

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密または防護上の機密に属しますので公開できません。

資料1-2

伊方発電所3号炉  
設置許可基準規則等への適合性について  
(使用済燃料乾式貯蔵施設)  
＜補足説明資料＞

令和元年10月  
四国電力株式会社

## 目 次

4条 地震による損傷の防止

5条 津波による損傷の防止

6条 外部からの衝撃による損傷の防止

－外部事象

－竜巻

－外部火災

－火山

7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8条 火災による損傷の防止

9条 溢水による損傷の防止

11条 安全避難通路等

12条 安全施設

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

今回説明範囲

29条 工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護

30条 放射線からの放射線業務従事者の防護

## 16 条

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

## 〈目 次〉

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項に対する適合性
    - (1) 位置、構造及び設備
    - (2) 安全設計方針
    - (3) 適合性説明
  - 1.2 気象等
  - 1.3 設備等
  
2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
  - 2.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵容量について
  - 2.2 使用済燃料乾式貯蔵容器の構造について
  - 2.3 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納条件について
  - 2.4 使用済燃料貯蔵容器の設計貯蔵期間について
  - 2.5 使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について
    - 2.5.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能について
    - 2.5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能について
    - 2.5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器の遮蔽機能について
    - 2.5.4 使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能について
  - 2.6 使用済燃料乾式貯蔵容器の長期健全性について
  - 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
  - 2.8 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力等の監視について
  
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
  - 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
  - 3.2 兼用キャスク及び周辺施設の設計方針

### 【参考資料】

- 参考1 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計及び評価で引用している文献の記載内容について
- 参考2 伊方発電所 乾式貯蔵施設に係る原子力規制委員会の審査方針を踏まえた影響評価
- 参考3 使用済燃料乾式貯蔵施設の設置変更許可に係る詳細な確認範囲について
- 参考4 貯蔵中の乾式キャスクの転倒防止（エアパレット搬送時含む）について

## 1. 基本方針

### 1.1 要求事項に対する適合性

#### (1) 位置、構造及び設備

五 発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

ロ 発電用原子炉施設の一般構造

#### (3) その他の主要な構造

(i) 本発電用原子炉施設は、「(1)耐震構造」、「(2)耐津波構造」に加え、以下の基本方針のもとに安全設計を行う。

#### a. 設計基準対象施設

#### (k) 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）は、燃料体等を取り扱う能力を有し、燃料体等が臨界に達するおそれがなく、崩壊熱により燃料体等が溶融せず、使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有し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設計とする。

燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。）は、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でき、放射性物質の放出を低減できる設計とする。また、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とともに、燃料体等が臨界に達するおそれがない設計とする。

使用済燃料の貯蔵施設は、使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有し、貯蔵された使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新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し、使用済燃料ピット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、使用済燃料ピットから水が漏れいした場合において、水の漏れいを検知することができる設計とする。

使用済燃料の貯蔵施設は、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設計とすることとし、使用済燃料ピットの機能に影響を及ぼす重量物については落下しない設計とする。

使用済燃料ピット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、それを中央制御室に伝えるとともに、外部電源が使用できない場合においても非常用所内電源からの電源供給により、使用済燃料ピットの水位及び水温並びに放射線量を監視することができる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、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十分に遮蔽することができる設計とするとともに、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。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容量最大に燃料集合体を収納し、貯蔵容器

内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても臨界に達するおそれのない設計とするとともに、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。

## 二 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造及び設備

### (1) 核燃料物質取扱設備の構造

核燃料物質取扱設備（燃料取扱設備）は、燃料取替クレーン、使用済燃料ピットクレーン（1号、2号及び3号炉共用）、燃料取扱棟クレーン（1号、2号及び3号炉共用）、燃料移送装置等で構成する。

ウラン新燃料は、燃料取扱設備により、燃料取扱棟内において、ウラン新燃料の輸送容器から新燃料貯蔵設備又は使用済燃料貯蔵設備に移し、原子炉格納容器内に搬入する。ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料は、燃料取扱設備により、燃料取扱棟内において、ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料の輸送容器から使用済燃料貯蔵設備に移し、原子炉格納容器内に搬入する。燃料取替は、原子炉上部の原子炉キャビティに水張りし、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で行う。

使用済燃料は、遮へいに必要な水深を確保した状態で、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で燃料取扱棟内に移送し、同棟内の使用済燃料貯蔵設備（1号、2号及び3号炉共用）のほう酸水中に貯蔵する。

また、2号炉又は3号炉の使用済燃料貯蔵設備にて貯蔵する使用済燃料のうち、十分に冷却した使用済燃料は、必要に応じて使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬し、貯蔵する。

燃料取扱設備は、燃料取扱時において燃料が臨界に達することのない設計とするとともに、燃料集合体の落下を防止する設計とする。

なお、使用済燃料の1号炉又は2号炉使用済燃料貯蔵設備から3号炉使用済燃料貯蔵設備への運搬には使用済燃料輸送容器を使用する。使用済燃料の2号炉又は3号炉の使用済燃料貯蔵設備から使用済燃料乾式貯蔵施設、あるいは使用済燃料乾式貯蔵施設から3号炉の使用済燃料貯蔵設備への運搬には使用済燃料乾式貯蔵容器を使用する。使用済燃料の再処理工場への搬出には、使用済燃料輸送容器又は使用済燃料乾式貯蔵容器を使用する。

### (2) 核燃料物質貯蔵設備の構造及び貯蔵能力

#### (i) 新燃料貯蔵設備

##### a. 構造

新燃料貯蔵設備は、ウラン新燃料を新燃料ラックに挿入して貯蔵するものであり、燃料取扱棟内に設置する。

新燃料貯蔵設備は、想定されるいかなる状態においても燃料が臨界に達することのない設計とする。

##### b. 貯蔵能力

全炉心燃料の約 100%相当分

(ii) 使用済燃料貯蔵設備

a. 構造

使用済燃料貯蔵設備（1号、2号及び3号炉共用）は、使用済燃料及び新燃料をほう酸水中の使用済燃料ラックに挿入して貯蔵する鉄筋コンクリート造、ステンレス鋼内張りの水槽（使用済燃料ピット）であり、燃料取扱棟内に設ける。

使用済燃料ピットは、燃料体等の上部に十分な水深を確保する設計とするとともに、使用済燃料ピット水位、水温及び使用済燃料ピット水の漏えい並びに燃料取扱棟内の放射線量率を監視する設備を設け、さらに、万一漏えいを生じた場合には、ほう酸水を補給できる設計とする。

使用済燃料貯蔵設備は、想定されるいかなる状態においても燃料が臨界に達することのない設計とする。

使用済燃料貯蔵設備は、燃料体等の取扱中に想定される落下時にも著しい使用済燃料ピット水の減少を引き起こすような損傷を避けるよう設計する。

使用済燃料ピットは、使用済燃料ピットの冷却機能喪失、使用済燃料ピットの注水機能喪失、使用済燃料ピット水の小規模な漏えいが発生した場合において、燃料の貯蔵機能を確保できる設計とする。

また、使用済燃料ピットからの大量の水の漏えいにより使用済燃料ピット水位が使用済燃料ピット出口配管下端未満かつ水位低下が継続する場合に、スプレイや蒸気条件下でも臨界にならないよう配慮したラック形状及び燃料配置によって、臨界を防止することができる設計とする。

b. 貯蔵能力

全炉心燃料の約 1,150%相当分（1号、2号及び3号炉共用）

(iii) 使用済燃料乾式貯蔵施設

a. 構造

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器、使用済燃料乾式貯蔵容器を保管する使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号及び3号炉共用）等からなる。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、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十分に遮蔽する設計とするとともに、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。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容量最大に燃料集合体を収納し、貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても臨界に達するおそれのない設計とするとともに、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。

b. 貯蔵能力

全炉心燃料の約 760%相当分（1号、2号及び3号炉共用）

(2) 安全設計方針

該当なし

(3) 適合性説明

(燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設)

第十六条

- 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。
- 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。

適合のための設計方針

2 について

- 一 燃料体等の貯蔵設備は、以下のように設計する。
  - イ 使用済燃料乾式貯蔵施設内では、使用済燃料乾式貯蔵容器の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使用済燃料乾式貯蔵容器のみで担保する設計とする。
  - ロ 使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料の貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要な燃料集合体数並びにウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。
  - ハ 使用済燃料乾式貯蔵容器はSクラスの耐震性を有する設計とし、使用済燃料乾式貯蔵容器内のバスケットは、適切な燃料集合体間隔を保持することにより、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、貯蔵容量最大に燃料集合体を収納し、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても実効増倍率が0.95（解析上の不確定さを含む。）以下となる設計とする。

4 について

- 一 使用済燃料乾式貯蔵容器は、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十分に遮蔽する設計とする。
- 二 使用済燃料乾式貯蔵容器は、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。

三 使用済燃料乾式貯蔵容器は、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。

## 1.2 気象等

該当なし

## 1.3 設備等

### 4. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設

#### 4.1 燃料取扱及び貯蔵設備

##### 4.1.1 通常運転時等

##### 4.1.1.1 概要

燃料取扱及び貯蔵設備は、新燃料を発電所内に搬入してから使用済燃料を発電所外に搬出するまでの燃料取扱い及び貯蔵を安全かつ確実にを行うものである。

燃料取扱設備の配置を第4.1.1図及び第4.1.2図に示す。

発電所に搬入したウラン新燃料は、受入検査後、燃料取扱棟内の新燃料貯蔵庫又は使用済燃料ピットに貯蔵する。これらのウラン新燃料は、再装荷燃料等とともに炉心へ装荷するが、新燃料貯蔵庫に貯蔵したウラン新燃料は、炉心へ装荷する前に通常使用済燃料ピットに一時的に保管する。発電所に搬入したウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料は、受入検査後、使用済燃料ピットに貯蔵した後、炉心へ装荷する。

炉心への装荷の手順は、以下に示す燃料の取出しとほぼ逆の手順によって行う。

原子炉停止後、原子炉より取り出す使用済燃料は、燃料取替クレーン、燃料移送装置、使用済燃料ピットクレーン等を使用して、ほう酸水を張った原子炉キャビティ、燃料取替用チャネル及び燃料移送管を通して使用済燃料ピットへ移動する。

これらの使用済燃料の移送は、遮蔽及び冷却のため、すべて水中で行う。

使用済燃料は、使用済燃料ピットに貯蔵するが、必要に応じて使用済燃料ピット内で別に用意した容器に入れて貯蔵する。

使用済燃料は、使用済燃料ピット内で通常1年間以上冷却し、冷却を終えた使用済燃料は、使用済燃料ピットクレーン等を使用して水中で使用済燃料輸送容器に入れ再処理工場へ搬出する。

なお、使用済燃料のうち、十分に冷却した使用済燃料は、必要に応じ使用済燃料乾式貯蔵容器に入れ使用済燃料乾式貯蔵施設に運搬し、貯蔵した後、再処理工場へ搬出する。

使用済燃料ピットの水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量は中央制御室で監視できるとともに、異常時は中央制御室に警報を発信する。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器の一次蓋と二次蓋との間の圧力を監視できる

ものとする。

#### 4.1.1.2 設計方針

燃料取扱及び貯蔵設備は、新燃料の搬入から使用済燃料の搬出までの取扱い及び貯蔵を安全かつ確実にを行うことができるよう以下の方針により設計する。

- (1) 燃料取扱及び貯蔵設備のうち安全上重要な機器は、適切な定期的試験及び検査ができる設計とする。
- (2) 貯蔵設備は、適切な格納性と空気浄化系を有する区画として設計する。
- (3) 新燃料貯蔵設備は、1回の燃料取替えに必要な燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。また、使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要な燃料集合体数並びにウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。
- (4) 燃料取扱設備は、移送操作中の燃料体等の落下を防止するためワイヤロープ二重化等の適切な落下防止措置を有する設計とする。
- (5) 使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料の取扱及び貯蔵設備は、放射線業務従事者の線量を合理的に達成できる限り低くする設計とする。
- (6) 使用済燃料貯蔵設備は、使用済燃料ピット水浄化冷却設備を有する設計とする。使用済燃料ピット水浄化冷却設備は、使用済燃料ピット水を冷却して使用済燃料ピットに貯蔵した使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料からの崩壊熱を十分除去できるとともに、使用済燃料ピット水を適切な水質に維持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、自然冷却によって使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とする。

- (7) 使用済燃料ピットは、冷却用の使用済燃料ピット水の保有量が著しく減少することを防止するため、十分な耐震性を有する設計とするとともに、使用済燃料ピットに接続する配管は、使用済燃料ピット水の減少を引き起こさない設計とする。

また、使用済燃料ピットの水位計は、水位の異常な低下及び上昇を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、水位の異常な低下又は上昇時に警報を発信する設計とする。使用済燃料ピットの水温度計は、ピット水の過熱状態を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常な温度上昇時に警報を発信する設計とする。燃料取扱場所の線量当量率計は、管理区域境界における線量当量率限度から設置区域における立入り制限値を包絡する計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常時に警報を発信する設計とする。さらに、使用済燃料ピット内張りからの漏えい検知のための装置を有する設計とする。

外部電源が利用できない場合においても、非常用所内電源からの給電により使用済燃料ピットの水位及び水温並びに放射線量が監視可能な設計とす

る。

さらに、万一漏えいが生じた場合には、燃料取替用水タンクからほう素濃度 4,400ppm 以上のほう酸水を補給できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、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十分に遮蔽する設計とする。

(8) 使用済燃料貯蔵設備は、燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時においても著しい使用済燃料ピット水の減少を引き起こすような損傷が生じない設計とする。

(9) 使用済燃料貯蔵設備は、ほう素濃度 4,400ppm 以上のほう酸水で満たし、定期的にほう素濃度を分析する。また、設備容量分の燃料収容時に純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は 0.98 以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

新燃料貯蔵設備は、浸水することのないようにするが、設備容量分の燃料収容時に純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は 0.95 以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。さらに、いかなる密度の水分雰囲気でも満たされたと仮定しても未臨界性を確保できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は S クラスの耐震性を有する設計とし、使用済燃料乾式貯蔵容器内のバスケットは、適切な燃料集合体間隔を保持することにより、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、貯蔵容量最大に燃料集合体を収納し、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても実効増倍率が 0.95 以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

(10) 1号及び2号炉の使用済燃料を収納する使用済燃料ピット及びラックは、S クラスの耐震性を有する設計とし、地震時においても、1号及び2号炉の使用済燃料の健全性を損なわない設計とする。

(11) 落下時に使用済燃料ピットの機能に影響を及ぼす重量物については、使用済燃料ピット周辺の状況、現場における作業実績、図面等にて確認することにより、落下時のエネルギーを評価し、気中落下試験時の燃料集合体の落下エネルギー (39.3kJ) 以上となる設備等を抽出する。抽出された設備等については、地震時にも落下しない設計とする。

床面や壁面へ固定する重量物については、使用済燃料ピットからの離隔を確保するため、使用済燃料ピットへ落下するおそれはない。

#### a. 燃料取扱棟

燃料取扱棟の屋根を支持する鉄骨梁は、基準地震動に対する発生応力が終局耐力を超えず、使用済燃料ピット内に落下しない設計とする。また、屋根は鋼板の上に鉄筋コンクリート造の床を設け、地震による剥落のない構造とする。

また、下層部の鉄筋コンクリート壁は、基準地震動に対して健全性が確保される設計とする。上層部の壁を構成する鋼板や鋼材は、基準地震動に対して耐震性を有する支柱や間柱に溶接又はボルトで接続された一

体構造とし、地震により使用済燃料ピット内に落下しない設計とする。

b. 使用済燃料ピットクレーン

使用済燃料ピットクレーンは、基準地震動による地震荷重に対し、クレーン本体の健全性評価及び転倒落下防止評価を行い、使用済燃料ピットへの落下物とならないよう、以下を満足する設計とする。

(a) クレーン本体の健全性評価においては、保守的に吊荷ありの条件で、脚部等に発生する地震荷重が許容応力以下であること。

(b) 転倒落下防止評価においては、走行レール頭部を抱き込む構造をしたクレーンの浮上り防止爪について、保守的に吊荷なしの条件で、地震時の発生応力が、浮上り防止爪、取付けボルト等の許容応力以下であること。

(c) 走行レールの健全性評価においては、走行方向、走行直角方向及び鉛直方向について、地震時に基礎ボルトに発生する荷重が、許容応力以下であること。

また、使用済燃料ピットクレーンは、ワイヤロープ二重化、フック部外れ止め及び動力電源喪失時保持機能により、落下防止対策を講じた設計とする。

c. 燃料取扱棟クレーン

燃料取扱棟クレーンは、使用済燃料ピットの上部に走行レールが無く、仮に脱落したとしても建屋の構造上、クレーン本体及び吊荷が使用済燃料ピットへの落下物とならない設計とする。仮に落下後の移動を想定しても、使用済燃料ピットとの間に燃料取替用チャンネルがあるため、クレーン本体及び吊荷が使用済燃料ピットへの落下物となることはない。

(12) 使用済燃料乾式貯蔵容器はSクラスの耐震性を有する設計とし、閉じ込め機能を担保する部位の構造強度を維持する。また、使用済燃料乾式貯蔵施設内では、使用済燃料乾式貯蔵容器の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使用済燃料乾式貯蔵容器のみで担保する設計とする。

4. 1. 1. 3 主要設備の仕様

燃料取扱及び貯蔵設備の主要設備の仕様を第 4. 1. 1 表に示す。

4. 1. 1. 4 主要設備

(1) 新燃料貯蔵庫

新燃料貯蔵庫は、燃料取扱棟内の独立した区画に設け、キャン型のラックにウラン新燃料を 1 体ずつ挿入する構造とし、乾燥状態で貯蔵する。

新燃料貯蔵庫は、万一純水で満たされたとしても実効増倍率が 0. 95 以下になるよう設計する。さらに、いかなる密度の水分雰囲気でも満たされたと仮定しても臨界未満となるよう設計する。

貯蔵容量は全炉心燃料の約 100%相当分とする。

新燃料貯蔵庫は浸水することのない構造とし、さらに、排水口を設ける。また、水消火設備は設けない。

## (2) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピット（1号、2号及び3号炉共用）は、燃料取扱棟内に設け鉄筋コンクリート造とし、耐震設計Sクラスの構造物で、壁は遮へいを考慮して十分厚くする。使用済燃料ピット内面は、漏水を防ぎ保守を容易にするために、ステンレス鋼板で内張りした構造とする。

使用済燃料ピット水の減少防止のために、使用済燃料ピット水浄化冷却設備の取水のための配管は使用済燃料ピット上部に取り付け、また、注水のための配管にはサイホンブレーカを取り付ける。さらに、使用済燃料ピット底部には排水口は設けない。

使用済燃料ピットのステンレス鋼板内張りから、万一漏えいが生じた場合に漏えい水の検知ができるように漏えい検知装置を設置し、燃料取替用水タンクからほう素濃度4,400ppm以上のほう酸水を補給できる設計とする。また、使用済燃料ピットには水位及び温度警報装置を設けて、水位高、水位低及び温度高の警報を中央制御室に発する。

使用済燃料ピット内には、原子炉容器から取り出した使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料を鉛直に保持し、ほう素濃度4,400ppm以上のほう酸水中に貯蔵するためのキャン型の使用済燃料ラックを配置する。使用済燃料ラックは、各ラックのセルに1体ずつ燃料集合体を挿入する構造で、耐震設計Sクラスとし、ラック中心間隔は、たとえ設備容量分の新燃料を貯蔵し、純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は0.98以下になるように決定する。

使用済燃料ピットには、バーナブルポイズン、使用済制御棒クラスタ等を貯蔵保管するとともに、ウラン新燃料を一時的に保管することもある。さらに、使用済燃料輸送容器及び使用済燃料乾式貯蔵容器を置くためにキャスクピットを設ける。

貯蔵容量は、全炉心燃料の約1,150%相当分（1号、2号及び3号炉共用）とする。

## (3) 除染場ピット

除染場ピット（1号、2号及び3号炉共用）は、キャスクピットに隣接して設け、使用済燃料輸送容器及び使用済燃料乾式貯蔵容器の除染を行う。

## (4) 原子炉キャビティ及び燃料取替用キャナル

原子炉キャビティは原子炉容器上方に設け、燃料取替時にほう酸水を満たすことにより燃料取扱時に必要な遮へいが得られるようにする。

原子炉容器と原子炉キャビティ底面のすきまは、水張りに先立ってシールリングによってシールする。

原子炉キャビティは、鉄筋コンクリート造で、内面はステンレス鋼板で内張りし、炉心構造物及びその他の必要な工具を置くことができる十分な広さを持たせる。

燃料取替用チャンネルは、原子炉キャビティと燃料取扱棟の間で燃料集合体を移送するための水路である。この水路は原子炉格納容器を貫通する燃料移送管を介して、燃料取扱棟内チャンネル（1号、2号及び3号炉共用）と原子炉格納容器内チャンネルに分かれる。

原子炉格納容器内チャンネルの側壁の高さ及び内張材料は原子炉キャビティと同じとし、燃料取替時に原子炉キャビティとつながるプールを形成する。

#### (5) 燃料取替クレーン

燃料取替クレーンは、原子炉キャビティと原子炉格納容器内チャンネルの上に設けたレール上を水平に移動する架台と、その上を移動する移送台車よりなるブリッジクレーンである。

移送台車上には、運転台及び燃料集合体をつかむためのグリッパチューブを内蔵したマストチューブアセンブリがあり、燃料集合体は、マストチューブ内に入った状態で原子炉キャビティ及び原子炉格納容器内チャンネルの適当な位置に移動することができる。

グリッパチューブは二重ワイヤで保持するとともに、その下部にあるグリッパを空気作動式とし、燃料集合体をつかんだ状態で空気が喪失しても、安全側に働いて燃料集合体を落とすことのない構造とする。

架台及び移送台車の駆動並びにグリッパチューブの昇降を安全かつ確実に行うために、各装置にはインターロックを設ける。

燃料取替クレーンは、地震時にも転倒することがないように設計し、さらに、走行部はレールを抱え込む構造とする。

#### (6) 使用済燃料ピットクレーン

使用済燃料ピットクレーン（1号、2号及び3号炉共用）は、使用済燃料ピット上を移動するブリッジクレーンであり、使用済燃料ピット内での3号炉の燃料集合体の移動は、架台上のホイスト、3号炉燃料用取扱工具等によって行う。また、1号炉及び2号炉の燃料集合体の移動は、架台上のホイスト、1号炉及び2号炉燃料用取扱工具等によって行う。

本クレーンは、駆動源の喪失に対しフェイル・アズ・イズの設計とするとともに、フックは二重ワイヤで保持し、各々の取扱工具は、燃料取扱中に燃料集合体が外れて落下することのないような機械的インターロックを設ける。また、本クレーンは、燃料取扱事故が発生した場合、燃料集合体落下信号を発信するように設計する。

なお、1号炉及び2号炉燃料用取扱工具は、3号炉の燃料集合体をつかめない構造とし、3号炉燃料用取扱工具は、1号炉及び2号炉の燃料集合体をつかめない構造とすることにより誤操作を防止する。

本クレーンは、地震時にも転倒することがないように設計し、さらに、走行部はレールを抱え込む構造とする。

#### (7) 燃料取扱棟クレーン

燃料取扱棟クレーン（1号、2号及び3号炉共用）は、新燃料輸送容器、使用済燃料輸送容器、使用済燃料乾式貯蔵容器及び新燃料の移動を安全か

つ確実に天井走行形クレーンである。

燃料取扱棟クレーンは、フックを二重ワイヤで保持し新燃料輸送容器、使用済燃料輸送容器、**使用済燃料乾式貯蔵容器**及び新燃料の落下を防止するとともに、地震時にも落下することがないように設計とし、その移動範囲を重量物の落下により使用済燃料ピットに影響を及ぼすことがないように限定する。

(8) 新燃料エレベータ

新燃料エレベータは、1体の燃料集合体を載せることのできる箱型エレベータで、燃料取扱棟クレーンから使用済燃料ピットクレーンに新燃料を受渡しする装置である。新燃料エレベータは、駆動源の喪失に対しフェイル・アズ・イズの設計とするとともに二重ワイヤにより燃料集合体の落下を防止する構造とする。

(9) 燃料移送装置

燃料移送装置は、燃料移送管を通して燃料を移送するために、水中でレール上を走行する移送台車及び燃料移送管の両端のトラックフレームに燃料集合体の姿勢を変えるリフティング機構を設ける。

移送台車及びリフティング機構には、燃料集合体の受渡しを安全かつ確実にできるようにインターロックを設ける。

燃料取替時以外は、移送台車を使用済燃料ピット側に納め、燃料移送管の隔離弁を閉止し、閉止ふたを閉じる。

(10) ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料取扱装置

ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料取扱装置は、ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料の把持及び昇降機能を持ち、遮へい等放射線防護上の措置を講じた装置であり、燃料取扱棟クレーンに吊り下げて使用する。

本装置の吊り下げには、落下防止のため、二重ワイヤを使用する。

また、本装置のグリッパは、ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料の落下防止のため、燃料集合体昇降機能の駆動部に二重ワイヤを使用するとともに、グリッパを空気作動式とし、ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料をつかんだ状態で空気が喪失しても、安全側に働いてウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料を落とすことのない構造とする。

なお、本装置は、操作員の被ばく低減の観点から、ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料から適切な距離を保って操作する。

(11) 使用済燃料ピット水位

使用済燃料ピット水位は、通常水位からの水位の低下及び上昇を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常を検知した場合は警報を発する。

(12) 使用済燃料ピット温度

使用済燃料ピット温度は、ピット水の水温を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常を検知した場合は警報を発する。

(13) 使用済燃料ピットエリアモニタ

使用済燃料ピットエリアモニタは、使用済燃料ピット周辺の放射線量を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常を検知した場合は警報を発する。

(14) 使用済燃料乾式貯蔵施設

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料を収納する使用済燃料乾式貯蔵容器、これらを保管する使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号及び3号炉共用）等で構成する。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、蓋、バスケット等で構成され、これらの部材は、設計貯蔵期間（50年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年劣化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのないようにする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、1号及び2号炉用燃料を収納する容器と3号炉用燃料を収納する容器を合計45基配置できる容量とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器には、使用済燃料ピット内で使用済燃料を収納し、排水後内部にヘリウムガスを封入する。

使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）

ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 14×14燃料（1号及び2号炉用）

ウラン235濃縮度 約4.1wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 48,000Mwd/t以下

冷却年数 15年以上

使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）

ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17燃料（3号炉用）

ウラン235濃縮度 約4.1wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 48,000Mwd/t以下

冷却年数 15年以上

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器表面の線量当量率が2mSv/h以下及び容器表面から1m離れた位置における線量当量率が100 $\mu$ Sv/h以下となるよう、収納される使用済燃料の放射能強度を考慮して十分に遮蔽できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、設計貯蔵期間において、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去し、安全機能を担保する各部位及び使用済燃料が、構造健全性及び性能を維持できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器はSクラスの耐震性を有する設計とし、個々の



使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器内部の所定の位置に収納するためのバスケットは、適切な燃料集合体間隔を保持することにより燃料集合体は相互に接近しない構造とする。また、使用済燃料を全容量収納し、容器内の燃料位置等について想定されるいかなる場合でも、実効増倍率を0.95以下に保ち、使用済燃料の臨界を防止できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器はSクラスの耐震性を有する設計とし、貯蔵容器本体、蓋部及び金属ガスケットにより漏えいを防止し、設計貯蔵期間中の貯蔵容器内部圧力を負圧に維持できる構造とする。

#### 4.1.1.5 試験検査

燃料取扱及び貯蔵設備は、機器の使用に先立って機能試験、検査を実施する。また、使用済燃料ピットのほう素濃度は定期的に分析する。

#### 4.1.1.6 手順等

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設は、以下の内容を含む手順を定め、適切な管理を行う。

- (1) 使用済燃料ピットへの重量物落下防止対策
  - a. 使用済燃料ピット周辺に設置する設備や取扱う吊荷については、予め定めた評価フローに基づき評価を行い、使用済燃料ピットに影響を及ぼす落下物となる可能性が考えられる場合は落下防止措置を実施する。
  - b. 日常作業等において使用済燃料ピット周辺に持ち込む物品については、必要最低限に制限するとともに落下防止措置を実施する。
  - c. 使用済燃料ピット上で作業を行う使用済燃料ピットクレーンについては、クレーン等安全規則に基づき、定期点検及び作業開始前点検を実施するとともに、クレーンの運転、玉掛けは有資格者が実施する。

第4.1.1表 燃料取扱及び貯蔵設備の設備仕様

(1) 新燃料貯蔵庫		
個数	1	
ラック容量	燃料集合体約150体分	(全炉心燃料の約100%相当分)
ラック材料	ステンレス鋼	
(2) 使用済燃料ピット(1号、2号及び3号炉共用)		
個数	2	
ラック容量	燃料集合体1,800体分	(全炉心燃料の約1,150%相当分)
ラック材料	ボロン添加(0.95~1.05wt%)ステンレス鋼 <sup>(2)</sup> 及びステンレス鋼(ボロン添加(0.95~1.05wt%)ステンレス鋼板付き)	

ライニング材料      ステンレス鋼

(3) 除染場ピット（1号，2号及び3号炉共用）

個      数                      1

(4) 原子炉キャビティ及び燃料取替用チャンネル

個      数                      1

（燃料取替用チャンネルのうち燃料取扱棟内  
チャンネルは1号，2号及び3号炉共用）

ライニング材料      ステンレス鋼

(5) 燃料取替クレーン

台      数                      1

(6) 使用済燃料ピットクレーン（1号，2号及び3号炉共用）

台      数                      1

(7) 燃料取扱棟クレーン（1号，2号及び3号炉共用）

台      数                      1

(8) 新燃料エレベータ

台      数                      1

(9) 燃料移送装置

台      数                      1

(10) ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料取扱装置

台      数                      1

(11) 使用済燃料ピット水位

個      数                      2

計 測 範 囲                      NWL-20cm～+20cm  
(EL. +31.66～32.06m)

種      類                      浮力式水位検出器

(12) 使用済燃料ピット温度

個      数                      2

計 測 範 囲                      0～100℃

種      類                      測温抵抗体

(13) 使用済燃料ピットエリアモニタ

個      数                      1

計 測 範 囲                      1～10<sup>5</sup> μSv/h

種      類                      半導体式検出器

(14) 使用済燃料乾式貯蔵施設

個      数                      1

貯 蔵 能 力                      全炉心燃料の約760%相当分

(使用済燃料乾式貯蔵容器45基分)

種      類                      使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵容器

・タイプ1 最大収納体数 32

主要寸法 全長 約 5.2m

外径 約 2.6m

・タイプ2 最大収納体数 24

主要寸法 全長 約 5.2m

外径 約 2.6m

## 2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

### 2.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵容量について

貯蔵容量に関する要求事項は以下のとおりである。

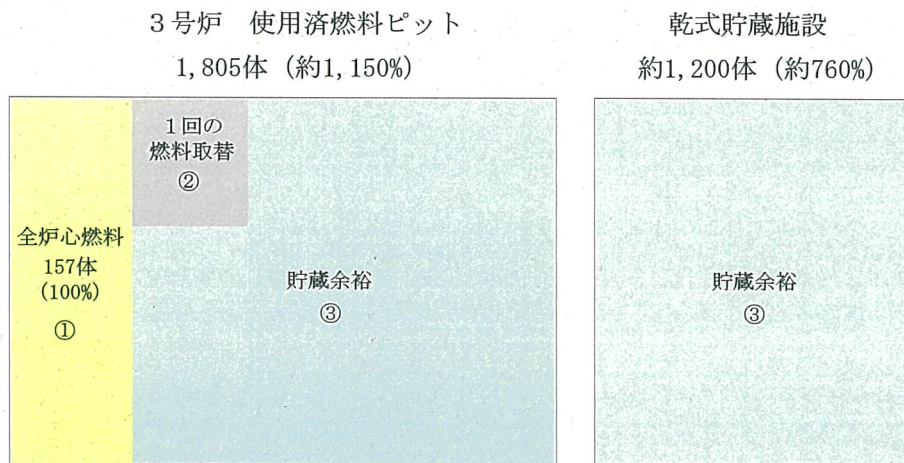
#### ①設置許可基準規則第16条第2項一号ロ

- ・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。

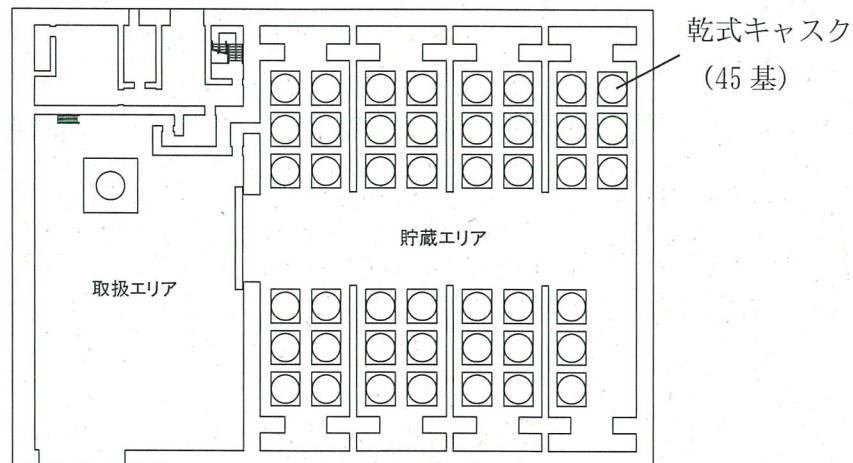
使用済燃料乾式貯蔵施設（以下、「乾式貯蔵施設」という）は、全炉心燃料の約760%相当分とする。

使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料ピット（全炉心燃料の約1,150%）において全炉心燃料（①）及び1回の燃料取替え（②）に必要とする貯蔵容量を確保することとしており、使用済燃料ピット及び使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式キャスク」という）貯蔵分を含めて、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要とする燃料集合体数に十分余裕（③）を持たせた貯蔵容量（①+②+③）とする設計とする。

なお、取扱中の乾式キャスク内の燃料を取り出す容量は貯蔵余裕（③）において確保している。



第2.1-1図 貯蔵容量の考え方



第2.1-2図 乾式貯蔵施設（平面図）

## 2.2 使用済燃料乾式貯蔵容器の構造について

### (1) 乾式キャスクの概要

乾式キャスクとは、使用済燃料を乾式貯蔵施設へ搬入し、貯蔵終了後、再処理工場にそのまま搬出することが可能な輸送貯蔵兼用容器である。

乾式キャスクは、14×14型燃料（1号及び2号炉用）を収納するタイプ1（MSF-32P型）及び17×17型燃料（3号炉用）を収納するタイプ2（MSF-24P型）の2タイプである。

乾式キャスクは、乾式キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成し、乾式貯蔵施設内に基礎ボルトで固定された貯蔵架台（支持構造物）に設置する。乾式キャスクの構造を第2.2-1図～第2.2-4図、乾式キャスク仕様を第2.2-1表に示す。

#### (a) 乾式キャスク本体

乾式キャスク本体は、胴、レジン及び外筒等で構成する。

胴及び外筒は炭素鋼製でガンマ線遮蔽材であり、レジンは中性子遮蔽材である。

乾式キャスク本体の取り扱いのために、上部トラニオン及び下部トラニオンを取り付ける。

#### (b) 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成する。

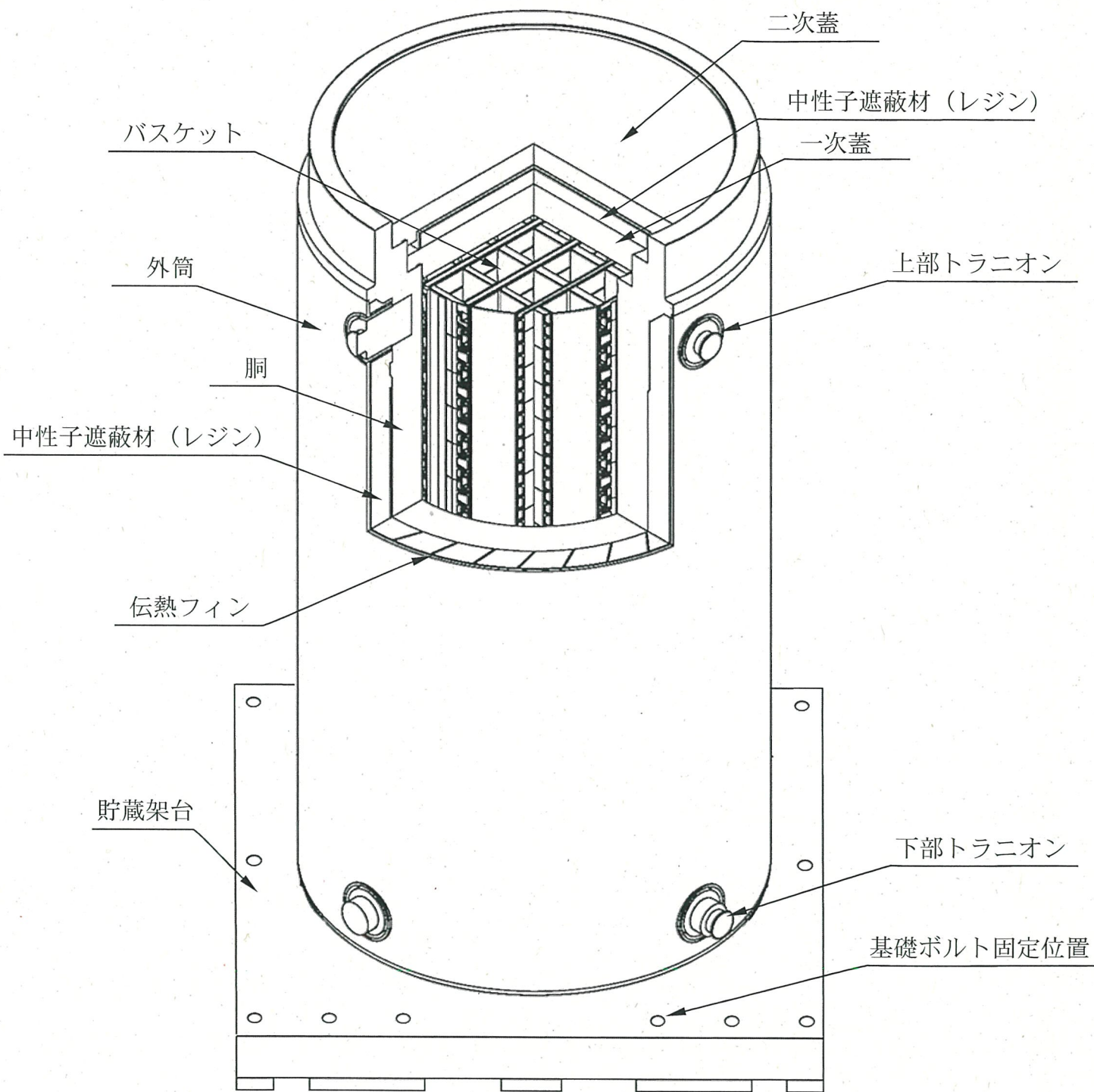
一次蓋は炭素鋼製であり、ボルトで乾式キャスク本体上面に取り付け、閉じ込め境界を構成する。一次蓋に充填するレジンが中性子遮蔽材、一次蓋の炭素鋼はガンマ線遮蔽材である。

二次蓋は炭素鋼製であり、ボルトで乾式キャスク本体上面に取り付ける。

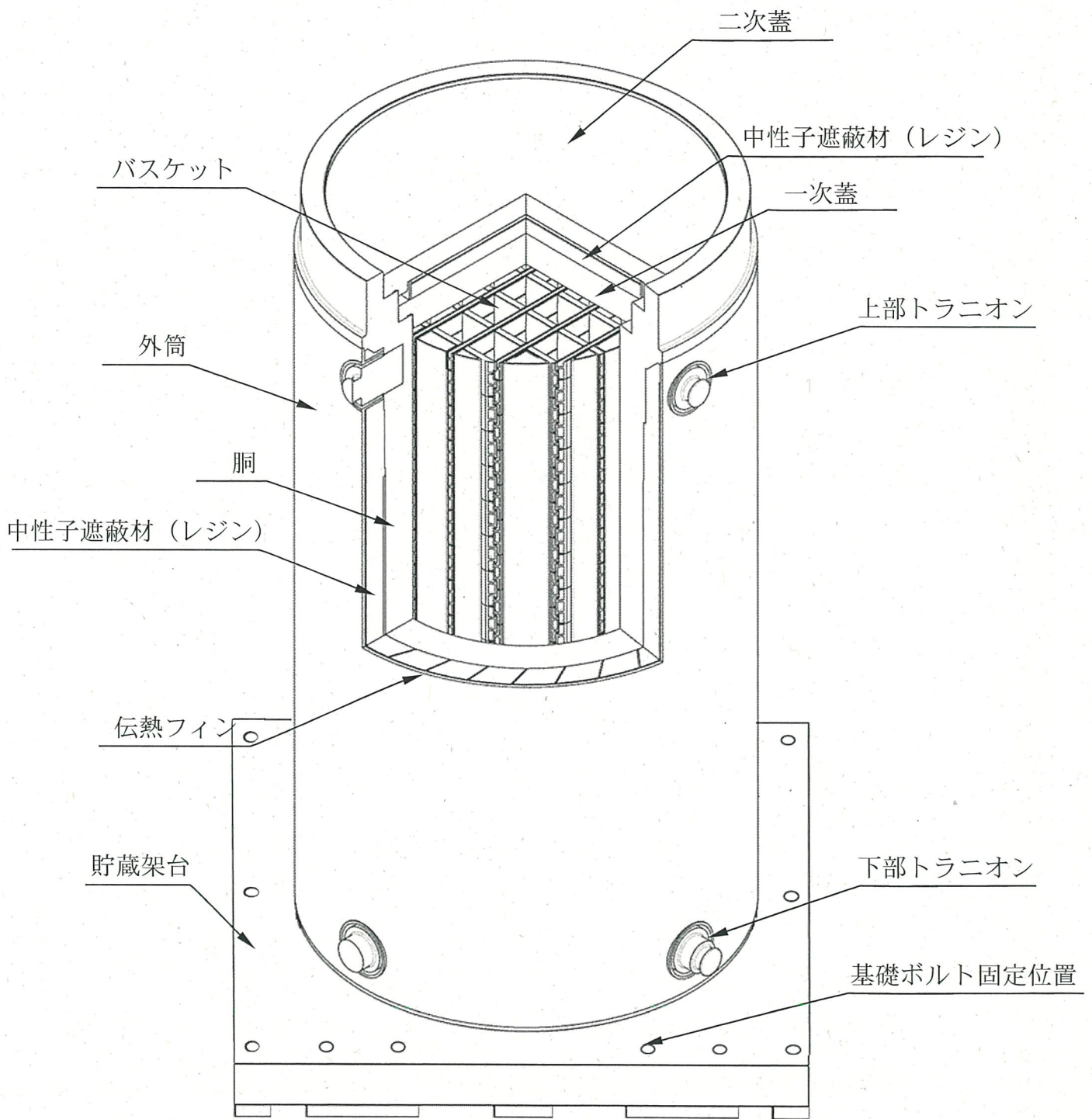
一次蓋のシール部には長期にわたって閉じ込め機能を維持するため、また、二次蓋のシール部には圧力監視境界を設けて閉じ込め監視境界を形成するために金属ガスケットを取り付ける。

#### (c) バスケット

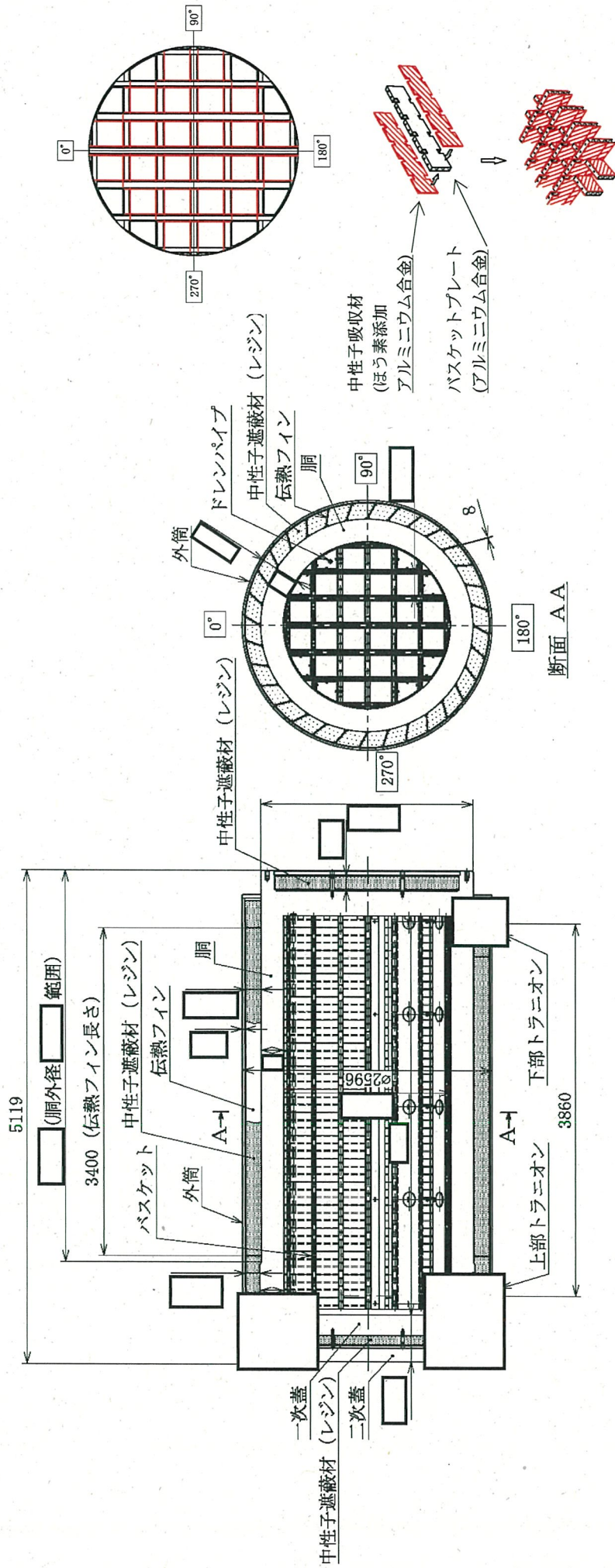
バスケットは断面形状が中空状であるアルミニウム合金製のバスケットプレートで構成する格子構造とし、個々の使用済燃料を乾式キャスク本体内部に配置されたバスケットの所定の格子内に収納する。また、使用済燃料の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置する。



第 2. 2-1 図 乾式キャスクの構造 (MSF-24P 型)



第 2. 2-2 図 乾式キャスクの構造 (MSF-32P 型)

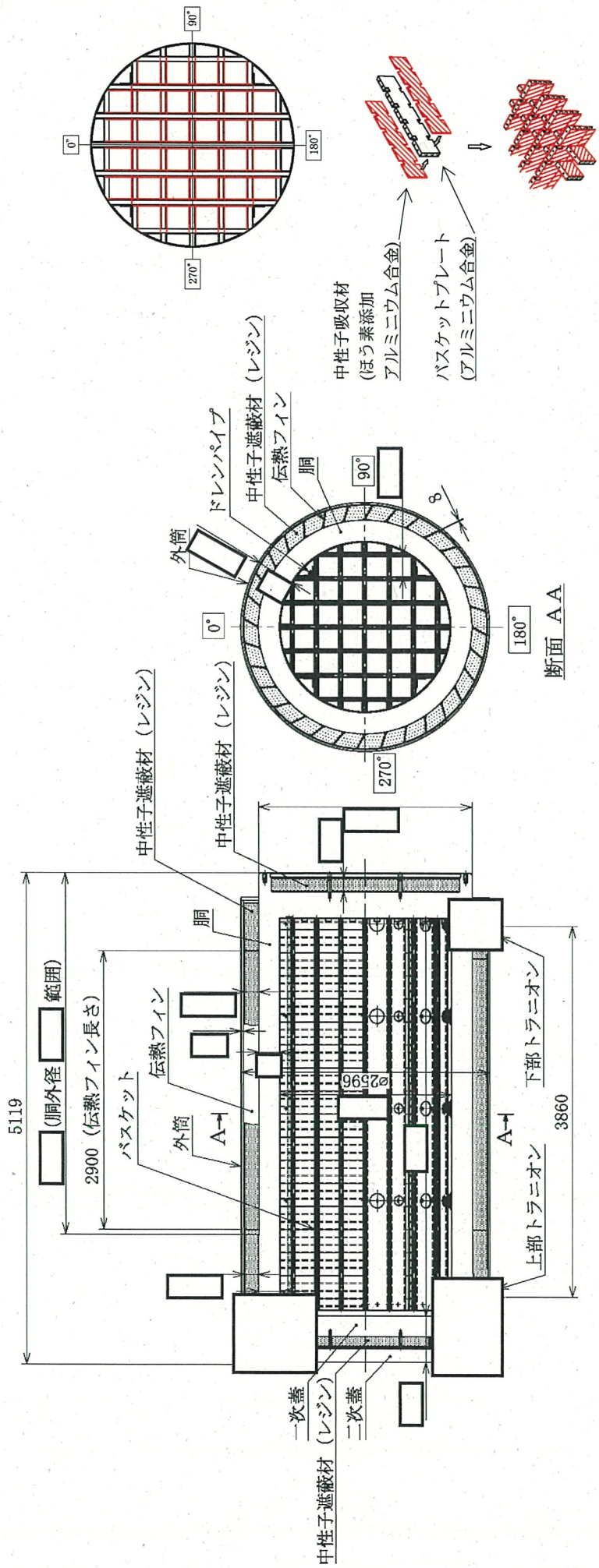


【バスケット構造図】

(単位:mm)

第 2.2-3 図 乾式キャスク断面図 (MSF-24P 型)





【バスケット構造図】

(単位: mm)

第 2.2-4 図 乾式キャスク断面図 (MSF-32P 型)

第 2.2-1 表 乾式キャスク仕様

項 目		仕 様	
乾式キャスク型式		MSF-24P 型	MSF-32P 型
全質量 (使用済燃料集合体を含む)		約 117 t	約 117 t
寸 法	全 長	約 5.2 m	約 5.2 m
	外 径	約 2.6 m	約 2.6 m
最 大 収 納 体 数		24 体	32 体
主 要 材 質	乾式キャスク本体		
	胴 (ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼	炭素鋼
	外筒 (ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼	炭素鋼
	ト ラ ニ オ ン	ステンレス鋼	ステンレス鋼
	中 性 子 遮 蔽 材	レジン	レジン
	伝 熱 フ ィ ン	銅	銅
	蓋 部		
	一 次 蓋	炭素鋼	炭素鋼
	二 次 蓋	炭素鋼	炭素鋼
	蓋 ボ ル ト	ニッケルクロムモリブデン鋼	ニッケルクロムモリブデン鋼
バ ス ケ ッ ト	アルミニウム合金 (中性子吸収材を配置)	アルミニウム合金* (中性子吸収材を配置)	
内 部 充 填 ガ ス		ヘリウムガス	ヘリウムガス
シ ー ル 材		金属ガスケット	金属ガスケット

※：バスケットサポートの一部に炭素鋼を使用している。

### 2.3 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納条件について

乾式キャスクへ収納する使用済燃料仕様を第 2.3-1 表及び第 2.3-2 表に、使用済燃料に挿入して収納することができるバーナブルポイズン集合体仕様を第 2.3-3 表に示す。また、使用済燃料の収納配置を第 2.3-1 図及び第 2.3-2 図に示す。

なお、運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料を収納する。

また、MSF-24P 型には、回収ウラン燃料も収納するが、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比較して、放射エネルギーは同程度以下であるが、発熱量は比較的高いため、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。

乾式キャスクへの使用済燃料の装荷にあたっては、次頁以降に示す収納条件を満足することを確認したうえで装荷する。

第 2.3-1 表 使用済燃料仕様 (MSF-24P 型)

項 目		仕 様			
		中 央 部		外 周 部	
燃料集合体の種類		17×17 燃料			
		A型	B型	A型	B型
形 状	集 合 体 幅 ( m m )	約 214			
	全 長 ( m m )	約 4,100			
質 量 (kg 以下)		約 680			
燃料集合体 1 体の仕様	初 期 濃 縮 度 ( w t % 以下 )	約 4.1		約 4.1	
	最 高 燃 焼 度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	48		44	
	冷 却 期 間 ( 年 以 上 )	15*	17	15*	17
乾 式 キ ャ ス ク 1 基 当 た り の 平 均 燃 焼 度 ( G W d / t 以下 )		44			

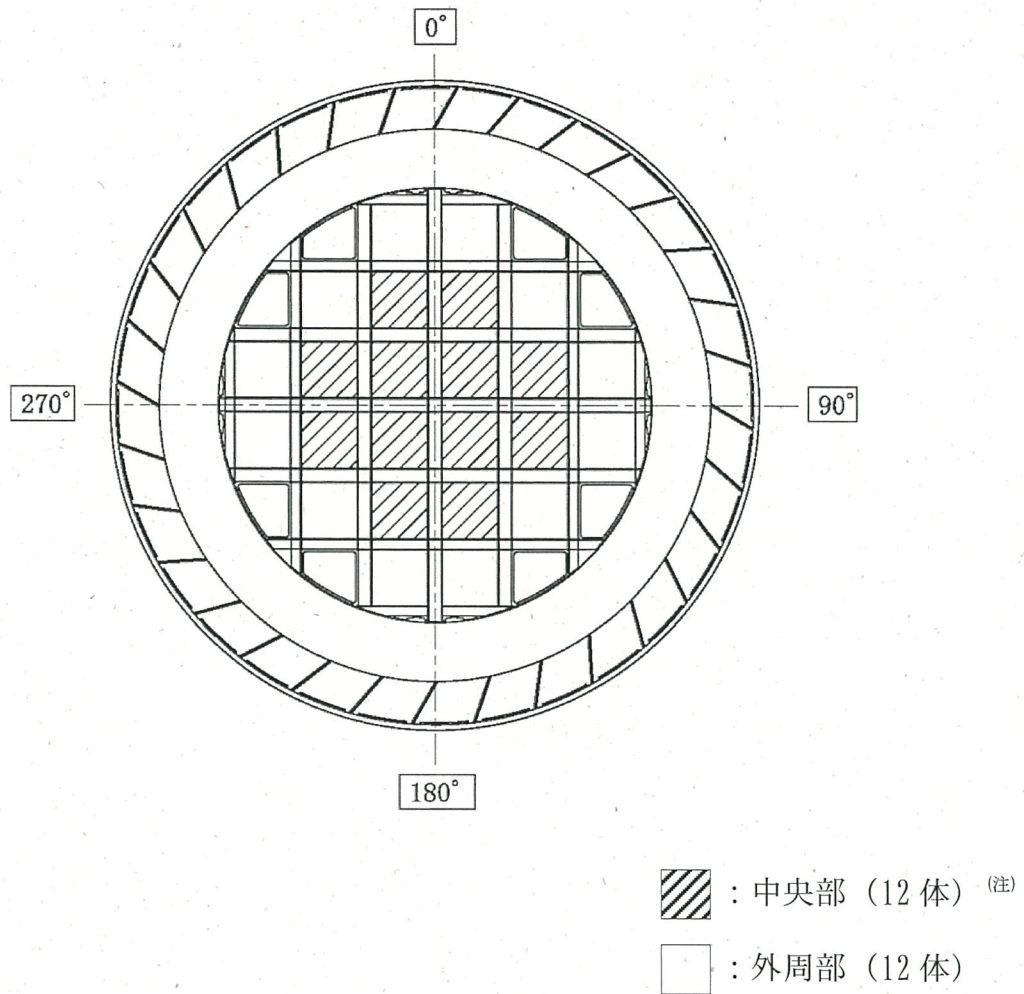
※：回収ウラン燃料については、15年冷却した通常ウラン燃料と放射エネルギー及び発熱量が同程度以下となるよう 20 年以上冷却した後、収納する。

第 2.3-2 表 使用済燃料仕様 (MSF-32P 型)

項 目		評 価 条 件					
燃料集合体の種類		中 央 部				外 周 部	
		14×14 燃料					
		A型	B型	A型	B型	A型	B型
形 状	集 合 体 幅 ( m m )	約 197					
	全 長 ( m m )	約 4,100					
質 量 (kg 以下)		約 590					
燃料集合体1体の仕様	初 期 濃 縮 度 ( w t % 以下 )	約 4.1		約 3.4			
	最 高 燃 焼 度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	48		39			
	冷 却 期 間 ( 年 以 上 )	15				25	
乾 式 キ ャ ス ク 1 基 当 た り の 平 均 燃 焼 度 ( G W d / t 以下 )		45				33	

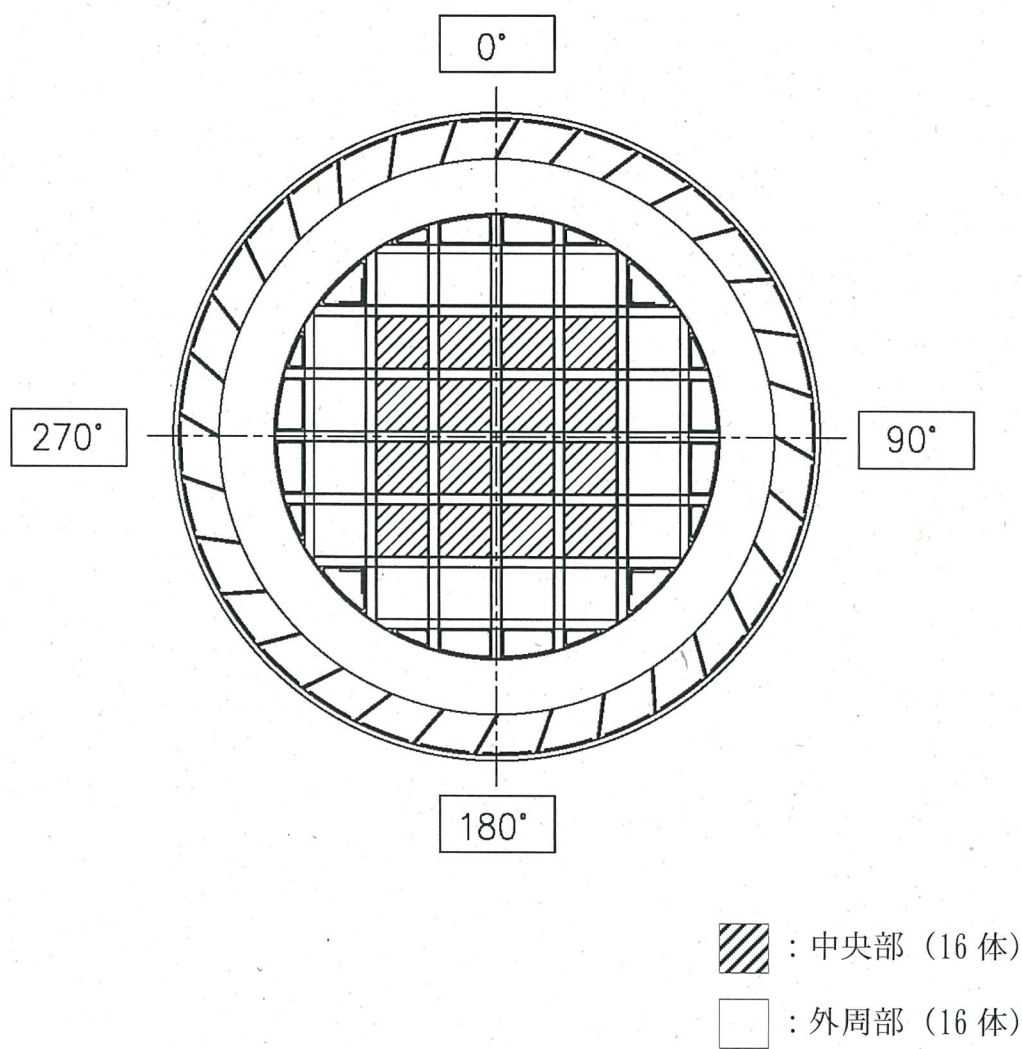
第 2.3-3 表 バーナブルポイズン集合体仕様 (MSF-24P 型のみ)

項 目		仕 様	
バーナブルポイズン 集合体の種類		17×17 燃料用	
		A 型	B 型
形 状	集 合 体 幅 ( m m )	約 161	
	全 長 ( m m )	約 4,000	
質 量 ( k g 以下 )		約 29	
照 射 期 間 ( 日 以下 )		2,344 (約 90GWd/t 相当)	
冷 却 期 間 ( 年 以上 )		15	



(注) 中央部には燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態で乾式キャスクに収納することができる。

第 2. 3-1 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-24P 型)



第 2.3-2 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-32P 型)



## 2.4 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計貯蔵期間について

### 2.4.1 要求事項

乾式キャスクの設計貯蔵期間に関する要求事項は以下のとおりである。

- (1) 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

「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.6 設計貯蔵期間」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】

『

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。

』

#### 【確認内容】

『

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能を評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

』

### 2.4.2 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、乾式キャスクの設計貯蔵期間については、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〕

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能を評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

乾式キャスクの設計貯蔵期間は60年とし、設置（変更）許可申請書で明確にする。  
また、設計貯蔵期間中の乾式キャスクの材料及び構造の健全性については、2.6項で説明する。

## 2.5 使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について

2.3項の使用済燃料の収納条件を踏まえ、MSF-32P型及びMSF-24P型の各解析条件の概要を第2.5-1表及び第2.5-2表に示す。

1, 2, 3号との使用済燃料を、専用の乾式キャスク（MSF-32P型、MSF-24P型）にて貯蔵することで、4つの安全機能（閉じ込め、臨界防止、遮へい、除熱）が確保できる設計とする。また、1, 2, 3号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下、「乾式貯蔵建屋」という）が乾式キャスク（MSF-32P型、MSF-24P型）の除熱機能を阻害しない設計とする。

本項では、乾式キャスクの通常貯蔵時※のうち、乾式キャスクを静置している状態における4つの安全機能について説明し、通常取り扱い時の評価は2.7項で説明する。

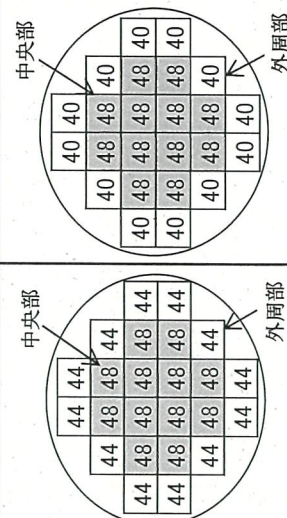
なお、乾式キャスク収納条件、配置条件に適合する使用済燃料であることを確認のうえ、乾式キャスクへ収納する。

※：発電所敷地内において兼用キャスクを通常に取り扱い、又は静置している状態をいう。



第2.5-2表 3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		燃料スペース	解析条件		
	中央部	外周部		臨界	遮蔽	除熱
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)	≤44					
最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48	≤44	≤48	48	44	48
SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 ※1 B型: ≥17		-	15		
最高燃焼度 (GWd/t)	≤90	-	-	90	-	-
SFPでの冷却期間 (年)	≥15	-	-	15	-	-
平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		-	44		
燃料集合体1体の仕様	配置※3					
バーナブル ポイズン	配置※3					
キャスク1基あたり	配置※3					



※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。  
 ※2：外周部12体は、乾式キャスク全体の燃焼度が平均44GWd/tになるよう40GWd/tとしている。  
 ※3：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

なお、各解析については、第 2.5-3 表及び第 2.5-4 表のとおり、三菱重工業(株)が型式設計特定容器等の型式指定を受けた MSF-21P 型での設計で使用した解析コード及びライブラリと同等のものを使用しており、特殊性及び新規性はない。

第 2.5-3 表 解析コード (ライブラリ含む) 比較

評価項目	解析コード	
	MSF-21P 型	MSF-32P 型及び MSF-24P 型
臨界	SCALE 4.4a (KENO-V. a) ／ (燃料領域均質化) (断面積ライブラリ： ENDF/B-V 238 群)	SCALE 6.2.1 (KENO-VI) ／ (燃料ピンモデル化) (断面積ライブラリ： ENDF/B-VII 252 群)
遮蔽	ORIGEN2 DOT3.5 (断面積ライブラリ：MATXSLIB-J33)	ORIGEN2 (ORIGEN2.2UPJ) DOT3.5 (断面積ライブラリ：MATXSLIB-J33)
除熱	ORIGEN2 ABAQUS	ORIGEN2 (ORIGEN2.2UPJ) ABAQUS

第 2.5-4 表 解析における変更箇所

	変更項目	MSF-21P 型	MSF-32P 型及び MSF-24P 型
臨界	・コード ／モデル化 ・断面積 ライブラリ	SCALE 4.4a (KENO-V. a) ／ (燃料領域均質化) ENDF/B-V 238 群	SCALE 6.2.1 (KENO-VI) ／ (燃料ピンモデル化) ENDF/B-VII 252 群
遮蔽	・断面積 ライブラリ	MATXSLIB-J33	MATXSLIB-J33
除熱	・解析モデル	2D モデル (モデル検証に 3D モデルを適用)	3D モデル

- 2.5.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能について  
乾式キャスクの閉じ込め機能を別添1に示す。
- 2.5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能について  
乾式キャスクの臨界防止機能を別添2に示す。
- 2.5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器の遮蔽機能について  
乾式キャスクの遮蔽機能を別添3に示す。
- 2.5.4 使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能について  
乾式キャスクの除熱機能を別添4に示す。

## 2.6 使用済燃料乾式貯蔵容器の長期健全性について

### 2.6.1 要求事項

材料・構造健全性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。

##### ③設置許可基準規則第16条第4項一号

- ・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。

##### ④設置許可基準規則第16条第4項二号

- ・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。

##### ⑤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。

##### ⑥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

「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.5 材料・構造健全性」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】

『

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。

』

【確認内容】

『

- (1) 安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は、兼用キャスクの最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。また、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腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を、設計入力値（例えば、寸法、形状、強度及び材料物性値）又は設計基準値の算定に際し考慮していること。さらに、必要に応じて防食措置等が講じられていること。
- (2) 兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。

』



## 2.6.2 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、乾式キャスクの材料・構造健全性については、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) 安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は、兼用キャスクの最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。また、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腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を、設計入力値（例えば、寸法、形状、強度及び材料物性値）又は設計基準値の算定に際し考慮していること。さらに、必要に応じて防食措置等が講じられていること。
- (2) 兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。

乾式キャスクの主要な構成部材は、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。これらの経年変化要因に対する乾式キャスクの主要な構成部材及び使用済燃料被覆管の健全性評価を以下に示す。

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。

- ・評価に適用する中性子照射量は、減衰を考慮せず初期の照射量が60年間継続する条件で算出している。

### (1) 胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルト

#### 【照射影響】

胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルトに使用する炭素鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼については、中性子照射量が  $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>1)</sup> ことが示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> を超えないことから照射脆化の影響はない。

#### 【熱的影響】

胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルトに使用する炭素鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼は、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup> されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

#### 【化学的影響】

乾式キャスク内部の使用済燃料を閉じ込める空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを封入し、貯蔵する設計としている。したがって、不活性雰囲気は維持されるため、残留水分（10 wt%）を考

慮しても腐食の影響はない<sup>3)</sup>。また、胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルトに使用する炭素鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼は、設計貯蔵期間中の温度条件において、仮に燃料破損率1%相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、腐食の影響はない<sup>4)</sup>。

一次蓋と二次蓋の間の空間部（以下「蓋間空間」という。）には不活性ガスであるヘリウムを封入し、不活性雰囲気維持されるため、腐食の影響はない。また、胴外面及び一次蓋は中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。なお、大気に触れる部分については、塗装等の防食措置により腐食を防止する。

## (2) バスケット

### 【照射影響】

バスケットプレート及びバスケットサポートに使用するアルミニウム合金、並びにバスケットサポートに使用する炭素鋼（MSF-32P型）は、中性子照射量が $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup>まで顕著な機械的特性変化は見られない<sup>1)、5)</sup>ことが示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup>を超えないことから照射脆化の影響はない。また、中性子吸収材に使用するほう素添加アルミニウム合金については、中性子吸収材中のほう素の設計貯蔵期間中の減損割合は $10^{-5}$ 程度であり無視し得るほど小さいため、臨界防止機能への影響はない。

### 【熱的影響】

バスケットプレート及びバスケットサポートに使用するアルミニウム合金、並びにバスケットサポートに使用する炭素鋼（MSF-32P型）は、貯蔵状態における温度において、設計用強度・物性値が規定<sup>2)、5)</sup>されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

なお、バスケットプレート及びバスケットサポートに使用するアルミニウム合金の設計用強度は、設計貯蔵期間中の熱ばく露条件（250℃）を模擬した条件での材料試験により得られた材料特性を保守的に包絡するように設定しており、クリープによる設計貯蔵期間中の熱ばく露による強度低下を適切に考慮している<sup>5)、6)</sup>。

### 【化学的影響】

バスケットが置かれた空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としている。したがって、不活性雰囲気が維持されるため、残留水分（10 wt%）を考慮しても腐食の影響はない。

また、MSF-32P型のバスケットサポートに使用する炭素鋼は、設計貯蔵期間中の温度条件において、仮に燃料破損率1%相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、腐食の影響はない<sup>4)</sup>。

(3) トラニオン

【照射影響】

トラニオンに使用するステンレス鋼は、中性子照射量が  $10^{17}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>7)</sup> ことが示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> を超えないことから照射脆化の影響はない。

【熱的影響】

トラニオンに使用するステンレス鋼は、貯蔵状態における温度において、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup> されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

【化学的影響】

トラニオンの内面は中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。

(4) 外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバー

【照射影響】

外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに使用する炭素鋼は、中性子照射量が  $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>1)</sup> ことが示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量は外筒では  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup> を超えず、また、蓋部中性子遮蔽材カバーでは  $10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> を超えないことから照射脆化の影響はない。

【熱的影響】

外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに使用する炭素鋼は、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup> されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

【化学的影響】

外筒の内面及び蓋部中性子遮蔽材カバーの内面は中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。また、蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを封入し、蓋部中性子遮蔽材カバーの外面は不活性雰囲気維持されるため、腐食の影響はない。なお、外筒の外面については、塗装等の防食措置により腐食を防止する。

(5) 下部端板及び底部中性子遮蔽材カバー

【照射影響】

下部端板及び底部中性子遮蔽材カバーに使用するステンレス鋼は、中性子照射量が  $10^{17}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>7)</sup> ことが示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> を超えないことから照射脆化の影響は

ない。

#### 【熱的影響】

下部端板及び底部中性子遮蔽材カバーに使用するステンレス鋼は、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup>されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

#### 【化学的影響】

下部端板の内面及び底部中性子遮蔽材カバーの内面は中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。

### (6) 中性子遮蔽材

#### 【照射影響、熱的影響、化学的影響】

中性子遮蔽材（レジン）は、熱と照射の影響評価が行われ、使用済燃料の設計貯蔵期間中の照射量による照射の影響は加熱に比べ無視し得る<sup>8)、9)</sup>ことが確認されているため、熱による経年変化のみ考慮する。

中性子遮蔽材は、設計貯蔵期間中の熱的（化学的）影響により質量減損（2%程度）が発生<sup>8)</sup>するため、遮蔽評価上、保守的に2.5%の質量減損を考慮する。

### (7) 金属ガスケット

#### 【照射影響】

金属ガスケットに使用するアルミニウム及びニッケル基合金は、中性子照射量がそれぞれ $10^{19}$  n/cm<sup>2</sup>又は $10^{21}$  n/cm<sup>2</sup>までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>10)、11)</sup>ことが示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $10^{15}$  n/cm<sup>2</sup>を超えないことから照射脆化の影響はない。

#### 【熱的影響】

また、高温時の健全性についてラーソン・ミラー・パラメータ（LMP）で評価すると、150℃では100年以上閉じ込め機能を維持できる<sup>12)</sup>。さらに、設計貯蔵期間中の温度条件において長期密封性能試験（19年以上）が実施され、閉じ込め機能が維持されることが確認されている<sup>13)</sup>。

#### 【化学的影響】

蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを封入し、その圧力を監視する設計としている。閉じ込め境界である一次蓋の金属ガスケットは不活性雰囲気であり、腐食を考慮する必要はない。

### (8) 伝熱フィン

#### 【照射影響】

伝熱フィンに使用する銅は、中性子照射量が $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup>までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>14)</sup>ことが示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $10^{15}$

n/cm<sup>2</sup>を超えないことから照射脆化の影響はない。

#### 【熱的影響】

銅は、設計貯蔵期間中の温度条件において、設計用強度・物性値が規定<sup>15)</sup>されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

#### 【化学的影響】

銅の電極電位は炭素鋼に比べて高く、イオン化傾向の低い金属である<sup>16)</sup>ことから、銅は腐食することはなく、炭素鋼が選択的に腐食される。また、中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、酸化鉄の生成により酸素の拡散障壁が形成されること、及び中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。

伝熱フィンと胴及び外筒の接合部において異種金属接触による腐食促進の可能性があるが、密閉静止した淡水環境における銅が接続した鋼の腐食試験において鋼単独の場合の腐食速度と同程度になることが確認されている<sup>17)</sup>。また、中性子遮蔽材の熱劣化により生じる水分量は限定的であり、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、異種金属接触による接合部への腐食促進の影響は小さく、腐食の影響はない。

### (9) 使用済燃料被覆管

#### 【照射影響】

燃料被覆管に使用するジルカロイは、設計貯蔵期間中の中性子照射量が $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup>を超えず、炉内の中性子照射量（ $10^{21}$ ~ $10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>）に対して十分低いことから、照射の影響は無視し得る<sup>18)</sup>。

#### 【熱的影響】

熱による経年変化としては、クリープひずみの進行による燃料被覆管の破損、照射硬化の回復による燃料被覆管強度の低下、燃料被覆管中の水素化物再配向による燃料被覆管の脆化、及び応力腐食割れについて評価する必要がある<sup>18)</sup>。

クリープひずみの進行については、予測式に基づく累積クリープひずみが1%以下となるよう制限することで防止できる<sup>18)</sup>ことが示されており、燃料被覆管中の水素化物再配向に係る制限以内では、クリープひずみが1%を超えることはない。

照射硬化の回復については、国内軽水炉で照射されたPWR照射済被覆管を用いた照射硬化回復試験の結果では、硬化の回復のしきい値は300℃近傍<sup>18)</sup>であり、しきい値以下であれば照射硬化の回復の可能性は小さいため、使用済燃料被覆管の温度を制限することにより防止する。

燃料被覆管中の水素化物再配向については、国内の軽水炉で照射されたPWR燃料の燃料被覆管を用いた水素化物再配向試験及び機械的特性試験の結果、被覆管の周

方向機械的特性が低下しない燃料被覆管の温度が275℃以下、周方向応力が100MPa以下<sup>18)</sup>と求められており、燃料被覆管温度と周方向応力を制限することによって、機械的特性の劣化を防止する。

応力腐食割れについては、燃料棒ペレットの温度上昇による腐食性核分裂生成ガスの放出はなく、また、原子炉運転中に燃料棒ペレットから放出されたヨウ素はヨウ化セシウムとして安定に存在することから応力腐食割れが発生する化学的雰囲気となっていない<sup>18)</sup>。なお、腐食性雰囲気での応力腐食割れ試験でジルカロイ-4の応力腐食割れのしきい応力は200MPaであり、設計貯蔵期間中の応力はこれに比べて十分低い<sup>18)</sup>。

上記に示す通り、燃料被覆管中の水素化物再配向を防止することにより、他の発生も同時に防ぐことができる。設計貯蔵期間中の燃料被覆管の温度及び周方向応力は、275℃及び100MPa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。

#### 【化学的影響】

残留水分が10wt%以下の不活性雰囲気にある燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量は無視し得るほど小さい<sup>19)</sup>ため、健全性に影響はない。

### 2.6.3 参考文献

- 1) K. Farrell, S. T. Mahmood, R. E. Stoller, L. K. Mansur, "An Evaluation of Low Temperature Radiation Embrittlement Mechanisms in Ferritic Alloys", Journal of Nuclear Materials, Vol. 210, (1994).
- 2) (一社)日本機械学会, 「発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版)(JSME S NJ1-2012)」, (2012).
- 3) 日本アルミニウム協会, 「アルミニウムハンドブック第7版」, (2007).
- 4) (独)原子力安全基盤機構, 「平成15年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書 最終報告」, (2004).
- 5) 三菱重工業(株), 「型式設計特定容器等の型式指定申請書 本文及び添付書類の一部補正について」, (2017).
- 6) 前口貴治、川原慶幸、山本隆一、崎間公久、玉置廣紀, 「A3004-H112合金の機械的性質に及ぼす長時間加熱および焼きなましの影響」, 軽金属, 第68巻 第12号, (2018).
- 7) 土肥謙次、秀耕一郎、黛正己、恩地健雄、大岡紀一, 「304ステンレス鋼のSCC特性に及ぼす中性子照射効果(その2) -熱鋭敏化材のSCC感受性に及ぼす照射影響-」, (一財)電力中央研究所, (1997).
- 8) (財)原子力発電技術機構, 「平成14年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金

- 属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (2003).
- 9) T. Ichihashi, D. Ishiko, A. Ogawa, M. Morishima, “Verification Tests of Neutron Shielding Materials and Shielding Assessment”, Proceedings of the 15th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, (2007).
  - 10) H. Yoshida, et al., “Reactor Irradiation Effects on Al 1100”, Proc. Jpn. Congr. Mater. Res., Vol. 24, (1981).
  - 11) T. T. Claudson. “Cladding and Structural Materials Semi-Annual Progress Report”, HEDL-TME 75-77, (1975).
  - 12) 加藤治, 伊藤千浩, 三枝利有, 「使用済燃料貯蔵キャスクの長期密封性能評価手法の開発」, 日本原子力学会誌, Vol. 38, No. 6, (1996).
  - 13) (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).
  - 14) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, ASTM STP888, (1986).
  - 15) (一財)日本規格協会, 「圧力容器の設計 (JIS B 8267: 2015)」, (2015).
  - 16) (公社)腐食防食協会編, 「材料環境学入門」, 丸善(株), (1993).
  - 17) 能登谷武紀, 密閉系淡水における鋼-銅系のガルバニック腐食, 伸銅技術研究会誌 33 巻, (1994).
  - 18) 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, 「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」, (2009).
  - 19) (一社)日本原子力学会標準委員会, 「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 (AESJ-SC-F002: 2010)」, (2010).