

H T T R（高温工学試験研究炉）に関する 審査の概要（案）

原子力規制庁

※ 本資料は、日本原子力研究開発機構大洗研究所H T T R（高温工学試験研究炉）の新規制基準への適合性審査の概要を分かりやすく表現することを目的としているため、技術的な厳密性よりもできる限り平易な記載としています。正確な審査内容及び審査結果については、審査書案をご参照ください。

目次

H T T Rに関する審査の概要

- I. 新規規制基準適合性審査における審査項目
- II. 設計基準対象施設
- III. 多量の放射性物質等を放出する事故
(B D B A) の拡大の防止

I . 新規制基準適合性審査における 審査項目

I. 新規制基準適合性審査における審査項目 (1/2)

条	項目	新規制基準 で要求が追加 又は強化された項目	設置者の設計変更に伴う審査項目			
			設備のクラス 設計の変更 に係る項目	被ばく評価条件の見直し に係る項目	施設の新設に係る項目※	BDBA評価条件の追加 に係る項目
3	試験研究用等原子炉施設の地盤	★				
4	地震による損傷の防止	★	★			
5	津波による損傷の防止	★				
6	外部からの衝撃による損傷の防止	★	★			
7	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	★				
8	火災による損傷の防止	★	★			
9	溢水による損傷の防止等	★	★			
10	誤操作の防止	★				
11	安全避難通路等	★				
12	安全施設		★			
13	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止			★		
18	安全保護回路	★				
22	放射性廃棄物の廃棄施設			★		
23	保管廃棄施設				★	
24	工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護				★	
28	保安電源設備		★			
30	通信連絡設備等	★				
42	外部電源を喪失した場合の対策設備等	★	★			
44	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設					★
51	監視設備	★				
53	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	★	★			

※: 固体廃棄物保管室の新規設置

I. 新規制基準適合性審査における審査項目 (2/2)

主な審査項目	設置者の設計変更	影響及びその対策
設備の耐震重要度クラス設計の変更	<p>第4条 (耐震設計) Sクラス ⇒ Bクラス</p>	<p>第4条 (耐震設計)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Bクラス以下の設備の損傷を想定した周辺公衆の実効線量評価を実施しても、その評価結果は約3.0mSv ・ 原子炉停止機能が維持されれば、原子炉の自然冷却により燃料が損傷するおそれはない
自然現象 (竜巻、火山) への対策	<p>第6条 (竜巻・火山) 非常用発電機を竜巻・火山事象の防護対象として選定しない</p>	<p>第6条 (竜巻・火山)</p> <p>非常用発電機に期待しない場合の炉心冷却の代替措置として、原子炉手動停止＋自然冷却＋可搬設備による冷却状態監視を追加</p>
内部火災対策	<p>第8条 (内部火災) 火災防護対策における要求事項の強化 (早期感知等)</p>	<p>第8条 (内部火災)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高温工学試験研究炉の主要な特徴を考慮し、火災防護の3方策を適切に組み合わせた対策を実施 (早期感知のための原子炉格納容器内への煙感知器の追加等) ・ 3方策のうち、火災の影響軽減については、原子炉の停止及び冷却機能の確保を確実にするため、火災区内の火災等価時間を考慮し、1時間耐火の障壁材による対策を実施
設備の安全重要度クラス設計の変更	<p>第12条 (安全施設) 異常発生防止系：PS1 ⇒ PS2 異常影響緩和系：MS1 ⇒ MS2</p>	<p>第13条 (設計基準事故 (DBA) 等の拡大の防止)</p> <p>高温工学試験研究炉の主要な特徴を考慮してクラスダウンしたMS2のうち、設計基準事故等に対処するため及びプラント状態を把握するために必要な系統については、引き続き安全機能の重要度が特に高い機器に位置づけされており、多重性又は多様性及び独立性を有する設計に変更はなく、安全評価の見直しは実施していない</p>
被ばく評価条件の見直し	<p>第13条、第22条 被ばく評価条件の変更</p>	<p>第13条 (設計基準事故等の拡大の防止)、第22条 (廃棄施設)</p> <p>気象条件の更新、呼吸率・線量換算係数の詳細化等に伴う周辺公衆の実効線量評価を実施</p> <p>平常時被ばく評価：約9.4μSv/y → 約9.4μSv/y (変更なし)</p> <p>設計基準事故 (1次冷却設備二重管破断)：約1.4mSv → 約1.7mSv</p>
施設の新設 (固体廃棄物保管室)	<p>第23条 (保管廃棄施設) 固体廃棄物保管室の新設</p>	<p>第24条 (直接ガンマ線等)</p> <p>新設する固体廃棄物保管室の寄与を考慮しても50μGy/y以下となる設計とする</p>
監視設備 (非常用電源、伝送多様化)	<p>第51条 (監視設備) 非常用電源設備、 設計基準事故時の伝送多様化</p>	<p>第51条 (監視設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 固定式モニタリング設備 (大洗研究所14基) に非常用発電機 (可搬型発電機含む。) 及び無停電電源設備 (90分) の配備 ・ 設計基準事故時に対応する固定式モニタリング設備 (上記14基のうち9基) に、有線式のデータ伝送設備に加え、無線式のデータ伝送設備を配備し、多様化を図る
BDBAへの対策	<p>第53条 (BDBA対策) 設計基準事故である1次冷却設備二重管破断に、基本的な安全機能の喪失の重畳及び地震による共通要因故障を想定</p>	<p>第53条 (BDBA対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 後備停止系 (Bクラス) のSs機能維持設計 ・ 可搬型発電機 (後備停止系用、原子炉の停止及び冷却状態監視用) (崩壊熱は自然放熱による炉心の冷却により可能) ・ 原子炉格納容器の目張り対策、サイフォンブレイク操作手順 (使用済燃料貯蔵設備貯蔵プールの接続配管破断時) <p>第44条 (燃料取扱施設等) BDBA時に使用済燃料貯蔵建家貯蔵セルの健全性を維持するため、使用済燃料の発熱量を制限する観点から、使用済燃料の貯蔵体数に応じて貯蔵時の冷却経過年数を規定</p>

Ⅱ. 設計基準対象施設

第4条 基準地震動 (1/2)

【要求事項】

➢ 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、検討用地震を複数選定し、不確かさを考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う。

➢ 検討用地震については、地質調査結果等に基づき、敷地に大きな影響を与えると予想される地震として①F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震【内陸地殻内地震】※②F3断層～F4断層による地震【内陸地殻内地震】③2011年東北地方太平洋沖型地震【プレート間地震】④茨城県南部の地震【海洋プレート内地震】の4地震を選定。※ HTRRでは、敷地と活断層の位置関係から、検討用地震として選定

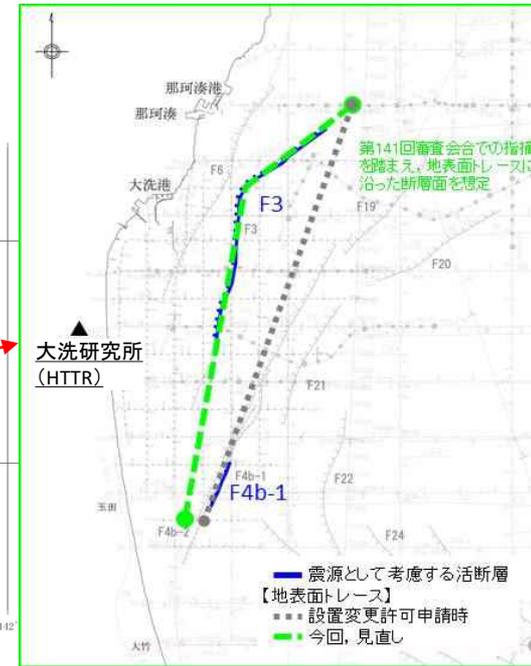
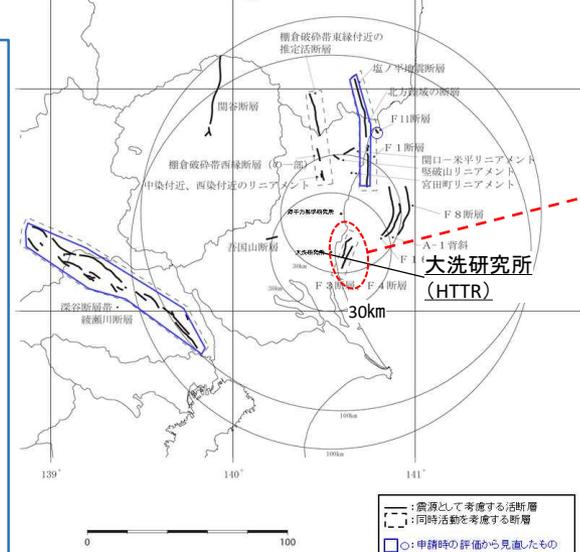
【F3断層～F4断層による地震の評価見直しの概要】

＜審査結果の概要＞

以下のことから、「②F3断層～F4断層による地震」の評価については、新規基準に適合していることを確認(①、③、④は既許可と同様)。

- 文献調査、地質調査等を踏まえ、複数の活断層の連動を考慮した震源モデル及び震源特性パラメータを設定するとともに、敷地での地震動が大きくなるよう予め敷地に近い断層上端にアスペリティを配置した基本震源モデルを設定して適切に評価を実施していること
- 孤立した短い活断層としてMw6.5に相当する地震モーメントとして $7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ を設定していること
- 短周期の地震動レベルを基本震源モデルの1.5倍としたケース、断層傾斜角の不確かさを考慮したケース等の不確かさを十分に考慮した評価を実施していること

【敷地周辺活断層の分布図】



	地表断層の長さ	断層面積	地震モーメント	モーメントマグニチュード	気象庁マグニチュード
設置変更許可申請時	16.0km	240.0km ²	$3.53 \times 10^{18} \text{Nm}$	6.3	6.8
地表面トレス形状を踏まえた断層形状の見直し	17.3km	340.5km ²	$6.45 \times 10^{18} \text{Nm}$	6.47	6.9
地震規模の嵩上げ	(19.1km)*	367.3km ²	$7.50 \times 10^{18} \text{Nm}$	6.52	7.0

第4条 基準地震動 (2/2)

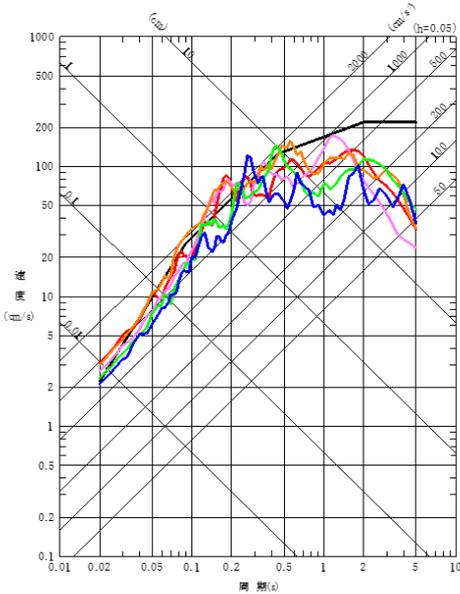
【要求事項】

- 基準地震動は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものを策定する。

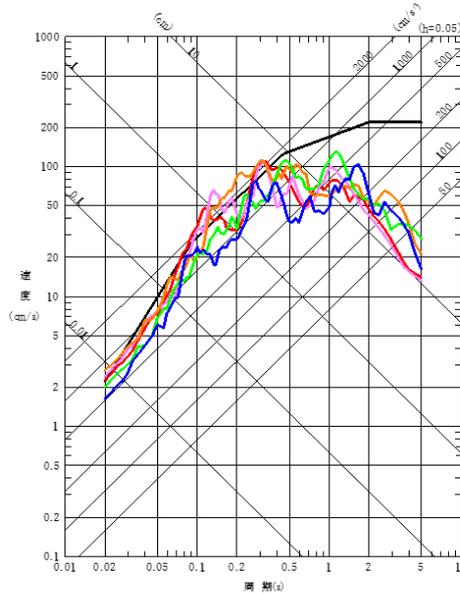
基準地震動の策定 (応答スペクトル)

(第225回審査会合 大洗研究開発センター(HTTR) 審査資料(まとめ会合) から抜粋<<http://www2.nsr.go.jp/data/000210717.pdf>>)

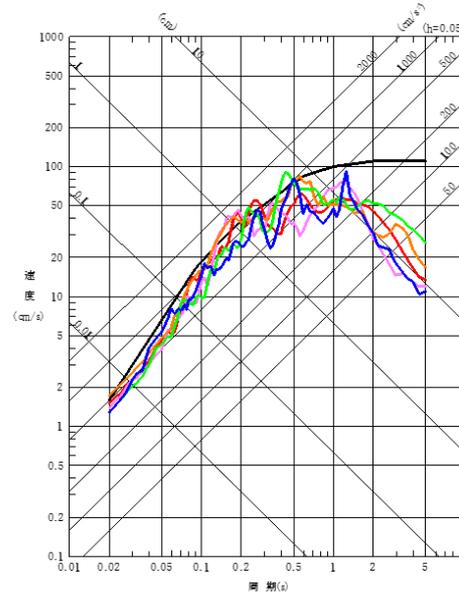
- Ss-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-1 F3断層~F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点1)
- Ss-2 F3断層~F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点2)
- Ss-3 F3断層~F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点3)
- Ss-4 F3断層~F4断層による地震(断層傾斜角の不確かさ、破壊開始点3)
- Ss-5 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)



NS成分



EW成分



UD成分

最大加速度(cm/s ²) (下線部最大)			
	NS	EW	UD
Ss-D		700	500
Ss-1	<u>973</u>	711	474
Ss-2	835	761	436
Ss-3	948	850	<u>543</u>
Ss-4	740	630	405
Ss-5	670	513	402

- 解放基盤表面は、新規規制基準で要求されるS波速度(700m/s)を持つ硬質地盤であり、著しい風化を受けていない地層のGL-172.5mに設定。
- 基準地震動として、**Ss-D、Ss-1~5の6波**を策定。
- 「震源を特定せず策定する地震動」は、全ての周期帯でSs-Dに包絡されており、基準地震動策定の対象とされていない。

<審査結果の概要>

- 最新の科学的・技術的知見を踏まえ、各種の不確かさを十分に考慮して、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から適切に基準地震動が策定されていることから、新規規制基準に適合していることを確認。

第4条 耐震設計方針(1/2)

【要求事項】

- 試験研究用等原子炉施設は耐震重要度の区分に応じた地震力に十分耐える設計とする。
- 耐震重要施設は基準地震動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設計とする。

＜申請の概要＞

- 試験研究用等原子炉施設を耐震重要度に応じてSクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、クラスに応じて適用する地震力に十分に耐え、安全機能が損なわれない設計とする。
- Sクラスの施設については、試験炉設置許可基準規則解釈の別記1「試験研究用等原子炉施設に係る耐震重要度分類の考え方」に基づき、「停止機能」→「冷却機能」→「閉じ込め機能」の順に機能喪失時の影響評価を行い、過度の放射線被ばくを及ぼす（周辺公衆の実効線量評価値が5mSvを超える）おそれがある設備として、制御棒系、原子炉冷却材圧力バウンダリ、使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール等を選定する。
- 上記の考え方にに基づき、既許可において耐震重要度をSクラス（旧A_sクラス、Aクラス）としていた設備の一部（補助冷却設備、炉容器冷却設備、非常用発電機、原子炉格納容器及びバウンダリに属する配管・弁、後備停止系等）をBクラスに見直す。
- なお、基準地震動による地震力を想定した場合、非常用発電機等耐震重要度Bクラス以下の設備が機能喪失するため、商用電源喪失後は直流電源設備の蓄電池から電力を供給し、原子炉停止後の冷却状態のパラメータ※の監視を行う設計とする。使用済燃料の冷却状態については、可搬型計器により監視を行う。蓄電池枯渇後（60分以降）は、可搬型発電機によりパラメータの監視を行う設計とする。（竜巻・火山対策も同様）

※：原子炉圧力容器上鏡温度、補助冷却器出口ヘリウム圧力等

第4条 耐震設計方針(2/2)

<審査の概要>

- 既許可において耐震重要度をSクラス（旧Asクラス、Aクラス）としていた設備の一部をBクラスに見直したことにより、同設備が基準地震動による地震力によって機能喪失した場合でも、原子炉が安定に冷却でき、一般公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれがないことを確認。

①Bクラス設備損傷時の原子炉の冷却挙動の確認

Bクラス設備である補助冷却設備、炉容器冷却設備、非常用発電機の損傷※を想定



全交流動力電源喪失、炉心冷却機能喪失に相当するが、原子炉は自動停止し、原子炉の自然冷却により燃料最高温度は初期値を超えない。

※非常用発電機の機能喪失後、60分間は蓄電池により原子炉の停止、冷却状態を監視する。蓄電池枯渇以後は、可搬型発電機及び可搬型計測器により、原子炉の長期的な監視を行う。

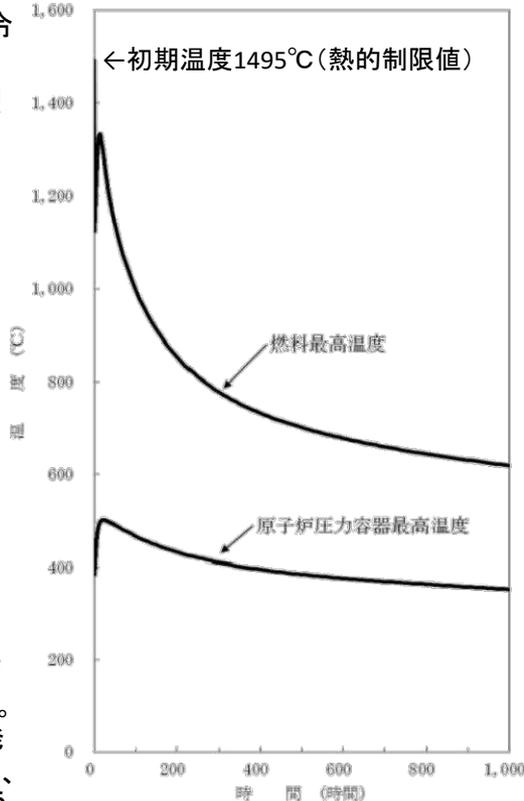


図 全交流動力電源喪失の評価結果

②Bクラス設備損傷時の一般公衆が受ける実効線量を確認

原子炉冷却材圧力バウンダリはSクラスのため機能維持され、原子炉格納容器貫通配管は機能喪失することを想定



一般公衆が受ける実効線量は約3.0mSvであり、過度の放射線被ばくの見込みである5mSvを超えない。

損傷を想定するBクラス設備・機器		公衆の被ばく影響
原子炉	<ul style="list-style-type: none"> ・1次ヘリウム純化設備 ・1次ヘリウムサンプリング設備 ・気体廃棄物処理設備 ・燃料破損検出装置 ・照射試験装置スイープガス配管 ・1次ヘリウム貯蔵供給設備 	<p>約3.0mSv</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射性雲からのγ線の外部被ばく 約0.61mSv ・よう素吸入による小児の内部被ばく 約2.4mSv
SF建家	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵建家内貯蔵ラック 	<10 ⁻⁶ mSv

出典：HTTR原子炉施設設置許可基準規則への適合性について 第13条(安全評価)

<審査結果の概要> 以下を確認したことにより基準に適合していると判断した。

- 試験研究用等原子炉施設が地震力に対して十分に耐え、安全機能を損なわない耐震設計方針としていること。
- 既許可におけるSクラス設備の一部をBクラスに見直したとしても、試験研究用等原子炉施設の安全機能が損なわれない耐震設計方針であること。

第3条 地盤

【要求事項】

- ▶ 耐震重要施設は、将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認した地盤に設置する。
- ▶ 試験研究用等原子炉施設は、地震力に対して当該試験研究用等原子炉施設を十分に支持することができる地盤に設置する。さらに、耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設置する。
- ▶ 耐震重要施設は、周辺地盤の変状が生じた場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設置する。

地盤の変位 <審査結果の概要>

以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

- ▶ ボーリング調査の結果、原子炉建家及びその近傍の地盤である新第三紀鮮新世～第四紀下部更新世の久米層、第四紀中部更新世の東茨城層群及び第四紀上部更新世のM1段丘堆積物中には、断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位・変形は認められず、久米層中には、断層の存在を示唆する鏡肌や条線及び挟材物等も認められないとしていること
- ▶ 変動地形学的調査の結果から、敷地には、地すべり地形、リニアメントは認められないとしていること
- ▶ 以上から、敷地には、断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位・変形は認められず、耐震重要施設を設置する地盤には、「将来活動する可能性のある断層等」は認められないと評価していること

地盤の支持 <審査結果の概要> JRR-3と同様

以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

- ▶ 試験研究用等原子炉施設について、要求される地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置すること
- ▶ 耐震重要施設について、動的解析の手法、地盤パラメータの設定方法等が適切であり、基準地震動を用いた評価(最大接地圧、すべり安全率、基礎底面の傾斜)を行った結果、評価基準値又は評価基準値の目安を満足していること

地盤の変形 <審査結果の概要> JRR-3と同様

以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

- ▶ 原子炉建家は十分な支持性能を有する地盤に支持されており、原子炉建家内の施設以外に耐震重要施設はないことから、不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の影響はなく、周辺地盤の変状により耐震重要施設の安全機能が損なわれるおそれはないこと
- ▶ 原子炉建家の支持地盤の地殻変動による傾斜については、敷地への影響が大きい断層の地震活動を踏まえて評価した結果、評価基準値の目安を満足していること

第5条 津波による損傷の防止

【要求事項】試験研究用等原子炉施設について、その供用中に当該試験研究用等原子炉施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

津波波源

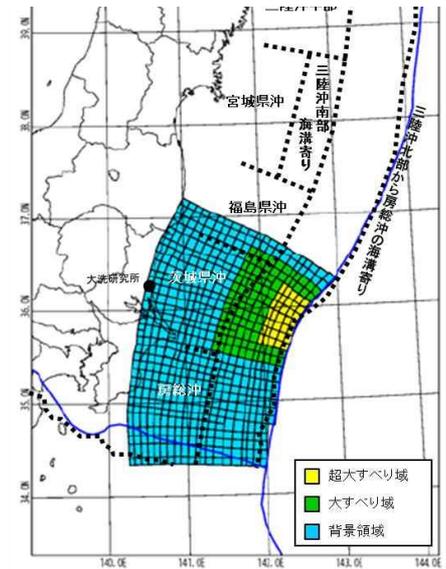
<審査結果の概要>

東二、JRR-3と同様

試験研究用等原子炉施設の供用中に大きな影響を及ぼすおそれがある津波の波源として、「茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震による津波」(Mw8.7)を選定したことについては、以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

- 波源領域の南限を北米プレートとフィリピン海プレートの境界を超えて矩形となるよう、茨城県沖から房総沖に拡張し、Mw8.7としていること
- 超大すべり域について、杉野ほか(2014)では、Mw8.7以下では設定しないこととなっているが、保守的に超大すべり域を設定していること
- 大すべり域及び超大すべり域のすべり量について、杉野ほか(2014)の設定よりもさらに割り増して設定していること
- 特性化モデルは、最新の知見を踏まえ、大すべり域及び超大すべり域の位置、面積、すべり量等について、不確かさを考慮して設定していること
- 大すべり域及び超大すべり域の位置については、大すべり域の形状が敷地に与える形状を考慮した上で、茨城県沖から房総沖の範囲で南北に10km単位で移動させたパラメータスタディを行い、敷地への影響が最も大きい位置を抽出していること

【茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震による津波特性化波源モデル】



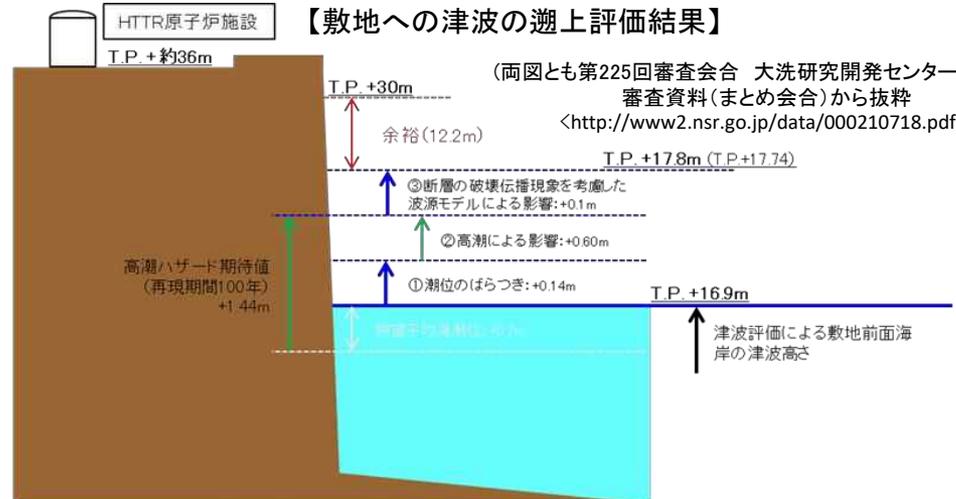
施設への津波の遡上評価

JRR-3と同様

<審査結果の概要>

以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

- 本試験研究用等原子炉施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波を複数選定し、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、各種の不確かさを十分に考慮して数値解析を行い、適切に策定されていること
- 施設への津波の遡上評価の結果、津波による遡上波は当該施設が設置される位置を踏まえれば到達するおそれがなく、当該施設の安全機能が損なわれるおそれがないこと



【敷地への津波の遡上評価結果】

(両図とも第225回審査会合 大洗研究開発センター(HTTR) 審査資料(まとめ会合)から抜粋
<http://www2.nsr.go.jp/data/000210718.pdf>)

・ 検討の結果、津波がT.P.+30m(敷地前面海岸の高さ)まで到達する可能性はない。

第6条 外部からの損傷の防止（火山対策）

【要求事項】火山事象が発生した場合においても、安全施設の安全機能が損なわれないこと。

＜申請の概要＞火山影響評価の結果、設計対応不可能な火山事象が敷地に影響を及ぼす可能性は小さく、降下火砕物の設計層厚は、赤城鹿沼テフラ（赤城山）を考慮し、50cmと設定。原子炉建家及び使用済燃料貯蔵建家は、設計層厚にも耐える設計とする方針。

＜審査結果の概要＞火山事象が発生して敷地に降下火砕物が到達したとしても、安全機能が損なわれない設計であると判断した。

第8条 内部火災への対策（1/4）

【要求事項】火災により、試験研究用等原子炉施設の安全性が損なわれないようにするために、必要に応じて、火災の発生を防止することができ、かつ、早期に火災発生を感知する設備及び消火を行う設備並びに火災の影響を軽減する機能を有すること。

＜申請の概要＞

➤ HTTRにおける火災防護の基本的な設計方針

- 本試験研究用等原子炉施設の安全上の特徴を考慮し、火災発生防止、火災感知及び消火、火災の影響軽減の**三方策を適切に組み合わせた火災防護対策**とする。
- 火災の影響軽減対策として、原子炉の停止機能については、手動操作により原子炉の停止が完了する時間（40分）及び非常用発電機室を除く火災区画の火災等価時間（20分未満）を考慮し、1時間以上の耐火性能により影響軽減を図る設計とする。原子炉の冷却機能についても同様とし、**1時間以上の耐火性能により影響軽減を図る設計**とする。
- 非常用発電機室については、火災等価時間（1時間未満）を考慮し、**1時間以上の耐火性能により影響軽減を図るとともに、二酸化炭素消火設備による早期消火**を組合わせて防護する設計とする。

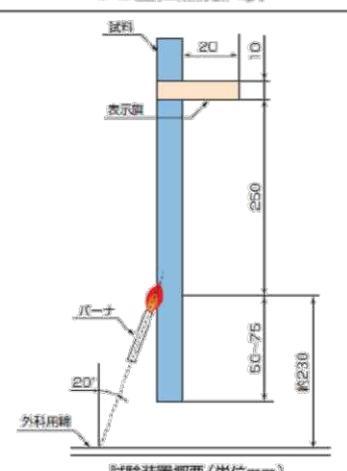
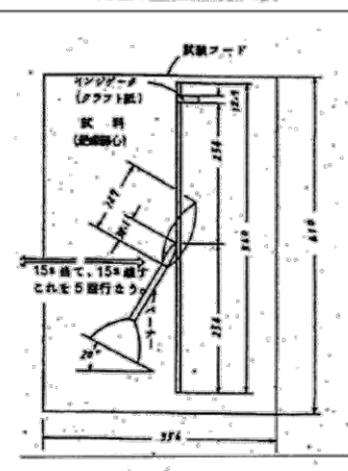
HTTRでは、ほぼ実用発電用原子炉施設の火災防護基準に従った防護設計となっているが、同基準の要求と異なる設計については、詳細に確認した。

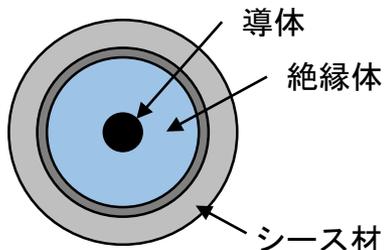
<審査の概要>

火災の発生防止 ケーブルの難燃性

- 火災防護対象ケーブルは、IEEE383等に基づく垂直トレイ燃焼試験及び**ICEA垂直燃焼試験**により、ケーブルの延焼性及び自己消火性を確認した。
- ケーブルの自己消火性を確認するICEA垂直燃焼試験はシース材をはぎ取った燃焼試験であり、**火災防護基準に例示されるUL垂直燃焼試験とは異なるが、下表に示す実用発電用原子炉の審査において確認された内容に照らして、シース材の不燃性や厚さも確認し、難燃ケーブルに必要な自己消火性があると判断した。**
- ICEA垂直燃焼試験により、絶縁体の自己消火性を確認していない火災防護ケーブルについては、設工認段階において、敷設されている既設の余長ケーブルに対するUL垂直燃焼試験を実施することで自己消火性を確認する方針としている。

UL垂直燃焼試験（火災防護基準）及びICEA垂直燃焼試験の概要

試験名	UL 垂直燃焼試験	ICEA 垂直燃焼試験
試験装置概要		
試験内容	試料を垂直に保持し、20度の角度でバーナの炎をあて、15秒着火、15秒休止を繰り返して、試料の燃焼の程度を調べる。	試料を垂直に保持し、20度の角度でバーナの炎をあて、15秒着火、15秒休止を繰り返して、試料の燃焼の程度を調べる。
判定基準	<ul style="list-style-type: none"> ・残炎による燃焼が60秒を超えないこと。 ・表示旗が25%以上焼損しないこと。 ・落下物によって底部の外科用綿が燃焼しないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ・残炎による燃焼が60秒を超えないこと。 ・表示旗が25%以上焼損しないこと。



火災防護対象ケーブルの例

シース材	実用発電用原子炉で確認された内容		HTRR火災防護対象ケーブルのシース厚さ
	シース厚さ	最大残炎時間	
難燃クロロスルホン化ポリエチレン	1.5mm	0秒	1.5mm以上
難燃低塩酸特殊耐熱ビニル	1.5mm	2秒	1.5mm以上
難燃低塩酸ビニル	1.5mm	3秒	1.5mm以上

火災の早期感知、消火対策

原子炉格納容器内の感知器対策例



原子炉格納容器内熱感知器



熱感知器表示盤

- 火災防護基準を参考として、**煙感知器 (新設)** 及び **熱感知器 (既設)** を設置
- 熱感知器が作動した場合には、原子炉格納容器圧力の上昇等のプラントパラメータを確認することにより、ヘリウム漏えいあるいは火災の発生を判断

原子炉格納容器外の感知器対策例



煙感知器



火災受信機盤

- 火災区域及び火災区画には有炎火災を発生させる有機溶剤等を有しないことから、**煙感知器 (1種類)** を設置
- 非常用発電機の燃料移送ポンプ室は燃料火災を考慮し、**防爆型熱感知器を設置 (1種類)**

- 非常用発電機、電源盤の火災は二酸化炭素消火設備で消火
- 二酸化炭素消火設備は、中央制御室の火災警報確認から、要員の退避警報の発信、**現場での起動操作 (手動) まで5分以内で対応可能**
- その他は消火器、屋内消火栓で消火
- 消火設備の誤作動によるCO₂、消火水等によるケーブル等の安全設備への影響はない



二酸化炭素消火設備

火災の影響軽減

原子炉の停止系及び冷却系に係る安全機能を有する火災防護対象ケーブルについては、以下の火災影響軽減対策を確認する。

- **1時間の遮炎性**を確保したケーブルトレイにケーブルを収納（ケーブルには難燃ケーブルを使用）
- I E E E 3 8 4 を参考に、ケーブルトレイ、潤滑油を内包する機器間の分離距離を確保
- 同一の火災区域内に多重化した停止系及び冷却系のケーブルトレイが存在している場合には、これらのケーブルトレイのうち1系統には**1時間の耐火性**を有する障壁材を巻設※

※：火災区画の火災等価時間が20分以内であることから、1時間の耐火性能を確保する設計とする。

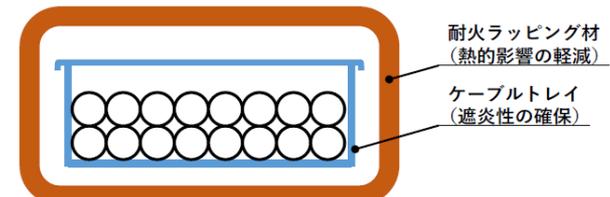


ケーブルトレイによる対策例

出典：HTRR原子炉施設設置許可基準規則への適合性について 第8条(内部火災)及び現地確認資料



電線管による対策例
(安全保護系ケーブル)



原子力発電所の対策例
(耐火ラッピング材施工イメージ)

<審査結果の概要>

- 規制委員会は、申請の内容を確認した結果、設置者の内部火災対策は火災防護基準を参考とした対策を講じており、設置許可基準規則に適合するものと判断した。

Ⅲ. 多量の放射性物質等を放出する事故 (BDBA) の拡大の防止

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目1】BDBAの選定 (1/3)

【要求事項】

- 設計基準事故(DBA)より発生頻度が低い事故であって、敷地周辺の公衆に対して過度の放射線被ばく(実効線量の評価値が発生事故当たり5mSvを超えるもの)を与えるおそれのある事故(以下「BDBA」という。)について評価し、対策を講じること

<申請の概要>

(1) 原子炉に係るBDBAの選定の考え方

第53条解釈2に示される「自然現象等の共通原因となる外部事象や施設の特徴を踏まえた内部事象に起因する多重故障」を考慮し、設計基準事故の1次冷却設備二重管破断に、以下のそれぞれの機能喪失を重畳させた3事象をBDBAとして選定し、対策を講じる。

○:機能維持を期待 ×:機能喪失を仮定			事故時に期待する主な安全機能		
			【止める】 制御棒挿入による 炉停止機能	【冷やす】 炉容器冷却設備による 原子炉冷却機能	【閉じ込める】 原子炉格納容器による 放射性物質の閉じ込め機能
ベースとなるDBA(重畳させる安全機能の喪失)	(内部事象) 多重故障 ランダム	停止機能喪失	×	○	○
		冷却機能喪失	○	×	○
	(現象) 自然地震	冷却機能+ 閉じ込め機能喪失	○	×	×

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目1】BDBAの選定(2/3)

(2) 使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの選定の考え方

第53条解釈3第2号で例示された、使用済燃料貯蔵設備の冷却機能が失われ、使用済燃料の損傷が想定される事故として、原子炉建家使用済燃料貯蔵設備貯蔵プールの冷却機能喪失、冷却系統配管破断によるサイフォン現象及び使用済燃料貯蔵建家使用済燃料貯蔵セルの冷却機能喪失を想定して、以下の事象を選定する。

○:機能維持を期待 ×:機能喪失を仮定 —:該当なし			事故時に期待する主な安全機能	
			冷却機能喪失	冠水維持機能
冷却) 貯蔵設備貯蔵プール(水)	原子炉建家使用済燃料貯蔵セル(内部事象) ランダム多重故障	(第53条解釈3第2号イ) 冷却機能喪失	×	× (蒸発による水位低下)
	(自然現象) 地震	(第53条解釈3第2号イ及び口の重量) 冷却機能+冠水維持機能喪失(サイフォン現象)	×	× (蒸発+サイフォン現象による水位低下)
貯蔵セル(空気冷却)	(自然現象) 地震	(第53条解釈3第2号ハと地震の重量) 冷却機能喪失(換気空調機能の停止+がれき落下による自然冷却の障害)	×	—

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目1】BDBAの選定 (3/3)

(3) 原子炉及び使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの重畳の考え方

(1) 原子炉に係るBDBAのうち、地震起因のもの

○:機能維持を期待 ×:機能喪失を仮定			事故時に期待する主な安全機能		
			【止める】 制御棒挿入による 炉停止機能	【冷やす】 炉容器冷却設備による 原子炉冷却機能	【閉じ込める】 原子炉格納容器による放射 性物質の閉じ込め機能
BDBA	地震	冷却機能+ 閉じ込め機能喪失	○	×	×



(2) 使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAのうち、地震起因のもの

○:機能維持を期待 ×:機能喪失を仮定			事故時に期待する主な安全機能	
			冷却機能喪失	冠水維持機能
BDBA	地震	冷却機能+ 冠水維持機能喪失	×	× (蒸発+サイフォン現象による水位低下)



地震による共通要因故障に対して、上記の2つの事象が重畳して発生した場合の対策の成立性を確認する。

<審査結果の概要> 【審査項目】1. BDBAの選定

- 公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれがある、工学的に判断される厳しい事故が、第53条解釈に基づき選定されていることを確認

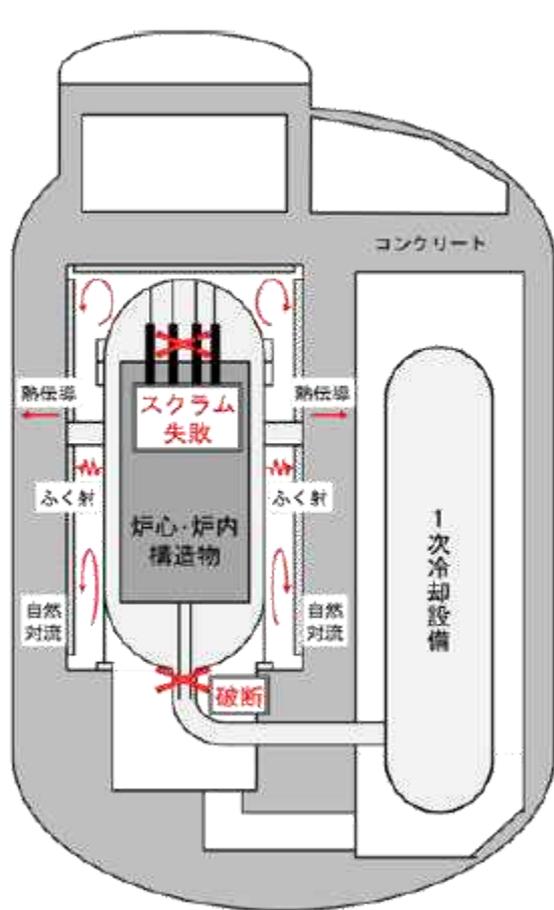
第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目2】原子炉に係るBDBAの想定、評価及び対策 (1/6)

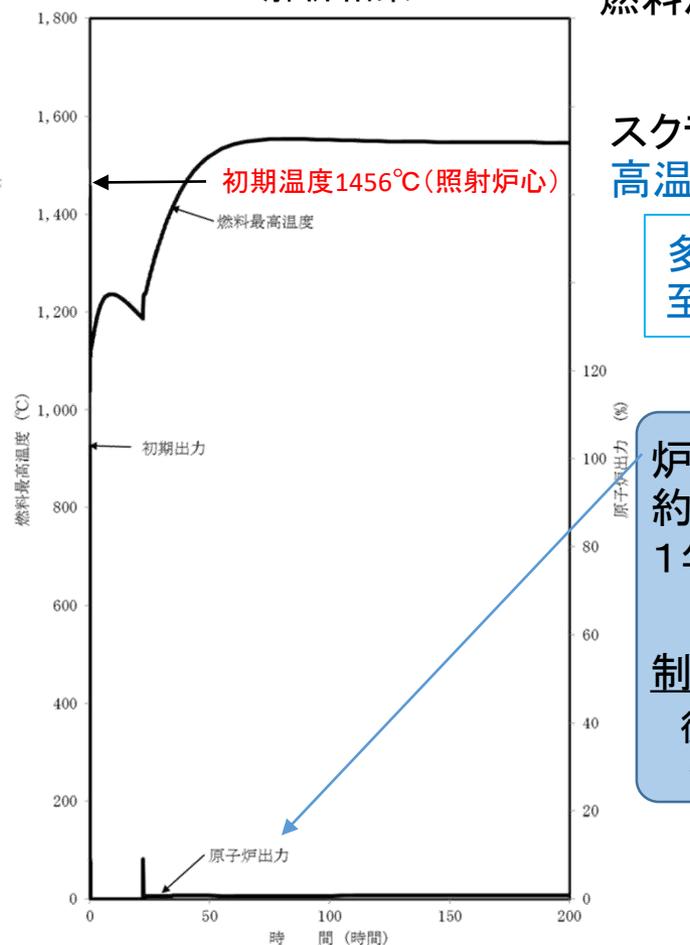
(1) 停止機能喪失の重畳

<申請の概要>

事故の想定・事故進展の評価



解析結果



制御棒による原子炉停止機能の喪失

「1次冷却設備二重管破断」に伴い炉内のHeガスが流出し強制冷却不能となり燃料温度が上昇(～1550°C)

スクラム失敗でも負の温度係数により高温停止、崩壊熱は自然冷却される

多量の放射性物質等の放出に至るおそれなし

炉心温度低下に伴い事象発生から約22時間後に再臨界(～0.3MWが1年以上継続)

制御棒に依らない低温停止の対策
後備停止系※により炭化ほう素ペレットを投入(可搬型電源から給電)

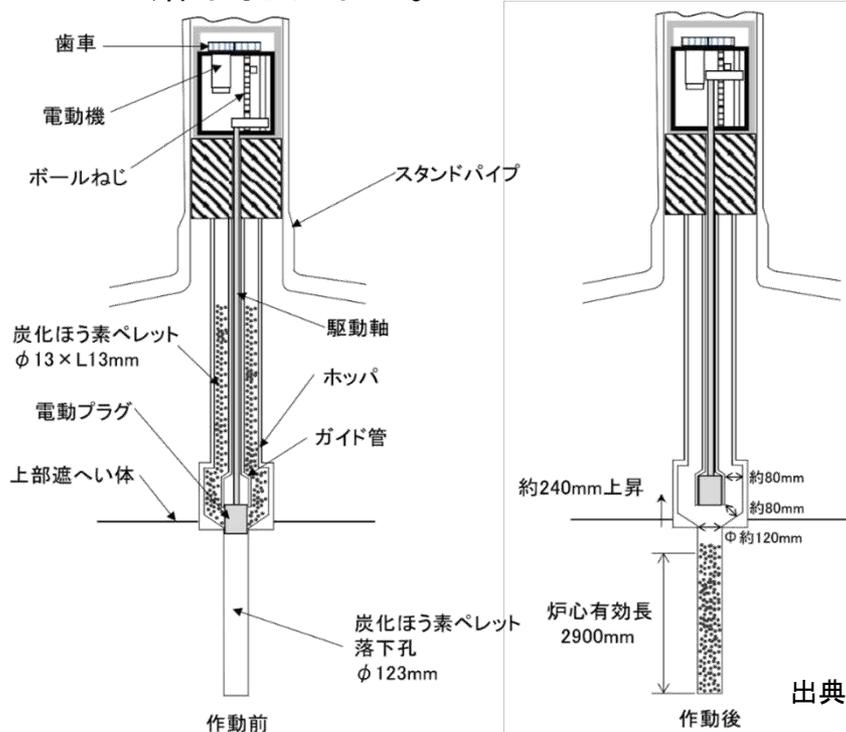
※ 基準地震動による地震力に対して十分な耐震性を有することを確認

停止機能に期待できない場合の対策

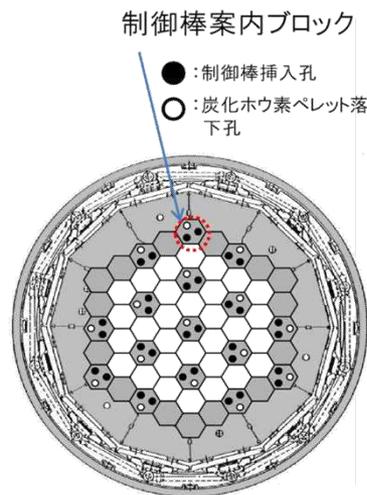
後備停止系による炭化ほう素ペレットの投入

① 後備停止系の信頼性確保

- ✓ 後備停止系と制御棒駆動系は構造的に分離され、他方の故障等の影響を受け難い。
- ✓ 後備停止系（耐震Bクラス）は、基準地震動による地震力に対して十分な耐震性を有することを確認。
- ✓ ペレット固着による閉塞が発生しないペレット及び落下孔サイズ。

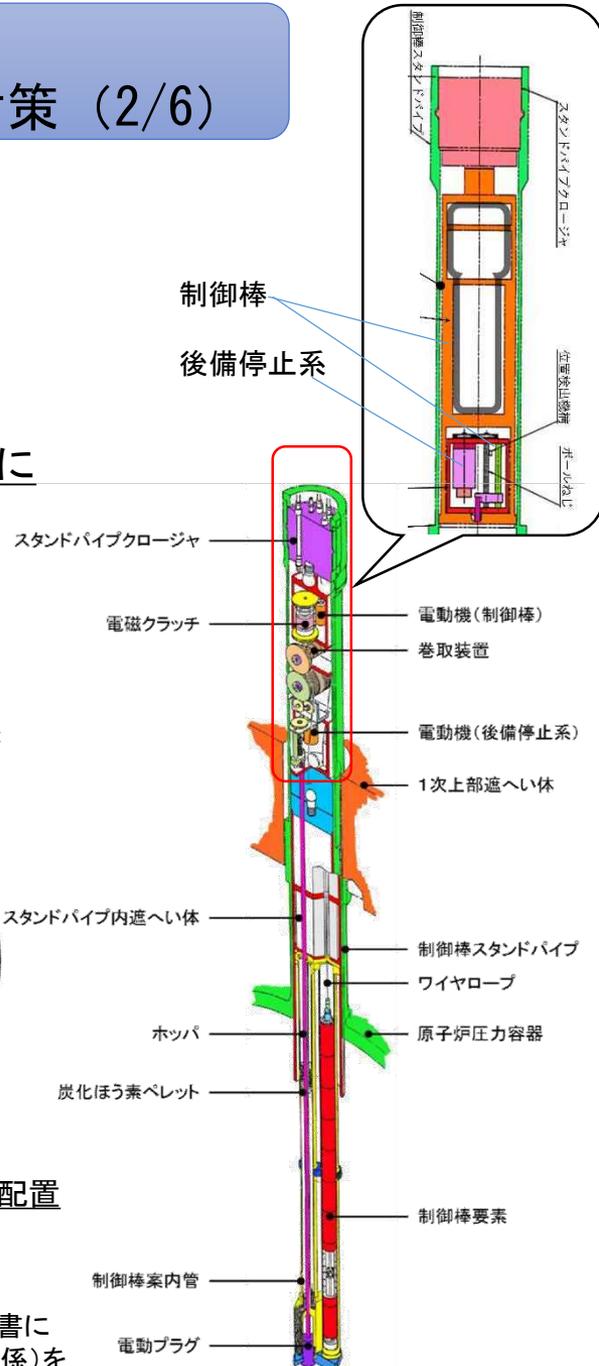


後備停止系の構造と作動原理



制御棒と後備停止系の炉内配置

出典：HTTR原子炉施設の設置許可申請書に係る審査会合質問回答(第53条関係)をもとに作成



制御棒の構造

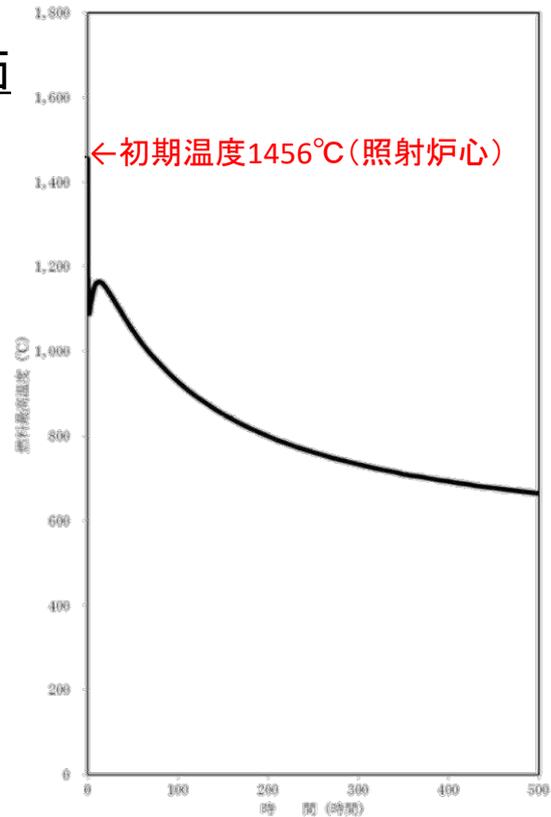
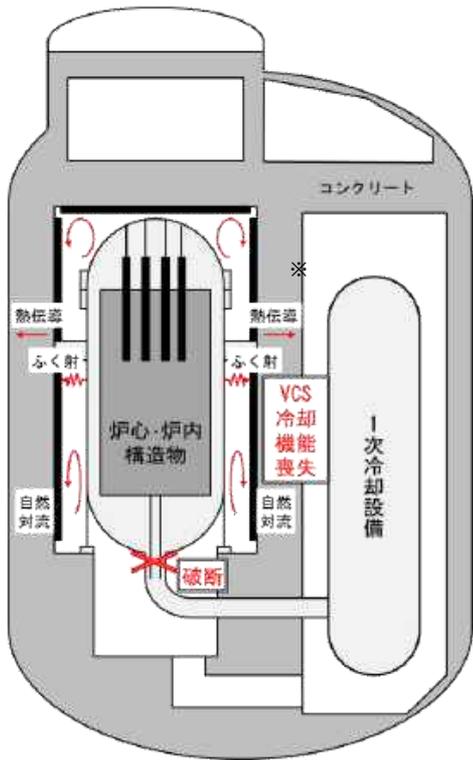
第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目2】原子炉に係るBDBAの想定、評価及び対策 (3/6)

(2) 冷却機能喪失の重畳

<申請の概要>

事故の想定・事故進展の評価



燃料最高温度の変化(解析結果)

1次冷却設備二重管破断及び
炉容器冷却設備機能喪失による炉心
冷却機能の喪失

- 制御棒が挿入され、原子炉停止。
(炉心の再臨界は生じない)
- 冷却機能は喪失しているが、自然放熱により原子炉の崩壊熱が冷却される。

多量の放射性物質等の放出
に至るおそれはないが、事故
の早期収束のため以下の対策
を講じる

炉心冷却機能に期待できない場合の対策

- 炉容器冷却設備が、ポンプや配管の簡易な補修で復旧可能な場合は復旧し、輻射や自然対流等により原子炉を冷却する。
- 可搬型発電機から給電することにより原子炉の状態を継続的に監視する。

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査事項2】原子炉に係るBDBAの想定、評価及び対策（4/6）

(3) 冷却機能及び閉じ込め機能喪失の重畳

<申請の概要>

事故の想定・事故進展の評価

1次冷却設備二重管破断に原子炉格納容器の閉じ込め機能、非常用空気浄化設備及び炉容器冷却設備の機能の喪失の重畳を想定する。

① 炉内構造物の酸化減肉影響評価

- ・ 黒鉛の酸化量は温度、酸素流量、反応面積に依存
（原子炉格納容器への外気流入：3000m³/分を仮定）
- ・ 構造上、酸化の影響が特に重要となる部分は、燃料を支える
黒鉛スリーブ底板と炉心を支えるサポートポスト
- ・ 黒鉛スリーブ底板は反応面積小（全体の0.4%）のため、比較的酸化量が少ない
- ・ サポートポストは比較的温度が低い（500℃以下）ため酸化量が少ない

② 黒鉛の酸化により発生する可燃性ガスの影響評価

- ・ 一酸化炭素の割合は1%未満であり燃焼範囲外

③ 放射性物質等の放出の影響評価

- ・ 放射性物質を内包する1次冷却材が閉じ込め機能を喪失している原子炉格納容器に流出することから、多量の放射性物質等の放出に至るおそれがある。

第53条 BDBAの拡大の防止

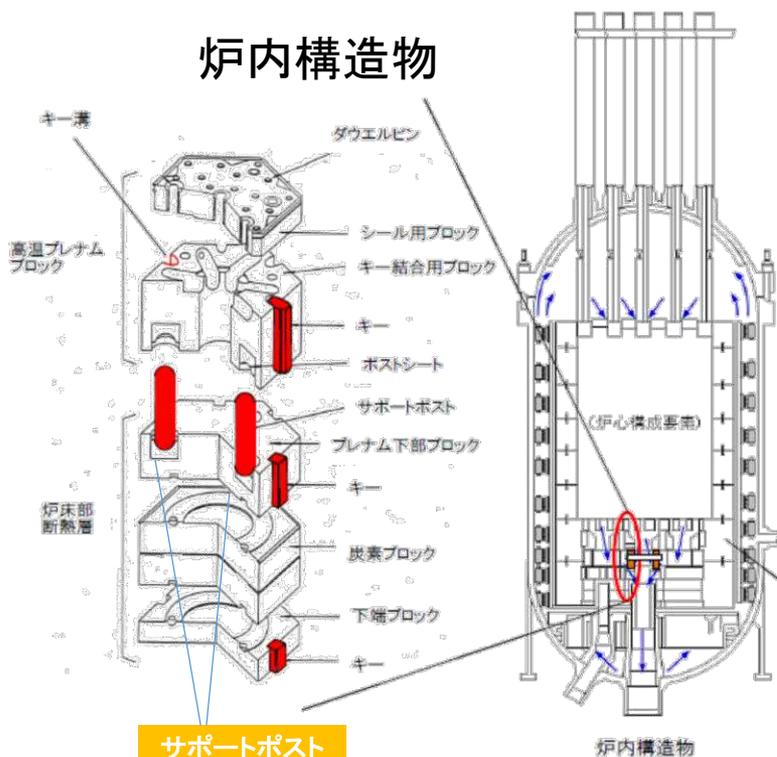
【審査項目2】原子炉に係るBDBAの想定、評価及び対策 (5/6)

(3) 冷却機能及び閉じ込め機能喪失の重畳

<申請の概要>

事故の想定・事故進展の評価(続き)

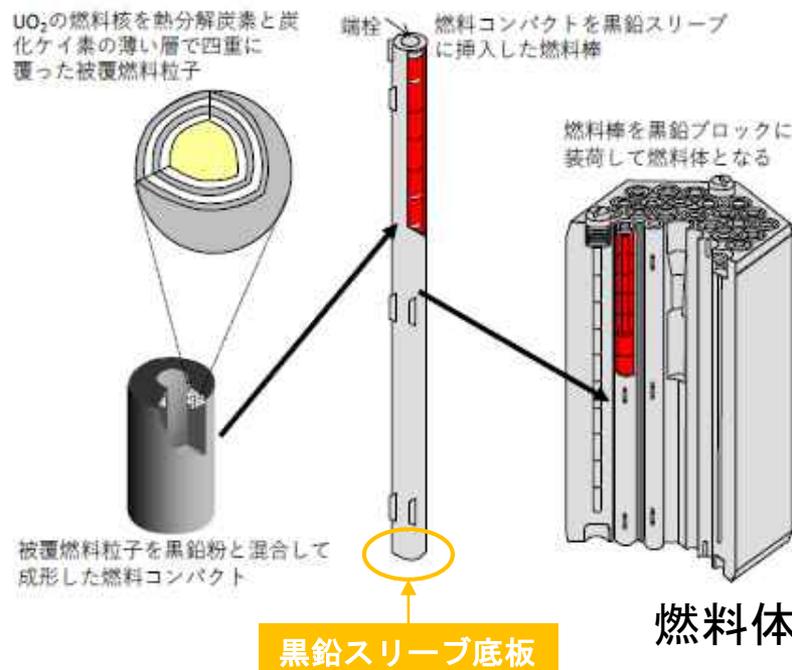
①炉内構造物の酸化減肉影響評価



(炉心を支持しヘリウム流路を確保)

評価結果のまとめ

- ・ 黒鉛スリーブ底板厚 6mm残存 (初期値10mm)
 - ・ サポートポスト外径 150mm残存 (初期値150mm)
- いずれもDBAの判断基準 (各5mm以上、80mm以上) を満たし、構造強度は保たれる。



(燃料コンパクトを支持し、事故時の被覆燃料粒子の酸化を防止)

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査事項2】原子炉に係るBDBAの想定、評価及び対策 (6/6)

原子炉格納容器に閉じ込め機能を期待できない場合の対策

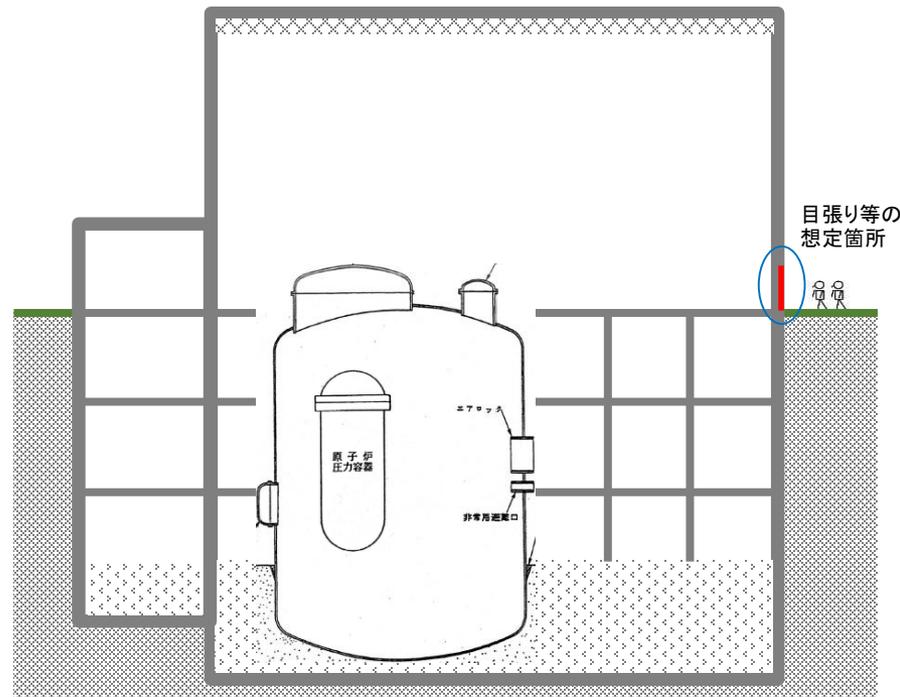
原子炉格納容器から放出される放射性物質による公衆被ばくの影響は、被覆燃料粒子の1%破損を仮定した場合、約3mSvとなる。



事故発生後1時間までに原子炉建家に目張り対策を行った場合、約2mSvとなる。

その際、全面マスクの着用や作業時間の管理等、運転員等の被ばく低減の措置を講じる。

出典：HTTR原子炉施設の設置許可申請書に係る審査会合質問回答
(第53条関係)をもとに作成



原子炉建家の目張り想定箇所

<審査結果の概要> 【審査項目】2. 原子炉に係るBDBAの想定、評価及び対策

- 事故の拡大防止のための対策として、スクラム失敗時の後備停止系による原子炉停止等、事故の早期収束のために講じる措置が明確になっていることを確認
- 影響緩和のための対策として、原子炉建家の目張り対策等が準備され、運転員等の被ばく低減のために講じる措置が明確になっていることを確認
- 周辺公衆の実効線量の評価値は、対策を講じない場合であっても5mSvを下回るものの、多量の放射性物質の放出に至るおそれがある事故として選定したことは保守的であること、原子炉建家の目張り対策により周辺公衆の実効線量の評価値を低減できることから、当該対策が影響緩和に資するものであることを確認

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目3】使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの想定、評価及び対策 (1/3)

<申請の概要>

① SFP※プール水冷却浄化設備の冷却機能及び純水供給機能の喪失

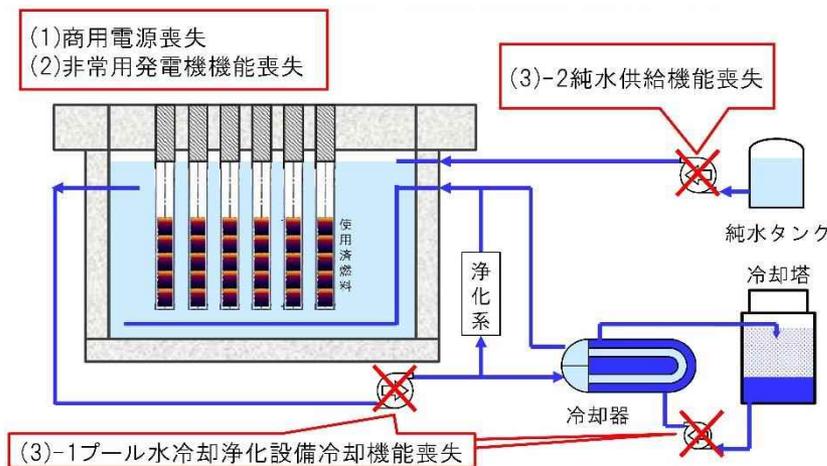
※使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール

事故の想定・事故進展の評価:

「商用電源喪失」及び「非常用発電機の機能喪失」に伴い、プール水冷却浄化設備の冷却機能及び純水供給機能が喪失する事象を想定

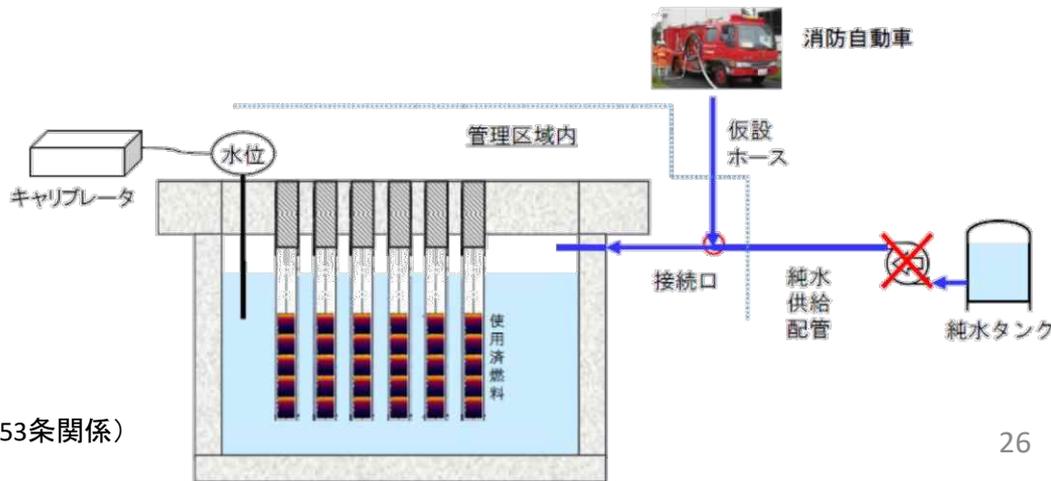


放置すれば、蒸発による水位低下により貯蔵ラック・使用済燃料温度が上昇し、多量の放射性物質等の放出のおそれがある



対 策:

プール水の蒸発による貯蔵ラック温度は15日間は100℃以下であり、その間に消防車による注水が可能



第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目3】使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの想定、評価及び対策（2/3）

<申請の概要>

② SFPプール水冷却浄化系の配管の破断及び逆止弁の破損に伴うプール水の流出

事故の想定・事故進展の評価:

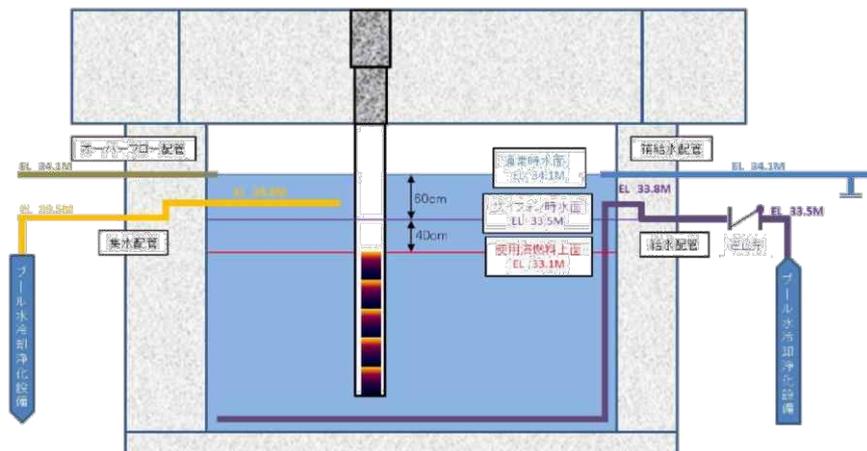
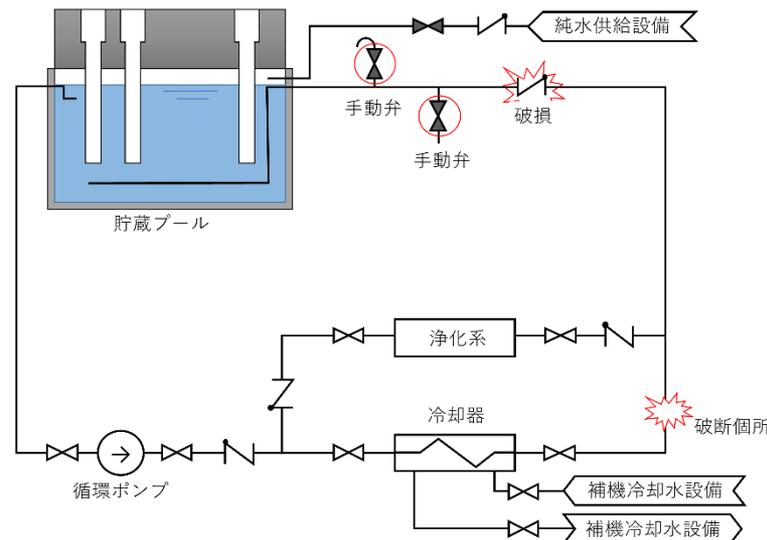
サイフォン現象に伴うプール水の流出により水位低下及びプール水冷却浄化設備の冷却機能が喪失する事象を想定。



放置すれば、貯蔵ラック・使用済燃料温度が上昇し、多量の放射性物質等の放出のおそれがある

配管破断時の対策:

- 商用電源喪失時に非常用発電機が健全であれば、プール水位低下警報（水位10cm低下）によりプール水の流出を約3分で検知し、手動弁開によりサイフォンブレーク操作を行う。
- 商用電源及び非常用発電機が機能喪失した場合（SBO時）には、可搬型計測器（ハンディキャリブレータ）を現場の差圧計に接続して水位を計測し、水位低下を検知した場合は、手動弁開によりサイフォンブレーク操作を行う。



原子炉建家内使用済燃料貯蔵設備貯蔵プール水冷却浄化系設備系統

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目3】使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの想定、評価及び対策 (3/3)

<申請の概要>

③ 使用済燃料貯蔵建家内貯蔵セル(空冷)の冷却機能の喪失

事故の想定・事故進展の評価:

空気により使用済燃料を冷却する使用済燃料貯蔵施設において、建家の換気空調装置の停止により冷却機能が失われ、がれきが貯蔵ラック上面に堆積した場合を想定



極めて保守的に完全断熱状態を想定すると約1ヶ月で使用済燃料の破損に至る可能性がある

対 策:

- 使用済燃料貯蔵建家の換気空調装置が簡易な補修等により復旧可能な場合は復旧し、使用済燃料をできるだけ早く冷却する。
- 使用済燃料貯蔵ラック上面に堆積したがれきを撤去する。

<審査結果の概要> 【審査項目】3. 使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの想定、評価及び対策

- 多量の放射性物質等の放出の発生防止及び拡大防止のための対策として、消防車による注水、弁の開操作によるサイフォンブレイク、可搬型発電機及び計器によるプラント監視等を講じていることを確認

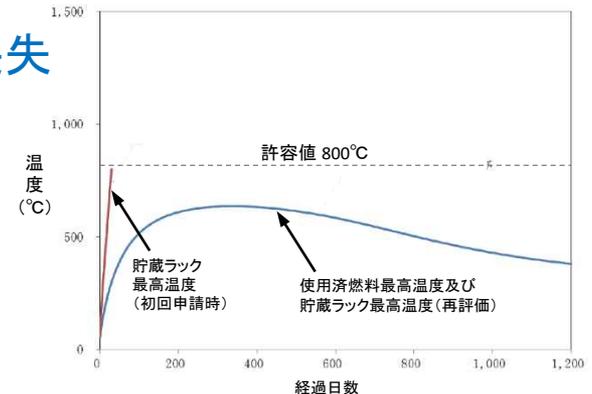
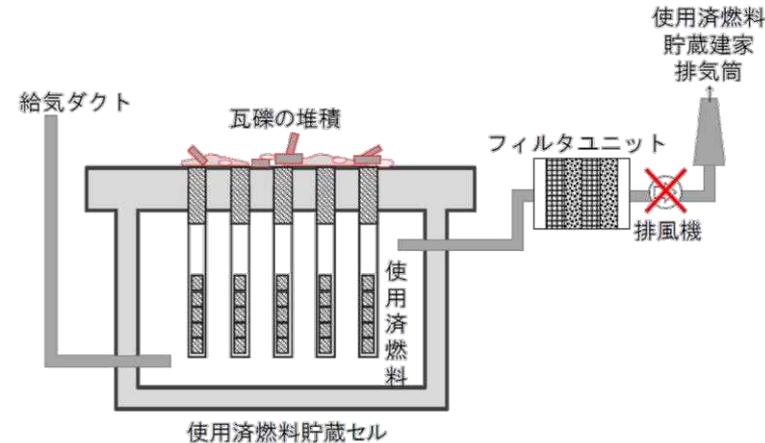


図 使用済燃料貯蔵建家の冷却機能が喪失した場合の使用済燃料貯蔵設備貯蔵ラック温度評価



使用済燃料貯蔵セル

第53条 BDBAの拡大の防止

【審査項目】4. 原子炉及び使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの重畳を想定した対策

<申請の概要>

原子炉の「閉じ込め機能及び冷却機能の喪失の重畳」及び「サイフォン現象によるプール水の流出」が、地震等を共通要因として同時に発生した場合の対策

- ①原子炉建家外側からの目張り処置
- ②全交流電源喪失時の仮設電源設置及び監視体制構築
- ③SFPでサイフォン現象によりプール水が流出した際の、注水配管のベント弁開操作によるサイフォンブレイク

の3つが同時に必要となった場合、対処に必要な人員は6名、必要な時間は約1時間



	0分	10分	20分	30分	40分	50分	60分
サイフォン現象への対応		本体2名					本体：本体施設運転員 特定：特定施設運転員
仮設電源による監視		特定2名 発電機運転	ケーブル敷設	特定1名			
原子炉格納容器の目張り		本体1名			本体1名 接続・監視開始		
			特定1名				

運転員のみで同時発災に対応する場合のタイムテーブル例

原子炉の運転中に原子炉制御室に常駐する運転員(8名)で対応可能

運転員を除くその他の事故対応要員は、夜間、休日を含めて招集され、事故発生から約1時間後には影響緩和対策を講じることができる。

<審査結果の概要>

【審査項目】4. 原子炉及び使用済燃料貯蔵設備に係るBDBAの重畳を想定した対策

- 地震等による共通要因故障によりBDBAが複合的に発生した場合でも、事故の拡大防止や放射性物質が放出した場合の影響緩和のための対策を講じることが可能な体制を構築していることを確認