

HDP-69B(B)型の臨界評価フローを図 2-2 に示す。中性子実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用して求めた。

使用済燃料の仕様を表 2-2 に示す。臨界評価に用いる使用済燃料の仕様は、代表として最も反応度の高い高燃焼度 8×8 燃料とし、乾燥状態の解析では初期濃縮度 3.66wt% とし、熱中性子吸収効果のあるガドリニアを添加した燃料棒の存在を無視した。

BWR 燃料は、燃料ペレットにガドリニアを含む燃料棒が組み込まれていることから、ガドリニアの燃焼に伴って、燃料の無限増倍率は一旦上昇するが、今回収納する燃料においては、炉心装荷冷温状態で 1.3 を超えることがない設計となっている（別紙 2 参照）。このため、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を考慮して、濃縮度の異なる 2 種類の燃料棒を用い、炉心装荷冷温状態で燃料の無限増倍率が 1.3 となる燃料モデル（モデルバンドル）を仮定した。モデルバンドルについては、新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料用のモデルバンドルと高燃焼度 8×8 燃料用のモデルバンドルの 2 種類を用いた（別紙 5 参照）。

評価に当たっては、HDP-69B(B)型の周囲を完全反射境界条件とし、HDP-69B(B)型の無限配列を模擬することにより、使用済燃料貯蔵施設の最大貯蔵容量に HDP-69B(B)型を配置した条件を包絡した設定とした。ここで、HDP-69B(B)型内は真空又は水で満たした状態とし、厳しい燃料配置状態を仮定し、また、バスケットプレート板厚、バスケット格子内のり等の寸法条件についても公差を考慮した（別紙 3 参照）。

解析コードとして SCALE コードシステム (4.4a) を用い、燃料棒単位セル計算には輸送解析コード XSDRNPM を、臨界解析には臨界解析コード KENO-V.a を使用した。断面積ライブラリとしては SCALE コードシステムの内蔵ライブラリデータのひとつである 238 群ライブラリデータを使用した（別紙 4 参照）。

### (3) 臨界評価結果

評価結果を表 2-3 に示す。

HDP-69B(B)型の中性子実効増倍率（モンテカルロ計算の統計誤差（ $3\sigma$ ）を加えたもの）は、技術的に想定されるいかなる場合においても、0.95 を下回るため、使用済燃料が臨界に達するおそれがないことを確認した。

(中略)

表 2-3 臨界評估結果

	乾燥狀態	冠水狀態
中性子實効増倍率 ( $k_{eff} + 3\sigma$ )	0.41	0.89
統計誤差 ( $\sigma$ )	<0.001	
判定基準	0.95 以下	

## 構造強度及び耐震性について（既設 65 基）

（中略）

### 3 異常時の評価

#### 3.1 異常事象の抽出

##### 3.1.1 想定すべき異常事象の抽出

乾式キャスクの取扱い及び仮保管時の作業の際に想定される異常事象の発生原因として、図 3.1-1 に示すように機器の破損、誤操作等の内部事象に起因するもの及び地震、火災等の外部事象に起因するものに分け、以下に示すような設計／運用による対応等を考慮して、選定された異常事象の選定結果の妥当性を確認し、安全評価において想定すべき異常事象として抽出する。

- ① 設計／運用による対応の有効性
- ② 事象の結果の大きさ（影響度）
- ③ 原子炉施設の安全評価事象との包絡性

##### 3.1.2 評価条件の設定

乾式キャスクの取扱い時及び仮保管時の各作業における、以下の諸条件を考慮して、抽出された異常事象の評価条件を設定する。

- ① 乾式キャスクの取扱いに係る機器の仕様，状態
- ② 乾式キャスクを取扱う際の位置
- ③ 移送用機器の仕様，状態
- ④ 仮保管に係る設備の仕様，状態

##### 3.1.3 安全評価基準

乾式キャスクの輸送，保管等の取扱いは構内にて行われることからキャスク仮保管設備の安全評価における各安全機能の評価基準は，専門部会報告書「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成 4 年 8 月 27 日原子力安全委員会了承，平成 18 年 9 月 19 日一部改訂）」に基づき，以下のとおりとする。

###### (1) 除熱

想定される異常事象に対して，乾式キャスク各部の温度の異常な上昇を防止できること。

具体的評価にあたっては，乾式キャスクの温度解析を行い，各部の温度が密封，遮蔽及び臨界防止のために設定する温度制限を上回らず，各安全機能を確保するために

支障のない温度であることを確認する。

(2) 密封

想定される異常事象に対して、必要とされる漏えい率が維持できること等乾式キャスクの密封機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、乾式キャスク本体及び一次蓋が破損しないこと、一次蓋締め付けボルト及び密封シール面に塑性変形が生じないこと並びに金属ガasket等のシール部温度が密封健全性を維持できる温度を上回らないことを確認する。

(3) 遮蔽

想定される異常事象に対して、遮蔽機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、荷重、温度上昇等が遮蔽材に及ぼす影響を考慮した上で乾式キャスクの線量率を評価し、乾式キャスク表面より 1m の点において 10mSv/h 以下であることを確認する。

(4) 臨界防止

想定される異常事象に対して、乾式キャスクに収納される使用済燃料が臨界に達しないこと。

具体的評価にあたっては、乾式キャスク本体、バスケット、使用済燃料等に及ぼされる形状変形等の影響を考慮した上で実効増倍率を評価し、計算誤差等を考慮しても、実効増倍率が 0.95 を上回らないことを確認する。

### 3.1.4 異常事象の抽出

図 3. 1-2 及び図 3. 1-3 に示すハンドリングフローに基づき、乾式キャスクの取扱い及び仮保管時までの各作業において想定される起因事象に着目し、発生防止対策を考慮して異常事象の発生の可能性を検討し、想定すべき異常事象を抽出した。異常事象の抽出結果を表 3. 1-1 に示す。なお、共用プールの燃料取扱設備は震災前と同等に復旧する予定であり、共用プールからキャスク仮保管設備に乾式貯蔵キャスクを搬入する手順等は通常の発電所内と同等である為、乾式貯蔵キャスクの異常事象はキャスク仮保管設備での取扱いを対象にしているが、輸送貯蔵兼用キャスクは福島第一発電所構内で取扱った実績がないことから念のため、異常事象は共用プールでの取扱い、構内輸送、キャスク仮保管設備での取扱いを対象にしている。

抽出した異常事象は以下のとおりである。

- ・ 乾式貯蔵キャスクを支持架台が装着された状態で吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因で、支持架台が基礎コンクリートに異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを搬送台車架台に吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが搬送台車架台に異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを輸送架台に吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが輸送架台に異常着床する。

- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを支持架台に吊下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが支持架台に異常着床する。

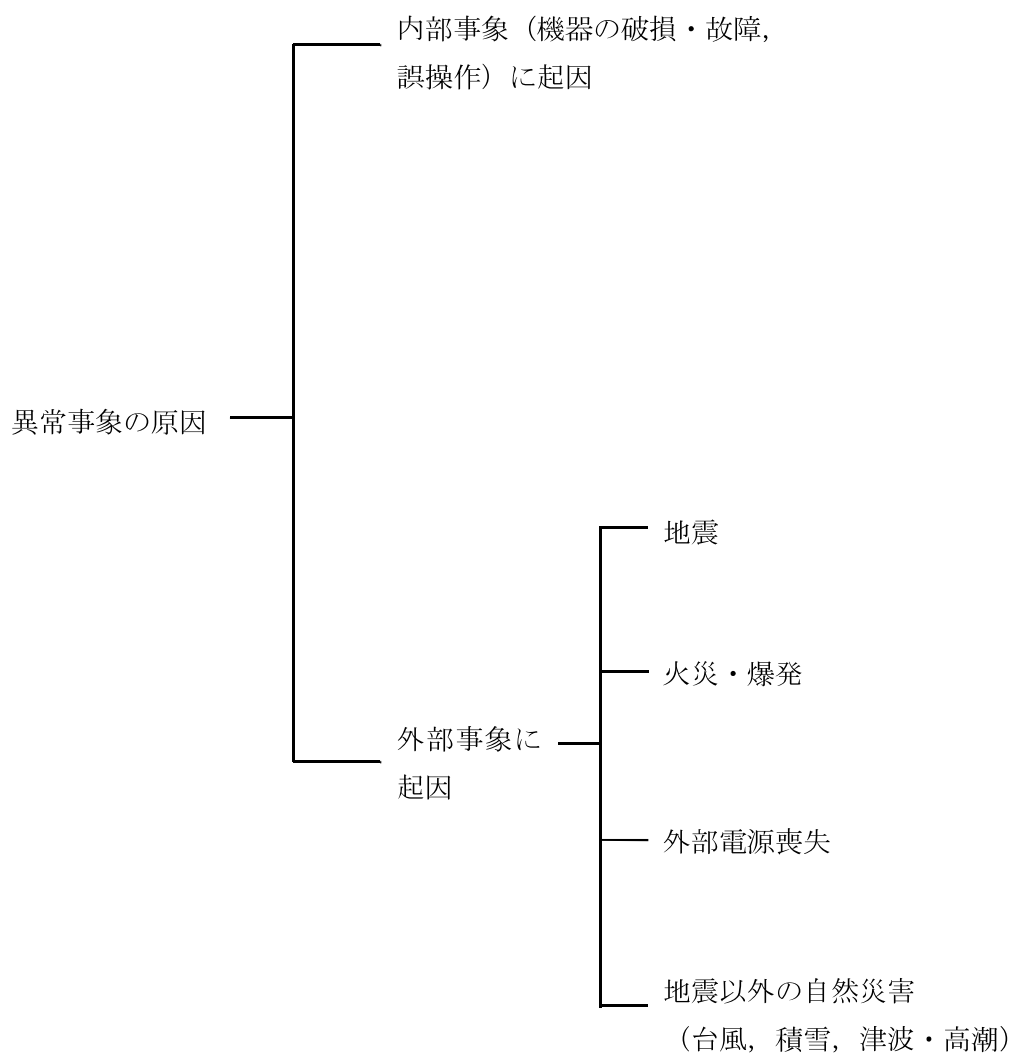


図3. 1-1 異常事象の発生原因

(中略)

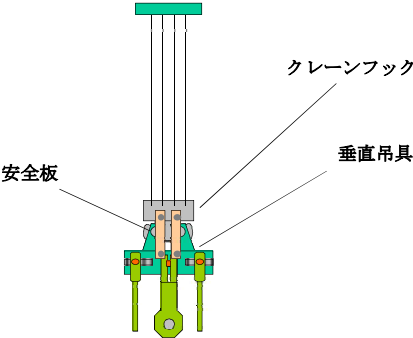
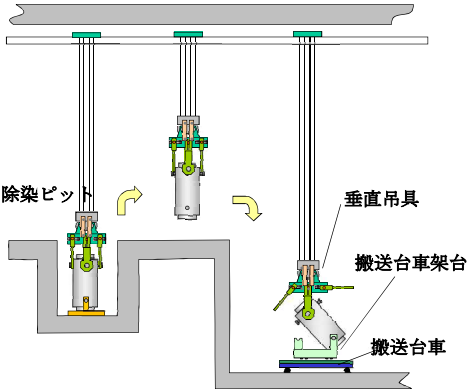
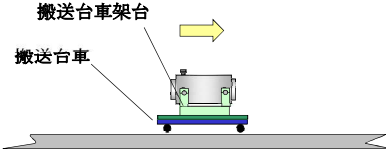
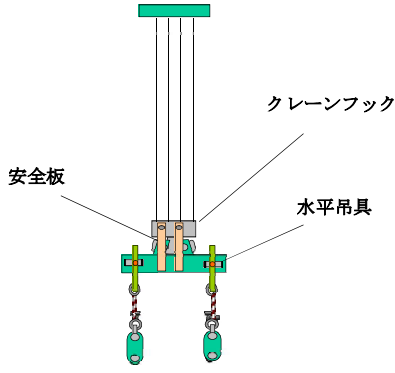
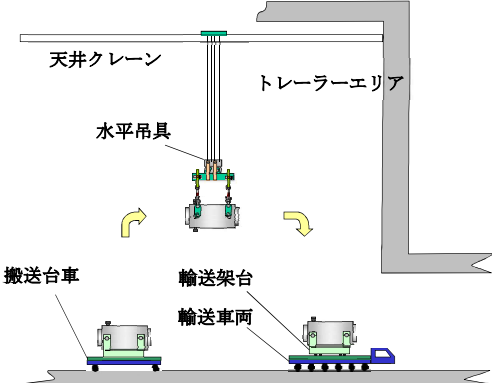
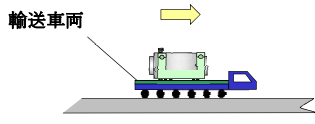
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
2-1	垂直吊具をクレーンフックに取り付ける。 	2-2	輸送貯蔵兼用キャスクを共用プール除染ピットから垂直吊具で吊上げ、搬送台車上の架台に積載する。 
2-3	搬送台車でトレーラーエリアに移動させる。 	2-4	水平吊具をクレーンフックに取り付ける。 
2-5	トレーラーエリアで搬送台車から輸送貯蔵兼用キャスクを水平吊具で吊上げ、輸送車両上の輸送架台に積載する。 	2-6	輸送車両でキャスク仮保管設備へ構内輸送する。 

図3. 1-3 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (1/3)

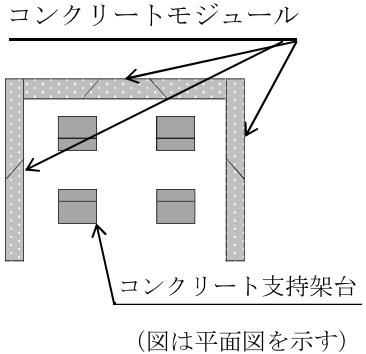
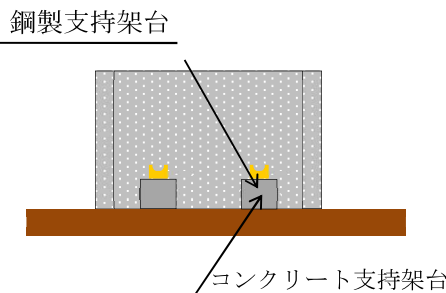
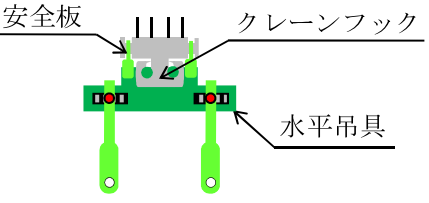
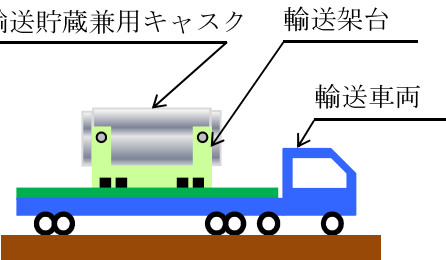
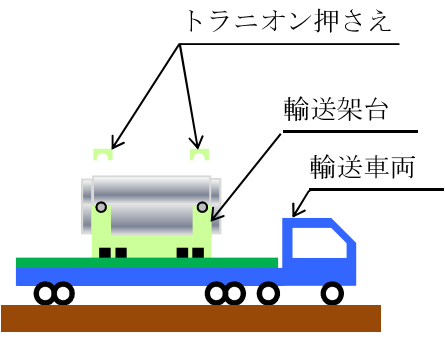
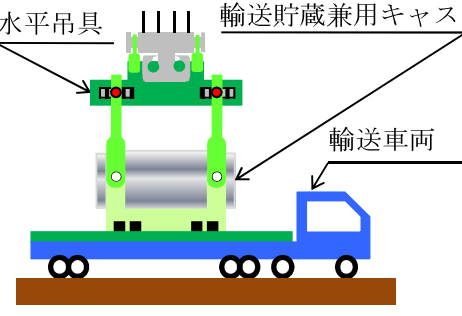
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
2-7	<p>コンクリート支持架台を設置し、コンクリートモジュールの3面を立てる。 (事前に実施する)</p> 	2-8	<p>鋼製支持架台をコンクリート支持架台に取り付ける。 (事前に実施する)</p> 
2-9	<p>水平吊具をクレーンフックに取り付ける。</p> 	2-10	<p>輸送車両で輸送貯蔵兼用キャスクを搬入させる。</p> 
2-11	<p>輸送架台の上部と下部のトラニオン押さえを取り外す。</p> 	2-12	<p>輸送車両上の輸送貯蔵兼用キャスクに水平吊具を取り付ける。</p> 

図3. 1-3 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (2/3)



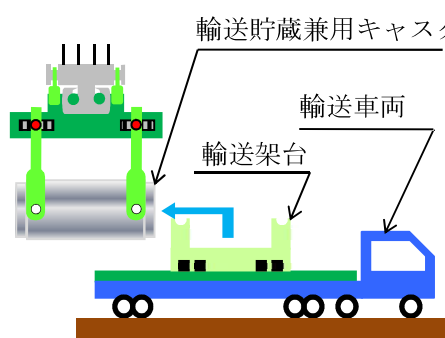
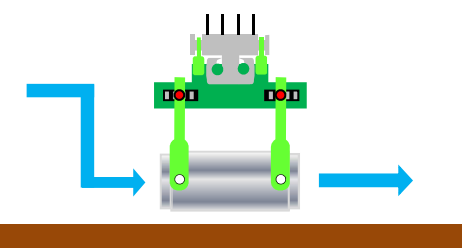
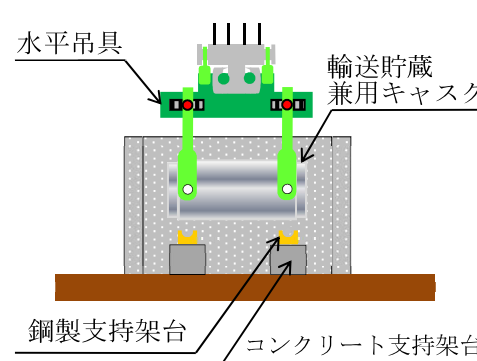
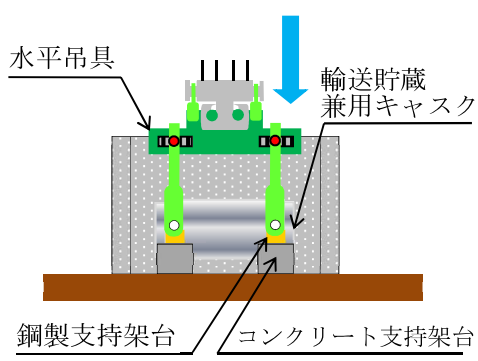
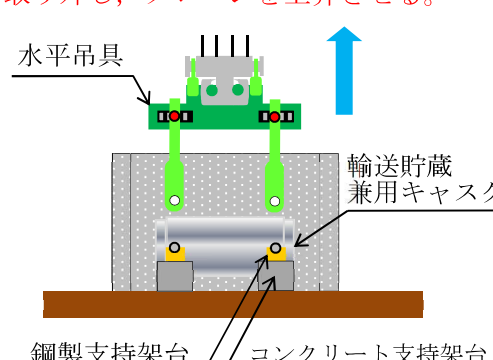
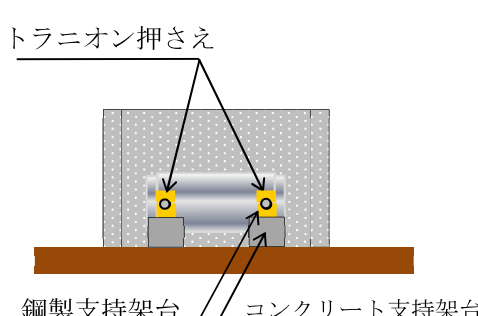
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
2-13	<p>トラニオンが輸送架台をかわすまで輸送貯蔵兼用キャスクをクレーンで吊上げた後、水平に移動する。</p> 	2-14	<p>輸送貯蔵兼用キャスクを保管場所までクレーンで移動する。</p> 
2-15	<p>輸送貯蔵兼用キャスクを鋼製支持架台の上まで移動する。</p> 	2-16	<p>クレーンを下降させて、輸送貯蔵兼用キャスクを鋼製支持架台に載せる。</p> 
2-17	<p>輸送貯蔵兼用キャスクから水平吊具を取り外し、クレーンを上昇させる。</p> 	2-18	<p>トラニオンをトラニオン押さえで支持架台に固定する。</p>  <p>(以降、乾式貯蔵キャスクの 1-13～1-19 と同じ手順)</p>

図 3. 1 - 3 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (3/3)

表3. 1-1 異常事象の抽出 (1/3)

起回事象 (ハンドリングフローNo.)	原因	異常事象発生の可能性	発生の 要否	想定シナリオ	抽出の 要否
乾式キャスクの落下 (1-4~1-10) (2-2~2-16)	固定ボルトの取付け不良	<u>乾式キャスクは、輸送車両に複数の固定ボルトで固縛されていることを確認する。また、乾式キャスクは輸送車両で徐行して輸送すること、輸送経路は輸送に関係する人、車両以外の立入を制限することから落下しない。</u>	×		×
	固定ボルトの取付け不良	<u>輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車に複数のボルトで固縛されていることを確認する。また、搬送台車はレール上を走行し、走行範囲インタローック及び障害物検知装置を有していることから他の構造物等に衝突はしないため、落下しない。</u>	×		×
	吊具の取り付け不良	<u>吊具の二重化、始業前の吊具点検、取付け後の外れ止めを施すため、乾式キャスクは落下しない。</u>	×		×
クレーン取扱い時の落下	ワイヤロープの切断	<u>ワイヤロープの二重化、始業前のワイヤロープ点検を行うため、乾式キャスクは落下しない。</u>	×		×
	ブレーキの故障	<u>移動前に移動経路に障害物がないことを確認し、乾式キャスクと移動経路の芯あわせを行い、走行の両輪及び横行それぞれにインバータによる停止機能に加えてブレーキによる停止機能により二重化しているため、乾式キャスクは他の構造物等へ衝突しない。</u>	×		×
	操作員の誤操作	<u>クレーンの横行範囲に制限機構を設ける。また、移動前に移動経路に障害物がないことを確認、乾式キャスクと移動経路の芯あわせを行うため、乾式キャスクは他の構造物等へ衝突しない。</u>	×		×
乾式キャスクの衝突 (1-7~1-10) (2-2, 2-5, 2-13~2-16)	ブレーキの故障	<u>巻き上げ装置ブレーキを二重化しているため、乾式貯蔵キャスクは架台基礎コンクリートへ衝突（異常着床）しない。</u>	×		×
	操作員の誤操作	<u>巻き上げ装置ブレーキを二重化しているため、輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に衝突（異常着床）しない。</u>	×		×
	クレーンでの吊下げ時の衝突（異常着床） (1-10) (2-2, 2-5, 2-16)	<u>吊下げ時の誤操作により、支持架台を装着した状態で乾式貯蔵キャスクは吊下げ速度で架台基礎コンクリートに異常着床する可能性がある。</u>	○	クレーンの最大吊下げ速度 1.5m/min で、支持架台を装着した状態で乾式貯蔵キャスクは、架台基礎コンクリート上に異常着床する場合は異常事象として抽出する。	○
	操作員の誤操作	<u>吊下げ時の誤操作により、輸送貯蔵兼用キャスクは吊下げ速度で搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に異常着床する可能性がある。</u>	○	クレーンの最大吊下げ速度 1.5m/min で、輸送貯蔵兼用キャスクは、搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に異常着床する場合は異常事象として抽出する。	○

(中略)

表 3. 1-1 異常事象の抽出 (3/3)

起因事象 (ハンドリングフローNo.)		原因	異常事象発生の可能性	発生の 要否	想定シナリオ	抽出の 要否
地震			乾式キヤスク、コンクリートモジュールは、地震時にも基本的安全機能を維持できるよう設計する。	×		×
火災・爆発			動力機関として内燃機関を使用するものはなく、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用し、持ち込み物品の制限等の運用対応をするため、火災の発生する可能性は非常に低い。	×		×
外部電源喪失			クレーンのフェイルセーフ設計により、乾式キヤスクの落下防止、衝突防止が施されている。	×		×
経年変化			乾式貯蔵キヤスクは設計貯蔵期間 40 年で、輸送貯蔵兼用キヤスクは設計貯蔵期間 50 年で設計されており、それより短い期間で使用するため、経年変化を考慮する必要はない。	×		×
地震以外の自然災害	台風		コンクリートモジュールの風荷重に対する設計は、「建築基準法」に定める設計基準に従う。	×		×
	積雪、凍結		敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定した設計を行う。	×		×
	津波、高潮		敷地の標高 (I.P. 約 38m)、海岸からの距離等から判断して、敷地が被害を受けることは考えられない。	×		×

## 安全対策について

### 1 安全対策

#### (1) 落下防止対策内容

キャスク水平吊具及びフック, ワイヤロープ等クレーンの揚重装置の構造を図 1-1～4 に示す。

##### 1) ワイヤロープの二重化

一端をイコライザに固定し, 他端をドラムに固定したワイヤロープによりフックブロックを吊る。図 1-2 のようにワイヤロープは 2 系列設けることで二重化する。

##### 2) ブレーキの二重化

ワイヤロープの巻上げ, 巻下げを行うドラム減速機のブレーキを図 1-3 のように 2 基設置し, ブレーキを二重化する。

##### 3) キャスク水平吊具の二重化

図 1-4 のようにキャスク水平吊具をフックで吊上げると共に安全板を揚重機フックブロックのシーブピンに掛けることで吊上げ方法を二重化する。

##### 4) その他の落下防止対策

- ・電源喪失時には直ちにブレーキが作動し, ドラムの空転による荷の落下を防止する。
- ・主巻減速機に過速検出器を設け, 一定の回転速度以上になった場合にブレーキが作動するようにし, 荷の落下を防止する。

#### (2) その他の安全対策

- ・主巻きの巻下げ速度を 1.5m/min に制限し, 荷が着床した時の衝撃を緩和する。
- ・コンクリートモジュールに乾式キャスクが衝突しないように, クレーンの横行装置にリミットスイッチを取付け, 横行範囲を制限する。

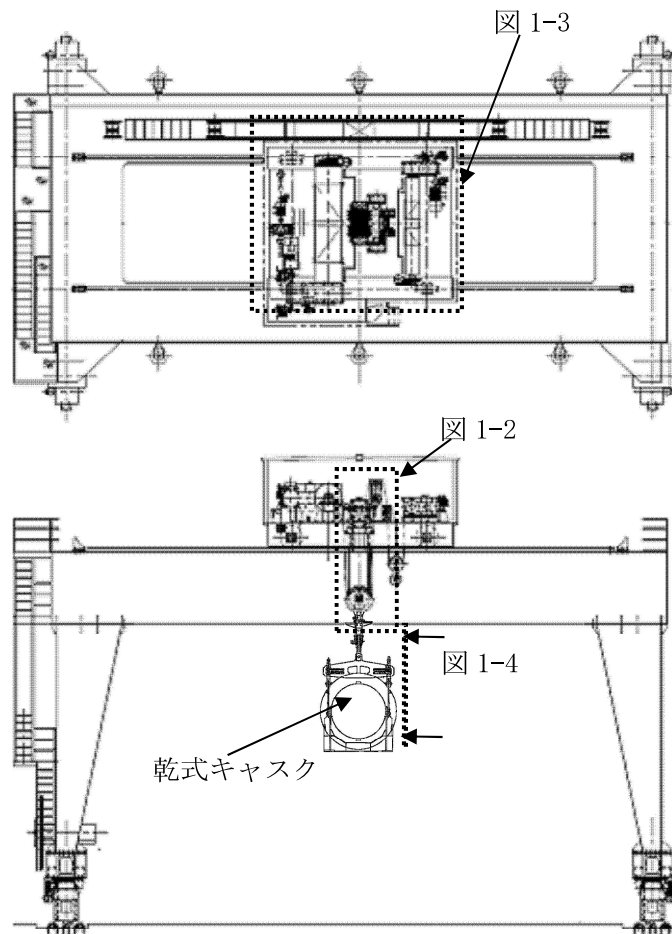


図 1-1 クレーン全体図

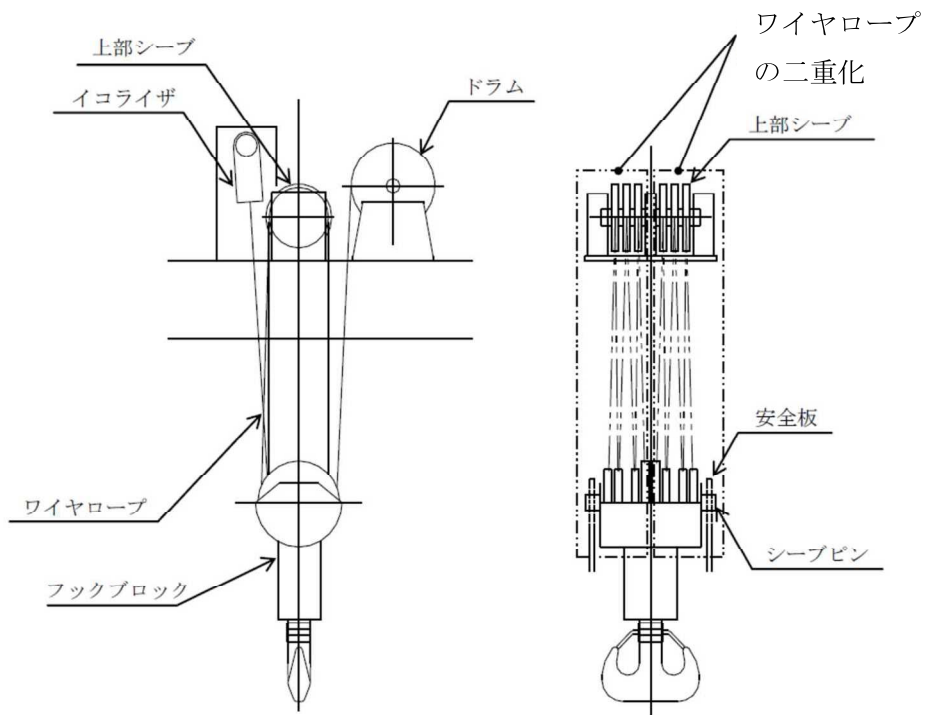


図 1-2 主巻シーブ詳細

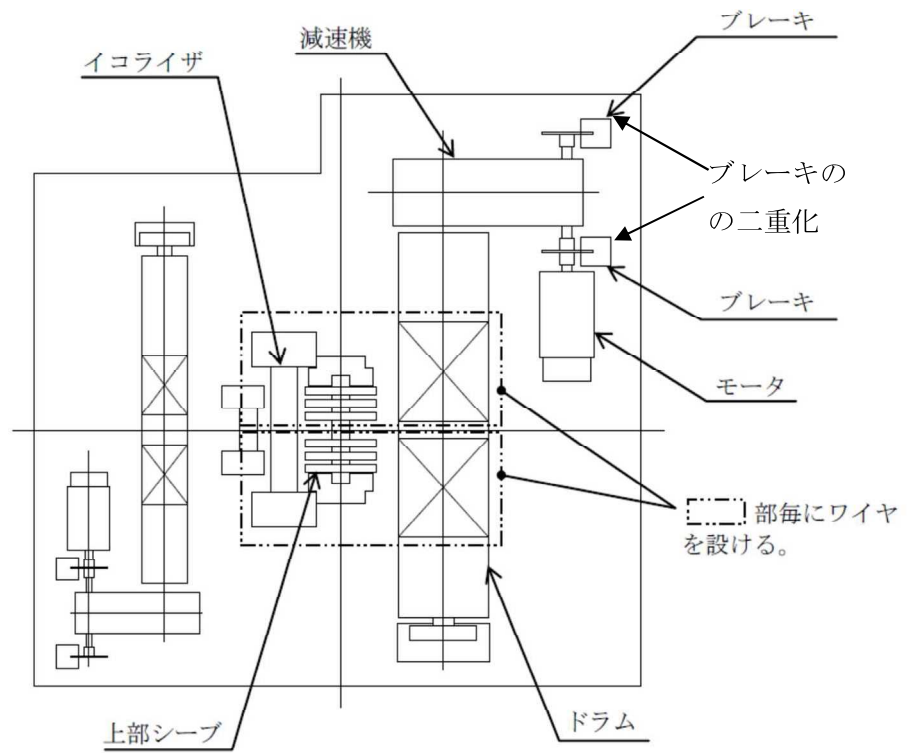


図 1-3 トロリ平面図

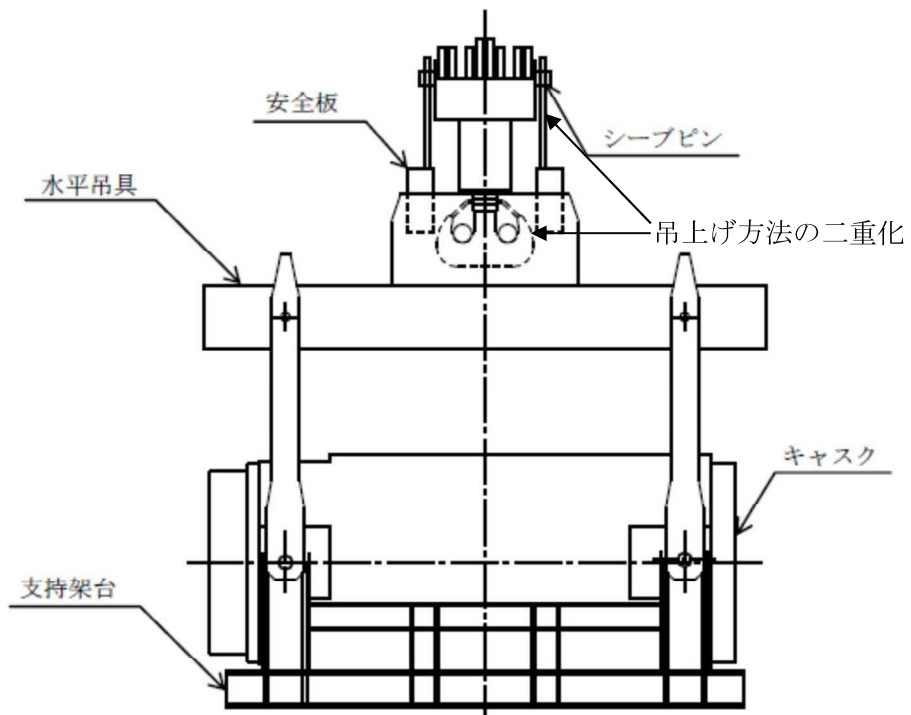


図 1-4 水平吊具

## Ⅱ.12 作業者の被ばく線量の管理等への 適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 12. 作業者の被ばく線量の管理等

○現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して，遮へい，機器の配置，遠隔操作，放射性物質の漏えい防止，換気，除染等，所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより，放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を，達成できる限り低減すること。

### 措置を講ずべき事項への適合方針

作業者の被ばく管理等において，現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して，遮蔽，機器の配置，遠隔操作，放射性物質の漏えい防止，換気，除染等，所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより，放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を，達成できる限り低減する。



## 対応方針

### 1 作業者の被ばく線量管理等

#### ○ 現存被ばく状況における放射線防護の基本的な考え方

現存被ばく状況において放射線防護方策を計画する場合には、害よりも便益を大きくするという正当化の原則を満足するとともに、当該方策の実施によって達成される被ばく線量の低減について、達成できる限り低く保つという最適化を図る。

#### ○ 所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置の範囲

「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」に基づいて定めた管理区域及び周辺監視区域に加え、周辺監視区域と同一な区域を管理対象区域として設定し、放射線業務に限らず業務上管理対象区域内に立ち入る作業者を放射線業務従事者として現存被ばく状況での放射線防護を行う。

#### ○ 遮へい、機器の配置、遠隔操作、換気、除染等

放射線業務従事者が立ち入る場所では、外部放射線に係わる線量率を把握し、放射線業務従事者等の立入頻度、滞在時間等を考慮した遮へいの設置や換気、除染等を実施するようにする。なお、線量率が高い区域に設備を設置する場合は、遠隔操作可能な設備を設置するようにする。

#### ○ 放射性物質の漏えい防止

放射性物質濃度が高い液体及び蒸気を内包する系統は、可能な限り系外に漏えいし難い対策を講じる。また、万一生じた漏えいを早期に発見し、汚染の拡大を防止する場合は、機器を独立した区域内に配置したり、周辺にせきを設ける等の対策を講じる。

#### ○ 放射線被ばく管理

上記の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより、作業時における放射線業務従事者が受ける線量が労働安全衛生法及びその関連法令に定められた線量限度を超えないようにするとともに、現存被ばく状況で実施可能な遮へい、機器の配置、遠隔操作を行うことで、放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を、達成できる限り低減するようにする。

さらに、放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置について、長期にわたり継続的に改善することにより、放射線業務従事者が立ち入る場所における線量を低減し、計画被ばく状況への移行を目指すこととする。

(実施計画：II-1-12-1)

## 2 放射線管理に係る補足説明

### 2.1 放射線防護及び管理

#### 2.1.1 放射線管理

##### (1) 基本方針

- 現存被ばく状況において、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、今後、新たに設備を設置する場合には、遮へい設備、換気空調設備、放射線管理設備及び放射性廃棄物廃棄施設を設計し、運用する。また、事故後、設置した設備においても、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、必要な設備の改良を図る。
- 放射線被ばくを合理的に達成できる限り低くするために、周辺監視区域全体を管理対象区域として設定して、立入りの制限を行い、外部放射線に係る線量、空気中もしくは水中の放射性物質の濃度及び床等の表面の放射性物質の密度を監視して、その結果を管理対象区域内の諸管理に反映するとともに必要な情報を免震重要棟や出入管理箇所等で確認できるようにし、作業環境の整備に努める。
- 放射線業務に限らず業務上管理対象区域に立ち入る作業者を放射線業務従事者とし、ばく歴を把握し、常に線量を測定評価し、線量の低減に努める。また、放射線業務従事者を除く者であって、放射線業務従事者の随行により管理対象区域に立ち入る者等を一時立入者とする。  
さらに、各個人については、定期的に健康診断を行って常に身体的状態を把握する。
- 周辺監視区域を設定して、この区域内に人の居住を禁止し、境界に柵または標識を設ける等の方法によって人の立入を制限する。
- 原子炉施設の保全のために、管理区域を除く場所であって特に管理を必要とする区域を保全区域に設定して、立入りの制限等を行う。
- 核燃料物質によって汚染された物の運搬にあたっては、放射線業務従事者の防護及び発電所敷地外への汚染拡大抑制に努める。

(2) 発電所における放射線管理

a. 管理対象区域内の管理

管理対象区域については、次の措置を講じる。

- 管理対象区域は当面の間、周辺監視区域と同一にすることにより、さく等の区画物によって区画するほか周辺監視区域と同一の標識等を設けることによって明らかに他の場所と区別し、かつ、放射線等の危険性の程度に応じて、人の立入制限等を行う。  
管理対象区域内の線量測定結果を放射線業務従事者の見やすい場所に掲示する等の方法によって、管理対象区域に立ち入る放射線業務従事者に放射線レベルの高い場所や放射線レベルが確認されていない場所を周知する。特に放射線レベルが高い場所においては、必要に応じてロープ等により人の立入制限を行う。
- 放射性物質を経口摂取するおそれのある場所での飲食及び喫煙を禁止する。ただし、飲食及び喫煙を可能とするために、放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が、法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域を設ける。なお、設定後は、定期的な測定を行い、この区域内において、法令に定める管理区域に係る値を超えるような予期しない汚染を床又は壁等に発見した場合等、汚染拡大防止のための放射線防護上必要な措置等を行うことにより、放射性物質の経口摂取を防止する。
- 管理対象区域全体にわたって放射線のレベル及び作業内容に応じた保護衣類や放射線防護具類を着用させる。
- 管理対象区域から人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合には、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度についてスクリーニングレベルを超えないようにする。管理対象区域内において汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域に人が立ち入り、又は物品を持ち込もうとする場合は、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度について表面汚染測定等により測定場所のバックグラウンド値を超えないようにする。
- 管理対象区域内においては、除染や遮へい、換気を実施することにより外部線量に係る線量、空気中放射性物質の濃度、及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質密度について、管理区域に係る値を超えるおそれのない場合は、人の出入管理及び物品の出入管理に必要な措置を講じた上で、管理対象区域として扱わないこととする。

(実施計画：Ⅲ-3-3-1-2-2～4)

### 具体的な設計及び措置

キャスク仮保管設備内での作業に従事する作業者を放射線業務従事者とした上で、被ばく歴を把握し、放射線レベルに応じた保護衣類を着用させる。キャスク仮保管設備の区域区分及び当該設備内での具体的な作業を表1に示す。

表1 キャスク仮保管設備内作業の分類ごとの具体的な作業

分類	区域区分	具体的な作業
キャスク仮保管設備内作業	Gゾーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートモジュール組み立て作業</li> <li>・鋼製支持架台設置作業</li> <li>・付帯作業</li> </ul>

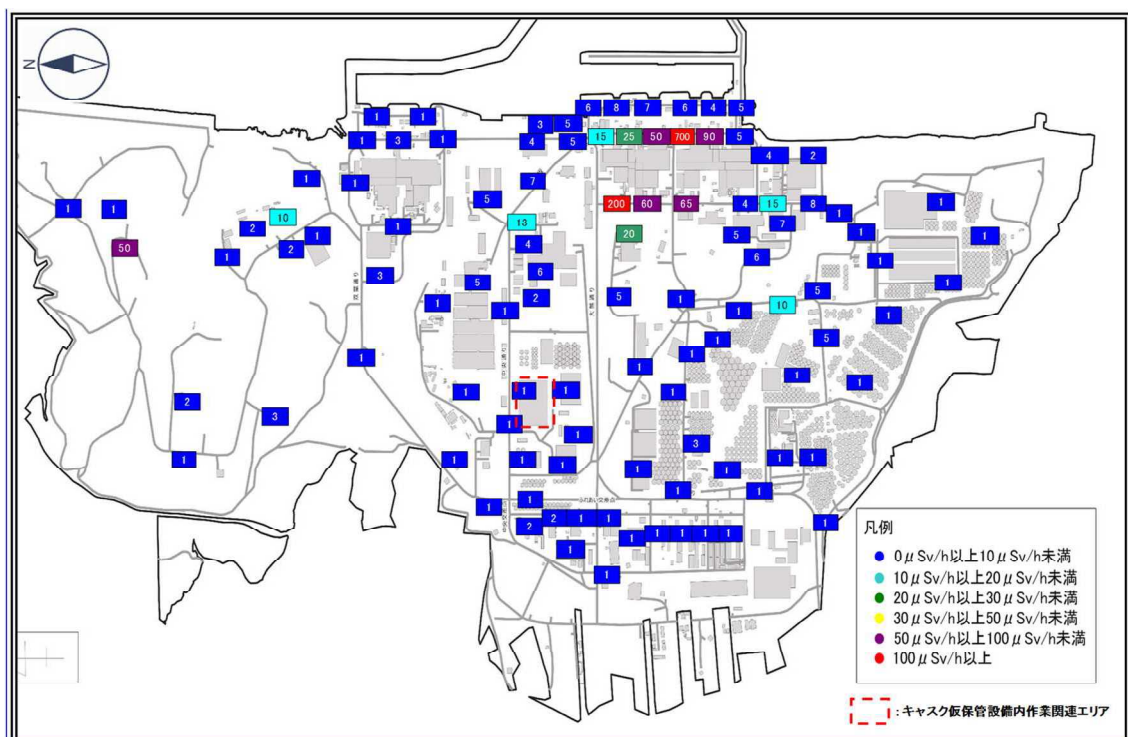


図1 福島第一原子力発電所構内のサーベイマップ（2023年11月）

図1に示す通りキャスク仮保管設備周辺は線量が低く、長時間作業を実施しても被ばく線量が著しく増加することはないため、個別の線量低減対策は実施していない。

## Ⅱ.13 緊急時対策への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 13. 緊急時対策

- 緊急時対策所，安全避難経路等事故時において必要な施設及び緊急時の資機材等を整備すること。
- 適切な警報系及び通信連絡設備を備え，事故時に特定原子力施設内に居るすべての人に対する確に指示ができるとともに，特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備は，多重性及び多様性を備えること。

### 措置を講ずべき事項への適合方針

#### (1) 緊急時において必要な施設及び資機材等の整備について

緊急時において必要な施設及び安全避難経路等事故等において必要な施設及び緊急時の資機材等の整備を行う。

#### (2) 緊急時の避難指示について

緊急時の特定原子力施設内に居るすべての人に対し避難指示を実施できるようにする。

#### (3) 所外必要箇所との通信連絡設備の多重性及び多様性について

特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備は，多重性及び多様性を備える。

## 対応方針

### 1 緊急時において必要な施設及び資機材等の整備について

原子力防災管理者は、緊急時において必要な施設及び緊急時の資機材等の整備について防災業務計画に従い以下の対応を実施する。

- ・ 緊急時対策所を平素から使用可能な状態に整備するとともに、換気浄化設備を定期的に点検し、地震等の自然災害が発生した場合においてもその機能が維持できる施設及び設備とする。また、外部電源喪失時においても専用の非常用発電機により緊急時対策所へ給電可能である。
- ・ 退避場所又は避難集合場所を関係者に周知する。
- ・ 瓦礫撤去用の重機及び操作要員を準備し、瓦礫が発生した場合の撤去対応が可能である。
- ・ 原子力防災資機材及びその他の原子力防災資機材について、定期的に保守点検を行い、平素から使用可能な状態に整備する。また、資機材に不具合が認められた場合、速やかに修理するか、代替品を補充あるいは代替手段により必要数量又は必要な機能を確保する。

施設内の安全避難経路については防災業務計画に明示されていないが、誘導灯により安全避難経路を示すことを基本としている。しかしながら、一部対応できていない事項があるため、それらについては以下のとおり対応する。

- ・ 震災の影響により使用できない誘導灯（1～4号機建屋内）  
作業にあたっては、緊急時の避難を考慮した安全避難経路を定め、この経路で退出することとする。また、使用するエリアの誘導灯の復旧を進め、適切な状態に維持する。
- ・ 震災の影響により使用できない非常灯（1～4号機建屋内）  
施設を使用するエリアの非常灯の復旧を進め、適切な状態に維持する。

## 2 緊急時の避難指示について

### ○ 緊急時の避難指示

緊急時の避難指示については、防災業務計画では緊急放送等により施設内に周知することとなっているが、緊急放送等が聞こえないエリアが存在することを考慮し、以下の対応を実施することで、作業員等特定原子力施設内にいるすべての人に的確な指示を出す。

- ① 免震重要棟にて放射性物質の異常放出等のプラントの異常や地震・津波等の自然災害を検知。
- ② 原子力防災管理者は緊急放送装置により免震重要棟・高台等への避難を指示。
- ③ 緊急放送が聞こえないエリアで作業を実施している場合は、作業主管Gより携帯電話にて免震重要棟・高台等への避難を指示。
- ④ 緊急放送が聞こえないエリアでの作業員に対して上記③により連絡が付かない場合は、警備誘導班がスピーカー車により免震重要棟・高台等への避難を指示。

※ 建屋内等電波状況が悪く緊急放送等も入らないエリアにおいては、緊急放送が入るエリアに連絡要員を配置する、トランシーバ等による通信が可能な位置に連絡要員を配置する等通報連絡が可能となるような措置を実施する。

### ○ 通報，情報収集及び提供

緊急事態の発生及び応急措置の状況等の関係機関への通報連絡，事故状況の情報収集による応急復旧の実施のため，特定原子力施設内及び特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備として防災業務計画に定める以下を準備することで，多重性及び多様性を備える。

#### (1) 特定原子力施設内の通信連絡設備

- ・ 緊急放送（1台）
- ・ ページング
- ・ 電力保安通信用電話設備（60台）
- ・ 携帯電話（40台）

※緊急放送・ページングについては、聞こえないエリア・使用できない場所があるが、場所を移動しての連絡や電力保安通信用電話設備・携帯電話の使用，その他トランシーバの使用等により対応する。

※電力保安通信用電話設備，携帯電話については防災業務計画に定める数量を示しているが，緊急時対応として必要により，防災業務計画に定める数量を超える通信連絡設備を使用する場合もある。



(2) 特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備

- ・ ファクシミリ装置（1台）
- ・ 電力保安通信用電話設備（60台；上記「特定原子力施設内の通信連絡設備」の再掲）
- ・ TV会議システム（1台）、IP電話（5台）、IPFAX（3台）
- ・ 携帯電話（40台；上記「特定原子力施設内の通信連絡設備」の再掲）
- ・ 衛星携帯電話（1台）

※電力保安通信用電話設備、携帯電話については防災業務計画に定める数量を示しているが、緊急時対応として必要により、防災業務計画に定める数量を超える通信連絡設備を使用する場合もある。

※防災業務計画ではこの他に緊急時用電話回線があるが使用できないため、電気通信事業者の有線電話、携帯電話、衛星携帯電話等の通信手段により通信連絡を行う。

※上記防災業務計画で定めるもの以外として、TV会議システム（社内用）についても通信連絡用に使用する。

○ 外部電源喪失時の通信手段・作業環境確保

外部電源喪失時に緊急時対策を実施するために、防災業務計画に明示されていないが、以下の対応を実施する。

必要箇所との連絡手段確保のため、ページングについては、小型発電機または電源車から、電力保安通信用電話設備については、小型発電機から給電可能とする。また、夜間における復旧作業に緊急性を要する範囲の照明については、小型発電機から給電可能とする。

(実施計画：II-1-13-1～3)

### 具体的な設計及び措置

○ 緊急時の避難指示等について

キャスク仮保管設備近傍には図1に示す通りページング用スピーカーが設置されており、避難指示が出た場合はそのスピーカーから確認することが出来る。

○ 大規模な地震、津波等の緊急事態への対応について

キャスク仮保管設備はGゾーンであり、発電所構内の高台（T.P.約38m）に設置されているため、避難指示が出た際は速やかに入退域管理棟または免震重要棟に避難することが出来る。また、高台に設置されていることから津波の影響を受けることはない。

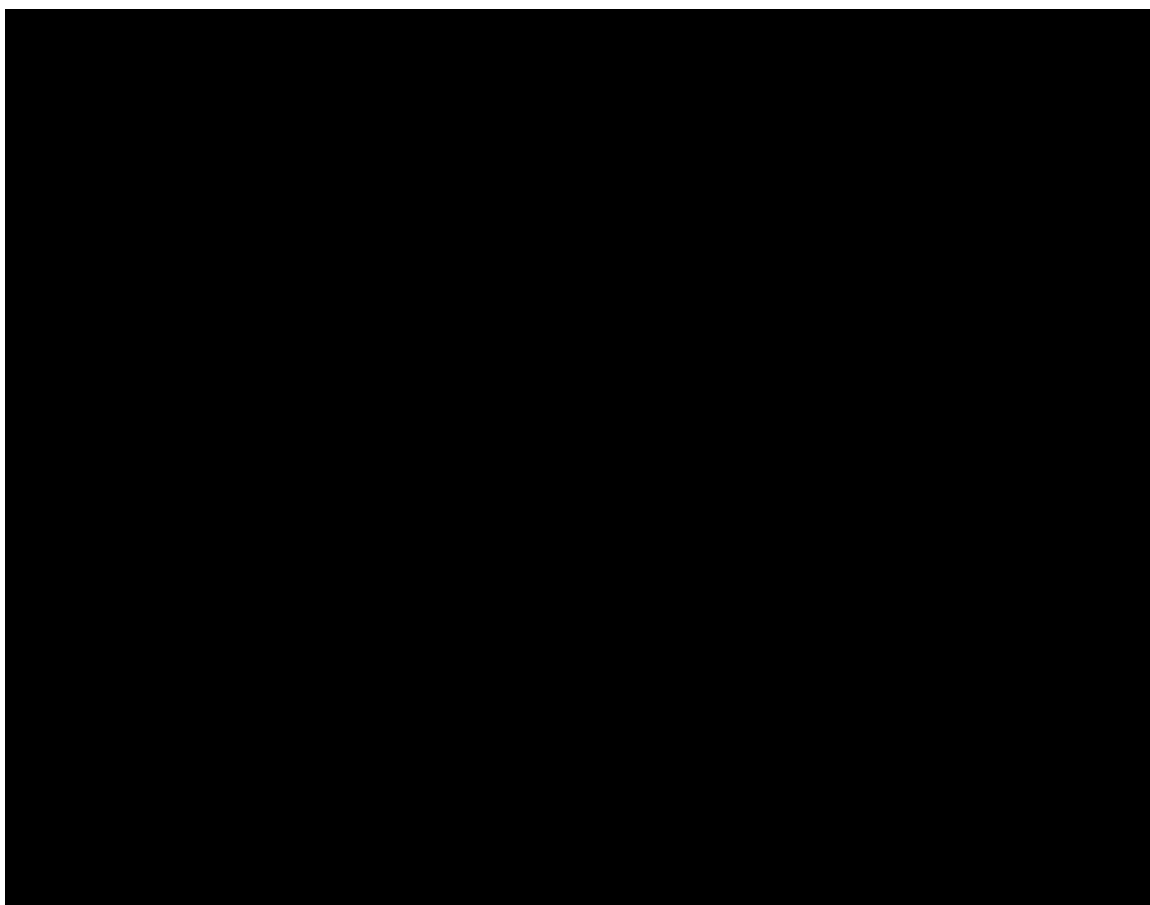


図1 キャスク仮保管設備近傍のページング用スピーカー設置位置

## Ⅱ.14 設計上の考慮への適合性

## Ⅱ.14.① 準拠規格及び基準への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### ① 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

### 措置を講ずべき事項への適合方針

#### ○ 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(実施計画：II-1-14-1)

### 対応方針

#### 2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

##### 2.13.1 基本設計

##### 2.13.1.1 設置の目的

使用済燃料輸送容器保管建屋（以下、「キャスク保管建屋」という。）には現在（平成24年12月時点）9基（中型4基，大型5基）の使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式貯蔵キャスク」という。）にて408体の使用済燃料を貯蔵している。しかしながら，キャスク保管建屋は継続して使用することが困難な状況にあることから，9基の乾式貯蔵キャスクをキャスク保管建屋から搬出し，使用済燃料乾式キャスク仮保管設備（以下，「キャスク仮保管設備」という。）に保管することを目的とする。

また，使用済燃料共用プール（以下，「共用プール」という。）に，1～4号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料，5,6号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料を除く炉内燃料（合計5,936体）の受け入れを計画している。この受け入れ準備として共用プールの空き容量を確保するため，共用プールに貯蔵中で健全性が確認された使用済燃料を乾式貯蔵キャスク及び使用済燃料輸送貯蔵兼用容器（以下，「輸送貯蔵兼用キャスク」という。また，乾式貯蔵キャスクと輸送貯蔵兼用キャスクを総じて「乾式キャスク」という。）に装填し，キャスク仮保管設備に保管することを目的とする。

(中略)

### 2.13.1.3 設計方針

キャスク仮保管設備は、乾式キャスク及びこれを収納するキャスク仮保管構築物、揚重機、監視装置、障壁等で構成し、使用済燃料が核分裂性物質及び核分裂生成物等を内包し、放射線を発生し、崩壊熱を伴うことを考慮し、周辺公衆及び放射線業務従事者の安全を守る観点から、以下に示すとおり、除熱、遮蔽、密封及び臨界防止の安全機能を有する設計とするとともに、必要な構造強度を有する設計とする。

#### (1) 除熱機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性が維持できるように、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

#### (2) 密封機能

乾式キャスクについて、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。

#### (3) 遮蔽機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料の放射線を適切に遮蔽する設計とする。

#### (4) 臨界防止機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、想定されるいかなる場合にも、使用済燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。

#### (5) 構造強度

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、除熱機能、密封機能、遮蔽機能、臨界防止機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

(実施計画：II-2-13-1, 2)

## 具体的な設計及び措置

キャスク仮保管設備は、構造強度、除熱、密封、遮蔽、臨界防止の各安全機能が以下の規則、告示及び内規に適合するように設計、材料の選定、製作されている。また、各条件を満足していることを検査により確認している。

### ○輸送貯蔵兼用キャスク

- ・使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成 25 年 12 月 6 日付, 平成 25 年原子力規制委員会規則第 24 号)
- ・使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈(原管廃発第 1311272 号(平成 25 年 11 月 27 日原子力規制委員会決定))
- ・使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の型式証明及び型式指定運用ガイド(原管廃発第 1311276 号(平成 25 年 11 月 27 日原子力規制委員会決定))
- ・使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則(令和 2 年 3 月 17 日付, 令和 2 年原子力規制委員会第 8 号)
- ・使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の解釈(令和 2 年 2 月 5 日 原規規発第 2002054 号-3 原子力規制委員会決定)
- ・核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(昭和 53 年 12 月 28 日付, 総理府令第 57 号)
- ・核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示(平成 2 年 11 月 28 日付, 科学技術庁告示第 5 号)
- ・使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)
- ・**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(平成 25 年 6 月 28 日付, 平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号)**
- ・**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(原管廃発第 1306193 号(平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定))**

### ○輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台

- ・原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版(2007 年追補版含む)(JSME SNC1-2005/2007)
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010 年版)
- ・コンクリート標準示方書 構造性能照査編(2002)
- ・コンクリート標準示方書 設計編(2007)

### ○輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール

- ・建築基準法施行令第 82 条

- ・ 建築基準法施行令第 86 条
- ・ 平成 12 年建設省告示第 1455 号
- ・ 福島県建築基準法施行細則
- ・ 建築基準法施行令第 87 条
- ・ 平成 12 年建設省告示第 1454 号
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 鋼構造設計規準・同解説
- ・ 国土交通省告示
- ・ 建築基準法施行令第 91 条
- ・ 平成 12 年建設省告示第 1450 号
- ・ 平成 12 年建設省告示第 2464 号
- ・ 建築基準法施行令第 90 条
- ・ 平成 12 年建設省告示第 1451 号
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(JSME S NE1-2003)

#### ○クレーン

- ・ クレーン構造規格（平成 7 年 12 月 26 日 労働省告示第 134 号）

#### ○コンクリート基礎

- ・ 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 （社）日本電気協会
- ・ 乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009 （社）日本電気協会
- ・ コンクリート標準示方書 設計編（2007） （社）土木学会
- ・ コンクリート標準示方書 構造性能照査編（2002） （社）土木学会
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル（1992）（社）土木学会
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（2005） （社）土木学会
- ・ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 （社）日本道路協会（平成 14 年）
- ・ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 V 耐震設計編 （社）日本道路協会（平成 14 年）



## Ⅱ.14.② 自然現象に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 14. 設計上の考慮

#### ②自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して，耐震設計上の区分がなされるとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器は，予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件，又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

#### 措置を講ずべき事項への適合方針

##### ○ 自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また，確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれないものとする。その際，必要に応じて多様性も考慮する。重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器は，予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件，又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮したものとする。

(実施計画：II-1-14-1)

#### 対応方針

### 2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

#### 2.13.1 基本設計

(中略)

### 2.13.1.3 設計方針

(中略)

#### (7) 耐震性

キャスク仮保管設備は、2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の公衆への被ばく影響を考慮した上で、適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に対し(1)～(4)に示す安全機能が維持される設計とする。

ただし、2022年11月16日以前に認可された設備については、基準地震動 $S_s$ （最大加速度600gal）を考慮しても、(1)～(4)に示す安全機能が維持される設計とする。

(中略)

### 2.13.1.6 自然災害対策等

#### (1) 津波

キャスク仮保管設備は、発電所構内の高台（T.P. 約38m）に位置するグラウンドに設置することから、津波の影響を受けることはない。

(中略)

#### (3) 台風・竜巻

乾式キャスクは基礎に据え付けられ、コンクリートモジュールの中に保管されているため、台風・竜巻の影響を受けない。

(中略)

### 2.13.1.7 構造強度及び耐震性

(中略)

#### (2) 耐震性

##### a. 乾式キャスク及び支持架台

乾式キャスクについては、2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の公衆への被ばく影響を考慮した上で、適切な耐震設計上の区分を行うとともに、

適切と考えられる設計用地震力に対し、安全機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

ただし、2022年11月16日以前に認可された設備については、基準地震動  $S_s$ （最大加速度 600gal）に対し、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

支持架台については、2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の公衆への被ばく影響を考慮した上で、適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に対し、乾式キャスクを落下・転倒させない設計とする。

ただし、2022年11月16日以前に認可された設備については、基準地震動  $S_s$ （最大加速度 600gal）に対し、乾式キャスクを落下・転倒させない設計とする。

#### b. コンクリートモジュール

2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の公衆への被ばく影響を考慮した上で、適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に対し、建築基準法及び国土交通省告示に基づくとともに、倒壊等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。

ただし、2022年11月16日以前に認可された設備については、基準地震動  $S_s$ （最大加速度 600gal）に対し、建築基準法及び国土交通省告示に基づくとともに、倒壊等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。

#### c. クレーン

2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の公衆への被ばく影響を考慮した上で、適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に対し、JSME 設計・建設規格に基づくとともに、転倒・倒壊・逸走等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。

また、基準地震動  $S_s$ （最大加速度 600gal）に対し、JSME 設計・建設規格に基づくとともに、転倒・倒壊・逸走等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。

#### d. コンクリート基礎

キャスク支持架台とコンクリートモジュールに作用する力を支持するとともに、これらを固定する固定ボルトの引抜きに抵抗すること、基礎の傾斜によりクレーンの転倒、倒壊などが生じない設計とする。

(実施計画：II-2-13-2～5)

### 具体的な設計

キャスク仮保管設備は表に示す通り，地震及び地震以外の想定される自然現象に対して安全機能を有する設計とする。

表 キャスク仮保管設備の自然現象に対する設計要求事項

<p>1 地震</p>	<p>耐震重要度（クラス）分類の設定方針          令和3年9月8日の令和3年度第30回原子力規制委員会資料（令和4年11月16日一部改訂）に基づき、キャスク仮保管設備が、地震によって機能喪失した際の安全上の影響（敷地境界における実効線量）を踏まえて、適切に耐震設計上の区分（以下「耐震クラス」という。）が設定されていること。          キャスク仮保管設備が、上記で設定された耐震クラスを踏まえ、当該区分ごとに規定される設計用地震力に対して十分耐えられる設計であることを根拠として、以下に示す基本方針に加えて、詳細な耐震計算に当たったの評価条件や評価結果が示されていること。</p> <p>弾性設計用地震動の設定方針          IFにおける弾性設計用地震動は、Ss900との応答スペクトルの比率の値が、目安として0.5を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定した結果、Ss900に0.5を乗じた地震動（以下「Sd450」という。1/2Ss450と同義。）としていること。</p> <p>地震応答解析による地震力及び静的地震力の算定</p> <p>(1) 地震応答解析による地震力</p> <p>① S、B+、Bクラスの地震力の算定方針          Ss900及びSd450に基づく入力地震動を用いて、建物・構築物の三次元応答性状及び機器・配管系への影響を考慮し、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせ、地震応答解析による地震力を算定すること。</p> <p>② 入力地震動の設定方針          建物・構築物の地震応答解析において、対象建物・構築物の地盤条件を考慮し、必要に応じて二次元有限要素法又は一次元波動理論を用いて設定すること。地盤条件の設定については、敷地全体の地下構造との関係に留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮していること。必要に応じて敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえる方針としていること。</p> <p>③ 地震応答解析方法          地震応答解析方法について、対象施設の形状、構造特性、振動特性等を踏まえ、解析手法の適用性、適用限界等を考慮のうえ、使用する解析方法を選定するとともに、十分な調査に基づく解析条件を設定すること。対象とする施設の形状、構造特性等を踏まえたモデル化を行っていること。</p> <p>(2) 静的地震力</p> <p>① 建物・構築物の水平地震力          水平地震力について、地震層せん断力係数に、施設の重要度分類に応じた係数（Sクラスは1.5及びCクラスは1.0）を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定すること。ここで、地震層せん断力係数は、標準せん断力係数を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とすること。</p> <p>② 建物・構築物の保有水平耐力          保有水平耐力について、必要保有水平耐力を上回るものとし、必要保有水平耐力については、地震層せん断力係数に乘じる係数を1.0、標準せん断力係数を1.0以上として算定すること。</p> <p>③ 建物・構築物の鉛直地震力          鉛直地震力について、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より算定すること。</p> <p>④ 水平地震力と鉛直地震力の組合せ          Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。</p> <p>⑤ 標準せん断力係数等の割増し係数          標準せん断力係数等の割増し係数の適用については、耐震性向上の観点から、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定すること。</p>
-------------	--

荷重の組合せと許容限界の設定方針
(1) 建物・構築物
① Sクラスの建物・構築物 Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重とSs900による地震力との組合せに対して、構造物全体としての変形能力について十分な余裕を有し、終局耐力に対し十分な安全余裕を有していること。
② S, B+, B, Cクラスの建物・構築物 Sクラス, Bクラス及びCクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、弾性設計用地震動（Bクラスは共振影響検討用の地震動, Cクラスは考慮せず。）による地震力又は静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とすること。
波及的影響に係る設計方針
耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、上位のクラスに属する施設の安全機能を損なわないように設計すること。
兼用キヤスク（設置許可基準規則解釈上Sクラス）については、設置許可基準規則第三条第1項を満たすための前提条件として、「地盤の十分な支持を想定する場合」又は「地盤の十分な支持を想定しない場合」のいずれかケースを選定していること。
・地盤の十分な支持を想定しない場合 兼用キヤスクの安全機能が損なわれない方法については、設置許可基準規則解釈別記4第3条第1項に基づき、以下に示す方針とすること。 兼用キヤスクを基礎等に固定せず、かつ、輸送貯蔵兼用キヤスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能を損なわない方法とすること。
告示地震力又はSs900に対する設計
解釈第4条第6項に定める次のいずれかによる地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないこと。
一 兼用キヤスク告示に定める地震力
・加速度：水平 2300Gal 及び鉛直 1600Gal
・速度：水平 200cm/s 及び鉛直 140cm/s
二 Ss900による地震力
(1) 耐震重要度（クラス）分類の方針
(2) 弾性設計用地震動の設定方針
(3) 地震応答解析による地震力及び静的地震力の算定方針
(4) 荷重の組合せと許容限界の設定方針
① 兼用キヤスク（閉じ込め機能を担保する部位を除く。） 兼用キヤスクについて、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と第6項地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該兼用キヤスクに要求される機能を保持すること。 また、組合せ荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、当該兼用キヤスクに要求される機能に影響を及ぼさないこと。
② 閉じ込め機能を担保する部位 兼用キヤスクの閉じ込め機能を担保する部位は、上記の荷重条件に対しておおよね弾性状態にとどまる範囲で耐えること。
(5) 波及的影響に係る設計方針
「波及的影響に係る設計方針」と同じ。 これに加えて、解釈別記4第4条第2項第三号への適合方針として、以下の①～③の内容が示されていること。
① 兼用キヤスクは、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること。
② 上記の波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討の内容等を含めて、事象選定及び影響評価の結果の妥当性を示すとともに、第6項地震力を適用すること。

<p>③上記①の「兼用キヤスクは、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわない」を満たすために、少なくとも次に示す事項について、兼用キヤスクがその安全機能を損なわないこと。</p>	<p>設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響</p> <p>兼用キヤスク間の相互影響</p> <p>兼用キヤスクと周辺施設との相互影響（周辺施設の損傷、転倒、落下等による兼用キヤスクへの影響を含む。）</p>
<p>周辺斜面の安定性</p> <p>兼用キヤスクについて、地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないよう、Ss900による地震力を用いた安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認するとともに、崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去、敷地内土木構造物による斜面の保持等の措置を講ずることにより、兼用キヤスクの安全機能が損なわれるおそれがないようにすること。</p>	<p>2 地震以外の想定される自然現象</p> <p>設計において想定する津波</p> <p>設置許可基準規則第五条第2項を踏まえ、次のいずれかによる津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないこと。</p> <p>一 兼用キヤスク告示で定める津波</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浸水深：10m</li> <li>・流速：20m/s</li> <li>・漂流物質量：100t</li> </ul> <p>二 検討用津波</p> <p>設計方針及び条件</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検討用津波の場合</li> </ul> <p>検討用津波に対する兼用キヤスクの設計については、設置許可基準規則解釈別記3第5条第3項中、Sクラスに属する施設に関する規定を準用すること。</p>
<p>設計上考慮すべきその他の自然現象の抽出</p>	<p>(1) IFの自然環境条件や兼用キヤスクの設置条件に照らして、その他の自然現象（豪雨、台風、竜巻等）が網羅的に抽出され、各自然現象のハザードの規模が設定されていること。</p> <p>(2)</p> <p>①竜巻</p> <p>設置許可基準規則第六条第4項に規定する兼用キヤスク告示で定める竜巻として、設置許可基準規則解釈別記4第6条第2項第1号に基づき、設計竜巻（原子力発電所の竜巻影響評価ガイド「1.4用語の定義」に規定する「設計竜巻」をいう。以下同じ。）の最大風速を以下のとおり定め、設計荷重を設定していること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・最大風速：100m/s</li> </ul> <p>設計荷重の設定に用いる設計飛来物は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表4.1に基づき、兼用キヤスクに与える影響が最大となるものを選定していること。</p> <p>②外部火災</p> <p>外部火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機落下等の火災（発電所敷地内に存在する危険物タンク火災等を含む。）による熱影響並びに二次的影響としてはい煙、有毒ガス及び近隣の産業施設の爆発に伴う爆風等による影響を考慮すること。</p>



その他の自然現象への設計方針
<p>(1) 設計方針（竜巻及び外部火災を除く。）</p> <p>①上記（1）で抽出したその他の自然現象ごとに、兼用キャスクの安全機能が損なわれない設計としていること。</p> <p>(2) 竜巻及び外部火災に対する設計方針</p> <p>②上記（2）②について、森林火災、爆発及び人為による火災に対する具体的な評価及び対策は、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、外部火災による影響評価の実施により、隣隔等の適切な対応が図られていること。</p> <p>影響評価に当たっては、以下の事項が整理されていること。</p> <p>発電所内外で考慮すべき火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、航空機墜落による火災が選定されていること。</p> <p>上記の各火災の規模が設定されていること。航空機墜落については、発電所敷地内であって、墜落の可能性を無視できない範囲の最も厳しい場所で発火した場合の火災が設定されていること。</p> <p>各火災による二次的影響（ばい煙、有毒ガス等によるもの）が検討されていること。</p> <p>兼用キャスクの十分な防火機能を確認するための適切な影響評価手法及びその健全性を判断するための基準が設定されていること。</p>

（以下、「添付資料1 耐震評価について」及び「添付資料2 津波影響評価について」を省略）

## 竜巻影響評価について

## 措置を講ずべき事項

## II. 設計、設備について措置を講ずべき事項

~~14. 設計上の考慮~~~~②自然現象に対する設計上の考慮~~

- ~~・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるときともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。~~
- ~~・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。~~

## 措置を講ずべき事項への適合方針

~~(2)自然現象に対する設計上の考慮~~

- ~~・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれないものとする。その際、必要に応じて多様性も考慮する。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮したものとする。~~

~~（実施計画：II-1-14-1）~~

## 対応方針

~~2.13.1.6 自然災害対策等~~~~(3) 台風・竜巻~~

~~乾式キャスタは基礎に据え付けられ、コンクリートモジュールの中に保管されているため、台風・竜巻の影響を受けない。~~

~~（実施計画：II-2-13-3～4）~~

## 具体的な設計

キャスク仮保管設備の竜巻防護において、措置を講ずべき事項を満たすにあたって適用する主な関連規則等及び設計要求事項は下記の通り。

### ○主な関連規則等

- ~~・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（平成二十五年原子力規制委員会規則第五号）（以下、「設置許可基準規則」という）~~
- ~~・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（平成25年6月19日 原規技発第1306193号 原子力規制委員会決定）~~
- ・兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示（平成31年原子力規制委員会告示第2号。以下「兼用キャスク告示」という。）
- ・原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド（平成31年3月13日 原規技発第1903131号 原子力規制委員会決定）（以下「兼用キャスクガイド」という。）
- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成25年6月19日 原規技発第13061911号 原子力規制委員会決定）（以下「竜巻ガイド」という。）

### ○設計要求事項

#### 1 竜巻防護機能

竜巻が発生した場合においても安全機能を損なわないこと。

- ・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。

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（設置許可基準規則第六条第4項）

- ~~・第6条第4項に規定する「自然現象」については、以下のとおりとする。~~

~~第1号に規定する「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」については、次のとおりとする。~~

- ~~・兼用キャスク告示第3条によるものとする。~~

- ~~・竜巻による飛来物の衝突に対して、その安全機能を損なわないものであること。~~

~~（設置許可基準規則の解釈別記4第6条第2項第1号）~~

・~~第三条設置許可基準規則第六条第四項第一号の原子力規制委員会が別に定める竜巻は、風速が百メートル毎秒である竜巻とする。(兼用キャスク告示第3条)~~

・~~(1) 設置許可基準規則第6条第4項に規定する兼用キャスク告示で定める竜巻として、設置許可基準規則の解釈別記4第6条第2項第1号に基づき、設計竜巻(原子力発電所の竜巻影響評価ガイド「1.4 用語の定義」に規定する「設計竜巻」をいう。以下同じ。)の最大風速を以下のとおり定め、設計荷重を設定していること。~~

・最大風速 : 100m/s

~~(2) 設計荷重の設定に用いる設計飛来物は、竜巻ガイド解説表4.1に基づき、兼用キャスクに与える影響が最大となるものを選定していること。~~

(兼用キャスクガイド4.2.3)

・~~(2) 設計飛来物の設定例~~

解説表 4.1 飛来物及び最大速度の設定例 ( $V_D=100$ (m/s)の場合)

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
サイズ(m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量(kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度 $MV_{Hmax}$ (m/s)	49	51	30	60	34
最大鉛直速度 $MV_{Vmax}$ (m/s)	33	34	20	40	23

(竜巻ガイド解説表4.1)

## ○竜巻影響評価安全評価

### 1. 基本方針

基本方針を以下に示す。

- (1) 兼用キャスク告示に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないことを確認する。~~設計とする。~~
- (2) キャスクはコンクリートモジュールの中に保管され、コンクリートモジュールによる防護およびキャスク単体の構造により安全機能を維持することを確認する。~~設計とする。~~
- (3) 兼用キャスク告示に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する密封境界部は、おおむね弾性状態に留まることを確認し、~~ように設計し、~~臨界防止

機能を担保するバスケットについては、臨界防止上有意な変形が生じないことを確認する。~~ように設計する。~~その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に対して十分な余裕を有する等、キャスクの安全機能を維持することを確認する。~~設計とする。~~キャスクに衝突し得る設計飛来物は、竜巻ガイドを踏まえて、飛来物の種類、寸法、質量及びその最大速度を設定した設計飛来物および、キャスク仮保管設備の周囲に存在する想定飛来物を設定する。

## 2. 評価方針設計方針

兼用キャスク告示に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重（以下「竜巻荷重」という。）に対して、キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないことを評価する。~~設計とする。~~最初にキャスク単体の構造による評価を実施し、安全機能の維持が見込めない場合は、コンクリートモジュールによる竜巻荷重の低減効果を見込み、安全機能を維持することを評価する。~~設計とする。~~

また、竜巻荷重の条件に対して、キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する密封境界部は、おおむね弾性状態に留まることを確認し、~~ように設計し、~~臨界防止機能を担保するバスケットについては、臨界防止上有意な変形が生じないことを確認する。~~ように設計する。~~その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に対して十分な余裕を有する等、キャスクの安全機能を維持することを評価する。~~設計とする。~~

評価フローを図2に示す。

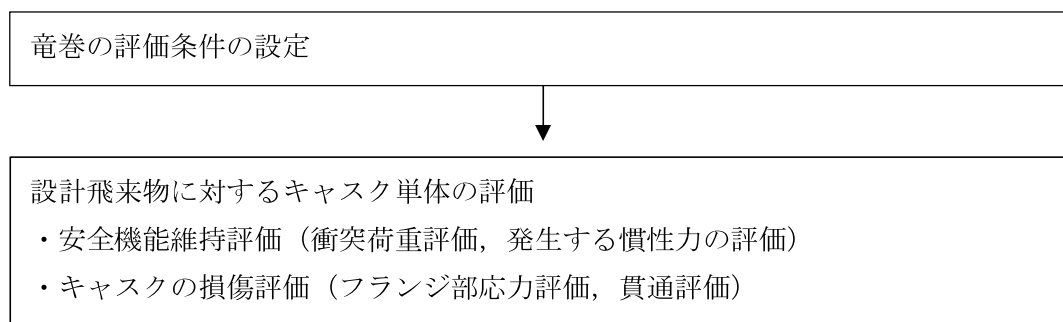


図2 評価フロー

## 3. 評価条件

### 3.1 竜巻条件

竜巻荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた複合荷重を考慮し、キャスクに作用する竜巻荷重を算定する。竜巻の評価条件を表3.1に示す。

表 3. 1 竜巻の評価条件

事象	評価条件
竜巻	最大風速 100 m/s <sup>※1</sup>

※1 兼用キャスク告示に定められる評価条件

### 3.2 設計飛来物

設計飛来物については、竜巻ガイド 解説表 4.1 表(1)に示される 5 種類およびキャスク仮保管設備の周囲に存在する設備・仮置き物品等とする。~~(現在評価中のため本資料においては未記載)とし、表 3. 2 に示す。~~

キャスク仮保管設備の周囲に存在する設備・仮置き物品等から設計飛来物を選定するために、最初に現場調査を実施する範囲（キャスク仮保管設備からの水平距離）を定める。竜巻ガイド解説表 4.1 表(1)の設計飛来物 5 種類のうち、最大水平速度が最も大きいコンテナの重量および高さを変動させ、最大飛距離を評価した結果を表 3. 2-1 に示す。最大飛距離の評価は、他の原子力施設において許認可実績がある飛散評価ツール TONBOS（フジタモデルを適用）を使用する。最大飛距離は 300m 未満であるため、キャスク仮保管設備の周囲約 300m の範囲内に存在する設備・仮置き物品等の中から設計飛来物を選定する。

図 3. 2-1 に示すキャスク仮保管設備の周囲約 300m の範囲において現場調査を実施し、設置されている設備・仮置き物品等のうち、竜巻ガイド解説表 4.1 表(1)の設計飛来物と比較して、キャスクの安全機能への影響をより大きく与える設備・仮置き物品等を設計飛来物とする。なお設備・仮置き物品等のうち基礎等に固定されていて容易に飛散しない物および期間の限定された仮置き物品は設計飛来物として選定しない。選定した設計飛来物の場所を図 3. 2-2 に、写真を図 3. 2-3 に示す。

竜巻ガイド解説表 4.1 表(1)に示される 5 種類およびキャスク仮保管設備の周囲の設計飛来物について、飛散評価ツール TONBOS を使用し、最大水平速度、最大鉛直速度および最大飛距離等を評価した結果を表 3. 2-2 に示す。表 3. 2-2 に示す最大飛距離の評価結果より、最大飛距離が 0m である鋼製パイプおよびコンクリート板はキャスク仮保管設備への衝突事象は発生しない。最大飛距離が 2.12m(暫定値)であるトラックについては、キャスク仮保管設備の周囲 2.12m 以内に仮置きされていないため、衝突事象は発生しないと考えられ、対象外とできるが影響確認のため 4 項、5 項において評価を実施する。

キャスク仮保管設備の周囲の設計飛来物のうち最大飛距離がキャスク仮保管設備からの距離よりも大きい設計飛来物はキャスク仮保管設備への衝突事象が発生する。旧 E1 装備交換所は最大飛距離が 226m(暫定値)であり、キャスク仮保管設備からの水平距離 131m(暫定値)よりも大きく衝突事象が発生する可能性があるため 4 項、5 項において評価を実施する。

表3. 2-1 評価条件を変動させた場合のコンテナの飛距離評価結果(暫定値)

変動項目	付番	サイズ(m)			質量(kg)	最大水平速度 <sup>※2</sup> M <sub>Vmax</sub> (m/s)	最大鉛直速度 <sup>※2</sup> M <sub>Vmax</sub> (m/s)	最大飛距離 <sup>※2</sup> (m)
		長さ	幅	高さ				
重量	1-1	6 <sup>※1</sup>	2.4 <sup>※1</sup>	2.6 <sup>※1</sup>	500	75.1	15.0	293
	1-2				1000	66.0	16.0	231
	1-3				2000	56.2	15.1	201
	1-4				2300 <sup>※1</sup>	54.4	14.3	191
	1-5				2500	53.4	13.5	182
	1-6				3000	50.3	12.1	159
	1-7				3500	48.0	9.37	139
	1-8				4000	46.0	8.44	118
	1-9				5000	40.4	7.52	76.5
	1-10				6000	32.6	6.32	52.1
高さ	2-1	6 <sup>※1</sup>	2.4 <sup>※1</sup>	2.6 <sup>※1</sup>	2300 <sup>※1</sup>	31.7	4.80	35.8
	2-2					51.2	10.3	151
	2-3					54.4	14.3	191
	2-4					55.9	15.7	206
	2-5					58.6	17.5	230
	2-6					59.9	18.3	244
	2-7					62.1	18.8	259
	2-8					64.2	19.2	262
	2-9					66.0	18.7	262
	2-10					67.3	18.2	262

※1 竜巻ガイド解説表 4.1 と同じ。

※2 評価ツール TONBOS ver 3 (電力中央研究所作成の評価ツール) を用いて評価。

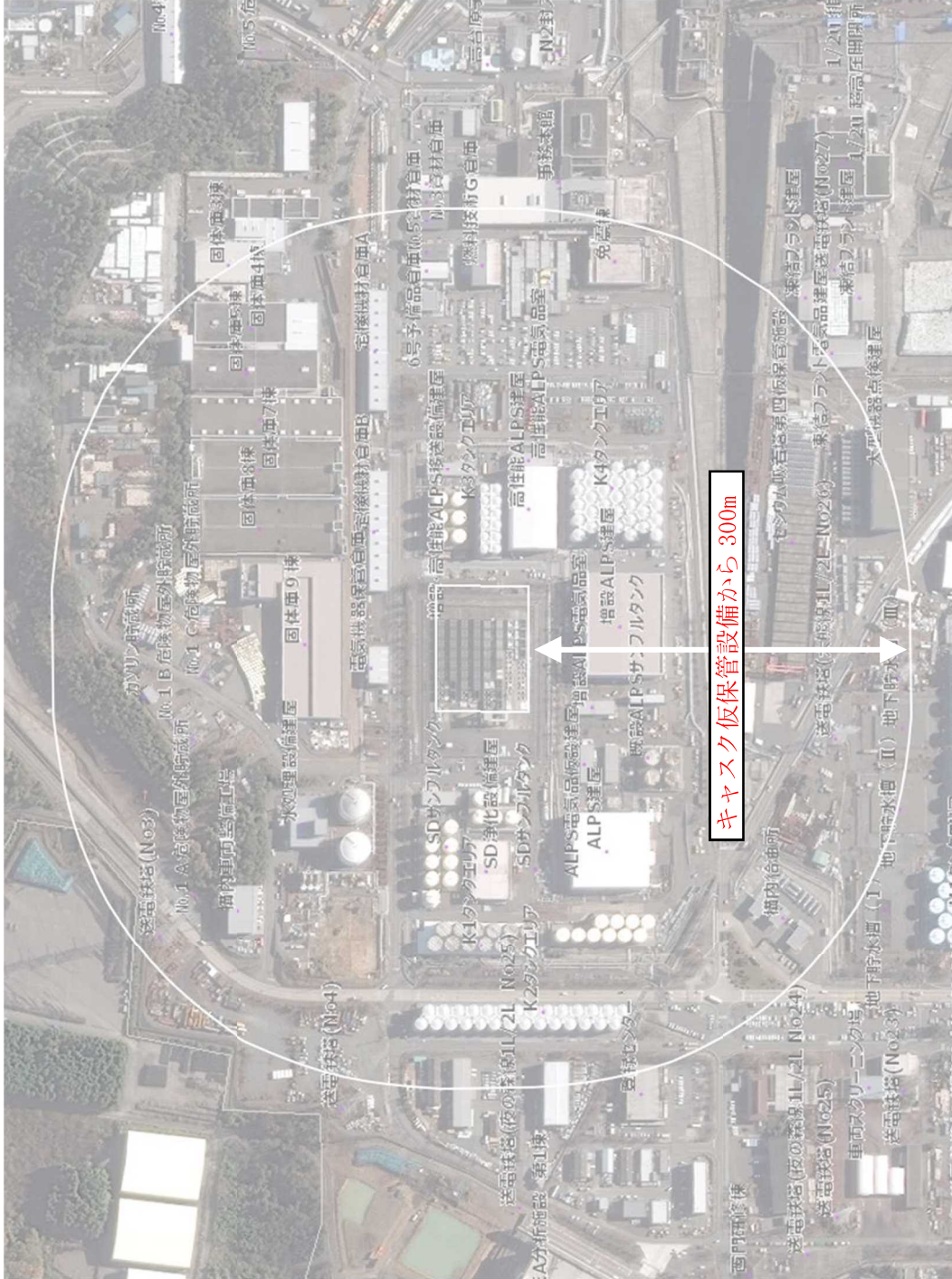


図3. 2-1 キャスク仮保管設備の周囲300m範囲（上空写真）





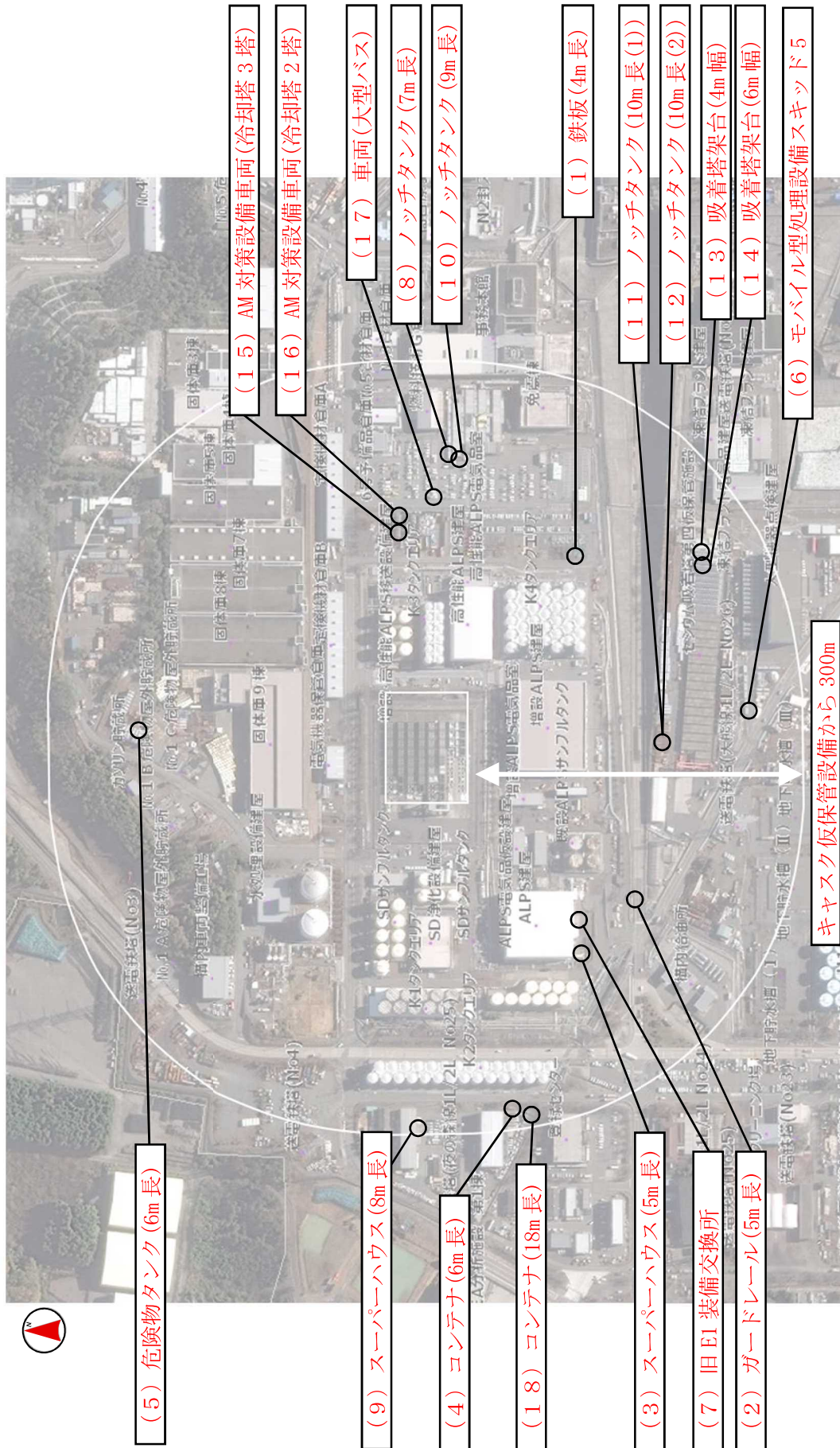


図3. 2-2 キヤスク仮保管設備の周囲の設計飛来物の設置場所 (上空写真)



(1) 鉄板(4m長)



(2) ガードレール(5m長)



(3) スーパーハウス(5m長)



(4) コンテナ(6m長)



(5) 危険物タンク(6m長)



(6) モバイル型処理設備スキッド5



(7) 旧E1 装備交換所



(8) ノッチタンク(7m長)



(9) スーパーハウス(8m長)



(10) ノッチタンク(9m長)



(11) ノッチタンク(10m長(1))



(12) ノッチタンク(10m長(2))

図3. 2-3 キヤスク仮保管設備の周囲の設計飛来物の写真 (1/2)



(13) 吸着塔架台(4m幅)



(14) 吸着塔架台(6m幅)



(15) AM 対策設備車両(冷却塔3塔)



(16) AM 対策設備車両(冷却塔2塔)



(17) 車両(大型バス)



(18) コンテナ(18m長)

図3. 2-3 キヤスク仮保管設備の周囲の設計飛来物の写真(2/2)

表 3. 2-2 設計飛来物について(暫定値)

飛来物の種類	サイズ(m) ***			質量(kg) ***	最大水平速度** $v_{Hmax}$ (m/s)	最大鉛直速度** $v_{Vmax}$ (m/s)	最大飛距離** (m)	キヤスク仮保管設備からの水平距離(m)	4,5項における評価対象物 ○：評価対象 —：対象外
	長さ	幅	高さ						
棒状物	銅製パイプ*1	2	0.05	8.4	0	0	0	—	—
	銅製材*1	4.2	0.2	135	15.0	1.35	9.83	—	○
板状物	コンクリート板*1	1.5	1	540	0	0	0	—	—
	コンテナ*1	6	2.4	2300	54.4	14.3	191	—	○
塊状物	トラック*1	5	1.3	4750	6.24	0.270	2.12	—	○
	鉄板(4m長)	3.95	3.95	490	31.6	4.97	13.3	149	—
塊状物	ガードレール(5m長)	5.00	0.300	542	35.8	5.45	40.7	165	—
	スパーハウス(5m長)	5.45	2.30	4,960	42.8	8.00	99.5	157	—
	コンテナ(6m長)	6.03	3.00	3,160	52.8	13.8	182	265	—
	危険物タンク(6m長)	6.06	2.44	3,530	46.6	16.4	184	212	—
	モバイル型処理設備スキッド5	6.45	2.41	12,400	24.6	3.71	33.6	254	—
	旧E1 装備交換所	7.15	4.80	2,840	60.8	16.4	226	131	○
	ノッチタンク(7m長)	7.35	2.30	5,800	34.1	6.40	54.2	209	—
	スパーハウス(8m長)	7.50	5.20	3,660	59.2	16.6	223	277	—
	ノッチタンク(9m長)	8.57	1.95	5,900	36.6	6.74	62.2	206	—
	ノッチタンク(10m長(1))	9.70	2.35	7,300	34.3	6.33	54.3	172	—
	ノッチタンク(10m長(2))	10.2	4.70	13,200	38.3	7.24	70.7	172	—
	吸着塔架台(4m幅)	10.6	3.98	11,300	28.4	4.41	38.2	241	—
	吸着塔架台(6m幅)	10.6	6.00	17,400	24.2	3.13	28.3	237	—
	AM対策設備車両(冷却塔3塔)	11.8	3.90	23,400	42.1	11.4	136	141	—
	AM対策設備車両(冷却塔2塔)	11.8	3.90	20,700	44.1	13.6	154	155	—
	車両(大型バス)	12.0	2.49	12,700	39.9	7.77	92.2	173	—
コンテナ(18m長)	18.0	8.80	18,800	53.0	15.4	196	270	—	

※1 サイズおよび質量は竜巻ガイド解説表 4.1 と同じ。

※2 評価ツール TONBOS ver 3 (電力中央研究所作成の評価ツール) を用いて評価。

## 4 安全機能維持評価

### 4.1 評価部位

竜巻飛来物との衝突事象において、キャスクの安全機能を担保する構成部材が損なわれな  
いことを確認する。キャスクの安全機能を担保する構成部材を表4. 1に示す。

表4. 1 キャスクの安全機能に影響する部位

評価部位	主要な安全機能	安全機能の内容	許容基準
一次蓋	閉じ込め機能 遮蔽機能	・ 密封境界を構成する部位である ・ 主要なガンマ線遮蔽体及び中性子遮蔽体の保持機能を有する	おおむね弾性範囲に留まること
一次蓋密封シール部	閉じ込め機能	・ 密封境界を構成する部位である	同上
一次蓋締付けボルト	閉じ込め機能	・ 密封境界を構成する部位である	同上
二次蓋	遮蔽機能	・ 主要なガンマ線遮蔽体の一つである	同上
外筒	遮蔽機能 除熱機能	・ 中性子遮蔽材であるレジンを保持する部位であり、かつ、伝熱部材である伝熱フィンが取り付けられる部位である	同上
バスケット	臨界防止機能	・ 使用済燃料の幾何学的配置を維持し、臨界を防止する部位である	臨界防止機能に影響する変形が生じないこと

### 4.2 衝突荷重評価

表3. 2-2で示された設計飛来物がキャスクと衝突した際に発生する衝突荷重を評価する。ここでは、設計飛来物に対し、キャスクが十分に剛であると見なして評価する。設計飛来物による衝突荷重は、建築物の耐衝撃設計の考え方<sup>(2)</sup>に記載の方法を参考に、以下の設計飛来物の圧壊挙動を無視したRieraの式<sup>(3)</sup>を使用する。ここでは、

$$P(t) = P_b[x(t)] + \mu[x(t)]v^2(t) \quad (1)$$

ここで、

$P(t)$  : 衝突荷重(N)

$P_b(x)$  : 先端から距離  $x$  における圧潰力(N)

$\mu(x)$  : 先端から距離  $x$  における単位長さ当たりの質量(kg/m)

$v(t)$  : 時刻  $t$  における衝突速度(m/s)

である。

航空機の衝撃試験に関する報告書によれば、機体の破壊強度が衝撃荷重に与える影響は比較的小さく、質量の慣性力が支配的となり、衝突荷重の時刻歴の形状は、機体の質量分布に

依存する<sup>(2)</sup>。同様に考え、式(1)の第1項を無視できるとすると、式(1)は次のように求められる。

$$P(t) = \mu[x(t)]v^2(t) \quad (2)$$

ここで、飛来物の質量分布が長さLにわたって一定とし、さらに衝突速度が一定（衝突荷重の時刻歴を矩形波として近似）と仮定すると、式(2)は次のように求められる。

$$P = \frac{m}{L}v^2 \quad (3)$$

ここで、

m：飛来物の質量(kg)

L：飛来物の衝突方向長さ(m)

である。

一方、設計飛来物の質量分布を考慮して、質量分布の形状に三角形を仮定した場合、式(2)は次のように求められる。

$$P = \frac{2m}{L}v^2 \quad (4)$$

表3. 2-2に示す設計飛来物の条件を用いて衝突荷重を求める。本評価では、設計飛来物の質量が大きく、設計飛来物の構造上、質量分布を無視できないコンテナ、及びトラックおよび旧E1 装備交換所については、式(4)を用いて衝突荷重を評価し、質量分布が比較的一様と想定されるそれ以外の飛来物については、式(3)を用いて衝突荷重を評価する。衝突荷重の計算結果を表4. 2-1に示す。

当該衝突荷重は、核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（外運搬規則）の技術上の要件である一般の試験条件（以下「一般の試験条件」という。）においてキャスクに作用する設計荷重（0.3 m 水平落下時）より小さいため、キャスクの安全機能は維持される。

表4. 2-1 衝突荷重の計算結果(暫定値)

飛来物の種類	評価結果	許容基準
	衝突荷重 P (MN)	作用する荷重(MN)
鋼製パイプ	0.00	25.8 <sup>**3</sup>
鋼製材	0.151 0.15	
コンタリート板	0.00	
コンテナ	5.67 5.66 <sup>*1</sup>	
コンテナ (竜巻による荷重を考慮)	5.74 <sup>**2</sup>	
トラック	0.284 0.28 <sup>*1</sup>	
旧 E1 装備交換所	6.99 <sup>*1</sup>	
旧 E1 装備交換所 (竜巻による荷重を考慮)	7.07 <sup>**2</sup>	

※1 式(4)を用いて衝突荷重を算出。

※2 竜巻による荷重のうち、風圧力による荷重は以下の式を用いて求め(0.08(MN) (暫定値))、コンテナの衝突荷重に考慮した。なお、キャスクの構造強度評価は、キャスクの外部とキャスク本体内部の気圧差を包絡できる胴内圧条件で評価を行うことから、気圧差による荷重は考慮しない。

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

ここで、

$W_w$  : 風圧力による荷重(N)

$q$  : 設計用速度圧(kg/(m・s<sup>2</sup>))  $q = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2$

$G$  : ガスト影響係数 (= 1.0<sup>\*4</sup>)

$C$  : 風力係数 (= 1.0<sup>\*5</sup>)

$A$  : 受圧面積(= 13.20<sup>\*6</sup> m<sup>2</sup> (暫定値))

$\rho$  : 空気の密度(= 1.22<sup>\*7</sup> kg/m<sup>3</sup>)

$V$  : 設計竜巻の最大風速(= 100 m/s)

※4 竜巻の最大風速は最大瞬間風速であり、1.0とする。

※5 建築物荷重指針・同解説(2015)<sup>(4)</sup>に示される円形平面への風力係数である。

※6 キャスクの水平方向に垂直な平面への投影面積である。

※7 建築物荷重指針・同解説(2015)<sup>(4)</sup>に示される空気の密度である。

※3 一般の試験条件(0.3 m 水平落下時)のキャスクに作用する設計荷重を許容基準とする。キャスク仮保管設備において設置するキャスクと同じ構造である HDP-69B 型(2A)の核燃料輸送物設計承認申請書別紙(平成30年7月20日申請)(SAR)より設計荷重の考え方を以下に示す。

0.3m 水平落下時の衝撃加速度の検討条件として、輸送物の落下エネルギーの計算結果を表4.2-2に示す。落下エネルギーは以下の式を用いて求める。

$$E_k = m \cdot g \cdot H$$

ここで、

$E_k$  : 輸送物の落下エネルギー (N・mm)

$m$  : 輸送物最大総重量 (kg)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$H$  : 落下高さ (mm)

表4.2-2 輸送物の落下エネルギー<sup>\*8</sup>

項目	輸送物最大総重量 m(kg)	重力加速度 g(m/s <sup>2</sup> )	落下高さ H(mm)	輸送物の落下エネルギー E <sub>k</sub> (N・mm)
数値	1.318×10 <sup>5</sup>	9.80665	300	3.88×10 <sup>8</sup>

※8 核燃料輸送物設計承認申請書別紙(SAR) (口)-第A.17表

輸送物の落下エネルギーは緩衝体の弾塑性変形によって全て吸収されるものと仮定し、衝撃力について CRUSH コードを用いて計算した結果を表 4. 2-3 に示す。SAR において、解析で得られた衝撃加速度に余裕を持たせた設計加速度  $G_D$  を設定し、キャスクの安全機能の評価を実施している。設計加速度の大きさに対応する力の大きさが設計荷重である。加速度と衝撃力は以下の式の関係である。

$$G = \frac{F}{m}$$

ここで、

$G$  : キャスクに作用する加速度 ( $m/s^2$ )

$F$  : 衝撃力 (N)

$m$  : 輸送物重量 (kg)

表 4. 2-3 自由落下試験時の衝撃加速度(暫定値)

落下姿勢	衝撃力 $F$ (N) ※9	衝撃加速度 $G_A$ ( $m/s^2$ ) ※9	設計加速度 $G_D$ ( $m/s^2$ ) ※9	設計荷重 (MN)
水平落下	$2.22 \times 10^7$	169	196	25.8

※9 核燃料輸送物設計承認申請書別紙 (SAR) (ロ)-第 A. 18 表と同じ

#### 4.3 竜巻荷重による加速度評価 ~~キャスクに発生する慣性力(加速度)について~~

竜巻荷重がキャスクに作用して加速度が生じた場合、キャスクの安全機能を構成する部位(表 4. 1 参照)には加速度による慣性力が作用する。この時の慣性力は、加速度の大きさに依存するため、キャスクに作用する加速度が、外運搬規則の技術上の要件である 0.3 m 落下時の評価の設計条件として用いる設計加速度よりも小さく、キャスクに設計加速度が作用してもキャスクの安全機能を構成する評価部位が損なわれないことを確認する。また、閉じ込め機能の維持の観点から、衝突荷重による慣性力によって一次蓋の横ずれが生じないことを確認する。

##### a. 評価方法

加速度の算出には、キャスクの質量及び竜巻荷重から、以下のように求める。竜巻荷重については、表 4. 2-1 の中で、最も衝突荷重の大きい旧 E1 装備交換所 ~~コンテナ~~ の値を用いる。

$$G = \frac{Q}{m} \quad (5)$$

ここで、

$G$  : キャスクに作用する加速度 ( $m/s^2$ )

$Q$  : 竜巻荷重 (N)



(=  $7.07 \times 10^6$  (暫定値)  ~~$5.74 \times 10^6$~~  (N) : 竜巻による荷重を考慮した旧 E1 装備交換所  
コンテナの衝突荷重)

m : キャスクの質量 (kg)

(=  $1.183 \times 10^5$  (kg) : 設計値)

式(5)によって算出した加速度による慣性力が一次蓋に作用し、一次蓋とフランジとの接触面には、一次蓋のフランジへの押し付け力によって慣性力と反対方向に摩擦力が作用する。一次蓋に作用する慣性力は、一次蓋の質量及び加速度から、以下のように求める。

$$F=MG \quad (6)$$

ここで、

F : 一次蓋に作用する慣性力 (N)

M : 一次蓋の質量 (kg)

また、一次蓋とフランジの間に作用する摩擦力の算出には、以下の式を用いる。

$$f=F_L\mu \quad (7)$$

ここで、

f : 一次蓋とフランジの間に作用する摩擦力 (N)

$F_L$  : 一次蓋のフランジ部への押し付け力 (N)

$$F_L=F_B \times n$$

$F_B$  : 一次蓋締付けボルトの初期締め付け力 (N)

n : ボルト本数 (-)

$\mu$  : 一次蓋とフランジの間の摩擦係数 (-)

#### b. 許容基準

表4. 1で示した安全機能に影響する部位について、竜巻荷重により発生する加速度が、一般の試験条件の加速度よりも小さいことを確認することで、評価部位の安全機能が損なわれないことを確認する。なお、伝熱フィンについては、水平落下において外筒の構造健全性が維持されれば、伝熱フィンへの影響はないことから、外筒の評価で代表する。また、バスケットについては、塑性変形が生じる場合は変形状態を臨界解析で考慮することとしている。一次蓋の横ずれについては、慣性力に対して摩擦力が大きいことで、横ずれが発生しないことを確認する。

#### c. 評価結果

竜巻荷重により発生する加速度を表4. 3-1に示す。竜巻荷重によりキャスクに発生する加速度は、一般の試験条件の加速度よりも小さいことから、バスケット以外の評価部位はおおむね弾性範囲に留まり、また、バスケットについても、応力強さが設計降伏点よりも小さいため、塑性変形は生じない。

以上より、安全機能に影響する部位は、許容基準を満足しており、安全機能が損なわれる

おそれはない。

表 4. 3-1 竜巻荷重の加速度の評価結果(暫定値)

評価条件		評価結果	許容基準
竜巻荷重(MN)	貯蔵時の質量(t)	加速度(m/s <sup>2</sup> )	設計加速度 <sup>※1</sup> (m/s <sup>2</sup> )
7.07 <del>5.74</del>	118.3	59.8 <del>49</del>	196

※1 一般の試験条件の 0.3 m 水平落下と垂直落下時の加速度のうち、小さい値を選択。

一次蓋に作用する慣性力を表 4. 3-2 に、摩擦力を表 4. 3-3 に示す。一次蓋とフランジとの間に作用する摩擦力  $1.95 \times 10^6$  N は、一次蓋に作用する慣性力  $2.22 \times 10^5$  N(暫定値)  ~~$1.82 \times 10^5$  N~~ より大きく、一次蓋の横ずれは発生しない。

表 4. 3-2 一次蓋に作用する慣性力(暫定値)

評価条件		評価結果
一次蓋の質量(kg)	加速度(m/s <sup>2</sup> )	慣性力(N)
3700	59.8 <del>49</del>	$2.22 \times 10^5$ <del><math>1.82 \times 10^5</math></del>

表 4. 3-3 摩擦力

評価条件			評価結果
一次蓋締付けボルトの初期締付力(N)	ボルト本数(-)	摩擦係数(-)	摩擦力(N)
$2.9 \times 10^5$	48	0.14 <sup>※1</sup>	$1.95 \times 10^6$

※1 炭素鋼と炭素鋼の接触部の摩擦係数を使用。JNES の金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書<sup>※2※3</sup>では、キャスクの落下試験の事後解析結果がまとめられている。蓋部の現実的なモデル化には、摩擦係数を設定する必要があるが、炭素鋼と炭素鋼の接触部の摩擦係数を 0.14 と設定することで、蓋部の挙動を再現できる旨、金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書に記載されていることから、キャスクの炭素鋼同士の接触部の摩擦係数は 0.14 を使用している。

※2 (一財)原子力発電技術機構,「平成 14 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験)報告書」(平成 15 年 3 月)

※3 (独)原子力安全基盤機構,「平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書」(平成 16 年 6 月)

## 5 キャスクの損傷評価

### 5.1 評価部位

キャスクの安全機能維持に係る部材かつ、竜巻飛来物が直接衝突する部位について、竜巻荷重が作用したとしても安全機能が損なわれないことを確認する。評価部位を表5.1に示す。

#### a. フランジ部

フランジ部は、密封境界を構成する部位であり、主要なガンマ線遮蔽体の一つである。遮蔽機能及び閉じ込め機能に必要な部位であるため、フランジ部がおおむね弾性状態に留まる範囲で耐えることを確認する。許容基準には、一般の試験条件（0.3 m 水平落下時）の設計加速度及び設計荷重を用いる。

荷重の作用範囲を図5.1(a)に示す。フランジ部の許容基準は、0.3 m 水平落下時の評価で用いる設計荷重（輸送用緩衝体からの反力）及びフランジ部に設計荷重が作用した時の応力とする。荷重については、式(3)、(4)を用いて算出した設計飛来物による衝突荷重と設計荷重を比較する。また、応力については設計荷重（輸送用緩衝体からの反力）とその作用範囲から算出した応力と設計飛来物による衝突荷重と衝突を想定したフランジ部の寸法を考慮した上で、設計飛来物の衝突面積から算出した応力を比較する。さらに、設計飛来物のうち、最も衝突荷重の大きい旧E1 装備交換所 ~~コンテナ~~の値に、竜巻による荷重を考慮しても許容基準を満足することを確認する。

#### b. 二次蓋

二次蓋は、主要なガンマ線遮蔽体の一つであり、圧力監視境界を構成する。遮蔽機能及び閉じ込め機能に必要な部位であり、破断した場合、遮蔽機能に影響を及ぼすため、飛来物の衝突による二次蓋の破断の有無を評価する。評価にあたっては、鋼板の貫通限界厚さの評価式であるBRL(Ballistic Research Laboratory)式(8)を使用し、貫通限界厚さと二次蓋の厚さを比較する。荷重の作用範囲を図5.1(b)に示す。

#### c. 外筒

外筒は、閉じ込め機能を構成する部材ではないが、その内側に中性子吸収材及び伝熱フィンを支持する構造であることから、遮蔽機能と除熱機能を維持する部位である。外筒は、破断した場合遮蔽機能と除熱機能に影響を及ぼすため、飛来物の衝突による外筒の破断の有無をb.項と同様に確認する。荷重の作用範囲を図5.1(c)に示す。

表 5. 1 評価部位について

評価部位 <sup>※1</sup>	主要な安全機能	安全機能の内容	許容基準
フランジ部	遮蔽機能 閉じ込め機能	・密封境界を構成する部位である。 ・主要なガンマ線遮蔽体の一つである。	フランジ部がおおむね弾性範囲に留まること <sup>※2</sup> 。
二次蓋	遮蔽機能	・主要なガンマ線遮蔽体の一つである。	破断しないこと <sup>※3</sup> 。
外筒	遮蔽機能 除熱機能	・中性子遮蔽材であるレジンを保持する部位であり、かつ、伝熱部材である伝熱フィンが取り付けられる部位である。	同上 <sup>※3</sup> 。

※1 一次蓋，一次蓋締付けボルト及びバスケットについては，竜巻荷重が直接作用することはないため，安全機能が損なわれることはない。

※2 外運搬規則の技術上の要件である 0.3 m 水平落下時にキャスクに生じる荷重及び応力以下であれば，密封境界を構成する部位はおおむね弾性範囲に留まり，キャスクの閉じ込め機能，遮蔽機能が損なわれることはない。

※3 想定される設計飛来物が二次蓋と外筒に衝突しても，二次蓋と外筒が十分な厚さを有していれば，二次蓋と外筒が破断することはなく，キャスクの遮蔽機能，除熱機能が損なわれることはない。

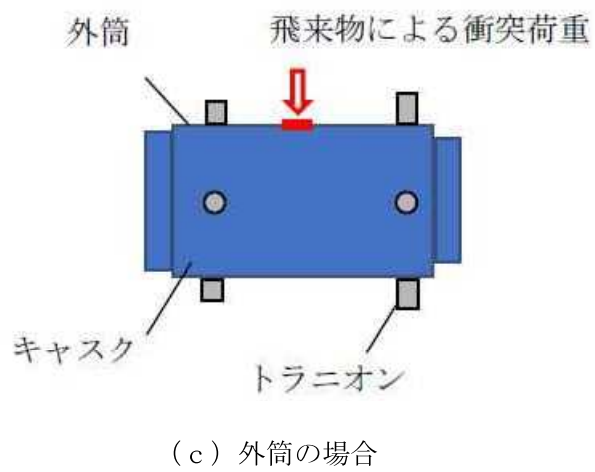
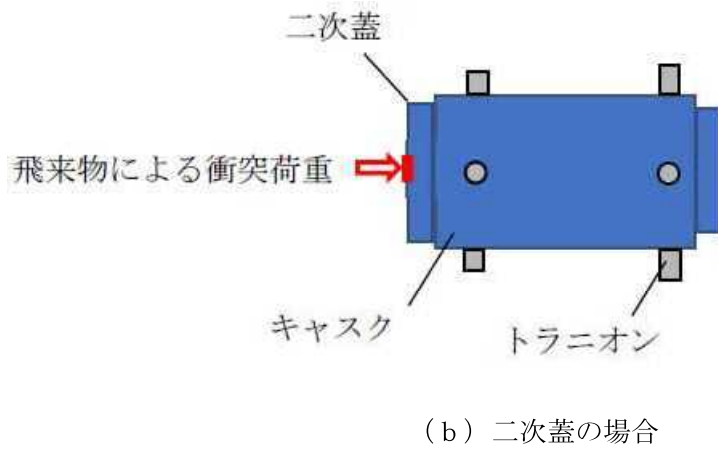
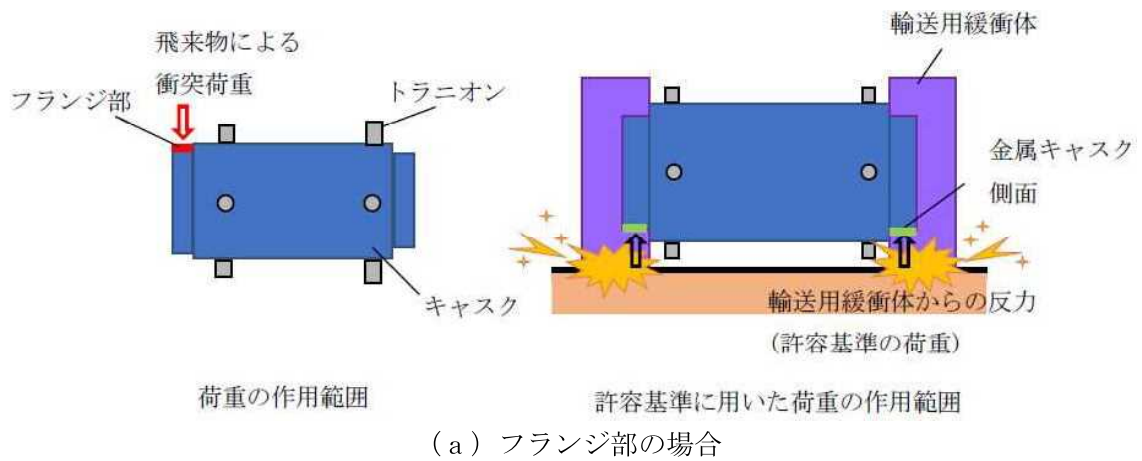


図5.1 荷重の作用範囲と評価部位

## 5.2 フランジ部の評価

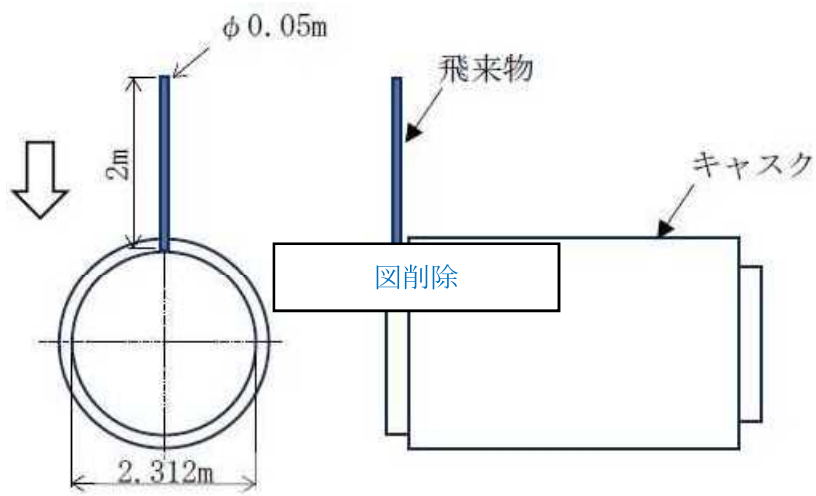
竜巻荷重作用時において、フランジに発生する応力評価を行った。計算条件を表5. 2-1に示す。飛来物の衝突方向は、飛来物を表3. 2-2の寸法を有する直方体または円柱とした場合に、想定される複数の衝突の方向のうち、最も衝突荷重が大きくなる方向とした。各飛来物とキャスクの位置関係を図5. 2-1に示す。また、**外運搬規則の技術上の要件である特別の試験条件** 9m 水平落下時における上部緩衝体反力の作用範囲を図5. 2-2に示し、図5. 2-3に飛来物の衝突面積  $S$  の設定に関する考え方を示す。図5. 2-1 (a) (b) (c) (d) ~~(e)~~ のようにフランジ部の図5. 2-2の範囲に収まらないサイズの飛来物については、評価が保守的となるよう、図5. 2-2の範囲内に衝突荷重がかかるとして評価した。

衝突荷重は、4.2項で示した Riera の式を用いて算出する。Riera の式は飛来物が被衝突物との衝突後、完全に潰れきるまでの衝撃力を算出する計算式である。図5. 2-1 (b) (c) (d) ~~(e)~~ に示したように、飛来物の図心がフランジ部より大きく離れているケースについては、フランジとの衝突直後に回転挙動を示し、回転落下すると考えられることから、飛来物が完全に潰れきることは考えにくい。このため、Riera の式を用いた衝突荷重評価は保守的な評価であると言える。飛来物の速度は表3. 2-2で示された最大水平速度と最大鉛直速度のうち、大きい方の値を選択した。

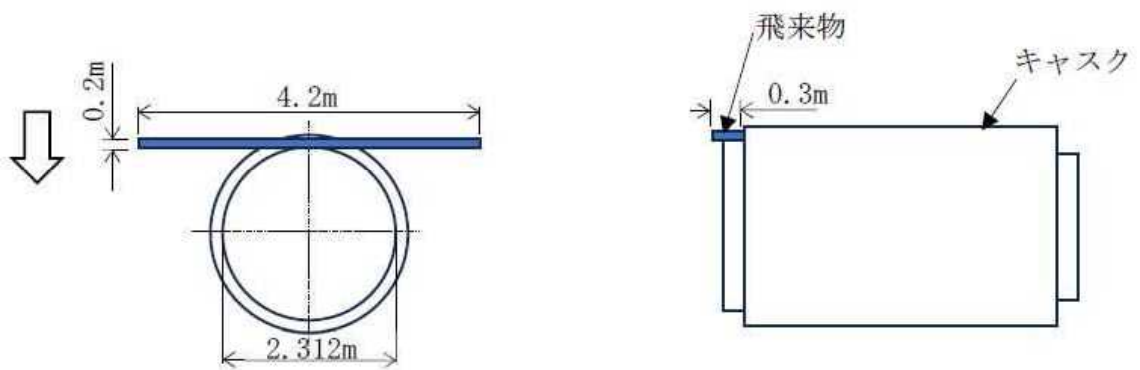
計算結果を表5. 2-2に示す。設計飛来物による衝突荷重及び応力は、竜巻による荷重を考慮しても、許容基準を下回り、フランジ部はおおむね弾性状態に留まる。したがって、竜巻荷重が作用した場合でも、キャスクの遮蔽機能及び閉じ込め機能が損なわれることはない。

表5. 2-1 飛来物の衝突荷重の計算条件(暫定値)

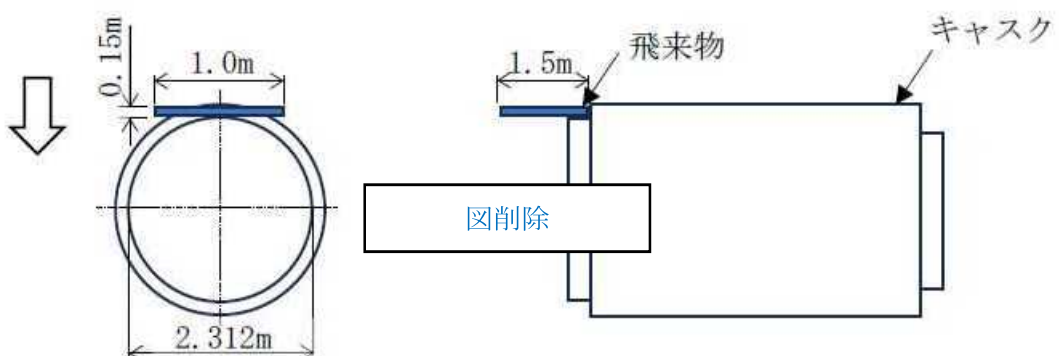
飛来物の種類	質量 m (kg)	長さ L (m)	速度 v (m/s)	飛来物の衝突面積 $S$ (m <sup>2</sup> )
鋼製パイプ	<del>8.4</del>	<del>2</del>	<del>0</del>	<del>0.002</del>
鋼製材	135	0.2	15.0	0.777 <del>0.78</del>
コンクリート板	<del>540</del>	<del>0.15</del>	<del>0</del>	<del>0.23</del>
コンテナ	2300	2.4	54.4	0.777 <del>0.78</del>
トラック	4750	1.3	6.24	0.777 <del>0.78</del>
旧 E1 装備交換所	2840	3.00	60.8	0.777



(a) 鋼製パイプとの衝突

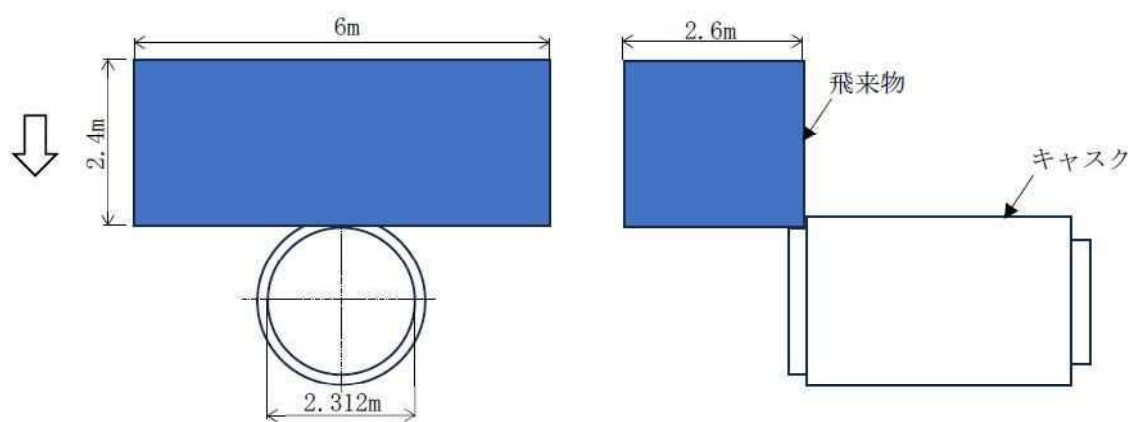


(a)-(b) 鋼製材との衝突

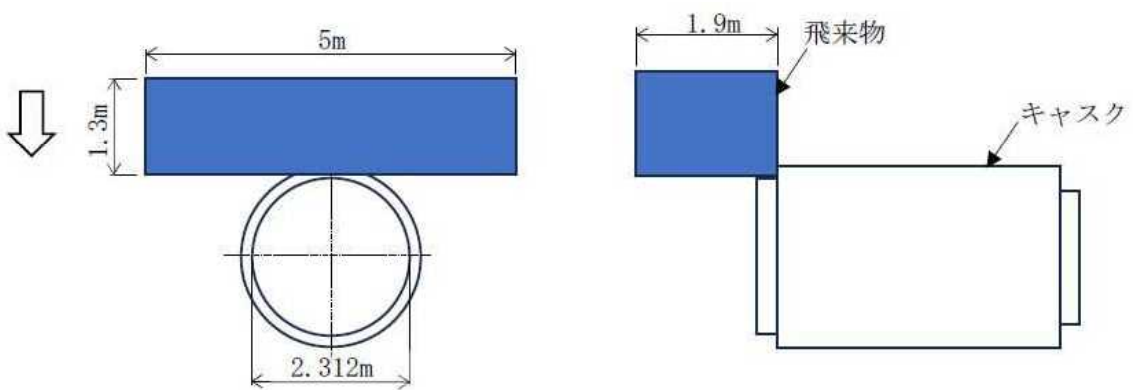


(c) コンクリート板との衝突

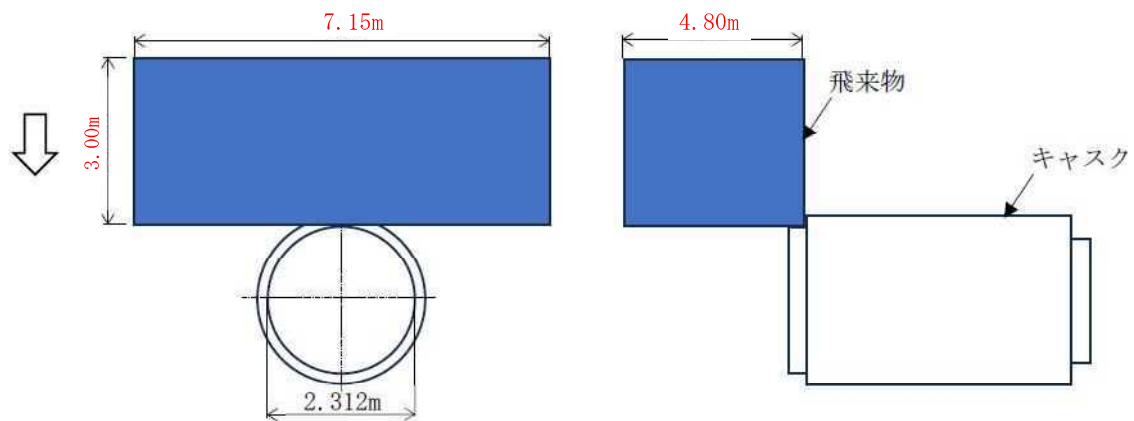
図5. 2-1 各飛来物の衝突姿勢 (1/2)



(b)-(d) コンテナとの衝突



(c)-(e) トラックとの衝突



(d) 旧 E1 設備交換所との衝突

図 5. 2-1 各飛来物の衝突姿勢 (2 / 2)



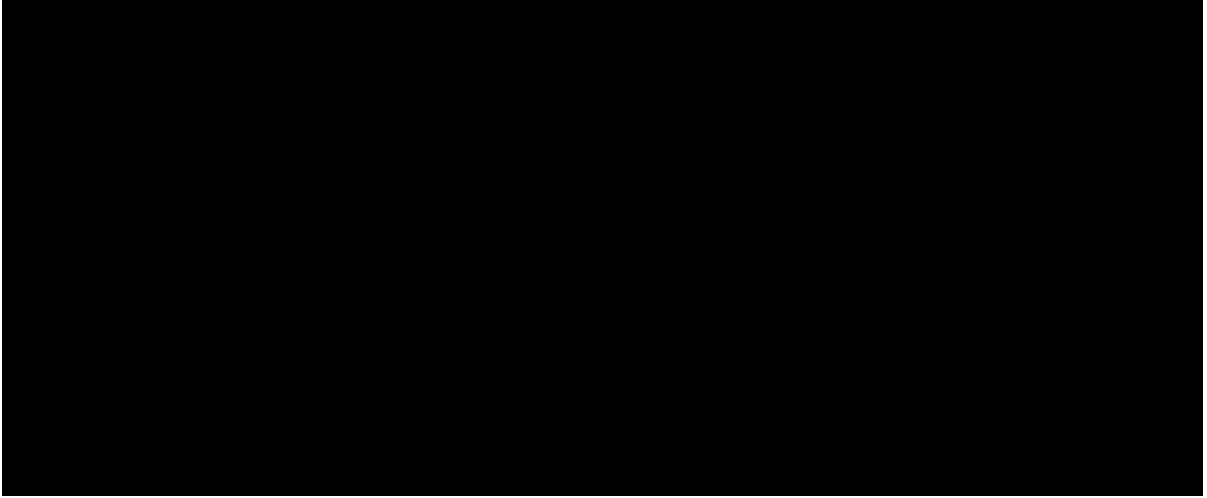
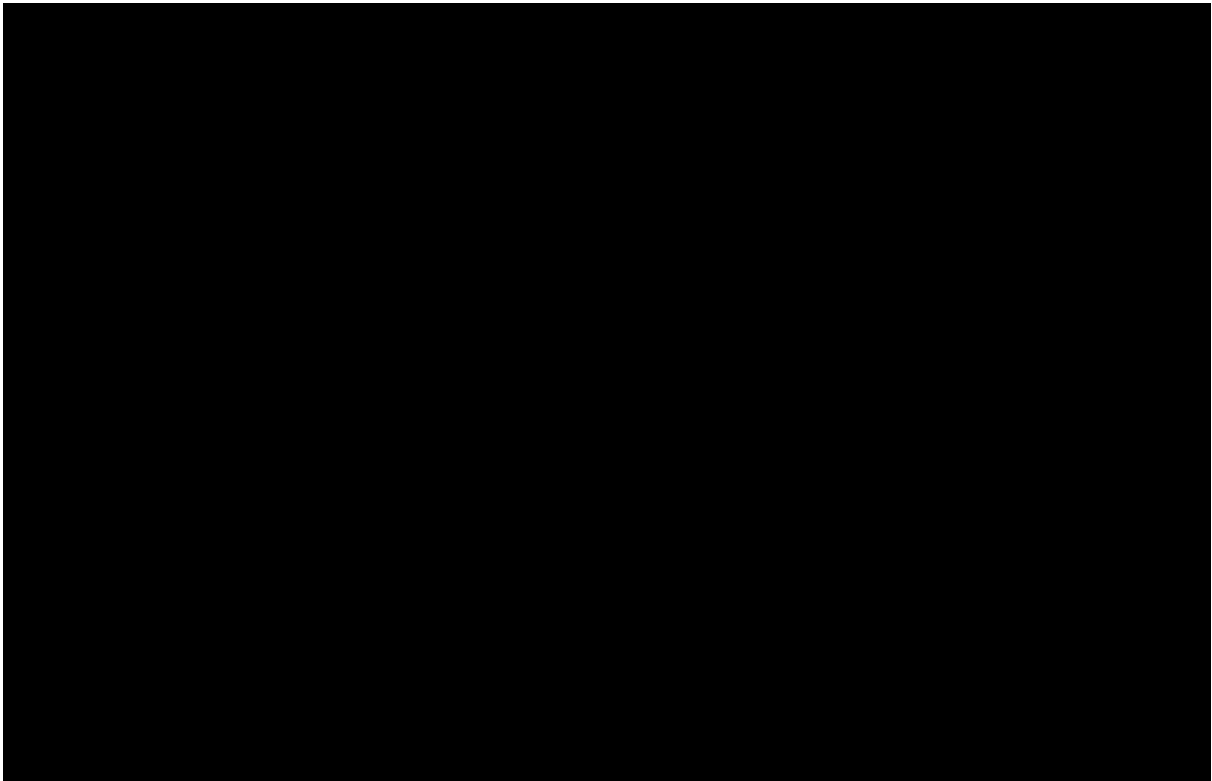
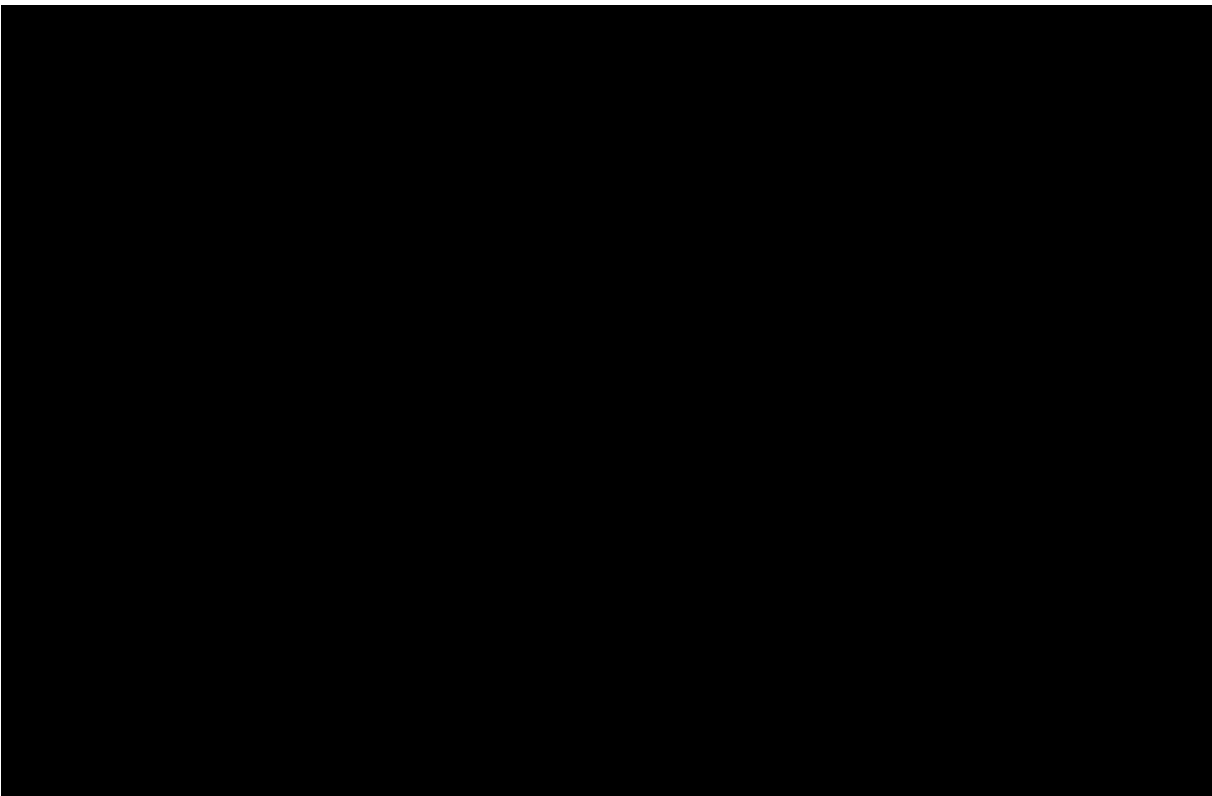


図 5. 2 - 2 9m 水平落下時における上部緩衝体反力の作用範囲



(a) 飛来物：鋼製材の場合



~~(b) 飛来物：コンクリート板の場合~~

図5. 2-3 飛来物の衝突面積について

表 5. 2-2 飛来物の衝突荷重および応力の計算結果(暫定値)

飛来物の種類	評価結果		許容基準		評価結果 備考
	衝突荷重 <sup>※1</sup> P (MN)	応力 <sup>※2</sup> (MPa)	作用する 荷重 (MN)	応力 (MPa)	
鋼製パイプ	0.00	0.00	25.8 <sup>※1</sup>	24.18 <sup>※3</sup>	おおむね弾性 範囲に留まる ことを確認
鋼製材	0.151 0.15	0.194 0.19			
コンクリート板	0.00	0.00			
コンテナ	5.67 5.66	7.29 7.26			
コンテナ (竜巻による荷重を考慮)	5.74	7.36			
トラック	0.284 0.28	0.366 0.36			
旧 E1 装備交換所	6.99	9.00			
旧 E1 装備交換所 (竜巻による荷重を考慮)	7.07	9.10			

※1 表 4. 2-1 と同じ値

※2 評価部位に設計飛来物の衝突荷重が作用した時の応力

※3 0.3 m 水平落下時のキャスクに作用する荷重

設計荷重 25.8MN を ~~0.3m 9m~~ 水平落下時の緩衝体反力作用範囲面積で割ることで算出。~~作用範囲面積は保守的に許容基準応力の小さくなる、面積の広い 9m 水平落下時の面積を用いる。~~以下の式を用いて求める。

$$\text{応力 (MPa)} = \text{作用する荷重 (MN)} / \text{面積 (mm}^2\text{)}$$

### 5.3 二次蓋，外筒の貫通評価

鋼板の限界貫通厚さに関する評価式である BRL 式として，以下の式を用いて，限界貫通厚さを求め，二次蓋および外筒の厚さと比較する。限界貫通厚さ評価の計算条件および計算結果を表 5. 3 に示す。限界貫通厚さは，最大 6.30 mm (暫定値) であり，二次蓋，外筒が破断することはない。したがって，キャスクの遮蔽機能及び除熱機能が損なわれることはない。

$$t^{3/2} = \frac{0.5 \times m \times v^2}{1.4396 \times 10^9 \times K^2 \times d^{3/2}} \quad (8)$$

ここで，

t : 鋼板の限界貫通厚さ (m)

m : 飛来物の重量 (kg)

v : 飛来物の速度 (m/s)

d : 飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 (m)

(飛来物の投影面積が  $S_2(m^2)$  の時,  $S_2 = \pi \times d^2 / 4$ )

K : 鋼板の等級に関わる係数 (= 1.0)

表 5. 3 二次蓋, 外筒の限界貫通厚さの計算条件及び計算結果 (暫定値)

飛来物の種類	計算条件				限界貫通 厚さ (mm)	二次蓋 の厚さ (mm)	外筒 の厚さ (mm)
	質量 <sup>*1</sup> m (kg)	速度 <sup>*1</sup> v (m/s)	投影面積 $S_2(m^2)$	直径 d (m)			
鋼製パイプ	8.4	0	0.0025	0.050	0	134	20
鋼製材	135	15.0	0.0600	0.277	1.74		
コンクリート板	540	0	0.15	0.438	0		
コンテナ	2300	54.4	6.24	2.82 <del>2.819</del>	6.30		
トラック	4750	6.24	2.47	1.78 <del>1.774</del>	0.904 <del>0.91</del>		
旧 E1 装備交換所	2840	60.8	14.4	4.29	5.53		

※1 表 5. 2-1 と同じ値

## 6 まとめ

竜巻ガイドを踏まえた設計飛来物およびキャスク仮保管設備の周囲の設計飛来物に対するキャスク単体の構造における安全機能維持評価を実施した。設計飛来物がキャスクに衝突した際に発生する最大衝突荷重は 7.07MN (暫定値) ~~5.74 MN~~ (飛来物: 旧 E1 装備交換所 ~~コンテナ~~) (竜巻による荷重を考慮) である。当該荷重がキャスクに作用した際に発生する慣性力 (加速度) を評価した結果, 外運搬規則の一般の試験条件 (0.3m 水平落下) の設計加速度を大幅に下回ることから, 安全機能は維持される。また, 飛来物と直接衝突するフランジ部, 二次蓋及び外筒は, 各飛来物が各部位に衝突した場合の損傷評価を行い, 判定基準を満足し, 安全機能が維持されることを確認した。

## 7 参考文献

- (1) 原子力規制委員会, 「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」, 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 13061911 号 ~~平成 30 年 1 月 2 8 日 原規技発第 1812177 号~~.
- (2) 日本建築学会, 「建築物の耐衝撃設計の考え方」 (2015 年 1 月).
- (3) Jorge D. Riera, “On the Stress Analysis of Structures Subjected to Aircraft Impact Forces”, Nuclear Engineering and Design 8, 415-426(1968).
- (4) 日本建築学会, 「建築物荷重指針・同解説(2015)」 (2019 年 10 月)
- (5) (一財)電力中央研究所, 「竜巻飛来物を模擬した重錘の鋼板上への自由落下衝突試験による鋼板貫通評価手法の提案」 平成 27 年 10 月

以上

## 竜巻影響評価におけるフジタモデルの適用について

## 1. 竜巻影響評価の風速場モデルについて

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（以下「竜巻ガイド）」を参照し竜巻影響評価を行う上で、設計飛来物の飛来速度を設定するための風速場モデルを選定する必要がある。これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとして、米国 NRC の基準類に記載されている「ランキン渦モデル」及び原子力安全基盤機構の調査研究報告書に記載されている「LES(Large-eddy simulation)」の数値解析があるが、当社の竜巻影響評価においては、地面におかれた物体への影響をよく表現できている風速場モデルとしてフジタの竜巻工学モデル DBT-77 (DBT : Design Basis Tornado) を選定する。

## 2. フジタモデルの概要

フジタモデルは、米国 NRC の実際の竜巻風速場をモデル化したいという要望により、藤田博士が 1978 年に竜巻観測記録をもとに考案した工学モデルである。モデル作成に当たっては、1974 年 8 月に米国カンザス州 Ash Valley 等で発生した竜巻の記録ビデオ画像の写真図化分析を行い、竜巻の地上痕跡調査、被災状況調査結果と照合することで風速ベクトルを作成し、そのベクトル図をもとに作成した流線モデルから、竜巻風速場を代数式で表現している。

フジタモデルの特徴は、地表面付近における竜巻中心に向かう強い水平方向流れ、及び外部コアにおける上昇流といった、実際の竜巻風速場をよく表現している点にある。

## 3. ランキン渦モデルの概要

ランキン渦モデルは、米国 NRC ガイドでも採用されており、設計竜巻の特性値を設定する際に用いられている。しかし、米国で開発された飛来物速度用のランキン渦モデルは竜巻中心に向かう半径方向風速と上昇速度を特別に付加している。そのため、流れの連続の式（質量保存式）を満たしておらず、地面から吹き出しが生じるような流れとなっており、地上からの物体の浮上・飛散を現実的に模擬することができない。ランキン渦モデルを用いて飛散評価を行う場合、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定して評価することになる。

## 4. モデルの比較

それぞれの風速場モデルの特徴の比較を表 1 に示す。またフジタモデルとランキン渦モデルの風速場構造の比較を図 1 に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含め、より実際の竜巻風速場に即した形で表現されており、地上からの物体の浮上・飛散解析が可能となっていることがフジタモデルの大きなメリットとなっている。それに対し、ラン

キン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的良好に表現できていると言えるものの、地上付近では実現象と乖離しており、地上からの飛散挙動は解析するに適切でない。フジタモデルは特に問題となる点もないことから、竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考えられる。

表1 フジタモデルとランキン渦モデルの特徴の比較

モデル	使用実績	特徴	問題点
フジタモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・竜巻飛来物設計速度，飛散高さに関する米国DOE重要施設的设计基準作成に利用されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実観測に基づいて考案されたモデルであり，実際に近い風速場構造を表現している。</li> <li>・比較的簡易な代数式により風速場を表現できる。</li> <li>・流体の連続式を満たす定式化。</li> <li>・地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特になし。</li> <li>（ランキン渦モデルと比較すると，解析モデルが複雑になるが，計算能力の向上，および評価ツールの高度化により問題とされない）</li> </ul>
ランキン渦モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国NRC Regulatory Guide 1.76で採用されている。</li> <li>・竜巻ガイド（設計竜巻の特性値の設定）で例示されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風速場に高度依存性がなく，上昇流が全領域に存在する。（地面からも吹き出しがある）ため，実現象から乖離。</li> <li>・地上からの飛散挙動を改正するには適切でない。</li> </ul>

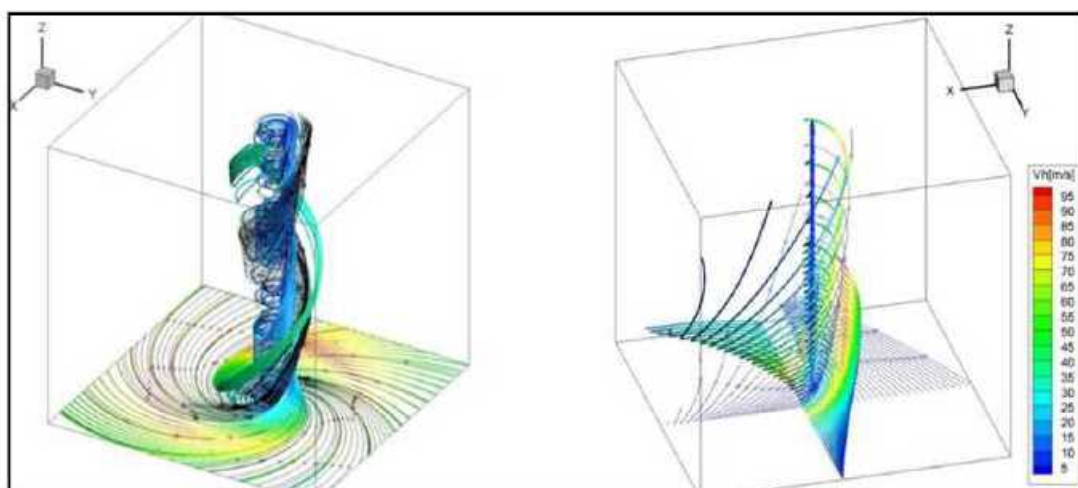


図1 フジタモデル（左）とランキン渦モデル（右）の風速場構造の比較

以上

## 外部火災影響評価について

措置を講ずべき事項

### II. 設計、設備について措置を講ずべき事項

#### 14. 設計上の考慮

##### ④火災に対する設計上の考慮

~~火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて、火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。~~

~~キャスク仮保管設備は、火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて、火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。~~

#### ○火災に対する設計上の考慮

~~火災により施設の安全性が損なわれることを防止するために火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせた措置を講じる。~~

~~(実施計画：II-1-14-2)~~

#### ○火災

~~火災の発生が考えられる箇所について、火災の早期検知につとめるとともに、消火器を設置することで初期消火を可能にし、火災により安全性を損なうことのないようにする。~~

~~(実施計画：II-2-13-3~4)~~

#### ○外部火災

キャスク仮保管設備の外部火災影響において、措置を講ずべき事項を満たすにあたって適用する主な関連規則等及び設計要求事項は下記の通り。

#### ○主な関連規則等

- ・原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 13061912 号 原子力規制委員会決定）（以下「ガイド」という。）



## ○設計要求事項

外部火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機落下等の火災（発電所敷地内に存在する危険物タンク火災等を含む。）による熱影響並びに二次的影響としてばい煙、有毒ガス及び近隣の産業施設の爆発に伴う爆風等による影響を考慮すること。

キャスク仮保管設備に対する外部火災影響については、「~~原子力発電所の外部火災影響評価ガイド（平成25年6月 原子力規制委員会）（以下、「ガイド」という。）~~」に基づき評価する。想定される外部火災に対し、キャスク仮保管設備への影響がないことを確認する。

### 1 評価条件

#### 1.1 評価方針

外部火災による影響については、以下を考慮する必要がある。

- ・火災の規模（輻射エネルギー、火炎の強度・面積・形状、伝播速度）
- ・二次的影響の有無（煙、ガス、爆発による飛来物等）

キャスク仮保管設備はキャスクを1基毎にコンクリートモジュールに格納しているため、火災発生時にコンクリートモジュールが受ける影響を評価する。

二次的影響については、コンクリートモジュールはコンクリート製であること、キャスクは密封された金属容器であることから煙及びガスによる影響は無いと考えられる。そのため、爆発による爆風圧の影響及び飛来物の影響を評価する。

#### 1.2 火災の種類

考慮すべき発電所敷地外の火災として以下を検討する。

##### (1) 森林火災

発電所敷地外の10km以内を発火点とした森林火災が発電所に迫った場合でも、キャスクがその影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、その二次的な影響も含めて、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。

##### (2) 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設で発生した火災・爆発により、原子炉施設が、その影響を受けないよう適切な防護措置が施されており、その二次的な影響も含めて、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお、発電所敷地外の10km以内を発火点とし、森林等に延焼することによって発電所に迫る場合は(1)の森林火災として評価する。(ただし、発電所敷地内に存在する石油類やヒドラジンなどの危険物タンク火災については、(3)の航空機墜落と同様に原子炉施設への熱影響評価等を行う。)

##### (3) 航空機墜落による火災

航空機の墜落に伴う火災により、原子炉施設が、その影響を受けないよう適切な防護措

置が施されており、その二次的な影響も含めて、原子炉施設の安全性を損なうことのない設計とする。

## 2 火災評価

### 2.1 森林火災

森林火災で評価する内容はガイドの附属書A「森林火災の原子力発電所への影響評価について（以下、「附属書A」という。）」に基づく。

#### 2.1.1 評価手法の概要

森林火災の想定は以下の通り。

- (1) 森林火災における各樹種の可燃物量は現地の植生から求める。
- (2) 気象条件は過去 10 年間に調査し、森林火災の発生件数の多い月の最小湿度、最高気温、及び最大風速の組合せとする。
- (3) 風向は卓越方向とし、発電所の風上に発火点を設定する。ただし、発火源と発電所の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は、風向データ等から適切に設定できるものとする。
- (4) 発電所から直線距離 10km の間で設定する。
- (5) 発火源は最初に人為的行為を考え、道路沿いを発火点とする。さらに、必要に応じて想定発火点を考え評価する。

上記に基づき、森林火災発生時のモデルを設定して評価する。具体的な評価指標と観点を表 1 に、評価に必要なデータを表 2 に示す。

表 1 森林火災の評価指標及び評価の観点

評価指標	評価の観点
延焼速度[km/h]	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 火災発生後、どの程度の時間で発電所に到達するのか</li> <li>・ 発電所に到達し得る火災の規模はどの程度か</li> <li>・ 必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か</li> </ul>
火線強度[kW/m]	
火炎長[m]	
単位面積当たり熱量[kJ/m <sup>2</sup> ]	
火炎輻射強度[kW/m <sup>2</sup> ]	
火炎到達幅[m]	

表 2 データ種類及び整備要領

データ種類	整備要領
土地利用データ	現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 100m メッシュの土地利用データを用

	いる。 (国土数値情報 土地利用細分メッシュ)
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現地の地方自治体より入手する。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。
地形データ	現地の状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 10m メッシュの標高データを用いる。傾斜度、傾斜方向については標高データから計算する。 (基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュ)
気象データ	現地にて起こり得る最悪の条件を検討するため、発生件数の多い月の過去 10 年間の最大風速、最高気温、最小湿度の条件を採用する。

森林火災発生時の評価指標を設定したのち、輻射強度という指標を用いて評価対象に対してどの程度の熱影響があるかを評価する。火災影響評価の具体的な評価指標と内容を表 3 に示す。

表 3 火災影響評価の評価指標と内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度
火炎到達幅[m]	発電所に到達する火炎の横幅
形態係数[-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	森林火災の火炎長より算出する値
危険距離[m]	延焼防止に必要な距離

森林火災モデルに対する評価対象設備との危険距離を評価し、想定する火災発生源と評価対象設備との実際の距離が危険距離より大きければ、森林火災による影響は無いといえる。

上記の評価指標は、受熱面が輻射帯の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。

森林火災の火炎形態については、土地の利用状況(森林、農地、居住地等の分布)、地形(標高、傾斜角度等)、気象条件(風向・風速、気温、湿度等)に大きく依存することから、これらをすべて反映した火炎モデル仮定することは難しい。したがって、森林火災の火炎は円筒火災をモデルとし、燃焼半径は火炎長の3分の1とする。なお、原子炉施設への火炎到達幅の分だけ円筒火災モデルが横一列に並ぶものとする。

評価に必要なデータを表 4 に示す。

表4 データ種類及び整備要領

データ種類	整備要領
火炎輻射発散度[W/m <sup>2</sup> ]	森林火災モデルの火炎輻射強度を変換したもの
火炎長[m]	森林火災モデルの火炎長
火炎到達幅[m]	森林火災モデルの到達火炎の横幅
危険輻射強度[W/m <sup>2</sup> ]	評価対象の輻射熱に対する耐熱性を輻射強度で示したもの

## 2.1.2 評価結果内容

### 2.1.2.1 評価手法

~~コンタリートモジュールに対する評価については、「1F 森林火災の影響評価」に基づき評価結果を示す。~~

本評価においては、4種類（可燃物マップ、地形マップ、気象条件、発火点条件）の入力条件を用いて火災進展解析を行い、火災進展解析結果から設備の影響評価を行う。**入力条件の整備は以下の手順で実施する。**

#### ①現地植生調査

入力条件の1つである可燃物マップは、発電所周辺の植生から求める。ただし、発電所構内及び防火帯近傍の植生に関しては正確に評価に反映するために現地植生調査を行う。

本評価においては、2019年7月16日から18日の3日間にかけて福島第一原子力発電所（以下、「1F」という。）敷地内及び防火帯周辺の植生状況を調査し、1F構内植生データを整備した。

#### ②地形・植生・土地利用データの収集及びマップデータ整備

①で得られた発電所構内植生データ、発電所構外の土地利用データ（田、農用地、市街地、道路などの区分データ）、発電所構外の植生データ（森林部の詳細な樹種区分データ）を統合して、可燃物マップを作成する。また、標高から傾斜角、傾斜方向を計算し、地形マップを作成する。

本評価においては、1F構外の地形・植生・土地利用状況を評価に反映するため、国土交通省、環境省が公開しているデータを収集した。また、ArcGISを用いてこれらのデータを加工し、森林火災進展解析の入力となる地形マップ、可燃物マップを作成した。

#### ③気象情報・火災件数の収集及び分析

森林火災が頻発する時期の気象条件のうち、最も厳しい条件（最大風速、最高気温、最小湿度）を、入力用の気象条件とする。~~また、~~このときの風向は卓越風向とし、風上に発火点条件を設定する。

本評価においては、全国及び福島県における森林火災発生件数を調査し、森林火災が多発する3～5月を評価対象とした。1F周辺における3～5月の気象データを調査し、森林火災進展解析の入力となる気象条件（気温、風速、風向及び湿度）及び発火点条件を設定した。

#### ④火災進展評価

②、③で設定した4種類の入力条件を用いて、附属書Aにおいて使用を推奨されている森林火災進展解析コードFARSITEにより、火災が到達する時間、到達する火災の規模を評価する。FARSITEについては参考資料-1（附属書Aより抜粋）を参照。

本評価においては、1F周辺における森林火災進展解析を14ケース（~~ベースケース：10ケース、感度解析：4ケース~~）実施し、火災到達時間と火災規模指標を算出した。

#### ⑤影響評価

④の火災進展評価により算出された指標を用いて、~~必要最小防火帯幅~~、危険距離、設備への熱影響等々を評価する。

本評価においては、FARSITE解析結果（火炎到達時間、火線強度、火炎長、延焼速度、単位面積当たり発熱量）を用いて、~~必要最小防火帯幅~~、危険距離、設備への熱影響等々を評価した。

### 2.1.2. ~~4~~2 現地植生調査

~~森林火災影響評価の際、1F周辺の土地利用状況及び植生状況を可燃物マップの形で表現する。可燃物マップの作成には、附属書Aに従い、公知の土地利用情報（土地利用状況データ、植生調査データ、森林簿等）を利用する。ただし、1F構内においては公知の土地利用情報から最新情報を得ることが困難である。よって、評価の精度及び説明性向上の観点から、1F構内及び防火帯周辺の現地植生調査を実施した。現地植生調査の際は、2級造園施工管理技士の有資格者が随行し、樹種・林齢・樹高・下草丈の判定を行った。~~

#### (1) 現地植生調査計画

1F構内の植生領域は、2019年2月撮影の航空写真（図1参照）から、図2に示すように読み取ることが可能である。航空写真から読み取った植生領域を、1F南側エリア、西側エリア、北側エリアの3エリアに分け、エリアごとに調査範囲を選定した。調査範囲の選定の際には、1F敷地の森林簿（参考文献[1]）を参考とした。

各エリアにおける調査範囲の選定理由を以下に詳述する。

#### 1F南側エリア（調査地点No.1～4）

1F南側エリアにおける調査範囲を図3に示す。1F南側エリアは、防火帯近傍に比較的

多くの植生が見られることが読み取れる。

図4に示した森林簿情報（参考文献[1]）より、図3中の1F構内植生領域は、クロマツ林、アカマツ林及び雑草地が混在する領域と推定される。このことを踏まえ、本計画では下記の調査地点を選定した。

- ・調査地点 No. 1～4：1F 南側の植生を万遍なく調査できる地点。

#### 1F 西側エリア（調査地点 No. 5～7, No. 18～19）

1F 西側エリアにおける調査範囲を図5に示す。1F 西側エリアでは南側エリア及び北側エリアに比べて、防火帯近傍の植生は少ないことが読み取れる。

図6に示した森林簿情報（参考文献[1]）では、航空写真上で植生が確認される領域はアカマツ林が大半であるが、植生不明の領域も含まれる。加えて、散見される構内街路樹については森林簿情報が無い。このことを踏まえ、本計画では下記の調査地点を選定した。

- ・調査地点 No. 5～7：森林簿で「不明」となっているエリアをカバーする地点
- ・調査地点 No. 18～19：街路樹が多く見られるエリアから代表的な2点を選択

#### 1F 北側エリア（調査地点 No. 8～17, No. 20～21）

1F 北側エリアにおける調査範囲を図7に示す。北側エリアは、南側、西側エリアに比べて広く、植生の分布する領域も多い。反面、整地区画や建造物など、植生が無い領域も広く存在していることが読み取れる。また、図8に示した森林簿情報（参考文献[1]）より、1F 北側エリアでは、森林簿データが無い領域（例：調査地点 13, 14 周辺）が存在することがわかる。

このことを踏まえ、下記の調査地点を選択した。

- ・調査地点 No. 8, 16, 17：防火帯近傍で植生の多い領域を広く調査可能な地点
- ・調査地点 No. 13～15, 20～21<sup>1)</sup>：森林簿データが無いエリアをカバーする地点
- ・調査地点 No. 10, 12：森林簿で「不明」となっているエリアをカバーする地点
- ・調査地点 No. 9, 11：伐採木の保管が推測されるエリアをカバーする地点

現地植生調査においては、調査地点周辺の植生の樹種・林齢・樹高・下草丈を調査する。伐採木の保管領域と推測されるエリア（調査地点 No. 9, 11 周辺）については、伐採木の堆積高さを確認する。また、1F 風上<sup>2)</sup>に位置し防火帯幅の評価に大きく影響しうる調査地点 No. 8 周辺については、重点的に調査を実施した。

1) 防火帯位置の設定によっては、解析評価に使用する必要が生じるため選定した。

なお、防火帯位置が建屋から遠い場合は防火帯内側となり、解析評価で考慮されない領域となる。

2) 今回評価では西～西北西の風を想定する。



图1 1F周边航空写真（2019年2月撮影）



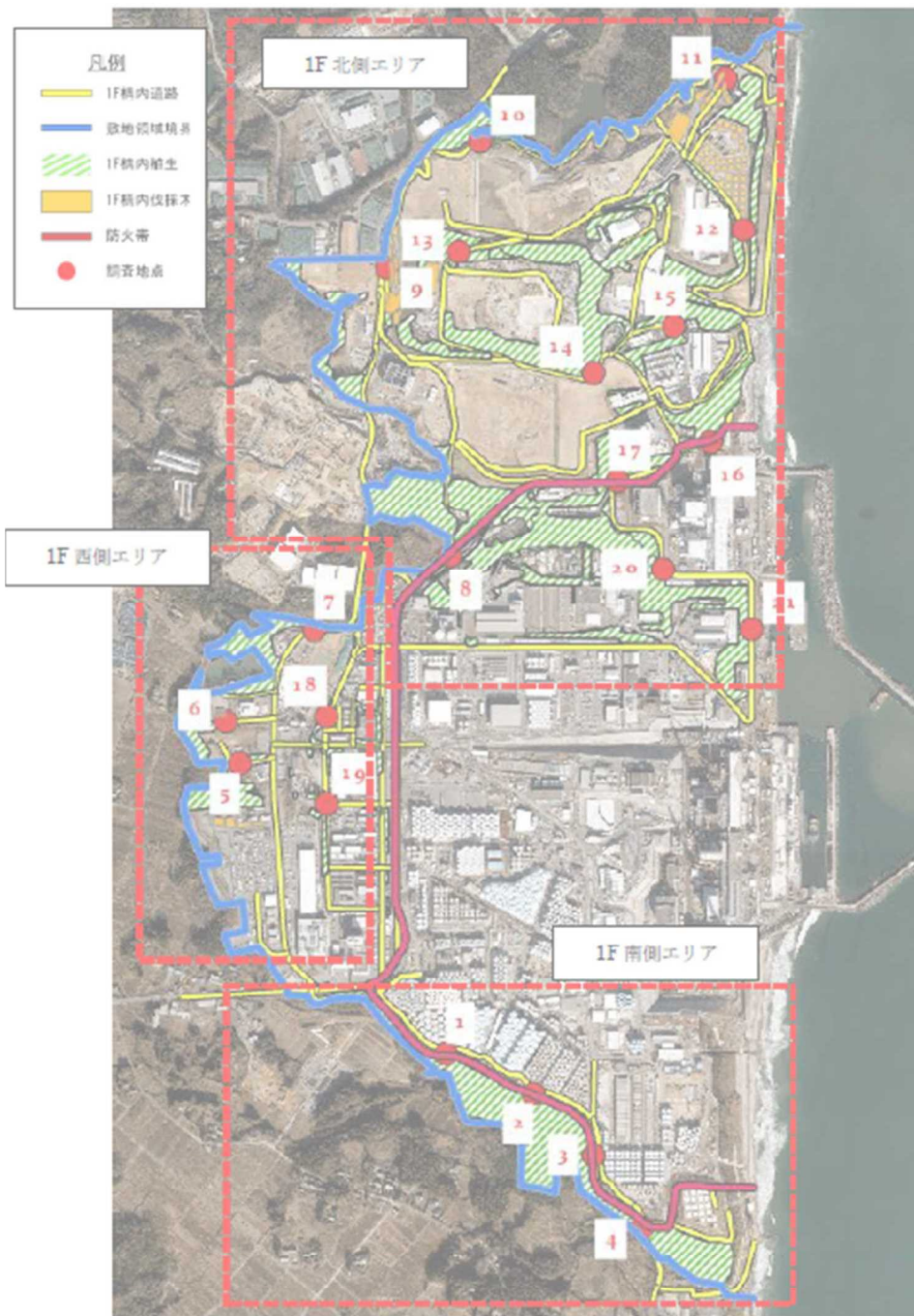


図2 1F 構内の植生分布



図3 1F南側エリアにおける調査範囲

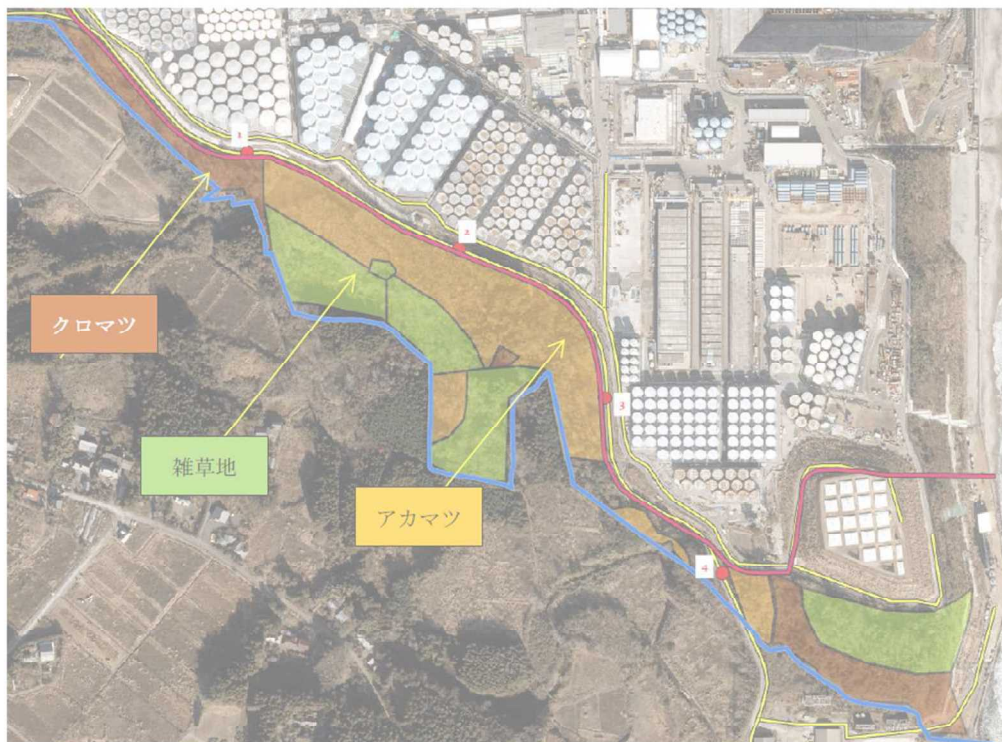


図4 1F南側エリアにおける森林簿情報

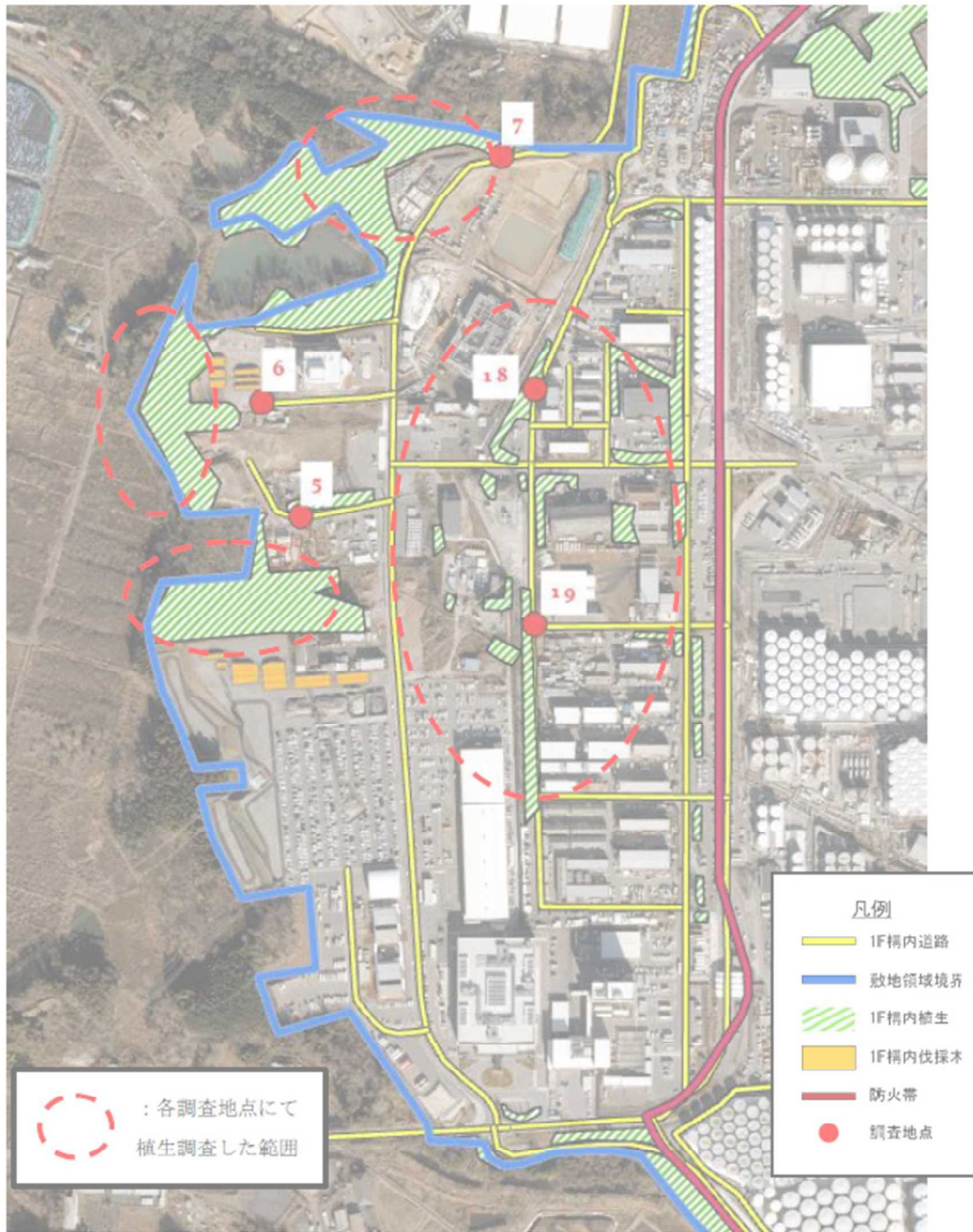


図5 1F西側エリアにおける調査範囲

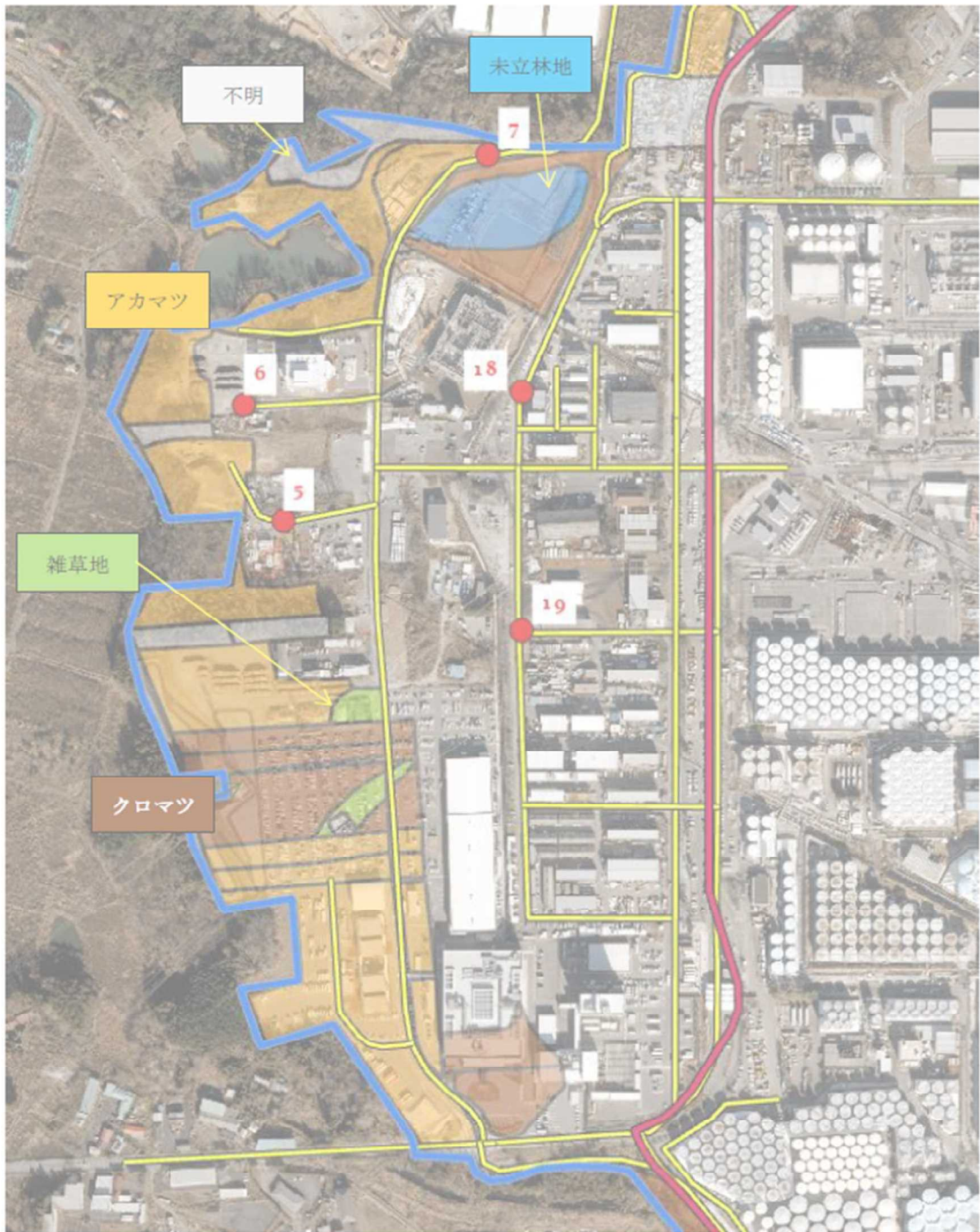


図6 1F 西側エリアにおける森林簿情報

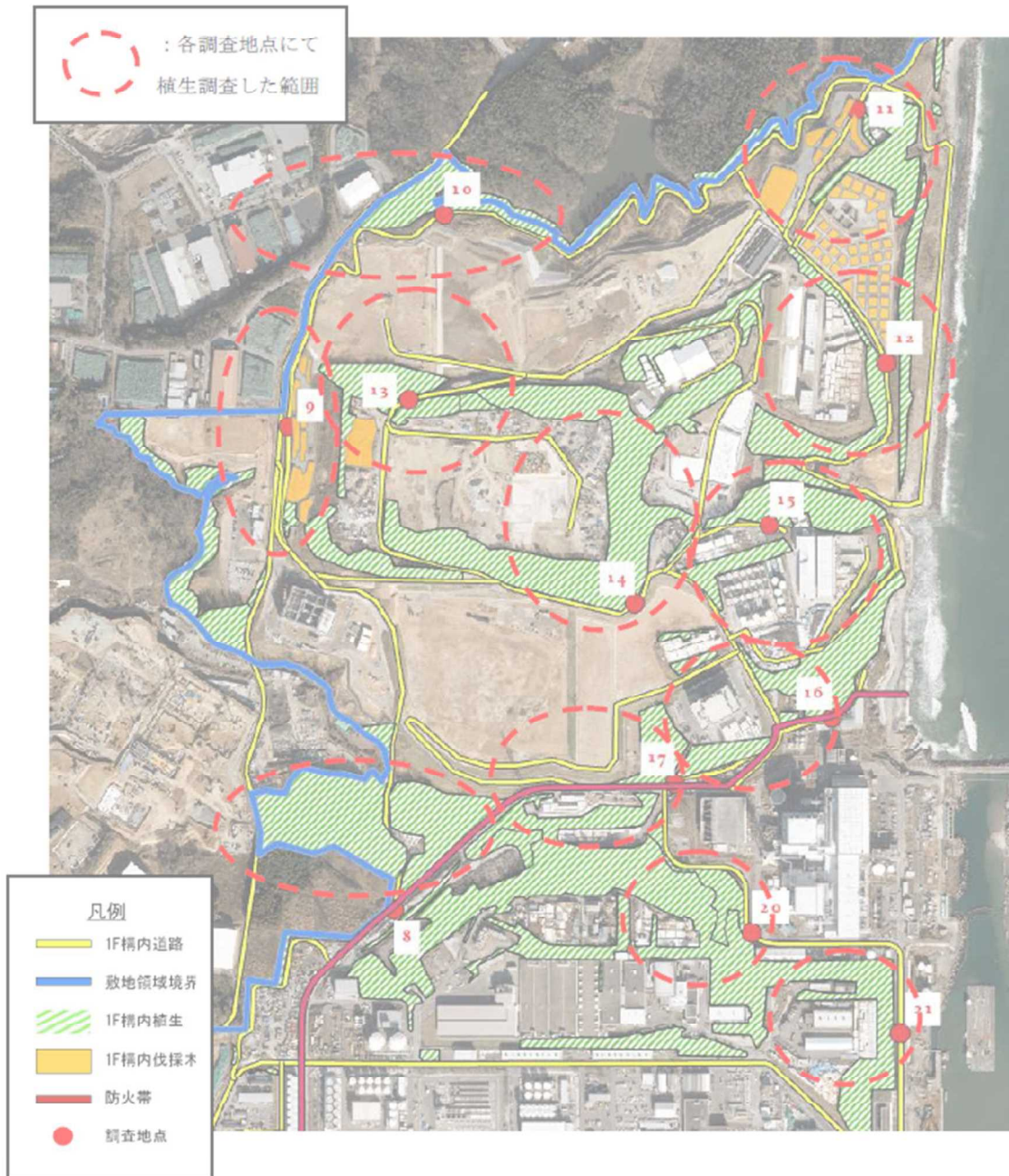


図7 1F北側エリアにおける調査範囲



図8 1F北側エリアにおける森林簿情報

## (2) 現地植生調査結果

前項に前述した調査地点において、2019年7月16日から18日の3日間にわたり現地植生調査を実施した。

現地植生調査の際は、2級造園施工管理技士の有資格者が随行し、樹種・林齢・樹高・下草丈の判定を行った。各調査地点における植生（樹種・樹高・林齢・下草丈）の調査結果を表5～表9に示す。

現地植生調査にて確認した植生区分は、可燃物モデルの設定（FARSITEへ入力する可燃物の区分）を考慮し、以下の9区分に分類した。現地植生調査から得られた、1F構内及び防火帯近傍における9区分の植生分布を図9に示す。

- ・アカマツ 10年生以上
- ・クロマツ 10年生以上
- ・サクラ（街路樹）
- ・スギ 10年生以上
- ・マツ 10年生未満
- ・広葉樹（雑木）
- ・竹林
- ・草地
- ・伐採木<sup>1)</sup>

1)構内に保管されている伐採木については、伐採木の堆積高さが平均4m程度であることを確認した。

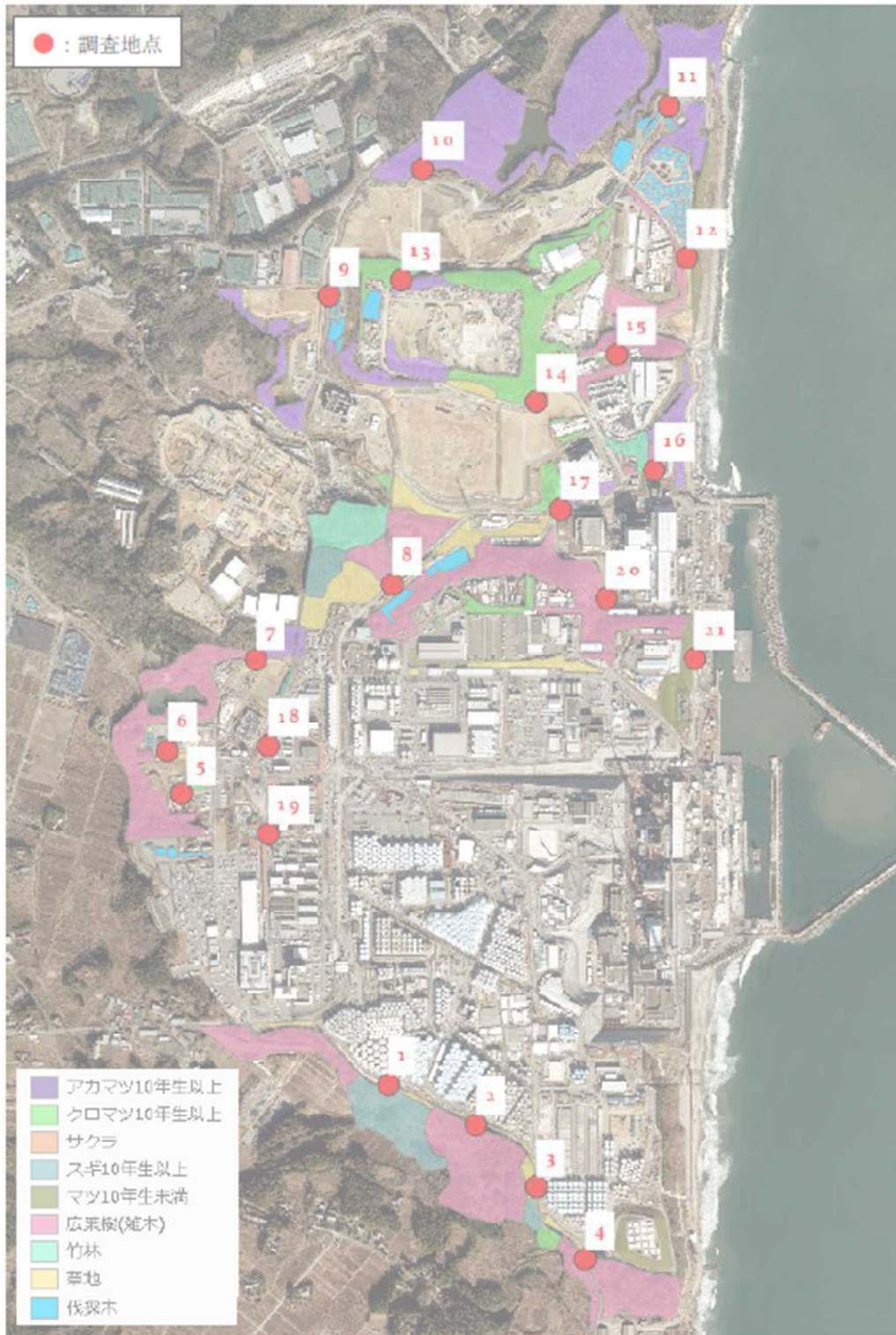


図9 現地植生調査結果概要（1F敷地内及び防火帯近傍の植生区分）



表5 1F南側における現地植生調査結果（調査地点No.1～4）

調査地点 No.	森林簿情報	調査項目		
		樹種	樹高・林齢	下草丈
1	アカマツ林 クロマツ林	杉が主要植生となっていた。正門付近は広葉樹（サクラやクヌギ等）が見られた。	樹高：10m～30m 林齢：30年程度	約1～2m
2	アカマツ林 +雑草地	広葉樹（サクラやクヌギ等）が繁茂して主要植生となっていた。道路脇には草地も見られた。	樹高：約25m 林齢：約20～30年	約0.5～1m
3	アカマツ林	スギ、クロマツがそれぞれ主要植生となった領域に分かれていた。道路間には草地も見られた。	樹高：スギ・クロマツは30m程度 林齢：スギは40～50年、クロマツは10～20年	約0.5～1m
4	アカマツ林 +雑草地	広葉樹（サクラやクヌギ等）が繁茂し、主要植生となっていた。伐採木貯留槽付近は、10年生未満の実生マツが広範囲に分布していた。	樹高：広葉樹は約10m、実生マツは1～2m程度 林齢：広葉樹は約10～40年、実生マツは10年未満	約1～3m （ササが点在）

表6 1F西側における現地植生調査結果（調査地点 No. 5～7, No. 18～19）

調査地点 No.	森林簿情報	調査項目		
		樹種	樹高・林齢	下草丈
5	アカマツ林 (一部不明)	アカマツは半数近くが枯れ, 代わりに広葉樹(サクラやクヌギ等)が繁茂して主要植生となっていた。	樹高: 約 20m 林齢: 約 10 年	約 0.5～1m
6	アカマツ林 (一部不明)	広葉樹(サクラやクヌギ等)が繁茂して主要植生となっていた。	樹高: 約 25～30m 林齢: 約 20～25 年	約 2～3m (ササ)
7	アカマツ林 (一部不明)	1F 敷地内は, 広葉樹(サクラやクヌギ等)が繁茂して主要植生となっていた。 1F 敷地外は, 草地, アカマツ林及び, 建造物(中間貯蔵施設仮置き場と推測される)の存在が確認された。	樹高: 広葉樹は約 10m, 敷地外のアカマツは約 20m 林齢: 広葉樹は約 10 年, 1F 敷地外のアカマツは 20～25 年	約 1m 1F 敷地外 草地は 1.5 ～2m。
18	森林簿データ なし (街路樹)	代表2地点で調査を実施し, 街路樹はほぼ全てサクラであることを確認した。	樹高: 約 5m 林齢: 約 40 年	約 50cm
19	森林簿データ なし (街路樹)			

表7 1F北側における現地植生調査結果（調査地点No.8～11）

調査地点 No.	森林簿情報	調査項目		
		樹種	樹高・林齢	下草丈
8	アカマツ林 (伐採木)	1F敷地内は、広葉樹（サクラやクヌギ等）が繁茂して主要植生となっていた。一部、竹林と、伐採木の仮保管場（堆積高さは約3m）も確認された。1F敷地外は、草地及び、クロマツ林の存在が確認された。	樹高： 広葉樹，1F敷地外のクロマツともに，約10～20m 林齢：広葉樹は約10年，1F敷地外のクロマツは約30～40年	約1～2m
9	クロマツ林 (伐採木)	樹木がほぼ見られず，伐採木の仮保管場となっていた（堆積高さは約3m）。	—	—
10	クロマツ林 (一部不明)	道路沿いはクヌギ，道路から北側に離れた林はアカマツ林となっていた。	樹高：クヌギは約6m，アカマツは約30m 林齢：クヌギは約10年，アカマツは約40年	約1～1.5m
11	クロマツ林 (伐採木)	アカマツが主要植生となっていた。 伐採木の仮保管場もあり，堆積高さは約4mであった。	樹高：約20m 林齢：約50年	約1m

表8 1F北側における現地植生調査結果（調査地点 No. 12～14）

調査地点 No.	森林簿情報	調査項目		
		樹種	樹高・林齢	下草丈
12	不明 (森林簿データなし)	広葉樹（クヌギ）と草が繁茂していた。海岸側の植生は樹齢の若い実生マツが主要植生と見られる。	樹高：クヌギは約6～7m，実生マツは樹冠部のみ確認のため不明 林齢：クヌギ，実生マツともに10年未満	約1～1.5m
13	森林簿データなし	クロマツ，アカマツが主要植生となっていた。伐採木の仮保管場もあり，堆積高さは約5mであった。	樹高：クロマツ，アカマツともに約6m 林齢：クロマツ，アカマツともに約15～20年	約2m
14	森林簿データなし (一部はアカマツ)	クロマツ，アカマツが主要植生となっていた。調査地点の南側は広範囲で造成され，植生の無い領域となっていた。	樹高：クロマツは約15～20m，アカマツは約8m 林齢：クロマツは約30年，アカマツは約10～16年	約1～2m

表9 1F 北側における現地植生調査結果（調査地点 No. 15～17, 20～21）

調査地点 No.	森林簿情報	調査項目		
		樹種	樹高・林齢	下草丈
15	クロマツ林 (一部不明)	広葉樹（サクラやクヌギ）が繁茂して主要植生となっていた。道路沿いには一部クロマツも見られた。	樹高：広葉樹は約 10m, クロマツは約 15～20m 林齢：広葉樹は幅広い 林齢が混在しており、 クロマツは約 30 年	約 1～2m
16	クロマツ林 (一部不明)	広葉樹（サカキ等）、枯木を含むクロマツ、竹林が主要植生となっていた。	樹高：広葉樹、クロマツ ともに約 5～6m 林齢：広葉樹、クロマツ ともに約 10 年	約 2m  (竹林は約 2～3m)
17	アカマツ林 クロマツ林	クロマツ、アカマツが主要植生となっていた。	樹高：クロマツ、アカマツ ともに約 25m 林齢：クロマツは約 30 年、アカマツは約 20 年	約 1.5～2m
20	森林簿データ なし	広葉樹（ミズナラ、クヌギ等）が主要植生となっていた。	樹高：約 5m 林齢：約 10 年	約 0.5～1m
21	森林簿データ なし	樹齢の若いマツ（実生マツと推定される）が一様に分布していた。	樹高：約 1m 林齢：約 10 年未満	約 0.5m

### 2.1.2.23 地形・植生・土地利用データの収集及びマップデータ整備

森林火災影響評価においては地形マップ及び可燃物マップを入力として用いる。本評価で使用する火災進展解析コード FARSITE の場合は、下記に示す 3 種類の地形マップと、5 種類の可燃物マップを入力する。これらのマップデータはすべてラスター（メッシュ）のデータ形式となっている。

#### 地形マップ

- ・ 標高マップデータ (Elevation)
- ・ 傾斜角マップデータ (Slope)
- ・ 傾斜方向マップデータ (Aspect)

#### 可燃物マップ

- ・ 可燃物マップデータ (Fuel Model)
- ・ 樹冠率マップデータ (Canopy Cover)
- ・ 樹高マップデータ (Stand Height)
- ・ 枝下高さマップデータ (Canopy Base Height)
- ・ 樹冠かさ密度マップデータ (Canopy Bulk Density)

なお、樹冠率、樹高、枝下高さ及び樹冠かさ密度は、樹冠部（樹木の枝葉部分）を表すパラメータである。意味を下記に示す。

- ・ 樹冠率：上空から森林を見た場合の、平面上の樹冠が占める割合（参考文献[2]）。  
FARSITE においては、デフォルトとして設定されている 4 区分か、%単位で入力する。
- ・ 樹高：樹木の高さ[m]。
- ・ 枝下高さ：地表から樹冠までの長さ[m]。
- ・ 樹冠かさ密度：樹冠部に存在する枝葉のかさ密度 [kg/m<sup>3</sup>]。

上記の 3 種類の地形マップと 5 種類の可燃物マップは、附属書 A に従い以下に示す地形・植生・土地利用の空間データを収集して作成した。

- ・ 地形データ：基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュデータ（参考文献[3]）
- ・ 植生データ：環境省 自然環境保全基礎調査 植生調査データ（参考文献[4]）  
1F 構内植生分布
- ・ 土地利用データ：国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ（参考文献[5]）

(1) 地形データ

地形データについては、国土交通省 国土地理院発行の「基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュデータ (2016 年度版, 参考文献[3])」を基に、地形マップ (標高, 傾斜方向, 傾斜角) を作成する。

図 1 0 に本解析評価に使用する数値標高モデル 10m メッシュデータを示す。

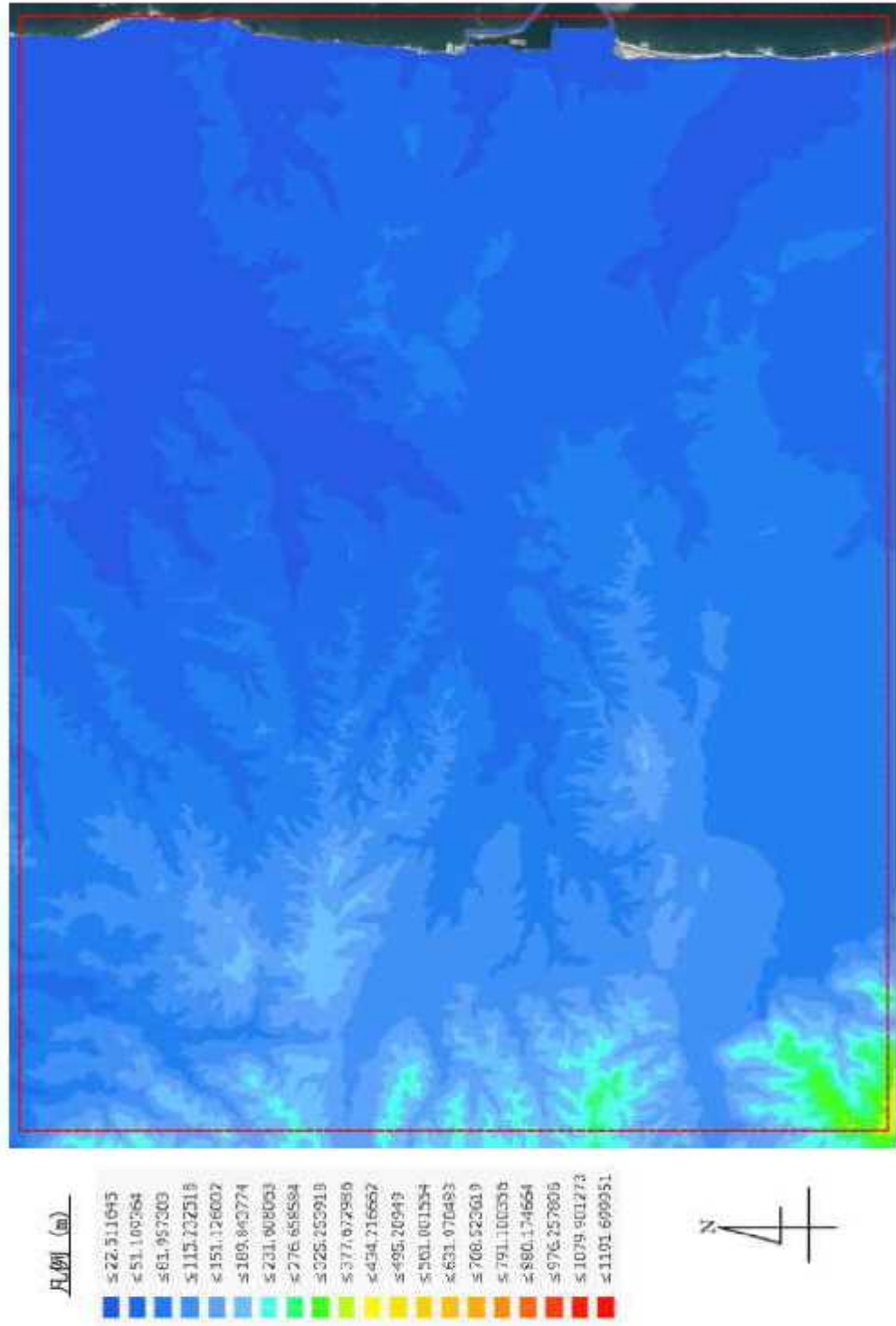


図10 基盤地図情報 数値標高モデル10mメッシュデータ



## (2) 植生データ

植生データについては、環境省 自然環境局生物多様性センターが実施した「自然環境保全基礎調査 植生調査（参考文献[4]）」の結果を用いる。

附属書Aにおいて、「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」ことが推奨されている。しかし、1Fサイト構外においては森林簿が入手できなかったため、「柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉 外部火災影響評価について（以下、「Kサイト評価（参考文献[6]）」という。）」を参考に環境省の植生データ（参考文献[4]）を使用して、土地利用データ上で「森林」区分となっている領域を細分化する。なお、1F近傍の植生については、現地植生調査結果を反映して可燃物マップを作成する。

図11に本解析評価にて使用する植生調査データを示す。

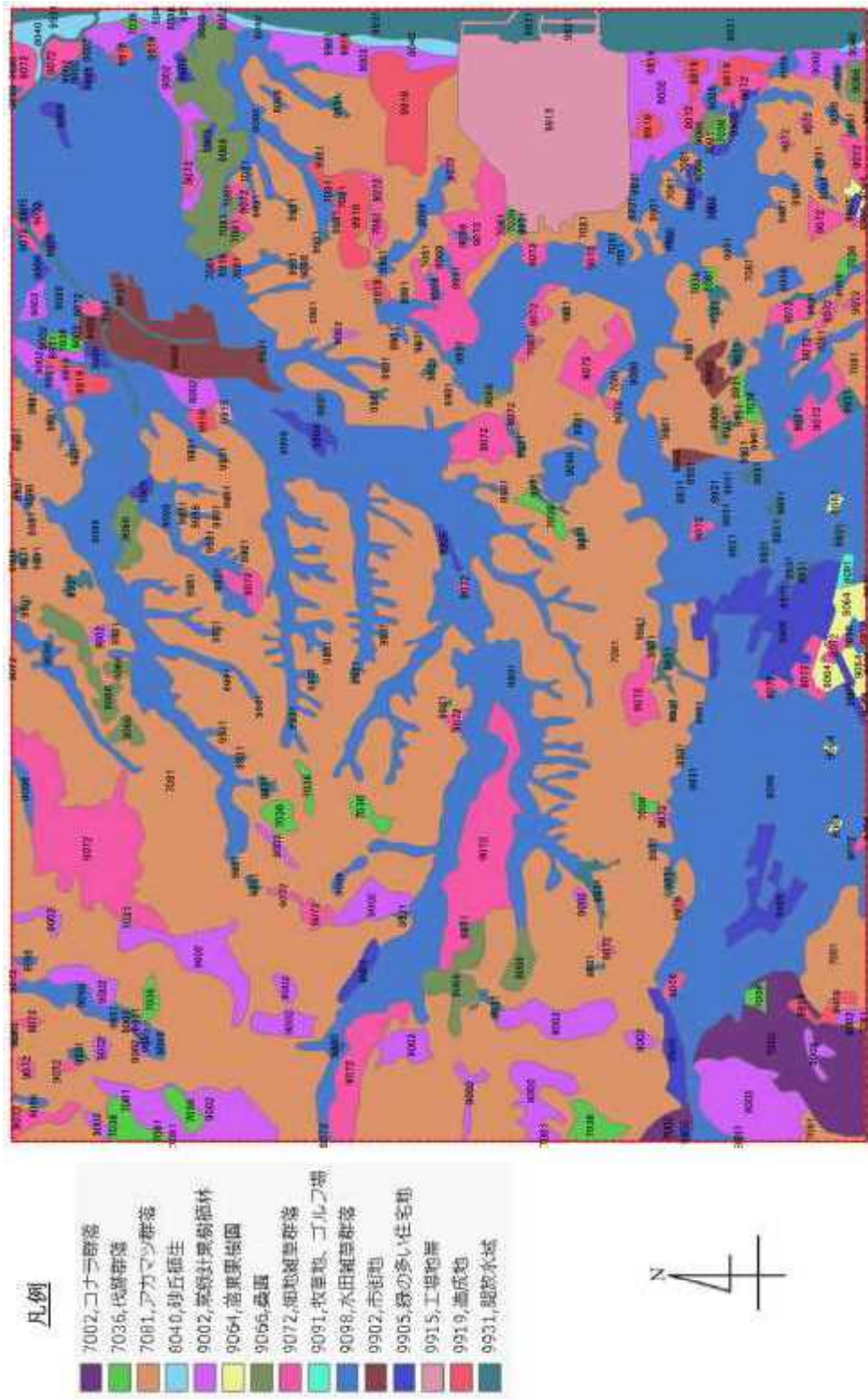
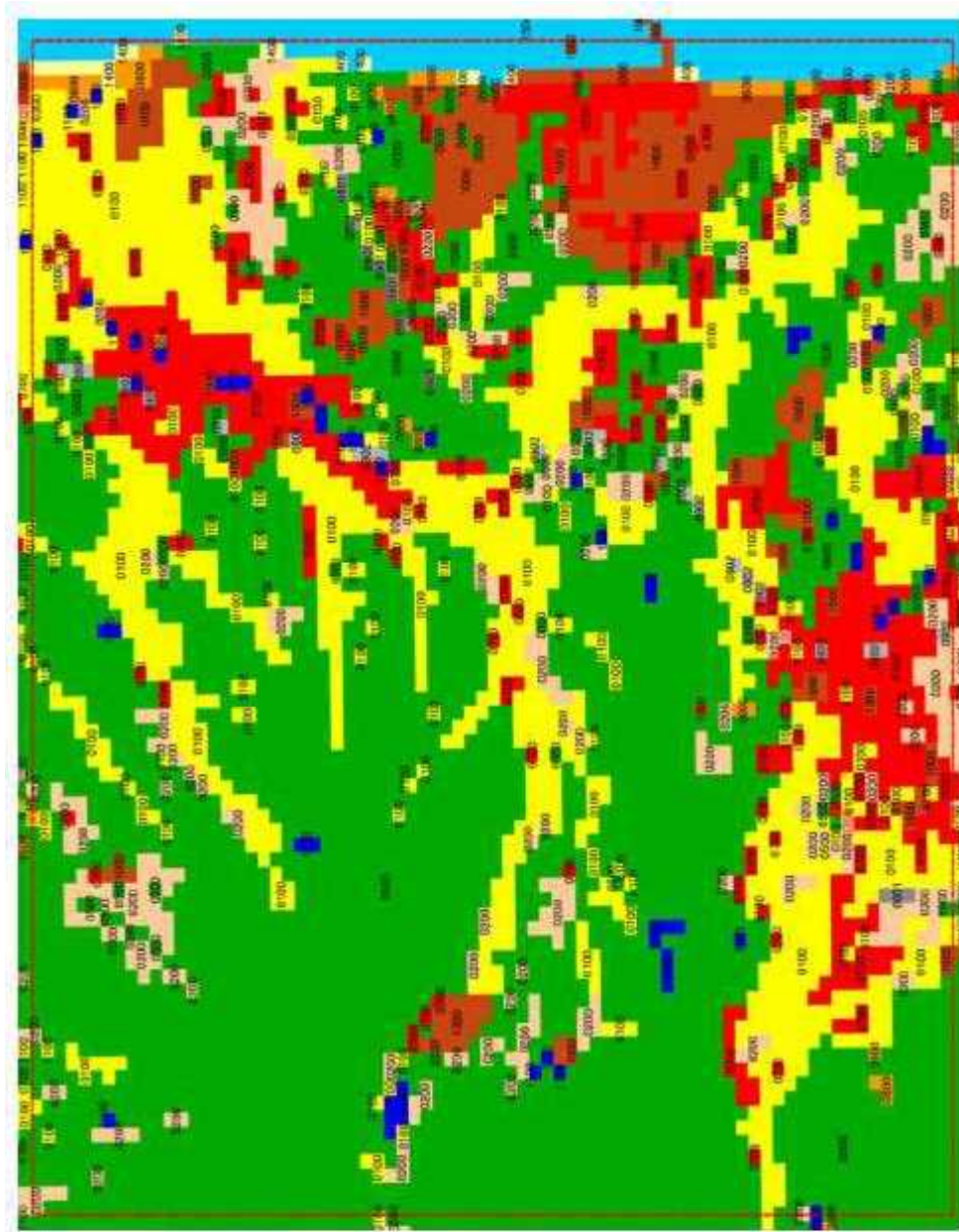


図 1-1 自然環境保全基礎調査 植生調査データ

### (3) 土地利用データ

土地利用データについては、国土交通省 国土政策局発行の「国土数値情報 土地利用細分メッシュ（2016 年度調査版，参考文献[5]）」を用いる。図 1 2 に本解析評価にて使用する土地利用データを示す。土地利用データのうち「森林」区分については，図 1 1 の植生データによって細分化する。



- 凡例**
- : 0100 田
  - : 0200 その他農用地
  - : 0500 森林
  - : 0600 荒地
  - : 0700 建物用地
  - : 0801 道路
  - : 0902 鉄道
  - : 1000 その他の用地
  - : 1100 河川氾濫及び滞沼
  - : 1400 海岸
  - : 1500 海水域
  - : 1600 ゴルフ場



図 1 2 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ