

伊方発電所 3 号炉
使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に係る
設置許可基準規則への適合性について
(コメント回答)

令和元年12月17日
四国電力株式会社

1. コメントリスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
1	2018/7/5 審査会合	収納対象燃料の仕様(燃烧度・冷却期間)を丁寧に説明すること。	16条	収納対象燃料の仕様として、燃料集合体1体あたりの収納制限(ウラン濃縮度、最高燃烧度、冷却期間)、及び乾式キャスク1基あたりの収納制限(平均燃烧度、配置制限)を定めている。	10/17 審査会合で説明。
2	2018/7/5 審査会合	各条文の説明の中で、解析の内容と結果、技術的な特殊性・新規性の有無について明確にすること。	16,29, 30条	各解析については、使用する解析コードを含めて許認可実績があるため、技術的な特殊性・新規性はない。	10/17 審査会合で説明(16条)。 11/21 審査会合で説明(29,30条)。
3	2018/7/5 審査会合	乾式キャスクの貯蔵エリアについて管理区域の線量区分Ⅳとしているが線量上限の考え方について説明すること。	30条	遮蔽設計区分上、第Ⅳ区分の線量率の上限は設けていないが、作業時には、実際の線量当量率の測定結果、作業時間及び個人の被ばく線量等を考慮して被ばく低減のため作業計画を定めるとともに、警報付線量計着用により線量限度を超えないよう被ばく管理を行う。	11/21 審査会合で説明。
4	2018/7/5 審査会合	乾式キャスク・カップホルダの耐震性について十分に説明すること。	4条	乾式キャスク及びカップホルダの耐震評価方法が十分な保守性を有することを加振試験結果と比較することで検証を行った。地震応答解析で算出した荷重は、加振試験で計測された荷重を大きく上回っており、耐震評価方法の妥当性を確認した。本評価方法で耐震評価を実施したところ、発生値は許容限界を下回っており、乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震性は確保されることを確認した。	11/21 審査会合で説明。
5	2019/6/18 審査会合	サイト全体での長期的な燃料管理方針を説明すること。	16条	伊方発電所に貯蔵している使用済燃料のうち、十分に冷却が進んだ収納対象燃料は、再処理工場への搬出状況等を踏まえながら、計画的に使用済燃料乾式貯蔵施設に搬出する。	8/22審査会合で説明。
6	2019/6/18 審査会合	5/22原子力規制委員会で示された審査方針に沿って、乾式キャスク単体の安全機能を説明すること。	— (影響評価)	<ul style="list-style-type: none"> 乾式貯蔵建屋なしで評価条件を現実的に見直した場合の敷地境界線量は、約200μSv/yとなり、目標値である50μSv/yを満足するためには、乾式貯蔵建屋を設置することにより、放射線量を低減する必要がある。 地震および竜巻飛来物衝突時に乾式キャスクに負荷される荷重が、核燃料輸送物設計承認申請における0.3m落下評価時の荷重を下回ることにより安全機能に係る乾式キャスク内部の部材が弾性範囲内であることを確認した。 外部火災時の乾式キャスクへの入熱が、核燃料輸送物設計承認申請における火災事象を想定した評価条件(800$^{\circ}$Cで30分の火災)における入熱を下回ることを確認した。 	6/18審査会合で説明。(敷地境界線量) 8/22審査会合で説明。(自然災害)

1. コメントリスト(つづき)

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
7	2019/6/18 審査会合	建屋無しとした場合の敷地境界線量について、過度な保守性を更に排除すること。	— (影響評価)	燃焼度や冷却期間等、各収納制限に対する解析条件の保守性について整理した結果、前述の「現実的な評価」結果に与える影響は小さいことを確認した。	8/22審査会合で説明。
8	2019/10/17 審査会合	乾式キャスク金属ガスケットについて、大気に触れる部分の腐食を踏まえて二次蓋の健全性評価を説明すること。	16条	当社は、乾式キャスクを乾式貯蔵建屋内に設置し、雨水、塩水等の影響を受けることのない設計としているが、そのうえで、大気と接触する二次蓋金属ガスケットの外側の腐食について、文献調査を行い、乾式キャスクの閉じ込め機能に影響がないことを確認した。 【詳細はP5に示す。】	12/17 審査会合で説明。
9	2019/10/17 審査会合	蓋間圧力監視の位置付けと目的について、どのような事象を異常として想定し、目的が達成できる監視を設定しているのか説明すること。	16条	規則等の要求事項を踏まえ、審査ガイドに定められている「密封シール部の異常」を「乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ること。」と定義し、管理値を設け、3ヶ月に1回の頻度で監視することで、FPガス等の放出に至る前(蓋間圧力が大気圧に至る前)に密封シール部の異常を検知できる。 【詳細はP6～10に示す。】	12/17 審査会合で説明。
10	2019/11/21 審査会合	加振試験の妥当性(実機との同等性・再現性、加振波の代表性)を説明すること。	4条	今後回答する。	未 (今後の審査で説明する。)
11	2019/11/21 審査会合	耐震評価手法の保守性について説明すること。	4条	今後回答する。	未 (今後の審査で説明する。)

1. コメントリスト(つづき)

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
12	2019/11/21 審査会合	乾式貯蔵建屋取扱エリアにおける乾式貯蔵建屋天井クレーンによる乾式キャスクに対する波及的影響について整理すること。	16条	<p>乾式貯蔵建屋取扱エリアの乾式貯蔵建屋天井クレーンによる輸送荷姿以外で静置している乾式キャスクに対して波及的影響がないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・天井クレーンは、自然現象等に対し頑健な建屋であり、地震等が生じても乾式貯蔵建屋の構造は維持され、ガーダ及びトロリは落下しない構造である。 ・取扱エリア内での作業においては検査架台上での作業が支配的な作業であり、地震に対する波及的影響の観点からも、基準地震動Ssと組合すべき事象として選定されない。 ・仮に乾式キャスクへ天井クレーンの主要部分のトロリが落下した場合でも、乾式キャスクの閉じ込め機能は維持されることを確認した。 ・仮に乾式キャスク内の燃料集合体が全数破損し、乾式キャスク1基の閉じ込め機能がそうした場合でも、敷地境界線量は線量限度の1mSv/y以下となることを確認した。 <p>【詳細はP11に示す。】</p>	12/17 審査会合 で説明。
13	2019/11/21 審査会合	乾式貯蔵建屋天井クレーンが「燃料取扱設備」に該当するのか整理すること。	16条	<p>従来の要求事項及び当社設計方針を踏まえ、乾式貯蔵建屋天井クレーンは「燃料取扱設備」には該当しないと考えている。</p> <p>また、「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」でも、クレーン類は、一般産業施設や公衆施設と同等の安全性が要求されていることから、乾式貯蔵建屋天井クレーンを、一般産業施設や公衆施設以上の安全性を有する「燃料取扱設備」に位置付けることは適切ではないと考えられる。</p> <p>【詳細はP12に示す。】</p>	12/17 審査会合 で説明。

1. 1 指摘事項(コメントNo.8)

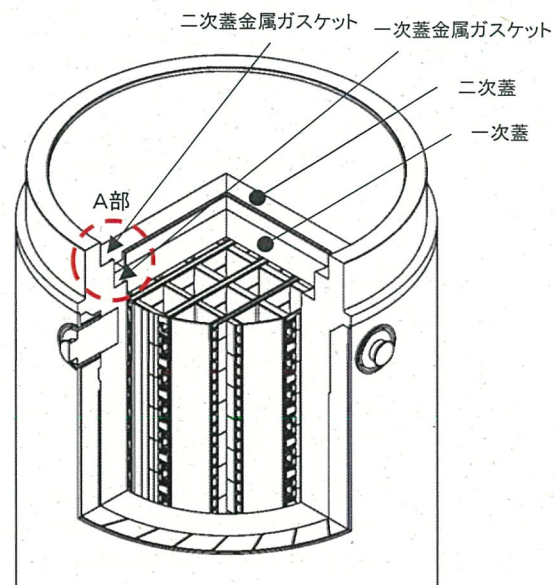
指摘事項(コメントNo.8)

乾式キャスク金属ガスケットについて、大気に触れる部分の腐食を踏まえて二次蓋の健全性評価を説明すること。

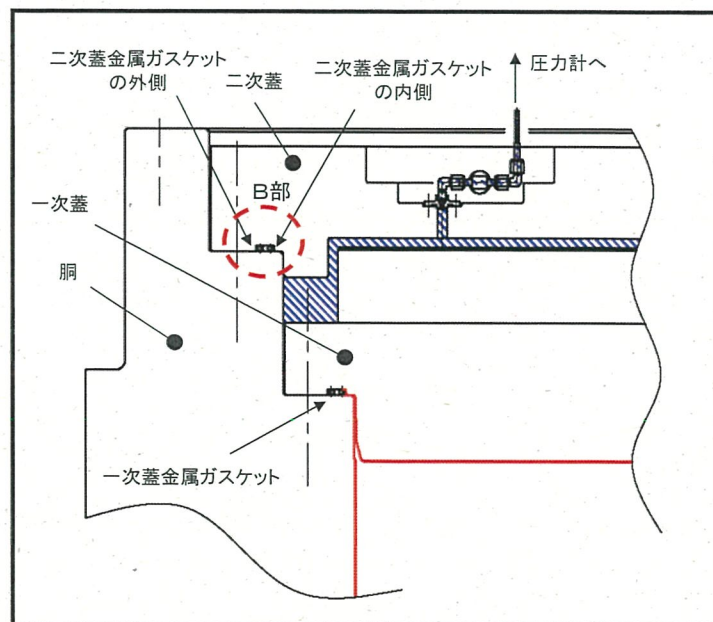
回答

○当社は、乾式キャスクを乾式貯蔵建屋内に設置し、雨水、塩水等の影響を直接受けることのない設計としているが、そのうえで、大気と接触する二次蓋金属ガスケットの外側の腐食について、以下のとおり文献調査を行い、乾式キャスクの閉じ込め機能に影響がないことを確認した。

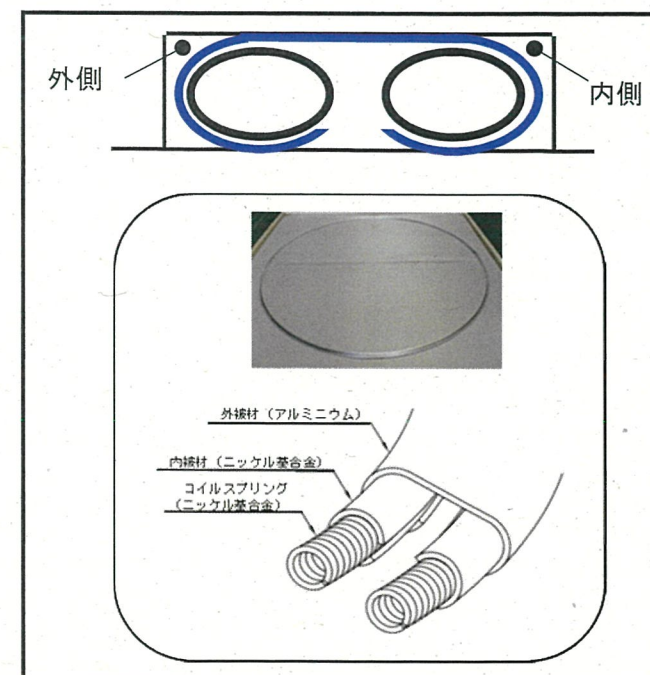
- ・二次蓋金属ガスケットの外側について、約3年間の塩水噴霧試験を実施し、実機の使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化のないことが確認されている。
- ・また、10年間海浜条件で大気ばく露させた平均浸食深さ及び最大孔食深さを用い、浸食深さと孔食深さを評価した結果、設計貯蔵期間の平均浸食深さ及び最大孔食深さはそれぞれ約0.025mm及び約0.33mmであり、金属ガスケットの外被材の製造公差を含めても、外被材の板厚0.5mmより小さいため、閉じ込め機能に影響はない。



<乾式キャスク外観図>



<A部:蓋部断面図>



<B部:金属ガスケット詳細図>

指摘事項(コメントNo.9)

蓋間圧力監視の位置付けと目的について、どのような事象を異常として想定し、目的が達成できる監視を設定しているのか説明すること。

回答

○乾式キャスクの閉じ込め機能監視については、以下のとおり要求されている。

＜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＞第16条第4項＞

- 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。
- 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。

＜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＞

4.4 監視機能

【審査における確認事項】

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。

【確認内容】

- (1) 蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FPガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。

○基準規則及び審査ガイドの要求事項を踏まえ、審査ガイドに定められている「密封シール部の異常」及び「適切な頻度」を以下のとおり定義する。

- ・密封シール部の異常：乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ること。
- ・適切な頻度：閉じ込め機能が低下しても、FPガス等の放出に至る前(蓋間圧力が大気圧になる前)に、密封シール部の異常(乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ること)を検知できる頻度のこと。

○乾式キャスク内部からFPガスが放出されるまでの漏えいのイメージを以下に示す。

- ①初期状態: 乾式キャスク内部は負圧、蓋間空間は正圧の状態での貯蔵を開始する。
- ②蓋間圧力の低下: 蓋間空間から2方向へ漏えいし、蓋間空間が正圧から大気圧まで低下していく。
- ③大気からのインリーク: 蓋間空間が大気圧まで低下後、大気から乾式キャスク内部へ、1方向にインリークが始まる。
- ④大気へのアウトリーク: 乾式キャスク内部が大気圧に到達後、乾式キャスク内部のFPガスが大気へ放出される。

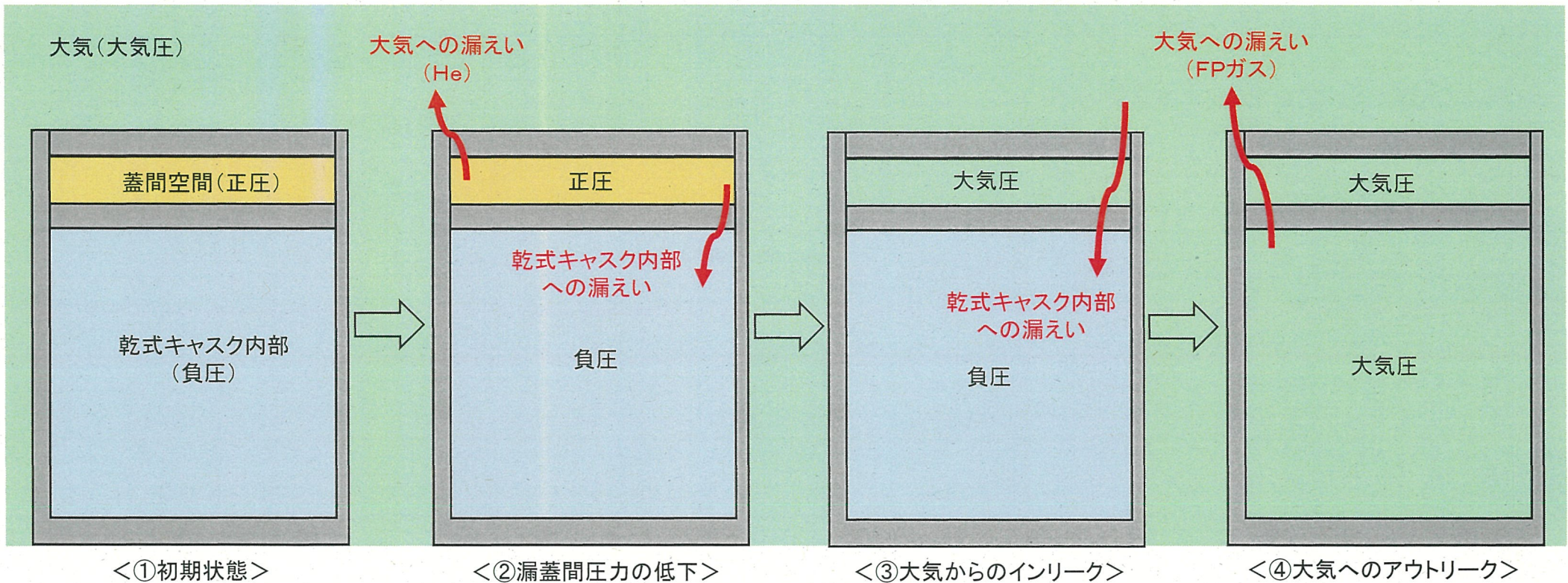


図: 漏えいのイメージ図

1.2 指摘事項(コメントNo.9)

○管理値は10月17日の審査会合で説明したとおり、基準漏えい率で2方向への漏えいによる蓋間圧力の低下を想定し※、周囲環境の温度変化等による圧力変動を考慮した場合でも、蓋間圧力が大気圧に至る前に検知できるよう右図のとおり設定する。

＜監視頻度の妥当性＞

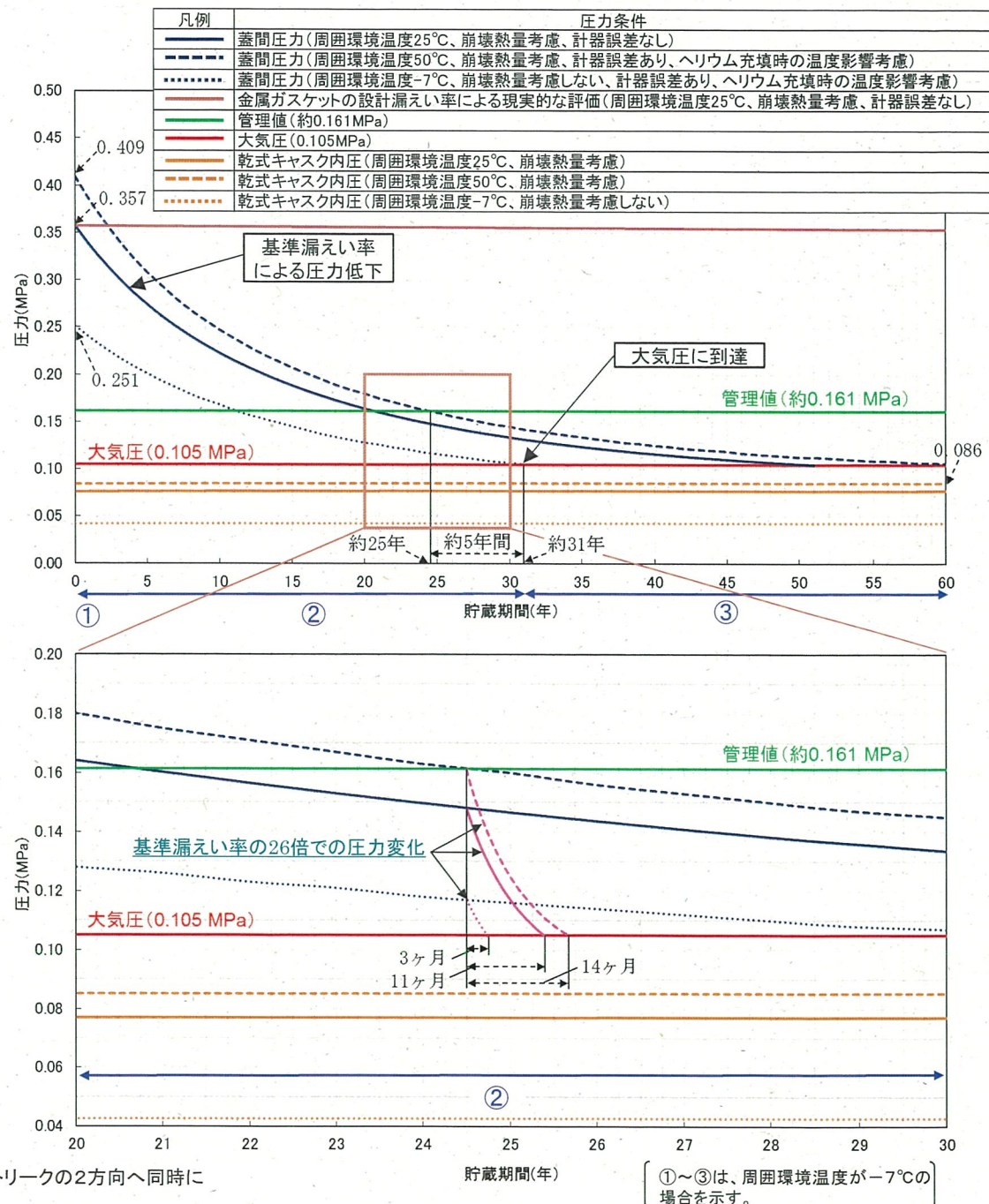
○基準漏えい率で2方向の漏えいを想定した後、管理値到達後に急に基準漏えい率の26倍(2.58 × 10⁻⁶ × 26 = 6.87 × 10⁻⁵ Pa・m³/s)で2方向に漏えい量が増加する場合を想定すると、以下のとおりとなる。

- ・周囲温度-7℃の場合: 約26倍の漏洩率 3ヶ月で大気圧に到達
- ・周囲温度+25℃の場合: 約26倍の漏洩率 11ヶ月で大気圧に到達
- ・周囲温度+50℃の場合: 約26倍の漏洩率 14ヶ月で大気圧に到達

○核燃料輸送物設計承認申請で説明している実規模相当での9.3m傾斜落下試験による衝撃力(約5.3 × 10⁷N)を受けても、試験後の漏えい率は基準漏えい率の26倍に至らない。また、乾式キャスク転倒試験等の文献においても、基準漏えい率の26倍に至っていない。

○なお、仮に乾式キャスクに装荷されている使用済燃料集合体燃料被覆管が核燃料輸送物設計承認申請の評価条件である0.1%破損し、閉じ込め機能の喪失に伴い内包する放射性物質が瞬時に全量漏えいしたと想定した場合においても、敷地境界線量への影響は事象当たり1μSv未満であり、審査ガイドに要求される通常貯蔵時の線量限度(1mSv/y)に影響はない。

○以上のことから、仮に、基準漏えい率の26倍の漏えいを2方向想定しても、3ヶ月に1回の頻度で監視することで、蓋間圧力が大気圧に至る前に密封シール部の異常(乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ること)を検知できるため、管理値を定めただうえ、3ヶ月に1回の頻度で監視する(蓋間圧力を測定する)ことは適切であると考える。



※:一次蓋及び二次蓋の間の空間(蓋間空間)から乾式キャスク内部へのインリーク及び大気へのアウトリークの2方向へ同時に基準漏えい率(2.58 × 10⁻⁶ Pa・m³/s)での漏えいを保守的に想定する。

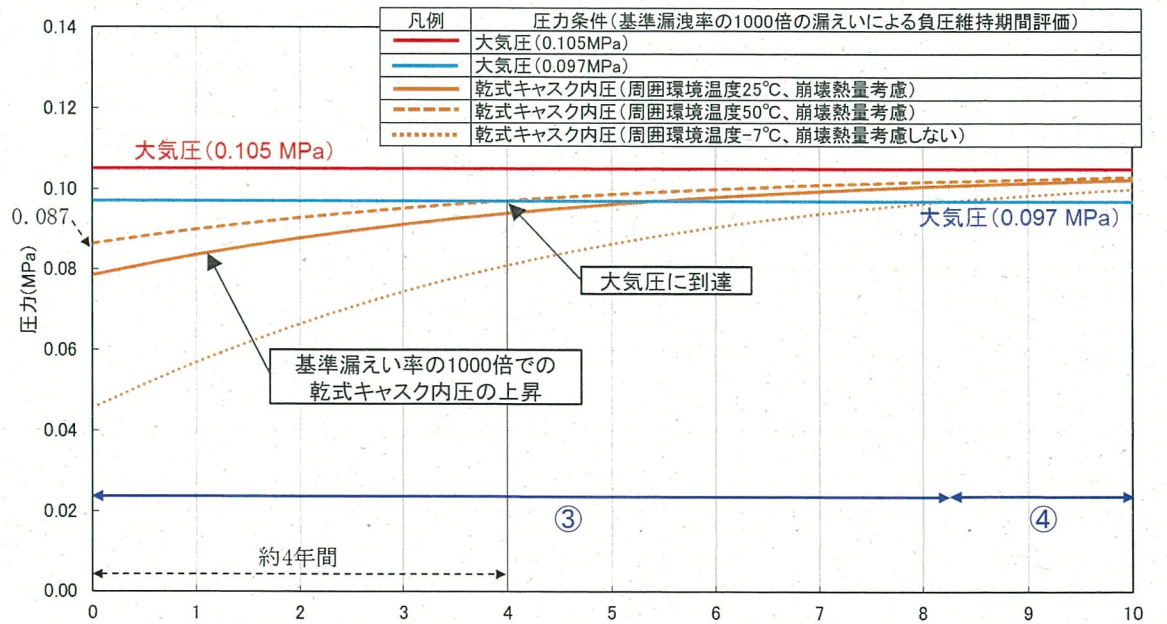
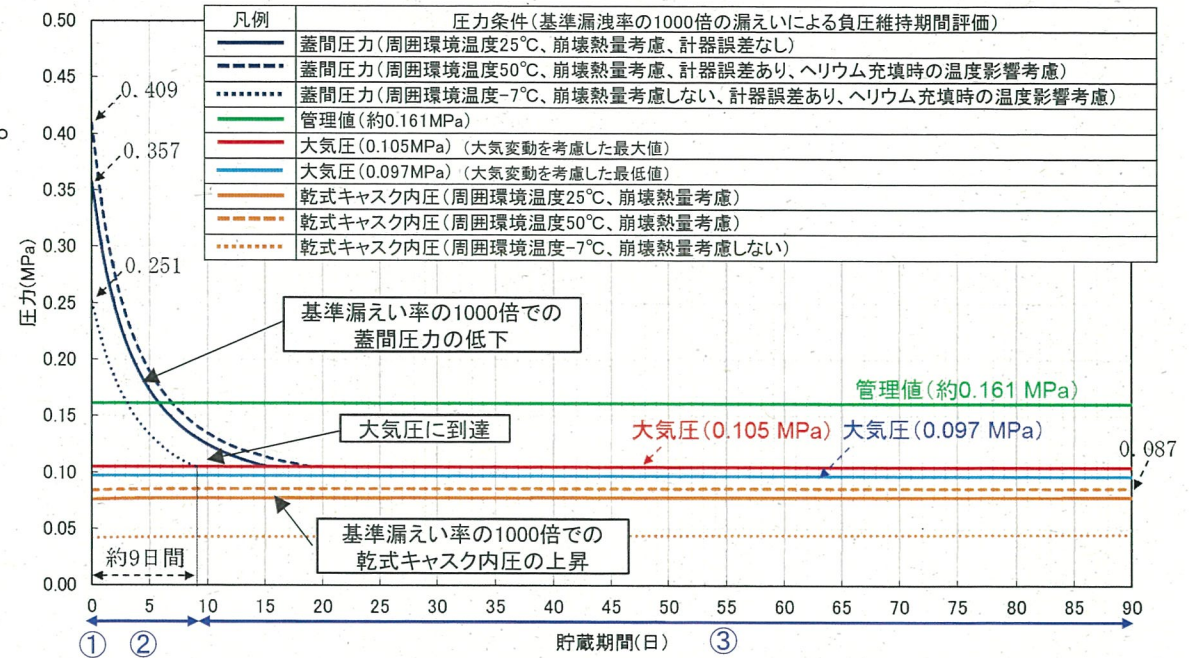
<参考>

実際には起こりえない基準漏えい率の増加 ($2.58 \times 10^{-6} \times 1000 = 2.58 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$) を想定しても、FPガス等の放出に至る前に検知できることについて、3ヶ月に1回の監視頻度で妥当であることを検証した。

○下表の乾式キャスクの落下試験等の文献(試験前後の漏えい率の測定値)による漏えい率の増加率(1000倍程度)を仮に、当社基準漏えい率からの増加率に置き換えて、 $2.58 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ の漏えいが2方向で生じるものとした。

試験	部位	漏えい率(測定値): $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$		増加率	
		試験前	試験後		
キャスク転倒試験 (トラニオンを回転中心とする回転高さ1mでの蓋部衝突試験)	一次蓋	3.7×10^{-12}	3.9×10^{-9}	1000	
	二次蓋	1.2×10^{-12}	8.4×10^{-9}	1000	
9m落下試験 (MSF型キャスクのプロトタイプを用いた輸送荷姿(緩衝体付き)での落下試験)	0.3m傾斜落下	一次蓋	2.5×10^{-11}	1.0×10^{-11}	1
		二次蓋	1.5×10^{-11}	$< 1 \times 10^{-11}$	1
	9m傾斜落下	一次蓋	1.0×10^{-11}	$< 1 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	$< 1 \times 10^{-11}$	3.0×10^{-7}	10000
	9.3m傾斜落下	一次蓋	$< 1 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	7.4×10^{-9}	1.6×10^{-6}	1000

- 右図のとおり、蓋間圧力は急激に減少し、最早約9日経過後に蓋間圧力は大気圧に到達する可能性がある。
- 乾式キャスク内圧は、乾式キャスク内部空間が蓋間空間と比較して容積が大きいことに起因し、約4年間は乾式キャスク内部は大気圧(下限値0.097MPa)に到達せず、FPガスが外部へ放出されることはない。
- 以上のことから、仮に、基準漏えい率の1000倍の漏えいを2方向想定しても、約4年間は乾式キャスク内部は大気圧(下限値0.097MPa)に到達せず、FPガスが外部へ放出されることはないため、3ヶ月に1回の頻度で監視することは妥当である。



90日経過後の貯蔵期間(年) ①～④は、周囲環境温度が-7°Cの場合を示す。

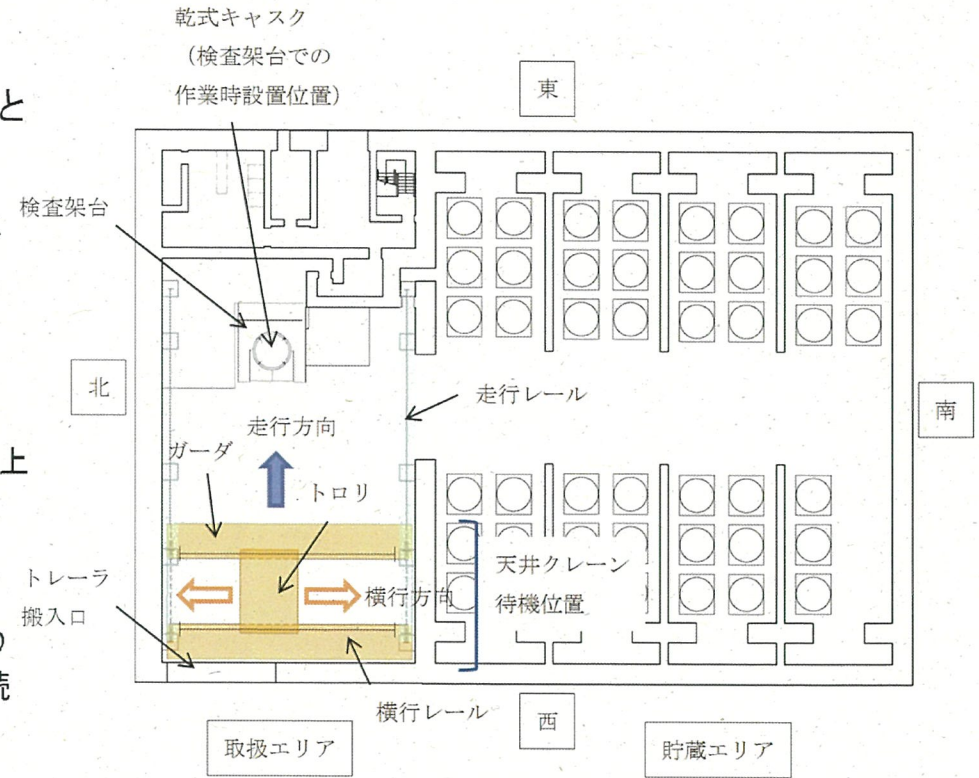
指摘事項(コメントNo.12)

乾式貯蔵建屋取扱エリアにおける乾式貯蔵建屋天井クレーンによる乾式キャスクに対する波及的影響について整理すること。

回答

○取扱エリアの乾式キャスクに対し、最も波及的影響度合が大きいと考えられる天井クレーンの落下について、以下のとおり検討した。

1. 天井クレーンは、自然現象等に対し頑健な建屋に設置し、地震等が生じてても乾式貯蔵建屋の構造は維持され、ガーダ及びトロリは落下しない構造である。
2. 天井クレーンは、1. に示す通り、乾式キャスク上に落下することは想定しづらい。また、取扱エリア内での作業においては検査架台上での作業が支配的な作業であり、緩衝体を取外し静置している乾式キャスクの直上には、年間約1.5時間程度(約3基程度)と想定され、地震に対する波及的影響の観点からも、以下のとおり、基準地震動 S_s と組合すべき事象として選定されない。
 - ・基準地震動 S_s の年超過確率と年間時間率との組合せをJEAG4601の地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、検討した結果 10^{-7} /年を下回る。



3. 仮に乾式キャスクへ天井クレーンの主要部分のトロリが落下した場合でも、乾式キャスクの閉じ込め機能は維持される(一次蓋シール部がおおむね弾性範囲にとどまる)。
4. さらに、仮に乾式キャスク内の燃料集合体が全数破損し、乾式キャスク1基の閉じ込め機能が喪失した場合でも、敷地境界線量は線量限度の 1mSv/y 以下となる。

○以上のとおり、乾式貯蔵建屋取扱エリアにおける乾式貯蔵建屋天井クレーンによる輸送荷姿以外で静置している乾式キャスクに対して波及的影響がないことを確認した。

指摘事項(コメントNo.13)

乾式貯蔵建屋天井クレーンが「燃料取扱設備」に該当するのか整理すること。

回答

【要求事項の整理】

- 「設置許可基準規則」第16条第1項に定める燃料取扱設備については、「技術基準規則」第26条の解釈において、『「燃料体又は使用済燃料を取り扱う設備」とは、新燃料、再使用燃料又は使用済燃料の装荷、取出又は保管等を行うために使用する設備をいう。』と定義されている。これは、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」でも同じ定義がなされており、従来から変更されていない。
- 「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」において、『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(支持部、計装設備、クレーン類、貯蔵建屋等及び基礎)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。』と定義されており、乾式貯蔵建屋天井クレーンは「クレーン類」に位置付けられるため、「乾式貯蔵建屋天井クレーン」は周辺施として、「一般産業施設や公衆施設と同等の安全性」が要求されている。

【当社設計方針】

- 既許可における当社の「設置許可基準規則」第16条第1項の設計方針では、「燃料体等(通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料)の取り扱い」について記載しており、「キャスクの取り扱い」については記載していない。よって、従来からキャスクの取扱設備については、設置許可基準規則第16条第1項(燃料取扱設備)としての基準適合性は求められていないと考えられる。
 - 乾式貯蔵建屋天井クレーンは、乾式キャスクについて規定している第16条第2項の「燃料貯蔵施設」の中の「周辺施設」として整理し、乾式キャスクの移動を安全かつ確実にできる設計方針としている。
- したがって、乾式貯蔵建屋天井クレーンは、燃料取扱設備には該当せず、周辺施設に該当すると考える。