

玄海原子力発電所 審査資料	
資料番号	DRY-1-10
提出年月日	2021年1月21日

玄海原子力発電所

設置許可基準規則への適合性について (使用済燃料乾式貯蔵施設)

< 補足説明資料 >

2021年1月

九州電力株式会社

枠囲みの範囲は、防護上の観点又は商業機密に係る事項のため、公開できません。

本資料においては、使用済燃料乾式貯蔵施設について、「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。）への適合方針を説明する。

< 目 次 >

3 条 設計基準対象施設の地盤

4 条 地震による損傷の防止

5 条 津波による損傷の防止

6 条 外部からの衝撃による損傷の防止

7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8 条 火災による損傷の防止

9 条 溢水による損傷の防止等

11 条 安全避難通路等

12 条 安全施設

16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

29 条 工場等周辺における直接線等からの防護

30 条 放射線からの放射線業務従事者の防護

- ・ 添付資料 1

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う条文の整理表

- ・ 添付資料 2

使用済燃料貯蔵量の推移

- ・ 添付資料 3

先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

6 条

外部からの衝撃による損傷の防止

本資料においては、使用済燃料乾式貯蔵施設について、設置許可基準規則第6条への適合方針を説明する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る設置許可基準規則の要求事項である第6条1項及び3項への適合方針を「第6条：使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部事象）」に示す。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器に係る設置許可基準規則の要求事項である第6条4項1号への適合方針を「第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）」に示し、第6条4項2号及び6項への適合方針を「第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に示す。

○設置許可基準規則

（外部からの衝撃による損傷の防止）

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）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。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）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。以下「人為による事象」という。）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。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象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。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象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。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

〈目 次〉

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部事象）
2. 使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）
3. 使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

第6条：使用済燃料乾式貯蔵建屋に係る外部からの衝撃による損傷の防止
(外部事象)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部事象)

(別添資料1) 外部事象の考慮について (使用済燃料乾式貯蔵建屋)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、発電所敷地で想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」（以下「兼用キャスク告示」という。）に定める竜巻及び発電所敷地で想定される森林火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせる。

また、安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び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。）への措置を含める。

(2) 安全設計方針

1.1 安全設計の方針

1.1.1 安全設計の基本方針

1.1.1.4 外部からの衝撃

発電所敷地で想定される自然現象については、網羅的に抽出するために国内外の基準や文献等^{(1)～(8)}に基づき事象を収集し、海外の選定基準⁽⁸⁾を考慮のうえ、敷地及び敷地周辺の自然環境を基に地震、津波、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮を選定する。

安全施設（兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「使用済燃料乾式貯蔵容器」という。）を除く。）は、これらの自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても、安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」（以下「兼用キャスク告示」という。）に定める竜巻及び発電所敷地で想定される森林火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

また、自然現象の組合せにおいては、地震、津波、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

上記に加え、重要安全施設は、科学的技術的知見を踏まえ、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生じる応力について、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮し、適切に組み合わせる。

発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）については、網羅的に抽出するために国内外の基準や文献等^{(1)～(8)}に基づき事象を収集し、海外の選定基準⁽⁸⁾を考慮のうえ、敷地及び敷地周辺の状況を基に飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害を選定する。

安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）は、これらの発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの

(故意によるものを除く。) に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物(航空機落下)については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び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。)への措置を含める。

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設(兼用キャスクを除く。)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。

3 安全施設(兼用キャスクを除く。)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。以下、「人為による事象」という。)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。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象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。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象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。

一 工場用内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

適合のための設計方針

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で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つて人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(1) 竜巻

使用済燃料乾式貯蔵容器は、兼用キャスク告示に定める最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、竜巻防護対策を行う。

a. 竜巻防護対策

設計飛来物が飛来し、竜巻防護施設が安全機能を損なわないように、以下の対策を行う。

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋により、使用済燃料乾式貯蔵容器を防護し構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

(2) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯

幅を確保すること等により、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(1) 爆 発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

(2) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、

さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、火災時の熱輻射による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約1 kmのところにある一般国道204号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。このため、一般国道204号線上で車両火災が発生したとしても、使用済燃料乾式貯蔵容器に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

d. 発電所港湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

e. 二次的影響（ばい煙等）

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

1.13 参考文献

- (1) DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- (2) 「日本の自然災害」 国会資料編纂会 1998年

- (3) Specific Safety Guide(SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants” IAEA, April 2010
- (4) 「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)
- (5) NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide” ,NRC, January 1983
- (6) 「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)
- (7) B. 5. b Phase2&3 Submittal Guideline
(NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC公表
- (8) ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/ Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- (9) 「静的地震力の見直し(建築編)に関する調査報告書(概要)」
(社)日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計
特別調査委員会建築部会 平成6年3月
- (10) 「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」
(社)日本電気協会 2010
- (11) 「雷雨とメソ気象」大野久雄、東京堂出版、2001
- (12) 「一般気象学」小倉義光、東京大学出版会
- (13) 「広域的な火山防災対策に係る検討会(第3回)(資料2)」
- (14) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司、
コンクリート工学、vol. 42、2004
- (15) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人、末吉秀一他、
防食技術 Vol. 39、1990
- (16) 「原田和典 建築火災のメカニズムと火災安全設計」
財団法人 日本建築センター

1.2 気象等

変更なし

1.3 設備等

該当なし

外部事象の考慮について
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

目 次

1. 設計方針
 - 1.1 自然現象（地震及び津波を除く。）に対する設計
 - 1.2 人為事象に対する設計

2. 自然現象の組合せについて

（資料）

- － 1 気象データの追加調査について
- － 2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の乾式キャスクへの影響について
- － 3 使用済燃料乾式貯蔵建屋への航空機落下確率評価結果

1. 設計方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、外部からの衝撃による損傷の防止について、平成29年1月18日付け原規規発第1701182号にて許可された設置変更許可（以下「既許可」という。）の設計方針と同様に、以下のとおり設計する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は安全重要度分類のクラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで安全機能を損なわない設計とする。

なお、竜巻及び外部火災（森林火災、爆発及び近隣工場等の火災）については、安全重要度分類のクラス2施設である乾式キャスクを内包する施設として設計する。

各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針については、以下のとおり設計する。各事象に対する設計方針を第1表に示す。

1.1 自然現象（地震及び津波を除く。）に対する設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び高潮の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む自然現象の組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地で想定される自然現象のうち、洪水、地滑りについては、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

また、自然現象の組合せにおいては、風（台風）、積雪及び火山の影響による荷重の組合せを設計上考慮する。

1.2 人為事象に対する設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺において想定される飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突及び電磁的障害の発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお、発電所敷地又はその周辺において想定される人為事象のうち、飛来物（航空機落下）については、確率的要因により設計上考慮する必要はない。また、ダムの崩壊については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

第1表 各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針について

事象		各事象に対する設計方針等
自然現象	風（台風）	敷地付近で観測された最大瞬間風速は、平戸特別地域気象観測所（2000年2月まで平戸測候所）での観測記録（1951～2012年）によれば、53.2m/s（1987年8月31日）である。 風荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより安全機能を損なうことのない設計とする。
	竜巻	乾式キャスクを内包する建屋とし「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）」に記載。
	凍結	平戸特別地域気象観測所での観測記録（1951～2012年）によれば、最低気温は-5.8℃（1977年2月16日）である。 安全機能に係る屋外機器で凍結のおそれのあるものは設置しない。
	降水	平戸特別地域気象観測所の観測記録（1951～2012年）によれば、日最大1時間降水量は125.5mm（1999年9月2日）である。 降水に対して、構内排水路で集水し海域へ排出を行うことにより、安全機能を損なうことのない設計とする。
	積雪	平戸特別地域気象観測所での観測記録（1951～2000年2月）によれば、最大積雪量は12cm（1959年1月18日）である。 積雪荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより安全機能を損なうことのない設計とする。
	落雷	高さ20mを超えない建屋とし、建築基準法に基づく避雷設備は設置しない設計とする。
	火山の影響	クラス3施設として設計するため、保安規定に則った安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことにより安全機能を損なわない設計とする。
	生物学的事象	小動物の侵入に対しては、屋外設置の端子箱貫通部等へのシールを行うことにより、安全機能を損なうことのない設計とする。
	森林火災	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	高潮	高潮の影響がない敷地の整地レベルであるEL.+24.5mに設置することにより、高潮により安全機能を損なうことのない設計とする。
人為事象	爆発	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	近隣工場等の火災	乾式キャスクを内包する建屋として「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	有毒ガス	乾式貯蔵建屋は居住性の確保を必要としないため、有毒ガスを考慮する必要はない。
	船舶の衝突	船舶の衝突の影響を受けることのない敷地高さ（EL.+24.5m）に設置する設計とする。
	電磁的障害	発電用原子炉施設で発生する電磁干渉や無線電波干渉等により機能が喪失しない。

2. 自然現象の組合せについて

設置許可基準規則第6条解釈第3項において、安全施設に対して設計上の考慮を要する自然現象の組合せについて要求がある。

自然現象の組合せについては、組み合わせた事象が安全施設に及ぼす影響について、個々の事象の設計に包含されること、同時に発生するとは考えられないこと、又は個々の自然現象が与える影響より緩和されることを確認していることから、荷重以外の自然現象の組合せにより使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能は損なわれない。

自然現象による荷重の組合せに対して、既許可にて風（台風）、積雪及び火山による荷重の組合せを設計上考慮することとしている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、安全重要度分類のクラス3施設として設計するため、安全上必要な措置により必要な機能を確保する等の対応を行うことで自然現象による荷重の組合せにより安全機能を損なわない設計とする。

気象データの追加調査について

1. 概要

既許可における気象データのうち統計データから最大値等を設置しているものについて、今回申請時点における気象データを追加調査し、既許可からの変更の有無を確認する。

(1) 風（台風）、凍結（最低気温）、降水及び積雪について

最寄の気象官署である平戸特別地域気象観測所の1951年～2020年における風（台風）等の気象データについて確認したところ、最大瞬間風速は53.2m/s(1987年8月31日)、最低気温は-5.8℃(1977年2月16日)、日最大1時間降水量は125.5mm(1999年9月2日)、最大積雪量は12cm(1959年1月18日)であった。

(2) 気象データの比較

既許可における気象データと、今回申請時点における気象データを比較したところ、風(台風)、凍結（最低気温）、降水量（日最大1時間）、積雪について変更がなかった。（詳細は第1表のとおり）

最寄りの気象官署の1951年～2020年における日最高気温等の観測記録（累年順位）を第2表～第6表に示す。

第1表 設置許可申請における気象データの比較

要素	気象官署の場所	統計期間	原規発第 1701182 号 設置変更許可	統計期間	今回申請
最大瞬間風速	平戸	1951 年 1 月～2012 年 12 月	53.2m/s(1987 年 8 月 31 日)	1951 年 1 月～2020 年 11 月	原規発第 1701182 号 設置変更許可の値と同じ
最低気温	平戸	同上	-5.8℃(1977 年 2 月 16 日)	同上	同上
日最大 1 時間降水	平戸	同上	125.5mm(1999 年 9 月 2 日)	同上	同上
最大積雪量	平戸	1951 年 1 月～2000 年 2 月	12cm(1959 年 1 月 18 日)	1951 年 1 月～2000 年 2 月	同上

* : 2000 年 3 月以降は、平戸特別地域気象観測所となつたため、積雪量について観測をしていない。
注 : 太枠は要素ごとの最大値または最小値を示す。

第2表 日最高・日最低気温の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
日最高気温	値(°C)	18.7	20.4	22.3	25.7	29.3	30.7	34.4	35.1	33.6	30.0	24.7	23.1	35.1
	起年日	1953 10	2010 24	2004 29	1998 28	2003 29	2004 20	2018 22	1960 7	2010 1	2016 3	1979 1	2018 4	1960 8月7日
	値(°C)	18.6	20.0	21.7	25.6	28.4	30.5	33.9	34.8	32.8	29.2	24.4	21.0	34.8
日最低気温	起年日	2002 15	2004 21	2015 17	2005 30	2000 25	1978 18	2012 18	1985 8	1981 1	2005 1	2005 6	1953 2	1985 8月8日
	値(°C)	18.5	19.7	21.7	25.1	27.9	30.4	33.8	34.8	32.8	29.1	24.3	20.6	34.8
	起年日	2020 7	2009 13	1952 18	2018 22	2013 24	2011 25	2018 26	1953 16	1967 2	2019 2	1996 9	1954 1	1953 8月16日
日最低気温	値(°C)	-5.7	-5.8	-4.0	1.8	7.8	12.4	16.1	18.4	13.6	5.9	1.7	-3.6	-5.8
	起年日	1970 5	1977 16	1977 5	1962 4	2014 7	1978 1	1976 8	1977 23	1973 28	1986 31	1970 30	1973 24	1977 2月16日
	値(°C)	-5.3	-5.1	-4.0	2.0	8.0	12.7	16.1	18.6	13.8	7.6	2.0	-3.2	-5.7
日最低気温	起年日	1967 15	1981 26	1977 4	1972 2	1965 1	1981 3	1969 10	2019 25	1965 29	1980 31	1966 30	1967 28	1970 1月5日
	値(°C)	-5.0	-4.4	-2.3	2.4	8.2	13.0	16.8	18.7	14.0	7.7	2.8	-2.7	-5.3
	起年日	1967 16	1977 15	1958 3	1972 1	1980 2	2008 1	1976 7	2001 30	1965 28	2002 30	1966 27	1976 27	1967 1月15日

第3表 日最小湿度の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
1	値 (%)	21	23	11	11	13	21	37	29	31	25	10	24	10
	起年日	1951 31	2005 14	2004 28	2004 29	2005 11	1990 22	2014 29	2017 28	1987 27	2003 22	2005 10	1999 11	2005 11月10日
2	値 (%)	24	23	16	14	18	21	42	40	32	29	22	25	11
	起年日	2006 3	2002 18	2015 26	2004 17	2019 10	1980 5	1994 20	1990 1	2020 20	2005 22	1994 3	1982 15	2004 4月29日
3	値 (%)	26	24	16	15	19	23	44	41	33	29	24	26	11
	起年日	2006 22	2008 23	1984 25	2009 30	1992 3	1981 3	1978 28	1969 24	2011 22	1977 22	1979 2	1999 27	2004 3月28日

第4表 日・1時間最大降水量の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1 日降水量	値 (mm)	107.8	92.5	103.0	237.6	226.0	359.5	406.9	365.5	222.0	197.8	151.5	100.5	406.9
	起年日	1967 28	1979 22	1979 29	1955 15	1998 11	1953 25	1959 13	2011 23	1997 6	1951 14	1978 12	1996 4	1959 7月13日
	値 (mm)	107.5	85.5	99.0	173.0	164.5	275.0	300.0	329.5	207.0	142.5	136.2	79.5	365.5
2	起年日	2016 29	1989 16	2020 27	2006 10	1995 14	1953 4	1957 25	1980 29	1999 2	2016 8	1966 13	2015 10	2011 8月23日
	値 (mm)	96.0	81.0	98.5	152.5	159.4	229.0	294.5	292.5	198.5	139.5	123.0	73.0	359.5
	起年日	1972 24	1976 28	2012 23	2017 17	1963 10	1985 25	1989 28	2019 28	2016 28	2011 21	2001 29	2019 1	1953 6月25日
1 1時間降水量	値 (mm)	59.5	35.0	42.5	67.1	78.0	88.0	108.0	114.5	125.5	60.5	53.2	53.5	125.5
	起年日	1972 24	2004 28	2020 27	1964 25	1998 11	2016 20	1989 28	2011 23	1999 2	1962 10	1964 1	1996 4	1999 9月2日
	値 (mm)	30.0	34.0	40.0	54.4	57.0	83.5	104.0	86.0	75.0	48.0	51.0	25.0	114.5
2	起年日	2020 23	1979 23	2012 23	1955 15	2016 3	2018 29	1982 23	2019 28	2004 16	2016 8	1957 10	2016 22	2011 8月23日
	値 (mm)	30.0	34.0	37.4	43.5	57.0	73.0	90.0	79.5	72.1	47.0	45.5	25.0	108.0
	起年日	1990 29	1979 22	1953 10	2017 17	1992 15	1985 25	1959 15	2014 15	1962 3	2013 10	1972 3	1992 7	1989 7月28日

第5表 日最大瞬間風速の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2020

順位	月												年	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	値 (m/s)	31.1	32.3	27.6	30.0	25.0	34.6	42.7	53.2	49.5	42.5	28.9	28.5	53.2
	風向 (16方位)	北西	南	北	南	南	南東	南南東	南	北西	北北東	北北東	北西	南
	起年日	1968 14	1965 20	1965 17	1987 21	1961 28	2003 19	1991 29	1987 31	1991 27	1951 14	1962 16	2005 17	1987 8月31日
2	値 (m/s)	30.2	30.0	27.3	26.1	24.8	29.2	34.1	44.3	42.8	34.6	28.1	28.3	49.5
	風向 (16方位)	北	北	西北西	北	北北東	南	南東	南南東	南東	北	北西	北西	北西
	起年日	2002 2	1968 15	1977 4	1985 12	1988 7	1963 20	1989 28	1993 10	2020 7	1951 15	1995 7	2005 22	1991 9月27日
3	値 (m/s)	29.0	29.9	26.5	25.4	24.7	26.8	33.4	42.4	42.8	32.7	25.6	27.0	44.3
	風向 (16方位)	北西	北北西	南	南	南	北	南南東	北	北北西	北	北	北西	南南東
	起年日	1965 11	1992 1	1967 26	1974 7	1990 31	1997 28	1974 6	2004 30	1991 14	2004 20	1967 20	2005 21	1993 8月10日

第6表 月最深積雪の累年順位

平戸特別地域気象観測所
統計期間：1951～2000

順位	月											
	1	2	3	11	12	年	1	2	3	4	5	6
1	値 (cm)	7	2	-	6	12	1959 18日	1966 6日	1972 4日	-	1967 30日	1959 1月18日
	起年日	6	6	-	2	7	1963 22日	1968 21日	1969 13日	-	1996 1日	1966 2月6日
2	値 (cm)	5	3	-	1	6	1990 24日	1978 1日	-	1980 29日	1968 2月21日	
	起年日											
3	値 (cm)											
	起年日											

使用済燃料乾式貯蔵建屋の乾式キャスクへの影響について

1. 概要

第6条第1項及び第3項の要求に対して、安全重要度分類のクラス3施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋の設計方針を「別添1 外部事象の考慮について（使用済燃料乾式貯蔵建屋）」に記載している。

一方、乾式キャスク審査ガイドでは、使用済燃料乾式貯蔵建屋を設置する場合は、損壊モードを考慮して、乾式キャスクの安全機能に影響がないことを確認する必要があることから、建屋の設計方針を踏まえた乾式キャスクへの影響を第1表に示す。

第1表 各事象に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋設計を踏まえた乾式キャスクへの影響について

事象	建屋設計を踏まえた乾式キャスクへの影響	
自然現象	風 (台風)	風荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しない設計とするため乾式キャスクに影響を与えない。
	竜巻	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻）」に記載。
	凍結	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	降水	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	積雪	積雪荷重を建築基準法に基づき設定し、それに対し機械的強度を有することにより使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しない設計とするため乾式キャスクに影響を与えない。
	落雷	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	火山の影響	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、コンクリート造で頑健な構築物であり、除灰等の安全上必要な措置を保安規定に則り実施することにより建屋の頑健性は確保されるため、乾式キャスクに影響を与えない。
	生物学的事象	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	森林火災	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	高潮	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、高潮の影響がない敷地の整地レベルであるEL.+24.5mに設置することにより損壊しない設計とするため、乾式キャスクに影響を与えない。
自然現象による荷重の組合せ	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、コンクリート造で頑健な構築物であり、自然現象による荷重の組合せ(風(台風)、積雪及び火山)に対し、除灰等の安全上必要な措置を保安規定に則り実施することにより建屋の頑健性は確保されるため乾式キャスクに影響を与えない。	
人為事象	爆発	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	近隣工場等の火災	内包する乾式キャスクに影響を与えない建屋設計とする。 詳細は「6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）」に記載。
	有毒ガス	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	船舶の衝突	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、船舶の衝突の影響を受けることのない敷地高さ(EL.+24.5m)に設置することにより損壊しない設計とするため、乾式キャスクに影響を与えない。
	電磁的障害	本事象は、荷重が発生する事象ではないことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋は損壊しないため、乾式キャスクに影響を与えない。
	飛来物 (航空機落下)	飛来物(航空機落下)による建屋損壊は、確率的要因により設計上考慮する必要はない。

使用済燃料乾式貯蔵建屋への航空機落下確率評価結果

1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の航空機落下に対する設計検討のため、使用済燃料乾式貯蔵建屋への航空機落下確率評価を実施する。

2. 評価内容

使用済燃料乾式貯蔵施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、玄海原子力発電所の原子炉施設本体から独立して設置する設計であること、また、使用済燃料乾式貯蔵施設は、当該施設以外の玄海原子力発電所原子炉施設の安全機能に直接的に影響を及ぼすものではなく、乾式貯蔵容器本体で安全機能（臨界防止機能、閉じ込め機能、遮蔽機能、除熱機能）を確保する設計であることから、使用済燃料乾式貯蔵建屋単独で航空機落下確率を評価する。

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成 21・06・25 原院第 1 号）に基づき評価を行った結果、約 5.7×10^{-8} （回／炉・年）となり、 10^{-7} （回／炉・年）を下回ることを確認した。

評価対象事故、評価に用いた数値及び評価結果について、以下に示す。

(1) 評価対象事故

評価対象	1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故	
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡航中の落下事故		① 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	② 基地－訓練空域間往復時の落下事故
使用済燃料乾式貯蔵建屋	×注 1、注 2	○注 3	○	○ 〔訓練空域外を飛行中の落下事故〕	○注 4

○：対象、×：対象外

注 1：玄海原子力発電所は福岡空港の滑走路方向に対する角度が $\pm 60^\circ$ の範囲から外れているため、評価対象外とした。（別紙 1）

注 2：滑走路方向から $\pm 60^\circ$ の範囲に発電所が位置する空港があるが、各空港の最大離着陸距離が、発電所から各空港までの距離より小さいため、評価対象外とした。（別紙 1）

注 3：発電所上空には、定期航空路として「A582」、直行経路として「IKE-OLE」、広域航法（RNAV5）経路として「Y25」が存在する。（別紙 2）

注 4：自衛隊機の想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する。（別紙 2）

(2) 評価に用いた数値

1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故

② 航空路を巡航中の落下事故

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

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

W : 航空路幅 (km)

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

G_c : 巡航中事故件数 (回)

H_c : 延べ飛行距離 (飛行回・km)

評価対象 パラメータ	使用済燃料乾式貯蔵建屋
対象航空路	A582 (航空路) IKE-OLE (直行経路) Y25 (RNAV5経路)
N_c 注1	27,740 (A582) 4,380 (IKE-OLE) 12,775 (Y25)
A 注2	0.01
W 注3	14 (A582) 14.816 (IKE-OLE) 18.52 (Y25)
f_c 注4	$0.5 / 11,269,119,373 = 4.44 \times 10^{-11}$
P_c	1.32×10^{-9}

注1 : 国土交通省航空局への問い合わせ結果(平成29年のピーク日の交通量)を365倍した値。また、ピーク日における各航空路の値は、航空路(A582)が76(平成29年1月5日)、直行経路(IKE-OLE)が12(平成29年8月10日)、RNAV5経路(Y25)が35(平成29年1月5日)である。

注2 : 使用済燃料乾式貯蔵建屋の面積(0.0029km²)に対し、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」に基づき、保守的に0.01km²とした。

注3 : 「航空路の指定に関する告示」及び「飛行方式設定基準」を参照。RNAV5経路(Y25)については、航法精度(±5NM)を用いる。

注4 : 巡航中事故件数(G_c)は、平成10年～平成29年の間で0件のため0.5件と仮定する。(「航空機落下事故に関するデータ」(令和元年12月 原子力規制委員会)より)

延べ飛行距離(H_c)は、平成10年～平成29年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の値(幹線、ローカル線、不定期の合計値)を合計した値。(別紙3)

2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

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

P_v : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

α : 対象航空機の種類による係数

評価対象 パラメータ	使用済燃料乾式貯蔵建屋
f_v 注 1	大型固定翼機 0.5 / 20 = 0.025 小型固定翼機 29 / 20 = 1.45 大型回転翼機 2 / 20 = 0.10 小型回転翼機 18 / 20 = 0.90
S_v 注 1	372,000
A	0.01
α 注 2	大型固定翼機、大型回転翼機 : 1 小型固定翼機、小型回転翼機 : 0.1
P_v	9.68×10^{-9}

注 1 : 「航空機落下事故に関するデータ」(令和元年 12 月 原子力規制委員会)より。

大型固定翼機の事故件数は 0 件のため、0.5 件と仮定する。

注 2 : 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」

3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故

① 訓練空域外を飛行中の落下事故

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

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率 (回/年)

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積 (km²)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

評価対象 パラメータ	使用済燃料乾式貯蔵建屋
f_{so} 注1	自衛隊機 9/20 = 0.45 米軍機 4/20 = 0.20
S_o 注1	自衛隊機 294,000 米軍機 372,000
A	0.01
P_{so}	2.07×10^{-8}

注1 : 「航空機落下事故に関するデータ」(令和元年12月 原子力規制委員会)より。

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

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

P_{se} ：対象施設への航空機落下確率（回／年）

f_{se} ：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

S_{se} ：想定飛行範囲の面積（ km^2 ）

A ：原子炉施設の標的面積（ km^2 ）

評価対象 パラメータ	使用済燃料乾式貯蔵建屋
f_{se} 注 1	0.5 / 20 = 0.025
S_{se} 注 2	10,200
A	0.01
P_{se}	2.45×10^{-8}

注 1：「航空機落下事故に関するデータ」（令和元年 12 月 原子力規制委員会）より。

自衛隊機の事故については 0 件のため、0.5 件と仮定する。

注 2：別紙 2 参照。

(3) 航空機落下確率評価結果

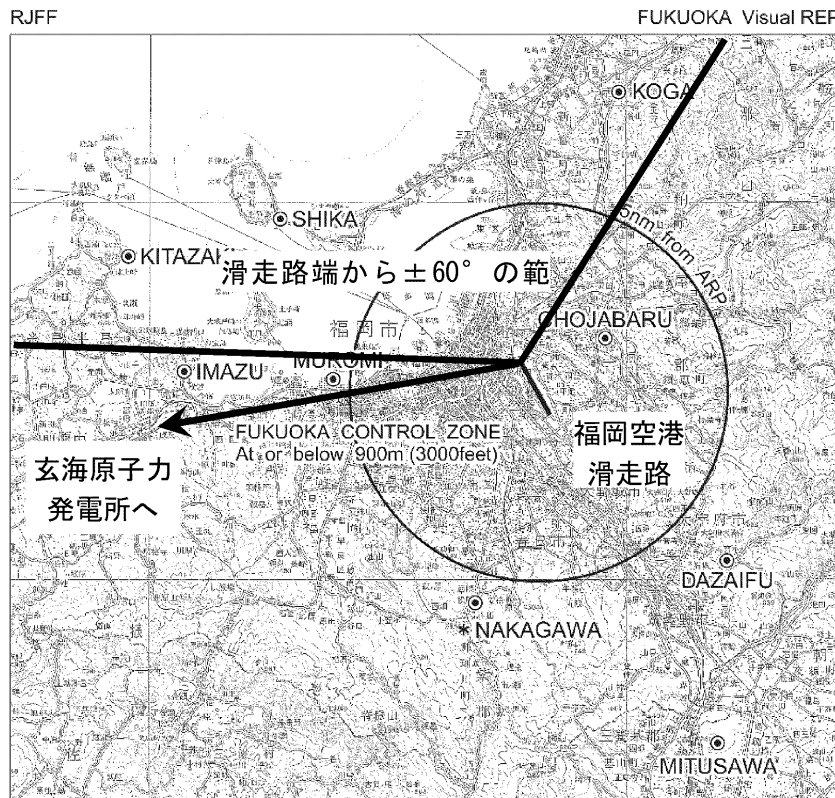
(回/炉・年)

評価対象	1) 計器飛行方式民間航空機の落下事故		2) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3) 自衛隊機又は米軍機の落下事故		合計
	① 飛行場での離着陸時における落下事故	② 航空路を巡航中の落下事故		① 訓練空域内及び訓練空域外を飛行中の落下事故	② 基地－訓練空域間往復時の落下事故	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	—	1.32×10^{-9}	9.68×10^{-9}	2.07×10^{-8}	2.45×10^{-8}	約 5.7×10^{-8}

福岡空港の滑走路方向に対する玄海原子力発電所の角度

AIP Japan
FUKUOKA

RJFF AD2.24-OTHER-1



CHANGE : Shape of FUKUOKA CONTROL ZONE.

Call sign	BRG / DIST from ARP	Remarks
古賀 koga	014°/ 8.4NM	高速道路インターチェンジ Interchange
長者原 Chojabaru	046°/ 2.3NM	ドーム型建造物 Dome
太宰府 Dazaifu	133°/ 6.4NM	ゴルフ場 Golf Course
三沢 Mitusawa	153°/10.4NM	ゴルフ場 Golf Course
* 那珂川 Nakagawa	196°/ 5.9NM	松尾橋 Bridge
室見 Muromi	273°/ 5.5NM	室見川河口 River - Mouth
今津 Imazu	273°/ 9 NM	今津橋 Bridge
志賀 Shika	303°/ 8 NM	志賀島橋 Bridge
北崎 Kitazaki	288°/12 NM	漁港 Harbor

*ヘリコプター用 Use For Helicopter

玄海原子力発電所付近の空港と発電所との距離

発電所名	空港名	発電所との距離 ^{注1}	空港と空港の最大離着陸地点までの距離 ^{注2}	判定	備考
玄海 原子力発電所	佐賀空港	約 59km	約 20km (11nm)	対象外	別紙1 (3/5)
	長崎空港	約 66km	約 20km (11nm)	対象外	別紙1 (4/5)
	壱岐空港	約 26km	約 15km (8nm)	対象外	別紙1 (5/5)

注1：施設と空港の経度、緯度より計測した。

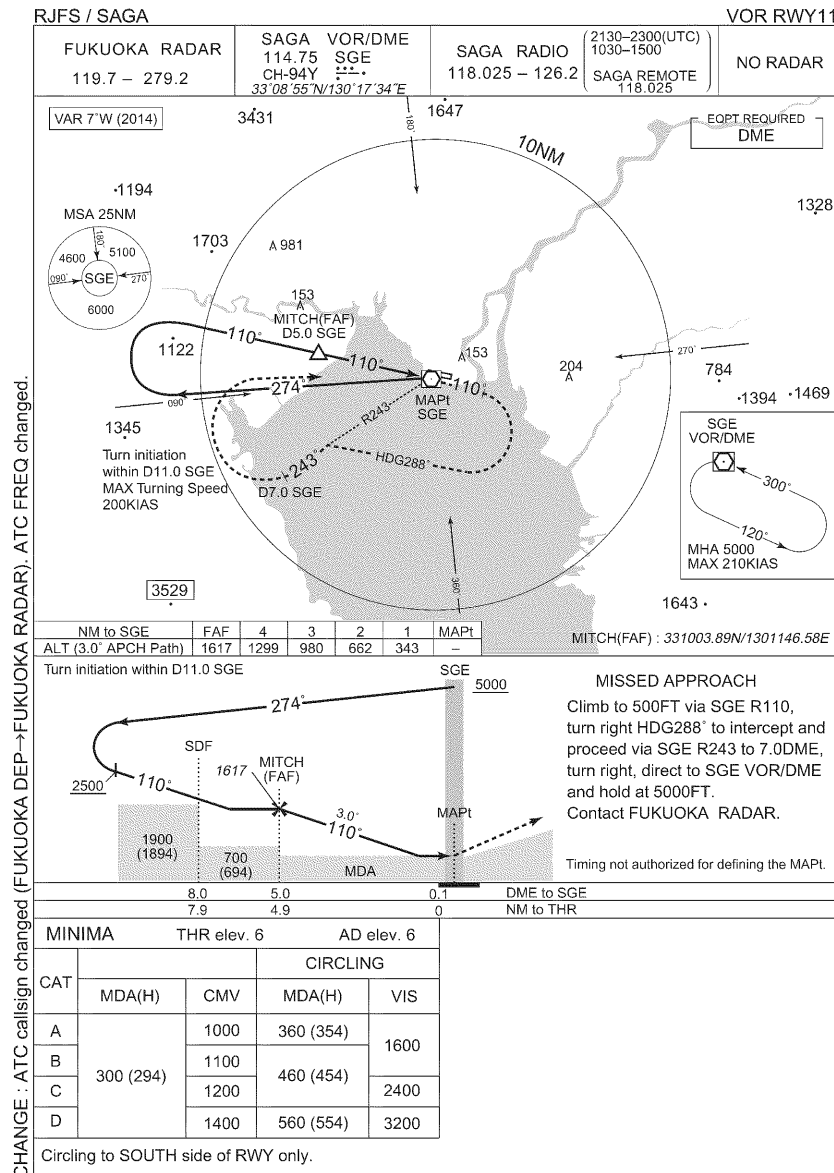
注2：航空路誌（AIP）を参照した。

佐賀空港の最大離着陸地点までの距離

AIP Japan
SAGA

RJFS AD2.24-IAC-3

INSTRUMENT APPROACH CHART



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:26 MAR 2020)

26/3/20

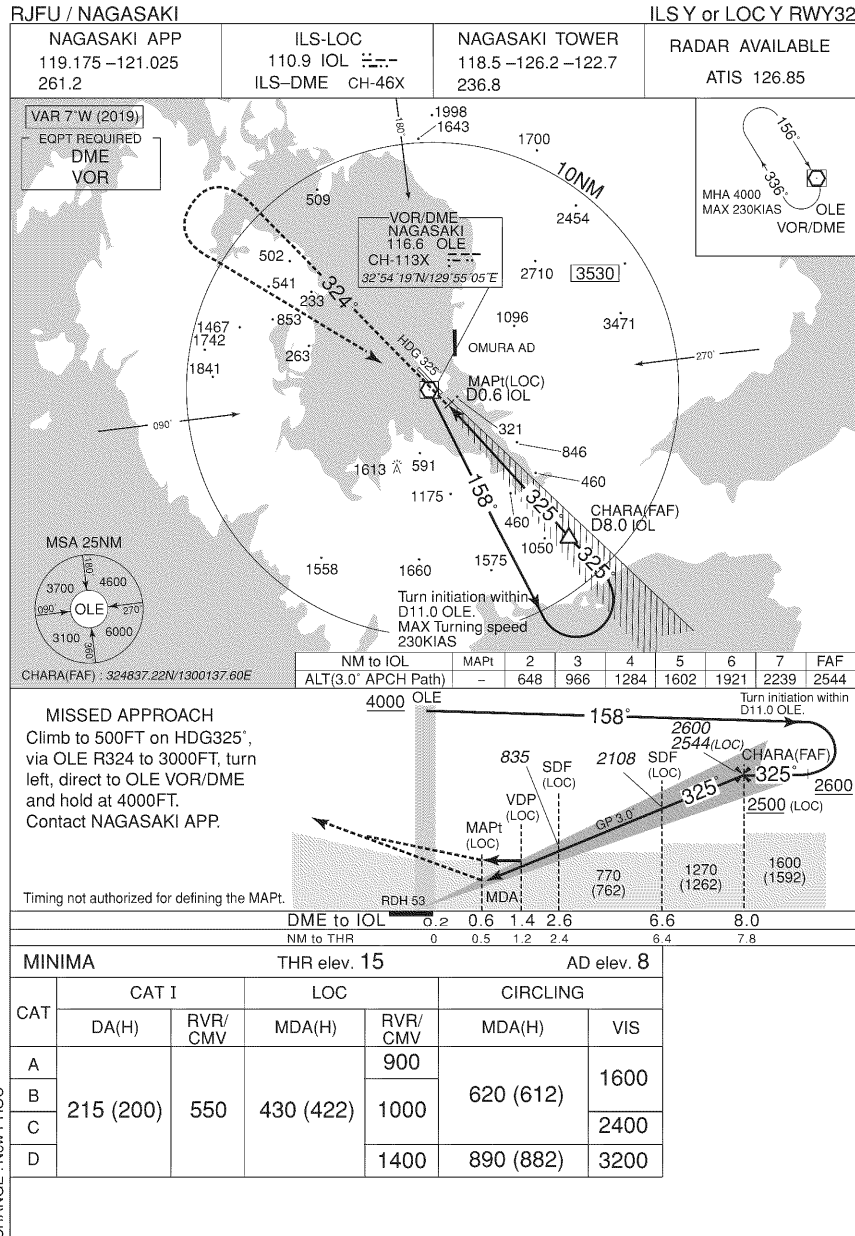
国土交通省 航空路誌 (AIP) より抜粋

長崎空港の最大離着陸地点までの距離

RJFU AD2.24-IAC-2

AIP Japan
NAGASAKI

INSTRUMENT APPROACH CHART



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:25 APR 2019)

28/3/19

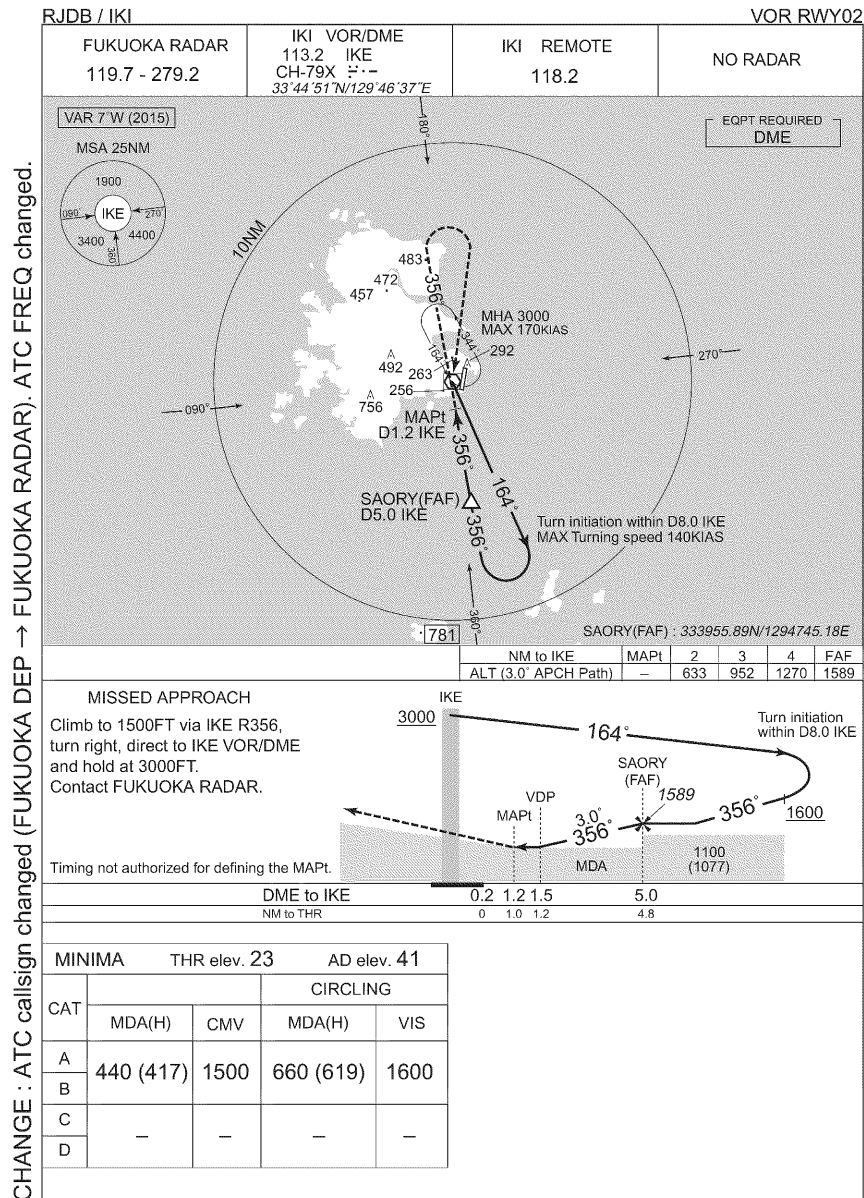
国土交通省 航空路誌 (AIP) より抜粋

壱岐空港の最大離着陸地点までの距離

AIP Japan
IKI

RJDB AD2.24-IAC-1

INSTRUMENT APPROACH CHART

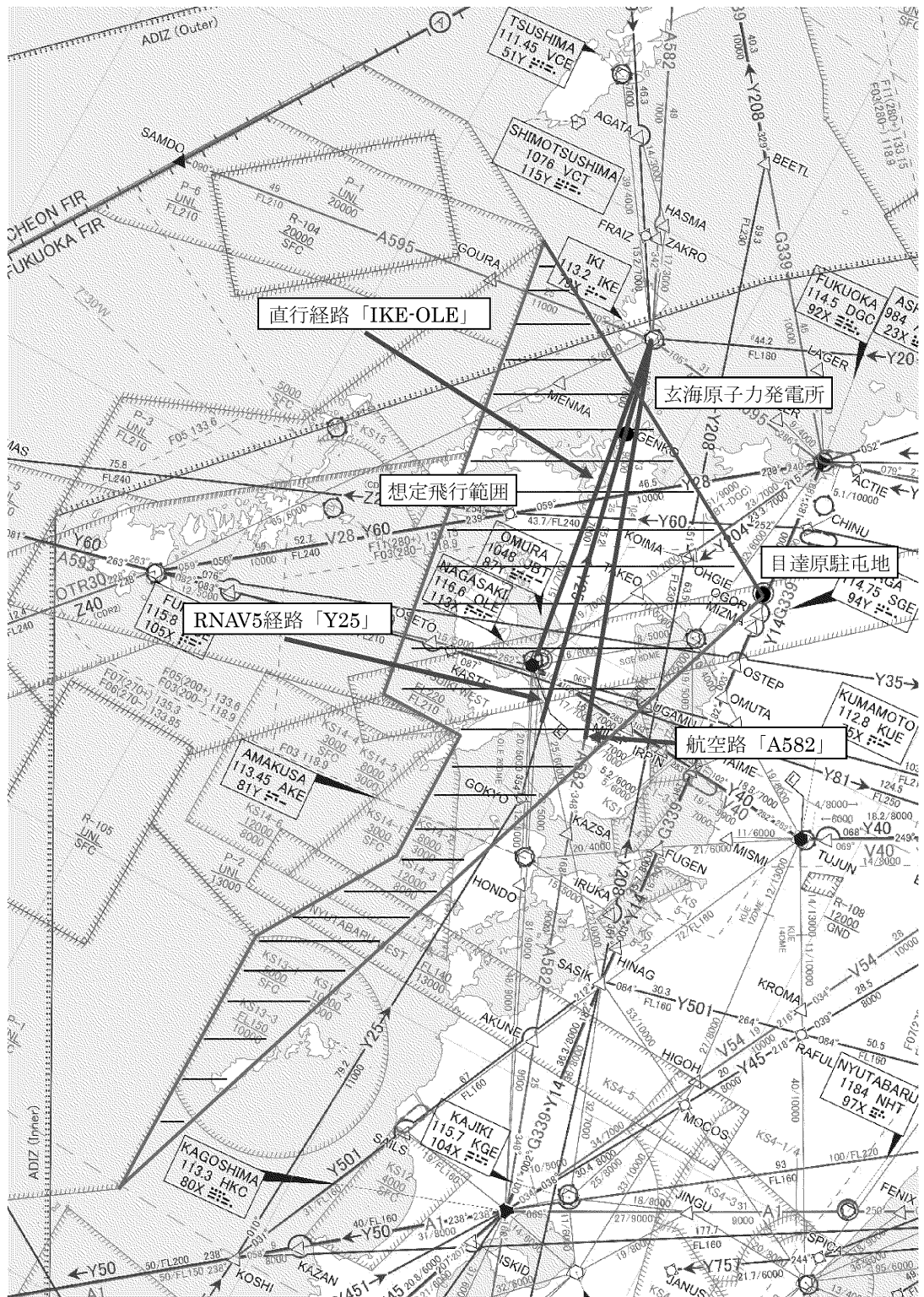


Civil Aviation Bureau, Japan (EFF:26 MAR 2020)

26/3/20

国土交通省 航空路誌 (AIP) より抜粋

自衛隊機の想定飛行範囲



国土交通省 AIP（航空路誌）より抜粋（一部加筆）

日本国機の運航距離

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

	日本国機の運航距離 (飛行回・km)
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
平成24年	608,215,704
平成25年	657,480,703
平成26年	680,472,532
平成27年	684,055,797
平成28年	685,451,299
平成29年	691,345,014
合 計	11,269,119,373

第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止
(竜巻)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)

(別添資料1) 竜巻に対する防護 (使用済燃料乾式貯蔵容器)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

(a-1) 安全施設は、想定される竜巻が発生した場合においても、作用する設計荷重に対して、その安全機能を損なわない設計とする。また、安全施設は、過去の竜巻被害状況及び玄海原子力発電所のプラント配置から想定される竜巻に随伴する事象に対して、安全機能を損なわない設計とする。

竜巻に対する防護設計を行うための設計竜巻の最大風速は、 100m/s とし、設計荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物が安全施設に衝突する際の衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重、並びに、安全施設に常時作用する荷重、運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重等を適切に組み合わせたものとして設定する。

安全施設の安全機能を損なわないようにするため、安全施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する安全施設の構造健全性の維持、安全施設を内包する区画の構造健全性の確保、若しくは、飛来物による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応、又は、それらを適切に組み合わせた設計とする。

飛来物の発生防止対策として、飛来物となる可能性のあるもののうち、資機材、車両等については飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設定する設計飛来物である鋼製材（長さ 4.2m ×幅 0.3m ×奥行き 0.2m 、質量 135kg 、飛来時の水平速度 51m/s 、飛来時の鉛直速度 34m/s ）より大きなものに対し、固縛、固定、竜巻防護施設等からの離隔、建屋内収納又は撤去を実施する。

(2) 安全設計方針

1.8 竜巻防護に関する基本方針

1.8.1 設計方針

(1) 竜巻に対する設計の基本方針

安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な各種の機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、以下の事項に対して対策を行い、建屋による防護、構造健全性の維持、代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって安全機能を損なわない設計とする。

- a. 飛来物の衝突による施設の貫通及び裏面剥離
- b. 設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重を組み合わせた設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重(常時作用している荷重、運転時荷重、竜巻以外の自然現象による荷重及び設計基準事故時荷重)を適切に組み合わせた設計荷重
- c. 竜巻による気圧の低下
- d. 外気と繋がっている箇所への風の流入

竜巻から防護する施設としては、安全施設が竜巻の影響を受ける場合においても、発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に該当する構築物、系統及び機器とする。竜巻から防護する施設のうちクラス1、クラス2に該当する構築物、系統及び機器を竜巻における防護対象施設(以下「竜巻防護施設」という。)として竜巻による影響を評価し設計する。また、竜巻防護施設を内包する施設についても同様に竜巻による影響を評価し設計する。クラス3に属する施設は、損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能が維持されることから、竜巻による影響を評価する対象から除外する。竜巻防護施設については、「1.8.1(3) 竜巻防護施設」にて記載する。竜巻防護施設を内包する施設については、「1.8.1(4) 竜巻防護施設を内包する施設」にて記載する。竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、「1.8.1(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設」にて記載する。

竜巻に対する防護設計を行う、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施

設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を「竜巻防護施設等」という。

竜巻防護施設の安全機能を損なわないようにするため、竜巻防護施設に影響を及ぼす飛来物の発生防止対策を実施するとともに、作用する設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性の維持、竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保若しくは飛来物による損傷を考慮し安全上支障のない期間での修復等の対応又はそれらを適切に組み合わせた設計とする。

屋外に設置する竜巻防護施設の構造健全性の維持又は竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性の確保において、それらを防護するために設置する竜巻における防護対策施設（以下「竜巻防護対策施設」という。）は、竜巻防護ネット、防護鋼板等から構成し、飛来物から竜巻防護施設を防護できる設計とする。

(2) 設計竜巻の設定

「添付書類六 7.9 竜巻」において設定した基準竜巻の最大風速は 92m/s とする。

設計竜巻の設定に際して、玄海原子力発電所は敷地が平坦であるため、地形効果による風の増幅を考慮する必要はないことを確認したが、基準竜巻の最大風速を安全側に切り上げて、安全施設（使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。）に対する設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器に対する設計竜巻の最大風速は、兼用キャスク告示に定める 100m/s とする。

(3) 竜巻防護施設

竜巻防護施設は、建屋又は構築物（以下「建屋等」という。）に内包され、外気と繋がっておらず設計竜巻荷重の影響から防護される施設（以下「建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）」という。）、建屋等に内包されるが設計竜巻荷重の影響から防護が期待できない施設（以下「建屋等に内包されるが防護が期待できない施設」という。）、建屋等に内包されるため、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重の影響から防護されるが、外気と繋がっており設計竜巻の気圧差による荷重の影響を受ける施設（以下「建屋内の施設で外気と繋がっている施設」という。）及び設計竜巻荷重の影響を受ける屋外施設（以下「屋外施設」という。）に分類し、以下のように抽出する。

・建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

・建屋等に内包されるが防護が期待できない施設

建屋等に内包されるが防護が期待できない施設は、「1.8.1 (4) 竜巻防護施設を内包する施設」として抽出した建屋等の構造健全性の評価を行い、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設を抽出する。

・建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

建屋内の施設で外気と繋がっている施設を以下のとおり抽出する。

・換気空調設備（アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御室空調系、格納容器排気系、安全補機開閉器室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及び試料採取室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ・バタフライ弁）

竜巻防護施設のうち、屋外施設を以下のとおり抽出する。

・海水ポンプ（配管及び弁を含む。）

・海水ストレーナ

・排気筒

(4) 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する主な施設を、以下のとおり抽出する。

・原子炉格納容器（原子炉容器他を内包する建屋）

・原子炉周辺建屋（使用済燃料ピット他を内包する建屋）

・原子炉補助建屋（余熱除去ポンプ他を内包する建屋）

・燃料取替用水タンク建屋（燃料取替用水タンク他を内包する建屋）

・燃料油貯油そう基礎（燃料油貯油そうを内包する構築物）

・燃料油貯蔵タンク基礎（燃料油貯蔵タンクを内包する構築物）

・海水ポンプエリア防護壁（海水ポンプ他を内包する構築物）

・海水ポンプエリア水密扉（海水ポンプ他を内包する構築物）

・使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包する建屋）

(5) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設に隣接し倒壊等により竜巻防護施設に影響を及ぼし得る施設並びに建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び外気と繋がっている施設が設計荷重による損傷により竜巻防護施設の機能維持に影響を及ぼし得る施設を竜巻防護施設

設に波及的影響を及ぼし得る施設とする。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設との距離を考慮して、竜巻による施設の倒壊により竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設を損傷させる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

また、建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

(竜巻による倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設)

- ・廃棄物処理建屋
- ・タービン建屋
- ・橋型クレーン

(建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設)

- ・主蒸気逃がし弁 (消音器)
- ・主蒸気安全弁 (排気管)
- ・タービン動補助給水ポンプ (蒸気大気放出管)
- ・ディーゼル発電機 (吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうベント管、燃料油貯蔵タンクベント管及びタンクローリ)

(建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備)

- ・換気空調設備 (蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ)

(6) 設計飛来物の設定

プラントウォークダウンによる敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、竜巻防護施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

竜巻防護施設等 (使用済燃料乾式貯蔵容器を除く。) への設計飛来物は、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して鋼製材を設定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器への設計飛来物については、発電所敷地内外からの飛来物を考慮し、飛来した場合の運動エネルギー及び貫通力を踏まえ大型車

両を設定する。なお、浮き上がらないが横滑りする可能性のある資機材については、摩擦や転倒により運動エネルギーが大幅に減衰するため考慮しない。

第1.8.1表に玄海原子力発電所における設計飛来物を示す。

飛来物の発生防止対策については、プラントウォークダウンにより抽出した飛来物や持ち込まれる資機材、車両等の寸法、質量及び形状から飛来の有無を判断し、運動エネルギー及び貫通力を考慮して、衝突時に建屋等又は竜巻防護対策施設に与えるエネルギーが設計飛来物によるものより大きく、竜巻防護施設を防護ができない可能性があるものは固縛、固定、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策施設からの離隔、建屋内収納又は撤去の対策を実施し、確実に飛来物とならない運用とする。

(7) 荷重の組合せと許容限界

竜巻に対する防護設計を行うため、竜巻防護施設等に作用する設計竜巻荷重の算出、設計竜巻荷重の組合せの設定、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定及び許容限界について以下に示す。

a. 竜巻防護施設等に作用する設計竜巻荷重

設計竜巻により竜巻防護施設等に作用する荷重として「風圧力による荷重 (W_w)」、「気圧差による荷重 (W_p)」及び「設計飛来物による衝撃荷重 (W_m)」を以下に示すとおり算出する。

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

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

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

W_w : 風圧力による荷重

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

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

A : 施設の受圧面積

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

ここで、

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の最大風速

ただし、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として算定されるが、鉛直方向の風圧力に対して弱いと考えられる竜巻防護施設等が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

(b) 気圧差による荷重 (W_p)

外気と隔離されている区画の境界部が気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻防護施設を内包する施設の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる竜巻防護施設等の内外の気圧差による圧力荷重が発生し、保守的に「閉じた施設」を想定し次式のとおり算出する。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A$$

ここで、

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{\max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

(c) 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

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

b. 設計竜巻荷重の組合せ

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

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

なお、竜巻防護施設等には、 W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

c. 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおり設定する。

(a) 竜巻防護施設等に常時作用する荷重及び運転時荷重

竜巻防護施設等に作用する荷重として、自重等の常時作用する荷重及び内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(b) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は、積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり⁽¹¹⁾、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

i. 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による設計竜巻荷重への影響はない。

ii. 雪

影響の程度として竜巻は、数分程度の極めて短い期間、積雪は年間でも冬季に限定された数日である。竜巻通過前に積雪があったとしても大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

iii. ひょう

ひょうは、積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大きさのひょうを想定した場合、その質量は約0.5kgである。

竜巻とひょうが同時に発生する場合においても、10cm程度のひょうの終端速度は 59m/s ⁽¹²⁾、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

iv. 雨

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

(c) 設計基準事故時荷重

竜巻防護施設は、設計竜巻によって安全機能を損なわない設計とするため、設計竜巻と設計基準事故は独立事象となる。

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

仮に、風速が低く発生頻度が高い竜巻と設計基準事故が同時に発生する場合、竜巻防護施設等のうち設計基準事故時荷重が生じる設備として

は動的機器である海水ポンプが考えられるが、設計基準事故時においても海水ポンプの圧力及び温度が変わらず、運転時荷重が変化することはないため、設計基準事故により考慮すべき荷重はなく、竜巻と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

d. 許容限界

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

- ・ 建築基準法
- ・ 日本工業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（日本建築防災協会）
- ・ 時刻歴応答解析 建築物性能評価業務方法書（日本建築センター）
- ・ 日本機械学会の基準・指針類
- ・ 原子力エネルギー協会（NEI）の基準・指針類

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

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

(8) 竜巻防護施設等の防護設計方針

竜巻防護施設等の設計荷重に対する防護設計方針を以下に示す。

a. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋が

っている施設を除く。)

竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）は、建屋等による防護により設計荷重による影響を受けない設計とする。

ただし、建屋等による防護が期待できない場合には「b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設」のとおりとする。

- b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設
建屋等に内包される竜巻防護施設のうち、建屋等が設計竜巻の影響により健全性が確保されず、貫通又は裏面剥離が発生し安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

- c. 竜巻防護施設のうち、建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

建屋に内包され防護される竜巻防護施設のうち、外気と繋がる施設は、設計荷重の影響を受けても、安全機能を損なわない設計とする。

屋外の竜巻防護施設は、設計荷重による影響により安全機能を損なわない設計とする。安全機能を損なう場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

- d. 竜巻防護施設を内包する施設

竜巻防護施設を内包する施設は、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通及び裏面剥離の発生により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- e. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、設計荷重による影響を受ける場合においても竜巻防護施設に影響を与えないように、設備又は運用による竜巻防護対策を実施することにより、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

以上の竜巻防護施設等の防護設計を考慮して、設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等を第1.8.2表に、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等を第1.8.3表に、竜巻防護施設を内包する施

設及び竜巻対策等を第1.8.4表に示す。

(9) 竜巻防護施設を内包する施設の設計

竜巻防護施設を内包する施設の設計においては、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により施設内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- a. 原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、燃料取替用水タンク建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋

設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

ただし、設計荷重による影響を受け、屋根、壁及び開口部（扉類）が損傷し当該建屋内の竜巻防護施設の安全機能を損なう可能性がある場合には、当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわないかを評価し、安全機能を損なう可能性がある場合には、竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施する。

- b. 燃料油貯油そう基礎及び燃料油貯蔵タンク基礎

設計飛来物が衝突した際に、設計飛来物の貫通を防止するとともに、当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

- c. 海水ポンプエリア防護壁及び海水ポンプエリア水密扉

設計荷重に対して、構造健全性を維持し当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通又は裏面剥離の発生により、当該構築物内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

(10) 竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の設計

竜巻防護施設は、構造健全性を損なわないこと又は取替・補修が可能なことにより、安全機能を損なわない設計とする。また、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、構造健全性を維持すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包され防護される施設（外気と繋がっている施設を除く。）

建屋等内の竜巻防護施設（外気と繋がっている施設を除く。）は、原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、燃料取替用水タンク建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、燃料油貯油そう基礎、燃料油貯蔵タンク基礎、海水ポンプエリア防護壁又は海水ポンプエリア水密扉に内包され、設計荷重から防護されることによって、安全機能を損なわない設計とする。

b. 竜巻防護施設のうち、建屋等に内包されるが防護が期待できない施設

原子炉周辺建屋のうち燃料取扱棟は、設計飛来物の衝突に対して壁に貫通が発生することを想定し、燃料取扱棟内部の竜巻防護施設で、設計荷重により影響を受ける可能性がある使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とする。

また、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋については、設計荷重により、開口部の開放又は開口部建具に貫通が発生することを考慮し、開口部建具付近の竜巻防護施設のうち、設計飛来物の衝突により影響を受ける可能性があるディーゼル発電機他が安全機能を損なわない設計とする。

(a) 使用済燃料ピット

設計飛来物が原子炉周辺建屋のうち燃料取扱棟の壁を貫通し使用済燃料ピットに侵入すると想定した場合でも、設計飛来物の衝撃荷重により、使用済燃料ピットのライニング及びコンクリートの一部が損傷して、

ピット水が漏えいすることはほとんどなく、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮へい機能に影響しないことにより使用済燃料ピットが安全機能を損なわない設計とし、使用済燃料ピット水による減速及び使用済燃料ラックにより、使用済燃料ラックに保管される燃料集合体の構造健全性が維持される設計とする。

(b) ディーゼル発電機他

ディーゼル発電機他は、設計飛来物が原子炉周辺建屋又は原子炉補助建屋の開口部建具を貫通し、ディーゼル発電機他に衝突し影響を受けることを考慮して、原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋の開口部（竜巻防護施設を設置している区画の出入口扉、点検扉等）に竜巻防護対策施設を設置することにより、設計飛来物のディーゼル発電機他への衝突を防止し、ディーゼル発電機他の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

c. 竜巻防護施設のうち、建屋内の施設で外気と繋がっている施設及び屋外施設

(a) 換気空調設備（アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御室空調系、格納容器排気系、安全補機開閉器室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及び試料採取室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ・バタフライ弁）

換気空調設備が原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋に内包されていること並びに竜巻防護対策施設により防護されることを考慮すると、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。気圧差による荷重に対して、換気空調設備の構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプ（配管及び弁を含む。）

海水ポンプ（配管及び弁を含む。）は、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ポンプ（配管及び弁を含む。）に常時作用する荷重及び運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(c) 海水ストレーナ

海水ストレーナは、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。また、風圧力による荷重、気圧差による荷重、海水ストレーナに常時作用する荷重及び運転時荷重に対して構造健全性が維持され安全機能を損なわない設計とする。

(d) 排気筒

排気筒は、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修が可能な設計とすることにより、設計基準事故時における安全機能を損なわない設計とする。

d. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(a) 主蒸気安全弁（排気管）

主蒸気安全弁（排気管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることにより主蒸気安全弁に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(b) 主蒸気逃がし弁（消音器）

主蒸気逃がし弁（消音器）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることにより主蒸気逃がし弁に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(c) タービン動補助給水ポンプ（蒸気大気放出管）

タービン動補助給水ポンプ（蒸気大気放出管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることによりタービン動補助給水ポンプに波及的影響を及ぼさない設計とする。

(d) ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうべント

管、燃料油貯蔵タンクベント管及びタンクローリ)

ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯油そうベント管及び燃料油貯蔵タンクベント管）は、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対して、構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とし、設計飛来物の衝突による損傷を考慮して、補修等が可能な設計とすることによりディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。

また、ディーゼル発電機（タンクローリ）は、飛来物が衝突したとしても、貫通及び裏面剥離を生じない部材厚さがあり、さらに風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に耐え得る強度を有するタンクローリの車庫等の中に設置し、タンクローリ 2 台を確実に確保することによりディーゼル発電機に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(e) 廃棄物処理建屋及びタービン建屋

廃棄物処理建屋及びタービン建屋については、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対して倒壊により竜巻防護施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

(f) 橋型クレーン

橋型クレーンは、竜巻の襲来が予想される場合には、運転を中止し、停留位置に固定することにより、橋型クレーンが損傷したとしても海水ポンプ（配管及び弁を含む。）及び海水ストレーナに衝突しない離隔を確保し、海水ポンプ（配管及び弁を含む。）及び海水ストレーナに波及的影響を及ぼさない設計とする。

(g) 換気空調設備（蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ）

換気空調設備のうち飛来物により損傷する可能性のある施設は、設計飛来物に対して竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を行う。

換気空調設備が竜巻防護施設を内包する施設である原子炉補助建屋（3号炉）及び原子炉周辺建屋（4号炉）に内包されていること並びに竜巻防護対策施設によって防護されることを考慮すると、設計竜巻荷重のうち風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は作用しない。換気空調設備は、気圧差による荷重に対して、換気空調設備の構造健全

性を維持し安全機能を損なわない設計とし、竜巻防護施設である蓄電池に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(11) 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象は、過去の竜巻被害状況及び玄海原子力発電所のプラント配置から、想定される事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生する場合においても、竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

a. 火 災

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建屋開口部付近の発火性又は引火性物資を内包する機器に衝突する場合、屋外の危険物タンク等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。建屋内については、飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近には、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器はなく、また、竜巻防護施設を設置している区画の開口部は竜巻防護対策施設により飛来物が侵入することはない。

建屋外については、屋外にある危険物タンク等からの火災がある。竜巻防護施設は外部火災防護施設に包含されていることから、火災源と外部火災防護施設の位置関係を踏まえて火災の影響を評価した上で、外部火災防護施設が安全機能を損なわない設計とすることを「1.10 外部火災防護に関する基本方針」に記載する。

火災が発生した場合は、火災防護計画に定める火災発生時の対応を実施することから、竜巻防護施設が安全機能を損なうことはない。

b. 溢 水

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

竜巻防護施設を内包する建屋内については、設計竜巻により飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突し、原子炉施設の安全機能を損なう可能性がある溢水源がないこと、また、竜巻防護施設を設置している区画の開口部は竜巻防護対策施設により飛来物が侵入することはないことから、設計竜巻により建屋内に溢水が発生することはないこと、建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なうことはない。

建屋外については、竜巻による飛来物の衝突による屋外タンクの破損に

伴う溢水を想定し、溢水防護対象設備のうち溢水の影響を受ける設備が安全機能を損なわない設計とすることを「1.7 溢水防護に関する基本方針」に記載する。

c. 外部電源喪失

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

1.8.2 手順等

竜巻に対する防護については、竜巻に対する影響評価を行い、安全施設が安全機能を損なわないよう手順等を定める。

- (1) 屋外の作業区画で飛散する恐れのある資機材、車両等については、飛来時の運動エネルギー等を評価し、竜巻防護施設への影響の有無を確認する。竜巻防護施設へ影響を及ぼす資機材、車両等については、固縛、固定、竜巻防護施設、竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護対策施設から離隔、建屋内収納又は撤去する。これら飛来物発生防止対策について手順を定める。
- (2) 竜巻の襲来が予想される場合及び竜巻襲来後において、竜巻防護施設を防護するための操作・確認、補修等が必要となる事項について手順を定める。

第 1.8.1 表 玄海原子力発電所における設計飛来物

飛来物の種類	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	135	51	34
大型車両	長さ×幅×高さ 12.0×2.5×3.75	15,400	42	28

第 1.8.2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (1 / 2)

設計竜巻から防護する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等	
海水ポンプ(配管及び弁含む。)海水ストレーナ	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛 ・ 固定 ・ 竜巻防護施設他との隔離 ・ 建屋内収納 ・ 撤去 	施設を内包する施設 竜巻防護対策施設	—	水密扉の閉止確認	
排気筒			—	鋼製材	補修	
使用済燃料ピット			—	鋼製材	—	
ディーゼル発電機他			—	鋼製材	—	防護扉の閉止確認
			—	鋼製材	—	—

第 1.8.2 表 設計竜巻から防護する施設及び竜巻対策等 (2 / 2)

設計竜巻から防護する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
換気空調設備(アニュラス空気浄化系、安全補機室空気浄化系、中央制御御室空調系、格納容器排気系、安全補機室開閉機室空調系、ディーゼル発電機室換気系、中間補機棟空調系及び試料採取室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンプ・パタフライ弁)	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛 ・ 固定 ・ 竜巻防護施設他との離隔 ・ 建屋内収納 ・ 撤去 	施設を内包する施設	—	—
クラス 1 及びクラス 2 に属する施設のうち上記以外の建屋・構築物内の施設					
クラス 3 に属する施設			—	—	代替設備の確保、補修・取替等

第1.8.3表 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等（1／2）

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
廃棄物処理建屋 タービン建屋	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> • 固縛 • 固定 • 竜巻防護施設他との隔離 • 建屋内収納 • 撤去 	—	鋼製材	—
橋型クレーン			—	鋼製材	竜巻襲来が予測される場合の運転停止及び停置位置への移動
換気空調設備（蓄電池室排気系の外気と繋がるダクト及び外気との境界となるダンパ）			施設を内包する施設 防護扉他	—	防護扉の閉止確認

第1.8.3表 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設及び竜巻対策等（2／2）

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
主蒸気逃がし弁（消音器） 主蒸気安全弁（排気管） タービン補助給水ポンプ（蒸気放気管） ディーゼル発電機（吸気消音器、排気消音器、燃料油貯蔵タンク排気管及び燃料油貯蔵タンク排気管）	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固縛 ・ 固定 ・ 竜巻防護施設他との離隔 ・ 建屋内収納 ・ 撤去 	—	鋼製材	補修等
ディーゼル発電機（タンクローリ）			車庫等 入口扉	—	入口扉の閉止確認

第1.8.4表 竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻対策等

竜巻防護施設を内包する施設	竜巻の最大風速条件	飛来物対策	防護施設	想定する設計飛来物	手順等
原子炉格納容器 原子炉周建屋 原子炉補助建屋 燃料取替用水タンク建屋 燃料油タンク基礎 燃料油貯蔵タンク基礎 海水ポンプエレクトリック基礎 海水ポンプエレクトリック基礎 海水ポンプエレクトリック基礎 海水ポンプエレクトリック基礎	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> • 固縛 • 固定防護施設 • 竜巻との隔離 • 建屋内収納 • 撤去 	—	鋼製材	—

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）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。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）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。以下「人為による事象」という。）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。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象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。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象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。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

適合のための設計方針

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(1) 竜 巻

使用済燃料乾式貯蔵容器は、兼用キャスク告示に定める最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、竜巻防護対策を行う。

a. 竜巻防護対策

設計飛来物が飛来し、竜巻防護施設が安全機能を損なわないように、以下の対策を行う。

・使用済燃料乾式貯蔵建屋により、使用済燃料乾式貯蔵容器を防護し構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

(2) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定され

る発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(1) 爆 発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

(2) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、火災時の熱輻射による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約1kmのところにある一般国道204号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。このため、一般国道204号線上で車両火災が発生したとしても、使用済燃料乾式貯蔵容器に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

d. 発電所港湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

e. 二次的影響（ばい煙等）

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

1.2 気象等

7.9 竜巻

7.9.1 竜巻

竜巻影響評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「ガイド」という。)を参照して実施する。

安全施設(兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器(以下「使用済燃料乾式貯蔵容器」という。))を除く。)に対する基準竜巻及び設計竜巻の設定は、竜巻検討地域の設定、基準竜巻の最大風速の設定及び設計竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。

使用済燃料乾式貯蔵容器に対する設計竜巻の最大風速は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示(平成31年4月2日原子力規制委員会決定)」に定める100m/sとする。

7.9.1.1 竜巻検討地域の設定

玄海原子力発電所が立地する地域と、気象条件の類似性の観点及び局所的な地域性の観点で検討を行い、竜巻検討地域を設定する。

(1) 気象総観場毎の整理

気象条件の類似性の観点では、気象総観場毎の竜巻発生場所を整理し、玄海原子力発電所と類似の地域を抽出する。気象総観場は、気象庁「竜巻等の突風データベース」の総観場を基に、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果(以下「東京工芸大学委託成果」という。)⁽¹⁾を参考に、低気圧、台風、停滞前線、局地性降雨(局地性擾乱、雷雨含む)、季節風及びその他の6つに分類する。なお、低気圧には、気圧の谷、暖気の移流、寒気の移流及び前線(停滞前線除く)を含めている(第7.9.1.1図)。

低気圧起因の竜巻は日本全国で発生しており、地域性はないと判断する(第7.9.1.2図)。

次に、停滞前線起因の竜巻は、北海道を除く地域で発生している(第7.9.1.3図)。同様に、台風起因の竜巻は九州から太平洋側の地域で発生している(第7.9.1.4図)。残る局地性降雨、季節風及びその他の竜巻は、日本全国で発生していると判断する。

(2) 抽出した地域を対象とした竜巻発生頻度等の分析

竜巻発生 の地域性が見られる停滞前線起因と台風起因の発生エリアの

重なりを考慮すると、九州・山口及び太平洋側沿岸において類似性がある。そこで、この九州・山口及び太平洋側沿岸を基本として、竜巻の発生頻度の観点から竜巻検討地域の検討を行う。

九州・山口及び太平洋側沿岸の海岸線から海側陸側各 5 km の範囲を対象として、単位面積当りの竜巻発生数のエリア毎の比較を示す（第 7.9.1.5 図及び第 7.9.1.1 表）。なお、竜巻の数は、台風に限定せず全ての気象要因による発生数である。

これらより、九州から太平洋側沿岸に拡げていくと、九州（沖縄県含む）、山口県、高知県、徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県及び茨城県に当る①+②+③+④のケースが単位面積当りの竜巻発生数が最も大きくなる。

次に、各ケースに含まれる F スケールが比較的大きな竜巻（F1～F2 以上）の発生数について、九州（沖縄県含む）から茨城県（①+②+③+④のケース）まで拡げることで F2～F3 などの大きな竜巻も取込めていることがわかる（第 7.9.1.2 表）。

(3) 集中地域における竜巻の発生頻度の確認

局所的な地域性の観点では、独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」⁽²⁾に、全国 19 個の竜巻集中地域が示されており、玄海原子力発電所は、いずれの集中地域にも含まれない。なお、玄海原子力発電所に最も近い集中地域⑧（第 7.9.1.6 図）について、海側陸側各 5 km の範囲を対象とした単位面積当りの竜巻発生数及び F スケール規模の大きい竜巻の発生状況の分析結果から、単位面積当りの竜巻発生数は、九州（沖縄県含む）から茨城県（①+②+③+④のケース）の地域を若干上回るものの、F スケール規模の大きな竜巻が発生していないことを確認している（第 7.9.1.3 表、第 7.9.1.4 表）。

(4) 竜巻検討地域

九州（沖縄県含む）、山口県、高知県、徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県及び茨城県の海岸線から、陸側及び海側それぞれ 5 km の範囲を竜巻検討地域に設定する（面積約 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）。第 7.9.1.7 図に竜巻検討地域を示す。

7.9.1.2 基準竜巻の最大風速の設定

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

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速（ V_{B1} ）

過去に発生した竜巻による最大風速の設定に当たっては、現時点では、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を、十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できるだけの知見を有していないことから、日本で過去に発生した竜巻の観測データを用いて設定する。

なお、今後も地域特性に関する検討、新たな知見の収集やデータの拡充などに取り組み、より信頼性のある評価が可能なように努力する。

日本で過去に発生した最大の竜巻はF3 スケールである。F3 スケールにおける風速 $70\text{m/s} \sim 92\text{m/s}$ であることから、その最大風速を基に過去に発生した最大の竜巻の最大風速 V_{B1} を 92m/s とする。第 7.9.1.5 表に日本における F3 スケールの竜巻一覧を示す。

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻最大風速のハザード曲線は、ガイドに従い、既往の算定方法に基づき、具体的には、東京工芸大学委託成果⁽¹⁾を参照して算定する。本評価は、竜巻データの分析、竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率密度分布の算定、相関係数の算定、並びにハザード曲線の算定によって構成される。

竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、竜巻検討地域（海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の範囲）の評価及び竜巻検討地域を海岸線に沿って 1 km 範囲ごとに細分化した場合の評価の 2 通りで算定し、そのうち大きな風速を設定する。

a. 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の評価

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

b. 竜巻の発生頻度の分析

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

(a) 被害が小さくて見過ごされやすい F0 及び F スケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された 2007 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(b) 被害が比較的軽微な F1 竜巻に対しては、観測体制が整備された 1991 年以降の年間発生数及び標準偏差を用いる。

(c) 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられる F2 及び F3

竜巻に対しては、観測記録が整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数及び標準偏差を用いる。

また、F スケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があつて初めてその F スケールが推定されるため、陸上での F スケール不明の竜巻は、被害が少ない F0 竜巻と見なす。

海上で発生しその後上陸しなかった竜巻（以下「海上竜巻」という。）については、その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上 5 km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸 5 km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各 F スケールに分類する。その結果、F スケール不明の海上竜巻の取扱いにより、第 7.9.1.6 表のとおり観測実績に対して保守性を高めた評価としている。

c. 年発生数の確率密度分布の設定

ハザード曲線の評価に当たって竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定し、使用する竜巻年発生数の確率密度分布はポリヤ分布を採用する。

竜巻年発生数の確率分布の設定には、ポアソン分布とポリヤ分布が考えられる。

ポアソン分布は、生起確率が正確に分からないが稀な現象の場合に有用な分布である。一方、ポリヤ分布は、発生状況が必ずしも独立でない稀現象（ある現象が生ずるのは稀であるが、一旦ある現象が発生するとその周囲にもその現象が生じやすくなる性質）の場合に有用な分布である（例えば、伝染病の発生件数）。台風や前線により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する状況が考えられるため、ポリヤ分布の方が実現象をより反映できると考えられる。

また、国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果は、東京工芸大学委託成果⁽¹⁾に示されており、陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

玄海原子力発電所の竜巻検討地域で発生した竜巻を対象に、発生数に関するポアソン分布及びポリヤ分布の適合性を評価した結果、竜巻検討地域においても、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れている。

d. 竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率分布並びに相関係数

竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さ

を基に、確率密度分布についてはガイド及びガイドが参考としている東京工芸大学委託成果⁽¹⁾を参照し、対数正規分布に従うものとする(第7.9.1.8～10図)。

なお、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅又は被害長さの情報がない竜巻には、被害幅又は被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は、被害幅又は被害長さが大きいほうから優先的に用いることで、被害幅又は被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに、被害幅又は被害長さが0のデータについては計算に用いておらず、保守的な評価を行っている。

このように、前述のFスケール不明の竜巻の取扱い等も含め、データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。

また、1961年以降の観測データのみを用いて、竜巻風速、被害幅及び被害長さについて相関係数を求める(第7.9.1.7表)。

e. 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは、玄海原子力発電所3号炉及び4号炉はツインプラントであり建屋及び設備が隣接しているため、3号炉及び4号炉の合計値として評価することとする。玄海原子力発電所3号炉及び4号炉の評価対象施設の面積(第7.9.1.8表)及び設置位置を考慮して、評価対象施設を包絡する円形のエリア(直径360m、面積約 $10.2 \times 10^4 \text{m}^2$)として設定する(第7.9.1.11図)。

なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。

f. ハザード曲線の算定

T年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率を求め、ハザード曲線を求める。

前述のとおり、竜巻の年発生数の確率密度分布としては、ポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は式(a)で示される(Wen and Chu⁽³⁾)。

$$P_r(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} (1 + \beta \nu T)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (a)$$

ここで、Nは竜巻の年発生数、 ν は竜巻の年平均発生数、Tは年数である。 β は分布パラメータであり式(b)で示される。

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

ここで、 σ は竜巻の年発生数の標準偏差である。

竜巻影響評価となる対象構造物が風速 V_0 以上の竜巻に遭遇する事象を D と定義し、竜巻影響評価の対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ とした時、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が V_0 以上となる確率は式 (c) で示される。

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

この $R(V_0)$ は、竜巻影響評価の対象地域の面積を A_0 (つまり竜巻検討地域の面積約 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$)、1 つの竜巻の風速が V_0 以上となる面積を $DA(V_0)$ とすると式 (d) で示される。

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

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

本評価では、以下のようにして $DA(V_0)$ の期待値を算出し、式 (d) により $R(V_0)$ を推定して、式 (c) により $P_{V_0,T}(D)$ を求める。風速を V 、被害幅を w 、被害長さを l 及び移動方向を α とし、 $f(V, w, l)$ 等の同時確率密度関数を用いると、 $DA(V_0)$ の期待値は、式 (e) で示される (Garson et al. (4))。

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

ここで、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ は、それぞれ竜巻の被害長さ及び被害幅方

向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。竜巻影響エリアを円形で設定しているため、H及びGともに竜巻影響エリアの直径 360m で一定（竜巻の移動方向に依存しない）となる。Sは竜巻影響エリアの面積（直径 360m の円の面積：約 $10.2 \times 10^4 \text{m}^2$ ）を表す。円の直径をLとした場合の計算式は式（f）で示される。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 & + L \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl \\
 & + L \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
 & + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV
 \end{aligned} \tag{f}$$

また、風速の積分範囲の上限値は、ハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として、120m/s に設定する。

また、 $W(V_0)$ は、竜巻の被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅であり、式（g）で示される。この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布がある（被害幅の端ほど風速が小さくなる）ことが考慮されている（Garson et al. ⁽⁴⁾、Garson et al. ⁽⁵⁾）。

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

ここで、係数の 1.6 について、既往の研究では、例えば 0.5 又は 1.0 などの値も提案されている。ガイドにて参照している Garson et al. ⁽⁵⁾では、観測値が不十分であるため保守的に 1.6 を用いることが推奨されており、本評価でも 1.6 を用いる。また、玄海原子力発電所の竜巻影響評価では、ランキン渦モデルによる竜巻風速分布に基づいて設計竜巻の特性値等を設定している。ランキン渦モデルは、高さ方向によって風速及び気圧が変化しないため、地表から上空まで式（g）を適用できる。なお、式（g）において係数を 1.0 とした場合がランキン渦モデルに該当する。

また、 V_{\min} は、Gale intensity velocity と呼ばれ、被害が発生し始める風速に位置づけられる。Garson et al. ⁽⁵⁾では、 $V_{\min} = 40 \text{mph} \doteq 18 \text{m/s}$ ($1 \text{mph} \doteq 1.61 \text{km/h}$) を提案している。米国気象局 NWS (National

Weather Service) では、Gale intensity velocity は 34~47 ノット (17.5~24.2m/s) とされている。また、気象庁が使用している風力階級では、風力 9 は大強風 (strong gale : 20.8~24.4m/s) と分類されており、風力 9 では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされている。

以上を参考に、本評価においては、 $V_{min}=25\text{m/s}$ とする。なお、この値は F0 (17~32m/s) のほぼ中央値に相当する。

海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、69.7m/s となる (第 7.9.1.12 図)。

g. 1 km 範囲ごとに細分化した評価

1 km 範囲ごとに細分化した評価は、1 km 幅は変えずに順次ずらして移動するケース (短冊ケース) を設定して評価する。評価の条件として、被害幅及び被害長さは、それぞれ 1 km 範囲内の被害幅及び被害長さを用いている。上記評価条件に基づいて、海岸線から陸側及び海側それぞれ 5 km 全域の評価と同様の方法でハザード曲線を算定する。

これら算定したハザード曲線より、年超過確率 10^{-5} における風速を求めると、陸側 4~5 km を対象とした場合の 76.0m/s が最大となる (第 7.9.1.13 図)。

h. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

海側及び陸側それぞれ 5 km 全域の評価と、1 km 範囲ごとに細分化した評価を比較して、竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V_{B2} は、ガイドを参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速とし、76.0m/s とする (第 7.9.1.14 図)。

(3) 基準竜巻の最大風速 (V_B)

過去に発生した竜巻による最大風速 $V_{B1}=92\text{m/s}$ 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}=76.0\text{m/s}$ より、玄海原子力発電所における基準竜巻の最大風速 V_B は 92m/s とする。

7.9.1.3 設計竜巻の最大風速の設定

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

(1) 玄海原子力発電所周辺の地形

玄海原子力発電所敷地周辺の地形を第 7.9.1.15 図に示す。

Forbes⁽⁶⁾によると、下り斜面又は山裾で竜巻の強さは増すことが確認されている。また、Lewellen⁽⁷⁾では、山及び谷の地形を考慮したシミュレーションを行い、Forbes⁽⁶⁾の知見と合致する結果を得ている。

玄海原子力発電所の敷地内は、海側からも陸側からも高低差は小さくほぼ平坦であり、敷地境界外では、陸側から海側に向かってごく緩やかに下がっているが、前述の知見である下り斜面又は山裾に該当する地形は存在しない。

(2) 九州北部地域で過去に発生した竜巻の移動方向

玄海原子力発電所が立地する九州北部地域で過去に発生した竜巻のうち、移動方向が記録されている 8 個の竜巻について、移動方向の実績を整理する（第 7.9.1.16 図）。

その結果、北北東～南向きに集中しており、陸側から発電所に到来する方向（西向きに移動する方向）を記録した竜巻は確認されていない。

竜巻の移動方向の分析結果から、玄海原子力発電所への竜巻の進入ルートは、地形が平坦な海側からとなる可能性が高い（第 7.9.1.17 図）。

(3) 設計竜巻の最大風速

玄海原子力発電所において、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えるが、基準竜巻の最大風速の数値を安全側に切り上げて、設計竜巻の最大風速は 100m/s とする。

7.9.1.4 設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速（ V_D ）より米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルを仮定して設定する。（第 7.9.1.9 表）

(1) 設計竜巻の移動速度（ V_T ）

設計竜巻の移動速度（ V_T ）は、以下の算定式を用いて V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

(2) 設計竜巻の最大接線風速（ V_{Rm} ）

設計竜巻の最大接線風速（ V_{Rm} ）は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、以下の算定式を用いて算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m) は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデル⁽¹⁾に準拠して以下の値を用いる。

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

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max})

設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{max}) は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ここで、 ρ は空気密度 ($1.22\text{kg}/\text{m}^3$) を示す。

(5) 設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)

設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$) は、米国 NRC の基準類⁽⁸⁾を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定する。

$$(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$$

第 7.9.1.1 表 単位面積当りの竜巻発生数の比較

		面積 (km ²)	竜巻数 (個)	単位面積当り発生数 (個/年/km ²)
①	九州 (沖縄含)	51.3×10 ³	197	7.46×10 ⁻⁵
①+②	九州 (沖縄含)、山口県、高知県	60.9×10 ³	235	7.49×10 ⁻⁵
①+② +③	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県</u>	74.0×10 ³	288	7.56×10 ⁻⁵
①+② +③+④	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県</u>	85.4×10 ³	336	7.64×10 ⁻⁵
①+② +③+④ +⑤	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県、福島県、宮城県</u>	89.5×10 ³	339	7.35×10 ⁻⁵

第 7.9.1.2 表 Fスケール「F1～F2」以上の竜巻発生数の比較

		発生数 (個)				
		F1～F2	F2	F2～F3	F3	計
①	九州 (沖縄含)	7	16	2	0	25
①+②	九州 (沖縄含)、山口県、高知県	10	18	2	0	30
①+② +③	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県</u>	14	21	3	1	39
①+② +③+④	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県</u>	20	26	5	1	52
①+② +③+④ +⑤	九州 (沖縄含)、山口県、高知県、 <u>徳島県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県、神奈川県、東京都、千葉県、茨城県、福島県、宮城県</u>	20	26	5	1	52

第 7.9.1.3 表 気象要因抽出地域と集中地域の単位面積当りの竜巻発生数の比較

	面積 (km ²)	竜巻発生数 (個)	単位面積当り発生数 (個/年/km ²)
① + ② + ③ + ④	85.4 × 10 ³	336	7.64 × 10 ⁻⁵
集中地域 ⑧	3.2 × 10 ³	14	8.44 × 10 ⁻⁵

第 7.9.1.4 表 気象要因抽出地域と集中地域の F スケールごとの竜巻発生数の比較

	発生数 (個)				
	F1~F2	F2	F2~F3	F3	計
① + ② + ③ + ④	20	26	5	1	52
集中地域 ⑧	1	1	0	0	2

第 7.9.1.5 表 日本における F3 スケールの竜巻一覧
(1961 年～2012 年 6 月)

発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	発生場所
1971 年 07 月 07 日 07 時 50 分	35 度 52 分 45 秒	139 度 40 分 13 秒	埼玉県浦和市
1990 年 12 月 11 日 19 時 13 分	35 度 25 分 27 秒	140 度 17 分 19 秒	千葉県茂原市
1999 年 09 月 24 日 11 時 07 分	34 度 42 分 4 秒	137 度 23 分 5 秒	愛知県豊橋市
2006 年 11 月 07 日 13 時 23 分	43 度 58 分 39 秒	143 度 42 分 12 秒	北海道網走支庁佐呂間町
2012 年 05 月 06 日 12 時 35 分	36 度 6 分 38 秒	139 度 56 分 44 秒	茨城県常総市

第 7.9.1.6 表 竜巻発生数の分析結果

竜巻検討地域 (海岸±5km)	発生数の統計	陸上で発生した竜巻						海上で発生して陸上へ移動した竜巻						海上竜巻	総計
		F0	F1	F2	F3	F不明	小計	F0	F1	F2	F3	F不明	小計	F不明	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	38	76	30	3	14	161	13	40	19	3	7	82	98	341
	平均値(年)	0.74	1.48	0.58	0.06	0.27	3.13	0.25	0.78	0.37	0.06	0.14	1.59	1.90	6.62
	標準偏差(年)	1.85	1.50	0.73	0.24	0.66	2.98	0.52	1.28	0.63	0.24	0.40	1.75	4.78	8.07
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	38	47	12	1	10	108	13	30	9	0	5	57	98	263
	平均値(年)	1.77	2.19	0.56	0.05	0.47	5.02	0.61	1.40	0.42	0.00	0.23	2.65	4.56	12.23
	標準偏差(年)	2.56	1.72	0.75	0.22	0.92	3.58	0.67	1.73	0.67	0.00	0.43	2.07	6.63	10.00
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	27	10	1	0	6	44	7	3	0	0	3	13	73	130
	平均値(年)	4.91	1.82	0.18	0.00	1.09	8.00	1.27	0.55	0.00	0.00	0.55	2.36	13.27	23.64
	標準偏差(年)	3.73	1.73	0.43	0.00	1.64	5.08	0.80	0.58	0.00	0.00	0.58	1.25	9.12	14.87
疑似 51.5年間 (各竜巻)	期間内総数	253	113	30	3	57	456	66	72	19	3	29	189	684	1,329
	平均値(年)	4.91	2.19	0.58	0.06	1.09	8.83	1.27	1.40	0.37	0.06	0.55	3.64	13.27	25.74
	標準偏差(年)	3.73	1.72	0.73	0.24	1.64	4.48	0.80	1.73	0.63	0.24	0.58	2.10	9.12	10.38

分析結果に基づいて整理した竜巻の発生数

疑似 51.5年間 (全竜巻)	統計	F0	F1	F2	F3	F不明	小計
	期間内総数	870	355	94	11	0	1,330
	平均値(年)	16.89	6.89	1.83	0.21	0.00	25.83
	標準偏差(年)	6.51	3.22	1.31	0.44	0.00	7.40

第 7.9.1.7 表 竜巻風速、被害幅及び被害長さの相関係数

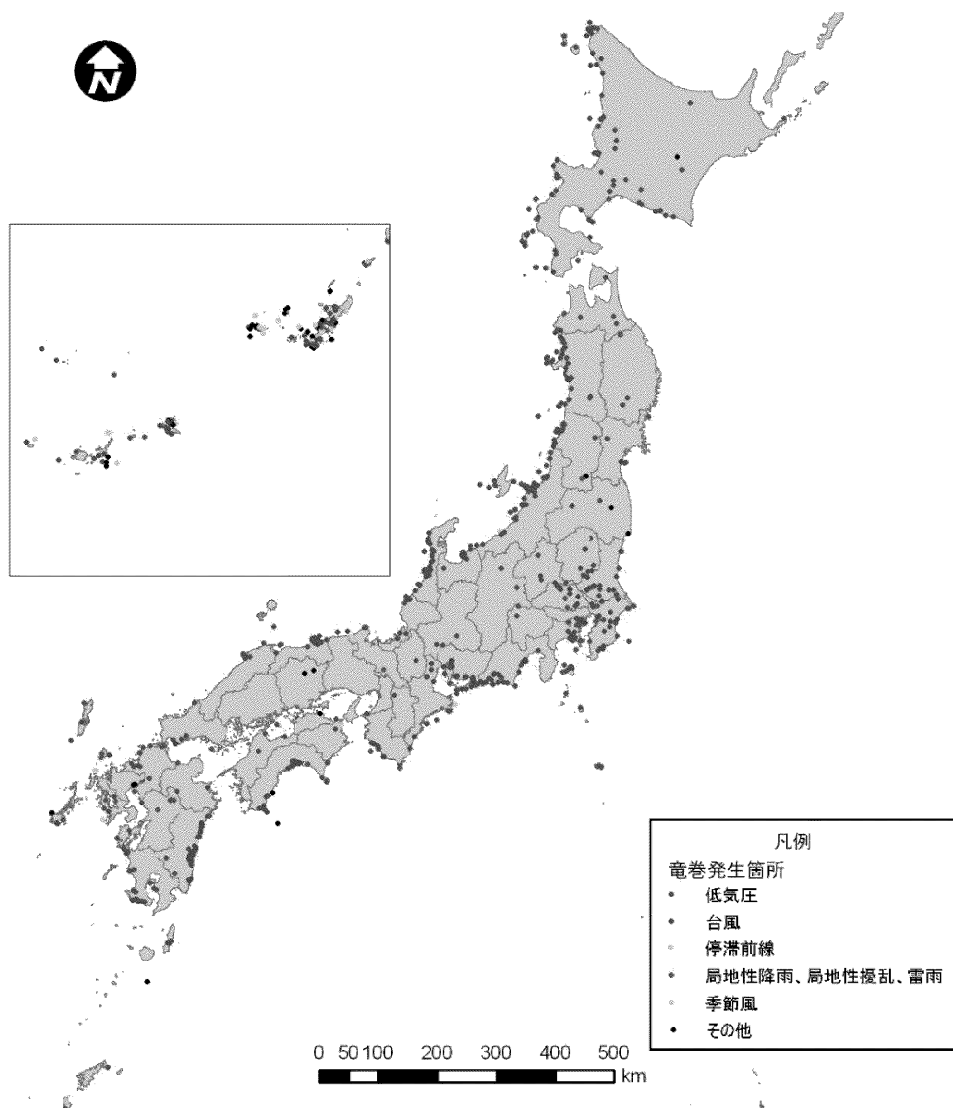
相関係数	風速 (m/s)	被害幅(m)	被害長さ(km)
風速(m/s)	1.000	0.412	0.436
被害幅(m)	—	1.000	0.403
被害長さ(km)	—	—	1.000

第 7.9.1.8 表 評価対象施設の面積

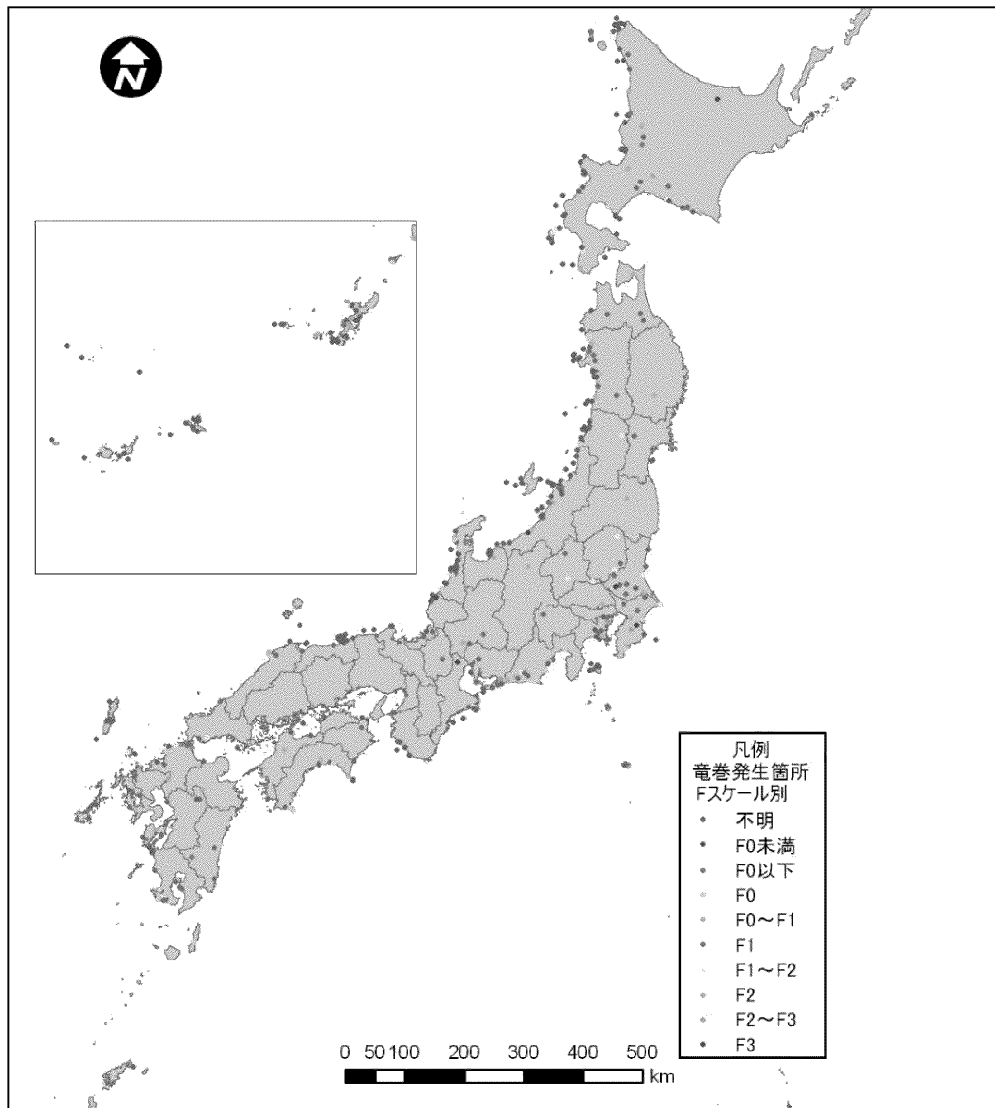
評価対象施設	設置面積 (m ²)		
	3号	4号	計
原子炉格納容器	1,550	1,550	3,100
原子炉周辺建屋	4,510	6,030	10,540
原子炉補助建屋	5,900	—	5,900
タービン建屋	6,570	6,060	12,630
燃料取替用水タンク建屋	1,120	—	1,120
廃棄物処理建屋	1,000	—	1,000
海水ポンプエリア	500	500	1,000
燃料油貯油そう基礎	200	200	400
燃料油貯蔵タンク基礎	230	230	460
合計	21,580	14,570	36,150

第 7.9.1.9 表 設計竜巻の特性値

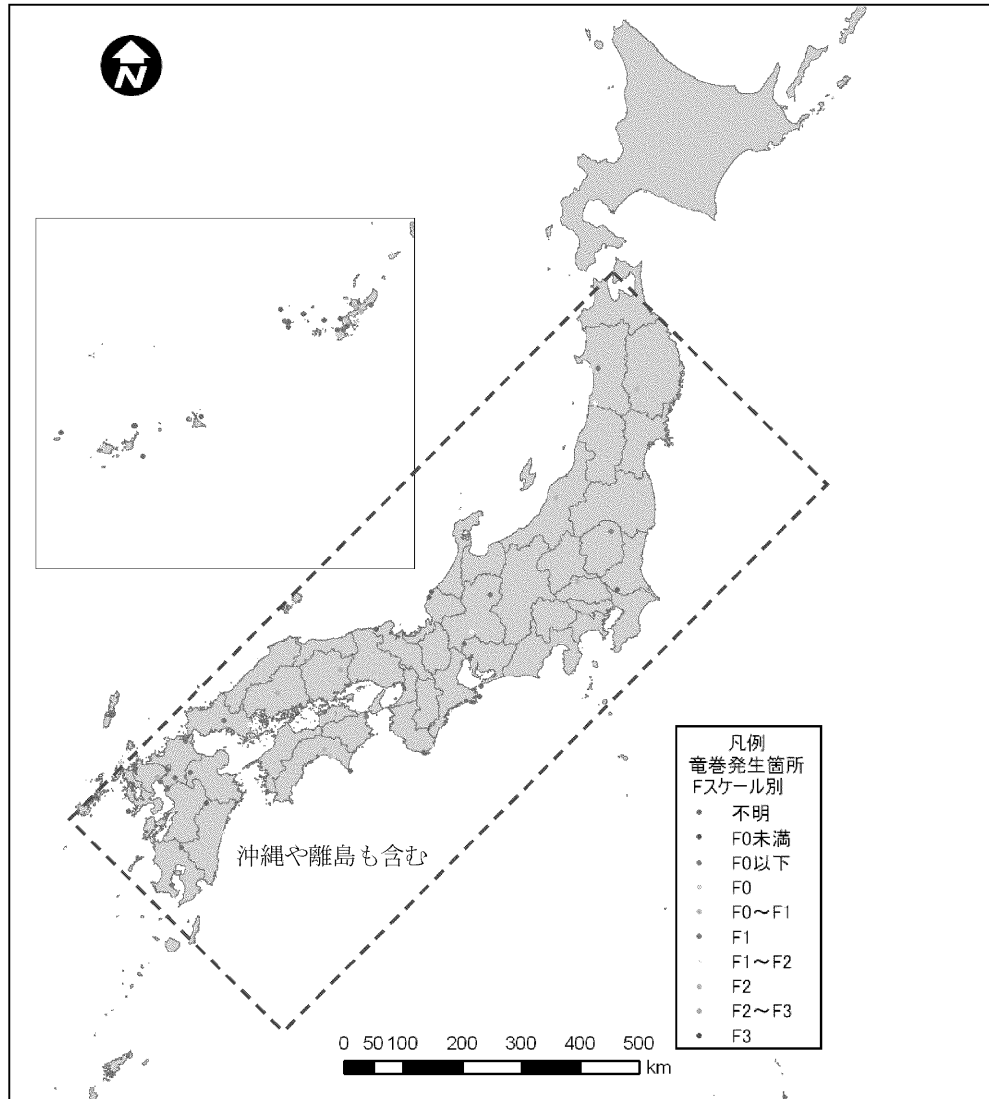
最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45



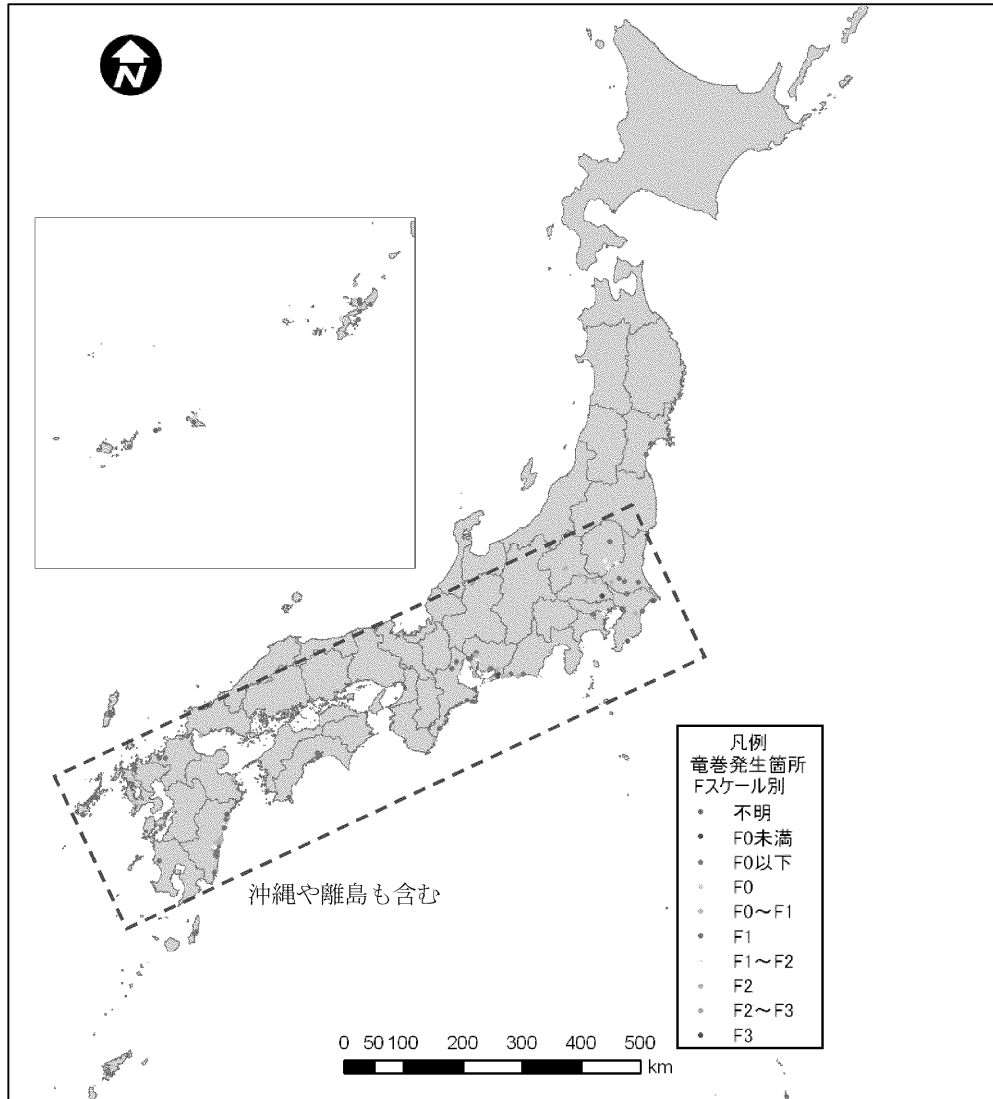
第 7.9.1.1 図 気象要因別の竜巻発生位置



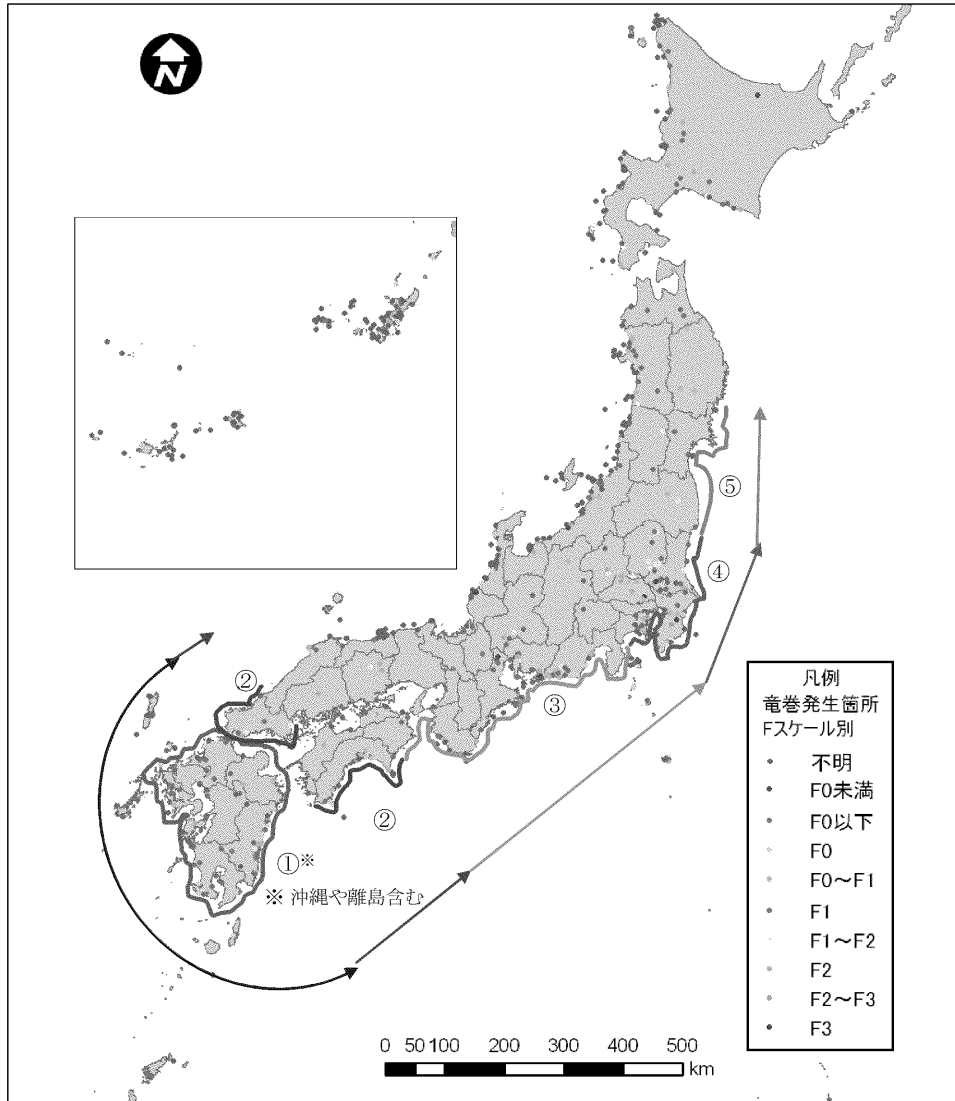
第 7.9.1.2 図 竜巻発生位置（低気圧起因）



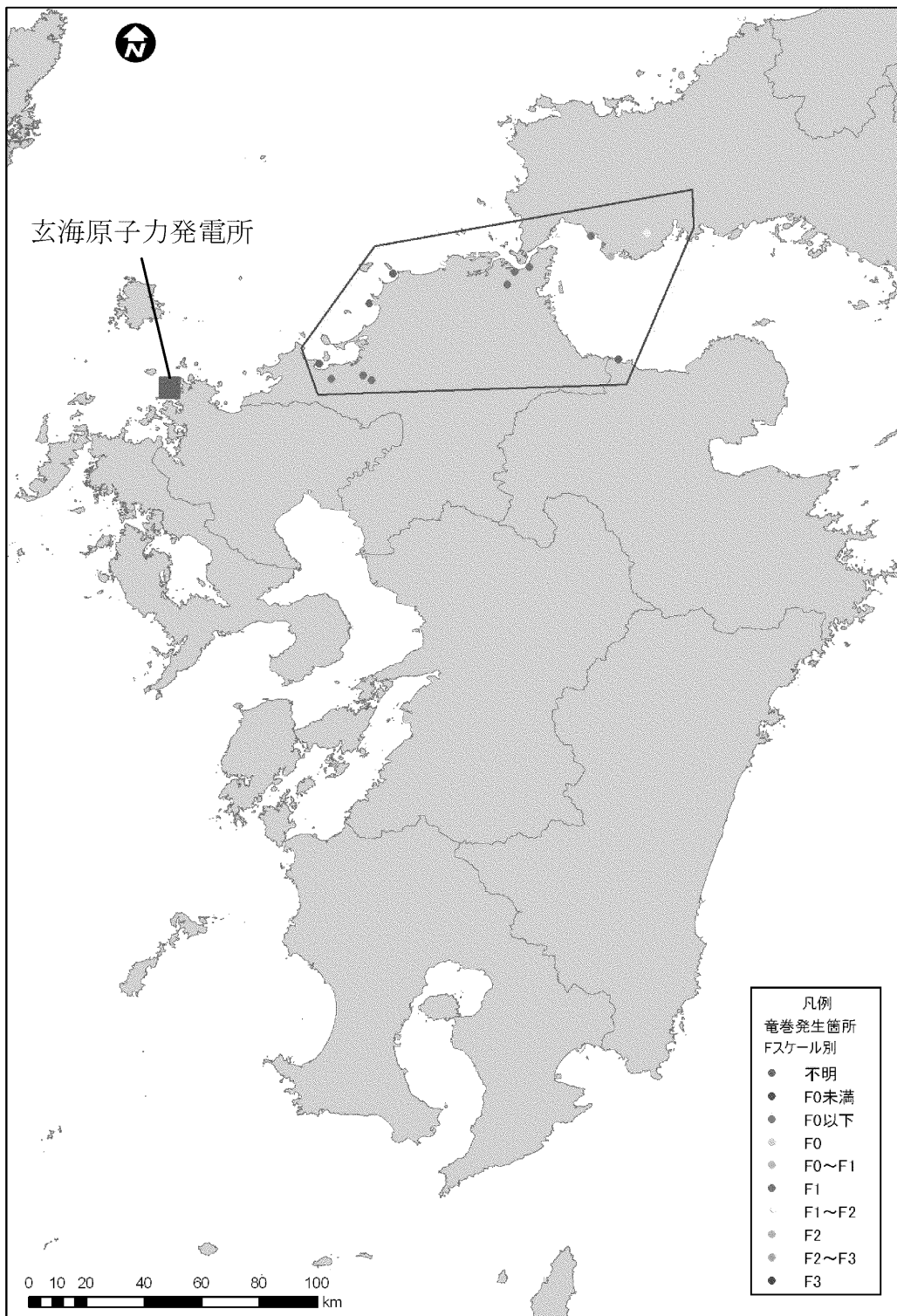
第 7.9.1.3 図 竜巻発生位置 (停滞前線起因)



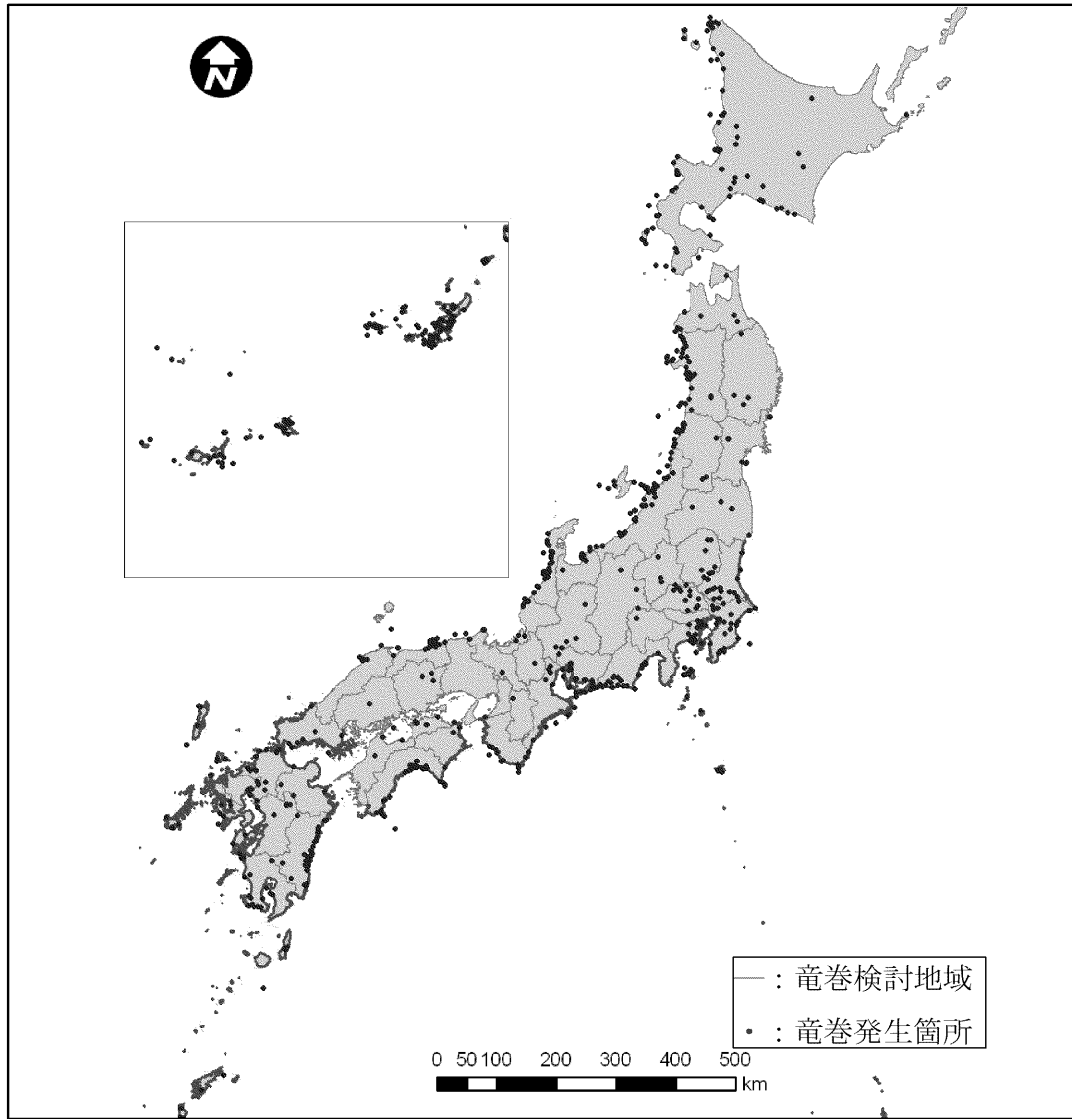
第 7.9.1.4 図 竜巻発生位置（台風起因）



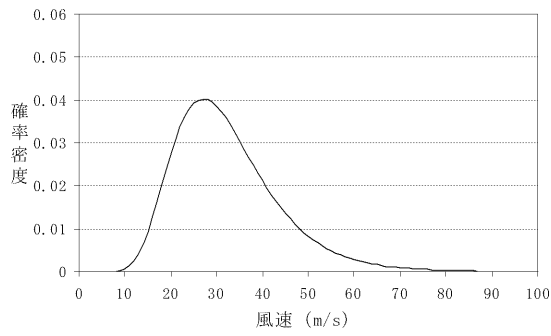
第 7.9.1.5 図 Fスケール別の竜巻発生位置



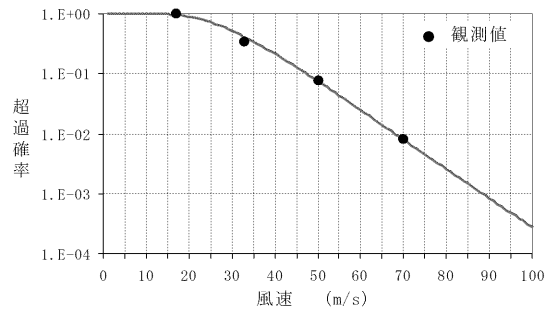
第 7.9.1.6 図 集中地域⑧における F スケール別竜巻発生位置



第 7.9.1.7 図 竜巻検討地域

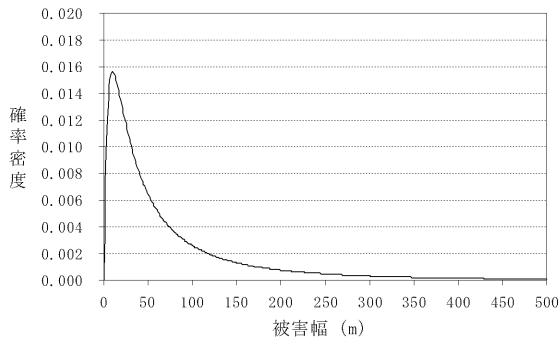


確率密度分布

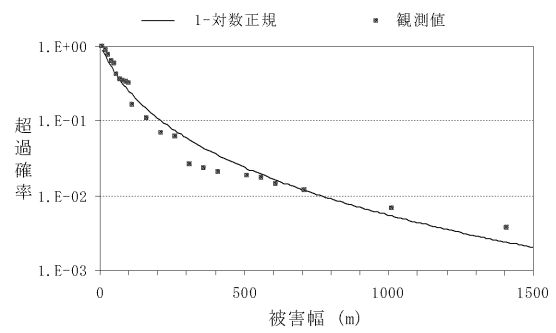


超過確率

第7.9.1.8図 風速の確率密度分布と超過確率

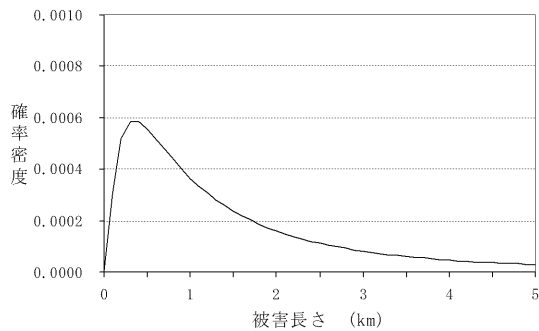


確率密度分布

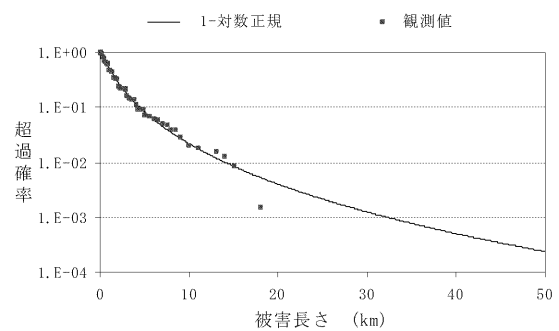


超過確率

第7.9.1.9図 被害幅の確率密度分布と超過確率

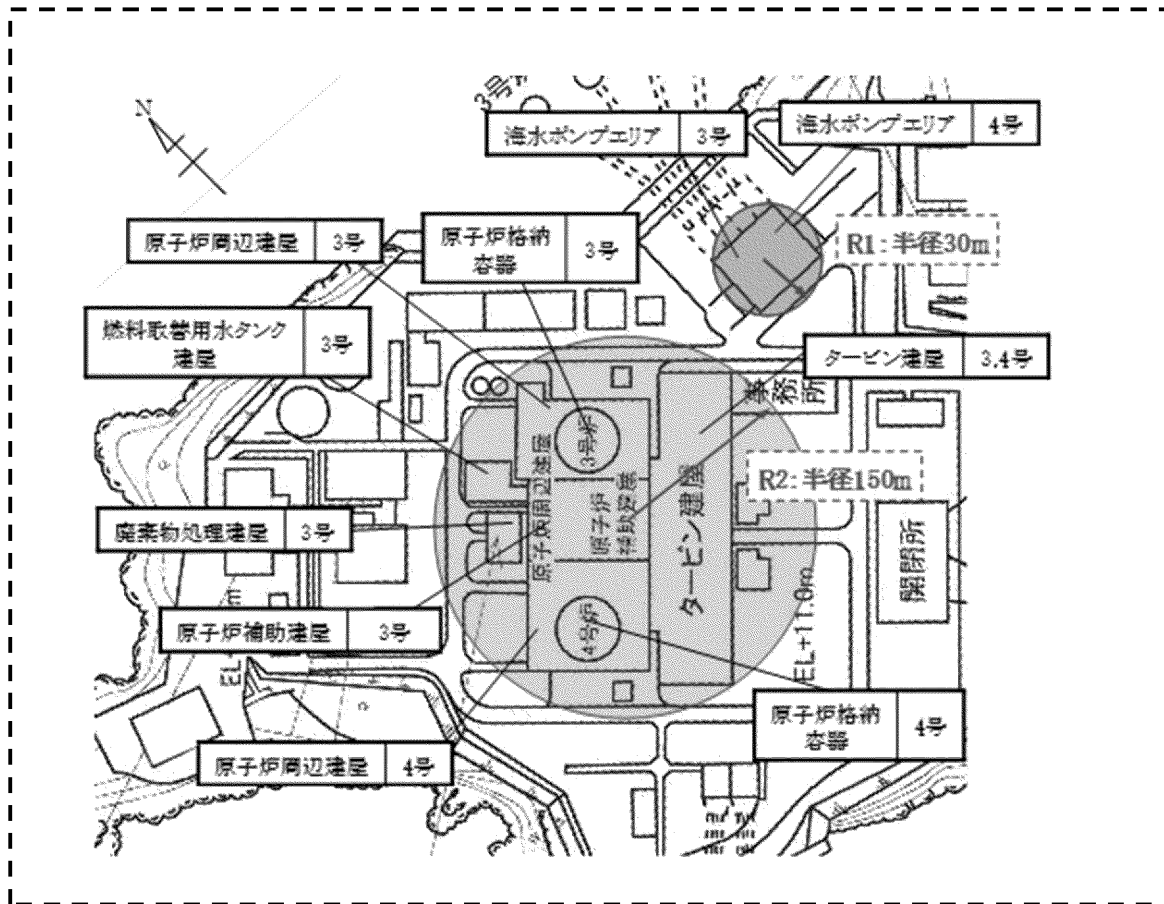


確率密度分布

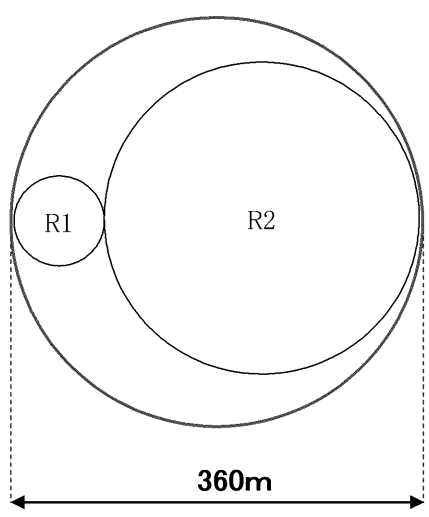


超過確率

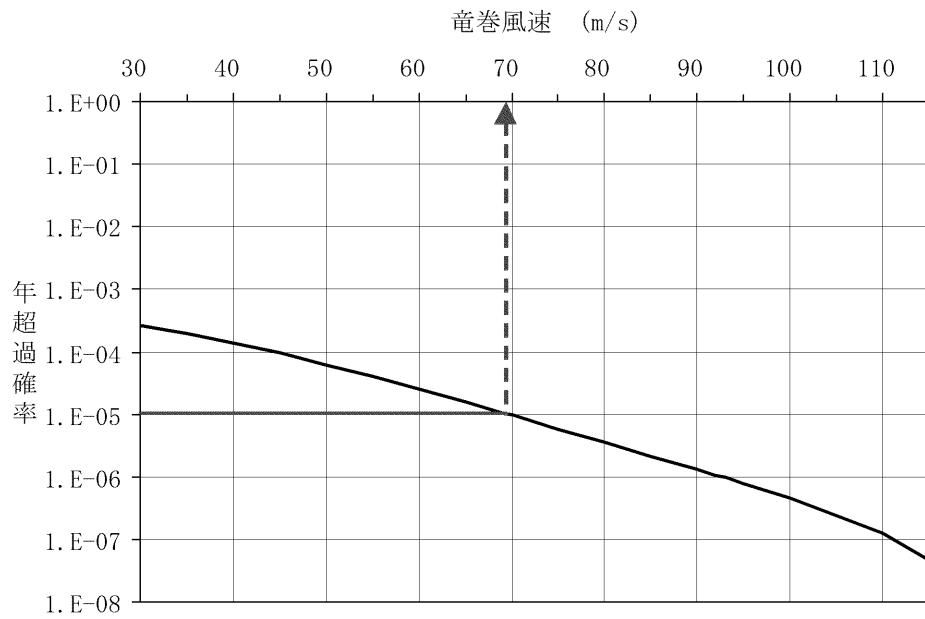
第7.9.1.10図 被害長さの確率密度分布と超過確率



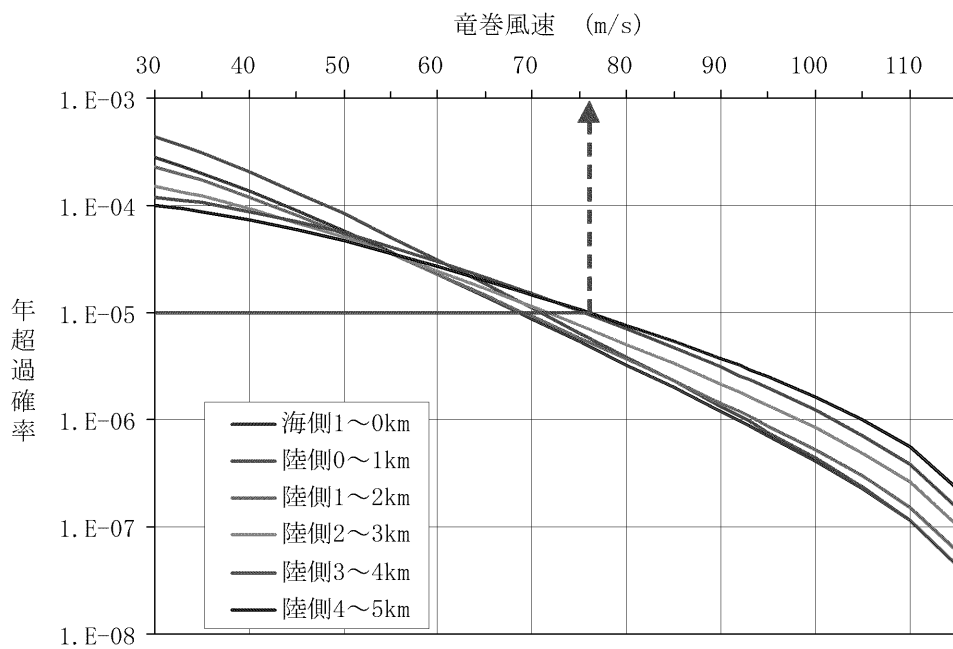
計算上の取扱い



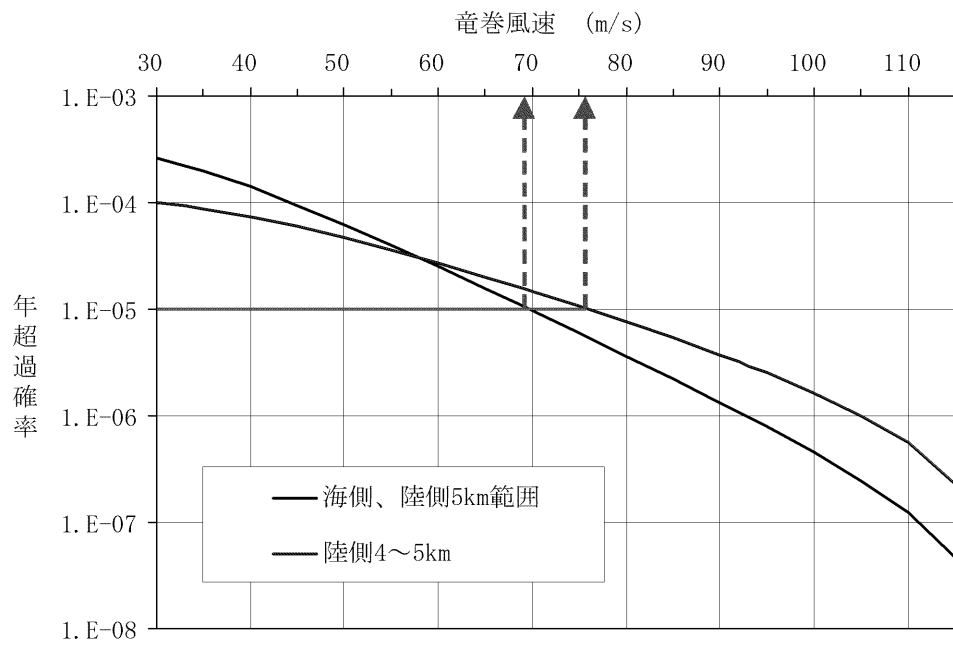
第 7.9.1.11 図 竜巻影響エリア



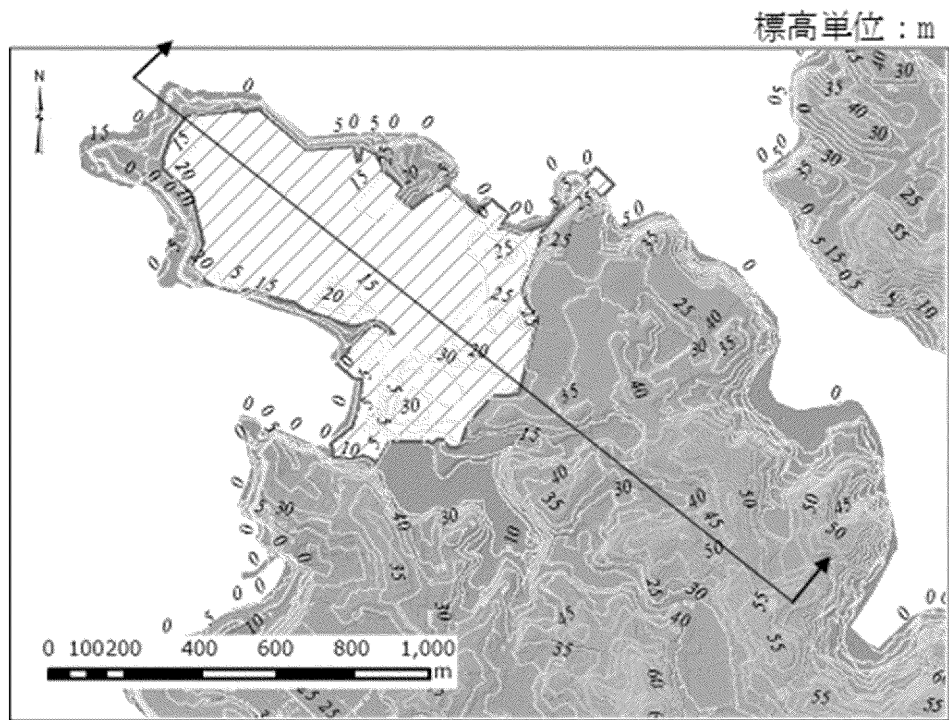
第 7.9.1.12 図 竜巻最大風速のハザード曲線（海側、陸側 5 km 範囲）



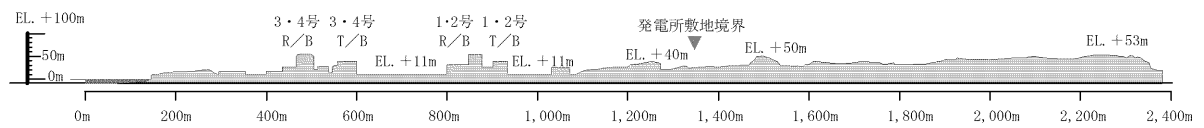
第 7.9.1.13 図 竜巻最大風速のハザード曲線（1 km 範囲）



第 7.9.1.14 図 竜巻最大風速のハザード曲線

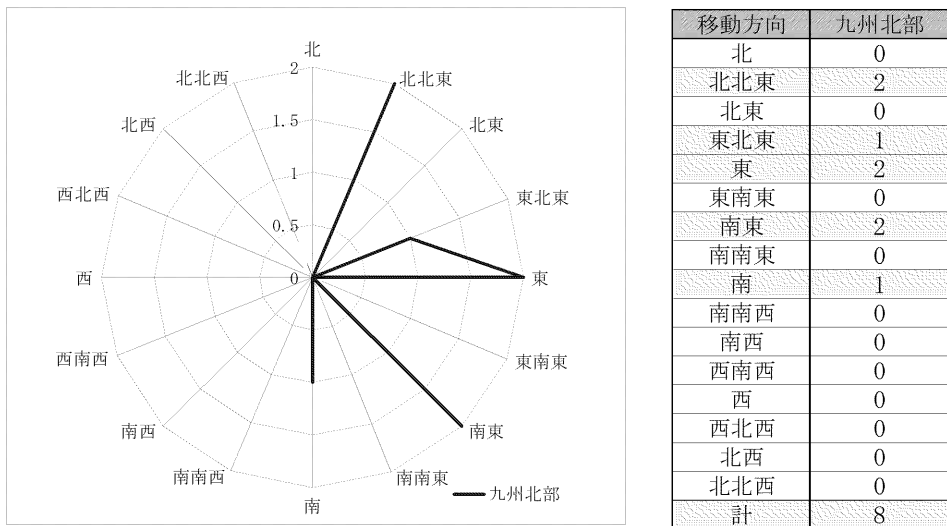


発電所周辺平面図

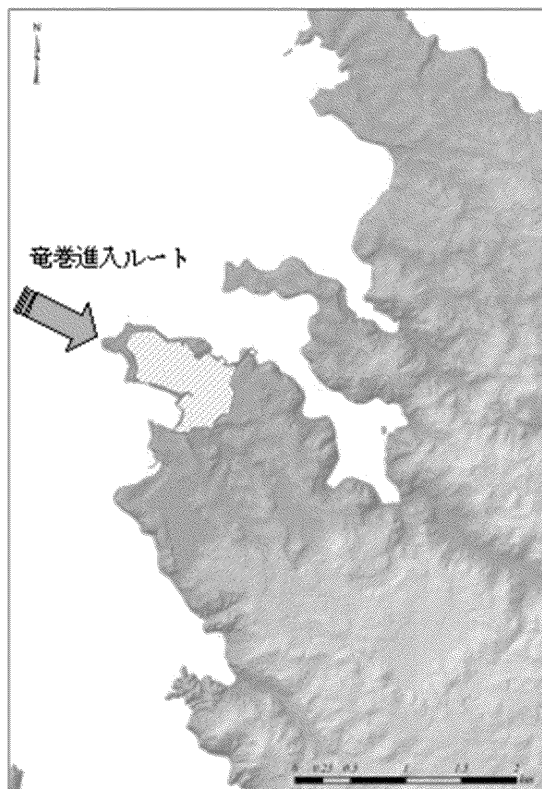


発電所周辺断面図

第 7.9.1.15 図 玄海原子力発電所敷地周辺の地形



第 7.9.1.16 図 九州北部で過去に発生した竜巻の移動方向



第 7.9.1.17 図 玄海原子力発電所の位置と竜巻の移動方向

7.9.2 参考文献

- (1) 東京工芸大学 (2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究報告書
- (2) 独立行政法人原子力安全基盤機構 (2013) : 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド (案) 及び解説
- (3) Wen. Y. K and Chu. S. L. (1973) : Tornado Risks and Design Wind Speed. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.99, No. ST12, pp. 2409-2421.
- (4) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST9, pp. 1883-1897.
- (5) Garson. R. C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Risk Evaluation using Wind Speed Profiles. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST5, pp. 1167-1171
- (6) Forbes, G. S. (1998) : Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, 19th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Minneapolis, MN, pp. 269-272.
- (7) Lewellen, D. C. (2012) : Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Nashville, TN, 4B.1.
- (8) U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision 1, March 2007

1.3 設備等

該当なし

竜巻に対する防護
(使用済燃料乾式貯蔵容器)

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 基本事項
 - 1.2 評価対象施設

2. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3. 竜巻影響評価
 - 3.1 評価概要
 - 3.2 評価対象施設
 - 3.3 設計荷重の設定
 - 3.4 施設の構造健全性の確認
 - 3.5 竜巻随件事象に対する考慮

(資料)

- － 1 設計飛来物の選定と評価に使用するパラメータ
- － 2 建屋、構築物等の構造健全性の確認
- － 3 使用済乾式貯蔵施設の竜巻防護設計方針について

1. 基本方針

1.1 基本事項

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、安全施設が竜巻に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な各種の機能を損なわないよう、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定し、建屋による防護、構造健全性の維持及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全施設は、設計荷重による波及的影響によって安全機能を損なわない設計とする。

竜巻及びその随件事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するため、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(以下「ガイド」という。)に基づき、安全機能が維持されることを確認する。

1.2 評価対象施設

1.2.1 設計竜巻から防護する施設

設計竜巻から防護する施設としては、安全施設が設計竜巻の影響を受ける場合においても、発電用原子炉施設の安全性を確保するために、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3の構築物、系統及び機器とする。

設計竜巻から防護する施設のうち、クラス3に属する施設は損傷する場合を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間に修復すること等の対応が可能な設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とすることから、クラス1及びクラス2に属する構築物、系統及び機器を竜巻防護施設とする。

竜巻防護施設は以下に分類する。

- ・建屋又は構築物(以下「建屋等」という。)に内包され防護される施設(外気と繋がっている施設を除く。)
- ・建屋等に内包されるが防護が期待できない施設
- ・屋外施設及び建屋内の施設で外気と繋がっている施設

また、竜巻防護施設を内包する建屋及び構築物は、「竜巻防護施設を内包する施設」として抽出する。

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、竜巻防護施設の抽出結果を表1.2.1に示す。

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器(以下「乾式キャスク」という。)は原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されないものであって、放射性物質を貯蔵する機能を有する安全重要度分類クラス2の設備であることから、乾式キャスク*を竜巻防護施設として抽出した。

※:支持部及び基礎を含む。

表 1.2.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の竜巻防護施設の抽出

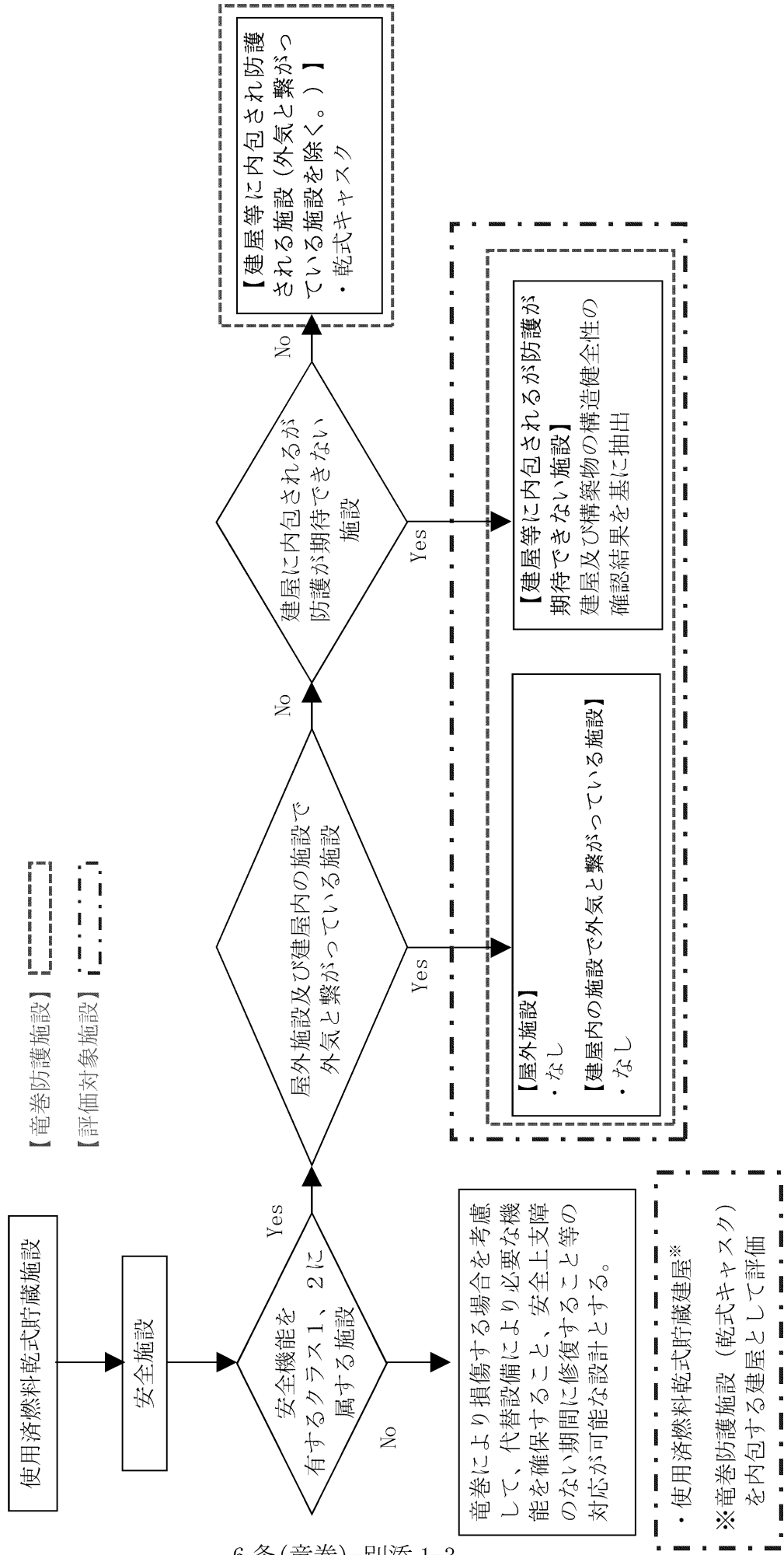
設備	兼用キャスクガイドでの設備分類	安全重要度分類	竜巻防護施設
乾式キャスク※	兼用キャスク, 周辺施設（支持部及び基礎）	PS-2	○
計装設備	周辺施設	—	
クレーン類	周辺施設	—	
使用済燃料乾式貯蔵建屋等 (貯蔵建屋（遮蔽壁含む）)	周辺施設	PS-3	

※: 支持部及び基礎を含む。

使用済燃料乾式貯蔵施設から図 1.2.1 の抽出フローにより、評価対象施設として使用済燃料乾式貯蔵建屋を抽出した。抽出結果を表 1.2.2 に示す。

表 1.2.2 評価対象施設

分類	施設・設備名
竜巻防護施設を内包する施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (乾式キャスクを内包する建屋)



6条(竜巻)-別添1-3

図 1.2.1 評価対象施設抽出フロー

1.2.2 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(1) 抽出方針

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、当該施設の破損により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設とする。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設としては、施設の高さと、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設との距離を考慮して、竜巻による施設の倒壊により竜巻防護施設を損傷させる可能性がある施設を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

また、建屋等による防護が期待できない竜巻防護施設の附属施設及び竜巻防護施設を内包する区画で外気と繋がっている換気空調設備を竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

(2) 抽出結果

竜巻防護施設を内包する施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と施設の高さを考慮して、施設倒壊により竜巻防護施設である乾式キャスクに波及的影響を及ぼし得る施設として抽出した構築物及び機器を表 1.2.3、図 1.2.2 に示す。施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として送電線鉄塔が抽出されたが、使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と送電線鉄塔の高さから、波及的影響評価対象に該当しない。


使用済燃料乾式貯蔵建屋は、建屋側面に設けられた単純な開口部からなる給気口から建屋上部に設けられた単純な開口部からなる排気口に向かって空気の流れが自然発生するよう設計されており、竜巻による破損により乾式キャスクに影響を与える可能性のある換気空調設備は設置しない。また、乾式キャスクに屋外から連結する吸排気管はないことから、竜巻防護施設である乾式キャスクに波及的影響を及ぼし得る換気空調設備等はない。

表 1.2.3 施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出

構築物及び機器		近傍の竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設	竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設までの最短距離	鉄塔高さ	波及的影響評価対象
EL. 20m	送電線鉄塔 (玄海原子力線 No. 1)	使用済燃料乾式貯蔵建屋	約 92m	約 45m	対象外
	送電線鉄塔 (500kV)		約 138m	約 98m	対象外
	送電線鉄塔 (220kV)		約 117m	約 37m	対象外
	送電線鉄塔 (66kV)		約 92m	約 26m	対象外



図 1.2.2 施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

: 防護上の観点から公開できません

2. 設計竜巻の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 及び特性値は以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の最大風速 V_D

乾式キャスクに対する設計竜巻の最大風速は、「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年4月2日原子力規制委員会決定）」に定める 100m/s とする。

(2) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の最大風速は既許可と同じ 100m/s であることから、設計竜巻の特性値は既許可と同じ値を用いる。（表2.1）

表2.1 設計竜巻の特性値（ $V_D=100\text{m/s}$ ）

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

3. 竜巻影響評価

3.1 評価概要

既許可と同様、以下の方針で評価を行う。

- (1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）を適切に設定する。
- (2) 設計荷重に対して評価対象施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。

3.2 評価対象施設

「1.2 評価対象施設」に示したとおりとする。

3.3 設計荷重の設定

3.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 等における設計竜巻荷重を以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根含む。）に作用する風圧力による荷重(W_w)は、「建築基準法施行令」（昭和25年11月16日政令第338号）、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び建設省告示1454号（平成12年5月31日）に準拠して、次式のとおり算出する。

なお、ガスト影響係数(G)は $G=1.0$ 、風力係数(C)は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根・壁等）に応じて設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

W_w ：風圧力による荷重

q ：設計用速度圧

G ：ガスト影響係数(=1.0)

C ：風力係数

A ：施設の受圧面積

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

ρ ：空気密度

V_D ：設計竜巻の最大風速

(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力による荷重

屋根スラブについては、鉛直方向の風圧力に対する健全性の確認を行う。

- (3) 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重 (W_p)

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差による荷重は、最大気圧低下量 (ΔP_{max}) に基づき設定する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

W_p : 気圧差による荷重

ΔP_{max} : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

- (4) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定 (W_M)

①設計飛来物の選定

プラントウォークダウンによる敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、発電所構内の資機材、車両等の設置状況を踏まえ、竜巻防護施設等に衝突する可能性のある飛来物を抽出する。

乾式キャスクに対する設計飛来物は、運動エネルギー及び貫通力を踏まえ、大型車両を設定する。

表3.3.1に乾式キャスクにおける設計飛来物の諸元を示す。

②設計飛来物の速度設定

速度の設定にあたっては、設計飛来物の運動方程式等を用いて速度等を算出している。

③衝撃荷重の設定 (W_M)

表3.3.1の設計飛来物等について、衝突方向（天井部への衝突は鉛直、側面部への衝突は水平）を考慮して竜巻防護施設等に衝突した場合の評価対象物の質量及び速度により衝撃荷重 (W_M) を算出する。

表 3.3.1 玄海原子力発電所における設計飛来物の諸元 ($V_D=100\text{m/s}$)

飛来物の種類	大型車両
サイズ(m)	長さ×幅×奥行
	12×2.5×3.75
質量(kg)	15,400
最大水平速度(m/s)	42
最大鉛直速度(m/s)	28
運動エネルギー(水平)(kJ)	13,600
運動エネルギー(鉛直)(kJ)	6,050

(5) 設計竜巻荷重の組合せ

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 (W_W)、気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は米国原子力規制委員会の基準類を参考として、以下の式により算定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

W_{T1} , W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_W : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_P : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

なお、評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ施設の特徴に合わせて作用させる。

3.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重

評価対象施設に自重等の常時作用する荷重及び内圧等の運転時荷重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲及び積雲に伴って発生する現象であり^{※1}、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡されることから、設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として考慮しない。

なお、竜巻と同時に発生する自然現象については、今後も継続的に新たな知見等の収集に取り組み、必要な事項については適切に反映を行う。

①雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷によるプラントへの影響は、雷撃であるため雷による設計竜巻荷重への影響はない。

②雪

影響の程度として竜巻は数分程度の極めて短い期間、積雪は年間でも冬季に限定された数日である。竜巻通過前に積雪があったとしても大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

③ひょう

ひょうは、積乱雲から降る直径5mm以上の氷の粒であり、仮に直径10cm程度の大きさのひょうを想定した場合、その重量は約0.5kgである。

竜巻とひょうが同時に発生する場合においても、10cm程度のひょうの終端速度は59m/s^{※2}、運動エネルギーは約0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

④雨

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

※1：雷雨とメソ気象 大野久雄、東京堂出版

※2：一般気象学 小倉義光、東京大学出版会

(3) 設計基準事故時荷重

評価対象施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋には、考慮すべき設計基準事故による荷重はない。

3.4 施設の構造健全性の確認

3.4.1 概要

設計竜巻の最大風速 V_D 等に基づき設定した設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重を適切に組み合わせた設計荷重に対して、評価対象施設、あるいは竜巻防護施設を内包する区画の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

3.4.2 建屋及び構築物の構造健全性の確認

設計荷重に対して、建屋及び構築物の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定

竜巻防護施設を内包する施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設に対し、建屋及び構築物の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって評価対象施設に生じる変形や応力等を算定する。

①複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価

設計竜巻による複合荷重 W_{T1} (W_P)、 W_{T2} ($W_W + 0.5W_P + W_M$) により生じるせん断ひずみ、層間変形角又は応力等を算定する。

②設計飛来物の衝突に対する評価

飛来物衝突による貫通及び裏面剥離厚さを算定する。

「①複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価」及び「②設計飛来物の衝突に対する評価」の評価結果より竜巻防護施設を内包する区画の健全性が維持できない場合は、竜巻防護施設への影響評価を実施する。

(2) 構造健全性の確認結果

①竜巻防護施設を内包する施設

(a) 複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する評価

i. 構造骨組の評価

地震応答解析モデルにおける部材ごとに算定したせん断ひずみ又は層間変形角が、許容限界を超えないことを確認する。

ii. 外壁及び屋根の評価

設計竜巻による複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} により生じる鉄筋等のひずみが、許容限界を超えないことを確認する。

また、屋根に発生する応力が、許容限界を超えないことを確認した。

(b) 設計飛来物の衝突に対する評価

i. 建屋の外壁及び屋根

飛来物の衝突に対する貫通又は裏面剥離を生じないための必要最小厚さと、建屋の外壁又は屋根の最小厚さを比較し、貫通又は裏面剥離を生じないことを確認する。

②竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

1.2.2 より、施設倒壊により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として送電線鉄塔が抽出されたが、使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離と送電線鉄塔の高さから、波及的影響評価対象に該当しない。

3.5 竜巻随件事象に対する評価

竜巻を起因とする二次的影響として、火災、溢水、外部電源喪失事象が考えられる。

火災については、6条（外部火災）において説明する。

溢水については、竜巻防護施設である乾式キャスクは単純で頑丈な構造の金属製の静的機器（容器）であり、外部から動力の供給を必要としないため、溢水事象を想定しても必要とされる安全機能を損なわないことから、溢水から防護すべき対象設備に該当しない。また、屋外の水タンク等から使用済燃料乾式貯蔵建屋は離れており、水タンク破損等による溢水はT.P.+24.5mに設置した使用済燃料乾式貯蔵建屋周りに滞留することなく、T.P.+11.0mの敷地に向かって流れることから問題になることはない。

外部電源喪失事象については、竜巻防護施設である使用済燃料乾式貯蔵容器は電源を必要としないため、問題になることはない。

設計飛来物の選定と評価に使用するパラメータ

目 次

1. 設計飛来物選定の考え方
2. 設計飛来物の選定
3. 設計飛来物の速度等

添付資料 1 空力パラメータ、飛来物の運動エネルギーの算出式

添付資料 2 想定飛来物の運動方程式

添付資料 3 設計飛来物の浮き上がりに関する評価について

1. 設計飛来物選定の考え方

乾式貯蔵施設に対する設計飛来物は、発電所構内外からの飛来物を考慮し、風圧力による荷重によって大きな運動エネルギー及び高い貫通力を与えるものを設計飛来物として選定する。

2. 設計飛来物の選定

設計飛来物は、ウォークダウンにて浮き上がる資機材等のうち最も大きな運動エネルギー及び高い貫通力を与える飛来物を選定した。選定結果については、表 2.1 に示す。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (1/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 ハ [°] ラ [°] ダ ^{※1} (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
柔(一部脚)	塊状 コンテナ	2.4	2.6	6	2300	0.01040	○	3213	7	340	竜巻影響評価ガイド記載
柔(一部脚)	塊状 マイクروبラス	6.99	2.04	2.58	3813	0.00650	○	4363	9	310	想定資機材
柔(一部脚)	塊状 バス いすゞGALA	11.99	2.49	3.75	15370	0.00361	○	13513	13	222	想定資機材
柔(一部脚)	塊状 移動式トレーラ	17.345	2.49	2.481	18980	0.00257	×	13703	17	162	
柔(一部脚)	塊状 オールドレーンクレーン ATF-220G5	13.43	3	3.99	40110	0.00174	×	20635	16	98	
柔(一部脚)	塊状 油圧ショベル	7.61	2.49	2.76	14690	0.00210	×	9108	12	128	
柔(一部脚)	塊状 ユニック車	8.175	2.26	3.04	5080	0.00652	○	5821	9	310	
柔	塊状 12ftコンテナ	3.658	2.438	2.591	6000	0.00272	○	4495	8	171	
柔	塊状 20ftコンテナ	6.058	2.438	2.896	9000	0.00289	○	6998	10	182	
柔	塊状 電気自動車	3.4	1.5	1.92	1110	0.00863	○	1432	6	332	
柔	塊状 収納容器	5.25	1.81	1.12	1251	0.00918	○	1657	7	335	
柔	塊状 ホースコンテナ	4.88	2.27	2.15	3000	0.00582	○	3275	7	297	
柔(一部脚)	塊状 ホイールローダ(大)	8.14	2.85	3.48	20675	0.00196	×	12033	12	116	

※1:空力ハ[°]ラ[°]ダが0.0025以上で浮き上がる。

※2:空力ハ[°]ラ[°]ダが0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算値外になるので「-」としている。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (2/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 ハ [°] ラ [°] ク [°] ※1 (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離※2 (m)	備考
柔(-部脚)	塊状	5.755	2.3	3	14000	0.00176	×	7303	10	100	
柔(-部脚)	塊状	3.7	2.25	2.475	5040	0.00302	○	4023	8	190	
柔(-部脚)	塊状	5.31	2.08	3.15	7300	0.00310	○	5919	9	195	
柔(-部脚)	塊状	12.75	2.495	3.5	35000	0.00161	×	16320	16	86	
柔(-部脚)	塊状	2.8	1.2	2.1	3300	0.00235	×	2238	8	146	
柔(-部脚)	塊状	0.91	0.69	0.955	290	0.00491	○	295	4	273	
柔(-部脚)	塊状	3.88	1.855	1.795	2310	0.00500	○	2362	7	276	
柔(-部脚)	塊状	7.08	2.28	2.85	7550	0.00374	○	6755	10	228	
柔(-部脚)	塊状	9.29	2.49	3.7	21846	0.00202	×	13041	13	121	
柔(-部脚)	塊状	9.27	2.49	2.915	9284	0.00408	○	8657	11	243	
柔(-部脚)	塊状	5.38	1.48	2.25	7280	0.00212	×	4546	11	129	
柔(-部脚)	塊状	17.6	3.7	5.399	52050	0.00228	×	34511	17	141	
柔(-部脚)	塊状	8.38	2.49	3.28	12200	0.00306	○	9809	12	192	

※1:空力ハ[°]ラ[°]クが0.0026以上で浮き上がる。

※2:空力ハ[°]ラ[°]クが0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算領域外になるので「-」としている。

表2.1 設計飛来物の選定結果 [$V_0=100\text{m/s}$] (3/3)

分類	名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力 パラメータ ^{※1} (m^2/kg)	浮き上がり 有無 ○：浮く ×：浮かない	運動 エネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	飛散距離 ^{※2} (m)	備考
乗(一部脚)	塊状 警察車両(パトカー)	4.86	1.78	1.72	1620	0.00818	○	2043	7	329	
乗(一部脚)	塊状 消防車(タンク車)	7.5	2.49	2.85	7720	0.00403	○	7159	10	241	
乗(一部脚)	塊状 警察車両(装甲車)	5.26	2.13	2.62	7330	0.00275	○	5534	10	174	
乗(一部脚)	塊状 高压発電機車	6.83	2.15	3.36	7700	0.00384	○	6981	10	233	
乗(一部脚)	塊状 大型化学高所放水車	10.03	2.49	3.52	18885	0.00241	×	13048	14	151	
乗(一部脚)	塊状 トラック(三菱ふそうスーパー パワーダンプトラック)	11.99	2.49	3.255	24890	0.00204	×	15030	15	123	
乗(一部脚)	塊状 10tダンプトラック(いすゞ ギガ)	7.73	2.49	3.4	19905	0.00179	×	10559	12	102	
乗(一部脚)	塊状 ハイエース	5.38	1.88	2.285	3240	0.00544	○	3437	8	288	
乗(一部脚)	塊状 キャラバン	5.23	1.88	2.285	3330	0.00517	○	3455	8	281	
剛	塊状 コンクリートウエイト	3	1.4	1.4	13600	0.00050	×	1606	7	-	
剛	塊状 コンクリートウエイト	1.5	1.5	1.5	7800	0.00057	×	201	2	-	

※1:空力パラメータが0.0026以上で浮き上がる。

※2:空力パラメータが0.04以上又は0.00077未満は飛散距離は計算領域外になるので「-」としている。

3. 設計飛来物の速度等

大型車両については、玄海原子力発電所におけるウォークダウンによる敷地全体を俯瞰した調査・検討結果及び構外からの飛来物の検討結果に基づき、設計飛来物の運動方程式等を用いて速度等を算出している。

本評価においては、大型車両の速度（水平：42m/s、鉛直：28m/s）の運動エネルギーの耐力で竜巻防護対策施設及び竜巻防護施設を内包する施設の設計及び健全性評価を実施している。

設計飛来物のパラメータを表 3.1 に示す。

表 3.1 玄海原子力発電所における設計飛来物の速度 ($V_D=100\text{m/s}$)

飛来物の種類		大型車両
サイズ(m)		長さ×幅×奥行き
		12×2.5×3.75
質量(kg)		15,400
評価に用いる 飛来物の諸元	最大水平速度 (m/s)	42
	最大鉛直速度 (m/s)	28
	運動エネルギー(水平) (kJ)	13,600
	運動エネルギー(鉛直) (kJ)	6,050
	貫通限界厚さ(水平) (mm)	13
	貫通限界厚さ(鉛直) (mm)	8

空力パラメータ、飛来物の運動エネルギーの算出式

竜巻の気流性状をランキン渦と仮定し、空気力学モデルによる運動方程式に基づき飛来物の水平最大速度を算出する知見は数が少ない。

想定飛来物の運動エネルギー及び空力パラメータ等の算出はガイドの参考文献（3）※¹を参照することにより、保守的な設定ができると考えられるためガイドの参考文献を活用した。

1. 空力パラメータ

空力パラメータの算出式は（1）式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m} \dots (1)$$

ここで、 m ：飛来物の質量、 A_1, A_2, A_3 ：飛来物の受圧面積、

c ：係数（0.33）、 C_{D1}, C_{D2}, C_{D3} は飛来物の抗力係数であり、飛来物の形状より表 1.1 とする。

また、 $A_1 = \text{長さ} \times \text{幅}$ 、 $A_2 = \text{幅} \times \text{高さ}$ 、 $A_3 = \text{高さ} \times \text{長さ}$ とする。

浮き上がり条件については添付資料 3 に示す。

表 1.1 飛来物の抗力係数

想定飛来物形状	c	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
塊状物体	0.33	2.0	2.0	2.0
板状物体	0.33	2.0	1.2	1.2
棒状物体	0.33	2.0	0.7	0.7

2. 飛来物の運動エネルギー

飛来物の運動エネルギーは（2）式により算出する。

$$\text{運動エネルギー} = \frac{mV_{\max}^2}{2} \dots (2)$$

※¹：東京工芸大学：「平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書、平成 23 年 2 月

想定飛来物の運動方程式

1. 飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さ

竜巻影響評価において飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さは、竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を計算する。

仮定する風速場は鉛直方向には構造が変化しないランキン渦とし、その風速場の中で、質点系にモデル化した飛来物が、相対速度の2乗に比例した抗力を受けるものとし、想定飛来物の運動方程式は(1)式^{*1}にて求められる。

$$m\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} \rho C_D A (V(x(t)) - \dot{x}(t)) |V(x(t)) - \dot{x}(t)| - mgJ \cdots (1)$$

m : 飛来物の質量、 A : 代表面積、

C_D : 抗力係数 (3方向の面積で重みづけした平均)

$x(t)$: 時刻 t での飛来物の位置

$\dot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の速度

$\ddot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の加速度

$V(x(t))$: 時刻 t での飛来物位置での風速

ρ : 空気密度、 g : 重力加速度、 J : 重力方向成分のみ 1、他成分は 0 ベクトル
評価においては時間刻みを 0.01 秒とし、(1) 式を離散化することで計算をした。

図 1.1 に飛来物軌跡評価のイメージを示す。

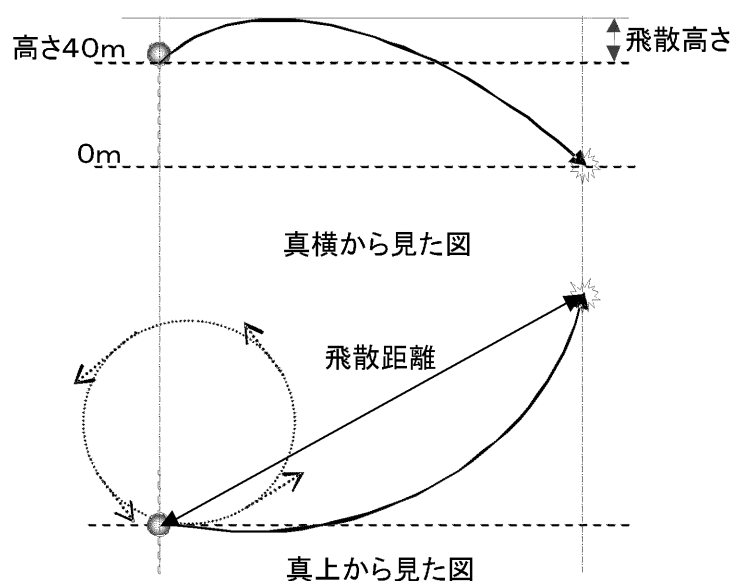


図 1.1 飛来物の軌跡評価イメージ

飛来物となりうる物体は、現実には地上面に設置されている。

本評価における飛来物放出の初期位置は高さ 40mと浮上しており、ランキン渦の各風速成分を受けることになり、初期状態から上昇流を受けることになる。また、地上面と接触していないため、飛来物の横移動に関して摩擦係数を考慮するようなことはしていない。

以上より、本評価における飛来物の最大速度、飛散距離及び飛散高さは保守的な評価と考える。

※1 : Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976

2. 本評価の妥当性について

想定飛来物の運動方程式を使って、文献「東京工芸大学、“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究 成果報告書、平成 23 年 2 月」の p. 237 に示されている竜巻条件に相当する計算条件にて、「飛来物最大水平速度」 V_h^{\max} を求め双方を比較した論文が日本流体力学会年会 2013 にて発表^{※2}されている。

図 2.1 に論文より抜粋した文献との比較を示す。

本論文の結論に、「LES 解析結果に基づく非定常風速場を用いる既往研究結果との比較により、竜巻風速場が飛来物速度に与える影響について評価したところ、物体特性 $C_D A/m$ の大小によって V_h^{\max} の相対的な大小関係が逆転する傾向が見られるが、竜巻の風速場をランキン渦でモデル化した場合の結果は LES 解析結果に基づく結果と良く整合することが判明した。」と報告されている。

※2 : 「移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物速度の評価」電中研：江口 譲、杉本 聡一郎、服部 康男、平口 博丸

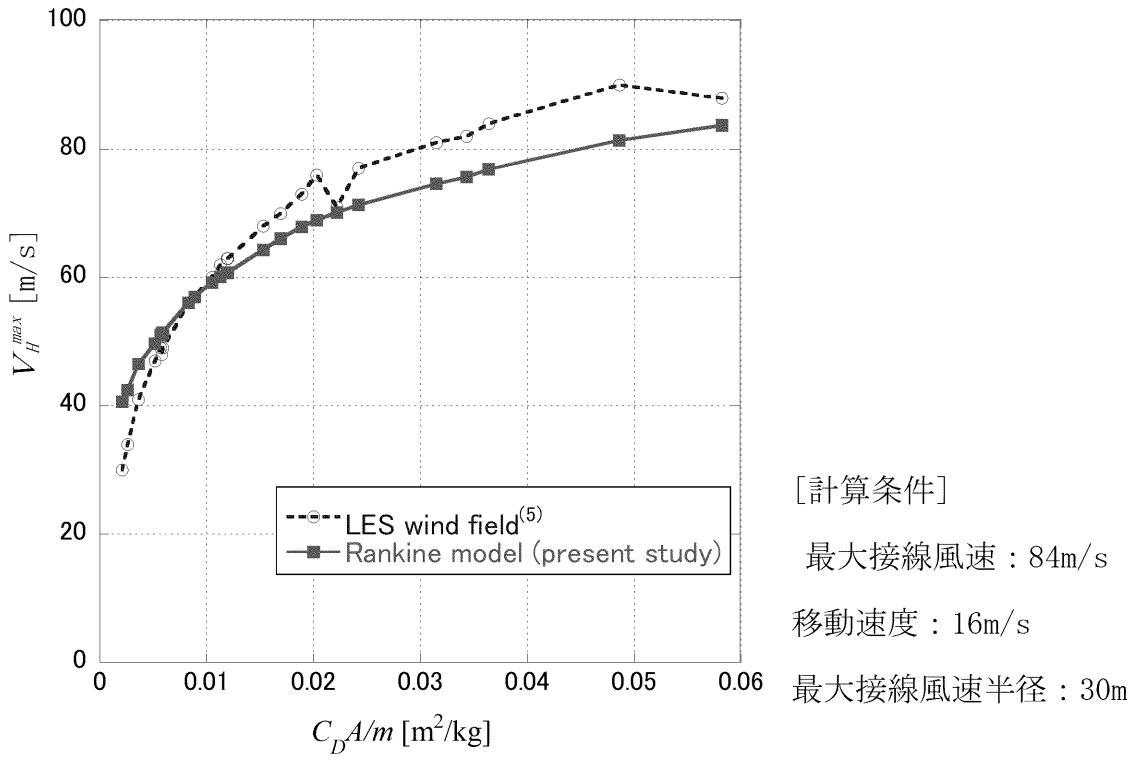


図 2.1 文献との比較

設計飛来物の浮き上がりに関する評価について

1. 浮き上がり条件及び考察

(1) 浮き上がり条件

a. 想定飛来物の計算概要

竜巻の風速場はランキン渦モデルから得られる周方向風速 V_θ に径方向 V_r 、上昇風速 V_z 、移動方向 V_{tr} を加えたものとしている。(図 1.1)

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_z = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot}$$

$$V_{rot} = \begin{cases} \frac{r}{R_m} V_m & \text{if } 0 \leq r \leq R_m \\ \frac{R_m}{r} V_m & \text{if } R_m \leq r \end{cases}$$

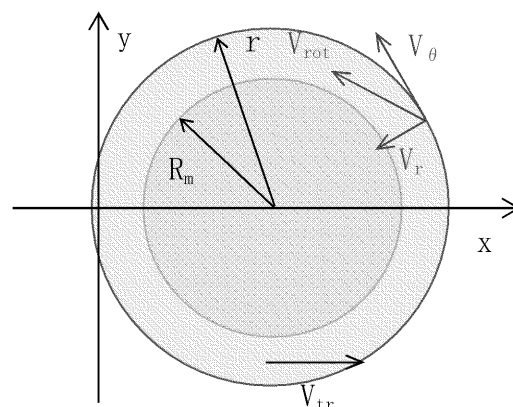


図 1.1 ランキン渦モデルのベクトル図

ただし、 $V_{rot} = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2}$ 、 $(V_\theta, V_r, V_z) = V_\theta(1, 1/2, 2/3)$ の関係^{*1}があり、静止観測者からみた最大水平風速 V_D は、以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_{tr}$$

V_θ : 渦の周方向風速、 V_r : 渦の半径方向風速、 V_z : 渦の上昇風速、

V_{tr} : 渦の移動速度、 V_{rot} : 渦の旋回風速、

R_m : 渦コア半径 (渦の水平風速が最大となる半径)、 V_m : 渦の最大旋回風速

※1: 文献「J. R. McDonald, K. C. Mehta, and J. E. Minor “Tornado-Resistant Design of nuclear Power-Plant Structures (NUCLEAR SAFETY, Vol. 15, No. 4, July-August 1974)」において以下のように示されている。

$$V_r = \frac{1}{2} V_\theta, \quad V_z = \frac{2}{3} V_\theta$$

従って、

$$V_{rot} = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} V_\theta\right)^2 + V_\theta^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} V_\theta \text{ より}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot}$$

よって

$$V_z = \frac{2}{3} V_\theta = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot}$$

b. 想定飛来物の運動方程式（添付資料2再掲）

竜巻は時刻 $t = 0$ において原点に位置し、 x 方向に一定移動速度 V_{tr} で移動するものとする。

想定飛来物の運動方程式は (1) ⁽¹⁾ ⁽²⁾ 式にて求める。

$$m\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} \rho C_D A (V(x(t)) - \dot{x}(t)) |V(x(t)) - \dot{x}(t)| - mgJ \cdots (1)$$

m : 飛来物の質量

A : 代表面積

C_D : 抗力係数（3方向の面積で重みづけした平均）

$x(t)$: 時刻 t での飛来物の位置

$\dot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の速度

$\ddot{x}(t)$: 時刻 t での飛来物の加速度

$V(x(t))$: 時刻 t での飛来物位置での風速

ρ : 空気密度

g : 重力加速度

J : 重力方向成分のみ 1 のベクトル、他の成分は 0 ベクトル

c. 計算条件

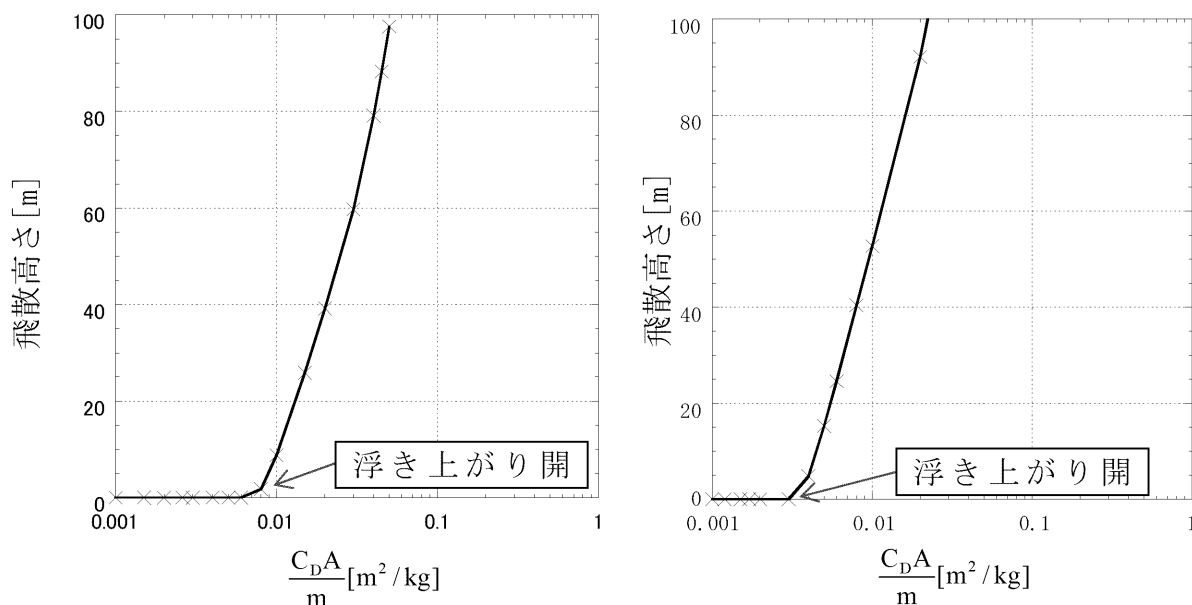
竜巻風速 F 2 ($V_D = 69\text{m/s}$) 及び ($V_D = 100\text{m/s}$) の諸元を表 1.1 に示す。

表 1.1 竜巻風速 F 2 ($V_D = 69\text{m/s}$) 及び ($V_D = 100\text{m/s}$) の諸元

諸元	記号	F 2 (69m/s) 竜巻	100m/s 竜巻
最大風速 (m/s)	V_D	69	100
移動速度 (m/s)	V_{tr}	10	15
最大旋回風速 (m/s)	V_m	59	85
最大風速半径 (m)	R_m	30	30
空気密度 (kg/m^3)	ρ	1.22	
重力加速度 (m/s^2)	g	9.80665	

d. 計算結果

空力パラメータ ($C_D A/m$) と飛散 (浮き上がり) 高さの関係は図 1.2 になる。



(a) F 2 ($V_D=69\text{m/s}$) 竜巻

(b) ($V_D=100\text{m/s}$) 竜巻

図 1.2 空力パラメータと飛散高さの関係

e. 浮き上がり条件

飛散 (浮き上がり) 高さが正となる条件は理論的に (2) 式となる。

$$\frac{C_D A}{m} \geq \frac{2g}{\rho \frac{4V_m}{3\sqrt{5}} \sqrt{V_D^2 + \left(\frac{4V_m}{3\sqrt{5}}\right)^2}} \dots \dots (2)$$

竜巻風速 (F 2 : $V_D=69\text{m/s}$) の場合 : $C_D A/m=0.0059$

竜巻風速 ($V_D=100\text{m/s}$) の場合 : $C_D A/m=0.0028$

浮き上がり条件を表 1.2 に示す。

表 1.2 浮き上がり条件

項 目	F 2 (69m/s) 竜巻	100m/s 竜巻
空力パラメータ $C_D A/m$	0.0059 以上	0.0028 以上 [※]

※飛来物発生防止対策においては、保守的に空力パラメータ 0.0026m²/kg 以上の資機材等に対して対策を実施する。

(2) 考察

空力パラメータを用いた資機材等の浮き上がりと飛散状況について、気象庁藤田スケールにおける被害状況に記述されている自動車を対象として比較をする。

a. 乗用車の空力パラメータ

(乗用車の寸法及び質量)

長さ×幅×奥行き(高さ) : $4.6 \times 1.6 \times 1.4$ [m]

質量 (m) : 2,000 [kg]

(空力パラメータ算出式) ⁽³⁾

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$$

$$C_{D1} = C_{D2} = C_{D3} = 2.0$$

$$A_1 = 4.6 \times 1.6, \quad A_2 = 1.6 \times 1.4, \quad A_3 = 4.6 \times 1.4$$

$$\text{乗用車の空力パラメータ } (C_D A/m) = \underline{0.0053} [\text{m}^2/\text{kg}]$$

b. 理論式と藤田スケール (Fスケール) の被害指標と比較

藤田スケール (Fスケール) の被害指標 (気象庁HPより) を表 1.3 に示す。

① F 2 レベル (風速 69m/s) の場合

浮き上がり条件が 0.0059 以上であり、ほぼ同じ値であり、乗用車が浮き始める状態になっていると考えられる。(横滑り距離 : 139m)

藤田スケール被害状況では、「自動車が道から吹き飛ばされる。」となっている。

② F 4 レベル (風速 100m/s) の場合

浮き上がり条件が 0.0028 以上であり、乗用車の空力パラメータが大きいので、浮き上がりする状態になっていると考えられる。(飛散距離 : 284m)

藤田スケール被害状況では、「自動車は何十メートルも空中飛行する。」となっている。

以上、空力パラメータを用いた飛散状況については、気象庁藤田スケールにおける被害状況と比較して保守的な結果になると判断できる。

表 1.3 藤田スケールによる被害指標（気象庁HPより）

スケール	風 速	被 害 指 標
F0	17 ～32m/s (約15 秒間の平均)	テレビアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33 ～49m/s (約10 秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木の幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50 ～69m/s (約7 秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70 ～92m/s (約5 秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車が持ち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半は折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93 ～116m/s (約4 秒間の平均)	住家がバラバラになってあたりに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1 トン以上もある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117 ～142m/s (約3 秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などが持ち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

【参考文献】

- (1) Simiu, Emil, and Robert H. Scanlan, Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.
- (2) Simiu and M. Cordes, NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976.
- (3) 東京工芸大学: 「平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究 成果報告書、平成 23 年 2 月

2. 設計飛来物の浮き上がりに関する考え方の保守性について

飛来物の軌跡評価は図 2.1 に示すように、竜巻の風速場に地上 40m 地点に飛来物を置き、これを起点として軌跡評価を実施している。(添付資料 2)

飛来物が受ける竜巻風速は以下となる。

(条件) 竜巻最大風速半径 (Rm) = 30m

竜巻旋回風速 (Vm) = 85m/s

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{5}} V_{rot} = 38.1 \text{ m/s}$$

$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot} = 76.1 \text{ m/s}$$

$$V_z = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot} = \underline{50.7 \text{ m/s}}$$

$$V_{rot} = 85 \text{ m/s}$$

(V_r、V_θ、V_z、V_{rot} の考え方は資料 5-添付資料 3-1 1. 項参照)

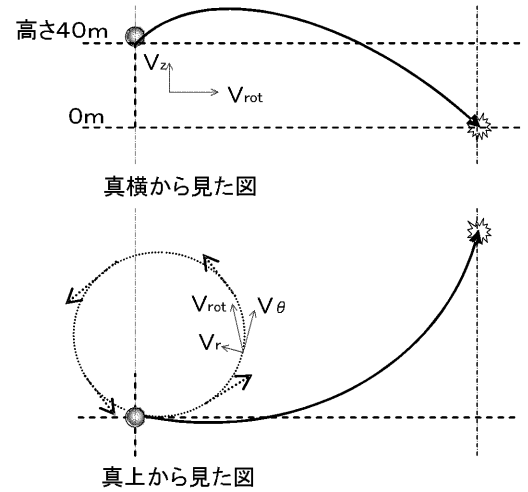


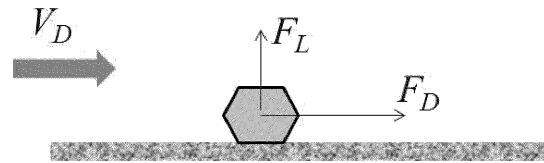
図 2.1 飛来物の軌跡イメージ (風向きベクトル記載)

飛来物の軌跡評価において、飛来物は風速 50.7m/s の上昇流を受けている。

物体が揚力により浮き上がりする条件は以下で表される。

$$F_L = \frac{\rho V_D^2 c_L a}{2} > mg$$

① 図 2.2 地上物体が受ける風圧力による荷重



ここで、c_Lは地上での揚力係数、aは地上での見附面積である。

一方、1. (1) . e の (2) 式で V_m=0.85V_D (V_r=0.15V_D) の関係を用いると (2) 式は以下ようになる。

$$\frac{C_D A}{m} \geq \frac{2g}{\rho \frac{17V_D}{15\sqrt{5}} \sqrt{V_D^2 + \left(\frac{17V_D}{15\sqrt{5}}\right)^2}} = \frac{2g}{\rho \frac{17\sqrt{1414}V_D^2}{1125}} \approx 3.52 \frac{g}{\rho V_D^2} \quad ②$$

そこで、①式の左辺が式②の左辺の形になるように変形して (以下)、両者を比較する。

$$\frac{C_D A}{m} \geq 2 \left(\frac{C_D A}{c_L a} \right) \frac{g}{\rho V_D^2} \quad ③$$

従って、(2) 式が地上物体の浮き上がり条件として保守的に適用できる条件は以下のようになる。

$$\frac{C_D A}{c_L a} > \frac{3.52}{2} = 1.76 \quad ④$$

ここで、例として、直径 d 、長さ $14.1d$ の円柱の場合について、式④の成立性を確認する。図 2.3 (出展 : EPRI NP-748) より、

$$C_{La} = 0.2 \times d \times 14.1d = 2.8d^2$$

と算出される。

また、

$$C_{DA} = 0.33(0.7 \times d \times 14.1d + 0.7 \times d \times 14.1d + 2.0 \times \pi \times (d/2)^2) = 7.1d^2$$

であることから、

$C_{DA}/C_{La} = 7.1/2.8 = 2.5$ となり、式④を満たす。従って、(2) 式は地上に置かれた円柱の浮き上がり条件としても保守的に適用できることが分かる。また、一般的に、地上風は地面の影響により減速するため、式④自体に保守性があるので、他の物体に対しても保守的に適用しうるものと考えられる。

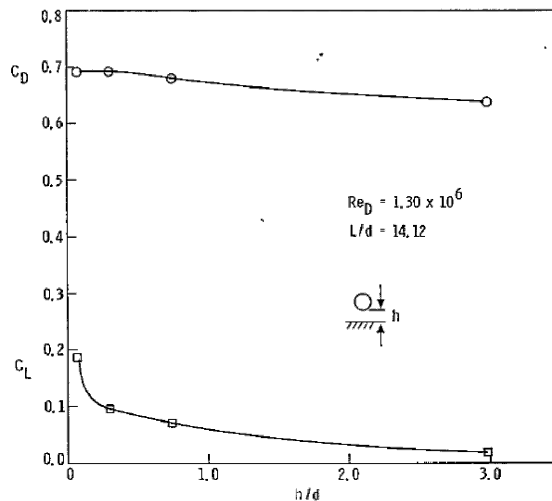


Fig. 3-19. Effect of distance from ground plane on the drag and lift coefficients of open circular cylinder (length/diameter = 14.1) normal to flow ($\psi = 90^\circ$) in supercritical Reynolds Number regime

(出典 : Wind Field and Trajectory Models for Tornado Propelled Objects, EPRI NP-748, p.3-23, 1978.)

図 2.3 円柱の場合の揚力係数と浮き上がり高さの関係図

3. 地上物体が受ける応力・揚力について (①式の考え方)

図3.1及び図3.2に地上にある物体に対して無風時に作用する力と竜巻時に作用する力の概念図を示す。

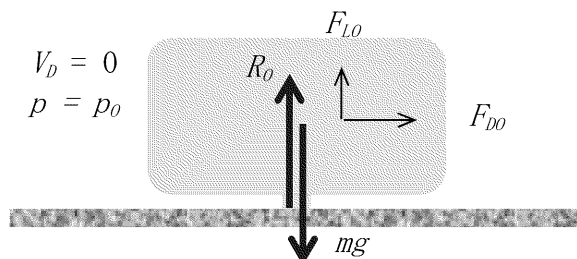


図 3.1 無風時に作用する力

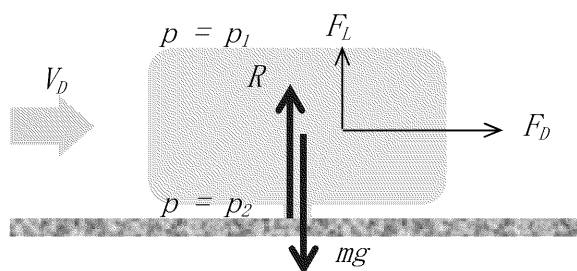


図 3.2 竜巻時に作用する力

【定義】

p_0 : 無風時圧力

p_1 : 竜巻通過時の物体上面圧力

p_2 : 竜巻通過時の物体下面圧力

V_D : 地面での風速

R_0 : 無風時の物体が地面から受ける反力

R : 物体が地面から受ける反力

F_D : 流れ方向流体力

F_L : 流れ直交方向流体力

A : 物体の地面への投影面積

s : 物体と地面の完全接触面積

σ : 物体と地面の完全接触面での応力

無風時は物体が流体に接する全表面で圧力は一定 p_0 とみなせるので、鉛直方向に作用する流体力 F_{L0} は以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \quad \text{⑤}$$

鉛直方向の力の釣り合い式より

$$F_{Lo}+R_o-mg=0 \quad \text{⑥}$$

物体と地面の完全接触面での応力 σ_o は以下で表される。

$$\sigma_o = \frac{R_o}{s} = \frac{mg}{s} + p_o \quad \text{⑦}$$

竜巻通過時は物体に圧力差に伴う流体力が作用する。ここでは、簡単のために上面で圧力は一定 p_1 、下面で圧力は一定 p_2 と仮定すると流れ直交方向（鉛直方向の）流体力 F_L は以下のように計算される（圧力分布がある任意形状の物体についても圧力の表面積分を用いれば同様に計算できる）。

$$F_L = -p_1A + p_2(A-s) \quad \text{⑧}$$

従って、鉛直方向の力の釣り合い式として、以下が成立する。

$$F_L + R - mg = 0 \quad \text{⑨}$$

また、物体と地面の完全接触面での応力 σ は以下で表される。

$$\sigma = \frac{R}{s} = \frac{mg + (p_1 - p_2)A + p_2s}{s} = \sigma_o + \frac{(p_1 - p_2)A + (p_2 - p_o)s}{s} \quad \text{⑩}$$

従って、地上に無拘束で置かれている物体の浮き上がり条件は、以下のように式⑨で $R=0$ とすることにより表される。

$$F_L - mg = 0 \quad \text{つまり、} -p_1A + p_2(A-s) - mg = 0 \quad \text{⑪}$$

一方、地上での揚力係数 c_L は、 a を地上での見附面積として、以下で定義される。

$$c_L = \frac{F_L - F_{Lo}}{0.5\rho V_D^2 a} \quad \text{⑫}$$

これに式⑤及び浮き上がり条件式⑪を代入すると以下を得る。

$$\frac{1}{2}\rho V_D^2 a c_L = mg + p_o s \quad \text{⑬}$$

$p_o s > 0$ を考慮すると、 $\frac{1}{2}\rho V_D^2 c_L a > mg$ が浮き上がりのための必要条件となる。つまり、 $\frac{1}{2}\rho V_D^2 c_L a > mg$ の条件によって浮き上がりの可能性を保守的に評価することができる。

建屋・構築物等の構造健全性の確認

目 次

1. 概要
2. 評価対象施設
3. 設計竜巻荷重の設定
4. 竜巻防護施設を内包する施設の評価

- 添付資料 1 風力係数の設定に関する補足説明
- 添付資料 2 竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち外壁及び屋根の評価に関する補足説明
- 添付資料 3 竜巻防護施設を内包する施設の評価のうち貫通・裏面剥離評価に関する補足説明

1. 概要

設計竜巻による荷重及びその他の組み合わせるべき荷重（以下「設計荷重」という。）に対して、建屋の構造健全性が維持されていることを確認する。

(1) 設計荷重によって建屋に生じる変形、応力等の算定

建屋の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって評価対象施設に生じる変形、応力等を算定する。

(2) 構造健全性の確認

(1) で算定した変形、応力等に基づき、評価対象施設が以下の構造健全性評価基準を満足していることを確認する。

a. 竜巻防護施設を内包する施設

設計荷重に対し、竜巻防護施設を内包する施設が倒壊しないこと、施設の各部位が損壊しないこと及び竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認する。

2. 評価対象施設

(1) 竜巻防護施設を内包する施設

①使用済燃料乾式貯蔵建屋

竜巻防護施設を内包する施設の配置図を第2-1図に示す。



「」: 防護上の観点から公開できません

第2-1図 竜巻防護施設を内包する施設の配置図

3. 設計竜巻荷重の設定

(1) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値を第3-1表に示す。

第3-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP (N/m ²)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	8,900	45

(2) 設計竜巻による風圧力による荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D によって施設に作用する設計竜巻による風圧力による荷重 W_w は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（原子力規制委員会、平成26年9月17日改定）（以下「ガイド」という。）」に基づき、「建築基準法・同施行令」、「建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会、2004年改定）」及び「建設省告示1454号」に準拠して、下式により算定する。同式において、ガスト影響係数(G)は $G=1.0$ とする。また、風力係数 C は、施設の形状及び風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。風力係数の設定の詳細は、添付資料1に示す。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数(=1.0)

C : 風力係数

A : 施設の受圧面積

(3) 設計竜巻による気圧差による荷重の設定

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差によって生じる気圧差による荷重 W_p は、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ここで、

ΔP : 最大気圧低下量

$$\Delta P = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度

V_{Rm} : 設計竜巻の最大接線風速

A : 施設の受圧面積

(4) 設計飛来物による衝撃荷重の設定

設計飛来物の諸元を第3-2表に示す。玄海原子力発電所におけるウォークダウンによる敷地全体の調査・検討結果に基づき、設計飛来物の最大水平速度及び最大鉛直速度を算定する。

第3-2表 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元	大型車両
サイズ (m)	長さ×幅×奥行き
	12×2.5×3.75
質量 (kg)	15,400
最大水平速度 (m/s)	42
最大鉛直速度 (m/s)	28

設計飛来物による衝撃荷重は、建屋の全体的な応答の評価において、設計飛来物と被衝突体の接触時間を設定し、設計飛来物の衝突前の運動量と衝撃荷重による力積が等しいものとする事で、下式により算定する。衝撃荷重 W_M の算定結果を第3-3表に示す。

$$W_M = F_m = m \cdot V/t = m \cdot V^2/L$$

$$I = F_m \cdot t = m \cdot V$$

ここで、

- I : 衝撃荷重による力積(N・s)
- F_m : 静的な値として算定した設計飛来物による衝撃荷重(N)
- m : 設計飛来物の質量(kg)
- V : 衝突速度(m/s)
- t : $t = \frac{L}{V}$ (設計飛来物と被衝突体の接触時間) (s)
- L : 設計飛来物の最も短い辺の全長(m)

第3-3表 衝撃荷重 W_M の算定における評価条件及び結果

設計飛来物の質量 m (kg)	衝突速度 V (m/s)	設計飛来物の最も短い 辺の全長 L (m)	衝撃荷重 W_M (N)
15,400	42	2.5	1.09×10^7

(5) 設計竜巻荷重の組み合わせ

設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 W_w 、気圧差による荷重 W_p 及び設計飛来物による衝撃荷重 W_M を組み合わせた複合荷重とし、以下の式により算定する。

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

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

- W_{T1} 、 W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重
- W_w : 設計竜巻の風圧力による荷重
- W_p : 設計竜巻の気圧差による荷重
- W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

4. 竜巻防護施設を内包する施設の評価

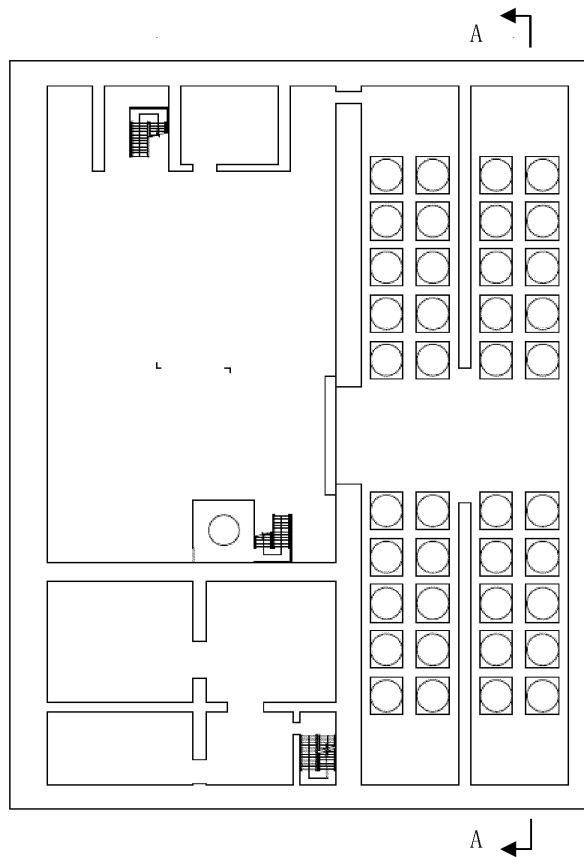
4.1 評価対象施設の概要

(1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

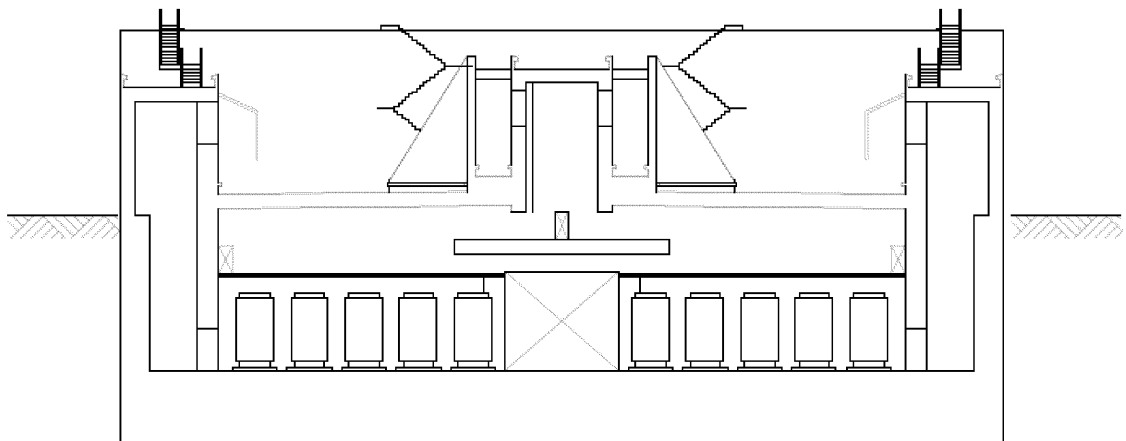
使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要を第4-1表、概略平面図及び概略断面図を第4-1図及び第4-2図に示す。

第4-1表 竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の概要

施設名	構造種別	主要仕上
使用済燃料乾式貯蔵建屋	鉄筋コンクリート造	屋根 : 鉄筋コンクリート 外壁 : 鉄筋コンクリート



第4-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



第4-2図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図
(A-A断面)

4.2 建屋の評価

(1) 概要

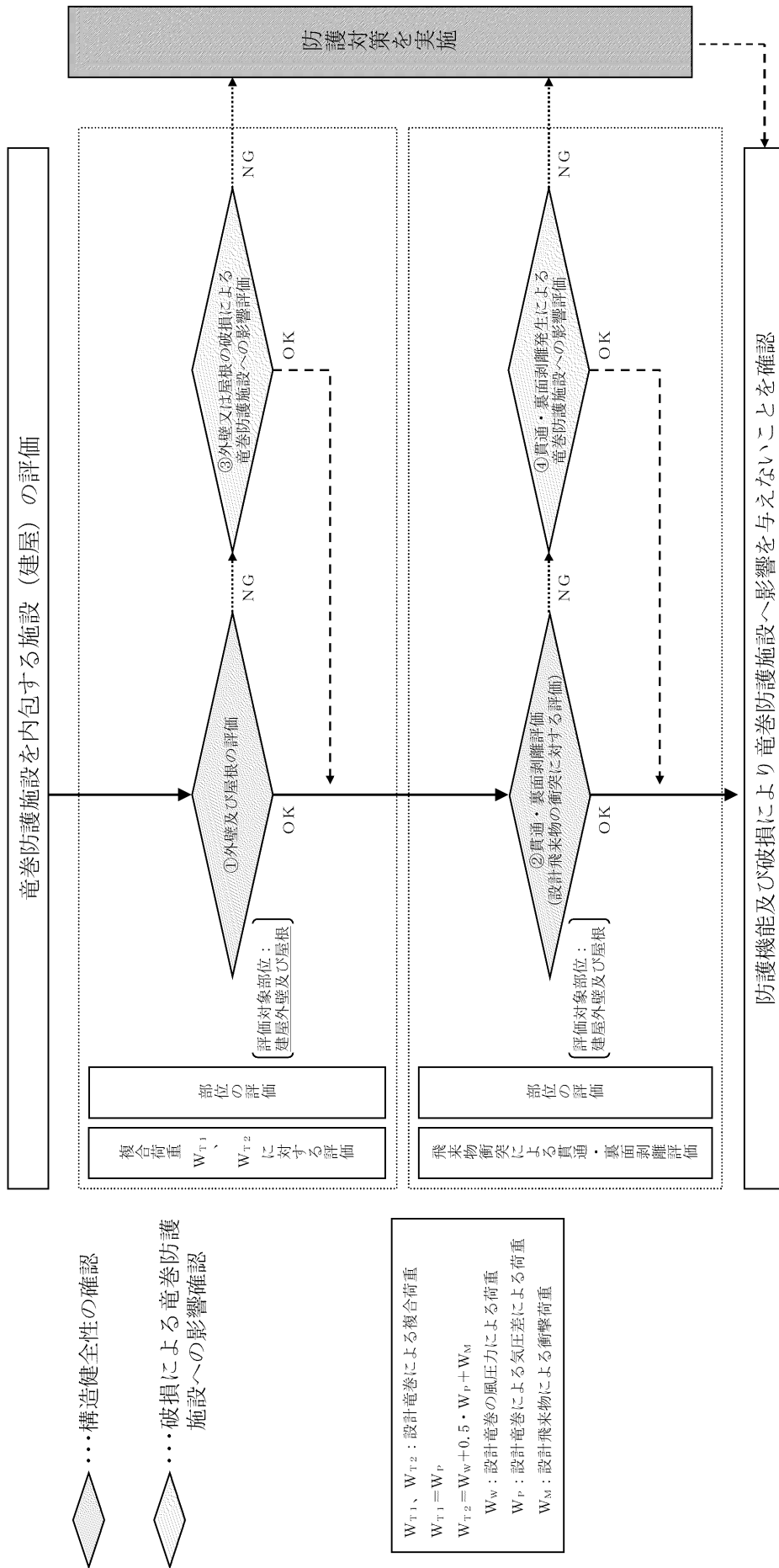
竜巻防護施設を内包する施設に求められる機能は、防護機能及び破損により竜巻防護施設へ影響を与えないことである。

防護機能については、竜巻防護施設を内包する施設の構造健全性を確認することにより、内包する竜巻防護施設が影響を受けないことを確認する。構造健全性の確認は、複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} に対する建屋の部位の評価並びに設計飛来物の衝突に対する貫通・裏面剥離評価を行う。

外壁又は屋根等の竜巻防護施設を内包する施設の各部に破損が生じる場合は、破損により竜巻防護施設へ影響を与えないことを確認する。

竜巻防護施設への影響がある場合は、竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を実施する。

竜巻防護施設を内包する施設の評価フローを第4-3図に示す。また、竜巻防護施設を内包する施設の評価に関する対象荷重及び評価内容を第4-2表に示す。



第4-3 図 竜巻防護施設を内包する施設（建屋）に関する評価フロー

第4-2表 竜巻防護施設を内包する（建屋）の構造健全性の評価内容

	評価項目	評価対象部位	荷重	評価項目	許容限界
①	外壁及び屋根の評価	外壁、屋根	設計飛来物 (大型車両)の衝突	外壁及び屋根の応力等	終局強度以下
②	貫通・裏面剥離評価	外壁及び屋根	設計飛来物 (大型車両)の衝突	外壁及び屋根の最小厚さ	貫通限界厚さ以上
					裏面剥離限界厚さ以上

(3) 外壁及び屋根の評価

a. 評価方法

竜巻防護施設を内包する施設の外壁及び屋根を評価対象とし、設計荷重に対し発生する応力等が、許容限界を超えないことを確認する。

風圧力による荷重 W_w 及び気圧差による荷重 W_p は、設計飛来物による衝撃荷重 W_M に対し、荷重が十分小さいことから考慮しない。

設計飛来物による衝撃荷重 W_M に対する評価については、外壁及び屋根を一方向版とみなし、設計飛来物による衝突力を静的な荷重とした場合の応力を算出し、部材の許容限界（終局強度）を超えないことにより、建屋部材の健全性を確認する。

本評価において評価対象の外壁及び屋根の厚さは、1.0mとする。

b. 評価結果

設計飛来物の衝突に対する外壁及び屋根の発生応力と許容限界の比較を第4-3表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

外壁及び屋根の評価の詳細は、添付資料2に示す。

第4-3表 設計飛来物の衝突に対する評価結果

評価項目	評価結果	許容限界
外壁の発生曲げモーメント(kN・m)	5.054×10^3	6.171×10^3
屋根の発生曲げモーメント(kN・m)	3.055×10^3	3.937×10^3

(5) 貫通・裏面剥離評価

a. 外壁及び屋根

(a) 評価方法

設計飛来物の衝突に対する貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを算定し、外壁及び屋根の最小厚さが貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ以上となるように設計する。

貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの評価は、それぞれ、Degen式及びChang式を用いる。貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの評価式及び入力値の詳細は、添付資料3に示す。

(b) 評価結果

貫通限界厚さを第4-4表、裏面剥離限界厚さを第4-5表に示す。

第4-4表 外壁及び屋根の貫通評価結果

施設名		貫通限界厚さ (cm)	備考
外壁	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	44	
屋根	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	31	

第4-5表 外壁及び屋根の裏面剥離評価結果

施設名		裏面剥離 限界厚さ (cm)	備考
外壁	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	87	
屋根	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	67	

風力係数の設定に関する補足説明

1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設の評価における風力係数の設定について説明するものである。

設計竜巻により施設に作用する風圧力による荷重 W_w の算定において、風力係数は、「建築基準法・同施行令」、「建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会、2004年改定）」及び「建設省告示 1454 号」に準拠して算定する。

2. 竜巻防護施設を内包する施設の評価における風力係数

2.1 外壁及び屋根の評価

陸屋根形状の建屋である使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁に対する風圧力による荷重 W_w 算定において、風力係数は、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説 2004」及び「建設省告示第 1454 号(平成 12 年 5 月 31 日制定)」に準拠して、下式により算定する。

陸屋根形状建屋の外壁に対する風圧力による荷重 W_w 算定に用いる風力係数 C を第 2-1 表に示す。

$$C = C_{pe} - C_{pi}$$

ここで、

C_{pe} : 外圧係数

水平方向では、 $C_{pe}=1.2k_z$ （風上側）、 -0.4 （風下側）

となるため、 $C_{pe}=0.8-(-0.4)=1.2$

k_z : 高さ方向の分布係数

$$k_z=1.0^{*1}$$

C_{pi} : 内圧係数

$$C_{pi}=0.0$$

第 2-1 表 陸屋根形状の建屋外壁の風力係数 C

位置		風力係数 C	備考
外壁	風上	0.8	解析モデルに対する 加力方向を正とする
	風下	-0.4	

※ 1 : 竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値は、ランキン渦モデルを仮定して設定しており、ランキン渦では高さ方向によって、風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定しているため、高さ方向の分布係数 k_z は、1.0 とする。

竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち外壁及び屋根の評価に関する補足説明

1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち、外壁及び屋根の評価の詳細について説明するものである。

2. 設計飛来物による衝撃荷重 W_M に対する評価

2.1 評価方法

使用済乾式燃料貯蔵建屋のうち、外壁及び屋根それぞれにおいて部材厚 1.0m、スパン 8.0m の一方向版を評価対象とし、衝突解析により外壁及び屋根に発生する応力を算出する。

設計飛来物の衝突位置は、モデル全体とする。また、衝突姿勢に応じて衝突荷重が影響する部材範囲が変わるが、大型車両の長辺が評価対象となるスパンより長いことから、荷重を等分布荷重として評価する。解析モデルの境界条件は、モデル両端を完全拘束とする。

第 2-1 表 設計飛来物 (大型車両) の諸元

名称	長さ	幅	高さ	質量	最大水平速度	最大鉛直速度
	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	m1 (kg)	Vh (m/s)	Vv (m/s)
大型車両	12.0	2.5	3.75	15,400	42	28

2.2 評価結果

(1) 外壁

設計飛来物の衝突に対する外壁の発生応力と許容限界の比較を第 2-2 表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

(2) 屋根

設計飛来物の衝突に対する屋根の発生応力と許容限界の比較を第 2-3 表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

第 2-2 表 評価結果 (1/2)

諸元	記号	単位	値	備考
躯体条件	スパン	m	8.00	
	コンクリート厚	m	1.00	
	単位体積重量	kN/m ³	24.00	
	空気密度	kg/m ³	1.22	
	竜巻風速	m/s	100.00	
	速度圧	kN/m ²	6.10	$q=1/2 * \rho * Vd^2$
風荷重	ガスト係数	—	1.20	
	風力係数	—	1.00	
	支配幅	m	5.75	$B=L3+2t$
	受圧面積	m ²	46.00	$A=L*b$
	風荷重	kN/m	42.09	$Ww=q*G*C*A/L$
	発生曲げモーメント	kNm	224.48	$M_{\text{風_端部}}=Ww*L^2/12$
衝突荷重	衝突荷重	kN/m	905.52	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
	発生曲げモーメント	kNm	4829.44	$M_{\text{衝_端部}}=P1*L^2/12$
		kNm	2414.72	$M_{\text{衝_中央}}=P1*L^2/24$
		kNm	5053.92	$M=M_{\text{風}}+M_{\text{衝}}$
応答結果	発生曲げモーメント	kNm	2526.96	
		kNm	5053.92	

第 2-2 表 評価結果 (2/2)

諸元	記号	単位	値	備考
鉄筋呼び名	—	—	D32	
鉄筋量	at_m	mm ² /m	3176.80	
鉄筋断面積	at	mm ²	794.20	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm ²	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm ²	390.00	
応力中心間距離	j	m	0.79	j=7/8*d
かぶり	dt	mm	100.00	
有効せい	d	m	0.90	d=t-dt
支配幅	b	m	5.75	b=L3+2t
許容曲げモーメント	Ma	kNm	6171.14	Ma=at_m*ft*j*b
裕度	—	—	1.22	Ma/M
判定	—	—	OK	

検討結果

第2-3表 評価結果 (1/2)

諸元	記号	単位	値	備考	
躯体条件	スパン	m	8.00		
	コンクリート厚	m	1.00		
	単体積重量	kN/m ³	24.00		
	コンクリート自重	kN/m ²	24.00	$G_{con} = \gamma * t$	
	防水層自重	kN/m ²	2.10		
	機器配管サポート	kN/m ²	0.50		
	積載荷重	kN/m ²	3.00		
	支配幅	m	5.75	$B=L3+2t$	
	作用面積	m ²	46.00	$A=L*b$	
	自重+積載荷重	kN/m ²	29.60		
自重及び積載荷重	G+P	kN/m	170.20	$(G+P)*A/L$	
	発生曲げモーメント	M _{G+P_端部}	kNm	907.73	$M_{風_端部}=(G+P)*L^2/12$
		M _{G+P_中央}	kNm	453.87	$M_{風_中央}=(G+P)*L^2/24$
	衝突荷重	P1	kN/m	402.45	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
		M _{衝_端部}	kNm	2146.42	$M_{G+P_端部}=P1*L^2/12$
	発生曲げモーメント	M _{衝_中央}	kNm	1073.21	$M_{G+P_中央}=P1*L^2/24$
		M _{端部}	kNm	3054.15	$M = M_{G+P} + M_{衝}$
	発生曲げモーメント	M _{中央}	kNm	1527.08	
		M	kNm	3054.15	
	応答結果				

第2-3表 評価結果 (2/2)

諸元	記号	単位	値	備考
鉄筋呼び名	—	—	D25	
鉄筋量	at_m	mm ² /m	2026.80	
鉄筋断面積	at	mm ²	506.70	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm ²	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm ²	390.00	
応力中心間距離	j	m	0.79	j=7/8*d
かぶり	dt	mm	100.00	
有効せい	d	m	0.90	d=t-dt
支配幅	b	m	5.75	b=L3+2t
許容曲げモーメント	Ma	kNm	3937.19	Ma=at_m*ft*j*b
裕度	—	—	1.29	Ma/M
判定	—	—	OK	

検討結果

竜巻防護施設を内包する施設の評価のうち貫通・裏面剥離評価に関する補足説明

1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設の貫通及び裏面剥離限界厚さ算定における評価式及び入力値について説明するものである。

2. 評価式及び入力値

2.1 鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さ

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定は、以下に示す Degen 式を用いる。また、評価式における記号の定義及び入力値を第 2-1 表に示す。

$1.52 \leq X/d \leq 13.42$ の場合、

$$e = \alpha_c \{0.69 + 1.29(X/d)\} \cdot d$$

$1.52 \geq X/d$ の場合、

$$e = \alpha_c \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

ここで、貫入深さ (X) は、

$X/d \leq 2.0$ の場合、

$$X/d = 2 \{ (12,145 / \sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1,000)^{1.8} \}^{0.5}$$

$X/d \geq 2.0$ の場合、

$$X/d = (12,145 / \sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1,000)^{1.8} + 1$$

第 2-1 表 Degen 式における記号の定義及び入力値

記号	単位	定 義	入力値
e	cm	貫通限界厚さ(鉄筋コンクリート部材)	—
α_e	—	低減係数	0.65
X	cm	貫入深さ	—
d	cm	設計飛来物直径	346
F_c	kgf/cm ²	コンクリートの 設計基準強度	306
N	—	設計飛来物の形状係数	0.72
D	kgf/cm ³	設計飛来物直径密度 $D=W/d^3$	0.000373
W	kgf	設計飛来物重量	15,400
V	m/s	設計飛来物の衝突速度(水平)	42
		設計飛来物の衝突速度(鉛直)	28

2.2 鉄筋コンクリート部の裏面剥離限界厚さ

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定は、以下に示す Chang 式を用いる。また、評価式における記号の定義及び入力値を第 2-2 表に示す。

$$S=1.84\alpha_s\cdot\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13}\cdot\frac{\left(\frac{W\cdot V^2}{g}\right)^{0.4}}{d^{0.2}\cdot f_c^{0.4}}$$

第 2-2 表 Chang 式における記号の定義及び入力値

記号	単 位	定 義	入力値
g	cm/s ²	重力加速度	980
S	cm	裏面剥離限界厚さ	—
α_s	—	低減係数	0.6
V	cm/s	設計飛来物の衝突速度(水平)	4,200
		設計飛来物の衝突速度(鉛直)	2,800
V ₀	cm/s	飛来物基準速度	6,096
d	cm	設計飛来物直径	346
f' _c	kgf/cm ²	コンクリートの 設計基準強度	使用済燃料乾式貯蔵建屋 306
W	kgf	設計飛来物重量	15,400

3. Degen 式及び Chang 式の採用について

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算定においては、以下に基づき、それぞれ、Degen 式、Chang 式を用いている。

①飛来物衝突に対する評価式として、NEI07-13^{※1}及び米国NRCの基準類^{※2}に算定式として記載されている。

②「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」において、電力中央研究所の実験結果^{※3}に基づき、貫通限界厚さの評価式としてDegen式、裏面剥離限界厚さの評価式としてChang式の適用性が高いとされている。

また、評価式における各係数については、NEI07-13^{※1}、「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」等を踏まえ、安全側の値として、第3-1表に示す値を用いる。

第3-1表 評価式における形状係数および低減係数

	NEI07-13 ^{※1}	文献 ^{※4}	文献 ^{※5}	採用値
想定飛来物	【剛飛来物】 大型商用機の エンジン	—	【剛飛来物】 航空機エンジン	大型車両
貫通限界厚さ 形状係数	0.72	0.72～ 1.14	—	0.72
貫通限界厚さ 低減係数	0.60	—	0.65	0.65
裏面剥離限界厚さ 低減係数	0.55	—	0.60	0.60

※1 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs

※2 : U. S NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3. 5. 3 BARRIER DESIGN PROCEDURES, NUREG-0800, Revision 3-March 2007

※3 : 飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法 電力中央研究所

※4 : 構造工学シリーズ6 構造物の衝撃挙動と設計法, 土木学会,

※5 : Experimental Studies on Local Damage of Reinforced Concrete Structures by the Impact of Deformable Missiles Part 4: Overall Evaluation of Local Damage, Kiyoshi Muto, etc., 10th SMIRT

使用済乾式貯蔵施設の竜巻防護設計方針について

1. 設計方針

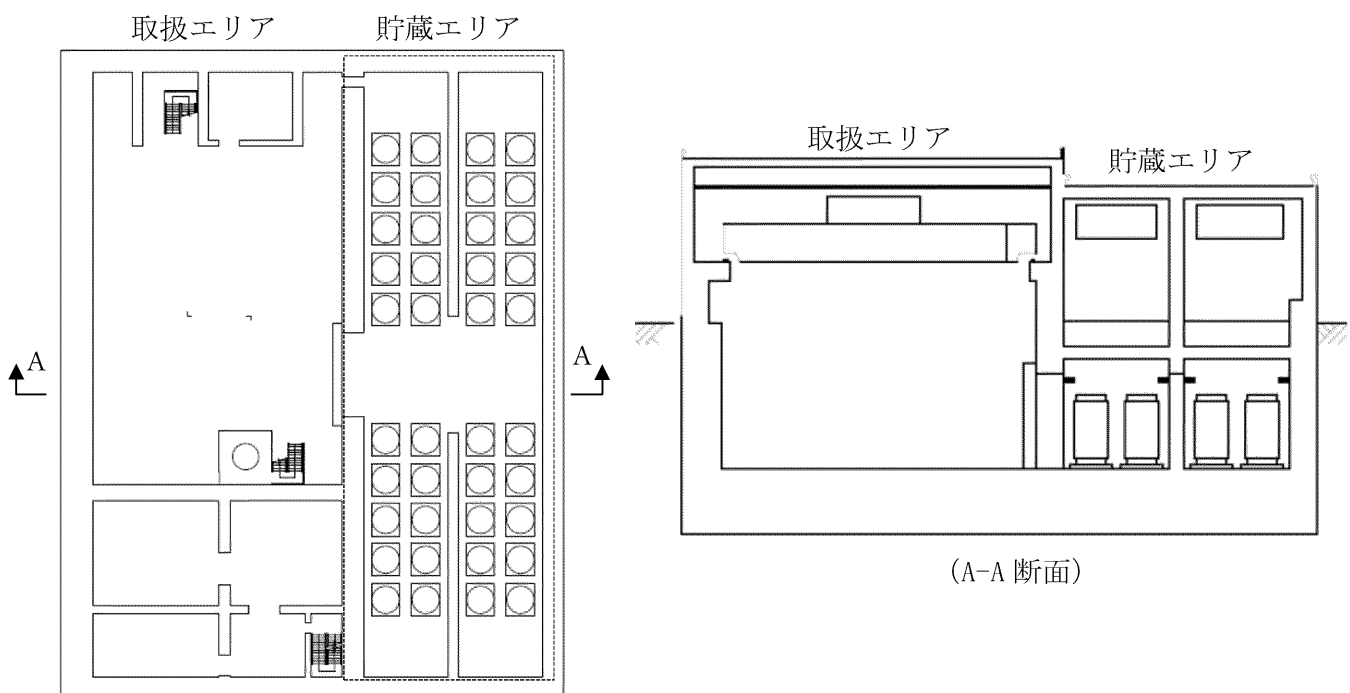
竜巻防護施設を内包する施設の設計は、設計荷重に対して構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損より当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計としている。

ただし、設計荷重による影響により当該建屋内の竜巻防護施設に影響を及ぼす場合には、必要により竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施している。

乾式貯蔵建屋のうち貯蔵エリアについては、貯蔵時の敷地等境界線量の影響評価において、敷地等境界線量の目標値である年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下を満足するためには、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい機能が必要であることから、竜巻防護設計においても貯蔵エリアについては、設計竜巻による荷重に対し構造健全性を維持することで、乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。

乾式貯蔵建屋のうち取扱エリアについては、取扱エリアに乾式キャスクがある場合は乾式キャスク取扱中であるため作業員がいることから、竜巻の発生が予想される場合には設計飛来物の侵入を考慮して、乾式キャスクを設計飛来物の影響を受けない位置へ移動する運用とする。

乾式貯蔵建屋の概略図を第1図に示す。



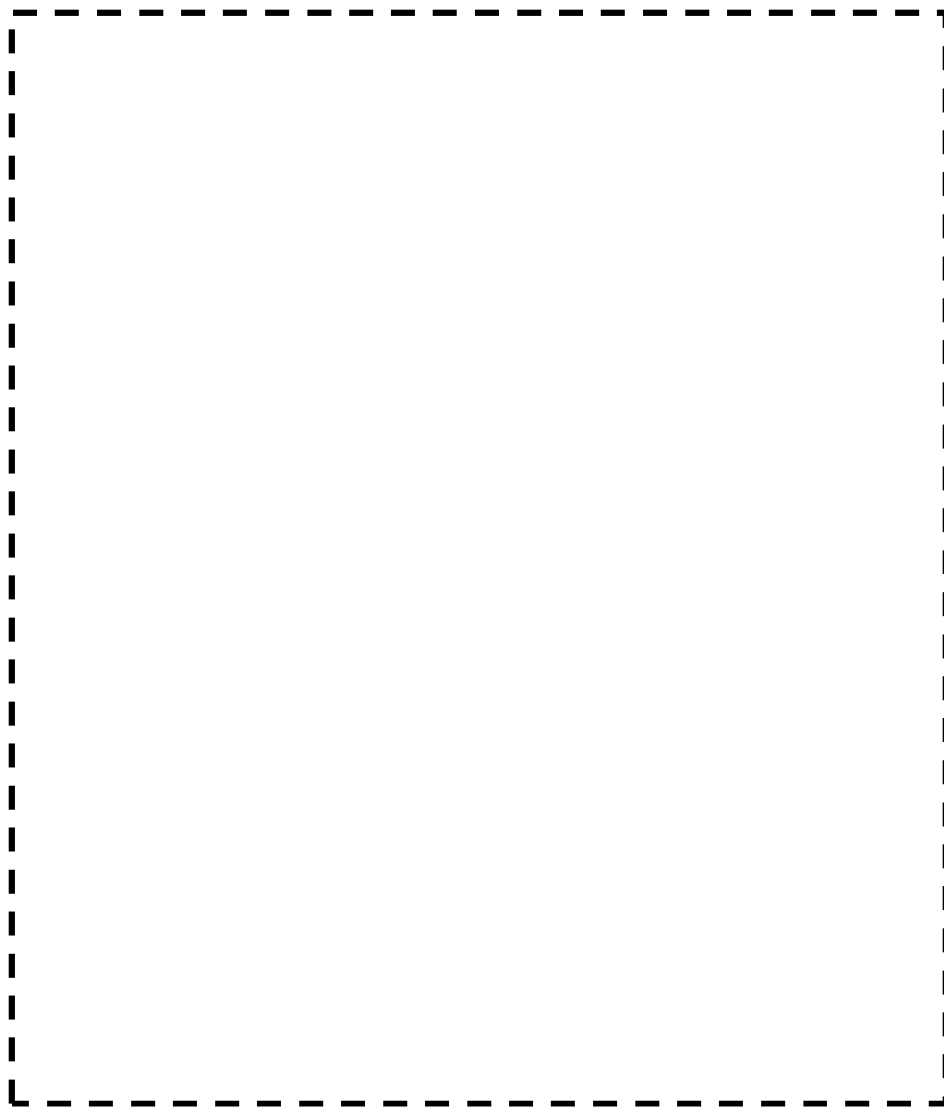
第1図：乾式貯蔵建屋の概略図

2. 建屋外周部建具の損傷による影響確認


建屋外周部建具に飛来物が衝突し損傷が生じ、建屋内に飛来物が侵入した場合の影響を確認した。

搬出入口からの設計飛来物の侵入を考慮し、設計飛来物が乾式キャスクに衝突しないよう、竜巻の発生が予測される場合には乾式キャスクを飛来物の影響を受けない位置に移動する。

飛来物による影響範囲を第2図に示す。



第2図：飛来物影響範囲

：防護上の観点から公開できません

3. 運用方針

取扱エリアにおける竜巻発生が予想される場合の乾式キャスク移動に係る運用について、竜巻監視体制や作業性を考慮した運用方針を示す。

3. 1 竜巻監視体制

竜巻発生監視は、雷注意報（付加事項：竜巻又は突風）、竜巻発生確度ナウキャスト又は雷ナウキャストの情報を活用して実施しており、入手した情報に応じて、当直課長より放送設備を用いて発電所内へ竜巻注意喚起又は竜巻準備体制を発令し、発令を確認した作業員等は、必要な対応を行うよう社内規定文書に定めて運用している。なお、竜巻予測の実績等から竜巻発生15分前には竜巻発生の予測が可能であると考えられる。

(1) 「竜巻注意喚起」の発令及び対応

竜巻注意喚起の発令は、以下のいずれかに該当する場合に発令され、発令を確認した作業員等は、竜巻準備体制が発令された場合に備え、退避場所、車両退避ルートの確認を行う。

- ・ 玄海町及び唐津市の2つのエリアのうち、いずれかに「雷注意報」が発表され、その注意報に付加事項として「竜巻」又は「突風」を確認したとき。
- ・ 玄海原子力発電所を中心とした南北50km×東西50kmの範囲内において竜巻発生確度ナウキャスト「発生確度1」以上又は雷ナウキャスト「活動度2」以上を確認したとき。

(2) 「竜巻準備体制」の発令及び対応

竜巻準備体制の発令は、以下に該当する場合に発令され、発令を確認した作業員等は、竜巻防護扉の閉止、避難場所への退避、停車車両の退避、クレーン作業の中止等の対応を速やかに行う。

- ・ 玄海原子力発電所の上空となる南北10km×東西10kmの範囲内において竜巻発生確度ナウキャスト「発生確度2」かつ雷ナウキャスト「活動度3」以上を確認したとき。

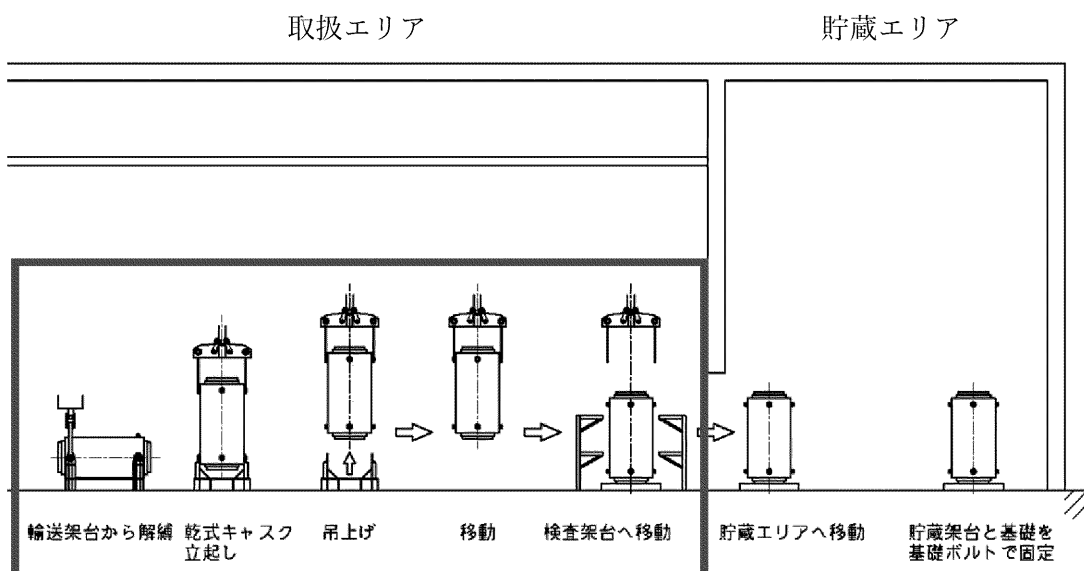
3. 2 乾式キャスク移動の作業性

乾式キャスクが飛来物影響範囲に存在する工程は、第3図に示す「輸送架台から解縛」から「検査架台へ移動」時であり、乾式キャスク立起し位置から飛来物影響範囲外への移動は、第1表に示す運搬距離等から15分以内に可能であると考えられる。

また、取扱エリアに乾式キャスクがある場合は、乾式キャスク取扱中であり作業員が常駐しているため、竜巻準備体制発令後に速やかに移動作業に取り掛かることができる。

3. 3 具体的な運用方針

以上より、従来からの竜巻監視体制に基づく対応と同様に乾式キャスクを移動することは十分可能であるため、取扱エリアに乾式キャスクが存在する場合は、「竜巻準備体制発令後に速やかに乾式キャスクを飛来物影響範囲外へ移動する」こととする。



第3図：作業工程概略図

第1表：乾式キャスク運搬距離及び天井クレーン性能

乾式キャスク運搬距離 (縦起し位置から検査架台まで)		水平	約 15 m
		鉛直	約 4 m
天井クレーン 性能	移動速度	走行	18 m/min
		横行	6.0 m/min
	巻上/巻下速度		

第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止
(外部火災)

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

- (1) 位置、構造及び設備
- (2) 安全設計方針
- (3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)

(別添資料1) 外部火災に対する防護 (使用済燃料乾式貯蔵容器)

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(3) その他の主要な構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

(a-3) 安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

自然現象として想定される森林火災の延焼防止を目的として、発電所周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度から算出される防火帯（約35m）を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

また、森林火災による熱影響については、火炎輻射強度（ $500\text{kW}/\text{m}^2$ ）の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

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。）として、想定される近隣の産業施設の火災及び爆発については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、想定される発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

(2) 安全設計方針

1.10 外部火災防護に関する基本方針

1.10.1 設計方針

安全施設が外部火災に対して、発電用原子炉施設の安全性を確保するために想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう、防火帯の設置、離隔距離の確保、建屋による防護、障壁による防護及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

想定する外部火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び船舶の火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第1.10.1表に示す。

また、想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）に対して、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

(1) 外部火災防護施設

安全施設に対して外部火災の影響を受けた場合において、原子炉の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に該当する構築物、系統及び機器を外部火災防護施設とする。外部火災防護施設を第1.10.2表に示す。

a. 外部火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち、外部火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

(a) クラス1及びクラス2に属する屋内施設

屋内のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は、内包する建屋により防護する設計とし、以下の建屋を対象とする。

i 原子炉格納容器

- ii 原子炉補助建屋
- iii 原子炉周辺建屋
- iv 燃料取替用水タンク建屋
- v 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(b) クラス1及びクラス2に属する屋外施設

屋外のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は、以下の施設を対象とする。

i. 海水ポンプ

b. 外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち、外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

- (a) 換気空調設備
- (b) ディーゼル発電機
- (c) 海水ポンプ
- (d) 主蒸気逃がし弁、排気筒等
- (e) 安全保護系計装盤
- (f) 制御用空気圧縮機

また、クラス3に属する施設については、外部火災発生時は、建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等により安全機能を損なわない設計とするため、影響評価対象から除外する。

(2) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所周辺の植生、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション解析コード（以下「FARSITE」という。）を用いて影響評価を実施し、森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火災が防火帯外縁に到達するまでの時間、クラス

1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を確保すること等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 森林火災の想定

- (a) 森林火災における各樹種の可燃物量は、佐賀県から入手した森林簿データと現地調査等により得られた樹種を踏まえて補正した植生を用いる。また、林齢は、樹種を踏まえて地面草地の可燃物量が多くなるように保守的に設定する。
- (b) 気象条件は、枝去木、唐津、平戸の過去 10 年間の気象データを調査し、佐賀県における森林火災発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度、最高気温及び最大風速の組み合わせとする。
- (c) 風向については、最大風速における風向と卓越風向を調査し、森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して、最大風速記録時の風向を設定する。
- (d) 発火点については、防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し、FARSITE より出力される最大火線強度及び反応強度の高い値を用いて評価するため、発電所から直線距離 10km の間で風向及び人為的行為を考慮し、2 地点を設定する。
- i. 発電所周辺のうち、卓越風向である東北東の風による延焼を考慮し、他の場所よりも火災発生の可能性が高いと想定される寮（発電所敷地から約 0.4km の距離）を「発火点 1」として設定する。
- ii. 森林火災シミュレーションを保守的に行うため、3 月、4 月の最大風速時の風向の南風による延焼を考慮し、発火点 1 とは森林火災の進行方向が異なる方角となる南東の道路沿い（発電所敷地から約 0.5km の距離）を「発火点 2」として設定する。
- (e) 森林火災の発火時刻については、日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が変化することから、これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定

する。

b. 評価対象範囲

発電所は北側に延びる細長い値賀崎に位置しており、発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は南北 13km、東西 13km の範囲を対象に評価を行う。

c. 必要データ (FARSITE 入力条件)

(a) 地形データ

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

(b) 土地利用データ

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

(c) 植生データ

現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを地方自治体(佐賀県)より入手する。森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化する。

発電所構内の植生データについては、発電所内の樹木を管理している緑地図を用いる。

また、発電所構内及び発電所周辺の植生データについて、現地調査し、FARSITE 入力データとしての妥当性を確認のうえ植生区分を設定する。

(d) 気象データ

現地にて起こり得る最も厳しい条件を検討するため、枝去木、唐津、平戸の過去 10 年間の気象データのうち、佐賀県で発生した森林火災の実績より、発生頻度が高

い 2 月から 5 月の気象条件（最多風向、最大風速、最高気温及び最小湿度）の最も厳しい条件を用いる。

d. 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度（ 1.23m/s （発火点 1））や火線強度（ $14,750\text{kW/m}$ （発火点 1））を算出する。

e. 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から防火帯までの火炎到達時間^{注1}（46分（発火点 2））を算出し、森林火災が防火帯に到達するまでの間に発電所に常駐している自衛消防隊による屋外消火栓等を用いた消火活動が可能であり、万が一の飛び火等による火炎の延焼を防止することで外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、防火帯の外側にあるクラス 3 施設としては、モニタリングポスト等があり、火災発生時は、化学消防自動車、小型動力ポンプ付水槽車による消火活動及び代替設備（可搬型モニタリングポスト、可搬型エリアモニタ）の確保が可能な設計とする。

注 1：火炎が防火帯に到達する時間

f. 防火帯幅の設定

FARSITE から出力される最大火線強度（ $14,750\text{kW/m}$ （発火点 1））^{注 1}により算出される防火帯幅 29.7m に対し、約 35m の防火帯幅を確保することにより外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯について、第 1.10.1 図に示す。

注 1：火線強度は反応強度と延焼速度の関連で算出されるため、延焼速度が速い発火点 1 が最大となることから発火点 1 の火線強度を用いて評価する。

- g. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、影響評価に用いる火炎輻射強度は、FARSITE から出力される反応強度から求める火炎輻射強度 ($404\text{kW}/\text{m}^2$)^{注 1、2} に安全側に余裕を考慮した $500\text{kW}/\text{m}^2$ とする。

- (a) 火災の想定

i. 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し、離隔距離は最短距離とする。

ii. 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルとする。火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出することにより火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。

iii. 気象条件は無風状態とする。

- (b) 使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

火炎輻射強度 $500\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき算出する、防火帯の外縁（火炎側）から最も近く（約 90m）に位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注 3} 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (c) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注 1 : 保守的な入力データにより FARSITE で評価した火炎輻射強度

注 2 : 火炎輻射強度は反応強度と比例することから反応強度が高い発火点 1 の火炎輻射強度を用いて評価する。

注 3 : 火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度⁽¹⁶⁾

- h. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の危険距離の確保

森林火災の直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の危険距離について評価を実施し、防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を火炎輻射強度 $500\text{kW}/\text{m}^2$ ^{注 1} に基づき算出する危険距離以上確保することにより、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (a) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の危険距離の確保

火炎輻射強度 $500\text{kW}/\text{m}^2$ に基づき危険距離^{注 2}を算出し、防火帯の外縁（火炎側）から最も近くに位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離（約 90m）を危険距離以上確保することで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (b) 海水ポンプの危険距離の確保

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損な

わない設計とする。

注 1 : 「g. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響」の評価に用いた値

注 2 : 発電所周囲に設置される防火帯の外縁(火炎側)からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の間に必要な離隔距離

(3) 近隣産業施設の火災・爆発

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外 10km 以内の産業施設を抽出したうえで発電所との離隔距離を確保すること、及び、発電所敷地内で火災を発生させるおそれのある危険物タンク等を選定し、危険物タンク等の燃料量とクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響評価を行い、離隔距離の確保、障壁による防護及び貯蔵量低減対策等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は南東約 12km の唐津地区である。

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約 120m の山林の障壁があり、火災時の熱輻射及びガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約 1 km のところに一般国道 204 号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。

このため、一般国道 204 号線上で車両火災が発生したとしても、外部火災防護施設に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の熱影響

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災による直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護及び貯蔵量低減対策等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地内に設置している屋外の危険物タンク等を第 1.10.3 表及び第 1.10.2 図に示す。

(a) 火災の想定

- i. 危険物タンク等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- ii. 離隔距離は、評価上厳しくなるようタンク等の位置からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- iii. 危険物タンク等の破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- iv. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- v. 気象条件は無風状態とする。

(b) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物タンク等とする。

なお、屋外に設置する危険物タンク等のうち、地下タンク貯蔵所は埋設しているため評価対象外とする。

また、燃料補給用のタンクローリについては、燃料補給時は監視人が立会を実施し、万が一の火災発生時は速やかに消火活動が可能であることから、評価対象から除外する。

- i 補助ボイラ燃料タンク
- ii 高温焼却炉用燃料タンク

(c) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

i 3 号炉原子炉周辺建屋及び燃料取替用水タンク建屋への熱影響

(i) 補助ボイラ燃料タンク

補助ボイラ燃料タンクを対象に火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($2,047\text{W}/\text{m}^2$) で 3 号炉原子炉周辺建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1} 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。許容温度を上回る場合は、貯蔵量低減対策を実施し、許容温度を下回る設計とする。

(ii) 高温焼却炉燃料タンク

高温焼却炉燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ($3,910\text{W}/\text{m}^2$) で燃料取替用水タンク建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1} 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。許容温度を上回る場合は、貯蔵量低減対策を実施し、許容温度を下回る設計とする。

ii 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、EL. +11m 以上に設置している屋外の危険物タンク等との間には、高低差があり、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、

海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注 1 : 火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度⁽¹⁶⁾

(4) 航空機墜落による火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、航空機墜落による火災について落下カテゴリ毎に選定した航空機を対象に、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。また、航空機落下による火災と発電所敷地内の危険物タンク等による火災の重畳を考慮する設計とする。

a. 対象航空機の選定方法

航空機落下確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリ毎に落下確率を求める。ここで、落下事故の実績がないカテゴリの事故件数は保守的に 0.5 回として扱う。また、カテゴリ毎の対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、訓練中の事故等、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ、かつ、民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。これらを踏まえて選定した落下事故のカテゴリと対象航空機を第 1.10.4 表に示す。

b. 航空機墜落による火災の想定

- (a) 航空機は、発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こるこ

とを想定する。

- (d) 気象条件は無風状態とする。
- (e) 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

c. 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって発電用原子炉施設を中心にして墜落確率が 10^{-7} （回／炉・年）以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置するクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設とする。

カテゴリ毎の対象航空機の離隔距離を第1.10.4表に示す。

d. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

(a) 建屋への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

カテゴリ毎の対象航空機の輻射強度を第1.10.4表に示す。

(b) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

e. 航空機墜落に起因する敷地内危険物タンク等の火災の

熱影響

航空機墜落による火災のうち評価結果が最も厳しい大型民間航空機の B747-400 と、B747-400 墜落による火災が発生した場合に燃焼する可能性のある敷地内危険物タンク等のうち評価結果が最も厳しい 1, 2 号炉補助ボイラ燃料タンクについて、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注 1} 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

注 1：火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度⁽¹⁶⁾

(5) 発電所港湾内に入港する船舶火災の熱影響

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、荷揚岸壁に停泊する船舶を選定し、船舶の燃料量とクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

対象の船舶を第 1.10.5 表及び第 1.10.3 図に示す。

a. 火災の想定

- (a) 燃料保有量は満積とした状態とする。
- (b) 離隔距離は、評価上厳しくなるよう荷揚岸壁からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- (c) 船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定する。
- (d) 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

(e) 気象条件は無風状態とする。

b. 評価対象範囲

発電所港湾内に入港し荷揚岸壁に停泊する、大型の船舶である燃料等輸送船の火災により影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設を評価対象とする。

c. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

(a) 使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

燃料等輸送船を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $105.8\text{W}/\text{m}^2$ ）で3号炉原子炉周辺建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200°C ^{注1}以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、燃料等輸送船の火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注1：火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度⁽¹⁶⁾

(6) 二次的影響（ばい煙等）

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、安全機能が損なわれるおそれがある構築物、系統及び機器として外気を取り込むクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設を抽出したうえで、第1.10.6表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施するこ

とでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 換気空調設備

外気を取り入れている換気空調設備として、安全補機開閉器室空調装置、ディーゼル発電機室換気装置、中央制御室換気空調設備、中間補機棟空調装置、主蒸気主給水管室空調装置、出入管理室空調装置、試料採取室空調装置、燃料取扱棟空調装置、廃棄物処理建屋空調装置、補助建屋空調装置及び格納容器空調装置がある。

外部火災発生時のばい煙については、数 μm 以上のものを想定しており、これらの外気取入口には平型フィルタ（主として粒径が $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去）を設置しているため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙粒子については、平型フィルタにより侵入を阻止することでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、主蒸気主給水管室空調装置等は、外気取入ダンパを閉止し、外気取入れを遮断することでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、中央制御室換気空調設備及び代替緊急時対策所換気設備については、外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. ディーゼル発電機

ディーゼル発電機機関の吸気消音器に付属するフィルタ（粒径 $120\mu\text{m}$ 以上において約 90% 捕獲）で比較的大粒径のばい煙粒子が捕獲され、粒径数 $\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 程度のばい煙粒子が過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の隙間はばい煙粒子に比べて十分大きく、閉塞に至ることを防止することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

c. 海水ポンプ

海水ポンプモータは電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して電動機内部に外気を直接取り込まない全閉外扇形の冷却方式であるため、ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また、空気冷却器冷却管の内径は約 17mm であり、ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さく、閉塞を防止することにより海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

d. 主蒸気逃がし弁、排気筒等

主蒸気逃がし弁は、建屋外部に排気管を有する設備であるが、ばい煙が排気管内に侵入した場合でも、主蒸気逃がし弁の吹出力が十分大きいいため、微小なばい煙粒子は吹き出されることにより主蒸気逃がし弁の安全機能を損なわない設計とする。

また、排気筒及び主蒸気安全弁については、主蒸気逃がし弁と同様に、建屋外部の配管にばい煙が侵入した場合でも、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることにより排気筒及び主蒸気安全弁の安全機能を損なわない設計とする。

e. 安全保護系計装盤

安全保護系計装盤が設置されている部屋は、安全補機開閉器室空調装置にて空調管理されており、本空調装置の外気取入口には平型フィルタ（主として粒径が $5\mu\text{m}$ よ

り大きい粒子を除去)が設置されているが、これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタ(主として粒径が $5\mu\text{m}$ より小さい粒子を除去)が設置されている。このため、ばい煙に対する防護性能は他の換気空調設備に比べて高いことから、室内に侵入したばい煙は粒径が極めて細かな粒子である。

したがって、極めて細かな粒子のばい煙が侵入した場合において、ばい煙の付着による短絡等を発生させる可能性は小さいことにより安全保護系計装盤の安全機能を損なわない設計とする。

f. 制御用空気圧縮機

制御用空気圧縮機が設置されている部屋は、中間補機棟換気装置にて空調管理されており、本換気装置の外気取入口には平型フィルタ(主として粒径が $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去)が設置されているが、これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタ(主として粒径が $5\mu\text{m}$ より小さい粒子を除去)が設置されている。このため、ばい煙に対する防護性能は他の換気空調設備に比べて高いことから、室内に侵入したばい煙は粒径が極めて細かな粒子である。

したがって、ばい煙が侵入した場合にも、ばい煙の付着により機器内の損傷を発生させる可能性は小さいことにより制御用空気圧縮機の安全機能を損なわない設計とする。

(7) 有毒ガスの影響

a. 有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響については、中央制御室換気空調設備及び代替緊急時対策所換気設備における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

外気を取り入れている換気空調設備として、安全補機

開閉器室空調装置、ディーゼル発電機室換気装置、中央制御室換気空調設備、中央補機棟空調装置、主蒸気主給水管室空調装置、出入管理室空調装置、試料採取室空調装置、燃料取扱棟空調装置、廃棄物処理建屋空調装置、補助建屋空調装置及び格納容器空調装置がある。

このうち、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことによりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置以外の換気空調設備については、空調ファンを停止すること等によりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. 発電所周辺地域からの有毒ガス影響評価

発電所周辺地域には、以下の交通運輸状況及び産業施設がある。

発電所周辺地域の主要道路としては、一般国道204号線がある。

鉄道路線としては、唐津市をJR唐津線が通っており、発電所の南東方向約13kmに最寄りの西唐津駅がある。

一般航路は発電所から離隔距離が確保されている。また、燃料輸送船が発電所港湾内に入港する。

発電所周辺の石油コンビナート施設等については、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設は存在しない。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は南東約12kmの唐津地区である。

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

1.10.2 体制

火災発生時の発電用原子炉施設の保全のための活動を行うため、連絡責任者、運転員及び専属消防隊が常駐するとともに、火災発生時には、所員により編成する自衛消防組織を所長の判断により設置する。

自衛消防組織の組織体制を第1.10.4図に示す。

1.10.3 手順等

外部火災における手順等については、火災発生時の対応、防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

- (1) 防火帯の維持・管理においては、手順等を整備し、実施する。
- (2) 初期消火活動においては、手順を整備し、火災発生現場の確認、中央制御室への連絡、消火栓、化学消防自動車及び小型動力ポンプ付水槽車等を用いた初期消火活動を実施する。
- (3) 外部火災によるばい煙発生時には、外気取入口に設置している平型フィルタの交換、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。

第 1.10.1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外10km以内に発火点を設定した発電所に迫る火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外10km以内に存在する石油コンビナート施設等の火災・爆発
	発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災
船舶の火災	発電所港湾内に入港する船舶の火災

第 1.10.2 表 外部火災防護施設

1. 火災の直接的な影響を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する施設を内包する建屋	原子炉格納容器 原子炉補助建屋 原子炉周辺建屋 燃料取替用水タンク建屋 <u>使用済燃料乾式貯蔵建屋</u> ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離及び障壁等で防護
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する屋外施設	海水ポンプ ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと火災時に直接熱影響を受けないよう配置上の考慮を行うことにより防護
安全機能の重要度分類 「クラス3」に属する施設	タービン建屋 開閉所 固体廃棄物貯蔵庫 モニタリングポスト他 ※建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等

2. 火災の二次的影響（ばい煙）を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する施設	換気空調設備 ディーゼル発電機 海水ポンプ 主蒸気逃がし弁、排気筒等 安全保護系計装盤 制御用空気圧縮機

第 1.10.3 表 発電所敷地内に設置している
屋外の危険物タンク等設置状況

タンク名称	燃料	容量 (数量)	影響先	離隔 距離
補助ボイラ 燃料タンク	重油	500kℓ ^{注1} (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	48m
高温焼却炉 燃料タンク	重油	44.2kℓ ^{注2} (1基)	燃料取替用水タンク建屋	11m
油計量タンク	タービ ン油	133kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	67m
大容量空冷式 発電機用燃料タンク	重油	30kℓ (2基)	—注3	
燃料油貯油そう (3号炉)	重油	165kℓ (2基)		
燃料油貯油そう (4号炉)	重油	165kℓ (2基)		
燃料油貯蔵タンク	重油	200kℓ (4基)		
1、2号炉補助ボイラ 燃料タンク	重油	350kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	349m
油倉庫	軽油 ／ 重油等	10kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	216m

注1 貯蔵量低減対策として、230kℓで管理している。

注2 貯蔵量低減対策として、8kℓで管理している。

注3 地下タンク貯蔵所のため、評価対象外とする。

第 1.10.4 表 落下事故のカテゴリと対象航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔 ^{注 3} 距離	輻射強度	
計器飛行方式 民間航空機	大型民間航空機	B747-400	109m	1.8×10^3 W/m ²	
有視界飛行方式 民間航空機					小型民間航空機 ^{注 2}
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域内 で訓練中及 び訓練空域 外を飛行中	空中給油機等、高 高度での巡航が想 定される大型固定	KC-767	197m	3.9×10^2 W/m ²
		その他の大型固定 翼機、小型固定翼 機及び回転翼機	F-15	37m	1.3×10^3 W/m ²
	基地－訓練空域間往復時	CH-47JA	26m	1.6×10^3 W/m ²	

注 1：有視界飛行方式民間航空機のうち、小型機の評価対象航空機は、自衛隊機又は米軍機の「基地－訓練空域間往復時」に包絡される。

注 2：計器飛行方式民間航空機の小型機は、原則として有視界飛行方式による飛行形態をとっていることから、有視界飛行方式として評価する。

注 3：離隔距離の設定にあたり、落下実績がない場合は、保守的に 0.5 回を用いた。

第 1.10.5 表 荷揚岸壁に停泊する船舶

船舶	燃料	容量	影響先	離隔距離
燃料等輸送船	重油	560kℓ	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	475m

第 1.10.6 表 ばい煙による影響評価


	分類	影響評価設備
機器への影響	外気を取り入れる空調設備	換気空調設備
	外気を設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機
		海水ポンプ
		主蒸気逃がし弁、排気筒等
	室内の空気を取り込む機器	安全保護系計装盤
制御用空気圧縮機		



第 1.10.1 図 防火帯設置図

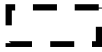


第 1.10.2 図 危険物タンク等配置図

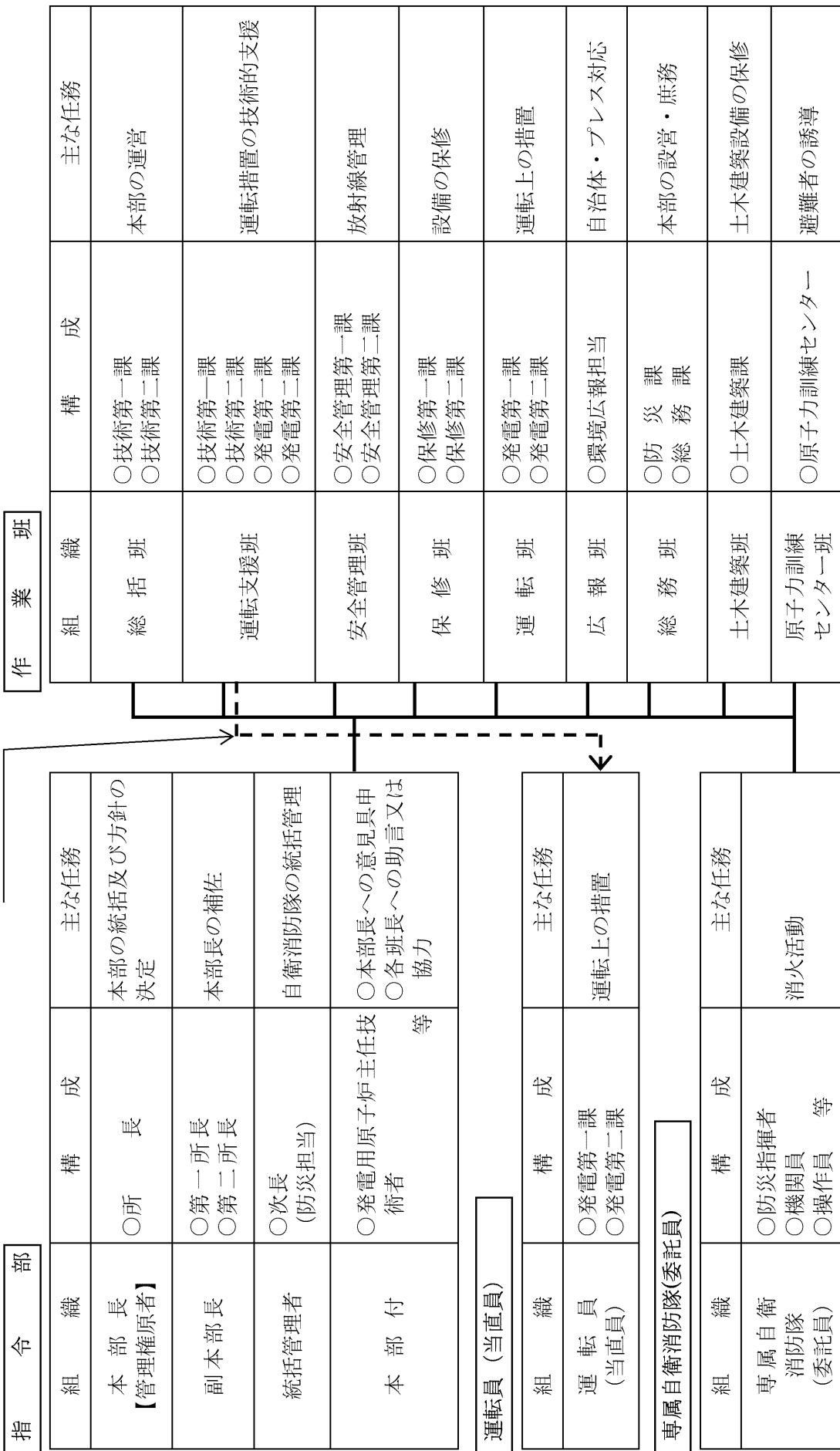
: 防護上の観点から公開できません



第 1.10.3 図 船舶配置図

「」: 防護上の観点から公開できません

技術的支援



第 1.10.4 図 自衛消防組織体制図

(3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）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。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）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。以下「人為による事象」という。）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。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象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。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象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。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

適合のための設計方針

1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

(1) 竜 巻

使用済燃料乾式貯蔵容器は、兼用キャスク告示に定める最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、竜巻防護対策を行う。

a. 竜巻防護対策

設計飛来物が飛来し、竜巻防護施設が安全機能を損なわないように、以下の対策を行う。

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋により、使用済燃料乾式貯蔵容器を防護し構造健全性を維持し、安全機能を損なわない設計とする。

(2) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある

る事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(1) 爆 発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

(2) 近隣工場等の火災

a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、火災時の熱放射による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約1kmのところへ一般国道204号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。このため、一般国道204号線上で車両火災が発生したとしても、使用済燃料乾式貯蔵容器に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の放射熱に

よるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の輻射熱によるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

d. 発電所港湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

e. 二次的影響（ばい煙等）

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

1.13 参考文献

- (1) DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- (2) 「日本の自然災害」 国会資料編纂会 1998 年
- (3) Specific Safety Guide(SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants” IAEA, April 2010
- (4) 「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）
- (5) NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- (6) 「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）
- (7) B. 5. b Phase2&3 Submittal Guideline

(NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC 公表

- (8) ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- (9) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」
（社）日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会 平成6年3月
- (10) 「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」
（社）日本電気協会 2010
- (11) 「雷雨とメソ気象」大野久雄、東京堂出版、2001
- (12) 「一般気象学」小倉義光、東京大学出版会
- (13) 「広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）（資料2）」
- (14) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司、
コンクリート工学、vol.42、2004
- (15) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人、末吉秀一他、
防食技術 Vol.39、1990
- (16) 「原田和典 建築火災のメカニズムと火災安全設計」
財団法人 日本建築センター

1.2 気象等

変更なし

1.3 設備等

該当なし

外部火災に対する防護
(使用済燃料乾式貯蔵容器)

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 基本事項
 - 1.2 想定する外部火災
 - 1.3 外部火災防護
2. 火災の熱影響評価
 - 2.1 各火災源からの熱影響評価について

資料

- － 1 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する船舶火災の熱影響評価について

1. 基本方針

1.1 基本事項

「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6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（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及び兼用キャスクは、想定される森林火災及び工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発・火災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とされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「ガイド」という。）に基づき外部火災影響評価を行い、外部火災により安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

1.2 想定する外部火災

設置許可基準規則第6条において、敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣産業施設の火災、爆発、航空機墜落による火災及び船舶の火災を挙げている。

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

- ・森林火災
- ・近隣産業施設の火災、爆発
- ・航空機墜落による火災
- ・船舶火災

なお、近隣産業施設の火災、爆発のうち石油コンビナート施設の火災及び爆発は、発電所敷地外10 km以内の範囲において安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、安全施設への影響については考慮する必要はない。

1.3 外部火災防護

(1) 評価する外部火災防護施設

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

安全機能を有する設備としては、「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」（以下「重要度分類審査指針」という。）において、安全機能を有する設備とされるクラス1、2及び3に該当する構築物、系統及び機器が該当する。

また、ガイドでは発電所敷地外で発生する火災が原子炉施設（安全機能を

有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。)へ影響を与えないこと等を評価することとされており、使用済燃料乾式貯蔵施設は外部火災防護施設に該当する。

(2) 影響評価の内容について

a. 火災に対する直接的な影響評価について

外部火災防護施設のうち、高い信頼性を要求されるクラス1及び2に該当する構築物、系統及び機器については、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、想定される外部火災に対して構築物固有の熱影響評価を実施する。具体的には、使用済燃料乾式貯蔵容器を設置する建屋については、建屋のコンクリート壁の耐性評価を実施し、建屋内の設備に影響を及ぼさないことを確認する。

b. 二次的影響評価について

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

2. 火災の熱影響評価

2.1 各火災源からの熱影響評価について

外部火災の熱影響評価は、火災源の輻射強度、火災源からの距離及び外部火災防護施設の壁厚さを入力条件として評価する。各火災源の輻射強度については、既許可から変更は無い。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁厚さは、厚く1.0mである。

このため、各火災源から原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋及び燃料取替用水タンク（以下「原子炉周辺建屋等」という。）のうち最も近接している建屋の距離と各火災源から使用済燃料乾式貯蔵建屋の距離を比較する。（表1、2）

また、図1、図2に火災源から外部火災防護施設との離隔距離を示す。

各火災源から原子炉周辺建屋等のうち最も近接している建屋の距離と各火災源から使用済燃料乾式貯蔵建屋の距離を比較し、森林火災及び船舶火災以外については、既許可の評価結果に包絡されることを確認した。森林火災について、既許可評価の入力条件である建屋までの離隔距離約400mに対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋は約90mとなり、離隔距離が短くなるが危険距離^{*}35m以上の離隔が確保できていることから、既許可の評価結果に包絡されることを確認した。

船舶火災について、既許可評価の入力条件である建屋までの離隔距離795mに対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋は475mとなり、離隔距離が短くなるため、熱影響評価を実施する。（添付資料-1）

※防火帯外縁（火災側）から火災防護施設の間に必要な離隔距離

表 1 火災源から外部火災防護施設の離隔距離

	離隔距離 (m)	
	原子炉周辺建屋等	使用済燃料 乾式貯蔵施設
森林火災	400 (危険距離 : 35)	90
補助ボイラ燃料タンク	48	730
高温焼却炉燃料タンク	11	820
油計量タンク	67	610
1、2 号炉補助ボイラ燃料タンク	349	360
油倉庫	60	560
船舶	795	475



図 1 火災源から外部火災防護施設の離隔距離

┌──┐: 防護上の観点から公開できません

表 2 火災源から外部火災防護施設の離隔距離（航空機墜落）

カテゴリ		離隔距離（m）		対象 航空機	
		原子炉周辺建屋等	使用済燃料 乾式貯蔵施設		
計器飛行方式及び有視 界飛行方式民間航空機	大型民間航空機	109	201	B747 -400	
	小型民間航空機	75	166	—	
自衛隊機又 は米軍機	訓練空域 外飛行中	空中給油機等、高高度での巡航 が想定される大型固定翼機	197	308	KC-767
		その他の大型固定翼機、小型固 定翼機及び回転翼機	37	85	F-15
	基地－訓練空域間往復時	26	72	CH-47JA	



図 2 離隔距離の算出イメージ（代表例：72m）

┌──┐：防護上の観点から公開できません

使用済燃料乾式貯蔵施設に対する船舶火災の熱影響評価について

1. 評価対象船舶の想定について

評価対象船舶の想定については、既許可の評価条件から変更はなく、以下の通りとする。

発電所の港湾内に定期的に入港する大型船舶として燃料等輸送船があるため、この船舶が積載している燃料が接岸中に発火したことを想定し、以下の通りクラス2に属する使用済燃料乾式貯蔵施設への熱影響評価を実施した。

2. 燃料等輸送船火災時の熱影響評価について

2.1 火災の想定

火災を想定するうえで以下を考慮した。

- a. 燃料保有量は満積とした状態とする。
- b. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう発電所の荷揚岸壁からクラス2に属する使用済燃料乾式貯蔵施設までの直線距離とする。
- c. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- d. 船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定し、燃焼面積は船舶の全長と船幅より四角形として算出する。
- e. 気象条件は無風状態とする。

2.2 評価要領

発電所の荷揚岸壁に接岸中の船舶で火災が発生することを想定し、使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁のうち、垂直外壁面及び天井スラブから選定した火災の輻射に対して最も厳しい箇所に対する熱影響評価を評価した。(図1)



図1 船舶と外部火災防護施設位置図

┌──┐: 防護上の観点から公開できません

2.3 影響評価

(1) 評価に用いる諸元

評価に用いる諸元は表1に示すとおりである。

表1 評価に用いる諸元

		評価指標	
船舶の仕様等	燃料量 [m ³]	560	
	燃焼面積 [m ²]	1,650	
	離隔距離 [m]	使用済燃料 乾式貯蔵施設	475
燃料の物性値	火炎輻射強度 [W/m ²]	23,000	
	燃料密度 [kg/m ³]	1,000	
	燃焼速度 [m/s]	3.5 × 10 ⁻⁵	
	質量低下速度 [kg/m ² ・s]	0.035	

(2) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} \cong 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

ϕ : 形態係数、L : 離隔距離、H : 火炎高さ、R : 燃焼半径
なお、燃焼半径 R と燃焼面積 S は次の関係式となる。

$$S = \pi R^2, R = (S / \pi)^{0.5}$$

(3) 受熱側の輻射強度算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 受熱側輻射強度 [W/m²]、R_f : 火炎輻射発散度 [W/m²]、 ϕ : 形態係数

(4) 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値となる。

$$t = V / (\pi R^2 \times v)$$

ただし $v = M / \rho$

V : 燃料量 [m³]、v ($v = M / \rho$) : 燃焼速度 [m/s]

M : 質量低下速度 [kg/m²・s]、 ρ : 燃料密度 [kg/m³]

(5) 外壁の温度評価

火災源からの輻射熱による外部火災防護施設への熱影響評価を行うに当たって、一次元非定常熱伝導方程式の解である半無限固体での温度評価式を用いて、外壁の温度を評価する。

条件として、受熱側の輻射強度は一定値で変化しないものと仮定し、外壁表面の対流熱損失は考慮しないものとする。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha_c t}}{\lambda_c} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\chi^2}{4\alpha_c t}\right) - \frac{\chi}{2\sqrt{\alpha_c t}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2\sqrt{\alpha_c t}}\right) \right]$$

T : コンクリート温度 [°C]

T₀ : 初期温度 (50 [°C])

α_c : コンクリート温度伝導率 (7.53 × 10⁻⁷ [m²/s])

[α_c = λ_c / (ρ × C_p)]

C_p : コンクリート比熱 (963 [J/kgK])

ρ : コンクリート密度 (2,300 [kg/m³])

λ_c : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/mK])

χ : コンクリート深さ [m]、E: 受熱側輻射強度 [W/m²]

t : 燃焼継続時間 [秒]

なお、本式は半無限固体を想定した温度評価式であるが、既許可の評価において、火災継続時間及び燃焼面積が大きい補助ボイラ燃料タンクにて外壁表面における温度上昇分の1%にあたる温度上昇となる深さ

$$\chi = (3.6(\alpha t)^{1/2}) \quad (\text{出典: 伝熱工学、東京大学出版会})$$

を算出すると約0.35mであり、外壁厚さを下回るため、本温度評価式が適用できる。(別紙1)

2.4 判断の考え方 (評価結果)

(1) 使用済燃料乾式貯蔵施設外壁の耐性評価

「2.3 項(5) 外壁の温度評価」の評価式を適用し、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)が昇温されるものとしてコンクリートの表面の温度上昇を評価した結果、使用済燃料乾式貯蔵施設の外壁の表面の温度は約56°Cとなり、許容温度200°Cを下回ることを確認した。(図2) また、コンクリート外壁の裏面温度は初期温度の50°Cから上昇しないことを確認した。

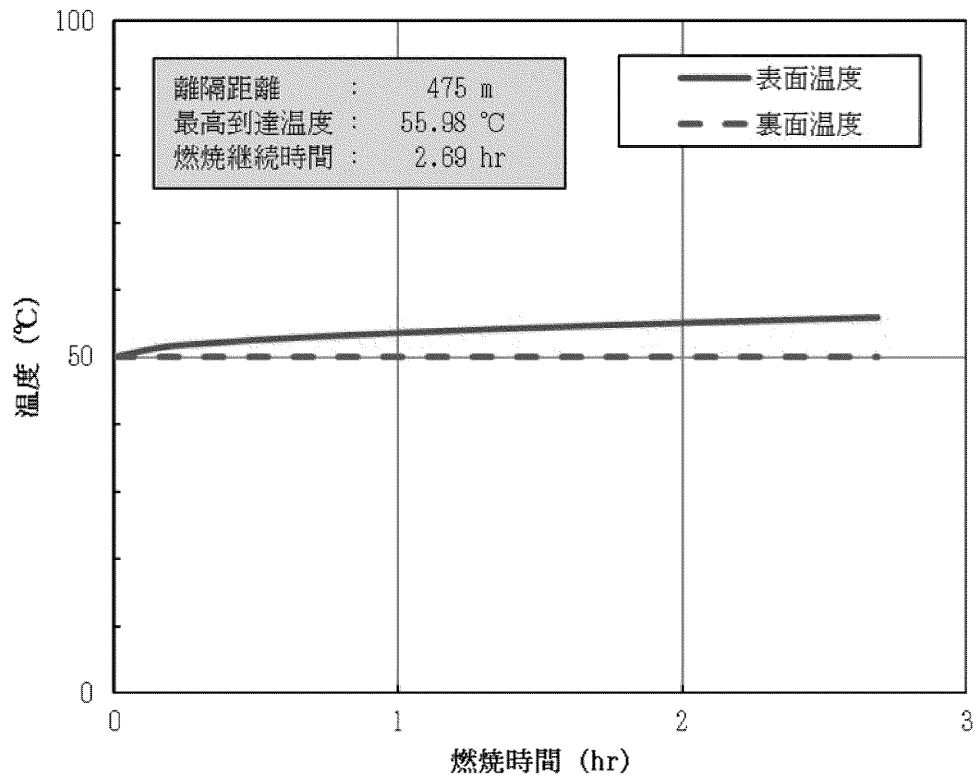


図2 使用済燃料乾式貯蔵施設外壁における温度上昇の評価結果

コンクリート外壁温度評価式の適用性について

1. 温度浸透厚さについて

火災源からの輻射熱による外壁温度の評価にあたっては、半無限固体での温度評価式を用いて算出しているが、その温度評価式の適用性についてコンクリート厚さの観点より問題ないことを以下のとおり確認している。

外壁表面における温度上昇分の1%にあたる温度上昇となる深さ χ （温度浸透厚さ）を算出した。

$$\chi = 3.6 (\alpha t)^{1/2} \quad (\text{出典：伝熱工学、東京大学出版会})$$

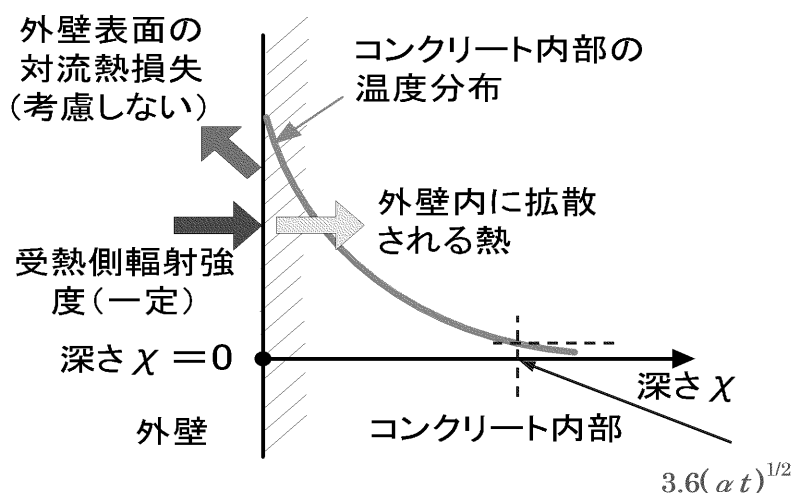


図1 外壁温度上昇評価モデル

外壁温度上昇が最も大きい補助ボイラ燃料タンクにて、深さ χ （温度浸透厚さ）を求めた結果、約0.35mとなり、外壁厚さ0.4mを下回ることから、本温度評価式の適用性に問題ないことを確認している。

「伝熱工学 東京大学出版会」では、熱伝導を問題にする際は、温度が伝わる領域が薄い場合は、物体の大きさが有限であっても半無限物体として扱えると記載している。

上記の文献では、半無限物体内の温度変化は、表面に近い一定の領域に限定され、表面温度の1%となる深さを温度浸透厚さと定義されている。

なお、温度浸透深さは「 $(\chi) = 3.6 (\alpha t)^{1/2}$ 」にて算出され、その深さ以上の物体であれば、半無限物体として扱っても問題ない。

温度の主たる変化は表面に近い一定の領域に限定されている。温度が表面温度の1%となる深さ χ を温度浸透厚さと定義すると、 χ は、ほぼ $3.6(\alpha t)^{1/2}$ である。

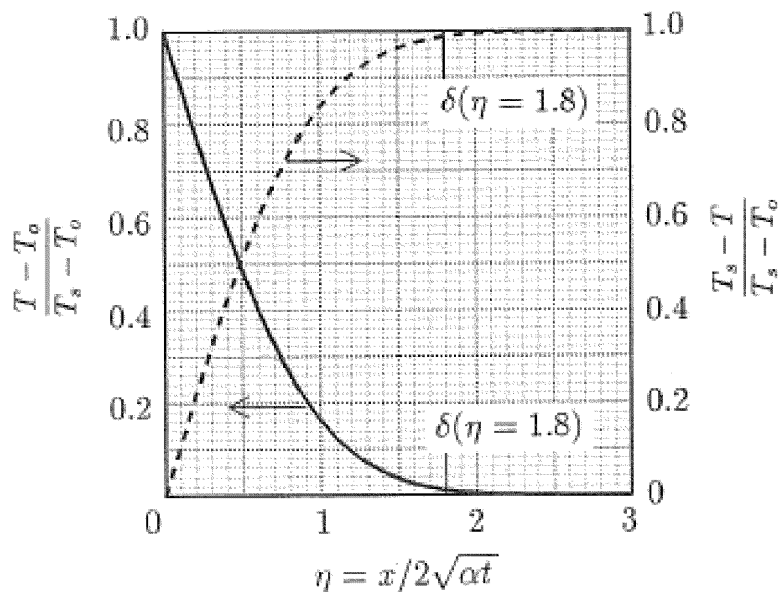


図2 半無限物体の温度分布

$(T - T_0) / (T_s - T_0)$ は、温度上昇を示しており、表面温度1%とは、縦軸の0.01のことを示し、横軸 $\eta =$ 約1.8となる。

$$\eta = \frac{\chi}{2\sqrt{\alpha t}}$$

に代入すると次のようになり、

$$1.8 = \chi / (2\sqrt{\alpha t})$$

整理すると、前頁の式 $\chi = 3.6(\alpha t)^{1/2}$ となる。
数値を代入すると

$$\chi = 3.6 \times (7.86 \times 10^{-7} \times 1.20 \times 10^4)^{1/2} = 3.50 \times 10^{-1} \text{ m} \doteq 0.40 \text{ m}$$

α : コンクリート温度伝導率 (7.86×10^{-7} [m²/s])
 [$\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$]
 C_p : コンクリート比熱 (963 [J/kgK])、 ρ : コンクリート密度 (2,300 [kg/m³])
 λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/mK])、 t : 燃焼継続時間 (1.20×10^4 [秒])

2. 建屋外壁表面温度の評価式について

図3に示すように始め一様な温度 T_0 にあった半無限物体の表面の温度をあ

る瞬間から温度 T_s に保持したとし、内部発熱がなく、物性を一定とすると熱伝導方程式は以下のようになる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

初期条件： $t = 0$ で $T = T_0$ 、境界条件： $x = 0$ で $T = T_s$ 、 $x = \infty$ で $T = T_0$ とする。この方程式を差分形式で表記すると以下のようになる。

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^n + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n$$

なお、上記の熱伝導方程式を有限厚さにおける差分式で表して評価した温度分布と次式の外壁温度評価式の解析解を比較した結果、図 4 に示すように一致しており評価に使用できることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{2 \times q \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{\chi^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right]$$

- T_0 : 初期温度
- q : 輻射強度 [W/m^2]
- α : コンクリート温度伝導率
[$\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$]
- C_p : コンクリート比熱
- ρ : コンクリート密度
- λ : コンクリート熱伝導率
- χ : コンクリート深さ [m]
- t : 燃焼継続時間 [秒]

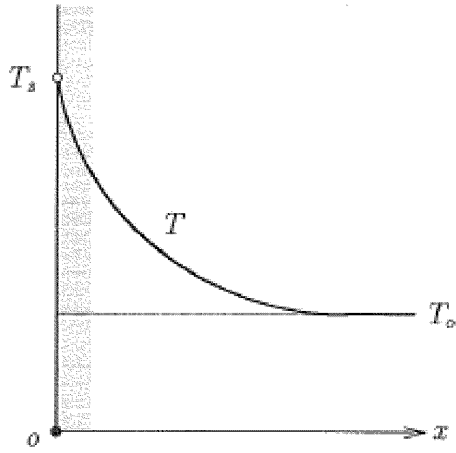


図3 半無限固体の熱伝導

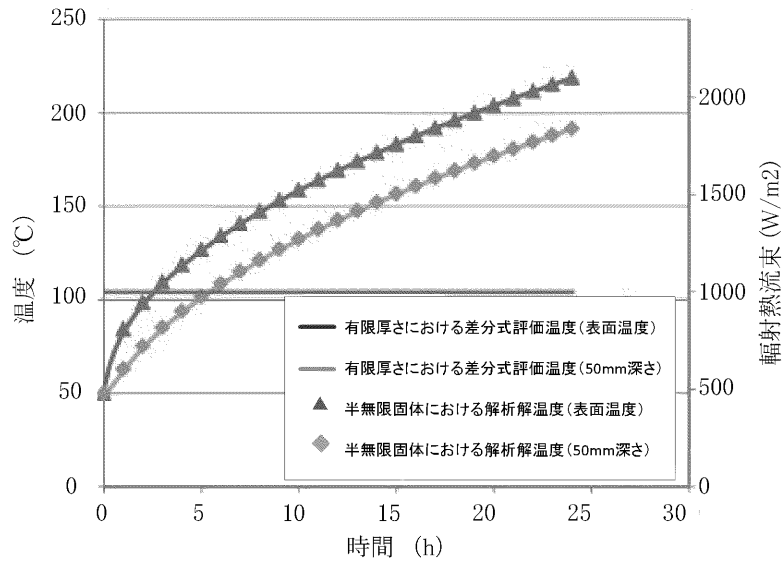


図4 半無限固体における解析解と有限厚さにおける差分式評価温度の比較

玄海原子力発電所「使用済燃料乾式貯蔵施設」に伴う条文の整理表

関連条文	○
関連しない条文	×

条文	条文との関連性	備考
第1条 適用範囲	×	適用する基準（法令）についての説明であり、要求事項ではないため、関連条文ではない。
第2条 定義	×	言葉の定義であり、要求事項ではないため、関連条文ではない。
第3条 設計基準対象施設の地盤	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、基準地震動による地震力に対する支持性能を有する地盤に設置する。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第4条 地震による損傷の防止	○	乾式キャスクは、基準地震動による地震動に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。また、周辺施設は静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるよう設計する。
第5条 津波による損傷の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、基準津波に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、外部からの衝撃により安全機能を損なわない設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため接近管理、出入管理及び不正アクセス行為の防止を行える設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第8条 火災による損傷の防止	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう、火災発生防止、火災感知及び消火並びに火災の影響軽減に必要な措置を講じるものとする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第9条 溢水による損傷の防止等	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、溢水が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第10条 誤操作の防止	×	誤操作の防止に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第11条 安全避難通路等	○	使用済燃料乾式貯蔵施設内には、避難階段を設置し、それに通じる安全避難通路を設けるとともに、安全避難通路には誘導灯を設ける設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第12条 安全施設	○	使用済燃料乾式貯蔵施設は、安全機能に応じて重要度を分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ維持し得る設計とする。また、想定される環境条件においてその機能を発揮することができ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第13条 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	×	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第14条 全交流動力電源喪失対策設備	×	全交流動力電源喪失対策設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第15条 炉心等	×	炉心等に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○	乾式キャスクが4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）を有する設計とし、閉じ込め機能を監視できる設計とする。また、乾式貯蔵建屋において、乾式キャスクは、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とする。
第17条 原子炉冷却材圧力バウンダリ	×	原子炉冷却材圧力バウンダリに係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第18条 蒸気タービン	×	蒸気タービンに係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第19条 非常用炉心冷却設備	×	非常用炉心冷却設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第20条 一次冷却材の減少分を補給する設備	×	一次冷却材を補給する設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第21条 残留熱を除去することができる設備	×	残留熱を除去する設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第22条 最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	×	最終ヒートシンクへ熱を輸送する設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第23条 計測制御系統施設	×	計測制御系統施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第24条 安全保護回路	×	安全保護回路に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第25条 反応度制御系統及び原子炉停止系統	×	反応度制御系統及び原子炉停止系統に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第26条 原子炉制御室等	×	原子炉制御室等に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第27条 放射性廃棄物の処理施設	×	放射性廃棄物の処理施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第28条 放射性廃棄物の貯蔵施設	×	放射性廃棄物の貯蔵施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第29条 工場等周辺における直接線等からの防護	○	通常運転時において、使用済燃料乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設からの直接線及びスカイライン線による敷地周辺の空間線量率を、合理的に達成できる限り小さい値となるように施設を設計する。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第30条 放射線からの放射線業務従事者の防護	○	乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮へい、乾式キャスクの配置等放射線防護上の措置を講じた設計とする。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。なお、既設置許可の設計方針から変更はない。
第31条 監視設備	×	監視設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第32条 原子炉格納施設	×	原子炉格納施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第33条 保安電源設備	×	保安電源設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。

条文	条文との関連性	備考	
第34条	緊急時対策所	×	緊急時対策所に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第35条	通信連絡設備	×	通信連絡設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第36条	補助ボイラー	×	補助ボイラーに係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第37条	重大事故等の拡大の防止等	×	重大事故等の拡大の防止等に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第38条	重大事故等対処施設的地盤	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第39条	地震による損傷の防止	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第40条	津波による損傷の防止	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第41条	火災による損傷の防止	×	重大事故等対処施設に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第43条	重大事故等対処設備	×	重大事故等対処設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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	×	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に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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	×	原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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	×	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に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第48条	最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	×	最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第49条	原子炉格納容器内の冷却等のための設備	×	原子炉格納容器内の冷却等のための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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	×	原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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	×	原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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	×	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に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第54条	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	×	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のため設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
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	×	工場等外への放射性物質の拡散を抑制するための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第56条	重大事故等の収束に必要な水の供給設備	×	重大事故等の収束に必要な水の供給設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第57条	電源設備	×	電源設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第58条	計装設備	×	計装設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第59条	運転員が原子炉制御室にとどまるための設備	×	運転員が原子炉制御室にとどまるための設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第60条	監視測定設備	×	監視測定設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第61条	緊急時対策所	×	緊急時対策所に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。
第62条	通信連絡を行うために必要な設備	×	通信連絡を行うために必要な設備に係る要求であり、本条文の適用を受けないことから対象外とする。

使用済燃料貯蔵量の推移

○玄海原子力発電所の使用済燃料貯蔵量の推移

玄海原子力発電所の使用済燃料貯蔵量の推移について、下記条件での算出結果を示す。

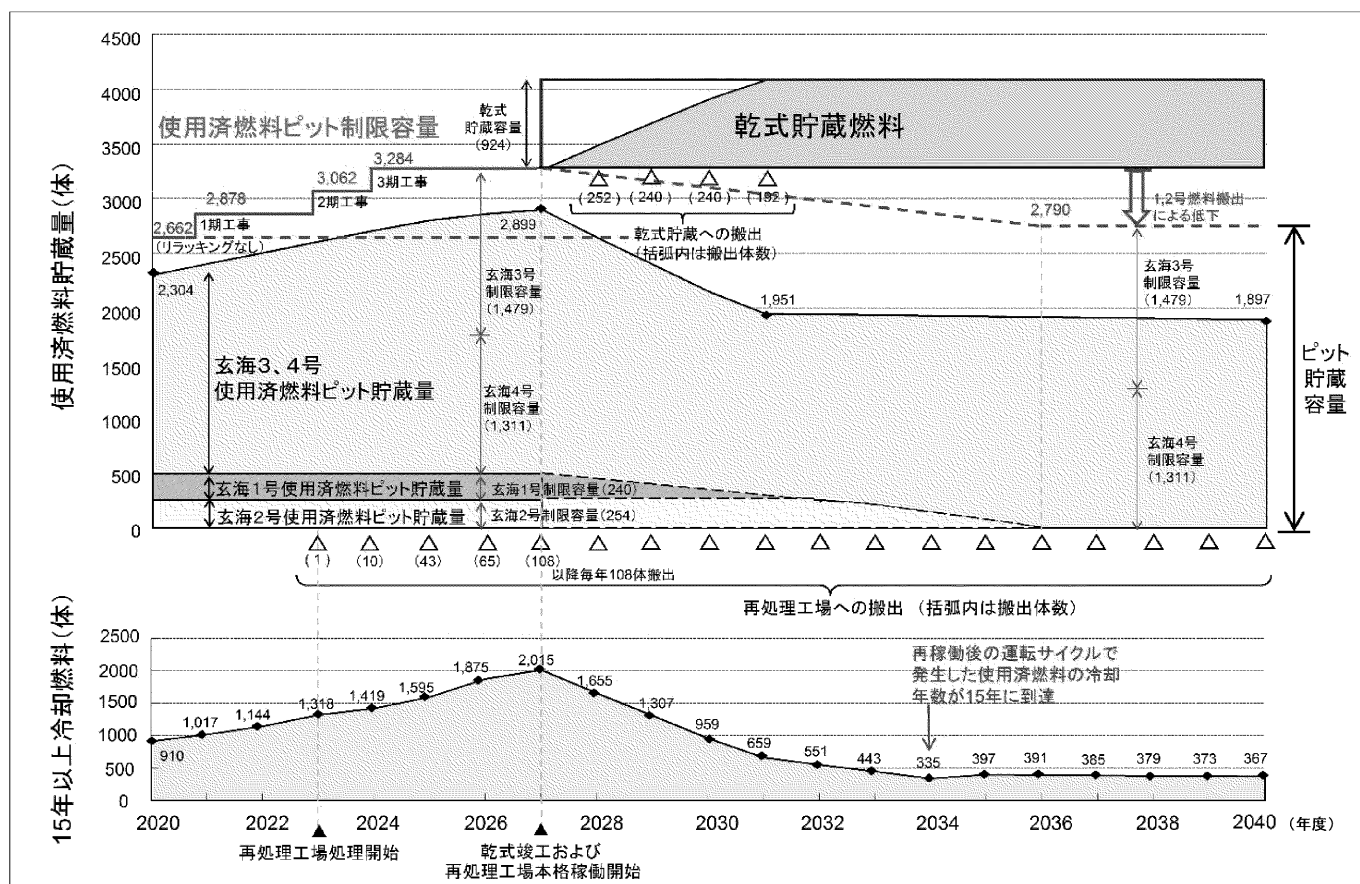
- ・玄海3,4号は運転13ヶ月、定期検査3ヶ月とし、定期検査毎に約70体の使用済燃料が発生。
- ・六ヶ所再処理工場が公表している2023年度の処理開始以降、使用済燃料取得計画の10%を当社割り当てとし、本格稼働開始後は毎年108体の搬出が可能と仮定。
- ・六ヶ所再処理工場へは15年以上冷却された燃料から優先的に搬出。
- ・2027年度の乾式貯蔵竣工後、4年間で40基の兼用キャスクに燃料を収納。
- ・最終的な兼用キャスクの内訳は21体収納型が12基、24体収納型が28基。
- ・廃止措置計画に基づき、玄海1,2号は2040年度までに使用済燃料ピット中の使用済燃料を搬出。

使用済燃料プールの貯蔵状況（2020年8月末時点）（体）

プラント	貯蔵容量	制限容量※ ¹	使用済燃料貯蔵量※ ²
玄海1号	324	240	240 (1)
玄海2号	400	254	254 (43)
玄海3号 [リラッキング後]	1,050 [1,672]	857 [1,479]	654 (275)
玄海4号	1,504	1,311	1,156 (692)

※1 制限容量：貯蔵容量から1炉心（193体）を引いた容量。ただし、玄海1,2号は廃止を決定しており、使用済燃料は増加しないことから現在の貯蔵量を制限容量とする。

※2 括弧内の数値は15年以上冷却された燃料体数（内数）



○2020年8月末時点における使用済燃料貯蔵量

使用済燃料(体)									
号機	玄海1号		玄海2号		玄海3号		玄海4号		
燃料 冷却期間 (年)	48GWd/t	55GWd/t	48GWd/t	55GWd/t	48GWd/t	MOX	48GWd/t		
							4号	1号	2号
0 ~ 5	0	0	0	0	89	0	81	0	0
5 ~ 10	0	121	65	56	85	0	161	0	0
10 ~ 15	87	31	90	0	205	0	222	0	0
15 ~	1	0	43	0	275	0	412	112	168
計	88	152	198	56	654	0	876	112	168
	240		254		654		1,156		

先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

先行電力との申請に関する設計方針において、差異の概要を示す。

なお、サイト固有条件や個別設計（設計方針は同じ）に基づく差異は除く。

	先行電力	九電	差異
3条	乾式貯蔵建屋は基準地震動に対して十分な支持力を有する地盤に設置する。	同左	なし
4条	乾式キャスクは基準地震動に対して耐震性を有する設計とする。 波及的影響： ・貯蔵建屋 基準地震動に対して損壊しないことで波及的影響を及ぼさない設計とする。 ・天井クレーン 基準地震動の発生確率や作業時間を考慮した確率論的考察により重畳考慮不要とする。	同左 波及的影響： ・貯蔵建屋 同左 ・天井クレーン 基準地震動に対して損壊しないことで波及的影響を及ぼさない設計とする。	なし なし あり
5条	基準津波の到来しない設置位置	同左	なし
6条	乾式貯蔵施設（乾式貯蔵建屋、乾式キャスク）として1項、3項を適用し設計。	乾式貯蔵建屋は、PS-3として1項、3項を適用し外部事象に対して設計。 乾式キャスクは4項、6項を適用し竜巻、外部火災に対して設計。	なし あり
7条	再稼働時方針と同じ。	同左	なし
8条	放射性物質の貯蔵等の機器等である乾式貯蔵容器を貯蔵する乾式貯蔵建屋を火災区域として設定する。 火災区域を細分化して、乾式貯蔵容器を貯蔵する貯蔵エリア、取扱エリア及びユーティリティエリアの建屋全域を火災区画として設定している。	同左 火災区域を細分化して、乾式貯蔵容器を貯蔵する貯蔵エリア及び乾式貯蔵容器を取り扱う取扱エリアを火災区画として設定する。 なお、火災区画を設定しないユーティリティエリア（コンプレッサ室含む）については、貯蔵エリア及び取扱エリアと同様に、消防法に基づき火災感知器及び消火設備を設置するため、設計の相違はない。	なし あり
9条	200m 浸漬評価により影響を受けない。	同左	なし
11条	安全避難通路を設ける。	同左	なし

	先行電力	九電	差異
12条	キャスク：PS-2 建屋：PS-3	同左	なし
16条	<p>【兼用キャスク／収納SF】 1/2号用 (14×14 48G)</p> <p>MSF-32P (単一燃料)</p> <p>3号用 (17×17 48G) MSF-24P</p> <p>【4つの安全機能】 貯蔵状態での安全機能維持 想定事象による安全機能維持</p> <p>【長期健全性】 設計貯蔵期間 (60年) において安全 機能維持できる設計</p> <p>【監視装置】 蓋間圧力計、表面温度計、雰囲気温 度計を設けて監視できる設計。 監視頻度は3ヶ月/回</p>	<p>【兼用キャスク／収納SF】 1/2/3/4号用 (14×14 48G) (14×14 55G) (17×17 48G)</p> <p>MSF-21P (複数種燃料、燃料型の混載 無)</p> <p>3/4号用 (17×17 48G) MSF-24P</p> <p>同左</p> <p>同左</p> <p>55G 燃料健全性</p> <p>同左</p>	<p>あり</p> <p>なし</p> <p>なし</p> <p>あり</p> <p>なし</p>
29条	<p>建屋を設ける事で年間 $50 \mu \text{Sv/y}$ を 満足する設計とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 管理区域境界線量評価を行う。 敷地境界線量評価を行う。 (補足) 開口部のストリーミング影響評価 を行う。 	<p>同左</p> <ul style="list-style-type: none"> 同左 (30条に評価結果を記載。) 敷地等境界線量評価を行う。 (補足) 同左 	<p>なし</p> <p>なし</p> <p>なし</p> <p>なし</p>
30条	<p>建屋壁を境界として管理区域境界を 設ける。 建屋外及びユーティリティエリアは 非管理区域。 飛び地管理。 線量当量率の表示を行う。</p>	同左	なし