

HITACHI



この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

資料2-2

Doc No. FRO-TA-0062/REV.1

第1回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合
(2020年6月8日)

発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の 型式証明申請の概要

<補足説明資料>

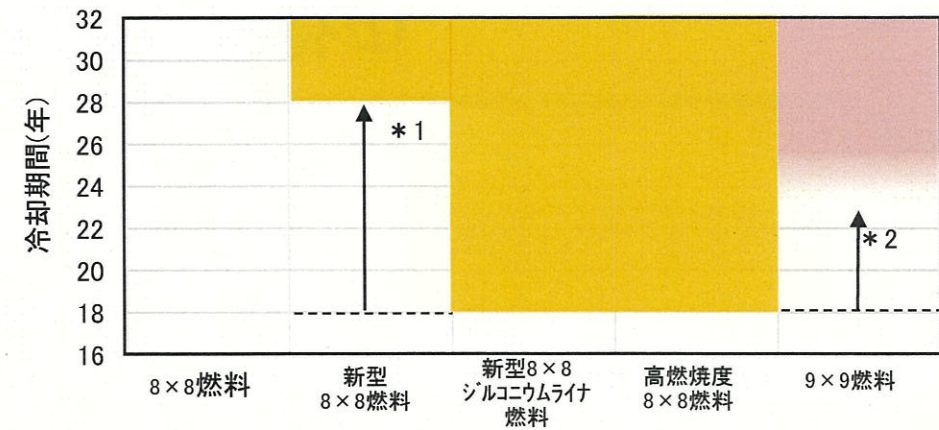
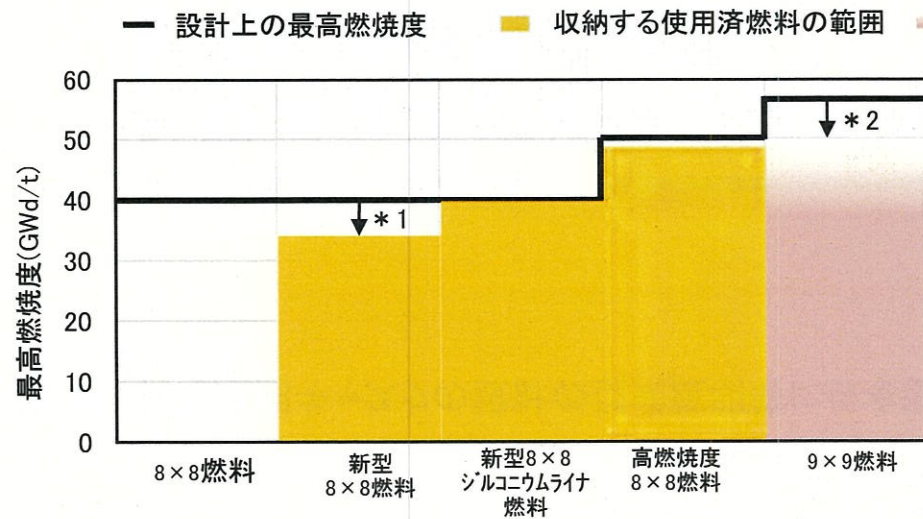
2020年6月8日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社



内は商業機密のため非公開

- ・HDP-69BCH(B)型に収納する使用済燃料の種類は、以下のとおりである。
 新型8×8燃料、新型8×8ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度8×8燃料
- ・収納する使用済燃料の燃焼度の範囲は、実際に保管されている使用済燃料の最高燃焼度と冷却期間を考慮し、兼用キャスクの安全機能及び燃料被覆管の基準温度を満足するものとする。



注記*1 燃料被覆管の基準温度が低いため
 注記*2 将来は9×9燃料(A型、B型)も燃焼度と冷却期間の選択で収納可能

(a) 収納する使用済燃料の範囲(燃焼度)

(b) 収納する使用済燃料の範囲(冷却期間)

・HDP-69BCH(B)型は、配置(i)から配置(iii)の3つの収納位置条件を選択することができる。

配置(i): 新型8×8ジルコニウムライナ燃料/高燃焼度8×8燃料を収納し、使用済燃料の軸方向燃焼度分布の確認を要しない配置

配置(ii): 新型8×8ジルコニウムライナ燃料/高燃焼度8×8燃料を収納し、使用済燃料の軸方向燃焼度分布の確認を要するが、配置(i)よりも高い燃焼度の高燃焼度8×8燃料の収納が可能な配置

配置(iii): 燃料被覆管の制限温度の低い新型8×8燃料*1を収納する配置(使用済燃料の軸方向燃焼度分布の確認を要しない配置)

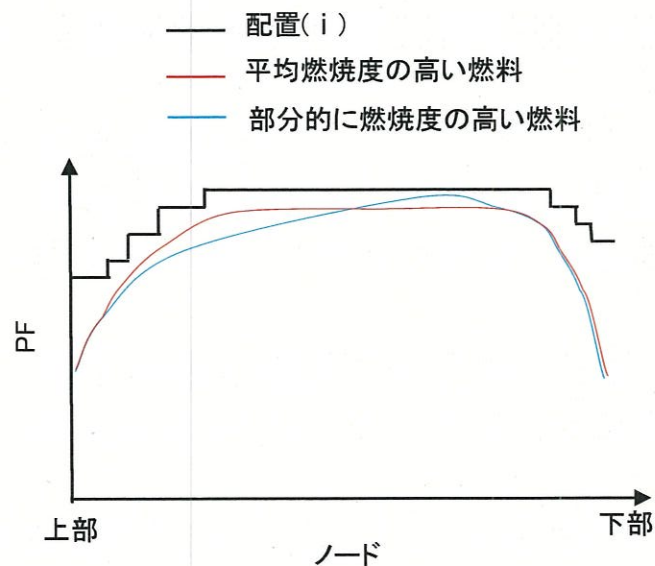
注記*1: 燃料被覆管の基準温度は以下のとおり

新型8×8燃料	: 200 °C
新型8×8ジルコニウムライナ燃料	: 300 °C
高燃焼度8×8燃料	: 300 °C

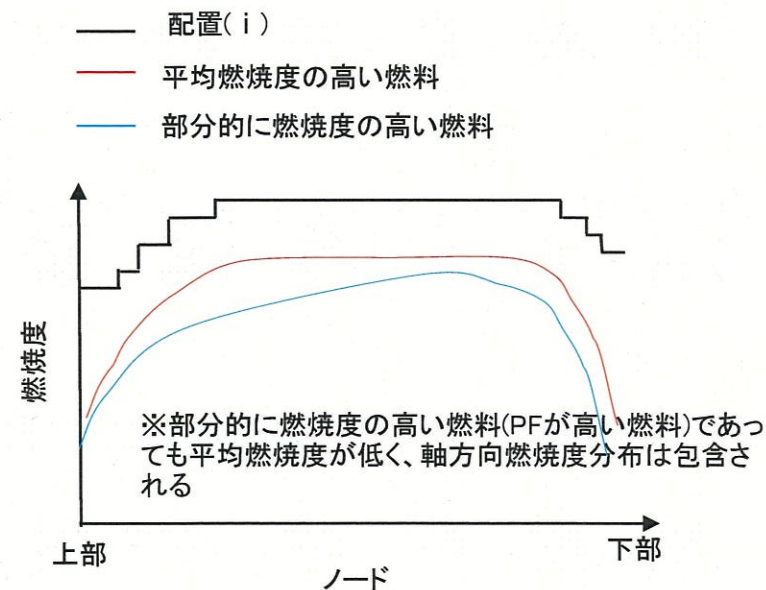
- 配置(i)は、収納対象とする使用済燃料の燃焼度を調査し、平均燃焼度の高い燃料に加えて、平均燃焼度が低くても部分的に燃焼度の高い燃料*1も包含する燃焼度分布を策定することで、収納対象燃料の燃焼度分布を十分保守的に包含する設計条件としていることから、収納時に軸方向の燃焼度分布の確認を要しない。

注記*1:使用済燃料の平均燃焼度に対する軸方向の燃焼度分布の比としてピーキングファクター(以下「PF」という。)が高い燃料のこと。

$$(\text{各ノードのPF}) = (\text{各ノードの燃焼度}) \div (\text{燃料の平均燃焼度})$$

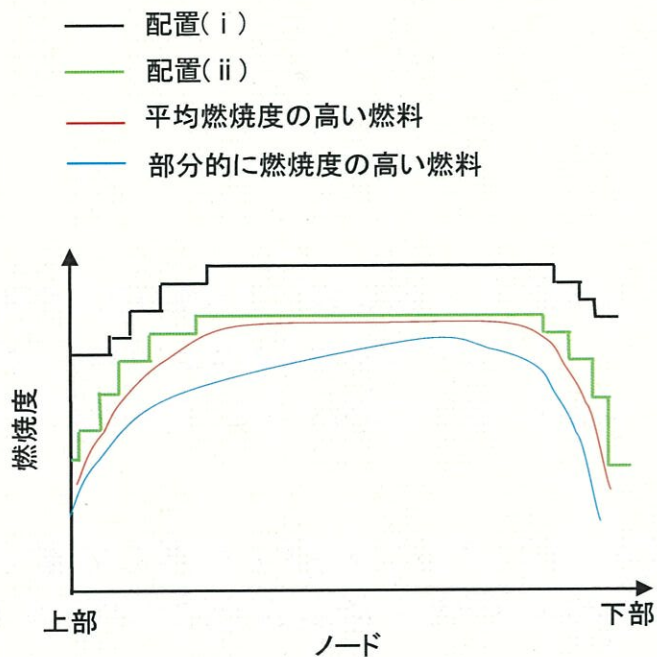


配置(i)のPF概略図

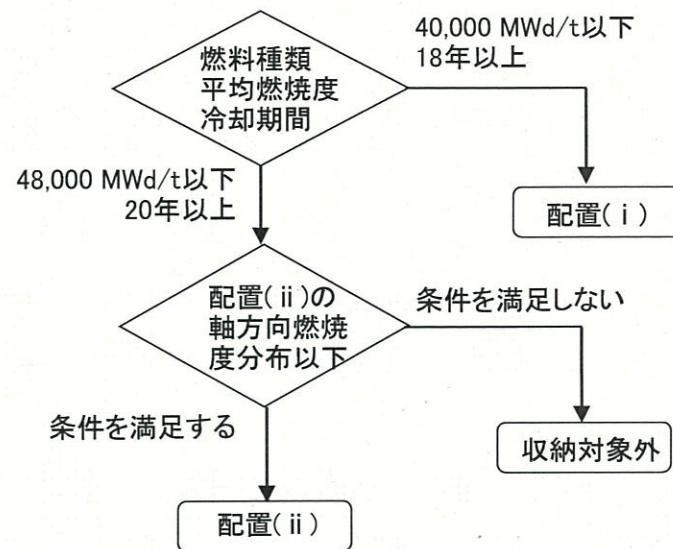


配置(i)の軸方向燃焼度分布概略図

・配置(ii)は、高燃焼度の燃料を収納できるように冷却期間を延長しつつ、HDP-69BCH(B)型の収納対象燃料の軸方向燃焼度分布を包含するものを設計条件としており、使用済燃料をHDP-69BCH(B)型へ収納する際、軸方向燃焼度分布の確認手順を行う。



配置(ii)の軸方向燃焼度分布概略図



配置(ii)の軸方向燃焼度分布確認フロー

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

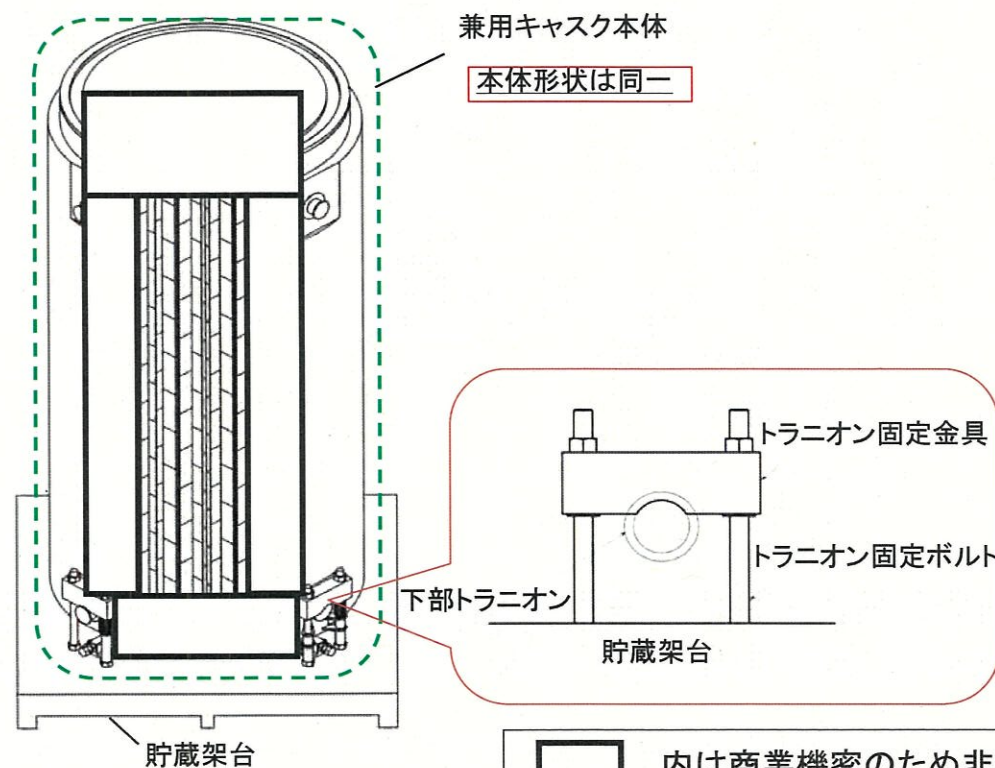


・HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の型式証明にて認可を受けたHDP-69B(B)型*1と下部トラニオンを除いて同じ設計であり、4つの安全機能の評価結果はHDP-69B(B)型と同一である。

・また、原子力事業者殿が核燃料輸送物設計承認*2を取得し、核燃料物質等の工場又は事業者の外における運搬に関する規則に定める技術上の基準に適合するHDP-69BCH型と同一の構造である。

注記*1 使用済燃料貯蔵施設に関する特定容器等の設計の型式証明について(原規規発第1903259号)

注記*2 核燃料輸送物設計承認書(原規規発第1903253号)

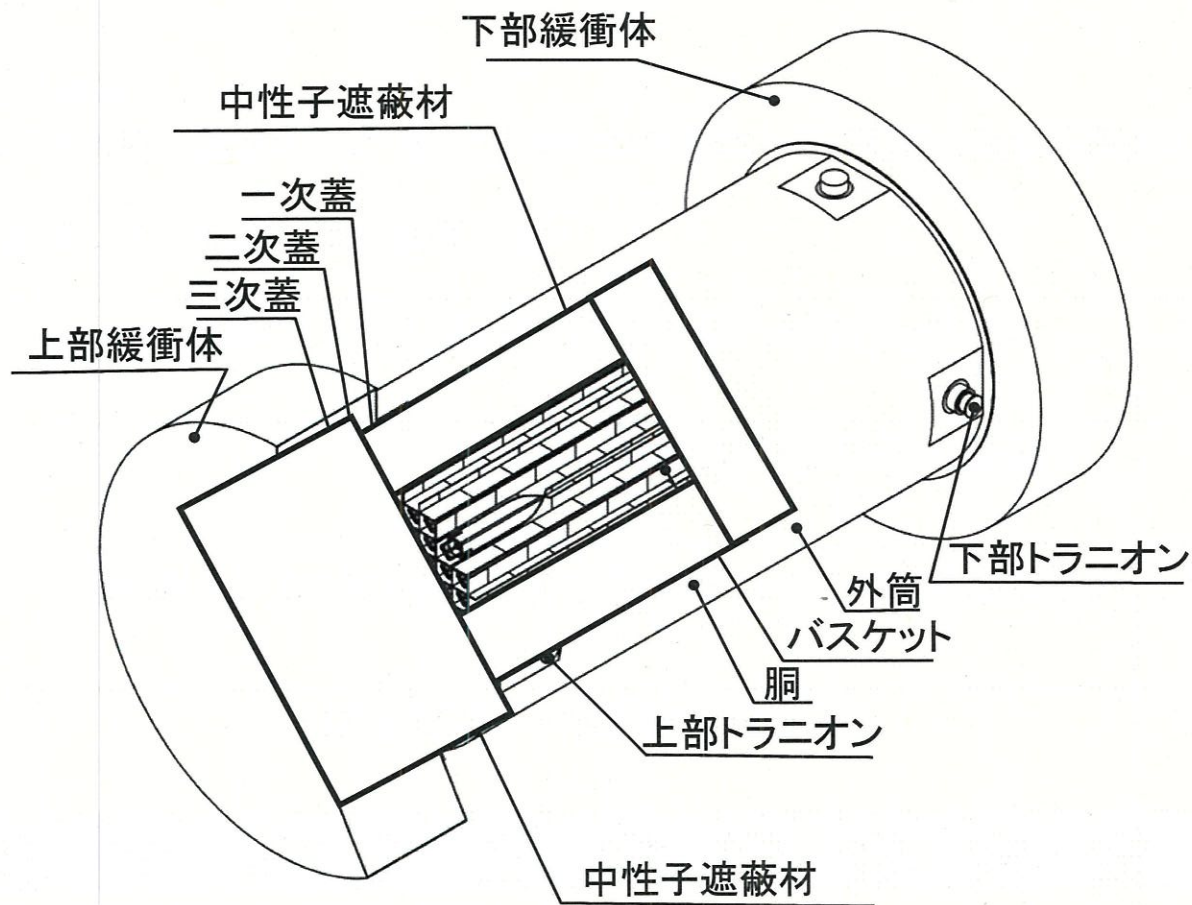


- ・貯蔵方式⑦の収納位置条件ごとの安全評価の実施状況をまとめた。
評価結果が他の配置と同じ、又は包含される配置は実施不要とした。

収納位置条件	配置(i)	配置(ii)	配置(iii)
臨界防止	○ (高燃焼度8×8燃料69体収納)		— (濃縮度が左記に包含)
遮蔽	○ (配置(i)、(ii)のうち線量当量率の大きい結果で代表)		— (線源強度が左記に包含)
閉じ込め		○ (温度の包含値で評価)	
除熱	○ (配置(i)、(ii)のうち温度の高い結果で代表)		○ (燃料被覆管のみ評価)

○: 安全評価を実施 —: 安全評価の実施不要

注記 HDP-69BCH(B)型の質量のうち、使用済燃料の質量は、最も重量の大きい新型8×8燃料の重量を包含できるように設定



HDP-69BCH(B)型構造図(構外輸送時)

内は商業機密のため非公開

➤ 核燃料輸送物設計承認申請における落下時の設計加速度の評価

落下時の衝撃荷重と緩衝体の変形量をCRUSHコードを用いて評価し、衝撃加速度から設計加速度を設定。

	0.3m落下			9m落下		
	衝撃荷重	衝撃加速度	設計加速度	衝撃荷重	衝撃加速度	設計加速度
頭部 垂直落下	$3.41 \times 10^7 \text{N}$	259m/s^2	294m/s^2	$7.34 \times 10^7 \text{N}$	555m/s^2	588m/s^2
底部 垂直落下	$3.53 \times 10^7 \text{N}$	268m/s^2	294m/s^2	$7.71 \times 10^7 \text{N}$	584m/s^2	637m/s^2
水平落下	$2.13 \times 10^7 \text{N}$	161m/s^2	196m/s^2	$7.56 \times 10^7 \text{N}$	573m/s^2	637m/s^2

➤ 津波による波力と漂流物の衝突による衝撃荷重の評価

津波による波力	漂流物の衝突による衝撃荷重
<p>津波避難ビル暫定指針^[1]による波力</p> $Q_1 = \rho \cdot g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) \cdot B dz$ <p> Q_1: 波力(N) ρ: 海水の密度(1030kg/m³) g: 重力加速度(m/s²) a: 水深係数(3) h: 設計用浸水深さ(10m) </p> <p> z: 地盤面からの高さ(m) z_1: 受圧面最小高さ(0m) z_2: 受圧面最高高さ(5.32m) B: 受圧面の幅(2.48m) </p> <p>$Q_1 = 3.65 \text{ MN}$</p>	<p>日本道路協会、道路橋示方書^[2]による流木等の衝撃荷重</p> $Q_2 = 0.1 \cdot W \cdot v$ <p> Q_2: 漂流物の衝突による衝撃荷重(N) W: 漂流物の重量(9.80665 × 10⁵N*) v: 表面流速(20m/s) </p> <p>*: 漂流物の質量100t × 重力加速度9.80665m/s² = 9.80665 × 10⁵N</p> <p>$Q_2 = 1.97 \text{ MN}$</p>

津波による作用荷重 $Q = Q_1 + Q_2 = 5.62 \text{ MN}$

- [1] 国土交通省、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」、平成23年11月17日 国住指第2570号別添
- [2] 日本道路協会、「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編、Ⅳ下部構造編)」、平成14年3月

➤ 竜巻による飛来物の衝突による衝撃荷重の評価

飛来物の衝突による衝撃荷重

Rieraの式^[3]を適用して評価される衝撃荷重

$$F = mv^2/L^{*1}$$

F : 飛来物の衝突による衝撃荷重(N)

m : 飛来物の質量(kg)

v : 飛来物の速度(m/s)

L : 飛来物の短辺方向の長さ(m)

$$F = 4.23 \text{ MN}^{*2}$$

*1: Rieraの式に以下の条件を考慮

- ・ 衝撃荷重に支配的な飛来物の質量による慣性力のみ考慮
- ・ 飛来物の質量分布が一様
- ・ 衝撃速度の減速を無視

*2: 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

(改定:2018/11/28)の解説表4.1 飛来物及び最大速度の設定例から、最も衝撃荷重が大きくなるトラックの条件での衝撃荷重

竜巻による作用荷重 $F = 4.23 \text{ MN}$

[3] J.D.Riera, 'On the Stress Analysis of Structures Subjected to Aircraft Impact Forces', Nuclear Engineering and Design 8, 415-426, 1968



➤ 0.3m落下時の構造健全性評価結果

		頭部垂直落下	底部垂直落下	水平落下
一次蓋ボルトの 応力値	解析値*1	351 MPa	296 MPa	471 MPa
	基準値	564 MPa (2S _m)	564 MPa (2S _m)	846 MPa (3S _m)
バスケットの応力値	解析値*1	11 MPa*2		72 MPa
	基準値	146 MPa (S _m)		219 MPa (1.5S _m)

注記*1 最も厳しい評価応力を示す。

注記*2 設計加速度は頭部垂直落下、底部垂直落下共に同じ値のため、解析値も同様。

➤ 9m落下時の構造健全性評価結果

		頭部垂直落下	底部垂直落下	水平落下
一次蓋ボルトの 応力値	解析値*1	459 MPa	293 MPa	847 MPa
	基準値	616 MPa(2/3S _u)	616 MPa(2/3S _u)	924 MPa(S _u)
バスケットの応力値	解析値*1	23 MPa*2		233 MPa
	基準値	292 MPa(2/3S _u)		438 MPa(S _u)

注記*1 最も厳しい評価応力を示す。

注記*2 設計加速度がより大きい底部垂直落下の結果を示す。

➤ 落下時の構造強度評価方法

落下時の衝撃荷重と緩衝体の変形量をCRUSHコードを用いて評価し、衝撃加速度から設計加速度を設定。



		0.3 m落下試験における強度評価	9 m落下試験における強度評価
垂直落下 水平落下	容器本体	設計加速度を静的に負荷し、ABAQUSコードを用いて応力評価	
	バスケット	設計加速度を静的に負荷し、工学式を用いて応力評価	

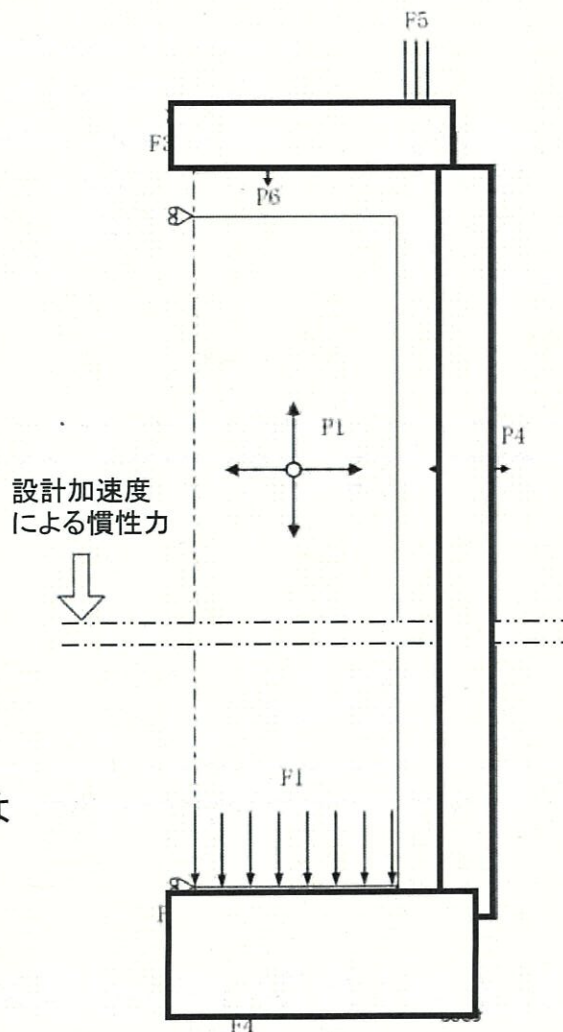
➤ ABAQUSコードによる構造強度評価の概要(頭部垂直落下)

・荷重条件

設計加速度による慣性力が作用。
 中性子遮蔽材等の非強度部材は、
 相当重量に応じた荷重を考慮して、
 その荷重受面に分布させる。

・境界条件

緩衝体の衝撃力を受ける面の節点
 の軸方向変位、対称面上の節点の
 対称面直交方向変位を拘束し、他は
 変位自由とする。



- P1: 胴内圧
- P2: 一二次蓋間圧力
- P3: 二三次蓋間圧力
- P4: 側部中性子遮蔽材部圧力
- P5: 蓋部中性子遮蔽材部圧力
- P6: 底部中性子遮蔽材部圧力
- F1: 内部の収納物等(バスケット及び燃料集合体)の慣性力
- F2: 蓋部中性子遮蔽材の慣性力
- F3: 底部中性子遮蔽材の慣性力
- F4: 上部緩衝体反力
- F5: 下部緩衝体の慣性力

頭部垂直落下時の荷重条件及び境界条件



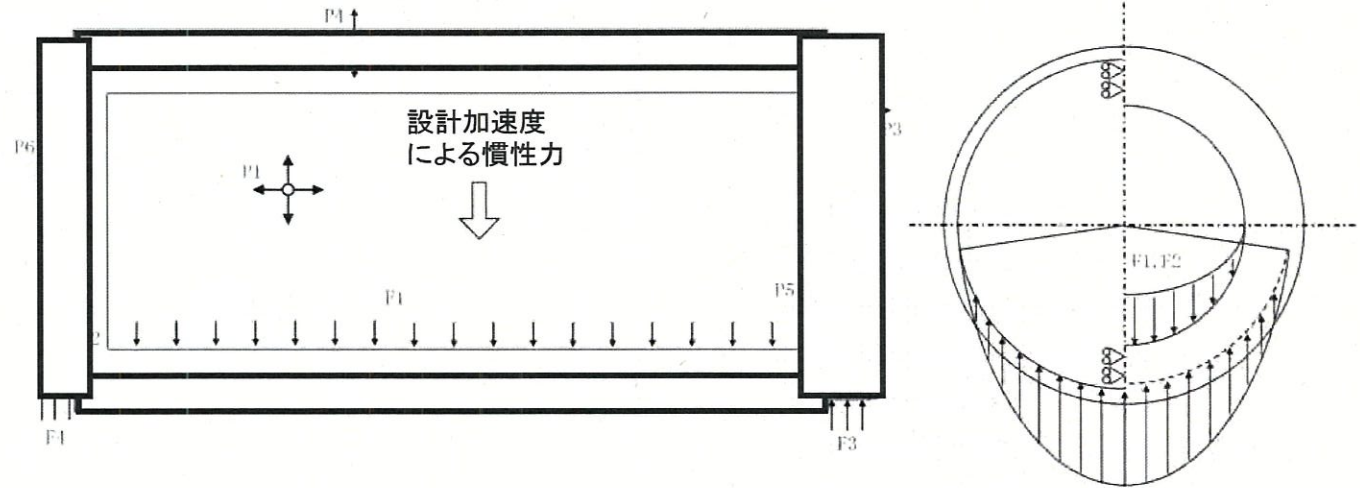
内は商業機密のため非公開

➤ ABAQUSコードによる構造強度評価の概要(水平落下)

・荷重条件

設計加速度による慣性力を作用。

中性子遮蔽材等の非強度部材は、相当重量に応じた荷重を考慮して、その荷重受面に分布させる。



・境界条件

0° - 180° 面の対称面において、対称面法線方向の変位を拘束する(右図の△)。

- | | |
|-----------------|-------------------------------|
| P1: 洞内圧 | F1: 内部の収納物等(バスケット及び燃料集合体)の慣性力 |
| P2: 一二次蓋間圧力 | F2: 底部中性子遮蔽材の慣性力 |
| P3: 二三次蓋間圧力 | F3: 上部緩衝体反力 |
| P4: 側部中性子遮蔽材部圧力 | F4: 下部緩衝体反力 |
| P5: 蓋部中性子遮蔽材部圧力 | |
| P6: 底部中性子遮蔽材部圧力 | |

水平落下時の荷重条件及び境界条件

□ 内は商業機密のため非公開

貯蔵施設の設計、運用は、各発電所で異なるため、
周辺施設からの波及的影響評価は、設置(変更)許可申請での確認範囲

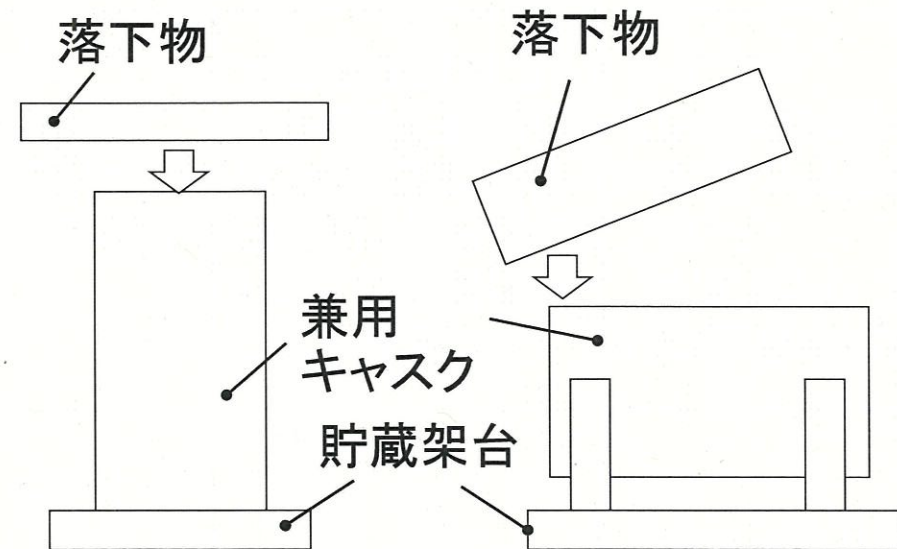
貯蔵方式	落下物の衝突	キャスク転倒	キャスク同士衝突	キャスク埋没
<p>貯蔵方式⑦⑧</p> <ul style="list-style-type: none"> ・トラニオンを固定し、兼用キャスク告示の地震力で転倒させない ・緩衝体の装着等なし ・貯蔵建屋の損壊を想定する*1 	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵建屋及び付属機器等 <p>⇒2. (1)</p>	<p>不要 (固定)</p>	<p>不要 (固定)</p>	<p>以下で代表 (緩衝体の装着等ありに包含)</p>
<p>貯蔵方式①②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・トラニオンで固定するが、地震力での転倒を想定する ・緩衝体の装着等あり ・貯蔵建屋の損壊を想定する 	<p>同上 (上記に包含)</p>	<p>不要 (キャスク転倒は、外運搬規則の設計加速度以下)</p>	<p>不要 (キャスク同士衝突速度(告示の地震力の速度)は、外運搬規則の想定落下速度以下)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵建屋の天井スラブによるガレキ ・地盤の不等沈下による土砂 <p>⇒2. (2)</p>

注記*1 基準地震動によって貯蔵建屋を損傷させない設計も採用可能(貯蔵方式⑦⑧)

(1) 落下物の衝突

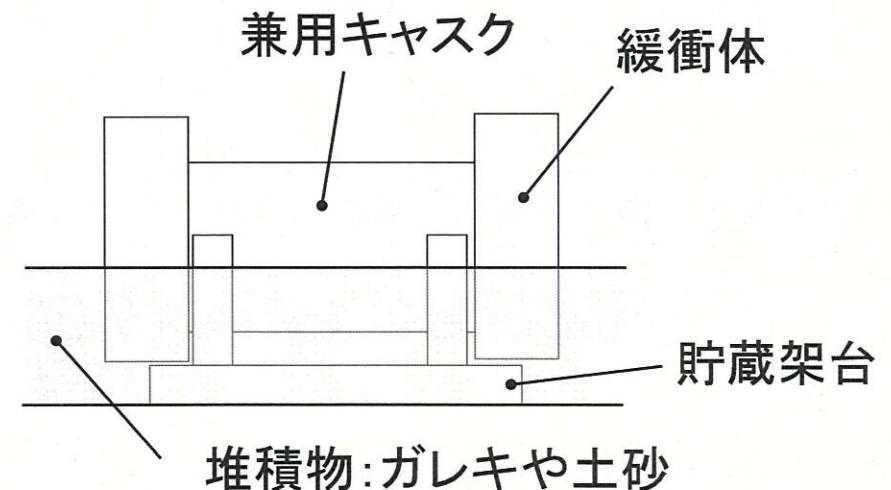
貯蔵建屋及び付属機器等*1の落下時の衝撃荷重を緩衝体が装着されていない蓋部に作用させて、密封シール部と一次蓋ボルトがおおむね弾性範囲であることを確認する。

注記*1 例: 天井スラブ、天井クレーン



(2) キャスク埋没

兼用キャスクのキャスク周囲にガレキや土砂が堆積した場合の温度時刻歴を評価して、密封部のシール性が損なわれない堆積量あるいは復旧時間を評価する。



HITACHI



この資料及びこの資料に基づ
く計算書並びに記録等の出力
を複写、第三者へ開示または
公開しないようお願い致します

END

発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請 の概要

＜補足説明資料＞

日立GEニュークリア・エナジー株式会社