

乾式キャスク(輸送・貯蔵兼用)の許認可概要 (設置許可・設工認／設計承認の比較について)

令和3年2月26日
四国電力株式会社

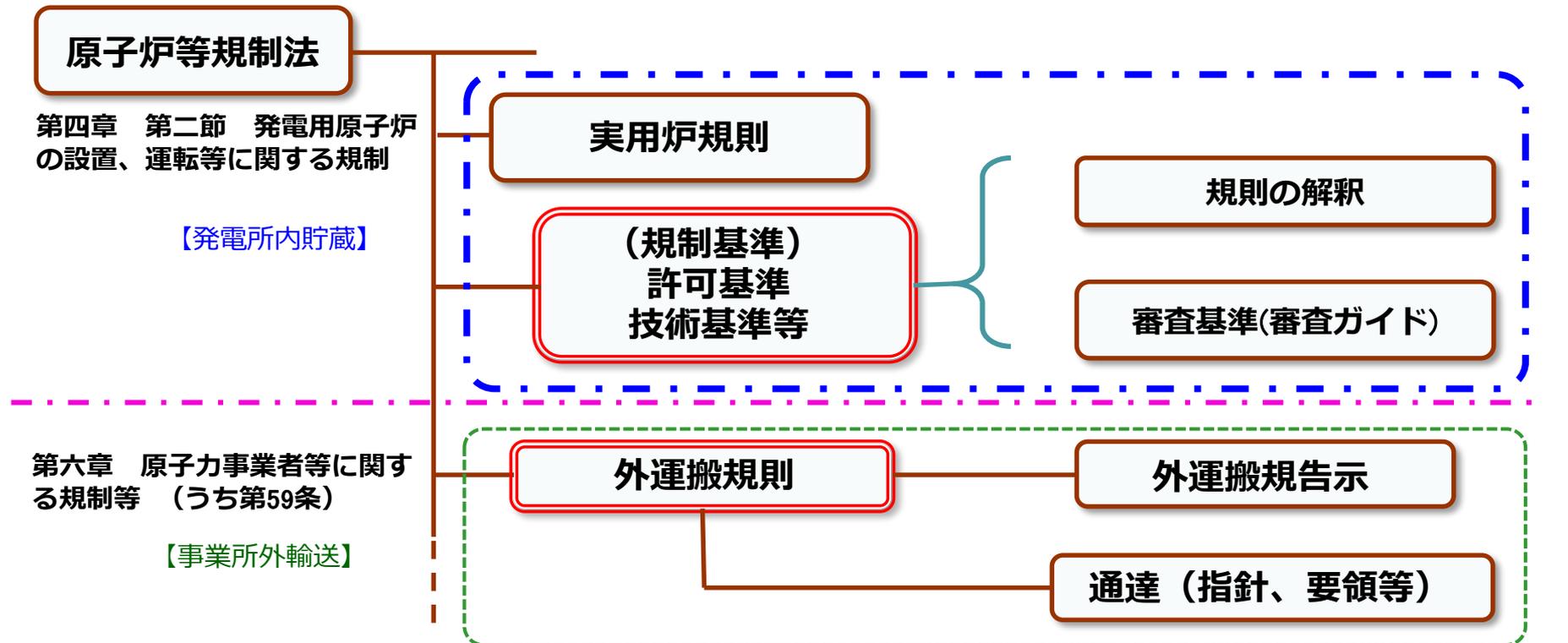
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので
公開することはできません。



四国電力株式会社

1. 乾式キャスクの許認可体系
2. 乾式キャスクの概要
3. 乾式キャスクの解析比較

1. 乾式キャスクの許認可体系



原子炉等規制法 …… 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年6月10日法律第166号）

实用炉規則 …… 实用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年12月28日通商産業省令第77号）

規制基準 …… 实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号）

…… 实用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）

審査基準(審査ガイド) …… 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド

（平成31年3月13日原規技発第1903131号）

外運搬規則 …… 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年12月28日 総理府令 第57号）

外運搬告示 …… 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示

（平成2年11月28日 科学技術庁告示 第5号）

1. 乾式キャスクの許認可体系

【乾式キャスクの適合性説明の必要な条文】

【発電所内貯蔵】

**(規制基準)
許可基準
技術基準等**

(略)位置、構造及び設備の基準に関する規則		乾式キャスクの適合性
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○(未臨界、除熱、遮蔽、閉じ込め)

(略)技術基準に関する規則		乾式キャスクの適合性
第26条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○(未臨界、除熱、遮蔽閉じ込め、構造強度)

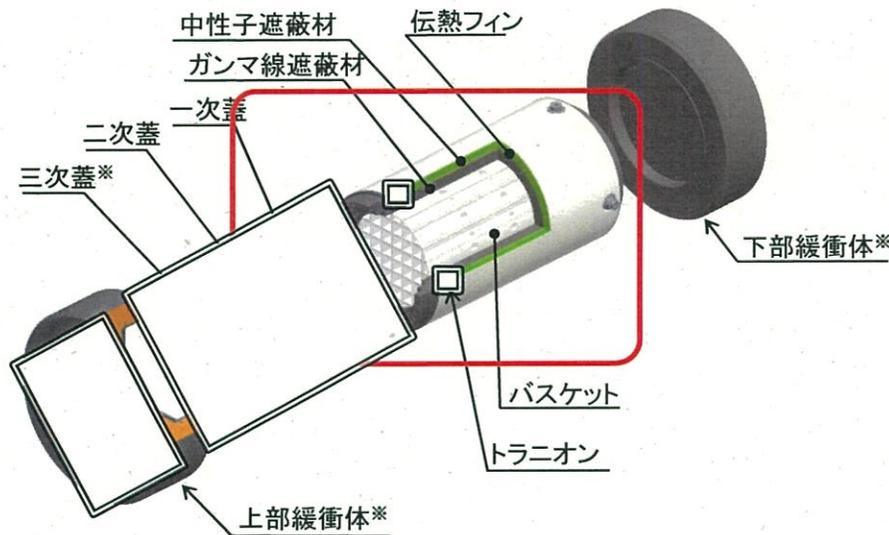
【事業所外輸送】

外運搬規則

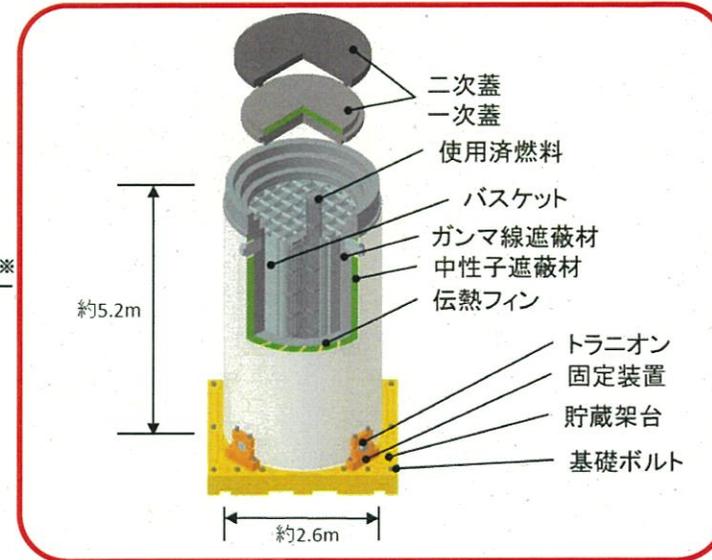
(略)事業所の外における運搬に関する規則		乾式キャスクの適合性
第3条	核燃料輸送物として運搬できる核燃料物質等の運搬	○(核燃料物質の仕様)
第6条	BM型輸送物に係る技術上の基準 (⇒第5条、第4条を引用)	○(遮蔽、閉じ込め、除熱、構造強度)
第11条	核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準	○(未臨界)

2. 乾式キャスクの概要（構成部材）

乾式キャスクの鳥かん図(タイプ1(輸送状態)の例)



乾式キャスクの鳥かん図(タイプ1(貯蔵状態)の例)



乾式キャスク構成部材の材質

	乾式キャスク(タイプ1) 【MSF-32P型】の材質※2	乾式キャスク(タイプ2) 【MSF-24P型】の材質※2
胴	炭素鋼	炭素鋼
外筒	炭素鋼	炭素鋼
中性子遮蔽材	レジン	レジン
一次蓋、二次蓋	炭素鋼	炭素鋼
一次蓋、二次蓋シール	金属ガスケット	金属ガスケット
バスケット構造材	アルミニウム合金および炭素鋼	アルミニウム合金
バスケット中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	ほう素添加アルミニウム合金
三次蓋※1	ステンレス鋼	ステンレス鋼
三次蓋シール※1	ゴムOリング	ゴムOリング
緩衝体※1	ステンレス鋼及び木材	ステンレス鋼及び木材

共通

※1 輸送時のみ装着

※2 乾式キャスク構成部材の長期健全性も含め、共通。

2. 乾式キャスクの概要（収納条件）

収納条件（乾式キャスク（タイプ1）；14×14型燃料32体収納）

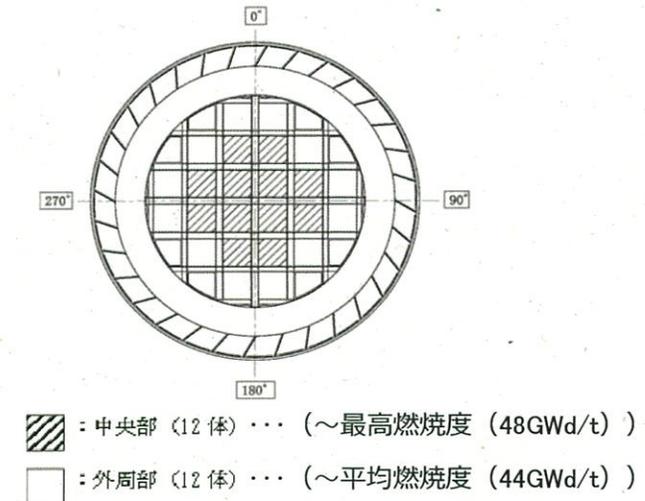
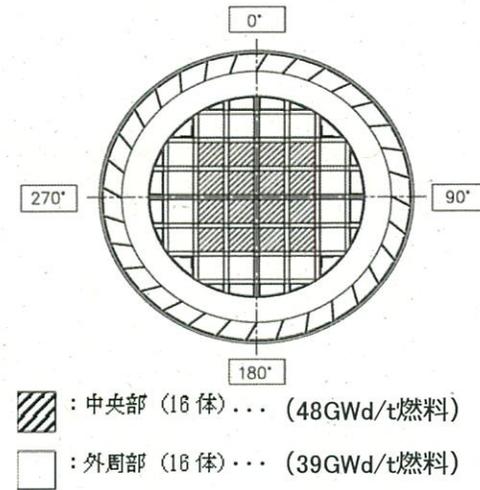
燃料集合体の種類と型式	中央部				外周部	
	14×14燃料※					
	48,000MWd/t型		39,000MWd/t型		39,000MWd/t型	
燃焼条件	A型	B型	A型	B型	A型	B型
	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	48,000以下		39,000以下		39,000以下
平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)	45,000以下				33,000以下	
冷却日数	5,479日以上				9,131日以上	

収納条件（乾式キャスク（タイプ2）；17×17型燃料24体収納）

燃料集合体の種類と型式		17×17燃料※	
		48,000MWd/t型	
燃焼条件		A型	B型
燃料集合体	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	中央部	48,000以下
		外周部	44,000以下
	平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)	44,000以下	
	冷却日数	5,479日 ^(注3) 以上	6,209日 以上
バーナブル ポイズン 集合体	照射日数	5,479日以上	
	冷却日数		

※ 燃料被覆管の長期健全性も含め、共通。

共通

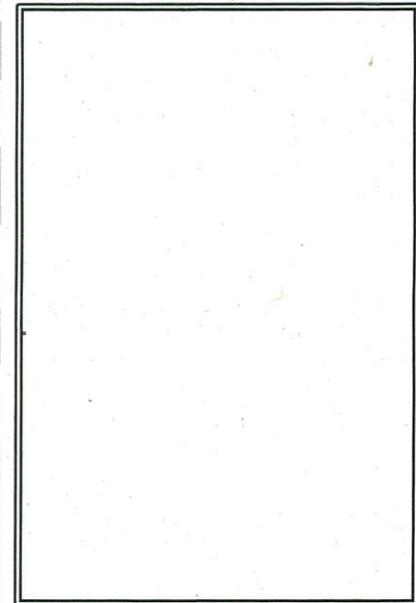


3. 乾式キャスクの解析比較

構造解析（強度評価）

項目	設計承認における評価内容	設工認における評価内容	
解析方法	容器本体 胴 一次蓋 二次蓋 三次蓋 外筒 等	解析コードによる評価 解析コード: ABAQUS (汎用FEM) 解析モデル: 三次元180° 対称モデル ※一部評価式による評価	同左
	バスケット・トラニオン	評価式による評価	同左
	貯蔵架台	—	評価式による評価
解析条件（荷重計算方法）	設計条件	—	設計時（最高使用圧力）
	供用状態A	輸送時	貯蔵時 吊上げ時
	〃 B	一般の試験条件 (0.3m落下: 解析コードによる評価)	検査架台衝突時 (評価式による評価)
	〃 C	—	—
	〃 D	特別の試験条件 (9m落下: 解析コードによる評価)	—
その他	200m浸漬	試験時	
判定基準	密封部: 変形を弾性域に抑えること その他: 供用状態A,Bにおいて変形を弾性域に抑えること、供用状態Dにおいて安全機能に影響がないこと	同左 (供用状態Dは該当なし)	

共通



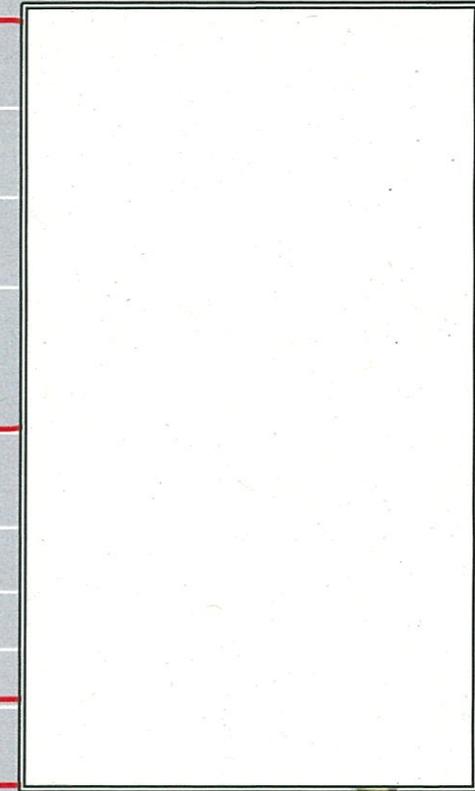
乾式キャスク（タイプ1）
応力計算解析モデル

3. 乾式キャスクの解析比較

除熱解析

項目	設計承認における評価内容			設工認における評価内容	
	輸送時		特別の試験条件 (火災条件)	貯蔵時	
	最高温度評価	近接表面温度評価			
解析方法	解析コード	ABAQUS(汎用FEM)		同左	
	各部温度	三次元180° 対称全体モデル		同左	
	燃料最高温度	二次元燃料集合体モデル		同左	
解析条件	収納物発熱量	収納対象燃料に軸方向燃焼度分布を考慮したもの 〔16.9kW(タイプ1)〕 〔18.1kW(タイプ2)〕		同左	
	周囲温度	38°C (太陽光あり)	38°C (太陽光なし)	800°C × 30分 (太陽光あり)	50°C(施設内) (太陽光なし)
	姿勢	横置き		縦置き	
	緩衝体の有無	あり	あり	あり	なし
	緩衝体の変形	なし	なし	あり	—
判定基準	各部の熱的健全性	各部の熱的健全性	各部の熱的健全性	同左	
			かつ近接可能表面が85°C以下		

共通



乾式キャスク (タイプ1)
熱解析モデル (全体モデル)

3. 乾式キャスクの解析比較

閉じ込め解析

項目	設計承認における評価内容		設工認における評価内容	
	一般の試験条件	特別の試験条件	基準漏えい率設定	リークテスト判定基準設定
解析方法	評価対象部位 (密封境界)	三次蓋 ゴムOリング		一次蓋 金属ガスケット
	評価内容	放射性物質の漏えい量		設計貯蔵期間(60年)中において胴内を負圧に維持するための金属ガスケットの漏えい率
	解析方法	共通		同左
	評価対象核種	³ H、 ⁸⁵ Kr		—(Heガス)
解析条件	漏えいの経路	三次蓋内部から大気への漏えい		同左 (基準漏洩率設定の条件に加え、一二次蓋間ガスの全量流入に伴う圧力上昇分を考慮)
	燃料破損率 (胴内圧上昇の考慮条件)	0.1%	100%	0.1%
判定基準	放射性物質漏洩量 A ₂ 値/h以下	放射性物質漏洩量 A ₂ 値/week以下		基準漏えい率 > リークテスト判定基準 > 金属ガスケットの性能

A₂値：核種ごとに、規則で定められる放射能量の制限値。

3. 乾式キャスクの解析比較

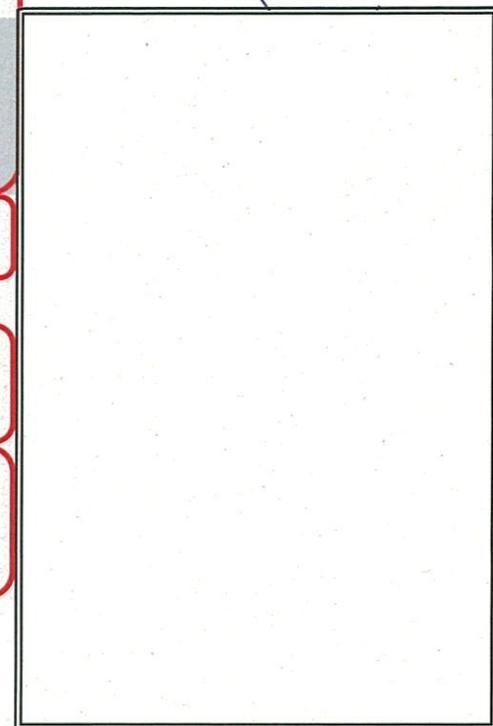
遮蔽解析

項目	設計承認における評価内容			設工認における評価内容
	輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件	貯蔵時
解析方法	解析コード	DOT3.5		同左
	解析モデル	(二次元軸対称) ①頭部1/2モデル ②底部1/2モデル ③トラニオン部詳細モデル		同左
解析条件	緩衝体の有無	あり (距離のみ考慮)	あり (距離のみ考慮)	なし
	緩衝体の変形 (中性子遮蔽体)	なし	あり	(全損)
		健全 (経年劣化考慮)	健全 (経年劣化考慮)	健全 (経年劣化考慮)
判定基準	線量当量率 (mSv/h)	2 (@表面) 0.1 (@1m)	2 (@表面) -	同左(輸送時)
			外筒・中性子遮蔽材の貫通 密度50%減損	10 (@1m)

共通

キャスク表面の位置

一般の試験条件
輸送時



乾式キャスク (タイプ1)

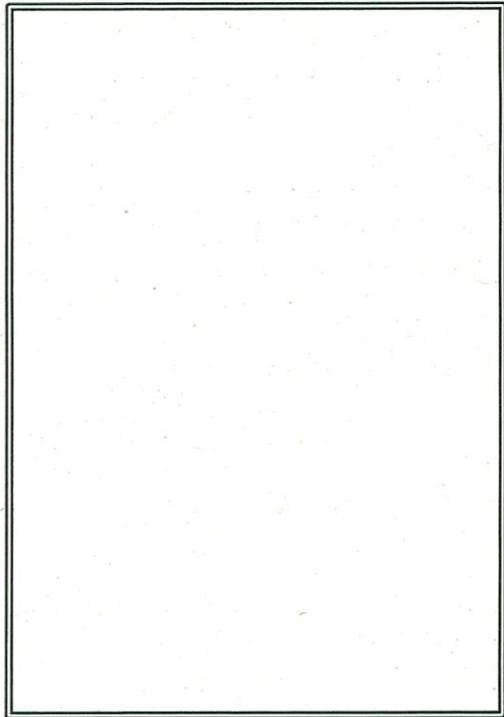
遮蔽解析モデル (頭部モデル)

3. 乾式キャスクの解析比較

臨界解析

項目	設計承認における評価内容		設工認における評価内容	
	特別の試験条件 (輸送時・一般の 試験条件を包絡)	取扱時	貯蔵時	取扱時
解析方法	解析コード	SCALEコードシステム		同左
	解析モデル	三次元モデル (中性子遮蔽材、緩衝体、三次蓋を無視)		同左
解析条件	濃縮度	タイプ1(中央部:U濃縮度 <input type="text"/> %、 外周部:U濃縮度 <input type="text"/> %) タイプ2(U濃縮度 <input type="text"/> %)		同左
	燃料状態	①健全 ②一部変形考慮	健全	同左(健全のみ)
	内部雰囲気	乾燥※	冠水	同左(乾燥) 同左(冠水)
	外部境界	無限配列	同左	同左
判定基準	中性子 実効増倍率	≤ 0.95		同左

共通



※安全側の評価として、15 m 浸漬試験による胴内への5000cm³の浸水を仮定し、この水が均一に分散している条件にて評価している。

乾式キャスク (タイプ1)
臨界解析モデル (縦断面図)