

添付書類 8-3

トラニオンの強度に関する説明書

添付書類 8-3-1

トラニオンの応力解析の方針

目 次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 記号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	5
4.1 基本仕様	5
4.2 設計事象	5
4.3 荷重の種類とその組合せ	5
5. 計算条件	6
5.1 解析対象とする事象	6
5.2 解析対象	6
5.3 形状及び寸法	6
5.4 許容応力	6
6. 応力解析の手順	7
6.1 解析手順の概要	7
6.2 荷重条件の選定	7
6.3 応力計算と評価	7
6.3.1 応力計算の方法	7
6.3.2 応力の評価	7
6.3.3 数値の丸め方	8
7. 引用文献	8

図表目次

図 5-1	応力解析対象	9
図 6-1	トラニオンの応力解析フロー図	10
表 4-1	トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	11
表 5-1	代表事象	12
表 6-1	トラニオン用材料の許容応力	13
表 6-2	数値の丸め方一覧表	15

1. 概要

使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要な容器等の材料及び構造は「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号）（以下「技術基準規則」という。）第14条に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本書は，HDP-69B(B)型のトラニオンに関する応力解析の方針を述べるものである。

注記：図表は一括して巻末に示す。

2. 適用基準

トラニオンの強度評価基準については、(社)日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」(以下「金属キャスク構造規格」という。)を適用する。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び「添付書類8-3-2 トラニオンの応力計算書」（以下「応力計算書」という。）において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。

記号	記号の説明	単位
A	評価位置の断面積	mm ²
a _k	支点Oから固定装置④のトラニオンへの荷重作用位置（固定金具中心）までの距離	mm
a _h	支点Oから固定装置⑥のトラニオンへの荷重作用位置（固定金具中心）までの距離	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
C _S	供用状態Aの貯蔵時の状態において、S _d *地震力が作用する場合の供用状態	—
d _i	評価位置におけるトラニオン内径	mm
d _o	評価位置におけるトラニオン外径	mm
D _S	供用状態Aの貯蔵時の状態において、S _s 地震力が作用する場合の供用状態	—
E	縦弾性係数	MPa
E ₀	設計疲労線図の縦弾性係数	MPa
F ₁	下部トラニオン固定装置の初期締付け力	N
F _m	トラニオンに作用する荷重	N
f _t	許容引張応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _t *	許容引張応力* ¹	MPa
f _s *	許容せん断応力* ¹	MPa
f _c *	許容圧縮応力* ¹	MPa

注記*1：f_t、f_s、f_c、f_b、f_pを算出する際に金属キャスク構造規格 MCD-3311.1(1)a.の本文中S_yとあるのを1.2S_yと読み替えて算出した値

記号	記号の説明	単位
f_b^*	許容曲げ応力*1	MPa
f_p^*	許容支圧応力*1	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G_1	水平方向加速度	m/s ²
G_2	鉛直方向加速度	m/s ²
h_{cG}	HDP-69B(B)型の底面から重心までの高さ	mm
K_r	表面粗さによる応力集中係数	—
K_t	評価位置の段付き部の応力集中係数	—
L	評価位置と荷重作用位置との距離	mm
M	曲げモーメント	N・mm
m_1	吊上げ時における HDP-69B(B)型の質量	kg
m_2	貯蔵時における HDP-69B(B)型の質量	kg
N_a	許容繰返し回数	—
N_{c1}	吊上げ事象の繰返し回数	—
S	ピーク応力強さ	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_s	基準地震動 S_s による地震力	—
S_y	設計降伏点	MPa
U_f	疲労累積係数	—
Z	評価位置の断面係数	mm ³
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	評価位置に発生する曲げ応力	MPa
$c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力 (絶対値)	MPa
$t\sigma_b$	引張側曲げ応力 (絶対値)	MPa
σ_c	評価位置に発生する圧縮応力 (絶対値)	MPa
σ_T	評価位置に発生する組合せ応力	MPa
σ_t	評価位置に発生する引張応力	MPa
τ	評価位置に発生するせん断応力	MPa

注記*1: f_t , f_s , f_c , f_b , f_p を算出する際に金属キャスク構造規格 MCD-3311.1(1)a.の本文中 S_y とあるのを $1.2S_y$ と読み替えて算出した値

4. 設計条件

トラニオンは以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

HDP-69B(B)型には、上部に2対、下部に2対のトラニオンが取り付けられている。トラニオンに関する応力計算の基本条件を以下に示す。

最高使用温度	130 °C* ¹
トラニオンの材質	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)
吊上げ時における HDP-69B(B)型の質量	120200 kg
貯蔵時における HDP-69B(B)型の質量	118300 kg

注記*1：最高使用温度は、「添付書類 5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」に示す解析結果から得られた温度を保守側に設定した値である。

4.2 設計事象

設計上考慮する事象として、使用済燃料貯蔵施設内における選定事象を以下に示す。

設計事象	供用状態	使用済燃料貯蔵施設内における選定事象* ¹
I	A	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵（貯蔵時） ・金属キャスクの吊上げ，吊下げ，移動（吊上げ時） ・搬送台車による搬送（台車搬送時） ・貯蔵前作業及び搬出前作業（準備作業時）
II	B	<ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの支持脚への衝突（支持脚への衝突時） ・金属キャスクの貯蔵架台への衝突（貯蔵架台への衝突時） ・搬送台車による搬送中の急停止（搬送中の急停止時）
I + S _d * ¹	C _s	・ S _d * ¹ 地震時（貯蔵時（S _d * ¹ 地震力が作用する場合））
I + S _s	D _s	・ S _s 地震時（貯蔵時（S _s 地震力が作用する場合））

注記*1：本書及び応力計算書において、事象を（ ）内の呼称とする場合がある。

4.3 荷重の種類とその組合せ

トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表4-1に示す。応力解析に用いる荷重は、応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

4.2節で示した使用済燃料貯蔵施設内における選定事象のうち、表5-1に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析対象

応力解析の対象は、次のとおりである（図5-1参照）。

(1) トラニオン

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 許容応力

各供用状態における許容値基準は、金属キャスク構造規格 MCD-3300による。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

6.1 解析手順の概要

トラニオンの応力解析フローを図6-1に示す。

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は4章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の2つである。

a. 機械的荷重

機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含むHDP-69B(B)型（吊上げ時、支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時においては三次蓋を含む。）の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。

b. 熱荷重

(2) 上部トラニオン2個には、吊上げ時において吊上げ荷重が作用する。また、下部トラニオン2個には、支持脚への衝突時において鉛直方向加速度による荷重が作用する。下部トラニオン4個には、貯蔵時において地震力が作用する場合の鉛直方向荷重及び水平方向荷重が作用する。

なお、荷重作用位置は荷重支持面の中央部とする。

(3) 構造の不連続性を考慮して、応力評価位置をとる。応力評価位置は、応力計算書に示す。

(4) 応力評価は、この応力評価位置について行う。

6.3.2 応力の評価

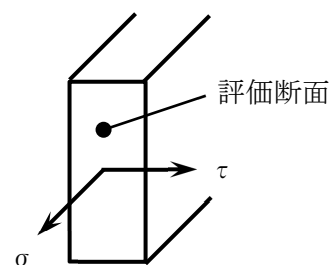
応力の計算結果は、金属キャスク構造規格 MGB-1200による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。ただし、計算結果は許容応力との比較を行うため、絶対値にて記載する。

σ : 評価断面に垂直な方向の応力

τ : せん断応力

トラニオン用材料の許容応力を表6-1に示す。



(1) トラニオンの応力評価

トラニオンの応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-3310 に従い以下の項目を評価する。

- a. 一次応力
- b. 一次+二次応力
- c. 繰返し荷重の評価

6.3.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

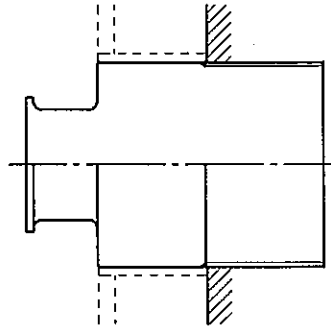
また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表6-2に示す。

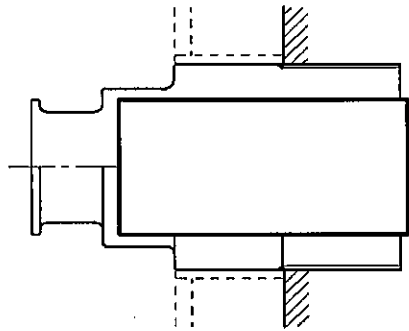
7. 引用文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

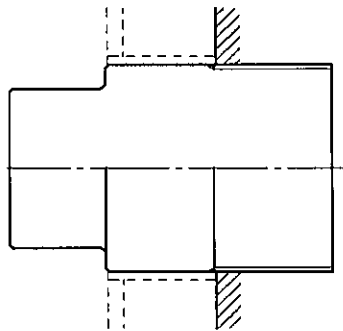
- (1) The American Society of Mechanical Engineers, "ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2015 Edition", Section VIII Division3 (2015)
- (2) 西田正孝, 「応力集中 増補版」, 森北出版(株) (1973)



(a) 上部トラニオン (0° , 180°)



(b) 上部, 下部トラニオン (90° , 270°)



(c) 下部トラニオン (0° , 180°)

図 5-1 応力解析対象

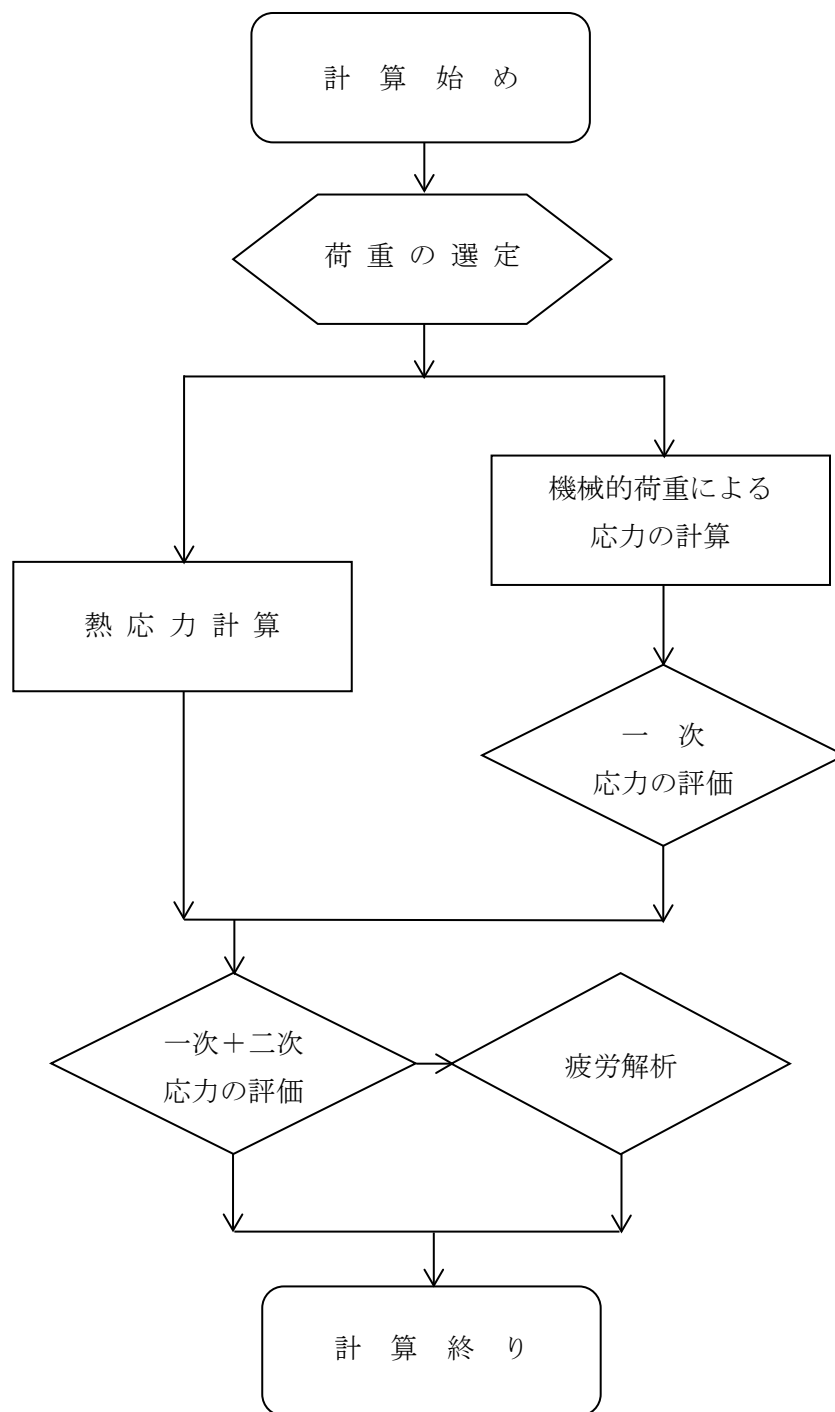


図 6-1 トラニオンの応力解析フロー図

表 4-1 トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計 事象	供用 状態	評価事象	荷 重					
			自重 による 荷重	固 縛 荷 重	吊 上 げ 荷 重	衝 撃 荷 重	熱 荷 重 *1	地 震 荷 重
I	A	貯蔵時	○	○	—	—	○	—
		吊上げ時	—*2	—	○	—	○	—
II	B	衝撃荷重作用時	—*2	—	—	○	○	—
$I + S_d^*$	C_s	S_d^* 地震力が作用する場合	○	○	—	—	—	○
$I + S_s$	D_s	S_s 地震力が作用する場合	○	○	—	—	—	○

注記*1：密封容器の熱膨張により生じる荷重に限る。

*2：本状態での自重による荷重は，衝撃荷重又は吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

表 5-1 代表事象

設計事象	供用状態	代表事象*1	包絡される事象	荷重条件	備考
I	A	貯蔵時	<ul style="list-style-type: none"> ・準備作業時 ・台車搬送時 	<ul style="list-style-type: none"> ・自重 ・トラニオン固定ボルトの初期締付け力 ・熱荷重 	—
		吊上げ時	—	<ul style="list-style-type: none"> ・吊上げ荷重 鉛直方向加速度（下方向）：1.3G（自重考慮） ・熱荷重 	荷重条件が最も厳しいため、代表事象を吊上げ時とする。
II	B	支持脚への衝突時	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵架台への衝突時 ・搬送中の急停止時 	<ul style="list-style-type: none"> ・衝撃荷重 鉛直方向加速度（下方向）：2.5G（自重考慮） ・熱荷重 	荷重条件が最も厳しいため、代表事象を支持脚への衝突時とする。
$I + S_d^*$	C_s	貯蔵時 $\left(S_d^* \text{地震力が作用する場合} \right)$	—	<ul style="list-style-type: none"> ・自重 ・トラニオン固定ボルトの初期締付け力 ・地震力*2 水平方向：1.40G 鉛直方向：0.87G 	—
$I + S_s$	D_s	貯蔵時 $\left(S_s \text{地震力が作用する場合} \right)$	—	<ul style="list-style-type: none"> ・自重 ・トラニオン固定ボルトの初期締付け力 ・地震力 水平方向：1.40G 鉛直方向：0.87G 	—

注記*1：本事象について応力解析を行う。

*2：より高い地震力である S_s 地震力を保守的に設定する。

表 6-1 トラニオン用材料の許容応力 (1/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力*3	
			ステンレス鋼	
			SUS630 H1150	許容値基準
供用状態 A及びB	一次 応力 *1	引張応力	—	f_t
		圧縮応力	—	f_c
		せん断応力	227	f_s
		曲げ応力	394	f_b
		支圧応力	—	f_p
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	—	$3f_t$
		せん断応力	682	$3f_s$
		曲げ応力	1182	$3f_b$
		支圧応力	—	$1.5f_p$
		座屈応力	—	$1.5f_s$ 又は $1.5f_c$
供用状態 C _s	一次 応力 *1	引張応力	—	$1.5f_t$
		圧縮応力	—	$1.5f_c$
		せん断応力	341	$1.5f_s$
		曲げ応力	591	$1.5f_b$
		支圧応力	—	$1.5f_p$
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力*2	—	$3f_t$
		せん断応力*2	682	$3f_s$
		曲げ応力*2	1182	$3f_b$
		支圧応力	—	$1.5f_p$
		座屈応力	—	$1.5f_b, 1.5f_s$ 又は $1.5f_c$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組み合わせた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c + c\sigma_b}{f_c} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ただし、②及び③において、供用状態A及びBの一次応力については上式による。供用状態C_sの一次応力の場合、分母の f_c 、 f_b 、 f_t 、は $1.5f_c$ 、 $1.5f_b$ 、 $1.5f_t$ とする。

*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

*3：評価すべき応力が発生しないか、又は評価上厳しくない項目は「—」とする。

表 6-1 トラニオン用材料の許容応力 (2/2)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力*3	
			ステンレス鋼	
			SUS630 H1150	許容値基準
供用状態 D _s	一次 応力 *1	引張応力	—	1.5 f _t * [*]
		圧縮応力	—	1.5 f _c * [*]
		せん断応力	341	1.5 f _s * [*]
		曲げ応力	591	1.5 f _b * [*]
		支圧応力	—	1.5 f _p * [*]
	一 次 + 二 次 応 力	引張・圧縮応力*2	—	3 f _t
		せん断応力*2	682	3 f _s
		曲げ応力*2	1182	3 f _b
		支圧応力	—	1.5 f _p * [*]
		座屈応力	—	1.5 f _b , 1.5 f _s 又は1.5 f _c

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ①次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力（σ）とせん断応力（τ）を組み合わせた応力（σ_T）は、引張応力に対する許容応力以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ②圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{c\sigma_b}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{1.5f_b^*} \leq 1$$

*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

*3：評価すべき応力が発生しないか、又は評価上厳しくない項目は「—」とする。

表 6-2 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
応力の計算値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	設計値
加速度	m/s ²	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値

添付書類 8-3-2

トラニオンの応力計算書

目 次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価位置	2
2.2 貯蔵時	2
2.2.1 荷重条件	2
2.2.2 応力計算	2
2.3 吊上げ時	3
2.3.1 荷重条件	3
2.3.2 応力計算	3
2.4 支持脚への衝突時	5
2.4.1 荷重条件	5
2.4.2 応力計算	5
2.5 貯蔵時（ S_d *地震力が作用する場合）	7
2.5.1 荷重条件	7
2.5.2 応力計算	7
2.6 貯蔵時（ S_s 地震力が作用する場合）	8
2.6.1 荷重条件	8
2.6.2 応力計算	8
3. 応力の評価	9
3.1 一次応力の評価	9
3.2 一次+二次応力の評価	9
4. 繰返し荷重の評価	10

図表目次

図 1-1	トラニオンの形状・寸法・材料・応力評価位置	11
図 2-1	地震時に作用する荷重の評価モデル	12
表 2-1	下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力の 計算条件及び計算結果（貯蔵時）	13
表 2-2	下部トラニオンの評価位置②に発生する曲げ応力の 計算条件及び計算結果（貯蔵時）	13
表 2-3	上部トラニオンの評価位置①に発生するせん断応力の 計算条件及び計算結果（吊上げ時）	14
表 2-4	上部トラニオンの評価位置①に発生する曲げ応力の 計算条件及び計算結果（吊上げ時）	14
表 2-5	上部トラニオンの評価位置①に発生する組合せ応力の 計算結果（吊上げ時）	15
表 2-6	下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力の 計算条件及び計算結果（支持脚への衝突時）	16
表 2-7	下部トラニオンの評価位置③に発生する曲げ応力の 計算条件及び計算結果（支持脚への衝突時）	16
表 2-8	下部トラニオンの評価位置②に発生する曲げ応力の 計算条件及び計算結果（支持脚への衝突時）	17
表 2-9	下部トラニオンの評価位置②に発生する組合せ応力の 計算結果（支持脚への衝突時）	17
表 2-10	下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力の計算条件及び計算結果 （貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））	18
表 2-11	下部トラニオンの評価位置②に発生する曲げ応力の計算条件及び計算結果 （貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））	18
表 2-12	下部トラニオンの評価位置②に発生する組合せ応力の計算結果 （貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））	19
表 2-13	下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力及び曲げ応力 （一次＋二次応力）の計算結果 （貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））	19
表 3-1	トラニオンの応力計算結果と許容応力（供用状態A及びB）	20
表 3-2	トラニオンの応力計算結果と許容応力（供用状態 C_s 及び D_s ）	21

表 4-1	上部トラニオンの評価位置①に発生する繰返しピーク応力強さの 計算条件及び計算結果	22
表 4-2	トラニオンの疲労累積係数	22

1. 概要

本書は、HDP-69B(B)型のトラニオンに関する応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本書で評価するトラニオンの形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 計算結果

計算結果を表3-1及び表3-2に示す。

なお、応力評価位置については、評価上最も厳しい部位を選定し、代表評価位置として本書に記載している。

表中の「－」は、評価すべき応力が発生しない、又は評価上厳しくないため、評価を省略している。

注記：図表は一括して巻末に示す。

2. 応力計算

2.1 応力評価位置

トラニオンの応力評価位置を図1-1に示す。

2.2 貯蔵時

2.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・自重
- ・下部トラニオン固定装置の初期締付け力
- ・熱荷重

2.2.2 応力計算

(1) 下部トラニオン

a. 一次応力

一次応力として評価すべき荷重（自重）の影響は無視できるため、評価を省略する。

b. 一次+二次応力

密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、熱荷重の考慮は不要である。

(a) せん断応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置②である。下部トラニオン固定装置の初期締付け力により発生するせん断応力（ τ ）は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_m}{A} \\ F_m &= F_1 \\ A &= \frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、

- F_m : トラニオンに作用する荷重 (N)
- F_1 : 下部トラニオン固定装置の初期締付け力 (= 1.300×10^6 N)
- A : 評価位置の断面積 (mm^2)
- d_o : 評価位置におけるトラニオン外径 (= 200 mm)
- d_i : 評価位置におけるトラニオン内径 (= mm)

計算条件及び計算結果を表2-1に示す。

(b) 曲げ応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置②である。下部トラニオン固定装置の初期締付け力により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= F_m \cdot L \\ Z &= \frac{\pi}{32 d_o} (d_o^4 - d_i^4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (N・mm)
- Z : 評価位置の断面係数 (mm³)
- F_m : (2.1)式と同じ
- L : 評価位置と荷重作用位置との距離 (=90 mm)
- d_o : 2.2.2(1)b. (a)と同じ
- d_i : 2.2.2(1)b. (a)と同じ

計算条件及び計算結果を表2-2に示す。

2.3 吊上げ時

2.3.1 荷重条件

吊上げ時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・吊上げ荷重 (自重を含む。)
- ・熱荷重

2.3.2 応力計算

(1) 上部トラニオン

a. 一次応力

(a) せん断応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置①である。吊上げ荷重により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_m}{A} \\ F_m &= \frac{m_1}{2} \cdot G_2 \\ A &= \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、

- F_m : トラニオンに作用する荷重 (N)
- m_1 : 吊上げ時における HDP-69B(B)型の質量 (=120200 kg)
- G_2 : 鉛直方向加速度 (=1.3G)
- A : 評価位置の断面積 (mm²)
- d_o : 評価位置におけるトラニオン外径 (=200 mm)
- d_i : 評価位置におけるトラニオン内径 (= mm)

計算条件及び計算結果を表2-3に示す。

(b) 曲げ応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置①である。吊上げ荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= F_m \cdot L \\ Z &= \frac{\pi}{32 d_o} (d_o^4 - d_i^4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (N・mm)
- F_m : (2.3)式と同じ
- L : 評価位置と荷重作用位置との距離 (=150 mm)
- Z : 評価位置の断面係数 (mm³)
- d_o : 2.3.2(1)a.(a)と同じ
- d_i : 2.3.2(1)a.(a)と同じ

計算条件及び計算結果を表2-4に示す。

(c) 組合せ応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置①である。曲げ応力 (σ_b) とせん断応力 (τ) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

ここで、

σ_b : (2.4)式と同じ

τ : (2.3)式と同じ

計算条件及び計算結果を表2-5に示す。

b. 一次+二次応力

密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、2.3.2(1)a.と同様である。

2.4 支持脚への衝突時

2.4.1 荷重条件

支持脚への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。

- ・衝撃荷重（自重を含む。）
- ・熱荷重

2.4.2 応力計算

(1) 下部トラニオン

a. 一次応力

(a) せん断応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置②である。衝撃荷重により発生するせん断応力（ τ ）は、次式で計算する。

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$
$$F_m = \frac{m_1}{2} \cdot G_2$$

(2.6)

ここで、

F_m : トラニオンに作用する荷重 (N)

m_1 : 2.3.2(1)a. (a)と同じ

G_2 : 鉛直方向加速度 (=2.5G)

A : 2.2.2(1)b. (a)と同じ

計算条件及び計算結果を表2-6に示す。

(b) 曲げ応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置③である。衝撃荷重により発生する曲げ応力（ σ_b ）は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= F_m \cdot L \\ Z &= \frac{\pi}{32 d_o} (d_o^4 - d_i^4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (N・mm)
- F_m : (2.6)式と同じ
- L : 評価位置と荷重作用位置との距離 (=197.5 mm)
- Z : 評価位置の断面係数 (mm³)
- d_o : 評価位置におけるトラニオン外径 (=260 mm)
- d_i : 評価位置におけるトラニオン内径 (= mm)

計算条件及び計算結果を表2-7に示す。

(c) 組合せ応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置②である。衝撃荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= F_m \cdot L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.8)$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (N・mm)
- F_m : (2.6)式と同じ
- L : 評価位置と荷重作用位置との距離 (=57.5 mm)
- Z : 2.2.2(1)b.(b)と同じ

計算条件及び計算結果を表2-8に示す。

曲げ応力 (σ_b) とせん断応力 (τ) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

ここで、

- σ_b : (2.8)式と同じ
- τ : (2.6)式と同じ

計算条件及び計算結果を表2-9に示す。

b. 一次+二次応力

密封容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、2.4.2(1)a.と同様である。

2.5 貯蔵時 (S_d*地震力が作用する場合)

2.5.1 荷重条件

貯蔵時においてS_d*地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

- ・地震力
- ・自重
- ・下部トラニオン固定装置の初期締付け力

2.5.2 応力計算

(1) 下部トラニオン

a. 一次応力

(a) せん断応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置②である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。なお、地震力により下部トラニオンに作用する荷重 (F_m) は、図2-1に示すように支点Oを回転中心とする回転モーメントの釣合いより求める。

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_h)}{a_k + 2 \cdot \frac{a_h^2}{a_k}} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

ここで、

- F_m : トラニオンに作用する荷重 (N)
- m₂ : 貯蔵時における HDP-69B(B)型の質量 (=118300 kg)
- G₁ : 水平方向加速度 (m/s²) ただし、G₁=C_H・G
- G₂ : 鉛直方向加速度 (m/s²) ただし、G₂=(1-C_V)・G
- C_H : 水平方向設計震度 (=1.40)
- C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.87)
- h_{CG} : HDP-69B(B)型の底面から重心までの高さ (=2672 mm)
- a_k : 支点Oから固定装置③のトラニオンへの荷重作用位置 (固定金具中心) までの距離 (=2288 mm)
- a_h : 支点Oから固定装置⑥のトラニオンへの荷重作用位置 (固定金具中心) までの距離 (=990 mm)
- A : 2.2.2. (1)b. (a) と同じ

計算条件及び計算結果を表2-10に示す。

(b) 曲げ応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置②である。水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力（ σ_b ）は、次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$
$$M = F_m \cdot L$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

F_m : (2.10)式と同じ

L : 2.2.2. (1)b. (b)と同じ

Z : 2.2.2. (1)b. (b)と同じ

計算条件及び計算結果を表2-11に示す。

(c) 組合せ応力

最大応力が発生する位置は、図1-1に示す評価位置②である。曲げ応力（ σ_b ）とせん断応力（ τ ）との組合せ応力（ σ_T ）は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

ここで、

σ_b : (2.11)式と同じ

τ : (2.10)式と同じ

計算条件及び計算結果を表2-12に示す。

b. 一次＋二次応力

(a) せん断応力

地震力によるせん断応力（ τ ）の全振幅は、(2.10)式で計算したせん断応力（ τ ）の2倍とする。

(b) 曲げ応力

地震力による曲げ応力（ σ_b ）の全振幅は、(2.11)式で計算した曲げ応力（ σ_b ）の2倍とする。

計算条件及び計算結果を表2-13に示す。

2.6 貯蔵時（S_s地震力が作用する場合）

2.6.1 荷重条件

貯蔵時においてS_s地震力が作用する場合の荷重条件はS_s地震力とS_d*地震力を同じとしているため、2.5.1項と同様である。

2.6.2 応力計算

計算方法及び計算結果は、2.5.2項と同様である。

3. 応力の評価

3.1 一次応力の評価

各供用状態における応力計算結果と許容応力を表3-1及び表3-2に示す。

表3-1及び表3-2に示すように、各供用状態における一次応力は金属キャスク構造規格 MCD-3311の規定を満足する。

3.2 一次＋二次応力の評価

各供用状態における応力計算結果と許容応力を表3-1及び表3-2に示す。

表3-1及び表3-2に示すように、各供用状態における一次＋二次応力は金属キャスク構造規格 MCD-3312の規定を満足する。

4. 繰返し荷重の評価

金属キャスク構造規格 MCD-3313に従い、吊上げ時における疲労評価を行う。吊上げ事象の繰返し回数は、200回とする。設計疲労線図は、ASMEのFigure KD-320.4Mを適用する。

上部トラニオンの評価位置①に生じる繰返しピーク応力強さ (S_ℓ) は以下で計算する。

$$S_\ell = \frac{1}{2} \cdot K_t \cdot K_r \cdot S \cdot \frac{E_0}{E} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

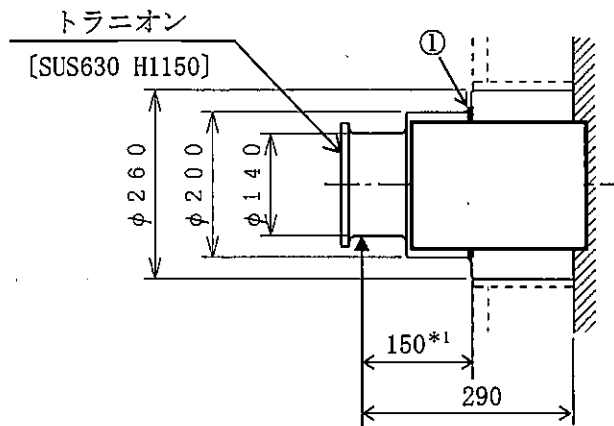
$$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

ここで、

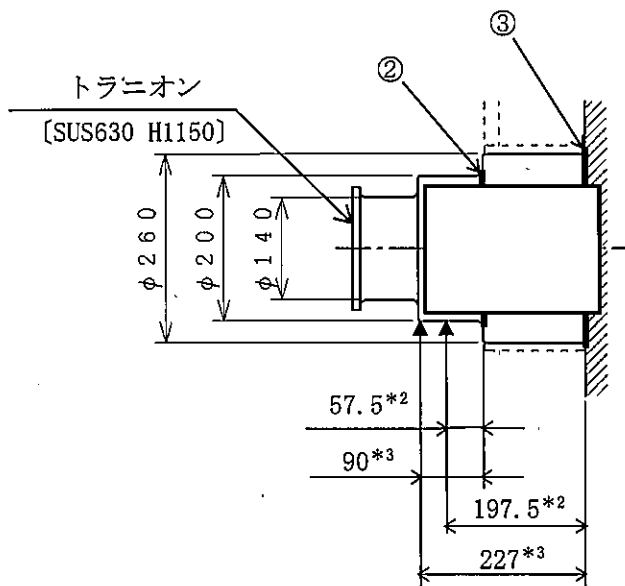
- K_t : 評価位置の段付き部の応力集中係数 (=2.1⁽²⁾)
- K_r : 表面粗さによる応力集中係数 (=1.3⁽¹⁾)
- S : ピーク応力強さ (MPa)
- τ : (2.3)式と同じ
- σ_b : (2.4)式と同じ
- E_0 : 設計疲労線図の縦弾性係数 (=2.00×10⁵ MPa⁽¹⁾)
- E : 縦弾性係数 (=1.88×10⁵ MPa)

繰返しピーク応力強さの計算条件及び計算結果を表4-1に示す。

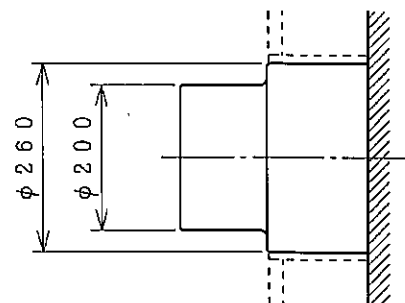
次に、ASMEのFigure KD-320.4Mより、繰返しピーク応力強さ (S_ℓ) に対する許容繰返し回数 (N_a) を求める。吊上げ事象の繰返し回数 (N_{c1}) と許容繰返し回数 (N_a) との比は表4-2に示すとおりとなり、疲労累積係数 (U_f) は1.0以下となるため、金属キャスク構造規格 MCD-3313の規定を満足する。



上部トラニオン (90° - 270° 側)



下部トラニオン (90° - 270° 側)



下部トラニオン (0° - 180° 側) *4

注記*1 : 吊上げ時の荷重作用位置までの距離

*2 : 支持脚への衝突時の荷重作用位置までの距離

*3 : 貯蔵時の荷重作用位置までの距離

*4 : いずれの下部トラニオンも同様の荷重を受けるが、断面の小さい90° - 270° 側のトラニオンを評価対象とする。

(単位 : mm)

[] : 材料

①~③ : 応力評価位置

図 1-1 トラニオンの形状・寸法・材料・応力評価位置

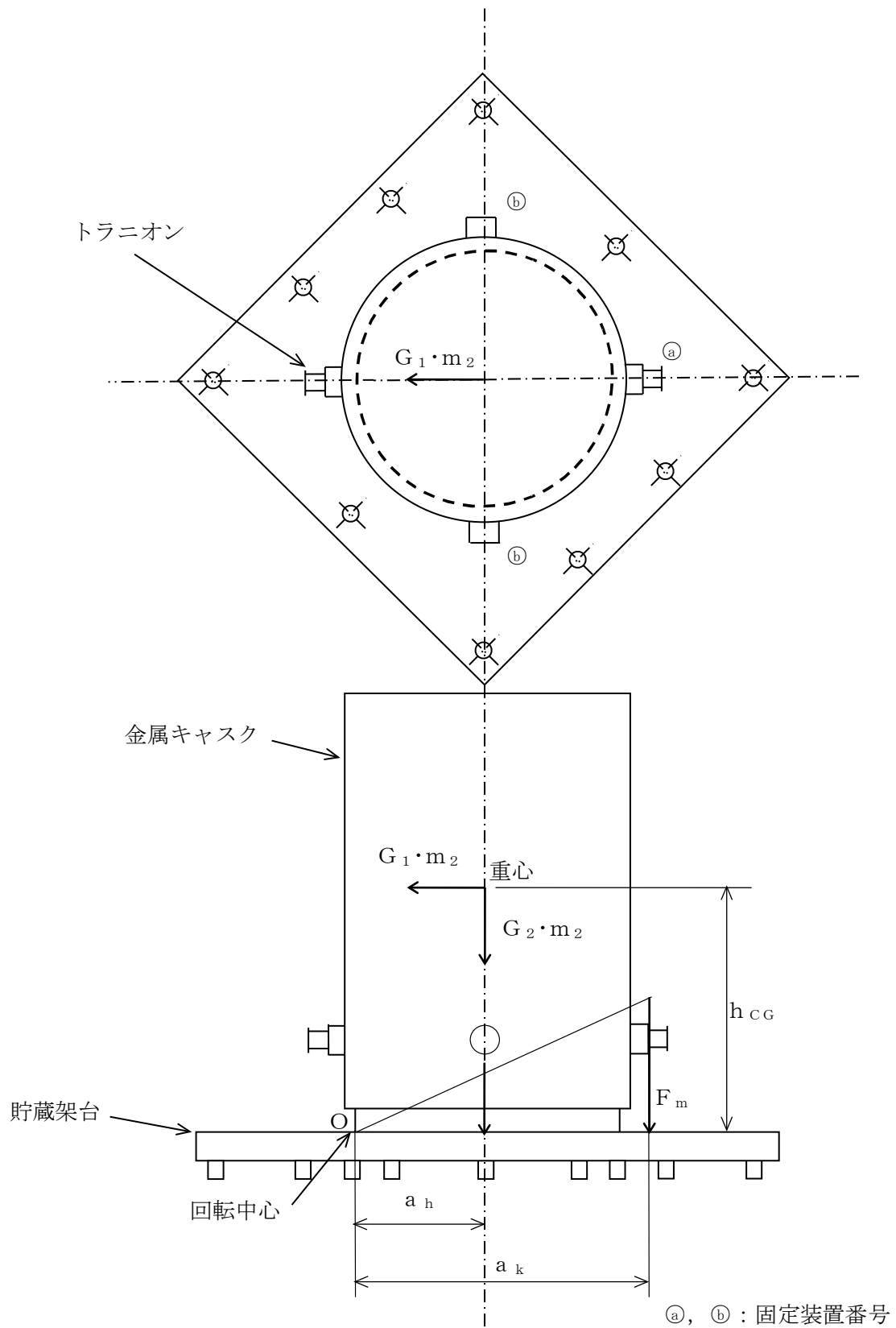


図 2-1 地震時に作用する荷重の評価モデル

表 2-1 下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力の
計算条件及び計算結果 (貯蔵時)

項目	記号	数値*1	単位
トラニオンに作用する荷重	F_m	1.300×10^6	N
下部トラニオン固定装置の 初期締付け力	F_1	1.300×10^6	N
評価位置の断面積	A		mm ²
評価位置におけるトラニオン外径	d_o	200	mm
評価位置におけるトラニオン内径	d_i		mm
評価位置に発生するせん断応力	τ	86	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-2 下部トラニオンの評価位置②に発生する曲げ応力の
計算条件及び計算結果 (貯蔵時)

項目	記号	数値*1	単位
曲げモーメント	M	1.170×10^8	N・mm
評価位置の断面係数	Z		mm ³
評価位置におけるトラニオン外径	d_o	200	mm
評価位置におけるトラニオン内径	d_i		mm
トラニオンに作用する荷重	F_m	1.300×10^6	N
評価位置と荷重作用位置との距離	L	90	mm
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	204	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-3 上部トラニオンの評価位置①に発生するせん断応力の
計算条件及び計算結果（吊上げ時）

項目	記号	数値*1	単位
トラニオンに作用する荷重	F_m	7.662×10^5	N
吊上げ時における HDP-69B (B) 型の質量	m_1	120200	kg
評価位置の断面積	A		mm ²
評価位置におけるトラニオン外径	d_o	200	mm
評価位置におけるトラニオン内径	d_i		mm
鉛直方向加速度	G_2	1.3G	m/s ²
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
評価位置に発生するせん断応力	τ	51	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-4 上部トラニオンの評価位置①に発生する曲げ応力の
計算条件及び計算結果（吊上げ時）

項目	記号	数値*1	単位
曲げモーメント	M	1.149×10^8	N・mm
評価位置の断面係数	Z		mm ³
評価位置におけるトラニオン外径	d_o	200	mm
評価位置におけるトラニオン内径	d_i		mm
トラニオンに作用する荷重	F_m	7.662×10^5	N
評価位置と荷重作用位置との距離	L	150	mm
吊上げ時における HDP-69B (B) 型の質量	m_1	120200	kg
鉛直方向加速度	G_2	1.3G	m/s ²
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	201	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-5 上部トラニオンの評価位置①に発生する組合せ応力の
計算結果（吊上げ時）

項目	記号	数値*1	単位
評価位置に発生するせん断応力	τ	51	MPa
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	201	MPa
評価位置に発生する組合せ応力	σ_T	219	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-6 下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力の
計算条件及び計算結果（支持脚への衝突時）

項目	記号	数値*1	単位
トラニオンに作用する荷重	F_m	1.473×10^6	N
吊上げ時における HDP-69B(B)型の質量	m_1	120200	kg
評価位置の断面積	A		mm ²
鉛直方向加速度	G_2	2.5G	m/s ²
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
評価位置に発生するせん断応力	τ	98	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-7 下部トラニオンの評価位置③に発生する曲げ応力の
計算条件及び計算結果（支持脚への衝突時）

項目	記号	数値*1	単位
曲げモーメント	M	2.910×10^8	N・mm
評価位置の断面係数	Z		mm ³
評価位置におけるトラニオン外径	d_o	260	mm
評価位置におけるトラニオン内径	d_i		mm
トラニオンに作用する荷重	F_m	1.473×10^6	N
評価位置と荷重作用位置との距離	L	197.5	mm
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	190	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-8 下部トラニオンの評価位置②に発生する曲げ応力の
計算条件及び計算結果（支持脚への衝突時）

項目	記号	数値*1	単位
曲げモーメント	M	8.472×10^7	N・mm
評価位置の断面係数	Z		mm ³
トラニオンに作用する荷重	F _m	1.473×10^6	N
評価位置と荷重作用位置との距離	L	57.5	mm
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	148	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-9 下部トラニオンの評価位置②に発生する組合せ応力の
計算結果（支持脚への衝突時）

項目	記号	数値*1	単位
評価位置に発生するせん断応力	τ	98	MPa
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	148	MPa
評価位置に発生する組合せ応力	σ_T	224	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-10 下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力の
計算条件及び計算結果（貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））

項目	記号	数値*1	単位
水平方向加速度	G_1	1.40G	m/s^2
鉛直方向加速度	G_2	0.13G	m/s^2
水平方向設計震度	C_H	1.40	-
鉛直方向設計震度	C_V	0.87	-
重力加速度	G	9.80665	m/s^2
HDP-69B(B)型の底面から重心までの高さ	h_{CG}	2672	mm
支点Oから固定装置⑥のトラニオンへの荷 重作用位置（固定金具中心）までの距離	a_k	2288	mm
支点Oから固定装置⑥のトラニオンへの荷 重作用位置（固定金具中心）までの距離	a_h	990	mm
トラニオンに作用する荷重	F_m	1.333×10^6	N
貯蔵時における HDP-69B(B)型の質量	m_2	118300	kg
評価位置の断面積	A		mm^2
評価位置に発生するせん断応力	τ	88	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-11 下部トラニオンの評価位置②に発生する曲げ応力の
計算条件及び計算結果（貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））

項目	記号	数値*1	単位
曲げモーメント	M	1.199×10^8	$N \cdot mm$
トラニオンに作用する荷重	F_m	1.333×10^6	N
評価位置の断面係数	Z		mm^3
評価位置と荷重作用位置との距離	L	90	mm
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	209	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-12 下部トラニオンの評価位置②に発生する組合せ応力の
計算結果（貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））

項目	記号	数値* ¹	単位
評価位置に発生するせん断応力	τ	88	MPa
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	209	MPa
評価位置に発生する組合せ応力	σ_T	259	MPa

注記*1：計算は，桁数処理前の数値を使用

表 2-13 下部トラニオンの評価位置②に発生するせん断応力及び曲げ応力
（一次+二次応力）の計算結果（貯蔵時（ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合））

項目	記号	数値* ¹	単位
評価位置に発生するせん断応力	τ	177	MPa
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	418	MPa

注記*1：計算は，桁数処理前の数値を使用

表 3-1 トラニオンの応力計算結果と許容応力（供用状態 A 及び B）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		貯蔵時		吊上げ時		支持脚への 衝突時		許容 応力
			計算値	評価 位置	計算値	評価 位置	計算値	評価 位置	
上 部 ト ラ ニ オ ン	一 次 応 力	せん断応力	—	—	51	①	—	—	227
		曲げ応力	—	—	201	①	—	—	394
		組合せ応力	—	—	219	①	—	—	394
	一 次 ＋ 二 次 応 力	せん断応力	—	—	51	①	—	—	682
		曲げ応力	—	—	201	①	—	—	1182
	下 部 ト ラ ニ オ ン	一 次 応 力	せん断応力	—	—	—	—	98	②
曲げ応力			—	—	—	—	190	③	394
組合せ応力			—	—	—	—	224	②	394
一 次 ＋ 二 次 応 力		せん断応力	86	②	—	—	98	②	682
		曲げ応力	204	②	—	—	190	③	1182

表 3-2 トラニオンの応力計算結果と許容応力（供用状態C_s及びD_s）

（単位：MPa）

部 位	応力の種類		供用状態C _s			供用状態D _s		
			計算値	評価 位置	許容 応力	計算値	評価 位置	許容 応力
下 部 ト ラ ニ オ ン	一 次 応 力	せん断応力	88	②	341	88	②	341
		曲げ応力	209	②	591	209	②	591
		組合せ応力	259	②	591	259	②	591
	一 次 + 二 次 応 力 *1	せん断応力	177	②	682	177	②	682
		曲げ応力	418	②	1182	418	②	1182

注記*1：地震力のみによる全振幅について評価する。

表 4-1 上部トラニオンの評価位置①に発生する繰返しピーク応力強さの
計算条件及び計算結果

項目	記号	数値*1	単位
評価位置の段付き部の応力集中係数	K_t	2.1	—
表面粗さによる応力集中係数	K_r	1.3	—
ピーク応力強さ	S	225	MPa
評価位置に発生するせん断応力	τ	51	MPa
評価位置に発生する曲げ応力	σ_b	201	MPa
設計疲労線図の縦弾性係数	E_o	2.00×10^5	MPa
縦弾性係数	E	1.88×10^5	MPa
繰返しピーク応力強さ	S_σ	327	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 4-2 トラニオンの疲労累積係数

No.	S_σ (MPa)	N_a	N_{c1}	N_{c1}/N_a
1	327	9.354×10^4	200	0.0022
疲労累積係数 $U_f = 0.0022$				

添付書類 8-4

外筒及び中性子遮蔽材カバーの強度に関する説明書

添付書類 8-4-1

外筒及び中性子遮蔽材カバーの応力解析の方針

目 次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 記号	3
3.1 記号の説明	3
4. 設計条件	7
4.1 基本仕様	7
4.2 設計事象	7
4.3 荷重の種類とその組合せ	8
5. 計算条件	8
5.1 解析対象とする事象	8
5.2 解析対象	8
5.3 形状及び寸法	8
5.4 許容応力	8
6. 応力解析の手順	9
6.1 解析手順の概要	9
6.2 荷重条件の選定	9
6.3 応力計算と評価	9
6.3.1 応力計算の方法	9
6.3.2 応力の評価	9
6.3.3 数値の丸め方	10
7. 引用文献	10

図表目次

図 5-1	外筒の応力解析対象	11
図 5-2	蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析対象	12
図 6-1	外筒の応力解析フロー図	13
表 4-1	設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	14
表 5-1	代表事象	15
表 6-1	外筒の許容応力	16
表 6-2	蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力	18
表 6-3	数値の丸め方一覧表	18

1. 概要

使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要な容器等の材料及び構造は「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号）（以下「技術基準規則」という。）第14条に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本書は、HDP-69B(B)型の外筒（端板含む。）及び中性子遮蔽材カバーに関する応力解析の方針を述べるものである。

なお、HDP-69B(B)型の中性子遮蔽材カバーのうち、本書は蓋部中性子遮蔽材カバーを対象とし、底部中性子遮蔽材カバーの応力解析の方針については、「添付書類8-1-1 密封容器の応力解析の方針」に示す。

注記：図表は一括して巻末に示す。

2. 適用基準

(1) 外筒

HDP-69B(B)型の外筒（端板を含む。）は、放射性物質の閉じ込め境界ではないが、自らが遮蔽体であると同時に、外筒内部に配置される中性子遮蔽材を保持する機能が求められる。類似の機能を持つ部材として、（社）日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 JSME S FA1-2007」（以下「金属キャスク構造規格」という。）に示される中間胴があり、外筒の構造強度評価手法としては中間胴の規定を用いる。ただし、中間胴は密封容器を支持し、その損壊を防止する機能が要求されるため、密封容器との溶接部近接部分に対する特別な規定が設けられている（金属キャスク構造規格 MCD-3710）が、外筒においてはこの機能は要求されないため、当該規定は適用しない。

(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー

HDP-69B(B)型の蓋部中性子遮蔽材カバーは、一次蓋の中性子遮蔽材を覆うカバーであり、一次蓋と二次蓋の間にヘリウムガスを封入して圧力を監視することから、圧力に対して十分な強度が求められる。このため、蓋部中性子遮蔽材カバーの構造強度評価手法としては、圧力荷重に対する評価要求が定められている（社）日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005（2007年追補版含む。）」（以下「設計・建設規格」という。）のクラス3容器の規定を用いる。

3. 記号

3.1 記号の説明

本書及び「添付書類 8-4-2 外筒及び中性子遮蔽材カバーの応力計算書」（以下「応力計算書」という。）において、応力評価に関する下記の記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りではない。

なお、応力計算書の字体及び大きさは、本書と異なる場合がある。

記号	記号の説明	単位
A_s	長方形板の面積	mm^2
A_o	伝熱フィン一区画当たりの外筒の面積	mm^2
A_1	外筒の水平方向断面積	mm^2
A_2	胴の水平方向断面積	mm^2
a	長方形板の一辺の長さ	mm
a_1	胴による拘束がない場合の熱膨張後の下部端板の外半径	mm
a_2	下部端板による拘束がない場合の熱膨張後の胴の外半径	mm
a_c	正方形板の一辺の長さ（蓋部中性子遮蔽材カバーの半径）	mm
a_f	最大の伝熱フィンピッチ幅	mm
b_1	胴による拘束がない場合の熱膨張後の下部端板の内半径	mm
b_2	下部端板による拘束がない場合の熱膨張後の胴の内半径	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_S	供用状態Aの貯蔵時の状態において、 S_d^* 地震力が作用する場合の供用状態	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_d	胴外径	mm
D_S	供用状態Aの貯蔵時の状態において、 S_s 地震力が作用する場合の供用状態	—
E_1	外筒・端板の縦弾性係数	MPa
E_2	胴の縦弾性係数	MPa
F_{THz}	外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重	N
f_t	許容引張応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_p	許容支圧応力	MPa
f_t^*	許容引張応力* ¹	MPa
f_s^*	許容せん断応力* ¹	MPa
f_c^*	許容圧縮応力* ¹	MPa
f_b^*	許容曲げ応力* ¹	MPa
f_p^*	許容支圧応力* ¹	MPa
G	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
G_1	水平方向加速度	m/s ²
G_2	鉛直方向加速度	m/s ²
m_f	伝熱フィン一区画あたりの中性子遮蔽材と外筒の質量	kg
m_{a11}	外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材の総質量	kg
P	圧力	MPa
p_1	中性子遮蔽材充填部内圧	MPa
p_2	中性子遮蔽材及び外筒の慣性力による分布荷重	MPa
p_3	蓋部中性子遮蔽材カバーの最高使用圧力	MPa
p_4	蓋部中性子遮蔽材カバーの自重による分布荷重	MPa
R_{O0}	外筒の外半径	mm
R_{I0}	外筒の内半径	mm
R_{O1}	下部端板の外半径	mm
R_{I1}	下部端板の内半径	mm
R_{O2}	胴の外半径	mm
R_{I2}	胴の内半径	mm
P_{THR}	熱荷重による下部端板付け根の径方向圧力	MPa
S	許容引張応力	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s による地震力	—

注記*1: f_t , f_s , f_c , f_b , f_p を算出する際に金属キャスク構造規格 MCD-3311.1(1)a. の本文中 S_y とあるのを $1.2S_y$ と読み替えて算出した値

記号	記号の説明	単位
S_y	設計降伏点	MPa
t	板厚	mm
t_o	外筒の板厚	mm
t_b	下部端板の板厚	mm
t_L	蓋部中性子遮蔽材カバーの板厚	mm
α_1	外筒・端板の平均熱膨張係数	mm/(mm \cdot °C)
α_2	胴の平均熱膨張係数	mm/(mm \cdot °C)
β	長方形板の最大応力の係数	—
β_1	同上（下部端板の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値）	—
β_2	同上（外筒の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値）	—
β_3	正方形板の最大応力の係数	—
ΔT_1	外筒・端板の常温との温度差	°C
ΔT_2	胴の常温との温度差	°C
η	継手効率	—
ν_1	外筒・端板のポアソン比	—
ν_2	胴のポアソン比	—
ρ_s	ステンレス鋼（SUS304）の基本質量	kg/mm/mm ²
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	長方形板に生じる最大曲げ応力	MPa
σ_{br}	長方形板に生じる最大曲げ応力（径方向応力）	MPa
$\sigma_{b\theta}$	長方形板に生じる最大曲げ応力（周方向応力）	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力（絶対値）	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力（絶対値）	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
σ_T	組合せ応力	MPa
σ_{THr}	熱荷重による径方向応力	MPa
σ_{THz}	熱荷重による軸方向応力	MPa
$\sigma_{TH\theta}$	熱荷重による周方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ	せん断応力	MPa
τ_{rz}	せん断応力（径方向に垂直な面の軸方向せん断応力）	MPa
τ_{THz}	熱荷重によるせん断応力（軸方向せん断応力）	MPa

4. 設計条件

外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーは、以下の設計条件に耐えるように設計する。

4.1 基本仕様

HDP-69B(B)型の外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに関する応力計算の基本条件を以下に示す。

外筒	材 料	炭素鋼 (SM400B)
	最高使用圧力	<input type="text"/> MPa
	最高使用温度	120 °C*1
蓋部中性子遮蔽材カバー	材 料	ステンレス鋼 (SUS304)
	最高使用圧力	0.4 MPa
	最高使用温度	110 °C*1

注記*1：最高使用温度は、「添付書類 5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」に示す解析結果から得られた温度を保守側に設定した値である。

4.2 設計事象

設計上考慮する事象として、使用済燃料貯蔵施設内における選定事象を以下に示す。

設計事象	供用状態	使用済燃料貯蔵施設内における選定事象*1
I	A	<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵 (貯蔵時) ・ 金属キャスクの吊上げ, 吊下げ, 移動 (吊上げ時) ・ 搬送台車による搬送 (台車搬送時) ・ 貯蔵前作業及び搬出前作業 (準備作業時)
II	B	<ul style="list-style-type: none"> ・ 金属キャスクの支持脚への衝突 (支持脚への衝突時) ・ 金属キャスクの貯蔵架台への衝突 (貯蔵架台への衝突時) ・ 搬送台車による搬送中の急停止 (搬送中の急停止時)
$I + S_d^*$	C_s	・ S_d^* 地震時 (貯蔵時 (S_d^* 地震力が作用する場合))
$I + S_s$	D_s	・ S_s 地震時 (貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合))

注記*1：本書及び応力計算書において、事象を () 内の呼称とすることがある。

内は商業機密のため、非公開とします。

4.3 荷重の種類とその組合せ

外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 4-1 に示す。応力評価に用いる荷重は、応力計算書に記載する。

5. 計算条件

5.1 解析対象とする事象

4.2節で示した使用済燃料貯蔵施設内における選定事象のうち、表5-1に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について解析を実施する。

5.2 解析対象

応力解析の対象は、次のとおりである。

- (1) 外筒 (図 5-1 参照)
- (2) 蓋部中性子遮蔽材カバー (図 5-2 参照)

5.3 形状及び寸法

応力解析を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.4 許容応力

(1) 外筒

各供用状態における許容値基準は、金属キャスク構造規格 MCD-3720 による。
許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー

蓋部中性子遮蔽材カバーの形状は平板である。設計・建設規格 クラス 3 容器の規定において、PVD-3310 に最高使用圧力に対する平板の最小必要厚さを定める規定がある。この規定は、平板に圧力が作用した場合の最大曲げ応力値を $1.5S$ (S : 許容引張応力) に制限するという考え方に基づいているので、この規定の考え方を準用する。溶接部においては、設計・建設規格 クラス 3 容器の規定を参考にして継手効率を考慮する。

許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。

6. 応力解析の手順

6.1 解析手順の概要

外筒の応力解析フローを図 6-1 に示す。

外筒の応力解析は、想定される内圧、機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。一方、蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析は、想定される圧力に対して応力評価式を用いて行う。

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は4章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の3つである。

a. 内圧

b. 機械的荷重

機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含むHDP-69B(B)型（吊上げ時、支持脚への衝突時及び貯蔵架台への衝突時においては三次蓋を含む。）の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。

c. 熱荷重

熱荷重は、各部に生じる温度変化及び温度勾配による荷重であり、「添付書類5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」に記載する除熱解析の結果から得られるものをいう。

6.3.2 応力の評価

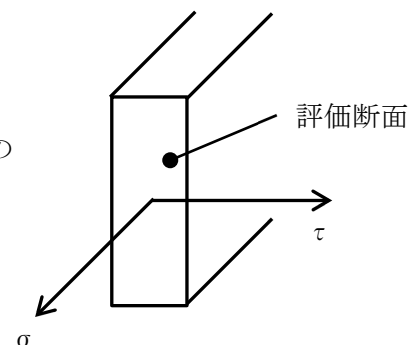
応力の計算結果は、金属キャスク構造規格 MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。ただし、計算結果は許容応力との比較を行うため、絶対値にて記載する。

σ : 評価断面に垂直な方向の応力

τ : せん断応力

外筒の許容応力を表 6-1 に、蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力を表 6-2 に示す。



(1) 外筒の応力評価

外筒の応力評価は、金属キャスク構造規格 MCD-3720 を準用し、以下の項目を評価する。

- a. 一次応力
- b. 一次+二次応力

(2) 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価

蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価は、設計・建設規格 PVD-3310 を準用し、以下の項目を評価する。

- a. 一次応力

6.3.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を表 6-3 に示す。

7. 引用文献

文献番号は、本書及び応力計算書において共通である。

- (1) (社)日本機械学会、「機械工学便覧 新版」、丸善株式会社 (1987年)

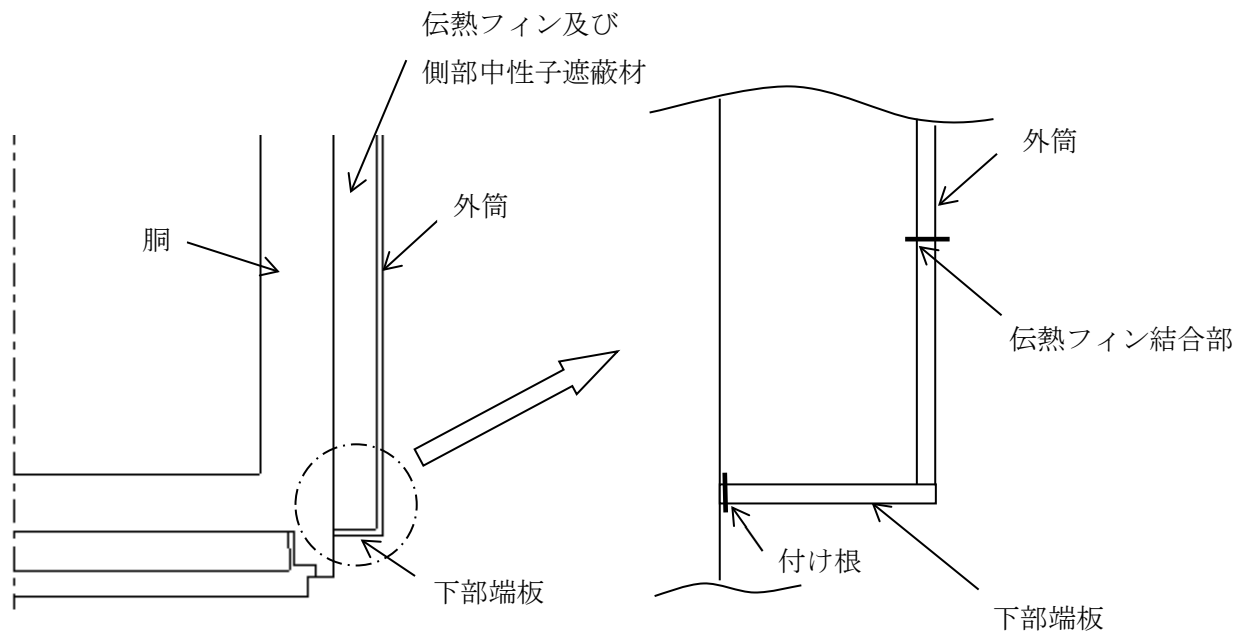


図 5-1 外筒の応力解析対象

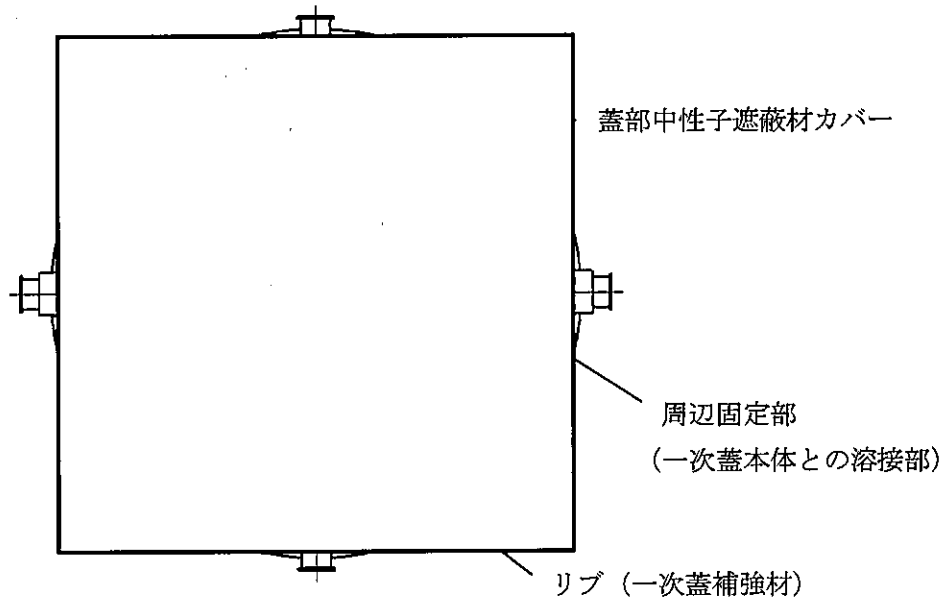


図 5-2 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力解析対象

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

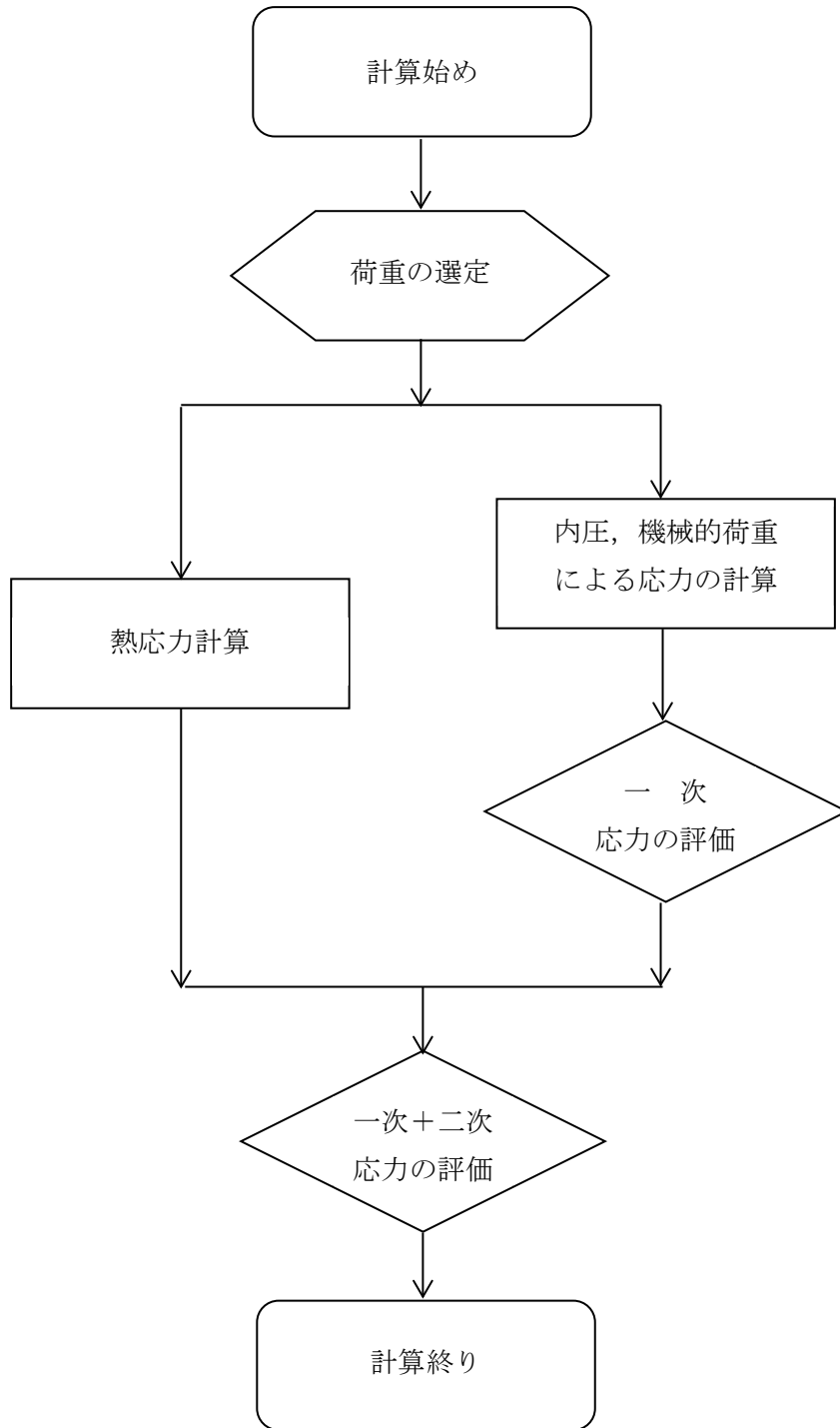


図 6-1 外筒の応力解析フロー図

表 4-1 設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計 事象	供用 状態	荷 重 評価事象 ^{*1}	圧 力 に よ る 荷 重	自 重 に よ る 荷 重	吊 上 げ 時 荷 重	衝 撃 荷 重	熱 荷 重	地 震 荷 重
I	A	貯蔵時	○	○	—	—	○	—
		吊上げ時	○	— ^{*2}	○	—	○	—
II	B	衝撃荷重作用時	○	— ^{*2}	—	○	○	—
I + S _d [*]	C _s	S _d [*] 地震力が作用する場合	○	○	—	—	—	○
I + S _s	D _s	S _s 地震力が作用する場合	○	○	—	—	—	○

注記*1：蓋部中性子遮蔽材カバーの評価事象は、最高使用圧力時のみとする。

*2：本状態での自重による荷重は、吊上げ時荷重又は衝撃荷重の慣性力による荷重に含まれる。

表 5-1 代表事象

設計事象	供用状態	代表事象	包含される事象	荷重条件	備考
I 及び II	A 及び B	貯蔵架台への 衝突時	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵時 ・吊上げ時 ・台車搬送時 ・準備作業時 ・支持脚への衝突時 ・搬送中の急停止時 	<ul style="list-style-type: none"> ・内圧 ・貯蔵架台への衝突時荷重 鉛直方向（下方向）：5G（自重考慮） ・熱荷重 	荷重条件が最も厳しいのは貯蔵架台への衝突時荷重
I + S _d *	C _s	貯蔵時 〔S _d *地震力が作用する場合〕	—	<ul style="list-style-type: none"> ・内圧 ・自重 ・地震力 水平方向：1.40G 鉛直方向：0.87G 	—
I + S _s	D _s	貯蔵時 〔S _s 地震力が作用する場合〕	—	<ul style="list-style-type: none"> ・内圧 ・自重 ・地震力 水平方向：1.40G 鉛直方向：0.87G 	—

表 6-1 外筒の許容応力 (1/2)

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類		許容応力*3	許容値基準
供用状態 A及びB	一次 応力 *1	引張応力	137	f_t
		圧縮応力	—	f_c
		せん断応力	79	f_s
		曲げ応力	137	f_b
		支圧応力	—	f_p
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力	412	$3 f_t$
		せん断応力	238	$3 f_s$
		曲げ応力	412	$3 f_b$
		支圧応力	—	$1.5 f_p$
		座屈応力	—	$1.5 f_s$ 又は $1.5 f_c$
供用状態 C _s	一次 応力 *1	引張応力	206	$1.5 f_t$
		圧縮応力	—	$1.5 f_c$
		せん断応力	119	$1.5 f_s$
		曲げ応力	206	$1.5 f_b$
		支圧応力	—	$1.5 f_p$
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力*2	—	$3 f_t$
		せん断応力*2	238	$3 f_s$
		曲げ応力*2	412	$3 f_b$
		支圧応力	—	$1.5 f_p$
		座屈応力	—	$1.5 f_c, 1.5 f_b$ 又は $1.5 f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組合せた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c + c\sigma_b}{f_c} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ただし、供用状態C_sの一次応力の場合、分母の f_s 、 f_b 、 f_t は、 $1.5 f_s$ 、 $1.5 f_b$ 、 $1.5 f_t$ とする。

*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

*3：評価すべき応力が発生しないか、又は評価上厳しくない項目は「—」とする。

表 6-1 外筒の許容応力 (2/2)

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類		許容応力*3	許容値基準
供用状態 D _s	一次 応力 *1	引張応力	247	1.5 f _t *
		圧縮応力	—	1.5 f _c *
		せん断応力	142	1.5 f _s *
		曲げ応力	247	1.5 f _b *
		支圧応力	—	1.5 f _p *
	一次 + 二次 応力	引張・圧縮応力*2	—	3 f _t
		せん断応力*2	238	3 f _s
		曲げ応力*2	412	3 f _b
		支圧応力	—	1.5 f _p *
		座屈応力	—	1.5 f _c , 1.5 f _b 又は 1.5 f _s

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対する評価は以下による。

- ① 次式で計算される評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組合せた応力 (σ_T) は，引張応力に対する許容応力以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{c\sigma_b}{1.5f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{t\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t^*} \leq 1$$

- ③ 引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は，次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{1.5f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c\sigma_b - \sigma_t}{1.5f_b^*} \leq 1$$

*2：地震力のみによる全振幅について評価する。

*3：評価すべき応力が発生しないか，又は評価上厳しくない項目は「—」とする。

表 6-2 蓋部中性子遮蔽材カバーの許容応力

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力	許容値基準*1
最高使用圧力時 (設計条件)	一次 応力	曲げ応力	117	1.5 η S

注記*1：ηは継手効率 (=0.65)

表 6-3 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示桁
最高使用圧力	MPa	—	—	設計値
最高使用温度	℃	—	—	設計値
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
平均熱膨張係数	mm/(mm・℃)	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
応力の計算値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	設計値
加速度	m/s ²	—	—	設計値
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値

添付書類 8-4-2

外筒及び中性子遮蔽材カバーの応力計算書

目 次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果	1
2. 応力計算	2
2.1 応力評価位置	2
2.2 外筒の応力計算	3
2.2.1 貯蔵架台への衝突時	3
2.2.2 貯蔵時 (S_d *地震力が作用する場合)	8
2.2.3 貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合)	11
2.3 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力計算	12
2.3.1 最高使用圧力時	12
3. 応力の評価	13
3.1 外筒の応力評価	13
3.1.1 一次応力の評価	13
3.1.2 一次+二次応力の評価	13
3.2 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価	13

図表目次

図 1-1	外筒の形状・寸法・材料・応力評価位置	14
図 1-2	蓋部中性子遮蔽材カバーの形状・寸法・材料・応力評価位置	15
図 2-1	各代表事象における荷重の方向	16
表 2-1	外筒の一次応力の計算条件及び計算結果（貯蔵架台への衝突時）	17
表 2-2	外筒の熱荷重による応力の計算条件及び計算結果（貯蔵架台への衝突時）	19
表 2-3	外筒の一次＋二次応力の計算条件及び計算結果（貯蔵架台への衝突時）	22
表 2-4	外筒の一次応力の計算条件及び計算結果 （ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合）	23
表 2-5	外筒の一次＋二次応力の計算条件及び計算結果 （ S_d *地震力又は S_s 地震力が作用する場合）	25
表 2-6	蓋部中性子遮蔽材カバーの一次応力の計算条件及び計算結果	27
表 3-1	外筒の応力計算値と許容応力（供用状態A及びB）	28
表 3-2	外筒の応力計算値と許容応力（供用状態 C_s ）	29
表 3-3	外筒の応力計算値と許容応力（供用状態 D_s ）	30
表 3-4	蓋部中性子遮蔽材カバーの応力計算値と許容応力	31

1. 概要

本書は、HDP-69B(B)型の外筒（端板含む。）及び中性子遮蔽材カバーに関する応力計算書である。

なお、HDP-69B(B)型の中性子遮蔽材カバーのうち、本書は蓋部中性子遮蔽材カバーを対象とし、底部中性子遮蔽材カバーの応力計算は、「添付書類8-1-2 密封容器の応力計算書」に示す。

1.1 形状・寸法・材料

本書で評価する部位の形状・寸法・材料を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

1.2 計算結果

計算結果を表 3-1, 表 3-2, 表 3-3 及び表 3-4 に示す。

なお、応力の計算位置は、評価上最も厳しい部位を選定し、代表評価位置として本書に記載している。

表中の「-」は、評価すべき応力が発生しないか、又は評価上厳しくないため、評価を省略していることを表す。

注記：図表は一括して巻末に示す。

2. 応力計算

2.1 応力評価位置

(1) 外筒

外筒は、金属キャスク容器外周部に円筒形で配置され、内部には中性子遮蔽材が充填される。外筒は板厚が 20 mm の炭素鋼であり、端板及び伝熱フィンを介し、厚肉で強固な胴に溶接で固定される。外筒の応力評価位置を図 1-1 に示す。

貯蔵架台への衝突時においては、金属キャスクは縦姿勢であり、衝突時に発生する加速度に応じて、外筒や中性子遮蔽材等の慣性力が下部端板付け根に作用するので、ここを評価部位（図 1-1 応力評価位置①）とする。

貯蔵時（ S_d *地震力が作用する場合、又は S_s 地震力が作用する場合）においては、水平地震力により外筒内面に中性子遮蔽材の質量に応じた慣性力と中性子遮蔽材充填部内圧が作用する。この場合、外筒と伝熱フィンとの結合部には曲げ応力が発生するので、ここを評価部位とする（図 1-1 応力評価位置②）。

(2) 蓋部中性子遮蔽材カバー

蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価位置を図 1-2 に示す。

蓋部中性子遮蔽材カバーに蓋間圧力が作用する場合に最大応力が発生するのは蓋部中性子遮蔽材カバーの周辺固定部であるので、ここを評価部位（図 1-2 応力評価位置③）とする。

2.2 外筒の応力計算

2.2.1 貯蔵架台への衝突時

(1) 荷重条件

貯蔵架台への衝突時における荷重は、次に示す組合せとする。荷重の方向を図 2-1 に示す。

- ・ 内圧
- ・ 貯蔵架台への衝突時荷重（自重を含む。）
- ・ 熱荷重

(2) 計算方法

a. 一次応力

(a) 鉛直方向衝撃荷重によるせん断応力

貯蔵架台への衝突時は、金属キャスクが縦姿勢での事象であるので、外筒、端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に生じた慣性力は、それぞれ胴との結合部で支持される。

慣性力の考慮においては、簡単化のため、伝熱フィンや端板の結合部がないものとして、外筒部に生じた慣性力がすべて下部端板と胴の接合部に生じた場合の応力を評価する。

外筒、端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材に、貯蔵架台への衝突時の衝撃加速度が作用し、これを下部端板の付け根（胴結合部）においてせん断力として受ける場合の応力評価位置①に生じるせん断応力は、次式で計算する。

$$\tau = \frac{m_{a11} \cdot G_2}{\pi \cdot D_d \cdot t_b} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、

- τ : せん断応力 (MPa)
- τ_{rz} : せん断応力 (径方向に垂直な面の軸方向のせん断応力) (MPa)
 $\tau_{rz} = \tau$
- m_{a11} : 外筒、端板、伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材の総質量
(=15500 kg)
- G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s²)
 $G_2 = 5G$
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- D_d : 胴外径 (下部端板の内径) (=2156 mm)
- t_b : 下部端板の板厚 (=25 mm)

(b) 中性子遮蔽材充填部内圧による曲げ応力

外筒は伝熱フィンで区切られて伝熱フィン及び端板に溶接される。また、下部端板も伝熱フィンで区切られて胴、外筒、及び伝熱フィンに溶接される。このため、外筒及び下部端板は、四辺を固定された板とみなすことができる。外筒及び下部端板には、中性子遮蔽材充填部内圧が作用する。外筒及び下部端板内面に内圧が作用すると、図 1-1 に示す応力評価位置①及び②には曲げ応力が発生し、その値を次式で計算する。

$$\sigma_b = \beta \cdot \frac{P \cdot a^2}{t^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで、

- σ_b : 長方形板に生じる最大曲げ応力 (MPa)
- σ_{br} : 径方向の最大曲げ応力 (MPa)
 $\sigma_{br} = \sigma_b$
- β : 長方形板の最大応力の係数 (-)
 $\beta = \beta_1$ 又は $\beta = \beta_2$
- β_1 : 下部端板の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値 (=0.5⁽¹⁾)
- β_2 : 外筒の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値 (=0.5⁽¹⁾)
- P : 圧力 (MPa)
 $P = p_1$
- p_1 : 中性子遮蔽材充填部内圧 (= MPa)
- a : 長方形板の一辺の長さ (mm)
 $a = a_f$
- a_f : 最大の伝熱フィンピッチ幅 (= mm)
- t : 板厚 (mm)
 $t = t_b$ 又は $t = t_o$
- t_b : 下部端板の板厚 (=25 mm)
- t_o : 外筒の板厚 (=20 mm)

(c) 組合せ応力

応力評価位置①には、曲げ応力とせん断応力が同時に作用するため、組合せ応力を評価する。組合せ応力は次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、

- σ_T : 組合せ応力 (MPa)

内は商業機密のため、非公開とします。

b. 一次+二次応力

(a) 下部端板と胴の径方向熱膨張差による応力

下部端板と胴の径方向熱膨張差に基づく熱荷重により下部端板の周方向及び径方向に発生する応力は、下部端板及び胴を組合せ円筒として各々下式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\text{TH}\theta} &= P_{\text{THr}} \cdot \frac{a_1^2 + b_1^2}{a_1^2 - b_1^2} \\ \sigma_{\text{THr}} &= -P_{\text{THr}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{ただし, } P_{\text{THr}} = \frac{a_2 - b_1}{\frac{b_1}{E_1} \left(\frac{a_1^2 + b_1^2}{a_1^2 - b_1^2} + \nu_1 \right) + \frac{a_2}{E_2} \left(\frac{a_2^2 + b_2^2}{a_2^2 - b_2^2} - \nu_2 \right)} \dots\dots\dots (2.5)$$

ここで、

- $\sigma_{\text{TH}\theta}$: 熱荷重による下部端板の周方向応力 (MPa)
- σ_{THr} : 熱荷重による下部端板の径方向応力 (MPa)
- P_{THr} : 熱荷重による下部端板付け根の径方向圧力 (MPa)
- a_1 : 胴による拘束がない場合の熱膨張後の下部端板の外半径 (mm)
 $a_1 = R_{O1} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta T_1)$
- b_1 : 胴による拘束がない場合の熱膨張後の下部端板の内半径 (mm)
 $b_1 = R_{I1} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta T_1)$
- a_2 : 下部端板による拘束がない場合の熱膨張後の胴の外半径 (mm)
 $a_2 = R_{O2} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta T_2)$
- b_2 : 下部端板による拘束がない場合の熱膨張後の胴の内半径 (mm)
 $b_2 = R_{I2} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta T_2)$
- R_{O1} : 下部端板の外半径 (=1241 mm)
- R_{I1} : 下部端板の内半径 (=1078 mm)
- R_{O2} : 胴の外半径 (=1078 mm)
- R_{I2} : 胴の内半径 (=832 mm)
- α_1 : 外筒・端板の 120 °Cにおける平均熱膨張係数
(=11.27×10⁻⁶ mm/(mm・°C))
- α_2 : 胴の 150 °Cにおける平均熱膨張係数 (=11.28×10⁻⁶ mm/(mm・°C))
- ΔT_1 : 外筒・端板の常温との温度差 (=120-20=100 °C)
- ΔT_2 : 胴の常温との温度差 (=150-20=130 °C)
- E_1 : 外筒・端板の 120 °Cにおける縦弾性係数 (=196×10³ MPa)
- E_2 : 胴の 150 °Cにおける縦弾性係数 (=195×10³ MPa)
- ν_1 : 外筒・端板のポアソン比 (=0.3)
- ν_2 : 胴のポアソン比 (=0.3)

(b) 外筒と胴の軸方向熱膨張差による端板のせん断応力

外筒は、端板及び伝熱フィンを介し、厚肉で強固な胴に溶接で固定されており、胴と外筒の軸方向熱膨張差により軸方向の熱荷重が発生する。当該熱荷重は、伝熱フィンを見做し、胴と外筒を一様断面の組合せ棒として計算する。当該熱荷重に基づき下部端板に発生するせん断応力は、次式で計算する。

なお、当該せん断応力は、(2.1) 式で計算する貯蔵架台への衝突時に下部端板に発生するせん断応力とは逆向きとなるため、便宜的に負符号をつけて表している。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{THz} &= -\frac{F_{THz}}{\pi D_d t_b} \\ F_{THz} &= \frac{E_1 A_1 \cdot (\alpha_2 \Delta T_2 - \alpha_1 \Delta T_1)}{1 + \frac{E_1 A_1}{E_2 A_2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

ここで、

- τ_{THz} : 熱荷重によるせん断応力 (軸方向のせん断応力) (MPa)
- F_{THz} : 外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重 (N)
- D_d : 胴の外径 (=2156 mm)
- t_b : 下部端板の板厚 (=25 mm)
- E_1 : 外筒・端板の 120 °Cにおける縦弾性係数 (=196×10³ MPa)
- E_2 : 胴の 150 °Cにおける縦弾性係数 (=195×10³ MPa)
- A_1 : 外筒の水平方向面積 (mm²)
 $A_1 = \pi \cdot (R_{O0}^2 - R_{I0}^2)$
- A_2 : 胴の水平方向断面積 (mm²)
 $A_2 = \pi \cdot (R_{O2}^2 - R_{I2}^2)$
- R_{O0} : 外筒の外半径 (=1241 mm)
- R_{I0} : 外筒の内半径 (=1221 mm)
- R_{O2} : 胴の外半径 (=1078 mm)
- R_{I2} : 胴の内半径 (=832 mm)
- α_1 : 外筒・端板の 120 °Cにおける平均熱膨張係数
(=11.27×10⁻⁶ mm/(mm・°C))
- α_2 : 胴の 150 °Cにおける平均熱膨張係数 (=11.28×10⁻⁶ mm/(mm・°C))
- ΔT_1 : 外筒・端板の常温との温度差 (=120-20=100 °C)
- ΔT_2 : 胴の常温との温度差 (=150-20=130 °C)

(c) 外筒と胴の軸方向熱膨張差による外筒の引張応力

外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重に基づき外筒の軸方向に引張応力が発生する。当該引張応力は、次式で計算する。

$$\sigma_{\text{THz}} = \frac{F_{\text{THz}}}{A_1} \dots\dots\dots (2.7)$$

ここで、

- σ_{THz} : 熱荷重による外筒軸方向の引張応力 (MPa)
- F_{THz} : 外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重 (N) ((2.6) 式による。)
- A_1 : 外筒の水平方向断面積 (mm²)
 $A_1 = \pi \cdot (R_{O0}^2 - R_{I0}^2)$
- R_{O0} : 外筒の外半径 (=1241 mm)
- R_{I0} : 外筒の内半径 (=1221 mm)

(3) 計算結果

貯蔵架台への衝突時における外筒に発生する応力の計算条件及び計算結果を表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

2.2.2 貯蔵時 (S_d *地震力が作用する場合)

(1) 荷重条件

貯蔵時において、 S_d *地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。
荷重の方向を図 2-1 に示す。

- ・内圧
- ・地震力
- ・自重

(2) 計算方法

a. 一次応力

(a) 鉛直方向地震荷重によるせん断応力

鉛直方向地震荷重による応力評価位置①のせん断応力は、(2.1) 式で計算する。

ここで、

τ_{rz} : せん断応力 (MPa)

$$\tau_{rz} = \tau$$

τ : せん断応力 (MPa)

m_{all} : 外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材の総質量
(=15500 kg)

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)

$$G_2 = (1 + C_v) \cdot G$$

C_v : 鉛直方向設計震度 (=0.87)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s^2)

D_d : 胴外径 (=2156 mm)

t_b : 下部端板の板厚 (=25 mm)

(b) 中性子遮蔽材充填部内圧による曲げ応力

中性子遮蔽材充填部内圧による応力評価位置①の曲げ応力は、(2.2) 式で計算する。

(c) 中性子遮蔽材充填部内圧及び水平方向地震荷重による曲げ応力

外筒を伝熱フィンに区切られる幅ごとに考えると、外筒内面には水平方向地震力による中性子遮蔽材の慣性力が作用する。また、中性子遮蔽材充填部内圧も同時に作用する。このとき、外筒の伝熱フィン結合部の端点（応力評価位置②）には曲げ応力が作用するので、(2.2) 式で計算する。

ここで、

- $\sigma_{b\theta}$: 外筒の周方向曲げ応力 (MPa)
 $\sigma_{b\theta} = \sigma_b$
- σ_b : 長方形板に生じる最大曲げ応力 (MPa)
- β : 長方形板の最大応力の係数 (-)
 $\beta = \beta_2$
- β_2 : 外筒の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値 (=0.5⁽¹⁾)
- P : 圧力 (MPa)
 $P = p_1 + p_2$
- p_1 : 中性子遮蔽材充填部内圧 (= MPa)
- p_2 : 中性子遮蔽材及び外筒の慣性力による分布荷重 (MPa)
 $p_2 = m_f \cdot G_1 / A_s$
- m_f : 伝熱フィン一区間当たりの中性子遮蔽材と外筒の質量 (=510 kg)
- G_1 : 水平方向加速度 (m/s²)
 $G_1 = C_H \cdot G$
- C_H : 水平方向設計震度 (=1.40)
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- A_s : 長方形板の面積 (mm²)
 $A_s = A_0$
- A_0 : 伝熱フィン一区間当たりの外筒の面積 (= mm²)
- a : 長方形板の一辺の長さ (mm)
 $a = a_f$
- a_f : 最大の伝熱フィンピッチ幅 (= mm)
- t : 板厚 (mm)
 $t = t_0$
- t_0 : 外筒の板厚 (=20 mm)

内は商業機密のため、非公開とします。

b. 一次+二次応力

(a) せん断応力

短期繰返し荷重 (S_d *地震力) のみによる応力評価位置①におけるせん断応力の全振幅は, (2.1) 式で求まるせん断応力の2倍とする。ここで,

- τ : せん断応力 (MPa)
- m_{a11} : 外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材の総質量 (=15500 kg)
- G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)
 $G_2 = C_v \cdot G$
- C_v : 鉛直方向設計震度 (=0.87)
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s^2)
- D_d : 胴外径 (=2156 mm)
- t_b : 下部端板の板厚 (=25 mm)

(b) 曲げ応力

短期繰返し荷重 (S_d *地震力) のみによる応力評価位置②における曲げ応力の全振幅は, (2.2) 式で求まる曲げ応力の2倍とする。ここで,

- σ_b : 長方形板に生じる最大曲げ応力 (MPa)
- β : 長方形板の最大応力の係数 (-)
 $\beta = \beta_2$
- β_2 : 外筒の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値 (=0.5⁽¹⁾)
- P : 圧力 (MPa)
 $P = p_2$
- p_2 : 中性子遮蔽材及び外筒の慣性力による分布荷重 (MPa)
 $p_2 = m_f \cdot G_1 / A_s$
- m_f : 伝熱フィン一区画あたりの中性子遮蔽材と外筒の質量 (=510 kg)
- G_1 : 水平方向加速度 (m/s^2)
 $G_1 = C_H \cdot G$
- C_H : 水平方向設計震度 (=1.40)
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s^2)
- A_s : 長方形板の面積 (mm^2)
 $A_s = A_o$
- A_o : 伝熱フィン一区画あたりの外筒の面積 (= mm^2)
- a : 長方形板の一辺の長さ (mm)
 $a = a_f$
- a_f : 最大の伝熱フィンピッチ幅 (= mm)
- t : 板厚 (mm)
 $t = t_o$
- t_o : 外筒の板厚 (=20 mm)

内は商業機密のため, 非公開とします。

(3) 計算結果

貯蔵時 (S_d^* 地震力が作用する場合) における外筒の一次応力及び一次+二次応力の計算条件と計算結果を各々表 2-4 及び表 2-5 に示す。

2.2.3 貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合)

(1) 荷重条件

貯蔵時において、 S_s 地震力が作用する場合の荷重条件は、 S_s 地震力と S_d^* 地震力を同じとしているため、2.2.2(1)項と同じである。

(2) 計算方法

計算方法は、2.2.2(2)項と同じである。

(3) 計算結果

貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合) における外筒の一次応力及び一次+二次応力の計算条件と計算結果は、2.2.2(3)項と同じである。

2.3 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力計算

2.3.1 最高使用圧力時

(1) 荷重条件

蓋部中性子遮蔽材カバーの最高使用圧力時の荷重は、次に示す組合せとする。

- ・圧力
- ・自重

(2) 計算方法

a. 一次応力

蓋部中性子遮蔽材カバーには、一次蓋と二次蓋間に封入されるヘリウムガスの圧力が作用するので、この最高使用圧力に対する応力を評価する。一次蓋の中性子遮蔽材充填部には、図 1-2 に示すようにリブが設けられており、蓋間圧力が作用する場合には、このリブと周辺固定部（溶接部）で蓋部中性子遮蔽材カバーの荷重を支持する構造となっている。

ここでは、十字に交差するリブと周辺固定部で形成される四半円形状に着目し、蓋部中性子遮蔽材カバーの半径を一辺とする正方形の板に圧力が作用するモデルを考える。四辺は対称条件もしくは溶接により固定されるため、四辺固定条件となる。四辺固定の正方形の板において、等分布荷重が作用するときの最大曲げ応力は固定辺中央に生じ、(2.2)式で計算する。ここで、

$\sigma_{b\theta}$: 蓋部中性子遮蔽材カバーの最大曲げ応力（周方向）(MPa)

$$\sigma_{b\theta} = \sigma_b$$

σ_b : 長方形板に生じる最大曲げ応力 (MPa)

β : 長方形板の最大応力の係数 (-)

$$\beta = \beta_3$$

β_3 : 正方形板の最大応力の係数 (=0.32⁽¹⁾)

P : 圧力 (MPa)

$$P = p_3 + p_4$$

p_3 : 蓋部中性子遮蔽材カバーの最高使用圧力 (=0.4 MPa)

p_4 : 蓋部中性子遮蔽材カバーの自重による分布荷重 (MPa)

$$p_4 = \rho_s \cdot t_L \cdot G$$

ρ_s : ステンレス鋼 (SUS304) の基本質量 (=7.93×10⁻⁶ kg/mm/mm²)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

a : 長方形板の一辺の長さ (mm)

$$a = a_c$$

a_c : 正方形板一辺の長さ（蓋部中性子遮蔽材カバーの半径）(=787.5 mm)

t : 板厚 (mm)

$$t = t_L$$

t_L : 蓋部中性子遮蔽材カバーの板厚 (=40 mm)

(3) 計算結果

最高使用圧力時の蓋部中性子遮蔽材カバーにおける一次応力の計算条件と計算結果を表 2-6 に示す。

3. 応力の評価

3.1 外筒の応力評価

3.1.1 一次応力の評価

各供用状態における一次応力の評価を表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 に示す。

表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 により, 各供用状態の一次応力は, 金属キャスク構造規格 MCD-3721 の規定を満足する。

3.1.2 一次+二次応力の評価

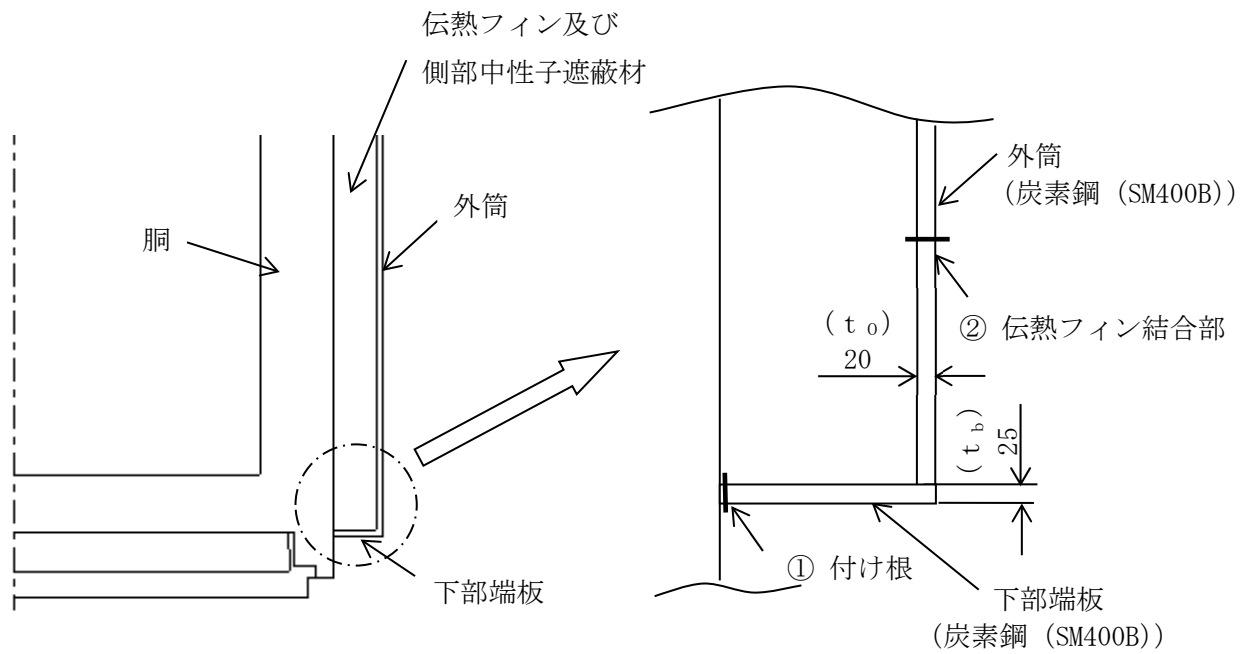
各供用状態における一次+二次応力の評価を表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 に示す。

表 3-1, 表 3-2 及び表 3-3 により, 各供用状態の一次+二次応力は, 金属キャスク構造規格 MCD-3722 の規定を満足する。

3.2 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価

蓋部中性子遮蔽材カバーの応力評価を表 3-4 に示す。

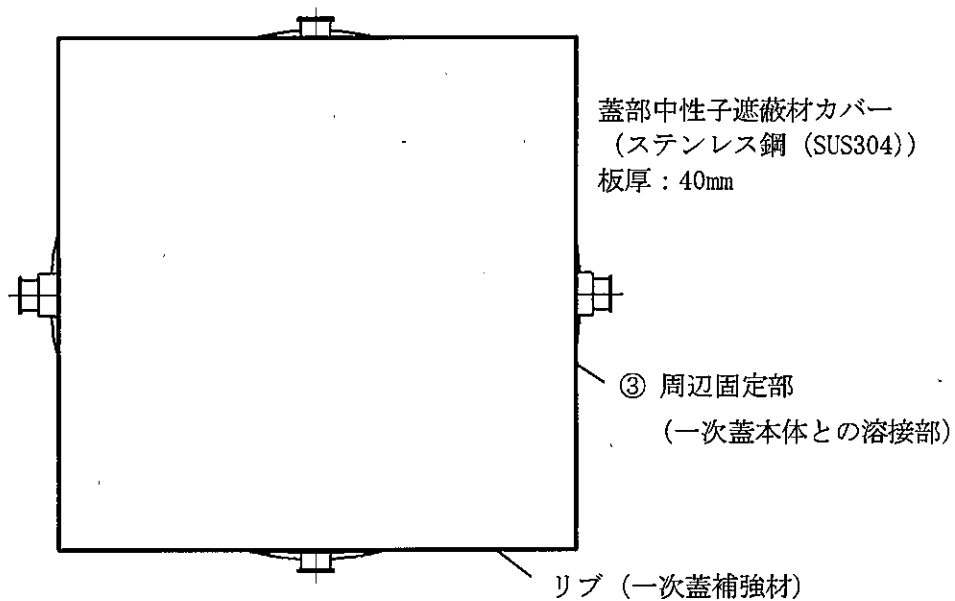
表 3-4 により, 最高使用圧力時の応力計算値は許容応力を満足し, 想定する圧力に対して十分な強度を有する。



(単位：mm)

①, ②：応力評価位置

図 1-1 外筒の形状・寸法・材料・応力評価位置



③：応力評価位置

図 1-2 蓋部中性子遮蔽材カバーの形状・寸法・材料・応力評価位置

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

(1) 貯蔵架台への衝突時の衝撃加速度：

・鉛直方向加速度： $G_2 = 5G$ (G ：重力加速度 ($=9.80665 \text{ m/s}^2$))

(2) 貯蔵時 (S_d *地震力が作用する場合) 又は

貯蔵時 (S_s 地震力が作用する場合) の加速度：

・水平方向加速度： $G_1 = 1.40G$

・鉛直方向加速度： $G_2 = (1+0.87) \cdot G$

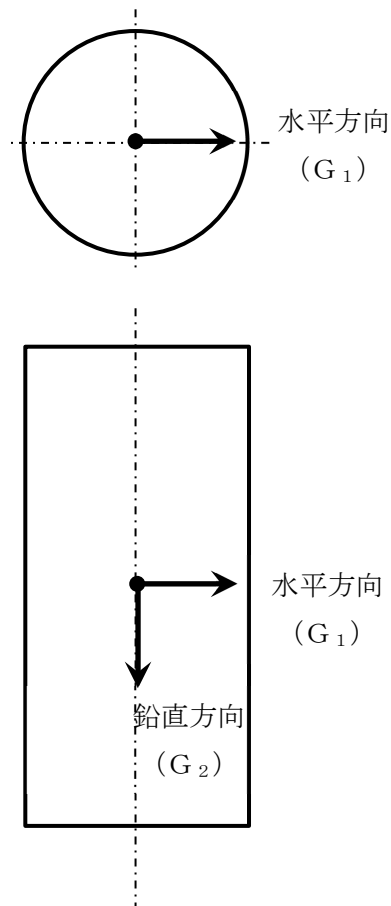


図 2-1 各代表事象における荷重の方向

表 2-1 外筒の一次応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵架台への衝突時) (1/2)

項目	記号	数値	単位
外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材の総質量	m_{all}	15500	kg
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
鉛直方向加速度	G_2	5 G	m/s ²
胴外径	D_d	2156	mm
板厚 ($t = t_b$)	t	25	mm
下部端板の板厚	t_b	25	mm
長方形板の最大応力の係数 ($\beta = \beta_1$)	β	0.5	—
長方形板の最大応力の係数 (下部端板の伝熱フィン区画の縦横比を考慮した値)	β_1	0.5	—
圧力 ($P = p_1$)	P	□	MPa
中性子遮蔽材充填部内圧	p_1		MPa
長方形板の一辺の長さ ($a = a_f$)	a		mm
最大の伝熱フィンピッチ幅	a_f		mm
せん断応力 (応力評価位置①)	τ_{rz}	5* ¹	MPa
曲げ応力 (応力評価位置①)	σ_{br}	39* ¹	MPa
組合せ応力 (応力評価位置①)	σ_T	39* ¹	MPa

注記*1: 計算は, 桁数処理前の数値を使用

□ 内は商業機密のため, 非公開とします。

表 2-1 外筒の一次応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵架台への衝突時) (2/2)

項目	記号	数値	単位
長方形板の最大応力の係数 ($\beta = \beta_2$)	β	0.5	—
長方形板の最大応力の係数 (外筒の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値)	β_2	0.5	—
圧力 ($P = p_1$)	P	[]	MPa
中性子遮蔽材充填部内圧	p_1		MPa
長方形板の一辺の長さ ($a = a_f$)	a		mm
最大の伝熱フィンピッチ幅	a_f		mm
板厚 ($t = t_0$)	t	20	mm
外筒の板厚	t_0	20	mm
曲げ応力 (応力評価位置②)	$\sigma_{b\theta}$	60*1	MPa

注記*1: 計算は、桁数処理前の数値を使用

[] 内は商業機密のため、非公開とします。

表 2-2 外筒の熱荷重による応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵架台への衝突時) (1/3)

項目	記号	数値	単位
下部端板の外半径	R_{O1}	1241	mm
下部端板の内半径	R_{I1}	1078	mm
胴の外半径	R_{O2}	1078	mm
胴の内半径	R_{I2}	832	mm
外筒・端板の 120 °Cにおける平均熱膨張係数	α_1	11.27×10^{-6}	mm/ (mm・°C)
胴の 150 °Cにおける平均熱膨張係数	α_2	11.28×10^{-6}	mm/ (mm・°C)
外筒・端板の常温との温度差	ΔT_1	100	°C
胴の常温との温度差	ΔT_2	130	°C
胴による拘束がない場合の熱膨張後の下部端板の外半径	a_1	1242 ^{*1}	mm
胴による拘束がない場合の熱膨張後の下部端板の内半径	b_1	1079 ^{*1}	mm
下部端板による拘束がない場合の熱膨張後の胴の外半径	a_2	1080 ^{*1}	mm
下部端板による拘束がない場合の熱膨張後の胴の内半径	b_2	833 ^{*1}	mm
外筒・端板の 120 °Cにおける縦弾性係数	E_1	196×10^3	MPa
胴の 150 °Cにおける縦弾性係数	E_2	195×10^3	MPa
外筒・端板のポアソン比	ν_1	0.3	—
胴のポアソン比	ν_2	0.3	—
熱荷重による下部端板付け根の径方向圧力	P_{THr}	5.978 ^{*2}	MPa
熱荷重による周方向応力 (応力評価位置①)	$\sigma_{TH\theta}$	43 ^{*2}	MPa
熱荷重による径方向応力 (応力評価位置①)	σ_{THr}	-6 ^{*2}	MPa

注記*1：この数値を使用する計算は、桁数処理前の数値を適用

*2：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-2 外筒の熱荷重による応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵架台への衝突時) (2/3)

項目	記号	数値	単位
胴の外径	D_d	2156	mm
下部端板の板厚	t_b	25	mm
外筒の外半径	R_{O0}	1241	mm
外筒の内半径	R_{I0}	1221	mm
胴の外半径	R_{O2}	1078	mm
胴の内半径	R_{I2}	832	mm
外筒・端板の 120 °Cにおける平均熱膨張係数	α_1	11.27×10^{-6}	mm/ (mm・°C)
胴の 150 °Cにおける平均熱膨張係数	α_2	11.28×10^{-6}	mm/ (mm・°C)
外筒・端板の常温との温度差	ΔT_1	100	°C
胴の常温との温度差	ΔT_2	130	°C
外筒・端板の 120 °Cにおける縦弾性係数	E_1	196×10^3	MPa
胴の 150 °Cにおける縦弾性係数	E_2	195×10^3	MPa
外筒の水平方向断面積	A_1	1.547×10^5	mm ²
胴の水平方向断面積	A_2	1.476×10^6	mm ²
外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重	F_{THz}	9.310×10^6	N
熱荷重によるせん断応力 (応力評価位置①)	τ_{THz}	-55^{*1}	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-2 外筒の熱荷重による応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵架台への衝突時) (3/3)

項目	記号	数値	単位
外筒の外半径	R_{O0}	1241	mm
外筒の内半径	R_{I0}	1221	mm
胴の外半径	R_{O2}	1078	mm
胴の内半径	R_{I2}	832	mm
外筒・端板の 120 °Cにおける平均熱膨張係数	α_1	11.27×10^{-6}	mm/ (mm·°C)
胴の 150 °Cにおける平均熱膨張係数	α_2	11.28×10^{-6}	mm/ (mm·°C)
外筒・端板の常温との温度差	ΔT_1	100	°C
胴の常温との温度差	ΔT_2	130	°C
外筒・端板の 120 °Cにおける縦弾性係数	E_1	196×10^3	MPa
胴の 150 °Cにおける縦弾性係数	E_2	195×10^3	MPa
外筒の水平方向断面積	A_1	1.547×10^5	mm ²
胴の水平方向断面積	A_2	1.476×10^6	mm ²
外筒と胴の軸方向熱膨張差による熱荷重	F_{THz}	9.310×10^6	N
熱荷重による軸方向応力 (応力評価位置②)	σ_{THz}	61* ¹	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 2-3 外筒の一次+二次応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵架台への衝突時)

(単位：MPa)

応力 評価 位置	応力 分類	項目	記号	数値*1
①	一次 応力	貯蔵架台への衝突時の鉛直方向衝撃荷重によるせん断応力	τ_{rz}	5
		中性子遮蔽材充填部内圧による曲げ応力	σ_{br}	39
	二次 応力	熱荷重によるせん断応力	τ_{THz}	-55
		熱荷重による周方向応力	$\sigma_{TH\theta}$	43
		熱荷重による径方向応力	σ_{THr}	-6
	一次 + 二次 応力	せん断応力	τ^{*2}	51*3
		引張応力 (周方向)	$\sigma_{TH\theta}$	43
		圧縮応力 (径方向)	σ_{THr}	6*3
曲げ応力 (径方向)		σ_{br}	39	
②	一次 応力	中性子遮蔽材充填部内圧による曲げ応力	$\sigma_{b\theta}$	60
	二次 応力	熱荷重による引張応力 (軸方向)	σ_{THz}	61
	一次 + 二次 応力	引張応力 (軸方向)	σ_{THz}	61
		曲げ応力 (周方向)	$\sigma_{b\theta}$	60

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

*2： $\tau = \tau_{rz} + \tau_{THz}$

*3：絶対値を表す。

表 2-4 外筒の一次応力の計算条件及び計算結果
 (S_d*地震力又はS_s地震力が作用する場合) (1/2)

項目	記号	数値	単位
外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材の総質量	m _{all}	15500	kg
鉛直方向設計震度	C _v	0.87	—
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
鉛直方向加速度	G _z	1.87G	m/s ²
胴外径	D _d	2156	mm
板厚 (t = t _b)	t	25	mm
下部端板の板厚	t _b	25	mm
長方形板の最大応力の係数 (β = β ₁)	β	0.5	—
長方形板の最大応力の係数 (下部端板の伝熱フィン一区画の縦横比を考慮した値)	β ₁	0.5	—
圧力 (P = p ₁)	P	□	MPa
中性子遮蔽材充填部内圧	p ₁		MPa
長方形板の一辺の長さ (a = a _f)	a		mm
最大の伝熱フィンピッチ幅	a _f		mm
せん断応力 (応力評価位置①)	τ _{rz}	2* ¹	MPa
曲げ応力 (応力評価位置①)	σ _{br}	39* ¹	MPa
組合せ応力 (応力評価位置①)	σ _T	39* ¹	MPa

注記*1: 計算は, 桁数処理前の数値を使用

□ 内は商業機密のため, 非公開とします。

表 2-4 外筒の一次応力の計算条件及び計算結果
 (S_d*地震力又はS_s地震力が作用する場合) (2/2)

項目	記号	数値	単位
長方形板の最大応力の係数 ($\beta = \beta_2$)	β	0.5	—
長方形板の最大応力の係数 (外筒の伝熱フィン区画の縦横比を考慮した値)	β_2	0.5	—
圧力 ($P = p_1 + p_2$)	P		MPa
中性子遮蔽材充填部内圧	p_1		MPa
中性子遮蔽材及び外筒の慣性力による分布荷重 ($p_2 = m_f \cdot G_1 / A_s$)	p_2	5.370×10^{-3}	MPa
伝熱フィン区間当たりの中性子遮蔽材と外筒の質量	m_f	510	kg
水平方向加速度	G_1	1.40G	m/s ²
水平方向設計震度	C_H	1.40	—
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
長方形板の面積 ($A_s = A_o$)	A_s		mm ²
伝熱フィン区間当たりの外筒の面積	A_o		mm ²
長方形の一辺の長さ ($a = a_f$)	a		mm
最大の伝熱フィンピッチ幅	a_f		mm
板厚 ($t = t_o$)	t	20	mm
外筒の板厚	t_o	20	mm
曲げ応力 (応力評価位置②)	$\sigma_{b\theta}$	61* ¹	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

表 2-5 外筒の一次+二次応力の計算条件及び計算結果
 (S_d*地震力又はS_s地震力が作用する場合) (1/2)

項目	記号	数値	単位
外筒, 端板, 伝熱フィン及び側部中性子遮蔽材の総質量	m _{a l l}	15500	kg
鉛直方向加速度	G ₂	0.87G	m/s ²
鉛直方向設計震度	C _v	0.87	—
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
胴外径	D _d	2156	mm
板厚 (t = t _b)	t	25	mm
下部端板の板厚	t _b	25	mm
せん断応力 (応力評価位置①)	τ	1* ¹	MPa
せん断応力の全振幅 (応力評価位置①)	2τ	2* ¹	MPa

注記*1: 計算は, 桁数処理前の数値を使用

表 2-5 外筒の一次+二次応力の計算条件及び計算結果
 (S_a*地震力又はS_s地震力が作用する場合) (2/2)

項目	記号	数値	単位
長方形板の最大応力の係数 ($\beta = \beta_2$)	β	0.5	—
長方形板の最大応力の係数 (外筒の伝熱フィン—区画の縦横比を考慮した値)	β_2	0.5	—
圧力 ($P = p_2$)	P	5.370×10^{-3}	MPa
中性子遮蔽材及び外筒の慣性力による分布荷重 ($p_2 = m_f \cdot G_1 / A_s$)	p_2	5.370×10^{-3}	MPa
伝熱フィン—区間当たりの中性子遮蔽材と外筒の質量	m_f	510	kg
水平方向加速度	G_1	1.40G	m/s ²
水平方向設計震度	C _H	1.40	—
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
長方形板の面積 ($A_s = A_o$)	A _s		mm ²
伝熱フィン—区間当たりの外筒の面積	A _o		mm ²
長方形板の一辺の長さ ($a = a_f$)	a		mm
最大の伝熱フィンピッチ幅	a_f		mm
板厚 ($t = t_o$)	t		20
外筒の板厚	t_o	20	mm
曲げ応力 (応力評価位置②)	σ_b	1*1	MPa
曲げ応力の全振幅 (応力評価位置②)	2 σ_b	1*1	MPa

注記*1: 計算は、桁数処理前の数値を使用

内は商業機密のため、非公開とします。

表 2-6 蓋部中性子遮蔽材カバーの一次応力の計算条件及び計算結果

項目	記号	数値	単位
長方形板の最大応力の係数 ($\beta = \beta_3$)	β	0.32	—
正方形板の最大応力の係数 (蓋部中性子遮蔽材カバーの四半円形状の模擬)	β_3	0.32	—
圧力 ($P = p_3 + p_4$)	P	4.031×10^{-1}	MPa
蓋部中性子遮蔽材カバーの最高使用圧力 (蓋間 He ガス充填圧力)	p_3	0.4	MPa
蓋部中性子遮蔽材カバーの自重による分布荷重 ($p_4 = \rho_s \cdot t_L \cdot G$)	p_4	3.111×10^{-3}	MPa
ステンレス鋼 (SUS304) の基本質量	ρ_s	7.93×10^{-6}	kg/mm/mm ²
蓋部中性子遮蔽材カバーの板厚	t_L	40	mm
重力加速度	G	9.80665	m/s ²
長方形板の一辺の長さ ($a = a_c$)	a	787.5	mm
正方形板の一辺の長さ (蓋部中性子遮蔽材カバー半径)	a_c	787.5	mm
板厚 ($t = t_L$)	t	40	mm
曲げ応力 (応力評価位置③)	$\sigma_{b\theta}$	50* ¹	MPa

注記*1：計算は、桁数処理前の数値を使用

表 3-1 外筒の応力計算値と許容応力
(供用状態A及びB)

(単位：MPa)

応力評価位置	応力の種類		貯蔵架台への衝突時	
			応力計算値	許容応力
①	一次応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	5	79
		曲げ応力	39	137
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	39	137
	一次＋二次応力	引張・圧縮応力	43	412
		せん断応力	51	238
		曲げ応力	39	412
		支圧応力	—	—
		座屈応力	—	—
②	一次応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	60	137
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	—	—
	一次＋二次応力	引張・圧縮応力	61	412
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	60	412
		支圧応力	—	—
		座屈応力	—	—

表 3-2 外筒の応力計算値と許容応力
(供用状態 C_s)

(単位 : MPa)

応力評価位置	応力の種類		貯蔵時 (S _d *地震力が作用する場合)	
			応力計算値	許容応力
①	一次応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	2	119
		曲げ応力	39	206
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	39	206
	一次＋二次応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	2	238
		曲げ応力	—	—
		支圧応力	—	—
		座屈応力	—	—
②	一次応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	61	206
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	—	—
	一次＋二次応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	1	412
		支圧応力	—	—
		座屈応力	—	—

表 3-3 外筒の応力計算値と許容応力
(供用状態D_s)

(単位 : MPa)

応力評価位置	応力の種類		貯蔵時 (S _s 地震力が作用する場合)	
			応力計算値	許容応力
①	一次応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	2	142
		曲げ応力	39	247
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	39	247
	一次＋二次応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	2	238
		曲げ応力	—	—
		支圧応力	—	—
		座屈応力	—	—
②	一次応力	引張応力	—	—
		圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	61	247
		支圧応力	—	—
		組合せ応力	—	—
	一次＋二次応力	引張・圧縮応力	—	—
		せん断応力	—	—
		曲げ応力	1	412
		支圧応力	—	—
		座屈応力	—	—

表 3-4 蓋部中性子遮蔽材カバーの応力計算値と許容応力

(単位：MPa)

応力評価 位置	応力の種類		最高使用圧力時	
			応力計算値	許容応力
③	一次応力	曲げ応力	50	117

添付資料 8-5

金属キャスクの耐食性に関する説明書

目 次

1. 設計方針	1
2. HDP-69B(B)型の構成部材	2
3. 経年変化に関する評価条件	2
4. 経年変化に関する評価結果	2
5. 引用文献	3

図表目次

図 4-1	炭素鋼・低合金鋼のシャルピー遷移温度増加と照射量 (n/m ²) の関係	5
図 4-2	ステンレス鋼の中性子照射の影響評価結果	6
図 4-3	中性子遮蔽材の重量減損データ	7
図 4-4	中性子遮蔽材の中性子照射の影響	8
表 2-1	HDP-69B(B)型の主要な構成部材の材質	9
表 3-1	HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度条件	10
表 3-2	HDP-69B(B)型の主要な構成部材の中性子照射量	11
表 4-1	HDP-69B(B)型の主要な構成部材の経年変化に対する評価について	12

1. 設計方針

HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、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十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持できる設計とした。また、HDP-69B(B)型は、金属キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料を不活性ガスとともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を施す。

2. HDP-69B(B)型の構成部材

HDP-69B(B)型の主要な構成部材の材質を表 2-1 に示す。HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、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十分な信頼性のある材料を選定している。

3. 経年変化に関する評価条件

HDP-69B(B)型の基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材の経年変化に対する評価条件を以下に示す。

- ・ 金属キャスク内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料収納時にその内部空間を真空乾燥し、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、使用済燃料を貯蔵する。
- ・ 設計貯蔵期間は 60 年間とする。
- ・ HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度は、除熱解析結果より表 3-1 に示す条件とする。
- ・ HDP-69B(B)型の主要な構成部材の中性子照射量は、遮蔽解析結果より表 3-2 に示す条件とする。

4. 経年変化に関する評価結果

HDP-69B(B)型の基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間における環境条件（熱、放射線、腐食）の影響を考慮して、文献や試験データに基づき、経年変化の影響を評価した。HDP-69B(B)型の主要な構成部材ごとに評価した具体的内容を表 4-1 に示す。

評価結果より、設計貯蔵期間中の温度、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、主要な構成部材の健全性を維持できることを確認した。

5. 引用文献

- (1) (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 最終報告」(平成 16 年 6 月), P. 217-221
- (2) (一社)日本機械学会,「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007 年版)(JSME S FA1-2007)」(2007 年 12 月)
- (3) (一社)日本機械学会,「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。)) (第 I 編 軽水炉規格)(JSME S NC1-2005/2007)」(2007 年 9 月)
- (4) ステンレス協会,「ステンレス鋼便覧(第 3 版)」,日刊工業新聞社(1995), P216, 1428
- (5) (一社)日本機械学会,「金属便覧(改訂 6 版)」,丸善(株)(平成 12 年), P. 475
- (6) (一社)日本アルミニウム協会,「アルミニウムハンドブック(第 6 版)」(2001), P. 63
- (7) R. R. Gaugh, “Stress corrosion cracking of precipitation-hardening stainless steels”, *Materials Performance*, Vol. 26, No. 2(1987)
- (8) (一社)腐食防食協会,「材料環境学入門」,丸善(1993), P. 17, 18
- (9) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, *The use of small scale specimens for testing irradiated material*, ASTM STP888(1986)
- (10) (一社)日本機械学会,「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007 年版) JSME S FA1-2007, 事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1 に関する規定(JSME S FA-CC-004)」(2009)
- (11) S. E. Soliman, et al., “Neutron effects on borated stainless steel”, *Nucl. Tech.*, Vol. 96(1991)P. 346-352
- (12) H. Yoshida, et al., “Reactor irradiation effects on Al 1100”, *Proc. Jpn. Congr. Mater. Res.*, Vol. 24, P. 1-6(1981)
- (13) (一財)原子力発電技術機構,「平成 15 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」, P. 221-263(平成 15 年 9 月)
- (14) N. Kumagai, et al., “Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, *Proc. the 15th Int. Symp. on PATRAM*(2007)
- (15) 小崎明朗,「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)
- (16) 東京電力(株),「福島第一原子力発電所 既設乾式貯蔵キャスクの点検報告」(平成 25 年 5 月 31 日)
- (17) 加藤治, 伊藤千浩,「使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」,(一財)電力中央研究所(U92009)(平成 4 年 7 月)
- (18) (一財)電力中央研究所,「使用済核燃料貯蔵の基礎」,株式会社 ERC 出版(2014 年 4 月 20 日)

- (19) (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」 (平成 22 年 3 月), P.15-16
- (20) R. P. Shogan, “NEUTRON IRRADIATION EFFECTS ON THE TENSILE PROPERTIES OF INCONEL 718, WASPALOY AND A-286” , WANL-TME-2791(1971)
- (21) T. S. Byun, K. Farrell, ” Tensile Properties of Inconel 718 after Low Temperature Neutron Irradiation” , J. Nucl. Mater., Vol. 318(2003), P.292-299
- (22) K. Farrell, et al. , “An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys” , J. Nucl. Mater., Vol. 210(1994), P.268-281
- (23) 土肥謙次ら, 「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(平成 9 年 6 月), P.10
- (24) S. Shirai, et al. , “Evaluation Test on the Thermal Stability of Resin as Neutron Shielding Material for Spent Fuel Transport Cask” , Proc. the 12th Int. Conf. on PATRAM(1998)

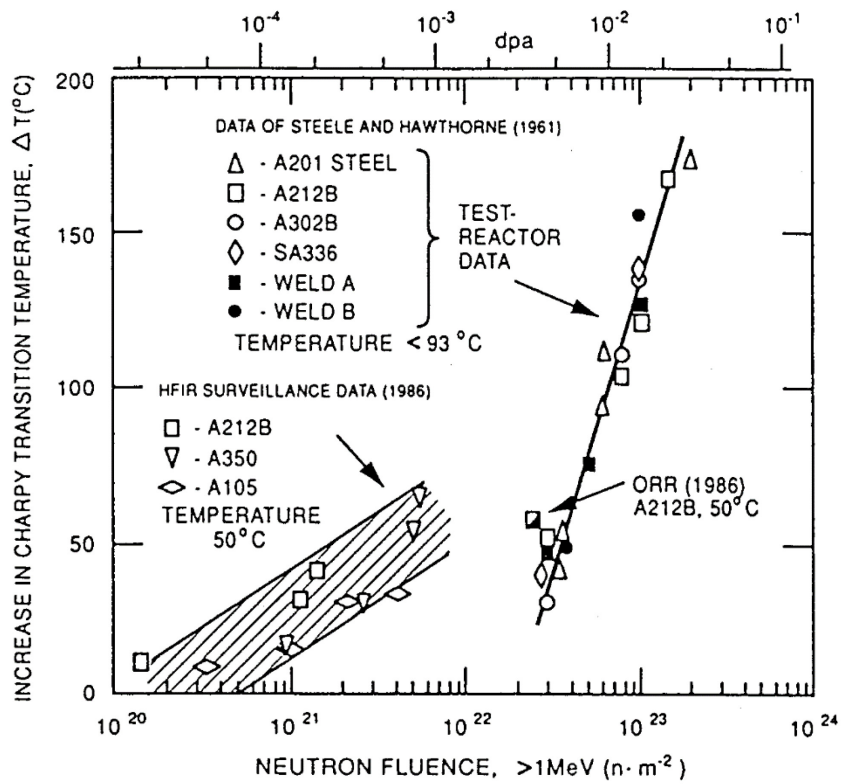


図 4-1 炭素鋼・低合金鋼のシャルピー遷移温度増加と照射量 (n/m^2) の関係⁽²²⁾
 (図中の中性子照射量の単位 $1 \text{ n}/\text{m}^2$ は、 $1 \times 10^{-4} \text{ n}/\text{cm}^2$)

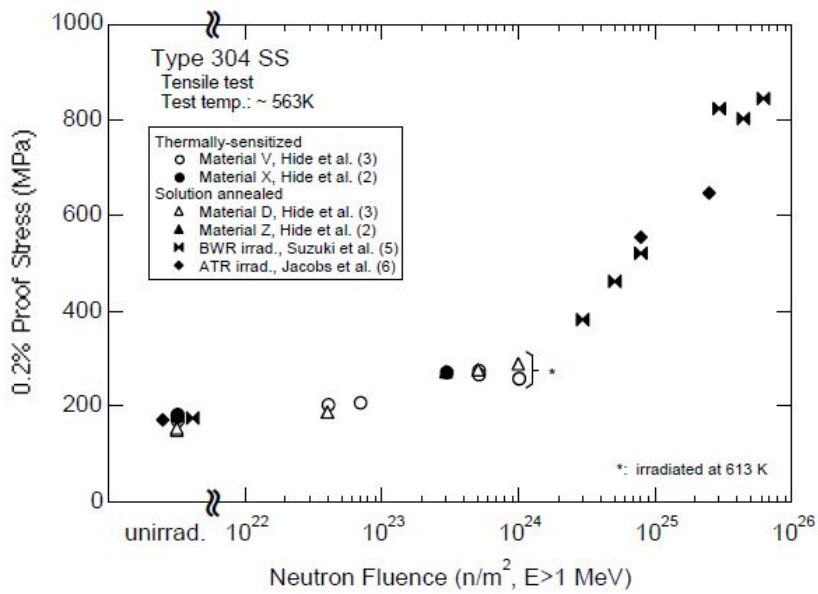


図 3-1. 引張試験時の 0.2%耐力の中性子照射量依存性
Fig. 3-1. Neutron fluence dependence of 0.2% proof stress obtained from tensile tests.

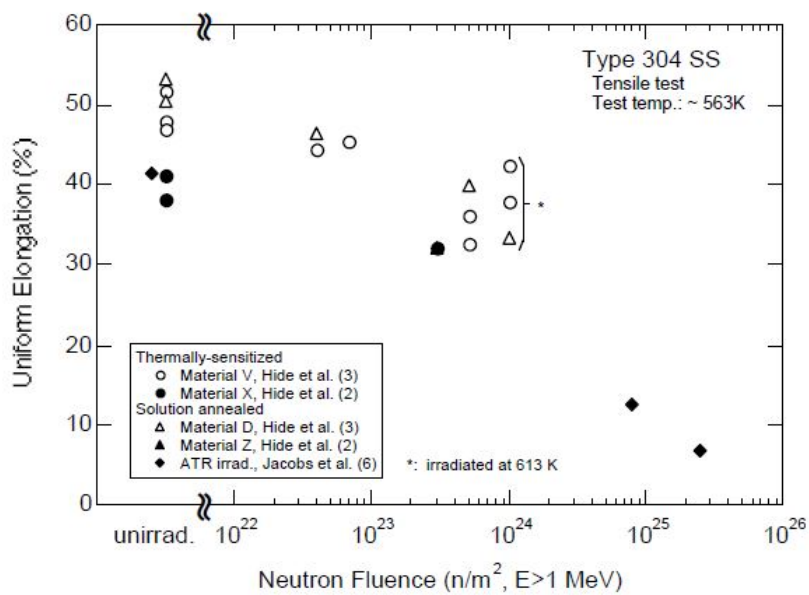
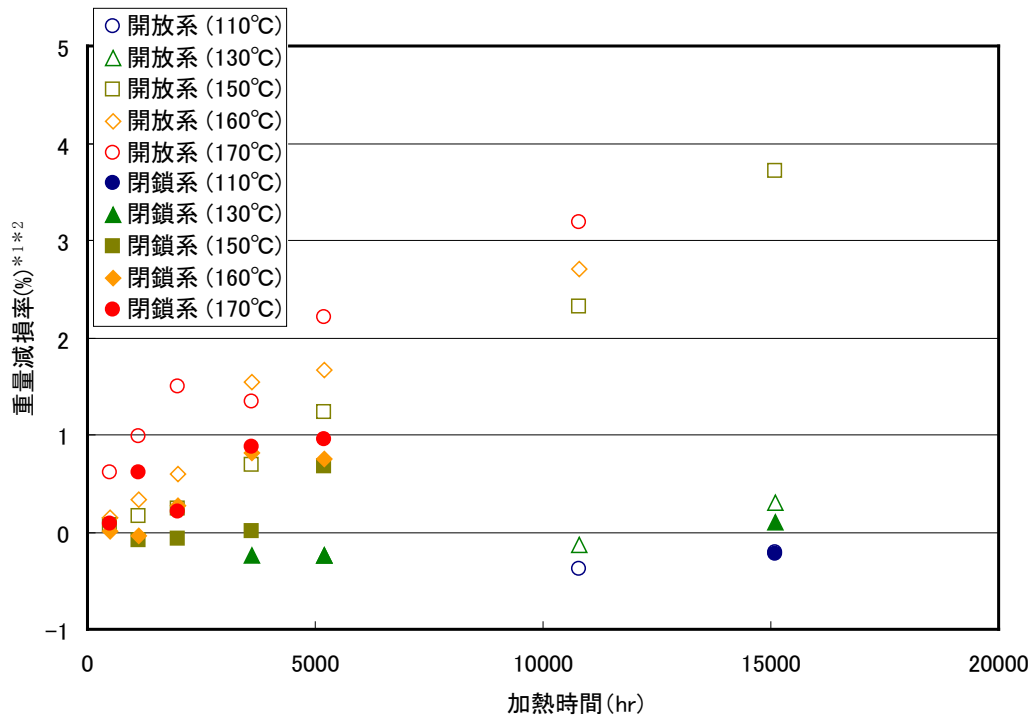


図 3-2. 引張試験時の一様ひずみの中性子照射量依存性
Fig. 3-2. Neutron fluence dependence of uniform elongation obtained from tensile tests.

図 4-2 ステンレス鋼の中性子照射の影響評価結果⁽²³⁾
(図中の中性子照射量の単位 1 n/m^2 は、 $1 \times 10^{-4} \text{ n/cm}^2$)



注記*1：重量減損率は6つの試験片から得た値の平均値。

*2：劣化パラメータより中性子遮蔽材の重量減損率を評価。

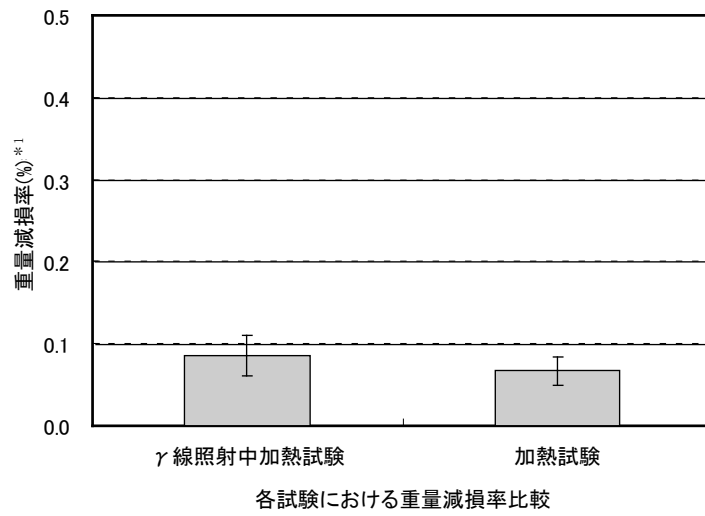
$$\Delta w : \text{レジンの重量減損率 (\%)} = 0.83 \times 10^{-3} \times E_p - 11.1$$

$$E_p : \text{劣化パラメータ} = T \times (24.2 + \ln(t))$$

T : レジン温度 (K)

t : レジン加熱時間 (h)

図 4-3 中性子遮蔽材の重量減損データ⁽¹⁴⁾



加熱条件 : 開放系, 140 °C × 500 h
 照射条件 : 開放系, ガンマ線照射量 5.6×10^4 Gy

注記 *1 : 重量減損率は 6 つの試験片から得た値の平均値。

図 4-4 中性子遮蔽材の中性子照射の影響⁽¹⁴⁾
 (文献記載の試験データを再構成したもの)

表 2-1 HDP-69B(B)型の主要な構成部材の材質

構成部材	材質
金属キャスク本体	
胴	炭素鋼 (GLF1) *1
外筒	炭素鋼 (SM400B) *2
底部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼 (SGV480)
トランニオン	ステンレス鋼 (SUS630)
伝熱フィン	炭素鋼 (SM400B) 及び銅 (C1020P)
中性子遮蔽材 (底部, 側部)	樹脂 (レジン)
バスケット	
バスケットプレート	ほう素添加ステンレス鋼 (B-SUS304P-1)
伝熱プレート	アルミニウム合金 (A1100)
蓋 部	
一次蓋	炭素鋼 (GLF1) *3
二次蓋	炭素鋼 (SGV480) *3
一次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 (SNB23-3) *4
二次蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼 (SNB23-3) *4
中性子遮蔽材 (蓋部)	樹脂 (レジン)
蓋部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼 (SUS304)
金属ガスケット	ニッケル基合金/アルミニウム

注記*1: 胴の表面のうち, 一次蓋, 二次蓋の []

[] を, 胴外面のうち大気に触れる部分については塗装を施す。

*2: 外筒の外表面には, 塗装を施す。

*3: 一次蓋及び二次蓋のうち, 胴の []

[] を, 大気に触れる部分については塗装を施す。

*4: 一次蓋ボルト及び二次蓋ボルトの表面には, メッキを施す。

表 3-1 HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度条件

構成部材	最高温度* ¹ (°C)
胴	135
底板	142
外筒	113
底部中性子遮蔽材カバー	142* ²
一次蓋	97
二次蓋	86
蓋部中性子遮蔽材カバー	97* ²
一次蓋ボルト	90
二次蓋ボルト	86
伝熱フィン	135* ²
中性子遮蔽材（蓋部，底部，側部）	128
金属ガスケット	90
バスケットプレート及び伝熱プレート	251* ²
トラニオン	120

注記*1：除熱解析結果から得られた温度であり，配置(i)，配置(ii)における評価結果のうち，高い温度を示している（「添付書類5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」参照）。

*2：底部中性子遮蔽材カバーは底板の温度，蓋部中性子遮蔽材カバーは一次蓋の温度，伝熱フィンは胴の温度，伝熱プレートはバスケットプレートの温度と同じとして評価した。

表 3-2 HDP-69B(B)型の主要な構成部材の中性子照射量

構成部材	中性子照射量*1 (n/cm ²)
胴（底板を含む。）	9.3×10 ¹⁴
外筒	9.3×10 ¹⁴ *2
トラニオン	9.3×10 ¹⁴ *2
蓋部*3	2.9×10 ¹³
中性子遮蔽材（蓋部，底部，側部）	1.0×10 ¹⁴
バスケットプレート及び伝熱プレート	2.2×10 ¹⁵
伝熱フィン	1.0×10 ¹⁴

注記*1：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。

*2：外筒及びトラニオンの中性子照射量は，保守的に胴の値と同じとした。

*3：一次蓋，二次蓋，蓋部中性子遮蔽材カバー，一次蓋ボルト，二次蓋ボルト及び金属ガスケットを含む。

表 4-1 HDP-69B(B)型の主要な構成部材の経年変化に対する評価について (1/2)

部材及び材質	要因	主な評価の観点	各部材の材質に対する経年変化に係るデータ	設計条件	評価
胴, 外筒 (内面), 一次蓋, 二次蓋 (内面), 一次蓋ボルト 【材質】 炭素鋼 ニッケルクロム モリブデン鋼	腐食	●構造強度： 腐食による構造強度の低下	<ul style="list-style-type: none"> 1 %燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機模擬環境における、鉄系材料の最大腐食速度により、60年間の腐食量を推定しても0.5 mm程度⁽¹⁾。 中性子遮蔽材 (樹脂) に接する胴 (外面) 及び外筒 (内面) が全面腐食すると仮定して算出したところ、1 mm程度 (別紙1)。 	使用環境： <ul style="list-style-type: none"> ヘリウム雰囲気 中性子遮蔽材と接触 	<ul style="list-style-type: none"> 胴 (内面)、一次蓋、二次蓋 (内面) 及び一次蓋ボルトは、不活性雰囲気維持される限り、腐食しない。仮に1 %燃料破損相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、胴 (内面) の腐食による構造強度への影響はない。 胴 (外面) 及び外筒 (内面) は、中性子遮蔽材の熱劣化により生じる水による全面腐食を考慮しても、構造強度への影響はない。また、腐食が伝熱フィンの接合部で局所的に生じて、除熱機能への影響は小さい。
	熱	●構造強度： 熱によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク構造規格⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版)⁽³⁾適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。 クリープによる変形を考慮すべき温度 (融点[絶対温度]の1/3に相当) は約300℃⁽⁴⁾⁽⁵⁾。 	使用環境温度： 142℃以下	使用環境温度は、300℃よりも十分低く、クリープを考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。
	照射	●構造強度： 照射による機械的特性の変化	<ul style="list-style-type: none"> 中性子照射量が10^{16} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない (図4-1)。 	中性子照射量： 10^{15} n/cm ² 未満 (60年間一定)	中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、構造強度への影響はない。
外筒 (外面), 二次蓋 (外面), 二次蓋ボルト, 底部中性子遮蔽材カバー 【材質】 炭素鋼 ニッケルクロム モリブデン鋼	腐食	●構造強度： 腐食による構造強度の低下	<ul style="list-style-type: none"> 各種金属材料の16年間の海浜大気暴露試験結果から、最も定常腐食速度の大きい炭素鋼のデータ(21µm/年)で60年間の腐食量を推定しても1.26 mm程度⁽⁶⁾。 	使用環境： <ul style="list-style-type: none"> 外気(海塩粒子雰囲気) 結露水 	外筒 (外面)、二次蓋 (外面) 及び二次蓋ボルトは防錆処理により腐食しない。なお、防錆処理の補修が困難である金属キャスク本体底部について、防錆効果を考慮せず評価しても、腐食による構造強度への影響はない。
	熱	●構造強度： 熱によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク構造規格⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版)⁽³⁾適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。 クリープによる変形を考慮すべき温度 (融点[絶対温度]の1/3に相当) は約300℃⁽⁴⁾⁽⁵⁾。 	使用環境温度： 142℃以下	使用環境温度は、300℃よりも十分低く、クリープを考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。
	照射	●構造強度： 照射による機械的特性の変化	<ul style="list-style-type: none"> 中性子照射量が10^{16} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない (図4-1)。 	中性子照射量： 10^{15} n/cm ² 未満 (60年間一定)	中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、構造強度への影響はない。
トラニオン 蓋部中性子遮蔽材 カバー 【材質】 ステンレス鋼	腐食	●構造強度： 腐食による構造強度の低下	<ul style="list-style-type: none"> 0.2 %耐力相当の応力を負荷した条件における海浜環境での長期曝露試験において、応力腐食割れに対する高い耐食性が確認された⁽⁷⁾。 	使用環境： <ul style="list-style-type: none"> 外気(海塩粒子雰囲気) 結露水 ヘリウム雰囲気 	実機より厳しい使用環境 (応力及び雰囲気) においても応力腐食割れに対する高い耐食性を有し、腐食による構造強度への影響はない。
	熱	●構造強度： 熱によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク構造規格⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版)⁽³⁾適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。 クリープによる変形を考慮すべき温度 (融点[絶対温度]の1/3に相当) は約280℃⁽⁴⁾。 	使用環境温度： 120℃以下	使用環境温度は、280℃よりも十分低く、クリープを考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。
	照射	●構造強度： 照射による機械的特性の変化	<ul style="list-style-type: none"> 中性子照射量が10^{17} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない (図4-2)。 	中性子照射量： 10^{15} n/cm ² 未満 (60年間一定)	中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、構造強度への影響はない。
伝熱フィン 【材質】 炭素鋼 (銅クラッド鋼)	腐食	●除熱機能： 腐食によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 炭素鋼が全面腐食すると仮定して算出したところ、1 mm程度 (別紙1)。 銅は鉄に比べてイオン化傾向の低い金属であるため、腐食しない⁽⁸⁾。 	使用環境： <ul style="list-style-type: none"> 胴と外筒間の閉鎖環境 中性子遮蔽材と接触 	<ul style="list-style-type: none"> 炭素鋼は、中性子遮蔽材の熱劣化により生じる水による全面腐食を考慮しても、構造強度への影響はない。また、腐食が伝熱フィンの接合部で局所的に生じて、除熱機能への影響は小さい。 銅は腐食しないため、除熱機能への影響はない。
	熱	●除熱機能： 熱によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 炭素鋼は、金属キャスク構造規格⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版)⁽³⁾適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。 炭素鋼は、クリープによる変形を考慮すべき温度 (融点[絶対温度]の1/3に相当) は約300℃⁽⁴⁾⁽⁵⁾。 	使用環境温度： 135℃以下	使用環境温度は、300℃よりも十分低く、炭素鋼のクリープを考慮する必要はないため、除熱機能への影響はない。
	照射	●除熱機能： 照射によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 炭素鋼は、中性子照射量が10^{16} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない (図4-1)。 銅は、中性子照射量が10^{16} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない⁽⁹⁾。 	中性子照射量： 10^{15} n/cm ² 未満 (60年間一定)	中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、除熱機能への影響はない。

表 4-1 HDP-69B(B)型の主要な構成部材の経年変化に対する評価について (2/2)

部材及び材質	要因	主な評価の観点	各部材の材質に対する経年変化に係るデータ	設計条件	評価
バスケットプレート 【材質】 ほう素添加ステン レス鋼	腐食	●構造強度： 腐食による構造強 度の低下	・ 1 %燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機模擬環 境における、バスケット材 (ほう素添加ステンレス鋼) の最大腐食速 度により、60 年間の腐食量を推定しても 30 μm 程度 ⁽¹⁾ 。	使用環境： ヘリウム雰囲気	不活性雰囲気維持される限り腐食の影響はない。仮に 1 %燃料破損 相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても腐食は僅かなものであり、構 造強度への影響はない。
	熱	●構造強度： 熱によるき裂・破 損	・ 金属キャスク構造規格 ⁽²⁾ (設計・建設規格 (2007 年追補版) ⁽³⁾ 適用) の事例規格 FA-CC-004 ⁽¹⁰⁾ では、300 °C までの設計用強度・物性値が 規定されている。 ・ クリープによる変形を考慮すべき温度 (融点 [絶対温度] の 1/3 に相 当) は約 280 °C ⁽⁴⁾ 。	使用環境温度： 251 °C 以下	使用環境温度は、280 °C よりも低く、クリープを考慮する必要はない ため、構造強度への影響はない。
	照射	●未臨界機能： 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化	[未臨界機能] ・ 中性子吸収材である B-10 の 60 年間の貯蔵中の減損割合は、保守 的に全中性子束を用いて評価しても 10 ⁻⁵ 程度。 [構造強度] ・ 中性子照射量が 10 ¹⁷ n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められな い ⁽¹¹⁾ 。	中性子照射量： 10 ¹⁶ n/cm ² 未満 (60 年間一定)	B-10 の減損割合は無視でき、また、中性子照射量は機械的特性に変 化が認められる値以下であるため、未臨界機能及び構造強度への影響 はない。
伝熱プレート 【材質】 アルミニウム合金	腐食	●除熱機能： 腐食によるき裂・ 破損	・ 金属キャスク内部に残留する酸素量がすべてバスケット材 (アルミ ニウム合金) の腐食に費やされたとして評価しても、腐食量は 1 μ m 以下 ⁽¹⁾ 。	使用環境： ヘリウム雰囲気	不活性雰囲気維持される限り腐食の影響はない。仮に 1 %燃料破損 相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても腐食は僅かなものであり、除 熱機能への影響はない。
	熱	●除熱機能： 熱によるき裂・破 損	・ 構造強度部材として使用する場合は、使用温度に応じてクリープに よる強度の低下を考慮する必要がある。	使用環境温度： 251 °C 以下	構造強度部材ではないため、クリープを考慮する必要はなく、除熱機 能への影響はない。
	照射	●除熱機能： 照射によるき裂・ 破損	・ 中性子照射量が 10 ¹⁹ n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められな い ⁽¹²⁾ 。	中性子照射量： 10 ¹⁶ n/cm ² 未満 (60 年間一定)	中性子照射量は機械的特性に変化が認められる値以下であり、除熱機 能への影響はない。
中性子遮蔽材 【材質】 樹脂	熱・ 腐食	●遮蔽機能： 重量減損の有無	・ 自社開発品に対する社内試験データに基づいて、熱による中性子遮 蔽材の重量減損率は約 2 % と評価 ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ (図 4-3)。	使用環境温度： 128 °C 以下 使用環境：閉鎖環境	設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過時ま でのレジンの減損率は約 1 % となる。これを丸めて 2 % の減損があると して評価する。
	照射	●遮蔽機能： 重量減損の有無	・ 自社開発レジンの加熱照射試験 (140 °C, 5.6×10 ⁴ Gy) の重量減 損率は加熱試験 (140 °C) の結果とほぼ等しく、重量減損に占める 照射の影響は小さい (図 4-4)。	放射線照射量： 10 ³ Gy~10 ⁴ Gy 程度*1 (60 年間、一部減衰考 慮)	照射中加熱試験は設計条件を超える照射量で行っており、照射による 重量減損を考慮する必要はない。
金属ガスケット 【材質】 ニッケル基合金 アルミニウム	腐食	●閉じ込め機能： 腐食による閉じ込 め機能の低下	・ 蓋部縮小モデルにおける約 3 年間の塩水噴霧試験では、漏えい率に 変化はない ⁽¹⁵⁾ 。 ・ 長期保管後の海水流入時においても漏えい率は判定基準値以下で あり、ただちに漏えい率に影響はない ⁽¹⁶⁾ 。	使用環境： 一次蓋、二次蓋内側： ヘリウム雰囲気 二次蓋外側： 外気 (海塩粒子雰 囲気)、結露水	一次蓋及び二次蓋内側の金属ガスケットは、不活性雰囲気が維持され る限り、腐食しない。二次蓋外側の金属ガスケットは、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はなく、閉じ込 め機能への影響はない。また、海水流入のような厳しい腐食環境に置 かれても、ただちに閉じ込め機能に影響はなく、金属キャスクを点検 可能な構造としているため、必要に応じて対処可能である。
	熱	●閉じ込め機能： 熱による閉じ込め 機能の低下	・ 初期の閉じ込め機能 (1×10 ⁻¹⁰ Pa・m ³ /s) を保持できる限界ラーソ ン・ミラー・パラメータ (LMP) は、定数 C が 20 の場合は約 11.0×10 ³ ⁽¹⁷⁾ 、14 の場合は 8.0×10 ³ ⁽¹⁸⁾ 。 ・ 長期密封性能試験 ⁽¹⁹⁾ において 130 °C~140 °C (19 年以上) で閉じ込 め性能維持。	使用環境温度： 90 °C 以下	使用環境温度から設計貯蔵期間 (60 年間) に相当する LMP を算出す ると LMP の定数 C=20 の場合は約 9.4×10 ³ 、C=14 の場合は約 7.2× 10 ³ となり、設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率が維持されると判 断される。
	照射	●閉じ込め機能： 照射による機械的 特性の変化	・ ニッケル基合金は、中性子照射量が 10 ¹⁷ n/cm ² までは、顕著な特性 変化は認められない ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ 。 ・ アルミニウムは、中性子照射量が 10 ¹⁹ n/cm ² までは、顕著な特性 変化は認められない ⁽¹²⁾ 。	中性子照射量： 10 ¹⁴ n/cm ² 未満 (60 年間一定)	中性子照射量は、各材料の機械的特性に変化が認められる値以下であ り、閉じ込め機能への影響はない。

注記*1：表 3-2 に示す中性子遮蔽材の中性子照射量を実効線量に換算した。

中性子遮蔽材の熱分解により生じる水分による
 胴、伝熱フィン及び外筒の腐食量評価

HDP-69B(B)型で用いる中性子遮蔽材の樹脂(エポキシ系レジン)は、熱分解により水、二酸化炭素、炭化水素、水素が生じるが、その大部分が水分であることが確認されている⁽²⁴⁾。胴外面、伝熱フィン及び外筒内面は、これら生成物により腐食される可能性がある。そこで、中性子遮蔽材の熱分解による生成物をすべて水とし、水による胴外面、伝熱フィン及び外筒内面の腐食量を評価する。

1) 生成される水分量

設計貯蔵期間(60年)のHDP-69B(B)型の中性子遮蔽材の重量減損は、使用環境温度を考慮し評価した \square wt% を用いる。そのすべてが水とした場合、側部中性子遮蔽材の長手方向の単位長さ当たりの重量から、単位長さ当たりに生じる水重量は \square g/cm と求められる。ここで、水の分子量は 18.01528 g/mol であることから、単位長さ当たりに生じる水のモル数 N_{H_2O} は \square mol/cm となる。

2) 腐食量の評価

胴及び外筒は炭素鋼で構成される。また、伝熱フィンは銅と炭素鋼で構成されるが、高湿度雰囲気では炭素鋼が腐食し銅はほとんど腐食しないため、炭素鋼の腐食量を求める。なお、炭素鋼は鉄 100% とする。鉄の酸化反応を、 $2Fe+3H_2O \rightarrow 3H_2+Fe_2O_3$ と仮定すると、単位長さ当たりの酸化される鉄の重量 m_{Fe} (g/cm) は以下の式より求められる。

$$m_{Fe} = \frac{2}{3} N_{H_2O} \times M_{Fe}$$

ここで、 N_{H_2O} : 単位長さ当たりに生じる水のモル数

M_{Fe} : 鉄の原子量 (= 55.845 g/mol)

したがって、

$$m_{Fe} = \frac{2}{3} \times \square \times 55.845$$

$$= \square \text{ g/cm}$$

胴及び外筒の腐食厚さ t (cm) は全面腐食を仮定すると以下の式より求められる。

$$t = \frac{(m_{Fe} / \rho_{Fe})}{A_s}$$

ここで、 ρ_{Fe} : 鉄の密度 (= 7.85 g/cm³)

A_s : 単位長さ当たりの胴外面、伝熱フィン及び外筒内面の表面積 (= \square cm²/cm)

したがって、

$$t = (\square / 7.85) / \square$$

$$= 0.022 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ mm}$$

よって、胴(外面)、伝熱フィン及び外筒(内面)の腐食厚さは 1 mm 程度となる。

添付書類 9

当該申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びに
その実施に係る組織に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 型式設計特定容器等の製作等に係る組織	1
2.1 設計・技術組織	1
2.2 品質管理組織	2
2.3 その他補助組織	3
3. 品質マネジメントシステムに係る文書	3
3.1 品質マネジメントシステム計画書	3
3.2 文書の管理	4
3.3 記録の管理	4
4. 型式設計特定容器等の製作等に係る製品実現の計画	5
4.1 プロジェクト・マネージャーの配置	5
4.2 顧客関連のプロセス	5
4.3 プロジェクト組織の確立と運営	5
4.4 プロジェクト工程管理	5
5. 型式設計特定容器等の製作等に係る製品実現の計画と実施のプロセス	5
6. 設計に係る品質管理の方法	5
6.1 設計インプットの明確化	5
6.2 設計計画の作成と業務管理	6
6.3 設計インタフェース管理	6
6.4 設計の体系的レビュー	7
6.5 設計解析	7
6.6 設計アウトプットの文書化	8
6.7 設計検証	8
6.8 設計の妥当性確認	9
6.9 設計変更管理	9

6.10	型式指定申請書の作成	9
7.	製造に係る品質管理の方法	10
7.1	設計要求事項及び購入要求事項	10
7.2	製造工程管理	10
7.3	識別管理	12
7.4	発送前点検の実施	13
7.5	出荷準備及び輸送	13
8.	検査に係る品質管理の方法	14
8.1	検査要領の確立	14
8.2	検査員の力量管理	15
8.3	検査設備（計測器，試験機等）の管理	15
8.4	検査の実施	15
8.5	不適合製品の識別及び隔離	15
8.6	発送前検査の実施	15
8.7	溶接検査の計画	16
9.	調達に係る品質管理の方法	16
9.1	調達計画及び調達先の選定	16
9.2	調達先とのコミュニケーション	16
9.3	発注	17
9.4	文書の管理	17
9.5	検査及び受入管理	17
9.6	品質記録の保管	18

図表目次

図 2-1	型式設計特定容器等の製作等に係る組織	19
図 3-1	品質マネジメントシステムに係る文書体系図	20
図 5-1	型式設計特定容器等の製作等に係る製品実現の計画と実施のプロセス	21
図 7-1	特定容器 HDP-69B(B)型の製造手順の概略（例）	22
表 3-1	品質マネジメントシステム文書体系	23
表 3-2	品質マネジメントシステムに係る主な文書	24

1. 概要

本書は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和 32 年 6 月 10 日 法律第 166 号）及び「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」（令和 2 年 1 月 23 日 原子力規制委員会規則第 2 号）（以下「品質管理基準規則」という。）に適合するための計画として「型式設計特定容器等の型式指定申請書」（以下「本申請書」という。）「7. 申請に係る型式設計特定容器等の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」に記載した事項のうち「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成 25 年 12 月 6 日 原子力規制委員会規則第 24 号）及び「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」（昭和 53 年 12 月 28 日 総理府令第 57 号）（以下「外運搬規則」という。）等に対する適合性の確保に必要な設計、製造、検査及び調達に係る品質管理の方法、及び組織について記載したものである。

2. 型式設計特定容器等の製作等に係る組織

型式設計特定容器等の製作等に係る組織を図 2-1 に、責任及び役割については 2.1 節から 2.3 節に示す。なお、2.3 節に示す組織については、型式設計特定容器等の製作等における社内の業務プロセスにおいて、2.1 節から 2.2 節に識別される組織を補足する組織、例えば、対顧客上のプロセスを実施する組織等として識別される（品質管理基準規則に対する適合性確保に必要な設計、製造、検査及び調達に係る組織以外の組織）。各組織長の責任及び権限等については、社内一次文書である品質マネジメントシステム計画書に記載する。

原子力品質保証本部の長は品質マネジメントシステム管理責任者として取締役社長から本申請書 7.3.7 項に記載の責任及び権限を与えられている。また、原子力品質保証本部の長並びに原子力生産本部の長は管理者として取締役社長から、本申請書 7.3.8 項に記載の責任及び権限を与えられている。なお、検査の独立性を確保するため、設計・製造に係る部門（設計・技術組織）とは別に品質管理を所管する部門（品質管理組織）を設け、品質管理組織の要員が検査等を実施することとする。

2.1 設計・技術組織

型式設計特定容器等における設計及び製造に係る組織の総称で、型式設計特定容器等の機器を所管する部門を指す。

型式設計特定容器等の製造においては原子力生産本部に属する組織のうち、原子力設計部、原子力計画部、原子力製造部、原子力調達部が該当する。

2.1.1 設計に係る組織

原子力生産本部 原子力設計部は設計部門として、また他の設計部門を含めた設計取りまとめとして、設計開発の計画（以下「設計計画」という。）の立案、基本設計、基本形状図の作成、解析条件書の作成、安全解析、解析報告書の作成、型式指定申請書の取りまとめを行い、その他設計部門とのインタフェース調整、各プロセスに関するレビュー活動取りまとめを行う。

原子力生産本部 原子力計画部は設計部門として、設計取りまとめの指示に従い、臨界防止及び遮蔽に係る安全解析及び解析報告書の作成を行い、その結果を設計取りまとめに報告する。

2.1.2 製造に係る組織

設計取りまとめは、製作図面／組立図面の発行、購入仕様書の発行、溶接検査計画書の発行及び製造、検査に関連するレビュー等を行う。

原子力生産本部 原子力製造部は製造部門として、製作手順並びに製造工程を計画し、計画された製作手順を生産管理票として発行し、製造を行い、製造に関する結果を作業記録に記録する。また、製造、検査に関連するレビュー等を行う。

2.1.3 調達に係る組織

設計部門及び製造部門は購入要求元部門として、調達先監査・調査・評価、購入仕様書の発行、調達先が発行する図面、仕様書、各種要領書のレビュー・承認、調達先の製造・役務の受入、調達先認定更新及び調達に関連するレビュー等を行う。

原子力生産本部 原子力調達部は調達部門として、調達先監査・調査・評価、調達先決定、発注等を行う。

2.2 品質管理組織

型式設計特定容器等の製造等において、品質管理活動の担保や各種検査の独立性、中立性を確保するために、2.1節に記載のある設計・技術組織とは別に、設ける部門を指す。

原子力品質保証本部に属する組織のうち、原子力品質保証部が該当する。

2.2.1 検査に係る組織

原子力品質保証本部原子力品質保証部は品質管理担当部門（以下「品管担当部門」という。）として、品質マネジメントシステム計画書を作成し、その他関連部門に配付し、品質管理活動の実施状況をモニタリングする。また、製造部門が実施した製造に対する検査の実施手順を検査要領書に定め、検査を行い結果を記録する。

調達に関連する活動として、品管担当部門は品質管理要求事項を作成し、調達先に配付、調達先の品質マネジメントシステムへの反映結果をレビュー、調達先監査・調査・評価、調達先認定、調達先認定更新、図面、仕様書、各種要領書のレビュー、調達先の製造・役務に対する受入・工程中・完成検査、出荷許可証の発行、品質記録の発行、調達に関連するレビュー等を行う。

2.3 その他補助組織

型式設計特定容器等の製作等における社内の業務プロセスにおいて、製品実現の計画を立案する上で必要な組織等を指す。型式設計特定容器等の品質管理規準規則への適合を担保するために必要な設計、製造、検査及び調達に係る組織を補助する組織の総称である。プロジェクト部門として、福島・サイクル技術本部 福島・サイクルプロジェクト部、営業部門として、原子力営業本部、物流部門として、株式会社日立製作所 エネルギービジネスユニット 製造本部 プロセスマネジメント推進部が該当する。これら補助部門の役割や定義、責任等については、社内一次文書である品質マネジメントシステム計画書に記載する。

3. 品質マネジメントシステムに係る文書

型式設計特定容器等の製作等に係る組織における、品質マネジメントシステム文書は以下のとおりである。

- (1) 品質方針及び品質目標
- (2) 品質マネジメントシステム計画書
- (3) 実効性のあるプロセスの計画的な実施及び管理がなされるようにするために、組織が必要と決定した文書
- (4) 品質管理活動に関する計画、運用及び管理を確実に実施するためのプロセスを定めた手順書、指示書、図面等（以下「手順書等」という。）

これらの体系を図 3-1、表 3-1 に示す。

3.1 品質マネジメントシステム計画書

型式設計特定容器等の製作等に係る組織は、品質マネジメントシステム計画書に次の事項を定める。

- (1) 品質マネジメントシステムの運用に係る組織に関する事項
- (2) 品質管理活動の計画、実施、評価及び改善に関する事項
- (3) 品質マネジメントシステムの適用範囲
- (4) 品質マネジメントシステムについて確立され、文書化された手順書等、又はそれらを参照できる名称や文書番号等の情報
- (5) 品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述

品質マネジメントシステム計画書は、品管担当部門にて作成，審査，承認する。
改訂する場合においては，上記と同じ手続きを経て承認する。

3.2 文書の管理

- (1) 型式設計特定容器等の製作等に係る組織は，品質マネジメント文書を管理する。
- (2) 型式設計特定容器等の製作等に係る組織は，要員が判断及び決定をするに当たり，適切な品質マネジメント文書を利用できるよう上記3章に記載した品質マネジメントシステムを構成する文書に対して，以下の内容を含む手順書を定める。ただし，記録は，文書の種類ではあるが，「3.3 記録の管理」に従って管理する。品質マネジメントシステムに係る主な文書については，表 3-2 を参照。
 - (a) 品質マネジメント文書を発行するに当たり，その妥当性を審査し，発行を承認する。
 - (b) 品質マネジメント文書の改訂の必要性について評価するとともに，改訂に当たり，その妥当性を審査し，改訂を承認する（改訂の妥当性を審査することを含む。）。
 - (c) 品質マネジメント文書の審査及び評価には，その対象となる文書に定められた活動を実施する部門の要員を参画させる（品質マネジメントシステム計画書に記載の組織の最小単位）。
 - (d) 品質マネジメント文書の改訂内容及び最新の改訂状況を識別できるようにする。
 - (e) 改訂のあった品質マネジメント文書を利用する場合には，当該文書の適切な制定版又は改訂版が利用しやすい体制を確保する。
 - (f) 品質マネジメント文書を，読みやすく容易に内容を把握することができるようにする。
 - (g) 組織の外部で作成された品質マネジメント文書を識別し，その配付を管理する。
 - (h) 廃止した品質マネジメント文書が使用されることを防止する。この場合において，当該文書を保持するときは，その目的にかかわらず，これを識別し，管理する。

3.3 記録の管理

- (1) 型式設計特定容器等の製作等に係る組織は，個別業務等要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性を実証する記録を明確にするとともに，当該記録を，読みやすく容易に内容を把握することができ，かつ，検索することができるように作成し，品質管理活動の重要度に応じてこれを管理する。

(2) 型式設計特定容器等の製作等に係る組織は、(1)の記録の識別、保存、保護、検索及び廃棄に関し、所要の管理の方法を定めた手順書等を作成する。

4. 型式設計特定容器等の製作等に係る製品実現の計画

4.1 プロジェクト・マネージャーの配置

プロジェクトの計画から引渡しに至るまでの全期間に渡って、社外及び社内に関連部署間との調整を行い、プロジェクト工程、品質を管理し、契約の円滑なる推進を図るため、プロジェクト・マネージャー（以下「プロマネ」という。）を配置する。

4.2 顧客関連のプロセス

製品化に伴い、プロマネは、設計部門及びその他関連部門の協力により、営業部門経由あるいは顧客と直接コミュニケーションを取ることによって、個別業務等要求事項を明確にする。

4.3 プロジェクト組織の確立と運営

プロマネは、関連部門の長と協議の上、各部門の分担を明確にし、実施段階以降、必要に応じて部門内分担の詳細を決定させる。

4.4 プロジェクト工程管理

プロマネは、顧客要求を反映した主要工程表を取りまとめ、関連部門に周知徹底させる。主要工程表においては、ホールドポイントを明確にする。

プロマネは、設計部門間、及び設計部門と製造部門に関連する事項を調整する。

5. 型式設計特定容器等の製作等に係る製品実現の計画と実施のプロセス

型式設計特定容器等の製作等に係る製品実現の計画と実施のプロセスを図 5-1 に示す。なお、具体的な品質管理の方法については 6 章、7 章、8 章及び 9 章に示す。

6. 設計に係る品質管理の方法

6.1 設計インプットの明確化

設計部門は、設計作業が正しい方法で実施されるよう、また設計内容の決定、設計検証の実施、妥当性確認の実施及び設計変更の評価を行うための適切な基準を与えるよう、設計インプットを適時、明確に文書化する。また、設計部門は、設計インプットの相互関係、漏れあるいは曖昧さの有無を把握の上、不完全、不明確あるいは矛盾する要求事項については、インプット発信元と確認するなど、設計インプットについて適切性の確認を行う。

設計部門は、型式設計特定容器等の製作等に関する法令、規則（「使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則」（平成12年6月16日 通商産業省令第112号）（以下「貯蔵規則」という。）、「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」（令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号）（以下「技術基準規則」という。）及び外運搬規則等）、技術基準及び既に認可を取得した当該型式証明申請書を確実にインプットとして管理する。

6.2 設計計画の作成と業務管理

設計部門は、設計プロセスが正しい方法で実施されるよう、また設計が要求事項に適合していることを検証できるよう、次の事項を含む設計活動を詳細化した設計計画を作成する。

- (1) 設計部門の業務
- (2) 設計インプットの適切性の確認方法
- (3) 設計のレビュー方法
- (4) 設計の変更管理方法
- (5) 設計解析要領
- (6) 適用社内基準一覧
- (7) 設計業務フロー及び設計インタフェース
- (8) 解析業務実施要領（解析業務を行う場合）
- (9) 設計工程
- (10) 設計体制
- (11) 設計アウトプット
- (12) 設計検証の要領^(注1)
- (13) 設計の妥当性確認方法^(注1)

(注1) 設計レビュー、設計検証、設計の妥当性確認は、異なる目的を持つ。それらは、製品及び組織に適するように、個々に又はどのような組合せでも、実施し、記録することができることとしている。

設計計画に付属する設計活動計画書及び業務管理表において、設計の進捗を適宜確認し、計画に対する実績を管理する。また、設計インプット、設計アウトプット、設計の妥当性確認結果を明確にする。(6.8節参照)

6.3 設計インタフェース管理

設計部門は、設計計画に付属する業務管理表において、個々の設計作業に先立ち、必要に応じて、詳細な設計分担・インタフェース管理要領を作成し、管理する。この設計分担・インタフェース管理要領について、事前にその他関連部門の了解を得る。

6.4 設計の体系的レビュー

設計部門は、設計インプットが適切に選定され、かつ設計アウトプットが要求事項を満たせるかどうかを評価するために、包括的かつ体系的なレビュー活動を適切な段階で計画的に実施する。

なお、新設計品及び開発品については、設計のレビューの一環として、デザインレビュー会議を行うものとし、その対象、範囲、具体的な要領について品管担当部門が制定した社内基準に基づいて実施する。

6.5 設計解析

許認可等の重要な安全評価に係る解析業務については、(社)原子力安全推進協会「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン JANSI-GQA-01-第2版」に準拠して次のとおり管理する。

6.5.1 解析業務の計画

設計部門は、解析業務の計画段階において、次の事項の計画を明確にする。

- (1) 解析業務の作業手順（設計レビュー、審査方法、時期等を含む。）
- (2) 解析結果の検証
- (3) 業務報告書の確認
- (4) 解析業務の変更管理

設計部門は、新設計を採用した場合、あるいは新しい解析手順や計算機プログラムを適用した場合など、許認可申請用の設計解析に新規性が認められる場合には、デザインレビュー会議により検証する。計算機プログラムを検証した場合には、名称及びバージョンを登録リストに登録しておくことを原則とする。計算機プログラム名称が同じであってもバージョンが相違する計算機プログラムを使用する場合は、改めて検証を実施する。

6.5.2 入力根拠の明確化

設計部門は、解析業務における入力値が妥当であることを確認するため、各計算機プログラムへの入力データの技術的な根拠事項を文書化する。

6.5.3 入力結果の確認

設計部門は、入力値の確認のため、確認方法の状態に応じたエビデンス（エコー [計算機が読み込んだ入力値を出力として書き出したもの]、入力画面、入力リスト等）を技術図書として残す。なお、入力値の確認に当たっては、必要に応じてダブルチェックによる確認を実施する。

6.5.4 業務報告書の確認

設計部門は、顧客の要求する解析業務報告書が、所定の要求事項（様式等）に適合し、また、確認済みの解析結果が適切に解析業務報告書に反映されていることを確認する。

6.5.5 解析業務の変更管理

設計部門は、解析業務に変更が生じた場合は変更内容を文書化し、解析業務の各段階においてその変更内容を反映する。また、変更に伴う影響範囲等を考慮し、入力根拠の反映、計算機プログラムへの入力が正確に実施されたことの確認、解析結果の検証、及び解析業務報告書の確認等を実施する。

6.5.6 品質記録の保管管理

設計部門は、解析業務に係る必要な文書（解析業務計画書、入力根拠書、解析業務報告書、チェックシート及びチェックのための照合資料、入出力値の記録等）を品質記録として保管期限を定め適切に管理する。また、調達先に対しても同様の管理を実施することを要求する。ただし、調達先において当社と同等の管理が実施できない場合には、当該設計部門が該当する品質記録を引き取り管理する。

6.6 設計アウトプットの文書化

設計部門は、プラント、設備、機器・装置の機能条件等を十分に考慮の上、その他関連部門及び顧客に対して要求すべき事項を、設計アウトプットとして図面、仕様書、技術資料等の設計文書により明確にし、指示内容を下流工程又は顧客に確実に伝達する。

これらの設計文書は、次の条件を満たすこととしている。

- (1) 設計検証が可能となるように十分詳細に文書によって設計インプットと関連付けられている。
- (2) 要求すべき検査が規定され、適切な判定基準が含まれているか又は参照されている。
- (3) 設計される製品の機器名称が明確にされている。

6.7 設計検証

設計部門は、設計アウトプットが設計インプットを満たしていることを確実にするために、原則として設計図書が作成された都度、設計検証を行う。

6.7.1 設計検証の方法

設計部門は、次のいずれかの方法（又は組合せ）により、設計検証を実施する。

- (1) 確認実験の実施と評価

- (2) 別法による計算結果との比較評価
- (3) 類似の実績ある設計との比較評価
- (4) 設計インプット、設計レビューの資料及び記録等との比較評価
- (5) 過去の経験から得られた不適合、製品事故などの教訓との比較評価

6.7.2 設計検証のタイミング

設計検証は、設計部門から設計アウトプットとして図面、仕様書、技術資料等の設計文書が出図される前に行う。

6.7.3 設計検証記録

設計部門は、設計検証の結果が確認できるように記録する。また、設計検証の結果によって必要な処置がある場合は記録する。それらの記録は、適切に保管する。

6.8 設計の妥当性確認

設計部門は、結果として得られる製品が、設計要求事項を満たし得ることを確実にするために、6.2節で計画された方法と実施時期及び次の事項に従って、設計の妥当性確認を実施する。

- (1) 設計の妥当性確認は、型式設計特定容器等の引渡し前、あるいは実行可能な段階で実施し、その時期、方法、評価対象の記録等に関連する事項を明確にして実施する。
- (2) 品管担当部門が作成する検査要領書のレビューを通じて、検査段階で設計の妥当性確認が実施できることを確認する。
- (3) 妥当性確認の結果の記録、及び必要な処置があれば、その記録を維持する。

6.9 設計変更管理

設計部門は、設計のレビュー又は設計検証完了後に変更が生じた場合、変更の内容及び規模に応じて、再度設計のレビューあるいは設計検証、及びその変更が妥当であるかの確認を行う。変更が妥当であるかの確認においては、その変更が型式設計特定容器等を構成する他の要素、及びすでに引き渡たされている製品に及ぼす影響についての評価を含める。変更が妥当であるかの確認の結果の記録、及び必要な処置があれば、その記録を維持する。

6.10 型式指定申請書の作成

設計取りまとめは、6.1節、6.2節、6.5節及び6.6節の設計インプット及び設計アウトプットを基に、型式指定申請書に必要な資料等を次のとおり取りまとめる。

6.10.1 本文の作成

設計取りまとめは、文書化された設計インプット及び設計アウトプットを基に、貯蔵規則第43条の2の8第1項の要求に従って、必要な事項（申請者及び製造工場、並びに型式設計特定容器等の種類、名称・型式、設計及び製作の概要、設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織等）を本文として取りまとめる。

6.10.2 添付書類の作成

設計取りまとめ及び設計部門は、設計インプットを基に設計解析を行い、結果を設計アウトプットとして文書化する。設計取りまとめは、設計アウトプット文書を基に、貯蔵規則第43条の2の8第2項の要求に従って、必要な事項（型式証明を受けた設計との整合性、臨界防止、遮蔽、閉じ込め、除熱、火災及び爆発の防止、耐震性、耐圧強度及び耐食性等）を添付書類として取りまとめる。

6.10.3 型式指定申請書の検証

設計取りまとめは検証を実施し、その結果としてコメントが付された場合は、必要に応じ資料を修正したうえで再度検証する。必要に応じこれらを繰り返し、型式指定申請書の検証を完了する。

7. 製造に係る品質管理の方法

7.1 設計要求事項及び購入要求事項

購入要求元部門は、必要に応じ、製造部門、品管担当部門と協議し、適用法令、規格、基準、契約仕様及び次の要求事項を設計・調達文書で明確に規定する。

- (1) 検査判定に係わる基準
- (2) 適用法令、規格
- (3) 識別、マーキングに係る事項
- (4) 特殊工程に係る事項（溶接、非破壊試験、熱処理、レジン充填）
- (5) 製品品質に係る重要度
- (6) 取扱い、保管、梱包、出荷、運搬に係る事項
- (7) 関連技術資料
- (8) その他

7.2 製造工程管理

製造部門及び品管担当部門は、担当する業務について次の事項を計画し、管理する。

7.2.1 技量管理

- (1) 製造部門及び品管担当部門は、次の作業について技量管理要領をあらかじめ確立し、技量管理を行う。
 - (a) 溶接作業
 - (b) 非破壊試験作業
 - (c) レジン充填作業
- (2) 製造部門及び品管担当部門は、技量管理に関する記録を作成し管理する。

7.2.2 設備管理

製造部門及び品管担当部門は、製品要求事項への適合に影響ある設備（治工具等を含むインフラストラクチャ。）の機能・性能及び精度等を確保し、管理されている設備により、製造、取扱い、運搬等の作業を行う。なお、管理する設備には、次のようなものがある。

- (1) 製造に使用する設備（工作機械、溶接機、治工具類、計測器、試験機、純水製造装置、揚重クレーン他）
- (2) 製造に適した環境を保持する設備（集塵、空調設備、換気設備他）
- (3) その他、製品要求事項への適合に影響ある設備等

7.2.3 製造の管理

7.2.3.1 製造に使用する図面

- (1) 製造部門は、製造に使用する図面において、原則、最新の「決定図書」に基づいて製造を行う。設計部門は製造工程に支障がないよう、適切な時期に顧客と調整し、図面を「決定図書」とする。

7.2.3.2 製作手順の計画と管理

- (1) 製造部門は、製作開始前に図面、仕様書、該当する場合は検査項目一覧表等、契約内容並びに適用法令を反映した図書及び社内の製造、検査の規格・規準に基づいて、製品（以下、部品、材料を含む。）に応じた製作手順並びに製造工程（製作日程、スケジュール）を計画する。特定容器 HDP-69B(B)型の製造手順の概略（例）を図 7-1 に示す。
- (2) 製造部門は、計画された製作手順を生産管理票として発行する。生産管理票は、製造工程、検査工程等の指示と実行、及びそれらの管理に使用する。
- (3) 製造部門は、計画された製造工程を、適宜、工程表に展開し、管理実行する。

7.2.3.3 製作要領書の作成

製造部門は、要領書あるいは指示書がなければ品質に有害な影響を及ぼす製造工程について、作業規格あるいは作業指導書を作成し、実施する。

作業規格又は作業指導書は、必要に応じて、次の項目を記載する。

- (1) 作業要領
- (2) 作業者の資格
- (3) 使用する設備
- (4) 作業の監視と管理方法
- (5) 作業環境

7.2.3.4 作業の指示と管理

(1) 製品の製作、検査の工程は、生産管理票によって指示され、各工程が完了したことを確認しながら、その順序に従って工程を進める。

(2) 生産管理票には、必要に応じて次の事項を記載し、作業者に必要な情報を与える。

- (a) プロジェクトあるいはロット
- (b) 作業番号（作番）
- (c) 図面、仕様書、作業規格、作業指導書等の番号
- (d) 作業工程
- (e) 作業上の注意事項

7.2.3.5 作業の監視

製造部門は、作業工程に応じた現場巡視（パトロール）等によって作業状況及び品質の監視を行う。

7.3 識別管理

7.3.1 識別

7.3.1.1 識別を要する材料

設計部門は、次の材料の識別表示を図面あるいは購入仕様書で規定する。

- (1) JSME クラス要求対象材
- (2) 溶接検査対象材
- (3) 設計部門が特に指定するもの

7.3.1.2 識別マーキングの実施

(1) 製造部門は、製造工程中、次のいずれか又は組合せた方法によって製品を識別し、それを維持する責任を有する。

- (a) 帳票による識別：当該品の図面番号，作番などを示す帳票（生産管理票，荷札等）が現品とともに移動することによって識別を行う。
 - (b) ペイント又は永久マーキングによる識別：当該品上にペイント又は永久マーキングにより，作番，号機番号，部品名等の1つ又は組合せた表示によって識別を行う。
- (2) 永久マーキングは，対象物の厚さにより次項に定めるいずれかの方法により行う。
- (a) 低応力スタンプによる刻印
 - (b) 銘板取付
 - (c) バイブレーションツール（彫刻機を含む。）によるマーキング

7.3.1.3 材料識別表示の記録

品管担当部門は，材料リストなどを基に組立品あるいは部品のどの部分にどの材料，部品が使われたかを明確に記録する。

7.3.2 材料使用前の確認

品管担当部門は，使用材料の成績書と図面，必要に応じて購入仕様書を現品と照合確認して，現品に対して刻印などにより使用可否の識別をする。

7.3.3 マークシフト

- (1) 製造部門は，設計部門より要求された材料の識別表示を，製造工程中適切に維持する。
- (2) 製造部門は，製造中に刻印・識別マーキングが機械加工，切断等により消える場合，当該刻印・識別マーキングが消える前に官庁，顧客あるいは品管担当部門立会のもとで移し換えを行うか，維持のための適切な保護措置をとる。

7.4 発送前点検の実施

- (1) 製造部門は，製作手順書のすべての作業ステップが完了していることを確認し，設計部門-製造部門-品管担当部門による発送前点検を実施する。その後，設計指示事項に基づき養生を実施する。

7.5 出荷準備及び輸送

- (1) 製造部門は，設計より発行された納入品明細書の情報を基に，品管担当部門へ発送許可を依頼する。
- (2) 品管担当部門は，製造部門からの依頼内容と製品を照合し，発送前検査を実施する。検査完了後，製造部門より物流部門へ製品の輸送を依頼する。

- (3) 物流部門は、製品が輸送中に損傷・破損・劣化しないよう設計指示事項に基づき梱包を実施し、輸送を行う。

8. 検査に係る品質管理の方法

8.1 検査要領の確立

8.1.1 設計要求事項及び購入要求事項

購入要求元部門は、必要に応じ、製造部門、品管担当部門と協議し、適用法令、規格、基準、契約仕様及び次の要求事項を設計・調達文書で明確に規定する。

- (1) 検査判定に係わる基準
- (2) 適用法令、規格
- (3) 識別、マーキングに係る事項
- (4) 特殊工程に係る事項（溶接、非破壊試験、熱処理、レジソ充填）
- (5) 製品品質に係る重要度
- (6) 取扱い、保管、梱包、出荷、運搬に係る事項
- (7) 関連技術資料
- (8) その他

8.1.2 検査の計画

品管担当部門は、設計結果を含む技術基準及び規則等への適合を確認することを目的とし、必要な検査を計画する。

8.1.3 検査の管理

設計部門は、製品品質の重要度に応じ、材料調達、製造（調達製品を含む。）の各段階で実施する検査項目、立会検査の程度を示す「検査項目及び立会区分一覧表」を作成し、発行する。また、プロジェクトマネジメント部門は、検査要領書の作成の有無を明確にした「提出図書一覧表」を作成し、発行する。

8.1.4 検査要領書の作成

品管担当部門は、「検査項目及び立会区分一覧表」に従い、検査要領書を作成し、発行する。検査要領書には下記の事項を明確に記載する。

- (1) 目的
- (2) 適用範囲
- (3) 検査場所
- (4) 適用規格
- (5) 検査の項目及び立会程度
- (6) 検査の要領と判定基準

(7) 記録の顧客への提出範囲及び保管期限

8.2 検査員の力量管理

品管担当部門は、次の事項により検査員の力量管理を行う。

- (1) 作業内容に応じて定められた要領書に従い力量認定された検査員に検査を実施させることにより、各種検査の中立性及び信頼性を確保する。
- (2) 非破壊試験は、(財)日本規格協会「非破壊試験技術者の資格及び認証 JIS Z 2305」に基づく資格認定取得者に実施させる。

8.3 検査設備（計測器，試験機等）の管理

品管担当部門は、製品の合否判定に使用する検査設備を管理するために、次の事項を行う。

- (1) 検査設備の精度及び性能を維持し管理する。
- (2) 検査設備の使用前に検査設備の計量機器の検査結果に関する図書を必要に応じて準備し、検査が適切に実施されていること、かつ有効期限内であること及び記載内容に不備がないことを確認する。

8.4 検査の実施

- (1) 品管担当部門は、設計部門とは独立した立場で検査の実施に当たり、各種検査の中立性及び信頼性を確保する。また、事前に適用する要領書を明確にし、検査員に指示するとともに、周知する。
- (2) 品管担当部門は、検査依頼に基づき設計指示事項及び適用要領書に従い検査を行うとともに、要求される検査記録を作成する。

8.5 不適合製品の識別及び隔離

品管担当部門は、検査結果に基づき、次の方法により不適合製品を識別及び隔離する。

- (1) 不適合製品又は他の適切な場所に、「不合格」ステッカを貼付する。
- (2) 不適合製品は、「不適合及び是正処理管理要領」に従い処置する。
- (3) 「不合格」ステッカは、適切に処置がされた時点で、品管担当部門の担当者が除去する。

8.6 発送前検査の実施

品管担当部門は、製品に発生した全ての不適合が処理されていること、及び製造工程中に作成した検査記録に問題がないことを確認する。

8.7 溶接検査の計画

設計部門は、溶接検査計画書を作成し、顧客に提出する。

9. 調達に係る品質管理の方法

9.1 調達計画及び調達先の選定

9.1.1 調達計画

- (1) 購入要求元部門は、計画段階において調達を要する対象を明確にし、その種類に応じて購入仕様書を計画的に発行する。

9.1.2 調達先の選定

- (1) 品管担当部門は、調達先の選定に先立ち、社内規定に従い、調達先が必要な品質に関する要求事項に適合する製品を供給し得るか否かの能力を評価の上、調達先候補をあらかじめ認定し、登録する。
- (2) 調達部門及び購入要求元部門は以下の項目に関する考慮の上、調達先を選定する。
 - (a) 調達先の調達管理を含めた技術的能力及び品質管理体制
 - (b) 製品の供給実績
 - (c) 製品の使用実績
 - (d) 製品サンプル
- (3) 購入要求元部門、調達部門及び品管担当部門は、既に評価済みの調達先が要求品質を満足する調達製品の供給能力を維持していることを上記(2)の(a)～(d)に関する調査・評価・監査を適宜行うことにより確認する。

9.2 調達先とのコミュニケーション

購入要求元部門、調達部門及び品管担当部門は、調達先とのコミュニケーションを図り、次の事項を行う。

- (1) 購入要求元部門
 - (a) 進捗状況のステイタス管理（設計・製造工程に基づく文書提出・製造状況の把握）
- (2) 調達部門
 - (a) 適切な調達先の選定、早期発注による納期確保
 - (b) 進捗日程フォロー（情報入手と関係先への周知）、納期管理
- (3) 品管担当部門
 - (a) 不適合の早期発見による是正処置
 - (b) 製造工程上のホールドポイントの明確化、必要に応じた出張立会検査
- (4) その他

購入要求元部門、調達部門及び品管担当部門は、調達製品の特異性、複雑さ、調達頻度、過去の不適合事例等を勘案し、次の例に示す場を活用して調達先とのコミュニケーションを強化する。

- (a) 交流会，講演会
- (b) 発注時，製造又は作業着手前のキックオフミーティング
- (c) 不適合事例周知，コンプライアンス及び原子力安全に関連した個別の連絡会等

9.3 発注

(1) 購入要求元部門の担当者は、購入仕様書を作成し、審査を受けた後、承認を受ける。

また、レビューが必要な仕様書は発行前に関係先のレビューを受ける。

(2) 調達部門は、最新の購入仕様書に基づき、9.1.2において選定された調達先へ発注する。

9.4 文書の管理

購入要求元部門及び調達部門は、調達文書について、次のとおり管理する。

(1) 調達文書に業務の範囲、管理の要求事項、技術的要求事項、品質管理に関する要求事項、調達先への立入権限、不適合に関する要求事項等を発注文書により連絡する。

(2) 上記の発注文書、及び標準品質保証仕様書の調達先への発行によって、「当社と調達先の責任範囲」「要求事項の適用を二次調達先以降、最終の調達先まで及ぼすための事項」「製品を受領する場合に使用する、調達製品に関する要求事項への適合状況を記録した文書」の提出を要求する。

(3) 特に許認可申請用の設計解析を伴う調達に係る調達文書には、発注範囲に応じて上記(1)及び(2)に要求する項目に加え、設計解析に関する要求事項、及び解析コードの変更の周知・教育に関する要求事項を調達先及びその調達先の二次調達先以降が遵守するように要求する。

9.5 検査及び受入管理

調達製品が調達要求事項を満足していることを確認するために、購入要求元部門及び品管担当部門は調達製品に対して次のとおり検査及び受入管理を行う。

(1) 品管担当部門は、購入仕様書に基づき、製品の検査を実施し、記録を作成する。

- (2) 設計役務の調達の場合、購入要求元部門は役務（成果物含む。）が当該購入仕様書の要求事項に適合していることを確認し、確認した結果を記録として維持する。
- (3) 品管担当部門は、調達製品に不適合が発生した場合、不適合の処置及び再発防止対策を図る。

9.6 品質記録の保管

- (1) 品管担当部門は、購入仕様書の要求に従って提出された品質記録（検査記録、補修記録等）を保管する。

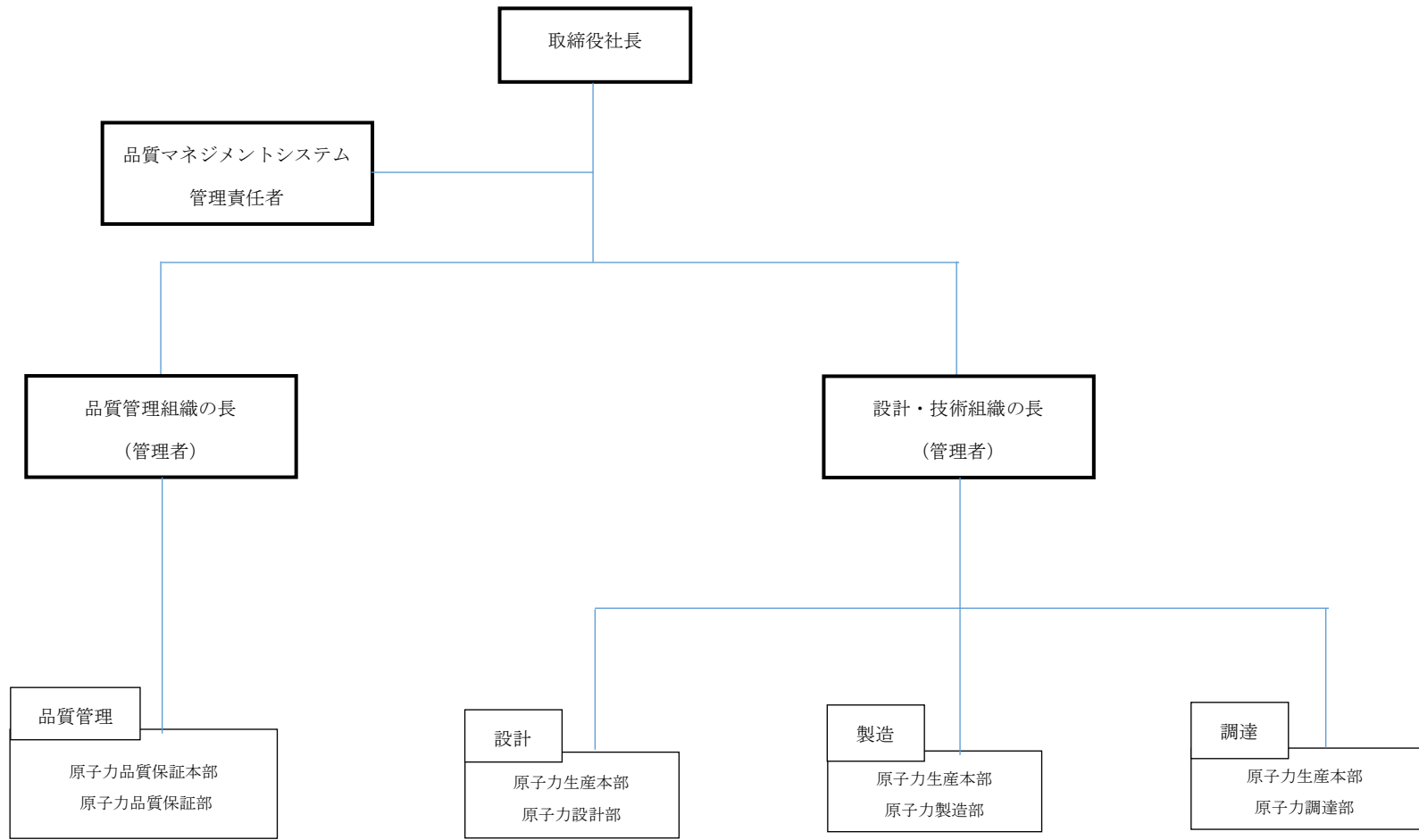


図 2-1 型式設計特定容器等の製作等に係る組織

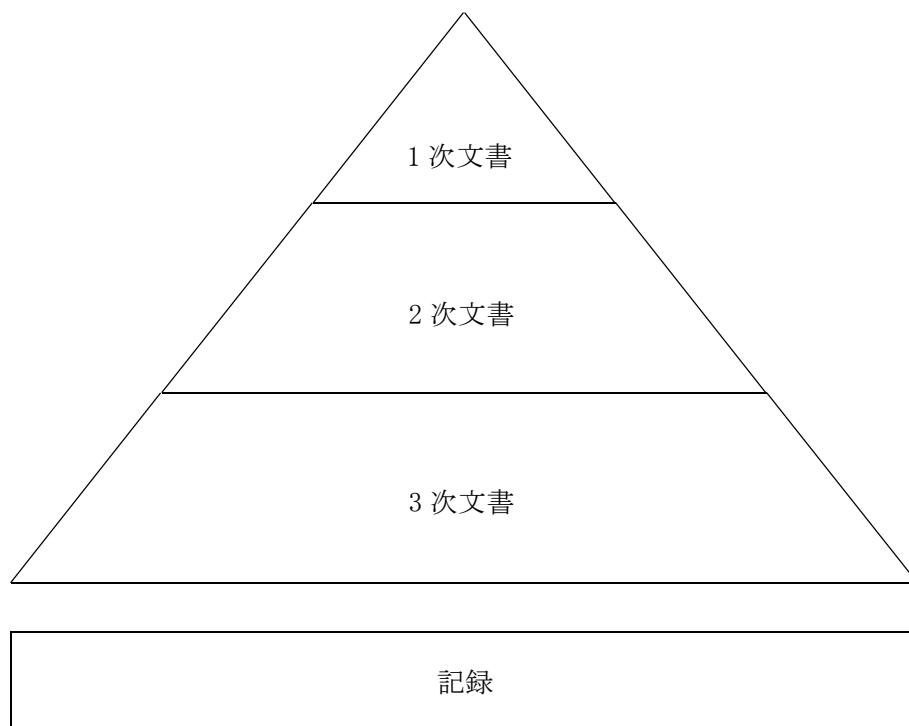


図 3-1 品質マネジメントシステムに係る文書体系図

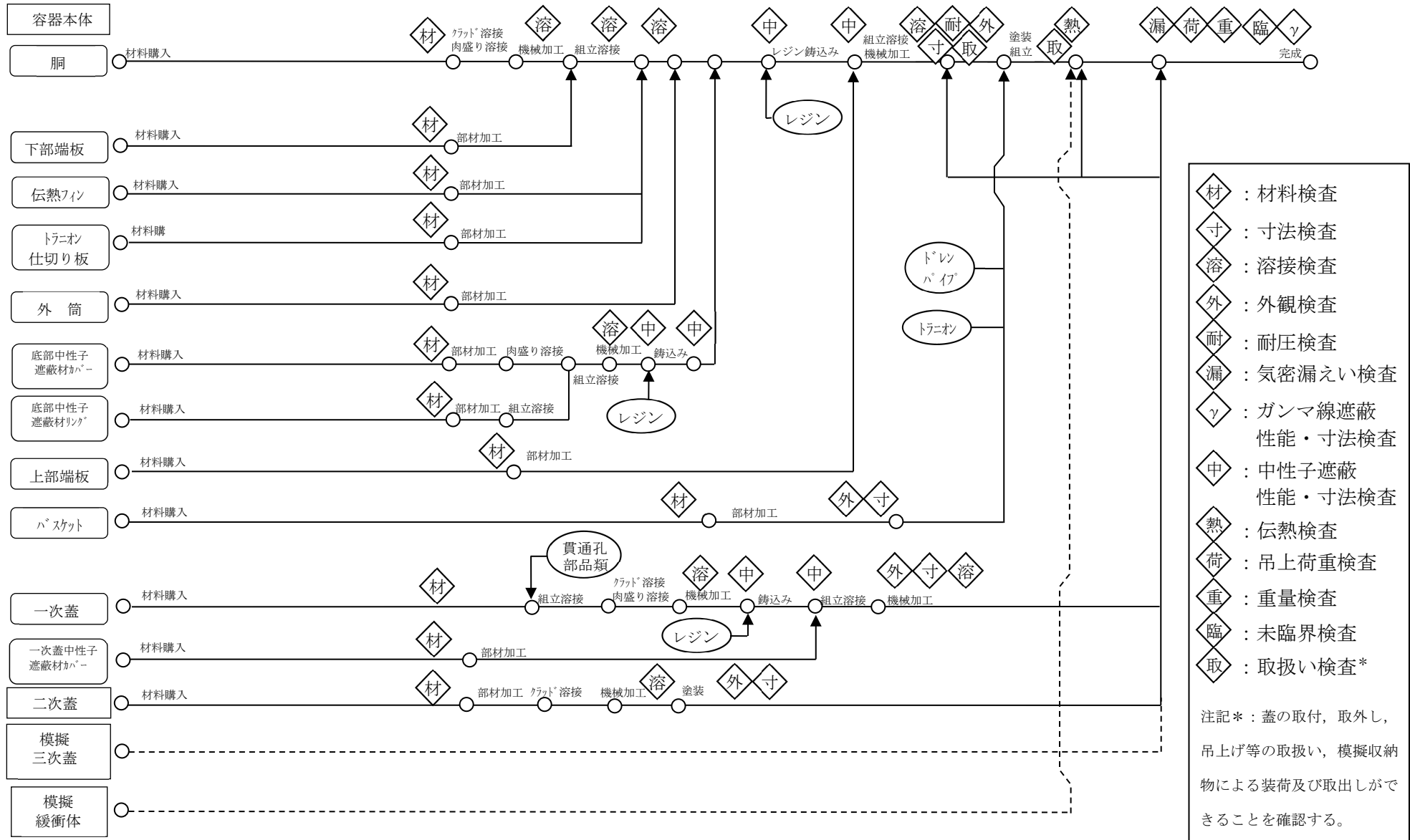


図 7-1 特定容器 HDP-69B (B) 型の製造手順の概略 (例)

表 3-1 品質マネジメントシステム文書体系

	文書名
1 次文書	品質マネジメントシステム計画書（品質方針（品質目標）を含む。）
2 次文書	3(1)に関する文書
	3(4)として文書・記録に関する文書
	3(4)として不適合管理，是正処置等及び未然防止処置に関する文書
3 次文書*	手順書，指示書

注記*：具体的な品質マネジメントシステムに係る主な文書については，表 3-2 を参照

表 3-2 品質マネジメントシステムに係る主な文書(1/2)

No	文書区分	文書名	各部署	品管担当 部門 ^{*1}	Prj ^{*2}	営業 部門	顧客 ^{*3}	備考	製作 ^{*4}	製品 化 ^{*5}
1	契約関係	(1) 見積仕様書	C	—	C	PRAiS	—		—	○
		(2) 契約仕様書	C	—	C	PRAiS	—		—	○
		(3) 受注決定仕様書	C	—	PRAC	RAiS	—	受注伝票, 仕様訂正票等を含む。	—	○
2	官庁関係	(1) 工事計画認可申請書	PRAiC	—	PCS	—	i	変更申請書, 届出書等	—	○
		(2) 溶検申請書	PRAiS	—	—	—	C		—	○
		(3) 電気事業法以外の法令許認可申請, 届出関係文書	PRAiC	—	—	—	iS		○	○
3	設計関係	(1) 承認図(決定図)	PRAiS	—	C	—	AC		—	○
		(2) 製作図, 施工図	PRAiS	—	—	—	—		○	○
		(3) 設計仕様書	PRAiS	—	C	—	AC	共通設計, 系統設計, 機器設計, 購入仕様書, P&ID等を含む。	○	○
		(4) 設計指示仕様書	PRAiS	—	C	—	—	購入, 製作, 検査, 工事, 変更等を含む。	○	○
4	QA関係	(1) 品質マネジメントシステム計画書	C	PRAiS	C	C	AC		○	○
5	工程関係	(1) 工程表	PRAiS	—	C	C	—		○	○
6	製造計画関係	(1) 要領書	PRAiS	—	C	—	AC		○	○
7	施工管理関係	(1) 作業指示書	PRAiS	—	—	—	—	安全指示, 防護指示を含む。	○	○
8	施工記録関係	(1) 施工記録	PRAiS	—	—	—	—		○	○
9	検査計画関係	(1) 要領書	PRAiS	—	—	—	AC		○	○

記号 P:作成 R:審査 A:承認 i:発行 S:原本保管(社外文書の場合は, 正本保管)

C:受領, 確認, 必要により写し保管 —:該当せず

注記 *1:原子力品質保証部(原子力事業品質マネジメントシステム計画の推進実務の活動範囲)

*2:プロジェクトマネジメント部門

*3:顧客への標準的な提出範囲を示し, 契約等により指定のある場合は契約事項に従う。

*4:型式設計特定容器等(HDP-69B(B))製作にて作成する図書を○とする。

*5:製品化に伴い作成する図書を○とする。

<補足説明>

表 3-2 に示す文書のうち, 記録として取り扱うものにおける保管部署や保管期限については, 3.3 記録の管理に従う。

表 3-2 品質マネジメントシステムに係る主な文書(2/2)

No	文書区分	文書名	各部署	品管担当部門 ^{*1}	Prj ^{*2}	営業部門	顧客 ^{*3}	備考	製作 ^{*4}	製品化 ^{*5}
10	検査関係	(1) 検査記録	PRiS	PRAiS	—	—	C		○	○
11	不適合管理関係	(1) 検査票	PRiS	PRAiS	—	—			○	○
		(2) 不具合報告書	PRiS	PRAiS	—	—			—	○
12	内部監査関係	(1) 計画書	C	PRAiS	C	—			○	○
		(2) 結果報告書	C	PRAiS	C	—			○	○
13	教育訓練関係	(1) 計画書	PRAiS	—	—	—	—		○	○
		(2) 実施記録	PRAiS	—	—	—	—		○	○
14	連絡関係	(1) エンジニアリングシート	PRAiSC	PRAiSC	PRAiSC	PRAiSC	C		—	○
		(2) 議事録	PRAiSC	PRAiSC	PRAiSC	PRAiSC	C		—	○
		(3) 事項通知書	PRAiSC	PRAiSC	PRAiSC	PRAiSC	—		○	○
15	法令規格関係	(1) 法令	C	C	—	—	—	電気事業法令, 労働基準法令, 労働安全衛生法令, 消防法令, 高压ガス保安法令等	○	○
		(2) 社外規格	C	C	C	—	—	JIS, JEAC, JEAG, 顧客規格等	○	○
		(3) 社内規格	PRAiSC	PRAiSC	PRAiSC	—	—	全社規格, 各部署規格, 現地事務所規格等	○	○
16	文書管理関係	(1) 提出図書取扱基準	C	C	PRAiS	C	C	提出図書一覧表を含む。	—	○
17	委託・R&D関係	(1) 実施計画書	PRAiSC	—	C	—	C		○	○
		(2) 技術検討書	PRAiSC	—	C	—	C		○	○
		(3) 実施報告書	PRAiSC	R	C	—	C		○	○
18	その他の文書	(1) 機器取扱説明書	PRAiS	—	—	—	C		—	○

記号 P:作成 R:審査 A:承認 i:発行 S:原本保管(社外文書の場合は,正本保管)
C:受領,確認,必要により写し保管 —:該当せず

注記 *1:原子力品質保証部(原子力事業品質マネジメントシステム計画の推進実務の活動範囲)
*2:プロジェクトマネジメント部門
*3:顧客への標準的な提出範囲を示し,契約等により指定のある場合は契約事項に従う。
*4:型式設計特定容器等(HDP-69B(B))製作にて作成する図書を○とする。
*5:製品化に伴い作成する図書を○とする。

<補足説明>

表 3-2 に示す文書のうち,記録として取り扱うものにおける保管部署や保管期限については,3.3 記録の管理に従う。

添付書類 10

第 43 条の 2 の 7 の購入契約を締結している者にあつては当該契約書の写し

1. 概要

HDP-69B(B)型の型式指定申請において、申請者は型式設計特定容器等を製作することを業とする者であるため、「使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則」（平成12年6月16日通商産業省令第112号）第43条の2の7に規定される当該契約書の写しは添付しない。

添付書類 11

申請に係る型式設計特定容器等の特定容器等型式証明通知書の写し

原規規発第 1903259 号
平成 31 年 3 月 26 日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社
取締役社長 久米 正 殿

原子力規制委員会

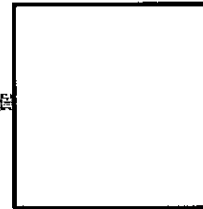
使用済燃料貯蔵施設に関する特定容器等の設計の型式証明について

平成29年11月17日付けDoc No. FRO-TA-0001（平成30年7月23日付けDoc No. FRO-TA-0023/REV. 0及び平成30年12月3日付けDoc No. FRO-TA-0042/REV. 0をもって一部補正）をもって申請のあった使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明の申請については、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年法律第166号）第43条の26の2第1項の規定に基づき、特定容器等の型式の設計について承認します。

原規規発第 2105274 号
令和 3 年 5 月 27 日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社
取締役社長 佐藤 深一郎 殿

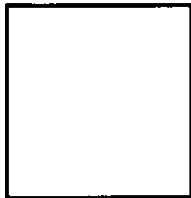
原子力規制委員



特定容器等型式証明通知書の修正について

平成29年11月17日付けDoc No. FRO-TA-0001（平成30年7月23日
付けDoc No. FRO-TA-0023/REV. 0及び平成30年12月3日付けDoc
No. FRO-TA-0042/REV. 0をもって一部補正）をもって申請のあった使用済燃
料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明について交付した特定容器等型式証明通知書（平
成31年3月26日付け原規規発第1903259号）の記載に誤りがあったため、以下のとおり
修正します。

内は商業機密のため、非公開とします。



【正誤表】

正	誤
<p>平成29年11月17日付けDoc No. FRO-TA-0001 (平成30年7月23日付けDoc No. FRO-TA-0023/REV. 0及び平成30年12月3日付けDoc No. FRO-TA-0042/REV. 0をもって一部補正) をもって申請のあった使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明の申請については、核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年法律第166号)第43条の26の2第1項の規定に基づき、特定容器等の型式の設計について型式証明を行います。</p>	<p>平成29年11月17日付けDoc No. FRO-TA-0001 (平成30年7月23日付けDoc No. FRO-TA-0023/REV. 0及び平成30年12月3日付けDoc No. FRO-TA-0042/REV. 0をもって一部補正) をもって申請のあった使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明の申請については、核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和32年法律第166号)第43条の26の2第1項の規定に基づき、特定容器等の型式の設計について承認します。</p>

内は商業機密のため、非公開とします。

参考図面

各部の公称寸法及び許容範囲

図表目次

図 1	HDP-69B(B) 型の構造図	1
表 1	HDP-69B(B) 型の設計仕様となる公称寸法の許容範囲	2

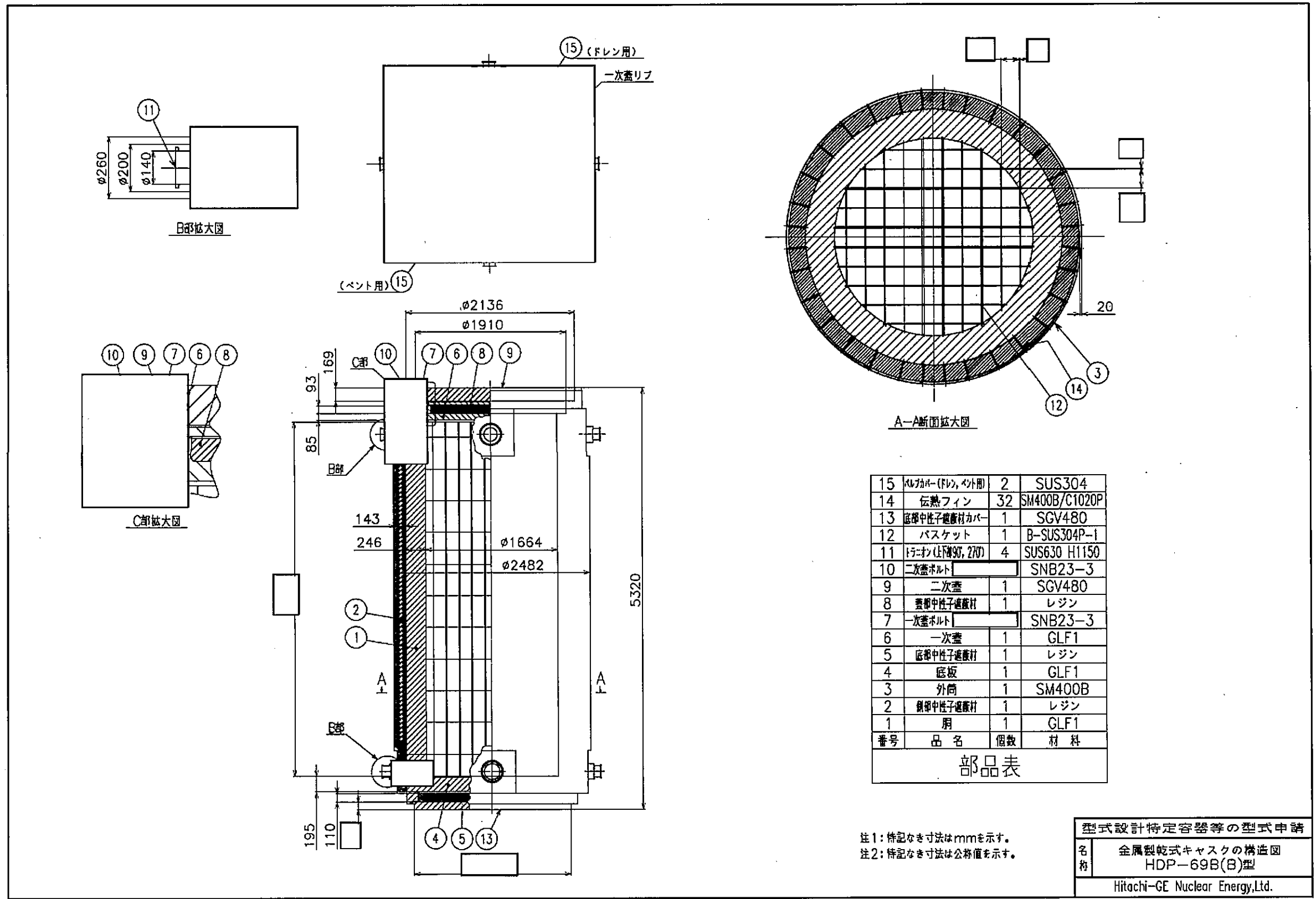


図1 HDP-69B(B)型の構造図

内は商業機密のため、非公開とします。

表1 HDP-69B(B)型の設計仕様となる公称寸法の許容範囲(1/2)

主要寸法 (mm) *1, 呼び径又は数量				許容範囲 (mm)	根 拠
全 長		5320			製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
外 径		2482			同上
金属 キャスク 本体	胴	内 径	1664		同上
		胴板厚さ	246		同上
		底板厚さ	195		同上
	外筒	外 径	2482		同上
		厚 さ	20		JISによる材料公差及び製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
	トラニオン	外 径	260		製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
			200		
			140		
	[]				
	底部中性子遮蔽材カバー	外 径	[]	同上	
厚 さ		[]	同上		
側部中性子遮蔽材厚さ		143		同上	
底部中性子遮蔽材厚さ		110		同上	

注記*1: 主要寸法は, 型式指定申請書本文記載の公称値である。

[] 内は商業機密のため, 非公開とします。

表1 HDP-69B(B)型の設計仕様となる公称寸法の許容範囲(2/2)

主要寸法 (mm) *1, 呼び径又は数量			許容範囲 (mm)	根 拠
一次蓋	外 径	1910	[]	製造能力, 製造実績を考慮したメーカ基準
	厚 さ	85		同上
	蓋部中性子遮蔽材厚さ	93		同上
一次蓋 ボルト	呼び径	[]		—
	本 数	[]		—
二次蓋	外 径	2136		製造能力, 製造実績を考慮したメーカ基準
	厚 さ	169		同上
二次蓋 ボルト	呼び径	[]		—
	本 数	[]		—
バスケット	外 径	1664*2		—
	高 さ	[]		製造能力, 製造実績を考慮したメーカ基準
	内 幅	[]		同上
	バスケットプレート厚さ	[]	同上	

注記*1: 主要寸法は, 型式指定申請書本文記載の公称値である。

*2: バスケット外径は, バスケットプレートを胴内面の溝で支持する構造であるため, 胴内径の寸法を示す。

[] 内は商業機密のため, 非公開とします。