

## 2.7 使用済燃料乾式貯蔵容器を通常に取り扱う場合の設計上想定される事象について

### 2.7.1 乾式貯蔵施設内での取扱いフロー

乾式貯蔵施設内での乾式キャスクの取扱いについて説明する。

乾式貯蔵施設内に搬入後、緩衝体取外しから貯蔵までの取扱いフローを第2.7-1図に示す。なお、貯蔵後、乾式キャスクを貯蔵施設から搬出する場合は、同図に示すNo. 1-1～No. 1-7の逆手順（第2.7-2図 2-1～2-6の手順）にて取り扱う。

以下に各取扱フローについて説明する。（以下の番号は第2.7-1図に対応）

#### (1) 乾式貯蔵施設内での取扱フロー

##### 1-1：緩衝体取外し

天井クレーンを用いて乾式キャスクに取り付けた緩衝体を取り外す。

##### 1-2：キャスクたて起こし

天井クレーンを用いて乾式キャスクをたて起こす。

##### 1-3：検査架台への移送

天井クレーンを用いて乾式キャスクを検査架台へ移送する。

##### 1-4：貯蔵架台上への設置

天井クレーンを用いて乾式キャスクを検査架台内に設置した貯蔵架台（エアパレット上に設置）に吊り降ろす。

##### 1-5：三次蓋取外し・監視装置の取付け

天井クレーンを用いて三次蓋を取外し、監視装置を取り付ける。

##### 1-6：貯蔵エリアへの移動

搬送台車を用いて乾式キャスクを貯蔵エリアへ移動する。

##### 1-7：乾式キャスク貯蔵

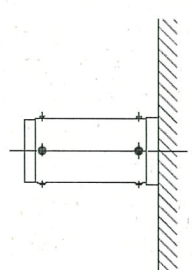
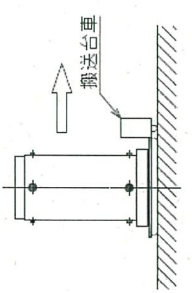
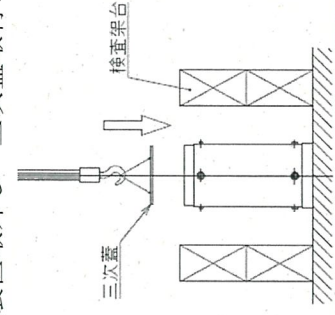
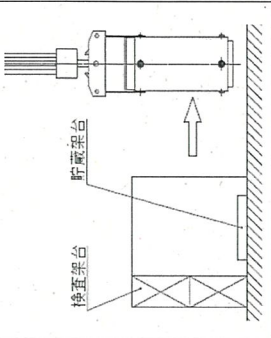
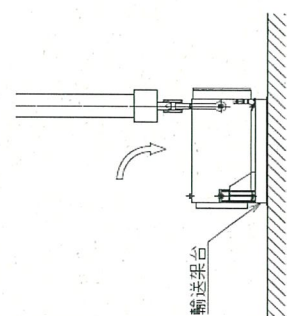
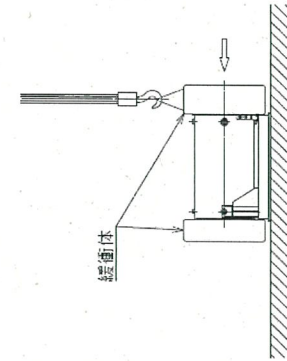
所定の位置にて貯蔵架台を乾式貯蔵施設の床面にボルトで固縛する。

＜乾式キヤスクの緩衝体取り外し～貯蔵＞

No. 1-1	取扱いモード 緩衝体取外し		No. 1-2	取扱いモード 乾式キヤスクたて起こし		No. 1-3	取扱いモード 検査架台への移送		No. 1-4	取扱いモード 貯蔵架上への設置	
想定 事象	—	—	想定 事象	—	—	想定 事象	検査架台への衝突 (第 2.7-3 図 (a))	—	想定 事象	貯蔵架上への衝突 (第 2.7-3 図 (b))	
1-5	三次蓋取外し・監視装置取付け		1-6	貯蔵エリアへの移動		1-7	乾式キヤスク貯蔵				
想定 事象	三次蓋の衝突 (第 2.7-3 図 (c))	—	想定 事象	搬送台車で搬送中の衝突 (第 2.7-3 図 (c))	—	想定 事象	—	—			

第 2.7-1 図 乾式貯蔵施設内での取扱いフロー (緩衝体取外し～貯蔵)

＜乾式キャスクの貯蔵～緩衝体取付け＞

No. 2-1	取扱いモード 乾式キャスク貯蔵		No. 2-2	取扱いモード 検査架台へ移動		No. 2-3	取扱いモード 監視装置取外し・三次蓋取付け		No. 2-4	取扱いモード 作業エリアへの移送	
想定 事象	—	想定 事象	2-2	検査架台で搬送中の衝突 (第 2.7-3 図 (c))	想定 事象	2-3	三次蓋の衝突 (第 2.7-3 図 (c))	想定 事象	2-4	検査架台への衝突 (第 2.7-3 図 (a))	
2-5	乾式キャスク横倒し		2-6	緩衝体取付け							
想定 事象	横倒し時の衝突 (第 2.7-3 図 (d))	想定 事象	2-6	緩衝体の衝突 (第 2.7-3 図 (f))							

第 2.7-2 図 乾式貯蔵施設内での取扱いフロー（貯蔵～緩衝体取付け）

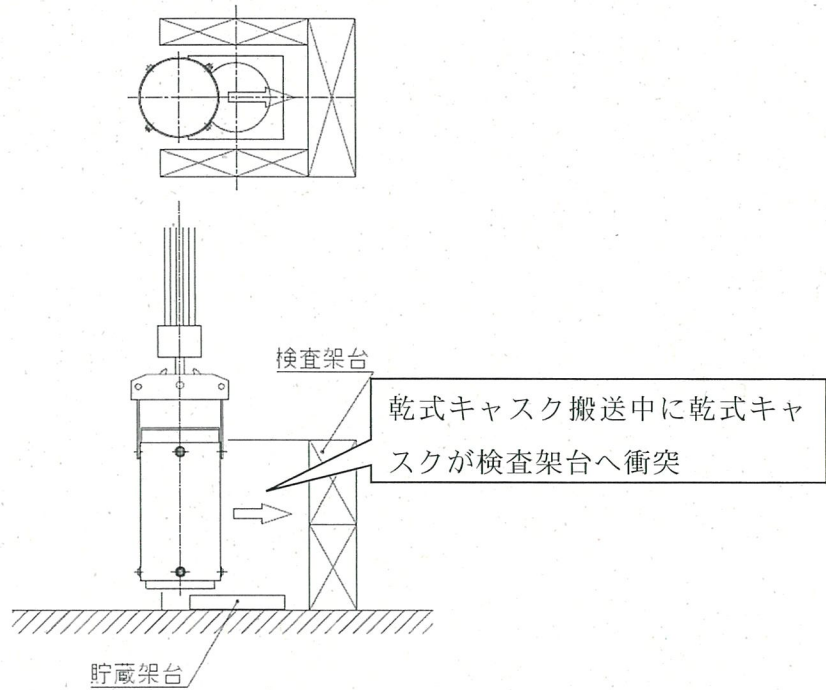
## 2.7.2 通常取扱い時に想定すべき事象

第2.7-1表及び第2.7-3図に通常取扱い時において想定すべき事象の抽出結果を示す。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、「3. 自然現象等に対する使用済燃料乾式貯蔵施設の設計方針」にて説明しているとおり、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、通常取扱い時において想定すべき事象としては、作業員の誤操作を想定する。

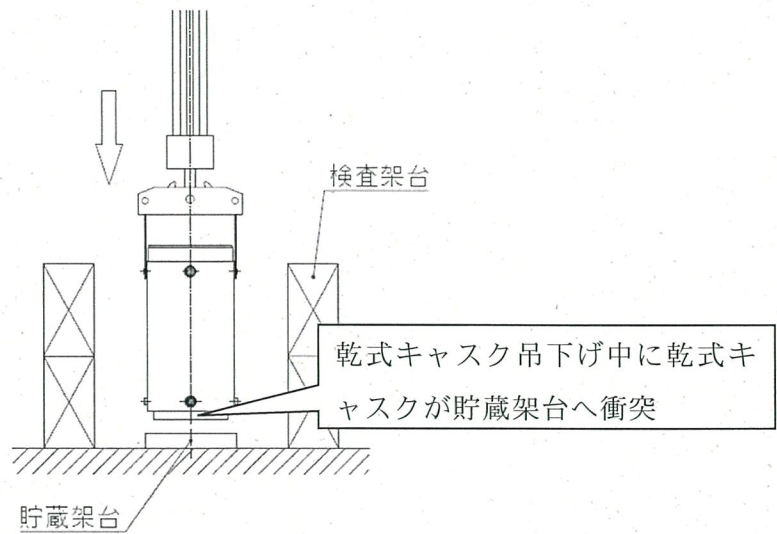
第2.7-1表 通常取扱い時において想定すべき事象の抽出結果

原因	想定事象	具体的な想定	
作業員の誤操作	キャスクの衝突	検査架台への衝突 (第2.7-3図(a))	乾式キャスクを吊上げ移送中に、クレーン走行速度(18.0m/分)で検査架台に衝突する。
		貯蔵架台への衝突 (第2.7-3図(b))	乾式キャスクを貯蔵架台へ設置時に、クレーン巻き下げ速度(1.2m/分)で貯蔵架台に衝突する。
		搬送台車で搬送中の衝突 (第2.7-3図(c))	乾式キャスク搬送中に、搬送台車が建屋壁及び他の乾式キャスク貯蔵架台等へ衝突した場合においても、搬送中の乾式キャスクは幾何学的に傾き角度を制限しており、壁及び他の乾式キャスク等へ衝突しない。詳細は参考4参照。
		横倒し時の衝突 (第2.7-3図(d))	乾式キャスクの横倒し時に、クレーン巻き下げ速度(1.2m/分)で輸送架台に衝突する。
	キャスクへの衝突	三次蓋の衝突 (第2.7-3図(e))	乾式キャスクへの三次蓋取付け作業時に、クレーン巻き下げ速度(1.2m/分)で三次蓋が乾式キャスクに衝突する <sup>(注1)</sup> 。
		緩衝体の衝突 (第2.7-3図(f))	乾式キャスクへ緩衝体取付け作業時にクレーン走行速度(18.0m/分)で乾式キャスクに衝突する。

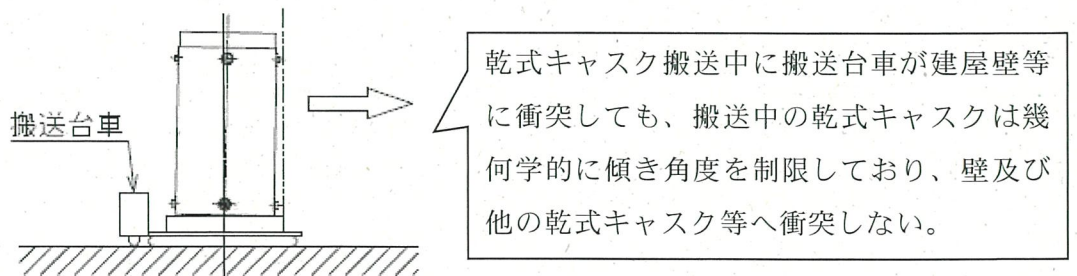
(注1) 三次蓋の異常衝突時は、胴フランジ(三次蓋部)上端が二次蓋上面より高い位置にあることから、三次蓋は胴フランジ上端に衝突することを想定。



(a) 検査架台への衝突

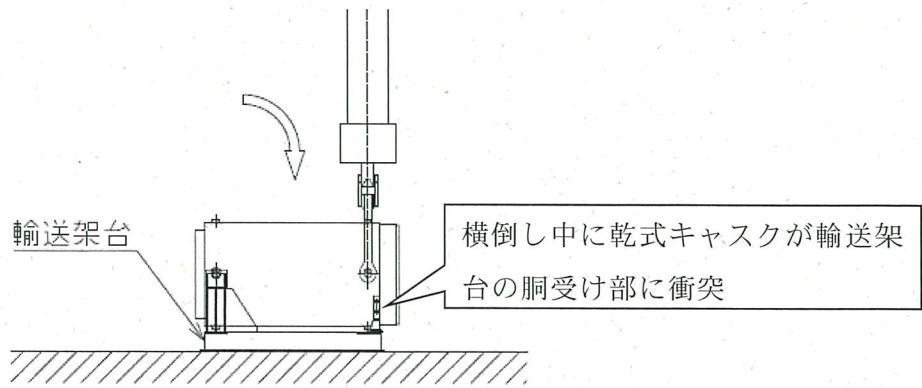


(b) 貯蔵架台への衝突

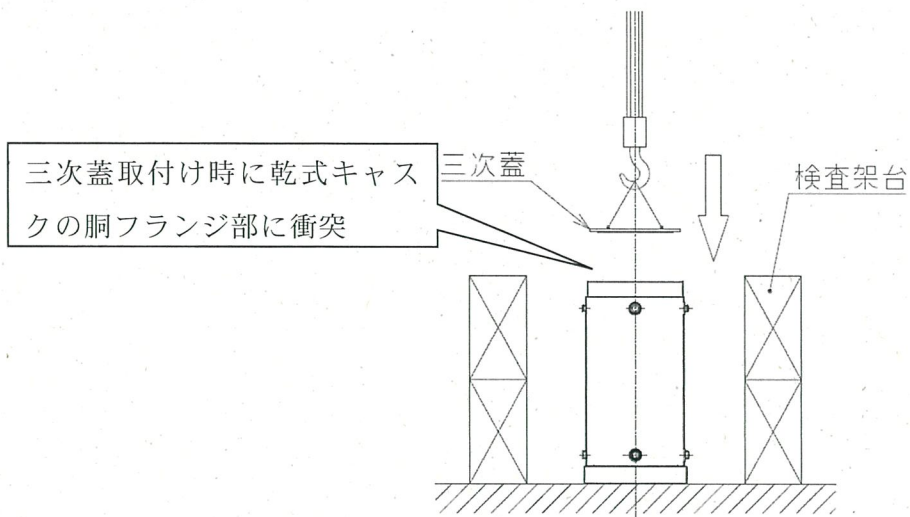


(c) 搬送台車で搬送中の衝突

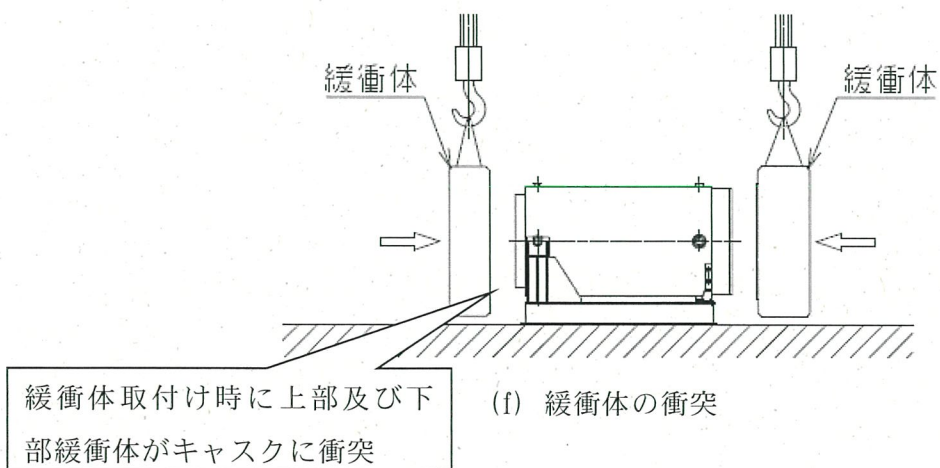
第 2.7-3 図 想定される事象の衝撃荷重の算出体系 (1/2)



(d) 横倒し時の衝突



(e) 三次蓋の衝突



第 2.7-3 図 想定される事象の衝撃荷重の算出体系 (2/2)

## 2.8 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力等の監視について

### 2.8.1 設置許可基準規則要求事項および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確認事項

#### (1) 設置許可基準規則要求事項

使用済燃料乾式貯蔵容器に関する要求事項は、以下のとおりである。

##### ①設置許可基準規則第16条第4項第三号

- ・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。

##### ②設置許可基準規則解釈別記4第16条第3項

- ・第16条第4項第2号に規定する「崩壊熱を適切に除去することができる」とは、第5項に規定するもののほか、貯蔵事業許可基準規則解釈第6条並びに第17条第1項第2号（貯蔵建屋を設置する場合に限る。）及び第3号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすことをいう。
- ・貯蔵事業許可基準規則解釈第17条第1項第2号
  - ・貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できること。

#### (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確認事項

使用済燃料乾式貯蔵容器に関する要求事項は、以下のとおりである。

「2. 安全機能の確保 2.4 閉じ込め機能」には以下のように記載されている。

#### 【審査における確認事項】

『

- (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。

』

#### 【確認内容】

『

- (1) 長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力（以下「蓋間圧力」という。）を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。

』

また、「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.4 監視機能」には以下のように記載されている。

【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。
- (2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

』



(3) 要求事項および確認事項の整理

監視項目	基準規則等における要求事項	審査ガイドにおける確認事項	審査ガイドにおける確認内容
蓋間圧力	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料が内包する放射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こと。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計上想定される状態において、兼用キヤスクが内包する放射物質を適切に閉じ込めることができること。</li> <li>蓋間圧力及び兼用キヤスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力（以下「蓋間圧力」という。）を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できると。</li> <li>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ヤスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。</li> </ul>
兼用キヤスク表面温度	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓋間圧力及び兼用キヤスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>兼用キヤスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キヤスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。</li> </ul>
貯蔵建屋内の雰囲気温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できること。</li> </ul>	-	-

## 2.8.2 適合性について

### (1) 審査ガイド

審査ガイドでは、設置（変更）許可に係る審査において、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ことが定められており、乾式キャスクの監視機能については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

#### [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。
- (2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

伊方発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設に貯蔵する乾式キャスク（タイプ1：MSF-24P及びタイプ2：MSF-32P）の一次蓋および二次蓋間の圧力（以下、「蓋間圧力」という。）および乾式キャスク表面温度について、適切な頻度で監視する。詳細は、2.8.2.1および2.8.2.2参照。

### (2) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈別記4第16条第3項で規定される貯蔵建屋内の雰囲気温度の監視については、以下のとおり要求事項に適合している。

#### [要求事項]

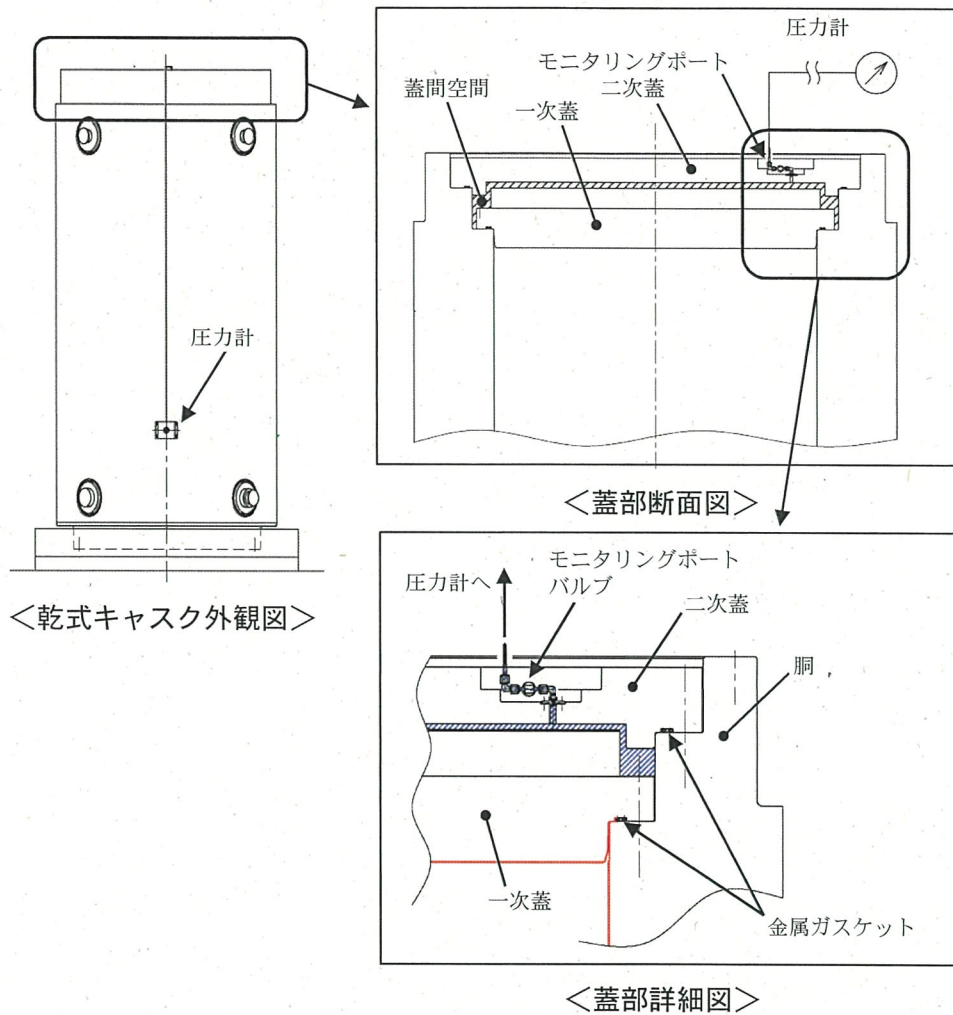
貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できること。

貯蔵建屋内に温度計を設置し、雰囲気温度を監視することで、雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できる設計とする。詳細は、2.8.2.3参照。

### 2.8.2.1 乾式キャスク蓋間圧力

#### (1) 監視方法

乾式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ていることを監視するために、乾式キャスクの蓋間圧力を監視する。蓋間圧力は、第2.8-1図に示すとおり、乾式キャスクの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設計とする。



第2.8-1図. 乾式キャスク蓋間圧力の監視方法 (イメージ図)

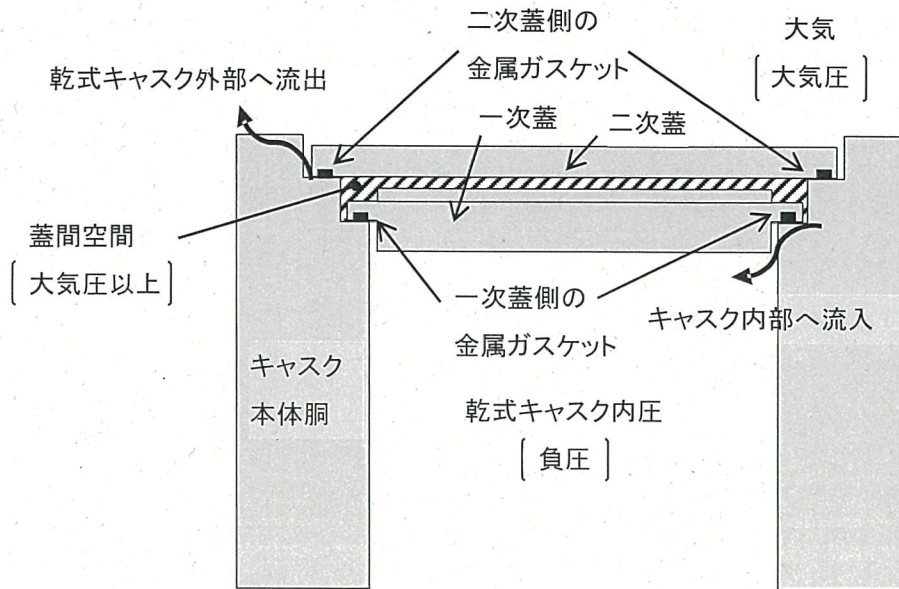
ここで、第2.8-2図に示すように、一次蓋側の金属ガスケットから漏えいが生じた場合は、蓋間のヘリウムガスが乾式キャスク内部に流入し、蓋間圧力は低下するとともに、乾式キャスク内部の圧力(乾式キャスク内圧)は次第に上昇し、大気圧以下で均圧する。

また、二次蓋側の金属ガスケットから漏えいが生じた場合は、蓋間のヘリウムガスが外部へ流出するとともに、蓋間圧力は次第に低下し、大気圧となる。

よって、一次蓋側、二次蓋側の金属ガスケットからの漏えいによらず、蓋間圧力が大気圧以上の間は、蓋間空間からヘリウムガスがアウトリークする。

以上より、乾式キャスクの蓋間圧力が大気圧以上であることを監視することで、

乾式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ていることを監視できる。



第 2.8-2 図 乾式キャスク蓋間空間からの漏えい (イメージ)

## (2) 監視頻度

蓋間圧力の監視頻度を定めるため、次のとおり保守的に閉じ込め機能の低下を想定する。(蓋間圧力が最も早く低下する想定とする。)

- ① 金属ガスケットの漏えい率を基準漏えい率とする。
- ② 乾式キャスクの蓋間空間のヘリウムガスが、一次蓋側 (キャスク内部) および二次蓋側 (キャスク外部) の二方向から漏えいする。
- ③ 想定される全ての発熱量条件での圧力変動幅を包絡するよう、蓋間圧力は崩壊熱量を考慮する場合\*と崩壊熱量を考慮しない場合(崩壊熱量 0 kW の場合)を想定する。
- ④ 貯蔵開始後は、周囲環境温度が $-7^{\circ}\text{C}$ ～ $50^{\circ}\text{C}$ の範囲で変動すると想定する。
- ⑤ 圧力計の計器誤差を $\pm 1.6\%$ とする。

\* : MSF-32P 型キャスクの収納制限最大の発熱量となる場合

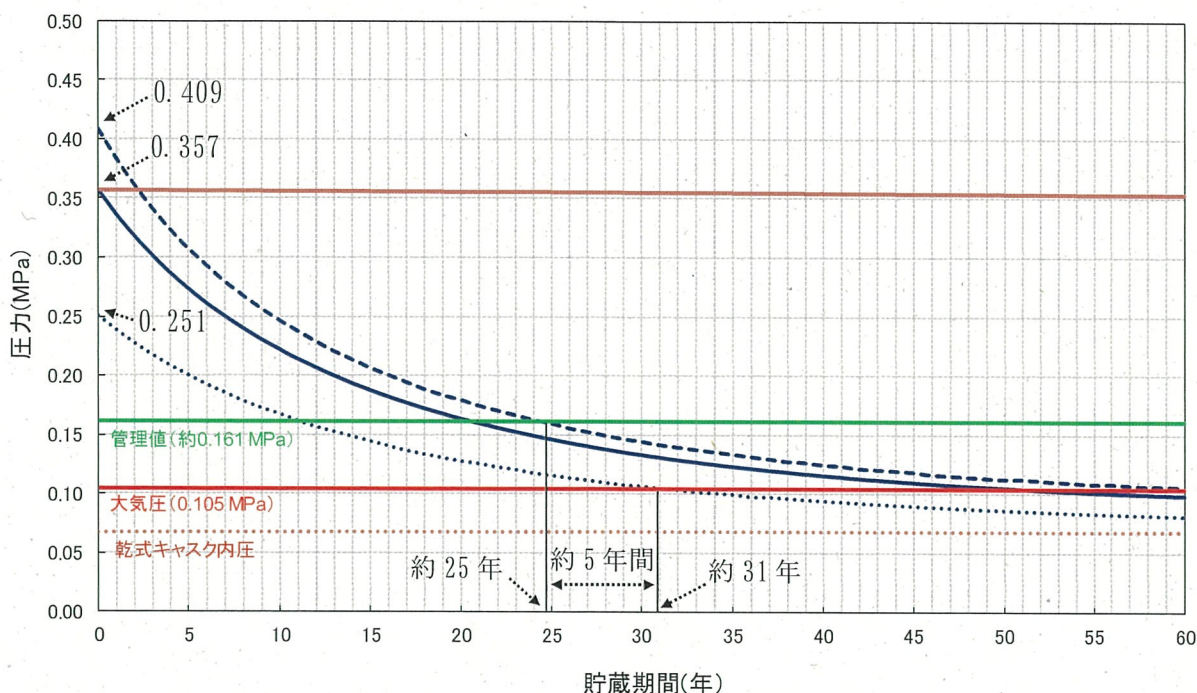
上記想定での設計貯蔵期間 (60 年) 中の蓋間圧力の経時変化を第 2.8-3 図に示す。

ここで、以下の理由から設計貯蔵期間中において、金属ガスケットの漏えい率は、基準漏えい率を上回ることはない。

- ・ 乾式キャスクは、設計貯蔵期間中 (60 年間) の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して必要な耐食性のある材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持するため、乾式キャスクの閉じ込め機能を担保している金属ガスケットの漏えい率に影響を与えない。
- ・ 乾式キャスクは輸送時の落下事象に耐える堅牢性を有しており、設計貯蔵期

間中に想定される基準地震動  $S_s$  に対しても安全機能を維持できることから、乾式キャスクの閉じ込め機能を担保している金属ガスケットの漏えい率に影響を与えない。

- 乾式キャスクを頑健な建屋内に貯蔵し、外郭防護することで、貯蔵中に想定される外部事象に対しても乾式キャスクの閉じ込め機能を担保している金属ガスケットの漏えい率に影響を与えない。



凡例	圧力条件
— (solid blue)	周囲環境温度25℃(崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
- - - (dashed blue)	周囲環境温度50℃(崩壊熱量考慮、計器誤差+1.6%、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
..... (dotted blue)	周囲環境温度-7℃(崩壊熱量考慮しない、計器誤差-1.6%、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
— (solid red)	金属ガスケットの設計漏えい率による現実的な評価(周囲環境温度25℃、崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
— (solid green)	管理値(約0.161MPa)
— (solid red)	大気圧(0.105MPa)
..... (dotted red)	乾式キャスク内圧(周囲環境温度-7℃の場合の乾式キャスク内圧の上昇曲線)

第 2. 8-3 図 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化 (二方向からの漏えいを考慮)

第 2. 8-3 図に示すとおり、周囲環境の温度変化 (-7℃~50℃) による圧力変動を考慮すると、周囲環境が -7℃ で崩壊熱量を考慮しない場合 (崩壊熱量 0 kW の場合) に最も蓋間圧力は低くなり、蓋間圧力は貯蔵開始から約 31 年後に大気圧 (0.105 MPa·abs) に到達する。ここで、蓋間圧力は、管理値 (約 0.161 MPa·abs) を設定し、管理値に到達した場合は、ヘリウムガスを充填することとするため、管理値に最も遅く到達した場合 (約 25 年) でも大気圧に至るまでは、約 5 年間時間がかかる。

よって、管理値 (約 0.161 MPa·abs) を定め、1 年に 1 回の圧力監視を行うことで、乾式キャスクが内包する放射性物質が乾式キャスク外部に放出される前に密封シール部の異常を検知することができるものの、3 ヶ月に 1 回の頻度で圧力監視を

行う。

## 2.8.2.2 乾式キャスク表面温度

### (1) 監視方法

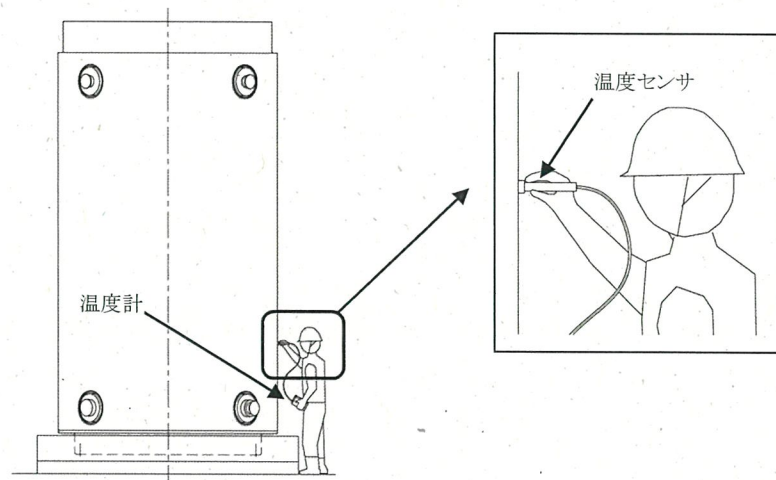
乾式キャスク内の使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることを監視するために、乾式キャスクの表面温度を監視する。

乾式キャスクの表面温度は、第 2.8-4 図に示すとおり、温度センサを乾式キャスク外筒の外表面に接触させ、外筒外表面の温度を温度計により監視できる設計とする。

ここで、別添 4「伊方発電所 3 号炉燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（使用済用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能について）」における乾式キャスクの除熱解析に示すとおり、外筒外表面の温度が設計温度\*以下であれば、乾式キャスクおよび燃料被覆管が健全であることが確認できる。

以上より乾式キャスク表面温度が設計温度\*以下であることを監視することで、乾式キャスクおよび燃料被覆管が健全であり、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が監視できる。

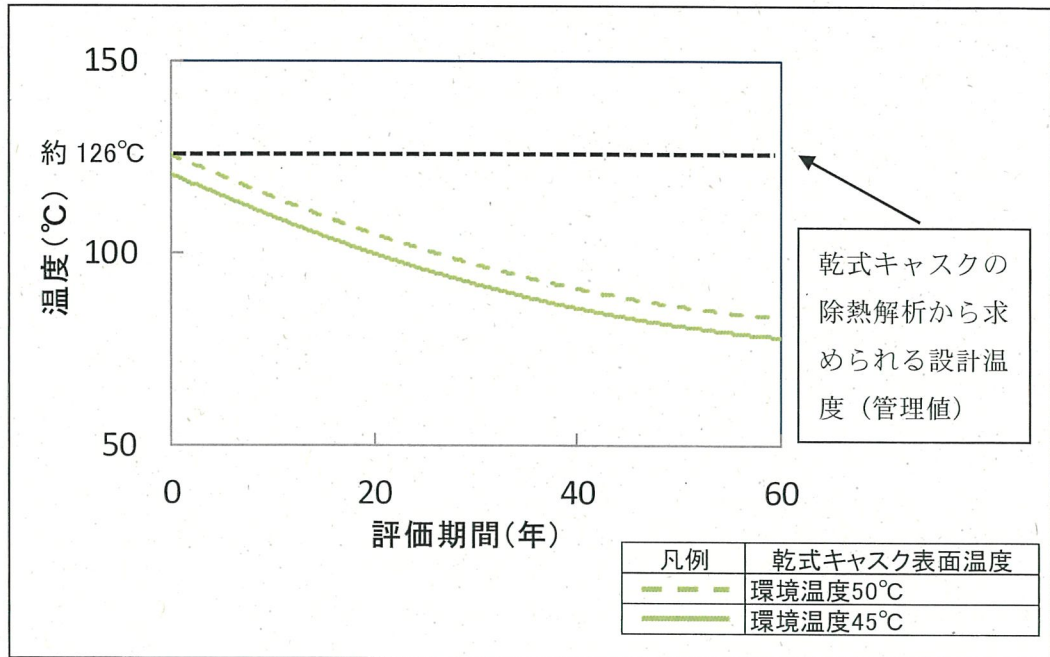
※ MSF-24P 型：129℃， MSF-32P 型：126℃



第 2.8-4 図 乾式キャスク表面温度の監視方法（イメージ図）

### (2) 監視頻度

乾式キャスク表面温度の監視頻度を定めるため、設計貯蔵期間（60 年）中の表面温度の経時変化を第 2.8-5 図に示す。



第 2. 8-5 図 乾式キャスク表面（外筒）温度の変化（MSF-32P 型の例）

第 2. 8-5 図に示すとおり、乾式キャスク表面温度は、貯蔵開始直後が最も高く、使用済燃料の発熱量低下とともに乾式キャスクの表面温度は低下する。

ここで、以下の理由から設計貯蔵期間中において、乾式キャスクの除熱機能は低下しない。

- ・ 乾式キャスクは、設計貯蔵期間中（60 年間）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して必要な耐食性のある材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持するため、乾式キャスクの除熱機能は低下しない。
- ・ 乾式キャスクは輸送時の落下事象に耐える堅牢性を有しており、貯蔵中に想定される基準地震動  $S_s$  に対しても安全機能を維持できることから、乾式キャスクの除熱機能は低下しない。
- ・ 乾式キャスクを頑健な建屋内に貯蔵することで、貯蔵中に想定される外部事象に対しても乾式キャスクの除熱機能は低下しない。なお、乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しないことから、乾式貯蔵建屋の除熱機能は低下しない。

以上より、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は、設計貯蔵期間の 60 年間にわたり維持できるものの、蓋間圧力を 3 ヶ月に 1 回の頻度で監視することとしており、これに合わせて乾式キャスク表面温度を 3 ヶ月に 1 回の頻度で監視する。

### 2.8.2.3 貯蔵建屋内雰囲気温度

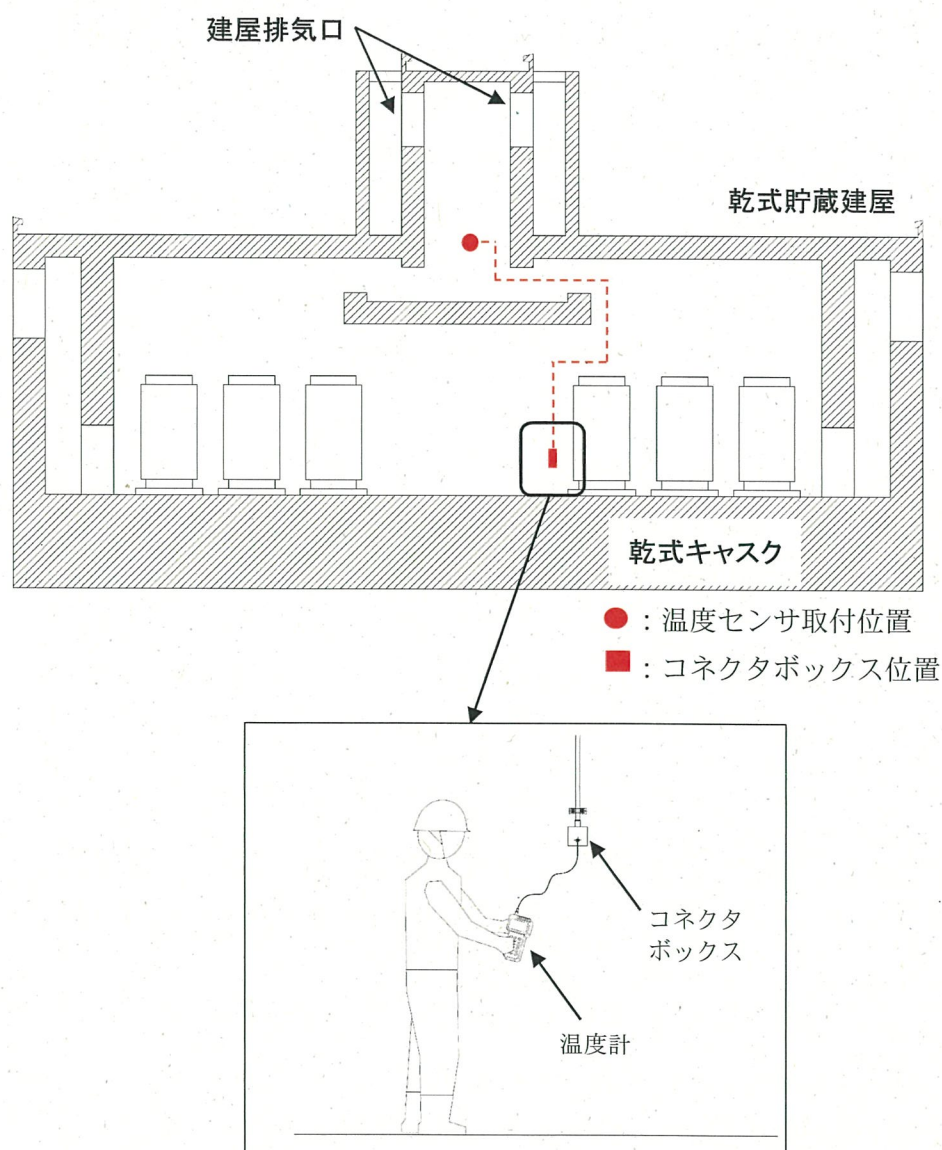
#### (1) 監視方法

貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視するため、建屋内の雰囲気温度が最も高くなる建屋排気口付近の温度（建屋排気温度）を監視する。

建屋排気温度は、第2.8-6図に示すとおり、温度センサを貯蔵エリアの4つの区画（乾式キャスク12基分）の排気口付近に1箇所ずつ（計4箇所）設置し温度を監視できる設計とする。

ここで、別添4「伊方発電所3号炉燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（使用済用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能について）」における乾式キャスクの除熱解析において、貯蔵建屋内雰囲気温度を最高50℃と設定し、評価しているため、貯蔵建屋内の雰囲気温度が50℃以下であれば、乾式キャスクの健全性は担保される。

以上より、建屋排気温度が50℃以下であることを監視することで、貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視する。



第2.8-6図 貯蔵建屋内雰囲気温度の監視方法（イメージ図）



## (2) 監視頻度

2.8.2.2 で示したように設計貯蔵期間の 60 年間に於いて、乾式キャスクの除熱機能は維持されることおよび別添 4 「伊方発電所 3 号炉燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（使用済用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能について）」における乾式貯蔵建屋の除熱評価に示すように、乾式キャスク 45 基を貯蔵した場合においても、貯蔵建屋内雰囲気温度は 50℃を超えないことから、設計貯蔵期間の 60 年間に於いて、貯蔵建屋内雰囲気温度は 50℃を超えないものの、乾式キャスク表面温度の監視に合わせて、貯蔵建屋内雰囲気温度を 3 ヶ月に 1 回の頻度で監視する。

### 3. 自然現象等に対する使用済燃料乾式貯蔵施設の設計方針

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、使用済燃料乾式貯蔵施設の設備ごとの設計方針を示す。

#### 3.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の設備の分類及び担保すべき機能について

乾式貯蔵施設は、兼用キャスク及び周辺施設等から構成されるため、乾式貯蔵施設を構成する設備を以下の考えに基づき第3-1表のとおり分類するとともに、兼用キャスクの安全機能を維持するために、各設備が担保すべき機能をまとめる。

ここで、地盤及び周辺斜面については、兼用キャスクに影響を及ぼさないよう第3条2項、3項及び第4条第7項に基づき、安定な地盤及び周辺斜面に乾式貯蔵施設を設置する設計とする。詳細については、地盤に係る安全審査資料に示す。

兼用キャスクは、安全機能を維持するために、それ自体で以下の必要な機能を有しており、乾式キャスクが該当する。

- ・ 兼用キャスクを地震による損傷の防止（第4条第1項、第2項、第6項及び第7項）
- ・ 兼用キャスクを火災による損傷の防止（第8条第1項）
- ・ 兼用キャスクを溢水による損傷の防止（第9条第1項）
- ・ 兼用キャスクの安全機能の維持（第16条第2項及び第4項）

周辺施設は、兼用キャスクである乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な機能を有するものと考えられることから、

- |  |   |
|--|---|
| ・ 兼用キャスクを地震による損傷から防止するもの<br>（兼用キャスクと相まって耐震性を確保するもの）<br>（第4条第1項、第2項、第6項及び第7項） | : 貯蔵架台、基礎ボルト、基礎、<br>貯蔵建屋 <sup>※1</sup>      |
| ・ 兼用キャスクを津波による損傷から防護するもの<br>（第5条第2項）   | : 貯蔵建屋                                      |
| ・ 兼用キャスクを外部からの衝撃による損傷から防護するもの<br>（第6条第1項及び第3項）                               | : 貯蔵建屋                                      |
| ・ 兼用キャスクを火災による損傷から防護するもの<br>（第8条第1項）   | : 貯蔵建屋                                      |
| ・ 兼用キャスクの安全機能の維持を監視するもの<br>（第16条第4項）   | : 乾式キャスク圧力計、<br>乾式キャスク表面温度計、<br>貯蔵建屋内雰囲気温度計 |
| ・ 兼用キャスクの遮蔽機能を補完するもの<br>（第29条第1項、第30条第1項～第3項）                                | : 貯蔵建屋                                      |
| ・ 兼用キャスクを通常に取扱うために必要なもの<br>（第16条第2項）   | : 貯蔵建屋天井クレーン、<br>乾式キャスク搬送台車                 |

が該当する。

※1 乾式キャスクに波及的影響を及ぼさないよう設計とするもの

ここで、周辺施設のうち、貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎は、乾式キャスクの直接支持構造物及び間接支持構造物として、基準地震動  $S_s$  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に、特段の機能を有する設備<sup>※2</sup>として設計する。また、貯蔵建屋についても、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して、貯蔵中の乾式キャスクへ波及的影響を防止するように、特段の機能を有する設備<sup>※2</sup>として設計する。

一方、周辺施設のうち、乾式キャスク圧力計、乾式キャスク表面温度計、貯蔵建屋内雰囲気温度計、貯蔵建屋天井クレーン及び乾式キャスク搬送台車は、乾式キャスクの安全機能を維持するために、特段の機能を要しないことから、一般産業施設や公衆施設と同等の設計とする。

なお、周辺施設へのユーティリティ設備は、周辺施設へ電気・圧縮空気等を供給する設備であり、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な設備ではない。また、点検用架台は、乾式キャスクの点検等に用いる足場であり、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な設備ではない。よって、周辺施設へのユーティリティ設備及び点検用架台は、周辺施設に該当しない。

※2 特段の機能を有する設備： 乾式キャスクの安全機能を維持するために、一般産業施設や公衆施設以上の耐震性を有する設備

また、乾式キャスク及び貯蔵建屋は、1、2、3号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも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、安全施設（第12条第1、3、4、5、7項）に適合する設計とする。

さらに、貯蔵建屋は、発電用原子炉施設であるため、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止（第7条）を講じ、安全避難通路等（第11条第1項）を設ける設計とする。

### 3.2 兼用キャスク及び周辺施設の設計方針

兼用キャスク及び周辺施設について、乾式キャスクの安全機能を維持するために、各設備が担保すべき機能を確保できるよう、第3-1表に示す設置許可基準規則の条項の要求を満足するように設計する。具体的な設計方針を以下に示す。

#### 3.2.1 兼用キャスクの設計方針

兼用キャスクの設計方針を次の項目ごとに示す。

##### 3.2.1.1 地震

兼用キャスクである乾式キャスクは、第4条第6項に規定する地震力<sup>※</sup>に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスク（支持部及び基礎を含む）は、耐震重要度分類をSクラスとして分類し、基準地震動  $S_s$  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に設計する。詳細については、第4条に係る安全審査資料に示す。

※ 基準地震動による地震力

#### 3.2.1.2 津波

兼用キャスクである乾式キャスクは、津波による作用力<sup>\*</sup>に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを津波防護対象設備として分類し、乾式キャスクを設置する貯蔵建屋を浸水防護重点化範囲に設定する。詳細については、第5条に係る安全審査資料に示す。

※ 基準津波による作用力（荷重）

#### 3.2.1.3 竜巻

兼用キャスクである乾式キャスクは、竜巻による作用力<sup>\*</sup>に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを竜巻防護施設として分類し、貯蔵建屋にて防護する設計とする。詳細については、第6条に係る安全審査資料に示す。

※ 設計竜巻による作用力（荷重）

#### 3.2.1.4 その他の外部事象

兼用キャスクである乾式キャスクは、第6条第1項及び第3項において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び想定される人為事象に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを「設計対象施設（降下火砕物の影響を設計に考慮すべき施設）」、「クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設」等に分類し、貯蔵建屋にて防護する設計とする。詳細については、第6条に係る安全審査資料に示す。

#### 3.2.1.5 内部火災

兼用キャスクである乾式キャスクは、火災により乾式キャスクの安全機能が損なわれないよう、火災発生防止の措置を講じる設計とする。

具体的には、乾式キャスクは不燃性材料を使用した設計とする。詳細については、第8条に係る安全審査資料に示す。

#### 3.2.1.6 溢水

兼用キャスクである乾式キャスクは、乾式貯蔵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。具体的には、乾式キャスクを防護対象設備

とし、溢水事象を想定しても安全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。詳細については、第9条に係る安全審査資料に示す。

### 3.2.2 周辺施設の設計

周辺施設の設計方針を次の設備ごとに示す。

#### 3.2.2.1 機器・配管系（兼用キャスクの支持部、計装設備及びクレーン類）

機器・配管系のうち計装設備（乾式キャスク蓋間圧力計、乾式キャスク表面温度計及び貯蔵建屋内雰囲気温度計）及びクレーン類（貯蔵建屋天井クレーン及び乾式キャスク搬送台車）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設計とする。

具体的には、耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とするとともに、以下の一般産業規格等に基づいた一般産業品を用いる設計とする。

表 計装設備及びクレーン類に適用する一般産業規格等※

設備名	一般産業規格等
乾式キャスク蓋間圧力計	JIS B7505（アネロイド型圧力計 ブルドン管圧力計） 等
乾式キャスク表面温度計	JIS C1602（熱電対）
貯蔵建屋内雰囲気温度計	JIS C1605（シース熱電対） 等
貯蔵建屋天井クレーン	クレーン等安全規則、クレーン構造規格 等
乾式キャスク搬送台車	JIS G3101（一般構造用圧延鋼材） 鋼板工業(株)カタログ品 E19-0048（エアベアリング） 等

※ JIS規格等の国内規格類に基づいた部材、部品およびカタログ品により構成される一般産業品を用いる。

機器・配管系のうち乾式キャスク支持部（貯蔵架台及び基礎ボルト）については、乾式キャスクを含めて耐震重要度分類をSクラスとして分類し、基準地震動  $S_s$  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に設計する。詳細については、第4条に係る安全審査資料に示す。

#### 3.2.2.2 貯蔵建屋等（貯蔵建屋）

貯蔵建屋の設計方針を次の項目ごとに示す。

##### (1) 地震

貯蔵建屋は、耐震重要度分類Cクラス施設として分類し、地震力に十分耐えることができる設計とする。また、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。

詳細については、第4条に係る安全審査資料に示す。

(2) 津波

津波防護対象設備である乾式キャスクを設置する貯蔵建屋の設置された敷地において、基準津波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し、浸水防護重点化範囲である貯蔵建屋は、津波による影響を受けない位置に設置する設計とする。詳細については、第 5 条に係る安全審査資料に示す。

(3) 竜巻

竜巻防護施設である乾式キャスクを内包する貯蔵建屋により、乾式キャスクを防護し構造健全性を維持し安全機能を損なわない設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

(4) その他の外部事象

周辺施設である貯蔵建屋は、内包する乾式キャスクをその他の外部事象から防護するとともに、乾式キャスクの安全機能を阻害しない設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

(5) 内部火災

貯蔵建屋は、放射性物質の貯蔵機能のみを有する構築物、系統及び機器を設置する火災区域として設定する設計とする。詳細については、第 8 条に係る安全審査資料に示す。

(6) 遮蔽機能

<工場等周辺における直接線等からの防護>

貯蔵建屋は、乾式キャスクの遮蔽機能と相まって、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。具体的には、年間 50 マイクロシーベルトを超えない設計とする。詳細については、第 29 条に係る安全審査資料に示す。

<放射線からの放射線業務従事者の防護>

貯蔵建屋は、乾式キャスクの遮蔽機能と相まって、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、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。詳細については、第 30 条に係る安全審査資料に示す。

第3-1表 乾式貯蔵施設の設備の分類及び担保すべき機能

設備	名称	分類	特段の機能		地震による 損傷防止		津波による損 傷防止		外部からの 衝撃による 損傷防止		火災による損 傷防止		漏水による損 傷防止		兼用キヤスクの 安全機能維持及 び監視		遮蔽機能を補完		設計 基準 対象 施設	安全施設	備 考
			有無	具体的な 機能	第1項 第2項	第4条 第6項 第7項	第5条 第2項	第6条 第1項 第3項	第8条 第1項	第9条 第1項	第16条 <sup>※4</sup> 第2項	第16条 <sup>※4</sup> 第4項	第29条 第1項	第30条 第1項～ 第3項							
兼用キヤスク	使用済燃料乾式貯蔵容器 (乾式キヤスク)	兼用 キヤスク	—	S <sup>※1</sup>	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	PS-2	乾式キヤスクは、1、2、3号炉の使用済 燃料を貯蔵した場合でも乾式キヤスク の安全機能を損なわない設計とする。
兼用キヤスク支持部	・ 貯蔵架台 ・ 基礎ボルト	周辺施設	○	S <sup>※1</sup>	○ <sup>※6</sup>	○ <sup>※6</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	PS-2	
基礎(兼用キヤスクの間接 支持構造物)	基礎	周辺施設	○	— <sup>※2</sup>	○ <sup>※6</sup>	○ <sup>※6</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
貯蔵建屋等	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (遮蔽壁及び火災区画構造物含 む)	周辺施設	○	C <sup>※3</sup>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	PS-3	・ 第7条及び第11条第1項についても 適合させる設計とする。 ・ 貯蔵建屋は、1、2、3号炉の使用済燃 料を貯蔵した場合でも乾式キヤスク の除熱機能を阻害しない設計とする。
計装設備	・ 乾式貯蔵容器蓋間圧力計 ・ 乾式貯蔵容器表面温度計 ・ 乾式貯蔵容器表面温度計 ・ 乾式貯蔵容器内部雰囲気温度計	周辺施設	×	— <sup>※4</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
クレーン類	・ 天井クレーン ・ エアバレット	周辺施設	×	— <sup>※4</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
周辺施設へのユーティリテ イ設備	・ 乾式貯蔵建屋電源設備 ・ 搬送台車用コンプレッサ、 圧縮空気供給配管等 ・ 乾式貯蔵建屋給排気ファン	— <sup>※5</sup>	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
電気供給設備	・ 乾式貯蔵建屋電源設備	— <sup>※5</sup>	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
圧縮空気供給設備	・ 乾式貯蔵建屋給排気ファン	— <sup>※5</sup>	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
換気空調設備	・ 乾式貯蔵建屋給排気ファン	— <sup>※5</sup>	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
点検用架台	・ 点検用歩廊 ・ 検査架台	— <sup>※5</sup>	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

※1: 耐震重要度分類Sクラス施設として分類し、基準地震動Ssによる地震力に対して乾式キヤスクの安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。  
 ※2: 耐震重要度分類Sクラス施設として分類し、基準地震動Ssによる地震力に対して乾式キヤスクの支持機能を維持できる設計とする。  
 ※3: 耐震重要度分類Cクラス施設として分類し、乾式キヤスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。  
 ※4: 耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とする。  
 ※5: 乾式キヤスクの安全機能を維持するために必要な機能を有していないもの。(乾式キヤスクに直接関わらないもの)  
 ※6: 乾式キヤスクに貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎を含めて適合性を確認する。  
 ※7: 乾式貯蔵施設は、十分余裕を持たせた使用済燃料貯蔵容量を有する設計とする。  
 ※8: 設計上想定される状態における兼用キヤスクの安全機能維持、監視機能、材料、構造健全性及び設計貯蔵期間については、2章設計方針に記載する。

上表以外の設備として、屋内消火栓等については、プラントと同様の設計とする。

別 添



伊方発電所 3 号炉  
燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設  
(使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能について)

## <目 次>

1. 要求事項
2. 適合性について
3. 参考文献

## 1. 要求事項

乾式キャスクの閉じ込め機能に関する要求事項は、以下のとおりである。

### (1) 設置許可基準規則要求事項

#### ①設置許可基準規則第16条第2項一号イ

- ・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。

#### ②設置許可基準規則第16条第4項三号

- ・使用済燃料が内包する放射性物質を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。

#### ③設置許可基準規則解釈別記4第16条第4項

- ・第16条第4項第3号に規定する「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」とは、次項に規定するもののほか、使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（以下「貯蔵事業許可基準規則解釈」という）第5条第1項第1号及び第2号並びに第17条第1項第1号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすことをいう。
- ・貯蔵事業許可基準規則解釈第5条第1項  
第5条に規定する「限定された区域に適切に閉じ込めることができるもの」とは、以下の設計をいう。
  - 一 金属キャスクは、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料等を内封する空間を負圧に維持できる設計であること。
  - 二 金属キャスクは、多重の閉じ込め構造を有する蓋部により、使用済燃料等を内封する空間を容器外部から隔離できる設計であること。
- ・貯蔵事業許可基準規則解釈第17条第1項  
第1項に規定する「適切に監視することができる」とは、以下の設計をいう。
  - 一 蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。

#### ④設置許可基準規則解釈別記4第16条5項

第16条第2項第1号ハ及び同条第4項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用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上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用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上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。

- ・設計貯蔵期間を明確にしていること。
- ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

(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確認事項

「2. 安全機能の確保 2.4 閉じ込め機能」には、以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

『

- (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。

』

【確認内容】

『

- (1) 長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力（以下「蓋間圧力」という。）を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。
- (2) 兼用キャスクの内部の放射性物質が外部へ漏えいしないよう、設計貯蔵期間中、兼用キャスク内部の負圧を維持できること。
- (3) 密封境界部の漏えい率は、(2)を満たすものであること。また、使用する金属ガスケット等のシールの性能は、当該漏えい率以下であること。
- (4) 閉じ込め機能評価では、密封境界部の漏えい率が、設計貯蔵期間、内部初期圧力及び自由空間容積（兼用キャスク内部容積から収納物及びバスケットを減じた容積をいう。）、初期の蓋間圧力及び蓋間の容積、温度等を条件として、適切な評価式を用いて求められていること。

(5) 兼用キャスクの衝突評価

1) 兼用キャスクを床等に固定せず設置するとき

① 転倒モードの設定

兼用キャスクを縦置き又は横置きにした貯蔵状態で第6項地震力（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。）を入力し、兼用キャスクの転倒、兼用キャスク同士の衝突及び兼用キャスクと周辺施設との衝突のうち、設計上想定するものを設定すること。

② 兼用キャスクの衝突評価

①で抽出した転倒等による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。この際「4.3.1 地震に対する設計方針」を参考にしていること。

2) 貯蔵建屋等を設置するとき

① 貯蔵建屋等の損壊モードの設定

損壊モードに応じた衝突物又は落下物を抽出し、そのうち兼用キャスクの閉じ込め機能に及ぼす影響が最大であるものを設定すること。

② 兼用キャスクの衝突評価

①で抽出した衝突物又は落下物による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。

3) 使用済燃料の再取出性の評価

a. 兼用キャスクに収納される使用済燃料を取り出すために、一次蓋及び二次蓋が開放できること。

b. 使用済燃料の燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、かつ、使用済燃料集合体の過度な変形を生じないこと。

(6) 閉じ込め機能の異常に対し、適切な期間内で使用済燃料の取出しや詰替え及び使用済燃料貯蔵槽への移送を行うこと、これらの実施に係る体制を適切に整備すること等、閉じ込め機能の修復性に関して考慮がなされていること。

』

## 2. 適合性について

審査ガイドでは、設置（変更）許可に係る審査において、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ことが定められており、乾式キャスクの閉じ込め機能については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

### 〔確認内容〕

- (1) 長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力（以下「蓋間圧力」という。）を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。

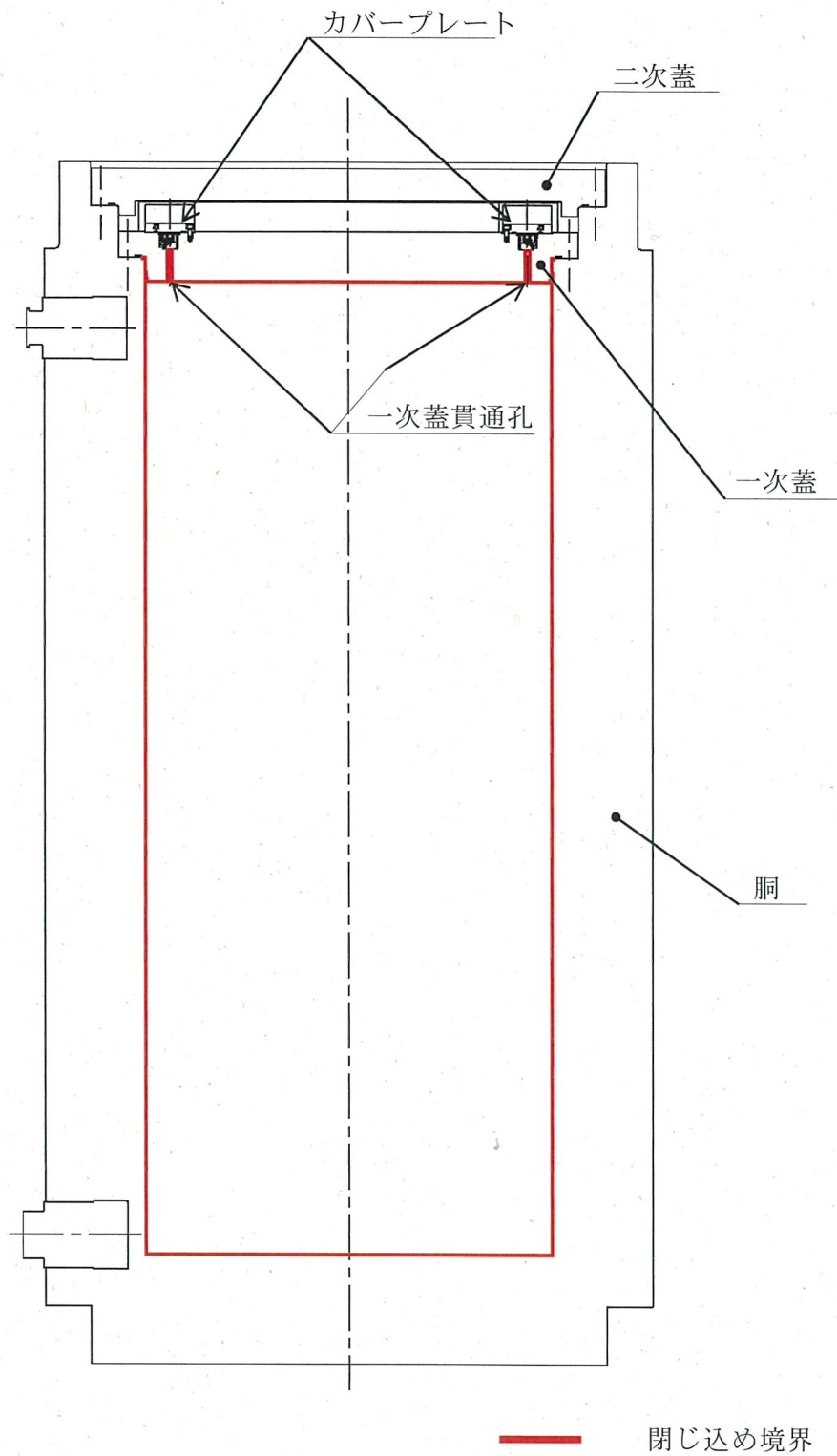
乾式キャスクの閉じ込め構造を第 2.5.1-1 図に、シール部詳細を第 2.5.1-2 図に示す。

乾式キャスクは、乾式キャスク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）を通じて負圧に維持する。乾式キャスクは、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、放射性物質を乾式キャスク内部に閉じ込める。蓋及び蓋貫通孔のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを使用し、金属ガスケットは、設計貯蔵期間中に乾式キャスク内部を負圧に維持できる漏えい率（以下、「基準漏えい率」という）を満足するものを使用する。

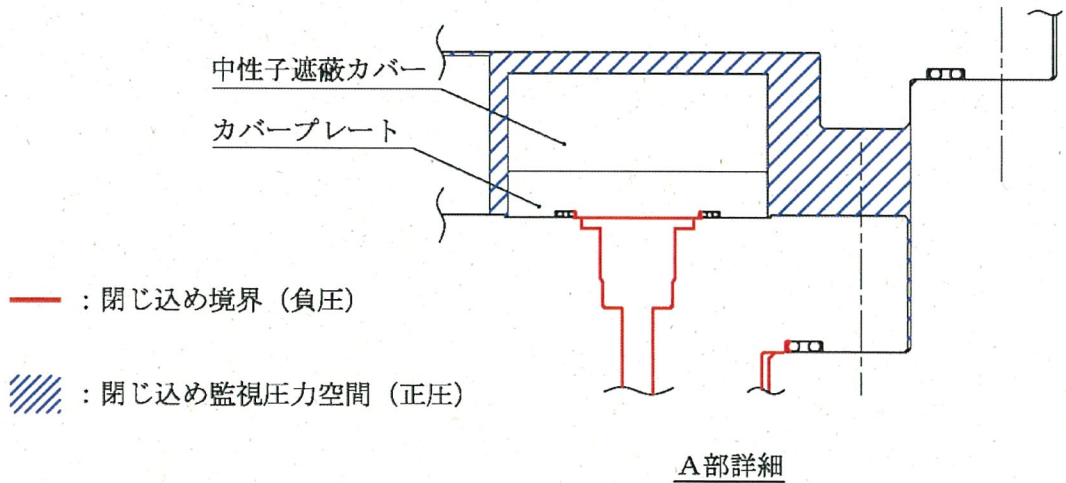
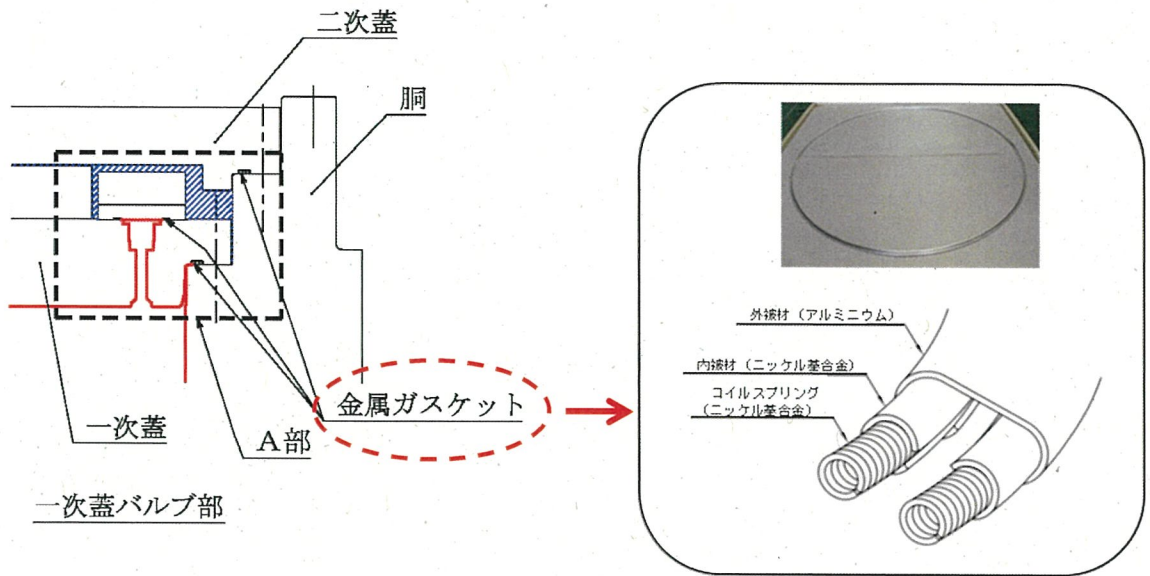
一次蓋と二次蓋との蓋間圧力を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できる設計とする。

乾式貯蔵施設内では、乾式キャスクの閉じ込め境界を有する一次蓋は開放せず、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。

使用済燃料を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を封入する空間を負圧（ $9.7 \times 10^4$  Pa）に維持する設計とする。



第 2.5.1-1 図 乾式キャスクの閉じ込め構造



第 2.5.1-2 図 乾式キャスクのシール部詳細



[確認内容]

- (2) 兼用キャスクの内部の放射性物質が外部へ漏えいしないよう、設計貯蔵期間中、兼用キャスク内部の負圧を維持できること。
- (3) 密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間中、兼用キャスク内部の負圧を維持できるものであること。また、使用する金属ガスケット等のシールの性能は、当該漏えい率以下であること。
- (4) 閉じ込め機能評価では、密封境界部の漏えい率が、設計貯蔵期間、内部初期圧力及び自由空間容積（兼用キャスク内部容積から収納物及びバスケットを減じた容積をいう。）、初期の蓋間圧力及び蓋間の容積、温度等を条件として、適切な評価式を用いて求められていること。

乾式キャスク漏えい率の考え方を第 2.5.1-3 図、閉じ込め評価フローを第 2.5.1-4 図、閉じ込め評価に係る構造図を第 2.5.1-5 図に示す。

閉じ込め評価では、基準漏えい率を求め、基準漏えい率よりも漏えい率の小さい金属ガスケットを使用することを説明する。

基準漏えい率は、設計貯蔵期間中に乾式キャスク内部を負圧に維持できる漏えい率である。

また、基準漏えい率は、蓋間圧力と乾式キャスク内部圧力の圧力差のもとで、シール部を通して乾式キャスク内部へ流入する気体の漏えい量を積分することによって、乾式キャスク内部圧力が大気圧となるまでの圧力変化を求めた際の漏えい率として計算する。

なお、基準漏えい率を求めるにあたっては、蓋間圧力は保守的に初期圧力で一定とし、蓋間空間のガスは乾式キャスク内部側にのみ漏えいするものとして漏えい計算を行う。また、大気圧は、気象変化による圧力変動を保守的に考慮した値として  $9.7 \times 10^4$  Pa とする。乾式キャスク本体内部空間の圧力の算定にあたっては、使用済燃料の破損率として、米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料発生率（約 0.01 %）、及び日本の軽水炉における漏えい燃料発生率（約 0.01 % 以下）を考慮し、保守的な値として 0.1 %<sup>1)</sup>を想定する。

a. 基準漏えい率の計算

- a) 乾式キャスク本体内部圧力の変化は、ボイル・シャルルの法則に基づき、以下のよう求める。

$$\frac{dP_d}{dt} = \frac{Q}{V_d} \times \frac{T_d}{T} \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

$P_d$  : 乾式キャスク本体内部圧力 (Pa)

$T_d$  : 乾式キャスク本体内部温度 (K)

- Q : 乾式キャスク本体内部圧力  $P_d$  のときのシール部の漏えい率  
( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ )
- T : 漏えい気体の温度 (K)
- $V_d$  : 乾式キャスク本体内部の空間容積 ( $\text{m}^3$ )  
(乾式キャスク内部容積から収納物及びバスケットを減じた容積)
- t : 時間 (s)

また、ここで漏えい率 Q は、以下のクヌッセンの式<sup>2)</sup>で求められる。

$$\left. \begin{aligned} Q &= L \cdot P_a \\ L &= (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d) \\ F_c &= \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu} \\ F_m &= \frac{\sqrt{2 \pi \cdot R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{T}}{a \cdot P_a} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで、

- Q : 漏えい率 ( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ )
- L : 圧力  $P_a$  における体積漏えい率 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $F_c$  : 連続流のコンダクタンス係数 ( $\text{m}^3/(\text{Pa} \cdot \text{s})$ )
- $F_m$  : 自由分子流のコンダクタンス係数 ( $\text{m}^3/(\text{Pa} \cdot \text{s})$ )
- $P_u$  : 上流側 (蓋間) の圧力 (Pa)
- $P_d$  : 下流側 (乾式キャスク本体内部) の圧力 (Pa)
- $D_0$  : 相当漏えい孔径 (m)
- a : 漏えい孔長 (m)
- $P_a$  : 流れの平均圧力 (Pa)

$$P_a = \frac{P_u + P_d}{2}$$

- $\mu$  : 漏えい気体の粘性係数 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )
- T : 漏えい気体の温度 (K)
- M : 漏えい気体の分子量 (kg/mol)
- $R_0$  : ガス定数 ( $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ )

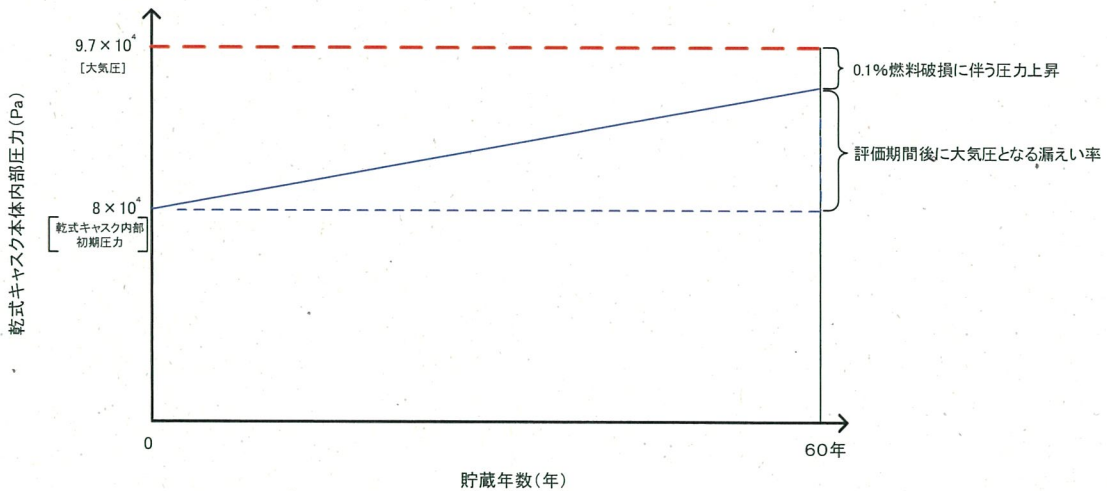
- b) 漏えい孔径  $D_0$  を設定し (3.2) の式により漏えい率 Q を求める。Q を (3.1) の式に入力し、時間 t で積分することにより、設計貯蔵期間経過後の乾式キャ

スク本体内部圧力  $P_d$  を求める。

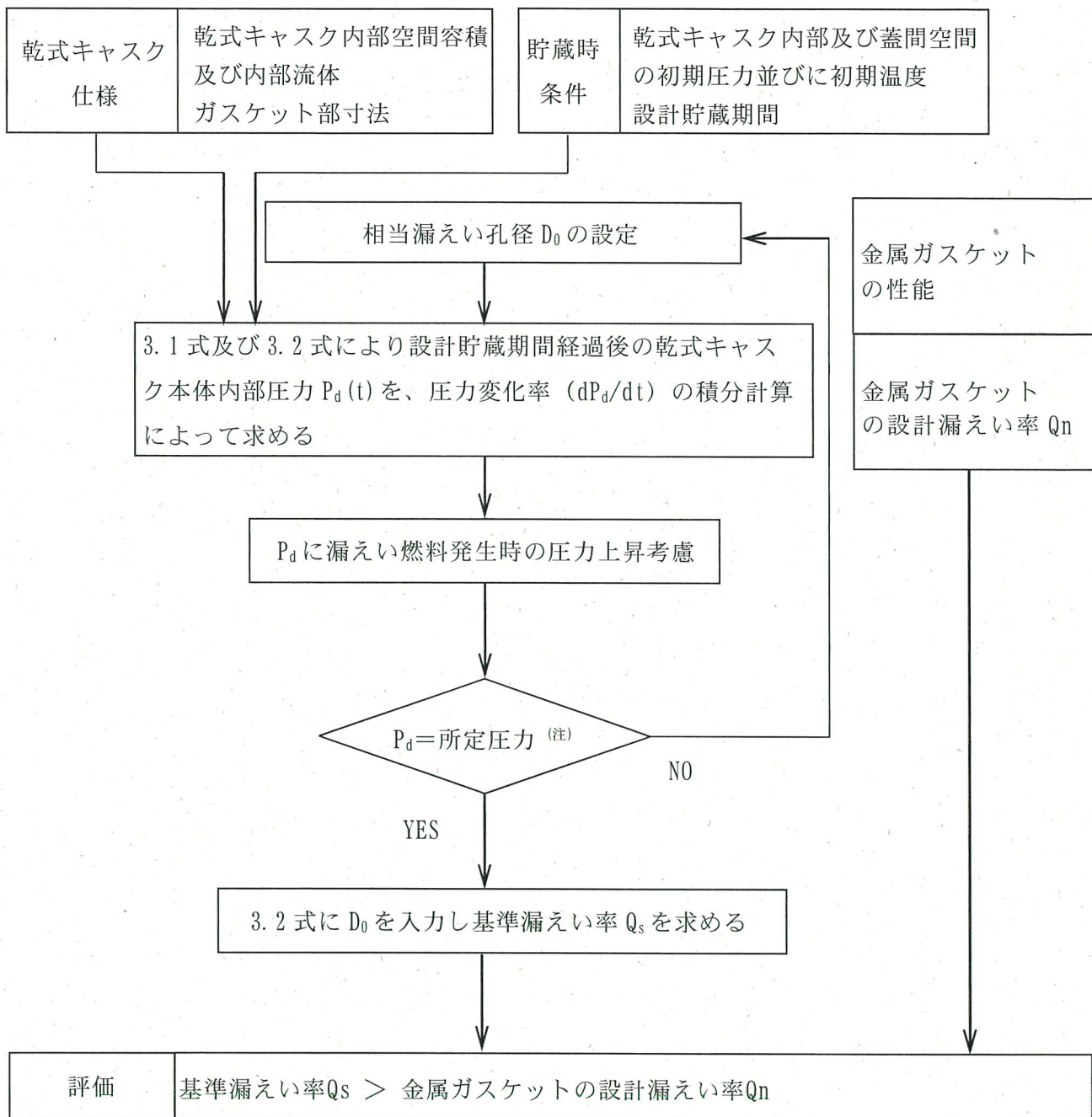
- c) b) により求めた  $P_d$  が正圧の場合はより小さな漏えい孔径  $D_0$  を、負圧の場合はより大きい漏えい孔径  $D_0$  を設定して、a) ~ b) を繰り返し、 $P_d$  が大気圧 ( $9.7 \times 10^4$  Pa) となる漏えい孔径  $D_0$  を求める。
- d) 判定基準である金属ガスケットの漏えい率と比較するため、c) により求めた  $D_0$  を固定し、(3.2) の式に金属ガスケットの漏えい率を求めた試験条件 ( $P_u = 1.01 \times 10^5$  Pa、 $P_d = 0$  Pa、 $T = 298.15$  K) を入力し、基準漏えい率  $Q_s$  を求める。

なお、本評価においては、以下の点について保守性を有している。

- ・設計貯蔵期間中において使用済燃料の崩壊熱は低下していくが、使用済燃料の崩壊熱低下による乾式キャスク本体内部温度の温度低下を考慮せず、乾式キャスク本体内部温度は初期温度で一定とする。
- ・設計貯蔵期間中において上流側（蓋間）の圧力は漏えいにより低下していくが、漏えいによる圧力低下を考慮せず、初期圧力で一定とする。

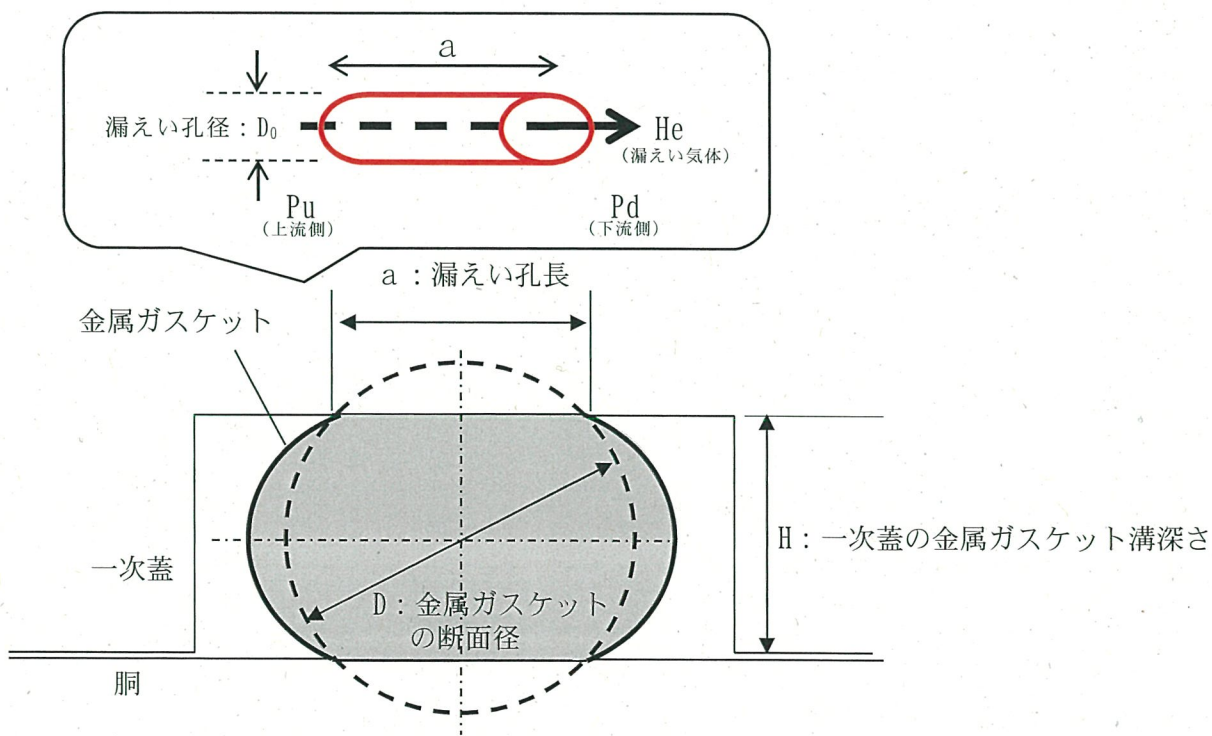
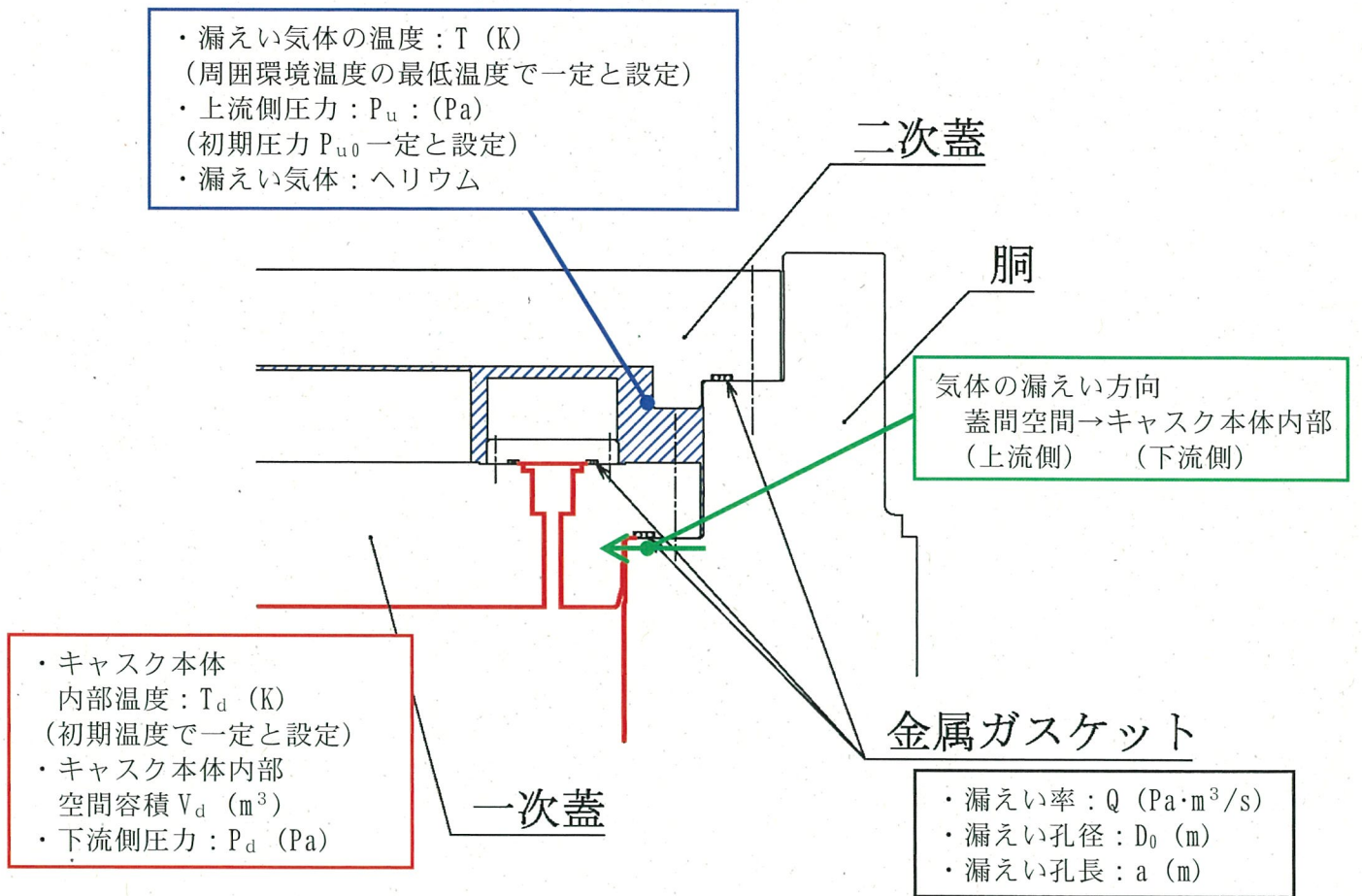


第 2.5.1-3 図 乾式キャスク漏えい率の考え方



(注) 所定圧力は、大気圧の変動を考慮し、 $9.7 \times 10^4$  Pa とする。

第 2.5.1-4 図 基準漏えい率の計算フロー図



第 2. 5. 1-5 図 閉じ込め評価に係る構造図

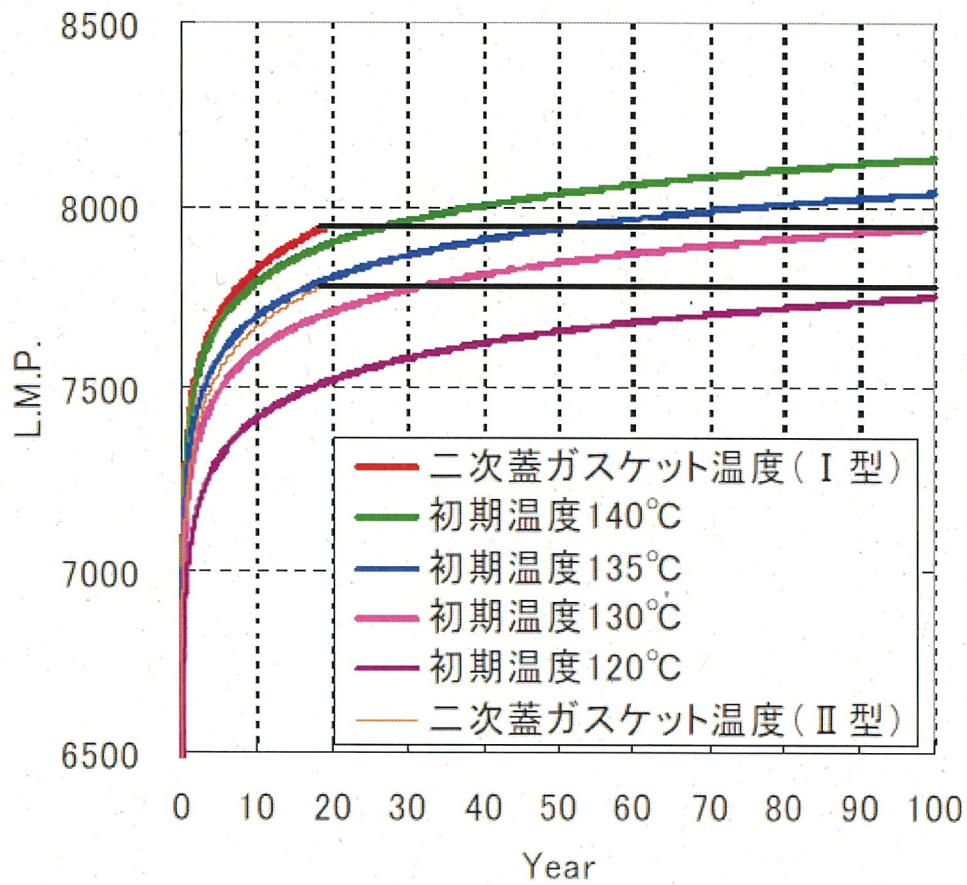
閉じ込め設計の評価条件及び評価結果を第 2.5.1-1 表に示す。使用する金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率より小さいことを確認した。

第 2.5.1-1 表 閉じ込め評価条件及び評価結果

	MSF-24P 型	MSF-32P 型
$D_0$ : 漏えい孔径 (m)	$5.51 \times 10^{-6}$	$5.57 \times 10^{-6}$
$a$ : 漏えい孔長 (m)	$4.56 \times 10^{-3}$	
$\mu$ : 漏えい気体 (ヘリウム) の粘性係数 (Pa·s)	$1.985 \times 10^{-5}$ (25°C)	
$R_0$ : ガス定数 (J/(mol·K))	8.3144598	
$T$ : 漏えい気体の温度 (K)	298.15	
$M$ : 漏えい気体 (ヘリウム) の分子量 (kg/mol)	0.004002602	
$P_a$ : 流れの平均圧力 (Pa)	$5.05 \times 10^4$	
$P_{u0}$ : 上流側の初期圧力 (Pa)	$1.01 \times 10^5$ (大気圧)	
$P_{d0}$ : 下流側の初期圧力 (Pa)	0 (真空)	
$Q_s$ : 基準漏えい率 (Pa·m <sup>3</sup> /s)	$2.49 \times 10^{-6}$	$2.58 \times 10^{-6}$
金属ガスケットの漏えい率 <sup>3), 4)</sup>	$1 \times 10^{-8}$ Pa·m <sup>3</sup> /s 以下	

平成 21 年度の (一財) 電力中央研究所研究において、金属ガスケットの長期密封機能について試験を実施し、試験と解析で得られた乾式キャスクの温度と時間をラーソン・ミラー・パラメータ (以下「LMP」という。) により長期密封性能について検討を行っている<sup>4)</sup>。第 2.5.1-6 図は当該試験結果の二次蓋ガスケット温度から得られた LMP を示しており、LMP が 7942 以下であれば密封性は健全であることが示されている。また、第 2.5.1-7 図には、LMP = 7942 となる場合の、蓋初期温度と評価年数の関係が示されており、評価年数 (貯蔵期間) を 60 年とすると、その期間健全性を担保するためには、初期温度を 134°C 以下にすればよいことが示されている<sup>4)</sup>。

MSF-24P 型及び MSF-32P 型の除熱評価の結果から、金属ガスケット部の温度はそれぞれ約 110°C であるため、金属ガスケットは設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率を維持できると判断される。

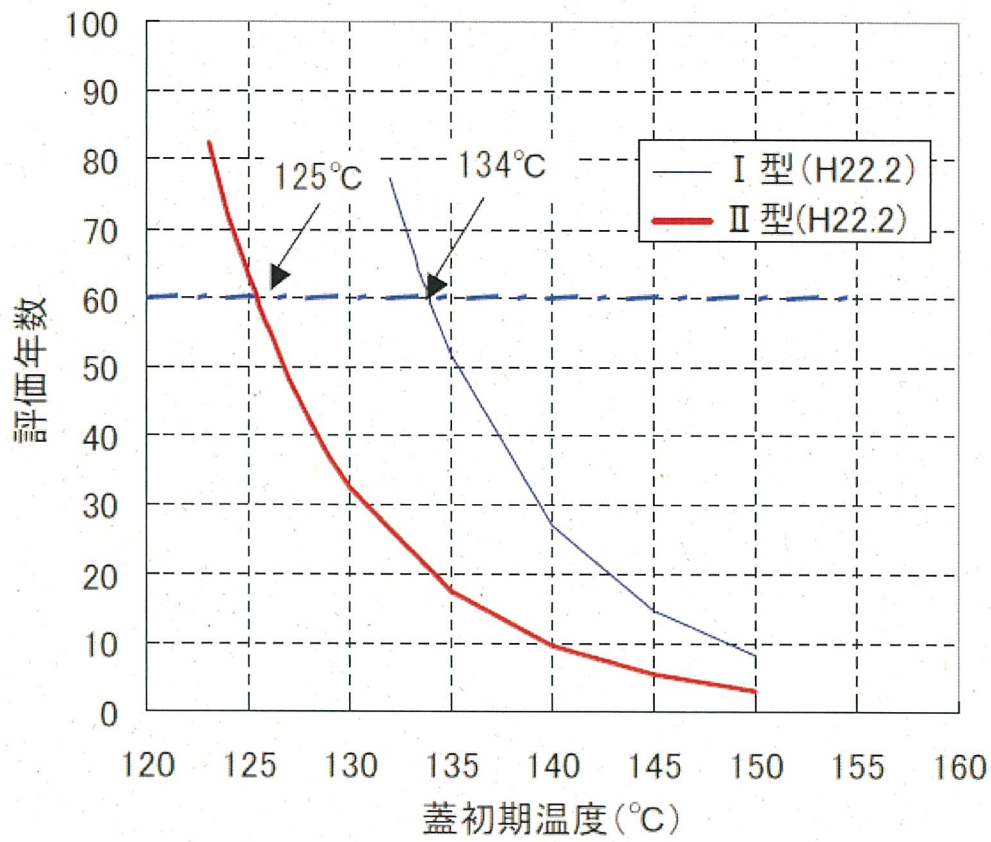


$$LMP = T \cdot (14 + \log t)$$

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

第 2.5.1-6 図 蓋部温度をもとに計算した LMP <sup>4)</sup>



第 2.5.1-7 図 蓋初期温度と評価年数の関係<sup>4)</sup>



〔確認内容〕

(5) 兼用キャスクの衝突評価

1) 兼用キャスクを床等に固定せず設置するとき

① 転倒モードの設定

兼用キャスクを縦置き又は横置きにした貯蔵状態で第6項地震力（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。）を入力し、兼用キャスクの転倒、兼用キャスク同士の衝突及び兼用キャスクと周辺施設との衝突のうち、設計上想定するものを設定すること。

② 兼用キャスクの衝突評価

①で抽出した転倒等による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。この際「4.3.1 地震に対する設計方針」を参考にしていること。

2) 貯蔵建屋等を設置するとき

① 貯蔵建屋等の損壊モードの設定

損壊モードに応じた衝突物又は落下物を抽出し、そのうち兼用キャスクの閉じ込め機能に及ぼす影響が最大であるものを設定すること。

② 兼用キャスクの衝突評価

①で抽出した衝突物又は落下物による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。

3) 使用済燃料の再取出性の評価

- a. 兼用キャスクに収納される使用済燃料を取り出すために、一次蓋及び二次蓋が開放できること。
- b. 使用済燃料の燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、かつ、使用済燃料集合体の過度な変形を生じないこと。

乾式キャスクは床等に固定して設置する設計とする。

貯蔵建屋等（貯蔵建屋（兼用キャスク、兼用キャスク取扱設備等を収納する建物）又は遮蔽壁）は、地震（4条）、津波（5条）、外部からの衝撃（6条）による損傷の防止が図られ、損壊しない設計とする。詳細は、4条、5条、6条まとめ資料で説明する。

また、地盤（3条）及び周辺斜面（4条）も基準地震動に対して、安定性が確保されることから、貯蔵建屋等は損壊しない。なお、地盤及び周辺斜面の安定性に関しては地盤審査において確認されている。

〔確認内容〕

(6) 閉じ込め機能の異常に対し、適切な期間内で使用済燃料の取出しや詰替え及び使用済燃料貯蔵槽への移送を行うこと、これらの実施に係る体制を適切に整備すること等、閉じ込め機能の修復性に関して考慮がなされていること。

閉じ込め機能の異常に対し、適切な期間内で使用済燃料の取出しや詰替え及び使用済燃料ピットへの移送を行うこと等、閉じ込め機能の修復性に関して考慮する設計とする。

なお、貯蔵中の乾式キャスク閉じ込め機能異常時の対応フローを第 2.5.1-8 図に示す。

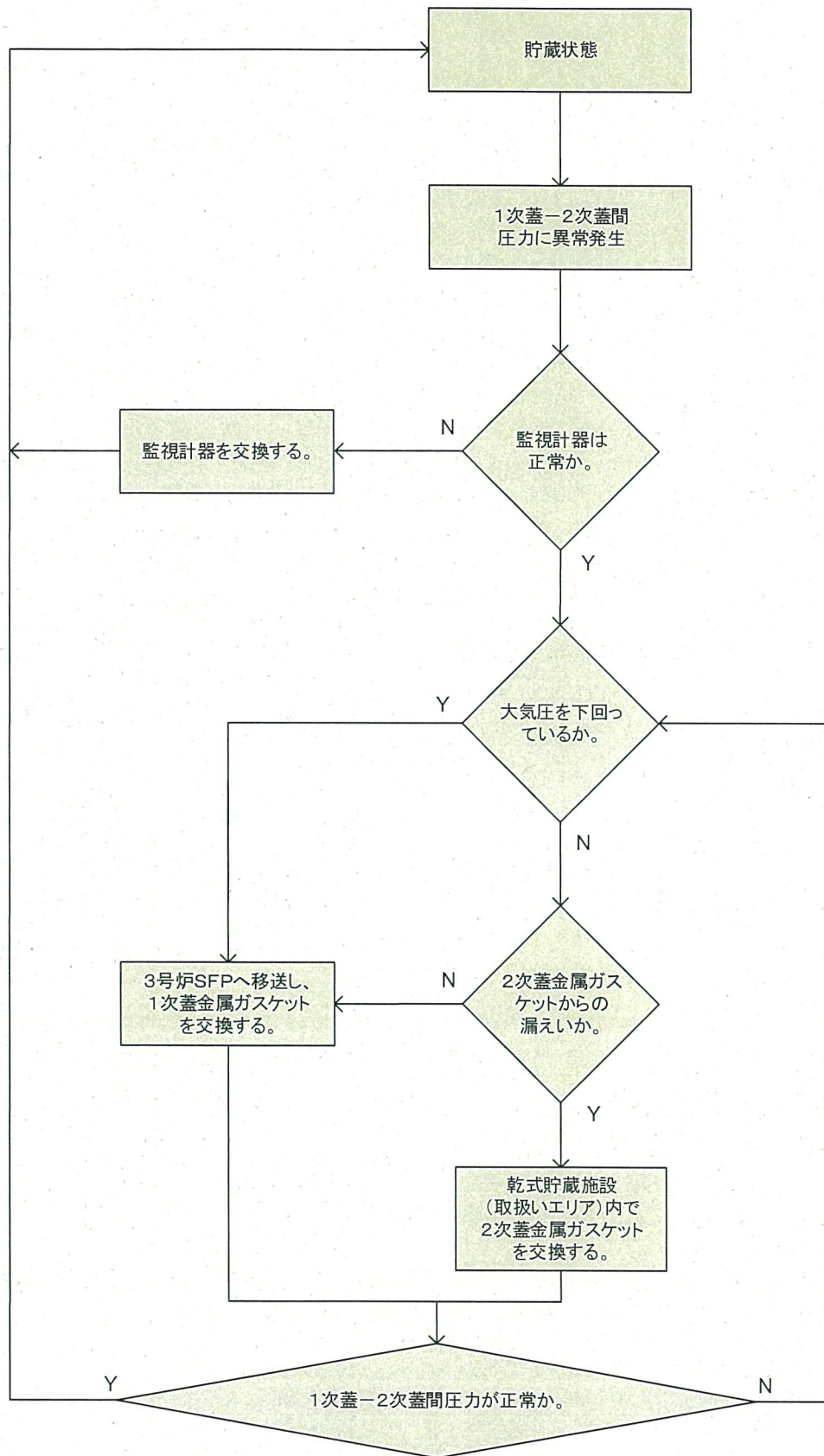
蓋間圧力が管理値を下回っている場合、まず、監視計器の確認を行い、監視計器異常の場合には監視計器を交換し、貯蔵を再開する。

監視計器異常ではない場合、一次蓋金属ガスケットの漏えいの場合は、乾式キャスク内部を負圧管理しているため、蓋間圧力は負圧まで低下する可能性がある。二次蓋金属ガスケットの漏えいの場合は、蓋間のヘリウムガスが大気へ放出され、大気圧までしか低下しない。このため、蓋間圧力が大気圧を下回っているかの確認を行うことにより、一次蓋金属ガスケット又は二次蓋金属ガスケットの漏えいであるかの判断を行う。

蓋間圧力が大気圧を下回っていない場合は、二次蓋金属ガスケットの漏えい確認を実施し、二次蓋金属ガスケットからの漏えいが認められた場合は、取扱エリアにて二次蓋を開放して二次蓋金属ガスケットを交換し、蓋間圧力に異常がないことを確認したうえで貯蔵を再開する。このとき、仮に一次蓋金属ガスケットが漏えいしていた場合でも、乾式キャスク内部を負圧管理していることから、乾式キャスク内部へインリークするため、放射性物質が外部へ漏えいする恐れはない。二次蓋金属ガスケットからの漏えいが認められない場合は、乾式キャスクを 3 号炉使用済燃料ピットエリアのキャスクローディングピットへ移送し、一次蓋を開放して一次蓋金属ガスケットを交換し、蓋間圧力に異常がないことを確認したうえで、乾式貯蔵建屋へ移送し、貯蔵を再開する。

蓋間圧力が大気圧を下回っている場合は、乾式キャスクを 3 号炉使用済燃料ピットエリアのキャスクローディングピットへ移送し、一次蓋を開放して一次蓋金属ガスケットを交換し、蓋間圧力に異常がないことを確認したうえで、乾式貯蔵建屋へ移送し、貯蔵を再開する。

なお、3 号炉使用済燃料ピットにおける乾式キャスクの取扱い時には、既存の設備を使用して乾式キャスクを取扱う。



第 2. 5. 1-8 図 乾式キャスク閉じ込め機能異常時の対応フロー

### 3. 参考文献

- 1) (一社) 日本原子力学会, 「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: 2010」, (2014).
- 2) International Organization for Standardization, “Safe Transport of Radioactive Materials - Leakage Testing on Packages”, ISO 12807, (1996).
- 3) “METAL SEALS TECHNICAL CATALOG”, Technetics Group. , (2017).
- 4) (一財) 電力中央研究所, 平成 21 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 報告書 , (2010)

## 伊方発電所 3 号炉

### 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

(使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能について)

## <目 次>

1. 要求事項
2. 適合性について
3. 使用する解析コード
4. 参考文献

## 1. 要求事項

乾式キャスクの臨界防止機能に関する要求事項は、以下のとおりである。

### (1) 設置許可基準規則要求事項

#### ①設置許可基準規則第16条第2項一号ハ

- ・燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

#### ②設置許可基準規則解釈別記4第16条1項

- ・第16条第2項第1号ハに規定する「臨界に達するおそれがない」とは、第5項に規定するもののほか、貯蔵事業許可基準規則解釈第3条に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすことをいう。

#### ・貯蔵事業許可基準規則解釈第3条第1項四号

臨界評価において、以下の事項を含め、未臨界性に有意な影響を与える因子が考慮されていること。

#### ④ 燃焼度クレジット

燃焼度クレジット（臨界評価において、使用済燃料の燃焼に伴う反応度低下を考慮することをいう。）を採用する場合には、以下の事項を含め、適切な安全裕度を有する設計であることが確認されていること。

a) 燃料集合体の燃焼度及び同位体組成並びにそれらの分布の計算精度

b) 貯蔵する燃料集合体の燃焼度等の管理

#### ・貯蔵事業許可基準規則解釈第3条第1項五号

使用済燃料を金属キャスクに収納するに当たっては、臨界評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること。

#### ③設置許可基準規則解釈別記4第16条5項

- ・第16条第2項第1号ハ及び同条第4項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用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上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用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上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。

・設計貯蔵期間を明確にしていること。

・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

(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確認事項

「2. 安全機能の確保 2.1 臨界防止機能」には、以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

『

- (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。

』

【確認内容】

『

以下を踏まえ臨界防止設計が妥当であること。

1) 配置・形状

兼用キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料集合体の配置等において、適切な安全裕度を考慮するとともに、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が維持されること。

兼用キャスクが滑動する可能性がある場合は、滑動等による兼用キャスクの配置の変化に伴う中性子実効増倍率の増加についても適切に考慮すること。

2) 中性子吸収材の効果

中性子吸収材の効果に関して、以下について適切な安全裕度を考慮すること。

- a. 製造公差（濃度、非均質性、寸法等）
- b. 中性子吸収に伴う原子個数密度の減少

3) 減速材（水）の影響

使用済燃料を兼用キャスクに収納する際、当該使用済燃料が冠水することを、設計上適切に考慮すること。

4) 検証され適用性が確認された臨界解析コード及びデータライブラリを使用すること。

5) 設計上、バスケットの塑性変形が想定される場合は、塑性変形したバスケットの形状及び使用済燃料の状態を考慮しても未臨界が維持されること。

』



## 2. 適合性について

審査ガイドでは、設置（変更）許可に係る審査において、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ことが定められており、乾式キャスクの臨界防止機能については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

### 〔確認内容〕

#### 1) 配置・形状

兼用キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料集合体の配置等において、適切な安全裕度を考慮するとともに、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が維持されること。

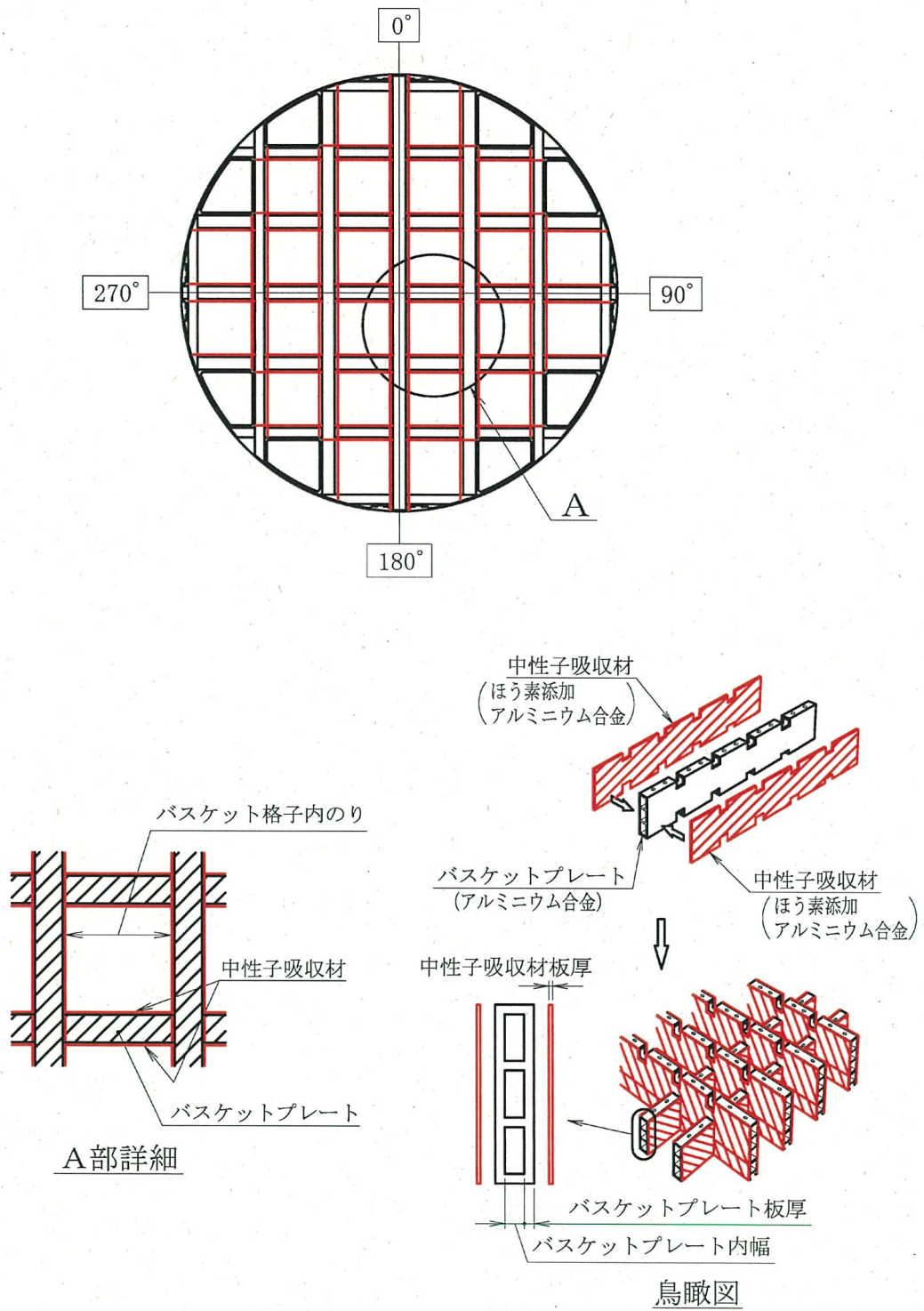
兼用キャスクが滑動する可能性がある場合は、滑動等による兼用キャスクの配置の変化に伴う中性子実効増倍率の増加についても適切に考慮すること。

乾式キャスクの乾式貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及び乾式キャスクに使用済燃料を収納する際の冠水状態において、技術的に想定されるいかなる場合でも、臨界を防止する設計とする。

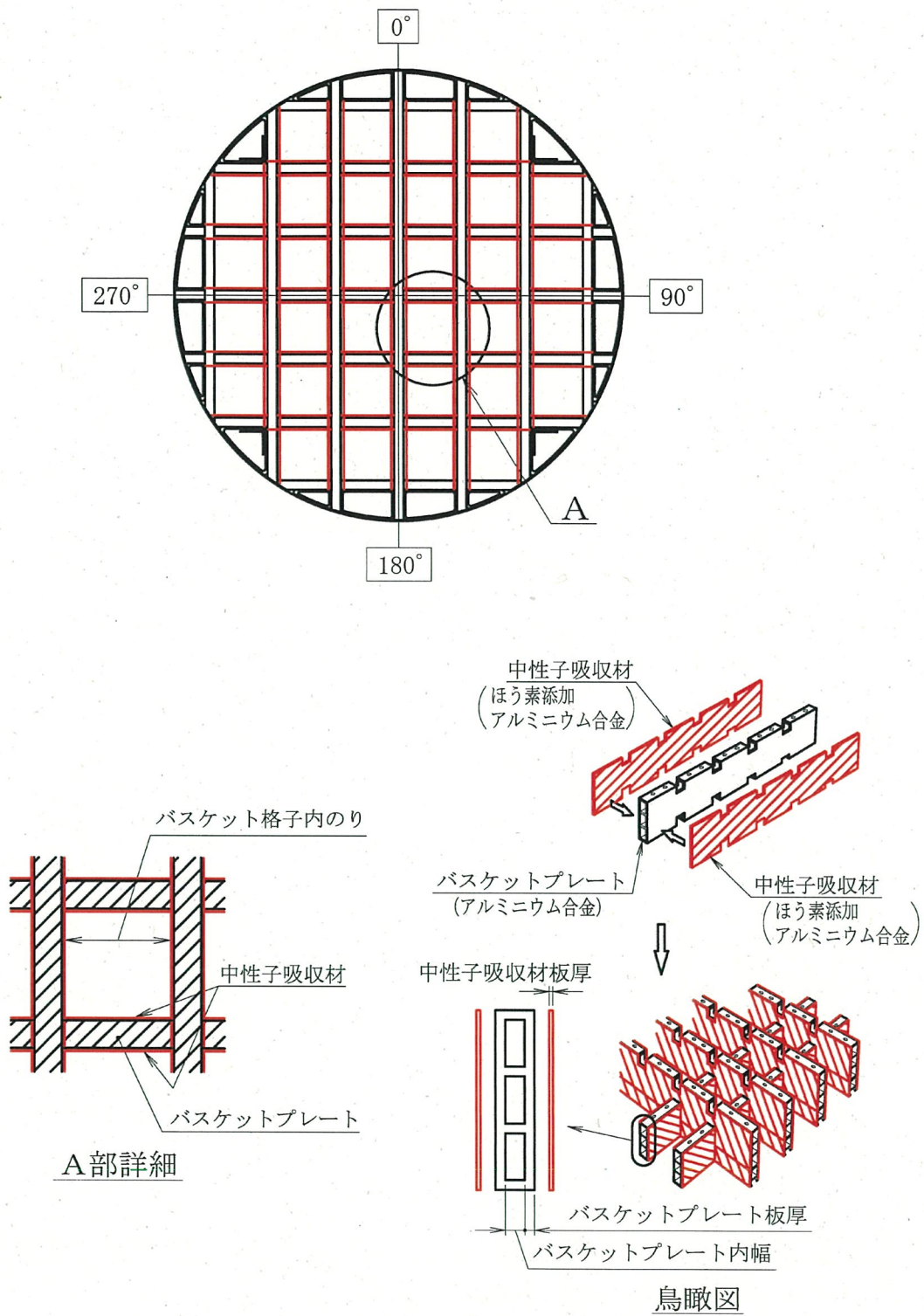
乾式キャスクのバスケットは、断面形状が中空状であるアルミニウム合金製のバスケットプレートで構成された格子構造であり、個々の使用済燃料を乾式キャスク本体内部の所定の位置に収納する。また、バスケットプレートと中性子吸収材を併せて配置することで臨界を防止する構造とする。（第2.5.2-1図、第2.5.2-2図参照）

また、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性を維持する設計とする。詳細は本文2.6項の「使用済燃料乾式貯蔵容器長期健全性について」に示す。

なお、乾式キャスクは床等に固定するため、滑動等しない設計としており、乾式キャスクの配置の変化はない。



第 2.5.2-1 図 MSF-24P 型のバスケット構造図



第 2.5.2-2 図 MSF-32P 型のバスケット構造図

[確認内容]

2) 中性子吸収材の効果

中性子吸収材の効果に関して、以下について適切な安全裕度を考慮すること。

- a. 製造公差（濃度、非均質性、寸法等）
- b. 中性子吸収に伴う原子個数密度の減少

3) 減速材（水）の影響

使用済燃料を兼用キャスクに収納する際、当該使用済燃料が冠水することを、設計上適切に考慮すること。

4) 検証され適用性が確認された臨界解析コード及びデータライブラリを使用すること。

解析条件は第 2.5.2-1 表及び第 2.5.2-2 表のとおりとする。

乾式キャスクの臨界解析フローを第 2.5.2-3 図に示す。

臨界解析では、乾式キャスク及び燃料集合体の実形状を三次元でモデル化し（第 2.5.2-4 図～第 2.5.2-15 図参照）、解析コードとして SCALE コードシステムを用いる。

なお、乾燥状態での臨界解析に加え、乾式キャスク内は使用済燃料を収納する際の冠水状態を考慮し、実効増倍率が最も大きくなる水密度を  $1.0 \text{ g/cm}^3$  とした解析を行う。

また、本文 2.4 項の使用済燃料乾式貯蔵容器の収納条件に記載しているとおり、臨界評価では、収納する使用済燃料は濃縮度 4.1wt% の燃料の濃縮度上限値を用いて臨界評価を実施しており、燃焼度クレジットは採用しない。

本評価においては、以下の点について保守性を有している。

・ 収納制限に対する解析条件の保守性

－ 乾式キャスクに収納する使用済燃料のウラン濃縮度は照射により減損しているが、燃焼度 0Gwd/t の減損していない新燃料のウラン濃縮度  $4.1 \pm \square \text{ wt} \%$  及び  $3.4 \pm \square \text{ wt} \%$  を保守的に  $\square \text{ wt} \%$  及び  $\square \text{ wt} \%$  とする。

－ 収納する使用済燃料には可燃性毒物としてガドリニウムを添加した燃料棒が含まれる場合があるが、中性子吸収効果のあるガドリニウムの存在を無視し、すべて通常のウラン新燃料とする。

－ MSF-24P 型については、使用済燃料とともにバーナブルポイズン集合体を収納する場合もあるが、中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体を無視する。

・ モデル化の保守性

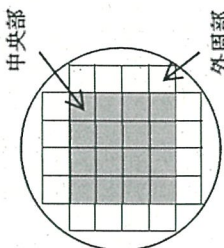
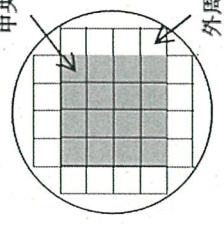
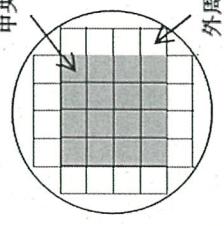
－ 乾式キャスクが無限に配列した体系（完全反射）とする。これにより、建屋内の乾式キャスクの配置制限は必要ない。

－ バスケット格子内で使用済燃料が偏ることにより実効増倍率が変化するため、バスケット内の使用済燃料の配置は実効増倍率が最も大きくなる配置とする。

具体的には、MSF-24P 型は、乾燥状態では、外周部及び中心部の使用済燃料ともに、中心偏向配置とし、冠水状態で、外周部の使用済燃料は外周、中央部の使用済燃料は中心偏向配置とする。MSF-32P 型は、乾燥状態及び冠水状態いずれの場合においても外周部及び中心部の使用済燃料ともに、中心偏向配置とする。

- バスケットプレート及び中性子吸収材は第 2.5.2-3 表に示す通り、製作公差を考慮し、実効増倍率が最も大きくなる寸法とする。
- 中性子吸収材中のほう素の均質性は製造管理により担保し、ほう素添加量は仕様上  
の下限值とする。
- 中性子遮蔽材は無視する。
- バスケットプレート及び中性子吸収材は、中性子の吸収が小さくなるように、燃料有効部に相当する部分のみモデル化することとし、それ以外の部分は水または真  
空に置換する。

第2.5.2-1表 1,2号炉用燃料 乾式キャスク解析条件の概要

	キャスク収納制限 配置制限		燃料スベック		解析条件	
	中央部	外周部	中央部	外周部	中央部	外周部
燃料タイプ	14×14型(A/B型)		14×14型(A/B型)		14×14型(A型)	
初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2	≤3.5	4.1	3.4		
ウラン重量(kg)						
最高燃焼度(GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48	≤39	≤48	≤39	0	0
SFPでの冷却期間(年)	≥15	≥25	—	—	—	—
平均燃焼度(GWd/t)	≤45	≤33	—	—	0	
燃料集合体 1体の仕様						
キャスク 1基あたり						
収納物仕様						
配置						

第2.5.2-2表 3号炉用燃料 乾式キャスタク解析条件の概要

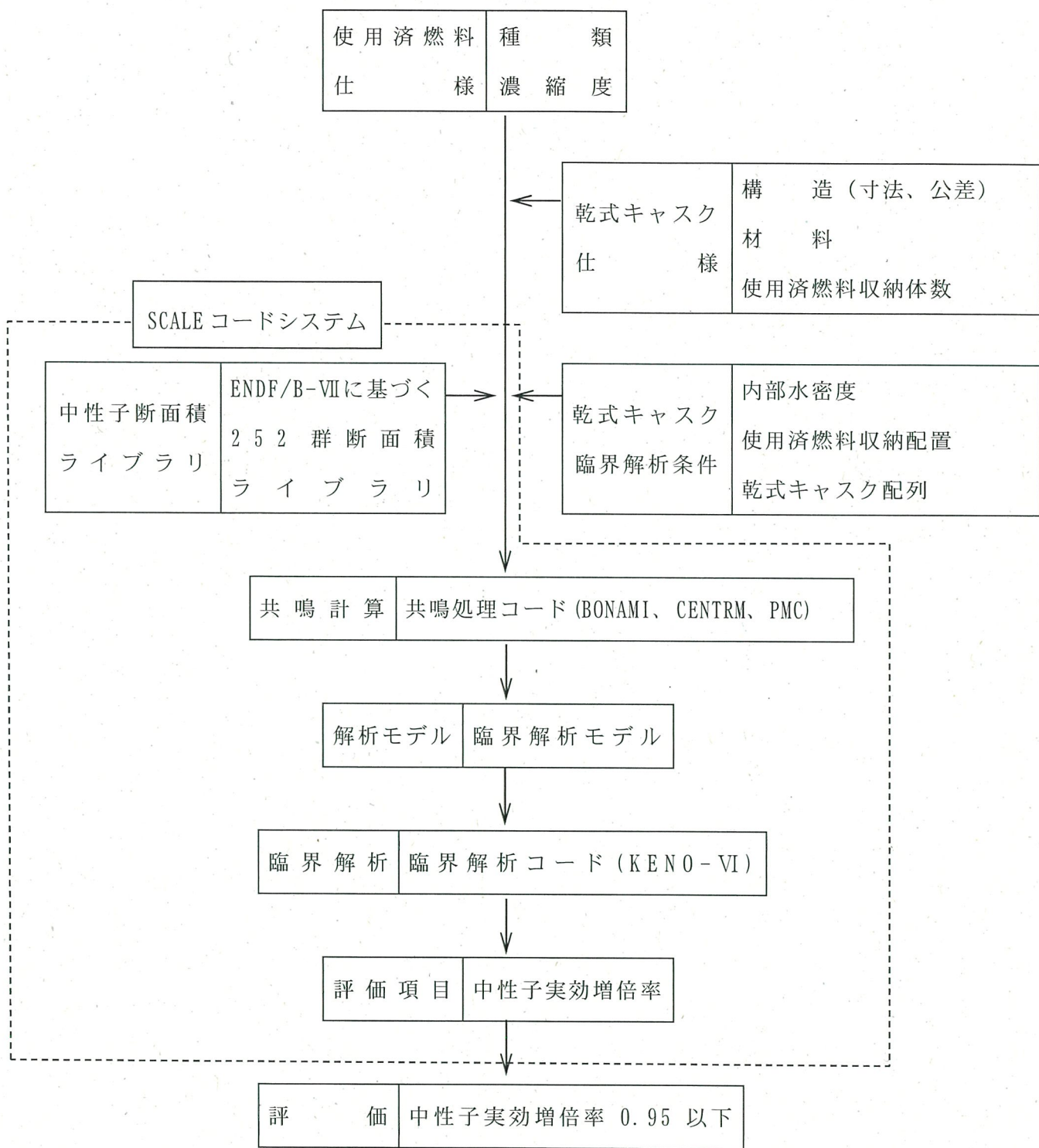
燃料タイプ	キャスタク収納制限 配置制限		燃料スペック	解析条件	
	中央部	外周部		中央部	外周部
燃料タイプ	17×17型(A/B型)		17×17型(A/B型)	17×17型(A型)	
初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		4.1		
ウラン重量(kg)					
最高燃焼度(GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48	≤44	≤48	0	
SFPでの冷却期間(年)	A型: ≥15 <sup>*1</sup> B型: ≥17		—	—	
最高燃焼度(GWd/t)	≤90	—	—	—	
SFPでの冷却期間(年)	≥15	—	—	—	
平均燃焼度(GWd/t)	≤44		—	0	
燃料集合体 1体の仕様					
キャスタク 1基あたり					
収納物仕様					

※1: 回収ウラン燃料については、15年冷却した通常ウラン燃料と放射エネルギー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。

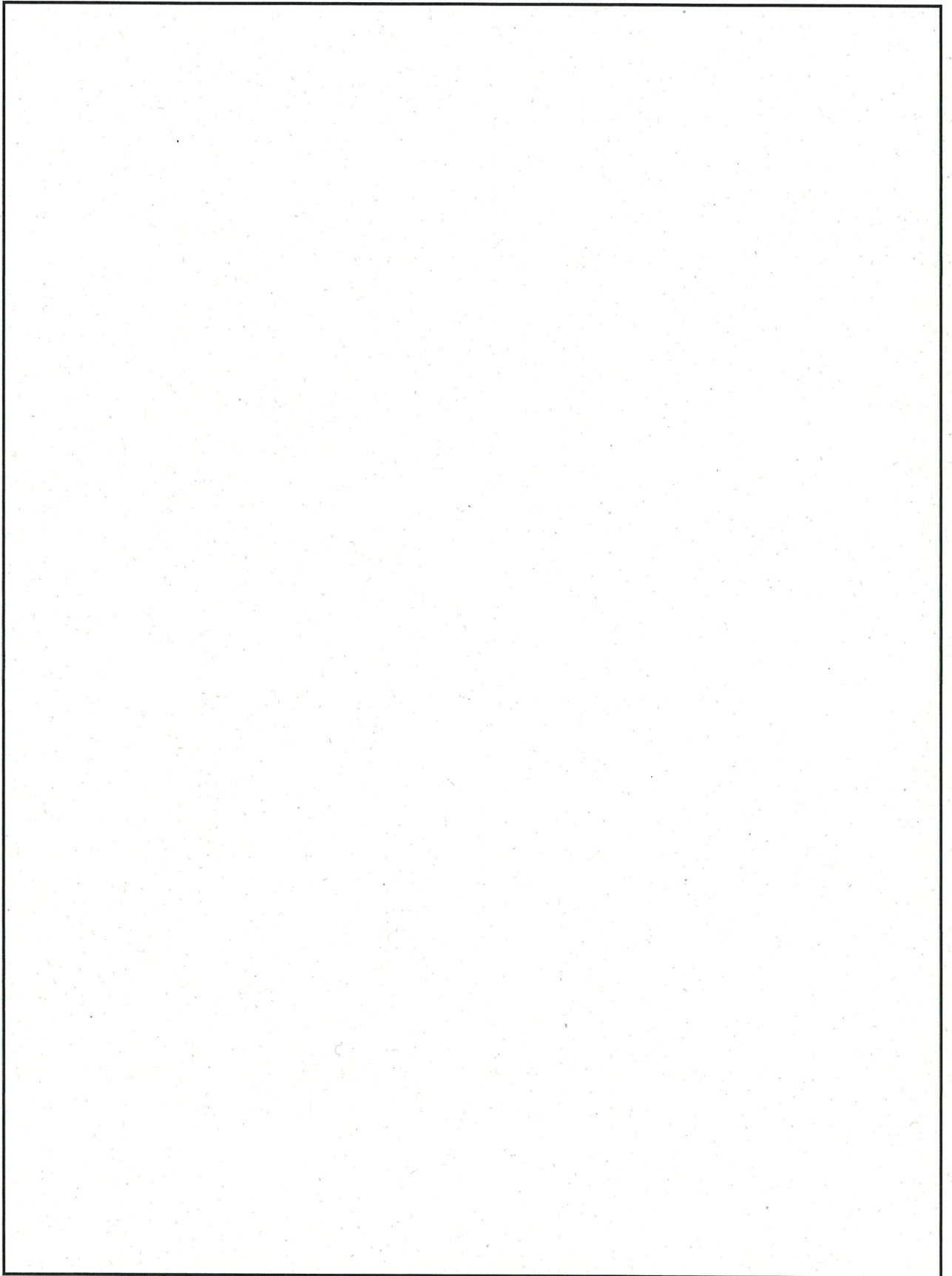
第 2.5.2-3 表 乾式キャスク臨界解析モデル寸法条件

	寸法条件		条件設定根拠
	乾燥状態	冠水状態	
バスケットプレート幅 (アルミニウム合金)	最小	最小	・隣接する燃料との距離が短くなるように乾燥状態、冠水状態共に最小としている。
バスケットプレート内幅 (アルミニウム合金)	最大	最小	・乾燥状態ではバスケットプレートでの中性子吸収効果が小さくなるように最大としている（バスケットプレート幅を固定して内幅を最大とすることでバスケットプレート板厚が最小となる）。 ・冠水状態ではバスケットプレート内幅領域での中性子の減速効果を小さくし、中性子吸収材での中性子吸収効果が小さくなるように、バスケットプレート内幅を最小としている。
バスケット格子内のり	最小	最大	・乾燥状態では隣接燃料との距離が短くなるように最小としている。 ・冠水状態では燃料領域での熱中性子が増加するように最大としている。
中性子吸収材板厚 (ほう素添加アルミニウム合金)	最小	最小	・隣接する燃料との距離が短くなるように乾燥状態、冠水状態共に中性子吸収材板厚を最小としている。なお、中性子吸収材のほう素添加量は板厚に係わらず仕様上の下限値で一定としている。

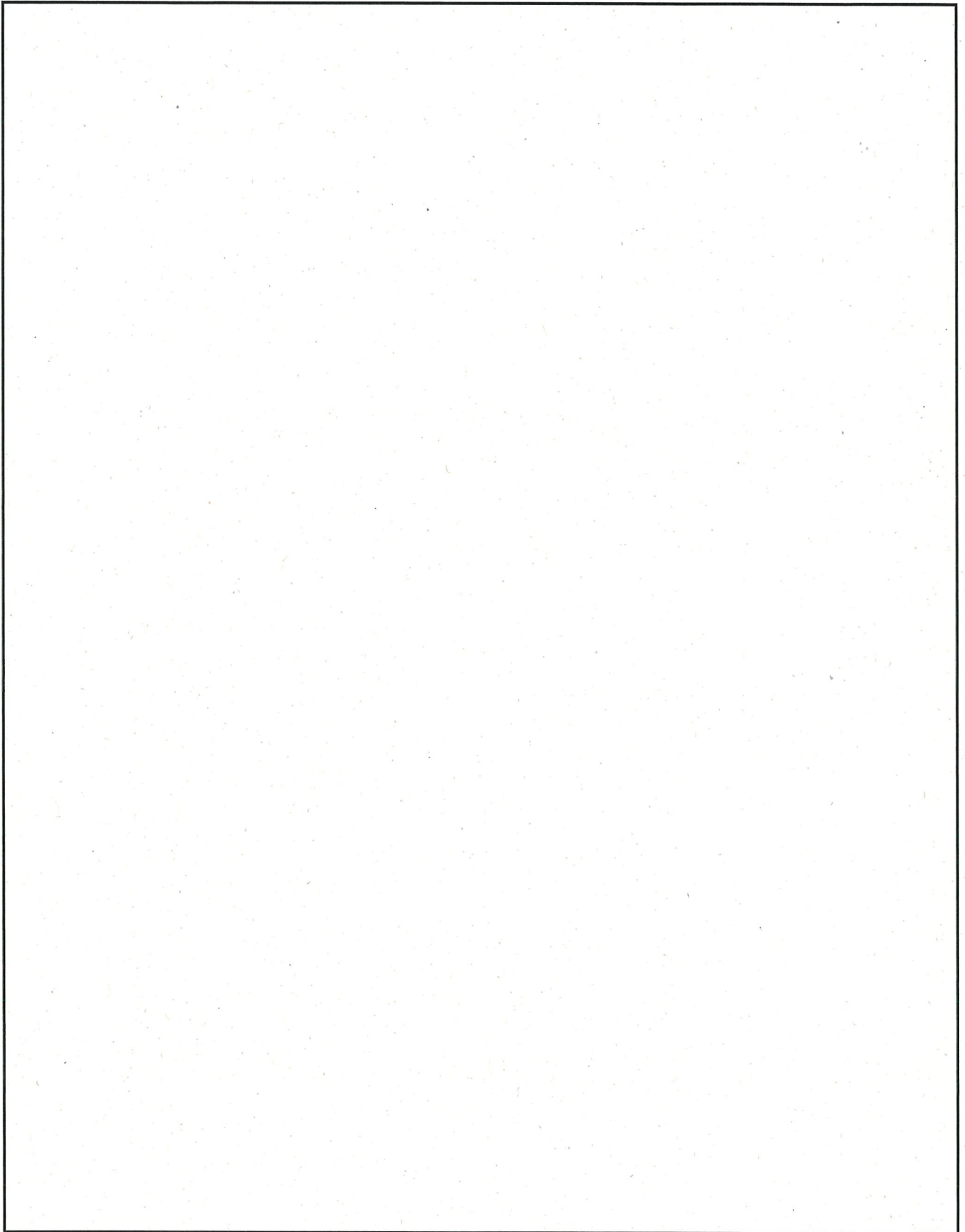




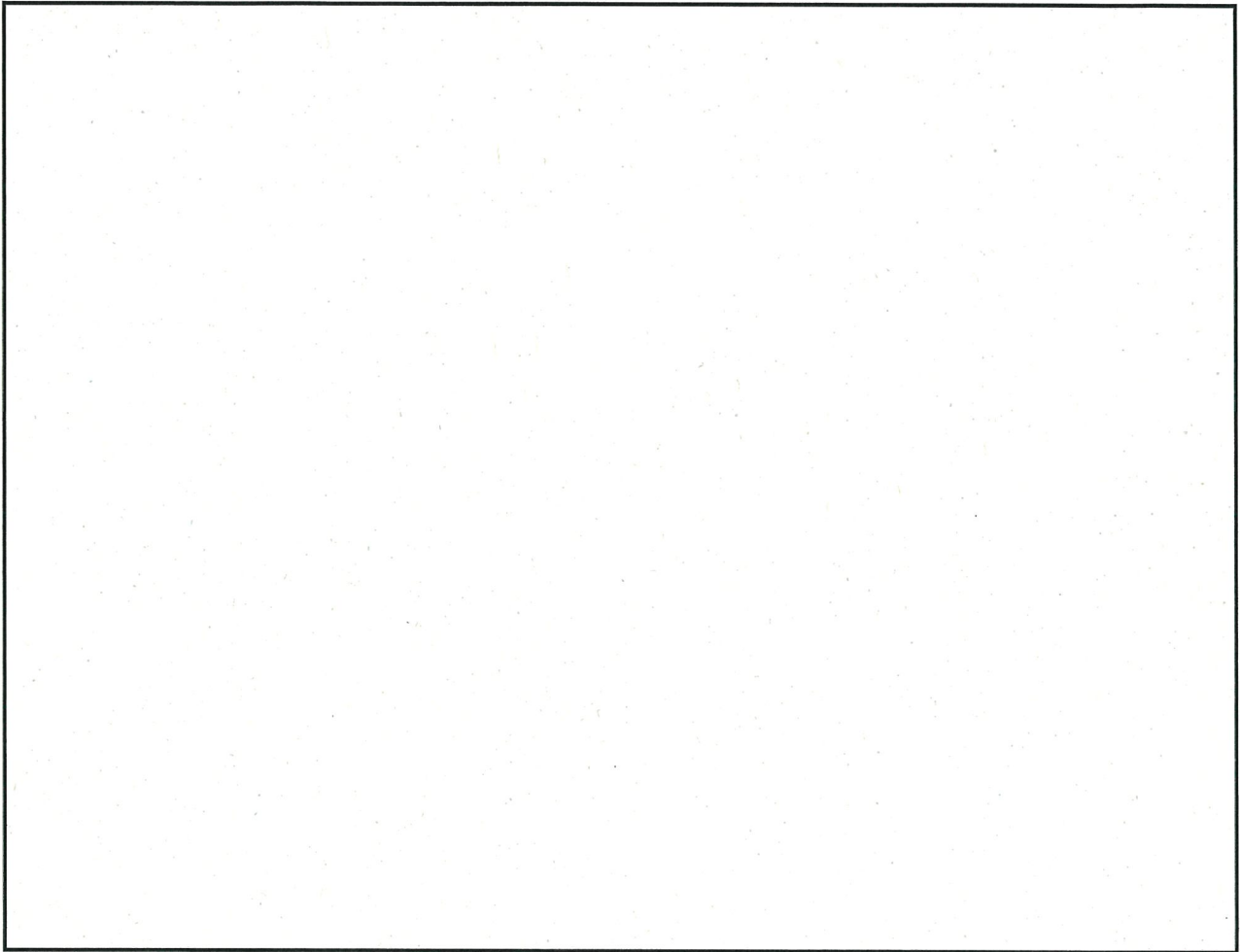
第 2.5.2-3 図 乾式キャスクの臨界解析フロー図



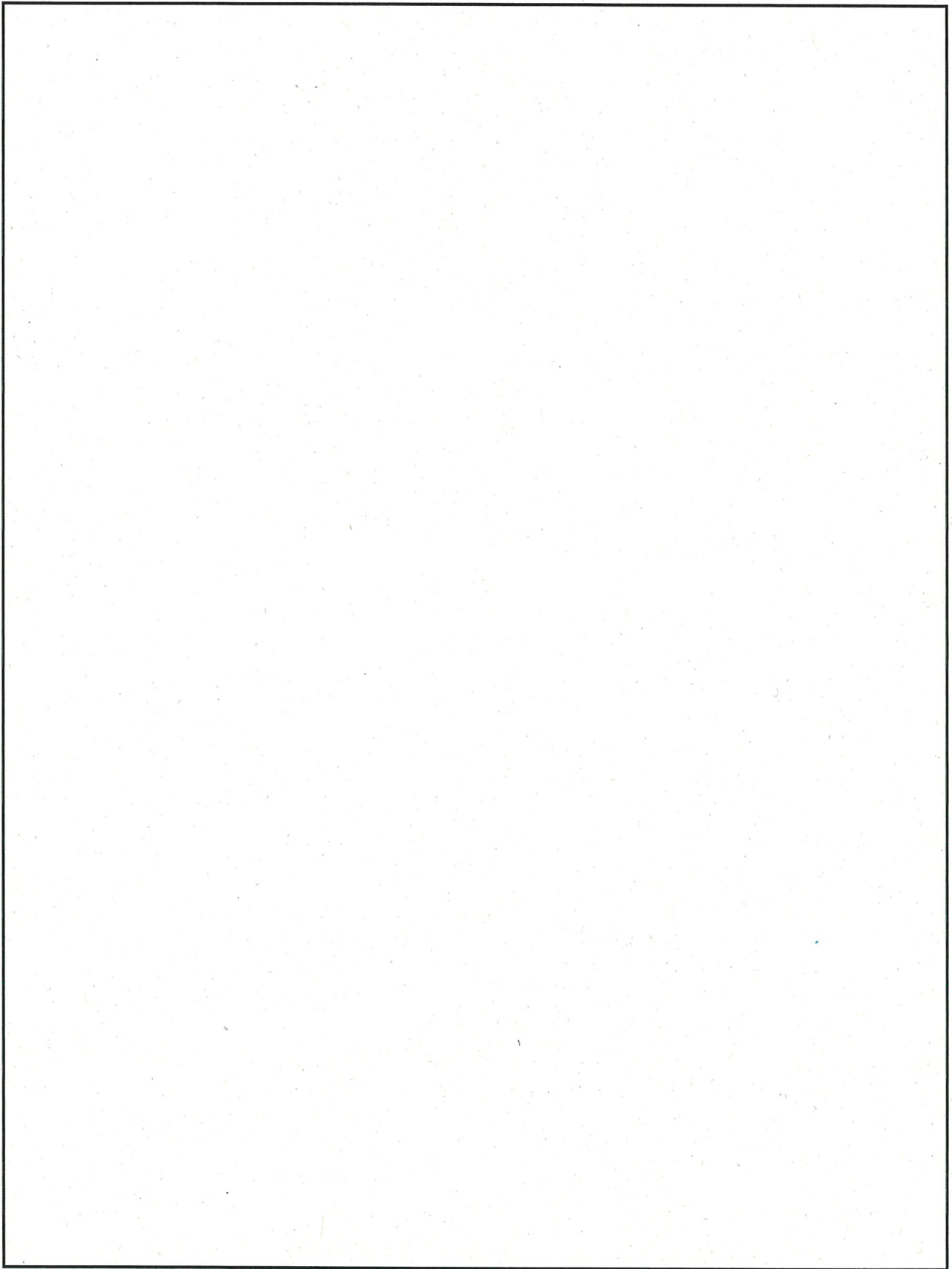
第 2.5.2-4 図 臨界解析モデル（縦断面図）（MSF-24P 型）（冠水状態）



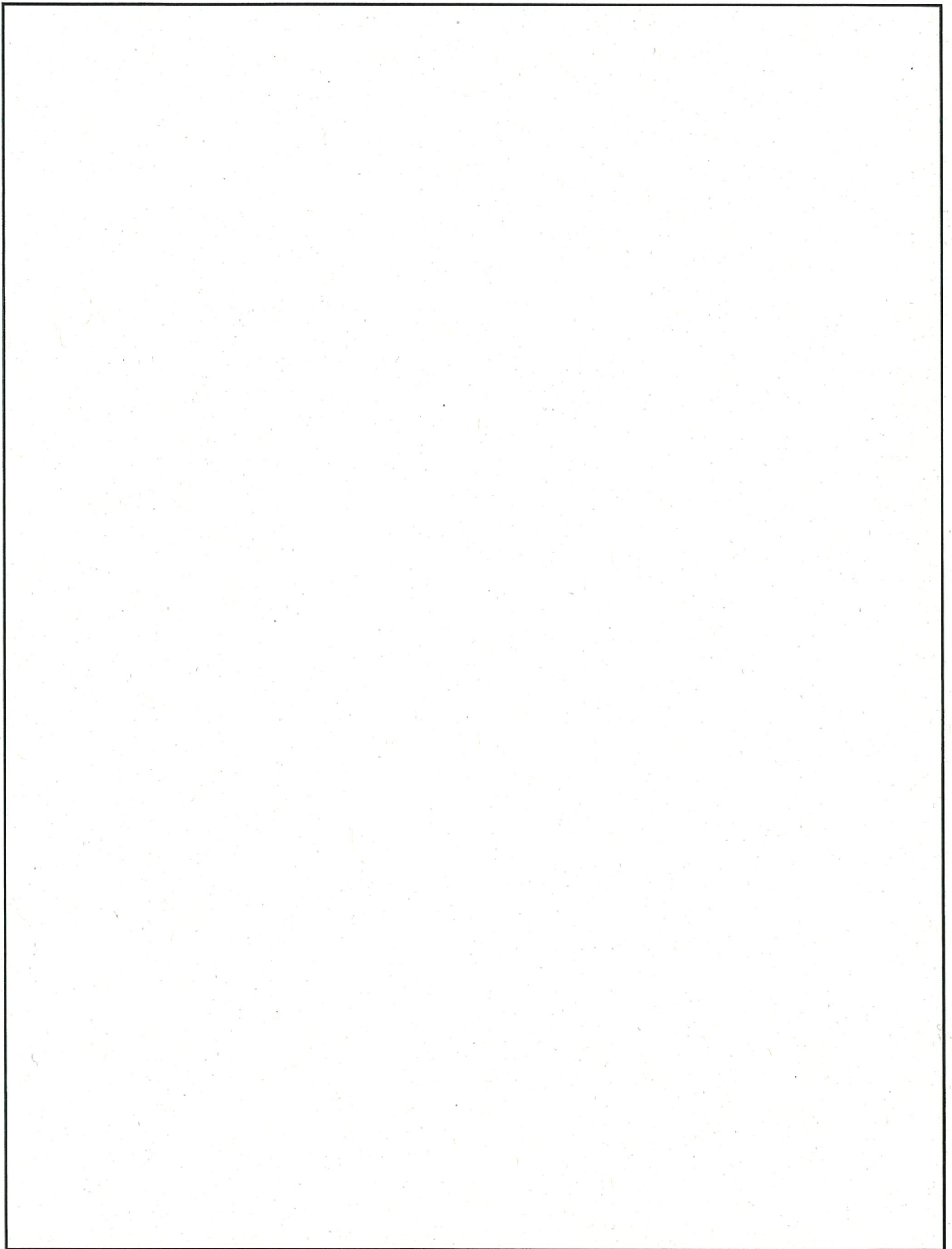
第 2.5.2-5 図 臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（MSF-24P 型）（冠水状態）



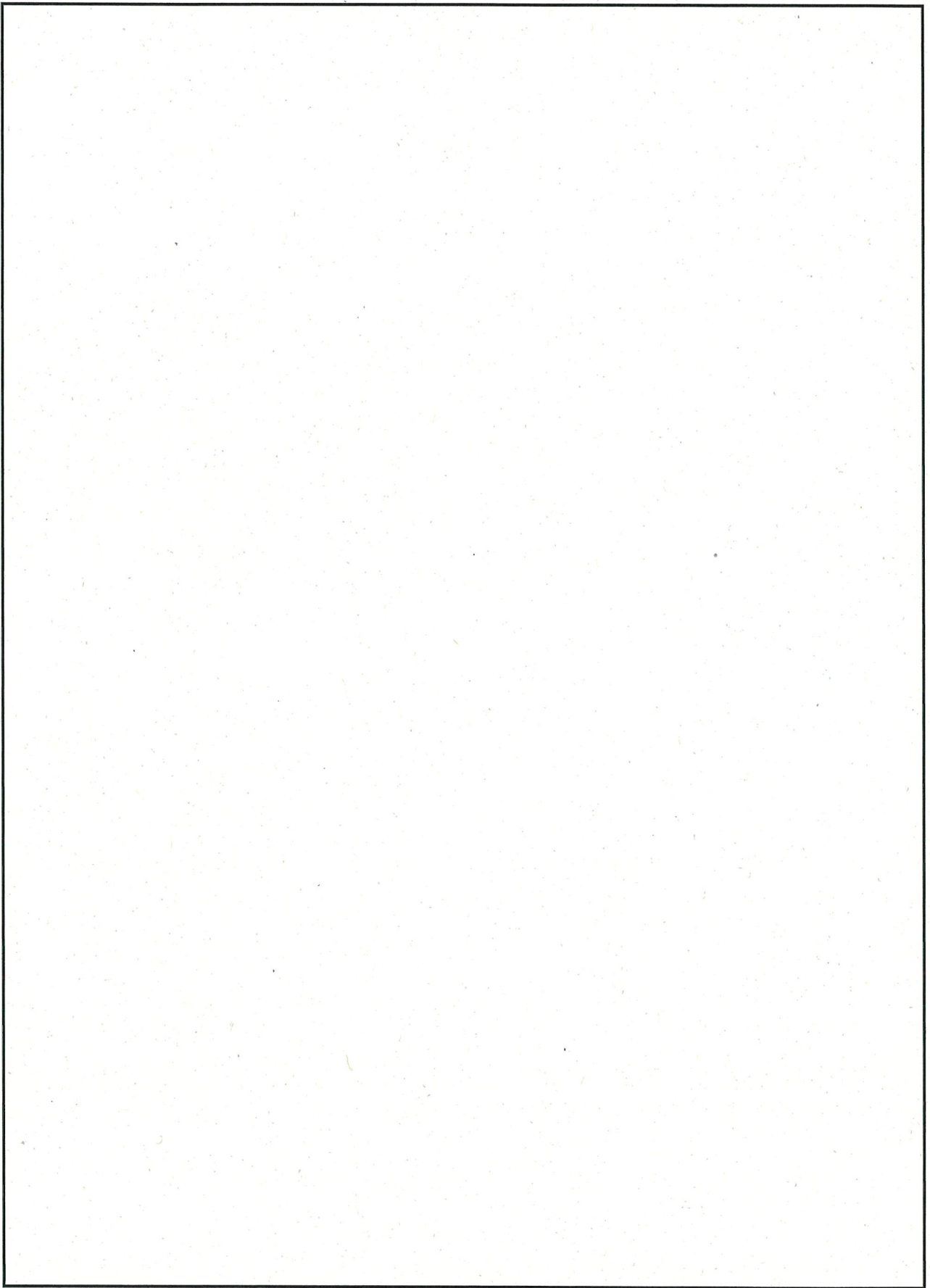
第 2.5.2-6 図 臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（MSF-24P 型）（冠水状態）



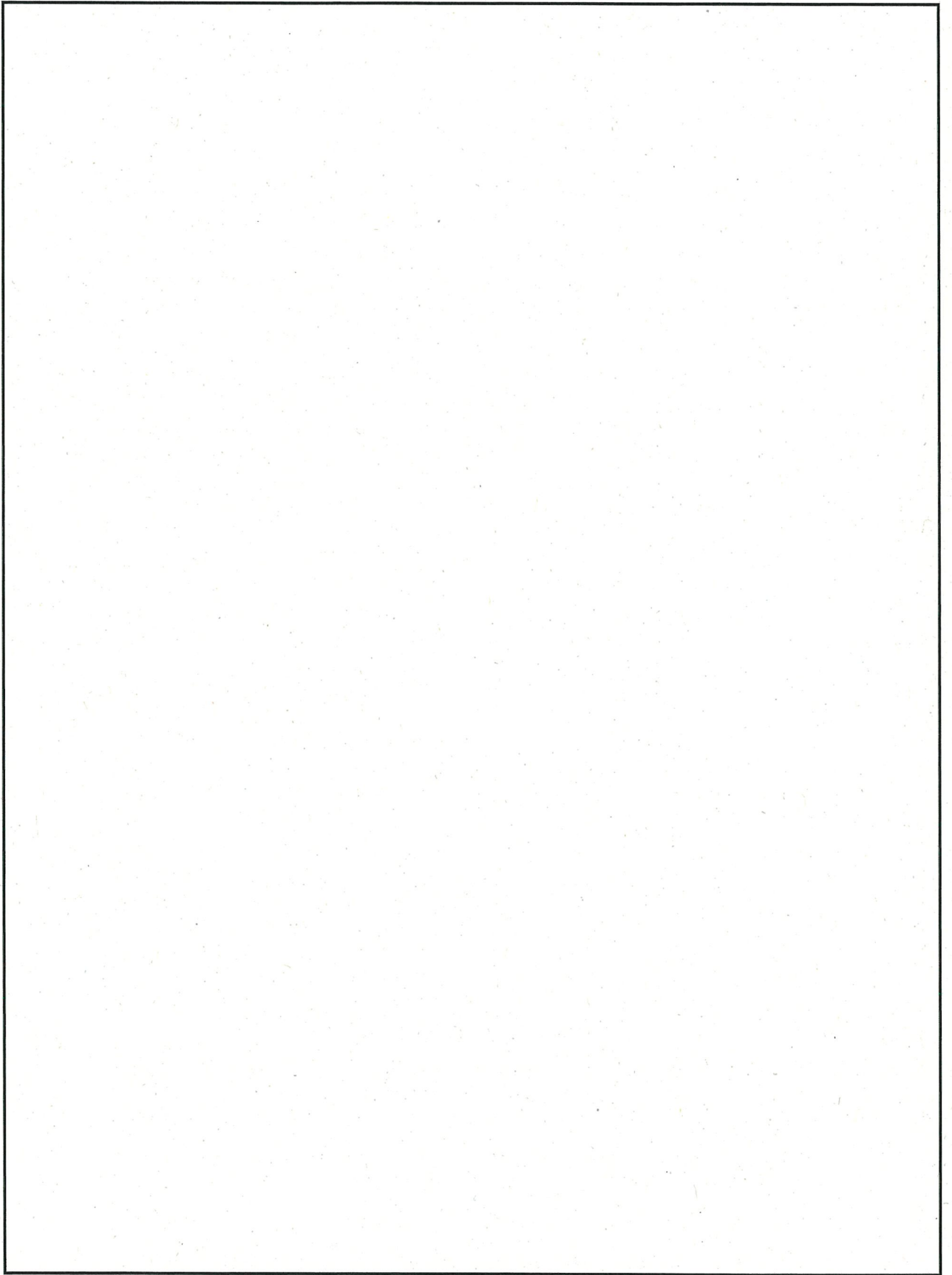
第 2.5.2-7 図 臨界解析モデル（縦断面図）（MSF-32P 型）（冠水状態）



第 2. 5. 2-8 図 臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（MSF-32P 型）（冠水状態）

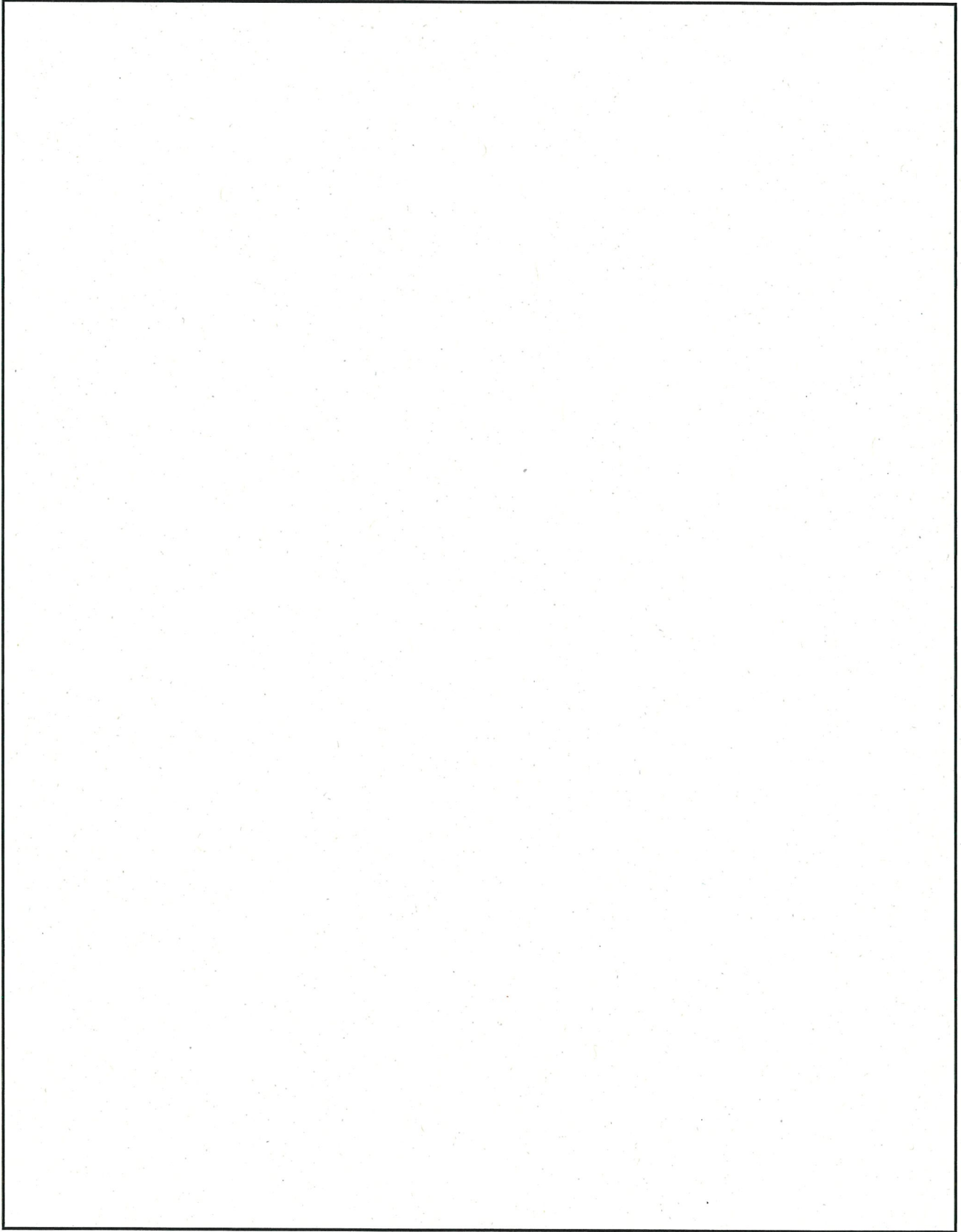


第 2.5.2-9 図 臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（MSF-32P 型）（冠水状態）

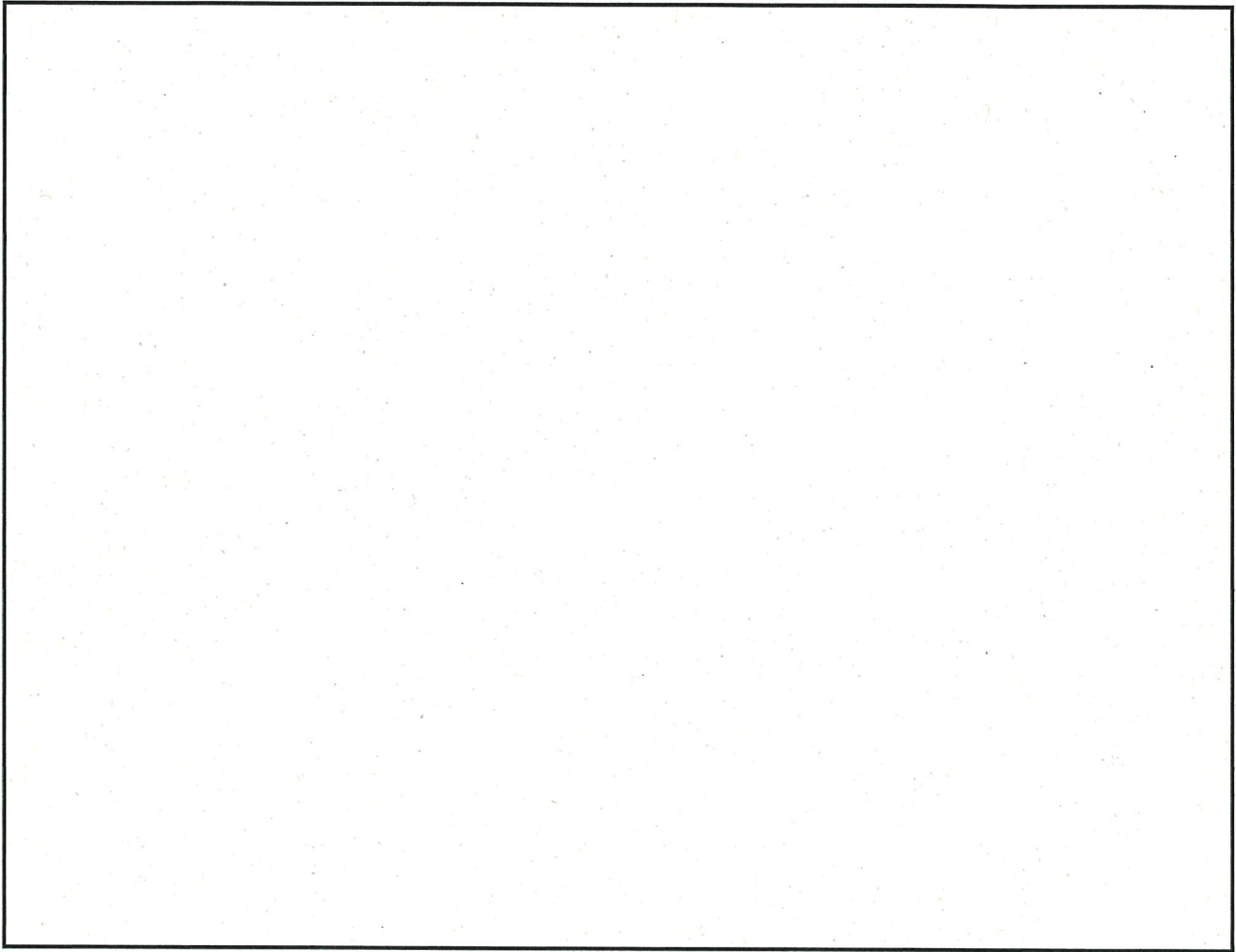


第 2. 5. 2-10 図 臨界解析モデル（縦断面図）（MSF-24P 型）（乾燥状態）

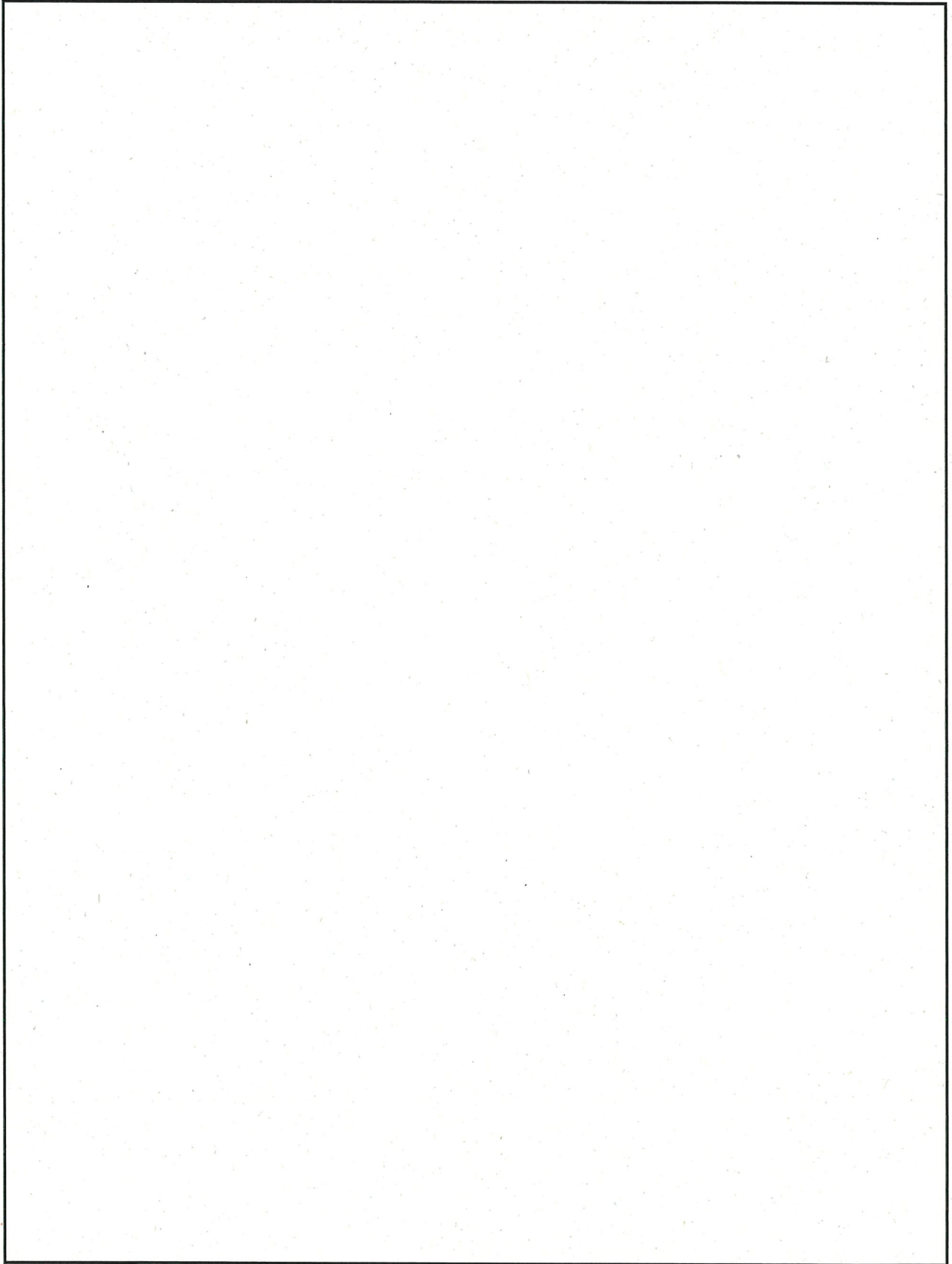




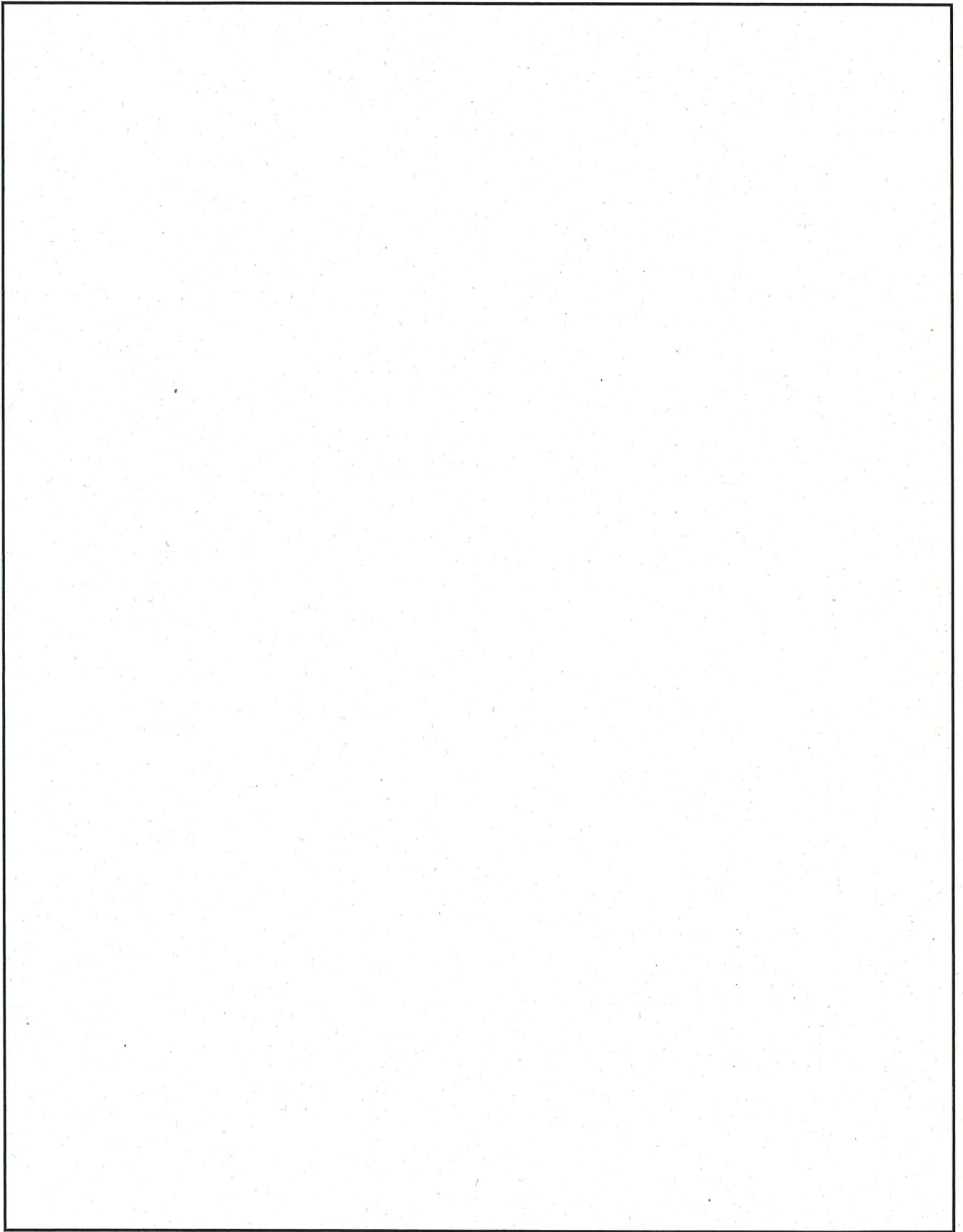
第 2. 5. 2-11 図 臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（MSF-24P 型）（乾燥状態）



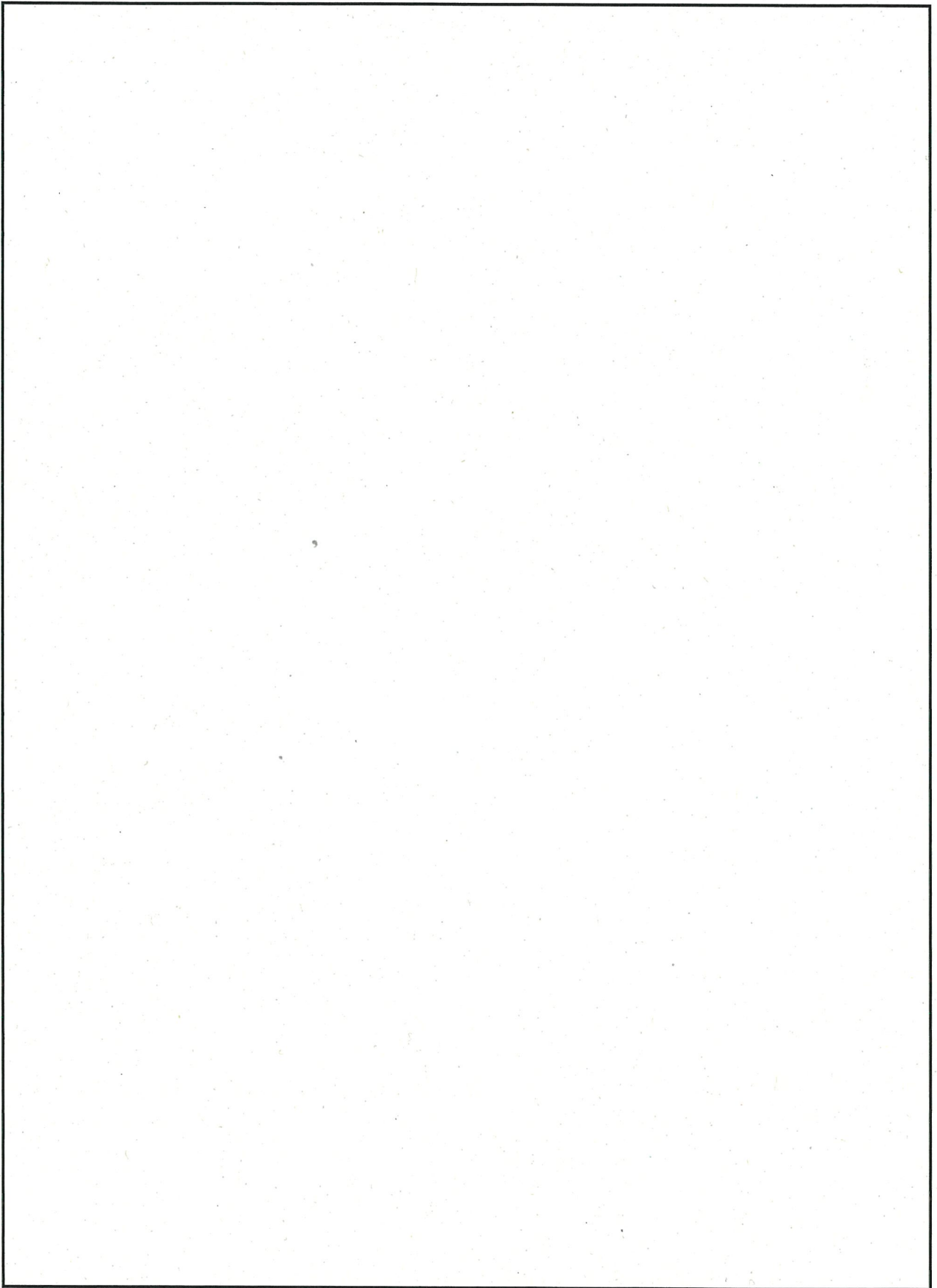
第 2.5.2-12 図 臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（MSF-24P 型）（乾燥状態）



第 2.5.2-13 図 臨界解析モデル（縦断面図）（MSF-32P 型）（乾燥状態）



第 2.5.2-14 図 臨界解析モデル（燃料領域横断面図）（MSF-32P 型）（乾燥状態）



第 2.5.2-15 図 臨界解析モデル（燃料領域拡大図）（MSF-32P 型）（乾燥状態）

技術的に想定されるいかなる場合においても、第 2.5.2-4 表に示すとおり、評価基準を満たしている。

評価結果は、MSF-24P 型と MSF-32P 型の乾式キャスクそれぞれを無限に配列した体系（完全反射）で解析した結果であり、MSF-24P 型と MSF-32P 型の乾式キャスクが乾式貯蔵建屋内で混在した場合でも、MSF-24P 型の評価結果に包絡されるため、乾式貯蔵建屋内での乾式キャスクの配置制限は不要である。

第 2.5.2-4 表 評価結果

項	目	評価結果		評価基準	備考
		MSF-24P 型	MSF-32P 型		
中性子 実効増倍率	冠水状態	0.92 (3σ:0.00135)	0.91 (3σ:0.00129)	0.95 以下 <sup>1)</sup>	なお、SCALE コードシステムはモンテカルロ法であり統計誤差を伴うため、本評価結果は解析コードの精度等を考慮して、統計誤差(σ)の3倍(3σ)を加味した値である。
	乾燥状態	0.39 (3σ:0.00039)	0.39 (3σ:0.00045)		

〔確認内容〕

- 5) 設計上、バスケットの塑性変形が想定される場合は、塑性変形したバスケットの形状及び使用済燃料の状態を考慮しても未臨界が維持されること。

本文 2.7 項「使用済燃料乾式貯蔵容器を通常に取り扱う場合に設計上想定される事象について」に示すとおり、乾式キャスク通常貯蔵時において、バスケットの塑性変形が想定されない設計とする。

また、設計上考慮すべき自然現象において、乾式貯蔵建屋等の損傷及び兼用キャスクの転倒が生じない設計とし、バスケットの塑性変形が想定されない設計とする。詳細は設置許可基準第 4 条及び 6 条まとめ資料で説明する。