

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-1-14 改 36
提出年月日	平成 30 年 1 月 23 日

# 東海第二発電所

## 地震による損傷の防止

平成 30 年 1 月  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

## 第4条：地震による損傷の防止

### 目 次

#### 第1部

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
  - 1.2 追加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
  - 1.3 気象等
  - 1.4 設備等
  - 1.5 手順等

下線部：今回提出資料

#### 第2部

1. 耐震設計の基本方針
  - 1.1 基本方針
  - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
  - 2.1 重要度分類の基本方針
  - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
  - 3.1 地震力の算定法
  - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
  - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
  - 5.1 建物・構築物
  - 5.2 機器・配管系
  - 5.3 屋外重要土木構造物
  - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備  
又は津波監視設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動  $S_d$  ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建屋の構造概要について
- 別添－8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別 紙)

- 別紙－1 既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階での整理）
- 別紙－2 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて
- 別紙－3 原子炉建屋屋根トラス評価モデルへの弾塑性解析適用について
- 別紙－4 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－5 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－6 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－8 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について
- 別紙－9 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価方針について
- 別紙－10 液状化影響の検討方針について
- 別紙－11 屋外二重管の基礎構造の設計方針について
- 別紙－12 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－13 動的機能維持評価の検討方針について
- 別紙－14 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造の変遷について



## 東海第二発電所

下位クラス施設の波及的影響の検討について  
(耐震)



## 大物搬入口建屋の耐震重要度分類について

## 1. はじめに

東海第二発電所の二次格納施設の範囲を示した原子炉建屋概略平面図を第 1 図に示す。東海第二発電所では、一時的な機器搬出入時を除いて閉止状態とする機器搬入口内側扉（以下「内側扉」という。）までを二次格納施設として扱い耐震 S クラスとしており、一方、大物搬入口建屋を含めた機器搬入口外側扉（以下「外側扉」という。）までを耐震 C クラスとしている。以下では、二次格納施設及び大物搬入口建屋に係る要求を踏まえ、大物搬入口建屋の耐震重要度分類について整理した。

## 2. 二次格納施設の範囲，気密性に係る要求及びその取扱いについて

## (1) 二次格納施設の範囲及び気密性に係る要求について

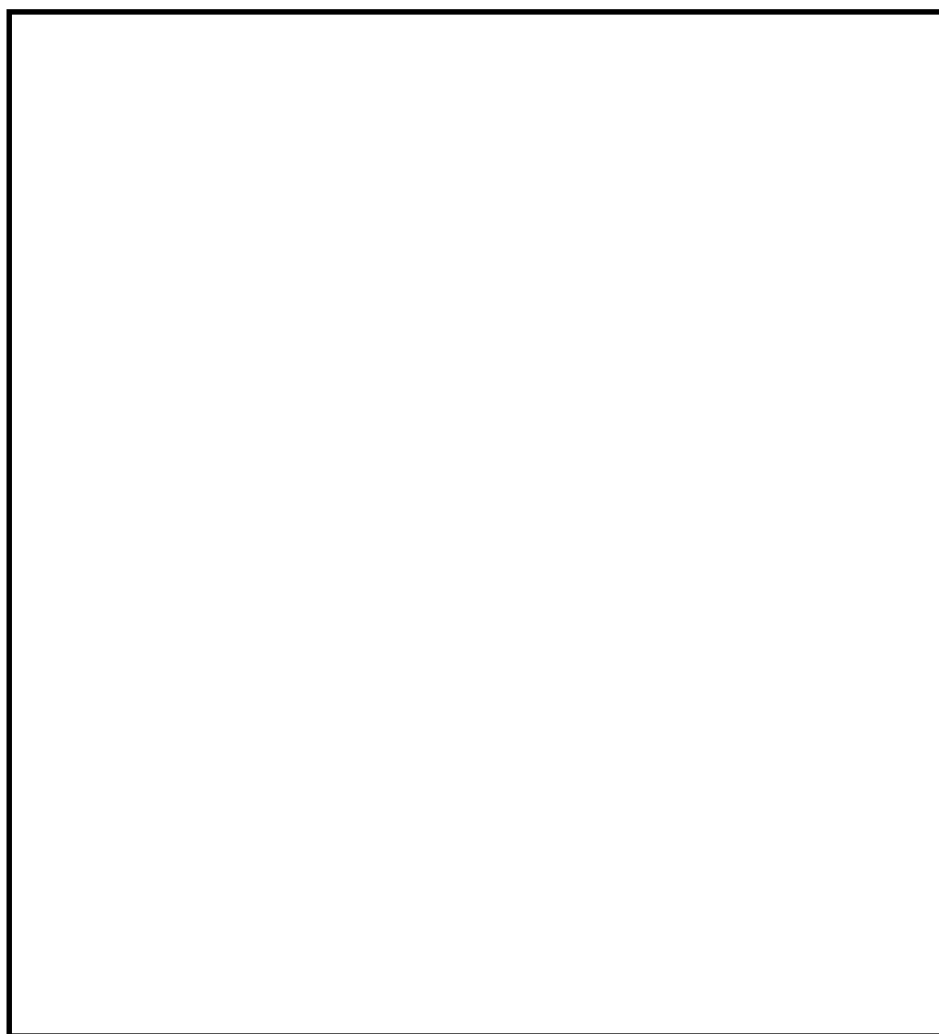
二次格納施設を負圧に維持するため、内側扉又は外側扉のどちらか一方の扉は閉止状態であることが要求される。これは、通常運転時に二次格納施設を負圧に維持するとともに、設計基準事故（原子炉冷却材喪失（以下「L O C A」という。）、燃料集合体の落下）が発生した際に、原子炉建屋ガス処理系（非常用ガス処理系、非常用ガス再循環系）により二次格納施設内のガスを処理し、二次格納施設を負圧に維持するための「気密性に係る要求」である。

実運用としては、原則、内側扉及び外側扉ともに閉止状態としている。また、機器の搬出入等に伴い一時的に内側扉又は外側扉を開放する場合は、もう一方の扉は閉止状態を維持し、二次格納施設の気密性を確保することとしている。

## (2) 二次格納施設の気密性に係る要求の取扱い

二次格納施設の気密性に係る要求として、原子炉施設保安規定（以

下「保安規定」という。)において、内側扉又は外側扉の何れか一方の扉が閉止状態であることを定めている。これを満足しない場合は、二次格納施設を負圧に保つための措置を4時間以内に講じることが要求され、さらにこの要求を満足できない場合には、プラント停止等の必要な措置を決められた時間内に実施することが要求される。



: 二次格納施設



: 機器搬入口内側扉開放時に一時的に  
気密性を要求する範囲

第1図 原子炉建屋概略平面図 (EL. 8.2m)



### 3. 耐震重要度分類の整理

以下に，出力運転時（通常運転時），出力運転時に L O C A 及び地震の発生を想定した場合，定期検査時に分けて，大物搬入口建屋を含め外側扉を耐震 C クラスとしている妥当性について整理する。

#### 3.1 出力運転時（通常運転時）

##### (1) 内側扉を閉じて運転している場合

上記 2. (1) のとおり，出力運転時（通常運転時）は，原則，内側扉及び外側扉を閉じて運転しており，地震発生により大物搬入口建屋を含む外側扉の気密性が確保されない場合でも，耐震 S クラスとした内側扉にて二次格納施設の気密性は確保可能である。

##### (2) 内側扉を開放し外側扉で気密性を確保している場合

内側扉開放時に耐震 C クラスである外側扉を含む大物搬入口建屋が損傷に至ると，保安規定で要求される内側扉又は外側扉の閉止状態の確保を満足していない状態となるため，二次格納施設を負圧に保つための措置として，4 時間以内に内側扉を閉止する必要がある。過去の作業実績から内側扉の閉止作業時間は約 1 時間であるが，保守的に 4 時間開放されるものとして平常時被ばく評価への影響を確認した。

出力運転時（通常運転時）においては，放射性物質が換気系を通して排気筒から放出されるが，内側扉が開放される場合は，気密性が失われ，二次格納施設内から直接地上放出すると仮定し，通常運転している換気系から年間放出量のうち，内側扉が開放される 4 時間に当たる放出量が地上から放出すると想定し，平常時の被ばく評価を行った。第 1 表に被ばく評価に使用した放出量を示す。その結果，人の居住を考慮した実効線量は，わずかに増加するものの添付書類九の記載値の約  $8.4 \mu\text{Sv}/\text{年}$  から変動はなく，

平常時被ばく評価への影響は小さいことを確認した。また、この値は線量目標値である  $50 \mu\text{Sv}/\text{年}$  を十分下回る。

第 1 表 被ばく評価に使用した放出量 (Bq/y)

	内側扉開放を考慮した場合		通常運転時の場合
	地上放出 (4 時間放出)	排気筒放出	排気筒放出
希ガス	$2.2 \times 10^{11}$	$1.4 \times 10^{15}$	$1.4 \times 10^{15}$
I-131	$1.5 \times 10^7$	$5.9 \times 10^{10}$	$5.9 \times 10^{10}$
I-133	$4.1 \times 10^7$	$9.4 \times 10^{10}$	$9.4 \times 10^{10}$

### 3.2 出力運転時に L O C A 及び地震の発生を想定した場合

#### (1) 内側扉及び外側扉を閉じて運転している場合

内側扉及び外側扉を閉じて運転している場合、L O C A が発生した上に、地震発生により大物搬入口建屋を含む外側扉の気密性が確保されない場合でも、耐震 S クラスとした内側扉が閉止していることから、原子炉建屋ガス処理系による二次格納施設の気密性は確保可能である。

#### (2) 内側扉を開放し外側扉で気密性を確保している場合

出力運転時には、新燃料の受入れ、使用済燃料の移送等計画的に内側扉を開放する作業がある。当該作業は 1 回当たりの作業時間として最長 3 時間程度であり、年間の合計時間としては約 90 時間と限定的であるが、万一この開放時間に L O C A が発生したとしても、大物搬入口建屋を含む外側扉にて気密性の確保は可能である。さらには、内側扉開放時に L O C A が発生した場合は、速やかに内側扉を閉める運用とすることで、L O C A 発生時は内側

扉によっても気密性を確保することができる。なお、年間約 90 時間の開放時間は、過去の作業時間を参考に算定したものであり、今後の内側扉の開放作業に際しては計画的に作業効率化を図ることにより、内側扉の開放時間を極力抑えることとする。

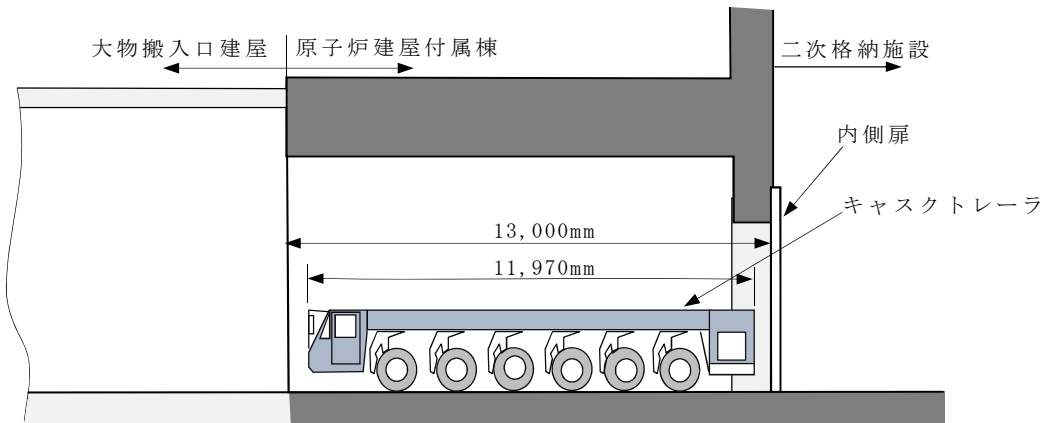
一方、内側扉開放時に L O C A が発生した上に、地震発生により大物搬入口建屋が損傷する可能性も想定し、この場合でも内側扉の閉止作業が可能であること及び内側扉の閉止までの間の被ばく影響が小さいことについて、以下に整理する。

i) 地震発生後の内側扉閉止作業について

内側扉の開放時に、大物搬入口建屋の気密性が損なわれる可能性のある地震又は L O C A のどちらか一方の事象が発生した場合には、速やかに内側扉の閉止作業を行う運用とする。万一、耐震 C クラスである大物搬入口建屋の損傷に至る基準地震動  $S_s$  までの地震が発生した場合でも、大物搬入口建屋と内側扉の間は原子炉建屋付属棟であり基準地震動  $S_s$  に対する健全性を有すること、大物搬入口建屋から内側扉までの離隔距離として 13m 有しており、大物搬入口建屋が地震で損傷した場合でも、その影響が内側扉に及ぶことはないことから、内側扉の機能は健全である。また、内側扉開放時には、当該作業に係る作業員が常時待機していること、内側扉の駆動用電源は非常用電源から供給され地震時においても電源が確保可能であることから、閉止作業についても速やかに対応可能である。

なお、内側扉閉止までに時間を要する状態として、大物搬入口建屋に進入する大型車両である使用済燃料の輸送のためのキャスクトレーラが原子炉建屋付属棟及び二次格納施設にかけて配置されている場合が考えられる。年間約 90 時間の内側扉開放時

間のうち，このような状態となる時間は更に限定されるが，第2図のとおりキャスクトレーラを原子炉建屋付属棟側に移動することで，内側扉は閉止可能である。



第2図 キャスクトレーラと大物搬入口内寸法との関係

また，耐震Cクラスである大物搬入口建屋が損傷に至る基準地震動 $S_s$ までの地震を想定した場合においても，キャスクトレーラを第2図に示す内側扉の閉止が可能な位置まで移動させることを妨げるものでないことを補足1に示す。

## ii) 被ばくに対する検討

i) に記載のとおり，内側扉の開放時に，大物搬入口建屋の気密性が損なわれる可能性のある地震又はLOCAのどちらか一方の事象が発生した場合には，速やかに内側扉の閉止作業を行う運用とする。ここで，地震の発生により二次格納施設の気密性が損なわれた場合，LOCA時に内側扉を閉止するまでの間は，格納容器から原子炉建屋を介して大気へ放出される放射性物質による内側扉を閉止する作業員及び外部への被ばく影響が想定さ

れるため、その被ばく影響について評価した結果を以下に記載する。

① 内側扉閉止時における作業員の被ばく評価

内側扉開放時に L O C A 及び地震が発生した場合の内側扉を閉止する作業員への被ばく影響を第 2 表に示す条件により評価した。その結果、第 3 表に示すとおり、作業員の滞在時間を無限期間に想定するなど保守的な条件下においても、作業員の実効線量は約 2.6mSv となり、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）」の判断基準である「1 人あたりの被ばく経路ごとの実効線量の合算値が、100mSv を超えない」ことに照らしても、作業環境を十分に有していることを確認した。

② 非居住区域境界外での実効線量評価

内側扉開放時に L O C A 及び地震が発生した場合の外部への被ばく影響を第 2 表に示す条件により評価した。その結果、第 3 表に示すとおり、内側扉が無限期間開放した条件を想定するなど保守的な条件下においても、非居住区域境界外での実効線量は約  $2.1 \times 10^{-1}$  mSv となり、本事故による周辺の公衆に与える放射線被ばくのリスクは十分小さい<sup>※1</sup>ことを確認した。

※1 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、敷地境界外での実効線量が発生事故当たり 5mSv を判断基準とした。

第 2 表 評価条件

	評価条件 (内側扉開放時の影響評価)	原子炉冷却材喪失時の核分裂生成物の放出量及び線量の評価との相違
冷却材中に存在するよう素	約 $6.0 \times 10^{13}$ Bq	無
燃料棒から追加放出されるよう素	約 $2.2 \times 10^{15}$ Bq	無
燃料棒から追加放出される希ガス ( $\gamma$ 線実効エネルギー 0.5MeV 換算値)	約 $4.5 \times 10^{15}$ Bq (約 $6.0 \times 10^{15}$ Bq)	無
格納容器内への放出割合	100%	無
燃料棒から格納容器内に放出されたよう素の化学組成	有機よう素：4% 無機よう素：96%	無
格納容器内の沈着率	無機よう素：50% 有機よう素：考慮しない 希ガス：考慮しない	無
格納容器スプレイ水又はサプレッション・チャンバのプール水に溶解する割合	無機よう素：分配係数 100 有機よう素：考慮しない 希ガス：考慮しない	無
格納容器内における核分裂生成物の自然崩壊	考慮する	無
格納容器内の漏えい率	0.5%/d	無
原子炉建屋ガス処理系の機能	考慮しない (保守的に原子炉建屋ガス処理系の換気率及びフィルタ機能を考慮しない条件を設定)	有
原子炉建屋における床、壁等の沈着効果	考慮しない	無
事故の評価期間 (被ばく評価期間)	無限期間	無
作業員の被ばく評価条件	格納容器内から漏えいした核分裂生成物が内側扉の設置エリアである原子炉建屋 1 階に全て内包され均一に分布し、当該エリアに存在し続けるものとする	—
非居住区域境界外の評価条件	作業員の被ばく評価条件とは異なり、格納容器内から漏えいした核分裂生成物が原子炉建屋に保持されず全て地上放出されるものとする	有

第 3 表 評価結果

	評価結果 (内側扉開放時の影響評価)	(参考) 原子炉冷却材喪失時 の評価結果
内側扉閉止時における 作業員の被ばく評価	約 2.6mSv	—
非居住区域境界外での 実効線量評価	約 $2.1 \times 10^{-1}$ mSv	約 $2.7 \times 10^{-4}$ mSv

上記 i) 及び ii) については、内側扉開放時に L O C A が発生した上に、地震発生により大物搬入口建屋が損傷する場合を想定し、この場合の内側扉の閉止作業の可能性及び内側扉の閉止作業の間、外部への被ばく影響が小さいことについて整理したが、このような事象が起きる可能性は十分に小さい（補足 2 参照）。

### 3.3 定期検査時

定期検査時は、燃料集合体落下の可能性を有する作業として燃料集合体の取替作業（以下「燃料取替作業」という。）が存在する。

この燃料取替作業時には内側扉の開放作業を計画的に実施しない運用とすること、また燃料取替作業時に内側扉の開放の必要が生じたときには燃料集合体を取り扱う作業を一時的に中断する運用とすることにより、内側扉が開放された状態での燃料取替作業時における燃料集合体の落下を防止することとする。

## 4. まとめ

東海第二発電所では、内側扉を耐震 S クラスとし、大物搬入口建屋を含む外側扉までを耐震 C クラスとして扱うこととしており、その妥当性を以下のとおり整理した。

- ・出力運転時（通常運転時）には、原則、内側扉及び外側扉を閉じて運転しており、仮に両扉の開放状態を仮定した場合でも平常時

被ばく評価への影響が小さいこと

- ・出力運転時に L O C A 及び地震の発生を想定した場合でも、内側扉の閉止作業が可能であり、閉止までの間の被ばく影響が小さいこと
- ・定期検査時の燃料取替作業時における内側扉の開放作業を実施しないこと

大物搬入口建屋の損傷による耐震 S クラスの設備への波及的影響として、詳細設計段階で大物搬入口建屋に隣接する原子炉建屋の耐震性を損なわないことの確認、使用済燃料輸送中のキャスクへの衝突等に至ったとしても、キャスクの機能に影響を与えないことの確認を行う。

また、大物搬入口建屋が損傷に至る基準地震動  $S_s$  までの地震によって、原子炉建屋付属棟へのキャスクトレーラの移動を妨げずに内側扉の閉止が可能な位置まで移動させることを詳細設計段階で示す。



## 大物搬入口建屋の損傷による原子炉建屋内部への影響

## 1. 概要

本資料では、大物搬入口建屋の損傷が原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）でのキャスクトレーラの移動の支障となることがないことを示す。

## 2. 構造概要

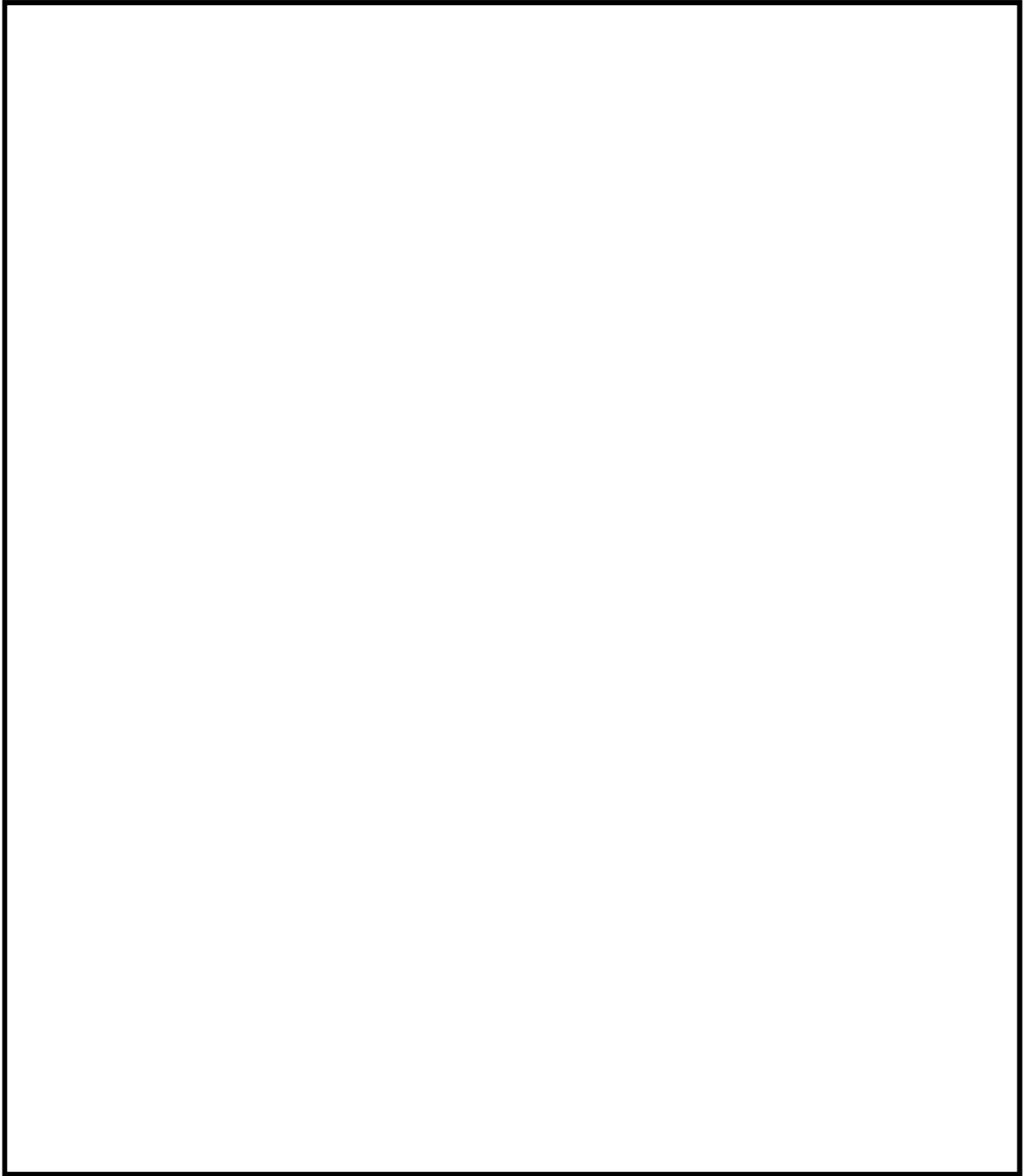
大物搬入口建屋は、地上 1 階建てで、平面が約 14 m（南北方向）×約 8.5 m（東西方向）、高さが約 8 m（一部約 6.5 m）の鉄骨造の建物であり、大物搬入口建屋と付属棟のクリアランスは約 50 mm ある。

大物搬入口建屋の屋根及び壁は P C 鋼線入りのコンクリート板（厚さ 100mm）で構成されており、柱、梁及びブレースの外側に取り付けられている。また、大物搬入口建屋の南側には扉の風除けのための壁を設置しており、この風除壁部は構造上独立している。

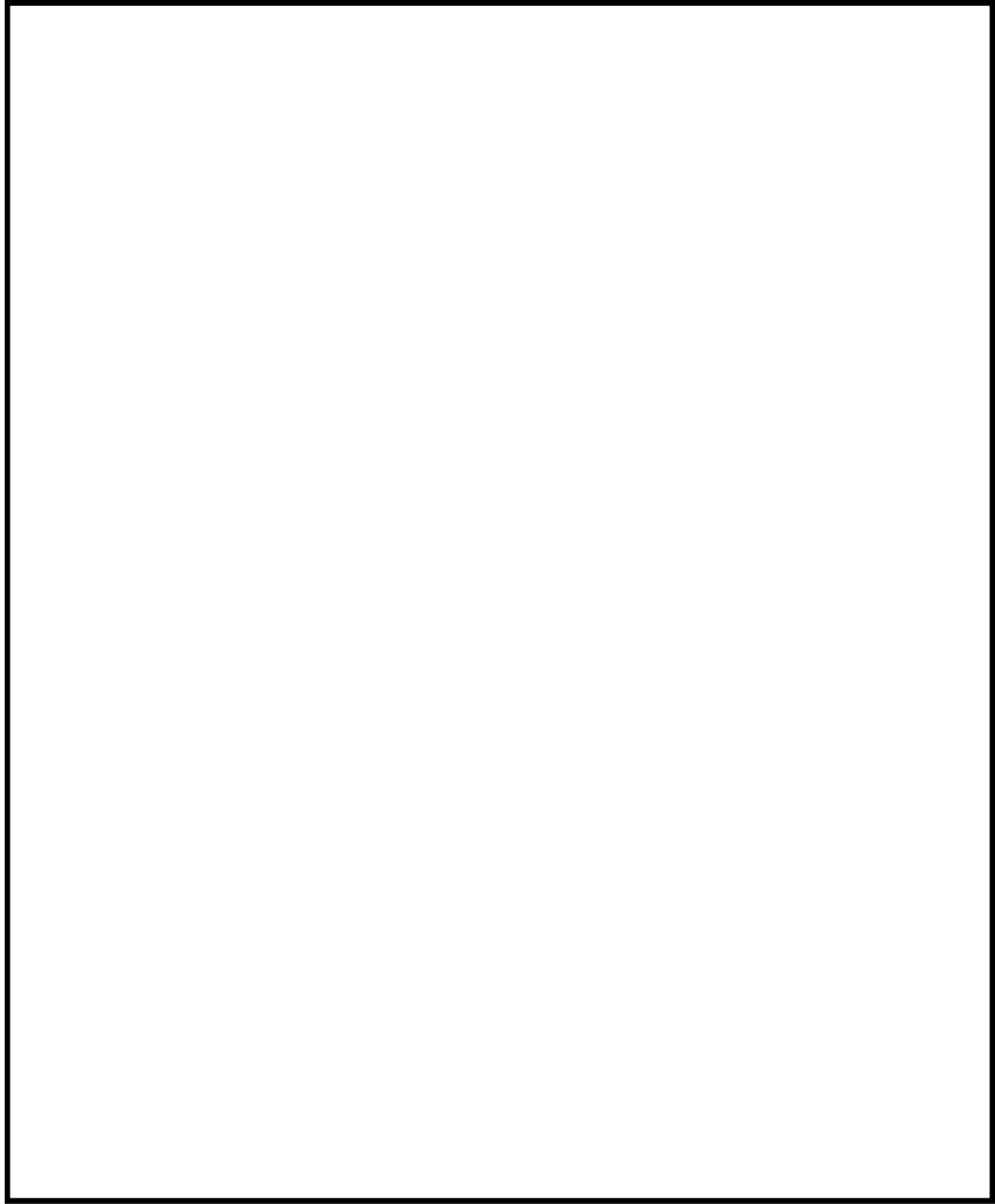
第 3 図～第 6 図に大物搬入口建屋の平面図、立面図、軸組図、天井伏図を示す。

## 3. 大物搬入口建屋の損傷による付属棟内部への影響

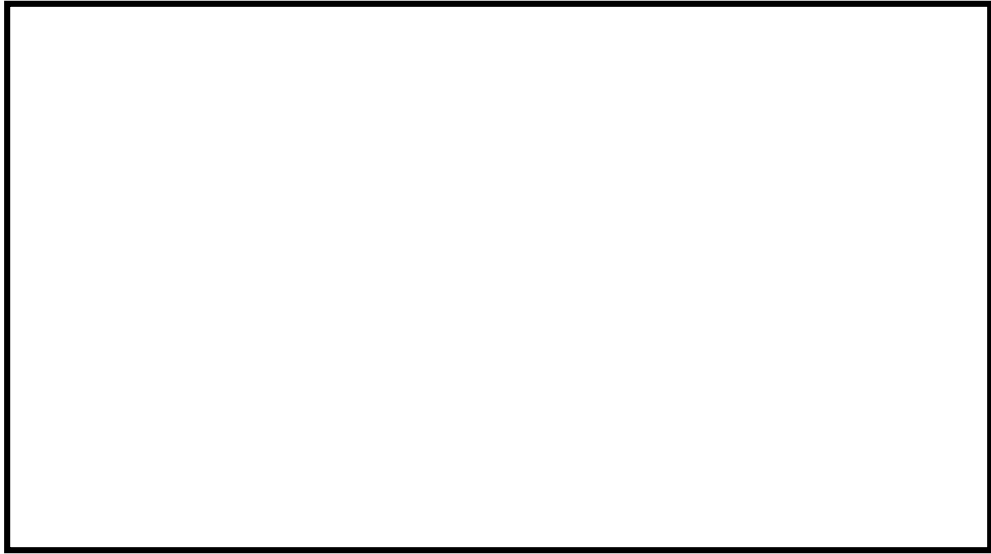
大物搬入口建屋の損傷モードとして倒壊と部材（コンクリート板、ブレース等）の落下が想定される。東西南北の各方向の地震力に対して生じる各損傷モードについて、付属棟内部に及ぼす影響を整理し第 4 表に示す。同表に示すとおり、各方向の地震力に対し、付属棟内部への大物搬入口建屋の倒壊及び部材の落下は想定されない。したがって、大物搬入口建屋の損傷が付属棟でのキャスクトレーラの移動の支障となることはない。



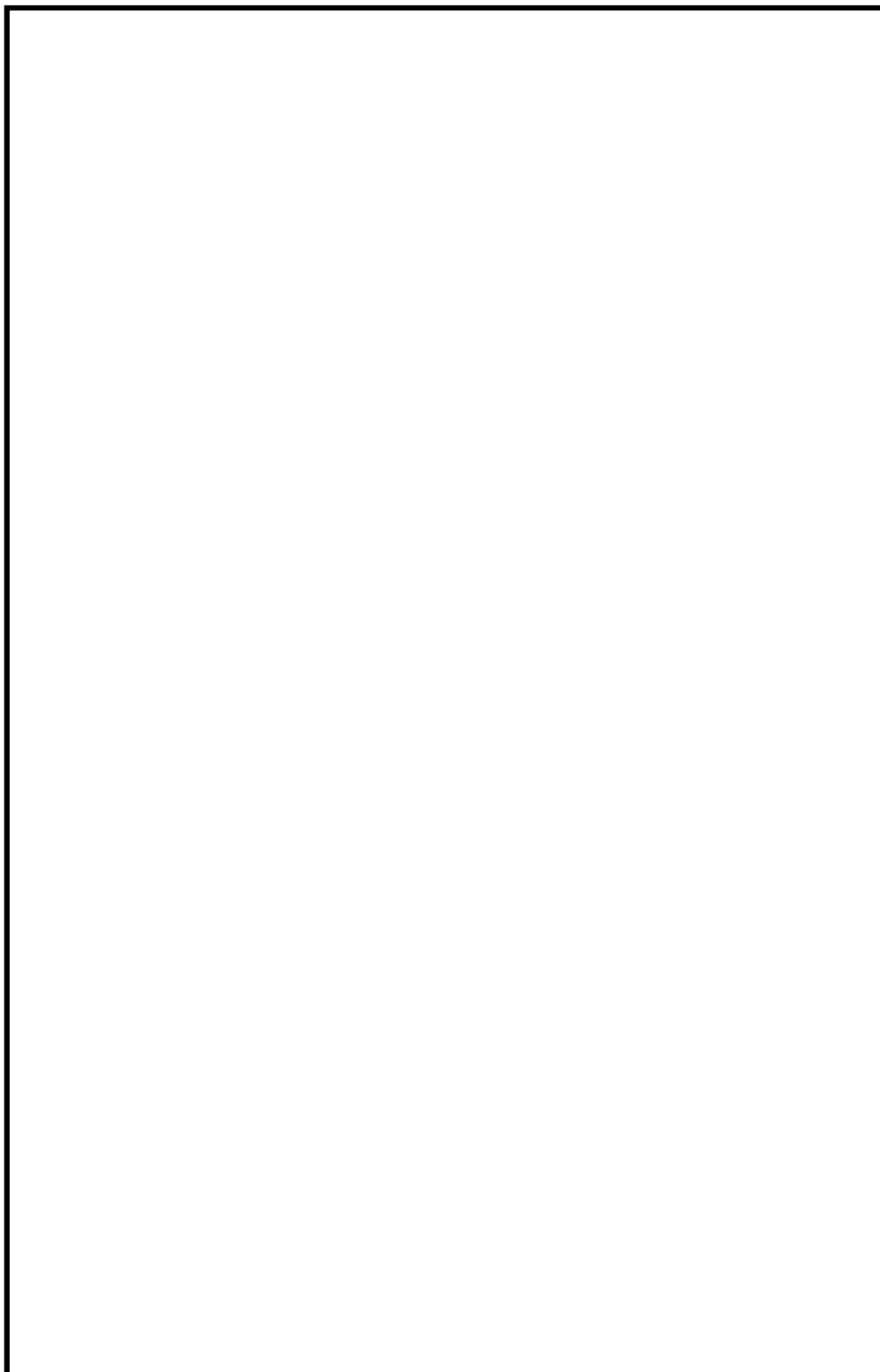
第 3 図 大物搬入口建屋の平面図



第 4 図 大物搬入口建屋の立面図

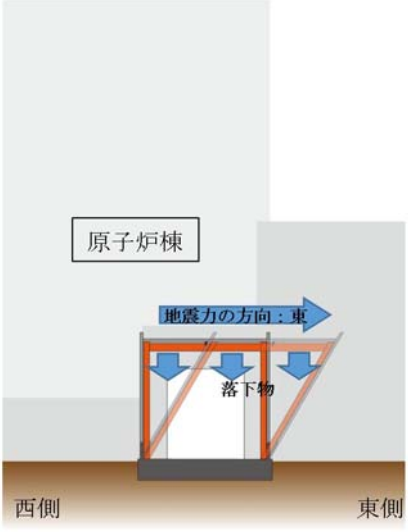
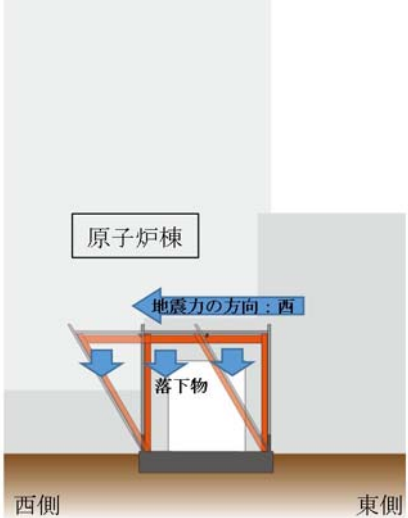


第 5 図 大物搬入口建屋の軸組図

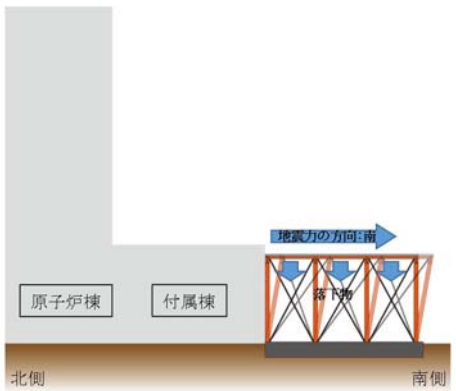
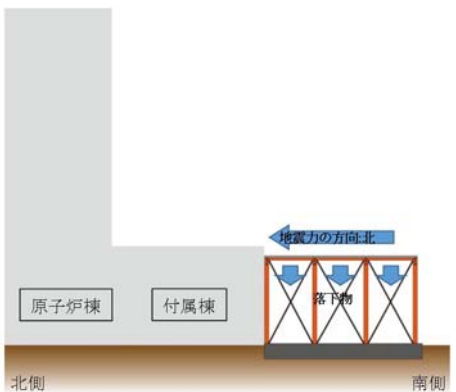


第 6 図 大物搬入口建屋の天井伏図

第 4 表 大物搬入口建屋の地震時の損傷モード及び付属棟内部への影響  
( 1 / 2 )

地震力の方向	大物搬入口建屋の損傷モード		付属棟内部への影響
東向き	倒壊	東側に倒壊する。	 <p data-bbox="1233 658 1347 763">影響はない。</p>
	部材の落下	大物搬入口建屋内，又は東側， <b>南側</b> に落下する。	
西向き	倒壊	西側に倒壊する。	 <p data-bbox="1233 1229 1347 1335">影響はない。</p>
	部材の落下	大物搬入口建屋内，又は西側， <b>南側</b> に落下する。	

第 4 表 大物搬入口建屋の地震時の損傷モード及び付属棟内部への影響  
( 2 / 2 )

地震力の方向	大物搬入口建屋の損傷モード		付属棟内部への影響
南向き	倒壊	南側に倒壊する。	 <p data-bbox="1233 725 1434 831">影響はない。</p>
	部材の落下	大物搬入口建屋内，又は東側，西側，南側に落下する。	
北向き	倒壊	北側には付属棟の開口周囲の壁があるため，倒壊しない。※1	 <p data-bbox="1233 1368 1434 1473">影響はない。</p>
	部材の落下	大物搬入口建屋内，又は東側，西側，南側に落下する。	

※ 1 : 付属棟との取合部における大物搬入口建屋の架構は付属棟の開口寸法より大きいため，大物搬入口建屋が北側に変位すると付属棟の開口周囲の壁に接することとなり，それ以上の変位が制限されるため，北側に倒壊することはない。

内側扉開放時に地震起因による L O C A の発生する確率並びに地震及び L O C A の同時発生する確率について

#### 1. 内側扉開放時の地震起因による L O C A の発生について

二次格納施設の気密性の要求は、原子炉建屋ガス処理系の起動が必要となる設計基準事故（L O C A、燃料集合体の落下）に備えたものであるが、原子炉冷却材圧力バウンダリは耐震 S クラスとしており、基準地震動  $S_s$  による L O C A の発生はない。なお、燃料交換機は、基準地震動  $S_s$  によっても、吊り上げた燃料を落下させることはなく、燃料集合体の落下は発生しない。

また、地震 P R A では、地震の年超過確率、各設備が有する設計上の耐震裕度から地震時における L O C A の発生確率を求めている。地震 P R A において基準地震動  $S_s$  相当である  $1.03G$  を包絡する地震加速度  $1.10G$  までの L O C A の発生確率は約  $1 \times 10^{-11}$  / 炉年であり、内側扉の開閉状態に関係なく、基準地震動  $S_s$  により L O C A が発生する確率は十分小さい。さらに、1 年間のうち内側扉を開放している時間は約 90 時間であり、内側扉の開放割合は年間  $1.1 \times 10^{-2}$  ( $\doteq 90$  時間 / 8,760 時間) であることを考慮すれば、確率的に更に小さくなる。

以上より、地震起因により L O C A が発生する可能性は十分に小さい。

#### 2. 内側扉開放時の地震及び L O C A の同時発生について

1 年間のうち内側扉が開放している時間は約 90 時間であり、1 年間当たりの割合としては  $1.1 \times 10^{-2}$  となる。L O C A の発生確率は、内部事象 P R A の算定結果から  $5.2 \times 10^{-4}$  / 炉年であり、また、地震の発生確率は JEAG4601・補-1984 に記載されている基準地震動  $S_2$  及び  $S_1$  の発生確率を基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の超過確率に読み替え



ることにより，基準地震動  $S_s$  の発生確率は  $5 \times 10^{-4}$  / 年，弾性設計用地震動  $S_d$  の発生確率は  $10^{-2}$  / 年となる。これらの結果から，内側扉開放時に L O C A が発生し，その状態が 1 年間継続している間に地震が発生する確率は，基準地震動  $S_s$  の場合は約  $2.9 \times 10^{-9}$  / 炉年，弾性設計用地震動  $S_d$  の場合は約  $5.8 \times 10^{-8}$  / 炉年となり，確率は十分に小さい。