

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

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、燃料油貯油そうベント管、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) 竜巻随伴事象に対する評価

竜巻随伴事象は、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

竜巻随伴事象として、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、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"> <li>・ 固縛</li> <li>・ 固定</li> <li>・ 竜巻防護施設他との隔離</li> <li>・ 建屋内収納</li> <li>・ 撤去</li> </ul>	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ダクト及び外気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"> <li>• 固縛</li> <li>• 固定</li> <li>• 竜巻防護施設他との離隔</li> <li>• 建屋内収納</li> <li>• 撤去</li> </ul>	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			施設を内包する施設	—	—
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"> <li>• 固縛</li> <li>• 固定</li> <li>• 竜巻防護施設他との離隔</li> <li>• 建屋内収納</li> <li>• 撤去</li> </ul>	—	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）	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 固縛</li> <li>• 固定</li> <li>• 竜巻防護施設他との離隔</li> <li>• 建屋内収納</li> <li>• 撤去</li> </ul>	—	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 原子炉周縁建物 原子炉補助建物 燃料取替用水タンク 燃料油タンク 燃料油貯蔵タンク 海水ポンプ 海水ポンプ	100m/s	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 固縛</li> <li>• 固定防護施設</li> <li>• 竜巻との隔離</li> <li>• 他建屋内収納</li> <li>• 撤去</li> </ul>	—	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貯蔵エリアにより、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。

・使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアは、竜巻の発生が予想される場合、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。

##### (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)」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。)<sup>(1)</sup>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」<sup>(2)</sup>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 $92\text{m/s}$ 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<sup>(1)</sup>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5km全域の範囲）の評価及び竜巻検討地域を海岸線に沿って1km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5km全域の評価

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

### 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<sup>(1)</sup>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<sup>(1)</sup>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<sup>(3)</sup>)。

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

ここで、Nは竜巻の年発生数、 $\nu$ は竜巻の年平均発生数、Tは年数である。 $\beta$ 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、 $\sigma$  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  $\alpha$  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. <sup>(4)</sup>、Garson et al. <sup>(5)</sup>）。

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

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. <sup>(5)</sup>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. <sup>(5)</sup>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<sup>(6)</sup>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<sup>(7)</sup>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<sup>(6)</sup>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<sup>(8)</sup>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<sup>(8)</sup>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<sup>(1)</sup>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 ( $\Delta P_{max}$ )

設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) は、米国 NRC の基準類<sup>(8)</sup>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、 $\rho$  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<sup>(8)</sup>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 <sup>2</sup> )	竜巻数 (個)	単位面積当り発生数 (個/年/km <sup>2</sup> )
①	九州 (沖縄含)	51.3×10 <sup>3</sup>	197	7.46×10 <sup>-5</sup>
①+②	九州 (沖縄含)、山口県、高知県	60.9×10 <sup>3</sup>	235	7.49×10 <sup>-5</sup>
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 <sup>3</sup>	288	7.56×10 <sup>-5</sup>
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 <sup>3</sup>	336	7.64×10 <sup>-5</sup>
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 <sup>3</sup>	339	7.35×10 <sup>-5</sup>

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

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

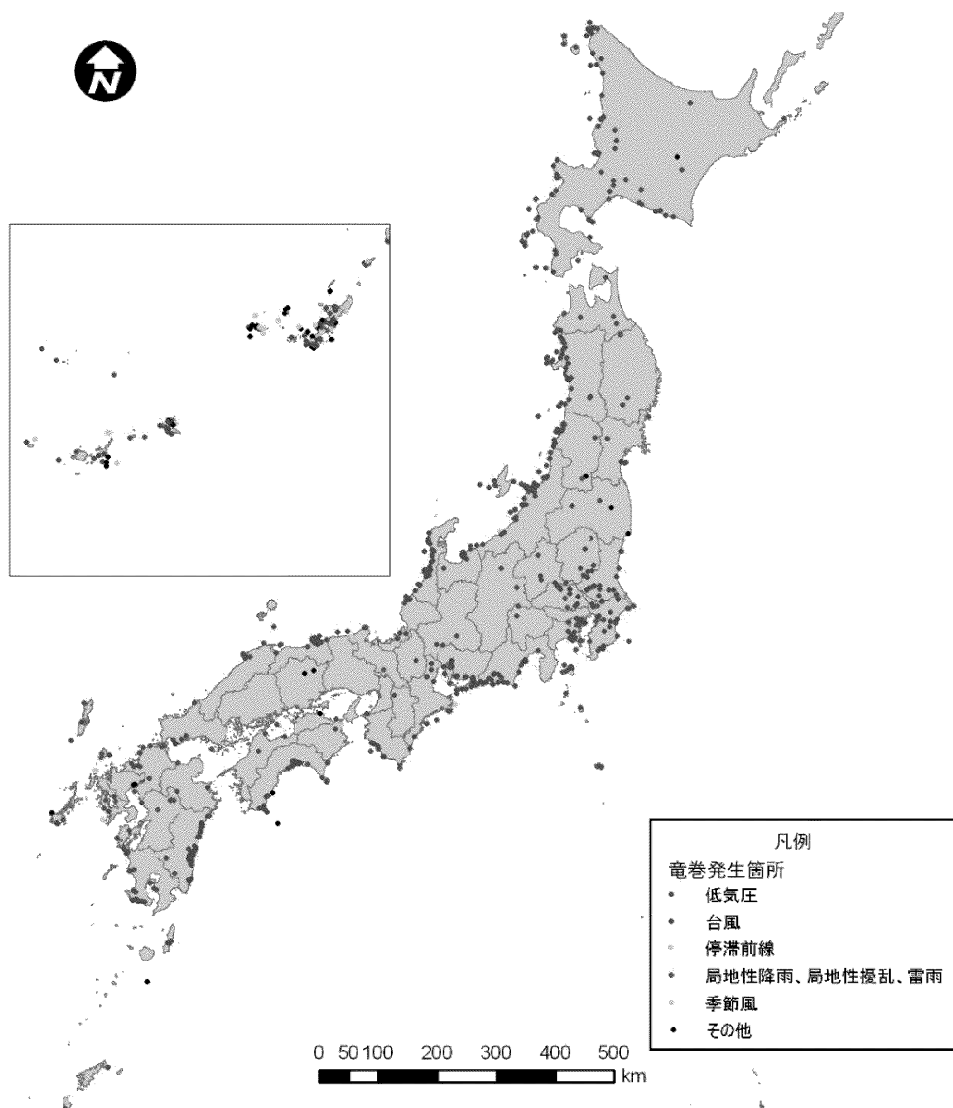
相関係数	風速 (m/s)	被害幅(m)	被害長さ(km)
風速(m/s)	1.000	0.412	0.436
被害幅(m)	—	1.000	0.403
被害長さ(km)	—	—	1.000

第 7.9.1.8 表 評価対象施設の面積

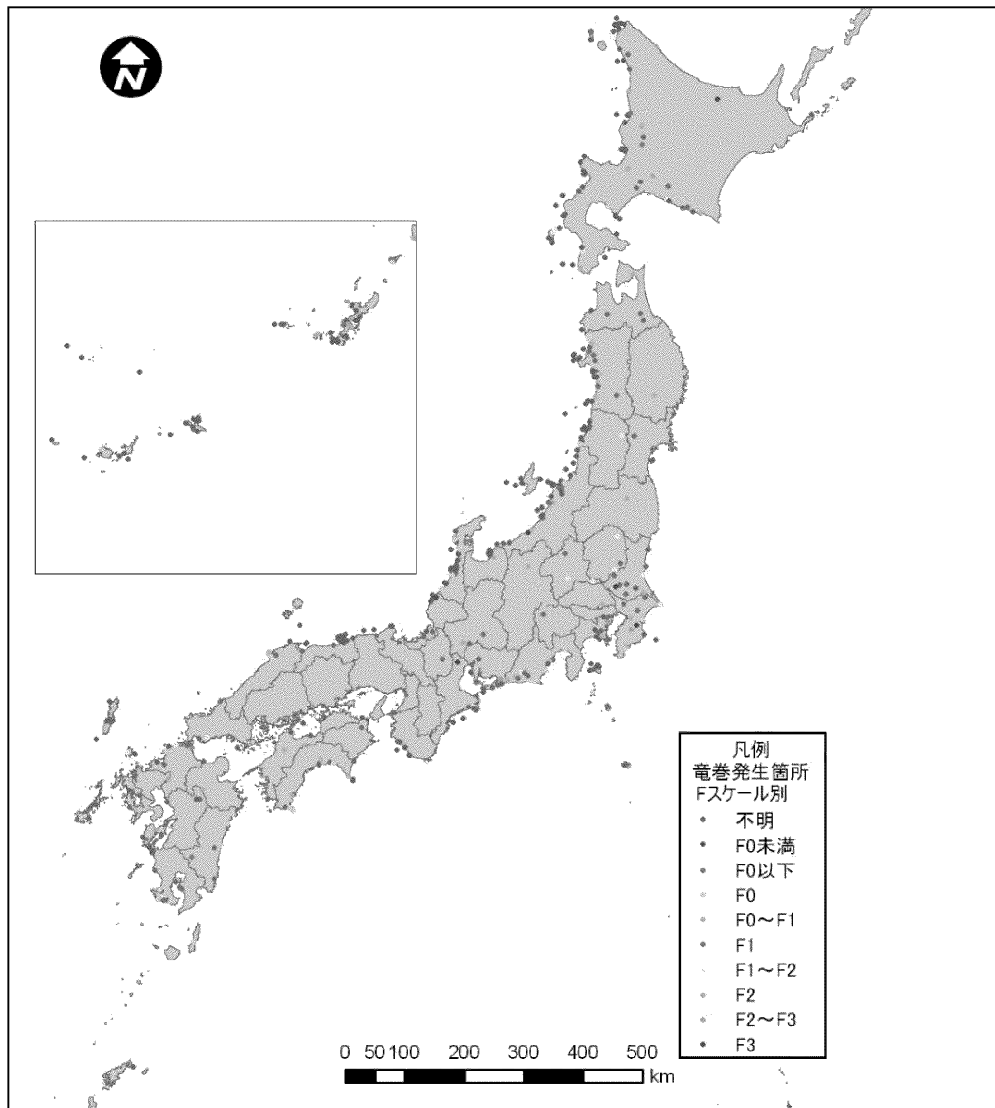
評価対象施設	設置面積 (m <sup>2</sup> )		
	3号	4号	計
原子炉格納容器	1,550	1,550	3,100
原子炉周辺建屋	4,510	6,030	10,540
原子炉補助建屋	5,900	—	5,900
タービン建屋	6,570	6,060	12,630
燃料取替用水タンク建屋	1,120	—	1,120
廃棄物処理建屋	1,000	—	1,000
海水ポンプエリア	500	500	1,000
燃料油貯油そう基礎	200	200	400
燃料油貯蔵タンク基礎	230	230	460
合計	21,580	14,570	36,150

第 7.9.1.9 表 設計竜巻の特性値

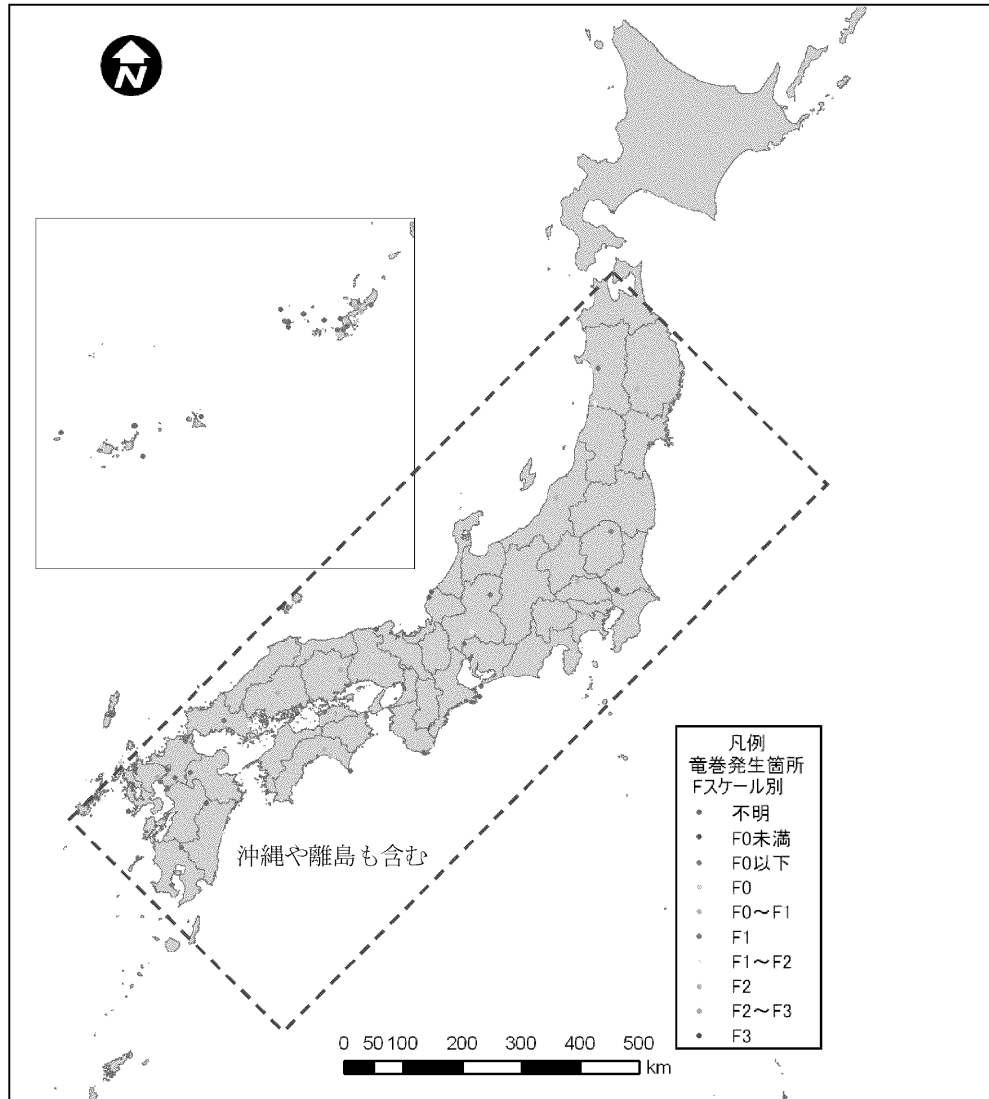
最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大接線 風速半径 $R_m$ (m)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (hPa)	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45



第 7.9.1.1 図 気象要因別の竜巻発生位置

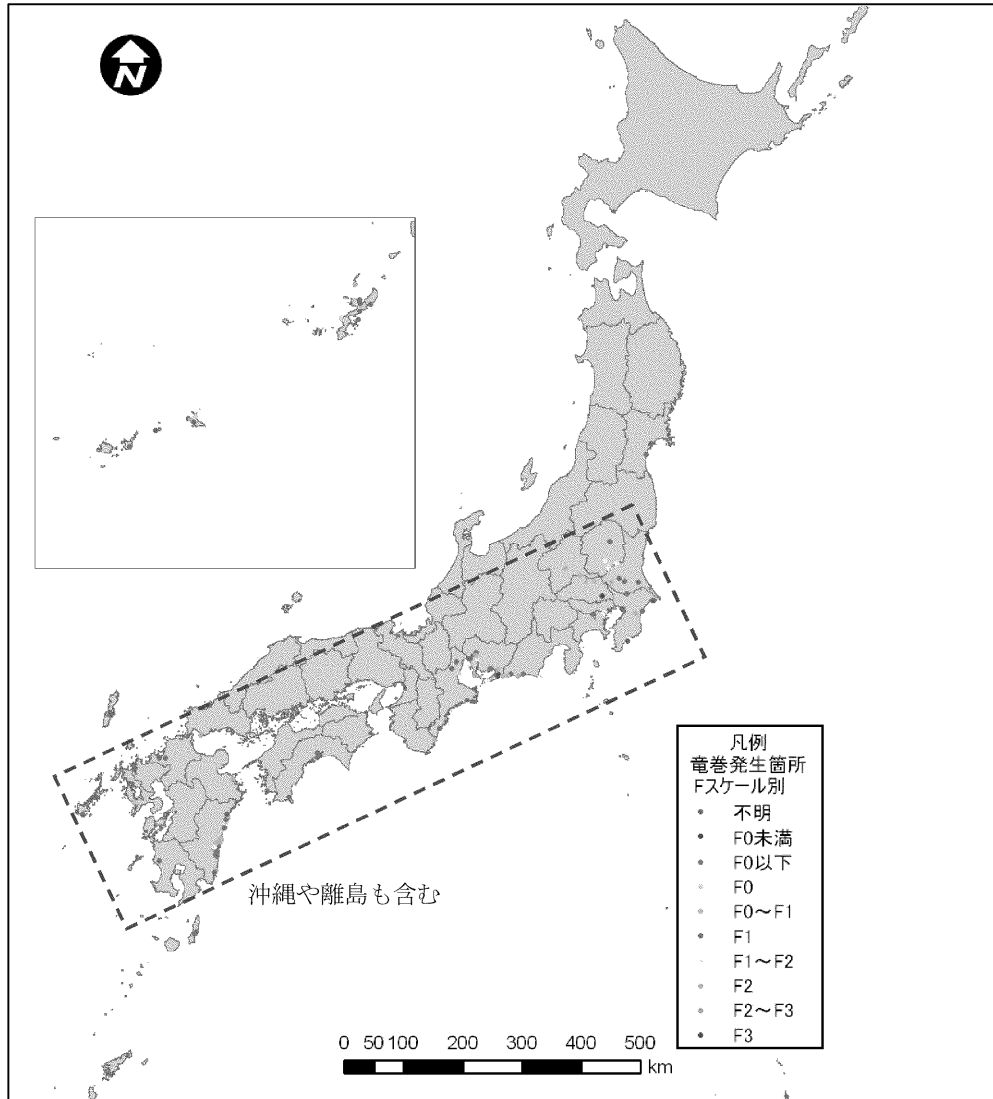


第 7.9.1.2 図 竜巻発生位置（低気圧起因）

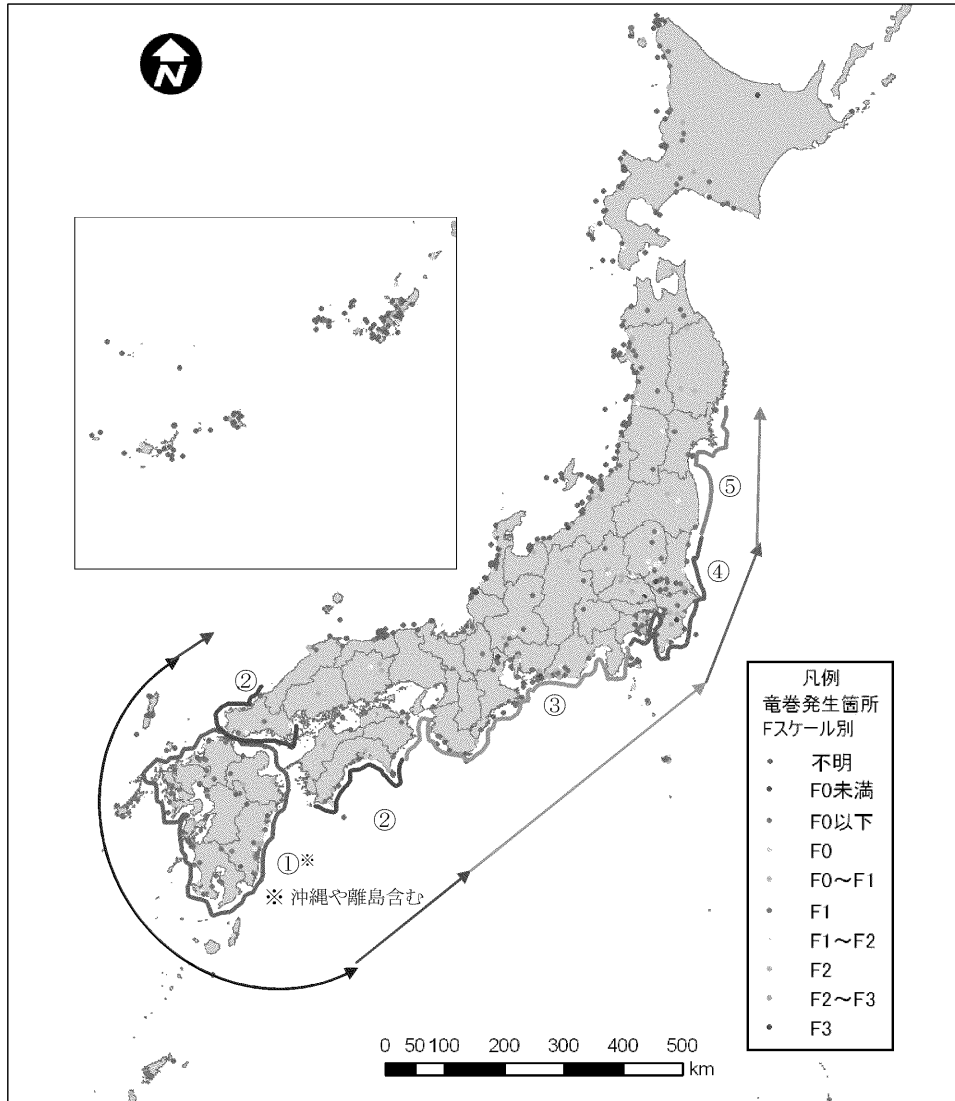


第 7.9.1.3 図 竜巻発生位置 (停滞前線起因)

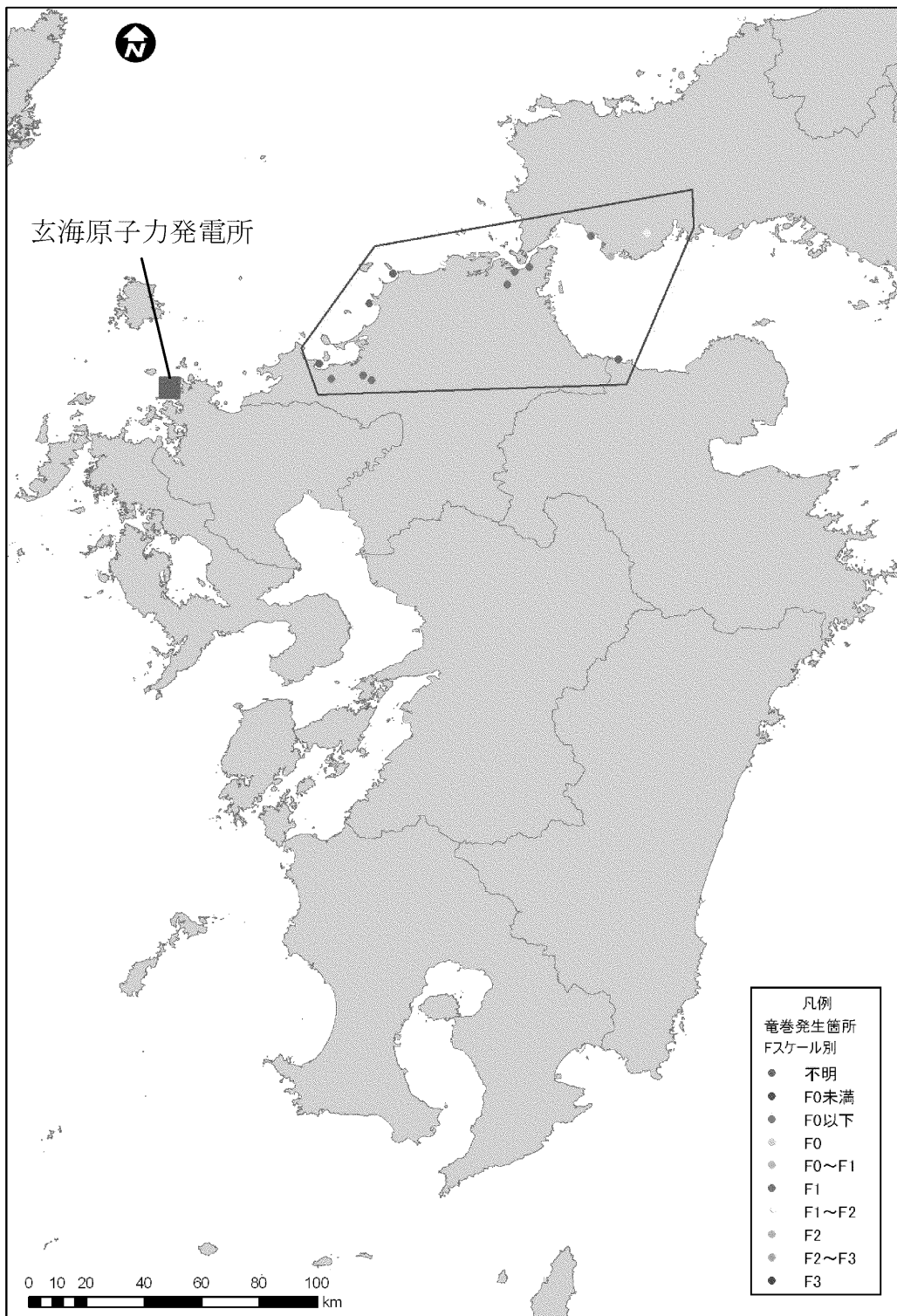




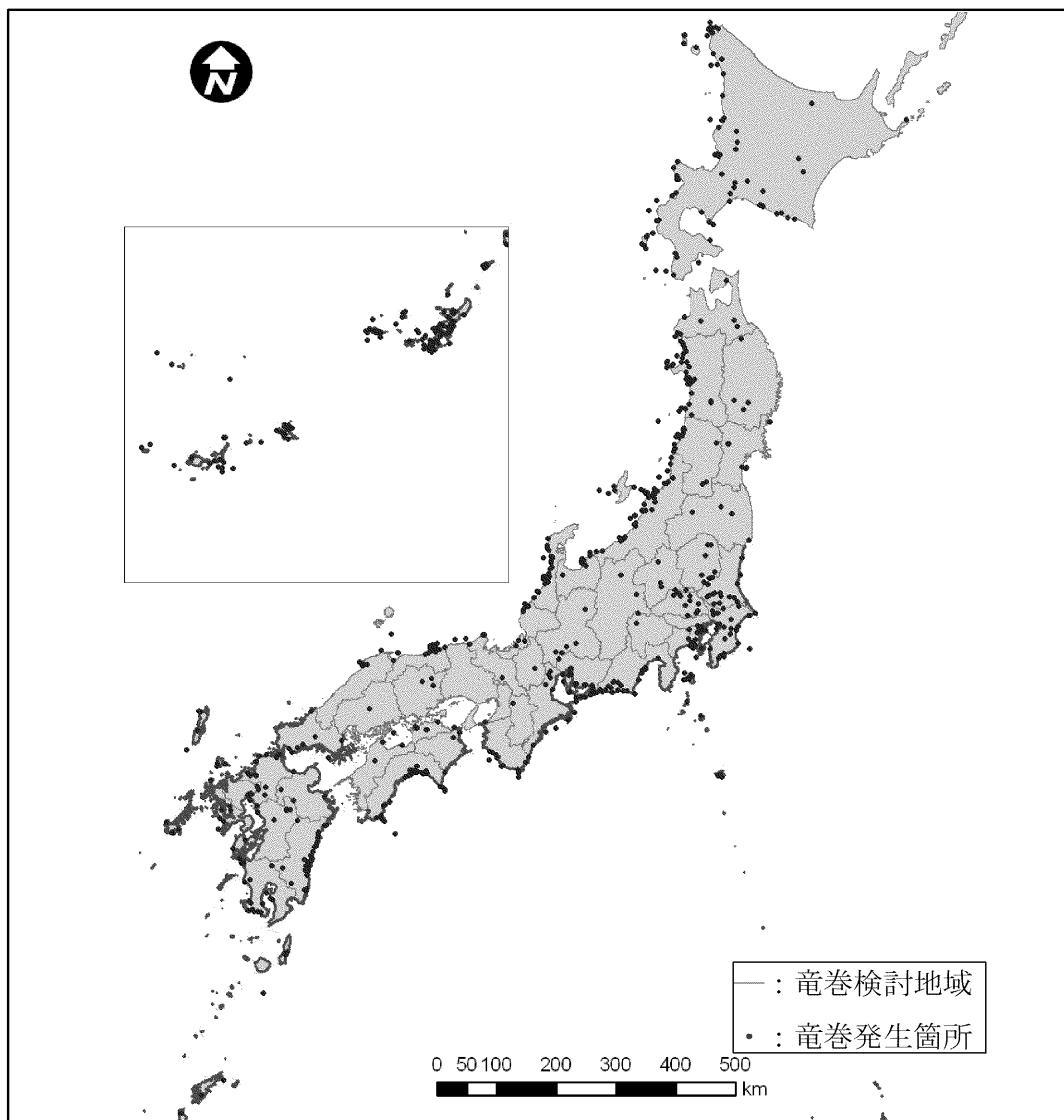
第 7.9.1.4 図 竜巻発生位置（台風起因）



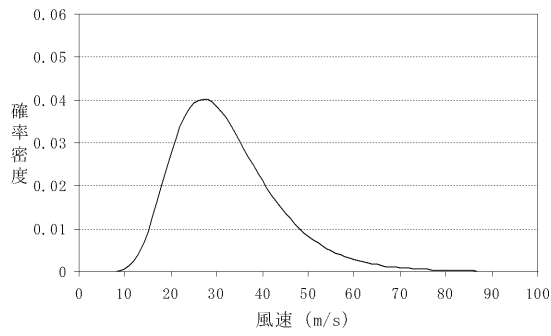
第 7.9.1.5 図 Fスケール別の竜巻発生位置



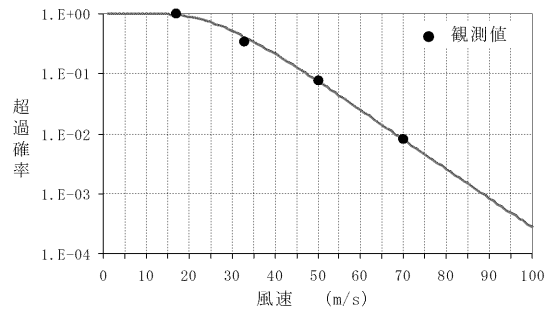
第 7.9.1.6 図 集中地域⑧における F スケール別竜巻発生位置



第 7.9.1.7 図 竜巻検討地域

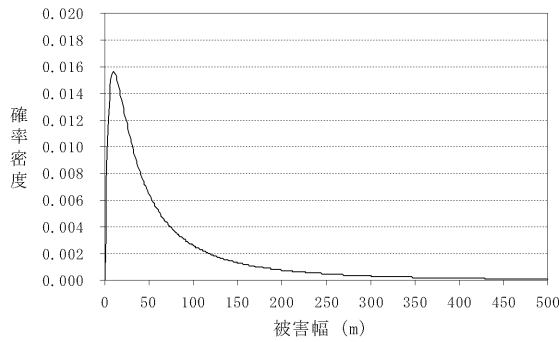


確率密度分布

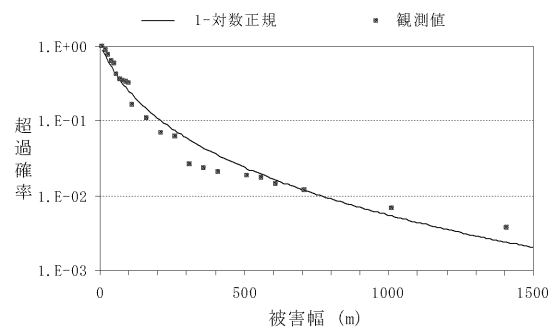


超過確率

第7.9.1.8図 風速の確率密度分布と超過確率

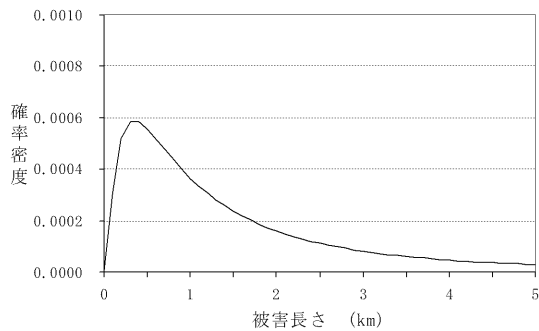


確率密度分布

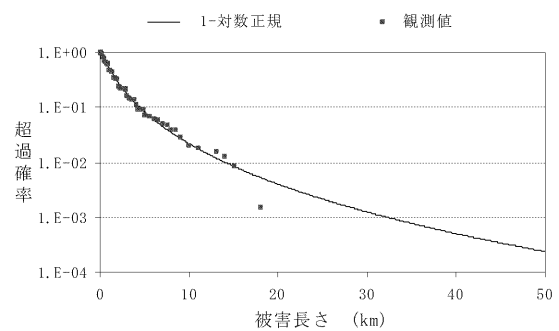


超過確率

第7.9.1.9図 被害幅の確率密度分布と超過確率

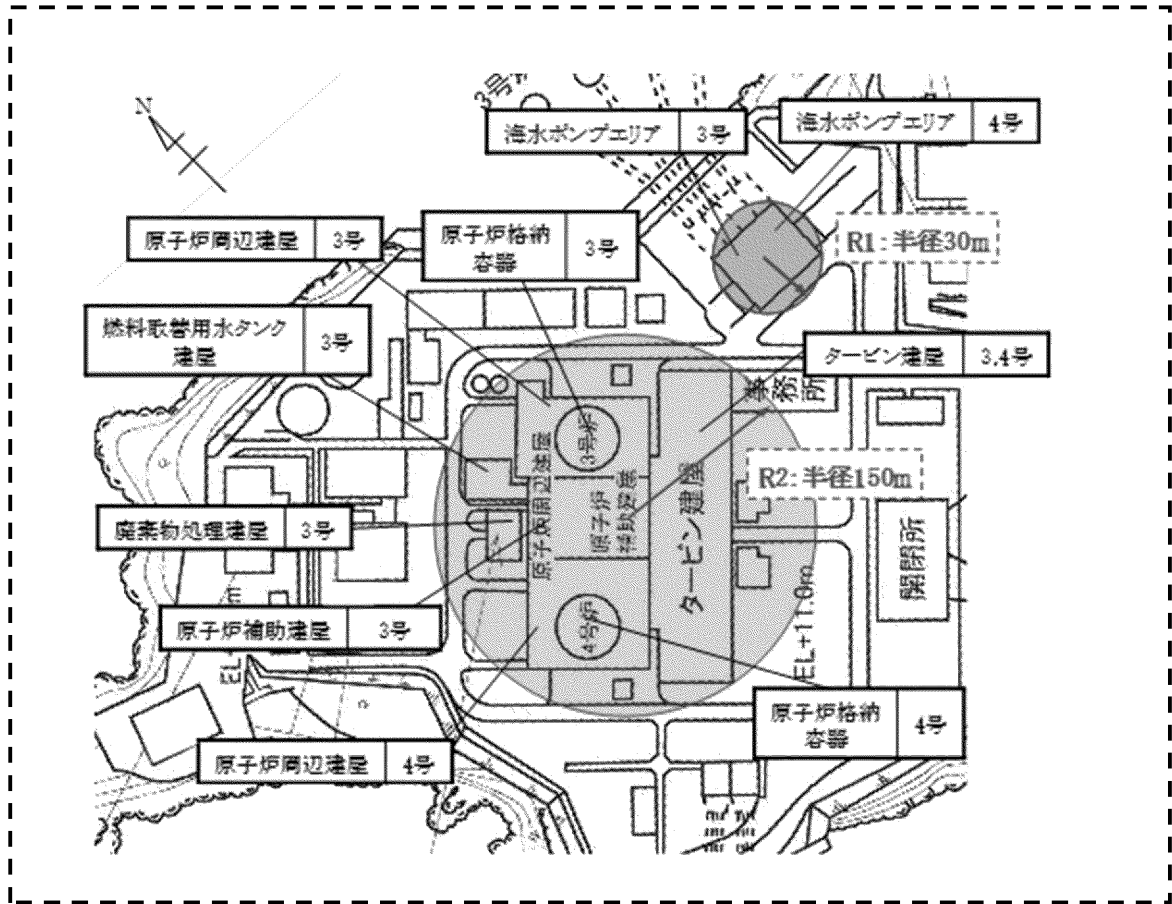


確率密度分布

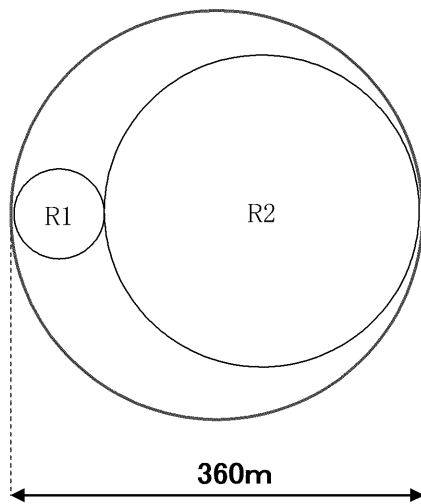


超過確率

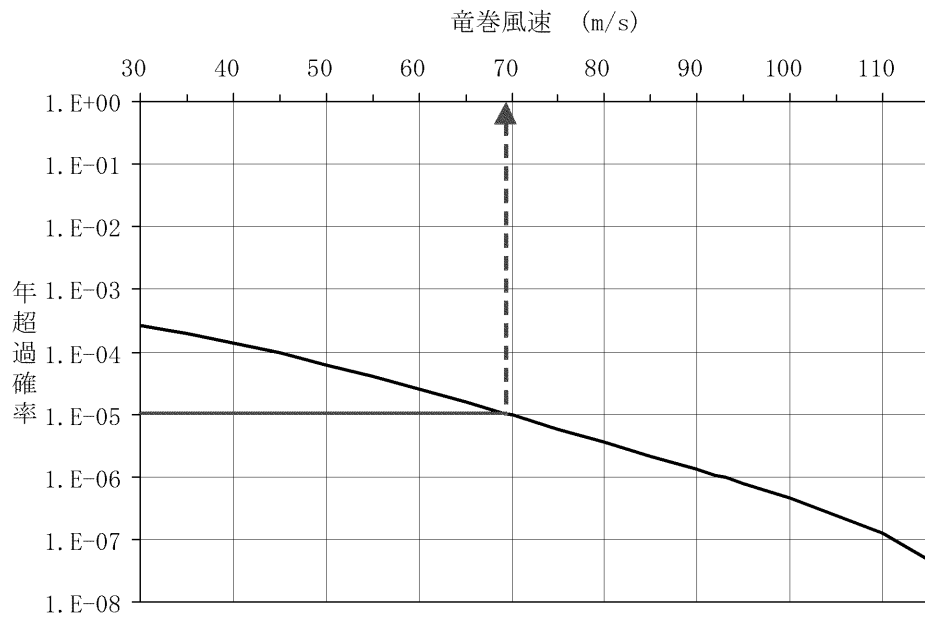
第7.9.1.10図 被害長さの確率密度分布と超過確率



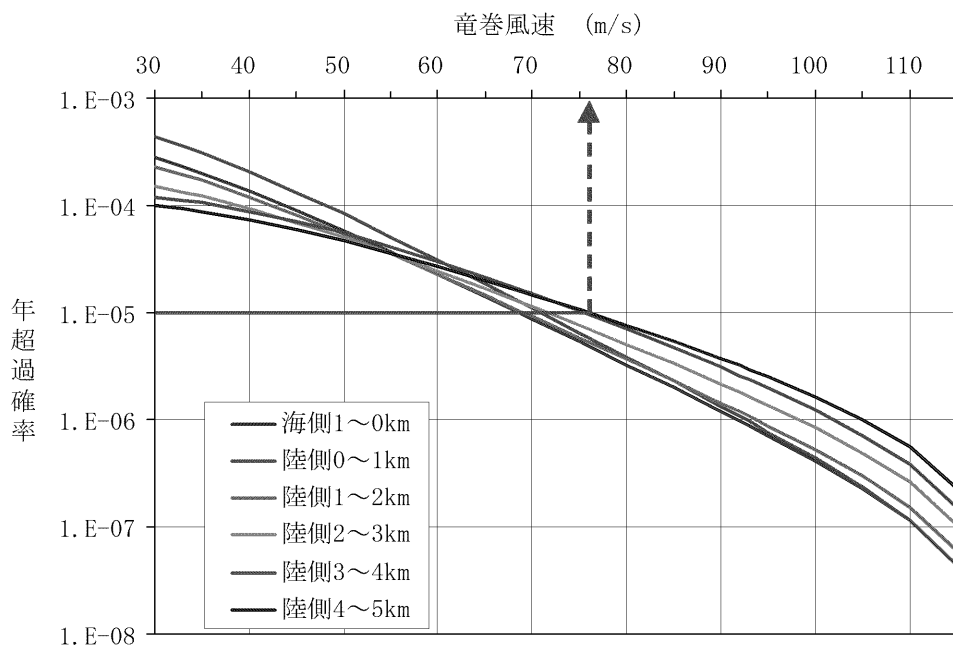
計算上の取扱い



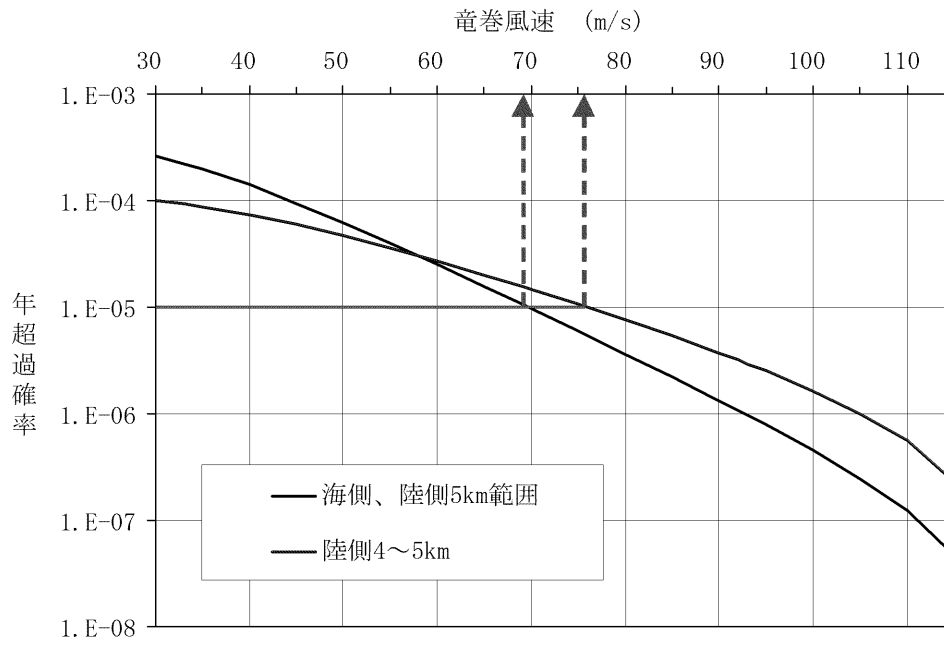
第 7.9.1.11 図 竜巻影響エリア



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）

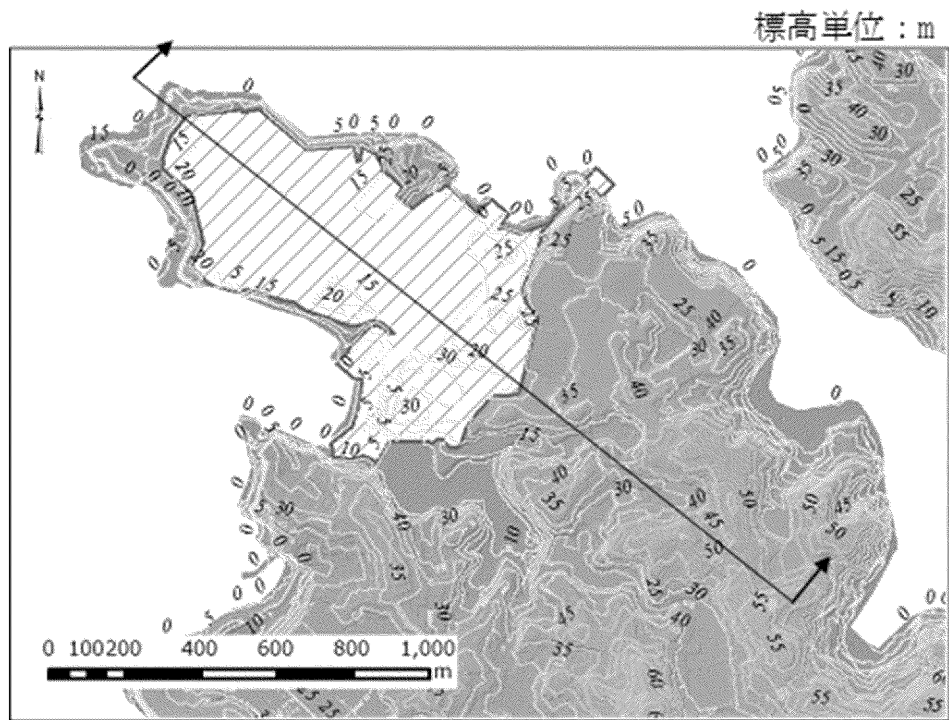


第 7.9.1.13 図 竜巻最大風速のハザード曲線（1 km 範囲）

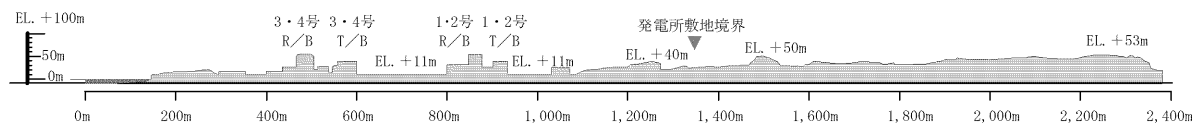


第 7.9.1.14 図 竜巻最大風速のハザード曲線



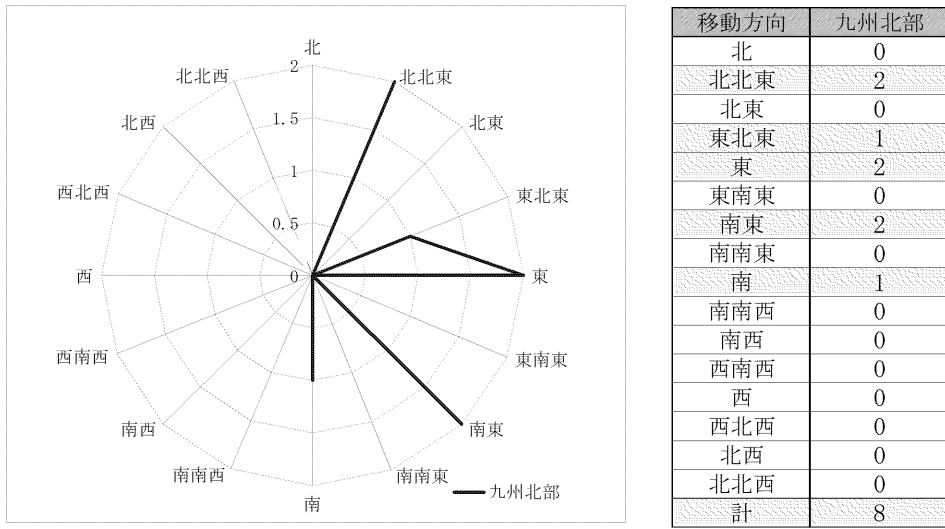


発電所周辺平面図

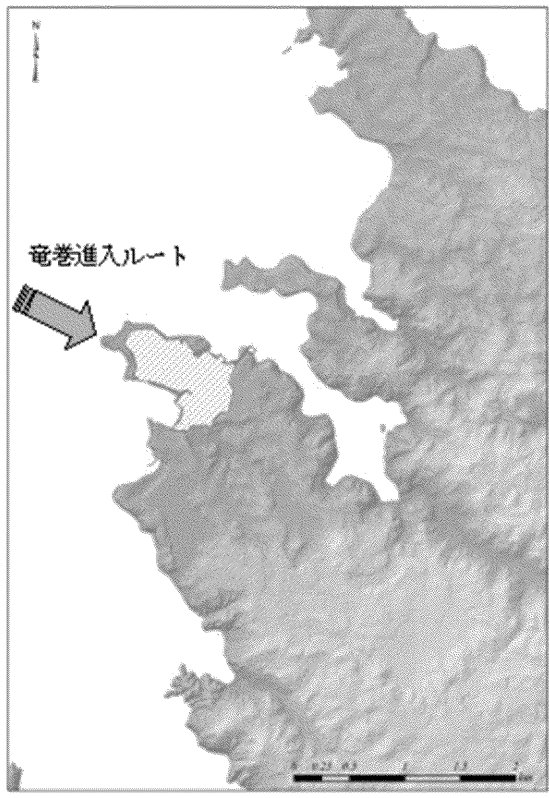


発電所周辺断面図

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	

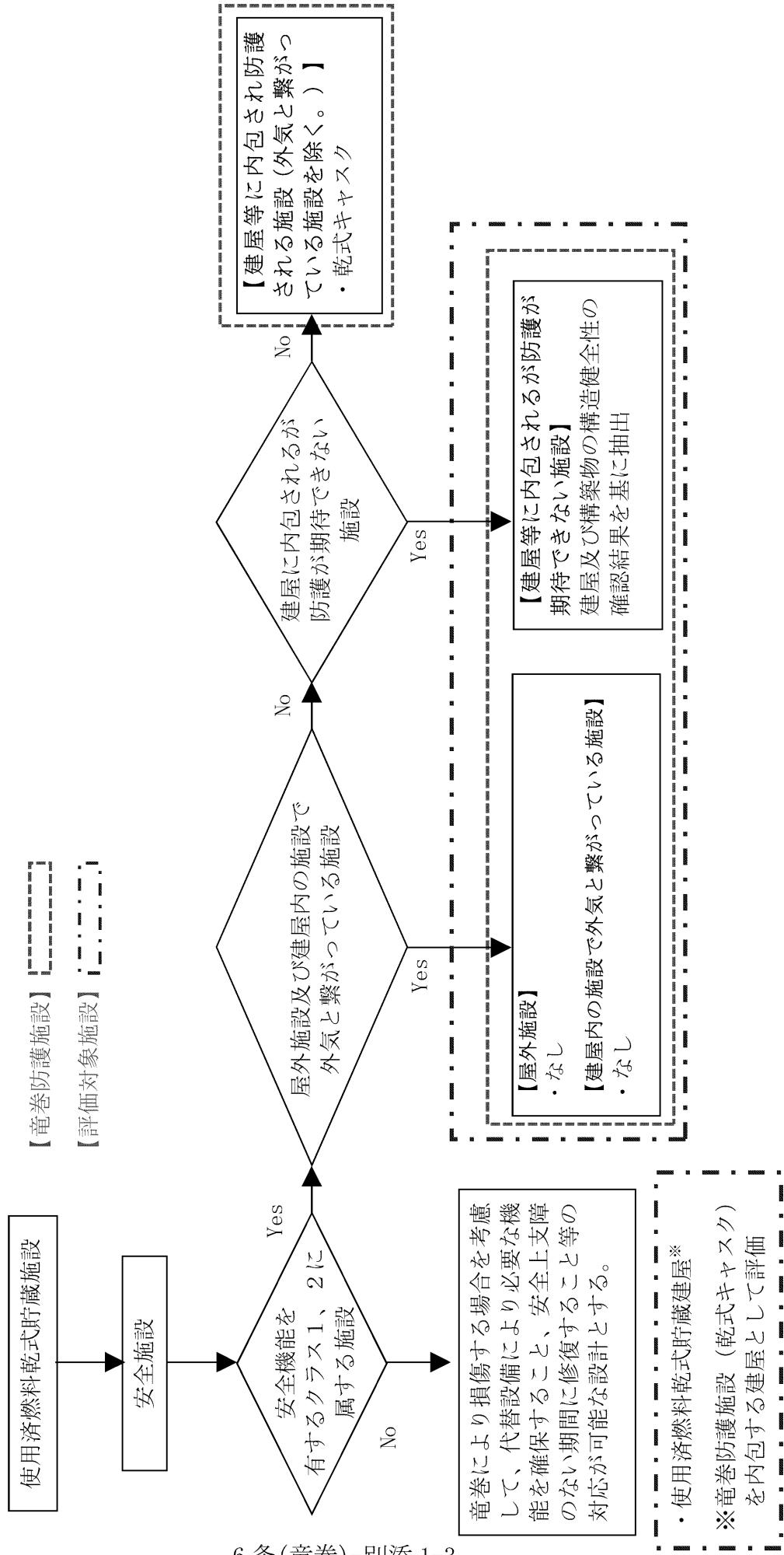
※: 支持部及び基礎を含む。

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 $100\text{m/s}$ 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 $100\text{m/s}$ 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 $V_D$ ( $\text{m/s}$ )	移動速度 $V_T$ ( $\text{m/s}$ )	最大接線 風速 $V_{Rm}$ ( $\text{m/s}$ )	最大接線 風速半径 $R_m$ ( $\text{m}$ )	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ ( $\text{hPa}$ )	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ ( $\text{hPa/s}$ )
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

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

$\rho$ ：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 ( $\Delta P_{max}$ ) 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

$\Delta P_{max}$  : 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<sup>※1</sup>、積乱雲の発達時に竜巻と同時に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<sup>※2</sup>、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て十分に小さく、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はない、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 <sup>°</sup> ラ <sup>°</sup> ダ <sup>※1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	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 <sup>※2</sup> (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 マイクロバス	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 オールテレーンクレーン 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<sup>°</sup>ラ<sup>°</sup>ダが0.0025以上で浮き上がる。

※2:空力ハ<sup>°</sup>ラ<sup>°</sup>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 <sup>°</sup> ラ <sup>°</sup> ダ <sup>°</sup> <sup>※1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	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 <sup>※2</sup> (m)	備考
柔(-部脚)	高機動型作業車	5.755	2.3	3	14000	0.00176	×	7303	10	100	
柔(-部脚)	直流電源用発電機	3.7	2.25	2.475	5040	0.00302	○	4023	8	190	
柔(-部脚)	変圧器車	5.31	2.08	3.15	7300	0.00310	○	5919	9	195	
柔(-部脚)	移動式大容量ポンプ車	12.75	2.495	3.5	35000	0.00161	×	16320	16	86	
柔(-部脚)	代替緊急時対策所用 空気浄化フィルター	2.8	1.2	2.1	3300	0.00235	×	2238	8	146	
柔(-部脚)	代替緊急時対策所用 空気浄化ファン	0.91	0.69	0.955	290	0.00491	○	295	4	273	
柔(-部脚)	水中ポンプ用発電機	3.88	1.855	1.795	2310	0.00500	○	2362	7	276	
柔(-部脚)	消防車(化学車)	7.08	2.28	2.85	7550	0.00374	○	6755	10	228	
柔(-部脚)	可搬型ダイゼル 注入ポンプ車	9.29	2.49	3.7	21846	0.00202	×	13041	13	121	
柔(-部脚)	タンクローリ(14kl)	9.27	2.49	2.915	9284	0.00408	○	8657	11	243	
柔(-部脚)	フォークリフト	5.38	1.48	2.25	7280	0.00212	×	4546	11	129	
柔(-部脚)	中容量発電機車	17.6	3.7	5.399	52050	0.00228	×	34511	17	141	
柔(-部脚)	ホース展開回収車	8.38	2.49	3.28	12200	0.00306	○	9809	12	192	

※1:空力ハ<sup>°</sup>ラ<sup>°</sup>ダ<sup>°</sup>が0.0026以上で浮き上がる。

※2:空力ハ<sup>°</sup>ラ<sup>°</sup>ダ<sup>°</sup>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 <sup>※1</sup> ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	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 <sup>※2</sup> (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 パワーグレート：カーゴ)	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）※<sup>1</sup>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。

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

※<sup>1</sup>：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。

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

$m$  : 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

$\rho$  : 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。

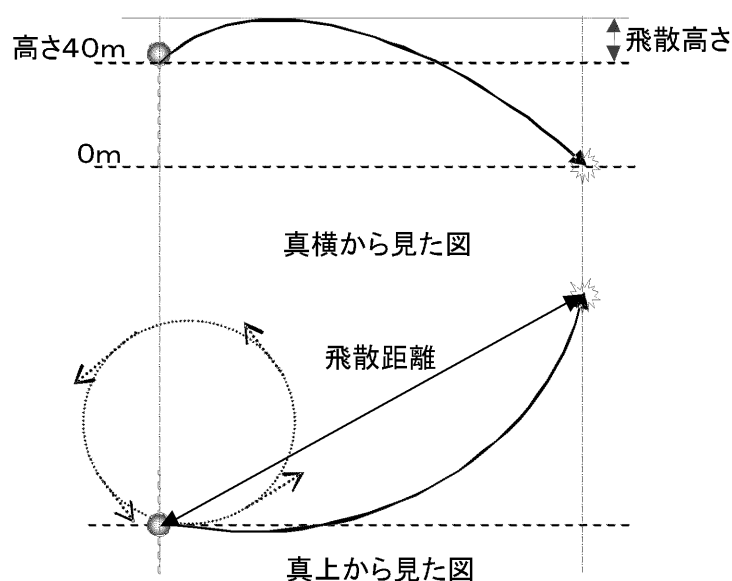


図 1.1 飛来物の軌跡評価イメージ

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<sup>※2</sup>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

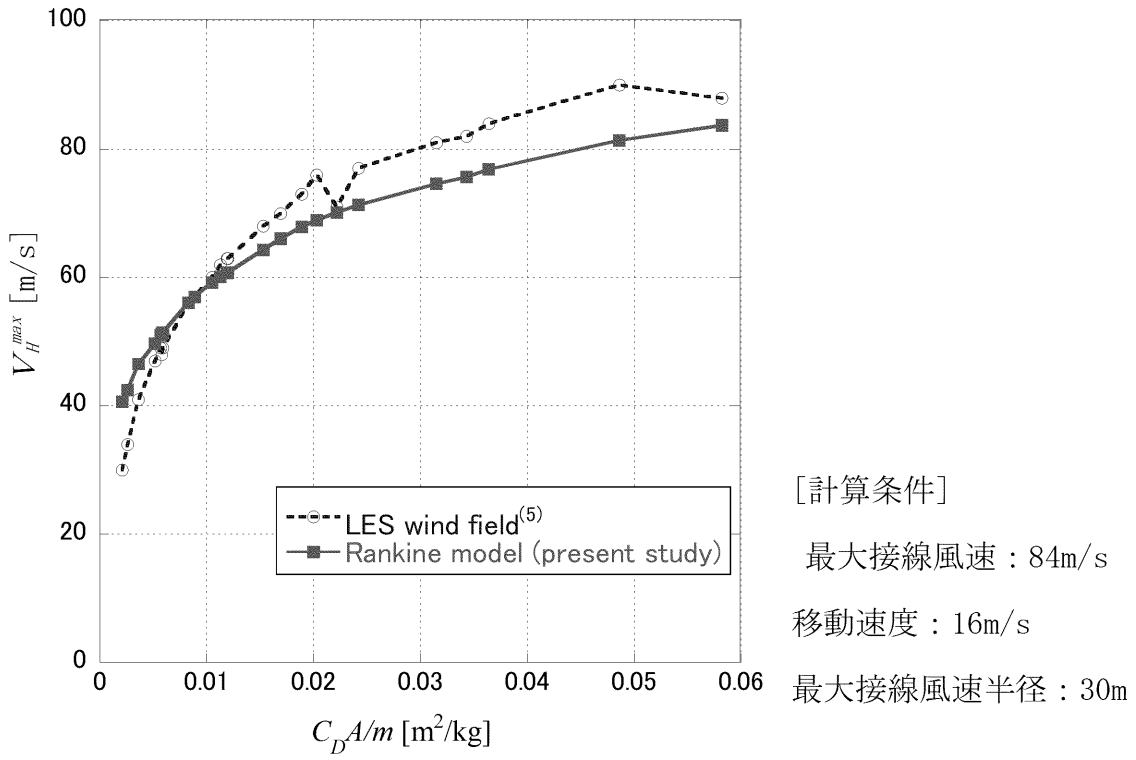


図 2.1 文献との比較

## 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 $V_\theta$ 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)

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

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

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

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

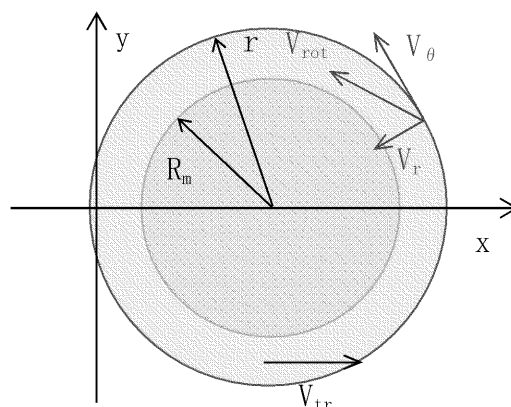


図 1.1 ランキン渦モデルのベクトル図

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<sup>\*1</sup>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。

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

$V_\theta$  : 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) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> 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

$\rho$  : 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

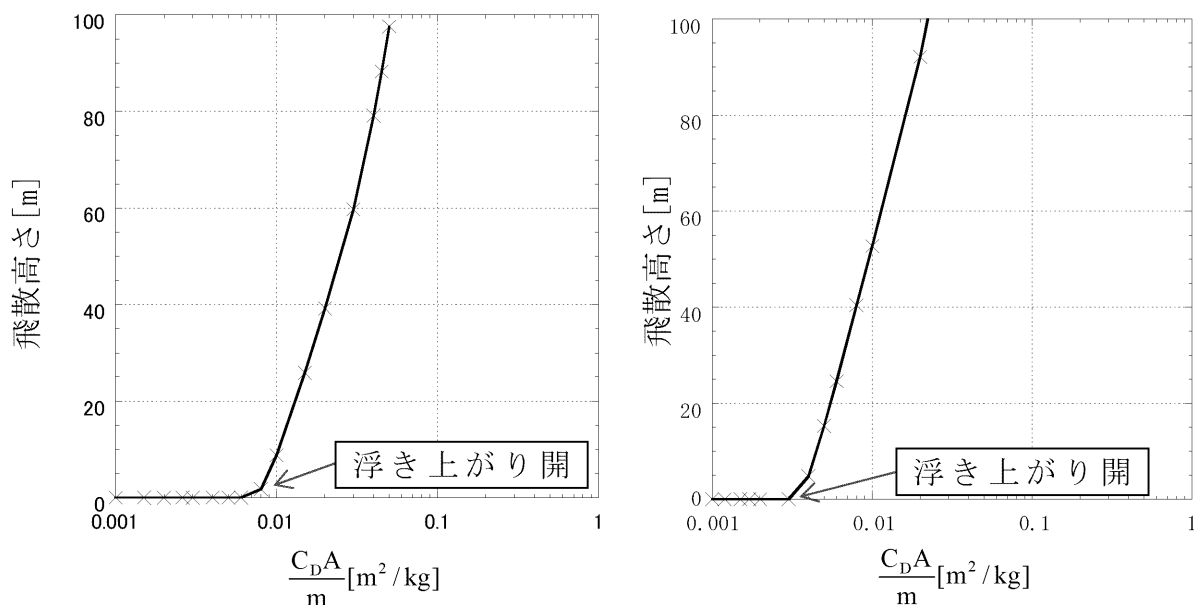
竜巻風速 F 2 ( $V_D = 69\text{m/s}$ ) 及び ( $V_D = 100\text{m/s}$ ) の諸元を表 1.1 に示す。

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 ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$	1.22	
重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ )	$g$	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 <sup>※</sup>

※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 0.0026m<sup>2</sup>/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) <sup>(3)</sup>

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

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

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

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

### 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

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

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

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

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

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

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。

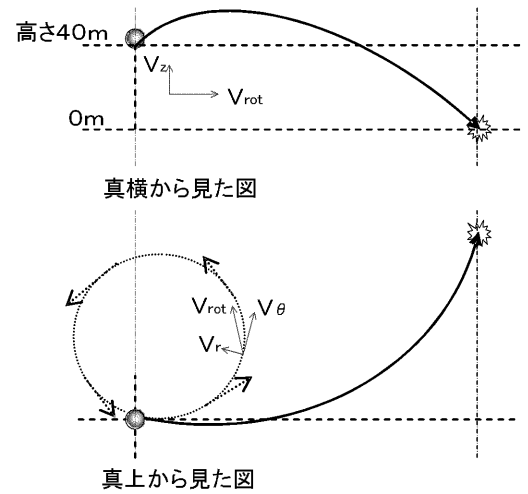
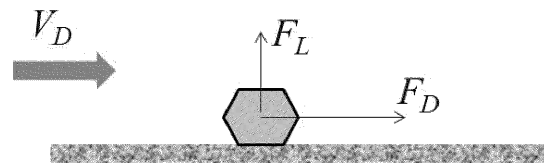


図 2.1 飛来物の軌跡イメージ (風向きベクトル記載)

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  $V_m = 0.85 V_D$  ( $V_r = 0.15 V_D$ ) の関係を用いると (2) 式は以下ようになる。

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

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。

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

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。

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

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。

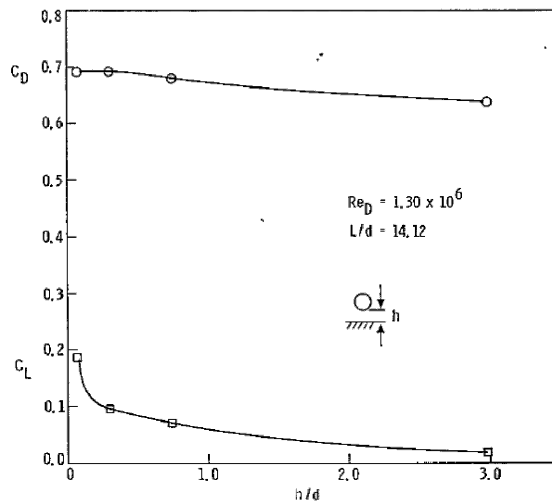


Fig. 3-19. Effect of distance from ground plane on the drag and lift coefficients of open circular cylinder (length/diameter = 14.1) normal to flow ( $\psi = 90^\circ$ ) in supercritical Reynolds Number regime

(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。

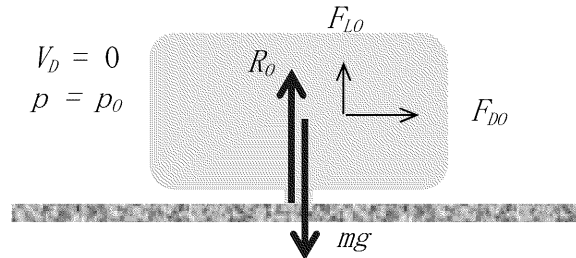


図 3.1 無風時に作用する力

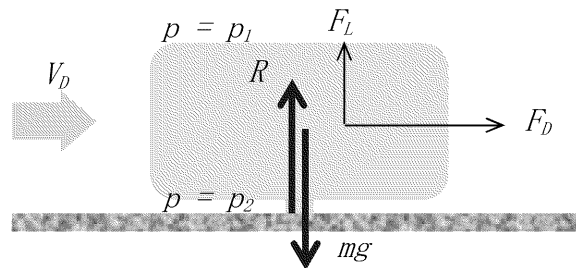


図 3.2 竜巻時に作用する力

【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

$\sigma$  : 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 $\sigma_o$ 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 $\sigma$ 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。

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

$p_o s > 0$ 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 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	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、

$\Delta P$  : 最大気圧低下量

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

$\rho$  : 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	$1.09 \times 10^7$

(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

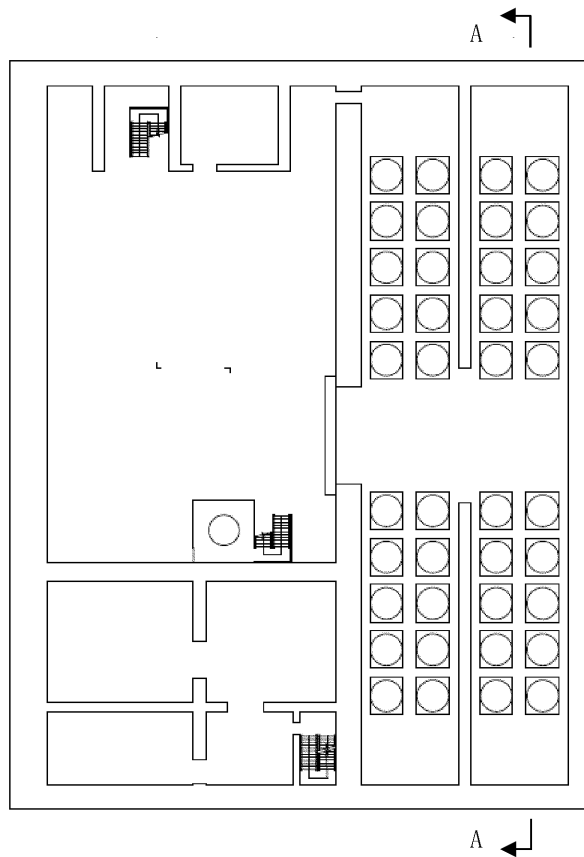
4.1 評価対象施設の概要

(1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

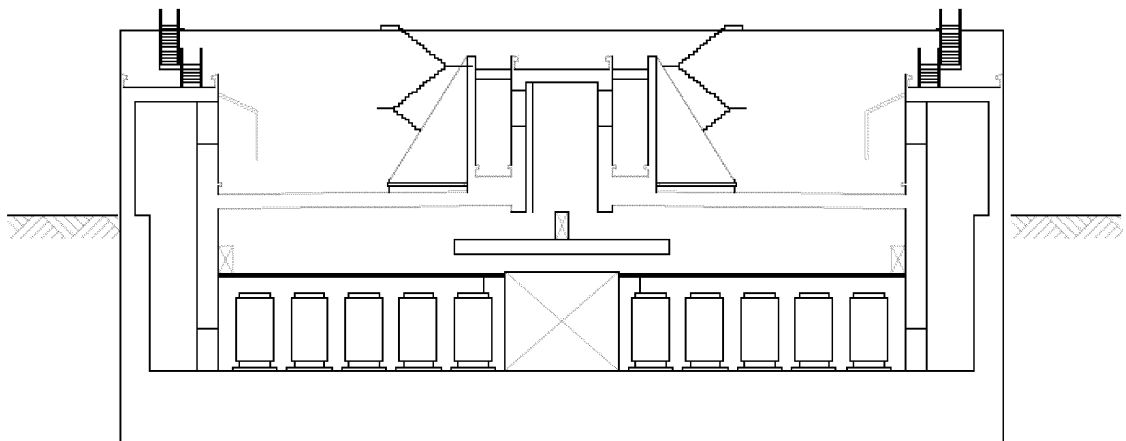
使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要を第4-1表、概略平面図及び概略断面図を第4-1図及び第4-2図に示す。

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

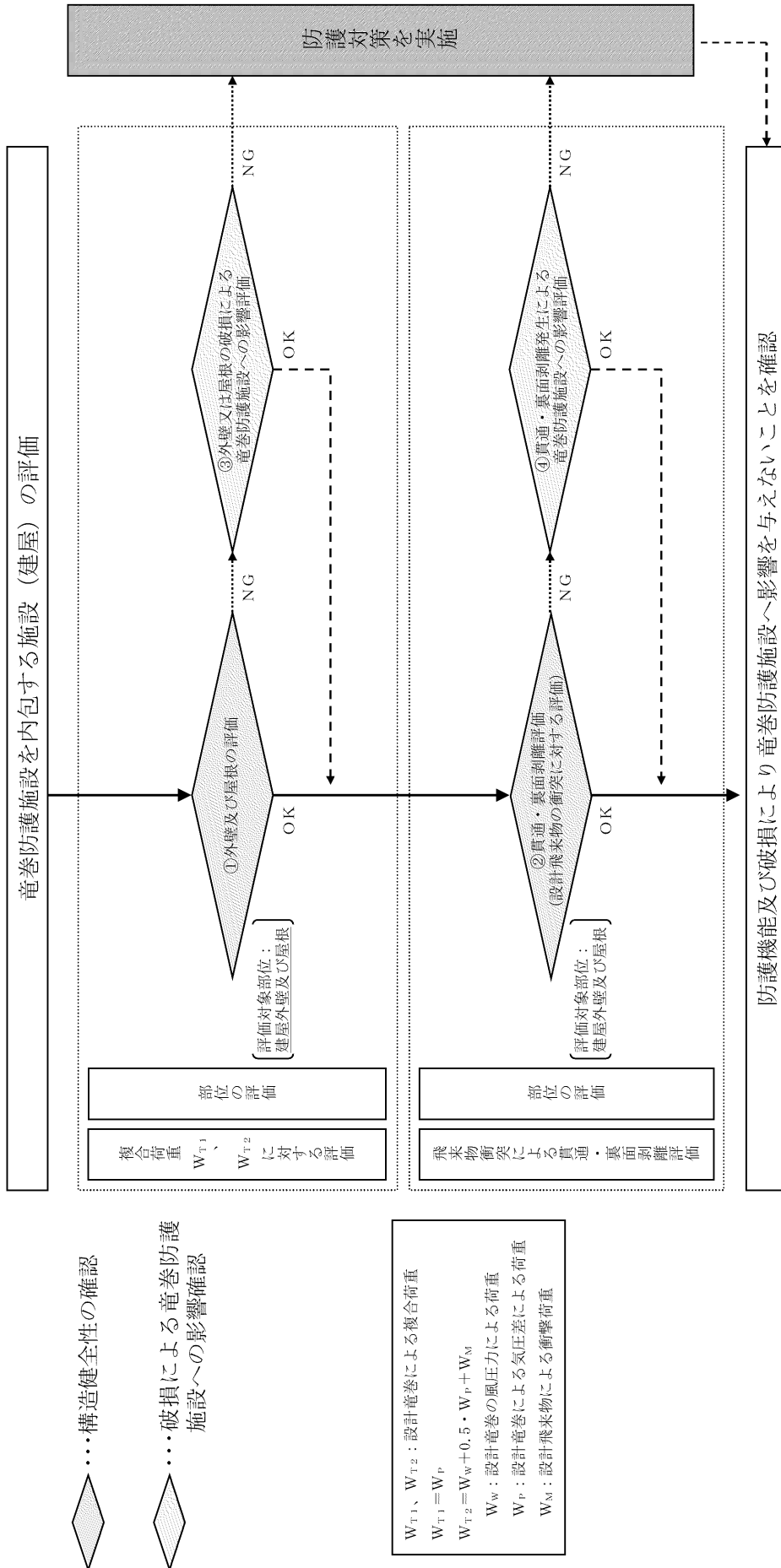
竜巻防護施設を内包する施設に求められる機能は、防護機能及び破損により竜巻防護施設へ影響を与えないことである。

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、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)	$5.054 \times 10^3$	$6.171 \times 10^3$
屋根の発生曲げモーメント(kN・m)	$3.055 \times 10^3$	$3.937 \times 10^3$

(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 <sup>3</sup>	24.00	
	空気密度	kg/m <sup>3</sup>	1.22	
	竜巻風速	m/s	100.00	
	速度圧	kN/m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	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	112.24	$M_{\text{風\_中央}}=Ww*L^2/24$
	発生曲げモーメント	kNm	905.52	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
	発生曲げモーメント	kNm	4829.44	$M_{\text{衝\_端部}}=P1*L^2/12$
	発生曲げモーメント	kNm	2414.72	$M_{\text{衝\_中央}}=P1*L^2/24$
	発生曲げモーメント	kNm	5053.92	$M=M_{\text{風}}+M_{\text{衝}}$
	発生曲げモーメント	kNm	2526.96	
応答結果	M	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 <sup>2</sup> /m	3176.80	
鉄筋断面積	at	mm <sup>2</sup>	794.20	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm <sup>2</sup>	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup>	24.00	
	コンクリート自重	kN/m <sup>2</sup>	24.00	$G_{con} = \gamma * t$
	防水層自重	kN/m <sup>2</sup>	2.10	
	機器配管サポート	kN/m <sup>2</sup>	0.50	
	積載荷重	kN/m <sup>2</sup>	3.00	
	支配幅	m	5.75	$B=L3+2t$
	作用面積	m <sup>2</sup>	46.00	$A=L*b$
	自重+積載荷重	kN/m <sup>2</sup>	29.60	$(G+P)*A/L$
発生曲げモーメント	M <sub>G+P_端部</sub>	kNm	907.73	$M_{風\_端部}=(G+P)*L^2/12$
	M <sub>G+P_中央</sub>	kNm	453.87	$M_{風\_中央}=(G+P)*L^2/24$
	P1	kN/m	402.45	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
	M <sub>衝_端部</sub>	kNm	2146.42	$M_{G+P\_端部}=P1*L^2/12$
衝突荷重	M <sub>衝_中央</sub>	kNm	1073.21	$M_{G+P\_中央}=P1*L^2/24$
	M <sub>端部</sub>	kNm	3054.15	$M = M_{G+P} + M_{衝}$
応答結果	M <sub>中央</sub>	kNm	1527.08	
	M	kNm	3054.15	

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 <sup>2</sup> /m	2026.80	
鉄筋断面積	at	mm <sup>2</sup>	506.70	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm <sup>2</sup>	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm <sup>2</sup>	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)		—
$\alpha_e$	—	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 <sup>2</sup>	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
N	—	設計飛来物の形状係数		0.72
D	kgf/cm <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	重力加速度	980
S	cm	裏面剥離限界厚さ	—
$\alpha_s$	—	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 <sub>0</sub>	cm/s	飛来物基準速度	6,096
d	cm	設計飛来物直径	346
f' <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	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<sup>※1</sup>及び米国NRCの基準類<sup>※2</sup>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<sup>※3</sup>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<sup>※1</sup>、「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 <sup>※1</sup>	文献 <sup>※4</sup>	文献 <sup>※5</sup>	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., 10<sup>th</sup> 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

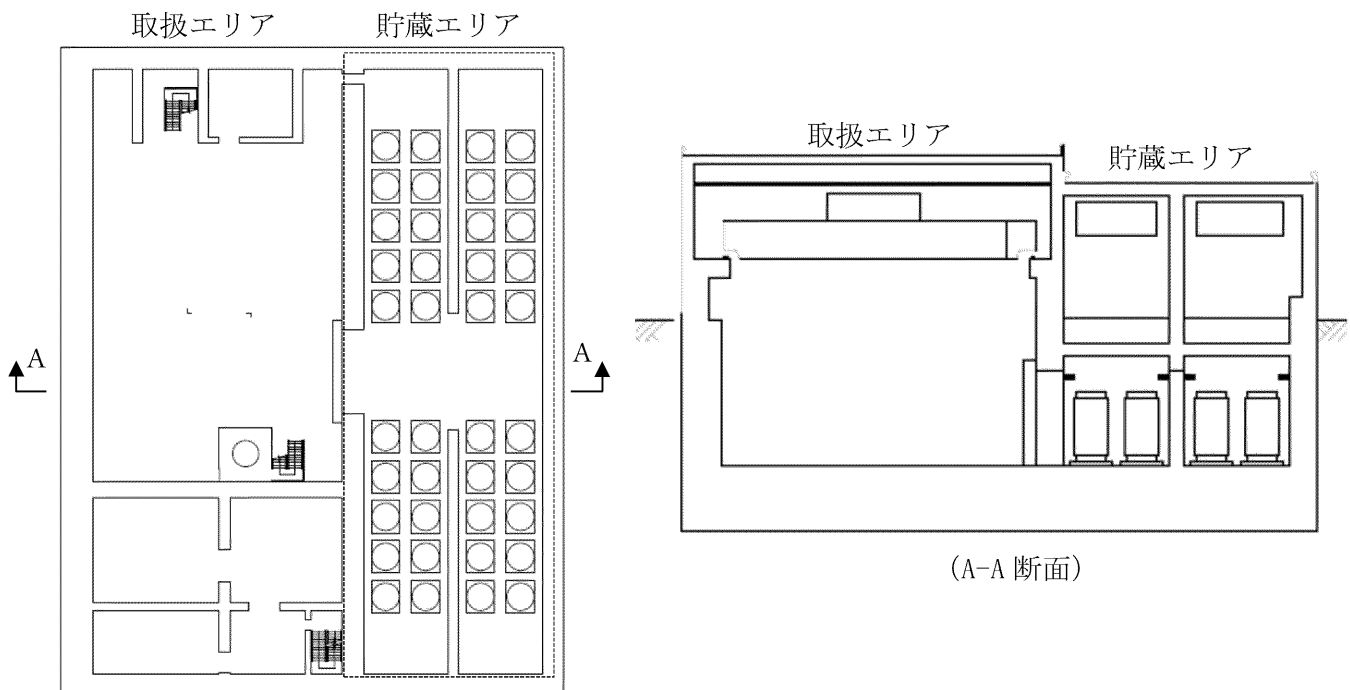
竜巻防護施設を内包する施設の設計は、設計荷重に対して構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損より当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計としている。

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。



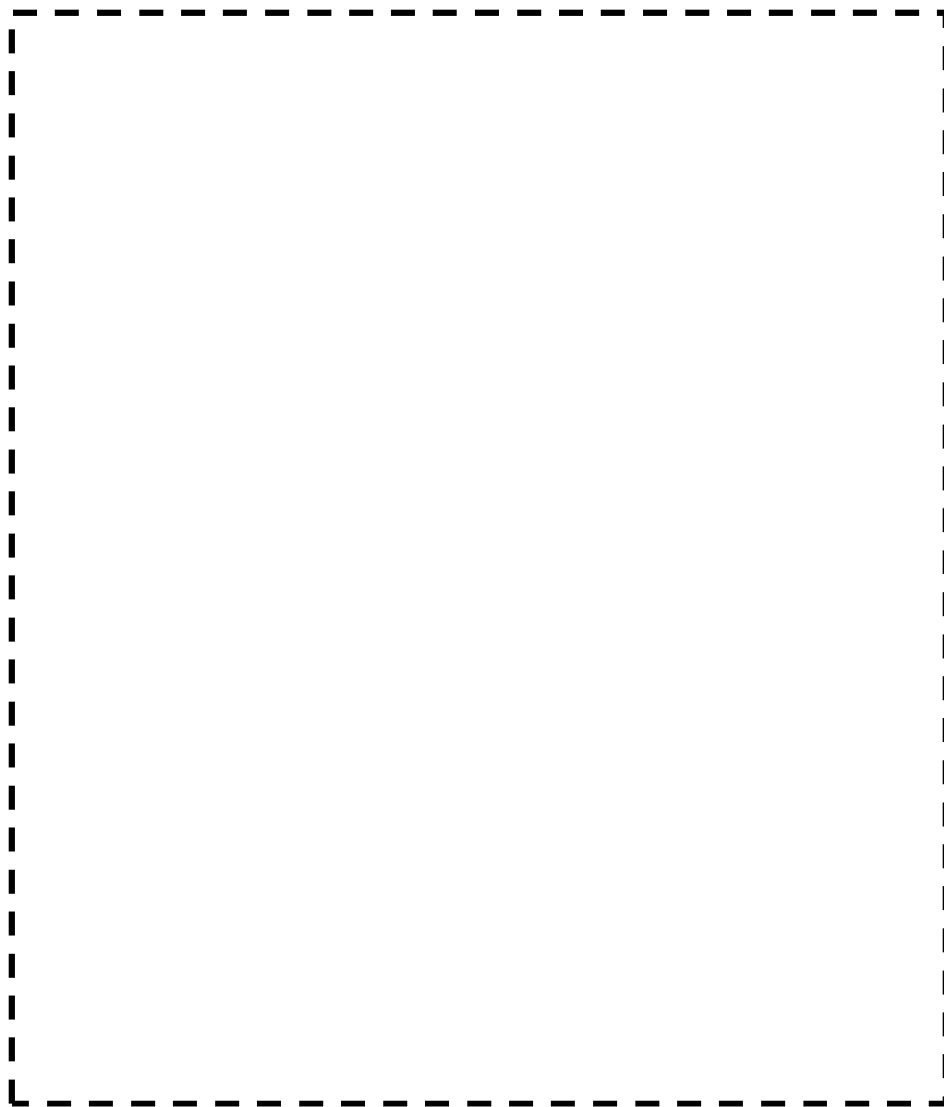
第1図：乾式貯蔵建屋の概略図

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。

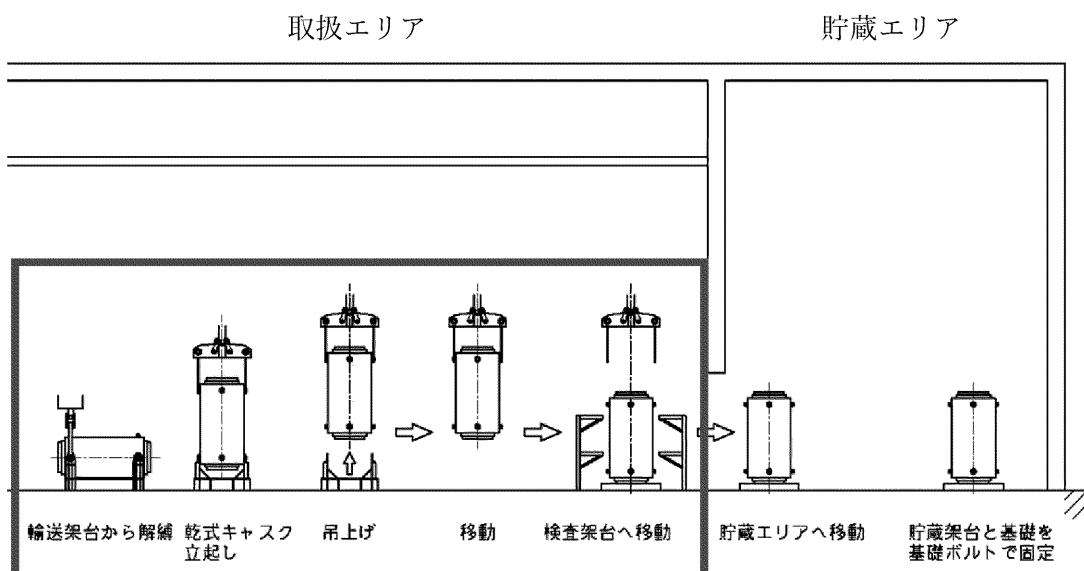
### 3. 2 乾式キャスク移動の作業性

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（ $1.23\text{m/s}$ （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<sup>注1</sup>（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））<sup>注 1</sup>により算出される防火帯幅  $29.7\text{m}$  に対し、約  $35\text{m}$  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 ( $404\text{kW}/\text{m}^2$ )<sup>注 1、2</sup> 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  $200^\circ\text{C}$ <sup>注 3</sup> 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<sup>(16)</sup>

- 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  $500\text{kW}/\text{m}^2$ <sup>注 1</sup> 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<sup>注 2</sup>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  $200^\circ\text{C}$ <sup>注1</sup> 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  $200^\circ\text{C}$ <sup>注1</sup> 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<sup>(16)</sup>

(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 $200^{\circ}\text{C}$ <sup>注1</sup>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℃<sup>注1</sup>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<sup>(16)</sup>

### (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  $200^\circ\text{C}$ <sup>注1</sup>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<sup>(16)</sup>

(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 $\mu\text{m}$ 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  $17\text{mm}$  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 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ※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 <sup>注1</sup> (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 <sup>注2</sup> (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 <sup>注 3</sup> 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	$1.8 \times 10^3$ W/m <sup>2</sup>	
有視界飛行方式 民間航空機					注 1
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	$3.9 \times 10^2$ W/m <sup>2</sup>
		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	$1.3 \times 10^3$ W/m <sup>2</sup>
	基地－訓練空域間往復時	CH-47JA	26m	$1.6 \times 10^3$ W/m <sup>2</sup>	

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

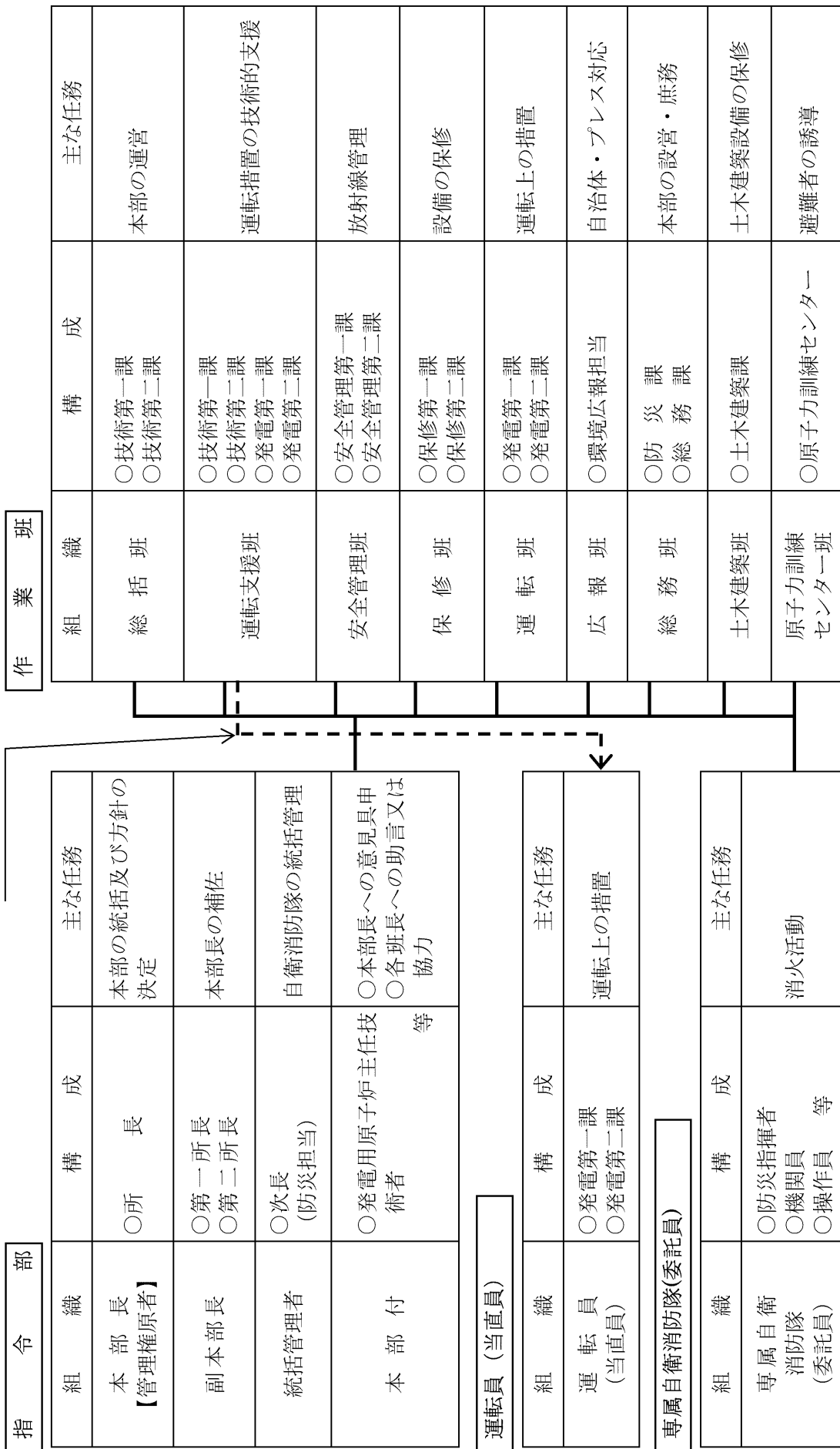
: 防護上の観点から公開できません



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1 km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<sup>\*</sup>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 <sup>3</sup> ]	560	
	燃焼面積 [m <sup>2</sup> ]	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 <sup>2</sup> ]	23,000	
	燃料密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	1,000	
	燃焼速度 [m/s]	3.5 × 10 <sup>-5</sup>	
	質量低下速度 [kg/m <sup>2</sup> ・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、 $m = \frac{H}{R} \cong 3$ ,  $n = \frac{L}{R}$ ,  $A = (1 + n)^2 + m^2$ ,  $B = (1 - n)^2 + m^2$

$\phi$  : 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/m<sup>2</sup>]、R<sub>f</sub> : 火炎輻射発散度 [W/m<sup>2</sup>]、 $\phi$  : 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 [m<sup>3</sup>]、v ( $v = M / \rho$ ) : 燃焼速度 [m/s]

M : 質量低下速度 [kg/m<sup>2</sup>・s]、 $\rho$  : 燃料密度 [kg/m<sup>3</sup>]

## (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]

T<sub>0</sub> : 初期温度 (50 [°C])

α<sub>c</sub> : コンクリート温度伝導率 (7.53 × 10<sup>-7</sup> [m<sup>2</sup>/s])

[α<sub>c</sub> = λ<sub>c</sub> / (ρ × C<sub>p</sub>)]

C<sub>p</sub> : コンクリート比熱 (963 [J/kgK])

ρ : コンクリート密度 (2,300 [kg/m<sup>3</sup>])

λ<sub>c</sub> : 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/m<sup>2</sup>]

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。

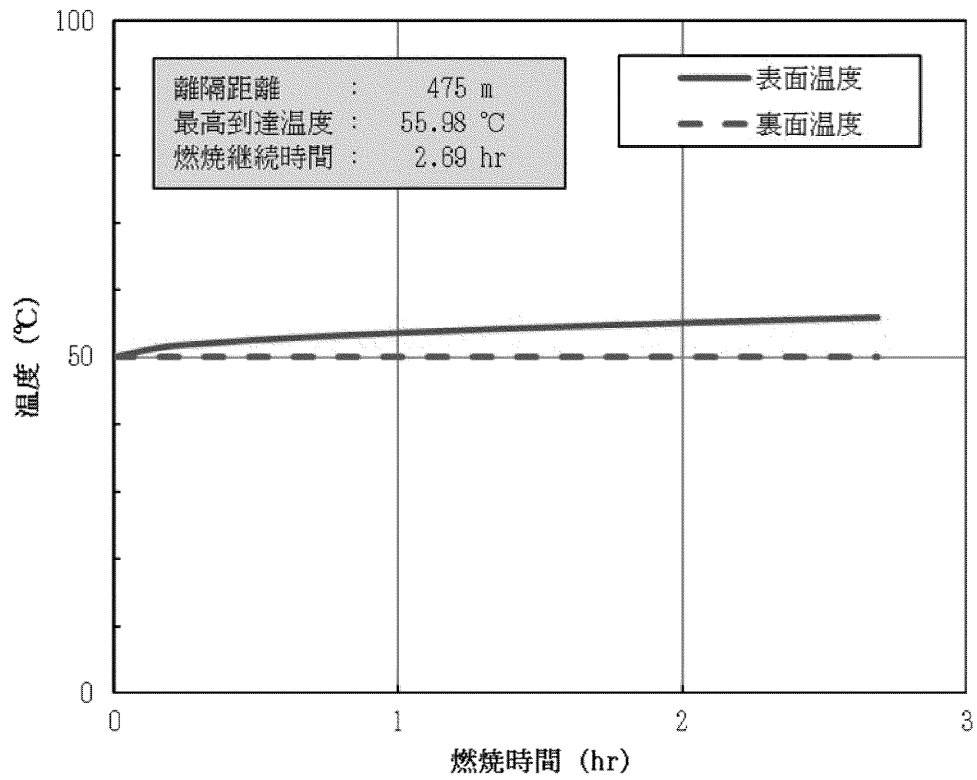


図2 使用済燃料乾式貯蔵施設外壁における温度上昇の評価結果

## 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 $\chi$ （温度浸透厚さ）を算出した。

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

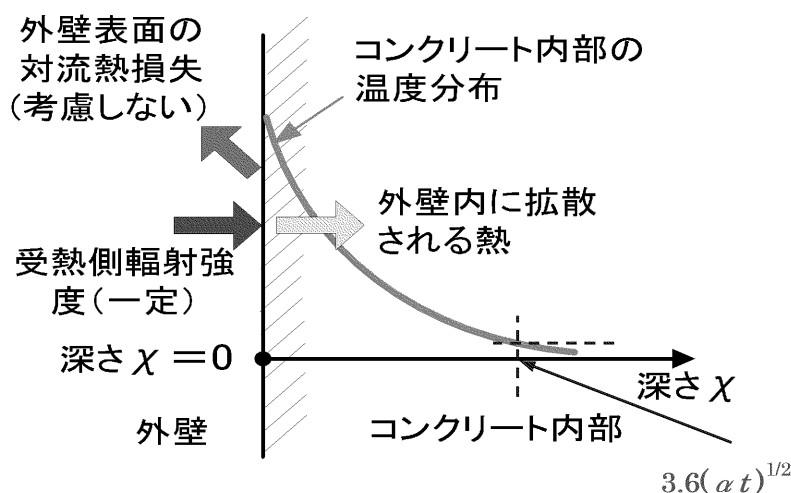


図1 外壁温度上昇評価モデル

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 $\chi$ （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 $\chi$ を温度浸透厚さと定義すると、 $\chi$ は、ほぼ $3.6(\alpha t)^{1/2}$ である。

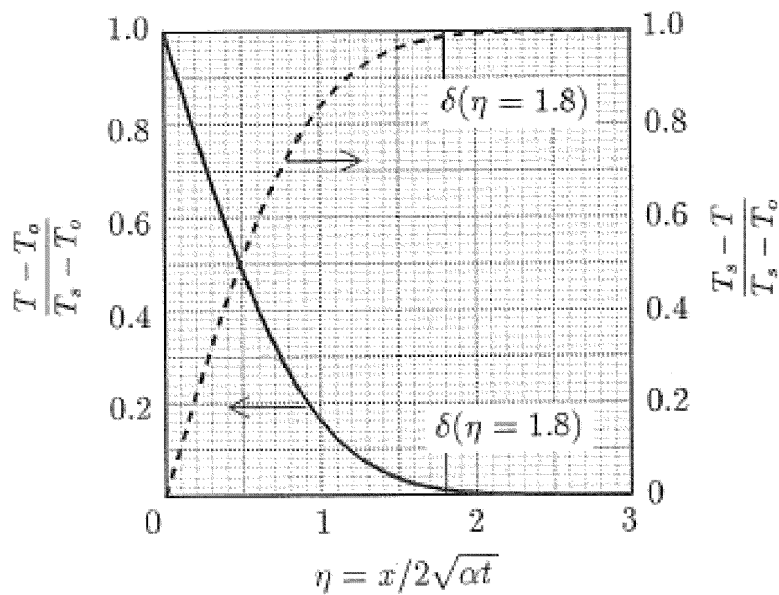


図2 半無限物体の温度分布

$(T - T_0) / (T_s - T_0)$  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 $\eta = \text{約} 1.8$ 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

$$\chi = 3.6 \times (7.86 \times 10^{-7} \times 1.20 \times 10^4)^{1/2} = 3.50 \times 10^{-1} \text{ m} \doteq 0.40 \text{ m}$$

$\alpha$  : コンクリート温度伝導率 ( $7.86 \times 10^{-7}$  [m<sup>2</sup>/s] )  
 [  $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$  ]  
 $C_p$  : コンクリート比熱 (963 [J/kgK])、 $\rho$  : コンクリート密度 (2,300 [kg/m<sup>3</sup>])  
 $\lambda$  : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/mK])、 $t$  : 燃焼継続時間 ( $1.20 \times 10^4$  [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。

$$T = T_0 + \frac{2 \times q \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{x^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{x}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right]$$

- $T_0$  : 初期温度
- $q$  : 輻射強度 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- $\alpha$  : 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
- $\rho$  : コンクリート密度
- $\lambda$  : コンクリート熱伝導率
- $x$  : コンクリート深さ [m]
- $t$  : 燃焼継続時間 [秒]

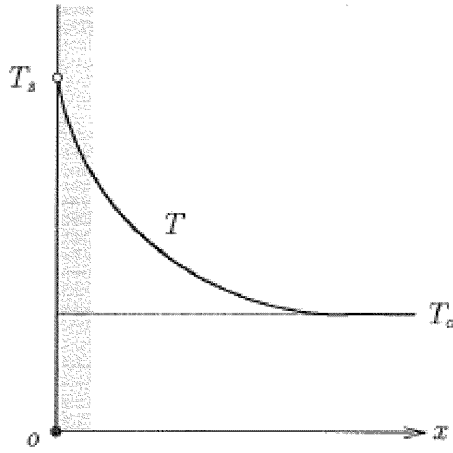


図3 半無限固体の熱伝導

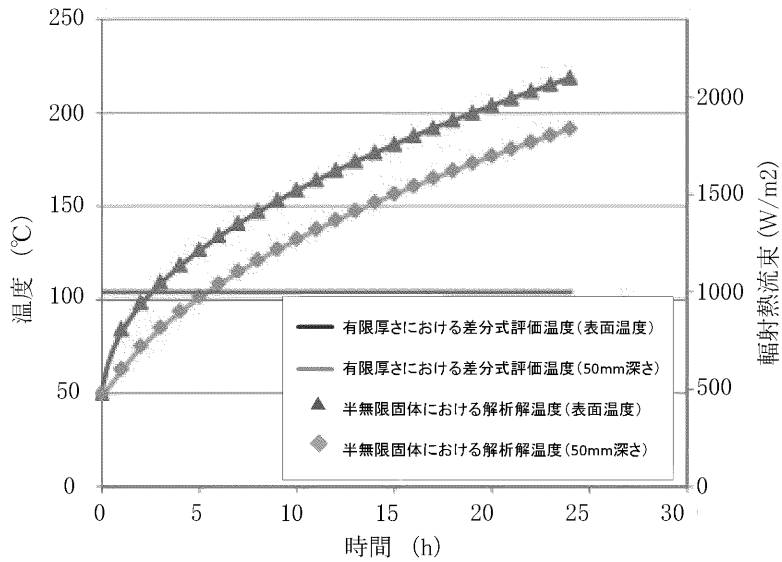


図4 半無限固体における解析解と有限厚さにおける差分式評価温度の比較

## 7 条

発電用原子炉施設への  
人の不法な侵入等の防止

## < 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. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

(別添資料 1)

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止について（使用済燃料乾式貯蔵施設）

### 3. 運用、手順説明資料

(別添資料 2)

運用、手順説明資料（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）

## 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

(i) 本発電用原子炉施設は、(1)耐震構造、(2)耐津波構造に加え、以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。

#### a. 設計基準対象施設

#### (b) 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

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、区域の設定、人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護、巡視、監視、出入口での身分確認や持込み点検、施錠管理及び情報システムへの外部からのアクセス遮断措置を行うことにより、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。

核物質防護上の措置が必要な区域については、探知施設を設け、警報、映像等を集中監視するとともに、核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行う設計とする。さらに、防護された区域内においても、施錠管理により、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な接近を防止する設計とする。

また、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を

有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、持込み点検を行える設計とする。

さらに、不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じた不正アクセス行為を受けることがないように、当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

## (2) 安全設計方針

### 1. 安全設計

#### 1.1 安全設計の方針

##### 1.1.1 安全設計の基本方針

##### 1.1.1.5 人の不法な侵入等の防止

###### (1) 設計方針

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、区域の設定、人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護、巡視、監視、出入口での身分確認や持込み点検、施錠管理及び情報システムへの外部からのアクセス遮断措置を行うことにより、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。

核物質防護上の措置が必要な区域については、探知施設を設け、警報、映像等を集中監視するとともに、核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行う設計とする。さらに、防護された区域内においても、施設管理により、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な接近を防止する設計とする。

また、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、持込み点検を行える設計とする。

さらに、不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じた不正アクセス行為を受けることがないように、当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

## (2) 体制

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、所長の下、核物質防護管理者が核物質防護に関する業務を統一的に管理する体制を整備する。

人の不法な侵入等が行われるおそれがある場合又は行われた場合に備え、核物質防護に関する緊急時の対応体制を整備



する。

核物質防護に関する緊急時の組織体制を第1.1.1図に示す。

(3) 手順等

a. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等のうち、不正

アクセス行為を防止することを目的に、発電用原子炉施

設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は

装置の操作に係る情報システムにおいて、核物質防護対

策として、電気通信回線を通じた外部からのアクセス遮

断措置を実施する。外部からのアクセス遮断措置につい

ては、予め手順を定める。

b. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等のうち、不正

アクセス行為を防止することを目的に、発電用原子炉施

設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は

装置の操作に係る情報システムにおいて、核物質防護対

策として、接近管理及び出入管理を実施する。接近管理

及び出入管理は、区域の設定、人の容易な侵入を防止で

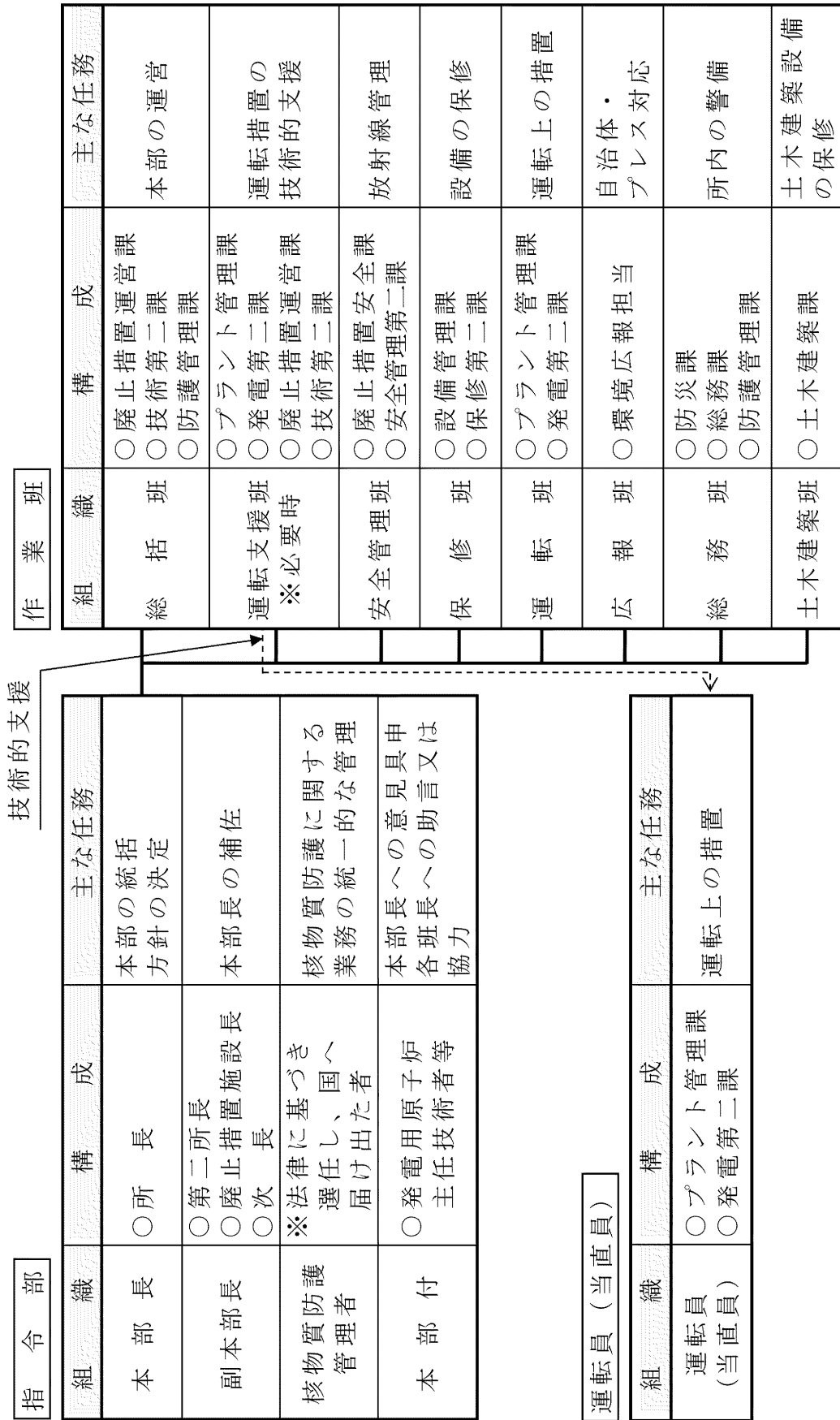
きる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等による防護、探知

施設による集中監視、核物質防護措置に係る関係機関等

との通信連絡、物品の持込み点検並びに警備員による監

視及び巡視を行う。接近管理及び出入管理については、

予め手順を定める。



第 1.1.1 図 核物質防護に関する緊急時の体制図

### (3) 適合性説明

(発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止)

第七条 工場等には、発電用原子炉施設への人の不法な侵入、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。

#### 適合のための設計方針

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、区域の設定、人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護、巡視、監視、出入口での身分確認や持込み点検、施錠管理及び情報システムへの外部からのアクセス遮断措置を行うことにより、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。

核物質防護上の措置が必要な区域については、探知施設を設け、警報、映像等を集中監視するとともに、核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行う設計とする。さらに、防護された区域内においても、施錠管理により、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な接近を防止する設計とする。

また、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件そ

の他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、持込み点検を行える設計とする。

さらに、不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、核物質防護対策として、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じた不正アクセス行為を受けることがないように、当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。

## 1.2 気象等

該当なし

## 1.3 設備等

### 10.10 構内出入監視装置

人の不法な侵入等を防止するため、核物質防護対策として、

照明装置、通信連絡装置、監視カメラ、磁気施錠装置等を設け

る。

## 2. 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

（別添資料1）

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止について（使用済燃料乾式貯蔵施設）

## 3. 運用、手順説明資料

（別添資料2）

運用、手順説明資料（発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止）

発電用原子炉施設への

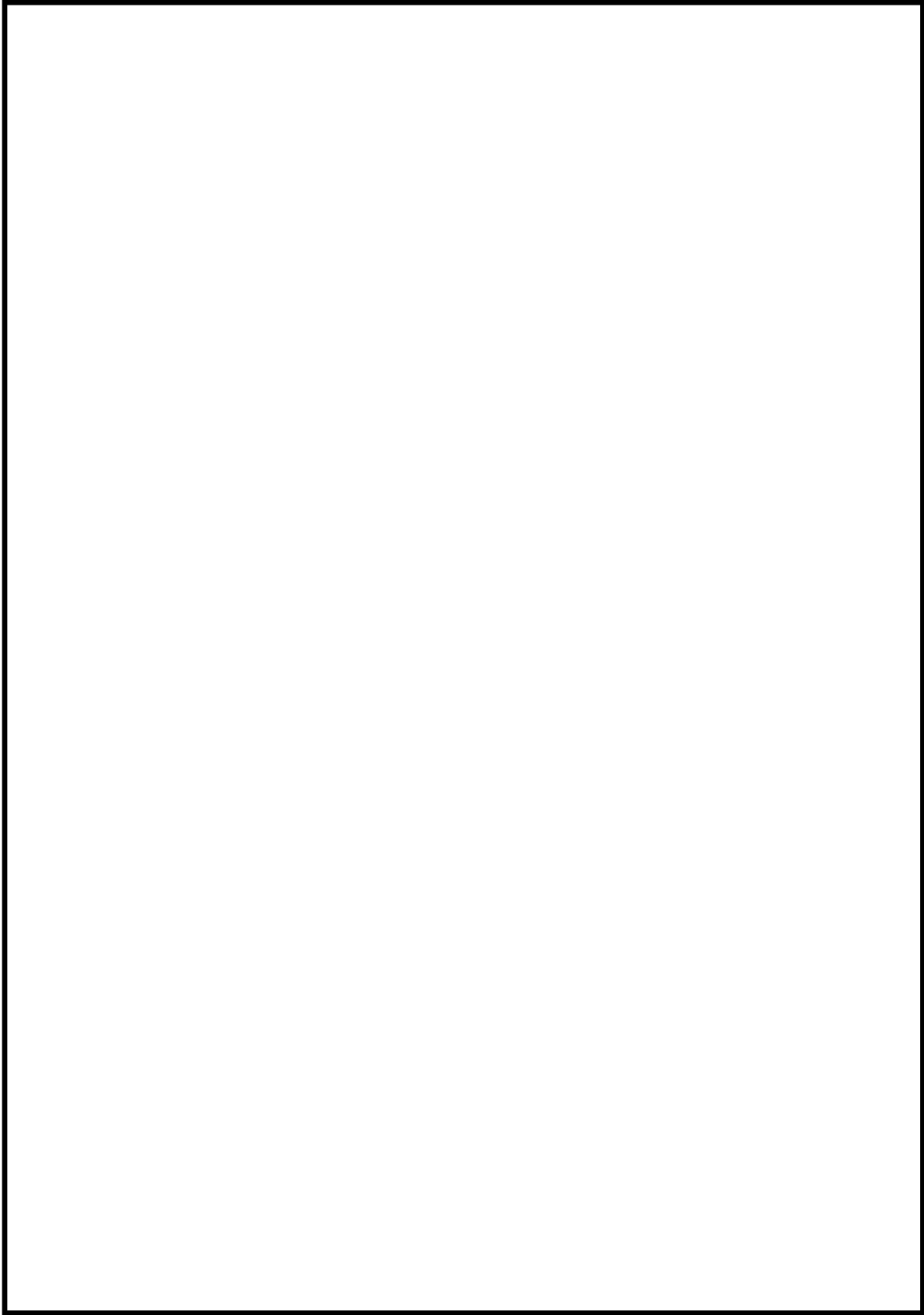
人の不法な侵入等の防止について

(使用済燃料乾式貯蔵施設)

## 1. 設計方針

使用済燃料乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設は、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止について、既設置許可の設計方針に基づき設計する。

使用済燃料乾式貯蔵施設の配置を第7-1図に示す。



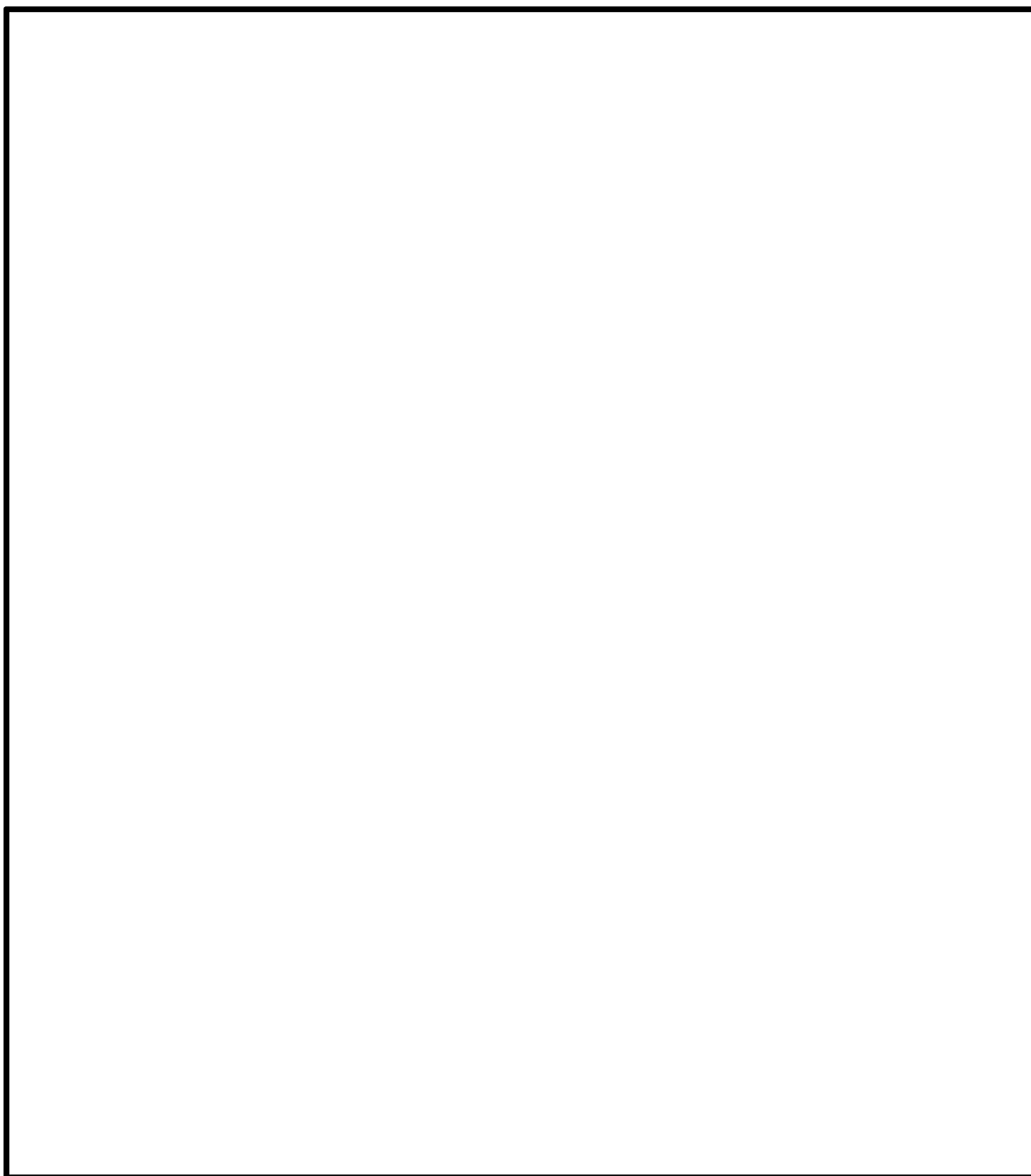
第7-1図 使用済燃料乾式貯蔵施設配置図




: 防護上の観点から公開できません。

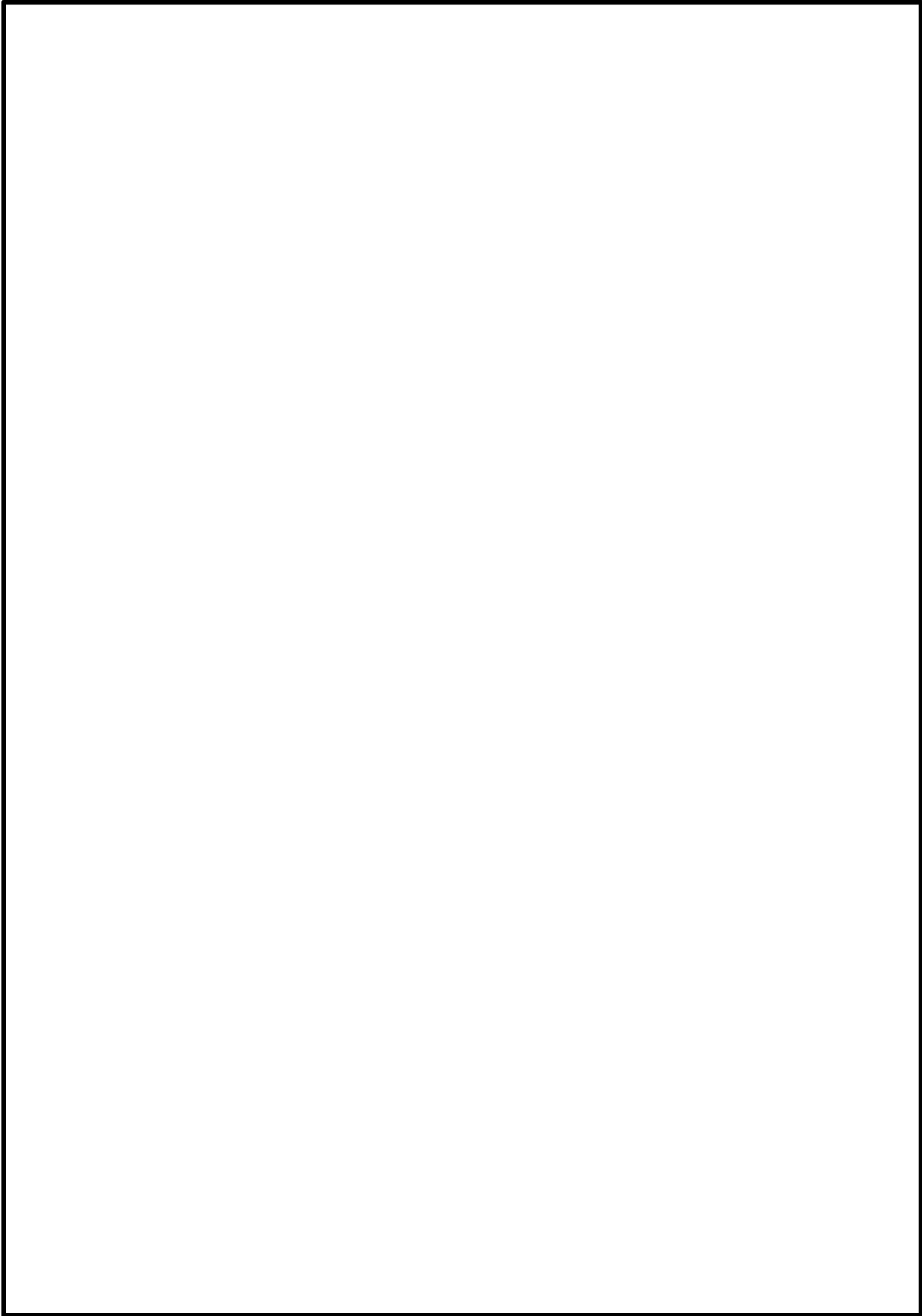
## 2. 区域の設定、持込み点検及び出入管理等

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を防止するため、区域を設け、その区域を人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画し、その境界等において、警備員や設備により、巡視、監視等を実施している。



 : 防護上の観点から公開できません





: 防護上の観点から公開できません



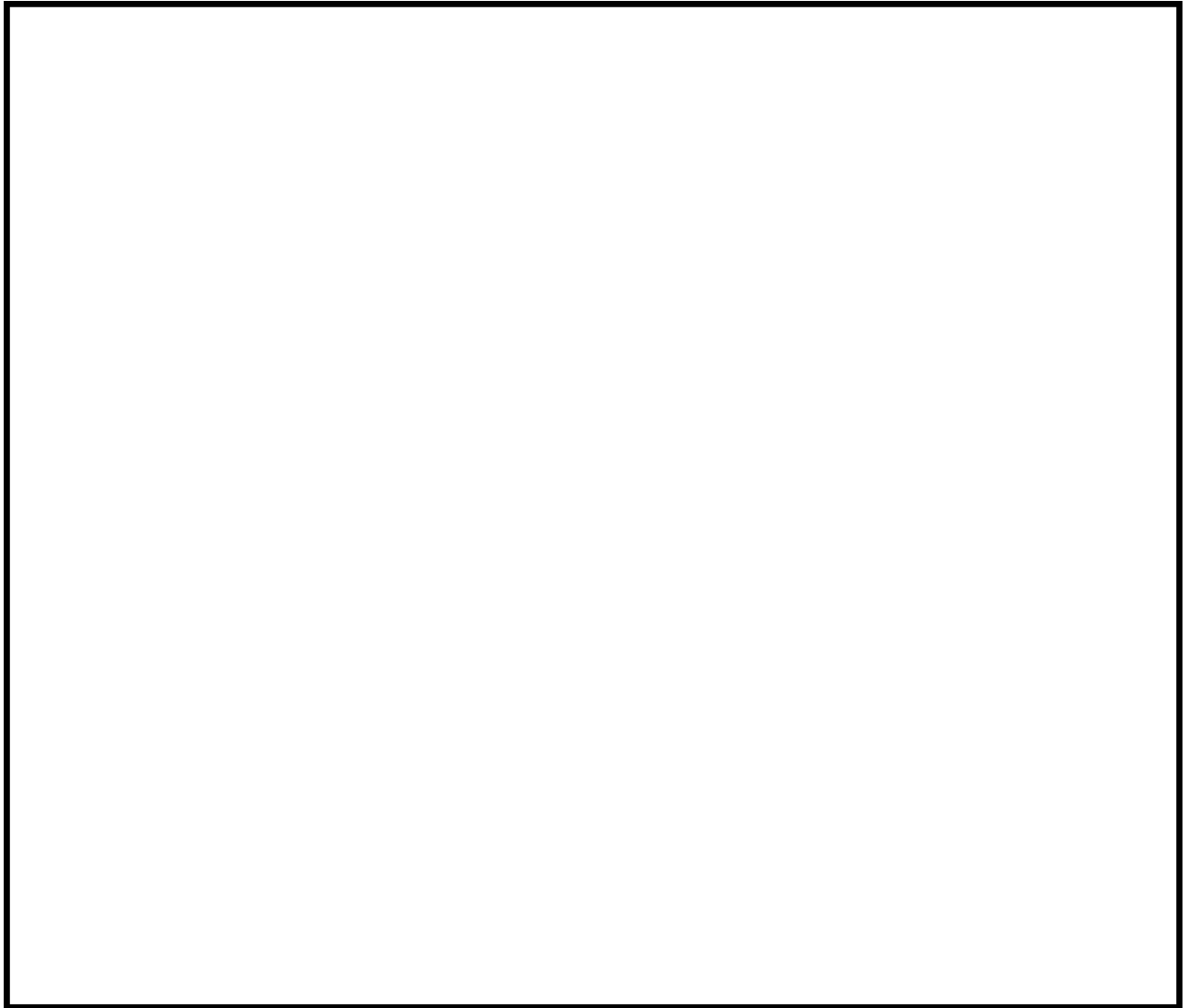
: 防護上の観点から公開できません


### 3. 区域の境界について

人の不法な侵入を防止するため、区域を設け、その区域を人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁によって区画し、その境界等において、警備員や設備により、巡視、監視等を実施している。



: 防護上の観点から公開できません




 : 防護上の観点から公開できません

#### 4. 郵便物等の点検

郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを防止するために、発電所の入り口で、専任の担当者が、郵便物等に不審な点がないか確認の上、発電所内へ配送している。



確認状況

 : 防護上の観点から公開できません

## 5. 不正アクセス行為の防止対策

設置許可基準規則第7条にて引用された「不正アクセス行為の防止等に関する法律」に規定された不正アクセス行為を防止し、原子力発電所の安全を確保するため、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」に基づき核物質防護対策を実施している「発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は操作に係る情報システム」を設置許可基準規則第7条の要求に基づき不正アクセス行為を防止すべき情報システム（以下、「防護対象の情報システム」という）に位置付け、当該情報システムが、電気通信回線を通じた妨害破壊行為等を受けることがないように、主に以下の対策を実施している。



また、外部の情報システムとの接続状況は、以下のとおりである。

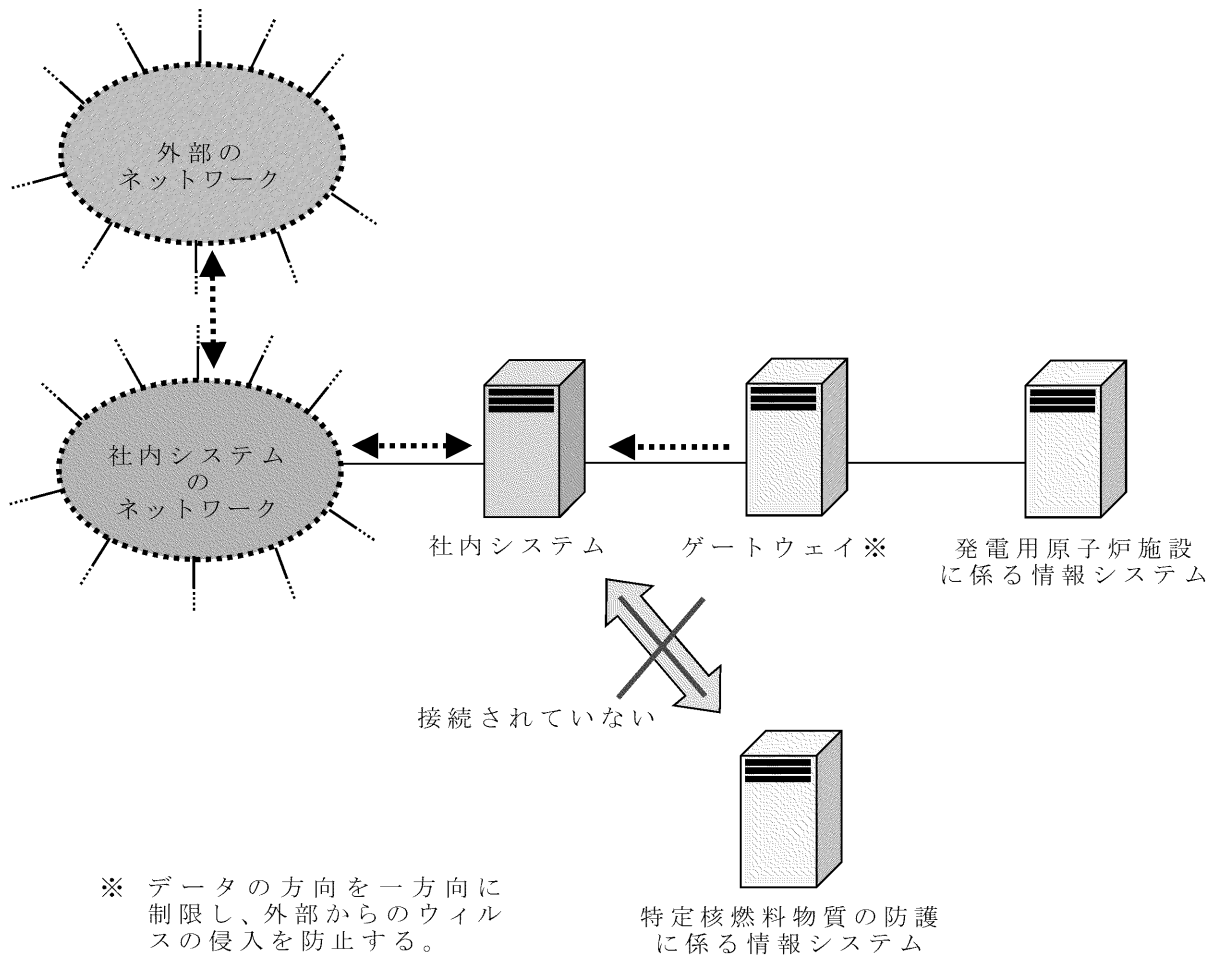
- ・社内システムは外部のネットワークと接続されているが、防護対象の情報システムのうち、発電用原子炉施設に係る情報システム

: 防護上の観点から公開できません

ムは、ゲートウェイを介して社内システムと接続されており、通信方向を一方向に制限しているため、外部からアクセスすることはできない。

- ・防護対象の情報システムのうち、特定核燃料物質の防護に係る情報システムは、社内システムとは接続されていないため、外部からアクセスすることはできない。

なお、発電用原子炉施設に係る情報システムのうち、安全保護回路については、設置許可基準規則第24条参照。



防護対象の情報システムのイメージ図

玄海原子力発電所 3 号炉、4 号炉

運用、手順説明資料

発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

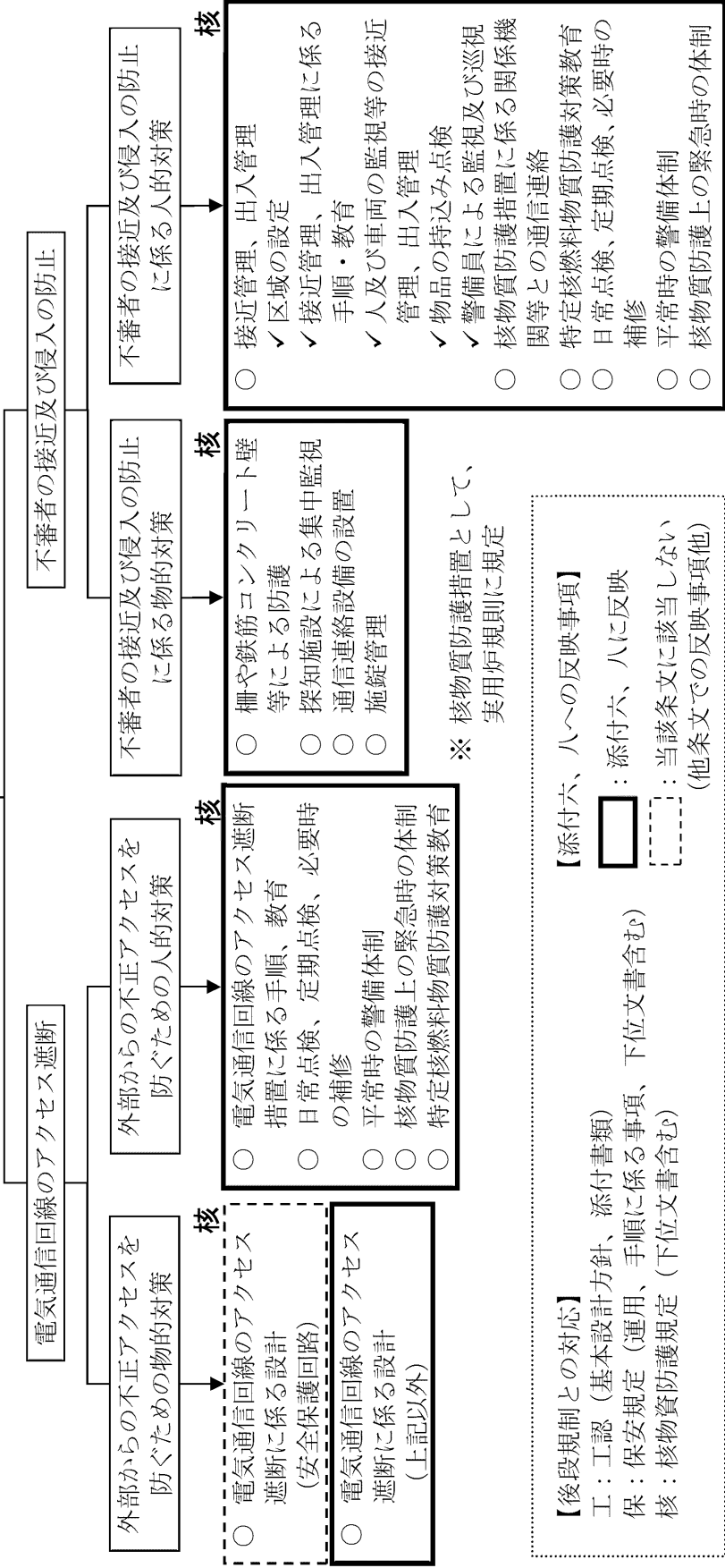


## 第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

設置許可基準規則  
不正アクセス行為（不正アクセス行為の禁止等に関する法律（平成十一年法律第二百二十八号）第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。）を防止するための設備を設けなければならない。

発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システム※

不正アクセス行為（サイバテロを含む）を防止するための設備を設けなければならない。



※ 核物質防護措置として、実用炉規則に規定

【後段規制との対応】  
 工：工認（基本設計方針、添付書類）  
 保：保安規定（運用、手順に係る事項、下位文書含む）  
 核：核物質防護規定（下位文書含む）

【添付六、八への反映事項】  
：添付六、八に反映  
：当該条文に該当しない（他条文での反映事項他）

運用、手順に係る運用対策等（設計基準）

設置許可基準規則対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第7条 発電用原子炉施設への人の 不法な侵入等の防止	電気通信回線のアクセス 遮断	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>アクセス遮断措置に係る手順</li> </ul>
		体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>平常時の警備体制</li> <li>核物質防護上の緊急時の体制</li> </ul>
		保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常点検、定期点検、必要時の補修</li> </ul>
		教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>特定核燃料物質防護対策教育（アクセス遮断措置に関する教育を含む）</li> </ul>
	不審者の接近及び侵入の 防止	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>接近管理、出入管理                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 区域の設定</li> <li>✓ 接近管理、出入管理に係る手順</li> <li>✓ 人及び車両の監視等の接近管理、出入管理</li> <li>✓ 物品の持込み点検</li> <li>✓ 警備員による監視及び巡視</li> </ul> </li> <li>核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡</li> </ul>
	体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>平常時の警備体制</li> <li>核物質防護上の緊急時の体制</li> </ul>	
	保守・点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常点検、定期点検、必要時の補修</li> </ul>	
	教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>特定核燃料物質防護対策教育（接近管理、出入管理に関する教育を含む）</li> </ul>	

注：「保守・点検」については、設置変更許可申請書添付八十一章「保守管理」にて整理する。

「教育・訓練」については、設置変更許可申請書添付五「教育・訓練」にて整理する。

## 8 条

### 火災による損傷の防止

<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. 火災による損傷の防止

(別添資料)

火災防護に係る審査基準への適合性について（使用済燃料乾式貯蔵施設）

## 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

(i) 本発電用原子炉施設は、(1)耐震構造、(2)耐津波構造に加え、以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。

#### a. 設計基準対象施設

### (c) 火災による損傷の防止

設計基準対象施設は、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、火災防護対策を講じる設計とする。火災防護対策を講じる設計を行うに当たり、原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するための安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する区域を火災区域及び火災区画に設定し、放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を設置する区域を火災区域に設定する。設定する火災区域及び火災区画に対して、火災の発生防止、火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

### (c-1) 基本事項

#### (c-1-1) 火災区域及び火災区画の設定

建屋等の火災区域は、耐火壁により囲まれ他の区域と分離されている区域を、(c-1-2)に示す安全機能を有する構築物、系統及び機器の配置も考慮して設定する。建屋内のうち、火災の影響軽減の対策が必要な原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するための安全機能を有する構築物、系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵、かつ、閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域は、他の区域と3時間以上の耐火能力を有する耐火壁により分離する。

屋外の火災区域は、他の区域と分離して火災防護対策を実施するために、(c-1-2)に示す安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する区域を火災区域として設定する。

また、火災区画は、建屋内及び屋外で設定した火災区域を

系統分離等に応じて分割して設定する。

(c-1-2) 安全機能を有する構築物、系統及び機器

「(c) 火災による損傷の防止」では、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるものである設計基準対象施設のうち、発電用原子炉施設において火災が発生した場合に、原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するために必要な機能を確保するための構築物、系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を「安全機能を有する構築物、系統及び機器」という。

(c-1-3) 火災防護計画

発電用原子炉施設全体を対象とした火災防護対策を実施するため、火災防護計画を策定する。火災防護計画には、計画を遂行するための体制、責任の所在、責任者の権限、体制の運営管理、必要な要員の確保及び教育訓練並びに火災防護対策を実施するために必要な手順等について定めるとともに、発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物、系統及び機器並びに重大事故等対処施設については、火災の発生防止、火災の早期感知及び消火並びに火災の影響軽減の3つの深層防護の概念に基づき、必要な火災防護対策を行うことについて定め、可搬型重大事故等対処設備、その他の発電用原子炉施設については、設備等に応じた火災防護対策を行うことについて定める。

外部火災については、安全施設を外部火災から防護するための運用等について定める。

(c-2) 火災発生防止

(c-2-1) 火災の発生防止対策

火災の発生防止については、発火性又は引火性物質に対して火災の発生防止対策を講じる他、可燃性の蒸気又は可燃性の微粉に対する対策、発火源への対策、水素に対する換気及

び漏えい検知対策、電気系統の過電流による過熱及び焼損の防止対策等を講じる設計とする。なお、放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策は、水素や酸素の濃度が高い状態で滞留及び蓄積することを防止する設計とする。

(c-2-2) 不燃性材料又は難燃性材料の使用

安全機能を有する構築物、系統及び機器のうち、主要な構造材、ケーブル、チャコールフィルタを除く換気設備のフィルタ、保温材及び建屋内装材は、不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とする。また、不燃性材料、又は難燃性材料が使用できない場合は、不燃性材料若しくは難燃性材料と同等以上の性能を有するものを使用する設計、又は当該構築物、系統及び機器の機能を確保するために必要な不燃性材料若しくは難燃性材料と同等以上の性能を有するものの使用が技術上困難な場合は、当該構築物、系統及び機器における火災に起因して他の安全機能を有する構築物、系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。

このうち、安全機能を有する機器に使用するケーブルは、原則、実証試験により自己消火性及び延焼性を確認した難燃ケーブルを使用する設計とするが、核計装ケーブルのように実証試験により延焼性等が確認できないケーブルは、難燃ケーブルと同等以上の性能を有する設計、又は当該ケーブルの火災に起因して他の安全機能を有する構築物、系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。

また、建屋内の変圧器及び遮断器は、絶縁油等の可燃性物質を内包していないものを使用する設計とする。

(c-2-3) 落雷、地震等の自然現象による火災の発生防止

落雷によって、発電用原子炉施設内の構築物、系統及び機器に火災が発生しないように、避雷設備を設置する設計とする。

安全機能を有する構築物、系統及び機器は、耐震クラスに応じた十分な支持性能をもつ地盤に設置する設計とするとともに、「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」に従い、耐震クラスに応じた耐震設計とする。

#### (c-3) 火災の感知及び消火

火災の感知及び消火については、安全機能を有する構築物、系統及び機器に対して、火災の影響を限定し、早期の火災感知及び消火を行うための火災感知設備及び消火設備を設置する設計とする。火災感知設備及び消火設備は、地震等の自然現象によっても、火災感知及び消火の機能、性能が維持され、かつ、安全機能を有する構築物、系統及び機器の耐震クラスに応じて、機能を維持できる設計とする。また、消火設備は、破損、誤作動又は誤操作が起きた場合においても、原子炉を安全に停止させるための機能を損なわない設計とする。

##### (c-3-1) 火災感知設備

火災感知器は、環境条件や火災の性質を考慮して型式を選定し、固有の信号を発する異なる種類を組み合わせる設計とする。火災感知設備は、外部電源喪失時においても火災の感知が可能なように電源確保を行い、中央制御室で常時監視できる設計とする。

##### (c-3-2) 消火設備

安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画で、火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となるところには、自動消火設備又は手動操作による固定式消火設備を設置して消火を行う設計とするとともに、固定式のガス系消火設備を設置する場合は、作動前に職員等の退出ができるよう警報を発する設計とする。また、原子炉の高温停止及び低温停止に係る構築物、系統及び機器相互の系統分離を行うための消火設備については、選択弁等の動的



機器の単一故障も考慮し系統分離に応じた独立性を備えた設計とする。

消火用水供給系は、2時間の最大放水量を確保し、飲料水系等と共用する場合は隔離弁を設置し消火を優先する設計並びに水源及び消火ポンプは多重性又は多様性を有する設計とする。また、屋内、屋外の消火範囲を考慮し消火栓を配置するとともに、移動式消火設備を配備する設計とする。

消火設備の消火剤は、想定される火災の性質に応じた十分な容量を配備し、管理区域で放出された場合に、管理区域外への流出を防止する設計とする。

消火設備は、火災の火炎等による直接的な影響、流出流体等による二次的影響を受けず、安全機能を有する構築物、系統及び機器に悪影響を及ぼさないよう設置し、外部電源喪失時の電源確保を図るとともに、中央制御室に故障警報を発する設計とする。

なお、消火設備への移動及び操作を行うため、蓄電池を内蔵する照明器具を設置する設計とする。

#### (c-4) 火災の影響軽減

火災の影響軽減については、安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じ、それらを設置する火災区域又は火災区画の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響を軽減するため、互いに相違する系列間の火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルは、3時間以上の耐火能力を有する隔壁等で分離する設計、又は水平距離が6m以上あり、かつ、火災感知設備及び自動消火設備を設置する設計、又は1時間の耐火能力を有する隔壁等で互いの系列間を分離し、かつ、火災感知設備及び自動消火設備を設置する設計とする。系統分離を行うために設置する消火設備は、系統分離に応じた独立性を有する設計とする。

ただし、火災の影響軽減のための措置を講じる設計と同等の設計として、中央制御盤に関しては、金属外装ケーブル、操作スイッチの離隔等による分離対策、高感度煙感知器の設

置、常駐する運転員による消火活動等により、上記設計と同等又はそれを上回る設計とする。また、原子炉格納容器に関しては、一部ケーブルトレイへの蓋の設置、常駐する運転員及び消防要員による初期消火活動、多重性を有する原子炉格納容器スプレイ設備の手動作動等により、上記設計と同等又はそれを上回る設計とする。

(c-5) 火災の影響評価

設備等の設置状況を踏まえた可燃性物質の量等を基に、想定される発電用原子炉施設内の火災によって、安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉の高温停止及び低温停止が達成できる設計とし、火災影響評価にて確認する。

また、発電用原子炉施設内の火災によって運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した場合に、それらに対処するために必要な機器の単一故障を考慮しても異常状態を収束できる設計とし、火災影響評価にて確認する。

(c-6) その他

「(c-2)火災発生防止」から「(c-5)火災の影響評価」の他、安全機能を有する構築物、系統及び機器のそれぞれの特徴を考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

ヌ．その他発電用原子炉の附属施設の構造及び設備

(3) その他の主要な事項

(i) 火災防護設備

a. 設計基準対象施設

火災防護設備は、火災区域及び火災区画を考慮し、火災感知及び消火並びに火災の影響軽減の機能を有するものとする。

火災感知設備は、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や火災の性質を考慮し、アナログ式の煙感知器、アナログ式の熱感知器又は非アナログ式の炎感知器から異なる種類の感知器を組み合わせることを基本とし、非アナログ式の防爆型の煙感知器、非アナログ式の防爆型の熱感知器、高感度煙感知器等の火災感知器及び中央制御室で常時監視可能な火災報知盤を設置する。

消火設備は、破損、誤作動又は誤操作により、安全機能を有する構築物、系統及び機器（ロ(3)(i)a.(c-1-2)と同じ）の安全機能を損なわない設計とし、火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難である火災区域又は火災区画であるかを考慮し、全域ハロン消火設備、全域ハロン自動消火設備、二酸化炭素自動消火設備、水噴霧消火設備、泡消火設備等を設置する。

火災の影響軽減の機能を有するものとして、安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じ、それらを設置する火災区域又は火災区画の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響を軽減するため、火災耐久試験で確認された3時間以上の耐火能力を有する耐火壁又は1時間以上の耐火能力を有する隔壁等を設置する。

## (2) 安全設計方針

### 1.6 火災防護に関する基本方針

#### 1.6.1 設計基準対象施設の火災防護に関する基本方針

##### 1.6.1.1 基本事項

設計基準対象施設は、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、火災防護対策を講じる設計とする。火災防護対策を講じる設計を行うに当たり、原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するための安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する区域を火災区域及び火災区画に設定し、放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を設置する区域を火災区域に設定する。設定する火災区域及び火災区画に対して、火災の発生防止、火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。火災防護対策を講じる設計とするための基本事項を、以下の「1.6.1.1.1 火災区域及び火災区画の設定」から「1.6.1.1.6 火災防護計画」に示す。

##### 1.6.1.1.1 火災区域及び火災区画の設定

建屋内の火災区域は、耐火壁により囲まれ、他の区域と分離されている区域を「1.6.1.1.2 安全機能を有する構築物、系統及び機器」において選定する機器等の配置も考慮し、火災区域として設定する。建屋内のうち、火災の影響軽減の対策が必要な原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するための安全機能を有する構築物、系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵、かつ、閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域は、3時間以上の耐火能力を有する耐火壁として、3時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚である 150mm<sup>(10)</sup>以上の壁厚を有するコンクリート壁又は火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁（貫通部シール、防火扉、防火ダンパ）により他の区域と分離する。

屋外の火災区域は、他の区域と分離して火災防護対策を実施するために、「1.6.1.1.2 安全機能を有する構築物、系統及び機器」において選定する機器等を設置する区域を、火災区域として設定する。

また、火災区画は、建屋内及び屋外で設定した火災区域を系統分

離等に応じて分割して設定する。

#### 1.6.1.1.2 安全機能を有する構築物、系統及び機器

運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるものである設計基準対象施設のうち、以下に示す原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するために必要な構築物、系統及び機器並びに放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を「安全機能を有する構築物、系統及び機器」として選定する。

その他の設計基準対象施設は、設備等に応じた火災防護対策を講じる。

#### 1.6.1.1.3 原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持するために必要な構築物、系統及び機器

原子炉の高温停止及び低温停止を達成し、維持（以下「原子炉の安全停止」という。）するために必要な以下の機能を確保するための構築物、系統及び機器から、発電用原子炉施設に火災の発生を想定した場合に、火災を起因とする事象に対して機能要求が必須でない機器、代替手段により同一機能を確保できる機器、火災による誤動作を考慮しても原子炉の安全停止に影響を及ぼさない機器、安全停止を達成する系統上のタンク等の不燃材で構成される機器等を除外して、「原子炉の安全停止に必要な機器等」を選定する。

- ① 反応度制御機能
- ② 1次冷却系統のインベントリと圧力の制御機能
- ③ 崩壊熱除去機能
- ④ プロセス監視機能
- ⑤ サポート（電源、補機冷却水、換気空調等）機能

#### 1.6.1.1.4 放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器

発電用原子炉施設において火災が発生した場合に、放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を確保するために必要な構築物、系

統及び機器を「放射性物質貯蔵等の機器等」として選定する。

#### 1.6.1.1.5 火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル

発電用原子炉施設において火災が発生した場合に、原子炉を安全停止するために必要な機能を確保するための手段（以下「成功パス」という。）を策定し、この成功パスに必要な機器を火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル（以下「火災防護対象機器等」という。）として選定する。

#### 1.6.1.1.6 火災防護計画

発電用原子炉施設全体を対象とした火災防護対策を実施するため、火災防護計画を策定する。火災防護計画には、計画を遂行するための体制、責任の所在、責任者の権限、体制の運営管理、必要な要員の確保及び教育訓練、火災発生防止のための活動、火災防護設備の保守点検及び火災情報の共有化等、火災防護を適切に実施するための対策並びに火災発生時の対応等、火災防護対策を実施するために必要な手順について定める。また、発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物、系統及び機器並びに重大事故等対処施設については、火災の発生防止、火災の早期感知及び消火並びに火災の影響軽減の3つの深層防護の概念に基づき、必要な火災防護対策を行うことを定め、可搬型重大事故等対処設備、重大事故等に柔軟に対応するための多様性拡張設備及びその他の発電用原子炉施設については、設備等に応じた火災防護対策を行うことを定める。

外部火災については、安全施設を外部火災から防護するための運用等を定める。

#### 1.6.1.2 火災発生防止

##### 1.6.1.2.1 発電用原子炉施設の火災発生防止

発電用原子炉施設の火災の発生防止については、発火性又は引火性物質に対して火災の発生防止対策を講じる他、可燃性の蒸気又は可燃性の微粉に対する対策、発火源への対策、水素に対する換気及び漏えい検知対策、放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策並びに電気系統の過電流による過熱及び焼損の防止対策等を講じ

た設計とし、具体的な設計を「1.6.1.2.1.1 発火性又は引火性物質」から「1.6.1.2.1.6 過電流による過熱防止対策」に示す。

安全機能を有する機器に使用するケーブルも含めた不燃性材料又は難燃性材料の使用についての具体的な設計について「1.6.1.2.2 不燃性材料又は難燃性材料の使用」に、落雷、地震等の自然現象による火災発生の防止の具体的な設計について「1.6.1.2.3 落雷、地震等の自然現象による火災発生の防止」に示す。

#### 1.6.1.2.1.1 発火性又は引火性物質

発火性又は引火性物質を内包する設備及びこれらの設備を設置する火災区域には、以下の火災の発生防止対策を講じる設計とする。

ここでいう発火性又は引火性物質としては、消防法で定められる危険物のうち「潤滑油」及び「燃料油」、高圧ガス保安法で高圧ガスとして定められる水素、窒素、液化炭酸ガス及び空調用冷媒等のうち、可燃性である「水素」を対象とする。

##### (1) 漏えいの防止、拡大防止

火災区域に対する漏えいの防止対策、拡大防止対策の設計について以下を考慮した設計とする。

##### a. 発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備は、溶接構造、シール構造の採用により漏えいの防止対策を講じるとともに、オイルパン、ドレンリム、堰又は油回収装置を設置し、漏えいした潤滑油及び燃料油が拡大することを防止する設計とする。

##### b. 発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である水素を内包する設備は、「(4) 防爆」に示す漏えいの防止、拡大防止対策を講じる設計とする。

##### (2) 配置上の考慮

火災区域に対する配置については、以下を考慮した設計とす

る。

- a. 発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備の火災により、発電用原子炉施設の安全機能を損なわないよう、潤滑油及び燃料油を内包する設備と発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物、系統及び機器は、壁等の設置及び離隔による配置上の考慮を行う設計とする。

- b. 発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である水素を内包する設備の火災により、発電用原子炉施設の安全機能を損なわないよう、水素を内包する設備と発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物、系統及び機器は、壁等の設置による配置上の考慮を行う設計とする。

### (3) 換 気

火災区域に対する換気については、以下の設計とする。

- a. 発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備

発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備がある火災区域の建屋等は、火災の発生を防止するために、補助建屋給気ファン及び補助建屋排気ファン等、空調機器による機械換気又は自然換気により換気を行う設計とする。

- b. 発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

発火性又は引火性物質である水素を内包する設備である蓄電池、気体廃棄物処理設備、体積制御タンク及びこれに関連する配管、弁並びに「(5) 貯蔵」に示す混合ガスボンベ及び水素ボンベを設置する火災区域は、火災の発生を防止するために、以下に示す空調機器による機械換気により換気を行う設計とする。

- ・蓄電池



蓄電池を設置する火災区域は、非常用電源から給電される安全補機開閉器室空調ファン、中間補機棟空調ファン、蓄電池室（安全系）排気ファン、蓄電池室（非安全系）排気ファンによる機械換気を行うことにより、水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。

- ・ 気体廃棄物処理設備

気体廃棄物処理設備を設置する火災区域は、非常用電源から給電される補助建屋給気ファン及び補助建屋排気ファンによる機械換気を行うことにより、水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。

- ・ 体積制御タンク及びこれに関連する配管、弁

体積制御タンク及びこれに関連する配管、弁を設置する火災区域は、非常用電源から給電される補助建屋給気ファン及び補助建屋排気ファンによる機械換気を行うことにより、水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。

- ・ 混合ガスボンベ及び水素ボンベ

「(5) 貯蔵」に示す混合ガスボンベ及び水素ボンベを設置する火災区域は、補助建屋給気ファン及び補助建屋排気ファン又は試料採取室給気ファン及び試料採取室排気ファンによる機械換気を行うことにより、水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。

なお、水素を内包する設備のある火災区域は、水素濃度が燃焼限界濃度以下の雰囲気となるように給気ファン及び排気ファンで換気されるが、給気ファン及び排気ファンは、多重化して設置する設計とするため、単一故障を想定しても換気は可能である。

#### (4) 防 爆

火災区域に対する防爆については、以下の設計とする。

- a. 発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である潤滑油

及び燃料油を内包する設備は、「(1) 漏えいの防止、拡大防止」で示したように、溶接構造等、潤滑油及び燃料油の漏えいを防止する設計とするとともに、オイルパン等を設置し、漏えいした潤滑油及び燃料油の拡大を防止する設計とする。

潤滑油及び燃料油が設備の外部へ漏えいしても、これらの引火点は、油内包機器を設置する室内温度よりも十分高く、機器運転時の温度よりも高いため、可燃性蒸気とならないことから、潤滑油及び燃料油が、爆発性の雰囲気を形成するおそれはない。

b. 発火性又は引火性物質である水素を内包する設備

火災区域内に設置する発火性又は引火性物質である水素を内包する以下の設備は、「(3) 換気」に示す機械換気により水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計するとともに、以下に示す溶接構造等により、水素の漏えいを防止する設計とする。

・ 気体廃棄物処理設備

気体廃棄物処理設備の配管等は、雰囲気への水素の漏えいを考慮した溶接構造とし、弁グランド部から雰囲気への水素漏えいの可能性のある弁は、雰囲気への水素の漏えいを考慮し、ベローズや金属ダイヤフラム等を用いる設計とする。

・ 体積制御タンク及びこれに関連する配管、弁

体積制御タンク及びこれに関連する配管、弁は、雰囲気への水素の漏えいを考慮した溶接構造とし、弁グランド部から雰囲気への水素漏えいの可能性のある弁は、雰囲気への水素の漏えいを考慮し、ベローズや金属ダイヤフラム等を用いる設計とする。

・ 混合ガスボンベ及び水素ボンベ

「(5) 貯蔵」に示す混合ガスボンベ及び水素ボンベは、ボンベ使用時に職員がボンベ元弁を開弁し、通常時は元弁を閉弁する運用とする。

以上の設計により、「電気設備に関する技術基準を定める省令」第 69 条及び「工場電気設備防爆指針」で要求される爆発性雰囲気とはならないため、当該火災区域に設置する電気・計装品を防爆型とする必要はなく、防爆を目的とした電気設備の接地も必要ない。

なお、電気設備の必要な箇所には「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める省令」第 10 条、第 11 条に基づく接地を施す設計とする。

#### (5) 貯 蔵

火災区域に設置される貯蔵機器については、以下の設計とする。

貯蔵機器とは、供給設備へ補給するために設置する機器のことであり、発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油の貯蔵機器としては、ディーゼル発電機の燃料油貯油そう及び燃料油貯蔵タンクがある。

これらは、7 日間の外部電源喪失に対してディーゼル発電機を連続運転するために必要な量を貯蔵することを考慮した設計とする。

発火性又は引火性物質である水素の貯蔵機器としては、以下に示す混合ガスボンベ及び水素ボンベがあり、これらボンベは予備を設置せず、必要な本数のみを貯蔵する設計とする。

- ・水素を含有した化学分析装置の水素計校正用混合ガスボンベ
- ・試料の濃度測定用水素ボンベ

#### 1.6.1.2.1.2 可燃性の蒸気又は可燃性の微粉の対策

火災区域に対する可燃性の蒸気又は可燃性の微粉の対策については、以下の設計とする。

発火性又は引火性物質である潤滑油及び燃料油を内包する設備は、「1.6.1.2.1.1 (4) 防爆」に示すとおり、可燃性の蒸気を発生するおそれはなく、また、火災区域において有機溶剤を使用し可燃性の蒸気が滞留するおそれがある場合は、使用する作業場所の局所排気を行うとともに、建屋の給気ファン及び排気ファンによる機械換気

により、滞留を防止する設計とする。

また、**火災区域には、「工場電気設備防爆指針」に記載される「可燃性粉じん（石炭のように空気中の酸素と発熱反応を起こし爆発する粉じん）」や「爆発性粉じん（金属粉じんのよう空気中の酸素が少ない雰囲気又は二酸化炭素中でも着火し、浮遊状態では激しい爆発を生じる粉じん）」のような可燃性の微粉を発生する設備を設置しない設計とする。**

以上の設計により、火災区域には、可燃性の蒸気又は微粉を高所に排出するための設備を設置する必要はなく、電気・計装品も防爆型とする必要はない。

火災区域には、金属粉や布による研磨機のように静電気が溜まるおそれがある設備を設置しない設計とするため、静電気を除去する装置を設置する必要はない。

#### 1.6.1.2.1.3 発火源への対策

発電用原子炉施設には、設備を金属製の本体内に収納する等の対策を行い、設備外部に出た火花が発火源となる設備を設置しない設計とする。

また、発電用原子炉施設には、高温となる設備があるが、高温部分を保温材で覆うことにより、可燃性物質との接触防止や潤滑油等可燃物の加熱防止を行う設計とする。

#### 1.6.1.2.1.4 水素対策

火災区域に対する水素対策については、以下の設計とする。

水素を内包する設備を設置する火災区域については、「1.6.1.2.1.1 (3) 換気」に示すように、機械換気を行うことにより、水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計するとともに、水素を内包する設備は、溶接構造等により雰囲気への水素の漏えいを防止する設計とする。

体積制御タンクを設置する火災区域は、通常運転中において体積制御タンクの気相部に水素を封入すること及び活性炭式希ガスホールドアップ装置を設置する火災区域は、体積制御タンクよりパージされる水素廃ガスを処理することを考慮して、水素ガス検知器を設

置し、水素の燃焼限界濃度である4 vol%の1/4以下の濃度にて、中央制御室に警報を発する設計とする。

また、蓄電池を設置する火災区域は、充電時に蓄電池が水素を発生するおそれがあることを考慮して、水素ガス検知器を設置し、水素の燃焼限界濃度である4 vol%の1/4以下の濃度にて、中央制御室に警報を発する設計とする。

「1.6.1.2.1.1 (5) 貯蔵」に示す混合ガスボンベ及び水素ボンベを設置する火災区域については、通常時は元弁を閉弁する運用とし、「1.6.1.2.1.1 (3) 換気」に示す機械換気により水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計することから、水素ガス検知器は設置しない設計とする。

#### 1.6.1.2.1.5 放射線分解等により発生する水素の蓄積防止対策

加圧器以外の1次冷却材は、高圧水の一相流とし、また、加圧器内も運転中は常に1次冷却材と蒸気を平衡状態とすることで、水素や酸素の濃度が高い状態で滞留、蓄積することを防止する設計とする。

蓄電池を設置する火災区域は、空調機器による機械換気により、水素濃度を燃焼限界濃度以下とするよう設計する。

#### 1.6.1.2.1.6 過電流による過熱防止対策

発電用原子炉施設内の電気系統の過電流による過熱の防止対策は、以下の設計とする。

電気系統は、送電線への落雷等外部からの影響や、地絡、短絡等に起因する過電流による過熱及び焼損を防止するために、保護継電器及び遮断器により、故障回路を早期に遮断する設計とする。

#### 1.6.1.2.2 不燃性材料又は難燃性材料の使用

安全機能を有する構築物、系統及び機器に対しては、不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とし、不燃性材料又は難燃性材料が使用できない場合は以下のいずれかの設計とする。

・不燃性材料又は難燃性材料と同等以上の性能を有するもの（以下「代替材料」という。）を使用する設計とする。

・ 構築物、系統及び機器の機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難な場合であって、当該構築物、系統及び機器における火災に起因して他の安全機能を有する構築物、系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置を講じる設計とする。

#### 1.6.1.2.2.1 主要な構造材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する構築物、系統及び機器のうち、機器、配管、ダクト、トレイ、電線管、盤の筐体及びこれらの支持構造物の主要な構造材は、火災の発生防止及び当該設備の強度確保等を考慮し、ステンレス鋼、低合金鋼、炭素鋼等の金属材料、又はコンクリート等の不燃性材料を使用する設計とする。

ただし、配管のパッキン類は、その機能を確保するために必要な代替材料の使用が技術上困難であるが、金属で覆われた狭隘部に設置し直接火炎に晒されることはないことから不燃性材料又は難燃性材料でない材料を使用する設計とし、また、金属に覆われたポンプ及び弁等の駆動部の潤滑油並びに金属に覆われた機器躯体内部に設置される電気配線は、発火した場合でも、他の安全機能を有する構築物、系統及び機器に延焼しないことから、不燃性材料又は難燃性材料でない材料を使用する設計とする。

#### 1.6.1.2.2.2 変圧器及び遮断器に対する絶縁油等の内包

安全機能を有する構築物、系統及び機器のうち、建屋内の変圧器及び遮断器は、可燃性物質である絶縁油を内包していないものを使用する設計とする。

#### 1.6.1.2.2.3 難燃ケーブルの使用

安全機能を有する機器に使用する難燃ケーブルは、実証試験によりケーブル単体で自己消火性及び延焼性を確認したものを使用する設計とする。

ただし、核計装用ケーブルは、微弱電流・微弱パルスを扱うため、耐ノイズ性を確保する必要があることから、絶縁体に誘電率の低い架橋ポリエチレンを使用する設計とする。このケーブルは、自己消

火性を確認する UL 垂直燃焼試験は満足するが、延焼性を確認する IEEE383 垂直トレイ燃焼試験の要求を満足しない。

したがって、核計装用ケーブルは、火災を想定した場合にも延焼が発生しないように、チャンネルごとに専用電線管に収納するとともに、電線管の両端は、電線管外部からの酸素供給防止を目的とし、耐火性を有するシール材を処置する設計とする。

耐火性を有するシール材を処置した電線管内は、外気から容易に酸素の供給がない閉塞した状態であるため、核計装用ケーブルに火災が発生してもケーブルの燃焼に必要な酸素が不足し、燃焼の維持ができなくなるので、すぐに自己消火し、ケーブルは延焼しない。このため、チャンネルごとに専用電線管で収納し、耐火性を有するシール材により酸素の供給防止を講じた核計装用ケーブルは、IEEE383 垂直トレイ燃焼試験の判定基準を満足するケーブルと同等以上の延焼防止性能を有する。

#### 1.6.1.2.2.4 換気設備のフィルタに対する不燃性材料又は難燃性材料の使用

安全機能を有する構築物、系統及び機器のうち、換気空調設備のフィルタは、チャコールフィルタを除き、不燃性材料又はガラス繊維等の「JIS L1091（繊維製品の燃焼性試験方法）」や「JACA No.11A（空気清浄装置用ろ材燃焼性試験方法指針（公益社団法人日本空気清浄協会）」を満足する難燃性材料を使用する設計とする。

#### 1.6.1.2.2.5 保温材に対する不燃性材料の使用

安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する保温材は、けい酸カルシウム、ロックウール、セラミックファイバ、金属保温等、平成 12 年建設省告示第 1400 号に定められたもの又は建築基準法で不燃材料として定められたものを使用する設計とする。

#### 1.6.1.2.2.6 建屋内装材に対する不燃性材料の使用 (3号炉)

安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する建屋の内装材は、建築基準法に基づく不燃材料若しくはこれと同等の性能を有す

ることを試験により確認した不燃性材料、又は消防法に基づく防災物品若しくはこれと同等の性能を有することを試験により確認した材料を使用する設計とする。

ただし、原子炉格納容器内部コンクリートの表面に塗布するコーティング剤は、不燃材料であるコンクリートに塗布すること、火災により燃焼し難く著しい燃焼をしないこと、加熱源を除去した場合はその燃焼部が広がらず他の安全機能を有する構築物、系統及び機器に延焼しないこと、並びに原子炉格納容器内に設置する原子炉の安全停止に必要な機器は不燃性又は難燃性の材料を使用し周辺には可燃物がないことから、難燃性材料であるコーティング剤を使用する設計とする。

#### (4号炉)

安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する建屋の内装材は、建築基準法に基づく不燃材料若しくはこれと同等の性能を有することを試験により確認した不燃性材料、又は消防法に基づく防災物品若しくはこれと同等の性能を有することを試験により確認した材料を使用する設計とする。

#### 1.6.1.2.3 落雷、地震等の自然現象による火災発生の防止

発電用原子炉施設に想定される自然現象は、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、森林火災及び高潮である。

津波（高潮を含む。）、森林火災及び竜巻（風（台風）を含む。）は、それぞれの現象に対して、発電用原子炉施設の安全機能を損なわないように防護することで、火災の発生防止を行う設計とする。

凍結、降水、積雪及び生物学的事象は、火源が発生する自然現象ではなく、火山の影響についても、火山から発電用原子炉施設に到達するまでに火山灰等が冷却されることを考慮すると、火源が発生する自然現象ではない。

地滑り及び洪水は、発電用原子炉施設の地形を考慮すると、発電用原子炉施設の安全機能を有する機器に影響を与える可能性がないため、火災が発生するおそれはない。



したがって、落雷、地震について、これら現象によって火災が発生しないように、以下のとおり火災防護対策を講じる設計とする。

#### 1.6.1.2.3.1 落雷による火災の発生防止

発電用原子炉施設内の構築物、系統及び機器は、落雷による火災発生を防止するため、地盤面から高さ 20m を超える建築物には、建築基準法に基づき「JIS A 4201 建築物等の雷保護」又は「JIS A 4201 建築物等の避雷設備（避雷針）」に準拠した避雷設備を設置する設計とする。

送電線については、「1.6.1.2.1.6 過電流による過熱防止対策」に示すとおり、故障回路を早期に遮断する設計とする。

##### 【避雷設備設置箇所】

- ・原子炉格納容器
- ・原子炉周辺建屋
- ・原子炉補助建屋
- ・タービン建屋
- ・補助ボイラ煙突
- ・原水タンク
- ・廃棄物処理建屋
- ・雑固体溶融処理建屋
- ・雑固体焼却炉建屋
- ・固体廃棄物貯蔵庫
- ・開閉所（架空地線）
- ・燃料取替用水タンク建屋
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋

#### 1.6.1.2.3.2 地震による火災の発生防止

安全機能を有する構築物、系統及び機器は、耐震クラスに応じて十分な支持性能をもつ地盤に設置するとともに、自らが破壊又は倒壊することによる火災の発生を防止する設計とする。

なお、耐震については「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」に従い設計する。

### 1.6.1.3 火災の感知及び消火

火災の感知及び消火については、安全機能を有する構築物、系統及び機器に対して、火災の影響を限定し、早期の火災感知及び消火を行うための火災感知設備及び消火設備を設置する設計とし、具体的な設計を「1.6.1.3.1 火災感知設備」から「1.6.1.3.4 消火設備の破損、誤作動又は誤操作による安全機能への影響」に示し、このうち、火災感知設備及び消火設備が、地震等の自然現象によっても、火災感知及び消火の機能、性能が維持され、かつ、安全機能を有する構築物、系統及び機器の耐震クラスに応じて、機能を維持できる設計とすることを「1.6.1.3.3 地震等の自然現象の考慮」に、また、消火設備は、破損、誤作動又は誤操作が起きた場合においても、発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわない設計とすることを「1.6.1.3.4 消火設備の破損、誤作動又は誤操作による安全機能への影響」に示す。

#### 1.6.1.3.1 火災感知設備

火災感知設備は、安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画の火災を早期に感知する設計とする。

火災感知器と受信機を含む火災報知盤等で構成される火災感知設備は、以下を踏まえた設計とする。

##### 1.6.1.3.1.1 火災感知器の環境条件等の考慮

火災感知設備の火災感知器は、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や、火災は炎が生じる前に発煙する等の想定される火災の性質を考慮した設計とする。

##### 1.6.1.3.1.2 固有の信号を発する異なる火災感知器の設置

火災感知設備の火災感知器は、「1.6.1.3.1.1 火災感知器の環境条件等の考慮」の環境条件等を考慮し、火災感知器を設置する火災区域又は火災区画の安全機能を有する機器の種類に応じ、火災を早期に感知できるよう、固有の信号を発するアナログ式の煙感知器、

アナログ式の熱感知器又は非アナログ式の炎感知器から異なる種類の感知器を組み合わせて設置する設計とする。炎感知器はアナログ式ではないが、炎が発する赤外線又は紫外線を感知するため、煙や熱と比べて感知器に到達する時間遅れがなく、火災の早期感知に優位性がある。

ただし、以下に示す場所は、上記とは異なる火災感知器を組み合わせて設置する設計とする。

屋外エリアは、火災による煙は周囲に拡散し、煙感知器による火災感知は困難であることから、熱感知器と非アナログ式の炎感知器（赤外線）を選定する。

さらに、降水等の浸入により火災感知器の故障が想定されるため、火災感知器の故障を防止する観点から、降水等の浸入を防止できる非アナログ式の防爆型の熱感知器及び非アナログ式の防爆型の炎感知器（赤外線）を選定する。

放射線量が高い場所は、アナログ式の火災感知器を設置する場合、放射線の影響により火災感知器の故障が想定される。このため、火災感知器の故障を防止する観点から、放射線の影響を考慮した非アナログ式の熱感知器を選定する。

水素等による引火性又は発火性の雰囲気を形成するおそれのある場所は、火災感知器作動時の爆発を防止するため、非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を選定する。

また、これらの非アナログ式の火災感知器は、以下の環境条件等を考慮することにより誤作動を防止する設計とする。

- ・煙感知器は蒸気等が充満する場所に設置しない。
- ・熱感知器は作動温度を周囲温度より高い温度で作動するものを選定する。
- ・炎感知器は炎特有の性質を検出する赤外線方式を採用する。また、屋内に設置する場合は、外光が当たらず、高温物体が近傍にない箇所に設置することとし、屋外に設置する場合は、視野角への影響を考慮した太陽光の影響を防ぐ遮光板の設置や防爆型の炎感知器を採用する。

#### (1) 原子炉格納容器

原子炉格納容器は、水素が発生するような事故を考慮して、

非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する設計とする。

また、原子炉格納容器ループ室及び加圧器室に設置する火災感知器は、放射線による影響を考慮した非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する設計とする。

(2) 体積制御タンク室、活性炭式希ガスホールドアップ装置エリア及び蓄電池室

通常運転中において気相部に水素を封入する体積制御タンク室及び体積制御タンクよりパーズされる水素廃ガスを処理する活性炭式希ガスホールドアップ装置は、非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する設計とする。

充電時に水素発生のおそれがある蓄電池室も、非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する設計とする。

(3) 海水管トレンチエリア

海水管トレンチエリアは、火災防護対象ケーブルを電線管内に敷設するため、火災防護対象ケーブルの火災を想定した場合は、電線管周囲の温度が上昇するとともに、電線管内部に煙が発生する。

このため、海水管トレンチエリアは、電線管周囲の温度を熱感知器と同等に感知できる光ファイバ温度監視装置を電線管近傍に設置するとともに、電線管を接続するプルボックス内にアナログ式の煙感知器を設置する設計とする。

また、海水ストレーナが設置される場所は、屋外であるため非アナログ式の防爆型の熱感知器及び非アナログ式の防爆型の炎感知器（赤外線）を設置する設計とする。

(4) 海水ポンプエリア

海水ポンプエリアは屋外であるため、非アナログ式の防爆型の熱感知器及び非アナログ式の防爆型の炎感知器（赤外線）を設置する設計とする。

(5) ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリア及び燃料油貯蔵タンクエリア

ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリア及び燃料油貯蔵タンクエリアは、タンク内部の燃料が気化することを考慮し、非アナログ式の防爆型の熱感知器及び非アナログ式の防爆型の煙感知器を設置する設計とする。

(6) フロアケーブルダクト

フロアケーブルダクトは、アナログ式の煙感知器を設置するとともに、ケーブルダクトの火災を早期に感知する観点から、熱感知器と同等の性能を有する光ファイバ温度監視装置をケーブル近傍に設置する設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、以下に示すとおり消防法に基づき火災感知器を設置する。

(1) 使用済燃料乾式貯蔵施設

使用済燃料乾式貯蔵施設は、保管する使用済燃料乾式貯蔵容器が金属製で十分な耐火能力を有しており、使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアには、可燃物を置かず発火源を極力排除した設計とすることから、火災による安全機能への影響は考えにくい。

したがって、使用済燃料乾式貯蔵施設は、消防法に基づき火災感知器を設置する。

使用済燃料ピット及び使用済樹脂貯蔵タンク室は、以下に示すとおり火災感知器を設置しない設計とする。

(1) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピットの側面と底面は金属に覆われており、ピット内は水で満たされていることから、使用済燃料ピット内では火災は発生しない。このため、使用済燃料ピット内には火災感知器を設置しない設計とする。

(2) 使用済樹脂貯蔵タンク室

使用済樹脂貯蔵タンクは、金属製であること、タンク内に貯蔵する樹脂は水に浸かっており、使用済樹脂貯蔵タンク室は、コンクリートで覆われ、発火源となる可燃物がないことから、火災が発生するおそれはない。

したがって、使用済樹脂貯蔵タンク室は、火災感知器を設置しない設計とする。

#### 1.6.1.3.1.3 火災報知盤

火災感知設備の火災報知盤は、中央制御室に設置し、火災感知設備の作動状況を常時監視できる設計とする。

火災報知盤は、構成される受信機により、以下の機能を有する設計とする。

- (1) 火災報知盤は、アナログ式の火災感知器が接続可能であり、作動した火災感知器を1つずつ特定できる機能
- (2) 機械空調による環境の維持により誤作動が起き難く、かつ、水素の漏えいの可能性が否定できない場所に設置する感知器は、非アナログ式の密閉性を有する防爆型の火災感知器とし、これを1つずつ特定できる機能
- (3) 降水等の浸入による誤作動が想定される屋外に設置する感知器は、誤作動を防止するために非アナログ式の密閉性を有する防爆型の火災感知器とし、これを1つずつ特定できる機能

#### 1.6.1.3.1.4 火災感知設備の電源確保

火災区域又は火災区画に設置する火災感知設備は、外部電源喪失時においても火災の感知が可能となるように蓄電池を設け、電源を確保する設計とする。

また、原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画の火災感知設備に供給する電源は、ディーゼル発電機が接続されている非常用電源より供給する設計とする。

#### 1.6.1.3.2 消火設備

消火設備は、以下に示すとおり、安全機能を有する構築物、システム及び機器を設置する火災区域又は火災区画の火災を早期に消火する設計とする。

##### 1.6.1.3.2.1 原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備

原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備は、当該火災区域又は火災区画が、火災発生時の煙の充満及び放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画であるかを考慮して設計する。

(1) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画の選定

屋内の原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画は、基本的に、火災発生時の煙の充満により消火活動が困難となるものとして選定し、このうち、原子炉格納容器内のループ室は、放射線の影響も考慮し消火活動が困難な場所として選定する。

また、中央制御室のうちフロアケーブルダクトは、消火活動が困難な場所として選定する。

(2) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画の選定

消火活動が困難とならない屋外の原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画、及び屋内の火災区域又は火災区画のうち、消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画を以下に示す。

a. 屋外の火災区域

ディーゼル発電機燃料油貯油そう及び燃料油貯蔵タンク等の以下に示す屋外エリアは、火災が発生しても煙が大気に放出され、煙の充満するおそれがないことから、消火活動が困難とならない場所として選定する。

- (a) ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリア
- (b) 燃料油貯蔵タンクエリア
- (c) 海水ポンプエリア
- (d) 海水管トレンチエリア

b. 運転員が常駐する火災区域又は火災区画

フロアケーブルダクトを除く中央制御室は、常駐する運転員によって、高感度煙感知器による早期の火災感知及び消火

活動が可能であり、火災発生時に煙が充満する前に消火可能であることから、消火活動が困難とならない場所として選定する。

(3) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画に設置する消火設備

火災発生時の煙の充満により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画は、中央制御室からの手動操作による固定式消火設備である全域ハロン消火設備又は自動消火設備である全域ハロン自動消火設備を設置し消火を行う設計とする。

ただし、以下の火災区域又は火災区画は、上記と異なる消火設備を設置し消火を行う設計とする。

a. ディーゼル発電機室

ディーゼル発電機室は、人が常駐する火災区域ではないため、全域ハロン消火設備等は設置せず、二酸化炭素自動消火設備を設置する設計とする。

b. 原子炉格納容器

中央制御室からの手動操作による固定式消火設備又は自動消火設備を適用する場合は、原子炉格納容器内の自由体積が約 7.4 万  $\text{m}^3$  あることから、原子炉格納容器内全体に消火剤を充満させるまで時間を要する。このため、原子炉格納容器の消火設備は、火災発生時の煙の充満による消火活動が困難でない場合には、早期に消火が可能であることから、常駐する運転員及び消防要員（以下「消防要員等」という。）による消火を行う設計とする。

火災発生時の煙の充満及び放射線の影響のため消防要員等による消火活動が困難である場合は、中央制御室からの手動操作が可能であり、原子炉格納容器全域を水滴で覆うことのできる「9.2 原子炉格納容器スプレー設備」に示す、原子炉格納容器スプレー設備による手動消火を行う設計とする。

(4) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画に設置する消火設備

a. ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリア及び燃料油貯蔵タンクエリア



ディーゼル発電機燃料油貯油そう及び燃料油貯蔵タンクは、乾燥砂で覆われ地下に埋設されているため、火災の規模は小さい。また、油火災であることを考慮し、消火器で消火を行う設計とする。

b. 海水ポンプエリア及び海水管トレンチエリア

海水ポンプエリア及び海水管トレンチエリアは、全域ハロン消火設備等は設置せず、消火器又は水で消火を行う設計とする。

c. 中央制御室

フロアケーブルダクトを除く中央制御室は、全域ハロン消火設備等は設置せず、粉末消火器で消火を行う設計とする。また、中央制御盤内の火災については、電気機器への影響がない二酸化炭素消火器で消火を行う。

1.6.1.3.2.2 放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域に設置する消火設備

放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域に設置する消火設備は、当該火災区域が、火災発生時の煙の充満及び放射線の影響により消火活動が困難となる火災区域であることを考慮して設計する。

(1) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域の選定

放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域は、基本的に、火災発生時の煙の充満により消火活動が困難となるものとして選定する。

(2) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域の選定

放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域のうち、以下の火災区域は、消火活動が困難とならない場所として選定する。

a. 液体廃棄物処理設備

液体廃棄物処理設備を設置する火災区域は、火災が発生し液体放射性物質が流出しても可燃物とはならず床ドレンに回収される。また、液体廃棄物処理設備の周りは、可燃物を少

なくすることで煙の発生を抑える設計とし、周囲の火災荷重を低く管理することから、消火活動が困難とならない場所として選定する。

b. 使用済燃料ピット

使用済燃料ピットの側面と底面は金属に覆われており、ピット内は水で満たされ、使用済燃料は火災の影響を受けないことから、消火活動が困難とならない場所として選定する。

c. 新燃料貯蔵庫

新燃料貯蔵庫は、側面と底面が金属とコンクリートに覆われており可燃物を置かない設計とするため、消火活動が困難とならない場所として選定する。

d. 3－固体廃棄物貯蔵庫

3－固体廃棄物貯蔵庫は、不燃性の固体廃棄物のみを貯蔵保管している。また、3－固体廃棄物貯蔵庫内は、可燃物を少なくすることで煙の発生を抑える設計とし、火災荷重を低く管理することから、消火活動が困難とならない場所として選定する。

(3号炉)

e. 蒸気発生器保管庫

蒸気発生器保管庫は、不燃性の固体廃棄物のみを貯蔵保管している。また、蒸気発生器保管庫内は、可燃物を少なくすることで煙の発生を抑える設計とし、火災荷重を低く管理することから、消火活動が困難とならない場所として選定する。

(4号炉)

e. アニュラス空気再循環設備弁エリア

アニュラス空気再循環設備弁は、電線管及び金属被覆の可とう電線管の中にケーブルを敷設する設計としている。

また、アニュラス空気再循環設備弁の周りは、可燃物を少なくすることで煙の発生を抑える設計とし、周囲の火災荷重を低く管理することから、消火活動が困難とならない場所として選定する。

(3) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区

#### 域に設置する消火設備

火災発生時の煙の充満により消火活動が困難となる放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域は、中央制御室からの手動操作による固定式消火設備である全域ハロン消火設備、水噴霧消火設備、泡消火設備のいずれか、又は自動消火設備である全域ハロン自動消火設備を設置し消火を行う設計とする。

#### (4) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域に設置する消火設備

##### a. 液体廃棄物処理設備

液体廃棄物処理設備を設置する火災区域は、手動操作による固定式消火設備及び自動消火設備は設置せず、消火器又は水で消火を行う設計とする。

##### b. 使用済燃料ピット

使用済燃料ピットは、手動操作による固定式消火設備及び自動消火設備は設置しない設計とする。

##### c. 新燃料貯蔵庫

新燃料貯蔵庫は、手動操作による固定式消火設備及び自動消火設備は設置せず、消火器又は水で消火を行う設計とする。

##### d. 3－固体廃棄物貯蔵庫

3－固体廃棄物貯蔵庫は、手動操作による固定式消火設備及び自動消火設備は設置せず、消火器又は水で消火を行う設計とする。

##### (3号炉)

##### e. 蒸気発生器保管庫

蒸気発生器保管庫は、手動操作による固定式消火設備及び自動消火設備は設置せず、消火器又は水で消火を行う設計とする。

##### (4号炉)

##### e. アニュラス空気再循環設備弁エリア

アニュラス空気再循環設備弁エリアは、手動操作による固定式消火設備及び自動消火設備は設置せず、消火器又は水で消火を行う設計とする。

(5) 使用済樹脂貯蔵タンクの消火設備

使用済樹脂貯蔵タンクは、放射線の影響のため消火活動が困難な場所であるが、使用済樹脂貯蔵タンクは、金属製であること、タンク内に貯蔵する樹脂は水に浸かっており、使用済樹脂貯蔵タンクは、コンクリートで覆われ、発火源となる可燃物がない設計とすることから、火災が発生するおそれはない。

したがって、使用済樹脂貯蔵タンク室は、消火設備を設置しない設計とする。

(6) 使用済燃料乾式貯蔵施設の消火設備

使用済燃料乾式貯蔵施設は、保管する使用済燃料乾式貯蔵容器が金属製で十分な耐火能力を有しており、使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアには、可燃物を置かず発火源を極力排除した設計とすることから、火災による安全機能への影響は考えにくい。

したがって、使用済燃料乾式貯蔵施設は、消火器及び水消火設備を設置する設計とする。

1.6.1.3.2.3 消火用水供給系の多重性又は多様性の考慮

(3号炉)

消火用水供給系の水源は、原水タンク（約10,000m<sup>3</sup>）を2基設置し多重性を有する設計とする。

原子炉格納容器スプレイ設備は、格納容器スプレイポンプを2台設置する等、系統の多重性を有する設計とし、水源は、使用可能な場合に水源とする原水タンクは2基、原水タンクが使用できない場合に水源とする燃料取替用水タンクを1基設置する設計とする。なお、燃料取替用水タンクは、原子炉格納容器スプレイ設備により消火を行う時間が24時間以内であることから、単一故障を想定しない設計とする。

消火用水供給系の消火ポンプは、電動消火ポンプ、ディーゼル消火ポンプを1台ずつ設置し、多様性を有する設計とする。

(4号炉)

消火用水供給系の水源は、原水タンク（約10,000m<sup>3</sup>）を2基設置し多重性を有する設計とする。

原子炉格納容器スプレイ設備は、格納容器スプレイポンプを2台設置する等、系統の多重性を有する設計とし、水源は、使用可能な場合に水源とする原水タンクは2基、原水タンクが使用できない場合に水源とする燃料取替用水ピットを1基設置する設計とする。なお、燃料取替用水ピットは、原子炉格納容器スプレイ設備により消火を行う時間が24時間以内であることから、単一故障を想定しない設計とする。

消火用水供給系の消火ポンプは、電動消火ポンプ、ディーゼル消火ポンプを1台ずつ設置し、多様性を有する設計とする。

#### 1.6.1.3.2.4 系統分離に応じた独立性の考慮

原子炉の安全停止に必要な機器等のうち、火災防護対象機器等の系統分離を行うために設置する全域ハロン自動消火設備は、以下に示すとおり、系統分離に応じた独立性を備えた設計とする。

- ・静的機器である消火配管は、静的機器は24時間以内の単一故障の想定が不要であり、また、基準地震動で損傷しないよう設計するため、多重化しない。
- ・動的機器である選択弁等の単一故障を想定して選択弁等は多重化する設計とし、動的機器である容器弁の単一故障を想定して容器弁及びボンベも必要本数以上設置し、両系列の火災防護対象機器等の消火設備が機能を失わない設計とする。

#### 1.6.1.3.2.5 火災に対する二次的影響の考慮

二酸化炭素自動消火設備、全域ハロン消火設備及び全域ハロン自動消火設備は、電気絶縁性の高いガスを採用することで、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎、熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、断線及び爆発等の二次的影響が、火災が発生していない安全機能を有する構築物、系統及び機器に及ばない設計とする。

また、これら消火設備のボンベ及び制御盤は、消火対象となる火

災区域又は火災区画とは別のエリアに設置し、火災による熱の影響を受けても破損及び爆発が発生しないよう、ポンベに接続する破壊板によりポンベの過圧を防止する設計とする。

泡消火設備及び水噴霧消火設備は、火災が発生している火災区域からの火災の火炎、熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、断線及び爆発等の二次的影響を受けず、安全機能を有する構築物、系統及び機器に悪影響を及ぼさないよう、消火対象となる火災区域とは別のエリアに制御盤等を設置する設計とする。

#### 1.6.1.3.2.6 想定火災の性質に応じた消火剤の容量

消火設備に必要な消火剤の容量について、泡消火設備は、消防法施行規則第 18 条、二酸化炭素自動消火設備は、消防法施行規則第 19 条、全域ハロン消火設備及び全域ハロン自動消火設備は、消防法施行規則第 20 条に基づき設計する。

消火剤に水を使用する水消火設備の容量の設計は、「1.6.1.3.2.8 消火用水の最大放水量の確保」に示す。

#### 1.6.1.3.2.7 移動式消火設備の配備

移動式消火設備は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第 83 条の 5 に基づき、消火ホース等の資機材を備え付けている化学消防自動車（1 台）及び小型動力ポンプ付水槽車（1 台）を配備する設計とする。

#### 1.6.1.3.2.8 消火用水の最大放水量の確保

消火用水供給系の水源である原水タンクは、最大放水量である主変圧器の消火ノズルから放水するために必要な圧力及び必要な流量を満足する消火ポンプの定格流量（ $14\text{m}^3/\text{min}$ ）で、消火を 2 時間継続した場合の水量（ $1,680\text{m}^3$ ）を確保する設計とする。

水消火設備に必要な消火水の容量について、水噴霧消火設備は、消防法施行規則第 16 条（水噴霧消火設備に関する基準）、屋内消火栓は、消防法施行令第 11 条（屋内消火栓設備に関する基準）、屋外消火栓は消防法施行令第 19 条（屋外消火栓設備に関する基準）に基づき設計する。

#### 1.6.1.3.2.9 水消火設備の優先供給

消火用水供給系は、飲料水系や所内用水系等と共用する場合には、隔離弁を設置して遮断する措置により、消火用水の供給を優先する設計とする。

#### 1.6.1.3.2.10 消火設備の故障警報

電動消火ポンプ、ディーゼル消火ポンプ、全域ハロン自動消火設備等の消火設備は、電源断等の故障警報を中央制御室に発する設計とする。

#### 1.6.1.3.2.11 消火設備の電源確保

##### (1) 消火用水供給系

ディーゼル消火ポンプは、外部電源喪失時にも起動できるように蓄電池により電源を確保することにより、消火用水供給系の機能を喪失しない設計とする。

原子炉格納容器スプレイ設備は、外部電源喪失時にも起動できるように非常用電源より給電することにより、消火設備の機能を喪失しない設計とする。

##### (2) 二酸化炭素自動消火設備、全域ハロン自動消火設備等

二酸化炭素自動消火設備、全域ハロン自動消火設備、全域ハロン消火設備、泡消火設備及び水噴霧消火設備は、外部電源喪失時にも設備の作動に必要な電源を蓄電池により確保することにより、消火設備の機能を喪失しない設計とする。

#### 1.6.1.3.2.12 消火栓の配置

安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火栓は、消防法施行令第 11 条（屋内消火栓設備に関する基準）及び第 19 条（屋外消火栓設備に関する基準）に準拠し、屋内は消火栓から半径 25m の範囲、屋外は消火栓から半径 40m の範囲における消火活動を考慮した設計とする。

#### 1.6.1.3.2.13 固定式ガス消火設備の退出警報

固定式ガス消火設備として設置する二酸化炭素自動消火設備、全

域ハロン自動消火設備及び全域ハロン消火設備は、作動前に職員等の退出ができるように警報を発する設計とする。

#### 1.6.1.3.2.14 管理区域内からの放出消火剤の流出防止

管理区域内で放出した消火水は、放射性物質を含むおそれがある場合には、管理区域外への流出を防止するため、各フロアの日皿や配管により排水及び回収し、液体廃棄物処理設備で処理する設計とする。

#### 1.6.1.3.2.15 消火用の照明器具

建屋内の消火栓、消火設備現場盤の設置場所及び設置場所への経路には、移動及び消火設備の操作を行うため、消防法で要求される消火継続時間 20 分に現場への移動等の時間を考慮し、1 時間以上の容量の蓄電池を内蔵する照明器具を設置する設計とする。

#### 1.6.1.3.3 地震等の自然現象の考慮

火災感知設備及び消火設備は、以下に示す地震等の自然現象を考慮し、機能及び性能が維持される設計とする。

##### 1.6.1.3.3.1 凍結防止対策

外気温度が 0℃まで低下した場合は、屋外の消火設備の凍結を防止するために消火栓及び消火配管のブロー弁を微開し通水する運用とする。

また、屋外に設置する火災感知設備については、外気温度が -10℃まで低下しても使用可能な火災感知器を設置する設計とする。

##### 1.6.1.3.3.2 風水害対策

ディーゼル消火ポンプ、電動消火ポンプ、全域ハロン自動消火設備、全域ハロン消火設備及び水噴霧消火設備は、風水害により性能が阻害されないよう、流れ込む水の影響を受けにくい屋内に設置する設計とする。

泡消火設備のように、屋外に消火設備の制御盤、タンク等を設置する場合は、風水害により性能が阻害されないよう、制御盤、タンク



ク等の浸水防止対策を講じる設計とする。

屋外の火災感知設備は、火災感知器の予備を保有し、風水害の影響を受けた場合にも、早期に取替えを行うことにより当該設備の機能及び性能を復旧する設計とする。

#### 1.6.1.3.3.3 地震対策

##### (1) 地震対策

火災区域又は火災区画の火災感知設備及び消火設備は、その火災区域又は火災区画に設置する安全機能を有する構築物、系統及び機器の耐震クラスに応じて、機能を維持できる設計とする。

耐震Sクラスの機器を設置する火災区域又は火災区画に設置される油を内包する耐震Bクラス及び耐震Cクラスの機器に基準地震動による損傷に伴う火災が発生した場合においても、火災防護対象機器等の機能が維持される設計とする。

##### (2) 地盤変位対策

消火配管は、地震時における地盤変位対策として、建屋貫通部付近の接続部には機械式継手ではなく溶接継手を採用し、地盤変位の影響を直接受けしないよう、地上化又はトレンチ内に設置する設計とする。

また、建屋外部から建屋内部の消火栓に給水することが可能な給水接続口を建屋に設置する設計とする。

#### 1.6.1.3.4 消火設備の破損、誤作動又は誤操作による安全機能への影響

二酸化炭素は不活性であること及びハロンは電気絶縁性が大きく揮発性も高いことから、設備の破損、誤作動又は誤操作により消火剤が放出されても電気及び機械設備に影響を与えないため、火災区域又は火災区画に設置するガス系消火設備には、二酸化炭素自動消火設備、全域ハロン消火設備等を選定する設計とする。

ディーゼル発電機は、ディーゼル発電機室に設置する二酸化炭素自動消火設備の破損、誤作動又は誤操作により二酸化炭素の放出による窒息を考慮しても機能が喪失しないよう、外気より給気を取り

入れる設計とする。

固体廃棄物貯蔵庫には、消火設備の破損、誤作動又は誤操作により消火剤が放出されても、ドラム缶から放射性廃棄物が放出されない泡消火設備を設置する設計とする。

消火設備の放水等による溢水は、「1.7 溢水防護に関する基本方針」に基づき、安全機能への影響がないよう設計する。

#### 1.6.1.4 火災の影響軽減のための対策

##### 1.6.1.4.1 安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じた火災の影響軽減のための対策

安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じ、それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し、「1.6.1.4.1.1 火災区域の分離」から「1.6.1.4.1.8 油タンクに対する火災の影響軽減のための対策」に示す火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

##### 1.6.1.4.1.1 火災区域の分離

原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域のうち、他の火災区域又は火災区画と隣接する場合は、3時間以上の耐火能力を有する耐火壁として、3時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚である 150mm<sup>(10)</sup> 以上の壁厚を有するコンクリート壁又は火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁（貫通部シール、防火扉、防火ダンパ）によって、他の火災区域又は火災区画から分離する設計とする。

なお、火災区域の目皿には、他の火災区域又は火災区画からの煙の流入防止を目的として、煙等流入防止装置を設置する設計とする。

##### 1.6.1.4.1.2 火災防護対象機器等の系統分離

火災が発生しても、原子炉を安全停止するためには、プロセスを監視しながら原子炉を停止し、冷却を行うことが必要であり、このためには、成功パスを、手動操作に期待してでも、少なくとも1つ確保するよう系統分離対策を講じる必要がある。

このため、火災防護対象機器等を設置する火災区域又は火災区画に対して、火災区域内又は火災区画内の火災の影響軽減のための対策や隣接する火災区域又は火災区画における火災の影響を軽減するために、以下の対策を講じる設計とする。

ただし、以下の対策と同等の対策を行う中央制御盤及び原子炉格納容器については、「1.6.1.4.1.3 中央制御盤内に対する火災の影響軽減のための対策」及び「1.6.1.4.1.4 原子炉格納容器内に対する火災の影響軽減のための対策」で示す。

(1) 3時間以上の耐火能力を有する隔壁等

互いに相違する系列の火災防護対象機器等は、火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を確認した隔壁等で分離する設計とする。

(2) 水平距離6m以上、火災感知設備及び自動消火設備

互いに相違する系列の火災防護対象機器等は、仮置きするものを含めて可燃性物質のない水平距離を6m以上確保する設計とする。

火災感知設備は、自動消火設備を作動させるために設置し、自動消火設備の誤作動防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を作動させる設計とする。

自動消火設備は、全域ハロン自動消火設備を設置する設計とする。

(3) 1時間耐火隔壁等、火災感知設備及び自動消火設備

互いに相違する系列の火災防護対象機器等について、互いの系列間を分離するために、1時間の耐火能力を有する隔壁等を設置する設計とする。

隔壁等は、火災耐久試験により1時間の耐火性能を有することを確認する設計とする。

火災感知設備は、自動消火設備を作動させるために設置し、自動消火設備の誤作動防止を考慮した感知器の作動により自動消火設備を作動させる設計とする。

自動消火設備は、全域ハロン自動消火設備を設置する設計とする。

#### 1.6.1.4.1.3 中央制御盤内に対する火災の影響軽減のための対策

中央制御盤内は、「1.6.1.4.1.2 火災防護対象機器等の系統分離」とは異なる火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

中央制御盤内の火災防護対象機器等は、運転員の操作性及び視認性向上を目的として近接して設置することから、互いに相違する系列の水平距離を6m以上確保することや互いに相違する系列を1時間の耐火能力を有する耐火隔壁で分離することが困難である。

また、中央制御盤内に火災が発生した場合は、常駐する運転員による早期の消火活動を行うこととし、自動消火設備は設置しない設計とする。

このため、中央制御盤内の火災防護対象機器等は、以下に示すとおり、実証試験結果に基づく離隔距離等による分離対策、高感度煙感知器の設置による早期の火災感知及び常駐する運転員による早期の消火活動に加え、火災により中央制御盤の1つの区画の安全機能が全て喪失しても、他の区画の制御盤の運転操作や現場の遮断器等の操作により、原子炉の安全停止が可能であることも確認し、火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

##### (1) 離隔距離等による系統分離

中央制御盤内の火災防護対象機器である操作スイッチ及びケーブルは、火災を発生させて近接する他の構成部品に火災の影響がないことを確認した実証試験の結果に基づき、以下に示す分離対策を講じる設計とする。

- a. 操作スイッチは、鋼板製筐体で覆い、さらに、実証試験により確認された離隔距離を確保する。
- b. 盤内配線は、相違する系列の端子台間及び相違する系列のテフロン電線間は、実証試験により確認された離隔距離を確保する。
- c. 相違する系列間を分離するための配線用バリアとしては、金属バリアによる離隔又は実証試験により確認された離隔距離を確保した盤内配線ダクトとする。
- d. ケーブルは、当該ケーブルに火災が発生しても延焼せず、また、周囲へ火災の影響を与えない金属外装ケーブル、テフ

ロン電線及び難燃ケーブルを使用する。

(2) 高感度煙感知器の設置による早期の火災感知

- a. 中央制御室内に煙及び熱感知器を設置する設計とする。
- b. 中央制御盤内には、火災の早期感知を目的として、高感度煙感知器を設置する設計とする。

(3) 常駐する運転員による早期の消火活動

- a. 自動消火設備は設置しないが、中央制御盤内に火災が発生しても、高感度煙感知器からの信号により、常駐する運転員が早期に消火活動を行うことで、相違する系列の火災防護対象機器への火災の影響を防止できる設計とする。
- b. 常駐する運転員が早期消火を図るために消火活動の手順を定めて、訓練を実施する。
- c. 消火設備は、電気機器へ悪影響を与えない二酸化炭素消火器を使用する。
- d. 火災の発生箇所の特정이困難な場合も想定し、サーモグラフィカメラ等、火災の発生箇所を特定できる装置を配備する。

(4) 原子炉の安全停止

火災により中央制御盤の1つの区画の安全機能が全て喪失しても、他の区画の制御盤の運転操作や現場の遮断器等の操作により、原子炉の安全停止が可能な設計とする。

1.6.1.4.1.4 原子炉格納容器内に対する火災の影響軽減のための対策

原子炉格納容器内は、「1.6.1.4.1.2 火災防護対象機器等の系統分離」とは異なる火災の影響軽減のための対策を講じる設計とする。

原子炉格納容器内では、蒸気発生器の計器はループごとに配置し、ケーブルについては系列ごとに敷設して異なる貫通部に接続すること等により火災の影響軽減を図る。しかしながら、原子炉格納容器内の火災防護対象ケーブルは、ケーブルトレイが密集して設置されるため、互いに相違する系列を可能な範囲で隔離するが、全域に対しては水平距離を6 m以上確保することが困難である。また、1時

間耐火性能を有している耐火ボードや耐火シート等は、1次冷却材漏えい事故等が発生した場合にデブリ発生の要因となり格納容器再循環サンプの閉塞対策に影響を及ぼすため、互いに相違する系列を1時間の耐火能力を有する耐火隔壁で分離することが困難である。

自動消火設備に固定式のガス系消火設備を適用する場合は、原子炉格納容器内の自由体積が約7.4万m<sup>3</sup>あることから、原子炉格納容器内全体に消火剤を充満させるまで時間を要する。このため、原子炉格納容器の消火設備は、火災発生時の煙の充満による消火活動が困難でない場合、早期に消火が可能である、消防要員等による消火を行う設計とする。

火災発生時の煙の充満及び放射線の影響のため消防要員等による消火活動が困難である場合は、中央制御室からの手動操作が可能であり、原子炉格納容器内全域を水滴で覆うことのできる原子炉格納容器スプレー設備による手動消火を行う設計とする。

このため、原子炉格納容器内の火災防護対象機器等は、以下に示す火災の影響軽減のための対策に加え、原子炉格納容器内の動的機器がすべて火災の影響により運転停止し、かつ、原子炉格納容器内の弁の遠隔操作ができなくなることを仮定しても、運転員の操作により原子炉の安全停止が可能であることも確認する設計とする。

また、原子炉格納容器内には可燃物を保管しない措置を講じ、原子炉格納容器内の以下の設備については、鉄製の筐体やケーシング等で構成することにより、火災発生時においても火災防護対象ケーブルが敷設されるケーブルトレイへの火災影響の低減を図る。

- ・電気盤
- ・油内包機器である格納容器再循環ファン
- ・1次冷却材ポンプ電動機油回収タンク

また、油内包機器である格納容器冷却材ドレンポンプは、火災防護対象ケーブルを敷設するケーブルトレイから6mの範囲内に存在せず、火災防護対象ケーブルを敷設する電線管との間には、コンクリート製の壁が設置されており、水平距離間には仮置きするものを含め可燃性物質は存在しないため、火災発生時においても火災防護対象ケーブルが敷設されるケーブルトレイへの火災影響を防止できる。

(1) ケーブルトレイに対する鉄製蓋の設置

原子炉格納容器内に火災が発生した場合に、火災防護対象ケーブルに関連する火災防護対象機器の機能維持に対する信頼性を向上するために、以下に示すケーブルトレイに対して、延焼や火炎からの影響を防止できる鉄製の蓋を設置し、鉄製の蓋には、消火水がケーブルトレイへ浸入するための開口を設置する設計とする。

- a. 同じ機能を有する火災防護対象ケーブルが敷設されるケーブルトレイ同士が6 m の離隔を有する場合は、いずれか一方の系列の火災防護対象ケーブルが敷設されるケーブルトレイの周囲6 m 範囲に位置するケーブルトレイに対して、鉄製蓋を設置する設計とする。
- b. 同じ機能を有する火災防護対象ケーブルが敷設されるケーブルトレイ同士が6 m の離隔を有しない場合は、同じ機能を有する火災防護対象ケーブルが敷設される両方のケーブルトレイ及びいずれか一方の系列の火災防護対象ケーブルが敷設されるケーブルトレイの周囲6 m 範囲に位置するケーブルトレイに対して、鉄製蓋を設置する設計とする。
- c. 同じ機能を有する火災防護対象ケーブルが敷設される電線管同士が6 m の離隔を有する場合は、いずれか一方の系列の火災防護対象ケーブルが敷設される電線管の周囲6 m 範囲に位置するケーブルトレイに対して、鉄製蓋を設置する設計とする。
- d. 同じ機能を有する火災防護対象ケーブルが敷設される電線管同士が6 m の離隔を有しない場合は、上記 c. と同じ対策を実施する設計とする。

(2) 火災感知設備

非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する設計とする。

(3) 消防要員等又は原子炉格納容器スプレイ設備による消火

- a. 自動消火設備は設置しないが、消防要員等が原子炉格納容

器内へ進入可能な場合は、手順を定め、訓練を実施している消防要員等により、消火器又は水を用いて早期に消火を行う設計とする。

- b. 消防要員等が原子炉格納容器内へ進入困難な場合は、中央制御室で手動操作可能な原子炉格納容器スプレイ設備を用いた消火を実施する設計とする。なお、1次冷却材ポンプの上部は開口となっているため、1次冷却材ポンプに火災が発生した場合にも、原子炉格納容器スプレイ設備による消火は可能である。

#### (4) 原子炉の安全停止

火災防護対象機器等への延焼を抑制する距離の確保、火災防護対象機器等に延焼するおそれがある火災を感知する火災感知器の配置及び消防要員等による消火活動又は中央制御室から手動操作可能な原子炉格納容器スプレイ設備を用いた消火活動により、両系列の火災防護対象機器等が火災により機能を失うことを防止する設計とする。

また、以下に示す設計により、原子炉格納容器内の動的機器が全て火災の影響により運転停止し、かつ、原子炉格納容器内の弁の遠隔操作ができなくなることを仮定しても、運転員の操作により原子炉の安全停止は可能である。

- ・原子炉の高温停止

火災発生時にも原子炉の高温停止が可能となるよう、火災の影響を受けても、制御棒は炉心に全挿入する設計とする。

- ・原子炉の高温停止の維持

火災発生時にも原子炉の高温停止の維持が可能となるよう、火災の影響を受けない原子炉格納容器外に補助給水設備と主蒸気系統設備を設置し、これらを用いた蒸気発生器による除熱を可能とする設計とする。

- ・原子炉の低温停止への移行

火災鎮火後、原子炉格納容器内の電動弁を手動操作し余熱除去設備を使用することで、低温停止への移行を可能とする設計とする。



#### 1.6.1.4.1.5 放射性物質貯蔵等の機器等に対する火災の影響軽減のための対策

放射性物質の貯蔵、かつ、閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域は、3時間以上の耐火能力を有する耐火壁として、3時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚である150mm<sup>(10)</sup>以上の壁厚を有するコンクリート壁又は火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁（貫通部シール、防火扉、防火ダンパ）により、他の火災区域と分離する設計とする。

ただし、放射性物質の貯蔵のみを有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域であり、他の火災区域と隣接しない火災区域は、耐火壁による放射性物質の閉じ込め機能に期待しないため、火災区域の境界壁は3時間以上の耐火能力を確保しない設計とする。

#### 1.6.1.4.1.6 換気設備に対する火災の影響軽減のための対策

安全機能を有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域に関連する換気設備には、他の火災区域又は火災区画へ、火、熱又は煙の影響が及ばないように、防火ダンパを設置する設計とする。

換気設備のフィルタは、「1.6.1.2.2.4 換気設備のフィルタに対する不燃性材料又は難燃性材料の使用」に示すとおり、チャコールフィルタを除き、難燃性のものを使用する設計とする。

#### 1.6.1.4.1.7 煙に対する火災の影響軽減のための対策

運転員が常駐する中央制御室の火災発生時の煙を排気するために、建築基準法に準拠した容量の排煙設備を設置する設計とする。なお、排煙設備は、中央制御室専用であるため、放射性物質の環境への放出を考慮する必要はない。

電気ケーブルが密集するフロアケーブルダクトは、ハロン消火設備による手動消火を行う設計とする。

なお、引火性液体が密集するディーゼル発電機燃料油貯油そう及び燃料油貯蔵タンクは、屋外に設置するため、煙が大気に放出されることから、排煙設備を設置しない設計とする。

#### 1.6.1.4.1.8 油タンクに対する火災の影響軽減のための対策

火災区域又は火災区画に設置される油タンクは、換気空調設備による排気又はベント管により、屋外へ排気する設計とする。

#### 1.6.1.4.2 火災影響評価

火災の影響軽減のための対策を前提とし、設備等の設置状況を踏まえた可燃性物質の量等を基に想定される発電用原子炉施設内の火災によって、安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉を安全停止できることを「1.6.1.4.2.1 火災伝播評価」から「1.6.1.4.2.3 隣接火災区域（区画）に火災の影響を与える火災区域（区画）に対する火災影響評価」に示す火災影響評価により確認する。

ただし、中央制御盤及び原子炉格納容器に対しては、「1.6.1.4.1 安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じた火災の影響軽減のための対策」で示すとおり、火災が発生しても、原子炉の安全停止は可能である。

また、内部火災により原子炉に外乱が及び、かつ、安全保護系、原子炉停止系の作動を要求される運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生する可能性があるため、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」に基づき、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対処するための機器に単一故障を想定しても、以下の状況を考慮し、事象が収束して原子炉は支障なく低温停止に移行できることを確認する。

- ・運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故を発生させる原因となる系統、機器に係る機能と運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故を収束させるための系統、機器に係る機能は、制御盤間の隔離距離により同時に喪失しない。
- ・中央制御盤内の延焼時間内に対応操作が可能である。

なお、「1.6.1.4.2 火災影響評価」では、火災区域又は火災区画を、「火災区域（区画）」と記載する。

#### 1.6.1.4.2.1 火災伝播評価

当該火災区域（区画）の火災発生時に、隣接火災区域（区画）に火災の影響を与える場合は、隣接火災区域（区画）も含んだ火災影響評価を行う必要があるため、当該火災区域（区画）の火災影響評価に先立ち、当該火災区域（区画）に火災を想定した場合の隣接火災区域（区画）への火災の影響の有無を確認する火災伝播評価を実施する。

#### 1.6.1.4.2.2 隣接火災区域（区画）に火災の影響を与えない火災区域（区画）に対する火災影響評価

火災伝播評価により、隣接火災区域（区画）に火災の影響を与えない火災区域（区画）は、当該火災区域（区画）内に設置される耐震Bクラス及び耐震Cクラス機器の火災も含めた機器の機能喪失を想定しても、「1.6.1.4.1 安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じた火災の影響軽減のための対策」に基づく火災の影響軽減のための対策の実施により、原子炉の安全停止に必要な成功パスが少なくとも1つ確保され、原子炉の安全停止が可能であることを確認する。

#### 1.6.1.4.2.3 隣接火災区域（区画）に火災の影響を与える火災区域（区画）に対する火災影響評価

火災伝播評価により隣接火災区域（区画）に火災の影響を与える火災区域（区画）は、当該火災区域（区画）と隣接火災区域（区画）の2区域（区画）内に設置される耐震Bクラス及びCクラス機器の火災も含めた機器の機能喪失を想定しても、「1.6.1.4.1 安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じた火災の影響軽減のための対策」に基づく火災の影響軽減のための対策の実施により、原子炉の安全停止に必要な成功パスが少なくとも1つ確保され、原子炉の安全停止が可能であることを確認する。

#### 1.6.1.5 その他

以下に示す火災区域又は火災区画は、それぞれの特徴を考慮した火災防護対策を実施する設計とする。

#### 1.6.1.5.1 フロアケーブルダクト

フロアケーブルダクトは、フロアケーブルダクト内に敷設する安全系ケーブルが1系列のみであることから、系統分離が不要な設計とし、手動操作の固定式消火設備であるハロン消火設備により消火する設計とする。

#### 1.6.1.5.2 電気室

安全補機開閉器室は、電源供給のみに使用する設計とする。

#### 1.6.1.5.3 蓄電池室

蓄電池室は、以下のとおり設計する。

- (1) 蓄電池室には、蓄電池のみを設置し、直流開閉装置やインバータは設置しない設計とする。
- (2) 蓄電池室の換気設備は、蓄電池室内の水素濃度を2 vol%以下に維持するため、社団法人電池工業会「蓄電池室に関する設計指針」(SBA G 0603)に基づき、水素ガスの排気に必要な換気量以上となるよう設計する。
- (3) 蓄電池室の換気設備が停止した場合には、中央制御室に警報を発するよう設計する。

#### 1.6.1.5.4 ポンプ室

ポンプ室は、自動消火設備又は手動操作による固定式消火設備等を設置する設計とするが、固定式消火設備等の消火設備によらない消火活動も考慮し、煙を排気できる可搬型の排風機を設置できる設計とする。

#### 1.6.1.5.5 中央制御室

中央制御室を含む火災区域の換気空調設備には、防火ダンパを設置する設計とする。また、中央制御室の床面には、防炎性を有するカーペットを使用する設計とする。

#### 1.6.1.5.6 使用済燃料貯蔵設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料乾式貯蔵施設

使用済燃料貯蔵設備は、消火水が流入しても未臨界となるように

燃料体等を配置する設計とする。新燃料貯蔵設備は、消火水が噴霧されても臨界とならないよう、新燃料を貯蔵するラックは一定のラック間隔を有する設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、消火水が噴霧されても臨界とならないよう、使用済燃料乾式貯蔵容器内に消火水が流入しない設計とする。

#### 1.6.1.5.7 放射性廃棄物処理設備及び放射性廃棄物貯蔵設備

- (1) 換気設備は、環境への放射性物質の放出を防ぐために、排気筒に繋がるダンパを閉止し隔離できるよう設計する。
- (2) 放射性物質を含んだ使用済イオン交換樹脂、チャコールフィルタ及び HEPA フィルタは、固体廃棄物として処理を行うまでの間、金属製の容器や不燃シートに包んで保管する設計とする。
- (3) 放射性廃棄物処理設備及び放射性廃棄物貯蔵設備を設置する火災区域には、崩壊熱による火災の発生を考慮する必要がある放射性物質を貯蔵しない設計とする。

#### 1.13 参考文献

- (10) 「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」  
(社) 日本電気協会 2010

### (3) 適合性説明

#### (火災による損傷の防止)

第八条 設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備（以下「火災感知設備」という。）及び消火を行う設備（以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。）並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。

#### 1 適合のための設計方針

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の措置を講じるものとする。

##### (1) 火災発生防止

使用済燃料乾式貯蔵施設は、不燃性又は難燃性材料と同等以上の性能を有するものである場合若しくは他の安全機能を有する構築物、系統及び機器において火災が発生することを防止するための措置が講じられている場合を除き、不燃性又は難燃性材料を使用した設計とする。

電気系統については、必要に応じて、過電流継電器等の保護装置と遮断器の組み合わせ等により、過電流による過熱、焼損の防止を図るとともに、必要な電気設備に接地を施す。

落雷や地震により火災が発生する可能性を低減するため、避雷設備を設けるとともに、安全上の重要度に応じた耐震設計を行う。

##### (2) 火災感知及び消火

使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアは、保管する使用済燃料乾式貯蔵容器が金属製で十分な耐火能力を有しており、その他の設置機器についても使用済燃料乾式貯蔵施設貯蔵エリアにおいて、

使用済燃料乾式貯蔵容器へ影響を及ぼすような発火源を極力排除し、可燃物の保管も禁止する。

使用済燃料乾式貯蔵施設取扱エリア等は、主要な機器が不燃性で構成され、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵準備作業中は、常時作業員がいることで、万一の火災発生時には、人により早期の火災感知及び消火が可能である。

したがって、火災による安全機能への影響は考えにくいことから使用済燃料乾式貯蔵施設は、消防法に基づき火災感知設備、消火器及び水消火設備を設置する設計とする。

輸送車両等の油漏れ及び火災発生時には、自衛消防隊にて対応する。

### (3) 火災の影響軽減のための対策

使用済燃料乾式貯蔵施設は、放射性物質の貯蔵機能のみを有する構築物、系統及び機器を設置する耐火壁に囲まれた火災区域であり、他の火災区域と隣接しない。

### 1.3 設備等

#### 10.5 火災防護設備

##### 10.5.1 設計基準対象施設

###### 10.5.1.1 概要

発電用原子炉施設内の火災区域及び火災区画に設置される、安全機能を有する構築物、系統及び機器（10.5において本文口(3)(i)a.(c-1-2)に同じ。）を火災から防護することを目的として、火災の発生防止、火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる。

火災の発生防止は、発火性又は引火性物質等に対して火災の発生防止対策を講じる他、水素に対する換気及び漏えい検知対策、電気系統の過電流による過熱、焼損の防止対策等を行う。

火災の感知及び消火は、安全機能を有する構築物、系統及び機器に対して、火災の影響を限定し、早期の火災感知及び消火を行えるように、火災感知設備及び消火設備を設置する。火災感知設備及び消火設備の設置に当たっては、地震等の自然現象によっても、火災感知及び消火の機能、性能が維持され、かつ、安全機能を有する構築物、系統及び機器は、消火設備の破損、誤作動又は誤操作によって安全機能を失うことのないよう設置する。火災感知設備及び消火設備は、安全機能を有する構築物、系統及び機器の耐震クラスに応じて、機能を維持できるよう設置する。原子炉の高温停止及び低温停止に係る安全機能を有する構築物、系統及び機器相互の系統分離を行うために設ける火災区域及び火災区画に設置される消火設備は、系統分離に応じた独立性を備えるよう設置する。

火災の影響軽減は、安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じ、それらを設置する火災区域又は火災区画の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響を軽減するため、系統分離等の火災の影響軽減のための対策を行う。

また、火災の影響軽減のための対策を前提とし、設備等の設置状



況を踏まえた可燃性物質の量等を基に、発電用原子炉施設内の火災によっても、安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉の高温停止及び低温停止が達成できることを、火災影響評価により確認する。

#### 10.5.1.2 設計方針

発電用原子炉施設内の火災区域及び火災区画に設置される、原子炉の高温停止、低温停止を達成し、維持する機能及び放射性物質の貯蔵又は閉じ込め機能を有する構築物、系統及び機器を火災から防護することを目的として、火災発生防止、火災の感知及び消火並びに火災の影響軽減のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる。

##### (1) 火災発生防止

発火性又は引火性物質の漏えい防止の措置や不燃性又は難燃性材料の使用等、火災の発生を防止する。

##### (2) 火災の感知及び消火

火災感知設備及び消火設備は、安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する火災の影響を限定し、早期の火災感知及び消火を行う。

##### (3) 火災の影響軽減

安全機能を有する構築物、系統及び機器の重要度に応じ、それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し、火災の影響軽減対策を行う。

#### 10.5.1.3 主要設備

##### 10.5.1.3.1 火災発生防止設備

発電用原子炉施設は、「1.6.1 設計基準対象施設の火災防護に関する基本方針」における「1.6.1.2 火災発生防止」に示すとおり、発火性又は引火性物質の漏えい防止のためのオイルパン、ドレンリ

ム又は堰等の設備を設置する。

#### 10.5.1.3.2 火災感知設備

火災感知設備の火災感知器は、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や想定される火災の性質を考慮して、異なる種類の固有の信号を発するアナログ式の煙感知器、アナログ式の熱感知器又は非アナログ式の炎感知器（赤外線）の組合せを基本として、以下のとおり設置する。

##### (1) 一般エリア

一般エリアは、アナログ式の煙感知器（一部3号及び4号炉共用）、アナログ式の熱感知器（一部3号及び4号炉共用）又は非アナログ式の炎感知器（赤外線）（一部3号及び4号炉共用）から異なる種類の感知器を組み合わせで設置する。

##### (2) 原子炉格納容器

原子炉格納容器は、非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する。

##### (3) 体積制御タンク室、活性炭式希ガスホールドアップ装置エリア及び蓄電池室

体積制御タンク室、活性炭式希ガスホールドアップ装置エリア及び蓄電池室は、非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する。

##### (4) 海水管トレンチエリア

海水管トレンチエリアは、電線管近傍に光ファイバ温度監視装置及び電線管を接続するプルボックス内にアナログ式の煙感知器を設置する。また、海水ストレーナが設置される場所は非アナログ式の防爆型の熱感知器及び非アナログ式の防爆型の炎感知器（赤外線）を設置する。

##### (5) 海水ポンプエリア

海水ポンプエリアは、非アナログ式の防爆型の熱感知器及び非アナログ式の防爆型の炎感知器（赤外線）を設置する。

##### (6) ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリア及び燃料油貯蔵タンクエリア

ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリア及び燃料油貯蔵タンク

クエリアは、非アナログ式の防爆型の煙感知器及び非アナログ式の防爆型の熱感知器を設置する。

(7) フロアケーブルダクト

フロアケーブルダクトは、アナログ式の煙感知器及び光ファイバ温度監視装置を設置する。

(8) 中央制御盤内

中央制御室の中央制御盤内には、高感度煙感知器を設置する。

(9) 使用済燃料乾式貯蔵施設

使用済燃料乾式貯蔵施設には、アナログ式の煙感知器、アナログ式の熱感知器又は非アナログ式の炎感知器（赤外線）を設置する。

### 10.5.1.3.3 消火設備

原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画並びに放射線物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域の火災を早期に消火するために、火災区域の消火活動に対応できるように、水消火設備を設置する。水消火設備の系統構成を第 10.5.1 図に示す。

また、その他の消火設備は、火災発生時の煙の充満等による消火活動が困難な火災区域又は火災区画であるかを考慮し、以下のとおり設置する。

消火設備は、第 10.5.1 表に示す故障警報を中央制御室に発する設備を設置する。

#### 10.5.1.3.3.1 原子炉の安全停止に必要な機器等を設置する火災区域又は火災区画に設置する消火設備

(1) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画に設置する消火設備

火災発生時の煙の充満により消火活動が困難となる火災区域又は火災区画には、中央制御室からの手動操作による固定式消火設備である全域ハロン消火設備（一部 3 号及び 4 号炉共用）又は自動消火設備である全域ハロン自動消火設備（一部 3 号及

び4号炉共用)を設置する。

全域ハロン消火設備の概要図を第10.5.2図、全域ハロン自動消火設備の概要図を第10.5.3図に示す。

また、系統分離に応じた独立性を考慮した全域ハロン自動消火設備の概要図を第10.5.4図に示す。

ただし、以下の火災区域又は火災区画は、上記と異なる消火設備を設置する。

a. ディーゼル発電機室

ディーゼル発電機室は、二酸化炭素自動消火設備を設置する。

(3号炉)

b. 原子炉格納容器

原子炉格納容器は、消火器及び水消火設備を設置するとともに、原水タンク及び燃料取替用水タンクを水源とする原子炉格納容器スプレー設備を設置する。

(4号炉)

b. 原子炉格納容器

原子炉格納容器は、消火器及び水消火設備を設置するとともに、原水タンク及び燃料取替用水ピットを水源とする原子炉格納容器スプレー設備を設置する。

(2) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域又は火災区画に設置する消火設備

a. ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリア

ディーゼル発電機燃料油貯油そうエリアには、消火器を設置する。

b. 燃料油貯蔵タンクエリア

燃料油貯蔵タンクエリアには、消火器を設置する。

c. 海水ポンプエリア及び海水管トレンチエリア

海水ポンプエリア及び海水管トレンチエリアには、消火器及び水消火設備を設置する。

d. 中央制御室

中央制御室には、粉末消火器及び二酸化炭素消火器を設置する。

#### 10.5.1.3.3.2 放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域に設置する消火設備

##### (1) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難となる火災区域に設置する消火設備

火災発生時の煙の充満により消火活動が困難となる放射性物質貯蔵等の機器等を設置する火災区域の消火設備は、中央制御室からの手動操作による固定式消火設備である全域ハロン消火設備、水噴霧消火設備（3号及び4号炉共用）、泡消火設備（3号及び4号炉共用）のいずれか、又は自動消火設備である全域ハロン自動消火設備を設置する。

水噴霧消火設備の概要図を第10.5.5図、泡消火設備の概要図を第10.5.6図に示す。

##### (2) 火災発生時の煙の充満等により消火活動が困難とならない火災区域に設置する消火設備

###### a. 液体廃棄物処理設備

液体廃棄物処理設備を設置する火災区域は、消火器及び水消火設備を設置する。

###### b. 新燃料貯蔵庫

新燃料貯蔵庫を設置する火災区域は、消火器及び水消火設備を設置する。

###### c. 3－固体廃棄物貯蔵庫

3－固体廃棄物貯蔵庫は、消火器及び水消火設備を設置する。

###### (3号炉)

###### d. 蒸気発生器保管庫

蒸気発生器保管庫は、消火器及び水消火設備を設置する。

###### (4号炉)

###### d. アンユラス空気再循環設備弁エリア

アニュラス空気再循環設備弁エリアは、消火器又は水消火設備を設置する。

e. 使用済燃料乾式貯蔵施設

使用済燃料乾式貯蔵施設は、消火器及び水消火設備を設置する。

10.5.1.3.4 火災の影響軽減のための対策設備

火災の影響軽減のための対策設備は、安全機能を有する構築物、システム及び機器の重要度に応じ、それらを設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画における火災による影響に対し、火災の影響軽減のための対策を講じるために、以下のとおり設置する。

10.5.1.3.4.1 火災区域の分離を実施する設備

他の火災区域又は火災区画と分離するために、以下のいずれかの耐火能力を有する耐火壁を設置する。

- (1) 3時間以上の耐火能力を有する耐火壁として、3時間耐火に設計上必要なコンクリート壁厚である150mm以上の壁厚のコンクリート壁
- (2) 火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を有することを確認した耐火壁

10.5.1.3.4.2 火災防護対象機器等の火災の影響軽減のための対策を実施する設備

火災防護対象機器等を設置する火災区域及び火災区画に対して、火災区域内又は火災区画内の火災の影響軽減のための対策や隣接する火災区域又は火災区画における火災の影響を軽減するための対策を実施するための隔壁等として、以下のいずれかの設備を設置する。

火災の影響を軽減するための対策を実施するために設置する火災感知設備及び自動消火設備は、「10.5.1.3.2 火災感知設備」及び「10.5.1.3.3 消火設備」の設備を設置する。

- (1) 火災耐久試験により3時間以上の耐火能力を確認した隔壁等
- (2) 火災耐久試験により1時間以上の耐火能力を確認した隔壁等

#### 10.5.1.4 主要仕様

##### 10.5.1.4.1 火災感知設備

火災感知設備の火災感知器の概略を第 10.5.2 表に示す。

##### 10.5.1.4.2 消火設備

消火設備の概略仕様を第 10.5.3 表に示す。

#### 10.5.1.5 試験検査

##### 10.5.1.5.1 火災感知設備

アナログ型の火災感知器を含めた火災感知設備は、機能に異常がないことを確認するため、定期的に自動試験を実施する。

ただし、自動試験機能のない火災感知器は、機能に異常がないことを確認するために、煙等の火災を模擬した試験を定期的実施する。

##### 10.5.1.5.2 消火設備

機能に異常がないことを確認するために、消火設備の作動確認を実施する。

ただし、原子炉格納容器スプレイ設備は、原子炉格納容器スプレイ機能を定期的に確認する作動試験において、その機能を確認する。

#### 10.5.1.6 体制

火災防護に関する以下の体制に関する事項を、火災防護計画に定める。

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、通報連絡者、運転員及び消防要員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隊を所長の判断により設置する。自衛消防隊の組織体制を第 10.5.7 図に示す。

#### 10.5.1.7 手順等

火災防護計画には、計画を遂行するための体制、責任の所在、責任者の権限、体制の運営管理、必要な要員の確保及び教育訓練並びに火災防護対策を実施するために必要な手順について定める。また、

発電用原子炉施設の安全機能を有する構築物、系統及び機器を火災から防護するため、火災区域及び火災区画を考慮した火災の発生防止、火災の早期感知及び消火並びに火災の影響軽減の3つの深層防護の概念に基づく火災防護対策等について定める。

このうち、火災防護対策を実施するために必要な手順等の主なものを以下に示す。

- (1) 火災が発生していない平常時の対応においては、以下の手順を定める。
  - a. 中央制御室内の巡視点検によって、火災が発生していないこと及び火災感知設備に異常がないことを火災報知盤で確認する。
  - b. 消火設備の故障警報が発信した場合には、中央制御室及び必要な現場の制御盤の警報を確認する。
- (2) 消火設備のうち、自動消火設備を設置する火災区域又は火災区画における火災発生時の対応においては、以下の手順を定める。
  - a. 火災感知器が作動した場合は、火災区域又は火災区画からの退避警報及び自動消火設備の作動状況を確認する。
  - b. 自動消火設備の作動後は、消火状況の確認、プラント運転状況の確認等を行う。
- (3) 消火設備のうち、手動操作による固定式消火設備を設置する火災区域又は火災区画における火災発生時の対応においては、以下の手順を定める。
  - a. 火災感知器が作動し、火災を確認した場合は、初期消火活動を行う。
  - b. 消火活動が困難な場合は、職員の退避を確認後、固定式消火設備を手動操作により作動させ、作動状況の確認、消火状況の確認、プラント運転状況の確認等を行う。
- (4) 原子炉格納容器内における火災発生時の対応においては、以下の手順を定める。
  - a. 当直課長が局所火災と判断し、かつ、原子炉格納容器内への進入が可能であると判断した場合は、消火器又は水による消火活動を実施するとともに、消火状況の確認、プラント運



転状況の確認等を行う。

- b. 当直課長が原子炉格納容器内へ進入できないと判断した場合又は広範囲な火災と判断した場合は、プラントを停止するとともに、原子炉格納容器スプレイ設備を使用した消火を実施し、消火状況の確認、プラント運転状況の確認等を行う。
- (5) 中央制御盤内における火災発生時の対応においては、以下の手順を定める。
- a. 高感度煙感知器により火災を感知し、火災を確認した場合は、常駐する運転員による二酸化炭素消火器を用いた初期消火活動、プラント運転状況の確認等を行う。
  - b. 煙の充満により運転操作に支障がある場合は、火災発生時の煙を排気するため、排煙設備を起動する。
  - c. 中央制御盤の1つの区画の安全機能が全て喪失した場合における原子炉の安全停止に関する手順を定める。
- (6) 水素ガス検知器を設置する火災区域又は火災区画における水素濃度上昇時の対応として、換気設備の運転状態の確認、換気設備の追加起動等を実施する手順を定める。
- (7) 火災発生時の煙の充満により消火活動に支障がある場合を考慮し、ポンプ室の消火活動時には可搬式の排風機を準備することを定めた手順を定める。
- (8) 屋外消火配管の凍結防止対策の対応として、外気温度が0℃まで低下した場合は、屋外の消火設備の凍結を防止するために屋外消火栓及び消火配管のブロー弁を微開し、通水する手順を定める。
- (9) 火災の影響軽減のための対策を実施するために、火災区域又は火災区画における点検等で使用する資機材（可燃物）に対する持込みと保管に係る手順を定める。
- (10) 火災の発生を防止するために、火災区域又は火災区画における溶接等の火気作業に対する以下の手順を定める。
- a. 火気作業前の計画策定
  - b. 火気作業時の養生、消火器等の配備、監視人の配置等
- (11) 火災区域、火災防護対象機器等、火災の影響軽減のための隔壁等の設計変更に当たっては、発電用原子炉施設内の火災によ

って、安全保護系及び原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉を安全停止できることを火災影響評価により確認する。

第 10.5.1 表 消火設備の主な故障警報

設備		主な警報要素
消 火 ポンプ	電動消火ポンプ	ポンプ自動停止、電動機過負荷
	ディーゼル消火ポンプ	ポンプ自動停止、装置異常 (燃料及び冷却水レベルの低下)
消 火 設 備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 二酸化炭素自動消火設備</li> <li>・ 全域ハロン自動消火設備</li> <li>・ 全域ハロン消火設備</li> <li>・ 泡消火設備</li> <li>・ 水噴霧消火設備</li> </ul>	設備異常 (電源故障、断線、短絡、地絡等)

第 10.5.2 表 火災感知設備の火災感知器の概略

火災感知器の設置箇所	火災感知器の設置型式	
一般エリア	煙感知器 (一部 3 号及び 4 号炉共用)	熱感知器 (一部 3 号及び 4 号炉共用)
		炎感知器 (赤外線) ※ (一部 3 号及び 4 号炉共用)
原子炉格納容器	防爆型煙感知器※	防爆型熱感知器※
体積制御タンク室、活性炭式 希ガスホールドアップ装置エ リア及び蓄電池室	防爆型煙感知器※	防爆型熱感知器※
海水管トレンチエリア	煙感知器	光ファイバ 温度監視装置
	防爆型熱感知器※	防爆型炎感知器 (赤外線) ※
海水ポンプエリア	防爆型熱感知器※	防爆型炎感知器 (赤外線) ※
ディーゼル発電機 燃料油貯油そうエリア 及び 燃料油貯蔵タンクエリア	防爆型煙感知器※	防爆型熱感知器※
フロアケーブルダクト	煙感知器	光ファイバ 温度監視装置
中央制御盤内	高感度煙感知器	
使用済燃料乾式貯蔵施設	煙感知器、熱感知器、炎感知器 (赤外線) ※	

※：非アナログ式の火災感知器

第 10.5.3 表 消火設備の概略仕様

(1) 電動消火ポンプ

- ・台数 1
- ・出力 約 450kW
- ・容量 約 840m<sup>3</sup>/h

(2) ディーゼル消火ポンプ

- ・台数 1
- ・出力 約 650PS
- ・容量 約 840m<sup>3</sup>/h

(3) 全域ハロン消火設備（一部 3 号及び 4 号炉共用）

- ・消火剤：ハロン 1301
- ・消火剤量：1 m<sup>3</sup> 当たり 0.32kg 以上
- ・設置箇所：火災発生時の煙の充満等による消火活動が困難な火災区域又は火災区画（原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋、廃棄物処理建屋、雑固体熔融処理建屋及び雑固体焼却炉建屋）

(4) 全域ハロン自動消火設備（一部 3 号及び 4 号炉共用）

- ・消火剤：ハロン 1301
- ・消火剤量：1 m<sup>3</sup> 当たり 0.32kg 以上
- ・設置箇所：火災発生時の煙の充満等による消火活動が困難な火災区域又は火災区画、火災の影響軽減のための対策が必要な火災区域又は火災区画（原子炉周辺建屋及び原子炉補助建屋）

(5) 二酸化炭素自動消火設備

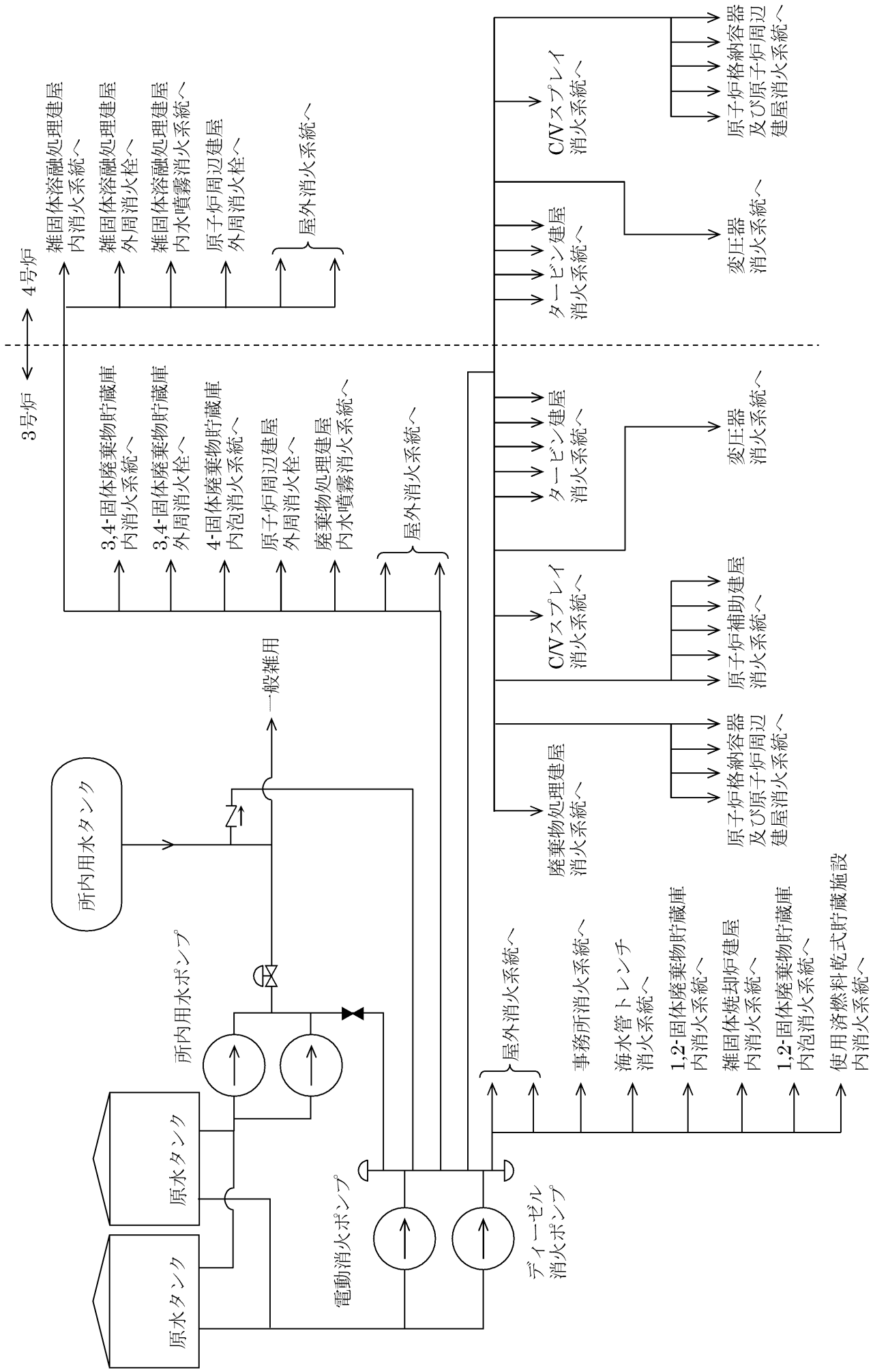
- ・消火剤：二酸化炭素
- ・消火剤量：1 m<sup>3</sup> 当たり 0.75kg 以上
- ・設置箇所：ディーゼル発電機室

(6) 水噴霧消火設備（3号及び4号炉共用）

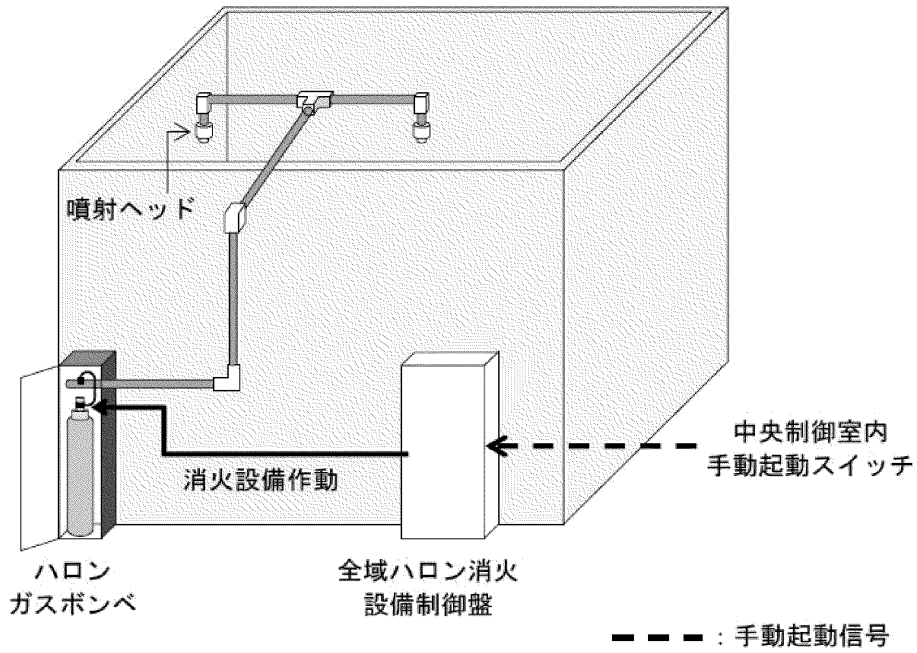
- ・消火剤：水
- ・消火剤量：1 m<sup>2</sup>当たり 10ℓ/min 以上
- ・設置箇所：廃棄物処理建屋及び雑固体溶融処理建屋

(7) 泡消火設備（3号及び4号炉共用）

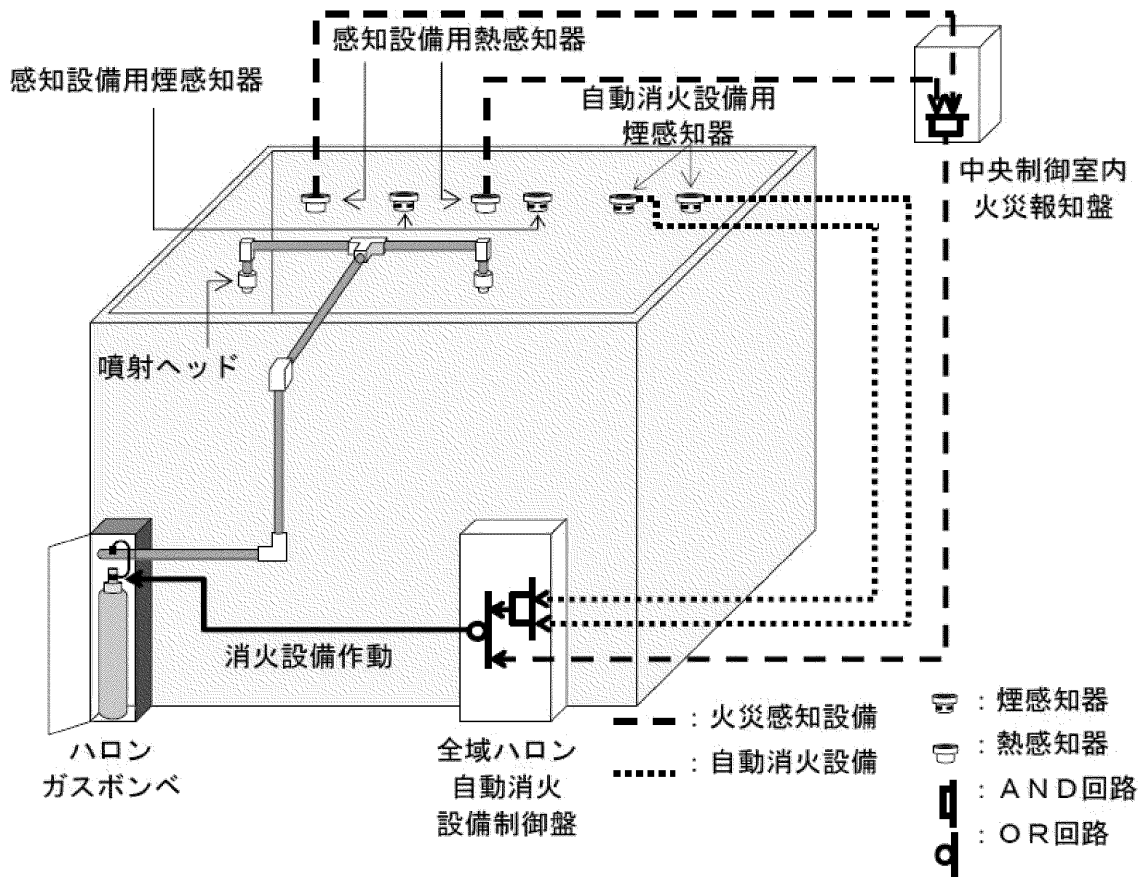
- ・消火剤：泡水溶液
- ・消火剤量：1 m<sup>3</sup>当たり 0.008m<sup>3</sup> 以上
- ・設置箇所：1、2 及び 4 - 固体廃棄物貯蔵庫



第 10.5.1 図 水消火設備系統説明図



第 10.5.2 図 全域ハロン消火設備概要図



第 10.5.3 図 全域ハロン自動消火設備概要図