

本資料のうち、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。

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

平成27年10月

東京電力株式会社

目次

目次	i
1. 設計上考慮する外部事象の抽出	1
1.1 外部事象の収集	1
1.2 外部事象の選定	3
1.2.1 選定基準	3
1.2.2 選定結果	4
2. 基本方針	23
3. 重大事故等対処設備への考慮	24
4. 地震、津波以外の自然現象	27
4.1 設計基準の設定	27
4.2 個別評価	28
(1) 風（台風含む）	28
(2) 竜巻	28
(3) 低温（凍結）	30
(4) 積雪	30
(5) 落雷	31
(6) 火山	32
5. 人為事象（偶発的）	33
5.1 個別評価	33
(1) 火災・爆発（森林火災，近隣工場の火災，航空機落下火災） ...	33
(2) 有毒ガス	35
6. 外部事象に対する安全施設および重大事故等対処設備への影響評価	35
7. 自然現象/人為事象の重畳について	45
7.1 組み合わせの検討	47

7.1.1 検討対象	47
7.1.2 事象の特性の整理	48
7.1.3 重畳検討対象の抽出結果	52
7.1.4 重畳を考慮する事象数及び規模について	53
7.1.5 重畳影響分類	55
7.1.6 重畳影響分類結果	56
7.2 個別評価	58

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およ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. 低温影響評価について
7. 積雪影響評価について
8. 落雷影響評価について
9. 有毒ガス影響評価について
10. 自然現象／人為事象の重畳 マトリックス
11. 積雪・火山灰堆積状態での地震発生時の影響評価について
12. 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. 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検討すべき外部事象を網羅的に抽出するため、国内で一般に発生しうる事象に加え、欧米の基準等で示されている事象を収集した。

その上で、海外文献を参考に選定基準を策定し、検討すべき外部事象を抽出した。

1.1 外部事象の収集

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 にて挙げられている、スクリーニングアウトされた事象を含む、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、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

以上により、検討の対象となった事象は、自然現象 40 事象、人為事象 20 事象であり、表 1, 表 2 のとおりである。これらの 60 事象の収集過程については、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 40 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 外部事象の選定

1.2.1 選定基準

外部事象に係る海外での評価手法[※]を参考に、詳細な影響評価を実施すべき外部事象を抽出するための基準を以下のように設定した。抽出にあたっては、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。または、外部事象の影響規模が他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もしくはそれ以下、または、プラントの安全性が損なわれることがない。

基準 D：影響が他の事象に包絡される。

※選定基準の策定にあ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 選定結果

上記の基準を適用した結果、苛酷な状況となる可能性がある事象であって、影響の有無，程度の評価を行うべき外部事象を以下のとおり選定した。（各事象に対する検討結果は表 3 及び表 4 のとおり。）

【自然現象】

- ・ 風（台風含む）
- ・ 竜巻
- ・ 低温（凍結）
- ・ 積雪
- ・ 落雷
- ・ 火山

【人為事象（偶発的）】

- ・ 航空機落下
- ・ 火災，爆発（森林火災，近隣工場の火災・爆発，航空機落下火災等）
- ・ 有毒ガス
- ・ 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，他の条文（第四条（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」および「妨害破壊行為（内部脅威含む）」，「サイバーテロ」は，第七条（発電用原子炉

施設への不法な侵入等の防止) への対応として扱い, 「航空機衝突 (意図的)」は「核原料物質, 核燃料物質及び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 (台風含む)
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
24	河川の迂回
25	干ばつ

No.	自然現象
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

※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	軍事活動によるミサイルの飛来
15	サイト内外での掘削
16	内部溢水
17	タービンミサイル
18	重量物輸送
19	化学物質の放出による水質悪化
20	油流出

表 3 評価対象自然現象スクリーニング結果 (1/5)

No.	自然現象	選定基準	詳細評価 要否	備考
1	降水	B/C	不要 (対策後の状態を踏まえ、詳細評価不要と判断)	観測記録*を上回るような、柏崎市の10 ⁻⁴ 年確率降水量(1時間降水量101.3mm, 日降水量465.0mm)の降雨が発生した場合、短時間の降雨強度として発電所の排水施設の能力(最小77.6mm/h)を超えることとなる。ただし、排水路から敷地に雨水が溢れたとしても、溢れた雨水は排水用フラップゲートを介して、海域へ排水される。 なお、K6,7 原子炉建屋及びタービン建屋廻りについては、排水施設の能力を超えることはない(最小144.5mm/h)。 雨水の浸水については、安全施設は水密扉や貫通部の止水処置など浸水防止措置を講じていることから、浸水に対する考慮は不要。 建屋屋上へ滞留した場合による荷重については、排水設計がなされており、多量の滞留に対しても、オーバーフロー管を介して排水されるため、影響が及ぶことはない。 降水は事象進展予測が可能であり、かつ時間的な対応余裕もあることから、降水により安全施設の安全機能が損なわれることはないと判断。
2	積雪	—	要	柏崎原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
3	雪崩	A/C	不要	超高压及び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。超高压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と判断。
4	ひょう, あられ	C	不要	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恐れはないと判断。
5	氷嵐, 雨氷, みぞれ	C/D	不要	雨氷やみぞれに対する堆積(または着氷)荷重の影響については軽微であり、仮に堆積しても火山や積雪に包絡される。給気ルーバの閉塞(空調)の影響については積雪に包絡されると判断。
6	氷晶	C/D	不要	氷晶による堆積荷重の影響については軽微であり、仮に堆積しても火山や積雪に包絡される。また、給気ルーバの閉塞(空調)の影響については積雪に包絡されると判断。
7	霜, 霜柱	C	不要	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。

※：柏崎市の過去最大の降水量(52mm/h, 256.0mm/日)。

表 3 評価対象自然現象スクリーニング結果 (2/5)

No.	自然現象	選定基準	詳細評価 要否	備考
8	結氷板, 流水, 氷壁	A	不要	柏崎刈羽原子力発電所周辺での海水の発生, 流水の到達はないと判断。
9	風 (台風含む)	—	要	柏崎原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
10	竜巻	—	要	柏崎原子力発電所の地域特性を踏まえて詳細評価。
11	砂嵐	A/C	不要	柏崎刈羽原子力発電所及びその周辺において発生した事例はなく, 仮に発生した場合であっても, 給気ルーバ及びフィルタにより空調設備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	不要	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。
13	高温	C	不要	空調設計条件を超過する可能性はあるものの, 外気温度高により, 即, 安全性が損なわれることはないこと, 外気温度の上昇は緩慢であり, 室内温度の上昇を抑制する処置を開始する時間があることから設計基準事象としての考慮は不要と判断。
14	低温 (凍結)	—	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)	C	不要	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, 出力低下また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と判断。
16	低温水 (海水温低)	C	不要	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と判断。
17	極限的な圧力 (気圧高/気圧低)	C/D	不要	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ものの, 同様な影響の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他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と判断し, 気圧差による影響については, 竜巻影響評価の中で実施。
18	落雷	—	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	不要	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, 設計基準津波による影響の方が大きいと判断。

表 3 評価対象自然現象スクリーニング結果 (3/5)

No.	自然現象	選定基準	詳細評価 要否	備考
20	波浪	D	不要	波浪は、風浪（風によってその場所に発生する波）とうねり（他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、設計基準津波による影響の方が大きいと判断。
21	風津波	D	不要	台風等の強風と波浪により発生する事象であるが、設計基準津波による影響の方が大きいと判断。
22	洪水	A	不要	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と判断。（図 1 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 2 参照）
23	池・河川の 水位低下	A	不要	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無いと判断。また、付近に影響を及ぼすような河川はない。（図 1 参照）
24	河川の迂回	A	不要	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無いと判断。また、付近に影響を及ぼすような河川はない。（図 1 参照）
25	干ばつ	A/C	不要	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、淡水については、淡水貯蔵タンクにて保管している。
26	火山	—	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。
27	地滑り	C	不要	豪雨や地下水の浸透、地震に伴い地滑りや土砂崩れが起こる可能性がある。 地震に伴う地滑りについては第三条（地盤）にて検討しており、安全上重要な施設については周辺斜面と十分な離隔距離を有していることからその影響が及ぶことはないとしている。他の要因による地滑りについても同様に、安全上重要な施設が周辺斜面と十分な離隔距離を有していることから、影響は及ばないものと判断した。また、送電設備等（発電所外含む）の倒壊を仮定しても、非常用所内電源は確保されるため、安全施設の機能が損なわれることはない。と判断。 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 3 参照）
28	海水中の地滑り	C	不要	港湾内については、海底に地滑りの発生しうる起伏が無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、津波事象として考慮。）

表 3 評価対象自然現象スクリーニング結果 (4/5)

No.	自然現象	選定基準	詳細評価 要否	備考
29	地面隆起 (相対的な水位低下)	D	不要	地面隆起は地震に伴う随件事象であり、 第三条 (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/C	不要	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り、安全施設の機能が損なわれないと判断。
31	土の伸縮	C	不要	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か、安全上重要な建屋や屋外設備は、岩着や杭基礎でありその影響が及ぶことはないとは判断。
32	海岸浸食	B	不要	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無く、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ることから、安全施設の機能が損なわれることはないとは判断。
33	地下水 (多量/枯渇)	D	不要	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、No. 27「地滑り」にて考慮し、浸水については、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とは判断。
34	地下水による浸食	B/C	不要	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。また、浸食に伴う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と判断。
35	森林火災	—	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	C	不要 (対策後の状態を踏まえ、詳細評価不要と判断)	海生生物 (くらげ等) の襲来による取水口閉塞、齧歯類 (ネズミ等) によるケーブル類の損傷を想定。海生生物は、除塵装置と既に整備された手順等にて対応可能である。齧歯類は、止水処置等により建屋内への進入が防止され、仮にケーブル類の損傷を考慮しても、ケーブル類は位置的分散が図られていることから、プラントの安全性が損なわれることはないとは判断。

表 3 評価対象自然現象スクリーニング結果 (5/5)

No.	自然現象	選定基準	詳細評価 要否	備考
37	静振	D	不要	静振は、津波や波浪といった事象に誘因されるものであり、それ単体で設計基準事象として考慮することは不要と判断。
38	塩害、塩雲	C	不要	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と判断。
39	隕石、衛星の落下	A	不要	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、設計としては考慮する必要はないと判断。(※1)(※2)
40	太陽フレア、 磁気嵐	C	不要	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、プラント停止など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と判断。

※1 隕石の考慮について

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、落下頻度の算出にあたっては、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、柏崎刈羽敷地などへの落下頻度を面積比から算出した結果は次表のとおり。

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 R/B+6/7号 C/B	3.5×10^{-8}
6/7号 R/B+6/7号 C/B	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 × 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。

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

その他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、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、また一部は破砕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。

表 4 評価対象人為事象 スクリーニング結果 (1/3)

No.	人為事象	選定基準	詳細評価 要否	備考
1	航空機落下	A	不要	落下確率は 10^{-7} 回/炉・年を下回ることから考慮不要と判断。(※)
2	ダムの崩壊	A	不要	<p>発電所の近くには、ダムの崩壊により発電所に影響を及ぼすような河川はない。従って、ダムの崩壊を考慮する必要はない。(図 1 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 2)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(60m~70m)があることから、発電所敷地へ影響することは無い。</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, 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、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	—	要	外部火災として、森林火災、近隣工場等の火災・爆発、航空機落下火災を評価。
4	有毒ガス	—	要	<p>発電所の近くには、有毒ガスの漏えいにより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、タンクローリーやケミカルタンカー等の可動施設についても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。

表 4 評価対象人為事象 スクリーニング結果 (2/3)

No.	人為事象	選定基準	詳細評価 要否	備考
5	船舶の衝突	A	不要	取水設備の外側にはカーテンウォールが設置されており、漂流船舶の侵入に対して障壁となるため、安全施設に影響はないと判断。(図 4 参照) 侵入可能な船舶の喫水は 5.7m であり、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。 なお、衝突時の火災影響評価を人為事象 No. 3「火災・爆発」において評価。 船舶の衝突による油の流出については、人為事象 No. 20「油流出」に記載。
6	電磁的障害	C	不要	影響が想定される制御系の盤に対しては、予め電波障害試験を実施。社内標準の無線通信手段 (PHS) では影響が無いことを確認している。また、PHS より出力が高い携帯電話の持ち込みや使用を禁止する運用を行っていることから、安全施設に影響はないと判断。
7	パイプライン事故	A	不要	発電所周辺のガスパイプラインは、基本的に地下に埋設されていることから、地上部施設について調査を実施したところ、発電所から最短のガスパイプライン (バルブ施設) までの距離は約 5km であるが、ガスの漏洩を想定しても、バルブ施設は防爆対策の取られた屋内に設置されていること、また、当該パイプラインを遮断し、ガスを高所から放出・拡散させる等、ガス事業法等の法令を準拠した設備となっていることから、引火の可能性は低く発電所への影響はない。
8	第三者の不法な接近	—	(要)	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)	—	(要)	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)	—	(要)	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)
11	サイバーテロ	—	(要)	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)
12	産業施設の事故	D	不要	人為事象 No. 3 火災・爆発, No. 4 有毒ガスにて評価。
13	輸送事故	D	不要	人為事象 No. 3 火災・爆発, No. 4 有毒ガスにて評価。

表 4 評価対象人為事象 スクリーニング結果 (3/3)

No.	人為事象	選定基準	詳細評価 要否	備考
14	軍事活動による ミサイルの飛来	—	(要)	原子炉等規制法の範疇を超えた有事の事象であるが、仮に発生した場合は、大規模損壊事象として対応。 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こととし、本資料の対象外とする。
15	サイト内外 での掘削	C	不要	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無く、プラントの安全性が損なわれ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。
16	内部溢水	—	(要)	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）
17	タービン ミサイル	A	不要	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）
18	重量物輸送	C	不要	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、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。
19	化学物質の放出 による水質悪化	B/C	不要	発電所敷地内にある化学物質（軽油等）は、堰で囲み、建屋内で保管するなど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、プラントの安全性が損なわれることはないと判断。
20	油流出	A	不要	船舶事故等によって、流出した油による取水設備への影響が考えられるが、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と判断。また、油が取水設備に到達するまでにオイルフェンスを設置する時間的余裕もある。



後谷ダム

平成 18 年完成

貯水量：1,150 千 m³

柏崎刈羽原子力
発電所

別山川

鯖石川



栃ヶ原ダム

平成 18 年完成

貯水量：2,470 千 m³

鯖石川ダム

昭和 49 年完成

貯水量：6,000 千 m³

図 1 柏崎刈羽原子力発電所と周辺の河川，ダムの状況

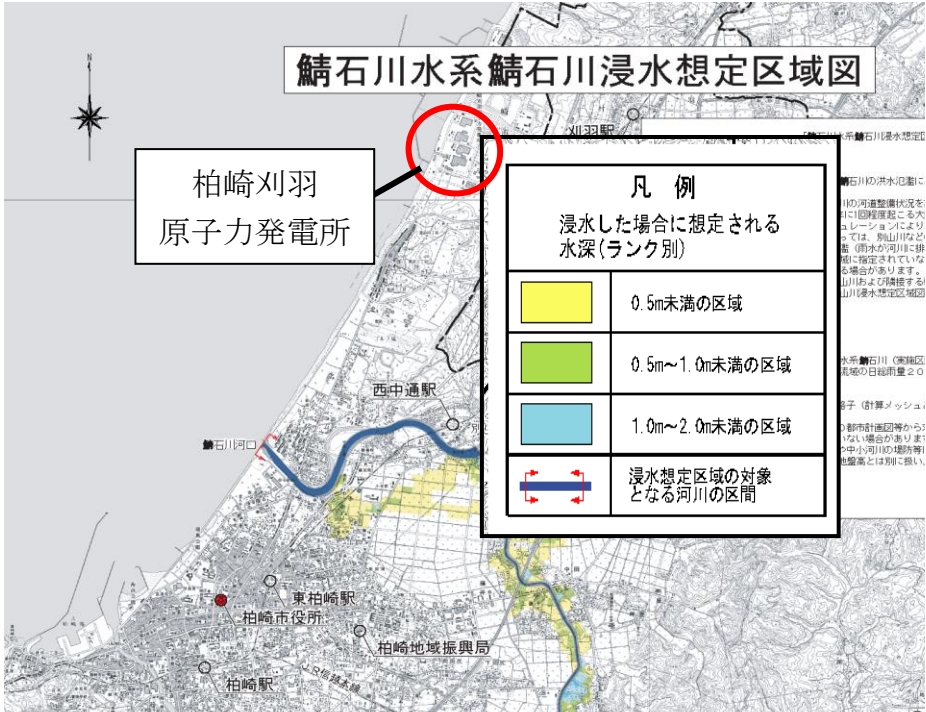
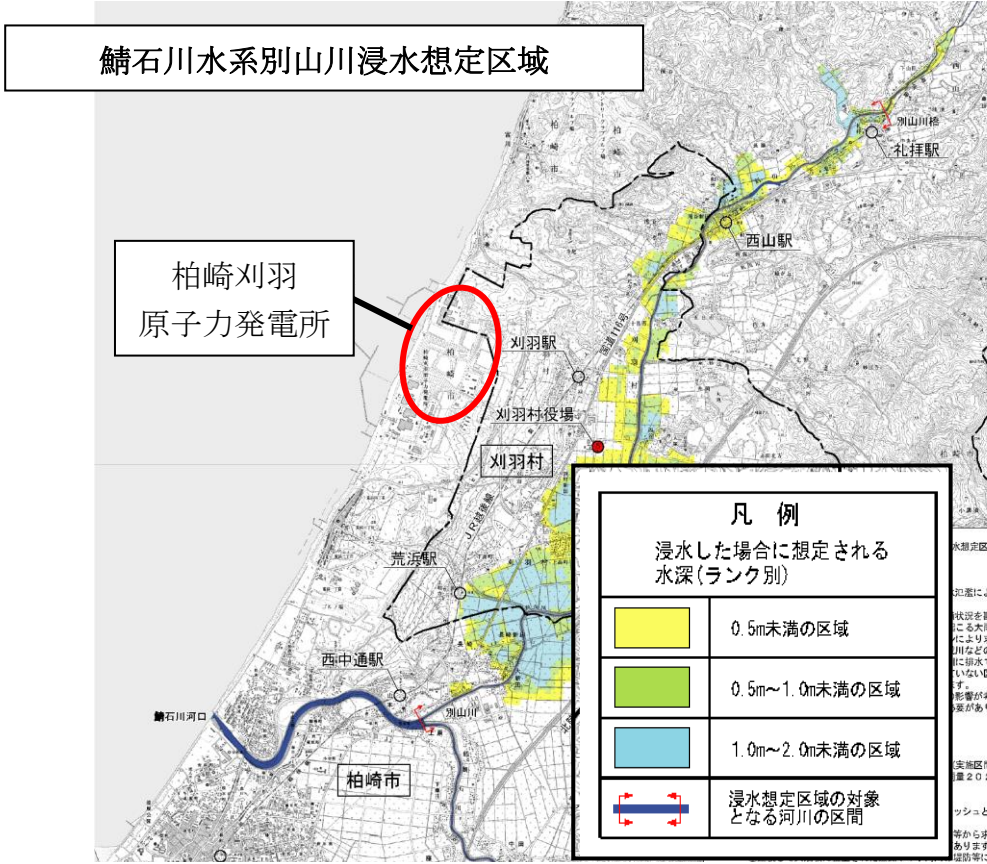


図 2 柏崎市の浸水想定区域



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

図 3 柏崎刈羽原子力発電所周辺の土石災害危険箇所・警戒区域

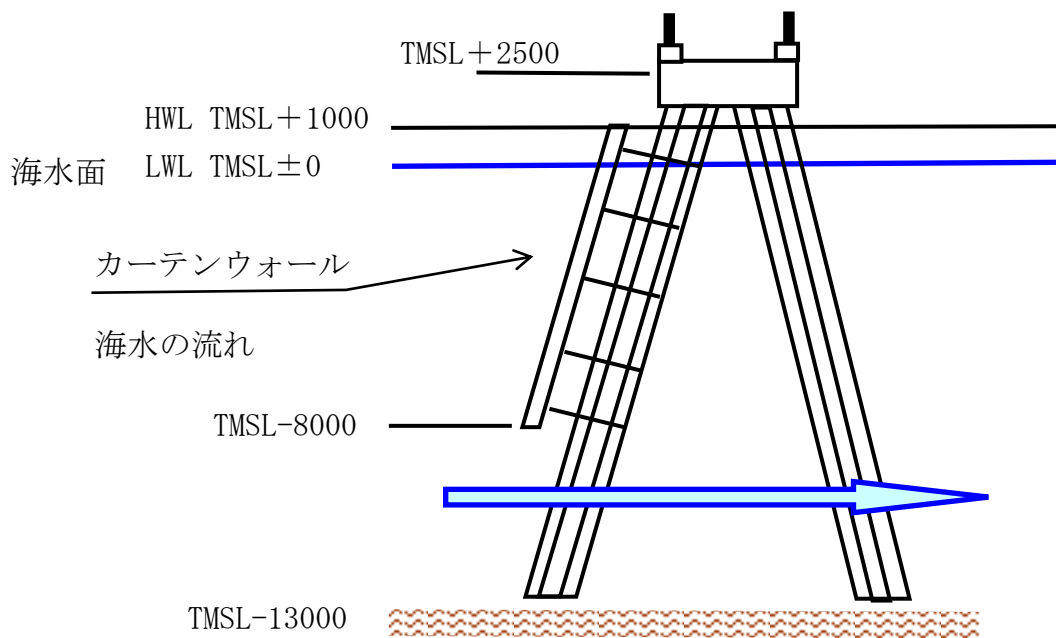
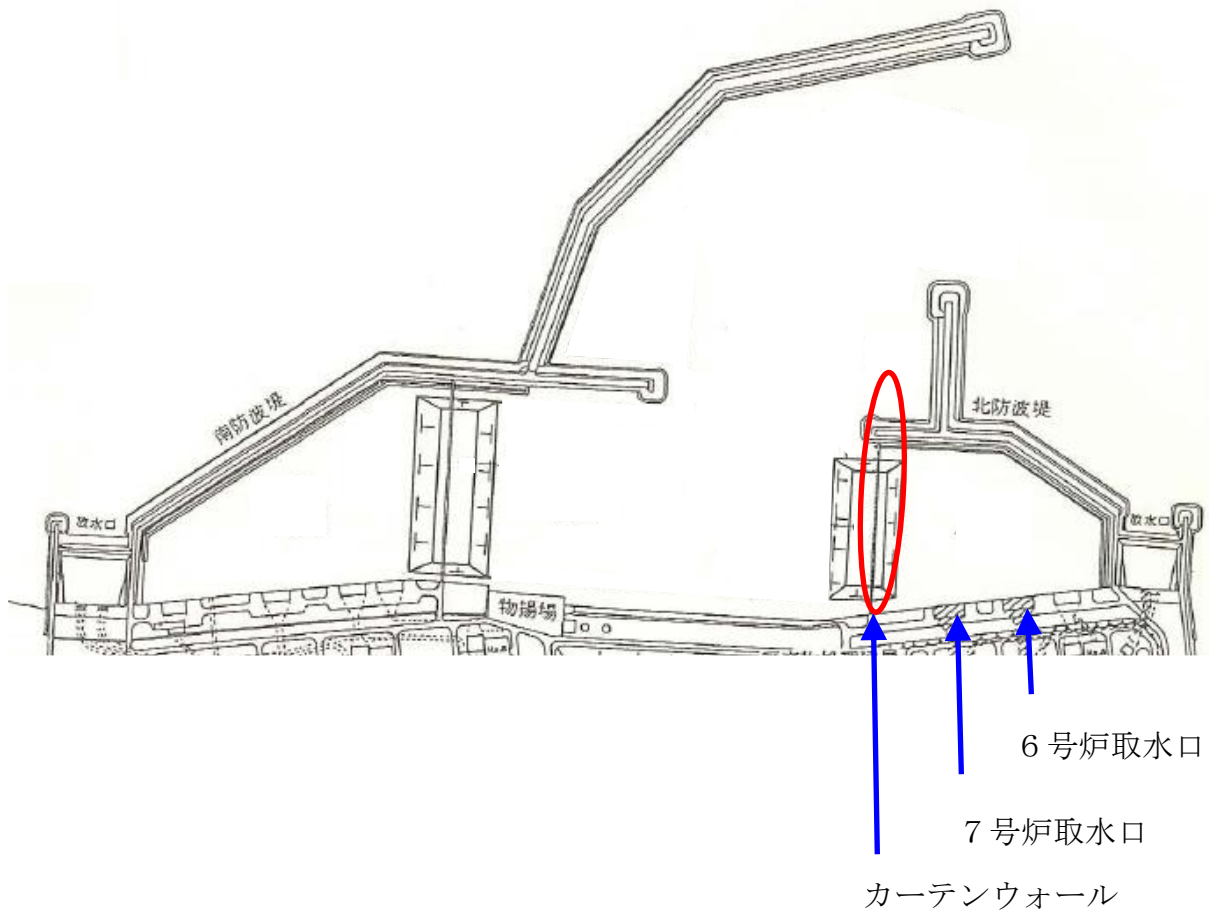


図 4 カーテンウォール

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、第六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, 2, 3に属する構築物, 系統および機器(以下、「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、安全重要度クラス1, 2, 3に属する構築物, 系統及び機器とする。

外部事象による安全施設への影響評価を行うにあたっては、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、各外部事象に対し機能が維持されるべき設備(原子炉停止・冷温維持, SFP冷却・水位維持に必要な設備)を評価し、安全機能が維持できることを確認する。

上記以外の設備については、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。

各外部事象の重畳については、自然現象およ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および重大事故等対処設備への考慮」のとおり。

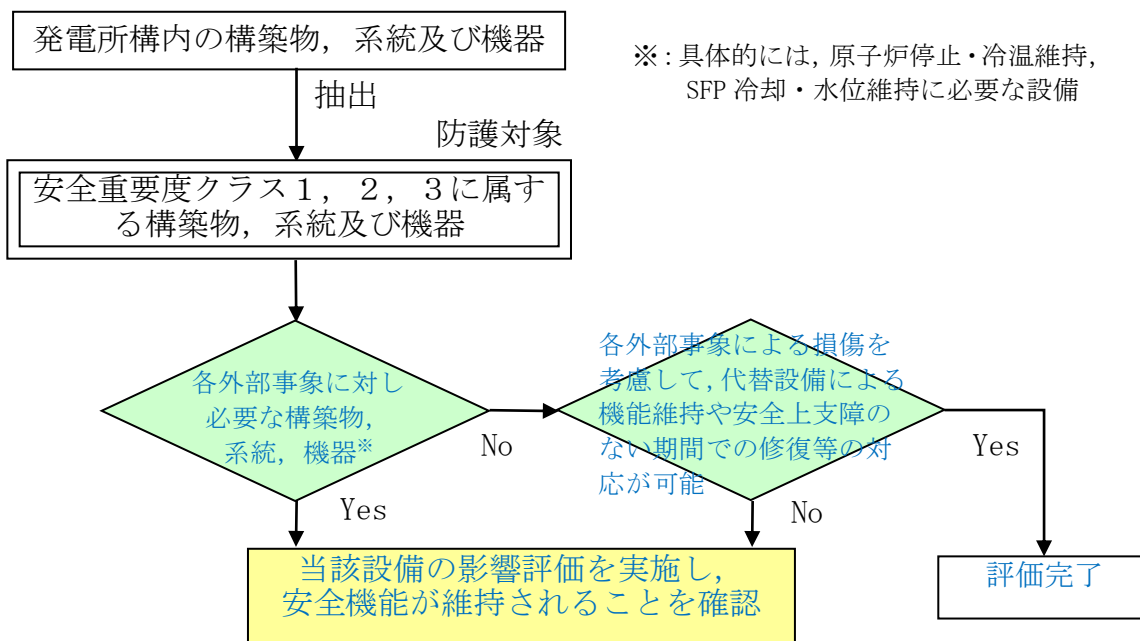


図 5 外部事象による安全施設への評価フロー

3. 重大事故等対処設備への考慮

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、重大事故等対処設備ではないが、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とともに、重大事故等対処設備の機能が喪失した場合においても、位置的分散又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、代替手段により必要な機能を維持できることを確認する。

重大事故等対処設備の機能維持は、以下の方針に従い評価を実施する。

(1) 重大事故防止設備は、外部事象によって設計基準設備の安全機能と同時にその機能が損なわれる恐れのないこと

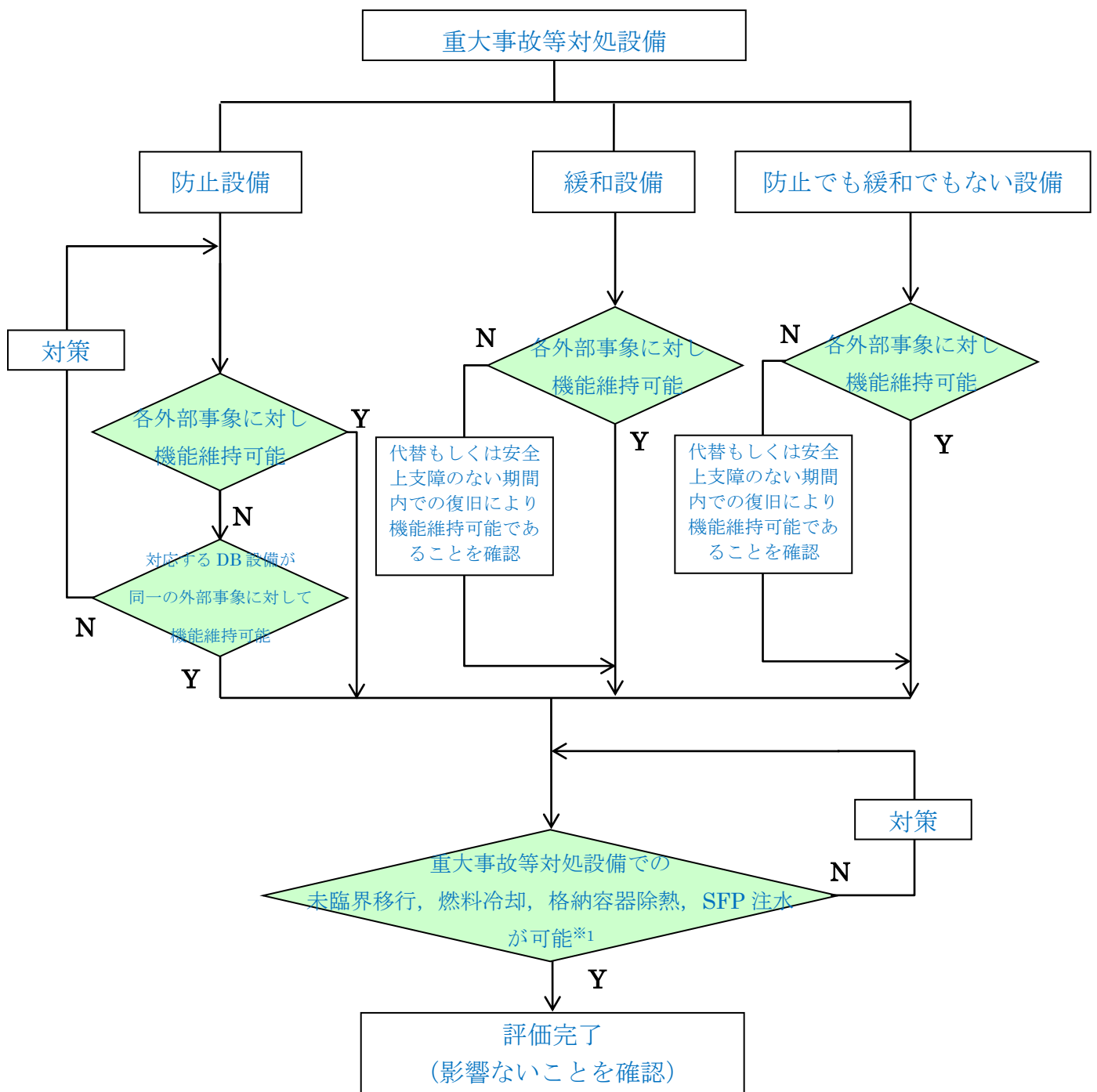
(2) 重大事故等対処設備であって、重大事故防止設備でない設備は、代替設備もしくは安全上支障のない期間内での復旧により機能維持可能であること

(3) 外部事象が発生した場合においても、重大事故等対処設備によりプラント安全性に関

する主要な機能（未臨界移行機能，燃料冷却機能，格納容器除熱機能，使用済燃料プール注水機能）が維持できること（各外部事象により重大事故等対処設備と設計基準設備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する）

外部事象による重大事故等対処施設への評価フローを，図 6 に示す。

なお，重大事故等対処設備へ考慮において，根拠となる条文については，「添付資料 3 防護すべき安全施設および重大事故等対象設備への考慮」のとおり



※1: 各外部事象により重大事故等対処設備と設計基準設備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 6 外部事象による重大事故等対処施設への評価フロー

4. 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うことのない設計とする。

評価する自然現象としては，風（台風含む），竜巻，低温（凍結），積雪，落雷，火山 が挙げられる。

4.1 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についても参照の上，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，それに基づき設計基準を設定する。

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，極値に基づき設計基準を設定する。

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の統計処理により算出した発生頻度を基に設計基準を設定する。参照する発生頻度については，自然現象の特性等を考慮し設定を行う。

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。

4.2 個別評価

(1) 風（台風含む）

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。

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の極値である40.1m/s（地上高10m，10分間平均）とする。

安全施設が、40.1m/s（地上高10m，10分間平均）の風が発生した場合においても、風（台風）によって安全機能を損なうことのない設計であることを評価・確認するため、設定した基準風速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。また、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（台風含む）」のとおり。

(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 58.3m/s）である。

基準竜巻・設計竜巻の最大瞬間風速は、F2 の風速範囲の上限値である 69m/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瞬間風速 69m/s での竜巻特性値を適切に設定する。

安全施設が、最大瞬間風速 69m/s の竜巻が発生した場合においても、竜巻及びその随件事象によって安全機能を損なうことのない設計であることを評価・確認するため、以下を実施し、安全機能が維持されることを確認する。

- ・ 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）に対する竜巻防護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

上記の結果より、原子炉施設の安全性が、竜巻により影響を受けるおそれはないことを確認した。

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「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、柏崎市の極値は -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 -17.0°C となる。

低温における基準温度は、観測記録の統計処理による年超過頻度 10^{-4} ／年値の -17.0°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、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。

設定した基準温度により安全機能に係わる設備の凍結等、影響について評価したところ、安全施設の安全機能が、低温により影響を受けるおそれはないことを確認した。

なお、評価結果の詳細は「添付資料6 低温（凍結）」のとおり。

(4) 積雪

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 メートルまで減らして計算することができる。

観測記録によると、柏崎市において、日降雪量の最大値は 72cm 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、1 日あたりの積雪量は 135.9cm である。

基準積雪量は、最深積雪量の平均値 31.1cm に、統計処理による 1 日あたりの積雪量の年超過頻度 10^{-4} / 年値 135.9cm を加えた 167cm とする。

設定した設計基準積雪量が荷重として原子炉建屋等の建築物の天井に作用した場合の影響、及び、積雪による給排気口の閉塞について評価したところ、原子炉施設の安全性が、積雪により影響を受けるおそれはないことを確認した。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 7 積雪」のとおり。

(5) 落雷

電気技術指針 JEAG4608 においては、500kV 発電所における送電線ならびに電力設備に対して基準電流を 150kV 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」、消防庁通知などによると、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。

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。

設定した基準電流値により安全機能に係わる設備に発生する誘導電圧の影響について評価したところ、原子炉施設の安全性が、落雷による影響を受ける恐れはないことを確認した。

なお、評価結果の詳細は「添付資料 8 落雷」のとおり。

(6) 火山

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（火山灰）である。

降下火砕物の堆積量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、敷地で確認されているテフラは存在するが、噴出源となる火山が、将来噴火する可能性がないこと、または、テフラの分布状況から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ることから考慮対象外とした。

設計基準の堆積量は、国内外の文献調査及び降下火砕物シミュレーション結果から、堆積量は30cmとする。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）」に基づく審査資料にて説明する。

降下火砕物及びその堆積条件に対し、以下の観点で評価を実施し、安全機能が維持されることを確認する。

- ・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）

上記の結果より、原子炉施設の安全性が、火山により影響を受けるおそれがないことを確認した。

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）」に基づく審査資料にて説明する。

5. 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うことのない設計とする。

想定される偶発的な人為事象としては、火災・爆発、有毒ガスが挙げられる。

5.1 個別評価

(1) 火災・爆発（森林火災、近隣工場の火災、航空機落下火災）

（爆発）

大きな爆発が発生する恐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発電所から 10km 以遠であり、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 および約 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 20m であり、6 号炉及び 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。

火災により発生した、ばい煙等の原子炉施設への影響を考慮し、万一建屋内に流入するおそれがある場合には、換気空調系の外気取入ダンパを閉止し、影響を防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無いことから、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(10kPa)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、構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。

(航空機落下に伴う火災)

航空機が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、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「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，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，換気空調設備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9 有毒ガス評価」のとおり。

6. 外部事象に対する安全施設および重大事故等対処設備への影響評価

4. および 5. にて評価した，外部事象による安全施設への影響を表 5 に示す。

また，重大事故等対処設備への影響について，表 6 に示す。

表5 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	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)		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス	
	機能	構築物、系統又は機能		評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	炉心形状の維持機能	炉心支持構造物、燃料集合体	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	未臨界維持機能	原子炉停止系(制御棒駆動系、ほう酸水注入系)	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	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、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、逃がし安全弁、自動減圧系)、原子炉格納容器(サブプレッションプール)	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	炉心冷却機能	非常用炉心冷却系(残留熱除去系、原子炉隔離時冷却系、高圧炉心注水系、自動減圧系)、原子炉格納容器(サブプレッションプール)	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		復水補給水系(復水貯蔵槽)	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器、原子炉格納容器隔離弁、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、残留熱除去系	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		原子炉建屋	R/B	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	設計荷重に対し影響のないことを確認 必要に応じプラントを停止し、ブローアウトパネルの閉止を実施	○	影響なし	○	設計荷重に対して影響のないことを確認	○	影響なし	○	設計荷重に対して影響のないことを確認	○	輻射熱、爆風圧に対して影響のないことを確認	○	影響なし
		非常用ガス処理系、可燃性ガス濃度制御系	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		排気筒(非常用ガス処理系配管の支持機能)	屋外	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	必要によりプラントを停止し、補修を実施	○	影響なし	○	内部へ入りづらい構造のため影響なし	○	雷害対策を実施	○	内部へ入りづらい構造のため影響なし	○	輻射熱、爆風圧に対して影響のないことを確認	○	影響なし
	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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	安全上特に重要な関連機能	非常用所内電源系	R/B, C/B, T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		非常用ディーゼル発電機	R/B (消音器は屋外)	○	建屋内 (消音器への影響なし)	○	建屋内 (消音器への影響なし)	○	建屋内 (消音器への影響なし)	○	建屋内 (給気ルーバの高さは積雪深より高い)	○	建屋内 (消音器への影響なし)	○	建屋内 (給気についてはフィルタの交換等を実施するため影響なし)	○	建屋内 (ばい煙によるD/G機関への影響がないことを確認)	○	影響なし
		中央制御室及びその遮へい・中央制御室換気空調系	C/B	○	建屋内	○	飛来物影響が想定される箇所へ防護対策を実施	○	建屋内	○	建屋内 (給気ルーバの高さは積雪深より高い)	○	建屋内	○	建屋内 (給気についてはフィルタの交換等を実施するため影響なし)	○	建屋内 (ばい煙による非常用換気空調系への影響がないことを確認)	○	影響なし(居住性評価)
原子炉補機冷却水系・原子炉補機冷却海水系		R/B T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし(火山灰の影響がないことを確認)	○	建屋内	○	影響なし	
直流電源系・計測制御電源系		R/B, C/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	

○: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
-:他の項目にて整理

表5 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	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)		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス	
	機能	構築物、系統又は機能		評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
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ダリから外れる部分)、主蒸気系	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		原子炉隔離時冷却系タービン蒸気供給ライン(→MS-1 炉心冷却機能に記載)	R/B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	原子炉冷却材圧力バウ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	○	建屋内	○	影響なし(飛来物影響なし)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	燃料を安全に取り扱う機能	放射性気体廃棄物処理系(活性炭式希ガスホルドアップ装置)	T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	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	R/B	○	建屋内	○	影響なし(飛来物影響なし)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
安全弁及び逃げがし弁の吹き止まり機能	逃げがし安全弁(吹き止まり機能に関連する部分)	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	
MS-2	安全上特に重要な関連機能の間接関連系	軽油タンク、非常用ディーゼル発電機燃料移送系	屋外	○	防護対策を実施	○	防護対策を実施	○	影響なし	○	防護対策を実施	○	雷害対策を実施	○	防護対策を実施	○	輻射熱に対して影響しないことを確認	○	影響なし
		非常用所内電源系空調	R/B・C/B・T/B	○	建屋内	○	飛来物影響が想定される箇所へ防護対策を実施	○	影響なし	○	建屋内(給気ルーバの高さは積雪深より高い)	○	建屋内	○	建屋内(給気についてはフィルタの交換等を実施するため影響なし)	○	建屋内	○	影響なし
	燃料プール水の補給機能	残留熱除去系	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	放射性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止弁	R/B	○	建屋内	○	影響なし(飛来物影響なし)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		原子炉建屋原子炉棟	R/B	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	設計荷重に対し影響のないことを確認(必要に応じプラントを停止し、ブローアウトパネルの閉止を実施)	○	影響なし	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	影響なし	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	輻射熱、爆風圧に対して影響しないことを確認	○	影響なし
		放射性気体廃棄物処理系(オフガス系)隔離弁	T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		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	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	必要によりプラントを停止し、補修を実施	○	影響なし	○	内部へ入りづらい構造のため影響なし	○	雷害対策を実施	○	内部へ入りづらい構造のため影響なし	○	輻射熱、爆風圧に対して影響しないことを確認	○	影響なし
	非常用ガス処理系、空調機(間接関連系:MS-2)	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○
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)	C/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	
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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	

○:各外部事象に対し安全機能を維持できる
 △: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
 —:他の項目にて整理

表5 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	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)		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス	
	機能	構築物、系統又は機能		評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	原子炉冷却材の循環機能	原子炉再循環系	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	放射性物質の貯蔵機能	サブプレッションプール水サージタンク	屋外	○	運用停止中	○	運用停止中	○	運用停止中	○	運用停止中	○	運用停止中	○	運用停止中	○	運用停止中	○	運用停止中
		復水貯蔵槽, 液体廃棄物処理系, 固体廃棄物処理系	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		固体廃棄物貯蔵庫, ドラム缶	固体廃棄物貯蔵庫	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施)	○	影響なし(建屋内)	○	補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施)	○	雷害対策を実施	○	補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施)	○	建屋内	○	影響なし
		固体廃棄物処理建屋, 固体廃棄物処理設備	固体廃棄物処理建屋	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施)	○	建屋内	○	補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施)	○	雷害対策を実施	○	補修を実施(放射性物質の拡散防止について適切な処置を実施)	○	建屋内	○	影響なし
		新燃料貯蔵庫, 新燃料貯蔵ラック	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	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, 給水系, 循環水系	T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		送電線	屋外送電線	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	影響なし
		変圧器, 開閉所	屋外	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	代替設備(非常用ディーゼル発電機)により機能維持可能	○	影響なし
	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(RWM含む), 原子炉核計装, 原子炉プロセス計装	C/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	プラント運転補助機能	補助ボイラ設備	補助ボイラ建屋	○	建屋内	○	補修を実施	○	建屋内	○	補修を実施	○	建屋内	○	補修を実施	○	建屋内	○	影響なし
		計装用圧縮空気系	T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	核分裂生成物の原子炉冷却材中の拡散防止機能	燃料被覆管	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	原子炉冷却材の浄化機能	原子炉冷却材浄化系	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
復水浄化系		T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	

○: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
 -:他の項目にて整理

表5 外部事象に対する安全施設の影響評価 (4 / 4)

分類	安全機能の重要度分類		設備設置箇所	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)		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス				
	機能	構築物, 系統又は機能		評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法			
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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし			
		タービンバイパス弁	T/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	
	出力上昇の抑制機能	原子炉冷却材再循環系 (再循環ポンプトリップ機能), 制御棒引抜監視装置	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	
	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	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	
	原子炉冷却材の再循環流量低下の緩和機能	原子炉冷却材再循環ポンプMGセット	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	
	原子力発電所緊急時対策所	免震重要棟	○	建屋内	○	代替設備 (3号炉緊急対策所) により機能維持可能	○	建屋内	○	建屋内	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	雷害対策を実施	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	建屋内	○	影響なし (居住性評価)		
		R/B (3号炉)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	雷害対策を実施	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	建屋内	○	影響なし (居住性評価)		
	試料採取系	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	通信連絡設備	所外通信	無線系	マイクロ波無線鉄塔	○	風荷重に対して影響のないことを確認。飛来物による損傷を考慮した場合でも、分散配置された代替設備 (衛星系 (3号炉), 有線系) により機能維持可能	○	分散配置された代替設備 (衛星系 (3号炉), 有線系) により機能維持可能	○	代替設備 (衛星系) により機能維持可能	○	代替設備 (衛星系) により機能維持可能	○	分散配置された代替設備 (衛星系, 有線系) により機能維持可能	○	代替設備 (衛星系) により機能維持可能	○	分散配置された代替設備 (衛星系 (3号炉), 有線系) により機能維持可能	○	影響なし		
			有線系	送電鉄塔	○	風荷重や飛来物による損傷を考慮した場合でも、分散配置された代替設備 (衛星系, 無線系) により機能維持可能	○	分散配置された代替設備 (衛星系, 無線系) により機能維持可能	○	代替設備 (衛星系) により機能維持可能	○	代替設備 (衛星系) により機能維持可能	○	分散配置された代替設備 (衛星系, 無線系) により機能維持可能	○	代替設備 (衛星系) により機能維持可能	○	分散配置された代替設備 (衛星系, 無線系) により機能維持可能	○	影響なし		
		所内外通信	有線系 無線系 衛星系	免震重要棟 (屋外設備含む)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は風荷重に対して影響のないことを確認。飛来物による損傷を考慮した場合でも、代替設備 (衛星系 (3号炉), 無線系 (3号炉), 有線系) により機能維持可能	○	代替設備 (衛星系 (3号炉), 無線系 (3号炉), 有線系) により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備 (衛星系) により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備 (無線系, 衛星系) は、雪が積もりにくい形状であるとともに、適切に除雪するなどの対応により機能維持可能	○	屋外設備は分散配置された代替設備 (衛星系 (3号炉緊急対策所), 無線系 (マイクロ波無線鉄塔, 3号炉緊急対策所), 有線系) により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備 (無線系, 衛星系) は、灰が積もりにくい形状であるとともに、適切に除灰するなどの対応により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は代替設備 (衛星系 (3号炉), 無線系 (3号炉), 有線系) により機能維持可能	○	影響なし		
			R/B (3号炉) (屋外設備含む)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は風荷重に対して影響のないことを確認。飛来物による損傷を考慮した場合でも、代替設備 (衛星系 (免震重要棟), 無線系 (マイクロ波無線鉄塔, 免震重要棟), 有線系) により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は代替設備 (衛星系 (免震重要棟), 無線系 (マイクロ波無線鉄塔, 免震重要棟), 有線系) により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備 (衛星系) により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備 (無線系, 衛星系) は、雪が積もりにくい形状であるとともに、適切に除雪するなどの対応により機能維持可能	○	屋外設備は分散配置された代替設備 (衛星系 (免震重要棟), 無線系 (マイクロ波無線鉄塔, 免震重要棟), 有線系) により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備 (無線系, 衛星系) は、灰が積もりにくい形状であるとともに、適切に除灰するなどの対応により機能維持可能	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は代替設備 (衛星系 (免震重要棟), 無線系 (マイクロ波無線鉄塔, 免震重要棟), 有線系) により機能維持可能	○	影響なし			
	所内通信	有線系	各建屋 (地下設備含む)	○	建屋内及び地下布設のため影響なし	○	建屋 (免震重要棟除く) 内及び地下布設のため影響なし	○	建屋内及び地下布設のため影響なし。地下布設の有線系は機能維持可能	○	建屋内及び地下布設のため影響なし	○	代替設備 (無線系, 衛星系) により機能維持可能	○	建屋内及び地下布設のため影響なし	○	建屋内及び地下布設のため影響なし	○	建屋内及び地下布設のため影響なし	○	影響なし	
			屋外設備	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	復旧 (PHS基地局) により機能維持可能	○	影響なし	
	放射能監視設備 (モニタリングポスト)	屋外	○	設計荷重に対し影響のないことを確認	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型モニタリング設備) により機能維持可能	○	影響なし
	放射線監視設備 (放射能観測車)	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備 (放射線観測車の代替測定装置) により機能維持可能	○	代替設備 (放射線観測車の代替測定装置) により機能維持可能	○	影響なし (暖機運転により対応)	○	影響なし (適切に除雪する。)	○	代替設備 (放射線観測車の代替測定装置) により機能維持可能	○	影響なし (適切に除灰する。)	○	防火帯内 (輻射熱に対して影響ないことを確認)	○	防火帯内 (輻射熱に対して影響ないことを確認)	○	影響なし		
	事故時監視計器の一部	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		気象観測装置	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	代替設備 (可搬型気象観測装置) により機能維持可能	○	影響なし
	消火系	給水建屋 水処理建屋	○	建屋内	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	建屋内	○	建屋内	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	建屋内	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
		ろ過タンク (屋外配管含む)	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	影響なし	○	影響なし	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	代替設備 (防火水槽) により機能維持可能	○	影響なし
泡消火設備		○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	影響なし (泡消火薬剤の凍結なし)	○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	代替設備 (消防車) により機能維持可能	○	影響なし	
安全避難通路, 非常照明	各建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	

○: 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
 - 他: 項目にて整理

表6 外部事象に対する重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価（1 / 5）

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設備設置箇所	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）		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス	
				評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
第37条（重大事故等の拡大の防止等）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第38条（重大事故等対処施設の地盤）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第39条（地震による損傷の防止）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第40条（津波による損傷の防止）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第41条（火災による損傷の防止）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第42条（特定重大事故等対処施設）	特定重大事故等対処施設	→申請範囲外	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第43条（重大事故等対処設備）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第44条（緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備）	代替制御棒挿入機能〔ARI〕	防止設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	代替冷却材再循環ポンプ・トリップ機能〔ATWS-RPT〕	防止設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	ほう酸水注入系〔SLC〕	防止設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
第45条（原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備）	原子炉隔離時冷却系（手動操作）〔RCIC〕	（設計基準対象施設）	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	（代替直流電源設備）	→57条に記載	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	高圧代替注水系〔HPAC〕	防止設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内
第46条（原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備）	代替自動減圧機能	防止設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	高圧窒素ガスボンベ（予備）	防止設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	（可搬型代替直流電源設備）	→57条に記載	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第47条（原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備）	低圧代替注水系（常設）〔MWCポンプ〕	防止設備・緩和設備	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	低圧代替注水系（可搬型）〔消防車〕	防止設備・緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備（低圧代替注水系（常設））	○	分散配置及び代替設備（低圧代替注水系（常設））	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（低圧代替注水系（常設））	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響なし
	低圧代替注水系（可搬型）（常設箇所）〔消防車接続口、配管等〕	防止設備・緩和設備	屋外R/B廻り	○	代替設備（低圧代替注水系（常設））	○	分散配置及び代替設備（低圧代替注水系（常設））	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし	○	防火帯内（離隔距離により影響しないことを確認）	○	影響なし

○：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た場合でも、対応するDB設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 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（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理

表6 外部事象に対する重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価（2 / 5）

設置許可基準	重大事故等対策設備	分類	設備設置箇所	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）		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス	
				評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
第48条（最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備）	代替原子炉補機冷却系（可搬部）〔代替Hx設備一式（専用トランス含む）〕	防止設備・緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備（原子炉補機冷却系）	○	分散配置及び代替設備（原子炉補機冷却系）	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（原子炉補機冷却系）	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響ないことを確認）	○	影響なし
	代替原子炉補機冷却系（常設箇所）〔代替Hx接続口、配管等〕	防止設備・緩和設備	屋外T/B廻り	○	代替設備（原子炉補機冷却系）	○	分散配置及び代替設備（原子炉補機冷却系）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（原子炉補機冷却系）	○	影響なし	○	防火帯内（離隔距離により影響ないことを確認）	○	影響なし
	耐圧強化ベント（W/W及びD/W）	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	格納容器圧力逃がし装置〔フィルタベント〕	防止設備・緩和設備	屋内・屋外	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	代替設備（耐圧強化ベント）	○	影響なし	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	建屋連への範囲内	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	防火帯内（輻射熱に対して影響ないことを確認）	○	影響なし
第49条（原子炉格納容器内の冷却等のための設備）	代替格納容器スプレ冷却系〔MWC代替スプレー〕	防止設備・緩和設備	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
第50条（原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備）	フィルタベント	防止設備・緩和設備	屋内・屋外	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	代替設備（耐圧強化ベント，代替循環冷却）	○	影響なし	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	建屋連への範囲内	○	設計荷重に対して影響ないことを確認	○	防火帯内（輻射熱に対して影響ないことを確認）	○	影響なし
	不活性ガス（窒素ガス）置換設備（可搬型）〔窒素生成装置〕	緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備（耐圧強化ベント，代替循環冷却）	○	代替設備（耐圧強化ベント，代替循環冷却）	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響ないことを確認）	○	影響なし
	不活性ガス（窒素ガス）置換設備（可搬型）（常設箇所）〔窒素生成装置接続口等〕	緩和設備	屋外R/B廻り	○	代替設備（耐圧強化ベント，代替循環冷却）	○	代替設備（耐圧強化ベント，代替循環冷却）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし	○	防火帯内（輻射熱に対して影響ないことを確認）	○	影響なし
	空気駆動弁操作ボンベ〔ベント用予備ボンベ〕	緩和設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	代替Hx設備一式（可搬部）、代替Hx接続口、配管等、代替原子炉補機冷却系海水取水箇所	→48条に記載			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	代替循環冷却	代替循環冷却用設備（常設）	防止設備・緩和設備	R/B, T/B, Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○
第51条（原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備）	格納容器下部注水系（常設）〔MWCベダスタル注水〕	緩和設備	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	格納容器下部注水系（可搬型）〔消防車〕	緩和設備	屋外	○	代替設備（格納容器下部注水系（常設））	○	分散配置及び代替設備（格納容器下部注水系（常設））	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（格納容器下部注水系（常設））	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響ないことを確認）	○	影響なし
	格納容器下部注水系（可搬型）（常設箇所）〔消防車接続口、配管等〕	緩和設備	屋外R/B廻り	○	代替設備（格納容器下部注水系（常設））	○	分散配置及び代替設備（格納容器下部注水系（常設））	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし	○	防火帯内（離隔距離により影響ないことを確認）	○	影響なし
第52条（水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備）	水素濃度及び放射線レベルを測定できる設備〔フィルタベントライン計装〕	防止設備・緩和設備	R/B, 屋外R/B廻り	○	建屋内（格納容器圧力逃がし装置側水素濃度計）及び代替設備（耐圧強化ベント用放射線検出器）	○	建屋内（格納容器圧力逃がし装置側水素濃度計）及び代替設備（耐圧強化ベント用放射線検出器）	○	影響なし	○	建屋内（格納容器圧力逃がし装置側水素濃度計）及び代替設備（耐圧強化ベント用放射線検出器）	○	建屋内（格納容器圧力逃がし装置側水素濃度計）及び代替設備（耐圧強化ベント用放射線検出器）	○	建屋内（格納容器圧力逃がし装置側水素濃度計）及び代替設備（耐圧強化ベント用放射線検出器）	○	防火帯内（離隔距離により影響ないことを確認）	○	影響なし
	格納容器圧力逃がし装置	→50条に記載		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

○：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た場合でも、対応するDB設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 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（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理

表6 外部事象に対する重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価（3 / 5）

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設備設置箇所	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）		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス	
				評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法
第53条（水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備）	静的触媒式水素再結合器〔PAR〕	緩和設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	格納容器頂部注水系（可搬型）〔消防車〕	緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替措置（静的触媒式水素再結合器〔PAR〕）	○	分散配置及び代替設備（静的触媒式水素再結合器〔PAR〕）	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（可燃性ガス濃度制御系、静的触媒式水素再結合器〔PAR〕）	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響なし
	格納容器頂部注水系（可搬型）（常設箇所）〔消防車接続口、配管等〕	緩和設備	屋外R/B廻り	○	代替措置（静的触媒式水素再結合器〔PAR〕）	○	分散配置及び代替設備（静的触媒式水素再結合器〔PAR〕）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし	○	防火帯内（離隔距離により影響しないことを確認）	○	影響なし
	原子炉建屋水素濃度監視設備	緩和設備	R/B	○	建屋内	○	外殻となる建屋が開く場合には同機能は不要	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
第54条（使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備）	燃料プール代替注水系（常設）〔MUWC燃料プール代替注水〕	防止設備	Rw/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	燃料プール代替注水系（可搬型）〔消防車〕	防止設備・緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備（燃料プール代替注水系（常設））	○	分散配置及び代替設備（燃料プール代替注水系（常設））	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響なし
	燃料プール代替注水系（可搬型）（常設箇所）〔消防車接続口、配管等〕	防止設備・緩和設備	屋外R/B廻り	○	代替設備（燃料プール代替注水系（常設））	○	分散配置及び代替設備（燃料プール代替注水系（常設））	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（燃料プール代替注水系（常設））	○	影響なし	○	防火帯内（離隔距離により影響しないことを確認）	○	影響なし
	使用済燃料プールの水位、プール水温度〔SFP水位・温度計（新設）〕	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	○	分散配置及び代替設備（FPC温度計）	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	プール上部空間線量率測定装置〔燃料エリア放射線モニタ〕	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	○	代替設備（FPC温度計）	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	工業用カメラ〔SFP監視カメラ〕	防止でも緩和でもない設備	R/B	○	建屋内	○	代替設備（FPC温度計）	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
第55条（工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備）	放水設備一式	緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	補修を実施	○	補修を実施	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	補修を実施	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響なし
	放射性物質吸着剤	緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	補修を実施	○	補修を実施	○	影響無し	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	補修を実施	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響無し
	海洋への拡散抑制設備〔シルトフェンス〕	緩和設備	屋外固体廃棄物処理建屋廻り	○	補修を実施	○	補修を実施	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（離隔距離により影響しないことを確認）	○	影響なし
第56条（重大事故等の取束に必要な水の供給設備）	防火水槽	防止設備・緩和設備	屋外（地下埋設）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）
	淡水貯水池	防止設備・緩和設備	淡水貯水池	○	影響なし	○	代替設備（復水貯蔵槽）	○	影響なし（池表面のみ凍結すると評価）	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし	○	影響なし
	淡水貯水池～防火水槽移送ホース	防止設備・緩和設備	地下敷設	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）	○	影響なし（地下）
	海水	—	屋外	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	復水貯蔵槽への接続口 （可搬型代替注水ポンプ）	防止設備・緩和設備 →47条に記載	屋外Rw/B	○	影響なし	○	分散配置及び代替設備（復水貯蔵槽）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし	○	防火帯内（離隔距離により影響しないことを確認）	○	影響なし

○：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た場合でも、対応するDB設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 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（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理

表6 外部事象に対する重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価（4/5）

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設備設置箇所	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）		積雪		落雷		火山		火災・爆発		有毒ガス			
				評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法		
第57条（電源設備）	常設代替交流電源設備〔GTG一式〕	防止設備・緩和設備	ガスタービン発電機保管場所	○	代替設備（非常用D/G）	○	分散配置及び代替設備（非常用D/G）	○	代替設備（非常用D/G）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（非常用D/G）	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響なし		
	可搬型代替交流電源設備〔電源車〕	防止設備・緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備（非常用D/G）	○	分散配置及び代替設備（非常用D/G）	○	代替設備（非常用D/G）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（非常用D/G）	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響なし		
	可搬型代替交流電源設備（常設箇所）〔電源車接続箇所〕	防止設備・緩和設備	屋外R/B廻り	○	代替設備（非常用D/G）	○	分散配置及び代替設備（非常用D/G）	○	影響なし	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	影響なし	○	影響なし	○	防火帯内（離隔距離により影響しないことを確認）	○	影響なし		
	常設代替直流電源設備（AM用高所蓄電池）〔R/B高所バッテリー〕	防止設備・緩和設備	R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	可搬型代替直流電源設備〔免震棟保管バッテリー〕	防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内	○	代替設備（直流電源設備）	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	（燃料設備（D/G軽油タンク（タンクローリー輸送）））	→設計基準対象施設における評価対象施設			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	（燃料設備（タンクローリー））	防止設備・緩和設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備（D/G軽油タンク）	○	分散配置及び代替設備（D/G軽油タンク）	○	影響なし（暖機運転にて対応）	○	影響なし（適切に除雪する。）	○	分散配置及び代替設備（D/G軽油タンク）	○	影響なし（適切に除灰する。）	○	防火帯内（輻射熱に対して影響しないことを確認）	○	影響なし		
第58条（計装設備）	重大事故等発生時の計装（直接計測設備）〔SA時計装一式〕（RPV温度・圧力・水位、RPV・格納容器への注水量）	防止設備・緩和設備	C/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	重大事故等発生時の計装（推定手段）（格納容器内の温度・圧力・水位・水素濃度・放射線線量率）	緩和設備	C/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
第59条（原子炉制御室）	中央制御室及びその遮へい	（設計基準対象施設）	C/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし（居住性評価）
	中央制御室空調（中央制御室送風機） （中央制御室再循環送風機） （中央制御室再循環フィルタ）	→設計基準対象施設における評価対象施設		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	中央制御室待避所及びその遮へい	緩和設備	C/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	中央制御室待避所加圧用ポンペ （代替交流電源設備）	緩和設備 →57条に記載	C/B	○ —	建屋内 —	○ —	建屋内 —	○ —	建屋内 —	○ —	建屋内 —	○ —	建屋内 —	○ —	建屋内 —	○ —	建屋内 —	○ —	建屋内 —	○ —	影響なし —

○：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た場合でも、対応するDB設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる（防止設備）
 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（緩和設備、防止でも緩和でもない設備）
 —：他の項目にて整理

表6 外部事象に対する重大事故等に対処するための機能を有する設備の影響評価 (5 / 5)

設置許可基準	重大事故等対処設備	分類	設備設置箇所	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)		積雪		落雷		火山		火災・爆発	有毒ガス		
				評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法	評価	防護方法		
第60条 (監視測定設備)	可搬型モニタリングポスト	防止でも緩和でもない設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備(モニタリングポスト)	○	代替設備(モニタリングポスト)	○	影響なし	○	影響なし(適切に除雪する。)	○	代替設備(モニタリングポスト)	○	影響なし(適切に除灰する。)	○	防火帯内(輻射熱に対して影響ないことを確認)	○	影響なし
	放射線サーベイ機器 [可搬型ダスト・よう素サンブラ, GM汚染サーベイメータ, NaIシンチレーションサーベイメータ, 電離式サーベイメータ, ZnSシンチレーションサーベイメータ]	防止でも緩和でもない設備	免震重要棟 R/B (3号炉)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	小型船舶	防止でも緩和でもない設備	可搬型SA設備保管場所	○	補修を実施	○	補修を実施	○	影響なし	○	影響なし(適切に除雪する。)	○	補修を実施	○	影響なし(適切に除灰する。)	○	防火帯内(輻射熱に対して影響ないことを確認)	○	影響なし
	可搬型気象観測設備	防止でも緩和でもない設備	可搬型SA設備保管場所	○	代替設備(気象観測装置)	○	代替設備(気象観測装置)	○	影響なし	○	影響なし(適切に除雪する。)	○	代替設備(気象観測装置)	○	影響なし(適切に除灰する。)	○	防火帯内(輻射熱に対して影響ないことを確認)	○	影響なし
第61条 (緊急時対策所)	緊急時対策所 [免震重要棟TSC] 及びその遮へい	防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内	○	代替設備(3号炉緊急対策所)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし(居住性評価)
	専用の代替交流電源設備 [免震重要棟GTG]	防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内	○	代替設備(3号炉緊急対策所)	○	建屋内	○	建屋内	○	代替設備(3号炉緊急対策所)	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	プラントのデータ表示システム [免震重要棟TSC SPDS表示装置]	防止でも緩和でもない設備	免震重要棟 (屋外設備含む)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	代替設備(3号炉緊急対策所)にて機能維持可能(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	影響なし
	(通信連絡設備)		→62条に記載	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	緊急時対策所(免震重要棟TSC) 換気空調系	防止設備・緩和設備	免震重要棟	○	建屋内	○	代替設備(3号炉緊急対策所)	○	建屋内	○	建屋内	○	代替設備(3号炉緊急対策所)	○	建屋内	○	建屋内(ばい煙による居住環境への影響がないことを確認)	○	影響なし
	緊急時対策所(KK3TSC) 及びその遮へい	防止設備・緩和設備	R/B(3号炉)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし(居住性評価)
	専用の代替交流電源設備 [KK3TSC常設バックアップ電源(高圧電源車)]	防止設備・緩和設備	屋外	○	代替設備(3号炉非常用D/G)	○	代替設備(3号炉非常用D/G)	○	建屋内	○	影響なし(適切に除雪する。)	○	代替設備(3号炉非常用D/G)	○	影響なし(適切に除灰する。)	○	防火帯内(輻射熱に対して影響ないことを確認)	○	影響なし
	プラントのデータ表示システム [KK3TSC事故時監視サーバ、SPDS表示装置]	防止でもない緩和でもない設備	R/B(3号炉) (屋外設備含む)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	代替設備(免震重要棟)にて機能維持可能(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	建屋内(屋外設備については代替設備(有線系)にて機能維持可能)	○	影響なし
緊急時対策所(KK3TSC) 換気空調系(可搬)	防止設備・緩和設備	R/B(3号炉)	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	代替設備(免震重要棟)	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし	
第62条 (通信連絡を行うために必要な設備)	所内通信	携帯型音声呼出電話設備	R/B, T/B, C/B, R/B	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	建屋内	○	分散配置された代替設備(他の有線系(復旧含む)により機能維持可能)	○	建屋内	○	建屋内	○	影響なし
	所内外通信	衛星電話設備, 無線連絡設備(所内通信)	C/B, 免震棟, R/B(3号炉) (屋外設備含む)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は風荷重に対して影響のないことを確認。飛来物による損傷を考慮した場合でも, 分散配置された代替設備(有線系, 無線系, 衛星系)により機能維持可能	○	建屋(C/B, R/B(3号炉))内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備(有線系, 無線系, 衛星系)により機能維持可能	○	衛星電話設備は影響なし。無線連絡設備については代替設備(有線系, 衛星系)により機能維持可能。	○	影響なし(屋外設備についても, 雪が積もりにくい形状であるとともに, 適切に除雪するなどの対応により機能維持可能)	○	分散配置された代替設備(有線系, 無線系, 衛星系)により機能維持可能	○	影響なし(屋外設備についても, 灰が積もりにくい形状であるとともに, 適切に除灰するなどの対応により機能維持可能)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備(有線系, 無線系, 衛星系)により機能維持可能	○	影響なし
	所外通信	統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備, データ伝送設備	C/B, 免震棟, R/B(3号炉) (屋外設備含む)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は風荷重に対して影響のないことを確認。飛来物による損傷を考慮した場合でも, 分散配置された代替設備(有線系, 無線系, 衛星系)により機能維持可能	○	建屋(C/B, R/B(3号炉))内設備は影響なし。屋外設備については分散配置された代替設備(有線系, 無線系, 衛星系)により機能維持可能	○	影響なし	○	影響なし(屋外設備についても, 雪が積もりにくい形状であるとともに, 適切に除雪するなどの対応により機能維持可能)	○	分散配置された代替設備(有線系, 無線系, 衛星系)により機能維持可能(復旧含む)	○	影響なし(屋外設備についても, 灰が積もりにくい形状であるとともに, 適切に除灰するなどの対応により機能維持可能)	○	建屋内設備は影響なし。屋外設備は分散配置された代替設備(有線系, 衛星系)により機能維持可能	○	影響なし

○: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た場合でも, 対応するDB設備が各外部事象に対し安全機能を維持できる(防止設備)
 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(緩和設備, 防止でも緩和でもない設備)
 -:他の項目にて整理

7. 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。更に，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。

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 7.1 節以降で説明する。

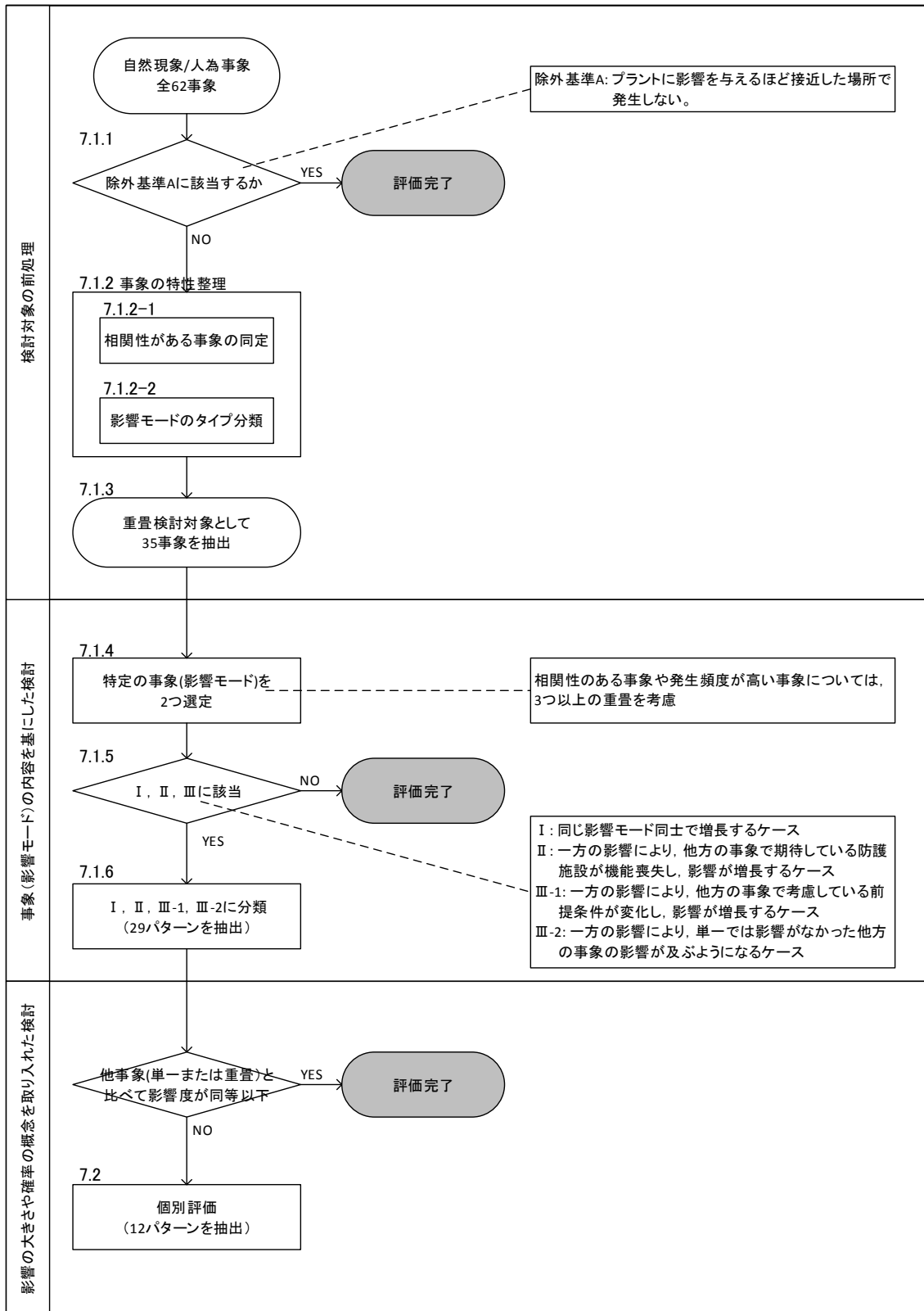


図 7 自然現象/人為事象の組み合わせの評価

7.1 組み合わせの検討

7.1.1 検討対象

1.2.1 において単一の自然現象/人為事象としてスクリーニングアウト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、検討対象の除外基準を見直す。単一の自然現象/人為事象で設定した除外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。

基準 D については、対象事象のうち他事象との相関性 (7.1.2-1 節で検討) が存在する場合には、7.1.4-2 節において包絡している事象との影響の大きさを比較しスクリーニング可能か判断する。また、新たな影響モードの発生の有無についても 7.1.4 において考慮する。

表 7 除外基準の重畳検討への適用性

除外基準	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。	×：他の現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もしくはそれ以下、または、プラントの安全性が損なわれることがない。	×：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。

基準 A

自然【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】，【地下水(枯渇)】
人為【航空機落下】，【ダムの崩壊】，【船舶の衝突】，【パイプライン事故】，
【タービンミサイル】，【油の流出】

基準 D

自然【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。

【地面隆起(相対的な水位低下)】

→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。

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。

7.1.2 事象の特性の整理

7.1.2-1 相関性のある自然現象の特定

自然現象は，特定の現象が他の現象を誘発したり，同様の原因（低気温時に頻発等）を有したりするなどの因果関係を有し，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 8 に示す。

表 8 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）
低温系	【積雪】（【氷嵐，雨水，みぞれ】，【氷晶】）*1，【雪崩】，【ひょう，あられ】，【霜，霜柱】，【低温】，【低温水】
高温系	【高温】，【高温水】
風水害系	【降水】，【風(台風含む)】または【竜巻】*2，【落雷】，【地下水による浸食】 （【高潮】，【波浪】，【風津波】，【静振】）*3
地震系(津波)	【地震】，【津波】
地震系(火山)	【地震】，【火山】*4

*1 【積雪】，【氷嵐，雨水，みぞれ】，【氷晶】は影響モードが同様であることから，最も影響が厳しい【積雪】で代表して考慮する。

*2 【風(台風含む)】と【竜巻】は，特定の箇所と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，7.1.1 節の基準 D で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。そのため 7.1.4-2 節において，包絡している事象との影響の大きさを比較しスクリーニング可能か判断する。

*4 火山性地震の場合の，火山と地震を想定

相関性をもつ自然現象は常にセットで考え、そのセット+他事象の重畳を考慮する。相関タイプのセット+他事象を検討するに当たって、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の有無、及び増大されるモードの有無を確認した結果を以下に示す。

低温系, 高温系

【雪崩】と【ひょう, あられ】は特定の箇所と同時に負荷がかからない。その他の事象については、それぞれが異なる影響モード（表 9 参照）であることから重畳した場合も影響が増大するような影響モードは存在しない。また、新たな影響モードについても起こりえない。

表 9 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】 （【氷嵐, 雨氷, みぞれ】, 【氷晶】）	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】	外気温度低(凍結)
	【低温水】	—
高温系	【高温】	外気温度高(冷却機能低下:空調)
	【高温水】	海水温度高(冷却機能低下:海水系)

風水害系

風水害系の影響モードを表 10 に示す。竜巻による止水対策への影響については、設計基準竜巻(単一事象)に対する止水対策の健全性が確認されている。

竜巻による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 10 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(台風含む)】	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

地震系（津波）

地震随伴津波については、止水対策が Ss 機能維持設計であることから、プラントへの影響はない。

地震系（火山）

地震系（火山）の影響モードを表 11 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他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、プラントへの地震動による影響は無視できる。

表 11 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、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について検討する必要がないこと、及び増大されるモードが存在しないことが確認された。

7.1.2-2 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 12 の 5 つのタイプに分類する（図 8 参照）。ただし、表 12 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（7.1.6 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 12 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）。もしくは特定の季節で恒常的な自然現象。	【降水】，【風(台風含む)】，【積雪】，【氷嵐, 雨氷, みぞれ】，【氷晶】，【霜, 霜柱】，【霧, 靄】，【高温】，【低温】，【高温水(海水温高)】，【低温水(海水温低)】，【極限的な圧力(高/低)】，【高潮】，【生物学的事象(くらげ等)】，【静振】，【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】，【地面隆起(相対的な水位低下)*1】
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】，【雪崩】，【ひょう, あられ】，【竜巻】，【落雷】，【波浪】，【風津波】，【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】，【土地の伸縮】，【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(台風含む)について、風圧力は瞬間型だが、作業性など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

*1 地震による影響モード

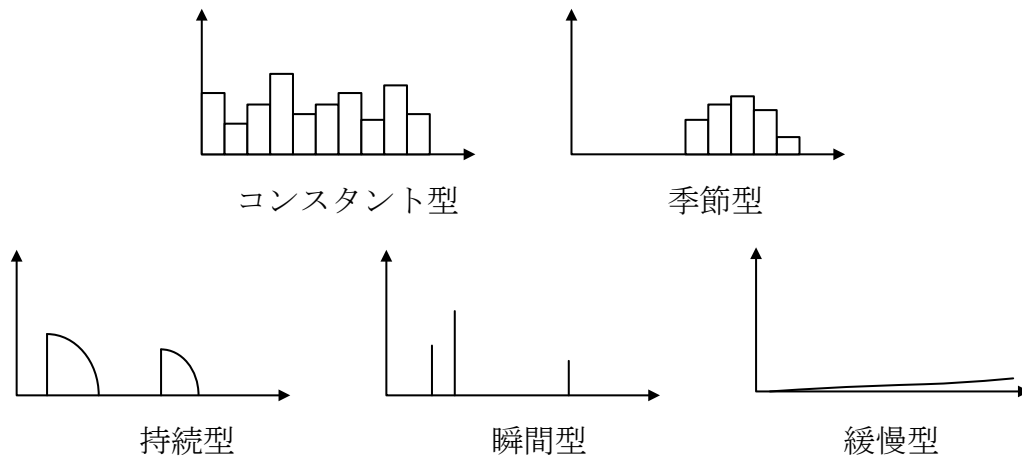


図 8 影響モード分類

7.1.3 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 13 に示す。

表 13 重畳検討対象

No.	現象
1	地震系（地震，津波）
2	風水害系（降水，風（台風含む）または竜巻，落雷，地下水による浸食）
3	低温系（積雪，雪崩，ひょう，あられ，霜，霜柱，低温，低温水）
4	高温系（高温，高温水）
5	霧，靄
6	極限的な圧力（高／低）
7	火山
8	地滑り
9	海水中の地滑り
10	土地の浸食，カルスト
11	土地の伸縮
12	海岸浸食
13	森林火災
14	生物学的事象（くらげ等）
15	生物学的事象（ネズミ等）
16	塩害，塩雲
17	太陽フレア，磁気嵐
18	火災・爆発
19	有毒ガス
20	電磁的障害
21	サイト内外での掘削
22	内部溢水
23	重量物輸送
24	化学物質の放出による水質悪化

7.1.4 重畳を考慮する事象数及び規模について

7.1.4-1 事象数

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、7.1.2-1節、7.1.3節で示したとおり、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。

また、影響タイプがコンスタント型及び季節型の自然現象については発生頻度が高いことから、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9参照）。例えば降水については、必ず発生している状況を想定した検討を実施する。

緩慢型については、他の事象の影響により事象の進展・襲来が早くなるようなモードが存在するか、また予知・検知・排除が困難な状況とならないかの確認のみを行う。

瞬間型同士の重畳は、同時に発生する可能性が極めて小さいためスクリーニングアウトする。例えば、竜巻による荷重と地震による荷重は瞬間型同士のため、建屋等に同時に荷重が負荷されるような想定はしない。ただし、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に留意する。例えば、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、重ね合わせを考慮する。

また、7.1.1節の除外基準Cのうち、他事象（事象Xとする）と比べて、設備等への影響度が同等もしくはそれ以下とされた事象については、事象Xとの重畳のみ考慮する（それ以外の事象との重畳は、事象Xとその他の事象との重畳による影響以下であるため評価不要となる）。

7.1.4-2 規模

想定する事象の規模は、随件事象など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える。

相関性が低い事象の組み合わせにはTurkstra規則を適用する。Turkstra規則の考え方は、建築基準法や、土木学会「性能設計における土木構造物に対する作用の指針」、国土交通省「土木・建築にかかる設計の基本」、ANSI(米国国家規格協会)等で採用されている。Turkstra規則は主たる作用（主事象）の最大値と従たる作用（副事象）の任意時点の値の和として作用の組み合わせを考慮する。基本的には単純性・保守性のために、主事象は設計基準で想定している規模、副事象は年超過発生頻度 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が、以下の点で過度に保守的な評価となっているため、適切な評価手法が存在する場合にはその手法により代用する（7.2節）。

- 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、年超過発生頻度 10^{-2} の規模は保守側である。

また、ここで7.1.1節の基準Dで津波に包絡されているとしている【高波】，【波浪】，【風津波】，【静振】は、津波と異なり、台風等との相関性が存在するが、年超過発生頻度 10^{-2} の津波の規模以下であり、また止水対策が有効であるためスクリーニングアウトしても問題ないことを確認した。

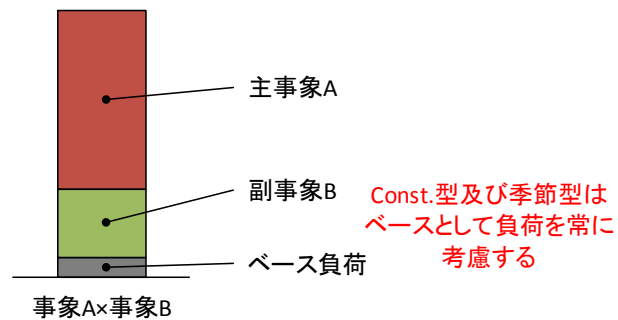
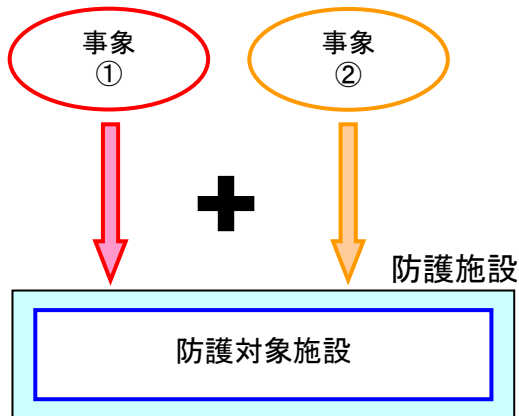


図 9 ベース負荷の考え方

7.1.5 重畳影響分類

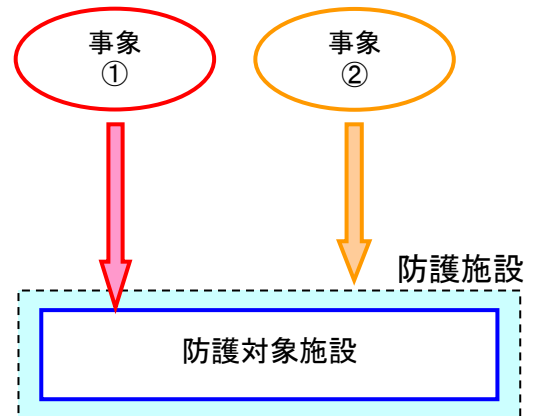
設計基準対象事象が単独で発生した場合の影響と比較して、複数の事象が重畳することで影響が増長されるケースを図 10 のとおり分類。また自然現象及び人為事象が安全施設に及ぼす影響としては、荷重だけでなく、アクセス性及び視認性に対する影響も考えられることから、これらの観点についても影響を評価する。

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



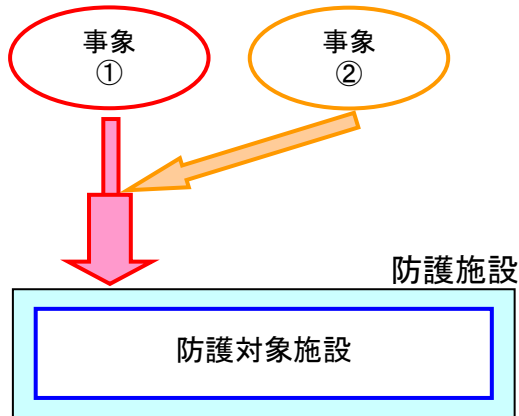
例：積雪+火山灰＝堆積荷重増

II. ある事象の防護施設が他の事象によって機能喪失することにより、影響が増長するケース



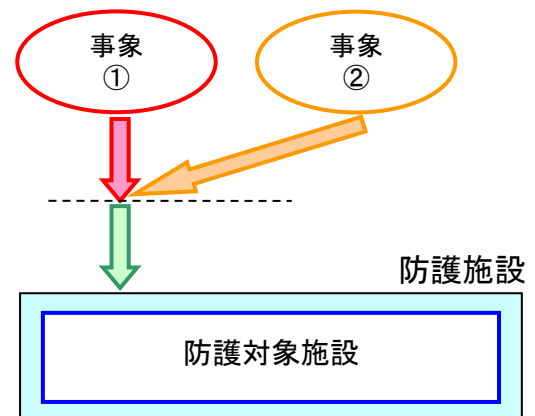
例：地震+津波
＝地震により止水機能が喪失して浸水量増

III-1. 他の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：火山灰+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. 他の事象の作用により影響が及ぶようになるケース



例：火山灰+降水
＝斜面に堆積した火山灰が大量の降水で滑り、衝撃荷重発生

図 10 重畳影響分類

7.1.6 重畳影響分類結果

I, II, III-1, III-2 に分類した結果について「添付資料 10 自然現象／人為事象の重畳 マトリックス」に示す。

また、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

屋外のアクセス性については、設計基準においても積雪の設計基準を設定する際に除雪に期待していることから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処となる。これらの影響及び対応については、重大事故時と差異が無いことから、以下に第四十三条での検討結果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 14 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 14 アクセス性についての影響及び対応（1 / 2）

対象	事象	影響	対応
保管場所の耐性	地滑り	高台に保管している重大事故等対処設備が機能喪失	2 箇所の高台に分散配置，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または火山灰の堆積	除雪または除灰（湿潤状態を想定した除灰体制）
	風（台風を含む），竜巻	飛散物の発生	飛散物除去
作業環境	地震	段差等の発生	整地作業の実施
	積雪，火山	雪または火山灰の堆積	除雪または除灰
	風（台風を含む）	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	低温	暖機運転等

表 14 アクセス性についての影響及び対応（2 / 2）

対象	事象	影響	対応
アクセスルート	地震, 津波, 風（台風含む）, 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(台風含む)	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, 予め土のう設置による降水の導水対策などにより車両等の通行ルートを確保する。
	低温	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	雪または火山灰の堆積	除雪または除灰

視認性評価結果

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・靄など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。

7.2 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」、「他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。（例：火山灰の堆積荷重＋極限的な気圧荷重は、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 15 に示す。

表 15 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (1/3)

(**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)	検討結果
1	地震 (地震荷重) × 積雪 (堆積)	建屋等に雪が堆積している状態での地震発生 →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 11)
2	地震 (地震荷重) × 火山 (堆積)	建屋に火山灰が堆積している状態での地震発生 →No.1 で代表
3	積雪 (堆積) × 火山 (堆積)	積雪と火山灰の堆積荷重 →火山において評価
4	積雪 (堆積) × 降水 (堆積)	積雪に雨水が染み込むことにより荷重増加 →No.3 (水分を含む) で代表
5	火山 (堆積) × 降水 (堆積)	火山灰に雨水が染み込むことにより荷重増加 →No.3 (水分を含む) で代表
6	積雪 (堆積) × 極限的な圧力 (気圧差)	雪の堆積に高気圧による荷重増加 →No.3 で代表
7	火山 (堆積) × 極限的な圧力 (気圧差)	火山灰の堆積に高気圧による荷重増加 →No.3 で代表
8	降水 (堆積) × 極限的な圧力 (気圧差)	雨水の堆積に高気圧による荷重増加 →No.3 で代表
9	風 (風圧) × ひょう, あられ (衝突)	暴風時にひょう, あられの速度が増加し, 運動エネルギー増加 →竜巻飛来物の影響以下
10	竜巻 (風圧) × ひょう, あられ (衝突)	竜巻時にひょう, あられの速度が増加し, 運動エネルギー増加 →竜巻飛来物の影響以下
11	ひょう, あられ (衝突) × 極限的な圧力 (気圧差)	高気圧が負荷されている状態でひょう, あられの衝突 →竜巻飛来物の影響以下
12	竜巻 (風圧等) × 極限的な圧力 (気圧差)	壁等に圧力が負荷されている状況での竜巻荷重 →気圧差については, 竜巻による気圧差を竜巻単独事象で評価済み。また, 竜巻による気圧差と高気圧等による気圧差は特定の箇所と同時に負荷がかからない。

表 15 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (2/3)

(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)	検討結果
13	竜巻（飛来物）×地震（地震荷重）	地震による固縛器具の破損 →固縛器具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。
14	低温（凍結）×地震（地震荷重）	地震による常用系空調の破損 →常用系空調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。
15	落雷（雷サージ&誘導電流）×地震（地震荷重）	地震により避雷鉄塔が損壊することで、雷撃電流値増加 → 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12）
16	落雷（雷サージ&誘導電流）×風（風圧）	風の影響等により避雷鉄塔が損壊することで、雷撃電流値増加 →No.15 で代表
17	落雷（雷サージ&誘導電流）×竜巻（飛来物等）	竜巻の飛来物等により避雷鉄塔が損壊することで、雷撃電流値増加 →No.15 で代表
18	地下水（浸水）×地震（地震荷重）	内部溢水において評価
19	地下水（浸水）×降水（地震荷重）	内部溢水において評価
20	積雪（相間短絡）×降水	相間短絡が発生する可能性が高まるが、発生したとしても外部電源喪失であり、設計基準設備により対応可能。
21	火山（相間短絡）×積雪（堆積）	相間短絡が発生する可能性が高まるが、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火山灰・積雪の影響は受けないため、対応可能。
22	積雪（空調）×火山（空調）	積雪と火山灰の堆積による、空調への影響 →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 3cm）の組み合わせ（合計 170cm）となるが、その場合も空調給排気口（一番低い箇所地上高 2.8m）まで達しない。

表 15 事象の重畳 個別検討対象抽出結果 (3/3)

(**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)	検討結果
23	地滑り (衝突) × 積雪 (堆積)	地面に雪が堆積した状態で地滑り発生 →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。また、設計基準設備と SA 設備については同時に影響が及ぶことがない。
24	地滑り (衝突) × 火山 (堆積)	地面に火山灰が堆積した状態で地滑り発生 →地滑り×積雪の影響以下
25	地滑り (衝突) × 降水 (堆積)	地面が湿ることによる地滑りの影響増加 →地滑り×積雪の影響以下
26	火山×降水	地滑りのような状況が発生する可能性がある。 →地滑り評価で代表する。
27	低温 (凍結) × 風 (風圧)	風による低温影響増 (熱伝達の変化) →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、台風を除いて長期間継続することは考えにくく、台風については低温が重畳する可能性は小さい。更に他の評価条件についても土からの放熱に期待しない等の保守性を有していることから、低温 (単独) の評価条件で十分包絡されるものとする。淡水貯水池については凍った場合も代替設備により対応可能。
28	火災・爆発 (熱影響等) × 風 (風圧)	風速・風向による火災熱影響評価条件変化 →森林火災など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、予防散水に期待しない等) 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。
29	取水口閉塞関係 [T1] 例: 竜巻 × 生物学的事象 (くらげ等)	事象単独の場合と比較して、作業量が増加する恐れがあるが、除塵装置と既に整備された手順等にて対応可能であり、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

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 にて挙げられている、スクリーニングアウトされた事象を含む、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、自然現象 40 事象及び人為事象 20 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

ここで、以下の資料についても調査し、不足の有無を確認する。

- 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

上記資料から収集した外部事象を、自然現象については表 1、人為事象については表 2 に示す。

検討事象 60 事象に対し、類似・随伴事象の観点から上記の収集事象を整理した結果、表 3、4 のとおり、考えられるすべての事象を抽出できた。

なお、この集約過程において事象の除外は行っていない。

ただし、地震、津波及びその随伴事象はそれぞれ第四条（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、対象外とする。

以上により、検討事象 60 事象（自然現象 40 事象、人為事象 20 事象）に不足は無いことを確認した。

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※							
		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 (ガスなど)、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または液体不純物				○				
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				○				
2-16	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	○	○		○				

※ 「○」は外部事象を収集した文献を示す。

(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 (台風含む)	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)

No.	自然現象	備考
25	干ばつ	(1-17)
26	火山	火山活動 (1-12), 泥湧出 (1-52), 土石流 (1-53), 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), 土石流 (1-53)
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)

※ () 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	軍事活動によるミサイルの飛来	(2-15)
15	サイト内外での掘削	(2-16)
16	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)
17	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)
18	重量物輸送	(2-28)
19	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または液体不純物(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)
20	油流出	船舶から放出される固体または液体不純物(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、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) 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 : 原子炉施設の標的面積 (km^2)

W : 航空路幅 (km)

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

G_c : 巡航中事故件数 (=0.5 回)

H_c : 延べ飛行距離 (=9,439,243,077 飛行回・km)

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, 7号炉			
対象航空路 ^{注1}	航空路 (V31)	転移経路 (NAEBA TRANSITION)	RNAV5 (Y31)	RNAV5 (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}	5.30×10^{-11}	5.30×10^{-11}	5.30×10^{-11}	5.30×10^{-11}
P_c	5.53×10^{-10}	1.52×10^{-10}	1.04×10^{-10}	5.22×10^{-12}
P_c (合計)	8.14×10^{-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1）

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とした。（別紙2）

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 0.01km^2 以下であるので標的面積は 0.01km^2 とする。（別紙3）

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：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とした。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4）

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 8.14×10^{-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 : 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 の導出にあたって、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。

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, 7 号炉
f_v ^{注1}	大型固定翼機 0.5/20=0.025 ^{注2} 小型固定翼機 35/20=1.75 大型回転翼機 2/20=0.1 小型回転翼機 30/20=1.5
S_v ^{注1}	372,000
A	0.01
α ^{注1}	大型固定翼機, 大型回転翼機 : 1 小型固定翼機, 小型回転翼機 : 0.1
P_v	1.21×10^{-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)

注2 : 大型固定翼機の事故件数は 0 件であるが、保守的に 0.5 とした。

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 1.21×10^{-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 : 原子炉施設の標的面積 (=0.01km²)

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, 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) = 2.03×10^{-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 2.03×10^{-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。

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 8.14×10^{-10}
有視界飛行方式民間航空機の落下事故	約 1.21×10^{-8}
訓練空域外を飛行中の落下事故	約 2.03×10^{-8}
合 計	約 3.4×10^{-8}



(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局，平成 25 年 3 月)

柏崎刈羽原子力発電所周辺の航空図

評価対象となる航空路の飛行回数

1. 柏崎刈羽原子力発電所

(飛行回数)

東京管制部 ピークデイ ^{注1}	航空路 V31 (NIIGATA VORTEC-NAEBA)	広域航法経路 Y305	広域航法経路 Y31	NAEBA TRANSITION (新潟空港)
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。

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, 7号炉合計。

注3：海水ポンプエリア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した。

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。

	日本国機の運行距離 (飛行回・k m)
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およ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および（故意によるものを除く）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、系統およ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基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参照するということは、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、それに基づき設計基準を設定する。

II 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、極値に基づき設計基準を設定する。

III 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の統計処理により算出した発生頻度を基に設計基準を設定する。参照する発生頻度については、自然現象の特性等を考慮し設定を行う。

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

参考として参照する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ことが必要である。プラントが苛酷な状況となる可能性がある事象で、影響の有無、程度の評価を行うべき外部事象としては、風（台風含む）・竜巻・低温・積雪・落雷・火山が選定されていることから、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 1 に示す。

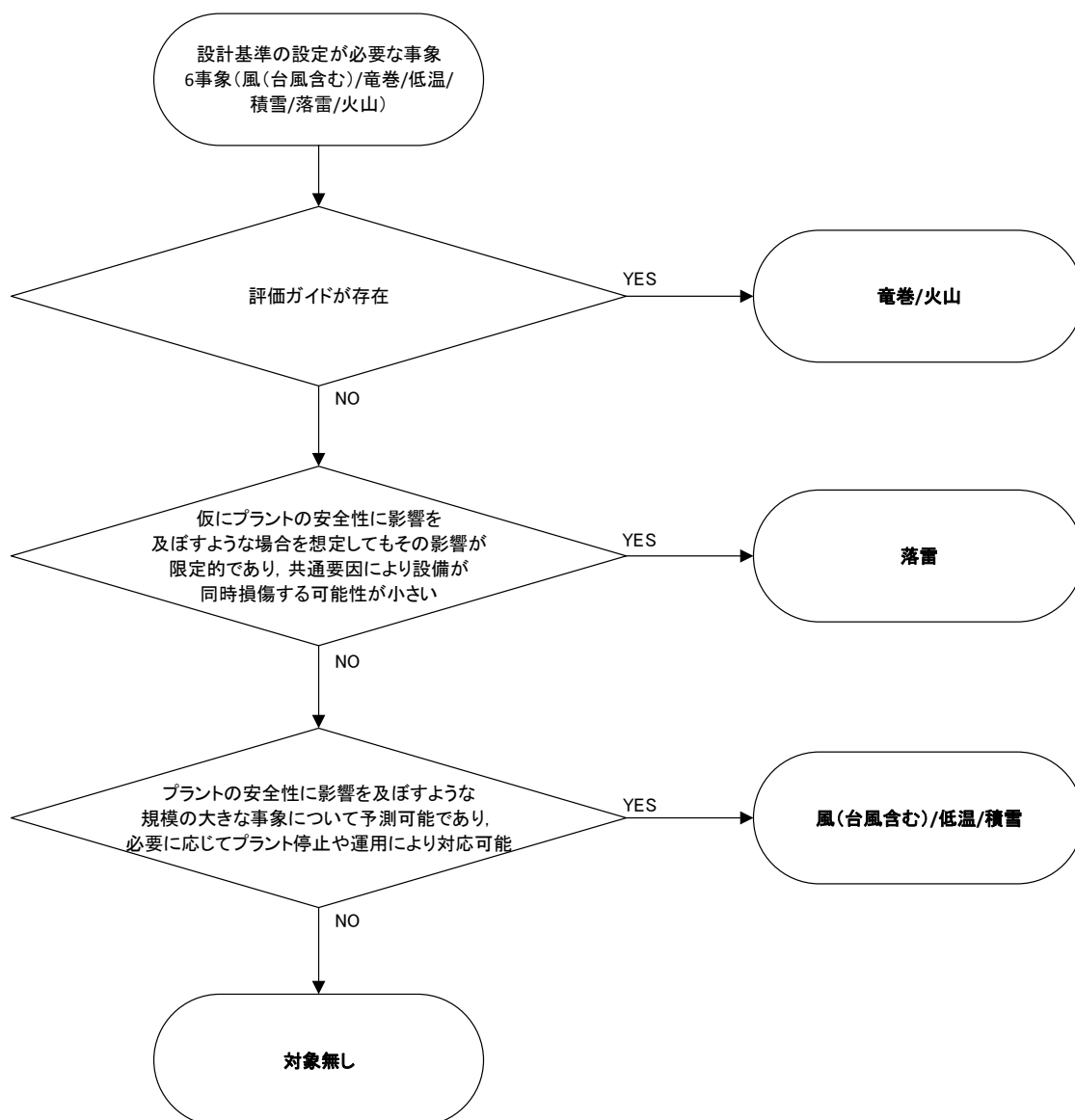


図 1 自然現象の特性整理フロー

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 設計基準地震動について、年超過確率を参照すると $10^{-4}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$ に相当する値になっている。
- ② 設計基準津波について、年超過確率を参照すると $10^{-4}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$ に相当する値となっている。
- ③ 従来の安全設計評価指針では、評価すべき事象の内、運転時の異常な過渡変化については“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“原子炉施設の寿命期間中にまれではあるが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 $10^{-1}/\text{年} \sim 10^{-2}/\text{年}$ 程度となることから、過渡変化は $10^{-1}/\text{年} \sim 10^{-2}/\text{年}$ 、事故は $10^{-3}/\text{年} \sim 10^{-4}/\text{年}$ 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 $10^{-2}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$ （概ね年超過確率 $10^{-4}/\text{年}$ ）となる値を基準としている。

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 $10^{-3}/\text{年} \sim 10^{-4}/\text{年}$ 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・火山】

- ・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 $10^{-3}/\text{年} \sim 10^{-4}/\text{年}$ より更にレベルを1つ上げた $10^{-5}/\text{年}$ を参照するものとする。また、ガイドにおいても $10^{-5}/\text{年}$ （暫定値）としている。
- ・火山については、確率論的手法を実施していない。

【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（ $10^{-4}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$ ）からレベルを1つ下げた $10^{-4}/\text{年}$ を参照する。

【風（台風含む）・低温・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（ $10^{-4}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$ ）からレベルを1つ下げた $10^{-4}/\text{年}$ を参照する。

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. の通り、設計基準設定の際には、過去の経験データの極値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こと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 2 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。

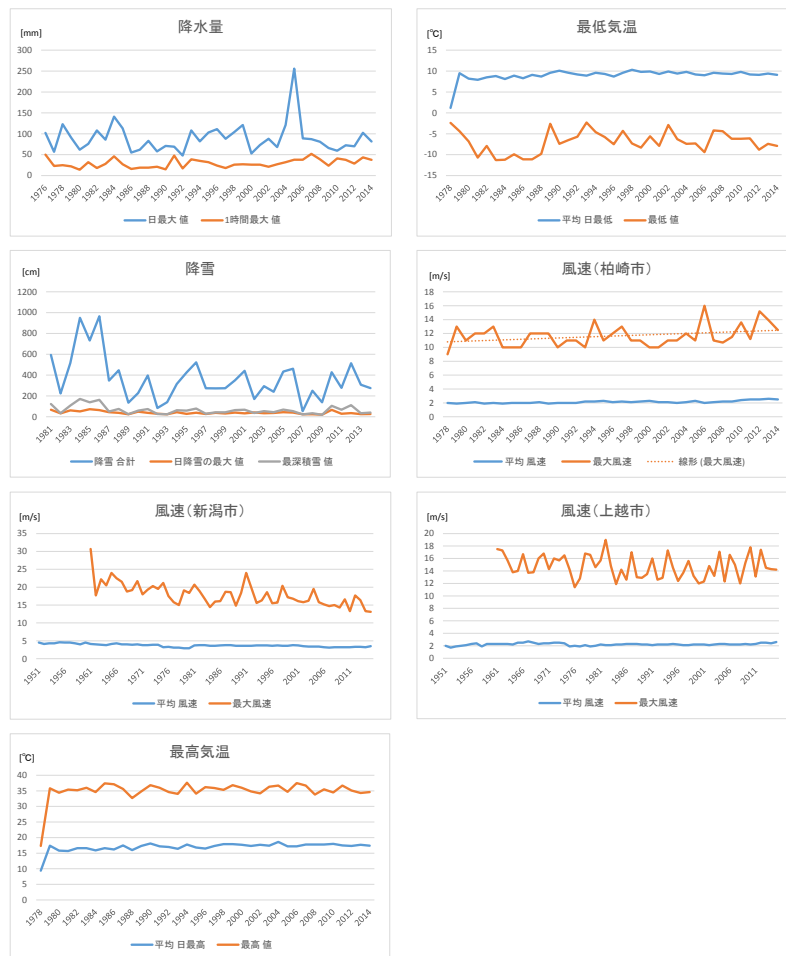


図 2 気候トレンド

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. 基準風速の設定

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)を参照のうえ、最も保守的となる値を採用する。

(1) 規格・基準類

風に対する建築物の規格・基準として、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、地域毎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）で観測された過去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は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。

台風の風速記録（別紙 3）については、新潟市に台風が接近または通過の際の風速の観測記録を参照した結果、過去最大風速を上回らないことを確認した。

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)

(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）にて評価可能である新潟市及び上越市における統計期間内の年超過確率 10^{-4} /年の最大風速及び最大瞬間風速を評価した結果，下記のとおりとなった。

新潟市：最大風速 39.0m/s（統計期間：1961～2012年）

最大瞬間風速 58.6m/s（統計期間：1967～2012年）

上越市：最大風速 21.5m/s（統計期間：1961～2012年）

最大瞬間風速 53.9m/s（統計期間：1967～2012年）

ここで，基準風速の設定にあたり，各風速の定義を確認する。

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、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の極値である 40.1m/s とする。

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/m² であり、建築基準法に基づく風荷重 (2.91kN/m²) と概ね同じであり、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うことの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、以下の通り。また、図 1 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、風 (台風) に対し必要な構築物、系統及び設備 (原子炉停止・冷温維持, SFP 冷却・水位維持に必要な設備等) 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)
- 上記以外の設備については、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。なお、免震重要棟及び 3 号炉緊急対策所は、原子炉停止・冷温維持, SFP 冷却・水位維持に直接必要な設備ではないが、より確実に事象を収束させるために有効であることから、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した。(別紙 5)

なお、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2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。

5. 参考文献

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

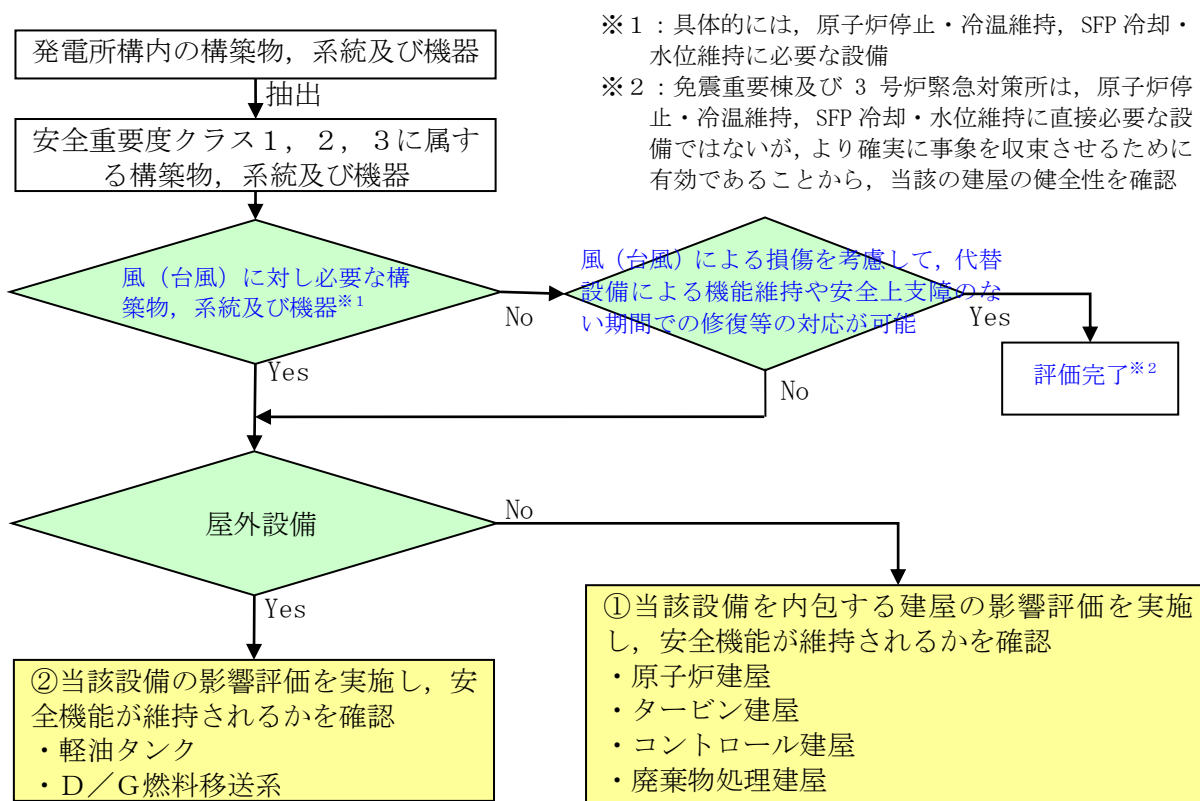
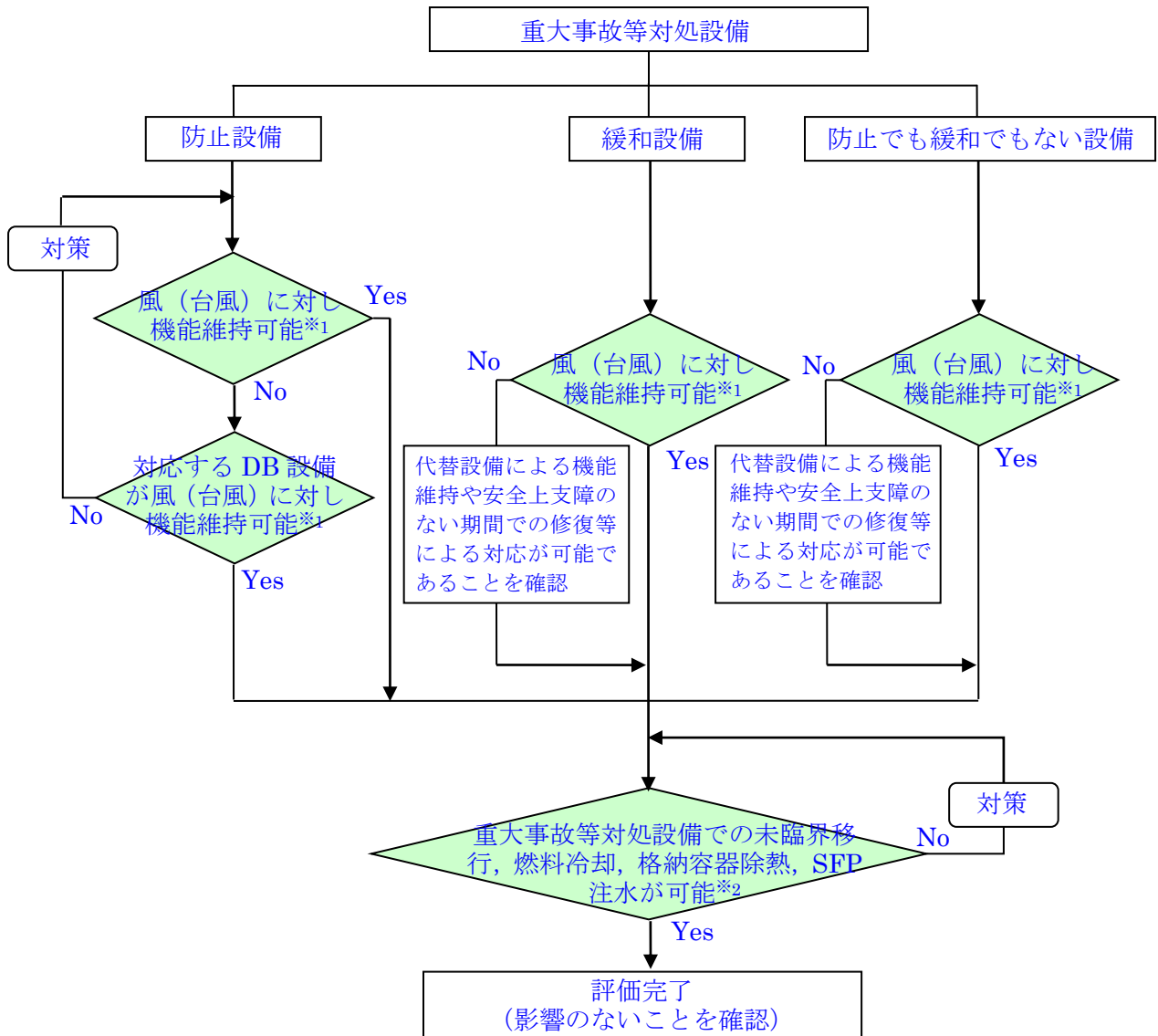


図1 風(台風)に対する安全施設の評価フロー



※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、免震重要棟※3、3号炉緊急時対策所）の影響評価を実施し、安全機能が維持されることを確認。なお、免震重要棟及び3号炉緊急時対策所は、同時に機能喪失しないことを確認。

※2：風（台風）により重大事故等対処設備と設計基準設備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での復旧により機能維持可能であることを確認。

※3：Ss地震には機能喪失する可能性は否定できないが、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健全性を確認。

図2 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)

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)

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など

表 1 - 2 観測記録 (新潟市) (2 / 3)

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

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)

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）

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など

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)

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）

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）の各観測地点における観測記録の極値

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最大風速を表2-2，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内，観測要素に風を含んでいる観測地点とする。

表2-2，2-3より新潟市の最大風速及び最大瞬間風速は，何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基準風速設定の際に新潟市の風速を参照することで保守性は確保される。

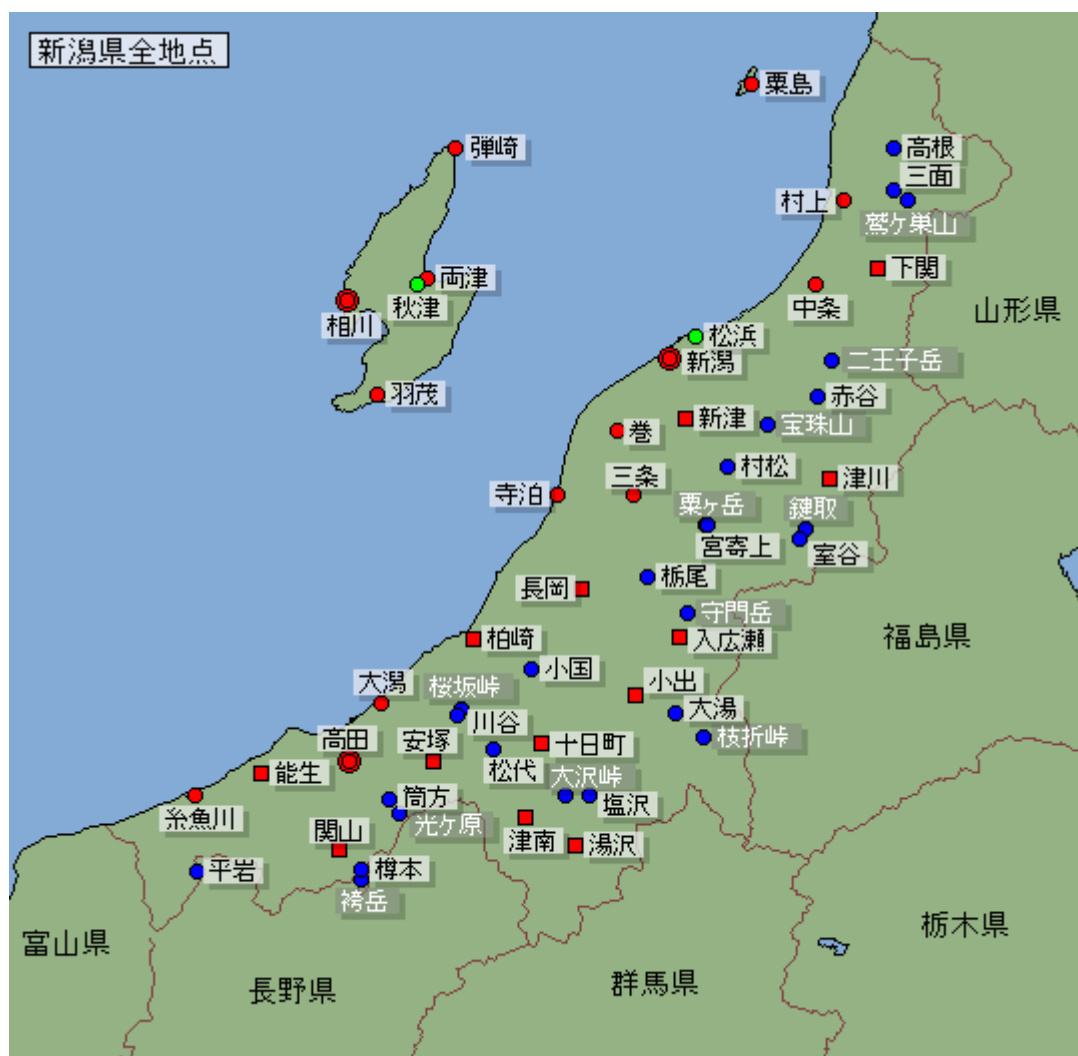


図2-1 新潟県内の気象観測地点(気象庁HPより)

表 2 - 1 観測地点の種類及び観測要素（気象庁HP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， 天気など
●	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
最大風速の極値

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
最大瞬間風速の極値

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

台風風の風速記録

過去に発生した大型台風が日本に接近時また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また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）の基準風速設定の際は、その地域性を考慮する必要がある。

台風の影響の地域性を考慮するため風速記録を参照する範囲を新潟県（佐渡島、粟島除く）とすると、各観測地点の風速記録は、台風の影響を受けた記録も含まれることから、新潟県内の各地点における台風の風速の極値は、各観測地点の観測記録の極値に包絡される。

表 3-1 台風の風速記録（気象庁HP 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)	30.7 (44.5)	
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)	20.2 (31.3)	
昭和40年台風 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)	接近せず	
台風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。

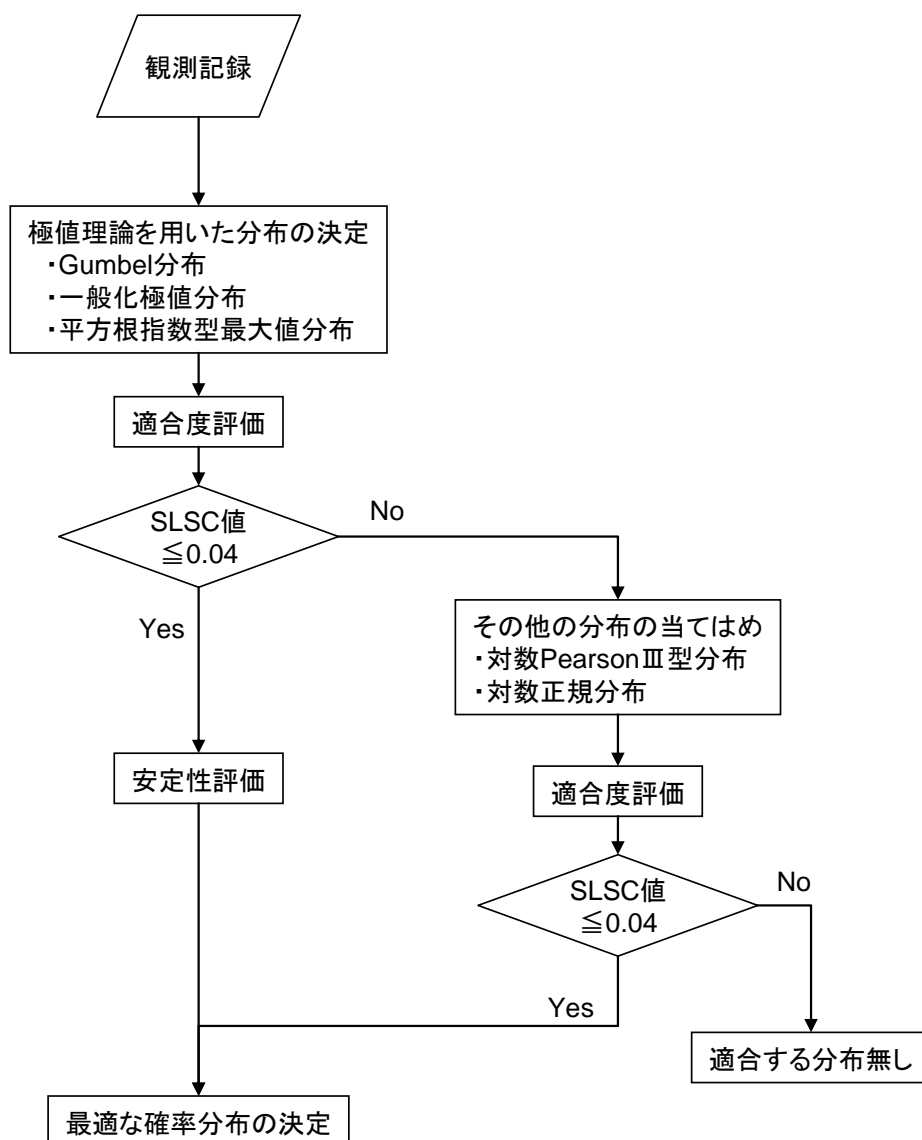


図4-1 年超過確率評価フロー

(1) 確率分布の算出

観測記録から、観測値の平均、分散値等を算出し、確率分布を算出する。ここでは、極値理論からの分布や従来から使用されている分布等を用いて確率分布を決定する。

(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、観測値はプロットイングポジション公式と並べた場合と、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。SLSC が小さいほど、適合度が高い。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、いくつかの式が提案されているが、本評価においては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 $T(i)$ とする。

(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ピックアップした場合に、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（新潟大学附属病院前付近、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29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⁽²⁾

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%の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及び最大瞬間

風速の現時点での公開期間は表4-1のとおりである。

表4-1 観測記録公開期間

観測地点	公開期間	
	最大風速	最大瞬間風速
柏崎市	1978～現在	2008～現在
新潟市	1961～現在	1967～現在
上越市	1961～現在	1967～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、新潟市の新潟地方气象台、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4-2に示す。

図4-2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。

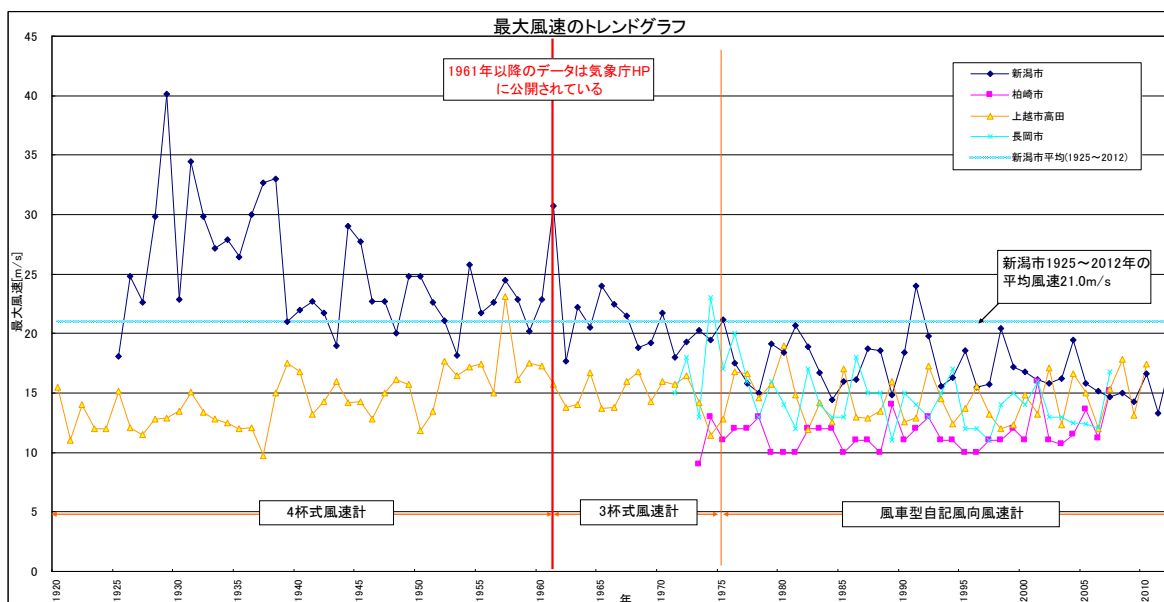


図4-2 各観測地点における最大風速のトレンド

(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ことが想定できるため、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5-8)～(添付5-9)参照)
最大瞬間風速 1967～2012年の記録
(別紙1 (添付5-9)参照)

- ・ 上越市：最大風速 1961～2012年の記録
(別紙1 (添付5-11)～(添付5-12)参照)
最大瞬間風速 1967～2012年の記録
(別紙1 (添付5-11)～(添付5-12)参照)

3. 統計処理の結果

新潟市、上越市の最大風速及び最大瞬間風速の観測記録の平均、分散等を算出し 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、更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 4-2～5 に示す。

表 4-2～5 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} /年の最大風速及び最大瞬間風速を表 4-6 のとおり求めた。

4. 参考文献

(1) 気象庁：

http://www.data.kishou.go.jp/climate/riskmap/cal_qt.html

(2) 気象庁：気象観測統計の解説 2005 年

表 4-2 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	0.031

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 4-3 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	0.171	0.037

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 - 4 新潟市における最大瞬間風速の年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.024	0.157	0.023

確率年	風速[m/s]		
10	36.2	60.6	36.2
100	43.8	108.1	43.9
10000	58.6	236.2	59.3

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	1.2	0.8	1.2
100	2.2	1.0	3.9
10000	4.2	1.5	14.5

表 4 - 5 上越市における最大瞬間風速の年超過確率

	Gumbel 分布	平方根指数型 最大値分布	一般化 極値分布
SLSC	0.037	0.162	0.029

確率年	風速[m/s]		
10	34.4	59.0	34.4
100	41.0	106.0	42.3
10000	53.9	232.2	62.3

確率年	Jack knife 推定誤差		
10	1.1	0.7	1.1
100	2.0	0.9	3.9
10000	3.9	1.3	19.4

表 4 - 6 年超過確率評価結果

	新潟市		上越市	
	最大風速	最大瞬間風速	最大風速	最大瞬間風速
適合する 確率分布	Gumbel 分布	Gumbel 分布	一般化極値分布	Gumbel 分布
SLSC	0.036	0.024	0.037	0.029
Jack knife 推 定誤差	3.1	4.2	2.0	3.9
年超過確率 10 ⁻⁴ /年の風速 [m/s]	39.0	58.6	21.5	53.9

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（安全施設関連）

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

表 5-2 40.1m/s の風荷重に対する建屋の健全性確認結果
(安全施設及び重大事故等対処設備関連)

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	免震重要棟 ^{※4}	躯体 (0.76[m]－5.36[m])	1.47×10^3	12.17×10^3	○
	3号炉緊急対 策所	躯体 (24.5[m]－36.0[m])	2.43×10^3	32.37×10^3	○

※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。

※4：Ss地震には機能喪失する可能性は否定できないが、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健全性を確認。

低温影響評価について

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、防護対象設備の機能が低温に伴う凍結により、原子炉施設の安全性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)を参照のうえ、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。そのため、屋外又は屋内であっても凍結の可能性のある配管等に対しては、建設時に -13.0°C 、継続時間 24 時間で凍結しない設計としている。

(2) 観測記録 (別紙 1)

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、新潟地方気象台での観測記録での最低気温は -13.0°C である。

(3) 年超過確率評価 (別紙 2)

過去の観測記録に基づき、統計処理をした結果、最低気温の年超過確率 10^{-4} /年の値は -17.0°C となった。

上記(1)～(3)の結果から、①過去の観測記録の最低値又は年超過確率 10^{-4} /年の -17.0°C を参考として低温に関する基準温度とする。

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 未滿が長時間継続する低温が発生する可能性がある。従って、②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 -17.0°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が、各設備での低温事象については①、②の両方について考慮する。

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うことの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、以下の通り。また、図1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、低温に対し必要な構築物、系統及び機器（原子炉停止・冷温維持、SFP冷却・水位維持に必要な設備等）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として、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。

○上記以外の設備については、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、 -17°C （24時間）および -2.6°C （173.4時間）の低温に対し、凍結の可能性はあるが、地下に設置されており凍結の可能性がない防火水槽を代替の水源とすれば消火系が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2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、 -17°C （24時間）および -2.6°C （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、 -17°C （24時間）および -2.6°C （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 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

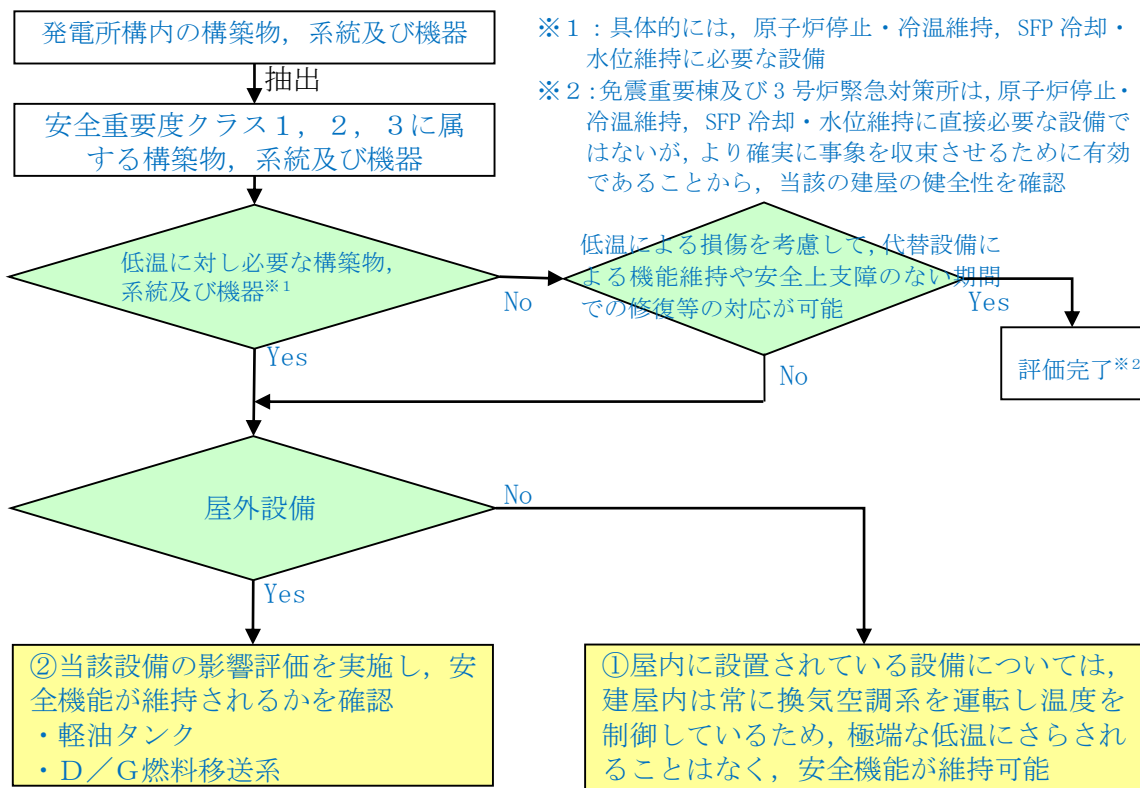
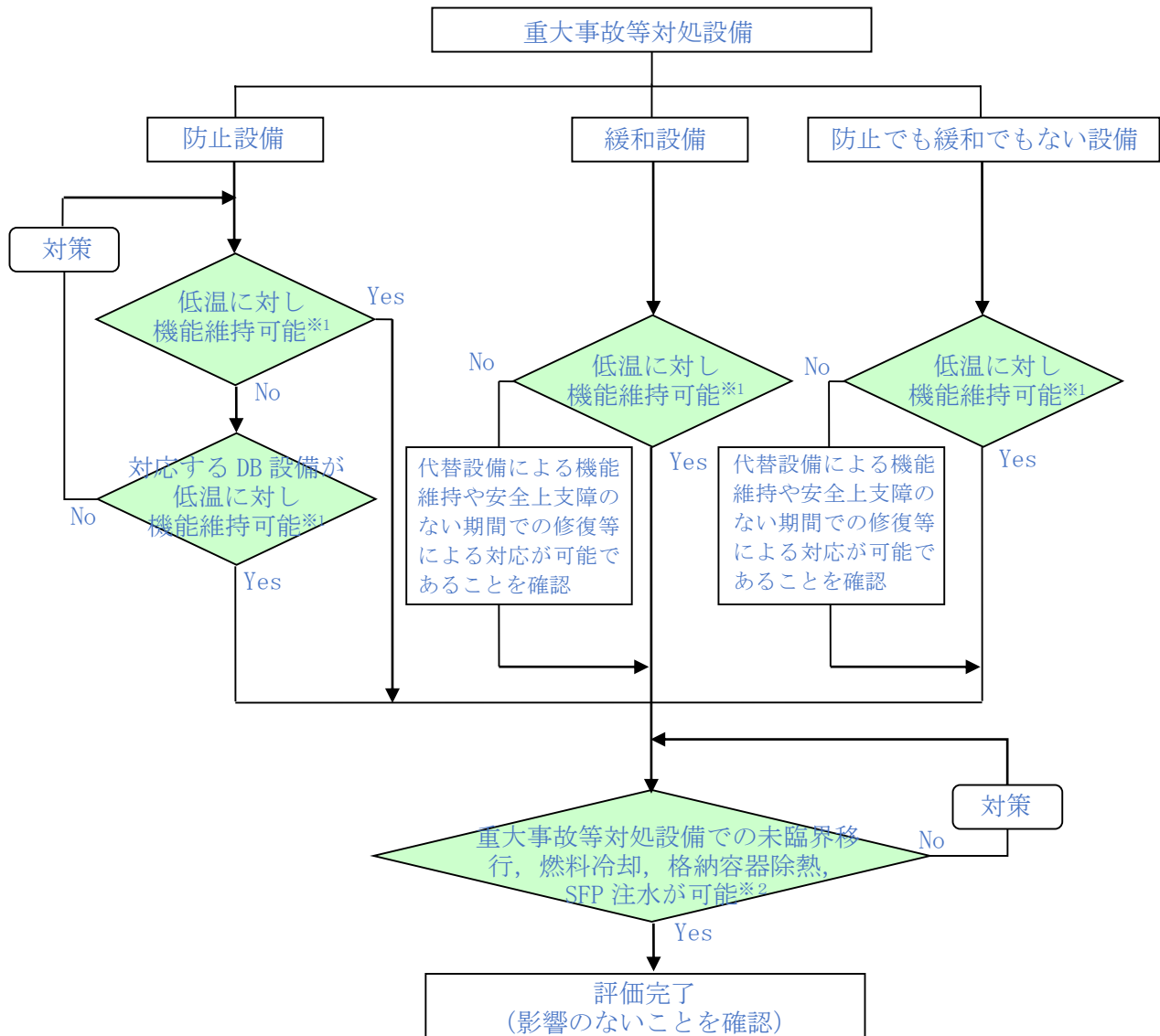


図1 低温に対する安全施設の評価フロー



※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，免震重要棟^{※3}，3号炉緊急時対策所）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と設計基準設備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。

※3：Ss地震には機能喪失する可能性は否定できないが，低温時における健全性を確認。

図2 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

年	気温[°C]	
	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, 測器の変更などがあった場合

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	0.171	0.043

	対数ピアソン Ⅲ型分布	対数ピアソン Ⅲ型分布	対数正規分布
SLSC	0.038	0.035	0.035

確率年	最低温度[°C]		
	対数ピアソン Ⅲ型分布	対数ピアソン Ⅲ型分布	対数正規分布
10	-10.2	-10.5	-10.3
100	-11.5	-13.0	-13.1
10000	-12.0	-15.1	-17.0

確率年	Jack knife 推定誤差		
	対数ピアソン Ⅲ型分布	対数ピアソン Ⅲ型分布	対数正規分布
10	0.5	0.6	0.5
100	0.8	1.3	0.7
10000	1.3	2.9	1.3

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下図に示す。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、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℃未満）が一定期間継続する低温が発生する場合がある。従って、**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）

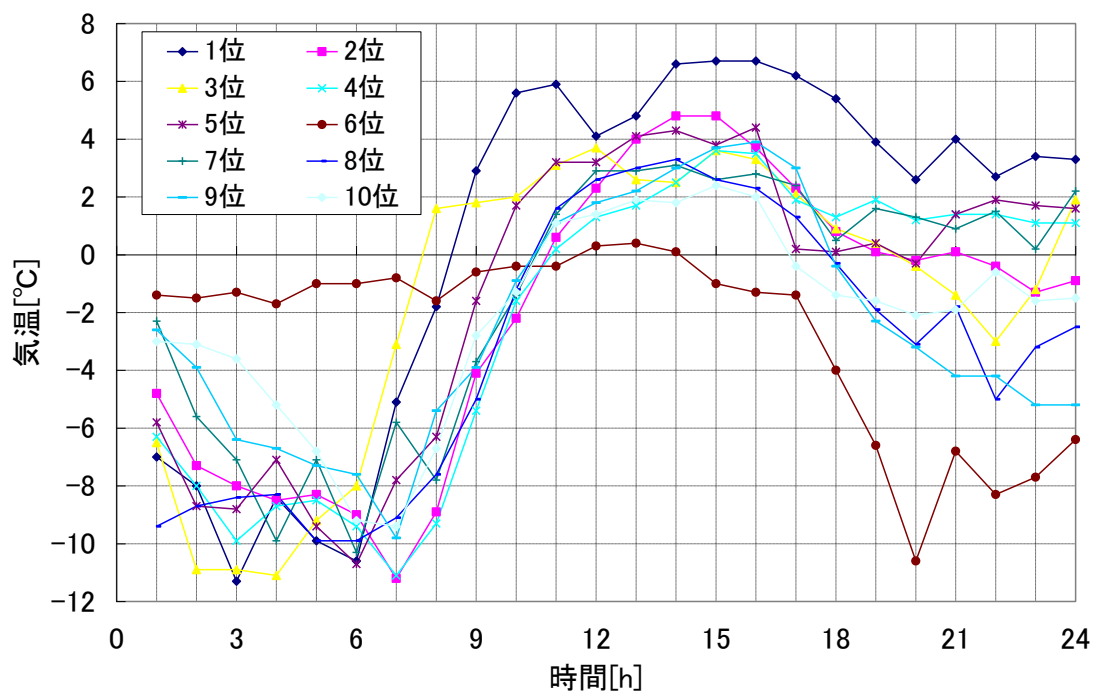


図 3-1 低温を記録した日の時刻歴（柏崎市）

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 0°C 以下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°C 」であった。

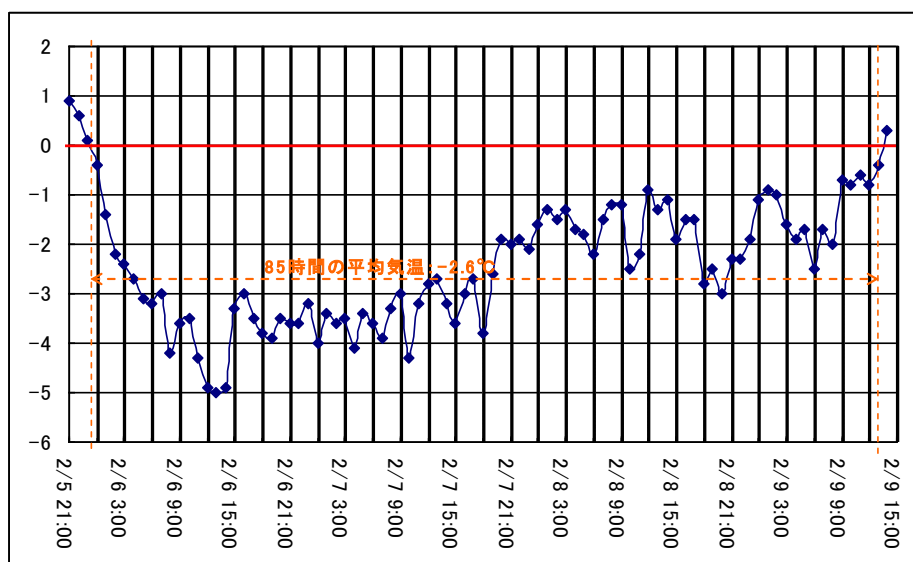


図 4-1 最高気温が 0°C 以下の日が最も長く継続した期間 (1984 年)

2. 年超過確率

過去の観測記録に基づき、統計処理を行った結果、年超過確率 10^{-4} となる「気温 0°C 以下が継続する期間」を、表 6-4 に示す。

表 6-4 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。

以上より、長期間継続する低温については、気温 -2.6°C 、継続期間を 173.4 時間とする。

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	0.042	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

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、防護対象設備及びそれらの設備を有する建屋が積雪による荷重、積雪による給気口等の閉塞により、原子炉施設の安全性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)を参照のうえ、(4)積雪時の発電所の対応を考慮し、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、地域毎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、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1メートルまで減らして計算することができる。

(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(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)、平均積雪深は31.1cmである。また、アメダスが設置される以前に柏崎市の農業気象観測所にて最深積雪量194cm(1927年2月13日)が観測されている。刈羽村における積雪の観測記録としては、最深積雪量は280cm(1974年3月13日)である。

(3) 年超過確率評価 (別紙 3)

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。1日あたりの積雪量の観測記録に適合する確率分布から得られる年超過確率 10^{-4} /年値は135.9cmとなった。また、年最深積雪量の観測記録に適合する確率分布から得られる年超過確率 10^{-4} /年値は338.4cmとなった。

(4) 積雪時の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 4）。

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 5）。

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 6）。

(5) 設計基準の策定

(4)に記載のとおり、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、基準積雪量としては、1日あたりの積雪量に対して、観測記録又は統計処理した場合の年超過確率 10^{-4} /年の確率量の大きい方を設計基準積雪量と定める。

(2)から過去の観測記録は 72cm であるのに対し、(3)統計的な処理による1日あたりの積雪量の年超過確率 10^{-4} /年の値は 135.9cm であることから、大きい方の値である 135.9cm とする。

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、最深積雪量の平均値 (31.1cm) を加えた値を基準積雪量として用いることとする。

したがって、基準積雪量を以下のとおり設定した。

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

3. 安全施設の健全性評価

(5)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、防護対象設備を有する各建屋又は外部の防護対象設備が積雪荷重、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する。

本評価における基本的な考え方は、以下の通り。また、図 1 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、積雪に対し必要な構築物、系統及び設備（原子炉停止・冷温維持，SFP 冷却・水位維持に必要な設備等）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 防護対象設備が屋内にある場合は、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健全であることを確認した（別紙7）。また、屋外の防護対象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）
 - ② 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。
- 上記以外の設備については、当該設備の安全機能が維持される（建屋により防護される場合を含む。）ことを確認し、維持できない場合には、代替設備による機能維持や安全上支障のない期間での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。なお、免震重要棟及び3号炉緊急時対策所は、原子炉停止・冷温維持，使用済燃料プール冷却・水位維持に直接必要な設備ではないが、より確実に事象を収束させるために有効であることから、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。（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2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。

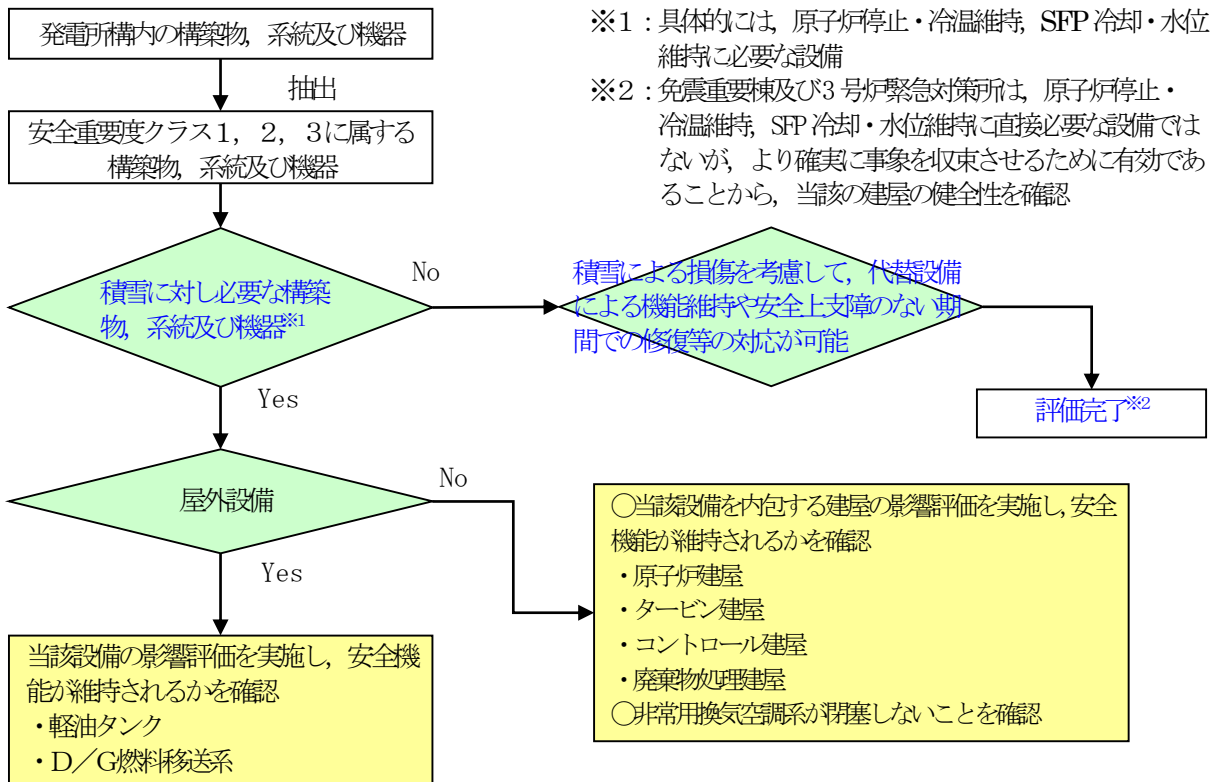
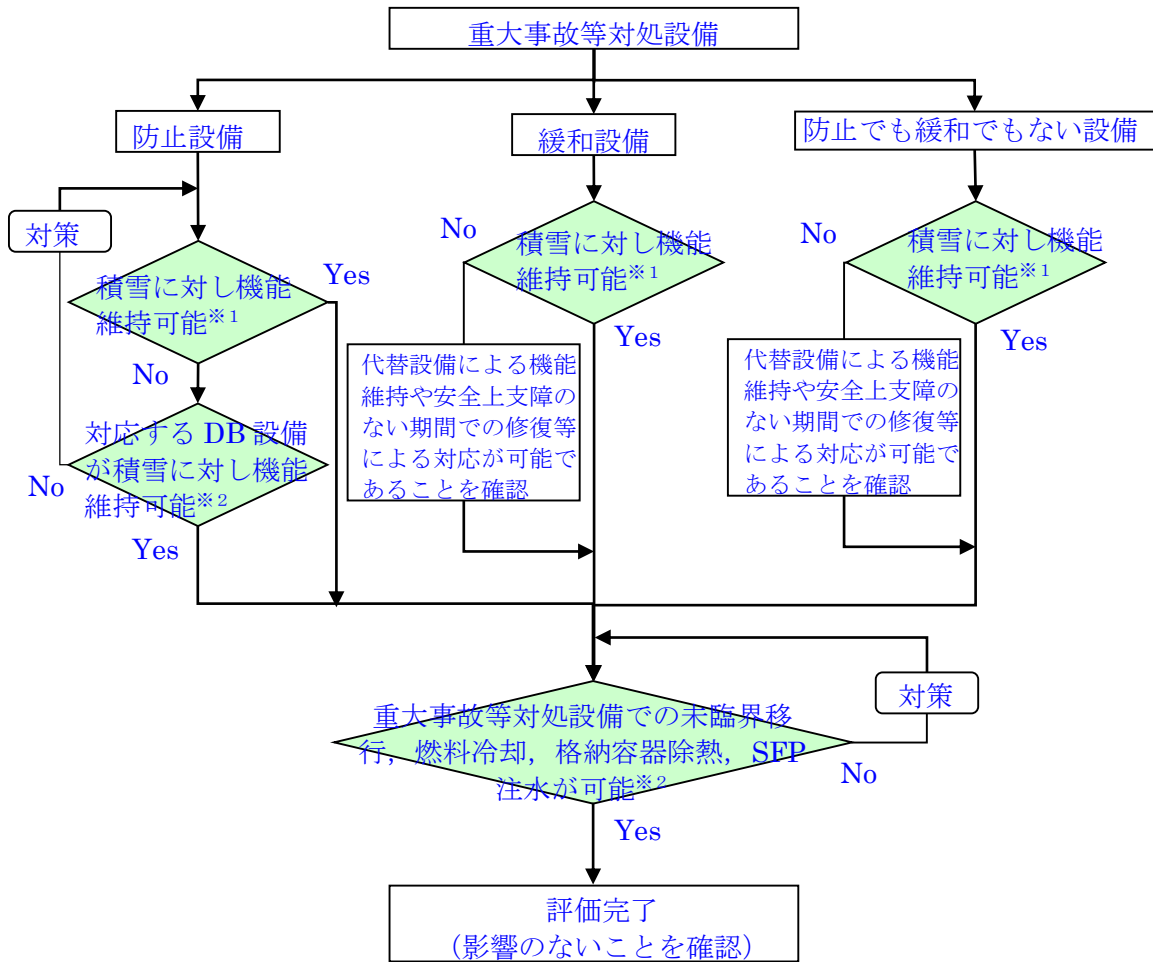


図1 積雪に対する安全施設の評価フロー



- ※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，免震重要棟^{※3}，3号炉緊急時対策所）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設備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。
- ※3：Ss地震には機能喪失する可能性は否定できないが，積雪荷重が作用した場合における健全性を確認。

図2 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通りである。

（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、発電所の最寄りの気象官署又はアメダスとする。従って、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 柏崎市における毎年の積雪観測記録

年	雪(寒候年・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。

平均積雪量の算出

平均積雪量は、柏崎市のアメダスの観測記録から積雪があった日数（N）と、その日の最深積雪量（ S_{Ni} ）から算出する。

$$(\text{平均積雪量}) = \frac{1}{N} \sum_i S_{Ni}$$

上式は、積雪があった場合に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、平均積雪量を計算すると以下の通りとなる。

観測期間：1980年11月1日～2013年3月31日

積雪のあった日数（N）：1,925日

積雪量の合計：59,766 cm

$$\text{平均積雪量} = \frac{59,766}{1,925} = 31.1 \text{ [cm]}$$

年超過確率の推定方法

1. 評価方法

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

評価フローを以下に示す。

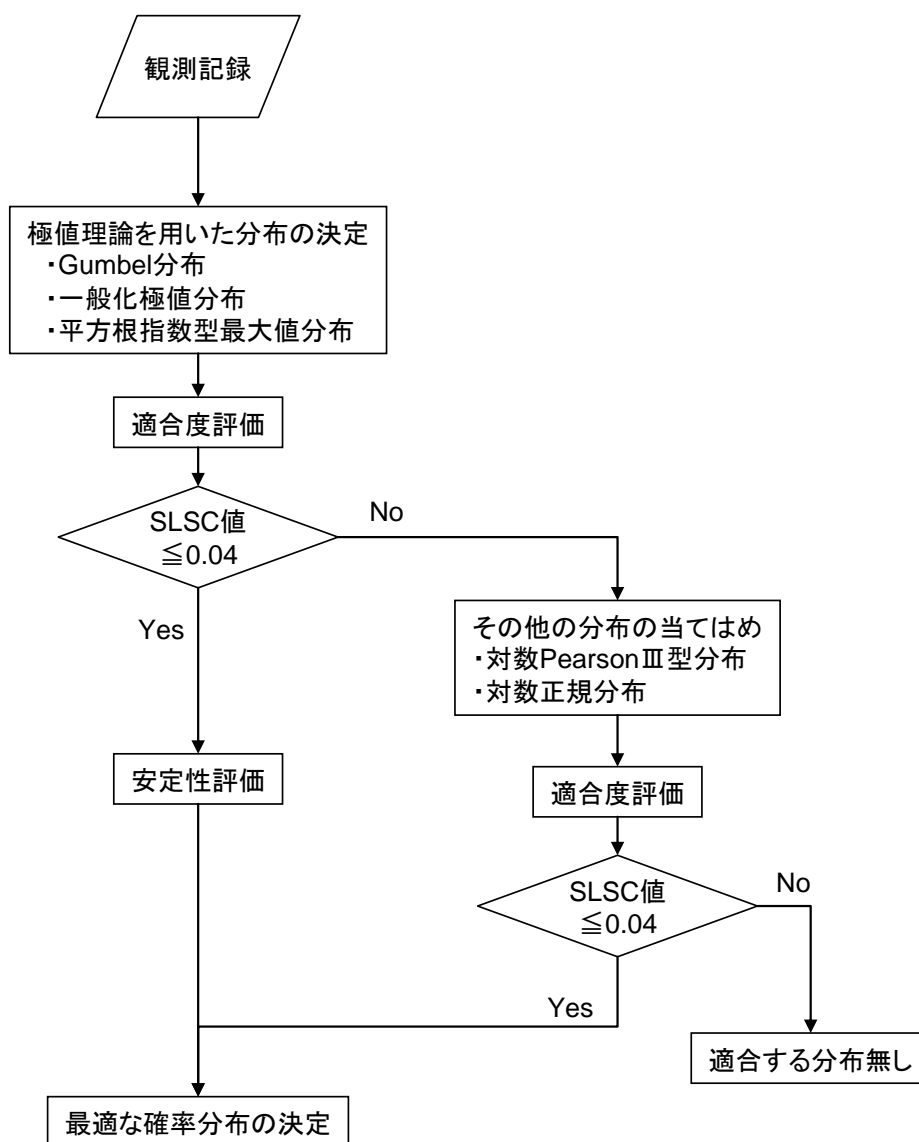


図 3-1 年超過確率評価フロー

(1)確率分布の算出

観測記録から、観測値の平均、分散値等を算出し、確率分布を算出する。ここでは、極値理論からの分布や従来から使用されている分布等を用いて確率分布を決定する。

(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、観測値はプロットイングポジション公式と並べた場合と、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。SLSC が小さいほど、適合度が高い。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、いくつかの式が提案されているが、本評価においては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 $T(i)$ とする。

(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ピックアップした場合に、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. 評価結果

表 3-1 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	0.060	0.036

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 3-2 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	0.031	0.030

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)

構内の除雪方法について

積雪時の発電所の体制

- ・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，9 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

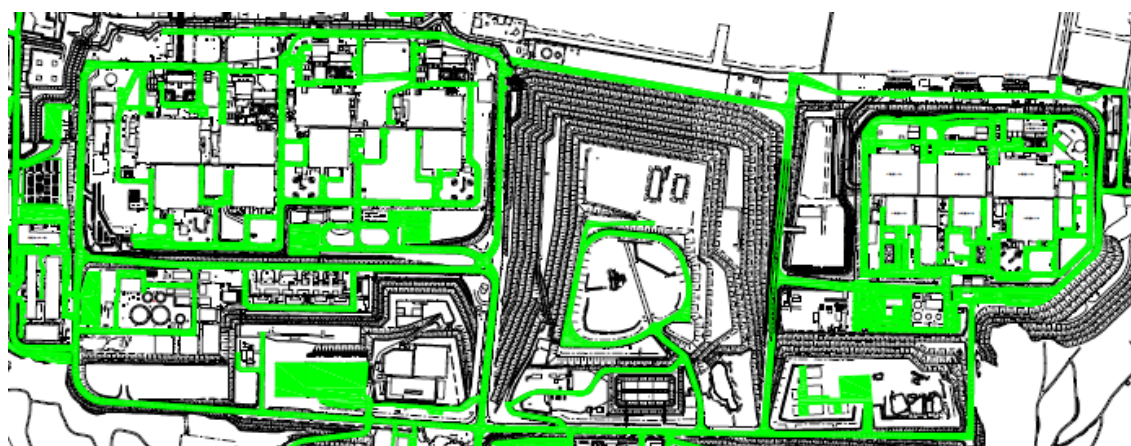


図4-1 構内の除雪ルート（緑線）

構内道路の除雪写真



重機による除雪作業（1）



重機による除雪作業（2）



重機による除雪作業（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、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。

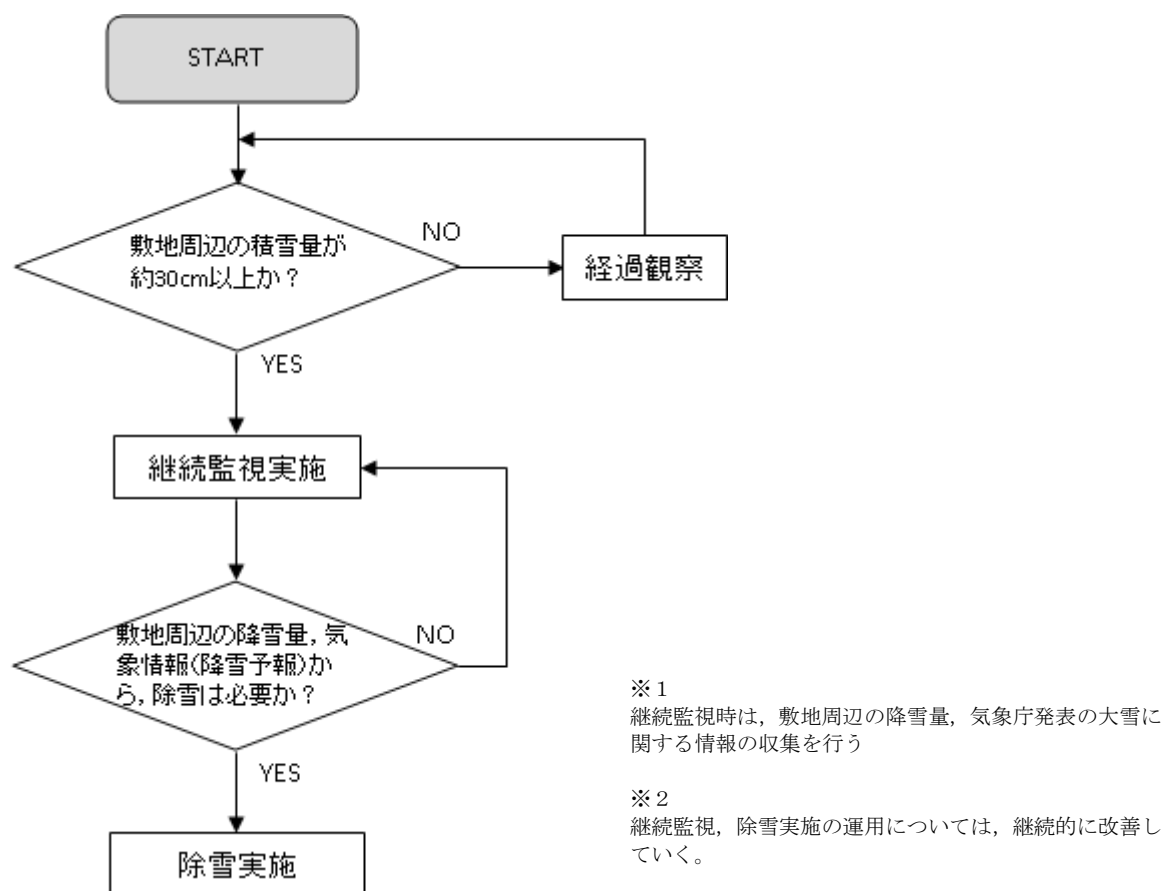


図5-1 原子炉建屋等屋上積雪量の管理作業フロー

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，緊急時の移動に支障がないようにしている。



設備の除雪（1）



設備の除雪（2）

表 7-1 建屋等の許容荷重と設計積雪荷重の比較

対象建屋・機器		許容荷重[N/m ²] ^{※1}		判定 ^{※2}
		K6	K7	
安全 施設	原子炉建屋	12000	12000	○
	コントロール建屋	21000 (6, 7号炉共通)		○
	タービン建屋 (熱交換器エリア含む)	10000	10000	○
	廃棄物処理建屋	8400 (6, 7号炉共通)		○
	軽油タンク	8200 (設計荷重)	8200 (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。		○ ^{※3}
安全 施設 及び 重大 事故 等対 処設 備	緊急時対策所 (免震重要棟)	14000		○
	緊急時対策所 (KK3TSC)	19000		○

※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通り算出し, 許容荷重値内であることを確認した。
 $167\text{cm (基準積雪量)} \times 29.4\text{N/cm} \cdot \text{m}^2 \text{ (新潟県建築基準法施工細則)} = 4909.8\text{N/m}^2$

※3 : 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 給気ルーバ	設備名	D/G(A)給気ルーバ	設備名	D/G(A)給気ルーバ	設備名	D/G(B)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)給気ルーバ	設備名	D/G(C)給気ルーバ	設備名	D/G(C)給気ルーバ		
写真		写真		写真			
							

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)を参照のうえ設定する。

(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) 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 発電所における送電線なら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) 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、保護レベル（Ⅰ～Ⅳ）に応じて雷保護システムを規定している。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/TS 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。日本工業規格 JIS-Z 9290-4⁽⁵⁾においては、最大雷撃電流値が建築物の保護レベル（Ⅰ～Ⅳ）に応じて定められているが、保護レベルⅡの場合の最大雷撃電流値は、150kA と規定されている。

(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ことが分かる。

※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なら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頻度 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となるが、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頻度 10^{-4} 件/年となる雷撃電流値は、約156kAとなる。

上記(1)～(3)を踏まえると、発電所敷地内かつ6号炉及び7号炉に対して想定される雷撃電流が最も大きくなるのは(3)の観測記録の統計処理による年超過頻度 10^{-4} 件/年雷撃電流値560kAであるが、敷地内における避雷鉄塔等の遮蔽効果を考慮すると、6号炉及び7号炉への 10^{-4} 件/年となる雷撃電流値は約156kAであることから、基準雷撃電流値としては、これに余裕を見た200kAとする。

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 1 に示すフローに沿って評価・確認を実施した。

(1) 建屋

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

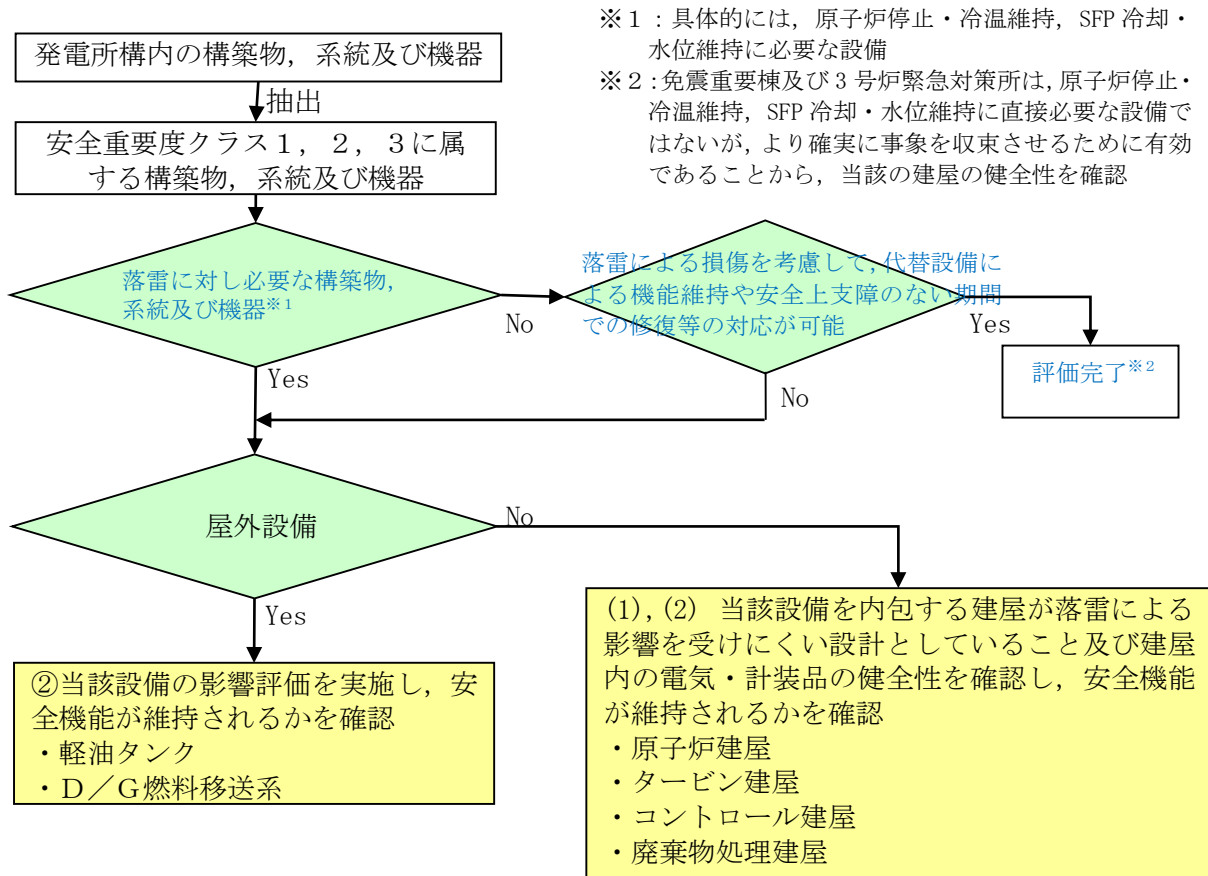
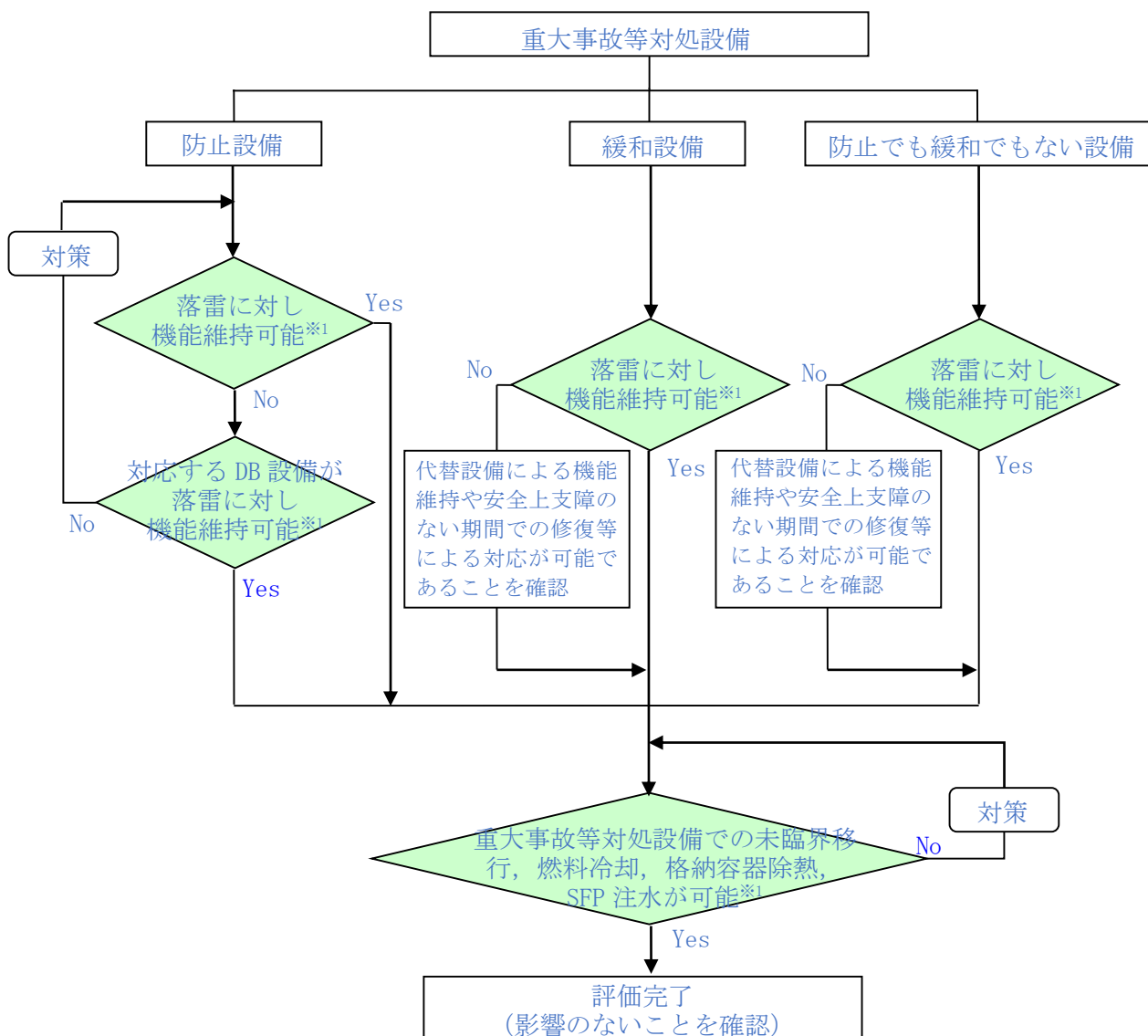


図1 落雷に対する安全施設の評価フロー

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2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。



※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、免震重要棟※2、3号炉緊急時対策所）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。なお、免震重要棟及び3号炉緊急時対策所は、同時に機能喪失しないことを確認。

※2：Ss地震には機能喪失する可能性は否定できないが、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。

図2 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 発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド (1996)
- (3) IEC/TS 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

柏崎刈羽原子力発電所への落雷頻度およ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、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、避雷鉄塔や排気筒に遮へい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 5.3%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
排気筒	1, 2 号炉排気筒	19	2.4
	3 号炉排気筒	27	3.5
	4 号炉排気筒	50	6.4
	5 号炉排気筒	58	7.5
	6 号炉排気筒	1	0.2
	7 号炉排気筒	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

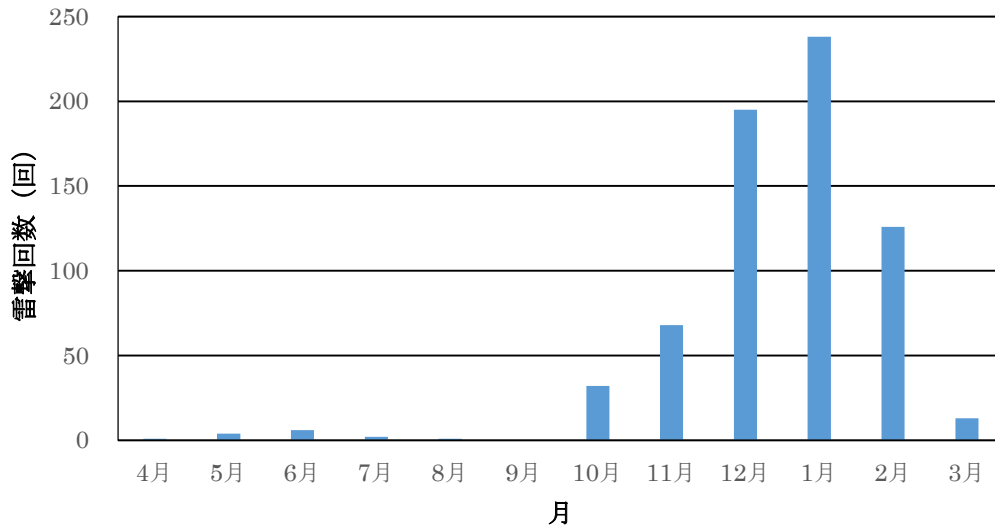


図 1-1 構内落雷観測の月別結果 (1996 年～2005 年・カメラ観測)

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 以下の除いた分布およ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 以下の除いた分布は、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。

$$776 \text{ 件} \times 0.05 / 8 \text{ 年 4 ヶ月} = 4.7 \text{ 件} / \text{年}$$

※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。

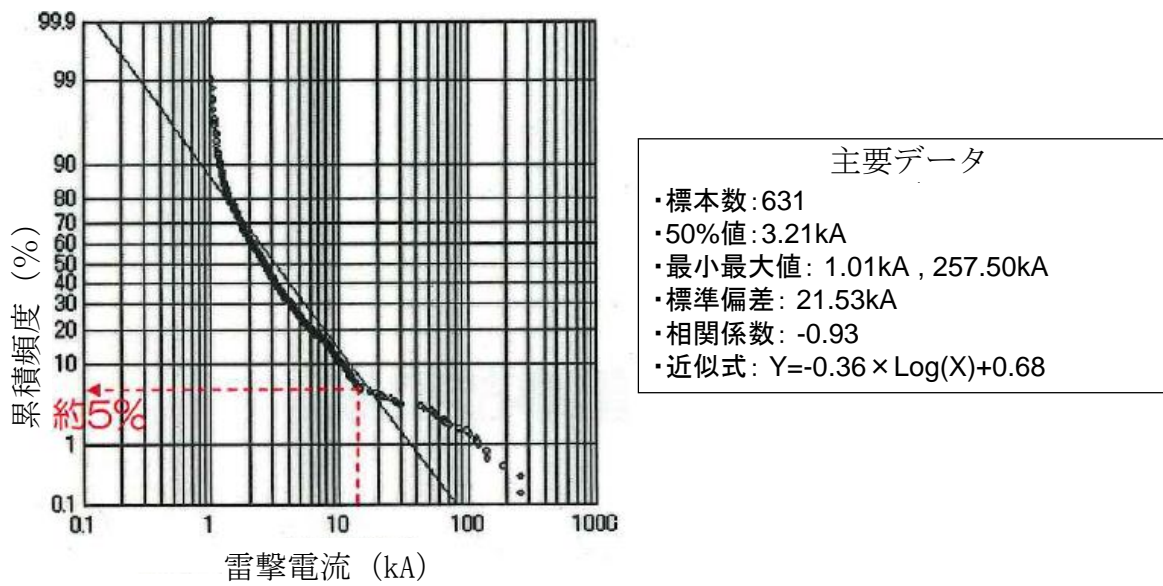


図 1-2 構内雷撃観測の雷撃電流累積頻度分布 (1996 年～2005 年・波形観測)

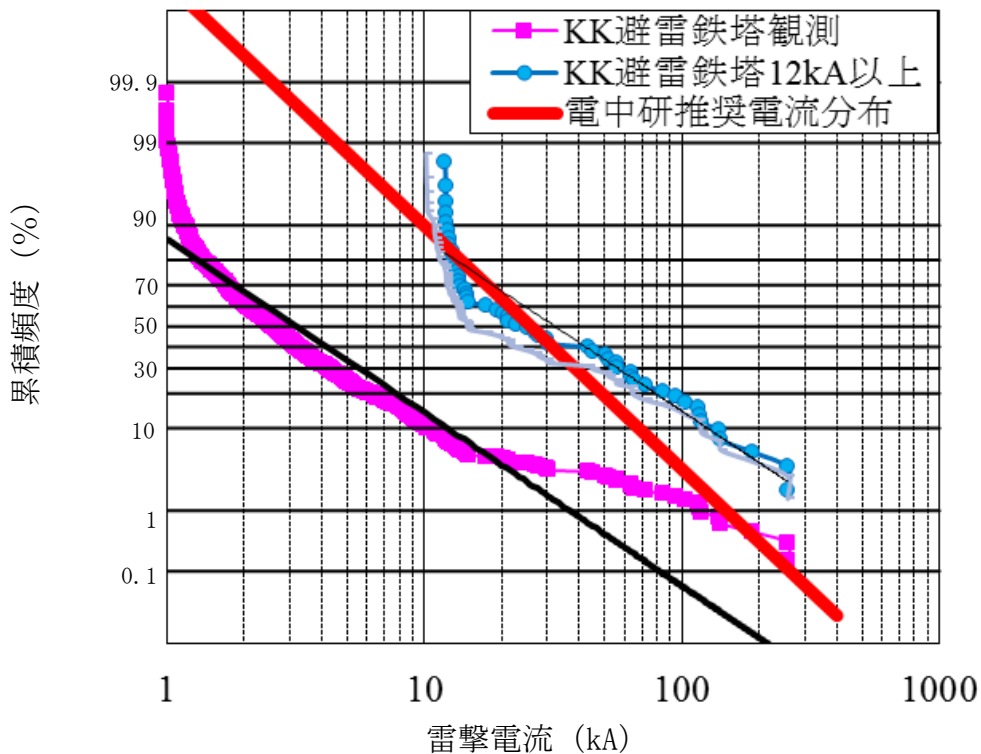


図 1-3 構内雷撃観測の雷撃電流累積頻度分布 (1996 年～2005 年・波形観測)
と電力中央研究所推奨雷撃電流頻度分布

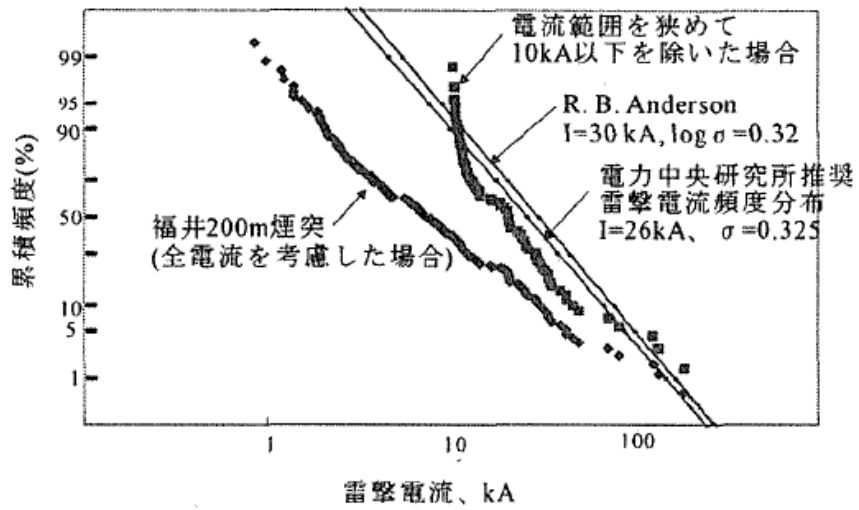


図 1-4 福井県の雷観測に基づく雷撃電流頻度分布

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など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）を対象にした雷遮へい理論は未だ検討中である。現在のところ、実際に使用できる冬季雷に対する雷遮へい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、原子炉建屋および独立排気筒への落雷頻度・電流値を算出した。

1.1. 計算手法

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未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 、および構造物高さ 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。

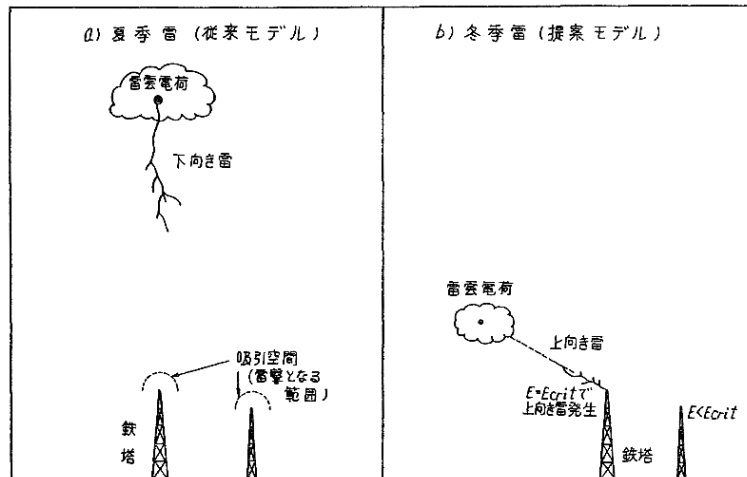


図 2-1 夏季雷と冬季雷のモデル

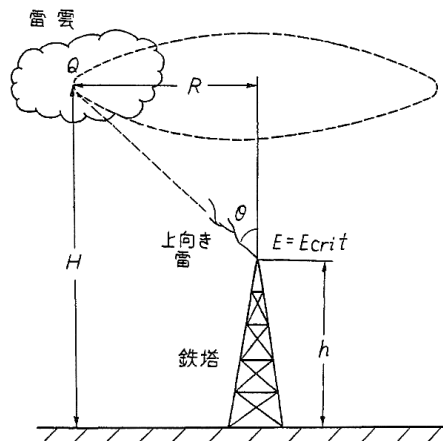


図 2-2 上向き雷の雷撃計算パラメータ

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号炉排気筒があり、また7号炉建屋と5号炉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。

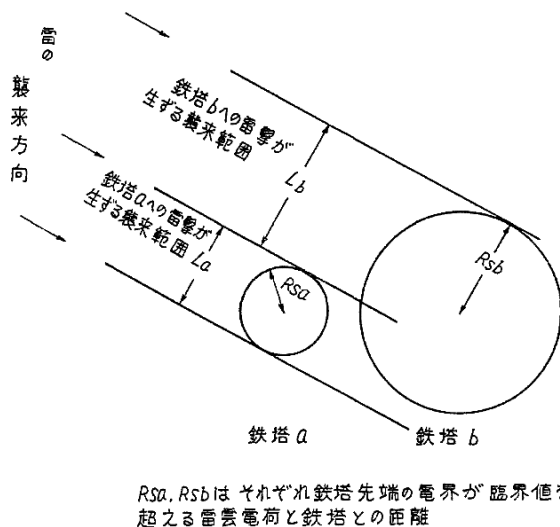


図 2-3 二つの構造物ある場合の雷撃範囲

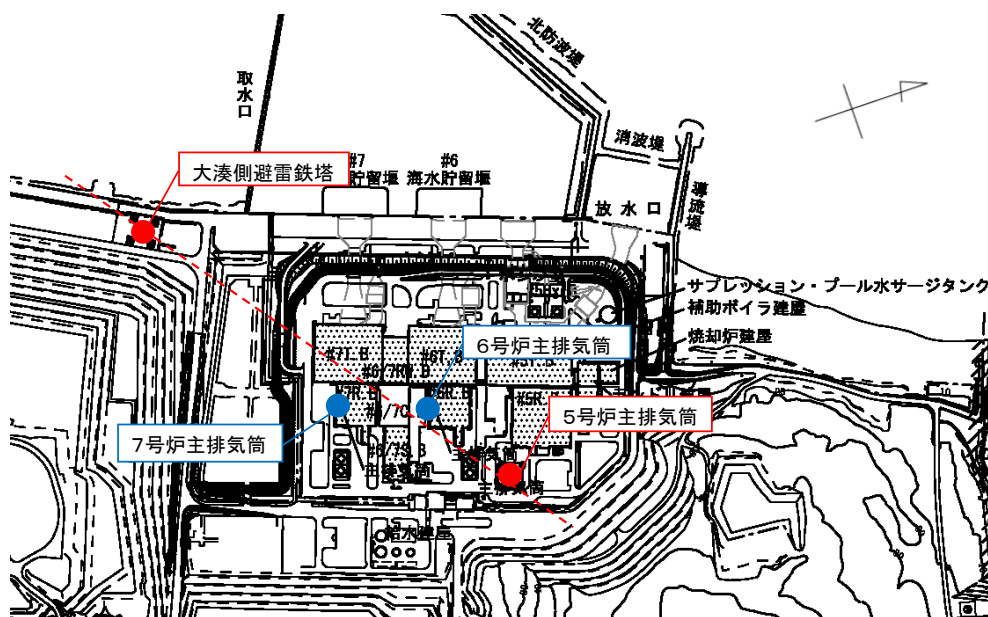


図 2-4 6号炉、7号炉建屋付近の構内図

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へい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」，「独立排気筒」，「その他の建物（原子炉建屋など）」

「その他の建物」には燃料タンクやタービン建屋などが含まれるが、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号炉および7号炉の場合、建屋と排気筒が一体となっていることから、同一建物として排気筒への雷撃頻度を評価する。

また、6号炉および7号炉をそれぞれ個別の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号炉排気筒を代表させた。

1) 評価対象モデル：

「大湊側避雷鉄塔，5号炉排気筒，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件程度であると想定できる。

そこで、想定落雷数を設定するにあたり、図2-5に示すように落雷数を1号炉～4号炉エリア（荒浜側）と5号炉～7号炉エリアに分割（2分割）することにより2.35件/年を想定する。

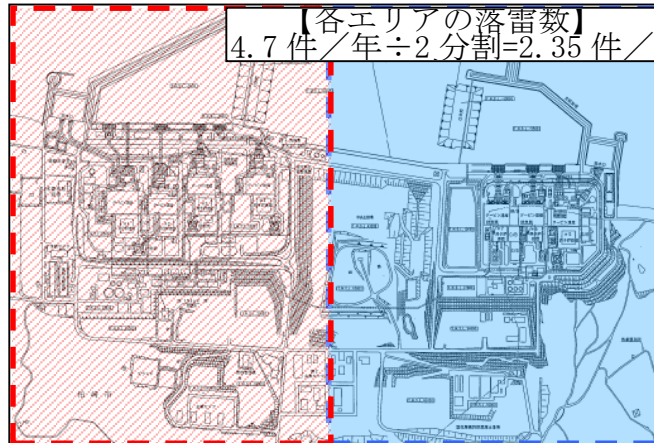


図 2-5 落雷数とエリア分割

1.2. 雷撃頻度および最大電流の計算

5号炉排気筒による遮へい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号炉排気筒と 7号炉建屋の距離 ($D=263$ m)、両者の高さ (5号炉排気筒高さ： $H=160$ 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補足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頻度 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 に示される通り、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など、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。

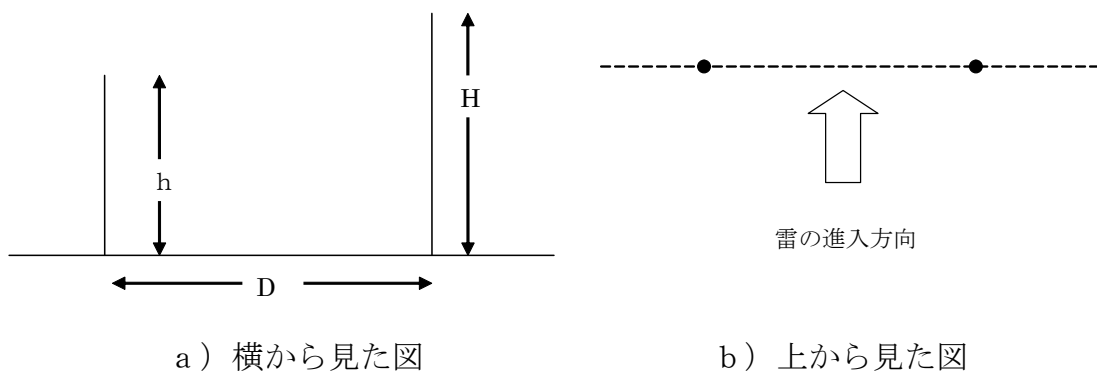


図 2-6 二つの構造物がある場合の雷撃率計算のモデル配置

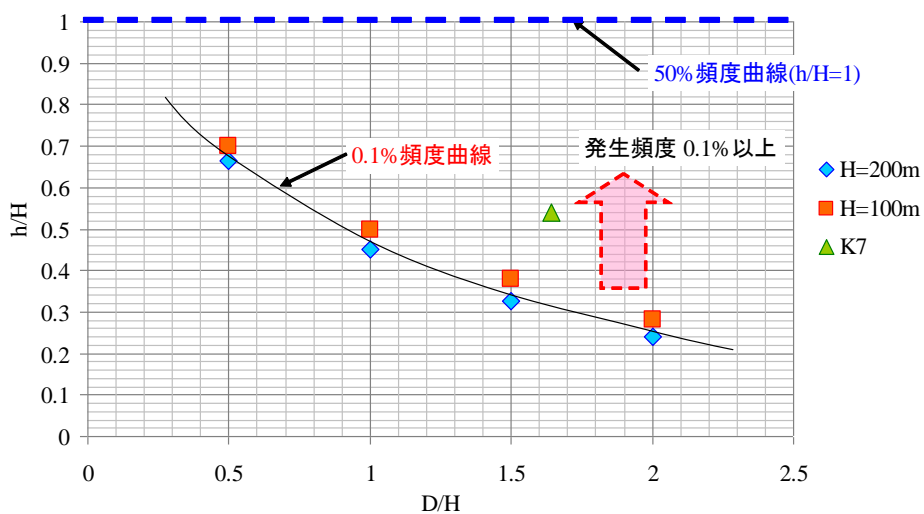


図 2-7 冬季雷に対する低建造物の雷撃比率が 0.1%となる低構造物高さ (計算値) と 7 号炉建屋に対する h/H と D/H の値

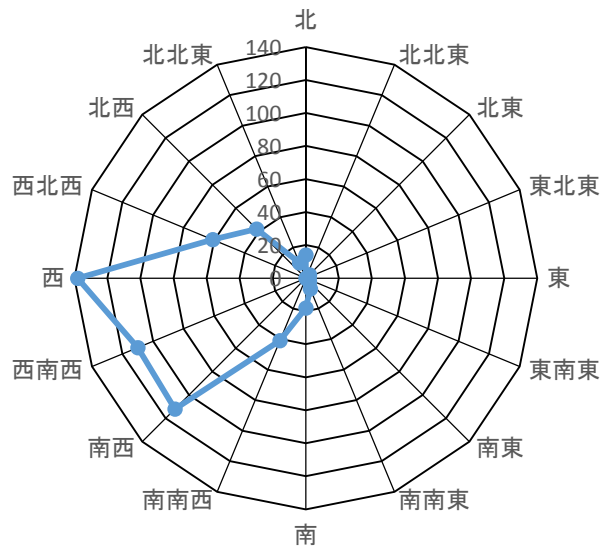


図 2-8 構内雷観測結果（落雷時の風向分布（単位：回））

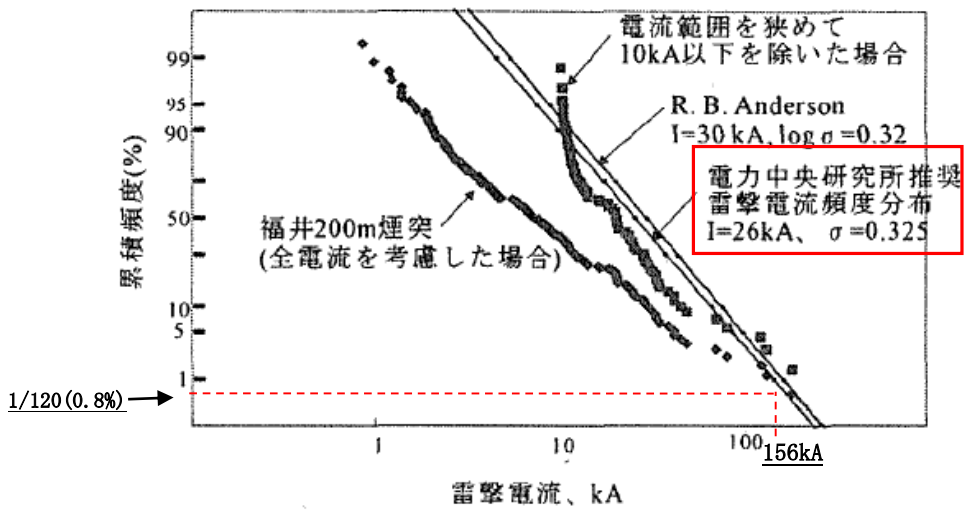


図 2-9 耐雷設計で用いる雷撃電流頻度分布

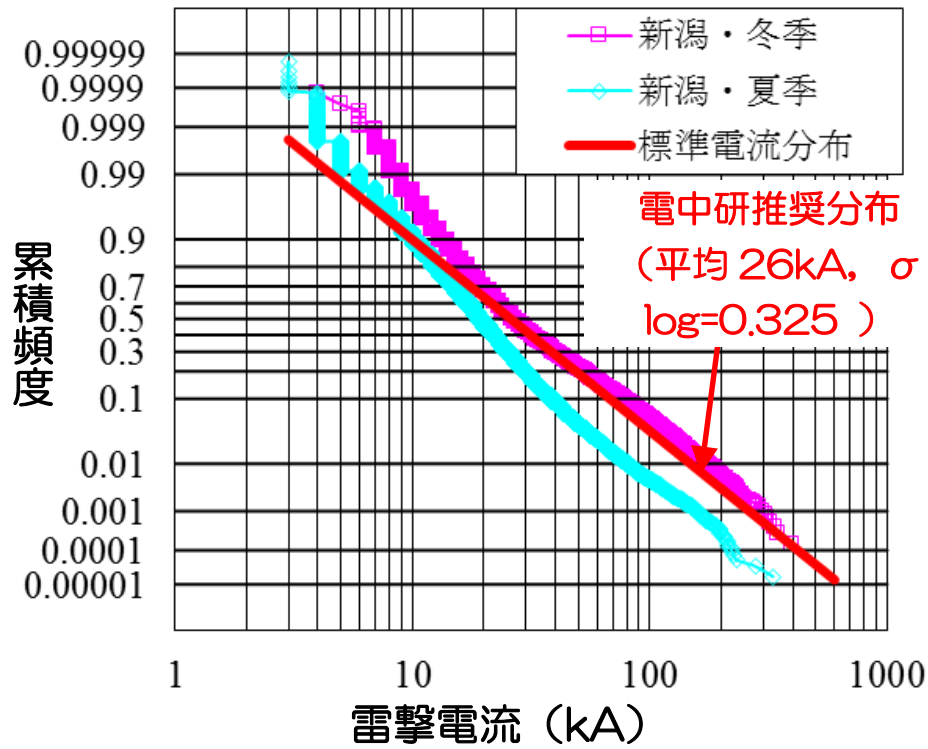


図 2-10 耐雷設計の電流分布と新潟県における落雷位置標定システム (IMPACT) 観測の電流分布

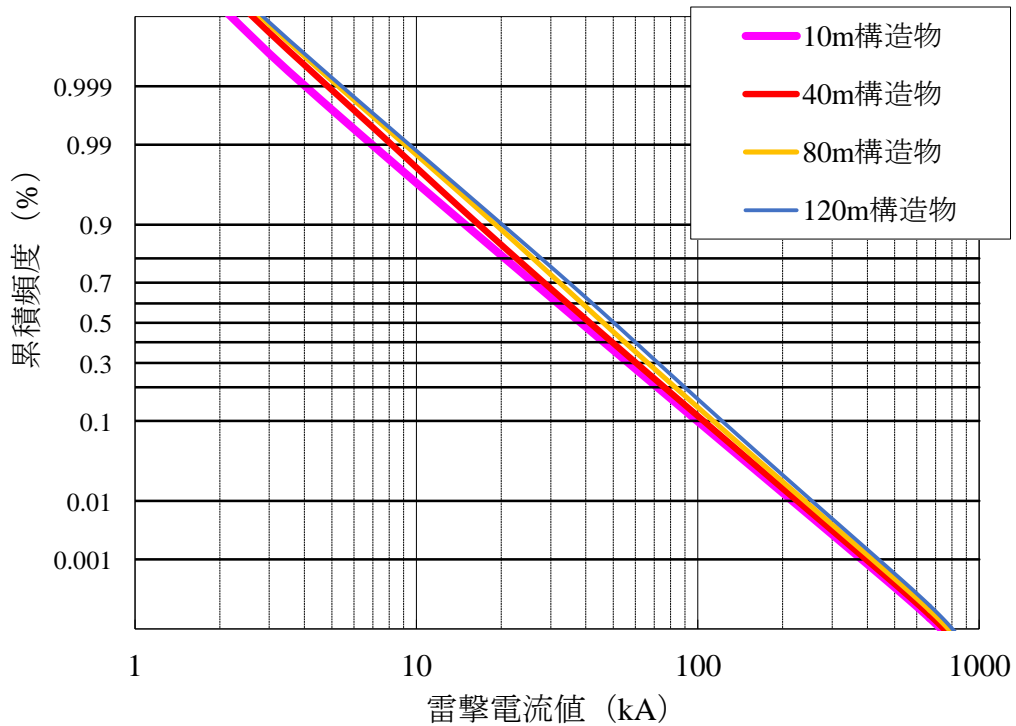


図 2-11 各構造物高さでの雷撃電流頻度分布

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、6,7号炉排気筒は、避雷鉄塔に加え5号炉排気筒の遮へいの効果を受けているため、6,7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に示される通り、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塔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、落雷位置評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号炉建屋排気筒に想定される雷撃電流値は 160kA 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。

(2) 電気幾何学モデルの概念

雷撃距離は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。

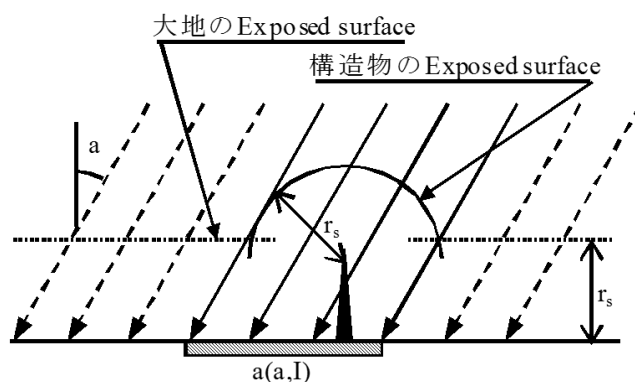


図 2-12 電気幾何学モデルによる捕集範囲

(3) 7号炉建屋排気筒の落雷頻度の評価条件

6, 7号炉原子炉建屋の高さや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号炉建屋排気筒とし、遮蔽物として5号炉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、他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。

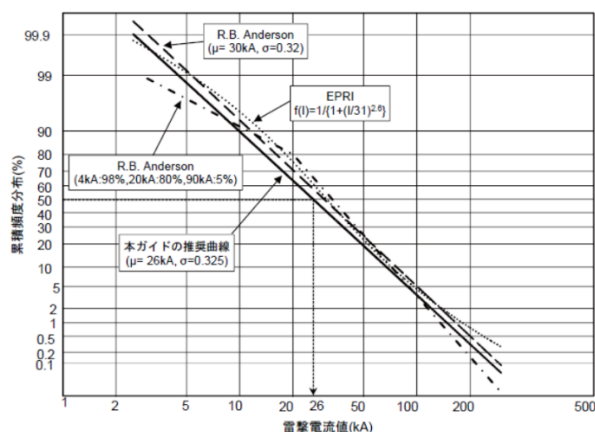


図 2-13 各種雷撃電流累積頻度分布

(電中研報告 H06 発電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド)

排気筒の雷遮へい効果は詳細には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号炉建屋排気筒と5号炉排気筒の断面図を図 2-14 に示す。図には5号炉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。

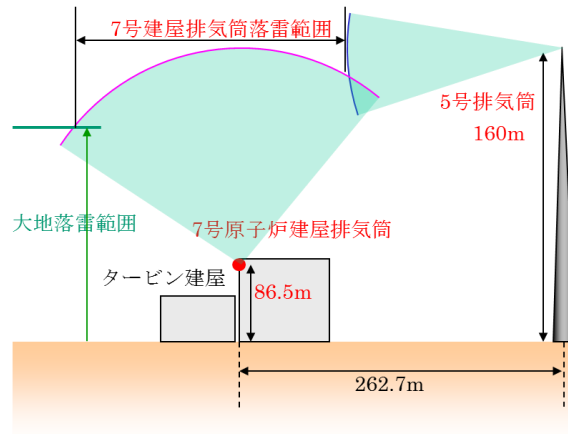


図 2-14 落雷頻度評価モデル (断面図)

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 号炉建屋排気筒への落雷面積は，大地の雷捕集と，5 号炉排気筒による遮へい（青円弧），並びに避雷鉄塔による遮へい（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。

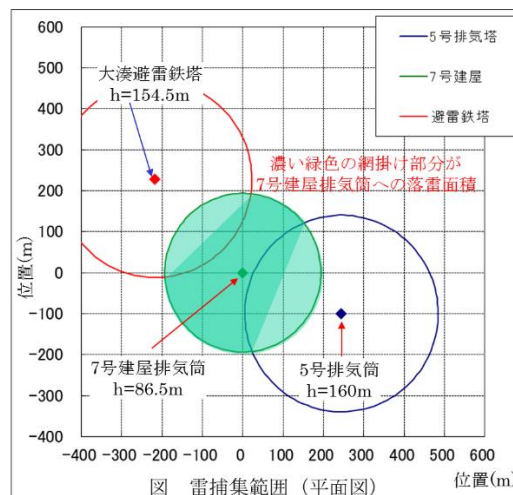


図 2-15 落雷頻度評価モデル (断面図)

(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、以下の通り

- 0～27 kA : 遮へい無し,
- 28～60kA : 大地の遮へい
- 61～90kA : +5 号炉排気筒の遮へい,
- 91～400kA : +避雷鉄塔の遮へい

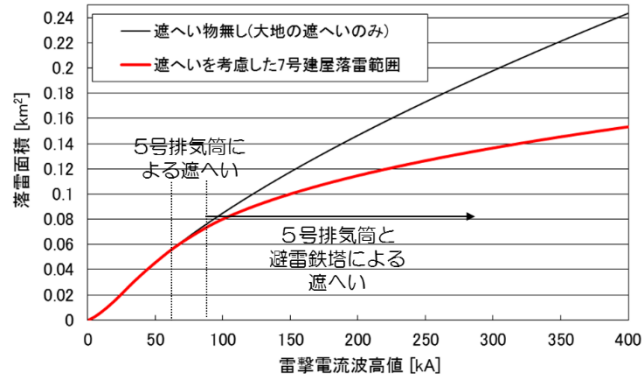


図 2-16 7 号炉建屋排気筒への想定雷撃の落雷面積

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。

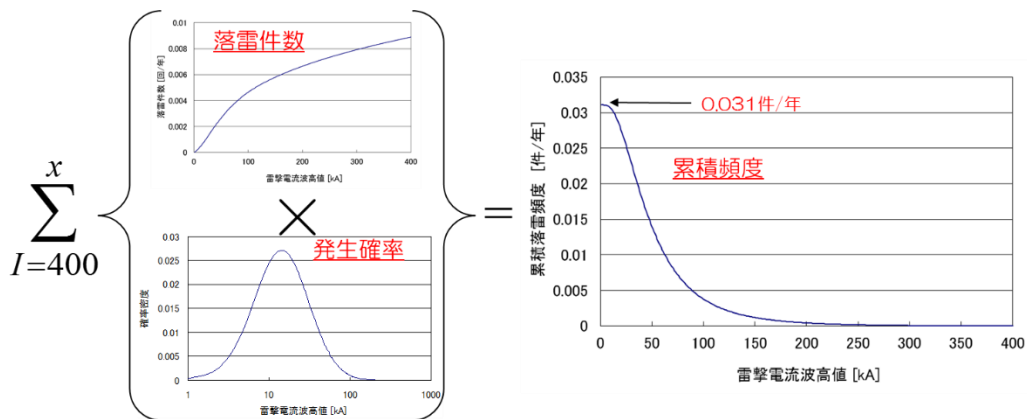


図 2-17 7 号炉建屋排気筒の想定雷撃電流に対する落雷頻度

(5) 夏季と冬季を個別に考慮した場合の想定雷撃電流値

上記の通り、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 5.3%と再現期間 10^4 年を乗じると、夏季の落雷件数は、

$$0.031 \times 0.053 \times 10^4 = 16.4 \text{ [件]}$$

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 号機への落雷は 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 94.7% を乗じて

$$120 \times 0.947 = 113.5 \text{ [件]}$$

となる。

通年では、 $16.4 + 113.5 = 129.9$ [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、160kA 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ならびに雷しゃへい理論の検討ーモデル実験なら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有る。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、制御盤など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排気筒に雷インパルス発生装置（以下 IG）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 1.6～2.1 μ s、波尾長 67～71 μ s の波形である。6、7 号炉については、建屋と排気筒が一体化しており、建屋への落雷は排気筒によって全て遮へい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、排気筒接地は建屋接地に接続されている（図 3-2）。7 号炉については排気筒接地の引き下げ導体（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。従って、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「引下げ導体無し」、7号炉については「引下げ導体有り」の結果を用いる。

表 3-1, 3-2 に雷インパルス試験および、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。

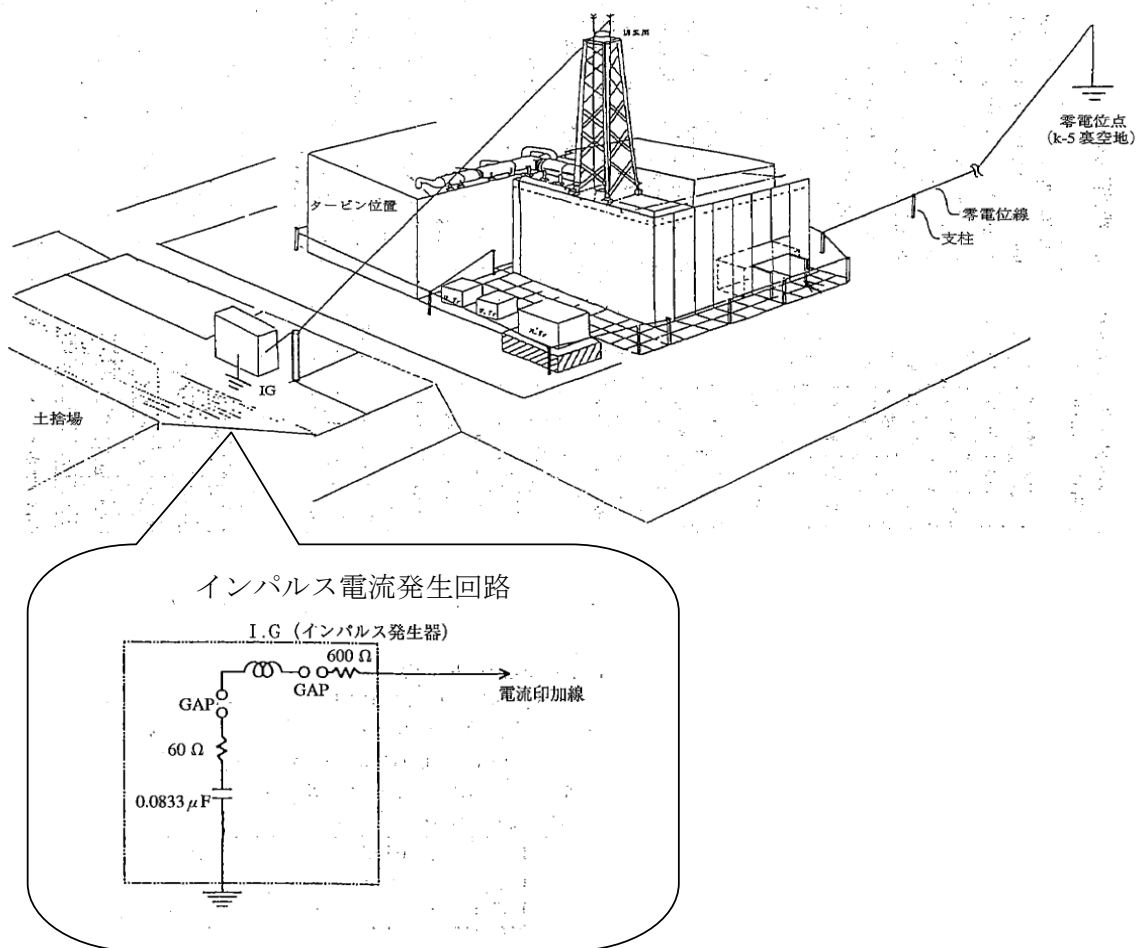


図 3-1 雷インパルス試験

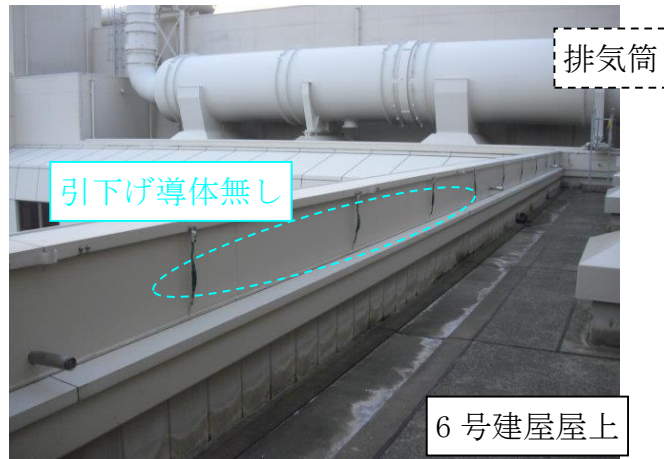


図 3-2 排気筒引下げ導体無し (6号炉)

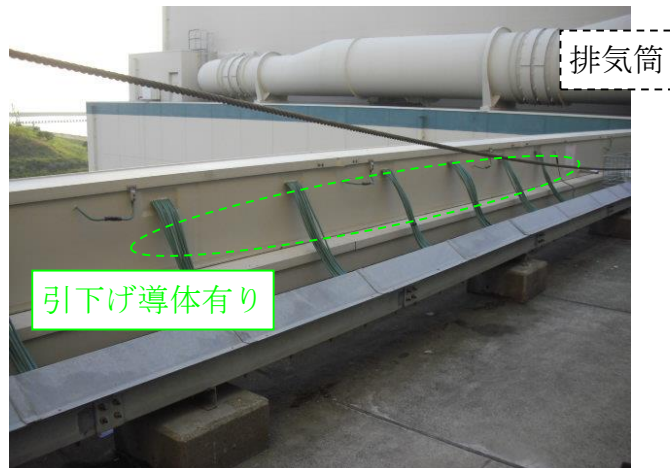


図 3-3 排気筒引下げ導体有り (7号炉)

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 換算値(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(3F)	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 換算値(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(3F)	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、この時の値は 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	709.3	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	238.7	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	1150.7	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	253.5	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)

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（6/7号炉中央制御室，免震重要棟内緊急時対策所，3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，及びタンクローリー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，予測及び評価や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)。

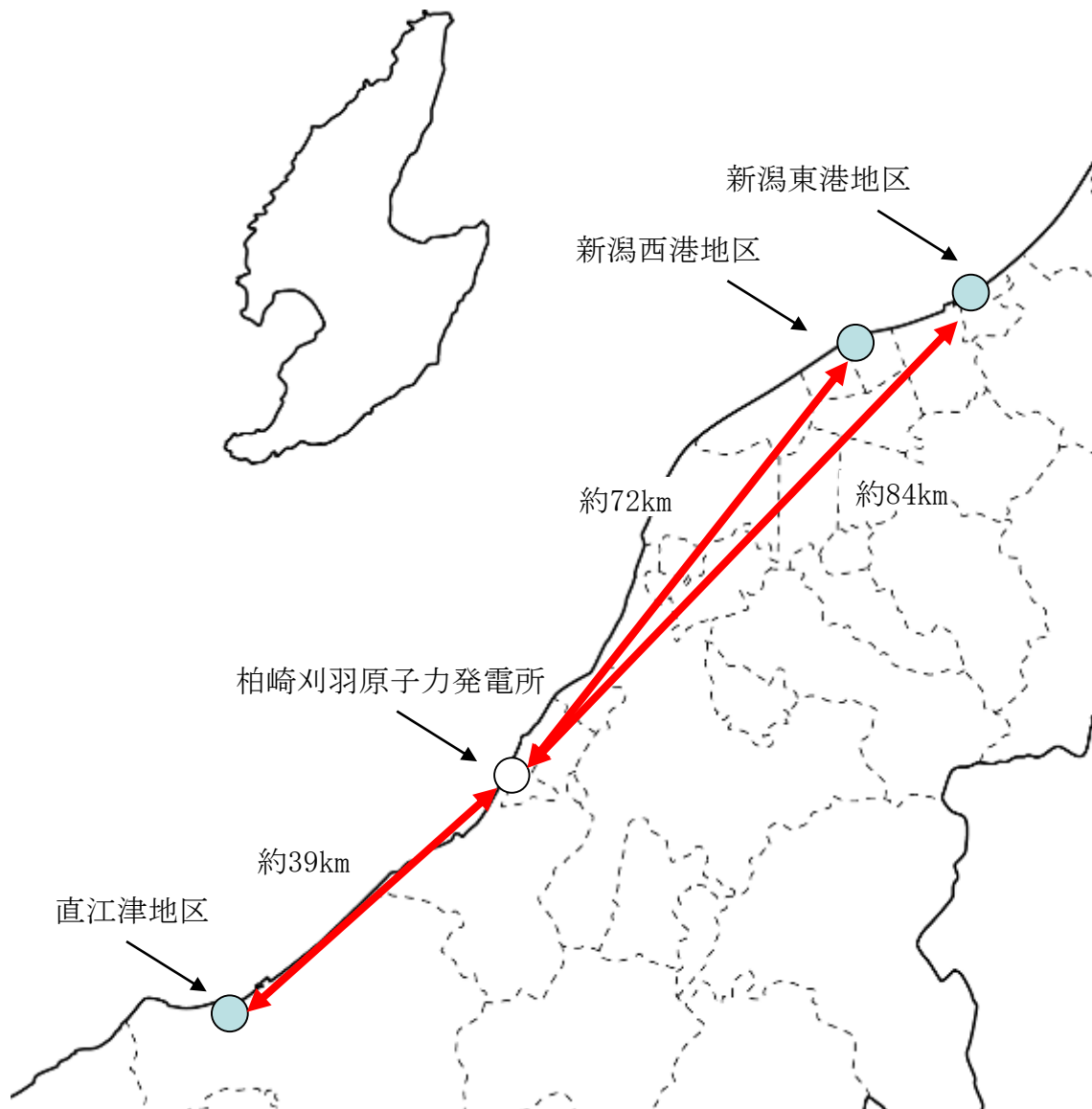


図1 柏崎刈羽原子力発電所周辺の石油化学コンビナート

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

全国的に生産量およ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ー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ーは、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

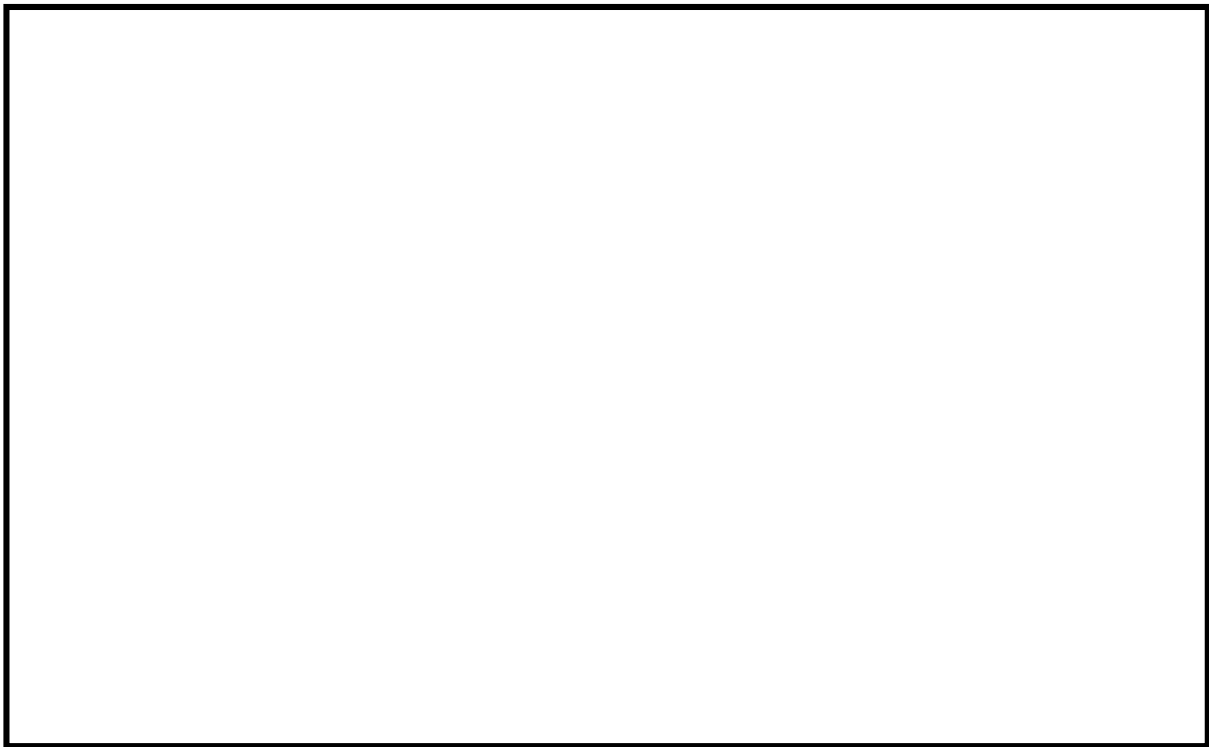
や、ガス容器が二重構造であることから信頼性が高く、交通事故等が発生した場合であっても流出に至りにくい。また、万一流出に至った場合の対応に必要な、中和剤（消石灰、苛性ソーダ）や呼吸器、防護具などを積載している。このため、タンクローリーの輸送事故による中央制御室等への影響はない。なお、主要な道路としては、敷地境界付近に国道352号線があり、中央制御室等から最短距離は約420mである（図2）。

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 フッ化硫黄など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 149m（6 号機屋外ボンベ室－6/7 号炉中央制御室間）と比較的近接しているものの、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 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 4 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 255m（大湊側補助ボイラー－6/7 号炉中央制御室間）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 255m（大湊側補助ボイラー－6/7 号炉中央制御室間）である。
- ・過酸化水素は、最短の離隔距離が 125m（2 号機循環水建屋－3 号炉原子炉建屋内緊急時対策所間）と比較的近接しているものの、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257m（高圧開閉所－3号炉原子炉建屋内緊急時対策所間）

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など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	4	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

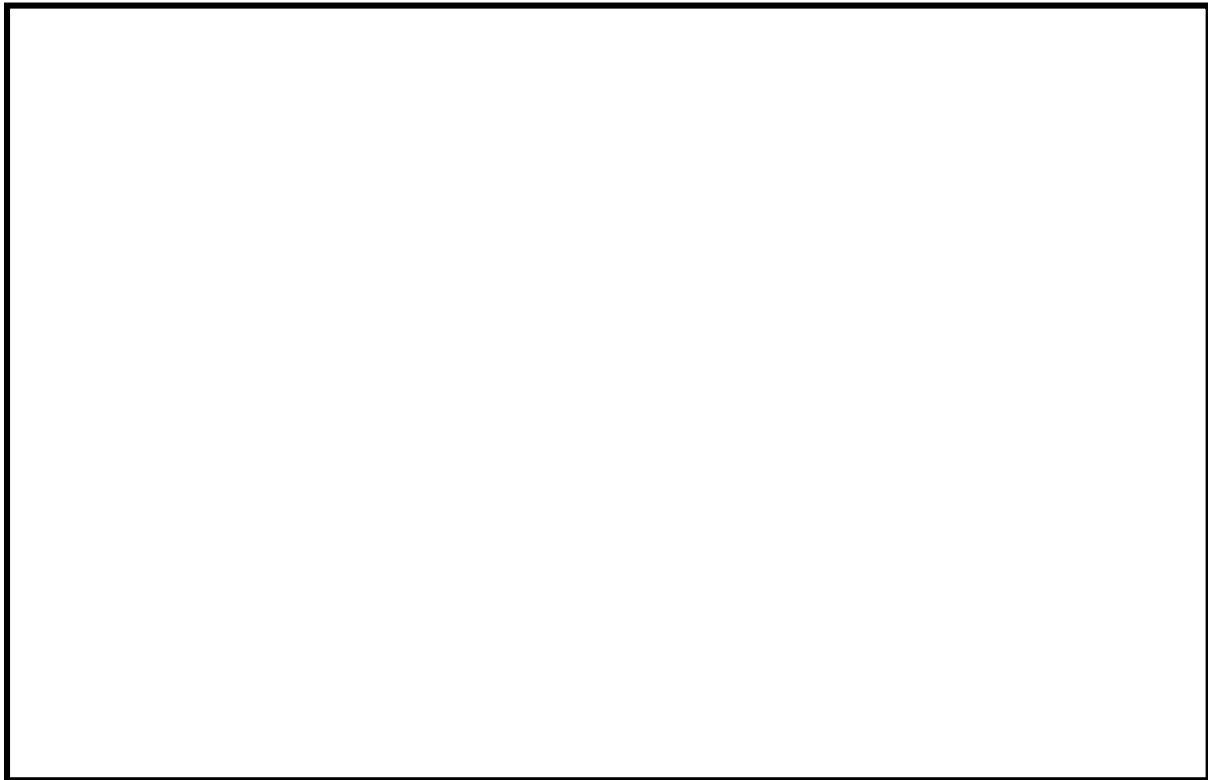
ACGIH（米国産業衛生専門家会議）にて定められた値で、毎日繰り返し曝露したときほとんどの労働者に悪影響がみられないような大気中の物質濃度の時間加重平均値で、通常、労働時間が8時間／日及び40時間／週での値。

表3 発電所敷地内の有毒物質

名称	内容物	容量	離隔距離		
			6/7号炉 中央制御 室	免震重要 棟内緊急 時対策所	3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	—	499m	—
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	—	—	163m
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	—	—	—
6号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×16	149m	—	—
7号機屋外 ボンベ室	炭酸ガス	30kg×16	—	—	—
No.1～4ボ ンベ室	炭酸ガス	30kg, 45kg ボンベ 計 2,525kg	1451m	222m	402m
荒浜側補助 ボイラー	希硫酸	0.417m ³	1610m	320m	391m
大湊側補助 ボイラー	希硫酸	0.304m ³	255m	1993m	1414m
大湊側補助 ボイラー	水加ヒドラ ジン	20kg (60%) 0.7m ³ (1%)	255m	1993m	1414m
水処理建屋	塩化水素 (塩酸)	5.9m ³	1583m	203m	506m
1号機 循環水建屋	過酸化水素	0.6m ³	1538m	595m	370m
2号機 循環水建屋	過酸化水素	0.6m ³	1336m	571m	125m
高圧開閉所	6フッ化硫 黄	62m ³ (500kV GIS)	1099m	337m	257m

表 4 評価対象物質及び固定施設名

号炉	対象設備名
6, 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 대기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、およ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 (χ/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およ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、

$$q = Q/(Az) \quad \text{但し、} \quad q = 0 \quad \text{for } z \neq 0$$

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]

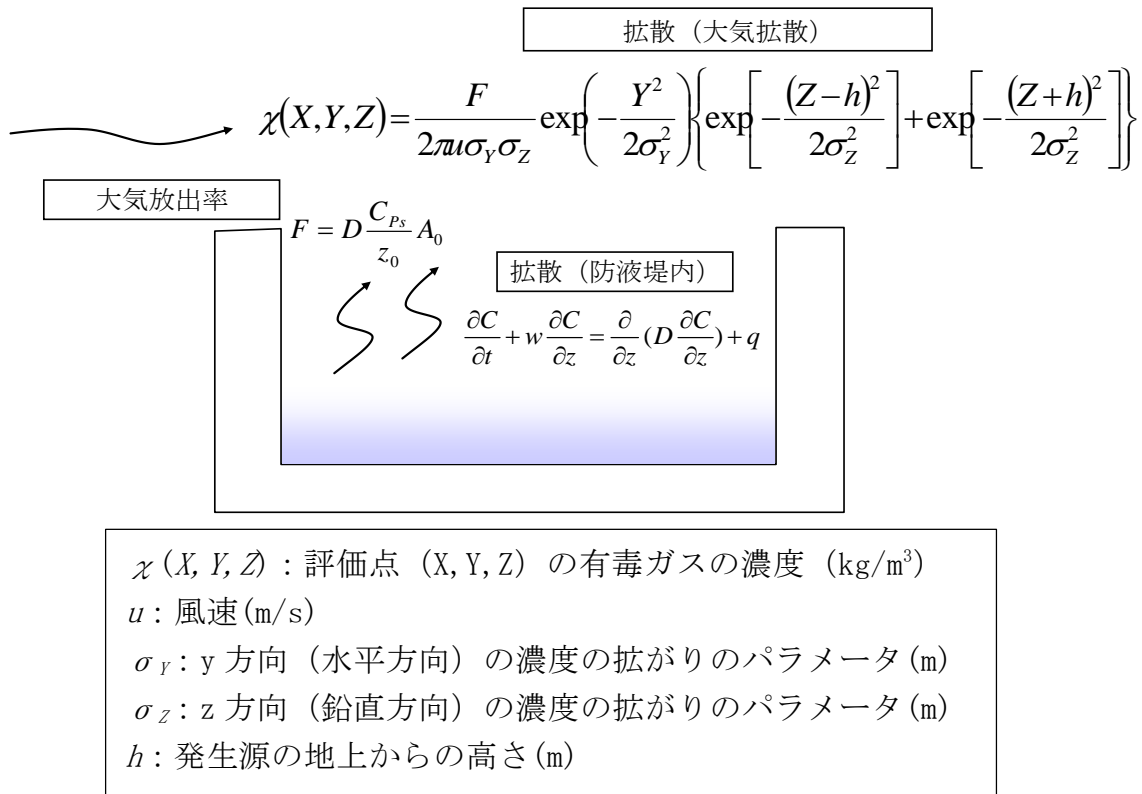


図6 有毒ガス大気放出の考え方

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	6/7号炉 中央制御室	免震重要棟内 緊急時対策所	3号炉 原子炉建屋内 緊急時対策所
離隔距離 [m]	1583	203	506
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通り、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% (6/7号炉中央制御室に関しては、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	6/7号炉中央制御室、 免震重要棟内緊急時対策所、 3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	6/7号炉中央制御室： 1方位(SSW) 免震重要棟内緊急時対策所： 2方位(NNW, N) 3号炉原子炉建屋内 緊急時対策所： 1方位(SSE)	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} に示された通り設定

※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	6/7号炉 中央制御室	免震重要棟内 緊急時対策所	3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	203	506
相対濃度[s/m ²]	6.90×10^{-7}	5.40×10^{-4}	4.00×10^{-4}
外気取入口濃度[ppm]	7.23×10^{-4}	0.566	0.419
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	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

空气中濃度の計算には、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様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 $7.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 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6/7号炉中央制御室までの離隔距離は約170m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。

免震重要棟内緊急時対策所及び3号炉原子炉建屋内緊急時対策所についても離隔距離が確保されることから影響はない。

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	6/7号炉 中央制御室	免震重要棟内 緊急時対策所	3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]	1511	330	394
離隔距離（5号炉 液化窒素貯槽） [m]	170	1904	1319
評価結果	影響なし	影響なし	影響なし

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。

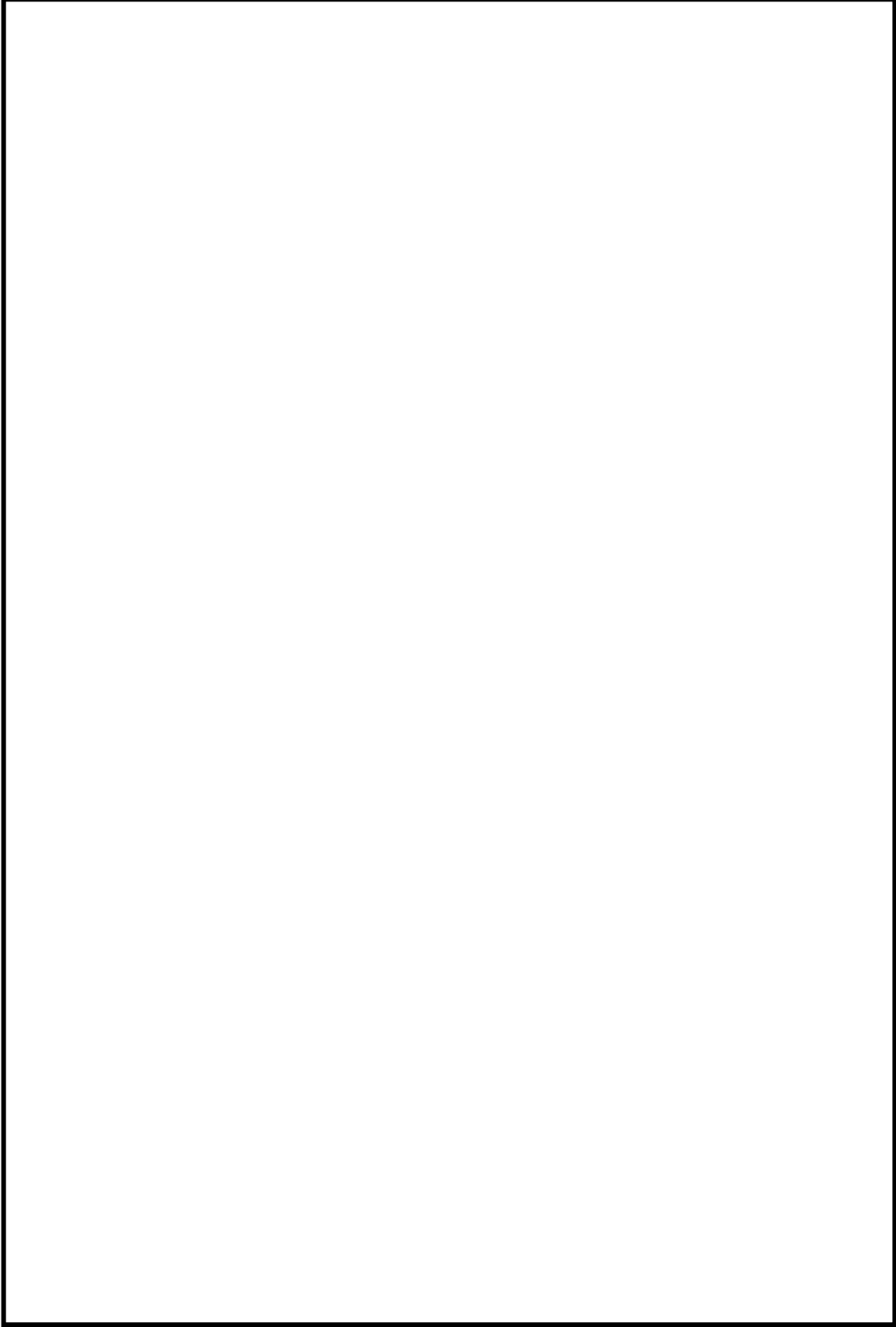


図7 評価結果（液化窒素）

3.3.2.3 大気拡散を考慮した評価

3.3.2.2 においては、6/7号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6/7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、大気への放出率およ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。室外およ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，6/7 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通り，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	6/7号炉中央制御室， 5号炉中央制御室， 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 →6/7 号炉中央制御室： 3 方位 (N, NNE, NE) 5 号炉液化窒素貯槽 →5 号炉中央制御室： 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} に示された通り設定

※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	6/7号炉 中央制御室	5号炉 中央制御室	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%]	78.1	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

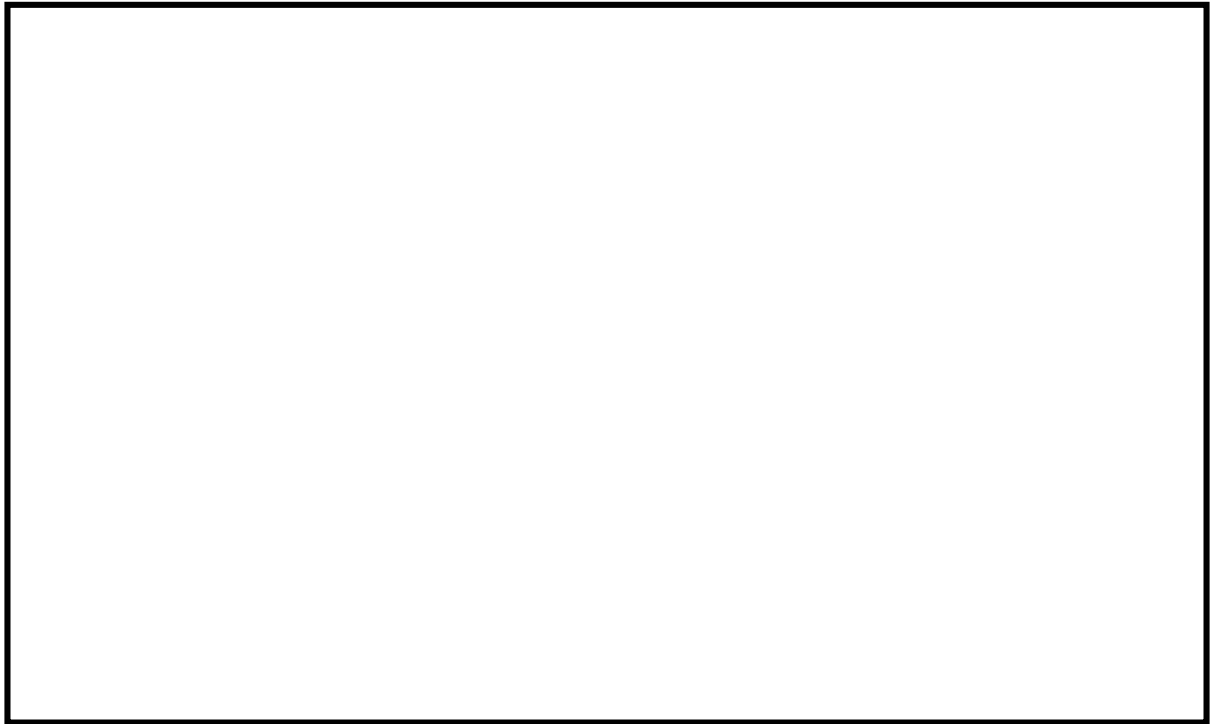
4 発電所敷地内の屋内設備からの影響

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、さら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無い。

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

積雪・火山灰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合せ「雪・火山灰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（年超過発生頻度 10^{-2} 規模）を想定することを基本としていることから、以下の 4 パターンを考慮した。

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)	火山灰(3.0cm*)	積雪(31.1cm)	No.1 に包絡
3	積雪(167.0cm)	地震(10^{-2} 相当地震動)	—	No.4 に包絡
4	火山灰(30.0cm)	地震(10^{-2} 相当地震動)	積雪(31.1cm)	—

* 火山灰については、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。

2. 評価対象設備について

評価対象設備の抽出フローを図 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。

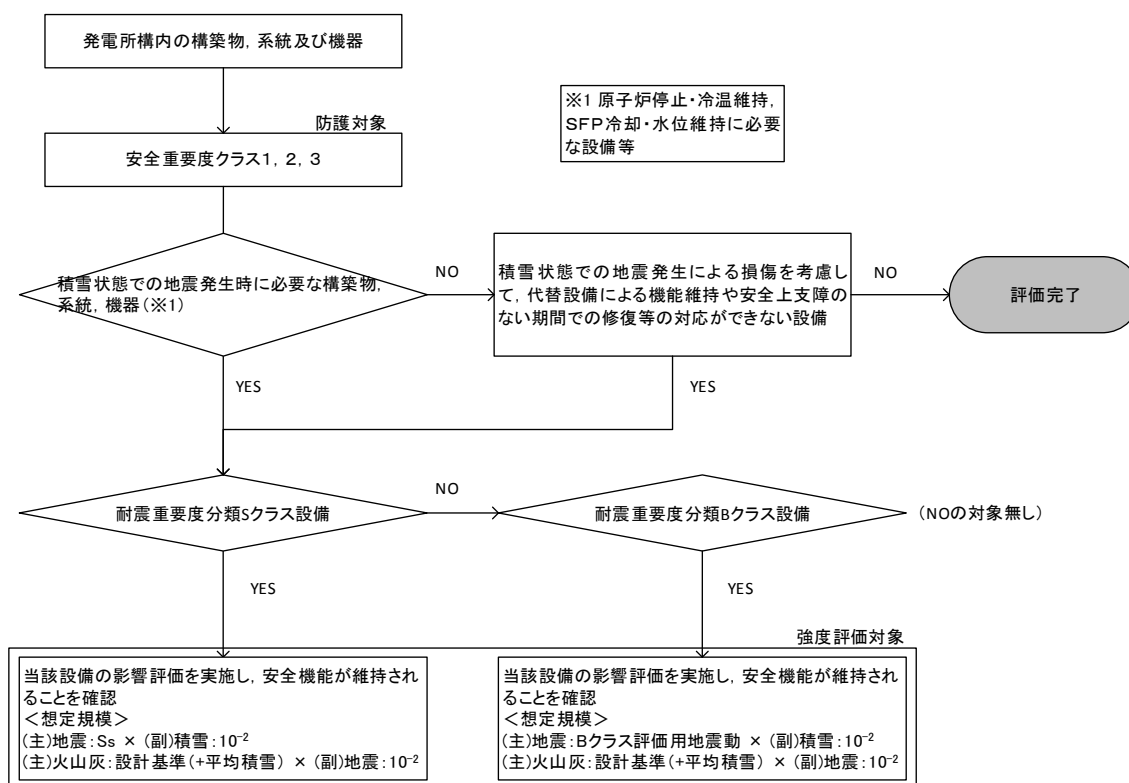


図 1 防護対象設備・評価対象設備の考え方

3. 安全施設の健全性評価結果

抽出された各評価対象設備（安全施設）の直上付近の屋根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。

【主な評価対象設備】

建屋等	評価部位	評価対象設備	判定
R/B	R/B 屋根全体	使用済燃料プール等	○
C/B	C/B 屋根全体	中央制御室等	○
T/B	熱交換器エリア直上の屋根部分	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・原子炉補機冷却海水系	○
屋外	—	軽油タンク，非常用ディーゼル発電機燃料移送系	防護対策を実施
3号炉 R/B	TSC 直上の屋根部分	原子力発電所緊急時対策所	○

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（年超過発生頻度 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 2 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))	地震との組合せを考慮する場合（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通り、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 8（単独事象としての落雷評価）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（年超過発生頻度 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発生頻度 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%が避雷鉄塔に補足されるものとして評価している（添付資料 8 別紙 1「1.2. 雷撃頻度および最大電流の計算」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
年超過頻度 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)	216kA

3. 安全施設の健全性影響評価結果

雷撃電流値 216kA 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)	216kA 換算値(V)		
電源盤・制御盤	各建屋内・各建屋間	1106	1194.7	2000～	影響なし
計装設備	R/B 4F 東側～各建屋	709.3	766.0	1000～	影響なし
	R/B 4F 東側～C/B	709.3	766.0	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	238.7	257.8	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	216kA 換算値		
電源盤・制御盤	各建屋内・各建屋間	1150.7	1242.7	2000～	影響なし
計装設備	R/B 4F 東側～T/B	1150.7	1242.7	15000 (差圧発信器)	影響なし
	R/B 4F 東側～C/B	253.5	273.7	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	253.5	273.7	1000～	影響なし