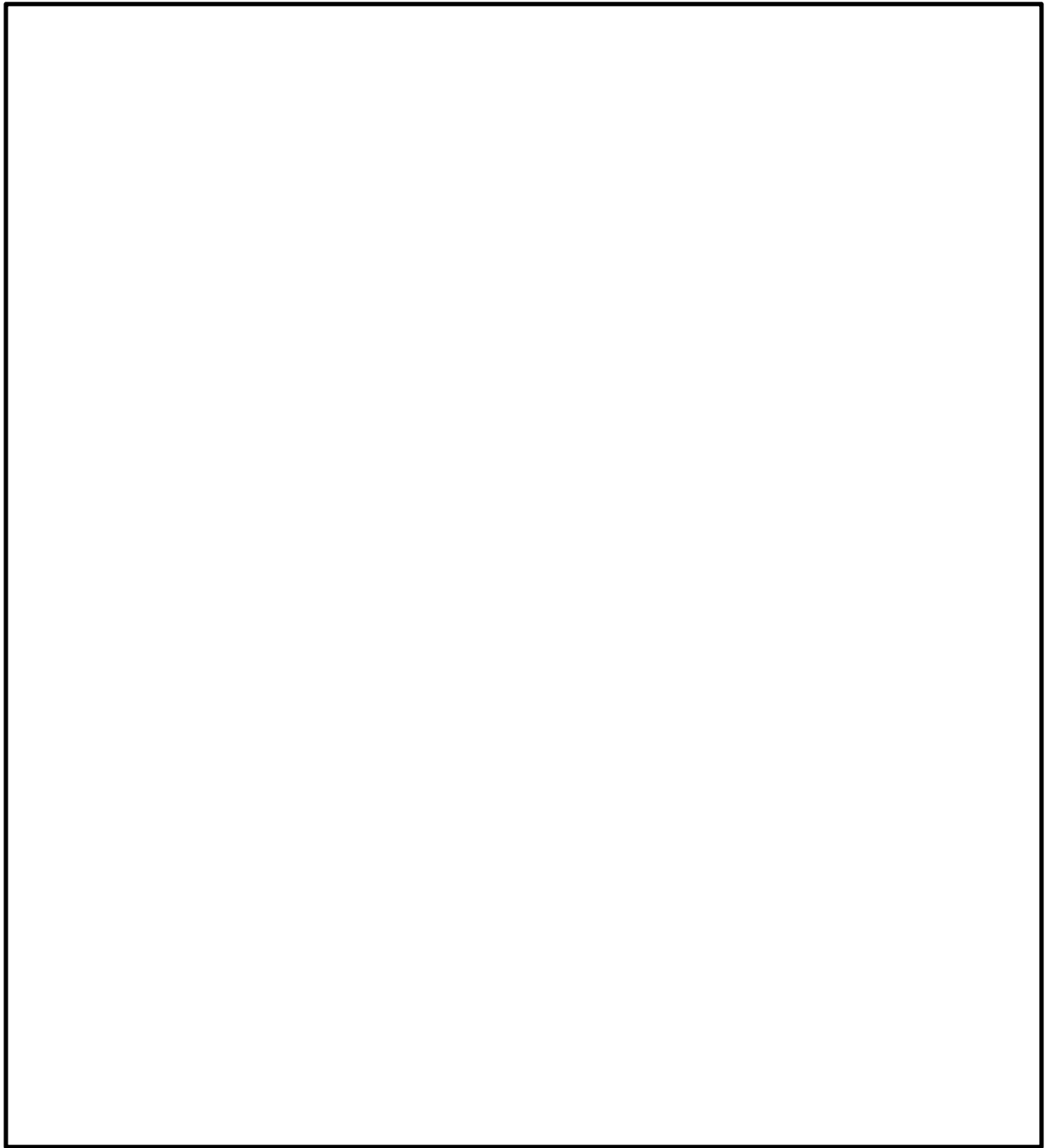
第 3-1 図 集水流域，幹線排水路及び流末排水路位置



上断面図
(鋼管杭—排水路の平面方向の位置関係)



第 3-2 図 流末排水路構造



第 3-3 図 敷地高さ及び地表水流下想定

3. 判定基準

「2. 流末排水路排水量の算出」において算出した流末排水路排水量 Q_2 が、「1. 雨水流出量の算出」において算出した雨水流出量 Q_1 を上回ることを確認することにより、雨水を遅滞なく海域に排水することが可能であること及び敷地内が降水によって浸水しないことを判定基準とする。

4. 評価結果

流末排水路排水量は、雨水流出量を上回り、雨水は遅滞なく海域に排水可能であり、敷地内は浸水しないことを確認した。雨水流出量と排水路流末の設計排水量の比較結果を第3-2表に示す。

第3-2表 雨水流出量と流末排水路の設計排水量の比較結果

流域	集水区域 面積A (ha)	雨水流出量 Q_1 (m^3/h)	流末	流末排水路 排水量* Q_2 (m^3/h)	判定 ($Q_1 < Q_2$)	備考
①	14.5	約 16,200	①-1	約 20,700	○	流末①-2で排水できない雨水は地表を流下し、流末①-1で排水される
			①-2	約 8,760		
②	18.7	約 18,900	②	約 21,800	○	
③	8.56	約 9,900	③-1	約 3,900	○	流末③-1で排水できない雨水は地表を流下し、流末③-2で排水される
			③-2	約 11,600		
④	0.92	約 1,060	④	約 1,100	○	
⑤	2.81	約 3,230	⑤	約 12,000	○	

5.1 建屋廻りの浸水評価

安全施設を内包する建屋への影響について、建屋の排水口（設計降水量 100mm/h）による排水は、それらの建屋周辺において構内排水路（設計降水量 50mm/h）及び地表面を敷地傾斜に従い流下し、流末排水路（設計降水量 127.5mm/h 以上）より速やかに排水されることから、安全施設が浸水することはない。

5.2 取水口エリアの浸水評価

取水口エリアへの影響について、敷地傾斜に従い流下し、流末排水路より速やかに排水されることから、安全施設が浸水することはない。（「2. 降水による敷地内浸水影響評価」のとおり）

なお、安全施設が設置されている海水ポンプ室内には、排水ポンプが設置されており、その排水量は海水ポンプ室内の雨水流出量を上回るため、安全施設が浸水することはない。雨水流出量の算出は「2.1 雨水流出量の算出」のとおり、評価結果は第3-3表のとおり。

第3-3表 海水ポンプ室内における雨水流出量と排水ポンプ排水量の比較結果

流域	集水区域面積 A (m ²)	雨水流出量 Q ₃ (m ³ /h)	排水ポンプ排水量 Q ₄ (m ³ /h)	判定 (Q ₃ <Q ₄)
北側海水ポンプ室	86	11.0	36.0	○
南側海水ポンプ室	108	13.8	36.0	○

6. 荷重の影響について

降水による荷重の影響について、安全施設を内包する建屋には、排水口が設置されていること、建屋上部は開放されていることから、速やかに排水可能である。また、屋外に設置されている安全施設は、上部に水が滞留する構造ではなく降水による荷重を受けにくいため、影響はない。

以上のことから、安全施設を内包する建屋は多量の降水に対しても、排水口等により排水する設計としており、設計基準としての降水量による荷重によって安全機能を損なわれることはない。

4. 落雷について

4. 落雷について

原子力発電所における耐雷設計の規格・基準には電気技術指針 J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」⁽¹⁾があり、以下のように規定している。

- a. 電力設備の避雷設備の設計について、電力中央研究所報告 T40 (1996) 「発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド」⁽²⁾を参照している。同ガイドでは、275kV 発電所における送電線及び電力設備に対し、100kA を想定雷撃電流として推奨している。
- b. 建築物等の避雷設備に関して、日本工業規格 J I S A 4201 (2003) 「建築物等の雷保護」や日本工業規格 J I S A 4201 (1992) 「建築物等の避雷設備（避雷針）」を参照している。J I S A 4201 (2003) では、保護レベル（Ⅰ～Ⅳ）に応じて雷保護システムを規定している。J E A G 4608 (2007) では、原子力発電所の危険物施設に対する保護レベルを I E C / T S 61662(1995) 「Assessment of the risk of damage due to lightning」⁽³⁾に基づく選定手法により保護レベルⅣと評価している。一方、消防庁通知⁽⁴⁾に基づき、原子力発電所の危険物施設では保護レベルⅡを採用すると規定している。日本工業規格 J I S Z 9290-4 (2009) 「建築物内の電気及び電子システム」⁽⁵⁾においては、最大雷撃電流値が建築物の保護レベル（Ⅰ～Ⅳ）に応じて定められているが、保護レベルⅡの場合の最大雷撃電流値は、150kA と規定されている。

また、J E A G 4608 (2007) において参照している I E C / T S 61662 (1995) においては、確率によりリスク評価を行っていることを踏まえ、東海第二発電所では、年超過頻度が 10^{-4} /年値となる雷撃電流値を観測値から算出した。雷撃電流の観測記録として、発生した雷放電の発生時刻・位置を標定し、雷撃電流の大きさを推定できる株式会社フランクリンジャパンの運用する全国雷観測ネットワーク（J L D N*¹）により観測された落雷データを用いた。別紙 1 より、雷撃頻度解析として、東海第二発電所周辺を中心とした評価地域 900km²において 1998 年 8 月 21 日から 2017 年 11 月 30 日にかけて実施された観測記録により求めた発電所を中心とした標的面積 4km²の範囲の雷撃密度は 4.09 回/年・km²である。また、観測記録により求めた雷撃電流値に対する累積頻度を使用し算出した結果、発電所において落雷の可能性が最も高い排気筒に対する年超過頻度が 10^{-4} /年値となる雷撃電流値は 400kA となる。

また、雷撃電流の観測記録は J L D N により観測された落雷データを用いた、東海第二発電所構内敷地面積を包絡する標的面積 4km²の範囲において 1998 年 8 月 21 日から 2017 年 11 月 30 日（約 19 年間）で観測された、最大雷撃電流値は 131kA である。

以上のことより、基準雷撃電流値は、発電所に対して想定される雷撃電流が最も大きくなる J E A G 4608 (2007) を参照し算出する年超過頻度 10^{-4} /年値である雷撃電流値 400kA とする。

* 1 : J L D N (Japan Lightning Detection Network)

落雷時に放出される電磁波を全国に設置された落雷位置標的システムを用いて落雷位置や雷撃電流の大きさを観測するネットワーク。全米雷観測ネットワーク (N L D N : National Lightning Detection Network) と同様のシステム及びネットワーク方式を採用している。

<落雷影響評価>

1-1. 建屋

原子炉建屋などの建築基準法に定められる高さ 20m を超える建築物等には避雷設備を設けている。また、避雷設備の接地極を構内接地網と接続し接地抵抗を下げる等の対策を実施しており、影響を受けにくい設計としている。

1-2. 原子炉建屋等に内包される設備

直撃雷に対しては、1-1. で記載した雷害対策によって防護される。雷サージに対しては、建屋に内包される電気・計装設備が、大地電位上昇により接地系間に生じる電位差や、雷電流の拡散による誘導電流により計装・制御ケーブル等に生じる雷サージ電圧によって、機器が絶縁破壊に至る可能性が有るが、プラントトリップ機能等を有する安全保護回路については、雷サージ電圧の侵入を抑制するために、ラインフィルタ及び絶縁回路の設置、鋼製筐体や金属シールド付信号ケーブルを採用していることから影響を受けにくい設計としている。

また、重要安全施設は、J E C 210 (1981)「低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準」⁽⁶⁾に基づいた耐力を有している。発電所で実施した雷インパルス試験の結果を参考に、設計基準電流 400kA が落雷の可能性が高い排気筒に流れた場合の雷サージ電圧を評価した結果、重要安全施設の機能が損なわれないことを確認した。(別紙 2)

1-3. 屋外設備

排気筒については接地を構内接地網に接続し、接地抵抗を低減しており、影響を受けにくい設計としている。また、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水系ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系ポンプについては、別途竜巻対策により設置する防護ネット等によって遮蔽され、防護ネット等が接地網へと接続されているため、落雷に対して十分保護が出来ているといえる。

2. 参考文献

- (1) 日本電気協会 (2007) : 原子力発電所の耐雷指針, 電気技術指針, J E A G 4608
- (2) 電力中央研究所 (1996) : 発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド, 電力中央研究所報告, T40
- (3) International Electrotechnical Commission (1995) : Assessment of the risk of damage due to lightning, I E C / T S 61662
- (4) 消防庁 (2005) : 危険物の規則に関する規則の一部を改正する省令等の施行について, 消防危第 14 号, 平成 17 年 1 月 14 日
- (5) 日本規格協会 (2009) : 建築物内の電気及び電子システム, J I S Z 9290-4, 雷保護第 4 部, 日本工業規格
- (6) 電気学会 (1981) : 低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準, J E C 210, 電気規格調査会標準規格

発電所排気筒への年超過確率による雷撃電流評価

1. 発電所構内への年超過確率による雷撃電流計算

J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」⁽¹⁾に基づく I E C / T S 61662 (1995) 「Assessment of the risk of damage due to lightning」⁽²⁾ の計算手法により排気筒への想定落雷数を算出し、発電所構内への年超過確率による雷撃電流計算を実施した。

2. 計算手法

第 1 図に示す東海第二発電所を中心とした評価地域 900km² の範囲で観測された落雷観測データ (1998 年 8 月 21 日から 2017 年 11 月 30 日の期間) を基に発電所の範囲における雷撃数から I E C / T S 61662 (1995) による排気筒への想定落雷数 Nd 回/年を算出後、排気筒への年超過頻度 10^{-4} /年値となる雷撃電流値を算出する。



第 1 図 評価地域及び標的面積

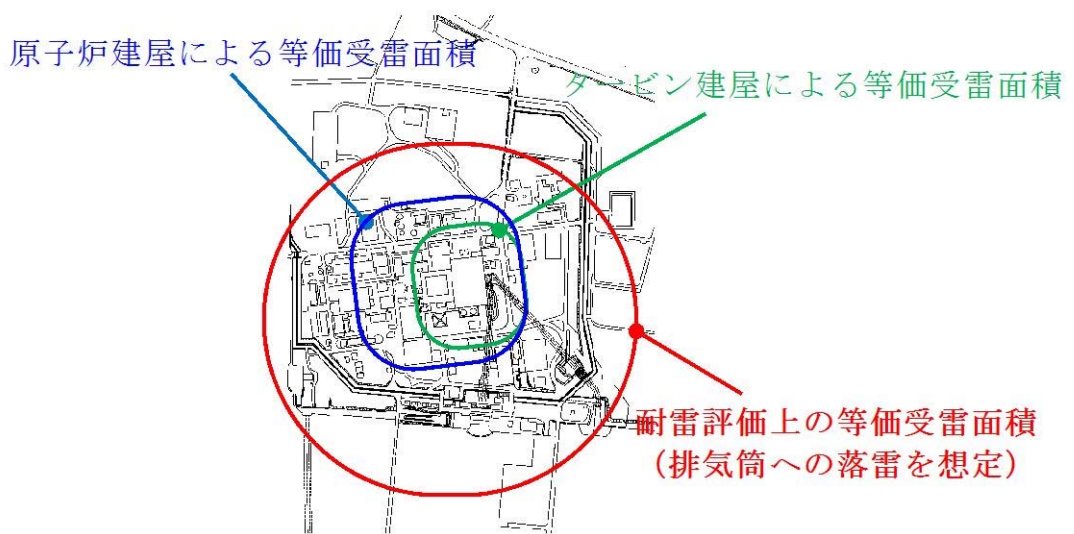
3. 雷撃対象と想定落雷数

(1) 雷撃対象

等価受雷面積*¹が最大となり、安全上重要な設備を内包する建屋（原子炉建屋など）の等価受雷面積を包絡する排気筒を代表建物として想定し、雷撃頻度を評価する。第2図参照。

* 1：等価受雷面積…落雷の収集面積。建造物の高さを3倍とした水平離隔距離の領域を等価な受雷面積としている。第3図参照。

評価対象：排気筒



第2図 東海第二発電所における等価受雷面積

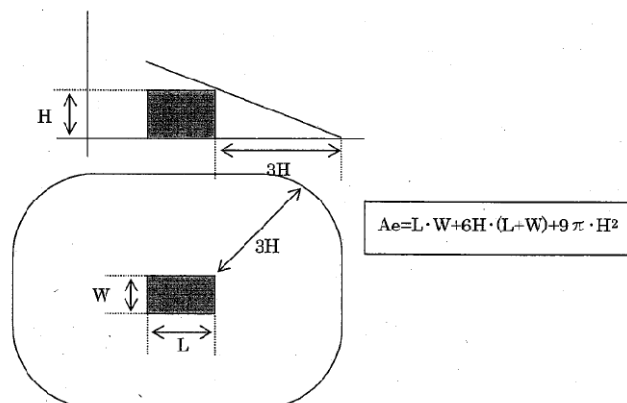


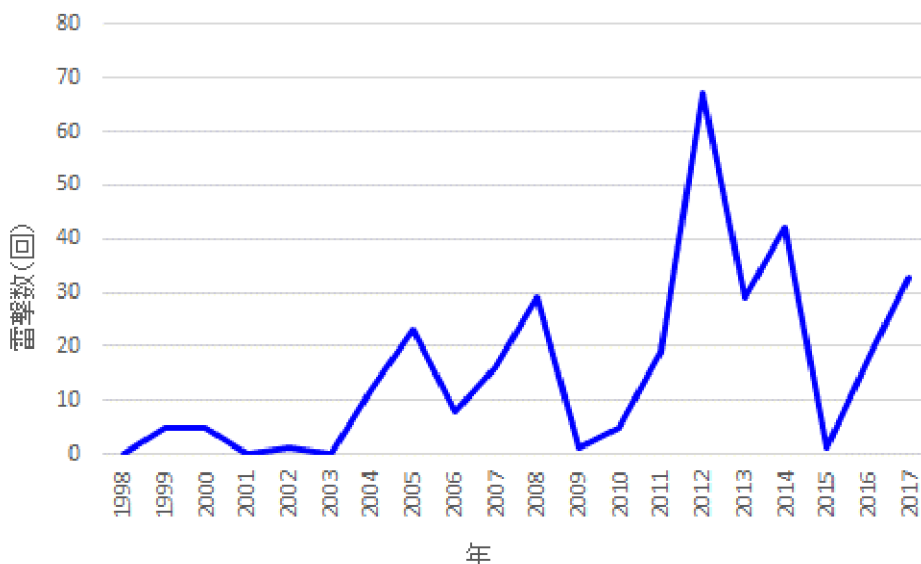
図 要素 Ae (建造物の等価受雷面積)

第3図 建造物の等価受雷面積

(J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」)

(2) 想定落雷数

東海第二発電所構内を包絡した標的面積 4km²への 1998 年 8 月 21 日から 2017 年 11 月 30 日の期間における雷撃数は、発電所落雷観測記録に基づき、314 件である。第 4 図に構内雷撃観測の年別結果を示す。



第 4 図 構内雷撃観測の年別結果 (1998 年 8 月から 2017 年 11 月)

東海第二発電所構内の観測記録を基に落雷密度 N_g 回/年・km²を算出する。IEC 62858 (2015) 「Lightning density based on lightning location systems (LLS) -General principles」⁽³⁾においては、落雷密度 N_g と雷撃密度 N_{sg} の関係については、下式とされている。

$$N_{sg} = 2N_g$$

N_{sg} : 単位時間及び単位面積当たりの対地雷撃数

N_g : 単位時間及び単位面積当たりの対地落雷数。落雷は通常、複数の雷撃からなり、これらの一連の現象をまとめて落雷として取り扱われている。

したがって、落雷密度 N_g は、

$$N_{sg} = \frac{314 \text{ 回}}{4\text{km}^2} \times \frac{1}{19.2 \text{ 年}} = 4.09 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

$$N_g = \frac{N_{sg}}{2} = \frac{4.09}{2} = 2.05 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

となる。

上記により算出した東海第二発電所構内の観測記録による落雷密度の妥当性を確認するため、①年間雷雨日数分布図*²及び②標的面積 30km 四方での観測記録から算出した落雷密度との比較を行った。

① 年間雷雨日数分布図

従来より電力設備の耐雷設計において標準的に用いられている第 5 図に示す昭和 29 年度から昭和 38 年度の 10 年間の雷雨日数統計結果である年間雷雨日数分布図*²より落雷密度を算出し、観測時期の違いにより落雷密度が有意に変わらないことを確認する。

年間雷雨日数分布図と落雷密度 N_g の関係については、下式とされている。したがって、年間雷雨日数分布図から算出される落雷密度は、

$$N_g = 0.1 \times I_{KL} = 0.1 \times 19 = 1.9 \text{ 回/年} \cdot \text{km}^2$$

となり、東海第二発電所構内の観測記録を基に算出した落雷密度とほぼ同じ値となる。

② 標的面積 30km 四方での観測記録

年間雷雨日数分布図と同等の標的面積となる東海第二発電所を中心とした 30km 四方における 1998 年 8 月 21 日から 2017 年 11 月 30 日の期間における観測記録から落雷密度を算出し、標的面積の違いにより落雷密度が有意に変わらないことを確認する。

$$N_{sg} = \frac{49155 \text{ 回}}{900 \text{ km}^2} \times \frac{1}{19.2 \text{ 年}} = 2.84 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

$$N_g = \frac{N_{sg}}{2} = \frac{2.84}{2} = 1.42 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

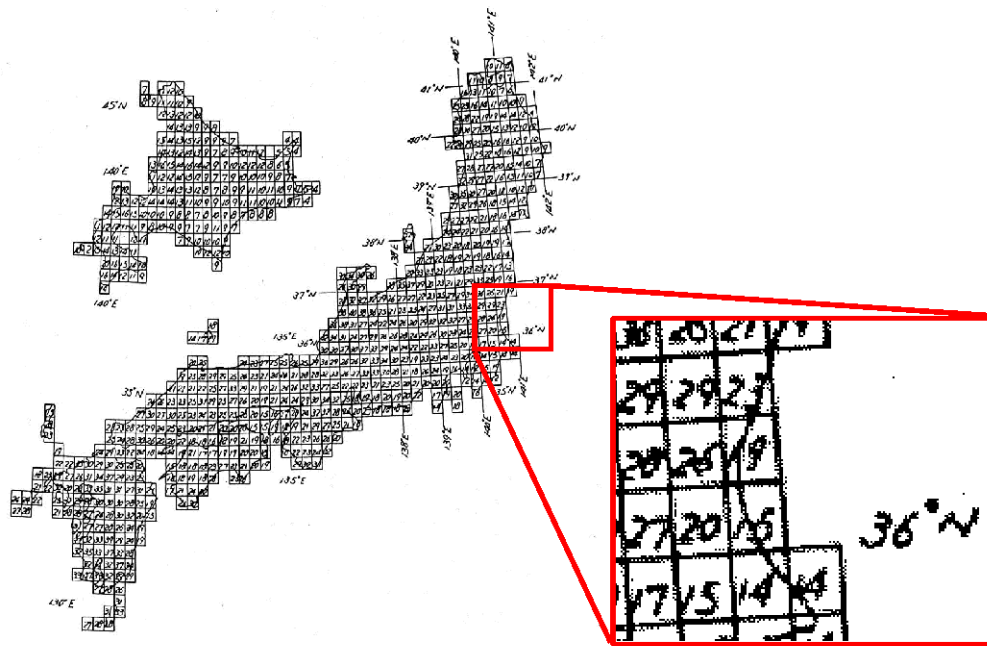
となり、東海第二発電所構内の観測記録を基に算出した落雷密度とほぼ同じ値となる。

したがって、①年間雷雨日数分布図及び②標的面積 30km 四方での観測記録から算出する落雷密度については同等であり、雷活動に対し有意な経年変化はなく、東海第二発電所構内での観測記録を耐雷設計として適用することは妥当である。

以上から、雷活動に対し有意な経年変化や標的面積による違いはないことを確認した。年超過頻度 10^{-4} /年値の設定にあつては、雷撃密度から落雷密度の換算において、想定雷撃数は多いほど安全側評価となることから、 $1/2$ とはせずに保守性を確保する。

$$N_g = \frac{314 \text{ 回}}{4 \text{ km}^2} \times \frac{1}{19.2 \text{ 年}} = 4.09 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

*2: I_{KL} マップ (Isokeraunic Level Map)。気象庁と電力中央研究所と共同して観測結果をもとに作成されたもの。従来より耐雷設計では雷撃密度 N_g は当該年間雷雨日数分布図を用いられてきた。



東海第二発電所周辺は 19

第 5 図 年間雷雨日数分布図
(昭和 29 年度から昭和 38 年度の 10 年間平均)

排気筒の等価受雷面積 A_e を算出する。

排気筒 : 28m (L) × 28m (W) × 140m (H)

$$A_e = L \times W + 6H \times (L + W) + 9\pi \times H^2 = 28 \times 28 + 6 \times 140 \times (28 + 28) + 9 \times \pi \times 140^2$$

$$= 610000(\text{m}^2) = 0.61 (\text{km}^2)$$

となる。

構造物の設置された環境条件により定まる環境係数 C_e は、第 1 表より 1.0 とする。

第 1 表 環境係数 C_e

環境条件	C_e の値
同じ様な高さ、又は塔や森林の様に高い建設群や樹木のある広い範囲に位置する建物	0.2
小さな建物群に囲まれた建物	0.5
建物の高さの 3 倍の範囲に建物がない独立した建物	1.0
丘の上や塚の上に位置する建物	2.0

(J E A G 4608(2007)「原子力発電所の耐雷指針」)

以上より、想定落雷数 N_d 回/年を算出する。

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e = 4.09 \times 0.61 \times 1.0 = 2.5 (\text{回/年})$$

上記より、排気筒への年間雷撃数は 2.5 回/年と算出される。

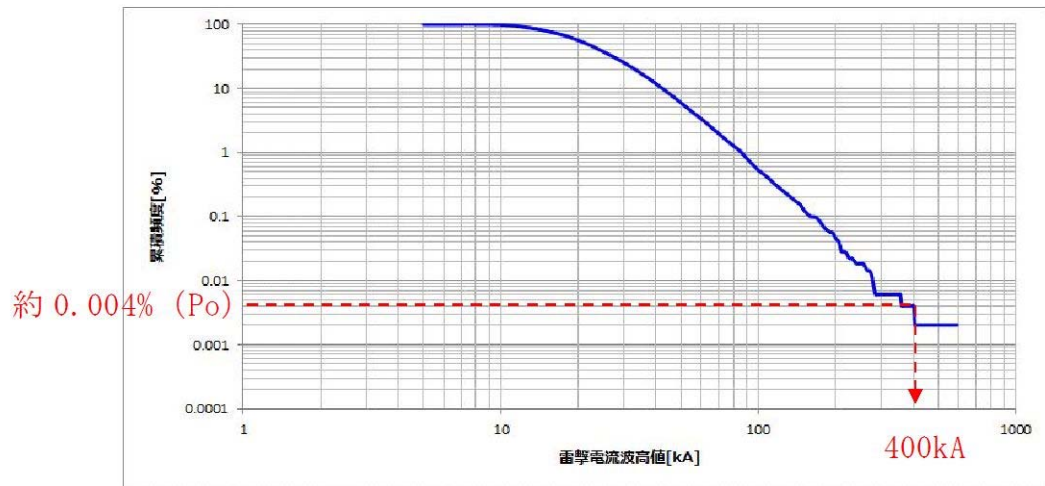
以上を考慮すると、再現期間を y として排気筒への雷撃数 N_t は以下のようになる。

$$N_t = N_d \times y$$

これらの雷撃について、発生する電流最大値を雷撃電流分布での確率 $P=1/(Nt)$ の点で評価する。雷撃電流分布に関しては、株式会社フランクリンジャパンの運用する全国雷観測ネットワーク（JLDN）により観測された落雷データに基づき評価する（第6図）。なお、再現期間は 10^4 年とする。

$$Nt=2.5 \times 10^4=25000 \text{ 回}$$

確率 $P_0=1/(25000)$ に対する電流値は 400kA となる。



第6図 全国雷観測ネットワーク（JLDN）観測の電流分布

なお、相対的に雷撃数の多い至近5年間（2013年1月から2017年11月）の観測記録を用いた場合においても、雷撃密度を落雷密度に換算する際に $1/2$ とする本来の手法で年超過頻度 10^{-4} /年値を算出した結果、340kA と評価され、400kA を下回る。

4. まとめ

排気筒に対する、年超過頻度 10^{-4} /年値となる想定最大雷撃電流を保守的に算出した結果は、400kA となった。

5. 参考文献

- (1) 日本電気協会（2007）：原子力発電所の耐雷指針，電気技術指針，J E A G 4608
- (2) International Electrotechnical Commission（1995）：
Assessment of the risk of damage due to lightning, I E C / T S 61662
- (3) International Electrotechnical Commission（2015）：
Lightning density based on lightning location systems (LLS) -General principles, I E C 62858

建屋内重要設備の雷リスク評価

1. 評価概要

設備の落雷に対する耐力の定量的な評価方法については、既往の文献等や最新の知見を踏まえ、可能な限り現実的かつ網羅的な評価を実施する。

2. 雷サージ評価対象設備

排気筒に落雷し、大地に安全に雷電流が逃された場合でも、大地電位上昇により接地系間に生じる電位差や、雷電流の拡散による誘導電流により、計装・制御ケーブル等に生じる雷サージ電圧^{*1}によって、機器が絶縁破壊に至る可能性が有る。

*1: J E A G 4608 (2007) において、原子力発電所の構内接地系に雷サージ(電流)が流入すると、屋外に布設された計測制御ケーブルに雷サージに起因する雷サージ電圧が発生するが、その発生機構については大別して次の3つが考えられるとされている。

- i) 雷サージが構内接地系に流入すると流入点付近の接地電位が上昇し、構内接地系の電位分布が動揺する。
このため、ケーブルの一端の電位が接地電位の動揺に応じて変動し他端にこれが進行する。
- ii) 雷サージが埋設接地線に流れると、埋設接地線とケーブルとの間の相互サージインピーダンスと自己インピーダンスにより決定される誘導電圧が発生し伝播する。
- iii) 大地面とケーブルとの静電結合により大地面電位変動がケーブルの両端へ伝播される。

そこで、重要安全施設に発生する雷サージ電圧により、重要安全施設が損傷するリスクを評価する。

なお、重要安全施設以外の安全施設については、クラス間で分離がなされており、落雷による損傷があったとしても重要安全施設に波及することは無く、重要安全施設の機能は維持されることから本評価対象から除外した。

3. 建屋内重要設備の雷リスク評価

3.1 評価方針

3.1.1 想定する落雷

想定する落雷は、設計基準として設定した、排気筒への400kAの雷撃電流とする。

3.1.2 評価方法

落雷時に重要安全施設に加わる雷サージ電圧を推定する際に、過去に東海第二発電所において実施した雷インパルス試験の結果⁽¹⁾を使用する。

雷インパルス試験では、雷電流波形を模擬した電流(250A)を排気筒に雷インパルス発生装置(以下「IG」という。)を用いて印加し、計装制御回路の過電圧の測定を行った。第1図に構内配置、IG設置位置のイメージ及び試験に用いた雷インパルスの発生回路図を示す。

第1表に雷インパルス試験及び400kA落雷時の換算値を示す。雷サージ電圧の換算値は雷インパルス試験の結果を保守的に比例関係^{*2}にあるとして外挿し算出した。実際には雷撃電流値が大きくなるほど、土中放電効果(雷サージ電圧が低下する)の影響が大きくなるため、これは保守的な評価となる。この結果と、機器の雷サージ耐電圧値を比較し落雷による影響

値の下限値 500V を用いる。

3.2 評価結果

3.2.1 影響評価

(1) 電源回路・制御回路（第2表参照）

400kA 落雷時サージ電圧として、第1表の最大値である 800V を用いる、3.1.3 より電源回路・制御回路の耐電圧は 4,000V であるため、重要安全施設の機能が損なわれることはない。

(2) 計装回路

誘導サージの発生が認められなかった。そのため、400kA 落雷時を考慮しても重要安全施設の機能が損なわれることはない。

第2表 評価結果

評価対象設備		雷サージ電圧 (V)	雷サージ耐電圧 (V)	評価
電源回路・制御回路	原子炉建屋内	800	4,000	影響なし
計装回路	原子炉建屋内	— (測定されず)	500	影響なし

3.3 まとめ

以上の結果から、設計基準雷撃電流値 400kA の落雷に対して、発電所における重要安全施設の機能が損なわれないことを確認した。

4. 参考文献

- (1) 電力中央研究所（1985）：東海第二発電所接地特性サージ試験結果，電力中央研究所報告，昭和 60 年 4 月
- (2) 電気学会（1981）：低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準，J E C 210，電気規格調査会標準規格
- (3) 日本原子力発電株式会社（1984）：東海第二発電所落雷事故について，昭和 59 年 5 月
- (4) 電気事業連合会東海第二発電所落雷事故検討会（1984）：東海第二発電所 落雷事故検討報告書，昭和 59 年 5 月

六ヶ所再処理施設における落雷事象について

1. はじめに

日本原燃株式会社六ヶ所再処理施設において、平成 27 年 8 月に発生した落雷に起因すると考えられる設備故障に関連し、発電所における耐雷設計について述べる。

なお、事象の内容については「再処理施設 分離建屋における安全上重要な機器の故障について」（平成 27 年 12 月 7 日、日本原燃株式会社）による。

2. 事象

六ヶ所再処理施設において、「高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿の漏えい液受皿液位計」（安全上重要な機器）の B 系の異常を示す警報の発報及び A 系の指示値が表示されない等の事象が発生した。調査の結果、安全上重要な機器について 17 機器の故障が見られた。これらの機器の故障は、要因分析の結果、落雷によるものである可能性が高いとしている。

3. 再処理施設における推定原因及び対策

本事象の推定原因としては、主排気筒への落雷による雷撃電流が、構内接地網に伝搬する過程で、信号ケーブルに電圧を誘起し、この誘導電圧により計器を損傷させた。また、地表面近くにトレンチ等の構造物が埋設されている再処理施設特有の構造が影響したと推定している。

対策として、建屋間を跨るケーブルへの雷サージによる影響を防止することを目的に保安器を設置している。

4. 発電所における耐雷設計

安全保護回路のケーブルは、建屋内に集約されており、六ヶ所再処理のように、広範な範囲に点在した建屋間を屋外トレンチ内ケーブルで結ぶ構造ではないこと、電氣的に同じ接地網に接続していることから、安全保護回路が損傷することはない。