

伊方発電所使用済燃料乾式貯蔵施設に関する
原子力安全専門部会報告書

令和 2 年 11 月

伊方原子力発電所環境安全管理委員会
原 子 力 安 全 専 門 部 会

伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 名簿

部 会 長 :	もちづき 望月	てるひと 輝一	愛媛大学名誉教授	(放射線医学)
部会長代行 :	うね きき 宇根崎	ひろのぶ 博信	京都大学複合原子力科学研究所教授	(原子炉工学)
委 員 :	きしだ 岸田	きよし 潔	京都大学大学院工学研究科教授	(地盤工学・岩盤工学)
	たかはし 高橋	じろう 治郎	愛媛大学名誉教授	(構造地質学)
	なかむら 中村	ひでお 秀夫	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門 原子力緊急時支援・研修センター兼安全研究 センター 特命専門職	(原子炉工学・原子炉安全工学)
	むらまつ 村松	けん 健	東京都市大学工学部客員教授	(原子力安全工学(リスク評価))
	もり 森	しんいちろう 伸一郎	愛媛大学大学院理工学研究科准教授	(地震工学)
	わたなべ 渡邊	ひでお 英雄	九州大学応用力学研究所准教授	(原子炉材料)

(注)委員の表記は 50 音順

目次

はじめに	1
第 1 審議の経過	2
第 2 発電所敷地内での乾式貯蔵施設設置に係る許可基準	3
第 3 設置許可基準規則と申請概要	4
1. 設計基準対象施設の地盤（第 3 条）	4
2. 地震による損傷の防止（第 4 条）	6
3. 津波による損傷の防止（第 5 条）	7
4. 外部からの衝撃による損傷の防止（第 6 条）	9
5. 人の不法な侵入等の防止（第 7 条）	12
6. 火災による損傷の防止（第 8 条）	12
7. 溢水による損傷の防止（第 9 条）	14
8. 安全避難通路等（第 11 条）	15
9. 安全施設（第 12 条）	16
10. 燃料体の取り扱い施設及び貯蔵施設（第 16 条）	17
11. 工場等周辺における直接線等からの防護（第 29 条）	21
12. 放射線からの放射線業務従事者の防護（第 30 条）	22
第 4 原子力規制委員会の審査結果	24
第 5 原子力安全専門部会の審議結果	26
1 審議で確認した主な事項	26
2 審議結果	38
・原子力安全専門部会としての全体的な判断	38
・付言、要望事項	38
添付資料 1 発電所敷地内での乾式貯蔵施設設置に係る関係法令等	
添付書類 2 使用済燃料乾式貯蔵施設の国内事例	
添付書類 3 使用済燃料乾式貯蔵施設の海外事例	
添付書類 4 核燃料輸送物の機能要件	
参考資料 1 伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 委員コメント 一覧	
参考資料 2 既設乾式貯蔵施設の現地調査	
参考資料 3 伊方発電所 使用済燃料乾式貯蔵施設設置計画の概要	

はじめに

四国電力株式会社は、平成 28 年 12 月 26 日、同社社長から知事に対し、伊方発電所敷地内への乾式貯蔵施設設置について検討する旨報告を行い、その後、乾式貯蔵施設設置に関して、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「原子炉等規制法」という。）に基づき、平成 30 年 5 月 25 日に原子力規制委員会に対し、原子炉設置変更許可申請書を提出するとともに、愛媛県及び伊方町に対して、伊方原子力発電所周辺の安全確保及び環境保全に関する協定書（以下「安全協定」という。）に基づく事前協議の申し入れを行った。

愛媛県においては、伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会（以下、「原子力安全専門部会」という。）で、同施設での使用済燃料の貯蔵に関する安全性について技術的・専門的観点から審議してきた。

本報告書は、伊方発電所敷地内への乾式貯蔵施設設置について、これまでの審議、原子力規制委員会から直接確認した審査結果及び地域特性等を踏まえ、原子力安全専門部会として確認した結果を取りまとめたものである。

第 1 審議の経過

四国電力は、原子炉等規制法に基づき、平成 30 年 5 月 25 日に原子力規制委員会に対し、伊方発電所敷地内への乾式貯蔵施設設置に係る原子炉設置変更許可申請書を提出し、同委員会により審査が行われてきた。

原子力安全専門部会は、平成 30 年 6 月 15 日に四国電力から原子炉設置変更許可申請の概要等を聴取するとともに、先行事例である日本原子力発電株式会社東海第二発電所及び東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所の乾式貯蔵施設を現地調査した上で、審議を開始した。

その後、令和 2 年 9 月 16 日に、原子力規制委員会において、原子炉設置変更許可がなされたことから、原子力安全専門部会は、11 月 13 日、同委員会から審査結果の詳細説明を受け、11 月 25 日、これまでの審議内容を原子力安全専門部会報告書として取りまとめた。

原子力安全専門部会の審議状況

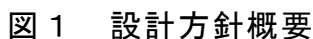
審議回数等	年月日	内 容
第 1 回	平成 30 年 6 月 15 日	乾式貯蔵施設設置計画について説明
現地調査	平成 30 年 9 月 11-12 日 平成 30 年 11 月 7 日	先行事例視察〔日本原子力発電(株)東海第二発電所及び東京電力HD(株)福島第一原子力発電所〕
第 2 回	平成 31 年 2 月 8 日	先行事例視察等を踏まえて審議
第 3 回	令和 2 年 2 月 18 日	地震等外力の影響について審議
第 4 回	令和 2 年 9 月 8 日	乾式キャスクの安全機能について審議
第 5 回	令和 2 年 10 月 16 日	乾式キャスクの安全機能について継続審議
第 6 回	令和 2 年 11 月 13 日	国から審査結果及び核燃料サイクル政策について聴取、部会報告書（案）を提示
第 7 回	令和 2 年 11 月 25 日	部会報告書の取りまとめ

第2 発電所敷地内での乾式貯蔵施設設置に係る許可基準

四国電力は、使用済燃料の貯蔵裕度を確保するため、伊方発電所敷地内に、輸送・貯蔵兼用の乾式キャスクによる使用済燃料乾式貯蔵施設を設置する計画としている。

発電用原子炉施設の変更に係る安全性については、原子炉等規制法第43条の3の6第1項において、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（以下「設置許可基準規則」という。）に定める基準に適合することとされており、乾式貯蔵施設の設置に関しては、「設計基準対象施設の地盤（第3条）」、「地震による損傷の防止（第4条）」、「津波による損傷の防止（5条）」、「外部からの衝撃による損傷の防止（6条）」、「発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止（第7条）」、「火災による損傷の防止（第8条）」、「溢水による損傷の防止（第9条）」、「安全避難通路等（第11条）」、「安全施設（第12条）」、「燃料体の取り扱い施設及び貯蔵施設（第16条）」、「工場等周辺における直接線等からの防護（29条）」及び「放射線からの放射線業務従事者の防護（30条）」の項目への適合が求められている。

設置許可基準規則のうち関連項目に対する申請の概要等について、以下に記す。(図 1 のとおり。)



設置許可基準規則では、兼用キャスクは、基準地震動による地震力が作用した場合においても当該施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならないこと、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けなければならないこと及び変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならないことを要求している。ただし、地盤に十分に支持されず、変位が生じて、その安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りではないとしている。

①設計方針

乾式キャスクを設置する乾式貯蔵建屋は、基準地震動^{※1}による地震力が作用した場合においても十分に支持することができ、また、変形した場合

においてもその安全性が損なわれるおそれがなく、かつ変位が生じるおそれがない地盤に設置する。

②設計方針の妥当性

乾式キャスクを設置する乾式貯蔵建屋を設置する地盤は、C H級の堅硬な岩盤（Ⅰ級岩盤）であり、不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の影響を受けるおそれはなく、基準地震動による地盤の動的解析を行った結果、①基礎地盤のすべり、②基礎の支持力、③基礎底面の傾斜が次のとおり、評価基準値を満足することを確認している。

また、当該地盤については、将来活動する可能性のある断層等が露頭しておらず、変位が生ずるおそれがないことを確認している。

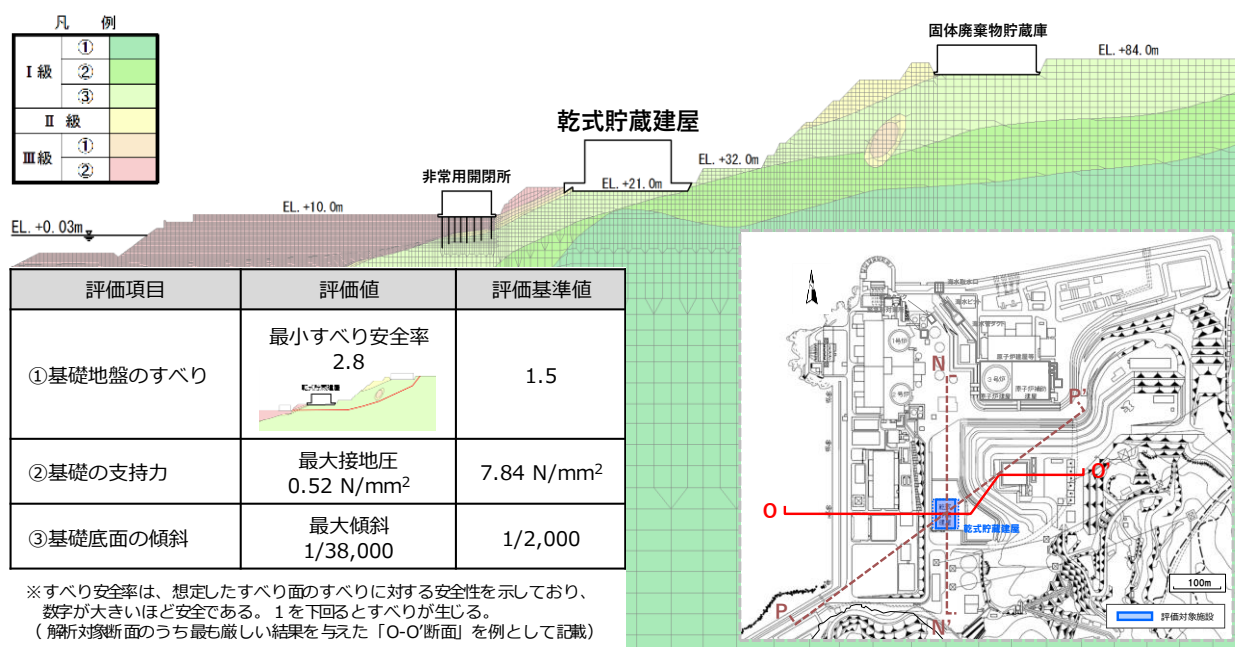


図2 地盤評価結果

なお、伊方発電所3号機の基準地震動の策定にあたって活用した地震調査研究推進本部地震調査委員会の「中央構造線断層帯の長期評価」（平成23年2月）が、平成29年12月に改訂されたため、今回改めて、改訂版である「中央構造線断層帯の長期評価（第二版）」について確認し、改訂内容が、地震動評価に影響を与えないことを確認している。

※1：平成27年7月、伊方発電所3号機新基準適合性審査において原子力規制委員会より許可された想定される最大の地震動（650ガル）

2. 地震による損傷の防止（第4条）

設置許可基準規則では、設計基準対象施設の耐震重要度分類に応じた安全性を求めるとともに、兼用キャスクについては、基準地震動等の同規則に定める地震力^{*2}及び斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

- ・乾式貯蔵施設は、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて各耐震クラスに分類し、それぞれに応じた地震力に対して、設備に要求する機能が保持できるように設計する
- ・兼用キャスクについては、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ように設計する
- ・乾式キャスクは、基準地震動による地震力によって周辺斜面が崩壊しないことを確認し、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する

②設計方針の妥当性

乾式貯蔵施設を構成する主要な施設の耐震クラスを下記のとおり分類し、それぞれに応じた地震力に対する耐震性を確保する。なお、乾式キャスク及び貯蔵架台については、今後、工事計画認可申請がなされた段階で概ね1,000ガルの揺れに対する耐震性を確保していることを確認する。

表 1 乾式貯蔵施設の耐震クラス

項目			耐震クラス
兼用キャスク	乾式キャスク		S ^{*2}
周辺施設	貯蔵架台(トラニオン固定方式)		S ^{*2}
	乾式貯蔵 建屋	遮蔽	C
		間接支持構造物	(Ss) ^{*1}

* 1: 基準地震動(650ガル)によって使用済燃料乾式貯蔵容器の支持機能を維持できるとともに、耐震クラスSの機器に波及的影響を及ぼさないものとする。

* 2: 基準地震動(650ガル)による地震力に対して、機能を保持できるものとする。
また、概ね1,000ガルの揺れに対する耐震性が確保されていることを確認する。

また、乾式貯蔵施設を中心とした敷地断面のうち、施設が設置される標高の斜面法尻から斜面法肩を考えた場合に斜面勾配が急となる断面等について、基準地震動による動的解析を行い、すべり安全率が評価基準値を満足することを確認している。

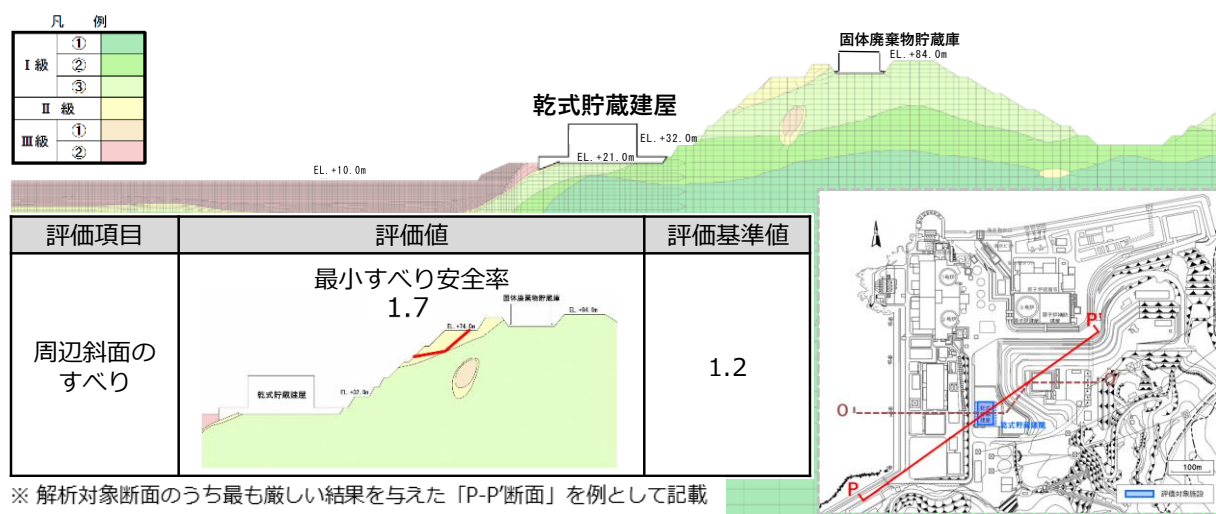


図3 周辺斜面評価結果

※2：全国一律に適用される地震力及び発電所ごとに定められる基準地震動があり、いずれかによる評価を求めている。

3. 津波による損傷の防止（第5条）

設置許可基準規則では、兼用キャスク及びその周辺施設は、基準津波等の同規則に定める津波※³に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

- ・ 乾式貯蔵建屋の設置された敷地において、基準津波※⁴による遡上波を地上部から到達又は流入させない設計とする
- ・ 建屋及び区画については、津波防護重点範囲を明確化し、津波による影響等を受けない位置に設置する設計とする

②設計方針の妥当性

乾式貯蔵施設は、T.P.+25m に設置することから、基準津波（T.P.+8.12m）は遡上しない。

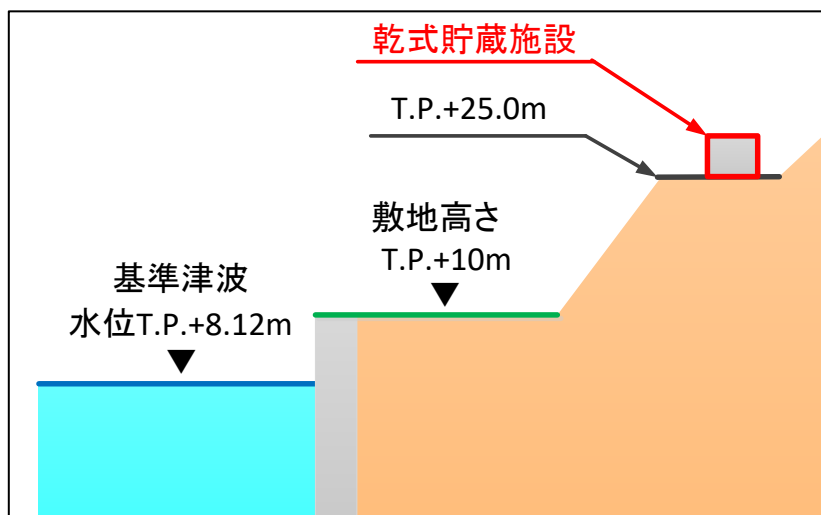


図4 乾式貯蔵施設 敷地断面イメージ

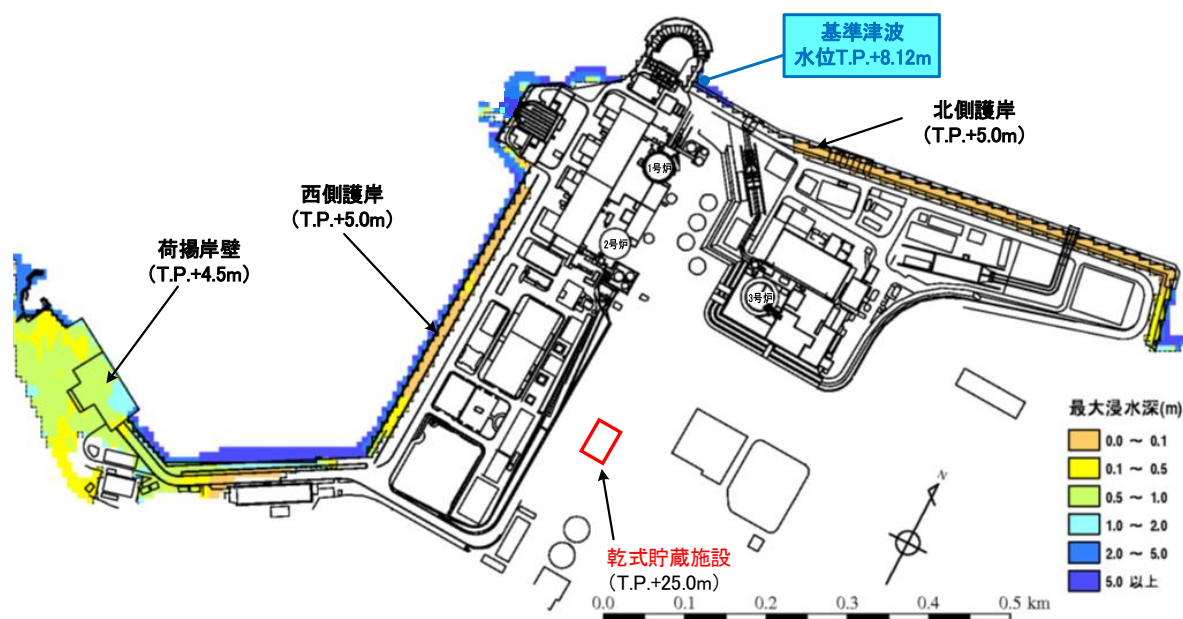


図5 基準津波による最大浸水深分布

※3：全国一律に適用される津波及び発電所ごとに定められる基準津波があり、いずれかによる評価を求めている。

※4：平成27年7月、伊方発電所3号機新基準適合性審査において原子力規制委員会より許可された想定される最大の津波（T.P.+8.12m）

4. 外部からの衝撃による損傷の防止（第6条）

設置許可基準規則では、乾式貯蔵施設について、発電所敷地で想定される自然現象（地震及び津波を除く）等に対して安全機能を損なわないことを要求している。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

（1）竜巻

①設計方針

乾式貯蔵施設について、最大風速 100m/s の竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。

②設計方針の妥当性

国内で過去に発生した竜巻による最大風速 92m/s 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 84 m/s を踏まえ、最大風速 100m/s の竜巻に対して安全機能を損なわない対策を講じる。

【飛来物の発生防止対策】

- ・ 乾式キャスクへ影響を及ぼす資機材及び車両については、固縛、固定又は乾式キャスクから離隔する

【竜巻防護対策】

- ・ 固縛等による飛来物の発生防止対策ができないものが飛来し、乾式貯蔵施設が安全機能を損なわないために、乾式貯蔵建屋により乾式キャスクを防護する
- ・ 乾式貯蔵建屋は竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して構造健全性を維持する設計とする

また、乾式貯蔵建屋の給排気口はラビリンス構造とし、設計飛来物が乾式キャスクに直接衝突しない設計にするとともに、乾式貯蔵建屋は新規制基準適合性審査における工事計画において、設計竜巻（最大風速 100m/s）に耐えることを、評価式を使って確認した壁厚さ、屋根スラブ厚さに余裕を加え、設計飛来物が衝突した場合においても、貫通及び裏面剥離の発生により乾式貯蔵建屋内の乾式キャスクが安全機能を損なわない設計とする。

(2) 火山

①設計方針

乾式貯蔵施設について、降下火砕物の構造物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること、乾式貯蔵建屋の給排気口に対する機械的影響（閉塞）に対して降下火砕物が侵入しにくい設計とすること、構造物の化学的影響（腐食）に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

②設計方針の妥当性

降下火砕物の影響から防護する施設である乾式キャスクは乾式貯蔵建屋に設置するため、降下火砕物による影響について、乾式貯蔵建屋の構造や設置状況等を考慮し、想定される影響因子に対して、乾式貯蔵建屋が乾式キャスクの安全機能を損なわない設計としている。なお、想定する降下火砕物については、既許可の設計条件※⁵を適用している。

【乾式貯蔵建屋への静的負荷】

- ・ 乾式貯蔵建屋の許容荷重が、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、構造健全性を失わず乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする

【乾式貯蔵建屋への化学的影響（腐食）】

- ・ 外装の塗装等によって降下火砕物に含まれる腐食性ガスによる短期腐食で乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とするとともに、降灰後の長期的な腐食影響については、日常保守管理等により対応する

【乾式貯蔵建屋の給排気口に対する機械的影響（閉塞）】

- ・ 乾式貯蔵建屋の給排気口はラビリンス構造とするなど開口部の形状等により、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする
- ・ 乾式貯蔵建屋の給排気口は、降下火砕物が流路に侵入した場合でも、流路が閉塞しない設計とするとともに、点検及び状況に応じた除去等により対応する

※ 5：層厚 15 cm、粒形 1 mm 以下、密度 0.5g/cm³（乾燥状態）～1.5 g/cm³（湿潤状態）の降下火砕物

(3) 外部火災

①設計方針

乾式貯蔵施設が外部火災に対して、想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう、防火帯の設置、離隔距離の確保、建屋による防護、障壁による防護及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

②設計方針の妥当性

- ・ 外部火災熱影響評価のうち、船舶以外を火災源とした評価については、表2のとおり、既許可にて離隔距離の妥当性を確認している原子炉建屋及び原子炉補助建屋以上の離隔距離を確保している
- ・ 船舶を火災源とした熱影響について評価した結果、乾式貯蔵施設外壁表面の温度は、コンクリート許容温度である 200℃を下回る約 56℃であることを確認している
- ・ 早期に消火体制を確立し、防火帯外縁での消火活動を可能とするため、消防要員を構内に常駐させる

表2 火災源からの離隔距離

想定する火災源	離隔距離(m)	
	原子炉建屋 (既許可評価)	乾式貯蔵施設
森林火災	70	200
重油タンク	100	140
空冷式非常用発電装置	23	180
航空機墜落(例:UP-3D)	32	90
船舶	690	490

(4) その他

①設計方針

上記(1)～(3)以外にも、凍結、降水等の自然現象に加え、飛来物(航空機落下等)、ダムの崩壊等の人為事象を選定し、影響を考慮する必要がある事象に対しては、適切な対策を講じることにより、安全機能を損なわない設計とする。

②設計方針の妥当性

乾式貯蔵施設の設置位置、周辺環境の状況等から、影響を考慮する必要があると判断した、風(台風)、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り及び高潮の自然現象については、過去の観測記録を調査し、最も厳しい条件等を想定しても、安全機能を損なわない設計が可能であることを確認している。

5. 人の不法な侵入等の防止（第7条）

設置許可基準規則では、人の不法な侵入等の防止を求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため接近管理、出入管理及び不正アクセス行為の防止を行える設計とする。

②設計方針の妥当性

人の不法な侵入等を防止するため、区画の設定、人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護、巡視、監視、出入口での身分確認や持ち込み点検、施錠管理及び情報システムへの外部からのアクセス遮断措置を行うことにより、接近管理、出入管理及び不正アクセス行為の防止を行うとしている。

6. 火災による損傷の防止（第8条）

設置許可基準規則では、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の発生を防止でき、かつ、火災感知設備及び消火設備並びに火災の影響を軽減する機能を求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

乾式貯蔵施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう、火災発生防止、火災感知器及び消火並びに火災の影響軽減に必要な措置を講じる設計とする。

②設計方針の妥当性

- ・火災防護の対象機器である乾式キャスクを貯蔵する乾式貯蔵建屋を火災区域として設定する
- ・火災区域のうち、乾式キャスクの貯蔵機能を有する貯蔵エリア、貯蔵エリアに隣接する取扱エリア及びユーティリティエリアを火災区画として

設定し、火災発生防止、火災感知設備及び消火設備並びに火災の影響を軽減する機能を有する設計とする

- ・火災発生防止のため、乾式貯蔵施設は不燃性又は難燃性材料を使用した設計とした上で、乾式貯蔵建屋には避雷設備を設置するとともに、送電線には、故障回路を早期に遮断する設計とする
- ・乾式貯蔵施設は、保管する乾式キャスクが金属製で十分な耐火能力を有しており、貯蔵エリアには可燃物を置かず発火源を極力排除することとしており、火災による安全機能への影響は考えにくいことから、火災感知設備としては消防法に基づく火災感知器のみを、消火設備としては消火器及び屋内消火栓のみを設置する
- ・消火用水の水源は平ばえ消火タンク（約 150 m³）及び原水貯槽（約 600 m³）としており、2本の屋外消火栓を同時に使用して消火することを想定し、屋外消火栓に必要な流量（350L/min）で消火を2時間継続した場合の水量（84 m³）を確保する

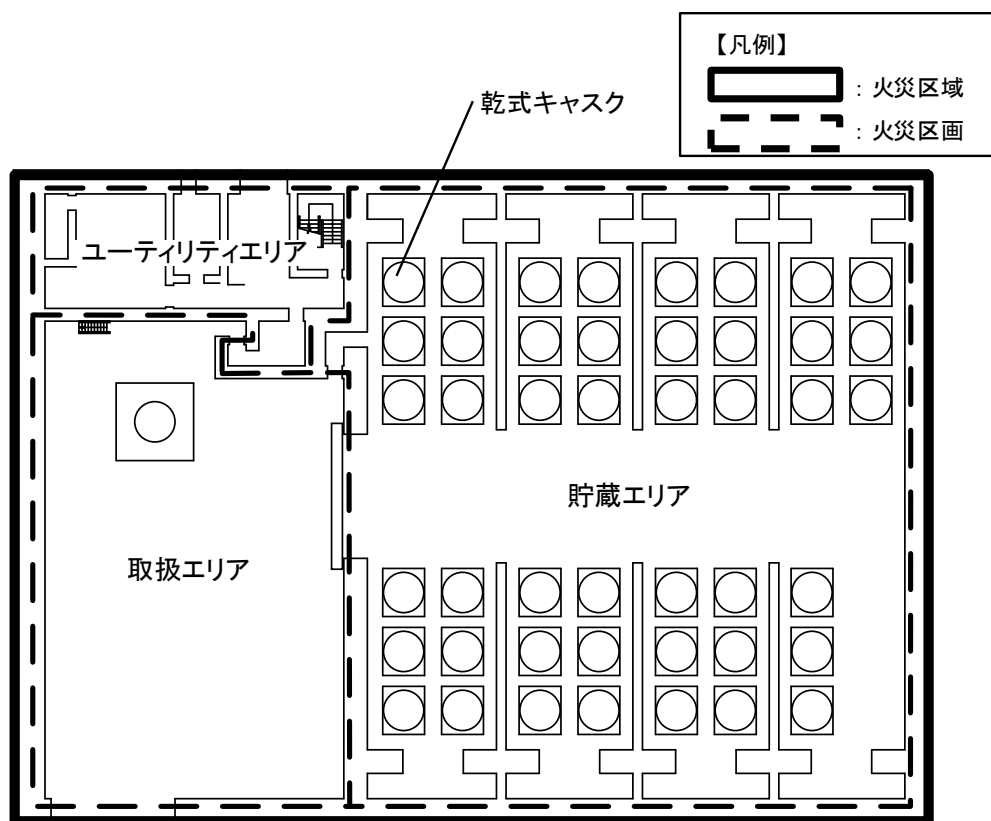


図6 乾式貯蔵建屋の火災区域

7. 溢水による損傷の防止（第9条）

設置許可基準規則では、溢水による損傷の防止等を求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

乾式貯蔵施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

②設計方針の妥当性

- ・防護対象設備である乾式キャスクは、溢水事象を想定しても必要とされる安全機能（放射性物質の閉じ込め機能）を損なわない、単純で頑丈な構造の金属製の静的機器（容器）で、外部からの動力の供給を必要としない設計とする。（乾式キャスクは溢水の影響を受けても安全機能を損なわない機器であることから、溢水影響評価の対象外）
- ・乾式キャスクの閉じ込め機能は、金属製のガスケットを頑丈な胴と一次蓋で挟んで圧縮することで維持しており、輸送状態で200mの水中に浸漬させても問題ない設計となっている。貯蔵状態（三次蓋及び緩衝体が無い状態）で200mの水圧を想定しても、一次蓋に発生する応力はおおむね弾性範囲内であり、閉じ込め機能を担保できることを確認した。

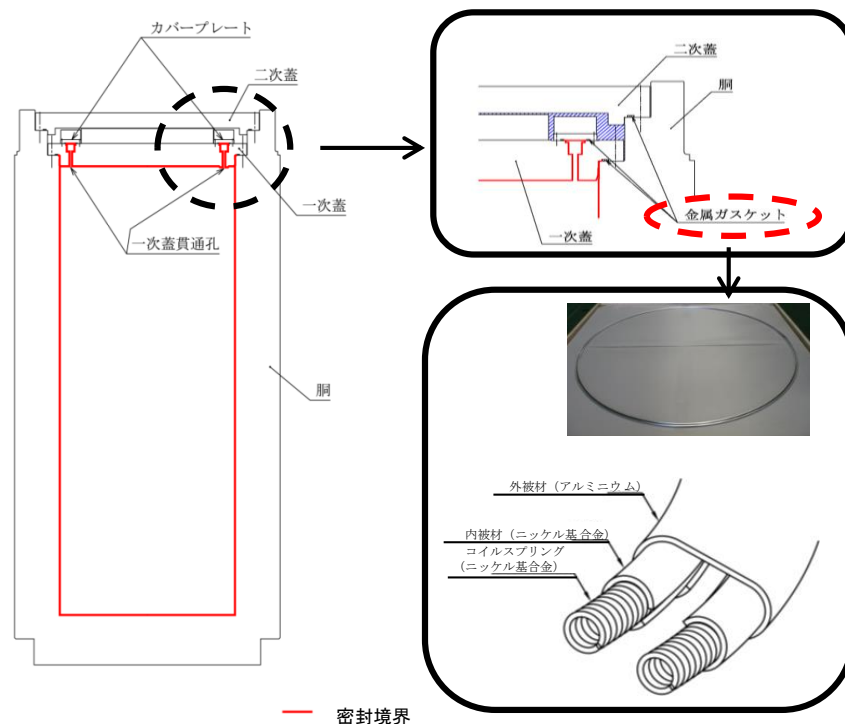


図7 乾式キャスクの閉じ込め構造

8. 安全避難通路等（第 11 条）

設置許可基準規則では、その位置を明確かつ恒久的に表示することにより容易に識別できる安全避難通路、照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない避難用の照明を設けることを求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

乾式貯蔵施設内には、避難階段を設置し、それに通じる安全避難通路を設ける設計とし、また、安全避難通路に誘導灯を設ける設計とする。

②設計方針の妥当性

- ・ 建築基準法に準拠し、安全避難通路を構成する避難階段及び地上へ通じる通路を設置するとともに、消防法に準拠し、誘導灯を設け、避難口及び避難の方向を明確かつ恒久的に表示する
- ・ 誘導灯は、灯具に蓄電池を内蔵し、照明用電源が喪失した場合においても機能を損なわない設計とする

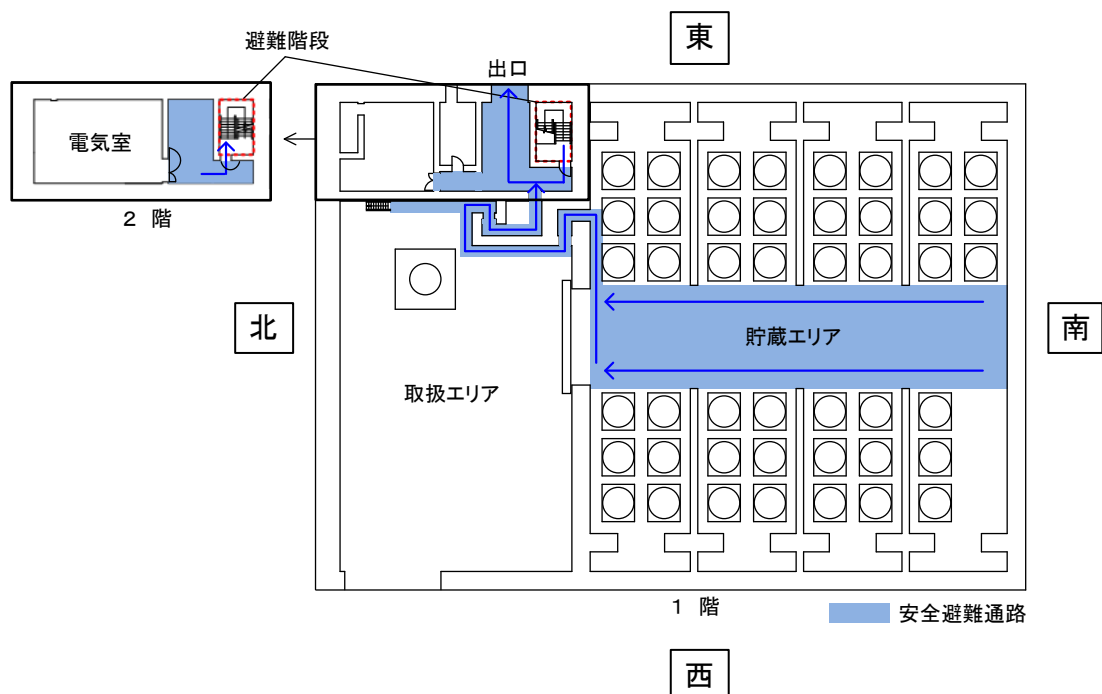


図 8 乾式貯蔵建屋の安全避難通路等

9. 安全施設（第12条）

設置許可基準規則では、安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならないこと等を求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

乾式貯蔵施設は、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」※⁶に基づき、それが果たす安全機能の性質に応じて分類し、その重要度に応じた試験又は検査を行うこと等により、想定される全ての条件下で、十分高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。

②設計方針の妥当性

- ・乾式貯蔵施設の安全上の機能別重要度分類を、次のように定め、これらの機能を果たすべき構築物、系統及び機器を適切に設計としている

表3 乾式貯蔵施設における安全機能の重要度分類

構築物、系統又は機器	機能別重要度分類	分類の根拠
乾式キャスク ^(注1)	PS-2	乾式キャスクは、原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能を有するため、PS-2に該当する。
乾式貯蔵建屋 ^(注2)	PS-3	乾式貯蔵建屋（貯蔵機能を有する範囲）は、乾式キャスク（PS-2）の貯蔵機能を補完する構築物であり、乾式キャスクの間接関連系と考えられることから、PS-2の一つ下位のPS-3に該当する。

（注1）貯蔵架台及び基礎を含む。

（注2）間接関連系に相当する。

- ・乾式貯蔵施設は、劣化等に対しても十分な余裕を持って機能維持が可能となるよう、供用中に想定される圧力、温度、湿度、放射線量等各種環境条件を考慮し、十分安全側の条件下においても安全機能を発揮できる設計とする
- ・乾式貯蔵施設は、その健全性及び能力を確認するため、供用中に1次蓋と2次蓋の蓋間圧力と乾式キャスク表面及び乾式貯蔵建屋内の温度を測定できる設計とする

※6：平成2年8月、原子力安全委員会が決定した指針。

10. 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設（第 16 条）

設置許可基準規則では、乾式キャスクについて、閉じ込め機能、臨界防止機能、遮蔽機能及び除熱機能を適切に有していること、また乾式キャスクの各構成部材及び収納される使用済燃料の長期健全性及び設計上想定される衝撃力に対する適切な設計等を求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

（１）閉じ込め機能

①設計方針

- ・ 乾式貯蔵施設内では、乾式キャスク蓋部を開放することなく、かつ、内包する放射性物質の閉じ込めを乾式キャスクのみで担保する設計とする
- ・ 乾式キャスクは、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とする

②設計方針の妥当性

乾式キャスクは、本体及び一次蓋により使用済燃料を封入する空間を設計貯蔵期間（60 年間）を通じて負圧に維持し、一次蓋と二次蓋の蓋間をあらかじめ正圧とし圧力障壁を形成することにより放射性物質を閉じ込める設計であり、蓋及び蓋貫通孔のシール部に、乾式キャスク内部を負圧に維持可能な漏えい率^{※7}よりも漏えい率の小さい金属ガスケットを用いることを確認している。

表 4 基準漏えい率に対する金属ガスケットの性能

1,2号炉ウラン燃料用		3号炉ウラン燃料用	
基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)	基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)
2.58×10 ⁻⁶	≤1.0×10 ⁻⁸	2.49×10 ⁻⁶	≤1.0×10 ⁻⁸

また、二次蓋に貫通部を設け、蓋間空間の圧力を圧力計により、監視できる構造とし、蓋間圧力の監視頻度は3か月に1回の頻度で監視することで、核分裂生成ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知することができるとしている。

※7：貯蔵開始時の乾式キャスク本体内部圧力を約 0.8 気圧とし、燃料棒からの核分裂生成ガス放出（0.1%破損）も考慮して設計貯蔵期間（60 年）経過後の乾式キャスク本体内部圧力が大気圧となる漏えい率

(2) 臨界防止機能

①設計方針

乾式キャスクは、想定される最も厳しい状態を仮定しても中性子実効増倍率^{※8}が 0.95（解析上の不確定さを含む。）以下となる設計とする。

②設計方針の妥当性

乾式キャスク内には、中性子吸収材である、ほう素添加アルミニウム合金を配置したバスケットで格子構造とし、設計貯蔵期間（60 年）を通じて使用済燃料を所定の配置に維持できる設計としており、最も厳しい条件として、未照射燃料の冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が 0.95 を下回ることを確認している。

表 5 乾式キャスクの臨界解析評価結果

乾式キャスク型式	中性子 実効増倍率 [※]	基準値
1.2号炉ウラン燃料用	0.91	≤0.95
3号炉ウラン燃料用	0.92	

※：統計誤差(σ)の3倍(3σ)を加味した値である。

※8：単位時間当たりに消滅する中性子数に対して生成する中性子数の比を増倍率と呼び、漏れのある有限な体系において、漏れを考慮した時の増倍率を実効増倍率という。体系内の中性子の生成と消失の均衡が保たれている状態のとき、実効増倍率は1であり、未臨界のときは1未満である。

(3) 遮蔽機能

①設計方針

乾式キャスクは、一般公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により適切に遮蔽する設計とする。

②設計方針の妥当性

乾式キャスクは、本体及び蓋部にガンマ線遮蔽材として炭素鋼、中性子遮蔽材として水素を多く含むエポキシ系のレジンを用いることとしており、収納物（使用済燃料）に係る解析条件について乾式キャスクへの収納制限を鑑みて保守的に設定するとともに、設計貯蔵期間中（60 年）のレジンの質量減損を 2.5% 見込んで遮蔽解析評価を実施し、基準値を下回ることを確認している。

表 6 乾式キャスクの遮蔽解析評価結果

乾式キャスク型式	最大線量当量率		基準値
	表面		
<タイプ1> 1.2号炉ウラン燃料 (14×14型燃料)用	表面	1.57 m Sv/h	≤2 m Sv/h
	表面から 1m離れた位置	83.8 μ Sv/h	≤100 μ Sv/h
<タイプ2> 3号炉ウラン燃料 (17×17型燃料)用	表面	1.83 m Sv/h	≤2 m Sv/h
	表面から1m離れた位置	86.0 μ Sv/h	≤100 μ Sv/h

(4) 除熱機能

①設計方針

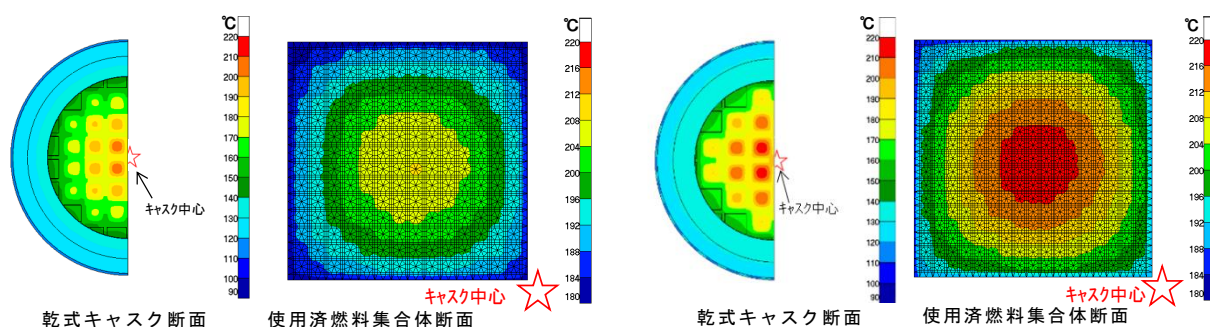
乾式キャスクは、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とする。

②設計方針の妥当性

乾式キャスクは、使用済燃料から発生する崩壊熱を熱伝導及びふく射により乾式キャスクの外表面に伝え、対流及びふく射により周囲の空気等に伝達して除熱するが、乾式キャスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低いレジンを用いるため、伝熱フィンを設置することにより必要な伝熱性能を確保することとしており、使用済燃料の収納制限を鑑みて解析条件を保守的に設定するとともに、乾式キャスク周囲の環境温度を 50℃に設定して乾式キャスク構成部材及び燃料集合体について除熱解析評価を実施し、基準値を下回ることを確認している。

評価部位		解析結果		基準値	基準値の考え方
		1, 2号炉 ウラン燃料用	3号炉 ウラン燃料用		
使用済燃料		約 210℃	約 220℃	≤275℃	燃料被覆管の長期健全性が維持される制限温度
乾式キャスク 構成部材※1	胴、外筒、一次蓋及び二次蓋	約 150℃※2	約 150℃※2	≤350℃	設計貯蔵期間中の構造強度が確保される制限温度
	中性子遮蔽材(レジン)	約140℃	約 140℃	≤149℃	エポキシ系レジンの使用可能温度
	金属ガスケット	約 110℃	約 110℃	≤130℃	金属ガスケットの長期健全性が維持される制限温度
	バスケット	約 190℃	約 200℃	≤250℃	設計貯蔵期間中の構造強度が確保される制限温度

※1: 主要な部材を材質毎に整理している。 ※2: 各評価部位の最高温度のうち最も高い温度を記載している。



【温度分布図】

図9 乾式キャスクの除熱解析評価結果

発熱量の大きい乾式キャスク（3号炉ウラン燃料用）を貯蔵した状態における乾式貯蔵建屋内の温度に関する評価結果は最高でも約 45℃であり、除熱機能評価の解析条件である環境温度 50℃（基準値）を下回ることから、乾式貯蔵建屋が乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを確認している。

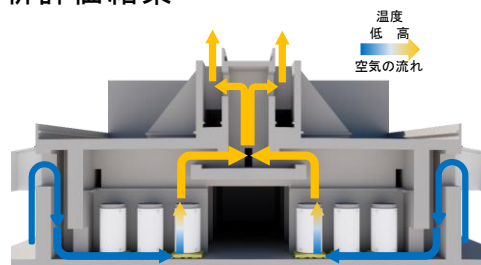


図10 乾式貯蔵建屋の除熱機能

表7 乾式貯蔵建屋における乾式キャスク除熱機能評価

	評価結果	基準値
乾式キャスクの周囲温度	約45℃	≤50℃

また、貯蔵建屋内温度が異常に上昇していないこと、乾式キャスク内の使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることを確認するため、建屋内温度が最も高くなる建屋排気口付近の温度及び乾式キャスクの表面温度を3か月に1回の頻度で監視することとしている。

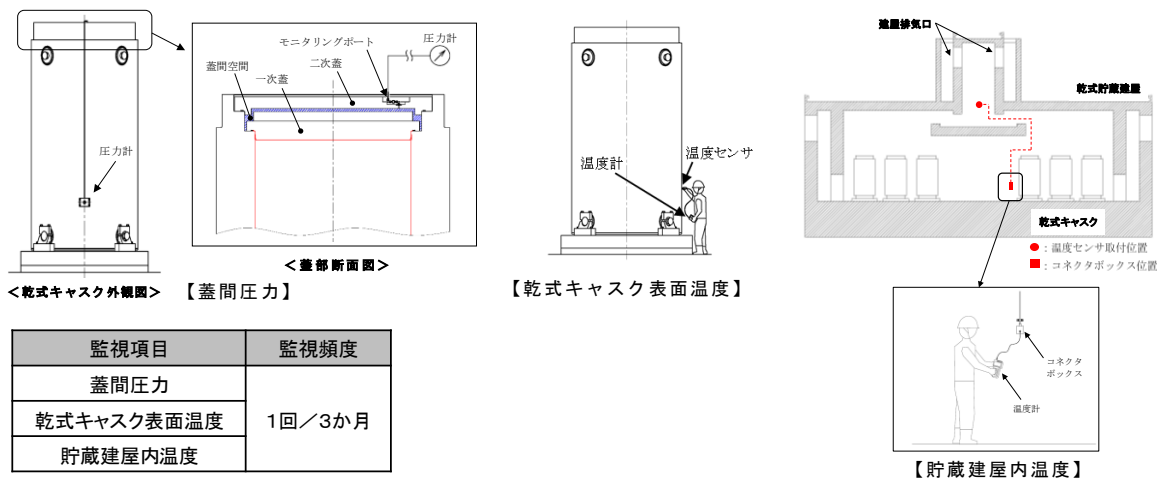


図 11 蓋間圧力等の監視頻方法及び頻度

(5) 乾式キャスクの各構成部材及び収納される使用済燃料の長期健全性

①設計方針

乾式キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮したうえで、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。

②設計方針の妥当性

設計貯蔵期間（60 年）における放射線、温度及びキャスク内部環境下における、乾式キャスク各部部材及び使用済燃料の健全性について平成 21 年総合資源エネルギー調査会等の報告書により確認している。

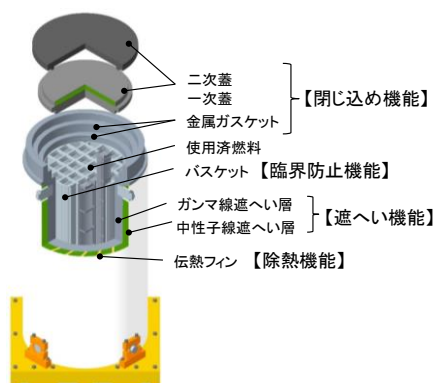


図 12 長期健全性評価結果

<照射影響>

設計貯蔵期間中の中性子照射量が文献等に示される機械的特性変化が見られない基準値を超えないことから、中性子照射による影響はない。

評価部位		解析結果 (n/cm ² ※)		基準値 (n/cm ²)
		<タイプ1> 1,2号炉燃料用	<タイプ2> 3号炉燃料用	
乾式キャスク 構成部材	使用済燃料	1.5 × 10 ¹⁵	1.5 × 10 ¹⁵	< 10 ^{21~22}
	胴、外筒、一次蓋及び二次蓋	4.8 × 10 ¹⁴	5.9 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁶
	中性子遮蔽材(レジン)	1.3 × 10 ¹⁴	1.6 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁵
	金属バスケット	1.8 × 10 ¹⁴	2.0 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁹
	バスケット	1.5 × 10 ¹⁵	1.5 × 10 ¹⁵	< 10 ¹⁶

※ 単位：単位面積あたりの中性子の個数

<熱的影響>

使用済燃料及び乾式キャスク構成部材温度が文献等に規定される基準値を超えないことから、熱による経年変化を考慮する必要はない。

評価部位		解析結果(°C)		基準値(°C)
		<タイプ1> 1,2号炉燃料用	<タイプ2> 3号炉燃料用	
乾式キャスク 構成部材	使用済燃料	約 210	約 220	≤ 275
	胴、外筒、一次蓋及び二次蓋	約 150	約 150	≤ 350
	中性子遮蔽材(レジン)※	約 140	約 140	≤ 149
	金属バスケット	約 110	約 110	≤ 130
	バスケット	約 190	約 200	≤ 250

※：設計貯蔵期間中の熱影響によりわずかに質量減損が発生するため、遮蔽解析において、中性子遮蔽材の質量減損を考慮（2.5%）した評価を実施している。

<化学的影響(腐食等)>

乾式キャスク内部及び一次蓋と二次蓋の間には不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としており、腐食の影響はない。また、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が継続的に供給されないため、腐食の影響はない。

(6) 設計上想定される衝撃力に対する設計

①設計方針

設計上想定される衝撃力に対して、乾式キャスクに内包する放射性物質の閉じ込めを乾式キャスクのみで担保する設計とする。

②設計方針の妥当性

使用済燃料乾式貯蔵施設で乾式キャスクを取扱う天井クレーン及び搬送台車については、クレーン構造規格等に基づき、一般産業施設や公衆施設と同等の安全性を有していることから、通常取扱時において想定すべき事象としては、作業員の誤操作が想定され、下図のとおり抽出した事象に対して、バスケットが塑性変形しないこと、密封境界部が概ね弾性範囲内にとどまること及び燃料の健全性が維持されることを確認している。

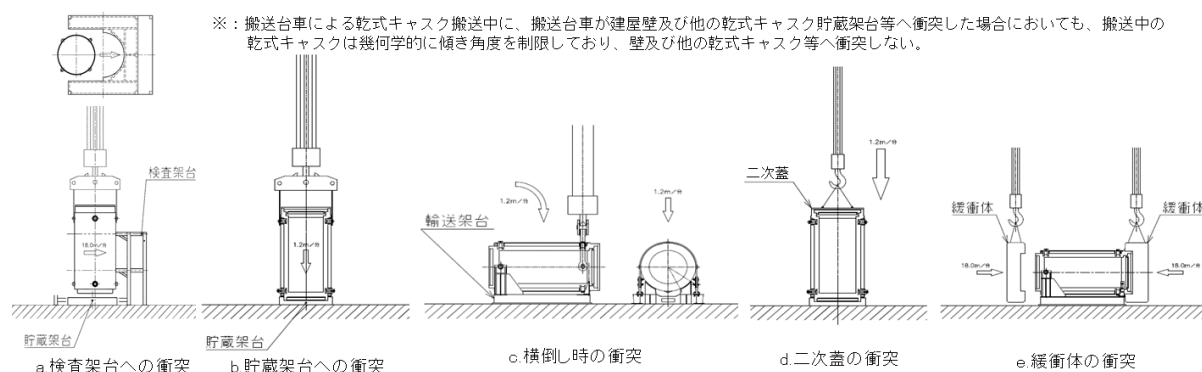


図 13 通常取扱時における想定事象

11. 工場等周辺における直接線等からの防護（第 29 条）

設置許可基準規則では、通常運転時において発電所原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分低減できることを求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

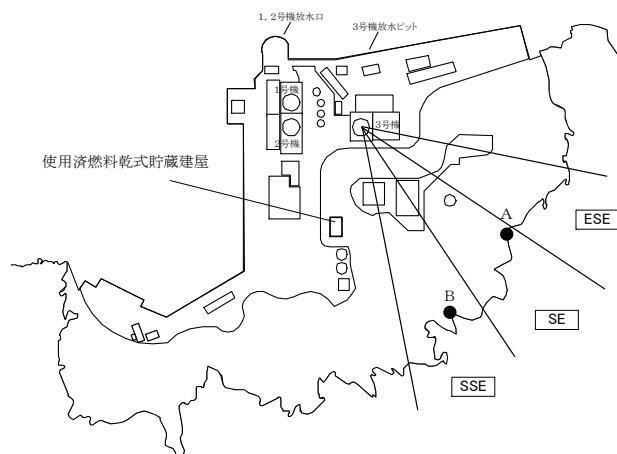
①設計方針

乾式貯蔵施設は、既設を含めた原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率を合理的に達成できる限り小さい値となるように設計するとし、具体的には、 $50 \mu\text{Sv/年}$ を超えない設計とする。

②設計方針の妥当性

実際の計画よりも厳しい条件で解析した結果、敷地境界外における年間線量は、既設建屋からの線量寄与を考慮しても、基準値 $50 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 以下を満たすとともに、安全協定に定める目標値 $7 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 以下を満たすことを確認している。

評価地点	年間線量(μSv)			基準値
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	既設建屋	合算	
A	0.16	5.1	5.2	≤ 50
B	0.27	3.9	4.2	



＜敷地境界外線量評価における線源条件＞

線源	基数	線源強度	スペクトル
乾式 キャスク	貯蔵エリア : 48基	容器表面1mの線 量率が $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ となるように 規格化	包絡 スペクトル

敷地境界外評価地点図

A: 伊方発電所敷地境界での最大評価地点
B: 伊方発電所敷地境界での評価地点のうち、
使用済燃料乾式貯蔵建屋からの最短地点

図 14 敷地境界外における年間線量解析結果

12. 放射線からの放射線業務従事者の防護（第 30 条）

設置許可基準規則では、放射線業務従事者が業務に従事する場所の放射線量を低減するとともに、放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設の設置及び放射線管理施設に必要な情報の表示を求めている。

四国電力は、本要求に対して、次のとおり設計する方針としている。

①設計方針

乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮蔽し、乾式キャスクの配置等放射線防護上の措置を講じた設計とする。

②設計方針の妥当性

乾式貯蔵施設の遮蔽設計は、関係各場所への立入頻度、滞在時間等を考慮して、図 12 のとおり管理区域を設定し、遮蔽壁等を考慮し放射線量の減衰評価を行うことで、遮蔽設計区分の妥当性を確認している。

なお、放射線業務従事者が立ち入る場所（管理区域）は、定期的及び必要の都度、サーベイメータによる外部放射線に係る線量当量率の測定を行うとともに、作業場所の入口付近等に線量当量率を表示する。

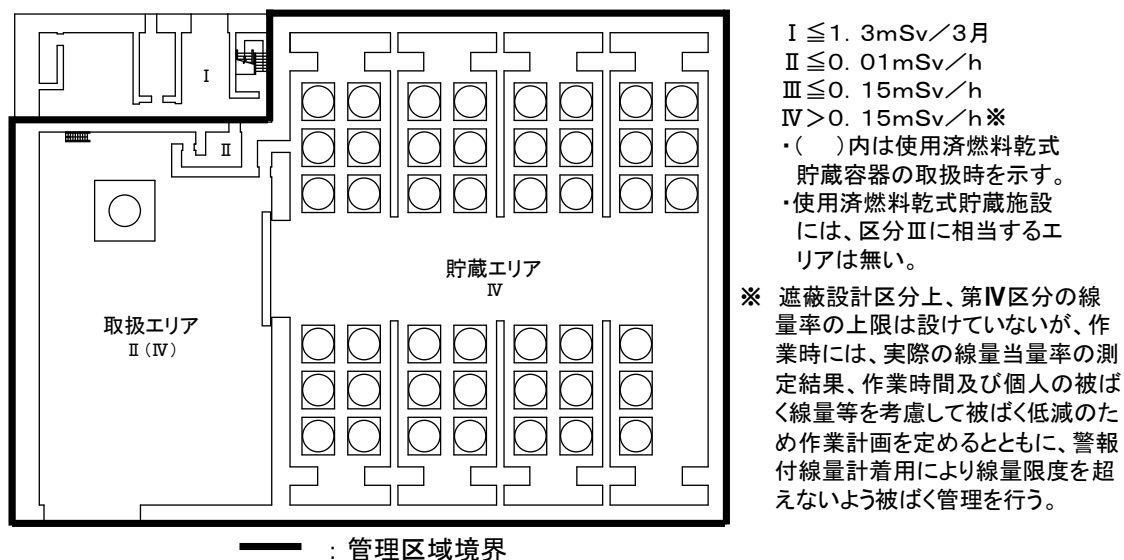


図 15 乾式貯蔵施設の管理区域

第4 原子力規制委員会の審査結果

令和2年11月13日、本議題における第6回目の原子力安全専門部会において、原子力規制委員会から、次のとおり審査結果の説明を受けた。

また、乾式キャスクによる貯蔵は、水や電気等の動力を必要としないため、同じ量の使用済燃料をサイト内に貯蔵する場合には、使用済燃料ピットでの貯蔵よりも安全性が高く、乾式キャスクによる貯蔵を推奨している旨、説明があった。

1 判断基準及び審査方針

原子力規制委員会は、伊方発電所に設置する乾式貯蔵施設について、原子力規制委員会規則や審査ガイド等に基づき審査した結果、設置許可基準規則の関連項目に適合するものであることを確認した。

2 審査項目

- ①地震による損傷の防止
- ②設計基準対象施設の地盤
- ③津波による損傷の防止
- ④外部からの衝撃による損傷の防止
- ⑤発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止
- ⑥火災による損傷の防止
- ⑦溢水による損傷の防止等
- ⑧安全避難通路等
- ⑨安全施設
- ⑩燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
- ⑪工場等周辺における直接線等からの防護
- ⑫放射線からの放射線業務従事者の防護

3 主な審査項目における確認結果

①地震による損傷の防止

乾式キャスク及びその周辺施設の耐震設計が、

- 乾式キャスクは、想定される荷重と基準地震動（650ガル）による地震力とを組み合わせた荷重条件に対して、安全機能が損なわれるおそれがない設計であること
 - 乾式貯蔵建屋は、乾式キャスクに波及的影響を与えないよう、基準地震動による地震力に対して損壊しない設計であること
- 等の方針であり、審査ガイド等に定める規定に適合していることを確認した。

④外部からの衝撃による損傷の防止

乾式貯蔵施設に対して想定される自然現象及び人為事象について、

- 想定される竜巻に対して、乾式キャスクの安全機能が損なわれない設計

であること

- 想定される火山事象が発生した場合においても、降下火砕物による腐食等の火山影響に対して、乾式キャスクの安全機能が損なわれない設計であること
 - 想定される外部火災が発生した場合においても、乾式貯蔵建屋が火災源から必要な離隔距離を確保し、建屋のコンクリート壁による防護等により、乾式キャスクの安全機能が損なわれない設計であること
- 等の方針であり、審査ガイド等に定める規定に適合していることを確認した。

⑩燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

「燃料体等の貯蔵容量」、「臨界防止」、「遮蔽能力」、「崩壊熱の除去」、「閉じ込め及び監視」及び「経年劣化を考慮した材料・構造健全性」の6項目のうち、

- 「閉じ込め及び監視」については、
 - 乾式キャスクの密封性能を考慮し、一次蓋と二次蓋との蓋間圧力をF Pガス等の放出に至る前に検知できる適切な頻度（3か月に1度）で監視すること
 - 閉じ込め機能の異常に対しては、乾式キャスクを使用済燃料ピットへ移送し、燃料の取出しや詰替えを行うことにより、修復性を有すること
- 「経年劣化を考慮した材料・構造健全性」については、

60年の設計貯蔵期間の温度や放射線等の環境及びその環境下で生じ得る経年劣化について、乾式キャスクの構成部材ごとに照射影響、熱的影響及び化学的影響に対して、十分な信頼性のある材料を選定し、乾式キャスクの安全機能を維持する設計であること

等の方針であり、審査ガイド等に定める規定に適合していることを確認した。

4 科学的・技術的意見の募集の主な結果

（意見）閉じ込め機能の異常時には、乾式キャスクを使用済燃料ピットへ移送し、燃料の取出しや詰替えを行うこととなっているため、使用済燃料ピットは必需施設であるが、供用中の3号機が廃炉になった場合、修復性が担保されないのではないか。

（考え方）仮に3号機が廃炉となった場合においても、その廃止措置計画認可申請において、廃止措置期間中に性能を維持すべき施設として、乾式キャスクによる貯蔵が維持される間は使用済燃料ピットを維持する等により、乾式キャスクの修復性が担保されることを確認する

第5 原子力安全専門部会の審議結果

原子力安全専門部会では、先行事例として、日本原子力発電株式会社の東海第二発電所及び東京電力ホールディングス株式会社の福島第一原子力発電所に設置されている乾式貯蔵施設の現地調査をした上で、原子力規制委員会の審査と並行して、四国電力から、計画している乾式貯蔵施設の安全性に係る評価結果等について説明を受けるとともに、原子炉設置変更許可がなされた後は、原子力規制委員会から審査結果の説明を受け、その内容を確認してきた。

本章では、事業計画、評価結果及び原子力規制委員会の審査結果等を確認し、審議した結果を取りまとめた。

また、原子力安全専門部会の審議過程における委員の意見や要望は、参考資料「伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 委員コメント一覧」に取りまとめている。

1 審議で確認した主な事項

①伊方発電所の総合的な安全対策について

乾式貯蔵施設は、伊方3号機の運転と伊方1号機の廃止措置作業が並行して実施される中で設置する計画であるが、伊方発電所全体としての安全確保に万全を期すため、どのような対策を講じるのか。

【四国電力回答】

乾式貯蔵施設の設置に当たっては、伊方3号機の運転に影響を与えない計画を策定するなど、伊方発電所で実施される作業間の調整を綿密に図りながら、安全最優先に工事を実施することとしている。

乾式貯蔵施設は、既設プラントから約200m離れた地点に、別建屋として独立して設置することから、構内アクセスルート、構外からの参集ルートも含めて、影響はないと考えているが、今後も様々な観点から十分配慮していく。

なお、乾式貯蔵施設竣工後の乾式キャスクの取扱作業に関しては、基本的に従来の使用済燃料の搬送作業と同様であるが、キャスク内の真空乾燥や貯蔵している間の監視設備の保守・作業員の被ばく管理など新たな作業も加わることから、事前にしっかりと手順を整備・徹底し、安全確保を最優先に取り組むこととしている。

②乾式貯蔵施設の安全性について

(1)周辺斜面の安定性について

乾式貯蔵施設の周辺斜面の安定性評価に係る物性値はどのように設定しているのか。

【四国電力回答】

ボーリング調査及び室内試験等を行い、伊方3号機に係る新規制基準適合性の確認において実施した調査結果と整合的であることを確認した上で、3号機で使用した物性値を使用して評価している。

評価に当たっては、乾式貯蔵施設への影響が考えられる斜面のうち、耐震評価上、安全性が最も厳しくなると考えられる斜面を代表斜面として選定し、基準地震動に対する地震応答解析を行い、すべり安全率が基準値1.2に対し、1.7と地盤安定性に問題ないことを確認している。

②乾式貯蔵施設の安全性について

(2)乾式貯蔵施設の耐震性について

乾式貯蔵建屋は耐震Cクラスに分類しているが、実質上は耐震Sクラスとして設計するとの理解で良いか。また、地震による影響については、乾式貯蔵建屋内に設置するクレーンの落下についても検討しているのか。

【四国電力回答】

乾式キャスク及び貯蔵架台は、耐震Sクラスに分類し、基準地震動(650ガル)による地震力に対して、安全機能を保持できるとともに、概ね1,000ガルの揺れに対する耐震性を確保することとしている。

一方、乾式貯蔵建屋については、その重要度から、耐震Cクラスに分類しているが、損壊等による乾式キャスクの安全機能への波及的影響を考慮し、基準地震動による地震力においても損壊しない設計とする。

また、乾式貯蔵建屋内に設置する天井走行形クレーンは、二重ワイヤフックによる乾式キャスク落下防止や浮き上がり防止機能によるクレーン自体の落下防止対策を講じるとともに、乾式キャスク貯蔵エリアにはクレーンを設置せず、貯蔵エリア内での乾式キャスクの移動はエアパレットを用いることとしている。

③乾式キャスクの安全機能について

(1)安全機能に関する解析条件及び解析結果の精度等について

乾式キャスクの安全機能（臨界防止、遮蔽、除熱）に関する解析条件と解析結果の精度・信頼性等を明らかにすること。

【四国電力回答】

安全機能に関する解析に当たっては、使用済燃料の収納制限を考慮した上で、各解析項目の評価結果が最も厳しくなる使用済燃料の濃縮度、燃焼度、収納配置等条件を選定しており、保守的な評価を行っている。

各解析には、検証された許認可実績のある解析コードを使用しており、解析結果の精度・信頼性に問題はない。

また、遮蔽解析及び除熱解析については、決定論的に一つの解が得られるため、統計誤差は存在しないが、臨界解析については、乱数を用いた統計処理を含むモンテカルロ法を使用しており、計算結果(実効増倍率)に統計誤差を有するため、平均値に統計誤差として 3σ を加味した値で評価し、基準値を満足することを確認している。

なお、臨界解析結果は、基準 0.95 以下に対し、統計誤差（ 3σ ）約 0.002 を加味して 0.92 である。

③乾式キャスクの安全機能について

(2)除熱解析の条件について

乾式キャスク表面での放熱は、ふく射による寄与は少なく、対流がメインと考えられるが、乾式貯蔵建屋内の温度解析に用いた条件を明確にすること。

【四国電力回答】

乾式キャスク外表面では、自然対流による熱伝達とふく射により除熱が行われており、その寄与は自然対流による熱伝達が支配的である。

このため、乾式貯蔵建屋内の温度解析に当たっては、乾式キャスクの外表面は自然対流による熱伝達及びふく射を考慮して評価しているが、乾式キャスクの発熱量は全て空気によって除熱されるとし、乾式貯蔵建屋のコンクリート等を通じて大気や地中に逃げる熱は考慮しない保守的な条件で建屋内温度を解析し、乾式キャスクの周囲温度が除熱評価で設定している温度（50℃以下）であるため、乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを確認している。

③乾式キャスクの安全機能について

(3) 除熱解析方法及び3次元の解析結果について

乾式キャスク構造部材温度の解析方法を明確にするとともに、3次元の解析結果を資料に追加すること。

【四国電力回答】

除熱解析は、使用済燃料の発熱量が構造部材による熱伝導及びヘリウムガスによる熱伝導により、乾式キャスク内部から一次蓋や金属ガasketに熱が伝達されるとして各部材の温度を計算している。なお、乾式キャスク内部の温度がより高くなるようヘリウムガスの対流は考慮していない。

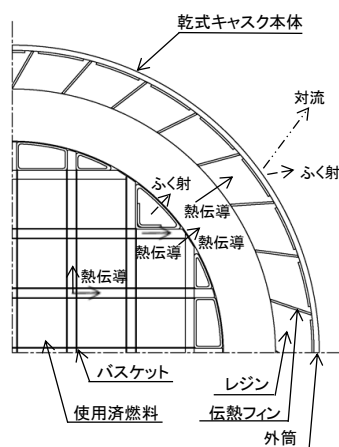


図16 乾式キャスクの除熱構造及び伝熱経路

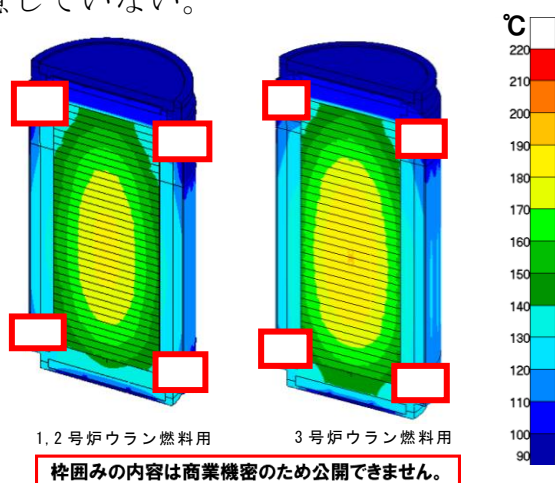


図17 除熱解析の3次元評価結果

枠囲みの内容は商業機密のため公開できません。

③乾式キャスクの安全機能について

(4) 除熱解析の妥当性について

燃料棒間の空間や燃料被覆管やペレット等部材の違いによる熱伝導度の違いも考慮した上で、基準値を満足すると評価しているのか。

【四国電力回答】

1、2号機燃料用キャスクと比べ発熱量の大きい3号機燃料用キャスクにおける使用済燃料の発熱量は約15.8kW（44GWd/t、15年冷却）であり、使用済燃料1体あたりの発熱量は約660W、燃料棒1本あたり約2.5W、燃料棒1mあたりではわずか0.7Wである。

この値は、定格出力で運転中の原子炉内の線出力（平均17.1kW/m）に対して約1/25000程度であるため、燃料棒内（燃料被覆管表面からペレット中心まで）の温度差は、定格出力運転中の原子炉内における燃料棒内の温度差約1400℃か

ら算出した結果、 0.06°C 程度と無視できる程度である。

これを踏まえて、除熱解析の燃料集合体モデルでは、燃料棒のモデルは径方向の要素分割は行わず、ペレット、ギャップ及び燃料被覆管の均質体（熱伝導率は体積平均値）としている。

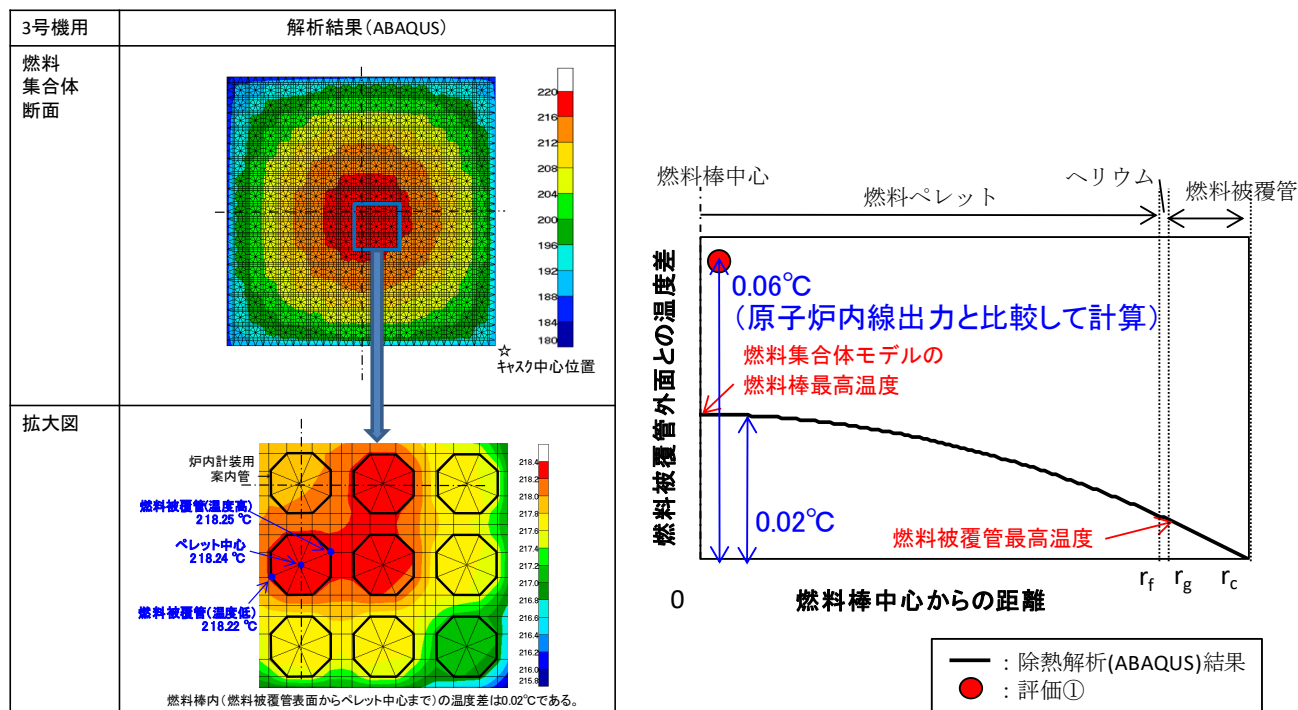


図 18 除熱解析における詳細結果

③乾式キャスクの安全機能について

(5) 乾式キャスク構成部材の温度及び線量当量率の経年変化について

使用済燃料収納時からの乾式キャスク構成部材の温度と線量当量率の経年変化を明確にすること。

【四国電力回答】

線量当量率及び温度（使用済燃料の崩壊熱量）は貯蔵開始時が最も高く、その後、時間の経過とともに低下していくことから、各解析は、最も厳しい貯蔵開始時の条件が設計貯蔵期間中継続すると仮定して保守的に評価している。

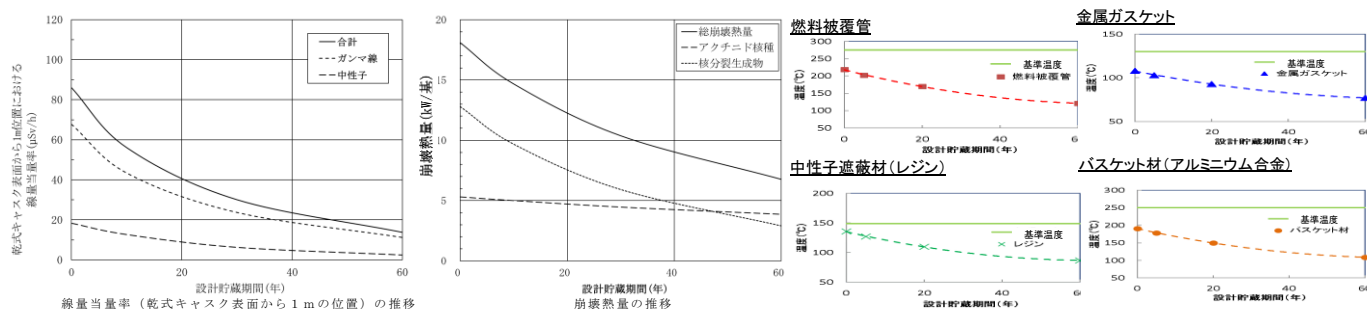


図 19 3号機ウラン燃料用乾式キャスクにおける線量当量率等の経年変化

③乾式キャスクの安全機能について

(6) 中性子遮蔽材（レジン）の劣化について

遮蔽に関する解析については、照射や熱の影響によるレジンの劣化についても考慮しているのか。また、レジンが分解した際に発生するガスの影響についてはどのように評価しているのか。

【四国電力回答】

レジンとは、中性子照射量 10^{15}n/cm^2 までは、顕著な質量減損は見られないことが確認されているが、乾式キャスクで使用するレジンの設計貯蔵期間中(60 年間)の中性子照射量については、最も中性子照射量が高くなる箇所において、貯蔵開始時から一定として評価しても、 $1.6 \times 10^{14}\text{n/cm}^2$ 程度であることから、中性子照射による有意な劣化はないものと考えられる。

レジンとは、保守的に貯蔵開始時を想定した除熱解析結果で算出した温度（約 140°C ）で、設計貯蔵期間である 60 年間保持した場合の熱影響により、質量が 2 % 程度減損すると評価されている。貯蔵期間の経過とともに温度は低下することとなるが、遮蔽解析に当たっては、2.5%の質量減損を考慮し、十分に保守的な評価をした上で、安全性を確認している。

また、乾式キャスク側部、蓋部、底部の部材については、中性子遮蔽材であるレジンを配置した領域に、レジンの熱分解で発生した水が水蒸気となり内圧が発生することとも考慮して健全性を評価し、十分な強度を有していることを確認している。

1,2号炉ウラン燃料(14×14型燃料)用 3号炉ウラン燃料(17×17型燃料)用

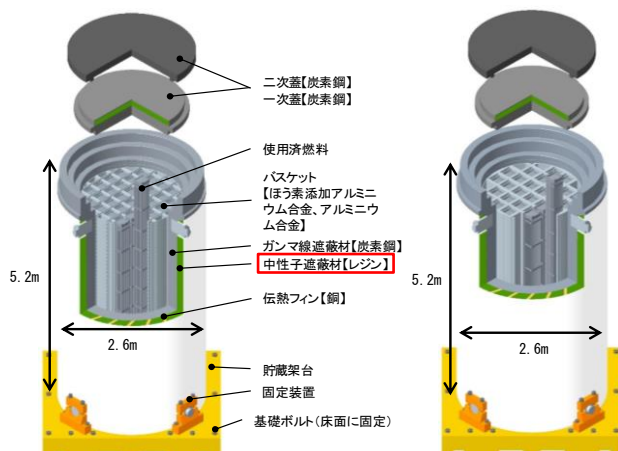


図 20 乾式キャスクの構造図

中性子遮蔽材(レジン)

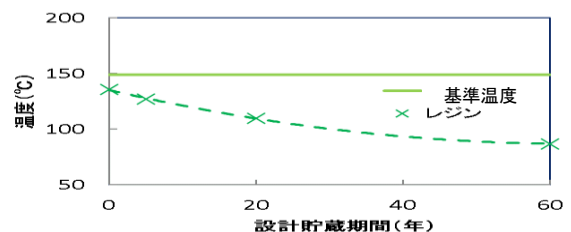


図 21 3号機ウラン燃料用乾式キャスクにおける温度推移【再掲】

③乾式キャスクの安全機能について

(7) 衝撃に対する健全性等について

乾式キャスクへの衝撃により、使用済燃料が破損することはないのか。破損が疑われる場合はどのように対応するのか。

【四国電力回答】

乾式貯蔵施設では、地震により乾式貯蔵建屋は損壊せず、乾式キャスクを床に固定して設置することに加え、乾式キャスクを取り扱うクレーンや搬送台車についてはクレーン構造規格等に基づき一般産業施設や公衆施設と同等の安全性を有するよう設計することから、貯蔵時の取り扱いに際して乾式キャスクに衝撃が加わる設計上想定される事象としては、作業員の誤操作による天井クレーンの走行速度 18.0m/分又は天井クレーン巻上・巻下速度 1.2m/分での検査架台や貯蔵架台等への衝突が想定される。

これらの衝突で生じる加速度は1～3 G程度であり、燃料被覆管に発生する応力は弾性範囲内であるため、使用済燃料に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料の健全性や再取出性に問題がないことを確認している。

乾式キャスクの閉じ込め機能に異常が確認された場合や乾式キャスクの落下等により内封している使用済燃料の破損等が想定される場合は、必要に応じて伊方発電所3号機使用済燃料ピットに移送し、使用済燃料の詰替えや点検等を実施することとする。

また、これら衝撃で燃料被覆管の周方向への応力は増加しない※¹ことから、貯蔵時と同じく、1, 2号機燃料約95MPa、3号機燃料約86MPaであり、100MPa※²を下回ることを確認している。

なお、輸送に係る審査では、輸送中の事故を想定した安全性を確認するよう求められており、輸送時に乾式キャスクが0.3m落下した場合、20～30 Gの加速度が発生するが、燃料被覆管は弾性範囲内であることを確認している。

※1 クレーン走行時 : 横方向への衝突であり、燃料棒の曲げ方向に応力が作用するのみで、周方向応力は増加しない。

クレーン巻上・巻下時 : 軸方向への衝突であり、燃料棒の軸方向に圧縮応力が作用するのみで、周方向応力は増加しない。

※2 燃料被覆管の温度を275℃以下、周方向応力を100MPa以下とすることにより、熱による経年変化を防ぐことができるとしている。なお、温度については最高でも220℃程度であることを、解析において評価している。

④使用済燃料の長期健全性について

(1)使用済燃料の長期健全性の確認について

国内でPWR燃料を乾式貯蔵した実績はないが、使用済燃料自体の長期健全性を明確にすること。

【四国電力回答】

使用済燃料の長期健全性については、PWR用燃料に関する試験等から得られた知見を踏まえ、「照射影響」、「熱的影響」及び「化学的影響」の観点から次のとおり問題ないことを確認している。

項 目	確 認 内 容
照射影響	設計貯蔵期間中の中性子照射量が機械的特性に変化が見られない照射量 ($10^{21} \sim 10^{22} \text{n/cm}^2$) に対し、設計貯蔵期間中の中性子照射量 ($1.5 \times 10^{15} \text{n/cm}^2$) は十分低い。
熱的影響	乾式貯蔵施設での貯蔵は、設計貯蔵期間を通じた、使用済燃料被覆管の熱の経年変化に対して「クリープひずみ」、「照射硬化の回復」、「水素化物再配向」及び「応力腐食割れ」を防ぐ条件である「275℃以下、周方向応力 100MPa 以下」を満足する。
化学的影響	貯蔵中の乾式キャスク内は、燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量が無視し得るほど小さいとされる「残留水分 10wt%以下の不活性雰囲気（ヘリウムガス）」の環境である。

④使用済燃料の長期健全性について

(2)中性子照射脆化に係る温度影響について

同じ中性子量であれば、温度が低い方が脆化し易いとの知見もあるが、設計貯蔵期間中の温度低下による影響も考慮しているのか。

【四国電力回答】

中性子量は時間の経過とともに低下していくが、照射脆化については、貯蔵初期の照射量が低下することなく一定で持続するとして評価している。このような保守的な解析条件においても、燃料被覆管等の照射試験結果で照射脆化に影響のあることが確認されている中性子量と比べると、乾式キャスクにおける照射量は十分に小さいことから、貯蔵期間中の温度低下を考慮しても照射脆化への影響は無視できる程度である。

④使用済燃料の長期健全性について

(3)貯蔵期間中における使用済燃料の健全性確認について

使用済燃料の貯蔵中に燃料被覆管が破損等することも考えられるが、燃料被覆管の健全性等はどのように確認するのか。

また、国において、乾式キャスクに収納した使用済燃料の貯蔵期間中の健全性について、審査で重視した点はなにか。

【四国電力回答】

乾式キャスクの構造上、貯蔵しながら燃料被覆管の状態を直接確認することはできないが、次のとおり設計・運用することにより、燃料被覆管の健全性は維持でき、異常に対しても適切に対応できるものと考えている。

- ・ 乾式キャスクには、健全燃料を収納する。
- ・ 燃料被覆管の長期健全性は文献等をもとに確認している。
- ・ 乾式キャスク内部はヘリウムガスの充填により、不活性雰囲気としており、燃料被覆管への化学的影響を極力低減している。
- ・ 貯蔵開始後は乾式キャスク表面温度や建屋内温度、一次蓋と二次蓋の蓋間圧力を3ヶ月に1回の頻度で測定し、貯蔵状態を確認する。
- ・ 万が一、貯蔵時における乾式キャスクの取扱いにおいて設計上想定される事象※が発生した場合でも、使用済燃料に発生する応力は弾性範囲内であることを確認している。

※ 検査架台への衝突、貯蔵架台への衝突、横倒し時の衝突
二次蓋の衝突、緩衝体の衝突

【原子力規制庁回答】

乾式キャスクには、健全な使用済燃料しか収納しないことを確認した上で、使用済燃料と設計貯蔵期間貯蔵した場合においても、燃料被覆管が破損する温度等には到達しないことを確認しており、詳細については、工事計画認可申請の中で確認していくこととしている。

なお、施設全体の安全性という観点では、乾式キャスクの蓋の閉じ込め機能が重要であり、審査においては、乾式キャスク内部は負圧になっており、蓋間圧力の監視によって核分裂生成ガスが放出する前に異常を検知できる構造となっていること、また、仮に異常があった場合には、使用済燃料プールに移送して、きちんと修復する方針となっていることを確認しており、乾式キャスク内部からの核分裂生成ガスの放出は防止できると判断している。

④使用済燃料の長期健全性について

(4) 長期健全性を維持するための基準値の設定経緯について

使用済燃料の健全性を維持するために設定している燃料被覆管温度の基準値について、決定に至った試験や検討結果などの経緯を示すこと。

【四国電力回答】

米国アイダホ国立研究所では、1985 年から燃焼度約 36GWd/t の PWR 燃料を収納した乾式キャスクによる実機検証試験を実施し、

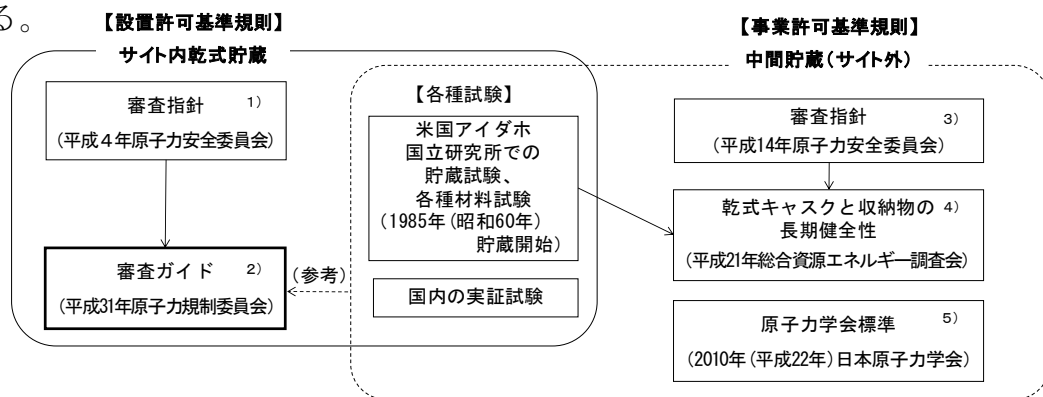
- ・燃料被覆管の破損は発生していないこと
- ・抜き取った燃料 1 体について、クリープ試験、水素化物再配向確認、硬さ測定等の詳細調査を行った結果、燃料被覆管の破損につながるような経年変化はないこと

を確認している。

総合資源エネルギー調査会は、米国アイダホ国立研究所で実施された PWR 燃料を用いた試験結果等、これまで蓄積された乾式キャスクや収納物の健全性に関する知見を評価し、平成 21 年、貯蔵期間中の使用済燃料の健全性が維持される燃料被覆管の温度や周方向応力の制限値などを取りまとめた報告書を発表している。当該報告書の中で、今回、乾式キャスクに収納する設計としている燃焼度 48GWd/t までの使用済燃料の健全性が維持されることを確認している。

- ・水素化物再配向に対する制限：燃料被覆管の温度 275℃以下で周方向応力 100MPa 以下
- ・照射硬化の回復現象に対する制限：300℃以下
- ・クリープ歪みに対する制限：320℃以下 等

使用済燃料の健全性評価においては、総合資源エネルギー調査会等が示した制限値を基準値として設定し、使用済燃料の長期健全性に問題がないことを確認している。



1) 原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について、原子力安全委員会了承、平成4年8月27日

2) 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の制定について、原子力規制委員会、平成31年3月13日

3) 「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」及び「使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」について、原子力安全委員会決定、平成14年10月3日

4) 金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について、総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ、平成21年6月25日

5) 使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準、日本原子力学会、2010年7月

図 22 乾式キャスクに係る規制要求および各種試験の関係性

⑤発電所周辺の空間線量率について

発電所敷地境界における空間線量率については、スカイシャイン線と直接線の寄与割合はどの程度なのか。

【四国電力回答】

5.2 μ Sv/年の内、乾式貯蔵施設からの寄与は、直接ガンマ線とスカイシャインガンマ線の合計 0.16 μ Sv/年であり、直接ガンマ線とスカイシャインガンマ線の比は、約 97 対 3 となっている。

なお、乾式貯蔵建屋を設置しない場合、敷地境界における伊方 3 号機等既設建屋の影響も含めた空間線量率は約 200 μ Sv/年となり、敷地境界線量の目標値である 50 μ Sv/年を超過することから、乾式貯蔵建屋を設置する計画としており、建屋の遮蔽効果を見込んだ敷地境界の空間線量率は、最大で 5.2 μ Sv/年と基準を満足することを確認している。

⑥乾式キャスクへの新知見の確認・反映について

国内外での実使用条件に近い条件での総合的な実証試験や同様な設計の先行プラントでの使用経験の調査を確認・反映していくことは意義がある。今後も継続的に知見等の収集に取り組んでほしい。

【四国電力回答】

乾式キャスクの設計にあたっては、PWR 燃料を対象とした国内外の乾式キャスク先行貯蔵試験等に関する知見や情報を収集したうえで、適切に設計に反映している。

今後も引き続き継続的に知見や情報を幅広く収集するとともに、必要に応じて乾式キャスクの運用管理に反映していく。

⑦使用済燃料の計画的な搬出について

原子力政策における乾式貯蔵施設の位置付け、また、伊方発電所に設置する乾式貯蔵施設における使用済燃料の保管見込み等について説明すること。また、搬出先である再処理工場の状況について説明すること。

【資源エネルギー庁回答】

エネルギー基本計画においては、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルを基本方針とするなか、使用済燃料の貯蔵能力の拡大を進めており、その一環として、乾式貯蔵施設等の建設・活用を促進するとしている。

使用済燃料の搬出先である六ヶ所再処理工場について、事業者の日本原燃株式会社は、本年7月に原子力規制委員会の事業変更許可を取得しており、安全確保を大前提として、2022年度上期を竣工目標として取り組みがなされているほか、MOX燃料加工工場についても本年10月に審査書案が了承されたところであり、今後とも核燃料サイクルの推進にしっかり取り組んでいく。

【四国電力回答】

乾式貯蔵施設は、使用済燃料を再処理工場に搬出するまでの間、「一時的」に貯蔵する施設として設置するものである。

使用済燃料ピットにおける使用済燃料の体数の推移については、今後の運転状況や六ヶ所再処理工場の稼働状況によって変動するため、一概には言えないが、3号機が13か月運転を続けていくとすると、年間の使用済燃料の発生体数は35体から40体である。安全協定に定めたとおり、使用済燃料は再処理工場へ搬出することとしており、再処理工場の稼働状況等を踏まえ、計画的な搬出に努めていく。

⑧安全性向上を支える合理的な原子力政策の運営について

国が主体となって、さまざまな施設の総合的なリスク評価を行い、原子力施設における合理的な設計や規制のルール作りを行うなど、原子力業界全体として安全性を含めた合理的な政策運営に活用する取組みも必要だと思うがどうか。

【資源エネルギー庁回答】

規制の中身について申し上げる立場にないという前提だが、規制を超えて更に安全性を高めていくことが重要と考えている。

また、国が働きかけを行い、原子力産業界で原子力の更なる安全性確保を目指す組織として、A T E N A（原子力エネルギー協議会）を設立し、業界大で取組を進めているところであり、国としてもサポートしている。引き続き原子力業界を取り巻く課題に総合的に対処できるように取り組んでいく。

2 審議結果

・原子力安全専門部会としての全体的な判断

原子力安全専門部会においては、平成30年6月に第1回目を開催して以降、先行事例の現地調査を行い、また、これまで7回の会合を行い、四国電力からの申請内容の説明、原子力規制委員会からの審査結果の説明及び資源エネルギー庁からの核燃料サイクル政策に関する説明を受け、主として、次の論点について確認を行ってきた。

- ・伊方発電所の総合的な安全対策
- ・乾式貯蔵施設の耐震性及び周辺斜面の安定性
- ・乾式キャスクの安全機能に関する解析結果の精度等
- ・乾式キャスクの除熱機能
- ・中性子遮蔽材（レジン）等の乾式キャスク構成部材の劣化
- ・乾式キャスクへの衝撃に対する健全性等
- ・貯蔵期間中の使用済燃料の長期健全性及び基準値の設定経緯
- ・発電所周辺の空間線量率
- ・乾式キャスクへの新知見の確認・反映
- ・使用済燃料の計画的な搬出
- ・安全性向上を支える合理的な原子力政策の運営

これら論点等について審議した結果、四国電力が平成30年5月25日に原子力規制委員会に提出した使用済燃料乾式貯蔵施設設置に係る「伊方発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書」及び同日、安全協定に基づき愛媛県に申し入れを行った「使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に関する事前協議」については、設計貯蔵期間（60年間）における乾式キャスク及び使用済燃料乾式貯蔵建屋による使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性について、設置許可基準規則に適合するとした原子力規制委員会の審査結果は妥当なものと判断する。

・付言、要望事項

「1 審議で確認した主な事項」を踏まえ、原子力安全専門部会としての付言、要望事項を次のとおり取りまとめた。

については、愛媛県から、四国電力及び国に対して要請するとともに、四国電力においては、年1回を目途として取組状況等に応じ、適宜、報告することを求めるものである。

1. 設置工事などにおける安全確保への取組みについて

狭隘な伊方発電所において、3号機の運転と1、2号機の廃止措置、乾式貯蔵施設設置工事などの様々な作業を並行して実施することとなるため、作業実施に当たっては、事前に、あらゆる視点から安全性を確認し、安全確保を最優先に取り組むこと

2. 貯蔵期間中における安全性向上に向けた新知見の反映等について

乾式貯蔵施設の運用開始後は、乾式キャスクの定期的な監視等を行うことにより、安全性の確認を継続して実施すること

また、国内外における乾式キャスクに関する実証試験や保管実績等の知見を継続的に収集するとともに、伊方発電所敷地内での保管状況等を積極的に調査・研究し、安全性向上に資する対策を適時・適切に講じること

国は、原子力規制検査などを通じて、事業者の保安活動への取組みをしっかりと監視・監督すると共に、国内外の最新の知見を絶えず収集し、使用済燃料乾式貯蔵施設を含め原子力安全対策の不断の向上に取り組むこと

3. 使用済燃料の計画的な搬出に向けた取組みについて

再処理工場の稼働状況等を踏まえ、使用済燃料を計画的に搬出するとともに、使用済燃料の保管状況や搬出計画等について、原子力安全専門部会に報告すること

国においては、伊方発電所の使用済燃料が確実に搬出されるよう、核燃料サイクルの推進にしっかり取り組むこと

4. 原子力政策の理解促進について

国は、核燃料サイクルや使用済燃料対策などの原子力政策について、現状のみならず、長期的な視点に立った丁寧な説明を継続的に実施すること

また、説明に当たっては、安全上の優位性から乾式貯蔵施設による使用済燃料の貯蔵を促進しているなど政策決定の科学的根拠も含めて説明すること

発電所敷地内での乾式貯蔵施設敷地設置に係る関係法令等

1. 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 年法律第 166 号）

（許可の基準）

第四十三条の三の六 原子力規制委員会は、前条第一項の許可の申請があつた場合においては、その申請が次の各号のいずれにも適合していると認めるときでなければ、同項の許可をしてはならない。

四 発電用原子炉施設の位置、構造及び設備が核燃料物質若しくは核燃料物質によつて汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合するものであること。

2. 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

（平成 25 年 6 月 28 日号外原子力規制委員会規則第 5 号）

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和三十二年法律第百六十六号）第四十三条の三の六第一項第四号の規定に基づき、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を次のように定める。

（設計基準対象施設の地盤）

第三条 設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力（設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの（以下「耐震重要施設」という。）及び兼用キャスクにあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。）が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。ただし、兼用キャスクにあっては、地盤により十分に支持されなくてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。

2 耐震重要施設及び兼用キャスクは、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けなければならない。

3 耐震重要施設及び兼用キャスクは、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。ただし、兼用キャスクにあっては、地盤に変位が生じててもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。

（地震による損傷の防止）

第四条 設計基準対象施設は、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。

2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。

3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」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。

- 4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊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。
- 5 炉心内の燃料被覆材は、基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの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。
- 6 兼用キャスクは、次のいずれかの地震力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。
 - 一 兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定めるもの
 - 二 基準地震動による地震力
- 7 兼用キャスクは、地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊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。

(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「基準津波」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。
- 2 兼用キャスク及びその周辺施設は、次のいずれかの津波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。
 - 一 兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定めるもの
 - 二 基準津波

(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、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。）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。
- 2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。
 - 3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。
 - 4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象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。
 - 一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの
 - 二 想定される森林火災

- 5 前項の規定は、兼用キャスクについて第一項の規定の例によることを妨げない。
- 6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。
 - 一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発
 - 二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災
- 7 前項の規定は、兼用キャスクについて第三項の規定の例によることを妨げない。

(発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止)

第七条 工場等には、発電用原子炉施設への人の不法な侵入、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為(不正アクセス行為の禁止等に関する法律(平成十一年法律第百二十八号)第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。第二十四条第六号において同じ。)を防止するための設備を設けなければならない。

(火災による損傷の防止)

第八条 設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、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(以下「火災感知設備」という。)及び消火を行う設備(以下「消火設備」といい、安全施設に属するものに限る。)並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。

2 消火設備(安全施設に属するものに限る。)は、破損、誤作動又は誤操作が起きた場合においても発電用原子炉を安全に停止させるための機能を損なわないものでなければならない。

(溢水による損傷の防止等)

第九条 安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水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。

2 設計基準対象施設は、発電用原子炉施設内の放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備から放射性物質を含む液体があふれ出た場合において、当該液体が管理区域外へ漏えいしないものでなければならない。

(安全避難通路等)

第十一条 発電用原子炉施設には、次に掲げる設備を設けなければならない。

- 一 その位置を明確かつ恒久的に表示することにより容易に識別できる安全避難通路
- 二 照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない避難用の照明
- 三 設計基準事故が発生した場合に用いる照明(前号の避難用の照明を除く。)及びその専用の電源

(安全施設)

第十二条 安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。

- 2 安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものは、当該系統を構成する機械又は器具の単一故障(単一の原因によって一つの機械又は器具が所定の安全機能を失うこと(従属要因による多重故障を含む。))をいう。以下同じ。)が発生した場合であつて、外部電源が利用できない場合においても機能できるよう、当該系統を構成する機械又は器具の機能、構造及び動作原理を考慮して、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保するものでなければならない。
- 3 安全施設は、設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるものでなければならない。
- 4 安全施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものでなければならない。
- 5 安全施設は、蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわないものでなければならない。
- 6 重要安全施設は、二以上の発電用原子炉施設において共用し、又は相互に接続するものであつてはならない。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合は、この限りでない。
- 7 安全施設(重要安全施設を除く。)は、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続する場合には、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならない。

(燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設)

第十六条 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料(以下この条において「燃料体等」という。)の取扱施設(安全施設に係るものに限る。)を設けなければならない。

- 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする。
 - 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
 - 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする。
 - 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする。
- 2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設(安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。)を設けなければならない。
- 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。
 - イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする。
 - ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。
 - ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
 - 二 使用済燃料の貯蔵施設(キャスクを除く。)にあつては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。

- イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであって、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとする。
 - ハ 使用済燃料貯蔵槽（安全施設に属するものに限る。以下この項及び次項において同じ。）から放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであって、使用済燃料貯蔵槽から水が漏れ出した場合において水の漏れを検知することができるものとする。
 - ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれないものとする。
- 3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。
- 一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。
 - 二 外部電源が利用できない場合においても温度、水位その他の発電用原子炉施設の状態を示す事項（以下「パラメータ」という。）を監視することができるものとする。
- 4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。
- 一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。
 - 三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

（工場等周辺における直接線等からの防護）

第二十九条 設計基準対象施設は、通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。

（放射線からの放射線業務従事者の防護）

第三十条 設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、次に掲げるものでなければならない。

- 一 放射線業務従事者（実用炉規則第二条第二項第七号に規定する放射線業務従事者をいう。以下同じ。）が業務に従事する場所における放射線量を低減できるものとする。
- 二 放射線業務従事者が運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、迅速な対応をするために必要な操作ができるものとする。

2 工場等には、放射線から放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設を設けなければならない。

3 放射線管理施設には、放射線管理に必要な情報を原子炉制御室その他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備（安全施設に属するものに限る。）を設けなければならない。

3. 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 日原子力規制委員会決定)

2. 安全機能の確保

設置（変更）許可に係る審査においては、兼用キャスクの有する 4 つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）に係る設計の基本方針の妥当性を確認する。また、工事計画認可に係る審査においては、その詳細の妥当性を確認する。

2.1 臨界防止機能

- (1) 設計上想定される状態において、使用済燃料が臨界に達するおそれがないこと。
- (2) 兼用キャスクの臨界防止機能をバスケットで担保している場合は、設計上想定される状態において、バスケットが臨界防止上有意な変形を起こさないこと。

2.2 遮蔽機能

- (1) 設計上想定される状態において、使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽機能を有すること。
- (2) 通常貯蔵時の兼用キャスク表面の線量当量率を 2mSv/h 以下とし、かつ、兼用キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率を $100\mu\text{Sv/h}$ 以下とすること。
- (3) 通常貯蔵時の直接線及びスカイシャイン線について、原子力発電所敷地内の他の施設からのガンマ線と兼用キャスクからの中性子及びガンマ線とを合算し、ALARA の考え方の下、敷地境界において実効線量で $50\mu\text{Sv/y}$ 以下となることを目標に、線量限度 (1mSv/y) を十分下回る水準とすること。
- (4) 貯蔵建屋等の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量が線量限度 (1mSv/y) を超えないこと。

2.3 除熱機能

- (1) 設計上想定される状態において、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができること。

2.4 閉じ込め機能

- (1) 設計上想定される状態において、兼用キャスクが内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができること。
- (2) 密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、おおむね弾性範囲内にとどまること。
- (3) 閉じ込め機能の異常に対して、その修復性が考慮されていること。

3. 自然現象等に対する兼用キャスク貯蔵施設の設計の基本方針

- (1) 兼用キャスクの安全機能の喪失及びそれに続く公衆への放射線による影響を防止する観点から、原則として、兼用キャスクは第 6 項地震力^{*}に対して安全機能を維持する必要がある施設として区分され、周辺施設は一般産業施設や公衆施設と同等の安全性が要求される施設として区分されていること。

※ 設置許可基準規則第 4 条第 6 項に規定する地震力をいう。以下同じ。

- (2) 兼用キャスク及び周辺施設は、兼用キャスクの安全機能を維持するためにこれらが担保すべき機能に応じた設計が行われていること。

4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計

設置（変更）許可に係る審査においては、兼用キャスクの「4.2 考慮する自然現象等の設定方針」に示す自然現象等に対する設計の基本方針の妥当性を確認する。また、工事計画認可に係る審査においては、その詳細の妥当性を確認する。

4.1 設計方針

兼用キャスクは、「4.2 考慮する自然現象等の設定方針」に示す自然現象等に対して、「4.3 考慮する自然現象等に対する設計方針」に示す方針により安全機能を維持していること。

4.2 考慮する自然現象等の設定方針

考慮する自然現象等について、以下のとおり定めていることを確認する。

4.2.1 地震

第6項地震力を適用していること。

4.2.2 津波

設置許可基準規則第5条第2項に規定する津波による作用力を適用していること。

4.2.3 竜巻

設置許可基準規則第6条第4項に規定する竜巻による作用力を適用していること。

4.2.4 その他の外部事象

設置許可基準規則第6条第4項及び第6項に規定する外部事象を適用していること。

4.3 考慮する自然現象等に対する設計方針

4.3.1 地震に対する設計方針

4.3.1.1 基本方針

- (1) 兼用キャスクは、「4.2.1 地震」に示す第6項地震力に対して安全機能が維持されること。
- (2) 輸送荷姿により設置する場合は第6項地震力によって安全機能が損なわれるおそれがないこととし、輸送荷姿以外の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は第6項地震力による兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能が損なわれるおそれがないこととする。

4.3.1.2 荷重及び荷重の組合せ

兼用キャスクに作用する地震力と地震力以外の荷重を適切に組み合わせていること。

4.3.1.3 許容限界

兼用キャスクの設置方法に応じて、安全上適切と認められる規格等に基づき許容限界を設定していること。

4.3.1.4 静的解析及び地震応答解析

- (1) 第6項地震力による兼用キャスクの安全機能の評価に際しては、兼用キャスクの設置方法に応じて、静的解析又は地震応答解析を行っていること。
- (2) 兼用キャスクの静的解析及び地震応答解析においては、設置方法及び適用する地震力の種類に応じて、適切な解析モデル及び解析手法を設定していること。
- (3) 地震応答解析を行う場合は、兼用キャスクの地震応答解析モデルへの入力地震動は兼用キャスクの設置位置の地震応答に基づき算定していること。

4.3.1.5 耐震性評価

- (1) 第6項地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果得られる応力等が「4.3.1.3 許容限界」で設定する許容限界を超えていないこと。
- (2) 密封境界部以外の部位は、(1)の荷重により塑性ひずみが生ずる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に対して十分な余裕を有すること。

4.3.2 津波に対する設計方針

4.3.2.1 基本方針

兼用キャスクは、「4.2.2 津波」に示す津波による作用力に対して安全機能が維持されること。

4.3.2.2 設計・評価の方針

兼用キャスクに対する津波の影響については、兼用キャスクの設置方法に応じて適切な評価を実施し、津波による作用力に対して兼用キャスクの安全機能が維持される設計であること。

4.3.3 竜巻に対する設計方針

兼用キャスクは、「4.2.3 竜巻」に示す竜巻による作用力に対して安全機能が維持されること。

4.3.4 その他の外部事象に対する設計方針

兼用キャスクは、「4.2.4 その他の外部事象」に示す森林火災、爆発及び人為による火災に対して安全機能が維持されること。

4.4 監視機能

蓋間圧力及び兼用キャスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。

4.5 材料・構造健全性

設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での兼用キャスクの経年変化に対して十分な信頼性を有する材料及び構造であること。また、貯蔵建屋を設置しない場合は、雨水等により兼用キャスクの安全機能が喪失しないよう対策が講じられていること。輸送荷姿等の緩衝体を装着した状態で貯蔵を行う場合は、緩衝体の経年変化についても考慮していること。

4.6 設計貯蔵期間

設計貯蔵期間は、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

5. 周辺施設の評価

5.1 周辺施設の位置付け及び評価の基本方針

兼用キャスクはそれ自体で安全機能を維持することを基本とすることから、周辺施設は一般産業施設や公衆施設と同等の安全性が要求される施設とすること。

5.2 地震の影響評価

5.2.1 機器・配管系

- (1) 機器・配管系は、一般産業施設や公衆施設と同等の静的地震力に対して、必要な機能が維持されること。
- (2) 機器・配管系に作用する地震力と地震力以外の荷重を適切に組み合わせていること。
- (3) 機器・配管系の耐震設計において、安全上適切と認められる規格等に基づき許容限界を設定していること。
- (4) 機器・配管系の静的解析において、設置方法に応じて適切な解析モデル及び解析手法を用いていること。
- (5) 機器・配管系の耐震性評価については、地震層せん断力係数に基づく水平震度から求めた静的地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果得られる応力等が上記(3)に示す許容限界を超えていないこと。

5.2.2 貯蔵建屋等

貯蔵建屋等を設置する場合は、貯蔵建屋等は、一般産業施設や公衆施設と同等の耐震性を有すること。

5.2.3 基礎

基礎は、一般産業施設や公衆施設と同等の耐震性を有すること。

6. 地盤及び周辺斜面の安定性評価

6.1 安定性評価の基本方針

地盤及び周辺斜面は、地震力に対してそれぞれ必要な状態を維持していること。

6.2 安定性評価

「6.1 安定性評価の基本方針」を踏まえ、安定性評価を行う場合は、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果得られるすべり等が、許容限界を満足すること。

使用済燃料乾式貯蔵施設の国内事例

(令和 2 年 11 月 25 日時点)

	東京電力HD(株) 福島第一原子力発電所 (震災前)	日本原子力発電(株) 東海第二発電所	リサイクル燃料貯蔵(株) リサイクル燃料 備蓄センター	中部電力(株) 浜岡原子力発電所	九州電力(株) 玄海原子力発電所
貯蔵容量	20 基 (約 150tU)	24 基 (約 250tU)	288 基 (約 3000tU)	32 基 (約 400tU)	40 基 (約 440tU ^{※2})
建屋規模	全長：71m 幅：30m 高さ：22m	全長：54m 幅：26m 高さ：21m	全長：約 131m 幅：約 62m 高さ：約 28m	全長：約 54m 幅：約 51m 地上高さ：約 13m	全長：約 60m 幅：約 50m 高さ：約 30m
冷却方式	自然冷却 (空冷)	自然冷却 (空冷)	自然冷却 (空冷)	自然冷却 (空冷)	自然冷却 (空冷)
貯蔵方式	横置き	縦置き	縦置き	縦置き	縦置き
用途	貯蔵専用		輸送貯蔵兼用		
貯蔵量	9 基 ^{※1}	15 基	—	—	—
運用開始	平成 7 年度	平成 13 年度	(現在、審査中)	(現在、審査中)	(現在、審査中)

※1：現在は、乾式キャスク仮保管設備で保管中。乾式キャスク仮保管設備（設備容量 50 基）には、震災前の 9 基を含めた 37 基を保管している。

※2：推定値を記載。

※3：東京電力HD(株)福島第二原子力発電所においても、廃止措置に伴い搬出される使用済燃料について、輸送・貯蔵兼用乾式キャスクを採用する方針。



福島第一原子力発電所の
貯蔵状況（震災前）



東海第二発電所の貯蔵状況

使用済燃料乾式貯蔵施設の海外事例

【H29. 4. 26 原子力規制委員会 使用済燃料輸送・貯蔵兼用キャスク貯蔵に関する検討チーム 資料（一部改編）】

1. リンゲン発電所（ドイツ）

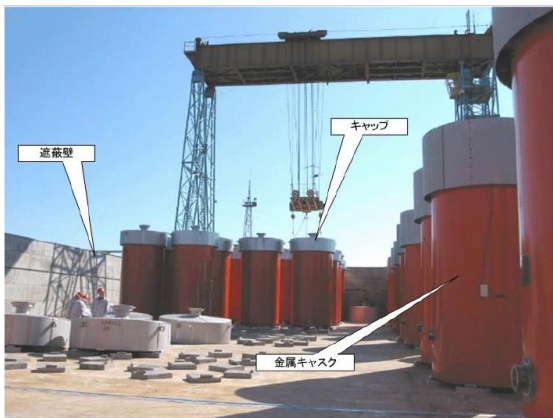


貯蔵建屋有り・固縛なし方式

施設規模	100m×27m幅×20m高(受入エリア:500m ² 、貯蔵エリア:2000m ²) 強化コンクリート構造(天井厚:1.3m、側壁厚:1.2m)
貯蔵容量	金属キャスク130基(5列×26行)
冷却方式	空冷・自然対流(但し、結露対策で強制換気装置有り)
操業開始	2002年12月10日

出典：使用済燃料中間貯蔵施設に係る安全解析コード等の調査に関する報告書 平成17年9月 独立行政法人原子力安全基盤機構

2. イグナリナ発電所（リトアニア）



遮蔽壁方式

※金属キャスク頂部にコンクリート製のキャップを設置。
このキャップがガンマ線及び中性子線の線量を低減

貯蔵システム		乾式・金属キャスク方式
キャスク型式		CASTOR RBMK-1500、 CONSTOR RBMK-1500
貯蔵場所		屋外
遮蔽壁	材質	鉄筋コンクリート
	厚さ	0.6m
	高さ	5m
貯蔵容量		120基
貯蔵実績		CASTOR 20基、 CONSTOR 100基 RBMK燃料集合体を長手方向に2分割し 収納
冷却方式		空冷・自然対流
操業開始		1999年

出典：平成22年度中間貯蔵施設に係る最新動向調査に関する報告書 平成23年8月 独立行政法人原子力安全基盤機構、
RBMK-1500 Spent Nuclear Fuel Storage Experience at Ignalina NPP (Artūras Šmaizys LITHUANIAN ENERGY INSTITUTE Technical Meeting on Spent Fuel
Storage Options, 2-4 July 2013, Vienna, Austria)



金属キャスク・野外設置方式（固縛なし）

貯蔵システム	乾式・金属キャスク方式
キャスク型式	TN-32
貯蔵容量（現状／計画）	22基／84基
操業開始	1998年

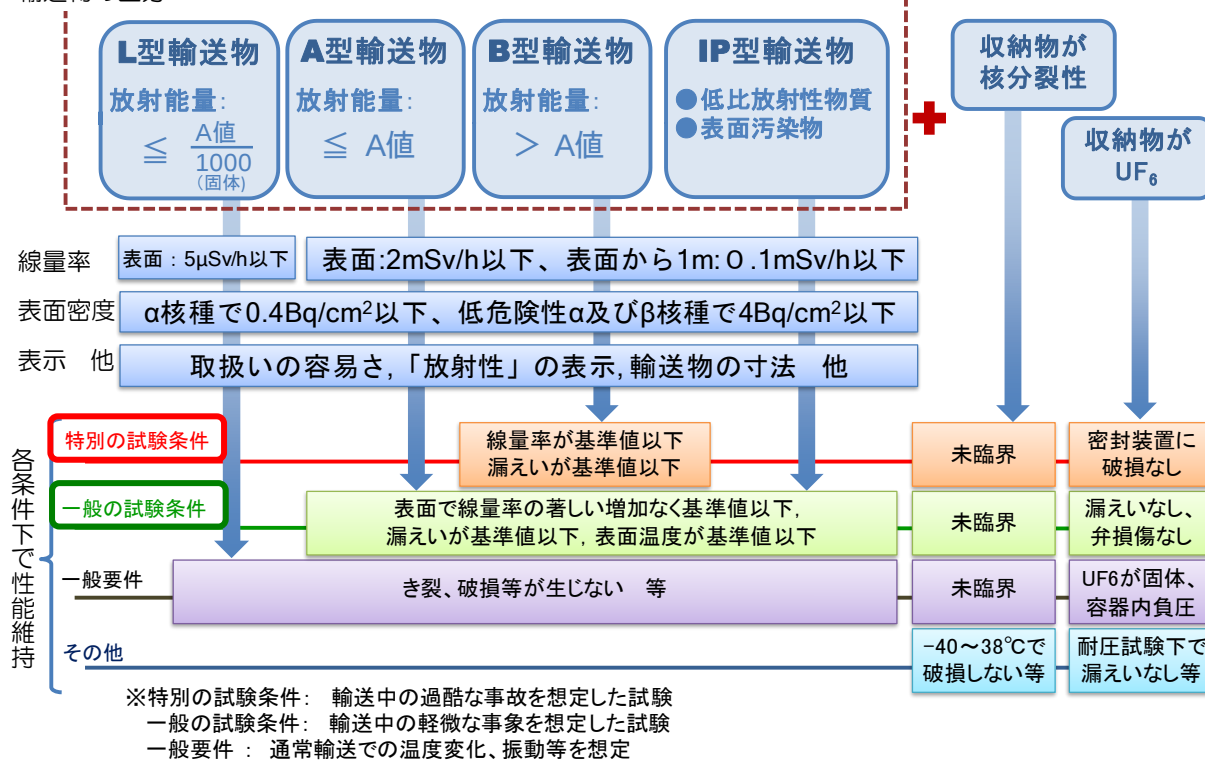
出典：中間貯蔵施設の安全解析コード等調査に関する報告書 平成18年5月 独立行政法人原子力安全基盤機構

出典：米国、ノースアンナ原子力発電所HP<https://www.dom.com/library/domcom/pdfs/electric-generation/nuclear/north-anna-earthquake-naps-eq-pres-nrc.pdf>

核燃料輸送物の機能要件

【出典：平成 30 年度放射性物質安全輸送講習会 原子力規制庁説明資料（一部改編）】

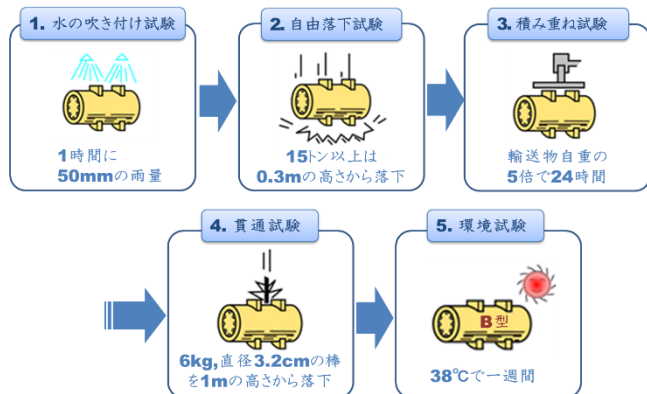
輸送物の区分



A 値：事故時に輸送容器が破損等をして放射性物質が外部に漏出した場合等に対応した影響評価がなされており、原子力規制委員会により大量の被ばくが生じないように定められた輸送物への収納限度を示す放射能の値。

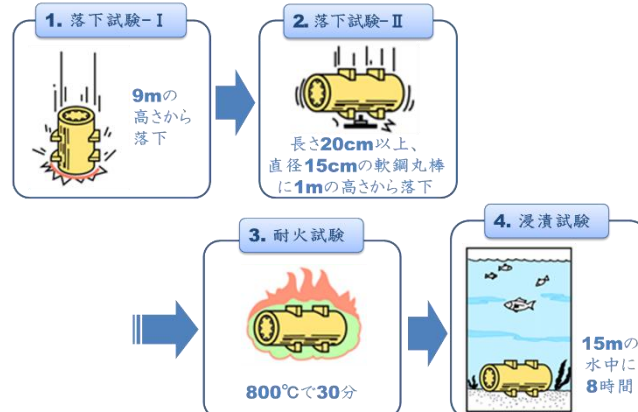
一般の試験条件

< 輸送中に軽微な事象が発生することを想定した試験 >



特別の試験条件

< 輸送中に過酷な事故に巻き込まれた場合を想定した試験 >



伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 委員コメント一覧

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
1	伊方1号機の廃止措置と3号機の運転をしながらの乾式貯蔵施設の設置となるので、総合的な安全対策に万全を期して、それを十分に説明してほしい。	四電	乾式貯蔵施設の設置にあたっては、伊方3号機の運転に影響を与えないように計画を策定し、綿密な調整を図りながら、安全を最優先として工事を進める。 乾式貯蔵施設における乾式キャスクの取扱作業については、今後、作業手順を整備し、安全確保を最優先に準備を進める。 乾式キャスクの監視設備の保守や、作業員の被ばく管理に対しても安全を最優先に進める。	H30 6/15	宇根崎
2	乾式キャスクについて、貯蔵と輸送の兼用であるので、輸送の面での安全性の評価を踏まえて、その安全設計を説明してほしい。	四電	要求事項および前提となる乾式キャスクの状態が輸送時と貯蔵時で異なることから、個別に評価を行い、それぞれの規則要求に適合することを確認している。 (R02 9/8 原子力安全専門部会(資料1-1))	H30 6/15	宇根崎
23	乾式キャスクの設置許可基準規則に対する設計方針について、輸送容器に関する規則はどのように対応し評価しているのか。	四電		H30 6/15	中村
3	乾式貯蔵施設の設置場所に係る斜面の調査は、伊方3号機の場合と同じ手法で行うのか。 調査手法は同じでも、物性が変わるようであれば、新たに評価してほしい。	四電	斜面の安定性に係る物性値については、3号機の場合と同様にボーリング調査および室内試験等を行い、整合的であることを確認し3号機の物性値を用いている。 その上で、乾式貯蔵施設に影響が考えられる斜面のうち、耐震評価上、安定性が最も厳しくなると考えられる斜面を代表斜面として選定し、基準地震動 S_s に対する地震応答解析を行い、すべり安全率が基準値以内に収まることで地盤安定性に問題がないことを確認している。	H30 6/15	岸田
4	乾式貯蔵施設を設置するに当たって、新たな検討事項も増えるので、既設の施設等に影響がないよう考えてほしい。	四電	乾式貯蔵施設は、既設プラントから約200m離れて、別建屋として独立していることから、構内のアクセスルート、構外からの参集ルートも含めて、現状影響はないと考えるが、今後の設置計画の立案にあたり、十分に配慮していく。	H30 6/15	岸田
5	使用済燃料の貯蔵については、これまでに発電所外での貯蔵も検討するとしていたが、検討状況と敷地内貯蔵に至った経緯を説明してほしい。	四電	敷地外における使用済燃料貯蔵については、現時点においても適切な立地点を見いだせていないことから、敷地外に比べ、確実かつ柔軟に対応できる発電所敷地内での乾式貯蔵施設の設置について検討を進めることとした。	H30 6/15	渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
6	乾式貯蔵施設について、住民に対して施設の安全性だけでなく、最終の搬出先である六ヶ所村の再処理工場の稼働状況、発電所内での保管期間なども含めて十分に説明してほしい。	四電	六ヶ所村の再処理工場については、主な試験を既に完了しており、竣工に向けて技術的な見通しが得られている。 また、新規規制基準への適合性審査についても、平成 30 年 10 月 5 日にこれまでの審査会合等における議論を踏まえた補正書を提出しており、現在原子力規制委員会において安全審査が進められているところである。 日本原燃(株)は、2022 年度上期竣工に向けて、引き続き最大限努力しており、当社含め電力大で全面的にサポートしていく所存である。 安全協定に定められているとおり、使用済燃料は再処理工場へ搬出することとしており、再処理工場の操業状況や伊方発電所の運転状況等を踏まえて、計画的な搬出に努めてまいりたい。	H30 6/15	渡邊
7	使用済燃料ピットの水中で 15 年以上の保管した燃料を、乾式キャスク内のヘリウム環境下で長期間保管するとしているが、PWR の燃料では乾式貯蔵は初であるので、乾式キャスクはもとより収納する使用済燃料集合体自体の長期健全性について示してほしい。	四電	使用済燃料の長期健全性について、PWR 用燃料に関する試験等を踏まえた知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響および化学的影響の観点から問題ないことを確認している。 具体的には、照射影響については、炉内における照射量に比べて十分低いこと、熱的影響については、貯蔵時の燃料温度および応力においてはクリープひずみ、照射硬化回復、燃料被覆管中の水素化物再配向、応力腐食割れの影響を受けないこと、化学的影響については、残留水分が少なく不活性雰囲気にある燃料被覆管の酸化量および水素吸収量は無視できることを確認している。(R02 9/8 原子力安全専門部会 (資料 1-1))	H30 6/15	渡邊
34	乾式貯蔵は、PWR の使用済燃料の保管としては国内では最初の事例になる。 BWR と PWR の燃料を保管する場合に、それぞれの燃料の使用条件は異なっているが、どのような知見で検討されているのか。	四電		H31 2/8	渡邊
8	乾式キャスクによる貯蔵について、他の電力会社で検討がどのように進んでいるのか。 もし進んでいる、もしくは進む予定であるのであれば、共通の問題点というのが既に共有されているのか。	四電	福島第一原子力発電所（東京電力）、東海第二発電所（日本原電）については既に乾式貯蔵施設があり運用されている。そのほか、設置許可の審査中であり敷地外に設置予定の東京電力と日本原電のむつ中間貯蔵施設（青森県むつ市）や、敷地内に設置予定の浜岡原子力発電所（中部電力）及び玄海原子力発電所（九州電力）がある。	H30 6/15	森

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
9	乾式貯蔵施設について、日本全体での計画や設置等の状況がまとめられた資料を用意してほしい。		また、これら審査中の施設の主とした課題は、地震・津波等の関係となっている。 (H31 2/8 原子力安全専門部会(資料2-3))	H30 6/15	吉川
14	先行事例で、安全性がどういうふうに検討されて、どう実証されているかを整理してほしい。そういう中で何が特に問題になったのか教えてほしい。			H30 6/15	森
10	新規制基準に基づいて設備の審査が行われるのは四国電力が初めてなのか。 既に新規制基準に基づいて設置されている、もしくは審査が進められているところはあるのか。	四電	中部電力の乾式貯蔵施設やむつの中間貯蔵施設については、新規制基準での審査が行われている。現在、原子力規制委員会で規則と審査するためのガイドが見直しされている状況であり、今後、これらが施行されれば、それに基づく適合性審査が行われる。 (H31 4/2、規則改正およびガイド施行)	H30 6/15	吉川
11	飛来物として、航空機などが落ちてきて、乾式貯蔵施設に衝突することについての評価は行われているのか。	四電	偶発的な外部人為事象による損傷の防止のための設計方針で、航空機落下についても影響を及ぼさないことは伊方3号機の新規制基準と同じように確認される。 テロといった故意なものについては、可搬型設備によって、施設に損傷があったとしても、放射性物質が飛散するというのをできるだけ抑制するために、大型ポンプ車によって放水するなどの大規模損壊に対応する対応手順等が、規則等の改正を踏まえ必要に応じて、今後審査の中で確認される。	H30 6/15	吉川
12	乾式貯蔵施設は原子炉建屋に比べ、構造上、全然弱いと思うが、耐震だけを担保していれば大丈夫なのか。	四電	現在見直し中のガイドでは乾式貯蔵建屋は必須ではないが、現計画では、周辺への放射線の影響を低減させるため、乾式キャスクを建屋内に貯蔵することとしている。 なお、建屋は地震による倒壊で乾式キャスクの安全機能に影響を与えないように、基準地震動による地震力に耐えられる設計とする。 (H31 4/2、規則改正およびガイド施行。ガイドでは乾式貯蔵建屋は必須とはされていない。)	H30 6/15	吉川
13	外国では乾式キャスクを屋外で保管しているが、外国と日本の設計基準を比較して示してほしい。	事務局	ドイツでは貯蔵建屋の設置を前提としているが、米国及び日本の新しい基準案では、貯蔵建屋の設置は前提としていない。 (R02 2/8 原子力安全専門部会(資料2-3))	H30 6/15	吉川

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
15	乾式キャスクは何度も使うのか、それとも1回限りなのか。	四電	乾式キャスクの設計において、60年間の安全性を確認している。 再処理工場が稼働し、使用済燃料の搬出が可能になると、乾式キャスクから詰め替えることなく使用済燃料を再処理工場に搬出し、空になった乾式キャスクは、発電所に持って帰り、再使用することも含め、運用を進める中で具体化を図る。	H30 6/15	高橋
16	使用済燃料が再処理されなくなった場合どうなるのか。	四電	国のエネルギー基本計画でも原子燃料サイクルが盛り込まれており、今後もこれに沿って対応していく。	H30 6/15	高橋
17	供用中の乾式キャスクの試験又は検査は、具体的にどのようなことを考えているのか。	四電	今後、具体的な試験内容を決める。 現状、閉じ込め機能であればキャスクの内部は負圧にしており、一次蓋と二次蓋との間の圧力の監視、除熱であれば乾式キャスクの外表面の温度の測定を行うこととしている。 そういった乾式キャスクに異常がないこと、経年的な変化がないことを、継続的に確認、試験しながら、安全性を確保していく。	H30 6/15	森
18	内部の圧力が負圧に保てなくなった場合等、乾式キャスクの安全機能が働かなかった場合、どうするのか。	四電	例えば、臨界防止機能については事前の解析工程の中で安全側に計算し、実効増倍率が0.95以下となる設計としている。 閉じ込め機能については、仮に気密性が保持できなくなった場合、処置する必要があるので、今後、処置する場所も含めて手順等を確認しながら対応する。	H30 6/15	森
19	供用中の乾式キャスクの試験又は検査は、どのくらいの頻度で行うのか。	四電	今は基本設計の段階なので、詳細については今後検討する。	H30 6/15	森
20	先行事例での乾式キャスクの試験又は検査の頻度を参考にするのか。	四電	先行事例を参考にし、現在見直されている規則や審査ガイドに適合する検査要領を策定する。 (H31 4/2、規則改正およびガイド施行)	H30 6/15	森
21	乾式貯蔵について、「一時的」というものが、短期的なものなのか、あるいは長期になる可能性があるものなのかという検討はするのか。	四電	乾式貯蔵施設は、使用済燃料を再処理工場に搬出するまでの間、「一時的」に貯蔵する施設として設置する。 一方、乾式キャスクについては、長期的にも安全機能が失われないことを評価している。	H30 6/15	森

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
22	乾式貯蔵施設の安全機能について、重要度分類し対応することなので、対照表として整理してほしい。	四電	規制要求（建屋の有無等に係らず乾式キャスクの4つの安全機能を確保すること）を満足するように、乾式キャスクおよび貯蔵建屋に持たせるべき安全機能を検討し、各機能に対する安全性（要求事項を満足することも含め）を解析等により確認している。	H30 6/15	中村
31	乾式貯蔵施設について、安全機能をリストのようにまとめてほしい。 それぞれの設備の相互作用を考えるかどうかを含めて、検討内容とその安全性評価方法を整理してほしい。		具体的には、乾式キャスクについては耐震Sクラスとして分類し、基準地震動Ssによる地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。また、貯蔵建屋については、耐震Cクラスとして分類し、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。 (R02 9/8 原子力安全専門部会(資料1-1))	H30 6/15	森
24	乾式キャスクに対し行われている各試験と設置許可基準規則に対する設計方針との関連を説明してほしい。例えば、耐火試験として「800℃で30分」との試験があるが、それは航空機が落下して火災となった場合に対応するのかなど説明してほしい。	事務局	兼用キャスクに実施される「800℃で30分」の耐火試験等の特別の条件での試験は、輸送時の事故※1を想定し輸送に係る技術基準※2に基づき実施されるものであり、貯蔵について規定している設置許可基準規則と対応しているものではないとのこと。 ※1 この場合、放射性物質を輸送する車両が坂道の底にある十字路で液体燃料を運ぶタンクローリーに衝突し、火災発生するケースを想定。 ※2 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第2条～15条 (H31 2/8 原子力安全専門部会(資料2-3))	H30 6/15	中村
25	設置許可基準規則の要求事項に対して、設計方針に「ダムの崩壊」という記載があるが、発電所近くにダムがあるから記載しているのか。基準にあるから書いているのか。 記載の判断方法について示してほしい。	四電	「ダムの崩壊」は、3号炉の新規制基準適合性に係る設置変更許可申請時に、伊方発電所において考慮すべき事象の一つとして選定したものであり、審査において周辺のダムの所在や河川流況を確認し、影響がないことを判断している。 乾式貯蔵施設は、同じ発電所敷地内に設置することから、3号炉同様の設計方針を適用することとして、あらためて記載したものである。	H30 6/15	中村
26	Sクラスの設計としている乾式キャスクの耐震性について、構造解析をしているのであれば、その結果を示してほしい。	四電	詳細な耐震評価結果は、工事計画認可申請においてその耐震計算書を示すこととなる。	H30 6/15	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
27-1	輸送容器の安全性確認として落下試験を行っているが、試験条件及び求められる結果について説明すること。	事務局	輸送キャスクの特別の試験条件における落下試験では、キャスクに緩衝体を付けた状態で、9 mの高さから落下させること等を行うこととなっている。 また、求められる結果は、次の通り。 ・表面から1メートル離れた位置における最大線量当量率が10ミリシーベルト毎時を超えないこと。 ・放射性物質の一週間当たりの漏えい量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと。 (H31 2/8 原子力安全専門部会(資料2-3))	H30 6/15	中村
27-2	乾式キャスクの落下により内封している燃料の破損が想定される場合の対応を説明すること。	四電	乾式キャスクにおいても、これまでの輸送キャスクと同様に、安全に留意した上で取扱作業を行う。 仮に、取扱時に乾式キャスクの落下等により、安全機能または使用済燃料に影響が疑われる事象が発生した場合は、3号機使用済燃料ピットへ移送し、点検等の必要な対応をとることになると考えている。	H30 6/15	中村
28	原子炉から取り出した後、15年経った燃料は大体何度ぐらいに低下するのか。 その温度で、ヘリウム環境下で負圧であっても燃料体は劣化をするのか。	四電	貯蔵時の燃料温度は最大でも約220℃程度と見込んでおり、使用済燃料の長期健全性について、PWR用燃料に関する試験等を踏まえた知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響および化学的影響の観点から問題ないことを確認している。 (R02 9/8 原子力安全専門部会(資料1-1))	H30 6/15	中村
29	乾式貯蔵施設の耐震性について、最悪の事象を考えていく上で、施設内のクレーンが落下するといったようなことも検討の対象になり得るのか。	四電	乾式キャスクについては、耐震Sクラスであり基準地震動による地震力に対する評価を行う。 建屋については、耐震Cクラスであるが、乾式キャスクの安全機能に影響を与えないように基準地震動による地震力に耐えられる設計とする。 なお、施設内のクレーンは、貯蔵エリアの上に設置せず、貯蔵エリア内での乾式キャスクの移動はエアパレットを用いる。	H30 6/15	森
30	乾式貯蔵施設にあるものは、実質上ほぼ全て耐震Sクラスとして設計するのか。	四電	耐震Sクラスの設備と、基準地震動を入力して耐震Sクラスの設備に影響を与えないことを評価する設備があり、安全機能を担保しているのは、あくまでも乾式キャスクである。	H30 6/15	森
32	使用済燃料乾式貯蔵施設に関連する国のエネルギー基本計画の概要について、どういう位置づけで県から説明したのか。	事務局	四国電力が乾式貯蔵設備を設置する中で、国が使用済燃料対策を強化していくという背景を説明したものである。	H30 6/15	吉川

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
33	使用済燃料を保管する方法として、リラッキングではなく乾式貯蔵を選んだのはなぜか。	四電	3号機については、既にリラッキングを行い、貯蔵能力の増強を図っている。 乾式貯蔵施設は、海外も含めて多数の先行事例があり、一定期間冷却後の使用済燃料を、乾式キャスクの中で駆動源を使わず自然対流により冷却ができる貯蔵方法であることから、より安全性が高いということ判断した。	H31 2/8	渡邊
35	1号機、2号機が廃炉となり、3号機をある一定期間運転したときに、発電所構内に使用済燃料がどのくらい保管されていくのか示すことはできないか。	四電	使用済燃料ピットにおける使用済燃料の体数の推移については、今後の運転状況や六ヶ所の稼働状況によって変動するため、一概には言えないが、3号機が13カ月運転を続けていくとすると、年間の使用済燃料の発生体数は35体から40体である。安全協定に定めているとおり、使用済燃料は再処理工場へ搬出することとしており、伊方発電所内の貯蔵状況等を踏まえ、計画的な搬出に努めてまいりたい。	H31 2/8	渡邊
36	津波の影響評価に関する新たな規制要求として、「浸水深10m、流速20m毎秒、それから漂流物質量100t」とあるが、伊方発電所の場合、こういったことを想定する必要はあるのか。	四電	新たな規制要求案では、基準津波が決まっていれば基準津波にて評価、決まっていなければそのような評価となる。 伊方発電所については、3号機の新規制基準の適合性確認において、基準津波は約8.1m、敷地の沈降を考慮しても8.7mと評価されている。 乾式貯蔵建屋は、標高25mに立地する計画であり、問題ないと考えている。	H31 2/8	中村
37	敷地境界での年間線量に関して、スカイシャイン線と直接線の評価しているが、その内訳を示してほしい。	四電	敷地境界での年間線量(0.16 μ Sv/y)の内訳は、直接線が97%、スカイシャイン線が3%である。	R02 9/8	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント 委員
38	各解析の初期の条件はどのように設定しているのか。(例えば、収納制限48GWd/t以下に対し、解析は48GWd/tで保守的に実施しているのか。) 各解析結果の精度、信頼性、ばらつきを説明すること。特にレジンについては、基準値に対し、他と比べ解析結果が近い値であり問題がないのか説明すること。	四電 各解析の初期条件(濃縮度、燃焼度および収納配置等)は、全ての収納制限を満足した上で、保守的に設定している。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添2)) レジンの解析結果($1.6 \times 10^{14} \text{n/cm}^2$)については、設計貯蔵期間中(60年間)の中性子照射量を貯蔵開始時から一定として保守的な評価を行っている。 また、解析に使用するコードは検証された許認可実績のあるコードである。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－1)) 従って、仮に初期条件を現実的に設定した場合、温度等の解析結果は低めとなり、時間の経過とともに更に低下していく。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添2)) なお、臨界解析については、乱数を用いた統計処理を含むモンテカルロ法であり計算結果(実効増倍率)に統計誤差を有するため、平均値に統計誤差として3σを考慮した値を解析結果としている。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添1)) その他解析については、決定論的に1つの解が得られるため、統計誤差はない。 また、解析結果における有効桁数の処理は、基準値を満足することを適切に確認できるよう、基準値に近づく方向に保守的に桁処理している。	R02 9/8	森
39	燃料被覆管がどの部分か、図で示すこと。また、使用済燃料を評価する場合において、燃料被覆管を評価する理由を説明すること。 燃料棒の溶接線の情報を示してほしい。メーカー機密もあると思うが、明らかにしてほしい。	四電 資料に燃料棒の拡大図を追加 使用済燃料を構成する各燃料棒は燃料ペレットを被覆管で閉じ込めた構造であるため、使用済燃料の健全性を確認する際は、燃料被覆管に着目して温度等の基準値を満足することを確認している。 燃料棒はペレットを燃料被覆管で閉じ込め、端栓を周方向溶接した構造である。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添2))	R02 9/8	森 渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
40	乾式キャスク表面での放熱については、ふく射による寄与は少なく、対流がメインではないか。建屋の除熱評価では対流のみで評価しているのか説明すること。	四電	乾式キャスク外表面での除熱は自然対流による熱伝達とふく射により行われるが、その寄与は自然対流による熱伝達が支配的である 除熱評価においては、乾式キャスクの構成部材の温度評価では、乾式キャスク周囲(環境温度 50℃)への自然対流による熱伝達およびふく射を考慮している。また、建屋評価では、乾式キャスクの発熱量は全て空気によって除熱されると考え、建屋コンクリート等を通じて大気や地中に逃げる熱は考慮せず評価し、乾式キャスク周囲温度が 50℃以下となることを確認している。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料 1－別添 1))	R02 9/8	中村
41	真空乾燥、ヘリウム充填の時点で最も温度は高く、その後 60 年間下がっていくと思うが、その下がり方、経過を説明すること。乾式キャスクに封入した使用済燃料は、しばらく経つと、発熱量と放射線量はさがっていくところに関心がある。直接線やスカイシャイン線にも効いてくる。	四電	線量当量率および温度(使用済燃料の崩壊熱量)は貯蔵開始時が最も高く、その後、時間の経過とともに低下していく。これを踏まえ、各解析は最も厳しい貯蔵開始時において実施するとともに、解析条件は解析結果が厳しくなるよう保守的に設定している。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料 1－別添 2))	R02 9/8	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
42	除熱解析について、軸方向含めた3次元の結果や熱の伝わり方(内部から一次蓋やガスケットへの)も含めて説明すること。2次元断面の結果はどこの断面か示すこと。 除熱解析について、縦断面も示すこと。乾式キャスク内では、ヘリウム対流でも熱伝導するが、計算方法について示すこと。 断面温度分布はなぜ対称になっていないのか、また乾式キャスク表面130℃であるのに対し、周辺温度は45℃であるが、この間にギャップ(急激な温度変化)があるのはなぜか。	四電	除熱解析(3次元)の温度分布図を追加。除熱解析においては、使用済燃料の発熱量が、構造部材による熱伝導およびヘリウムガスによる熱伝導により、乾式キャスク内部から一次蓋や金属ガスケットに熱が伝達される、として各部材の温度を計算している。 なお、乾式キャスク内部のヘリウムガスによる熱伝導は考慮するが、乾式キャスク内部の温度が高くなるようヘリウムガスの対流は考慮しない。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添1)) 乾式キャスク中心部を中心に温度分布は対称になっており、燃料断面図ではキャスク中心に近い方が温度は高めの分布となっている。 環境温度を50℃として乾式キャスクの除熱解析を実施した結果、乾式キャスク表面温度が130℃となっている。一方、建屋の除熱評価の結果、周囲温度が45℃となっており、建屋が乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを確認している。なお、空気は熱伝導率が小さいため、キャスク表面から離れるにつれて温度が大きく低下する。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添1))	R02 9/8	中村 森
43	まず、遮へい材として使用している物質と放射線(荷電粒子、ガンマ線、中性子)の関係、エネルギーや中性子量も含めて示すこと。 解析でどのように設定しているのか説明すること。 どのような粒子線が使用済燃料の貯蔵年数に対してどのような割合で存在するのか、保管中の温度分布が貯蔵年数に対してどのようなになっているのか、示すこと。	四電	放射線の種類と特性を整理。 各解析の初期条件(濃縮度、燃焼度および収納配置等)は、全ての収納制限を満足した上で、保守的に設定している。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添2)) 解析は保守性を考慮して実施しており、線量当量率および温度(使用済燃料の崩壊熱量)は貯蔵開始時が最も高く、その後、時間の経過とともに低下していく。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添2)) なお、レジンについて、文献には実機照射試験に基づき重量減損が見られない照射量の制限値が示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量はこれを超えないことから、中性子照射による影響はない。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1－別添1))	R02 9/8	渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
44	照射脆化は温度が低い方が悪くなるとの知見もある。(同じ中性子量だと、温度が低い方が脆化し易い。) 60年間の間に温度の低下とともに中性子量やガンマ線量は変化し、照射脆化も変化していくが、問題ないことは確認しているのか。	四電	中性子量は時間の経過とともに低下していくが、照射量の解析においては、貯蔵初期の照射量で一定(低下しない)として解析している。このような保守的な解析条件においても、燃料被覆管(ジルカロイ)等の照射試験結果において、照射脆化に影響のあることが確認されている中性子量と比べると、解析で得られる乾式キャスクにおける照射量は十分に小さく、照射脆化への影響は無視できる程度である。	R02 9/8	渡邊
45	乾式貯蔵施設での貯蔵について、比較的新しい設計となっている部分もあること、キャスク内の燃料被覆管が仮に一部損傷しても二重蓋の健全性で安全性を担保できるとはいえ、被覆管の健全性を維持できればさらなるリスク低減に繋がることから、国内外での実使用条件に近い条件での総合的な実証試験や同様な設計の先行プラントでの使用経験の調査を確認・反映していくことは意義がある。今後も継続的に知見等の収集に取り組んでほしい。	四電	乾式キャスクの設計にあたっては、PWR燃料を対象とした国内外の乾式キャスク先行貯蔵試験等に関する知見や情報を収集したうえで、適切に設計に反映している。 今後も引き続き継続的に知見や情報を幅広く収集するとともに、必要に応じて乾式キャスクの運用管理に反映していく。	R02 9/8 11/13	村松 望月
46	レジン照射により劣化していくが、60年貯蔵を踏まえて基準値(149℃)はどのような考え方で設定したのか。 また、レジン経年による分解でガスが出るが、問題が生じないか説明すること。 基準値は、34年前の文献をもとに設定しているが、レジン改良されているのか、性能は上がっているのか。	四電	文献には実機照射試験に基づき重量減損が見られない照射量の制限値が示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量はこれを超えないことから、中性子照射による影響はない。 一方、試験の結果、設計貯蔵期間中の熱影響による質量減損が2%程度と評価されるため、遮蔽解析においては、保守的な中性子遮蔽材の質量減損を考慮(2.5%)した評価を実施している。 (R02 10/16 原子力安全専門部会(資料1ー別添1)) 構造強度の評価においては、乾式キャスク側部、蓋部、底部の中性子遮蔽材を配置する領域に、レジンの熱分解により発生した水が水蒸気となり内圧が発生するものとして、各部材の健全性評価を行い、十分な強度を有していることを確認している。 また、使用する予定のレジンの仕様(水素含有量等)は、エポキシ系レジンの仕様の範囲内であり、レジンの性能は当時と同等である。	R02 9/8	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
47	燃料被覆管の監視方法は。どこで破損したか、わかるのか。実績がないのではないか。	四電	乾式キャスクの構造上、貯蔵しながら燃料被覆管の状態を直接確認することはできないが、以下のとおり設計・運用することにより、燃料被覆管の健全性は維持でき、異常に対しても適切に対応できる。 ・健全燃料を収納する。 ・燃料被覆管の長期健全性は文献等をもとに確認している。 ・貯蔵開始前の仕立作業（真空乾燥およびヘリウムガス充填）により、乾式キャスク内部を不活性雰囲気とする。 ・貯蔵開始後は乾式キャスク表面温度や建屋内温度、蓋間圧力を定期的に測定する。 ・貯蔵時における乾式キャスクの取扱いにおいて設計上想定される事象が万一発生した場合でも、使用済燃料に発生する応力は弾性範囲内であることを確認している。 （R02 10/16 原子力安全専門部会（資料 1－別添 1））	R02 9/8	渡邊
48	封入している使用済燃料にリークが発生した場合、どのように対応するのか。仮に取扱い時に乾式キャスクを落下させた場合、内部のガス回収など具体的な対応はどう考えているのか。	四電	乾式キャスクの取扱いにおいて設計上想定される事象が万一発生した場合でも、使用済燃料に発生する応力は弾性範囲内であり、使用済燃料の健全性は維持されることを確認している。 仮に想定事象を超えるような乾式キャスクの落下等が生じた場合、当該燃料は使用済燃料ピットに戻して適切に保管する。 燃料を使用済燃料ピットに戻す際は、貯蔵開始前の準備作業（真空乾燥およびヘリウムガス充填）と同様に、使用済燃料ピットエリアにて乾式キャスクの内部ガスをガス回収タンクに回収し、燃料漏えいの有無を確認する。 （R02 10/16 原子力安全専門部会（資料 1－別添 2））	R02 9/8	中村 渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント 委員
49	乾式キャスクに衝撃が加わったとき、収納している燃料は大丈夫か。破損したと思われる時、事後の対策はどうか。 設計上想定される事象（衝撃）に対して、使用済燃料の健全性に問題はないのか。 加速度 20～30G がかった際のジルカロイにどの程度の応力が発生するのか計算すること。燃料被覆管の周方向応力が100MPa を超えないことを数値で示すこと。	乾式貯蔵施設では、地震により乾式貯蔵建屋は損壊せず、乾式キャスクを床に固定して設置することに加え、乾式キャスクを取扱うクレーンや搬送台車についてはクレーン構造規格等に基づき一般産業施設や公衆施設と同等の安全性を有するように設計することとしている。これを踏まえ、設置変更許可申請（貯蔵側審査）においては、設計上想定される状態として、通常取扱時の作業員の誤操作を想定している。 <設置変更許可申請（貯蔵側審査）における想定事象および燃料健全性> 検査架台や貯蔵架台の近辺で乾式キャスクを移動させる場合、低速またはインチング操作を実施するが、想定事象に対する評価としては、保守的に、 ・乾式貯蔵建屋天井クレーンの走行速度（高速運転モード）：18.0m/分 ・乾式貯蔵建屋天井クレーンの巻上/巻下速度（高速運転モード）1.2m/分 で検査架台や貯蔵架台への衝突等を想定しており、想定としては妥当である（これ以上の速度は出ない）。（原子炉建屋の燃料取扱棟クレーンも同じ速度） これらの場合で生じる加速度は1～3G程度であり、燃料被覆管に発生する応力は弾性範囲内であり、使用済燃料に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料の健全性や再取出性に問題がないことを確認している。 <想定事象時における水素化物再配向への影響> 18.0m/分（または1.2m/分）で衝突した際にも燃料被覆管の周方向には応力は増加しないため、貯蔵時と同じ約95MPa（1,2号燃料用乾式キャスク）、約86MPa（3号燃料用乾式キャスク）程度であり、100MPaを下回ることを確認している。（18m/分の場合は横方向の衝突であり、燃料棒の曲げ方向に応力が作用する（軸方向に対して引張/圧縮応力が作用する）のみで、貯蔵時と比べて周方向応力は増加しない。また、1.2m/分の場合は軸方向の衝突であり、燃料棒の軸方向に対して圧縮応力が作用するのみで、貯蔵時と比べて周方向応力は増加しない。） （R02 10/16 原子力安全専門部会（資料1－別添1、資料1－別添2））	R02 9/8	中村 渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
49		四電	なお、輸送時に対しては、輸送中の事故（乾式キャスクの落下など）を想定した安全性を確認するよう求められており、設計承認申請（輸送側審査）において評価し安全性を確認している。この評価のうち、乾式キャスク 0.3m 落下において 20～30G の加速度が発生するが、燃料被覆管は弾性範囲内であることを確認している。	R02 9/8	中村 渡邊
50	10/16 原子力安全専門部会資料（資料 1－別添 2 p 2）の解析条件の設定の考え方について、臨界解析は実効増倍率、遮蔽解析は線量当量率、除熱解析は温度が高くなる等、記載を適正化すること。	四電	解析条件を高めを設定することにより、解析結果（実効増倍率、線量当量率、乾式キャスク構成部材および使用済燃料の温度）が高くなる項目は、より保守的に評価を行うため、解析条件を高めを設定している等、記載を適正化した。 （R02 11/13 原子力安全専門部会（資料 1－別添 2 p 2 参照））	R02 10/16	中村 森

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
51	燃料健全性を維持するうえで、過去にどのような試験や検討をして、乾式貯蔵に係る温度等の基準値が決められているのか、整理すること。	四電	平成 21 年の総合資源エネルギー調査会等の報告書では、使用済燃料の長期健全性に関する知見を踏まえ、貯蔵期間中における使用済燃料の健全性が維持されていることを判断するための具体的な方法（最高燃焼度 48GWd/t 等の PWR 燃料を用いたクリープ試験、照射硬化回復試験、水素化物再配向試験、応力腐食割れ試験の結果を踏まえた評価基準を含む）が示されている。 ・使用済燃料の劣化要因としては、化学的要因、熱的要因、放射線による要因があり、例えば、熱的劣化については、燃料被覆管の温度が貯蔵期間を通じて文献に定められた条件以下に維持されていれば、熱的要因による劣化については問題ないものと判断できることが示されている。 なお、燃料健全性に関して安全審査で確認すべき項目については、国の審査ガイドに定められている。 また、1985 年から米国アイダホ国立研究所において乾式キャスクに PWR 燃料（燃焼度；約 36GWd/t）を収納した実機検証試験が実施され、以下について報告されている。 ・PWR 燃料被覆管の破損は発生していない。 ・抜き取った燃料 1 体について、クリープ試験、水素化物再配向確認、硬さ測定等の詳細調査を行った結果、燃料被覆管の破損につながるような経年変化はない。 当社は、最高燃焼度 48GWd/t 以下の使用済燃料を乾式貯蔵する計画であり、乾式キャスクおよび使用済燃料の長期健全性については、文献等の知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響および化学的影響の観点から問題ないことを確認するとともに、乾式キャスクの安全機能を維持できることを解析等により確認している。 引き続き、国内外での乾式貯蔵施設に関する調査および文献等により、乾式キャスクおよび使用済燃料の長期健全性に関して知見等を幅広く収集し、信頼性の向上を図る。 （R02 11/13 原子力安全専門部会（資料 1－別添 2 p 7，8 参照））	R02 10/16 11/13	中村 村松 渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
52	除熱解析について、燃料集合体内での燃料棒等の詳細な配置および燃料棒内の温度分布を確認する必要があるのではないかな。 (解析モデルのモデル化次第では局所的に燃料被覆管の温度が高くなっている可能性があるのではないかな。) 燃料被覆管とペレットを一緒に解析していると思われるが、解析の保守性、また燃料棒の間の空間や部材の違いによる熱伝導度の違いをどのように考慮しているのか示すこと。	四電	1, 2号機燃料用キャスクと比べ発熱量の大きい3号機燃料用乾式キャスクにおける使用済燃料の発熱量は約 15.8kW (44GWd/t、15年冷却)であり、使用済燃料1体あたりの発熱量は約 660W、燃料棒1本あたり約 2.5W、燃料棒1mあたりではわずか 0.7Wで、原子炉内(定格出力で運転中)の約 1/25000程度であるため、燃料棒内(燃料被覆管表面からペレット中心まで)の温度差は 0.06℃程度であり、無視できる程度である。※ これを踏まえて、除熱解析の燃料集合体モデルでは、燃料棒のモデルは径方向の要素分割は行わず、ペレット、ギャップ及び燃料被覆管の均質体(熱伝導率は体積平均値)としている。 ※(15.8kW/基)÷(24体/基)=約 660W/体 (660W/体)÷(264本/体)=約 2.5W/本 (2.5W/本)÷(3.648m/本)=約 0.7W/m 0.7W/m÷原子炉内線出力(平均 17.1kW/m)=1/25000 (ペレット中心 1770℃－燃料被覆管表面温度 349℃)×(1/25000)=約 0.06℃ (R02 11/13 原子力安全専門部会(資料1－別添2 p 9, 10参照))	R02 10/16	中村 渡邊
53	中性子実効増倍率は、統計誤差の3倍を平均値に足したものであるとのことだが、統計誤差はいくらか。また、モンテカルロ法による計算の回数はどの程度か。	四電	統計誤差の3倍については、0.001～0.002程度である。 また、モンテカルロ法による計算は、既設の使用済燃料ピットや従来の輸送キャスクの許認可で実績があり、これらと同様に十分多い回数で行っている。	R02 10/16	森
54	燃料棒が貯蔵中に割れる確率について、どのように認識しているのか。	四電	使用済燃料ピットでの貯蔵など発電所供用期間中の事例で燃料リークが発生した割合は、実績としては 0.001%程度である。乾式貯蔵施設は、乾式キャスク内部を不活性な状態で静的に保管するものであるため、乾式貯蔵中の漏えい確率はより低いものと考えている。	R02 10/16	渡邊
55	核燃料サイクルについては、これまで中心と言われていた高速増殖炉が中断となり、プルサーマル発電だけとなっていることから、電事連任せではなく、国として積極的にプルトニウムの消費ができる新型炉の開発に向けて支援していくことが大事である。	資源エネルギー庁	高速炉開発は中断しているわけではなく、2018年12月に策定した戦略ロードマップに基づき、21世紀後半の高速炉本格利用への具体化に向けて取組を進めている。足元5年程度は、これまでの技術・人材を活用し、多様な技術間の競争を促進する。その後、採用する可能性のある技術の絞り込みを行っていく。	R02 11/13	渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
56	合理的な設計や規制のルール作りに資するため、経済性も含めた検討も行えるよう、核燃料サイクルを構成する様々なタイプの施設について、個別プラントではなく、一般化したプラントを設定し、資源エネルギー庁がリスク評価を行うことは、多くの人のメリットになると考えられる。	資源エネルギー庁	規制の中身について申し上げる立場にないという前提で申し上げるが、規制を超えて更に安全性を高めていくことが重要と考えている。国が働きかけを行い、原子力産業界で原子力の更なる安全性確保を目指す組織として、A T E N A (原子力エネルギー協議会) を設立し、業界大で取組を進めているところであり、国としてもサポートしているところ。引き続き原子力業界を取り巻く課題に総合的に対処できるように取り組んでまいりたい。	R02 11/13	村松
57	核燃料サイクルや放射性廃棄物処分などの原子力行政の課題については、各電力会社の枠を超えて、国全体として対応してほしい。	資源エネルギー庁	電力自由化で競争環境を高めていく議論がある一方で、核燃料サイクルや放射性廃棄物の最終処分地確保などの課題については、電力大で協調しなければ解決が見出しにくいものと認識。その最適化の形は模索しながら考えていくものだと思うが、例えば、使用済燃料対策については、我々も連携し、電力大で取り組みながら、前に進めているところ。	R02 11/13	高橋
58	将来の高速増殖炉の実用化など、技術的なビジョンの全体像を早めに示してもらいたい。	資源エネルギー庁	原子力政策に関しては、長期的な視点の必要性は十分に理解した上で、足元では、まずは安全確保を最優先に再稼働をしっかりと進め、国民の信頼回復に努めることが重要と考えている。 他方で、長いスパンに立った政策という意味で、柔軟性を確保し得るような環境をどう作っていけるかをにらみながら、政策を考えていくことが大事だと考えている。	R02 11/13	中村
59	燃料被覆管については、壊れていいわけではないが、場合によっては壊れることもあり得る。審査の勘所としては、キャスクの二重蓋による閉じ込め機能にあるという理解でよいのか。	原子力規制庁	ご意見のとおり。乾式キャスク内部は負圧にしており、蓋間圧力の監視によって核分裂生成ガスが放出する前に異常を検知できる構造となっている。 仮に異常があった場合は、使用済燃料プールに移送して、きちんと修復する方針となっていることを確認している。	R02 11/13	村松
60	乾式キャスクの閉じ込め機能により、核分裂生成ガスの外部放出について安全が担保されているということだが、やはり内部の燃料被覆管の健全性が重要だと認識しているが、いかがか。	原子力規制庁	当然、内部の燃料被覆管が破損していいということではなく、破損に至る温度等の条件には到達しないということは確認している。	R02 11/13	渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
61	乾式キャスクにおける60年間の使用済燃料貯蔵の安全性を担保できる論文やデータが不足していると感じており、実際の材料における評価等を行い、しっかりと審査の根拠にしてもらいたい。	原子力規制庁	現状ある情報を基に審査した結果、燃料被覆管については、基準値を下回っている。また、幾つかの乾式キャスクについては蓋部を開け、内部の燃料被覆管の状況等を調べており、全体的にみて問題ないものと考えている。 勿論、電力等でデータを拡充することは望ましいものと考えている。	R02 11/13	渡邊
62	原子力規制庁の審査書に記載されている「3号炉原子炉主任技術者をメンバーに含む伊方発電所安全運営委員会」は、どのようなメンバーで構成されているのか。	四電	伊方発電所に設置している四国電力社内の委員会であり、発電所長を委員長としている。所内の重要事項を変更する場合等は、この委員会の審議を経て決定している。	R02 11/13	高橋
63	乾式キャスク内部の初期圧力及び60年貯蔵した際の圧力変化はどの程度か。	四電	乾式キャスク内部初期圧力は、 $8 \times 10^4 \text{Pa}$ である。 閉じ込め機能については、使用済燃料の破損率を保守的に0.1%として想定し、燃料破損に伴う圧力上昇を考慮した上で、60年間、乾式キャスク内部は大気圧を下回ることを確認している。 (R02 11/13 原子力安全専門部会(資料3－別添1))	R02 11/13	中村
64	除熱評価においては、15年冷却した3号炉用使用済燃料の温度は、約220℃と評価しているが、実際に測定した例はあるのか。	四電	使用済燃料の温度に関して、貯蔵中に測定したことはないと考えている。 発電所における使用済燃料の温度測定については、作業安全および被ばく低減の観点から軽々に実施することはできない。	R02 11/13	渡邊
65	貯蔵中においては、燃料被覆管の熱的影響の制限値である275℃を超えるような事象はないということだろうか。	四電	外部火災及び乾式貯蔵施設内の内部火災においても、燃料被覆管が275℃を超えるような事象はないと考えている。 (R02 11/13 原子力安全専門部会(資料3－別添1))	R02 11/13	渡邊
66	使用済燃料の保管状況や搬出計画等について、適宜報告するようにしてほしい。	—	(欠席委員コメント)	R02 11/13	宇根崎
67	敷地境界における年間線量は、安全協定で定める目標値 $7 \mu \text{Sv/y}$ 以下は満足しているのか。	事務局	四国電力においては、最も影響が高いと考えられる敷地境界2地点において線量評価を行っており、それぞれ安全協定で定める目標値 $7 \mu \text{Sv/y}$ 以下は満足している。	R02 11/13	望月
68	敷地境界における年間線量の評価値が示されているが、四国電力においては、施設が設置された後、モニターを行っていくとの理解でいいか。	四電	敷地境界付近にはモニタリングポスト等を設置しており、常時モニタリングを行っている。また、測定した結果については、環境専門部会に定期的に報告を行っている。	R02 11/13	中村

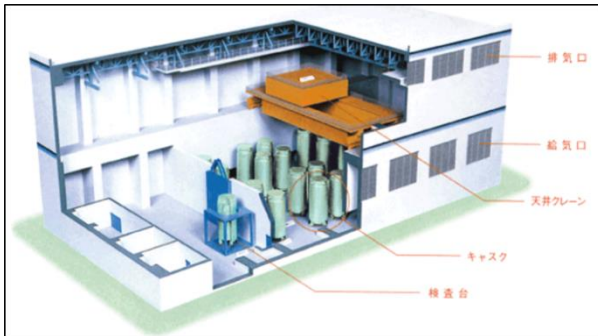
既設乾式貯蔵施設の現地調査について

平成 30 年 6 月 15 日に開催した伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会において提案された既設乾式貯蔵施設の現地調査について、下記のとおり実施した。

1. 東海第二発電所【日本原子力発電(株)】(茨城県那珂郡東海村)

(平成30年 9 月12日) 望月部会長、岸田委員、高橋委員、中村委員、渡邊委員、吉川元委員
(平成30年11月 7 日) 森委員

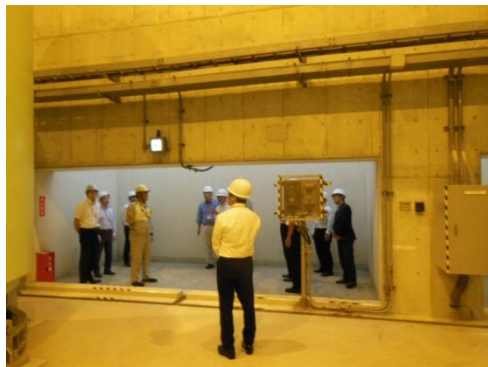
乾式貯蔵施設



(出典：日本原子力発電(株)ホームページ)



乾式貯蔵施設内（奥に見える円筒が乾式キャスク）



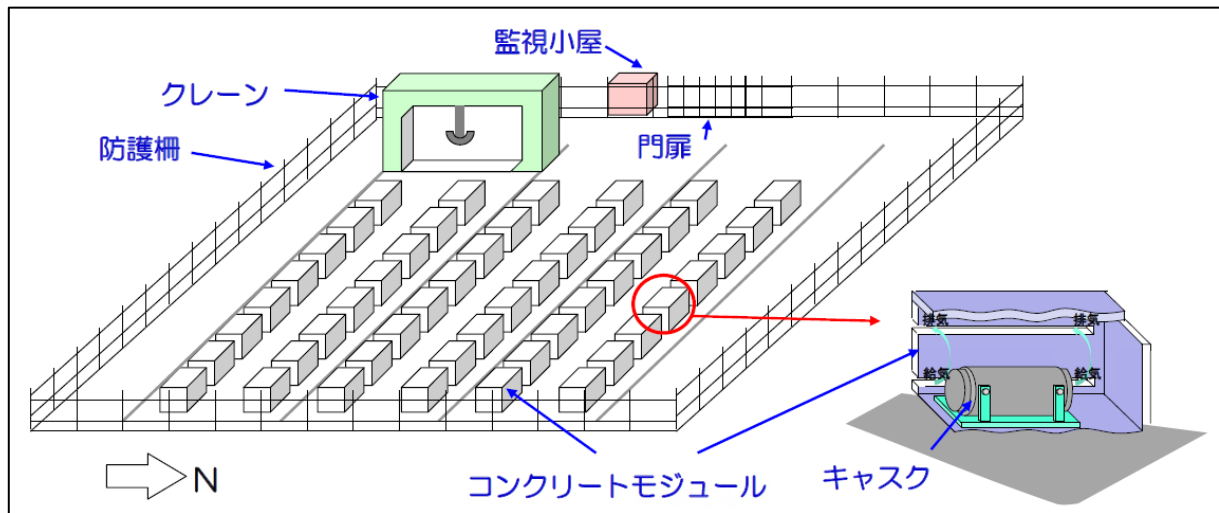
乾式貯蔵施設内（委員が入っている場所が給気経路）



乾式キャスク底部（固定金具部分）

- ・ 乾式キャスクは縦置きで建屋内に計 21 基が保管されており、そのうち 15 基が使用されていた。
- ・ 給気口から排気口への空気の流れが感じられ、自然冷却されていた。
- ・ 建屋内では、放射線モニタによる線量監視（管理値 0.15 mSv/h）、給排気口に設置された温度計による温度監視（管理値 建屋排気温度 44 °C，建屋給排気温度差 12°C）が行われていた。
- ・ 乾式キャスク自体には、二重蓋間圧力監視計（管理値:0.300MPa abs）および表面温度計（管理値:127.0°C）が設置されていた。（使用中のキャスクの管理値）
- ・ 上記の監視情報は、発電所中央制御室で監視されていた。
- ・ 当該乾式貯蔵施設には、乾式キャスクが 24 基保管でき、使用済燃料プールで 7 年以上冷却された使用済燃料を保管することとなっている。
- ・ 使用中の乾式キャスクの固定は、基準地震動の見直しに伴い、トラニオン固定金具の改良を完了しており問題ない。
- ・ キャスクは貯蔵専用のため、搬出時には内包している使用済燃料を輸送専用キャスクに移し変える。
- ・ 東日本大震災の際、乾式貯蔵施設に特段の影響はなかった。

2. 福島第一原子力発電所【東京電力HD(株)】(福島県双葉郡大熊町・双葉町)
(平成 30 年 9 月 11 日) 望月部会長、高橋委員、中村委員、渡邊委員、吉川元委員
キャスク仮保管設備 (現在、乾式キャスクを保管しているところ。撮影不可。)



(出典：東京電力HD(株)ホームページ)



事故後の旧キャスク保管建屋内の状況

出典：福島原子力事故調査報告書 (平成 24 年 6 月 20 日東京電力株式会社)



現在の旧キャスク保管建屋内の状況

- ・ 約 15m の津波被害のあった旧キャスク保管建屋内において、当時、乾式キャスク自体は 9 基保管されており、全て水没したが、その後の検査結果より、健全性に問題はなかった。なお、現在も当該キャスクは使用中であった。
- ・ 現在、海拔約 35m に「キャスク仮保管設備」を設け、37 基を横置きで保管していた。
- ・ 乾式キャスク保管のための建屋はなく、キャスク 1 基ずつをコンクリート壁で覆い、キャスクを設置した区画ごとに放射線モニタが設置されていた。
- ・ 東海第二発電所と同様に、キャスクの表面温度、二重蓋間圧力及び区画の空間放射線量率を常時監視していた。なお、それぞれの管理値については、下記のとおりであるが、設置工事に係る確認実施時の値であり、今後変更の可能性がある。

○表面温度の管理値

- ・ 乾式貯蔵キャスク (大型) : 77℃
- ・ 乾式貯蔵キャスク (中型) : 69℃
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスク B : 79℃

○二重蓋間圧力の管理値

- ・ 乾式貯蔵キャスク (大型) : 294kPa abs
- ・ 乾式貯蔵キャスク (中型) : 294kPa abs
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスク B : 250kPa abs

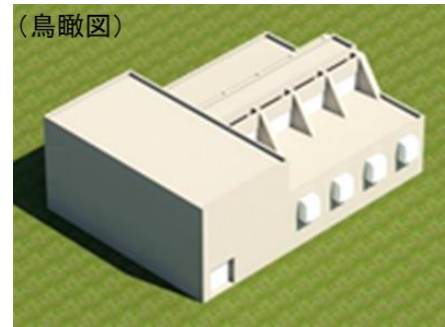
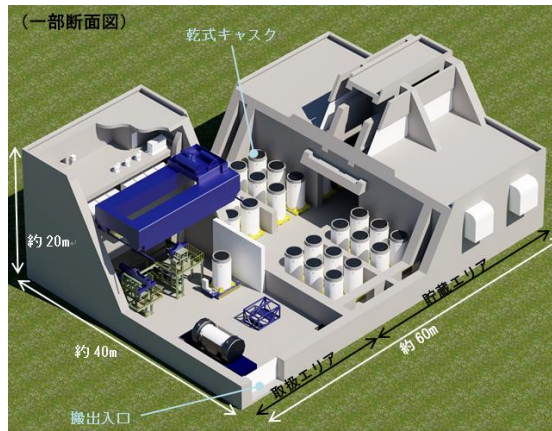
○区画の空間放射線量率の管理値

3.0×10^{-2} (10 の -2 乗) mSv/h

伊方発電所 使用済燃料乾式貯蔵施設設置計画の概要

1. 乾式貯蔵建屋

取扱エリアと貯蔵エリアからなる鉄筋コンクリート造の建屋で、乾式キャスクを45基（燃料集合体で約1,200体、500トン・ウラン規模）配置可能な構造とする。

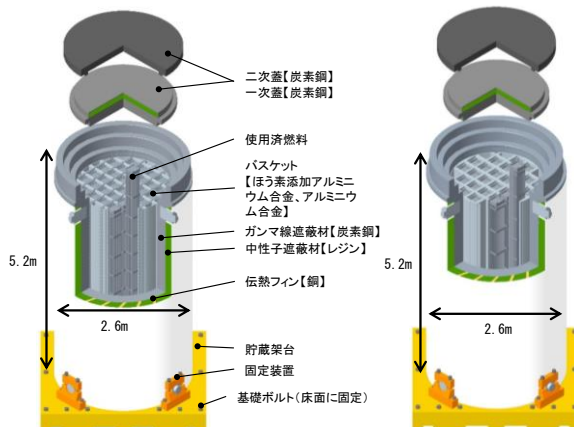


2. 乾式キャスク

1、2号機ウラン燃料用と3号機ウラン燃料用の2タイプを設置し、十分に冷却が進んだ使用済燃料を収納する。

1,2号炉ウラン燃料(14×14型燃料)用

3号炉ウラン燃料(17×17型燃料)用



乾式キャスクの形状

- ✓ 寸法：(直径)2.6m (高さ)5.2m
- ✓ 重さ：約120トン(使用済燃料等含む)

収納物

<1,2号炉燃料用>

- ・使用済燃料(14×14型燃料)(注1)：32体/基

<3号機燃料用>

- ・使用済燃料(17×17型燃料)(注2)：24体/基
- ・バーナブルポイズン集合体：12体以下/基

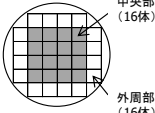
(注1) 断面寸法197mm角、全長約4.1m

(注2) 断面寸法214mm角、全長約4.1m

3. 乾式キャスクの収納制限

使用済燃料は下表の制限を全て満足するように乾式キャスクに収納する。

1,2号炉ウラン燃料(14×14型燃料)用

仕様		キャスク収納制限		
		中央部		外周部
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	14×14型 (A/B型)		
		48GWd/t型	39GWd/t型	39GWd/t型
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≦4.2	≦3.5	
	最高燃焼度 (燃料集合体平均) (GWd/t)	≦48	≦39	
	SFP※1での冷却期間 (年)	≧15		≧25
キャスク 1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≦45		≦33
配置制限				

※1：使用済燃料ピット

※2：回収ウラン燃料(使用済燃料を再処理して得られたウランを再利用した燃料)については、15年以上冷却した通常ウラン燃料と放射線量及び発熱量が同程度以下となるよう20年以上冷却した後、収納する。

3号炉ウラン燃料(17×17型燃料)用

仕様		キャスク収納制限	
		中央部	外周部
燃料集合体1体の仕様	燃料タイプ	17×17型(A/B型)	
		48GWd/t型	
	初期ウラン濃縮度(wt%)	≤4.2	
	最高燃焼度(燃料集合体平均)(GWd/t)	≤48	≤44
	SFP※1での冷却期間(年)	A型：≥15※2 B型：≥17	A型：≥15 B型：≥17
キャスク1基あたり	平均燃焼度(GWd/t)	≤44	
バーナブルポイズン	最高燃焼度(GWd/t)	≤90	—
	SFP※1での冷却期間(年)	≥15	—
配置制限			