

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-007
提出年月日	2021年10月13日

工事計画に係る説明資料
(核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設)

2021年10月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

資料 No.	添付説明書名	補足説明資料（内容）	備考
1	使用済燃料貯蔵槽の温度，水位及び漏えいを監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書	/	
2	燃料取扱設備，新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	1. 小規模漏えい時の沸騰状態における実効増倍率について 2. 未臨界性評価における計算体系設定の考え方 3. 大規模漏えい時の未臨界性評価における水密度を一様に変化させることの妥当性 4. 未臨界性評価の条件 5. 未臨界性評価における不確定性 別添 1 ラックセル中のボロンの減損割合の評価 別添 2 使用済燃料貯蔵ラックにおける燃料の偏心の影響について 別添 3 未臨界性評価の保守性及び妥当性について	10/13 今回提出 範囲

資料 No.	添付説明書名	補足説明資料（内容）	備考
3	燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書	1. 燃料プール周りの主要な重量物の配置	10/13 今回提出 範囲
		2. 燃料取替機及び原子炉建物天井クレーンの待機場所について	
		3. 原子炉建物天井クレーンのインターロックについて	
		4. 新燃料の取扱いにおける落下防止対策	
		5. 使用済燃料輸送容器取扱い作業時における燃料プールへの影響	
		6. ワイヤロープ及び主要部材の強度に関する説明について	
		7. 燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果	
		別添 1 重量物落下時のチャンネルボックスへの荷重について	
4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書		
5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書		

工認添付書類と設置許可まとめ資料との関係
 (工事計画に係る説明資料(核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設))

工認添付資料	設置許可まとめ資料			引用内容
燃料取扱設備, 新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	SA	54-13	燃料プール水沸騰・喪失時の未臨界性評価	実効増倍率の水密度依存性の評価結果を引用
	有効性評価	添付資料 4.1.4	燃料プール水沸騰・喪失時の未臨界性評価	実効増倍率の水密度依存性の評価結果を引用
燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失の防止に関する説明書	DB	第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	落下防止について引用 ただし, 燃料取替機及び原子炉建物天井クレーンに係る評価方法及び評価結果については, 各耐震計算書に示す。

核燃料取扱設備，新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の
核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書に係る
補足説明資料

目 次

1. 小規模漏えい時の沸騰状態における実効増倍率について	1
2. 未臨界性評価における計算体系設定の考え方	2
3. 大規模漏えい時の未臨界性評価における水密度を一様に変化させることの妥当性	3
4. 未臨界性評価の条件	4
5. 未臨界性評価における不確定性	11
別添 1 ラックセル中のボロンの減損割合の評価	別 1-1
別添 2 使用済燃料貯蔵ラックにおける燃料の偏心の影響について	別 2-1
別添 3 未臨界性評価の保守性及び妥当性について	別 3-1

1. 小規模漏えい時の沸騰状態における実効増倍率について

燃料プールは、燃料プール冷却系、残留熱除去系の故障等により燃料プールの冷却機能及び注水機能が喪失又は燃料プールに接続する配管の破損等により燃料プール水の小規模な漏えいその他要因により当該燃料プールの水位が低下した場合に、技術基準規則第 69 条第 1 項及び解釈により施設が要求されている燃料プールのスプレイ系（常設スプレイヘッド）又は燃料プールのスプレイ系（可搬型スプレイノズル）による冷却及び水位確保により燃料プールの機能（燃料体等の冷却、水深の遮蔽能力）を維持するとともに、実効増倍率が最も高くなる冠水状態においても臨界を防止できる設計としている。

仮に燃料プール水が沸騰又は喪失状態となった場合には、燃料プールの水密度が減少することにより、ラックセル内で中性子を減速する効果が減少し、実効増倍率を低下させる効果が生じる。一方、ラックセル間ではラックのボロンによる中性子吸収が減少して、実効増倍率を増加させる効果が生じる。低水密度状態を想定した場合の燃料プールの実効増倍率は上記の 2 つの効果のバランスにより決定されるため、ラックの材質・ピッチの組合せによっては通常の冠水状態と比較して未臨界性評価結果が厳しくなる可能性がある。

そこで、島根原子力発電所第 2 号機の燃料プールにおいて水密度を一様に $0.0 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ と変化させて実効増倍率を計算したところ、中性子の強吸収体であるラックセル中のボロンの効果により、実効増倍率を増加させる効果がある隣接ラックへの中性子の流れ込みが抑制されることから、水密度の減少に伴い実効増倍率は単調に減少する結果が得られた。ボロンは供用期間中に中性子を吸収し、中性子の吸収体としての効果が低下することが考えられるが、仮に供用期間を 60 年としても効果の低下はごく僅かであり、供用期間後の使用済燃料搬出までの期間を 10 年（合計 70 年間）と仮定しても効果の低下はごく僅かであると考えられる（別添 1 参照）。このため、水密度が減少する事象が生じた場合でも未臨界は維持されることとなる。

2. 未臨界性評価における計算体系設定の考え方

大規模漏えい時の未臨界性評価における計算体系は、水平方向及び垂直方向に無限に広がりを持つ体系と設定している。

本評価の計算モデルは、使用済燃料貯蔵ラックセルを設定し、周囲での境界条件を完全反射(高さ方向は無限に相当)と設定することで中性子の漏れが無い保守的な条件としており、燃料集合体、使用済燃料貯蔵ラックの幾何学形状及び配置を模擬した使用済燃料貯蔵ラックとし、燃料集合体が配置されない空間を含めた燃料プール全体をモデル化することよりも、保守的な計算モデルとなっている。

なお、本計算モデルにおいては、使用済燃料貯蔵ラックと隣の使用済燃料貯蔵ラックの間が計算モデルの境界となるように設定することで、実設計の使用済燃料貯蔵ラック間距離を反映している。

3. 大規模漏えい時の未臨界性評価における水密度を一様に変化させることの妥当性

大規模漏えい時の未臨界性評価は、燃料プール水が喪失した状態で、燃料プールスプレイ系（可搬型スプレイノズル）にてラック及び燃料体等を冷却し、臨界とにならないよう配慮したラック形状において、スプレイや蒸気条件においても臨界を防止できることを確認する。このスプレイや蒸気条件の想定として燃料プール全体の水密度を一様に $0.0\sim 1.0\text{g/cm}^3$ まで変化させることとしている。

大規模漏えい時には、燃料プールスプレイ系（可搬型スプレイノズル）により燃料プール全体に注水する手順となっており、ラックを構成する一部のセルに水が偏ることはない。また、燃料プール水が喪失していく過程や再冠水過程においてもラック底部からラック内に水が流れ込む構造になっている。このため、燃料体等からの崩壊熱によりラック内外で水密度の濃淡が生じるものの、ラック内外で著しい水位差は生じない。以上より、偏った水密度分布となることは考え難い。したがって、スプレイや蒸気条件における未臨界性評価条件として、水密度を一様に $0.0\sim 1.0\text{g/cm}^3$ まで変化させることは妥当である。

4. 未臨界性評価の条件

4.1 燃料条件

TGBLA*¹/NEUPHYS*²にて評価した無限増倍率を図4-1～5に示す。9×9燃料（A型）、9×9燃料（B型）及び高燃焼度8×8燃料等の炉心装荷時の無限増倍率は、それぞれ添加されたガドリニアの量によって2種類ずつあるタイプを対象に、その各軸方向断面について、2次元の無限体系にて燃焼を進めて計算している。いずれの燃料においても低Gd燃料の上部、又はGd濃度の低い燃料上部において無限増倍率が最大となり、運転期間中のガドリニア効果によるピークを考慮しても1.30を超えることはない。したがって、十分大きな保守性をもつモデルバンドルとして、炉心装荷時の無限増倍率が1.30となるよう設定した。中でもピーク時の無限増倍率が高いのは9×9燃料（A型）及び9×9燃料（B型）であるが、値はほぼ同等のため、9×9燃料（A型）をモデルバンドルの想定に用いた。

モデルバンドルは、部分長燃料の有無により軸方向の濃縮度分布を上下2領域に分け、無限増倍率が最大となるガドリニアの燃焼が進んだ状態を想定し、未燃焼組成で無限増倍率が1.30となるように濃縮度分布を設定する。この濃縮度分布をウラン燃料設計の基本的な考え方（燃料集合体の内側と外側での中性子スペクトルの違いを考慮し、濃縮度を外側に向かって低く、コーナー部は低濃縮度にする）に基づいて、9×9燃料（A型）の濃縮度分布を参考に設定するとモデルバンドルの平均濃縮度は□wt%（軸方向下部断面で□wt%、上部断面で□wt%）となる。一般に、B-SUSラックはボロンの強い中性子吸収効果により、熱中性子が欠乏した減速不足の状態にある。このため、水対ウラン比が大きいモデルバンドル上部断面を用いたほうが、ラック体系における中性子の減速不足状態が緩和されるため実効増倍率が高く評価される。以上から、より保守的な条件としてモデルバンドルの上部断面を未臨界性評価に用いた。また、いずれの燃料においても燃焼が進み燃焼末期に近づくにつれて無限増倍率は低下するため、使用済燃料として貯蔵される状態においては、より大きな保守性をもつと言える。モデルバンドルとしては9×9燃料（A型）を用いたが、いずれの燃料を用いてもこの大きな保守性に包絡され、燃料条件としては保守的な設定となる。

注記*1：沸騰水形原子力発電所 燃料集合体核特性計算手法，TLR-006改訂1，株式会社東芝，平成20年9月

*2：BWRの燃料集合体核特性計算手法について，NLR-01，原子燃料工業株式会社，平成6年4月

4.2 ラック条件

解析使用値としては実効増倍率が最も大きくなる公差の組み合わせの条件を用いる。具体的には、ラックの製作公差において、ラック板厚は吸収材の量が少なくなるよう小さくし、ラックピッチ及び内のは燃料がより接近するよう小さくした。ラックの製作公差は以下のとおり（公称値±公差）であり、最小値、公称値、最大値にて実効増倍率を計算した結果、それぞれ上述の条件によって最も保守的になることを確認した（図4-6～8）。

ラック板厚： \square mm + \square , - \square mm

ラックピッチ： \square mm ± \square mm

ラック内のはり： \square mm ± \square mm

ボロン濃度は保守的に製造範囲（ \square wt%～ \square wt%）の下限值を使用した。ラック配列については、保守的に鉛直方向は無限長、水平方向は無限配列とした。

なお、ラックは板同士を溶接して製造しており、溶接部分にはボロンの減損が生じる可能性があるが、実効増倍率に有意な変化はない。

以上より、ラック条件は保守的な設定となっている。

ラック製造公差を踏まえた上で、実効増倍率の評価が最も保守的になるラック寸法及びボロン濃度の整理を表4-1に示す。

表4-1 実効増倍率の評価が最も保守的になるラック寸法及びボロン濃度の条件

	項目	保守的となる解析条件
使用済燃料貯蔵ラック	ラックピッチ	\square mm
	ボロン濃度	\square wt%
	ラック板厚	\square mm
	ラック内のはり*	\square mm

注記*：ラック内のはりは、ラックの構造から、ラックピッチからラック板厚を引くことで計算される。

4.3 プール水条件

燃料プール水条件のうち、水温については4℃の時に密度が大きく評価結果が最も厳しくなる。水温を0～100℃まで変化させても、水密度は0.95g/cm³を下回らない。水密度については、0g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, \square g/cm³, 1.0g/cm³の11点を評価した。

4.4 その他の条件

(1) チャンネルボックス

未臨界性評価において、チャンネルボックスは装着した状態を想定している。チャンネルボックスを装着した条件で解析を実施した大規模漏えい時の使用済燃料貯蔵ラックの未臨界性評価において、実効増倍率は統計誤差3σ (0.001) を加えて最大で0.927である。一方で、この評価条件からチャンネルボックス装着有無のみを変更して実施した解析において得られた実効増倍率は、統計誤差3σ (0.001) を加えて0.916である。

したがって、チャンネルボックスを装着した条件は保守的である。

(2) ラックセル内の燃料配置

ラックセル内で燃料が偏心すると、中性子の強吸収体であるB-SUSに接近することにより、燃料領域の熱中性子が減少し実効増倍率が低くなる。したがって、燃料をラックセル内の中央配置とした設定は保守的である。（別添2参照）

4.5 燃料条件，ラック条件及びその他の条件の保守性について

燃料条件，ラック条件及びその他の条件が保守的になるよう，上述のとおり設定し，実効増倍率が最も厳しくなる条件とした。（別添3参照）



図4-1 9×9燃料（A型）の冷温時無限増倍率

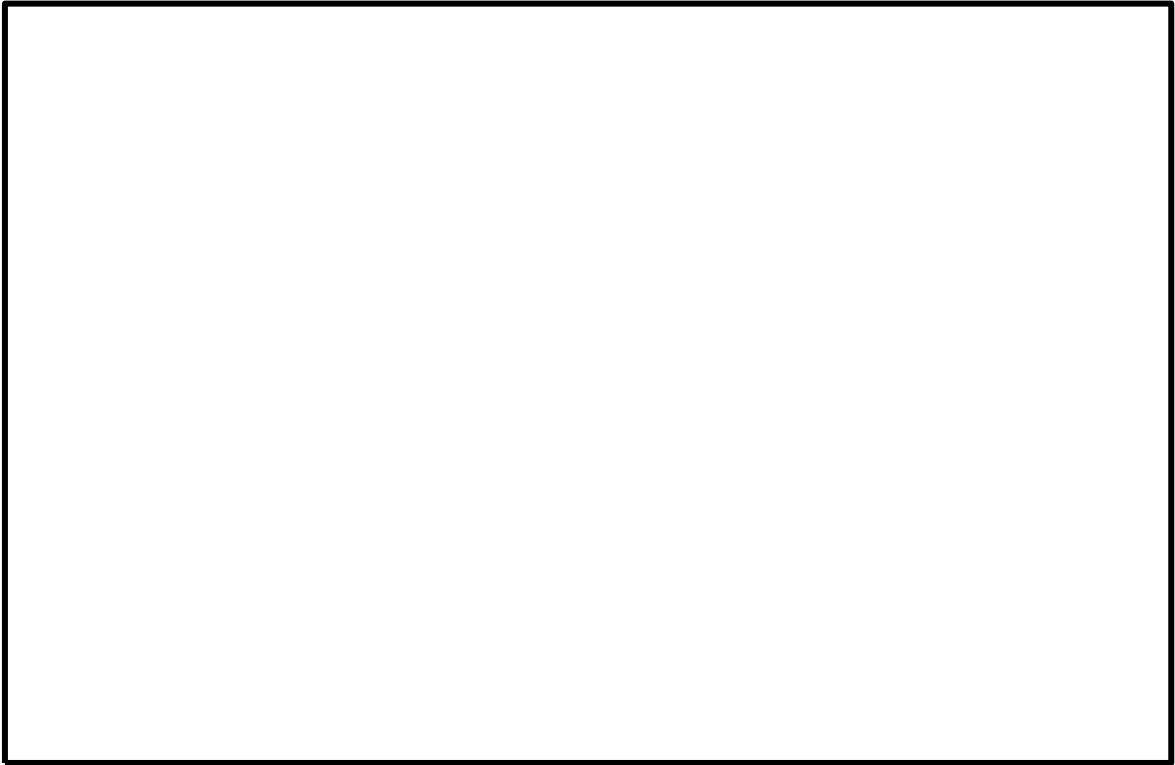


図4-2 9 × 9燃料 (B型) の冷温時無限増倍率

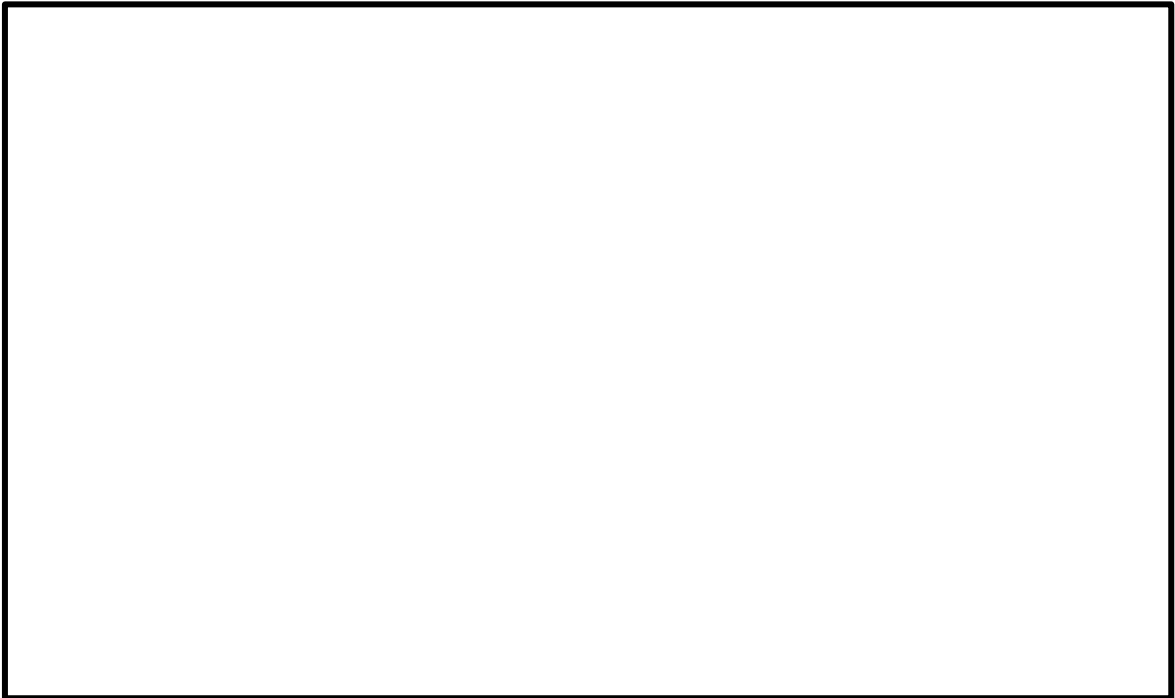


図4-3 高燃焼度 8 × 8燃料の冷温時無限増倍率



図4-4 新型8×8ジルコニウムライナ燃料の冷温時無限増倍率

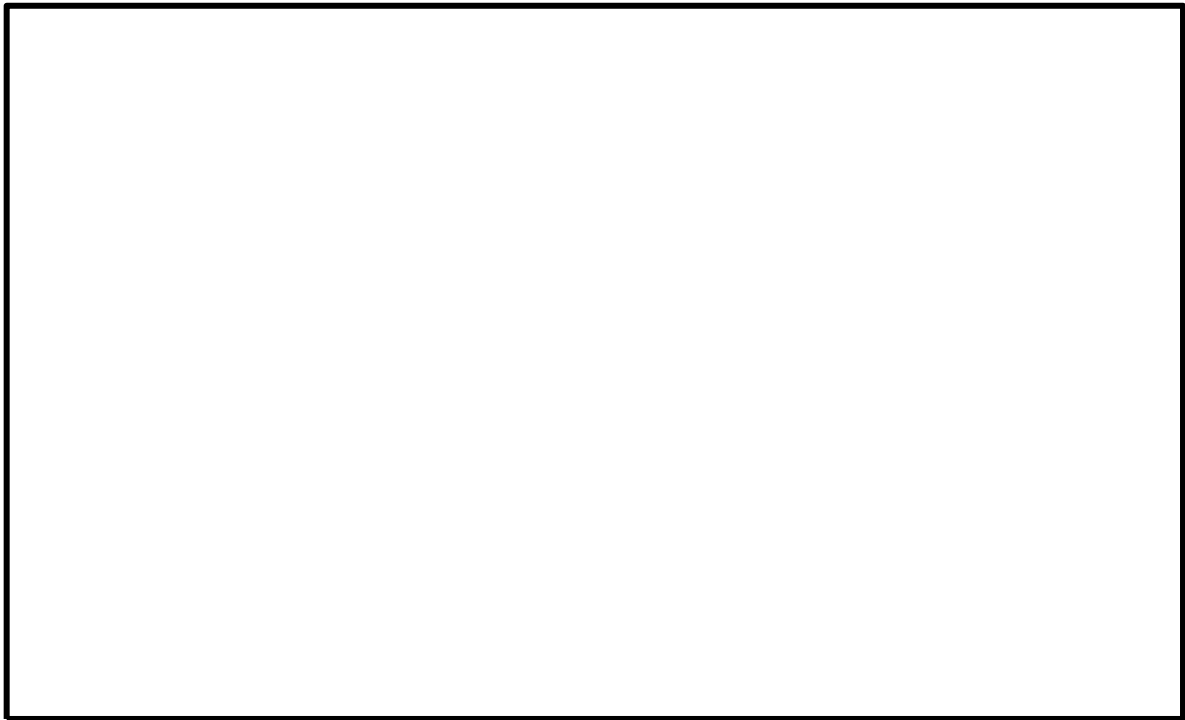


図4-5 新型8×8燃料の冷温時無限増倍率*

注記*：初装荷燃料は、タイプ1及びタイプ2の2種類の燃料からなり、Gd濃度はタイプ2の方が小さいため、より低い燃焼度でGdが燃え尽きることから無限増倍率のピーク値は大きくなる。

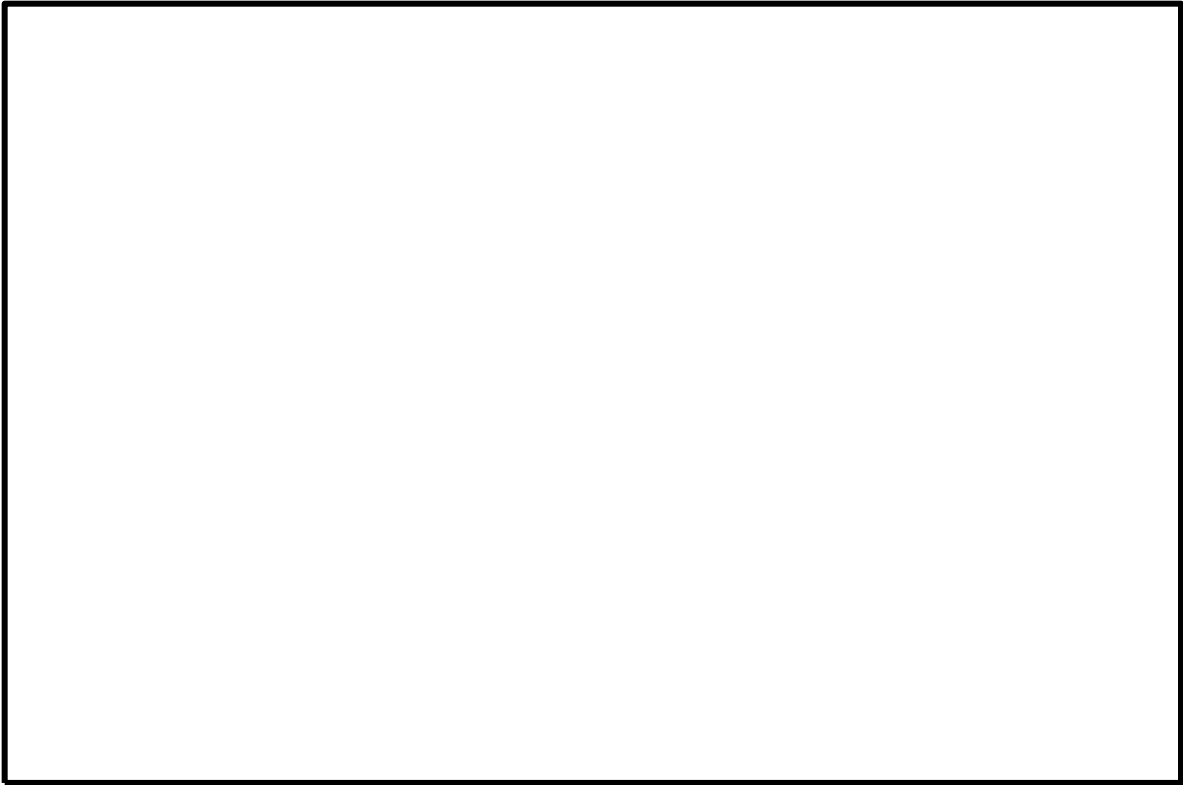


図4-6 ラック板厚を変化させた場合の k_{eff} の変化

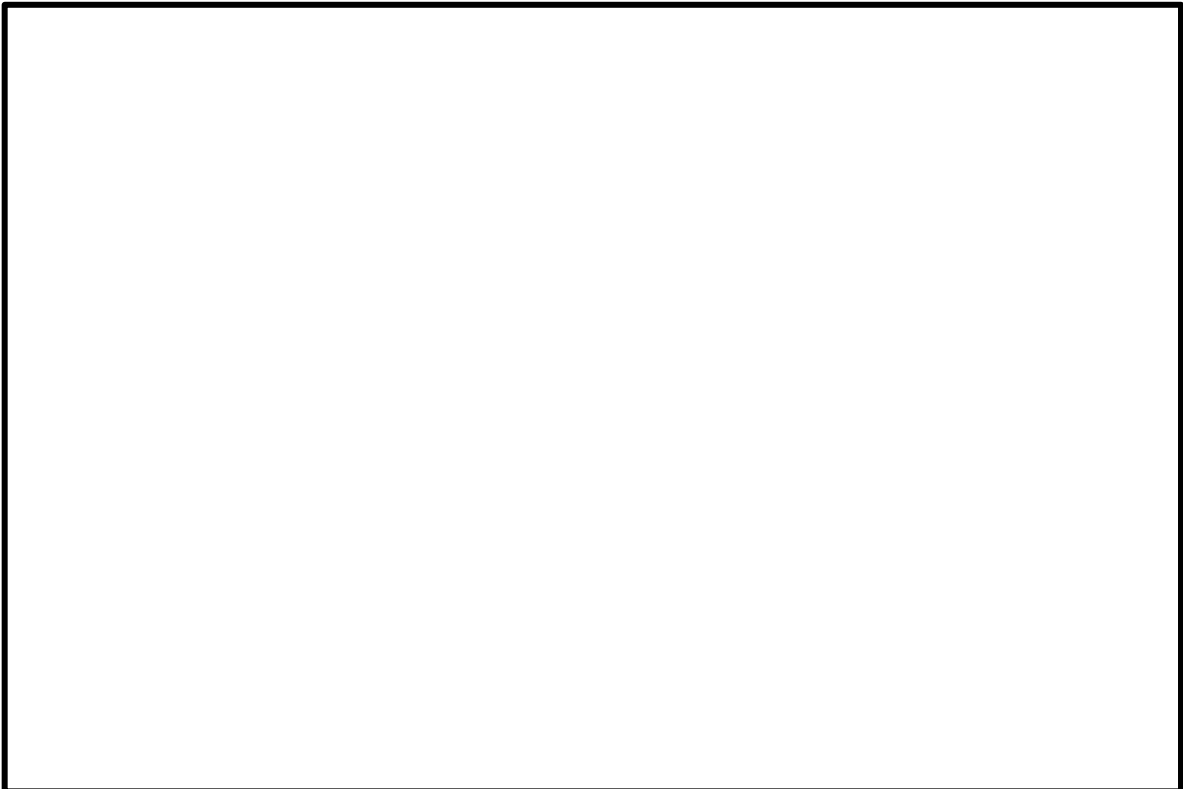


図4-7 ラックピッチを変化させた場合の k_{eff} の変化

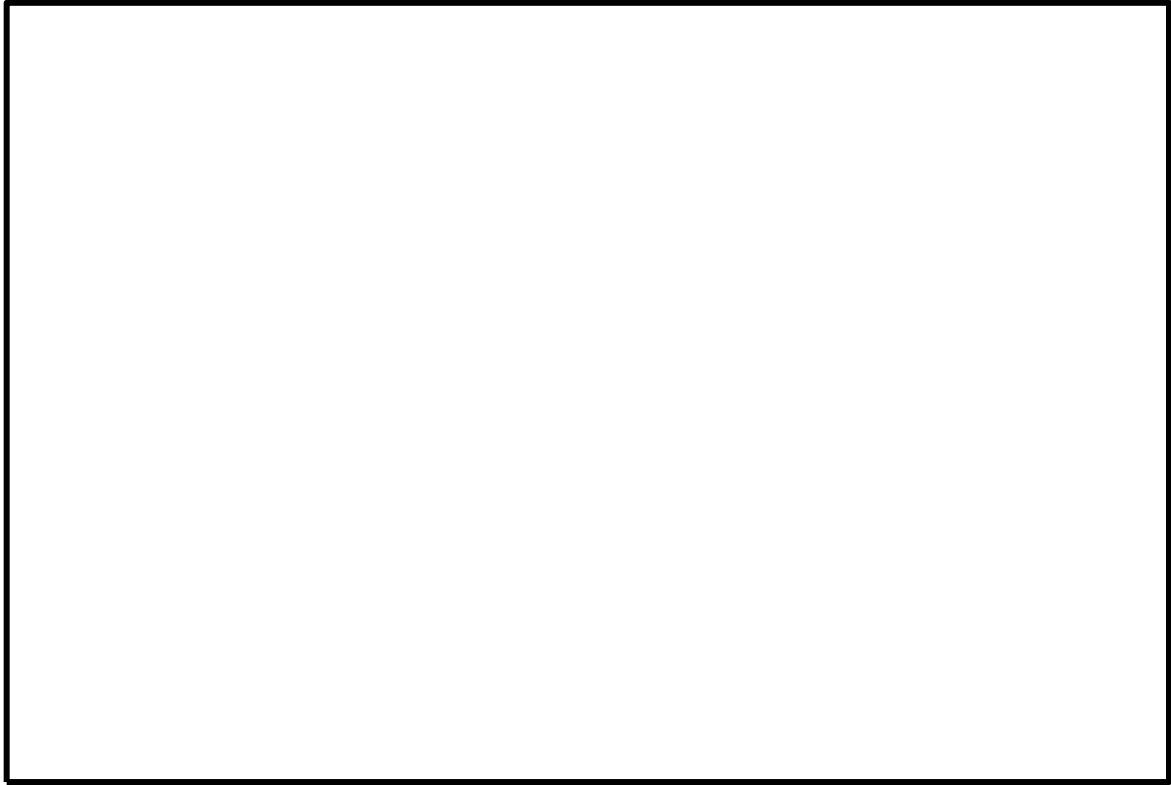


図4-8 ラック内のりを変化させた場合の k_{eff} の変化

5. 未臨界性評価における不確定性

5.1 計算コード等の不確定性

計算コード等の不確定性は、計算コードの不確定性、燃料及びラック製作公差（燃料配置は実効増倍率が高くなる配置）及び統計誤差からなる。計算コードの不確定性は、実験値と計算値の平均的なずれ（平均誤差）が []、分散の95%信頼度から求められる標準偏差の上限に、95%の確率で実験結果が計算値を上回らない条件を考慮した値（95%信頼度×95%確率）が [] である。当該値は、米国PNLで実施されたPNL-3602臨界実験のうち、吸収材の種類や濃縮度等、燃料ラックの臨界解析で重要なパラメータ（表5-1）がBWR燃料ラックの条件に近い32ケースを対象としたベンチマーク解析により評価済である。選定した臨界実験は、対象の実験の中ではBWRの燃料プールの体系に近いものであり、パラメータ範囲に入らない項目もあるものの、燃料棒寸法については異なる値に対して解析を実施しばらつきが小さいこと、濃縮度についてはその平均値が臨界実験のパラメータ範囲内にあること、被覆管の中性子吸収割合は燃料集合体全体で見れば少ないこと等から、パラメータ範囲逸脱の影響は小さく、ケース数としても十分と考えられる。製作公差に基づく不確定性（燃料製造公差とラック製作公差（+燃料配置影響））については、実効増倍率が最も高くなる体系を対象に解析を実施していることから、解析結果に含まれている。統計誤差3 σ （実効増倍率 [] に対し、統計誤差3 σ は []）についてもSCALEの解析結果として実効増倍率に加えた値を評価結果としている（表5-2）。

5.2 KENO-V.a及びKENO-VIにおける評価モデルの違いと実際の評価結果の違いの影響

PWRではKENO-VIを用いて評価を実施しているが、島根原子力発電所第2号機ではKENO-V.aを用いている。SCALEを開発したORNLの文献ORNL/TM-2001/110*¹があり、それによると、V.aとVIのモデルの違いは、主に幾何形状モデルであるが、臨界計算における解析結果のバージョン間の差異は0.001~0.002と小さく、統計誤差0.002~0.004と比較して有意でない。

5.3 評価方法

島根原子力発電所第2号機の燃料プール未臨界性評価条件としては、ラック製作公差や燃料配置等の厳しい条件を用いて実効増倍率を計算するのに対し、PWRでは公称値により実効増倍率を計算した結果に、不確定性として、製作公差等それぞれのばらつきに基づく実効増倍率の誤差を未臨界性評価上厳しくなる側に統計的に加算する。

PWRでは公称値に基づく実効増倍率に、不確定性（計算コードの不確定性、燃料及びラック製作公差（燃料材の直径、密度等比較的詳細な項目に及ぶ製作公差。燃料配置は未臨界度が厳しくなる配置）、統計誤差）を考慮し、実効増倍率0.98以下で評価している。一方、BWRでは厳しい条件に基づく実効増倍率に、コードの不確定性を含まない等、誤差項目について比較的詳細に扱っていないが、統計誤差については標準偏差の3倍を考慮した上、0.95以下で評価している*²。また、「臨界安全ハンドブック第2版」（日本原子力研究所 1999年）においては「モンテカルロコードを用いた場合には、計算された平均増倍率に標準偏差の3倍の値を加えた値を推定臨界下限増倍率または0.95と比較し、未臨界を

判定する。」とされている。

注記*1: Validation and Comparison of KENO V.a and KENO-VI

*2: ANSI/ANS-57.2-1983 Design Requirements for LWR SF Storage Facilities at
Nuclear Power Plants

表5-1 燃料ラックの臨界解析で重要なパラメータ (抜粋)

項目	単位	燃料貯蔵設備及び BWR 燃料仕様のパラメータ範囲		選定した臨界実験のパラメータ範囲	
		MIN	MAX	MIN	MAX
燃料	ウラン燃料 ²³⁵ U 濃縮度	wt%			
	MOX 燃料 Pu 含有率	wt%	—		
	燃料材径	mm	9.6		
	燃料要素径	mm	11.2		
	被覆材材質	—	ジルカロイ-2		
	燃料要素ピッチ	mm			
	燃料体内の減速材体積／燃料体積	—			
	燃料要素配列条件	—	正方配列		
	体系条件	—	燃料体配列体系		
減速材	減速材	—	無/軽水		
	減速材密度	g/cm ³	0	約 1.0	
	減速材中のほう素濃度	ppm	0		
ラックセル	ラックセル材質	—	B-SUS		
	B-SUS 製ラックセルのほう素添加量	wt%			
反射体	反射体材質	—	軽水		

注記*1：モデルバンドルのバンドル平均濃縮度

*2：チャンネルボックス内での減速材と燃料ペレットの体積比

*3：燃料棒格子での減速材と燃料ペレットの体積比

表5-2 未臨界性評価における不確定性評価結果

臨界計算上の不確定性評価項目			不確定性
計算コードの不確定性	平均誤差	Δk	
	平均値の不確定性	ϵ_c	
製作公差に基づく 不確定性	燃料製造公差	ϵ_f	—*1
	ラック製作公差 (+燃料配置影響)	ϵ_r	—*1
統計誤差*2		3σ	

実効増倍率は $k_{\text{eff}} + \epsilon = k_{\text{eff}} + \Delta k + \sqrt{(\epsilon_c)^2 + (\epsilon_f)^2 + (\epsilon_r)^2 + (3\sigma)^2}$ と計算できる*3が、 Δk 及び ϵ_c は0としている。 k_{eff} の計算の入りに炉心装荷時無限増倍率1.30のほか、ラック製作公差を実効増倍率が保守的になるよう見込み、標準偏差の3倍を考慮して0.95以下を確認している。

注記*1：製作公差に基づく不確定性のうち、燃料製造公差については、炉心装荷時の無限増倍率が1.30となるよう設定し、ラック製作公差（+燃料配置影響）については、実効増倍率が最も高くなる体系を対象に解析を実施していることから、解析結果（実効増倍率 k_{eff} ）に含まれている。

*2：入力値である乱数（追跡する中性子）から計算した実効増倍率の平均値と、個々の実効増倍率の計算値の差から標準偏差を求め、臨界安全ハンドブックの考え方に従い、標準偏差の3倍としている。

*3：ANSI/ANS-8.17-2004 criticality safety criteria for the handling, storage, and transportation of LWR fuel outside reactors

ラックセル中のボロンの減損割合の評価

1. 概要

中性子の強吸収体である使用済燃料貯蔵ラックセル中のボロン (^{10}B) は供用期間中に中性子を吸収し、中性子の吸収体としての効果が低下することが考えられるため、供用期間及び供用期間後の使用済燃料搬出までの期間を想定した場合における使用済燃料貯蔵ラックセル中の ^{10}B の減損率を評価する。

2. 評価方法

使用済燃料貯蔵ラックセル中の ^{10}B の中性子吸収減損率は以下の式により評価される。

$$\begin{aligned} & (^{10}\text{B原子1個あたりの中性子吸収減損率}) [\%] \\ & = (\text{中性子照射量}) [\text{cm}^{-2}] \times (^{10}\text{B1個あたりの吸収反応断面積}) [\text{cm}^2] \\ & \quad \times 100 [\%] \end{aligned}$$

評価にあたっては、類似の評価事例として、乾式キャスクのバスケット（燃料を収納する部分）における評価事例をもとに以下のとおり評価した。

乾式キャスクにおける60年間の供用期間中に受ける放射線照射量は $10^{14}[\text{cm}^{-2}] \sim 10^{16}[\text{cm}^{-2}]$ と評価されている*1。

ここで、 ^{10}B の減損率を安全側に評価するため、放射線照射は全て熱中性子によるものとし、中性子照射量を $1 \times 10^{16}[\text{cm}^{-2}]$ として評価する。なお、 ^{10}B 1個あたりの吸収反応断面積は $3838 \times 10^{-24}[\text{cm}^2]$ *2を使用する。

以下のとおり、乾式キャスクにおける供用期間中（60年間）の ^{10}B 原子1個あたりの中性子吸収減損率は約0.004%とごく僅かである。

$$(1 \times 10^{16}) [\text{cm}^{-2}] \times (3838 \times 10^{-24}) [\text{cm}^2] \times 100 [\%] = 3.84 \times 10^{-3} [\%]$$

また、使用済燃料搬出までの期間を想定し評価期間を仮に70年間とした場合でも以下のとおり、中性子吸収減損率は約0.004%とごく僅かである。

$$(1 \times 10^{16}) [\text{cm}^{-2}] \times (70/60) [-] \times (3838 \times 10^{-24}) [\text{cm}^2] \times 100 [\%] = 4.48 \times 10^{-3} [\%]$$

3. 評価結果

以上のとおり、乾式キャスクにおいて、評価期間を60年間及び70年間とした場合で評価しても、 ^{10}B の減損率は約0.004%であり、ごく僅かである。なお、使用済燃料貯蔵ラックセルでは水による中性子の減速・吸収効果があるため、中性子束は乾式キャスクよりも減少することが見込まれる。

したがって、使用済燃料貯蔵ラックセルにおいても同様に ^{10}B の中性子吸収体の効果低下は無視できるほど小さいと考えられる。

注記*1:リサイクル燃料備蓄センター その他の安全対策について(長期貯蔵に対する考慮),

平成22年2月，原子力安全・保安院

*2：アイソトープ手帳 11 版（公益財団法人日本アイソトープ協会発行）

使用済燃料貯蔵ラックにおける燃料の偏心の影響について

使用済燃料貯蔵ラックにおいて、燃料をラックセルの中央に配置した基本配置及び図 1 の全体的に偏心したパターンについて、実効増倍率を評価した。評価の結果、基本配置の場合が実効増倍率が高い結果となった。表 1 に評価結果を示す。

表 1 評価結果

燃料配置	実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)
基本配置	0.927
偏心配置	



図 1 使用済燃料貯蔵ラック中の燃料の偏心状況

未臨界性評価の保守性及び妥当性について

未臨界評価の保守性及び妥当性について、表 1 に示す。

未臨界評価の評価条件は、表 1 の 1～5 について、実効増倍率が大きくなる保守的な条件としている。「6 プール水条件の設定」については、燃料プールスプレイ系によるスプレイを想定し、いかなる密度条件においても臨界を防止できることを示すために水密度を 0～1.0g/cm³ に設定しており、妥当な条件である。

表 1 未臨界性評価の保守性及び妥当性

評価条件		保守性及び妥当性		
1	未臨界性評価における計算体系	ラックセルを計算体系と設定	ラックセルの計算体系を単位格子とし、単位格子の水平方向、鉛直方向を完全反射に設定していることから、中性子の漏れがなく、保守的な条件となる。	
		水平方向：完全反射		
		鉛直方向：完全反射		
2	燃料条件	無限増倍率が 1.30 となるように濃縮度分布を設定	いずれの燃料においても無限増倍率は、1.30 より小さいため、保守的な条件となる。	
3	ラック条件	ラックの製造公差を考慮し、最も保守的な設定を採用	ラック製造公差の中で最も評価結果が厳しくなる組み合わせのため、保守的な条件となる。	
		B-SUS のボロン濃度として、製造範囲 (<input type="text"/> wt% ～ <input type="text"/> wt%) の下限値を採用	B-SUS のボロン濃度を、製造範囲の下限値 (<input type="text"/> wt%) としているため、保守的な条件となる。	
4	その他の条件	チャンネルボックス	チャンネルボックスは装着した状態を想定	燃料は、チャンネルボックスを装着した状態の方が実効増倍率が大きくなるため、保守的な条件となる。
5		ラックセル内燃料配置	ラックセル内中央に使燃料が配置した場合（基本配置）を想定	ラックセル内中央に燃料が配置する基本配置の場合が、評価結果が厳しくなるため、保守的な条件となる。
6	プール水条件の設定		水密度を 0～1.0 g/cm ³ まで変化させる	燃料プール水が喪失した状態で、燃料プールスプレイ系によるスプレイを実施した場合の条件を想定し、いかなる密度条件においても、臨界を防止できることを確認できるため、妥当な条件となる。

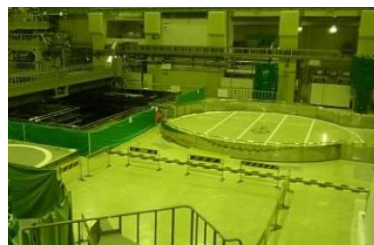
燃料体等又は重量物の落下による使用済燃料貯蔵槽内の
燃料体等の破損の防止及び使用済燃料貯蔵槽の機能喪失
の防止に関する説明書に係る補足説明資料

目 次

1. 燃料プール周りの主要な重量物の配置	1
2. 燃料取替機及び原子炉建物天井クレーンの待機場所について	2
3. 原子炉建物天井クレーンのインターロックについて	4
4. 新燃料の取扱いにおける落下防止対策	6
5. 使用済燃料輸送容器取扱い作業時における燃料プールへの影響	10
6. ワイヤロープ及び主要部材の強度に関する説明について	13
7. 燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果	17
別添 1 重量物落下時のチャンネルボックスへの荷重について	別 1

1. 燃料プール周りの主要な重量物の配置

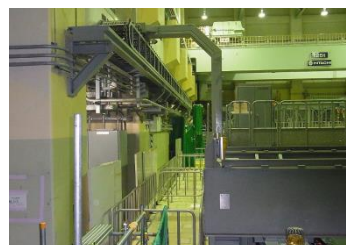
落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある主要な重量物の配置を図 1-1 に示す。



原子炉建物原子炉棟内オペフロ全体



原子炉建物天井



原子炉建物壁面



燃料取替機



原子炉建物原子炉棟4階 概略平面図



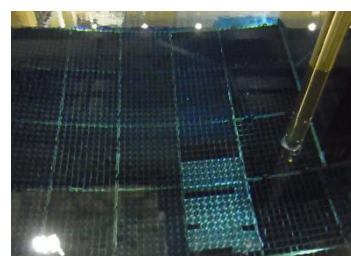
原子炉建物天井クレーン



①燃料プール側面



②燃料プール側面



③燃料プール内
(使用済燃料貯蔵ラック側)

図 1-1 燃料プール周りの主要な重量物の配置

2. 燃料取替機及び原子炉建物天井クレーンの待機場所について

燃料取替機及び原子炉建物天井クレーンは、燃料プール上へ待機配置しない運用とすることで、燃料プールへの落下は防止される。また、レールからの落下を防止するよう、ストッパから基準地震動 S_s での滑りを考慮した距離をとる、又はストッパにより脱線を防止できる設計とする。図 2-1～2 に燃料取替機及び原子炉建物天井クレーンの待機場所を示す。

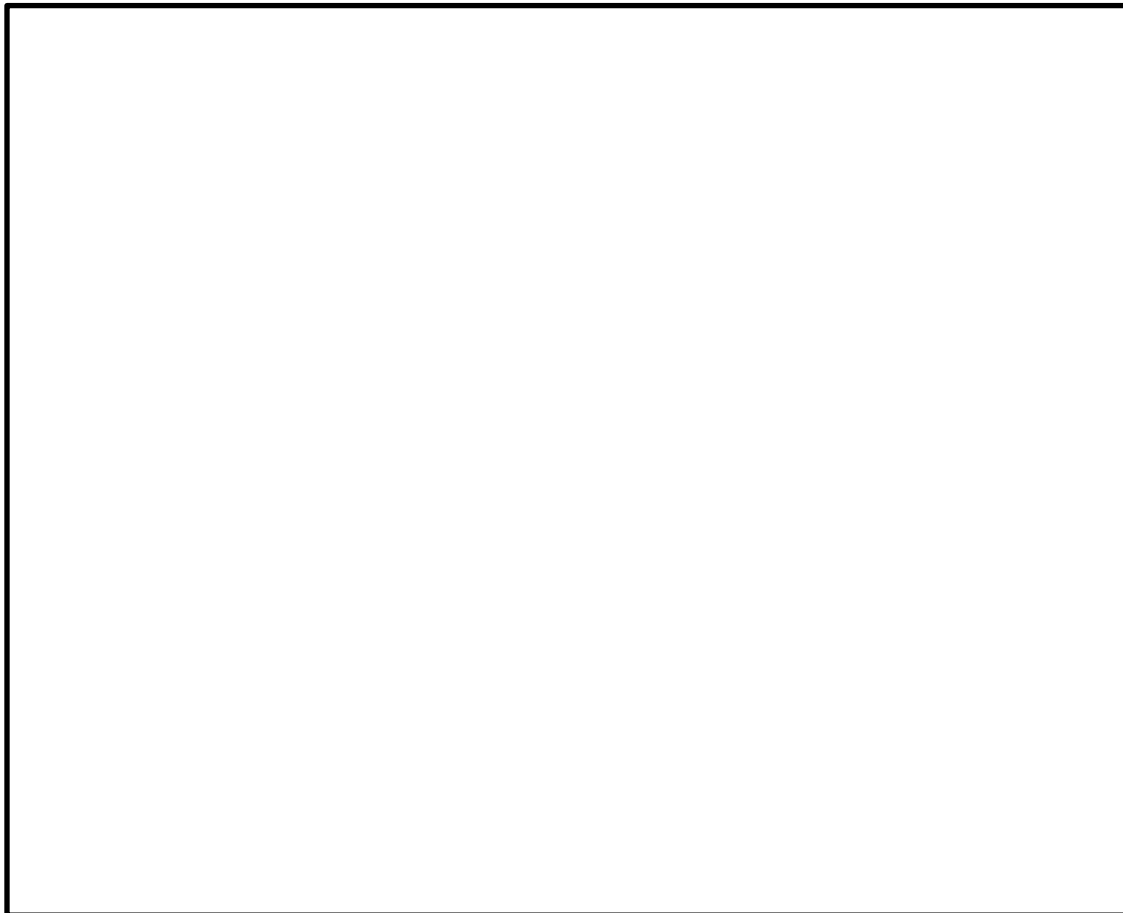


図 2-1 取替機待機場所

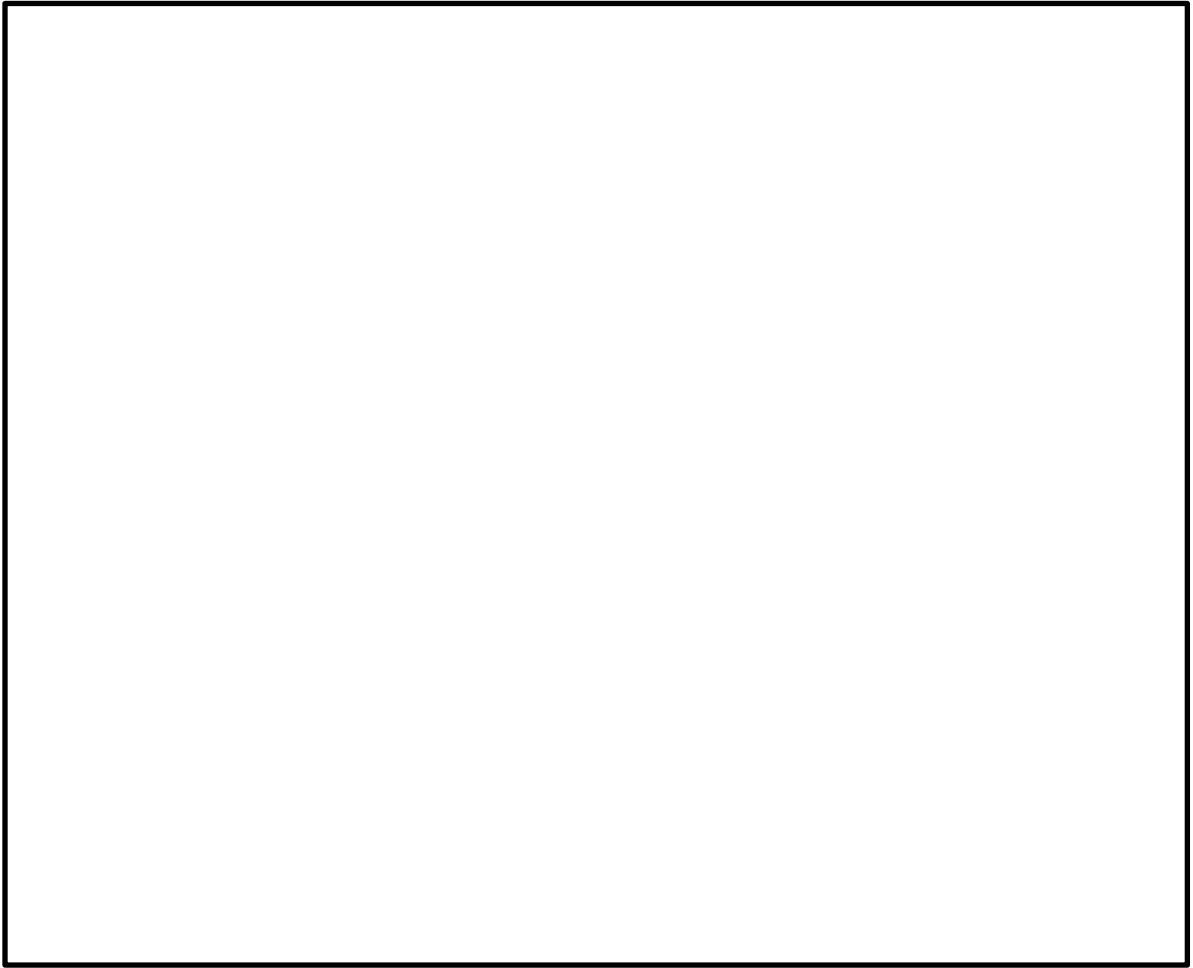


図 2-2 原子炉建物天井クレーン待機場所

3. 原子炉建物天井クレーンのインターロックについて

原子炉建物天井クレーンは、燃料プール上を使用済燃料輸送容器及び重量物が走行及び横行できないように可動範囲を制限するインターロックを設けている。

原子炉建物天井クレーン走行レール及び横行レールは原子炉建物原子炉棟 4 階を走行及び横行できるよう敷設されているが、重量物及び使用済燃料輸送容器の移動を行う際には、重量物及び使用済燃料輸送容器が燃料プール上を通過しないよう、レールに沿って設置されたリミットスイッチ及びインターロックによる移送範囲の制限により、燃料プールへの重量物及び使用済燃料輸送容器の落下を防止する設計とする。

インターロックには 3 つのモード (A～C モード) があり、取り扱う重量物に応じてモード選択を行い、移送範囲を制限することで、燃料プールへの重量物及び使用済燃料輸送容器の落下を防止している。

原子炉建物天井クレーンのインターロックによる重量物移送範囲の関係を図 3-1～2 に示す。なお、燃料プール上へアクセス可能なモードは C モードのみである。

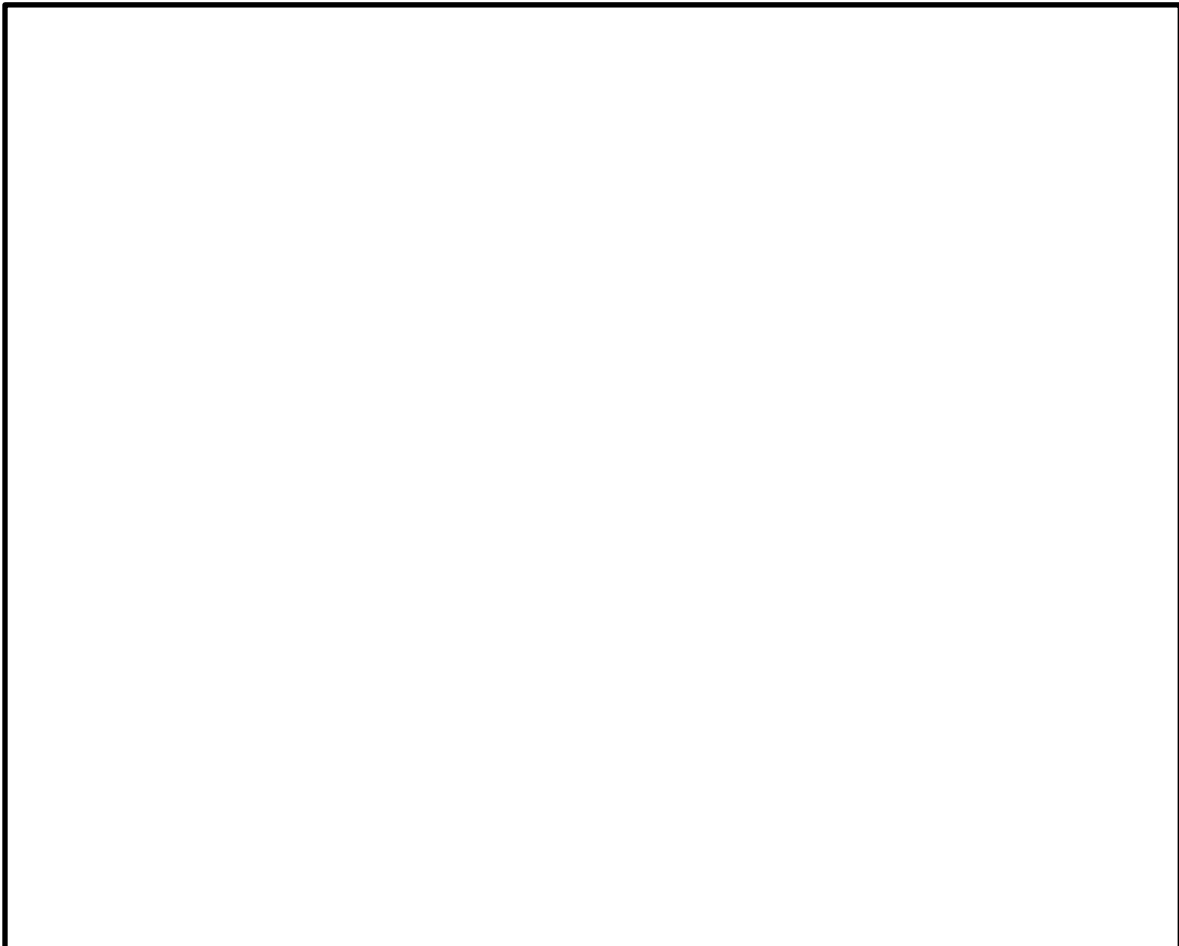


図 3-1 原子炉建物天井クレーンのインターロック (B モード) による重量物移送範囲

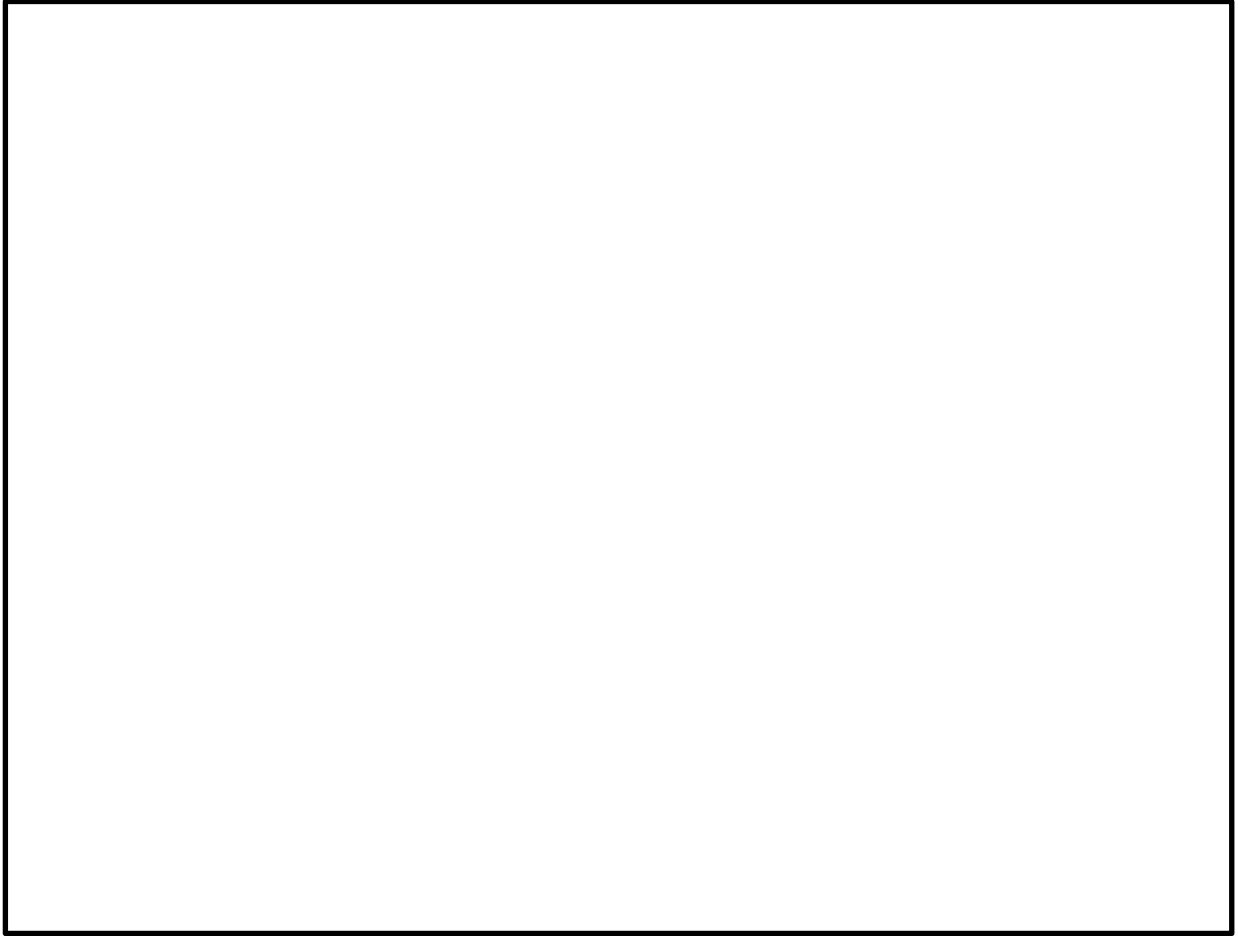


図 3-2 原子炉建物天井クレーンのインターロック（Aモード）による使用済燃料輸送容器移送範囲

4. 新燃料の取扱いにおける落下防止対策

新燃料は、新燃料輸送容器に2体ずつ収納され原子炉建物天井クレーン（補巻）によって原子炉建物原子炉棟4階へ搬入する。新燃料輸送容器から新燃料検査台へは新燃料を1体ずつ原子炉建物天井クレーン（補巻）によって移送し、受入検査を実施するとともにチャンネルボックスを装着する。新燃料検査台から新燃料貯蔵庫又はチャンネル着脱装置へ原子炉建物天井クレーン（補巻）にて移送する。新燃料貯蔵庫からチャンネル着脱装置への移送にも原子炉建物天井クレーン（補巻）を用いる。吊具として使用するワイヤロープは気中作業で確実な装着を確認し、安全率は、6以上を確保している。チャンネル着脱装置から燃料プールのラック、ラック間及びラックー炉心間の移送は燃料取替機にて取り扱われる。

新燃料の取扱いに係る移送フロー及び経路（例）を図4-1に示す。

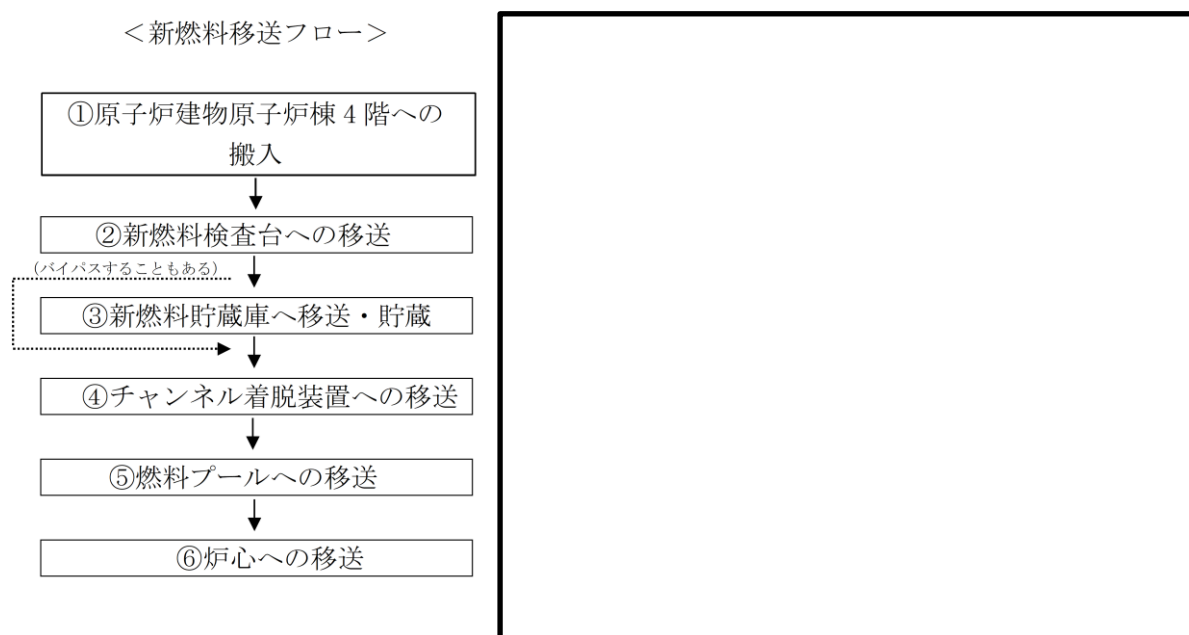


図4-1 新燃料の取扱いに係る移送フロー及び経路（例）

図4-1に示すとおり、新燃料を燃料プールへ移送する際は、可能な限り燃料プール上を移送しない運用とし、燃料プール上への落下を防止している（「【参考】新燃料の入水作業」参照）。

原子炉建物天井クレーンは、動力電源喪失時に自動的にブレーキがかかる機能を有しているとともに、フックには外れ止め装置を装備し、新燃料の落下を防止する構造としており、速度制限、過巻防止用のリミットスイッチにより、誤操作等による新燃料の落下は防止される。

炉心への燃料装荷の際には、燃料取替機による新燃料移送作業を行うこととなるが、燃料取替機についても、動力電源喪失時等における種々のインターロックが設けられており、新燃料の落下は防止される。

チャンネル着脱装置（図4-2）は、燃料プールの側面に設置され、ガイドレールがプール壁面の金物に差し込まれており、上部でボルト固定されている。チャンネル着脱装置は、1体のみ燃料体等を載せることのできる台座と燃料体等が倒れないよう上部で支持する固定具が一体（カート）となり昇降する設計となっている。カートはガイドレールに支持されており、ローラチェーンを介して最上限ストッパから下限ストッパの位置までの間を昇降（図4-3）し、

直接燃料プールライニングに衝突しないため、燃料プールライニングを損傷させることはない。なお、燃料集合体外観検査時に燃料体等の昇降を行う際には、線量低減の観点から、機械的なインターロックにより、上限ストoppaの位置までに上昇を制限する運用とする。電源遮断時には、電磁ブレーキで駆動軸を保持する構造となっている。

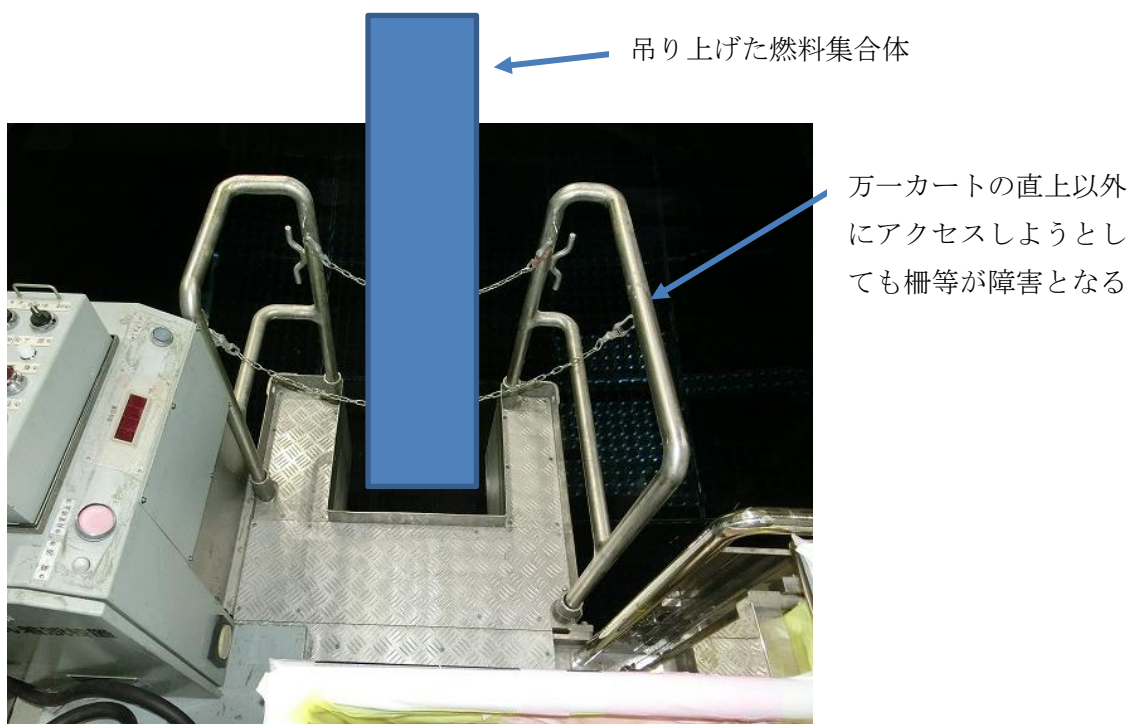
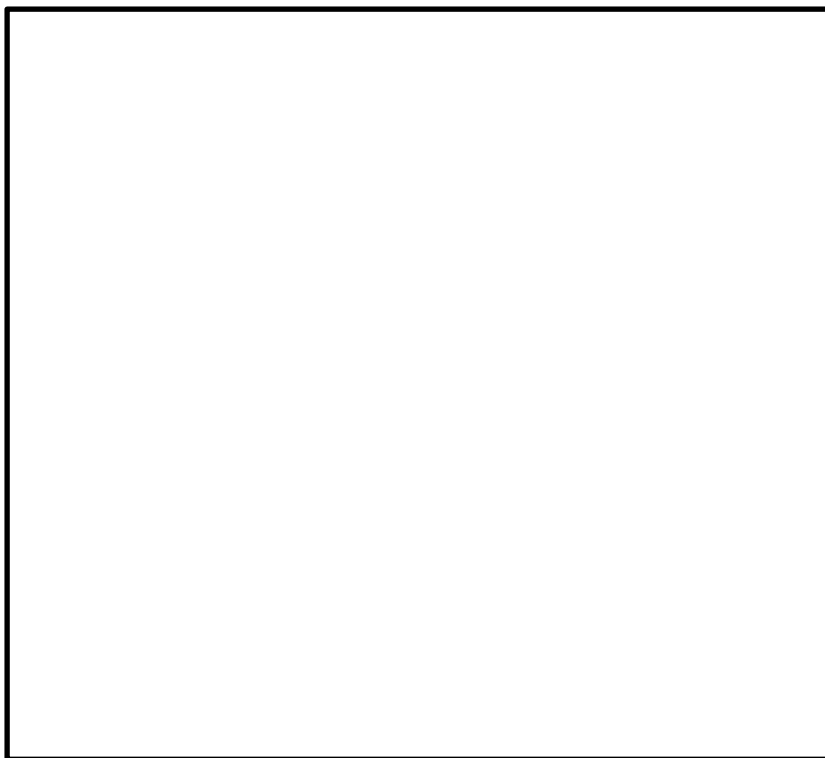
【参考】新燃料の入水作業

新燃料取扱時においては、原子炉建物原子炉棟4階に搬入された新燃料輸送容器から、原子炉建物天井クレーン（補巻）によって、燃料集合体を1体ずつ吊り上げ、新燃料検査台にて受入検査しチャンネルボックスを装着した上で、再び原子炉建物天井クレーン（補巻）にて吊り上げて移動し、（場合によっては新燃料貯蔵庫に貯蔵した後同様に吊り上げて移動し）、燃料プールに入水し、チャンネル着脱装置に載せ、燃料取替機に受け渡す。

新燃料検査台又は新燃料貯蔵庫にて、原子炉建物天井クレーン（補巻）は、安全率6以上のワイヤロープに装着された落下防止装置付きのフックに、安全率6以上のワイヤロープを気中作業にて確実に取り付けた新燃料をゆっくり吊り上げる。

新燃料検査台又は新燃料貯蔵庫からチャンネル着脱装置の直近までは、新燃料の動線上にある構造物を避けるために必要な高さ（最大約1.2m）に吊り上げながら移動する。新燃料は、燃料プールのチャンネル着脱装置上に移動し、参考図のように、金属製の柵に囲まれたチャンネル着脱装置の吊り下ろしエリアへ、作業員が直接手で触れ監視しつつクレーン操作者に指示を出して移動する。チャンネル着脱装置の吊り下ろしエリアでは、新燃料をチャンネル着脱装置近くまで吊り下ろす。

チャンネル着脱装置のカートが、水面から深さ cm 程度の高さまで上昇した状態で待機しているところへ、作業員が直接手でサポートしながらクレーン操作者に指示を出し、新燃料をカート直上にゆっくりと移動させる。カートの真上に来たことを作業員が目視で確認し、ゆっくりと確実にカートの上面にある燃料をホールドする四角形の孔に目視をしながら下部タイプレートの下端から挿入し、カート下方の台座まで新燃料を降下し着座させる。



参考図 チャンネル着脱装置のカートへ吊り下ろす直前の状況（イメージ）

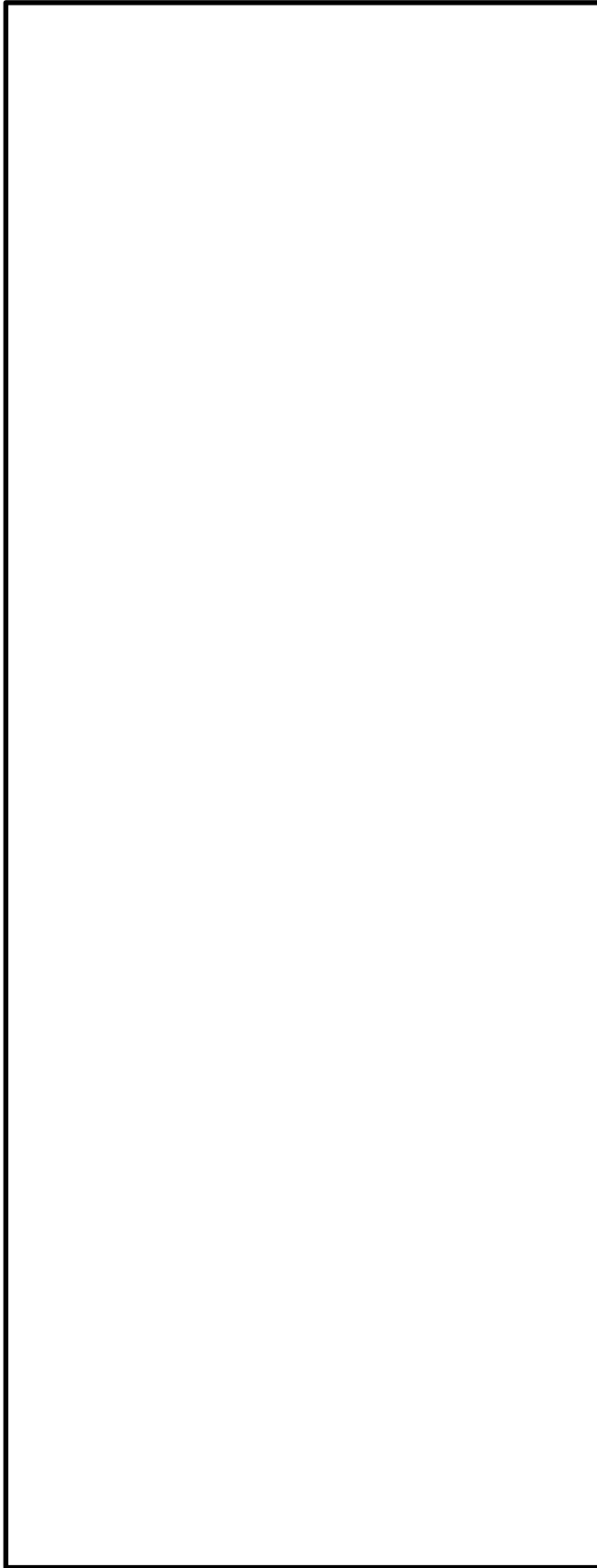


図 4-2 チャンネル着脱装置概要図

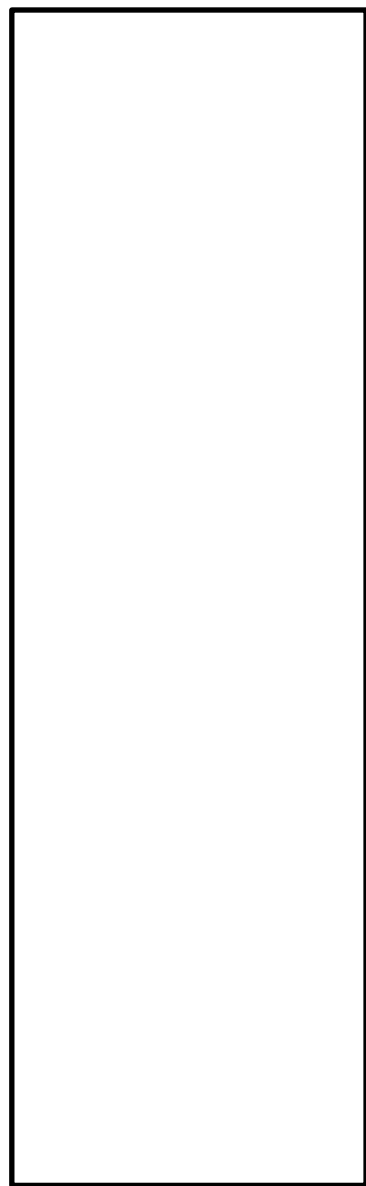


図 4-3 ストッパの位置

5. 使用済燃料輸送容器取扱い作業時における燃料プールへの影響

使用済燃料輸送容器の取扱い作業は原子炉建物天井クレーン（主巻）を使用し、機器搬出入口ハッチより原子炉建物原子炉棟4階へ使用済燃料輸送容器の移送を行い、キャスク置場にて使用済燃料の収納作業が行われる。ラックからキャスク置場の使用済燃料輸送容器への使用済燃料の移送には燃料取替機を用いる。作業概要について図5-1に示す。

本作業時における原子炉建物天井クレーンの運転は、使用済燃料輸送容器が燃料プール上を通過することがないように、インターロックによる可動範囲制限を行うことで、燃料プールへの使用済燃料輸送容器の落下は防止される設計としている。

また、原子炉建物天井クレーンはインターロックによる運転の他、動力電源喪失時に自動的にブレーキがかかる機能を有しているとともに、フックには外れ止め金具が装備されており、速度制限、過巻防止用のリミットスイッチも設けられていることから、使用済燃料輸送容器の落下は防止される設計としている。

なお、キャスク置場での使用済燃料輸送容器取扱い時に、仮に地震等にて原子炉建物天井クレーンの各ブレーキ（横行、走行、巻上下）の機能が喪失した場合、使用済燃料輸送容器は横行、走行方向及び鉛直方向に滑るおそれがあるが、使用済燃料輸送容器をキャスク置場にて取り扱う際には、キャスク置場を燃料プールと隔離して、キャスク置場単独で水抜き等を実施するためのキャスクピットゲートが設置されるため、使用済燃料輸送容器が横行、走行方向及び鉛直方向に滑った^{*1,2}としても、燃料プール水位維持のための燃料プールライニング健全性は維持される。使用済燃料輸送容器とキャスク置場の上から見た位置関係を図5-2に示す。

使用済燃料を燃料取替機にて使用済燃料輸送容器に収納する際は、キャスク置場にアクセスするため燃料取替機のモードをキャスクモードに切り替える。通常燃料を約5.2mしか吊り上げられないインターロックとなっているが、これによって、最大で約5.6mまで吊り上げられるようになる。図5-3に使用済燃料輸送容器とキャスク置場を横から見た位置関係を示す。

キャスク置場から取り出した使用済燃料輸送容器は、燃料プールとは隔離されたキャスク除染ピットにおいて、転倒防止装置を取り付けることにより固縛する。

注記*1：使用済燃料輸送容器取扱い時は、インターロックにより可動範囲が制限されること及びキャスク置場はキャスクピットゲートにより燃料プールと隔離されることから、使用済燃料輸送容器がキャスク置場内に吊り下ろされている状態で横行、走行方向に滑ったとしても使用済燃料輸送容器とキャスク置場壁の隙間は約70cmであり、燃料プールライニングを損傷させない。

*2：鉛直方向ブレーキについて、制動力を上回る負荷トルクが発生した場合の滑り量はNS2 補足-027「工事計画に係る説明資料（機器配管系の耐震性についての説明書）」にて説明する。

<キャスク取扱い作業移送フロー>

(バイパスすることもある)

①予備キャスクピットへ搬入, キャスク蓋取外し

(①をバイパスした場合のみ)

②キャスク除染ピットへ移送, キャスク蓋取外し

③キャスク置場へ移送, 使用済燃料の装荷

④キャスク除染ピットへ移送, 除染作業

⑤原子炉建物から搬出

図 5-1 使用済燃料輸送容器取扱い作業フロー (例)

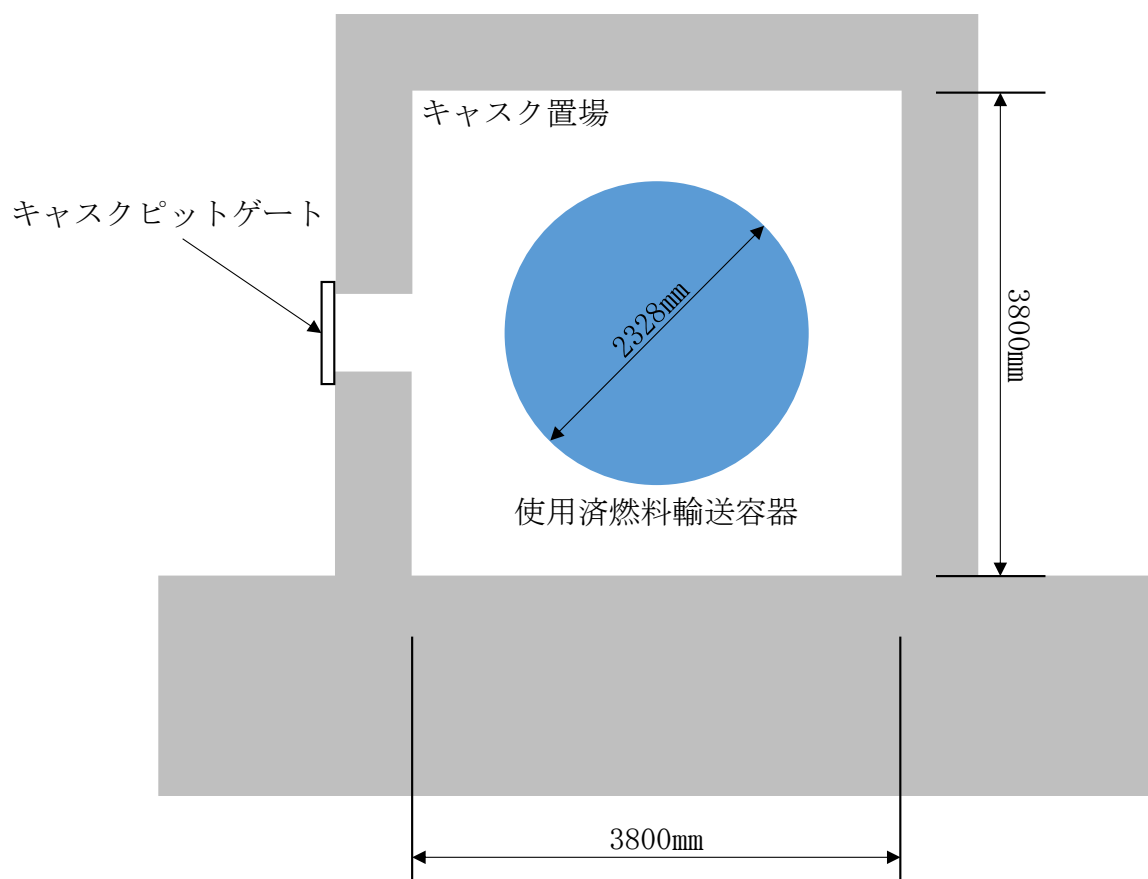


図 5-2 使用済燃料輸送容器とキャスク置場の位置関係 (上から見た図)

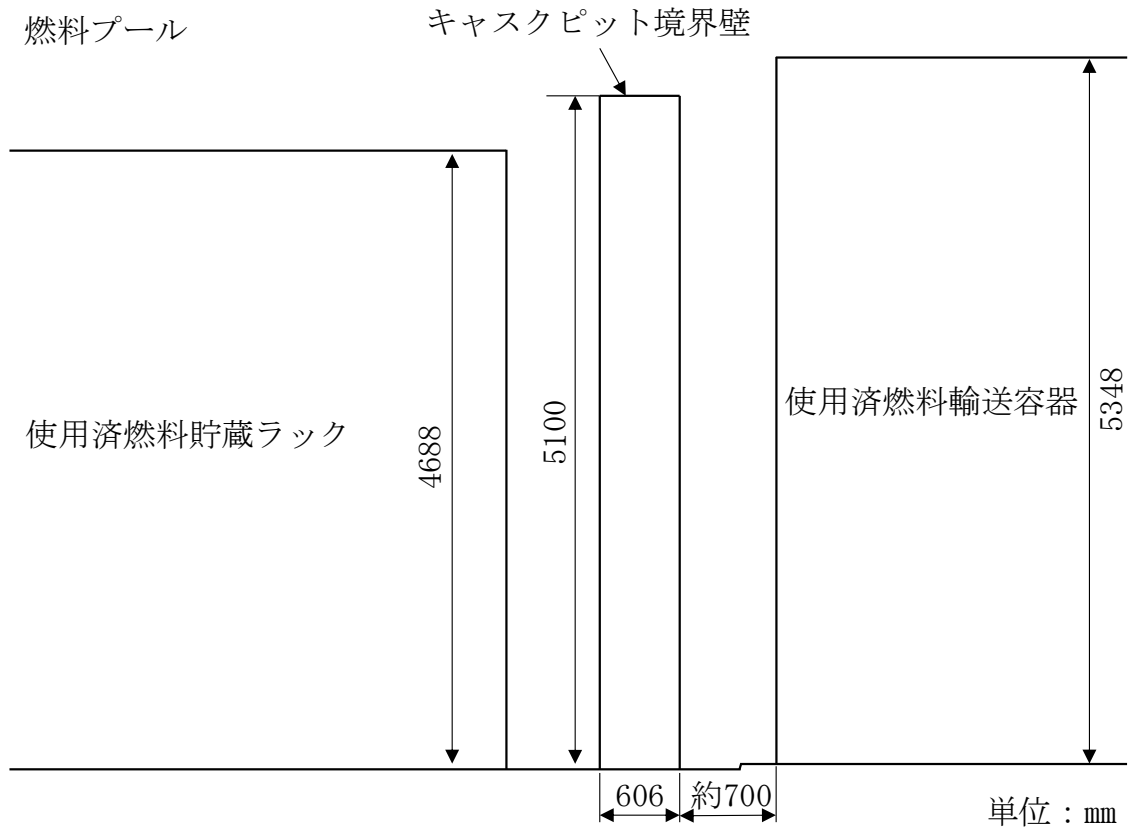


図 5-3 使用済燃料輸送容器とカスク置場の位置関係（横から見た図）

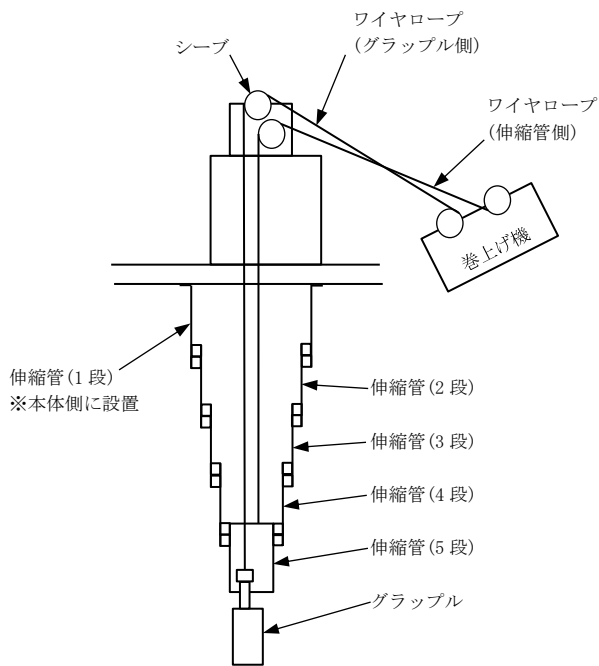
6. ワイヤロープ及び主要部材の強度に関する説明について

燃料取替機は、ワイヤロープを2本有しており、1本が「燃料集合体及びグラップル」を、もう1本が「伸縮管」をそれぞれ吊る構造となっている（図6-1参照）。

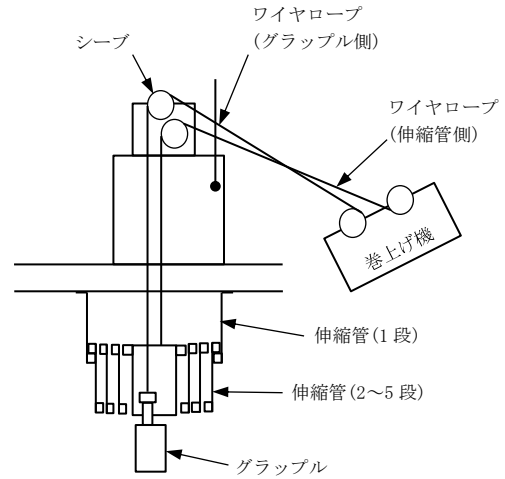
燃料取替機は、定格荷重を450kgとしており、0.5t未満のためクレーン構造規格適用除外揚重機となるが、ホイスト、走行レール、ガーダの設計については、クレーン構造規格を準用し、その他の部品は、JIS及びメーカー社内基準等に基づいた設計としており、各ワイヤロープは、当該規格要求を満足する安全率を有した設計としている。

万が一どちらかのワイヤロープが切断した場合でも、残り1本のワイヤロープで吊り荷（燃料集合体 約 kg）、伸縮管（本体側に設置（固定）された第1段を除く第2段～5段の荷重；約 kg）及びグラップル（約 kg）を保持可能な設計としている。

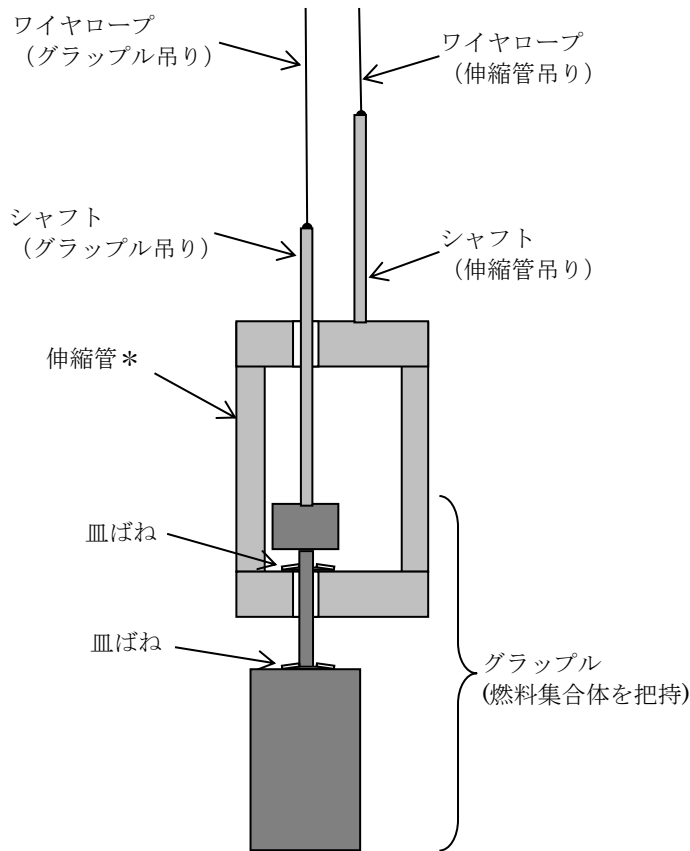
ワイヤロープの破断荷重（ kN）に対し、使用上の最大荷重は11.3kN（定格荷重450kg、グラップル約 kg、伸縮管（第2段～5段の荷重）約 kg：合計約 kg）で、安全率は約6.7であり、クレーン構造規格要求（安全率3.55）を満足した設計となっている。また、燃料吊り荷重伝達ルートにおける、ワイヤロープ以外の主要強度部材（フック、グラップルシャフト、ワイヤロープ取付部等）においても、クレーン構造規格に定めるワイヤロープと同等以上の安全率を有する設計としている。



燃料取替機概略 (伸縮管伸長時)



燃料取替機概略 (伸縮管収縮時)



*伸縮管は模式図とし、先端の管 (5段) のみを記載しています。

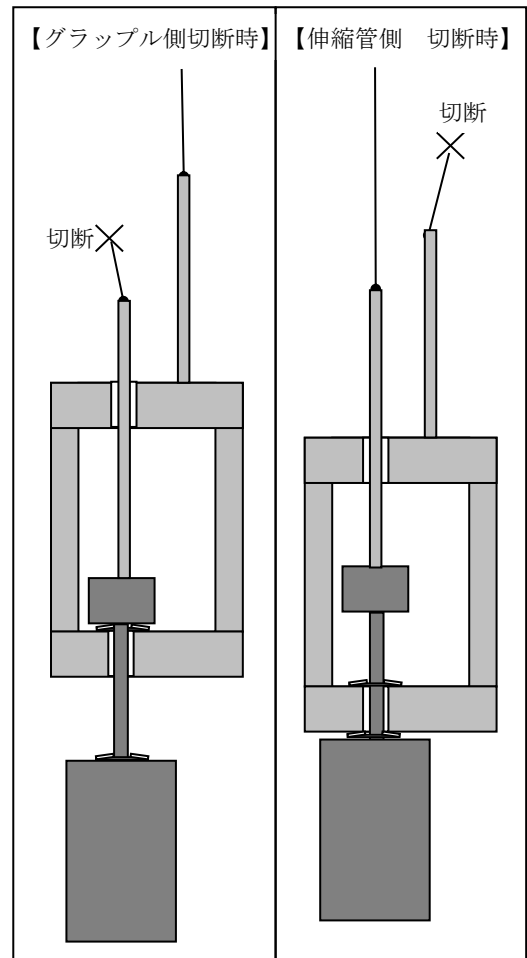


図 6-1 ワイヤロープ概略図

・片側ワイヤロープが切断した場合の衝撃荷重について

先に示したクレーン構造規格要求の安全率 3.55 は、静荷重に対して定められたものであるため、片側ワイヤロープが切断した場合の衝撃荷重が加わっても、残りの片側ワイヤロープが保持可能であることについて以下のとおり確認した。

ワイヤロープの破断荷重が、衝撃荷重と負担荷重の和よりも大きいことを確認する。

ワイヤロープ 2 本の内、伸縮管側のワイヤロープが切断したと仮定する。この場合の衝撃荷重 F は、

$$\int F dt = m \cdot v$$

で表される。ここで、 m ：伸縮管荷重（約 \square kg）、 v ：速度である。ワイヤロープの固有周期を T とすれば、

$$F = 2\pi mV/T$$

となる。ここで、 π ：円周率、 V ：落下距離到達時の速度である。

固有周期 T は、以下の式で表せる。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

となる。ここで、 k はワイヤロープのばね定数で、

$$k = E \cdot A/L$$

E ：ワイヤロープの弾性係数 約 \square N/mm²

A ：ワイヤロープの断面積 \square mm²

L ：ワイヤロープの長さ（巻出し長さ） 約 \square m

落下距離は（伸縮管－グラップル間）として 46mm であり、落下距離到達時の速度 V は重力加速度を 9.8m/s² とすれば 0.95m/s と計算でき、衝撃荷重 F = 約 \square N となる。

ワイヤロープの負担荷重は、定格荷重 450kg とグラップル約 \square kg の合計とし、衝撃荷重 F には余裕をみて $F = 25000$ N とすると、ワイヤロープの破断荷重： \square N より、

$$\begin{aligned} \text{破断荷重} / (\text{衝撃荷重} + \text{負担荷重}) &= \square / (25000 + \square \times 9.8) \\ &= \square > 2 \end{aligned}$$

上記結果により、片側ワイヤロープ（伸縮管側）が切断した場合においても、破断荷重が衝撃荷重と負担荷重の和を上回っており、もう片側のワイヤロープにて保持可能な設計を有している。

なお、式の出典は機械工学便覧、各パラメータは以下による。

E ：ワイヤロープメーカ値を採用。ワイヤロープはプレテンション加工*1を実施しており、経年後の硬くなった状態を想定。

A ：ワイヤロープは、約 7 倍の安全率を有した設計であり、2 定検毎に交換を行うことから、顕著な恒久的伸びは発生しないため、断面積の縮小は考慮せず、製作時の寸法を想定。

L ：グラップルを最上限位置まで巻上げ、伸縮管第 2 段～5 段の荷重が掛かった状態を想定。

注記*1：製作完了後，引張装置を使用し，所定の荷重（張力）をかけ，一定時間保持した後，荷重を元に戻すことを一定回数繰り返すことで，仕様初期に生じる初期伸び及びロープ径の細りが少なくなる。なお，加工により弾性係数が約 1.3 倍増加する。

7. 燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果

7.1 燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果

燃料プール周辺設備等の重量物について、燃料プールへの落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物について、燃料プールとの位置関係、作業実績を踏まえて抽出した結果の詳細を表 7-1 に示す。気中落下時の衝突エネルギーが落下試験の衝突エネルギーより大きい設備等について、十分な離隔距離の確保、固縛若しくは固定、又は基準地震動 S_s による地震荷重に対し燃料プールへ落下しない設計を行うことにより落下防止対策を行っている。なお、燃料プール周辺で資機材等を設置する場合は、落下時の衝突エネルギーの大小に関わらず、社内規定に基づき評価を行い、設置場所や固定方法について検討した上で設置する。

また、燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物のうち、燃料プールのフロアレベルに設置するものの一覧（表 7-2）、配置図（図 7-1）及び吊荷の落下防止対策（表 7-3）を以下に示す。

表 7-1 燃料プールの機能に影響を及ぼすおそれのある重量物の抽出結果*1

番号	抽出項目*1	詳細	抽出の考え方	燃料プールに対する位置関係、作業実績を踏まえた落下防止対策	
1	原子炉建物	B	屋根トラス, 耐震壁等	ウォークダウンにより抽出	基準地震動 Ss に対する落下防止設計
		B	クレーンガーダ		
		A	水銀灯, 蛍光灯	機器配置図等により抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
		B	原子炉建物天井クレーン昇降用及点検歩廊		離隔, 固縛等による落下防止対策
2	燃料取替機	燃料取替機	機器配置図等により抽出	基準地震動 Ss に対する落下防止設計	
3	原子炉建物天井クレーン	原子炉建物天井クレーン	機器配置図等により抽出	基準地震動 Ss に対する落下防止設計	
4	その他クレーン類	原子炉建物補助天井クレーン	機器配置図等により抽出	離隔, 固縛等による落下防止対策	
		新燃料検査台, 鋼製容器立掛台		離隔, 固縛等による落下防止対策*2	
		チャンネル取扱ブーム		基準地震動 Ss に対する落下防止設計	
5	PCVヘッド (取扱具含む)	PCVヘッド	機器配置図等により抽出	離隔, 固縛等による落下防止対策*2,3	
		PCVヘッド吊具			
6	RPVヘッド (取扱具含む)	RPV上蓋	機器配置図等により抽出	離隔, 固縛等による落下防止対策*2,3	
		RPVヘッド点検架台			
		スタッドボルトテンショナ			
		RPV取扱機器工具箱 (内容物含む)			
		RPVヘッド保温材			
7	内挿物 (取扱具含む)	B	小物廃棄物収納容器	離隔, 固縛等による落下防止対策*3	
		B	LPRM切断片バスケット		
		A	制御棒	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		A	制御棒 (除却分)		
		A	ブレードガイド		
		A	燃料集合体		
		A	照射燃料集合体		
		A	チャンネルボックス取扱具		
		B	MSラインプラグ・気水分離器蒸気乾燥器用吊具		離隔, 固縛等による落下防止対策*2,3
		A	LPRM切断片バスケット専用吊具	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		A	バスケット取扱具		
		A	小物収納容器取扱具		
		A	チャンネル着脱装置		
		A	LPRM仮置ハンガー		
		A	上部格子板ガイド		
		A	LPRM据付ガイド		
		A	中央燃料支持金具取扱具		
		A	チャンネルボックス		
		B	蒸気乾燥器		離隔, 固縛等による落下防止対策*3
		B	気水分離器	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		B	改良型主蒸気管水封プラグ		
		A	水中照明灯		
		A	操作ボール		
		A	チャンネルボルトレンチ	離隔, 固縛等による落下防止対策*2,3	
		B	改良型シュラウドヘッドボルトレンチ		
		A	LPRM検出器	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		B	SFPゲートブリッジ	離隔, 固縛等による落下防止対策*2,3	
		A	チャンネルボックス装着治具	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		A	インコア取扱具		
		A	気中式LPRM切断装置		

番号	抽出項目*1	詳細	抽出の考え方	燃料プールに対する位置関係、作業実績を踏まえた落下防止対策	
7	内挿物（取扱具含む）	B	気中式 LPRM 切断装置用架台	機器配置図等により抽出	離隔、固縛等による落下防止対策*2,3
		A	気中式 LPRM 切断装置用架台用ベースプレート		
		A	中性子源	ウォークダウンにより抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
8	プール内ラック類	A	チャンネル貯蔵ラック	機器配置図等により抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
		A	使用済燃料貯蔵ラック		
		A	制御棒・破損燃料貯蔵ラック		
		A	ブレードガイドラック		
		B	制御棒貯蔵ハンガ		離隔、固縛等による落下防止対策*3
		B	仮設 CR ラック		
		B	仮設 CR・GT ラック		
		B	仮設 FS ラック		
9	プールゲート類	燃料プールゲート（大）	機器配置図等により抽出	離隔、固縛等による落下防止対策*3	
		燃料プールゲート（小）			
		キャスク置場ゲート			
10	使用済燃料輸送容器（取扱具含む）	輸送容器（キャスク）	機器配置図等により抽出	離隔、固縛等による落下防止対策*3	
		輸送容器蓋			
		キャスク吊具			
		キャスク共用架台			
		固体廃棄物移送容器			
		固体廃棄物移送容器蓋			
		制御棒専用バスケット			
		燃料内容器			
		搬入容器			
		RPV 監視試験片（バスケット） キャスク装填用遮蔽容器			
監視試験片用容器					
11	電源盤類	チャンネル着脱装置制御盤	機器配置図等により抽出	離隔、固縛等による落下防止対策*2	
		常用照明切替盤		落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		天井クレーン電源盤		離隔、固縛等による落下防止対策*2	
		自動火災報知設備中継器盤		落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		燃料取替機操作室変圧器盤		離隔、固縛等による落下防止対策*2	
		R/B 空気冷却機操作盤		落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		作業用電源盤			
		監視システム制御盤	ウォークダウンにより抽出		
カメラ中継盤					
12	フェンス・ラダー類	燃料プール・キャスクピット廻り手摺り	機器配置図等により抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		原子炉ウエル廻り手摺り			
		除染ピット廻り手摺り			
		大物搬入口手摺り			
		気中照明用ウエル手摺り			
		ウエル梯子			
		DSP 梯子			
		燃料プール異物混入防止フェンス	ウォークダウンにより抽出		
		三角コーン・コーンパー			
		工事区画用フェンス			
13	装置類	原子炉補機冷却水サージタンク	機器配置図等により抽出	離隔、固縛等による落下防止対策*2	
14	作業機材類	B	CR・FS 同時つかみ具収納箱（CR・FS 同時つかみ具含む）	機器配置図等により抽出	離隔、固縛等による落下防止対策*2,3
		B	CR 梱包箱		
		B	炉内サービス機器収納ラック	機器配置図等により抽出	離隔、固縛等による落下防止対策*2
		B	ボール収納ラック		
		B	圧力容器 O リング収納箱		

番号	抽出項目*1	詳細	抽出の考え方	燃料プールに対する位置関係、作業実績を踏まえた落下防止対策	
14	作業機材類	B	吊具類保管箱	ウォークダウンにより抽出	隔離、固縛等による落下防止対策
		B	除染装置	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2,3
		B	トランス	ウォークダウンにより抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
		B	チャンネルボックス検査装置	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2,3
		B	レイダウン機器運搬台車		隔離、固縛等による落下防止対策*2
		B	ナット置台		隔離、固縛等による落下防止対策*3
		B	GM サーベイメータ用鉛遮へい容器	ウォークダウンにより抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2
		B	LPRM 切断機	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*3
		A	LPRM 掴具		落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
		A	LPRM 切断装置水圧ポンプ		
		A	油圧ポンプ		
		A	LPRM 気中切断用架台		
		A	制御棒グラップル		
		A	サーベランスホルダ取扱具		
		A	足場材（板、クランプ）	ウォークダウンにより抽出	
		B	切断機固定台	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2,3
		A	30tSUS パイプカッター	機器配置図等により抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
		A	ナット清掃装置		
15	計器・カメラ・通信機器類	燃料プール水位	ウォークダウンにより抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		燃料貯蔵プール監視用カメラ			
		燃料取替階モニタ	機器配置図等により抽出		
		水素ガス検出器	機器配置図等により抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない	
		水位監視用スケール			
		燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）（高レンジ）			
		燃料取替階ユニットヒータ入口温度			
		運転監視用テレビ装置	ウォークダウンにより抽出		
		IAEA カメラ	機器配置図等により抽出		
		RCW サージタンク水位			
		燃料プール監視カメラ			
		水中カメラ装置	作業実績を踏まえ抽出		
		電話	ウォークダウンにより抽出		
		可搬型ダストサンブラ			
		汚染検査装置			
		使用済燃料プール水温度	機器配置図等により抽出		
		使用済燃料プール水位			
		燃料プール水位・温度（SA）			
		原子炉ウェルエリア（モニタ）			
		燃料取替階西側エリア（モニタ）			
		燃料取替階東側エリア（モニタ）			
燃料交換監視用 ITV					
静的触媒式水素処理装置入口温度					
静的触媒式水素処理装置出口温度					
火災監視カメラ					

番号	抽出項目*4	詳細	抽出の考え方	燃料プールに対する位置関係、作業実績を踏まえた落下防止対策	
16	試験・検査用機材類	B	模擬炉心	作業実績を踏まえ抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2,3
		B	ISI 用テストピース	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2
		B	天井クレーン荷重試験ウエイト	作業実績を踏まえ抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2,3 落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
		B	プラットフォーム	機器配置図等により抽出	
		A	仮置き架台 (CR 外観検査用)		
17	コンクリートプラグ・ハッチ類	原子炉ウエルシールドプラグ	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2,3	
		コンクリートハッチカバー			
		鋼製ハッチカバー			
		大物搬入口グレーチング			
		除染ビットカバー			
		燃料プールのスロットプラグ			
		蒸気乾燥器・気水分離器ビットカバー			
		蒸気乾燥器・気水分離器ビットスロットプラグ			
18	空調機	燃料取替階電気ヒータ	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策*2	
		R/B 空気冷却機			
19	重大事故等対処設備	静的触媒式水素処理装置	機器配置図等により抽出	基準地震動 Ss に対する落下防止設計	
		燃料プールのスプレイス配管			
20	その他	B	ブローアウトパネル	機器配置図等により抽出	隔離、固縛等による落下防止対策
		B	原子炉建物ダクト		
		A	電源内蔵型照明		
		A	ケーブル		
		A	鉛毛板	ウォークダウンにより抽出	落下時に燃料プールの機能に影響を及ぼさない
		A	工所用足場		
		A	浮き輪		
		A	時計		
		A	放射線管理エリア区画用資材		
		A	CH-L 4VK (充電器)		
		B	消防用設備		

注記*1: 重量物の抽出に当たっては、ニューシア情報を確認し、重量物の固縛措置に関して、島根原子力発電所第2号機で反映が必要な事項はないことを確認している。

*2: 燃料プールのフロアレベルに設置するものの隔離、固縛等による落下防止対策の詳細について表 7-2 に記載する。

*3: 吊り上げ時の落下防止対策の詳細について表 7-3 に記載する。

*4: 「抽出項目」で示す設備等のうち、落下時に燃料プールに影響を及ぼさないものと落下防止対策を実施するものがいずれも含まれる設備等については、落下時に影響を及ぼさないものを「A」、落下防止対策を実施するものを「B」とする。

表 7-2 燃料プールのフロアレベルに設置するものの一覧

番号	抽出項目	No.	詳細	離隔の考え方 (燃料プールからの距離, 設置高さ, 重量, 形状, 床の段差)
4	その他クレーン類	1	新燃料検査台, 鋼製容器立掛台	燃料プールからの距離, 床の段差
5	PCVヘッド(取扱具含む)	2	PCVヘッド	燃料プールからの距離, 重量, 形状
		3	PCVヘッド吊具	
6	RPVヘッド(取扱具含む)	4	RPV上蓋	燃料プールからの距離, 重量, 形状
		5	RPVヘッド点検架台	
		6	スタッドボルトテンション	
		7	RPV取扱機器工具箱(内容物含む)	
		8	RPVヘッド保温材	
7	内挿物(取扱具含む)	9	スタッドボルトトラック	燃料プールからの距離, 床の段差
		10	MSラインプラグ・気水分離器蒸気乾燥器用吊具	
		11	改良型シュラウドヘッドボルトレンチ	
		12	SFPゲートブリッジ	
11	電源盤類	13	気中式LPRM切断装置用架台	燃料プールからの距離, 形状, 床の段差
		14	チャンネル着脱装置制御盤	
		15	天井クレーン電源盤	
		16	燃料取替機操作室変圧器盤	
13	装置類	17	R/B空気冷却機操作盤	燃料プールからの距離, 床の段差
		18	原子炉補機冷却水サージタンク	
14	作業機材類	19	CR・FS同時つかみ具収納箱 (CR・FS同時つかみ具含む)	燃料プールからの距離, 床の段差
		20	CR梱包箱	
		21	炉内サービス機器収納ラック	
		22	ポール収納ラック	
		23	圧力容器Oリング収納箱	
		24	除染装置	
		25	チャンネルボックス検査装置	
		26	レイダウン機器運搬台車	
		27	GMサーバイメータ用鉛遮へい容器	
		28	切断機固定台	
16	試験・検査用機材類	29	模擬炉心	燃料プールからの距離, 床の段差
		30	ISI用テストピース	
		31	天井クレーン荷重試験ウエイト	
		32	プラットフォーム	
17	コンクリート プラグ・ハッチ類	33	原子炉ウエルシールドプラグ	燃料プールからの距離, 重量, 床の段差
		34	コンクリートハッチカバー	
		35	鋼製ハッチカバー	
		36	大物搬入ログレーチング	
		37	除染ビットカバー	
		38	燃料プールのスロットプラグ	
		39	蒸気乾燥器・気水分離器ビットカバー	
		40	蒸気乾燥器・気水分離器ビットスロットプラグ	
18	空調機	41	燃料取替階電気ヒータ	燃料プールからの距離, 床の段差
		42	R/B空気冷却機	
20	その他	43	消防用設備	燃料プールからの距離, 床の段差

表 7-3 吊り荷の落下防止対策

番号	抽出項目	詳細	使用するクレーン（主巻・補巻・ホイスト）及び吊具（専用・汎用のワイヤ・スリング・吊具）*	適用法令・安全率の考え方
5	PCVヘッド（取扱具含む）	PCVヘッド	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		PCVヘッド吊具	主巻	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。
6	RPVヘッド（取扱具含む）	RPV上蓋	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		RPVヘッド点検架台	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		スタッドボルトテンションナ	主巻	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。
		RPV取扱機器工具箱（内容物含む）	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		RPVヘッド保温材	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		スタッドボルトラック	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
7	内挿物（取扱具含む）	小物廃棄物収納容器	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		LPRM切断片バスケット	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		MSラインプラグ・気水分離器蒸気乾燥器用吊具	主巻	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。
		蒸気乾燥器	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		気水分離器	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		改良型主蒸気管水封プラグ	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		改良型シュラウドヘッドボルトレンチ	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		SFPゲートブリッジ	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		気中式LPRM切断装置用架台	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。

番号	抽出項目	詳細	使用するクレーン（主巻・補巻・ホイスト）及び吊具（専用・汎用のワイヤ・スリング・吊具）*	適用法令・安全率の考え方
8	プール内ラック類	仮設 CR ラック	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		仮設 CR・GT ラック	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		仮設 FS ラック	回転ジブクレーン・専用吊具	回転ジブクレーンはクレーン構造規格による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
9	プールゲート類	燃料プールゲート（大）	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		燃料プールゲート（小）	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		キャスク置場ゲート	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
10	キャスク (取扱具含む)	輸送容器（キャスク）	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		輸送容器蓋	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		キャスク吊具	主巻/補巻	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。補巻はクレーン構造規格による。
		キャスク共用架台	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		固体廃棄物移送容器	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		固体廃棄物移送容器蓋	主巻・汎用吊具	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		制御棒専用バスケット	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		燃料内容器	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		搬入容器	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		RPV 監視試験片（バスケット） キャスク装填用遮蔽容器	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		監視試験片用容器	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。

番号	抽出項目	詳細	使用するクレーン（主巻・補巻・ホイスト）及び吊具（専用・汎用のワイヤ・スリング・吊具）*	適用法令・安全率の考え方
14	作業機材類	CR・FS 同時つかみ具収納箱 (CR・FS 同時つかみ具含む)	回転補助ホイスト・ 専用吊具	回転補助ホイストはクレーン構造規格による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		CR 梱包箱	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		除染装置	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		チャンネルボックス検査装置	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		ナット置台	主巻・汎用吊具	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		LPRM 切断機	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		切断機固定台	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
16	試験・検査用機材類	模擬炉心	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		天井クレーン荷重試験ウェイト	主巻／補巻／補助ホイスト・汎用吊具	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。 補巻及び補助ホイストはクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		プラットホーム	補巻・専用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
17	コンクリート プラグ・ハッチ類	原子炉ウエルシールドプラグ	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3.落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		コンクリートハッチカバー	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		鋼製ハッチカバー	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		大物搬入ログレーチング	補巻, 汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		除染ビットカバー	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。

番号	抽出項目	詳細	使用するクレーン（主巻・補巻・ホイスト）及び吊具（専用・汎用のワイヤ・スリング・吊具）*	適用法令・安全率の考え方
17	コンクリート プラグ・ハッチ類	燃料プールスロットプラグ	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。
		蒸気乾燥器・気水分離器ピットカバー	補巻・汎用吊具	補巻はクレーン構造規格による。 吊具はクレーン等安全規則により、安全率6以上のものを使用。
		蒸気乾燥器・気水分離器ピットスロットプラグ	主巻・専用吊具	主巻はVI-1-3-3 3. 落下防止対策による。 吊具はメーカー社内基準に基づき、強度評価を実施。

注記*：使用するクレーン及び吊具については代表ケースを示す。代表ケースで示すものと異なるクレーン及び吊具で吊り荷を取扱う場合においても、代表ケースと同様に適切な適用法令・安全率の考え方となるようにし、吊り荷の落下を防止する

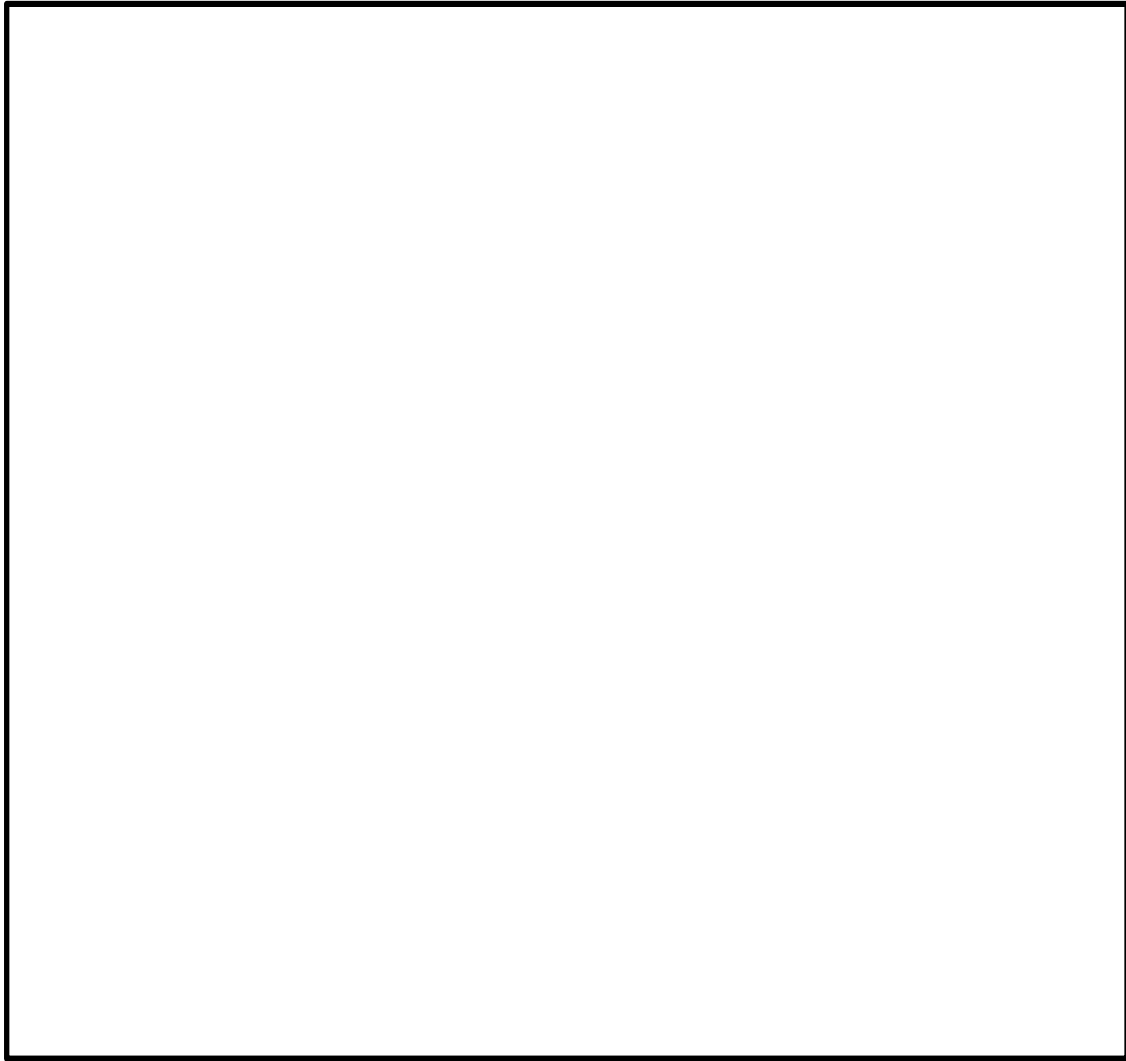


図 7-1 燃料プールのフロアレベルに設置するものの一覧

重量物落下時のチャンネルボックスへの荷重について

チャンネルボックスは、チャンネルファスナによって上部タイプレートに結合されており、重量物落下時はチャンネルファスナを通じて上部タイプレートと一体としてふるまうこととなる。このため、重量物落下時の荷重の一部はチャンネルボックスにも作用するが、その荷重は摩擦によってスペーサ及び下部タイプレートに作用する。スペーサは2本のウォータロッドのうちの1本で上下方向の位置が保持されている。したがって、重量物落下時のチャンネルボックスへの荷重の一部は、下部タイプレート及びウォータロッドにかかることになる(図1-1)。

以上を考慮すると、落下物を受ける燃料集合体にチャンネルボックスを装着しない状態を仮定し、ウォータロッドへの荷重を無視して、燃料棒のみで落下物の荷重を受け止める想定は保守的であると考えられる。

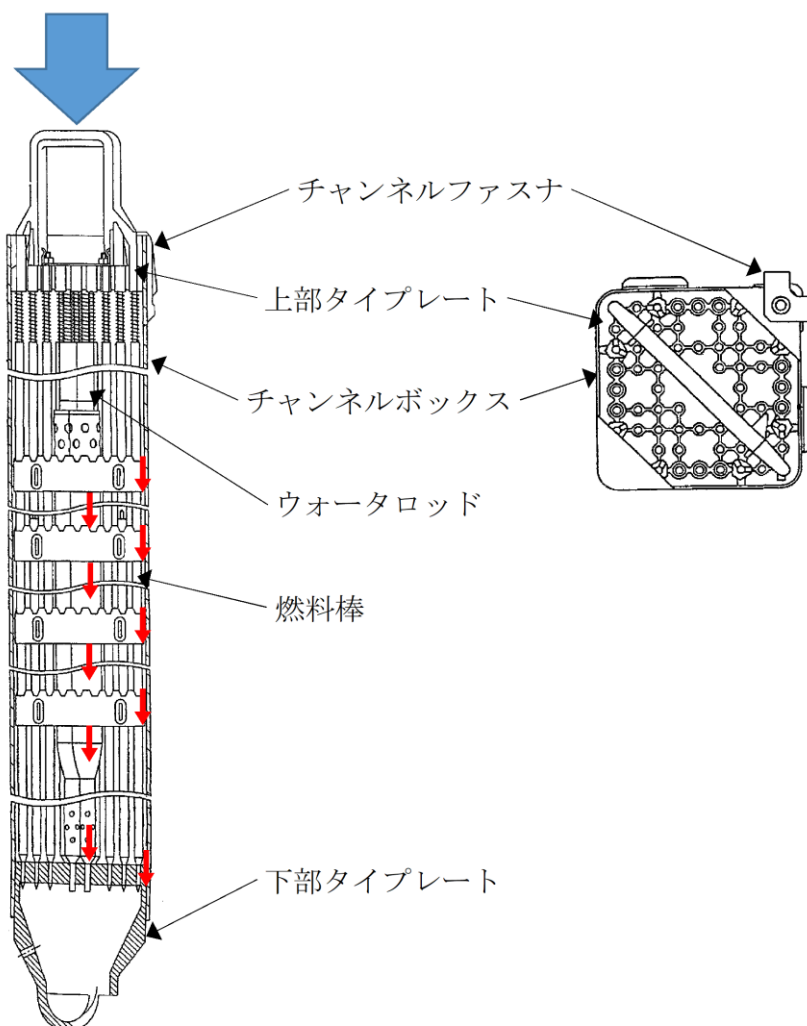


図 1-1 チャンネルボックスの受ける荷重について