

3. 地上物体が受ける応力・揚力について（①式の考え方）

図3.1及び図3.2に地上にある物体に対して無風時に作用する力と竜巻時に作用する力の概念図を示す。

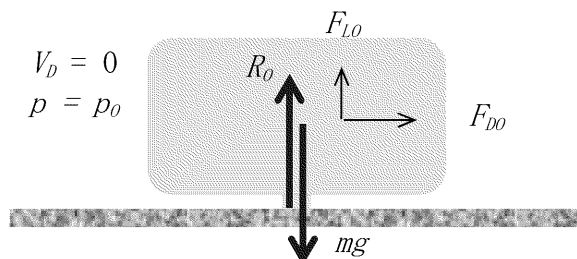


図 3.1 無風時に作用する力

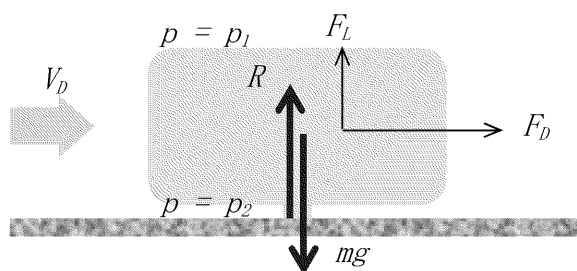


図 3.2 竜巻時に作用する力

【定義】

- $p_0$  : 無風時圧力
- $p_1$  : 竜巻通過時の物体上面圧力
- $p_2$  : 竜巻通過時の物体下面圧力
- $V_D$  : 地面での風速
- $R_0$  : 無風時の物体が地面から受ける反力
- $R$  : 物体が地面から受ける反力
- $F_D$  : 流れ方向流体力
- $F_L$  : 流れ直交方向流体力
- $A$  : 物体の地面への投影面積
- $s$  : 物体と地面の完全接触面積
- $\sigma$  : 物体と地面の完全接触面での応力

無風時は物体が流体に接する全表面で圧力は一定  $p_0$  とみなせるので、鉛直方向に作用する流体力  $F_{L0}$  は以下で与えられる。

$$F_{L0} = -p_0 A + p_0 (A - s) = -p_0 s \quad \text{⑤}$$

鉛直方向の力の釣り合い式より

$$F_{Lo}+R_o-mg=0 \quad \text{⑥}$$

物体と地面の完全接触面での応力 $\sigma_o$ は以下で表される。

$$\sigma_o = \frac{R_o}{s} = \frac{mg}{s} + p_o \quad \text{⑦}$$

竜巻通過時は物体に圧力差に伴う流体力が作用する。ここでは、簡単のために上面で圧力は一定 $p_1$ 、下面で圧力は一定 $p_2$ と仮定すると流れ直交方向（鉛直方向の）流体力 $F_L$ は以下のように計算される（圧力分布がある任意形状の物体についても圧力の表面積分を用いれば同様に計算できる）。

$$F_L = -p_1A + p_2(A-s) \quad \text{⑧}$$

従って、鉛直方向の力の釣り合い式として、以下が成立する。

$$F_L + R - mg = 0 \quad \text{⑨}$$

また、物体と地面の完全接触面での応力 $\sigma$ は以下で表される。

$$\sigma = \frac{R}{s} = \frac{mg + (p_1 - p_2)A + p_2s}{s} = \sigma_o + \frac{(p_1 - p_2)A + (p_2 - p_o)s}{s} \quad \text{⑩}$$

従って、地上に無拘束で置かれている物体の浮き上がり条件は、以下のように式⑨で $R=0$ とすることにより表される。

$$F_L - mg = 0 \quad \text{つまり、} -p_1A + p_2(A-s) - mg = 0 \quad \text{⑪}$$

一方、地上での揚力係数 $c_L$ は、 $a$ を地上での見附面積として、以下で定義される。

$$c_L = \frac{F_L - F_{Lo}}{0.5\rho V_D^2 a} \quad \text{⑫}$$

これに式⑤及び浮き上がり条件式⑪を代入すると以下を得る。

$$\frac{1}{2}\rho V_D^2 ac_L = mg + p_o s \quad \text{⑬}$$

$p_o s > 0$ を考慮すると、 $\frac{1}{2}\rho V_D^2 c_L a > mg$ が浮き上がりのための必要条件となる。つまり、 $\frac{1}{2}\rho V_D^2 c_L a > mg$ の条件によって浮き上がりの可能性を保守的に評価することができる。

建屋・構築物等の構造健全性の確認

## 目 次

1. 概要
2. 評価対象施設
3. 設計竜巻荷重の設定
4. 竜巻防護施設を内包する施設の評価

- 添付資料 1 風力係数の設定に関する補足説明
- 添付資料 2 竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち外壁及び屋根の評価に関する補足説明
- 添付資料 3 竜巻防護施設を内包する施設の評価のうち貫通・裏面剥離評価に関する補足説明



## 1. 概要

設計竜巻による荷重及びその他の組み合わせるべき荷重（以下「設計荷重」という。）に対して、建屋の構造健全性が維持されていることを確認する。

### (1) 設計荷重によって建屋に生じる変形、応力等の算定

建屋の形状や特徴等を反映して設定した設計荷重によって評価対象施設に生じる変形、応力等を算定する。

### (2) 構造健全性の確認

(1) で算定した変形、応力等に基づき、評価対象施設が以下の構造健全性評価基準を満足していることを確認する。

#### a. 竜巻防護施設を内包する施設

設計荷重に対し、竜巻防護施設を内包する施設が倒壊しないこと、施設の各部位が損壊しないこと及び竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認する。

## 2. 評価対象施設

### (1) 竜巻防護施設を内包する施設

#### ①使用済燃料乾式貯蔵建屋

竜巻防護施設を内包する施設の配置図を第2-1図に示す。



「」: 防護上の観点から公開できません

第2-1図 竜巻防護施設を内包する施設の配置図

### 3. 設計竜巻荷重の設定

#### (1) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値を第3-1表に示す。

第3-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大接線 風速半径 $R_m$ (m)	最大気圧 低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	最大気圧 低下率 $(d_p/d_t)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	8,900	45

#### (2) 設計竜巻による風圧力による荷重の設定

設計竜巻の最大風速 $V_D$ によって施設に作用する設計竜巻による風圧力による荷重 $W_w$ は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（原子力規制委員会、平成26年9月17日改定）（以下「ガイド」という。）」に基づき、「建築基準法・同施行令」、「建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会、2004年改定）」及び「建設省告示1454号」に準拠して、下式により算定する。同式において、ガスト影響係数( $G$ )は $G=1.0$ とする。また、風力係数 $C$ は、施設の形状及び風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。風力係数の設定の詳細は、添付資料1に示す。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

$q$  : 設計用速度圧

$G$  : ガスト影響係数(=1.0)

$C$  : 風力係数

$A$  : 施設の受圧面積

#### (3) 設計竜巻による気圧差による荷重の設定

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差によって生じる気圧差による荷重 $W_p$ は、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ここで、

$\Delta P$  : 最大気圧低下量

$$\Delta P = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

$\rho$  : 空気密度

$V_{Rm}$  : 設計竜巻の最大接線風速

$A$  : 施設の受圧面積

(4) 設計飛来物による衝撃荷重の設定

設計飛来物の諸元を第3-2表に示す。玄海原子力発電所におけるウォークダウンによる敷地全体の調査・検討結果に基づき、設計飛来物の最大水平速度及び最大鉛直速度を算定する。

第3-2表 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元	大型車両
サイズ (m)	長さ×幅×奥行き
	12×2.5×3.75
質量 (kg)	15,400
最大水平速度 (m/s)	42
最大鉛直速度 (m/s)	28

設計飛来物による衝撃荷重は、建屋の全体的な応答の評価において、設計飛来物と被衝突体の接触時間を設定し、設計飛来物の衝突前の運動量と衝撃荷重による力積が等しいものとする。下式により算定する。衝撃荷重  $W_M$  の算定結果を第3-3表に示す。

$$W_M = F_m = m \cdot V/t = m \cdot V^2/L$$

$$I = F_m \cdot t = m \cdot V$$

ここで、

- I : 衝撃荷重による力積 (N・s)
- $F_m$  : 静的な値として算定した設計飛来物による衝撃荷重 (N)
- m : 設計飛来物の質量 (kg)
- V : 衝突速度 (m/s)
- t :  $t = \frac{L}{V}$  (設計飛来物と被衝突体の接触時間) (s)
- L : 設計飛来物の最も短い辺の全長 (m)

第3-3表 衝撃荷重  $W_M$  の算定における評価条件及び結果

設計飛来物の質量 m (kg)	衝突速度 V (m/s)	設計飛来物の最も短い 辺の全長 L (m)	衝撃荷重 $W_M$ (N)
15,400	42	2.5	$1.09 \times 10^7$

(5) 設計竜巻荷重の組み合わせ

設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 $W_w$ 、気圧差による荷重 $W_p$ 及び設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ を組み合わせた複合荷重とし、以下の式により算定する。

評価対象施設には $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

- $W_{T1}$ 、 $W_{T2}$  : 設計竜巻による複合荷重
- $W_w$  : 設計竜巻の風圧力による荷重
- $W_p$  : 設計竜巻の気圧差による荷重
- $W_M$  : 設計飛来物による衝撃荷重

4. 竜巻防護施設を内包する施設の評価

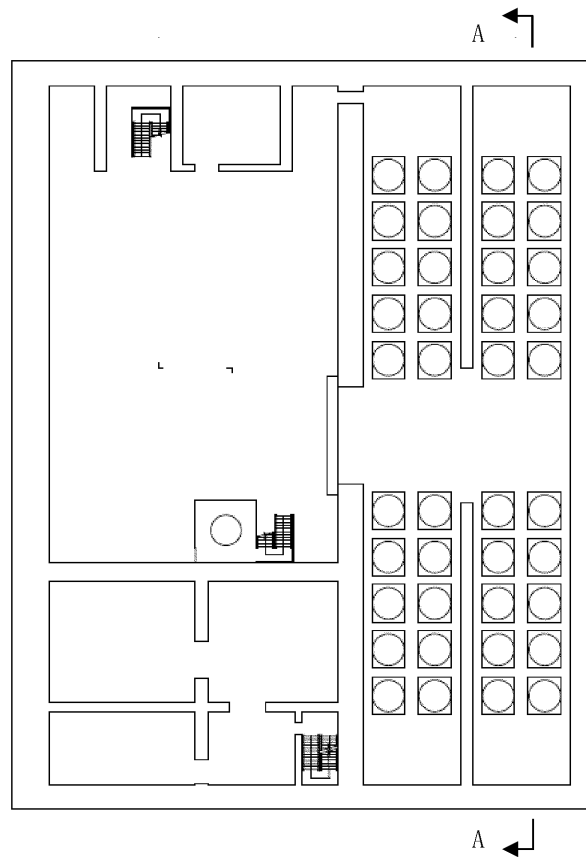
4.1 評価対象施設の概要

(1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

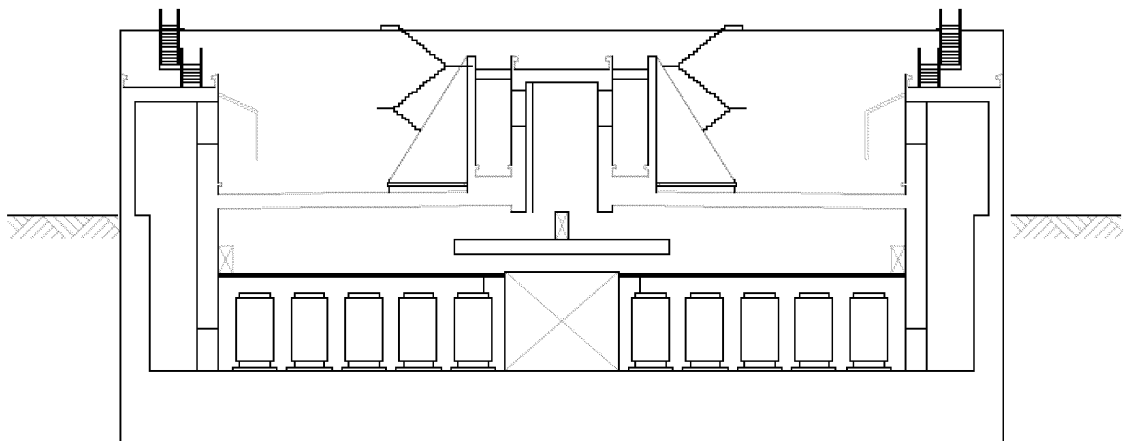
使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要を第4-1表、概略平面図及び概略断面図を第4-1図及び第4-2図に示す。

第4-1表 竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の概要

施設名	構造種別	主要仕上
使用済燃料乾式貯蔵建屋	鉄筋コンクリート造	屋根 : 鉄筋コンクリート 外壁 : 鉄筋コンクリート



第4-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



第4-2図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図  
(A-A断面)

## 4.2 建屋の評価

### (1) 概要

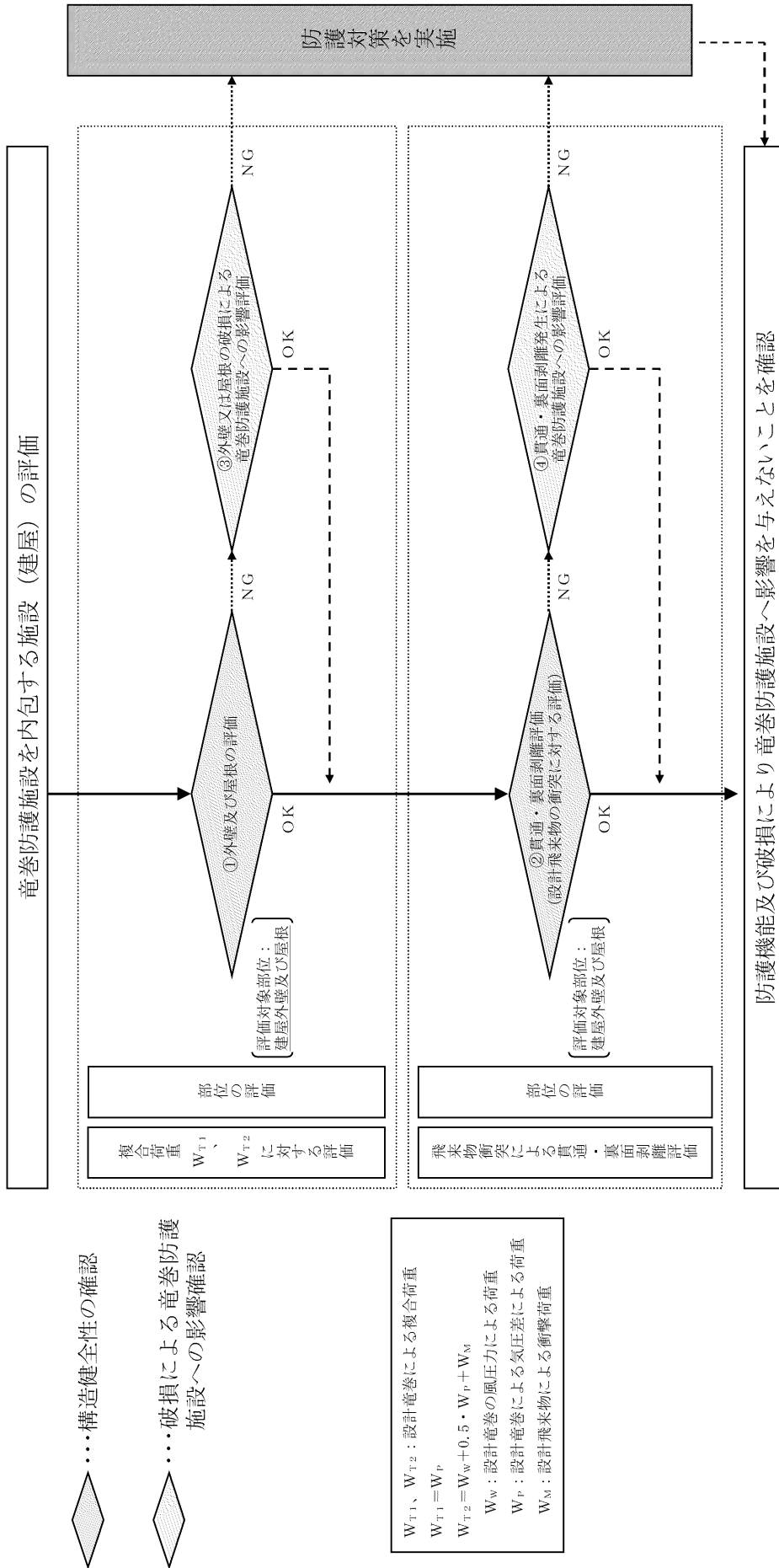
竜巻防護施設を内包する施設に求められる機能は、防護機能及び破損により竜巻防護施設へ影響を与えないことである。

防護機能については、竜巻防護施設を内包する施設の構造健全性を確認することにより、内包する竜巻防護施設が影響を受けないことを確認する。構造健全性の確認は、複合荷重 $W_{T1}$ 、 $W_{T2}$ に対する建屋の部位の評価並びに設計飛来物の衝突に対する貫通・裏面剥離評価を行う。

外壁又は屋根等の竜巻防護施設を内包する施設の各部に破損が生じる場合は、破損により竜巻防護施設へ影響を与えないことを確認する。

竜巻防護施設への影響がある場合は、竜巻防護対策施設による竜巻防護対策を実施する。

竜巻防護施設を内包する施設の評価フローを第4-3図に示す。また、竜巻防護施設を内包する施設の評価に関する対象荷重及び評価内容を第4-2表に示す。



第4-3 図 竜巻防護施設を内包する施設（建屋）に関する評価フロー

第4-2表 竜巻防護施設を内包する（建屋）の構造健全性の評価内容

評価項目	評価対象部位	荷重	評価項目	許容限界	
① 外壁及び屋根の評価	外壁、屋根	設計飛来物 (大型車両)の衝突	外壁及び屋根の応力等	終局強度以下	
② 貫通・裏面剥離評価	外壁及び屋根	設計飛来物 (大型車両)の衝突	外壁及び屋根の最小厚さ	外壁及び屋根における設計飛来物の貫通	貫通限界厚さ以上
				外壁及び屋根への裏面剥離の発生	裏面剥離限界厚さ以上



(3) 外壁及び屋根の評価

a. 評価方法

竜巻防護施設を内包する施設の外壁及び屋根を評価対象とし、設計荷重に対し発生する応力等が、許容限界を超えないことを確認する。

風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ は、設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ に対し、荷重が十分小さいことから考慮しない。

設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ に対する評価については、外壁及び屋根を一方向版とみなし、設計飛来物による衝突力を静的な荷重とした場合の応力を算出し、部材の許容限界（終局強度）を超えないことにより、建屋部材の健全性を確認する。

本評価において評価対象の外壁及び屋根の厚さは、1.0mとする。

b. 評価結果

設計飛来物の衝突に対する外壁及び屋根の発生応力と許容限界の比較を第4-3表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

外壁及び屋根の評価の詳細は、添付資料2に示す。

第4-3表 設計飛来物の衝突に対する評価結果

評価項目	評価結果	許容限界
外壁の発生曲げモーメント(kN・m)	$5.054 \times 10^3$	$6.171 \times 10^3$
屋根の発生曲げモーメント(kN・m)	$3.055 \times 10^3$	$3.937 \times 10^3$

(5) 貫通・裏面剥離評価

a. 外壁及び屋根

(a) 評価方法

設計飛来物の衝突に対する貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを算定し、外壁及び屋根の最小厚さが貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ以上となるように設計する。

貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの評価は、それぞれ、Degen式及びChang式を用いる。貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの評価式及び入力値の詳細は、添付資料3に示す。

(b) 評価結果

貫通限界厚さを第4-4表、裏面剥離限界厚さを第4-5表に示す。

第4-4表 外壁及び屋根の貫通評価結果

施設名		貫通限界厚さ (cm)	備考
外壁	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	44	
屋根	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	31	

第4-5表 外壁及び屋根の裏面剥離評価結果

施設名		裏面剥離 限界厚さ (cm)	備考
外壁	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	87	
屋根	使用済燃料乾式貯蔵建屋（貯蔵エリア）	67	

## 風力係数の設定に関する補足説明

## 1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設の評価における風力係数の設定について説明するものである。

設計竜巻により施設に作用する風圧力による荷重 $W_w$ の算定において、風力係数は、「建築基準法・同施行令」、「建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会、2004年改定）」及び「建設省告示 1454 号」に準拠して算定する。

## 2. 竜巻防護施設を内包する施設の評価における風力係数

## 2.1 外壁及び屋根の評価

陸屋根形状の建屋である使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁に対する風圧力による荷重 $W_w$ 算定において、風力係数は、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説 2004」及び「建設省告示第 1454 号(平成 12 年 5 月 31 日制定)」に準拠して、下式により算定する。

陸屋根形状建屋の外壁に対する風圧力による荷重 $W_w$ 算定に用いる風力係数 $C$ を第 2-1 表に示す。

$$C = C_{pe} - C_{pi}$$

ここで、

$C_{pe}$  : 外圧係数

水平方向では、 $C_{pe}=1.2k_z$ （風上側）、 $-0.4$ （風下側）

となるため、 $C_{pe}=0.8-(-0.4)=1.2$

$k_z$  : 高さ方向の分布係数

$k_z=1.0^{*1}$

$C_{pi}$  : 内圧係数

$C_{pi}=0.0$

第 2-1 表 陸屋根形状の建屋外壁の風力係数 $C$

位置		風力係数 $C$	備考
外壁	風上	0.8	解析モデルに対する 加力方向を正とする
	風下	-0.4	

※ 1 : 竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値は、ランキン渦モデルを仮定して設定しており、ランキン渦では高さ方向によって、風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定しているため、高さ方向の分布係数 $k_z$ は、1.0 とする。

## 竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち外壁及び屋根の評価に関する補足説明

## 1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設(建屋)の評価うち、外壁及び屋根の評価の詳細について説明するものである。

2. 設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ に対する評価

## 2.1 評価方法

使用済乾式燃料貯蔵建屋のうち、外壁及び屋根それぞれにおいて部材厚 1.0m、スパン 8.0m の一方向版を評価対象とし、衝突解析により外壁及び屋根に発生する応力を算出する。

設計飛来物の衝突位置は、モデル全体とする。また、衝突姿勢に応じて衝突荷重が影響する部材範囲が変わるが、大型車両の長辺が評価対象となるスパンより長いことから、荷重を等分布荷重として評価する。解析モデルの境界条件は、モデル両端を完全拘束とする。

第 2-1 表 設計飛来物 (大型車両) の諸元

名称	長さ	幅	高さ	質量	最大水平速度	最大鉛直速度
	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	m1 (kg)	Vh (m/s)	Vv (m/s)
大型車両	12.0	2.5	3.75	15,400	42	28

## 2.2 評価結果

## (1) 外壁

設計飛来物の衝突に対する外壁の発生応力と許容限界の比較を第 2-2 表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

## (2) 屋根

設計飛来物の衝突に対する屋根の発生応力と許容限界の比較を第 2-3 表に示す。発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

第2-2表 評価結果 (1/2)

諸元	記号	単位	値	備考
躯体条件	スパン	m	8.00	
	コンクリート厚	m	1.00	
	単位体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.00	
	空気密度	kg/m <sup>3</sup>	1.22	
	竜巻風速	m/s	100.00	
	速度圧	kN/m <sup>2</sup>	6.10	$q=1/2*\rho*Vd^2$
風荷重	ガスト係数	—	1.20	
	風力係数	—	1.00	
	支配幅	m	5.75	$B=L3+2t$
	受圧面積	m <sup>2</sup>	46.00	$A=L*b$
	風荷重	kN/m	42.09	$Ww=q*G*C*A/L$
	発生曲げモーメント	kNm	224.48	$M_{\text{風\_端部}}=Ww*L^2/12$
衝突荷重	衝突荷重	kN/m	905.52	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
	発生曲げモーメント	kNm	4829.44	$M_{\text{衝\_端部}}=P1*L^2/12$
		kNm	2414.72	$M_{\text{衝\_中央}}=P1*L^2/24$
応答結果	発生曲げモーメント	kNm	5053.92	$M=M_{\text{風}}+M_{\text{衝}}$
		kNm	2526.96	
		kNm	5053.92	

第 2-2 表 評価結果 (2/2)

諸元	記号	単位	値	備考
鉄筋呼び名	—	—	D32	
鉄筋量	at_m	mm <sup>2</sup> /m	3176.80	
鉄筋断面積	at	mm <sup>2</sup>	794.20	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm <sup>2</sup>	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm <sup>2</sup>	390.00	
応力中心間距離	j	m	0.79	j=7/8*d
かぶり	dt	mm	100.00	
有効せい	d	m	0.90	d=t-dt
支配幅	b	m	5.75	b=L3+2t
許容曲げモーメント	Ma	kNm	6171.14	Ma=at_m*ft*j*b
裕度	—	—	1.22	Ma/M
判定	—	—	OK	

検討結果

第2-3表 評価結果 (1/2)

諸元	記号	単位	値	備考	
躯体条件	スパン	m	8.00		
	コンクリート厚	m	1.00		
	単体体積重量	kN/m <sup>3</sup>	24.00		
	コンクリート自重	kN/m <sup>2</sup>	24.00	$G_{con} = \gamma * t$	
	防水層自重	kN/m <sup>2</sup>	2.10		
	機器配管サポート	kN/m <sup>2</sup>	0.50		
	積載荷重	kN/m <sup>2</sup>	3.00		
	支配幅	m	5.75	$B=L3+2t$	
	作用面積	m <sup>2</sup>	46.00	$A=L*b$	
	自重+積載荷重	kN/m <sup>2</sup>	29.60		
自重及び積載荷重	G+P	kN/m	170.20	$(G+P)*A/L$	
	発生曲げモーメント	M <sub>G+P_端部</sub>	kNm	907.73	$M_{風_端部}=(G+P)*L^2/12$
		M <sub>G+P_中央</sub>	kNm	453.87	$M_{風_中央}=(G+P)*L^2/24$
	衝突荷重	P1	kN/m	402.45	$P1=m1*Vh^2/L2/L1$
		M <sub>衝_端部</sub>	kNm	2146.42	$M_{G+P_端部}=P1*L^2/12$
	発生曲げモーメント	M <sub>衝_中央</sub>	kNm	1073.21	$M_{G+P_中央}=P1*L^2/24$
		M <sub>端部</sub>	kNm	3054.15	$M = M_{G+P} + M_{衝}$
	発生曲げモーメント	M <sub>中央</sub>	kNm	1527.08	
		M	kNm	3054.15	
	応答結果				

第2-3表 評価結果 (2/2)

諸元	記号	単位	値	備考
鉄筋呼び名	—	—	D25	
鉄筋量	at_m	mm <sup>2</sup> /m	2026.80	
鉄筋断面積	at	mm <sup>2</sup>	506.70	
段数	—	—	1.00	
ピッチ	—	m	0.25	
鉄筋強度	ft	N/mm <sup>2</sup>	429.00	鉄筋基準強度*1.1
鉄筋基準強度	—	N/mm <sup>2</sup>	390.00	
応力中心間距離	j	m	0.79	j=7/8*d
かぶり	dt	mm	100.00	
有効せい	d	m	0.90	d=t-dt
支配幅	b	m	5.75	b=L3+2t
許容曲げモーメント	Ma	kNm	3937.19	Ma=at_m*ft*j*b
裕度	—	—	1.29	Ma/M
判定	—	—	OK	

検討結果



## 竜巻防護施設を内包する施設の評価のうち貫通・裏面剥離評価に関する補足説明

## 1. 概要

本資料は、竜巻防護施設を内包する施設の貫通及び裏面剥離限界厚さ算定における評価式及び入力値について説明するものである。

## 2. 評価式及び入力値

## 2.1 鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さ

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定は、以下に示す Degen 式を用いる。また、評価式における記号の定義及び入力値を第 2-1 表に示す。

$1.52 \leq X/d \leq 13.42$  の場合、

$$e = \alpha_c \{0.69 + 1.29(X/d)\} \cdot d$$

$1.52 \geq X/d$  の場合、

$$e = \alpha_c \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

ここで、貫入深さ (X) は、

$X/d \leq 2.0$  の場合、

$$X/d = 2 \{(12,145/\sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1,000)^{1.8}\}^{0.5}$$

$X/d \geq 2.0$  の場合、

$$X/d = (12,145/\sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1,000)^{1.8} + 1$$

第 2-1 表 Degen 式における記号の定義及び入力値

記号	単位	定 義	入力値
e	cm	貫通限界厚さ(鉄筋コンクリート部材)	—
$\alpha_e$	—	低減係数	0.65
X	cm	貫入深さ	—
d	cm	設計飛来物直径	346
$F_c$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの 設計基準強度	306
N	—	使用済燃料乾式貯蔵建屋 設計飛来物の形状係数	0.72
D	kgf/cm <sup>3</sup>	設計飛来物直径密度 $D=W/d^3$	0.000373
W	kgf	設計飛来物重量	15,400
V	m/s	設計飛来物の衝突速度(水平)	42
		設計飛来物の衝突速度(鉛直)	28

## 2.2 鉄筋コンクリート部の裏面剥離限界厚さ

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定は、以下に示す Chang 式を用いる。また、評価式における記号の定義及び入力値を第 2-2 表に示す。

$$S=1.84\alpha_s\cdot\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13}\cdot\frac{\left(\frac{W\cdot V^2}{g}\right)^{0.4}}{d^{0.2}\cdot f_c^{0.4}}$$

第 2-2 表 Chang 式における記号の定義及び入力値

記号	単 位	定 義	入力値
g	cm/s <sup>2</sup>	重力加速度	980
S	cm	裏面剥離限界厚さ	—
$\alpha_s$	—	低減係数	0.6
V	cm/s	設計飛来物の衝突速度(水平)	4,200
		設計飛来物の衝突速度(鉛直)	2,800
V <sub>0</sub>	cm/s	飛来物基準速度	6,096
d	cm	設計飛来物直径	346
f' <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの 設計基準強度	使用済燃料乾式貯蔵建屋 306
W	kgf	設計飛来物重量	15,400

### 3. Degen 式及び Chang 式の採用について

鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算定においては、以下に基づき、それぞれ、Degen 式、Chang 式を用いている。

①飛来物衝突に対する評価式として、NEI07-13<sup>※1</sup>及び米国NRCの基準類<sup>※2</sup>に算定式として記載されている。

②「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」において、電力中央研究所の実験結果<sup>※3</sup>に基づき、貫通限界厚さの評価式としてDegen式、裏面剥離限界厚さの評価式としてChang式の適用性が高いとされている。

また、評価式における各係数については、NEI07-13<sup>※1</sup>、「構造物の衝撃挙動と設計法（土木学会）」等を踏まえ、安全側の値として、第3-1表に示す値を用いる。

第3-1表 評価式における形状係数および低減係数

	NEI07-13 <sup>※1</sup>	文献 <sup>※4</sup>	文献 <sup>※5</sup>	採用値
想定飛来物	【剛飛来物】 大型商用機の エンジン	—	【剛飛来物】 航空機エンジン	大型車両
貫通限界厚さ 形状係数	0.72	0.72～ 1.14	—	0.72
貫通限界厚さ 低減係数	0.60	—	0.65	0.65
裏面剥離限界厚さ 低減係数	0.55	—	0.60	0.60

※1 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs

※2 : U. S NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3. 5. 3 BARRIER DESIGN PROCEDURES, NUREG-0800, Revision 3-March 2007

※3 : 飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法 電力中央研究所

※4 : 構造工学シリーズ6 構造物の衝撃挙動と設計法, 土木学会,

※5 : Experimental Studies on Local Damage of Reinforced Concrete Structures by the Impact of Deformable Missiles Part 4: Overall Evaluation of Local Damage, Kiyoshi Muto, etc., 10<sup>th</sup> SMIRT

使用済乾式貯蔵施設の竜巻防護設計方針について

## 1. 設計方針

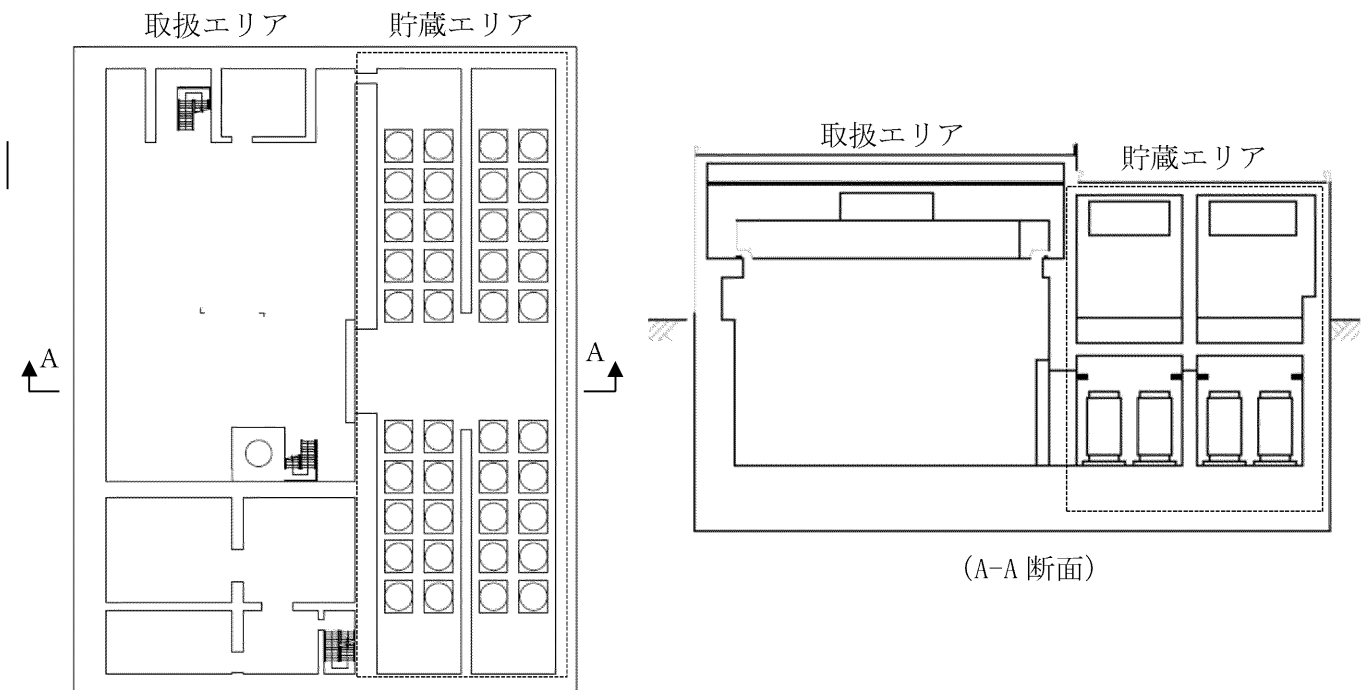
竜巻防護施設を内包する施設の設計は、設計荷重に対して構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁及び開口部（扉類）の破損より当該建屋内の竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計としている。

ただし、設計荷重による影響により当該建屋内の竜巻防護施設に影響を及ぼす場合には、必要により竜巻防護対策施設又は運用による竜巻防護対策を実施するとしている。

乾式貯蔵建屋のうち貯蔵エリアについては、貯蔵時の敷地等境界線量の影響評価において、敷地等境界線量の目標値である年間  $50\mu\text{Sv}$  以下を満足するためには、使用済燃料乾式貯蔵建屋の遮へい機能が必要であることから、竜巻防護設計においても貯蔵エリアについては、設計竜巻による荷重に対し構造健全性を維持することで、乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。

乾式貯蔵建屋のうち取扱エリアについては、取扱エリアに乾式キャスクがある場合は乾式キャスク取扱中であるため作業員がいることから、竜巻の発生が予想される場合には設計飛来物の侵入を考慮して、乾式キャスクを設計飛来物の影響を受けない位置へ移動する運用とする。

乾式貯蔵建屋の概略図を第1図に示す。



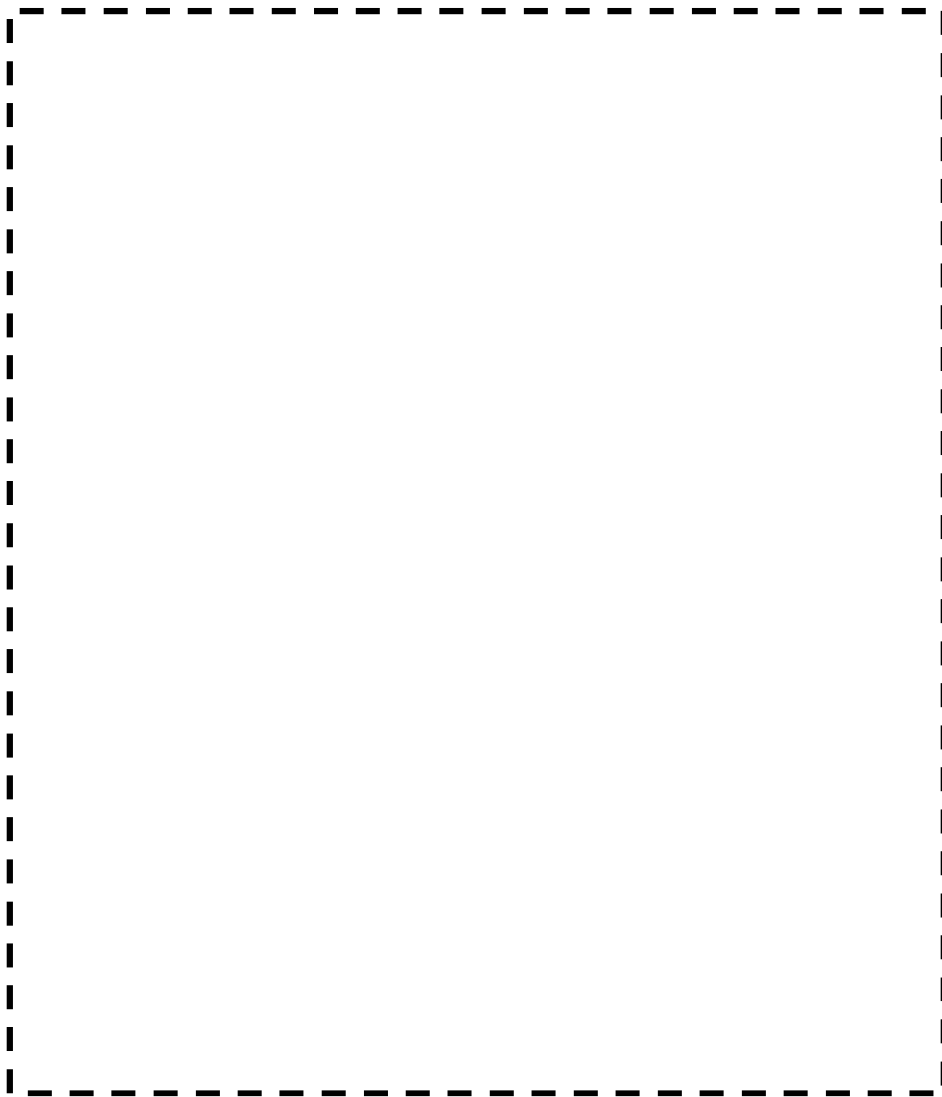
第1図：乾式貯蔵建屋の概略図

2. 建屋外周部建具の損傷による影響確認

建屋外周部建具に飛来物が衝突し損傷が生じ、建屋内に飛来物が侵入した場合の影響を確認した。

搬出入口からの設計飛来物の侵入を考慮し、設計飛来物が乾式キャスクに衝突しないよう、竜巻の発生が予測される場合には乾式キャスクを飛来物の影響を受けない位置に移動する。

飛来物による影響範囲を第2図に示す。



第2図：飛来物影響範囲

┌───┐：防護上の観点から公開できません



第6条：使用済燃料乾式貯蔵容器に係る外部からの衝撃による損傷の防止  
(外部火災)

<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. 外部からの衝撃による損傷の防止 (外部火災)

(別添資料1) 外部火災に対する防護 (使用済燃料乾式貯蔵容器)

## 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

##### (3) その他の主要な構造

##### (a) 外部からの衝撃による損傷の防止

(a-3) 安全施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災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。

自然現象として想定される森林火災の延焼防止を目的として、発電所周辺の植生を確認し、作成した植生データ等を基に求めた最大火線強度から算出される防火帯（約 35m）を敷地内に設ける。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

また、森林火災による熱影響については、火炎輻射強度（ $500\text{kW}/\text{m}^2$ ）の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）として、想定される近隣の産業施設の火災及び爆発については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、想定される発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災については、離隔距離の確保等により安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災による屋外施設への影響については、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、外部火災の二次的影響であるばい煙及び有毒ガスによる影響については、換気空調設備等に適切な防護対策を講じることで安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

## (2) 安全設計方針

### 1.10 外部火災防護に関する基本方針

#### 1.10.1 設計方針

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

想定する外部火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び船舶の火災を選定する。外部火災にて想定する火災を第1.10.1表に示す。

また、想定される火災及び爆発の二次的影響（ばい煙等）に対して、安全施設の安全機能を損なわない設計とする。

#### (1) 外部火災防護施設

安全施設に対して外部火災の影響を受けた場合において、原子炉の安全性を確保するため、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」で規定されているクラス1、クラス2及びクラス3に該当する構築物、系統及び機器を外部火災防護施設とする。外部火災防護施設を第1.10.2表に示す。

#### a. 外部火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち、外部火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

#### (a) クラス1及びクラス2に属する屋内施設

屋内のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は、内包する建屋により防護する設計とし、以下の建屋を対象とする。

#### i 原子炉格納容器

- ii 原子炉補助建屋
- iii 原子炉周辺建屋
- iv 燃料取替用水タンク建屋
- v 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(b) クラス1及びクラス2に属する屋外施設

屋外のクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設は、以下の施設を対象とする。

i. 海水ポンプ

b. 外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設

外部火災防護施設のうち、外部火災の二次的影響を受けるクラス1及びクラス2に属する施設を以下のとおり抽出する。

- (a) 換気空調設備
- (b) ディーゼル発電機
- (c) 海水ポンプ
- (d) 主蒸気逃がし弁、排気筒等
- (e) 安全保護系計装盤
- (f) 制御用空気圧縮機

また、クラス3に属する施設については、外部火災発生時は、建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等により安全機能を損なわない設計とするため、影響評価対象から除外する。

(2) 森林火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所周辺の植生、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション解析コード（以下「FARSITE」という。）を用いて影響評価を実施し、森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火災が防火帯外縁に到達するまでの時間、クラス

1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を確保すること等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 森林火災の想定

(a) 森林火災における各樹種の可燃物量は、佐賀県から入手した森林簿データと現地調査等により得られた樹種を踏まえて補正した植生を用いる。また、林齢は、樹種を踏まえて地面草地の可燃物量が多くなるように保守的に設定する。

(b) 気象条件は、枝去木、唐津、平戸の過去 10 年間の気象データを調査し、佐賀県における森林火災発生頻度が年間を通じて比較的高い月の最小湿度、最高気温及び最大風速の組み合わせとする。

(c) 風向については、最大風速における風向と卓越風向を調査し、森林火災の発生件数及び森林と発電所の位置関係を考慮して、最大風速記録時の風向を設定する。

(d) 発火点については、防火帯幅の設定及び熱影響評価に際し、FARSITE より出力される最大火線強度及び反応強度の高い値を用いて評価するため、発電所から直線距離 10km の間で風向及び人為的行為を考慮し、2 地点を設定する。

i. 発電所周辺のうち、卓越風向である東北東の風による延焼を考慮し、他の場所よりも火災発生の可能性が高いと想定される寮（発電所敷地から約 0.4km の距離）を「発火点 1」として設定する。

ii. 森林火災シミュレーションを保守的に行うため、3 月、4 月の最大風速時の風向の南風による延焼を考慮し、発火点 1 とは森林火災の進行方向が異なる方向となる南東の道路沿い（発電所敷地から約 0.5km の距離）を「発火点 2」として設定する。

(e) 森林火災の発火時刻については、日照による草地及び樹木の乾燥に伴い、火線強度が変化することから、これらを考慮して火線強度が最大となる時刻を設定

する。

b. 評価対象範囲

発電所は北側に延びる細長い値賀崎に位置しており、発電所近傍の発火想定地点を 10km 以内とし、評価対象範囲は南北 13km、東西 13km の範囲を対象に評価を行う。

c. 必要データ (FARSITE 入力条件)

(a) 地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の土地の標高、地形等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である 10m メッシュの「基盤地図情報 数値標高モデル」(国土地理院データ)を用いる。

(b) 土地利用データ

現地状況をできるだけ模擬するため、発電所周辺の建物用地、交通用地等のデータについては、公開情報の中でも高い空間解像度である 100m メッシュの「国土数値情報 土地利用細分メッシュ」(国土交通省データ)を用いる。

(c) 植生データ

現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを地方自治体(佐賀県)より入手する。森林簿の情報を用いて、土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化する。

発電所構内の植生データについては、発電所内の樹木を管理している緑地図を用いる。

また、発電所構内及び発電所周辺の植生データについて、現地調査し、FARSITE 入力データとしての妥当性を確認のうえ植生区分を設定する。

(d) 気象データ

現地にて起こり得る最も厳しい条件を検討するため、枝去木、唐津、平戸の過去 10 年間の気象データのうち、佐賀県で発生した森林火災の実績より、発生頻度が高

い 2 月から 5 月の気象条件（最多風向、最大風速、最高気温及び最小湿度）の最も厳しい条件を用いる。

d. 延焼速度及び火線強度の算出

ホイヘンスの原理に基づく火炎の拡大モデルを用いて延焼速度（ $1.23\text{m/s}$ （発火点 1））や火線強度（ $14,750\text{kW/m}$ （発火点 1））を算出する。

e. 火炎到達時間による消火活動

延焼速度より、発火点から防火帯までの火炎到達時間<sup>注1</sup>（46分（発火点 2））を算出し、森林火災が防火帯に到達するまでの間に発電所に常駐している自衛消防隊による屋外消火栓等を用いた消火活動が可能であり、万が一の飛び火等による火炎の延焼を防止することで外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、防火帯の外側にあるクラス 3 施設としては、モニタリングポスト等があり、火災発生時は、化学消防自動車、小型動力ポンプ付水槽車による消火活動及び代替設備（可搬型モニタリングポスト、可搬型エリアモニタ）の確保が可能な設計とする。

注 1：火炎が防火帯に到達する時間

f. 防火帯幅の設定

FARSITE から出力される最大火線強度（ $14,750\text{kW/m}$ （発火点 1））<sup>注 1</sup>により算出される防火帯幅  $29.7\text{m}$  に対し、約  $35\text{m}$  の防火帯幅を確保することにより外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

防火帯は延焼防止効果を損なわない設計とし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とする。

設置する防火帯について、第 1.10.1 図に示す。

注 1：火線強度は反応強度と延焼速度の関連で算出されるため、延焼速度が速い発火点 1 が最大となることから発火点 1 の火線強度を用いて評価する。

- g. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

森林火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護等により、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、影響評価に用いる火炎輻射強度は、FARSITEから出力される反応強度から求める火炎輻射強度 ( $404\text{kW}/\text{m}^2$ )<sup>注1、2</sup>に安全側に余裕を考慮した  $500\text{kW}/\text{m}^2$  とする。

- (a) 火災の想定

i. 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し、離隔距離は最短距離とする。

ii. 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルとする。火炎の高さは燃焼半径の3倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出することにより火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとする。

iii. 気象条件は無風状態とする。

- (b) 使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

火炎輻射強度  $500\text{kW}/\text{m}^2$  に基づき算出する、防火帯の外縁（火炎側）から最も近く（約90m）に位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度  $200^\circ\text{C}$ <sup>注3</sup>以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (c) 海水ポンプへの熱影響



海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注1：保守的な入力データにより FARSITE で評価した火炎輻射強度

注2：火炎輻射強度は反応強度と比例することから反応強度が高い発火点1の火炎輻射強度を用いて評価する。

注3：火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度<sup>(16)</sup>

- h. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の危険距離の確保

森林火災の直接的な影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の危険距離について評価を実施し、防火帯の外縁（火炎側）からの離隔距離を火炎輻射強度  $500\text{kW}/\text{m}^2$ <sup>注1</sup> に基づき算出する危険距離以上確保することにより、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (a) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の危険距離の確保

火炎輻射強度  $500\text{kW}/\text{m}^2$  に基づき危険距離<sup>注2</sup>を算出し、防火帯の外縁（火炎側）から最も近くに位置する使用済燃料乾式貯蔵建屋までの距離（約90m）を危険距離以上確保することで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (b) 海水ポンプの危険距離の確保

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損な

わない設計とする。

注 1 : 「g. クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響」の評価に用いた値

注 2 : 発電所周囲に設置される防火帯の外縁(火炎側)からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の間に必要な離隔距離

(3) 近隣産業施設の火災・爆発

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、発電所敷地外 10km 以内の産業施設を抽出したうえで発電所との離隔距離を確保すること、及び、発電所敷地内で火災を発生させるおそれのある危険物タンク等を選定し、危険物タンク等の燃料量とクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響評価を行い、離隔距離の確保、障壁による防護及び貯蔵量低減対策等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 石油コンビナート施設等の影響

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート施設を調査した結果、当該施設は存在しないことを確認している。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は南東約 12km の唐津地区である。

発電所敷地外 10km 以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約 120m の山林の障壁があり、火災時の熱輻射及びガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約 1 km のところに一般国道 204 号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。

このため、一般国道 204 号線上で車両火災が発生したとしても、外部火災防護施設に影響はない。

b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の熱影響

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災による直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保、建屋による防護及び貯蔵量低減対策等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

発電所敷地内に設置している屋外の危険物タンク等を第 1.10.3 表及び第 1.10.2 図に示す。

(a) 火災の想定

- i. 危険物タンク等の貯蔵量は、危険物施設として許可された貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- ii. 離隔距離は、評価上厳しくなるようタンク等の位置からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- iii. 危険物タンク等の破損等による防油堤内の全面火災を想定する。
- iv. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。
- v. 気象条件は無風状態とする。

(b) 評価対象範囲

評価対象は、発電所敷地内の屋外に設置する引火等のおそれのある危険物タンク等とする。

なお、屋外に設置する危険物タンク等のうち、地下タンク貯蔵所は埋設しているため評価対象外とする。

また、燃料補給用のタンクローリについては、燃料補給時は監視人が立会を実施し、万が一の火災発生時は速やかに消火活動が可能であることから、評価対象から除外する。

- i 補助ボイラ燃料タンク
- ii 高温焼却炉用燃料タンク

(c) クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への熱影響

i 3 号炉原子炉周辺建屋及び燃料取替用水タンク建屋への熱影響

(i) 補助ボイラ燃料タンク

補助ボイラ燃料タンクを対象に火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ( $2,047\text{W}/\text{m}^2$ ) で 3 号炉原子炉周辺建屋外壁が昇温されるものとして、算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度  $200^\circ\text{C}$ <sup>注1</sup> 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。許容温度を上回る場合は、貯蔵量低減対策を実施し、許容温度を下回る設計とする。

(ii) 高温焼却炉燃料タンク

高温焼却炉燃料タンクを対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度 ( $3,910\text{W}/\text{m}^2$ ) で燃料取替用水タンク建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度  $200^\circ\text{C}$ <sup>注1</sup> 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。許容温度を上回る場合は、貯蔵量低減対策を実施し、許容温度を下回る設計とする。

ii 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、海水ポンプモータの上端部は地面より下に位置しているため、EL. +11m 以上に設置している屋外の危険物タンク等との間には、高低差があり、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、

海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注 1 : 火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度<sup>(16)</sup>

(4) 航空機墜落による火災

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、航空機墜落による火災について落下カテゴリ毎に選定した航空機を対象に、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。また、航空機落下による火災と発電所敷地内の危険物タンク等による火災の重畳を考慮する設計とする。

a. 対象航空機の選定方法

航空機落下確率評価においては、過去の日本国内における航空機落下事故の実績をもとに、落下事故を航空機の種類及び飛行形態に応じてカテゴリに分類し、カテゴリ毎に落下確率を求める。ここで、落下事故の実績がないカテゴリの事故件数は保守的に 0.5 回として扱う。また、カテゴリ毎の対象航空機の民間航空機と自衛隊機又は米軍機では、訓練中の事故等、その発生状況が必ずしも同一ではなく、自衛隊機又は米軍機の中でも機種によって飛行形態が同一ではないと考えられ、かつ、民間航空機では火災影響は評価対象航空機の燃料積載量に大きく依存すると考えられる。これらを踏まえて選定した落下事故のカテゴリと対象航空機を第 1.10.4 表に示す。

b. 航空機墜落による火災の想定

- (a) 航空機は、発電所における航空機墜落評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- (b) 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- (c) 航空機の墜落によって燃料に着火し火災が起こるこ

とを想定する。

- (d) 気象条件は無風状態とする。
- (e) 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

c. 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって発電用原子炉施設を中心にして墜落確率が $10^{-7}$ （回／炉・年）以上になる範囲のうち発電用原子炉施設への影響が最も厳しくなる区域に設置するクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設とする。

カテゴリ毎の対象航空機の離隔距離を第1.10.4表に示す。

d. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

(a) 建屋への熱影響

落下事故のカテゴリ毎に選定した航空機を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 $200^{\circ}\text{C}$ <sup>注1</sup>以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

カテゴリ毎の対象航空機の輻射強度を第1.10.4表に示す。

(b) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

e. 航空機墜落に起因する敷地内危険物タンク等の火災の

## 熱影響

航空機墜落による火災のうち評価結果が最も厳しい大型民間航空機の B747-400 と、B747-400 墜落による火災が発生した場合に燃焼する可能性のある敷地内危険物タンク等のうち評価結果が最も厳しい 1, 2 号炉補助ボイラ燃料タンクについて、同時に火災が発生した場合を想定し、火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度 200℃<sup>注 1</sup> 以下とすることで、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

注 1：火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度<sup>(16)</sup>

### (5) 発電所港湾内に入港する船舶火災の熱影響

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」を参照し、荷揚岸壁に停泊する船舶を選定し、船舶の燃料量とクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設との離隔距離を考慮して、輻射強度が最大となる火災を設定し、直接的な影響を受けるクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設への影響評価を実施し、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

対象の船舶を第 1.10.5 表及び第 1.10.3 図に示す。

#### a. 火災の想定

- (a) 燃料保有量は満積とした状態とする。
- (b) 離隔距離は、評価上厳しくなるよう荷揚岸壁からクラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設までの直線距離とする。
- (c) 船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定する。
- (d) 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の 3 倍とする。

(e) 気象条件は無風状態とする。

b. 評価対象範囲

発電所港湾内に入港し荷揚岸壁に停泊する、大型の船舶である燃料等輸送船の火災により影響を受けるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設を評価対象とする。

c. クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設への熱影響

(a) 使用済燃料乾式貯蔵建屋への熱影響

燃料等輸送船を対象に火災が発生してから燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度（ $105.8\text{W}/\text{m}^2$ ）で3号炉原子炉周辺建屋外壁が昇温されるものとして算出する建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度をコンクリート許容温度  $200^\circ\text{C}$ <sup>注1</sup>以下とすることで、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 海水ポンプへの熱影響

海水ポンプは海水ピット内に設置されており、燃料等輸送船の火災時に直接熱影響を受けないように配置上の考慮を行うことにより、海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

注1：火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度<sup>(16)</sup>

(6) 二次的影響（ばい煙等）

外部火災による二次的影響として、ばい煙等による影響を抽出し、安全機能が損なわれるおそれがある構築物、系統及び機器として外気を取り込むクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設を抽出したうえで、第1.10.6表の分類のとおり評価を行い、必要な場合は対策を実施するこ



とでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

a. 換気空調設備

外気を取り入れている換気空調設備として、安全補機開閉器室空調装置、ディーゼル発電機室換気装置、中央制御室換気空調設備、中間補機棟空調装置、主蒸気主給水管室空調装置、出入管理室空調装置、試料採取室空調装置、燃料取扱棟空調装置、廃棄物処理建屋空調装置、補助建屋空調装置及び格納容器空調装置がある。

外部火災発生時のばい煙については、数 $\mu\text{m}$ 以上のものを想定しており、これらの外気取入口には平型フィルタ（主として粒径が $5\mu\text{m}$ より大きい粒子を除去）を設置しているため、ばい煙が外気取入口に到達した場合であっても、一定以上の粒径のばい煙粒子については、平型フィルタにより侵入を阻止することでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、主蒸気主給水管室空調装置等は、外気取入ダンパを閉止し、外気取入れを遮断することでクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、中央制御室換気空調設備及び代替緊急時対策所換気設備については、外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、クラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. ディーゼル発電機

ディーゼル発電機機関の吸気消音器に付属するフィルタ（粒径  $120\mu\text{m}$  以上において約 90% 捕獲）で比較的大粒径のばい煙粒子が捕獲され、粒径数  $\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$  程度のばい煙粒子が過給機、空気冷却器に侵入するものの、機器の隙間はばい煙粒子に比べて十分大きく、閉塞に至ることを防止することでディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

c. 海水ポンプ

海水ポンプモータは電動機本体を全閉構造とし、空気冷却器を電動機の側面に設置して電動機内部に外気を直接取り込まない全閉外扇形の冷却方式であるため、ばい煙が電動機内部に侵入することはない。

また、空気冷却器冷却管の内径は約  $17\text{mm}$  であり、ばい煙粒子の粒径はこれに比べて十分に小さく、閉塞を防止することにより海水ポンプの安全機能を損なわない設計とする。

d. 主蒸気逃がし弁、排気筒等

主蒸気逃がし弁は、建屋外部に排気管を有する設備であるが、ばい煙が排気管内に侵入した場合でも、主蒸気逃がし弁の吹出力が十分大きいいため、微小なばい煙粒子は吹き出されることにより主蒸気逃がし弁の安全機能を損なわない設計とする。

また、排気筒及び主蒸気安全弁については、主蒸気逃がし弁と同様に、建屋外部の配管にばい煙が侵入した場合でも、その動作時には侵入したばい煙は吹き出されることにより排気筒及び主蒸気安全弁の安全機能を損なわない設計とする。

e. 安全保護系計装盤

安全保護系計装盤が設置されている部屋は、安全補機開閉器室空調装置にて空調管理されており、本空調装置の外気取入口には平型フィルタ（主として粒径が  $5\mu\text{m}$  よ

り大きい粒子を除去)が設置されているが、これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタ(主として粒径が5 $\mu$ mより小さい粒子を除去)が設置されている。このため、ばい煙に対する防護性能は他の換気空調設備に比べて高いことから、室内に侵入したばい煙は粒径が極めて細かな粒子である。

したがって、極めて細かな粒子のばい煙が侵入した場合において、ばい煙の付着による短絡等を発生させる可能性は小さいことにより安全保護系計装盤の安全機能を損なわない設計とする。

#### f. 制御用空気圧縮機

制御用空気圧縮機が設置されている部屋は、中間補機棟換気装置にて空調管理されており、本換気装置の外気取入口には平型フィルタ(主として粒径が5 $\mu$ mより大きい粒子を除去)が設置されているが、これに加えて下流側にさらに細かな粒子を捕獲可能な粗フィルタ(主として粒径が5 $\mu$ mより小さい粒子を除去)が設置されている。このため、ばい煙に対する防護性能は他の換気空調設備に比べて高いことから、室内に侵入したばい煙は粒径が極めて細かな粒子である。

したがって、ばい煙が侵入した場合にも、ばい煙の付着により機器内の損傷を発生させる可能性は小さいことにより制御用空気圧縮機の安全機能を損なわない設計とする。

### (7) 有毒ガスの影響

#### a. 有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響評価

有毒ガスの発生に伴う居住空間への影響については、中央制御室換気空調設備及び代替緊急時対策所換気設備における外気取入遮断時の室内に滞在する人員の環境劣化防止のため、酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響評価を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

外気を取り入れている換気空調設備として、安全補機

開閉器室空調装置、ディーゼル発電機室換気装置、中央制御室換気空調設備、中央補機棟空調装置、主蒸気主給水管室空調装置、出入管理室空調装置、試料採取室空調装置、燃料取扱棟空調装置、廃棄物処理建屋空調装置、補助建屋空調装置及び格納容器空調装置がある。

このうち、外気取入ダンパが設置されており閉回路循環運転が可能である中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置については、外気取入ダンパを閉止し、閉回路循環運転を行うことによりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

中央制御室換気空調設備、安全補機開閉器室空調装置及び中間補機棟空調装置以外の換気空調設備については、空調ファンを停止すること等によりクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

b. 発電所周辺地域からの有毒ガス影響評価

発電所周辺地域には、以下の交通運輸状況及び産業施設がある。

発電所周辺地域の主要道路としては、一般国道204号線がある。

鉄道路線としては、唐津市をJR唐津線が通っており、発電所の南東方向約13kmに最寄りの西唐津駅がある。

一般航路は発電所から離隔距離が確保されている。また、燃料輸送船が発電所港湾内に入港する。

発電所周辺の石油コンビナート施設等については、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート施設は存在しない。なお、発電所に最も近い石油コンビナート地区は南東約12kmの唐津地区である。

これらの主要道路、鉄道路線、一般航路及び石油コンビナート施設等は、発電所から離隔距離が確保されており、危険物を積載した車両及び船舶を含む事故等による発電所への有毒ガスを考慮する必要はない。

### 1.10.2 体制

火災発生時の発電用原子炉施設の保全のための活動を行うため、連絡責任者、運転員及び専属消防隊が常駐するとともに、火災発生時には、所員により編成する自衛消防組織を所長の判断により設置する。

自衛消防組織の組織体制を第1.10.4図に示す。

### 1.10.3 手順等

外部火災における手順等については、火災発生時の対応、防火帯の維持・管理並びにばい煙及び有毒ガス発生時の対応を適切に実施するための対策を火災防護計画に定める。

- (1) 防火帯の維持・管理においては、手順等を整備し、実施する。
- (2) 初期消火活動においては、手順を整備し、火災発生現場の確認、中央制御室への連絡、消火栓、化学消防自動車及び小型動力ポンプ付水槽車等を用いた初期消火活動を実施する。
- (3) 外部火災によるばい煙発生時には、外気取入口に設置している平型フィルタの交換、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内へのばい煙の侵入を阻止する。
- (4) 外部火災による有毒ガス発生時には、外気取入ダンパの閉止、換気空調設備の停止又は閉回路循環運転により、建屋内への有毒ガスの侵入を阻止する。

第 1.10.1 表 外部火災にて想定する火災

火災種別	考慮すべき火災
森林火災	発電所敷地外10km以内に発火点を設定した発電所に迫る火災
近隣の産業施設の火災・爆発	発電所敷地外10km以内に存在する石油コンビナート施設等の火災・爆発
	発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災
航空機墜落による火災	発電所敷地内への航空機墜落時の火災
船舶の火災	発電所港湾内に入港する船舶の火災

第 1.10.2 表 外部火災防護施設

1. 火災の直接的な影響を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する施設を内包する建屋	原子炉格納容器 原子炉補助建屋 原子炉周辺建屋 燃料取替用水タンク建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと、火元からの離隔距離及び障壁等で防護
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する屋外施設	海水ポンプ ※消火活動による防護手段を期待しない条件のもと火災時に直接熱影響を受けないよう配置上の考慮を行うことにより防護
安全機能の重要度分類 「クラス3」に属する施設	タービン建屋 開閉所 固体廃棄物貯蔵庫 モニタリングポスト他 ※建屋による防護、消火活動又は代替設備による必要な機能の確保等

2. 火災の二次的影響（ばい煙）を受ける施設

防護対象	外部火災防護施設
安全機能の重要度分類 「クラス1」「クラス2」に属する施設	換気空調設備 ディーゼル発電機 海水ポンプ 主蒸気逃がし弁、排気筒等 安全保護系計装盤 制御用空気圧縮機

第 1.10.3 表 発電所敷地内に設置している  
屋外の危険物タンク等設置状況

タンク名称	燃料	容量 (数量)	影響先	離隔 距離
補助ボイラ 燃料タンク	重油	500kℓ <sup>注1</sup> (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	48m
高温焼却炉 燃料タンク	重油	44.2kℓ <sup>注2</sup> (1基)	燃料取替用水タンク建屋	11m
油計量タンク	タービ ン油	133kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	67m
大容量空冷式 発電機用燃料タンク	重油	30kℓ (2基)	—注3	
燃料油貯油そう (3号炉)	重油	165kℓ (2基)		
燃料油貯油そう (4号炉)	重油	165kℓ (2基)		
燃料油貯蔵タンク	重油	200kℓ (4基)		
1、2号炉補助ボイラ 燃料タンク	重油	350kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	349m
油倉庫	軽油 ／ 重油等	10kℓ (1基)	3号炉原子炉周辺建屋	216m

注1 貯蔵量低減対策として、230kℓで管理している。

注2 貯蔵量低減対策として、8kℓで管理している。

注3 地下タンク貯蔵所のため、評価対象外とする。



第 1.10.4 表 落下事故のカテゴリと対象航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔 <sup>注 3</sup> 距離	輻射強度	
計器飛行方式 民間航空機	大型民間航空機	B747-400	109m	$1.8 \times 10^3$ W/m <sup>2</sup>	
有視界飛行方式 民間航空機					小型民間航空機 <sup>注 2</sup>
自衛隊機 又は 米軍機	訓練空域内 で訓練中及 び訓練空域 外を飛行中	空中給油機等、高 高度での巡航が想 定される大型固定	KC-767	197m	$3.9 \times 10^2$ W/m <sup>2</sup>
		その他の大型固定 翼機、小型固定翼 機及び回転翼機	F-15	37m	$1.3 \times 10^3$ W/m <sup>2</sup>
	基地－訓練空域間往復時	CH-47JA	26m	$1.6 \times 10^3$ W/m <sup>2</sup>	

注 1：有視界飛行方式民間航空機のうち、小型機の評価対象航空機は、自衛隊機又は米軍機の「基地－訓練空域間往復時」に包絡される。

注 2：計器飛行方式民間航空機の小型機は、原則として有視界飛行方式による飛行形態をとっていることから、有視界飛行方式として評価する。

注 3：離隔距離の設定にあたり、落下実績がない場合は、保守的に 0.5 回を用いた。

第 1.10.5 表 荷揚岸壁に停泊する船舶

船舶	燃料	容量	影響先	離隔距離
燃料等輸送船	重油	560kℓ	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	475m

第 1.10.6 表 ばい煙による影響評価


	分類	影響評価設備
機器への影響	外気を取り入れる空調設備	換気空調設備
	外気を設備内に取り込む機器	ディーゼル発電機
		海水ポンプ
		主蒸気逃がし弁、排気筒等
	室内の空気を取り込む機器	安全保護系計装盤
制御用空気圧縮機		



第 1.10.1 図 防火帯設置図

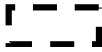


第 1.10.2 図 危険物タンク等配置図

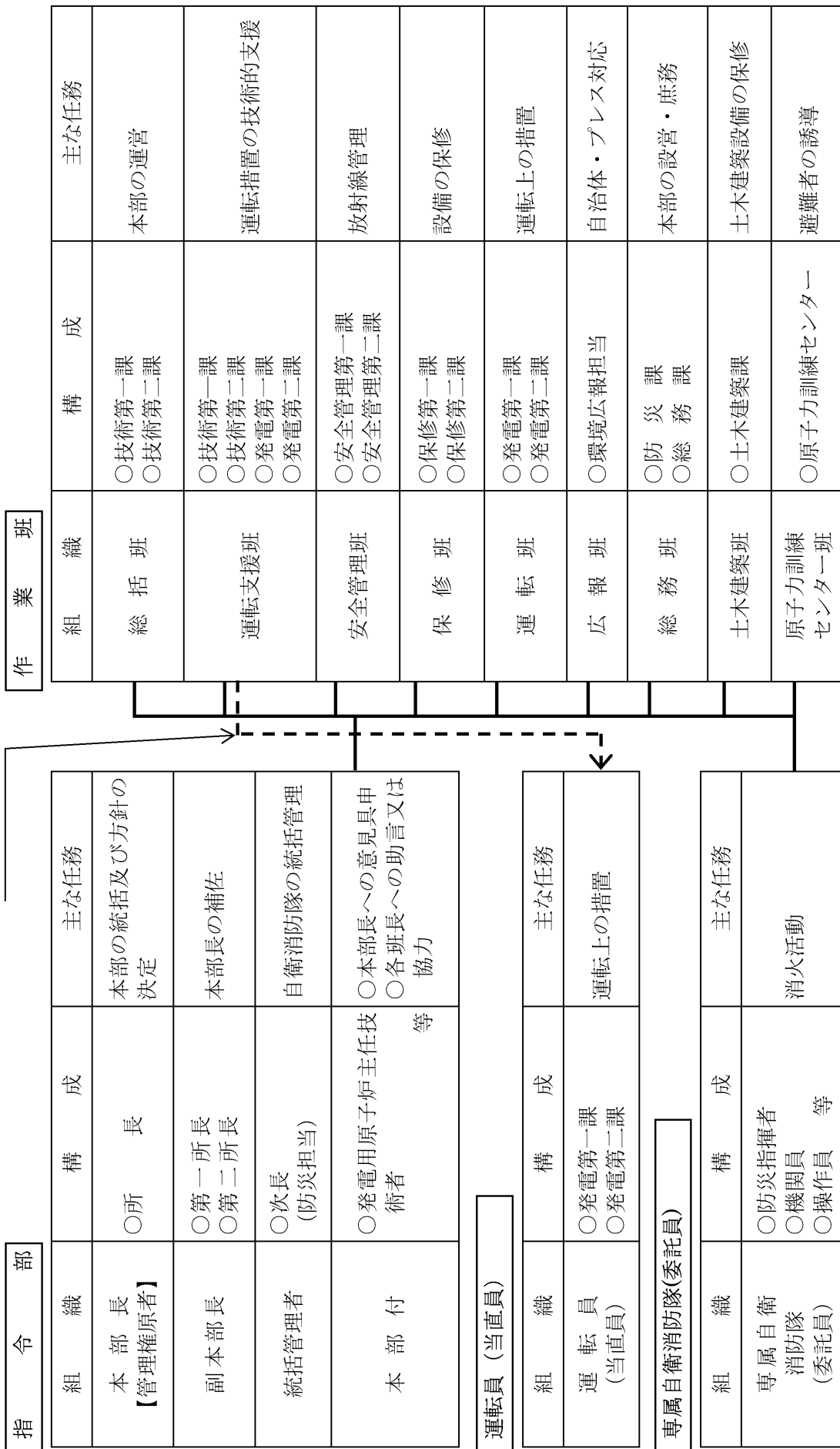
: 防護上の観点から公開できません



第 1.10.3 図 船舶配置図

 : 防護上の観点から公開できません

技術的支援



第 1.10.4 図 自衛消防組織体制図

### (3) 適合性説明

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第六条 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

#### 適合のための設計方針

##### 1 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地で想定される自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわない設計とする。

##### 3 について

安全施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋は、発電所敷地又はその周辺で想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

#### 4 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災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。ここで、発電所敷地で想定される自然現象のうち竜巻及び森林火災に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。また、発電所敷地で想定される自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として使用済燃料乾式貯蔵容器で生じ得る環境条件を考慮する。

以下にこれら自然現象に対する設計方針を示す。

##### (1) 竜巻

使用済燃料乾式貯蔵容器は、兼用キャスク告示に定める最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、竜巻防護対策を行う。

###### a. 竜巻防護対策

設計飛来物が飛来し、竜巻防護施設が安全機能を損なわないように、以下の対策を行う。

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋により、使用済燃料乾式貯蔵容器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。

##### (2) 森林火災

森林火災については、過去10年間の気象条件を調査し、発電所から直線距離で10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション（FARSITE）を用いて影響評価を実施し、影響評価に基づいた防火帯幅を確保すること等により、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

#### 6 について

使用済燃料乾式貯蔵容器は、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある

る事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。ここで、発電所敷地又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なわないために必要な使用済燃料乾式貯蔵容器以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

#### (1) 爆 発

発電所敷地外10km以内の範囲において、爆発により安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、爆発による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、ガス爆発による爆風圧による影響を受けるおそれはない。

#### (2) 近隣工場等の火災

##### a. 石油コンビナート施設の火災

発電所敷地外10km以内の範囲において、火災により使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、火災による使用済燃料乾式貯蔵容器への影響については考慮する必要はない。

また、発電所敷地外10km以内の範囲において、石油コンビナート以外の産業施設を調査した結果、唐津市及び玄海町に主要な産業施設があるが、これらの産業施設は発電所からの離隔距離が確保されており、さらに、これらの産業施設と発電所の間には標高約120mの山林の障壁があり、火災時の熱放射による影響を受けるおそれはない。

発電用原子炉施設から南東へ約1kmのところへ一般国道204号線があるが、付近に石油コンビナート施設等はないことから、大量の危険物を輸送する可能性はない。このため、一般国道204号線上で車両火災が発生したとしても、使用済燃料乾式貯蔵容器に影響はない。

##### b. 発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災

発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災発生時の放射熱に



よるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

c. 航空機墜落による火災

発電所敷地内への航空機墜落に伴う火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

d. 発電所港湾内に入港する船舶の火災

発電所港湾内に入港する船舶の火災発生時の輻射熱によるクラス1及びクラス2に属する外部火災防護施設の建屋（垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所）の表面温度等を許容温度以下とすることにより、使用済燃料乾式貯蔵容器が安全機能を損なうことのない設計とする。

e. 二次的影響（ばい煙等）

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、石油コンビナート施設の火災、発電所敷地内に設置する危険物タンク等の火災、航空機墜落による火災及び発電所港湾内に入港する船舶の火災に伴うばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

### 1.13 参考文献

- (1) DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE (NEI-12-06 August 2012)
- (2) 「日本の自然災害」 国会資料編纂会 1998年
- (3) Specific Safety Guide(SSG-3) “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants” IAEA, April 2010
- (4) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(制定：平成25年6月19日)
- (5) NUREG/CR-2300 “PRA Procedures Guide”, NRC, January 1983
- (6) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」(制定：平成25年6月19日)
- (7) B. 5. b Phase2&3 Submittal Guideline

(NEI-06-12 December 2006) -2011.5 NRC 公表

- (8) ASME/ANS RA-Sa-2009 “Addenda to ASME/ANS RA-S-2008 Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications”
- (9) 「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」  
（社）日本電気協会 電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会 平成6年3月
- (10) 「原子力発電所の火災防護指針 JEAG4607-2010」  
（社）日本電気協会 2010
- (11) 「雷雨とメソ気象」大野久雄、東京堂出版、2001
- (12) 「一般気象学」小倉義光、東京大学出版会
- (13) 「広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）（資料2）」
- (14) 「シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状」武若耕司、  
コンクリート工学、vol.42、2004
- (15) 「火山環境における金属材料の腐食」出雲茂人、末吉秀一他、  
防食技術 Vol.39、1990
- (16) 「原田和典 建築火災のメカニズムと火災安全設計」  
財団法人 日本建築センター

## 1.2 気象等

変更なし

## 1.3 設備等

該当なし

外部火災に対する防護  
(使用済燃料乾式貯蔵容器)

## <目 次>

1. 基本方針
  - 1.1 基本事項
  - 1.2 想定する外部火災
  - 1.3 外部火災防護
2. 火災の熱影響評価
  - 2.1 各火災源からの熱影響評価について

### 資料

- － 1 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する船舶火災の熱影響評価について

## 1. 基本方針

### 1.1 基本事項

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）第6条において、外部からの衝撃による損傷の防止として、安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）又は人為事象（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないもの及び兼用キャスクは、想定される森林火災及び工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発・火災に対して安全機能を損なわないものでなければならないとされている。

このため、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下「ガイド」という。）に基づき外部火災影響評価を行い、外部火災により安全施設へ影響を与えないこと及び発電所敷地外で発生する火災の二次的影響に対する適切な防護対策が施されていることを評価する。

### 1.2 想定する外部火災

設置許可基準規則第6条において、敷地及び敷地周辺から想定される自然現象又は人為事象として森林火災、近隣産業施設の火災、爆発、航空機墜落による火災及び船舶の火災を挙げている。

このことから、想定する外部火災は以下のとおりとする。

- ・森林火災
- ・近隣産業施設の火災、爆発
- ・航空機墜落による火災
- ・船舶火災

なお、近隣産業施設の火災、爆発のうち石油コンビナート施設の火災及び爆発は、発電所敷地外 10 km以内の範囲において安全施設に影響を及ぼすような石油コンビナート施設はないため、安全施設への影響については考慮する必要はない。

### 1.3 外部火災防護

#### (1) 評価する外部火災防護施設

安全施設は、外部火災の影響を受けた場合、原子炉の安全性を確保するために必要な設計上の要求機能を喪失し、安全性の確保が困難となるおそれがあることから、安全機能を有する設備について外部火災に係る防護対象設備（以下「外部火災防護施設」という。）とする。

安全機能を有する設備としては、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類審査指針」という。）において、安全機能を有する設備とされるクラス1、2及び3に該当する構築物、系統及び機器が該当する。

また、ガイドでは発電所敷地外で発生する火災が原子炉施設（安全機能を

有する構築物、系統及び機器を内包するものに限る。)へ影響を与えないこと等を評価することとされており、使用済燃料乾式貯蔵施設は外部火災防護施設に該当する。

## (2) 影響評価の内容について

### a. 火災に対する直接的な影響評価について

外部火災防護施設のうち、高い信頼性を要求されるクラス1及び2に該当する構築物、系統及び機器については、消火活動等の防護手段を期待しない条件のもと、想定される外部火災に対して構築物固有の熱影響評価を実施する。具体的には、使用済燃料乾式貯蔵容器を設置する建屋については、建屋のコンクリート壁の耐性評価を実施し、建屋内の設備に影響を及ぼさないことを確認する。

### b. 二次的影響評価について

使用済燃料乾式貯蔵容器は外気を取り入れる設備でないため、ばい煙等発生時の二次的影響を受けない。

## 2. 火災の熱影響評価

### 2.1 各火災源からの熱影響評価について

外部火災の熱影響評価は、火災源の輻射強度、火災源からの距離及び外部火災防護施設の壁厚さを入力条件として評価する。各火災源の輻射強度については、既許可から変更は無い。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁厚さは、厚く1.0mである。

このため、各火災源から原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、原子炉補助建屋及び燃料取替用水タンク（以下「原子炉周辺建屋等」という。）のうち最も近接している建屋の距離と各火災源から使用済燃料乾式貯蔵建屋の距離を比較する。（表1、2）

また、図1、図2に火災源から外部火災防護施設との離隔距離を示す。

各火災源から原子炉周辺建屋等のうち最も近接している建屋の距離と各火災源から使用済燃料乾式貯蔵建屋の距離を比較し、森林火災及び船舶火災以外については、既許可の評価結果に包絡されることを確認した。森林火災について、既許可評価の入力条件である建屋までの離隔距離約400mに対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋は約90mとなり、離隔距離が短くなるが危険距離<sup>※</sup>35m以上の離隔が確保できていることから、既許可の評価結果に包絡されることを確認した。

船舶火災について、既許可評価の入力条件である建屋までの離隔距離795mに対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋は475mとなり、離隔距離が短くなるため、熱影響評価を実施する。（添付資料-1）

※防火帯外縁（火災側）から火災防護施設の間に必要な離隔距離

表 1 火災源から外部火災防護施設の離隔距離

	離隔距離 (m)	
	原子炉周辺建屋等	使用済燃料 乾式貯蔵施設
森林火災	400 (危険距離 : 35)	90
補助ボイラ燃料タンク	48	730
高温焼却炉燃料タンク	11	820
油計量タンク	67	610
1、2 号炉補助ボイラ燃料タンク	349	360
油倉庫	60	560
船舶	795	475



図 1 火災源から外部火災防護施設の離隔距離

┌──┐: 防護上の観点から公開できません

表 2 火災源から外部火災防護施設の離隔距離（航空機墜落）

カテゴリ		離隔距離（m）		対象 航空機	
		原子炉周辺建屋等	使用済燃料 乾式貯蔵施設		
計器飛行方式及び有視 界飛行方式民間航空機	大型民間航空機	109	201	B747 -400	
	小型民間航空機	75	166	—	
自衛隊機又 は米軍機	訓練空域 外飛行中	空中給油機等、高高度での巡航 が想定される大型固定翼機	197	308	KC-767
		その他の大型固定翼機、小型固 定翼機及び回転翼機	37	85	F-15
	基地－訓練空域間往復時	26	72	CH-47JA	



図 2 離隔距離の算出イメージ（代表例：72m）

┌──┐：防護上の観点から公開できません



使用済燃料乾式貯蔵施設に対する船舶火災の熱影響評価について

## 1. 評価対象船舶の想定について

評価対象船舶の想定については、既許可の評価条件から変更はなく、以下の通りとする。

発電所の港湾内に定期的に入港する大型船舶として燃料等輸送船があるため、この船舶が積載している燃料が接岸中に発火したことを想定し、以下の通りクラス2に属する使用済燃料乾式貯蔵施設への熱影響評価を実施した。

## 2. 燃料等輸送船火災時の熱影響評価について

### 2.1 火災の想定

火災を想定するうえで以下を考慮した。

- a. 燃料保有量は満積とした状態とする。
- b. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう発電所の荷揚岸壁からクラス2に属する使用済燃料乾式貯蔵施設までの直線距離とする。
- c. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。
- d. 船舶の燃料タンクの破損等による火災を想定し、燃焼面積は船舶の全長と船幅より四角形として算出する。
- e. 気象条件は無風状態とする。

### 2.2 評価要領

発電所の荷揚岸壁に接岸中の船舶で火災が発生することを想定し、使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁のうち、垂直外壁面及び天井スラブから選定した火災の輻射に対して最も厳しい箇所に対する熱影響評価を評価した。(図1)



図1 船舶と外部火災防護施設位置図

┌──┐: 防護上の観点から公開できません

## 2.3 影響評価

### (1) 評価に用いる諸元

評価に用いる諸元は表1に示すとおりである。

表1 評価に用いる諸元

		評価指標	
船舶の仕様等	燃料量 [m <sup>3</sup> ]	560	
	燃焼面積 [m <sup>2</sup> ]	1,650	
	離隔距離 [m]	使用済燃料 乾式貯蔵施設	475
燃料の物性値	火炎輻射強度 [W/m <sup>2</sup> ]	23,000	
	燃料密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	1,000	
	燃焼速度 [m/s]	3.5 × 10 <sup>-5</sup>	
	質量低下速度 [kg/m <sup>2</sup> ・s]	0.035	

### (2) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} \cong 3$ ,  $n = \frac{L}{R}$ ,  $A = (1+n)^2 + m^2$ ,  $B = (1-n)^2 + m^2$

$\phi$  : 形態係数、L : 離隔距離、H : 火炎高さ、R : 燃焼半径  
なお、燃焼半径 R と燃焼面積 S は次の関係式となる。

$$S = \pi R^2, R = (S / \pi)^{0.5}$$

### (3) 受熱側の輻射強度算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数を掛けた値となる。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 受熱側輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]、R<sub>f</sub> : 火炎輻射発散度 [W/m<sup>2</sup>]、 $\phi$  : 形態係数

### (4) 燃焼継続時間の算出

燃焼時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値となる。

$$t = V / (\pi R^2 \times v)$$

ただし  $v = M / \rho$

V : 燃料量 [m<sup>3</sup>]、v ( $v = M / \rho$ ) : 燃焼速度 [m/s]

M : 質量低下速度 [kg/m<sup>2</sup>・s]、 $\rho$  : 燃料密度 [kg/m<sup>3</sup>]

## (5) 外壁の温度評価

火災源からの輻射熱による外部火災防護施設への熱影響評価を行うに当たって、一次元非定常熱伝導方程式の解である半無限固体での温度評価式を用いて、外壁の温度を評価する。

条件として、受熱側の輻射強度は一定値で変化しないものと仮定し、外壁表面の対流熱損失は考慮しないものとする。

$$T = T_0 + \frac{2E\sqrt{\alpha_c t}}{\lambda_c} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\chi^2}{4\alpha_c t}\right) - \frac{\chi}{2\sqrt{\alpha_c t}} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2\sqrt{\alpha_c t}}\right) \right]$$

T : コンクリート温度 [°C]

T<sub>0</sub> : 初期温度 (50 [°C])

α<sub>c</sub> : コンクリート温度伝導率 (7.53 × 10<sup>-7</sup> [m<sup>2</sup>/s])

[α<sub>c</sub> = λ<sub>c</sub> / (ρ × C<sub>p</sub>)]

C<sub>p</sub> : コンクリート比熱 (963 [J/kgK])

ρ : コンクリート密度 (2,300 [kg/m<sup>3</sup>])

λ<sub>c</sub> : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/mK])

χ : コンクリート深さ [m]、E: 受熱側輻射強度 [W/m<sup>2</sup>]

t : 燃焼継続時間 [秒]

なお、本式は半無限固体を想定した温度評価式であるが、既許可の評価において、火災継続時間及び燃焼面積が大きい補助ボイラ燃料タンクにて外壁表面における温度上昇分の1%にあたる温度上昇となる深さ

$$\chi = (3.6(\alpha t)^{1/2}) \quad (\text{出典: 伝熱工学、東京大学出版会})$$

を算出すると約0.35mであり、外壁厚さを下回るため、本温度評価式が適用できる。(別紙1)

## 2.4 判断の考え方 (評価結果)

### (1) 使用済燃料乾式貯蔵施設外壁の耐性評価

「2.3 項(5) 外壁の温度評価」の評価式を適用し、火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁(垂直外壁面及び天井スラブから選定した、火災の輻射に対して最も厳しい箇所)が昇温されるものとしてコンクリートの表面の温度上昇を評価した結果、使用済燃料乾式貯蔵施設の外壁の表面の温度は約56°Cとなり、許容温度200°Cを下回ることを確認した。(図2) また、コンクリート外壁の裏面温度は初期温度の50°Cから上昇しないことを確認した。

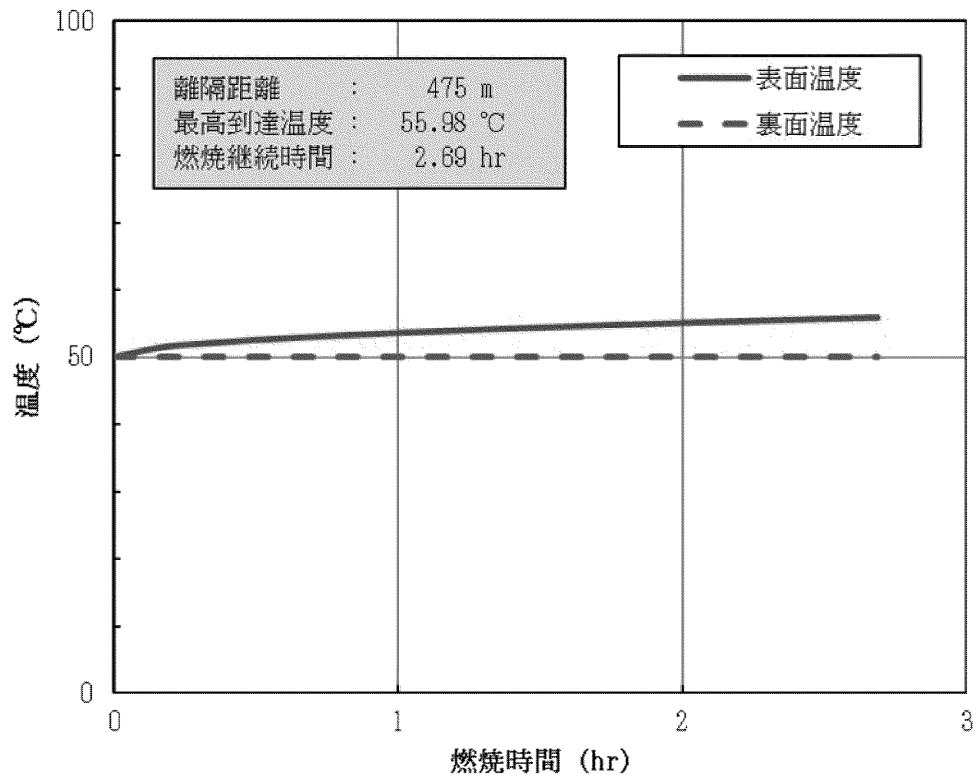


図2 使用済燃料乾式貯蔵施設外壁における温度上昇の評価結果

## コンクリート外壁温度評価式の適用性について

### 1. 温度浸透厚さについて

火災源からの輻射熱による外壁温度の評価にあたっては、半無限固体での温度評価式を用いて算出しているが、その温度評価式の適用性についてコンクリート厚さの観点より問題ないことを以下のとおり確認している。

外壁表面における温度上昇分の1%にあたる温度上昇となる深さ $\chi$ （温度浸透厚さ）を算出した。

$$\chi = 3.6 (\alpha t)^{1/2} \quad (\text{出典：伝熱工学、東京大学出版会})$$

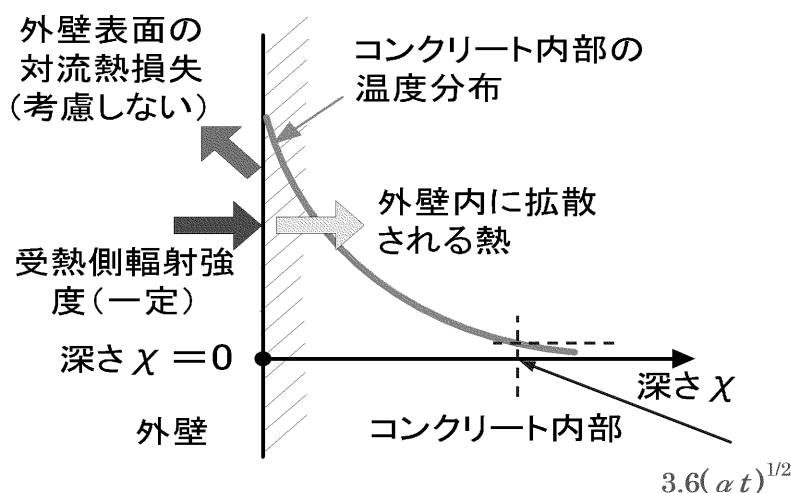


図1 外壁温度上昇評価モデル

外壁温度上昇が最も大きい補助ボイラ燃料タンクにて、深さ $\chi$ （温度浸透厚さ）を求めた結果、約0.35mとなり、外壁厚さ0.4mを下回ることから、本温度評価式の適用性に問題ないことを確認している。

「伝熱工学 東京大学出版会」では、熱伝導を問題にする際は、温度が伝わる領域が薄い場合は、物体の大きさが有限であっても半無限物体として扱えると記載している。

上記の文献では、半無限物体内の温度変化は、表面に近い一定の領域に限定され、表面温度の1%となる深さを温度浸透厚さと定義されている。

なお、温度浸透深さは「 $(\chi) = 3.6 (\alpha t)^{1/2}$ 」にて算出され、その深さ以上の物体であれば、半無限物体として扱っても問題ない。

温度の主たる変化は表面に近い一定の領域に限定されている。温度が表面温度の1%となる深さ $\chi$ を温度浸透厚さと定義すると、 $\chi$ は、ほぼ $3.6(\alpha t)^{1/2}$ である。

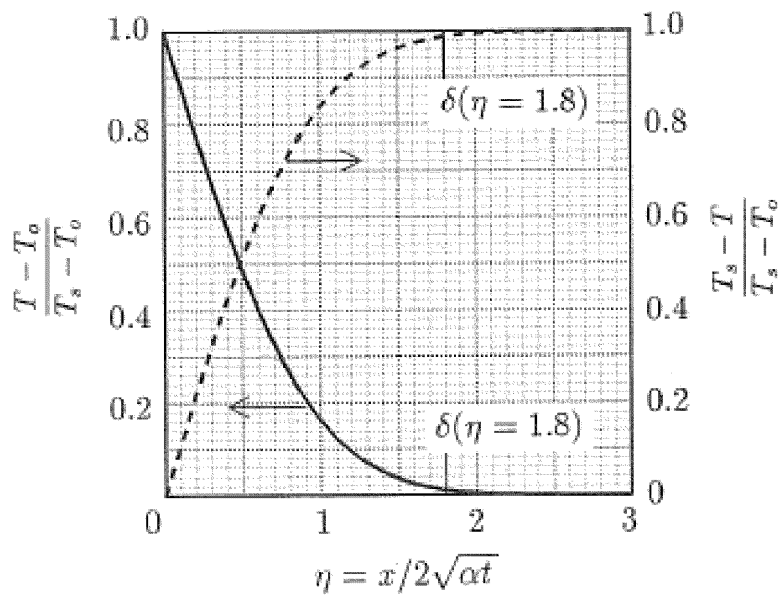


図2 半無限物体の温度分布

$(T - T_0) / (T_s - T_0)$  は、温度上昇を示しており、表面温度1%とは、縦軸の0.01のことを示し、横軸 $\eta = \text{約} 1.8$ となる。

$$\eta = \frac{\chi}{2\sqrt{\alpha t}}$$

に代入すると次のようになり、

$$1.8 = \chi / (2\sqrt{\alpha t})$$

整理すると、前頁の式 $\chi = 3.6(\alpha t)^{1/2}$ となる。  
数値を代入すると

$$\chi = 3.6 \times (7.86 \times 10^{-7} \times 1.20 \times 10^4)^{1/2} = 3.50 \times 10^{-1} \text{ m} \doteq 0.40 \text{ m}$$

$\alpha$  : コンクリート温度伝導率 ( $7.86 \times 10^{-7} \text{ [m}^2/\text{s]}$ )  
 $[\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)]$   
 $C_p$  : コンクリート比熱 ( $963 \text{ [J/kgK]}$ )、 $\rho$  : コンクリート密度 ( $2,300 \text{ [kg/m}^3]$ )  
 $\lambda$  : コンクリート熱伝導率 ( $1.74 \text{ [W/mK]}$ )、 $t$  : 燃焼継続時間 ( $1.20 \times 10^4 \text{ [秒]}$ )

## 2. 建屋外壁表面温度の評価式について

図3に示すように始め一様な温度 $T_0$ にあった半無限物体の表面の温度をあ

る瞬間から温度  $T_s$  に保持したとし、内部発熱がなく、物性を一定とすると熱伝導方程式は以下のようになる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

初期条件： $t = 0$  で  $T = T_0$ 、境界条件： $x = 0$  で  $T = T_s$ 、 $x = \infty$  で  $T = T_0$  とする。この方程式を差分形式で表記すると以下のようになる。

$$T_i^{n+1} = \frac{2r}{1+2r} T_{i+1}^{n+1} + \frac{1}{1+2r} \cdot \frac{2r\Delta x}{\lambda} q_s + \frac{1}{1+2r} T_i^n$$

なお、上記の熱伝導方程式を有限厚さにおける差分式で表して評価した温度分布と次式の外壁温度評価式の解析解を比較した結果、図4に示すように一致しており評価に使用できることを確認した。

$$T = T_0 + \frac{2 \times q \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{\chi^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right]$$

- $T_0$  : 初期温度
- $q$  : 輻射強度 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- $\alpha$  : コンクリート温度伝導率  
[ $\alpha = \lambda / (\rho \times C_p)$ ]
- $C_p$  : コンクリート比熱
- $\rho$  : コンクリート密度
- $\lambda$  : コンクリート熱伝導率
- $\chi$  : コンクリート深さ [m]
- $t$  : 燃焼継続時間 [秒]



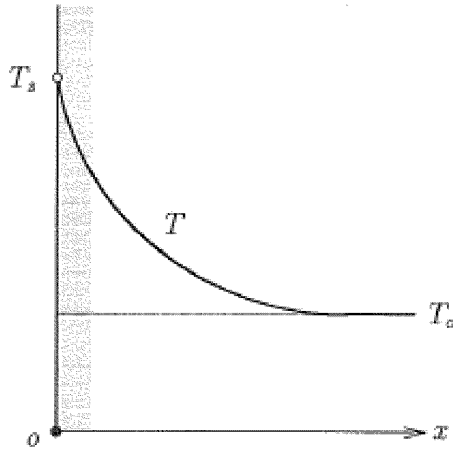


図3 半無限固体の熱伝導

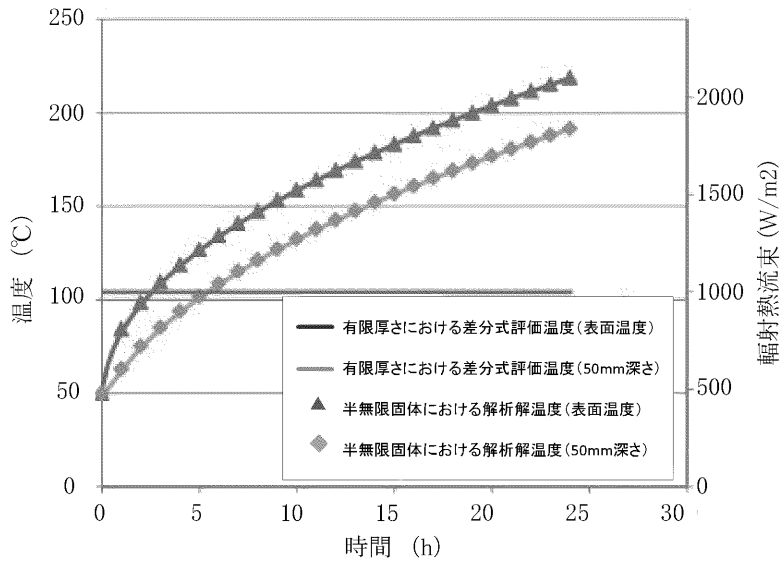


図4 半無限固体における解析解と有限厚さにおける差分式評価温度の比較

## 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

(別添資料)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（使用済燃料乾式貯蔵施設）

## 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

#### ロ 発電用原子炉施設の一般構造

#### A. 3号炉

#### (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、以下の基本的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熔融せず、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へい能力を有し、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へい能力を有し、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熔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

ピットから水が漏えいした場合において、水の漏え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。

使用済燃料貯蔵設備から再処理工場への使用済燃料の搬出には、使用済燃料輸送容器を使用する。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した使用済燃料の崩壊熱を自然冷却によって外部に放出できる設計とするとともに、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいすることができる設計とする。また、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とともに、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臨界に達するおそれのない設計とする。

また、1号炉、2号炉、3号炉又は4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、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬して貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて再処理工場へ搬出する。

## B. 4 号 炉

### (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、以下の基本的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、使用済燃料からの放射線に対して適切な遮へい能力を有し、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、使用済燃料からの放射線に対して適切な遮へい能力を有し、貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであって、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有し、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出した場合において、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。

使用済燃料貯蔵設備から再処理工場への使用済燃料の搬出には、使用済燃料輸送容器を使用する。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した使用済燃料の崩壊熱を自然冷却によって外部に放出できる設計とするとともに、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいすることができる設計とする。また、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とともに、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臨界に達するおそれのない設計とする。

また、1号炉、2号炉、3号炉又は4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、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬して貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて再処理工場へ搬出する。

## ニ．核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造及び設備

### A．3号炉

#### (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、燃料取替装置、燃料移送装置（一部3号及び4号炉共用）及び除染装置（3号及び4号炉共用）で構成する。

ウラン新燃料は、燃料取扱棟内の新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備から燃料取扱設備により、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燃料取扱設備により使用済燃料貯蔵設備に移し、ここから燃料取扱設備により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へ移送し、同棟内の使用済燃料貯蔵設備（一部3号及び4号炉共用）のほう酸水中に貯蔵する。

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。

(2) 核燃料物質貯蔵設備の構造及び貯蔵能力

(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及び周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号、3号及び4号炉共用）等からなる。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料の収納後にその内部を乾燥させ、使用済燃料を不活性ガスとともに封入する金属製の容器であり、容器本体、蓋部（二重）及びバスケット等で構成する。使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵架台を用いて基礎ボルトで基礎に固定する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器を貯蔵し、自然冷却のための給排気口を設けた鉄筋コンクリート造の建屋である。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した使用済燃料の崩壊熱を自然冷却によって外部に放出できる設計とするとともに、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいすることができる設計とする。また、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とともに、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臨界に達するおそれのない設計とする。

b. 貯蔵能力

全炉心燃料の約500%相当分（1号、2号、3号及び4号炉共用）とする。

B. 4号炉

(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、燃料取替装置、燃料移送装置（一部4号炉燃料取扱棟内1号、2号及び4号炉共用、並びに一部3号炉燃料取扱棟内3号及び4号炉共用）及び除染装置（4号炉燃料取扱棟内1号、2号及び4号炉共用、並びに3号炉燃料取扱棟内3号及び4号炉共用）で構成する。

新燃料は、燃料取扱棟内の新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備から燃料取扱設備により、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（1号炉及び2号炉の燃料集合体最高燃焼度55,000MWd/tのものを含む。）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へ移送し、同棟内の使用済燃料貯蔵設備（一部1号、2号及び4号炉共用）のほう酸水中に貯蔵するとともに、7年以上冷却した4号炉の使用済燃料については、必要に応じて3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料貯蔵設備（一部3号及び4号炉共用）のほう酸水中に貯蔵する。

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。

(2) 核燃料物質貯蔵設備の構造及び貯蔵能力

(iii) 使用済燃料乾式貯蔵施設

3号炉に同じ。

(2) 安全設計方針

該当なし

(3) 適合性説明

(3号炉)

(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。

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、使用済燃料に加え、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、容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、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へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。

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、放射性物質を適切に閉じ込めることができ、閉じ込め機能を適切に監視できる設計とする。

(4号炉)

(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。

## 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 使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、使用済燃料に加え、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、容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、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へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。
- 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、放射性物質を適切に閉じ込めることができ、閉じ込め機能を適切に監視できる設計とする。

#### 1.2 気象等

該当なし

#### 1.3 設備等

(3号炉)

#### 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、燃料取替チャン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、遮へい及び冷却のため、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。

使用済燃料のうち、十分に冷却（15年以上冷却）した使用済燃料は、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、ヘリウムガスを封入後、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬する。使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器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並びに遮へい機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた配置の条件又は範囲を逸脱しないことを、あらかじめ確認する。使用済燃料乾式貯蔵施設では、周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車を使用して使用済燃料乾式貯蔵容器を貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて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

(3) 新燃料貯蔵設備は、1回の燃料取替えに必要なとする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有し、また、使用済燃料貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要なとする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。

(6) 使用済燃料設備は、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容器は、設計上想定される状態において自然冷却によって使用済燃料の崩壊熱を外部に放出し、使用済燃料の温度を、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持するとともに、使用済燃料乾式貯蔵容器の温度を、基本的安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度は、周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計及

び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計により適切な頻度で監視する設計とする。

- (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 3,100ppm 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、設計上想定される状態において、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。

- (9) 使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵施設内では蓋部を開放することなく、かつ、設計上想定される状態において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。また、圧力容器として、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」のクラス 3 容器に適合する設計とし、



閉じ込め機能を周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により適切に監視することができる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力を適切な頻度で監視する設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計上想定される状態において、一次蓋及び二次蓋が開放可能であり、使用済燃料の燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、使用済燃料の過度な変形が生じない設計とする。また、閉じ込め機能の異常に対し、使用済燃料ピットへ移送し、燃料の取出しや詰替えを行うものとする。

- (10) 使用済燃料設備は、ほう素濃度 3,100ppm 以上のほう酸水で満たし、定期的には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、設計貯蔵期間（60 年）を通じて、設計上想定される状態において容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、使用済燃料の燃焼に伴う反応度低下を考慮せず、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。）以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

- (11) 3号炉及び4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、3号炉及び4号炉の使用済燃料の健全性を損なわない設計とする。

- (12) 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。上層部の鉄筋コンクリート壁は、基準地震動に対して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、ホイスト支柱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転倒防止金具爪について、保守的に吊荷なしの条件で、地震時の発生応力が、転倒防止金具爪、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、二重ワイヤ、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を走行できないように可動範囲を制限し、仮に脱落したとしても、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。また、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。

4.1.1.4 主要設備

(2) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピット（3号及び4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フォ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3,100ppm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、ほう酸濃

度3, 100ppm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。<sup>(1)</sup>

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するとともに、ウラン新燃料を一時的に仮置きすることもある。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。

使用済燃料ピットの貯蔵容量は、全炉心燃料の約870%相当分（3号及び4号炉共用）とする。

なお、使用済燃料ピットは、通常運転中は全炉心の燃料を貯蔵できる容量を確保する。

### (3) 除染場ピット

除染場ピット（3号及び4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等の除染を行う。

### (7) 燃料取扱棟クレーン

燃料取扱棟クレーン（3号及び4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等の移動を安全かつ確実にを行う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等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な設計とし、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。

### (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及び周辺施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号、3号及び4号炉共用）、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用

済燃料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車等）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、内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とし、使用済燃料乾式貯蔵容器と貯蔵架台を固定装置で固定し、貯蔵架台を基礎ボルトで基礎に固定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を担保する部材は、設計貯蔵期間（60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、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持する設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間（60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、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納する使用済燃料の健全性を確保する設計とするため、使用済燃料乾式貯蔵容器内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」第六条及び十一条を満たすものとし、取扱中の作業員の誤操作を想定しても「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」の基準を満足することで、安全機能を維持できる設計とする。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設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能をバスケットで担保しており、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ささない設計とする。

周辺施設のうち、貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎は、使用済燃料乾式貯蔵容器の直接支持構造物及び間接支持構造物として、基準地震動による地震力に対して使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、自然現象等に対し

て損壊しない設計とする。また、基準地震動による地震力に対して、貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への波及的影響を防止するよう損壊しない設計とする。なお、自然現象等に対して損壊しない設計とすることにより遮へい機能が著しく低下することはない。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するために、一般産業施設や公衆施設と同等の設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉用燃料を収納する容器と3号炉及び4号炉用燃料を収納する容器を合計40基配置できる容量とする。

a. 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）

（1号、2号、3号及び4号炉共用）

(a) 1号炉及び2号炉用燃料収納時（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 4.8wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 55,000MWd/t 以下

冷却年数 15 年以上

(b) 3号炉及び4号炉用燃料収納時（ウラン燃料）

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

（3号及び4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

なお、1号炉及び2号炉用燃料と3号炉及び4号炉用燃料を同一容器に収納しない。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）

（3号及び4号炉共用）

(a) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

(3号及び4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、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、使用済燃料乾式貯蔵容器の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。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器表面の線量当量率が 2 mSv/h 以下及び容器表面から 1 m 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線源強度を考慮して十分に遮へいできる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、二重の蓋及び金属ガasket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。なお、使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵中については緩衝体を設置しない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器内のバスケットにより、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し、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、乾式貯蔵施設内における使用済燃料貯蔵容器の配置及び相互の中性子干渉、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料の配置、中性子吸収材の製造公差及び中性子吸収に伴う原子個数密度の減少、減速材（水）の影響も含め、技術的に想定されるいかなる場合でも、実効増倍率を 0.95（解析上の不確定さを含む。）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（貯蔵架台を含む）はSクラスに分類したうえで、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実に行う天井走行形クレーンである。使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として、フックを二重ワイヤで保持し使用済燃料乾式貯蔵容器の落下を防止する対策を講じるとともに、浮き上がり防止機能を設け、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン自身の落下防止対策を講じる。また、その移動範囲を重量物の落下により貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすことがないように使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアのみに限定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアと使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリアの間において、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実に行う搬送台車である。使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として緊急停止できる機構を設けるとともに、人の誤操作等で逸走した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵容器が使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁及び他の使用済燃料乾式貯蔵容器等へ衝突しない構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器の蓋間圧力は、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により監視し、使用済燃料乾式貯蔵容器の表面温度は、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計により監視し、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の雰囲気温度は、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計で監視する。

#### 4.1.1.6 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。



#### 4.1.1.7 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等を定める。

- (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り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. 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

(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500%相当分 (使用済燃料乾式貯蔵容器40基分)
種 類	使用済燃料乾式貯蔵容器
	・タイプ1 (1号、2号、3号及び4号炉共用)
	最大収納体数 21
	主 要 寸 法 全長 約5.2m
	外 径 約2.6m
	・タイプ2 (3号及び4号炉共用)
	最大収納体数 24
	主 要 寸 法 全長 約5.2m
	外 径 約2.6m
	周辺施設
	・使用済燃料乾式貯蔵建屋 (1号、2号、3号)

及び4号炉共用)

・貯蔵架台

・基礎ボルト

・基礎

・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

・使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車

・使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計

・使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計

・使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計

( (1) ~ (13) は変更前の記載に同じ。 )

(4号炉)

#### 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。

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、燃料取替チャン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、遮へい及び冷却のため、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。

また、使用済燃料は必要に応じて使用済燃料ピットで7年以上冷却し、使用済燃料の再処理工場への輸送に使用する使用済燃料輸送容器に入れて3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピットに運搬する。

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。

使用済燃料のうち、十分に冷却（15年以上冷却）した使用済燃料は、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、ヘリウムガスを封入後、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬する。使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器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並びに遮へい機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた配置の条件又は範囲を逸脱しないことを、あらかじめ確認する。使用済燃料乾式貯蔵施設では、周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車を使用して使用済燃料乾式貯蔵容器を貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて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。

なお、使用済燃料ピット内に貯蔵する使用済燃料には、1号炉及び2号炉で使用した燃料集合体最高燃焼度 55,000MWd/t のものを含む。

燃料取扱設備は、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備のうち除染場ピット、燃料取扱棟内キャナル、使用済燃料ピットクレーン及び燃料取扱棟クレーンを共用する。3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備の概略は、3号炉添付書類八 第4.1.1図及び第4.1.2図に同じ。

さらに、貯蔵設備は3号炉燃料取扱棟内の貯蔵設備のうち使用済燃料ピット及びラックを共用する。

#### 4.1.1.2 設計方針

(3) 新燃料貯蔵設備は、1回の燃料取替えに必要なとする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有し、また、使用済燃料貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要なとする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。

(6) 使用済燃料設備は、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容器は、設計上想定される状態において自然冷却によって使用済燃料の崩壊熱を外部に放出し、使用済燃料の温度を、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持するとともに、使用済燃料乾式貯蔵容器の温度を、基本的安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度は、

周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計により適切な頻度で監視する設計とする。

- (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、燃料取替用水ピットからほう素濃度 2,500ppm 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、設計上想定される状態において、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。

- (9) 使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵施設内では蓋部を開放することなく、かつ、設計上想定される状態において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。また、圧力容器として、「発電用原子力設備規格 設計・

建設規格」のクラス3容器に適合する設計とし、閉じ込め機能を周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により適切に監視することができる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力を適切な頻度で監視する設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計上想定される状態において、一次蓋及び二次蓋が開放可能であり、使用済燃料の燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、使用済燃料の過度な変形が生じない設計とする。また、閉じ込め機能の異常に対し、使用済燃料ピットへ移送し、燃料の取出しや詰替えを行うものとする。

- (10) 使用済燃料設備は、ほう素濃度 2,500ppm 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、設計貯蔵期間（60 年）を通じて、設計上想定される状態において容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、使用済燃料の燃焼に伴う反応度低下を考慮せず、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。）以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

- (11) 1号炉、2号炉及び4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号炉、2号炉及び4号炉の使用済燃料の健全性を損なわない設計とする。

- (12) 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。上層部の鉄筋コンクリート壁は、基準地震動に対して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、ホイスト支柱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転倒防止金具爪について、保守的に吊荷なしの条件で、地震時の発生応力が、転倒防止金具爪、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、二重ワイヤ、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を走行できないように可動範囲を制限し、仮に脱落したとしても、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。また、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。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の設計方針は、3号炉添付書類八 4.1.1.2 設計方針に同じとし、耐震設計については3号炉の耐震設計方針に基づく設計とする。

4.1.1.4 主要設備

(2) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピット（1号、2号及び4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フォ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、燃料取替用水ピットから、ほう素濃度2,500ppm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



を鉛直に保持し、ほう酸濃度2,500ppm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スタ等を貯蔵するとともに、新燃料を一時的に仮置きすることもある。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。

また、3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピット（3号及び4号炉共用、一部既設）は、3号炉添付書類八 4.1.1.4(2) 使用済燃料ピットに同じ。

4号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピットの貯蔵容量は、全炉心燃料の約490%相当分並びに全炉心燃料の約290%相当分（1号、2号及び4号炉共用）とし、3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピットの貯蔵容量は、全炉心燃料の約870%相当分（3号及び4号炉共用、一部既設）とする。

なお、使用済燃料ピットは、通常運転中は全炉心の燃料を貯蔵できる容量を確保する。

### (3) 除染場ピット

除染場ピット（1号、2号及び4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等の除染を行う。

また、3号炉燃料取扱棟内の除染場ピット（3号及び4号炉共用、既設）は、3号炉添付書類八 4.1.1.4(3) 除染場ピットに同じ。

### (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4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等の移動を安全かつ確実にを行う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等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。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱棟クレーン（3号及び4号炉共用、既設）は、3号炉添付書類八 4.1.1.4（7）燃料取扱棟クレーンに同じ。

(13) 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及び周辺施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号、3号及び4号炉共用）、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車等）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、内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とし、使用済燃料乾式貯蔵容器と貯蔵架台を固定装置で固定し、貯蔵架台を基礎ボルトで基礎に固定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を担保する部材は、設計貯蔵期間（60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、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持する設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間（60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、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納する使用済燃料の健全性を確保する設計とするため、使用済燃料乾式貯蔵容器内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」第六条及び十一条を満たすものとし、

取扱中の作業員の誤操作を想定しても「使用済燃料貯蔵施設規格  
金属キャスク構造規格」の基準を満足することで、安全機能を維持  
できる設計とする。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設計とする。また、使用済燃料  
乾式貯蔵容器の臨界防止機能をバスケットで担保しており、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  
こさない設計とする。

周辺施設のうち、貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎は、使用済燃料  
乾式貯蔵容器の直接支持構造物及び間接支持構造物として、基準地  
震動による地震力に対して使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能が損  
なわれるおそれがないよう設計する。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、自然現象等に対し  
て損壊しない設計とする。また、基準地震動による地震力に対して、  
貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への波及的影響を防止するよう損  
壊しない設計とする。なお、自然現象等に対して損壊しない設計と  
することにより遮へい機能が著しく低下することはない。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用済燃  
料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度  
計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵  
容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するた  
めに、一般産業施設や公衆施設と同等の設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉  
用燃料を収納する容器と3号炉炉及び4号炉用燃料を収納する容  
器を合計40基配置できる容量とする。

a. 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）

（1号、2号、3号及び4号炉共用）

(a) 1号炉及び2号炉用燃料収納時（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 4.8wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 55,000MWd/t 以下

冷却年数 15 年以上

(b) 3号炉及び4号炉用燃料収納時（ウラン燃料）

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

（3号及び4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

なお、1号炉及び2号炉用燃料と3号炉及び4号炉用燃料を同一

容器に収納しない。

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）

（3号及び4号炉共用）

(a) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

（3号及び4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、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、使用済燃料乾式貯蔵容器の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。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器表面の線量当量率が 2 mSv/h 以下及び容器表面から 1 m 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線源強度を考慮して十分に遮へいできる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、二重の蓋及び金属ガスカートによって漏えいを防止し、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。なお、使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵中については緩衝体を設置しない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器内のバスケットにより、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し、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、乾式貯蔵施設内における使用済燃料貯蔵容器の配置及び相互の中性子干渉、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料の配置、中性子吸収材の製造公差及び中性子吸収に伴う原子個数密度の減少、減速材（水）の影響も含め、技術的に想定されるいかなる場合でも、実効増倍率を0.95（解析上の不確定さを含む。）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（貯蔵架台を含む）はSクラスに分類したうえで、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実に行う天井走行形クレーンである。使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として、フックを二重ワイヤで保持し使用済燃料乾式貯蔵容器の落下を防止する対策を講じるとともに、浮き上がり防止機能を設け、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン自身の落下防止対策を講じる。また、その移動範囲を重量物の落下により貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすことがないように使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアのみに限定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアと使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリアの間において、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実に行う搬送台車である。使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として緊急停止できる機構を

設けるとともに、人の誤操作等で逸走した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵容器が使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁及び他の使用済燃料乾式貯蔵容器等へ衝突しない構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器の蓋間圧力は、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により監視し、使用済燃料乾式貯蔵容器の表面温度は、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計により監視し、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の雰囲気温度は、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計で監視する。

#### 4.1.1.6 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。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の試験検査は、3号炉添付書類八 4.1.1.6試験検査に同じ。

#### 4.1.1.7 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等を定める。

##### (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り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. 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。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の手順等は、3号炉添付書類八 4.1.1.7 手順等に同じ。

第 4.1.1 表 燃料取扱及び貯蔵設備の設備仕様

(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500%相当分 (使用済燃料乾式貯蔵容器40基分)
種 類	使用済燃料乾式貯蔵容器
	・タイプ1 (1号、2号、3号及び4号炉共用)
	最大収納体数 21
	主 要 寸 法 全長 約5.2m
	外 径 約2.6m
	・タイプ2 (3号及び4号炉共用)
	最大収納体数 24
	主 要 寸 法 全長 約5.2m
	外 径 約2.6m
	周辺施設
	・使用済燃料乾式貯蔵建屋 (1号、2号、3号 及び4号炉共用)
	・貯蔵架台
	・基礎ボルト
	・基礎
	・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン
	・使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車
	・使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計
	・使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計
	・使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計

((1) ~ (13) は変更前の記載に同じ。)

2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

(別紙)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設について(使用済燃料乾式貯蔵施設)



玄海原子力発電所 3 号炉及び 4 号炉  
燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設について  
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

## 目 次

1. 使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵容量について
2. 使用済燃料乾式貯蔵容器の構造について
3. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納条件について
4. 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計貯蔵期間について
5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について
  5. 1 閉じ込め機能
  5. 2 臨界防止機能
  5. 3 遮へい機能
  5. 4 除熱機能
6. 使用済燃料乾式貯蔵容器の長期健全性について
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
8. 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力等の監視について
9. 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
  9. 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
  9. 2 兼用キャスク及び周辺施設の設計

### 補足資料

- 補足 1 使用済燃料乾式貯蔵における燃料被覆管の健全性評価について

## 別添資料

- 別添 1 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（閉じ込め機能）
- 別添 2 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（臨界防止機能）
- 別添 3 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（遮蔽機能）
- 別添 4 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）

## 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 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 3 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
- 参考 4 解析条件等の比較（核燃料輸送物設計承認申請／設置変更許可申請）
- 参考 5 設置許可基準規則第 16 条第 1 項の取扱いについて
- 参考 6 輸送時（特別の試験条件）の遮蔽評価の概要
- 参考 7 乾式キャスクの真空乾燥について

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、全炉心燃料の最大約500%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（貯蔵容量1,672体）において全炉心燃料（193体）及び1回の燃料取替え（68体）に必要とする貯蔵容量を確保することとしている。また、使用済燃料ピット及び乾式貯蔵施設（貯蔵容量最大960体）の貯蔵容量は、使用済燃料に加え、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を持たせた設計とする。

なお、取扱中の使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式キャスク」という）内の燃料を取り出す容量は貯蔵余裕において確保している。

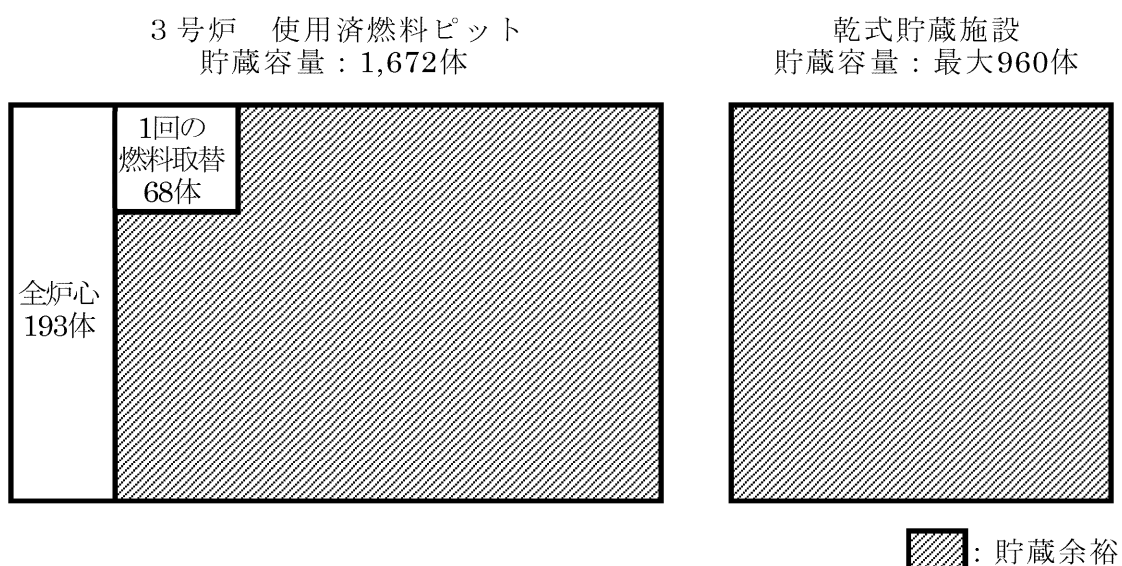


図1 貯蔵容量の考え方（3号炉使用済燃料ピットの例）

## 2. 使用済燃料乾式貯蔵容器の構造について

### 2.1 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）、17×17 型燃料（3 号炉及び 4 号炉用）を収納するタイプ 1（MSF-21P 型）、及び 17×17 型燃料（3 号炉及び 4 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、下部トラニオンと貯蔵架台を固定装置で固定するとともに、貯蔵架台を基礎ボルトで乾式貯蔵施設内の基礎に固定する。乾式キャスクの構造を第 2-1 図～第 2-4 図、乾式キャスク仕様を第 2-1 表に示す。

#### (1) 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。

#### (2) 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 は中性子遮蔽材、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。

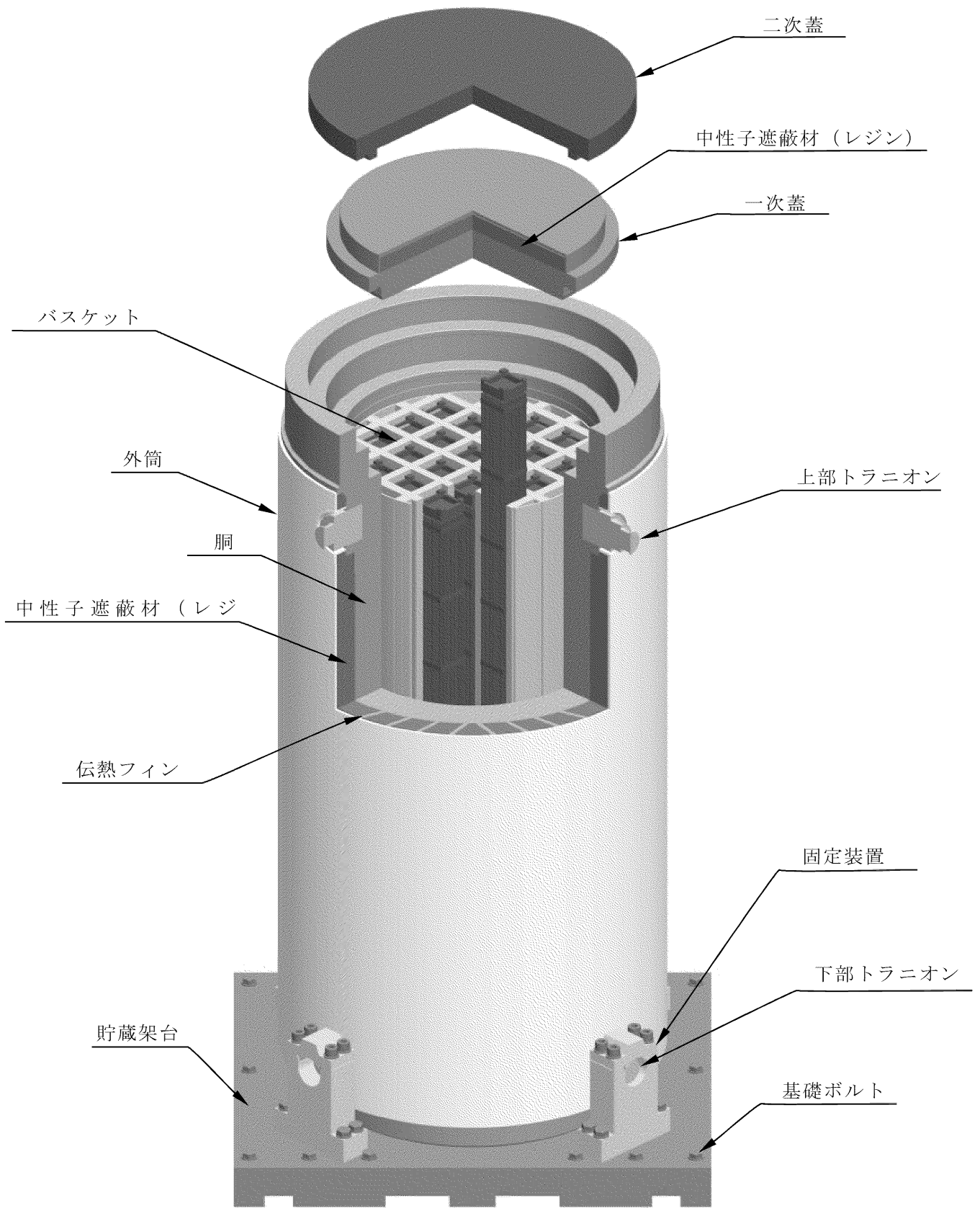
一次蓋のシール部には長期にわたって閉じ込め機能を維持するため、また、二次蓋のシール部には圧力監視境界を設けて閉じ込め監視境界を形成するために金属ガスケットを取り付ける。

#### (3) バスケット

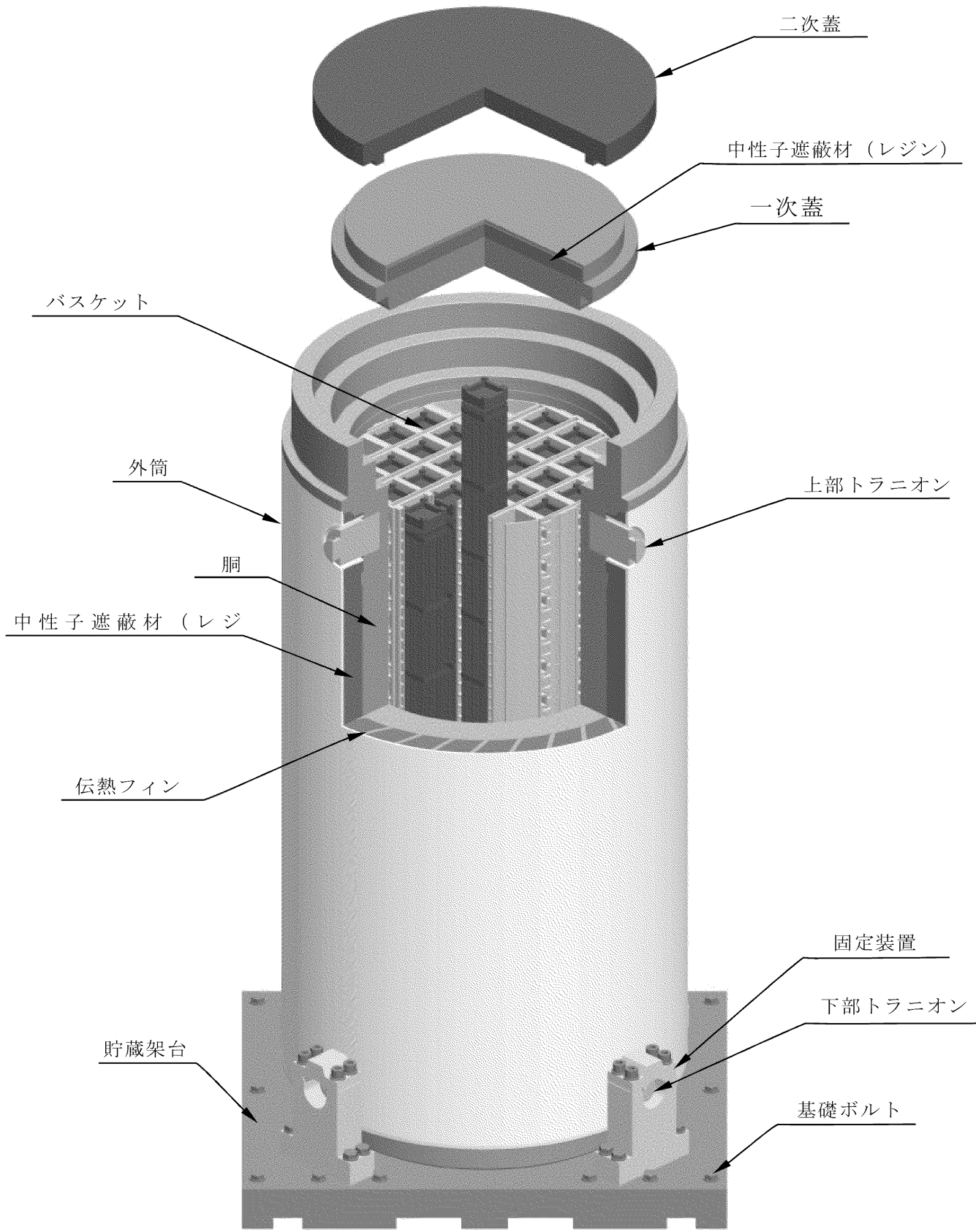
バスケットは断面形状が中空状であるアルミニウム合金製のバスケット

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。

なお、MSF-21P 型について、14×14 型燃料を収納する場合は、バスケットの格子内へバスケットスペーサを設置する。

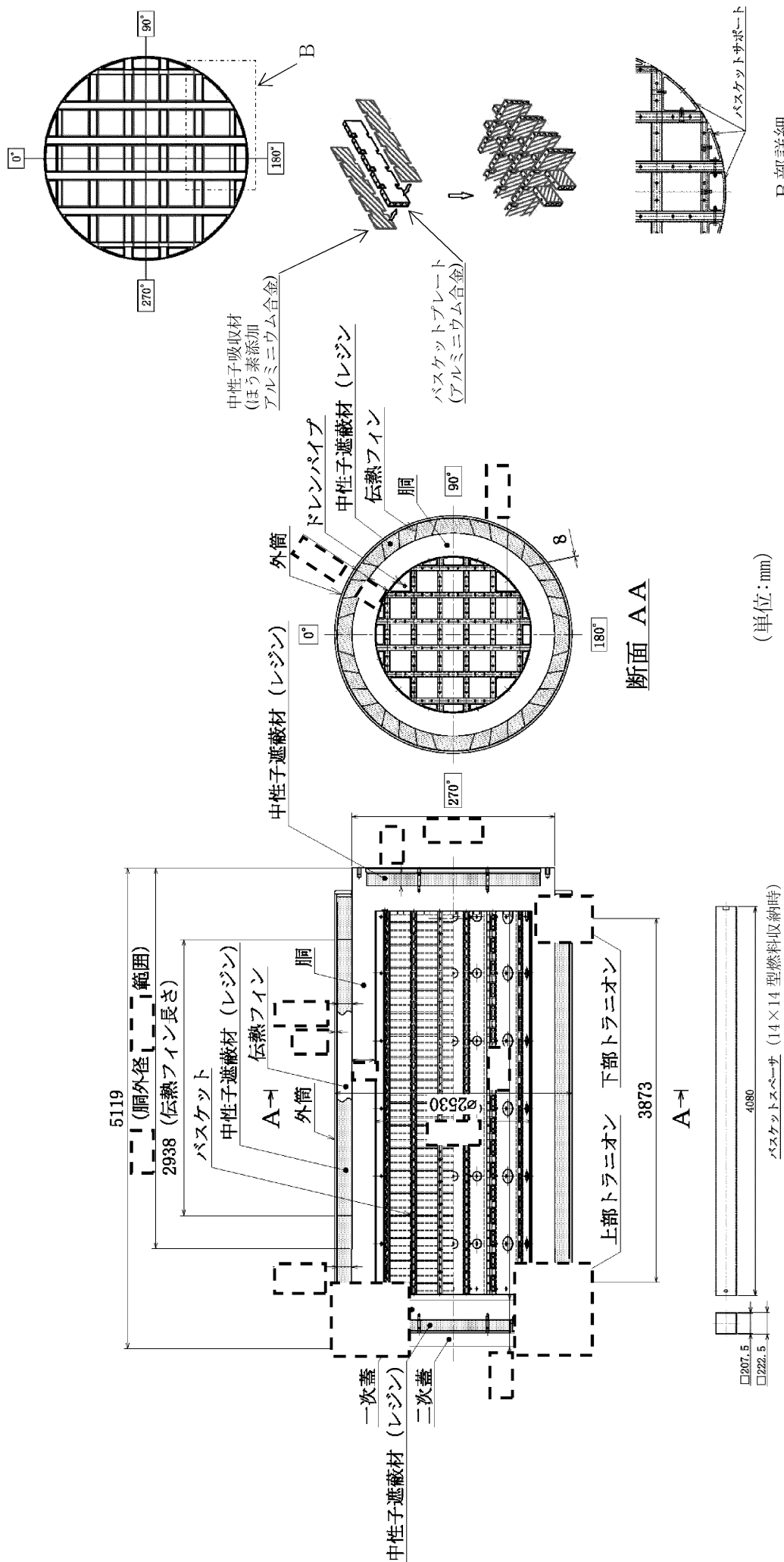


第2-1 図 乾式キャスクの構造 (MSF-21P 型)



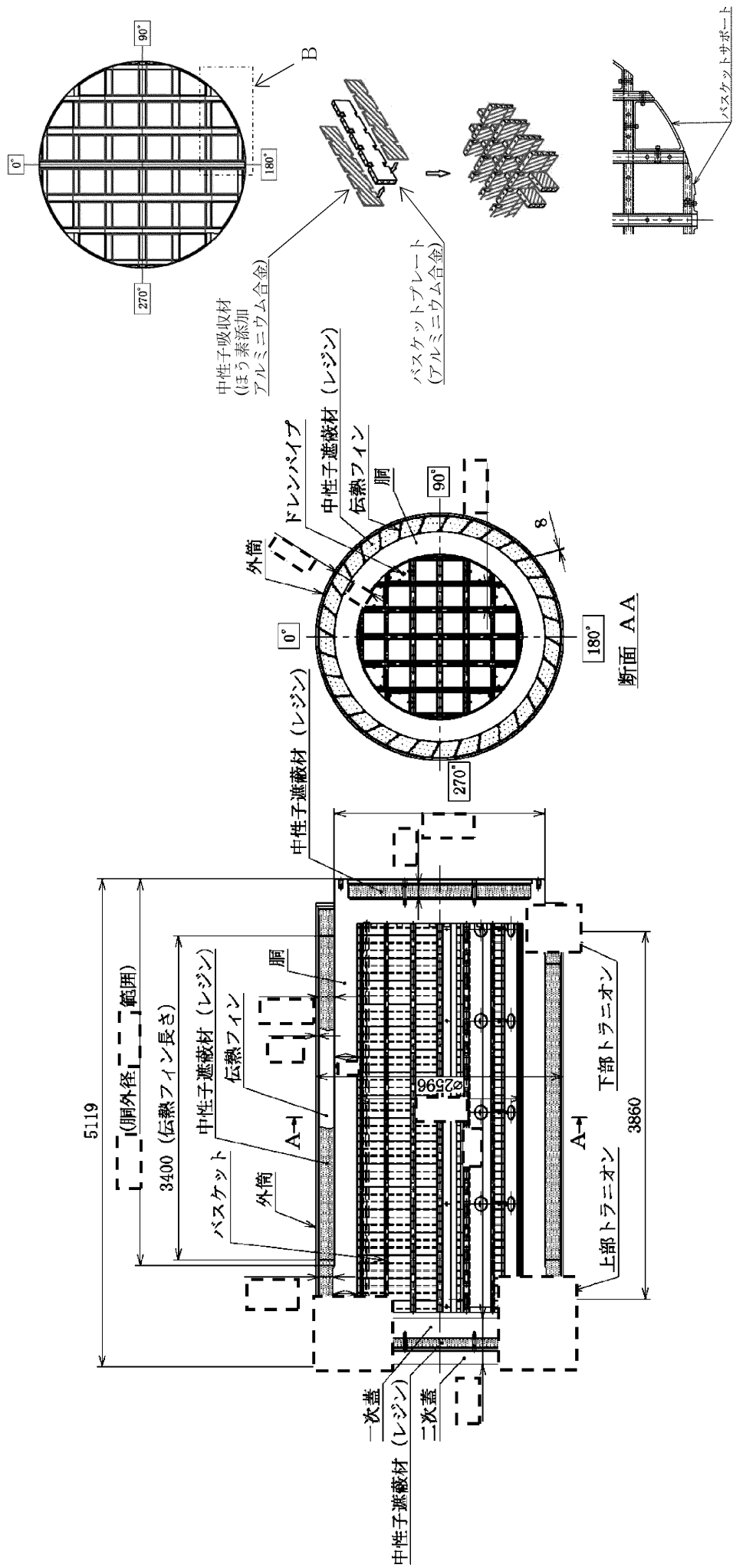
第2-2図 乾式キャスクの構造 (MSF-24P型)





---: 商業機密に係る事項のため公開できません

第2-3 図 乾式キャスク断面図 (MSF-21P 型)



(単位:mm)

B部詳細  
【バスケット構造図】

--- : 商業機密に係る事項のため公開できません

第2-4図 乾式キヤスク断面図 (MSF-24P型)

第 2-1 表 乾式キャスク仕様

項 目		仕 様	
乾式キャスク型式		MSF-21P 型	MSF-24P 型
全質量（使用済燃料集合体を含む）		約 114 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		21 体	24 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)	
バスケットスペーサ※	アルミニウム合金	—	
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

※ 14×14 型燃料を収納する場合に使用（MSF-21P 型のみ）

### 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3-1表及び第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3-3表に示す。また、使用済燃料の収納配置を第3-1図及び第3-2図に示す。

乾式キャスク（MSF-21P型及びMSF-24P型）には3号炉及び4号炉で使用された17×17型燃料を区別なく混載可能である。また、乾式キャスク（MSF-21P型）には1号炉及び2号炉で使用された14×14型燃料を区別なく混載可能であるとともに、1号炉及び2号炉用燃料と3号炉及び4号炉用燃料を同一容器に収納しない。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。

乾式キャスクへの使用済燃料の収納にあたっては、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収納する。

第3-1表 使用済燃料仕様 (MSF-21P型) (1/2)

項目		仕様			
		中央部		外周部	
燃料集合体の種類		17×17燃料 (燃焼度 48GWd/t 以下) ※1			
		A型	B型	A型	B型
形状	集合体幅 (mm)	約 214			
	全長 (mm)	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 (wt% 以下)	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 ※2 (年以上)	15	20	15	20
乾式キャスク 1基当たりの 平均燃焼度 (GWd/t 以下)		44			

※1 3号炉及び4号炉燃料。なお、3号炉と4号炉の燃料及びA型とB型は区別なく混載可能である。

※2 B型は構造材の放射化ガンマ線の影響が大きいため、A型より長い冷却期間を設定している。

第3-1表 使用済燃料仕様 (MSF-21P型) (2/2)

項目		仕様			
		中央部		外周部	
燃料集合体の種類		14×14燃料 (燃焼度 55GWd/t 以下) ※1			
		A型	B型	A型	B型
形状	集合体幅 (mm)	約 197			
	全長 (mm)	約 4,100			
質量 (kg 以下)		約 600			
燃料集合体1体の仕様	初期濃縮度 (wt% 以下)	約 4.8			
	最高燃焼度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	55		47※2	
	冷却期間 (年以上)	15			
乾式キャスク 1基当たりの 平均燃焼度 (GWd/t 以下)		43			

※1 1号炉及び2号炉燃料。なお、1号炉と2号炉の燃料及びA型とB型は  
区別なく混載可能である。

※2 55GWd/t 燃料も収納可能。

第3-2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 (燃焼度 48GWd/t 以下) ※ <sup>1</sup>			
		A型	B型	A型	B型
形状	集合体幅 (mm)	約 214			
	全長 (mm)	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 (wt% 以下)	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 ※ <sup>2</sup> (年以上)	15	17	15	17
乾式キャスク 1基当たりの 平均燃焼度 (GWd/t 以下)		44			

※<sup>1</sup> 3号炉及び4号炉燃料。なお、3号炉と4号炉の燃料及びA型とB型は区別なく混載可能である。

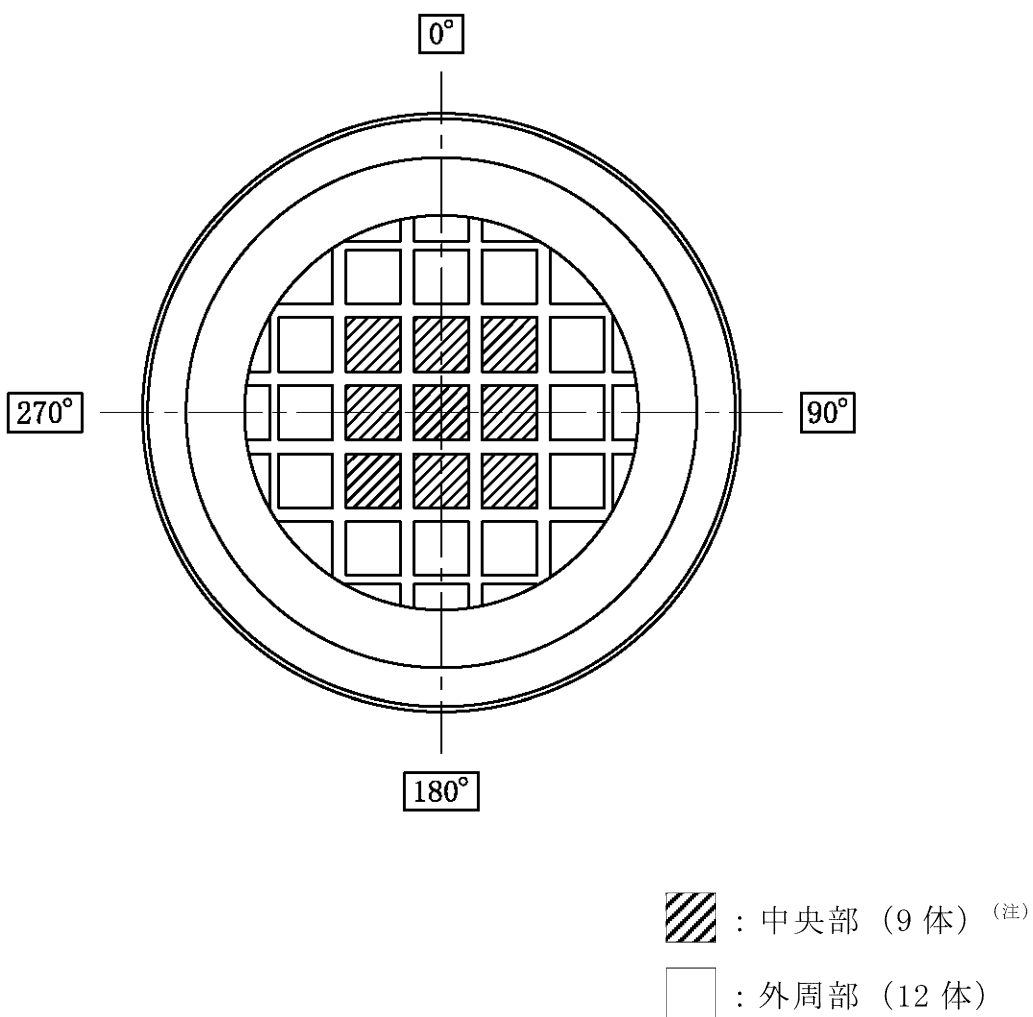
※<sup>2</sup> B型は構造材の放射化ガンマ線の影響が大きいため、A型より長い冷却期間を設定している。

第3-3表 バーナブルポイズン集合体仕様

項 目		仕 様			
バーナブルポイズン集合体の種類		17×17 燃料用		14×14 燃料用	
		A型	B型	A型	B型
形 状	集 合 体 幅 ( m m )	約 161		約 140	
	全 長 ( m m )	約 4,000		約 4,000	
質 量 (kg 以下)		約 29		約 18	
照 射 期 間 (日 以 下)		1,200(約 46GWd/t 相当) ※ 2,344(約 90GWd/t 相当) ※		2,671 (約 90GWd/t 相当)	
冷 却 期 間 (年 以 上)		15	20* 15*	15	

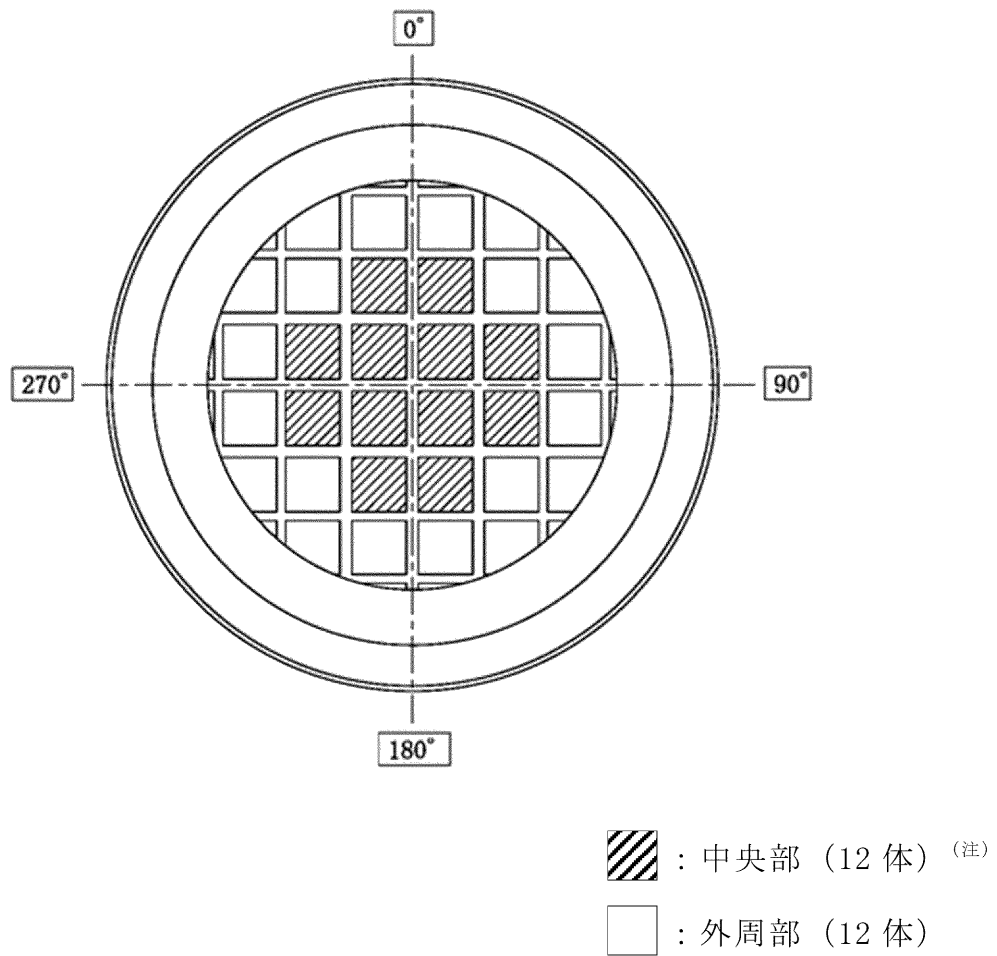
※上段は MSF-21P 型、下段は MSF-24P 型の仕様を示す。





(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 3-1 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-21P 型)



(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 3-2 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-24P 型)

## 4. 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計貯蔵期間について

### 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。

』

### 4.2 適合性について

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。

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、6.にて説明する。

## 5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について

3. の使用済燃料の収納条件を踏まえ、MSF-21P型及びMSF-24P型の各解析条件の概要を第5-1表及び第5-2表に示す。

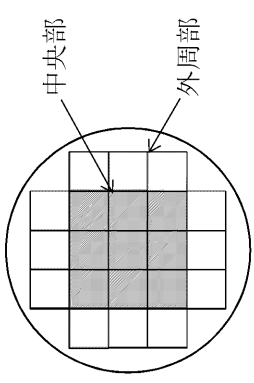
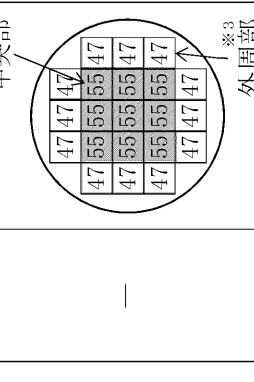
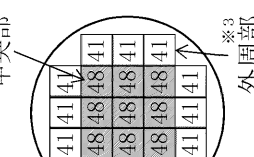
1, 2, 3, 4号炉の使用済燃料を、専用の乾式キャスク（MSF-21P型、MSF-24P型）にて貯蔵することで、4つの安全機能（閉じ込め、臨界防止、遮蔽、除熱）が確保できる設計とする。また、1, 2, 3, 4号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下、「乾式貯蔵建屋」という）が乾式キャスク（MSF-21P型、MSF-24P型）の除熱機能を阻害しない設計とする。

本項では、乾式キャスクの通常貯蔵時<sup>※</sup>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5-1表 乾式キヤスク解析条件の概要 (MSF-21P型)

収納物仕様	燃料集合体1体の仕様	キヤスク収納制限 配置制限				燃料スペック		解析条件				
		17×17型燃料収納時		14×14型燃料収納時		燃料スペック		遮蔽		除熱		
		中央部	外周部	中央部	外周部	17×17型 (A/B型)	14×14型 (A/B型)	中央部	外周部	中央部	外周部	
燃料タイプ	初期ウラン濃縮度 (wt%)	17×17型 (A/B型)	17×17型 (A/B型)	14×14型 (A/B型)	14×14型 (A/B型)	17×17型 (A型)	14×14型 (B型)	14×14型 (B型)	17×17型 (A型)	17×17型 (A型)	17×17型 (A型)	
		≤4.2	≤4.9	≤4.9	4.8							
	ウラン重量 (kg)	≤44	≤44	≤55	≤47	≤48	≤55	0	55	47 <sup>※3</sup>	48	41 <sup>※2</sup> 41 <sup>※3</sup>
		最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	A型: ≥15 B型: ≥20	≥15	≥15	—	—	—	—	15	15	15
SFPでの冷却期間 (年)	最高燃焼度 (GWd/t)	≤46	—	≤90	—	—	—	—	90	—	—	
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥20	—	≥15	—	—	—	—	15	—	—	
キヤスク1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44	≤44	≤43	—	—	0	—	—	—	44	
	配置 <sup>※4</sup>											

※1： 臨界解析において14×14型燃料はA型及びB型で仕様が同じとなるため、解析条件としてA型とB型の区別をしない。

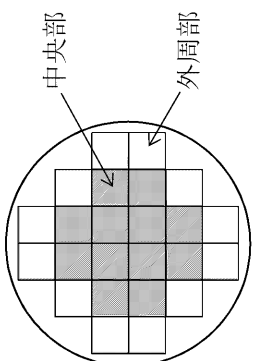
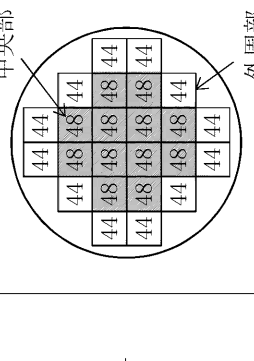
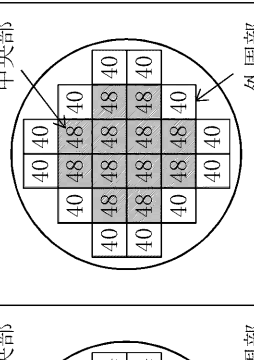
※2： 外周部12体は、乾式キヤスク全体の発熱量が平均44GWd/tになるよう41GWd/tとしている。

※3： 48GWd/t型燃料を収納する条件とする。実燃焼度が同じであれば、55GWd/t型燃料に比べ48GWd/t型燃料のほうが、線源強度及び発熱量が厳しい条件となる。

※4： 数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

「」： 商業機密に係る事項のため公開できません

第5-2表 乾式キヤスク解析条件の概要 (MSF-24P型)

収納物仕様	燃料タイプ	キヤスク収納制限 配置制限		燃料スペースック	解析条件			
		中央部	外周部		臨界	遮蔽	除熱	
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	17×17型 (A/B型)		17×17型 (A/B型)	17×17型 (A型)	中央部	外周部	17×17型 (A型)
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		4.1				
	ウラン重量 (kg)	≤48		≤44	0	48	44	48
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	A型: ≥15 B型: ≥17		—	—	—	15	15
バーナブル ホース	最高燃焼度 (GWd/t)	≤90		—	—	90	—	—
	SFPでの冷却期間 (年)	≥15		—	—	15	—	—
キヤスク 1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		—	0	—	—	44
	配置※2							

※1：外周部12体は、乾式キヤ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。

※2：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

〔 〕：商業機密に係る事項のため公開できません

なお、各解析については、第5-3表及び第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型での設計等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	
	型式指定を受けたMSF-21P型	本申請のMSF-21P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5-4表 解析における変更箇所

	変更項目	型式指定を受けたMSF-21P型	本申請のMSF-21P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

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。



## 6. 使用済燃料乾式貯蔵容器の長期健全性について

### 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。

』

## 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）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、安全機能を維持する設計とする。使用済燃料は、設計貯蔵期間（60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、健全性を確保する設計とする。

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。（乾式キャスク各部材の中性子照射量は第6-1表のとおり。）

(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、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $6.5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> である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、不活性雰囲気が維持されるため、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】

バスケットを構成するバスケットプレート、バスケットサポート及びバスケットスペーサ<sup>※1</sup>に使用するアルミニウム合金は、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、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $1.6 \times 10^{15}$  n/cm<sup>2</sup>であることから照射脆化の影響はない。また、バスケットを構成する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<sup>※2</sup>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。

※1：MSF-21P型に14×14型燃料を収納する場合にのみ設置。

※2：以下のとおり算出。

$$B-10 \text{ 減損割合} = \sigma \times \phi \times t \quad (\text{n})$$

ここで、

$$\sigma : B-10 \text{ の熱中性子領域 (0.025eV) での全断面積 (3840barn} = 3.840 \times 10^{-21} \text{ (cm}^2\text{))} \quad 6)$$

$\phi$  : 全中性子束

$$8.117 \times 10^5 \text{ [MSF-21P 型] (n/cm}^2\text{/s)}$$

$$7.977 \times 10^5 \text{ [MSF-24P 型] (n/cm}^2\text{/s)}$$

遮蔽解析結果(燃料集合体領域の最大値)。保守的に貯蔵初期の値を60年一定とする。

$$t : \text{照射期間 (60年間} = 1.9 \times 10^9 \text{ (s))}$$

(計算結果)

$$\textcircled{1} \text{ MSF-21P 型} : 3.840 \times 10^{-21} \times 8.117 \times 10^5 \times 1.9 \times 10^9 = 5.93 \times 10^{-6} \\ (\Rightarrow 10^{-5} \text{ 以下であり、} 10^{-5} \text{ 程度と設定)}$$

$$\textcircled{2} \text{ MSF-24P 型} : 3.840 \times 10^{-21} \times 7.977 \times 10^5 \times 1.9 \times 10^9 = 5.83 \times 10^{-6} \\ (\Rightarrow 10^{-5} \text{ 以下であり、} 10^{-5} \text{ 程度と設定)}$$

### 【熱的影響】

バスケットプレート、バスケットサポート及びバスケットスペーサ※に使用するアルミニウム合金は、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、バスケットサポート及びバスケットスペーサ※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)、7)</sup>。また、貯蔵時にバスケットプレートに発生する応力は1MPa未満と小さく、設計貯蔵期間中のバスケットプレートのクリープ変形量は無視し得る<sup>5)</sup>。

※：MSF-21P型に14×14型燃料を収納する場合にのみ設置。

### 【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>4)、8)</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>9)</sup>ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $6.5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>である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。<sup>10)</sup>

## (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、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は、外筒では  $3.5 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>、蓋部中性子遮蔽材カバーでは  $6.5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> である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。<sup>10)</sup> 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表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、外筒の外表面については、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>9)</sup> ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $8.2 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup> である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。<sup>10)</sup>

## (6) 中性子遮蔽材

### 【照射影響】

中性子遮蔽材（レジン）は、中性子照射量が  $10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な質量減損は見られないことが示されており<sup>11)、12)</sup>、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $1.6 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> であることから照射脆化の影響はない。

### 【熱的影響、化学的影響】

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>11)</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>13)、14)</sup> ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $2.0 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> である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>15)</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>16)</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及び圧力監視境界である二次蓋の金属ガスケットの内側は不活性雰囲気であり、腐食を考慮する必要はない。

大気と接触する二次蓋金属ガスケットの外側については、約3年間の塩水噴霧試験を実施し、実機の使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化のないことが確認されている<sup>17)</sup>。また、10年間海浜条件で大気ばく露させた際の平均浸食深さ及び最大孔食深さ<sup>3)</sup>を用い、設計貯蔵期間中の浸食深さと孔食深さを評価した結果、それぞれ約0.025mm及び約0.33mmであり、外被材の製造公差※を含めても、板厚0.5mmより小さいため、閉じ込め機能に影響はない。

※：金属ガスケットの製造公差の例（ノミナル寸法：0.5mm、製造公差：, ）


## (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>18)</sup>ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $1.6 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>である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>19)</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。

 商業機密に係る事項のため公開できません

### 【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>20)</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>21)</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コニウム合金は、設計貯蔵期間中の中性子照射量が  $1.6 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$  であり、炉内の中性子照射量 ( $10^{21} \sim 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ) に対して十分低いことから、照射の影響は無視し得る<sup>22)</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>22)</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>22)</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 48GWd/t 燃料では 300 °C 近傍<sup>22)</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 55 GWd/t 燃料では 250 °C 以下、周方向応力が 90 MPa 以下<sup>23)</sup>と求められており、また、48 GWd/t 燃料では 275 °C 以下、周方向応力が 100MPa 以下<sup>22)</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よう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>22)</sup>。なお、腐食性雰囲気での応力腐食割れ試験でジルコニウム合金の応力腐食割れのしきい応力は 48GWd/t 燃料では 200 MPa 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>22)</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、55 GWd/t 燃料では 250°C 及び 90MPa を超えず、48 GWd/t 燃料では 275°C 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 10 wt% 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>8)</sup>ため、健全性に影響はない。

第6-1表 乾式キャスク主要な構成部位の中性子照射量

主要な構成部位	構造材中最大となる 全中性子照射量 (n/cm <sup>2</sup> ) ※ <sup>1</sup>		判定基準 (n/cm <sup>2</sup> )
	MSF-21P型	MSF-24P型	
胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルト※ <sup>2</sup>	6.5×10 <sup>14</sup>	5.9×10 <sup>14</sup>	<10 <sup>16</sup>
バスケット※ <sup>3</sup>	1.6×10 <sup>15</sup>	1.5×10 <sup>15</sup>	<10 <sup>16</sup>
トラニオン※ <sup>2</sup>	6.5×10 <sup>14</sup>	5.9×10 <sup>14</sup>	<10 <sup>17</sup>
外筒	3.5×10 <sup>12</sup>	3.3×10 <sup>12</sup>	<10 <sup>16</sup>
蓋部中性子遮蔽材カバー※ <sup>2</sup>	6.5×10 <sup>14</sup>	5.9×10 <sup>14</sup>	<10 <sup>16</sup>
下部端板及び底部中性子遮蔽材カバー	1.6×10 <sup>13</sup>	8.2×10 <sup>13</sup>	<10 <sup>17</sup>
中性子遮蔽材※ <sup>4</sup>	1.6×10 <sup>14</sup>	1.6×10 <sup>14</sup>	<10 <sup>15</sup>
金属ガスケット	2.0×10 <sup>14</sup>	2.0×10 <sup>14</sup>	<10 <sup>19</sup>
伝熱フィン※ <sup>4</sup>	1.6×10 <sup>14</sup>	1.6×10 <sup>14</sup>	<10 <sup>16</sup>
使用済燃料被覆管	1.6×10 <sup>15</sup>	1.5×10 <sup>15</sup>	<10 <sup>21~22</sup>

※<sup>1</sup>：遮蔽解析結果から得られた中性子束が60年間一定であると仮定して算出した値。

※<sup>2</sup>：最大となる胴領域の値を記載。

※<sup>3</sup>：最大となるキャビティ内領域（使用済燃料領域）の値を記載。

※<sup>4</sup>：最大となる側部中性子遮蔽材領域の値を記載。

### 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) T. Nakagawa, H. Kawasaki, K. Shibata, “Curves and Tables of Neutron Cross Sections in JENDL-3.3”, *JAERI-Data/Code 2002-020*, (2002).
- 7) 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).
- 8) (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).
- 9) 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).
- 10) (公社)腐食防食協会編, 「腐食・防食ハンドブック CD-ROM 版 第2版」, 丸善(株), (2005).
- 11) (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).
- 12) 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).
- 13) H. Yoshida, et al., “Reactor Irradiation Effects on Al 1100”, *Proc. Jpn. Congr. Mater. Res.*, Vol.24, (1981).
- 14) T. T. Claudson, “Cladding and Structural Materials Semi-Annual Progress Report”, *HEDL-TME 75-77*, (1975).

- 15) 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).
- 16) (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).
- 17) 小崎明朝, 「使用済燃料貯蔵中の耐久性に関する海外動向他」, (株)日本原子力情報センター主催セミナー「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」, (1998).
- 18) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys” , ASTM STP888, (1986).
- 19) (一財)日本規格協会, 「圧力容器の設計 (JIS B 8267 : 2015)」, (2015).
- 20) (公社)腐食防食協会編, 「材料環境学入門」, 丸善 (株) , (1993).
- 21) 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).
- 22) 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).
- 23) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 20 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (中間貯蔵設備等長期健全性等試験のうち貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」, (2009).

## 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

### 7.1 燃料取扱棟内及び乾式貯蔵施設内での取扱いフロー

燃料取扱棟（以下、「FH/B」という）内及び乾式貯蔵施設内における乾式キャスクの取扱いについて説明する。

乾式キャスクをFH/B内に搬入後、緩衝体取外しから燃料装荷、搬出までの取扱いフローを第7-1図に示す。また、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7-2図に、貯蔵から緩衝体取付、搬出までの取扱いフローを第7-3図に示す。

ここで、乾式キャスクとは、兼用キャスクであり、発電所敷地内に貯蔵及び発電所敷地外への運搬に使用できるものである。また、使用済燃料輸送容器（以下、「輸送キャスク」という）は、発電所敷地外への運搬に使用できるものである。

参考として、輸送キャスクのうち、水を収納する湿式キャスクについて、FH/B内に搬入後、緩衝体取外しから燃料装荷、搬出までの取扱いフローを第7-4図に示す。乾式キャスクと湿式キャスクの取扱いについては、キャスクの内部雰囲気（乾式、湿式）が異なることから、乾式キャスクでは水抜き・真空乾燥作業が追加となるが、基本的な様態や取扱作業は共通である。

また、乾式キャスクを取扱うFH/Bクレーン、乾式貯蔵建屋天井クレーン及び搬送台車については、「9. 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。

以上を踏まえ、設計上想定される事象に関連する様態を作業毎に抜粋したフローをそれぞれ第7-5図～第7-7図に示す。

#### (1) FH/B内における取扱いフロー

以下に第7-5図に記載する番号に応じた各取扱いモードを説

明する。

1-1：燃料装荷、一次蓋取付

キャスクピットにて乾式キャスクに使用済燃料を装荷し、一次蓋を取付ける。

1-2：容器吊上げ・移動・吊降し

FH/Bクレーンを用いて乾式キャスクをキャスクピットから吊上げ、除染場ピット内に設置した仮設架台まで移動して吊降し、設置する。

1-3：排水・真空乾燥・不活性ガス充填・一次蓋密封確認

仮設架台において乾式キャスクの除染・内部水排水・真空乾燥・不活性ガス充填・一次蓋の密封確認を行う。

1-4：二次蓋取付・一次二次蓋間圧力調整・二次蓋密封認

FH/B クレーンを用いて二次蓋を取付け、一次－二次蓋間の圧力を調整した後、二次蓋の密封性能を確認する。

1-5：三次蓋取付け・三次蓋密封確認

FH/B クレーンを用いて三次蓋を取付け後、三次蓋の密封性能を確認する。

1-6：トラックアクセスエリアへの移動

FH/B クレーンを用いて乾式キャスクをトラックアクセスエリアへ移動する。

1-7：トレーラ上へ横倒し

1-6に引き続き、FH/Bクレーンを用いて乾式キャスクをトレーラ上の輸送架台に横倒す。

1-8：緩衝体取付

FH/Bクレーンを用いて乾式キャスクに緩衝体を取り付ける。

FH/B内での乾式キャスクの取扱いに使用するキャスクピット、FH/Bクレーン及び除染場ピットについては、既設の設備



であり、第7-1表のとおり、乾式キャスクを取扱える能力を有している。

## (2) 乾式貯蔵施設内での取扱いフロー

第7-6図に記載する番号に応じた各取扱いモードを説明する。なお、貯蔵後、乾式キャスクを乾式貯蔵施設から搬出する場合は、同図に示すNo. 2-1～No. 2-7の逆手順（第7-7図 No. 3-1～No. 3-6の手順）にて取り扱う。

### 2-1：緩衝体取外し

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて乾式キャスクから緩衝体を取外す。

### 2-2：キャスク立起こし

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて乾式キャスクを立て起こす。

### 2-3：検査架台への移送

乾式貯蔵建屋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。

### 2-4：貯蔵架台上への設置

乾式貯蔵建屋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（搬送台車上に設置）に吊り降ろす。下部トラニオンと貯蔵架台を固定する。

### 2-5：三次蓋取外し・監視装置の取付

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて三次蓋を取外し、監視装置を取付ける。

### 2-6：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。

### 2-7：乾式キャスクの固定

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。

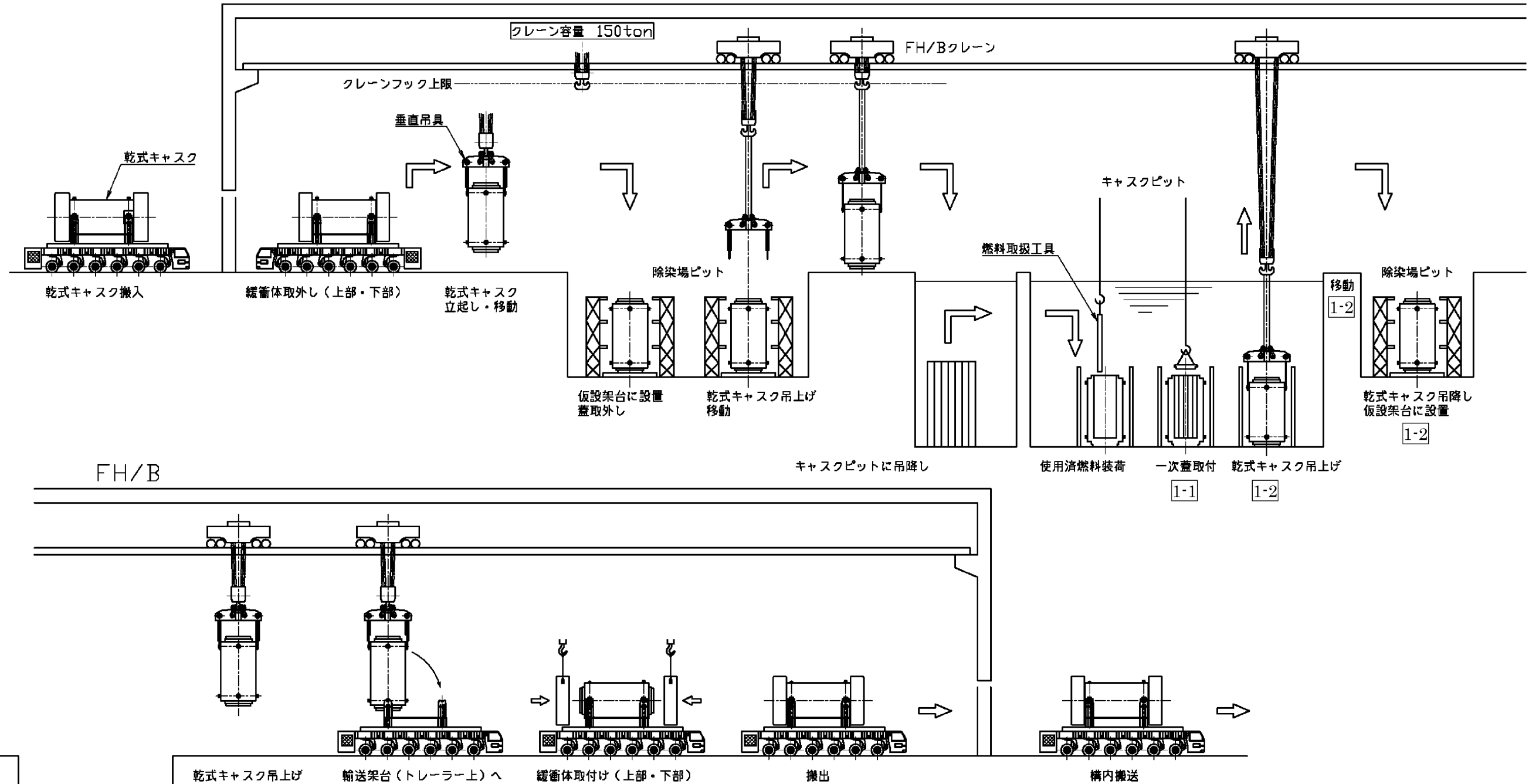
第 7-1 表 評価で使用する設備の仕様

既設設備		乾式キャスク仕様		備考
名称	仕様	MSF-21P 型	MSF-24P 型	
FH/B クレーン	容量 (吊荷重) 150(t)	約 120(t)	約 123(t)	乾式キャスク重量は、FH/B クレーンの容量 (吊荷重) の範囲内
キャスクピット	寸法 約 4(m) × 約 4 (m) × 高さ約 12.7 (m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	乾式キャスク寸法は、キャスクピット寸法の範囲内
除染場ピット	寸法 約 8.0(m) × 約 9.7(m) × 高さ約 7.6(m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	乾式キャスク寸法、除染場ピット寸法の範囲内

FH/B 内フロー図

使用済燃料乾式貯蔵容器  
燃料取扱フロー（燃料装荷・容器搬出）

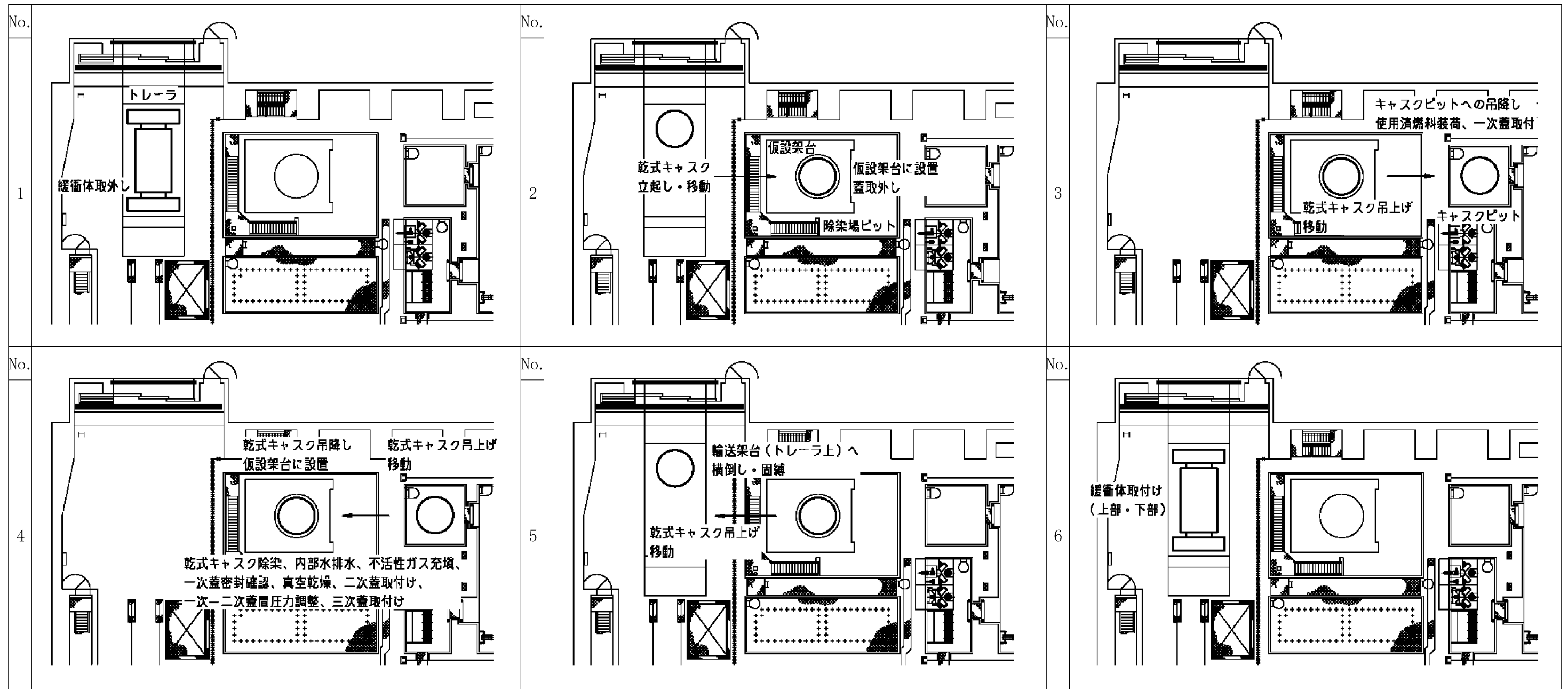
FH/B



- 1-3 { 乾式キャスク除染  
内部水排水  
真空乾燥  
不活性ガス充填  
一次蓋密封確認
- 1-4 { 二次蓋取付け  
一次-二次蓋間圧力調整  
二次蓋密封確認
- 1-5 { 三次蓋取付け  
三次蓋密封確認

第 7-1 図 FH/B 内の乾式キャスク運用手順【断面図】

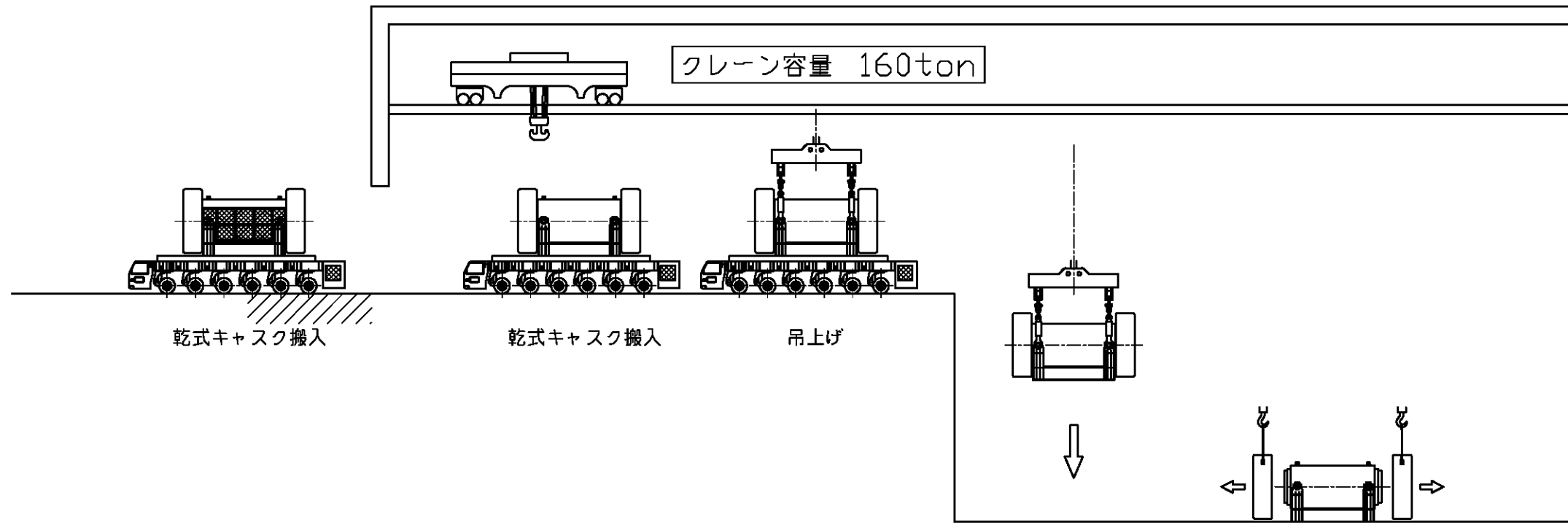
		FH/B クレーン	評価で使用する値
容量 (ton)		主巻 : 150	—
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速 0.12 / 0.6 / 1.2	巻き下げ最大速度の 1.2 m/分を適用
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	走行最大速度の 18 m/分を適用
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		乾式キャスク	
寸法 (m)		MSF-21P 型   MSF-24P 型 φ 2.6 × 5.2 (緩衝体無)	—
重量 (ton)		約 123 (吊具含む)	重量の大きい 24P を適用
キャスク吊上高さ (m)		約 4 (車両積付時)	—



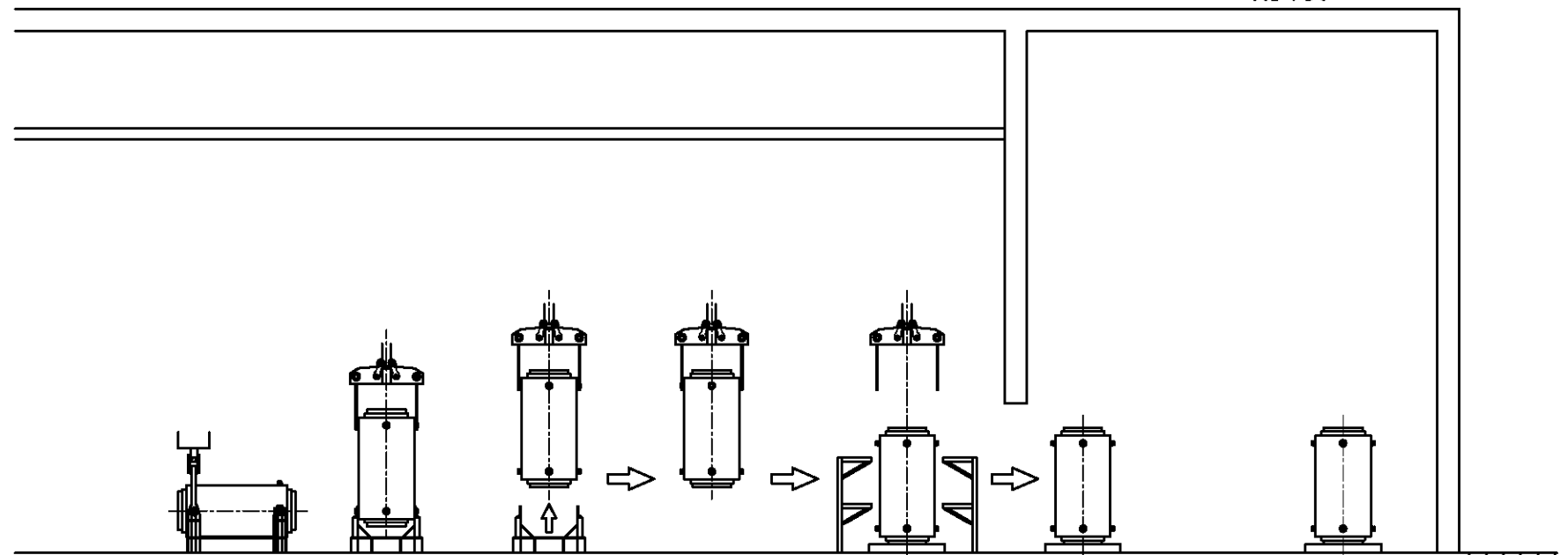
第 7-1 図 FH/B 内の乾式キャスク運用手順【平面図】

乾式貯蔵建屋フロー図（受入）

取扱エリア



2-1 貯蔵エリア



2-2

2-3

2-4 2-5

2-6

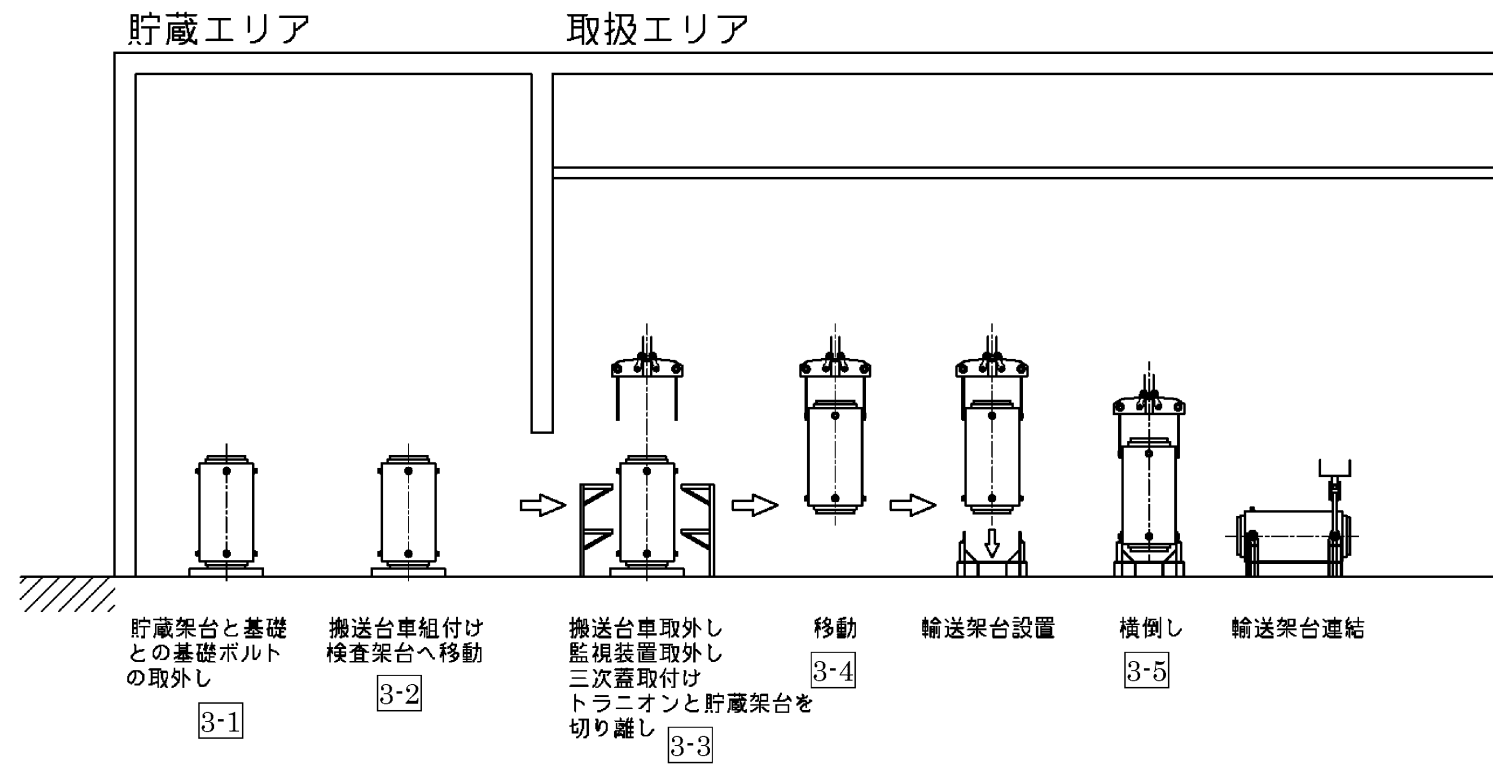
2-7

		乾式貯蔵建屋 天井クレーン	評価で使用する値
容量 (ton)		主巻：160	—
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速 0.12 / 0.6 / 1.2	巻き下げ最大速度の 1.2 m/分を適用
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	走行最大速度の 18 m/分を適用
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		搬送設備	
容量 (ton)		150	—
移動速度 (m/分)		低速/高速 0.6 / 2	—
		乾式キャスク	
寸法 (m)		MSF-21P 型   MSF-24P 型 φ 3.6 × 6.8 (緩衝体含む)	—
重量 (ton)	吊上	約 147 (吊具、緩衝体含む)	重量の大きい 24P を 適用
	搬送	約 136 (架台含む)	
キャスク吊上 高さ (m)	垂直	約 2 (縦起し時)	—
	水平	約 2 (車両積降し時)	—

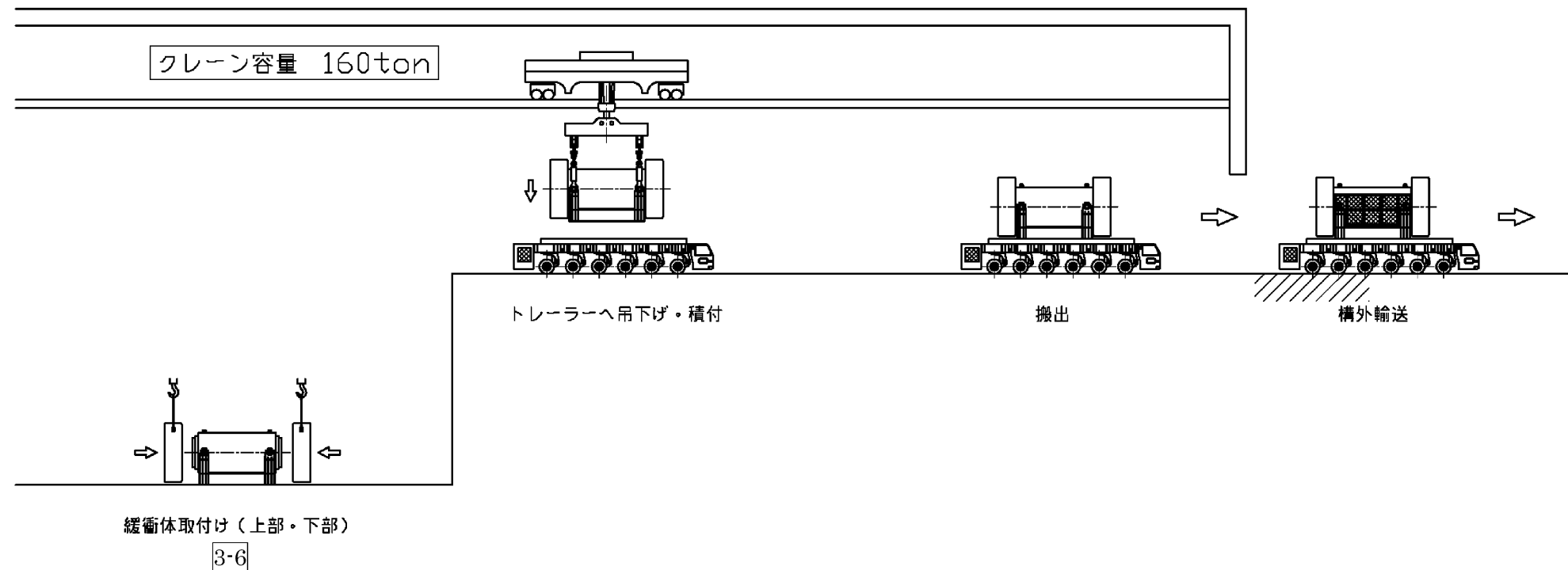
16 条-別紙-41

第 7-2 図 乾式キャスク取扱い時及び貯蔵時の運用手順（受入）【断面図】

乾式貯蔵建屋フロー図（搬出）



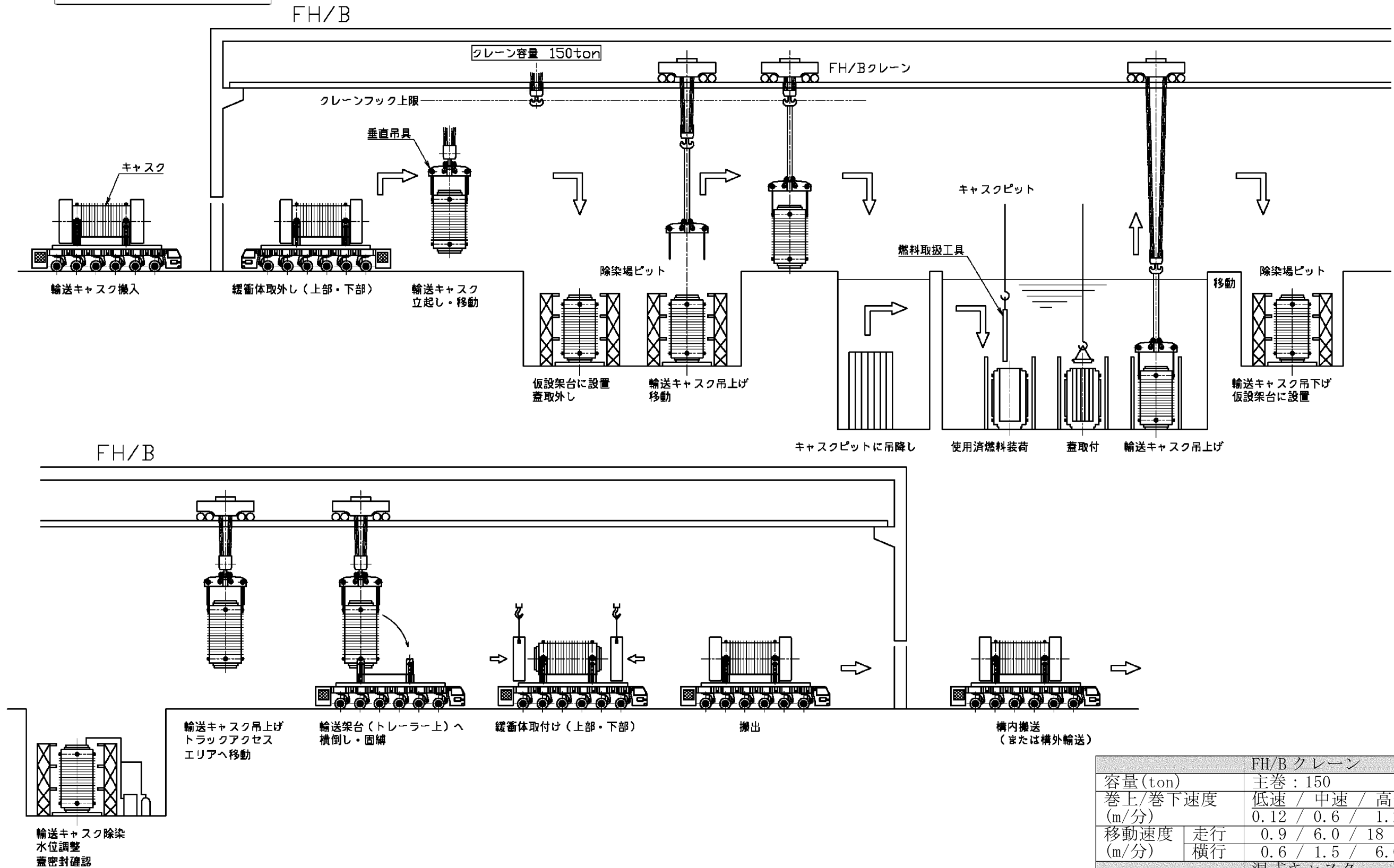
		乾式貯蔵建屋天井クレーン	評価で使用する値
容量 (ton)		主巻：160	—
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速	巻き下げ最大速度の1.2 m/分を適用
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	走行最大速度の18 m/分を適用
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		搬送設備	
容量 (ton)		150	—
移動速度 (m/分)		低速/高速	—
		MSF-21P型   MSF-24P型	
寸法 (m)		φ3.6×6.8 (緩衝体含む)	—
重量 (ton)	吊上	約147 (吊具、緩衝体含む)	重量の大きい24Pを適用
	搬送	約136 (架台含む)	
キャスク吊上高さ (m)	垂直	約2 (横倒し時)	—
	水平	約2 (車両積付時)	—



第7-3図 乾式キャスク取扱い時及び貯蔵時の運用手順（搬出）【断面図】

FH/B 内フロー図

使用済燃料運搬用容器  
燃料取扱フロー（燃料装荷・容器搬出）



		FH/B クレーン	
容量 (ton)		主巻：150	
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速 0.12 / 0.6 / 1.2	
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		湿式キャスク NFT-14P 型	
寸法 (m)		φ2.5×5.4 (緩衝体無)	
重量 (ton)		約120 (吊具含む)	
キャスク吊上高さ (m)		約4 (車両積付時)	

第7-4 図 FH/B 内の湿式キャスク運用手順【断面図】

第 7-2 表 評価で使用する設備の重量

設備	部材	重量 (トン)		
		MSF-21P 型		MSF-24P 型
		17×17 燃料	14×14 燃料	
乾式 キャスク	① 本体	83.1		83.7
	② 一次蓋	5.2		5.6
	③ 二次蓋	4.3		4.5
	④ 三次蓋	3.5		3.3
	⑤ バスケット	5.9	7.5 <sup>(注)</sup>	5.6
緩衝体	⑥ 上部緩衝体	8.6		8.7
	⑦ 下部緩衝体	6.0		6.2
	⑧ 燃料集合体	14.6	12.6	16.7
関連 工具類	⑨ 垂直吊具	約 4		約 4
	⑩ 水平吊具	約 8		約 8
	⑪ 貯蔵架台	約 20		約 20
	⑫ 輸送架台	約 5		約 5
FH/B 容器吊り上げ重量 (①②③④⑤⑧⑨)		約 121	約 120	約 123
乾式貯蔵施設 容器吊り上げ重量 (①②③④⑤⑥⑦⑧⑩⑫)		約 144	約 144	約 147
乾式貯蔵施設 搬送重量 (①②③⑤⑧⑪)		約 133	約 133	約 136

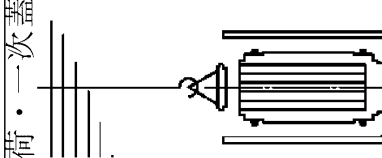
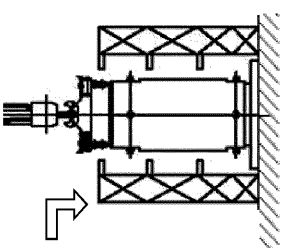
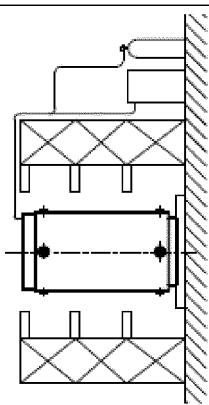
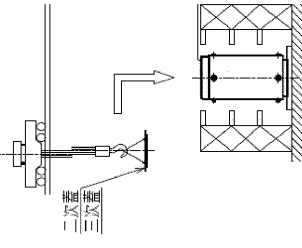
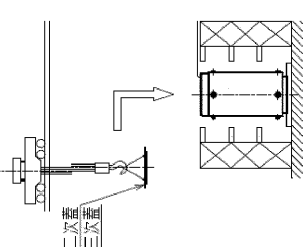
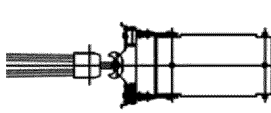
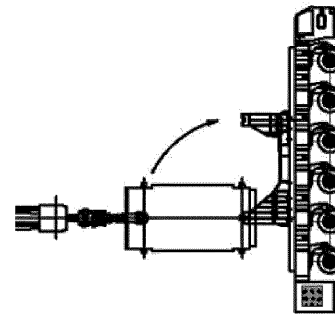
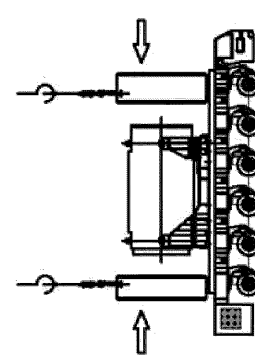
(注) バスケットスペーサ (1.6t) 含む

第 7-3 表 評価で使用する設備の仕様

	FH/B クレーン	乾式貯蔵建屋 天井クレーン
容量 (ton) : 主巻	150	160
巻上/巻下速度 (m/分)	1.2	1.2
移動速度 (m/分)   走行	18	18



＜乾式キヤスクの燃料装荷～緩衝体取付＞

No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
1-1	燃料装荷・一次蓋取付 	1-2	容器吊上げ・移動・吊降し 	1-3	排水・真空乾燥※・不活性ガス充填・一次蓋密封確認 	1-4	二次蓋取付・二次蓋間圧力調整・二次蓋密封確認 
想定 事象	—	想定 事象	検査架台への衝突 (第7-8 図(a)) 貯蔵架台への衝突 (第7-8 図(b))	想定 事象	—	想定 事象	二次蓋の衝突 (第7-8 図(e))
1-5	三次蓋取付・三次蓋密封確認 	1-6	トレーラエリアへの移動 	1-7	トレーラ上へ横倒し 	1-8	緩衝体取付け 
想定 事象	三次蓋の衝突	想定 事象	—	想定 事象	横倒し時の衝突 (第7-8 図(d))	想定 事象	緩衝体の衝突 (第7-8 図(f))

※：真空乾燥作業は、収納する使用済燃料の崩壊熱による温度上昇を踏まえ、作業時間等を管理することにより、使用済燃料の温度制限範囲内で実施する。

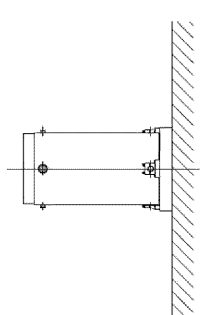
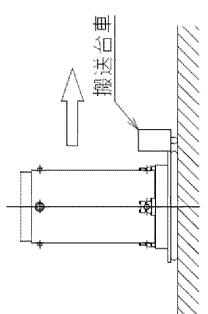
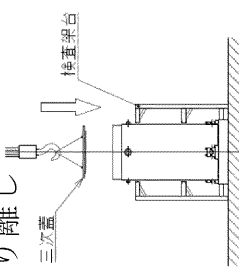
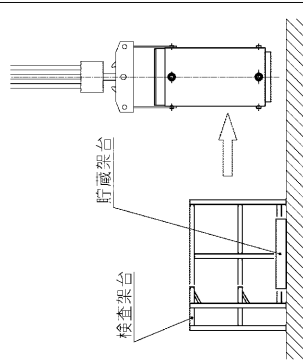
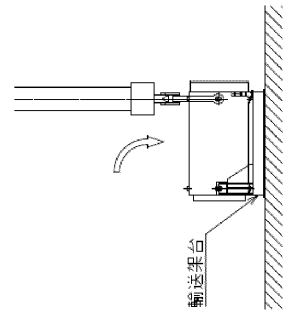
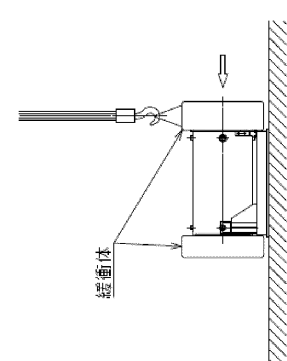
第7-5 図 FH/B内における取扱いフロー（燃料装荷～緩衝体取付け）

＜乾式キャスクの緩衝体取外し～貯蔵＞

No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
2-1	緩衝体取外し 	2-2	乾式キャスク立て起こし 	2-3	検査架台への移送 	2-4	取扱いモード ・貯蔵架台上への設置 ・下部トラニオンと貯蔵架台を固定 
想定 事象	—	想定 事象	—	想定 事象	検査架台への衝突 (第7-8図(a)) ・貯蔵架台と基礎を基礎 ボルトで固定	想定 事象	貯蔵架台への衝突 (第7-8図(b))
2-5	・三次蓋取外し ・監視装置取付け 	2-6	貯蔵エリアへの移動 	2-7	— 	—	—
想定 事象	三次蓋の衝突	想定 事象	搬送台車で搬送中の衝 突 (第7-8図(c))	想定 事象	—	—	—

第7-6図 乾式貯蔵施設内における取扱いフロー（緩衝体取外し～貯蔵）

＜乾式キャスクの貯蔵～緩衝体取付＞

No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
3-1	貯蔵架台と基礎との基礎ボルトの取外し 	3-2	検査架台へ移動 	3-3	監視装置取外し 三次蓋取付け 下部トラニオンと貯蔵架台を切り離し 	3-4	作業エリアへの移送 
想定 事象	—	想定 事象	搬送台車で搬送中の衝突 (第7-8図(c))	想定 事象	—	想定 事象	検査架台への衝突 (第7-8図(a))
3-5	乾式キャスク横倒し 	3-6	緩衝体取付け 				
想定 事象	横倒し時の衝突 (第7-8図(d))	想定 事象	緩衝体の衝突 (第7-8図(f))				

第7-7図 乾式貯蔵施設内における取扱いフロー（貯蔵後～緩衝体取付）

## 7.2 通常取扱い時に想定すべき事象の抽出

第7-1図～第7-7図の取扱いフローを踏まえ、通常取扱い時に想定すべき事象を第7-4表に示す。

第7-4表 通常取扱い時において想定すべき事象（1/2）

原因	想定事象	作業エリア	具体的な想定
作業員の誤操作	a. 検査架台への衝突 (第7-8図(a))	FH/B	乾式キャスクを吊上げ移送中に、クレーン走行速度(18m/分)で仮設架台に衝突する。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスクを吊上げ移送中に、クレーン走行速度(18m/分)で検査架台に衝突する。
	b. 貯蔵架台への衝突 (第7-8図(b))	FH/B	乾式キャスクを仮設架台へ設置時に、クレーン巻き下げ速度(1.2m/分)でキャスク底部が衝突する。
		乾式貯蔵施設	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。
	c. 搬送台車で搬送中の衝突 (第7-8図(c))	FH/B	搬送台車による作業はない。
		乾式貯蔵施設	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。
	d. 横倒し時の衝突 (第7-8図(d))	FH/B	乾式キャスクをトレーラー上で輸送架台へ横倒しする際に、クレーン巻き下げ速度(1.2m/分)で輸送架台に衝突する。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスクを輸送架台へ横倒しする際に、クレーン巻き下げ速度(1.2m/分)で輸送架台に衝突する。
	e. 蓋の衝突 (第7-8図(e))	FH/B	乾式キャスクへの二次蓋及び三次蓋取付け作業時に、クレーン巻き下げ速度(1.2m/分)で二次蓋(4.5t)が乾式キャスクに衝突する <sup>(注)</sup> 。
		乾式貯蔵施設	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(3.3t)が乾式キャスクに衝突する <sup>(注)</sup> 。

第 7-4 表 通常取扱い時において想定すべき事象 (2/2)

原因	想定事象	作業エリア	具体的な想定
作業員の誤操作	f. 緩衝体の衝突 (第 7-8 図 (f))	FH/B	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 (18m/分) で乾式キャスクに衝突する。
		乾式貯蔵施設	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 (18m/分) で乾式キャスクに衝突する。

(注) 二次蓋及び三次蓋の衝突時は、胴フランジ上端が一次蓋及び二次蓋上面より高い位置にあることから、二次蓋及び三次蓋は胴フランジ上端に衝突する。

第 7-4 表のとおり抽出した事象のうち、以下の理由から評価対象事象を第 7-5 表のとおりとし、評価条件を第 7-6 表に示す。

- ・ FH/B クレーンと乾式貯蔵建屋天井クレーンの仕様速度（走行・横行及び巻き上げ・巻き下げ）が同じであることから、乾式貯蔵施設での事象を代表事象とする。
- ・ FH/B 仮設架台よりも、乾式貯蔵施設の検査架台（常設）のほうが剛構造であるため、乾式貯蔵施設の評価に包絡される。
- ・ 乾式キャスク横倒し作業については、立起こし架台が設置される床条件は、床を剛体とし、乾式貯蔵施設及び FH/B の床条件（輸送車両上）に依らず包絡する条件としている。
- ・ 蓋の衝突については、乾式キャスク胴フランジ部に衝突し、密封境界部へ荷重が付加される挙動は二次蓋及び三次蓋でも同じであり、影響度合いは荷重に概ね比例するため、重量の大きい二次蓋（4.5t）の衝突を評価事象とする。

第 7-5 表 通常取扱い時において想定すべき事象の抽出結果（1/2）

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 a. 検査架台への衝突 (第 7-8 図 (a))	乾式キャスクを吊上げ移送中に、乾式貯蔵建屋天井クレーン走行速度（18m/分）で検査架台に衝突する。
	b. 貯蔵架台への衝突 (第 7-8 図 (b))	乾式キャスクを貯蔵架台へ設置時に、乾式貯蔵建屋天井クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で貯蔵架台に衝突する。
	c. 搬送台車で搬送中の衝突 (第 7-8 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。
	d. 横倒し時の衝突 (第 7-8 図 (d))	乾式キャスクの横倒し時に、乾式貯蔵建屋天井クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で輸送架台に衝突する。

第 7-5 表 通常取扱い時において想定すべき事象の抽出結果 (2/2)

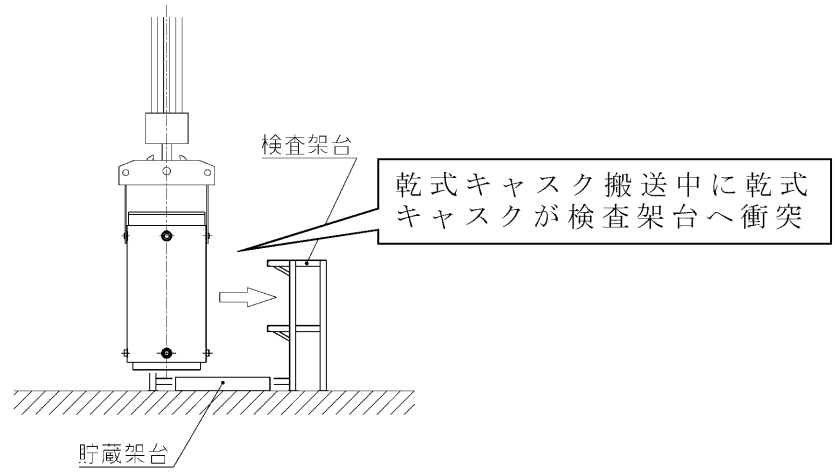
原因	想定事象		具体的な想定
作業員の誤操作	キャスクへの衝突	e. 二次蓋の衝突 (第 7-8 図 (e))	乾式キャスクへの二次蓋取付け作業時に、FH/B クレーン巻き下げ速度 (1.2m/分) で二次蓋が乾式キャスクに衝突する <sup>(注)</sup> 。
		f. 緩衝体の衝突 (第 7-8 図 (f))	乾式キャスクへ緩衝体取付け作業時に乾式貯蔵建屋天井クレーン走行速度 (18m/分) で乾式キャスクに衝突する。

(注) 二次蓋の異常衝突時は、胴フランジ (二次蓋部) が一次蓋上面より高い位置にあることから、二次蓋は胴フランジ上端に衝突する。

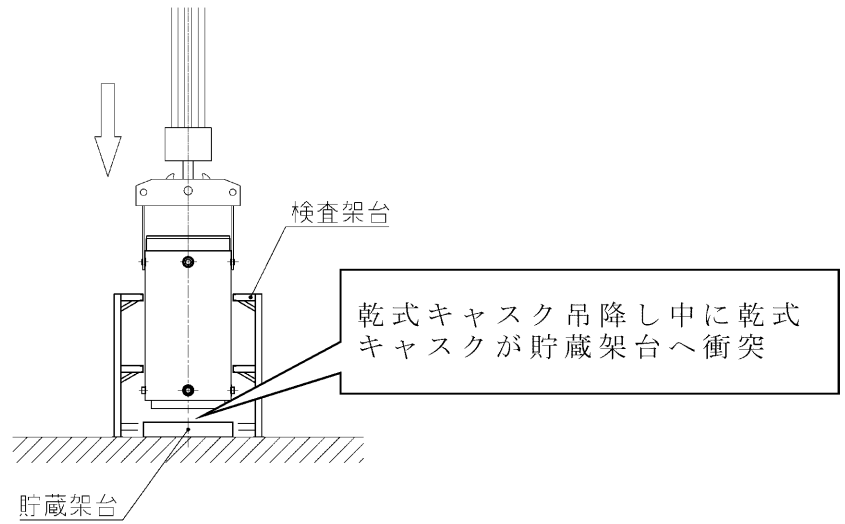
第 7-6 表 想定事象の評価条件

想定事象 <sup>(注)</sup>	被衝突物	衝突物	評価で使用する衝突物の仕様	
			質量	速度
a. 検査架台への衝突	検査架台	乾式キャスク	119.4ton	18 m/分
b. 貯蔵架台への衝突	貯蔵架台	乾式キャスク	119.4ton	1.2 m/分
d. 横倒し時の衝突	輸送架台	乾式キャスク	119.4ton	1.2 m/分
e. 二次蓋の衝突	乾式キャスク	二次蓋	4.5ton	1.2 m/分
f. 緩衝体の衝突	乾式キャスク	上部緩衝体	8.7ton	18 m/分
		下部緩衝体	6.2ton	18 m/分

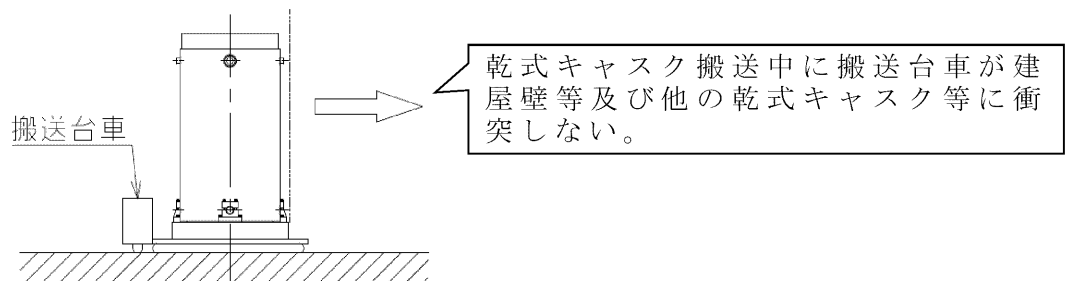
(注)c. 搬送台車で搬送中の衝突は、幾何学的に傾き角度が制限され、壁及び他の乾式キャスク等へ衝突しないため、除外する。



(a) 検査架台への衝突



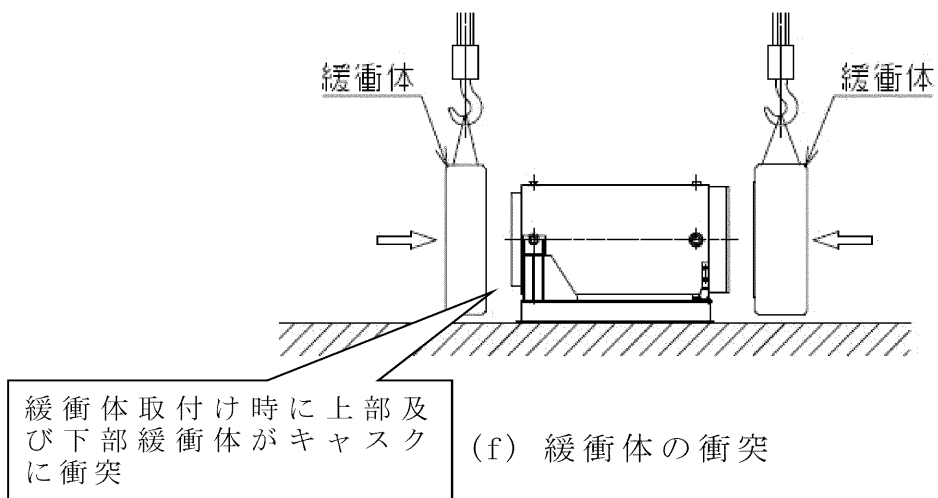
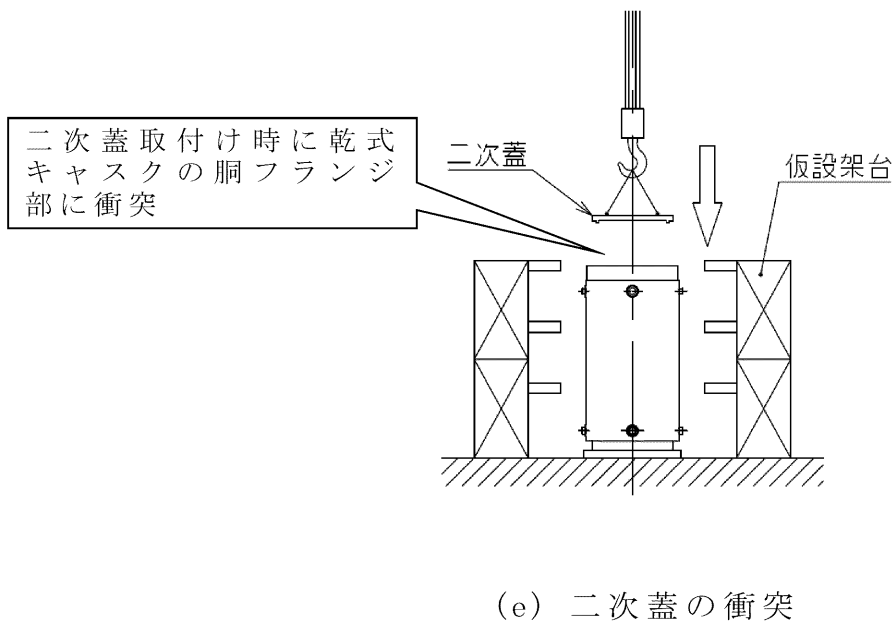
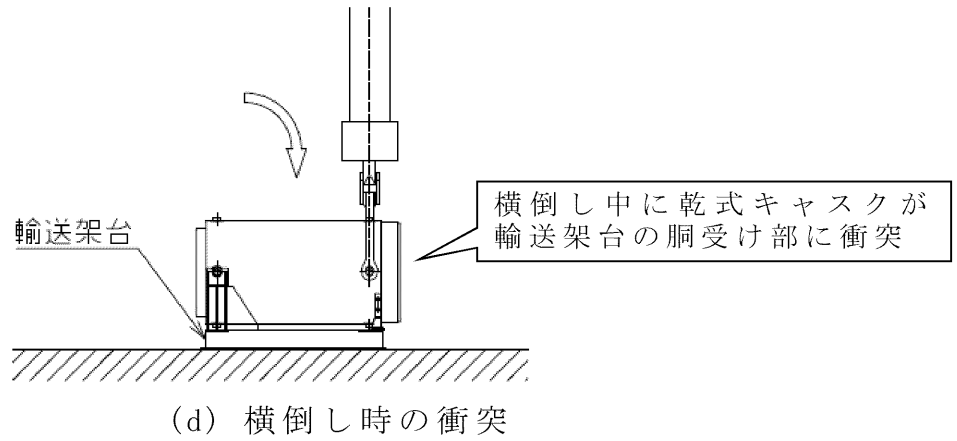
(b) 貯蔵架台への衝突



(c) 搬送台車で搬送中の衝突

第 7-8 図 想定される事象の衝撃荷重の算出体系 (1/2)





第7-8図 想定される事象の衝撃荷重の算出体系 (2/2)

### 7.3 通常取扱い時に想定すべき事象の評価

7.2 で抽出した想定事象が万一発生した場合でも、乾式キャスクの安全機能が維持可能であることを評価する。

#### 7.3.1 衝撃荷重の算出

(1) 衝突方向と重力が同じ方向の場合(想定事象 b. 及び e.)

誤作動による衝突により乾式キャスクに作用する衝撃荷重  $F$  は、衝突物の運動エネルギーが被衝突物の変形によって全て吸収されるものとして、下式により算出される。

エネルギー保存則より、衝突物の運動エネルギーと位置エネルギーが被衝突物の変形エネルギーと釣り合うとして、

$$\frac{1}{2}mv^2 + mg\delta = \frac{1}{2}k\delta^2$$

また、運動方程式より、

$$F = mg\alpha = k\delta$$

以上より、

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{kV^2}{mg^2}}$$

したがって、衝撃荷重  $F$  は、

$$F = mg\alpha = mg \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{kV^2}{mg^2}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- $g\alpha$  : 衝撃加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $k$  : 被衝突物のバネ定数 (N/m)
- $V$  : 衝突物の衝突速度 (m/s)
- $m$  : 衝突物の質量 (kg)
- $g$  : 重力加速度 = 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)
- $\delta$  : 被衝突物の変形量 (m)

(2) 衝突方向と重力が直行する場合 (想定事象 a. 及び f.)

誤作動による衝突により乾式キャスクに作用する衝撃荷重  $F$  は、衝突物の運動エネルギーが被衝突物の変形によって全て吸収されるものとして、下式により算出される。

エネルギー保存則より、衝突物の運動エネルギーが被衝突物の変形エネルギーと釣り合うとして、

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k\delta^2$$

また、運動方程式より、

$$F = mg\alpha = k\delta$$

以上より、

$$\alpha = \sqrt{\frac{kV^2}{mg^2}}$$

したがって、衝撃荷重  $F$  は、

$$F = mg\alpha = mg\sqrt{\frac{kV^2}{mg^2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- $g\alpha$  : 衝撃加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $k$  : 被衝突物のバネ定数 (N/m)
- $V$  : 衝突物の衝突速度 (m/s)
- $m$  : 衝突物の質量 (kg)
- $g$  : 重力加速度 = 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)
- $\delta$  : 被衝突物の変形量 (m)

(3) 横倒し時 (想定事象 d.)

横倒し時の衝突により乾式キャスクに作用する衝撃荷重  $F$  は、下部トラニオンを中心とした回転の運動エネルギーが被衝突物の変形によって全て吸収されるものとして、下式により算出される。

エネルギー保存則より、衝突物の運動（回転）エネルギーと位置エネルギーが被衝突物の変形エネルギーと釣り合うとして、

$$\frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mg\left(\frac{L_1}{L_2}\delta\right) = \frac{1}{2}k\delta^2$$

また、運動方程式より、

$$F = k\delta$$

以上より、衝撃荷重 F は、

$$F = \frac{mgL_1 + \sqrt{(mgL_1)^2 + 4L_2^2 k I \omega^2}}{2L_2} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

- ω : 横倒し時の角速度 (V/r) (rad/s)
- V : 衝突物の衝突速度 (m/s)
- r : 回転半径=3.860 m (下部トラニオンから上部トラニオンまでの距離)
- I : 下部トラニオン周りの慣性モーメント (kg・m<sup>2</sup>)
- k : 被衝突物のバネ定数 (N/m)
- δ : 被衝突物の変形量 (m)
- L<sub>1</sub> : 下部トラニオンから重心までの距離 (2.152 m)
- L<sub>2</sub> : 下部トラニオンから衝撃荷重の作用点までの距離 (4.170 m)
- m : 乾式キャスクの質量 (kg)

(1)～(3)で使用した計算条件及び衝撃荷重計算結果をそれぞれ第7-7表及び第7-8表に示す。

第7-7表 各想定事象時の衝撃荷重の計算条件

分類	想定事象						
	項目	適用式	$k$ <sup>(注9)</sup> [N/m]	$V$ [m/分]	$m$ [kg]	$I$ [kg・m <sup>2</sup> ]	$\omega$ [rad/s]
キヤスクの 衝突	a. 検査架台への衝突	(2)	$1.410 \times 10^9$ <sup>(注1)</sup>	18 <sup>(注6)</sup>	119400 (乾式キヤスク)	/	/
	b. 貯蔵架台への衝突	(1)	$1.016 \times 10^{11}$ <sup>(注2)</sup>	1.2 <sup>(注7)</sup>	119400 (乾式キヤスク)	/	/
	d. 横倒し時の衝突	(3)	$3.620 \times 10^{10}$ <sup>(注3)</sup>	1.2 <sup>(注7)</sup>	119400 (乾式キヤスク)	$8.92 \times 10^5$ <sup>(注8)</sup>	0.00518
キヤスクへ の衝突	e. 二次蓋の衝突	(1)	$6.692 \times 10^{10}$ <sup>(注4)</sup>	1.2 <sup>(注7)</sup>	4500 (二次蓋)	/	/
	f. 緩衝体（上部）の衝突	(2)	$4.646 \times 10^9$ <sup>(注5)</sup>	18 <sup>(注6)</sup>	8720 (上部緩衝体)	/	/
	f. 緩衝体（下部）の衝突	(2)	$4.643 \times 10^9$ <sup>(注5)</sup>	18 <sup>(注6)</sup>	6240 (下部緩衝体)	/	/

(注1)検査架台の足場の梁をモデル化し、乾式キヤスク衝突荷重により、検査架台の足場の梁が変形するとしてばね剛性を算出。

(注2)貯蔵架台全体をモデル化し、乾式キヤスク衝突荷重により、貯蔵架台が変形するとしてばね剛性を算出。

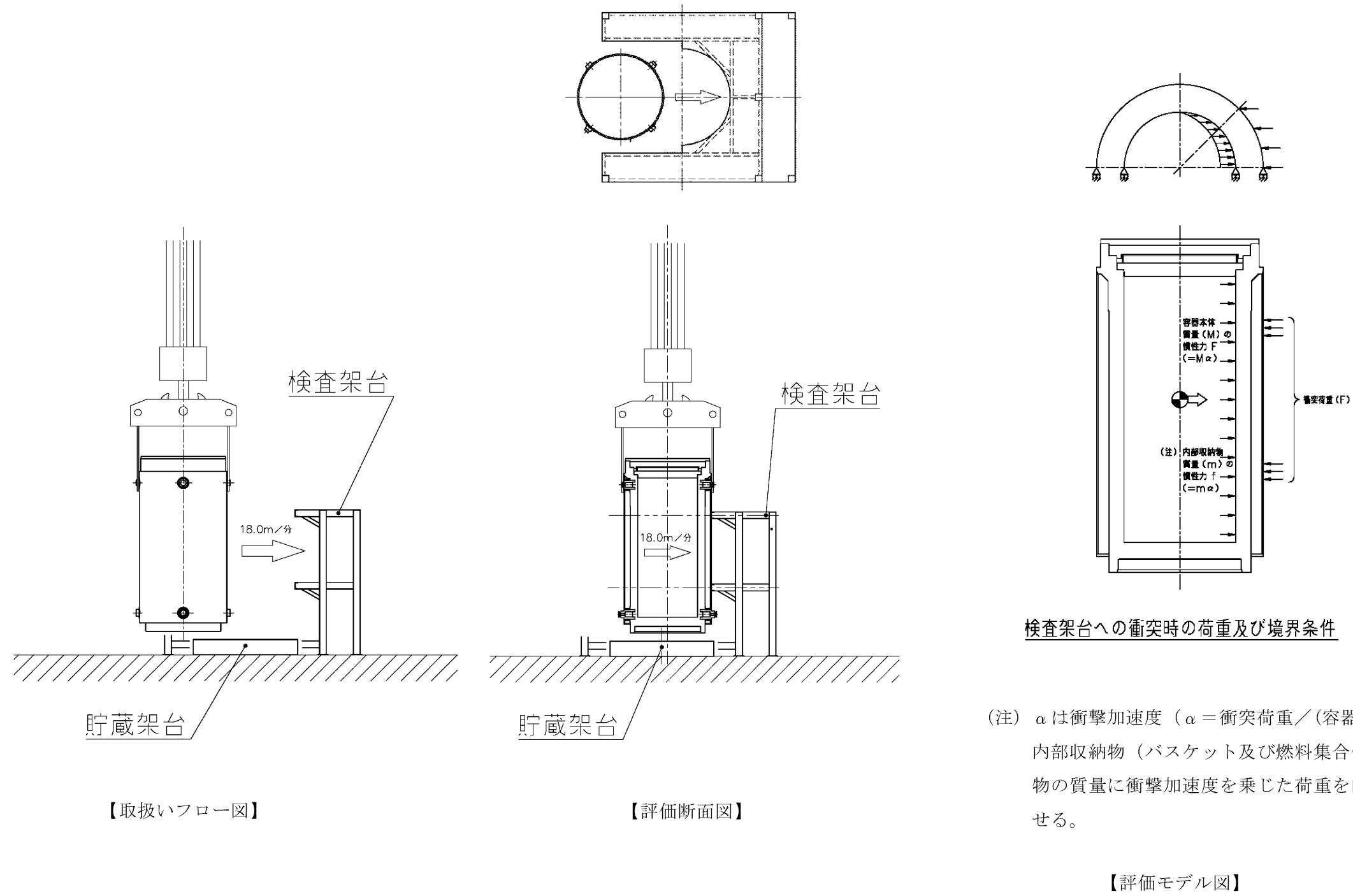
(注3)輸送架台の胴受け部をモデル化し、乾式キヤスク衝突荷重により、輸送架台の胴受け部が変形するとしてばね剛性を算出。

(注4)乾式キヤスク全体をモデル化し、二次蓋衝突荷重により、乾式キヤスクが変形するとしてばね剛性を算出。

- (注 5) 乾式キヤスク全体をモデル化し、緩衝体衝突荷重により、乾式キヤスクが変形するとしてばね剛性を算出。
- (注 6) 設計上のクレーン走行最大速度
- (注 7) 設計上のクレーン巻き下げ最大速度
- (注 8) 乾式キヤスクの各部材質量、形状、回転軸（下部トラニオン）から各部材の重心までの距離から算出。
- (注 9) ばね定数の算出方法は 7.3.6 項で説明する。

第 7-8 表 各想定事象時の衝撃荷重

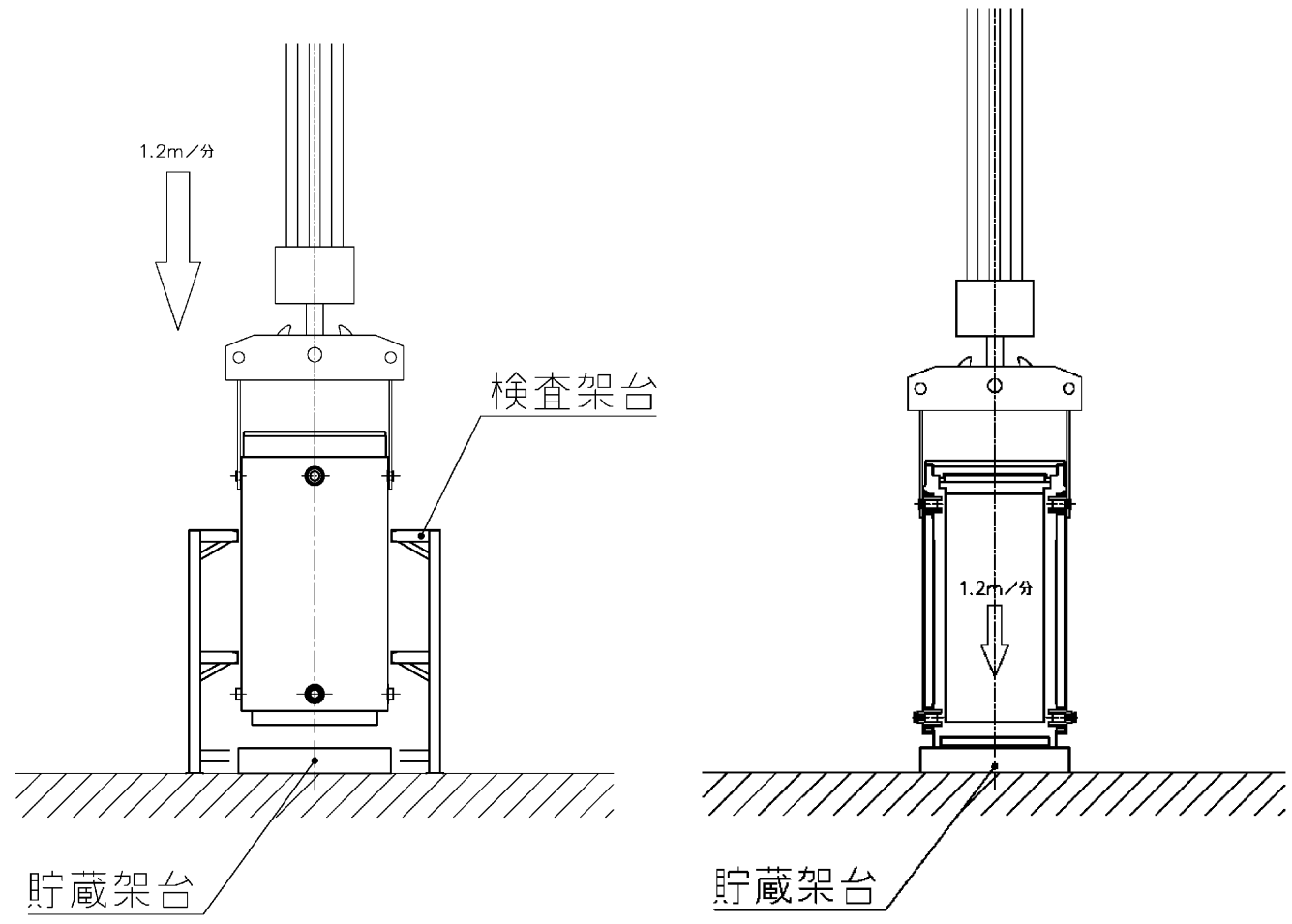
分類	想定事象	
	項目	衝撃荷重 (N)
キャスクの衝突	a. 検査架台への衝突	$3.893 \times 10^6$
	b. 貯蔵架台への衝突	$3.666 \times 10^6$
	d. 横倒し時の衝突	$1.281 \times 10^6$
キャスクへの衝突	e. 二次蓋の衝突	$3.940 \times 10^5$
	f. 緩衝体（上部）の衝突	$1.910 \times 10^6$
	f. 緩衝体（下部）の衝突	$1.615 \times 10^6$



(注)  $\alpha$  は衝撃加速度 ( $\alpha = \text{衝突荷重} / (\text{容器本体質量 } M + \text{内部収納物質量 } m)$ ) を示す。  
 内部収納物 (バスケット及び燃料集合体) は形状をモデル化しないため、内部収納物の質量に衝撃加速度を乗じた荷重を内部収納物の慣性力として、胴内面に作用させる。

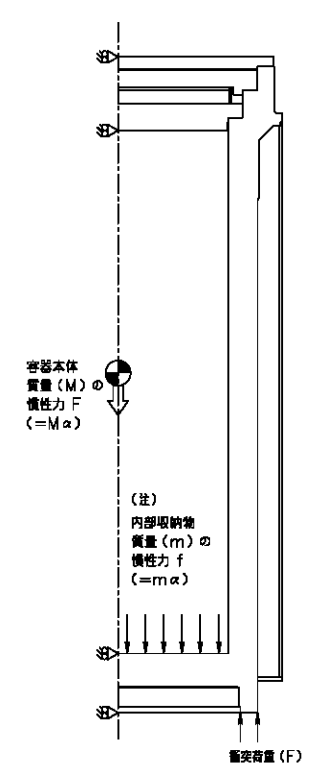
第 7-9 図 (a) 検査架台への衝突





【取扱いフロー図】

【評価断面図】

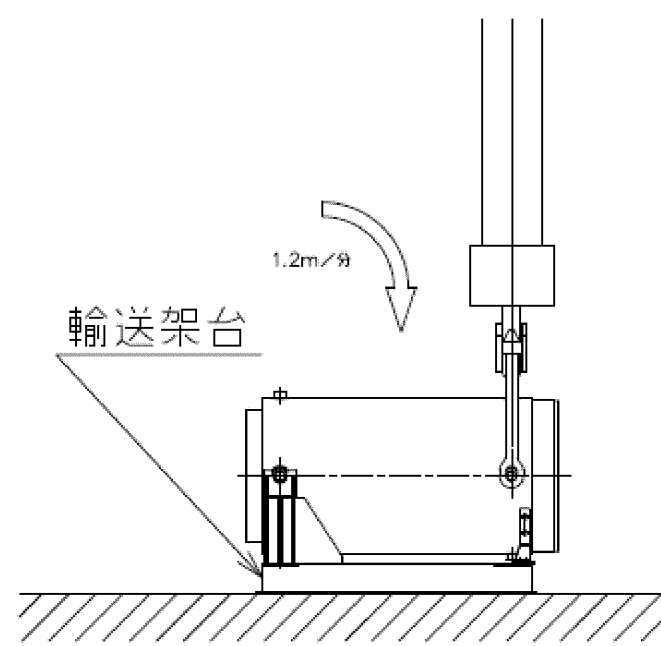


貯蔵架台への底部垂直落下時の荷重及び境界条件

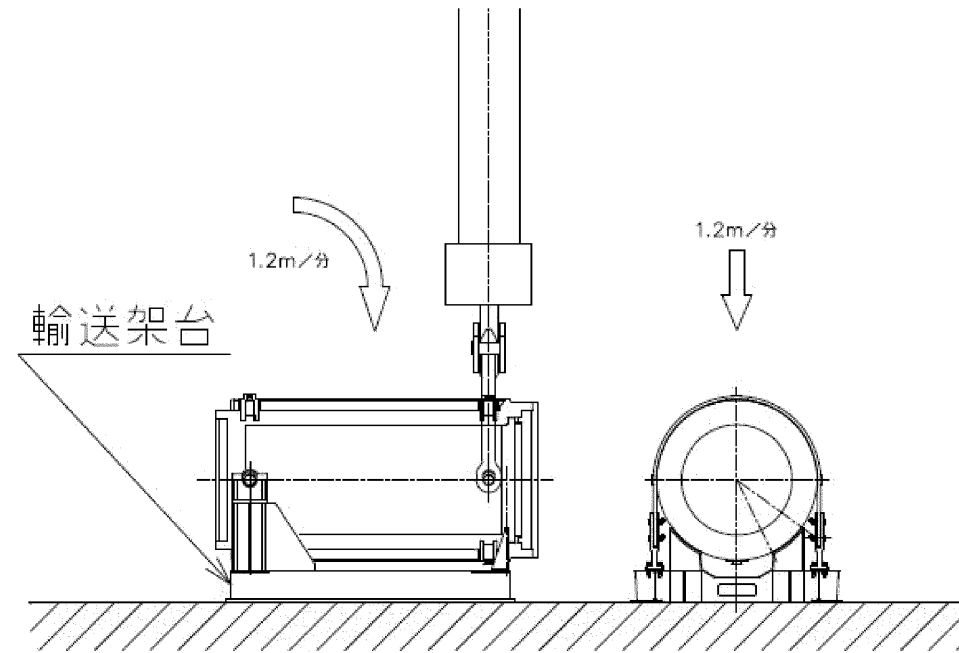
(注)  $\alpha$  は衝撃加速度 ( $\alpha = \text{衝突荷重} / (\text{容器本体質量 } M + \text{内部収納物質量 } m)$ ) を示す。  
 内部収納物 (バスケット及び燃料集合体) は形状をモデル化しないため、内部収納物の質量に衝撃加速度を乗じた荷重を内部収納物の慣性力として、胴内面に作用させる。

【評価モデル図】

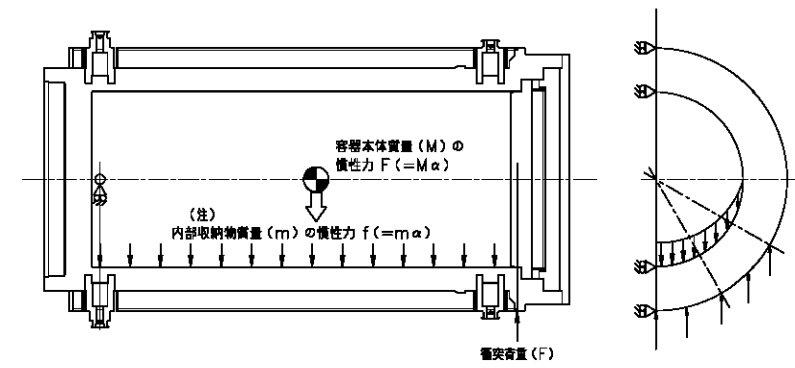
第 7-9 図 (b) 貯蔵架台への衝突



【取扱いフロー図】



【評価断面図】

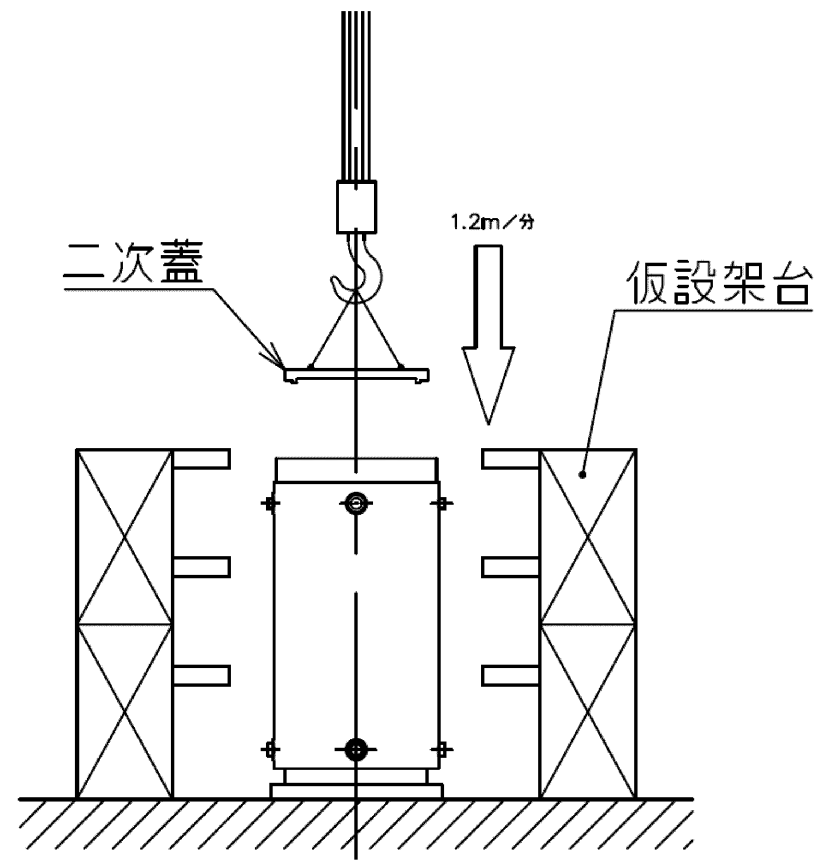


横倒し時の衝突時の荷重及び境界条件

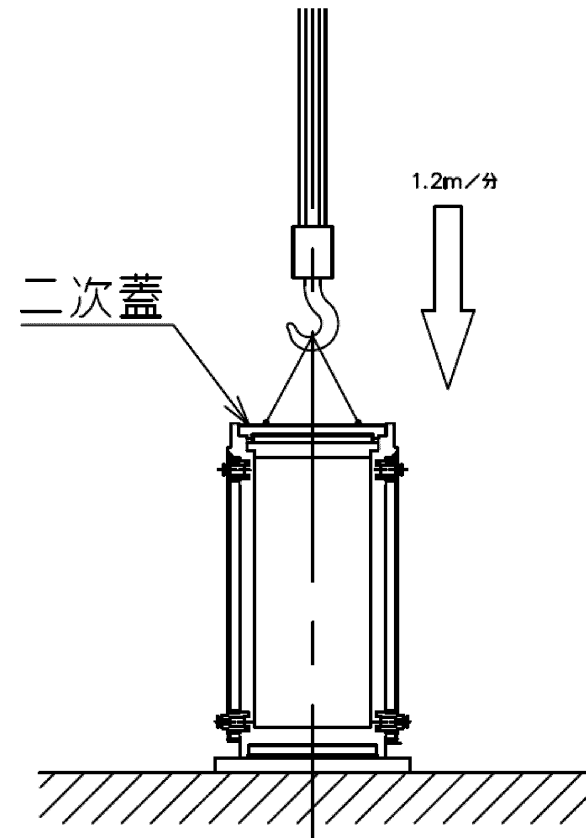
(注)  $\alpha$  は衝撃加速度 ( $\alpha = \text{衝突荷重} / (\text{容器本体質量 } M + \text{内部収納物質量 } m)$ ) を示す。  
 内部収納物 (バスケット及び燃料集合体) は形状をモデル化しないため、内部収納物の質量に衝撃加速度を乗じた荷重を内部収納物の慣性力として、胴内面に作用させる。

【評価モデル図】

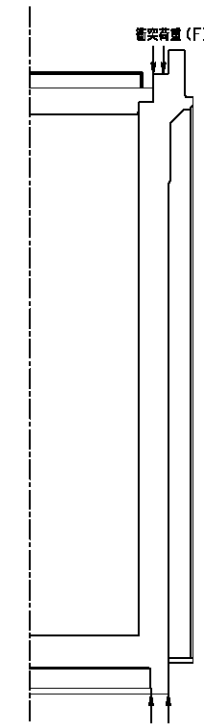
第 7-9 図 (d) 横倒し時の衝突



【取扱いフロー図】



【評価断面図】

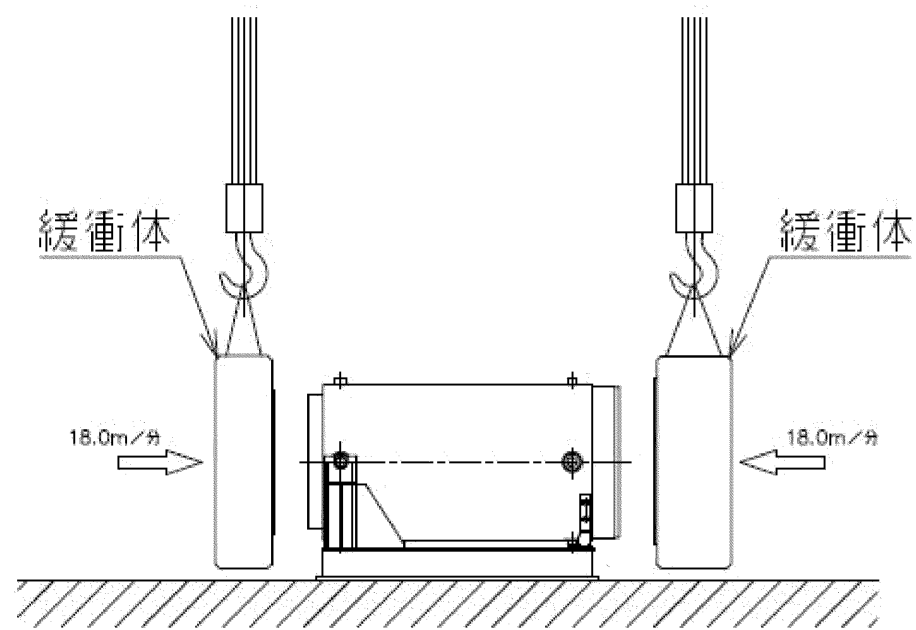


二次蓋の衝突時の荷重及び境界条件

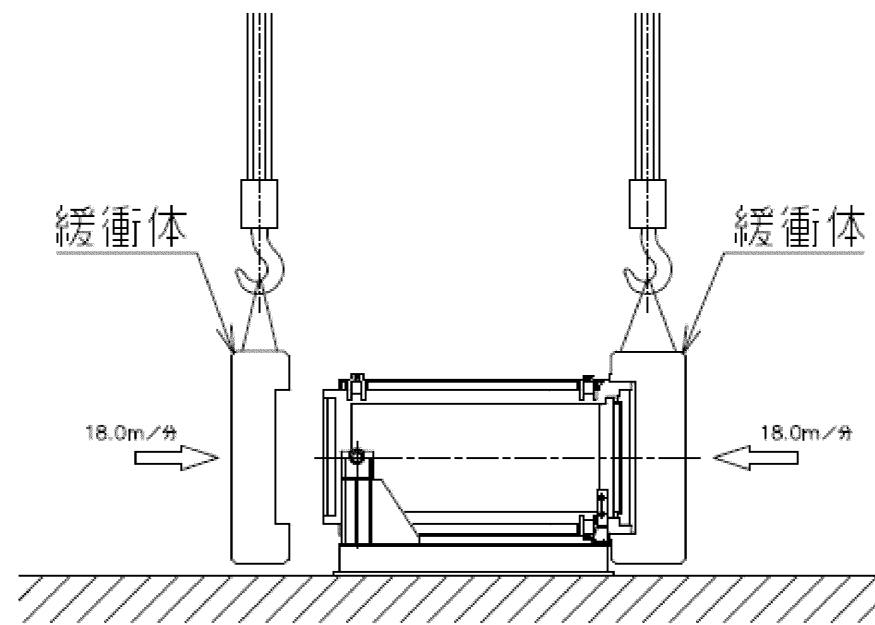
【評価モデル図】

(注) 二次蓋装着時は、二次蓋ボルト穴に位置決めピンを設置し、胴フランジからずれないように吊り下ろすため、胴フランジに一樣に荷重が作用するものとして評価を行う。

第 7-9 図 (e) 二次蓋の衝突

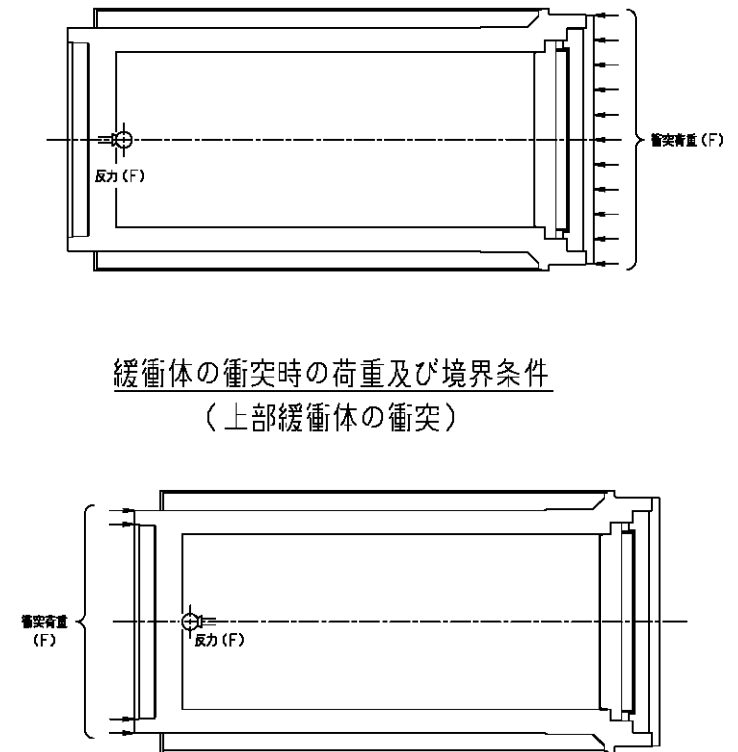


【取扱いフロー図】



【評価断面図】

(注) 緩衝体装着時は、緩衝体取付ボルト穴に位置決めピンを設置し、胴からずれないように取り付けるため、三次蓋又は胴底面に一様に荷重が作用するものとして評価を行う。



緩衝体の衝突時の荷重及び境界条件  
(上部緩衝体の衝突)

緩衝体の衝突時の荷重及び境界条件  
(下部緩衝体の衝突)

【評価モデル図】

第 7-9 図 (f) 緩衝体の衝突

### 7.3.3 応力評価の方針

乾式キャスクへ求められる4つの安全機能は未臨界、閉じ込め、遮蔽、除熱であり、想定事象時においてもこれら乾式キャスクの機能を維持する部位の構造健全性を維持する必要がある。ここで、各想定事象における衝突により乾式キャスクへ発生する加速度によりキャスクの各部材（胴、胴（底板）、外筒、中性子遮蔽材カバー、一次蓋、二次蓋、伝熱フィン、バスケット）へ発生する応力については、各部材の代表部位について評価を行い、各部材が構造健全性を維持することを確認する。

胴、胴（底板）、外筒、中性子遮蔽材カバー、一次蓋、二次蓋は、三次元FEMモデルを用いて評価を行う。なお、解析モデルは保守的に伝熱フィンをモデル化していないが、伝熱フィンに荷重が作用する場合は材料力学の公式を用いて評価を行う。また、バスケット及び胴（脚部）は、材料力学の公式及び核燃料輸送物設計承認申請で用いている式により評価を行う。評価基準は、乾式キャスクの除熱解析から得られた各評価部位の最高温度から設定した値を用いる。

各安全機能を維持する部材及び評価基準を表7-9に示す。胴、胴（底板）、一次蓋、二次蓋は、核燃料輸送物設計承認申請の0.3m落下（一般の試験条件）と同様に、使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版)の密封容器の供用状態Bの評価基準とする。外筒、中性子遮蔽材カバーは、胴、胴（底板）、一次蓋の中性子遮蔽材を支持する部材であって、圧力保持を目的としないことから、核燃料輸送物設計承認申請の0.3m落下（一般の試験条件）と同様に、発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)の支持構造物の供用状態Bの基準を準用して評価基準とする。バスケットは、臨界評価上の有意な変形を起こさないことを評価基準とする。伝熱フィンは、除熱機能を維持するための基準として弾性範囲内とする。また、乾式キャスクの応力評価位置を第7-10図に示す。

また、各想定事象において、衝突部近傍の評価を行い、衝突部近傍の構造健全性を確認し、安全機能が損なわれないことを確認する。

表 7-9 キャスクが担保すべき安全機能及び評価基準

想定事象時にキャスクが担保すべき安全機能	安全機能を維持する部材	安全機能を維持するための基準	左記に該当する応力評価基準
未臨界	バスケット <sup>(注3)</sup>	臨界評価上の有意な変形を起ささない	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_b \leq S_y$ $\tau \leq S_y/\sqrt{3}$
閉じ込め (閉じ込め境界)	一次蓋シール部 <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$P_m \leq S_y$ $P_L \leq S_y$ $P_L + P_b \leq S_y$ $P_L + P_b + Q \leq S_y$
	一次蓋ボルト、二次蓋ボルト <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$\sigma_m \leq 2S_m$ $\sigma_m + \sigma_b \leq 3S_m$
遮蔽	胴、一次蓋、二次蓋 <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$P_m \leq S_m$ $P_L \leq 1.5S_m$ $P_L + P_b \leq 1.5S_m$
	外筒、中性子遮蔽材カバー <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(設計・建設規格)	引張応力 $\leq F/1.5$ せん断応力 $\leq F/(1.5 \times \sqrt{3})$ 圧縮応力 $\leq F/1.5$ 曲げ応力 $\leq F/1.5$
除熱	バスケット <sup>(注3)</sup>	未臨界と同様とする	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_b \leq S_y$ $\tau \leq S_y/\sqrt{3}$
	胴、一次蓋、二次蓋 <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$P_m \leq S_m$ $P_L \leq 1.5S_m$ $P_L + P_b \leq 1.5S_m$
	伝熱フィン <sup>(注4)</sup>	弾性範囲内	$\sigma_b \leq 1.5S_y$ $\tau \leq S_y/\sqrt{3}$
	外筒、中性子遮蔽材カバー <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(設計・建設規格)	引張応力 $\leq F/1.5$ せん断応力 $\leq F/(1.5 \times \sqrt{3})$ 圧縮応力 $\leq F/1.5$ 曲げ応力 $\leq F/1.5$

(注 1) F の値は以下のとおり

(a) 使用温度が 40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼

$$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$$

(b) 上記(a)に示すもの以外

$$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$$

(注 2) 評価基準を定める物性値は、発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版)を適用。

(注 3) 評価基準を定める物性値は、メーカー保証値(MSF-21P型及びMSF-24P型の核燃料輸送物設計承認申請と同様)を適用。

(注 4) 評価基準を定める物性値は、2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code を適用。





評価断面	部 位	4つの安全機能	想定事象	備考
①	一次蓋中央部	閉/遮/熱	○	
②	一次蓋端部	閉/遮/熱	○	
③	二次蓋中央部	遮/熱	○	
④	二次蓋端部	遮/熱	○	
⑤	三次蓋中央部	閉	×	三次蓋は輸送時のみ装着のため、想定事象時は評価対象外
⑥	三次蓋端部	閉	×	
⑦	胴上部	閉	×	
⑧	胴中央部	閉/遮/熱	○	
⑨	胴下部	閉/遮/熱	○	
⑩	胴（底板）中央部	閉/遮/熱	○	
⑪	胴（底板）端部	閉/遮/熱	○	
⑫	外筒上部	遮/熱	○	
⑬	外筒中央部	遮/熱	○	
⑭	外筒下部	遮/熱	○	
⑮	下部端板端部	遮	○	
⑯	蓋部中性子遮蔽材カバー中央部	遮	○	
⑰	蓋部中性子遮蔽材カバー端部	遮	○	
⑱	底部中性子遮蔽材カバー中央部	遮	○	
⑲	底部中性子遮蔽材カバー端部	遮	○	
⑳	二次蓋シール部（蓋）	閉	×	輸送時のみ二重の水密性で要求のため、想定事象時は評価対象外
㉑	二次蓋シール部（胴）	閉	×	
㉒	一次蓋シール部（蓋）	閉	○	
㉓	一次蓋シール部（胴）	閉	○	

評価断面	部 位	4つの安全機能	想定事象	備考
②4	二次蓋ボルト	閉	○	輸送時のみ二重の水 密性で要求、想定事 象時は構造健全性の 維持で要求
②5	一次蓋ボルト	閉	○	
②6	胴上部 (vs 横倒し架台)	閉/遮/熱	○	衝突・荷重負荷され る部位を評価対象に 選定
②7	外筒 (vs 検査架台)	遮/熱	○	
②8	胴底板 (vs 貯蔵架台、下部緩衝体)	—	○	
②9	胴上部 (vs 横倒し架台)	遮	○	
③0	胴フランジ (vs 二次蓋)	閉	○	
③1	胴フランジ (vs 上部緩衝体)	—	○	
—	バスケット	臨/熱	○	
—	伝熱フィン	熱	○	

(1) バスケットプレートの圧縮応力の算出式

貯蔵架台への衝突時及び二次蓋の衝突時に最下段のバスケットプレート（第 7-11 図参照）には、それより上部にあるバスケットプレート等の自重及び鉛直方向の慣性力が作用し、圧縮による膜応力  $\sigma_c$  (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_b \times G_v}{A_1} \quad (1)$$

ここで、

$W_b$ : バスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材の合計

質量 (kg)

$G_v$ : 自重及び鉛直方向の加速度 ( $m/s^2$ )

$A_1$ : バスケットプレートと胴の接触面積 ( $mm^2$ )

バスケットプレートと胴の接触面積  $A_1$  は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 7-11 図に示す。

$$A_1 = (b_1 - b_2) \times L_1 \times n \quad (2)$$

ここで、

$b_1$ : バスケットプレート幅 1 (mm)

$b_2$ : バスケットプレート幅 2 (mm)

$L_1$ : バスケットプレート長さ (mm)

$N$ : 胴に接触するバスケットプレート  $L_1$  部の個数 (-)

(2) バスケットプレート縦板の圧縮応力の算出式

検査架台への衝突時、横倒し時の衝突時、及び緩衝体の衝突時にバスケットプレート縦板切欠部には、第 7-12 図に示すように、領域 I の範囲にあるバスケットプレート、バスケットサポート及び燃料集合体に生じる水平方向の慣性力並びに、領域 II のバスケットプレートに生じる水平方向の慣性力により、圧縮による膜応力  $\sigma_c$  (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_I + W_{II}}{A \times N} G_H \quad (3)$$

ここで、

$W_I$ ：領域Ⅰのバスケットプレート、中性子吸収材、バスケットサポート及び燃料集合体の質量 (kg)

$W_{II}$ ：領域Ⅱのバスケットプレート及び中性子吸収材の質量 (kg)

$G_H$ ：水平方向の加速度 ( $m/s^2$ )

$N$ ：バスケットプレートの数 (枚)

$A$ ：バスケットプレート縦板の断面積 ( $mm^2$ )

バスケットプレート縦板の断面積 $A$ は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第7-13図に示す。

$$A = (b_1 + b_2 \times 2) \times h_1 - (b_3 + b_4 \times 2) \times h_2 \quad (4)$$

ここで、

$b_1$ ：バスケットプレート幅1 (mm)

$b_2$ ：バスケットプレート幅2 (mm)

$h_1$ ：バスケットプレート高さ1 (mm)

$b_3$ ：バスケットプレート幅3 (mm)

$b_4$ ：バスケットプレート幅4 (mm)

$h_2$ ：バスケットプレート高さ2 (mm)

### (3) バスケットプレート横板の曲げ応力及びせん断応力の算出式

検査架台への衝突時、横倒し時の衝突時、及び緩衝体の衝突時にバスケットプレート横板切欠部には、第7-14図に示すようにバスケットプレート、中性子吸収材及び燃料集合体に生じる慣性力により曲げ応力 $\sigma_b$ 及びせん断応力 $\tau$ が生じる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (5)$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (6)$$

ここで、

- $\sigma_b$  : 曲げ応力 (MPa)  
 $\tau$  : せん断応力 (MPa)  
 $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)  
 $F$  : せん断荷重 (N)  
 $A$  : 断面積 (mm<sup>2</sup>)

曲げモーメント  $M$  は、以下の式で与えられる。

$$M = \frac{w \times \ell^2}{12} G_H \quad (7)$$

ここで、

- $w$  : 分布荷重 (kg/mm)  
 $\ell$  : バスケットセルの内幅 (mm)  
 $G_H$  : 水平方向の加速度 (m/s<sup>2</sup>)

分布荷重  $w$  は、以下の式で与えられる。

$$w = \frac{W_f + W_b \times N}{\ell \times N} \quad (8)$$

ここで、

- $W_f$  : 燃料集合体の質量 (kg)  
 $W_b$  : バスケットプレート及び中性子吸収材の質量 (kg)  
 $N$  : バスケットプレートの数 (段)

断面係数  $Z$  は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 7-15 図に示す。

$$Z = \frac{h_1^3 \times b_1 - h_2^3 \times (b_2 + b_3 \times 2)}{6h_1} \quad (9)$$

ここで、

- $h_1$  : バスケットプレート高さ 1 (mm)  
 $b_1$  : バスケットプレート幅 1 (mm)  
 $b_2$  : バスケットプレート幅 2 (mm)

$h_2$  : バスケットプレート高さ 2 (mm)

$b_3$  : バスケットプレート幅 3 (mm)

断面積  $A$  は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 7-15 図に示す。

$$A = b_1 \times h_1 - h_2 \times (b_2 + b_3 \times 2) \quad (10)$$

せん断荷重  $F$  は、以下の式で与えられる。

$$F = \frac{w \times \ell}{2} G_H \quad (11)$$

(4) 伝熱フィンの曲げ応力及びせん断応力の算出式

検査架台への衝突時に伝熱フィン溶接部には、衝突時の外筒の変形により伝熱フィンに曲げ応力 $\sigma_b$ 及びせん断応力 $\tau$ が生じる。なお、第7-16図に示すとおり、伝熱フィン溶接部は伝熱フィンに対して両側に隅肉溶接を施すが、保守側の評価として伝熱フィン溶接部のど部の面積は片側の隅肉のみを考慮して評価する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (12)$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (13)$$

ここで、

$\sigma_b$  : 曲げ応力 (MPa)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$\tau$  : せん断応力 (MPa)

F : 作用荷重 (N)

A : フィン溶接部のど部の断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで、曲げモーメントMは、以下の式で求められる。

$$M = F \times \ell \quad (14)$$

$\ell$  : フィンの長さ (mm)

ここで、作用荷重Fは、以下の式で求められる。

$$F = \frac{3EI}{\ell^2} v \quad (15)$$

E : 縦弾性係数 (MPa)

I : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

v : 外筒の変形量 (mm)



また、貯蔵架台への衝突時、二次蓋の衝突時、緩衝体の衝突時に伝熱フィン溶接部には、伝熱フィン及び中性子遮蔽材に生じる慣性力によりせん断応力 $\tau$ が生じる。なお、第7-16図に示すとおり、伝熱フィン溶接部は伝熱フィンに対して両側に隅肉溶接を施すが、保守側の評価として伝熱フィン溶接部のど部の面積は片側の隅肉のみを考慮して評価する。

$$\tau = \frac{(W_1+W_2)G_v}{A} \quad (16)$$

ここで、

$\tau$  : せん断応力 (MPa)

$W_1$  : 伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり重量 (kg/mm)

$W_2$  : 中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり重量 (kg/mm)

$G_v$  : 鉛直方向の加速度 ( $m/s^2$ )

$A$  : フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積 ( $mm^2/mm$ )

#### (5) 胴（脚部）の圧縮応力の算出式

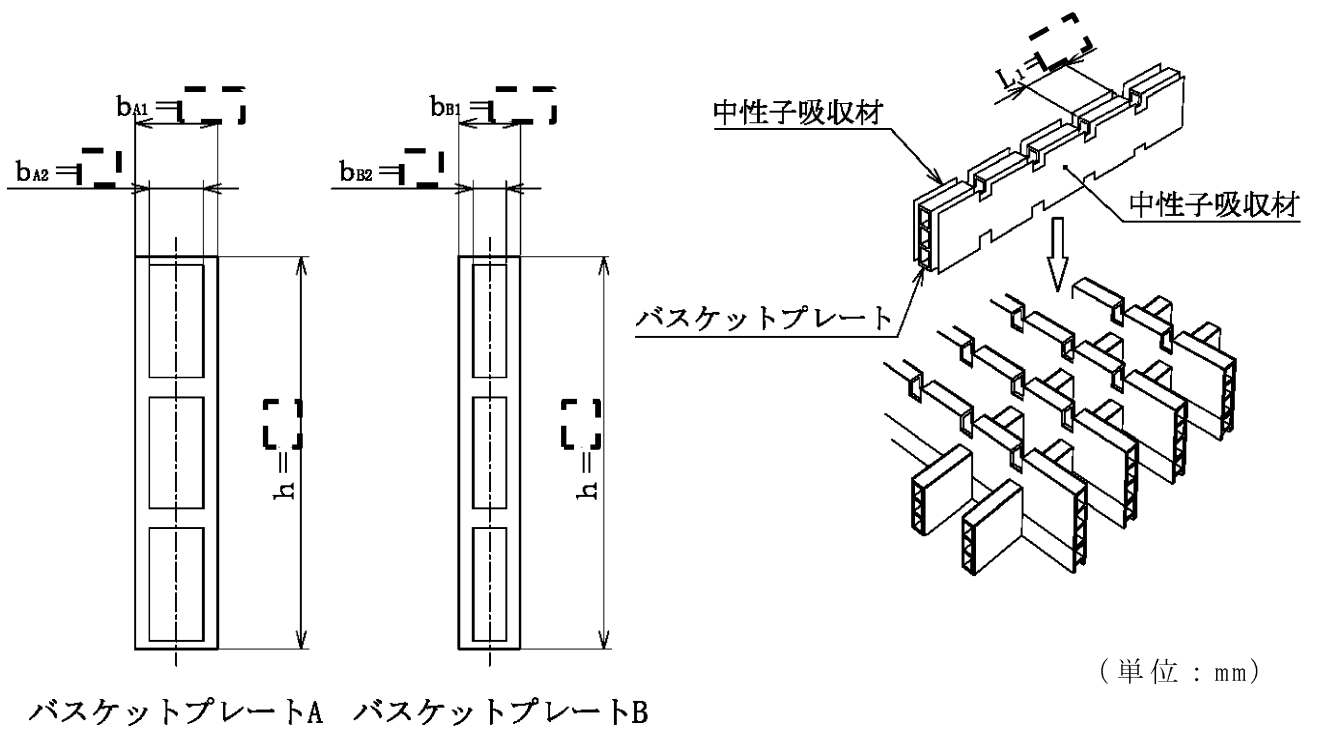
底面衝突時には、乾式キャスクの慣性力が作用し、衝突部近傍に圧縮応力 $\sigma_c$ が生じる。

$$\sigma_c = \frac{F_v}{A_c} \quad (17)$$

ここで、

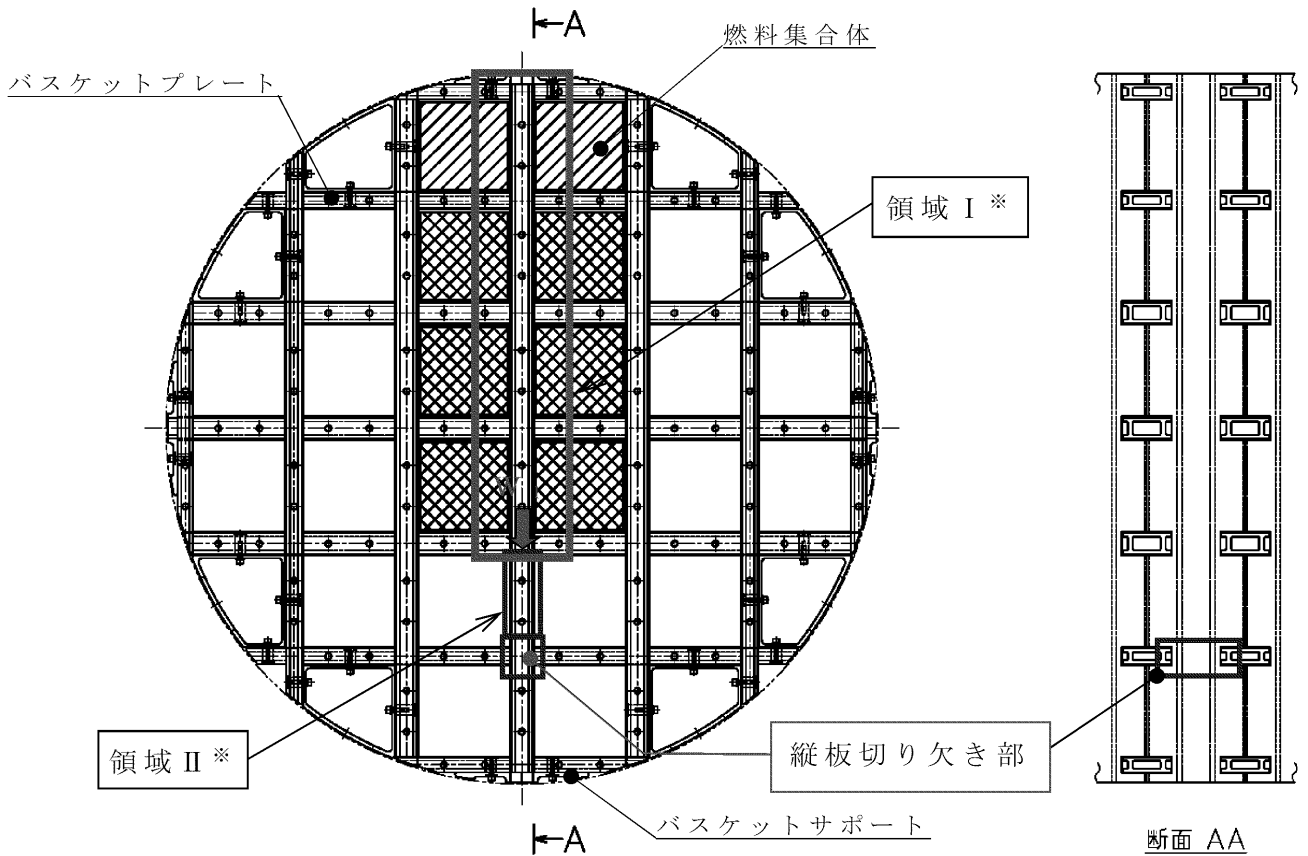
$F_v$  : 乾式キャスクに作用する鉛直方向荷重 (N)

$A_c$  : 胴（脚部）の圧縮面積 ( $mm^2$ )



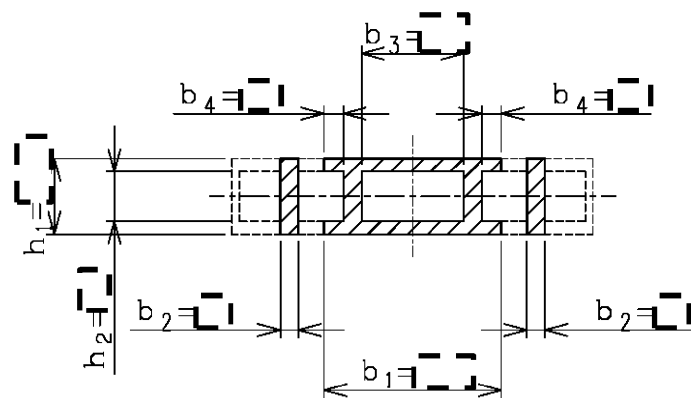
第 7-11 図    バスケットプレートのモデル図

□□: 商業機密に係る事項のため公開できません



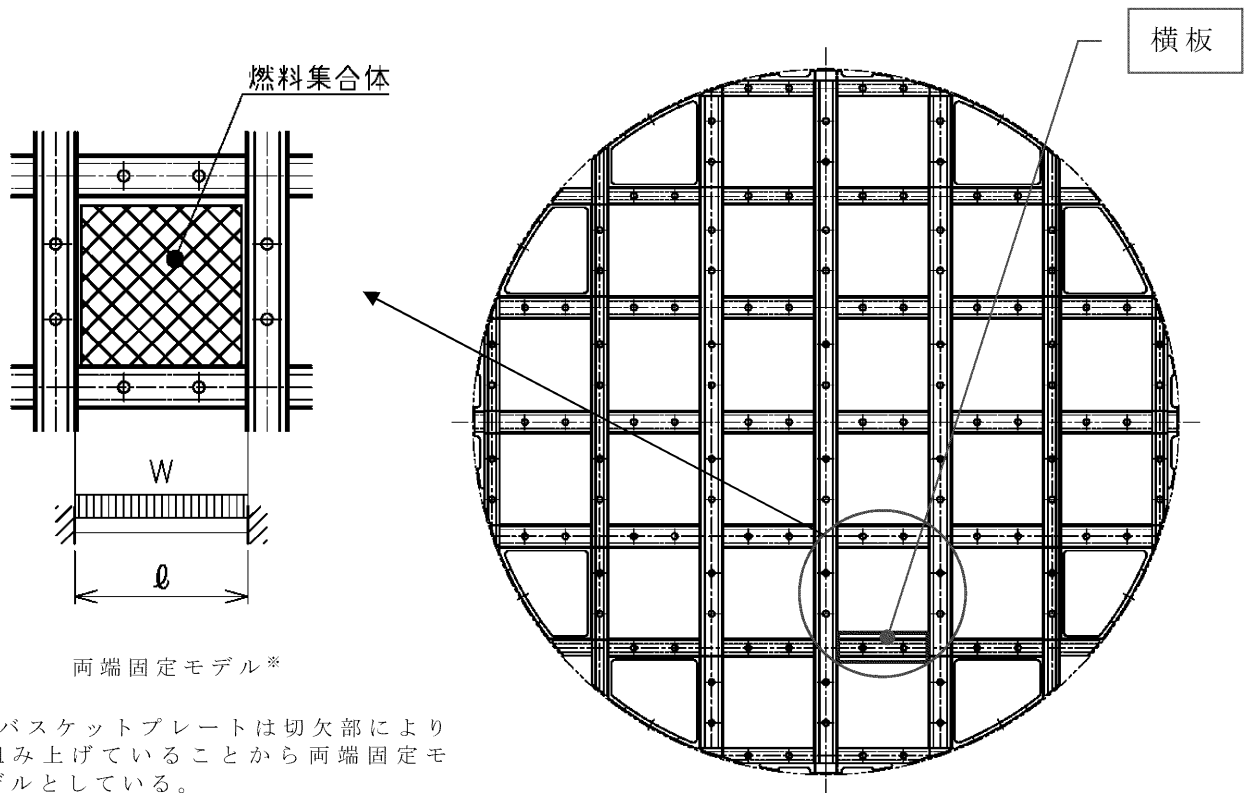
※：バスケットプレート最下段の縦板切欠部は、切欠部にかかる質量は最も大きくなる一方、バスケットサポートの支持により荷重を受ける断面積が大きくなり、発生する圧縮応力は最下段から2段目の切欠部と比較して低減され、最下段から2段目の切欠部において圧縮応力が最大となることから、領域 I 及び領域 II を選定している。

第 7-12 図 バスケットプレート縦板のモデル図

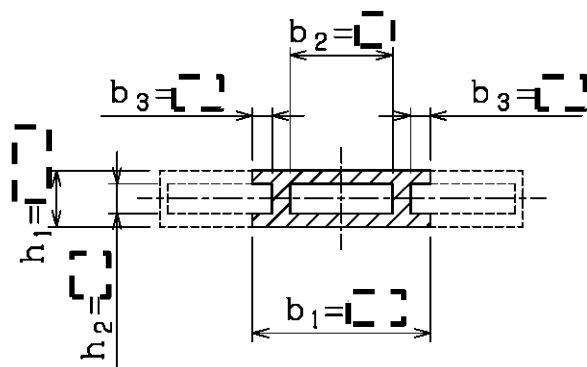


第 7-13 図 バスケットプレート縦板の断面

[ ]: 商業機密に係る事項のため公開できません

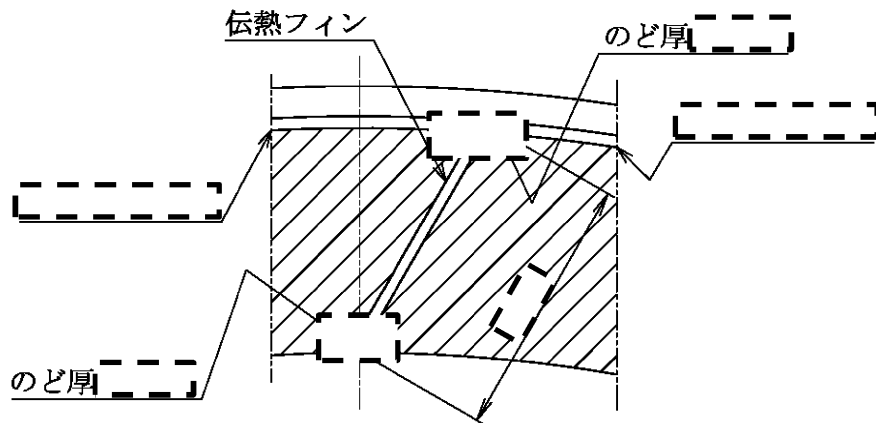


第 7-14 図 バスケットプレート横板のモデル図



第 7-15 図 バスケットプレート横板の断面

[ ]: 商業機密に係る事項のため公開できません



第7-16図 伝熱フィン溶接部のモデル図

#### 7.3.4 応力評価(各部材の構造健全性の確認)

##### (1) 検査架台への衝突(第7-9図(a.))

###### i. 評価事象

検査架台への衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、乾式キャスクの側部が最大速度(18m/分)で検査架台に衝突することを想定した評価を行う。

###### ii. 評価条件

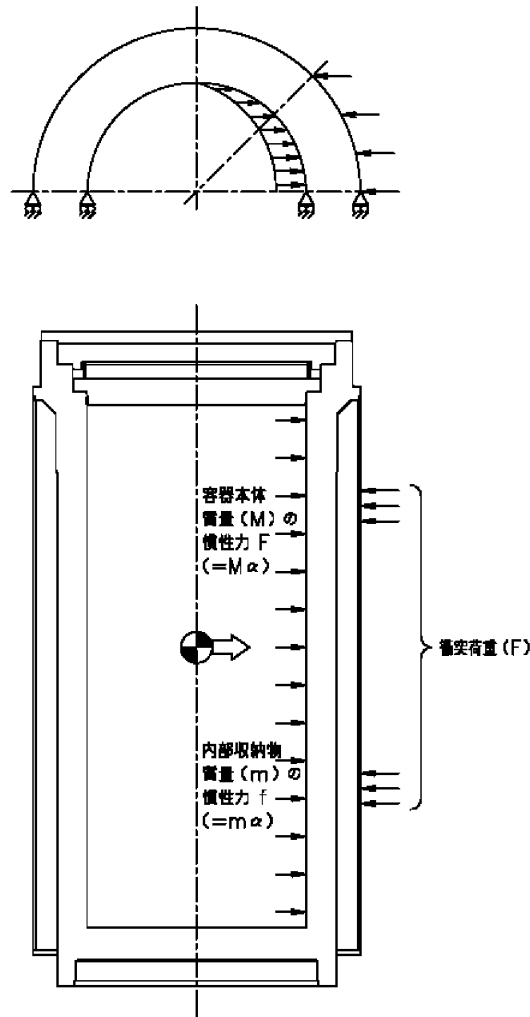
検査架台への衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体(胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト)を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第7-17図に示す。乾式キャスクの有する運動エネルギーが全て検査架台のひずみエネルギーで吸収されるとして算出される乾式キャスクに生じる衝撃荷重(第7-8表に示す  $3.893 \times 10^6$  N)に対応する慣性力を乾式キャスクに作用させるとともに、衝突荷重を外筒の2箇所に作用させる。

また、外筒と検査架台の衝突位置は、外筒の変形量が

〔 〕: 商業機密に係る事項のため公開できません

きくなるよう（後で述べる衝突部近傍の評価において、保守側の評価となるよう）、外筒の中央付近に検査架台が衝突する条件を代表として解析を実施する。



第 7-17 図 検査架台への衝突時の荷重条件及び境界条件

### iii. 基準値

評価基準は表 7-9 に示すとおりとする。

### iv. 評価結果

検査架台への衝突時における応力解析結果を第 7-10 表に示す。検査架台への衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していること

から、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-10 表 検査架台への衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	8	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	3	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	43	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	23	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	6	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	60	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	16	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	207	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	2	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	60	1.5Sy	82

(注 1) Sy：設計降伏応力（規格値又は文献値）、Sm：設計応力強さ（規格値）

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$ （使用温度が 40°C を超える  
オーステナイト系ステンレス鋼）

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$ （上記示すもの以外）

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(2) 貯蔵架台への衝突（第 7-9 図（b.））

i. 評価事象

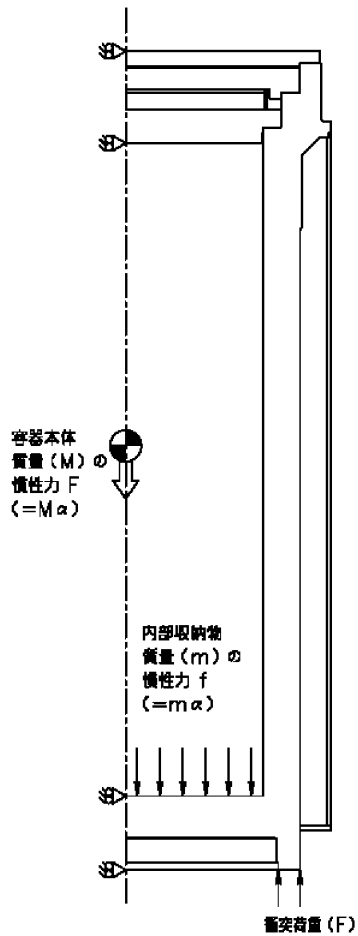
貯蔵架台への衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、乾式キャスクの底部が最大速度（1.2m/分）で貯蔵架台に衝突することを想定した評価を行う。

ii. 評価条件

貯蔵架台への衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体（胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト）を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第 7-18 図に示す。乾式キャスクの有する運動エネルギーが全て貯蔵架台のひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重（第 7-8 表に示す  $3.666 \times 10^6$  N）から保守側に設定した約  $5.9 \times 10^6$  N（5G 相当）に対応する慣性力を乾式キャスクに作用させるとともに、衝突荷重を胴の下端部に作用させる。





第 7-18 図 貯蔵架台への衝突時の荷重条件及び境界条件

### iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

### iv. 評価結果

貯蔵架台への衝突時における応力解析結果を第 7-11 表に示す。

貯蔵架台への衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-11 表 貯蔵架台への衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	9	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	9	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	3	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	6	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	34	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	4	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	4	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	34	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	60	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	16	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	203	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	2	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	$Sy/\sqrt{3}$	31

(注 1) Sy : 設計降伏応力 (規格値又は文献値)、Sm : 設計応力強さ (規格値)

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$  (使用温度が 40°C を超える  
オーステナイト系ステンレス鋼)

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(3) 横倒し時の衝突（第 7-9 図（d.））

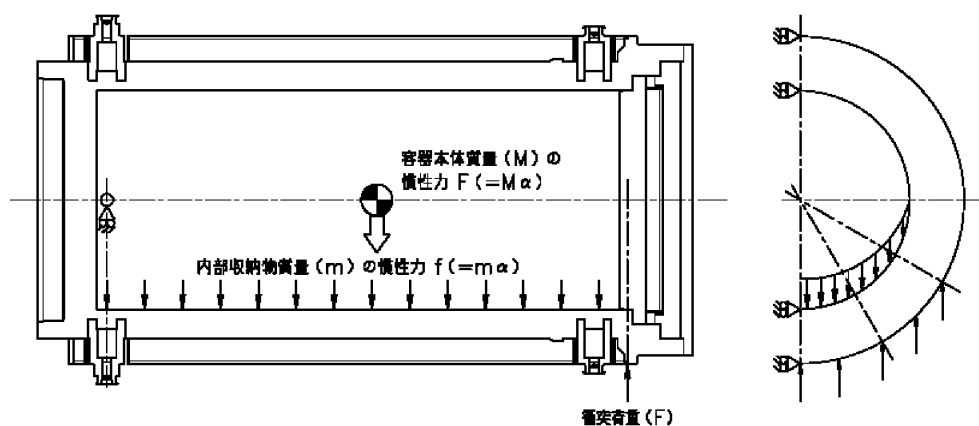
i. 評価事象

横倒し時の衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、乾式キャスクの胴上部が最大速度（1.2m/分）で縦起こし架台に衝突することを想定した評価を行う。

ii. 評価条件

横倒し時の衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体（胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト）を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第 7-19 図に示す。乾式キャスクの有する運動エネルギーが全て輸送架台のひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重（第 7-8 表に示す  $1.281 \times 10^6 \text{ N}$ ）に対応する慣性力を乾式キャスクに作用させるとともに、衝撃荷重を本体胴フランジ部に作用させる。



第 7-19 図 横倒し時の衝突時の荷重条件及び境界条件

iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

iv. 評価結果

横倒し時の衝突時における応力解析結果を第 7-12 表に示す。

横倒し時の衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-12 表 横倒し時の衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	3	Sm	123
胴（底板）	GLF1	140	2	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	40	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	12	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	4	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	63	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	34	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	207	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	-	-	-	-

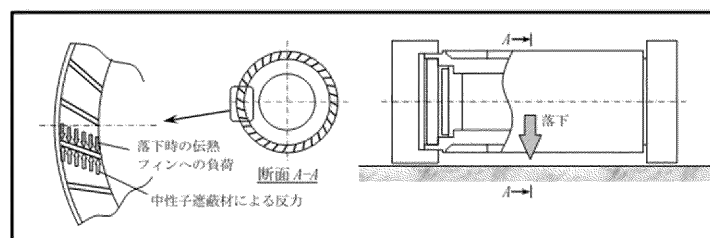
(注 1)  $S_y$  : 設計降伏応力 (規格値又は文献値)、 $S_m$  : 設計応力強さ (規格値)

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$  (使用温度が  $40^\circ\text{C}$  を超えるオーステナイト系ステンレス鋼)

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(注 3) 横倒し時には、伝熱フィンの鉛直上側に位置する中性子遮蔽材の慣性力が伝熱フィンに作用するが、伝熱フィンは鉛直下側の中性子遮蔽材により支えられるため、伝熱フィンに慣性力による応力は発生しない。したがって、構造強度評価は行わない。



(4) 二次蓋の衝突（第 7-9 図（e.））

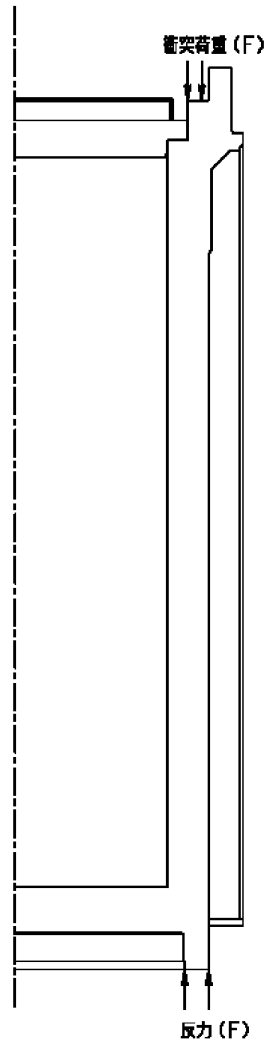
i. 評価事象

二次蓋の衝突として、FH/B クレーンの誤操作により、二次蓋が最大速度（1.2m/分）で乾式キャスクの胴上面に衝突することを想定した評価を行う。

ii. 評価条件

二次蓋の衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体（胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト）を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第 7-20 図に示す。二次蓋の有する運動エネルギーが全て乾式キャスクのひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重（第 7-8 表に示す  $3.940 \times 10^5 \text{ N}$ ）を胴上面に作用させるとともに、衝撃荷重の反力を胴の下端部に作用させる。



第 7-20 図 二次蓋衝突時の荷重条件及び境界条件

iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

iv. 評価結果

二次蓋の衝突時における応力解析結果を第 7-13 表に示す。なお、二次蓋の衝突時には、内部収納物の慣性力が作用せず、バスケットには応力は発生しないため、自重による応力を記載している。

二次蓋の衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-13 表 二次蓋の衝突時における応力解析結果 (1/2)

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	4	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	-	-	-
胴	GLF1	130	3	1.5Sm	184
胴 (底板)	GLF1	140	1	Sm	122
外筒	SGV480	120	34	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	10	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	51	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	31	F/1.5	136
一次蓋シール部 (蓋側)	GLF1	115	60	Sy	185
一次蓋シール部 (胴側)	GLF1	120	14	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	250	2Sm	562



第 7-13 表 二次蓋の衝突時における応力解析結果 (2/2)

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	-	-	-
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	$Sy/\sqrt{3}$	31

(注 1) Sy : 設計降伏応力 (規格値又は文献値)、Sm : 設計応力強さ (規格値)

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)]$  (使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼)

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(5) 緩衝体 (上部及び下部) の衝突 (第 7-9 図 (f.))

i. 評価事象

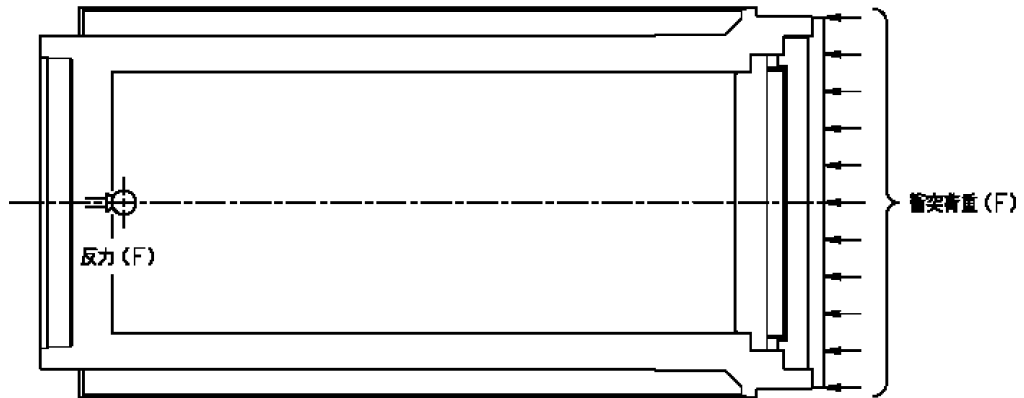
緩衝体 (上部及び下部) の衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、上部緩衝体が最大速度 (18m/分) で乾式キャスクの三次蓋上面に衝突することを想定した評価、並びに、下部緩衝体が乾式キャスクの胴底面に衝突することを想定した評価を行う。

ii. 評価条件

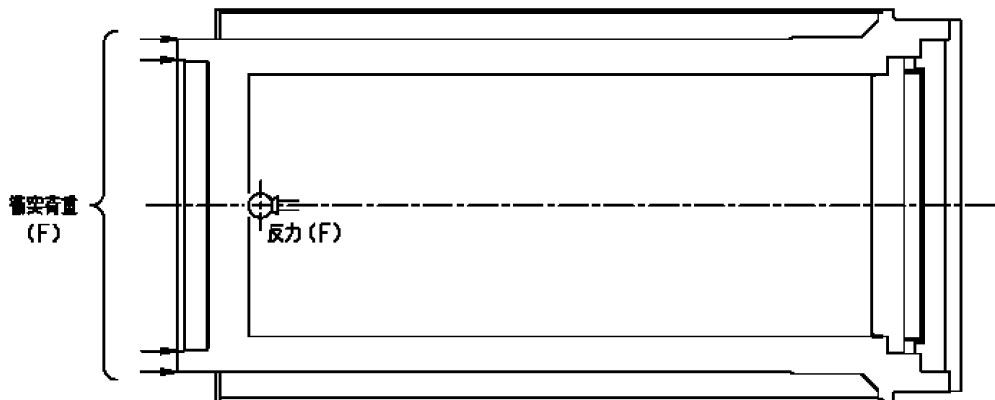
緩衝体の衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体 (胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト) を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第 7-21 図及び第 7-22 図に示す。緩衝体の有する運動エネルギーが全て乾式キャスクのひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重

(第 7-8 表に示す上部： $1.910 \times 10^6 \text{ N}$ 、下部： $1.615 \times 10^6 \text{ N}$ )  
 を三次蓋上面又は胴底面に作用させるとともに、衝撃荷重  
 の反力を下部トラニオンに作用させる。



第 7-21 図 上部緩衝体衝突時の荷重条件及び境界条件



第 7-22 図 下部緩衝体衝突時の荷重条件及び境界条件

### iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

### iv. 評価結果

緩衝体の衝突時における応力解析結果を第 7-14 表及び  
 第 7-15 表に示す。なお、緩衝体の衝突時には、内部収納  
 物の慣性力が作用せず、バスケットには応力は発生しない

ため、自重による応力を記載している。

緩衝体の衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii.項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-14 表 上部緩衝体の衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	10	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	9	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	35	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	13	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	6	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	64	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	32	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	206	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	Sy/√3	31

（注 1）Sy：設計降伏応力（規格値又は文献値）、Sm：設計応力強さ（規格値）

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$ （使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼）

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

第 7-15 表 下部緩衝体の衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	10	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	8	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	37	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	9	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	3	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	63	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	33	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	207	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	$Sy/\sqrt{3}$	31

(注 1) Sy : 設計降伏応力（規格値又は文献値）、Sm : 設計応力強さ（規格値）

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$ （使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼）

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$ （上記示すもの以外）

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

### 7.3.5 衝突部位近傍の評価

#### (1) 検査架台への衝突

検査架台への衝突時には、外筒の衝突部近傍にせん断応力が発生することから、せん断により変形しないことを評価する。衝突部近傍に発生するせん断応力は、衝撃荷重を衝突部の断面積で除して算出する。衝突部近傍の応力解析結果を第7-16表に示す。発生するせん断応力は、基準を満足しており、安全機能への影響はない。

#### (2) 貯蔵架台への衝突、横倒し時の衝突、二次蓋の衝突及び緩衝体の衝突

貯蔵架台への衝突時、横倒し時の衝突時、二次蓋の衝突時及び緩衝体の衝突時には、衝突部近傍に圧縮応力が発生することから、圧縮により変形しないことを評価する。衝突部近傍に発生する圧縮応力は、衝撃荷重を衝突部の断面積で除して算出する。衝突部近傍の応力解析結果を第7-16表に示す。発生する圧縮応力は、基準を満足しており、安全機能への影響は生じない。

第 7-16 表 各想定事象時の衝突部位近傍の応力解析結果

項目	衝撃荷重 (N)	衝突部の 断面積 (mm <sup>2</sup> )	衝突部に発 生する応力 (MPa)	解析 基準 (注 1)	解析 基準値 (MPa)
a. 検査架台への 衝突	$3.893 \times 10^6$	$1.970 \times 10^5$ (注 2)	20(せん断)	$S_y/\sqrt{3}$	135
b. 貯蔵架台への 衝突	$3.666 \times 10^6$	$9.448 \times 10^5$ (注 3)	4(圧縮)	$S_y$	183
d. 横倒し時の衝 突	$1.281 \times 10^6$	$4.522 \times 10^4$ (注 4)	29(圧縮)	$S_y$	185
e. 二次蓋の衝突	$3.940 \times 10^5$	$7.556 \times 10^5$ (注 5)	1(圧縮)	$S_y$	185
f. 緩衝体 (上部) の衝突	$1.910 \times 10^6$	$9.377 \times 10^5$ (注 6)	3(圧縮)	$S_y$	185
f. 緩衝体 (下部) の衝突	$1.615 \times 10^6$	$9.448 \times 10^5$ (注 3)	2(圧縮)	$S_y$	183

(注 1)  $S_y$  : 設計降伏点 (規格値)。検査架台への衝突における  
解析 基準値は、せん断ひずみエネルギー説に基づき  
 $S_y$  の  $1/\sqrt{3}$  とした。検査架台への衝突を除く衝突事象  
の解析基準は  $S_y$  とした。

(注 2) 外筒のせん断断面積

(注 3) 胴底部の圧縮断面積

(注 4) 胴上部の圧縮断面積

(注 5) 胴フランジ (二次蓋部) の圧縮断面積

(注 6) 胴フランジ (三次蓋部) の圧縮断面積

### 7.3.6 使用済燃料集合体の評価

7.2で抽出した想定事象が万一発生した場合でも、使用済燃料集合体に発生する応力は弾性範囲内であり、使用済燃料集合体に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料集合体の再取出性に問題ないことを評価する。

第7-17表に示すとおり、核燃料輸送物設計承認申請の0.3m落下（一般の試験条件）において使用済燃料集合体に発生する応力は弾性範囲内である。想定事象における衝撃加速度は、0.3m落下における衝撃加速度以下であるため、想定事象において使用済燃料集合体に発生する応力も弾性範囲内となる。なお、使用済燃料集合体は乾式キャスク内部にあつて結合されていないため、a.、b.及びd.の事象では使用済燃料集合体に発生する加速度は乾式キャスクの衝突等の事象によって発生する方向の加速度と同等である。一方、e.及びf.の事象では、衝突時に内部収納物の慣性力が作用しないため、使用済燃料集合体に発生する衝撃加速度は自重のみとなる。

したがって、各想定事象において、使用済燃料集合体に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料集合体の再取出性に問題はない。



第 7-17 表 使用済燃料集合体の応力評価結果

項目	想定事象 における 衝撃加速度	0.3m 落下 における 衝撃加速度	0.3m 落下 における 発生応力	解析 基準	解析基準値 (MPa)
a. 検査架台への衝突	3.3g <sup>(注 1)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa	Sy	589 MPa <sup>1)</sup> (ジルコニウム、 215°C)
b. 貯蔵架台への衝突	3.1g <sup>(注 1)</sup>	27.5g (頭部垂直 落下)	105 MPa		
d. 横倒し時の衝突	1.1g <sup>(注 1)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa		
e. 二次蓋の衝突	1g <sup>(注 2)</sup>	27.5g (頭部垂直 落下)	105 MPa		
f. 緩衝体(上部)の衝突	1g <sup>(注 2)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa		
f. 緩衝体(下部)の衝突	1g <sup>(注 2)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa		

(注 1) 第 7-8 表に記載する衝撃荷重と第 7-6 表に記載する質量から、  
以下式により算出。

$$\text{衝撃加速度 (g)} = \frac{\text{衝撃荷重 (N)}}{\text{質量 (kg)} \times \text{g}(9.80665\text{m/s}^2)}$$

(注 2) 二次蓋の衝突時及び緩衝体の衝突時には、内部収納物の慣性力が作用しないため、使用済燃料集合体に発生する衝撃加速度は自重とする。

### 7.3.7 各想定事象時の衝撃荷重のばね定数の算出方法について

#### (1) 検査架台への衝突

検査架台への衝突時には、第 7-23 図に示す 2 枚の足場板の梁が圧縮変形するとして検査架台衝突部のばね剛性  $K_1$  は次式<sup>2)</sup>より算出する。

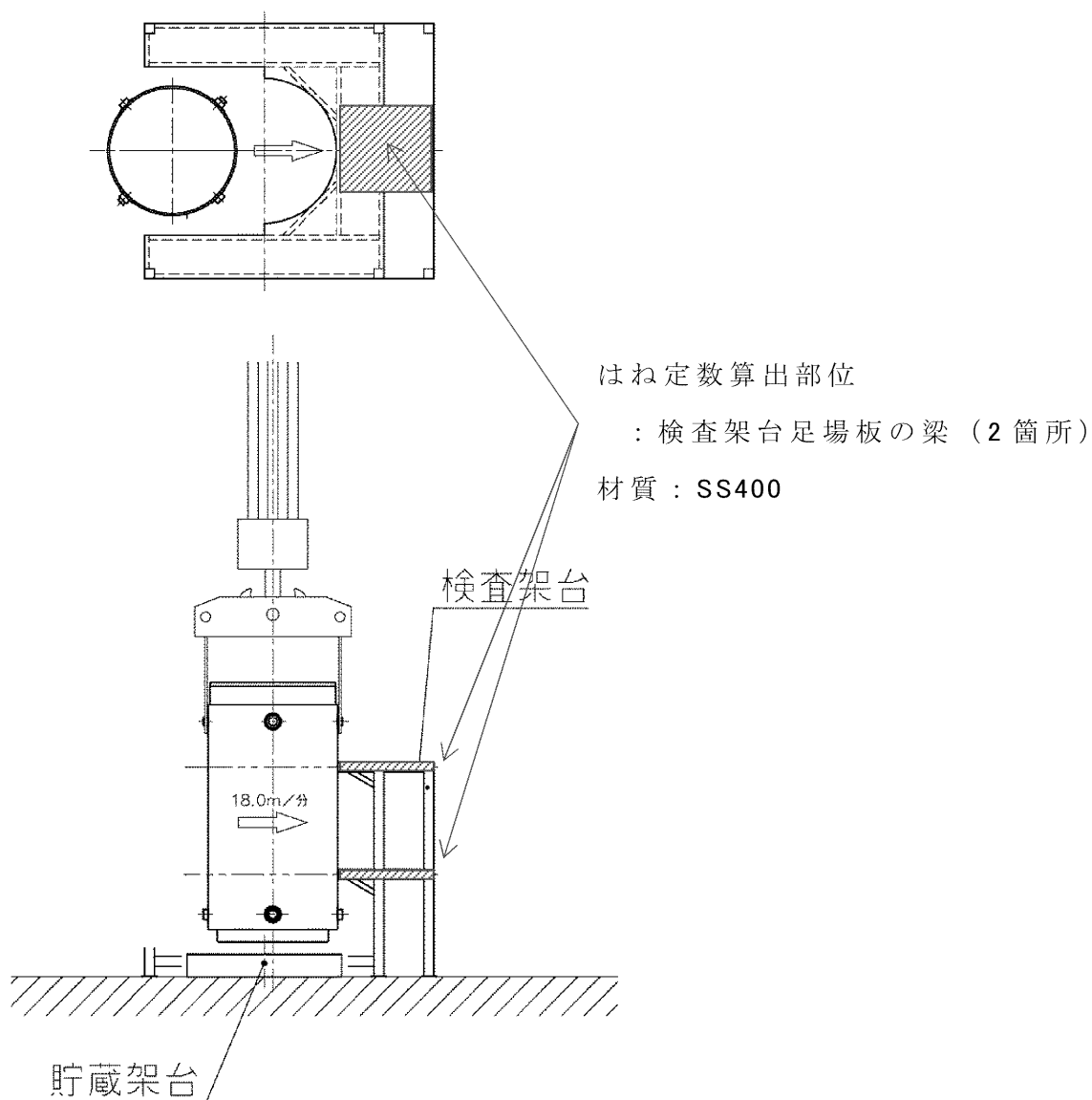
$$K_1 = E_1 A_1 / L_1 \dots\dots\dots (1)$$
$$= 1.410 \times 10^6 \text{ N/mm} \quad (1.410 \times 10^9 \text{ N/m})$$

ここで、

$E_1$  : 梁の縦弾性係数 = 202000 MPa

$A_1$  : 梁の断面積 = 11400 mm<sup>2</sup> (※1)

$L_1$  : 梁の全長 = 1640 mm



第 7-23 図 検査架台への衝突時のばね定数の算出モデル

(※1) 梁の断面積(A<sub>1</sub>) 設計根拠

衝突範囲内にある Lアングルの断面積と個数より算出する。

Lアングル(100×100) 断面積

$$A = 19\text{cm}^2$$

[ JIS G 3192 ]

衝突範囲内の Lアングル個数

$$N = 3 \text{ 個/段} \times 2 \text{ 段} = 6 \text{ 個}$$

[ 下図参照 ]

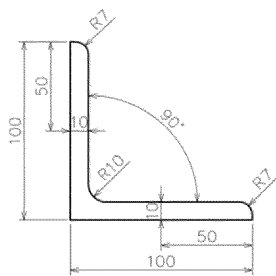
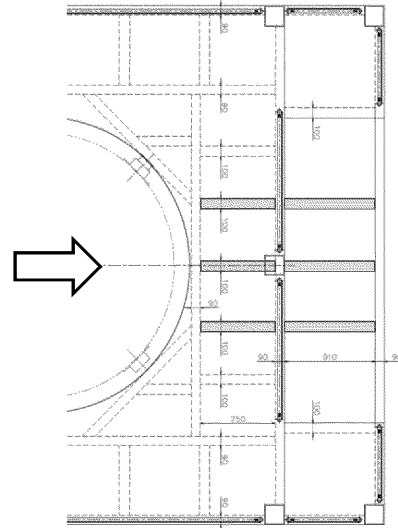
梁の断面積

$$A_1 = A \times N$$

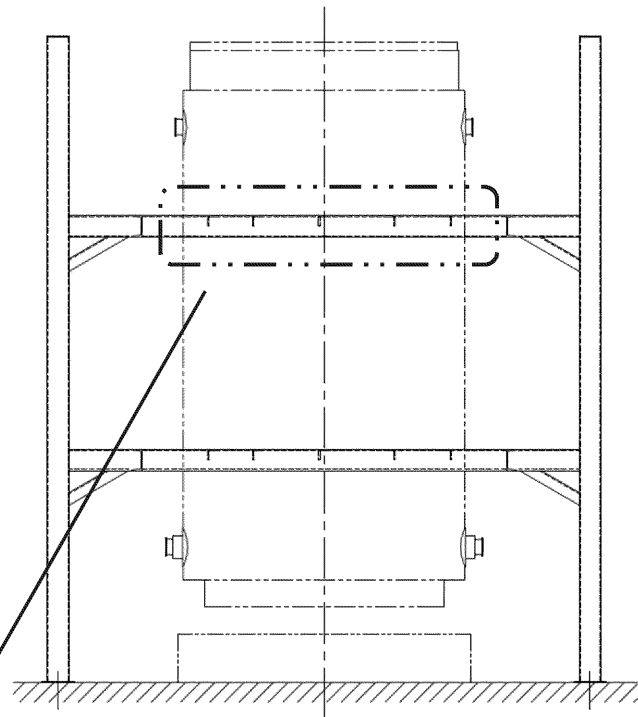
$$= 19 \times 6$$

$$= 114 \text{ cm}^2$$

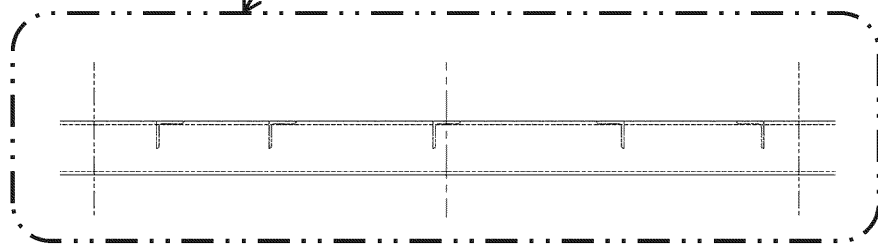
$$= 11,400 \text{ mm}^2$$



Lアングル詳細寸法



矢視

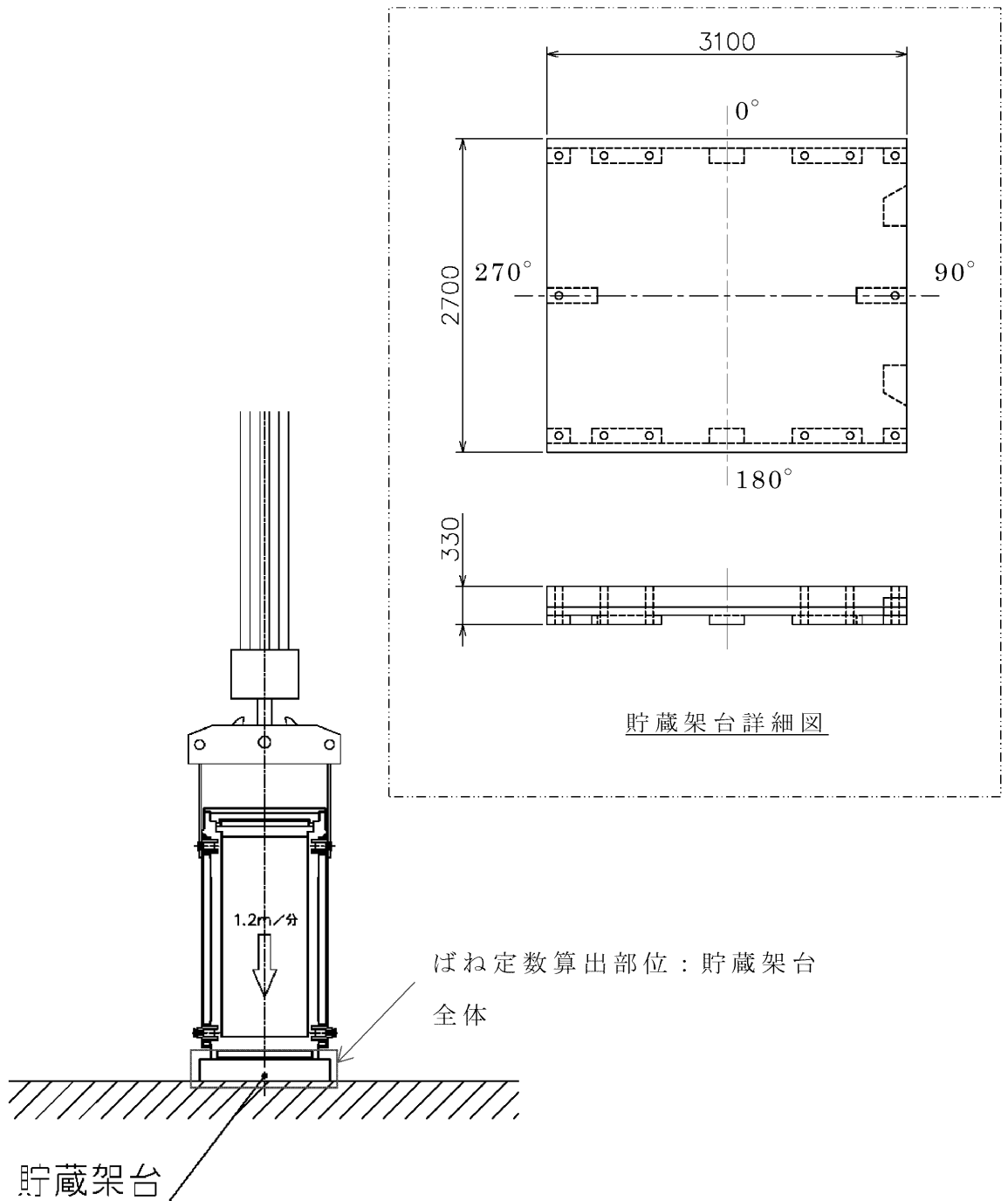


詳細図

(2) 貯蔵架台への衝突

貯蔵架台への衝突時には、第 7-24 図に示す貯蔵架台が圧縮及び曲げ変形するとして貯蔵架台のばね剛性  $K_2$  は FEM により貯蔵架台形状をモデル化し算出する。

$$K_2 = 1.016 \times 10^{11} \text{ N/m} \dots \dots \dots (2)$$



第 7-24 図 貯蔵架台への衝突時のばね定数の算出モデル

(3) 横倒し時の衝突

横倒し時の衝突時には、第 7-25 図に示すたて起こし架台の胴受け部が圧縮変形するとして輸送架台衝突部のばね剛性 $K_3$ は次式<sup>2)</sup>より算出する。

$$K_3 = E_3 A_3 / L_3 \dots \dots \dots (3)$$

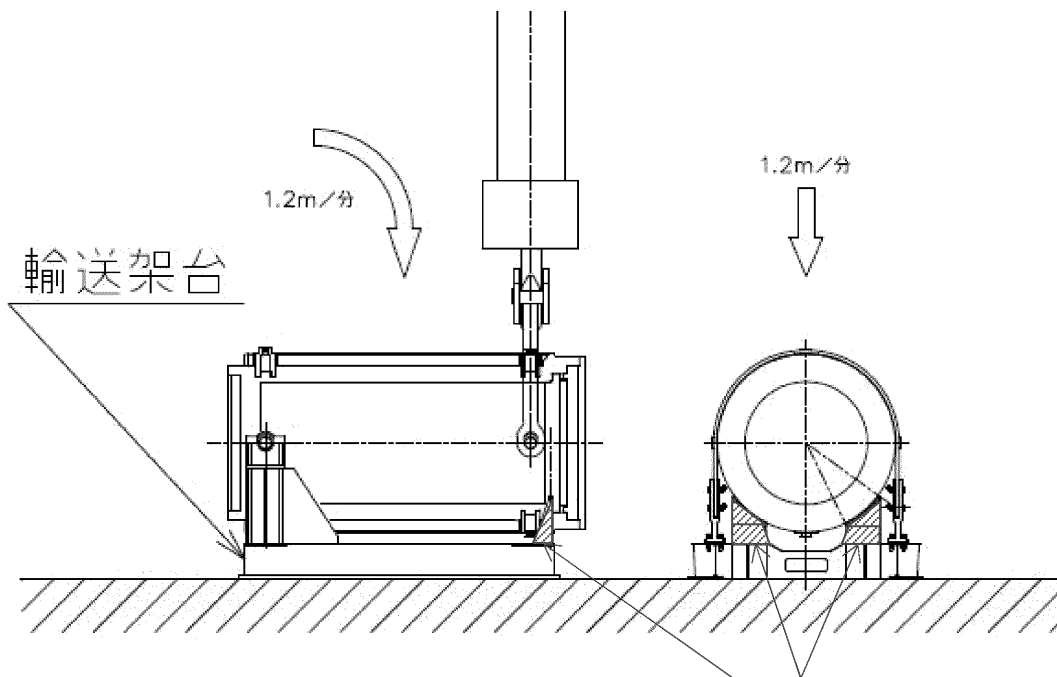
$$= 3.620 \times 10^7 \text{ N/mm} \quad (3.620 \times 10^{10} \text{ N/m})$$

ここで、

$E_3$  : たて起こし架台の縦弾性係数 = 202000 MPa

$A_3$  : たて起こし架台の胴受け部の断面積 = 56924 mm<sup>2</sup>  
(※2)

$L_3$  : たて起こし架台の胴受け部の代表全長 = 318 mm



ばね定数算出部位  
: たて起こし架台の胴受け部  
材質 : SHY685

第 7-25 図 横倒し時の衝突時のばね定数の算出モデル

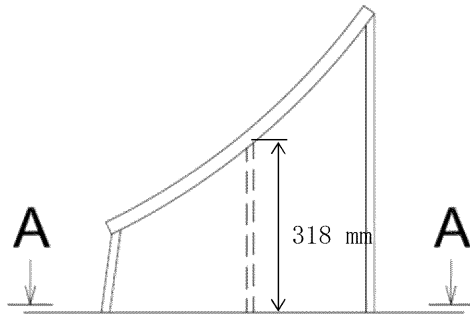
(※2) たて起こし架台の胴受け部の断面積(A<sub>3</sub>) 設計根拠

右の簡易断面図より胴受け部の断面積を算出する。

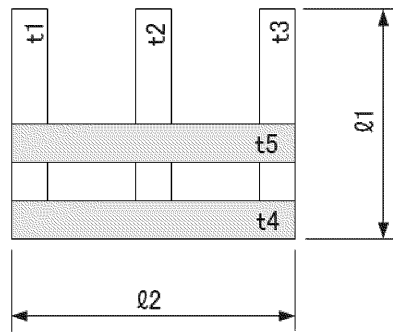
\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 A_3 &= [ \{ (t_1+t_2+t_3) \times (\ell_1 - (t_4+t_5)) \} + \{ (t_4+t_5) \times \ell_2 \} ] \times 2 \\
 &= [ \{ (12+12+12) \times (285 - (19+19)) \} + \{ (19+19) \times 515 \} ] \times 2 \\
 &= 28,462 \times 2 \\
 &= 56,924 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

t1=12  
t2=12  
t3=12  
t4=19  
t5=19  
ℓ1=285  
ℓ2=515



たて起こし架台胴受け部正面図

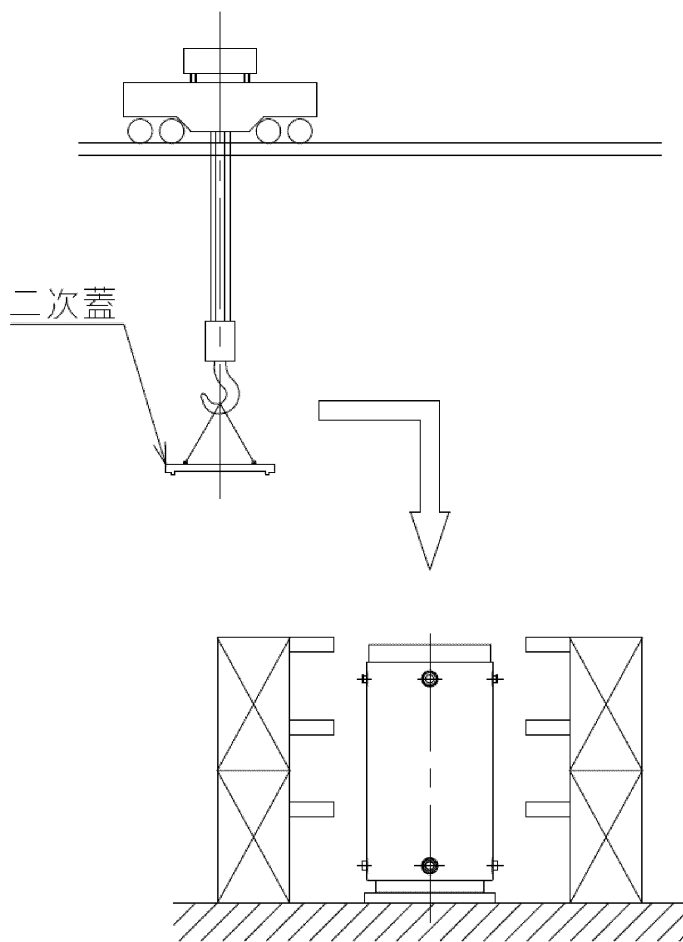


簡易断面図 (AA 断面)

(4) 二次蓋の衝突

二次蓋の衝突時には、第 7-26 図に示すように乾式キャスク底面を基準として、乾式キャスク全体が圧縮変形するとして FEM により乾式キャスク形状をモデル化し、二次蓋の衝突時のばね剛性  $K_4$  を算出する。

$$K_4 = 6.692 \times 10^{10} \text{ N/m} \dots\dots\dots (4)$$



第 7-26 図 二次蓋衝突時のばね定数の算出モデル

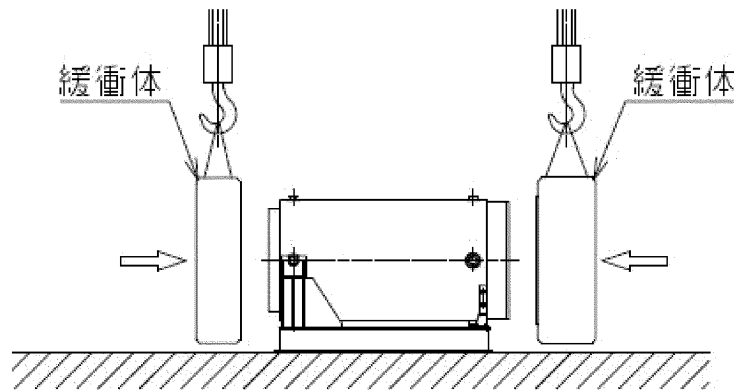


(5) 緩衝体の衝突

上部緩衝体及び下部緩衝体の衝突時には、第 7-27 図に示すように下部トラニオンを支点として、下部トラニオン接続部が曲げ変形及び乾式キャスク全体が圧縮変形するとして FEM により下部トラニオンを含む乾式キャスク形状をモデル化し、上部緩衝体及び下部緩衝体の衝突時のばね剛性  $K_5$  及び  $K_6$  をそれぞれ算出する。

$$K_5 = 4.646 \times 10^9 \text{ N/m} \dots\dots\dots (5)$$

$$K_6 = 4.643 \times 10^9 \text{ N/m} \dots\dots\dots (6)$$



第 7-27 図 緩衝体衝突時のばね定数の算出モデル

#### 7.3.8 まとめ

以上のことから、想定事象について評価した結果、評価対象部位に発生する応力は、解析基準値より十分低く、安全機能を維持できる。したがって、一次蓋及び二次蓋が弾性範囲内にとどまること、使用済燃料集合体に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料の再取出性に問題はない。

#### 7.4 参考資料

- 1) “Proving Test on the Reliability of PWR 15×15 Fuel Assemblies Through Three Reactor Cycles in Japan”、Proceeding of the International Topical Meeting on LWR Fuel Performance April 17-20、(1988).
- 2) (株)培風館、材料力学の基礎、(1991).

## 8. 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力等の監視について

### 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性物質を適切に閉じ込めることができるとすること。</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ツ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すること。</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>	—	—

## 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。

玄海原子力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-21P及びタイプ2：MSF-24P）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、8.2.1および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。

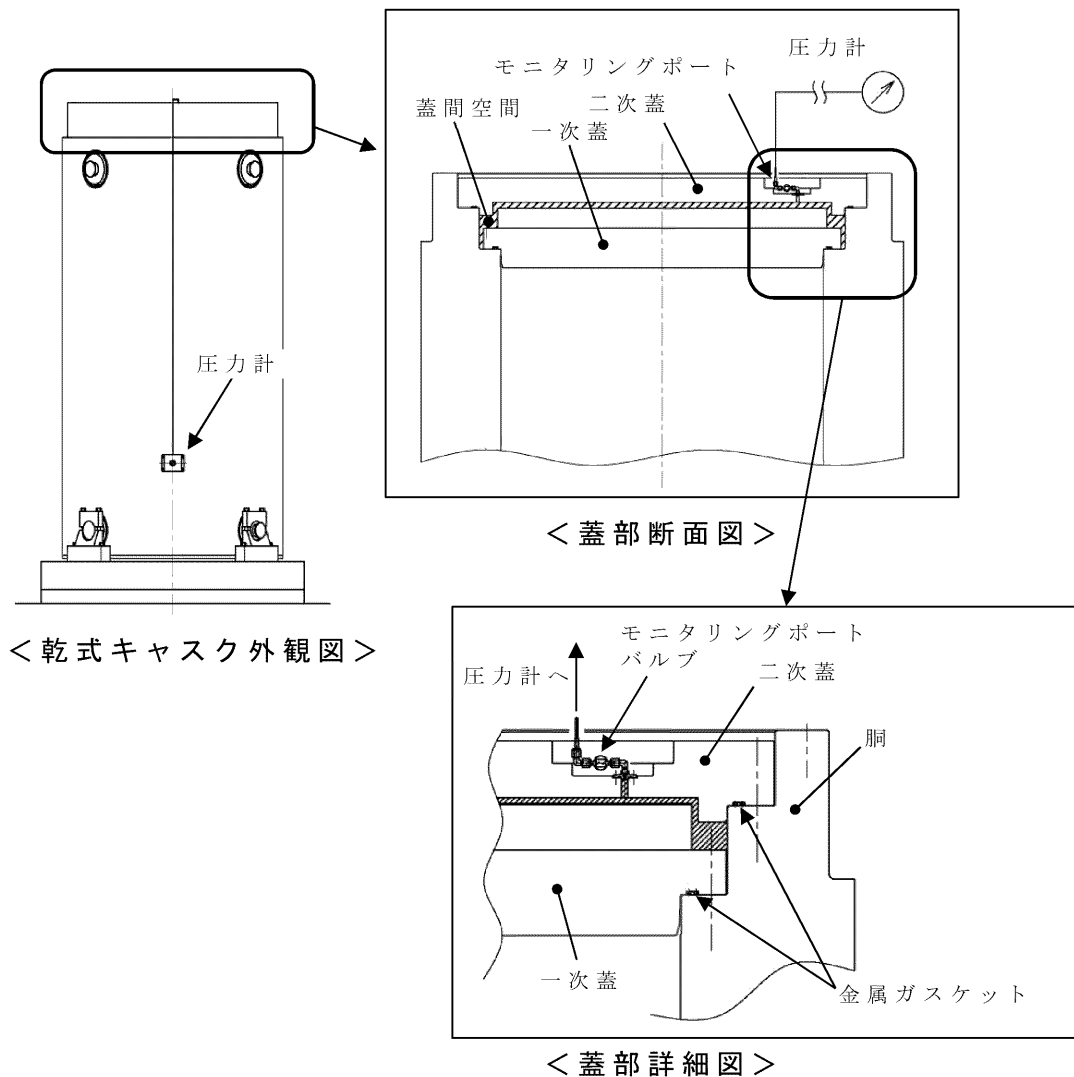
貯蔵建屋内に温度計を設置し、雰囲気温度を監視することで、雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できる設計とする。詳細は、8.2.3 参照。



## 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 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。



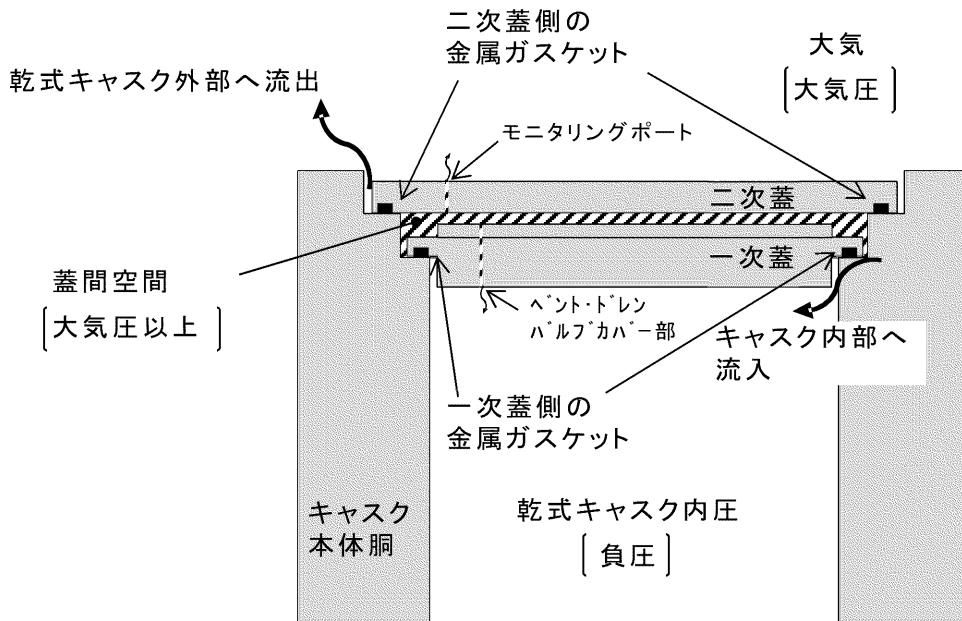
第 8-1 図. 乾式キャスク蓋間圧力の監視方法 (イメージ図)

ここで、第 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 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

基準規則及び審査ガイドの要求事項を踏まえ、審査ガイドに定められている「密封シール部の異常」及び「適切な頻度」を

以下のとおり定義する。

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

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<sup>※1</sup>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）<sup>※2</sup>および二次蓋側（キャスク外部）<sup>※3</sup>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<sup>※4</sup>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  $-6\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  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。

※ 1 貯蔵中の金属ガスケットからの漏えい率は別添 5.1「使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について（閉じ込め機能）」に記載のとおり、 $1.0 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  以下となる。監視頻度の評価においては、蓋間圧力の低下量を保守的に評価するため、一次蓋側に加え、二次蓋側の漏えい率に対しても基準漏えい率を適用する。

※ 2 一次蓋端部、ドレンバルブカバー部、ベントバルブカバー部を考慮

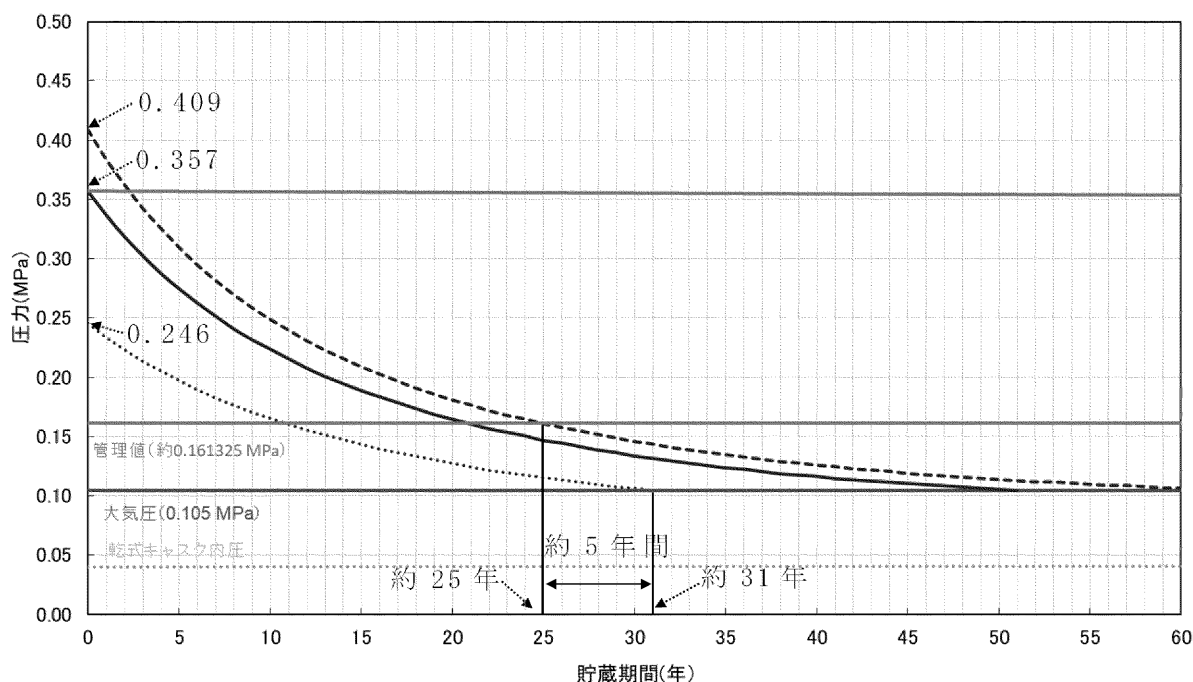
※ 3 二次蓋端部、モニタリングポート部（2箇所）を考慮

※ 4 MSF-24P 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
—————	蓋間圧力(周囲環境温度25℃、崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
-----	蓋間圧力(周囲環境温度50℃、崩壊熱量考慮、計器誤差あり、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
.....	蓋間圧力(周囲環境温度-6℃、崩壊熱量考慮しない、計器誤差あり、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
—————	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)
—————	管理値(約0.161MPa)
—————	大気圧(0.105MPa)
.....	乾式キャスク内圧(周囲環境温度-6℃、崩壊熱量考慮しない)

第 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 8-3 図に示すとおり、周囲環境の温度変化（ $-6\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）による圧力変動を考慮すると、周囲環境が  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  で崩壊熱量を考慮しない場合（崩壊熱量  $0\text{ kW}$  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（ $0.105\text{ MPa}\cdot\text{abs}$ ）に到達する。ここで、蓋間圧力は、管理値（約  $0.161\text{ MPa}\cdot\text{abs}$ ）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、第 8-3 図に示すとおり、管理値（約  $0.161\text{ MPa}\cdot\text{abs}$ ）

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。これを踏まえて、3ヶ月に1回の頻度で圧力監視を行う。

### (3) 監視頻度の妥当性

#### a. 実機大スケール落下試験からの考察

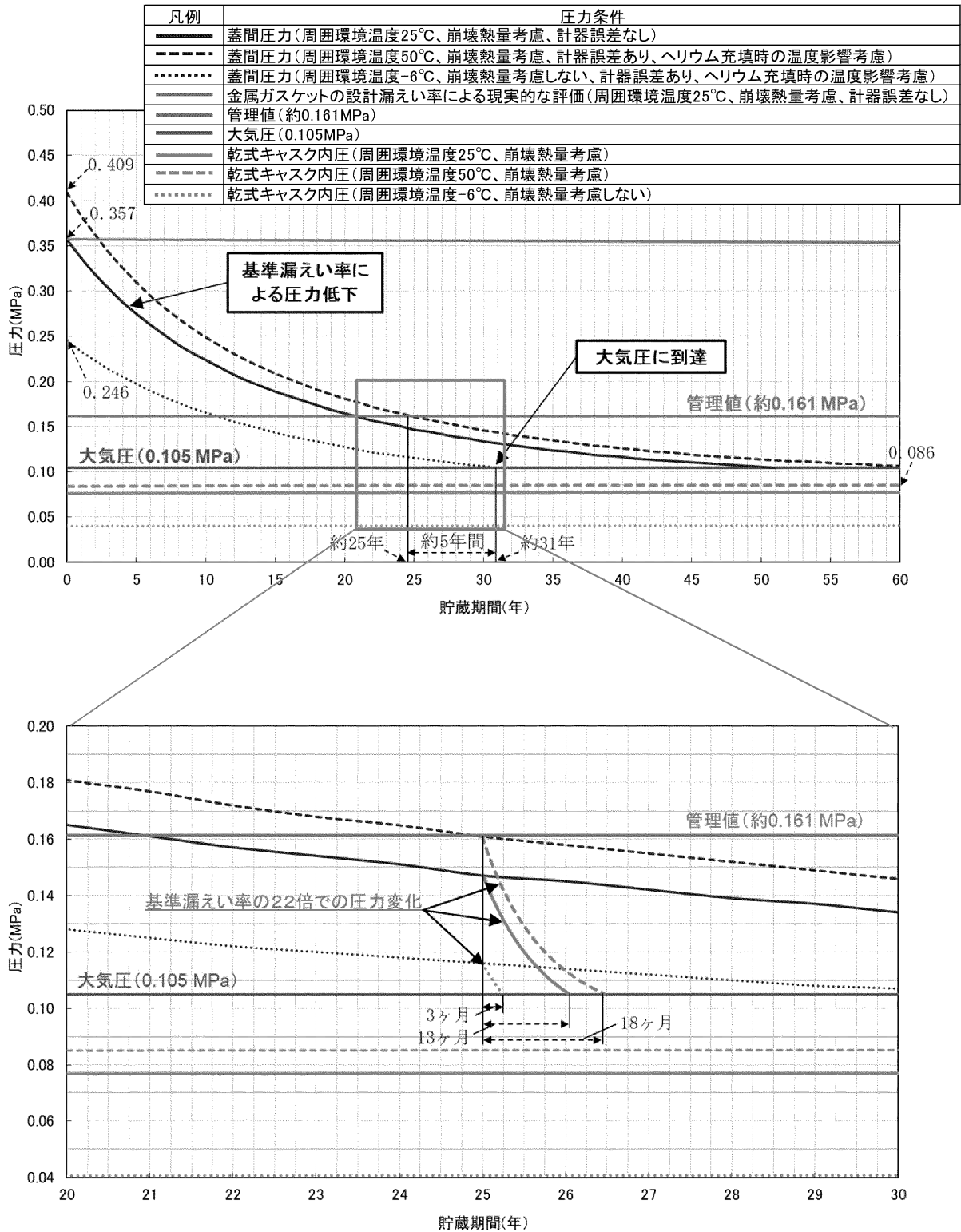
第8-3図のように、基準漏えい率で2方向の漏えいを想定した後、管理値到達後に急に基準漏えい率の22倍 ( $2.49 \times 10^{-6} \times 22 = 5.71 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) で2方向に漏えい量が増加する場合を想定すると、以下のとおりとなる。(第8-4図参照)

- ・周囲温度 $-6^{\circ}\text{C}$ の場合：約22倍の漏洩率      3ヶ月で大気圧に到達
- ・周囲温度 $+25^{\circ}\text{C}$ の場合：約22倍の漏洩率      13ヶ月で大気圧に到達
- ・周囲温度 $+50^{\circ}\text{C}$ の場合：約22倍の漏洩率      18ヶ月で大気圧に到達

以下の実機大スケール落下試験を踏まえても、基準漏えい率の22倍 ( $5.71 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) に至ることはなく、3ヶ月に1回の監視頻度は妥当である。

- ・別途申請中の核燃料輸送物設計承認申請(以下、「設計承認」という)で説明している実規模相当での9.3m傾斜落下試験による衝撃力(約 $4.8 \times 10^7 \text{ N}$ )を受けても、第8-1表及び第8-2表に示すとおり、試験後の漏えい率は最大でも $1.6 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ である。

なお、乾式キャスクは頑健な建屋内に収納され、建屋は外部からの衝撃に対して損傷の防止が図られ、損壊しない設計とするため、竜巻飛来物の衝突により蓋間圧力が低下する事象は想定し得ない。



第 8-4 図 基準漏えい率の 22 倍で漏えいした場合の蓋間圧力変化

第 8-1 表 落下試験ケース及び条件

試験 No.	試験条件	特記事項
Seq. 1	9.3m 傾斜落下 (180° 下向き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>傾斜角度は、二次衝突速度が最大となる 10° に設定</li> <li>0.3m 落下と 9m 落下の積み重ねと比較し、衝突速度の観点でより厳しい条件である 9.3m 落下を選定</li> </ul>
Seq. 2	1m 水平貫通 (180° 下向き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前評価により、二次蓋の蓋ずれが最も大きくなると考えられる貫通位置として、二次蓋側面中央を貫通位置に設定</li> </ul>
Seq. 3	9.3m 頭部垂直落下	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.3m 落下と 9m 落下の積み重ねと比較し、衝突速度の観点でより厳しい条件である 9.3m 落下を選定</li> </ul>
Seq. 4	0.3m 傾斜落下 (270° 下向き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>傾斜角度は、二次衝突速度が最大となる 10° に設定</li> <li>9.3m 落下との比較のために、0.3m 落下と 9m 落下を個別に実施</li> </ul>
	9m 傾斜落下 (270° 下向き)	

第 8-2 表 傾斜落下試験前後の漏えい率

試験 No.	部位	落下試験前 (Pa m <sup>3</sup> /s)	落下試験後 (Pa m <sup>3</sup> /s)
Seq. 4-1 (0.3m)	一次蓋	2.5 × 10 <sup>-11</sup>	1.0 × 10 <sup>-11</sup>
	二次蓋	1.5 × 10 <sup>-11</sup>	< 1 × 10 <sup>-11</sup>
Seq. 4-2 (9m)	一次蓋	1.0 × 10 <sup>-11</sup>	< 1 × 10 <sup>-11</sup>
	二次蓋	< 1 × 10 <sup>-11</sup>	3.0 × 10 <sup>-7</sup>
Seq. 1 (9.3m)	一次蓋	< 1 × 10 <sup>-11</sup>	< 1 × 10 <sup>-11</sup>
	二次蓋	7.4 × 10 <sup>-9</sup>	<u>1.6 × 10<sup>-6</sup></u>

b. 海外事例及び文献を踏まえた考察

以下の海外事例及び文献を踏まえても、基準漏えい率の 22 倍に至ることはなく、3 ヶ月に 1 回の監視頻度は妥当である。



- ・サリー発電所における密封異常（アメリカ）<sup>1)</sup>

乾式キャスク蓋部の防護カバーを貫通している電気ケーブル周囲の金属シール部分から雨水が防護カバー内に入り、蓋部の金属ガスケット\*の外側が腐食したことにより、金属ガスケットの外側がリークしたもの。なお、金属ガスケットの内側にはリークはなかった。

※：当該乾式キャスクは一次蓋のみで構成されており、圧力監視境界に接する金属ガスケット（金属ガスケットの二次側）は大気と接している。

一方、玄海原子力発電所では、乾式キャスクを乾式貯蔵建屋内に設置すること、また、圧力監視境界に接する金属ガスケット（一次蓋ガスケットの二次側と二次蓋ガスケットの一次側）は、ヘリウム雰囲気であるため、同様の事象は起こらない。また、2.6項に記載しているとおおり、大気と触れる二次蓋金属ガスケットの外側については、設計貯蔵期間中を通じて閉じ込め機能を維持できることを確認している。

- ・航空機エンジンの衝突における評価（電力中央研究所）<sup>2)</sup>

本評価では、玄海原子力発電所と同様に、二重の蓋をそれぞれ金属ガスケットでシールする構造の乾式キャスクに対して、航空機エンジンを衝突させた際の漏えい率を評価しているものである。

評価の結果、航空機衝突後の金属ガスケットからの漏えい率は、 $3.5 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$  であり、基準漏えい率の22倍 ( $5.71 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) には至っていない。

- ・乾式キャスク落下時の漏えい評価（電力中央研究所）<sup>3)</sup>

本評価では、玄海原子力発電所と同様に、二重の蓋をそれぞれ金属ガスケットでシールする構造の乾式キャスクをコンク

リート床面に落下、及び下部トラニオンを中心に蓋部を回転衝突させた際の漏えい率を評価しているものである。

評価の結果、金属ガスケットからの漏えい率は、一次蓋で  $3.9 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ 、二次蓋で  $8.4 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$  であり、基準漏えい率 ( $2.49 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) には至っていない。

c. 敷地境界線量への影響

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

以上のことから、仮に、基準漏えい率の 22 倍の漏えいを 2 方向想定しても、3 ヶ月に 1 回の頻度で監視することで、蓋間圧力が大気圧に至る前に密封シール部の異常（乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ることを）を検知できるため、管理値を定めたうえで、3 ヶ月に 1 回の頻度で監視する（蓋間圧力を測定する）ことは適切であると考えられる。

(4) 著しい漏えい率の増加を考慮した監視頻度の妥当性

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

a. 監視頻度の評価条件

以下のとおり、監視頻度の妥当性を確認した。

① 金属ガスケットの漏えい率は、設計漏えい率程度で推移する

と想定しているが、保守的に、基準漏えい率の 1000 倍の漏えい率<sup>\*1</sup> ( $(2.49 \times 10^{-6} \times 1000 = 2.49 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s})$ ) を設定する。

\*1：文献（航空機衝突試験、キャスク転倒試験、9 m 落下試験）を基に設定。（表 1 参照）

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\*2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 $-6 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。

\*2：MSF-24P 型キャスクの収納制限最大の発熱量となる場合

#### b. 監視頻度の評価結果

図 1 及び図 2 に示すように、仮に、貯蔵開始直後に、基準漏えい率の 1000 倍の漏えいが 2 方向で生じた場合、蓋間圧力は急激に低下し、最早で約 9 日経過後に大気圧に到達する可能性がある。また、蓋間圧力が大気圧に到達した後は、蓋間空間内のガスは乾式キャスク内部へ大気圧一定条件下で 1 方向に漏えいする。（乾式キャスク外（大気圧）→蓋間空間（大気圧）→乾式キャスク内部、の方向で 1 方向に漏えいする。）

一方、乾式キャスク内部は蓋間空間と比べて容積が大きいいため、乾式キャスク内部は大気圧に到達するまでに比較的時間を要する。具体的には、乾式キャスク内部は、基準漏えい率の 1000 倍の漏えいが生じた場合、約 4 年間が経過しても、乾式キャスク内部は大気圧（大気圧の気象変動を考慮した下限値である

0.097MPa) に到達することはない、大気圧に到達しない。

従って、蓋間空間が大気圧で一定となっている一方で、乾式キャスク内部は、約4年間は乾式キャスク内部が負圧に維持されているため、約4年間はFPガスが外部へ放出されることはない。

以上のことから、監視頻度の設定にあたって、設計貯蔵期間中の乾式キャスクの発熱量の低下、周囲環境の温度変化、蓋間圧力の変化に加え、基準漏えい率の1000倍の漏えい率を考慮しても、3カ月に1回の頻度で監視することにより、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ため、監視頻度を3カ月に1回と設定することは適切である。

表1 各種試験前後の漏えい率

試験	部位	漏えい率 (測定値): Pa・m <sup>3</sup> /s		増加率	
		試験前	試験後		
キャスク転倒試験 (トラニオンを回転中心とする回転高さ1mでの蓋部衝突試験)	一次蓋	$3.7 \times 10^{-12}$	$3.9 \times 10^{-9}$	1000	
	二次蓋	$1.2 \times 10^{-12}$	$8.4 \times 10^{-9}$	1000	
航空機衝突試験 (縦置き状態のキャスク蓋部周辺への航空機エンジンの衝突試験)	一次蓋	$8.2 \times 10^{-11}$	$4.0 \times 10^{-6}$	100000	
9m落下試験 (MSF型キャスクのプロトタイプを用いた輸送荷姿(緩衝体付き)での落下試験※)	0.3m 傾斜落下	一次蓋	$2.5 \times 10^{-11}$	$1.0 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	$1.5 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	1
	9m 傾斜落下	一次蓋	$1.0 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	$< 1 \times 10^{-11}$	$3.0 \times 10^{-7}$	10000
	9.3m 傾斜落下	一次蓋	$< 1 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	$7.4 \times 10^{-9}$	$1.6 \times 10^{-6}$	1000

以上の知見を踏まえ、監視頻度の設定における金属ガスケットの漏えい率として、基準漏えい率の 1000 倍の漏えい率を設定。  
 ※ 金属ガスケットを用いた二重の蓋構造であり、三次蓋（ゴムリング）を設けない構造

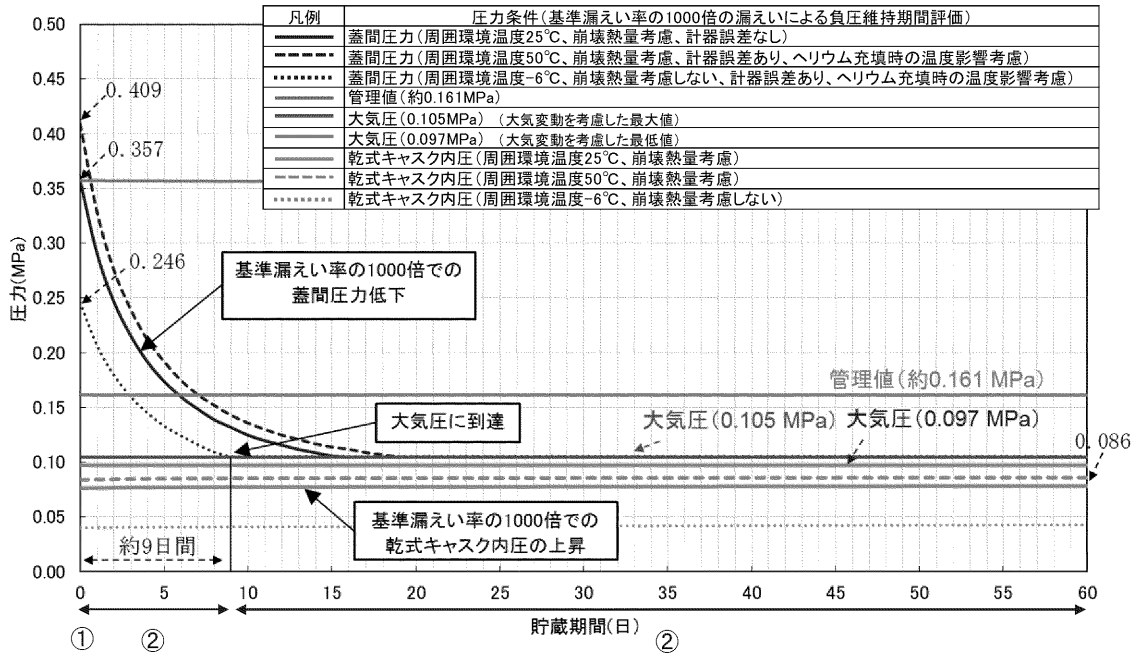


図1 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化(1/2)

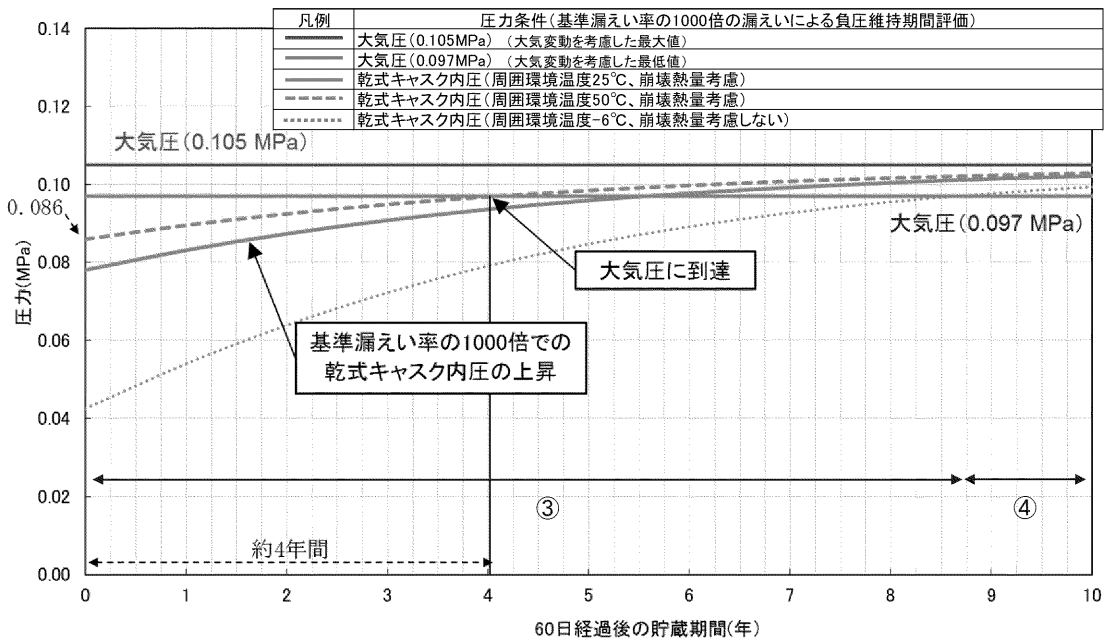


図1 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化(拡大図)(2/2)

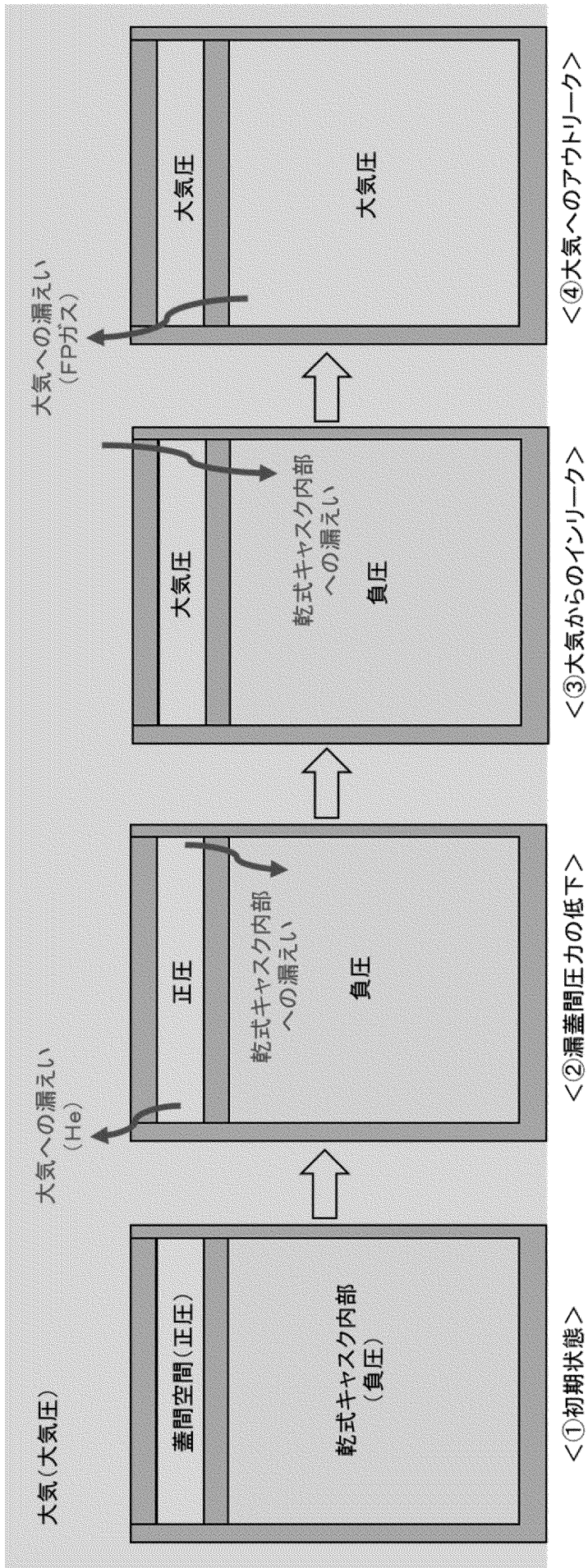


図 2 漏えいのイメージ

## 8.2.2 乾式キャスク表面温度

### (1) 監視方法

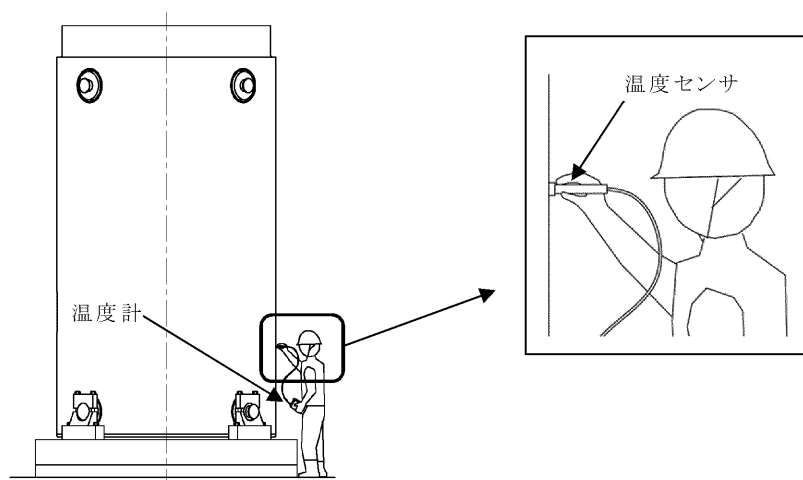
乾式キャスク内の使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることを監視するために、乾式キャスクの表面温度を監視する。

乾式キャスクの表面温度は、第 8-5 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「使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）」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。

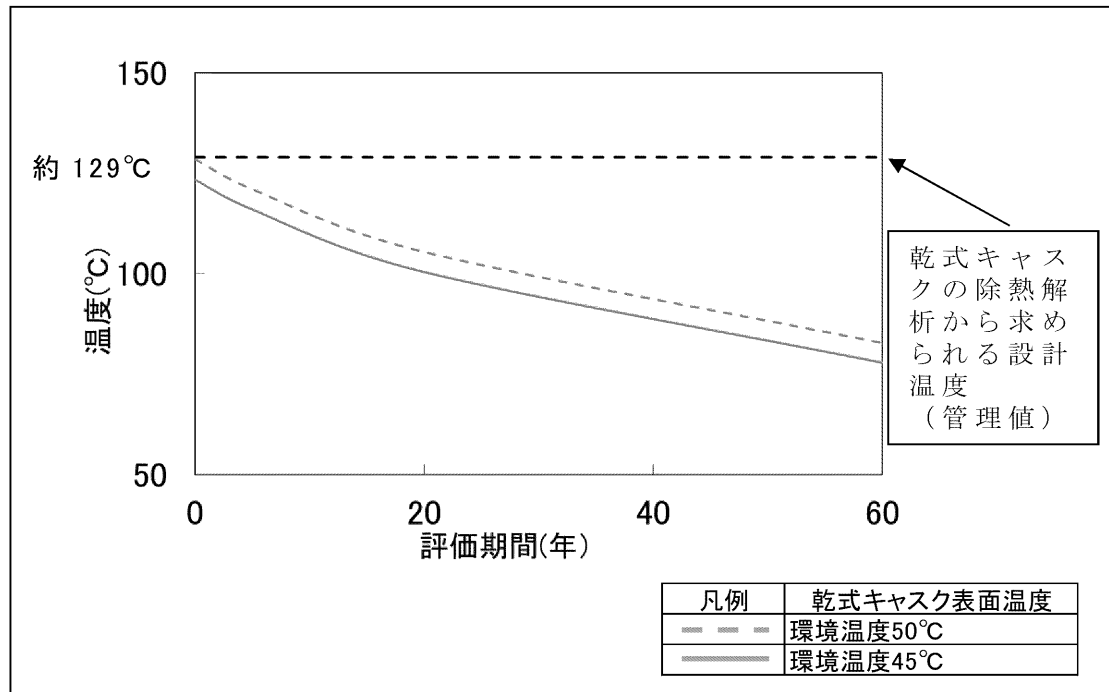
※MSF-21P 型：120℃、MSF-24P 型：129℃



第 8-5 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8-6図に示す。



第8-6図 乾式キャスク表面（外筒）温度の変化（MSF-24P型の例）

第8-6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。

### 8.2.3 貯蔵建屋内雰囲気温度

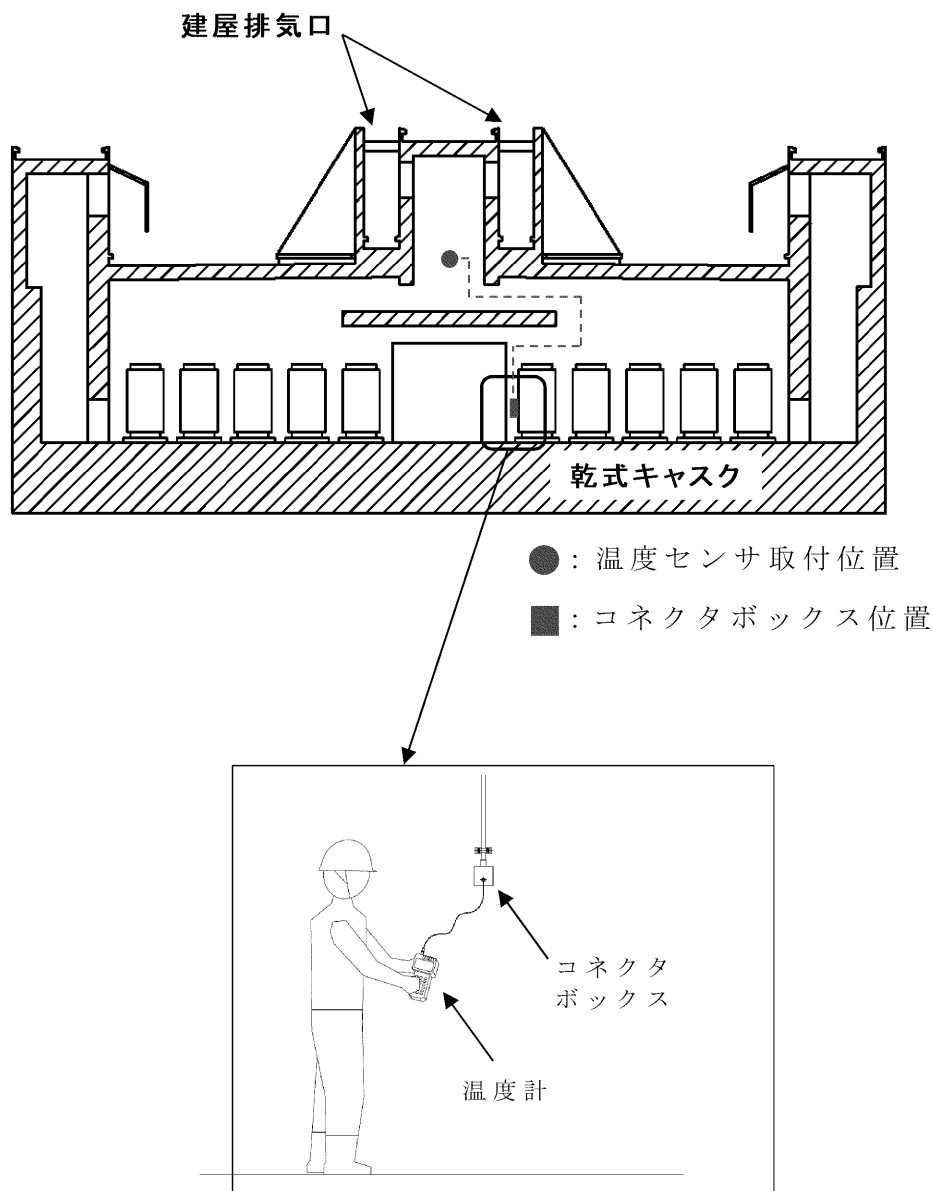
#### (1) 監視方法

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として、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 8-7 図に示すとおり、温度センサを貯蔵エリアの 2 つの区画（乾式キャスク 20 基分）の排気口付近に 1 箇所ずつ（計 2 箇所）設置し温度を監視できる設計とする。

ここで、別添 4「使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）」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 8-7 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

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 「使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）」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 40 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。

### 8.3 参考文献

- 1) 使用済燃料乾式貯蔵施設（中間貯蔵施設）に係る技術検討報告書、資源エネルギー庁、（2000）.
- 2) 航空機エンジンの水平衝突荷重に対する金属キャスクの密封性能評価、（一財）電力中央研究所、（2010）.
- 3) 金属キャスク落下時瞬時漏えい評価、（一財）電力中央研究所、（2006）.