

第6条：外部からの衝撃による損傷の防止

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
2. 追加要求事項に対する適合方針
 - 2.1 その他自然現象等
 - 2.1.1 設計基準上考慮すべき事象の抽出及び当該事象に対する設計方針
 - 2.1.1.1 自然現象
 - 2.1.1.2 人為事象
 - 2.1.2 自然現象の組み合わせ
 - 2.1.3 大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象に対する重要安全施設への考慮
 - 2.2 竜巻
 - 2.2.1 竜巻に対する防護に関して、設計上対処すべき施設を抽出するための方針
 - 2.2.2 発生を想定する竜巻の設定
 - 2.2.2.1 竜巻検討地域の設定
 - 2.2.2.2 基準竜巻の設定
 - 2.2.2.3 設計竜巻の設定
 - 2.2.3 設計荷重の設定
 - 2.2.3.1 設計竜巻荷重
 - (1) 風圧力の設定
 - (2) 気圧差による圧力
 - (3) 飛来物の衝撃荷重
 - (4) 設計竜巻荷重の組合せ
 - 2.2.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重
 - 2.2.4 評価対象施設の設計方針
 - 2.2.4.1 設計方針
 - 2.2.5 竜巻随伴事象に対する評価対象施設の設計方針
 - 2.2.6 参考文献
 - 2.3 火山
 - 2.3.1 火山活動に対する防護に関して、評価対象施設を抽出するための方針
 - 2.3.2 降下火砕物による影響の選定
 - 2.3.3 設計荷重の設定
 - 2.3.4 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針
 - 2.3.5 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針
 - 2.3.6 参考文献

2.4 外部火災

2.4.1 外部火災に対して，設計上対処すべき施設を抽出するための方針

2.4.2 考慮すべき外部火災

2.4.3 外部火災に対する設計方針

2.4.3.1 森林火災

(1) 発生を想定する発電所敷地外における森林火災の想定及び影響評価

(2) 森林火災に対する設計方針

2.4.3.2 近隣の産業施設の火災・爆発

(1) 近隣の産業施設からの火災及びガス爆発の想定及び影響評価

(2) 想定される近隣の産業施設の火災・爆発に対する設計方針

2.4.3.3 発電所敷地内における航空機墜落による火災

(1) 発生を想定する発電所敷地内における航空機墜落による火災の設定及び影響評価

(2) 航空機墜落等による火災に対する設計方針

2.4.3.4 ばい煙及び有毒ガス

3. 外部からの衝撃による損傷の防止

別 添 1-1 外部事象の考慮について

別 添 2-1 竜巻影響評価について

別 添 2-2 竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について

別 添 3-1 火山影響評価について

別 添 4-1 外部火災影響評価について

4. 運用，手順能力説明資料

別 添 1-2 運用，手順能力説明資料（外部事象）

別 添 3-2 運用，手順能力説明資料（火山）

別 添 4-2 運用，手順能力説明資料（外部火災）

5. 現場確認のプロセス

別 添 4-3 森林火災評価に係る植生確認プロセスについて

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条において、追加要求事項を明確化する。(表1)

表1 設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条要求事項

設置許可基準規則 第6条 (外部からの衝撃による損傷の防止)	技術基準規則 第7条 (外部からの衝撃による損傷の防止)	備考
安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。	設計基準対象施設が想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならない。	【追加要求事項】
2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。		【追加要求事項】
3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。	2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合には、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	【追加要求事項】
	3 航空機の墜落により発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	【追加要求事項】

2. 追加要求事項に対する適合方針

2.1 その他自然現象等

2.1.1 設計基準上考慮すべき事象の抽出及び当該事象に対する設計方針

2.1.1.1 自然現象

(1) 設計上考慮すべき自然現象

発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く。）については、網羅的に抽出するために、発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関わらず、国内外の基準や文献等に基づき事象を収集し、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等の事象を考慮する。また、これらの自然現象について関連して発生する自然現象も含める。

なお、自然現象の収集に当たっては、次に挙げる資料から、国内における規制（資料 a, b）で取り上げている事象や、国外の規制として、米国原子力規制委員会が定めた PRA についてのガイド（資料 c）や IAEA が定めたガイド（資料 d）で取り上げている事象を収集した。

- a. 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306193 号 原子力規制委員会決定）
- b. 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号 原子力規制委員会決定）
- c. NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- d. Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”, IAEA, April 2010

さらに、日本の自然現象における実例（資料 e）や、米国の原子力発電設備の維持基準に引用されている米国機械学会の規格（資料 f）、また、関連して、地震や洪水を含む様々な過酷な自然現象への対応に適用できるように考案された FLEX（多様かつ柔軟な対応方策）や大規模損壊事象を取り上げている米国 NEI のガイド（資料 g, h）で取り上げられている事象を収集することによって、網羅性を確保した。

- e. 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
- f. ASME/ANS RA-S-2008 “Standard for Level 1/Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- g. DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- h. B. 5. b Phase 2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006)-2011.5 NRC 公表

これらの事象について、海外の評価基準を考慮のうえ発電所敷地及びその周辺

での発生の可能性、安全施設への影響度、発電所敷地及びその周辺に到達するまでの時間余裕及び影響の包絡性の観点から、発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として、風（台風）、竜巻、低温（凍結）、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象を選定する。

評価の詳細について、「別添 1-1 1.2 外部事象に対する 1 次評価」に示す。

(2) 設計上考慮すべき自然現象に対する設計方針

安全施設は、(1)で考慮するとした自然現象が発生した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても、安全機能を損なわない設計とする。発電所敷地又はその周辺において想定される自然現象として選定した事象のうち竜巻、火山の影響を除く事象に対する設計方針を以下に示す。なお、竜巻に対する設計方針については「2.2」、火山に対する設計方針については「2.3」に示す。

設計基準について、以下に挙げる①及び②を参照するとともに、参考として③についても評価・確認の上、最も保守的となる値を採用する。ただし、以下のいずれの方法でも設計基準の設定が行えないものについては、当該事象が発生した場合の安全施設への影響シナリオを検討の上、個別に設計基準の設定を行う。

(例：火山の影響については、上記考え方に基づく設計基準の特定は困難なため、個別に考慮すべき火山事象の特定を実施した上で設計基準を設定する。)

① 規格・基準類に基づく設定

選定した自然現象に関する規格・基準類が存在する場合、それを参照する。

② 観測記録に基づく設定

柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺における観測記録を調査の上、観測史上 1 位を参照する。

③ 年超過確率評価に基づく設定

柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺における観測記録をもとに年超過確率評価を実施し、上記①、②により設定した設計基準値について年超過確率を確認する。自然現象の特性（プラントへの影響度）に応じた想定すべき年超過確率の規模を、①、②により設定した設計基準値が下回る場合には、年超過確率評価をもとにした設計基準値の見直しを図る。

なお、年超過確率に基づく設定の考え方については、「別添 1-1 添付資料 4 設計基準設定において参考とする年超過確率評価について」に示す。

a. 風（台風）防護に関する基本方針

(a) 設計基準風速の設定

(a-1) 規格・基準類

風に対する建築物の規格・基準として、発電用原子炉施設建設時の建

築基準法施行令第 87 条 (以下, a. では「旧建築基準法施行令」という。) においては, 日本最大級の台風 の最大瞬間風速 (63m/s, 地上高 15m) に基づく風荷重に対する設計が要求されていた。

その後, 建築基準法施行令第 87 条の風荷重規定は 2000 年に改正され, それ以降, 建築物については, 地域ごとに定められた基準風速の風荷重に対する設計が要求されており, 柏崎市及び刈羽村の基準風速は 30m/s (地上高 10m, 10 分間平均風速) である。

(a-2) 観測記録

気象庁の気象統計情報における風速の観測記録⁽¹⁾によれば, 柏崎市の地域気象観測システム (アメダス), 新潟地方気象台 (新潟市) 及び高田特別地域気象観測所 (上越市) で観測された過去最大風速及び最大瞬間風速は下記のとおりであり, 風速の観測記録は台風も含む。

ただし, 刈羽村については, 風速等を観測する気象庁の地域気象観測システム (アメダス) が設置されていないため, 気象庁の気象統計情報に観測記録はない。

柏崎市 : 最大風速 16m/s

(2006 年 4 月 11 日, 統計期間 : 1978 年 11 月 ~ 2013 年 3 月)

最大瞬間風速 32.5m/s

(2012 年 4 月 3 日, 統計期間 : 2008 年 3 月 ~ 2013 年 3 月)

新潟市 : 最大風速 40.1m/s

(1929 年 4 月 21 日, 統計期間 : 1886 年 1 月 ~ 2013 年 3 月)

最大瞬間風速 45.5m/s

(1991 年 9 月 28 日, 統計期間 : 1937 年 1 月 ~ 2013 年 3 月)

上越市 : 最大風速 23.1m/s

(1959 年 4 月 5 日, 統計期間 : 1922 年 1 月 ~ 2013 年 3 月)

最大瞬間風速 42.0m/s

(1998 年 9 月 22 日, 統計期間 : 1937 年 1 月 ~ 2013 年 3 月)

ここで, 設計基準風速の設定にあたり, 各風速の定義は以下の通り。

気象庁の風の観測については, 風速 (地上高 10m, 10 分間平均) 及び瞬間風速 (地上高 10m, 3 秒間平均) を記録している。「最大風速」は, 風速 (地上高 10m, 10 分間平均) の日最大風速を, 「最大瞬間風速」は, 瞬間風速 (地上高 10m, 3 秒間平均) の日最大瞬間風速をいい, 一般的に最大瞬間風速と最大風速の比は 1.5~2 倍程度とされている⁽¹⁾。

旧建築基準法施行令では, 最大瞬間風速 (63m/s, 地上高 15m) を参照

していたが、現行の建築基準法施行令では、地上高 10mにおける 10 分間平均風速を基準としている。ただし、現行の建築基準法施行令においても、風荷重の算出においては、最大瞬間風速等の風速変動による影響も考慮しており、建築物の周辺状況及び構造特性等の考慮が追加となっている状況を踏まえ、安全設計上考慮する設計基準風速の定義は、現行の建築基準法に準拠し、地上高 10mでの 10 分間平均風速を採用する。

(a-3) 年超過確率評価

年超過確率の評価は、気象庁「異常気象リスクマップ」⁽¹⁾の手法により新潟市における統計期間(1961～2012年)内の最大風速から評価した。上記(a-1)及び(a-2)での最大値(最大風速 40.1m/s)について年超過確率を確認した結果、 6.4×10^{-5} /年となった。また、新潟市における最大風速について年超過確率 10^{-4} /年の値は 39.0m/s となった。

(a-4) 設計基準風速の策定

「規格・基準類」、「観測記録」及び「年超過確率評価」をまとめると以下のとおりである。

- a. 建築基準法施行令によると、柏崎市及び刈羽村において建築物を設計する際に要求される最大風速は 30m/s(地上高 10m, 10 分間平均風速)
- b. 観測記録によると、最大風速は柏崎市 16m/s, 新潟市 40.1m/s, 上越市 23.1m/s, 最大瞬間風速は柏崎市 32.5m/s, 新潟市 45.5m/s, 上越市 42.0m/s
- c. 「規格・基準類」及び「観測記録」での最大値(最大風速 40.1m/s)の年超過確率は 6.4×10^{-5} /年であり、新潟市における年超過確率 10^{-4} /年の最大風速は 39.0m/s

以上を踏まえると、設計基準風速は保守的に最も風速が大きい新潟市における観測史上 1 位の最大風速である 40.1m/s とする。

(b) 風(台風)に対する設計方針

設計基準風速(40.1m/s, 地上高 10m, 10 分間平均)によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス 1, クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物, 系統及び機器(以下, 2. では「安全重要度分類のクラス 1, クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物,

系統及び機器」という。)とする。

その上で、上記構築物、系統及び機器の中から、発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器に加え、それらを内包する建屋を外部事象から防護する対象(以下、2.では「外部事象防護対象施設」という。)とし、外部事象防護対象施設は設計基準風速(40.1m/s、地上高10m、10分間平均)の風荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、風(台風)により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

ただし、タンクについては、消防法(危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第4条の19)に従い、日本最大級の台風の最大瞬間風速(63m/s、地上高15m)に基づいた風荷重に対する設計が要求されていることから、設計対象物に応じ、消防法にて要求される風荷重と上記設計基準風速の風荷重を比較し、大きい方を採用する。

なお、風(台風)の設計基準風速は、竜巻影響評価における設計竜巻の最大風速に、風(台風)に伴い発生する可能性のある飛来物による影響については、竜巻影響評価において想定する設計飛来物の影響に包絡される。

(c) 参考文献

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

b. 低温(凍結)防護に関する基本方針

(a) 設計基準温度の設定

(a-1) 規格・基準類

低温に対する法令及び規格・基準の要求はない。

(a-2) 観測記録

柏崎刈羽原子力発電所の立地地域である柏崎市の最低気温の観測記録は -11.3°C である。また、新潟地方気象台(新潟市)での観測記録での最低気温は -13.0°C である。

(a-3) 年超過確率評価

年超過確率の評価は、気象庁「異常気象リスクマップ」⁽¹⁾の推定方法を用いる。上記(a-1)及び(a-2)の最低温度(新潟地方気象台での観測記

録の -13.0°C) について年超過確率を確認した結果、 $1.0 \times 10^{-2}/\text{年}$ となった。また、柏崎市における低温の年超過確率(統計期間:1978~2012年) $10^{-4}/\text{年}$ 値は、 -15.2°C となった。

(a-4) 設計基準温度の設定

「規格・基準類」、「観測記録」及び「年超過確率評価」をまとめると以下のとおりである。

- a. 低温に対する法令及び規格・基準の要求はない。
- b. 過去の観測記録によると、最低気温は -11.3°C
- c. 観測記録の統計処理による年超過確率 $10^{-4}/\text{年}$ 値は、 -15.2°C

設計基準として使用する値としては、上記(a)、(b)での値よりも更なる裕度を確保するために、年超過確率 $10^{-4}/\text{年}$ の値である -15.2°C (24時間継続)を低温に関する設計基準温度とする。また、上述のように当日中という限定的な期間に起こる低温もあるが、それに対し、最低気温を記録せずとも 0°C 以下の気温が長時間継続する可能性もある。柏崎の観測記録に関して、 0°C 以下の気温が継続する期間の年超過確率 $10^{-4}/\text{年}$ 値は173.4時間である。また、 0°C 以下の気温が最も長く継続した期間における平均気温は -2.6°C であった。したがって -15.2°C より高い温度として -2.6°C が長期間(173.4時間)継続する場合についても考慮する。

(b) 低温(凍結)に対する設計方針

設計基準温度(-15.2°C , 24時間及び -2.6°C , 173.4時間)の低温によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、屋内設備については換気空調系により環境温度を維持し、屋外設備については保温等の凍結防止対策を必要に応じて行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、低温により凍結した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

(c) 参考文献

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

c. 降水防護に関する基本方針

(a) 設計基準降水量の設定

(a-1) 規格・基準類

降水に対する排水施設の規格・基準として、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新潟県林地開発許可審査要領においては、排水施設の設計に当たって用いる設計雨量強度として10年確率で規定される雨量強度を用いることとしている。同要領では、新潟県内の雨量強度表が示されており、発電所敷地が適用範囲内となる観測所「長岡」における雨量強度は継続時間60分の場合51.1mm/hである。

(a-2) 観測記録

気象庁の気象統計情報における降水量の観測記録⁽¹⁾によれば、柏崎市の地域気象観測システム（アメダス）での観測史上1位の日最大1時間降水量は52mm/h（2007年8月22日）である。

(a-3) 年超過確率評価

年超過確率の評価は、気象庁「異常気象リスクマップ」⁽¹⁾の手法により柏崎市における統計期間（1976～2012年）内の最大1時間降水量から評価した。また、上記(a-1)及び(a-2)での1時間降水量の最大値(52mm/h)について年超過確率を確認した結果 3.5×10^{-2} /年となった。参考として、1時間降水量について年超過確率 10^{-4} /年の値は、101.3mm/hとなった。

(a-4) 設計基準降水量の設定

設計基準降水量として使用する値としては、(a-2)観測記録の最大1時間降水量が(a-3)年超過確率評価において 3.5×10^{-2} /年であったことから、更なる裕度を確保するために年超過確率 10^{-4} /年の値、1時間降水量101.3mm/hを設計基準降水量とする。

(b) 降水に対する設計方針

設計基準降水量（101.3mm/h）の降水によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、設計基準降水量（101.3mm/h）の降水による浸水に対し、構内排水路による海域への排水、浸水防止のための建屋止水処置等により、安全機能を損なわない設計とするとともに、外部事象防護対象施設は、設計基準降水量（101.3mm/h）の降水による荷重に対し、排水口による海域への排水等により安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、降水により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

(c) 参考文献

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

d. 積雪防護に関する基本方針

(a) 設計基準積雪量の設定

(a-1) 規格・基準類

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⁽¹⁾。これらの値は、最深積雪量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、同上第 6 項の規定により垂直積雪量を 1m と想定することができる」とされている。

(a-2) 観測記録

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。

(a-3) 年超過確率評価

年超過確率の評価は、気象庁「異常気象リスクマップ」⁽²⁾の手法により柏崎市における統計期間（1981～2012 年）内の 1 日あたりの最大積雪量から評価した。上記での 1 日あたりの積雪量最大値（72cm）について年超過確率を確認した結果、 3.0×10^{-2} /年となった。また、1 日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-4} /年の値は 135.9cm となった。

(a-4) 設計基準積雪量の設定

設計基準として使用する値としては、(a-2)観測記録の値 72cm が(a-3)年超過確率評価において 3.0×10^{-2} /年であったことから、更なる裕度を確保するために年超過確率 10^{-4} /年の値 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。
したがって、設計基準積雪量を以下のとおり設定した。

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

(b) 積雪に対する設計方針

設計基準積雪量 (167cm) の積雪によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、設計基準積雪量 (167cm) の積雪荷重に対し機械的強度を有すること、また、非常用換気空調系の給・排気口は、設計基準積雪量より高所に設置する等により安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、積雪により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

(c) 参考文献

- (1) 新潟県 : <http://www.pref.niigata.lg.jp/>
- (2) 気象庁 : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

e. 落雷防護に関する基本方針

(a) 設計基準電流値の設定

(a-1) 規格・基準類

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 JEAG4608⁽¹⁾があり、以下のように規定している。

- ・ JEAG4608 では、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「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、500kV 開閉所における送電線並びに電力設備に対し、150kA を想定雷撃電流として推奨している。
- ・ JEAG4608 では、建築物等の避雷設備に関して、日本工業規格 JIS A 4201:2003「建築物等の雷保護」や日本工業規格 JIS A 4201-1992「建築物等の避雷設備 (避雷針)」を参照している。JIS-A 4201:2003 では、避雷設備について、落雷の影響から設備を保護する確からしさに応じ保護レベルが規定されている。保護レベルが

高い（保護レベルの数字が小さい）ほど、より広い範囲の雷撃電流値に対して保護することが求められる。保護レベルは、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの４段階に設定される。

保護レベルの設定に当たって、JEAG4608では原子力発電所の危険物施設に対する保護レベルをIEC/TR 61662⁽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。

JIS A 4201:2003においては、保護レベルに応じた最大雷撃電流値は具体的に示されていないものの、日本工業規格 JIS-Z 9290-4⁽⁵⁾において、保護レベルに応じた最大雷撃電流値が定められており、保護レベルⅡの場合の最大雷撃電流値は150kA、保護レベルⅣの場合の最大雷撃電流値は100kAと規定されている。したがって、より広い範囲の雷撃電流値に対して保護することを求めている保護レベルⅡを採用する。

以上より規格・基準類による想定すべき雷撃電流値のうち最大のものは150kAである。

(a-2) 観測記録

雷撃電流の観測記録として、落雷位置標定システム（IMPACT[®]）による落雷データを用いた。落雷は大きく夏季雷、冬季雷に大別されるが、新潟県全域から本州内陸部にかけて1999年～2012年（14年間）に夏季（4月から10月）約630,000件、冬季（11月から3月）約63,000件が確認されており、最大雷撃電流値はそれぞれ460kA（2004年4月24日 新潟県北部と山形県との県境の山間部）、449kA（2010年11月29日 新潟県沖合）である。

ただし、IMPACTの結果は柏崎刈羽原子力発電所を中心とした日本海から内陸部までの範囲を拡張して観測したものであり、過去の柏崎刈羽原子力発電所にて実施した落雷観測記録の月別結果から、日本海側に位置する柏崎刈羽原子力発電所の落雷特性としては、冬季雷が支配的である⁽⁶⁾。

※IMPACT…雷観測センサー、標定計算装置により、雷撃の発生位置や電流値を測定するシステム。主に送電線、配電線並びに変電所電力設備への雷撃発生情報の取得を目的に使用している。

(a-3) 年超過確率評価

年超過確率の評価は、発電所敷地内の落雷観測（1996年～2005年）に敷地内の避雷鉄塔及び他号炉主排気筒による落雷の遮蔽を考慮して

行った。上記「(a-1)規格・基準類」の値 150kA について年超過確率を確認した結果、 1.2×10^{-4} /年となった。また、柏崎刈羽原子力発電所敷地への年超過確率 10^{-4} 件/年となる雷撃電流値は約 560kA となるが、避雷鉄塔及び他号炉主排気筒による落雷の遮蔽により 6 号炉及び 7 号炉原子炉建屋への年超過確率 10^{-4} 件/年となる雷撃電流値は、約 156kA となった⁽⁷⁾。

(a-4) 設計基準電流値の策定

上記(a-1)規格・基準類における電流値 150kA は建屋への想定される雷撃電流値について定めている。(a-2)観測記録における電流値 460kA は、より広い新潟県周辺の広範な地域で観測された雷撃電流値を示しており、発電所敷地内の避雷鉄塔及び他号炉主排気筒による落雷の遮蔽の効果を考慮して建屋への雷撃電流値を評価すると 114kA となる⁽⁷⁾。設計基準電流値は、避雷鉄塔等の遮蔽効果を考慮した上で建屋内機器への影響を見るという観点から、原子炉建屋頂部主排気筒への雷撃電流を想定し設定する。(a-1)規格・基準類の電流値 150kA が、(a-3)年超過確率評価において、 1.2×10^{-4} /年であったことから、更なる裕度を確保するため、年超過確率評価 10^{-4} /年の値約 156kA を参考に、200kA と設定する。

(b) 落雷に対する設計方針

設計基準電流値 (200kA) の落雷によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びクラス 3 に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、外部事象防護対象施設の雷害防止対策として、原子炉建屋等への避雷針の設置、接地網の敷設による接地抵抗の低減等を行うとともに、安全保護系への雷サージ侵入の抑制を図る回路設計を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、落雷により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

(c) 参考文献

- (1) 電気技術指針 JEAG4608(2007)：「原子力発電所の耐雷指針」
- (2) T40 電力中央研究所報告 発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド (1996)
- (3) IEC/TR 61662(1995)：Assessment of the risk of damage due to lightning.
- (4) 消防庁通知(2005)：平成 17 年 1 月 14 日消防危第 14 号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

- (5) JIS-Z 9290-4(2009)雷保護第4部：建築物内の電気及び電子システム
- (6) T03024 電力中央研究所 日本海沿岸地域における冬季の上向き雷電流特性 -1989年度～2002年度-
- (7) 相原(1994). 冬季雷に対する雷撃様相並びに雷しゃへい理論の検討ーモデル実験並びに放電シミュレーションによる検討ー電力中央研究所報告, No. T93063

f. 地滑り防護に関する基本方針

地滑りによってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、斜面からの離隔距離を確保し地滑りのおそれがない位置に設置することにより安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、地滑りにより損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

g. 生物学的事象防護に関する基本方針

生物学的事象として海洋生物であるクラゲ等の発生、小動物の侵入によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、クラゲ等の発生に対しては、クラゲ等を含む塵芥による原子炉補機冷却海水系等への影響を防止するため、除塵装置及び海水ストレーナを設置し、必要に応じて塵芥を除去することにより、安全機能を損なわない設計とする。

小動物の侵入に対しては、屋内設備は建屋止水処置等により、屋外設備は端子箱貫通部の閉止処置等を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、生物学的事象により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

2.1.1.2 人為事象

(1) 設計上考慮すべき人為事象

発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）は、網羅的に抽出するために、発電所敷地及びその周辺での発生実績の有無に関わらず、国内外の基準や文献等に基づき事象を収集し、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害等の事象を考慮する。

なお、人為事象の収集及び網羅性の確保に当たっては、「2.1.1.1 (1) 設計上

考慮すべき自然現象」における a～h の文献を用いている。

これらの事象について、柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺での発生可能性、安全施設への影響度、事象進展速度や事象進展に対する時間余裕の観点から、発電用原子炉施設に影響を与えるおそれがある事象として、火災・爆発（森林火災、近隣工場等の火災・爆発、航空機落下火災等）、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害を選定する。

評価の詳細について、「別添 1-1 1.2 外部事象に対する 1 次評価」に示す。

a. 航空機落下に関する基本方針

発電所周辺の飛行場、航空路及び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、柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率を評価したところ、落下確率は約 3.4×10^{-8} 回/炉・年であり 10^{-7} 回/炉・年を下回ることから、航空機落下防護については設計上考慮する必要がないことを確認した。

(別添 1-1 添付資料 2 柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率)

(2) 設計上考慮すべき人為事象に対する設計方針

安全施設は、(1)で考慮するとした発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全機能を損なわない設計とする。発電所敷地内又はその周辺において想定される事象のうち外部火災を除く事象に対する設計方針を以下に示す。なお、外部火災に対する設計方針については「2.4」に示す。

a. 有毒ガス防護に関する基本方針

有毒ガスの漏えいについては固定施設（石油コンビナート等）と可動施設（陸上輸送、海上輸送）からの流出が考えられる。

発電所周辺地域には、以下の交通運輸状況及び産業施設がある。

発電所周辺地域の主要道路としては、一般国道 352 号線、一般国道 116 号線等があり、鉄道路線としては、東日本旅客鉄道株式会社越後線及び信越本線がある。

柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に液化石油ガス輸送船舶の航路等一般航路があるが、柏崎刈羽原子力発電所からの離隔距離が確保されている。

発電所周辺の石油コンビナート施設については、発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設は存在しない。なお、柏崎刈羽原子力発電所に最も近い石油コンビナート地区は南西約 39km の直江津地区である。

また、発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート以外の主要な産業施設がある。

これらの主要道路，鉄道路線，一般航路及び石油コンビナート施設等は，柏崎刈羽原子力発電所から離隔距離が確保されており，危険物を積載した車両及び船舶を含む事故等による柏崎刈羽原子力発電所への有毒ガスを考慮する必要はない。

発電所敷地内に貯蔵している化学物質については，貯蔵設備からの漏えいを想定した場合でも，非常用換気空調系等により中央制御室の居住性が損なわれることはない。

b. 船舶の衝突

航路を通行する船舶の衝突に対し，航路からの離隔距離を確保することにより，安全施設が安全機能を損なわない設計とする。

小型船舶が発電所近傍で漂流した場合でも，敷地前面の防波堤等に衝突して止まることから取水性に影響はない。また，カーテン・ウォール前面に小型船舶が到達した場合であっても，深層から取水することにより，取水機能が損なわれるような閉塞は生じない設計とする。

また，船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合は，オイルフェンスを設置する措置を講じる。

したがって，船舶の衝突によって取水路が閉塞することはなく，安全施設の安全機能を損なうことはない。

c. 電磁的障害

安全保護系は，電磁的障害による擾乱に対して，制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，通信ラインにおける光ケーブルの適用等により，影響を受けない設計としている。

したがって，電磁的障害により安全施設の安全機能を損なうことはない。

2.1.2 自然現象の組み合わせ

自然現象，人為事象の組み合わせについては，地震，津波，風（台風），竜巻，低温（凍結），降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，森林火災，生物学的事象等の影響を考慮する。

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を特定し，その組み合わせの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

「別添 1-1 6. 図 7」に自然現象/人為事象の組み合わせ事象の評価フローを示す。

(1) 組み合わせる自然現象の抽出

a. 検討対象事象

検討対象とする外部事象は，「2.1.1.1」と同様に，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・随件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。

b. 検討対象

「2.1.1.1」において単一の自然現象/人為事象として一次評価で評価完了とした事象についても，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「別添 1-1 6. 表 7」に示す。

c. 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「別添 1-1 6. 表 8」に示す。

(2) 組み合わせる自然現象に対する設計方針

自然現象の組み合わせについては，「2.1.2(1)」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。

a. 重畳を考慮する事象数及び規模について

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。また，相関性のある事象については同時に発生しているものとして考慮する。

想定する規模については，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。

b. 重畳影響分類

自然現象及び人為事象ごとに影響モード（荷重、閉塞、熱影響等）を整理し、全ての組み合わせを網羅的に検討し、影響が増長する組み合わせを特定する。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観点で分類する。

- ・ 組み合わせた場合も影響が増長しない（影響が小さくなるものを含む）
- ・ 同時に発生する可能性が極めて低い
- ・ 増長する影響について、個々の事象の検討で包絡されている、又は個々の事象の設計余裕に包絡されている

「別添 1-1 6. 図 8」に示したとおり、上記の観点のいずれか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ことを確認。

影響が増長するケースについては、それらを「別添 1-1 6. 図 10」のとおり 4 つのタイプに分類し、新たな影響モードが生じるモードについても考慮する。

分類結果を「別添 1-1 6. 表 9」に示す。

c. 個別評価

プラントへの影響が想定される重畳について、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」、「ほかの重畳事象で代表させるもの」、「単一事象に包絡されるもの」に整理し検討する。

検討結果を「別添 1-1 6. 表 10」に示す。

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を特定し、その中から荷重の大きさ等の観点で代表性のある、地震、積雪、火山の組み合わせの影響に対し、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、地震とほかの自然現象との組み合わせについては、設置許可基準規則第 4 条「地震による損傷の防止」においても考慮している。

2.1.3 大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象に対する重要安全施設への考慮

発電用原子炉施設のうち重要安全施設は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮する。

重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象は、「2.1.1.1」において選定した自然現象に含まれる。また、重要安全施設を含む安全施設は、「2.1.1.1」において選定した自然現象又はその組み合わせにより安全機能を損なわない設計としている。安全機能を損なわなければ設計基準事故に至らないため、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象又はその組み合わせと設計基準事故に因果関係はない。したがって、因果関係の観点からは、重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力を組み合わせる必要はなく、重要安全施設は、個々の事象に対して安全機能を損なわない設計とする。

2.2 竜巻

2.2.1 竜巻に対する防護に関して、設計上対処すべき施設を抽出するための方針

(1) 竜巻から防護する施設の抽出

竜巻によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

竜巻影響評価の対象施設としては、「(2-1) 評価対象施設」及び「(2-2) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設」に示す。

また、竜巻に対する防護設計を行う、外部事象防護対象施設のうち評価対象施設、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設を「評価対象施設等」という。

(2) 竜巻影響評価が必要となる施設の選定

(2-1) 評価対象施設

本評価における評価対象施設は、外部事象防護対象施設のうち、屋内設備は内包する建屋により防護する設計とすることから、屋外設備（建屋含む）、外気との接続がある設備及び外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備に分類し、抽出する。また、外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備については、建屋、構築物の構造健全性維持可否の観点、設計飛来物の衝突による開口部の開放又は開口部建具の貫通の観点から、設備を抽出する。

なお、外部事象防護対象施設に含まれない構築物、系統及び機器は、竜巻及びその随件事象により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

評価対象施設の抽出フローを「別添2-1 添付資料1.2」に示す。抽出結果を以下に示す。

また、上記の抽出に加え、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備（系統、機器）及び建屋・構築物のうち、竜巻の影響を受ける可能性がある設備を抽出し、追加で評価対象施設に反映する施設がないことを確認した。

耐震Sクラス設備等のうち評価対象施設の抽出フロー及び抽出結果を「別添2-1 添付資料1.3」に示す。

(屋外設備)

- ・軽油タンク
- ・非常用ディーゼル発電機燃料移送系
- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋 海水熱交換器区域
- ・コントロール建屋

- ・廃棄物処理建屋

(外気との接続がある設備)

- ・非常用ディーゼル発電機吸気系
- ・非常用換気空調系 (非常用ディーゼル発電機電気品区域換気空調系 (非常用ディーゼル発電機非常用送風機含む), 中央制御室換気空調系, コントロール建屋計測制御・電源盤区域換気空調系, 海水熱交換器区域換気空調系)

(外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備)

- ・原子炉建屋 1 階 非常用ディーゼル発電機室設置設備 (非常用ディーゼル発電機, 非常用ディーゼル発電機ディーゼル機関, 非常用ディーゼル発電機始動用空気系, 非常用ディーゼル発電機冷却水系)
- ・原子炉建屋 4 階 設置設備 (使用済燃料プール (使用済燃料貯蔵ラックを含む), 燃料プール注入ライン逆止弁)
- ・タービン建屋 海水熱交換器区域 1 階 非常用電気品室 (A) 設置設備 (パワーセンタ, モータコントロールセンタ)
- ・タービン建屋 海水熱交換器区域 1 階 階段室等設置設備 (原子炉補機冷却系配管, 原子炉補機冷却海水系配管)

(2-2) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設としては、発電所構内の構築物、系統及び機器 (安全重要度クラス 1, 2, 3 及びノンクラス) の中から、以下の a., b. 及び c. に示す、倒壊により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある施設、気圧差等による損傷により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある屋外の外部事象防護対象施設の付属設備、竜巻随伴事象 (火災, 溢水, 外部電源喪失) による二次的影響の観点から波及的影響を及ぼし得る施設を抽出する。

外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設の抽出フロー及び抽出結果を「別添 2-1 添付資料 1.4」に示す。

a. 機械的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物、系統及び機器のうち、倒壊により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある施設を抽出する。抽出結果は以下のとおり。

- ・主排気筒 (6 号及び 7 号炉への影響)
- ・5 号炉主排気筒 (6 号炉への影響)
- ・5 号炉タービン建屋 (6 号炉への影響)
- ・サービス建屋 (6 号及び 7 号炉への影響)

- ・原子炉建屋天井クレーン（自号炉への影響）
- ・燃料交換機（自号炉への影響）

b. 機能的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，気圧差等による損傷により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある屋外の外部事象防護対象施設の付属設備を抽出する。抽出結果は以下のとおり。

- ・非常用ディーゼル発電機排気管
- ・非常用ディーゼル発電機排気消音器
- ・ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電機機関本体，潤滑油補給タンク，燃料ドレンタンク）

c. 二次的影響の観点での抽出

発電所構内の構築物，系統及び機器のうち，二次的影響の観点から，竜巻随伴事象の影響により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある施設として，以下を抽出した。

- ・溢水により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性のある設備（純水タンク，ろ過水タンク，NSD 収集タンク）
- ・火災発生により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある設備（変圧器，5号炉軽油タンク，第一ガスタービン発電機用燃料タンク）
- ・外部電源

(2-3) 建屋の選定

「(2-1) 評価対象施設」の屋外設備にて，建屋も含めて抽出する。

2.2.2 発生を想定する竜巻の設定

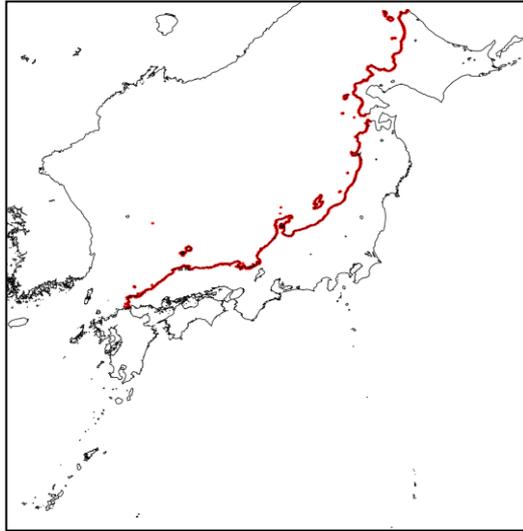
2.2.2.1 竜巻検討地域の設定

柏崎刈羽原子力発電所に対する竜巻検討地域について，発電所が立地する地域と気象条件の類似性の観点で検討を行い，第2.2.2.1-1 図に示すとおり北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸の海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲を竜巻検討地域に設定した（面積約33,395km²）。

竜巻検討地域は，竜巻発生要因となる気象条件（総観場）を確認する観点から，「総観場の分析に基づく地域特性の確認」，「過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認」により地域特性を確認し，設定した。

また，一般的に大気現象は時空間スケールの階層構造が見られ，ある大気現象はスケールの小さな現象を内包しているため，大きな竜巻の発生要因となる環境

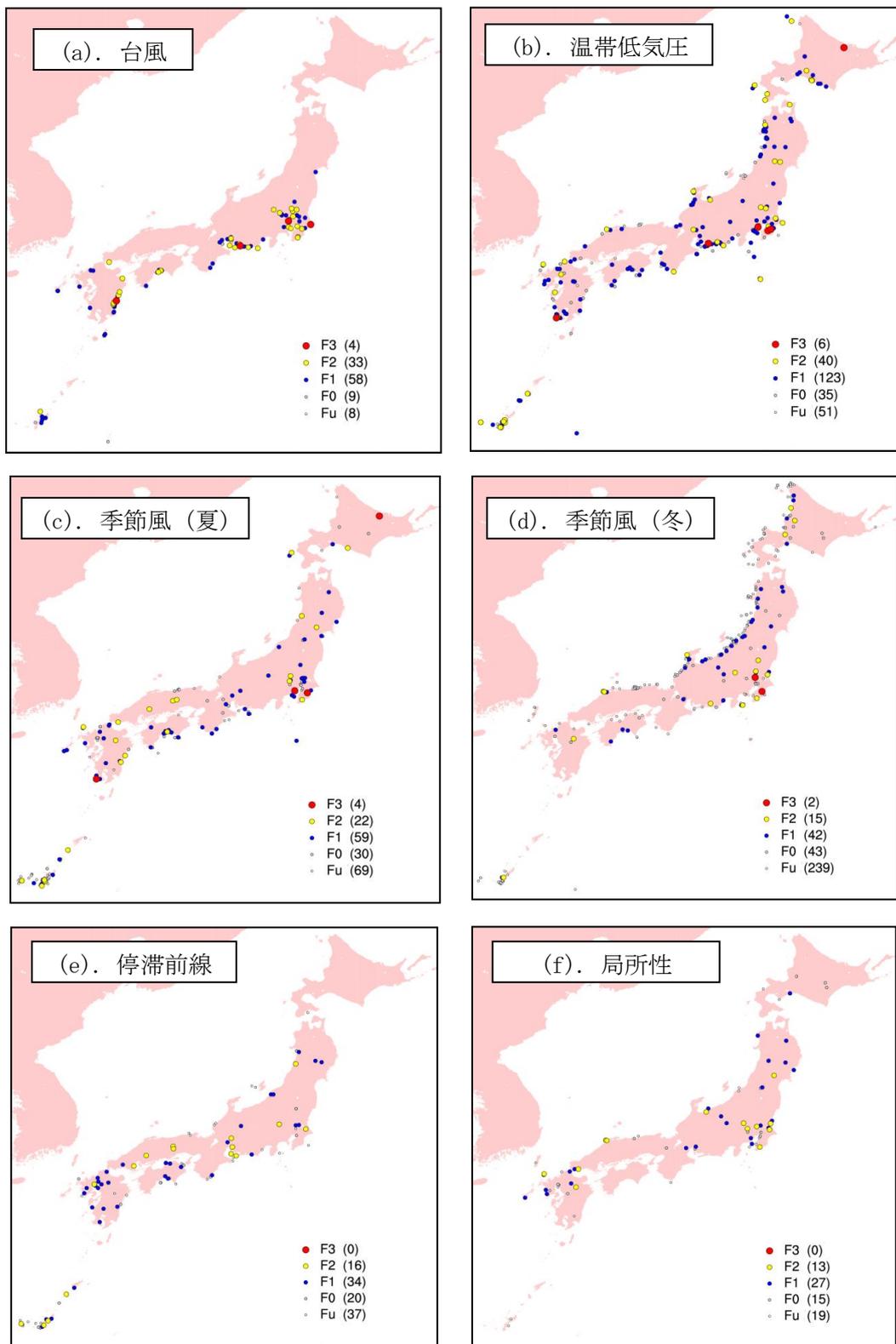
場の形成のし易さ（大きな竜巻の発生に対する大気場の必要条件）を把握する観点から、「突風関連指数に基づく地域特性の確認」により竜巻の発生スケールに近いメソスケールの気象場が有する地域性と齟齬がないことについても確認した。



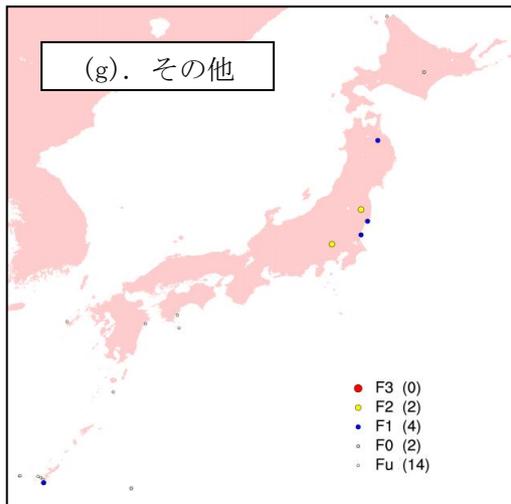
第 2.2.2.1-1 図 竜巻検討地域（赤線部）

a. 総観場の分析に基づく地域特性の確認

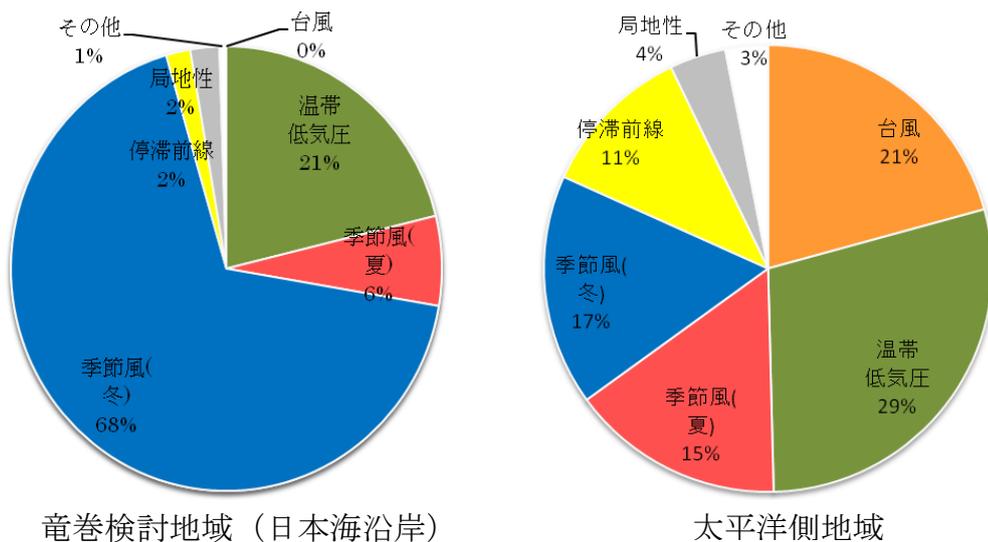
竜巻を発生させる親雲の発生要因⁽¹⁾を考慮して 7 種の総観場に再編し、発生分布の特徴を分析した。第 2.2.2.1-2 図の総観場ごとの竜巻発生地点の分布、第 2.2.2.1-3 図の竜巻検討地域（日本海沿岸）と太平洋側地域の総観場の特徴の比較に示すとおり、日本海側と太平洋側では竜巻の発生要因となる総観場が大きく異なっており、竜巻検討地域を日本海側とすることは妥当な設定である。



第 2.2.2.1-2 図 総観場ごとの竜巻発生地点の分布 (1961 年～2012 年)
 (気象庁竜巻等の突風データベース⁽²⁾のデータをもとに作成)



第 2.2.2.1-2 図(続き) 総観場ごとのスケール別竜巻発生地点の分布 (1961 年～2012 年)
(気象庁竜巻等の突風データベース⁽²⁾のデータをもとに作成)



第 2.2.2.1-3 図 竜巻の総観場の特徴の比較

b. 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認

日本で竜巻が集中する地域については、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説⁽¹⁾」に、全国 19 箇所の竜巻集中地域が示されており、第 2.2.2.1-4 図に示すとおり、柏崎刈羽原子力発電所は、竜巻集中地域④(新潟県・富山県)に立地している。

気象庁竜巻等の突風データベース⁽²⁾によると、1961 年 1 月から 2012 年 6 月の 51.5 年間に発生が確認された竜巻の個数は竜巻集中地域④で 45 事例であり、この期間に竜巻集中地域④で観測されているもっとも強い竜巻は F1 となる。

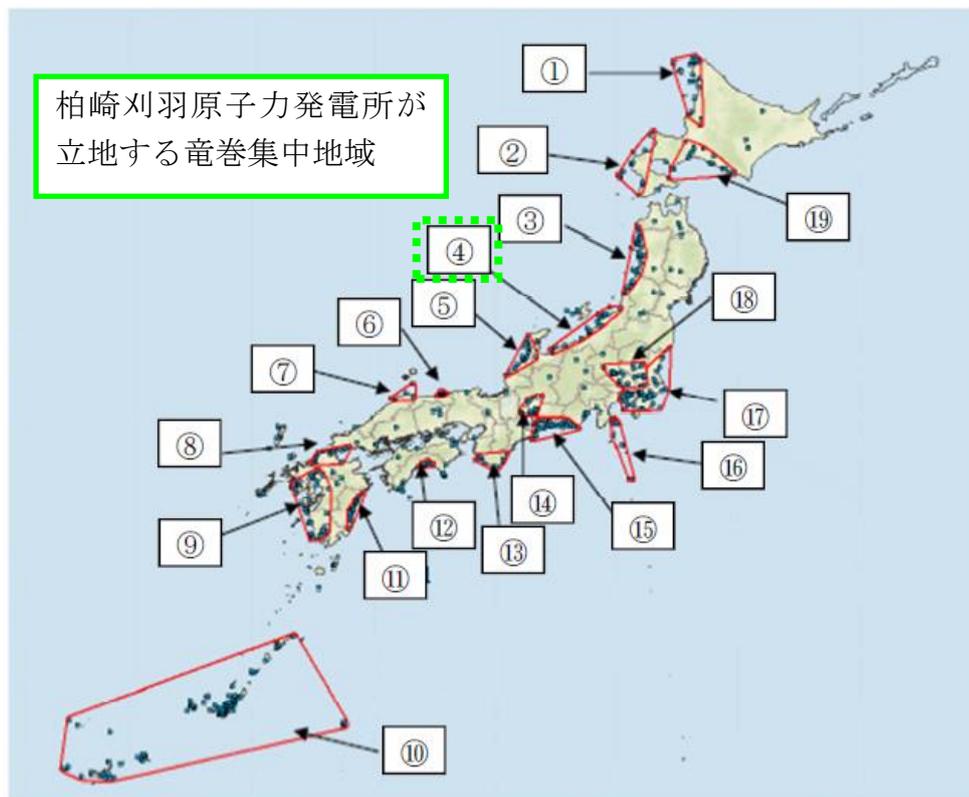
(「別添 2-1」の表 2.2.3.1)

竜巻発生の影響評価の観点からすると、データ数は多い方がよく、また竜巻

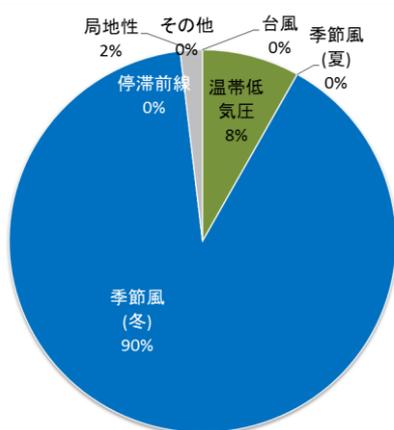
集中地域④以外の日本海沿岸ではF2規模の竜巻も発生しているため、竜巻検討地域としては北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸を設定する。竜巻検討地域での竜巻個数は192個であり、観測されたもっとも強い竜巻はF2である。

なお、竜巻検討地域と竜巻集中地域④のF1以上の竜巻発生確率は、 2.9×10^{-5} 、 2.5×10^{-5} (個/年/km²)であることから、竜巻検討地域は単位面積あたりの竜巻発生数が大きくなるよう、かつ藤田スケール（以下「Fスケール」という。）が大きな竜巻が含まれるような設定となっている。

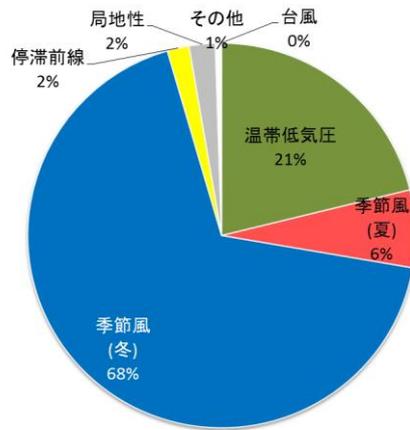
竜巻の地域特性を確認するため、第2.2.2.1-5図に示すとおり、竜巻集中地域④と竜巻検討地域、竜巻集中地域④に隣接する竜巻集中地域③（青森県日本海側～山形県）と⑤（石川県西部～福井県北西部）における総観場の比較を行い、いずれの地域でも“季節性（冬）”と“温帯低気圧”が竜巻発生の主要因となっていることから、北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸を竜巻検討地域にすることは竜巻集中地域における地域特性の観点からも妥当な設定である。



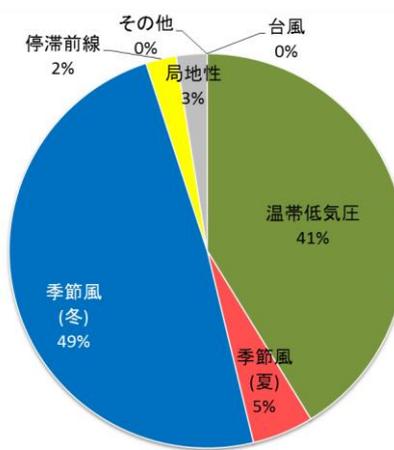
第2.2.2.1-4図 竜巻の発生する地点と竜巻が集中する19個の地域
（「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」⁽¹⁾より引用）



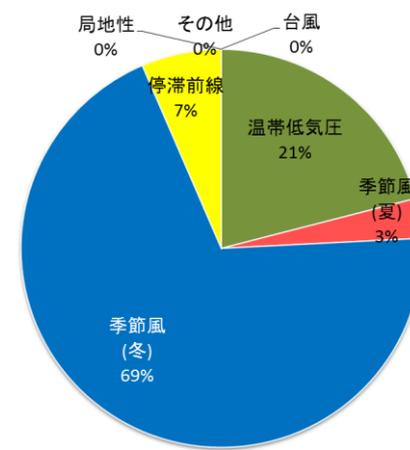
竜巻集中地域④（新潟県・富山県）



竜巻検討地域（日本海沿岸）



竜巻集中地域③
（青森県日本海側～山形県）



竜巻集中地域⑤
（石川県西部～福井県北西部）

第 2.2.2.1-5 図 各地域の竜巻発生要因に関する総観場の特徴

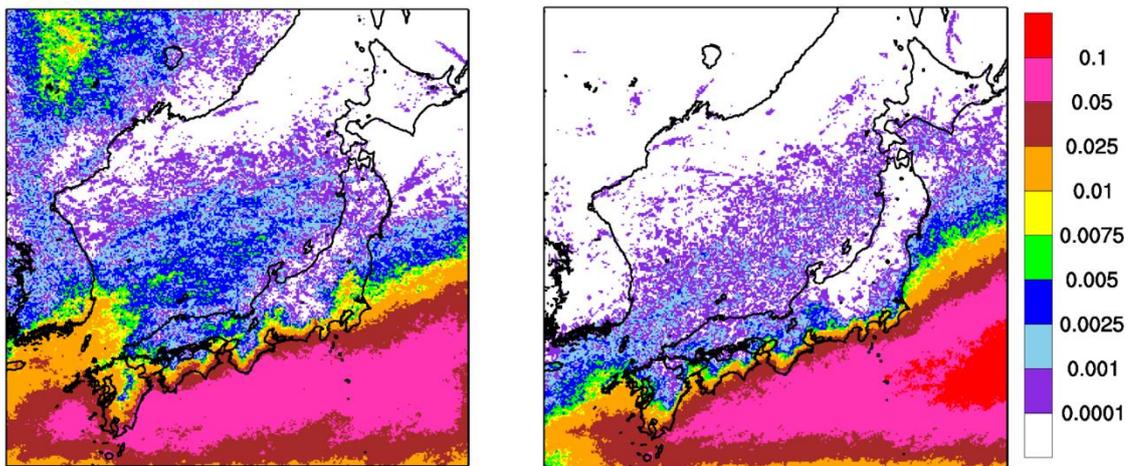
c. 突風関連指数に基づく地域特性の確認^{(3)~(42)}

総観場での確認に加え、大きな被害をもたらす強い竜巻の発生要因となる環境場の形成のし易さについての地域特性を確認するため、気象庁や米国気象局においても竜巻探知・予測に活用されており、竜巻の発生のしやすさを数値的に示すことができる突風関連指数を用いて地域特性の確認を行った。

大きな被害をもたらす竜巻の親雲の多くはスーパーセルであり、スーパーセルが発生しやすい環境場として、大気下層の鉛直シア（異なる高度間での風向・風速差）と、強い上昇気流を発生させるきっかけとしての不安定な大気場が必要であることから、突風関連指数としては、竜巻の発生実態を解明する研究において国内外で広く利用され、大気不安定度を表す指標である「CAPE」、鉛直シアに伴って発生する水平渦度が親雲に取り込まれる度合いを表す指標である

「SReH」を採用し、両者の指標が同時に高くなる頻度について、地域的な特徴を確認する分析を実施した。(第2.2.2.1-6図) また、両者を掛け合わせた指標「EHI」による分析も実施し、SReH及びCAPEの同時超過頻度分析との比較を実施した。(第2.2.2.1-7図)

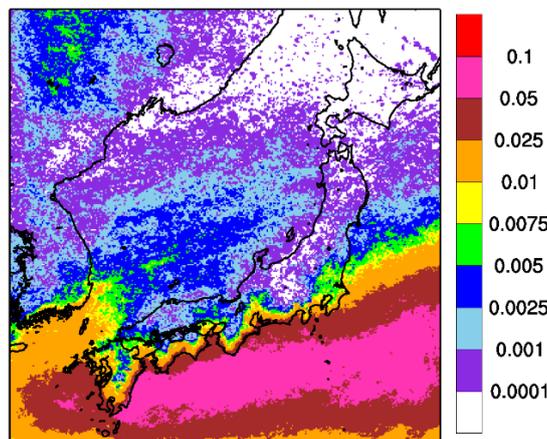
これらの分析より、スーパーセルに伴って発生する大規模な竜巻形成につながる環境場の発生頻度分布の観点からも、日本海側と太平洋側で大きな地域特性の違いがあることを確認した。



暖候期5月～10月

寒候期11月～4月

第2.2.2.1-6図 F3規模以上を対象としたSReH, CAPE同時超過頻度分布(単位:%)



第2.2.2.1-7図 EHIの超過頻度分布(単位:%, EHI閾値:3.3)

2.2.2.2 基準竜巻の設定

基準竜巻の最大風速は、過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})のうち、大きな風速を設定する。

a. 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})

第2.2.2.2-1表より竜巻検討地域における過去最大竜巻はF2であり、Fスケールと風速の関係より風速は50~69m/sであることから、 V_{B1} はF2の風速範囲の上限値69m/sとする。

第2.2.2.2-1表 竜巻検討地域における竜巻の観測記録 (F1より大きい竜巻)
(気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成)

現象区別	発生日時	発生場所	Fスケール※	総観場
竜巻	1962/09/28 14:20	北海道宗谷支庁 東利尻町	(F2)	寒冷前線
竜巻	1971/10/17 05:00	北海道留萌支庁 羽幌町	(F2)	寒気の移流
竜巻	1974/10/03 19:05	北海道檜山支庁 奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	温暖前線
竜巻	1974/10/20 15:00	北海道檜山支庁 檜山郡上ノ国町	(F1~F2)	寒冷前線
竜巻	1975/05/31 18:10	島根県 簸川郡 大社町	(F2)	日本海低気圧・局地 性じょう乱・寒気の 移流
竜巻	1975/09/08 01:30	北海道檜山支庁 奥尻郡奥尻町	(F1~F2)	日本海低気圧・暖気 の移流
竜巻	1979/11/02 01:58	北海道渡島支庁 松前郡松前町	(F2)	日本海低気圧・温暖 前線
竜巻	1989/03/16 19:20	島根県 簸川郡 大社町	(F2)	局地性じょう乱・寒 気の移流
竜巻	1990/04/06 02:55	石川県 羽咋郡 富来町	F2	オホーツク海低気 圧・気圧の谷
竜巻	1999/11/25 15:40	秋田県 八森町	(F1~F2)	日本海低気圧・寒冷 前線

※：Fスケールは、ア) 被害の詳細な情報等から推定できたもの、イ) 文献等からの引用又は被害のおおまかな情報等から推定したものがあり、F2以上の事例ではア)とイ)を区別し、イ)の場合には値を括弧で囲んでいる。

b. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

以下(a)～(e)の検討の結果、海岸線から陸側及び海側それぞれ5km全域(竜巻検討地域)を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速は59m/sとした。

また、使用した竜巻の統計データの不確実性については「別添2-1」の2.3で検討を実施しており、Fスケール不明の海上竜巻の発生数は、陸上竜巻のFスケール別発生比率で按分して取り扱っているが、竜巻検討地域を「北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸」にすることに伴う竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性(日本海側はFスケール不明の海上竜巻が多い)を踏まえ、参照する年超過確率を 10^{-5} から一桁下げた年超過確率 10^{-6} における風速である76m/sを V_{B2} とする。

竜巻最大風速のハザード曲線は、気象庁「竜巻等の突風データベース⁽²⁾」より竜巻検討地域における竜巻の観測記録を抽出・評価し、既往の算定法(Wen&Chu及びGarson et al.)に基づき算定する。具体的には、東京工芸大学委託成果⁽⁴³⁾を参考とし、「別添2-1 添付資料2.3」に示すフローに従いハザード曲線を算定する。

ハザード曲線は、竜巻検討地域の竜巻特性を適切に考慮できる海岸線から海側、陸側それぞれ5kmの範囲内で算定した。加えて、竜巻検討地域を海岸線に沿って1km範囲ごとに短冊状に細分化した場合のハザード曲線も算定することにより、竜巻発生確認数のばらつきやFスケールの偏りの影響も検討した。

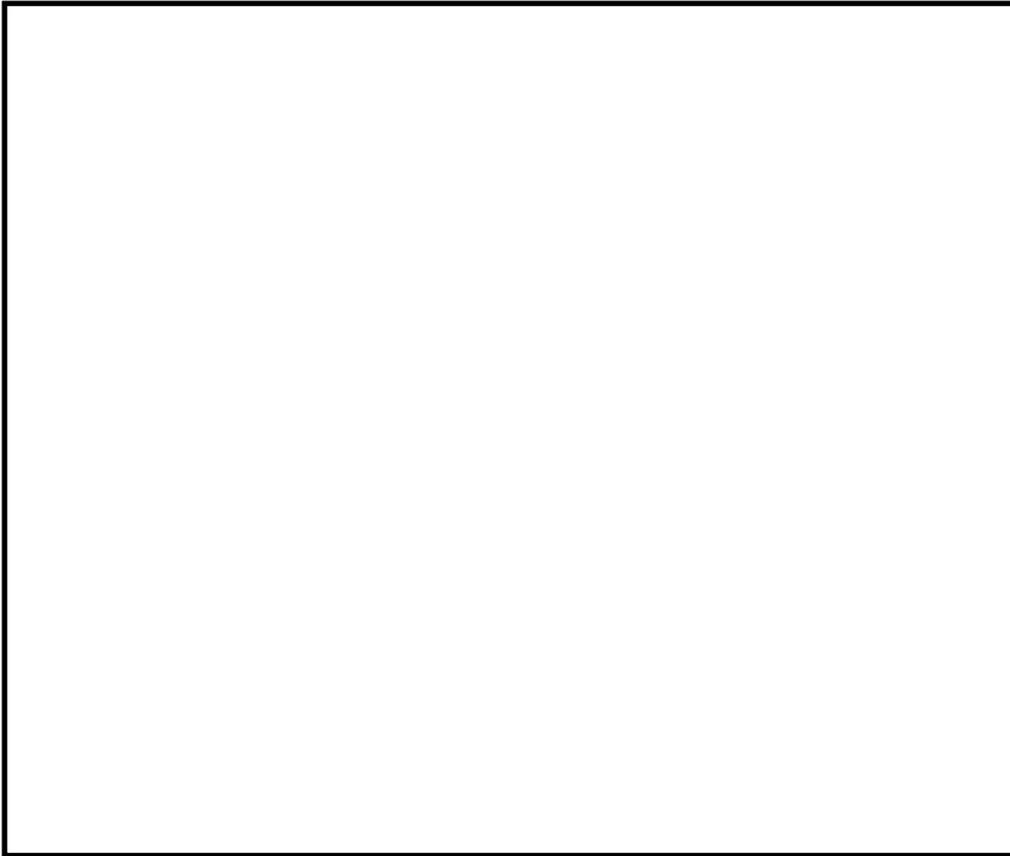
(a) 竜巻影響エリアの設定

(a-1) 竜巻影響エリア

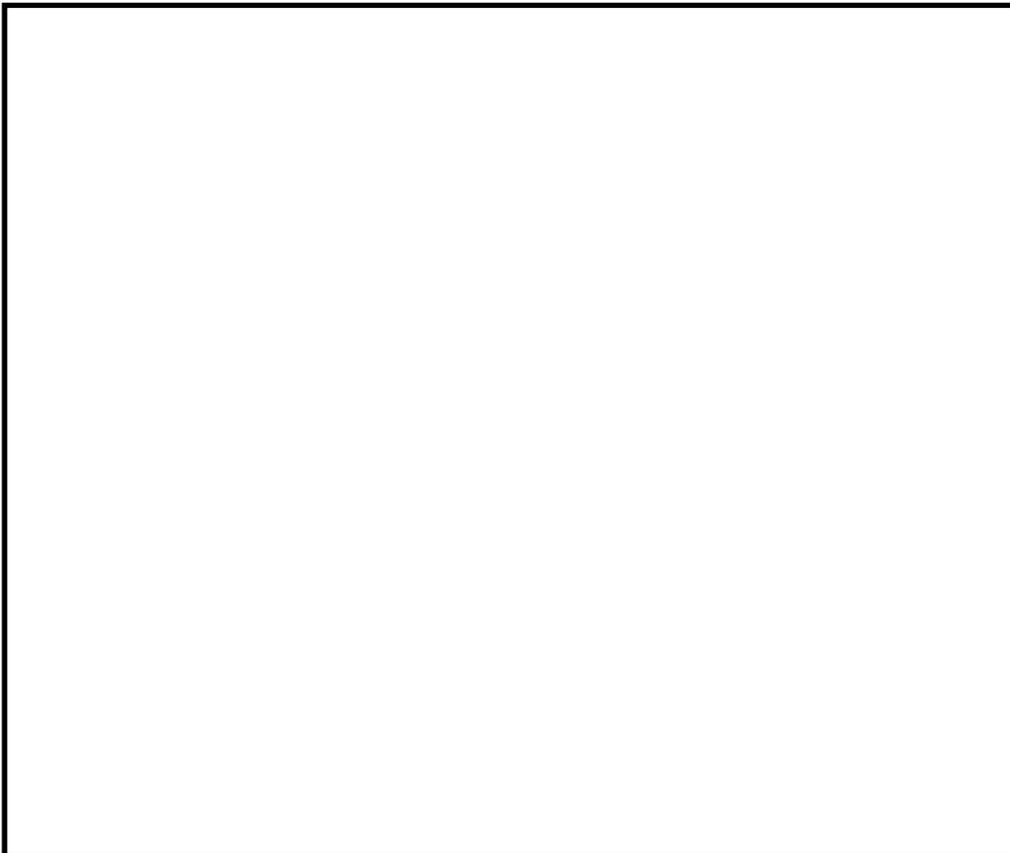
竜巻影響エリアは、柏崎刈羽原子力発電所の号炉ごとに設定する。号炉ごとのすべての評価対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域(被害幅、被害長さから設定)に基づいて、竜巻影響エリアを設定する。

第2.2.2.2-1図に柏崎刈羽原子力発電所6号炉の竜巻影響エリア、第2.2.2.2-2図に7号炉の竜巻影響エリアを示す。竜巻影響エリアは、柏崎刈羽原子力発電所6号又は7号炉の評価対象施設を含む長方形エリアの対角線長さが約260mであることを考慮して、各号炉の評価対象施設を包絡する円形のエリア(直径300m、面積約 $7.1 \times 10^4 \text{m}^2$)として設定する。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。



第 2.2.2.2-1 図 6号炉 竜巻影響エリア



第 2.2.2.2-2 図 7号炉 竜巻影響エリア

(a-2) 竜巻風速，被害幅及び被害長さの確率分布並びに相関係数

竜巻検討地域における 1961 年 1 月～2012 年 6 月までの 51.5 年間の竜巻の発生数，被害幅及び被害長さをもとに，確率密度分布については「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(平成 25 年 6 月 19 日 原規技発 13061911 号 原子力規制委員会決定)」(以下「ガイド」という。)及びガイドが参考としている東京工芸大学委託成果⁽⁴³⁾を参照し，対数正規分布に従うものとする。(第 2.2.2.2-3 図～第 2.2.2.2-8 図)

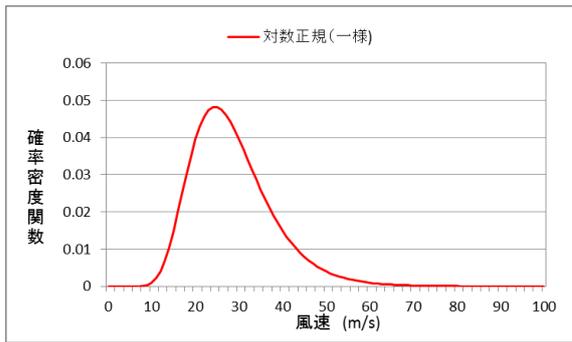
なお，疑似的な竜巻の作成において被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には，観測された竜巻と同程度の竜巻を想定し，それに相当する被害幅又は被害長さを与えている。その際は，被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることにより，保守的に評価を行う。

また，1961 年以降の観測データのみを用いて，竜巻風速，被害幅及び被害長さについて相関係数を求める。(第 2.2.2.2-2 表)

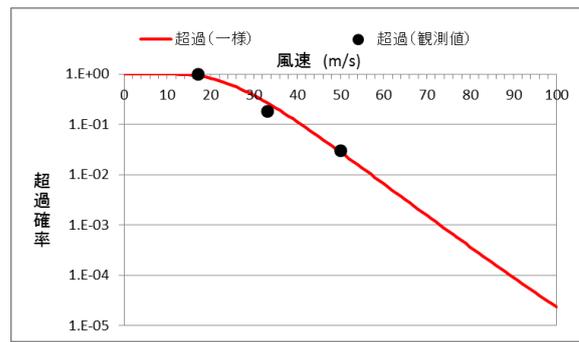
第 2.2.2.2-2 表 竜巻風速，被害幅，被害長さの相関係数 (単位なし)

相関係数	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.050*	0.312
被害幅	-0.050*	1.000	0.462
被害長さ	0.312	0.462	1.000

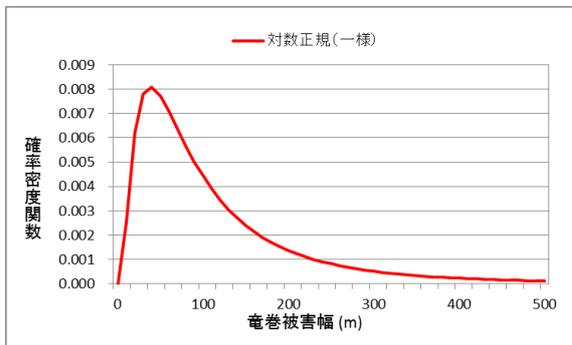
*風速と被害幅は無相関との知見が得られたため，ハザード算定の際には，相関係数 0 として計算



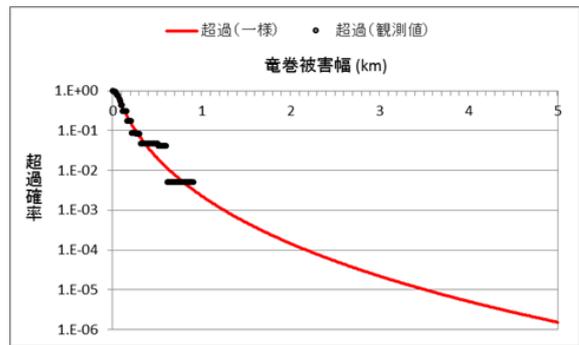
第2.2.2.2-3図 竜巻風速の確率密度分布



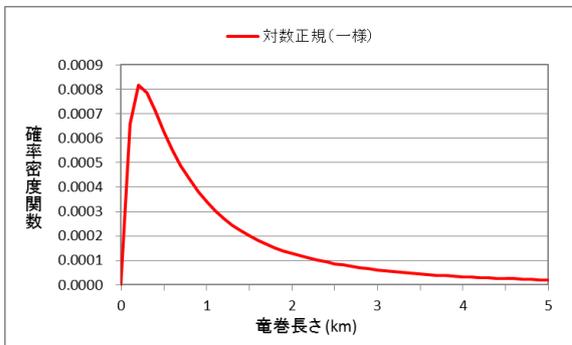
第2.2.2.2-4図 竜巻風速の超過確率分布



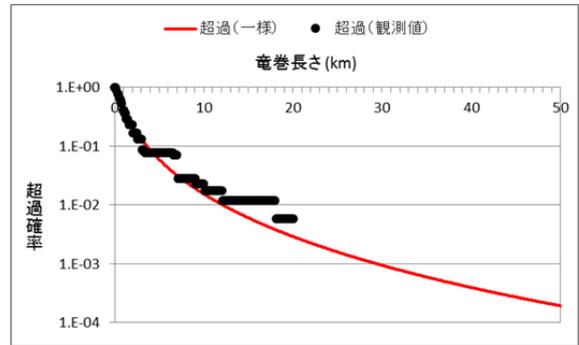
第2.2.2.2-5図 被害幅の確率密度分布



第2.2.2.2-6図 被害幅の超過確率分布



第2.2.2.2-7図 被害長さの確率密度分布



第2.2.2.2-8図 被害長さの超過確率分布

(b) 竜巻の年発生数の確率分布の設定

(b-1) 竜巻の年発生数の確率分布

設定に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きい分布であることから、東京工芸大学委託成果⁽⁴³⁾にならってポリヤ分布により設定した。なお、ポリヤ分布は、ガイドにおいて推奨されているポアソン分布を一般化したものであり、年発生数の年々変動の実態をポアソン分布よりも適合性が高い形で表現できることを確認している。

(b-2) 竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに、1961年1月～2012年6月までの51.5年間の統計量をFスケール別に算出する。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつきを踏まえ、以下の①～③の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

- ① 被害が小さくて見過ごされやすいF0及びFスケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。
- ② 被害が比較的軽微なF1竜巻に対しては、観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。
- ③ 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられるF2及びF3竜巻に対しては、観測記録が整備された1961年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を用いる。

また、Fスケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてそのFスケールが推定されるため、陸上でのFスケール不明の竜巻は、被害が少ないF0竜巻とみなす。海上で発生しその後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上5kmの範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸5kmの範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各Fスケールに分類する。（第2.2.2.2-3表）

第 2.2.2.2-3 表 竜巻発生数の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	74	24	40	10	0	13	105	192
	平均値(年)	1.44	0.47	0.78	0.19	-	0.25	2.04	3.73
	標準偏差(年)	2.25	1.75	0.90	0.49	-	0.71	5.92	7.81
	CV(年)	1.56	3.76	1.16	2.52	-	2.83	2.90	2.09
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	46	24	21	1	0	12	105	163
	平均値(年)	2.14	1.12	0.98	0.05	-	0.56	4.88	7.58
	標準偏差(年)	3.11	2.61	0.91	0.22	-	1.02	8.49	11.07
	CV(年)	1.45	2.34	0.93	4.64	-	1.83	1.74	1.46
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	27	22	5	0	0	7	91	125
	平均値(年)	4.91	4.00	0.91	-	-	1.27	16.55	22.73
	標準偏差(年)	5.55	4.32	1.24	-	-	1.69	11.41	15.10
	CV(年)	1.13	1.08	1.36	-	-	1.33	0.69	0.66
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	333	206	51	10	0	66	853	1186
	平均値(年)	6.44	4.00	0.98	0.19	-	1.27	16.55	22.99
	標準偏差(年)	4.75	4.32	0.91	0.49	-	1.69	11.41	12.36
	CV(年)	0.74	1.08	0.93	2.52	-	1.33	0.69	0.54
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	1187
	平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	-	-	-	23.05
	標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	-	-	-	8.97
	CV(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	-	-	-	0.39

(c) 竜巻最大風速の確率密度分布の設定

(c-1) 竜巻最大風速の確率密度分布

(a-2)に示すとおり、竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さをもとに、確率密度分布については、ガイド及びガイドが参考としている東京工芸大学委託成果⁽⁴³⁾を参照し、対数正規分布に従うものとする。

(c-2) 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した陸上発生竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

(c-3) 1km 範囲に細分化した評価

海側の竜巻発生位置は不明な場合が多く、セグメント長さ（短冊内の竜巻の移動長さ）が精度良く求められないため、海側 0-1km のセグメント長さの評価に陸側 0-1km 短冊の値等を代用する方法を用いて評価した。陸側 0-1km の長さで代用した場合、ハザードの風速は 58.4m/s と±5km ケースとほぼ同じとなる。海側 0-1km のハザードは、不確実性が最も大きな短冊であり、そのセグメント長さの取り方によって結果が 59～62m/s の範囲となることから、基準値設定に影響しない。

(d) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

ハザード曲線は、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求める。竜巻の年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式(1)⁽⁴⁴⁾で示される。

$$P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (1)$$

ここで、

N : 竜巻の年発生数

v : 竜巻の年平均発生数

T : 年数

β は分布パラメータであり式(2)で示される。

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (2)$$

ここで、

σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

D をリスク評価対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象と定義し、 $R(V_0)$ をリスク評価対象構造物が1つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率と定義すると、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式(3)で示される。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta vR(V_0)T]^{-1/\beta} \quad (3)$$

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 （つまり竜巻検討地域の面積約33,395km²）、1つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式(4)で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (4)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$ は、 $DA(V_0)$ の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式(4)により $R(V_0)$ を推定して、式(3)により $P_{V_0, T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅 w 、被害長さ l 、移動方向 α 及び構造物の寸法を A, B とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は式(5)で示される。⁽⁴⁵⁾

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 &+ \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\
 &+ AB \int_{V_0}^{\infty} f(V) dV \quad (5)
 \end{aligned}$$

ここで、 $W(V_0)$ は竜巻風速が V_0 以上となる幅であり、式(6)で示される。 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面にリスク評価対象構造物を投影したときの長さであり、式(7)で示される。

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \quad (6)$$

ここで、

V_{\min} : 被害幅 w 内の最小竜巻風速

V_0 : 被害が発生する最小風速

$$\begin{aligned}
 H(\alpha) &= B |\sin \alpha| + A |\cos \alpha| \\
 G(\alpha) &= A |\sin \alpha| + B |\cos \alpha| \quad (7)
 \end{aligned}$$

本評価ではリスク評価対象構造物を円形構造物（竜巻影響エリア）で設定しているため、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$ とともに竜巻影響エリアの直径 300 m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。円の直径を D_0 とした場合の計算式は式(8)で示される。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 &+ D_0 \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} W(V_0) f(V, w) dV dw \\
 &+ (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^{\infty} f(V) dV \quad (8)
 \end{aligned}$$

V_{min} は、竜巻被害が発生する最小風速であり、Garson は gale intensity velocity と呼んでいる (Gale とは非常に強い風の意)。米国の気象局 (National Weather Service) では、34~47 ノット (17.5~24.2m/s) とされている。日本の気象庁では、気象通報にも用いられている風力階級において、風力 8 が疾強風 (gale, 17.2~20.7m/s), 風力 9 は大強風 (strong gale, 20.8~24.4m/s) と分類されており、風力 9 では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める」とされている。

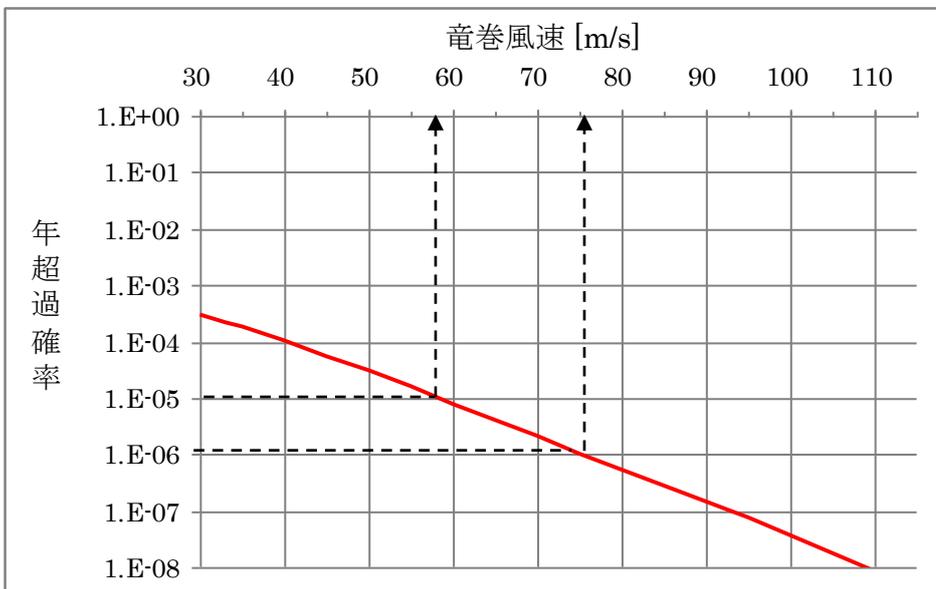
以上より、これらの風速を包括するよう、 $V_{min}=25\text{m/s}$ とした。この値は、F0 (17~32m/s) のほぼ中央値に相当する。

(e) 年超過確率(P_{B2})に対応する最大風速(V_{B2})の算定

海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km 全域 (竜巻検討地域) を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると第 2.2.2.2-9 図に示すとおり 59m/s となった。

また、年超過確率を 10^{-5} から一桁下げた年超過確率 10^{-6} における風速 (V_{B2}) を求めると 76m/s となった。

なお、1km 範囲ごとに短冊状に細分化した場合のハザード曲線については、算出を実施したものの、その技術的説明性が乏しいと考え、 V_{B2} の設定には使用しないものとした。(別添 2-1 添付資料 2.3 (参考資料 3))



第 2.2.2.2-9 図 竜巻最大風速のハザード曲線 (海側, 陸側 5km 範囲)

c. 基準竜巻の最大風速(V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=69\text{ m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=76\text{m/s}$ のうち、大きい風速である76m/sを柏崎刈羽原子力発電所における基準竜巻の最大風速 V_B とする。

2.2.2.3 設計竜巻の設定

(1) 設計竜巻の最大風速(V_D)の設定

柏崎刈羽原子力発電所が立地する地域の特性として、周辺の地形や竜巻の移動方向を考慮して、基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し、設計竜巻の最大風速を設定する。

a. 地形効果による竜巻風速への影響

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、(a)地形起伏による影響、(b)地表面粗度による影響、について既往の研究において示されており、その知見を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形効果による竜巻の増幅可能性について検討する。また、既往の研究に基づく地形起伏及び地表面粗度による影響に関する知見の詳細については、「別添 2-1 添付資料 2.4」に示す。

(a) 地形起伏による影響^{(46)~(48)}

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動するとき、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動するときには強まる。

(b) 地表面粗度による影響^{(49)~(63)}

風は地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗の影響を受けやすく、風速は、地表面において0となり上空に向かうにつれて増加する。地表面粗度は竜巻の旋回流を減衰させる効果を有し、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することで風速が減衰することも示唆されていることから、地表面粗度の増加とともに竜巻に起因する強風の風速を低下させるといえる。

b. 柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形

柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺の地形を第 2.2.2.3-1 図、柏崎刈羽原子力発電所東西方向の鉛直断面での地形起伏を第 2.2.2.3-2 図、柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺の地表面粗度を第 2.2.2.3-3 図に示す。発電所が立地する敷地は、北西が日本海に面し、三方を森林に囲まれた標高 60m 前後のなだらかな丘陵地である。

c. 竜巻の移動方向の分析

柏崎刈羽原子力発電所の周辺地域を対象に竜巻の移動方向に関する分析を行う。なお、分析の対象とする地域は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説⁽¹⁾」に示されている竜巻集中地域を参考に、集中地域③(青森県日本海側～山形県)、④(新潟県・富山県)及び⑤(石川県西部～福井県北西部)と

した。

第 2.2.2.3-4 図に竜巻集中地域④周辺で発生した竜巻の移動方向，第 2.2.2.3-5 図に竜巻集中地域③，④及び⑤において過去に発生した竜巻の移動方向の頻度を分析した結果を示す。竜巻の移動方向の分析の結果，柏崎刈羽原子力発電所周辺で発生する竜巻は，陸側から海側（東から西）に向かう竜巻は極めて少なく，発電所西方の海上から東方向（陸側）へ向かう方向が多い。

d. 竜巻風速の増幅に関する検討

(a) 地形起伏による竜巻増幅

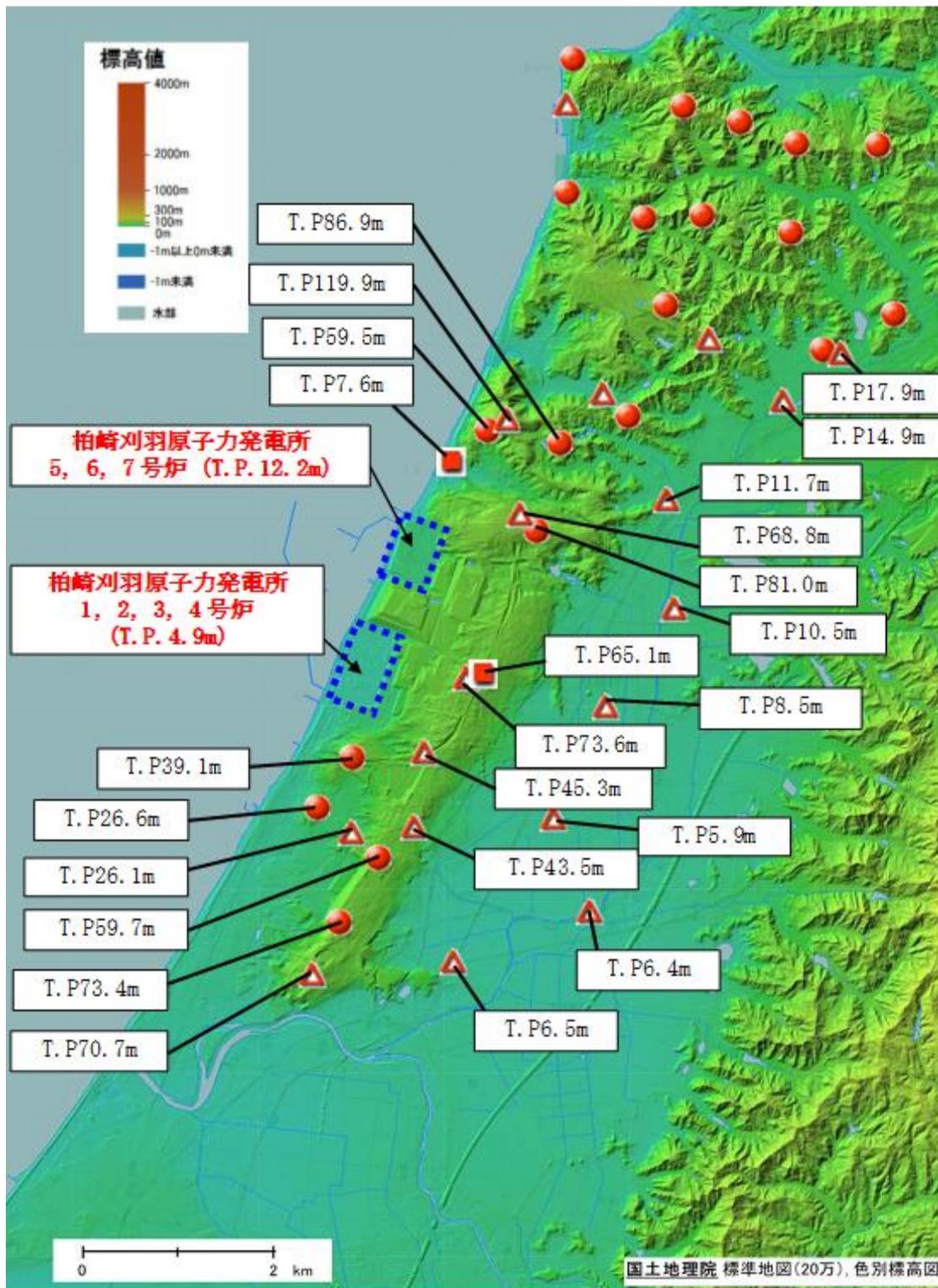
柏崎刈羽原子力発電所周辺で発生する竜巻は，地形が平坦な海側から発電所敷地に進入する可能性が高く発電所敷地自体も平坦であるため竜巻が増幅することはないと考えられる。万が一発電所敷地外の東側（例えば刈羽村の平地）で竜巻が発生し，その竜巻が海側に向かって移動し，発電所敷地内に進入した場合，竜巻はなだらかな丘陵を通過する。この場合，丘陵がなだらかであるため，地形効果による竜巻の増幅はない。

(b) 地表面粗度による竜巻増幅

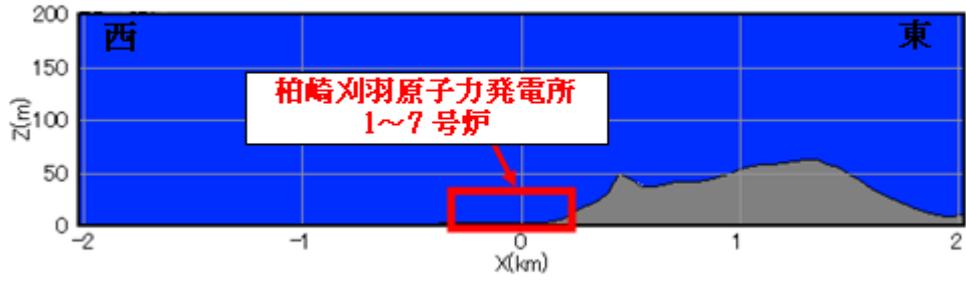
柏崎刈羽原子力発電所周辺では，発電所西方の海上から東方向（陸側）へ向かう竜巻の発生が極めて多く，竜巻が海上から陸側に移動する際には，地表面粗度の小さい海上から粗度の大きな陸上に上陸するため，粗度により減衰するものと考えられる。

e. 設計竜巻の最大風速 V_D

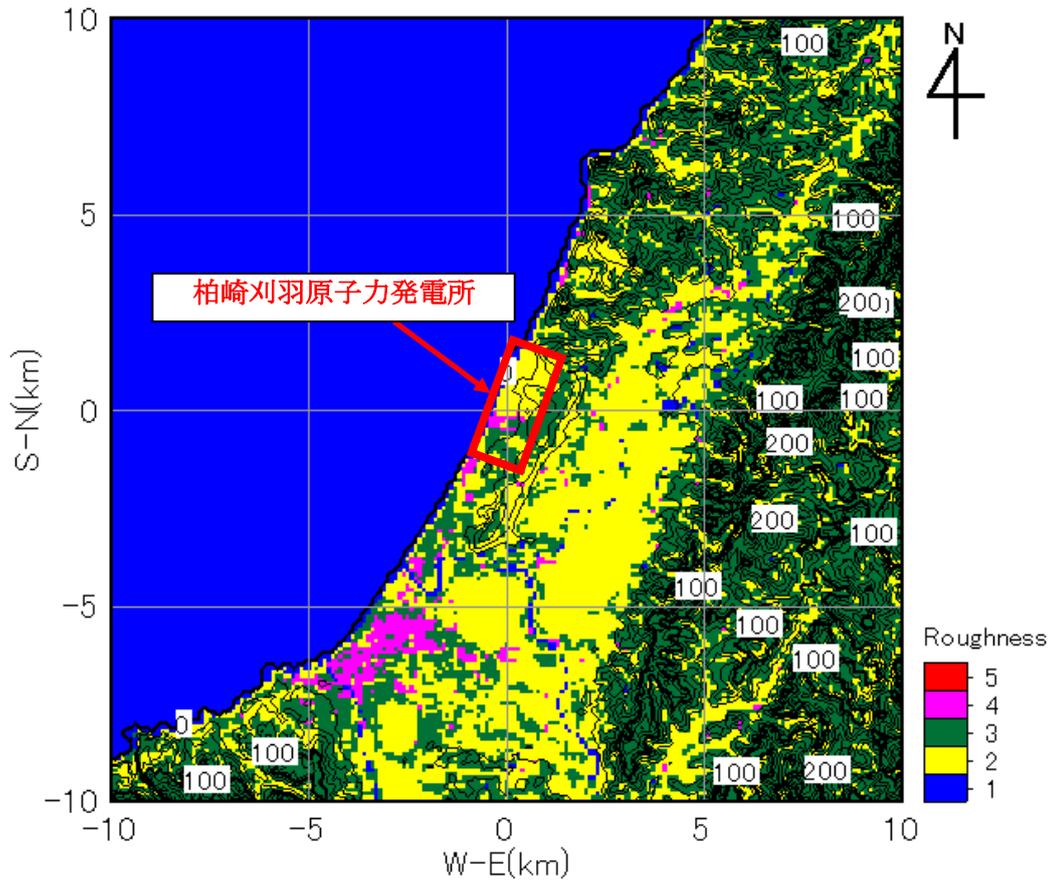
以上のことから，柏崎刈羽原子力発電所では，地形効果による竜巻の増幅を考慮しない。一方，将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ，設計竜巻の最大風速 V_D は F3 の風速範囲の上限値 92m/s とする。



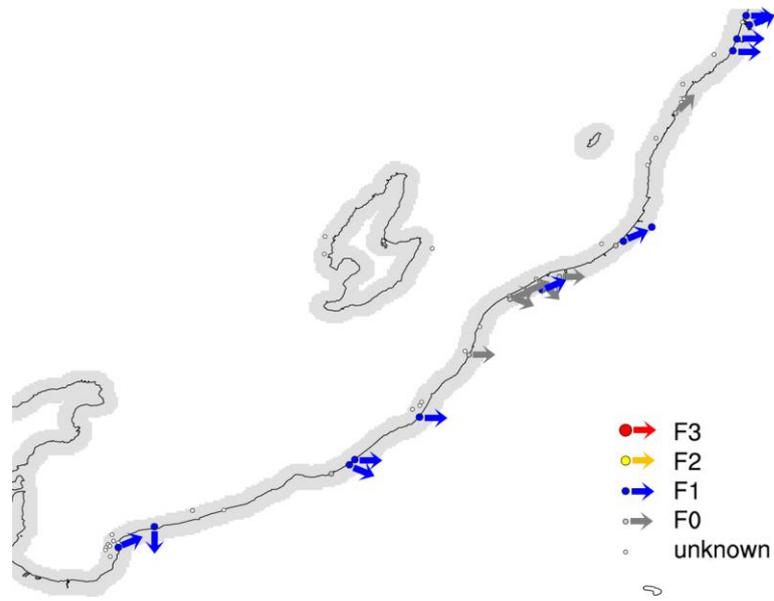
第 2. 2. 2. 3-1 図 柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形
(国土地理院「電子国土Web」より作成)



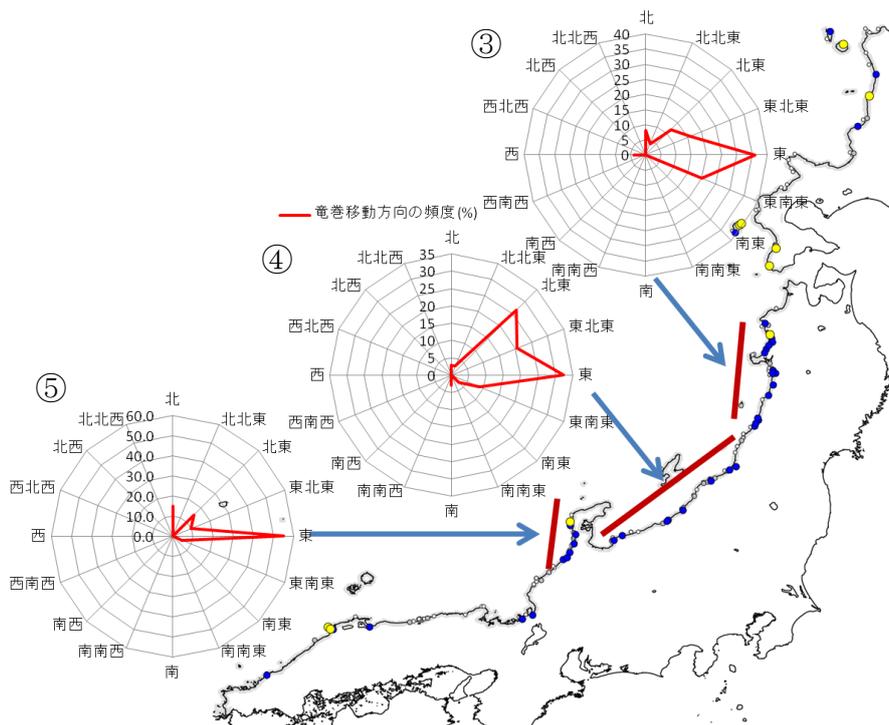
第 2. 2. 2. 3-2 図 柏崎刈羽原子力発電所東西方向の鉛直断面での地形起伏



第 2. 2. 2. 3-3 図 柏崎刈羽原子力発電所周辺の地表面粗度



第 2. 2. 2. 3-4 図 竜巻集中地域④における竜巻移動方向 (F0 以上のみ)



第 2. 2. 2. 3-5 図 竜巻集中地域③, ④及び⑤における竜巻移動方向の頻度

(2) 設計竜巻の特性値の設定

竜巻風速場としてフジタモデル⁽⁶⁴⁾を適用した場合の設計竜巻の特性値については、第 2.2.2.3-1 表のとおり設定する。なお、最大気圧低下量と最大気圧低下率は、数値解析によって計算する。フジタモデルの適用の妥当性については、「別添 2-2」、設計竜巻の特性値の設定の詳細については、「別添 2-1 添付資料 2-5」に示す。

a. 設計竜巻の移動速度 (V_T)

設計竜巻の移動速度 (V_T) は、風速場モデルに依存しない日本の竜巻観測記録 (竜巻等の突風データベース) に基づいた竜巻移動速度 (平均値) と最大風速との関係⁽⁴³⁾を参照して設定した以下の算定式を用いて V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \quad (9)$$

b. 設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm}) は、米国 NRC の基準類⁽³⁰⁾を参考として、風速場モデルに依存しない以下の算定式を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \quad (10)$$

c. 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) は、風速場モデルに依存しない以下の値を用いる。

$$R_m = 30 \text{ (m)} \quad (11)$$

d. 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{\max}) ・ 最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{\max}$)

設計竜巻の最大気圧低下量 ・ 最大気圧低下率については、速度分布が既知である場合、流れの連続式と運動量保存式から導出される以下の圧力ポアソン方程式を解くことにより、圧力を求める。

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) = - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial U_i^2}{\partial x_j \partial x_j} \right) \quad (12)$$

ここで、 x_i は座標 (x, y, z) を、 U_i 及び p は風速ベクトル及び圧力を表す。また、 ν は動粘性係数を、 ρ は空気密度を表す。なお、添え字 i, j は 1 から

3までの整数とする。

最大気圧変化率は空間微分値に移動速度を乗じる以下の式により求める。

$$\frac{\partial p}{\partial t} = V_T \frac{\partial p}{\partial \chi} \quad (13)$$

第 2.2.2.3-1 表 設計竜巻の特性値

設計竜巻の 最大風速 (V_D) [m/s]	移動速度 (V_T) [m/s]	最大接線風 速 (V_{Rm}) [m/s]	最大接線風 速半径 (R_m) [m/s]	最大気圧低 下量 (ΔP_{max}) [hPa]	最大気圧低 下率 ($(dp/dt)_{max}$) [hPa / s]
92	14	78	30	64	42

2.2.3 設計荷重の設定

2.2.3.1 設計竜巻荷重

設計竜巻により評価対象施設等に作用する荷重として「風圧力による荷重 (W_w)」, 「気圧差による荷重 (W_p)」及び「設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)」を以下に示すとおり算出する。

(1) 風圧力の設定

設計竜巻の最大風速による荷重であり、「建築基準法施行令」(昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号), 「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示 1454 号 (平成 12 年 5 月 31 日) に準拠して, 風圧力による荷重 (W_w) を次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A \quad (14)$$

ここで,

W_w : 風圧力による荷重

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数 (施設の形状や風圧力が作用する部位 (屋根・壁等) に応じて設定する。)

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2 \quad (15)$$

ここで,

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対してせい弱と考えられる評価対象施設等が存在する場合には、フジタモデルの風速場により求まる鉛直方向の風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

(2) 気圧差による圧力

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び評価対象施設を内包する施設の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる評価対象施設等の内外の気圧差による圧力荷重が発生する。保守的に「閉じた施設」を想定し、気圧差による荷重 (W_p) をフジタモデルにより求まる最大気圧低下量 (ΔP_{\max}) を用いて次式のとおり算出する。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A \quad (16)$$

ここで、

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{\max} : フジタモデルにより求まる最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

(3) 飛来物の衝撃荷重

a. 設計飛来物の設定

飛来物に係る現地調査結果及び「原子炉発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発 13061911 号 原子力規制委員会決定）」に示されている設計飛来物の設定例を参照し設定する。

現地調査にて確認した発電所構内の常設物（マンホール蓋等）、仮設物（資機材等）及び二次飛来物（屋根等）、また、それらの飛散防止対策の可否、固定状況、過去の被害事例や代表性（運動エネルギー、貫通力）について検討した結果を、「別添 2-1 添付資料 3.3」に示す。

設計飛来物は、浮き上がりの有無、運動エネルギー、貫通力の大きさから、鋼製材、角型鋼管（大）、足場パイプ及び鋼製足場板を選定した。ただし、これらのうち飛散防止対策を講じるものは除く。

また、非常用換気空調系ルーバへの防護対策として設置する竜巻防護ネットを通過する可能性があり、鋼製材、角型鋼管（大）、足場パイプ及び鋼製足場板にて包含できないことから、砂利を設計飛来物とする。

飛来物の発生防止対策については、現地調査により抽出した飛来物や持ち込まれる物品の寸法、質量及び形状から飛来の有無を判断し、運動エネルギー、貫通力を考慮して、衝突時に建屋等又は竜巻防護対策設備に与えるエネルギー

が設計飛来物（極小飛来物である砂利を除く。）によるものより大きく，外部事象防護対象施設を防護できない可能性があるものは，浮き上がりや横滑りの有無を考慮した上で，固縛，固定又は外部事象防護対象施設からの離隔対策を実施し，確実に飛来物とならない運用とする。

b. 設計飛来物の速度の設定

設計竜巻による設計飛来物の最大水平速度 (V_{Hmax}) 及び最大鉛直速度 (V_{Vmax}) は，設計竜巻の最大風速 92m/s にて，フジタモデルを適用した風速場の中の速度を算出した。また，設計飛来物の浮き上がり高さ及び飛散距離も同様に算出した。その結果を第 2.2.3.1-1 表に示す。

第 2.2.3.1-1 表 柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物

飛来物の種類	砂利	鋼製材	角型鋼管 (大)	足場パイプ	鋼製足場板
					
サイズ (m)	長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行き 4×0.1×0.1	長さ×幅×奥行き 4×0.05×0.05	長さ×幅×奥行き 4×0.25×0.04
質量 (kg)	0.2	135	28	11	14
最大水平速度 (m/s)	14	10	16	42	55
最大鉛直速度 (m/s)	7	7	7	38	18
浮き上がり高さ (m)	0.08	0.08	0.15	0.57+(148) ^{※1, ※2}	52+(148) ^{※1, ※2}
飛散距離 (m)	18	9	20	261	373

※1：() 内の値は飛来物初期高さ（地面からの物品の高さ）

※2：大湊側における最も高所の5号炉主排気筒頂部に設置されている状況を想定し設定

c. 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲及び衝撃荷重の設定

飛来物の衝突方向及び衝突面積を考慮して設計飛来物が評価対象施設等に衝突した場合の影響が大きくなる向きで衝撃荷重を算出する。

①鋼製材、角型鋼管（大）及び砂利の影響高さ

ランキン渦モデルを採用している米国 Regulatory Guide 1.76 では、小さな飛来物(スチールパイプ等)はどの高さへの衝突も想定しているのに対し、重量物（自動車）に対しては 9.1m (30feet) 以下に影響を及ぼすこととしている。

一方、フジタモデルを適用した場合の鋼製材、角型鋼管（大）及び砂利の影響高さは、第 2.2.3.1-1 表のとおり、最大でも 0.15m と僅かであるが、これらの飛来物は（飛来物の寸法で最も長い辺は 4.2m）回転して飛散することも想定される。

また、高所の建屋開口部等への影響を及ぼす可能性があるものには飛散防止対策を講じることから、鋼製材、角型鋼管（大）及び砂利は原則地上高 10m 迄影響を及ぼすものとする。

②足場パイプ及び鋼製足場板の影響高さ

足場パイプ及び鋼製足場板の浮き上がり高さは、第 2.2.3.1-1 表のとおり、高所の建屋開口部等へ影響を及ぼす可能性があることから、どの高さへの衝突も想定するものとする。

(4) 設計竜巻荷重の組み合わせ

評価対象施設の設計に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 (W_w)、気圧差による荷重 (W_p) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として、以下のとおり設定する。

$$\begin{aligned} W_{T1} &= W_p \\ W_{T2} &= W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \end{aligned} \quad (17)$$

なお、評価対象施設等には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる

2.2.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおり設定する。

(1) 評価対象施設等に常時作用する荷重、運転時荷重

評価対象施設等に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重、内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象であり⁽³³⁾、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び降水である。これらの自然現象の組み合わせにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮する必要はない。

a. 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による荷重は発生しない。

b. 雪

柏崎刈羽原子力発電所が立地する地域においては、冬期、竜巻が襲来する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時や竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

c. ひょう

ひょうは積乱雲から降る直径 5mm 以上の氷の粒⁽⁶⁵⁾であり、仮に直径 10cm 程度の大型のひょうを想定した場合、その重量は約 0.5kg となる。10cm 程度のひょうの終端速度は 59m/s⁽⁶⁶⁾、運動エネルギーは約 0.9kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

d. 降水

竜巻と降水が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(3) 設計基準事故時荷重

外部事象防護対象施設は、設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため、設計竜巻は原子炉冷却材喪失事故等の設計基準事故の起因とはならないことから、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、設計基準事故時荷重と設計竜巻荷重との組み合わせは考慮しない。

仮に、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、評価対象施設等のうち設計基準事故荷重が生じ、竜巻による風荷重等の影響を受ける屋外設備としては、軽油タンク及び非常用ディーゼル発電機燃料移送系が考

えられるが、設計基準事故時においても、運転時の系統内圧力及び温度と変わらないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、竜巻と設計基準事故時荷重の組み合わせは考慮しない。

2.2.4 評価対象施設等の設計方針

2.2.4.1 設計方針

評価対象施設等については、以下の設計方針のとおり、設計荷重に対してその構造健全性を維持する設計とする。評価対象施設等以外の外部事象防護対象施設については、竜巻及びその随件事象に対して機能維持する、若しくは、竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 許容限界

建屋・構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回る設計とする。

- ・建築基準法
- ・日本工業規格
- ・日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生する限界厚さと部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回る設計とする。

- ・日本工業規格
- ・日本機械学会の基準・指針類
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）等

(2) 屋外設備（建屋含む）

屋外設備は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて施設の補強、非常用ディーゼル発電機燃料移送系防護板の設置等の防護対策を

講じる方針とする。

なお、**外殻となる施設等による防護機能が期待できる屋内設備は、建屋又は構築物による防護により、設計荷重に対して安全機能を損なわない方針とする。**

a. 軽油タンク

軽油タンクは、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物（鋼製材、角型鋼管（大）、砂利、足場パイプ、鋼製足場板のことをいう。以下、2.2.4及び2.2.5において同じ。）による衝撃荷重、軽油タンクに常時作用する荷重、運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

b. 非常用ディーゼル発電機燃料移送系

非常用ディーゼル発電機燃料移送系のポンプ、配管及び弁は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、非常用ディーゼル発電機燃料移送系のポンプ、配管及び弁に常時作用する荷重、運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物に対して非常用ディーゼル発電機燃料移送系防護板の設置等の防護対策を行う。

c. 原子炉建屋、タービン建屋 海水熱交換器区域、コントロール建屋、廃棄物処理建屋

原子炉建屋、タービン建屋 海水熱交換器区域、コントロール建屋、廃棄物処理建屋は、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重、各建屋に常時作用する荷重、運転時荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁、開口部（扉類）の破損により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により当該建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備に関する方針は(4)に示す。

(3) 外気との接続がある設備

外気との接続がある設備は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて竜巻防護ネットの設置等の防護対策を講じる方針とする。

a. 非常用ディーゼル発電機吸気系

非常用ディーゼル発電機吸気系は、原子炉建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重は作用しない。非常用ディーゼル発電機吸気系の建屋開口部は鋼製材、角型鋼管（大）、砂利の影響高さ地上10mより高いこと、足

場パイプ、鋼製足場板に対しては竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。

気圧差による荷重に対して、非常用ディーゼル発電機吸気系の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

b. 非常用ディーゼル発電機非常用送風機

非常用ディーゼル発電機非常用送風機は、原子炉建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重は作用しない。非常用ディーゼル発電機非常用送風機を設置している区画の建屋開口部は鋼製材、角型鋼管（大）、砂利の影響高さ地上10mより高いこと、足場パイプ、鋼製足場板に対しては竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。また、気圧差による荷重に対して、非常用ディーゼル発電機非常用送風機の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

c. 非常用換気空調系（非常用ディーゼル発電機電気品区域換気空調系（非常用ディーゼル発電機非常用送風機含む）、中央制御室換気空調系、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系、海水熱交換器区域換気空調系）

非常用換気空調系は、各建屋に内包されていることを考慮すると、風圧力による荷重は作用しない。非常用換気空調系の地上10m以下の建屋開口部には設計飛来物（極小飛来物である砂利を除く。）の衝突に対する竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うこと、地上10mより高い建屋開口部には足場パイプ、鋼製足場板の衝突に対する竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると、砂利を除く設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。なお、砂利による衝撃荷重に対して、安全機能を損なわない設計とする。

(4) 外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備

外殻となる施設等による防護機能が期待できない設備は、設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、必要に応じて施設の補強等の防護対策を講じる方針とする。

a. 原子炉建屋1階 非常用ディーゼル発電機室設置設備、原子炉建屋4階設置設備（使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）、燃料プール注入ライン逆止弁）、タービン建屋 海水熱交換器区域1階 非常用電気品室（A）設置設備、タービン建屋 海水熱交換器区域1階 階段室等設置設備

原子炉建屋1階 非常用ディーゼル発電機室設置設備、タービン建屋海水熱交換器区域1階 非常用電気品室（A）設置設備、タービン建屋海水熱交換器区域1階 階段室等設置設備は、設計飛来物の衝突により、開口部の開放又は開口部建具の貫通が発生することを考慮し、開口部建具の補強等の防護対策を行う。

原子炉建屋 4 階設置設備（使用済燃料プール（使用済燃料貯蔵ラックを含む）、燃料プール注入ライン逆止弁）の区画の建屋開口部は鋼製材，角型鋼管（大），砂利の影響高さ地上 10m より高いこと，足場パイプ，鋼製足場板に対しては竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うことを考慮すると，設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。

(5) 外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る評価対象施設

設計荷重に対する当該施設の健全性評価を行い，必要に応じて施設の補強等の防護対策を講じる方針とする。

a. 主排気筒，5 号炉主排気筒

主排気筒は，設置高さが地上 10m より高いことを考慮すると，鋼製材，角型鋼管（大），砂利による衝撃荷重は作用しない。足場パイプ，鋼製足場板による衝撃荷重及び風圧力による荷重に対して，倒壊により外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

5 号炉主排気筒は，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対して，倒壊により外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

b. 5 号炉タービン建屋，サービス建屋

5 号炉タービン建屋及びサービス建屋は，風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による衝撃荷重に対して，倒壊により外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

c. 原子炉建屋天井クレーン，燃料交換機

原子炉建屋天井クレーン，燃料交換機を内包する原子炉建屋の開口部は，鋼製材，角型鋼管（大），砂利の影響高さ地上 10m より高いこと，足場パイプ，鋼製足場板に対しては竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うことにより，倒壊により外部事象防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

d. 非常用ディーゼル発電機排気管，非常用ディーゼル発電機排気消音器，ミスト管

非常用ディーゼル発電機排気管，非常用ディーゼル発電機排気消音器，ミスト管は，設置高さが地上 10m より高いことを考慮すると，鋼製材，角型鋼管（大），砂利による衝撃荷重は作用しない。足場パイプ，鋼製足場板の衝突による損傷を考慮して，安全上支障のない期間での補修が可能な設計とすることにより，非常用ディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。また，風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して，構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

- e. 竜巻随件事象の影響により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある施設（溢水により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性のある設備，火災発生により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある設備，外部電源）

竜巻随件事象の影響により外部事象防護対象施設の機能を喪失させる可能性がある施設の設計方針は，2.2.5に記載する。

2.2.5 竜巻随件事象に対する評価対象施設の設計方針

(1) 竜巻に伴い発生が想定される事象の抽出

竜巻随件事象は，過去の竜巻被害状況及び柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置から，想定される事象として，火災，溢水及び外部電源喪失を抽出し，事象が発生する場合においても，外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。（別添2-1 添付資料3.4）

(2) 火災

竜巻随件事象として，竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器に衝突する場合，屋外の危険物タンク等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建屋内については，外部事象防護対象施設を設置している区画の開口部が，地上高10mより高い場合には，設計飛来物のうち足場パイプ，鋼製足場板の衝突に対する竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うこと，地上10m以下の場合には設計飛来物の衝突に対する竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うことから，飛来物が侵入することはない。

建屋外については，屋外にある危険物タンク等からの火災がある。火災源と外部事象防護対象施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で，外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とすることを「2.4.3 外部火災に対する設計方針」に記載する。

以上より，竜巻による火災により外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(3) 溢水

竜巻随件事象として，竜巻による飛来物が建屋開口部付近の溢水源に衝突する場合，屋外タンクに飛来物が衝突する場合の溢水が想定される。

建屋内については，外部事象防護対象施設を設置している区画の開口部が，地上高10mより高い場合には，設計飛来物のうち足場パイプ，鋼製足場板の衝突に対する竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うこと，地上10m以下の場合には設計飛来物の衝突に対する竜巻防護ネットの設置等の防護対策を行うことから，

飛来物が侵入することはない。

建屋外については、「第9条:溢水による損傷の防止等」にて、地震時の屋外タンクの破損を想定し、地震起因の溢水が安全系機器に影響を及ぼさない設計としており、竜巻による飛来物で屋外タンク等が損傷して発生する溢水に対しては、上記に包絡されることから、外部事象防護対象施設の安全機能維持に影響を与えることはない。

以上より、竜巻による溢水により外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

(4) 外部電源喪失

設計竜巻、設計竜巻と同時に発生する雷又はダウンバースト等の影響により外部電源喪失が発生する場合については、設計竜巻に対して非常用ディーゼル発電機の構造健全性を維持することにより、外部電源喪失の影響がなく外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

2.2.6 参考文献

- (1) 井上博登, 福西史郎, 鈴木哲夫, 2013: 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(案)及び解説, 独立行政法人原子力安全基盤機構, JNES-RE-2013-9009.
- (2) 気象庁 竜巻等の突風データベース (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>)
- (3) Bluestein, H. B., 2013: Severe Convective Storms and Tornadoes. Springer, 456 pp.
- (4) Brady, R. H., and E. J. Szoke, 1989: A case study of nonmesocyclone tornado development in northeast Colorado: similarities to waterspout formation. Mon. Wea. Rev., 843-856.
- (5) Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. J. Atmos. Res., 21, 634-639.
- (6) Bunkers, M. J., B. A. Klimowski, J. W. Zeitler, R. L. Thompson, and M. L. Weisman, 2000: Predicting supercell motion using a new hodograph technique. Wea. Forecasting, 15, 61-79.
- (7) Burgess, D. W., M. A. Magsig, J. Wurman, D. C. Doswell, and Y. Richardson, 2002: Radar observations of the 3 May 1999 Oklahoma City tornado. Wea. Forecasting, 17, 456-471.
- (8) Chuda, T., and H. Niino, 2005: Climatology of environmental parameters for mesoscale convections in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 83, 391-408.
- (9) Davies, J. M., 1993: Hourly helicity, instability, and EHI in forecasting supercell tornadoes. 17th Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, MO, Amer.

- Meteor. Soc., 107-111.
- (10) Davis-Jones, R., D. Burgess, and M. Foster, 1990: Test of helicity as a tornado forecast parameter. 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB., Canada, Amer. Meteor. Soc., 588-592.
 - (11) Doswell III, C. A., and J. S. Evans, 2003: Proximity sounding analysis for derechos and supercells: an assessment of similarities and differences. Atmos. Res., 67-68, 117-133.
 - (12) Dotzek, N., M. V. Kurgansky, J. Grieser, B. Feuerstein, and P. Nevir, 2005: Observational evidence for exponential tornado intensity distributions over specific kinetic energy. Geophys. Res. Letters, 32, L24813, doi:10.1029/2005GL024583.
 - (13) Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scale. J. Atmos. Sci., 38, 1511-1534.
 - (14) Klemp, J. B., and R. B. Wilhelmson, 1978: Simulations of right- and left-moving storms produced through storm splitting. J. Atmos. Sci., 35, 1097-1110.
 - (15) Lee, B. D., and R. B. Wilhelmson, 1997: The numerical simulation of nonsupercell tornadogenesis. Part II: Evolution of a family of tornadoes along a weak outflow boundary. J. Atmos. Sci., 54, 2387-2415.
 - (16) Mashiko, W., H. Niino, and T. Kato, 2009: Numerical simulation of tornadogenesis in an outer-rainband minisupercell of typhoon Shanshan on 17 September 2006. Mon. Wea. Rev., 137, 4238-4260.
 - (17) Moncrieff, M., and M. J. Miller, 1976: The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 373-394.
 - (18) Noda, A. T., and H. Niino, 2010: A numerical investigation of a supercell tornado: Genesis and vorticity budget. J. Meteor. Soc. Japan, 88, 135-159.
 - (19) Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 85, 369-432.
 - (20) Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 56, 527-530.
 - (21) Ramsdell, J. V. Jr., and J. P. Rishel, 2007: Tornado climatology of the contiguous United States. NUREG/CR-4461, Revision 2.
 - (22) Rasmussen, E. N. : 2003: Refined supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 18, 530-535.
 - (23) Rasmussen, E. N., and D. Blanchard, 1998: A baseline climatology of

- sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. *Wea. Forecasting*, 13, 1148-1164.
- (24) 櫻井溪太, 川村隆一, 2008: 日本における竜巻発生環境場と予測可能性. 日本気象学会, 7-22.
- (25) Roberts, R. D., and J. W. Wilson, 1995: The genesis of three nonsupercell tornadoes observed with dual-Doppler radar. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 3408-3436.
- (26) Rotunno, R., and J. B. Klemp, 1985: On the rotation and propagation of simulated supercell thunderstorms. *J. Atmos. Sci.*, 42, 271-292.
- (27) Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers: A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-468+STR, 88 pp., 2005.
- (28) Suzuki, O, H. Niino, H. Ohno, and H. Nirasawa, 2000: Tornado-producing mini supercells associated with Typhoon 9019. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1868-1882.
- (29) Trapp, R. J., 2013: *Mesoscale-Convective Processes in the Atmosphere*. Cambridge, 346 pp.
- (30) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1.
- (31) Wakimoto, R. M., and J. W. Wilson, 1989: Non-supercell tornadoes. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1113-1140.
- (32) 飯塚義浩, 加治屋秋実, 2011: 数値予報資料から求めた竜巻に関連する大気環境指数の統計的検証. *天気*, 58, 19-30.
- (33) 大野久雄, 2001: *雷雨とメソ気象*. 東京堂出版, 309 pp.
- (34) 原子力規制委員会, 2013: 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドの制定について. 原規技発第 13061911 号, 2013 年 6 月 19 日制定. , 平成 26 年 9 月一部改正.
- (35) 加藤輝之, 2008a: 竜巻発生環境場に関する研究 (I) - 竜巻をもたらす積乱雲の発生環境に関する統計的研究 -, 平成 19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進, 6-12.
- (36) 加藤輝之, 2008b: スーパーセルに伴う竜巻の発生機構の研究 (III) - 2006 年の佐呂間竜巻に対する解析 -, 平成 19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進, 39-44.
- (37) 杉本聡一郎, 野原大輔, 平口博丸, 2014a: 国内既往最大規模の竜巻を対象とした発生頻度の地域性について. 2014 年度保全学会年次学術講演会, 395-402.
- (38) 杉本聡一郎, 野原大輔, 平口博丸, 2014b: 突風関連指数を用いた大きな竜巻の発生環境場の地域性に関する検討. 2014 年度日本気象学会春季大会講演予稿集, B464.
- (39) 瀧下洋一, 2011: 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について - 突風に関する防災気象情報の改善 -. *測候時報*, 78, 57-93.

- (40) 新野 宏, 2007 : 竜巻. 天気, 54, 933-936.
- (41) 橋本篤, 平口博丸, 豊田康嗣, 中屋耕, 2011: 温暖化に伴う日本の気候変化予測 (その1) - 気象予測・解析システム NuWFAS の長期気候予測への適用性評価 - . 電力中央研究所報告 N10044, 22pp.
- (42) 橋本篤, 平口博丸, 田村英寿, 服部康男, 松梨史郎, 2013: 領域気候モデルを用いた過去 53 年間の気象・気候再現. 電力中央研究所報告, N13004, 18 pp.
- (43) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構
- (44) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973) : Tornado Risks and Design Wind Speed. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, No. ST12, pp. 2409-2421.
- (45) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C. A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST9, pp. 1883-1897.
- (46) Forbes GS (1998) Topographic influences on tornadoes in Pennsylvania. Proc 19th Conf Severe local storms Amer Meteorol Soc, Minneapolis, MN, pp. 269-272.
- (47) Karstens CD (2012) Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions. Graduate theses and dissertations of Iowa state univ, paper12778.
- (48) Lewellen DC (2012) Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conference on Severe Local Storms Amer Meteorol Soc, Nashville, TN, 4B. 1.
- (49) 近藤 (2000) 地表面に近い大気科学 324pp
- (50) 塩谷 (1992) 強風の性質 開発社 201pp
- (51) 竹内・近藤 (1981) 大気科学講座 1 地表に近い大気 東大出版 226pp
- (52) 日本建築学会 (2004) 建築物荷重指針・同解説 丸善 651pp
- (53) Church CR (1993) The tornado: its structure, dynamics, prediction and hazards. American Geophysics Union.
- (54) Hattori Y et al. (2010) Wind-tunnel experiment on logarithmic-layer turbulence under the influence of overlying detached eddies. Boundary-Layer Meteorol 134, pp269-283.
- (55) James .R Holton(1992) An Introduction to Dynamic Meteorology, pp.511.
- (56) Jean Dessens JR. (1972) Influence of Ground Roughness on Tornadoes : A Laboratory Simulation, pp.72-75.
- (57) Leslie F W (1977) Surface roughness effects on suction vortex formation. J Atmos Sci 34, pp.1022-1027.
- (58) Lewellen WS, Sheng YP (1979) Influence of surface conditions on tornado wind distribution. Proc 11th Conf Severe local storms, pp.375-381.

- (59) Lewellen DC, Gong B, Lewellen WS (2008) Effects of finescale debris on near-surface tornado dynamics. J Atmos Scipp. 3247-3262.
- (60) Natarajan D, Hangan H (2012) Large eddy simulations of translation and surface roughness effects on tornado-like vortices. J Wind Eng Ind Aerodyn 104-106, pp. 577-584.
- (61) Takashi Maruyama(2011) Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex, pp. 250-256.
- (62) D.C. Lewellen and W.S. Lewellen(2007) Near-Surface Intensification of Tornado Vortices, pp. 2176-2194.
- (63) Rostek WF, Snow JT (1985) Surface roughness effects on tornado like vortices. Proc. 15th Conf Severe local storms, pp. 252-255.
- (64) Fujita, T. T., “ Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications ” (1978), U.Chicago.
- (65) 気象庁ホームページ (http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kousui.html)
- (66) 一般気象学 小倉義光, 東京大学出版会

2.3 火山

2.3.1 火山活動に対する防護に関して、評価対象施設を抽出するための方針

降下火砕物によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

外部事象防護対象施設のうち、屋内設備は内包する建屋により防護する設計とし、評価対象施設を、屋外設備、建屋及び屋外との接続がある設備（屋外に開口している設備又は外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備）に分類し、抽出する。

なお、外部事象防護対象施設に含まれない構築物、系統及び機器は、降下火砕物により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

（屋外設備）

- ・軽油タンク
- ・燃料移送ポンプ

（建屋）

- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋海水熱交換器区域
- ・コントロール建屋
- ・廃棄物処理建屋

（屋外との接続がある設備）

- ・原子炉補機冷却海水系
（海水ポンプ・海水ストレーナ）
- ・取水設備（除塵装置）
- ・非常用換気空調系
（非常用ディーゼル発電機電気品区域換気空調系（非常用ディーゼル発電機非常用送風機含む）、中央制御室換気空調系、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系、海水熱交換器区域換気空調系）
- ・非常用ディーゼル発電機
- ・非常用ディーゼル発電機吸気系
- ・安全保護系盤

また、上記以外の安全施設については、降下火砕物に対して機能維持すること、若しくは、降下火砕物による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に除灰、修復等の対応、又は、それらを適切に組み

合わせることで、その安全機能を損なわない設計とする。

2.3.2 降下火砕物による影響の選定

(1) 設計条件に用いる降下火砕物の物性値及び特徴

(a) 降下火砕物の設計条件

発電所敷地からの位置関係、過去の噴火規模を考慮し設定した評価対象火山（妙高山、沼沢、四阿山、赤城山、浅間山、立山）について、文献、既往解析結果の知見及び降下火砕物シミュレーションを用い検討した結果、降下火砕物の層厚を約 23.1cm と評価した。想定する降下火砕物の最大層厚は、評価結果の約 23.1cm に対し、敷地内で給源不明なテフラの最大層厚 35cm が確認されていることを踏まえ、保守的に 35cm と設定する。なお、鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物に、プラント寿命期間を考慮して年超過確率 10^{-2} 規模の積雪を踏まえ設定する。

粒径及び密度については、文献調査の結果を踏まえ、粒径 8.0mm 以下、密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ (湿潤状態) と設定する。なお、密度は、構造物への静的負荷の評価に用いる値であり、乾燥状態の密度は、湿潤状態の密度に包含される。

以上の結果から、設計条件の設定として、発電所の運用期間中において発電所の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として、層厚 35cm、粒径 8.0mm 以下、密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ (湿潤状態) の降下火砕物を設定する。

(b) 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。

- ① 火山ガラス片、鉱物結晶片から成る⁽¹⁾。ただし、火山ガラス片は砂よりもろく硬度は低く⁽²⁾、主要な鉱物結晶片の硬度は砂同等またはそれ以下である⁽³⁾⁽⁴⁾。
- ② 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している⁽¹⁾。ただし、金属腐食研究の結果より、直ちに金属腐食を生じさせることはない⁽⁵⁾。
- ③ 水に濡れると導電性を生じる⁽¹⁾。
- ④ 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する⁽¹⁾。
- ⑤ 降下火砕物粒子の融点は約 $1,000^{\circ}\text{C}$ であり、一般的な砂に比べ低い⁽¹⁾。

(2) 評価対象施設の安全機能に及ぼす影響

(a) 直接的影響

降下火砕物の特徴から直接的影響の要因となる荷重、閉塞、摩耗、腐食、大気汚染、水質汚染及び絶縁低下を設定した上で、外気吸入の有無等の特徴を踏まえ、直接的影響の主な因子として、構造物への静的負荷及び粒子の衝突、化学的影響（腐食）、水循環系の閉塞、内部における摩耗及び化学的影響（腐食）、換

気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（閉塞・摩耗）、化学的影響（腐食）、
発電所周辺の大気汚染並びに盤の絶縁低下を選定する。

① 荷重

「荷重」について考慮すべき影響因子は、屋外設備及び建屋の上に堆積し静的な負荷を与える「構造物への静的負荷」、並びに屋外設備及び建屋に対し降灰時に衝撃を与える「粒子の衝突」である。なお、粒子の衝突による影響については、「2.2 竜巻」の「2.2.3 設計荷重の設定」に包絡される。

② 閉塞

「閉塞」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路の狭隘部等を閉塞させる「水循環系の閉塞」、並びに降下火砕物を含む空気が機器の狭隘部や換気系の流路を閉塞させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（閉塞）」である。

③ 摩耗

「摩耗」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物を含む海水が流路に接触することにより配管等を摩耗させる「水循環系の内部における摩耗」、並びに降下火砕物を含む空気が動的機器の摺動部に侵入し摩耗させる「換気系、電気系及び計測制御系の機械的影響（摩耗）」である。

④ 腐食

「腐食」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物に付着した腐食性ガスにより屋外設備及び建屋の外表面を腐食させる「構造物への化学的影響（腐食）」、換気系、電気系及び計測制御系において降下火砕物を含む空気の流路等を腐食させる「換気系、電気系及び計測制御系の化学的影響（腐食）」、並びに海水に溶出した腐食性成分により海水管等を腐食させる「水循環系の化学的影響（腐食）」である。

⑤ 大気汚染

「大気汚染」について考慮すべき影響因子は、降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が運転員の常駐する中央制御室内に侵入することによる居住性の劣化、降下火砕物の除去、屋外設備の点検等、屋外における作業環境を劣化させる「発電所周辺の大気汚染」である。

⑥ 水質汚染

「水質汚染」については、外部から供給される水源である、市水道水に降下

火砕物が混入することによる汚染が考えられるが、柏崎刈羽原子力発電所では給水処理設備により水処理した給水を使用しており、また水質管理を行っていることから、プラントの安全機能には影響しない。

補足資料-20 において、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉で使用する淡水源は柏崎市水道水であるが、外部事象防護対象施設においては、降下火砕物襲来時に補給等が必要ないことを水源の概略系統図にて示す。

⑦ 絶縁低下

「絶縁低下」について考慮すべき影響因子は、湿った降下火砕物が、電気系及び計測制御系絶縁部に導電性を生じさせることによる盤の「絶縁低下」である。

降下火砕物が影響を与える評価対象施設と影響因子の組み合わせを検討した結果を表 2.3.2-1 に示す。

表 2.3.2-1 降下火砕物が影響を与える評価対象施設と影響因子の組み合わせ

影響因子 評価対象施設	構造物への 静的負荷	構造物への 化学的影響 (腐食)	水循環系の 閉塞・摩耗	水循環系の 化学的影響 (腐食)	換気系、電気系及び 計測制御系の機械的 影響(閉塞・摩耗)	換気系、電気系及び 計測制御系の化学的 影響(腐食)	発電所周辺 の大気汚染	絶縁低下
軽油タンク(燃料移送 ポンプ含む)	●	●	-(③)	-(③)	●	● (燃料移送ポンプ)	-(③)	-(③)
原子炉建屋, タービン 建屋海水熱交換器区 域, コントロール建 屋, 廃棄物処理建屋	●	●	-(③)	-(③)	-(③)	-(③)	-(③)	-(③)
原子炉補機冷却海水 ポンプ	-(①)	-(①)	● (ポンプ)	● (ポンプ)	-(①) (モータ)	-(①) (モータ)	-(③)	-(③)
原子炉補機冷却海水 系ストレーナ	-(①)	-(①)	●	●	-(③)	-(③)	-(③)	-(③)
取水設備(除塵装置)	-(③)	-(②)	●	●	-(③)	-(③)	-(③)	-(③)
非常用換気空調系	-(①)	-(②)	-(③)	-(③)	●	●	●	-(③)
非常用ディーゼル発 電機(非常用ディー ゼル発電機吸気系含む)	-(①)	-(①)	-(③)	-(③)	●	●	-(③)	-(③)
安全保護系盤	-(①)	-(①)	-(③)	-(③)	-(③)	-(③)	-(③)	●

凡例 ●: 詳細な評価が必要な設備
 -: 評価対象外()内数値は理由

【評価除外理由】

①: 静的荷重等の影響を受け難い構造(屋内設備の場合含む) ③: 影響因子と直接関連しない
 ②: 腐食があっても、機能に有意な影響を受け難い

(b) 間接的影響

降下火砕物によって柏崎刈羽原子力発電所に間接的な影響を及ぼす因子は、
湿った降下火砕物が送電線の碍子、開閉所の充電露出部等に付着し絶縁低下を
生じさせることによる広範囲にわたる送電網の損傷に伴う「外部電源喪失」、並
びに降下火砕物が道路に堆積することによる交通の途絶に伴う「アクセス制限」
である。

2.3.3 設計荷重の設定

設計荷重は、以下のとおり設定する。

(a) 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重

評価対象施設に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重、内圧等の
運転時荷重を適切に組み合わせる。

(b) 設計基準事故時荷重

外部事象防護対象施設は、降下火砕物によって安全機能を損なわない設計と
するため、設計基準事故とは独立事象である。

また、評価対象施設のうち設計基準事故時荷重が生じる屋外設備としては、
軽油タンク及び燃料移送ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても、
通常運転時の系統内圧力及び温度と変わらないため、設計基準事故により考慮
すべき荷重はなく、設計基準事故時荷重と降下火砕物との組み合わせは考慮し
ない。

(c) その他の自然現象の影響を考慮した荷重の組み合わせ

降下火砕物と組み合わせを考慮すべき火山以外の自然現象は、荷重の影響に
おいて地震及び積雪であり、降下火砕物の荷重と適切に組み合わせる。

補足資料-5において、降下火砕物と積雪との重畳の考え方を示している。火
山（降下火砕物）と積雪は相関性が低い事象の組み合わせであるため、重畳を
考慮する際は、Turkstra 規則を適用し、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み合わせを
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。

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} / 年の値（84.3cm）
に日最深積雪量の平均値（31.1cm）を合算した 115.4cm とする。

2.3.4 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針

直接的影響については、評価対象施設の構造や設置状況等（形状、機能、外気吸入や海水通水の有無等）を考慮し、想定される各影響因子に対して、影響を受ける各評価対象施設が安全機能を損なわない以下の設計とする。

(1) 降下火砕物による荷重に対する設計

(a) 構造物への静的負荷

評価対象施設のうち、構造物への静的負荷を考慮すべき屋外設備及び建屋は以下である。

- ・軽油タンク
- ・燃料移送ポンプ
- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋海水熱交換器区域
- ・コントロール建屋
- ・廃棄物処理建屋

これら屋外設備及び建屋は、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、構造健全性を失わず安全機能を損なわない設計とする。

なお、建屋の評価は、建築基準法における積雪の荷重の考え方に準拠し、降下火砕物の除去を適切に行うことから、降下火砕物の荷重を短期に生じる荷重とし、建築基準法による短期許容応力度を許容限界とする。

また、建屋を除く評価対象施設においては、許容応力を「日本工業規格」、「日本機械学会の基準・指針類」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）」に準拠する。

個別評価-1, 5において、降下火砕物の堆積荷重により原子炉建屋等の健全性に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

また、燃料移送ポンプについては、当該ポンプ上部に防護板を設置することで、静的荷重によって機能喪失しない設計とする。

(b) 粒子の衝突

粒子の衝突による影響については、「2.2 竜巻」の「2.2.3 設計荷重の設定」に包絡される。

(2) 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計

(a) 機械的影響（閉塞）

評価対象施設のうち、機械的影響（閉塞）を考慮すべき降下火砕物を含む空気

の流路となる設備は以下である。また、これら設備は降下火砕物が侵入しにくい設計とする。

- ・ 軽油タンク
- ・ 燃料移送ポンプ
- ・ 非常用換気空調系
- ・ 非常用ディーゼル発電機
- ・ 非常用ディーゼル発電機吸気系

軽油タンクは、軽油タンクのベント管を下向きに取り付け、また、燃料移送ポンプは、軸貫通部に対してオイルリング等を用いて潤滑剤や内部流体の漏えいがないよう適切に管理することで、降下火砕物が侵入しにくい設計とする。

非常用換気空調系（非常用ディーゼル発電機電気品区域換気空調系（非常用ディーゼル発電機非常用送風機含む）、中央制御室換気空調系、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系、海水熱交換器区域換気空調系）は、外気取入口に、ルーバが取り付けられており、下方から吸い込む構造であること、非常用換気空調系のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することで、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。さらに降下火砕物がバグフィルタに付着した場合でも取替え又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

非常用ディーゼル発電機は、非常用ディーゼル発電機の吸気口の上流側の外気取入口には、ルーバが取り付けられており、下方から吸い込む構造であること、非常用換気空調系のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することにより、フィルタメッシュより大きな降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とし、また、降下火砕物がバグフィルタに付着した場合でも取替え又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。なお、バグフィルタを通過した小さな粒径の降下火砕物が侵入した場合でも、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

個別評価-4, 5, 6 及び補足資料-7 において、降下火砕物の侵入により、閉塞によって機器の機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

(b) 機械的影響（摩耗）

評価対象施設のうち、機械的影響（摩耗）を考慮すべき降下火砕物を含む空気の流路となる設備は以下である。

- ・ 軽油タンク
- ・ 燃料移送ポンプ
- ・ 非常用換気空調系
- ・ 非常用ディーゼル発電機

・非常用ディーゼル発電機吸気系

軽油タンクは、軽油タンクのベント管を下向きに取り付け、また、燃料移送ポンプは、軸貫通部に対してオイルリング等を用いて潤滑剤や内部流体の漏えいがないよう適切に管理することで、降下火砕物が侵入しにくい設計とする。

非常用換気空調系及び非常用ディーゼル発電機については、主要な降下火砕物は砂と同等または砂より硬度が低くもろいことから、摩耗の影響は小さく、かつ構造上の対応として、吸気口の上流側の外気取入口には、ルーバが取り付けられており、下方から吸い込む構造であること、非常用換気空調系のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することで、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とし、仮に当該設備の内部に降下火砕物が侵入した場合でも耐摩耗性のある材料を使用することで、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

個別評価-4, 5, 6 及び補足資料-3 において、降下火砕物の侵入により、摩耗によって機器の機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

(c) 化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、化学的影響（腐食）を考慮すべき降下火砕物を含む空気の流路となる設備は以下である。

- ・燃料移送ポンプ
- ・非常用換気空調系
- ・非常用ディーゼル発電機
- ・非常用ディーゼル発電機吸気系

金属腐食研究の結果⁽⁵⁾より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないことから、金属材料を用いること等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

個別評価-4, 5, 6 及び補足資料-12 において、降下火砕物の付着及び堆積による腐食により、構造物及び機器の機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

(d) 大気汚染（発電所周辺の大気汚染）

中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパの閉止及び再循環運転を可能とすることにより、中央制御室内への降下火砕物の侵入を防止すること、さらに外気取入遮断時において室内の居住性を確保するため、酸素濃度及び二

酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

非常用換気空調系の外気取入口には、ルーバが取り付けられており、下方から吸い込む構造であること、非常用換気空調系のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することで、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。さらに降下火砕物がバグフィルタに付着した場合でも取替え又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

個別評価-6において、降下火砕物により汚染された発電所周辺の大気が非常用換気空調系を経て運転員が駐在している中央制御室の居住性に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

(e) 電気系及び計測制御系の絶縁低下

評価対象施設のうち、絶縁低下を考慮すべき外気から取り入れた屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する設備は以下である。

- ・安全保護系盤

当該機器の設置場所は非常用ディーゼル発電機電気品区域換気空調系（非常用ディーゼル発電機非常用送風機含む）及び中央制御室換気空調系により、空調管理されており、本換気空調系の外気取入口にはバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置することで、降下火砕物による絶縁低下により安全機能を損なわない設計とする。

個別評価-8、補足資料-13において、降下火砕物が盤内に侵入する可能性及び侵入した場合の絶縁低下により安全機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

(3) 屋外及び海水の流路となる評価対象施設に関する降下火砕物が及ぼす影響に対する設計

(a) 構造物への化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、構造物への化学的影響（腐食）を考慮すべき屋外設備及び建屋は以下である。

- ・軽油タンク
- ・燃料移送ポンプ
- ・原子炉建屋
- ・タービン建屋海水熱交換器区域
- ・コントロール建屋

・ 廃棄物処理建屋

金属腐食研究の結果⁽⁵⁾より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないが、外装の塗装等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

個別評価-1, 5 及び補足資料-4, 12 において、降下火砕物の付着及び堆積による腐食により、構造物及び機器の機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。また、その詳細（使用する塗料の種類等）についての評価を示す。

(b) 水循環系の閉塞，内部における摩耗及び化学的影響（腐食）

(b-1) 水循環系の閉塞について

評価対象施設のうち、水循環系の閉塞を考慮すべき降下火砕物を含む海水の流路となる設備は以下である。

- ・ 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ・ 原子炉補機冷却海水系ストレーナ
- ・ 取水設備（除塵装置）

原子炉補機冷却海水ポンプについては、降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはないこと、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける設計とするとともに、ポンプ軸受部が閉塞しない設計とする。

原子炉補機冷却海水系ストレーナ及び取水設備（除塵装置）については、降下火砕物は粘土質ではないことから水中で固まり閉塞することはないこと、また、降下火砕物の粒径に対し十分な流路幅を設ける又は差圧の確認が可能な設計とする。

個別評価-2, 3, 7 において、降下火砕物が混入した海水を取水した場合に、流水部、軸受け部等の閉塞により機器の機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

(b-2) 水循環系の内部における摩耗について

評価対象施設のうち、水循環系の内部における摩耗を考慮すべき降下火砕物を含む海水の流路となる設備は以下である。

- ・ 原子炉補機冷却海水ポンプ
- ・ 原子炉補機冷却海水系ストレーナ
- ・ 取水設備（除塵装置）

主要な降下火砕物は砂と同等または砂より硬度が低くもろいことから、設備

に与える影響は小さく、また、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能であり、摩耗により安全機能を損なわない設計とする。

個別評価-2, 3, 7 及び補足資料-3 において、降下火砕物が混入した海水を取水した場合に、降下火砕物と内部構造物との摩耗により機器の機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

また、水循環系において最も摩耗の影響を受けやすい箇所はライニングが施されていない各冷却器の伝熱管と考えられるが、発電所の運用期間中において海水取水中に含まれる砂等の摩耗によるトラブルは発生していないこと、及び主要な降下火砕物は砂と同等または砂より硬度が低くもろいことから、降下火砕物による摩耗が設備に影響を与える可能性はない。

(b-3) 水循環系の化学的影響（腐食）について

評価対象施設のうち、水循環系の化学的影響（腐食）を考慮すべき降下火砕物を含む海水の流路となる設備は以下である。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプ
- ・原子炉補機冷却海水系海水ストレーナ
- ・取水設備（除塵装置）

金属腐食研究の結果⁽⁵⁾より、降下火砕物に含まれる腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないが、耐食性のある材料の使用や塗装の実施等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。なお、降灰後の長期的な腐食の影響については、日常保守管理等により、状況に応じて補修が可能な設計とする。

個別評価-2, 3, 7 及び補足資料-4, 12 において、降下火砕物が混入した海水を取水した場合に、内部構造物の化学的影響（腐食）により機器の機能に影響がないことを確認するための評価条件及び評価結果を示す。

(c) 電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）及び化学的影響（腐食）

評価対象施設のうち、電気系及び計測制御系に対する機械的影響（閉塞・摩耗）及び化学的影響（腐食）を考慮すべき屋外設備は以下である。

- ・燃料移送ポンプ（モータ）

燃料移送ポンプ（モータ）は、降下火砕物が侵入しにくい構造とすることで、降下火砕物による機械的影響（閉塞・摩耗）及び化学的影響（腐食）により安全機能を損なわない設計とする。

個別評価-5 において、降下火砕物の侵入により、機械的影響（閉塞・摩耗）及び化学的影響（腐食）によって機器の機能に影響がないことを確認するため

の評価条件及び評価結果を示す。

(4) 運用

評価対象施設に、長期にわたり静的荷重がかかることや化学的影響（腐食）が発生することを避け、安全機能を維持するために、降下火砕物の降灰時の除灰等の対応を適切に実施する方針とする。

以下に降下火砕物の降灰時の除灰等の対応手順を示す。

- (a) 降灰が確認された場合には、屋外設備や建屋等に長期間降下火砕物の荷重をかけ続けられないこと、また降下火砕物の付着による腐食等が生じる状況を緩和するために、評価対象施設等に堆積した降下火砕物の除灰を適切に実施する。
- (b) 降灰が確認された場合には、状況に応じて外気取入ダンパの閉止、換気空調系の停止又は再循環運転により、建屋内への降下火砕物の侵入を防止する手順を定める。
- (c) 降灰が確認された場合には、非常用換気空調系の外気取入口のバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）について、バグフィルタ差圧を確認するとともに、状況に応じて取替え又は清掃を実施する。

また、降下火砕物に備え、手順を整備し、図 2.3.4-1 のフローのとおり段階的に対応することとしている。

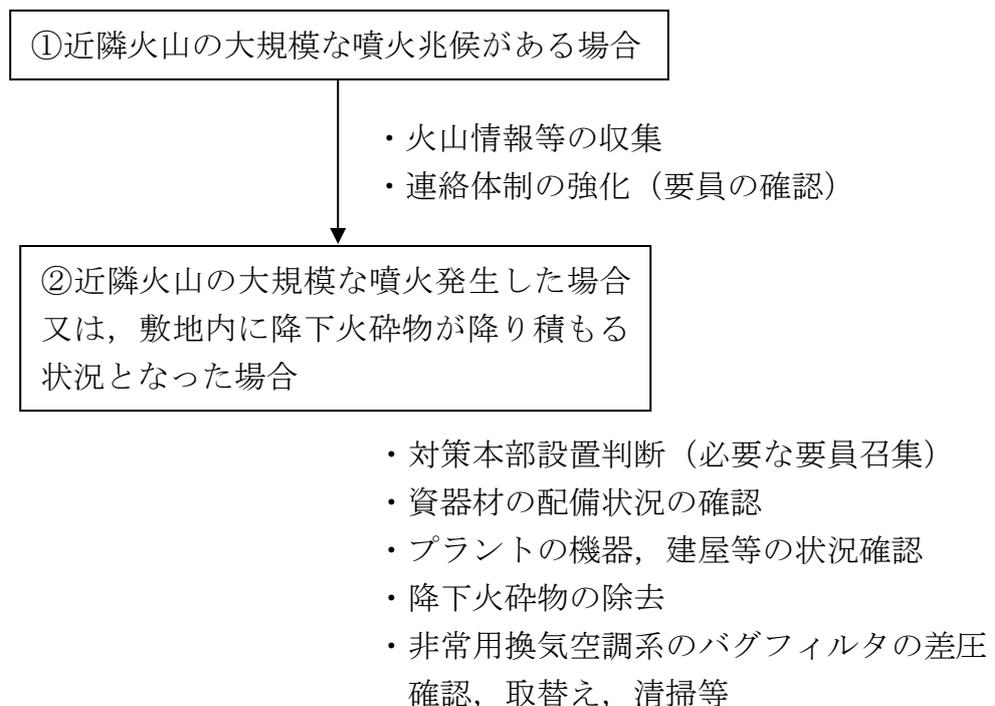


図 2.3.4-1 降下火砕物に対応するための運用管理フロー

2.3.5 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

降下火砕物による間接的影響として考慮する、広範囲にわたる送電網の損傷による7日間の外部電源喪失及び発電所外での交通の途絶によるアクセス制限事象が生じた場合については、降下火砕物に対して非常用ディーゼル発電機の安全機能を維持することで、発電用原子炉の停止及び停止後の発電用原子炉の冷却、並びに使用済燃料プールの冷却に係る機能を担うために必要となる電源の供給が非常用ディーゼル発電機により継続できる設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

2.3.6 参考文献

- (1) (内閣府) 広域的な火山防災対策に係る検討会 (第3回) (資料2)
- (2) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司, コンクリート工学, vol. 42, 2004
- (3) 「新編火山灰アトラス[日本列島とその周辺]. 第2刷」町田洋ほか, 東京大学出版会, 2011
- (4) 「理科年表 (2017)」国立天文台編
- (5) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人, 末吉秀一ほか, 防食技術 Vol. 39, 1990

2.4 外部火災

2.4.1 外部火災に対して、設計上対処すべき施設を抽出するための方針

(1) 防護対象施設の抽出

安全施設に対して、外部火災の影響を受けた場合、発電用原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に係る防護対象施設とする。

外部火災によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

(2) 外部火災による影響評価が必要となる施設の選定

外部事象防護対象施設のうち、外部火災の影響を受ける評価対象施設については、評価ガイドに基づき、建屋の外側（コンクリート、鋼、扉、貫通部で形成される障壁）の熱影響に対する耐性評価を実施する。選定フロー（別添4-1添付資料1第3-1図）に基づき抽出した施設のうち、屋内設置の外部事象防護対象施設については、内包する建屋により防護するとし、評価対象施設として抽出された建屋側面のコンクリート壁の温度評価を実施し、建屋内の外部事象防護対象施設に影響を及ぼさないことを確認する。また、屋外の評価対象施設については、各機器について熱影響評価を実施する。

防護対象及びその防護方法を第2.4.1-1表に、火災防護の方法等の判断基準を「別添4-1添付資料1第3-1図」の判断フローにて示す。

その他の安全機能を有する設備は、原則防火帯により防護し、建屋内の設備は建屋による防護、屋外設備は代替手段等で安全機能に影響がないことを確認する。屋外に設置してあり代替手段がない設備（主排気筒）については、個別に熱影響評価を実施する。

なお、防火帯による防護ができない設備は、送電線、通信線、モニタリングポスト及び気象観測装置となるが、これらが機能喪失した場合であっても、防火帯の内側で防護する非常用ディーゼル発電機、無線連絡設備、可搬型モニタリングポスト及び可搬型気象観測装置により安全機能は維持される。

第 2.4.1-1 表 防護対象及び防護方法

防護対象		防護方法	評価対象施設等 ^{※1}
外部事象防護対象施設	外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器を内包する建屋	防火帯の内側に設置 消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離で防護（熱影響評価を実施）	原子炉建屋 コントロール建屋 タービン建屋 ^{※2} 廃棄物処理建屋 ^{※3}
	外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器に属する屋外施設		軽油タンク 燃料移送ポンプ
その他の安全施設		防火帯の内側に原則設置 屋内設備は、建屋による防護。 屋外設備は、代替手段等で安全機能に影響がないことを確認。	主排気筒 ^{※4} 固体廃棄物処理建屋 開閉所 モニタリングポスト他

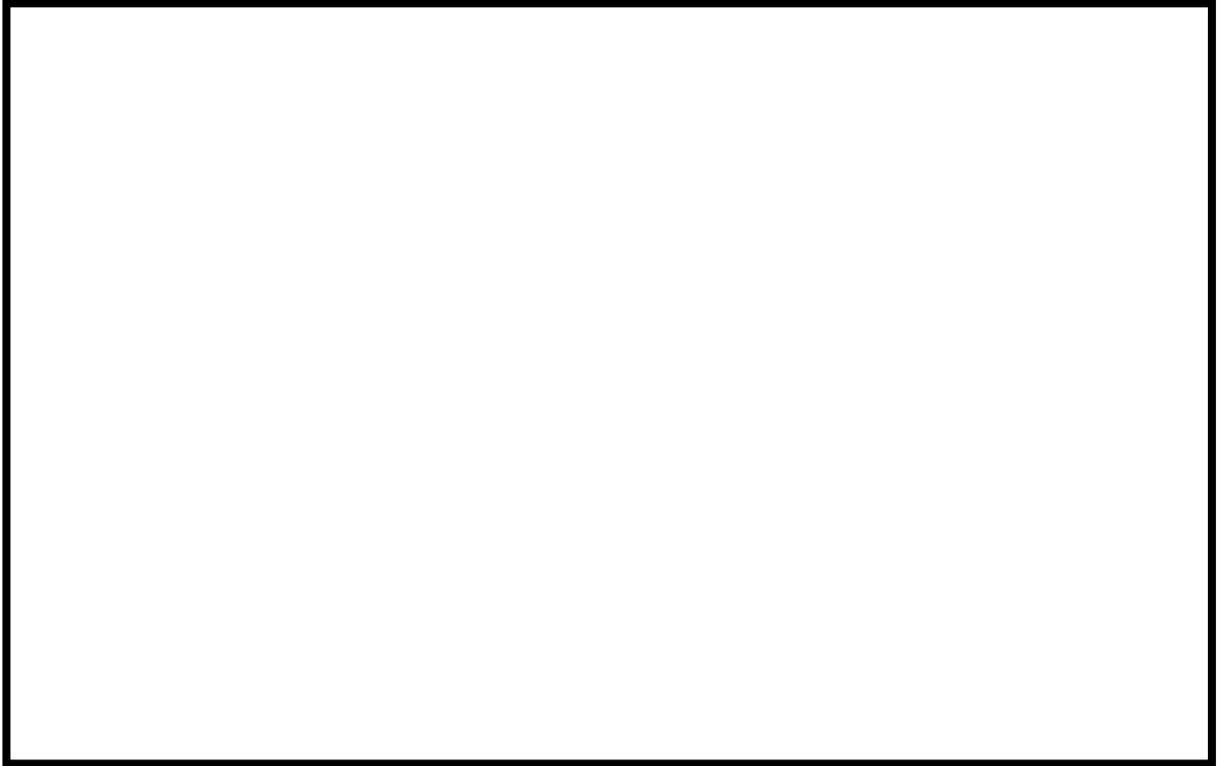
※1：破線内は評価対象施設である。

※2：タービン建屋には原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系及び非常用電源の一部がある。原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系は、地下階に位置することから熱影響はない。非常用電源の一部は1階に位置することから、個別に熱影響評価を実施する（第 2.4.1-1 図）。ただし、タービン建屋は海側に設置していることから、直接輻射熱が届く火災は、構内危険物タンク火災及び航空機墜落による火災となることから、それらについて熱影響評価を実施する。

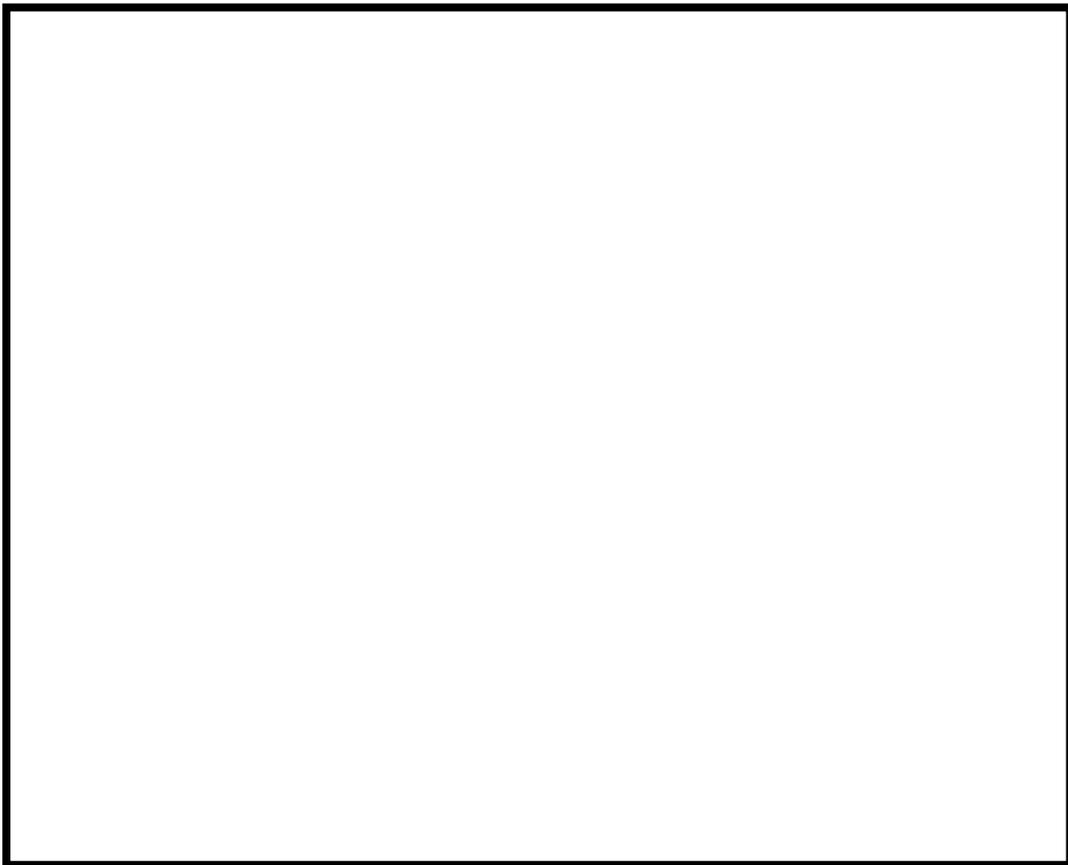
※3：廃棄物処理建屋には復水貯蔵槽がある。復水貯蔵槽の配置は第 2.4.1-2 図に示すとおり、復水貯蔵槽は地下階から1階にかけて設置されているが、屋外から2枚以上の壁を隔てた位置に設置されていることから、復水貯蔵槽への外部火災の影響はないが、廃棄物処理建屋外壁に直接輻射熱が届く航空機墜落による火災について熱影響評価を実施する。

※4：主排気筒は、防火帯の内側にあるが、屋外設置で代替手段がないことから、個別に熱影響評価を実施する。

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません



第 2.4.1-1 図 6号及び7号炉の建屋配置



第 2.4.1-2 図 廃棄物処理建屋復水貯蔵槽の位置

(3) 二次的影響（ばい煙及び有毒ガス又は爆発による飛来物等に配慮すべき施設・機器の抽出方針

二次的影響を受ける、評価対象施設に属する施設については、換気空調系で給気されるエリアの設置機器、建屋外部に開口部を有する設備、居住性への影響の観点で以下のとおり抽出する。

- ・ 換気空調系
- ・ 非常用ディーゼル発電機
- ・ 安全保護系
- ・ 中央制御室
- ・ 緊急時対策所

添付資料において、選定フローに基づき、評価対象施設に属する施設について、ばい煙等による影響評価対象とする系統及び機器を選定する。（別添 4-1 添付資料 1 第 3-2 図）

2.4.2 考慮すべき外部火災

安全施設が外部火災（火災・爆発（森林火災，近隣工場等の火災・爆発，航空機落下火災等）に対して，発電用原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう，防火帯の設置，離隔距離の確保，建屋による防護又は代替手段等によって，安全機能を損なわない設計とする。

想定する外部火災として，森林火災，近隣の産業施設の火災・爆発（発電所敷地内に設置する危険物タンク等を含む），航空機墜落による火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第 2.4.2-1 表に示す。

また，想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）についても，考慮する。

第 2.4.2-1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外10km圏内に発火点を設定した柏崎刈羽原子力発電所に迫る森林火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外10km圏内の石油コンビナート等の火災・爆発
	発電所敷地内の危険物貯蔵施設等の火災
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機落下時の火災

2.4.3 外部火災に対する設計方針

(1) 輻射熱の影響に対する防護

一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度である 200℃以下とすることで、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。（建築火災のメカニズムと火災安全設計，原田和典）

当該建屋のコンクリート壁は厚く、外壁からの入熱は一定時間経過後から長時間に亘って建屋内に放熱されるが、換気空調系設備による除熱により、建屋内外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 2」にて コンクリートの許容限界温度 200℃の設定根拠について示す。

(2) ばい煙等の影響に対する防護

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、安全機能を損なわれるおそれがある構築物、系統及び機器として外気を取り込む区域に設置される評価対象施設を抽出した上で、第 2.4.3-1 表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 換気空調系

外気を取り入れている設備として、原子炉建屋、非常用ディーゼル発電機電気品区域、中央制御室、コントロール建屋計測制御電源盤区域、海水熱交換器区域の換気空調系がある。

これらの外気取入口にはバグフィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して 80%～85%の捕集効率）を設置することにより、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙粒子については、バグフィルタにより侵入を阻止することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室の換気空調系については、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行うことで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。また、それ以外の換気空調系については、空調ファンを停止し、外気取入れを遮断することで評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. 非常用ディーゼル発電機

非常用ディーゼル機関の外気取入口にはバグフィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して 80%～85%の捕集効率）を設置し、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。粒径 $2\mu\text{m}$ 以下のばい煙粒子については、機関内に侵入するものの、通気経路（過給機、空気冷却器）の隙間より小さく、閉塞に至ることを

防止することで非常用ディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。また、非常用ディーゼル発電機は建屋外部に開口部（排気口）を有しているが、排気によりばい煙を掃気することで非常用ディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

c. 安全保護系

安全保護系は、現場盤が非常用電気品室、安全保護系盤が中央制御室に設置してある。非常用電気品室への外気取入経路にはバグフィルタ（粒径 $2\mu\text{m}$ に対して $80\% \sim 85\%$ の捕集効率）を設置し、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙が非常用電気品室に侵入する可能性がある場合においても、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止することが可能である。また、中央制御室への外気取入経路にはバグフィルタを設置していることから、粒径 $2\mu\text{m}$ 以上のばい煙粒子が侵入しにくい設計とする。安全保護系盤は粒径 $2\mu\text{m}$ 以下のばい煙粒子に対し、短絡が生じないようにすることにより、影響を受けない設計とする。

d. 火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については、中央制御室換気空調系及び緊急時対策所換気空調系における外気取入遮断時の室内に滞在する人員に対する環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施し、又は、離隔を確保する等により、居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室換気空調系については、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行う。また、それ以外の換気空調系については、空調ファンを停止し、外気取入れを遮断する。

第 2.4.3-1 表 ばい煙による影響評価

分類	影響評価設備
換気空調系で給気されるエリアの設置機器	非常用ディーゼル発電機 安全保護系
建屋外部に開口部を有する設備	非常用ディーゼル発電機排気口
居住性への影響	中央制御室 緊急時対策所

(3) 火災防護計画

外部火災における手順として、火災発生時の対応、防火帯の維持・管理等を適切に実施するための対策を定める。

- a. 防火帯の維持・管理については、定期的な点検等の方法を火災防護計画に定め、実施する。
- b. 防火帯により森林火災が発電用原子炉施設へ影響を及ぼすことはないが、森林火災の状況に応じて防火帯付近へ予防散水を行うことについては、予防散水エリアごとに使用水源を定めるとした火災防護計画を定め、消防隊長の指揮のもと自衛消防隊が実施する。
- c. 外部火災発生時の予防散水に必要な消火対応力等を維持するため、自衛消防隊を対象とした教育・訓練を定期的実施する。

なお、体制等については「別添 4-1 添付資料 2 2.3」にて記載している。

2.4.3.1 森林火災

(1) 発生を想定する発電所敷地外における森林火災の想定及び影響評価

a. 発生を想定する発電所敷地外における森林火災の設定

(a) FARSITE 解析に必要な入力データ

(a-1) 土地利用データ

土地利用データについては現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の建物用地、交通用地等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である 100m メッシュの「国土数値情報 土地利用細分メッシュ」(国土交通省データ)を用いる。

発電所周辺の建物用地、交通用地、湖沼、河川等の土地状況を実際に近い形で模擬したデータを「別添 4-1 添付資料 2 第 2.2-1 図, 第 2.2-2 図」に示す。

(a-2) 地形データ

地形データについては現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の土地の標高、地形等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である 10m メッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」(国土地理院データ)を用いる。

地形データのうち、傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。(別添 4-1 添付資料 2 第 2.2-3 図)

(a-3) 植生データ

植生データについては現地状況をできるだけ模擬するため、樹種に関する情報を有する「自然環境保全基礎調査 植生調査データ」(環境省データ)を用いる。また、現地調査を実施し発電所構外及び構内の植生を反映

する。

樹冠率は日照や風速への影響を考慮し、針葉樹、落葉広葉樹について、保守的な樹冠率区分を入力。「別添 4-1 添付資料 2 第 2.2-4 表」にて、樹種・林齢の設定の考え方を記載している。

(a-4) 気象データ

気象データについては起こり得る最も厳しい条件を検討するため、「柏崎地域気象観測所」及び「新潟地方気象台」の過去 10 年間の気象データのうち、新潟県、柏崎市、刈羽村、出雲崎町で発生した森林火災の実績から、発生頻度が高い 3 月から 5 月の気象条件（最多風向、最大風速、最高気温及び最小湿度）の最も厳しい条件を用いる。

風向については、上記の気象データの中から最大風速における風向の出現回数を調査し、これらをもとに卓越風向を設定している。

なお、「別添 4-1 添付資料 2 2.2. (3)b. 気象条件の設定」にて、気象条件として設定する風向については、最大風速の風向きも考慮して設定していることを記載している。

(b) 評価エリア

発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は西側が海岸という発電所周辺の地形を考慮し柏崎刈羽原子力発電所から東に 12km、西に 9km、南に 12km、北に 15km とする。

(c) 発火点

発火点については、柏崎刈羽原子力発電所から直線距離 10km の間で風向及び人為的行為を考慮し、交通量が多く火災の発生頻度が高いと想定される国道沿い 3 地点を設定する。

風向は卓越方向（南南東、南東）とし、火災規模に対する風向の影響を考慮し、発火点は、陸側方向（柏崎刈羽原子力発電所の西側が海）の柏崎刈羽原子力発電所の風上を選定する。

- ・発火点 1：柏崎刈羽原子力発電所の南南東約 0.6km の国道沿い
- ・発火点 2：柏崎刈羽原子力発電所の南南東約 3.4km の国道沿い
- ・発火点 3：柏崎刈羽原子力発電所の南東約 0.4km の国道沿い

上記の 3 つの発火点をもとに評価に必要なパラメータを算出し、パラメータごとに、より厳しい値を採用している。

森林火災の発火時刻については、日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が変化することから、これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定する。具体的には日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、延

焼速度・火線強度が増大することから、これを考慮して火線強度が最大となる発火時刻を設定。

b. 森林火災による影響評価

(a) 火炎の到達時間及び防火帯幅の評価

森林火災シミュレーション解析コード(FARSITE)を用いて延焼速度及び火線強度を算出した上で、延焼速度をもとに発火点から防火帯までの到達時間を、火線強度をもとに防火帯幅を算出している。

・延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度(0.25m/s(発火点3))や火線強度(3,002kW/m(発火点2))から、発火点から火炎が防火帯に到達する時間(3時間(発火点3))を算出した。

・防火帯幅の算出

FARSITE から出力される最大火線強度(3,002kW/m(発火点2))により防火帯幅18.4mを算出した。

(b) 危険距離の評価

影響評価に用いる火炎輻射発散度としては、発火点1~3による森林火災の熱影響としてFARSITEの出力データから最大であるケース2の火炎輻射発散度100kW/m²(火炎輻射強度211kW/m²)を用いる。これに対する危険距離を算出した上で、危険距離に応じた離隔距離を確保する。

(2) 森林火災に対する設計方針

a. 熱影響に対する防護

森林火災の直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護等により、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋への熱影響

影響が大きい発火点2の火線強度に基づき算出する、防火帯の外縁(火炎側)から最も近くに位置する原子炉建屋(垂直外壁面及び天井スラブから選定する、火炎の輻射に対して最も厳しい箇所)の表面温度を、火災時における短期温度上昇を考慮した場合のコンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度(以下「コンクリート許容温度」という。)である200℃以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわ

ない設計とする。

コンクリート壁以外の機器搬出入口等の建屋内近傍には、安全機能を有する施設を設置しないことにより外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、「別添 4-1 添付資料 2 3.3」にて評価プロセスを記載している。

(b) 軽油タンクへの熱影響

影響が大きい発火点 2 の火線強度に基づき算出する軽油の温度を、軽油の発火点である 225℃以下とすることで、軽油タンクの安全機能を損なわない設計とする。

なお、「別添 4-1 添付資料 2 3.5」にて評価プロセスを記載している。

(c) 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））への熱影響

影響が大きい発火点 2 の火線強度に基づき算出する燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の表面温度を、端子ボックスパッキンの耐熱温度である 100℃以下とすることで、燃料移送ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

なお、「別添 4-1 添付資料 2 3.5」にて評価プロセスを記載している。

(d) 主排気筒の熱影響

影響が大きい発火点 2 の火線強度に基づき算出する主排気筒の表面温度を、鋼材の強度が維持される保守的な温度 325℃以下とすることで、主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

なお、「別添 4-1 添付資料 2 3.5」にて評価プロセスを記載している。

b. 防火帯幅の設定

FARSITE から出力される最大火線強度 (3,002kW/m (発火点 2)) により算出される防火帯幅 18.4m に対し、約 20m の防火帯幅を確保することにより評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。
防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

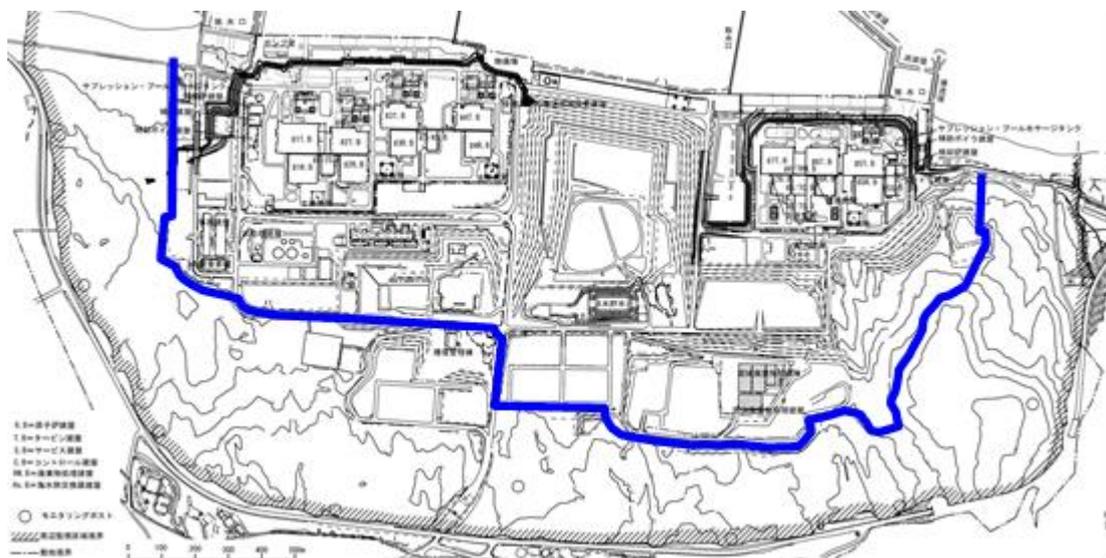
設置する防火帯について、第 2.4.3.1-1 図に示す。

(a) 延焼対策

FARSITE の解析によると、火炎が防火帯に到達する時間は、発電所敷地境界付近からの出火（ケース 3）を想定しても 3 時間程度であり、これに対して、防火帯付近への予防散水は、敷地境界域での火災発見から約 90 分で開始可能である。

敷地外の森林から出火し、敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は、

自衛消防隊が出動し、予防散水等の延焼防止措置を行う。また、敷地内の植生へ延焼した場合であっても、適切な離隔距離を保っており、発電用原子炉施設に影響せず、安全性が損なわれることはない。



— : 防火帯 (約 20m)

第 2.4.3.1-1 図 防火帯配置図

2.4.3.2 近隣の産業施設の火災・爆発

(1) 近隣の産業施設からの火災及びガス爆発の想定及び影響評価

a. 近隣の産業施設による火災及びガス爆発の想定

(a) 火災による影響の検討

(a-1) 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、柏崎刈羽原子力発電所に最も近い石油コンビナート地区は南西約 39km の直江津地区である。

(b-1) 危険物貯蔵施設の影響

(b-1-1) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外の半径 10 kmの消防法及び高压ガス保安法に基づき設置している施設を抽出し、最短距離の危険物施設（危険物貯蔵施設、高压ガス貯蔵施設、ガスパイプライン）に最大貯蔵量があるものと仮定する。

発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設を第 2.4.3.2-1 図に示す。

(b-1-2) 火災の想定

- ・危険物貯蔵施設の貯蔵量は、危険物を満載した状態を想定する。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう危険物貯蔵施設の位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

(c-1) 燃料輸送車両の影響

(c-1-1) 評価対象範囲

評価対象は、燃料積載量が液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスのもの（16t）とし、火災・爆発の発生場所は、発電所敷地外の道路において、発電用原子炉施設に最も近い場所を対象とする。

(c-1-2) 火災の想定

- ・最大規模の液化石油ガス輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こすものとする。
- ・燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大規模（16t）とする。
- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- ・発電所敷地境界の道路での燃料輸送車両の全面火災を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

(火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。)

(d-1) 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の熱影響

(d-1-1) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内に位置している屋外の危険物タンクの火災を想定した敷地内危険物施設のうち、熱影響評価を実施する危険物施設として各号炉の軽油タンク、変圧器等のうち影響が最も大きいものとする。

評価対象抽出フローを第2.4.3.2-2図に、発電所敷地内に設置している屋外の危険物タンク等を第2.4.3.2-3図、第2.4.3.2-4図及び第2.4.3.2-1表に示す。

(d-1-2) 火災の想定

- ・発電所敷地内に設置する軽油タンク、主変圧器、原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器、危険物タンク等の火災のうち、発電用原子炉施設への影響が最も大きいものを想定する。
- ・危険物タンク等の貯蔵量は、危険物を満載した状態を想定する。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるようタンク等の位置から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・危険物タンク等の破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

なお、屋外に設置する危険物タンク等のうち、地下タンク貯蔵所は埋設しているため評価対象外とする。また、指定数量以下の危険物を貯蔵する車両等(タンクローリ)、倉庫及びガスタービン車他燃料供給設備は、貯蔵量が少なく、軽油タンクと発電用原子炉施設の距離に比べ離れた位置に配置しており、評価対象とした軽油タンク火災の評価に包絡される。

(e-1) 漂流船舶の火災

(e-1-1) 評価対象範囲

評価対象は、柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶のうち、港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶(積載量1021t)を想定する。発電所港湾内において港湾内に進入できる最大規模の船舶が火災をした場合を想定し影響評価を実施する。火災の発生場所は、発電所港湾内において、発電用原子炉施設に最も近い場所とする。

(e-1-2) 火災の想定

- ・漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く、柏崎刈羽原子力発電所前面の海

域に航路がある液化石油ガス輸送船舶を想定する。

- ・漂流船舶は港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶（積載量 1021t）を想定する。
- ・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・離隔距離は、評価上厳しくなるよう岸壁から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・港湾内での漂流船舶の全面火災を想定する。
- ・火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

(b) ガス爆発による影響の検討

(a-1) 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、柏崎刈羽原子力発電所に最も近い石油コンビナート地区は南西約 39km の直江津地区である。

(b-1) 危険物貯蔵施設の影響

(b-1-1) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地外の半径 10 km の消防法及び高圧ガス保安法に基づき設置している施設を抽出し、最短距離の危険物施設（危険物貯蔵施設、高圧ガス貯蔵施設、ガスパイプライン）に最大貯蔵量があるものと仮定する。

発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設を第 2.4.3.2-1 図に示す。

(b-1-2) 爆発の想定

- ・高圧ガスの漏えい、引火によるガス爆発とする。
- ・気象条件は無風状態とする。

(c-1) 燃料輸送車両の影響

(c-1-1) 評価対象範囲

評価対象は、燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大クラスのもの（16t）とし、火災・爆発の発生場所は、発電所敷地外の道路において、発電用原子炉施設に最も近い場所を対象とする。

(c-1-2) 爆発の想定

- ・最大規模の液化石油ガス輸送車両が発電所敷地周辺道路で火災・爆発を起こすものとする。
- ・燃料積載量は液化石油ガス輸送車両の中で最大規模（16t）とする。

- ・燃料輸送車両は燃料を満載した状態を想定する。
- ・輸送燃料は液化石油ガス（プロパン）とする。
- ・発電所敷地境界の道路での高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

(d-1) 漂流船舶の爆発

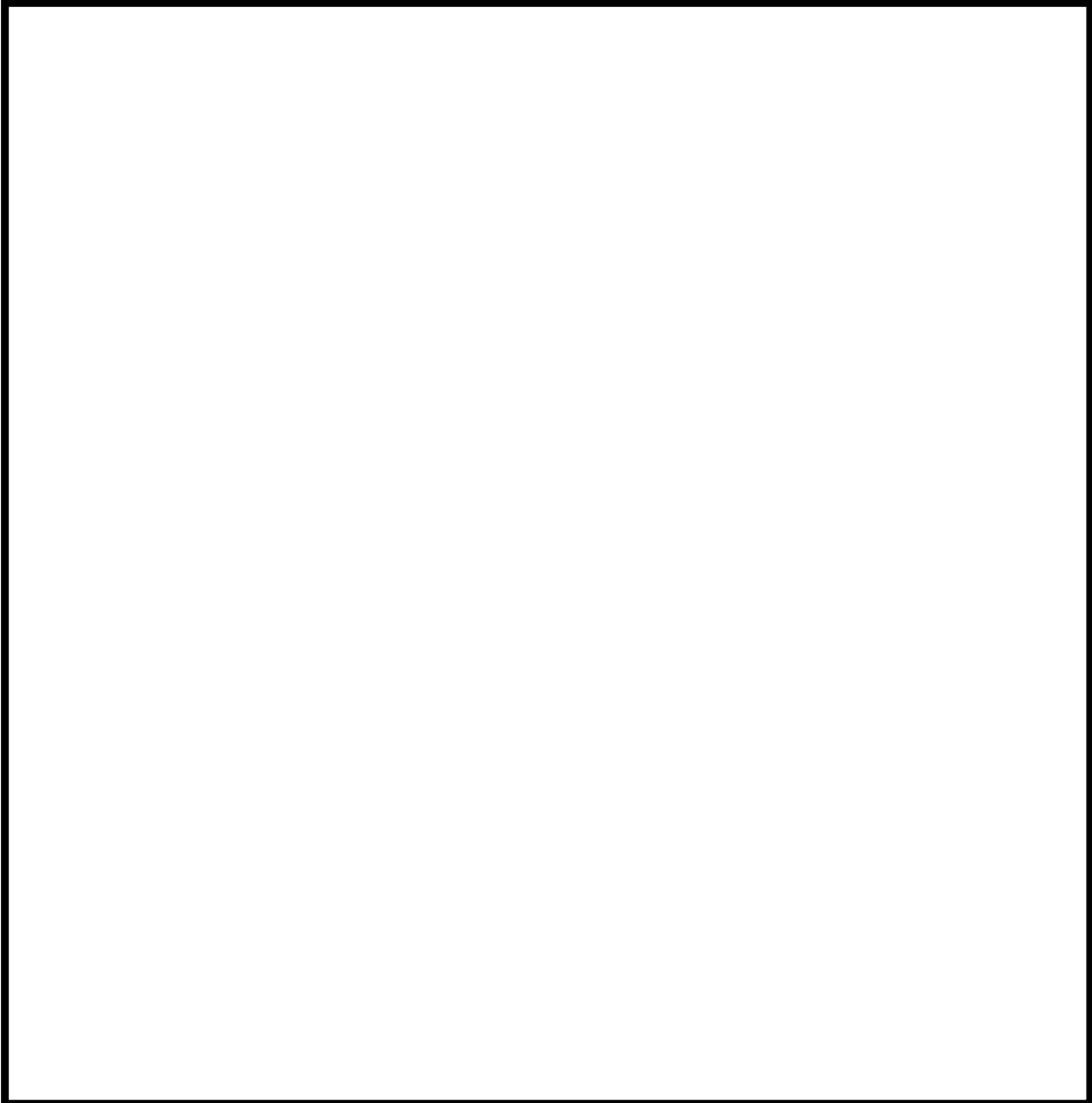
(d-1-1) 評価対象範囲

評価対象は，柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶のうち，港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶（積載量 1021t）を想定する。発電所港湾内において港湾内に進入できる最大規模の船舶が爆発をした場合を想定し影響評価を実施する。爆発の発生場所は，発電所港湾内において，発電用原子炉施設に最も近い場所とする。

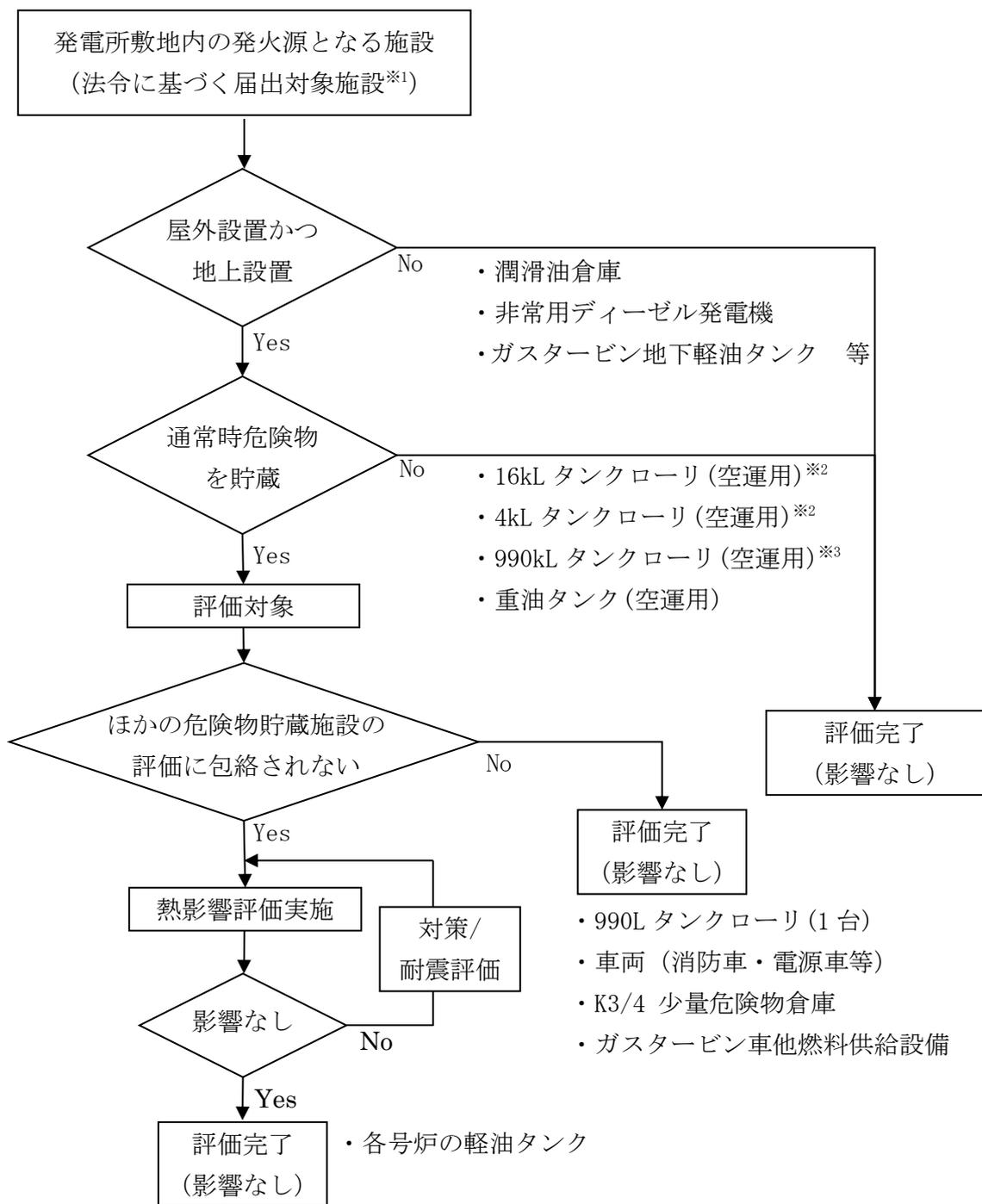
(d-1-2) 爆発の想定

- ・漂流船舶は新潟県内で輸送実績が多く，柏崎刈羽原子力発電所前面の海域に航路がある液化石油ガス輸送船舶を想定する。
- ・漂流船舶は港湾内に入港可能な大きさで実際に存在する最大の船舶（積載量 1021t）を想定する。
- ・漂流船舶は燃料を満載した状態を想定する。
- ・離隔距離は，評価上厳しくなるよう岸壁から評価対象施設までの直線距離とする。
- ・港湾内での漂流船舶の高圧ガス漏えい，引火によるガス爆発を想定する。
- ・気象条件は無風状態とする。

防護上の観点又は機密に係わる事項を含むため、公開できません



第 2.4.3.2-1 図 危険物施設等配置図

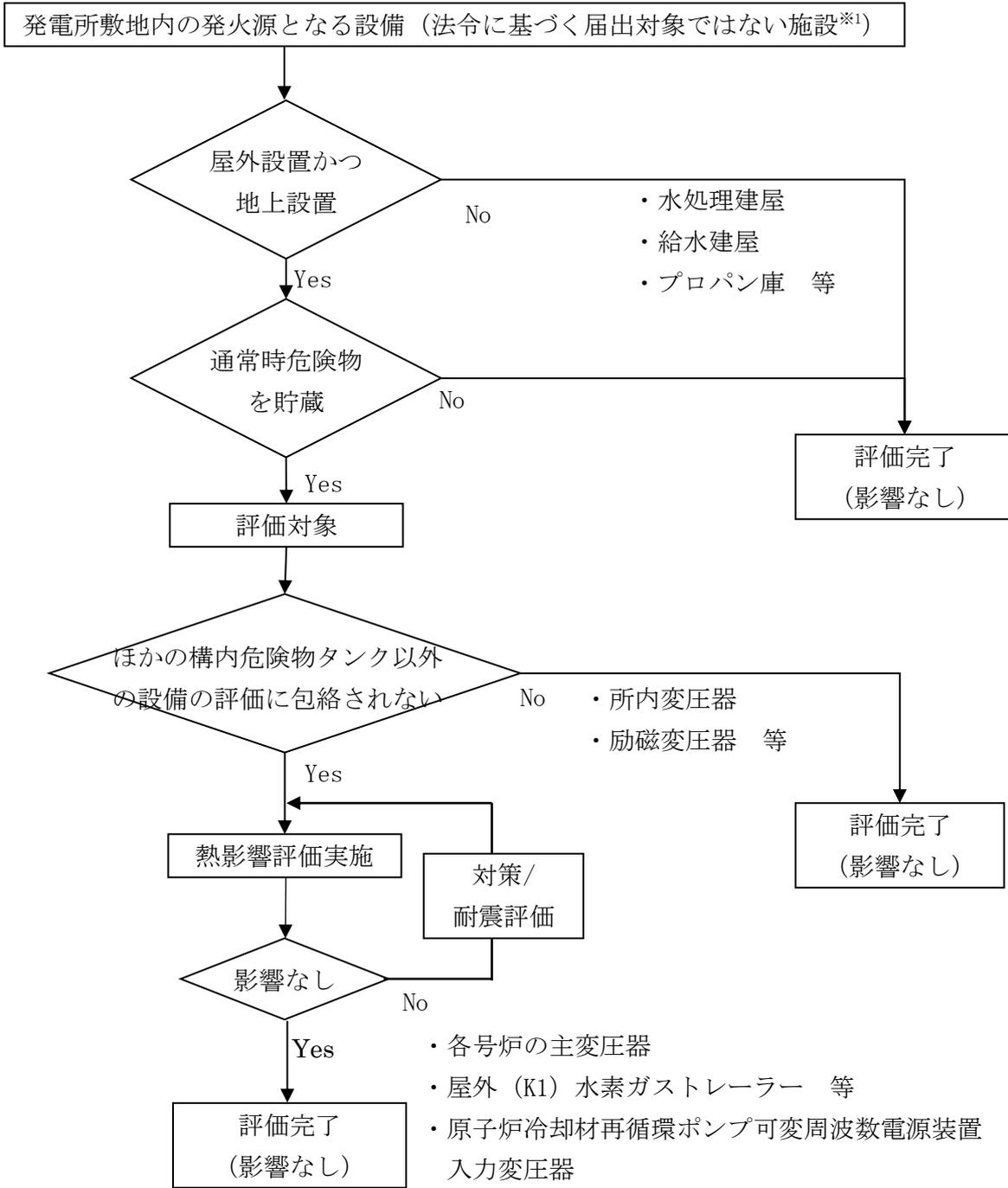


※1：消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届出対象施設となる危険物タンク等

※2：危険物の規制に関する政令第7条第1項に基づく「危険物貯蔵所変更許可申請書」を柏崎市長に提出している。

※3：柏崎市火災予防条例第46条第1項に基づく「少量危険物貯蔵届出書」に加え、タンクローリの運用方法を定めた文書を柏崎市消防長に提出している。

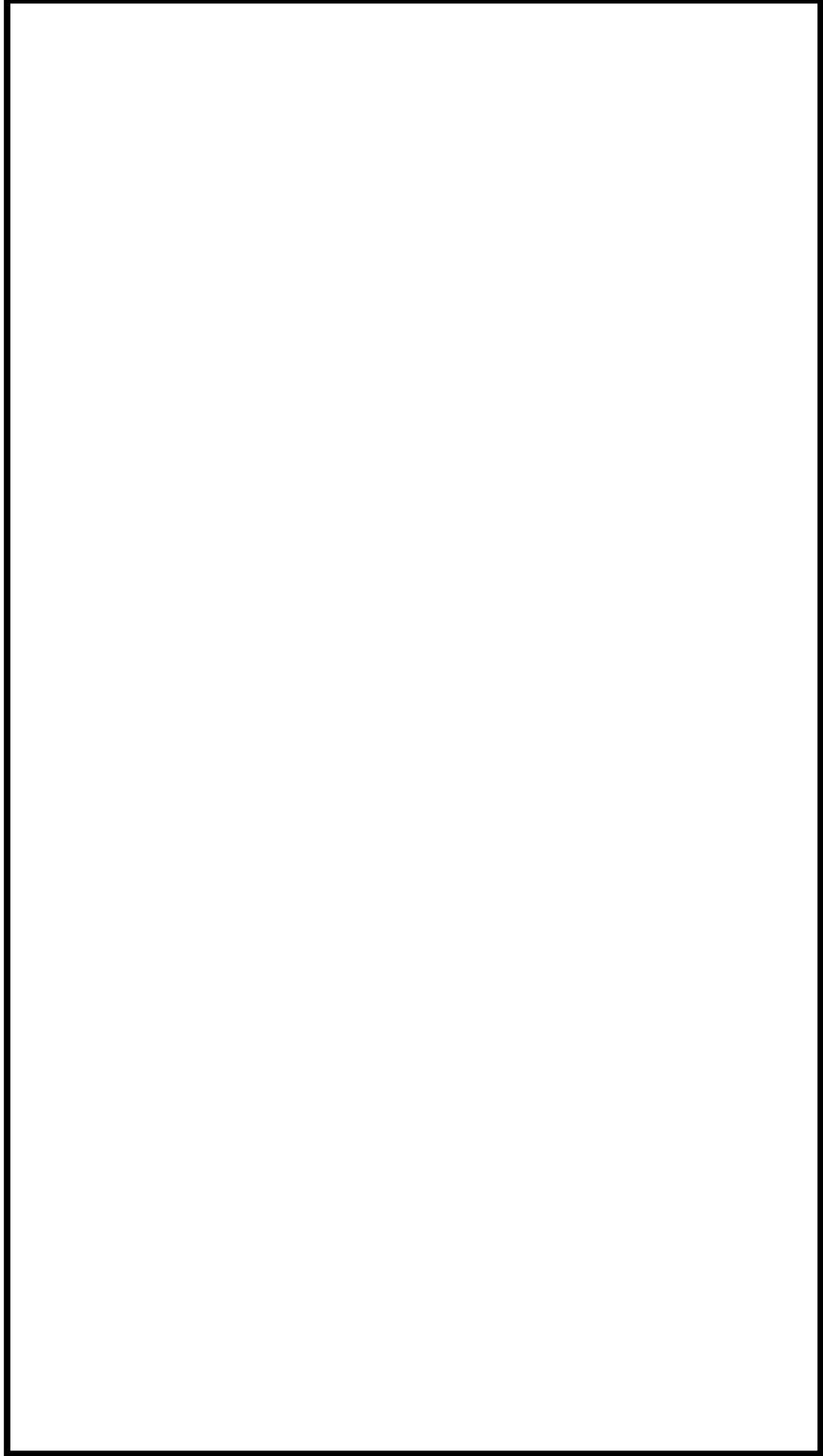
第2.4.3.2-2 図 危険物タンク等のうち評価対象施設フロー(1/2)



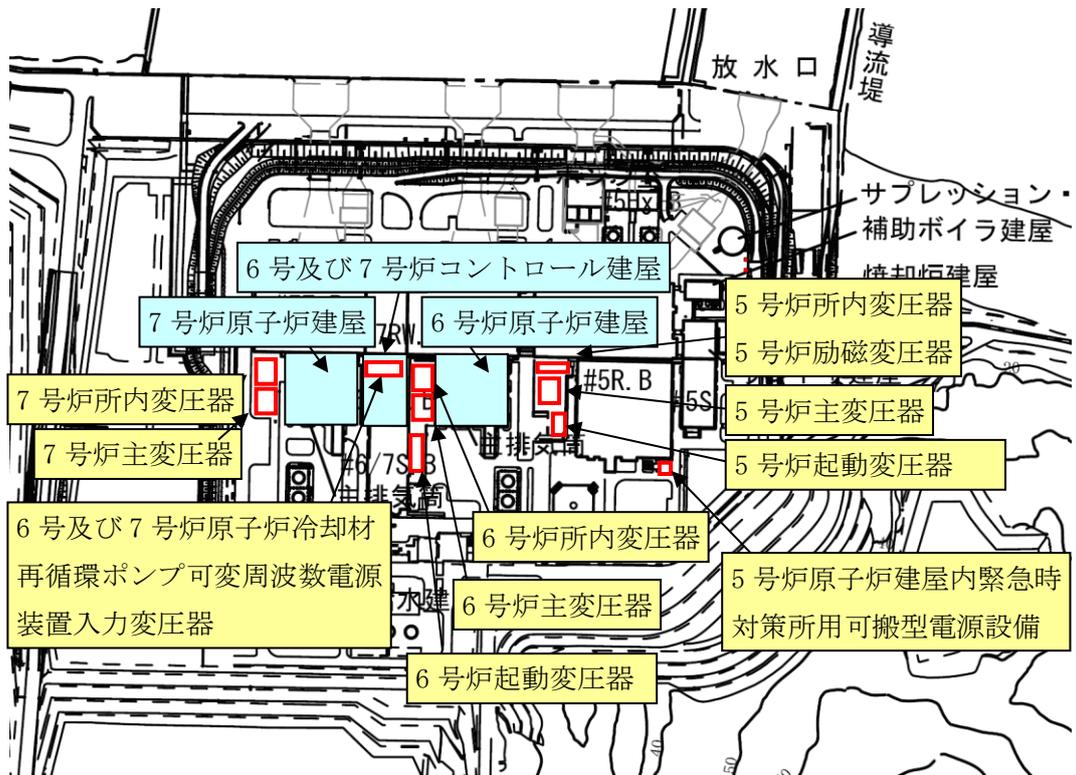
※1：消防法又は柏崎市火災予防条例に基づく届け出対象施設ではない変圧器等

第 2.4.3.2-2 図 危険物タンク等のうち評価対象施設フロー（2/2）

防護上の観点又は機密に関わる事項を含むため、公開できません



第2.4.3.2-3 図 危険物タンク等配置図（危険物タンク及び危険物保在庫）



第 2.4.3.2-4 図 危険物タンク等配置図 (変圧器)

第 2.4.3.2-1 表 危険物製造所等許可施設一覧 (1/3)

号炉	施設名	製造所の別	危険物			数量	詳細評価要否
			類	品名			
1号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
1号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
1号炉	非常用ディーゼル発電機(A)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.5kL	×(屋内設置)
1号炉	非常用ディーゼル発電機(B)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.5kL	×(屋内設置)
1号炉	非常用ディーゼル発電機(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	14kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.5kL	×(屋内設置)
1号炉	MGセット室	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	12kL	×(屋内設置)
1号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	106kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	リン酸エステル	3kL	×(屋内設置)
1号炉	油ドレン貯蔵タンク	屋内タンク貯蔵所	4	第3石油類	廃油	10.763kL	×(屋内設置)
共用	潤滑油倉庫	屋内貯蔵所	4	第4石油類	潤滑油	100kL	×(屋内設置)
共用	焼却炉建屋廃油タンク	屋内タンク貯蔵所	4	第3石油類	潤滑油	7.2kL	×(屋内設置)
2号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	106kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	リン酸エステル	3.8kL	×(屋内設置)
2号炉	非常用ディーゼル発電機(A)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
2号炉	非常用ディーゼル発電機(B)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
2号炉	MGセット室(A)(B)	一般取扱所	4	第4石油類	潤滑油	12kL	×(屋内設置)
2号炉	非常用ディーゼル発電機(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	14kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	3.9kL	×(屋内設置)
2号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
2号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類	軽油	344kL	○(※1)
3号炉	非常用ディーゼル発電機(A)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
3号炉	非常用ディーゼル発電機(B)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	20kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	6.6kL	×(屋内設置)
3号炉	非常用ディーゼル発電機(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類	軽油	14kL	×(屋内設置)
			4	第4石油類	潤滑油	3.9kL	×(屋内設置)

第 2.4.3.2-1 表 危険物製造所等許可施設一覧 (2/3)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否
			類	品名		
3号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	106kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 難燃性作動油	3.8kL	× (屋内設置)
3号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
3号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
4号炉	非常用ディーゼル発電機(A)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
4号炉	非常用ディーゼル発電機(B)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
4号炉	非常用ディーゼル発電機(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	14kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
4号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	106kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 難燃性作動油	4kL	× (屋内設置)
4号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
4号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
5号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	106kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 リン酸エステル	3kL	× (屋内設置)
5号炉	非常用ディーゼル発電機(A)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
5号炉	非常用ディーゼル発電機(B)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	20kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	6.6kL	× (屋内設置)
5号炉	MGセット室(A)	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	10.5kL	× (屋内設置)
5号炉	MGセット室(B)	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	10.5kL	× (屋内設置)
5号炉	軽油タンク(A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
5号炉	軽油タンク(B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	344kL	○(※1)
5号炉	非常用ディーゼル発電機(HPCS)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	14kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
6号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	98kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 難燃性作動油	4kL	× (屋内設置)
6号炉	非常用ディーゼル発電機(A)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
6号炉	非常用ディーゼル発電機(B)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)

第 2.4.3.2-1 表 危険物製造所等許可施設一覧 (3/3)

号炉	施設名	製造所の別	危険物		数量	詳細評価要否
			類	品名		
6号炉	非常用ディーゼル発電機 (C)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
6号炉	軽油タンク (A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	565kL	○(※1)
6号炉	軽油タンク (B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	565kL	○(※1)
7号炉	タービン設備	一般取扱所	4	第4石油類 潤滑油	98kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 難燃性作動油	3.8kL	× (屋内設置)
7号炉	非常用ディーゼル発電機 (A)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
7号炉	非常用ディーゼル発電機 (B)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
7号炉	非常用ディーゼル発電機 (C)	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	× (屋内設置)
			4	第4石油類 潤滑油	3.9kL	× (屋内設置)
7号炉	軽油タンク (A)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	565kL	○(※1)
7号炉	軽油タンク (B)	屋外タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	565kL	○(※1)
共用	第一ガスタービン発電機用燃料タンク	地下タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	107.8kL	× (地下式)
		一般取扱所	4	第2石油類 軽油	71.84kL	○(※2)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	地下タンク貯蔵所	4	第2石油類 軽油	144kL	× (地下式)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	35.52kL	×(※2)
共用	ガスタービン車他燃料供給設備	一般取扱所	4	第2石油類 軽油	18kL	×(※2)
共用	No.1 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第3石油類 重油	3000kL	×(※3)
共用	No.2 重油タンク	屋外タンク貯蔵所	4	第3石油類 重油	320kL	×(※3)

※1：自号炉の軽油タンク火災による熱影響評価を実施する。

※2：軽油タンク火災による熱影響評価に包絡される。

※3：廃止届出済みであり、現在は重油を抜きタンク内に重油は存在しない。

第 2.4.3.2-2 表 5号炉, 6号炉及び7号炉変圧器

設備名	品名	保有油量
5号炉主変圧器	1種2号 鉱油	190.00kL
6号炉主変圧器	1種2号 鉱油	200.00kL
7号炉主変圧器	1種2号 鉱油	214.00kL
低起動変圧器 5SA, 5SB	1種2号 鉱油	17.05kL
低起動変圧器 6SA, 6SB	1種2号 鉱油	24.60kL
所内変圧器 5A, 5B	1種2号 鉱油	18.10kL
所内変圧器 6A	1種2号 鉱油	20.50kL
所内変圧器 6B	1種2号 鉱油	21.00kL
所内変圧器 7A, 7B	1種2号 鉱油	19.20kL
5号炉励磁変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL
6号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1), (B-1)入力変圧器	1種2号 鉱油	3.61kL
6号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-2), (B-2)入力変圧器	1種2号 鉱油	13.70kL
7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-1), (B-1)入力変圧器	1種2号 鉱油	3.70kL
7号炉原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置 (A-2), (B-2)入力変圧器	1種2号 鉱油	9.50kL

b. 近隣の産業施設による火災及びガス爆発の評価

(a) 火災による影響の評価

(a-1) 危険物貯蔵施設の評価

発電所敷地外 10km 以内の危険物貯蔵施設の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。具体的な計算条件等は「別添 4-1 添付資料 3 3.1」にて記載している。

(a-2) 燃料輸送車両の評価

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。

具体的な計算条件等は「別添 4-1 添付資料 4 2.」にて記載している。

(a-3) 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の評価

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。

具体的な計算条件等は「別添 4-1 添付資料 6 2.」にて記載している。

(a-4) 漂流船舶の評価

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外で発生する漂流船舶を選定し、船舶の燃料量と評価対象施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。

具体的な計算条件等は「別添 4-1 添付資料 5 2.」にて記載している。

(b) ガス爆発による影響の評価

(b-1) 危険物貯蔵施設の評価

発電所敷地外 10km 以内の高圧ガス貯蔵施設の爆発による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。

具体的な計算条件等は「別添 4-1 添付資料 3 3.2」にて記載している。

(b-2) 燃料輸送車両の評価

発電所敷地外 10km 以内の燃料輸送車両の爆発による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。

具体的な計算条件等は「別添 4-1 添付資料 4 3.」にて記載している。

(b-3) 漂流船舶の評価

発電所港湾内で出火する漂流船舶の爆発による直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。

具体的な計算条件等は「別添 4-1 添付資料 5 3.」にて記載している。

(2) 想定される近隣の産業施設の火災・爆発に対する設計方針

a. 火災に対する設計方針

(a) 危険物貯蔵施設の影響

(a-1) 原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋及び廃棄物処理建屋への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（56m）以上確保することにより，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 3 3.1」に評価結果を示す。

(a-2) 軽油タンクへの熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から軽油タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離（20m）以上確保することにより，軽油タンクの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 3 3.1」に評価結果を示す。

(a-3) 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））までの離隔距離を必要とされる危険距離（134m）以上確保することにより，燃料移送ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 3 3.1」に評価結果を示す。

(a-4) 主排気筒への熱影響

想定される危険物貯蔵施設の火災による輻射の影響に対し，危険物貯蔵施設から主排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（39m）以上確保することにより，主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 3 3.1」に評価結果を示す。

(b) 燃料輸送車両の影響

(b-1) 原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋及び廃棄物処理建屋への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し，燃料輸送車両から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離（13m）以上確保することにより，当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

る。

「別添 4-1 添付資料 4 2.」に評価結果を示す。

(b-2) 軽油タンクへの熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から軽油タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離（4m）以上確保することにより、軽油タンクの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 4 2.」に評価結果を示す。

(b-3) 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））までの離隔距離を必要とされる危険距離（26m）以上確保することにより、燃料移送ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 4 2.」に評価結果を示す。

(b-4) 主排気筒への熱影響

想定される燃料輸送車両の火災による輻射の影響に対し、燃料輸送車両から主排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（12m）以上確保することにより、主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 4 2.」に評価結果を示す。

(c) 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の熱影響

(c-1) 原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋及び廃棄物処理建屋への熱影響

主変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $6.02 \times 10^3 \text{W/m}^2$ ）で外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定する、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度である 200°C 以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

原子炉冷却材再循環ポンプ可変周波数電源装置入力変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $3.91 \times 10^3 \text{W/m}^2$ ）で外壁が昇温されるものとして算出するコントロール建屋（天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度である 200°C 以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 6 3.」に評価結果を示す。

(c-2) 軽油タンクへの熱影響

隣接する軽油タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($16.2 \times 10^3 \text{W/m}^2$) で軽油及び軽油タンクが昇温されるものとして算出する軽油の温度を、軽油の発火点である 225°C 以下とすることで、軽油タンクの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 6 2.」に評価結果を示す。

(c-3) 燃料移送ポンプへの熱影響

燃料移送ポンプ近傍に位置し最も影響が大きい軽油タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($32.5 \times 10^3 \text{W/m}^2$) で燃料移送ポンプの周囲に設置された防護板(断熱)が昇温されるものとして算出する燃料移送ポンプの温度を、端子ボックススパッキンの耐熱温度である 100°C 以下とすることで、燃料移送ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 6 2.」に評価結果を示す。

(c-4) 主排気筒への熱影響

主変圧器を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($3.08 \times 10^3 \text{W/m}^2$) で鋼材が昇温されるものとして算出する主排気筒の表面温度を鋼材の制限温度である 325°C 以下とすることで、主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 6 2.」に評価結果を示す。

(d) 漂流船舶の火災・爆発

(d-1) 原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋及び廃棄物処理建屋への熱影響

想定される液化石油ガス輸送船舶の火災による輻射の影響に対し、液化石油ガス輸送船舶から各建屋までの離隔距離を必要とされる危険距離 (66m) 以上確保することにより、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 5 2.」に評価結果を示す。

(d-2) 軽油タンクへの熱影響

想定される液化石油ガス輸送船舶の火災による輻射の影響に対し、液化石油ガス輸送船舶から軽油タンクまでの離隔距離を必要とされる危険距離 (17m) 以上確保することにより、軽油タンクの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 5 2.」に評価結果を示す。

(d-3) 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））への熱影響

想定される液化石油ガス輸送船舶の火災による輻射の影響に対し、液化石油ガス輸送船舶から燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））までの離隔距離を必要とされる危険距離（148m）以上確保することにより、燃料移送ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 5 2.」に評価結果を示す。

(d-4) 主排気筒への熱影響

想定される液化石油ガス輸送船舶の火災による輻射の影響に対し、液化石油ガス輸送船舶から主排気筒までの離隔距離を必要とされる危険距離（53m）以上確保することにより、主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 5 2.」に評価結果を示す。

b. ガス爆発に対する設計方針

(a) 危険物貯蔵施設

想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による爆風圧の影響に対し、高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離 以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、想定される高圧ガス貯蔵施設のガス爆発による飛来物の影響については、高圧ガス貯蔵施設から発電用原子炉施設までの離隔距離を、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき算出する容器破損時における破片の最大飛散距離 以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 3 3.2」に評価結果を示す。

(b) 燃料輸送車両

想定される燃料輸送車両のガス爆発による爆風圧の影響に対して、発電所敷地境界の道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離（88m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 4 3.」に評価結果を示す。

また、想定される燃料輸送車両のガス爆発による飛来物の影響に対して、発電所敷地境界の道路から発電用原子炉施設までの離隔距離を、「竜巻飛来物の飛行解析モデルに基づき算出するタンクローリ破片の最大飛散距離（550m）以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 4 4.」に評価結果を示す。

(c) 漂流船舶

想定される液化石油ガス輸送船舶のガス爆発による爆風圧の影響に対して、発電所港湾から発電用原子炉施設までの離隔距離を必要とされる危険限界距離 (176m) 以上確保することにより、評価対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 5 3.」に評価結果を示す。

なお、飛来物による影響については、離隔距離が最大飛散距離以下であるが、柏崎刈羽原子力発電所に最も近い航路でも 30km 以上の離隔距離があり、漂流した船舶が最大飛散距離以内に流れ着いた後に爆発し、なおかつその飛来物が発電用原子炉施設に衝突する可能性は非常に低いことから、想定した漂流船舶の飛来物による柏崎刈羽原子力発電所への影響はない。

「別添 4-1 添付資料 5 4.」に評価結果を示す。

2.4.3.3 発電所敷地内における航空機墜落による火災

(1) 発生を想定する発電所敷地内における航空機墜落による火災の設定及び影響評価

a. 航空機墜落による火災の想定

(a) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域とすることから、柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率評価の対象航空機を大型民間航空機、小型民間航空機、大型軍用航空機、小型軍用航空機に分類し、それぞれの機種別の落下確率の合計が 10^{-7} [回/炉・年] となる標的面積を算出し、その結果から発電用原子炉施設からの離隔距離を算出する。

その上で、選定された航空機ごとの燃料積載量と落下地点から安全施設までの距離をもとに、放射強度が最大となる航空機の種類を特定し、その落下による火災を想定している。

なお、落下実績がない航空機については、保守的に落下実績を 0.5 件としている。

具体的な算出方法、落下事故データ等については「別添 4-1 添付資料 7 2.」にて記載している。

(a-1) 航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳

航空機墜落による火災が発生した場合に、危険物タンク火災との重畳を考慮する。

(b) 火災の想定

以下の火災の想定を踏まえ、航空機落下事故の発生状況や機種による飛行形態の違いに関する最新の知見をもとに、航空機を種類別に分類し、その種類ごとに燃料積載量が最大の航空機を選定している。

- ・ 航空機は、柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- ・ 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- ・ 航空機の落下によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- ・ 気象条件は無風状態とする。
- ・ 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

b. 航空機墜落による火災の影響評価

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、航空機墜落による火災についてカテゴリごとに選定した航空機を対象に、直接的な影響を受ける評価対象施設への影響評価を実施する。

具体的な評価方法は「別添 4-1 添付資料 7 2.」にて記載している。

(2) 航空機墜落等による火災に対する設計方針

a. 航空機墜落による火災

(a) 原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋への熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($501\text{W}/\text{m}^2$) で外壁が昇温されるものとして算出する各建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度である 200°C 以下とすることで、当該建屋内の外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 2」にコンクリートの許容限界温度 200°C の設定根拠を、「別添 4-1 添付資料 7 2.」に評価結果を示す。

(b) 軽油タンクへの熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($58\text{kW}/\text{m}^2$) で軽油及び軽油タンクが昇温されるものとして算出する軽油の温度を、軽油の発火点である 225°C 以下とすることで、軽油タンクの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 2」に軽油の発火点である許容限界温度 225°C の設定根拠を、「別添 4-1 添付資料 7 2.」に評価結果を示す。

(c) 燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））への熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $1445\text{W}/\text{m}^2$ ）で燃料移送ポンプの周囲に設置された防護板（鋼板）が昇温されるものとして算出する燃料移送ポンプ（防護板（鋼板））の温度を、端子ボックスパッキンの耐熱温度である 100°C 以下とすることで燃料移送ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 2 3.5」に燃料移送ポンプの許容限界温度 100°C の設定根拠を、「別添 4-1 添付資料 7 2.」に評価結果を示す。

(d) 主排気筒への熱影響

落下事故のカテゴリごとに選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $450\text{W}/\text{m}^2$ ）で昇温されるものとして算出する主排気筒の表面温度を、鋼材の強度が維持される温度である 325°C 以下とすることで、主排気筒の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 2 別紙 2-3」に主排気筒の許容限界温度 325°C の設定根拠を、「別添 4-1 添付資料 7 2.」に評価結果を示す。

b. 航空機墜落による火災と敷地内危険物タンク火災の重畳

評価対象施設のうち、タービン建屋は非常用電源の一部が 1 階に位置することから、航空機墜落による火災と危険物タンク火災の重畳を考慮する。

(a) タービン建屋への熱影響

航空機墜落による火災のうち評価結果が最も厳しい大型軍用航空機の KC-767 と、敷地内危険物タンク等の火災のうち評価結果が最も厳しい 5 号炉軽油タンク 2 基について、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $2628\text{W}/\text{m}^2$ ）で外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度を、コンクリート許容温度である 200°C 以下とすることで、タービン建屋の安全機能を損なわない設計とする。

「別添 4-1 添付資料 7 2.」に評価結果を示す。

2.4.3.4 ばい煙及び有毒ガス

(1) 二次的影響の検討

火災に伴い発生を想定する二次的影響として、ばい煙及び有毒ガスによる影響を抽出している。

外部火災により発生するばい煙及び有毒ガスについては、火災による上昇気流により上空に運ばれ、発電所近傍に滞留することはない。そのため、ばい煙及び有毒ガスが、換気空調系の外気取入口から建屋内に進入する可能性は低い。ここ

では、高濃度のばい煙及び有毒ガスが建屋内に進入することを想定し、評価を行う。

なお、主要道路、鉄道路線、一般航路及び石油コンビナート施設等は、柏崎刈羽原子力発電所から離隔距離が確保されており、危険物を積載した車両及び船舶を含む事故等による柏崎刈羽原子力発電所への有毒ガスを考慮する必要はない。

(2) 具体的な二次的影響

ばい煙の影響が想定される設備として、設備内にばい煙を含んだ外気を取り込む可能性のある機器、煙や埃に対して脆弱な設備、建屋外部に開口部を有する設備について影響評価を実施する。また、建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。

ここでは、二次的影響を受ける、評価対象施設に属する施設を以下のとおり抽出する。

- ・ 換気空調系
- ・ 非常用ディーゼル発電機
- ・ 安全保護系
- ・ 中央制御室
- ・ 緊急時対策所

(3) 火災の影響評価判断の考え方

a. 二次的影響による評価

二次的影響に対する設計として、外気を取り入れる評価対象施設については、ばい煙に対して、バグフィルタにより一定以上の粒径ばい煙粒子を捕獲等することにより、安全機能を損なわないような設計とする。

(a) 換気空調系

外気を取り入れている空調系統として、原子炉建屋、非常用ディーゼル発電機電気品区域、中央制御室、コントロール建屋計測制御電源盤区域、海水熱交換器区域の換気空調系がある。

これらの換気空調系の外気取入経路には、バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置しているため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙はバグフィルタにより進入を阻止できる。

上記系統のうち、外気取入ダンパを設置し再循環運転が可能である中央制御室換気空調系については、ばい煙の進入が想定される場合には、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行うことにより、ばい煙の進入を阻止できる。それ以外の換気空調系については、空調ファンを停止することでばい煙の進入を阻止できる。

(b) 非常用ディーゼル発電機

非常用ディーゼル発電機は、換気空調系で給気されるエリアに設置していることから、空調ファンを停止することでばい煙の進入を阻止できる。

バグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）の入口と出口間の差圧を検知できる差圧感知計を監視し、差圧が上昇しバグフィルタが目詰まりした場合はバグフィルタの交換が可能である。

なお、非常用ディーゼル機関は吸気系統から外気を取り入れているため、機関内にばい煙が流入し、機関燃焼を阻止することが考えられるが、非常用ディーゼル機関への外気取入経路にはバグフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙粒子が捕獲され、バグフィルタにより捕集されなかったばい煙粒子が機関内へ送気される。バグフィルタでは、粒径が数 μm 程度の粒子が捕集され、それ以下のばい煙が機関内に送気されるが、シリンダまでの通気流路（過給機、空気冷却器等）の隙間より小さいことから閉塞に至ることはない。また、通常運転においても燃料油（軽油）の燃焼に伴うばい煙が発生していることから、機関に損傷を与えることや運転機能を阻害することはない。

(c) 安全保護系

安全保護系は、現場盤が非常用電気品室、安全保護系盤が中央制御室に設置してある。非常用電気品室への外気取入経路にはバグフィルタ（粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して80%以上を捕獲する性能）を設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については侵入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙が非常用電気品室に侵入した場合においても、空調ファンを停止することでばい煙の侵入を阻止することが可能である。また、中央制御室への外気取入経路にはバグフィルタを設置していることから、一定以上の粒径のばい煙については侵入を阻止することが可能である。バグフィルタにより捕集しきれなかったばい煙等が中央制御室内に侵入する可能性がある場合、及び中央制御室内においてばい煙等が流入したことを煙や異臭で確認した場合等は、当直長の指示により、非常時モードへ切り替えることにより、隔離が可能であり安全保護系設備に影響はない。

b. 火災時の有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生については、中央制御室換気空調系及び緊急時対策所換気空調系における外気取入遮断時の室内に滞在する人員に対する環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施し、又は、隔離を確保する等により、居住空間へ影響を及ぼさない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており再循環運転が可能である中央制御室

換気空調系については、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行う。また、それ以外の換気空調系については、空調ファンを停止し、外気取入れを遮断する。

「別添 4-1 添付資料 8 3.」に評価結果を示す。

c. 延焼対策

FARSITE の解析によると、火炎が防火帯に到達する時間は、発電所敷地境界付近からの出火（ケース 3）を想定しても 3 時間程度であり、これに対して、防火帯付近への予防散水は、敷地境界域での火災発見から約 90 分で開始可能である。

敷地外の森林から出火し、敷地内の植生へ延焼するおそれがある場合は、自衛消防隊が出動し、予防散水等の延焼防止措置を行う。また、敷地内の植生へ延焼した場合であっても、適切な離隔距離を保持しており、発電用原子炉施設に影響せず、安全性が損なわれることはない。

森林火災等により発電所敷地付近まで延焼した際の飛び火等による発電所敷地内への延焼対策については、火災防護計画に火災発生時の対応、防火帯の維持・管理等を適切に実施するための対策を定める。

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉
外部事象の考慮について

目次

1. 設計上考慮する外部事象の抽出
 - 1.1 外部事象の収集
 - 1.2 外部事象に対する1次評価
 - 1.2.1 評価基準
 - 1.2.2 1次評価結果
2. 基本方針
3. 地震, 津波以外の自然現象
 - 3.1 設計基準の設定
 - 3.2 個別評価
4. 人為事象(偶発的)
 - 4.1 個別評価
5. 外部事象に対する安全施設への影響評価
6. 自然現象/人為事象の重畳について
 - 6.1 検討対象
 - 6.1.1 検討対象事象
 - 6.1.2 単一の事象における評価基準の重畳検討への適合性
 - 6.1.3 重畳検討対象の抽出結果
 - 6.2 重畳影響分類
 - 6.2.1 重畳影響分類方針
 - 6.2.1-1 事象数
 - 6.2.1-2 規模
 - 6.2.1-3 影響パターン
 - 6.2.2 重畳影響分類結果
 - 6.3 個別評価
 - 6.3.1 アクセス性・視認性について

添付資料

1. 設計上考慮する外部事象の収集・整理
2. 柏崎刈羽原子力発電所における航空機落下確率
3. 防護すべき安全施設及び重大事故等対象施設への考慮
4. 設計基準設定において参考とする年超過確率評価について
5. 風（台風）影響評価について
6. 低温（凍結）影響評価について
7. 降水影響評価について
8. 積雪影響評価について
9. 落雷影響評価について
10. 地滑り影響評価について
11. 生物学的事象影響評価について
12. 有毒ガス影響評価について
13. 船舶の衝突影響評価について
14. 電磁的障害影響評価について
15. 積雪・降下火砕物堆積状態での地震発生時の影響評価について
16. 避雷鉄塔による遮蔽効果に期待しない場合の落雷影響評価について
17. 重畳の考え方について

1. 設計上考慮する外部事象の抽出

柏崎刈羽原子力発電所の安全を確保する上で設計上考慮すべき外部事象の抽出に当たっては、国内で一般に発生し得る事象に加え、欧米の基準等で示されている事象を用い網羅的に収集し（自然現象 55 事象，人為事象 28 事象）類似性，随伴性から整理を行い，地震，津波を除く 61 事象（自然現象 42 事象，人為事象 19 事象）を抽出した。

その上で，各事象に対し 1 次評価を実施し，その結果及び海外文献を参考に策定した評価基準に基づき，より詳細に検討すべき外部事象について 2 次評価を実施した。外部事象に対する影響評価のフロー図を図 1 に示す。

1.1 外部事象の収集

発電用原子炉施設に対して外部から作用する衝撃による損傷を防止するため，自然現象や人為事象に関して，事象を収集する。事象の収集に当たっては，国内外の規制機関や学識経験者による検討結果，PRA にて挙げられた全ての事象を対象とすることで網羅性を確保した。

次に挙げる資料から，国内における規制（資料 a, b）で取り上げている事象や，国外の規制として，米国原子力規制委員会が定めた PRA についてのガイド（資料 c）や IAEA が定めたガイド（資料 d）に取り上げている事象を収集した。

- a. 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306193 号 原子力規制委員会決定）
- b. 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号 原子力規制委員会決定）
- c. NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”，NRC, January 1983
- d. Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”，IAEA, April 2010

さらに，日本の自然現象における実例（資料 e）や，米国の原子力発電設備の維持基準に引用されている米国機械学会の規格（資料 f），また，関連して，地震や洪水を含む様々な過酷な自然現象への対応に適用できるように考案された FLEX（多様かつ柔軟な対応方策）や大規模損壊事象を取り上げている米国 NEI のガイド（資料 g, h）で取り上げられている事象を収集することによって，網羅性を確保した。

- e. 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
- f. ASME/ANS RA-S-2008 “Standard for Level 1/Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- g. DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- h. B.5.b Phase 2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006)-2011.5 NRC 公表

以上の a～h の資料より、外部事象 83 事象（自然現象 55 事象，人為事象 28 事象）が収集された。

これらの事象について、類似事象，随件事象について整理し，設計上考慮する外部事象として外部事象 61 事象（自然現象 42 事象，人為事象 19 事象）を抽出した。（表 1，表 2）これらの事象の抽出過程については，添付資料 1 「設計上考慮する外部事象の収集・整理」のとおり。

なお，自然現象 42 事象に挙げていない地震，津波及びその随件事象はそれぞれ「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下，「設置許可基準規則」という。）第四条（地震による損傷の防止），第五条（津波による損傷の防止）にて扱うこととし，本資料の対象外とする。

1.2 外部事象に対する 1 次評価

1.2.1 評価基準

外部事象に係る海外での評価手法*を参考に，1 次評価にあたり影響を評価する基準を以下のように設定した。評価に当たっては，サイトに外部事象が有意な影響を与えるかという観点の評価（基準 A，基準 B）に加え，サイトに到達した外部事象が設備にどの程度影響を与えるかという観点の評価（基準 C）を実施する，又は，外部事象の影響規模がほかの外部事象に包絡される（基準 D）ことを確認している。

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。

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。

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ることがない。

基準 D：影響が他事象に包絡される。

※評価基準の策定に当たって参照した文献は以下のとおり。

これらの文献は，IAEA 基準や PRA 基準を参考とするために選定した。

- － Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”，IAEA, April 2010
- － ASME/ANS RA-S-2008 “Standard for Level 1 / Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”

1.2.2 1次評価結果

各事象に対する1次評価を実施し、その結果に基づき上記の基準を適用した結果を表3及び表5に示す。

また、1次評価において、影響の程度を確認できないため以下の外部事象は、2次評価としてより詳細な影響評価を行う。

【自然現象】

- ・風（台風）
- ・竜巻
- ・低温（凍結）
- ・降水
- ・積雪
- ・落雷
- ・地滑り
- ・火山
- ・生物学的事象

【人為事象（偶発的）】

- ・火災・爆発（森林火災、近隣工場等の火災・爆発、航空機落下火災等）
- ・有毒ガス
- ・船舶の衝突
- ・電磁的障害
- ・内部溢水*

※内部溢水については、選定結果により、影響の有無、程度の評価を行うべき外部事象であるが、ほかの条文（第九条（内部溢水））で扱うこととし、本資料の対象外とする。

なお、以下の意図的な人為事象は、故意によるものであるため設計上考慮する外部事象として取り上げないが、「第三者の不法な接近」、「妨害破壊行為（内部脅威含む）」及び「サイバーテロ」は、第七条（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）への対応として扱い、「航空機衝突（意図的）」は「核原料物質、核燃料物質及び発電用原子炉の規制に関する法律（以下、「原子炉等規制法」という。）」第四十三条三の六 第一項 第三号（重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力）への適合性説明の中で扱うこととし、本資料の対象外とする。

【人為事象（意図的）】

- ・第三者の不法な接近
- ・航空機衝突（意図的）
- ・妨害破壊行為（内部脅威含む）
- ・サイバーテロ

表 1 自然現象

No.	自然現象
1	降水
2	積雪
3	雪崩
4	ひょう, あられ
5	氷嵐, 雨氷, みぞれ
6	氷晶
7	霜, 霜柱
8	結氷板, 流氷, 氷壁
9	風 (台風)
10	竜巻
11	砂嵐
12	霧, 靄
13	高温
14	低温 (凍結)
15	高温水 (海水温高)
16	低温水 (海水温低)
17	極限的な圧力 (高/低)
18	落雷
19	高潮
20	波浪
21	風津波
22	洪水
23	池・河川の水位低下

No.	自然現象
24	河川の迂回
25	干ばつ
26	火山
27	地滑り
28	海水中の地滑り
29	地面隆起 (相対的な水位低下)
30	土地の浸食, カルスト
31	土の伸縮
32	海岸浸食
33	地下水 (多量/枯渇)
34	地下水による浸食
35	森林火災
36	生物学的事象
37	静振 (※1)
38	塩害, 塩雲 (※2)
39	隕石, 衛星の落下
40	太陽フレア, 磁気嵐
41	土石流
42	泥湧出

※1 湖沼水面の定常的振動

※2 主に塩分濃度の高い湖で発生する, 湖面上に浮遊する塩分を多く含んだ雲

表 2 人為事象

No.	人為事象
1	航空機落下
2	ダムの崩壊
3	火災・爆発
4	有毒ガス
5	船舶の衝突
6	電磁的障害
7	パイプライン事故
8	第三者の不法な接近
9	航空機衝突（意図的）
10	妨害破壊行為（内部脅威含む）
11	サイバーテロ
12	産業施設の事故
13	輸送事故
14	サイト内外での掘削
15	内部溢水
16	タービンミサイル
17	重量物輸送
18	化学物質の放出による水質悪化
19	油流出

表 3 自然現象の1次評価結果 (1/5)

No.	自然現象	評価基準	評価結果	評価内容
1	降水	—	2次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
2	積雪	—	2次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
3	雪崩	A	影響なし	超高圧及起動用開閉所以外の建屋に関しては、周辺斜面と十分な離隔距離があるため、影響が及ぶことはない。超高圧及び起動用開閉所の背面には斜面があるが、比較的高い木が茂っているため雪崩は発生しにくく、かつ発生した場合においても、離隔があるため到達しない。
4	ひょう, あられ	D	影響なし	ひょう, あられは柔飛来物であり、衝突影響により安全施設の機能が損なわれるおそれはない。 衝突影響については、自然現象 No. 10「竜巻」にて評価実施。
5	氷嵐, 雨氷, みぞれ	D	影響なし	雨氷やみぞれに対する堆積(又は着氷)荷重の影響については軽微であり、仮に堆積しても自然現象 No. 2「積雪」や自然現象 No. 26「火山」に包絡される。給気ルーバの閉塞(空調)の影響については自然現象 No. 2「積雪」に包絡されると判断。
6	氷晶	D	影響なし	氷晶による堆積荷重の影響については軽微であり、仮に堆積しても自然現象 No. 2「積雪」や自然現象 No. 26「火山」に包絡される。また、給気ルーバの閉塞(空調)の影響についても自然現象 No. 2「積雪」に包絡されると判断。
7	霜, 霜柱	C	影響なし	設備に損傷を与える影響モードはなく、安全施設の機能が損なわれることはないと判断。

表 3 自然現象の1次評価結果 (2/5)

No.	自然現象	評価基準	評価結果	評価内容
8	結氷板, 流水, 氷壁	A	影響なし	柏崎刈羽原子力発電所周辺での海水の発生, 流水の到達した事例はなく, 安全施設への影響はない。 (仮に, 取水設備への影響が考えた場合であっても, カーテン・ウォールにより深層取水の継続が可能と考えられることから, プラントの安全性が損なわれることはない。)
9	風 (台風)	—	2次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
10	竜巻	—	2次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
11	砂嵐	A	影響なし	柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺には砂漠が存在せず, 砂嵐が発生した事例はない。したがって, 安全施設への影響はない。 (仮に, 砂嵐の影響を考えた場合であっても, 給気ルーバ及びバグフィルタ (粒径約 $2\mu\text{m}$ に対して 80%以上を捕獲する性能) により換気空調系への影響は防止可能であることから, 安全施設の機能が損なわれることはないと判断。)
12	霧, 靄	C	影響なし	設備に損傷を与える影響モードはなく, 安全施設の機能が損なわれることはない。
13	高温	B	影響なし	柏崎市の過去最高気温 (37.6℃) や年超過確率 10^{-4} の気温 (38.8℃) を踏まえると, 換気空調系設計条件を超過する可能性はあるものの, 気温は1日の中で高低差があるため超過は一時的であること, 換気空調系は海水をヒートシンクとして冷却していることから室内の気温上昇の影響は著しくなく安全機能が損なわれることはない。また, 各部屋の温度が長時間にわたり設計室温を上回るおそれがある場合には, 必要に応じてプラントを停止する。 なお, 温暖化による長期的な温度上昇は緩慢であり, 風量調整, 冷却設備の増強等, 室内温度の上昇を抑制する処置を検討・実施する時間余裕がある。
14	低温 (凍結)	—	2次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
15	高温水 (海水温高)	B	影響なし	設計条件を上回る海水温度高に対し定格出力維持が困難な場合も想定されるが, 温度を監視しており, 出力低下, 又はプラント停止措置にて十分対応可能であることから, 安全施設の機能が損なわれることはない。
16	低温水 (海水温低)	C	影響なし	取水設備はカーテン・ウォールにより, 年中温度変化が小さい深層取水を行っていることから, 著しい低温水とはならない。また, 取水温度の低下は冷却性能の劣化につながるものではなく, 安全施設の機能が損なわれることはない。

表 3 自然現象の 1 次評価結果 (3/5)

No.	自然現象	評価基準	評価結果	評価内容
17	極限的な圧力 (気圧高/気圧低)	D	影響なし	低気圧、高気圧による気圧の変化については予測可能であり、必要に応じての事前の備えが可能である。一方、同様の影響がある竜巻については、検知から対応までの時間的余裕が少ないことに加え、風荷重や飛来物衝突といったそのほかの影響も同時に考慮する必要があることから、竜巻の方がプラントへ及ぼす影響が大きいため、気圧差による影響については、自然現象 No. 10「竜巻」に包絡される。
18	落雷	—	2 次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
19	高潮	D	影響なし	高潮は、気圧低下による海面の上昇と、向岸風による海水の吹き寄せによる潮位が高くなる現象であるが、更に満潮が重なって潮位が高くなる場合であっても、基準津波による影響の方が大きく、包絡される。
20	波浪	D	影響なし	波浪は、風浪（風によってその場所に発生する波）とうねり（ほかの場所で発生した風浪の伝わり、風が静まったあとに残される波）の混在した現象であるが、基準津波による影響の方が大きく、包絡される。
21	風津波	D	影響なし	台風等の強風と波浪により発生する事象であるが、基準津波による影響の方が大きく、包絡される。
22	洪水	A	影響なし	柏崎刈羽原子力発電所周辺には氾濫・決壊により、影響を及ぼすような河川・湖等はなく、設計基準事象としての考慮は不要。（図 2 参照） なお、柏崎市洪水ハザードマップの浸水想定区域外であることを確認。（図 3 参照）
23	池・河川の 水位低下	A	影響なし	柏崎刈羽原子力発電所は海水を冷却源としていることから河川等からの取水不可による安全性への影響はないと判断。また、付近に影響を及ぼすような河川はない。（図 2 参照）
24	河川の迂回	A	影響なし	柏崎刈羽原子力発電所は海水を冷却源としていることから河川等からの取水不可による安全性への影響はないと判断。また、付近に影響を及ぼすような河川はない。（図 2 参照）
25	干ばつ	A	影響なし	干ばつによる影響として、河川水や水道水の使用不可が想定されるが、柏崎刈羽原子力発電所は海水を冷却源としていることから、安全施設の機能が損なわれることはない。また、淡水は、淡水貯蔵タンクにて保管していることから、保有水が急速に減少することはなく、影響はない。
26	火山	—	2 次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。

表 3 自然現象の 1 次評価結果 (4/5)

No.	自然現象	評価基準	評価結果	評価内容
27	地滑り	—	2 次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
28	海水中の地滑り	—	他条文にて評価	港湾内については、海底に地滑りの発生し得る起伏がないため発生可能性がない。沿岸部の地滑りに伴い発生の可能性のある津波については、第五条（津波による損傷の防止）において津波事象として考慮。（本資料の対象外）
29	地面隆起（相対的な水位低下）	D	影響なし	地面隆起は地震に伴う随件事象であり、第三条（設計基準対象施設の地盤）にて評価する。また、地面隆起に伴い海水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。
30	土地の浸食、カルスト	B	影響なし	発電所敷地は河川に面していないため浸食されることはなく、カルスト地形でもない。また、土壌が降水や融雪、風の作用によって地表から流出、飛散することにより荒廃することはあるものの、事象進展の遅さから進展防止可能である。また、安全施設近傍には、コンクリート製の排水路を設置しており浸食の影響により安全機能が損なわれることはない。
31	土の伸縮	C	影響なし	発電所敷地での地下水の過剰な汲み上げはなく、影響のある土地の収縮は発生しない。仮に発電所敷地にて地盤の伸縮が発生した場合であっても軽微で、安全上重要な建屋や屋外設備は、岩着や杭基礎であることから影響が及ぶことはない。
32	海岸浸食	B	影響なし	基本的に取水に係る土木構築物はコンクリート製であり浸食はほとんどなく、仮に海底砂の流出等による海底勾配の変化が生じるような場合も、非常に緩やかに進行するものと考えられ保守管理による不具合防止が可能であることから、安全施設の機能が損なわれることはない。
33	地下水（多量/枯渇）	D	影響なし	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、自然現象 No. 27「地滑り」にて考慮し、浸水については、自然現象 No. 34「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。
34	地下水による浸食	C	影響なし	安全上重要な建屋や屋外設備は、岩着や杭基礎であり地下水による土壌浸食の影響が及ぶことは考えにくい。浸水の影響については、安全施設周辺にはサブドレン設備が設置されており地下水位を低く保っていることや、仮に地下水流入を仮定しても検知設備及び排水設備、重要機器室の水密化対策等により安全施設の機能への影響防止可能であることから影響はない。

表 3 自然現象の1次評価結果 (5/5)

No.	自然現象	評価基準	評価結果	評価内容
35	森林火災	—	2次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。 ただし、出火原因となるのは、たき火やタバコ等の人為によるものが大半であると想定し、人為事象 No.3「火災・爆発」において評価する。
36	生物学的事象	—	2次評価要	柏崎刈羽原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
37	静振	D	影響なし	静振は、津波や波浪といった事象に誘発されるものであり、それ単体での影響はなく、基準津波の影響評価に包絡。
38	塩害、塩雲	C	影響なし	腐食による影響については、事象進展が遅く保守管理による不具合防止が可能であることに加え、防食塗装による発生防止措置も実施されていることから、安全施設の機能が損なわれることはない。
39	隕石、衛星の落下	A	影響なし	安全施設の機能に影響が及ぶ規模の隕石等が衝突に至る可能性は、極低頻度な事象であり、影響はない。(※1)(※2)
40	太陽フレア、 磁気嵐	C	影響なし	太陽フレア、磁気嵐により誘導電流が発生する可能性があるが、影響が及んだとしても変圧器等の一部に限られると考えられることや、万が一、発電所外を含めた送変電設備に影響が及ぶような場合においても、プラント停止等適切な措置を講じることとしているため、安全施設の機能が損なわれることはない。
41	土石流	A	影響なし	土石流に関しては、敷地内に溪流がなく、土石流危険区域に指定されていないことから土石流が敷地内へ到達することはない。(図 4)
42	泥湧出	—	他条文にて評価	地盤の脆弱性に係る影響であり、第三条（設計基準対象施設の地盤）への対応として評価。 (本資料対象外)

※1 隕石の考慮について

(1) 国内の隕石落下記録による落下確率計算

隕石については、国内外で多数の落下事例が確認されており、日本において数グラムのものから数十 kg に至るものについて記録が存在する。

しかし、それらの記録については、あくまで地上に落下したものについて確認されたものであって、海へ落下したものは確認困難であること、地上に落下したものであっても確認されていないものも多数存在すると考えられる。

これらを踏まえ、落下頻度の計算した結果を以下に示す。

(計算条件)

- ・対象隕石 国内隕石の落下記録^(注1)において、比較的、記録の多い1800年以降であって、かつ、建屋・設備への影響を否定できない1kg以上の隕石は、2013年3月までの期間に14回であるが、ここでは相対的に信頼性が高く、落下頻度が高くなる1900年以降を対象隕石とする。(1900年以降の隕石落下は8回。)
- ・落下頻度 隕石の落下については、上述のとおり、未確認のものも多数存在すると思われるため、落下頻度の算出に当たっては、上記対象隕石が非森林地域、かつ落下が確認されやすい地域に落下したものとする。

(計算結果)

国内の非森林地域への落下頻度は、約 7.08×10^{-2} 回/年 (1900年3月～2013年3月の記録ベース。1800年以降の記録で算出した場合、約 6.57×10^{-2} 回/年) となり、柏崎刈羽敷地等への落下頻度を面積比から算出した結果は表4のとおり。

表4 隕石の落下頻度

対象	落下頻度 (回/年)
柏崎刈羽原子力発電所敷地内	3.1×10^{-6}
防護区域 (荒浜+大湊)	5.2×10^{-7}
防護区域 (大湊)	1.6×10^{-7}
1～7号原子炉建屋+6号及び7号炉コントロール建屋	3.5×10^{-8}
6号及び7号炉原子炉建屋+6号及び7号炉コントロール建屋	9.7×10^{-9}

(計算概要)

対象隕石の国内への落下頻度は、1900年3月から2013年3月までに8回の落下であることから、

$$8 / (2013 - 1900) = 7.08 \times 10^{-2} \text{ (回/年)}$$

となる。ここで、非森林地域であり、落下が確認されやすい地域を国土面積の25.1%^(注2)とすると、

- ・日本国土面積のうち非森林地域： $377,962 \times 0.251 = 94,868$ [km²]

・ 柏崎刈羽原子力発電所敷地面積：4.20[km²]

であることから、柏崎刈羽原子力発電所敷地への隕石の落下頻度は、以下のとおりとなる。

$$4.20 / 94,868 \times 7.08 \times 10^{-2} = 3.1 \times 10^{-6} \text{ (回/年)}$$

そのほかの落下頻度については、上記と同様に求めた。

(注1)： 国立科学博物館 HP 日本の隕石リストを参照

(注2)： 国土交通省 土地白書 平成26年版 我が国の国土利用の現況を参照

以上より、隕石が敷地内の安全施設へ落下し、その安全性に影響を及ぼすケースは非常に稀であり、発電用原子炉施設の周囲に落ちたときの衝撃については、頑健性のある外殻となる建屋による防護に期待できるといった観点から、影響はないと考えられる。また、津波を起こすような隕石は、大規模なものであり、かつ日本海への落下を考慮すると、その落下頻度は極低頻度となる。

なお、国内に落下した1800年以降の隕石の直径は数m以下であるが、一般的に、隕石等は大気圏通過に伴いその大半が燃え尽き、また一部は破碎することを考慮すると、落下隕石が宇宙空間に存在していた時には、その大きさは、より大きなものであったと推定される。

※2 衛星の落下の考慮について

人工衛星が落下した場合については、衛星の大部分が大気圏で燃え尽き、一部破片が落下する可能性があるものの発電用原子炉施設に影響を及ぼすことはないものと考えられる。

(2) トリノスケールによる落下確率計算

地球近傍の天体が、地球に衝突する確率及び衝突した際の被害状況を表す尺度として、トリノスケールがあるが、NASAによると2016年において、今後100年間に衝突する可能性があるすべての天体についてレベル0とされている。このレベル0は、衝突確率が0か限りなく0に近い、又は、衝突したとしても大気中で燃え尽き被害がほとんど発生しないことを示す。

(1)では、国内の落下記録を用い落下確率を計算したが、参考に、NASAのリストにおいて、2016年現在最も衝突確率の高い2010RF₁₂について、今後100年間の柏崎刈羽原子力発電所への落下確率を計算すると以下のとおりである。

地球の表面積：510,072,000 km²

柏崎刈羽原子力発電所の敷地面積：4.20 km²

敷地内に衝突する確率は、概算で以下のとおりとなる。

$$6.5 \times 10^{-2} \times (4.20 / 510,072,000) = 5.4 \times 10^{-10}$$

(1)の結果である 3.1×10^{-6} (回/年) と、 5.4×10^{-10} では、 10^4 程度の差異が生じているが、これは対象とする隕石が、(1)では1kg以上のものを抽出しているが、(2)では落下した際に被害を及ぼす規模のものから抽出しており、(2)では小規模のものは取り除かれているためであると考えられる。敷地内に隕石が落下する確率としては、(2)に比べ(1)が大きな確率ではあるが、この値も低頻度である。

表 5 人為事象の 1 次評価結果 (1/3)

No.	人為事象	評価基準	評価結果	評価内容
1	航空機落下	A	影響なし	落下確率は 10^{-7} 回/炉・年を下回ることから影響はないと判断。(※)
2	ダムの崩壊	A	影響なし	<p>柏崎刈羽原子力発電所の近くには、ダムの崩壊により柏崎刈羽原子力発電所に影響を及ぼすような河川はない。したがって、ダムの崩壊の影響はない。(図 2 参照)</p> <p>なお、発電所敷地から南方約 3~4km に鯖石川があり、その上流に栃ヶ原ダム、鯖石川ダムがある。また、鯖石川の支流である別山川の上流に後谷ダムがある。</p> <p>当該ダムが崩壊した場合、ダムに蓄えられた水は鯖石川を増水させ、あるいは流域に拡がり勢いを失いながら日本海へ流下する。したがって、発電所近辺の浸水状況は、鯖石川水系が増水した場合の浸水想定(図 3)に類すると考えられ、発電所敷地と河川又はダムとの間に距離があること、河川の流下方向が敷地へ向いていないこと、河川と敷地の間に地形的高まり(約 60m)があることから、発電所敷地へ影響することはない。</p> <p>発電所敷地内の淡水貯水池については、堤体が地震及びその随件事象による影響に対して、機能維持できる設計としている。また、保守的に保有水の全量が 6 号及び 7 号炉の敷地に流入したとしても、浸水深は 10cm 程度であり、溢水防護対象設備に影響を与えないと評価している。</p> <p>なお、淡水貯水池の堤体については、第五十六条(重大事故等の収束に必要な水の供給設備)への対応として評価。(本資料の対象外)</p> <p>溢水については、第九条(溢水による損傷の防止等)への対応として評価。(本資料の対象外)</p>
3	火災・爆発	—	2 次評価要	外部火災として、森林火災、近隣工場等の火災・爆発、航空機落下火災等の評価。
4	有毒ガス	—	2 次評価要	<p>柏崎刈羽原子力発電所の近くには、有毒ガスの漏えいにより柏崎刈羽原子力発電所に影響を及ぼすような石油化学コンビナート等はない。また、タンクローリやケミカルタンカー等の可動施設についても発電用原子炉施設からの離隔距離が確保されることから影響はない。</p> <p>このため、発電所敷地内施設からの有毒ガスの漏えいを想定し、中央制御室の居住性について評価を実施する。</p>

※：本発電用原子炉施設への航空機の落下確率は、これまでの事故実績をもとに、民間航空機、自衛隊機及び米軍機を対象として評価した。その結果は、約 3.4×10^{-8} 回/炉・年であり、 10^{-7} 回/炉・年を下回る。したがって、航空機落下を考慮する必要はない。なお、添付資料 2 のとおり。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

表 5 人為事象の1次評価結果 (2/3)

No.	人為事象	評価基準	評価結果	評価内容
5	船舶の衝突	—	2次評価要	発電所近傍の航路までは、30km程度の離隔があることから影響はない。 小型船舶については、護岸等により影響を受けないことを評価する。
6	電磁的障害	—	2次評価要	無線通信連絡設備（PHS）等による擾乱に対して、影響を受けないことを評価する。
7	パイプライン事故	A	影響なし	
8	第三者の不法な接近	—	他条文にて評価	第七条（発電用原子炉施設への不法な侵入等の防止）への対応として評価。（本資料対象外）
9	航空機衝突（意図的）	—	他条文にて評価	原子炉等規制法 第四十三条三の六 第一項 第三号（重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力）への適合性説明の中で扱う。（本資料の対象外）
10	妨害破壊行為（内部脅威含む）	—	他条文にて評価	第七条（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）への対応として評価。（本資料対象外）
11	サイバーテロ	—	他条文にて評価	第七条（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）への対応として評価。（本資料対象外）

表 5 人為事象の1次評価結果 (3/3)

No.	人為事象	評価基準	評価結果	評価内容
12	産業施設の事故	D	影響なし	人為事象 No. 3「火災・爆発」, 人為事象 No. 4「有毒ガス」にて評価。
13	輸送事故	D	影響なし	人為事象 No. 3「火災・爆発」, 人為事象 No. 4「有毒ガス」にて評価。
14	サイト内外での掘削	C	影響なし	サイト内: 事前調査で埋設ケーブル・配管の位置を確認し, 損傷は回避できるが, 万一損傷させた場合でも, 安全系機器は位置的分散が図られているため, 複数の安全機能を同時に喪失することはないと判断。 サイト外: 送電鉄塔付近での掘削による斜面倒壊が考えられるが, 非常用所内電源設備があるため, プラントの安全性が損なわれることはないと判断。
15	内部溢水	—	他条文にて評価	第九条 (溢水による損傷の防止等) への対応として評価。(本資料の対象外)
16	タービンミサイル	A	影響なし	第十八条 (蒸気タービン) の要求事項のため, 本資料の対象外。(従前の「指針 5 飛来物等に対する設計上の考慮」にて評価しているとおおり, 安全上重要な機器が破損する確率が 10^{-7} /年以下)
17	重量物輸送	C	影響なし	屋内では, 燃料集合体の落下について評価し, 敷地境界外での実効線量当量が十分低いことを確認済み。第十六条 (燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設) の要求事項ため, 本資料の対象外。(従前の「指針 49 燃料の貯蔵設備及び取扱設備」にて評価しているとおおり, 6号及び7号炉とも約 1.1×10^{-2} mSv) 屋外では, 重量物輸送車両やクレーン等の重機転倒により外部電源の喪失が想定されるが, 屋外機器の損傷は限定的であり, 安全施設の機能が損なわれることはないと判断。
18	化学物質の放出による水質悪化	B	影響なし	発電所敷地内にある化学物質 (軽油等) は, 堰で囲み, 建屋内で保管する等流出防止が図られているため, 事象発生の可能性は低い。漏えいにより冷却水の水質が悪化した場合でも, 冷却効率低下による出力降下や配管や熱交換器の腐食が考えられるが, 事象進展が遅く保守管理による不具合防止が可能であるため, プラントの安全性が損なわれることはないと判断。
19	油流出	D	影響なし	人為事象 No. 3「火災・爆発」, 人為事象 No. 5「船舶の衝突」にて評価。

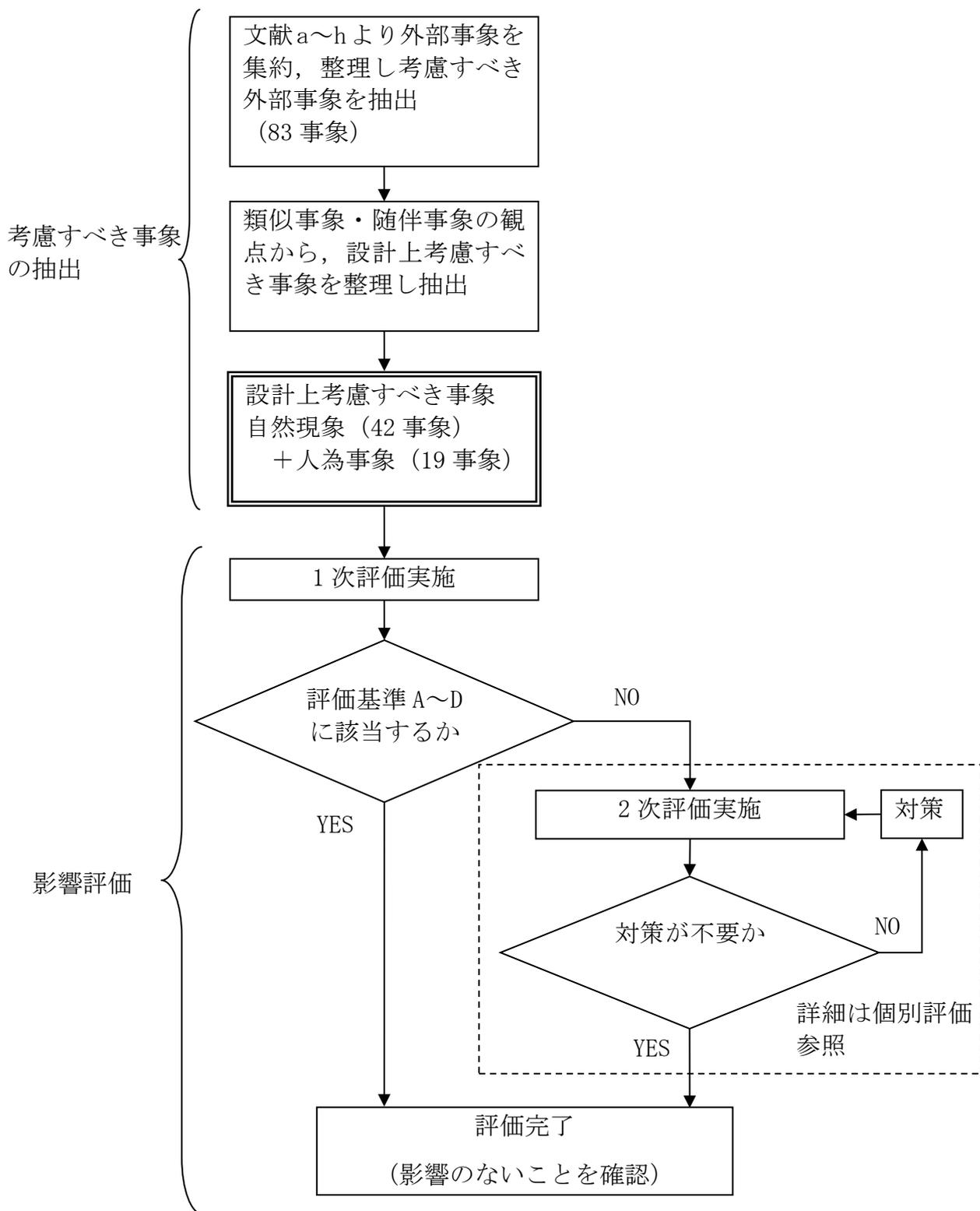


図 1 外部事象影響評価のフロー図



後谷ダム
 平成 18 年完成
 貯水量：1,150 千 m³
 用途：農業用水



栃ヶ原ダム
 平成 18 年完成
 貯水量：2,470 千 m³
 用途：農業用水

鯖石川ダム
 昭和 49 年完成
 貯水量：6,000 千 m³
 用途：洪水調節
 農業用水

図 2 柏崎刈羽原子力発電所と周辺の河川，ダムの状況

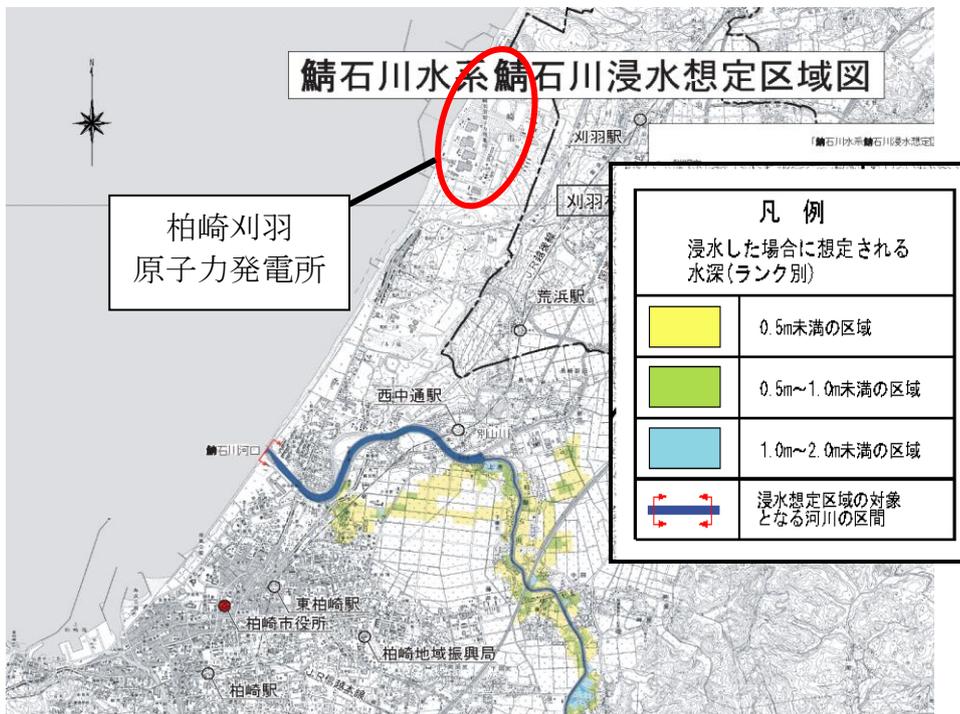
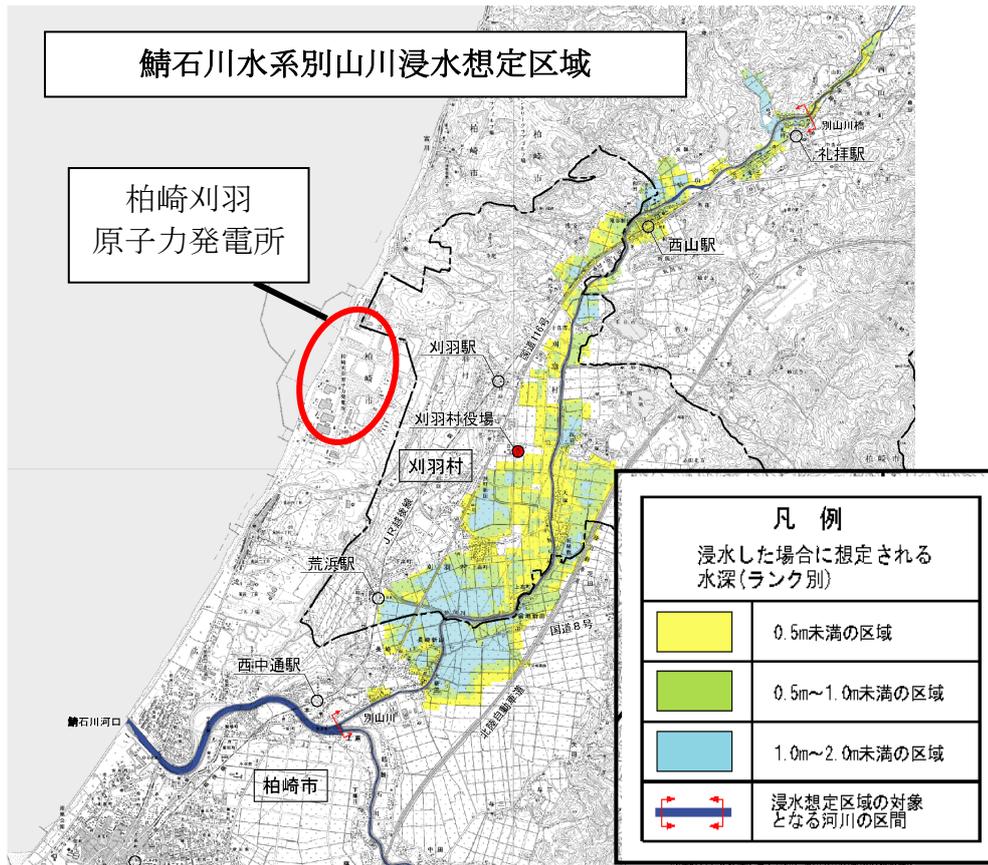


図 3 柏崎市の浸水想定区域



出典：「国土数値情報（土砂災害危険箇所（平成 22 年度），土砂災害警戒区域（平成 25 年度）国土交通省）に加筆

図 4 柏崎刈羽原子力発電所周辺の土砂災害危険箇所・警戒区域

2. 基本方針

安全施設は、1.にて選定した各外部事象又はその重畳によって、安全機能を損なわない設計とする。

ここで、第6条における安全施設とは、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」にて規定されているクラス1、クラス2及び3に属する構築物、系統及び機器(以下、「安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器」という。)を指していることから、選定した各外部事象に対して防護する安全施設は、安全重要度分類のクラス1、クラス2及びクラス3に属する構築物、系統及び機器とする。

その上で、上記構築物、系統及び機器の中から、発電用原子炉を停止するため、また、停止状態にある場合は引き続きその状態を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器、並びに、使用済燃料プールの冷却機能及び給水機能を維持するために必要な異常の発生防止の機能、又は異常の影響緩和の機能を有する構築物、系統及び機器として安全重要度のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器に加え、それらを内包する建屋を外部事象から防護する対象(以下、「外部事象防護対象施設」という。)とする。

外部事象による安全施設への影響評価(2次評価)を行うに当たっては、考慮すべき最も苛酷と考えられる条件を設計基準とする。

また、影響評価については、外部事象防護対象施設として、外部事象に対し必要な構築物、系統及び機器又はそれを内包する建屋を評価し、安全機能が維持できることを確認する。また、安全機能が維持されない場合には対策を実施する。

上記以外の安全施設については、各外部事象に対して機能維持する、又は、各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な場合、安全機能が維持可能であることから影響評価の対象外とする。

外部事象による安全施設への評価フローは図 5 のとおり。

各外部事象の重量については、自然現象及び人為事象を網羅的に組み合わせて評価する。

なお、安全施設への考慮における、根拠となる条文等については、「添付資料 3 防護すべき安全施設及び重大事故等対処設備への考慮」のとおり。

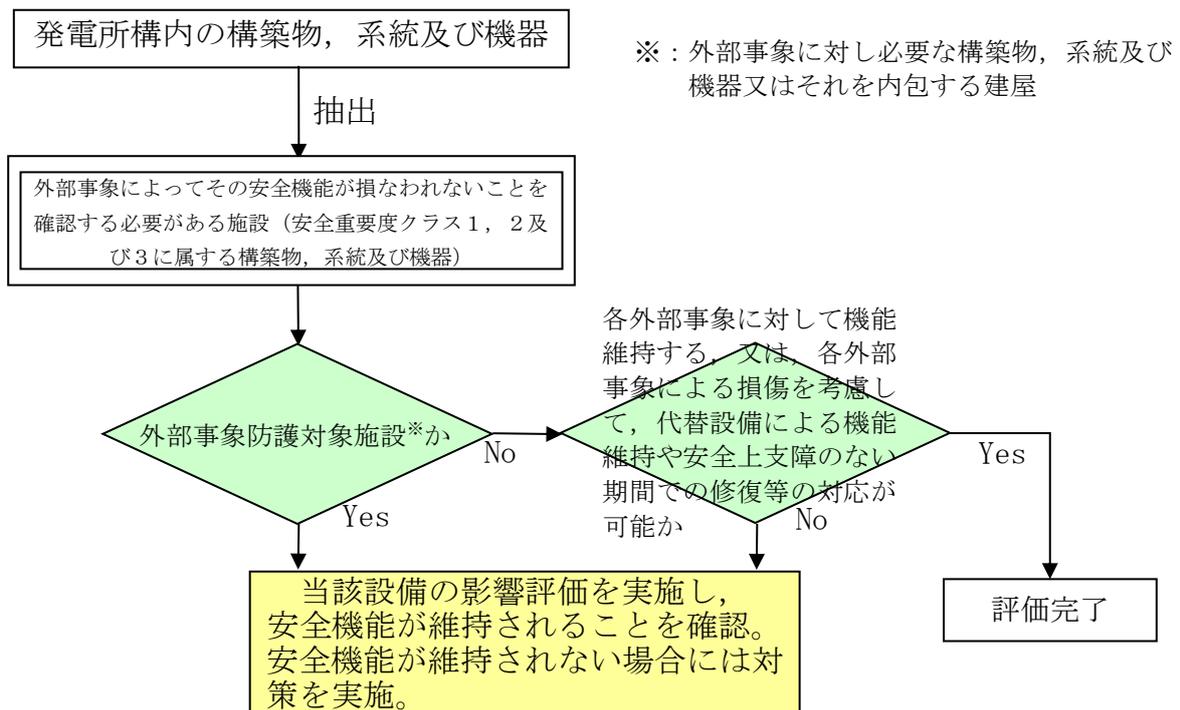


図 5 外部事象による安全施設への評価フロー

3. 地震，津波以外の自然現象

安全施設は，以下のとおり自然現象によって，安全施設の安全性を損なわない設計とする。

2次評価を実施する自然現象としては，風（台風），竜巻，低温（凍結），降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象が挙げられる。

3.1 設計基準の設定

設計基準について、以下に挙げる①及び②を参照するとともに、参考として③についても評価・確認の上、最も保守的となる値を採用する。ただし、以下のいずれの方法でも設計基準の設定が行えないものについては、当該事象が発生した場合の安全施設への影響シナリオを検討の上、個別に設計基準の設定を行う。（例：火山については、上記考え方に基づく設計基準の特定は困難なため、個別に考慮すべき火山事象の特定を実施した上で設計基準を設定する。）

① 規格基準類

選定した自然現象に関する規格・基準類が存在する場合、それを参照する。

② 観測記録

柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺における観測記録を調査の上、観測史上1位を参照する。

③ 年超過確率評価

柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺における観測記録をもとに年超過確率評価を実施し、上記①、②により設定した設計基準値について年超過確率を確認する。自然現象の特性に応じた想定すべき年超過確率の規模を、①、②により設定した設計基準値が下回る場合には、年超過確率評価をもとにした設計基準値の見直しを図る。

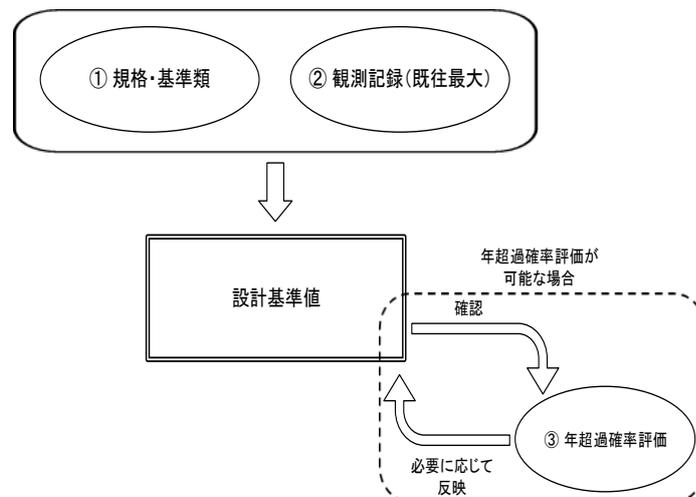


図 6 設計基準の設定

なお、年超過確率評価に基づく設定の考え方については、「添付資料 4 設計基準設定において参考とする年超過確率評価について」のとおり。

3.2 個別評価

(1) 風（台風）

建築基準法施行令によると、柏崎市及び刈羽村において建築物を設計する際に要求される基準風速は 30m/s（地上高 10m, 10 分間平均）である。

観測記録によると、最大風速は柏崎市 16m/s, 新潟市 40.1m/s, 上越市 23.1m/s である。

観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-4} /年値によると、最大風速は新潟市 39.0m/s, 上越市 21.5m/s である。

設計基準風速は保守的に最も風速が大きい新潟市の観測記録史上 1 位である 40.1m/s（地上高 10m, 10 分間平均）とする。

なお、最大瞬間風速等の風速変動といった局所的かつ一時的な影響であれば、竜巻の最大瞬間風速の影響に包絡されるが、本号では風（台風）の影響範囲、継続性を鑑み、風（台風）に対して設計基準風速を設定する。

設計基準風速の設定に当たっては、最大風速を採用することにより、その風速の 1.5~2 倍程度の最大瞬間風速^{*}を考慮することになること、現行の建築基準法では最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮した係数を最大風速に乘じ風荷重を算出することが定められていることから、設計基準風速としては最大風速を設定する。

その上で、外部事象防護対象施設は、設計基準風速（40.1m/s, 地上高 10m, 10 分間平均）の風荷重に対し機械的強度を有することにより安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、風（台風）により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

また、風（台風）の設計基準風速は、竜巻影響評価における設計竜巻の最大風速に、風（台風）の発生に伴う飛来物の影響は、竜巻影響評価にて想定して

いる設計飛来物の影響に包絡されており、安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 5 風（台風）影響評価について」のとおり。

※：気象庁：<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

(2) 竜巻

竜巻に対する規格基準は、国内では策定されていない。

観測記録によると、新潟県の最大竜巻規模は F1（風速 33～49m/s）、日本海側の最大竜巻規模は F2（風速 50～69m/s）である。

観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-5} / 年値によると、竜巻規模は F2（風速 59m/s）である。

また、使用した竜巻の統計データの不確実性については検討を実施しており、F スケール不明の海上竜巻の発生数は、陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分して取り扱っているが、竜巻検討地域を「北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸」にすることに伴う竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性を踏まえ、基準竜巻の最大風速は、 10^{-5} から一桁下げた年超過確率 10^{-6} における風速である 76m/s（F3）とする。

設計竜巻の最大風速は、地形効果による竜巻増幅を考慮する必要はないが、将来的な気候変動の不確実性を踏まえ、F3 の風速範囲の上限値 92m/s とする。

竜巻特性値（移動速度、最大接線風速、最大接線風速半径、最大気圧低下量、最大気圧低下率）については、竜巻風速場としてフジタモデルを選定した場合における設計竜巻の最大風速 92m/s での竜巻特性値を適切に設定する。

安全施設のうち外部事象防護対象施設は、以下を実施し、設計竜巻の最大風速 92m/s の竜巻が発生した場合においても、竜巻及びその随伴事象によって安全機能を損なわない設計とする。

- ・ 柏崎刈羽原子力発電所における飛来物に係る調査
- ・ 飛来物の発生防止対策

- ・考慮すべき設計荷重（風圧力による荷重，気圧差による荷重，飛来物による衝撃及びその他組み合わせ荷重）に対する外部事象防護対象施設の構造健全性等の評価を行い，必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，竜巻及びその随件事象により損傷した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお，評価結果の詳細は「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 13061911 号 原子力規制委員会決定）」に基づく審査資料「別添 2-1 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 竜巻影響評価について」のとおり。

(3) 低温（凍結）

低温に対する法令及び規格基準の要求はない。

観測記録によると，柏崎市の最低気温の観測記録史上 1 位の低温は -11.3°C である。

観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-4} /年値によると，柏崎市の最低気温は -15.2°C となる。

低温における設計基準温度は，観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-4} /年値の -15.2°C とする。低温の継続時間については，過去の最低気温を記録した当日の気温推移を鑑み，24 時間とする。

また，設計基準温度より高い温度 (-2.6°C) が長期間 (173.4 時間) 継続した場合について考慮する。

その上で，外部事象防護対象施設は，屋内設備について換気空調系により環境温度を維持し，屋外設備については保温等の凍結防止対策を必要に応じて行うことにより，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記に含まれない構築物，系統及び機器は，低温により凍結した場合であっても，代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお，評価結果の詳細は「添付資料 6 低温影響評価について」のとおり。

(4) 降水

降水に対する排水施設の規格・基準として、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新潟県林地開発許可審査要領においては、観測所「長岡」における雨量強度は継続時間 60 分の場合 51.1mm/h である。

観測記録によると、柏崎市の降水量の最大は 52mm/h である。

観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-4} / 年値によると、柏崎市の最大降水量は 1 時間降水量 101.3mm/h である。

設計基準降水量は保守的に最も降水量が大きい、観測記録の統計処理による 101.3mm/h とする。

安全施設は、発電用原子炉施設内において設計基準降水量 (101.3mm/h) の降水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。

降水による浸水については、安全施設のうち外部事象防護対象施設は、設計基準降水量 (101.3mm/h) の降水による浸水に対し、構内排水路による海域への排水、浸水防止のための建屋止水処置等により、安全機能を損なわない設計とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、設計基準降水量 (101.3mm/h) の降水による荷重に対し、排水口による海域への排水等により安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、降水により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 7 降水影響評価について」のとおり。

(5) 積雪

設計基準積雪量は、規格・基準類及び観測記録を参照するとともに、参考として、観測記録を統計処理した値を確認の上、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。

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よると、建築物を設計する際に要求される基準積雪深は、柏崎市においては

130cm であり、刈羽村においては 170cm である。ただし、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、同上第 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かとされている。

発電所構内の除雪体制が確立されていることから、考慮すべき観測記録は、1 日の降雪量となり、柏崎市において、日降雪量の最大値は 72cm である。

同様に、観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-4} / 年値によると、1 日あたりの積雪量は 135.9cm である。

上記を踏まえ、設計基準積雪量は、統計処理による 1 日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-4} / 年値 135.9cm をもとに設定するが、それ以前に積もった積雪分（最深積雪深の平均値 31.1cm）を加えた 167cm とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、設計基準積雪量（167cm）の積雪荷重に対し機械的強度を有すること、また、非常用換気空調系の給・排気口は、設計基準積雪量より高所に設置することにより安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、積雪により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 8 積雪影響評価について」のとおり。

(6) 落雷

電気技術指針 JEAG4608 においては、500kV 開閉所における送電線及び電力設備に対して基準電流を 150kA としている。また日本工業規格 JIS A 4201:2003「建築物等の雷保護」、消防庁通知によると、原子力発電所の危険物施設に対して基準電流 150kA と規定されている。

落雷位置標定システムによる、新潟県全域から本州内陸部の観測によると、最大落雷電流値は、460kA（夏季）、449kA（冬季）である。これらの観測記録は新潟県周辺の広範な地域で観測された雷撃電流値を示しており、発電所敷地内の避雷鉄塔及び他号炉主排気塔による落雷の遮蔽の効果を考慮した場合、夏季と冬季のうち大きい方の夏季の電流値で 114kA となる。

観測記録の統計処理による年超過確率 10^{-4} / 年値によると、最大落雷電流値は 156kA である。

落雷の設計基準電流値は、観測記録の統計処理に敷地内における避雷鉄塔等の遮蔽効果を考慮した 6 号炉及び 7 号炉への 10^{-4} 件 / 年雷撃電流値約 156kA に、余裕を加えた 200kA とする。

その上で、外部事象防護対象施設の雷害防止対策として、原子炉建屋等への避雷針の設置、接地網の敷設による接地抵抗の低減等を行うとともに、安全保護系への雷サージ侵入の抑制を図る回路設計を行うことにより安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、落雷により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 9 落雷影響評価について」のとおり。

(7) 地滑り

安全施設は、発電用原子炉施設内において地滑りが発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、斜面からの離隔距離を確保し地滑りのおそれがない位置に設置することにより安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、地滑りにより損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 10 地滑り影響評価について」のとおり。

(8) 火山

柏崎刈羽原子力発電所に対して考慮すべき火山事象は、敷地周辺の第四紀に活動した火山の活動時期や噴出物の種類と分布、敷地との位置関係から、降下火砕物である。

降下火砕物の層厚に対する規格基準は、国内では策定されていない。

観測記録については、敷地周辺に堆積する降下火砕物について検討を行った。噴出源が同定できる降下火砕物については、その給源となる火山が、将来敷地で確認されている規模相当で噴火する可能性が十分低いと評価した。また、噴出源が同定できない降下火砕物については、敷地内で最大層厚約 35cm が確認されているが、堆積過程において水系等の影響を受けて堆積したものと推定され、当時の堆積環境は現在と大きく異なっていると考えられる。

一方、文献、既往解析結果の知見及び降下火砕物シミュレーションを用いて検討した結果、降下火砕物の層厚を約 23.1cm と評価した。

上記を踏まえ、想定する降下火砕物の最大層厚は、評価結果の約 23.1cm に対し、敷地内で給源不明なテフラの最大層厚 35cm が確認されていることを踏まえ、保守的に 35cm と設定する。詳細の堆積厚は、「原子力発電所の火山影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 13061910 号 原子力規制委員会決定）」に基づく審査資料「別添 3-1 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 火山影響評価について」のとおり。

安全施設のうち外部事象防護対象施設は、設定した降下火砕物の設計基準堆積量等に対し、以下の影響について、安全機能を損なわない設計とする。

- ・直接的影響（降下火砕物の堆積荷重，化学的影響（腐食），降下火砕物による閉塞等）
- ・間接的影響（長期間の外部電源の喪失等）

また、上記に含まれない構築物，系統及び機器は、降下火砕物により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお、評価結果の詳細は「原子力発電所の火山影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 13061910 号 原子力規制委員会決定）」に基づく審査資料「別添 3-1 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 火山影響評価について」のとおり。

(9) 生物学的事象

安全施設は、発電用原子炉施設内において生物学的事象として海洋生物であるクラゲ等の発生、小動物等の侵入が発生した場合においても、その安全機能を損なわない設計とする。

その上で、外部事象防護対象施設は、クラゲ等の発生に対して、クラゲ等を含む塵芥による原子炉補機冷却海水系等への影響を防止するため、除塵装置及び海水ストレーナを設置し、必要に応じて塵芥を除去することにより、安全機能を損なわない設計とする。

小動物の侵入に対しては、屋内設備は建屋止水処置等により、屋外設備は端子箱貫通部の閉止処置を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記に含まれない構築物、系統及び機器は、生物学的事象により損傷した場合であっても、代替手段があること等により安全機能は損なわれない。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 11 生物学的事象影響評価について」のとおり。

4. 人為事象（偶発的）

安全施設は、以下のとおり想定される偶発的な人為事象によって、安全施設の安全性を損なわない設計とする。

想定される偶発的な人為事象としては、火災・爆発、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害が挙げられる。

4.1 個別評価

(1) 火災・爆発（森林火災、近隣工場等の火災、航空機落下火災等）

（爆発）

大きな爆発が発生するおそれがある施設としては、石油コンビナート等が想定される。石油コンビナート等とは、石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域内の特定事業所及びコンビナート等保安規則で規制される特定製造事業所が想定されるが、いずれの施設についても柏崎刈羽原子力発電所から 10km 以遠であり、発電用原子炉施設に影響がないことを確認した。

（森林火災）

防火帯から約 0.4km、約 0.6km 及び約 3km 離れた敷地外の道路沿いで出火し、敷地内の森林まで延焼することを想定して原子炉建屋の外壁温度を評価したところ、許容温度（200℃）を下回ることを確認した。

火線強度から求めた防火帯幅は約 20m であり、6 号及び 7 号炉とも林縁まで十分な距離があることを確認した。

また、発電所構内の林縁まで火災が到達するまでに約 3 時間という結果に対して、発電所構内に常駐している自衛消防隊が消火活動を開始するまでに十分な時間余裕があることを確認した。

外気取入ダンパを設置し再循環運転が可能である中央制御室換気空調系については、ばい煙の進入が想定される場合には、外気取入ダンパを閉止し、再循環運転を行うことにより、ばい煙の進入を阻止できる。それ以外

の換気空調系については、空調ファンを停止することにより煙の進入を阻止できることを確認した。

(近隣工場等の火災・爆発)

(爆発)で示したとおり、発電所近隣の工場で爆発により影響があると考えられるものはないことから、敷地周辺の道路を運行中の燃料輸送車両の火災・爆発、発電所港湾内へ侵入してきた漂流船舶の火災・爆発、敷地内危険物タンクの火災による影響を評価した。

燃料輸送車両及び漂流船舶ともに、火災で原子炉建屋外壁面が許容温度(200℃)以下となる危険距離、爆発で人体に影響がないとされる爆風圧(0.01MPa)以下となる危険限界距離のいずれに対しても、十分な離隔距離があることを確認した。

また、敷地内危険物タンクについては、軽油タンクの火災を想定し、原子炉建屋外壁面が許容温度(200℃)を下回ることを確認した。

(航空機墜落による火災)

航空機が発電用原子炉施設周辺で落下確率が 10^{-7} 回/炉・年以上になる地点へ落下することを想定し、発電用原子炉施設に対する火災の影響を評価した結果、6号炉及び7号炉の外壁面温度が許容温度(200℃)を下回ることを確認した。

なお、詳細評価については、「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 原子力規制委員会決定)」に基づく審査資料「別添4-1 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉 外部火災影響評価について」のとおり。

(2) 有毒ガス

有毒ガスの漏えいについては固定施設(石油コンビナート等)と可動施設(陸上輸送、海上輸送)からの流出が考えられる。発電所周辺には周辺監視区域が設定されているため、発電用原子炉施設と近隣の施設や周辺道

路との間には離隔距離が確保されていることから、有毒ガスの漏えいを想定した場合でも、中央制御室の居住性が損なわれることはない。また、敷地港湾の前面の海域を移動中の可動施設から有毒ガスの漏えいを想定した場合も同様に、離隔距離が確保されているため、中央制御室の居住性が損なわれることはない。

発電所敷地内に貯蔵している化学物質については、貯蔵設備からの漏えいを想定した場合でも、非常用換気空調系等により中央制御室の居住性が損なわれることはない。

なお、評価結果の詳細については、「添付資料 12 有毒ガス影響評価について」のとおり。

(3) 船舶の衝突

最も距離の近い航路でも柏崎刈羽原子力発電所より 30km の離隔距離があり、航路を通行する船舶の衝突により、安全施設が安全機能を損なうことはない。

小型船舶が発電所近傍で漂流した場合でも、敷地前面の防波堤等に衝突して止まることから取水性に影響はない。また、カーテン・ウォール前面に小型船舶が到達した場合であっても、深層から取水することにより、取水機能が損なわれるような閉塞は生じない設計とする。

また、船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合は、オイルフェンスを設置する措置を講じる。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 13 船舶の衝突影響評価について」のとおり。

(4) 電磁的障害

安全保護系は、電磁的障害による擾乱に対して、制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、通信ラインにおける光ケーブルの適用等により、影響を受けない設計としている。したがって、電磁的障害に

より安全施設の安全機能を損なうことはない。なお、評価結果の詳細は「添付資料 14 電磁的障害影響評価について」のとおり。

5. 外部事象に対する安全施設への影響評価

3. 及び 4. にて評価した、外部事象による安全施設への影響を表 6 に示す。

表6 外部事象による安全施設の影響評価 (1/4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所 ^{※4}	自然現象による影響																		人為事象による影響							
				風(台風)		竜巻		低温(凍結)		降水		積雪		落雷		地滑り		火山		生物学的事象		火災・爆発		有毒ガス		船舶の衝突		電磁的障害	
	機能	構築物, 系統又は機器 ^{※1}		評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果
PS-1	原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	過剰反応度の印加防止機能	制御棒カップリング・制御棒駆動機構	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	炉心形状の維持機能	炉心支持構造物, 燃料集合体	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
MS-1	原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系の制御棒による系(制御棒, 制御棒駆動系)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒による系, ほう酸水注入系)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁としての開機能)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	原子炉停止後の除熱機能	残留熱を除去する系統(残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード), 原子炉隔離時冷却系, 高圧炉心注水系, 逃がし安全弁(手動逃がし機能), 自動減圧系(手動逃がし機能), サプレッションプール)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系(残留熱除去系(低圧注水モード), 原子炉隔離時冷却系, 高圧炉心注水系, 自動減圧系(逃がし安全弁), サプレッションプール)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
	放射線物質の閉じ込め機能, 放射線の遮蔽及び放出低減機能	原子炉格納容器, 原子炉格納容器隔離弁及び原子炉格納容器バウンダリ配管, 主蒸気流量制限器, 残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
		原子炉建屋原子炉区域(ブローアウトパネル付き)	屋外(建屋)	○	荷	○	荷	○	影	○	水	○	荷	○	防	○	滑	○	荷	○	防	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影
		非常用ガス処理系, 可燃性ガス濃度制御系	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
主排気筒(非常用ガス処理系排気筒の支持機能)		屋外	○	荷	○	荷	○	影	○	影	○	影	○	防	○	滑	○	影	○	影	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影	
遮蔽設備(原子炉遮蔽壁, 一次遮蔽壁)		R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
遮蔽設備(二次遮蔽壁)	屋外(建屋)	○	荷	○	荷	○	影	○	水	○	荷	○	防	○	滑	○	荷	○	防	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影		
	工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	安全保護系	C/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影
安全上特に重要な関連機能	非常用交流電源系(発電機から非常用負荷までの配電設備及び電路)	R/B, C/B, T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
	非常用ディーゼル発電機(屋内設備)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
	非常用ディーゼル発電機(屋外設備: 消音器)	屋外	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影	○	滑	○	侵	○	影	○	煙	○	影	○	影	○	影	
	軽油タンク	屋外	○	荷	○	荷	○	防	○	水	○	荷	○	影	○	滑	○	荷	○	影	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影	
	非常用ディーゼル発電機燃料移送中央制御室及び遮蔽・中央制御室換気空調系	屋外	○	防	○	防	○	防	○	水	○	防	○	影	○	滑	○	防	○	防	○	防	○	防	○	防	○	影	
	原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系	R/B, T/B, C/B	○	内	○	防	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	
	非常用直流電源系・計測制御用電源設備	R/B, C/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	

○: 各外部事象に対し安全機能を維持できる
又は各外部事象による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した
※2: ブローアウトパネルは常時閉
※3: 給気ルーバの高さは積雪深より高い
※4: 原子炉建屋(R/B), タービン建屋(T/B), コントロール建屋(C/B), 廃棄物処理建屋(Rw/B)

除: 除雪, 除灰により対応
補: 補修の実施により対応
停: プラント停止(必要に応じ)
荷: 荷重評価の結果, 影響なし(例: 竜巻の風荷重, 飛来物の衝撃荷重等)
水: 浸水・荷重評価の結果, 影響なし
居: 居住性評価の結果, 影響なし
滑: 地滑りによる影響なし(斜面からの隔離)

運: 暖気運転により対応
取: フィルタ取替, ルーバの清掃等により対応
止: 運転停止中
爆: 爆風圧評価の結果, 影響なし
灰: 降下火砕物による影響なし
飛: (設計飛来物が設置高さまで到達しない, 又は開口部等への防護対策により) 飛来物による衝撃荷重が作用しないため影響なし
影: 対象となる構築物, 系統又は機能

代: 代替設備(設備名)
防: 事象に見合った防護対策を実施(例: 飛来物からの防護, 雷害対策等)
侵: 内部に侵入しにくい設計
熱: 輻射熱評価の結果, 影響なし
煙: ばい煙による影響なし
内: 建屋内(地下布設の場合も含む)により影響なし
生: カーテンウォールや除塵装置等によりクラグ等の影響なし

表6 外部事象による安全施設の影響評価 (2/4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所※4	自然現象による影響																		人為事象による影響							
	機能	構築物、系統又は機器※1		風(台風)		竜巻		低温(凍結)		降水		積雪		落雷		地滑り		火山		生物学的事象		火災・爆発		有毒ガス		船舶の衝突		電磁的障害	
				評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果
PS-2	原子炉冷却材を内蔵する機能 (ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	原子炉冷却材浄化系 (原子炉冷却材圧力バウンダリから外れる部分)、主蒸気系	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
		原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
	原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	使用済燃料プール(使用済燃料貯蔵ラックを含む)、新燃料貯蔵庫 (臨界を防止する機能)	R/B	○	内	○	内 (ブローアウトパネル※2が開放した場合=飛)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
		気体廃棄物処理系(活性炭式希ガスホールドアップ装置)	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
	燃料を安全に取り扱う機能	燃料交換機、原子炉建屋クレーン、原子炉ウエル	R/B	○	内	○	内 (ブローアウトパネル※2が開放した場合=飛)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
安全弁及び逃がし弁の吹き止まり機能	逃がし安全弁(吹き止まり機能に関連する部分)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影	
MS-2	安全上特に重要な関連機能の間接関連系	非常用所内電源系空調	R/B・C/B・T/B	○	内	○	防	○	影	○	内	○	影※3	○	内	○	内	○	取	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
	使用済燃料プール水の補給機能	残留熱除去系(使用済燃料プール水の補給)、サブプレッションプー	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
	放射線物質放出の防止機能	燃料プール冷却浄化系の燃料プール入口逆止弁	R/B	○	内	○	内 (ブローアウトパネル※2が開放した場合=飛)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
		原子炉建屋原子炉区域(ブローアウトパネル付き)	屋外(建屋)	○	荷	○	荷 (ブローアウトパネル※2が開放した場合=停)	○	影	○	水	○	荷	○	防	○	滑	○	荷	○	防	○	熱、爆	○	影	○	影	○	影
		気体廃棄物処理系(OG系)隔離弁	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
		主排気筒(非常用ガス処理系排気管の支持機能以外の部分)	屋外	○	荷	○	荷、飛(仮設足場に飛散防止対策を講じない場合=荷、補)	○	影	○	影	○	除	○	防	○	滑	○	除	○	影	○	熱、爆	○	影	○	影	○	影
	非常用ガス処理系	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影	
事故時のプラント状態の把握機能	事故時監視計器の一部(格納容器エリアモニタ等)	C/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影	
制御室外からの安全停止機能	制御室外原子炉停止装置(安全停止に関連するもの)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影	

○：各外部事象に対し安全機能を維持できる
又は各外部事象による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

※1：間接関連系は、当該系の機能遂行に直接必要ない構築物、系統及び機器であるため、記載を省略した
※2：ブローアウトパネルは常時閉
※3：給気ルーバの高さは積雪深より高い
※4：原子炉建屋 (R/B)、タービン建屋 (T/B)、コントロール建屋 (C/B)、廃棄物処理建屋 (Rw/B)

除：除雪、除灰により対応	運：暖気運転により対応	代：代替設備 (設備名)
補：補修の実施により対応	取：フィルタ取替、ルーバの清掃等により対応	防：事象に見合った防護対策を実施 (例：飛来物からの防護、雷害対策等)
停：プラント停止 (必要に応じ)	止：運転停止中	侵：内部に侵入しにくい設計
荷：荷重評価の結果、影響なし (例：竜巻の風荷重、飛来物の衝撃荷重等)	爆：爆風圧評価の結果、影響なし	熱：輻射熱評価の結果、影響なし
水：浸水・荷重評価の結果、影響なし	灰：降下火砕物による影響なし	煙：ばい煙による影響なし
居：居住性評価の結果、影響なし	飛：(設計飛来物が設置高さまで到達しない、又は開口部等への防護対策により) 飛来物による衝撃荷重が作用しないため影響なし	内：建屋内 (地下布設の場合も含む) により影響なし
滑：地滑りによる影響なし (斜面からの隔離)	影：対象となる構築物、系統又は機能に影響を及ぼす影響モードがない	生：カーテンウォールや除塵装置等によりクラゲ等の影響なし

表6 外部事象による安全施設の影響評価 (3/4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所 ^{※3}	自然現象による影響														人為事象による影響																	
				風(台風)		竜巻		低温(凍結)		降水		積雪		落雷		地滑り		火山		生物学的事象		火災・爆発		有毒ガス		船舶の衝突		電磁的障害							
	機能	構築物, 系統又は機器 ^{※1}		評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果						
PS-3	原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2以外のもの)	原子炉冷却材圧力バウンダリから除外される計装等の小口径配管, 弁	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影						
	原子炉冷却材の循環機能	冷却材再循環系	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影						
	放射線物質の貯蔵機能	圧力制御室プール水排水系 (圧力制御室プール水サージタンク)	屋外	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止	○	止				
		復水貯蔵槽, 液体廃棄物処理系, 固体廃棄物処理系	Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	補		
		固体廃棄物貯蔵庫	屋外(建屋)	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	影	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影	○	影				
		固体廃棄物処理建屋	屋外(建屋)	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	影	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影	○	影				
		焼却炉建屋	屋外(建屋)	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	影	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影	○	影				
		新燃料貯蔵庫, 新燃料貯蔵ラック	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
		使用済燃料輸送容器保管建屋	屋外(建屋)	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	影	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	補 ^{※2}	○	熱, 爆	○	影	○	影	○	影	○	影		
	電源供給機能 (非常用を除く)	タービン, 発電機及び励磁装置, 復水系 (復水器を含む), 給水系, 循環水系	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		送電線	屋外	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	影	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影		
		変圧器, 開閉所	屋外	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	代 (非常用ディーゼル発電機)	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影		
	プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く)	原子炉制御系 (制御棒価値ミニマイザ含む), 原子炉核計装系の一部, 原子炉プラントプロセス計装の一部	C/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補		
	プラント運転補助機能	所内ボイラ設備	補助ボイラ建屋	○	内	○	補	○	内	○	補	○	補	○	内	○	内	○	補	○	補	○	内	○	影	○	内	○	内	○	補				
		所内蒸気系及び戻り系	R/B・T/B・Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		計装用圧縮空気系	R/B・T/B・C/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		原子炉補機冷却水系 (MS-1) 関連以外 (配管/弁)	R/B・T/B・Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
		タービン補機冷却水系・タービン補機冷却海水系	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	補	○	生	○	内	○	内	○	内	○	防	○	影		
		復水補給水系 (復水貯蔵槽)	Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
	核分裂生成物の原子炉冷却材中の放射防止機能	燃料被覆管	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
	原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影		
復水浄化系		T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影			

○: 各外部事象に対し安全機能を維持できる
又は各外部事象による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した
※2: 放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施
※3: 原子炉建屋 (R/B), タービン建屋 (T/B), コントロール建屋 (C/B), 廃棄物処理建屋 (Rw/B)

除: 除雪, 除灰により対応	運: 暖気運転により対応	代: 代替設備 (設備名)
補: 補修の実施により対応	取: フィルタ取替, ルーバの清掃等により対応	防: 事象に見合った防護対策を実施 (例: 飛来物からの防護, 雷害対策等)
停: プラント停止 (必要に応じ)	止: 運転停止中	侵: 内部に侵入しにくい設計
荷: 荷重評価の結果, 影響なし (例: 竜巻の風荷重, 飛来物の衝撃荷重等)	爆: 爆風圧評価の結果, 影響なし	熱: 輻射熱評価の結果, 影響なし
水: 浸水・荷重評価の結果, 影響なし	灰: 降下火砕物による影響なし	煙: ばい煙による影響なし
居: 居住性評価の結果, 影響なし	飛: (設計飛来物が設置高さまで到達しない, 又は開口部等への防護対策により) 飛来物による衝撃荷重が作用しないため影響なし	内: 建屋内 (地下布設の場合も含む) により影響なし
滑: 地滑りによる影響なし (斜面からの離隔)	影: 対象となる構築物, 系統又は機能に影響を及ぼす影響モードがない	生: カーテンウォールや除塵装置等によりクラゲ等の影響なし

表6 外部事象による安全施設の影響評価 (4/4)

分類	安全機能の重要度分類			自然現象による影響																人為事象による影響																
	機能	構築物, 系統又は機器※1	設備設置箇所※3	風(台風)		竜巻		低温(凍結)		降水		積雪		落雷		地滑り		火山		生物学的事象		火災・爆発		有毒ガス		船舶の衝突		電磁的障害								
				評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果	評価	確認結果					
MS-3 緊急時対策上重要なものおよび異常状態の把握機能	原子炉圧力上昇の緩和機能		逃がし安全弁(逃がし弁機能)	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
			タービン・バイパス弁	T/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
	出力上昇の抑制機能		冷却材再循環流量制御系(ポンプ・トリップ機能), 制御棒引抜監視装置	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	補
	原子炉冷却材の補給機能		制御棒駆動水圧系, 原子炉隔離時冷却系	R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能		冷却材再循環ポンプMGセット	Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
	緊急時対策上重要なものおよび異常状態の把握機能		5号炉原子炉建屋内緊急時対策所		R/B(5号炉)	○	荷	○	荷	○	影	○	水	○	荷	○	防	○	滑	○	荷	○	防	○	熱, 爆	○	居	○	影	○	影	○	影			
			試料採取系		R/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影	
			通信連絡設備	有線系	各建屋(地下設備含む)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	代(衛星系, 無線系)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影	
					送電鉄塔	○	風荷重: 荷飛来物: 代(衛星系(復旧含む))	○	代(衛星系)	○	代(衛星系)	○	影	○	代(衛星系の除雪)	○	代(衛星系)	○	代(衛星系)	○	代(衛星系の除灰)	○	代(衛星系)	○	代(衛星系)	○	代(衛星系)	○	影	○	影	○	影	○	影	
			有線系	各建屋(地下設備含む)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	代(衛星系, 無線系)	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影
				屋外設備	○	補	○	補	○	補	○	影	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	影	○	影	○	影		
			放射線監視設備	モニタリングポスト	屋外	○	荷	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	代(可搬型モニタリング設備)	○	影	○	影	○	影	
				放射能観測車	可搬型SA設備保管場所	○	代(放射能観測車の代替測定装置)	○	代(放射能観測車の代替測定装置)	○	運	○	影	○	除	○	代(放射能観測車の代替測定装置)	○	代(放射能観測車の代替測定装置)	○	除	○	代(放射能観測車の代替測定装置)	○	代(放射能観測車の代替測定装置)	○	熱(防火帯内)	○	影	○	影	○	影	○	代(放射能観測車の代替測定装置)	
			事故時監視計器の一部	R/B, T/B, C/B, Rw/B	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	補
				気象観測装置	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	代(可搬型気象観測装置)	○	影	○	影	○	代(可搬型気象観測装置)
			津波監視カメラ	7号炉R/B主排気筒	○	荷	○	補	○	影	○	水	○	荷	○	補	○	滑	○	荷	○	補	○	補	○	補	○	補	○	影	○	影	○	影	○	補
			消火系	給水建屋水処理建屋	○	内	○	補	○	内	○	内	○	補	○	内	○	補	○	補	○	補	○	補	○	内	○	影	○	内	○	影	○	内	○	補
				ろ過水タンク(屋外配管含む)	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	影	○	補	○	補	○	影	○	補	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影
				泡消火設備	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	補	○	影	○	補	○	影	○	影	○	影	○	影	○	影
			安全避難通路, 非常用照明	各建屋内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	内	○	影	○	内	○	影

○: 各外部事象に対し安全機能を維持できる
又は各外部事象による損傷を考慮して, 代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能

※1: 間接関連系は, 当該系の機能遂行に直接必要ない構築物, 系統及び機器であるため, 記載を省略した
※2: 所外通信(有線系, 衛星系), 所内通信(有線系, 衛星系, 無線系)のうち, 優先的に使用する有線系の評価結果を代表で記載した
※3: 重大事故等対処設備(SA設備), 原子炉建屋(R/B), タービン建屋(T/B), コントロール建屋(C/B), 廃棄物処理建屋(Rw/B)

除: 除雪, 除灰により対応
補: 補修の実施により対応
停: プラント停止(必要に応じ)
荷: 荷重評価の結果, 影響なし(例: 竜巻の風荷重, 飛来物の衝撃荷重等)
水: 浸水・荷重評価の結果, 影響なし
居: 居住性評価の結果, 影響なし
滑: 地滑りによる影響なし(斜面からの離隔)

運: 暖気運転により対応
取: フィルタ取替, ルーバの清掃等により対応
止: 運転停止中
爆: 爆風圧評価の結果, 影響なし
灰: 降下火砕物による影響なし
飛: (設計飛来物が設置高さまで到達しない, 又は開口部等への防護対策により) 飛来物による衝撃荷重が作用しないため影響なし
影: 対象となる構築物, 系統又は機能に影響を及ぼす影響モードがない

代: 代替設備(設備名)
防: 事象に見合った防護対策を実施(例: 飛来物からの防護, 雷害対策等)
侵: 内部に侵入しにくい設計
熱: 輻射熱評価の結果, 影響なし
煙: ばい煙による影響なし
内: 建屋内(地下布設の場合も含む)により影響なし
生: カーテンウォールや除塵装置等によりクラゲ等の影響なし

6. 自然現象/人為事象の重畳について

実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第6条解釈第3項及び第5項において、設計上の考慮を要する自然現象の重畳について要求がある。さらに、第6条解釈第7項において、人為事象についての要求があることから、自然現象、人為事象の重畳について検討する。

重畳の検討についての概略を以下に示す。

【検討手順概略】

- ① 1. 「設計上考慮する外部事象の抽出」で収集した自然現象（地震及び津波を含む）及び人為事象を基本的な組み合わせ対象として設定
- ② 柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺で発生しない事象を除外
- ③ 自然現象及び人為事象ごとに影響モード（荷重、閉塞、熱影響等）を整理し、事象の特性（相関性、発生頻度等）を踏まえて全ての組み合わせを網羅的に検討し、影響が増長する組み合わせを特定。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観点で分類。
 - a. 組み合わせた場合も影響が増長しないもの（影響が小さくなるものを含む）
 - b. 同時に発生する可能性が極めて低いもの
 - c. 増長する影響について、単一の事象の検討で包絡されている、又は単一の事象の設計余裕に包絡されているもの
 - d. c以外で影響が増長するもの

影響が増長するケース（上記c及びd）については、それらを4つのタイプに分類し、新たな影響モードが生じるモードについても考慮。

- ④ 組み合わせの検討結果としての影響度合いを明示。（上記c及びdと分類されたものについて）「重畳の結果を個別に評価するもの」、「ほかの重畳事象で代表させるもの」、「単一の事象（関連して発生する可能性がある自然現象も含む。）の設計余裕に包絡されているもの（上記c）」に整理し詳細検討

- ④ アクセス性・視認性についても参考として記載

図7に自然現象/人為事象の組み合わせ事象の評価フローを示す。フロー内の各タスクの詳細については6.1節以降で説明する。

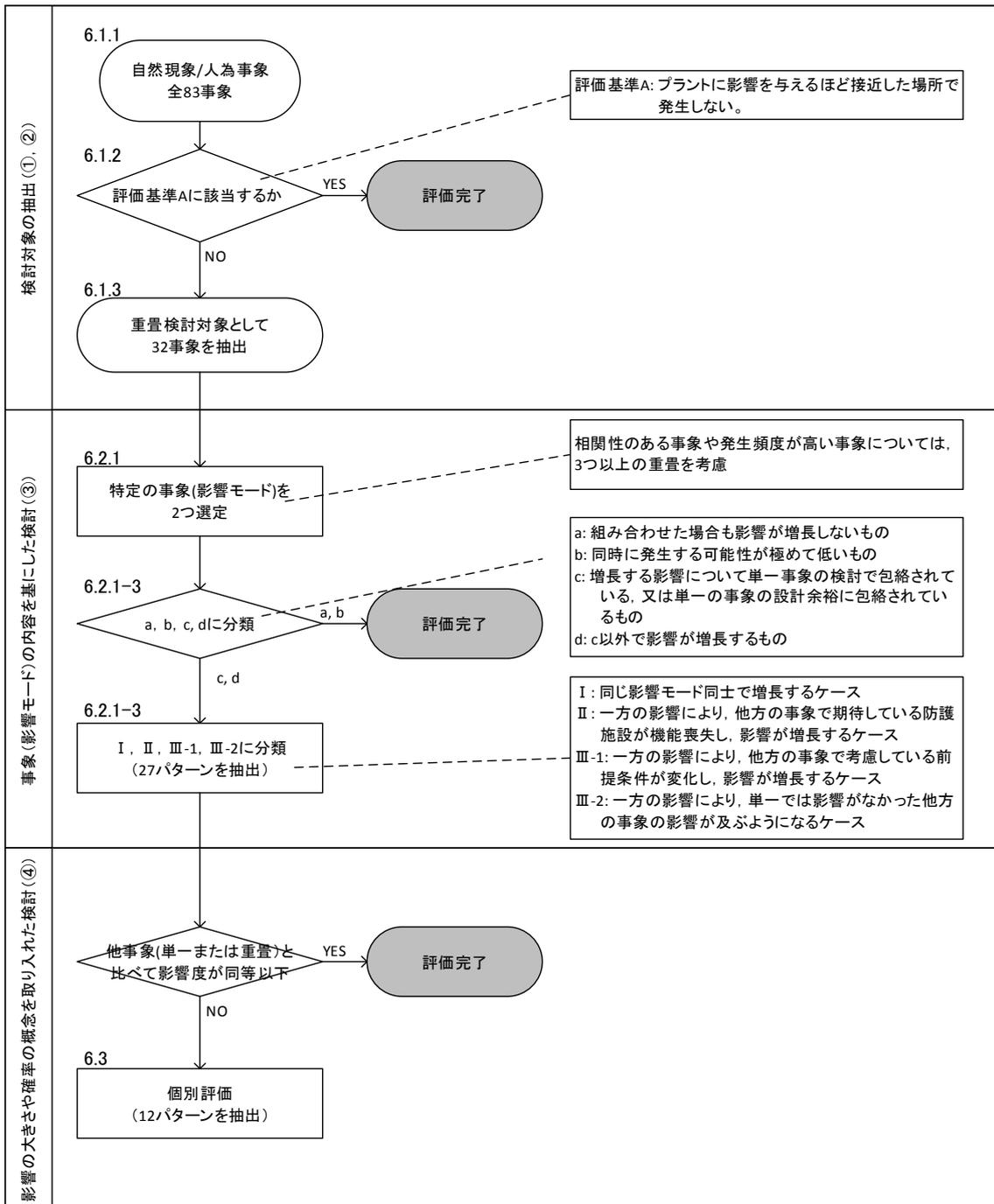


図 7 自然現象/人為事象の組み合わせの評価

6.1 検討対象

6.1.1 検討対象事象

検討対象とする外部事象は、1.1と同様に、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。

6.1.2 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（1.2.1参照）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7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。

表7 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
<u>基準A</u> 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。
<u>基準B</u> 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。	×：他現象の影響により進展・襲来が早くなる可能性がないか、又は予知・検知・排除が困難な状況とならないか検討する。
<u>基準C</u> 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。
<u>基準D</u> 影響が他事象に包絡される。	△：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。

6.1.3 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 8 に示す。

表 8 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 (台風含む)	23	塩害, 塩雲
7	竜巻	24	太陽フレア, 磁気嵐
8	霧, 靄		
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

6.2 重畳影響分類

6.2.1 重畳影響分類方針

自然現象の組み合わせについては、画一的な整理（検討除外基準の設定等）が難しいことから、6.1.3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。

6.2.1-1 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8参照）。例えば、地震と降下火砕物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。

また、相関性のある事象については同時に発生しているものとして考慮する（相関性のある事象については添付資料17参照）。

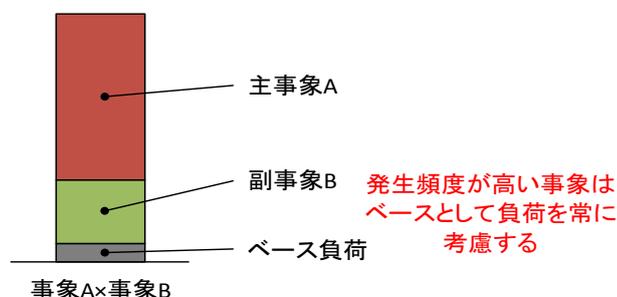


図8 ベース負荷の考え方

6.2.1-2 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、随伴事象等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。

6.2.1-3 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。

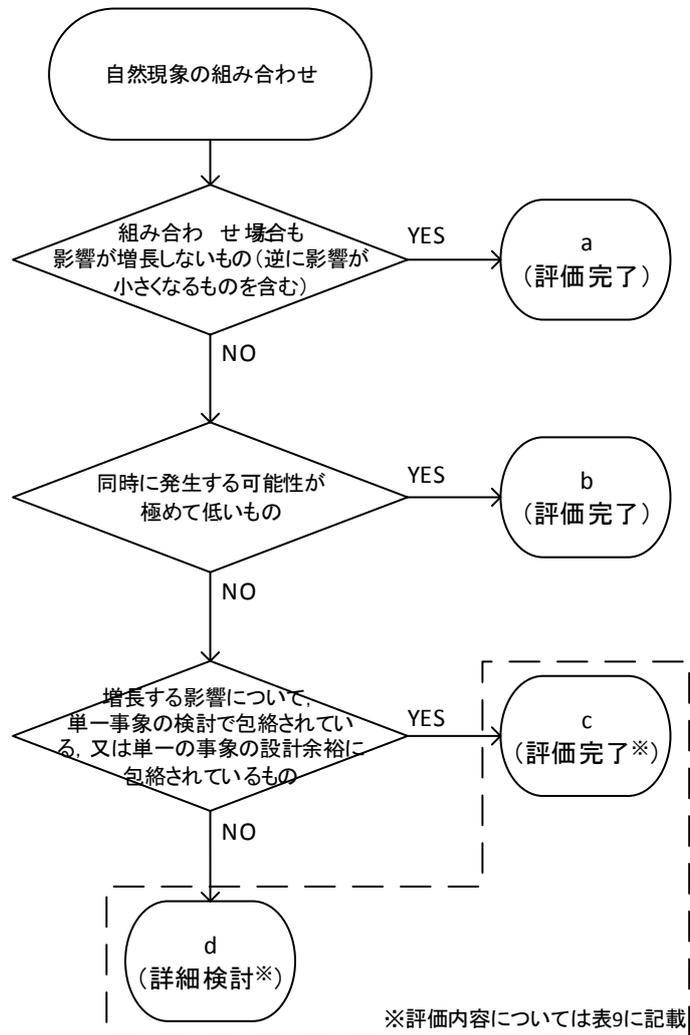
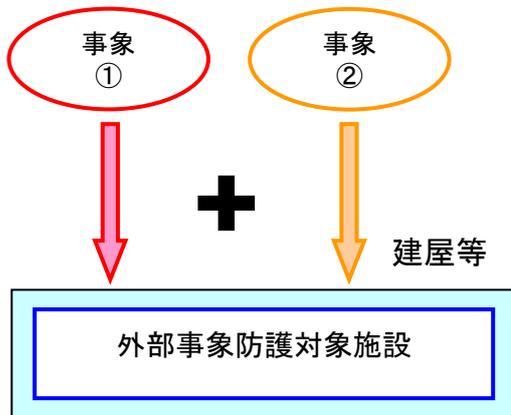


図 9 影響パターン選定フロー

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。

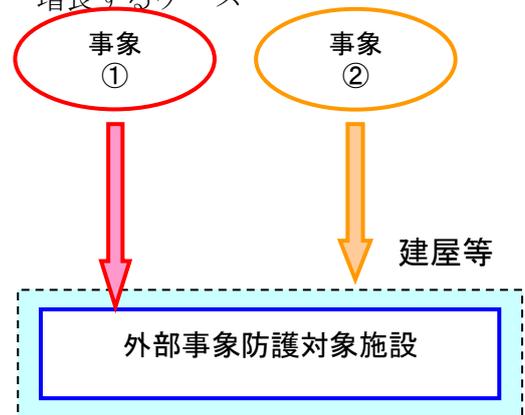
上記 c, d に該当する自然現象の組み合わせについては、事象が単独で発生した場合の影響と比較して、複数の事象が重畳することで影響が増長される組み合わせとなるが、その増長する影響パターンについては図 10 のとおり 4 つに分類した。

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



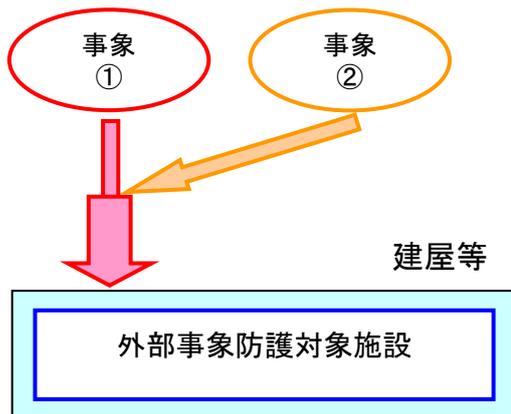
例：積雪+降下火砕物=堆積荷重増

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

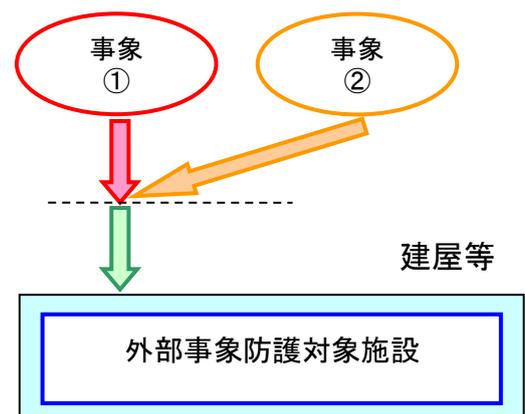
III-1. 他事象の作用により前提条件が変化し、影響が増長するケース



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 10 重畳による増長パターン分類

6.2.2 重畳影響分類結果

事象の重畳影響について6.2.1に基づき、a, b, c, dに分類(c, dについてはさらにI, II, III-1, III-2に分類)した結果について表9に示す。

表 9 自然現象／人為事象の重畳 マトリックス (3/3)

事象② \ 事象①			No.	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		30	31	32				
			事象	海岸浸食	森林火災	生物学的事象		塩害、塩害	太陽フレア、磁気嵐	火災・爆発		有毒ガス	船舶の衝突	電磁的障害	サイト内外での掘削		内部溢水	重量物輸送	化学物質の放出による水質悪化		
			損傷・機能喪失モード	①冷却機能低下:海水系	①熱影響	②外気取入機器及び人への影響	①閉塞(取水)	①個別機器の損傷	①腐食	①誘導電流	①熱影響	②外気取入機器及び人への影響	①人への影響	①閉塞(取水)	①電磁的影響	①ケーブル・配管損傷	②斜面倒壊	①被水・浸水	①燃料集合体落下、重機転倒	①冷却効率低下	②腐食
No.	事象	損傷・機能喪失モード																			
1	地震	①荷重(地震荷重)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		②地盤沈下(変位)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		③地盤隆起(相対的な水位低下)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		④泥湧出	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
2	津波	①浸水	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		②荷重(衝突) 懸重物・波力	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		③浮力	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		④閉塞(取水) 懸重物・海底砂移動	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a
		⑤冷却機能低下:海水系	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
3	降水	①浸水	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
4	風(台風)	②荷重(堆積)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①荷重(風圧)	a	d(III-1)	d(III-1)	a	a	a	a	c(III-1)	c(III-1)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
5	竜巻	②閉塞(取水)	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①荷重(風圧)	a	b	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
6	落雷	②荷重(気圧差)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		③荷重(衝突)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		④閉塞(取水)	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	
7	地下水による浸食	①雷サージ&誘導電流	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①地盤不安定	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
8	積雪	②浸水	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①荷重(堆積)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
9	霧、霧柱	②相間短絡	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		③閉塞(空調)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
10	低温(凍結)	①外気温度低(凍結)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
11	低温水(海水温度低)	①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①外気温度高(冷却機能低下:空調)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
12	高温	①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①海水温度高(冷却機能低下:海水系)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	
13	高温水(海水温度高)	①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
14	霧、霧	①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①荷重(堆積)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		②閉塞(取水)	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	
		③閉塞(空調)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		④腐食	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		⑤相間短絡	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		⑥水質汚染	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		⑦大気汚染	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		①荷重(衝突)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
		②-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	
15	火山	①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
		①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
16	地滑り	①-	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
17	海中の地滑り	①閉塞(取水)	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a		
18	土地の浸食、カルスト	①地盤不安定	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
19	土の伸縮	①地盤不安定	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
20	海岸浸食	①冷却機能低下:海水系	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
21	森林火災	①熱影響	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
		②外気取入機器及び人への影響	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
22	生物学的事象	①閉塞(取水)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	a		
		①個別機器の損傷	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
23	塩害、塩害	①腐食	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
24	太陽フレア、磁気嵐	①誘導電流	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
25	火災・爆発	①熱影響	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
		②外気取入機器及び人への影響	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
26	有毒ガス	①人への影響	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
27	船舶の衝突	①閉塞(取水)	a	a	a	d(I)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
28	電磁的障害	①電磁的影響	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
29	サイト内外での掘削	①ケーブル・配管損傷	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
		②斜面倒壊	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
30	内部溢水	①被水・浸水	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
31	重量物輸送	①燃料集合体落下、重機転倒	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
32	化学物質の放出による水質悪化	①冷却効率低下	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
		②腐食	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		

6 条-別添 1(外事)-1-48

6.3 個別評価

プラントへの影響が想定される重畳（6.2.2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」、「ほか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、又は単一の事象の設計余裕に包絡されているもの（6.2.2のc）」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 10 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。

表 10 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期に堆積した場合に、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

表 10 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (2/6)

(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
7	火山 (堆積) × 降水 (堆積)	d(I, 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。仮に、建屋等に降下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進展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。 →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落雷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

表 10 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) × 竜巻 (衝突)	d(Ⅱ)	安全施設は、落雷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、竜巻の飛来物等により避雷鉄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鉄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・降水の影響は受けないため、対応可能。

表 10 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (4/6)

(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
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。仮に、降下火砕物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。仮に、降水により降下火砕物が湿った場合、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(空調)×火山(空調)	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、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。 →堆積高さで厳しいのは、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。仮に、雪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、周辺斜面と建屋については、十分な裕度を持った離隔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。仮に、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

表 10 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 (堆積) × 降水 (堆積)	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湿ることで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する。 ・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低い。 ・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。 →森林火災等ではガイドに基づき 16m/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低い) 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 10 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (6/6)

(**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
25	風 (風圧) × 竜巻 (風圧等)	c(I)	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(I)	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、除塵装置や既に整備された手順等と同様の対応により対処可能である。

6.3.1 アクセス性・視認性について

自然現象及び人為事象が安全施設に及ぼす影響としては、荷重だけでなく、アクセス性及び視認性に対する影響も考えられることから、これらの観点についても影響を評価する。

アクセス性及び視認性の観点からの影響評価結果を以下に示す。

アクセス性への影響確認結果

設計基準においては、屋内設備と屋内での対応により事象収束が可能であることから、自然現象による屋外のアクセス性への影響については基本的には考慮する必要がない。ただし、設計基準においても積雪の設計基準を設定する際に建屋屋上等の除雪に期待しており、除雪の際には屋外アクセスルートを使用することから、積雪については考慮する必要がある。アクセス性に支障が出るような規模の積雪については気象予報により事前の予測が可能であることから、積雪状況等を見計らいながら除雪するという対応となる。

これらの影響及び対応については、重大事故時と差異がないことから、以下に第四十三条での検討結果（積雪以外を含む）をまとめたものを示す。

アクセス性への影響として、保管場所の耐性、作業環境、アクセスルート（屋外/屋内）が考えられることから成立性について確認し、表 11 のような影響が存在することが確認された。事象の重畳を考慮した場合も、作業量や作業時間の増加が考えられるが、作業不能となることは考えにくく、また気象予報等により作業が困難なレベルの強風等が想定される場合はプラントを停止する等の対応も考えられる。

表 11 アクセス性についての影響及び対応

対象	事象	影響	対応
保管場所の耐性	地滑り	地滑りにより重大事故等対処設備が機能喪失	2箇所の高台や建屋近傍に分散配置, 設計基準事故対処設備により対応
	積雪, 火山	重大事故等対処設備上に雪又は降下火砕物の堆積	除雪又は除灰(湿潤状態を想定した除灰体制)
	風(台風), 竜巻	飛来物の発生	飛来物除去
作業環境	地震	段差等の発生	整地作業の実施
	積雪, 火山	雪又は降下火砕物の堆積	除雪又は除灰
	風(台風)	屋外での作業が困難なレベルの強風	気象予報により, 左記のようなレベルの強風が想定される場合はプラント停止
	落雷	落雷	警報発生時を避け対応
	低温(凍結)	低温(凍結)	暖機運転等
アクセスルート	地震, 津波, 風(台風), 竜巻, 地滑り, 森林火災	段差や瓦礫の発生により, 一部のアクセスルートが通行不能	別ルートによりアクセス可能。 また瓦礫等については, ホイールローダー等の重機により整地作業も実施可能。
	風(台風)	屋外での作業が困難なレベルの強風	気象予報により, 左記のようなレベルの強風が想定される場合はプラント停止。
	降水	敷地内の浸水	構内排水路で海域へ排水するために影響なし。 万一, 排水能力を超える場合も, 排水用フラップゲートを介して海域へ排水されることから, 緊急車両はアクセス可能。 また, 気象予報を踏まえ, 可搬型設備の通行に支障がある状況が予想される場合は, あらかじめ土のう設置による降水の導水対策等により車両等の通行ルートを確認する。
	低温(凍結)	低温(凍結)	気象予報により事前の予測が十分可能なことからアクセスルートへの融雪剤散布が実施可能。
	積雪, 火山	雪又は降下火砕物の堆積	除雪又は除灰

視認性評価結果

視認性の観点からは、降水等により中央制御室外の状況や津波を監視するカメラの視認性の低下、及び屋外作業の視認性の低下を及ぼす可能性がある。

中央制御室外の状況や津波を監視するカメラについては、降水等による視認性の低下や、竜巻等による機能喪失の可能性がある。カメラは位置的分散が図られているものの、重畳を考慮した場合にはすべてのカメラに期待できない状況も考えられる。その場合にも、中央制御室に設置する気象情報を出力する端末、潮位計等の代替設備により必要な機能を確保することができる。

また、降水や霧・靄等によって屋外作業等の視認性が低下するおそれがあるが、その場合も作業時間増加や作業効率が悪化するものの作業不能となることは考えにくい。

設計上考慮する外部事象の収集・整理

1. 外部事象の収集

発電用原子炉施設に対して外部から作用する衝撃による損傷を防止するため、自然現象や人為事象に関して、事象を収集する。事象の収集に当たっては、国内外の規制機関や学識経験者による検討結果、PRA にて挙げられたすべての事象を対象とすることで網羅性を確保した。

次に挙げる資料から、国内における規制（資料 a, b）で取り上げている事象や、国外の規制として、米国原子力規制委員会が定めた PRA についてのガイド（資料 c）や IAEA が定めたガイド（資料 d）に取り上げている事象を収集した。

- a. 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306193 号 原子力規制委員会決定）
- b. 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号 原子力規制委員会決定）
- c. NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- d. Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”, IAEA, April 2010

さらに、日本の自然現象における実例（資料 e）や、米国の原子力発電設備の維持基準に引用されている米国機械学会の規格（資料 f）、また、関連して、FLEX や大規模損壊事象を取り上げている米国 NEI のガイド（資料 g, h）で取り上げられている事象を収集することによって、網羅性を確保した。

- e. 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
- f. ASME/ANS RA-S-2008 “Standard for Level 1/Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- g. DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- h. B. 5. b Phase 2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006) - 2011. 5 NRC 公表

上記資料 a～h から収集した外部事象 83 事象（自然現象 55 事象，人為事象 28 事象）を、自然現象について表 1，人為事象について表 2 に示す。

これらの事象について、類似事象、随件事象について整理し、設計上考慮する外部事象として外部事象 61 事象（自然現象 42 事象，人為事象 19 事象）を抽出した。（表 3，表 4）

なお，地震，津波及びその随件事象（表 1 の(1-7)地震活動，及び，(1-11)津波）はそれぞれ「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）第四条（地震による損傷の防止），第五条（津波による損傷の防止）にて扱うこととし，本資料の対象外とする。

表1 文献より収集した自然現象 (1/2)

No	外部事象	外部事象を抽出した文献等**							
		a	b	c	d	e	f	g	h
1-1	凍結	○	○	○	○	○	○	○	
1-2	隕石			○	○		○	○	
1-3	降水(豪雨(降雨))	○	○	○	○	○	○	○	
1-4	河川の迂回	○		○	○		○	○	
1-5	砂嵐(塩を含んだ嵐)			○	○		○	○	
1-6	静振			○			○	○	
1-7	地震活動	○	○	○	○	○	○	○	
1-8	積雪(暴風雪)	○	○	○	○	○	○	○	
1-9	土壌の収縮又は膨張			○			○	○	
1-10	高潮			○	○	○	○	○	
1-11	津波	○	○	○	○	○	○	○	
1-12	火山(火山活動・降灰)	○	○	○	○	○	○	○	
1-13	波浪・高波			○	○	○	○	○	
1-14	雪崩			○	○	○	○	○	
1-15	生物学的事象	○	○		○		○	○	
1-16	海岸侵食			○			○	○	
1-17	干ばつ			○	○	○	○	○	
1-18	洪水(外部洪水)	○		○	○	○	○	○	
1-19	風(台風)(暴風(台風))	○	○	○	○	○	○	○	
1-20	竜巻	○	○	○	○		○	○	
1-21	濃霧			○			○	○	
1-22	森林火災	○	○	○	○	○	○	○	
1-23	霜, 白霜			○	○	○	○	○	
1-24	草原火災							○	
1-25	ひょう, あられ			○	○	○	○	○	
1-26	極高温			○	○	○	○	○	
1-27	満潮			○	○		○	○	
1-28	ハリケーン			○	○		○	○	
1-29	氷結, 結氷板			○	○		○	○	
1-30	氷晶				○			○	
1-31	氷壁				○				
1-32	土砂崩れ(山崩れ, がけ崩れ)					○			
1-33	落雷	○	○	○	○	○	○	○	
1-34	湖又は河川の水位低下			○	○		○	○	
1-35	湖又は河川の水位上昇			○	○	○			
1-36	陥没, 地盤沈下, 地割れ	○			○	○		○	
1-37	極限的な圧力(気圧高/低)				○				
1-38	霧				○				
1-39	塩害, 塩雲	○			○				
1-40	地面の隆起	○			○	○			
1-41	動物				○				
1-42	地滑り	○		○	○	○	○	○	
1-43	カルスト				○				
1-44	地下水(浸食, 多量/枯渇)	○			○				
1-45	海水面低				○				
1-46	海水面高				○	○			
1-47	水中の地滑り	○			○				
1-48	水中の有機物				○				
1-49	太陽フレア, 磁気嵐							○	
1-50	高温水(海水温高)			○	○	○		○	

※ 「○」は外部事象を収集した文献を示す。

表1 文献より収集した自然現象 (2/2)

No	外部事象	外部事象を抽出した文献等 [※]							
		a	b	c	d	e	f	g	h
1-51	低温水 (海水温低)				○				
1-52	泥湧出					○			
1-53	土石流					○			
1-54	水蒸気					○			
1-55	毒性ガス			○		○	○	○	

※ 「○」は外部事象を収集した文献を示す。

表2 文献より収集した人為事象

No	外部事象	外部事象を抽出した文献等 ^{※1}							
		a	b	c	d	e	f	g	h
2-1	衛星の落下				○		○	○	
2-2	パイプラインの事故 (ガス等), パイプライン事故によるサイト内爆発等	○		○	○		○	○	
2-3	交通事故 (化学物質流出含む)			○	○		○	○	
2-4	有毒ガス	○	○	○			○	○	
2-5	タービンミサイル	○	○	○	○		○	○	
2-6	飛来物 (航空機衝突)	○	○	○	○		○	○	
2-7	工業施設又は船舶の爆発			○	○		○	○	
2-8	船舶の衝突 (船舶事故)	○	○		○			○	
2-9	自動車又は船舶の爆発				○			○	
2-10	船舶から放出される固体又は液体不純物				○				
2-11	水中の化学物質				○				
2-12	爆発 (プラント外での爆発)	○	○		○				
2-13	プラント外での化学物質流出				○				
2-14	サイト貯蔵の化学物質の流出			○	○		○	○	
2-15	軍事施設からのミサイル ^{※2}				○				
2-16	掘削工事				○				
2-17	他のユニットからの火災				○				
2-18	他のユニットからのミサイル				○				
2-19	他のユニットからの内部溢水				○				
2-20	電磁的障害	○	○		○				
2-21	ダムの崩壊	○	○		○		○		
2-22	内部溢水	○	○	○	○		○		
2-23	火災 (近隣工場等の火災)	○	○	○	○				
2-24	第三者の不法な接近	○	○						
2-25	航空機衝突 (意図的)	○	○						○
2-26	妨害破壊行為 (内部脅威含む)	○	○						
2-27	サイバーテロ	○	○						
2-28	重量物落下	○	○		○				

※1 「○」は外部事象を収集した文献を示す。

※2 軍事ミサイルが想定される戦争のような状態は考慮しない。

(外部事象を収集した文献)

- 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」 (制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306193 号 原子力規制委員会決定)
- 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」 (制定 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号 原子力規制委員会決定)
- NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- Specific Safety Guide (SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”, IAEA, April 2010
- 「日本の自然災害」国会資料編纂会 1998 年
- ASME/ANS RA-S-2008 “Standard for Level 1/Large Early Release Frequency probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- B. 5. b Phase2&3 Submittal Guideline (NEI-06-12 December 2006)-2011.5 NRC 公表

表3 自然現象の整理

No.	自然現象	備考
1	降水	(1-3)
2	積雪	(1-8)
3	雪崩	(1-14)
4	ひょう, あられ	(1-25)
5	氷嵐, 雨氷, みぞれ	(1-25)
6	氷晶	(1-30)
7	霜, 霜柱	(1-23)
8	結氷板, 流氷, 氷壁	氷結, 結氷板 (1-29), 氷壁 (1-31)
9	風 (台風)	風 (台風) (暴風(台風)) (1-19), ハリケーン (1-28)
10	竜巻	(1-20)
11	砂嵐	(1-5)
12	霧, 霞	濃霧, 霧 (1-21), 靄 (1-38)
13	高温	(1-26)
14	低温	凍結 (1-1)
15	高温水 (海水温高)	(1-50)
16	低温水 (海水温低)	(1-51)
17	極限的な圧力 (高/低)	(1-37)
18	落雷	(1-33)
19	高潮	高潮 (1-10), 満潮 (1-27)
20	波浪	(1-13)
21	風津波	波浪・高波 (1-13)
22	洪水	(1-18)
23	池・河川の水位低下	(1-34)
24	河川の迂回	(1-4)
25	干ばつ	(1-17)

No.	自然現象	備考
26	火山	火山活動 (1-12), 水蒸気 (1-54), 毒性ガス (1-55)
27	地滑り	地滑り (1-32), 土砂崩れ (山崩れ, がけ崩れ) (1-42)
28	海水中の地滑り	水中の地滑り (1-47)
29	地面隆起 (相対的な水位低下)	地面隆起 (1-40)
30	土地の浸食, カルスト	陥没, 地盤沈下, 地割れ (1-36), カルスト (1-43)
31	土の伸縮	土壌の収縮又は膨張 (1-9)
32	海岸浸食	海岸侵食 (1-16)
33	地下水 (多量/枯渇)	(1-44)
34	地下水による浸食	(1-44)
35	森林火災	森林火災 (1-22), 草原火災 (1-24)
36	生物学的事象	生物学的事象 (1-15), 動物 (1- 41), 水中の有機物 (1-48)
37	静振	静振 (1-6), 湖又は河川の水位低下 (1-34), 湖又は河川の水位上昇 (1-35), 海水面低 (1-45), 海水面高 (1-46)
38	塩害, 塩雲	(1-39)
39	隕石, 衛星の落下	隕石 (1-2), 衛星の落下 (2-1)
40	太陽フレア, 磁気嵐	(1-49)
41	土石流	(1-53)
42	泥湧出	(1-52)

※ () 内の番号は表1 自然現象, 表2 人為事象における番号

表 4 人為事象の整理

No.	人為事象	備考*
1	航空機落下	(2-6)
2	ダムの崩壊	(2-21)
3	火災・爆発	交通事故(化学物質流出含む) (2-3), 爆発(プラント外での爆発) (2-12), 他のユニットからの火災 (2-17), 火災(近隣工場等の火災) (2-23)
4	有毒ガス	(2-4)
5	船舶の衝突	(2-8)
6	電磁的障害	(2-20)
7	パイプライン事故	(2-2)
8	第三者の不法な接近	(2-24)
9	航空機衝突 (意図的)	(2-25)
10	妨害破壊行為 (内部脅威含む)	(2-26)
11	サイバーテロ	(2-27)
12	産業施設の事故	工業施設又は船舶の爆発 (2-7)
13	輸送事故	自動車又は船舶の爆発 (2-9)
14	サイト内外での掘削	(2-16)
15	内部溢水	他のユニットからの内部溢水 (2-19), 内部溢水 (2-22)
16	タービンミサイル	タービンミサイル (2-5), 他のユニットからのミサイル (2-18)
17	重量物輸送	(2-28)
18	化学物質の放出による水質悪化	船舶から放出される固体又は液体不純物 (2-10), 水中の化学物質 (2-11), プラント外での化学物質流出 (2-13), サイト貯蔵の化学物質の流出 (2-14)
19	油流出	船舶から放出される固体又は液体不純物 (2-10)

※ () 内の番号は表 2 人為事象における番号

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 号炉	(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 号炉	× ^{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：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）

注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）

注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)

発電所名称 及び号炉 パラメータ	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉			
対象航空路 ^{注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 ^{注2}	14600	4015	3650	182.5
A ^{注3}	0.01	0.01	0.01	0.01
W ^{注4}	14	14	18.52	18.52
f_c ^{注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)

注 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)

注 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)

注 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。

注 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）

パラメータ値	発電所名称 及び号炉 柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉
f_V 注	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 注	372,000
A	0.01
α 注	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：「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 及び号炉 パラメータ値	柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉
f_{SO} 注1	自衛隊機 8/20=0.4 米軍機 5/20=0.25
S_o 注1	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1 : 「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)

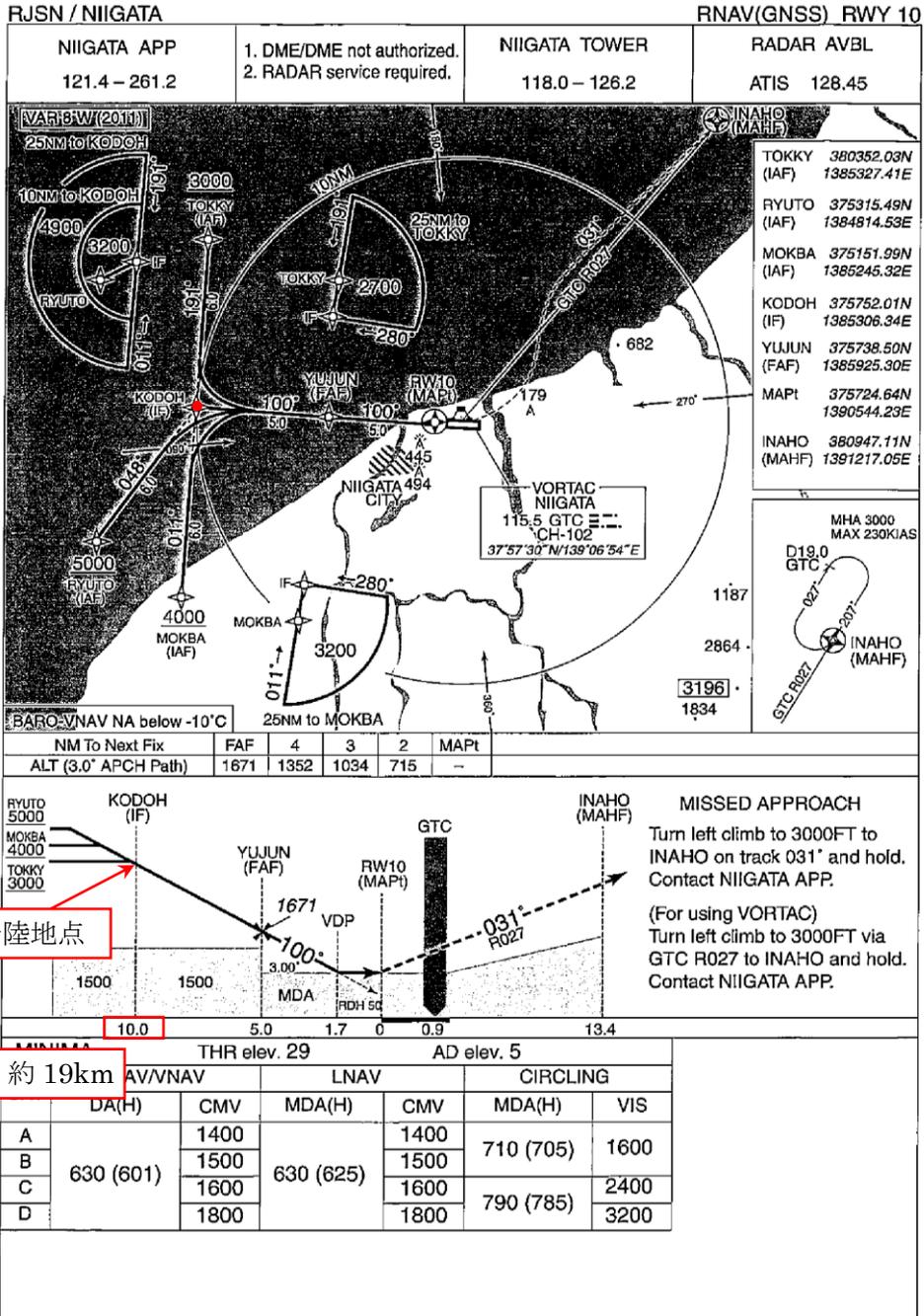
上記より, 訓練空域外を飛行中の自衛隊機及び米軍機の落下確率 (P_{SO}) は, 約 2.02×10^{-8} (回/年) となる。

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

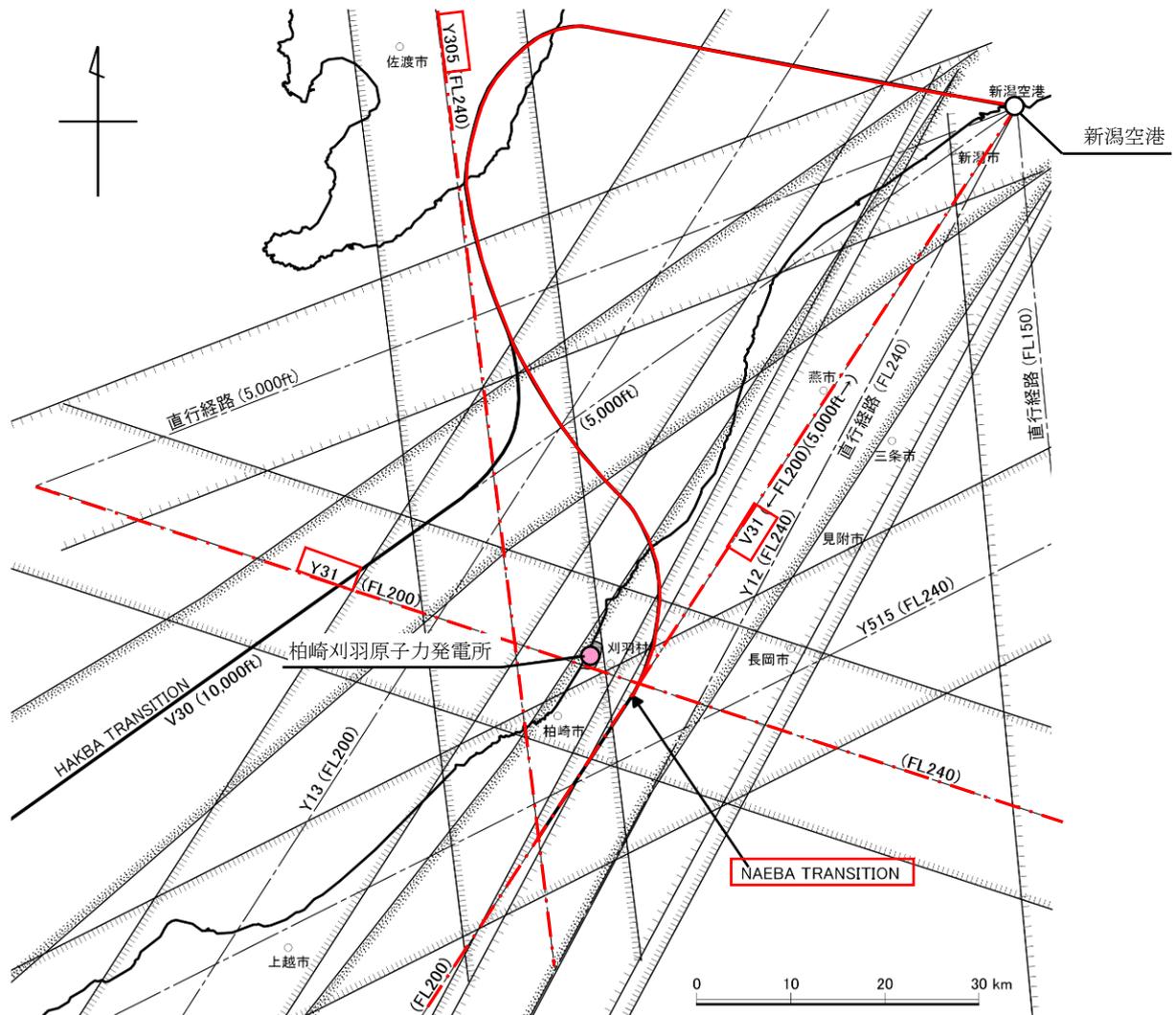
評価対象落下事故	落下確率 (回/炉・年)
計器飛行方式民間航空機の落下事故	約 8.13×10^{-10}
有視界飛行方式民間航空機の落下事故	約 1.20×10^{-8}
訓練空域外を飛行中の落下事故	約 2.02×10^{-8}
合計	約 3.4×10^{-8}

INSTRUMENT APPROACH CHART



(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局，平成 25 年 3 月)

図 1-1 新潟空港の最大離着陸地点



- 凡例 -

	航空路
	RNAV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

(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局，平成 25 年 3 月)

図 2-1 柏崎刈羽原子力発電所周辺の航空図

表 3-1 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 ^{注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	40×365 日 = 14600 便/年間	0.5×365 日 = 182.5 便/年間 ^{注2}	10×365 日 = 3650 便/年間	11×365 日 = 4015 便/年間

注 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。

注 2 : 実際の便数は 0 であるが、保守的に 0.5 とする。

表 4-1 航空機落下確率評価に係わる標的面積

単位：km²

発電所	号炉	原子炉建屋 ^{注1}	コントロール建屋 (中央制御室) ^{注2}	合計 ^{注3}	標的面積
柏崎刈羽	6	0.003538	0.002378	0.005916	0.01
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1：ディーゼル発電機室は原子炉建屋に含む。

注2：中央制御室は6号及び7号炉合計。

注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 5-1 日本国機の運航距離

	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

防護すべき安全施設及び重大事故等対象施設への考慮

1. 防護すべき安全施設

地震及び津波以外の自然現象（故意によるものを除く）及び人為事象（以下「外部事象」という。）に対する安全施設への要求については「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）にて規定されている。設置許可基準規則における安全施設は、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」の安全重要度クラス 1, 2, 3 に属する構築物、系統及び機器を指していることから、各外部事象に対して防護する安全施設は、安全重要度クラス 1, 2, 3 に属する構築物、系統及び機器とする。

設置許可基準規則には安全施設に対し、以下のように規定されている。

【抜粋】実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則

設置許可基準規則	解釈
<p>第六条（外部からの衝撃による損傷の防止）</p> <p>安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。</p>	<p>1 第 6 条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。</p> <p>7 第 3 項は、設計基準において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。</p>

設置許可基準規則 第二条 用語の定義より抜粋

- ・ 「安全施設」とは、設計基準対象施設のうち、安全機能を有するもの
- ・ 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能

重要度分類指針*より抜粋

- ・ 安全機能を有する構築物、系統及び機器をそれが果たす安全機能の性質に応じて、以下の 2 種に分類
 - (1) 異常発生防止系（以下「PS」という。）
 - (2) 異常影響緩和系（以下「MS」という。）
- ・ PS 及び MS のそれぞれに属する構築物、系統及び機器を、その有する安全機能の重要度に応じて、それぞれクラス 1, 2, 3 に分類

※：発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針

2. 重大事故等対処施設への考慮

設計基準事象に対して耐性を確保する必要があるのは設計基準事故対処設備であり、重大事故等対処施設ではないが、第四十三条の要求を踏まえ、設計基準事象によって、設計基準事故対処設備の安全機能と重大事故等対処設備が同時にその機能が損なわれることがないことを確認する。

重大事故等対処設備については、設置許可基準にて以下のように規定されている。

【抜粋】実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則

第四十三条（重大事故等対処設備）

重大事故等対処設備は、次に掲げるものでなければならない。

第2項第3号 常設重大事故防止設備は、共通要因によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。

第3項第7号 重大事故防止設備のうち可搬型のものは、共通要因によって、設計基準事故対処設備の安全機能、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能若しくは注水機能又は常設重大事故防止設備の重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講じたものであること。

設計基準設定において参考とする年超過確率評価について

1. 設計基準の設定について

設計基準を設定する際には、過去の経験データを参照し、十分余裕をもった値を設定すべきであることから、観測記録の最大値、及び規格・基準類を参照すれば十分とも考えられる。ただし、福島第一原子力発電所事故の教訓から極低頻度事象を想定することが必要であると認識されることから、過去 50 年程度の観測記録や、同程度の過去データをもとに作成されていると考えられる規格・基準類を参照するだけでなく、不確かさを踏まえた上で可能な限り確率論的な考え方も参考として導入することが必要と考えられる。また、設計基準を設定する際の参考として年超過確率を評価・確認することは、今後新たなデータが出てきた場合に知見を反映し、その感度を見ることができるといった利点がある。

I 規格基準類

選定した自然現象に関する規格・基準類が存在する場合、それに参照する。

II 観測記録

柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺における観測記録を調査の上、観測史上 1 位を参照する。

III 年超過確率評価

柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺における観測記録をもとに年超過確率評価を実施し、上記 I、II により設定した設計基準値について年超過確率を確認する。自然現象の特性に応じた想定すべき年超過確率の規模（後述）を、I、II により設定した設計基準値が下回る場合には、年超過確率評価をもとにした設計基準値の見直しを図る。

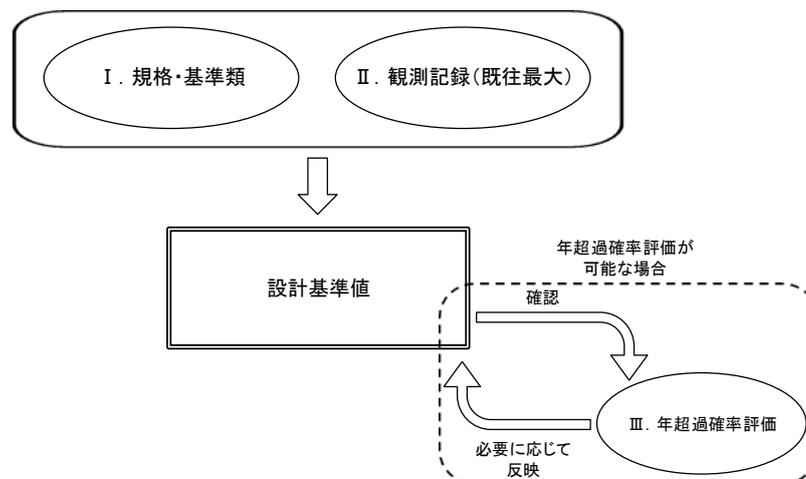


図 1 設計基準の設定

2. 設計基準設定の参考とする年超過確率の規模について

2.1 自然現象の特性整理

想定すべき年超過確率については、対象とする自然現象の特性に応じた設定とする必要がある。プラントが苛酷な状況となる可能性があり、影響の有無、程度の評価を行うべき外部事象（2次評価の対象となる、風（台風）、竜巻、低温（凍結）、降水、積雪、落雷、地滑り、火山、生物学的事象）のうち、年超過確率評価が可能な事象は、風（台風）・竜巻・低温（凍結）・降水・積雪・落雷となる。これらの事象について特性を整理した検討フロー及び結果について図2に示す。

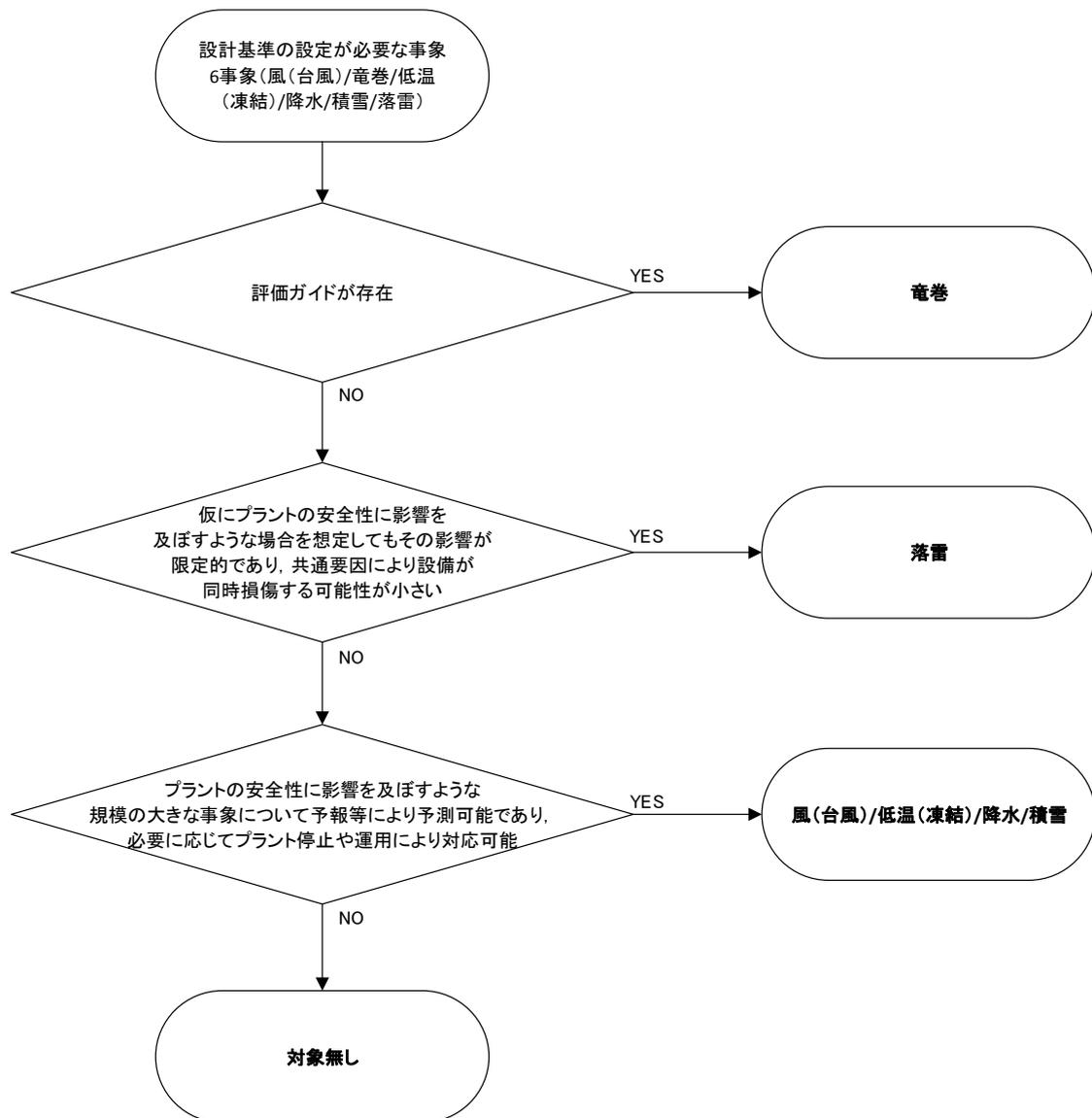


図2 自然現象の特性整理フロー

2.2 年超過確率検討事例

整理された各自然現象についての設定する際には以下のような事例と比較し、参考とした。

- ① 基準地震動について、年超過確率を参照すると 10^{-4} /年～ 10^{-5} /年に相当する値になっている。
- ② 基準津波について、年超過確率を参照すると 10^{-4} /年～ 10^{-5} /年に相当する値になっている。
- ③ 従来の安全設計評価指針では、評価すべき事象のうち、運転時の異常な過渡変化については“発電用原子炉施設の寿命期間中に予想される事象”，事故については“発電用原子炉施設の寿命期間中にまれではあるが発電用原子炉施設の安全性を評価する観点から想定する必要のある事象”としている。プラント寿命期間中（数十年程度）に1回の頻度は 10^{-1} /年～ 10^{-2} /年程度となることから、過渡変化は 10^{-1} /年～ 10^{-2} /年、事故は 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年程度の発生頻度と考えられる。
- ④ 諸外国のその他自然現象に関する基準を参照すると、国により対象とする自然現象の種類や基準に差は見受けられるものの、年超過確率 10^{-2} /年～ 10^{-5} /年（おおむね年超過確率 10^{-4} /年）となる値を基準としている（欧州各国ストレステスト報告書より）。

2.3 各自然現象に適用する年超過確率

2.1にて整理した特性を考慮し、各自然現象に対して適用する年超過確率の値を検討する。その他自然現象に適用する年超過確率の共通する考え方としては、2.2 ③の事故の発生頻度 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年程度を目安とするが、各自然現象のプラントへの影響度等に応じた設定とする。

【竜巻】

- ・竜巻については、データの不確かさが比較的大きいことから 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年より1桁下げた範囲（ 10^{-4} /年～ 10^{-5} /年）でのさらに保守側の値 10^{-5} /年を確認するものとする。また、ガイドにおいても 10^{-5} /年（暫定値）としている。

【落雷】

- ・影響範囲が広範囲であり共通要因による損傷の可能性が大きい地震・津波（ 10^{-4} /年～ 10^{-5} /年）から1桁上げた範囲（ 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年）での保守側の値 10^{-4} /年を確認する。

【風（台風）・低温・降水・積雪】

- ・プラントの安全性に影響を与えるような規模の大きな事象について事前に対処が難しい地震・津波（ 10^{-4} /年～ 10^{-5} /年）から1桁上げた範囲（ 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年）での保守側の値 10^{-4} /年を確認する。

3. 過去の経験データからハザードを設定することの妥当性

上記 1. のとおり、設計基準設定の際には、過去の経験データの観測史上 1 位及び規格基準類以外にも、参考として年超過確率評価を実施し、最も厳しい値を採用しているが、それらは全て過去の経験データに基づいた設定と言える。

基本的にプラント寿命は、大規模な気候変動の周期よりも短いと考えられるが、各自然現象について将来的な気候変動により厳しい傾向となることは否定できない。そのため、過去の経験データを用いて、将来的なハザードを予測するという点については十分な吟味が必要であり、特にプラント寿命の間に変化が予想される事象については、特別な配慮を与える必要がある。

将来的な気候変動として現時点でも予想されるものとしては地球温暖化が挙げられ、地球温暖化が進行した際には、気温上昇や台風の強度が強まる傾向が考えられるものの、現時点の柏崎周辺での経験データからは地球温暖化による有意な影響は観測されていない（図 3 参照）ことから、設計基準への特別な配慮は不要と考える。

ただし、気候変動を完全に予測することは難しいため、最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し、必要に応じて見直しを実施していくものとする。

なお、台風の勢力の変化について、下記文献では、日本を含む東アジア諸国に過去襲来した台風の最大風速の年平均値が 1970 年代後半からの過去約 40 年間で 8m/s 程度の上昇傾向にあるとしている。

Wei Mei, Shang-Ping Xie, Intensification of landfalling typhoons over the northwest Pacific since the late 1970's, Nature Geoscience, vol. 9, Oct. 2016

上記文献は、各台風の寿命中の最大風速に着目しているが、台風は新潟県に襲来するまでに勢力が弱まり風速が小さくなる傾向にある（添付資料 5 参照）こと、すでに述べたようにサイト周辺の最大風速の観測データに有意な変動は見られないことから、年超過確率の算出に影響を与えるものではない。また、風（台風）の年超過確率の算出に当たっては、柏崎市の観測記録に比べ風速の大きい傾向にある新潟市の観測記録を参照したことによる保守性があり、仮に柏崎市の観測記録から算出した年超過確率 10^{-4} /年の値に上記文献の上昇傾向（40 年間で 8m/s 程度）を加味したとしても、新潟市の観測記録から算出した年超過確率 10^{-4} /年の値 39.0m/s に包絡される（添付資料 5 参照）。

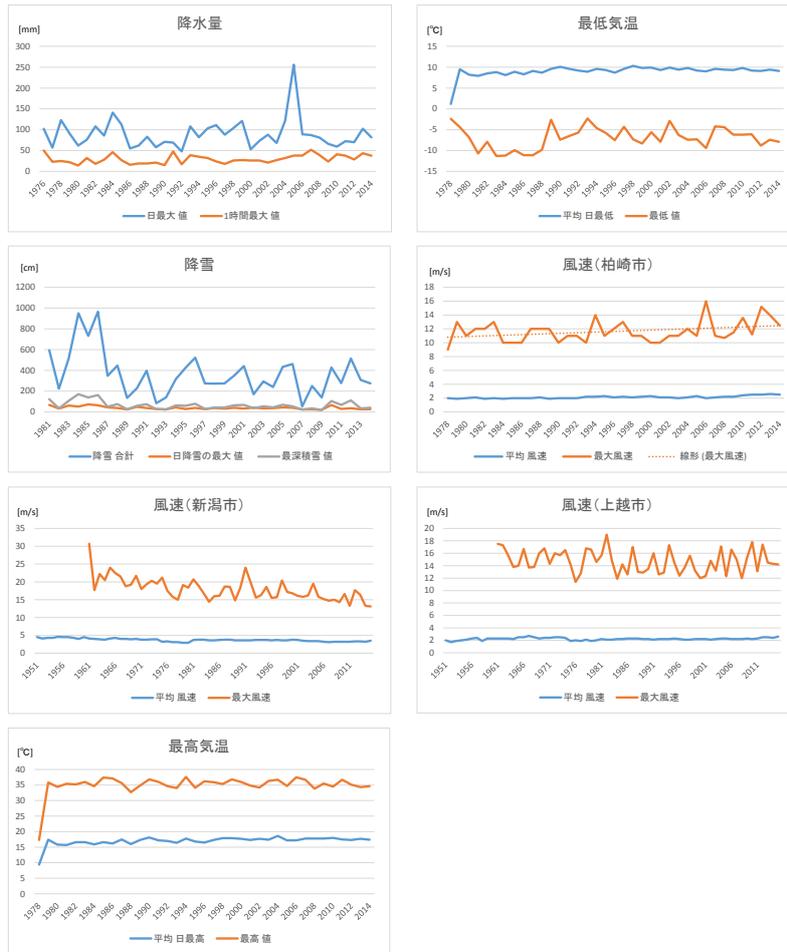


図3 気候トレンド

風（台風）影響評価について

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、安全施設の機能が風荷重に対して維持され、安全機能が損なわれないよう設計する。

2. 設計基準風速の設定

設計基準風速の設定は、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、最大風速（地上高 10m, 10 分間平均風速の日最大風速）のうち最も保守的となる値を採用する。

なお、最大瞬間風速等の風速変動といった局所的かつ一時的な影響であれば、竜巻の最大瞬間風速の影響に包絡されるが、ここでは風（台風）の影響範囲、継続性を鑑み、風（台風）に対して設計基準風速を設定する。

設計基準風速の設定に当たっては、最大風速を採用することにより、その風速の 1.5～2 倍程度の最大瞬間風速⁽¹⁾を考慮することになること、現行の建築基準法では最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮した係数を最大風速に乘以風荷重を算出することが定められていることから、設計基準風速としては最大風速を設定する。（詳細は次頁参照）

(1) 規格・基準類

風に対する建築物の規格・基準として、発電用原子炉施設建設時の建築基準法施行令第 87 条（以下「旧建築基準法施行令」という。）においては、日本最大級の台風の最大瞬間風速（63m/s, 地上高 15m）に基づく風荷重に対する設計が要求されていた。

その後、建築基準法施行令第 87 条の風荷重規定は 2000 年に改正され、それ以降、建築物については、地域ごとに定められた基準風速の風荷重に対する設計が要求されており、柏崎市及び刈羽村の基準風速は 30m/s（地上高 10m, 10 分間平均風速）である。

屋外設備のうち、タンクについては、消防法（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第 4 条の 19）において、日本最大級の台風の最大瞬間風速（63m/s, 地上高 15m）に基づく風荷重に対する設計が、現在でも要求されている。

(2) 観測記録

気象庁の気象統計情報における風速の観測記録⁽¹⁾（別紙 1）によれば、柏崎市の地域気象観測システム（アメダス）、新潟地方気象台（新潟市）及び高田特別地域気象観測所（上越市）で観測された観測史上 1 位の最大風速及び最

大瞬間風速は下記のとおりである。また、新潟県内（佐渡島，粟島を除く）の各観測地点における観測記録（別紙2）を参照した結果，新潟市の観測記録を上回ることがないことを確認した。

ただし，刈羽村については，風速等を観測する気象庁の地域気象観測システム（アメダス）が設置されていないため，気象庁の気象統計情報に観測記録はない。

台風風の風速記録（別紙3）において，新潟市に台風が接近又は通過の際の風速の観測記録を参照した結果，新潟県に台風が襲来するまでに台風の勢力は弱まり風速が小さくなっているため，台風の影響には地域性があり，風（台風）の設計基準風速設定の際は，その地域性を考慮する必要があることを確認した。

柏崎市：最大風速 16m/s

（2006年4月11日，統計期間：1978年11月～2013年3月）

最大瞬間風速 32.5m/s

（2012年4月3日，統計期間：2008年3月～2013年3月）

新潟市：最大風速 40.1m/s

（1929年4月21日，統計期間：1886年1月～2013年3月）

最大瞬間風速 45.5m/s

（1991年9月28日，統計期間：1937年1月～2013年3月）

上越市：最大風速 23.1m/s

（1959年4月5日，統計期間：1922年1月～2013年3月）

最大瞬間風速 42.0m/s

（1998年9月22日，統計期間：1937年1月～2013年3月）

ここで，設計基準風速の設定にあたり，各風速の定義は以下の通り。

気象庁の風の観測については，風速（地上高10m，10分間平均）及び瞬間風速（地上高10m，3秒間平均）を記録している。「最大風速」は，風速（地上高10m，10分間平均）の日最大風速を，「最大瞬間風速」は，瞬間風速（地上高10m，3秒間平均）の日最大瞬間風速をいい，一般的に最大瞬間風速と最大風速の比は1.5～2倍程度とされている⁽¹⁾。（例えば，最大風速40m/sの場合は，60～80m/s程度の瞬間的な風が吹く可能性がある）

旧建築基準法施行令では，最大瞬間風速（63m/s，地上高15m）を参照していたが，現行の建築基準法施行令では，地上高10mにおける10分間平均風速を基準としている。ただし，現行の建築基準法施行令でも，風荷重の算出において，最大瞬間風速等の風速変動による影響を考慮し，設計基準風速に地表面粗度等により求まるガスト影響係数を乗じ速度圧を算出することが定められている。これにより，旧建築基準法施行令では全国ほぼ一律で定

められていた風荷重を，現在では建築物の周辺状況及び構造特性等に応じて定めることが可能となった。発電所敷地の自然環境を踏まえ，安全設計上考慮する設計基準風速の定義は，現行の建築基準法に準拠し，地上高 10m での 10 分間平均風速を採用する。

以上を踏まえると，設計基準風速は，上記の柏崎市，新潟市及び上越市における観測史上 1 位の最大風速（地上高 10m，10 分間平均風速の日最大風速）のうち，保守的に最も風速が大きい新潟市の最大風速である 40.1m/s とする。

(3) 年超過確率評価

年超過確率の評価は，気象庁「異常気象リスクマップ」⁽¹⁾（別紙 4）の手法により新潟市における統計期間（1961～2012 年）内の最大風速から評価した。評価結果となるハザード曲線を図 1 に示す。また，上記(1)及び(2)での最大値（最大風速 40.1m/s）について年超過確率を確認した結果， 6.4×10^{-5} /年となった。参考として，新潟市の最大風速について年超過確率 10^{-4} /年の値は，39.0m/s となった。

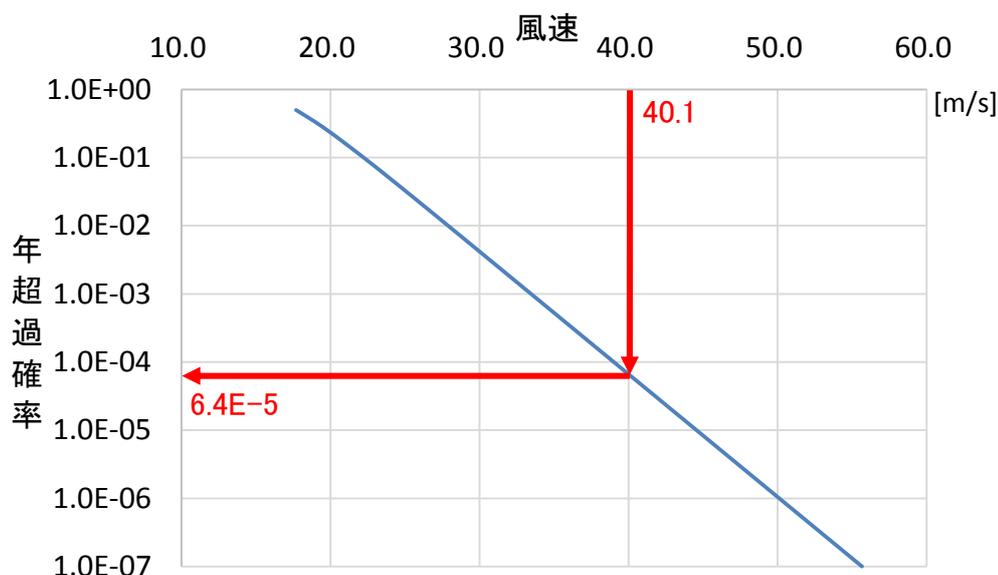


図 1 最大風速（新潟市）ハザード曲線

以上より，設計基準風速として使用する値としては，(2)観測記録の値である新潟市における観測史上 1 位の最大風速（地上高 10m，10 分間平均風速の日最大風速）である 40.1m/s を定める。

ただし，タンクについては，消防法に従い，日本最大級の台風の最大瞬間風速に基づいた風荷重に対する設計が要求されていることから，設計対象物に応じ，

消防法にて要求される風荷重と上記設計基準風速の風荷重を比較し、大きい方を採用する。

なお、建屋等に対しては、消防法に基づく風荷重の要求はないが、仮に消防法に基づくタンクの風荷重の計算方法を、7号機原子炉建屋に当てはめた場合であっても、風荷重の値は 2.94kN/m^2 であり、建築基準法に基づく風荷重(2.91kN/m^2)とおおむね同じであり、設計用地震力に比べ十分小さいことから、安全機能を損なうことはない。

3. 安全施設の健全性評価

安全施設が、 40.1m/s （地上高 10m 、 10 分間平均）の風（台風）によって安全機能を損なわない設計であることを評価・確認するため、 40.1m/s の風（台風）に対する風荷重が安全施設に作用した場合の影響について評価し、安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は、以下のとおり。また、図2に風（台風）に対する安全施設の評価フローを示す。

- 防護対象である安全施設のうち、外部事象防護対象施設について、以下の①又は②に分類の上、評価し、安全機能が維持できることを確認した。
- ①頑健性のある建屋内に設置されている設備については、 40.1m/s の風（台風）に対する風荷重が作用した場合における当該の建屋の健全性を確認することにより、安全機能を損なわないことを確認した。（別紙5）
- ②建屋外に設置されている設備については、当該の設備に 40.1m/s の風（台風）に対する風荷重（タンクについては、 40.1m/s の風荷重及び消防法に基づく風荷重）が作用した場合においても、安全機能を損なわないことを確認した。（別紙5）
- 上記以外の安全施設については、風（台風）に対して機能維持する、又は、風（台風）による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。（別紙5）

なお、風（台風）の設計基準風速は、竜巻影響評価における設計竜巻の最大風速に、台風の発生に伴う飛来物の影響は、竜巻影響評価にて想定している設計飛来物の影響に包絡されており、安全施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

4. 重大事故等対処設備に対する考慮

図3の風（台風）に対する重大事故等対処設備の評価フローに基づき、 40.1m/s の風（台風）に対し、必要な安全機能を維持できることを確認した。また、別紙5に重大事故等対処設備を内包する建屋の健全性確認結果を示す。

なお、風（台風）に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規

則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

5. 参考文献

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

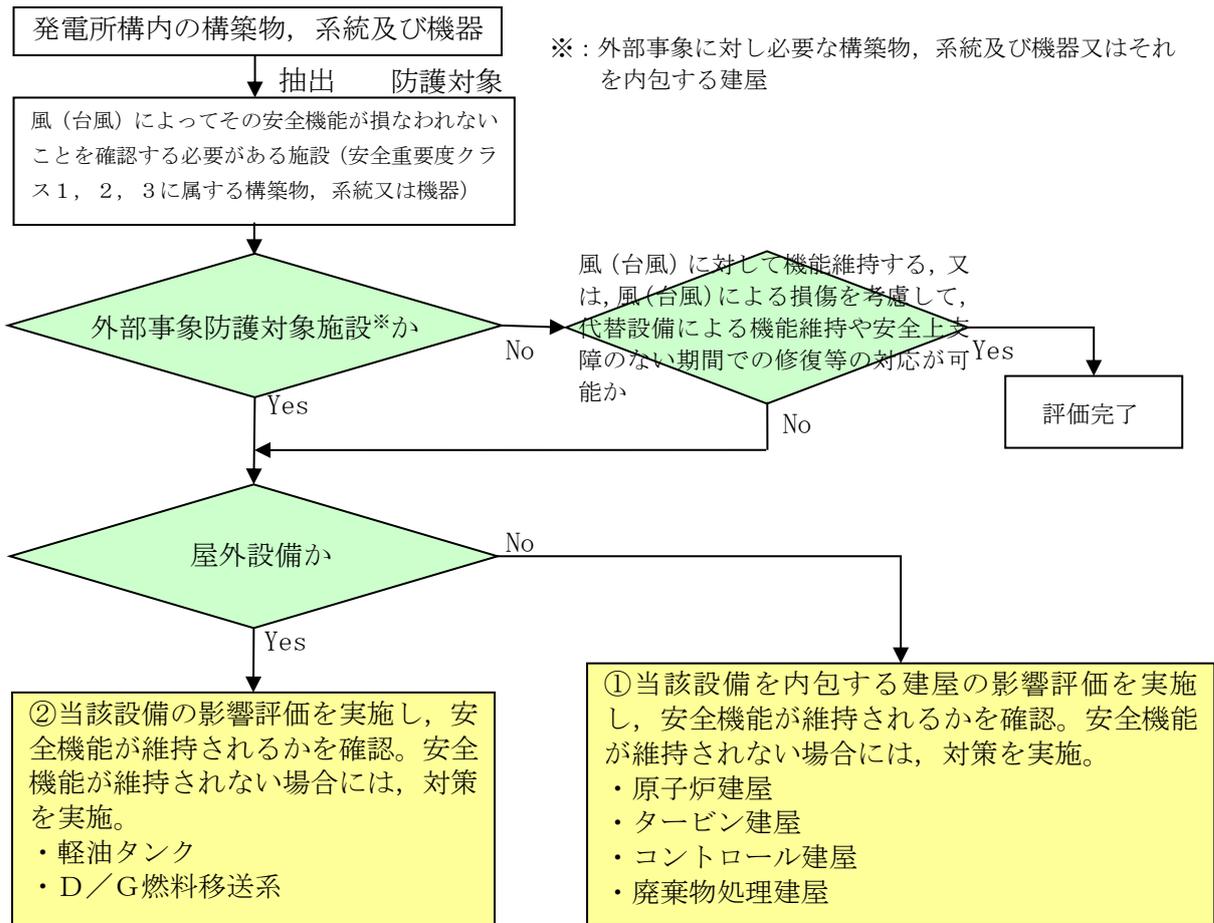
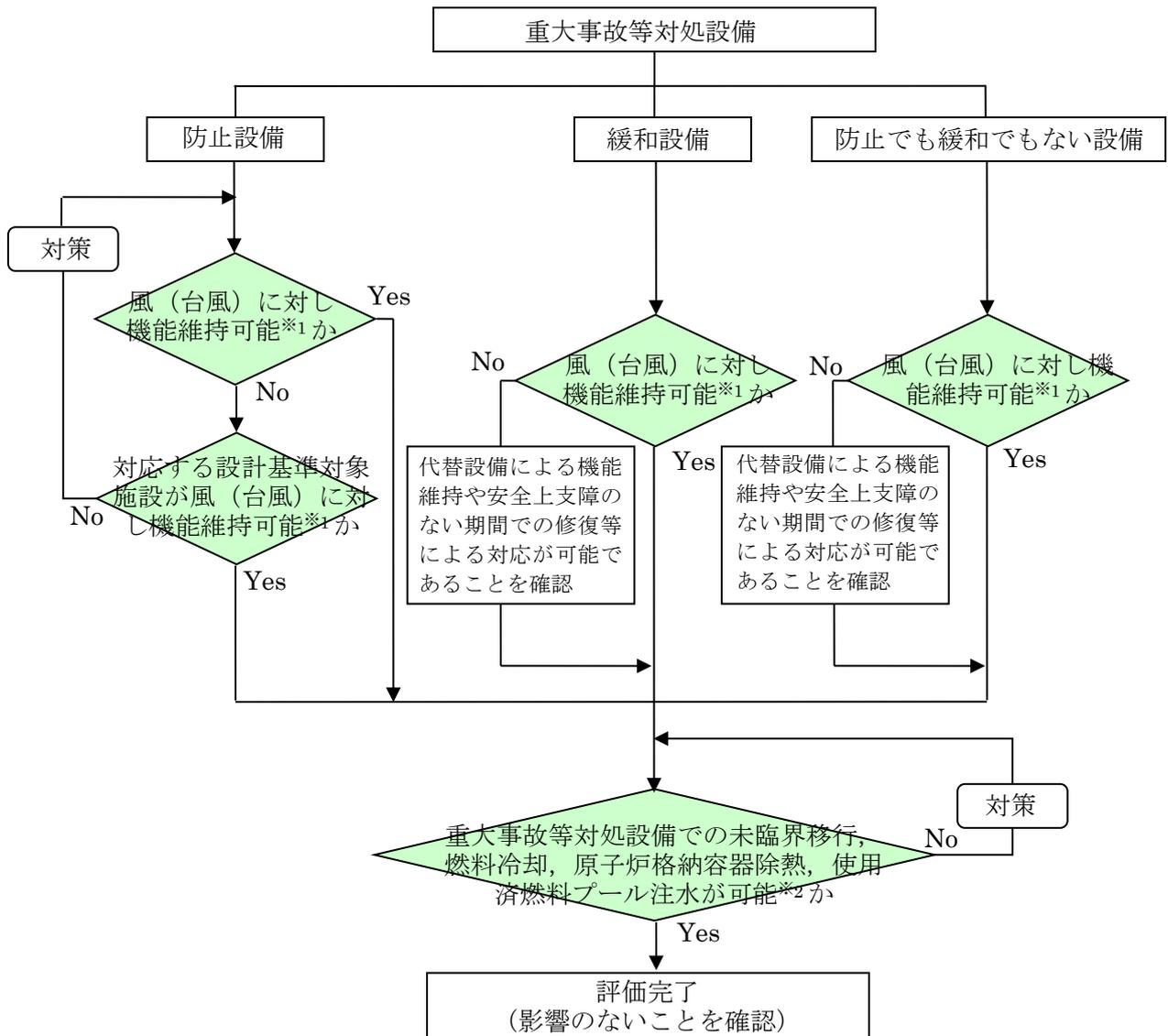


図 2 風（台風）に対する安全施設の評価フロー



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋）の影響評価を実施し、安全機能が維持されることを確認。
 ※2：風（台風）により重大事故等対処設備の機能と設計基準対象施設の安全機能が同時に損なわれることはないが、安全上支障のない期間内の復旧により機能維持可能であることを確認。

図3 風（台風）に対する重大事故等対処設備の評価フロー

表 1-1 観測記録（柏崎市）
（気象庁ホームページより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
1978	9]	—
1979	13	—
1980	11	—
1981	12	—
1982	12	—
1983	13	—
1984	10	—
1985	10	—
1986	10	—
1987	12	—
1988	12	—
1989	12	—
1990	10	—
1991	11	—
1992	11	—
1993	10	—
1994	14	—
1995	11	—
1996	12	—
1997	13	—
1998	11	—
1999	11	—
2000	10	—
2001	10]	—
2002	11	—
2003	11	—
2004	12	—
2005	11	—
2006	16	—
2007	11	—
2008	10.7	20.2]
2009	11.5	21.6
2010	13.6	31.5
2011	11.2	24.4
2012	15.2	32.5
2013	11.1	22.8

値] : 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。

表 1-2 観測記録（新潟市）（1/3）
（気象庁ホームページより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
1886	なし	なし
1887	なし	なし
1888	なし	なし
1889	なし	なし
1890	なし	なし
1891	なし	なし
1892	なし	なし
1893	なし	なし
1894	なし	なし
1895	なし	なし
1896	なし	なし
1897	なし	なし
1898	なし	なし
1899	なし	なし
1900	なし	なし
1901	なし	なし
1902	なし	なし
1903	なし	なし
1904	なし	なし
1905	なし	なし
1906	なし	なし
1907	なし	なし
1908	なし	なし
1909	なし	なし
1910	なし	なし
1911	なし	なし
1912	なし	なし
1913	なし	なし
1914	なし	なし
1915	なし	なし
1916	なし	なし
1917	なし	なし
1918	なし	なし
1919	なし	なし
1920	なし	なし
1921	なし	なし
1922	なし	なし
1923	なし	なし
1924	なし	なし
1925	18.1	なし

なし：この要素の観測を行っていない場合、測器の故障等で観測できなかった場合や、
火災や戦災等で資料を失った場合等

表 1-2 観測記録（新潟市）（2/3）
（気象庁ホームページより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
1926	24.8	なし
1927	22.6	なし
1928	29.8	なし
1929	40.1	なし
1930	22.9	なし
1931	34.5	なし
1932	29.8	なし
1933	27.2	なし
1934	27.9	なし
1935	26.4	なし
1936	30.0	なし
1937	32.7	37.0
1938	33.0	30.8]
1939	21.0	26.9]
1940	22.0	29.4]
1941	22.7	31.0
1942	21.7	31.5
1943	19.0	27.8
1944	29.0	34.5
1945	27.7	36.9
1946	22.7	30.8
1947	22.7	33.7
1948	20.0	27.0
1949	24.8	34.1
1950	24.8	34.7
1951	22.6	28.0
1952	21.1	28.3
1953	18.2	33.7
1954	25.8	37.2
1955	21.7	33.6
1956	22.6	31.2
1957	24.5	41.4
1958	22.9	32.3
1959	20.2	31.3
1960	22.9	33.6
1961	30.7	44.5
1962	17.7	28.2
1963	22.2	33.2
1964	20.5	38.4
1965	24.0	37.6
1966	22.5	35.0

なし：この要素の観測を行っていない場合、測器の故障等で観測できなかった場合や、
火災や戦災等で資料を失った場合等

値]：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。

表 1-2 観測記録（新潟市）（3/3）
（気象庁ホームページより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
1967	21.5	30.0
1968	18.8	27.4
1969	19.2	31.8
1970	21.7	32.8
1971	18.0	29.4
1972	19.3	31.3
1973	20.3	32.5
1974	19.5	32.5
1975	21.2	33.1
1976	17.5	30.2
1977	15.8	26.6
1978	15.0	26.3
1979	19.1	33.0
1980	18.4	29.3
1981	20.7	37.5
1982	18.9	31.8
1983	16.7	27.8
1984	14.4	29.0
1985	16.0	26.0
1986	16.1	28.1
1987	18.7	29.8
1988	18.6	29.6
1989	14.8	26.4
1990	18.4	31.0
1991	24.0	45.5
1992	19.8	35.8
1993	15.6	28.1
1994	16.3	30.4
1995	18.6	31.2
1996	15.5	28.0
1997	15.7	28.8
1998	20.4	38.8
1999	17.2	35.4
2000	16.8	35.8
2001	16.1	29.7
2002	15.8	27.6
2003	16.2	29.5
2004	19.5	37.1
2005	15.8]	33.2]
2006	15.2	34.7
2007	14.7	30.6
2008	15.0	25.2
2009	14.3	24.8
2010	16.6	26.3
2011	13.3	25.7
2012	17.7	33.6
2013	12.9	23.3

値] : 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。

表 1-3 観測記録（上越市）（1/3）
（気象庁ホームページより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
1922	15.5]	なし
1923	11.0	なし
1924	14.0	なし
1925	12.0	なし
1926	12.0	なし
1927	15.2	なし
1928	12.1	なし
1929	11.5	なし
1930	12.8	なし
1931	12.9	なし
1932	13.5	なし
1933	15.1	なし
1934	13.4	なし
1935	12.8	なし
1936	12.5	なし
1937	12.0	22.4
1938	12.1	18.6
1939	9.7	16.5
1940	15.0	20.8
1941	17.5	19.3
1942	16.8	18.8
1943	13.2	21.3
1944	14.3	18.0
1945	16.0	23.7
1946	14.2	22.0
1947	14.3	22.2
1948	12.8	19.8
1949	15.0	21.0
1950	16.1	19.3
1951	15.7	23.3
1952	11.8	22.1
1953	13.5	24.0]
1954	17.7	26.0
1955	16.5	28.1
1956	17.2	28.4
1957	17.4	23.5
1958	15.0	24.2
1959	23.1	28.0
1960	16.1	24.4

なし：この要素の観測を行っていない場合、測器の故障等で観測できなかった場合や、
火災や戦災等で資料を失った場合等

値]：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。

表 1-3 観測記録（上越市）（2/3）
（気象庁ホームページより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
1961	17.5	34.8
1962	17.3	28.6
1963	15.7	28.0
1964	13.8	27.3
1965	14.0	31.1
1966	16.7	28.7
1967	13.7	27.4
1968	13.8	27.1
1969	16.0	28.6
1970	16.8	32.6
1971	14.3	28.4
1972	16.0	30.2
1973	15.7	33.0
1974	16.5	29.6
1975	14.2	26.8
1976	11.4	26.6
1977	12.8	26.2
1978	16.8	30.6
1979	16.6	33.2
1980	14.6	27.4
1981	15.7	34.0
1982	19.0	40.3
1983	14.8	27.2
1984	11.9	27.1
1985	14.2	29.4
1986	12.6	25.2
1987	17.0	32.1
1988	13.0	28.0
1989	12.9	27.8
1990	13.5	29.8
1991	16.0	31.2
1992	12.6	26.4
1993	12.9	27.8
1994	17.3	34.7
1995	14.5	31.9
1996	12.4	27.4
1997	13.7	27.4
1998	15.6	42.0
1999	13.2	28.1
2000	12.0	26.5

表 1-3 観測記録（上越市）（3/3）
（気象庁ホームページより）

年	最大風速 [m/s]	最大瞬間風速 [m/s]
2001	12.3	25.5
2002	14.8	33.0
2003	13.2	29.7
2004	17.1	33.9
2005	12.3	27.9
2006	16.6	32.0
2007	15.0	30.0
2008	12.0	24.4
2009	15.3	29.1
2010	17.8	31.9
2011	13.1]	24.9]
2012	17.4	31.5
2013	13.8	25.6

値] : 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。

新潟県内（佐渡島，粟島を除く）の各観測地点において観測された
観測史上 1 位の日最大風速，日最大瞬間風速

新潟県内の各観測地点の位置を図 2-1 に示す。図 2-1 の観測地点のマークの違いは、表 2-1 に示すとおり観測要素の違いを表している。

各観測地点において観測された日最大風速を表 2-2，日最大瞬間風速を表 2-3 に示す。ただし，参照する観測地点は，佐渡島，粟島を除き，上越地方，中越地方及び下越地方の観測地点のうち，観測要素に風を含んでいる観測地点とする。

表 2-2，2-3 より新潟市の日最大風速及び日最大瞬間風速は，いずれも新潟県内で最も大きく，柏崎市の記録と比べても十分大きいことから，柏崎刈羽原子力発電所の設計基準風速設定の際に新潟市の風速を参照し，最大のものを採用することにより保守性は確保される。

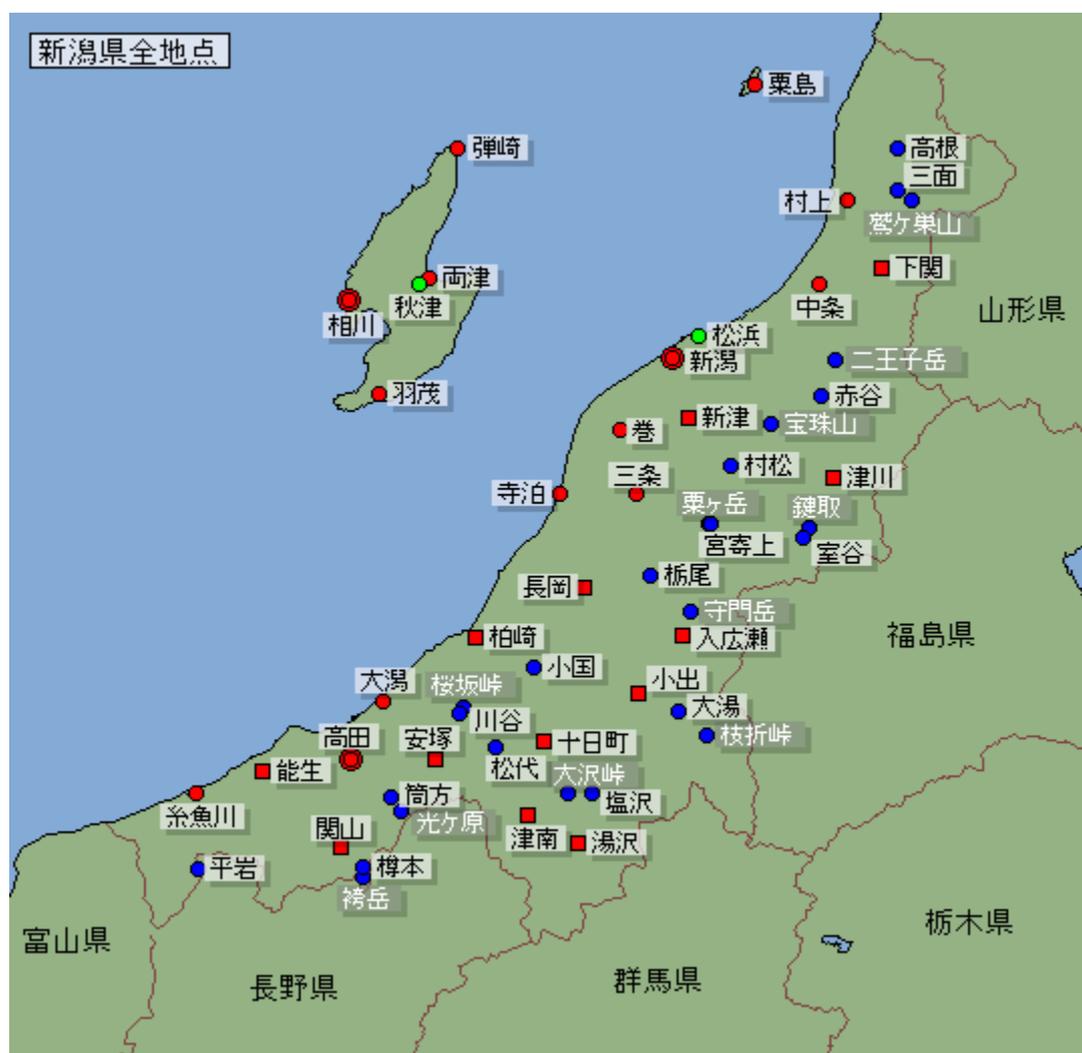


図 2-1 新潟県内の気象観測地点(気象庁ホームページより)

表 2-1 観測地点の種類及び観測要素（気象庁ホームページより）

マーク	地点の種類	観測要素
●	気象台等	降水量，風，気温，日照時間，積雪，気圧，湿度，天気等
●	アメダス	降水量，風，気温，日照時間
■	アメダス	降水量，風，気温，日照時間，積雪
●	アメダス	降水量，風，気温（一部の観測所は気温を除く）
■	アメダス	降水量，風，気温，積雪
●	アメダス	降水量
■	アメダス	降水量，積雪
□	アメダス	積雪

- 年代により，要素が異なる場合がある。
- 白地に黒い文字の観測所は現在運用中，白い文字の観測所は観測を終了した地点。一部の観測所では，季節により観測を休止する要素がある。

表 2-2 新潟県（佐渡島，粟島除く）の各観測地点において観測された
観測史上 1 位の日最大風速
（気象庁ホームページより）

観測地点	最大風速 [m/s]	観測日	統計期間
新潟	40.1	1929/04/21	1886/01～2013/09
松浜	26.9	2010/01/13	2003/01～2013/09
巻	24.7	2012/08/06	1978/11～2013/09
高田（上越市）	23.1	1959/04/05	1922/01～2013/09
長岡	23	1979/03/31	1976/02～2013/09
糸魚川	22	1979/10/19	1978/11～2013/09
寺泊	21	2006/11/07	2001/08～2013/09
新津	20.8	2012/04/03	1978/11～2013/09
津南	20.1	2012/04/03	1978/11～2013/09
中条	19	1981/08/23	1978/11～2013/09
大潟	18.2	2010/02/06	1978/11～2013/09
柏崎	16	2006/04/11	1978/11～2013/09
関山	16	2006/04/11	1978/11～2013/09
下関	15.2	2010/01/13	1978/11～2013/09
安塚	15	1979/03/31	1978/11～2013/09
湯沢	14.9	2012/04/03	1978/11～2013/09
三条	14	1997/06/29	1978/11～2013/09
能生	14	2007/01/07	1978/11～2013/09
十日町	12.9	2010/04/28	1978/11～2013/09
村上	12	2002/01/05	1978/11～2013/09
小出	12	1998/09/22	1978/11～2013/09
津川	11	1982/08/02	1978/11～2013/09
入広瀬	10	1987/06/25	1978/11～2013/09

表 2-3 新潟県（佐渡島，粟島除く）の各観測地点において観測された
観測史上 1 位の日最大瞬間風速
（気象庁ホームページより）

観測地点	最大瞬間風速 [m/s]	観測日	統計期間
新潟	45.5	1991/09/28	1937/01～2013/09
松浜	35.5	2010/01/13	2009/01～2013/09
巻	37.9	2012/04/03	2009/01～2013/09
高田（上越 市）	42.0	1998/09/22	1937/01～2013/09
長岡	31.1	2012/04/03	2008/11～2013/09
糸魚川	29.1	2012/04/03	2009/03～2013/09
寺泊	34.1	2012/04/03	2009/01～2013/09
新津	31.9	2012/04/04	2008/03～2013/09
津南	32.4	2012/04/03	2008/11～2013/09
中条	26.0	2012/04/03	2009/01～2013/09
大潟	31.9	2012/04/03	2009/03～2013/09
柏崎	32.5	2012/04/03	2008/03～2013/09
関山	25.9	2010/01/13	2009/09～2013/09
下関	28.6	2012/06/19	2008/03～2013/09
安塚	24.8	2012/04/04	2009/09～2013/09
湯沢	27.0	2012/04/03	2009/09～2013/09
三条	22.8	2012/04/03	2008/11～2013/09
能生	28.3	2010/12/03	2008/03～2013/09
十日町	23.1	2012/04/03	2009/09～2013/09
村上	22.9	2013/09/16	2008/09～2013/09
小出	18.8	2013/04/07	2009/09～2013/09
津川	20.8	2012/04/03	2008/03～2013/09
入広瀬	21.5	2012/04/03	2009/09～2013/09

台風 の 風速 記録

過去に発生した大型台風が日本に接近時又は通過時に観測された最大風速及び最大瞬間風速並びに新潟県に接近時又は通過時に観測された最大風速及び最大瞬間風速を表 3-1 に示す。

表 3-1 より沖縄、九州、四国では勢力が強い台風による影響を受け易いが、新潟県に台風が襲来するまでに台風の勢力は弱まり風速が小さくなっていることが確認できる。したがって、台風の影響は地域性があり、風（台風）の設計基準風速設定の際は、その地域性を考慮する必要がある。

そのため、設計基準風速は、添付資料 5 の 2. (3) のとおり、新潟県（新潟市）における観測史上 1 位の最大風速（40.1m/s）とした。

表 3-1 台風 の 風速 記録
(気象庁ホームページ 災害をもたらした気象事象 より作成)

名称	期間	全国		新潟県	
		最大風速 (最大瞬間風速) [m/s]	観測地点	最大風速 (最大瞬間風速) [m/s]	観測地点
室戸台風	1934/09/21～(不明)	不明 (63)	室戸岬 (高知県室戸市)	不明	新潟 (新潟県新潟市)
枕崎台風	1945/09/17～09/18	51.3 (75.5)	宮崎県細島 (灯台：海上保安庁)	27.7 (36.9)	
伊勢湾台風	1959/09/26～09/27	45.4 (55.3)	伊良湖 (愛知県渥美町)	20.2 (31.3)	
第二室戸台風	1961/09/15～09/17	66.7 (84.5以上)	室戸岬 (高知県室戸市)	30.7 (44.5)	
台風第23号	1965/09/10～09/18	69.8 (77.1)	室戸岬 (高知県室戸市)	16.0 (30.0)	
第二宮古島台風	1966/09/04～09/06	60.8 (85.3)	宮古島 (沖縄県平良市)	接近せず	
第三宮古島台風	1968/09/22～09/27	54.3 (79.8)	宮古島 (沖縄県平良市)	記録なし	
台風第19号	1991/09/25～09/28	36	広島県 (広島市中区)	24.0 (45.5)	
		(60.9)	阿蘇山 (熊本県白水村)		

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 4-1 に示す。

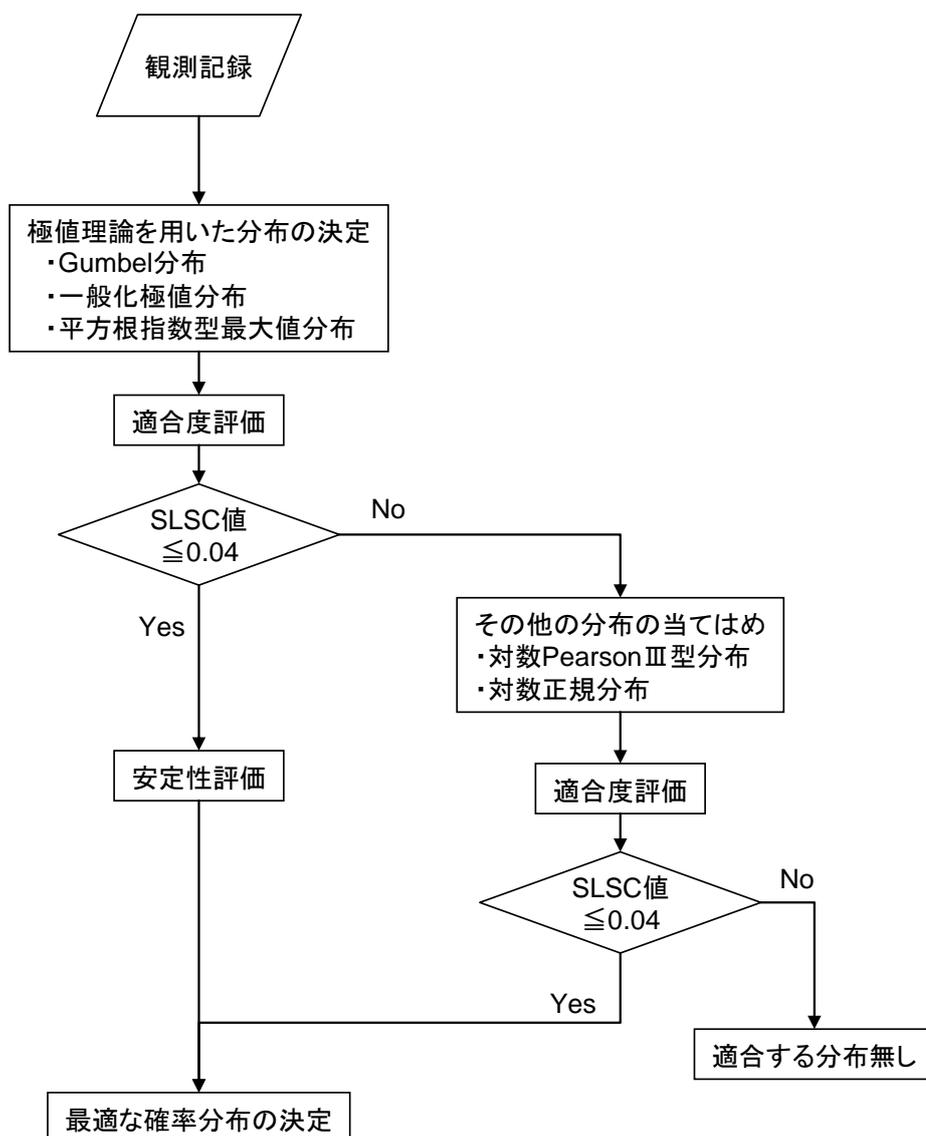


図 4-1 年超過確率評価フロー

(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 Pearson III 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。

$$\lambda_1 = b_0$$

$$\lambda_2 = 2b_1 - b_0$$

$$\lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$$

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 4-1 に示す。

表 4-1 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)	$k = 7.859d + 2.9554 \cdot d^2$ 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)	$L(a, b) = \sum_{j=1}^N \ln f(x_j)$ $= N \ln a + N \ln b - N \ln 2 - \sum_{j=1}^N \sqrt{bx_j}$ $- a \left[\sum_{j=1}^N \exp(-\sqrt{bx_j}) \right]$ $+ \sum_{j=1}^N \left[\sqrt{bx_j} \exp(-\sqrt{bx_j}) \right]$ L が最大となる a, b	$x_p = \frac{t_p^2}{b}$ 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 4-2)

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[※]（最大風速の確率年） $T(i)$ とする。

※：ある現象（例えば 30m/s の風が吹くこと）が 1 回起こり得る「50 年」「100 年」という期間⁽¹⁾

このとき、SLSC 値は、データ値と関数値（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

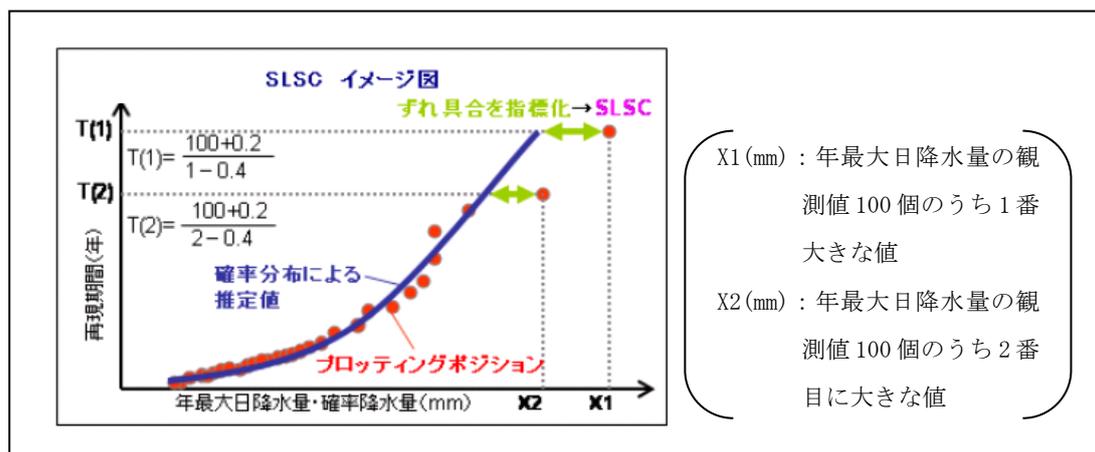


図 4-2 SLSC のイメージ図 (確率降水量の場合の例) (1)

(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. 統計処理に用いる観測記録

風速の年超過確率評価の際に用いる観測記録については、観測地点の移転による観測環境の変化や観測装置が年代により異なっていることによる観測値の不均一性を考慮し設定する。

(1) 観測地点の移転（新潟地方気象台HPより）

①柏崎市：地方気象観測システム（アメダス）

1978年（昭和53年）11月15日の観測開始以降、移転していない。

②新潟市：新潟地方気象台

- ・ 1881年（明治14年）4月1日

内務省地理局所属の新潟測候所として、現在の新潟市学校町通り（新潟大学付属病院前付近、標高約10m）に設置。

- ・ 1891年（明治24年）1月1日

新潟市旭町通り（現在の日本海タワー付近。標高約25m）に移転。

- ・ 1928年（昭和3年）1月1日

新潟市西船見町（現在の雲雀町付近北西方。標高約7m）に移転。

- ・ 1938年（昭和13年）7月30日

中蒲原郡鳥屋野村字下所島（現在の新潟市中央区幸西、標高約2m）に移転。

- ・ 2012年（平成24年）6月28日

新潟市中央区美咲町 新潟美咲合同庁舎2号館（露場：標高約4m）に移転。

③上越市：高田特別地域気象観測所

1922年（大正11年）1月10日観測開始以降、1977年5月29日～12月25日の庁舎改築のための仮設移転期間を除き、本移転はしていない。

(2) 観測装置の変遷⁽³⁾

気象庁によると1960年までは、4杯式風速計（ロビンソン風速計）、により風程（回転数）から風速を求めていた。4杯式風速計は、その測器の構造上、風速を過大に表示してしまう特性があることから、観測値の補正が行われている。

1961～1974年までは、風に対する追従性を改良した3杯式風速計が用いられていたが、1975年以降は風車型自記風向風速計に変更されている。この変更により、日最大風速で9%、月平均風速で9～14%減少することが気象庁により確認されてい

る。

(3) 観測記録の公開期間

気象庁HPに公開されている風速等の観測記録は、気象庁による該当年の品質の確認が完了しているものから公開をしており、各観測地点での最大風速の現時点での公開期間は表4-2のとおりである。

表4-2 観測記録公開期間

観測地点	公開期間
	最大風速
柏崎市	1978～現在
新潟市	1961～現在
上越市	1961～現在

(4) 各観測地点の最大風速のトレンド

柏崎市のアメダス、新潟市の新潟地方気象台、上越市の高田特別地方気象観測所に加え、柏崎市近隣の長岡市のアメダスで観測された最大風速のトレンドグラフを図4-3に示す。

図4-3の新潟市の最大風速のトレンドを見ると、気象庁HPに観測記録が公開されている1961年以降に比べ、1960年以前の風速が大きくなっていること、1960年以前の観測記録にばらつきが大きいことが確認できる。この原因としては、観測所が1960年以前に複数回移転していること⁽⁴⁾による観測環境の変化、現在用いられている風速計とは異なる4杯式風速計を用いていること⁽³⁾が考えられる。

上越市の場合、風速計が年代により異なっているものの、観測所の移転がなかったことから大きなばらつきが生じなかったことが考えられる。

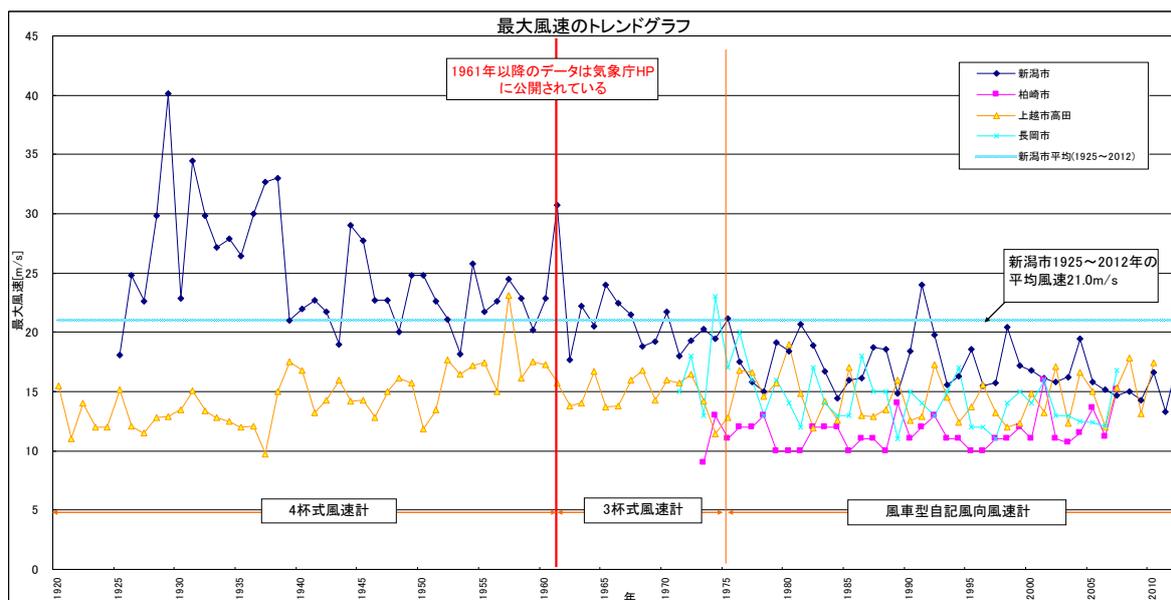


図4-3 各観測地点（柏崎市，新潟市，上越市，長岡市）における最大風速のトレンド

(5) 統計処理に用いる観測記録の設定

(1)～(4)を踏まえ、統計処理に用いる観測記録は、以下のとおり気象庁HPで公開されている観測記録を用いる。

ただし、柏崎市については観測記録が新潟市及び上越市に比べ少ないこと、柏崎市の観測記録は新潟市及び上越市よりも小さい傾向にあり、統計処理により求めた年超過確率 10^{-4} /年値は、新潟市及び上越市よりも小さくなるのが想定できるため、柏崎市については統計処理を行わない。

- ・ 新潟市：最大風速 1961～2012年の記録
(別紙1 (添付5-9)～(添付5-10) 参照)
- ・ 上越市：最大風速 1961～2012年の記録
(別紙1 (添付5-12)～(添付5-13) 参照)

3. 統計処理の結果

新潟市，上越市の最大風速の観測記録の平均，分散等を算出し 1. (1)で設定したGumbel分布，平方根指数型最大分布及び一般化極値分布に当てはめ，適合度評価(SLSC値)，安定性評価(Jack knife法)を行った結果，さらには確率分布により推定した最大風速の確率年(再現期間)及び風速を表4-3，4に示す。

表4-3，4の結果より，SLSCが0.04以下を満足し，Jack knife推定誤差が小さく安定性がよい確率分布(新潟市の最大風速：Gumbel分布，上越市の最大風速：一般化極値分布)及びその確率分布により求めた年超過確率 10^{-4} /年の最大風速を表4-5のとおりに求めた。

なお、表 4-5 で求めた年超過確率 10^{-4} /年の最大風速（新潟市の 39.0m/s）が、添付資料 5 の「2. (1)規格・基準類」及び「2. (2)観測記録」での最大値（新潟市の観測史上 1 位の最大風速 40.1m/s）を上回らないことから、基準風速は 40.1m/s となる。
（添付資料 5 の「2. (3)年超過確率評価」参照）

4. 参考文献

(1) 気象庁：

<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

(3) 気象庁：気象観測統計の解説 2005 年

(4) 新潟地方気象台の歴史：

<http://www.jma-net.go.jp/niigata/menu/history.shtml>

表 4-3 新潟市における最大風速の年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.036	0.156	0.033

確率年	風速[m/s]		
10	22.2	41.1	22.2
100	27.9	82.2	28.3
10000	39.0	198.3	41.2

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	0.9	0.7	0.9
100	1.6	0.9	3.1
10000	3.1	1.4	12.8

表 4-4 上越市における最大風速の年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.052	0.168	0.035

確率年	風速[m/s]		
10	17.4	35.2	17.3
100	21.1	74.1	19.5
10000	28.5	186	21.5

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	0.4	0.5	0.3
100	0.6	0.7	0.7
10000	1.0	1.0	2.0

表 4-5 年超過確率評価結果

	新潟市	上越市
	最大風速	最大風速
適合する 確率分布	Gumbel 分布	一般化極値分布
SLSC	0.036	0.035
Jack knife 推 定誤差	3.1	2.0
年超過確率 10 ⁻⁴ 年の風速 [m/s]	39.0	21.5

表 5-1 40.1m/s の風荷重に対する建屋等の健全性確認結果
(外部事象防護対象施設のうち建屋等)

分類	建屋等	確認部位 ^{※1}	(a)風荷重 [kN] ^{※2}	(b)設計用地 震力 [kN]	判定 (a)≤(b)か)
建屋	6号機原子炉 建屋	躯体 (38.2[m] - 49.7[m])	2.65×10^3	43.35×10^3	○
	7号機原子炉 建屋	躯体 (38.2[m] - 49.7[m])	2.65×10^3	43.64×10^3	○
	6号機タービン 建屋	躯体 (30.9[m] - 38.6[m])	4.83×10^3	91.80×10^3	○
	7号機タービン 建屋	躯体 (20.4[m] - 25.8[m])	7.90×10^3	156.42×10^3	○
	コントロール 建屋	躯体 (17.3[m] - 24.1[m])	1.75×10^3	44.15×10^3	○
	廃棄物処理建 屋	躯体 (20.4[m] - 30.9[m])	2.96×10^3	65.61×10^3	○
屋外 設備	軽油タンク 燃料移送ポン プ	40.1m/s の風荷重及び消防法に基づく風荷重に対しても機能喪失しない設計とする。		○	

※1：裕度の小さい部位の評価結果を記載

※2：風荷重は、建築基準法施行令第 87 条に従い算出（基準風速にガスト影響係数を乗じ算出する速度圧に風力係数、見附面積を乗じて算出）

表 5-2 40.1m/s の風荷重に対する建屋の健全性確認結果
(その他安全施設)

分類	建屋 ^{※3}	確認部位 ^{※1}	(a)風荷重 [kN] ^{※2}	(b)設計用地 震力 [kN]	判定 (a)≤(b)か)
建屋	5号炉原子炉 建屋内緊急時 対策所	躯体 (39.5[m] - 51.0[m])	2.37×10^3	62.57×10^3	○

※3：重大事故等対処設備を内包する建屋のうち、表 5-1 に記載した建屋は、本表では記載していない。

低温（凍結）影響評価について

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、安全施設の機能が低温に対し維持され、安全機能が損なわれないよう設計する。

2. 設計基準温度の設定

設計基準温度は以下の(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、最も保守的となる値を採用する。

(1) 規格・基準類

低温に関する規格・基準類の要求はない。

(2) 観測記録（別紙 1）

柏崎刈羽原子力発電所の立地地域である柏崎市の最低気温の観測記録史上 1 位は -11.3°C である。また、新潟地方气象台（新潟市）の最低気温の観測記録史上 1 位は -13.0°C である。

(3) 年超過確率評価（別紙 2）

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 1 に示す。また、上記(1)及び(2)での最大値 (-13.0°C) について年超過確率を確認した結果、 $1.0 \times 10^{-2}/\text{年}$ となった。

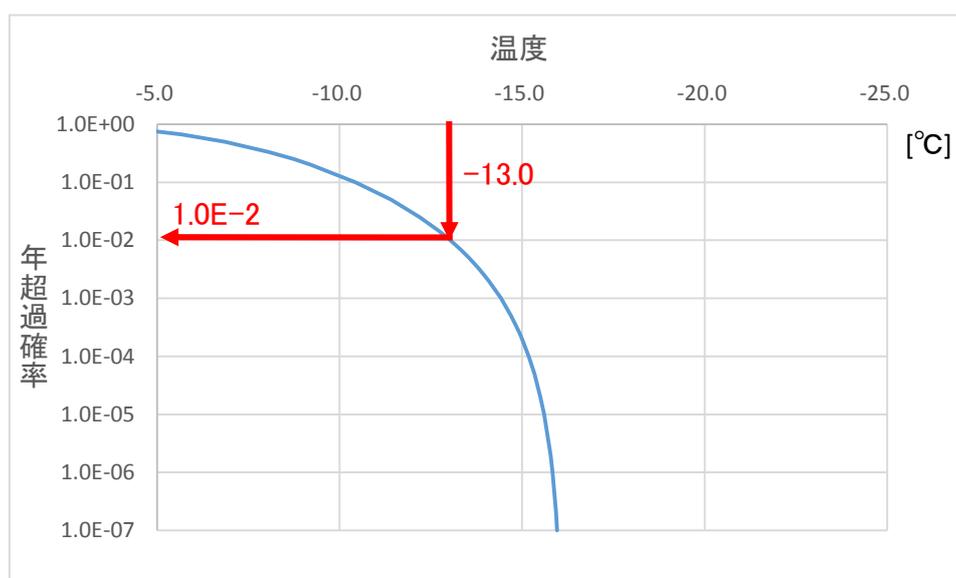


図 1 最低気温ハザード曲線

設計基準として使用する値としては、上記(1)、(2)での値よりも更なる裕度を確保するために、年超過確率 10^{-4} /年の値である -15.2°C を低温に関する設計基準温度とする。

また、低温の継続時間については過去の最低気温を記録した当日の気温推移を鑑み、24時間とする（別紙3）。

上述のように当日中という限定的な期間に起こる低温もあるが、それに対し、最低気温を記録せずとも気温 0°C 未満が長時間継続する低温が発生する可能性がある。したがって、年超過確率 10^{-4} /年の低温より高い温度 (-2.6°C) が長期間（173.4時間）継続した場合についても影響評価を実施する（別紙4）。

タンク等の容量が小さい場合には -15.2°C （24時間継続）の方が早く凍結し、容量が大きい場合には、最終的に低い温度に到達することから -2.6°C （173.4時間）の方が厳しくなると考えられる。よって、各設備での低温事象については上記の両方の場合を考慮する。

3. 安全施設の健全性評価

安全施設が、2.にて設定した低温によって安全機能を損なわない設計であることを評価・確認するため、低温が安全施設に作用した場合の影響について評価し、安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は、以下のとおり。また、図2に低温に対する安全評価のフローを示す。

○防護対象である安全施設のうち、外部事象防護対象施設について、以下の①又は②に分類の上、評価し、安全機能が維持できることを確認した。

①屋内に設置されている設備については、建屋内は常に換気空調系を運転し温度を制御しているため、極端な低温にさらされることはなく、安全機能が維持可能である。

②建屋外に設置されている設備で、低温による影響を受ける可能性がある設備として、軽油タンク、非常用ディーゼル発電機燃料移送系があるが、流動点の低い特3号軽油への交換を実施していることから影響はない。

○上記以外の安全施設については、低温に対して機能維持する、若しくは、低温による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。

以下に、低温により凍結しやすいと考えられる消火系について評価を示す。

・消火系配管は保温材が設置されており完全凍結が防がれることを確認している。

・消火系の水源である、ろ過水タンクについては、 -15.2°C （24時間）及び-

2.6℃（173.4 時間）の低温に対し、凍結の可能性があるが、安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な設計とすることにより機能維持可能である。

4. 重大事故等対処設備に対する考慮

図 3 の低温に対する重大事故等対処設備の評価フローに基づき、2.にて設定した低温に対し、必要な安全機能を維持できることを確認した。

建屋内は常に換気空調系を運転し温度を制御していることから、建屋内に設置されている SA 設備は、極端な高温又は低温となることはない。

また、屋外の SA 設備は、淡水貯水池の凍結や可搬型 SA 設備への機械的影響が考えられるが、設計基準値よりも厳しい-17℃（24 時間）及び-2.6℃（173.4 時間）の低温に対し、淡水貯水池は完全凍結しないと評価しており、可搬型 SA 設備は気象予報等を踏まえ、必要に応じ暖機運転等を行うことにより対処が可能である。

なお、フィルタベントについては、設計基準値よりも厳しい-17℃（24 時間）及び-2.6℃（173.4 時間）の低温に対し、ヒータを考慮した条件ではスクラバ水は凍結しない。（表 1）

なお、低温（凍結）に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

表 1 FV 容器内の水の凍結開始時間

ケース	1	2	3	4
外気温	-17℃	-17℃	-2.6℃	-2.6℃
床ヒータ	未考慮	考慮	未考慮	考慮
凍結開始までの時間[h]	25.1	38.3	117.9	凍結しない

5. 参考文献

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

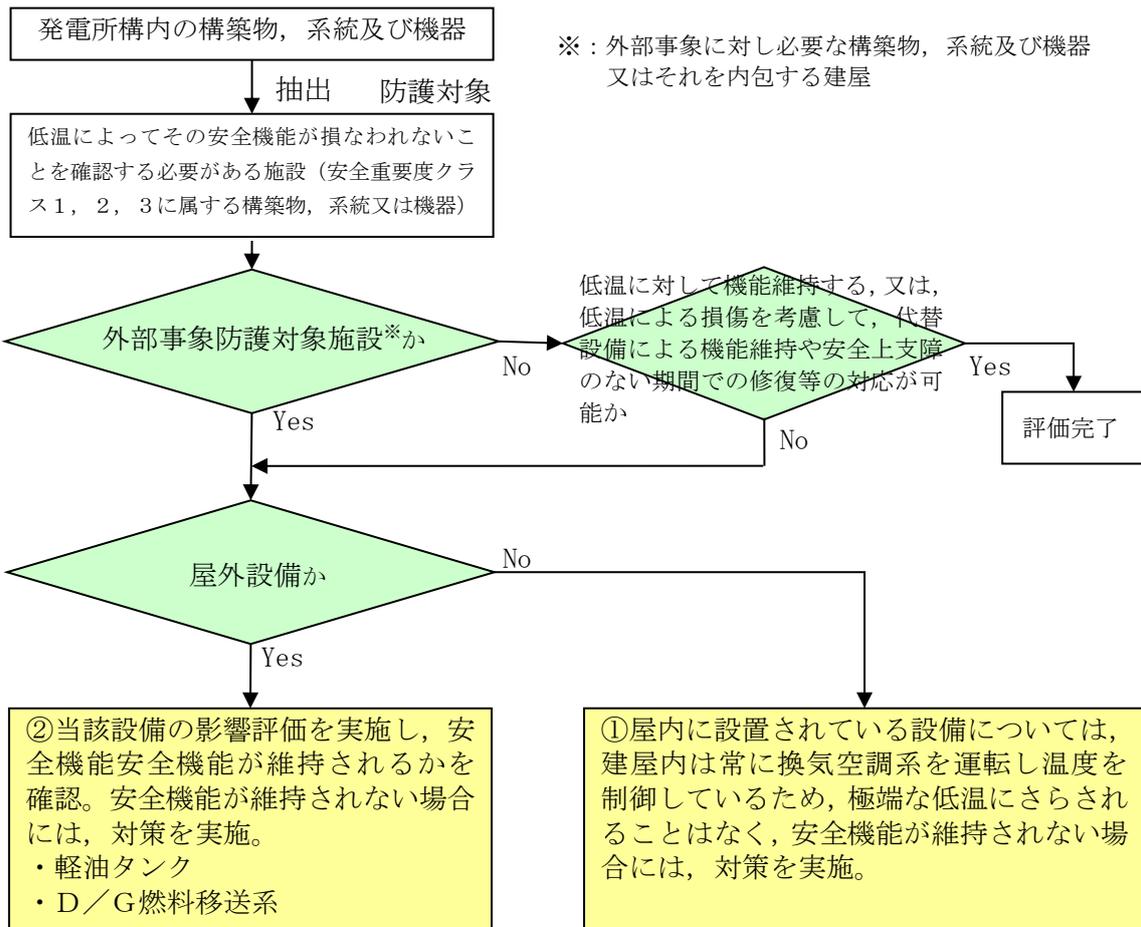
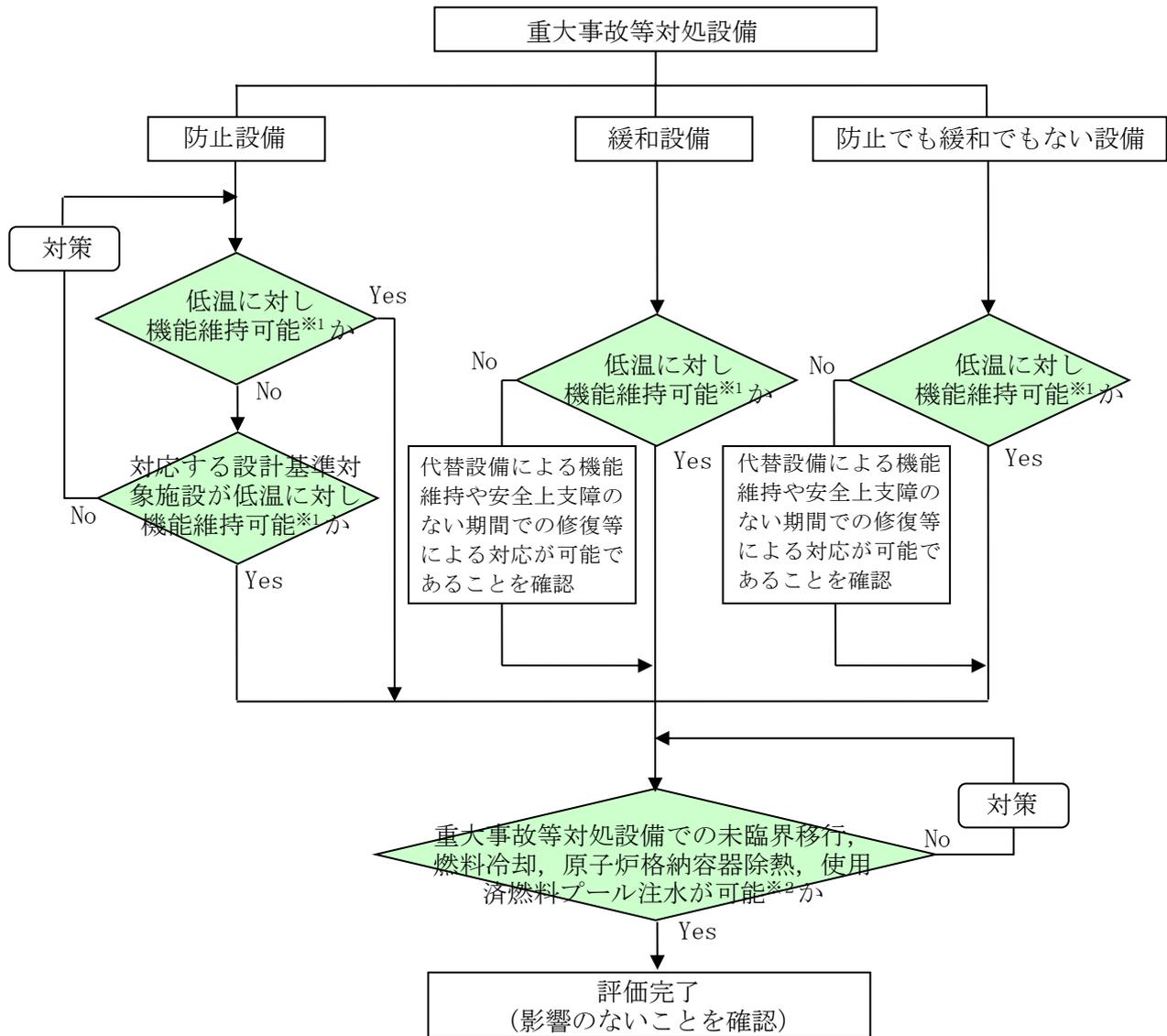


図2 低温に対する安全施設の評価フロー



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋）の空調を期待できることから，安全機能が維持されることを確認。

※2：低温により重大事故等対処設備の機能と設計基準対象施設の安全機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認。

図3 低温に対する重大事故等対処設備の評価フロー

柏崎市における低温の観測記録

表 1-1 柏崎市における毎年の最低温度観測記録
(気象庁ホームページより)

年	気温[℃]	
	平均日最低	最低気温
1978	1.2 *	-2.4 *
1979	9.5	-4.4
1980	8.2	-6.8
1981	7.9	-10.7
1982	8.5	-7.9
1983	8.8	-11.3
1984	8.1	-11.2
1985	8.9	-9.9
1986	8.3	-11.1
1987	9.1	-11.1
1988	8.7 *	-9.8
1989	9.6	-2.6
1990	10.1	-7.4
1991	9.6	-6.5
1992	9.2	-5.7
1993	8.9	-2.3
1994	9.6	-4.6
1995	9.3	-5.8
1996	8.7	-7.5
1997	9.6	-4.3
1998	10.3	-7.3
1999	9.8	-8.3
2000	9.9	-5.6
2001	9.3	-7.9
2002	9.9	-2.9
2003	9.4	-6.3
2004	9.8	-7.4
2005	9.2	-7.3
2006	9.0	-9.4
2007	9.6	-4.2
2008	9.4	-4.4
2009	9.3	-6.2
2010	9.8	-6.2
2011	9.2	-6.1
2012	9.1	-8.8

値* : 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。

二重線 : 観測場所の移転, 観測方法の変更, 測器の変更等があった場合
統計処理では, 上記の観測記録を全て使用して評価を実施。

年超過確率の推定結果

年超過確率の推定に使用するデータについては、風（台風）と同様、柏崎市に設置されているアメダスの観測記録から年超過確率を推定する。

表 2-1 最低気温の年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布※	一般化 極値分布
SLSC	0.055	-	0.034

確率年	最低温度[°C]		
	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布※	一般化 極値分布
10	-10.6	-	-10.4
100	-15.7	-	-13.0
10000	-25.8	-	-15.2

確率年	Jack knife 推定誤差		
	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布※	一般化 極値分布
10	0.6	-	0.6
100	1.0	-	0.8
10000	2.0	-	1.7

※：標準変量を算出するための特殊関数の定義域外となることから、SLSC 値算出不可

低温の継続時間について

過去の柏崎市の低温を記録した日の時間推移を図 3-1 に示す。これによると、最低気温を記録するのはほぼ朝方に集中しており、日中の気温はプラスとなる傾向となっている。よって、日中の 12 時間を除いて低温の継続時間を 12 時間と設定することも考えられるが、一定の保守性を確保する観点から、設計基準の低温の継続時間を 24 時間と設定する。

なお、上述のように当日中という限定的な期間に起こる低温もあるが、それに対し、最低気温を記録せずとも真冬日（摂氏 0°C 未満）が一定期間継続する低温が発生する場合がある。したがって、設計基準の低温より高い温度が長時間、継続した場合についても影響評価を実施する。（別紙 4）

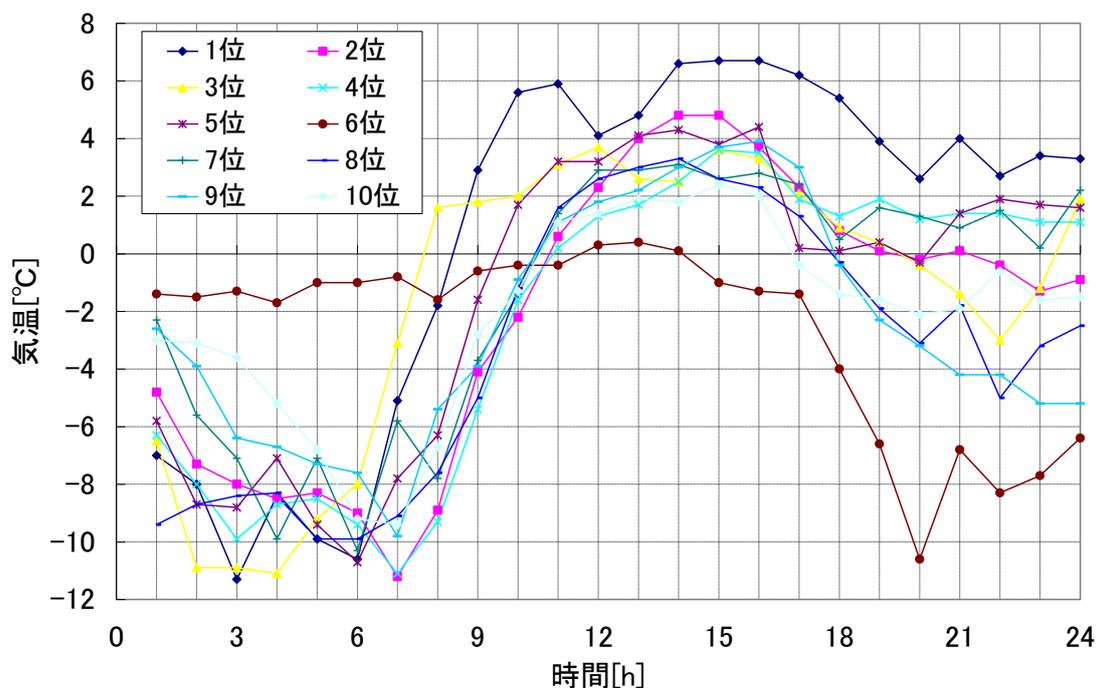


図 3-1 低温を記録した日の時刻歴（柏崎市）

長時間継続する低温について

1. 観測記録

気象庁アメダスから、1978年～2014年における柏崎市の観測記録を確認したところ、最高気温が0℃未満の日が最も長く継続した期間は、「85時間」であり、同期間における平均気温は、「-2.6℃」であった。(図4-1)

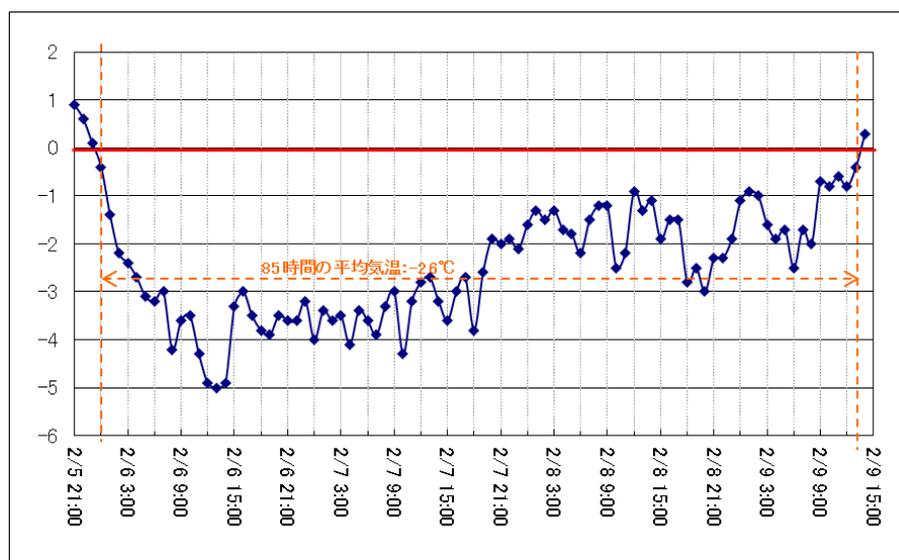


図4-1 最高気温が0℃未満の日が最も長く継続した期間（1984年）

2. 年超過確率

過去の観測記録に基づき、統計処理を行った。評価結果となるハザード曲線を図4-2に示す。また、上記での低温継続時間の最大値（85時間）について年超過確率を確認した結果、 2.4×10^{-2} /年となった。参考として、年超過確率 10^{-4} /年となる「気温0℃未満が継続する期間」を、表4-1に示す。表4-1より、適合度評価(SLSC値)が0.04以下を満足し、安定評価(Jack knife法)の推定誤差が最小となる低温継続期間は「173.4時間」となった。

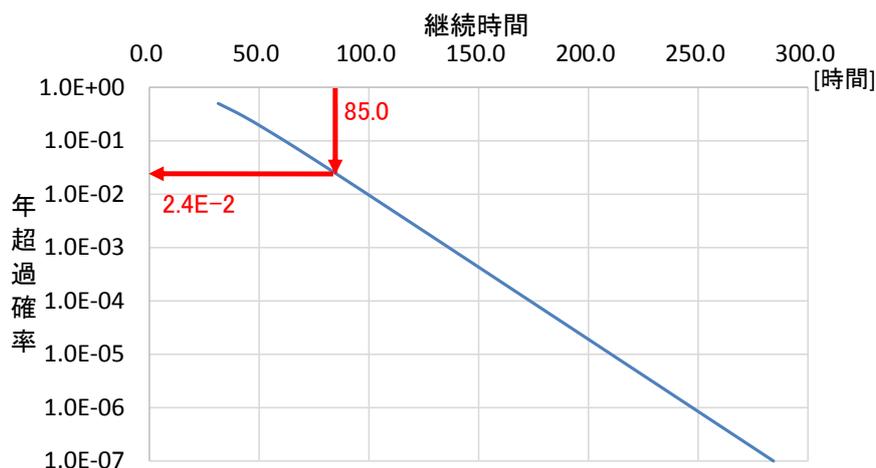


図 4-2 低温継続時間ハザード曲線

表 4-1 最高気温 0°C未満が継続する期間の年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.031	0.043	0.032

確率年	継続期間 [時間]		
10	61.6	62.5	61.6
100	99.3	118.4	101.2
10000	173.4	272.9	184.1

確率年	Jack knife 推定誤差		
	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
10	5.7	7.5	5.8
100	9.7	15.6	14.6
10000	17.8	39.4	75.3

以上より、長期間継続する低温については、気温については-2.6°Cとし、継続時間については観測記録の値 85 時間が年超過確率評価において 2.4×10^{-2} /年であったことから、更なる裕度を確保するために年超過確率 10^{-4} /年の値 173.4 時間と定める。

降水影響評価について

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、安全施設の機能が降水による浸水、荷重に対して維持され、安全機能が損なわれないよう設計する。

2. 設計基準降水量の設定

設計基準降水量の設定は、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、最も保守的となる値を採用する。

(1) 規格・基準類

降水に対する排水施設の規格・基準として、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新潟県林地開発許可審査要領においては、排水施設の設計に当たって用いる設計雨量強度として 10 年確率で規定される雨量強度を用いることとしている。同要領では、新潟県内の雨量強度表が示されており、発電所敷地が適用範囲内となる観測所「長岡」における雨量強度は継続時間 60 分の場合 51.1mm/h である。

(2) 観測記録

気象庁の気象統計情報における降水量の観測記録⁽¹⁾（別紙 1）によれば、柏崎市の地域気象観測システム(アメダス)での観測史上 1 位の最大 1 時間降水量は 52mm/h（2007 年 8 月 22 日）である。

(3) 年超過確率評価

年超過確率の評価は、気象庁「異常気象リスクマップ」⁽¹⁾（別紙 2）の手法により柏崎市における統計期間（1976～2012 年）内の最大 1 時間降水量から評価した。評価結果となるハザード曲線を図 1 に示す。また、上記(1)及び(2)での 1 時間降水量の最大値について年超過確率を確認した結果、 3.5×10^{-2} /年となった。参考として、1 時間降水量の最大値についての年超過確率 10^{-4} /年の値は、101.3mm/h となった。

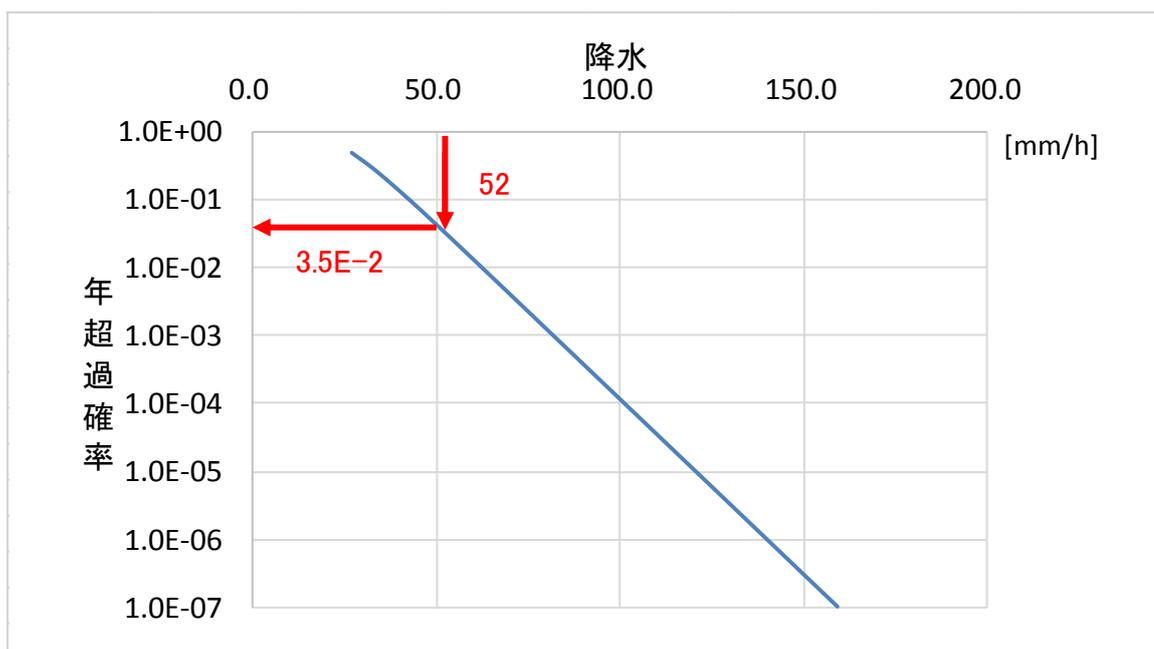


図1 1時間降水量（柏崎市）ハザード曲線

以上より、設計基準降水量として使用する値としては、(2)観測記録の値が(3)年超過確率評価において、 3.5×10^{-2} /年であったことから、更なる裕度を確保するために年超過確率 10^{-4} /年の値である1時間降水量 101.3mm/h を定める。

3. 安全施設の健全性評価

安全施設が、設計基準降水量の降水によって安全機能を損なわない設計であることを評価・確認するため、1時間降水量 101.3mm/h による浸水及び荷重が安全施設に作用した場合の影響について評価し、安全機能が維持されることを確認した。

本評価における基本的な考え方は、以下のとおり。また、図2に降水に対する安全施設の評価フローを示す。

- 防護対象である安全施設のうち、外部事象防護対象施設について、以下の①又は②に分類の上、評価し、安全機能が維持できることを確認した。
- ①頑健性のある建屋内に設置されている設備については、1時間降水量 101.3mm/h の降水による浸水に対し構内排水路等による排水や建屋止水対策により、1時間降水量 101.3mm/h の降水による荷重に対し雨樋やオーバーフロー管による排水によって影響がないことを確認した。（別紙3）
- ②建屋外に設置されている設備については、当該の設備に1時間降水量 101.3mm/h の降水に対する浸水及び荷重が作用した場合においても、安全機能を損なわないことを確認した。
- 上記以外の安全施設については、降水に対して機能維持する、若しくは、降水による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復

等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。（別紙 3）

4. 重大事故等対処設備に対する考慮

図 3 の降水に対する重大事故等対処設備の評価フローに基づき、設計基準の降水に対し、必要な安全機能を維持できることを確認した。

なお、降水に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

5. 参考文献

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

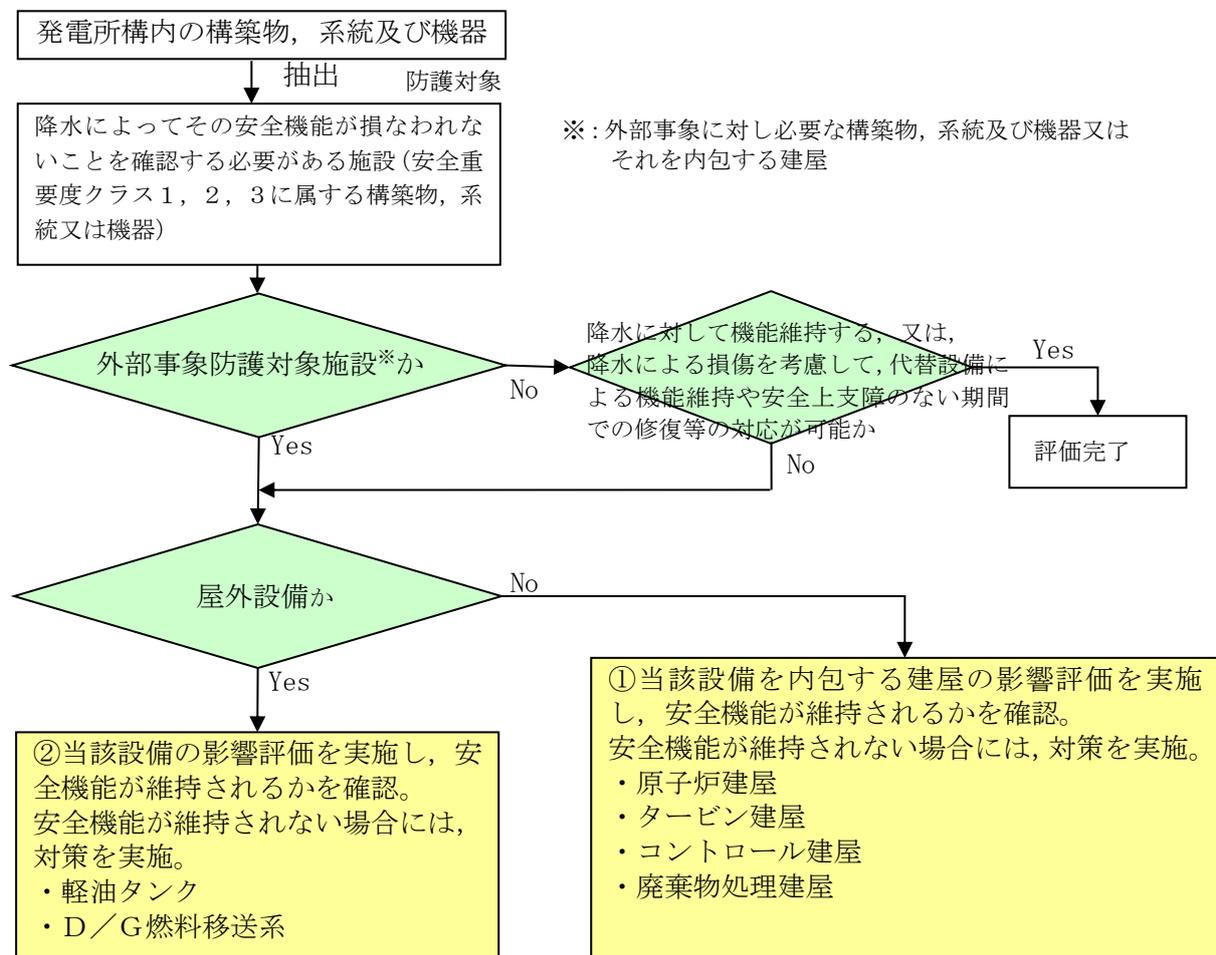
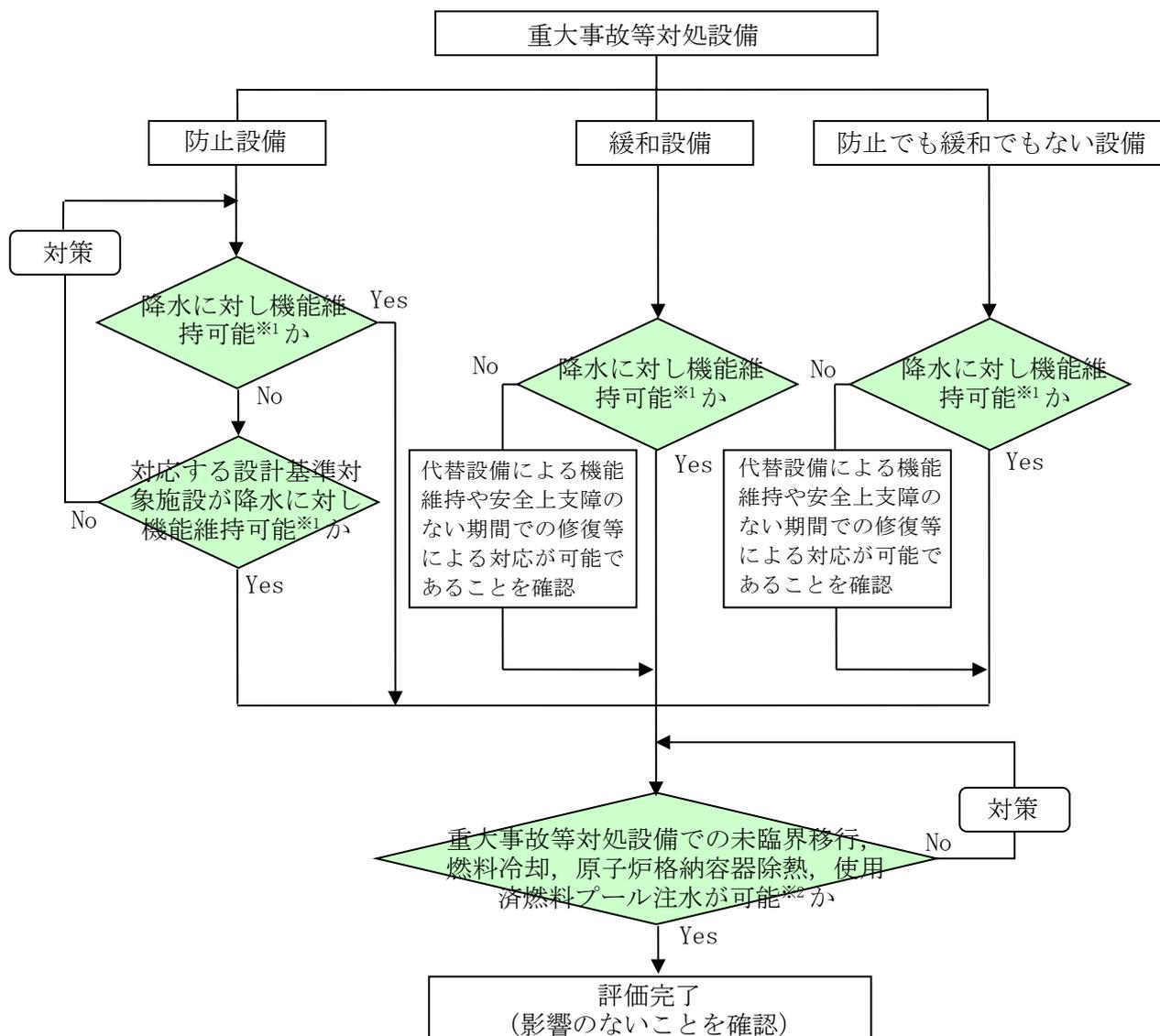


図 2 降水に対する安全施設の評価フロー



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋）の影響評価を実施し，安全機能が維持されることを確認。
 ※2：降水により重大事故等対処設備の機能と設計基準対象施設の安全機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認。

図3 降水に対する重大事故等対処設備の評価フロー

表 1-1 観測記録（柏崎市）
（気象庁ホームページより）

年	最大1時間 降水量 [mm]
1976	50]
1977	23]
1978	25]
1979	22
1980	14
1981	32
1982	18
1983	28
1984	46
1985	27
1986	16
1987	19
1988	19
1989	21
1990	15
1991	48
1992	17
1993	39
1994	35
1995	32
1996	24
1997	18
1998	26
1999	27
2000	26
2001	26
2002	21
2003	27]
2004	32
2005	38
2006	38
2007	52
2008	39.0]
2009	23.5
2010	41
2011	37.5
2012	28.5

値] : 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。

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 2-1 に示す。

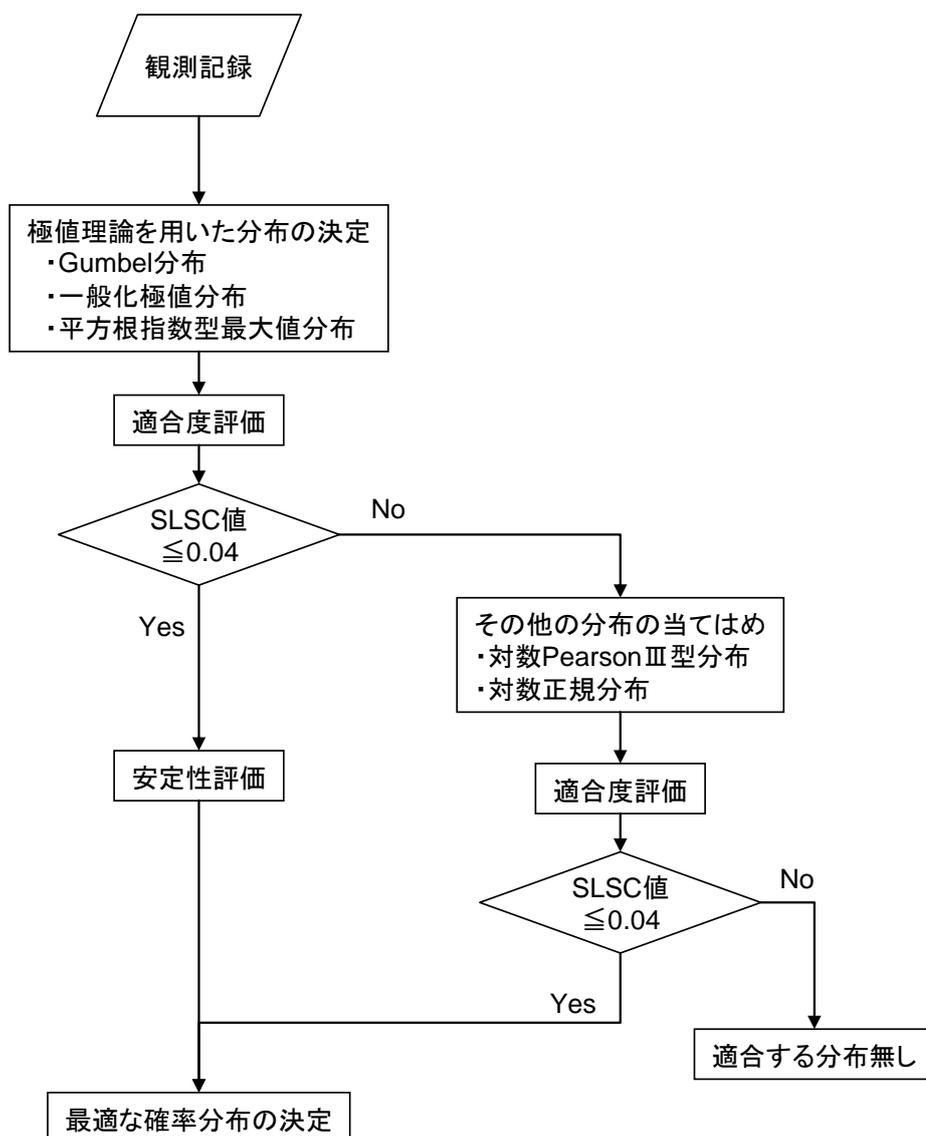


図 2-1 年超過確率評価フロー

(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 Pearson III 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、

$$\begin{aligned}b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \\ b_1 &= \frac{1}{N(N-1)} \sum_{j=1}^N (j-1)x_j \\ b_2 &= \frac{1}{N(N-1)(N-2)} \sum_{j=1}^N (j-1)(j-2)x_j\end{aligned}$$

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 2-1 に示す。

表 2-1 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 2-2) 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[※]（1 時間降水量の確率年） $T(i)$ とする。

※：ある現象（例えば 100mm/h の降水が起こること）が 1 回起こり得る「50 年」「100 年」という期間⁽¹⁾

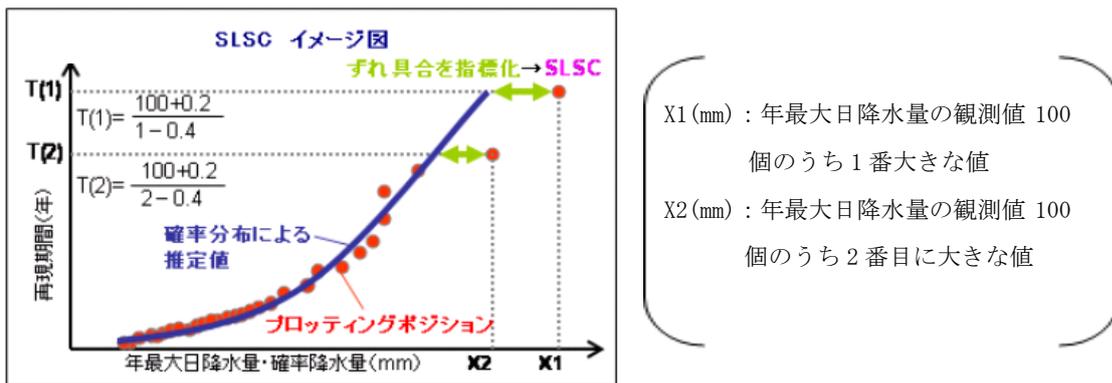


図 2-2 SLSC のイメージ図（確率降水量の場合）⁽¹⁾

このとき、SLSC 値は、データ値と関数値（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. 統計処理の結果

柏崎市の年ごとの最大 1 時間降水量の観測記録を 1. (1) で設定した Gumbel 分布、平方根指数型最大分布及び一般化極値分布に当てはめ、適合度評価 (SLSC 値)、安定

性評価 (Jack knife 法) を行った結果, 及び, 確率分布により推定した確率年 (再現期間) ごとの 1 時間降水量を表 2-2 に示す。

表 2-2 の結果より, SLSC が 0.04 以下を満足し, Jack knife 推定誤差が小さく安定性がよい確率分布 (Gumbel 分布) 及びその確率分布により求めた年超過確率 10^{-4} /年の最大 1 時間降水量を表 2-3 のとおり求めた。

表 2-2 最大 1 時間降水量の年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.031	0.090	0.030

確率年	最大 1 時間降水量 [mm/h]		
10	43.0	55.1	43.0
100	62.7	100.8	61.7
10000	101.3	225.7	96.2

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	2.9	2.2	2.9
100	5.0	2.9	6.0
10000	9.3	4.2	25.2

表 2-3 最大 1 時間降水量の年超過確率評価結果

	最大 1 時間降水量
適合する 確率分布	Gumbel 分布
SLSC	0.031
Jack knife 推 定誤差	9.3
年超過確率 10^{-4} /年の最大 1 時間降水量 [mm/h]	101.3

3. 参考文献

(1) 気象庁:

<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

降水による浸水の影響評価

1. 概要

安全施設のうち外部事象防護対象施設は、設計基準降水量 (101.3mm/h) の降水による浸水に対し、構内排水路による海域への排水、浸水防止のための建屋止水処置等により、安全機能を損なわない設計とする。

安全施設のうち外部事象防護対象施設は、設計基準降水量 (101.3mm/h) の降水による荷重に対し、排水口による海域への排水等により影響を受けない設計とし、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、降水による荷重及び浸水に対して、排水口による排水等、構内排水路等による排水、若しくは、降水による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

2. 降水による敷地内滞留水の影響評価

2.1 浸水量評価

設計基準である 1 時間降水量 101.3mm/h における敷地内の浸水量を以下の条件のもと評価した。

(「実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準」への適合状況について」添付資料 1.0.2 別紙(30)参照)

<評価条件>

降雨強度：

1 時間降水量 101.3mm

雨水流出量：

「新潟県農林水産部：新潟県林地開発許可申請審査要領, 2014」に基づき、ラショナル式より算出

排水量：

「新潟県農林水産部：新潟県林地開発許可申請審査要領, 2014」に基づき、マニング式より算出

2.2 浸水量評価の結果

図 3-1 に滞留水の発生位置及び想定範囲を、表 3-1 に滞留水深さの算定結果を示す。

また、各流域における、排水及び滞留水の状況は以下のとおりとなる。

[荒浜側]

荒浜側については、流域 A, B を除いて、排水量が雨水流出量を上回り、既存の排水路から雨水を海域に排水することが可能である。

流域 A, B については, T. M. S. L. +約 13m の地点で排水量が雨水流出量を下回ることから, 全ての滞留水が流域 B に流れ込むと保守的に仮定すると, その滞留水深さは約 8cm/h となる。

ただし, 荒浜側には排水路とは別に排水用フラップゲートが設置されており, この滞留水は排水用フラップゲートを通じて速やかに排水される。

〔中央土捨場〕

中央土捨場については, 流域 G の排水量が雨水流出量を上回り, 既存の排水路から雨水を海域に排水することが可能である。

〔大湊側〕

大湊側については, 流域 H, K を除いて, 排水量が雨水流出量を上回り, 既存の排水路から雨水を海域に排水することが可能である。

流域 H については, T. M. S. L. +約 8m の地点で排水量が雨水流出量を下回るが, 大湊側の 6 号及び 7 号炉の設置高さ T. M. S. L. +12m よりも低いため, 滞留せずに海に流出する。流域 K については, T. M. S. L. +12m の地点で排水量が雨水流出量を下回ることから, 全ての滞留水が流域 K の T. M. S. L. +12m の範囲に流れ込むと保守的に仮定すると, その滞留水深さは約 2cm/h となる。

ただし, 大湊側には図 3-1 に示すとおり排水路とは別に排水用フラップゲートが設置されており, この滞留水は排水用フラップゲートを通じて速やかに排水される。

以上のことから, 一部滞留水が発生するものの排水用フラップゲートから滞留水を速やかに海域に排水することが可能である。

なお, 排水用フラップゲートについては, 本評価の中では排水設備の一部として位置付けている。

表 3-1 滞留水深さの算定結果

流域		滞留水量 (m ³ /h)	滞留水拡散面積 [※] (ha)	滞留水深さ (m/h)
荒浜側	A	13, 068	17. 6	0. 08
大湊側	H	1, 512	T. M. S. L. +約 8 m の地点で排水量が雨水流出量を下回るが, 大湊側の 6 号及び 7 号炉の設置高さ T. M. S. L. +12m よりも低いため, 滞留せずに海に流出する	—
	K	1, 764	9. 1	0. 02

※ 原子炉・タービン・サービス建屋等主要建屋の面積を除く

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

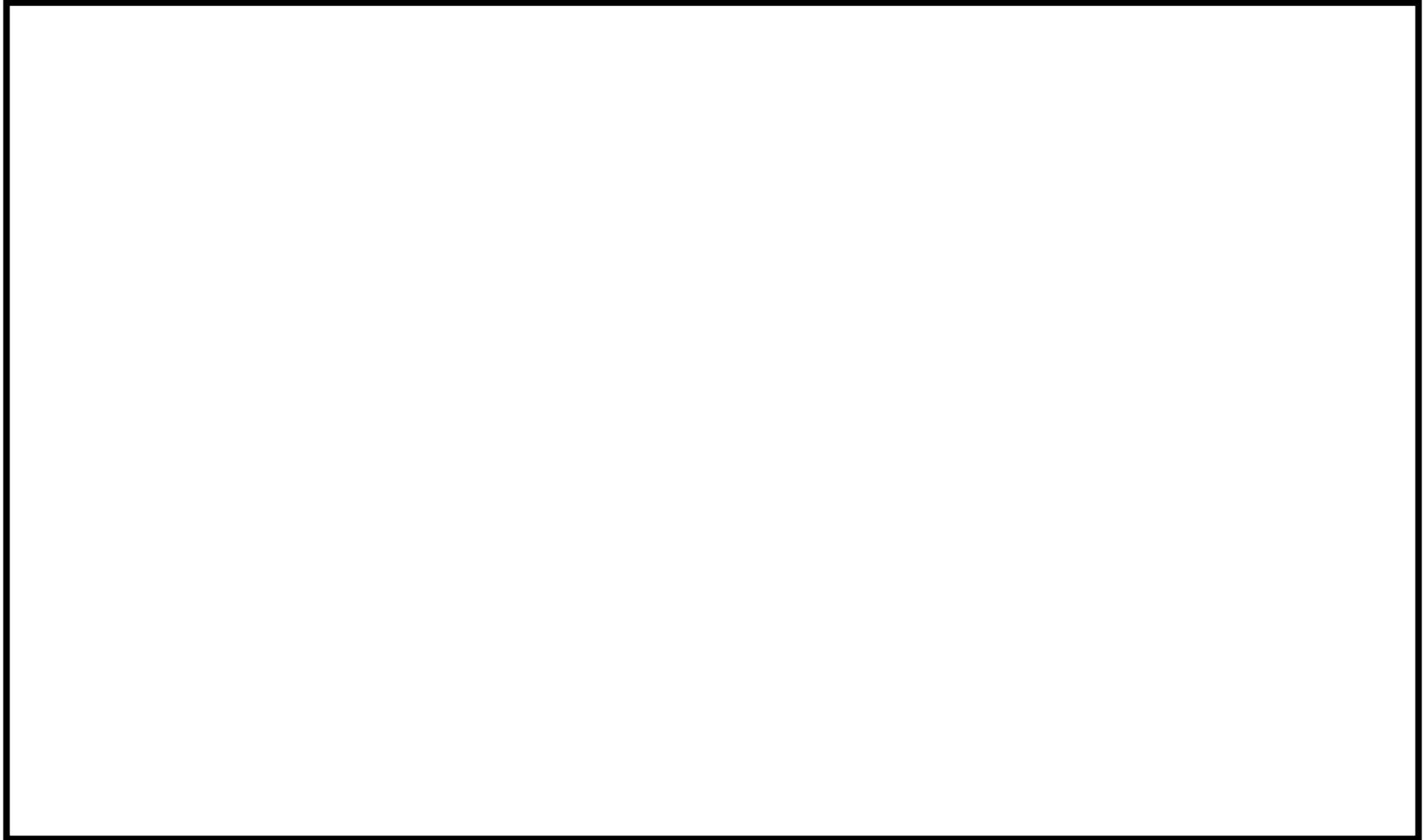


図 3-1 滞留水の発生位置・想定範囲

3. 浸水の影響について

原子炉建屋等への影響として、建屋周辺において2cm/h程度の滞留水が発生するおそれがあるが、滞留水の程度は軽微であり、溢水対策として建屋貫通部の止水処理等が実施されていることから重要区画へ浸水することはない。また、屋外設備である非常用ディーゼル発電機燃料移送系については、防護板等を設置する設計とすることから影響はない。

以上から、外部事象防護対象施設の安全機能が降水による浸水によって損なわれることはない。

4. 荷重の影響について

降水による荷重の影響として、原子炉建屋等は多量の降水に対しても、雨水排水口に加えオーバーフロー管を介して排水する設計としていることから、滞留水による荷重の影響が及ぶことはない。また、軽油タンクについては、降水が滞留する構造ではないことから、滞留水による荷重の影響が及ぶことはない。

以上から、外部事象防護対象施設の安全機能が降水による荷重によって損なわれることはない。

積雪影響評価について

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、安全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。

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)

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、ひと冬の間に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、同上第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かとされている。

(2) 観測記録 (別紙 2)

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、添付資料8ではアメダスという。)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。

○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（別紙 3）。

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（別紙 4）。

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（別紙 5）。

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。

(3) 年超過確率評価（別紙 6）

年超過確率の評価は、気象庁「異常気象リスクマップ」⁽¹⁾の評価方法を用いる。
評価結果となるハザード曲線を図 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} /年となった。

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

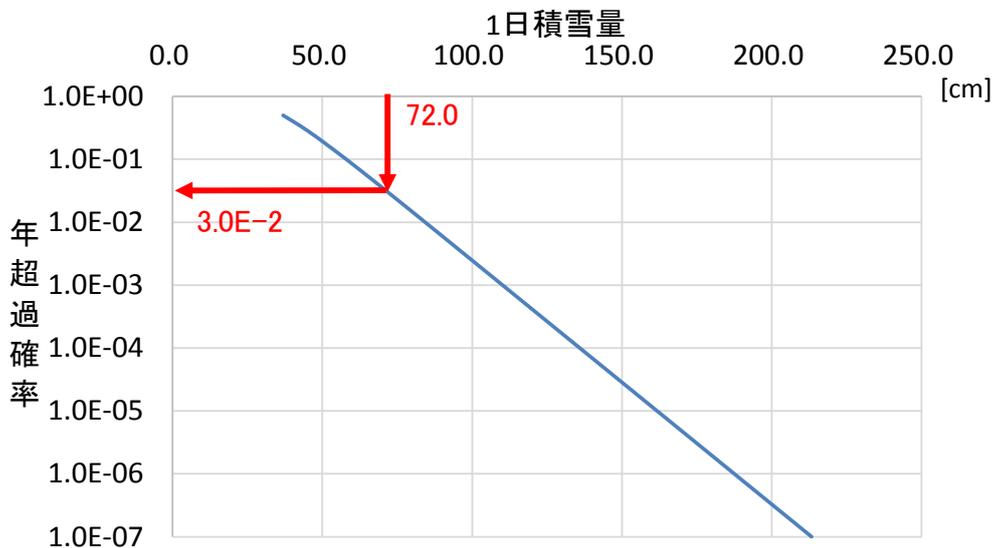


図 1 1日積雪量ハザード曲線

(4) 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} /年であったことから、更なる裕度を確保するために年超過確率 10^{-4} /年の値 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。

したがって、設計基準積雪量を以下のとおり設定した。

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

3. 安全施設の健全性評価

2. (4)にて示した設計基準に対する安全施設への影響を評価する。設計基準の積雪量に対して、安全施設が積雪荷重、空気、流体の取り入れ口の閉塞によって機能喪失に至ることがないことを確認した。

本評価における基本的な考え方は、以下のとおり。また、図2に積雪に対する安全施設の評価フローを示す。

○防護対象である安全施設のうち、外部事象防護対象施設について、以下の

①～③に分類の上、評価し、安全機能が維持できることを確認した。

① 屋内にある設備は、当該設備を有する建屋が設計基準積雪量の荷重に対して機械的裕度強度を有する設計であることを確認した (別紙 7)。

② 屋外の設備は設計基準積雪量の荷重に対して健全であることを確認した。(別紙 7)

③ 流体の取り入れ口等の閉塞による影響について、各建屋の非常用換気口等の高さが設計基準積雪量に対して高い位置に設置してあること及び上向きに開口部がない設計であることを確認した (別紙 8)。また、積雪と風等により給気口等の閉塞が考えられるが、この場合には、操作員がルーバに付いた積雪を落とすことにより閉塞を防止する。

○上記以外の安全施設については、積雪に対して機能維持する、若しくは積雪による損傷を考慮して、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での修復等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能が維持可能である場合には影響評価完了とする。(別紙 7)

以上のことから、安全施設の積雪時に必要な安全機能が損なわれることはないことを確認した。

4. 重大事故等対処施設に対する考慮

図 3 の積雪に対する重大事故等対処設備の評価フローに基づき、設計基準の積雪量の荷重に対し、必要な安全機能が確保されていることを確認した。

なお、積雪に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第 43 条（重大事故等対処設備）にて考慮する。

5. 参考文献

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

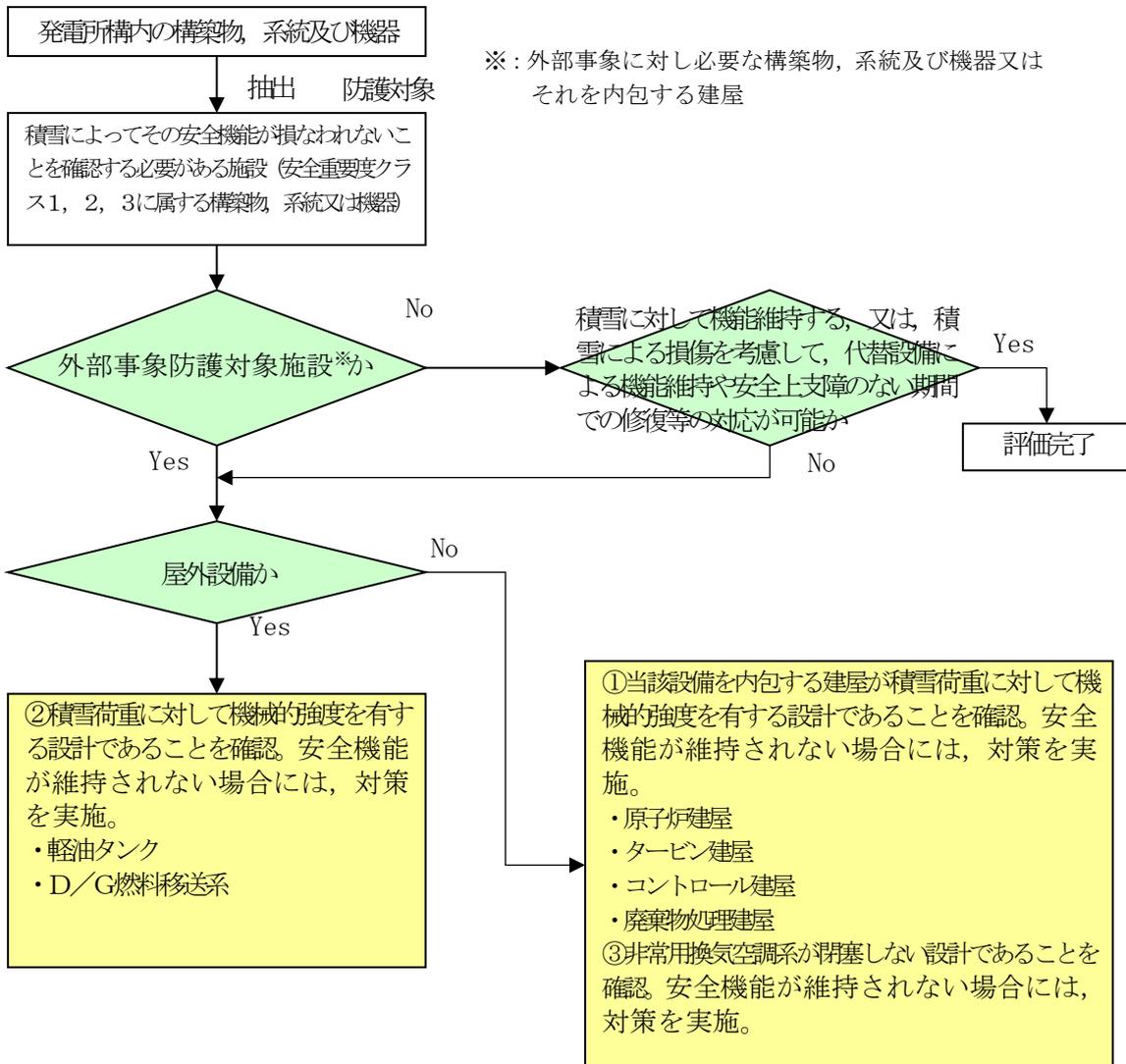
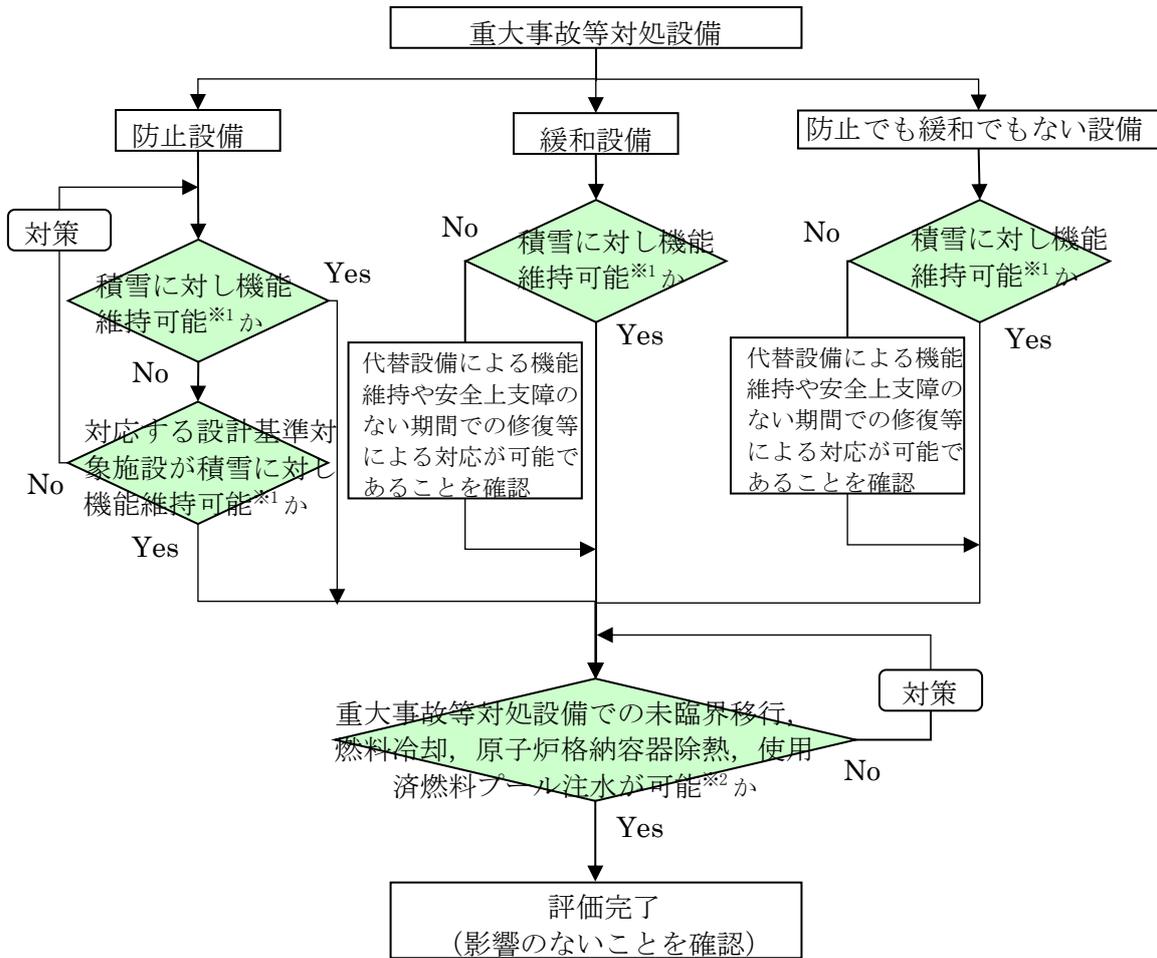


図2 積雪に対する安全施設の評価フロー



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋）の影響評価を実施し，安全機能が維持されることを確認。
 ※2：積雪により重大事故等対処設備と設計基準対象施設の安全機能が同時に損なわれることはないが，安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であることを確認。

図3 積雪に対する重大事故等対処設備の評価フロー

新潟県垂直積雪量（積雪荷重）運用基準（一部抜粋）[1]

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、同上第 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。

[1]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

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。

表 2-1 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

値*：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)：1,925日

最深積雪量の合計：59,766 cm

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

構内の除雪方法について

積雪時の柏崎刈羽原子力発電所の体制*

- ・車両の通行等に支障がないよう、積雪深が5～10cmに達した場合、除雪を開始する。
- ・委託により実施しており、17台の除雪機（ホイールローダ等の重機）により除雪を行う。

除雪ルート*

- ・除雪ルートは構内の道路及び可搬設備を使用する場合のアクセスルート



図 3-1 構内の除雪ルート（緑線）

※平成 28 年度時点の除雪体制及びルート（アクセスルートの整備に応じて除雪ルートを見直していく。）

構内道路の除雪写真



図 3-2(1) 重機による除雪作業



図 3-2(2) 重機による除雪作業



図 3-2(3) 重機による除雪作業



図 3-3 重機の凍結路面の滑り防止対策

原子炉建屋等の屋上の除雪運用について

評価対象の建屋は、設計基準積雪量の荷重に対して健全であることを確認しているが、積雪に対する頑健性を高めるため、建屋屋上の積雪量の監視及び気象情報（降雪予報）の収集を行い、除雪を実施する。

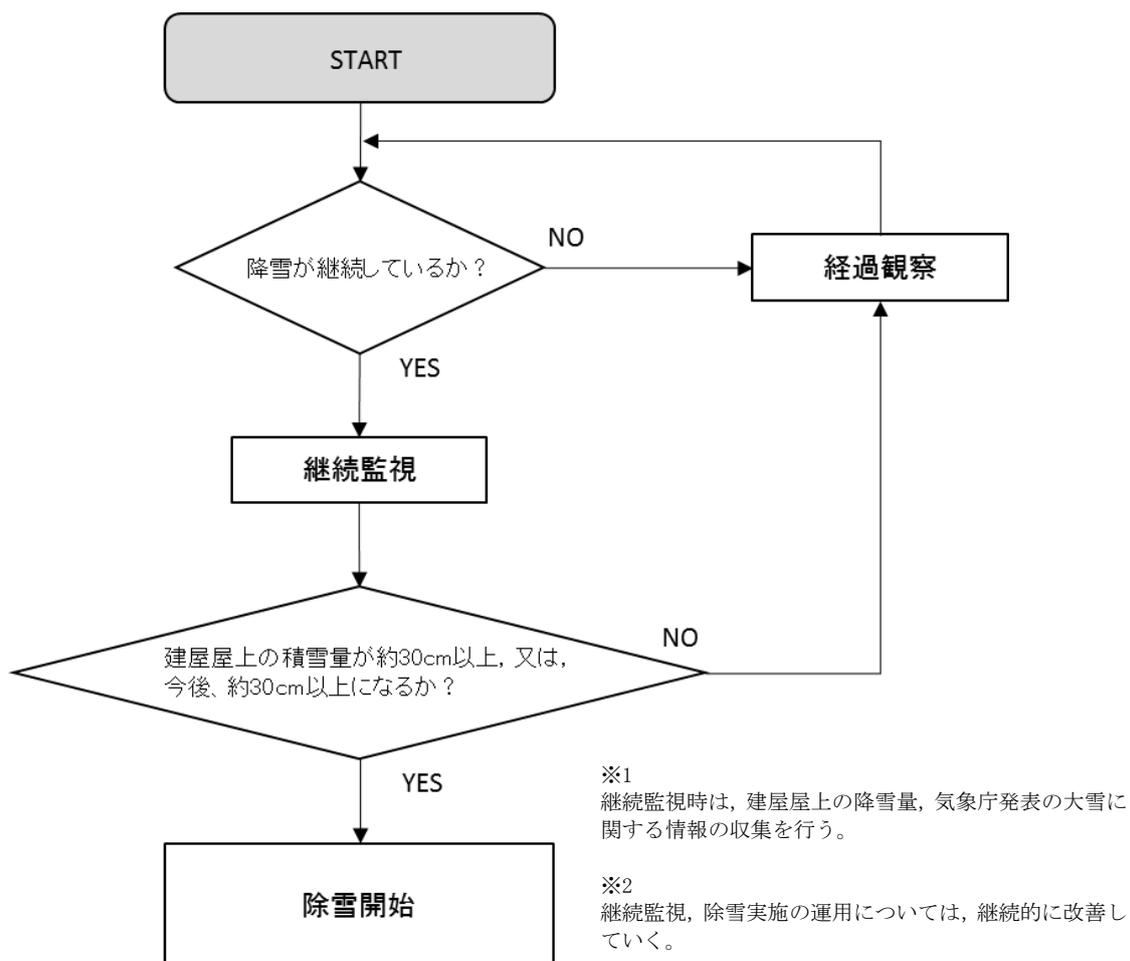


図 4-1 原子炉建屋等屋上積雪量の管理作業フロー

電源車, 空冷式 GTG 等の除雪方法について

高台に配備している設備については, 気象予報等を踏まえ除雪を実施し, 緊急時の運転に支障がないようにしている。



図 5-1(1) 設備の除雪



図 5-2(2) 設備の除雪

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」の確率推定方法を採用して評価を実施する^[1]。

評価フローを図 6-1 に示す。

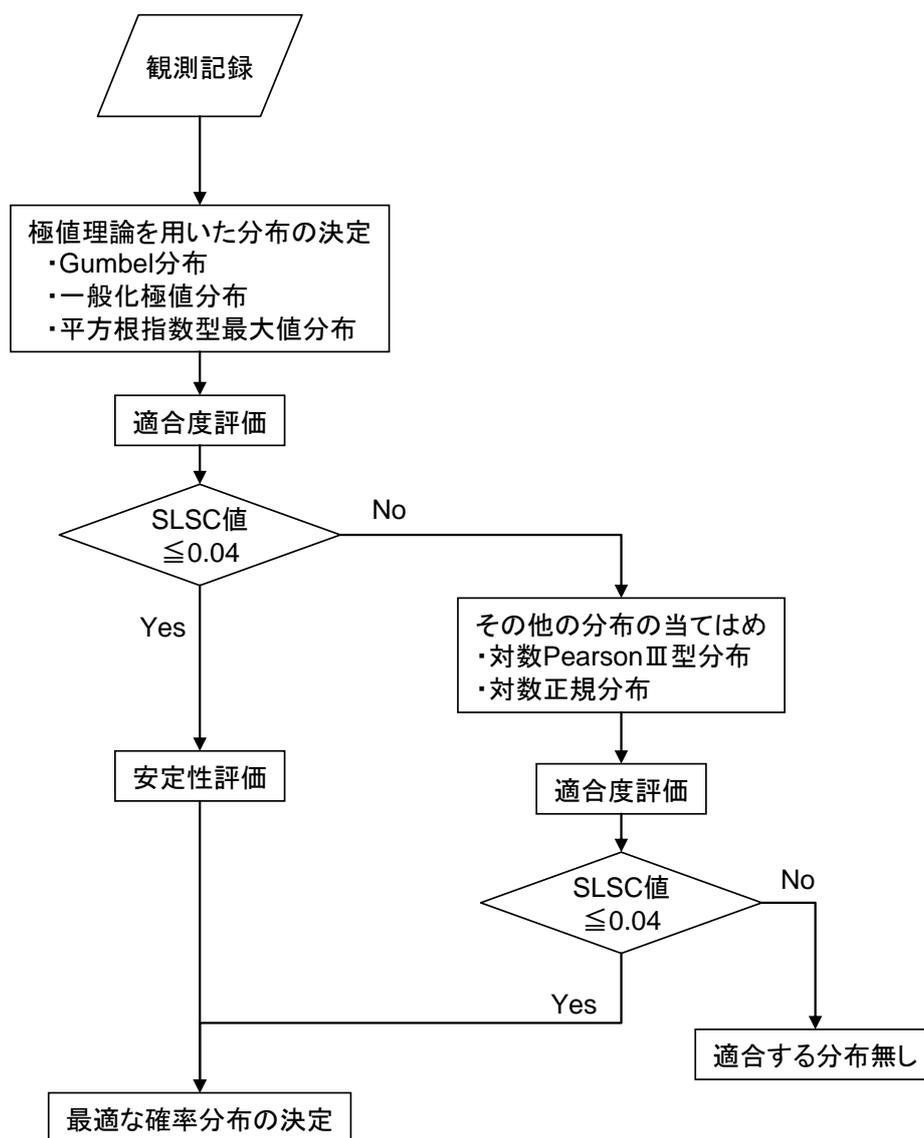


図 6-1 年超過確率評価フロー

(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。

$$\lambda_1 = b_0$$

$$\lambda_2 = 2b_1 - b_0$$

$$\lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$$

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 6-1 に示す。

表 6-1 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 $\ln(1 + t_p) - t_p = \ln[-\frac{1}{a} \ln(p)]$

(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、観測値をプロットイング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 6-2)

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。

プロットイング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* (一日当たりの降雪量の確率年) $T(i)$ とする。

※：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]

このとき、SLSC 値は、データ値と関数値（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

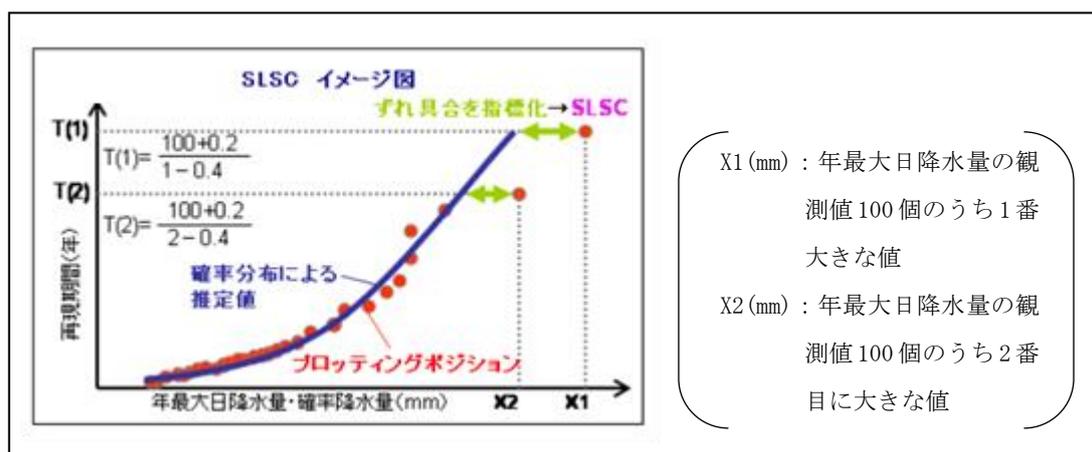


図 6-2 SLSC のイメージ図（確率降水量の場合）^[1]

(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。

[1] 気象庁 HP (http://www.data.kishou.go.jp/climate/riskmap/cal_qt.html)

[2] 星清, 1998: 水文統計解析, 開発土木研究所月報 No. 540

2. 評価結果

表 6-2 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

表 6-3 年最深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	0.037	0.034	0.032

確率年	積雪量		
10	119.0	117.0	118.1
100	193.1	220.2	223.7
10000	338.4	504.5	575.3

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	14.8	15.2	14.7
100	26.4	33.1	38.2
10000	49.8	85.7	226.6

(単位 : cm)

表 7-1 建屋等の許容荷重と設計積雪荷重の比較
(外部事象防護対象施設のうち建屋等)

区分	対象建屋・機器	許容荷重[N/m ²] ^{※1}		判定 ^{※2}
		6号炉	7号炉	
建屋	原子炉建屋	12000	12000	○
	コントロール建屋	21000 (6号及び7号炉共通)		○
	タービン建屋 (海水熱交換器区域含む)	10000	10000	○
	廃棄物処理建屋	9000 ^{※3} (6号及び7号炉共通)		○
屋外設備	軽油タンク	13000	13000 (設計荷重)	○
	燃料移送ポンプ	別途, 防護対策を実施するなかで設計基準積雪荷重を考慮した設計とする。		○ ^{※4}

表 7-2 建屋等の許容荷重と設計積雪荷重の比較
(その他安全施設)

区分	対象建屋	許容荷重[N/m ²] ^{※1}		判定 ^{※2}
		6号炉	7号炉	
建屋	5号炉原子炉建屋 (5号炉原子炉建屋 屋内緊急時対策所含む)	33000		○

※1：有効数字2桁で切り捨て

※2：設計基準積雪荷重は以下のとおり算出し，許容荷重値内であることを確認した。
167cm (基準積雪量) × 29.4N/cm・m² (新潟県建築基準法施工細則) = 4909.8N/m²

※3：廃棄物処理建屋については，屋上のルーフブロックを撤去することとしており，許容堆積荷重の暫定値として記載。

※4：防護対策を実施する予定のため，機能維持するとした。

表 8-1 給気口等からの閉塞高さ (1/3)

場所	系統	名称	TMSL[m]	設置高さ[m] ^{※1}	判定 ^{※2}	写真 番号
K6 C/B	MCR・C/B 空調	MCR・C/B 計測制御電源盤区域(A)給気ルーバ	28.0	3.9	○	
K6 C/B	C/B 空調	C/B 計測制御電源盤区域(B)・(C)・常用電気品区域給気ルーバ	25.7	8.5	○	
K6 C/B	MCR	MCR 排気ルーバ	18.3	6.3	○	
K6 C/B	C/B 空調	C/B 計測制御電源盤区域(A)排気ルーバ	14.8	2.8	○	
K6 C/B	C/B 空調	C/B 計測制御電源盤区域(B)排気ルーバ	18.3	6.3	○	
K6 C/B	C/B 空調	C/B 計測制御電源盤区域(C)排気ルーバ(A)	14.8	2.8	○	
K6 C/B	C/B 空調	C/B 計測制御電源盤区域(C)排気ルーバ(B)	14.8	2.8	○	
K6 C/B	C/B 空調	区分Ⅲバッテリー室排気ルーバ	14.9	2.9	○	
K7 C/B	MCR・C/B 空調	MCR・C/B 共用給気ルーバ	28.3	4.2	○	1
K7 C/B	MCR・C/B 空調	MCR・C/B 共用排気ルーバ	28.3	4.2	○	1
K7 C/B	C/B 空調	C/B 計測制御電源盤区域(C)バッテリー室排気ルーバ	15.2	3.2	○	
K7 C/B	C/B 空調	区分Ⅲバッテリー室排気ルーバ	15.2	3.2	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(A)非常用給気ルーバ(A)	23.7	11.7	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(A)非常用給気ルーバ(B)	23.7	11.7	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(B)非常用給気ルーバ(A)	23.7	11.7	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(B)非常用給気ルーバ(B)	23.7	11.7	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(C)非常用給気ルーバ(A)	23.7	11.7	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(C)非常用給気ルーバ(B)	23.7	11.7	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(A)非常用排気ルーバ	19.8	7.8	○	
K6 R/B	DG 空調	DG(B)非常用排気ルーバ	19.8	7.8	○	

※1：地面又は建屋屋上からの高さ

※2：設置高さが基準積雪量（167cm）以上であることを判定基準としている。

表 8-1 給気口等からの閉塞高さ (2/3)

場所	系統	名称	TMSL[m]	設置高さ[m] ^{※1}	判定 ^{※2}	写真 番号
K6 R/B	DG 空調	DG(C)非常用排気ルーバ	19.8	7.8	○	
K6 R/B	DG/Z 空調	DG(A)/Z 給気ルーバ	28.9	16.9	○	
K6 R/B	DG/Z 空調	DG(B)/Z 給気ルーバ	29.4	17.4	○	
K6 R/B	DG/Z 空調	DG(C)/Z 給気ルーバ	31.9	19.9	○	
K6 R/B	DG/Z 空調	DG(A)/Z 排気ルーバ	25.5	13.5	○	
K6 R/B	DG/Z 空調	DG(B)/Z 排気ルーバ	25.4	13.4	○	
K6 R/B	DG/Z 空調	DG(C)/Z 排気ルーバ	34.4	22.4	○	
K6 T/B	Hx/A 空調	Hx/A(A)(C)非常用共用給気ルーバ	19.7	7.7	○	
K6 T/B	Hx/A 空調	Hx/A A系非常用電気品室排気ルーバ	28.6	2.8	○	
K6 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常用・(A)非常用共用排気ルーバ	15.5	3.5	○	
K6 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常用・(B)非常用給気用バードスクリーン	31.1	5.3	○	
K6 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常用・(B)非常用共用排気ルーバ	28.6	2.8	○	
K6 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常用・(C)非常用共用排気ルーバ	15.5	3.5	○	
K7 R/B	DG 空調	DG(A)非常用給気ルーバ(A)	23.5	11.5	○	2, 3
K7 R/B	DG 空調	DG(A)非常用給気ルーバ(B)	23.5	11.5	○	2, 3
K7 R/B	DG 空調	DG(B)非常用給気ルーバ(A)	23.5	11.5	○	4, 5
K7 R/B	DG 空調	DG(B)非常用給気ルーバ(B)	23.5	11.5	○	4, 5
K7 R/B	DG 空調	DG(C)非常用給気ルーバ(A)	23.5	11.5	○	6, 7
K7 R/B	DG 空調	DG(C)非常用給気ルーバ(B)	23.5	11.5	○	6, 7

※1：地面又は建屋屋上からの高さ

※2：設置高さが基準積雪量（167cm）以上であることを判定基準としている。

表 8-1 給気口等からの閉塞高さ (3/3)

場所	系統	名称	TMSL [m]	設置高さ [m]※1	判定※2	写真 番号
K7 R/B	DG 空調	DG (A) 非常用排気ルーバ	19.8	7.8	○	
K7 R/B	DG 空調	DG (B) 非常用排気ルーバ	19.8	7.8	○	
K7 R/B	DG 空調	DG (C) 非常用排気ルーバ	19.8	7.8	○	
K7 R/B	DG/Z 空調	DG (A) /Z 給気ルーバ	29.2	17.2	○	
K7 R/B	DG/Z 空調	DG (B) /Z 給気ルーバ	29.2	17.2	○	
K7 R/B	DG/Z 空調	DG (C) /Z 給気ルーバ	31.9	19.9	○	
K7 R/B	DG/Z 空調	DG (A) /Z 排気ルーバ	25.3	13.3	○	
K7 R/B	DG/Z 空調	DG (B) /Z 排気ルーバ	25.3	13.3	○	
K7 R/B	DG/Z 空調	DG (C) /Z 排気ルーバ	34.9	22.9	○	
K7 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 非常用 (A) 給気ルーバ	29.8	4.0	○	
K7 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常・非常用 (A) 排気ルーバ	29.4	3.6	○	
K7 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常・非常用 (B) 給気ルーバ	29.4	3.6	○	
K7 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常・非常用 (B) 排気ルーバ	29.5	3.7	○	
K7 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 非常用 (C) 給気ルーバ	29.8	4.0	○	
K7 T/B	Hx/A 空調	Hx/A 常・非常用 (C) 排気ルーバ	14.9	2.9	○	

※1：地面又は建屋屋上からの高さ

※2：設置高さが基準積雪量（167cm）以上であることを判定基準としている。

給気ルーバ

写真番号	1	写真番号	2	写真番号	3	写真番号	4
設備名	MCR・C/B共用給気・排気ルーバ	設備名	D/G(A)非常用給気ルーバ	設備名	D/G(A)非常用給気ルーバ	設備名	D/G(B)非常用給気ルーバ
	写真		写真		写真		写真
							
写真番号	5	写真番号	6	写真番号	7		
設備名	D/G(B)非常用給気ルーバ	設備名	D/G(C)非常用給気ルーバ	設備名	D/G(C)非常用給気ルーバ		
	写真		写真		写真		
							

図 8-1 各給気ルーバの外観

落雷影響評価について

1. 基本方針

予想される最も苛酷と考えられる条件を設計基準として設定の上、安全施設の機能が落雷による雷撃電流に対して維持され、安全機能が損なわれないように設計する。

2. 基準雷撃電流値の設定

基準雷撃電流値の設定は、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・確認のうえ設定する。

(1) 規格・基準類

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 JEAG4608⁽¹⁾があり、以下のように規定している。

(a) JEAG4608 では、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「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、500kV 開閉所における送電線並びに電力設備に対し、150kA を想定雷撃電流として推奨している。

(b) JEAG4608 では、建築物等の避雷設備に関して、日本工業規格 JIS A 4201:2003「建築物等の雷保護」や日本工業規格 JIS A 4201-1992「建築物等の避雷設備（避雷針）」を参照している。JIS A 4201:2003 では、避雷設備について、落雷の影響から設備を保護する確からしさに応じ保護レベルが規定されている。保護レベルが高い（保護レベルの数字が小さい）ほど、より広い範囲の雷撃電流値に対して保護することが求められる。保護レベルは、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの4段階に設定される。

保護レベルの設定にあたって、JEAG4608 では原子力発電所の危険物施設に対する保護レベルを IEC/TR 61662⁽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。また、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。

JIS A 4201:2003 においては、保護レベルに応じた最大雷撃電流値は具体的に示されていないものの、日本工業規格 JIS-Z 9290-4⁽⁵⁾において、保護レベルに応じた最大雷撃電流値が定められており、保護レベルⅡの

場合の最大雷撃電流値は 150kA, 保護レベルⅣの場合の最大雷撃電流値は 100kA と規定されている。したがって、より広い範囲の雷撃電流値に対して保護することを求めている保護レベルⅡを採用する。

以上, (a), (b) より規格・基準類による想定すべき雷撃電流値のうち最大のもののは 150kA である。

(2) 観測記録

雷撃電流の観測記録として, 落雷位置標定システム (IMPACT[※]) による落雷データをを用いた。落雷は大きく夏季雷, 冬季雷に大別されるが, 新潟県全域から本州内陸部にかけて 1999 年～2012 年 (14 年間) に夏季 (4 月から 10 月) 約 630,000 件, 冬季 (11 月から 3 月) 約 63,000 件が確認されており, 最大雷撃電流値はそれぞれ 460kA (2004 年 4 月 24 日 新潟県北部と山形県との県境の山間部), 449kA (2010 年 11 月 29 日 新潟県沖合) である。

ただし, IMPACT の結果は柏崎刈羽原子力発電所を中心とした日本海から内陸部までの範囲を拡張して観測したものであり, 過去の柏崎刈羽原子力発電所にて実施した落雷観測記録の月別結果 (別紙 1) から, 日本海側に位置する柏崎刈羽原子力発電所の落雷特性としては, 冬季雷が支配的である⁽⁶⁾。

※IMPACT…雷観測センサー, 標定計算装置により, 雷撃の発生位置や電流値を測定するシステム。主に送電線, 配電線並びに変電所電力設備への雷撃発生情報の取得を目的に使用している。

(3) 年超過確率評価

別紙 1 より, 柏崎刈羽原子力発電所構内の雷撃頻度調査並びに避雷鉄塔による雷遮蔽効果検証のため, 1996 年～2005 年 (8 年 4 ヶ月間) にかけて落雷観測を実施しており, その観測記録より求めた雷撃頻度は 4.7 件/年である。また, 雷撃電流発生頻度分布については, T40 にて報告されている雷撃電流値に対する累積頻度を使用する。

別紙 2 より, 柏崎刈羽原子力発電所敷地への年超過確率 10^{-4} 件/年となる雷撃電流値は, 雷撃電流発生頻度分布から約 560kA となる。これは観測記録の最大値 460kA を上回る値であり, 年超過確率に基づく評価は最も苛酷な条件と言える。こうした過大な落雷の原子炉建屋への直撃を防ぐため, 柏崎刈羽原子力発電所では, 避雷鉄塔を設置している。この避雷鉄塔による遮蔽効果を考慮した雷

撃比率評価の結果、6号炉及び7号炉原子炉建屋への年超過確率 10^{-4} 件/年となる雷撃電流値は、約 156kA となる⁽⁷⁾。(別紙2 1.2)

別紙1,2の頻度評価結果から導いたハザード曲線を図1に示す。また、(1)規格・基準類の値 150kA について年超過確率を確認した結果、 1.2×10^{-4} /年となった。

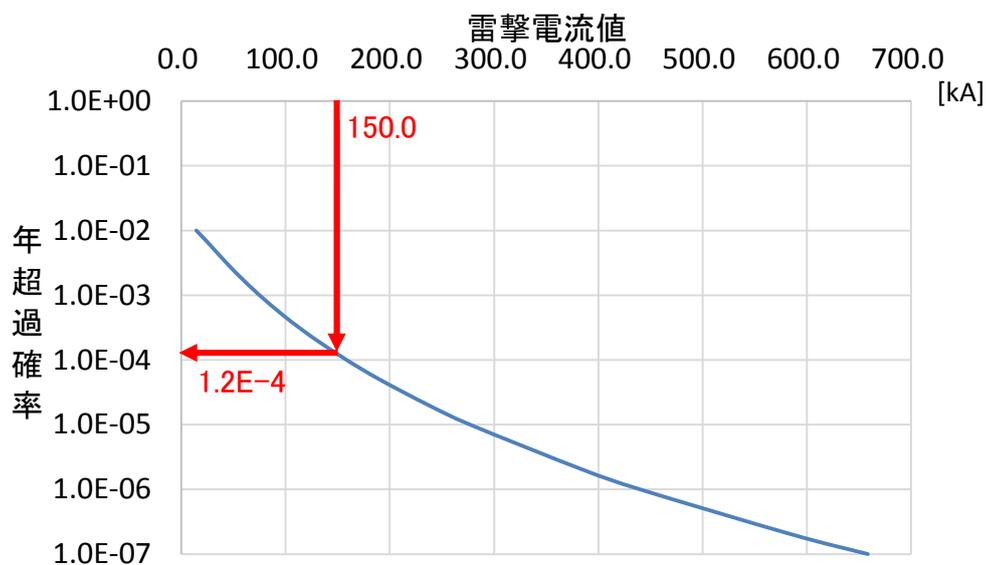


図1 雷撃電流値ハザード曲線

上記(1)規格・基準類における電流値 150kA は建屋への想定される雷撃電流値について定めている。(2)観測記録における電流値 460kA は、より広い新潟県周辺の広範な地域で観測された雷撃電流値を示しており、発電所敷地内の避雷鉄塔及び他号炉主排気筒による落雷の遮蔽の効果を考慮して建屋への雷撃電流値を評価すると 114kA となる⁽⁷⁾。設計基準電流値は、避雷鉄塔等の遮蔽効果を考慮した上で建屋内機器への影響を見るという観点から、原子炉建屋頂部主排気筒への雷撃電流を想定し設定する。(1)規格・基準類の電流値 150kA が、(3)年超過確率評価において、 1.2×10^{-4} /年であったことから、更なる裕度を確保するため、年超過確率評価 10^{-4} /年の値約 156kA を参考に、200kA と設定する。

3. 安全施設の健全性評価

設計基準の雷撃電流値（原子炉建屋頂部主排気筒への 200kA の雷撃電流）によって安全施設が安全機能を損なうことがない設計であることを確認するために、図 2 に示すフローに沿って評価・確認を実施した。

(1) 建屋

原子炉建屋等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いることから影響を受けにくい設計としている。

(2) 原子炉建屋等に内包される設備

原子炉建屋には屋上に主排気筒（高さ 86.5m）を設置しており、比較的落雷の頻度が高いと考えられる。(1) で記載した雷害対策を実施しているため影響を受けにくいと考えられるものの、建屋に内包される電気・計装設備については、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制御ケーブルに生じるサージによって、機器が絶縁破壊に至る可能性がある。このため、7号炉で実施した雷インパルス試験の結果を参考に、設計基準電流が原子炉建屋頂部主排気筒に流れた際の誘導電圧を算出し、建屋内部の電源盤、制御盤等の重要設備が損傷するリスクを評価し、設計基準である原子炉建屋頂部主排気筒への 200kA 落雷により安全機能が損なわれないことを確認した。（別紙3）

(3) 屋外設備

軽油タンク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、非常用ディーゼル発電機燃料移送系については、計装設備として軽油タンクの油面計があるが、万一当該機器の損傷に至る場合にも、軽油タンクの油量については現場確認が可能であり、当該機器の喪失によってプラントの安全機能に影響が及ぶことはない。

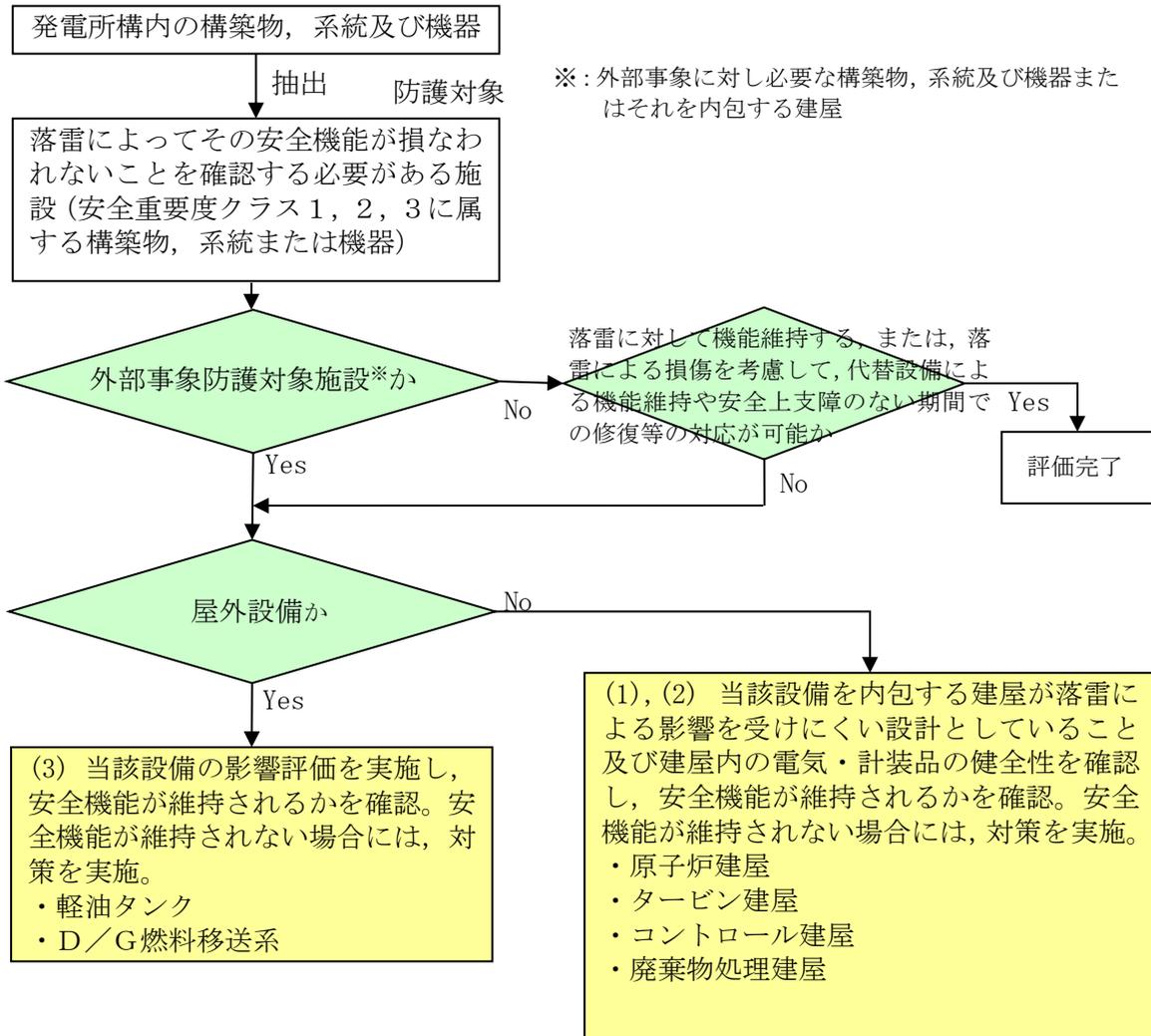


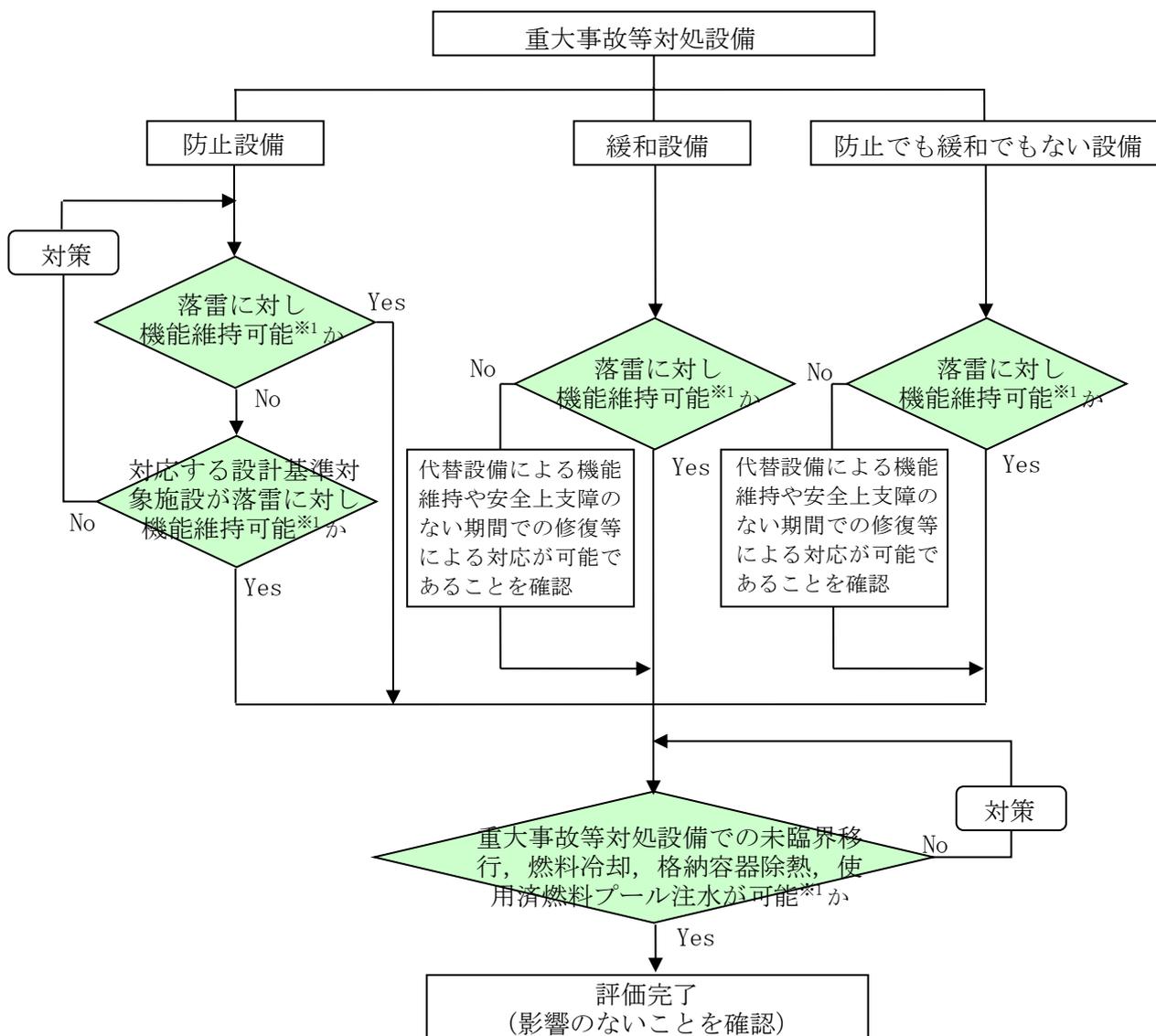
図 2 落雷に対する安全施設の評価フロー

4. 重大事故等対処設備に対する考慮

重大事故等対処施設の内、屋内設備については、建屋内にあることから落雷の影響を受けにくい。また、屋外設置の可搬型設備は、可搬型重大事故等対処設備保管場所の一部（荒浜側）は、近傍に送電鉄塔（新新潟幹線・南新潟幹線）を設置していることから落雷の影響を受けにくい。また、設備の高さが20mを超えるようなものはなく落雷の影響を受けにくい。また、重大事故等対処施設の安全機能が喪失した場合においても、建屋による防護の観点から、代替手段により必要な安全機能を維持できることを確認した。

図3に落雷に対する重大事故等対処施設の評価フローを示す。

なお、落雷に対する重大事故等対処設備の設計方針は、設置許可基準規則第43条（重大事故等対処設備）にて考慮する。



※1：屋内設備については、当該設備を内包する建屋（原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋）が落雷による影響を受けにくい設計としていることを確認し、安全機能が維持されることを確認。

図3 落雷に対する重大事故等対処設備の評価フロー

参考文献

- (1) 電気技術指針 JEAG4608(2007) : 「原子力発電所の耐雷指針」
- (2) T40 電力中央研究所報告 発電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド (1996)
- (3) IEC/TR 61662(1995) : Assessment of the risk of damage due to lightning.
- (4) 消防庁通知(2005) : 平成 17 年 1 月 14 日消防危第 14 号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
- (5) JIS-Z 9290-4(2009) 雷保護第 4 部 : 建築物内の電気及び電子システム
- (6) T03024 電力中央研究所 日本海沿岸地域における冬季の上向き雷電流特性
—1989 年度～2002 年度—
- (7) 相原(1994). 冬季雷に対する雷撃様相並びに雷しゃへい理論の検討 —モデル実験並びに放電シミュレーションによる検討—電力中央研究所報告, No. T93063

柏崎刈羽原子力発電所への落雷頻度及び雷撃電流分布の分析

1. 構内落雷観測結果の概要

年間落雷発生頻度については、柏崎刈羽原子力発電所における落雷観測結果をもとに算出する。

過去 1996 年～2005 年の 8 年 4 ヶ月の間、構造物（避雷鉄塔、主排気筒、通信・送電鉄塔）への雷撃回数について観測（静止カメラによる雷撃様相撮影）を実施した結果 776 件が報告されており、70%以上が避雷鉄塔への落雷となっている（表 1-1）。また、原子炉建屋への落雷は観測されていない。これは、避雷鉄塔や主排気筒に遮蔽されるためと考えられる。

また、落雷観測記録の月別結果を図 1-1 に示す。夏季（4 月から 10 月）の落雷が占める割合は 6.7%程度であり、日本海側に位置する柏崎刈羽原子力発電所の落雷特性としては、冬季雷が支配的であることが分かる。

表 1-1 構内落雷観測結果（1996 年～2005 年・カメラ観測）

分類	落雷箇所	落雷数 (件)	%
避雷鉄塔	荒浜側避雷鉄塔	248	32.0
	大湊側避雷鉄塔	193	24.9
	新設避雷鉄塔	108	13.9
主排気筒	1, 2 号炉主排気筒	19	2.4
	3 号炉主排気筒	27	3.5
	4 号炉主排気筒	50	6.4
	5 号炉主排気筒	58	7.5
	6 号炉主排気筒	1	0.2
	7 号炉主排気筒	2	0.3
その他	無線通信鉄塔	27	3.5
	送電鉄塔	38	4.9
	その他	5	0.6
—	合計	776	100

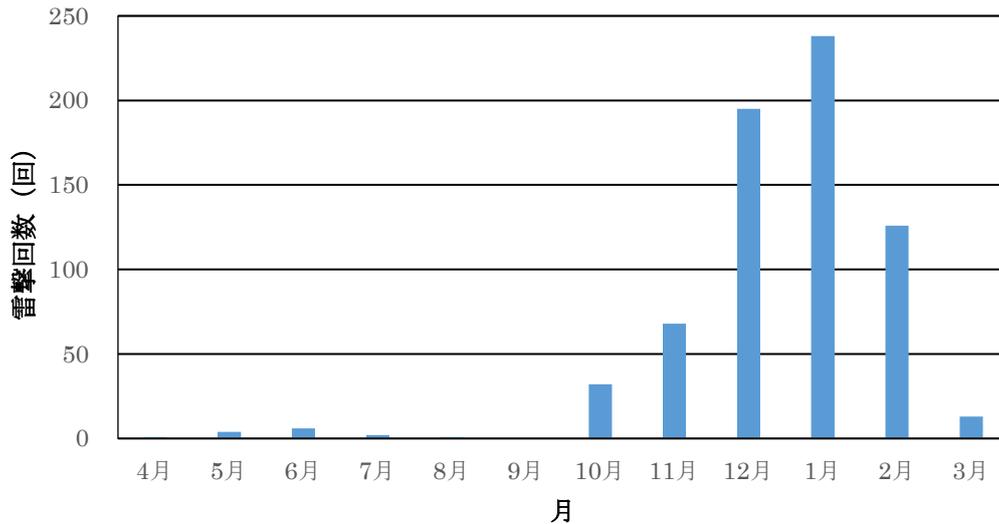


図 1-1 構内落雷観測の月別結果 (1996 年～2005 年・カメラ観測)

2. 雷撃頻度の算出

構内落雷観測では、1. のカメラによる雷撃観測に加え避雷鉄塔 3 基に設置した波形電流観測装置により、雷撃電流値・波形観測を実施している。この観測結果における雷撃電流頻度分布を図 1-2 に示す。測定された雷撃電流頻度分布の特徴として累積頻度 50%値が電力中央研究所の推奨雷撃電流頻度分布の 26kA に比べ 3 kA 程度と小さいこと、12 kA (累積頻度 5%) 付近で分布が屈曲していることが挙げられる。この原因としては、リターンストローク^{*}を伴わない上向きリーダを小電流の落雷として観測したことが考えられる。そこで、リターンストロークを伴わない上向きリーダをカウントしていることが、雷撃電流頻度分布の屈曲に影響していると考え、12kA 以下を除いた分布及び電力中央研究所の推奨雷撃電流頻度分布を図 1-3 に示す。12kA 以下を除いた分布は、除かない分布に比べ電力中央研究所の推奨雷撃電流頻度分布に接近し差がないと言えることから、避雷鉄塔における雷撃電流観測結果の 5%程度がリターンストロークを伴う落雷とすることは妥当であると考えられる。

また、図 1-4 に示す電力中央研究所の福井県における冬季雷の観測結果⁽¹⁾においては、10 kA 以下の小電流データを除いた分布を図示して、わが国で電力設備の耐雷設計に用いられている夏季雷の雷撃電流頻度分布と比較し、「超高压送電線等の耐雷設計上問題となる大電流領域では、その頻度はほとんど差がない」としている。図 1-3、図 1-4 は同様の傾向を示していることから、避雷鉄塔における雷撃電流観測結果の小電流データを取り除く取扱いが妥当であると言える。

表 1-1 のカメラ観測の結果は、8 年 4 ヶ月間で 776 件が記録されているが、構内

面積約 4.2km²を踏まえると、年間の大地雷撃密度は 22 件/km²・年である。これは、従来用いられている年間雷雨日数 (IKL) を敷地周辺に用いた方法による 3.3 件/km²・年や、落雷位置標定システム (IMPACT) による観測結果に捕捉率を考慮し算出した 1.2 件/km²・年に比べ大きな値である。このためカメラ観測の結果についても、リターンストロークを伴わない上向きリーダを観測したために、雷撃回数が増加したと考えられる。そこで、敷地内への雷撃頻度を算出するにあたっては、表 1-1 の結果についても 5%程度がリターンストロークを伴った対地雷であると想定する。この場合、雷撃頻度を評価すると、次のようになる。

$$776 \text{ 件} \times 0.05 / 8 \text{ 年} 4 \text{ ヶ月} = 4.7 \text{ 件} / \text{年}$$

※典型的な冬季雷では、上向きリーダと呼ばれる比較的小規模の放電が大地側から伸びていき雷雲に到達すると、主放電電流 (リターンストローク) として大きな電流が流れる。雷雲に到達しない上向きリーダはリターンストロークを誘導しないため、大きな雷撃に発展しない。

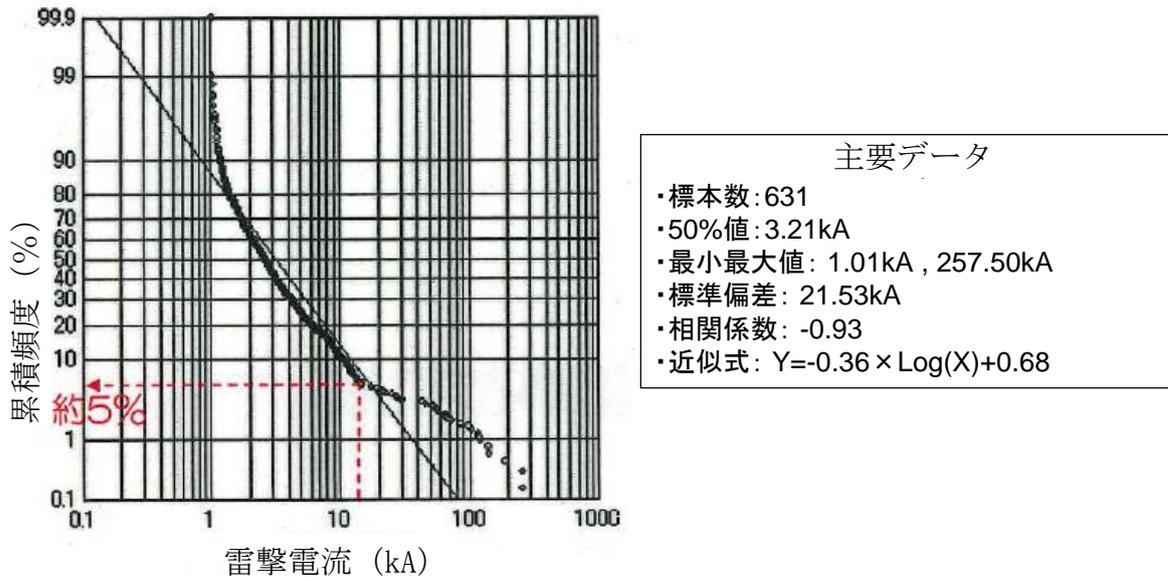


図 1-2 構内雷撃観測の雷撃電流累積頻度分布 (1996 年～2005 年・波形観測)

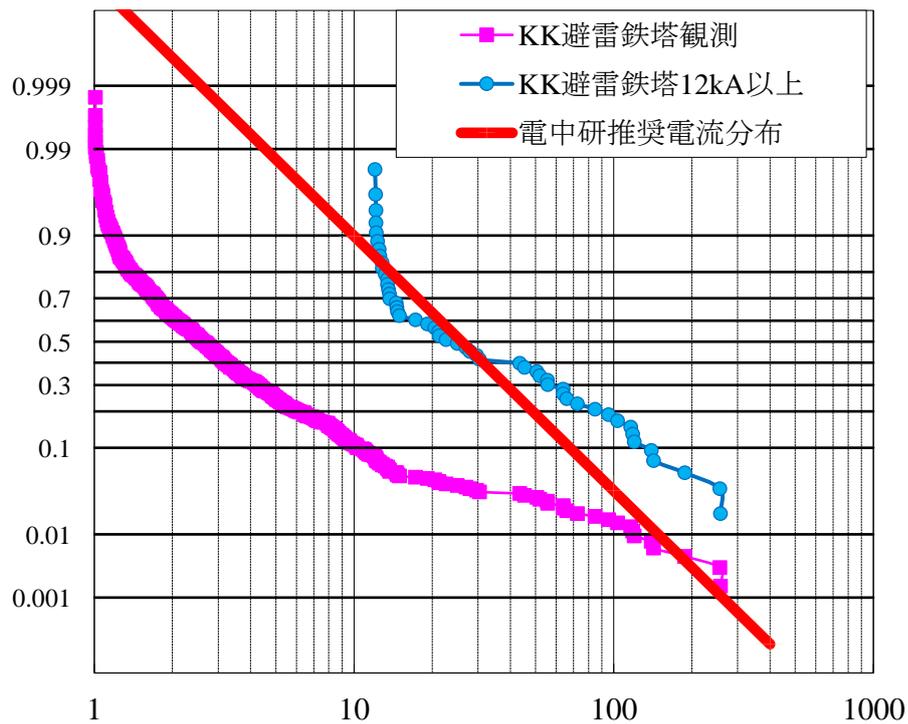


図 1-3 構内雷撃観測の雷撃電流累積頻度分布 (1996 年～2005 年・波形観測) と電力中央研究所推奨雷撃電流頻度分布

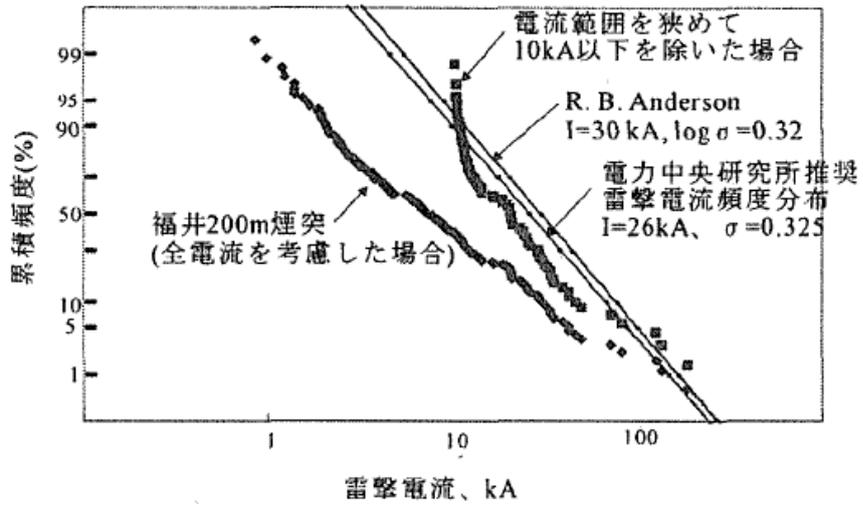


図 1-4 福井県の雷観測に基づく雷撃電流頻度分布

参考文献

- (1) T03024 電力中央研究所 日本海沿岸地域における冬季の上向き雷電流特性—
1989年度～2002年度—

柏崎刈羽原子力発電所構内への落雷分布評価

1. 発電所構内への落雷計算

日本海沿岸に位置する柏崎刈羽地域では冬季に雷が多く発生することから、耐雷設計上では冬季雷によるリスクが支配的な要因となる。冬季雷の特性として避雷鉄塔等の高構造物から上向きの雷が多く発生する。通常の耐雷設計は夏季雷を対象としており、冬季雷（上向き雷）を対象にした雷遮蔽理論はいまだ検討中である。現在のところ、実際に使用できる冬季雷に対する雷遮蔽計算手法としては電力中央研究所で開発されたものが唯一と思われることから、電力中央研究所の手法により冬季雷による発電所構内建物への雷撃比率を計算し、原子炉建屋及び独立主排気筒への落雷頻度・電流値を算出した。

1.1. 計算手法

落雷頻度の算出に当たっては、冬季雷モデルを用いて発電所構内建物（独立主排気筒や原子炉建屋）への雷撃比率を計算し、別紙 1 で評価した構内への落雷頻度（4.7 件/年）に基づいて、当該建物への 10^4 年における落雷件数を算出する。雷撃比率の計算においては、独立主排気筒と原子炉建屋を対象として、評価対象外のその他建物へ落雷する可能性を除外して保守的に評価する。次に、この落雷件数の逆数から雷撃確率を算出して、雷撃電流頻度分布に基づき 10^4 年に想定される最大電流値を想定雷撃電流値として評価する。

1.1.1. 冬季雷モデル

上向きリーダに起因すると考えられる冬季雷では、複数地点、主に高構造物からほぼ同時にリーダが発生している事象が観測されており、また、一つの雷撃が生じても雷雲の全電荷は中和されずに別の上向きリーダが雷雲に達して同時雷撃を生じることもあり得る。

しかしながら、これら全てを考慮した解析はいまだ可能になっていないことから、ここでは雷雲が近づいてきて構造物表面の電界がある臨界値を越えたときに上向きリーダが発生し、そのリーダが雷雲まで進展して構造物への雷撃が生じるモデルを考える。

冬季雷による上向き雷の発生として以下を仮定する（図 2-1, 図 2-2 参照）。

- 1) 雷雲が高構造物に近づいてくるとき、雷雲内の電荷は高さ H にある電荷 Q で代表されるものとする。
- 2) 雷雲が高構造物から R の距離まで近づくと、雷雲の電荷により地上高 h の高構造物先端の電界が臨界値 E_{crit} を越えて上向きリーダが発生し、高構造物への雷撃が生じる。すなわち、 R は雷雲電荷の大きさ Q 、その高さ H 、及び構造物高さ h で定まる吸引半径であり、鉄塔を中心とした半径 R の領域に雷雲電荷が入ればその構造物に落雷が生じる。
- 3) 上向きリーダは雷雲の電荷に向かって直線的に進み、雷雲電荷に達すると雷撃となる。
- 4) 二つ以上の高構造物がある場合には、最初に上向きリーダが発生した構造物に雷撃が生じるとする。例えば、雷雲が近づいてきたとき、低構造物先端の電界が E_{crit} となる前に高構造物先端の電界が E_{crit} になれば高構造物に雷撃が発生する。

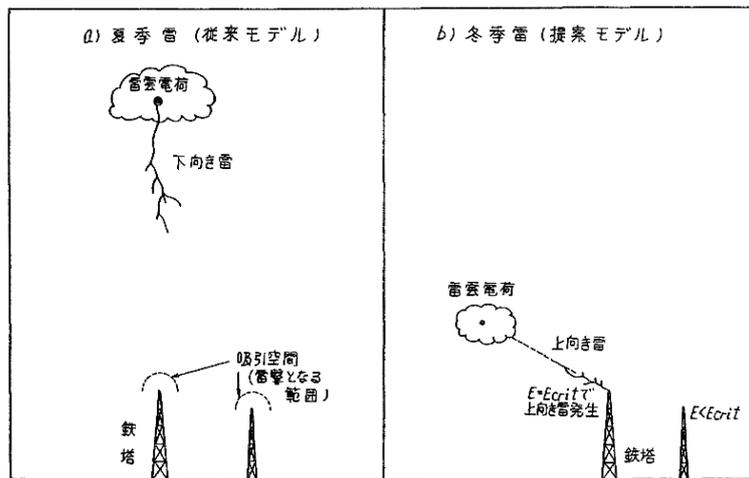


図 2-1 夏季雷と冬季雷のモデル

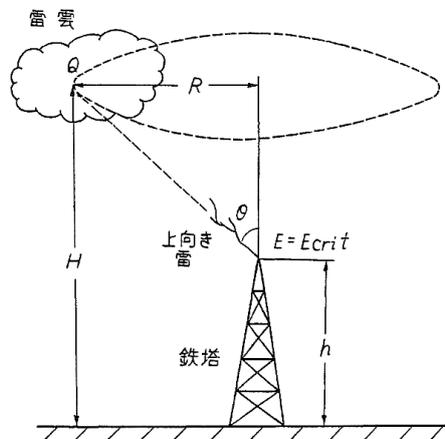


図 2-2 上向き雷の雷撃計算パラメータ

1. 1. 2. 二つの構造物がある場合の雷撃計算

各構造物において先端の電界が臨界値 E_{crit} を越えて上向き雷が発生する吸引距離 R_s を計算する。次に、各構造物に雷撃を生じる雷雲の襲来範囲を計算する。この時、図 2-3 のように、二つの構造物の相対位置、個々の構造物の吸引距離の大小関係により各構造物への雷の襲来範囲は変化する。

例えば、7号炉建屋周辺の高構造物の配置を図 2-4 に示す。対象となる7号炉建屋では主排気筒が原子炉建屋屋上に設置され、その高さは 86.5m である。周辺には 315m 離れて避雷鉄塔、263m 離れて5号炉主排気筒があり、また7号炉建屋と5号炉主排気筒のほぼ中間には6号炉建屋がある。避雷鉄塔とこれらの建屋は図にあるようにほぼ一直線上に並んでいる。冬季雷では高構造物から上向きの雷放電が多く発生するが、7号炉建屋は、避雷鉄塔や5号炉主排気筒など、より高い構造物に隣接して設置されているため、これらの高構造物によって雷が遮蔽され雷撃数は少なくなると考えられる。

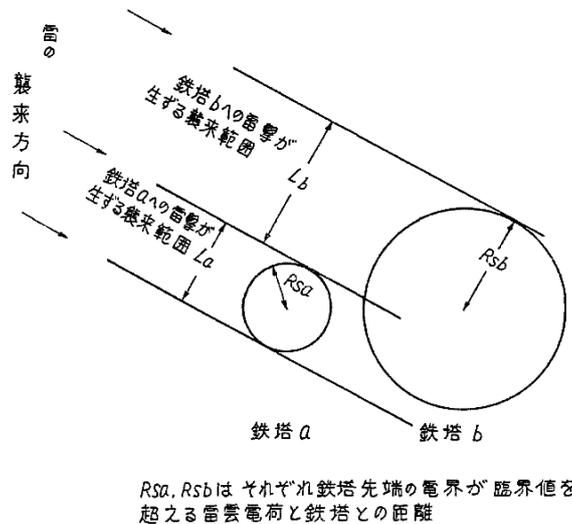


図 2-3 二つの構造物ある場合の雷撃範囲

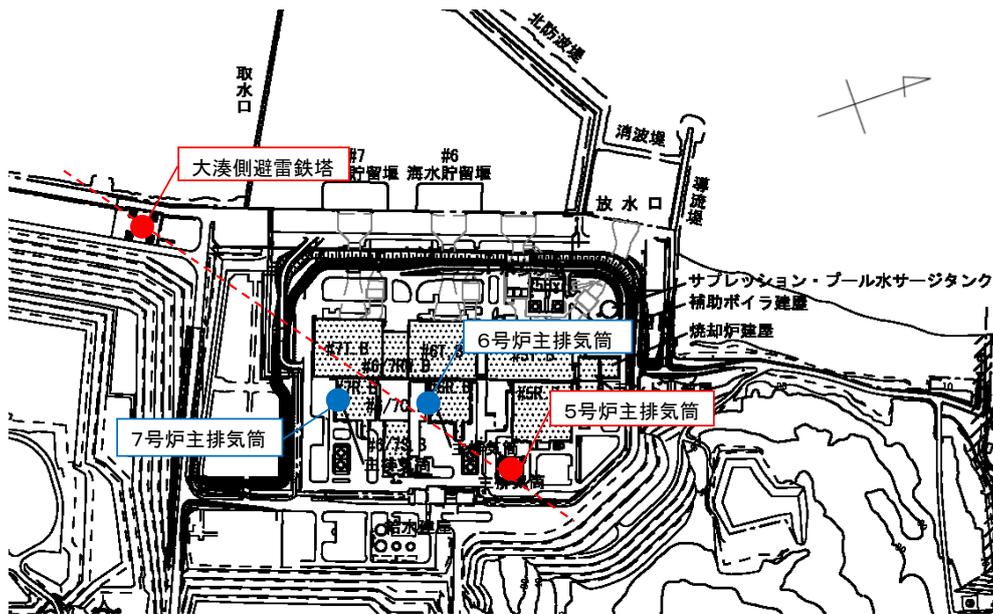


図 2-4 6号及び7号炉建屋付近の構内図

1.1.3. 雷撃対象と想定落雷数

① 雷撃対象

発電所構内の建造物の互いの遮蔽効果を考慮して個々への雷撃を計算することは現状の計算手法では困難であり、また、建物を細かく区別するほど個々の建物への雷撃頻度は低下することから設計基準としては保守的にならない（最大電流は低下する）。そこで、役割や大きさから建物を下記の3つに分類する。

「避雷鉄塔」，「独立主排気筒」，「その他の建物（原子炉建屋等）」

「その他の建物」には燃料タンクやタービン建屋等が含まれるが、柏崎刈羽原子力発電所の機能維持として特に重要であり、かつ高構造物である原子炉建屋を代表建物として想定する。6号炉及び7号炉の場合、建屋と主排気筒が一体となっていることから、同一建物として主排気筒への雷撃頻度を評価する。

また、6号及び7号炉をそれぞれ個別の主排気筒として考慮した場合、各号炉への雷撃頻度はおよそ半分程度になると予想されるが、今回は保守的に7号炉主排気筒を代表させることにより、6号炉相当分についても7号炉が受雷するような評価とした。

1) 評価対象モデル：

「大湊側避雷鉄塔，5号炉主排気筒，7号炉建屋」

② 想定落雷数

柏崎地域への年間雷撃数は別紙1内、柏崎刈羽原子力発電所落雷観測結果に基づけば、4.7件/年である。上記の雷撃対象では、「その他の建物」として7号炉原子炉建屋を代表建物としたが、落雷実測では、1号炉～4号炉付近の避雷塔と5号炉～7号炉主排気筒付近の避雷塔へほぼ等しい割合で雷撃している。したがって図2-5の1号炉～4号炉エリア（荒浜側）と5号炉～7号炉エリアへの落雷数はエリアを2分割した年間2.35件/年であると想定する。

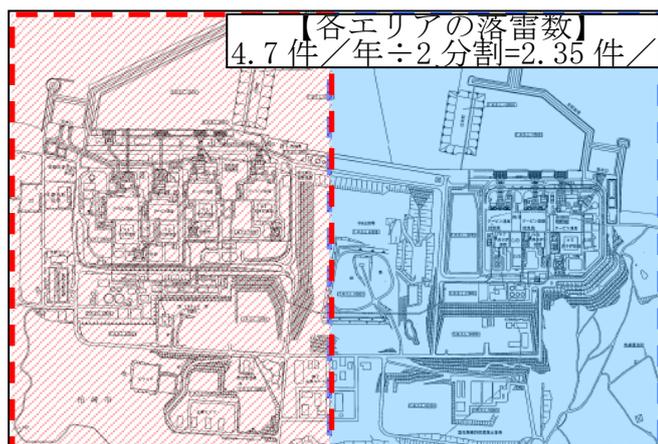


図 2-5 落雷数とエリア分割

1.2. 雷撃頻度及び最大電流の計算

5号炉主排気筒による遮蔽の効果を考慮するにあたり、図 2-6 に示すような二つの構造物の雷撃確率のシミュレーション結果を使用する。西側から5号炉主排気筒及び7号炉建屋に向かい進入する落雷を想定し、二つの構造物を結んだ直線と直角方向から雷が進入するという条件でのシミュレーション結果⁽¹⁾を用いる。図 2-7 に低構造物への雷撃比率が 0.1%となる分布を示す。

図 2-7 中には、5号炉主排気筒と7号炉建屋の距離 ($D=263$ m)、両者の高さ (5号炉主排気筒高さ： $H=160$ m、7号建屋高さ： $h=86.5$ m) から定まるポイント ($h/H=0.54$, $D/H=1.64$) を示しているが、7号炉建屋のプロット点はカーブよりも上にあることから、7号炉建屋への雷撃比率は 0.1%以上であることが分かる。

両構造物の高さが等しい場合には、両構造物への雷撃比率は等しくなると考えられ、また、構造物高さとの雷撃比率の関係は過去の検討⁽²⁾から累積正規分布で近似できることから、 $h/H=1$ の時 50%、図 2-7 より $h/H=0.33$ の時 0.1%として、 $h/H=0.54$ の点を内挿すると、雷撃比率 p は約 1.7%と推定される。

柏崎地域への年間雷撃数は柏崎刈羽原子力発電所落雷観測結果に基づけば 4.7 件であることから、先に想定したとおり 7 号建屋付近への落雷数 N をエリア 2 分割に相当する 2.35 件/年であるとする。また、この地域における冬季雷の侵入方向は冬季の風向きを考えると西方向 (西北西～南西) が約 70%を占め (図 2-8)、その場合には海岸に設置された避雷塔によって多くの雷は捕捉されると考えられる。ここでは過酷側を考え、残りの 30%の雷はすべて避雷鉄塔に捕捉されず侵入すると仮定して侵入比率 r を 0.3 とする。

以上を考慮すると、再現期間を y として 7 号炉建屋への雷撃数 N_t は以下のようになる。

$$N_t = N \times y \times p \times r$$

これらの雷撃について、発生する電流最大値を雷撃電流頻度分布での確率 $P = 1 / (N_t)$ の点で評価する。雷撃電流頻度分布に関しては通常の耐雷設計で用いる雷撃電流分布^{*1}に基づき評価する（図 2-9）。なお、再現期間は 10^4 年とする。

$$\begin{aligned} N_t &= 2.35 \times 10^4 \times 1.7 \times 10^{-2} \times 0.3 \\ &= 120 \text{ 件} \end{aligned}$$

確率 $P_0 = 1 / (120)$ に対応する電流値は 156 kA となる。

（柏崎刈羽原子力発電所敷地への年超過確率 10^{-4} 件／年となる雷撃電流値は、雷撃電流頻度分布から約 560kA）

※1 電力中央研究所推奨の雷撃電流頻度分布は、鬼怒川線や猪苗代線に代表される 8 送電線での磁鋼片による雷電流値の観測結果に基づいている。

柏崎刈羽原子力発電所構内の観測結果として、リターンストロークを伴わない落雷と推定される 12kA 以下の落雷を除いた分布と電力中央研究所の推奨雷撃電流頻度分布を比較したところ、同様の傾向を示した（別紙 1 図 1-3 参照）。なお、この雷撃電流頻度分布は、図 2-9 に示されるとおり、福井県で観測された冬季雷の雷撃電流分布と比較して、耐雷設計上問題となる大電流領域では、ほとんど差が無いとされている。

また、図 2-10 に電力中央研究所の推奨雷撃電流頻度分布と落雷位置評定システムによる新潟地域での観測結果（2011 年～2012 年）との比較を示す。この図のとおり、電力中央研究所の推奨雷撃電流頻度分布は落雷位置評定システムで観測されたデータと大きな相違はみられない。

以上から、柏崎刈羽原子力発電所の耐雷設計に電力中央研究所の推奨雷撃電流頻度分布を適用することは妥当である。

また、わが国の電力設備の JEC-0102 “試験電圧標準” の電力設備の雷インパルス耐電圧値の根拠に用いられる等、雷害対策検討のベースデータとなっていることから、既存の耐雷設計とも整合する。

なお、雷撃電流頻度分布は構造物の高さによって、ほとんど変化せず、構造物への想定雷撃電流値は、落雷頻度に依存する。図 2-11 に、雷撃モデルとして電気幾何学モデルを仮定した場合の、各構造物の高さ(10m, 40m, 80m, 120m)における雷撃電流頻度分布を示す。頻度分布は構造物の高さによらずほぼ一致している。

ここで算出される落雷電流による建屋内設備への影響については、別紙 3 のとおり、実機での雷インパルス試験結果を用いた評価を実施している。

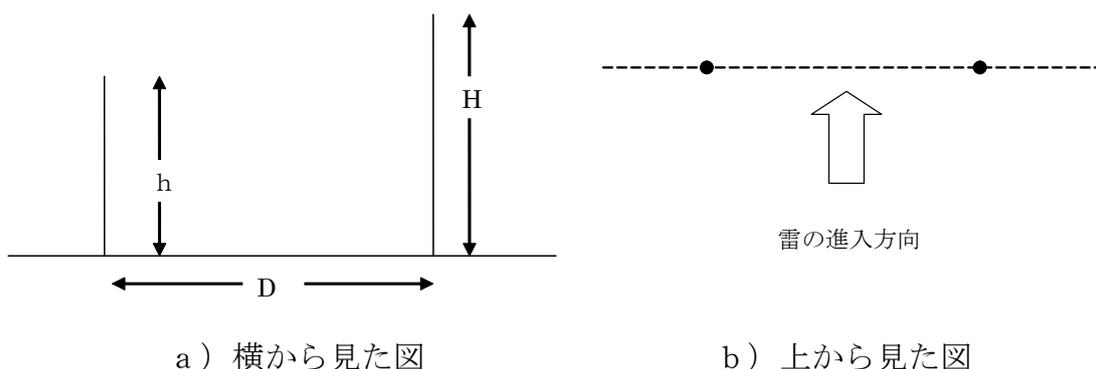


図 2-6 二つの構造物がある場合の雷撃率計算のモデル配置

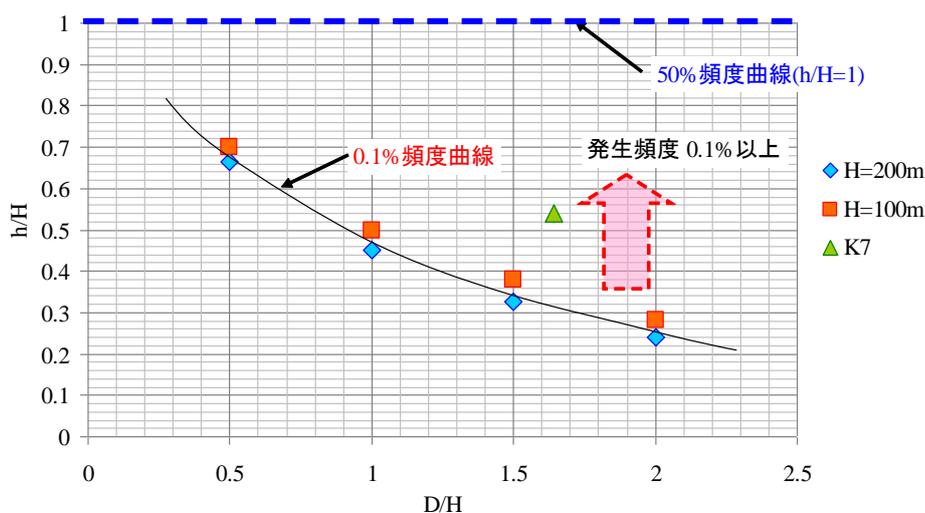


図 2-7 冬季雷に対する低建造物の雷撃比率が 0.1%となる低構造物高さ(計算値)と 7 号炉建屋に対する h/H と D/H の値

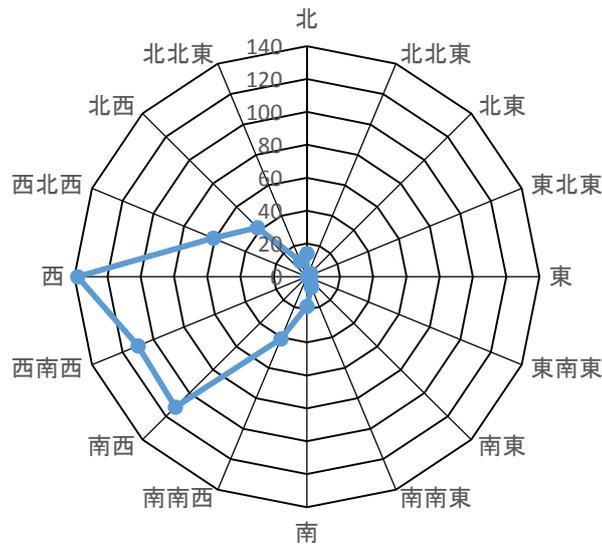


図 2-8 構内雷観測結果（落雷時の風向分布（単位：回））

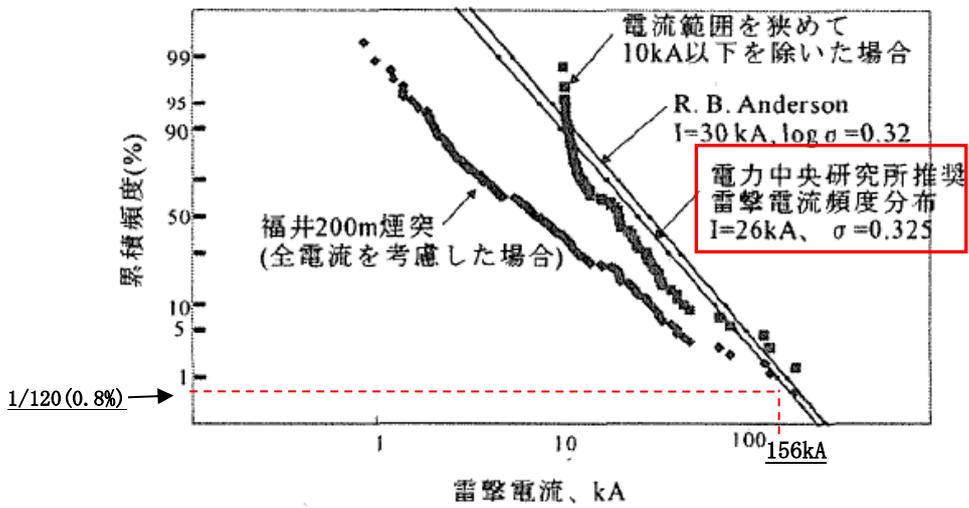


図 2-9 耐雷設計で用いる雷撃電流頻度分布

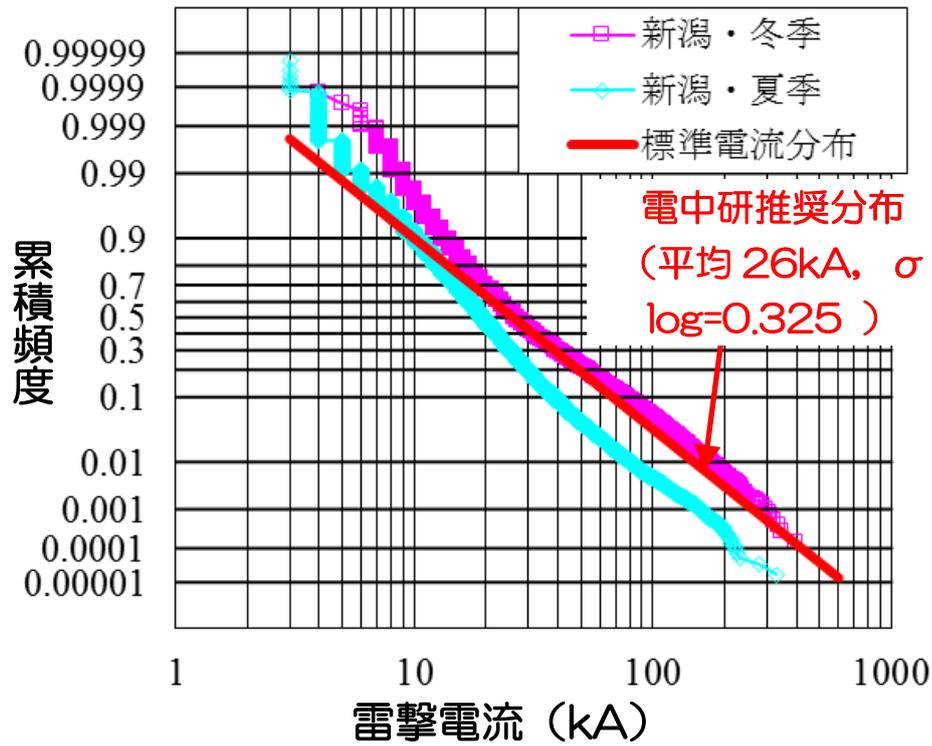


図 2-10 耐雷設計の電流分布と新潟県における落雷位置標定システム (IMPACT) 観測の電流分布

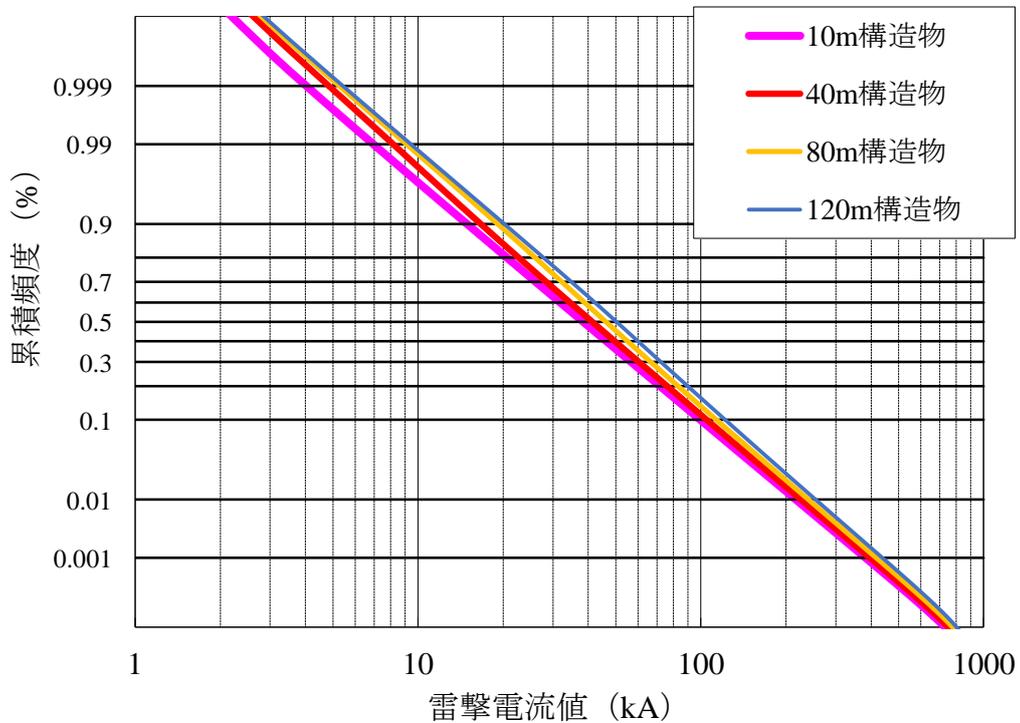


図 2-11 各構造物高さでの雷撃電流頻度分布

1.3. 観測結果との整合

1996年11月から2005年2月までの8年4ヶ月間の雷観測によれば、7号炉主排気筒への雷撃は2件である。年間雷撃数にすると、7号炉主排気筒への雷撃は0.24件/年となる。この雷撃にはリターンストロークに至らない上向きリーダが多く含まれると考えられる。一方、冬季雷の雷撃計算では上向きリーダが雷雲電荷にまで達する雷撃を対象としており、観測結果と計算結果を比較するためにはリターンストロークを伴う上向きリーダの雷撃を観測結果から抽出する必要がある。別紙1の中で推定したように全データのうち5%程度がリターンストロークを伴う雷撃とすれば、7号炉主排気筒では0.012件/年(0.24件/年×5%)となる。

一方、今回の評価によると、7号炉建屋への雷撃は120件/10⁴年より0.012件/年である。観測結果と計算結果の雷撃頻度を比較すると、両者に大きな差異は無く、いくつかの仮定のもと発生頻度が非常に低い領域での評価としては妥当な結果と考えられる。

避雷鉄塔での観測結果(別紙1)によると200kAを超える電流値が2件確認されているが、6号及び7号炉主排気筒は、避雷鉄塔に加え5号炉主排気筒の遮蔽の効果を受けているため、6号及び7号炉の想定雷撃電流値は、避雷鉄塔での観測結果の最大値よりも小さいものとなる。

2. まとめ

7号炉主排気筒への冬季雷の想定最大電流値の計算結果から、再現期間10⁴年における想定最大雷撃電流については、156kAとなった。また、過去の観測結果との比較から、本評価結果については妥当な結果となることを確認した。

(参考1) 夏季雷の考慮について

本評価では、柏崎刈羽原子力発電所で支配的である冬季雷を対象とした評価を実施している。図1-1に示されるとおり、落雷が4月から10月の占める割合は5.3%に過ぎないことから、冬季雷の特徴を踏まえた雷撃モデルにおける建屋排気筒への落雷頻度を算出し、通年の落雷件数における想定雷撃電流値を評価している。

図2-10に示した、落雷位置標定システムにより観測された新潟地域における夏季と冬季の雷撃電流発生頻度分布にて、夏季と冬季の雷撃電流を比較すると、平均値は数kA程度の差であり、耐雷設計において標準的に用いられている雷撃

電流分布で代表できると考えられる。

参考までに夏季と冬季の雷を区別して、それぞれの落雷頻度を算出し、その合計から 10^4 年に想定される雷撃電流を評価した。なお、雷撃電流頻度分布は、夏季と冬季ともに電中研推奨の雷撃電流頻度分布で代表する。7号炉建屋主排気筒に想定される雷撃電流値は 161kA と算出され、冬季雷を主眼に置いた評価結果 156kA をわずかに上回るが、設計基準電流値 200kA 以下の値である。

(1) 夏季雷の評価について

冬季雷では、上向きリーダに起因することから、雷雲が近づいてきて構造物表面の電界がある臨界値を越えたときに上向きリーダが発生し、そのリーダが雷雲まで進展して構造物への雷撃が生じるモデルを考えている。

一方、夏季雷では下向きリーダに起因することから、下向きリーダが雷雲から進展し、構造物近辺に接近すると雷撃が生じるモデルとして、避雷設備の保護範囲として、広く一般に用いられる電気幾何学モデルを用いた評価を行う。

電気幾何学モデルでは、建物及び大地に対して雷撃電流値毎に雷撃距離（吸引半径）を計算する。この雷撃距離によって描かれる面積内に落雷する頻度から落雷件数を算出する。落雷件数の計算においては、先の冬季雷の検討と同様に、評価対象外の建物へ落雷する可能性を除外して保守的に評価する。また、この落雷件数の逆数から雷撃確率を算出して、雷撃電流頻度分布に基づき 10^4 年に想定される雷撃電流値を評価する。

(2) 電気幾何学モデルの概念

雷撃距離は次節の式 2-1 に示すとおり、雷電流の大きさに伴って長くなる特性がある。電気幾何学モデルは雷電流に応じた雷撃距離の概念が導入されており、保護範囲を定量的に評価できる。

図 2-12 に示すように雷雲から下向きリーダが進展し、構造物の雷撃距離によって与えられる Exposed surface に達すると構造物に落雷する。この Exposed surface が構造物の捕集範囲を表す。落雷の進入角度を仮定すると、大地への落雷面積を算出することができ、大地雷撃密度[件/km²/年]を乗じることで落雷頻度[件/年]を算定することができる。

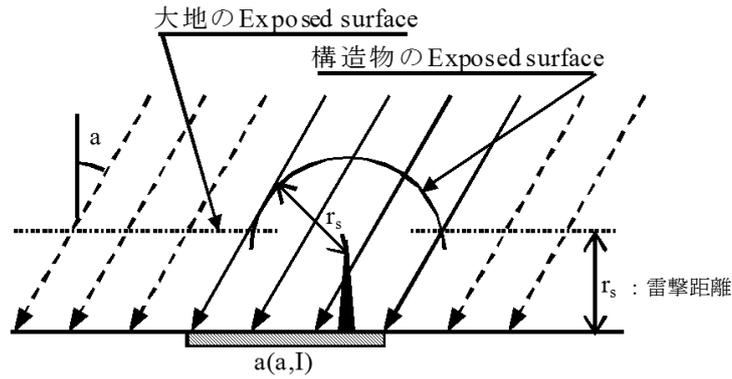


図 2-12 電気幾何学モデルによる捕集範囲

(3) 7号炉建屋主排気筒の落雷頻度の評価条件

6号及び7号炉原子炉建屋の高さや主排気筒との位置関係を見ると、7号炉建屋のほうが5号炉主排気筒と避雷鉄塔による遮蔽から露出している。7号炉建屋排気塔の高さは86.5mであり、5号炉主排気筒の高さは160m、大湊側避雷鉄塔は154mである。そこで、評価対象を7号炉建屋主排気筒とし、遮蔽物として5号炉主排気筒と大湊側避雷鉄塔を考慮した。

雷撃電流に対する雷撃距離の関係式としては、JIS A 4201-2003「建築物等の雷保護」で使用されている次式を採用した。

$$r = 10 \times I^{0.65} \quad (2-1)$$

雷進入角度については、鉛直方向から進入するとする。雷撃電流頻度分布については、電力設備の耐雷設計において標準的に用いられている電力中央研究所の推奨する分布を使用する。なお、図 2-13 に示されるように、ほかの雷撃電流分布を適用しても大きな差異は無いと考えられる。

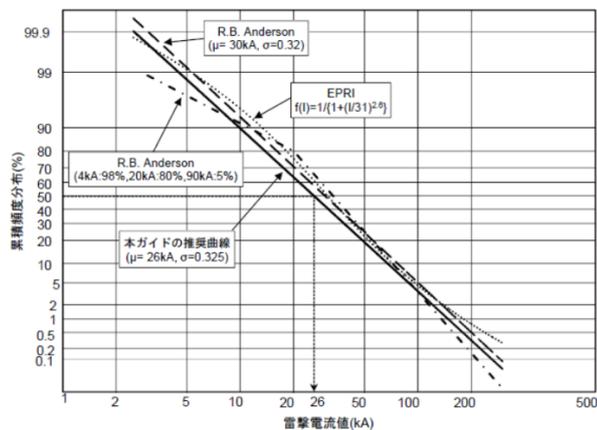


図 2-13 各種雷撃電流累積頻度分布

(電中研報告 H06 発電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド)

主排気筒の雷遮蔽効果は詳細には3次元で評価するが、ここでは2次元(断面)モデルで代表する。7号炉建屋主排気筒と5号炉主排気筒の断面図を図2-14に示す。図には5号炉主排気筒のみを示したが、大湊側の避雷鉄塔による遮蔽の効果も考慮して落雷頻度を評価する。隣接する6号炉建屋による遮蔽効果も期待されるが、保守的な評価となるよう6号炉建屋主排気筒による遮蔽を考慮していない。

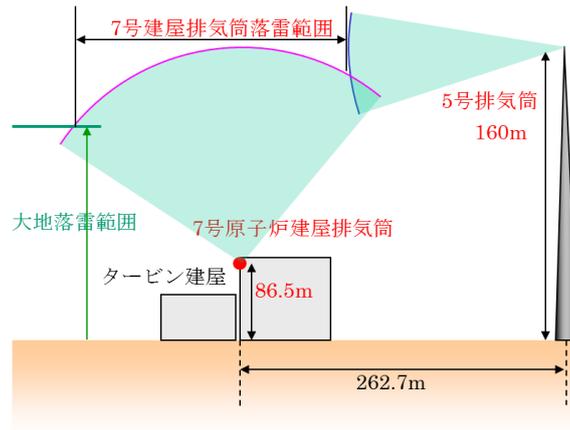


図2-14 落雷頻度評価モデル (断面図)

電気幾何学モデルによる7号炉建屋主排気筒の雷捕集範囲(落雷範囲, 平面図)を図2-15に示す。7号炉建屋排主気筒への落雷面積は、大地の雷捕集と、5号炉主排気筒による遮蔽(青円弧), 並びに避雷鉄塔による遮蔽(赤線)の影響を受け、重なり合った緑色の網掛けで示した円の一部範囲で与えられる。

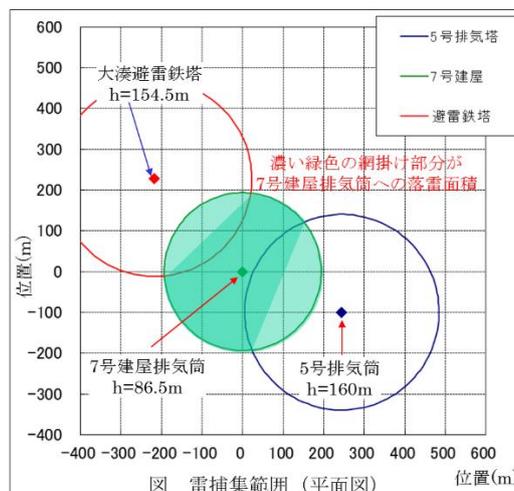


図2-15 落雷頻度評価モデル (断面図)

(4) 落雷頻度の評価結果

雷撃距離に応じた落雷面積を算出する。雷撃距離は(2-1)式で表される雷撃電流の関数であり、落雷面積は雷撃電流波高値の関数となる。そこで、雷撃電流値に対する落雷面積を図 2-16 に示す。

折れ線の条件は、以下のとおり

- 0～27 kA : 遮蔽なし,
- 28～60kA : 大地の遮蔽
- 61～90kA : +5 号炉主排気筒の遮蔽,
- 91～400kA : +避雷鉄塔の遮蔽

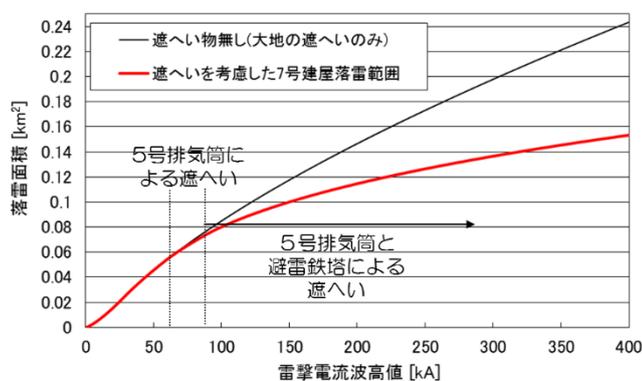


図 2-16 7 号炉建屋主排気筒への想定雷撃の落雷面積

図 2-17 には落雷頻度の算出方法を図示する。まず、落雷面積に大地雷撃密度を乗じると年数当たりの“落雷件数”となる。ここに雷撃距離に対応する雷撃電流の“発生確率密度”を掛けて、400kA から降べきに累積頻度を求めることにより、7 号炉建屋主排気筒の落雷頻度は 0.031[件/年]と評価された。

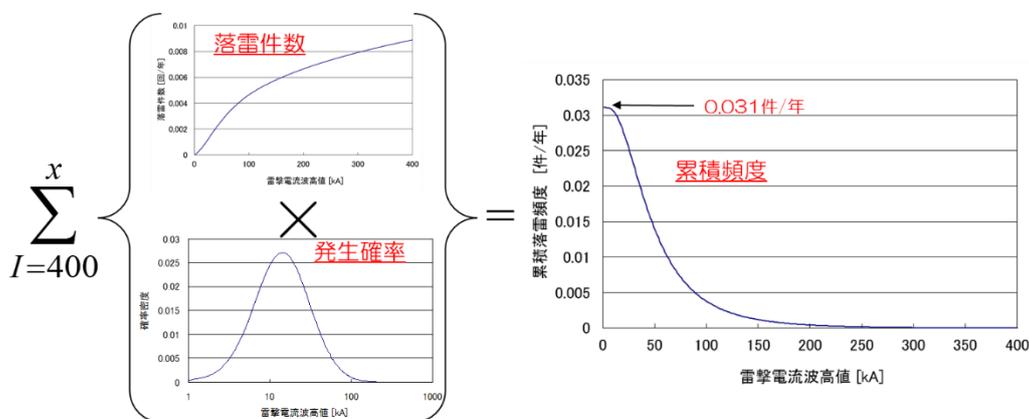


図 2-17 7 号炉建屋主排気筒の想定雷撃電流に対する落雷頻度

(5) 夏季と冬季を個別に考慮した場合の想定雷撃電流値

上記のとおり、夏季を対象とした落雷頻度は0.031[件/年]であり、夏季の落雷発生割合6.7%と再現期間 10^4 年を乗じると、夏季の落雷件数は、

$$0.031 \times 0.067 \times 10^4 = 20.8 \text{ [件]}$$

となる。

一方、1.2.で実施した冬季雷評価では、年間の雷をすべて冬季雷とした結果、再現期間 10^4 年での7号炉への落雷は120[件]となった。したがって、冬季のみを対象とした落雷件数とするためには、冬季の落雷発生割合93.3%を乗じて

$$120 \times 0.933 = 112.0 \text{ [件]}$$

となる。

通年では、 $20.8 + 112.0 = 132.8$ [件]の落雷となり、対応する想定雷撃電流値を雷撃電流発生頻度分布から求めると、161kAと評価される。

この結果は、先の検討結果である156kAをわずかに上回るが、設計基準電流値200kA以下の値である。

参考文献

- (1) 相原 (1994) . 冬季雷に対する雷撃様相並びに雷しゃへい理論の検討ーモデル実験並びに放電シミュレーションによる検討ー 電力中央研究所報告, No. T930063
- (2) T. Shindo ,Y. Aihara and T. Suzuki (1990) . Model experiment of upward leaders - Shielding effects of tall object - IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.5, No.2, pp.716-723

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

原子炉建屋直上の主排気筒へ落雷し、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制御ケーブルに生じる雷サージによって、機器が絶縁破壊に至る可能性がある。そこで、建屋内機器に発生する雷サージ電圧により、建屋内部の電源盤、制御盤等の重要設備が損傷するリスクを評価する。

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、原子炉建屋頂部主排気筒への 200kA の雷撃電流とする。

3.1.2 評価方法

落雷時に電気・計装設備に加わる雷サージ電圧を推定する際に、過去に 7 号炉において実施した雷インパルス試験の結果を使用する。

雷インパルス試験では、雷電流波形を模擬した電流を原子炉建屋と一体化した主排気筒に雷インパルス発生装置（以下、添付資料 9 では IG という。）を用いて印加し、接地網電位上昇、計装制御回路の過電圧の測定を行った。図 3-1 に柏崎刈羽原子力発電所 7 号炉エリアの構内配置、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。印加した雷インパルス電流は正極製で、波頭長 $1.6\sim 2.1\mu s$ 、波尾長 $67\sim 71\mu s$ の波形である。6 号及び 7 号炉については、建屋と主排気筒が一体化しており、建屋への落雷は主排気筒によって全て遮蔽される位置関係にある。6 号炉については、引き下げ導体は設置されておらず、主排気筒接地は建屋接地に接続されている（図 3-2）。7 号炉については主排気筒接地の引き下げ導体（主排気筒から原子炉建屋南側外壁部に接続された約 100 本の避雷銅線）

が建屋南側に設置されている（図 3-3）。雷インパルス試験結果から引下げ導体の有無により建屋内設備の誘導電圧に影響を及ぼすことが確認されている。したがって、本評価においては、雷インパルス試験結果の内、6号炉については「引下げ導体なし」、7号炉については「引下げ導体あり」の結果を用いる。

表 3-1, 3-2 に雷インパルス試験及び、200kA 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の関係にあるとして外挿し算出する。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がないことを確認する。

なお、落雷による施設への影響として、雷サージ以外にもノイズの影響が考えられるが、ノイズにより設備自体が損傷することは無く、安全上重要な設備の機能は維持されることから本評価対象から除外した。

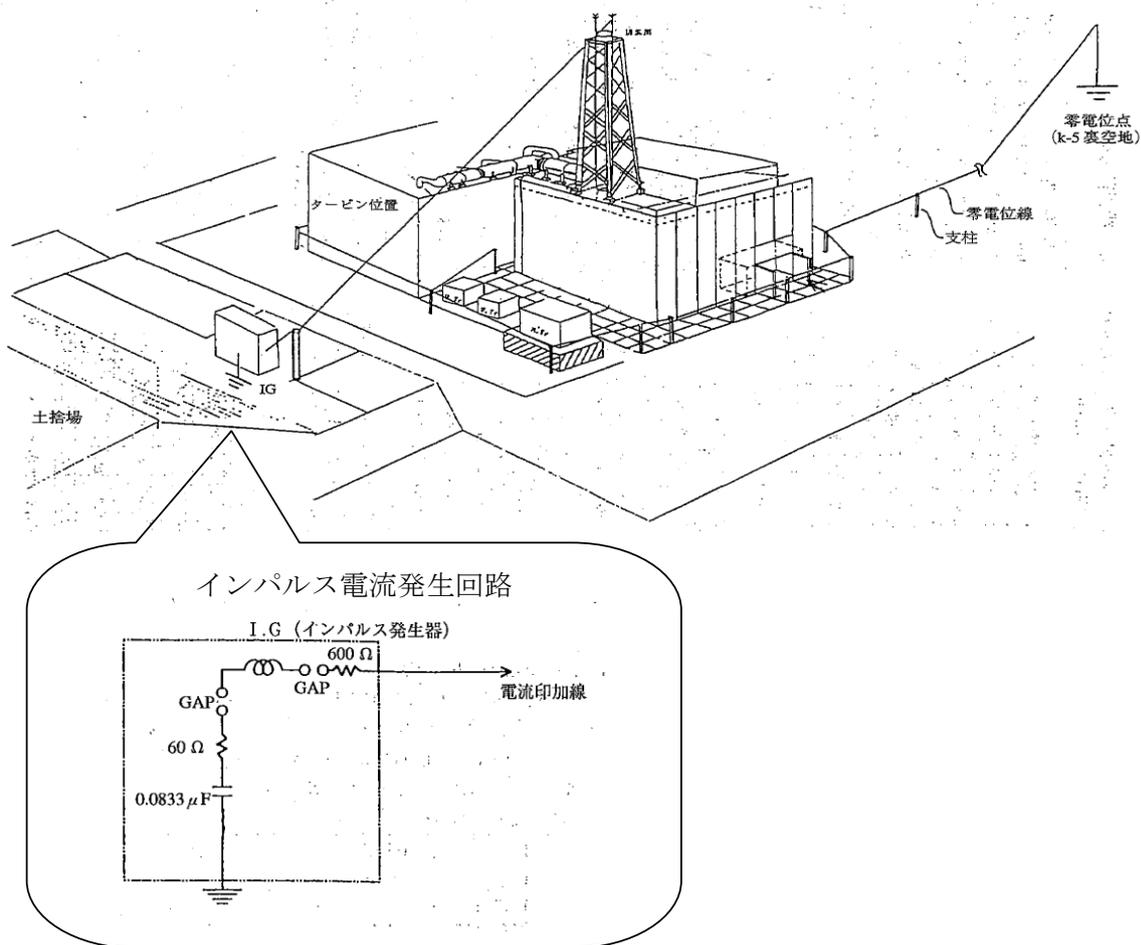


図 3-1 雷インパルス試験

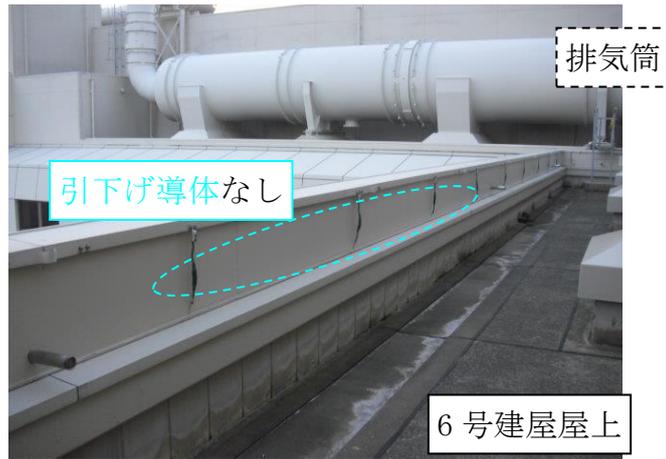


図 3-2 主排気筒引下げ導体なし (6号炉)

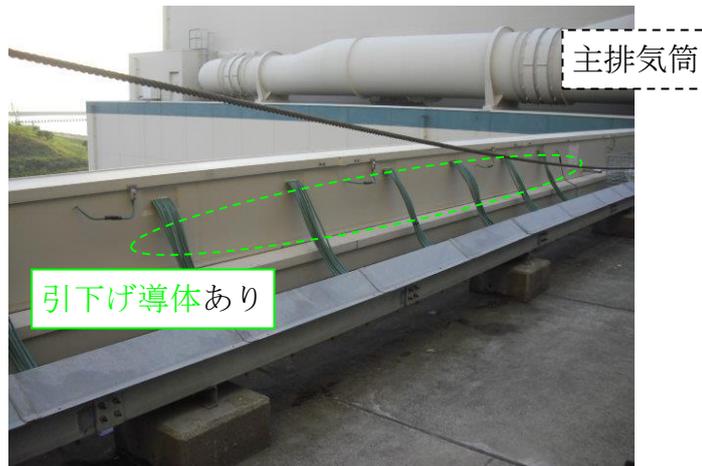


図 3-3 主排気筒引下げ導体あり (7号炉)

表 3-1 雷インパルス測定試験結果 6号炉

発点-着点	ケーブル 種類	誘導電圧測定値(V) (() 内は印加電流 (A))		200kA 落雷時の誘導電 圧(V)	
		発点側	着点側	発点側	着点側
①R/B(FMCRD)-C/B	計装	0.6 (900)	1.06 (888)	133.3	238.7
②R/B(4F 東側)-T/B	計装	3.22 (908)	0.012 (884)	709.3	2.7
③R/B(B1F)-T/B	制御	0.84 (900)	0.042 (900)	186.7	9.3
④R/B(2F)-R/B(B3F)	計装	0.1 (888)	0.24 (896)	22.5	53.6
⑤R/B(FMCRD)-C/B	制御	4.24 (872)	5.0 (904)	972.5	1106.2

表 3-2 雷インパルス測定試験結果 7号炉

発点-着点	ケーブル 種類	誘導電圧測定値(V) (() 内は印加電流 (A))		200kA 落雷時の誘導電 圧(V)	
		発点側	着点側	発点側	着点側
①R/B(FMCRD)-C/B	計装	1.1 (868)	0.34 (872)	253.5	78.0
②R/B(4F 東側)-T/B	計装	5.04 (876)	0.32 (868)	1150.7	73.7
③R/B(B1F)-T/B	制御	1.04 (904)	1.4 (868)	230.1	322.6
④R/B(2F)-R/B(B3F)	計装	0.12 (864)	0.66 (872)	27.8	151.4
⑤R/B(FMCRD)-C/B	制御	4.32 (872)	2.8 (852)	990.8	657.3

3.1.3 雷サージ耐電圧値

(1) 電源盤・制御盤

JEC-0103(2005)「低圧制御回路試験電圧標準」⁽¹⁾において安全機能を有する設備で要求される電源盤・制御盤の耐電圧値 2000V～7000V を用いる。

(2) 計装設備

計装設備については、個別機器に対して耐電圧値を明確に定めた基準は無いが、JEC-0103 より電気所の主回路に地絡事故が発生した場合の商用周波数過電圧に対し、実力値 1000V～1500V を有していることから、耐電圧値としても 1000V を採用する。

3.2 評価結果

3.2.1 影響評価 (6号炉)

(1) 電源盤・制御盤

200kA 落雷時の雷サージ電圧として、表 3-1 の最大値である 1106.2V を用いる。

3.1.3 より電源盤・制御盤の耐電圧値は 2000V～7000V であるため、安全機能が損なわれることはない。

(2) 計装設備

計装設備について、R/B4F に設置された設備に関しては、雷サージ電圧値として表 3-1 から R/B(4F 東側)～T/B 間の電位上昇値 709.3V を用いた場合でも、耐電圧値 1000V を下回り、設備への影響はない。

R/B4F 以外に設置されている計測制御設備について最大の電位上昇が見られたのは R/BM4F に設置してある FMCRD 制御盤～C/B (中操) 間を融通している値であるが、このときの値は 238.7V であり機器の損傷には至らない。(表 3-3)

表 3-3 評価結果 (6号炉)

評価対象設備		雷サージ (V)	雷サージ 耐電圧(V)	評価
電源盤・制御 盤	各建屋内・ 各建屋間	1106.2	2000～	影響なし
計装設備	R/B 4F 東側～ 各建屋	709.3	1000～	影響なし
	R/B 4F 東側～C/B	238.7	1000～	影響なし
	R/B(4F 東側除く) 及び各建屋内～ R/B(4F 東側除く) 及び各建屋内	226.7	1000～	影響なし

3.2.2 影響評価 (7号炉)

(1) 電源盤・制御盤

200kA 落雷時の雷サージ電圧として、表 3-2 の最大値である 1150.7V を用いる。

3.1.3 より電源盤・制御盤の耐電圧値は 2000V～7000V であるため、安全機能が損なわれることはない。

(2) 計装設備

R/B 4F 東側に設置の評価対象機器は R/A 外気差圧発信器と燃料取替えエリア放射線モニタ (B), (D) である。R/B～T/B を融通する R/A 外気差圧発信器に対しては、1150.7V を 200kA 落雷時の雷サージ電圧として用いる。当該機器にはアレスタ (耐電圧値: 15kV) が内蔵されており、機器に影響を及ぼすことは無い。また、放射線モニタは R/B～C/B 間を融通するケーブルであることから、R/B(FMCRD)～C/B の値 253.5V を用いる。3.1.3 より計装設備の耐電圧値は 1000V であるため、安全機能が損なわれることはない。

R/B 4F 東側を除くエリアに設置されている計装設備については、R/B(FMCRD)～C/B の値 253.5V を 200kA 落雷時の雷サージ電圧として用いる。3.1.3 より計装設備の耐電圧値は 1000V であるため、安全機能が損なわれることはない。(表 3-4)

表 3-4 評価結果 (7 号炉)

評価対象設備		雷サージ (V)	雷サージ 耐電圧(V)	評価
電源盤・制御 盤	各建屋内・ 各建屋間	990.8	2000～	影響なし
計装設備	R/B 4F 東側～T/B	1150.7	15000 (差圧発信 器)	影響なし
	R/B 4F 東側～C/B	253.5	1000～	影響なし
	R/B(4F 東側除く) 及び各建屋内～ R/B(4F 東側除く) 及び各建屋内	178.1	1000～	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 200kA の落雷に対して、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉における安全施設の機能が損なわれないことを確認した。

参考文献

- (1) JEC-0103(2005) 低圧制御回路試験電圧標準
- (2) 共同研究報告書 「排気筒を一体化したプラントにおける耐雷設計妥当性確認試験」平成 9 年度最終報告書 (平成 9 年 9 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、柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉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血液位計」（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. 柏崎刈羽原子力発電所における耐雷設計

安全保護回路のケーブルに、建屋（原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋）間を跨るケーブルものがあるものの、各建屋は距離的に近接しており、六ヶ所再処理施設のように広範な敷地に点在した建屋間を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、トレンチ内ケーブルの安全保護回路の損傷による影響はない。

また、軽油タンク・燃料移送系等安全上重要な屋外回路については、保安器を設置する対策を取っている。

地滑り影響評価について

1. 基本方針

安全施設のうち外部事象防護対象施設は斜面からの離隔距離を確保し地滑りのおそれがない位置に設置することにより安全機能を損なわない設計とする。

また、上記以外の安全施設については、斜面からの離隔距離を確保し地滑りのおそれがない位置に設置すること、若しくは、地滑りによる損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

2. 周辺斜面評価

6号及び7号炉原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，屋外設備である軽油タンク及び燃料移送ポンプのうち最も斜面に近い6号炉軽油タンクでも，近傍の斜面より80m以上の離隔距離を確保しており，万が一当該斜面に地滑りが生じた場合であっても，影響が及ぶことはない。（図1参照）

したがって，防護対象である安全施設のうち，外部事象防護対象施設に影響はない。

3. 地滑り地形分布

地滑りについて，防災科学技術研究所が公開している地すべり地形分布図により，安全施設の安全機能に及ぼす影響について確認した。図2に示す地すべり地形分布図のとおり，発電所敷地内に地すべり地形があることは確認されず，防護対象である安全施設のうち，外部事象防護対象施設に影響はない。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

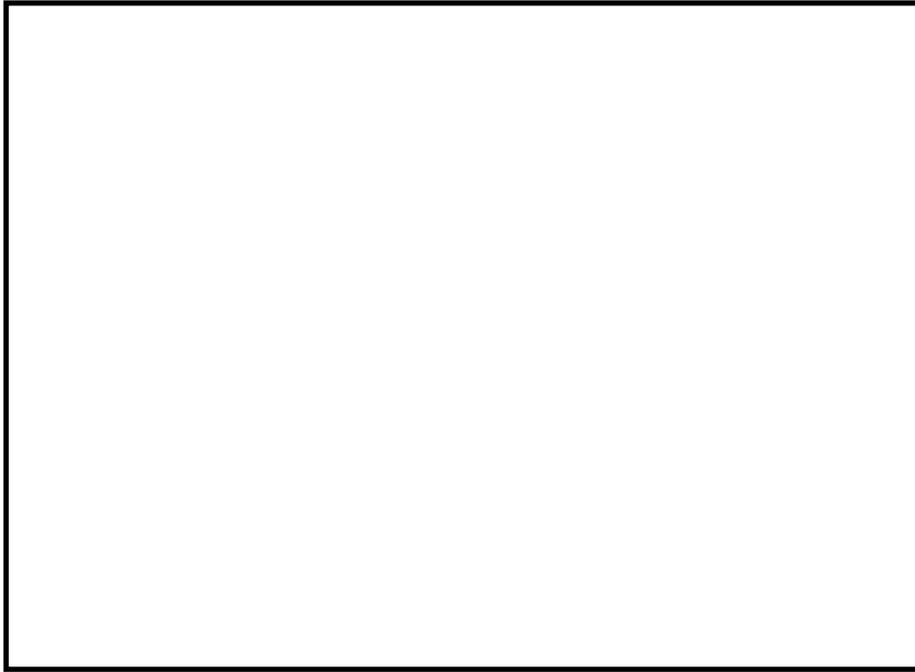


図1 斜面との離隔距離

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

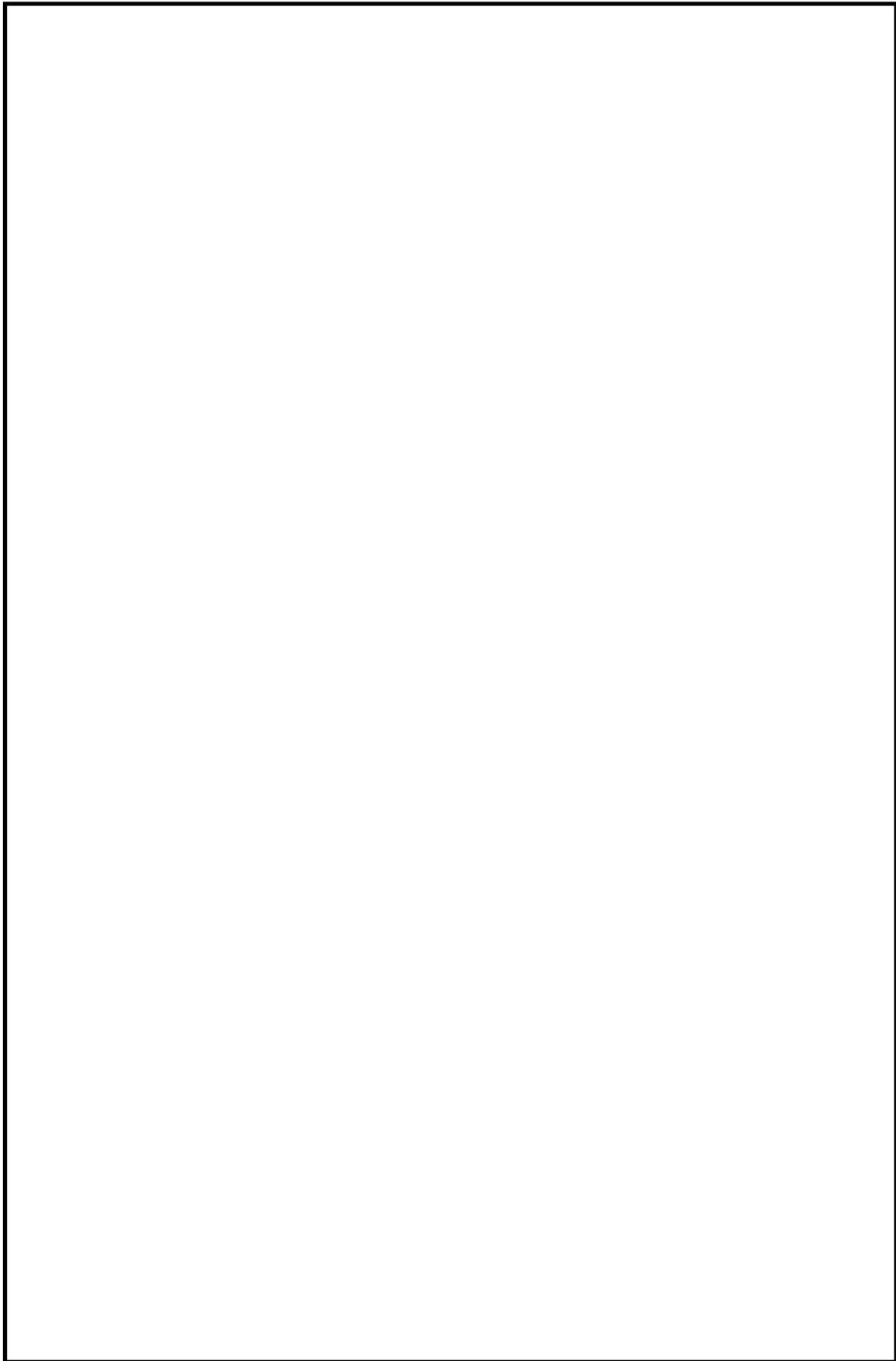


図2 地滑り地形分布図 (出典：独立行政法人 防災科学技術研究所)

生物学的事象影響評価について

1. 生物学的事象に対する考慮

生物学的事象として、海生生物であるクラゲ等の発生、陸上では小動物等の侵入を考慮する。

クラゲ等の発生に対して、表層のクラゲ等は防波堤内側に設けたカーテンウォールにより深層の海水を取水することにより影響を防止する。また、カーテンウォールを通過したクラゲ等を含む塵芥による原子炉補機冷却系等への影響を防止するため、取水路に設置したトラベリングスクリーン等の除塵装置により塵芥を除去し、安全機能を損なわない設計とする。また、除塵装置を通過する貝等に対して、原子炉補機冷却系海水ポンプ出口に設置する海水ストレーナにより原子炉補機冷却海水系への影響を防止する設計とする。更に、定期的な開放点検、清掃が可能な設計とする。また、原子炉補機冷却系等に影響を与える場合には、運転手順により発電用原子炉を安全に出力低下・停止できる運用としている。

小動物の侵入に対しては、屋内設備について建屋貫通部への止水処置等により、屋外設備について端子箱貫通部への止水処置等により侵入を防止する設計とする。また、侵入を仮定しても区分分離した安全機能が同時に機能喪失することはない。

以下に除塵装置の配置・構造及び運用について示す。

(1) 除塵装置の配置・構造

原子炉補機冷却系取水に混入するクラゲ等を含む塵芥をバー回転式スクリーン及びトラベリングスクリーンの網目で捕集し、スクリーンに付着した塵芥はポンプから供給される洗浄水により洗浄除去する。また、水路ごとにバー回転式スクリーン前部とトラベリングスクリーン後部に水位検出器を設置し、水位・水位差の検出を行い、自動起動・停止並びに監視を行う。また、スクリーンの状況については工業用カメラにおいても監視可能である。

図 1、図 2 に取水施設概要図、除塵装置概略図を示す。

(2) 海生生物来襲時の運用

除塵装置は、通常、自動起動・停止を行っている。スクリーン前後の水位差が 400mm 以上となった場合、除塵装置が自動起動し、塵芥を掻き上げるとともにスクリーンの洗浄を行う。

スクリーンの閉塞等により水位差大警報が発信した場合、海水ポンプの運転状態を確認しながら除塵装置の手動操作等を行い、水位回復を図る。さらに、原子炉補機冷却系・循環水系に影響が及ぶ可能性がある場合には、循環水ポンプを順次停止（あわせて安全に発電用原子炉の出力低下・停止）することにより、海生生物の取水路への流入軽減を図り水位を回復する手順を整備する。

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



図1 取水施設概要図 (7号炉の例)



図2 除塵装置概略図 (7号炉の例)

有毒ガス影響評価について

1. 評価概要

有毒ガスの毒性が人に与える影響に着目し、中央制御室等（6号及び7号炉中央制御室、5号炉原子炉建屋内緊急時対策所）の居住性評価を実施する。有毒ガスの発生源から、以下(a)～(c)に大別し影響を評価する。

- (a) 原子力発電所敷地外からの影響
- (b) 原子力発電所敷地内の固定施設（屋外設備）からの影響
- (c) 原子力発電所敷地内の屋内設備からの影響

2. 原子力発電所敷地外からの影響

2.1 評価対象

敷地外からの有毒ガスの発生源は、石油化学コンビナート等の固定施設の流出事故、及びタンクローリや海上を航海するケミカルタンカー等の可動施設の輸送事故が想定される。表1に、評価対象に選定した事故の種類を示す。

表1 評価対象事故（原子力発電所敷地外）

原子力発電所敷地外	固定施設	石油化学コンビナート等の固定施設の流出事故
	可動施設	陸上トラックの輸送事故
		鉄道車両の輸送事故
		海上船舶の輸送事故

2.2 敷地外固定施設の流出事故の影響

石油化学コンビナート等の固定施設については、石油コンビナート等災害防止法に基づき、災害の発生のおそれ及び災害による影響について科学的知見に基づく調査、予測、評価及び対策の実施が求められており、当該施設の敷地外へは影響がないことが確認されている。

また、柏崎刈羽原子力発電所の周辺の、石油化学コンビナート等の大規模な有毒物質を貯蔵する固定施設は、最も近いものでも30km以上離れているため影響を及ぼすことはない(図1)。

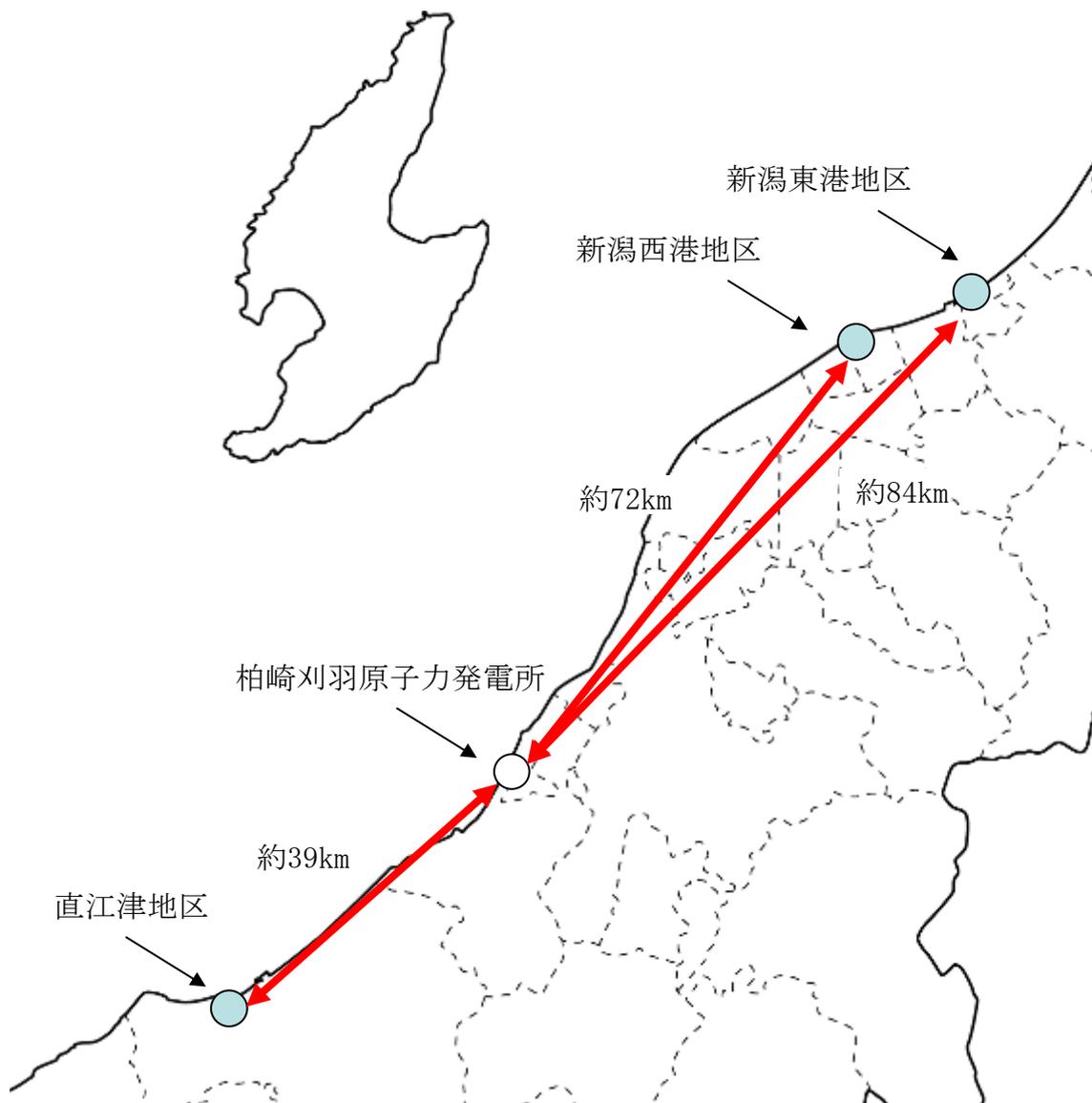


図1 柏崎刈羽原子力発電所周辺の石油化学コンビナート

注) 図の位置は、おおよその場所を表している

2.3 敷地外可動施設からの流出の影響

全国的に生産量及び輸送量が特に多く、専用の大型輸送容器が使用されている毒性物質の中で、特に毒性の強い物質として塩素（輸送時の性状は液化塩素）を代表として想定する。塩素専用の大型輸送容器による輸送は、陸上輸送ではタンクローリや鉄道のタンク貨車、海上輸送では塩素を専用でばら積み輸送するケミカルタンカーにて行われる。

液化塩素ガスを積載するタンクローリは、高圧ガス保安法や、毒物及び劇物取締法によって容器の設計、製造、取扱いの規制を受ける。事故等の衝撃により弁等の突出部が破損しガスが漏えいすることを防ぐための保護枠の設置や、ガス容器が二重構造であることから信頼性が高く、交通事故等が発生した場合

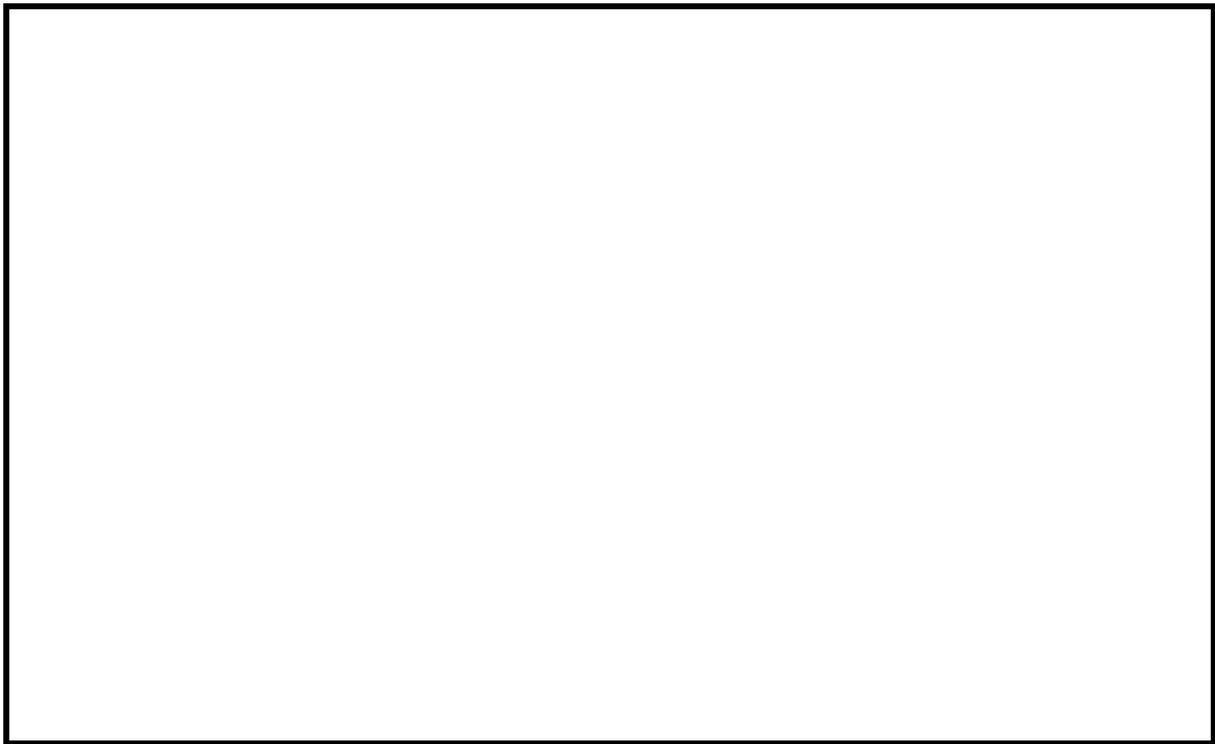
であっても流出に至りにくい。また、万一流出に至った場合の対応に必要な、中和剤（消石灰、苛性ソーダ）や呼吸器、防護具等を積載している。このため、タンクローリーの輸送事故による中央制御室等への影響はない。なお、主要な道路としては、敷地境界付近に国道352号線があり、中央制御室等から最短距離は約720mである（図2）。

本発電所に近い鉄道路線には東日本旅客鉄道株式会社越後線及び信越本線があるが、越後線については貨物列車の運行がなく、信越本線については約8.6km程度の距離がある（図3）。このため、有毒ガスを積載した鉄道車両の事故等による有毒ガスの中央制御室等への影響はない。また、タンク貨車についても高圧ガス保安法や、毒物及び劇物取締法によりタンクローリーと同様の規制を受けており流出に至りにくい構造である。

航路に関して、HNS（Hazardous and Noxious Substances：有害・危険物質）輸送船舶について調査したところ、最も距離の近い航路は佐渡付近を航行するものであり、離隔距離は約30kmであることを確認した（図4）。したがって、航路上の船舶の輸送事故による有毒ガスが中央制御室等に影響を与えることはない。

また、航路からの離隔距離があることから、漂流した船舶が発電所周辺まで流れてくる可能性は低い。さらに、漏えい時には自動で作動する緊急遮断弁や二重構造等による特殊な船体構造を有しており、万一船舶がプラント内に進入し、座礁、転覆した場合においても、積荷が漏えいすることは考えにくい。また流出が生じて中和剤（苛性ソーダ）を介してから海上に放出される構造となっている。このため、有毒ガスを積載した船舶の事故等による有毒ガスの中央制御室への影響はない。

以上より、敷地外可動施設からの有毒物質が大気に放出され中央制御室等に影響が及ぶことはない。



枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

図 2 発電所敷地周辺図（幹線道路）



図 3 発電所敷地周辺図（鉄道路線）



図4 発電所敷地周辺図（船舶航路）

3 発電所敷地内の固定施設（屋外設備）からの影響

3.1 評価の概要

敷地内の建屋外に設置されている有毒物質を貯蔵する容器が損傷することによる有毒ガスの影響を評価する。判断基準としては IDLH^{*}に加え、窒息性ガスについても考慮し、酸素濃度が許容濃度限界を下回らないことを基準とする。

※ IDLH…急性の毒性限界濃度（30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える曝露レベルの濃度限度値）

3.2 評価対象物質及び固定施設

柏崎刈羽原子力発電所の屋外設備に貯蔵されている化学物質について、米国立労働安全衛生研究所（NIOSH）による IDLH の一覧表を参考に調査したところ、塩化水素、過酸化水素、水加ヒドラジン、6 フッ化硫黄等の物質が貯蔵されている（表 2, 3）。IDLH の低さと蒸発のしやすさの観点から比較すると最も評価が厳しい物質は塩化水素であるため（表 2）、当該物質の水溶液である塩酸が貯蔵されている荒浜側水処理建屋を評価の対象とする。

塩化水素以外の有毒ガスについては、個別設備間の距離を踏まえても、以下の理由から塩化水素に比べ中央制御室等の居住性の影響は小さい。

- ・炭酸ガスは、最短の離隔距離は 101m（5号機屋外ボンベ室－5号炉原子炉建屋内緊急時対策所間）と比較的接近しているものの、各号機ボンベ建屋、No.1～4 ボンベ室に貯蔵されている各ボンベの容量は 30kg 及び 45kg と小さく、また IDLH 値は 40000 と塩化水素（IDLH：50）に比べ非常に大きいことから、塩化水素に比べ影響は小さい。
- ・希硫酸は、IDLH の値が 3(15mg/m³)と小さいが、不揮発性であることから中央制御室等の居住性に影響しない。なお、最短の離隔距離は 82m（大湊側補助ボイラー－5号炉原子炉建屋内緊急時対策所間）である。
- ・水加ヒドラジンは 20kg（濃度 60%）、0.7m³（濃度 1%）と貯蔵量が小さく、また沸点が 114℃と塩化水素水溶液（58℃）より高く揮発性も低いと考えられることから、中央制御室等の居住性に与える影響は塩化水素に比べ小さいと考えられる。なお、最短の離隔距離は 82m（大湊側補助ボイラー－5号炉原子炉建屋内緊急時対策所間）である。
- ・過酸化水素は、最短の離隔距離が 1359m（2号機循環水建屋－6号及び7号炉中央制御室間）と比較的離れており、IDLH 値が 75 と塩化水素（IDLH：50）より高く、また沸点が 150℃と塩化水素水溶液（58℃）より高く揮発性が低いと考えられることから、塩化水素に比べ影響は小さい。
- ・6 フッ化硫黄は、IDLH は設定がなされておらず、有害性が極めて小さい

ことから、影響はない。なお、最短の離隔距離は 1116m（高圧開閉所－6号及び7号炉中央制御室間）

また、窒息性を有するガスとしては、敷地内での貯蔵量が多く、影響が大きいと考えられることから、原子炉格納容器内注入等に用いられる液化窒素貯槽を対象とする。窒素が漏えいし外気取入口に侵入した場合、酸素ガスとの置換により酸欠状態になることが想定されるため、仮に全量漏えいした場合にガスが中央制御室等に影響を及ぼすか否かを評価する。

表 4 に評価対象物質及び施設名を、図 5 に敷地内の配置図を示す。

表 2 発電所敷地内有毒物質の IDLH 及び沸点

化学物質名	IDLH[ppm]	沸点[°C]
炭酸ガス	40000	-78.5（昇華点）
硫酸	3(15mg/m ³)	340
水加ヒドラジン	50	114
塩化水素（35%水溶液）	50	58
過酸化水素	75	150
6 フッ化硫黄	1000(TLV-TWA 値※)	-63.8

※TLV-TWA（Threshold Limit Values-Time Weighted Average）値

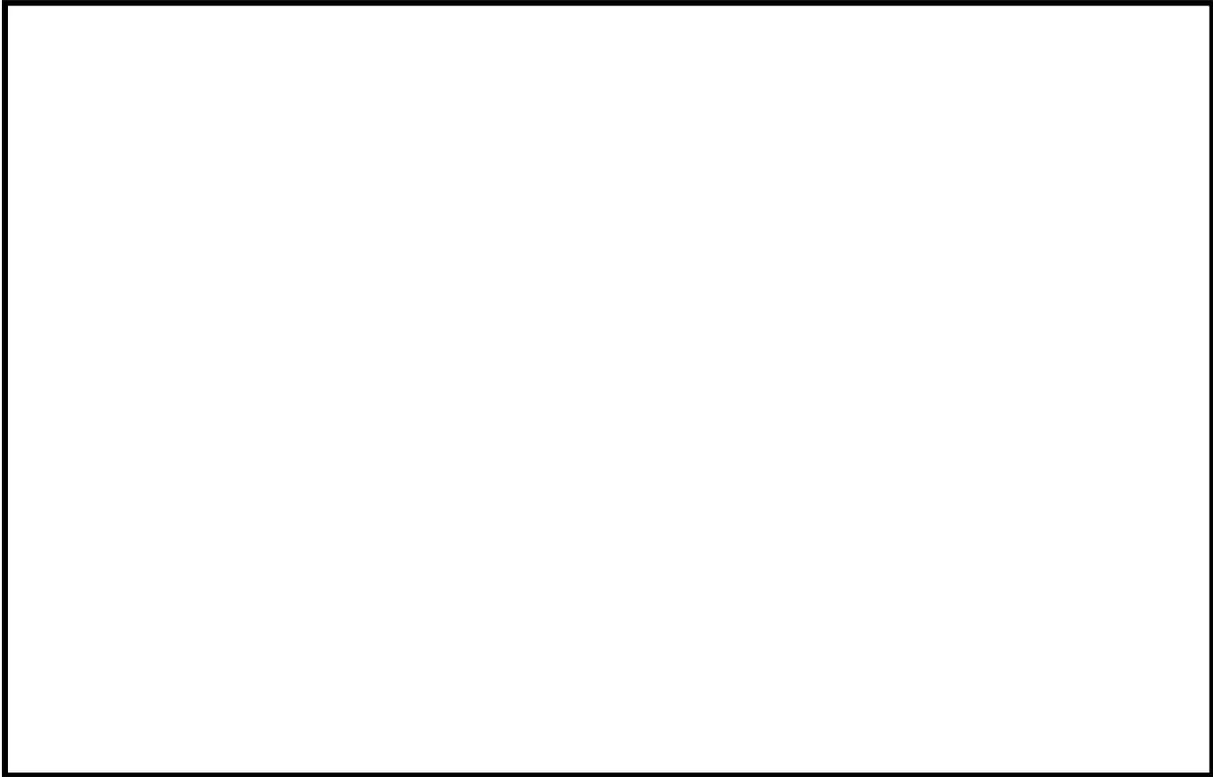
ACGIH（米国産業衛生専門家会議）にて定められた値で、毎日繰り返し曝露したときほとんどの労働者に悪影響がみられないような大気中の物質濃度の時間加重平均値で、通常、労働時間が 8 時間／日及び 40 時間／週での値。

表3 発電所敷地内の有毒物質

名称	内容物	容量	離隔距離	
			6号及び7号 炉中央制御 室	5号炉原子 炉建屋内 緊急時対 策所
1号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×16	—	—
2号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×16	—	—
3号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×16	—	—
4号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×16	—	—
5号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×16	—	101m
6号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×17	149m	—
7号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×17	—	—
No.1～4 ボ ンベ室倉庫	炭酸ガス	30kg, 45kg ボンベ 計 2700kg	1469m	1679m
大湊側補助 ボイラー	希硫酸	250L	273m	82m
大湊側補助 ボイラー	水加ヒドラジン	20kg (60%) 0.7m ³ (1%)	273m	82m
水処理建屋	塩化水素 (塩酸)	5.9m ³	1565m	1775m
1号機 循環水建屋	過酸化水素	0.6m ³	1585m	1785m
2号機 循環水建屋	過酸化水素	0.6m ³	1359m	1562m
高圧開閉所	6フッ化硫黄	60874kg (500kV GIS)	1116m	1325m

表 4 評価対象物質及び固定施設名

号炉	対象設備名
6号及び7号炉	塩化水素（荒浜側水処理建屋）
	液化窒素ガス（液化窒素タンク）



枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

図5 敷地内固定施設（屋外設備）の配置図

3.3 評価方法

3.3.1 有毒ガス影響評価（塩化水素）

3.3.1.1 評価の概要

影響評価については次の(1)～(3)を考慮し、貯蔵施設から放出された有毒ガスの中央制御室外気取入口における濃度（IDLH）を評価する。概要について図6に示す。

(1) 貯蔵施設から流出した有毒物質の大気への放出率

敷地内の固定施設は一定水準の強度を確保して設計されていることから、現実的には損傷容器の損傷孔サイズはそれほど大きいものではなく、有毒物質水溶液の液溜りが広がるには時間を要するものと考えられる。しかし、本評価においては、保守的に貯蔵施設から流出した有毒物質水溶液の液溜

まりが瞬時に堰底面全体に広がった状態を想定して評価を行う。

液溜りから大気中への有毒物質の放出率は、有毒物質水溶液の液溜りが堰底面積全面に広がった状態で、液溜りからの蒸発、及び堰内での上方への濃度拡散が最終的な定常状態にあるとして、拡散方程式に基づき評価する。

(2) 大気へ放出した有毒物質の大気拡散

有毒物質の濃度評価に用いる相対濃度 (α/Q) は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」の大気拡散の評価にしたがい、年間について小さい方から順に並べた累積出現頻度 97%に当たる値を用いた。

(3) 中央制御室等における有毒物質の濃度評価について

中央制御室等における濃度については、有毒物質の大気への放出率及び大気拡散の評価により、中央制御室等外気取入口における有毒物質の最大濃度を評価し、判断基準と比較する。

3.3.1.2 大気放出率の算出方法

堰内での拡散による濃度分布は次式の拡散方程式を用いて計算できる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right) + q$$

ここで、

$$q = Q/(Adz) \quad \text{ただし、} \quad q = 0 \quad \text{for } z \neq 0$$

C : 濃度 [kg/m³]

w : 上向きの流れ [m/s]

D : 分子拡散係数 [m²/s]

z : 液面からの高さ [m]

q : 蒸発による付加項 [s⁻¹]

Q : 蒸発流量 [m³/s]

A : 液溜り面積 [m²]

定常状態では堰上端部付近での有毒ガスの濃度勾配に応じて単位時間あたり大気へ放出されることになるため、次式にて大気放出率を計算できる。

$$F = -D \frac{\partial C}{\partial z} A$$

F : 堰上端部からの大気放出率 [kg/s]

D : 分子拡散係数 [m²/s]

C : 濃度 [kg/m³]

z : 液面からの高さ [m]

A : 液溜り面積[m²]

また定常状態において堰上端部で濃度ゼロとなる濃度勾配は、液面からの高さに比例して減少する。

そこで評価においては、液溜りが堰底面全面に広がった状態で、水溶液面直上での濃度が保守的に有毒ガスの飽和蒸気圧に相当する濃度であるとして、液溜りからの蒸発が定常状態になったときの大気放出率を以下のように計算する。

$$F = D \frac{C_{Ps}}{z_0} A_0$$

$$C_{Ps} = \frac{MP_s}{1000RT}$$

F : 堰上端部からの大気放出率[kg/s]

D : 分子拡散係数[m²/s]

C_{Ps} : 水溶液面直上での濃度[kg/m³]

z_0 : 堰高さ[m]

A_0 : 堰底面積[m²]

M : 分子量[g/mol]

P_s : 飽和蒸気圧[Pa]

R : 気体定数[8.314 m² kg/(s² K mol)]

T : 絶対温度[303 K]

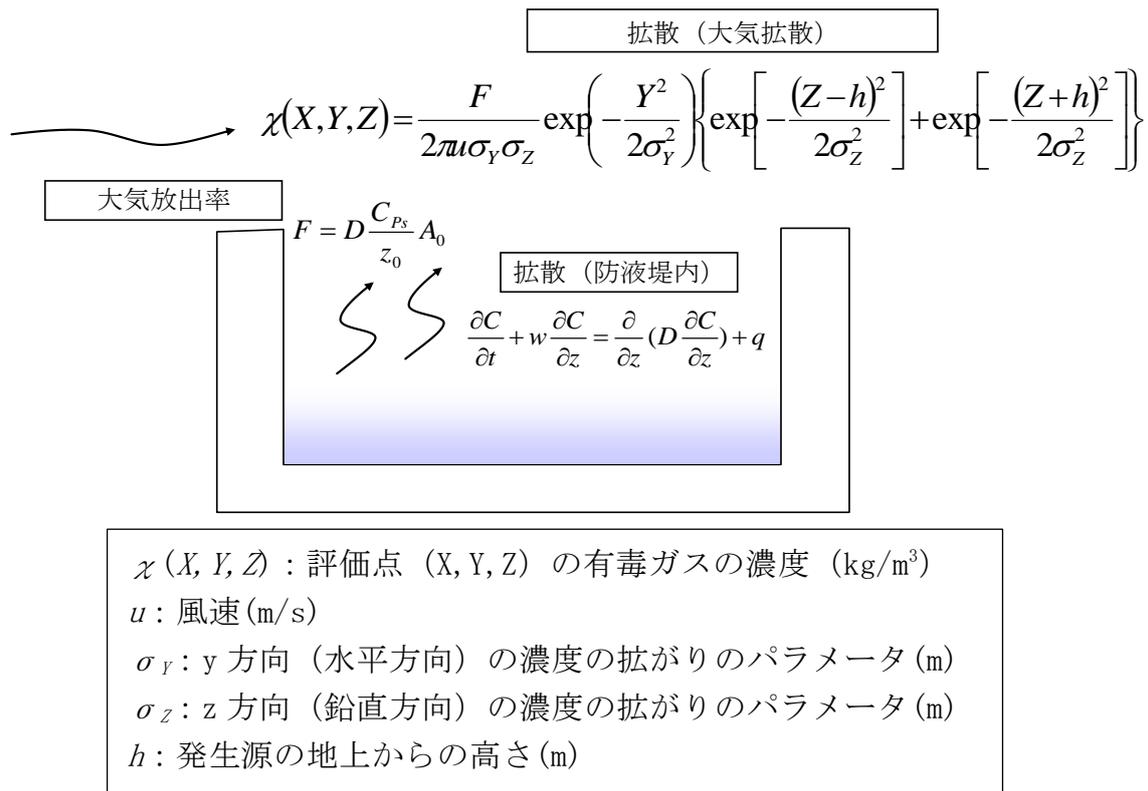


図6 有毒ガス大気放出の考え方

3.3.1.3 評価条件

放出率の評価条件を表5, 大気拡散評価の条件を表6に示す。

表5 放出率評価条件 (塩化水素)

評価点	6号及び7号炉 中央制御室	5号炉原子炉建屋内 緊急時対策所
離隔距離 [m]	1583	1791
塩酸タンク貯蔵量 [m ³]	5.9	
判断基準 (IDLH) : 塩化水素濃度 [ppm]	50	

表6 大気拡散条件（塩化水素）（1/2）

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイド ^{*1} に示されたとおり設定
気象データ	柏崎刈羽原子力発電所における1年間の気象データ(1985年10月～1986年9月)	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため保守的に地上風(地上約10m)の気象データを使用 審査ガイドに示されたとおり、柏崎刈羽原子力発電所において観測された1年間の気象データを使用
実効放出継続時間	1時間	保守的に1時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源：水処理建屋 放出高さ：地上0m	審査ガイドに示されたとおり設定 ただし、放出エネルギーによる影響は未考慮
累積出現頻度	小さい方から累積して97% (6号及び7号炉中央制御室及び5号炉原子炉建屋内緊急時対策所に関しては、97%以下の値が出ないことから、98.09%値)	審査ガイドに示されたとおり設定
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため、建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	水処理建屋	放出源であり、巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	6号及び7号炉中央制御室、 5号炉内緊急時対策所	審査ガイドに示されたとおり設定
着目方位	6号及び7号炉中央制御室： 1方位(SSW) 5号炉原子炉建屋内 緊急時対策所： 1方位(SSW)	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定

表6 大気拡散条件（塩化水素）（2/2）

項目	評価条件	選定理由
建屋投影面積	283m ²	審査ガイドに示されたとおり設定 風向に垂直な投影面積のうち最も小さいもの
形状係数	1/2	内規 ^{※2} に示されたとおり設定

※1：実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※2：原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

3.3.1.4 評価結果

漏えいした塩化水素の中央制御室等外気取入口における濃度の評価結果を表7に示す。結果より、有毒ガスの濃度がIDLH以下であり問題ないことを確認した。

表7 中央制御室等外気取入口における有毒物質濃度（塩化水素）

評価点	6号及び7号炉中央制御室	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所
塩酸タンク貯蔵量[m ³]	5.9	
大気放出率[g/s]	1.54	
離隔距離[m]	1583	1791
相対濃度[s/m ³]	6.90×10^{-7}	6.10×10^{-7}
外気取込口濃度[ppm]	7.23×10^{-4}	6.39×10^{-4}
判断基準(IDLH)： 塩化水素濃度[ppm]	50	
評価結果	影響なし	影響なし

3.3.2 有毒ガス影響評価（液化窒素）

3.3.2.1 評価概要

空气中濃度の計算は、以下の考え方で行う。

$$K_n = K_0 + M/V$$

K_n ：室内ガス濃度[Vol%]

K_0 ：外気中のガス濃度[Vol%]

M : ガス放出量[m³]

V : 空間体積[m³]

酸素欠乏等防止規則によると、酸素欠乏の定義を「空気中の酸素濃度が18%未満の状態」としており、この値を下回ると吐き気やめまい、呼吸困難等の症状が現れることから、空気中のアルゴン等の組成1%を考慮し、居住空間内での窒素濃度限界を81Vol%とする。

また、初期状態における外気中の窒素ガス濃度を78Vol%とする。評価の前提条件として、対象とする設備の窒素ガス放出量から窒素限界濃度に至る体積及びガス放出源からの距離を算出し、それが外気取入口までの離隔距離未満であることを確認する。

また、液化窒素ガスの場合、常温大気中に放出された窒素は急速に沸騰、膨張し、それに伴い体積も数百倍程度に増加する。また、空気中に元々約78%存在する窒素に対しては、蒸発により屋外で濃度差無く均一に拡散する挙動を示すことから、本評価においては、窒素ガスが半球状に一樣に膨張すると仮定した。

液化窒素タンクは、1号炉原子炉建屋近傍と5号炉原子炉建屋近傍に設置している。貯蔵量は1号炉側が109m³、5号炉側は108m³であるため、両者を包絡する条件として109m³を設定する。評価条件を表8に示す。

3.3.2.2 評価結果

評価結果を表9、酸欠雰囲気となる範囲を図7に示す。6号炉及び7号炉に最も近い5号炉液化窒素貯槽から液化窒素全量が漏えいした場合、窒素の体積は 7.7×10^4 m³となる。これが気体のフラッシュにより瞬時全量揮発したモデルとして半球上の領域に均一に拡散したと仮定すると、酸欠雰囲気（酸素分圧18%以下）となる領域半径は約107mとなる。ここで液化窒素タンクから6号及び7号炉中央制御室までの離隔距離は約167mあり、外気取入口付近において酸欠雰囲気以上に至る程の窒素を中央制御室へと取り込むことはない。また、大気中を拡散する間に更なる希釈効果にも期待できることから、中央制御室への影響はない。

なお、本モデルでは無風の状態を想定している。風が吹いている場合を想定しても、風により拡散が促進され窒息雰囲気の体積はより小さくなること、仮に中央制御室の空調ルーバに到達した場合であっても窒息雰囲気は風により流されることから、中央制御室の空調バウンダリ内が窒息濃度となるほど長時間中央制御室前面に留まる事はなく、中央制御室への影響はない。

なお、5号炉原子炉建屋内緊急時対策所については、離隔距離（5号炉液化窒素貯槽）が危険距離を下回ることから、次項にて、5号炉原子炉建屋内緊急時対策所の窒素濃度について詳細に評価を行う。

表8 評価条件（液化窒素）

項目	数値
K_n ：室内ガス濃度限界値[Vol%]	81
K_o ：外気中のガス濃度[Vol%]	78
液化窒素タンク貯蔵量[m ³]	109

表9 評価結果（液化窒素）

評価点	6号及び7号炉中央制御室	5号炉原子炉建屋内 緊急時対策所
M ：ガス放出量 [m ³] (25°C, 1atm)	7.7×10^4	
危険距離 [m]	107	
離隔距離（1号炉 液化窒素貯槽） [m]	1519	1770
離隔距離（5号炉 液化窒素貯槽） [m]	167	100
評価結果	影響なし	次項にて 詳細評価

枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

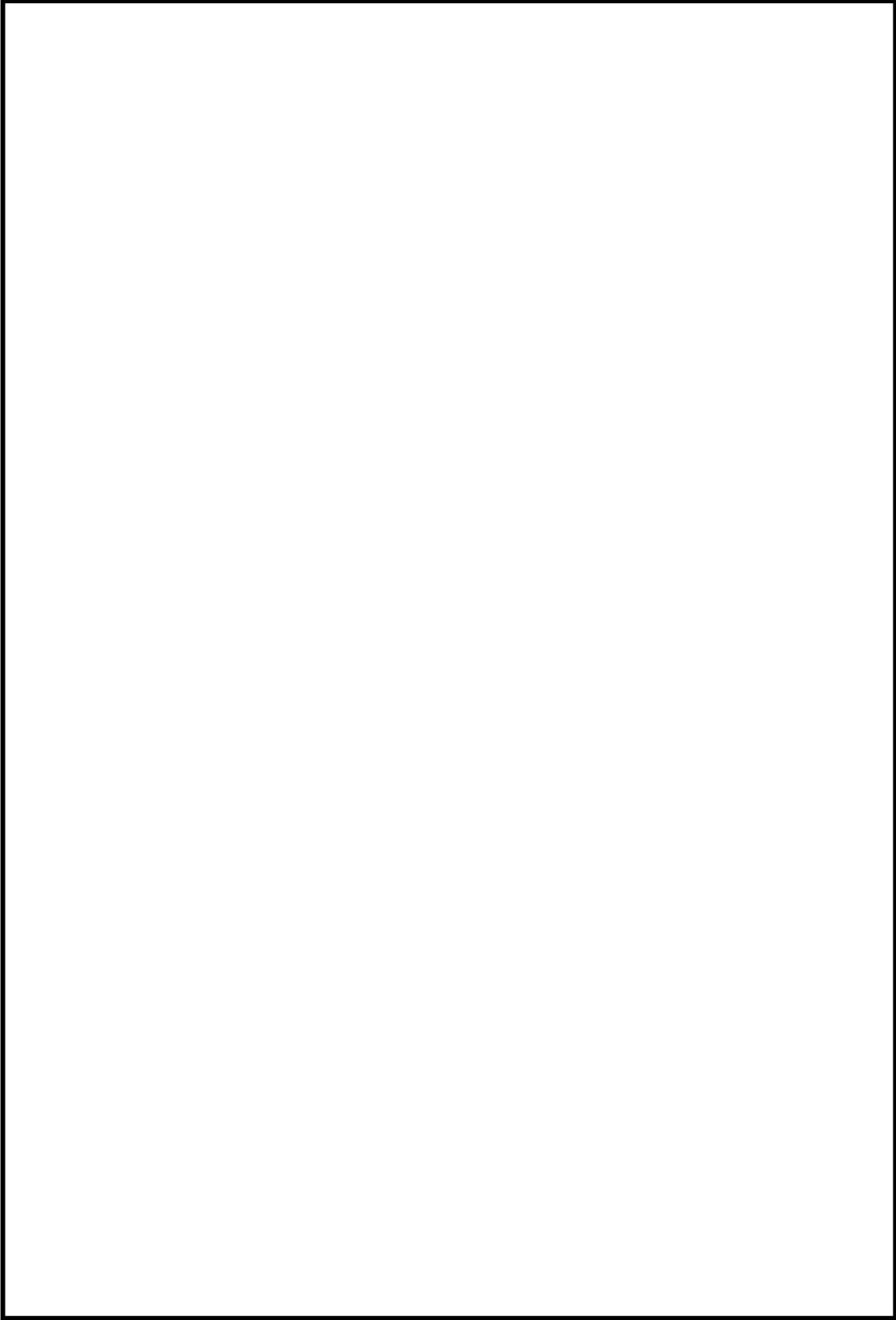


図7 評価結果（液化窒素）

3.3.2.3 大気拡散を考慮した評価

3.3.2.2 においては、6号及び7号炉中央制御室に窒素ガスが酸欠濃度で到達しないということを評価した。図7のように危険範囲が1号炉、5号炉に接近していることから、1号炉及び5号炉また6号及び7号炉の中央制御室の窒素ガス濃度について詳細に評価を行った。以下(1)～(3)に評価概要を示す。

(1) 液化窒素貯槽から流出した窒素ガスの大気への放出率

液化窒素貯槽に接続されている液相配管に設置された安全弁(25A)の開固着を想定する。有毒ガスの流出速度を算出する流出面積としては、保守的に最大径の配管から80Aとし、またフラッシュ率(瞬時気化率)を保守的に1と設定し、漏えいした液化窒素は瞬時に気化するとした。有毒ガスの流出速度は「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(消防庁特殊災害室、平成25年3月)に示される液体流出の式において、 m^3/s から kg/s への換算のため液密度を乗じた下式であらわされる。

$$Q_L = c\rho S \sqrt{2gh + \frac{2(p - p_0)}{\rho}}$$

Q_L : 有毒ガス流出速度 [kg/s]

c : 流出係数 [-]

ρ : 有毒物質密度 [kg/m^3]

S : 流出面積 [m^2]

g : 重力加速度 [m/s^2]

h : 水位 [m]

p_0 : 大気圧 [Pa]

p : 容器内圧力 [Pa]

(2) 大気へ放出した有毒物質の大気拡散

有毒物質の濃度評価に用いる相対濃度 (χ/Q) は、3.3.1 と同様に「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」の大気拡散の評価にしたがい、年間について小さい方から順に並べた累積出現頻度 97% に当たる値を用いた。

(3) 中央制御室における有毒物質の濃度評価について

中央制御室の外側の有毒物質の濃度は、大気への放出率及び大気拡散の評価により、中央制御室等外気取入口における有毒物質の最大濃度を評価した。また中央制御室等の内側の有毒物質の濃度の評価には、中央制御室の換気率 0.5 回/h を考慮し最大濃度を評価した。

評価条件を表 10 に，評価結果を表 11 に示す。室外及び室内濃度の最大値は，いずれも 1 号炉中央制御室であり，室外では 81.6[Vol%]と判定基準の 81[Vol%]を上回るものの，室内濃度は 78.3[Vol%]であり，判定基準を下回る。以上から，液化窒素貯槽からの漏えいによる 1 号炉，5 号炉原子炉建屋内緊急時対策所，6 号及び 7 号炉中央制御室への影響はない。

表 10 大気拡散条件（液化窒素）（1/2）

項目	評価条件	選定理由
大気拡散評価モデル	ガウスプルームモデル	審査ガイド ^{*1} に示されたとおり設定
気象データ	柏崎刈羽原子力発電所における 1年間の気象データ(1985年10月～1986年9月)	建屋影響を受ける大気拡散評価を行うため保守的に地上風(地上約10m)の気象データを使用 審査ガイドに示されたとおり、柏崎刈羽原子力発電所において観測された1年間の気象データを使用
実効放出継続時間	1時間	保守的に1時間と設定
放出源及び放出源高さ	放出源：1号炉液化窒素貯槽 5号炉液化窒素貯槽 放出高さ：地上0m	審査ガイドに示されたとおり設定 ただし、放出エネルギーによる影響は未考慮
累積出現頻度	小さい方から累積して97%	審査ガイドに示されたとおり設定
建屋巻き込み	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため、建屋による巻き込み現象を考慮
巻き込みを生じる代表建屋	原子炉建屋	放出源であり、巻き込みの影響が最も大きい建屋として設定
濃度の評価点	6号及び7号炉中央制御室、 5号炉原子炉建屋内緊急時対策所、1号炉中央制御室	審査ガイドに示されたとおり設定
着目方位	5号炉液化窒素貯槽 →6号及び7号炉中央制御室： 3方位(N, NNE, NE) 5号炉液化窒素貯槽 →5号炉原子炉建屋内緊急時対策所： 9方位(E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W) 1号炉液化窒素貯槽 →1号炉中央制御室： 9方位(NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW)	審査ガイドに示された評価方法に基づき設定

表 10 大気拡散条件（液化窒素）（2/2）

項目	評価条件	選定理由
建屋投影面積	1号炉原子炉建屋：2096m ² 5号炉原子炉建屋：2574m ²	審査ガイドに示されたとおり設定 風向に垂直な投影面積のうち最も小さいもの
形状係数	1/2	内規 ^{※2} に示されたとおり設定

※1：実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド

※2：原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）

表 11 中央制御室等外気取入口における有毒物質濃度（液化窒素）

放出点	5号炉液化窒素貯槽		1号炉液化窒素貯槽
評価点	6号及び7号炉中央制御室	5号炉原子炉建屋内緊急時対策所	1号炉中央制御室
貯蔵量[m ³]	109		
大気放出率[kg/s]	129.2		
離隔距離[m]	167	100	86
相対濃度[s/m ²]	3.3×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁻³	1.7×10 ⁻³
外気取込口濃度[Vol%]	78.8	81.0	81.6
室内最大濃度[Vol%]	78.7	78.3	78.3
判断基準(IDLH)： 窒素ガス濃度[Vol%]	81		
評価結果	影響なし	影響なし	影響なし

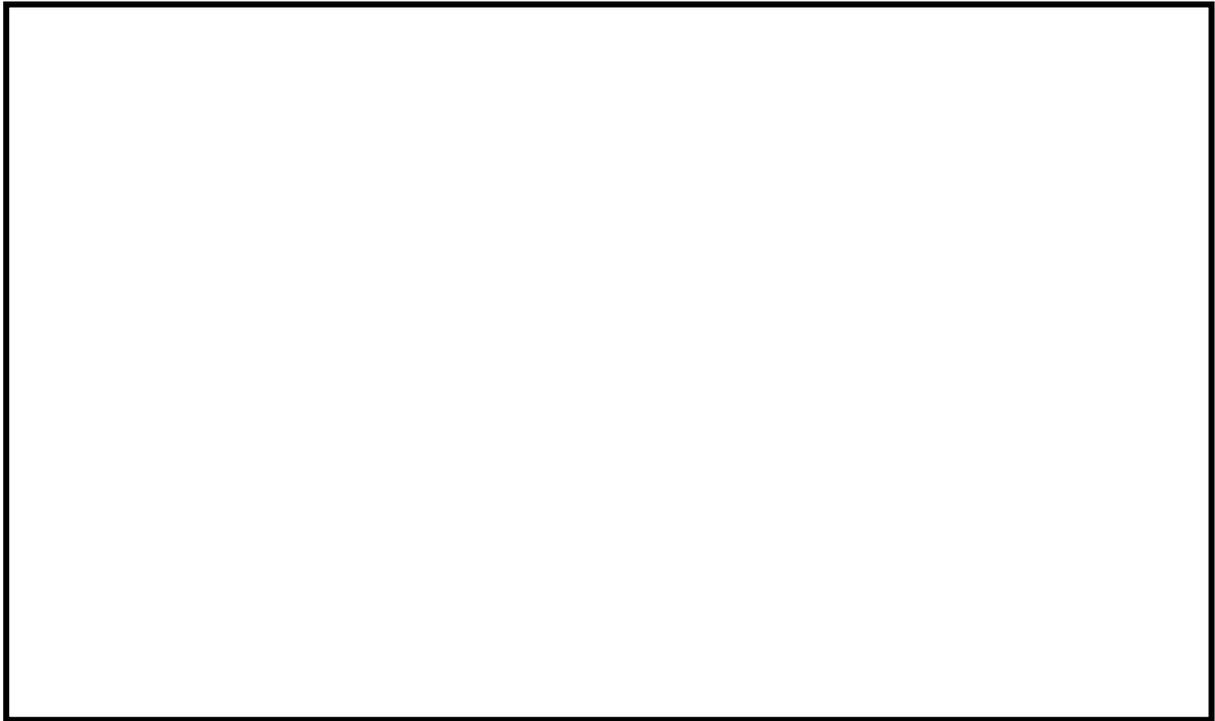
4 発電所敷地内の屋内設備からの影響

原子力発電所の建屋内で貯蔵している有毒物質については、SRV駆動用窒素及び消火用二酸化炭素や、バッテリーに内蔵された硫酸、廃液中和処理用の硫酸や苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）等が挙げられる。

屋内貯蔵施設については、屋外設備と異なり外的衝撃力により損傷が想定しにくく、更に国内の法規に従い貯蔵・管理されるとともに、万一漏えいが生じた場合でも各建屋の換気空調系により十分に換気希釈されるため、建屋外の固定施設からの流出事故に包含されるものとして、対象から除外する。

また、分析等に使用する試薬については、その種類は多いものの、使用場所が限定されておりかつ適切に保管、換気されていること、貯蔵量、使用量が少ないことから、中央制御室への影響はない。

図8には、コントロール建屋バッテリー室内の硫酸と中央制御室との位置関係を示す。



枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

図8 発電所敷地内（屋内設備）の有毒物質と中央制御室の位置関係

船舶の衝突影響評価について

1. 基本方針

最も距離の近い航路でも柏崎刈羽原子力発電所より 30km の離隔距離があり、航路を通行する船舶の衝突により、安全施設が安全機能を損なうことはない。

小型船舶が発電所近傍で漂流した場合でも、敷地前面の防波堤等に衝突して止まることから取水性に影響はない。カーテン・ウォール前面に小型船舶が到達した場合であっても、取水はカーテン・ウォール(水深 8m) 下端から深層取水しているため、浮遊する小型船舶により、取水機能が損なわれるような閉塞は生じない設計とする。

船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合に、カーテン・ウォールにより深層より取水することにより、復水器及び補機冷却用水の取水性に影響が及ばない設計とする。また、必要に応じてオイルフェンスを設置する措置を講じる。

なお、津波発生時の漂流船舶による影響については、第 5 条（津波による損傷の防止）において取り扱う。

2. 敷地前面の航路について

最も距離の近い航路でも柏崎刈羽原子力発電所より 30km の離隔距離があり、航路を通行する船舶が漂流した場合であっても、敷地に到達することはなく、安全施設が安全機能を損なうことはない。（図 1 参照）

3. 小型船舶等の衝突による影響

航路外の船舶として、発電所周辺の船舶の影響評価を実施する。評価対象の船舶としては、第 5 条（津波による損傷の防止）において抽出した船舶とする。

第 5 条（津波による損傷の防止）では、漂流物の影響評価において、柏崎刈羽原子力発電所の周辺の漂流物となる可能性のある施設・設備等の抽出を行っており、構内（港湾内）の船舶として、燃料等輸送船、浚渫船、土運船、作業船を、構外（港湾外）の船舶として漁船、プレジャーボート、巡視船を抽出している。

構内の船舶、及び、構外の船舶のうち巡視船については、異常気象、海象時、荒天が予測される場合には、必要に応じて、入港の中止・離岸等の措置を取ることとしていることから、漂流船舶とはならないと評価する。

構外の船舶のうち漁船、プレジャーボートについては、荒天等により漂流に至るような場合であっても、投錨等の対応を取ることが可能と考えられる。保守的に、漁船、プレジャーボートとして小型船舶の漂流を仮定した場合であっても、小型船舶は防波堤等に衝突し止まることで、取水口に到達することはない。（図 2 参照）また、カーテン・ウォール前面に小型船舶が到達した場合であっても、取水はカーテン・ウォール(水深 8m) 下端から深層取水しているため、取水への影響はない。（図 3 参照）

4. 重油の流出による影響

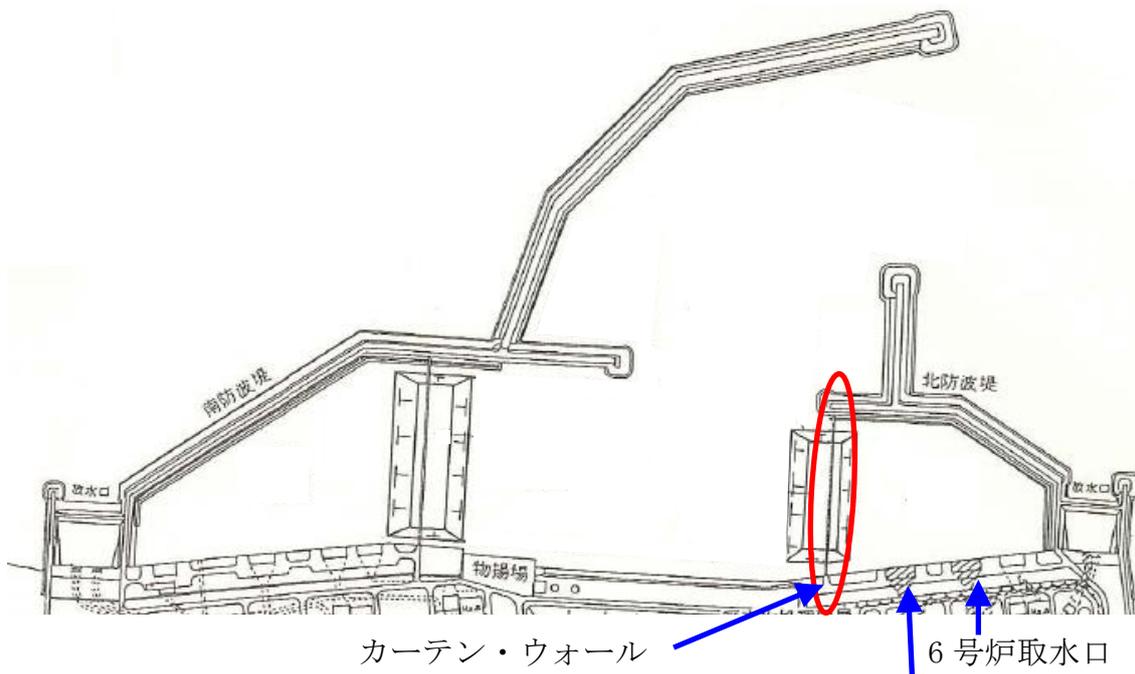
船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合に、カーテン・ウォールにより深層から取水することにより、復水器及び補機冷却用水の取水性に影響が及ばない設計とする。

また、必要に応じてオイルフェンスを設置する措置を講じる。なお、外部火災影響評価では、漂流船舶の重油漏えいに対する検討として、柏崎刈羽原子力発電所から隔離距離約 30km の主要航路上の船舶から漏えいした重油がサイト前面の海域に到達する時間を、過去のタンカーの大規模流出事故から 24 時間程度と推定し、これに対し情報入手からオイルフェンス設置までの所要時間が 11 時間程度であるため、重油が到達するまでにオイルフェンスの展開が可能であるとしている。

(「6 条 別添 4-1 添付資料 5 漂流船舶の二次的影響について」参照)



図 1 敷地周辺の航路



カーテン・ウォール 6号炉取水口

7号炉取水口

図2 防波堤，カーテン・ウォール配置

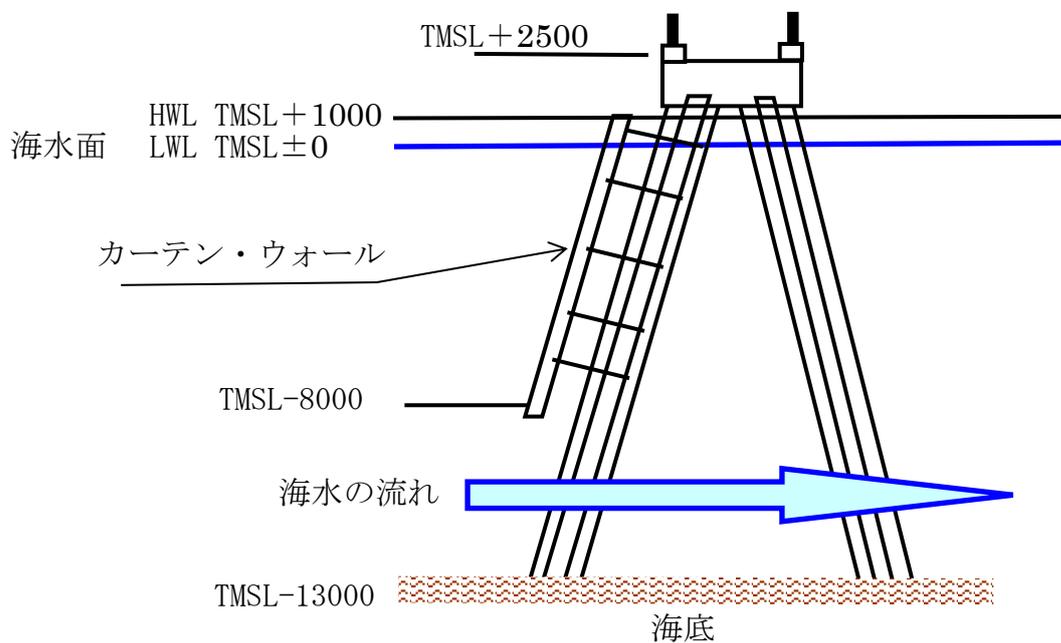


図3 カーテン・ウォール概要図

電磁的障害影響評価について

1. 基本方針

安全保護系は、電磁的障害による擾乱に対して、制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、通信ラインにおける光ケーブルの適用等により、影響を受けない設計としている。

2. サージ・ノイズ、電磁波に対する具体策

電磁的障害には、サージ・ノイズや電磁波の侵入があり、これらは低電圧の計測制御回路に対して影響を及ぼす恐れがあるため、計測制御回路を構成する安全保護系制御盤及びケーブルは、フィルタや絶縁回路の設置によりサージ・ノイズの侵入を防止するとともに、鋼製筐体や金属シールド付ケーブルの適用により電磁波の侵入を防止している。（図 1 参照）

計測制御回路を構成する制御盤及びケーブルは原則として以下の設計としている。

(1) サージ・ノイズ対策

a. 電源回路

制御盤へ入線する電源受電部にサージ・ノイズ対策としてフィルタを設置し、外部からのサージ・ノイズの侵入を防止する設計としている。

b. 信号回路

電磁的影響を受けやすい起動領域モニタ及び出力平均モニタについては、サージ・ノイズ対策として必要に応じてフィルタを使用し、外部からのサージ・ノイズの侵入による影響を防止する設計としている。

(2) 電磁波対策

a. 筐体

制御盤の制御部、演算部は鋼製の筐体に格納し、筐体は接地することで電磁波の侵入を防止する設計としている。

b. ケーブル

ケーブルは必要により金属のシールド付ケーブルを使用し、金属シールドは接地して電磁波の侵入を防止する設計としている。

3. 電磁波等の発生源に対する対策

電源ケーブルは信号ケーブルとは別のトレイ・ダクトに敷設し、信号ケーブルはシールド付ケーブルを使用して接地することで計装回路への電磁的影響を防止している。

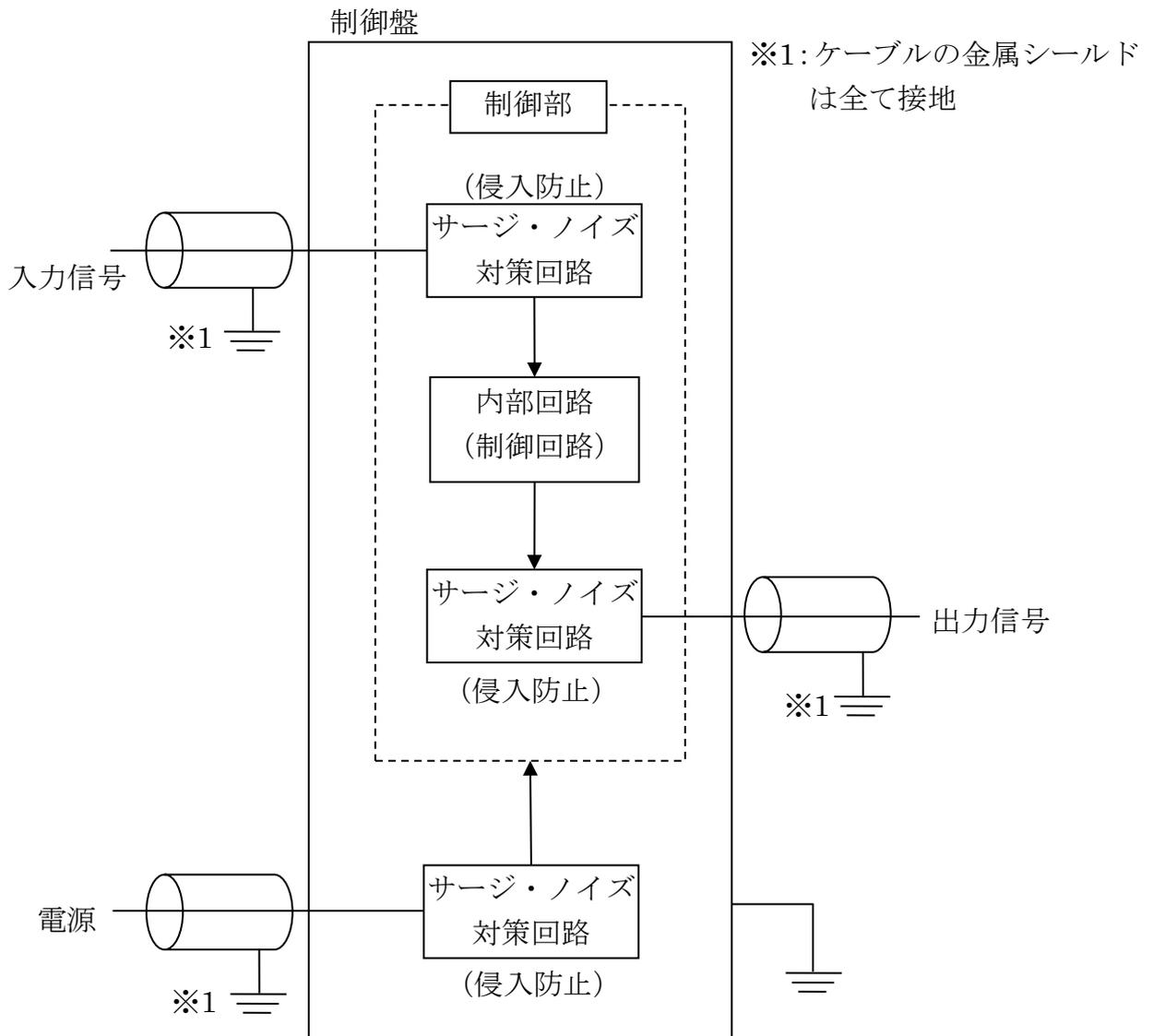


図 1 電磁的障害対策の例

積雪・降下火砕物堆積状態での地震発生時の影響評価について

1. 評価内容

自然現象の重畳評価において抽出された組み合わせ「雪・降下火砕物が堆積している状態での地震発生」についての評価を実施した。自然現象の重畳評価においては主事象（設計基準規模）×副事象（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 1 に示す 8 パターンを考慮した。

これらの組み合わせのうち、荷重の大きさ等の観点で代表性のある、主事象：地震、副事象：積雪の組み合わせ、及び主事象：降下火砕物、副事象：地震（ベース負荷：積雪）の 2 通りの評価を実施するものとする。代表性の判断の際の基準については表 2 に示す。

表 1 重畳評価ケース

No.	主事象 (設計基準規模)	副事象 (10^{-2} 規模)	ベース負荷 (平均規模)	備考
1	地震(Ss 等)	積雪(115.4cm)	—	—
2	地震(Ss 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(115.4cm)	—	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(167.0cm)	地震(10^{-2} 相当地震動)	—	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(167.0cm)	風(27.9m/s)	—	No. 5 に包絡

※ 除雪に期待できる施設は積雪荷重について除雪能力を考慮した値とする。

※ 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 水平荷重・堆積荷重の比較

a. 水平荷重

		せん断力 (kN) (6号炉原子炉建屋躯体 38.2(m)-49.7(m))	判定
比較 a-1	設計用地震力	43.35×10^3	地震 > 風
	風 (40.1m/s)	2.65×10^3	
比較 a-2	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
比較 b-1	積雪(115.4cm)	3,393	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)	1,429	
比較 b-2	積雪(167.0cm)	4,910	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)	6,063	

2. 評価対象施設について

評価対象施設の抽出フローを図 1 に示す。地震の防護対象が耐震重要度分類 S,B,C クラス，積雪の防護対象が安全重要度クラス 1，2，3 であることから，地震と積雪・降下火砕物の重畳については，その両方に含まれる設備を評価対象とする。

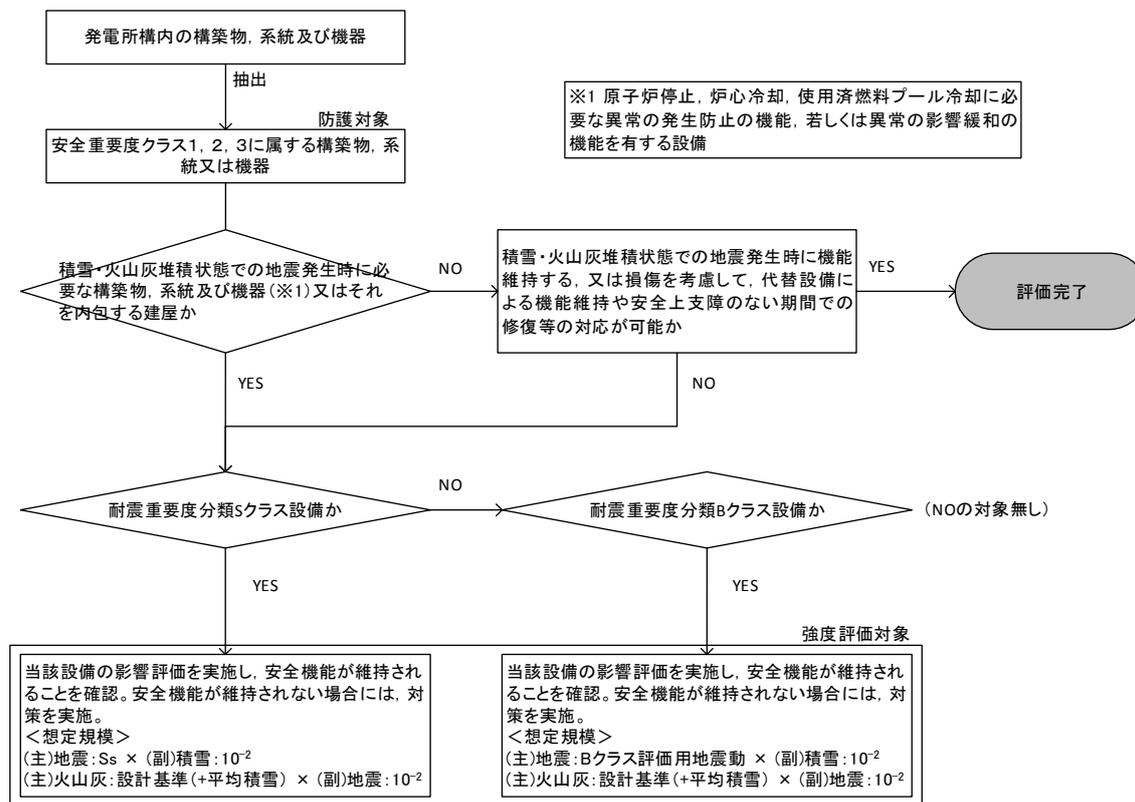


図 1 評価対象施設の考え方

3. 安全施設の健全性評価結果

抽出された各評価対象施設の直上付近の屋根等の健全性について確認した。屋根強度評価用の値は、除雪能力を考慮した値とする。

表 3 主な評価対象施設

建屋等	評価部位	評価対象施設	判定
原子炉 建屋	原子炉建屋屋根全体	使用済燃料プール等	○
コント ロール 建屋	コントロール建屋屋根全体	中央制御室等	○
タービ ン建屋	海水熱交換器区域直上の屋根 部分	非常用所内電源系，非常用所内 電源系空調，原子炉補機冷却水 系及び原子炉補機冷却海水系	○
屋外	軽油タンク天板及び非常用デ ィーゼル発電機燃料移送系防 護天板	軽油タンク及び非常用ディー ゼル発電機燃料移送系	○

4. 重畳評価の保守性について

上記の副事象の規模の考え方（年超過確率 10^{-2} 規模）については、Turkstra 規則における想定（平均的な値）よりもかなり保守的な設定としている。

年超過確率については、1年で特定の規模以上の事象が発生する確率となっていることから、例えば年超過確率 10^{-2} /年の規模（言い換えると100年に1回以上発生する確率が約63%の規模）は、平均的な規模（年に数回の規模）や年最大値の平均（おおよそ1年に1回の規模）よりも、一般的に大きくなると言える。

例として、本資料で対象としている地震と積雪の重畳について、同じく Turkstra 規則を参照している建築基準法における評価と比較したものを以下に示す。

表 4 組み合わせる積雪荷重について（建築基準法との比較）

	積雪の想定する規模	堆積積雪深
建築基準法 (建築物荷重指針・ 同解説(2004))	地震との組み合わせを考慮する場合(短期荷重), <u>平均的な積雪荷重</u> を想定し, 建築基準法施行令第 86 条に規定する積雪荷重によって生ずる力の 0.35 倍	柏崎市 $130\text{cm} \times 0.35$ =45.5cm 刈羽村 $170\text{cm} \times 0.35$ =59.5cm
今回の重畳評価に採用する考え方	再現期間 100 年における最大値を想定	1 日当たり積雪量の年超過確率 10^{-2} の規模の値 84.3cm + 最深積雪量の平均値 31.1cm=115.4cm

※建築基準法では上記のとおり、簡易式(短期積雪荷重の 0.35 倍)により算出しているが、そこでの想定規模の考え方に基づいて、経験データから冬季の平均的な積雪量を算出した場合、31.1cm となる。

避雷鉄塔による遮蔽効果に期待しない場合の落雷影響評価について

1. 評価内容

避雷鉄塔による遮蔽効果に期待しない場合の落雷影響評価を実施した。単独事象としての落雷評価と異なる点は避雷鉄塔による遮蔽効果の有無のみであるため、雷撃電流値の算出方法や安全施設の健全性評価の手法等については添付資料 9（落雷影響評価について）を参照。

また、自然現象の重畳評価においては主事象（設計基準規模）×副事象（年超過確率 10^{-2} 規模）を考慮するため、落雷が主事象の場合と副事象の場合の 2 パターンを検討する必要があるが、以下の理由により落雷が主事象の場合のみを検討する。

- ・落雷が主事象の場合は、組み合わせ相手となる自然現象の規模は設計基準よりも小さい年超過確率 10^{-2} の規模を考慮するが、その場合も避雷鉄塔による遮蔽効果に期待できない可能性がある。

2. 避雷鉄塔遮蔽効果による雷撃電流値への影響について

単独事象としての落雷評価時には、冬季雷のうち約 70%が避雷鉄塔に捕捉されるものとして評価している（添付資料 9 別紙 2「1.2. 雷撃頻度及び最大電流の計算」参照）。今回、この割合を 0%（進入比率 $r=1.0$ ）と仮定し、雷撃電流値を算出した。評価結果を表 1 に示す。

表 1 避雷鉄塔の有無による雷撃電流値への影響評価結果

	避雷鉄塔	
	期待する場合	期待しない場合
年超過確率 10^{-4} に相当する雷撃電流値 (kA)	156kA (設計基準雷撃電流値としては余裕を見て 200kA)	213kA

3. 安全施設の健全性影響評価結果

雷撃電流値 213kA に対する建屋内重要設備の機能健全性について確認した。単独事象としての落雷評価と同様に、雷サージ電圧が、安全機能を有する設備で要求される電源盤・制御盤及び計装設備の雷サージ耐電圧値を上回らないことを確認した結果を表 2 及び表 3 に示す。

表 2 評価結果 (6号炉)

評価対象設備		雷サージ(V)		雷サージ耐電圧(V)	評価
		200kA 換算値(V)	213kA 換算値(V)		
電源盤・制御盤	各建屋内・各建屋間	1106.2	1178.1	2000～	影響なし
計装設備	R/B 4F 東側～各建屋	709.3	755.4	1000～	影響なし
	R/B 4F 東側～C/B	238.7	254.3	1000～	影響なし
	R/B(4F 東側除く)及び各建屋内～R/B(4F 東側除く)及び各建屋内	226.7	241.4	1000～	影響なし

表 3 評価結果 (7号炉)

評価対象設備		雷サージ(V)		雷サージ耐電圧(V)	評価
		200kA 換算値	213kA 換算値		
電源盤・制御盤	各建屋内・各建屋間	990.8	1055.2	2000～	影響なし
計装設備	R/B 4F 東側～T/B	1150.7	1225.5	15000 (差圧発信器)	影響なし
	R/B 4F 東側～C/B	253.5	269.9	1000～	影響なし
	R/B(4F 東側除く)及び各建屋内～R/B(4F 東側除く)及び各建屋内	178.1	189.7	1000～	影響なし

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
<u>基準 A</u> 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。
<u>基準 B</u> 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。
<u>基準 C</u> 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乘せられるため、検討する必要がある。
<u>基準 D</u> 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、流氷、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。
[氷嵐、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。

【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。地面隆起に伴い海水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，靄		
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

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] ([氷嵐, 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 [氷嵐, 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], [霜, 霜柱], [霧, 靄], [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], [海水中の地滑り], [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

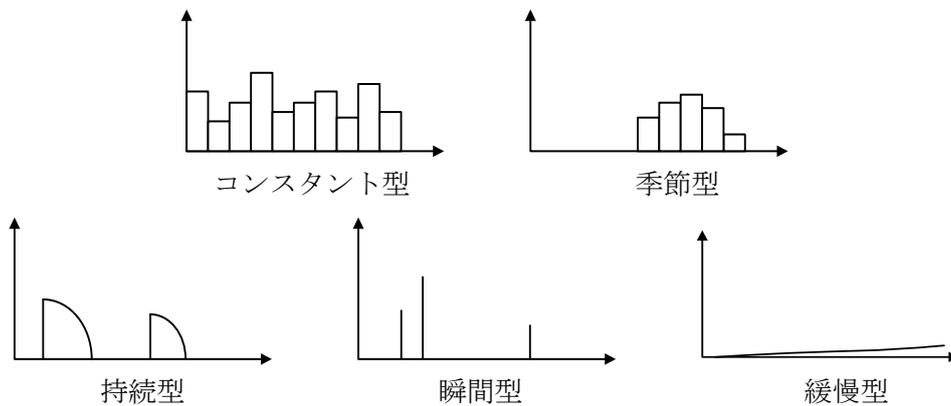


図 1 影響モード分類

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はないが、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があるため、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。

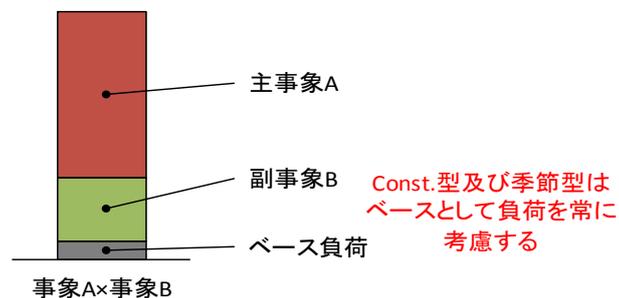


図2 ベース負荷の考え方

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_s とすると、積雪堆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。

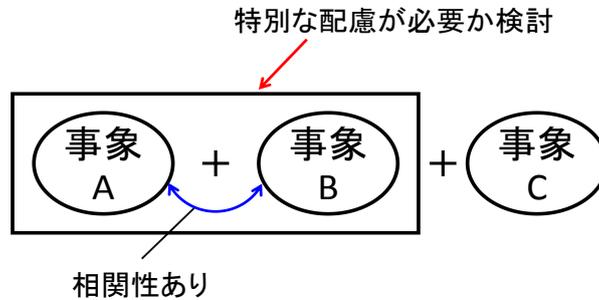


図 3 相関性をもつ自然現象への配慮

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)

地震随伴津波については, 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。

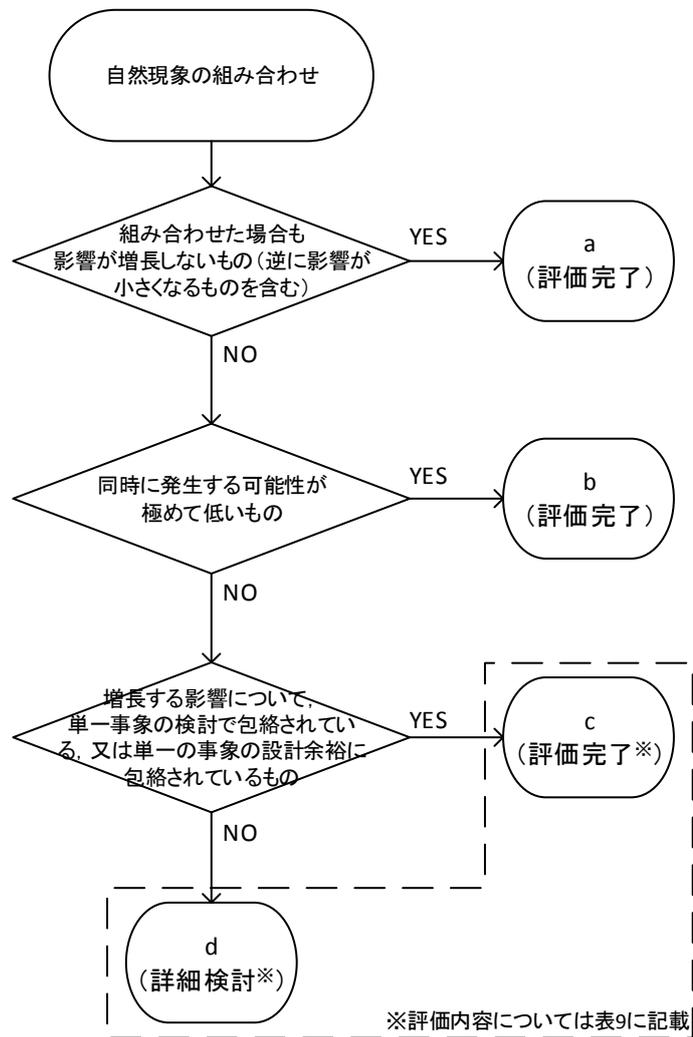
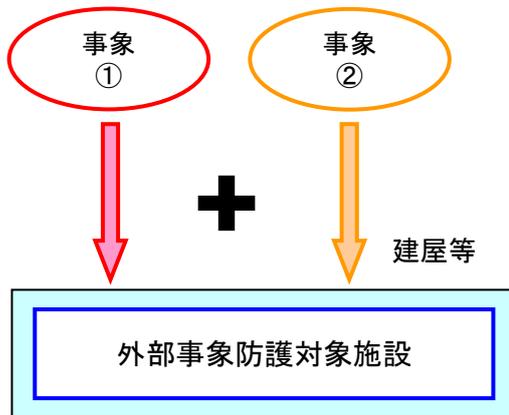


図 4 影響パターン選定フロー

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。

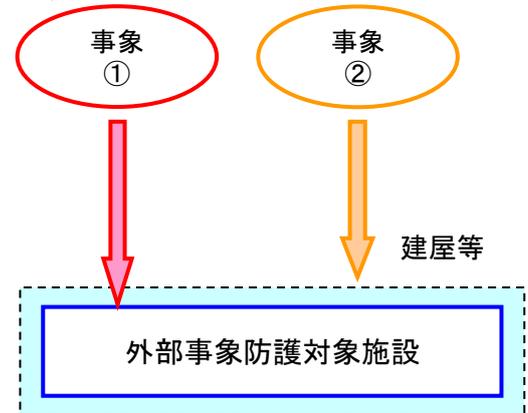
上記 c, d に該当する自然現象の組み合わせについては、事象が単独で発生した場合の影響と比較して、複数の事象が重畳することで影響が増長される組み合わせとなるが、その増長する影響パターンについては図 5 のとおり 4 つに分類した。

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



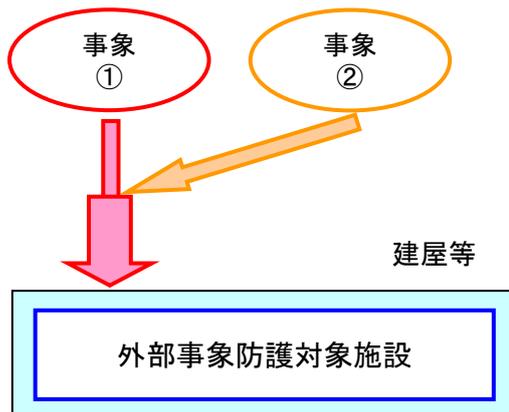
例：積雪＋降下火砕物＝堆積荷重増

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



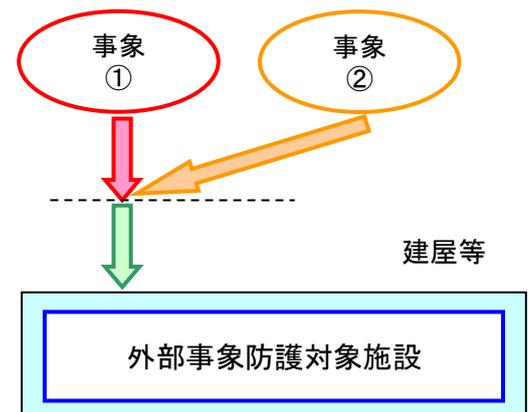
例：地震＋津波
＝地震により止水機能が喪失して浸水量増

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c）」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。

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期に堆積した場合に、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

表 9 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (2/6)

(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
7	火山 (堆積) × 降水 (堆積)	d (I, 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。仮に、建屋等に降下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進展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。 →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落雷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

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) × 竜巻 (衝突)	d(Ⅱ)	安全施設は、落雷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、竜巻の飛来物等により避雷鉄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鉄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・降水の影響は受けないため、対応可能。

表 9 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (4/6)

(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
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。仮に、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。仮に、降水により降下火砕物が湿った場合、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(空調)×火山(空調)	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、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。 →堆積高さで厳しいのは、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。仮に、雪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、周辺斜面と建屋については、十分の裕度を持った離隔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。仮に、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

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 (堆積) × 降水 (堆積)	d(Ⅲ-2)	<p>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湿ることで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。</p> <p>→地滑り評価で代表する。</p>
23	低温 (凍結) × 風 (風圧)	c(Ⅲ-1)	<p>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。</p> <p>→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する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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)	<p>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。</p> <p>→森林火災等ではガイドに基づき 16m/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。</p>

表 9 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (6/6)

(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
25	風 (風圧) × 竜巻 (風圧等)	c(I)	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(I)	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、除塵装置や既に整備された手順等と同様の対応により対処可能である。

1.4.1 アクセス性・視認性について

自然現象及び人為事象が安全施設に及ぼす影響としては、荷重だけでなく、アクセス性及び視認性に対する影響も考えられることから、これらの観点についても影響を評価する。

アクセス性及び視認性の観点からの影響評価結果を以下に示す。

アクセス性への影響確認結果

設計基準においては、屋内設備と屋内での対応により事象収束が可能であることから、自然現象による屋外のアクセス性への影響については基本的には考慮する必要が無い。ただし、設計基準においても積雪の設計基準を設定する際に建屋屋上等の除雪に期待しており、除雪の際には屋外アクセスルートを使用することから、積雪については考慮する必要がある。アクセス性に支障が出るような規模の積雪については気象予報により事前の予測が可能であることから、積雪状況等を見計らいながら除雪するという対応となる。

これらの影響及び対応については、重大事故等時と差異がないことから、以下に第四十三条での検討結果（積雪以外を含む）をまとめたものを示す。

アクセス性への影響として、保管場所の耐性、作業環境、アクセスルート（屋外/屋内）が考えられることから成立性について確認し、表 10 のような影響が存在することが確認された。事象の重畳を考慮した場合も、作業量や作業時間の増加が考えられるが、作業不能となることは考えにくく、また気象予報等により作業が困難なレベルの強風等が想定される場合はプラントを停止する等の対応も考えられる。

表 10 アクセス性についての影響及び対応

対象	事象	影響	対応
保管場所の耐性	地滑り	地滑りにより重大事故等対応設備が機能喪失	2箇所の高台や建屋近傍に分散配置、設計基準事故対応設備により対応
	積雪, 火山	重大事故等対応設備上に雪又は降下火砕物の堆積	除雪又は除灰(湿潤状態を想定した除灰体制)
	風(台風), 竜巻	飛来物の発生	飛来物除去
作業環境	地震	段差等の発生	整地作業の実施
	積雪, 火山	雪又は降下火砕物の堆積	除雪又は除灰
	風(台風)	屋外での作業が困難なレベルの強風	気象予報により, 左記のようなレベルの強風が想定される場合はプラント停止
	落雷	落雷	警報発生時を避け対応
	低温(凍結)	低温	暖機運転等

対象	事象	影響	対応
アクセスルート	地震, 津波, 風(台風), 竜巻, 地滑り, 森林火災	段差や瓦礫の発生により, 一部のアクセスルートが通行不能	別ルートによりアクセス可能。 また瓦礫等については, ホイールローダー等の重機により整地作業も実施可能。
	風(台風)	屋外での作業が困難なレベルの強風	気象予報により, 左記のようなレベルの強風が想定される場合はプラント停止。
	降水	敷地内の浸水	構内排水路で海域へ排水するために影響なし。 万一, 排水能力を超える場合も, 排水用フラップゲートを介して海域へ排水されることから, 緊急車両はアクセス可能。 また, 気象予報を踏まえ, 可搬型設備の通行に支障がある状況が予想される場合は, あらかじめ土のう設置による降水の導水対策等により車両等の通行ルートを確保する。
	低温(凍結)	低温	気象予報により事前の予測が十分可能なことからアクセスルートへの融雪剤散布が実施可能。
	積雪, 火山	雪又は降下火砕物の堆積	除雪又は除灰

視認性評価結果

視認性の観点からは, 降水等により中央制御室外の状況や津波を監視するカメラの視認性の低下, 及び屋外作業の視認性の低下を及ぼす可能性がある。

中央制御室外の状況や津波を監視するカメラについては, 降水等による視認性の低下や, 竜巻等による機能喪失の可能性がある。カメラは位置的分散が図られているものの, 重畳を考慮した場合にはすべてのカメラに期待できない状況も考えられる。その場合にも, 中央制御室に設置する気象情報を出力する端末, 潮位計等の代替設備により必要な機能を確保することができる。

また, 降水や霧・靄等によって屋外作業等の視認性が低下する恐れがあるが, その場合も作業時間増加や作業効率が悪化するものの作業不能となることは考えにくい。