

# 東海第二発電所

## 使用済燃料貯蔵対策について(改訂版)

2022年2月21日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

## 目 次

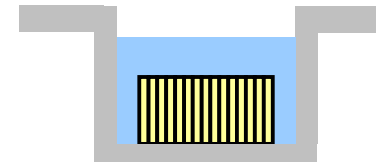
1. 東海第二発電所の使用済燃料貯蔵方法と安全性, 運用性 .....	3
2. 福島第一原子力発電所事故の教訓 .....	4
3. 福島第一原子力発電所事故の教訓に対する新たな対策 .....	5
4. 事故の教訓に基づく使用済燃料プールの安全対策 .....	6
5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要 .....	11
6. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性 .....	15
7. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価結果 .....	18
8. 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震評価結果 .....	20
9. 使用済燃料乾式貯蔵容器 支持構造物の耐震補強 .....	21
10. 津波の影響評価及び対策 .....	22
11. 東海第二発電所の使用済燃料貯蔵・搬出及び処理方針 .....	26
12. まとめ .....	28

補足説明資料 使用済燃料貯蔵対策について

- 東海第二発電所は使用済燃料の貯蔵方法として以下の2つの手段を有している。

## ①使用済燃料プールでの貯蔵

①使用済燃料プール



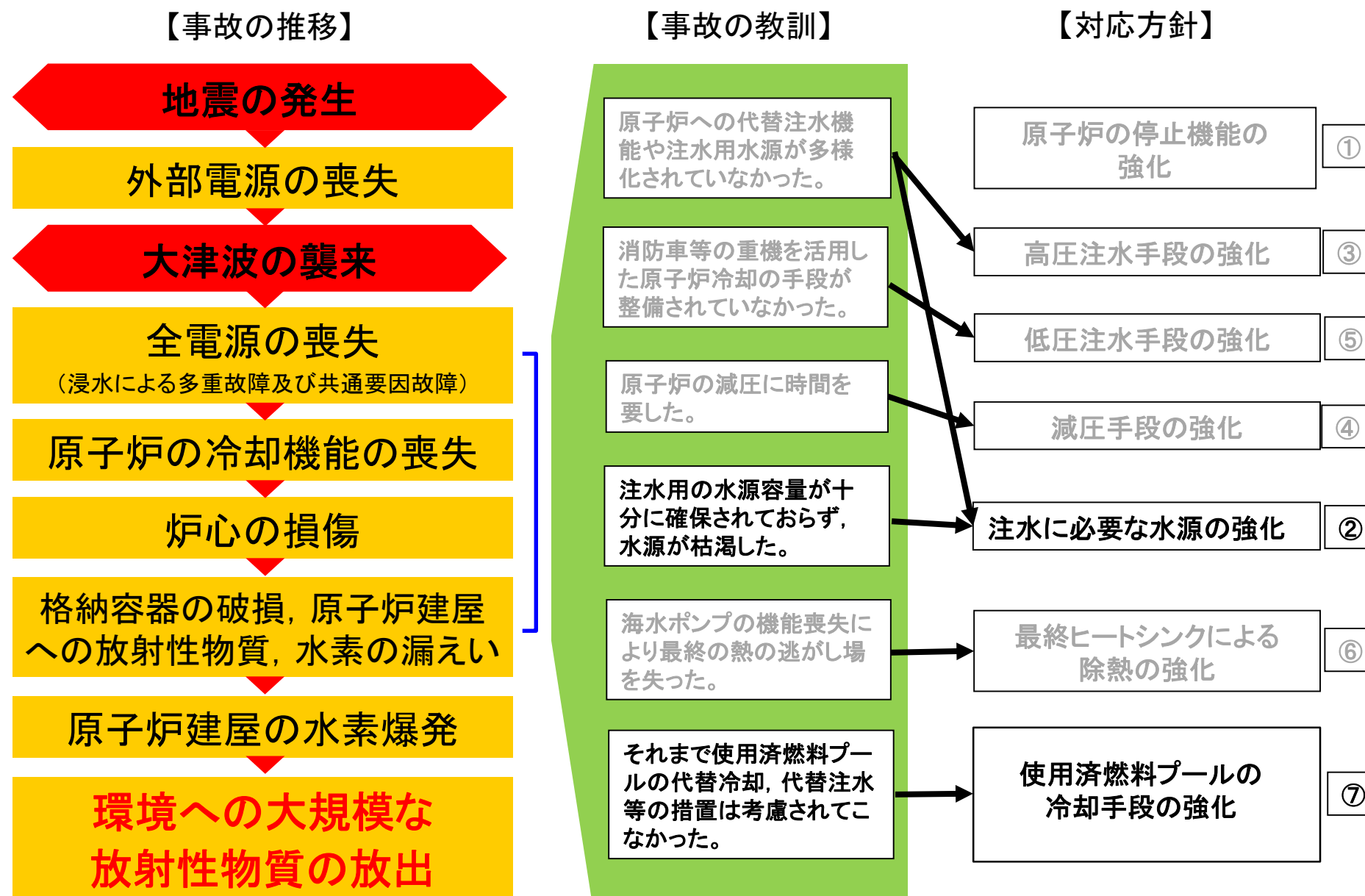
## ②使用済燃料乾式貯蔵施設での貯蔵

②使用済燃料乾式貯蔵施設



- 使用済燃料プールでの貯蔵に関しては、福島第一原子力発電所事故を踏まえ、使用済燃料プールの水位の維持や冷却手段の確保が教訓とされたことから、東海第二発電所は使用済燃料プールの安全対策の強化を実施する。
- 一方、使用済燃料乾式貯蔵施設での貯蔵に関しては、使用済燃料の冷却方法が外気を利用した自然対流冷却であり、発電機やポンプ等の動的な設備を要しない特徴から、設備の偶発的な故障に加え地震・津波等の外部事象等に対しても、当初より高い信頼性・安全性を有するとされている。
- ここでは、①使用済燃料プールを対象とした安全対策の強化について整理し、②使用済燃料乾式貯蔵施設の概要とその安全性について示す。
- また、国内における核燃料サイクル事業の状況も踏まえて、東海第二発電所の使用済燃料の貯蔵、搬出及び処理の方針や計画について示す。

## 2. 福島第一原子力発電所事故の教訓



### 3. 福島第一原子力発電所事故の教訓に対する新たな対策



- 福島第一原子力発電所事故で得られた教訓に対する新たな安全対策として、**使用済燃料プールへの注水手段や冷却手段の強化**として、以下の対策を施す。

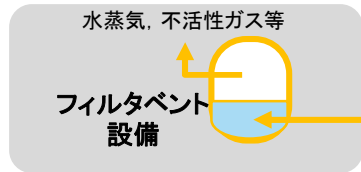
対策の目的	対策の方向性	従来から備えていた対策	事故の教訓に基づく新たな安全対策	備考
(止める) ・原子炉緊急停止	①原子炉の停止機能の強化	・代替制御棒挿入機能 ・ほう酸注入系 ・代替再循環ポンプトリップ機能(低速度運転有)	・代替再循環ポンプ停止機能(低速度運転電源停止)	強化
(冷やす) ・炉心損傷防止 ・使用済燃料プール冷却	②注水に必要な水源の強化	・復水貯蔵タンク ・サプレッション・プール	・代替淡水貯槽 ・西側淡水貯水設備 ・SA用海水ピット	新規
	③高圧注水手段の強化	・高圧炉心スプレイ系ポンプ ・原子炉隔離時冷却系ポンプ	・高圧代替注水系	新規
	④減圧手段の強化	・逃がし安全弁 ・過渡時自動減圧機能	・逃がし安全弁用可搬型蓄電池 ・非常用窒素供給系高圧窒素ポンプ	強化
	⑤低圧注水手段の強化	・低圧炉心スプレイ系ポンプ ・残留熱除去系ポンプ	・低圧代替注水系(常設・可搬)	新規
	⑥最終ヒートシンクによる除熱の強化	・復水器 ・残留熱除去系 ・原子炉冷却材浄化系	・緊急用海水系 ・代替循環冷却系 ・フィルタベント設備	新規
	⑦使用済燃料プールの冷却手段の強化	・燃料プール冷却浄化系 ・残留熱除去系(プール冷却モード) ・燃料プール水位計	・低圧代替注水系(常設・可搬) ・代替燃料プール冷却系 ・燃料プール監視強化	新規

: 使用済燃料プールの安全対策に係る内容

# 4. 事故の教訓に基づく使用済燃料プールの安全対策 (1/5)



## ⑥ 最終ヒートシンクによる除熱の強化(2)



## ① 原子炉の停止機能の強化

再循環ポンプ停止回路追加

## ④ 減圧手段の強化



逃がし安全弁  
可搬型蓄電池

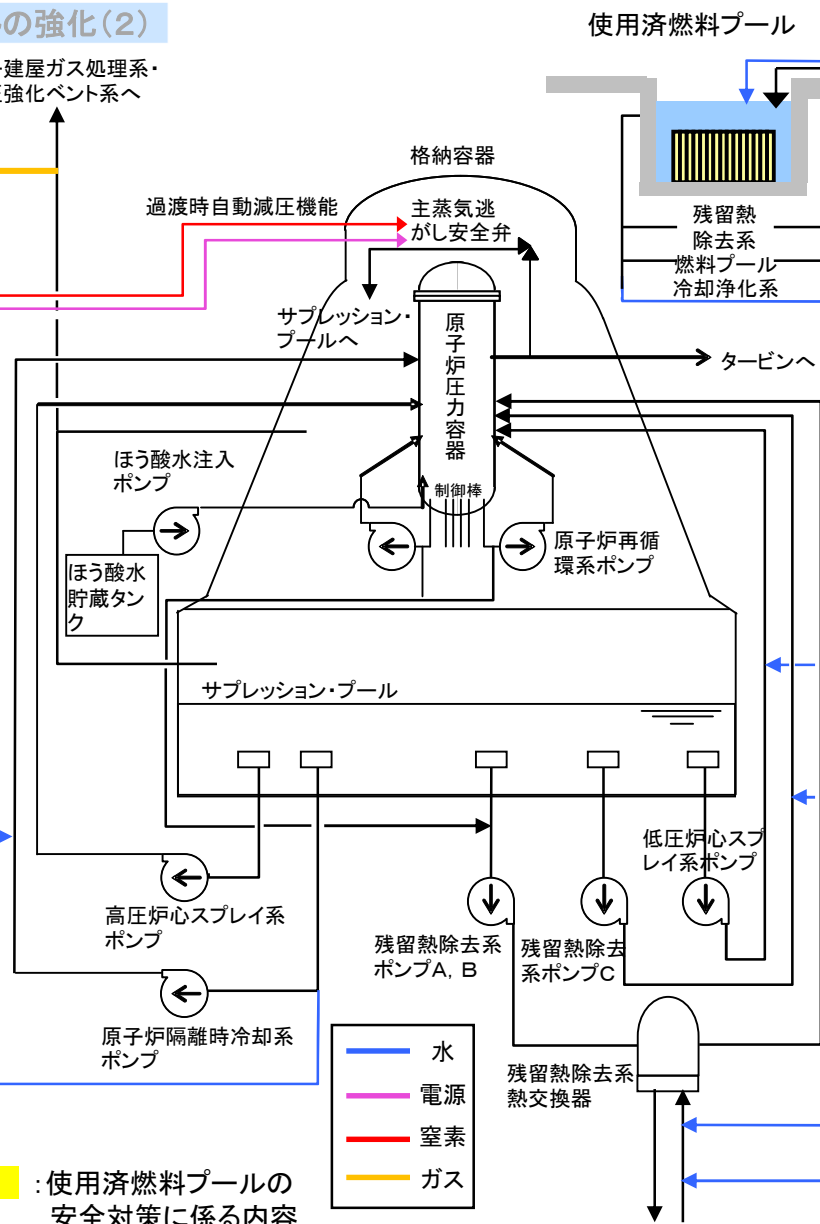
## ③ 高圧注水手段の強化

常設高圧代替注水ポンプ

緊急用125V系蓄電池  
常設代替直流電源設備

可搬型低圧電源車 可搬型整流器  
可搬型代替直流電源設備

：使用済燃料プールの安全対策に係る内容



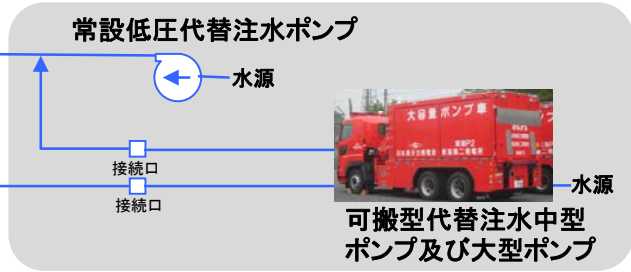
## ⑦ 使用済燃料プールの冷却手段の強化



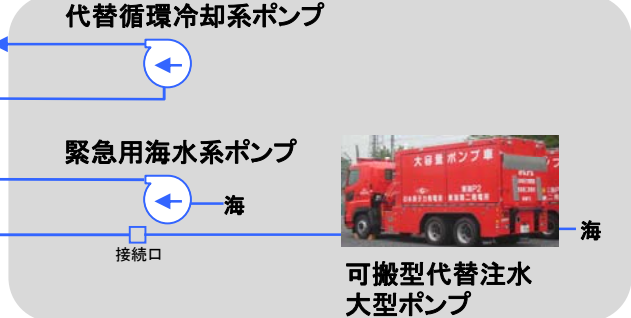
## ② 注水に必要な水源の強化



## ⑤ 低圧注水手段の強化



## ⑥ 最終ヒートシンクによる除熱の強化(1)



使用済燃料-6

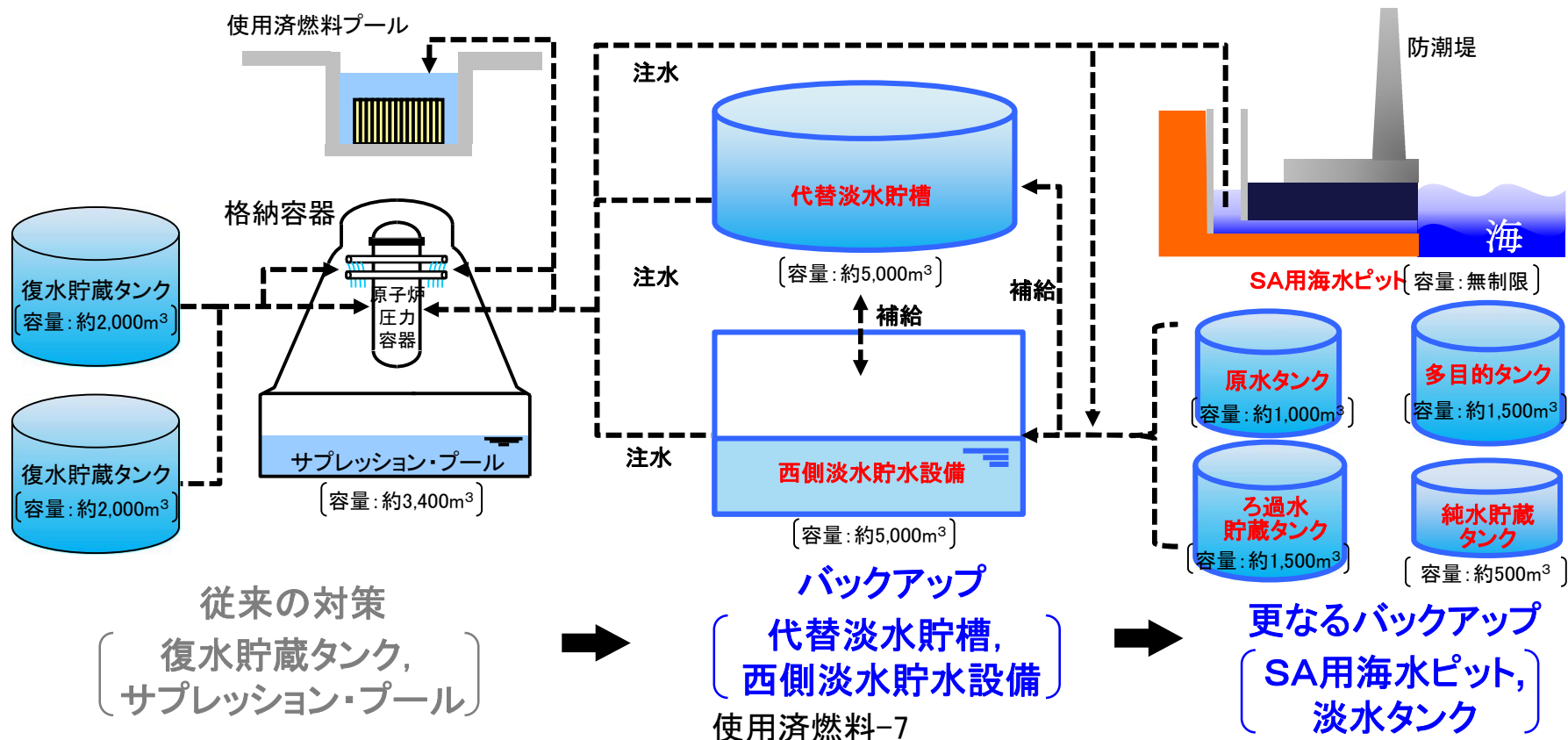
#### 4. 事故の教訓に基づく使用済燃料プールの安全対策 (2/5)



##### ②注水に必要な水源の強化

###### 【代替淡水貯槽, 西側淡水貯水設備, SA用海水ピットの新設】

- 使用済燃料の損傷を防ぐためには、使用済燃料プールの冷却停止時やプール水漏洩時において、**使用済燃料プール**の**水位確保が重要**。このため**注水用の水源を増強**
- 地下式の代替淡水貯槽, 西側淡水貯水設備, SA用海水ピットを設置することで、**竜巻や、敷地に遡上する津波等の外部事象**に対しても、**確実に水源を確保可能**。また、既存設備の各種淡水タンクも利用可能時には活用
- 代替淡水貯槽, 西側淡水貯水設備には、**原子炉及び使用済燃料プールに7日間の注水が可能**な量を確保





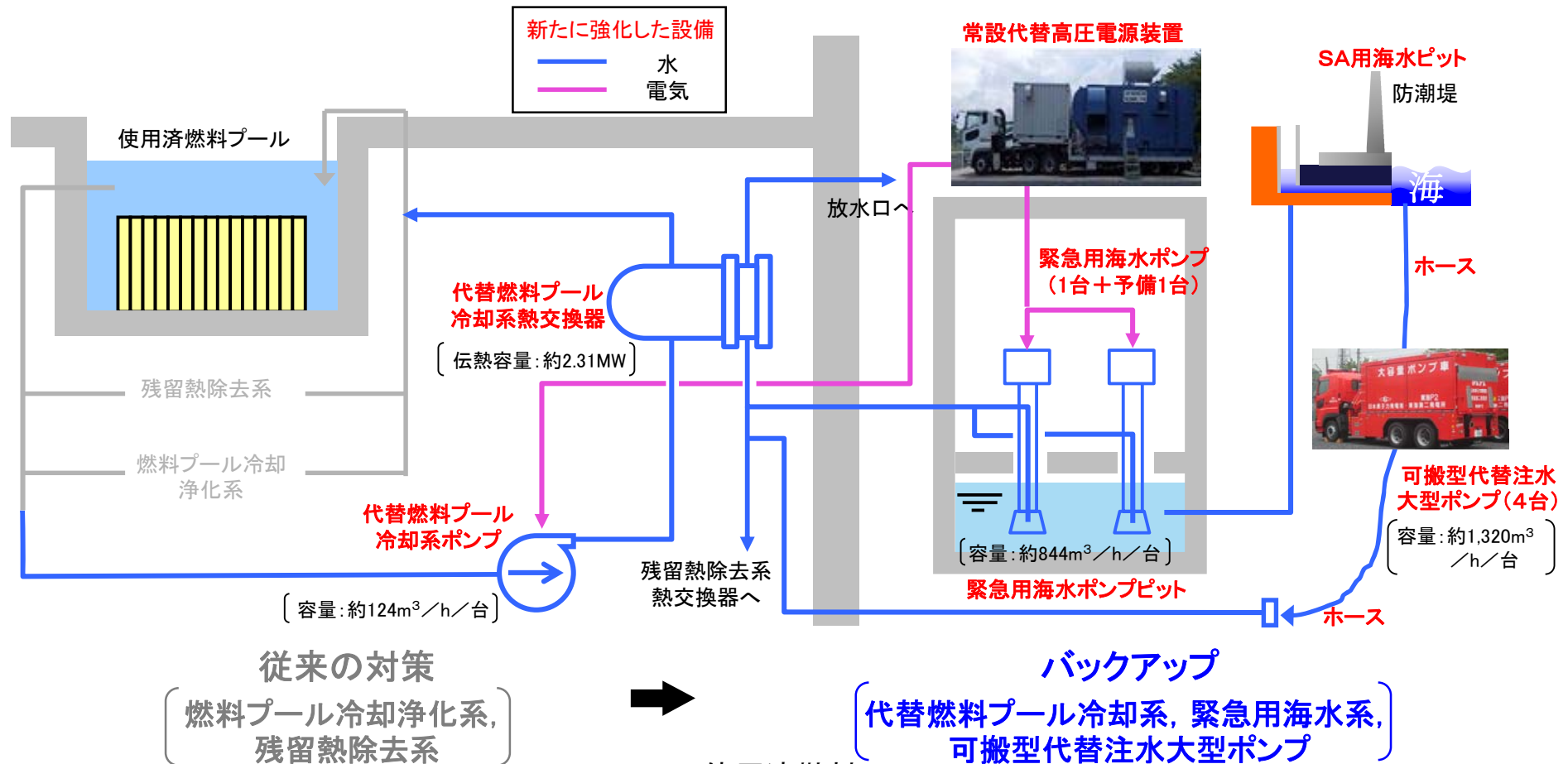
## 4. 事故の教訓に基づく使用済燃料プールの安全対策 (3/5)



### ⑦使用済燃料プールの冷却手段の強化 (1)

#### 【代替燃料プール冷却系の設置】

- 使用済燃料プールの冷却機能が喪失し、プール内の燃料体を冷却できなくなる場合に備えて、新たに**燃料プールを冷却するためのシステムを設置**
- 既設の**燃料プール冷却系及び残留熱除去系の両方の機能が喪失した場合でも、代替燃料プール冷却系により、使用済燃料プールの冷却が可能**
- 代替燃料プール冷却系は、可搬型代替注水大型ポンプからも海水の供給が可能



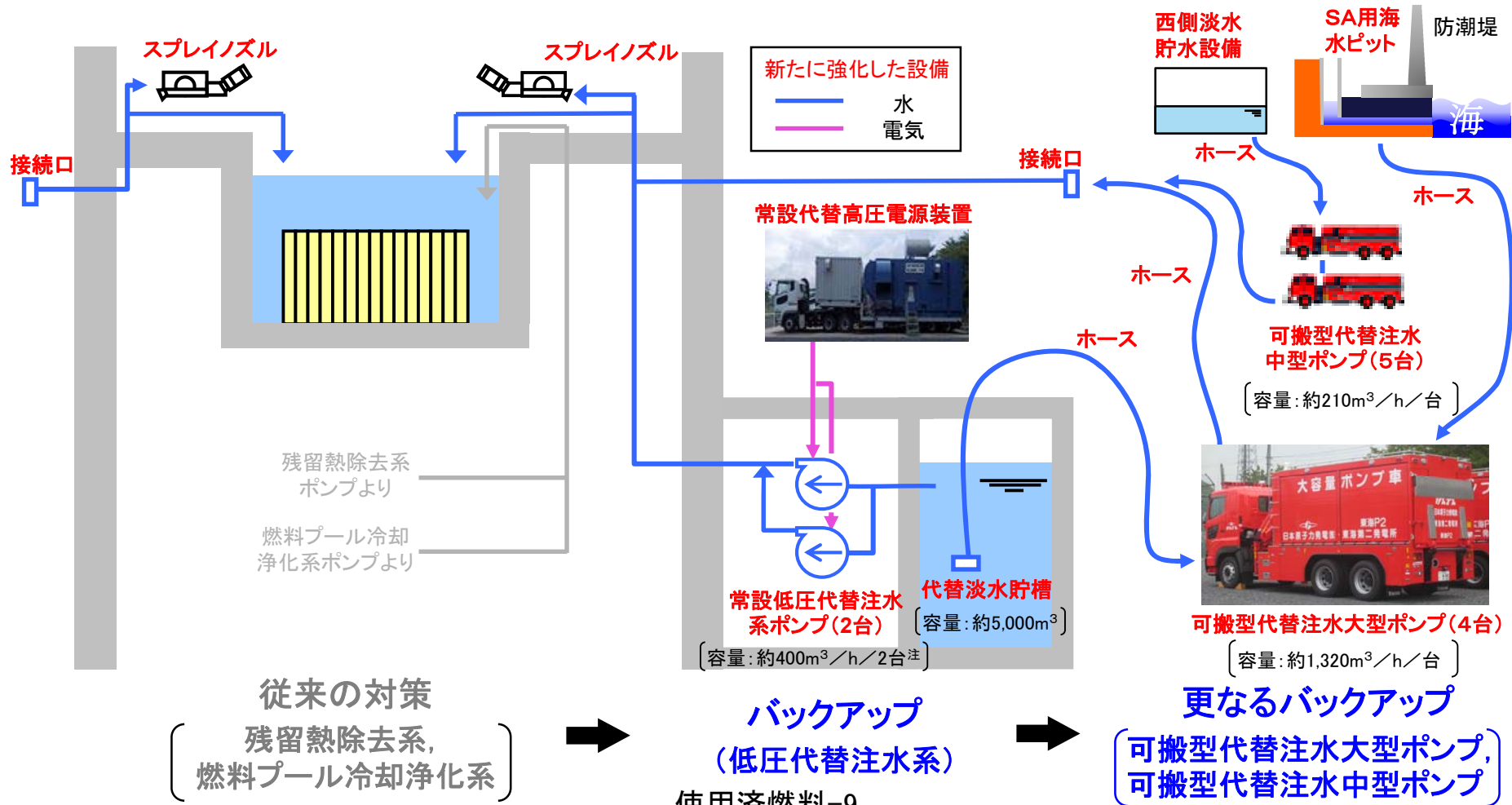


#### 4. 事故の教訓に基づく使用済燃料プールの安全対策 (4/5)

##### ⑦使用済燃料プールの冷却手段の強化 (2)

###### 【低圧代替注水系(常設, 可搬)を設置】

- 使用済燃料プールへの注水機能の喪失や, 使用済燃料プールからの水の漏えいその他の要因によりプール水位が低下した場合に備えて, 注水手段を増強
- 常設低圧代替注水系ポンプ又は可搬型代替注水大型ポンプ等を使用し, 代替淡水貯槽等の水を使用済燃料プールへ注水が可能



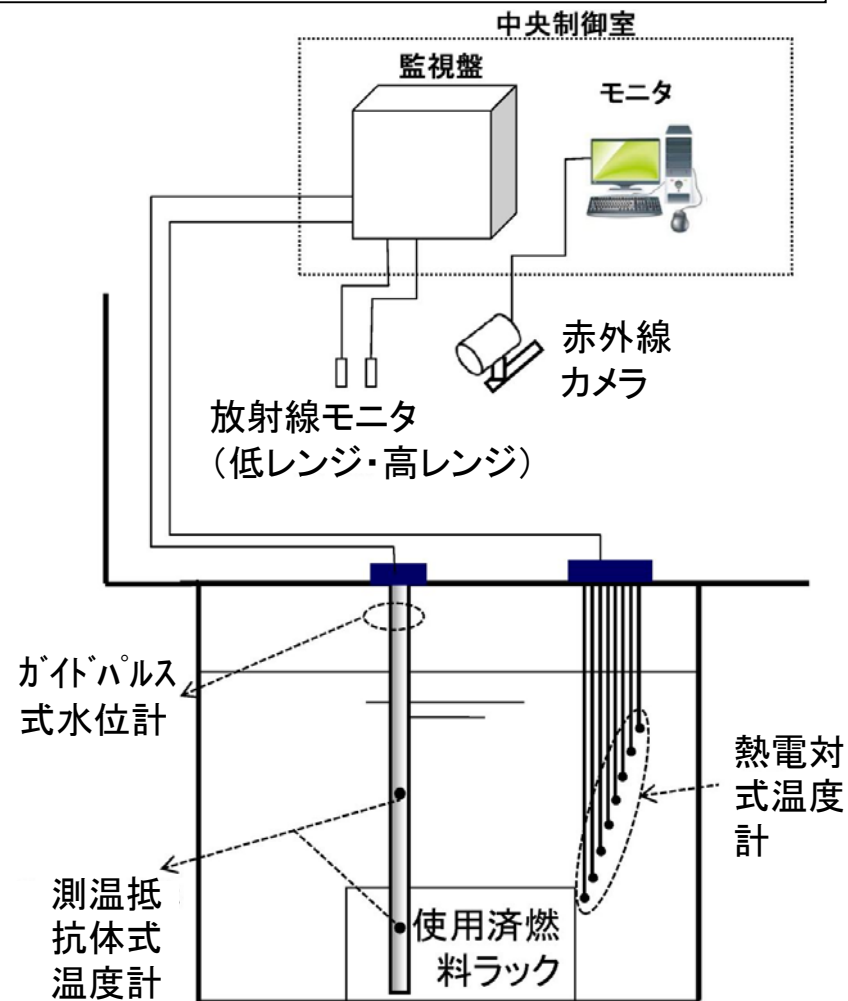
## 4. 事故の教訓に基づく使用済燃料プールの安全対策 (5/5)

### ⑦使用済燃料プールの冷却手段の強化 (3)

#### 【使用済燃料プールの監視強化】

- 従来の設備は異常検知(通常状態からの逸脱)が目的であったが、重大事故等時の使用済燃料プールの状態把握のため、**測定箇所**、**測定範囲**、**耐環境性を向上させた監視設備**を追設

監視項目	従来設備	追加設備
水位	レベルスイッチ2台 ・通常水位近傍を監視	水位計(ガイドパルス式*)1台 ・SFP底面 <b>近傍まで</b> 連続測定可能 ・ <b>耐環境性向上</b> (~100°C蒸気環境)
温度	熱電対式温度計1台 ・通常水位近傍温度を監視	熱電対式温度計1式** ・ <b>燃料頂部付近まで8点</b> の温度測定可能 ・ <b>耐環境性向上</b> (~100°C蒸気環境)
		測温抵抗体式温度計2台 ・ <b>燃料体付近まで2点</b> の温度測定可能 ・ <b>耐環境性向上</b> (~100°C蒸気環境)
放射線	放射線モニタ1台 ・従事者の放射線防護の観点から10mSv/hまでを監視	放射線モニタ(低レンジ・高レンジ各1台) ・重大事故等時の監視を目的として <b>10<sup>5</sup> Sv/h</b> までを監視 ・ <b>耐環境性向上</b> (~100°C蒸気環境)
カメラ	ITV1台 ・SFP廻り監視用	赤外線カメラ1台 ・ <b>赤外線監視機能</b> により照明停電時や蒸気雰囲気においても監視可能 ・専用空冷装置により <b>耐環境性向上</b> (~100°C蒸気環境)



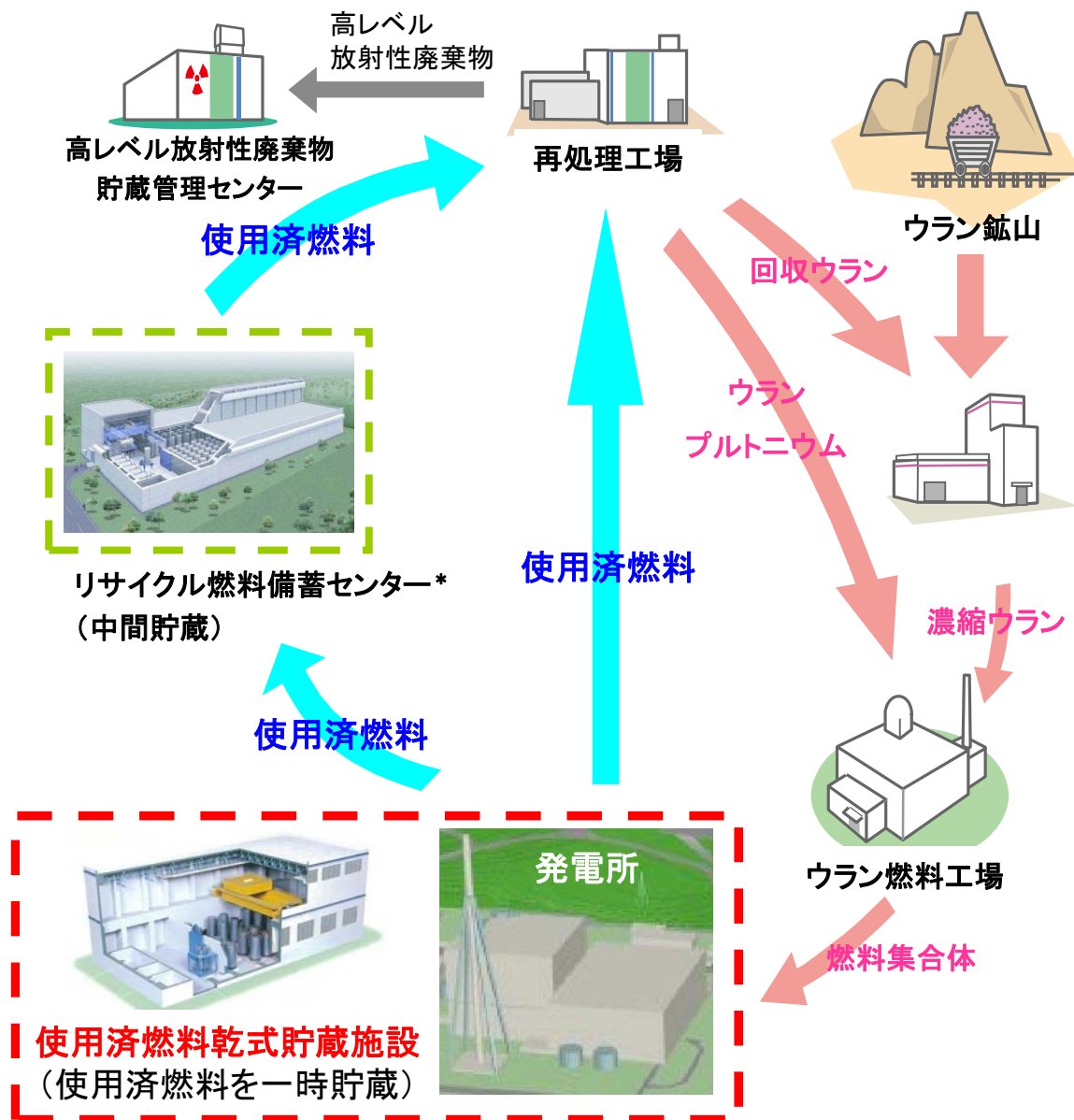
追加設備概要図

\* :パルス信号を発信し水面からの反射波を受信するまでの時間遅れから水位を測定する。

\*\* :福島第一原子力発電所事故後の緊急安全対策にて設置済

## 5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要 (1/4)

### 核燃料サイクルにおける使用済燃料乾式貯蔵施設の位置付け



■国内においては、原子力発電所で使用した**使用済燃料**は一旦発電所内等で貯蔵・管理し、再処理工場で再処理を行い、燃料として再利用する方針で事業を進めている。(核燃料サイクル)

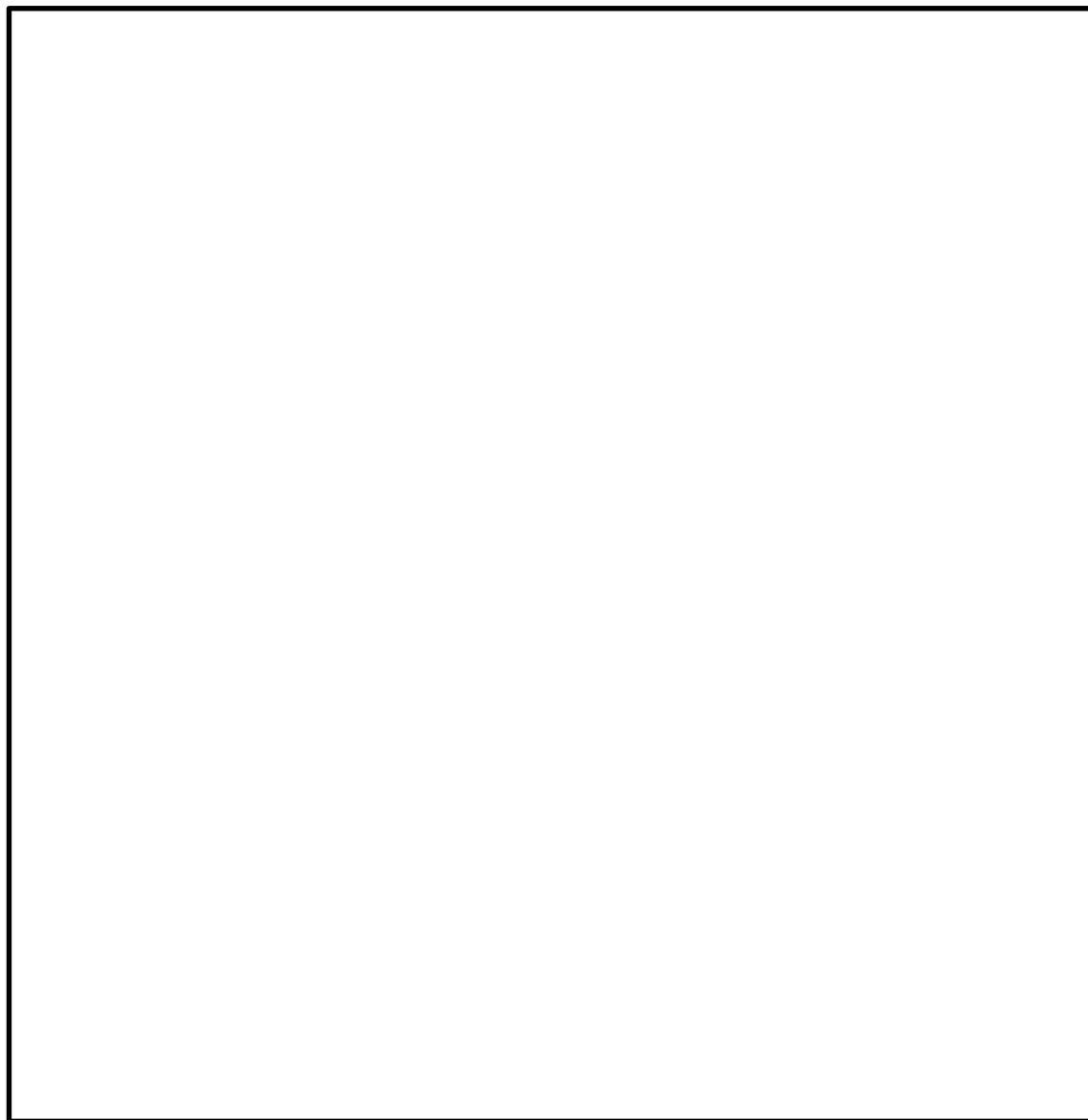
■東海第二発電所においては、使用済燃料の貯蔵量を増加させるため、**発電所内に使用済燃料乾式貯蔵施設を設置**し、平成13年より使用済燃料の貯蔵を開始している。

■使用済燃料乾式貯蔵施設における使用済燃料の**設計上の貯蔵期間は40年**としている。

\* 発電所外に当社の使用済燃料を中間貯蔵する施設として、青森県(むつ市)にリサイクル燃料備蓄センターを設置中(2020年11月設置許可)。本施設稼働後、東二使用済燃料貯蔵施設に貯蔵している使用済燃料を計画的に搬出することを検討している。

核燃料サイクルと使用済燃料乾式貯蔵施設の関係の概念図

## 5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要 (2/4) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置



- 東海第二発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設である，使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置を示す。
- **使用済燃料乾式貯蔵建屋は発電所敷地内に設置**しており，原子炉建屋内の使用済燃料プールに保管中の使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵建屋へ容易に移送できるよう設計している。
- **使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置高さは標高+8m**であり，原子炉建屋の設置高さと同様である。
- なお，福島第一原子力発電所事故を踏まえた津波対策として建設中の**防潮堤は使用済燃料乾式貯蔵建屋も囲むように設置**する計画としている。

東海第二発電所 使用済燃料乾式貯蔵建屋 配置図

使用済燃料-12

\* T.P. : 東京湾平均海面，標高と同一

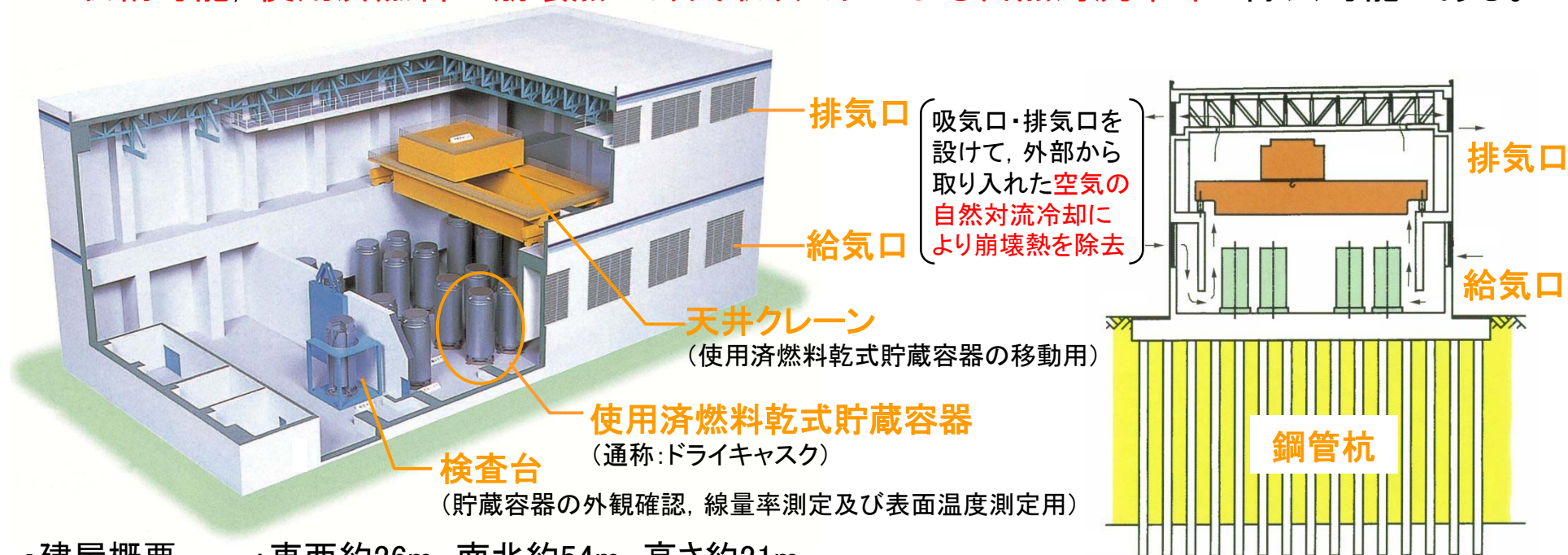


## 5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要 (3/4)

### 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要



■使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要を示す。建屋内には**使用済燃料乾式貯蔵容器を全24基**収納可能、**使用済燃料の崩壊熱は外気取り入れによる自然対流冷却**で除去可能である。



- ・建屋概要 : 東西約26m, 南北約54m, 高さ約21m
- ・建屋構造 : 鉄筋コンクリート造, 杭基礎構造を採用
- ・貯蔵容量 : 使用済燃料乾式貯蔵容器 **24基\*** (ウラン重量約250t相当)  
\* 15基に使用済燃料を収納済(平成30年12月現在)
- ・燃料収納体数 : **61体/基**

#### < 運転サイクル毎の使用済燃料発生と使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵容量の関係 >

- ・運転サイクル終了後の定期検査停止時に燃料764体(1炉心)中の約180体を使用済燃料として取出
- ・使用済燃料180体は貯蔵容器約3基分に相当 (61体/基 × 3基 = 180体)
- ・貯蔵容器24基には**8サイクル分の使用済燃料が貯蔵可能**。8サイクルは**約10年程度の期間に相当**

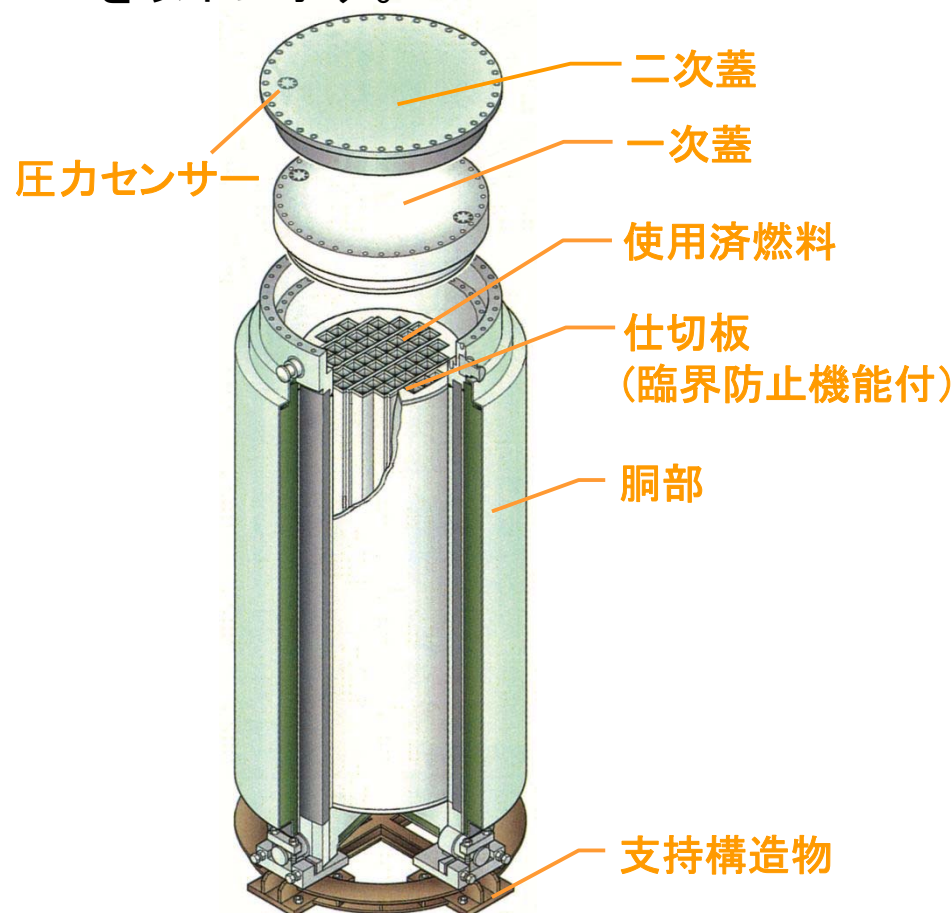
#### 【建屋の断面図】

- ・杭基礎構造  
杭の直径: 約80cm  
杭の本数: 435本  
⇒ 鋼管杭基礎により, 基準地震動Ssによる耐震評価で建屋の健全性を確認済

## 5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要 (4/4) 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能



- 使用済燃料乾式貯蔵容器の概要を示す。貯蔵容器は使用済燃料を乾燥状態で全長約6mの縦置ききの金属容器に収納し、放射線に対する遮蔽を施して密封した構造である。
- 使用済燃料を安全に貯蔵するため、使用済燃料乾式貯蔵施設が有する4つの安全機能を以下に示す。



### 【使用済燃料乾式貯蔵施設の4つの安全機能】

#### 1. 除熱機能

貯蔵施設には、給・排気口を設けて、外部から取り入れた空気の自然対流により冷却

#### 2. 閉じ込め機能

蓋部以外には開口部を設けず、一次蓋、二次蓋の二重蓋構造。蓋部は長期耐久性のある金属ガスケットで密封

#### 3. 遮蔽機能

ステンレス鋼、鉛、レジン(合成樹脂)及び建屋の遮蔽壁により、放射線を遮蔽

#### 4. 臨界防止機能

バスケット内の仕切板に、ほう素を添付したアルミニウム合金製の板(中性子吸収材)を設置

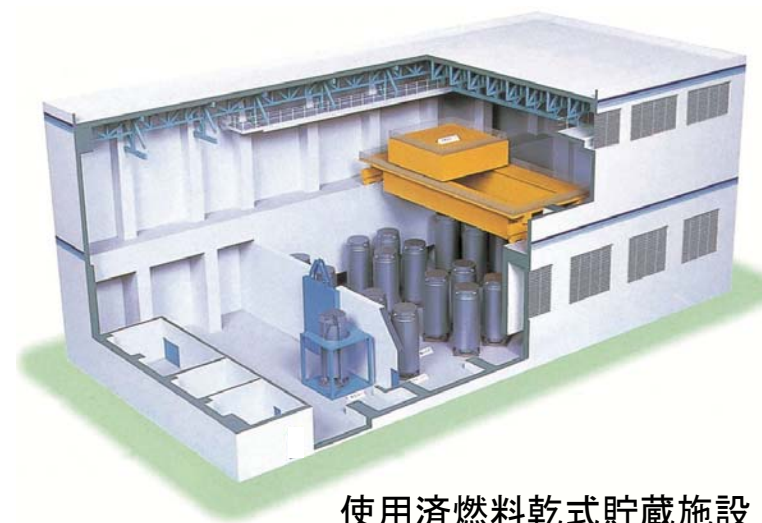
■ 主要寸法 : 全長 約5.7m, 外径 約2.4m

■ 総重量 : 約118トン(乾式貯蔵容器+使用済燃料)

■ 本体主要材質: ステンレス鋼(支持構造物: 炭素鋼)

■ ウラン重量: 約11トン(使用済燃料61体収納)

- 前項までに記載したとおり、使用済燃料乾式貯蔵施設は、**静的機器のみで4つの安全機能を達成しており(除熱機能, 閉じ込め機能, 遮蔽機能及び臨界防止機能)**, これらの機能のために電動機・ポンプ等の動的機器は要さない。このため、動的機器の作動に影響する外部電源喪失や全交流動力電源喪失等は、使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能に影響を与えない。
- 一方で、地震や津波等の外部事象に伴う外力により、使用済燃料乾式貯蔵建屋の躯体が損傷・倒壊し、内部に設置した使用済燃料乾式貯蔵容器上に落下するような場合や、貯蔵容器そのものが外力で転倒するような場合は、**貯蔵容器の損傷等が発生し、上記の4つの安全機能の一部が損なわれる可能性がある。**
- 上記を踏まえて、使用済燃料乾式貯蔵施設に影響を及ぼし得る外部事象の評価を行った。評価結果は次表に示すとおり、**各外部事象を想定しても使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能が確保されることを確認している。**



使用済燃料乾式貯蔵施設



## 6. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性 (2/3)



### 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する主な外部事象の評価 (1/2)

外部事象	外部事象の条件	安全機能に対する評価結果 (○/×)		資料番号
地震	基準地震動 $S_s$	・貯蔵建屋の機能を維持できることを確認 ・貯蔵容器は耐震補強を行うことにより十分な構造強度を有することを確認	○	本文 7~9
津波	基準津波 (防潮堤位置最高水位:T.P.+17.1m)	貯蔵建屋を防潮堤で囲むことで, 基準津波は建屋に到達, 流入しない。	○	本文 10
	敷地に遡上する津波 (防潮堤前面最高水位:T.P.+24m) (無限鉛直壁)	貯蔵建屋は津波で浸水するが, 津波波力と漂流物の衝突を考慮しても建屋は倒壊せず, 貯蔵容器に影響を与えない。	○	
竜巻	基準竜巻 (風速100m/s及び竜巻飛来物の衝突)	貯蔵建屋上部の排気口に防護措置(防護ネット, 防護鋼板)を設け, 竜巻飛来物の貯蔵容器への衝突を防止可能	○	補足説明 資料 6
火山	降下火砕物 (降下火砕物層厚50cm堆積による荷重)	貯蔵建屋の屋上への降下火砕物の堆積による荷重を評価し, 屋根や耐震壁が崩壊しないことを確認	○	補足説明 資料 7

\* 貯蔵建屋: 使用済燃料乾式貯蔵建屋  
\* 貯蔵施設: 使用済燃料乾式貯蔵容器

## 6. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性 (3/3)



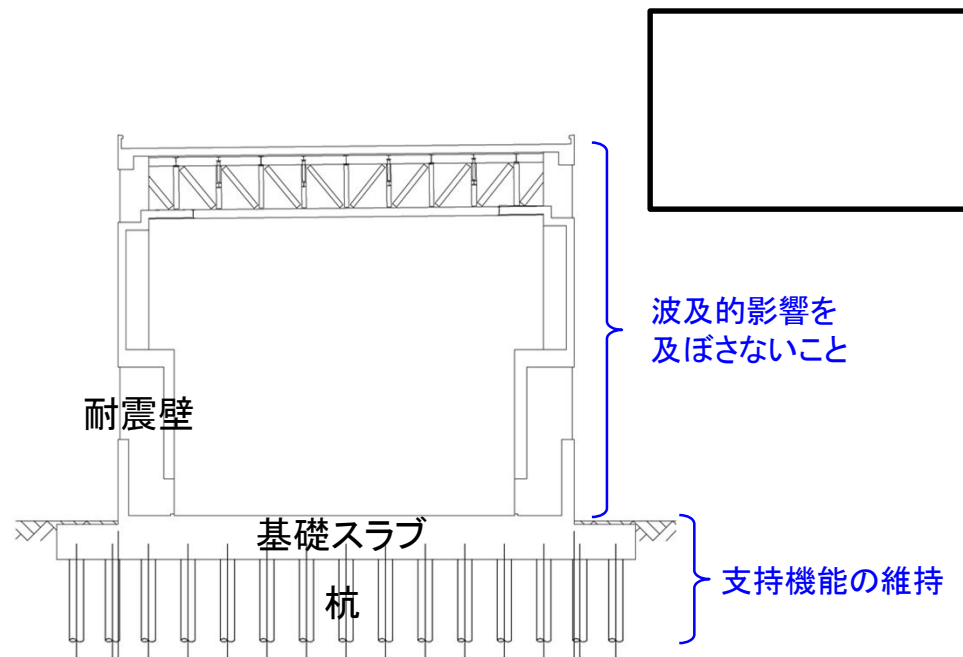
### 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する主な外部事象の評価 (2/2)

外部事象	外部事象の条件	安全機能に対する評価結果 (○/×)		補足説明 資料番号
森林火災	発電周辺の大規模な森林火災 (森林シミュレーションコードによる延焼評価)	貯蔵建屋の温度評価結果が許容温度を下回る/危険距離以上の離隔距離を確保	○	8
爆 発	発電所敷地内の爆発影響 (屋外ガス貯蔵施設)	貯蔵建屋は危険限界距離以上の離隔距離を確保	○	9
	発電所敷地外の爆発影響 (LNG基地, 燃料輸送車両, 燃料輸送船)	貯蔵建屋は危険限界距離以上の離隔距離を確保	○	9
近隣工場 火災	発電所敷地内の火災影響 (危険物貯蔵施設, 危険物貯蔵以外)	貯蔵建屋の温度評価結果が許容温度を下回る	○	10
	発電所敷地外の火災影響 (危険物貯蔵施設, 燃料輸送車両, 燃料輸送船)	貯蔵建屋は危険距離以上の離隔距離を確保	○	10
偶発的な 航空機落下	航空機落下事故の実績に基づく確率評価 (航空機衝突を設計上考慮するかどうかの判断基準として $10^{-7}$ 回/炉・年以下)	貯蔵建屋への落下確率は約 $6.1 \times 10^{-8}$ 回/炉・年となり, 航空機落下に対する防護対策を設計上考慮する必要なし	○	11
航空機 墜落火災	航空機墜落による火災影響 (自衛隊機又は米軍機の落下(F-15))	航空機墜落で発生する火災による貯蔵建屋の温度評価結果が許容温度を下回ることを確認	○	11

\* 貯蔵建屋: 使用済燃料乾式貯蔵建屋

## 7. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価結果(1/2)

■ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価を行い、**基準地震動 $S_s$** に対して建屋の機能を維持できることを確認している。



- ・耐震壁  
基準地震動 $S_s$ に対して質点系モデルを用いた地震応答解析により耐震壁のせん断ひずみを算定した結果、**最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認**
- ・基礎スラブ  
基準地震動 $S_s$ に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析により基礎スラブに発生する応力を算定した結果、**発生する応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認**
- ・杭  
基準地震動 $S_s$ に対して梁と地盤ばねによるモデルを用いた非線形応力解析により杭に発生する応力を算定した結果、**発生する応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認**

使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図(B-B断面 EW方向)

基準地震動 $S_s$ に対する評価結果 (検定比が最も厳しい項目)

評価対象	評価項目	発生値	許容限界	検定比 (発生値/許容限界)	判定	耐震補強の 必要性
耐震壁	せん断ひずみ	$1.82 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$	0.455	可	無
基礎スラブ	曲げモーメント	2160 (kN・m/m) *	3380 (kN・m/m) *	0.638 * <sup>1</sup>	可	無
杭	曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996 * <sup>2</sup>	可	無

\* 1 : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

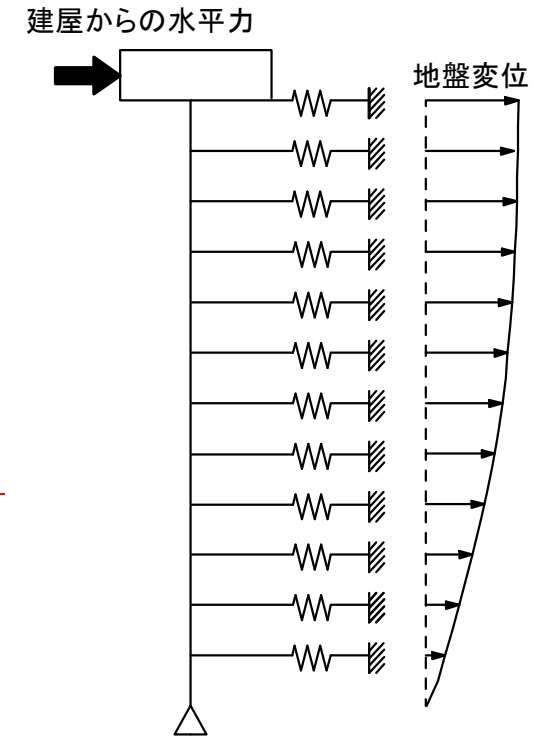
\* 2 : 検定比が1に近い結果となっているが、基準地震動 $S_s$ の評価には保守性があり、また耐震評価上の許容限界は終局限界状態に対して余裕をもって設定しており、評価は保守性を有している。(次頁参照)

# 7. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価結果(2/2)

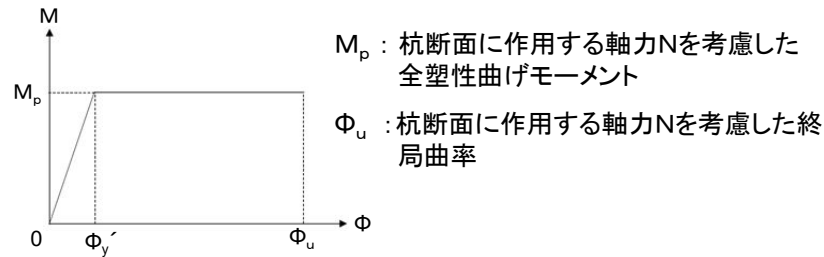


## ○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

- ・使用済燃料乾式貯蔵尾建屋の杭の評価は、基準地震動 $S_s$ に対して支持機能を維持できることを確認するため、非線形はり-非線形地盤ばねモデルを用いた非線形応力解析を実施する。
- ・基準地震動 $S_s$ による建屋の地震応答解析で得られた建屋の水平力を杭頭位置に、基準地震動 $S_s$ による自由地盤応答解析で得られた地盤変位を杭の水平地盤ばね位置に入力し、杭に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。
- ・いずれの評価項目も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、**発生応力が許容限界を超えないことを確認した。**  
 なお、**杭の曲げに対する評価において、実際の許容限界は終局曲率であるが、保守的に評価する観点から全塑性モーメントを許容限界として設定し、杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントを超えないことを確認した。**



杭の解析モデル図



杭の曲げモーメント-曲率(M-Φ)関係

杭の評価結果

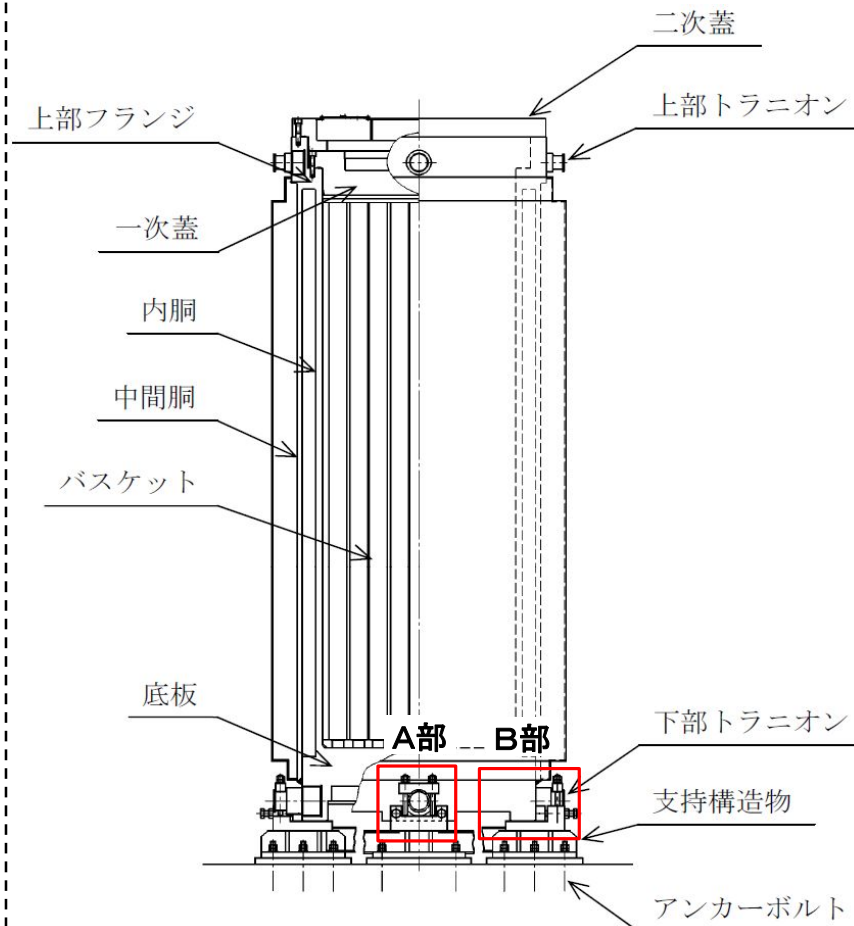
評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

## 8. 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震評価結果

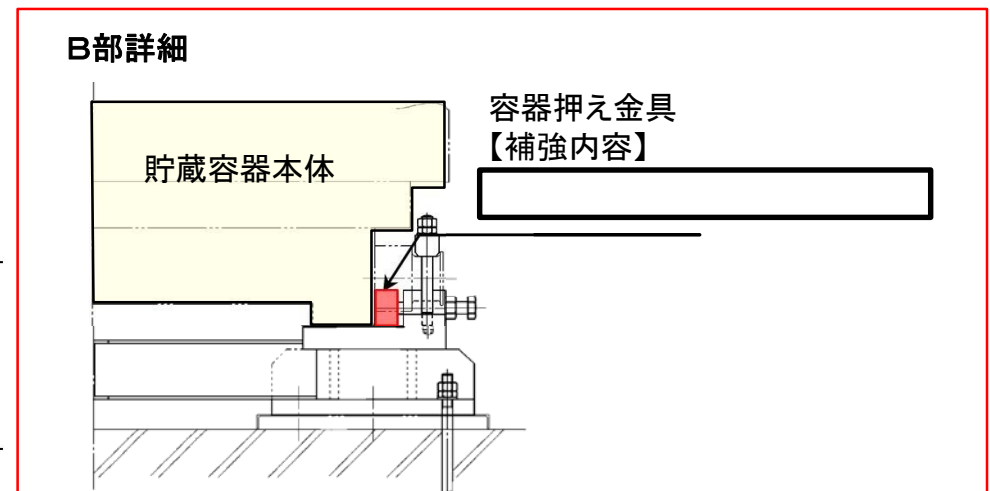
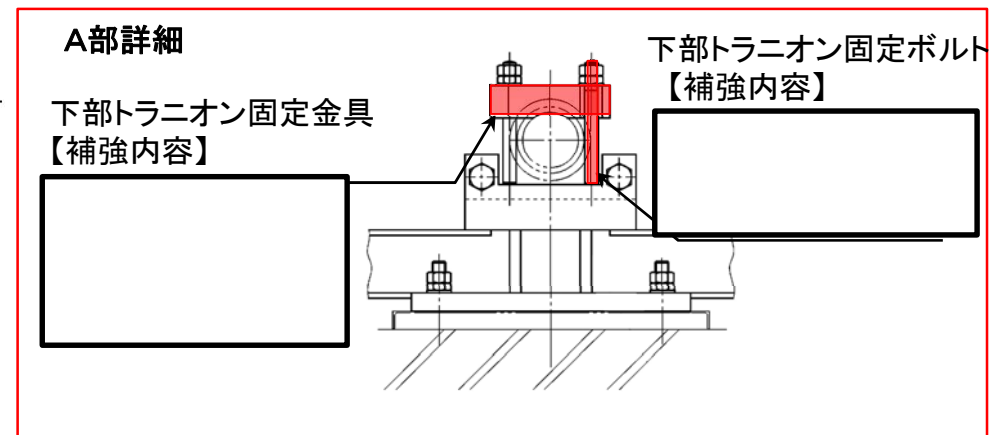


- 使用済燃料乾式貯蔵容器は縦置型で、容器の下部トラニオンを介して支持構造物で支持され、アンカーボルトで基礎に固定する構造
- 基準地震動 $S_g$ により発生する各応力は、キャスク容器、バスケット、トラニオン、二次蓋について全て許容応力を満足し、十分な構造強度を有していることを確認。支持構造物については以下の耐震補強が必要であることを確認した。

### 使用済燃料乾式貯蔵容器支持構造物の耐震補強(例: 1~15号機)



使用済燃料乾式貯蔵容器概略図



# 9. 使用済燃料乾式貯蔵容器 支持構造物の耐震補強

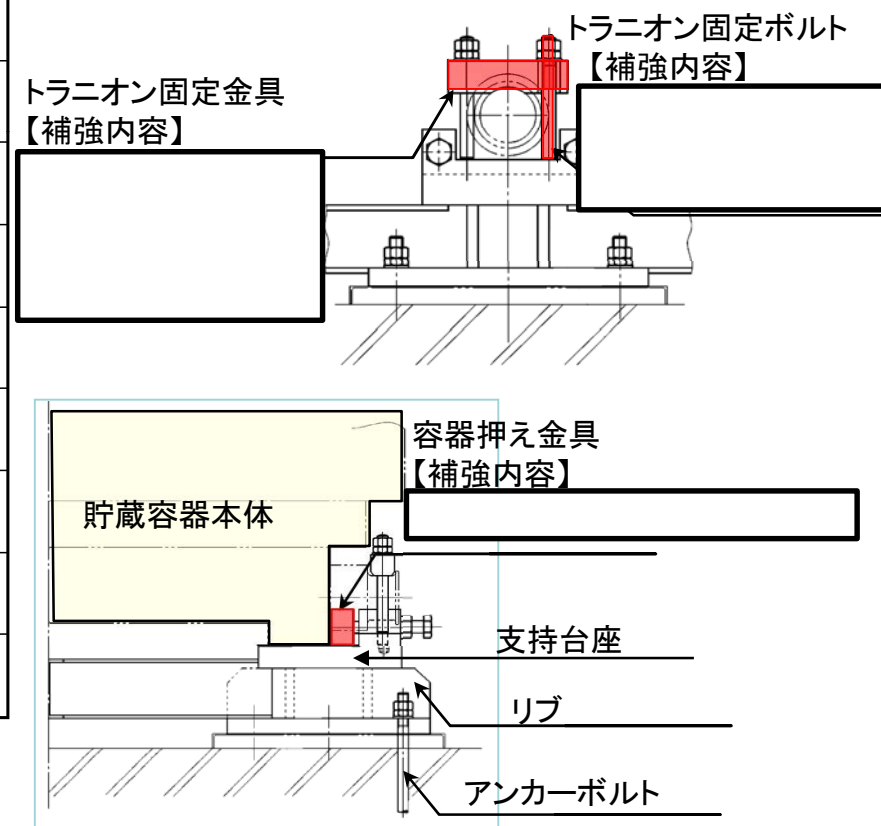


使用済燃料乾式貯蔵容器 支持構造物の応力評価結果  
(貯蔵時 S<sub>s</sub>地震力が作用する場合) (単位:MPa)

部 位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力
トラニオン 固定金具	一次応力	曲げ応力	477	③	637
	一次+二次応力*1	曲げ応力	477	③	1275
リ ブ	一次応力	引張応力	23	①	307
		圧縮応力	80	①	307
	一次+二次応力*1	引張・圧縮 応力	103	①	543
容器押え金具	一次応力	圧縮応力	380	④	543
	一次+二次応力*1	引張・圧縮 応力	380	④	1275
支持台座	一次応力	支圧応力	36	②	361
	一次+二次応力*1	支圧応力	36	②	361
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	375	⑤	478
アンカーボルト	—	引張応力	197	⑥	261*2
		せん断応力	225	⑥	340

■使用済燃料乾式貯蔵容器の支持構造物の耐震補強後の耐震評価結果を示す。

■基準地震動S<sub>g</sub>により発生する各応力(計算値)は、すべて許容応力を満足しており、十分な構造強度を有していることを確認した。



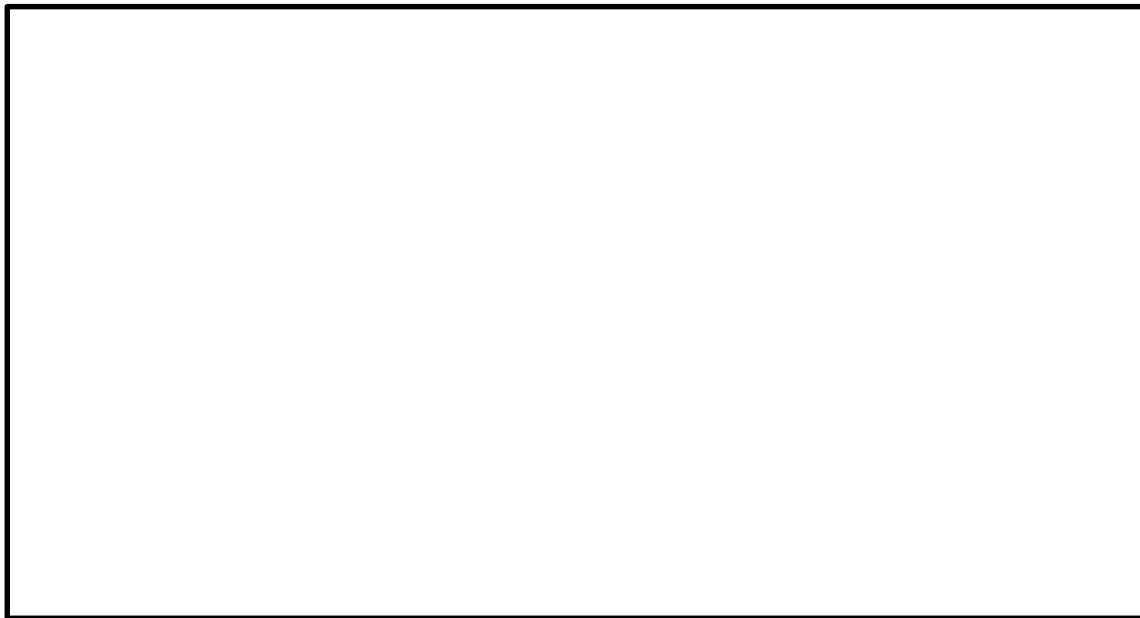
注記 \*1: 地震力のみによる全振幅について評価する。

\*2:  $\text{Min}[f_t=1.4 f_t - 1.6 \tau, f_t]$ より算出。



# 10. 津波の影響評価及び対策 (1/4)

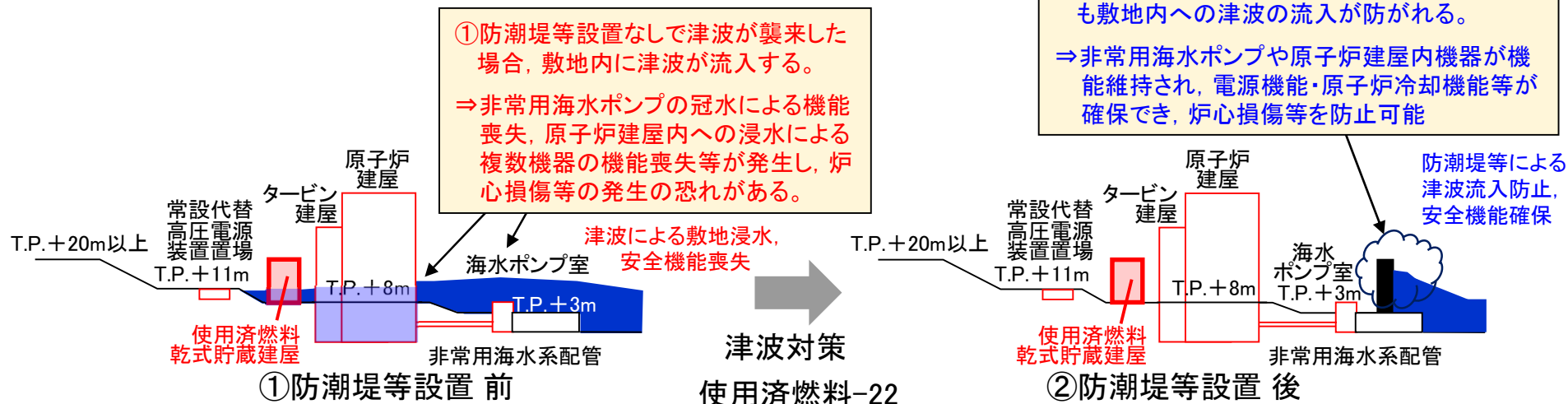
■防潮堤(高さT.P.+20m又は+18m)で使用済燃料乾式貯蔵建屋を含め発電所を囲うことで、**基準津波(防潮堤位置最高水位:T.P.+17.1m)**は使用済燃料乾式貯蔵建屋及び使用済燃料乾式貯蔵容器に到達、流入しない。



津波防護対象施設※1	設置標高
①原子炉建屋	T.P.+8m
②タービン建屋	
③排気筒	
④使用済燃料乾式貯蔵建屋	T.P.+8m (地下部)
⑤常設代替高圧電源装置用カルバート (トンネル部、立坑及びカルバート含)	
⑥常設代替高圧電源装置置場 (軽油貯蔵タンク、燃料移送ポンプ、 東側DB立坑含)	T.P.+11m
⑦海水ポンプ室	T.P.+3m
⑧非常用海水系配管	T.P.+3m~ T.P.+8m

※1:クラス1及びクラス2設備並びに耐震Sクラスに属する設備及びそれらを内包する区画を含む。

□ : 設計基準対象施設の津波防護対象  
東海第二発電所 設計基準対象施設の津波防護対象 配置図





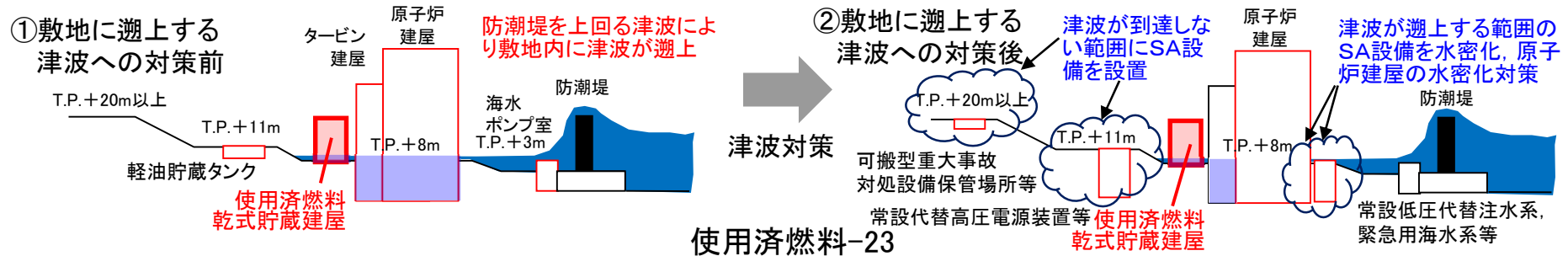
# 10. 津波の影響評価及び対策 (2/4)

- 敷地に遡上する津波 (防潮堤前面最高水位T.P.+24m(無限鉛直壁))を想定した場合
- 敷地に遡上する津波は防潮堤高さを超えて敷地内に浸水し、使用済燃料乾式貯蔵建屋まで到達すると評価

:敷地に遡上する津波に対する防護対象施設  
 :地下部からの津波の流入経路  
 東海第二発電所 敷地に遡上する津波に対する防護対象施設と津波流入箇所

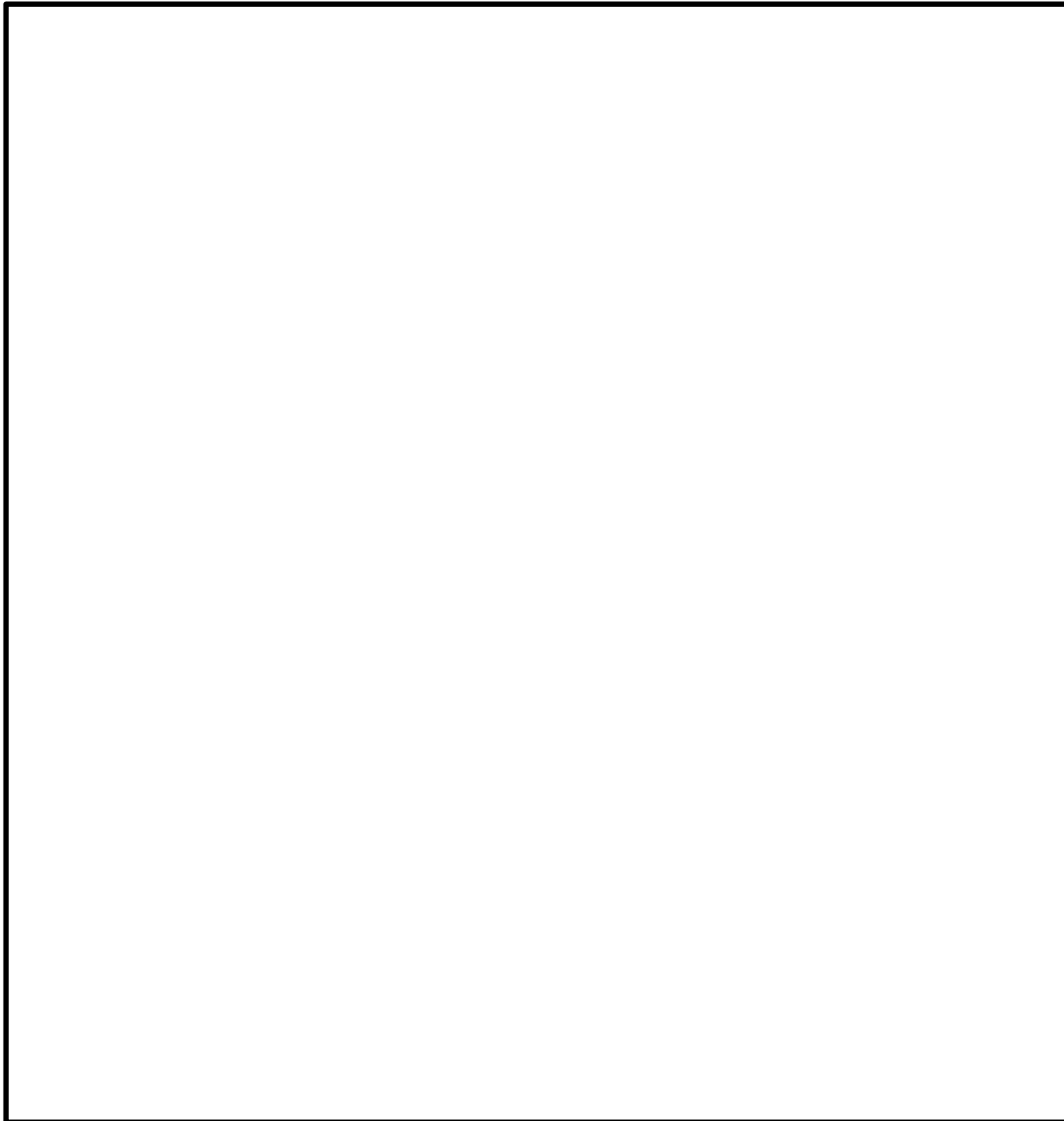
① 防潮堤を超え敷地に遡上する津波が襲来した場合 (対策実施前)  
 ⇒非常用海水ポンプの冠水による機能喪失, 原子炉建屋内への浸水による複数機器の機能喪失等が発生し, 炉心損傷等の発生の恐れがある。

② 防潮堤を超え敷地に遡上する津波が襲来した場合 (重大事故対策及びそれらへの津波対策(水密化対策等)実施後)  
 ⇒代替の電源, 注水ポンプ, 海水系, 電源車, ポンプ車等が活用可能となり, 原子炉の冷却等の機能が確保できる。

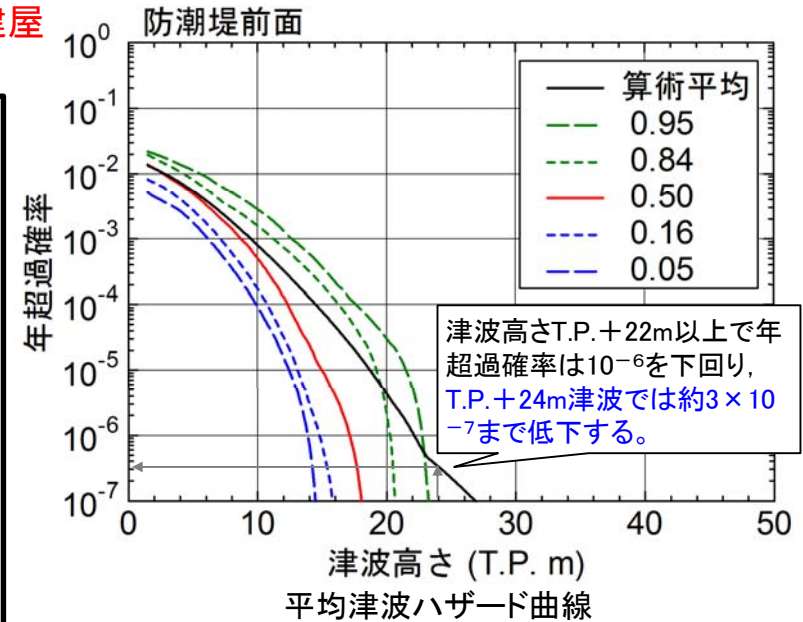


# 10. 津波の影響評価及び対策 (3/4)

■敷地に遡上する津波の遡上解析結果より、**使用済燃料乾式貯蔵建屋**付近は概ね2m~4m程度の浸水が想定される。

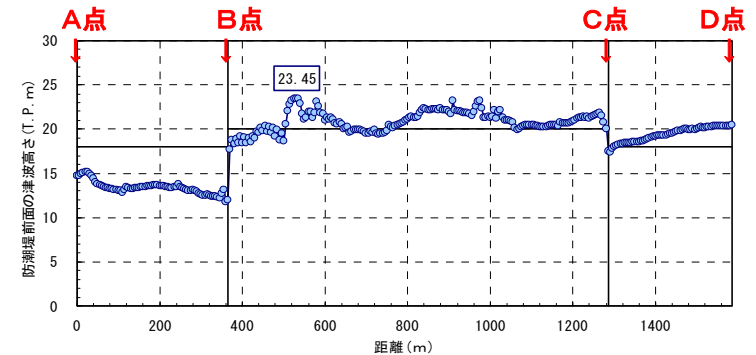


敷地に遡上する津波による敷地の最大浸水深分布 **使用済燃料-24**



基準津波を超え敷地に遡上する津波の高さとしては、年超過確率が十分小さくなるT.P.+24m(防潮堤前面)までの津波高さを想定し、津波遡上解析を実施した。

※想定する津波高さをT.P.+24mまでとした設定根拠については、補足説明資料参照



防潮堤前面における敷地遡上津波の高さ

※津波高さ(T.P.+24m)は、仮想的に防潮堤位置に無限鉛直壁を設定した場合の防潮堤前面の最高水位(駆け上がり高さ)を示す

# 10. 津波の影響評価及び対策 (4/4)

■敷地に遡上する津波による使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力評価を実施

■保守的に想定した津波波力及び敷地内の漂流物(50t; 設計上考慮する漂流物の重量に余裕を考慮した値※)による衝突荷重(Q)を評価し、これらの荷重に対し貯蔵建屋壁面の保有水平耐力が上回ることから、貯蔵建屋は倒壊せず、内部の使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を与えないことを確認した。

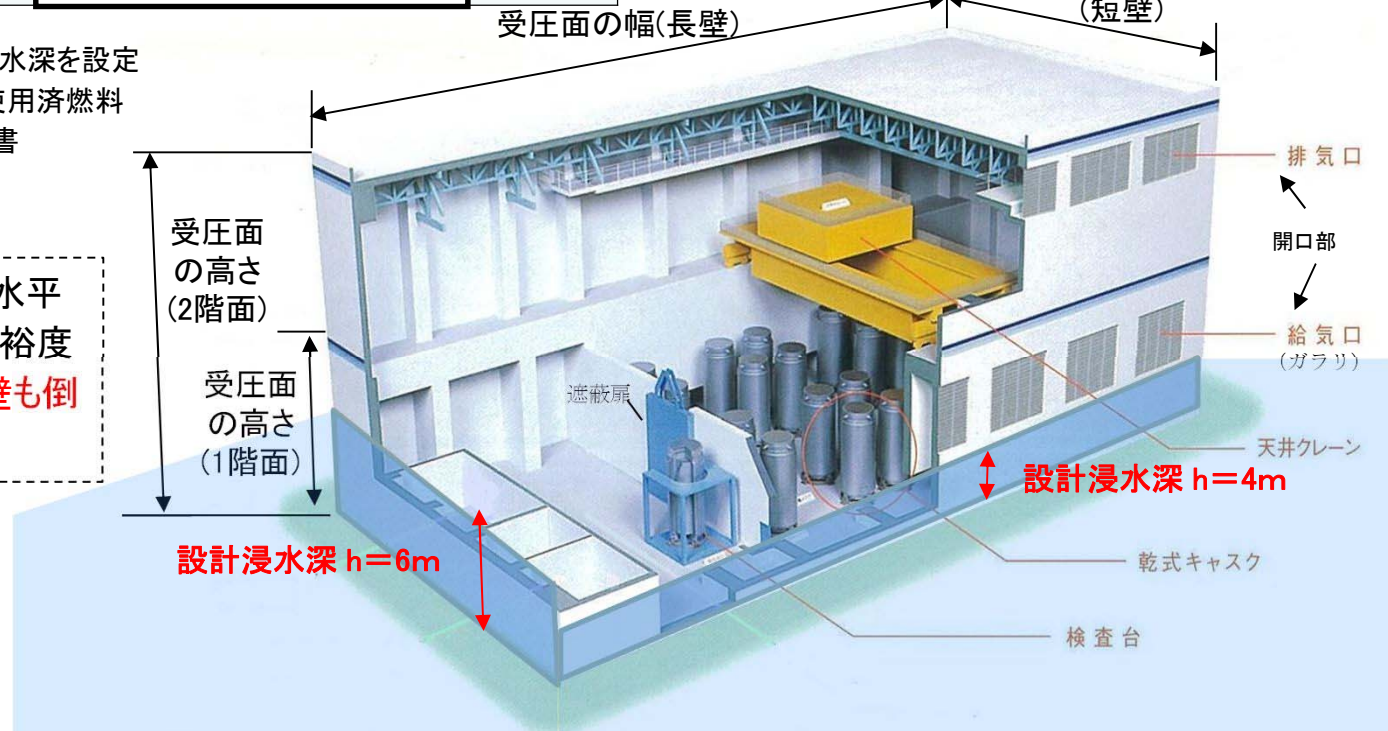
※乾式貯蔵建屋が敷地南西端に位置するため、敷地外からの漂流物の不確定性を考慮した

貯蔵建屋壁面	津波の設計浸水深h(m) *1	Q (MN)	保有水平耐力(MN) *2	裕度 *3
短壁	2階面			9.0
	1階面			2.2
長壁	2階面			32.7
	1階面			3.2

津波波力及び貯蔵建屋外部からの漂流物による衝突荷重は、それぞれ「津波避難ビル等の構造上の要件の解説(平成24年2月, 国土交通省国土技術政策総合研究所他)」(以下「国交省解説」という。)及び「道路橋示方書・同解説(平成14年3月, 日本道路協会)」に基づき評価

- \* 1: 保守的に遡上解析結果を上回る浸水深を設定
- \* 2: 工事計画認可申請書記載値及び使用済燃料貯蔵設備増強工事 建屋構造計算書(平成11年9月)に基づく値
- \* 3: 裕度 = 保有水平耐力 / Q

上記Qを貯蔵建屋壁面の保有水平耐力と比較した結果、いずれも裕度が1を上回っており、**長壁も短壁も倒壊しないことを確認**



使用済燃料-25

## 11. 東海第二発電所の使用済燃料の貯蔵・搬出及び処理方針（1/2）

- 東海第二発電所における使用済燃料プールと使用済燃料乾式貯蔵施設を合わせた使用済燃料等の全貯蔵容量は約3,700体、現在の貯蔵量は約2,900体となっている。

### ①使用済燃料プールの状況

貯蔵容量 2,250体 … 全貯蔵容量

管理容量 1,486体(貯蔵容量－1炉心分(764体))

使用済燃料貯蔵体数 1,250体

一部照射済燃料体数 764体

合計 2,014体 … 現在の貯蔵量(89.5%)\*

\*これらに加えて、使用済燃料プールに未照射の新燃料188体を保管中

### ②使用済燃料乾式貯蔵施設の状況

貯蔵容量 24基(1,464体) … 全貯蔵容量

管理容量 17基(1,037体)(使用前検査合格済み容器)

使用済燃料貯蔵基数 15基(915体) … 現在の貯蔵量(62.5%)

# 11. 東海第二発電所の使用済燃料の貯蔵・搬出及び処理方針 (2/2)

- 今後の使用済燃料の貯蔵・搬出及び処理方針として、**使用済燃料プールから使用済燃料乾式貯蔵施設への移送**を早期に実施し、次いで**六ヶ所再処理工場及びリサイクル燃料備蓄センターへの搬出**を行う方針としている。
- 仮に当面の間、発電所外への使用済燃料の搬出が行えない場合でも、**約4サイクル分の貯蔵容量を確保可能な見通し**

## (1) 貯蔵・搬出及び処理方針

- ① 使用済燃料プールから使用済燃料乾式貯蔵施設へ早期の移送  
(使用済燃料乾式貯蔵設備等の使用前検査受検, 合格後)
- ② 六ヶ所再処理工場への搬出(六ヶ所再処理工場の事業開始後の見込み)
- ③ リサイクル燃料備蓄センターへの搬出(事業開始後)

## (2) 運転サイクルを考慮した発電所の貯蔵容量の見通し

電力会社	発電所名	2018年9月末時点				試算値※1		
		1炉心	1取替分	管理容量 ※2	使用済燃料貯蔵量	管理容量 (A) ※2	使用済燃料貯蔵量 (B)	貯蔵割合 (B)/(A)x100
		(tU)	(tU)	(tU)	(tU)	(tU)	(tU)	(%)
日本原子力発電	敦賀	90	30	910	630	910	750	82
	東海第二	130	30	440	370	510 ※3	490	96

※1: 各社の使用済燃料貯蔵量については、下記仮定の条件により算定した試算値であり、具体的な再稼働を前提としたものではない。

○各発電所の全号機を対象。(廃炉を決定した敦賀1号機を除く)

○貯蔵量は、2018年9月末時点の使用済燃料貯蔵量に4サイクル運転分の使用済燃料発生量(4取替分)を加えた値。(単純発生量のみを考慮)

○1サイクルは、運転期間13ヶ月、定期検査期間3ヶ月と仮定。(この場合、4サイクルは約5年となる)

※2: 管理容量は、貯蔵容量から1炉心分を差し引いた容量。なお、運転を終了したプラントについては、貯蔵容量と同じとしている。

※3: 東海第二については、乾式貯蔵キャスクを24基(現状+7基)とした管理容量を記載。

注) 四捨五入の関係で、合計値は、各項目を加算した数値と一致しない部分がある。

経済産業省 使用済燃料対策推進協議会  
(2018/11/20)資料に基づき記載



### ○使用済燃料プールの安全対策

- ・注水に必要な水源の強化として、代替淡水貯槽，西側淡水貯水設備，SA用海水ピットを設置。代替水源の容量は7日間の事故対応に必要な容量を確保
- ・冷却手段の強化として、代替燃料プール冷却系及び低圧代替注水系(常設)を設置。更なる信頼性向上として、常設の代替設備に加え可搬型の代替設備(ポンプ車)を配備
- ・重大事故時に使用可能な水位，温度，放射性等の監視設備を設置

### ○使用済燃料乾式貯蔵施設

- ・東海第二発電所の敷地内に使用済燃料乾式貯蔵建屋を設置し，内部に設置した使用済燃料乾式貯蔵容器(全24基)に使用済燃料を収納可能(61体／基)
- ・使用済燃料乾式貯蔵容器は，動的な設備を要せずに，除熱機能，閉じ込め機能，遮蔽機能及び臨界防止機能を有し，使用済燃料の貯蔵が可能。またそれらの機能の監視設備を設置
- ・外部事象を想定しても使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能は確保される。

### ○東海第二発電所の使用済燃料の貯蔵，搬出及び処理方針

- ・使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料は，使用済燃料乾式貯蔵設備へなるべく早期に移送
- ・六ヶ所再処理工場及びリサイクル燃料備蓄センター(事業開始後)に搬出を計画

これらの対応により，東海第二発電所では使用済燃料を安全に貯蔵可能であり，かつ，今後の貯蔵や搬出計画等に関しても，十分な運用性が見通しがあることを確認している。

(補足説明資料 使用済燃料貯蔵対策について)



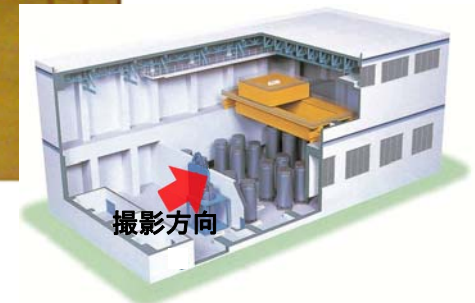
## 補足説明資料 目 次

1. 使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵状況 .....	32
2. 使用済燃料プールから使用済燃料乾式貯蔵容器への 貯蔵作業の流れ .....	33
3. 使用済燃料乾式貯蔵容器と使用済燃料輸送容器との比較 .....	34
4. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能 .....	35
5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の監視機能 .....	39
6. 竜巻の影響評価及び対策 .....	40
7. 火山の影響評価及び対策 .....	44
8. 森林火災の影響評価及び対策 .....	46
9. 爆発の影響評価 .....	49
10. 近隣工場等の火災の影響評価 .....	51

## 補足説明資料 目 次

11. 航空機落下確率評価 .....	54
12. 使用済燃料プール及び使用済燃料乾式貯蔵施設の 新規制基準適合性等 .....	69
13. 使用済燃料乾式貯蔵容器にて搬出するまでの冷却期間 .....	72
14. 敷地遡上津波時の使用済燃料乾式貯蔵容器水没時の健全性確保 .....	74

# 1. 使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵状況



使用済燃料-32



## 2. 使用済燃料プールから使用済燃料乾式貯蔵容器への貯蔵作業の流れ



\* 貯蔵容器は、使用済燃料貯蔵施設において発生すると予想される異常事象(天井クレーンの運転操作ミスによる燃料取扱床等への異常着床, 支持構造物等への衝突)による荷重にも耐える設計としている。



① 燃料プール内での使用済燃料装荷作業



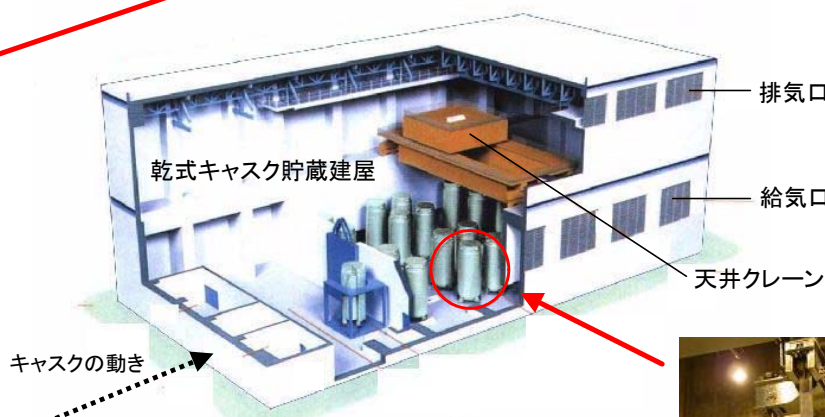
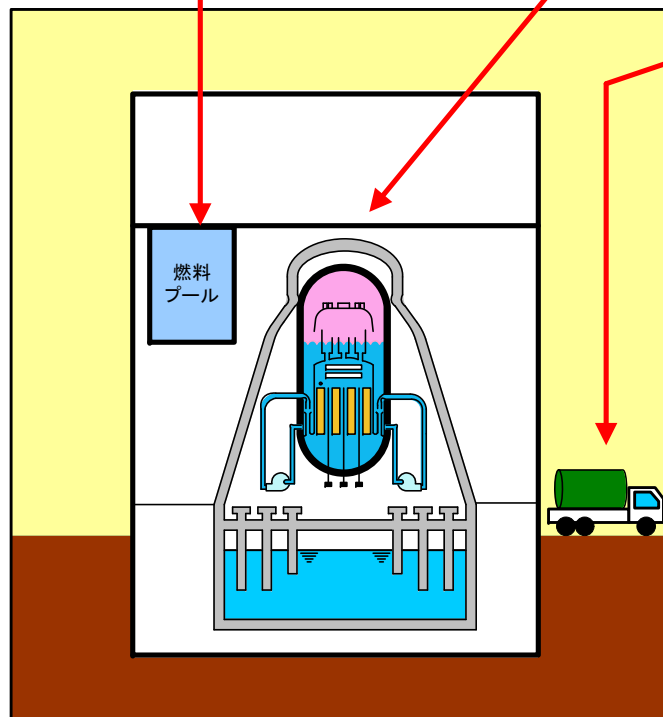
② 原子炉建屋除染ピットでの一次蓋ボルト締め付け作業



③ 移送前検査作業

使用済燃料プールから移送に要する所要期間は約10日間

- ・貯蔵容器の貯蔵建屋から原子炉建屋への輸送1日
- ・燃料装荷2日, 真空乾燥2日
- ・除染作業や蓋取付, 気密漏洩検査等の発送前検査確認4日
- ・貯蔵容器の原子炉建屋から貯蔵建屋への輸送1日



キャスクの動き

車両速度制限(5km/h以下), 車両のブレーキの多重化により車両の衝突・転倒を防止



④ 建屋内でのキャスクの立起し作業  
使用済燃料-33

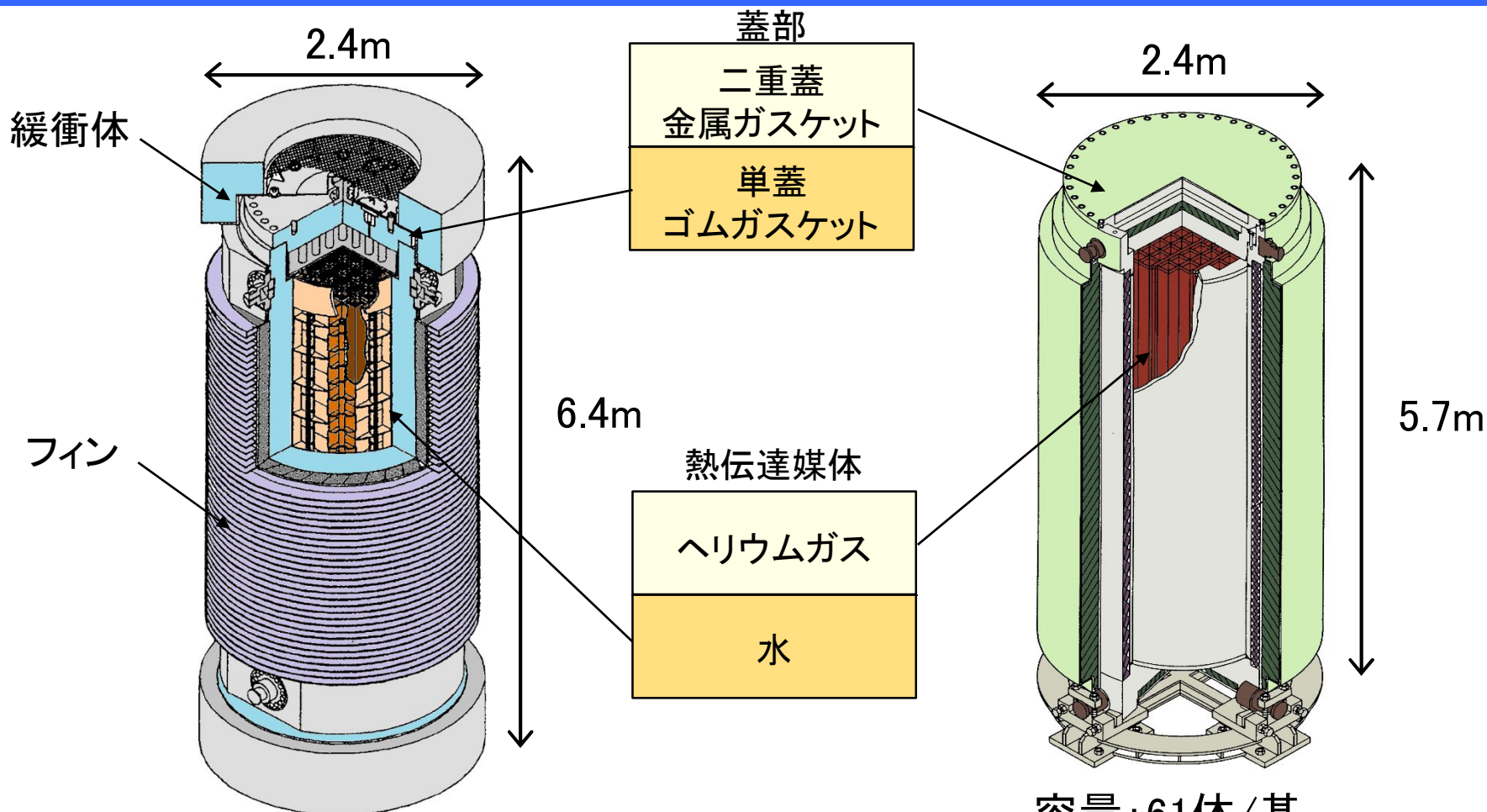


⑤ 乾式キャスクの移動作業

ワイヤの二重化やストッパーにより, 貯蔵容器の落下を防止

貯蔵期間中は定期的に外観点検や補修塗装を実施し腐食を防止

### 3. 使用済燃料乾式貯蔵容器と使用済燃料輸送容器との比較



容量: 32体/基  
重量: 約106ton\*2

使用済燃料輸送容器 \*1

容量: 61体/基  
重量: 約118ton\*2

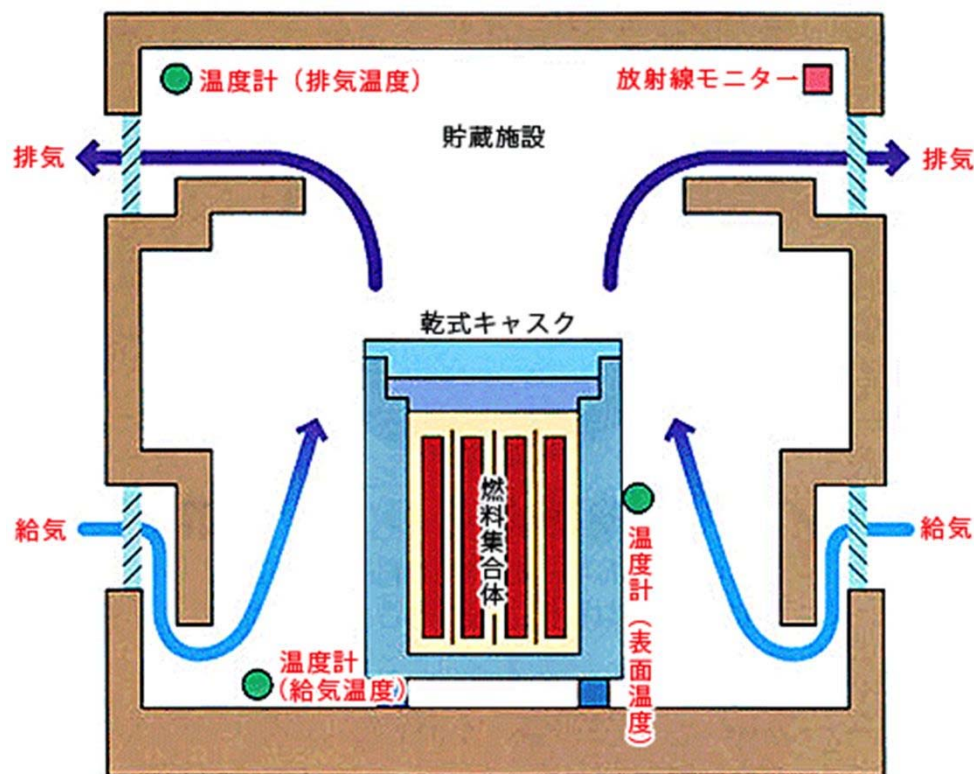
東海第二発電所  
使用済燃料乾式貯蔵容器

\*1: NFT-32B型の例。輸送時は横置きとなる。

\*2: 使用済燃料の重量を含む

#### 4. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能(1. 除熱機能)

- 使用済燃料乾式貯蔵容器は、収納した使用済燃料の崩壊熱を**使用済燃料乾式貯蔵建屋内に導入した空気**の**自然対流冷却**によって**除去**する設計としている。
- 建屋下部の給気口より外気が導入され、使用済燃料乾式貯蔵容器で温められた空気は上昇し、建屋上部の排気口より排気される構造となっている。



使用済燃料乾式貯蔵容器と使用済燃料乾式貯蔵建屋による使用済燃料の除熱の模式図

#### <自然対流冷却による除熱機能の確認>

○解析条件(例:1~15号機)

- ・発熱量 :  (1基あたり)
- ・給気温度(外気温度) :
- ・排気温度 :
- ・貯蔵建屋のドラフト長さ :

⇒排気温度が45°C以下の場合に給排気温度差(  )による貯蔵建屋の熱ドラフトが空気の圧力損失より大きくなり冷却性の成立を確認

○評価結果

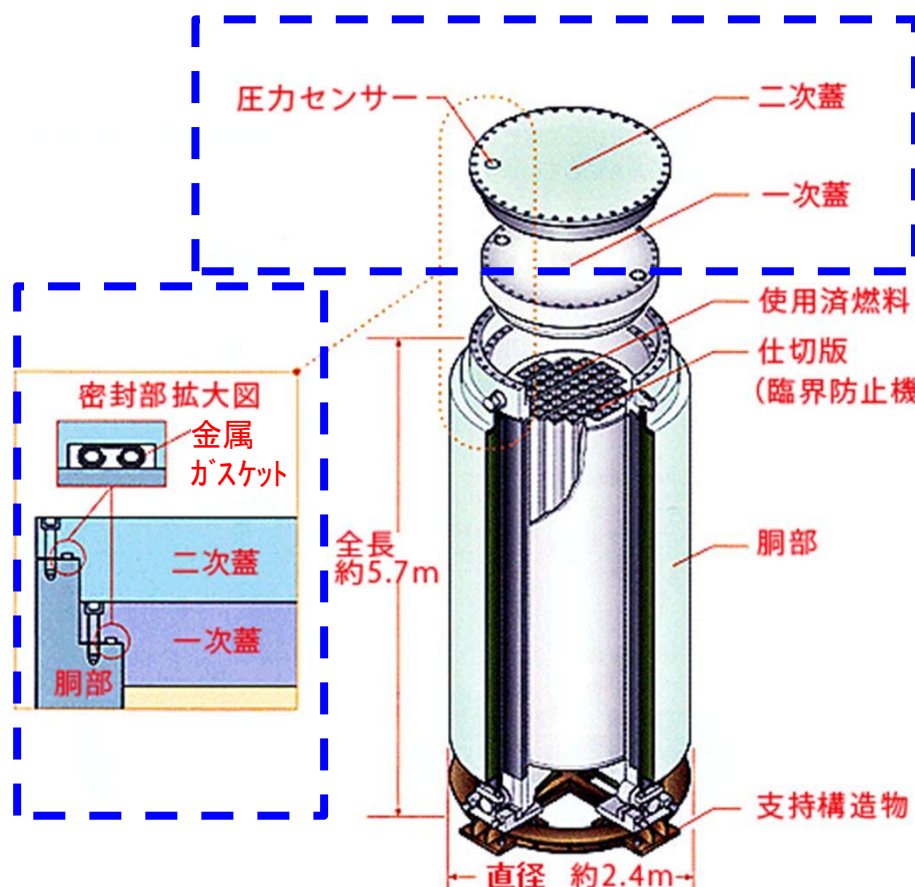
貯蔵容器構成部材温度は以下の許容温度を下回ることを確認  
(金属ガスケット150°C, 鉛327°C, レジン 149°C, バスケット 300°C, 外筒 420°C)

○これまでの貯蔵の運用実績

⇒排気温度は給気温度から1~2°C程度の上昇, 貯蔵容器表面温度(外筒温度)は給気温度より30°C高い程度に留まり, 上記の設計値に対し十分な裕度を有する。



#### 4. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能(2. 閉じ込め機能)



■使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能として、密封性を確保するため以下の設計としている。

- ・貯蔵容器本体を堅固な構造とし蓋部以外には開口部を設けず、蓋部は二重蓋構造(一次蓋, 二次蓋)
- ・蓋及び蓋貫通孔のガスケット部には長期間にわたって密封機能を維持する観点から耐熱性, 耐食性を有し耐久性の高い金属ガスケットを使用
  - 金属ガスケットの塑性変形率と密封性能の温度・時間依存性から長期密封性能評価を行い, 約190年健全性を維持できることを確認
- ・貯蔵容器内部は負圧とし, 蓋間空間(一次蓋と二次蓋の間)は正圧にして, 貯蔵容器内部から外部に漏えいし難いよう圧力障壁を設定
- ・上記の蓋間空間の圧力を監視することで, 万一いずれかの金属ガスケットに漏えいが生じた場合でも, 外部に漏えいする前に密封性の低下を検出できる構造

#### <閉じ込め機能の密封性の確認>

設計貯蔵期間(40年)後に貯蔵容器内部圧力が大気圧となるガスケット部の漏えい率限界値(①)を求め, 使用する金属ガスケットの漏えい率(リークテスト判定基準)(②)が下回ることを確認

⇒金属ガスケットの漏えい率(例:1~15号機)

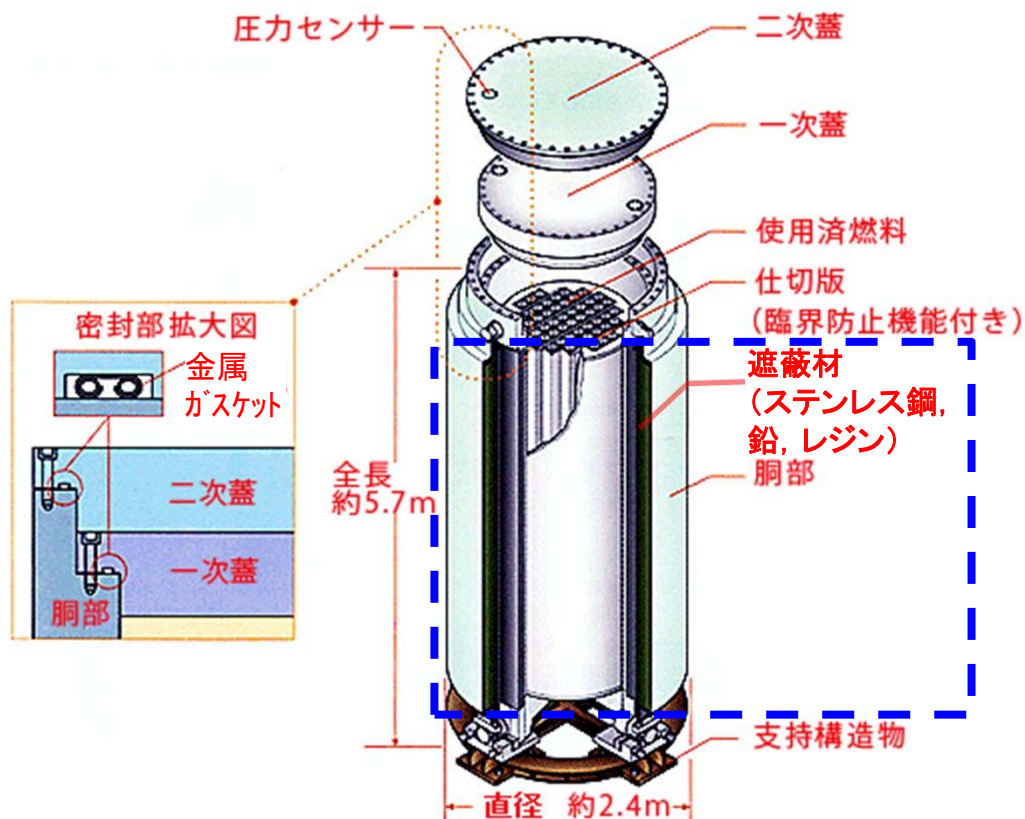
①漏えい率限界値  std cm<sup>3</sup>/s

②金属ガスケットの漏えい率:  std cm<sup>3</sup>/s

\* std cm<sup>3</sup>/s : 25°C, 1atmの標準状態における漏えい率



#### 4. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能(3. 遮蔽機能)



- ・**ガンマ線の遮蔽:**  
内胴と中間胴の中に**鑄込んだ鉛**や,**ステンレス鋼**による
- ・**中性子線の遮蔽:**  
中間胴と外筒の間に**鑄込んだレジン**  
(**合成樹脂**)による。

(例:1~15号機)

■使用済燃料乾式貯蔵容器は十分な遮蔽機能を有し, 人が至近まで近づいても**被ばく上の問題が生じない**設計としている。

#### ＜線量評価の結果＞

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器の表面から**1m離れた距離**で**0.1mSv/h** (24基貯蔵条件)
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の直接線量及びスカイシャイン線量は, 人の居住の可能性のある敷地境界外において**1.5  $\mu$ Gy/y** \*に留まる。

\* 発電所の平常運転時における敷地境界外で一般公衆の受ける線量の目標値として**年間50  $\mu$ Gy程度以下**

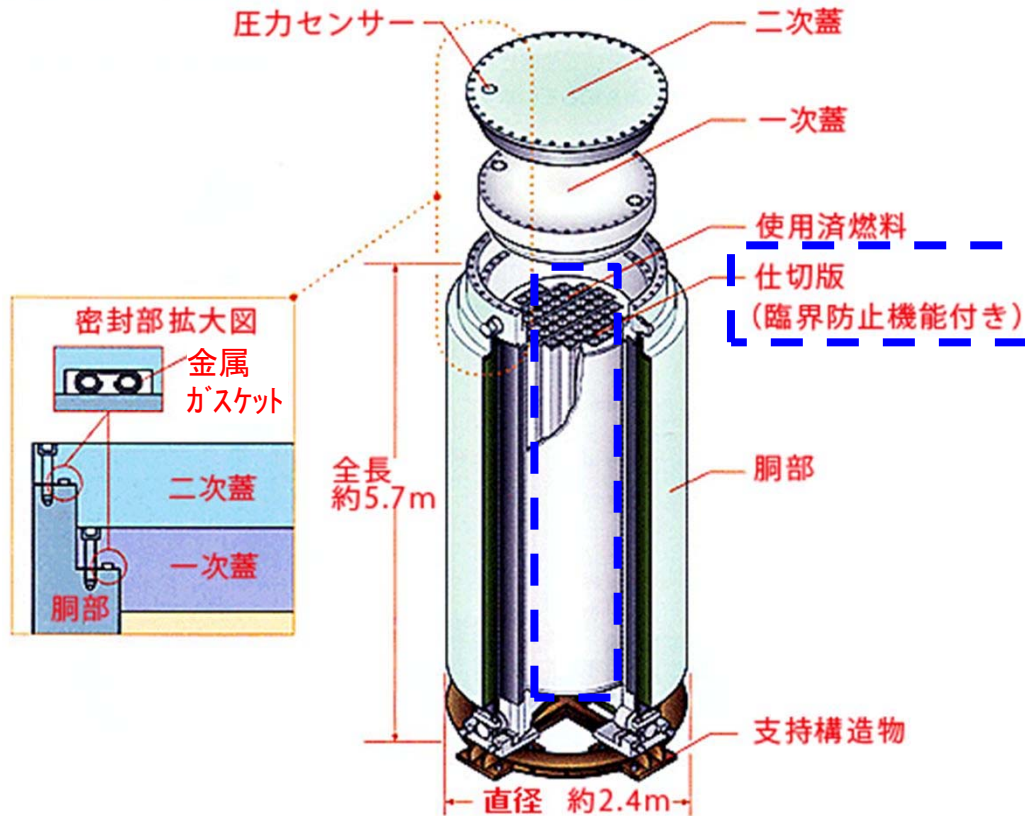
出典:「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量当量評価について」

(平成元年3月27日原子力安全委員会了承)

人の居住の可能性のある敷地境界外での  
空気吸収線量

	(単位: $\mu$ Gy/y)
東海第二発電所	
原子炉建屋	<0.1
タービン建屋	13
固体廃棄物貯蔵庫A	0.1
固体廃棄物貯蔵庫B	0.5
<b>使用済燃料乾式貯蔵建屋</b>	<b>1.5</b>
東海発電所	
ホットダクト	15
東海及び東海第二発電所の合計	30

## 4. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能(4. 臨界防止機能)



仕切板(バスケット格子)に配置するアルミニウム合金製の板に添付した**ほう素**の中性子吸収効果により臨界を防止

■使用済燃料乾式貯蔵容器は、臨界防止機能として、想定されるいかなる場合においても、**実効増倍率が0.95以下であり、臨界に達しないことを確認している。**

### <未臨界性の確認>

- ・冠水状態を想定(水密度 $1\text{g/cc}$ )
  - \* 実機は乾燥状態だが仮想的に内部浸水を想定
- ・使用済燃料が貯蔵容器の中心寄りに配置された状態を想定
 


 イメージ
- ・貯蔵容器に収納される $8 \times 8$ 燃料, 新型 $8 \times 8$ 燃料, 新型 $8 \times 8$ ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 $8 \times 8$ 燃料のうち, 最も厳しい評価結果となる高燃焼度 $8 \times 8$ 燃料について評価
- ・計算に用いる燃料集合体の炉心内装荷状態での無限増倍率を保守的に1.30を仮定
- ・仮想的に貯蔵容器が無限に配置されそれぞれが接触している状態を仮定
  - 以上の極めて保守的な評価条件に基づく解析結果は、**実効増倍率**  となり実効増倍率0.95を下回る。

(例: 1~15号機)

## 5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の監視機能



給排気口温度及び貯蔵容器表面温度  
(冷却性確認)



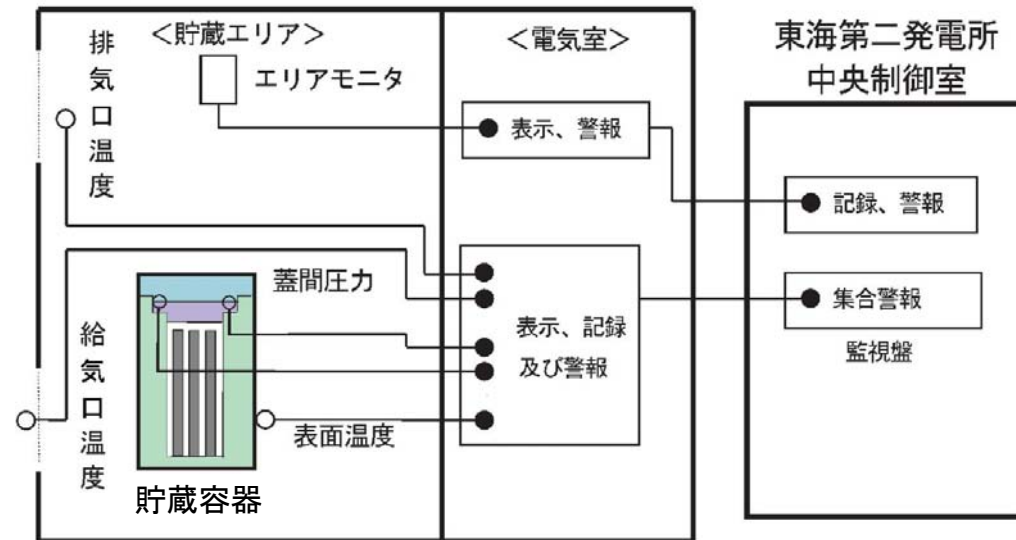
二重蓋間圧力監視(密封性確認)



エリアモニタ(放射線監視)

■ 使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能が満足していることを確認するため、各監視設備\*で常時監視を実施

### 使用済燃料乾式貯蔵建屋



- 温度監視 : 給排気口温度及び貯蔵容器表面温度を常時監視, 記録
- 圧力監視 : 二重蓋間をヘリウムガスで加圧し, 蓋間圧力を常時監視, 記録
- 放射線監視 : 貯蔵建屋内にエリアモニタを設け, 放射線量率を常時監視, 記録
- 監視 : 貯蔵建屋内の電気室にて各監視パラメータを表示, 記録するとともに, 異常が発生した場合は東海第二発電所中央制御室の警報装置が作動し, 常駐している運転員が迅速に対応

\* 監視設備及びその電源設備の機能喪失は貯蔵容器の安全機能に影響を及ぼさないため, 安全機能の重要度はクラス3, 耐震重要度はCクラスとしている。



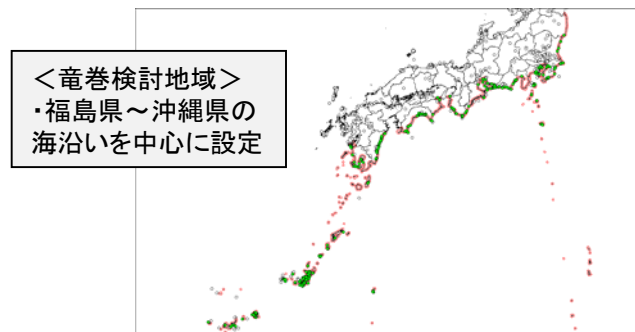
## 6. 竜巻の影響評価及び対策(1/4)

### 設計竜巻の設定及び設計飛来物等の設定

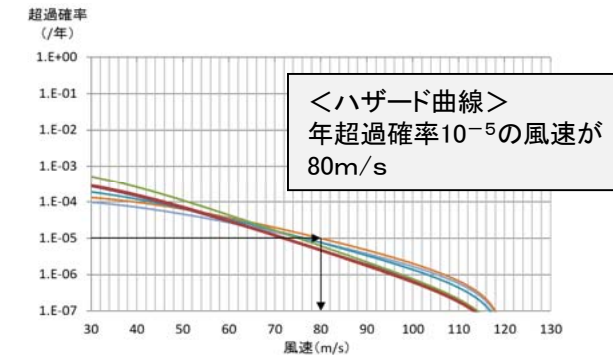
#### 【①基準竜巻の設定】

$V_{B1}$ : 過去に発生した竜巻による最大風速: 92m/s ... 竜巻検討地域(左下)内の既往最大竜巻(F3)の風速の上限値

$V_{B2}$ : 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速: 80m/s ... 竜巻検討地域内の竜巻データを用いて設定



フジタスケール	風速(m/s)
F0	17～32
F1	33～49
F2	50～69
F3	70～92
F4	93～116
F5	117～142



#### 【②設計竜巻の設定(最大風速及び特性値)】

$V_D$ : (地形特性等を考慮した)設計竜巻の最大風速  
... 竜巻の観測データに関する不確実性を考慮し  
保守的に, 100m/s へ切上げて設定

< $V_D$ を基に設定する竜巻の特性値>

$V_T$ : 移動速度(=  $0.15V_D$ )

$V_{Rm}$ : 最大接線風速(= $V_D - V_T$ )

$R_m$ : 最大接線風速半径

$\Delta P_{max}$ : 最大気圧低下量

$(dp/dt)_{max}$ : 最大気圧低下率

#### 【③設計飛来物の設定】

現地調査等で抽出した物品(飛来物源)

飛散解析(飛散速度, 飛散距離, 浮上高さ)

設計飛来物(鋼製材)の決定

... 上記の物品の解析結果を踏まえて設定

飛来物発生防止対策の要否確認

... 貫通力又は運動エネルギーの何れかが設計飛来物によるものより大きい場合は, 固縛, 撤去等の措置が必要

## 6. 竜巻の影響評価及び対策 (2/4)

### ● 設計竜巻による荷重に対する評価

#### 設計竜巻による荷重

設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) : 100m/s

風圧力による荷重

気圧差による荷重

設計飛来物等による衝撃荷重

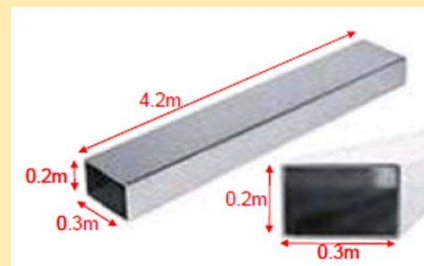
#### ● 設計飛来物(鋼製材:角型鋼管)

寸法:  $0.3 \times 0.2 \times 4.2\text{m}$

質量: 135kg

飛来速度: 51m/s(水平)

34m/s(鉛直)



#### ● 隣接事業者からの飛来物(車両の飛来を考慮)

### ● 設計竜巻荷重に対する主な竜巻防護対策

#### 竜巻防護対策

##### 飛来物発生防止対策

・資機材及び車両の固縛, 固定

##### 竜巻防護対策設備

・設計飛来物等の衝突に対する防護対象施設の防護措置

##### 竜巻襲来予測時の運用

・燃料取扱作業の中止, クレーン等の退避

・防護対象施設の外殻となる建屋の扉の閉止確認

・構内の車両の退避, 防護対象施設からの離隔



## 6. 竜巻の影響評価及び対策 (3/4)

### 飛来物発生防止対策

隣接事業所に配置される飛来物源は、発電所構内とは異なり、管理のできないものであることから、発電所敷地内の防護対象施設に対し、隣接事象所からの飛来物\*が到達する範囲を確認した。当該到達範囲に対して、飛来物源の配置防止措置(フェンス等の設置)による飛来物発生防止対策を行う。

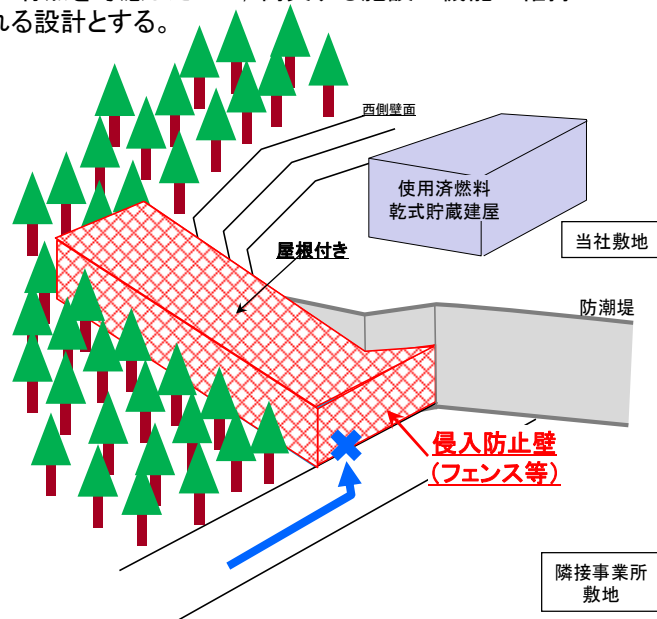
\* 隣接事象所の現場調査(現状の飛来物源調査, 車両の通行状況, 飛来物源の配置可否, 標高)と防護対象施設との関係を考慮して, 想定できる最厳ケースでの車両と車両以外として設定した飛来物源

#### ●隣接事業所からの飛来物の考慮

##### 飛来物源の配置防止措置

敷地南側の隣接事業所内植生管理エリアについては、**物品の配置を防止するための措置**(フェンス等の設置)を実施し、使用済燃料乾式貯蔵建屋西側壁面への飛来物の到達を防止する。

その他の隣接事業所敷地からの飛来物に対しては、到達の有無を考慮した上で、衝突する施設の機能が維持される設計とする。



使用済燃料-42

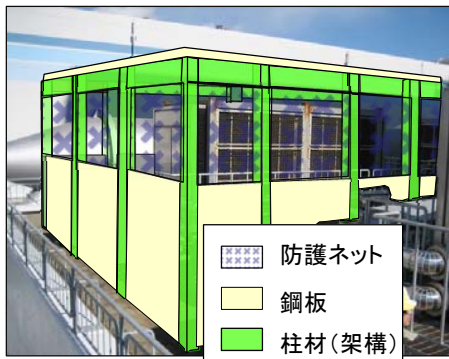
隣接事業所からの飛来物の到達範囲図

## 6. 竜巻の影響評価及び対策 (4/4)

### 竜巻防護対策設備

防護対象施設や外殻となる建屋等に対して設計飛来物(鋼製材:角型鋼管)等が衝突しても、防護対象施設の機能を損なうことのないよう**防護対策設備(防護ネットや防護鋼板等)**を設置する。

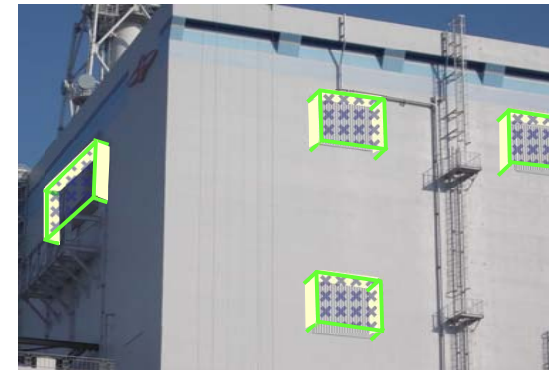
#### 主な竜巻飛来物防護対策イメージ



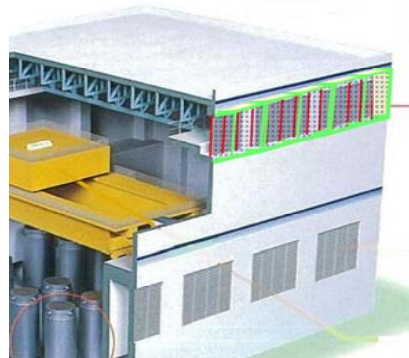
中央制御室換気系冷凍機



海水ポンプ室



原子炉建屋外側ブローアウトパネル



使用済燃料乾式貯蔵建屋 排気口

#### <その他の防護対策>

- ・ALC※パネル部の竜巻防護対策(RC壁, 鋼板壁への置換)等

※: Autoclaved Lightweight aerated Concrete”  
(高温高圧蒸気養生された軽量気泡コンクリート)

# 7. 火山の影響評価及び対策 (1/2)



## ● 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

- 敷地を中心とする半径160kmの範囲に位置する第四紀火山※1 (32火山) から、原子力発電所に影響を及ぼし得る13火山を抽出(右図及び下表)

※1: 第四紀(約258万年前から現在までの期間)に活動した火山

## ● 設計対応不可能な火山事象の影響

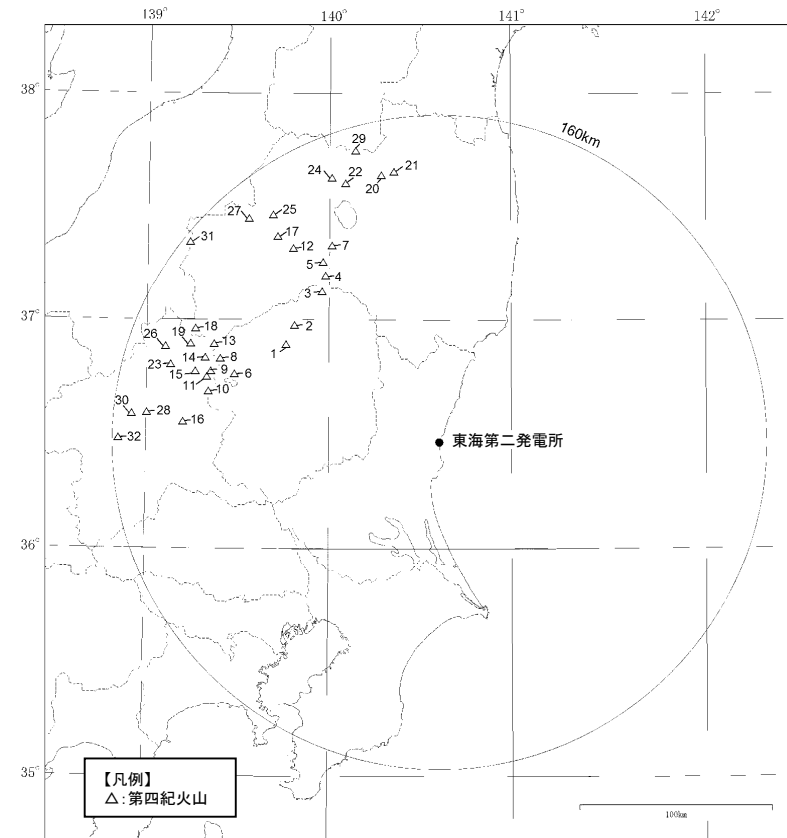
- 原子力発電所に影響を及ぼし得る13火山について、各火山の過去発生した設計対応不可能な火山事象※2の到達範囲は、敷地から十分に離れていることから原子力発電所に影響を及ぼす事はないと判断

※2: 火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊, 新しい火口の開口及び地殻変動

## ● 地理的領域内の火山による火山事象の影響

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る13火山について、敷地周辺の地形の分布等から、降下火砕物以外の火山事象※3が原子力発電所に影響を及ぼすことはないと判断

※3: 火山性土石流, 噴石, 火山ガス, その他の火山事象



No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
1	たかはらやま 高原山	88
2	しおばら 塩原カルデラ	90
3	なすだけ 那須岳	93
4	とう 塔のへつりカルデラ群	99
5	ふたまたやま 二岐山	104
6	なんたい・によほう 男体・女峰火山群	105

No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
7	あいづぬのびきやま 会津布引山	109
8	ねなくさやま 根名草山	116
9	にっこうしらねさん 日光白根山	116
10	すかいさん 皇海山	116
11	すずがたけ 錫ヶ岳	117
12	ひわだ 檜和田カルデラ	118

No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
13	きぬぬま 鬼怒沼	120
14	しろうだけ 四郎岳	122
15	ぬまのかみやま 沼上山	124
16	あかぎさん 赤城山	127
17	はかせやま 博士山	127
18	ひうちがたけ 燧ヶ岳	130

No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
19	だいら アヤメ平	131
20	あだたらやま 安達太良山	133
21	ささもりやま 笹森山	133
22	ほんだいさん 磐梯山	135
23	じょうしゅうほたかやま 上州武尊山	137
24	ねこまがたけ 猫魔ヶ岳	137
25	すなごはら 砂子原カルデラ	137

No.	第四紀火山	敷地からの距離 (km)
26	ならまた 奈良俣カルデラ	142
27	ぬまざわ 沼沢	143
28	こもちやま 子持山	145
29	あづまやま 吾妻山	147
30	おのこやま 小野子山	150
31	あさくさだけ 浅草岳	156
32	はるなさん 榛名山	157

青字: 原子力発電所に影響を及ぼし得る13火山 使用済燃料-44

# 7. 火山の影響評価及び対策 (2/2)



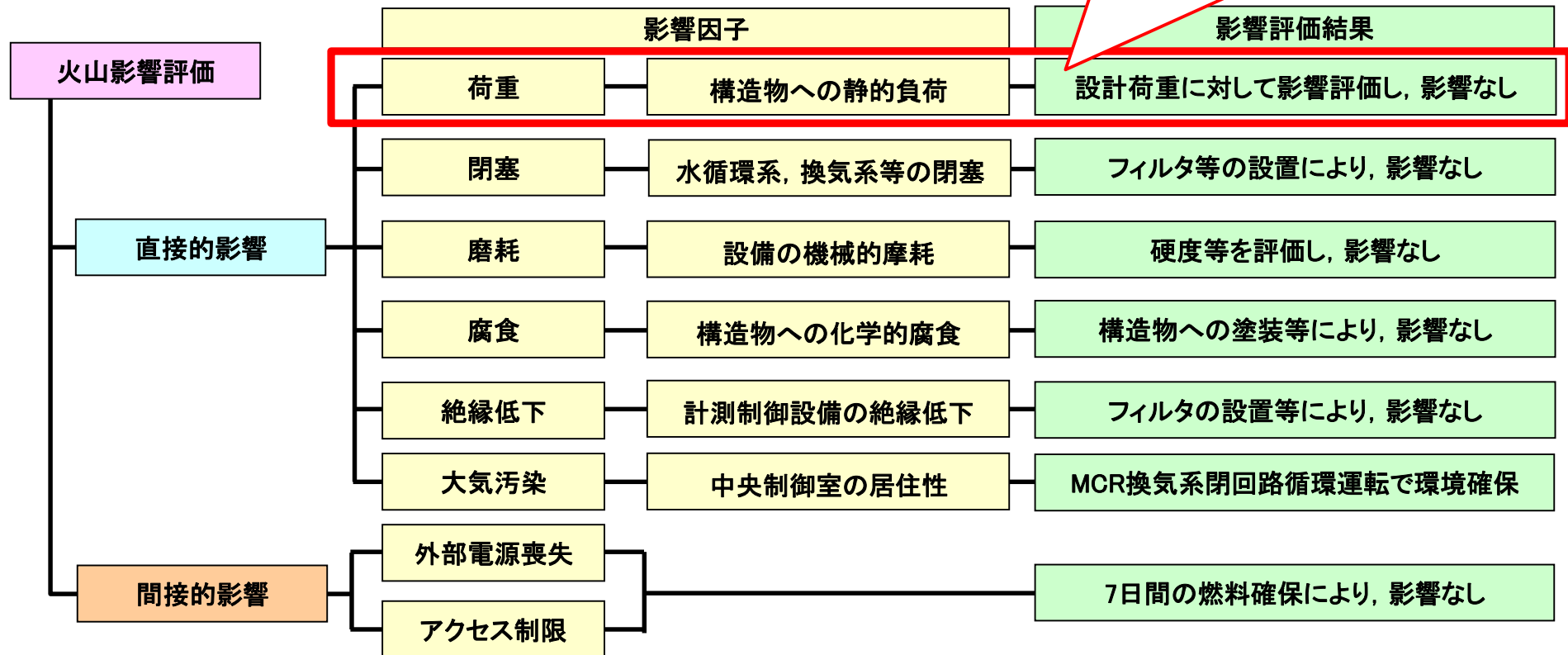
## ● 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象

- 原子力発電所に**影響を及ぼし得る火山事象として、降下火砕物を抽出**
- 設計上考慮する降下火砕物として、層厚(50cm)、粒径(8mm)、密度(乾燥状態:0.3g/cm<sup>3</sup>、湿潤状態:1.5g/cm<sup>3</sup>)を設定(層厚は、文献調査・地質調査の結果からは40cm程度と評価されるが、降下火砕物シミュレーションによるパラメータスタディ(不確かさとして噴煙柱高度±5km、風速のバラつき±1σ、敷地方向への仮想風を考慮)から得られた最大層厚49cmも踏まえ、これらを総合的に判断し、設計上考慮する降下火砕物の層厚を保守的に50cmと設定)

## ● 火山影響評価

- **建屋、設備に対して影響因子ごとに評価を行い、影響がないことを確認**

使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋上への降下火砕物の堆積による荷重を評価し、屋根や耐震壁が崩壊しないことを確認している。



## 8. 森林火災の影響評価及び対策(1/3)

### ● 森林火災の発火点の設定について

#### ➤ 発火点の設定

評価ガイドにある森林火災の想定に基づき、以下の発火点の設定方針を踏まえ、7発火点を設定

- 卓越風向(北, 西北西)及び最大風速記録時の風向(南西, 北東)が発電所の風上になる地点
- たき火等の人為的な火災発生原因が想定される地点

表 設定した発火点

発火点	場所	想定風向	人為的な火災発生原因
発火点1	国道245号沿いの霊園	西北西	霊園における線香等の裸火の使用と残り火の不始末を想定
発火点2	海岸沿い	北	バーベキュー及び花火の不始末等を想定
発火点3	県道284号沿い水田	西北西	火入れ・たき火等を想定
発火点4	海岸沿い	北	釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定
発火点5	危険物貯蔵施設	南西	屋外貯蔵タンクからの火災が森林に延焼することを想定
発火点6	国道245号沿い	南西	交通量が多い交差点での交通事故による車両火災を想定
発火点7	海岸沿い	北東	釣り人によるたばこの投げ捨て等を想定

図 発火点と発電所の位置関係

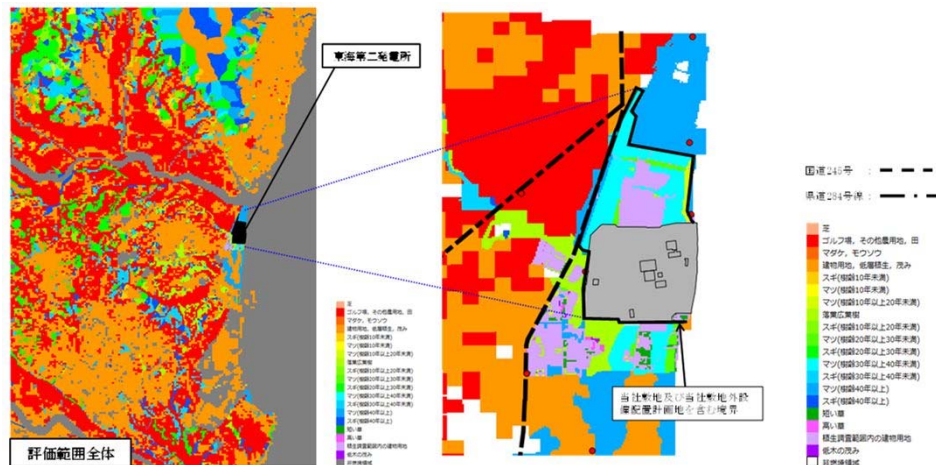


## 8. 森林火災の影響評価及び対策(2/3)

### ● 森林火災シミュレーションコードFARSITEへ入力した植生データ

- 森林簿(東西南北12km)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・林齢にて細分化し10mメッシュで入力
- 発電所敷地周辺は、植生調査を実施し、入力データに反映

図 FARSITEへ入力した植生データ



### ● 森林火災からの防護対策(1/2)

#### ➤ 防火帯の確保

- 防火帯とは、可燃物が無い、帯状の地域
- 発電所内への森林火災の「延焼」を防ぐため防火帯を設置
- 森林火災シミュレーションコードFARSITEから算出した最大火線強度6,278kW/mに基づく防火帯幅21.4mに、保守性を持たせ、幅約23mを設定
- 防火帯はすべて当社敷地内に設置し、駐車車両等の可燃物及び消火活動に支障となるものは原則として配置しない。

使用済燃料-47

表 火災の防火帯突破率1%となる最小防火帯幅

風上に樹木がある場合の火線強度と最小防火帯幅の関係(火災の防火帯突破率1%)

火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」附属書A A-6



図 防火帯の設定

## 8. 森林火災の影響評価及び対策(3/3)

### ● 森林火災からの防護対策(2/2)

➤ 火災の到達時間に消火対応が可能であることを確認

- FARSITE解析結果より, 発火点1の火災が**防火帯外縁に到達する最短時間は 0.2時間(約12分)**
- 火災到達時間が最短となる発火点1から出火した森林火災が, 最短で発電所に到達する散水地点Aにおいて散水活動を行う。
- **熱感知カメラ及び防火帯近傍へ屋外消火栓を設置することで, 出動準備から散水開始までの所要時間は11分で可能であることを確認**

表 各発火点における火災到達時間

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4	発火点 5	発火点 6	発火点 7
火災到達時間(hr)	0.2	4.0	0.7	6.0	2.9	1.1	0.7

➤ 温度評価結果が許容温度を下回ることを確認

- 森林火災の「輻射熱」による発電所の施設の温度を評価
- **発電所の施設の温度評価結果が許容温度を下回ることを確認**
- 防潮堤の止水ジョイント部及び放水路ゲートは**内部への熱影響を防ぐため内側に断熱材を設置**

➤ 危険距離を上回る離隔距離の確保

- 危険距離とは, 発電所内の施設を森林火災の「輻射熱」から防護するため必要となる距離
- **発電所の施設は, 危険距離を上回る離隔距離を確保**
- **防潮堤を森林火災の輻射熱から防護するため, 隣接事業所の植生を管理**

表 散水開始までの所要時間

項目	活動内容	活動に必要な所要時間(分)			
		0	10	20	30
火災発生		▽			
連絡・火災延焼確認	火災情報を入手		▽		
消火活動準備	出動準備		□		
	消火活動場所までの移動			□	
消火活動開始	ホース展開・散水準備			□	
	防火帯への散水開始				▽

□: 訓練実績 □: 過去の実績等から想定した時間

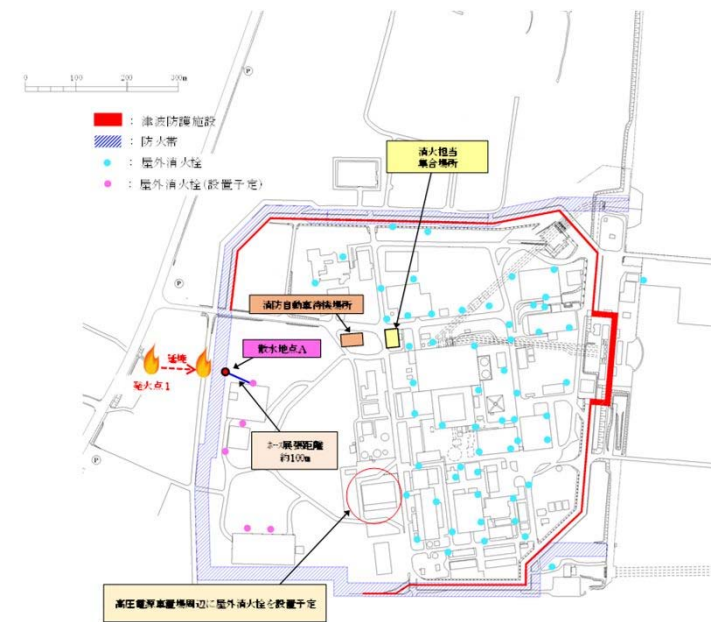


図 発火点1の散水位置

## 9. 爆発の影響評価 (1/2)

### ● 危険物貯蔵施設等の爆発

- ・ 高圧ガス漏洩, 引火によるガス爆発を想定した場合において, 発電所から約1.5kmの位置にあるLNG基地に対して危険限界距離以上の離隔距離を確保していることを確認
- ・ LNG基地のタンクは低温貯蔵型タンクであり, 大規模なタンク破裂事象が発生しないため, タンクの爆発による飛来物の影響はないことを確認
- ・ 発電所敷地内にある屋外のガス貯蔵施設に対して危険限界距離以上の離隔距離を確保していることを確認

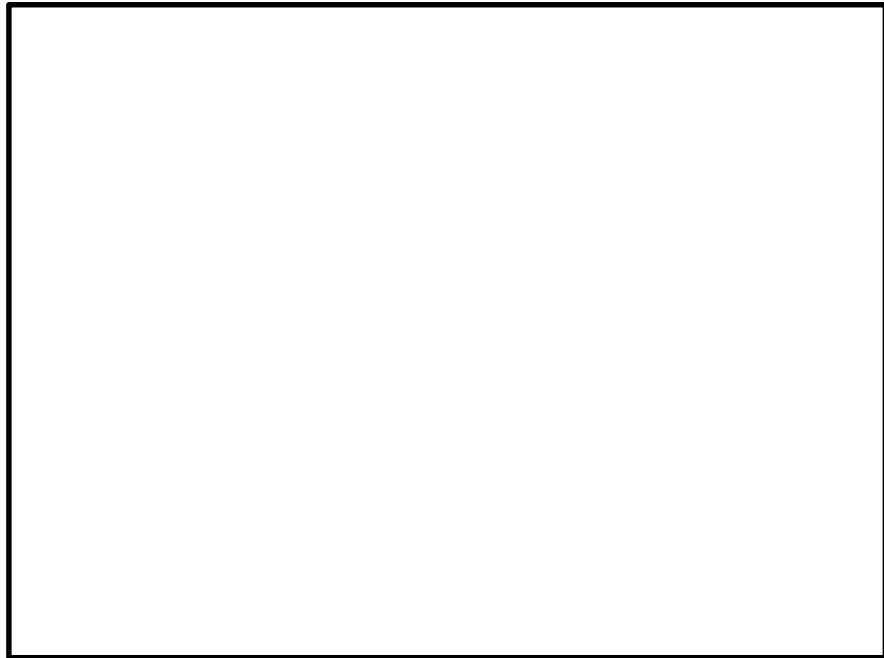


図 発電所敷地内にある屋外のガス貯蔵施設



図 発電所と日立LNG基地の位置関係



図 発電所敷地から最も近い位置にある高圧ガス貯蔵施設

※: 400mは, LNG基地の爆発を想定した場合の危険限界距離373mから求めた保守的な影響範囲

## 9. 爆発の影響評価 (2/2)

### ● 燃料輸送車両の爆発

- ・ 高圧ガス漏洩、引火によるガス爆発を想定した場合において、発電所敷地周辺道路を通行する最大規模の燃料輸送車両に対して**危険限界距離以上の離隔距離を確保**していることを確認
- ・ 大規模なタンク破裂事象が発生する加圧貯蔵型タンクを想定し、**爆発飛来物の影響を評価した結果、防護すべき施設への影響はない**ことを確認

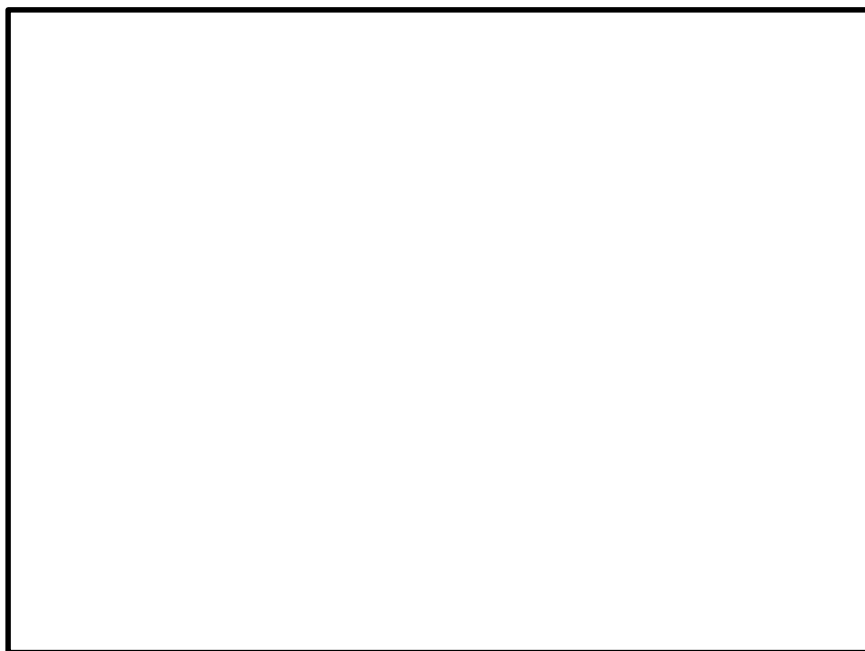


図 評価対象施設と燃料輸送車両の位置関係

### ● 燃料輸送船の爆発

- ・ 高圧ガス漏洩、引火によるガス爆発を想定した場合において、LNG基地に入港する最大規模の燃料輸送船が、船舶の喫水と水深より、船底が海底とぶつかるためこれ以上進入しない、水深が11mとなる位置まで漂流してきたことを想定した条件で、**危険限界距離以上の離隔距離を確保**していることを確認
- ・ LNG基地に実際に入港する最大規模の燃料輸送船は低温貯蔵型タンクであるため、**タンクの爆発による飛来物の影響はない**ことを確認



図 評価対象施設と燃料輸送船の位置関係



# 10. 近隣工場等の火災の影響評価 (1/3)



## ● 危険物貯蔵施設の火災

- ・ 発電所から10km以内(敷地内を除く)に、第一類から第六類の危険物貯蔵施設(屋内貯蔵及び少量のものは除く)が約500カ所存在することを自治体への聞き取り調査から確認
- ・ 発電所に影響を及ぼす可能性がある危険物貯蔵施設を特定(右表のNo.1,6,11)し、特定した**危険物貯蔵施設の火災に対して危険距離以上の離隔距離を確保していることを確認**

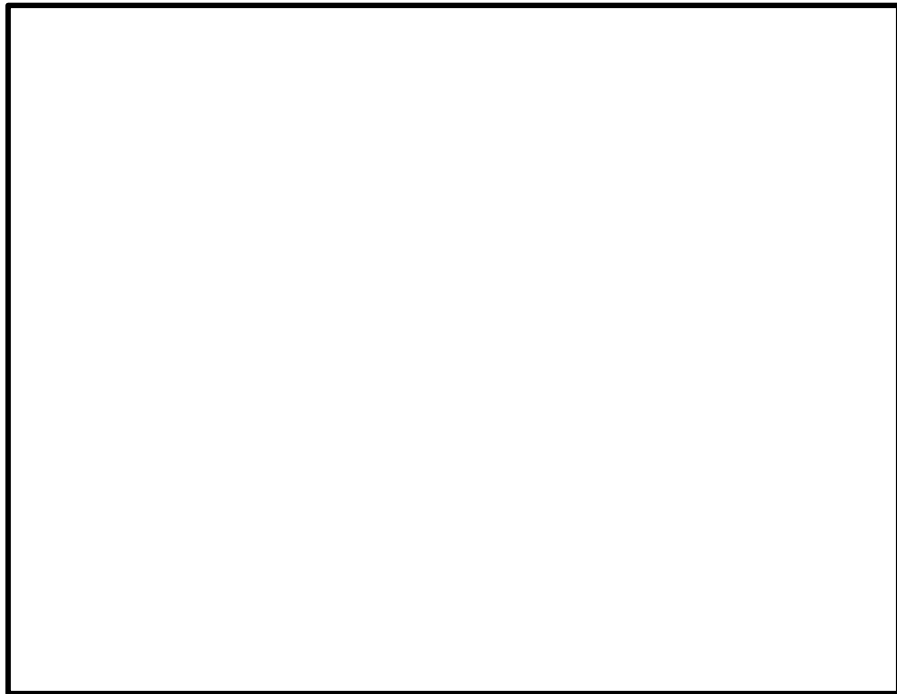


表 発電所周辺(東海村全域及び日立市の一部)に位置する危険物貯蔵施設一覧

施設区分	No.	事業所名	油種	数量(L)	位置が1.4km以内 ○: 1.4km以内 ×: 1.4km以上
屋外タンク貯蔵所 又は屋外貯蔵所	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
給油取扱所	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

※: 1,400mは、石油コンビナートの大規模な危険物タンク火災を想定した場合の危険距離1,329mから求めた保守的な影響範囲

図 発電所周辺(東海村全域及び日立市の一部)に位置する危険物貯蔵施設



## 10. 近隣工場等の火災の影響評価 (2/3)

### ● 燃料輸送車両の火災

- ・ 発電所敷地周辺道路を通行する最大規模の燃料輸送車両の火災に対して、危険距離以上の離隔距離を確保していることを確認



図 評価対象施設と燃料輸送車両の位置関係

### ● 燃料輸送船の火災

- ・ LNG基地に入港する最大規模の燃料輸送船の火災に対して、船舶の喫水と水深より、船底が海底とぶつかるためこれ以上進入しない、水深が11mとなる位置で、危険距離以上の離隔距離を確保していることを確認
- ・ 発電所港湾内に入港する最大規模の定期船の火災に対して、危険距離以上の離隔距離を確保していることを確認



図 評価対象施設と燃料輸送船の位置関係

# 10. 近隣工場等の火災の影響評価 (3/3)

## ● 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設の火災

- ・ 発電所敷地内に設置する**危険物貯蔵施設の火災に対して温度評価結果が許容温度を下回ることを確認**
- ・ 施設への火災影響が大きい危険物貯蔵施設については、**地下埋設等の対策を実施**(非常用ディーゼル発電機用軽油タンク及び重油貯蔵タンクの地下埋設化等)



図 敷地内に設置する危険物貯蔵施設の位置関係

## ● 発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設以外の火災

- ・ 発電所敷地内に設置する**危険物貯蔵施設以外で可燃物を内包する変圧器等の火災に対して温度評価結果が許容温度を下回ることを確認**
- ・ 施設への火災影響が大きい予備変圧器については、**移設を実施**
- ・ 燃料補充用のタンクローリ火災が発生した場合の影響については、**万一の火災発生時は速やかに消火活動が可能**である体制であることから、施設への影響はない

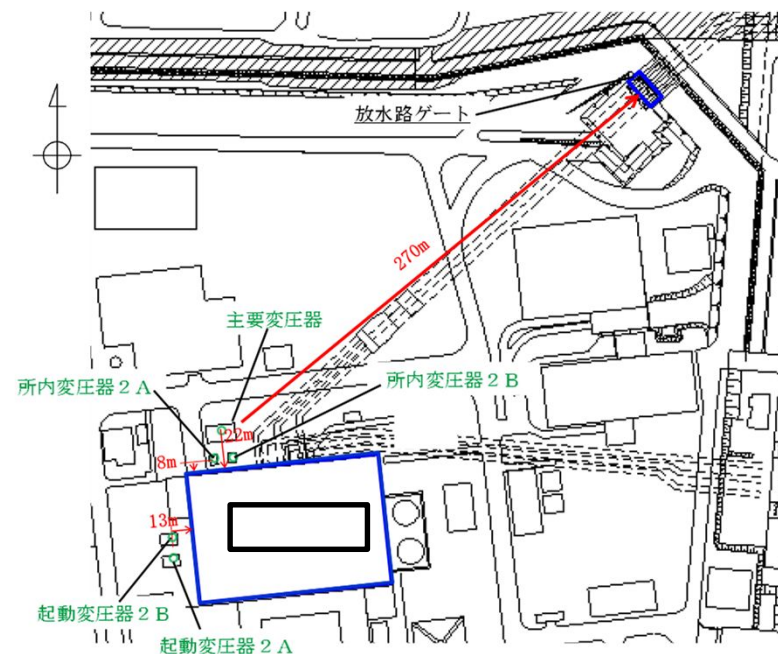
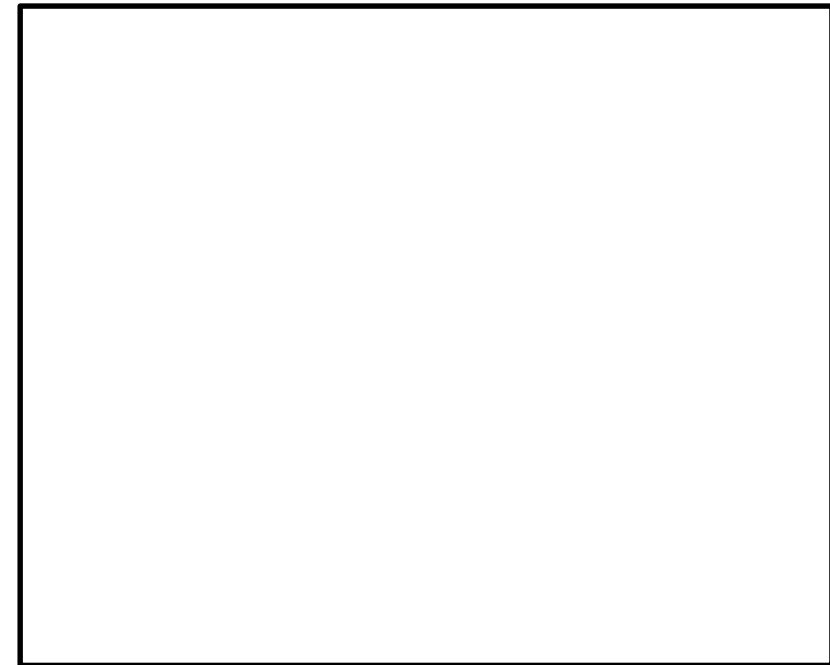


図 危険物貯蔵施設以外の火災源の位置関係

# 1.1. 航空機落下確率評価及び墜落による火災影響評価 (1/2)



- 過去の国内における航空機落下事故の実績をもとに航空機落下確率評価を実施し、**航空機の衝突を設計上考慮するかどうかの判断基準である $10^{-7}$ 回/炉・年以下であることを確認**
- なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能については、**以下の理由から、使用済燃料乾式貯蔵建屋単独で評価を実施**
  - 東海第二発電所の**他の原子炉施設と安全機能が独立していること**
  - 東海第二発電所の**他の原子炉施設と設置場所が隔離されていること**



評価対象施設

航空機落下確率評価結果

(単位: 回/炉・年)

	1)計器飛行方式民間航空機の落下事故		2)有視界飛行方式民間航空機の落下事故	3)自衛隊機又は米軍機の落下事故		合計
	①飛行場での離着陸時における落下事故	②航空路を巡航中の落下事故		①訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中の落下事故	②基地-訓練空域間往復時の落下事故	
発電用原子炉施設 (使用済燃料乾式貯蔵建屋を除く。)	約 $3.98 \times 10^{-9}$	約 $5.93 \times 10^{-11}$	約 $1.37 \times 10^{-8}$	約 $2.56 \times 10^{-8}$	約 $4.14 \times 10^{-8}$	約 $8.5 \times 10^{-8}$
使用済燃料乾式貯蔵建屋	約 $1.80 \times 10^{-9}$	約 $4.30 \times 10^{-11}$	約 $9.95 \times 10^{-9}$	約 $1.86 \times 10^{-8}$	約 $3.00 \times 10^{-8}$	約 $6.1 \times 10^{-8}$

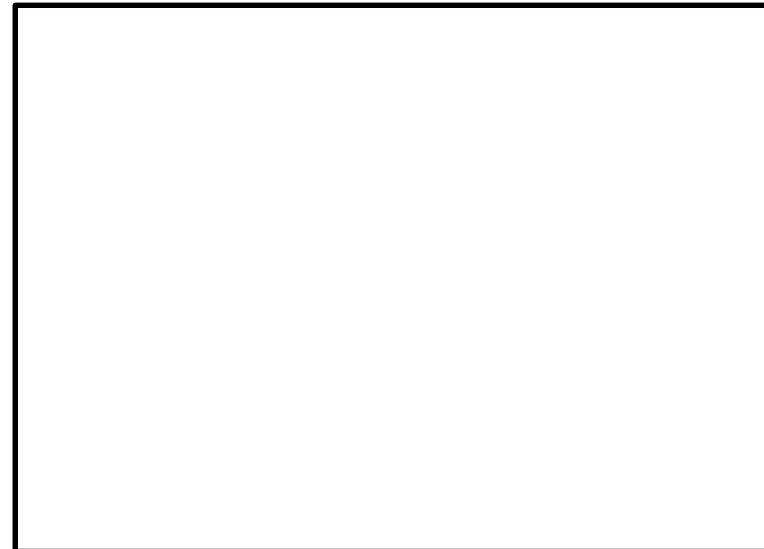
※ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の実際の面積(水平面積: 約 $0.0014\text{km}^2$ , 投影面積: 約 $0.0019\text{km}^2$ )は $0.01\text{km}^2$ 未満であるが、航空機落下確率の評価基準に従い、保守的に標的面積を $0.01\text{km}^2$ として評価している。

このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋の航空機落下確率については、実態より大きな確率値として評価されており、結果として発電用原子炉施設(水平面積: 約 $0.0138\text{km}^2$ , 投影面積: 約 $0.0221\text{km}^2$ )の航空機落下確率と近い値になっている。

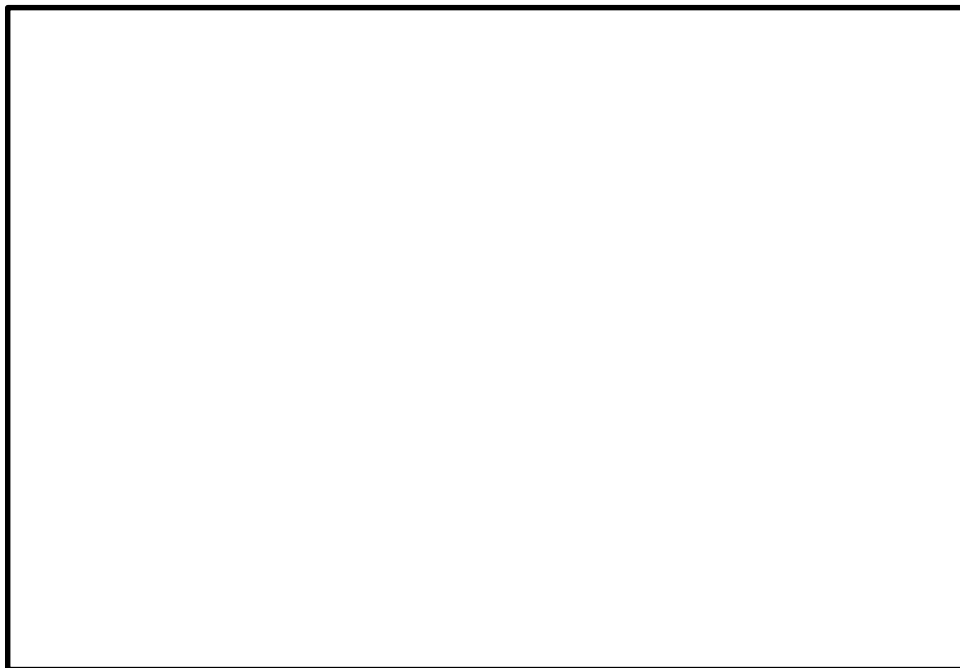
# 11. 航空機落下確率評価及び墜落による火災影響評価 (2/2)



- ・ 航空機墜落による火災の温度評価が最も厳しくなるカテゴリは、**自衛隊機又は米軍機の「基地-訓練空域間往復時」**で、機種は**F-15**であることを特定
- ・ 航空機落下確率評価をもとに、**想定する航空機墜落によって発生する火災に対して温度評価結果が許容温度を下回ることを確認**
- ・ **敷地内の危険物貯蔵施設等の火災と航空機墜落火災との重畳に対しても温度評価結果は許容温度を下回ることを確認**
- ・ 具体的な評価結果について次頁より示す。



基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する  
発電用原子炉施設(使用済燃料乾式貯蔵建屋を除く。)の離隔距離



重畳評価で想定する火災源の位置関係



基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する  
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離

○発電所敷地内への落下を想定する航空機各機種について、落下確率が $10^{-7}$ (回/炉・年)以上になる範囲を設定し、火災により建屋への影響が最も厳しくなる地点(離隔距離)で火災が生じた場合の、使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁面の温度上昇を評価した。



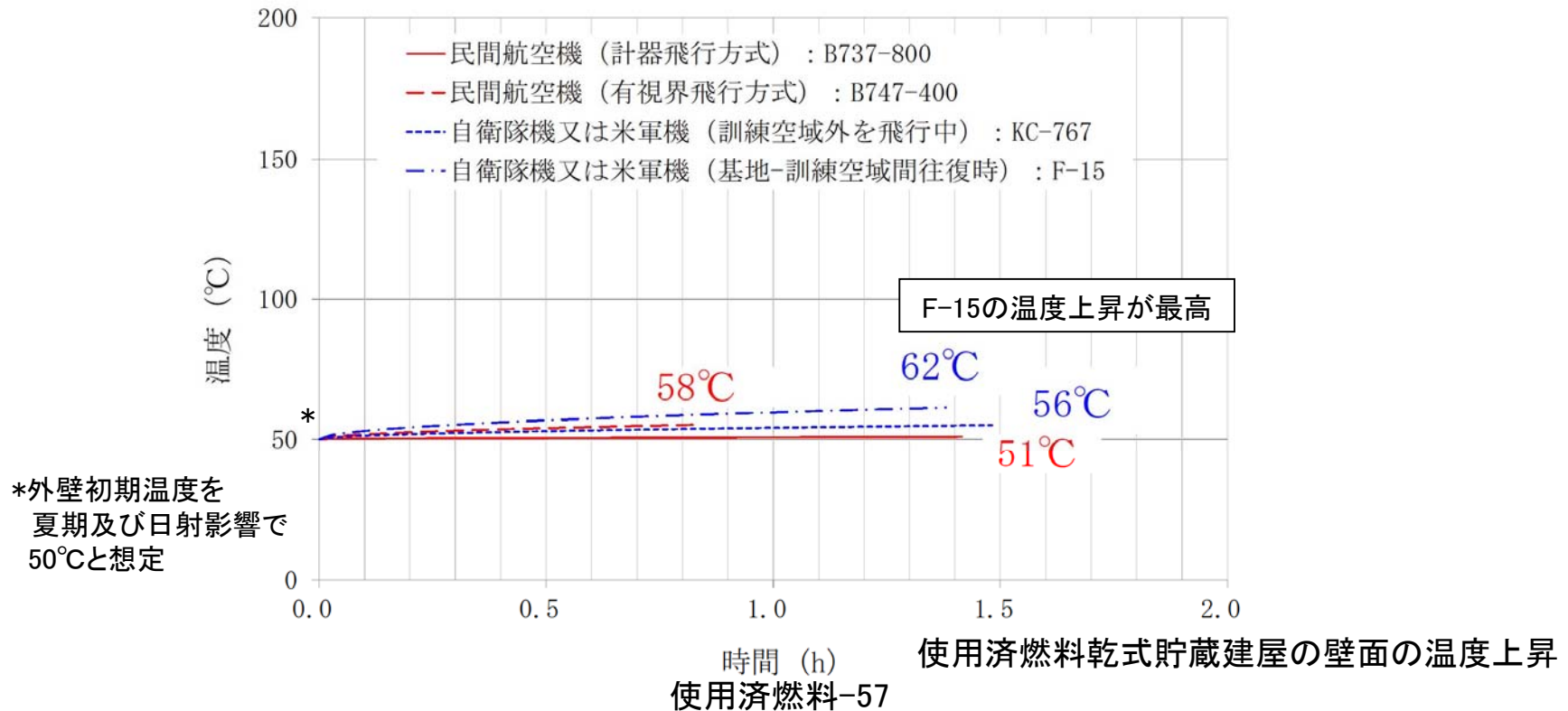
航空機機種	離隔距離(m)
B737-800	393
B747-400	372
Do228-200	175
KC-767	355
F-15	78

使用済燃料乾式貯蔵建屋と火災発生点の離隔(F-15の場合)



- 使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁表面の温度上昇はわずか(最も高いF-15でも12°Cの上昇)であり、熱伝達による貯蔵建屋内の温度上昇もこの値を下回ると考えられることから、建屋内に設置される使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能の監視設備に影響を与えることはないと判断している。
- 万一、監視設備の機能が損なわれた場合でも、使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能等は維持されることから、航空機火災の消火対応等を行った後に、順次、監視設備の復旧を行う。

- ・最も厳しい結果となるF-15の評価においても、外壁表面における温度上昇はわずか。
- ・外壁表面の温度上昇の速度は遅く、熱伝達による建屋内への熱の移送も緩やかとなることから、入ってきた熱は建屋内の換気により排出され、室温の上昇には殆ど寄与しないと考えられる。



● 目的

発電所敷地への航空機の墜落によって発生する火災が、発電用原子炉施設に影響を及ぼさないことを以下の項目により評価

- (1) 熱影響
- (2) 二次的影響

● 影響評価方法

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド附属書C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について」(以下「評価ガイド」という。)に従い、以下の手順で発電所への影響について評価した。

(i) 航空機落下確率評価

評価条件の違い等を踏まえて設定した落下事故のカテゴリごとに燃料積載量が最大の航空機を選定する。

(ii) 対象航空機を選定

評価条件の違い等を踏まえて設定した落下事故のカテゴリごとに燃料積載量が最大の航空機を選定する。

(iii) 離隔距離の評価

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」(平成21・06・25原院第1号)の航空機落下確率評価式に基づき、カテゴリごとに落下確率が $10^{-7}$ (回/炉・年)に相当する面積を算出し、その結果を用いて評価対象施設に対する離隔距離を算出する。

(iv) 熱影響評価

(ii)で評価した離隔距離を踏まえて原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で航空機の墜落が発生することを想定して温度を評価し、許容温度を下回ることを確認する。

(v) 二次的影響評価

(ii)で評価した離隔距離を踏まえて使用済燃料乾式貯蔵建屋へ熱気流が直接給気口に流入する風速を評価し、水戸地方気象台で観測した過去10年間の最大風速を上回ることを確認する。

● 評価対象施設

・外部火災の影響を評価する必要がある以下の評価対象施設<sup>※1</sup>の評価を実施

- (1) 原子炉建屋
- (2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋
- (3) タービン建屋<sup>※2</sup>
- (4) 主排気筒
- (5) 非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)
- (6) 残留熱除去系海水系ポンプ
- (7) 非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプ

・ただし、東海第二発電所の発電用原子炉施設と使用済燃料乾式貯蔵施設の安全機能は独立していることを踏まえ、原子炉施設と使用済燃料乾式貯蔵施設を独立として扱い評価を実施

※1:外部事象防護対象施設は、航空機落下確率評価及び航空機墜落による火災影響評価に置いては、原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの基準を踏まえクラス1及びクラス2に属する施設及び安全評価上その機能に期待するクラス3の施設、又はそれらを内包する建屋

※2:タービン建屋内には、PS-2の主蒸気系及びMS-2の放射性気体廃棄物処理系の隔離弁があるため、タービン建屋を評価対象施設として抽出

評価で想定する落下事故のカテゴリ

落下事故のカテゴリ	
1) 計器飛行方式民間航空機	① 飛行場での離着陸時
	② 航空路を巡航中
2) 有視界飛行方式民間航空機	③ 大型機(大型固定翼機及び大型回転翼機)
	④ 小型機(小型固定翼機及び小型回転翼機)
3) 自衛隊機又は米軍機	⑤ 訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中
	⑤-1 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
	⑤-2 その他の大型固定翼機、小型固定翼機及び回転翼機
	⑥ 基地-訓練空域間往復時

(i) 航空機落下確率評価

1)計器飛行方式民間航空機の落下事故

①飛行場での離着陸時における落下事故

$$P_{d,a} = f_{d,a} \cdot N_{d,a} \cdot A \cdot \Phi_{d,a}(r, \theta)$$

$P_{d,a}$ : 対象施設への離着陸時の航空機落下確率(回/年)

$f_{d,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$ : 対象航空機の国内での離着陸時事故率(回/離着陸回)

$D_{d,a}$ : 国内での離着陸時事故件数(回)



平成5年～平成24年の国内の離着陸時における事故件数を使用。  
離着陸時に1件, 着陸時に3件。

$E_{d,a}$ : 国内での離着陸回数(離着陸回)

$N_{d,a}$ : 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数(離着陸回/年)

$A$ : 原子炉施設の標的面積(km<sup>2</sup>)

$\Phi_{d,a}(r, \theta)$ : 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数(/km<sup>2</sup>)

②航空路を巡航中の落下事故

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A / W$$

$P_c$ : 対象施設への巡航中の航空機落下確率(回/年)

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

$G_c$ : 巡航中事故件数(回)



平成5年～平成24年における国内の航空路を巡航中における事故件数を使用。  
事故件数が0件であるため, 0.5件発生したものと評価。

$H_c$ : 延べ飛行距離(飛行回・km)

$N_c$ : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数(飛行回/年)

$A$ : 原子炉施設の標的面積(km<sup>2</sup>)

$W$ : 航空路幅(km)

2)有視界飛行方式民間航空機の落下事故

$$P_v = (f_v / S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

$P_v$ : 対象施設への航空機落下確率(回/年)

$f_v$ : 単位年当たりの落下事故率(回/年)



平成5年～平成24年における国内の事故件数を使用。  
大型固定翼機0件, 大型回転翼機0件, 小型固定翼機35件, 小型回転翼機24件。  
大型固定翼機の事故件数は0件であるため, 0.5件発生したものと評価。

$S_v$ : 全国土面積(km<sup>2</sup>)

$A$ : 原子炉施設の標的面積(km<sup>2</sup>)

$\alpha$ : 対象航空機の種類による係数

### 3)自衛隊機又は米軍機の落下事故

#### ①訓練空域外を飛行中の落下事故

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

$P_{so}$ : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率(回/年)

$f_{so}$ : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率(回/年)

A : 原子炉施設の標的面積(km<sup>2</sup>)

$S_o$ : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積(km<sup>2</sup>)



平成5年～平成24年の国内の訓練空域外を飛行中における事故件数を使用。自衛隊機7件, 米軍機5件。

#### ②基地－訓練空域間を往復時の落下事故

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se}$$

$P_{se}$ : 対象施設への航空機落下確率(回/年)

$f_{se}$ : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率(回/年)

A : 原子炉施設の標的面積(km<sup>2</sup>)

$S_{se}$ : 想定飛行範囲内の面積(km<sup>2</sup>)



平成5年～平成24年の国内の基地－訓練空域間を往復時における事故件数を使用。自衛隊機5件(米軍基地-訓練空域間を往復時の範囲内に東海第二発電所は含まれないため, 米軍機については対象外)。\*

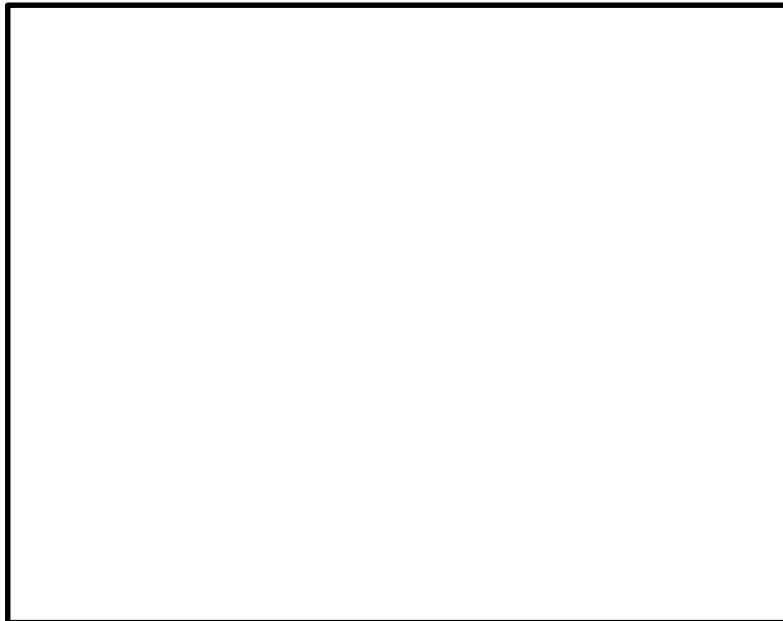
\* 自衛隊機の訓練空域, 基地－訓練空域間の想定飛行範囲を別紙(11/11)に記載

(ii) カテゴリ毎の対象航空機の選定

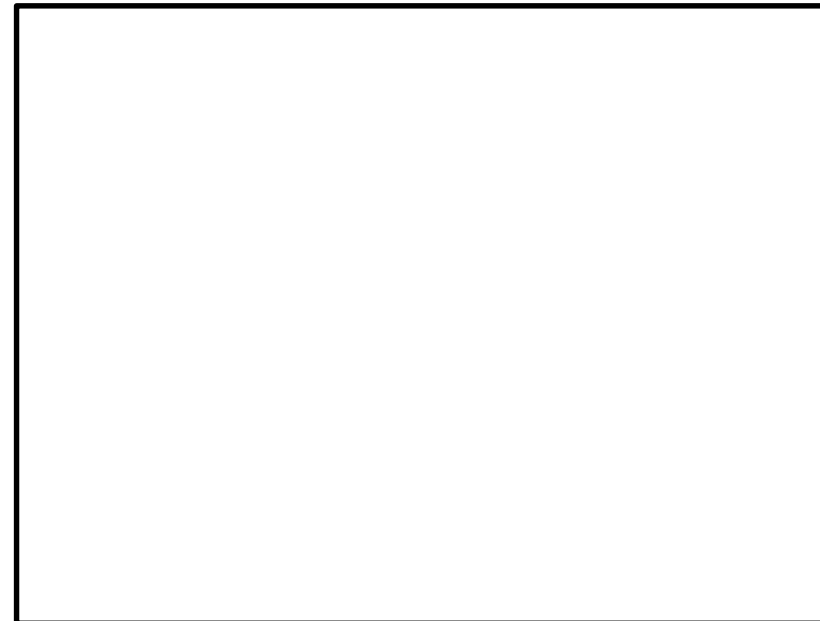
- ・①は、評価対象となる茨城空港の定期便のうち燃料積算量が多い航空機を選定
- ・②は、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定
- ・③及び④は、全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち、燃料積載量が最大の航空機を選定
- ・⑤は、全国の自衛隊機及び米軍機のうち、用途別に燃料積載量が最大の航空機を選定
- ・⑥は、評価対象となる百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大の航空機を選定

		落下事故のカテゴリ	対象航空機
計器飛行方式 民間航空機		①飛行場での離着陸時	B737-800
		②航空路を巡航時	B747-400
有視界飛行方式 民間航空機		③大型機 (大型固定翼機及び大型回転翼機)	B747-400
		④小型機 (小型固定翼機及び小型回転翼機)	Do228-200
自衛隊機又は 米軍機	⑤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 される大型固定翼機	KC-767
		その他の大型固定翼機, 小型固定翼機及び回転 翼機	F-15
		⑥基地-訓練空域間往復時	F-15

(iii) カテゴリ別の離隔距離の評価



基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する発電用原子炉施設  
(使用済燃料乾式貯蔵建屋除く。)の離隔距離



基地-訓練空域間往復時の落下事故に対する  
使用済燃料乾式貯蔵建屋の離隔距離



(iv) 熱影響評価

建屋に対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)		許容温度(°C)
			原子炉建屋及びタービン建屋	使用済燃料式貯蔵建屋	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	53	51	<200
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機及び大型回転翼機)	B747-400	71	58	
自衛隊機 又は米軍機	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翼機	KC-767	64	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	183	

主排気筒に対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)
			主排気筒及び放水路ゲート	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	52	<325
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機及び大型回転翼機)	B747-400	63	
自衛隊機 又は米軍機	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翼機	KC-767	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	

非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)に対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)
			非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	45	<53
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機 及び大型回転翼機)	B747-400	45	
自衛隊機 又は米軍機	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 大型固定翼機	45	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	

残留熱除去系海水系ポンプに対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)
			残留熱除去系海水系ポンプ	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	45	<70
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機 及び大型回転翼機)	B747-400	46	
自衛隊機 又は米軍機	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 大型固定翼機	46	
	基地-訓練空域間往復時		F-15	

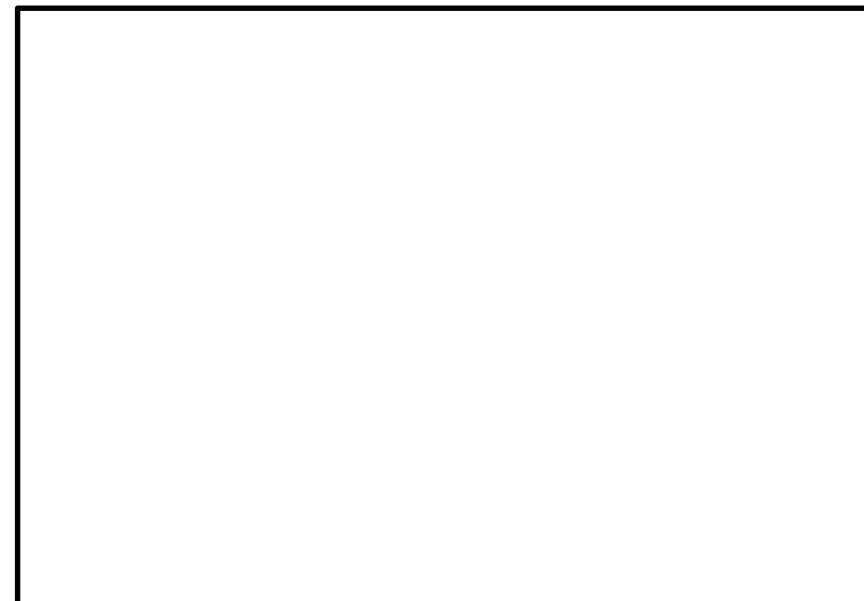
非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプに対する温度評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度(°C)	許容温度(°C)	
			非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海水ポンプ		
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離着陸時	B737-800	45	<60	
有視界飛行方式 民間航空機	大型機(大型固定翼機 及び大型回転翼機)	B747-400	45		
自衛隊機 又は米軍機	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 大型固定翼機	KC-767		45
	基地-訓練空域間往復時		F-15		51

・航空機墜落火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の火災との重畳評価を実施した結果、許容温度を下回ることを確認

重畳火災を想定した温度評価結果

重畳評価の想定ケース	評価対象施設	評価温度(°C)	許容温度(°C)
溶融炉灯油タンク及びF-15	原子炉建屋	196	<200
	タービン建屋	187	
	主排気筒	181	<325
	残留熱除去系海水系ポンプ	59	<70
	非常用ディーゼル発電機(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。)用海ポンプ	51	<60
主要変圧器及びF-15	タービン建屋	195	<200



航空機墜落位置と危険物貯蔵施設等の位置関係

● 航空機火災が発生した場合の初期消火活動

- ・熱影響評価を行った結果、許容温度を下回るため、消火活動等を実施しなくても評価対象施設の防護は可能
- ・航空機燃料火災に対する消火対応のため、空港業務マニュアルをもとに、最大規模の航空機燃料火災にも対応できる量の泡消火薬剤を配備している。

(v) 二次的影響評価

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋(以下「建屋」という。)においては、ドライキャスクの除熱を自然対流により実施
- ・建屋付近で発生する航空機墜落火災(機種:F-15)を想定し、給気口から熱気流が侵入した場合について評価を実施
- ・建屋は、外部火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により建屋に向かうことが想定されるため、火災源から発生した熱気流が風により直接給気口から流入する事象を想定
- ・火災による熱気流の主軸傾き角より、熱気流が直接給気口に流入する風速を評価した結果、水戸地方気象台で観測した過去10年間の最大風速より大きいことから、熱気流が直接給気口に流入することはないと、ドライキャスクの除熱及び閉じ込め機能の監視に影響はないことを確認

\*「火災により発生する上昇気流の風速↑」と「建屋側への横風→」の合成により、熱気流の斜め方向の流れが求められる。建屋に最も近い火災の上昇気流と最大風速の合成値が建屋の給気口高さを上回ることから、熱気流が給気口に流入しないと評価できる。

・火災源と給気口と結ぶ直線の傾きの算出式

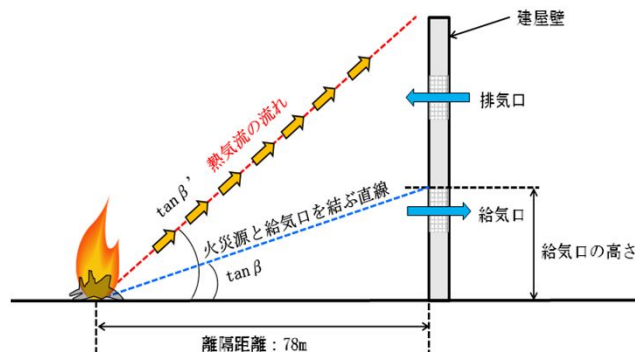
$$\tan \beta = \frac{\text{給気口の高さ}}{\text{火災源から給気口までの水平距離}}$$

・熱源寸法の算出式

$$D = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

D : 熱源寸法 (m)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積(44.6m<sup>2</sup>)



火災源と建屋概略図

・航空機火災の発生熱量の算出式

$$Q = (1 - \chi) \Delta H_{c, \text{eff}} S M$$

Q : 発生熱量 (kW) ,  $\chi$  : 放射分率(0.05)

$\Delta H_{c, \text{eff}}$  : 発熱量(43,500kJ/kg)

S : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積(44.6m<sup>2</sup>)

M : 質量低下速度(kg/m<sup>2</sup>/s)

・熱気流が直接給気口に流入する風速の算出式

$$\tan \beta = 0.37 \Lambda^{-9/8} Fr^{0.0975}$$

$$\Lambda = \frac{UD^{1/3}}{(Qg/C_p \rho T_0)^{1/3}}$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{Dg}}$$

$\tan \beta$  : 火災源と給気口を結ぶ直線の傾き (rad)

$\Lambda$  : 無次元パラメータ, Fr : フルード数 (-)

$C_p$  : 空気比熱(1.007kJ/kg/K)

$\rho$  : 空気密度 (1.17kg/m<sup>3</sup>) ,  $T_0$  : 周囲温度 (310K)

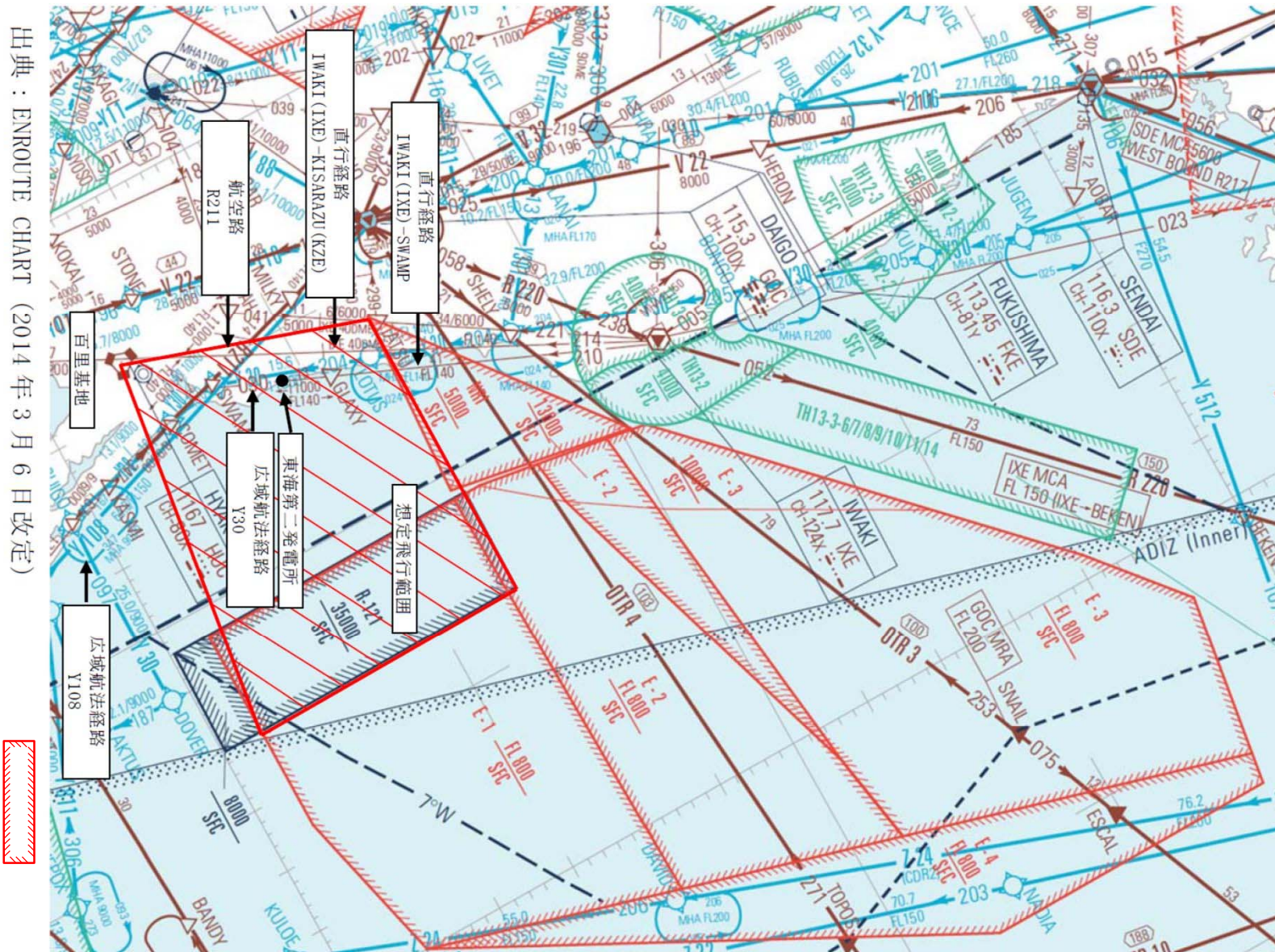
D : 航空機火災 (F-15) の燃焼面積(44.6m<sup>2</sup>)

g : 質量低下速度(kg/m<sup>2</sup>/s)



熱気流が直接給気口に流入する風速の評価結果

評価対象施設	無次元パラメータ $\Lambda (-)$	フルード数 $Fr(-)$	熱気流が直接開口に 流入する風速U (m/s)	水戸地方気象台で観測した 過去10年間の 最大風速(m/s)
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	3.1	2.5	21.6 ~ 40.1	17.5



エンルートチャート (東海第二発電所付近)

○使用済燃料プールの新規制基準適合性について

新規制基準に基づき、使用済燃料プールは冷却機能や注水機能の強化、プール水位低下時の対応手段を整備している。

要求条文	主な内容	具体的対策
「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(設置許可基準規則)		
第三章 重大事故等対処施設 (使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備) 第五十四条	<p>発電用原子炉施設には、使用済燃料貯蔵槽の冷却機能又は注水機能が喪失し、又は使用済燃料貯蔵槽からの水の漏えいその他の要因により当該使用済燃料貯蔵槽の水位が低下した場合において貯蔵槽内燃料体等を冷却し、放射線を遮蔽し、及び臨界を防止するために必要な設備を設けなければならない。</p> <p>2 発電用原子炉施設には、使用済燃料貯蔵槽からの大量の水の漏えいその他の要因により当該使用済燃料貯蔵槽の水位が異常に低下した場合において貯蔵槽内燃料体等の著しい損傷の進行を緩和し、及び臨界を防止するために必要な設備を設けなければならない。</p>	本文 「4. 事故の教訓に基づく使用済燃料プールの安全対策」参照



### ○使用済燃料乾式貯蔵施設の新規制基準適合性について

使用済燃料乾式貯蔵施設については、福島第一原子力発電所事故においても貯蔵する使用済燃料に影響するような安全性の劣化が見られなかったこともあり、新規制基準においても施設固有の要求事項が追加されることはなかった。したがって、他の施設同様、耐震、耐津波にかかる強化を実施している。

要求条文	主な内容	具体的対策
「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(設置許可基準規則)		
第二章 設計基準対象施設 (地震による損傷の防止)第 四条	設計基準対象施設は、 <u>地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</u>	本文 「7. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価結果」, 「8. 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震評価結果」, 「9. 使用済燃料乾式貯蔵容器 支持構造物の耐震補強」参照
(津波による損傷の防止)第 五条	設計基準対象施設(兼用キャスク及びその周辺施設を除く。)は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波(以下「 <u>基準津波</u> 」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	本文 「5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要 使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置」, 「10. 津波の影響評価及び対策」参照
(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、 <u>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。)</u> 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。	本文 「6. 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性」参照

○今後の使用済燃料の保管方針等について

主な内容	詳細内容
<p>                     今後は、当面は使用済燃料プールにより貯蔵保管を継続し、今後、新規制基準適合の工事等が完了し検査に合格した設備を用いて、<u>使用済燃料乾式貯蔵容器に使用済燃料を装荷、貯蔵を行う。</u> </p> <p>                     また、青森県六ヶ所村の再処理工場や、同県むつ市のリサイクル燃料備蓄センターが事業が開始した以降は、適宜、燃料を発電所外に搬出していく。                 </p>	<p>本文</p> <p>「5. 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要 核燃料サイクルにおける使用済燃料乾式貯蔵施設の位置付け」</p> <p>「11. 東海第二発電所の使用済燃料の貯蔵・搬出及び処理方針」参照</p>



### 13. 使用済燃料乾式貯蔵容器にて搬出するまでの冷却期間(1/2)



- 使用済燃料プールから使用済燃料を取り出し，使用済燃料乾式貯蔵容器で貯蔵を開始する条件として，燃料の崩壊熱等が一定程度低下する必要がある。
- 具体的には，燃料集合体の種類と平均燃焼度に応じて，以下のとおり最低7年以上の冷却期間を必要としている。

使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器で貯蔵するのに必要な冷却期間等

燃料集合体	平均燃焼度	発熱量/ 容器	必要冷却期間	評価の内容
① 8 × 8 燃料	33, 000MWd/t		<u>9年以上</u>	線量/熱的により厳しい④の結果を適用
② 新型 8 × 8 燃料	35, 000MWd/t		<u>7年以上</u>	線量/熱的により厳しい④の結果を適用
③ 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料	36, 000MWd/t		<u>7年以上</u>	線量/熱的により厳しい④の結果を適用
④ 高燃焼度 8 × 8 燃料	39, 500MWd/t <sup>注</sup>		<u>7年以上</u>	
⑤ 高燃焼度 8 × 8 燃料	41, 000MWd/t <sup>注</sup>		<u>8年3か月以上</u>	線量/熱的により厳しい④の結果を適用

注：④の燃焼度を上回った燃料は⑤の燃焼度の扱いとする。

使用済燃料-72

\* 1: 日立造船製 乾式貯蔵容器  
\* 2: 東芝, 日立製 乾式貯蔵容器

○使用済燃料乾式貯蔵容器の設計基準は以下のとおりとなっており、前述の必要冷却期間を確保することで、線量及び発熱に関する設計基準を満たすことを確認している。

① 【線 量】

- ・ 貯蔵容器表面の線量率 $2\text{mSv/h}$ 以下及び貯蔵容器表面から $1\text{m}$ の線量率が $100\mu\text{Sv/h}$ 以下であること\*

\*事業所内運搬に係る法令「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」  
(昭和53年 通商産業省令第77号)第13条に基づく

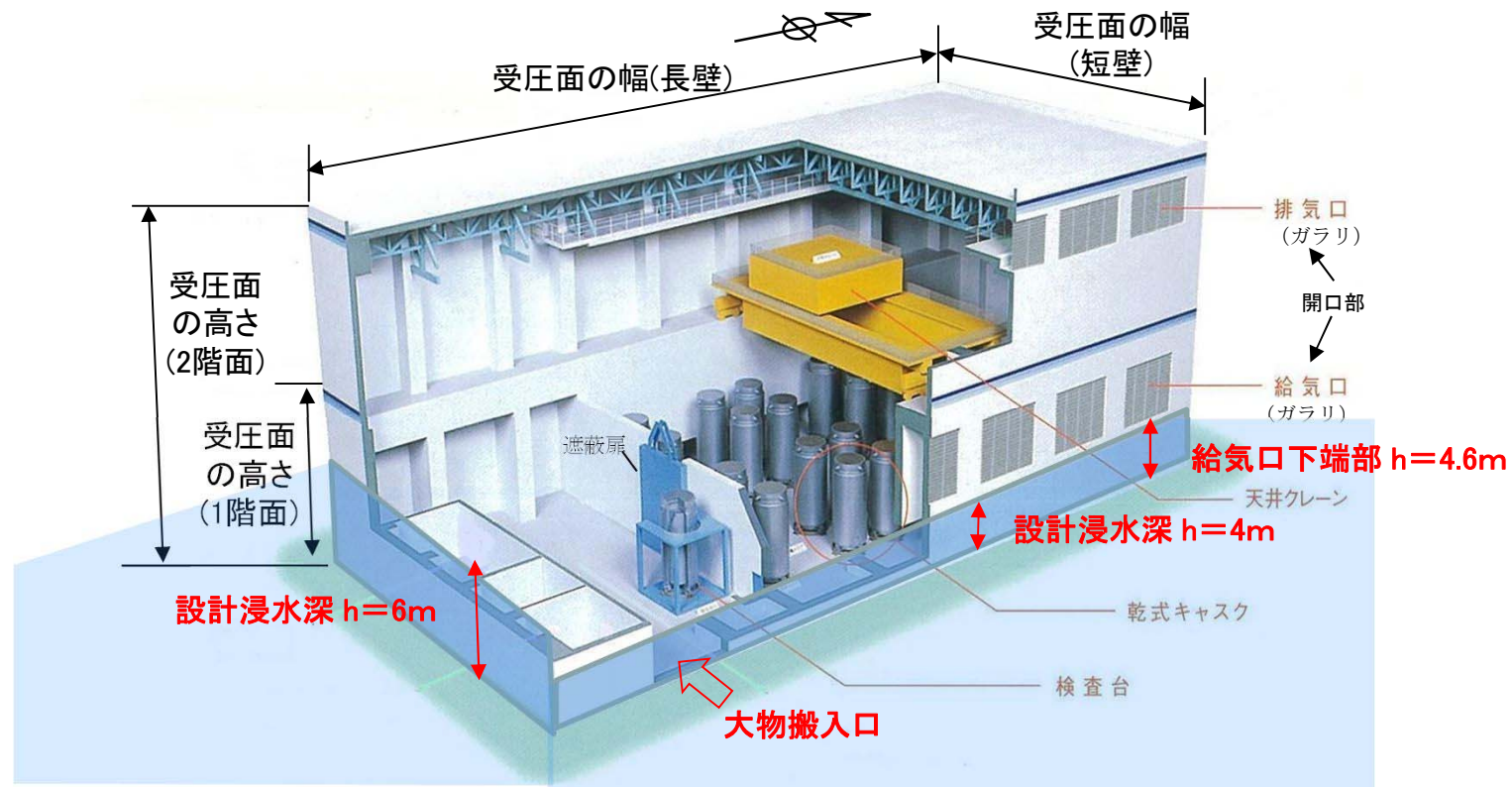
② 【発 熱】

- ・ 放射線の遮へい機能が確保される中性子及びガンマ線の遮へい材の温度の設計基準（上限値）として、  
レジンの温度 $149^{\circ}\text{C}$ 、鉛の温度 $327^{\circ}\text{C}$
- ・ 使用済燃料被覆管の健全性が維持される温度の設計基準（上限値）として、  
使用済燃料の被覆管の累積クリープ量が $1\%$ 以下となる、バスケット温度 $300^{\circ}\text{C}$

#### 14. 敷地遡上津波時の使用済燃料乾式貯蔵容器水没時の健全性確保(1/3)

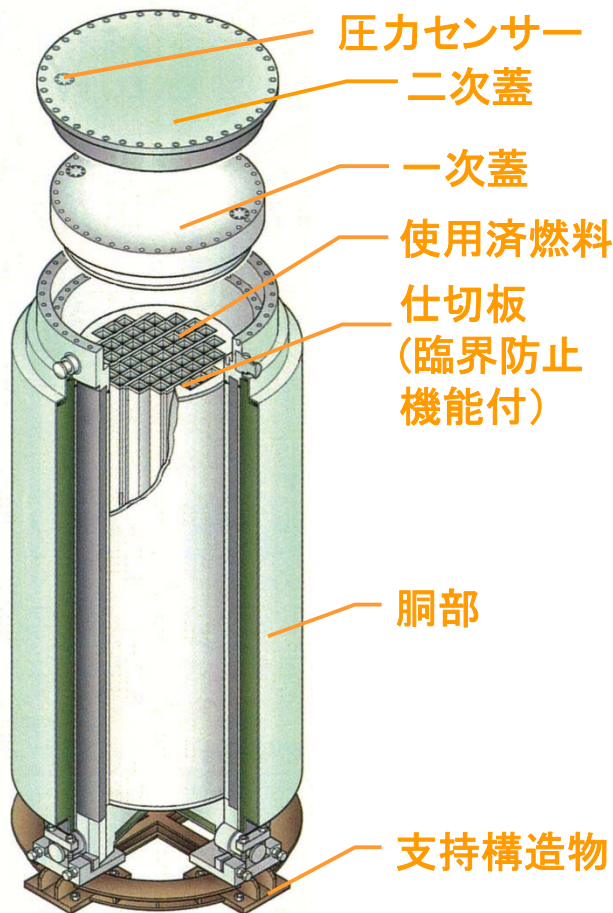


- 防潮堤を超え敷地に遡上する津波の発生を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁の津波による応力評価において、**建屋の長壁側では設計浸水深4mを想定している**。この時に開口部となる給気口の高さは4.6mあるため、給気口からは海水は浸水しないと考えられるが、同じ長壁側にある**大物搬入口の扉の隙間等から浸水する可能性がある**。
- また、**建屋の短壁側では設計浸水深6mを想定している**ことから、この津波が貯蔵建屋内へ浸水し、床面から6m高さまでの浸水深を想定すると、高さ約5.7mである貯蔵容器は水没すると考えられる。



敷地に遡上する津波による使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力評価の浸水想定  
使用済燃料-74

- 貯蔵容器が水没した場合を想定しても、使用済燃料乾式貯蔵施設が有する**4つの安全機能**のうち、**除熱機能、遮蔽機能及び臨界防止機能は影響を受けないと判断**できる。
- 一方で、**閉じ込め機能**については、**水没により蓋部に外部から水圧がかかるため**、次頁のとおり検討し、**機能維持に問題ないと判断**している。



貯蔵容器概略図

使用済燃料乾式貯蔵施設の4つの安全機能	貯蔵容器水没時影響
<b>1. 除熱機能</b> 貯蔵施設には、給・排気口を設けて、外部から取り入れた空気の内対流により冷却	○ 比熱の大きい水に直接接触することで除熱機能は向上する方向
<b>2. 閉じ込め機能</b> 蓋部以外には開口部を設けず、一次蓋、二次蓋の二重蓋構造。蓋部は長期耐久性のある金属ガスケットで密封	○ 水没時に貯蔵容器の閉じ込め機能が損なわれないことを確認(次頁)
<b>3. 遮蔽機能</b> ステンレス鋼、鉛、レジン(合成樹脂)及び建屋の遮蔽壁により、放射線を遮蔽	○ 水没時も遮蔽材に変化は生じない
<b>4. 臨界防止機能</b> バスケット内の仕切板に、ほう素を添加したアルミニウム合金製の板(中性子吸収材)を設置	○ 水没時も中性子吸収材に変化は生じない



### 貯蔵容器水没時の閉じ込め機能維持の確認

- 貯蔵容器は最高使用圧力1.0MPaで設計しており、容器の内圧を高めた1次蓋の耐圧試験を行い、内外圧力差1.0MPaまで耐えられることを実機で確認している。このことから、蓋の金属ガスケット部は水頭差で約100m相当まで密封機能を維持できる。
- 津波による貯蔵容器の水没時は外圧が高い状態となるが、金属ガスケットにかかる応力は耐圧試験と同じく円周方向に垂直であり、実機が約100m相当の水頭差まで機能維持できることに比べて、水没時に金属ガスケットにかかる水頭は1m未満であることから、貯蔵容器の水没時も閉じ込め機能に影響はないと判断している。
- また、建屋内への津波浸水により監視設備は機能喪失する可能性が高いことから、事象収束後に監視設備の復旧を行うこととする。

- ・貯蔵容器本体を堅固な構造とし蓋部以外には開口部を設けず、蓋部は二重蓋構造(一次蓋, 二次蓋)
- ・蓋及び蓋貫通孔のガスケット部には長期間にわたって密封機能を維持する観点から耐熱性, 耐食性を有し耐久性の高い金属ガスケットを使用
- ・貯蔵容器内部は負圧とし、蓋間空間(一次蓋と二次蓋の間)は正圧にして、貯蔵容器内部から外部に漏えいし難いよう圧力障壁を設定

