

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-019-1 改2
提出年月日	2020年 4月21日

資料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に係る補足説明資料

2020年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

補足説明資料目次

I. はじめに

1. 外部事象の重畳の考え方について
2. 自然現象の組合せによる荷重の考え方について
3. 積雪について
4. 航空機落下確率評価について

I. はじめに

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するものである。

本補足説明資料と添付書類との関連を表-1に示す。

- ・ V-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、
V-1-1-3-1「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」

表一1 補足説明資料と添付書類との関連

工事計画添付書類に係る補足説明資料（外部事象）	該当添付書類
資料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に係る補足説明資料	V-1-1-3-1 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. 外部事象の重畳の考え方について	V-1-1-3-1-1 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基本方針
2. 自然現象の組合せによる荷重の考え方について	
3. 積雪について	
4. 航空機落下確率評価について	

1. 外部事象の重畳の考え方について

1. 外部事象の重畳の考え方について

設計上考慮すべき事象として設定した 61 事象に地震, 津波を加えた 63 事象に対する「単一の事象における評価基準の重畳への適合性」の確認結果を踏まえて整理を行い, 重畳を考慮すべき事象として 32 事象が抽出された。抽出された 32 事象同士の重畳を考慮した場合に, 発電用原子炉施設に与える影響パターンの分類を行い, 詳細評価が必要となった発電用原子炉施設への影響が想定される組合せについては個別に評価を実施し, 問題ないことを確認している。

なお, 詳細評価のうち荷重評価については, 荷重の大きさ等の観点で代表性のある, 地震, 津波*, 積雪, 火山の組合せに対して影響評価を実施し, 評価結果については, V-2「耐震性に関する説明書」及びV-3「強度に関する説明書」に示す。(重畳の考え方及び詳細評価が必要と判断された組合せの評価結果については「別紙-1」を, 組合せ荷重の考え方については「2. 自然現象の組合せによる荷重の考え方について」を参照)

注記* : 津波を含む荷重の組合せの詳細については, 資料 2「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料」参照

□ : 設置変更許可まとめ資料「第6条：外部からの衝撃による損傷の防止」より抜粋

添付資料 17

重畳の考え方について

1.1 検討対象

1.1.1 検討対象事象

検討対象とする外部事象は、文献より集約、整理した 83 事象（自然現象 55 事象、人為事象 28 事象）から類似事象・随伴事象の観点で設計上考慮すべき事象を整理した 61 事象（自然現象 42 事象及び人為事象 19 事象）に対して、地震、津波を加えた 63 事象とする。

1.1.2 単一の事象における評価基準の重畳検討への適合性

単一の自然現象/人為事象として一次評価で評価基準 A~D と判定された事象についても、重畳を考えた場合にはプラントの安全性に影響を及ぼす可能性があるため、検討対象の評価基準を見直す。単一の自然現象/人為事象で設定した評価基準及び重畳の検討への適用性について表 1 に示す。また、人為事象のうち、意図的事象については重畳の検討の対象外とする。基準 D については、対象事象のうち他事象との相関性（1.2.1 節で検討）が存在する場合に留意する。

表 1 評価基準の重畳検討への適用性

評価基準	重畳への適用性検討
基準 A プラントに影響を与えるほど接近した場所で発生しない。	○：発生しない事象については重畳検討においても考慮する必要がない。
基準 B ハザードの進展・襲来が遅く、事前にそのリスクを予知・検知し、ハザードを排除できる。	×：他事象の影響により進展・襲来が早くなる可能性がないか、また予知・検知・排除が困難な状況とならないか検討する。
基準 C プラント設計上、考慮された事象と比べて、設備等への影響度が同等若しくはそれ以下、又は、プラントの安全性が損なわれない。	×：影響度が他事象以下であっても、重畳を考慮する場合には他事象にその影響度が上乗せされるため、検討する必要がある。
基準 D 影響が他の事象に包絡される。	△：基本的には包絡される他事象において検討するが、他事象との相関性や新たな影響モードの発生については適切に考慮する。

検討対象とした外部事象のうち、表 1 の評価基準に該当する事象は以下のとおり。

基準 A

自然 [雪崩]、[結氷板]、[流水]、[氷壁]、[砂嵐]、[洪水]、[池・河川の水位低下]、[河川の迂回]、
[干ばつ]、[隕石]、[衛星の落下]、[土石流]
人為 [航空機落下]、[ダムの崩壊]、[パイプライン事故]、[タービンミサイル]

基準 D

自然 [ひょう]、[あられ]
→衝突影響について、[竜巻]にて評価。
[吹風]、[雨氷]、[みぞれ]、[氷晶]
→堆積荷重の影響については[積雪]や[火山]に包絡される。閉塞（空調）の影響については[積雪]に包絡される。

6 条-別添 1(外事)-1-添付 17-1

【極限的な圧力(気圧高/気圧低)】

→気圧差による影響については[竜巻]に包絡される。

【高潮, [波浪], [風津波], [静振]】

→高潮(風津波)は耐津波設計において考慮されている。波浪, 静振の影響は一時的であるため, 防潮堤の設計津波に対する余裕や降水の影響評価で包絡できる。

【海水中の地滑り】

→第5条(津波による損傷の防止)において[津波]事象として考慮。

【地面隆起(相対的な水位低下)], [泥湧出]】

→基礎地盤安定性において評価されている。地面隆起に伴い海面が相対的に下降するが, 潮位変化による取水への影響はない。影響モードについては, [地震]事象として考慮。

【地下水(多量/枯渇)】

→土壌に地下水が浸透することにより, 地滑りや建屋への浸水が考えられるが, 地滑りについては, [地滑り]にて考慮し, 浸水については, [地下水による浸食]にて考慮。なお, 地下水を水源とした設備はないことから, 枯渇による影響はない。

人為[産業施設の事故], [輸送事故]】

→[火災・爆発], [有毒ガス]において評価。

【油流出】

→[火災・爆発], [船舶の衝突]において評価。

1.1.3 重畳検討対象の抽出結果

抽出された, 重畳の検討対象となる自然現象及び人為事象を以下の表 2 に示す。

表 2 重畳検討対象

No.	自然現象	No.	自然現象
1	地震	18	土の伸縮
2	津波	19	海岸浸食
3	降水	20	地下水による浸食
4	積雪	21	森林火災
5	霜, 霜柱	22	生物学的事象
6	風(台風)	23	塩害, 塩雲
7	竜巻	24	太陽フレア, 磁気嵐
8	霧, 露		
9	高温	No.	人為事象
10	低温(凍結)	1	火災・爆発
11	高温水(海水温高)	2	有毒ガス
12	低温水(海水温低)	3	船舶の衝突
13	落雷	4	電磁的障害
14	火山	5	サイト内外での掘削
15	地滑り	6	内部溢水
16	海水中の地滑り	7	重量物輸送
17	土地の浸食, カルスト	8	化学物質の放出による水質悪化

6条-別添1(外事)-1-添付17-2

1.2 事象の特性の整理

1.2.1 相関性のある自然現象の特定

自然現象は、特定の現象がほかの現象を誘発したり、同様の原因（低気温時に頻発等）を有したりする等の因果関係を有し、同時期に発生する事象群が存在する。これらの相関性を持つ自然現象を特定する。相関性のある自然現象を抽出した結果を表 3 に示す。

表 3 相関性のある自然現象

相関タイプ	自然現象（※可能性のある最大の組み合わせ）
①低温系	[積雪], [雪崩], [霜, 霜柱], [低温], [低温水] ----- ([氷風, 雨氷, みぞれ], [氷晶])*1
②高温系	[高温], [高温水]
③風水害系	[降水], [風(台風)又は[竜巻]*2, [落雷], [地下水による浸食] ----- ([高潮], [波浪], [風津波], [静振])*3, [極限的な圧力(気圧高/気圧低)] *4, [地下水(多量枯渇)]
④地震系(津波)	[地震], [津波] ----- ([地面隆起(相対的な水位低下)], [海水中の地滑り])*5
⑤地震系(火山)	[地震], [火山]*6

*1 [氷風, 雨氷, みぞれ], [氷晶]は、包絡されているとしている積雪と同じ相関タイプに分類されることから、最も影響が厳しい積雪で代表して考慮する。

*2 [風(台風)]と[竜巻]は、特定の箇所に同時に負荷がかからないため、どちらか一方のみを考慮する。

*3 [高潮], [波浪], [風津波], [静振]は、包絡されているとしている津波と異なり、台風等との相関性が存在する。ただし、規模の大きな事象を想定した場合も止水対策の設計余裕の範囲内であると考え、津波で代表して評価する。

*4 [極限的な圧力(気圧高/気圧低)]については、包絡されているとしている竜巻と同じ相関タイプに分類されることから、影響が厳しい竜巻で代表して考慮する。

*5 [地面隆起(相対的な水位低下)], [海水中の地滑り]については、それぞれ包絡されているとしている地震、津波と同じ相関タイプに分類されることから、地震と津波の影響評価の中で考慮する。

*6 火山性地震の場合の、火山と地震を想定する。

1.2.2 影響モードのタイプ分類

組み合わせを検討するに当たって、自然現象の影響モードを表 4 の 4 つのタイプに分類する（図 1 参照）。ただし、表 4 で分類されている自然現象は現象毎に大枠で分類したものであり、実際に詳細検討する際には各現象の影響モード毎に検討する（1.3.2 節）。

ここで生物学的事象については、海生生物（くらげ等）と齧歯類（ネズミ等）で影響タイプが異なるため、分けて考慮する。

表 4 影響モードのタイプ分類

影響タイプ	特性	現象
コンスタント型, 季節型	年間を通してプラントに影響を及ぼすような自然現象 (ただし, 常時負荷がかかっているわけではない)。若しくは特定の季節で恒常的な自然現象。	[降水], [風(台風)], [積雪], [霧, 霜柱], [霧, 霏], [高温], [低温(凍結)], [高温水(海水温高)], [低温水(海水温低)], [生物学的事象(くらげ等)], [地下水による浸食]
持続型	恒常的ではないが, 影響が長期的に持続するような自然現象。影響持続時間が長ければ数週間に及ぶ可能性があるもの。	[火山]
瞬間型	瞬間的にしか起こらないような自然現象。影響持続時間が数秒程度 (長くても数日程度) のもの。	[地震], [津波], [竜巻], [落雷], [地滑り], [海中の地滑り], [森林火災], [生物学的事象(ネズミ等)], [太陽フレア, 磁気嵐]
緩慢型	事象進展が緩徐であり, 発電所の運転に支障をきたすほどの短時間での事象進展がないと判断される自然現象。	[土地の浸食, カルスト], [土の伸縮], [海岸浸食], [塩害, 塩雲]

※ 複数の型が該当する自然現象は, 保守的な型を割り当てる。(上側が保守的)
 例えば風(台風)について, 風圧力は瞬間型だが, 作業性等の検討においては定常的な負荷が想定されるため, コンスタント型に分類

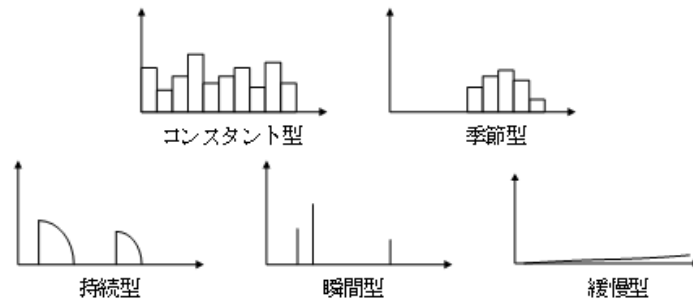


図 1 影響モード分類

6 条-別添 1(外事)-1-添付 17-4

1.3 重畳影響分類

1.3.1 重畳影響分類方針

自然現象の組み合わせについては、以下のような点で画一的な整理（検討除外基準の設定等）が難しいことから、1.1.3節で抽出された事象の全ての組み合わせに対して網羅的に検討を実施する。

・例えば瞬間型同士の重畳については、同時に発生する可能性が極めて小さいことから基本的には重畳を考慮する必要がないが、影響モードや評価対象設備によっては影響持続時間が長くなることもあるため、個別に検討が必要となる。（例：竜巻の直接的な影響は瞬間型だが、竜巻により避雷鉄塔が壊れた場合には避雷鉄塔が修復されるまで影響が持続する。そのため、竜巻と落雷は両方とも瞬間型に分類されるが、重畳を考慮する必要がある。）

また、組み合わせを考慮する事象数、規模、及び相関性をもつ自然現象への配慮について以下に示す。

1.3.1-1 事象数

影響が厳しい事象が重畳することは稀であることから、基本的には2つの事象が重畳した場合の影響を検討する。ただし、発生頻度が高い事象については、考慮する組み合わせに関係なく、ベースとして負荷がかかっている状況を想定する（図2参照）。例えば、地震と火山の組み合わせを考慮する場合も、ベース負荷として積雪や降水の影響についても考慮する。

ただし、1.2.1節で示した、相関性のある低温系、高温系、風水害系、地震系については、それぞれが同時に発生しているものとして考慮する。

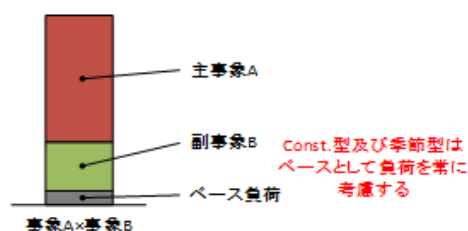


図2 ベース負荷の考え方

1.3.1-2 規模

組み合わせる事象の規模については、基本的には単純性・保守性のために、主事象として設計基準で想定している規模、副事象として年超過確率 10^{-2} （プラント寿命期間を考慮して設定）の規模の事象を想定する。ただし、随件事象等の相関性が高い事象の組み合わせについては、設計基準規模の事象同士が重畳することを考慮する。

上記の相関性が低い事象の組み合わせの規模の考え方については、Turkstra規則よりも保守的な設定[※]としている。Turkstra規則の考え方は、建築基準法や、土木学会「性能設計における土木構造物に対する作用の指針」、国土交通省「土木・建築にかかる設計の基本」、ANSI(米国国家規格協会)等で採用されている。Turkstra規則は主たる作用（主事象）の最大値と従たる作用（副事象）の任意時点の値の和として作用の組み合わせを考慮する。

※Turkstra規則はもともと、従たる作用は平均的な値（例えば、地震×積雪を考慮する場合に、地震荷重を S_e とすると、積雪増積荷重は平均積雪深）を想定しているため、年超過確率 10^{-2} の規模は保守側である（添付資料15「4. 重畳評価の保守性について」参照）。

1.3.1-3 相関性をもつ自然現象への配慮

1.3.1-1 節のとおり、相関性をもつ自然現象は同時に発生することを想定し、相関性をもつ事象のセット+他事象の組み合わせを考慮する。

相関性をもつ事象のセット+他事象を検討するための前処理として、相関性をもつ事象のセット内で、単一事象時に想定している影響モード以外の新たな影響モードの有無、及び増長されるモードの有無を確認し、特別な配慮が必要か検討した結果を以下に示す。

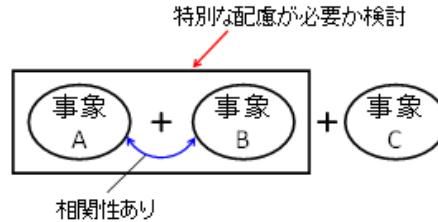


図 3 相関性をもつ自然現象への配慮

①低温系, ②高温系

雪崩とひょう, あられは特定の箇所に同時に負荷がかからない。そのほかの事象については、それぞれが異なる影響モード(表 5 参照)であることから重畳した場合も影響が増長するような影響モードは存在せず、新たな影響モードについても起こり得ない。

表 5 低温系, 高温系の影響モード

自然現象		影響モード
低温系	[積雪]	堆積荷重
	[雪崩]	衝突荷重*
	[ひょう, あられ]	衝突荷重*
	[霜, 霜柱]	-
	[低温(凍結)]	外気温度低(凍結)
	[低温水(海水温低)]	-
高温系	[高温]	外気温度高(冷却機能低下: 空調)
	[高温水(海水温高)]	海水温度高(冷却機能低下: 海水系)

* 衝突荷重は特定の箇所に同時に負荷がかからない。

③風水害系

風水害系の影響モードを表 6 に示す。竜巻に伴う止水対策(水密扉等)への影響については、設計基準竜巻に対して機能が損なわれない設計とする。竜巻に伴う落雷対策への影響については、避雷鉄塔が倒壊する可能性があるが、落雷以外の事象への影響は存在しない(他事象との重畳を評価する際には考慮不要)。

表 6 風水害系の影響モード

自然現象		影響モード
風水害系	[降水]	浸水, 堆積荷重
	[風(台風)]	風圧荷重*, 取水口閉塞
	[竜巻]	風圧荷重, 気圧差荷重, 飛来物衝突荷重, 取水口閉塞
	[落雷]	雷サージ&誘導電流
	[地下水による浸食]	地盤不安定, 浸水

* 風(台風)と竜巻は同じ風圧荷重の影響モードが存在するが、竜巻評価における基準風速策定の際に用いている風速データについては風(台風)の影響を含んだ値となっていることから、風(台風)の組み合わせ荷重については竜巻評価に包絡されている。

④地震系(津波)

地震に伴う津波については、止水対策等により安全機能が損なわれない設計とする(第5条耐津波設計方針で説明)。

⑤地震系(火山)

地震系(火山)の影響モードを表7に示す。火山性地震における、火山のプラントへの影響については、地震の本震と同時にプラントに襲来する可能性は低く、ある程度の時差をもって襲来するものと思われる。また、火山性地震についてはそのほかの地震源による地震よりも大幅に危険性が低いことが評価されており(火山影響評価で実施)、プラントへの地震動による影響は無視できる。

表 7 地震系(火山)の影響モード

自然現象		影響モード
地震系(火山)	[地震]	地震荷重, 地盤沈下, 地面隆起(相対的な水位低下)
	[火山]	堆積荷重, 取水口閉塞, 空調閉塞, 腐食, 相間短絡

以上より、相関性をもつ事象のセットについて、単一事象時に想定している影響モード以外の新たな影響モードがないこと、及び増長されるモードが存在しないことが確認されたため、相関性をもつ事象のセット+他事象での増長する影響を確認する際に、相関性をもつ事象について特別に配慮する必要はない。

1.3.1-4 影響パターン

組み合わせを考慮した場合に発電用原子炉施設に与える影響パターンを以下の 3 つの観点で分類した。

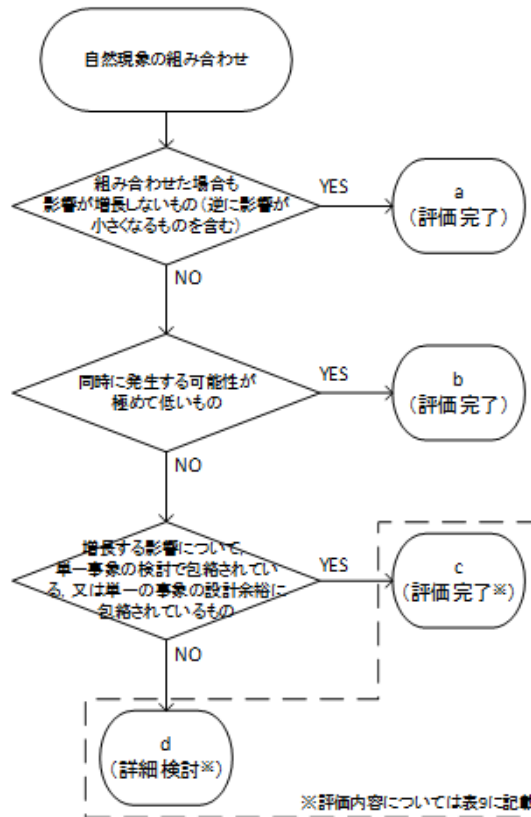
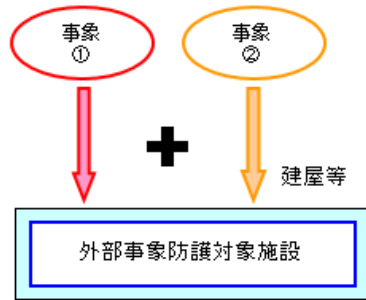


図 4 影響パターン選定フロー

上記 a, b に該当する自然現象の組み合わせについては、安全施設の安全機能が損なわれない。

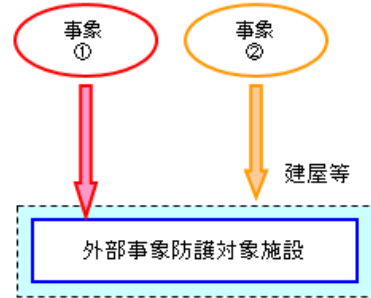
上記 c, d に該当する自然現象の組み合わせについては、事象が単独で発生した場合の影響と比較して、複数の事象が重畳することで影響が増長される組み合わせとなるが、その増長する影響パターンについては図 5 のとおり 4 つに分類した。

I. 各事象から同じ影響がそれぞれ作用し、重ね合わさって増長するケース



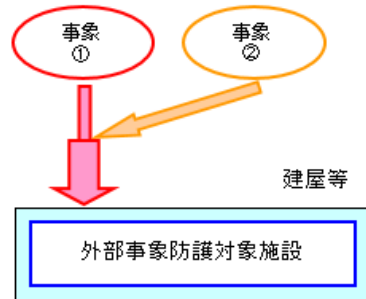
例：積雪+降下火砕物=堆積荷重増

II. 事象②によって外部事象防護対象施設を外部事象から防護する建屋等が機能喪失することにより、事象①の影響が増長するケース



例：地震+津波
=地震により止水機能が喪失して浸水量増

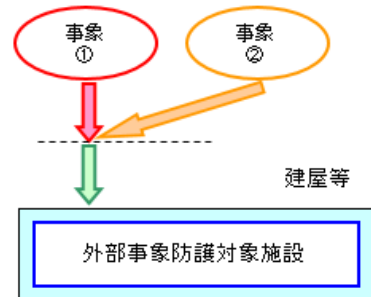
III-1. 他事象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース



例：降下火砕物+降水
=密度増による堆積荷重増

例：森林火災+強風
=風速増による火線強度増

III-2. 他事象の作用により影響が及ぶようになるケース



例：降下火砕物+降水
=斜面に堆積した降下火砕物が大量の降水で滑り、衝撃荷重発生

図 5 重畳による増長パターン分類

1.3.2 重畳影響分類結果

事象の重畳影響について1.3.1に基づき、a, b, c, dに分類（c, dについては更にI, II, III-1, III-2に分類）した結果について表 8に示す。

1.4 個別評価

プラントへの影響が想定される重畳（1.3.2でc,dに分類されたもの）について、個別に検討を実施する。ここで、「重畳の結果を個別に評価するもの」、「他の重畳事象で代表させるもの」、「単一の事象の検討で包絡されている、若しくは単一の事象の設計余裕に包絡されているもの（1.3.2のe）」に整理し検討する。（例：積雪+降水の堆積荷重は、積雪+火山の堆積荷重以下であることからそちらで代表させる。）

検討結果を表 9に示す。荷重評価については、荷重の大きさ等の観点で代表性のある、地震、積雪、火山の組み合わせに対して影響評価を実施し、問題ないことを確認した。

6条-別添1(外事)-1-添付 17-13

表 9 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (1/6) (太字は重畳の結果を個別に評価するもの)

No.	重畳事象 (事象①×事象②)	影響パターン (増長パターン)	検討結果
1	地震(地震荷重)×積雪(堆積) ※ベース負荷として降水(堆積)を考慮	d(III-1)	安全施設は、地震又は積雪が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、建屋等に雪が堆積している状態で地震が発生した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられることから、影響評価を実施する。 →評価対象施設に対する影響評価を実施し、問題ないことを確認した。(添付資料 15)
2	地震(地震荷重)×火山(堆積) ※ベース負荷として積雪(堆積)及び降水(堆積)を考慮	d(III-1)	安全施設は、地震又は火山が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、建屋等に降下火砕物が堆積している状態で地震が発生した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられることから、影響評価を実施する。 →評価対象施設に対する影響評価を実施し、問題ないことを確認した。(添付資料 15)
3	風(風荷重)×積雪(堆積) ※ベース負荷として降水(堆積)を考慮	d(III-1)	安全施設は、風又は積雪が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、建屋等に雪が堆積している状態で風が発生した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.1,2で代表(添付資料 15)
4	風(風荷重)×火山(堆積) ※ベース負荷として積雪(堆積)及び降水(堆積)を考慮	d(III-1)	安全施設は、風又は火山が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、建屋等に降下火砕物が堆積している状態で風が発生した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.1,2で代表(添付資料 15)
5	積雪(堆積)×火山(堆積) ※ベース負荷として降水(堆積)を考慮	d(I)	安全施設は、積雪又は火山が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、建屋等に降下火砕物と積雪が同時に堆積した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられることから、影響評価を実施する。 →火山において評価
6	積雪(堆積)×降水(堆積)	d(I, III-1)	安全施設は、積雪又は降水が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、建屋等に雪が堆積している状態で雨水が染み込むことにより荷重増加した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.5(水分を含む)で代表

6 紛争録 1(第冊)-1-添付 17-14

表 9 事象の重量 個別検討対象抽出結果 (2/6) (太字は重量の結果を個別に評価するもの)

No.	重量事象 (事象①×事象②)	影響パターン (増長パターン)	検討結果
7	火山 (堆積) × 降水 (堆積)	d (I, III-1)	安全施設は、火山区は降水が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、建屋等に降水火砕物が堆積している状態で雨水が染み込むことにより荷重増加した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.5 (水分を含む) で代表
8	竜巻 (衝突) × 地震 (地震荷重)	d (II)	安全施設は、竜巻又は地震が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、地震により竜巻対策である固縛器具が破損した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →固縛器具が破損した場合は、安全上支障のない期間で復旧するものとする。
9	低温 (凍結) × 地震 (地震荷重)	d (II)	安全施設は、低温又は地震が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、地震により常用換気空調系が破損した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →常用換気空調系が破損する規模の地震が発生した場合には、プラントは自動停止している可能性が極めて高く、また自動停止しない場合も低温影響については速度が緩やかであることからスクリーニングアウト。
10	落雷 (雷サージ&誘導電流) × 地震 (地震荷重)	d (II)	安全施設は、落雷又は地震が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、地震により避雷鉄塔が損壊した場合に雷撃電流が増加する可能性があり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →避雷鉄塔が破損する規模の地震が発生した場合には、プラントは自動停止している可能性が極めて高いことからスクリーニングアウト。また、避雷鉄塔に期待しない場合の残留による影響評価についても実施し、問題ないことを確認した。(添付資料 16)
11	落雷 (雷サージ&誘導電流) × 風 (風圧)	d (II)	安全施設は、落雷又は風が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、風の影響等により避雷鉄塔が損壊した場合に雷撃電流が増加する可能性があり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.10 で代表

6 号 別添 1 (外冊) -1- 発行 17-15

表 9 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (3/6) (太字は重畳の結果を個別に評価するもの)

No.	重畳事象 (事象①×事象②)	影響パターン (増長パターン)	検討結果
12	落雷(雷サージ&誘導電流)×電巻(衝突)	d(II)	安全施設は、落雷又は電巻が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、電巻の飛来物等により避雷針塔が損壊した場合に雷撃電流値が増加する可能性があり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.10で代表
13	落雷(雷サージ&誘導電流)×津波(波力等)	d(II)	安全施設は、落雷又は津波が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、津波の波力等により避雷針塔が損壊した場合に雷撃電流値が増加する可能性があり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.10で代表
14	地下水による浸食(浸水)×地震(地震荷重)	d(II)	安全施設は、地下水又は地震が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、地震荷重により排水設備が損壊した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →内部溢水において評価
15	地下水(浸水)×降水(浸水)	d(III-1)	安全施設は、地下水又は降水が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、雨水により地下水水量が増加した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →内部溢水において評価
16	積雪(相間短絡)×降水(堆積)	d(III-1)	安全施設は、積雪又は降水が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、降水により雪が湿った場合、相間短絡の可能性が高まり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機が建屋内施設であることから積雪・降水の影響は受けられないため、対応可能。

6 別添録1(外事)-1-添付17-16

表 8 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (4/6)

No.	重畳事象 (事象①×事象②)	影響ハザード (増長パターン)	検討結果
17	積雪(相間短絡)×火山(相間短絡)	d(I)	安全施設は、積雪又は火山が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。例に、降下火砕物火山と積雪が同時期に堆積した等で相間短絡の可能性が高まり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機が建屋内施設であることから積雪・降下火砕物の影響は受けないため、対応可能。
18	火山(相間短絡)×降水(堆積)	d(III-1)	安全施設は、火山又は降水が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。例に、降水により降下火砕物が溜った場合、相間短絡の可能性が高まり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →相間短絡が発生したとしても外部電源喪失であり、非常用ディーゼル発電機が建屋内施設であることから降下火砕物・降水の影響は受けないため、対応可能。
19	積雪(空腔)×火山(空腔)	d(I)	安全施設は、積雪又は火山が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。例に、積雪と降下火砕物が同時期に堆積した場合、非常用換気空調系への影響が増長し、事象個別での評価から増長する影響が考えられることから、影響評価を実施する。 →堆積高さが厳しいのは、主事象が積雪(設計基準 167cm)、副事象が火山(VEI4 3.5cm)の組み合わせ(合計170.5cm)となるが、その場合も非常用換気空調系給・排気口(一番低い箇所の地上高 2.8m)まで達しない。
20	地滑り(衝突)×積雪(堆積)	d(III-1)	安全施設は、地滑り又は積雪が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。例に、言が堆積した状態で地滑りが発生した場合、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →地滑りの規模が増加することが考えられるが、周辺斜面と建物については、十分の余裕を持った距離が保たれている。
21	地滑り(衝突)×降水(堆積)	d(III-1)	安全施設は、地滑り又は降水が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。例に、地滑りが発生した際に雨水で地面が湿っている場合、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →No.20と同様

(太字は重畳の結果を個別に評価するもの)

表 9 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (5/6) (太字は重畳の結果を個別に評価するもの)

No.	重畳事象 (事象①×事象②)	影響パターン (増長パターン)	検討結果
22	火山 (増積) × 降水 (増積)	d(III-2)	安全施設は、火山又は降水が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。降下火砕物が雨水により溜ることによって地滑りのような状況が発生する可能性があり、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →地滑り評価で代表する。
23	低温 (凍結) × 風 (風圧)	c(III-1)	安全施設は、低温又は風が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、低温状態で風が発生した場合に熱伝達の変化が想定され、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →低温 (単独) の評価条件において風速は 15m/s (淡水貯水池は 3.1m/s) を仮定し、24時間の影響評価を実施している。対して年超過確率 10 ⁻² の規模は、最大風速 (10 分間平均) で新潟市 27.9m/s、上越市 19.5m/s となるが、以下の理由で低温 (単独) の評価条件で十分包絡されるものと考えられる。 ・台風を除いて、低温 (単独) の評価条件を超えるような風が長期間継続することは考えにくい。 ・台風については、発生時期が 6~10 月に集中することから低温が重畳する可能性は小さい。 ・低温 (単独) の風速以外の評価条件において土からの放熱に期待しない等の保守性を有している。 ・淡水貯水池については、低温 (単独) の評価条件と年超過確率 10 ⁻² の規模との差が大きいものの、凍った場合も代替設備により対応可能。
24	火災・爆発 (熱影響等) × 風 (風圧)	c(III-1)	安全施設は、火災・爆発又は風が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、火災発生時に風が発生した場合に風速・風向による火災熱影響の評価条件の変化が想定され、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →森林火災等ではカイドに基づき 10m/s の風速により評価を実施している。年超過確率 10 ⁻² の規模は、最大風速 (10 分間平均) で新潟市 27.9m/s、上越市 19.5m/s となるが、単一の評価条件における保守性 (風向設定、温度設定、湿度設定等) や影響継続時間 (長くても数時間程度の火災影響時に最大風速が発生する可能性は小さい) を考慮すると、影響が及ぶ可能性は極めて小さいと考えられる。

表 9 事象の重量、個別検討対象抽出結果 (6/6)
 (太字は重量の結果を個別に評価するもの)

No.	重量事象 (事象①×事象②)	影響パターン (優先パターン)	検討結果
25	風(風圧)×竜巻(風圧等)	c(1)	安全施設は、風又は竜巻が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、台風等により気圧分布が形成されている状況で竜巻が発生した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →設計竜巻設定の際に使用している観測データは、風の影響についても含んだデータとなっていることから竜巻評価に包絡されている、又は設計竜巻設定の際の余裕に包絡されているものと考えられる。
26	内部溢水(被水・没水)×地震(地震荷重)	c(III-1)	安全施設は、溢水又は地震が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、溢水対策等が地震により損傷した場合に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →内部溢水において評価
27	取水口閉塞関係 例：風×生物学的事象(くらげ等)	d(1)	安全施設は、生物学的事象等が個別に発生した場合に安全機能が喪失しないことを確認している。仮に、台風等で飛来物が発生した際に同時期にくらげが発生した場合等に、事象個別での評価から増長する影響が考えられる。 →事象単独の場合と比較して、作業量が増加するおそれがあるが、除塵装置や閉じ整備された手順等と同様の対応により対処可能である。

6 巻 5 章 1(外巻)-1-添付 17-19

2. 自然現象の組合せによる荷重の考え方について

2. 自然現象の組合せによる荷重の考え方について

「1. 外部事象の重畳の考え方について」において抽出された組合せによる荷重の考え方について以下に示す。

2.1 積雪と降下火砕物との重畳の考え方について

設備影響評価における降下火砕物の条件としては、想定される降下火砕物の層厚を 35cm と設定している。また、設計基準における積雪の条件は、規格・基準類として、建築基準法及び同施行令第 86 条第 3 項に基づく新潟県建築基準法施行細則で定められている積雪量、観測記録として、柏崎市に設置されている気象庁地域気象観測システム（アメダス）に記録されている日降雪量の最大値、及び観測記録をもとに算出した年超過確率結果を参照し、設計基準積雪量を 167cm（ベース負荷を含む。）と設定している。（年超過確率に基づき想定する積雪量は、「3. 積雪について」に基づき算出）

一方、火山（降下火砕物）と積雪は相関性が低い事象の組合せであるため、重畳を考慮する際は、Turkstra 規則を適用する。Turkstra 規則の考え方は、建築基準法や、土木学会「性能設計における土木構造物に対する作用の指針」、国土交通省「土木・建築にかかる設計の基本」、ANSI（米国国家規格協会）等で採用されている。Turkstra 規則は、主たる作用（主事象）の最大値と、従たる作用（副事象）の任意時点の値（平均値）の和として作用の組合せを考慮する。単純性・保守性のために、主事象は設計基準で想定している規模、副事象はプラント寿命期間中に発生し得る程度の規模（年超過確率 10^{-2} ）を想定する。この想定は、副事象として想定すべき任意時点の値（平均値）より厳しい値を想定することとなるため、保守性があると考えられる。

以上の考えをもとに、設計基準で想定している規模の降下火砕物（35cm）に重畳させる積雪量は、1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-2} の値（84.3cm）に日最深積雪量の平均値（31.1cm）を合算した 115.4cm とした。

なお、主事象を積雪、副事象を降下火砕物とした場合は、設計基準として想定している積雪量 167cm（ベース負荷を含む。）に降下火砕物 3.5cm* の荷重を重畳させることを想定するが、前者の荷重に包含される。

また、降下火砕物又は積雪堆積状態における地震発生時の評価については、2.2 節に記載する。

注記*：降下火砕物については、確率論的評価を実施していないことから、副事象として想定する噴火規模は、設計基準規模として設定している噴火規模（VEI5）から1段階噴火規模を下げた VEI4 相当として設定した。

2.2 積雪・降下火砕物堆積状態での地震発生時の評価について

自然現象の重畳評価において抽出された組合せ「雪・降下火砕物が堆積している状態での地震発生」に風荷重の重畳を仮定した場合の評価について、自然現象の重畳評価においては主荷重（設計基準規模）×従荷重（年超過確率 10^{-2} 規模）を想定することを基本としていることから、表2-1に評価ケースを8パターンに整理した結果を示す。

これらの組合せのうち、No.1（主荷重：地震，従荷重：積雪），及びNo.5（主荷重：降下火砕物，従荷重：地震（ベース負荷：積雪））の2通りの評価が荷重の大きさ等の観点で代表性のあるケースとなる。代表性の判断の際の基準を表2-2に示す。

表2-1 重畳評価ケース

No.	主荷重 (設計基準規模)	従荷重 (10^{-2} 規模)	ベース負荷 (平均規模)	備考
1	地震 (S s 等)	積雪 (84.3cm)	積雪 (31.1cm)	—
2	地震 (S s 等)	降下火砕物 (3.5cm)	積雪 (31.1cm)	No.1 に包絡
3	風 (40.1m/s)	降下火砕物 (3.5cm)	積雪 (31.1cm)	No.1 に包絡
4	風 (40.1m/s)	積雪 (84.3cm)	積雪 (31.1cm)	No.1 に包絡
5	降下火砕物 (35.0cm)	地震 (10^{-2} 相当地震動)	積雪 (31.1cm)	—
6	積雪 (135.9cm)	地震 (10^{-2} 相当地震動)	積雪 (31.1cm)	No.5 に包絡
7	降下火砕物 (35.0cm)	風 (27.9m/s)	積雪 (31.1cm)	No.5 に包絡
8	積雪 (135.9cm)	風 (27.9m/s)	積雪 (31.1cm)	No.5 に包絡

注1：除雪等に期待できる施設は堆積荷重について除雪等の能力を考慮した値とする。

注2：降下火砕物については、確率論的評価を実施していないことから、従荷重として考慮する場合は、設計基準規模として設定している噴火規模 (VEI5) から1段階噴火規模を下げたVEI4相当を考慮する。

表 2-2 水平荷重・堆積荷重の比較

a. 水平荷重

		せん断力 (kN) (6号機原子炉建屋躯体 38.2(m)-49.7(m))	判定
主荷重比較 (上: No. 1, 2, 下: No. 3, 4)	設計用地震力	43.35×10^3	地震 > 風
	風 (40.1m/s)	2.65×10^3	
従荷重比較 (上: No. 5, 6, 下: No. 7, 8)	地震 (10^{-2} 相当地震動)	9.7×10^3	地震 > 風
	風 (27.9m/s)	1.29×10^3	

b. 堆積荷重

		堆積荷重 (N/m ²)	判定
従荷重比較 (上: No. 1, 4, 下: No. 2, 3)	積雪 (115.4cm)	3393	積雪 (115.4cm) > 降下火砕物 (3.5cm) + 積雪 (31.1cm)
	降下火砕物 (3.5cm) + 積雪 (31.1cm)	1429	
主荷重比較 (上: No. 6, 8, 下: No. 5, 7)	積雪 (167.0cm)	4910	積雪 (167.0cm) < 降下火砕物 (35.0cm) + 積雪 (31.1cm)
	降下火砕物 (35.0cm) + 積雪 (31.1cm)	6063	

3. 積雪について

3. 積雪について

3.1 基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件として設計基準を設定の上、外部事象防護対象施設の機能が積雪による荷重、積雪による給気口等の閉塞に対し維持され、安全機能が損なわれないよう設計する。

3.2 設計基準積雪量の設定

設計基準積雪量は以下の(1)及び(2)を参照するとともに、参考として(3)を評価・確認のうえ、積雪時の柏崎刈羽原子力発電所における除雪を考慮し、設定する。

(1) 規格・基準類（別紙－1 参照）

積雪に対する規格・基準として、建築物については建築基準法及び同施行令第86条第3項に基づく新潟県建築基準法施行細則において、地域ごとに設計積雪量が定められている。柏崎市においては130cmであり、刈羽村においては170cmである。これらの値は、ひと冬の間観測される最も大きな積雪深の値である年最大積雪深を基本として定められており、除雪に対して十分な維持管理が行われ、また、危険を覚知した時には速やかに雪下ろしが可能な形状の建築物等又はその部分については、同条第6項の規定により垂直積雪量を1メートルと想定することができるとされている。

(2) 観測記録（別紙－2 参照）

柏崎市に設置されている気象庁地域気象観測システム（以下「アメダス」という。）によれば、日降雪量の最大値は72cm（1984年12月28日）であり、最深積雪量は171cm（1984年3月8日）、日最深積雪量の平均値は31.1cmである。また、アメダスが設置される以前に柏崎市の農業気象観測所にて最深積雪量194cm（1927年2月13日）が観測されている。刈羽村における積雪の観測記録としては、最深積雪量は280cm（1974年3月13日）である。

(3) 年超過確率評価（別紙－3 参照）

年超過確率の評価は、気象庁「異常気象リスクマップ」*の評価方法を用いる。評価結果となるハザード曲線を図3-1に示す。また、「(2) 観測記録」での日降雪量の最大値（72cm）について年超過確率を確認した結果、 3.0×10^{-2} となった。

参考として、1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-4} の値は135.9cmとなり、1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-2} の値は84.3cmとなった。

注記*：気象庁（<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>）

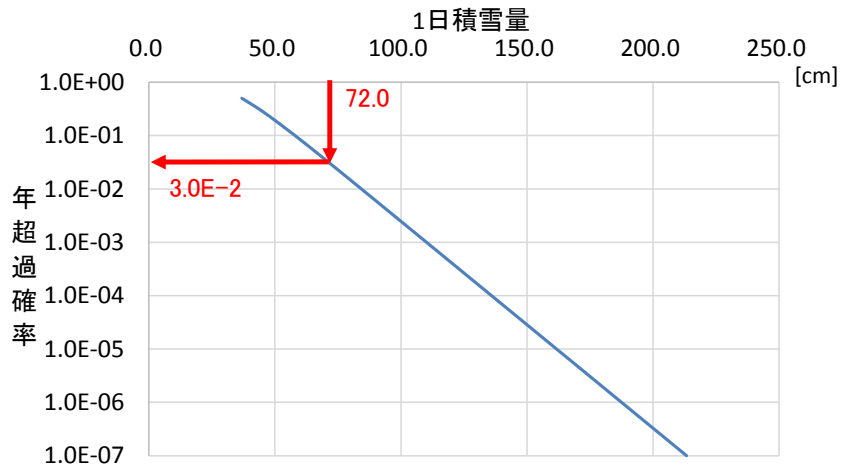


図 3-1 1日積雪量ハザード曲線

(4) 積雪時の柏崎刈羽原子力発電所の対応について

柏崎刈羽原子力発電所においては、冬季には毎日降雪量を確認、除雪の必要性を判断することとしている。また、雪が降る日が多く、年に数回の頻度で発電所構内における除雪活動を行っている。

構内の道路又はアクセスルートについては、社外委託により、9 台の除雪機で除雪を行っている。

なお、この除雪ルートについては、構内道路に加え可搬設備を用いる場合に必要な建屋近傍を含むルートとなっている。

また、建屋屋上の除雪に関しては、気象情報（降雪予報）、事務所周辺地盤面及び構内に設置している監視システム等による積雪量を監視し、除雪を実施することとしている。

高台に配備している設備については、同様に積雪時に除雪を実施し、必要な時に迅速、かつ確実に運転できるようにしている。

上記のとおり、発電所構内の除雪体制が確立されていること、さらに、積もるまでに一定の時間を要することから、設計基準積雪量としては、1日あたりの積雪量を考慮する。

(5) 設計基準の策定

設計基準として使用する値としては、「(2) 観測記録」の値 72cm が「(3) 年超過確率評価」において 3.0×10^{-2} であったことから、更なる裕度を確保するために年超過確率 10^{-4} の値 135.9cm を設計基準積雪量と定める。

ただし、1日あたりの積雪量であることから、それ以前に積もった積雪分を考慮していないため、過去の観測記録から、日最深積雪量の平均値 (31.1cm) を加えた値を設計基準積雪量として用いることとする。

従って、設計基準積雪量を以下のとおり設定した。

$$\begin{aligned}
 \text{設計基準積雪量} &= \text{1日あたりの積雪量の年超過確率 } 10^{-4} \text{ の値 (135.9cm)} \\
 &\quad + \text{日最深積雪量の平均値 (31.1cm)} \\
 &= 167.0\text{cm}
 \end{aligned}$$

新潟県垂直積雪量（積雪荷重）運用基準（一部抜粋）*

建築基準法施行令（以下「政令」）の一部が改正（平成12年政令第211号）され、政令第86条の規定において、垂直積雪量を特定行政庁が規則で定めることとなったことから、新潟県建築基準法施行細則（平成12年県規則第125号）に第14条第3項を追加し、その数値を定め、政令改正との整合を図り、新潟県特定行政庁における垂直積雪量（積雪荷重）運用基準を定めている。

運用基準の積雪に関する記載は以下のとおりである。

（目的）

第1条 この基準は、建築基準法施行令（昭和25年政令第338号、以下『政令』という。）第86条の規定による積雪荷重についての運用その他必要な事項を定めて、建築物及び工作物（以下、「建築物等」という。）の構造上の安全を確保することを目的とする。

（適用範囲）

第2条 この基準は、新潟県特定行政庁が所管する区域内の建築物等に適用する。

（垂直積雪量）

第3条 垂直積雪量は、知事が定めた数値(下表)以上とし、かつ、建築物等の敷地の位置における局所的地形要因による影響等を考慮して設計するものとする。

2 山間部等における積雪の状況は、標高が同程度であっても建築物の敷地の位置によって大きく異なることがあることから、十分に考慮して設計するものとする。

（自然落雪による低減）

第4条 政令第86条第4項の規定による屋根の積雪荷重は、屋根ふき材、屋根形状、気温、雪の性状等により雪の自然落下が期待でき、十分な維持管理が行われ、また、危険を覚知した時には速やかに雪下ろしが可能な形状の建築物等又はその部分については、同条第6項の規定により垂直積雪量を1メートルまで減らして計算することができるものとする。

注記*：新潟県HP（<http://www.pref.niigata.lg.jp/jutaku/1223229707455.html>）

柏崎市における積雪の観測記録及び日最深積雪量の平均値の算出

○柏崎市における積雪の観測記録

年超過確率の推定に使用するデータについては、柏崎刈羽原子力発電所の最寄りのアメダスとする。柏崎市における毎年の積雪観測記録を表1に示す。

表1 柏崎市における毎年の積雪観測記録
(気象庁ホームページより)

寒候年	雪 (cm)		
	降雪の合計	日降雪の最大	最深積雪
1981	594*	67*	122*
1982	224*	32*	34*
1983	516	61	107*
1984	951	51	171
1985	733	72	139
1986	966	64	162
1987	347	44	50
1988	446	37	75
1989	135	24	25
1990	227	49	59
1991	396	37	73*
1992	84*	29*	26*
1993	140	23	24
1994	315	43	62
1995	425	27	59
1996	523	39	78
1997	274	26	29
1998	272	37	42
1999	274	31	42
2000	350	40	63
2001	441	32	67
2002	170	41	36
2003	294	34	54
2004	240	36	43
2005	434	43	68
2006	461	40	53
2007	53	23	22
2008	250	24	34
2009	138	20	19
2010	427	66	105
2011	278	29	67
2012	514	35	111

注記* : 資料不足値

統計値を求める対象となる資料が許容する資料数を満たさない場合。

統計処理では、上記の観測記録を使用して評価を実施。

○日最深積雪量の平均値の算出

日最深積雪量の平均値は、柏崎市のアメダスの観測記録から積雪が確認された日数(N)と、その日の最深積雪量 (S_{Ni}) から算出する。

$$(\text{日最深積雪量の平均値}) = \frac{1}{N} \sum_i S_{Ni}$$

上式は、積雪が確認された場合の平均的な積雪量を与える式となる。

柏崎市のアメダスの記録から、日最深積雪量の平均値を計算すると以下のとおりとなる。

観測期間：1980年11月～2013年3月

積雪が確認された日数(N)：1925日

最深積雪量の合計：59766cm

$$\text{日最深積雪量の平均値} = \frac{59,766}{1,925} = 31.1 \text{ [cm]}$$

年超過確率の推定方法

1. 評価方法

年超過確率の推定は、気象庁の「異常気象リスクマップ」^[1]の確率推定方法を採用して評価を実施する。

評価フローを図1に示す。

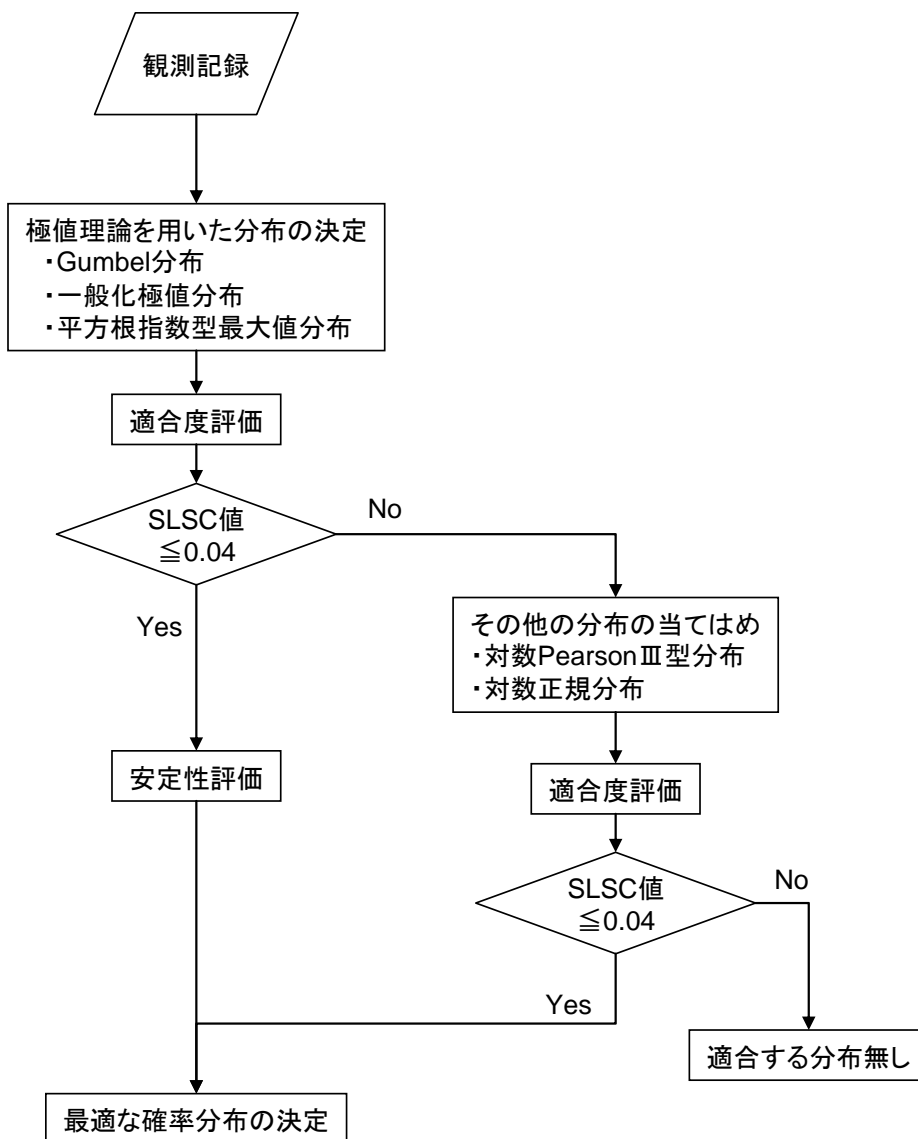


図1 年超過確率評価フロー

(1) 確率分布の算出

観測記録から確率分布の分布特性を表す母数を推定し、確率分布形状を特定する。ここでは、極値理論からの分布（Gumbel 分布、平方根指数型最大値分布、一般化極値分布）や従来から使用されている分布（対数 PearsonⅢ型分布、対数正規分布）の中から最適な確率分布を決定する。

確率分布モデルの母数推定については、以下に示す L 積率法（L Moments）や最尤法等の手法を用いる^[2]。

L 積率法

第 1 次の L 積率 λ_1 、第 2 次の L 積率 λ_2 、第 3 次の L 積率 λ_3 はそれぞれ以下のように定義される。

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= b_0 \\ \lambda_2 &= 2b_1 - b_0 \\ \lambda_3 &= 6b_2 - 6b_1 + b_0\end{aligned}$$

ここで、

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j$$

$$b_1 = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{j=1}^N (j-1) x_j$$

$$b_2 = \frac{1}{N(N-1)(N-2)} \sum_{j=1}^N (j-1)(j-2) x_j$$

N : 標本数

x_j : N 個の標本を昇順に並び替えたときの小さい方から j 番目の値

最尤法

以下に示す対数尤度関数 L が最大となる a, b を算出

$$L(a, b) = \sum_{j=1}^N \ln f(x_j)$$

$f(x)$: 確率密度関数

また、例として極値理論からの分布（Gumbel 分布、平方根指数型最大値分布、一般化極値分布）の母数推定方法、及び非超過確率 p に対応する値の算出方法を表 1 に示す。

表 1 極値分布の母数推定法について

分布	母数推定法	母数	クオンタイル (非超過確率 p に対応する値)
Gumbel 分布	L 積率法 (2 母数)	$a = \frac{\lambda_2}{\ln 2}$ $c = \lambda_1 - 0.5772157a$	$x_p = c - a \cdot \ln[-\ln(p)]$
一般化 極値分布 (GEV 分布)	L 積率法 (3 母数)	$k = 7.859d + 2.9554 * d^2$ ここで $d = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - \frac{\ln 2}{\ln 3}$ $a = \frac{k\lambda_2}{(1 - 2^{-k}) \cdot \Gamma(1 + k)}$ $c = \lambda_1 - \frac{a}{k} \cdot [1 - \Gamma(1 + k)]$	$x_p = c + \frac{a}{k} \cdot \{1 - [-\ln(p)]^k\}$
平方根指数型 最大値分布	最尤法 (2 母数)	$L(a, b) = \sum_{j=1}^N \ln f(x_j)$ $= N \ln a + N \ln b - N \ln 2 - \sum_{j=1}^N \sqrt{bx_j}$ $- a [\sum_{j=1}^N \exp(-\sqrt{bx_j}) + \sum_{j=1}^N \sqrt{bx_j} \exp(-\sqrt{bx_j})]$	$x_p = \frac{t_p^2}{b}$ ここで $\ln(1 + t_p) - t_p = \ln\left[-\frac{1}{a} \ln(p)\right]$

(2) 適合度評価

算出した分布がどの程度、観測記録と適合しているかを確認し分布の適合度を評価する。

本評価では、分布の適合度を SLSC (Standard Least Squares Criterion) と呼ばれる指標で評価する。

SLSC は、観測値をプロットポジション公式で並べた場合と、確率分布から推定した場合との確率の差を指標化した値である。(図 2)

SLSC が小さいほど、適合度が高く、経験的な分布とよくフィットする。本評価では SLSC が 0.04 以下で適合していると判断する。

プロットポジション公式とは、経験的に求められた公式であり、観測値の個数、大きさの順に並べたときの順位と再現期間との関係を数式化したものである。同公式では、いくつかの式が提案されているが、本評価においては多くの分布系によく適合する以下の式を採用する。

$$T(i) = \frac{N + 0.2}{i - 0.4}$$

ここで、 N はデータの個数であり、大きい方から i 番目のデータの再現期間* (一日あたりの降雪量の確率年) $T(i)$ とする。

注記* : ある現象 (例えば 1 日 80cm が降雪すること) が 1 回起こり得る「50 年」「100 年」という期間^[1]

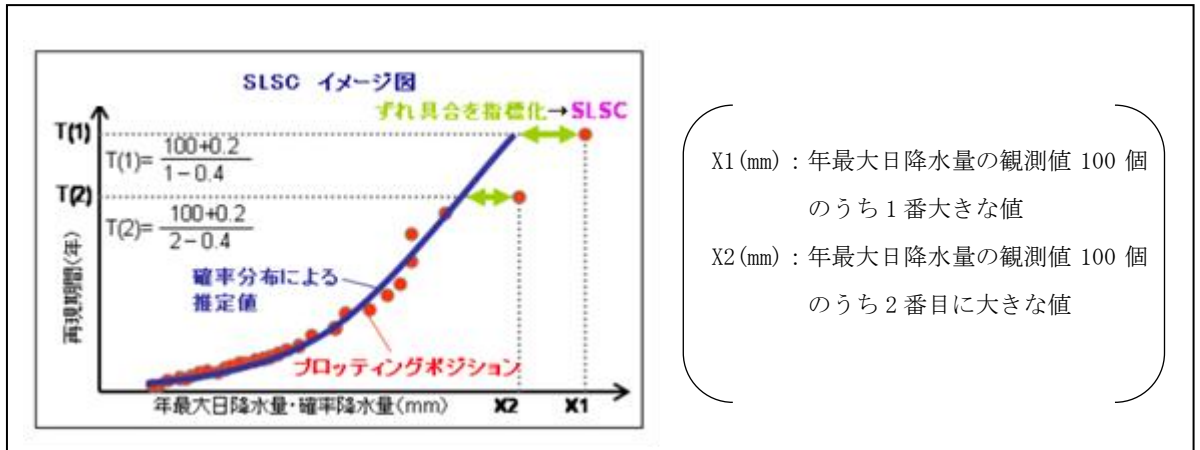


図 2 SLSC のイメージ図 (確率降水量の場合) [1]

このとき、SLSC 値は、データ値と関数值 (それぞれ標準化した値) を 2 乗平均した以下の式で表される [2]。

$$SLSC = \frac{\sqrt{\xi^2}}{|s_{0.99} - s_{0.01}|}$$

ここで、

$$\xi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i - r_i)^2$$

$s_{0.99}$, $s_{0.01}$: それぞれ非超過確率 0.99 と 0.01 に対する当該確率分布の標準変量

s_i : 順序統計量データ x_i を推定母数で変換した標準変量

r_i : プロットングポジションに対応した理論クオンタイルを推定母数で変換した標準変量

(3) 安定性評価

(2) で分布の適合度を評価し、SLSC が 0.04 以下を満足した場合には、次に分布の安定性を評価する。現在得られている観測値をランダムに抜き取った場合に、結果が大きく変化しないことを評価する。本評価では安定性評価には Jack knife 法を用いる。

2. 評価結果

一日あたりの積雪量に対する年超過確率の算出結果を表2に示す。

表2 一日あたりの積雪量に対する年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.038	0.067	0.038

確率年	積雪量		
10	58.0	68.0	57.9
100	84.3	117.6	88.8
10000	135.9	249.8	165.2

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	4.8	2.8	4.8
100	8.4	3.5	10.2
10000	15.9	5.0	43.7

3. 参考文献

- [1] 気象庁 HP (<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/index.html>)
- [2] 星清, 1998 : 水文統計解析, 開発土木研究所月報 No. 540

4. 航空機落下確率評価について

4. 航空機落下確率評価について

4.1 工事計画認可申請時の航空路の確認について

柏崎刈羽原子力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、工事計画認可申請時に、設置変更許可申請書添付書類六に記載している航空路（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（令和元年 10 月 10 日改訂版）（添付資料 2）にて確認している。

4.2 工事計画認可申請時のその他のデータの確認について

柏崎刈羽原子力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 10 年～平成 29 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、設置許可変更申請時のデータに対し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のデータにおいて、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。

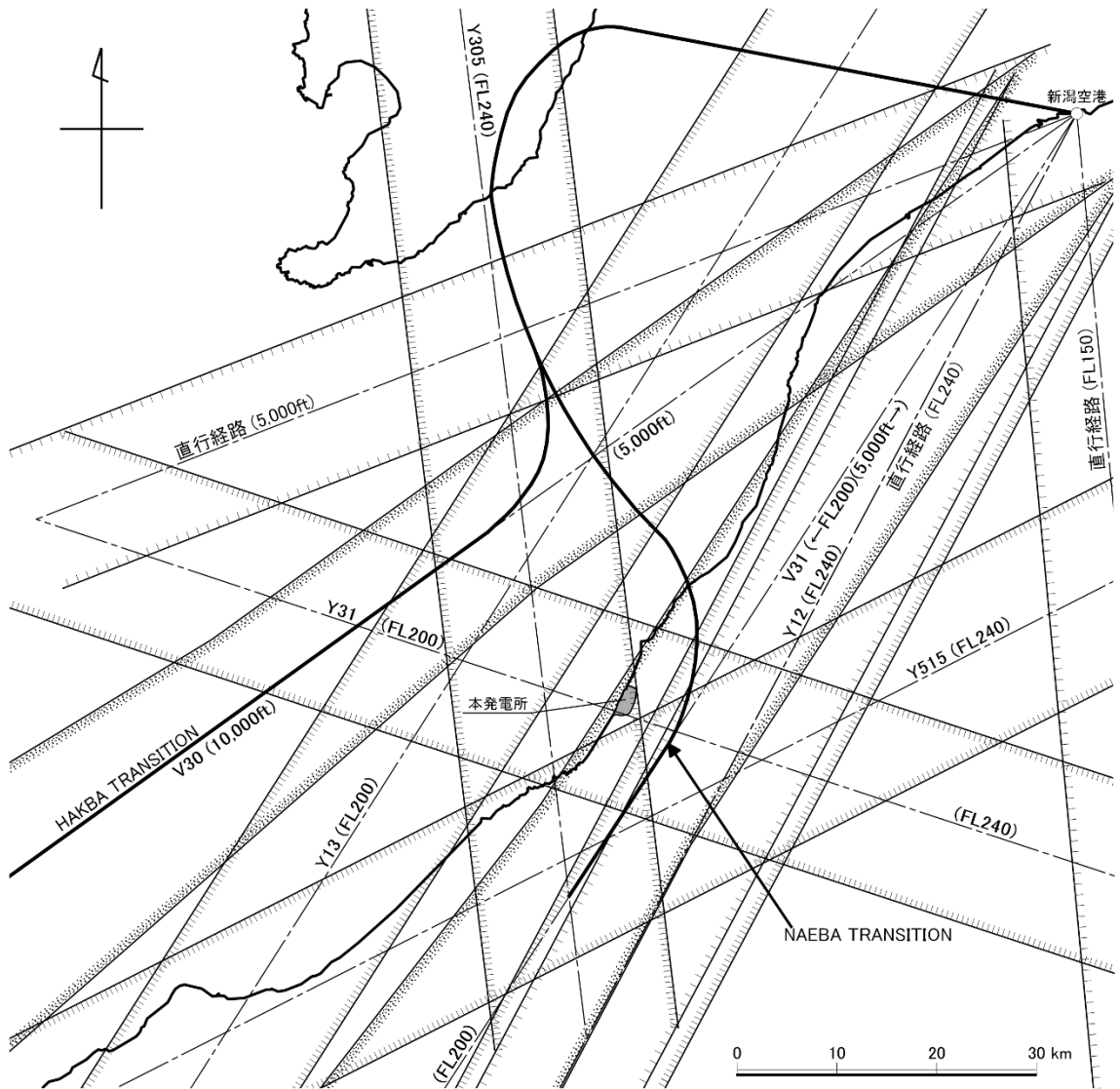
注記*1：航空機落下事故に関するデータ（平成 10～29 年）（令和元年 12 月 原子力規制庁）

*2：航空輸送統計年報，第 1 表 総括表，1. 輸送実績

4.3 今後の確認について

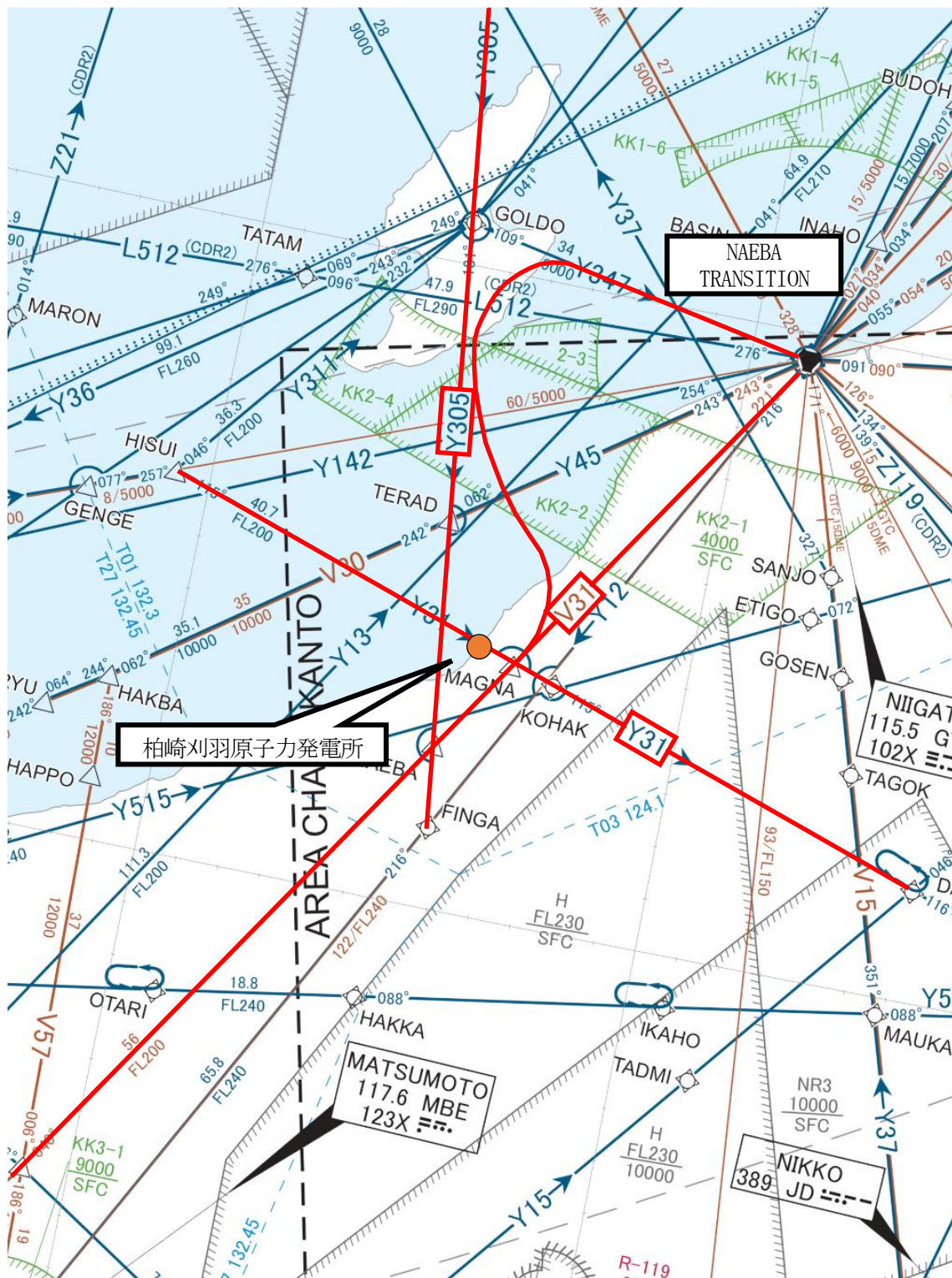
今後は外部火災評価のうち、航空機墜落による火災影響を定期的に評価する際に、航空路を含めた航空機落下確率評価に用いる最新データの変更状況を確認し、防護設計の要否を判断する基準を超える変更がないことを確認する。

設置変更許可申請時の航空路（設置変更許可申請書 添付書類六より引用）



- 凡例 -
- 航空路
 - 広域航法経路
 - 直行経路
 - 航空路等の中心線
 - 転移経路
 - 民間飛行場
 - 内 最低飛行高度

工事計画認可申請時の航空路（「航空路誌（令和元年 10 月 10 日改訂版）」より抜粋）



注：赤実線は柏崎刈羽原子力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のおおよその経路を示す。

出典：AIP JAPAN ENROUTE CHART - ICAO (10 OCT 2019) (一部加筆)

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

柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率

発電所周辺の飛行場，航空路，訓練空域等を考慮した上で，「航空機落下確率評価基準」に従い，以下の項目について柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率を評価する。

1. 評価対象事故

表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
柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号機	×*1	○	○	○*2 訓練空域外を飛行中の落下事故	×*3

○：対象，×：対象外

注記*1：柏崎刈羽原子力発電所は，新潟空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため評価対象外とした。（別紙－1）

（柏崎刈羽原子力発電所－新潟空港の距離：約75km，新潟空港－最大離着陸地点の距離：約19km）

*2：発電所周辺上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域はない。（別紙－2）

*3：柏崎刈羽原子力発電所は基地－訓練空域間の往復の想定範囲内に入らないため評価対象外とした。

2. 落下確率評価結果

(1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

a. 航空路を巡航中の落下事故

発電所上空の航空路等としては、航空路 (V31) , 広域航法経路 (Y31, Y305) , 転移経路 (NAEBA TRANSITION) がある。「航空機落下確率評価基準」に従い、以下の式により航空路等を巡航中の航空機の落下確率を求める。

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

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 : 発電用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 (=0.5 回)

H_c : 延べ飛行距離 (=9,439,243,077 飛行回・km)

表 2 落下確率評価 (計器飛行方式民間航空機)

パラメータ	発電所名称及び号機			
	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号機			
対象航空路*1	航空路 (V31)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)	広域航法経路 (Y31)	広域航法経路 (Y305)
N_c^{*2}	14600	4015	3650	182.5
A^{*3}	0.01	0.01	0.01	0.01
W^{*4}	14	14	18.52	18.52
f_c^{*5}	0.5/9,439,243,077 = 5.29 × 10 ⁻¹¹			
P_c	5.52 × 10 ⁻¹⁰	1.51 × 10 ⁻¹⁰	1.04 × 10 ⁻¹⁰	5.21 × 10 ⁻¹²
P_c (合計)	8.13 × 10 ⁻¹⁰			

注記*1 : 柏崎刈羽原子力発電所周辺の航空図 (AIP エンルートチャート) により確認。

(別紙-2)

*2 : 国土交通省航空局への問い合わせた結果の、上半期・下半期のピーク日の数値の大きい方を 365 倍した値。ただし、飛行回数が 0 回の航空路は保守的に 0.5 回とみなし、年間 182.5 回とする。(別紙-3)

*3 : 原子炉建屋、コントロール建屋等の水平面積の合計値は 0.01km² 以下であるので標的面積は 0.01km² とする。(別紙-4)

*4 : 「航空路の指定に関する告示」及び「飛行方式設定基準」による。

*5 : 巡航中事故件数は、平成 3 年～平成 22 年の間で 0 件であるが、保守的に 0.5 件とする。

延べ飛行距離は、平成4年～平成23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を合計した値。(別紙-5)

上記より、航空路等を巡航中の航空機の落下確率 (P_c) は、約 8.13×10^{-10} (回/年) となる。

(2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

「航空機落下確率評価基準」に従い、全国平均の落下確率を用いて、以下の式により柏崎刈羽原子力発電所における落下確率を求める。

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

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 (=37.2 万 km²)

A : 発電用原子炉施設の標的面積 (=0.01km²)

α : 対象航空機の種類による係数

P_v の導出に当たって、大型固定翼機、小型固定翼機、大型回転翼機及び小型回転翼機を考慮し、 f_v 及び α として下表の値を用いている。

表3 落下確率評価 (有視界飛行方式民間航空機)

発電所名称 及び号機 パラメータ値	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号機
f_v^*	大型固定翼機 0.5/20=0.025 小型固定翼機 35/20=1.75 大型回転翼機 2/20=0.10 小型回転翼機 30/20=1.50
S_v^*	372,000
A	0.01
α^*	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1.0 小型固定翼機, 小型回転翼機 : 0.1
P_v	1.20×10^{-8}

注記* : 「平成23年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成24年9月 独立行政法人原子力安全基盤機構)

上記より、有視界飛行方式民間航空機の落下確率 (P_v) は、約 1.20×10^{-8} (回/年) となる。

(3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

「航空機落下確率評価基準」に従い、以下のとおり落下確率を求める。

a. 訓練空域外を飛行中の落下事故

柏崎刈羽原子力発電所周辺上空には、自衛隊及び米軍の訓練空域は存在しない。したがって、「航空機落下確率評価基準」に従い、以下のとおり訓練空域外を飛行中の自衛隊機及び米軍機の落下確率を求める。

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

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 (=8回/20年(自衛隊機)
 (=5回/20年(米軍機))

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
 (=29.5万 km²(自衛隊機)
 (=37.2万 km²(米軍機))

A : 発電用原子炉施設の標的面積 (=0.01km²)

表4 落下確率評価(自衛隊機又は米軍機)

発電所名称 及び号機 パラメータ値	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号機
f_{so}^*	自衛隊機 8/20=0.4 米軍機 5/20=0.25
S_o^*	自衛隊機 37.2万-7.7万=29.5万 米軍機 37.2万-0.05万=37.2万
A	0.01
P_{so}	1.36×10^{-8} (自衛隊機) + 6.72×10^{-9} (米軍機) = 2.02×10^{-8}

注記* : 「平成23年度 航空機落下事故に関するデータの整備」(平成24年9月 独立行政法人原子力安全基盤機構)

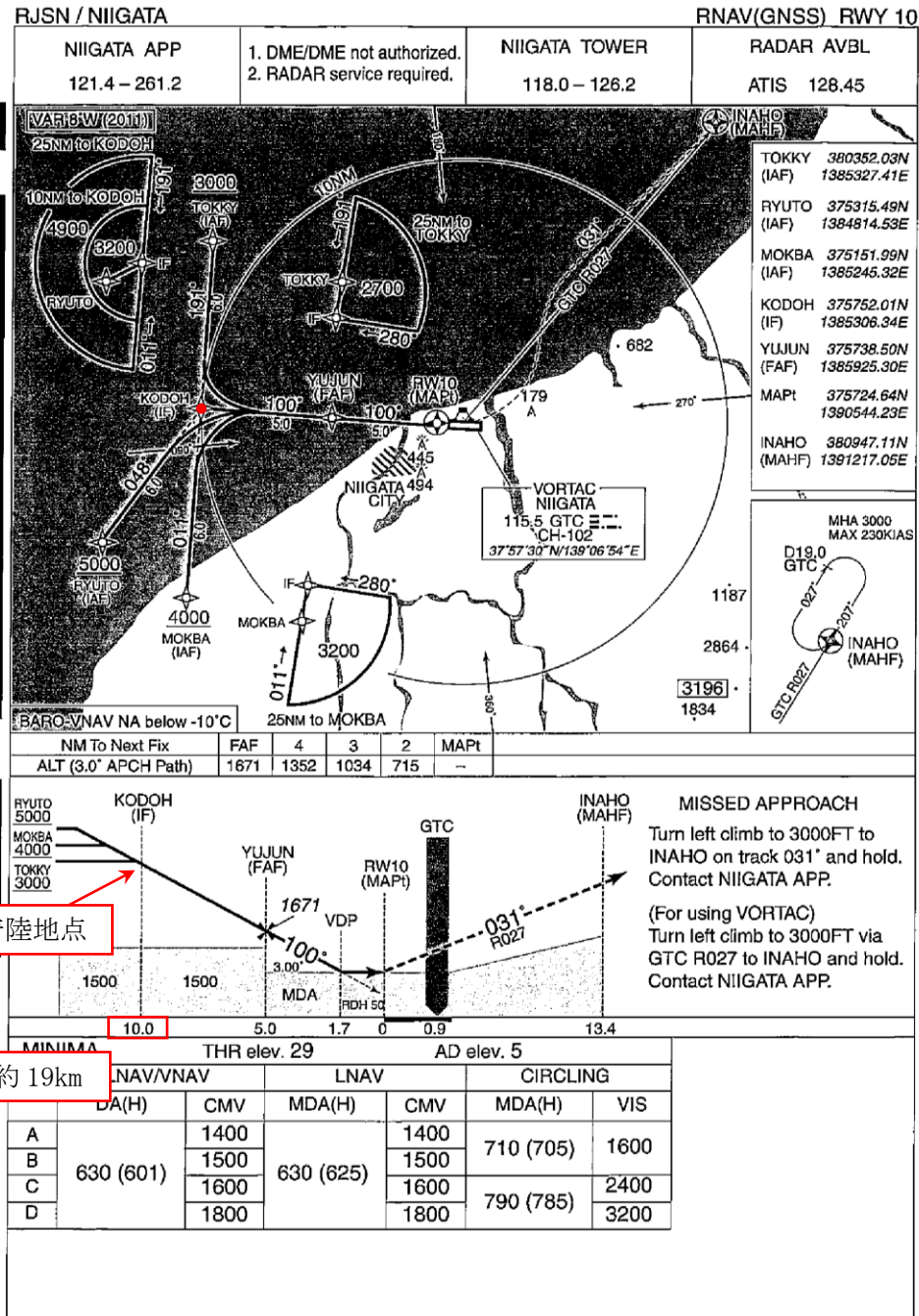
上記より、訓練空域外を飛行中の自衛隊機及び米軍機の落下確率(P_{so})は、約 2.02×10^{-8} (回/年)となる。

以上により、柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率は、下表のとおり、計器飛行方式民間航空機の落下確率、有視界飛行方式民間航空機の落下確率、訓練空域外を飛行中の自衛隊機及び米軍機の落下確率の和として算定され、保守的に有効数字3桁目を切り上げ、約 3.4×10^{-8} (回/炉・年)となる。

表5 落下確率評価結果

評価対象落下事故	落下確率 (回/炉・年)
計器飛行方式民間航空機の落下事故	約 8.13×10^{-10}
有視界飛行方式民間航空機の落下事故	約 1.20×10^{-8}
訓練空域外を飛行中の落下事故	約 2.02×10^{-8}
合 計	約 3.4×10^{-8}

INSTRUMENT APPROACH CHART

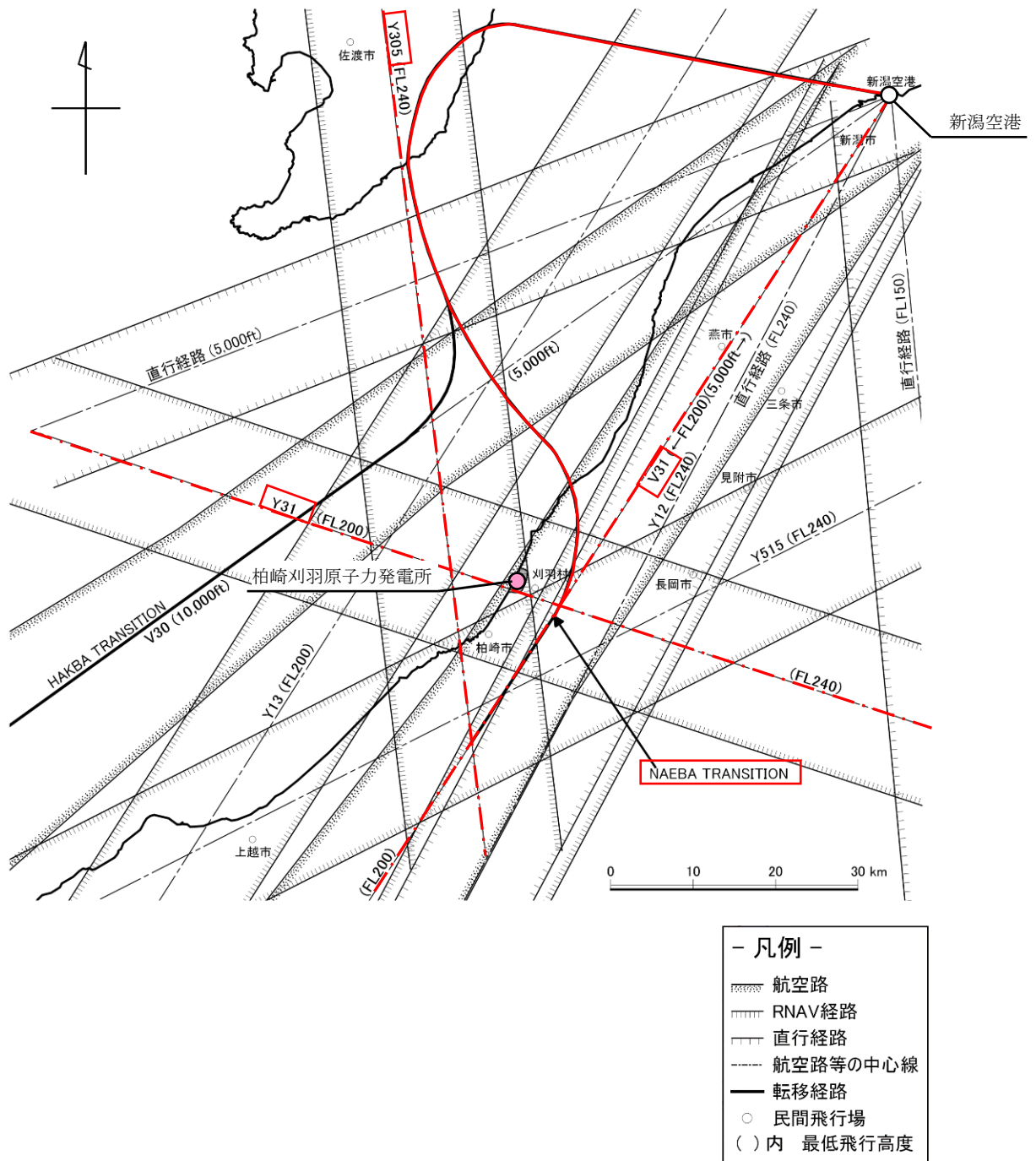


最大離着陸地点

10NM = 約 19km

(出典: AIP-JAPAN, 国土交通省航空局, 平成 25 年 3 月)

図 1 新潟空港の最大離着陸地点



(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局，平成 25 年 3 月)

図 1 柏崎刈羽原子力発電所周辺の航空図

表1 評価対象となる航空路の飛行回数

(飛行回数)

東京航空交通管制部 ピークデイ*1	航空路 (V31)	広域航法経路 (Y305)	広域航法経路 (Y31)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)
H24年上半期 (H24.6.8) 交通量	40	0	10	11
H24年下半期 (H24.9.19) 交通量	37	0	9	10
評価に用いる数値	$40 \times 365 \text{ 日} =$ 14600 便/年間	$0.5 \times 365 \text{ 日} =$ 182.5 便/年間*2	$10 \times 365 \text{ 日} =$ 3650 便/年間	$11 \times 365 \text{ 日} =$ 4015 便/年間

注記*1 : 国土交通省航空局に問い合わせ入手したデータ。ここでピークデイとは、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であり、当該経路における交通量が半年間で最も多かった日とは必ずしも一致しない。

*2 : 実際の便数は0であるが、保守的に0.5とする。

表 1 航空機落下確率評価に係わる標的面積

単位：km²

発電所	号機	原子炉建屋* ¹	コントロール建屋 (中央制御室) * ²	合計* ³	標的面積
柏崎刈羽 原子力発電所	7	0.003538	0.002378	0.005916	0.01

工事計画認可申請書記載の建屋寸法から面積を算出した。

注記*1：ディーゼル発電機室は原子炉建屋に含む。

*2：中央制御室は6号及び7号機合計。

*3：海水熱交換器区域は地下に設置のため除外。

延べ飛行距離について

延べ飛行距離は、平成4年～平成23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便のみの合計値とする。

なお、国際便については、日本国内での運行距離ではないため考慮していない。また、日本に乗り入れている外国機は運行距離の実績の公開記録がないため考慮していない。

ただし、国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし、事故率が保守的となるようにしている。

表1 日本国機の運行距離

	日本国機の運行距離 (飛行回・km)
平成4年	307,445,013
平成5年	326,899,203
平成6年	343,785,576
平成7年	380,948,123
平成8年	397,146,610
平成9年	420,920,228
平成10年	449,784,623
平成11年	459,973,069
平成12年	480,718,878
平成13年	489,803,107
平成14年	498,685,881
平成15年	519,701,117
平成16年	517,485,172
平成17年	527,370,038
平成18年	555,543,154
平成19年	559,797,874
平成20年	554,681,669
平成21年	544,824,157
平成22年	548,585,258
平成23年	555,144,327
合計	9,439,243,077