

$$D_i = \text{■■■■} \text{ mm}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} (\text{■■■■}) / \text{■■■■}$$

$$= \text{■■■■} \text{ mm}^3$$

したがって、

$$\sigma_b = \text{■■■■}$$

$$= \text{■■■■} \text{ MPa}$$

密封容器の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、密封容器の温度■■■■°Cにおいて、

$$\sigma_{dy} = 1.25 \times \text{■■■■}$$

$$= \text{■■■■} \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dy} / \sigma_b - 1$$

$$= \text{■■■■}$$

であり、密封容器は降伏応力を超えることはない。

2. 格納容器（巻上装置カバーを含む）

水平落下時に格納容器に生じる応力は、（ロ）章A.5.4で、輸送容器軸に垂直な方向に圧縮荷重が働いたとして求めた時と同様の方法で求められる。

（ロ）章A.5.4より5倍の荷重により生じる応力は、巻上装置カバーで最大になり、

$$\text{曲げ応力 } \sigma_b = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$\text{せん断応力 } \tau = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$\text{主応力 } \sigma = \blacksquare \text{ MPa}$$

である。

水平落下時の衝撃加速度は $\blacksquare \text{ m/s}^2$ であるから、

$$\text{曲げ応力 } \sigma_b = \frac{\blacksquare}{5} \times \frac{\blacksquare}{9.807}$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

$$\text{せん断応力 } \tau = \frac{\blacksquare}{5} \times \frac{\blacksquare}{9.807}$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

最大主応力は、

$$\sigma = \frac{1}{2} (\sigma_b + \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2})$$

$$= \frac{1}{2} (\blacksquare + \sqrt{\blacksquare})$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

巻上装置カバーの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、巻上装置カバーの温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ において、

$$\sigma_{dy} = 1.25 \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dy} / \sigma - 1$$

$$= \blacksquare$$

であり、格納容器（巻上装置カバーを含む）は降伏応力を超えることはない。

3. シャッター開閉用ネジシャフト

解析モデルを(ロ)－第A.60図に示す。シャッターカバー方向に水平落下した場合、解析モデルに示すようにシャッターの慣性力が開閉シャフトに働く。このとき、開閉シャフトに圧縮応力が生じる。

$$\sigma_c = \frac{WG}{\frac{\pi}{4}D^2}$$

ただし、 W : シャッター重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s²)

D : シャフト径 (mm)

ここで、 W = 600 kg

G = ■ m/s²

D = ■ mm

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{600 \times \blacksquare}{\frac{\pi}{4} \times \blacksquare} \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

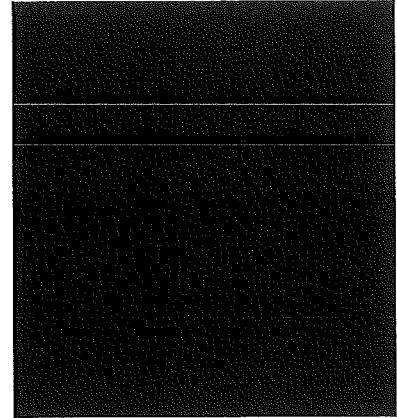
シャフトの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、シャフトの温度 ■ °C において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_c - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

であり、シャフトは降伏応力を超えることはない。



(ロ)－第 A.60 図
シャフト解析モデル

4. シャッターカバー

解析モデルを(ロ)-第A.61図に示す。シャッターカバー方向に水平落下した場合、解析モデルに示すようにシャッターの慣性力がシャフトを介してシャッターカバーに働く。

このとき、シャッターカバーに生ずる応力 σ_b (MPa) は、集中荷重と考えると、

$$\sigma_b = \frac{3WG}{2\pi t^2}$$

ただし、 W : シャッター重量 (kg)

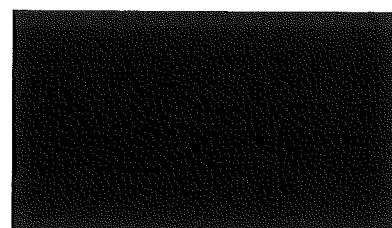
G : 衝撃加速度 (m/s^2)

t : シャッターカバーの板厚 (mm)

ここで、 W = 600 kg

G = ■■■ m/s^2

t = ■■■ mm



(ロ)-第A.61図
シャッターカバー解析モデル

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \times 600 \times \text{■■■}}{2 \times \pi \times \text{■■■}} \\ &= \text{■■■} \text{ MPa}\end{aligned}$$

シャッターカバーの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、シャッターカバーの温度■■■ $^{\circ}\text{C}$ において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \text{■■■} \\ &= \text{■■■} \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_b - 1 \\ &= \text{■■■}\end{aligned}$$

であり、シャッターカバーは降伏応力を超えることはない。

5. 試料スペーサ

解析モデルを(ロ)－第A.62図に示す。水平落下の場合、試料スペーサには収納物の慣性力が働く。試料スペーサは四角形であり、隣り合う2頂点で密封容器に接する。このとき、試料スペーサに生ずる応力は、解析モデルに示すように試料スペーサの一辺を両端支持のほりと考えて次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ただし、

M : モーメント

$$M = \frac{1}{8} W G L$$

W : 収納物の重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s²)

L : 試料スペーサの辺長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{1}{6} b t^2$$

b : 試料スペーサ軸方向の板巾 (mm)

t : 板厚 (mm)



(ロ)－第A.62図
試料スペーサ解析モデル

ここで、Wとしては、収納物F7が最大であり、

$$W = 19.0 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$L = \blacksquare \text{ mm}$$

$$M = \frac{1}{8} \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$b = \blacksquare$$

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ mm}^3$$

したがって、

$$\sigma_b = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

試料スペーサの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、試料スペーサの温度 \blacksquare °Cにおいて、

$$\begin{aligned} \sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{dy} / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$


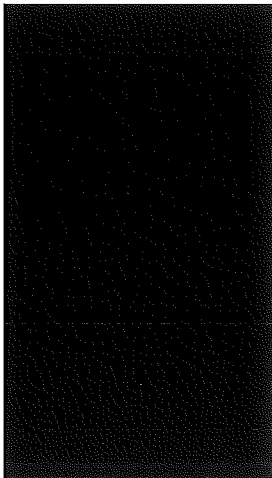
であり、試料スペーサは降伏応力を超えることはない。

6. 試料容器

水平落下の場合、試料容器は密封容器内に面接触する。密封容器が変形しないので試料容器も変形することはない。

7. 収納物

本輸送容器の解析に用いる収納物の重量と支持構造材を下記に示す。

| 収納物 | 重量 (kg/体) | 構造材寸法 (mm) | 材質 |
|---------|---|--|---------|
| F1 |  |  | ステンレス鋼 |
| F2 | | | ステンレス鋼 |
| F3 | | | ステンレス鋼 |
| F5 | | | ステンレス鋼 |
| F7 | | | ステンレス鋼 |
| F9 | | | Zry-4 |
| F9(収納管) | | | ステンレス鋼) |
| F10 | | | Zry-4 |
| F12 | | | Al |
| F14 | | | ステンレス鋼 |
| F15 | | | ステンレス鋼 |
| F16 | | | ステンレス鋼 |

注) 収納物 F4、F6、F8、F11、F13、F17～F20 は欠番。

水平落下時に、収納物は試料スペーサあるいは試料容器等で保持されている。試料容器は収納物全体を保持するので収納物 (F10、F12) が変形することはない。

収納物F1からF5 (F4除く) は、試料スペーサによりある間隔で支持されるため、(ロ) - 第A. 63図に示すように両端固定のはりと考えると曲げ応力 σ_b (MPa) が生じる。

収納物F14からF16は、密封内容容の蓋部と底部にて支持され、さらに試料内部に

有する構造物に支持されるため、同様に両端固定のはりと考えると曲げ応力 σ_b (MPa)が生じる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ただし、 M : モーメント (N・mm)

$$M = \frac{1}{12} W G L$$

W : 収納物重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

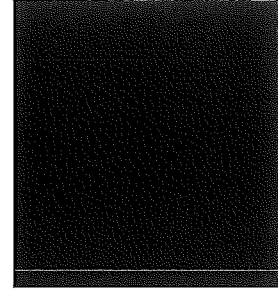
L : 支持間隔 (mm)

Z : 断面係数 (mm^3)

$$Z = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4) / D_o$$

D_o : 構造材の外径 (mm)

D_i : 構造材の内径 (mm)



(ロ)-第 A.63 図
収納物解析モデル

収納物F1からF3、F5、F7、F9及びF14からF16の中で解析上最も厳しくなるのは、F14である。

ここで、 $G = \blacksquare m/s^2$

$L = \blacksquare mm$

としてF14の曲げ応力を求めると、

$\sigma_b = \blacksquare MPa$

収納物の構造材の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、構造材の温度 $\blacksquare^\circ C$ において、

$$\sigma_{dy} = 1.25 \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare MPa$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dy} / \sigma_b - 1$$

$$= \blacksquare$$

8. シャッターカバーボルトの応力

シャッターカバーボルトに発生する応力は、慣性力による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

a) 慣性力による引張応力

シャッターカバーボルトに生ずる応力 σ_{t1} (MPa) は、

$$\sigma_{t1} = \frac{WG}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$

W : シャッター重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s²)

n : ボルト本数

d₁ : ボルトの谷径 (mm)

ここで、 W = 600 kg

G = m/s²

n = 本

d₁ = mm

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{t1} &= \frac{600 \times \text{}}{\text{} \times \frac{\pi}{4} \times \text{}^2} \\ &= \text{} \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) 締付トルクによる引張応力

締付トルクによりボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F₀ : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm²)

ここで、 T = N・mm (kg・mm)

$$K = \blacksquare$$

$$d = \blacksquare \text{ mm}$$

$$A_s = \blacksquare \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

a) 及び b) より合引張応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{tr} \\ &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$


ボルトの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、ボルトの温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ において、

$$\begin{aligned} \sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$


したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{dy} / \sigma_t - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

9. 緩衝体取付ボルトの強度


緩衝体取付ボルトに発生する応力は、の圧潰力によるせん断応力と締付トルクによる引張応力の主応力として表わされる。


a) 圧潰力によるせん断応力

解析モデルを(ロ)－第A.64図に示す。ボルトにはの圧潰力がせん断力として働く。ボルトにかかるせん断応力 τ (MPa) は次式で与えられる。


$$\tau = \frac{\sigma_c \eta s}{\frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、 σ_c : の圧潰応力 (MPa)

η : の木目方向に依存する効率

s : の圧潰部面積 (mm²)



d_1 : ボルトの谷径 (mm)

ここで、 $\sigma_c =$  MPa

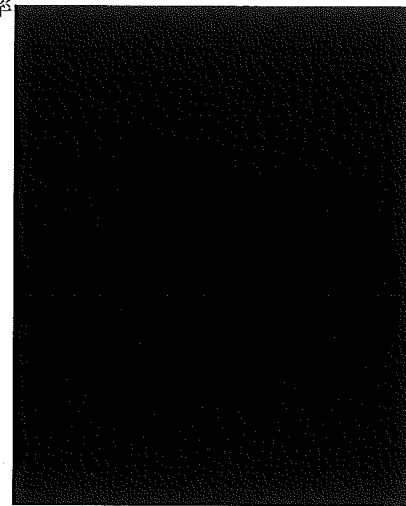
$\eta =$ 

$s =$  mm²

$d_1 =$  mm

$\tau =$  $\frac{\pi}{4} \times$ 

$=$  MPa



(ロ)－第A.64図
緩衝体取付 ボルト解析モデル

b) 締付トルクによる引張応力

締付トルクによりボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F_0 : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm^2)

ここで、 $T = \text{■■■■} \text{ N}\cdot\text{mm}$ ($\text{■■■■} \text{ kg}\cdot\text{mm}$)

$K = \text{■■}$

$d = \text{■■} \text{ mm}$

$A_s = \text{■■} \text{ mm}^2$

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= \text{■■■■} \\ &= \text{■■} \text{ MPa}\end{aligned}$$

a) 及び b) より主応力 σ は、

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{tr} + \sqrt{\sigma_{tr}^2 + 4\tau^2} \right\} \\ \sigma &= \frac{1}{2} \left\{ \text{■■■■} + \sqrt{\text{■■■■}} \right\} \\ &= \text{■■} \text{ MPa}\end{aligned}$$

ボルトの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、 ボルトの温度 $\text{■■}^\circ\text{C}$ において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \text{■■} \\ &= \text{■■} \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma - 1 \\ &= \text{■■■■}\end{aligned}$$

10. 巻上装置カバー上蓋ボルト

水平落下時に[]の圧潰により巻上装置カバー上蓋のボルトにせん断応力 τ (MPa) が生じる。

$$\tau = \frac{\sigma_c \cdot \eta \cdot A_b}{A}$$

ただし、

σ_c : []の圧潰応力 (MPa)

η : []の木目方向の角度による効率

A_b : []の圧潰部面積 (mm²)

A : せん断される面積 (mm²)

$$= n \cdot \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) + \pi D \cdot t$$

n : ボルトの本数

d : ボルト谷径 (mm)

D : []の被覆ステンレス鋼板の内径 (mm)

t : []の被覆ステンレス鋼板の厚さ (mm)

ここで、

σ_c = [] MPa ((口) - 第A.26図参照)

η = []

A_b = []

= [] mm²

n = [] 本

d = [] mm ([] ボルトの谷径)

D = [] mm

t = [] mm

A = []

τ = []

= [] MPa

巻上装置のボルトの動的せん断応力に対する基準値 σ_{dsy} (MPa) はボルトの温度

■°Cにおいて、

$$\begin{aligned}\sigma_{dsy} &= 0.6 \times 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率MSは、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dsy} / \tau - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

であり、巻上装置の上蓋ボルトのせん断応力は基準値を超えることはなく、ボルトはせん断破壊しない。

11. 底部密封カバーボルト

水平落下時に■の圧潰により底部密封カバーのボルトにせん断応力 τ (MP

a) が生じる。

$$\tau = \frac{\sigma_c \cdot \eta \cdot A_b}{A}$$

ただし、

σ_c : ■の圧潰応力 (MPa)

η : ■の木目方向の角度における効率

A_b : ■の圧潰部面積 (mm²)

A : せん断を受ける面積 (mm²)

$$= n \cdot \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) + \pi D \cdot t$$

n : ボルト本数

d : ボルト径 (mm)

D : ■の被覆ステンレス鋼板の内径 (mm)

t : ■の被覆ステンレス鋼板の厚み (mm)

ここで、

$\sigma_c = \blacksquare$ MPa ((ロ) - 第A. 26図より)

$\eta = \blacksquare$

$$A_b = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ mm}^2$$

$$n = \blacksquare \text{ 本}$$

$$d = \blacksquare \text{ mm (}\blacksquare\text{ ボルトの谷径)}$$

$$D = \blacksquare \text{ mm}$$

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

$$\tau = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

底部密封カバーのボルトの動的せん断応力に対する基準値 σ_{dsy} (MPa) は、ボルトの温度 \blacksquare °C において、

$$\sigma_{dsy} = 0.6 \times 1.25 \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dsy} / \tau - 1$$

$$= \blacksquare$$

であり、底部密封カバーボルトのせん断応力は、基準値を超えることはなく、ボルトはせん断破壊しない。

A.6.1.3 コーナー落下

コーナー落下時においては、(ロ)章A.6.1で求めたように輸送容器の受ける衝撃加速度 (m/s^2) は、

- ・ 蓋部コーナー落下時 $\blacksquare \text{ m/s}^2$
- ・ 底部コーナー落下時 $\blacksquare \text{ m/s}^2$

である。

蓋部コーナー落下角度は、 24.9° であるから、このときの軸方向の衝撃加速度と半径方向の衝撃加速度は、

- ・ 軸方向： $\blacksquare \times \cos 24.9^\circ = \blacksquare \text{ m/s}^2$
- ・ 半径方向： $\blacksquare \times \sin 24.9^\circ = \blacksquare \text{ m/s}^2$

これらの衝撃力はそれぞれ蓋部垂直落下及び水平落下時の衝撃力以下である。したがって、輸送容器は変形することはない。内部の収納物も変形することはない。

底部コーナー落下角度は、 33.7° であるから、このときの、軸方向の衝撃加速度と半径方向の衝撃加速度は、

- ・ 軸方向： $\blacksquare \times \cos 33.7^\circ = \blacksquare \text{ m/s}^2$
- ・ 半径方向： $\blacksquare \times \sin 33.7^\circ = \blacksquare \text{ m/s}^2$

これらの衝撃加速度はそれぞれ底部垂直落下及び水平落下時の衝撃加速度以下である。したがって輸送容器は変形することはない。内部の収納物も変形することはない。

A.6.1.4 傾斜落下

傾斜落下時において、(ロ)章6.1で説明したように垂直落下、水平落下及びコーナー落下より緩い落下条件であり、輸送容器は変形することはない。内部の収納物も変形することはない。

A.6.1.5 結果の要約

落下試験 I の解析結果の要約は、(ロ)–第A.11表に示すとおりである。落下試験 I による破損は緩衝体に生ずるが、このときの衝撃力により、輸送容器及び収納物の構造上の健全性が損なわれることはない。

以上の解析及び評価は、周囲温度38℃の高温側の環境側に対して行った。低温側の環境下に対しては(ロ)章A.4.2に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないので輸送物の構造上の健全性に問題はない。

(ロ)–第A.11表 落下試験 I の解析結果

| 落下方向 | 落下エネルギー (N・mm) | 衝撃 加速度 (m/s ²) | 容器の破損 | 合計変形量 δ_c (mm) | 許容変形量 δ_{cmax} (mm) |
|--------|--------------------|----------------------------------|--|-----------------------------|----------------------------------|
| 蓋部垂直 | 1.50×10^9 | ■ | 上部緩衝体の外面と内面から、それぞれ■ mm潰れる。 | ■ | ■ |
| 底部垂直 | 1.50×10^9 | ■ | 底部緩衝体の外面と内面から、それぞれ■ mm潰れる。 | | |
| 水平落下 | 1.50×10^9 | ■ | 上部緩衝体は外面から■ mm、内面から■ mm、 底部緩衝体は外面から■ mm、内面から■ mm変形する。 | | |
| 蓋部コーナー | 1.50×10^9 | ■ | 上部緩衝体の外面から■ mm、内面から■ mm潰れる。 | | |
| 底部コーナー | 1.50×10^9 | ■ | 底部緩衝体の外面から■ mm、内面から■ mm潰れる。 | | |

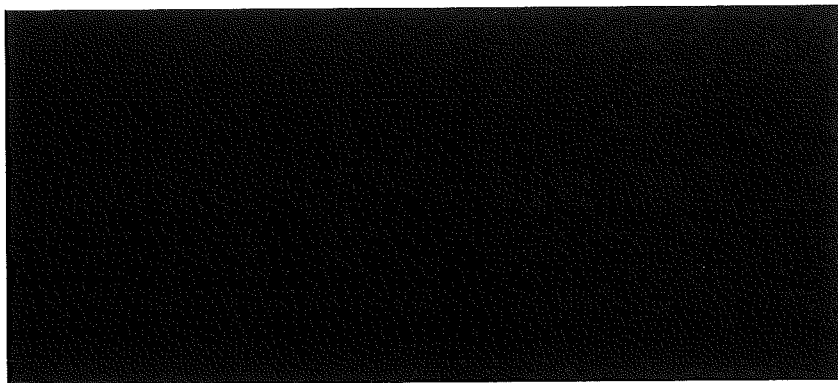
A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）

本項では、落下試験Ⅰに引き続いて落下試験Ⅱがおこるとして解析している。すなわち、輸送物が1 m高さから直径150 mmの十分長い軟鋼棒へ落下した場合、輸送物が耐えることを解析によって示す。

落下試験Ⅱは、輸送物が最大破損を受けるように、輸送物の重心を軟鋼棒が直撃する場合に加えて巻上装置カバーあるいはシャッターカバーを直撃する場合を解析した。

1. 格納容器胴部を直撃する場合

肉厚 \blacksquare mmの胴部に軟鋼棒が直撃する場合について評価する。解析モデルを(ロ)―第A.65図に示す。



(ロ)―第A.65図 耐貫通解析モデル

直撃部における胴部及び軟鋼棒の耐荷重は、

胴部の耐荷重

$$F_1 = \pi d t s$$

F_1 : せん断力 (N)

d : 軟鋼棒の径 (mm)

t : 肉厚 (mm)

s : せん断強さ (MPa)

ここで、 $d = 150$ mm

$t = \blacksquare$ mm

$s = \blacksquare$ MPa 注)

注) Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers, McGraw-Hill

したがって、

$$F_1 = \pi \times 150 \times \blacksquare \\ = \blacksquare \text{ N}$$

軟鋼棒の耐荷重 F_b (N) は、

$$F_b = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma_f$$

ただし、 d : 棒 径 (mm)

σ_f : 軟鋼棒の圧縮強さ (MPa)

ここで、 $d = 150$ mm

$\sigma_f = 345$ MPa 注)

したがって、

$$F_b = \frac{\pi}{4} \times 150^2 \times 345 \\ = 6.10 \times 10^6 \text{ N}$$

したがって、 $F_1 > F_b$ となり、胴部が損傷する前に軟鋼棒は圧潰し、よって、格納容器の健全性は損なわれない。余裕率は、

$$MS = \frac{F_1}{F_b} - 1 \\ = \blacksquare$$

である。

2. 巻上装置カバーを直撃する場合

1) 胴部の強度

肉厚 \blacksquare mm の巻上装置カバーの胴部に軟鋼棒が直撃する場合。

胴部の耐荷重

$$F_1 = \pi d t s$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

注) L. B. Shapparc "Cask Designers Guide", ORNL-NSIC-681 VC-80-Reactor Technology, Oak Ridge National Laboratory (February, 1970)

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

$$s = \blacksquare \text{ MPa ((ロ) 章 A.6.2, 1と同じ)}$$

$$F_1 = \pi \times 150 \times \blacksquare \\ = \blacksquare \text{ N}$$

軟鋼棒の耐荷重

$$F_b = 6.10 \times 10^6 \text{ N}$$

したがって、 $F_1 > F_b$ となり巻上装置カバーの胴部が損傷する前に軟鋼棒は圧潰し、よって巻上装置カバーの健全性は損なわれない。余裕率は、

$$MS = F_1 / F_b - 1 \\ = \blacksquare$$

である。

軟鋼棒が巻上装置カバー胴部を直撃する場合、カバーには曲げモーメントが働く。このときの応力は

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ただし、 σ_b : 応力 (MPa)

M : モーメント (N・mm)

$$M = F_b L$$

F_b : 軟鋼棒から受ける荷重 (N)

L : モーメントアームの長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4) / D_o$$

D_o : 巻上装置カバーの外径 (mm)

D_i : 巻上装置カバーの内径 (mm)

ここで、 $F_b = 6.10 \times 10^6 \text{ N}$

$$L = \blacksquare \text{ mm (安全側にカバーの高さとする。)}$$

$$M = 6.10 \times 10^6 \times \blacksquare \\ = \blacksquare \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$D_o = \text{■} \text{ mm}$$

$$D_i = \text{■} \text{ mm}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} (\text{■}) / \text{■}$$
$$= \text{■} \text{ mm}^3$$

したがって、

$$\sigma_b = \text{■}$$
$$= \text{■} \text{ MPa}$$

巻上装置カバーの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、カバーの温度 $\text{■}^\circ\text{C}$ において、

$$\sigma_{dy} = 1.25 \times \text{■}$$
$$= \text{■} \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dy} / \sigma_b - 1$$
$$= \text{■}$$

である。

手動操作用シャフトの巻上装置カバー貫通部を直撃する場合、この部分は、巻上装置カバーと同じ厚さの操作盤カバーで覆われているので貫通しない。

2) 溶接部の強度

溶接部解析モデルを(ロ)ー第A.66図に示す。

溶接部に生じる曲げモーメントは、

(ロ) 章A.6.2, 2 の 1) と同様に、

$$M = \text{■} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

また、断面係数 Z は、

$$Z = \frac{\pi}{32} \text{■}$$
$$= \text{■} \text{ mm}^3$$

したがって、

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_b = \text{■}$$
$$= \text{■} \text{ MPa}$$



(ロ)ー第A.66図
溶接部解析モデル

溶接部の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、溶接部の温度 \blacksquare °Cにおいて、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\eta = 0.8 \text{ (溶接効率)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \eta \sigma_{dy} / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

3. シャッターカバーを直撃する場合

板厚 \blacksquare mmのシャッターカバー平板部に軟鋼棒が直撃する場合、平板の耐荷重は、

$$F_1 = \pi d t s$$

ここで、 $d = 150$ mm

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

$$s = \blacksquare \text{ MPa ((口) 章A.6.2, 1と同じ)}$$

$$\begin{aligned}\text{ゆえに、} \quad F_1 &= \pi \times 150 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ N}\end{aligned}$$

また、軟鋼棒の耐荷重は、

$$F_b = 6.10 \times 10^6 \text{ N ((口) 章A.6.2, 1と同じ)}$$

したがって、 $F_1 > F_b$ となりシャッターカバーが損傷する前に軟鋼棒は圧潰し、シャッターカバーの健全性は損なわれない。余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= F_1 / F_b - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

である。

軟鋼棒がシャッターカバー平板部を直撃する場合、カバーには曲げ応力が生ずる。

このときの応力は、

$$\sigma_b = \frac{3W}{2\pi t^2} \left(1 - \frac{r^2}{2R^2}\right)$$

ただし、 σ_b : 応力 (MPa)

W : 荷重 (N)

r : 荷重面の半径 (mm)

t : 平板の板厚

R : 平板の半径 (mm)

ここで、 $W = F_b = 6.10 \times 10^6$ N

$t =$ ■ mm

$r =$ ■ mm

$R =$ ■ mm

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{b1} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

一方、シャッターカバー内側にはシャッター開閉シャフトがあり、これの反力による応力が逆向きに生ずる。応力計算式は前述の式と同じである。

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma_u$$

ただし、 W : シャフトによる荷重 (N)

d : シャフトの径 (mm)

σ_u : シャフト材の耐力 (MPa)

ここで、 $d =$ ■ mm

$\sigma_u =$ ■ MPa

$$W = \frac{\pi}{4} \times \blacksquare$$

$=$ ■ N

$r =$ ■ mm

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{b2} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

よって、シャッターカバーに生ずる応力は、

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \sigma_{b1} - \sigma_{b2} \\ &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

シャッターカバーの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、シャッターカバーの温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

しかし、参考文献4) によれば弾性範囲を超える材料に対する曲げ解析において弾性理論を適用する場合、材料は降伏応力の1.5倍の応力を超えない限り塑性変形をおこさないことが示されている。したがって、カバーの許容応力 σ_p (MPa) は、

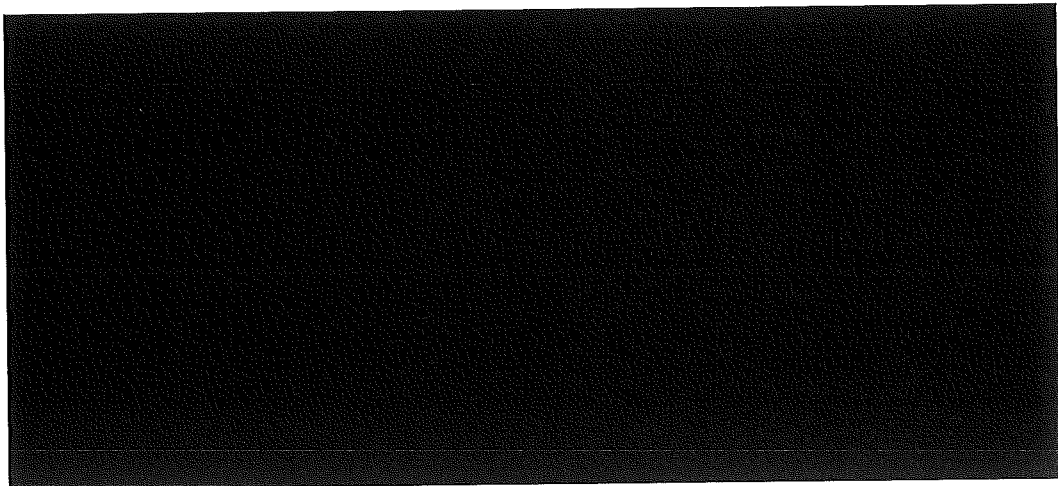
$$\begin{aligned}\sigma_p &= 1.5 \times 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_p / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

4. 漏えい試験用カプラ部を直撃する場合

実際形状及び解析モデルを(ロ)－第A.67図に示す。



(ロ)－第A.67図 カプラ部解析モデル

カプラ孔までは■■■mmあるがこれを■■■mmと仮定した。またカプラ孔は■■■mm直径で■■■mm高さであり、仮想した蓋まで貫通していないが貫通したものとし、その孔の大きさは■■■mmの短径と■■■mmの長径の楕円であるが、これを■■■mmの直径の孔として仮定した。上記のように十分余裕をみて解析する。

保護蓋の耐荷重 F_1 は、

$$F_1 = \pi d t s$$

ただし、 F_1 : 保護蓋の耐荷重 (N)

d : 軟鋼棒の径 (mm)

t : 保護蓋の厚さ (mm)

s : せん断強さ (MPa)

ここで、 $d = 150$ mm

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

$$s = \blacksquare \text{ MPa ((口) 章A.6.2, 1と同じ)}$$

したがって、

$$\begin{aligned} F_1 &= \pi \times 150 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ N} \end{aligned}$$

軟鋼棒の耐荷重は、

$$F_b = 6.10 \times 10^6 \text{ N ((口) 章A.6.2, 1と同じ)}$$

したがって、 $F_1 > F_b$ となり、保護蓋が損傷する前に軟鋼棒は圧潰し、よって保護蓋およびカプラの健全性は損なわれない。

余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= F_1 / F_b - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

軟鋼棒が保護蓋を直撃する場合、蓋に曲げ応力が生ずる。このときの応力は、

$$\sigma_b = \frac{3}{4\pi t^2} \times \frac{\pi}{4} D^2 \sigma_f$$

ただし、 σ_b : 応力 (MPa)

D : 蓋板の径 (mm)

t : 蓋板の厚さ (mm)

σ_f : 軟鋼棒の圧縮強さ (MPa)

ここで、 $D = \blacksquare$ mm

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

$$\sigma_f = 345 \text{ MPa}$$

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

保護蓋の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、保護蓋の温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

であり、保護蓋及びカプラは、降伏応力を超えることはない。

5. 底部密封カバー

底部は緩衝体のステンレス鋼外板も耐貫通に寄与する。板厚 $\blacksquare\text{mm}$ の底板、板厚 $\blacksquare\text{mm}$ の外板に軟鋼棒が直撃する場合、平板の荷重 F_1 (N) は次式で求められる。

$$F_1 = \pi d (t_1 + 2t_2) s$$

ここで、 $d = 150 \text{ mm}$

$$t_1 = \blacksquare \text{ mm}$$

$$t_2 = \blacksquare \text{ mm}$$

$$s = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、

$$\begin{aligned}F_1 &= \pi \times 150 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ N}\end{aligned}$$

また、軟鋼棒の耐荷重 F_b (N) は、

$$F_b = 6.10 \times 10^6 \text{ N}$$

であるから、 $F_1 > F_b$ となり底板が損傷する前に軟鋼棒は圧潰し、底板の健全性は損なわれない。

余裕率は、

$$\begin{aligned}Ms &= F_1 / F_b - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

軟鋼棒が底部を直撃する場合、底板は緩衝体に覆われており、シール部には圧縮力が働くので密封性は損なわれない。

6. 緩衝体取付金具の強度

緩衝体取付金具に軟鋼棒が当たった場合、取付金具は破損する。しかし取付金具は本体円周上に6個取り付けられており、1個が破損しても緩衝体が脱落することはない。

A.6.2.1 結果の要約

前述のように落下試験Ⅱにおいて、輸送容器および収納物に有意な破損を生じることはない。

A.6.3 熱的試験

A.6.3.1 温度及び圧力の要約

事故時における輸送物各部の最高圧力及び最高温度は、(口)章B.5、及び(口)章B.6の(2)で求められている。最高温度及び圧力の要約を(口)-第A.12表に示す。

(口)-第A.12表 特別の試験条件における最高圧力及び最高温度

| 部 位 | 最高圧力 (MPa abs) | 最高温度 (°C) | 火災発生後の時間 (h) |
|--------|-------------------|--------------|-------------------|
| 格納容器外面 | | | 0.5 |
| 格納容器内面 | | | 0.5 |
| 格納容器内 | | | 6 |
| 密封容器 | | | 10 |
| 密封容器内 | | | 12 |
| 密封内容器 | | | 13 |
| 密封内容器内 | | | 14 |

A.6.3.2 熱膨張

1. 熱膨張

(ロ) 章A.5.1.2と同様に格納容器の熱応力について検討する。格納容器外面と内面の温度差が最大となるのは耐火試験開始後30分である。このときの温度差を(ロ)－第B.2図のノード番号404と104の位置の温度差で代表させると、

$$\begin{aligned}\Delta T &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ K}\end{aligned}$$

である。したがって、外面の熱応力は、(ロ) 章A.5.1.2と同様の式より

$$\begin{aligned}\sigma_{to} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

である。一方、内面の熱応力は、

$$\begin{aligned}\sigma_{ti} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

である。

これらの熱応力はいずれも、格納容器材質であるステンレス鋼の降伏応力を超えている。このため、ASME Section III NB-3222.5に基づいて最大許容熱応力を求め、上記熱応力が最大許容熱応力を超えないことを以下に示す。

ASME Section III NB-3222.5によれば、弾性理論に基づいて計算した熱応力の最大許容熱応力 S_a (MPa)は次式で求められる。

$$S_a = \eta' \sigma_y$$

ただし、 S_a : 最大許容熱応力 (MPa)

η' : 係数

σ_y : 降伏応力 (MPa)

いま、係数 η' は、格納容器板厚方向の温度変化が放物線状で単調増加であるので、次式で与えられる。

$$\eta' = 5.2 (1 - X)$$

ただし、 $X = \sigma_h / \sigma_y$

σ_h : 応力による最大一般膜応力 (MPa)

σ_y : 降伏応力 (MPa)

また、降伏応力 σ_y については、材料の設計応力強さを S_m (MPa)としたとき、1.5

S_m が σ_y より大きい場合には、 σ_y の代わりに $1.5 S_m$ を用いることができる。次に、格納容器外面及び内面の温度に対して σ_y と $1.5 S_m$ を比較する。

外面については、温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ に対して、

$$\sigma_y = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$S_m = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$1.5 S_m = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、

$$1.5 S_m > \sigma_y$$

内面については、温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ に対して、

$$\sigma_y = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$S_m = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$1.5 S_m = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、

$$1.5 S_m > \sigma_y$$

以上の結果から、 σ_y の代わりに $1.5 S_m$ を用いることができるので、

$$S_a = \eta' (1.5 S_m)$$

$$\eta' = 5.2 (1 - X)$$

$$X = \sigma_h / 1.5 S_m$$

となる。

ここで、(口)章A.6.3.2.2(2)(iv)の格納容器の最大一般膜応力は、

$$\sigma_h = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、外面については、

$$X = \blacksquare$$

$$= \blacksquare$$

$$\doteq \blacksquare$$

内面については、

$$X = \blacksquare$$

$$= \blacksquare$$

$$\doteq \blacksquare$$

ゆえに、

$$\eta' = 5.2 (1 - X)$$

≡ ■■■

以上の結果から、格納容器外面及び内面の最大許容熱応力を求める。

外面については、

$$S_a = \text{■■■■}$$
$$= \text{■■■} \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \text{■■■■} - 1$$
$$= \text{■■■}$$

内面については、

$$S_a = \text{■■■■}$$
$$= \text{■■■} \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \text{■■■■} - 1$$
$$= \text{■■■}$$

2. 応力計算

本項では輸送容器各部の応力計算を行う。輸送容器各部の応力は温度勾配による応力、圧力による応力、さらに荷重による応力が重畳されたものである。

計算対象は輸送物の密封性を確保する密封内容器、密封容器及び格納容器であり、負荷としては主に内圧力であるが安全側に外気圧を0 kPaとする。密封内容器、密封容器及び格納容器はステンレス鋼製であり、解析温度は、項目ごとに示す。

また、密封内容器の耐圧計算は(ロ)章A.10の(1)に示す。

(1) 密封容器

(i) 密封容器胴部の応力： σ_{θ} (MPa)

解析モデルを(ロ)-第A.68図に示す。計算式は薄肉円筒の応力式を用いる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{PD}{2t}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

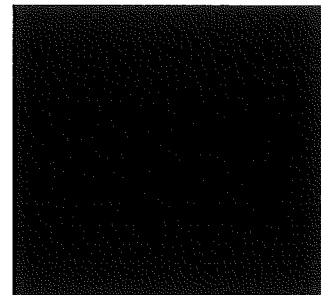
D : 内径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、 P = ■■■ MPa

D = ■■■ mm

t = ■ mm



(ロ)-第A.68図
密封容器胴部解析モデル

であるから、

$$\begin{aligned}\sigma_{\theta} &= \frac{■■■ \times ■■■}{2 \times ■} \\ &= ■■■ \text{ MPa}\end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = ■■■ \text{ MPa (■■■}^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_y / \sigma_{\theta} - 1 \\ &= ■■■ - 1 \\ &= ■■■\end{aligned}$$

(ii) 密封容器底板の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.69図に示す。計算式は容器の底板が溶接構造であり周
辺固定・円板の式を用いる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

ただし、 P : 圧 力 (MPa)

D : 内 径 (mm)

t : 板 厚 (mm)

ここで、 P = MPa

D = mm

t = mm

であるから、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{} \\ &= \text{} \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{} \text{ MPa (} \text{} \text{ }^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \text{} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$



(ロ)－第A.69図
密封容器底板解析モデル

(iii) 密封容器蓋の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.70図に示す。蓋はカムとリンク方式で締め付けているので、応力計算式は周辺単純支持・円板を用いる。

$$\sigma_b = \frac{3(3 + \nu) P D^2}{32 t^2}$$

ただし、 ν : ポアソン比
 P : 圧力 (MPa)
 D : Oリングの径 (mm)
 t : 板厚 (mm)

ここで、 $\nu =$ ■
 P = ■ MPa
 D = ■ mm
 t = ■ mm



(ロ)－第A.70図
密封容器蓋解析モデル

であるから、

$$\sigma_b =$$

$$=$$
 ■ MPa

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y =$$
 ■ MPa (■°C、ステンレス鋼)

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_y / \sigma_b - 1$$

$$=$$
 ■

(iv) 密封容器蓋固定リンクのせん断応力： τ (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.71図に示す。

$$\tau = \frac{\pi P D^2}{4 n A}$$

ただし、 P ：圧力 (MPa)

D ：Oリングの径 (mm)

n ：固定リンク数

A ：固定リンク断面積 (mm^2)

ここで、 $P = \blacksquare$ MPa

$D = \blacksquare$ mm

$n = \blacksquare$ 本

$A = \blacksquare$ mm^2

であるから、

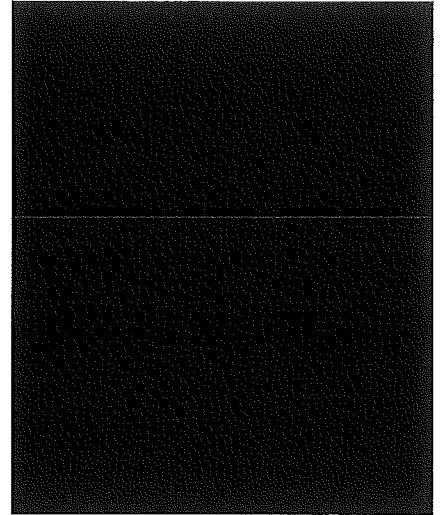
$$\begin{aligned} \tau &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料のせん断応力に対する基準値 σ_{sy} (MPa) は、

$$\begin{aligned} \sigma_{sy} &= 0.6 \sigma_y \\ &= \blacksquare \text{ MPa} (\blacksquare^\circ\text{C}, \text{ステンレス鋼}) \end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{sy} / \tau - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$



(ロ)－第A.71図
密封容器蓋固定リンク
解析モデル

(2) 格納容器

(i) 巻上装置カバー上蓋の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.72図に示す。上蓋は■■■ボルト、■■■本で格納容器に取り付けられているので、応力計算式は周辺固定・円板を用いる。

$$\sigma_b = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

D : ボルト中心円の径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、 P = ■■■ MPa

D = ■■■ mm

t = ■■■ mm

であるから、

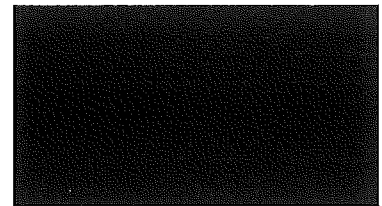
$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{■■■■} \\ &= \text{■■■■} \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y は、

$$\sigma_y = \text{■■■■} \text{ MPa (■■■■}^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \text{■■■■} - 1 \\ &= \text{■■■■} \end{aligned}$$



(ロ)－第A.72図
巻上装置カバー上蓋
解析モデル

(ii) 巻上装置カバーOリングの密封性

解析モデルを(ロ)－第A.73図に示す。(i)と同じ条件において巻上装置カバーのOリング位置におけるたわみを求めOリングの初期締付量と比較する。

中央におけるたわみ量 ω (mm) は次式で求める。

$$\omega = 0.171 \frac{P a^4}{E t^3}$$

ただし、

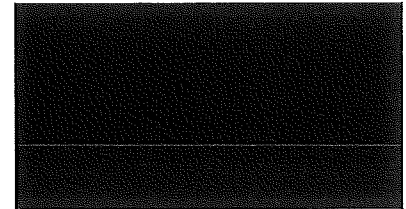
P : 圧力 (MPa)

E : 縦弾性係数 (MPa)

t : 板厚 (mm)

a : ボルト中心円半径 (mm)

b : Oリング位置半径 (mm)



(ロ)－第A.73図
巻上装置カバーOリング
解析モデル

ここで、

P = [redacted] MPa

E = [redacted] MPa ([redacted]°C、ステンレス鋼)

t = [redacted] mm

a = [redacted] mm

b = [redacted] mm

したがって、

$$\omega = [redacted] \\ = [redacted] \text{ mm}$$

Oリング部でのたわみ量は、

$$[redacted] \times \frac{(a - b)}{a} = [redacted] \text{ mm}$$

Oリングの初期締付量は、[redacted] mmでたわみ量[redacted] mmより大きいので、Oリング面で密封性が損なわれることはない。

(iii) 巻上装置カバー胴部の応力： σ_{θ} (MPa)

解析モデルを(ロ)-第A.74図に示す。計算式は肉厚が内半径の10%以下なので薄肉円筒の応力計算式を用いる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P D}{2 t}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

D : 内径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、 P = [] MPa

D = [] mm

t = [] mm

であるから、

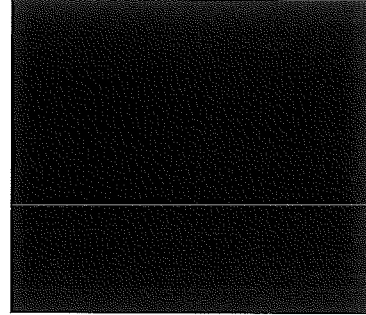
$$\begin{aligned} \sigma_{\theta} &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y は、

$$\sigma_y = [] \text{ MPa ([] }^{\circ}\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_{\theta} - 1 \\ &= [] - 1 \\ &= [] \end{aligned}$$



(ロ)-第A.74図
巻上装置カバー胴部
解析モデル

(iv) 格納容器本体応力： σ_{θ} (MPa)

解析モデルを(口)-第A.75 図に示す。肉厚 \blacksquare mm であるので厚肉円筒の応力計算式を用いる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P(r_2^2 + r_1^2)}{(r_2^2 - r_1^2)}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

r_1 : 内半径 (mm)

r_2 : 外半径 (mm)

ここで、

$$P = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$r_1 = \blacksquare \text{ mm}$$

$$r_2 = \blacksquare \text{ mm}$$

であるから、

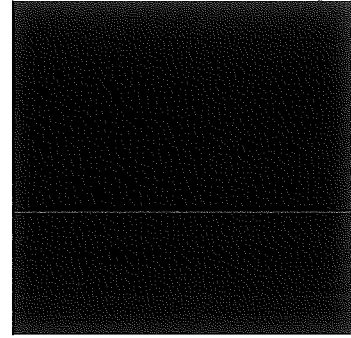
$$\begin{aligned} \sigma_{\theta} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y は、

$$\sigma_y = \blacksquare \text{ MPa} (\blacksquare^{\circ}\text{C}, \text{ステンレス鋼})$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_{\theta} - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$



(口)-第A.75 図
格納容器本体解析モデル

(v) シャッター蓋部の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.76 図に示す。シャッター蓋は■■■ ボルト ■■■ 本で取り付けられているので周辺固定・円板の計算式を用いる。

$$\sigma_b = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

ただし、 P : 圧 力 (MPa)

D : ボルト中心円の径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、 P = ■■■ MPa

D = ■■■ mm

t = ■■■ mm

であるから、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{■■■■} \\ &= \text{■■■■} \text{ MPa} \end{aligned}$$



(ロ)－第 A.76 図
シャッター蓋解析モデル

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{■■■■} \text{ MPa (■■■■}^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \text{■■■■} - 1 \\ &= \text{■■■■} \end{aligned}$$

(vi) 底部密封カバーの応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.77図に示す。底板は格納容器本体に■ボルト、■本
で取り付けられるので、周辺固定・円板の計算式を用いる。

$$\sigma_b = \beta \frac{P a^2}{t^2}$$

ただし、 β : 応力係数 (b/a より求める)

a : ボルト中心円半径 (mm)

b : オリング位置半径 (mm)

t : 板厚 (mm)

P : 圧力 (MPa)

ここで、 $\beta = \blacksquare$ (b/a = \blacksquare のとき)

P = \blacksquare MPa

t = \blacksquare mm

であるから、

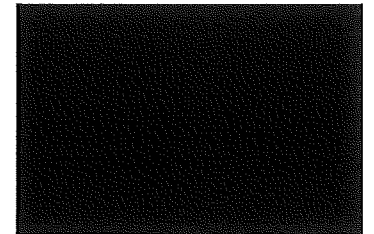
$$\begin{aligned} \sigma_b &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$\sigma_y = \blacksquare$ MPa (\blacksquare °C、ステンレス鋼)

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$



(ロ)－第A.77図
底部密封カバー解析モデル

(vii) 底部密封カバーOリングの密封性

解析モデルを(ロ)―第A.78図に示す。

(vi)と同じ条件において底部密封カバーのOリング位置におけるたわみを求めOリングの初期締付量と比較する。

中央におけるたわみ量 ω (mm)は次式で求める。

$$\omega = \alpha \frac{P a^4}{E t^3}$$

ただし、 α : たわみ係数 (b/aより求める。)

P : 圧力 (MPa)

E : 縦弾性係数 (MPa)

t : 板厚 (mm)

a : ボルト中心円半径 (mm)

b : Oリング位置半径 (mm)

ここで、 $\alpha = \blacksquare$ (b/a = \blacksquare のとき)

P = \blacksquare MPa

E = \blacksquare MPa (\blacksquare °C、ステンレス鋼)

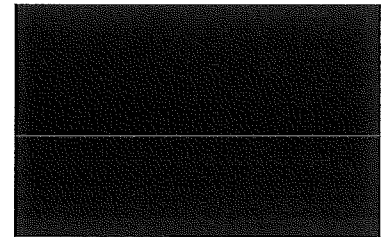
t = \blacksquare mm

したがって、

$$\omega = \blacksquare$$
$$= \blacksquare \text{ mm}$$

Oリング部でのたわみ量は、 $\blacksquare \times \frac{(a-b)}{a} = \blacksquare$ mm

Oリングの初期締付量は、 \blacksquare mmでたわみ量より大きい。したがってOリング面で密封性が損なわれることはない。



(ロ)―第A.78図
底部密封カバー解析モデル

(viii) 巻上装置カバー上蓋ボルトの応力： σ_t (MPa)

巻上装置カバー上蓋ボルトに発生する応力は、内圧による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

a) 内圧による引張応力

解析モデルを(ロ)－第A.79図に示す。

$$\sigma_{t1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 P}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、 D : ガスケット内径 (mm)

P : 圧力 (MPa)

n : ボルト本数

d_1 : ボルトの谷径 (mm)

ここで、 D = mm

P = MPa

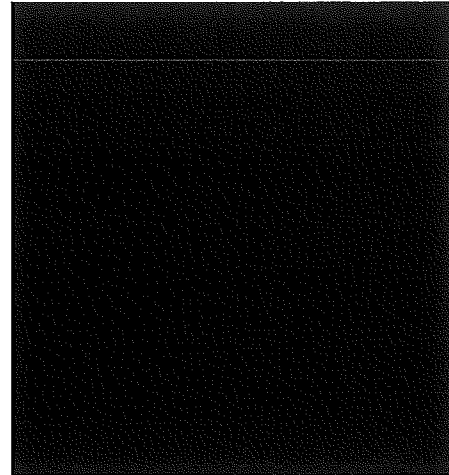
n = 本

d_1 = mm

したがって、

$$\sigma_{t1} =$$

$$= \text{ MPa}$$



(ロ)－第 A.79 図
巻上装置カバー上蓋ボルト
解析モデル

b) 締付トルクによる引張応力

締付トルクによりボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F_0 : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm²)

ここで、 $T =$ [] N・mm ([] kg・mm)

$K =$ []

$d =$ [] mm

$A_s =$ [] mm²

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

a) 及び b) より合引張応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{tr} \\ &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = [] \text{ MPa ([] }^\circ\text{C、ステンレス鋼 (SUS []))}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_t - 1 \\ &= [] - 1 \\ &= [] \end{aligned}$$

(ix) シャッターカバーボルトの応力： σ_t (MPa)

シャッターカバーボルトに発生する応力は、内圧による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

a) 内圧による引張応力

解析モデルを(ロ)－第A.80図に示す。

$$\sigma_{t1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 P}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、 D : ガスケット内径 (mm)

P : 圧力 (MPa)

n : ボルト本数

d_1 : ボルトの谷径 (mm)

ここで、 D = mm

P = MPa

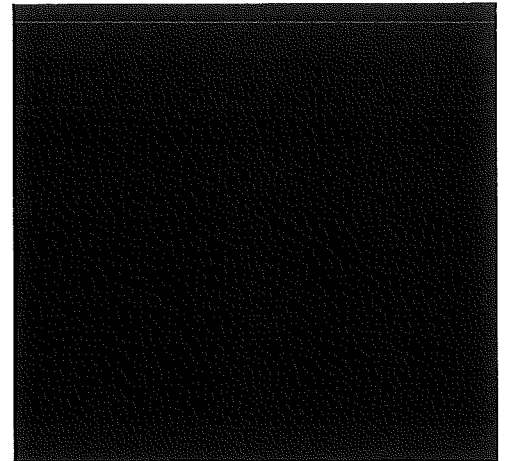
n = 本

d_1 = mm

であるから、

σ_{t1} =

= MPa



(ロ)－第A.80図
シャッターカバーボルト
解析モデル

b) 締付トルクによる引張応力

締付トルクによりボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F_0 : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm²)

ここで、 $T =$ [] N・mm ([] kg・mm)

$K =$ []

$d =$ [] mm

$A_s =$ [] mm²

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

a) 及び b) より合引張応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{tr} \\ &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = [] \text{ MPa ([] }^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_t - 1 \\ &= [] - 1 \\ &= [] \end{aligned}$$

(x) 底部密封カバーボルトの応力： σ_t (MPa)

底部密封カバーボルトに発生する応力は、内圧による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

a) 内圧による引張応力

解析モデルを(ロ)－第A.81図に示す。

$$\sigma_{t1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 P}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、 D : オリング径 (mm)

P : 圧 力 (MPa)

n : ボルト本数

d_1 : ボルトの谷径 (mm)

ここで、 D = mm

P = MPa

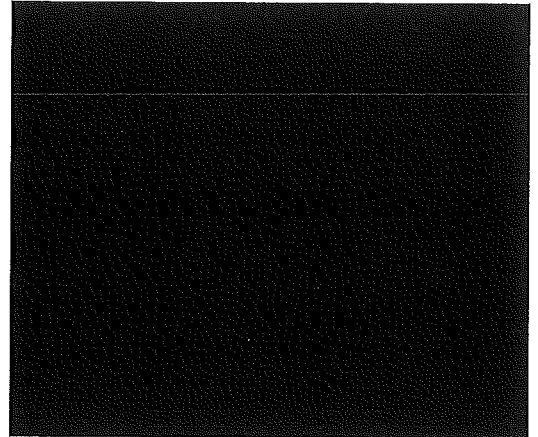
n = 本

d_1 = mm

であるから、

$$\sigma_{t1} =$$

$$= \text{ MPa}$$



(ロ)－第A.81図
底部密封カバーボルト
解析モデル

b) 締付トルクによる引張応力

締付トルクにより蓋ボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F_0 : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm²)

ここで、 $T =$ [] N・mm ([] kg・mm)

$K =$ []

$d =$ [] mm

$A_s =$ [] mm²

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

a) 及び b) より合引張応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{tr} \\ &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = [] \text{ MPa ([] }^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_t - 1 \\ &= [] - 1 \\ &= [] \end{aligned}$$

A.6.3.3 許容応力との比較

熱的試験における内圧と熱膨張による応力と基準値との比較は、特別の試験条件に対する結果の要約及びその評価を（ロ）章A.6.5項にまとめて示す。

A.6.4 浸漬

本輸送容器は、（ロ）章A.6.3.2で示したように、格納容器は■■■■ MPaの内圧に十分耐える。

したがって、本試験条件である水深15 m、すなわち0.15 MPaの外圧条件下においても、十分な強度を有しており、浸漬試験に耐える。

A.6.5 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

特別の試験条件下での輸送物に対する解析結果の要約を（ロ）-第A.13表に示す。いずれの結果も（ロ）章A.1.2に定めた基準を満足している。

(ロ) - 第A.13表 構造解析結果 (特別の試験条件 1/4)

| 条件 | 項目 | 解析基準 | 解析基準値 (MPa) | 解析結果 (MPa) | 余裕率等 (MS) |
|----------|---------------|----------------|----------------|---------------|------------------------|
| 特別の試験 | 落下試験 I | | | | |
| | (1) 蓋部垂直落下 | | | | |
| | 密封内容器胴部 | σ_{dy} | | | |
| | 密封内容器蓋 | σ_{dy} | | | |
| | 密封内容器底板 | σ_{dy} | | | |
| | 密封内容器蓋ボルト | σ_{dy} | | | |
| | 密封内容器保護カバー | σ_{dy} | | | |
| | 密封容器胴部 | σ_{dy} | | | |
| | 密封容器蓋 | σ_{dy} | | | |
| | 密封容器底板 | σ_{dy} | | | |
| | 密封容器蓋端面 | σ_{dy} | | | |
| | 密封容器蓋固定リンク | σ_{dsy} | | | |
| | 格納容器本体 | σ_{dy} | | | |
| | 格納容器上部 | σ_{dy} | | | |
| | 上部蓋ボルト | σ_{dy} | | | |
| | 巻上装置カバー胴部 | σ_{dy} | | | |
| | 巻上装置カバー上蓋部 | — | | | ひずみが %と小さく 構造健全性を維持 |
| | 巻上装置カバー上蓋ボルト | — | | | ひずみが %と小さく 構造健全性を維持 |
| | 試料スペーサ | σ_{dy} | | | |
| | 試料容器 (A) | σ_{dy} | | | |
| 試料容器 (C) | σ_{dy} | | | | |
| 収納物 | σ_{dy} | | | | |

(ロ)-第A.13表 構造解析結果 (特別の試験条件 2/4)

| 条件 | 項目 | 解析基準 | 解析基準値 (MPa) | 解析結果 (MPa) | 余裕率等 (MS) |
|---------|----------------|----------------|--------------|------------|-----------|
| 特別の試験 | (2) 底部垂直落下 | | | | |
| | 密封内容器胴部 | σ_{dy} | | | |
| | 密封内容器底板 | σ_{dy} | | | |
| | 密封容器胴部 | σ_{dy} | | | |
| | 密封容器底板 | σ_{dy} | | | |
| | 格納容器 | σ_{dy} | | | |
| | 格納容器上部蓋 | σ_{dy} | | | |
| | 底部密封カバー | σ_{dy} | | | |
| | シャッター | σ_{dsy} | | | |
| | 試料スぺーサ | σ_{dy} | | | |
| | 試料容器 (A) | σ_{dy} | | | |
| | 試料容器 (C) | σ_{dy} | | | |
| | 収納物 | σ_{dy} | | | |
| | シャッターカバー | | 構造上健全性を保ち得る。 | | |
| 緩衝体取付金具 | σ_{dsy} | | | | |

(ロ) - 第A.13表 構造解析結果 (特別の試験条件 3/4)

| 条件 | 項 目 | 解 析 基 準 | 解析基準値 (MPa) | 解 析 結 果 (MPa) | 余 裕 率 等 (MS) | |
|-------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|--|
| 特 別 の 試 験 | (3) 水 平 落 下 | | | | | |
| | 密 封 内 容 器 胴 部 | σ_{dy} | | | | |
| | 密 封 内 容 器 蓋 ボ ル ト | σ_{dy} | | | | |
| | 密 封 容 器 胴 部 | σ_{dy} | | | | |
| | 格納容器(巻上装置カバー含む) | σ_{dy} | | | | |
| | シャッター開閉用ネジシャフト | σ_{dy} | | | | |
| | シャッターカバー | σ_{dy} | | | | |
| | 試料スパーサ | σ_{dy} | | | | |
| | 試料容器(A) | | — 密封容器内面に接しているため健全性を保つ — | | | |
| | 試料容器(C) | | — 密封容器内面に接しているため健全性を保つ — | | | |
| 特 別 の 試 験 | 収 納 物 | σ_{dy} | | | | |
| | シャッターカバーボルト | σ_{dy} | | | | |
| | 緩衝体取付ボルト | σ_{dy} | | | | |
| | 巻上装置カバー上蓋ボルト | σ_{dsy} | | | | |
| | 底部密封カバーボルト | σ_{dsy} | | | | |
| | (4) コーナー落下 | | より厳しい垂直落下、水平落下の解析でも基準を満足する。 | | | |
| | (5) 傾 斜 落 下 | | より厳しい垂直落下、水平落下の解析でも基準を満足する。 | | | |
| | 試 験 | 落下試験II | | | | |
| | | 格納容器胴部を直撃する場合 | F_b | $6.10 \times 10^6 \text{ N}$ | | |
| | | 巻上装置カバーを直撃する場合 | F_b | $6.10 \times 10^6 \text{ N}$ | | |
| 胴部の強度 | | σ_{dy} | | | | |
| 溶接部の強度 | | $\eta \delta_{dy}$ | | | | |
| シャッターカバーを直撃する場合 | | F_b | $6.10 \times 10^6 \text{ N}$ | | | |
| 平板部の強度 | | σ_p | | | | |
| 漏えい試験用カプラ部を直撃する場合 | | F_b | $6.10 \times 10^6 \text{ N}$ | | | |
| 保護蓋の強度 | | σ_{dy} | | | | |
| 底部密封カバー | | F_b | $6.10 \times 10^6 \text{ N}$ | | | |
| 緩衝体取付金具 | F_b | $6.10 \times 10^6 \text{ N}$ | — 構造上緩衝体が脱落することはない。 — | | | |

(ロ)-第A.13表 構造解析結果 (特別の試験条件 4/4)

| 条件 | 項目 | 解析基準 | 解析基準値 (MPa) | 解析結果 (MPa) | 余裕率等 (MS) |
|------------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------|-----------|
| 特別の試験 | 熱的試験 | | | | |
| | 1. 熱膨張と圧力計算 | | | | |
| | (1) 熱膨張 | | | | |
| | 本体外面 | S_a | | | |
| | 本体内面 | S_a | | | |
| | (2) 応力計算 | | | | |
| | 密封内容器胴部 | σ_y | | | |
| | 密封内容器胴部 | P_a | | | |
| | 密封内容器底板 | σ_y | | | |
| | 密封内容器蓋 | σ_y | | | |
| | 密封内容器蓋ボルト | σ_y | | | |
| | 密封容器胴部 | σ_y | | | |
| | 密封容器底板 | σ_y | | | |
| | 密封容器蓋 | σ_y | | | |
| | 密封容器蓋固定リンク | σ_{sy} | | | |
| | 巻上装置カバー上蓋 | σ_y | | | |
| | 巻上装置カバーOリングの密封性 | 初期締付量 | | | 基準に合致 |
| | 巻上装置カバー胴部 | σ_y | | | |
| | 格納容器本体 | σ_y | | | |
| | シャッター蓋部 | σ_y | | | |
| 底部密封カバー | σ_y | | | | |
| 底部密封カバーのOリングの密封性 | 初期締付量 | | | 基準に合致 | |
| 巻上装置カバー上蓋ボルト | σ_y | | | | |
| シャッターカバーボルト | σ_y | | | | |
| 底部密封カバーボルト | σ_y | | | | |
| [浸漬] | | | | | |
| | 格納容器 | 外圧 | 0.15 MPa | 熱的試験と対比して 基準に合致 | |

2. 格納容器のOリングの密封性能の評価（歪レベルの評価）

各試験条件において蓋部に作用する荷重に対してOリング位置での蓋部の変形量を各項において求めた。その変形量とOリングの初期締付量との比較を(ロ)－第A.14表に示すが、各条件においていずれも基準値の初期締付量より変形量は小さく、密封性能が損なわれることはない。

(ロ)－第A.14表 特別の試験条件に対する蓋部密封境界の歪レベル評価

| 条 件 | | 巻上装置カバー上蓋部/底部密封カバー部 | |
|------------------|------|---|-------------------------------|
| | | Oリング位置での蓋と内筒フランジとの 相対口開き変形量 (mm) | 基 準 値 (Oリングの初期締付量) (mm) |
| 9 m 落 下 | 頭部垂直 | 蓋がフランジに押しつけられ、口開き変形は生じない。 | — |
| | 底部垂直 | 蓋がフランジに押しつけられ、口開き変形は生じない。 | — |
| | 水 平 | 衝撃力の方向が口開き変形を生じる方向ではないので、口開き変形は生じない。 なお、ボルトに生じる応力は、弾性域にある。 | — |
| | コーナー | 垂直、水平に比べて条件が厳しくない。 | — |
| 1 m 貫 通 | | 蓋がフランジに押しつけられ、口開き変形は生じない。 | — |
| 熱 的 試 験 | 圧 力 | ■■■■ mm(巻上装置カバー上蓋) | ■■■ |
| | | ■■■■ mm (底部密封カバー蓋) | ■■■ |
| 15 m 浸 漬 | | 蓋がフランジに押しつけられ、口開き変形は生じない。 | — |

3. 破損の要約

特別の試験条件下における破損の要約を各試験項目にしたがって説明する。

(1) 落下試験 I (9 m 落下)

本試験では緩衝体は破損するが格納容器からはずれることはない。このとき格納容器、密封容器、密封内容物及び収納物は変形することはない。

(2) 落下試験 II (貫通試験)

本試験では緩衝体は破損するが格納容器からはずれることはない。

本試験では、格納容器が貫通することなく内部の密封容器、封内容物及び収納物も変形することはない。

(3) 熱的試験

本試験では収納物の溶融はない。また遮蔽体であるステンレス鋼及び鉛の溶融はなく、遮蔽体が欠損することはない。また、密封内容物、密封容器及び格納容器ともに内圧、熱膨張により破損することはない。

(4) 浸漬試験

本試験により、格納容器が破損することはない。したがって、格納容器の内側の密封容器、密封内容物及び収納物が破損することはない。

(5) まとめ

特別の試験条件下における輸送物の主な破損の要約を、(ロ)－第A.15表に示す。

これらの破損が、輸送容器の熱的性能、密封性能、遮蔽性能及び未臨界性能に与える影響は以下(ロ)章各項で検討する。

(ロ) - 第A.15表 特別の試験条件下の破損の要約

| 試験 | 部 位 | 破損の有無 ^(注) | 備 考 |
|---------|--------|----------------------|---------|
| 落下試験 I | 格納容器 | × | カバー類を含む |
| | 密封容器 | × | |
| | 密封内容器 | × | |
| | 試料スペーサ | × | |
| | 収納物 | × | |
| | 緩衝体 | ○ | |
| 落下試験 II | 格納容器 | × | |
| | 密封容器 | × | |
| | 密封内容器 | × | |
| | 試料スペーサ | × | |
| | 収納物 | × | |
| | 緩衝体 | ○ | |
| 熱的試験 | 格納容器 | × | |
| | 密封容器 | × | |
| | 密封内容器 | × | |
| | 試料スペーサ | × | |
| | 収納物 | × | |
| | 緩衝体 | × | |
| 浸漬試験 | 格納容器 | × | |
| | 密封容器 | × | |
| | 密封内容器 | × | |
| | 試料スペーサ | × | |
| | 収納物 | × | |
| | 緩衝体 | × | |

(注) ○印は 破損あり
×印は 破損なし

A.7 強化浸漬試験

本輸送物の収納物は、(ロ)章A.10の(4)に示すとおり、最大放射エネルギーは A_2 値の10万倍を超えないので、該当しない。

A.8 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物は、主にJMTRで照射された試料であり、(イ)章Dに記載したようにそれぞれ仕様の異なった試料である。試料の仕様は、(イ)-第1表に示してある。

試料は、照射にともなって発生する核分裂生成物をキャプセル内に保有している。主な核分裂生成物と放射能の量を、(イ)-第4表に示してある。

収納物の強度については、(ロ)章A.6.1.1及び(ロ)章A.6.1.2において9 m落下試験条件下で解析しており、その結果、最も厳しい条件の収納物の強度上の余裕率は垂直落下時■■■■、水平落下時■■■■であり、収納物が破損することはない。なお、収納物は9 m落下試験条件下において最大の衝撃荷重を受けるので、これ以外の条件においても破損することはない。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は核分裂性輸送物に該当する。したがって本項では、(ロ)章E臨界解析において想定する輸送物の損傷状態を、以下の試験条件に対して評価する。

なお、本輸送容器が-40℃から38℃の周囲温度に置かれた場合でも、(ロ)章A.4.2 低温強度で示したように、き裂、破損等が生じるおそれはない。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件は、外運搬告示により次の4種類が定められており、(i)の条件においた後(ii)の条件の下に置く。

- (i) 水噴霧
- (ii) 0.3 m 自由落下
- (iii) 積み重ね試験
- (iv) 6 kg 棒貫通試験

(ロ)章Eの臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態を(ロ)章A.5の解析結果を基に評価すると次のようになる。

1. 水噴霧

(ロ)章A.5.2項と同一であり、輸送物に損傷はない。

2. 0.3 m 自由落下

0.3 m 自由落下時における輸送物の変形量及び輸送容器各部の応力等は、次に続く9 m 落下試験に比べて厳しくないので損傷評価は9 m 落下試験に対して行う。

3. 積み重ね試験

(ロ)章A.5.4項と同一であり、輸送容器に損傷はない。

4. 6 kg棒貫通試験

(ロ)章A.5.5項と同一であり、輸送容器に損傷はない。

以上の結果より、一般の試験条件下の輸送物の損傷状態は(ロ)章A.16表のようにまとめられる。本輸送物は(ロ)章A.17表に示すように、一般の試験条件において外運搬規則及び外運搬告示に定められている核分裂性輸送物としての要件を満足する。

(ロ)－第A.16表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

| 試験条件 | 輸送物の損傷状態 | 備 考 |
|------------|-------------|---|
| 水 噴 霧 | 損 傷 な し | — |
| 0.3 m 落下 | 緩 衝 体 の 変 形 | 緩衝体は臨界解析で無視する。 落下衝撃加速度、輸送容器各部の応力等は9 m 落下試験時の結果を超えない。 |
| 積 み 重 ね | 損 傷 な し | — |
| 6 kg 棒 貫 通 | 損 傷 な し | — |

(ロ)－第A.17表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における適合性評価

| 核分裂性輸送物としての要件 | 評 価 |
|------------------------------------|--|
| 構造部に一辺10 cmの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと。 | 緩衝体は変形するが、一辺が10 cmの立方体を包含するようなくぼみが生じるような変形ではない。 なお、緩衝体は臨界解析で無視する。 |
| 外接する直方体の各辺が10 cm以上であること。 | 輸送物の外寸法は、外径約2.0 m、高さ約3.7 mの円筒状であり、緩衝体の変形量を考慮しても外接する直方体の各辺が10 cm未満になることはない。 |

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

(ロ) 章A.9.1の一般の試験条件に続いて15 m浸漬試験が実施される場合には、(ロ)章A.6.4に示すように本輸送物の損傷が拡大することはないので、本輸送物に関する特別の試験条件は最大破損条件となる以下の順序で実施する。

- (i) (ロ) 章A.9.1の一般の試験条件
- (ii) 9 m 落下試験
- (iii) 1 m 貫通試験
- (iv) 熱的試験 (火災)
- (v) 0.9 m 浸漬試験

ここで、一般の試験条件としては(ロ)一第A.15表に示すように損傷がある0.3 m 落下試験を採用する。

(ロ) 章Eの臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態を評価すると次のようになる。

1. 一般の試験条件のうち0.3 m 落下試験

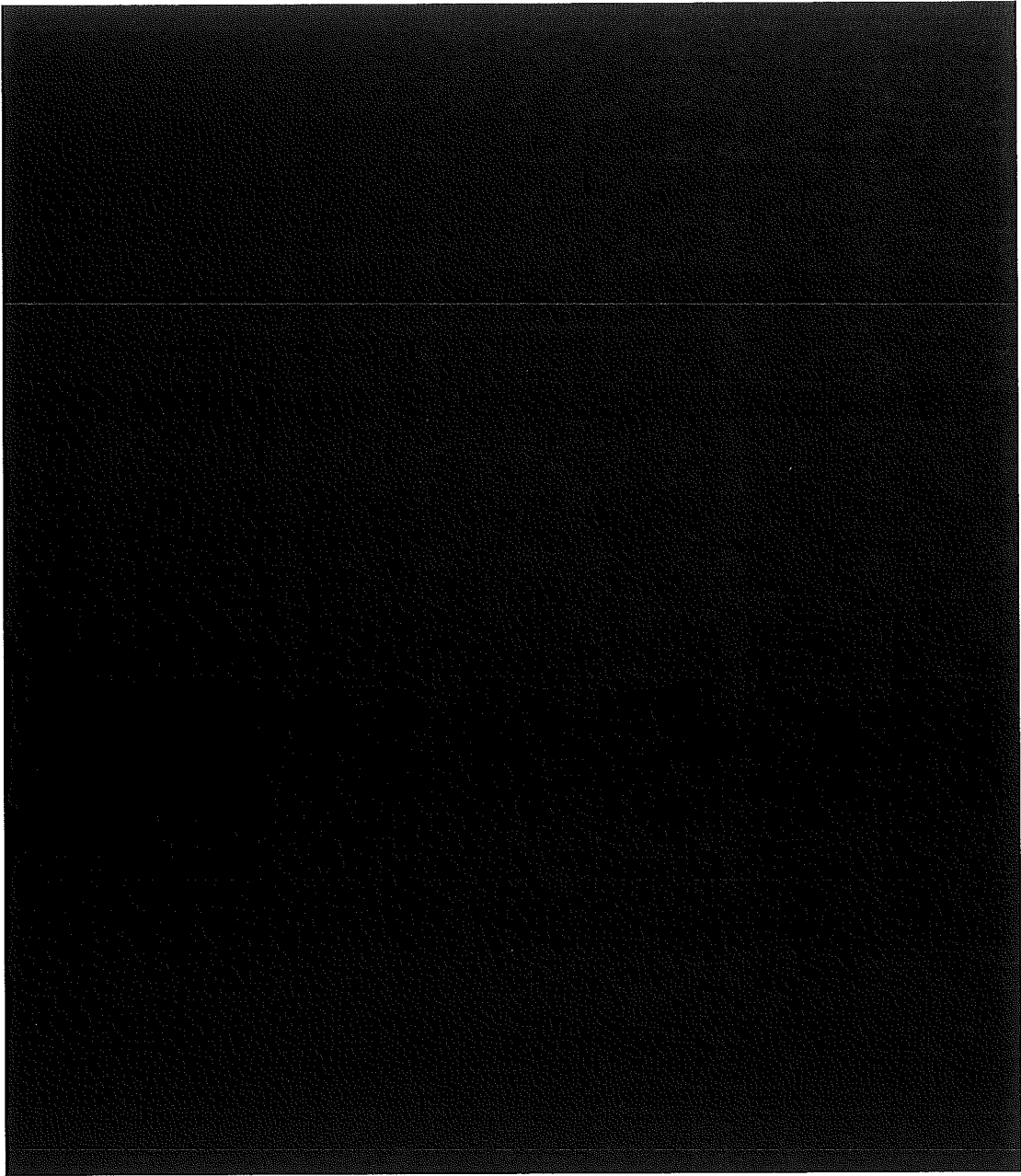
本試験条件における輸送物の損傷状態は(ロ)一第A.16表に示すとおりである。

2. 9 m落下試験

(1) 落下姿勢と落下試験の順序

(ロ)一第A.82 図に落下姿勢と落下試験の順序を示す。

(ロ) 章A.9.1の0.3 m 落下と9 m 落下の落下方向が同一の場合に緩衝体の変形量が最大になると考えられるので、この場合について検討を行う。



(口)-第A.82 図 落下姿勢と試験の順序

(2) 9 m落下試験時の変形量と衝撃加速度

(i) 垂直落下

本計算においては0.3 m 落下と9 m 落下の全落下エネルギーに対応する落下高さ H(mm)から輸送物を落下させたときの緩衝体の変形量と衝撃加速度を求める。

$$\begin{aligned} H &= 300 + 9000 \\ &= 9.3 \times 10^3 \text{ mm} \end{aligned}$$

a. 蓋部垂直落下

(ロ) 章A.6.1 (a)項と同様に、落下エネルギー E_k は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} E_k &= W \cdot g \cdot H \\ &= 1.70 \times 10^4 \times 9.807 \times 9.3 \times 10^3 \\ &= 1.55 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

(ロ) 章A.6.1(1)項に示す手法を用いて、変形量 δ を求めると次のとおりである。

$$\delta = \blacksquare \text{ mm}$$

また、衝撃加速度 G は、

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

である。

b. 底部垂直落下

落下エネルギーはa.と同様に、

$$E_k = 1.55 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

である。(ロ) 章A.6.1.(2)項に示す手法を用いて、変形量 δ を求めると次のようになる。

$$\delta = \blacksquare \text{ mm}$$

また、衝撃加速度 G は、

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

である。

(ii) 水平落下

落下高さを0.3 m落下と9 m落下の総落下エネルギーに対応する9.3 mとして

(ロ) 章A.6.1.(3)項と同様に計算を行うと、緩衝体の変形量 δ は、

$$\delta = \blacksquare \text{ mm}$$

となる。

このときの最大衝撃加速度 G は、

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

である。

(iii) コーナー落下

落下高さが、0.3 m落下及び9 m落下の合計9.3 mであるとして、(ロ) 章A.6.1.

(4)、(5)項と同様な方法により計算を行うと、その結果は以下のとおりである。

a. 頭部コーナー落下

上部緩衝体の変形量= \blacksquare mm

衝撃加速度= \blacksquare m/s²

b. 底部コーナー落下

底部緩衝体の変形量= \blacksquare mm

衝撃加速度= \blacksquare m/s²

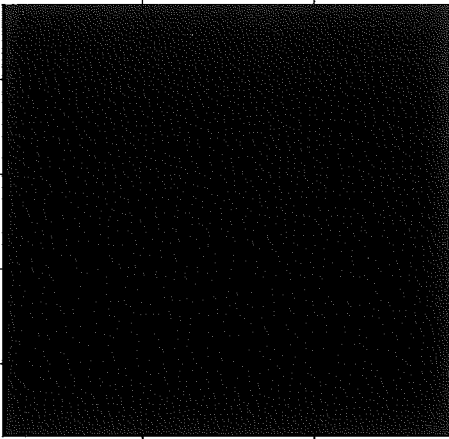


(ロ)-第A.83図 水平落下モデル

(iv) ま と め

9 m落下試験後の緩衝体の累積変形量及び最大衝撃加速度は(ロ)－第A.18表に示すとおりである。

(ロ)－第A.18表 9 m落下試験における緩衝体の累積変形量と衝撃加速度

| 方 向 | 落下姿勢 | 緩衝体の 累積変形量 (mm) | 許容変形量 (mm) | 衝 撃 加 速 度 (m/s ²) | (ロ)章A.6.1 落 下 試 験 I に お け る 衝 撃 加 速 度 と の 比 |
|---------|------|---|---------------|-------------------------------------|--|
| 垂 直 | 蓋 部 |  | | | 1.0 |
| | 底 部 | | | | 1.0 |
| 水 平 | | | | | 1.0 |
| コ ー ナ ー | 蓋 部 | | | | 1.0 |
| | 底 部 | | | | 1.0 |

(v) 輸送物各部の損傷評価

(ロ)－第A.18表 に示すように衝撃加速度は落下試験 I と同じであるので、輸送物各部の損傷評価は、(ロ)章A.6.1項と同じ結果とする。

3. 1 m 貫通試験

1.及び2.項の落下試験において緩衝体に変形するが、変形はわずかであり、1 m 貫通試験に対する影響は無視できる。したがって、本試験における輸送物の損傷状態は(ロ)章A.6.2の結果((ロ)章A.6.5に示す要約参照)と同一である。

4. 熱的試験

熱的試験においては、緩衝体は変形している。しかし、構造解析で用いられる部材の最高温度並びに臨界解析で考慮される収納物及び部材の最高温度は発熱部の容器中央部に生じ、容器中央部から離れた所に取り付けられた緩衝体の変形量の大小による影響は微小であると考えられる。したがって、本試験における輸送物の損傷評価は(ロ)章A.6.5 3.(3)項と同一となる。

5. 0.9 m 浸漬試験

(ロ)章A.6.4の15 m 浸漬試験の結果から明らかなように、0.9 m 浸漬試験において輸送物は損傷が拡大することはない。

6. 輸送物の損傷状態の要約

(ロ)一第A.19表に特別の試験条件下の輸送物の損傷状態の要約を示す。

(ロ)一第A.19表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の輸送物の損傷状態

| 条 件 | 輸 送 物 の 損 傷 状 態 | 備 考 |
|--------------|-----------------|--------------------------|
| 9 m 落 下 | 緩 衝 体 の 変 形 | 緩衝体は臨界解析で無視できる。 |
| 1 m 貫 通 | 緩 衝 体 の 変 形 | 緩衝体は臨界解析で無視できる。 |
| 熱的試験 (火災) | 損傷はないが各部位の温度が上昇 | 臨界解析上は収納物温度を20℃としている。 |
| 0.9 m 浸 漬 | 損 傷 な し | 臨界解析上は孤立系の条件において満水で解析する。 |

A.10 付属書類

- (1) A.10.1 密封内容器の強度評価
- (2) A.10.2 ■■■■■のエネルギー吸収について
- (3) A.10.3 ■■■■■のエネルギー吸収効率について
- (4) A.10.4 収納物の最大放射エネルギー
- (5) A.10.5 参考文献

(1) A.10.1 密封内容器の強度評価

本輸送物では、収納物の種類によって密封内容器を密封容器の内側に設ける場合がある。ここでは密封内容器の内外圧及び落下衝撃に対する強度を計算し、評価する。

1. 応力計算（一般の試験条件）

本項では、一般の試験条件における密封内容器の内外圧に対する強度を計算する。

(1) 密封内容器胴部の応力： σ_{θ} (MPa)

a) 内圧

解析モデルを(ロ)－第A.84図に示す。計算式は管の肉厚が内半径の10 %以下なので薄肉円筒の応力計算式を用いる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P D}{2 t}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

D : 内径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、 P = [] MPa

D = [] mm

t = [] mm



(ロ)－第A.84図
密封内容器胴部解析モデル

であるから、

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta} &= [] \\ &= [] \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = [] \text{ MPa ([] }^{\circ}\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_{\theta} - 1 \\ &= [] - 1 \\ &= [] \end{aligned}$$

b) 外圧

密封内容器の胴部は密封容器空気層からの外圧を受ける。外圧の場合は応力 σ_{θ} を評価する代わりに、金属キャスク構造規格(A S FA1-2007)「外面に圧力を受ける円筒形または円すい形の胴 (MCD-1410)」に基づき許容外圧 P_a を計算し、余裕率を評価する。胴の厚さ t が胴の外径 D_o に対して、 $t < 0.1D_o$ の場合には、一般の試験条件における P_a は、

$$P_a = \frac{4Bt}{3D_o}$$

ただし、 t : 胴の厚さ (mm)

D_o : 外 径 (mm)

B : 外圧を受ける円筒胴及び球形胴の計算に用いる材料曲線 (JIS B 8266 付属書 1 付図1) を用いて、胴の材料の種類、温度 t_1 (°C)、並びに下記のパラメータ A を与えることにより、図から求まる値。

A : 外圧又は圧縮荷重を受ける円筒胴の形状曲線 (JIS B 8266 付属書 1 付図2) を用いて、パラメータ D_o/t 及び L/D_o を与えることにより、図から求まる値。

ただし、

L : 円筒胴の長さ (mm)

ここで、 $t =$ ■ mm

$D_o =$ ■ mm

$L =$ ■ mm

材料 : SUS ■

温度 $t_1 =$ ■ °C

であるから、

$$t = \text{■} < 0.1D_o = \text{■}$$

が成り立ち、

$$L/D_o = \text{■}$$

$$D_o/t = \text{■}$$

のため、図より、

$$A = \blacksquare$$

$$B = \blacksquare$$

したがって、

$$P_a = \blacksquare \text{ MPa}$$

ここで、胴部にかかる差圧 ΔP は、

$$\Delta P = P_i - P_o$$

で定義される。ここで、

$$P_o : \text{密封容器空気圧力} = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$P_i : \text{密封内容器空気圧力} = 0 \text{ (安全側に)}$$

したがって、余裕率は、符号を正に置き替えた ΔP を用いて、

$$MS = P_a / \Delta P - 1$$

$$= \blacksquare - 1 = \blacksquare$$

(2) 密封内容器底板の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.85図に示す。計算式は、容器の底板が溶接構造であり、
周辺固定円板の式を用いる。

$$\sigma_b = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

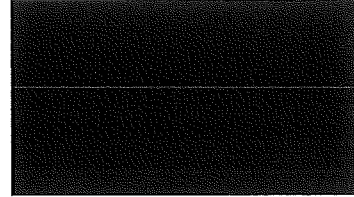
D : 内径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、 P = ■■■ MPa

D = ■ mm

t = ■ mm



(ロ)－第A.85図
密封内容器底板解析モデル

であるから、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{■■■■} \\ &= \text{■■} \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{■■} \text{ MPa (■■}^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \text{■■■■} - 1 \\ &= \text{■■} \end{aligned}$$

(3) 密封内容器蓋の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.86図に示す。蓋は■ボルト■本で取り付けられているので応力計算式は周辺固定円板を用いる。

$$\sigma_b = \frac{3 P D^2}{16 t^2}$$

ただし、

P : 圧力 (MPa)

D : ボルトの中心径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、

P = ■ MPa

D = ■ mm

t = ■ mm

であるから、

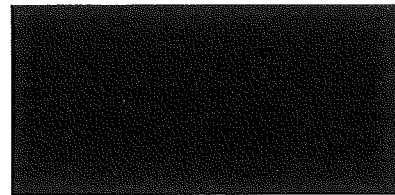
$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{■} \\ &= \text{■} \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{■} \text{ MPa (■}^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \text{■} \end{aligned}$$



(ロ)－第A.86図
密封内容器蓋解析モデル

(4) 密封内容器蓋ボルトの応力： σ_t (MPa)

蓋ボルトに発生する応力は、内圧による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計の引張応力（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

a) 内圧による引張応力

解析モデルを(ロ)－第A.87図に示す。内圧により蓋ボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{t1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 P}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、 D : オリング径 (mm)

P : 圧力 (MPa)

n : ボルト本数

d_1 : ボルトの谷径 (mm)

ここで、 D = mm

P = MPa

n = 本

d_1 = mm



(ロ)－第A.87図
密封内容器蓋ボルト解析モデル

したがって、

$$\sigma_{t1} =$$

$$= \text{ MPa}$$

b) 締付トルクによる引張応力

締付トルクにより蓋ボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F_0 : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm^2)

ここで、 $T = \text{■} \text{ N}\cdot\text{mm}$ ($\text{■} \text{ kg}\cdot\text{mm}$)

$K = \text{■}$

$d = \text{■} \text{ mm}$

$A_s = \text{■} \text{ mm}^2$

したがって、

$$\sigma_{tr} = \text{■}$$
$$= \text{■} \text{ MPa}$$

a) 及び b) より合引張応力は、

$$\sigma_t = \sigma_{t1} + \sigma_{tr}$$
$$= \text{■}$$
$$= \text{■} \text{ MPa}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{■} \text{ MPa} (\text{■}^\circ\text{C}, \text{ステンレス鋼})$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_y / \sigma_t - 1$$
$$= \text{■} - 1$$
$$= \text{■}$$

2. 垂直落下

本項では9 m 垂直落下時の衝撃力に対して、密封容器が十分な強度を有することを示す。

(1) 蓋部垂直落下

a. 密封容器胴部

解析モデルを(ロ)－第A.88図に示す。密封容器胴部に働く慣性力は次式で与えられる。

$$F = WG$$

ただし、 F : 慣性力 (N)

W : 密封容器の重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

この慣性力が働いた場合、密封容器には圧縮応力が生じる。この応力は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{F}{\pi D t}$$

ただし、 σ_c : 圧縮応力 (MPa)

F : 慣性力 (N)

D : 密封容器の内径 (mm)

t : 密封容器の板厚 (mm)

ここで、Wは安全側に、

$$W = 48 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$D = \blacksquare \text{ mm}$$

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

したがって、

$$\sigma_c = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$



(ロ)－第A.88図
密封容器解析モデル

参考文献3)によれば落下衝撃のような動的な力に対する動的な降伏応力は静的降伏応力の1.25倍まで増加することが示されている。したがって、密封内容

器の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、密封内容器の温度 \blacksquare °C において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_c - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

であり、密封内容器は降伏応力を超えることはない。

b. 密封内容器蓋

解析モデルを(ロ)-第A.89図に示す。蓋方向に落下した場合、蓋板の内面には収納物の慣性力が働く。慣性力は次式で与えられる。

$$P = \frac{WG}{A}$$

ただし、 P : 単位面積当りの慣性力 (MPa)

W : 収納物の重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s²)

A : 慣性力を受ける面積 (mm²)

ここで、Wは安全側に、

$$W = 20 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ mm}^2$$



(ロ)-第A.89図
密封内容器蓋解析モデル

したがって、

$$P = \frac{20 \times \blacksquare}{\blacksquare}$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

蓋板の応力 σ_b (MPa) は、

$$\sigma_b = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

ただし、

P : 単位面積当りの慣性力 (MPa)

D : ボルトの中心径 (mm)

t : 蓋板厚 (mm)

ここで、

$$P = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$D = \blacksquare \text{ mm}$$

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

蓋板の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、蓋板の温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

であり、蓋は降伏応力を超えることはない。

c. 密封内容器底板

解析モデルを(ロ)-第A.90図に示す。密封内容器底板には自重による慣性力が働く。この慣性力は、次式で与えられる。

$$P = \rho G t$$

ただし、 P : 単位面積当りの慣性力 (MPa)

ρ : 密度 (kg/mm³)

G : 衝撃加速度 (m/s²)

t : 板厚 (mm)

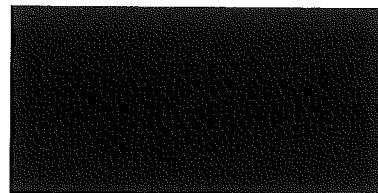
ここで、 $\rho =$ [] kg/mm³

t = [] mm

G = [] m/s²

したがって、

$$P = [] \\ = [] \text{ MPa}$$



(ロ)-第A.90図
密封内容器底板解析モデル

底板の応力は、

$$\sigma_b = \frac{3 P D^2}{16 t^2}$$

ただし、 D : 底板内径 (mm)

ここで、 D = [] mm

したがって、

$$\sigma_b = [] \\ = [] \text{ MPa}$$

底板の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、底板の温度 []°Cにおいて、

$$\sigma_{dy} = 1.25 \times [] \\ = [] \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dy} / \sigma_b - 1 \\ = [] - 1 \\ = []$$

d. 密封内容器蓋ボルト

蓋ボルトに発生する応力は、収納物の慣性力による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

(i) 慣性力による引張応力

解析モデルを(ロ)－第A.91図に示す。蓋方向に落下した場合、蓋ボルトには収納物の慣性力が働く。蓋ボルトに発生する応力は次式で表わせる。

$$\sigma_{t1} = \frac{WG}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、 W : 収納物の重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s²)

n : ボルト本数

d₁ : ボルトの谷径 (mm)

ここで、Wは安全側に、

$$W = 20 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$n = \blacksquare \text{ 本}$$

$$d_1 = \blacksquare \text{ mm}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{t1} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$



(ロ)－第A.91図
密封内容器蓋ボルト解析モデル

(ii) 締付トルクによる引張応力

締付トルクにより蓋ボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F₀ : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm²)

ここで、 T = N・mm (kg・mm)

K =

d = mm

A_s = mm²

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_{tt} &= \frac{T}{A_s} \\ &= \text{ MPa}\end{aligned}$$

(i) 及び (ii) より合引張応力は、

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{tr} \\ &= \text{ MPa}\end{aligned}$$

蓋ボルトの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、蓋ボルトの温度 °C において、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \text{ MPa} \\ &= \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_t - 1 \\ &= \text{}\end{aligned}$$

となる。

e. 密封内容器保護カバー

解析モデルを(ロ)－第A.92図に示す。蓋方向に落下した場合、保護カバーには圧縮応力 σ_c が発生し、次式で表わせる。

$$\sigma_c = \frac{WG}{S}$$

ただし、 W ：密封内容器と収納物の重量の合計 (kg)

G ：衝撃加速度 (m/s^2)

S ：保護カバー断面積 (mm^2)

ここで、 W は安全側に、

$$W = 48 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$S = \blacksquare \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

保護カバーの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、

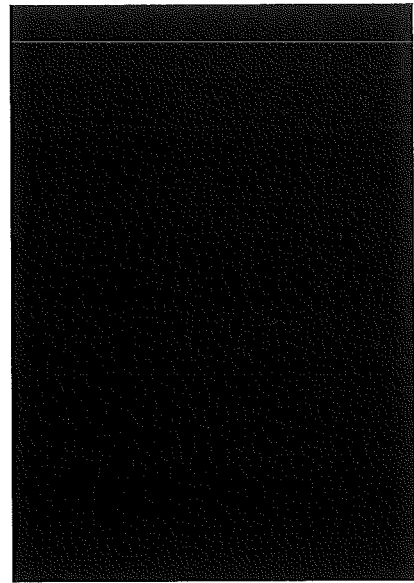
保護カバーの温度 \blacksquare °Cにおいて、

$$\begin{aligned} \sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{dy} / \sigma_c - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

となる。



(ロ)－第A.92図
密封内容器保護カバー解析モデル

f. 試料容器 (C)

解析モデルを(口)–第A.93図に示す。蓋方向に落下した場合に、試料容器 (C) に発生する応力 σ_c は次式で表わせる。

$$\sigma_c = \frac{WG}{A}$$

ただし、 W : 試料容器 (C) 重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

A : 断面積 (mm^2)

ここで、 W = 2.9 kg

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$A = \blacksquare \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

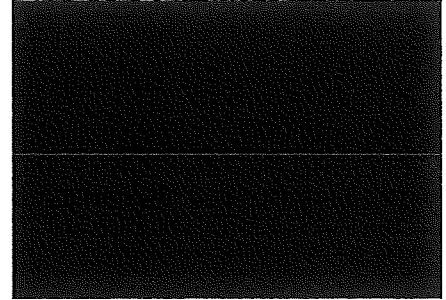
となる。試料容器 (C) の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、収納物の温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ において、

$$\begin{aligned} \sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

なので、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{dy} / \sigma_c - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

となる。



(口)–第A.93図
試料容器 (C) 解析モデル

(2) 底部垂直落下

a. 密封内容器胴部

解析モデルを(ロ)－第A.94図に示す。密封内容器に働く慣性力は次式で与えられる。

$$F = WG$$

ただし、 F : 慣性力 (N)

W : 密封内容器の重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

この慣性力が働いた場合、密封内容器には圧縮応力が生じる。この応力は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{F}{\pi D t}$$

ただし、 σ_c : 圧縮応力 (MPa)

F : 慣性力 (N)

D : 密封内容器の内径 (mm)

t : 密封内容器の板厚 (mm)

ここで、 W は安全側に、

$$W = 48 \text{ kg}$$

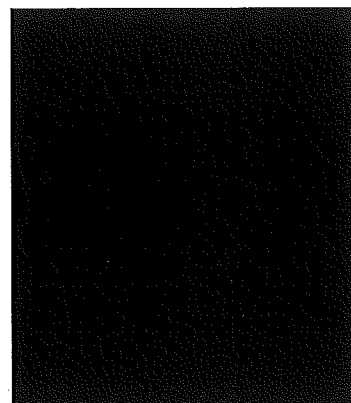
$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$D = \blacksquare \text{ mm}$$

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$



(ロ)－第 A.94 図
密封内容器胴部解析モデル

参考文献3)によれば落下衝撃のような動的な力に対する動的な降伏応力は静的降伏応力の1.25倍まで増加することが示されている。したがって、密封内容器の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa)は、密封内容器の温度 \blacksquare °Cにおいて、

$$\sigma_{dy} = 1.25 \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dy} / \sigma_c - 1$$

$$= \blacksquare$$

であり、密封容器は降伏応力を超えることはない。

b. 密封内容器底板

解析モデルを(ロ)-第A.95図に示す。底方向に落下した場合、底板の内面には収納物の慣性力が働く。慣性力は次式で与えられる。

$$P = \frac{WG}{A}$$

ただし、 P : 単位面積当りの慣性力 (MPa)

W : 収納物の重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

A : 慣性力を受ける面積 (mm^2)

ここで、Wは安全側に、

$$W = 20 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ mm}^2$$

したがって、

$$P = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$

密封内容器底板の応力 σ_b は、

$$\sigma_b = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

P : 単位面積当りの慣性力 (MPa)

D : 底板の径 (mm)

t : 底板の厚さ (mm)

ここで、 P = \blacksquare MPa

$$D = \blacksquare \text{ mm}$$

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$

したがって、

$$\sigma_b = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$



(ロ)-第A.95図
密封内容器底板解析モデル

密封内容器底板の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、底板の温度 \blacksquare °Cにおいて、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$

であり、密封内容器底板は降伏応力を超えることはない。

c. 試料容器 (C)

解析モデルを(ロ)―第A.96図に示す。底方向に落下した場合に、試料容器 (C) に発生する応力 σ_c は次式で表わせる。

$$\sigma_c = \frac{WG}{A}$$

ただし、W : 試料容器 (C) 重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

A : 断面積 (mm^2)

ここで、W = 2.9 kg

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$A = \blacksquare \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

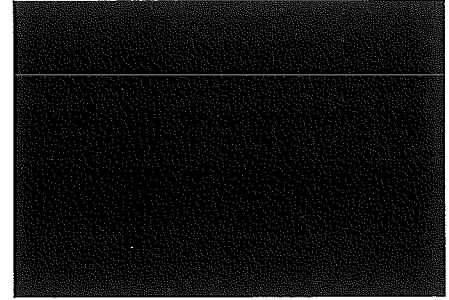
となる。試料容器 (C) の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、収納物の温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ において、

$$\begin{aligned} \sigma_{dy} &= 1.25 \times \blacksquare \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

なので、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{dy} / \sigma_c - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

となる。



(ロ)―第A.96図
試料容器 (C) 解析モデル

3. 水平落下

9 m 水平落下時の衝撃力に対して、密封容器が十分な強度を有し、変形を生じないことを示す。

(1) 密封容器本体

解析モデルを(ロ)－第A.97図に示す。密封容器に働く慣性力は次式で与えられる。

$$F = WG$$

ただし、 F : 慣性力 (N)

W : 密封容器の重量 (kg) (収納物重量を含む)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

この慣性力が水平に働いた場合、容器には曲げ応力が生じる。

この応力は、(ロ)－第A.97図の解析モデル図に示すように容器を両端固定のほりと考えて次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = \frac{1}{12} F L$$

Z : 断面係数 (mm^3)

$$Z = \frac{\pi}{32} \times (D_o^4 - D_i^4) / D_o$$

ただし、 D_o : 密封容器の外径 (mm)

D_i : 密封容器の内径 (mm)

ここで、Wは安全側に、

$$W = 48 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$F = \blacksquare \text{ N}$$

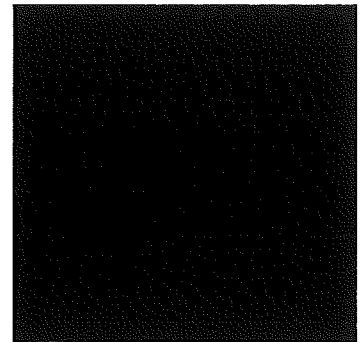
$$L = \blacksquare \text{ mm}$$

$$M = \frac{1}{12} \times \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$D_o = \blacksquare \text{ mm}$$

$$D_i = \blacksquare \text{ mm}$$



(ロ)－第A.97図
密封容器本体解析モデル

$$Z = \frac{\pi}{32} \text{ [redacted]}$$

$$= \text{ [redacted]} \text{ mm}^3$$

したがって、

$$\sigma_b = \text{ [redacted]}$$

$$= \text{ [redacted]} \text{ MPa}$$

密封内容器の動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、密封内容器の温度 [redacted] °Cにおいて、

$$\sigma_{dy} = 1.25 \times \text{ [redacted]}$$

$$= \text{ [redacted]} \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_{dy} / \sigma_b - 1$$

$$= \text{ [redacted]}$$

であり、密封内容器は降伏応力を超えることはない。

(2) 密封内容器蓋ボルト

ボルトに発生する応力は、保護カバー部の慣性力による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

(i) 慣性力による引張応力

水平落下時には、保護カバー部の慣性力による曲げモーメントにより蓋ボルトに引張応力が発生する。解析モデルを(口)－第A.98図に示す。

密封内容器蓋ボルトに生じる応力は次式で表わせる。

$$\sigma_{t1} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、 F : ボルトに作用する引張力 (N)

d_1 : ボルトの谷径 (mm)

蓋の各ボルトに作用するモーメントのつり合いは次式で表わされる。

$$WG\ell_0 = \sum_{i=1}^{n=6} F_i \ell_i$$

W : 保護カバー部の重量 (kg)

G : 衝撃加速度 (m/s^2)

ℓ_0 : 重心までの距離 (mm)

F_i : 各ボルトに作用する引張力 (N)

ℓ_i : 各ボルトのモーメントアームの長さ (mm)

各ボルトに作用する引張力は、安全側にモーメントアームに比例すると考え
ると、

$$F_2 = F_6 = \frac{\ell_2}{\ell_1} F_1, \quad F_3 = F_5 = \frac{\ell_3}{\ell_1} F_1, \quad F_4 = \frac{\ell_4}{\ell_1} F_1$$

各ボルトに作用する引張力は、
ボルト1 が最大であるので、

F_1 は次式で表わされる。

$$F_1 = \frac{WG \ell_0 \ell_1}{\ell_1^2 + 2\ell_2^2 + 2\ell_3^2 + \ell_4^2}$$

ここで、Wは安全側に、

$$W = 4 \text{ kg}$$

$$G = \blacksquare \text{ m/s}^2$$

$$\ell_0 = \blacksquare \text{ mm}$$

$$\ell_1 = \blacksquare \text{ mm}$$

$$\ell_2 = \blacksquare \text{ mm}$$

$$\ell_3 = \blacksquare \text{ mm}$$

$$\ell_4 = \blacksquare \text{ mm}$$

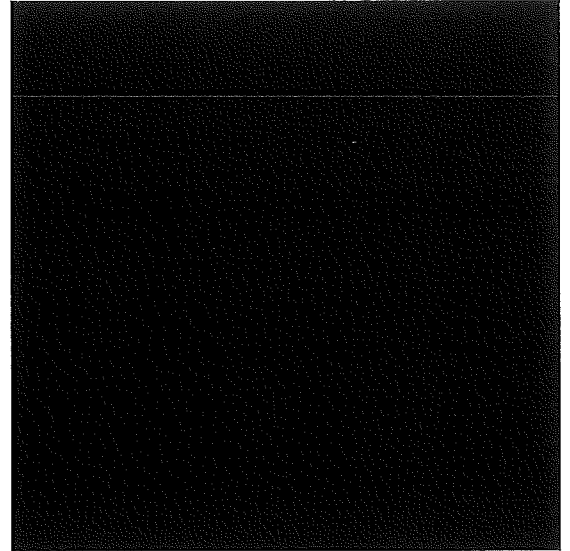
$$F_1 = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ N}$$

したがって、

$$\sigma_{t1} = \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ MPa}$$



(ロ) - 第 A. 98 図
密封内容器蓋ボルト解析モデル

(ii) 締付トルクによる引張応力

締付トルクにより蓋ボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{tr} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、 F_0 : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm²)

ここで、 T = [] N・mm ([] kg・mm)

K = []

d = [] mm

A_s = [] mm²

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= [] \\ &= [] \text{ MPa}\end{aligned}$$

(i) 及び (ii) より合引張応力は、

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{tr} \\ &= [] \\ &= [] \text{ MPa}\end{aligned}$$

蓋ボルトの動的降伏応力 σ_{dy} (MPa) は、蓋ボルトの温度 []°Cにおいて、

$$\begin{aligned}\sigma_{dy} &= 1.25 \times [] \\ &= [] \text{ MPa}\end{aligned}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_{dy} / \sigma_t - 1 \\ &= []\end{aligned}$$

となる。

(3) 試料容器 (C)

水平落下の場合、試料容器 (C) は、密封内容器内面に接している。密封内容器は、変形しないので試料容器 (C) も変形することはない。

4. 応力計算（特別の試験条件）

本項では特別の試験条件における密封内容器の内外圧に対する強度を計算する。

(1) 密封内容器胴部の応力： σ_{θ} (MPa)

a) 内圧

解析モデルを(ロ)－第A.99図に示す。計算式は薄肉円筒の応力式を用いる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{PD}{2t}$$

ただし、P：圧力 (MPa)

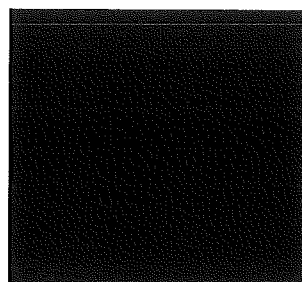
D：内径 (mm)

t：板厚 (mm)

ここで、P = MPa

D = mm

t = mm



(ロ)－第A.99図
密封内容器胴部解析モデル

であるから、

$$\begin{aligned}\sigma_{\theta} &= \frac{\text{} \times \text{}}{2 \times \text{}} \\ &= \text{} \text{ MPa}\end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{} \text{ MPa (} \text{} \text{ }^{\circ}\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_y / \sigma_{\theta} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{\text{}} - 1 \\ &= \text{}\end{aligned}$$

b) 外圧

密封内容器の胴部は密封容器空気層からの外圧を受ける。外圧の場合は応力 σ_{θ} を評価する代わりに、金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)「外面に圧力を受ける円筒形または円すい形の胴 (MCD-1410)」に基づき許容外圧 P_a を計算し、余裕率を評価する。胴の厚さ t が胴の外径 D_o に対して、 $t < 0.1D_o$ の場合には、特別の試験条件における P_a は、

$$P_a = \frac{1.5 \times 4 B t}{3 D_o}$$

ただし、 t : 胴の厚さ (mm)

D_o : 外 径 (mm)

B : 外圧を受ける円筒胴及び球形胴の計算に用いる材料曲線 (JIS B 8266 付属書 1 付図1) を用いて、胴の材料の種類、温度 t_1 (°C)、並びに下記のパラメータ A を与えることにより、図から求まる値。

A : 外圧又は圧縮荷重を受ける円筒胴の形状曲線 (JIS B 8266 付属書 1 付図2) を用いて、パラメータ D_o/t 及び L/D_o を与えることにより、図から求まる値。

ただし、 L : 円筒胴の長さ (mm)

ここで、 $t =$ ■ mm

$D_o =$ ■ mm

$L =$ ■ mm

材料 : SUS ■

温度 $t_1 =$ ■ °C

であるから、

$$t = \text{■} < 0.1 D_o = \text{■}$$

が成り立ち、

$$L/D_o = \text{■}$$

$$D_o/t = \text{■}$$

のため、図より、

$$A = \text{■}$$

$$B = \text{■}$$

したがって、

$$P_a = \text{■} \text{ MPa}$$

ここで、胴部にかかる差圧 ΔP は、

$$\Delta P = P_i - P_o$$

で定義される。ここで、

P_o : 密封容器空気圧力

= \blacksquare MPa

P_i : 密封内容器空気圧力

= 0 (安全側に)

したがって、余裕率は、符号を正に置き替えた ΔP を用いて、

$MS = P_a / \Delta P - 1$

= \blacksquare - 1 = \blacksquare

(2) 密封内容器底板の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)―第A.100図に示す。計算式は容器の底板が溶接構造である
ので周辺固定・円板の式を用いる。

$$\sigma_b = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

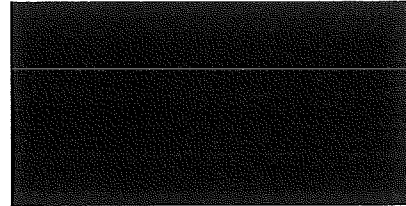
D : 内径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、 P = MPa

D = mm

t = mm



(ロ)―第A.100図
密封内容器底板解析モデル

であるから、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{} \\ &= \text{} \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa)

$$\sigma_y = \text{} \text{ MPa (} \text{} \text{ }^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \text{} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

(3) 密封内容器蓋の応力： σ_b (MPa)

解析モデルを(ロ)－第A.101図に示す。蓋は■ボルト■本で取り付けられているので応力計算式は周辺固定円板を用いる。

$$\sigma_b = \frac{3PD^2}{16t^2}$$

ただし、 P : 圧力 (MPa)

D : ボルトの中心径 (mm)

t : 板厚 (mm)

ここで、

$$P = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$D = \blacksquare \text{ mm}$$

$$t = \blacksquare \text{ mm}$$



(ロ)－第A.101図
密封内容器蓋解析モデル

であるから、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は■ MPa (■°C、ステンレス鋼)

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

(4) 密封内容器蓋ボルトの応力： σ_t (MPa)

蓋ボルトに発生する応力は、内圧による引張応力と締付トルクによる引張応力の合計の引張応力（以下「合引張応力」という。）として表わされる。

a) 内圧による引張応力

解析モデルを(ロ)－第A.102図に示す。内圧により蓋ボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{t1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 P}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$

ただし、
D : Oリング径 (mm)
P : 圧力 (MPa)
n : ボルト本数
d₁ : ボルトの谷径 (mm)

ここで、
D = ■ mm
P = ■ MPa
n = ■ 本
d₁ = ■ mm



(ロ)－第A.102図
密封内容器蓋ボルト解析モデル

したがって、

$$\sigma_{t1} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 P}{n \frac{\pi}{4} d_1^2}$$
$$= \frac{D^2 P}{n d_1^2} \text{ MPa}$$

b) 締付トルクによる引張応力

締付トルクにより蓋ボルトに発生する応力は、

$$\sigma_{t2} = \frac{F_0}{A_s}$$

ただし、
F₀ : 締付力 (N)

$$F_0 = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 締付トルク (N・mm)

K : 締付トルク係数

d : ボルト径 (mm)

A_s : ボルトの有効断面積 (mm²)

(2) A.10.2 のエネルギー吸収について

試験体が剛体の床に衝突して圧潰変形すると仮定したとき、試験体の吸収エネルギー E_a は次式で与えられる。

$$E_a = \int_0^{\delta_0} F \cdot d\delta \quad (1)$$

ここで、

δ_0 : 圧潰変形量

δ : 変位

F : 圧潰面に作用する荷重

F は次式で与えられる。

$$F = \sigma A \quad (2)$$

ここで、

σ : 圧潰面に作用する応力

A : 圧潰変形を受ける断面積

いま輸送容器の材料の応力-ひずみ関係を(ロ)-第A.103図に示すように剛塑性体を考えると(2)式の σ は

$$\sigma = \sigma_y = \text{降伏点}$$

と考えることができる。よって、

(2)式から落下衝撃力 F_p は、

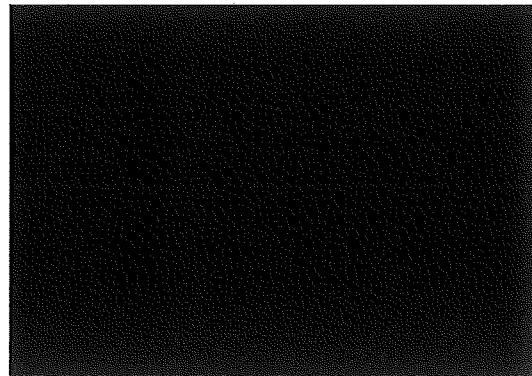
$$F_p = \sigma_y A \quad (3)$$

(3)式を(1)式に代入して、

$$E_a = \sigma_y V \quad (4)$$

ここで、

$$V = \int_0^{\delta_0} A \cdot d\delta \quad (5)$$



(ロ)-第A.103図
剛塑性体の応力-ひずみ関係

圧潰部分の体積で特にAが一定であれば、

$$V = A \delta_0 \quad (6)$$

落下衝撃力 F_p と輸送容器の重量 W から衝撃加速度 G が次のように計算できる。

$$G = \frac{F_p}{W} = \frac{\sigma_y A}{W} \quad (7)$$

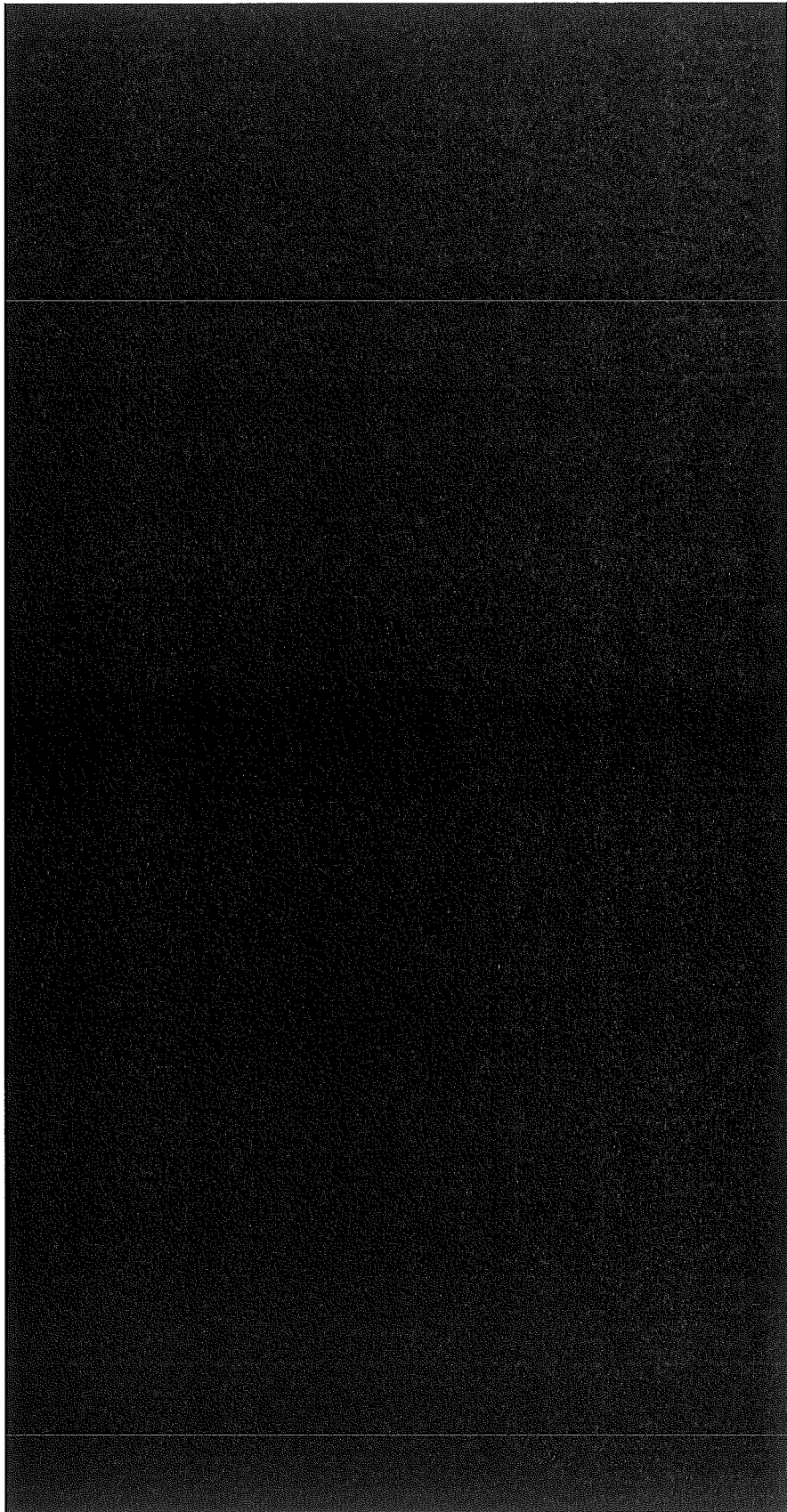
(3) A. 10.3 ■■■■■のエネルギー吸収効率について

■■■■■の圧潰による吸収エネルギーの木目方向と衝撃方向とのなす角度 Ψ によって変化する。衝撃方向と木目方向が平行 ($\Psi = 0$) のときの吸収エネルギーを E_a とすると任意の Ψ のときの吸収エネルギー $E_{a(\Psi)}$ は、

$$E_a = \eta E_{a(0)}$$

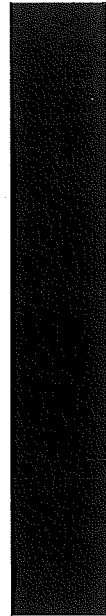
ここで η は■■■■■のエネルギー吸収効率で Ψ の関数である。

η を(口)―第A. 104図に示す。



(口)一第A.104図 [redacted] のエネルギー一吸収効率

出典:



(4) A.10.4 収納物の最大放射能量

本輸送物の収納物の最大放射能量は(口)－第A.20表に示すとおり、 A_2 値の10万倍を超えることはない。

(ロ)-第A.20表 収納物の最大放射能量(1/4)

| 核種 | A2値 (TBq) | F1 | | F2 | | F3 | |
|--------------------|--------------------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|
| | | 放射能量 (TBq) | A2値比 | 放射能量 (TBq) | A2値比 | 放射能量 (TBq) | A2値比 |
| ⁵¹ Cr | 3×10 | | | | | | |
| ⁵⁴ Mn | 1.00 | | | | | | |
| ⁵⁵ Fe | 4×10 | | | | | | |
| ⁵⁹ Fe | 9×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁵⁸ Co | 1.00 | | | | | | |
| ⁶⁰ Co | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁶³ Ni | 3×10 | | | | | | |
| ⁸⁹ Sr | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹⁰ Sr | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹⁰ Y | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹¹ Y | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹⁵ Zr | 8×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ^{95m} Nb | — 注(1) | | | | | | |
| ⁹⁵ Nb | 1.00 | | | | | | |
| ¹⁰³ Ru | 2.00 | | | | | | |
| ^{103m} Rh | 4×10 | | | | | | |
| ¹⁰⁶ Ru | 2×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁰⁶ Rh | — 注(1) | | | | | | |
| ¹²³ Sn | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹²⁵ Sb | 1.00 | | | | | | |
| ^{127m} Te | 5×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹²⁷ Te | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ^{129m} Te | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹²⁹ Te | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹³⁴ Cs | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹³⁷ Cs | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ^{137m} Ba | — 注(1) | | | | | | |
| ¹⁴⁰ Ba | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴⁰ La | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴¹ Ce | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴³ Pr | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴⁴ Ce | 2×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴⁴ Pr | — 注(1) | | | | | | |
| ¹⁴⁷ Pm | 2×10 ⁰ | | | | | | |
| ^{148m} Pm | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁵⁴ Eu | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁵⁵ Eu | 3.00 | | | | | | |
| ³ H | 4×10 | | | | | | |
| ⁸⁵ Kr | 1×10 | | | | | | |
| ¹²⁹ I | 制限なし | | | | | | |
| ^{131m} Xe | 4×10 | | | | | | |
| ¹³¹ I | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ²³³ Pa | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ²³⁸ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| ²³⁹ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| ²⁴⁰ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| ²⁴¹ Pu | 6×10 ⁻² | | | | | | |
| ²⁴² Cm | 1×10 ⁻² | | | | | | |
| ²⁴⁴ Cm | 2×10 ⁻³ | | | | | | |
| 合計 | | | | | | | |

注(1) : ^{95m}Nb, ¹⁰⁶Rh, ^{137m}Ba, ¹⁴⁴Pr のA値は親核種である ⁹⁵Zr, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce にそれぞれ含まれる。¹⁹⁾

注(2) : 収納物 F4、F6、F8、F11、F13、F17~F20 は欠番。

(ロ)-第A.20表 収納物の最大放射能量(2/4)

| 核種 | A2 値 (TBq) | F5 | | F7 | | F9 | |
|---------|--------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | 放射能の量 (TBq) | A2 値比 | 放射能の量 (TBq) | A2 値比 | 放射能の量 (TBq) | A2 値比 |
| 51 Cr | 3×10 | | | | | | |
| 54 Mn | 1.00 | | | | | | |
| 55 Fe | 4×10 | | | | | | |
| 59 Fe | 9×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 58 Co | 1.00 | | | | | | |
| 60 Co | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 63 Ni | 3×10 | | | | | | |
| 89 Sr | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 90 Sr | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 90 Y | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 91 Y | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 95 Zr | 8×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 95m Nb | — 注(1) | | | | | | |
| 95 Nb | 1.00 | | | | | | |
| 103 Ru | 2.00 | | | | | | |
| 103m Rh | 4×10 | | | | | | |
| 106 Ru | 2×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 106 Rh | — 注(1) | | | | | | |
| 123 Sn | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 125 Sb | 1.00 | | | | | | |
| 127m Te | 5×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 127 Te | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 129m Te | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 129 Te | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 134 Cs | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 137 Cs | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 137m Ba | — 注(1) | | | | | | |
| 140 Ba | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 140 La | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 141 Ce | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 143 Pr | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 144 Ce | 2×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 144 Pr | — 注(1) | | | | | | |
| 147 Pm | 2.00 | | | | | | |
| 148m Pm | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 154 Eu | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 155 Eu | 3.00 | | | | | | |
| 3 H | 4×10 | | | | | | |
| 85 Kr | 1×10 | | | | | | |
| 129 I | 制限なし | | | | | | |
| 131m Xe | 4×10 | | | | | | |
| 131 I | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 233 Pa | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| 238 Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| 239 Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| 240 Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| 241 Pu | 6×10 ⁻² | | | | | | |
| 242 Cm | 1×10 ⁻² | | | | | | |
| 244 Cm | 2×10 ⁻³ | | | | | | |
| 合計 | | | | | | | |

注(1) : ^{95m}Nb, ¹⁰⁶Rh, ^{137m}Ba, ¹⁴⁴Pr のA値は親核種である ⁹⁵Zr, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce にそれぞれ含まれる。¹⁹⁾

注(2) : 収納物 F4、F6、F8、F11、F13、F17～F20 は欠番。

(ロ)-第A.20表 収納物の最大放射能量(3/4)

| 核種 | A2値 (TBq) | F10 | | F12 | | F14 | |
|--------------------|--------------------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|
| | | 放射能量 (TBq) | A2値比 | 放射能量 (TBq) | A2値比 | 放射能量 (TBq) | A2値比 |
| ⁵¹ Cr | 3×10 | | | | | | |
| ⁵⁴ Mn | 1.00 | | | | | | |
| ⁵⁵ Fe | 4×10 | | | | | | |
| ⁵⁹ Fe | 9×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁵⁸ Co | 1.00 | | | | | | |
| ⁶⁰ Co | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁶³ Ni | 3×10 | | | | | | |
| ⁸⁹ Sr | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹⁰ Sr | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹⁰ Y | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹¹ Y | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ⁹⁵ Zr | 8×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ^{95m} Nb | — 注(1) | | | | | | |
| ⁹⁵ Nb | 1.00 | | | | | | |
| ¹⁰³ Ru | 2.00 | | | | | | |
| ^{103m} Rh | 4×10 ¹ | | | | | | |
| ¹⁰⁶ Ru | 2×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁰⁶ Rh | — 注(1) | | | | | | |
| ¹²³ Sn | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹²⁵ Sb | 1.00 | | | | | | |
| ^{127m} Te | 5×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹²⁷ Te | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ^{129m} Te | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹²⁹ Te | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹³⁴ Cs | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹³⁷ Cs | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ^{137m} Ba | — 注(1) | | | | | | |
| ¹⁴⁰ Ba | 3×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴⁰ La | 4×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴¹ Ce | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴³ Pr | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴⁴ Ce | 2×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁴⁴ Pr | — 注(1) | | | | | | |
| ¹⁴⁷ Pm | 2.00 | | | | | | |
| ^{148m} Pm | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁵⁴ Eu | 6×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ¹⁵⁵ Eu | 3.00 | | | | | | |
| ³ H | 4×10 | | | | | | |
| ⁸⁵ Kr | 1×10 | | | | | | |
| ¹²⁹ I | 制限なし | | | | | | |
| ^{131m} Xe | 4×10 | | | | | | |
| ¹³¹ I | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ²³³ Pa | 7×10 ⁻¹ | | | | | | |
| ²³⁸ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| ²³⁹ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| ²⁴⁰ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | | | |
| ²⁴¹ Pu | 6×10 ⁻² | | | | | | |
| ²⁴² Cm | 1×10 ⁻² | | | | | | |
| ²⁴⁴ Cm | 2×10 ⁻³ | | | | | | |
| 合計 | | | | | | | |

注(1) : ^{95m}Nb, ¹⁰⁶Rh, ^{137m}Ba, ¹⁴⁴Pr のA値は親核種である ⁹⁵Zr, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce にそれぞれ含まれる。¹⁹⁾

注(2) : 収納物 F4、F6、F8、F11、F13、F17～F20 は欠番。

(ロ)-第A.20表 収納物の最大放射能量(4/4)

| 核種 | A2値 (TBq) | F15 | | F16 | |
|--------------------|--------------------|---------------|------|---------------|------|
| | | 放射能量 (TBq) | A2値比 | 放射能量 (TBq) | A2値比 |
| ⁵¹ Cr | 3×10 | | | | |
| ⁵⁴ Mn | 1.00 | | | | |
| ⁵⁵ Fe | 4×10 | | | | |
| ⁵⁹ Fe | 9×10 ⁻¹ | | | | |
| ⁵⁸ Co | 1.00 | | | | |
| ⁶⁰ Co | 4×10 ⁻¹ | | | | |
| ⁶³ Ni | 3×10 | | | | |
| ⁸⁹ Sr | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ⁹⁰ Sr | 3×10 ⁻¹ | | | | |
| ⁹⁰ Y | 3×10 ⁻¹ | | | | |
| ⁹¹ Y | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ⁹⁵ Zr | 8×10 ⁻¹ | | | | |
| ^{95m} Nb | — 注(1) | | | | |
| ⁹⁵ Nb | 1.00 | | | | |
| ¹⁰³ Ru | 2.00 | | | | |
| ^{103m} Rh | 4×10 | | | | |
| ¹⁰⁶ Ru | 2×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁰⁶ Rh | — 注(1) | | | | |
| ¹²³ Sn | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹²⁵ Sb | 1.00 | | | | |
| ^{127m} Te | 5×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹²⁷ Te | 7×10 ⁻¹ | | | | |
| ^{129m} Te | 4×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹²⁹ Te | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹³⁴ Cs | 7×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹³⁷ Cs | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ^{137m} Ba | — 注(1) | | | | |
| ¹⁴⁰ Ba | 3×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁴⁰ La | 4×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁴¹ Ce | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁴³ Pr | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁴⁴ Ce | 2×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁴⁴ Pr | — 注(1) | | | | |
| ¹⁴⁷ Pm | 2.00 | | | | |
| ^{148m} Pm | 7×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁵⁴ Eu | 6×10 ⁻¹ | | | | |
| ¹⁵⁵ Eu | 3.00 | | | | |
| ³ H | 4×10 | | | | |
| ⁸⁵ Kr | 1×10 | | | | |
| ¹²⁹ I | 制限なし | | | | |
| ^{131m} Xe | 4×10 | | | | |
| ¹³¹ I | 7×10 ⁻¹ | | | | |
| ²³³ Pa | 7×10 ⁻¹ | | | | |
| ²³⁸ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | |
| ²³⁹ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | |
| ²⁴⁰ Pu | 1×10 ⁻³ | | | | |
| ²⁴¹ Pu | 6×10 ⁻² | | | | |
| ²⁴² Cm | 1×10 ⁻² | | | | |
| ²⁴⁴ Cm | 2×10 ⁻³ | | | | |
| 合計 | | | | | |

注(1) : ^{95m}Nb, ¹⁰⁶Rh, ^{137m}Ba, ¹⁴⁴Pr のA値は親核種である ⁹⁵Zr, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce にそれぞれ含まれる。¹⁹⁾

注(2) : 収納物F4、F6、F8、F11、F13、F17～F20は欠番。

(5) A.10.5 参考文献

- 1) 
- 2) “機械工学便覧、材料力学” 改訂第6版、日本機械学会編
- 3) L. B. Shappert, J. H. Evans, “Analysis of the Srp 25-Ton Target Tube Cask”, ORNL-TM-3531 (Jan. 1972)
- 4) Timoshenko “Strength of Materials” Part II. 3rd Edition, D. VON Nostrand CO, NewYork, 1958
- 5) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和55年通産省告示第501号）
- 6) 日本機械学会、“使用済核燃料輸送容器の構造解析プログラムの開発・整備に関する調査報告書（Ⅲ）”, 1985
- 7) JIS G 4303 “ステンレス鋼棒”（1991）
- 8) 日刊工業新聞社 “ステンレス鋼便覧”
- 9) JIS B 8243、“圧力容器の構造”（1981）
- 10) ASME Sec. III Div 1 APPENDICES
- 11) 三菱ゴム株式会社 “ゴムの常識”
- 12) 産業技術センター、“複合材料技術集成”
- 13) 日本ピラー工業㈱、“技術資料 ガasketの選定”（昭和59年）
- 14) 日本鉛亜鉛需要研究会(1975). “鉛ハンドブック”
- 15) “木材工業ハンドブック（改訂3版）”、農林水産省林業試験場監修、木材工業ハンドブック編集委員会編集、（昭和57年）
- 16) 欠番
- 17) 試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準（平成2年6月1日 科学技術庁原子力安全局内規）
- 18) Battelle Lab., “Structural Alloy Handbook”, Vol.2, June(1981)
- 19) “IAEA安全基準シリーズ No. ST-1 放射性物質安全輸送規則1996年版解説”、(財)原子力安全技術センター
- 20) 日本機械学会 “発電用原子力設備規格材料規格（2013年追補）”
- 21) 日本原子力学会標準、“使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準：2013”

(口) 章 B 熱 解 析

(ロ) 章B 熱解析

B.1 概要

1. 熱設計

本輸送容器は(イ)－第3図に示すように厚肉円筒構造である。収納物には、(イ)－第1表に示す11種類の収納物があり、F1からF3、F5、F7、F9、F10の収納物は密封容器に収納する。F12からF16 (F13除く)の収納物は密封内容器に収納し、さらに密封容器に収納する。

容器内に収納された収納物より発生する崩壊熱は、空気による自然対流、熱伝導及び熱放射により外部へ放射する。

熱解析は、密封内容器を用いない場合、密封内容器を用いる場合の2通りに分けて行う。

2. 熱解析

熱解析は、本輸送物が外運搬規則及び外運搬告示に基づいてBM型輸送物に係る技術上の基準に適合することを示すために行った。

通常の輸送時及び一般の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

(1) 人の近づきうる表面の最高温度条件

輸送物は、38℃の大気中において太陽熱放射を受けない。

(2) 最高温度条件

輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽熱放射を1週間受ける。

特別の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

(1) 輸送物は、0.9の周囲放射率を持つ800℃の熱放射環境に30分間さらされる(火災事故)。この場合、輸送物表面の放射率は0.8である。

(2) 事故後の輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽熱放射を受ける。

本輸送物は、(ロ)章A.構造解析で示したように一般の試験条件下及び特別の試験条件下において緩衝体に変形を生じるが、緩衝体は輸送物の放熱媒体として有効でないので緩衝体に変形したとしても放熱能力の評価には影響はない。

一般の試験条件のうち、水噴霧試験及び積み重ね試験では輸送物は変形しないが、自由落下試験において緩衝体に変形を生じる。

一般の試験条件下では、緩衝体に変形していないとする方が収納物の温度を高く評価する。したがって、緩衝体には変形がないものとし、38℃の環境に1週間放置したものとして一般の試験条件下の熱解析を行う。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下の熱解析は差分法に基づく3次元定常及び非定常温度分布計算プログラムTRUMP¹⁾を用いて行った。

3. 最大崩壊熱量

本輸送容器に収納する収納物F1からF16 (F4、F6、F8、F11、F13除く)の崩壊熱は、(イ)一第5表に示したとおりである。収納物F1からF16の崩壊熱はORIGEN²⁾プログラムを用いて計算した。

計算の結果、最大崩壊熱量は密封容器を用いない場合は被覆粒子燃料(F2)の174.1 Wであり、密封容器を用いる場合は、照射済ウラン・プルトニウム炭化物及び窒化物燃料(F14)の58.1 Wである。

本解析では最大崩壊熱量を安全側に175 Wとして密封容器を用いない場合で行うものとする。

なお、密封容器を用いる場合の熱解析については最大崩壊熱を安全側に80 Wとした。結果を(ロ)章B.6.2に示す。

4. 熱解析の条件と方法

熱解析の条件及び方法を(ロ)一第B.1表に示す。

(ロ)一第B.1表 熱解析の条件及び方法 (収納物F2)

| 項目 | 条件 | | 通常時 | | 一般の試験 | | 特別の試験 | |
|---------------------|----------------------------|------------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|
| | 太陽熱放射無の条件 | 最低温度評価条件 | 最高温度評価条件 | 火災前 | 火災時 | 火災後 | 火災時 | 火災後 |
| 崩壊熱量 | 175 W | 175 W以下 | 175 W | 175 W | 175 W | 175 W | 175 W | 175 W |
| 周囲温度 | 静止空気 38°C | 静止空気 -20°C | 静止空気 38°C | 静止空気 38°C | 火災30分間 800°C | 静止空気 38°C | 静止空気 800°C | 静止空気 38°C |
| 太陽熱放射条件 | なし | なし | あり | あり | あり | あり | あり | あり |
| 周囲放射率 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 容器表面放射率 | 0.37 注1) | 0.37 注1) | 0.37 注1) | 0.37 注1) | 0.8 注2) | 0.37 注1) | 0.8 注2) | 0.55 注3) |
| 計算モデル | 3次元全体系熱伝達モデル (緩衝体を含む) | | | | | | | |
| | 均質化近似 | | | | | | | |
| 温度分布計算プログラム | | | | | | | | |
| 差分法温度分布計算プログラムTRUMP | | | | | | | | |
| 使用物性値 | | | | | | | | |
| 最大内圧 | B.2 材料の熱的性質 | | | | | | | |
| | $\frac{PV}{T} = \text{一定}$ | | | | | | | |
| 密封容器内圧 | | | | | | | | |
| 格納容器内圧 | | | | | | | | |

注1) Bevans, J. T., et. Al., "Comparison of Total Emittances With Values Computed From Spectral Measurements", Trans. ASME, pp. 1405-1416, (Oct. 1958)

注2) IAEA Safety Standards Series "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material" (1996 Edition)

注3) Ohlsen, P.E. and Etemad, G.A., "Spectral and Total Radiation Data of Various Aircraft Materials" Report No. NA57-330, North American Aviation, Inc., (July 23, 1957), pp. 20-22. 26-33

B.2 材料の熱的性質

輸送容器の構成材料は（イ）章Cの3に示すとおりである。これらの材料のうち熱解析に使用している材料の熱的性質を以下に示す。

なお、物性値については、文献記載値の単位をSI単位に換算している。

1. 使用物性値

（1）二酸化ウラン⁴⁾

二酸化ウランの熱的性質を（ロ）-第B.2表に示す。

（ロ）-第B.2表 二酸化ウランの熱的性質

| 密度 (kg/m ³) | ■ |
|-------------------------|--------------|
| 温度 (°C) | 比熱 (kJ/kg·K) |
| 100 | ■ |
| 200 | ■ |
| 500 | ■ |

（2）空気⁵⁾

空気の熱的性質を（ロ）-第B.3表に示す。

（ロ）-第B.3表 空気の熱的性質

| 温度 (°C) | 密度 (kg/m ³) | 比熱 (kJ/kg·K) | 熱伝導率 (W/m·K) | 動粘性係数 (m ² /s) | プラントル数 (-) | 膨張率* (1/K) |
|---------|-------------------------|--------------|--------------|---------------------------|------------|------------------------|
| 0 | 1.251 | 1.005 | 0.0241 | 0.138×10 ⁻⁴ | 0.72 | 3.663×10 ⁻³ |
| 40 | 1.091 | 1.009 | 0.0272 | 0.175×10 ⁻⁴ | 0.71 | 3.195×10 ⁻³ |
| 100 | 0.916 | 1.013 | 0.0316 | 0.239×10 ⁻⁴ | 0.70 | 2.681×10 ⁻³ |
| 140 | 0.827 | 1.017 | 0.0345 | 0.285×10 ⁻⁴ | 0.69 | 2.421×10 ⁻³ |
| 200 | 0.722 | 1.026 | 0.0386 | 0.358×10 ⁻⁴ | 0.69 | 2.114×10 ⁻³ |
| 500 | 0.442 | 1.093 | 0.0562 | 0.810×10 ⁻⁴ | 0.70 | 1.294×10 ⁻³ |
| 800 | 0.318 | 1.156 | 0.0709 | 1.37 ×10 ⁻⁴ | 0.71 | 0.932×10 ⁻³ |

*膨張率=1/(絶対温度)として計算した。

（3）ステンレス鋼 (SUS■)⁶⁾

ステンレス鋼 (SUS■) の熱的性質を（ロ）-第B.4表に示す。

（ロ）-第B.4表 ステンレス鋼 (SUS■) の熱的性質

| 密度 (kg/m ³) | ■ | |
|-------------------------|--------------|--------------|
| 温度 (°C) | 比熱 (kJ/kg·K) | 熱伝導率 (W/m·K) |
| -51 | ■ | ■ |
| 60 | | |
| 171 | | |
| 282 | | |
| 393 | | |
| 893 | | |

(4) 鉛⁷⁾

鉛の熱的性質を(口)－第B.5表に示す。

(口)－第B.5表 鉛の熱的性質

| | | |
|-------------------------|---------------|-----------------|
| 密度 (kg/m ³) | | 11294 |
| 融点 (°C) | | 327 |
| 温度 (°C) | 比 熱 (kJ/kg·K) | 熱 伝 導 率 (W/m·K) |
| 0 | 0.129 | 34.8 |
| 100 | 0.132 | 34.0 |
| 300 | 0.142 | 31.2 |
| 327 | 0.141 | 15.2 |
| 482 | 0.136 | 15.4 |
| 649 | 0.136 | 16.6 |

(5) ████████⁸⁾

████████の熱的性質を(口)－第B.6表に示す。

実験データは、“Proceeding of the International Symposium for Packaging and Transportation of Radioactive Materials Sandia Corp, and USAEC. Albuquerque, New Mexico (Jan, 1965)” に次のように記載されている。

████████厚さと████████厚さの2種類の合板を██████° F (██████°C) の火災に1時間曝した結果、両方とも████████の深さだけ炭化したが、それより深い部分は炭化していなかった。

本輸送容器の緩衝体は厚みが██████mmと大きく、火災時間は上記実験の1/2であり、温度も低いので十分な耐火熱遮蔽効果があると考えられる。

(口)－第B.6表 ████████の熱的性質

| | |
|--------------------------|----------|
| 密 度 (kg/m ³) | ████████ |
| 比 熱 (kJ/kg·K) | ████████ |
| 熱伝導率 (W/m·K) | ████████ |

(6) ウラン・プルトニウム炭化物及び窒化物

ウラン・プルトニウム炭化物及び窒化物の熱的性質を(ロ)－第B.7表に示す。

(ロ)－第B.7表 ウラン・プルトニウム炭化物及び窒化物の熱的性質

| 収 納 物 | ウラン・プルトニウム 炭化物 | ウラン・プルトニウム 窒化物 |
|--------------------------|-------------------|-------------------|
| 密 度 (kg/m ³) | [REDACTED] | |
| 温 度 (°C) | 比熱(kJ/kg·K) | 比熱(kJ/kg·K) |
| 100 | [REDACTED] | |
| 200 | [REDACTED] | |
| 500 | [REDACTED] | |

(7) ヘリウム¹¹⁾

ヘリウムの熱的性質を(ロ)－第B.8表に示す。

(ロ)－第B.8表 ヘリウムの熱的性質

| 温度 (°C) | 密 度 (kg/m ³) | 比 熱 (kJ/kg·K) | 熱 伝 導 率 (W/m·K) | 動粘性係数 (m ² /s) | プラントル数 (-) | 膨 張 率* (1/K) |
|------------|-----------------------------|------------------|--------------------|------------------------------|---------------|------------------------|
| 0 | 0.1762 | 5.192 | 0.1426 | 1.061×10 ⁻⁴ | 0.6806 | 3.663×10 ⁻³ |
| 40 | 0.1539 | 5.192 | 0.1575 | 1.481×10 ⁻⁴ | 0.6767 | 3.195×10 ⁻³ |
| 100 | 0.1291 | 5.192 | 0.1789 | 1.794×10 ⁻⁴ | 0.6718 | 2.681×10 ⁻³ |
| 140 | 0.1166 | 5.192 | 0.1926 | 2.131×10 ⁻⁴ | 0.6694 | 2.421×10 ⁻³ |
| 200 | 0.1018 | 5.192 | 0.2125 | 2.683×10 ⁻⁴ | 0.6667 | 2.114×10 ⁻³ |
| 500 | 0.06233 | 5.192 | 0.3039 | 6.185×10 ⁻⁴ | 0.6602 | 1.294×10 ⁻³ |
| 800 | 0.04494 | 5.192 | 0.3932 | 10.82×10 ⁻⁴ | 0.6554 | 0.932×10 ⁻³ |

*膨張率=1/(絶対温度)として計算した。

(8) ウラン・プルトニウム酸化物¹³⁾

ウラン・プルトニウム酸化物の熱的性質を(ロ)－第 B. 9 表に示す。

(ロ)－第 B. 9 表 ウラン・プルトニウム酸化物の熱的性質

| 収 納 物 | ウラン・プルトニウム 酸化物 |
|--------------------------|-------------------|
| 密 度 (kg/m ³) | ■ |
| 温 度 (°C) | 比熱 (kJ/kg·K) |
| 100 | ■ |
| 200 | |
| 500 | |

(9) ジルカロイ¹³⁾

ジルカロイの熱的性質を(ロ)－第 B. 10 表に示す。

(ロ)－第 B. 10 表 ジルカロイの熱的性質

| | |
|--------------------------|--------------|
| 密 度 (kg/m ³) | ■ |
| 温 度 (°C) | 比熱 (kJ/kg·K) |
| 27 | ■ |
| 127 | |
| 327 | |

B.3 構成要素の仕様

1. 空気漏えい試験用カプラ

材 質 : ステンレス鋼
最大使用圧力 : ■■■ MPa (仕様値 : ■■ kg/cm²)
最高使用温度 : ■■■°C (常用)、■■■°C (1週間)

2. パッキング

(1) Oリング

a) 材 質 : ■■■■■
最高使用温度 : ■■■°C (常用)、■■■°C (1週間)
使用箇所
・密封容器 : 密封容器蓋
漏えい試験用カプラ
・格納容器 : 上部蓋
底部密封カバー
漏えい試験用カプラ
b) 材 質 : ■■■■■
最高使用温度 : ■■■°C
使用箇所 : 密封内容器蓋、巻上装置カバー蓋

(2) ガスケット

材 質 : ■■■■■
最高使用温度 : ■■■°C
使用箇所 : 格納容器
シャッターカバー
開閉用ネジシャフト

3. バルブ

材 質 : ステンレス鋼
最大使用圧力 : ■■■ MPa (仕様値 : ■■ kg/cm²)
最高使用温度 : ■■■°C

B.4 一般の試験条件

B.4.1 熱解析モデル

輸送容器の熱解析は差分法に基づく3次元定常及び非定常温度分布プログラムTRUMPを用いて行った。

B.4.1.1 解析モデル

(1) 形状モデル

輸送容器の密封容器、格納容器及び緩衝体の解析モデルを(ロ)－第B.1図、(ロ)－第B.2図、(ロ)－第B.3図及び(ロ)－第B.4図に示すような、ノードに分割した。収納物は、黒鉛、二酸化ウラン、ステンレス鋼及び空気を均質化したものとして考え、均質化した領域の平均密度及び平均比熱は次の式を用いて求めた。

平均密度

$$\rho_{ave} = \frac{\sum W_i}{V}$$

平均比熱

$$C_{pave} = \frac{\sum W_i \cdot C_{pi}}{\sum W_i}$$

ここで、 ρ_{ave} : 平均密度 (kg/m³)

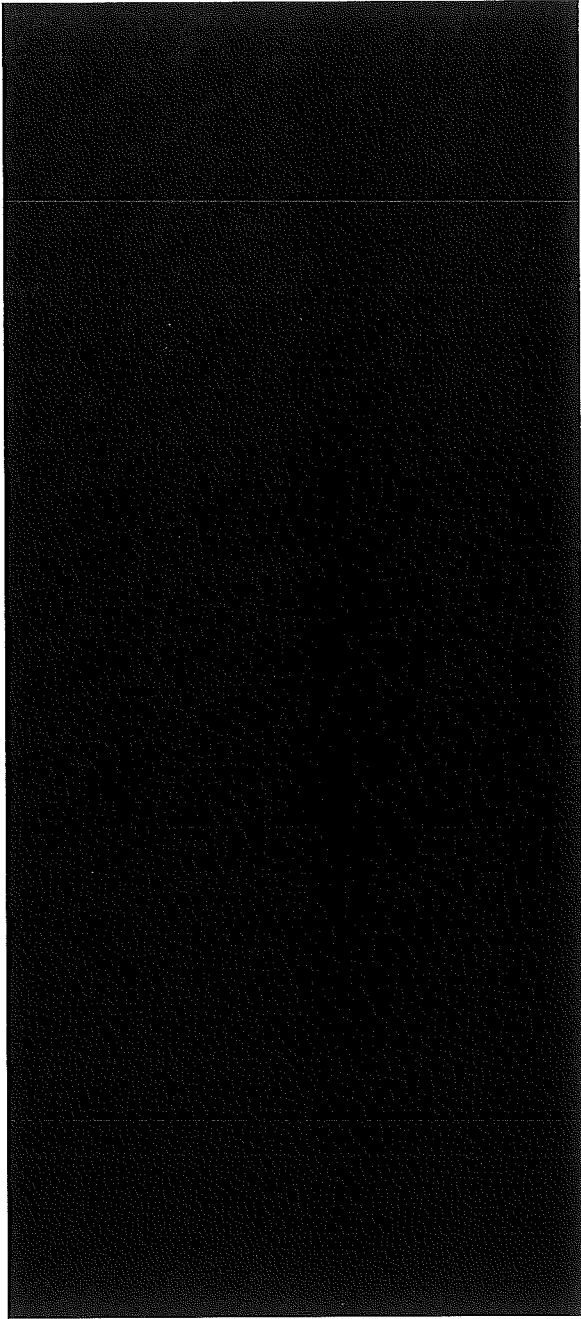
W_i : 構成材料のそれぞれの重量 (kg)

V : 均質化した領域の体積 (m³)

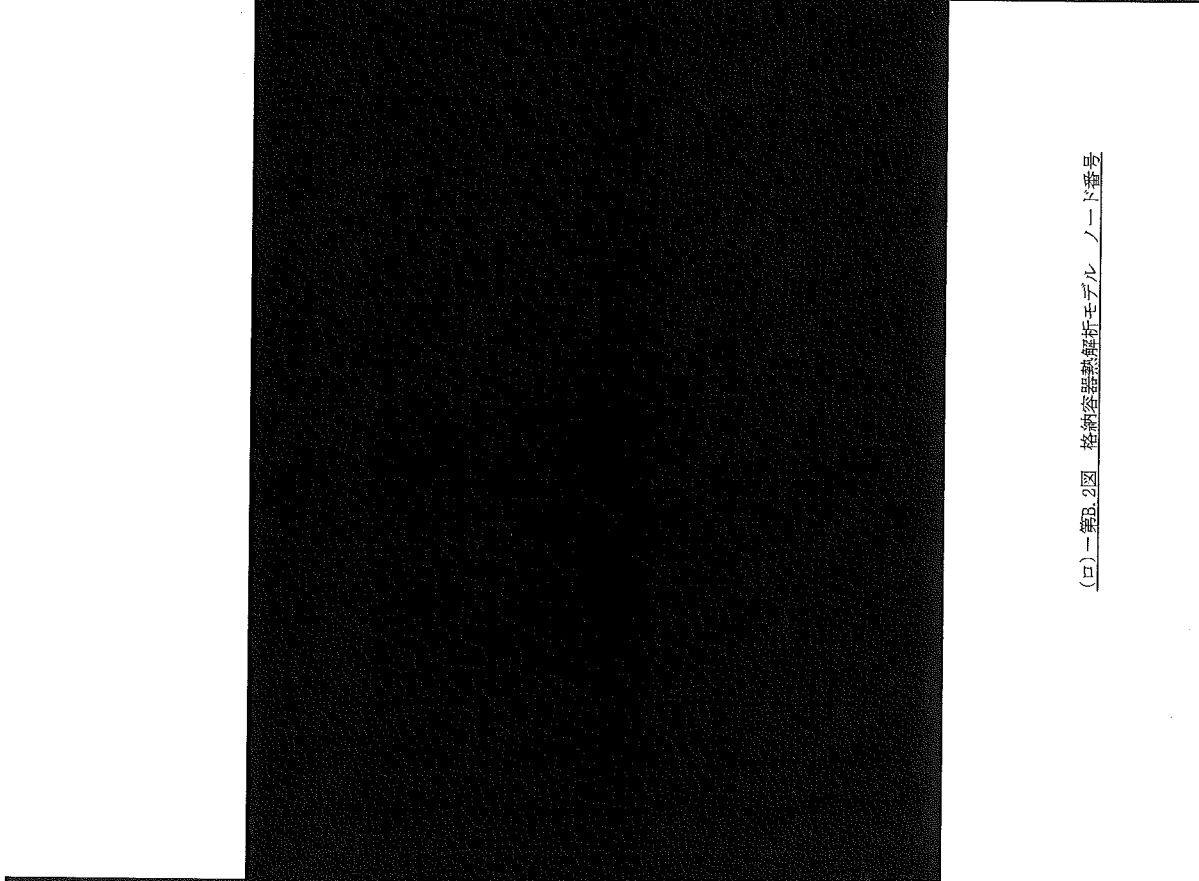
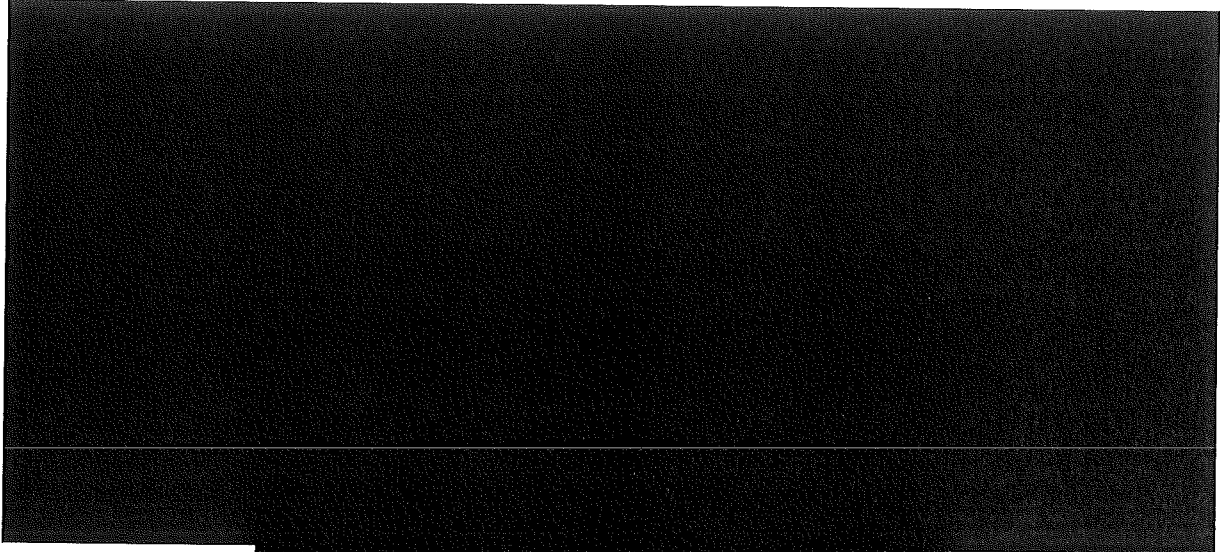
C_{pave} : 平均比熱 (kJ/kg・K)

C_{pi} : 構成材料のそれぞれの比熱 (kJ/kg・K)

均質化領域の体積及び構成材料の重量並びに平均密度及び平均比熱を(ロ)－第B.11表に示す。

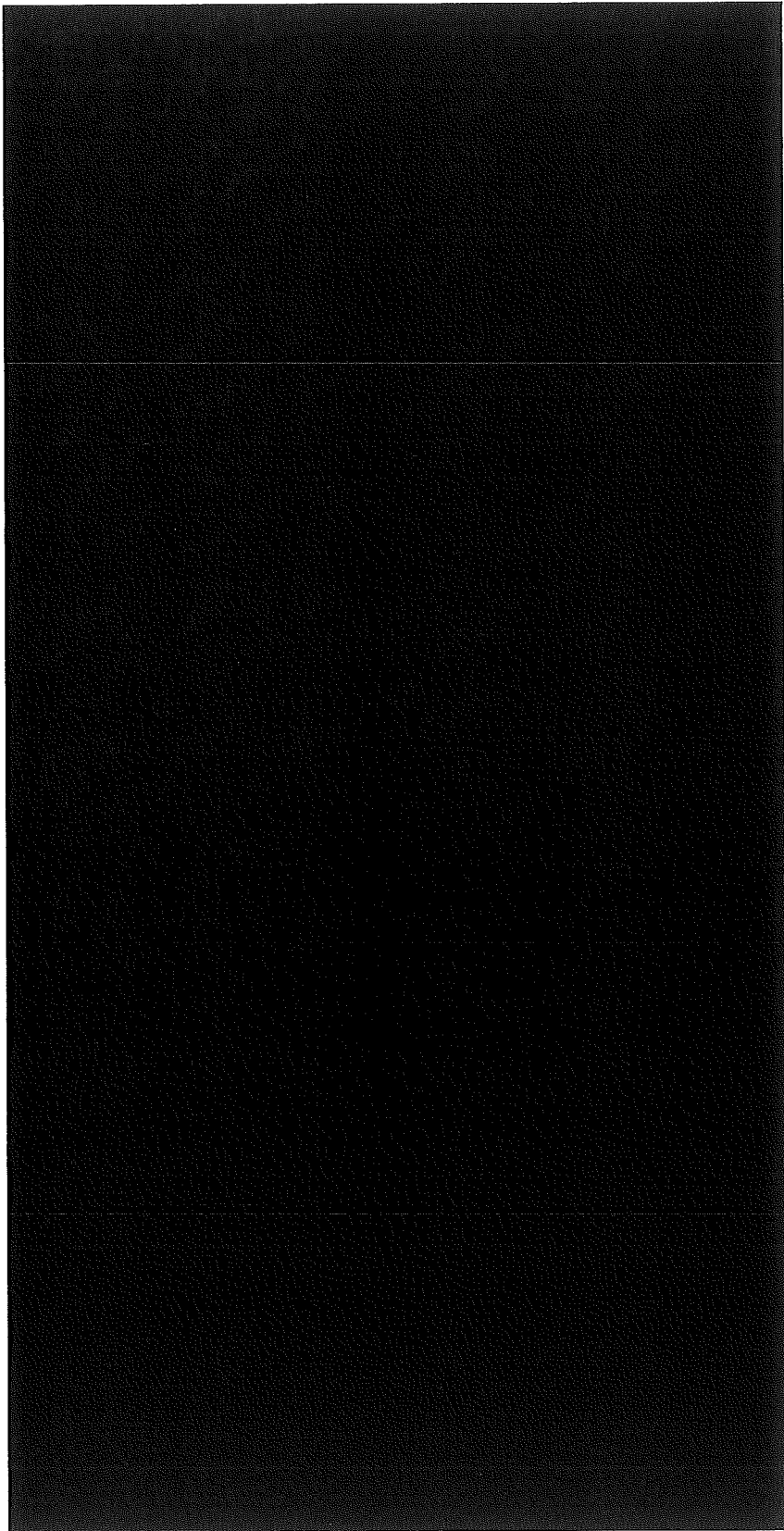


(口)-第B.1図 密封容器熱解析モデルノード番号

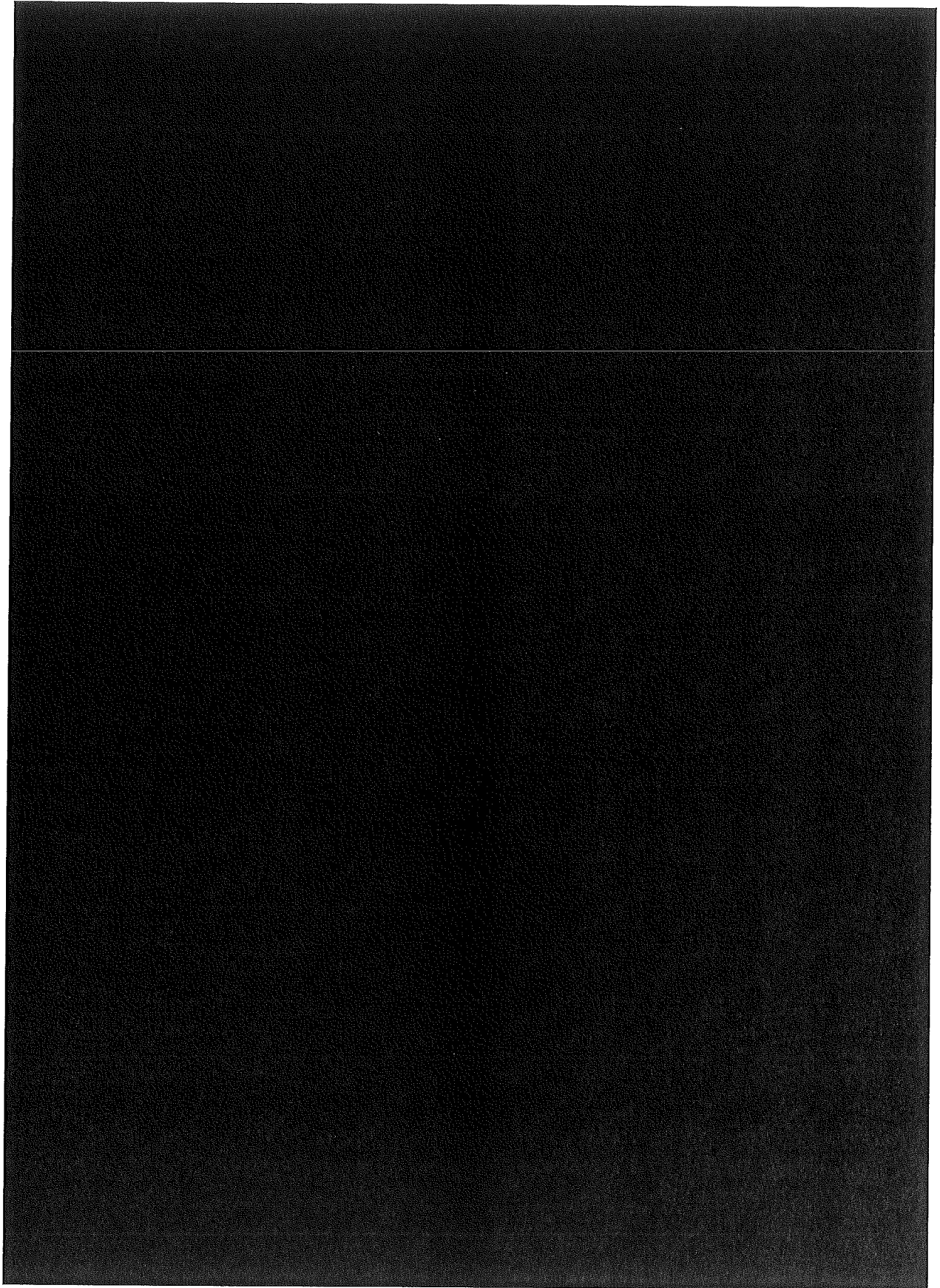


(ロ)一第B.2図 格納容器熱解析モデル ノード番号





(ロ)－第B.3図 上部緩衝体熱解析モデル ノード番号



(ロ) - 第B.4図 底部緩衝体熱解析モデル ノード番号

(ロ)－第 B.11 表 均質化領域の熱的性質 (収納物 F2)

| 収 納 物 名 | | 被覆粒子燃料 (F2) | | |
|---------------------------|--------|-------------|--|------|
| 総体積 (m ³) | | | | |
| 総重量 (kg) | | | | |
| 重量 の 内 訳 (kg) | 黒鉛 | | | |
| | 二酸化ウラン | | | |
| | ステンレス鋼 | | | |
| | 空気 (注) | | | |
| 平均密度 (kg/m ³) | | | | |
| 平均比熱 (kJ/kg·K) | 温 度 | | | 100℃ |
| | | | | 200℃ |
| | | | | 500℃ |

(注) 空気の密度は100℃の値を用いた。

(2) 解析条件

一般の試験条件下における解析条件を(ロ)－第 B.12 表に示す。また、太陽放射熱を(ロ)－第 B.13 表に示す。

崩壊熱量としては、(イ)－第 5 表に示した各種の収納物の崩壊熱量のうち、最大のものを選んだ。それは収納物 F2 の被覆粒子燃料である。熱解析はそれを収納物とし、175 W の崩壊熱量の場合について行った。周囲空気温度は 38℃、容器表面の放射率は 0.37、周囲放射率は 1.0 とする。

(ロ)－第 B.12 表 一般の試験条件下の熱解析条件 (収納物 F2)

| 項 目 | | 条 件 |
|---------------|-----------|---------------------------|
| 崩 壊 熱 量 | | 175 W |
| 環 境 条 件 | 周 囲 温 度 | -20℃～38℃ |
| | 太 陽 熱 放 射 | (ロ)－第 B.13 表に示した熱量が放射又はなし |
| | 周 囲 放 射 率 | 1.0 |
| 容 器 表 面 放 射 率 | | 0.37 |

(ロ)－第B.13表 太陽放射熱データ

| 表面の形状及び位置の区分 | 1日あたり12時間の放射熱 (W/m ²) |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 水平に輸送される平面 | |
| 下向きの表面 | なし |
| 上向きの表面 | 800 |
| 垂直に輸送される表面及び水平に輸送されない下向きの平面 | 200 |
| その他の表面 | 400 |

B.4.1.2 試験モデル

該当なし

B.4.2 最高温度

(ロ)章B.4.1に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた通常時及び一般の試験条件における輸送物各部の最高温度の結果を(ロ)－第B.14表について示す。

38℃の環境に1週間放置した場合、計算プログラムTRUMPで解析して得られた最高温度評価条件における輸送容器とその収納物の各部の温度分布を(ロ)－第B.5(a)図から(ロ)－第B.5(d)図に、また太陽熱放射のない通常時の輸送物表面の温度分布を(ロ)－第B.6図に示す。

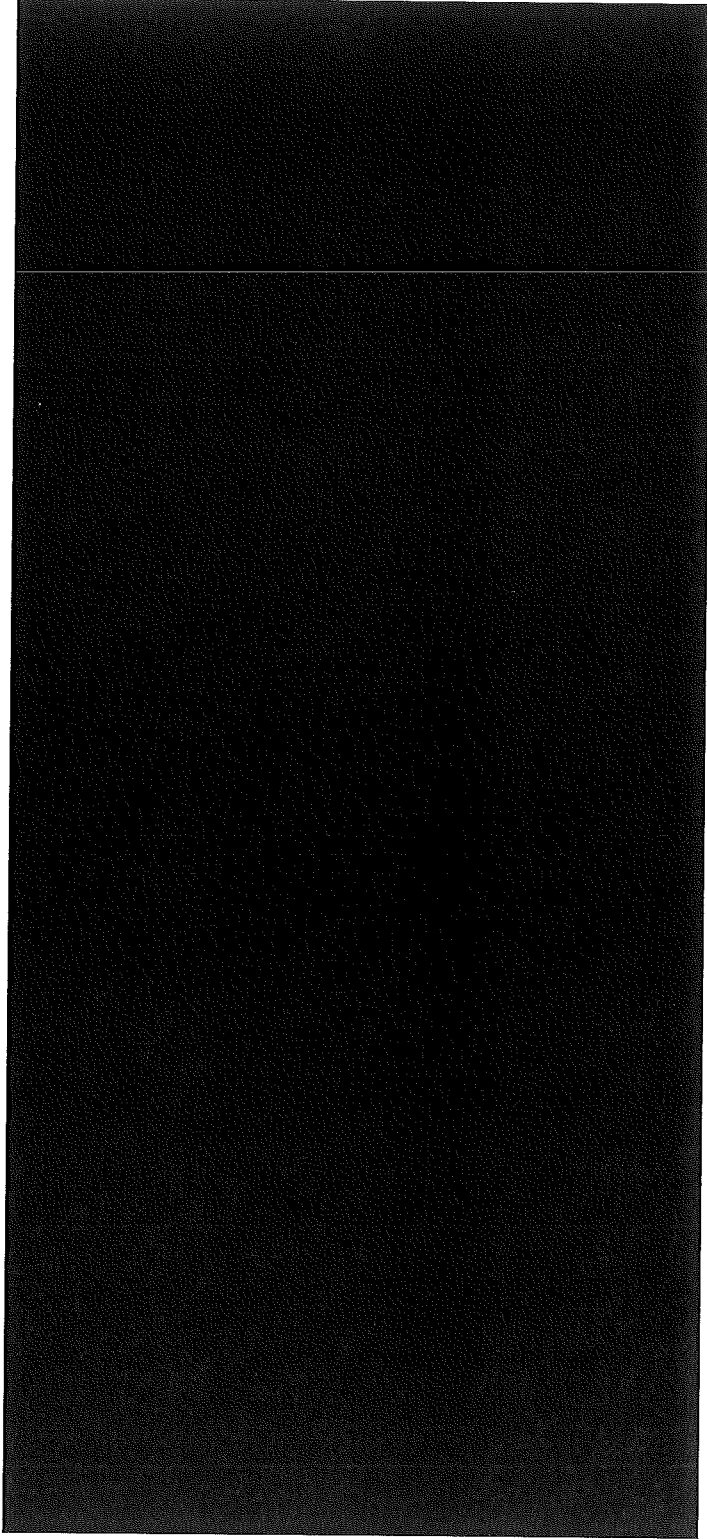
一般の試験条件における輸送物の最高温度は収納物において■℃である。一般の試験条件下で日陰において容易に人の近づき得る輸送物表面の最高温度は、通常時（周囲温度38℃、太陽熱放射無）における近接表面の評価値から■℃であり許容基準値の85℃を超えることはない。

リングシール部、漏えい試験用カプラの温度は、収納物の温度以上になることはなく、最高温度は■℃を超えることはない。

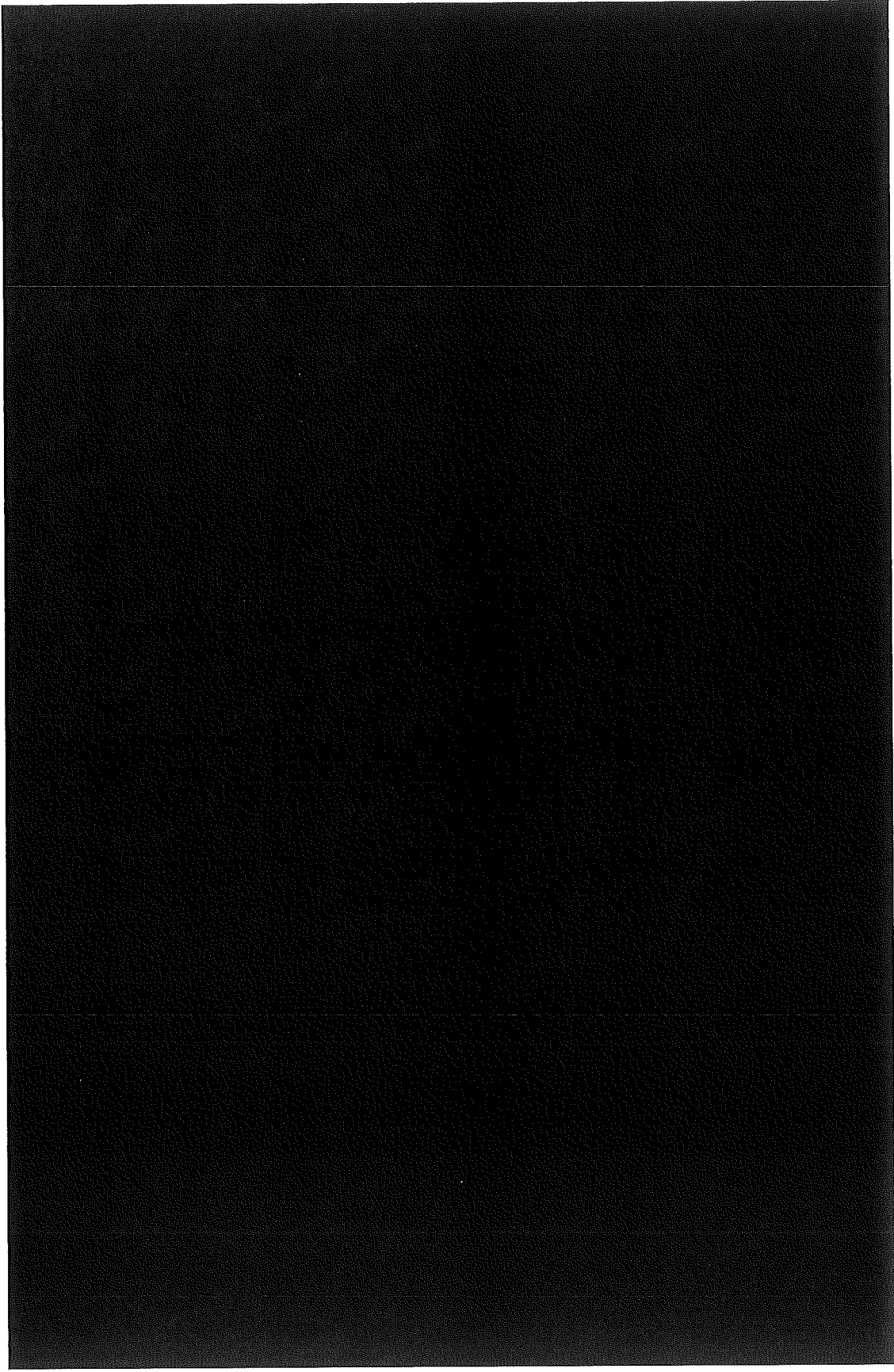
(ロ) - 第B. 14表 一般の試験条件下における最高温度 (収納物F2) (単位:°C)

| 部位(ノード番号) | 条 件 | |
|-----------------------|--------|--------|
| | 通 常 時 | 一 般 |
| | 太陽熱放射無 | 太陽熱放射有 |
| 収 納 物 (1) | | |
| 密 封 容 器 (10) | | |
| 格 納 容 器 内 面 (102) | | |
| 格 納 容 器 外 面 (402) | | |
| 鉛 (613) | | |
| 近 接 表 面 (403) | | |
| 密 封 容 器 O リ ン グ (1) | | |
| シャッターカバーガasket (420) | | |
| 底部密封カバーOリング (440) | | |
| 巻上装置カバーOリング (3471) | | |
| 格 納 容 器 空 気 層 (70) | | |
| 巻上装置カバー部空気層 (500) | | |
| シャッター部空気層 (520) | | |
| シャッター下部空気層 (530) | | |

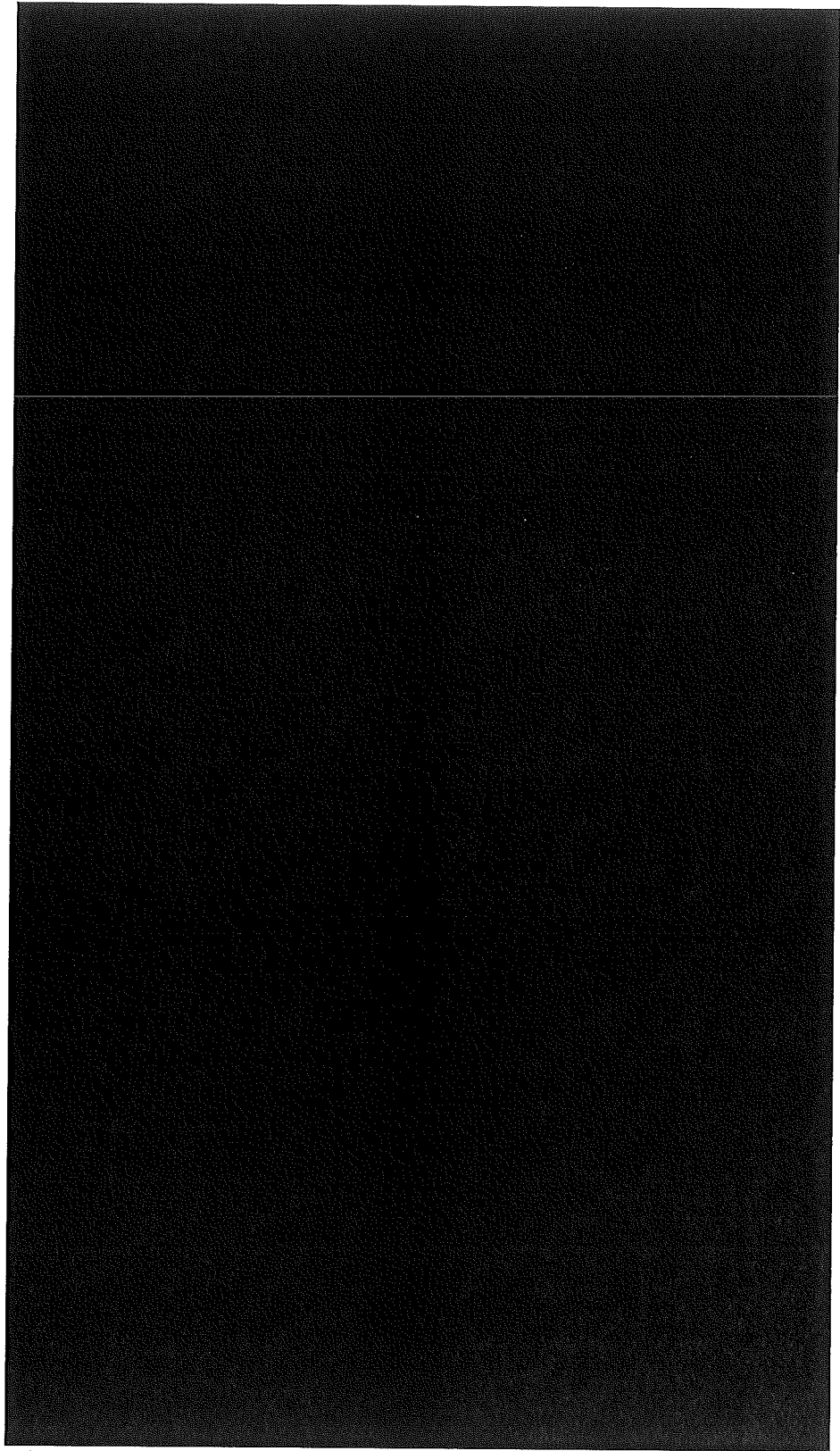
備考 : ()内はTRUMP計算のノード番号を示す。



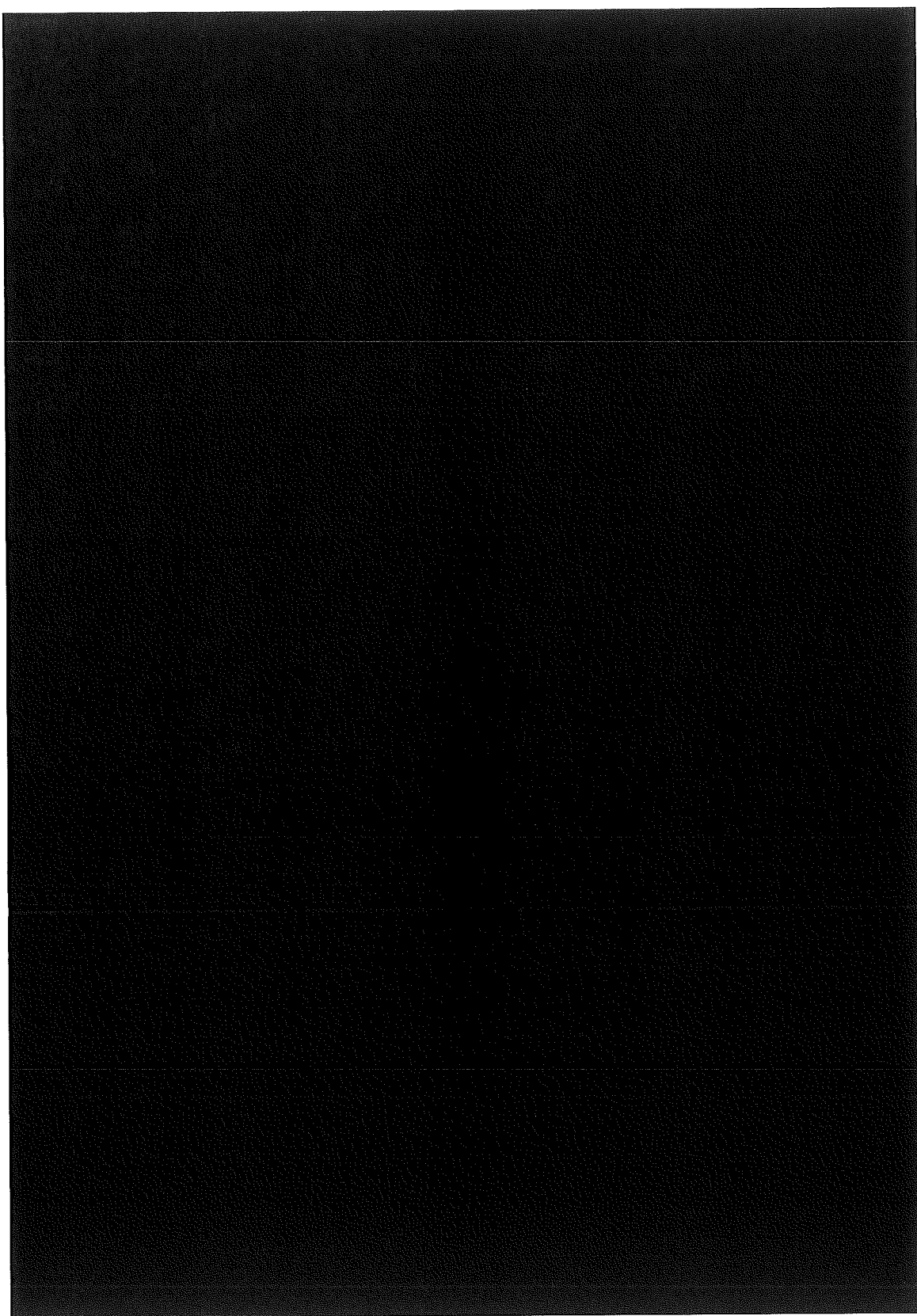
(ロ)一第B.5(a)図 一般の試験条件における密封容器温度分布 (単位: °C)



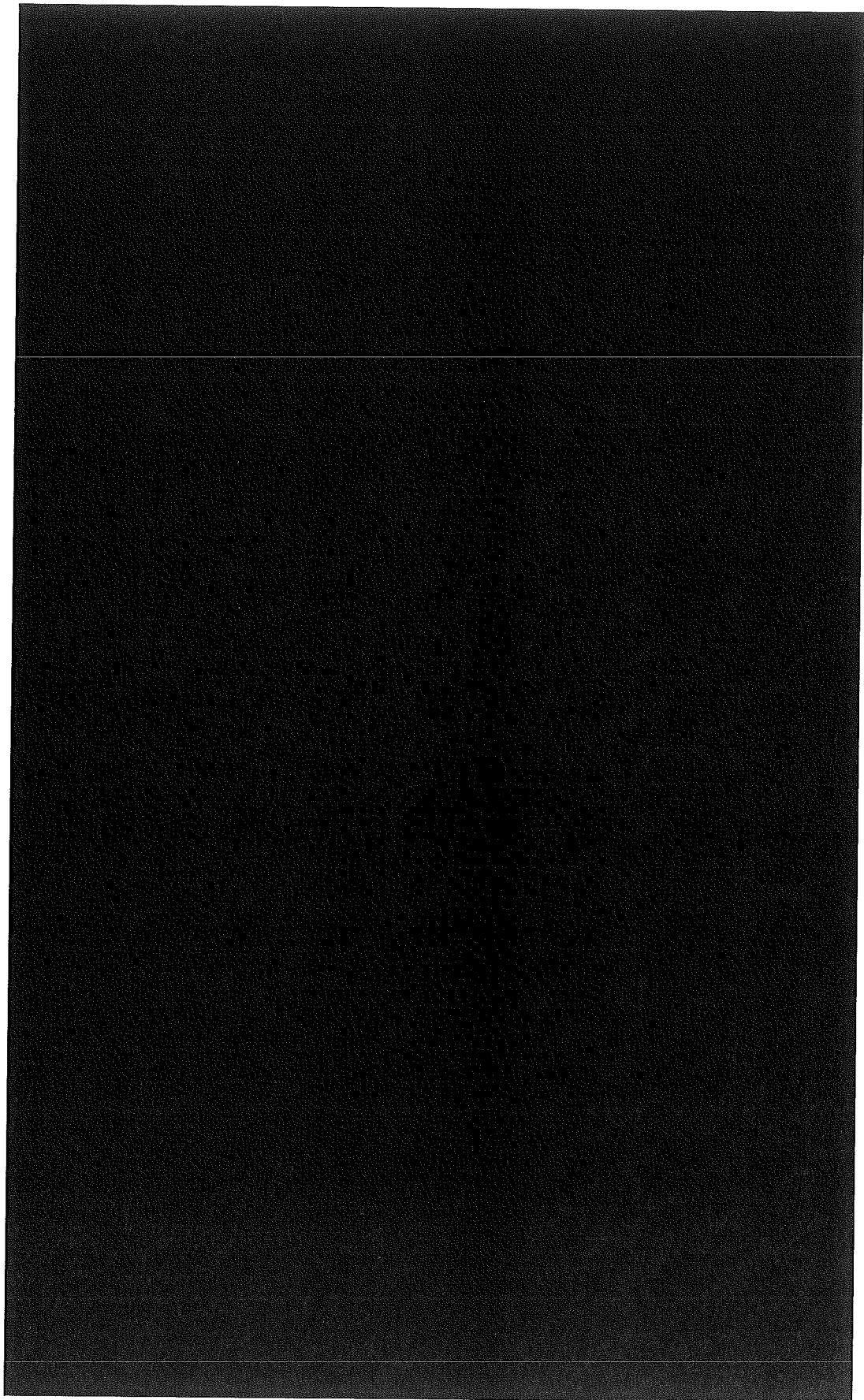
(ロ)一箱B.5(b)図 一般の試験条件における格納容器温度分布 (単位:℃)



(口)-第B.5(c)図 一般の試験条件における上部緩衝体温度分布 (単位: °C)



(口) - 第B. 5 (d) 図 一般の試験条件における底部緩衝体温度分布 (単位 : °C)



(口)一第B.6図 通常時輸送物表面温度 (単位: °C)

B.4.3 最低温度

本輸送物は外気温度-20℃以上で輸送される。したがって輸送物の温度は-20℃以下になることはない。本輸送容器の主要材質はステンレス鋼なので低温脆性等の問題はない。

輸送物には液体が使用されていないので凍結のおそれはない。

B.4.4 最大内圧

一般の試験条件下で、常温からの温度上昇に伴って圧力が上昇するのは密封容器内及び格納容器の密封された空気の部分である。一般の試験条件下でのそれぞれの圧力について評価する。

(1) 密封容器の圧力

常温（21℃）における圧力をP0、温度上昇後の密封容器内の温度及び圧力をt1、P1とし、密封容器内の容積を一定とすると、次式が成立つ。

$$\frac{P_0}{273+21} = \frac{P_1}{273+t_1}$$

したがって、密封容器の内圧は、

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{P_0}{273+21} \cdot (273+t_1) \\ &= \frac{0.1013}{294} \times (273+ \blacksquare) \\ &= \blacksquare \text{ MPa abs} \end{aligned}$$

(2) 格納容器の圧力

格納容器内の空気層の温度は各部位により異なるため、容積を考慮してそれぞれの分圧を求めて全圧力とした。各部位の容積、温度及び圧力を(ロ)－第B.15表に示す。

(ロ)－第B.15表 格納容器各部位の容積、温度及び圧力（収納物F2）

| i | 格納容器各空気層 | 容 積 (cm ³) | 温 度 (°C) | 圧 力 (MPa abs) |
|-----|----------|---------------------------|-------------|------------------|
| 1 | 巻上装置カバー | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| 2 | 格納容器本体 | | | |
| 3 | シャッター部 | | | |
| 4 | シャッター下部 | | | |
| 合 計 | | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |

$$P = \Sigma \frac{V_i}{V} P_i$$

$$= [Redacted]$$

$$[Redacted]$$

$$= [Redacted] \text{ MPa abs}$$

B.4.5 最大熱応力

一般の試験条件下において輸送容器に生ずる熱応力については、(ロ)章A.5.1.2及びA.5.1.3に述べたように、容器にほとんど温度差が生じないため、熱応力はきわめて小さい。

一般の試験条件下の格納容器胴部の熱応力は、(ロ)章A.5.1.2より、[Redacted] MPaであり、基準値の降伏応力[Redacted] MPa以下である。

B.4.6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下及び通常時における輸送物の各部の温度は、(ロ)－第B.5図及び(ロ)－第B.6図に示す。

容易に人の近づきうる部分としての輸送容器表面及び緩衝体表面の温度は最高[Redacted]°Cであり、許容基準値の85°Cを超えることはない。

[Redacted]のOリング及び漏えい試験用カプラの温度は、収納物の温度[Redacted]°Cを超えることはなく、これらの最高使用温度[Redacted]°Cを超えない。

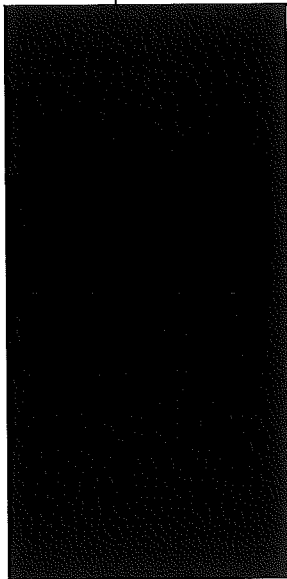





輸送物の構成材料は、ステンレス鋼、鉛、軟鋼であり、その温度は材料に溶融等の悪影響を及ぼさない。

なお、一般の試験条件下の構造解析においては、本熱解析で得られた各部位の温度及び圧力で解析を行っている。

輸送物の周囲温度が-20℃の環境におかれても本輸送物は液体を使用しておらず凍結することはない。また主要構成材はステンレス鋼であり、-20℃において十分使用に耐え、低温脆性等の問題はない。

一般の試験条件下における熱解析結果の要約と評価を(ロ)－第B.16表に示す。

(ロ)－第B.16表 一般の試験条件下における熱解析結果の要約と評価 (収納物F2)

| 項 目 | 基 準 値 | 結 果 | 評 価 |
|------------------------|---|---|--|
| 最 高 温 度 | | | |
| 収 納 物 |  | | 構造解析に使用 |
| 底部密封カバーOリング | | | 使用可能 |
| 近 接 表 面 ^(注) | | | 基準に合致 |
| シャッターカバーガスケット | | | 使用可能 |
| 本 体 外 面 | | | 構造解析に使用 |
| 巻上装置カバーOリング | | | 使用可能 |
| 本 体 内 面 | | | 構造解析に使用 |
| 密 封 容 器 | | | 構造解析に使用 |
| O リ ン グ | | | 使用可能 |
| カ プ ラ | | | 使用可能 |
| 最大圧力 | | | |
| 密封容器内部 |  MPa abs | | 構造解析に使用 |
| 格納容器空気層 |  MPa abs | | 構造解析に使用 |
| 最大熱応力 | | | |
| 格納容器本体 |  MPa |  MPa | MS =  |

(注) 太陽熱放射無の通常時に対する評価である。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

B.5.1.1 解析モデル

輸送物の熱解析は、差分法に基づく3次元定常及び非定常熱伝達計算プログラムTRUMPを用いて行った。

(1) 形状モデル

特別の試験条件において緩衝体に変形を生じるが、緩衝体は放熱媒体としては有効ではないので、熱解析モデルとしては一般の試験条件と同様の(ロ)－第B.1図から(ロ)－第B.4図のモデルで解析を行った。

(2) 解析条件

解析に使用した熱的条件は次のとおりである。収納物の崩壊熱量は、安全側に175 Wとする。特別の試験条件下の熱解析は、強度試験（落下試験Ⅰ及びⅡ）条件にひきつづいて、火災試験条件下におかれるものとする。

したがって、火災試験前の輸送容器の温度分布は、一般の試験条件下、周囲温度38℃の場合の温度分布であるとする。

火災試験の熱的条件は、周囲温度800℃、火災時間30分、火災の放射率0.9、容器表面の放射率0.8であり、太陽熱放射（(ロ)－第B.12表参照）を受けるものとする。火災試験後の熱的条件は、周囲温度38℃であり、太陽熱放射（(ロ)－第B.12表参照）を受けるものとする。このとき、容器表面の放射率は、0.55であり、周囲の放射率は1.0とする。容器表面からの熱放散は自然対流と放射を考慮する。

解析条件のまとめを(ロ)－第B.17表に示す。

(ロ)－第B.17表 特別の試験条件下の熱解析条件 (収納物F2)

| 事 象 項 目 | | 火 災 試 験 前 | 火 災 試 験 時 (3 0 分 間) | 火 災 試 験 後 |
|-----------------|-----------|----------------|--------------------------|----------------|
| | | 崩 壊 熱 量 | | 175 W |
| 環 境 条 件 | 周 围 温 度 | 静 止 空 気 38℃ | 火 災 800℃ | 静 止 空 気 38℃ |
| | 太 陽 熱 放 射 | あ り | あ り | あ り |
| | 周 围 放 射 率 | 1.0 | 0.9 | 1.0 |
| 容 器 表 面 の 放 射 率 | | 0.37 | 0.8 | 0.55 |

B.5.1.2 試験モデル

該当なし

B.5.2 核燃料輸送物の評価条件

落下試験 I 及び II で緩衝体は変形を生じるが、緩衝体に変形しても断熱性能は保持されるので緩衝体には変形がない一般の試験条件と同様のモデルで解析を行った。

また、火災試験条件下においては緩衝体内の ████████ が一部炭化することがあっても、██████ の断熱効果はほとんど低下せず、輸送物の熱的性能に悪影響を及ぼすことはない。

B.5.3 核燃料輸送物温度

(ロ) 章B.4.1.1の(1)及び(2)に記載したモデル及び条件に基づいて、TRUMPにより解析した。特別の試験条件下における最高温度と火災試験後からの時間の結果を(ロ)－第B.18表に示す。

火災試験30分後の輸送物の各部の温度分布を(ロ)－第B.7(a)図から(ロ)－第B.7(d)図に、時刻歴温度変化を(ロ)－第B.8図に示す。

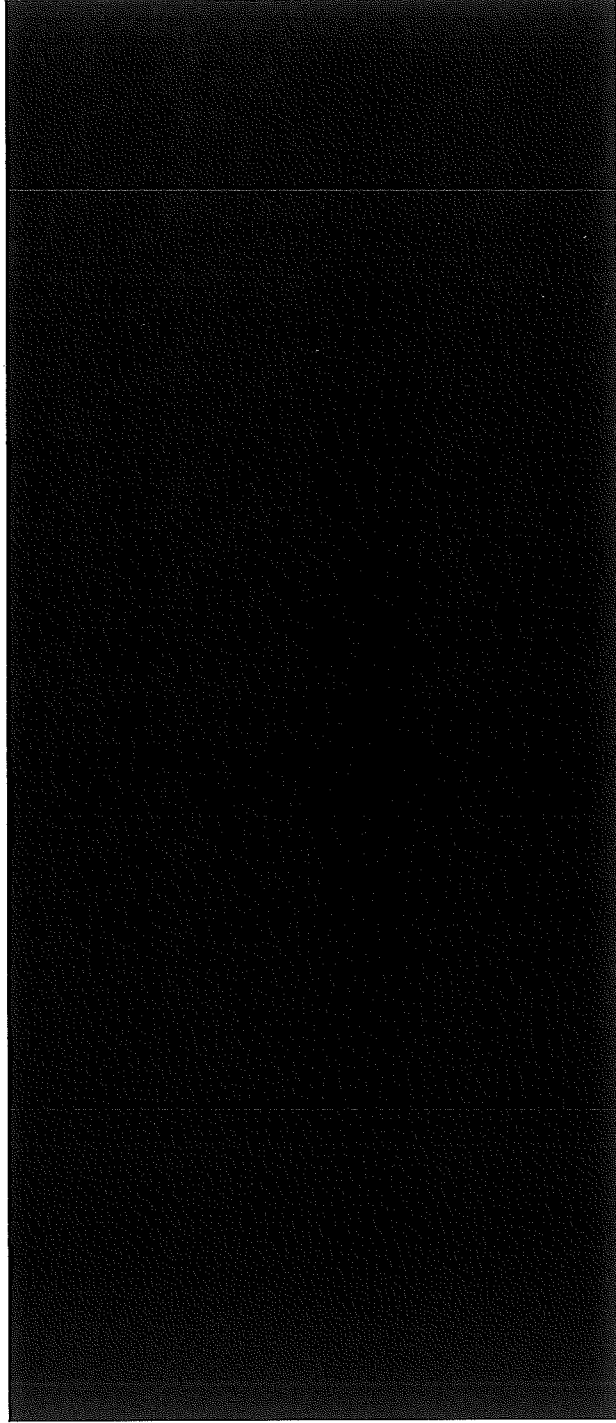
なお、密封境界の最高温度は巻上装置カバーリングが■■■℃、シャッターカバーガスケットは■■■℃となり、各々の最高使用温度を超えることはない。

(ロ)－第B.18表 特別の試験条件下における最高温度 (収納物F2)

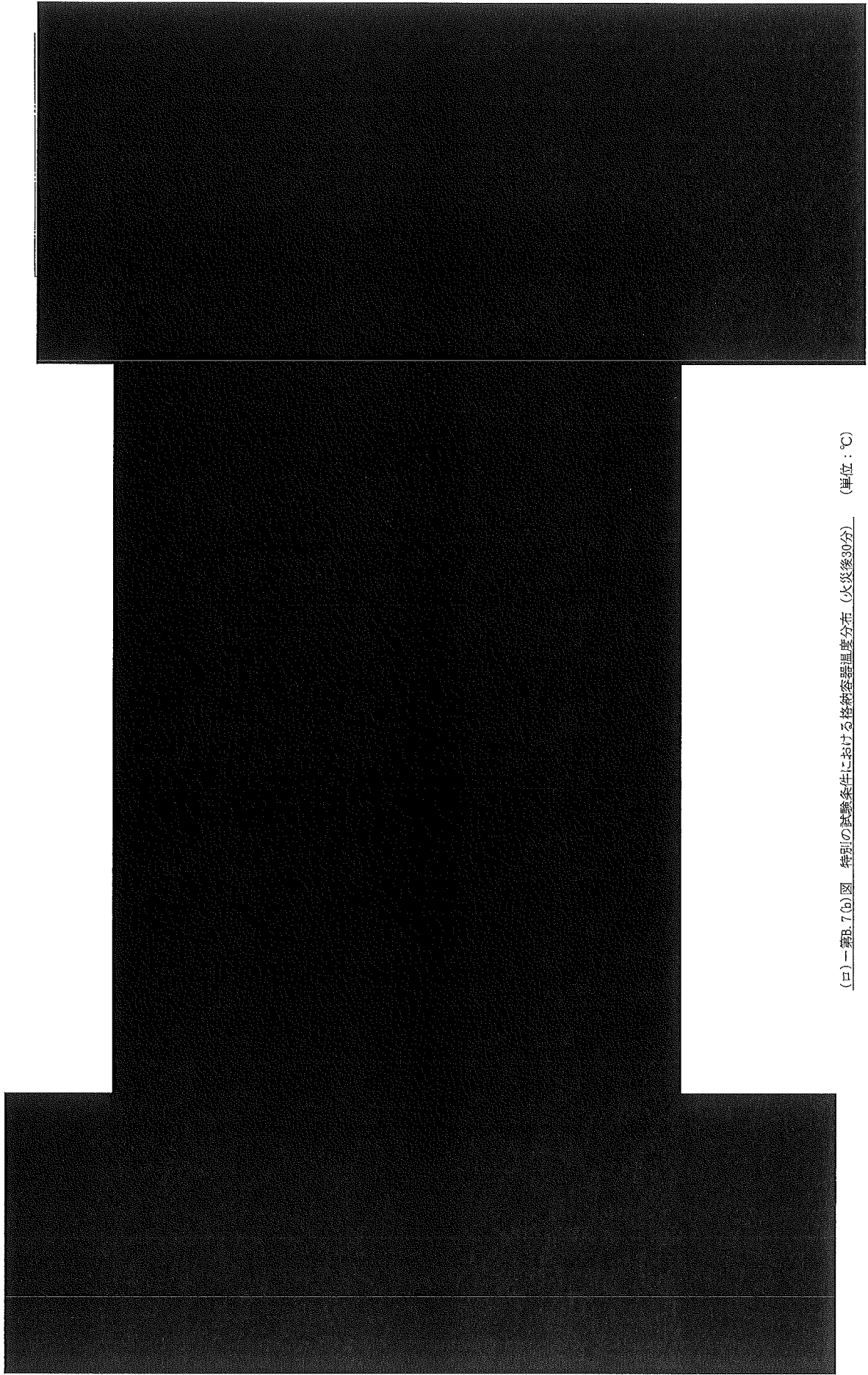
| 部位(ノード番号) | 条 件 | 温 度 (℃) | 火災発生後の時間 (h) |
|----------------------|-----|------------|-----------------|
| 収 納 物 (1) | | ■■■ | 12.0 |
| 密 封 容 器 (10) | | | 10.0 |
| 格 納 容 器 内 面 (104) | | | 3.0 |
| 格 納 容 器 外 面 (404) | | | 0.5 |
| 鉛 (613) | | | 2.5 |
| 密 封 容 器 オ リ ン グ (1) | | | 12.0 |
| シャッターカバーガスケット (420) | | | 0.5 |
| 底部密封カバーリング (440) | | | 14.0 |
| 巻上装置カバーリング (3471) | | | 3.0 |
| 格 納 容 器 空 気 層 (70) | | | 6.0 |
| 巻上装置カバー部空気層 (500) | | | 0.5 |
| シャッター部空気層 (520) | | | 0.5 |
| シャッター下部空気層 (530) | | | 14.0 |

備考1： ()内はTRUMP計算のノード番号を示す。

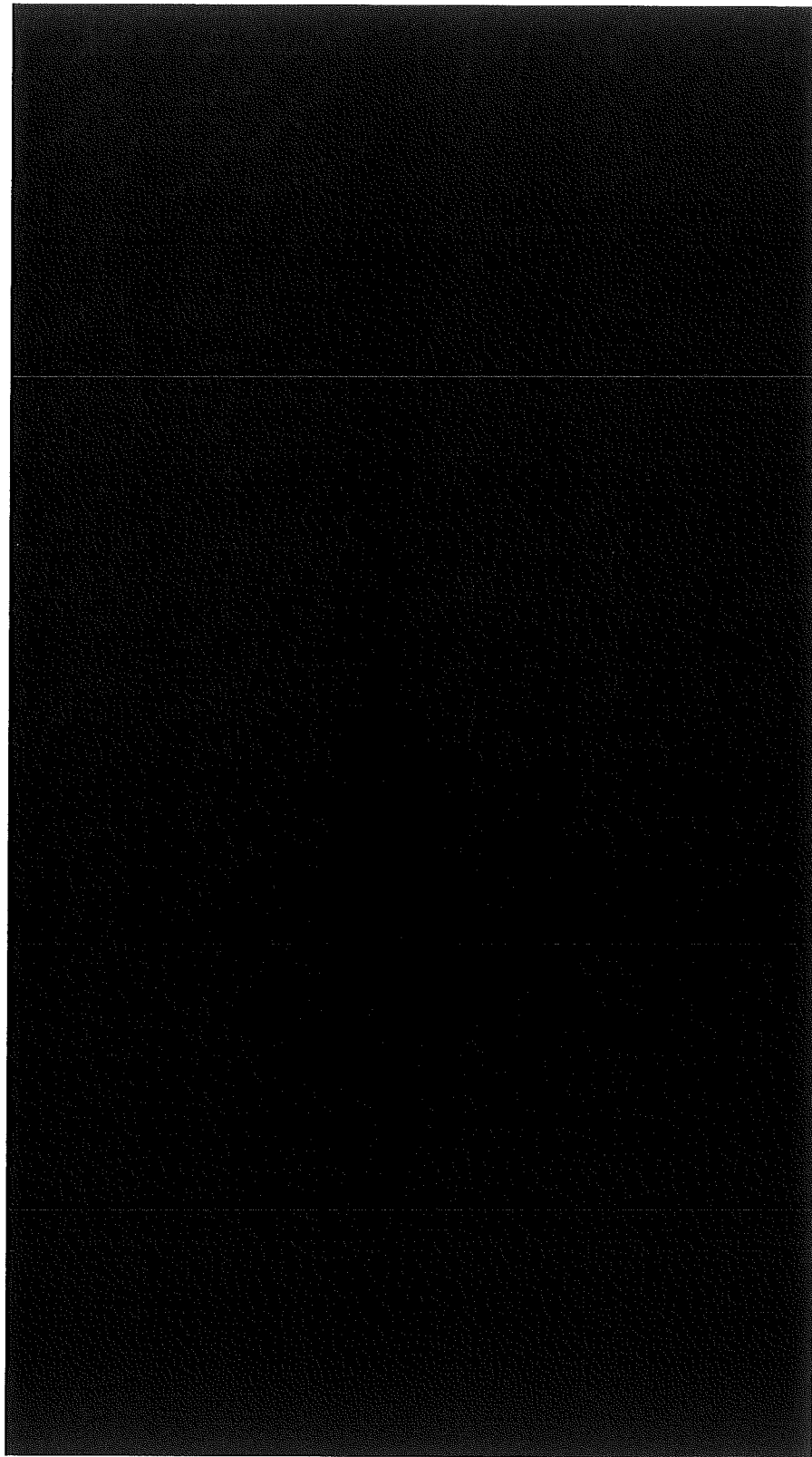
2： 本体内面と外面は、特別の試験条件下での温度差の最大のノード番号を示す。



(口) 第B.7(a)図 特別の試験条件における密封容器温度分布 (火災後30分) (単位: °C)

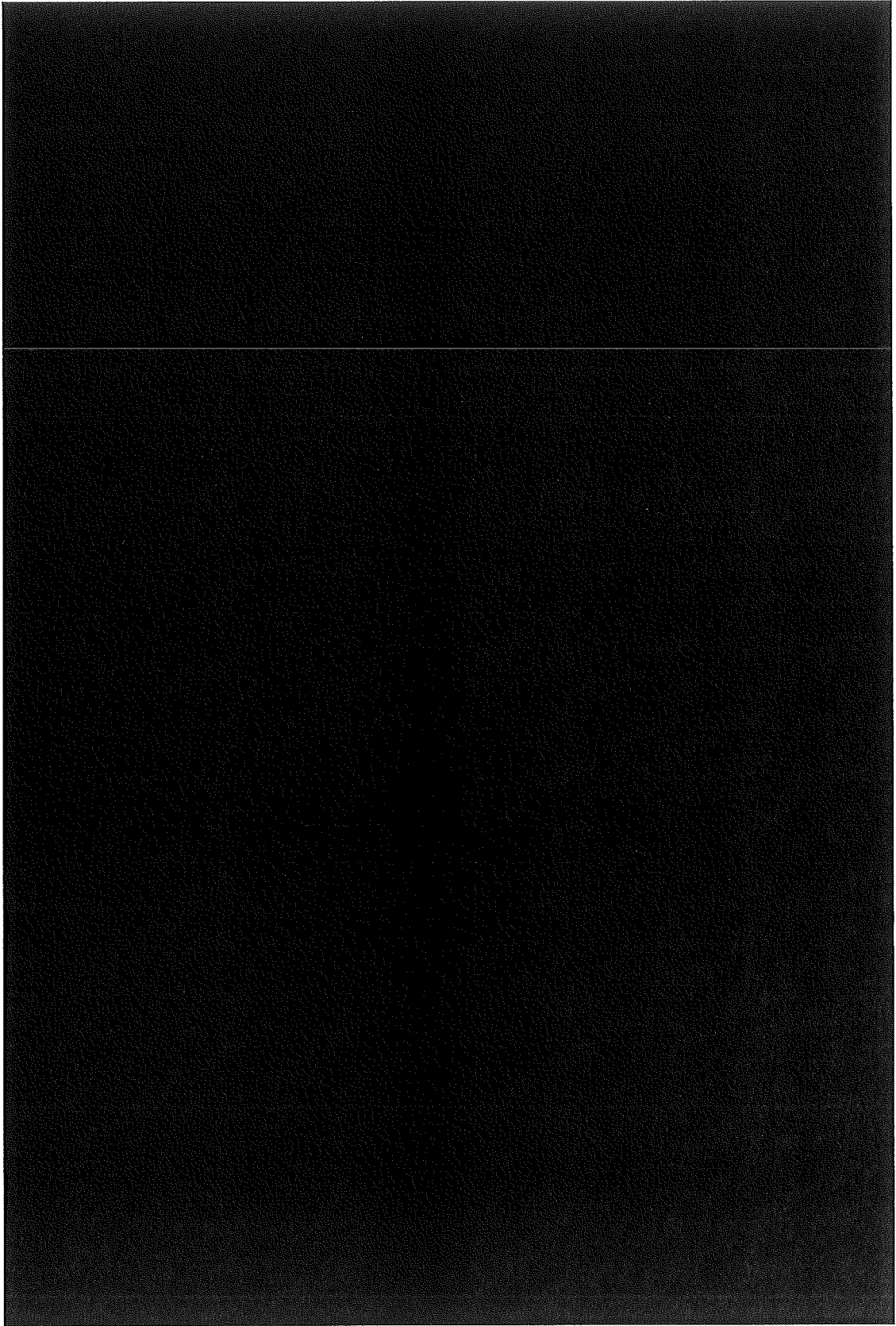


(口)一第B.7(b)図 特別の試験条件における格納容器温度分布 (火災後30分) (単位: °C)



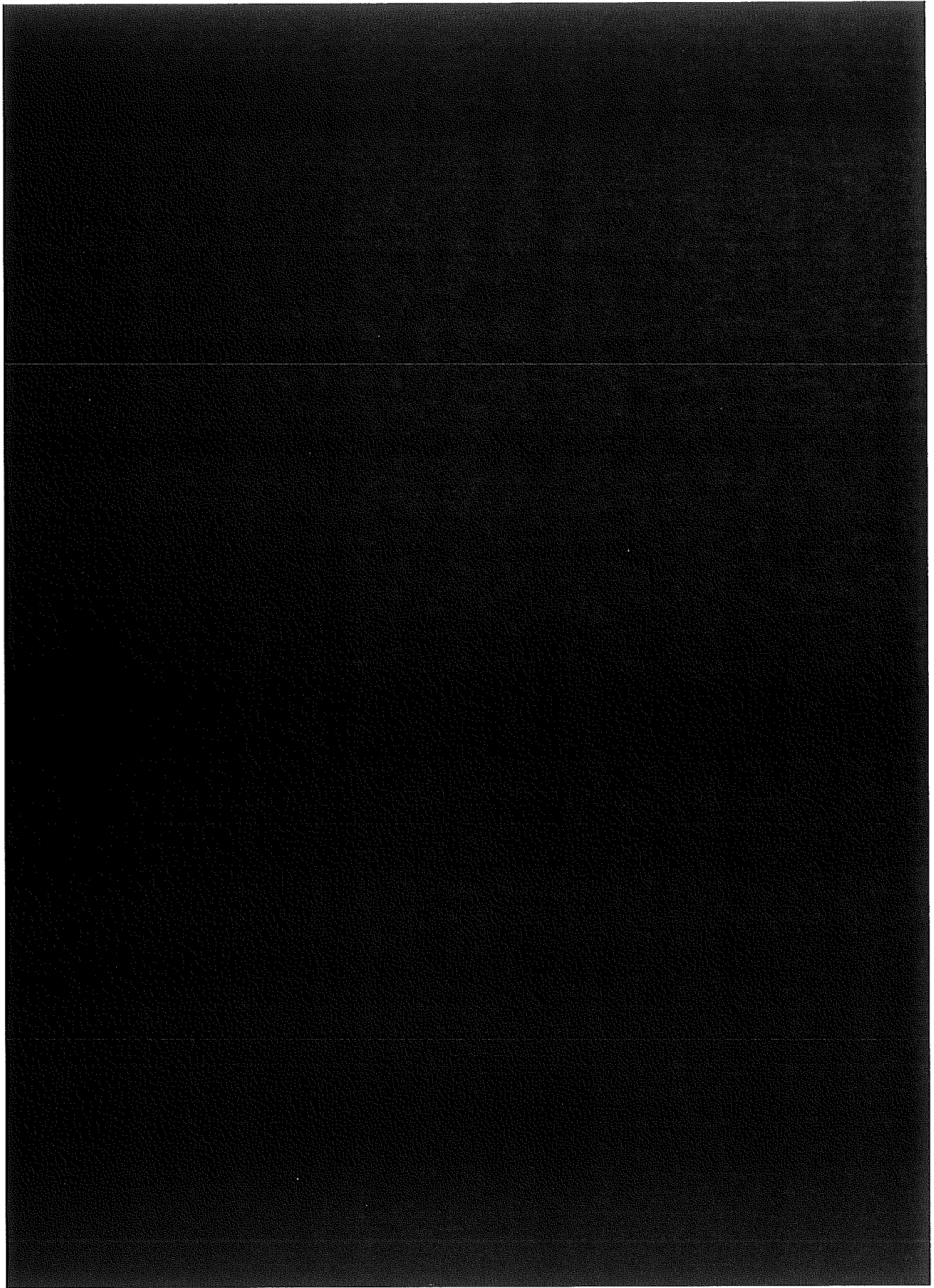
(口) - 第B.7(c)図 特別の試験条件における上部緩衝体温度分布

(火災後30分) (単位 : °C)



(口) - 第B.7(d)図 特別の試験条件における底部緩衝体温度分布

(火災後30分) (単位 : °C)



(口) - 第B. 8図 特別の試験条件下における輸送物の各部位の温度変化

B.5.4 最大内圧

輸送物の熱解析から、特別の試験条件下における輸送物の密封容器と格納容器内の圧力を求めた。密封容器内の圧力は、均質化した収納物の温度が最高になる火災発生後12時間のときに最大になる。格納容器空気層は(ロ)－第B.19表に示すように各部位の最大温度に基づいて解析を行った。したがって、圧力のピークは各部位で時間的に異なるため、解析値は実際より高い値を示している。次に、この条件で密封容器内圧力及び格納容器空気層の圧力を計算する。

(1) 密封容器

常温 (21℃) における圧力を P0、温度上昇後の温度及び圧力を t1、P1 とすれば、次式が成立つ。

$$\frac{P0}{273+21} = \frac{P1}{273+t1}$$

したがって、

$$\begin{aligned} P1 &= \frac{P0}{273+21} \times (273+t1) \\ &= \frac{0.1013}{294} \times (273+ \blacksquare) \\ &= \blacksquare \text{ MPa abs} \end{aligned}$$

(2) 格納容器空気層

各部位の容積、温度、圧力及び時間を(ロ)－第B.19表に示す。

(ロ)－第B.19表 格納容器各部位の容積、温度、圧力及び時間 (収納物F2)

| i | 格納容器各空気層 | 容積 (cm³) | 温度 (°C) | 圧力 (MPa abs) | 火災発生後の時間 (h) |
|----|----------|----------|---------|--------------|--------------|
| 1 | 巻上装置カバー | ■ | ■ | ■ | 0.5 |
| 2 | 格納容器本体 | | | | 6 |
| 3 | シャッター一部 | | | | 0.5 |
| 4 | シャッター下部 | | | | 14 |
| 合計 | | ■ | | | |

圧力は密封容器と同様に求めた。また、全圧力は前述のとおり実際より高い値となる。全圧力を次式より求める。

$$P = \sum \frac{V_i}{V} P_i$$

=

= [REDACTED] MPa abs

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下で輸送容器に生ずる熱応力が最大になるのは、輸送容器外面と内面の温度差が最大となる時、すなわち火災発生後30分の時である。

このときの熱応力は、(ロ)章A.6.3.2の計算により、格納容器内面では [REDACTED] MPa、外面では [REDACTED] MPaとなるが、解析基準値（内面 [REDACTED] MPa、外面 [REDACTED] MPa）より小さいので問題はない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下における輸送物の総合評価として、最高温度、最大圧力、最大熱応力の要約を(ロ)－第B.20表に示す。火災発生後30分の温度分布を(ロ)－第B.7(a)図から(ロ)－第B.7(d)図に示す。また、経過時間による輸送物の主要部位の温度変化を(ロ)－第B.8図に示す。

以上の結果により、収納物の温度は火災発生後12時間で最大の [REDACTED] °Cになるが、収納物の構成材はステンレス鋼、ジルカロイ及び二酸化ウランであり溶融及び破損することはない。

格納容器内には、一部鉛の遮蔽体を使用しているが、この部位での最高温度は [REDACTED] °Cであり、鉛の融点327°Cよりはるかに低い温度なので鉛の溶融はない。

密封境界には [REDACTED] のOリングを使用しており格納容器の底部密封カバー部では [REDACTED] °C、密封容器蓋部では [REDACTED] °Cに達するが基準値の [REDACTED] °Cより低い温度であり、巻上装置カバー部では [REDACTED] °Cに達するが基準値 [REDACTED] °Cより低い温度なので [REDACTED] の性状変化に問題はなく密封性は維持される。また、シャッターカバー部位は [REDACTED] °Cとなるが、この部分のガスケット材は [REDACTED] で最高使用温度は [REDACTED] °Cであり密封性能には問題ない。

(ロ) - 第B.20表 特別の試験条件下における輸送物の総合評価 (収納物F2)

| 項 目 | 基 準 値 | 結 果 | 評 価 |
|---------------|-------|---------|---------|
| 最高温度 | | | |
| 収 納 物 | — | | 熔融せず |
| 鉛 | | | 熔融せず |
| 底部密封カバーOリング | | | 使用可能 |
| 本 体 外 面 | | | 構造解析に使用 |
| シャッターカバーガスケット | | | 使用可能 |
| 本 体 内 面 | | | 構造解析に使用 |
| 巻上装置カバーOリング | | | 使用可能 |
| 格納容器カプラ | | | 使用可能 |
| 密 封 容 器 | | | 構造解析に使用 |
| ○ リ ン グ | | | 使用可能 |
| カ プ ラ | | | 使用可能 |
| 最大圧力 | | | |
| 密 封 容 器 内 部 | — | MPa abs | 構造解析に使用 |
| 格納容器空気層 | — | MPa abs | 構造解析に使用 |
| 最大熱応力 | | | |
| 格納容器本体 | | | MS = |

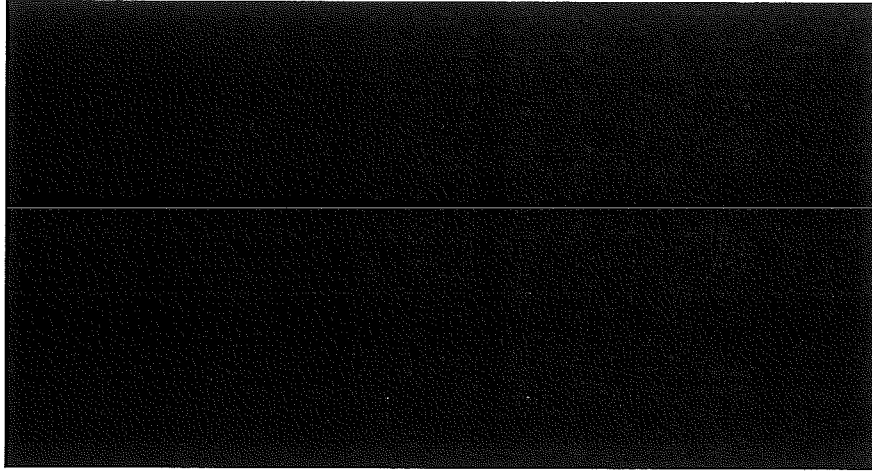
B.6 付属書類

- (1) B.6.1 解析に用いる熱伝達率及び熱放射係数
- (2) B.6.2 密封内容器を用いる場合の熱解析（照射済ウラン・プルトニウム炭化物及び窒化物燃料(F14)収納時の熱解析）
- (3) B.6.3 参考文献

(1) B.6.1 解析に用いる熱伝達率及び熱放射係数

1. 容器内の熱伝達

(1) 収納物と密封内容器内壁との熱伝達率



次のWootonの式を用いる。

$$h = 0.4 \frac{\lambda}{D} \left[\frac{g \beta D^3 P r}{\nu^2} \right]^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

ただし、

h : 熱伝達率 (W/m²·K)

λ : 熱伝導率 (W/m·K)

D : 密封内容器内壁高さ (m)

g : 重力加速度 (m/s²)

β : 膨張率 (K⁻¹)

P r : プラントル数

ν : 動粘性係数 (m²/s)

Δ t : 温度差 (K)

D = m

g = 9.8 m/s²

ヘリウムの温度を100℃として熱伝達率を求めると、

λ = 0.1789 W/m·K

β = 2.681 × 10⁻³ K⁻¹

$$Pr = 0.6718$$

$$\nu = 1.794 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

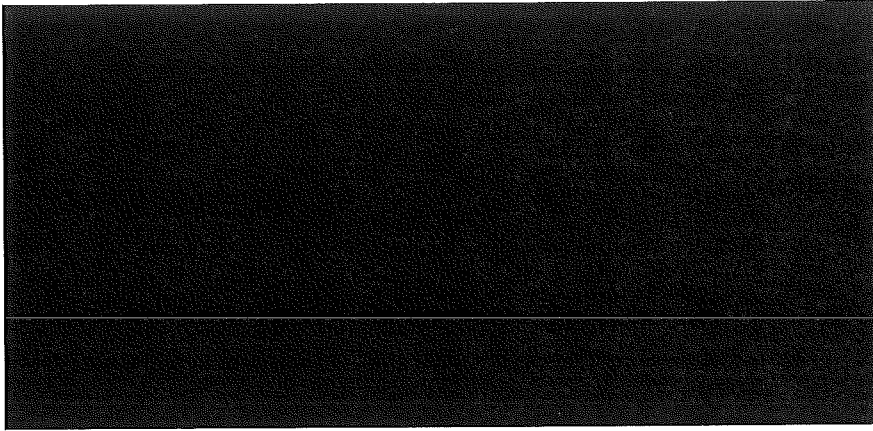
$$h = 0.4 \times \frac{0.1789}{\text{■■■■}} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\text{■■■■})^3 \times 0.6718}{(1.794 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

$$= \text{■■■■} (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|-------------------------------|
| 0 | ■■■■ (Δ t) ^{1/4} |
| 40 | ■■■■ (Δ t) ^{1/4} |
| 100 | ■■■■ (Δ t) ^{1/4} |
| 140 | ■■■■ (Δ t) ^{1/4} |
| 200 | ■■■■ (Δ t) ^{1/4} |
| 500 | ■■■■ (Δ t) ^{1/4} |
| 800 | ■■■■ (Δ t) ^{1/4} |

(2) 密封内容器の保護カバー内部の熱伝達率



密閉流体層内（垂直層）の自然対流熱伝達の式

$$h = 0.0516 \lambda \left[\frac{g \beta P r \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

を用いる。

ただし、

h : 熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

λ : 熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

g : 重力加速度 (m/s^2)

β : 膨張率 (K^{-1})

$P r$: プラントル数

ν : 動粘性係数 (m^2/s)

Δt : 温度差 (K)

ここで、

$$g = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$$

空気の温度を 100°C として熱伝達率を求めると、

$$\begin{aligned} h &= 0.0516 \times 0.0316 \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times 0.70}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/3} (\Delta t)^{1/3} \\ &= 0.519 (\Delta t)^{1/3} (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

この値は空気層の全厚さについての値であり、空気層の節点が中央にあるとすると、半分の幅の熱抵抗は全厚さの熱抵抗の半分になるので、空気と蓋の内壁との熱伝達率は上記の値の2倍となる。

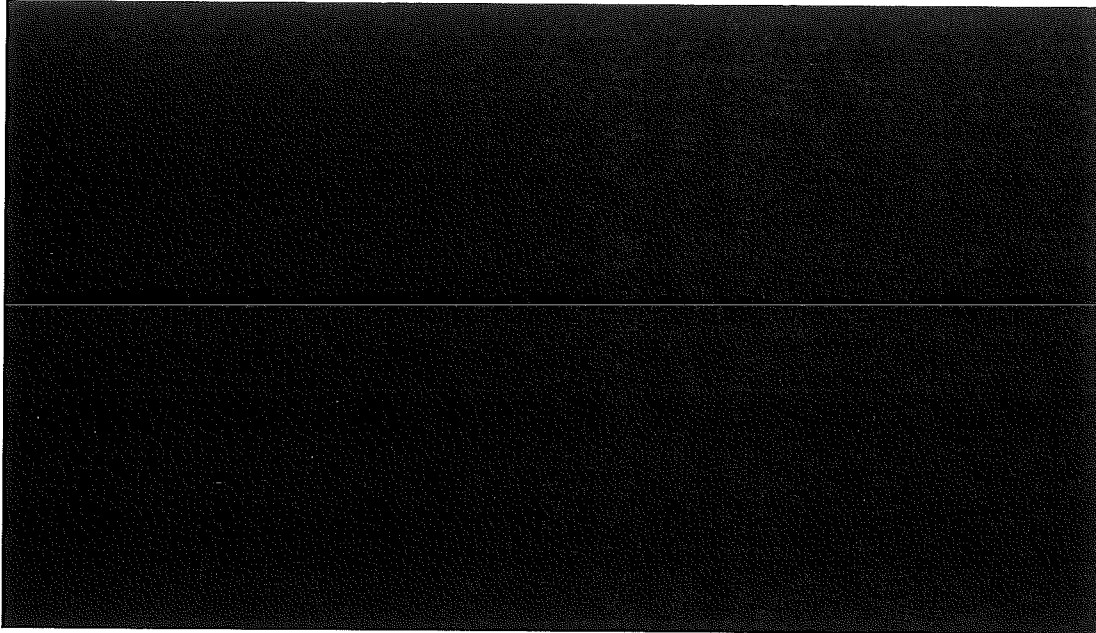
したがって、熱伝達率は、

$$h' = 2h = 1.037 (\Delta t)^{1/3} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|-------------------------------|
| 0 | 1.277 (Δ t) ^{1/3} |
| 40 | 1.170 (Δ t) ^{1/3} |
| 100 | 1.037 (Δ t) ^{1/3} |
| 140 | 0.971 (Δ t) ^{1/3} |
| 200 | 0.889 (Δ t) ^{1/3} |
| 500 | 0.640 (Δ t) ^{1/3} |
| 800 | 0.514 (Δ t) ^{1/3} |

(3) 密封内容器と密封容器内壁の間の熱伝達率



上図は密封内容器と密封容器内壁の間の熱伝達のモデルを表している。
領域Aでは、密封内容器と密封容器内壁の間では、自然対流による熱伝達を考慮して以下の(イ)に述べる式により計算を行う。
領域Bでは、以下の(ロ)に述べる計算式を用いて熱伝達率を求める。

(イ) 領域A

長さ \blacksquare mmにおいて、

密封容器内壁内体積： \blacksquare cm³、直径： \blacksquare mm

容器内容器体積： \blacksquare cm³、相当直径： \blacksquare mm

から空気層の厚さを \blacksquare m として、水平環内の熱伝導率を表わす次のLi
uの式を用いる。

$$\lambda_c = 0.135 \lambda \left[\left(\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right) \left(\frac{Pr^2}{1.36 + Pr} \right) \right]^{0.278}$$

ただし、

λ_c : 環路での空気の有効熱伝導率 (W/m·K)

λ : 熱伝導率 (W/m·K)

g : 重力加速度 (m/s²)

β : 膨張率 (K⁻¹)

L : 空気層の厚さ (m)

Δt : 温度差 (K)

ν : 動粘性係数 (m²/s)

Pr : プラントル数

ここで、

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2, \quad L = \blacksquare \text{ m}$$

空気の温度を100℃とすると有効熱伝導率は、

$$\begin{aligned} \lambda_c &= 0.135 \times 0.0316 \left[\left(\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\blacksquare)^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right) \left(\frac{(0.70)^2}{1.36 + 0.70} \right) \right]^{0.278} \times (\Delta t)^{0.278} \\ &= \blacksquare (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m·K)} \end{aligned}$$

空気層の節点が中央L/2にあるとすれば、熱伝達率は、

$$\begin{aligned} h &= \frac{\lambda_c}{L/2} = \frac{2 \times \blacksquare \times (\Delta t)^{0.278}}{\blacksquare} \\ &= \blacksquare (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m}^2\text{·K)} \end{aligned}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|-------------------------------|
| 0 | (Δ t) 0.278 |
| 40 | (Δ t) 0.278 |
| 100 | (Δ t) 0.278 |
| 140 | (Δ t) 0.278 |
| 200 | (Δ t) 0.278 |
| 500 | (Δ t) 0.278 |
| 800 | (Δ t) 0.278 |

(ロ) 領域 B

水平方向の熱伝達率はLiuの式を用いて求める。

$$L = \text{■■■■} \text{ m}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

から、空気の温度を100°Cとすると有効熱伝導率は、

$$\lambda_c = 0.135 \times 0.0316 \left[\left(\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\text{■■■■})^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right) \left(\frac{(0.70)^2}{1.36 + 0.70} \right) \right]^{0.278} \times (\Delta t)^{0.278}$$

$$= \text{■■■■} (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

空気層の節点が中央L/2にあるとすれば、熱伝達率は、

$$h = \frac{\lambda_c}{L/2} = \frac{2 \times \text{■■■■} \times (\Delta t)^{0.278}}{\text{■■■■}}$$

$$= \text{■■■■} (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|-------------------------------|
| 0 | ■■■■ (Δ t) ^{0.278} |
| 40 | ■■■■ (Δ t) ^{0.278} |
| 100 | ■■■■ (Δ t) ^{0.278} |
| 140 | ■■■■ (Δ t) ^{0.278} |
| 200 | ■■■■ (Δ t) ^{0.278} |
| 500 | ■■■■ (Δ t) ^{0.278} |
| 800 | ■■■■ (Δ t) ^{0.278} |

垂直方向の熱伝達率は次の密閉流体層内の垂直層の自然対流熱伝達を表わす式を用いる。

$$h = 0.0516 \lambda \left[\frac{g \beta P_r \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

ただし、

h : 熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

λ : 熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

g : 重力加速度 (m/s^2)

β : 膨張率 (K^{-1})

Δt : 温度差 (K)

ν : 動粘性係数 (m^2/s)

P_r : プラントル数

ここで、

$$g = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$$

空気の温度を 100°C とすると熱伝達率は、

$$\begin{aligned} h &= 0.0516 \times 0.0316 \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times 0.70}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/3} (\Delta t)^{1/3} \\ &= 0.519 (\Delta t)^{1/3} (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

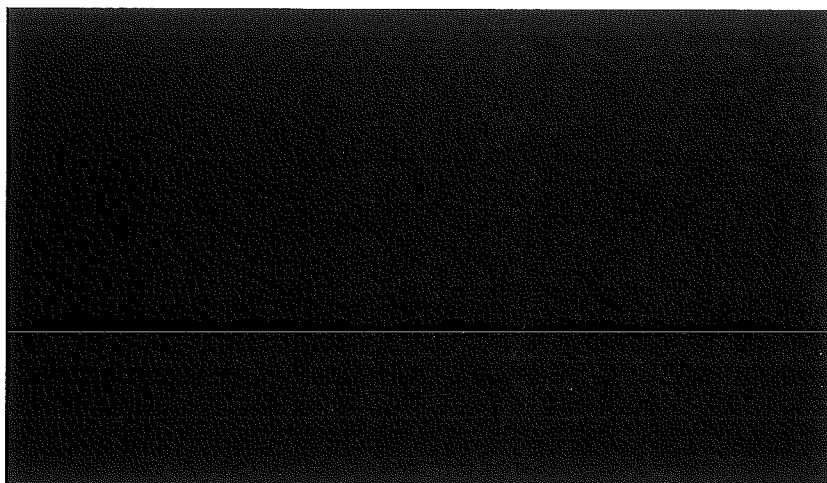
空気層の節点を中央にあるとすれば、半分の幅の熱抵抗は全厚さの熱抵抗の半分になるので、熱伝達率は上記の値の2倍となり、

$$h' = 2h = 1.037 (\Delta t)^{1/3} (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|-------------------------------|
| 0 | 1.277 (Δ t) ^{1/3} |
| 40 | 1.170 (Δ t) ^{1/3} |
| 100 | 1.037 (Δ t) ^{1/3} |
| 140 | 0.971 (Δ t) ^{1/3} |
| 200 | 0.889 (Δ t) ^{1/3} |
| 500 | 0.640 (Δ t) ^{1/3} |
| 800 | 0.514 (Δ t) ^{1/3} |

(4) 収納物と密封容器内壁との熱伝達率



次のWootonの式を用いる。

$$h = 0.4 \frac{\lambda}{D} \left[\frac{g \beta D^3 P r}{\nu^2} \right]^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

ただし、

h : 熱伝達率 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

λ : 熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

D : 密封容器内壁高さ (m)

g : 重力加速度 (m/s^2)

β : 膨張率 (K^{-1})

$P r$: プラントル数

ν : 動粘性係数 (m^2/s)

Δt : 温度差 (K)

$D = \blacksquare$ m

$g = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$

空気の温度を 100°C とすると、

$\lambda = 0.0316 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$

$\beta = 2.681 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

$P r = 0.70$

$\nu = 0.239 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

から熱伝達率は、

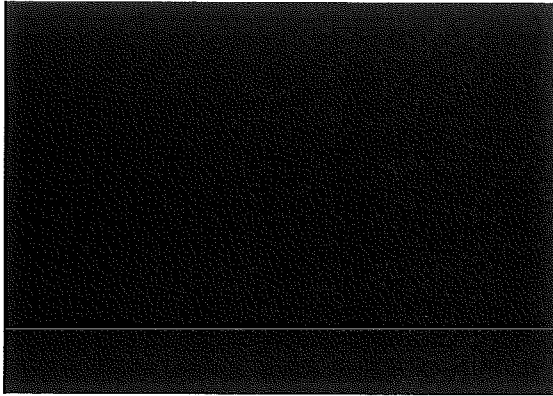
$$h = 0.4 \times \frac{0.0316}{\blacksquare} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\blacksquare)^3 \times 0.70}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

$$= \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|---------------------------------|
| 0 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 40 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 100 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 140 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 200 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 500 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 800 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |

(5) 密封容器蓋内部の空気の熱伝達率



密閉流体層内（垂直層）の自然対流熱伝達の式

$$h = 0.18 \frac{\lambda}{L} \left[\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/4} \left(\frac{H}{L} \right)^{-1/9} \left(\frac{Pr}{0.72} \right)^{1/4}$$

を用いる。

ただし、

h : 熱伝達率 ($W/m^2 \cdot K$)

λ : 熱伝導率 ($W/m \cdot K$)

L : 空気層の厚さ (m)

g : 重力加速度 (m/s^2)

β : 膨張率 (K^{-1})

Pr : プラントル数

ν : 動粘性係数 (m^2/s)

H : 空気層の高さ (m)

Δt : 温度差 (K)

ここで、

$$L = \blacksquare \text{ m} , \quad H = \blacksquare \text{ m} , \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

空気の温度を100°Cとして熱伝達率を求めると、

$$h = 0.18 \times \frac{0.0316}{\blacksquare} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\blacksquare)^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} (\blacksquare)^{-1/9} \left(\frac{0.70}{0.72} \right)^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

$$= \blacksquare (\Delta t)^{1/4} (W/m^2 \cdot K)$$

この値は空気層の全厚さについての値であり、空気層の節点が中央にあるとすると、半分の幅の熱抵抗は全厚さの熱抵抗の半分になるので、空気と蓋の内壁との熱伝達率は上記の値の2倍となる。

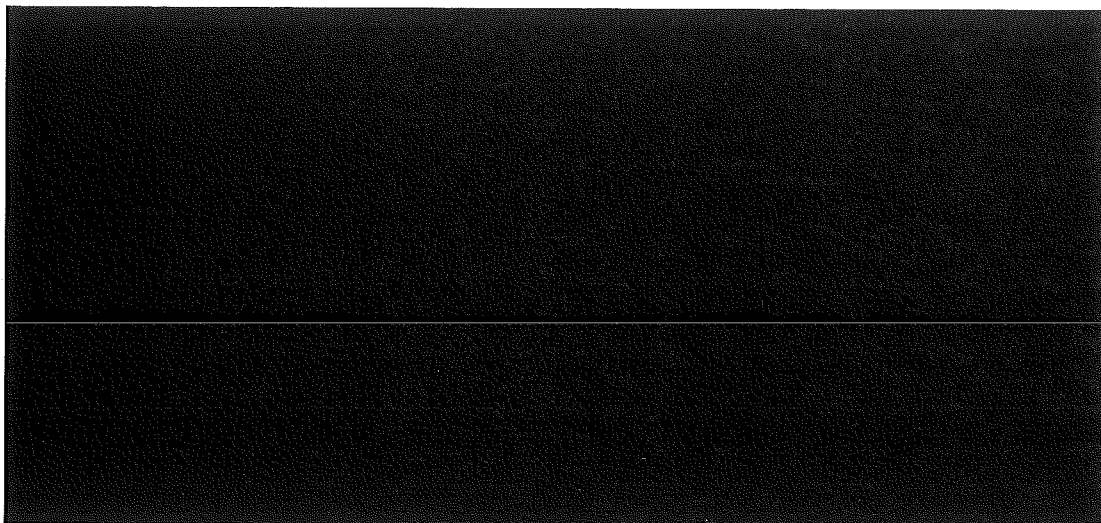
したがって、熱伝達率は、

$$h' = 2h = \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|---------------------------------|
| 0 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 40 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 100 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 140 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 200 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 500 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 800 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |

(6) 密封容器と格納容器内壁の間の熱伝達率



上図は密封容器と格納容器内壁の間の熱伝達のモデルを表している。

領域Aでは、密封容器と格納容器内壁の間では、自然対流による熱伝達を考慮して以下の(イ)に述べる式により計算を行う。

領域Bでは、以下の(ロ)に述べる計算式を用いて熱伝達率を求める。

(イ) 領域A

長さ \blacksquare mmにおいて、

格納容器内壁内体積 \blacksquare cm³ 、 直 径 \blacksquare mm

密封容器体積 \blacksquare cm³ 、 相当直径 \blacksquare mm

から空気層の厚さを \blacksquare mmとして、水平環内の熱伝導率を表わす次のLiuの式を用いる。

$$\lambda_c = 0.135 \lambda \left[\left(\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right) \left(\frac{Pr^2}{1.36 + Pr} \right) \right]^{0.278}$$

ただし、

λ_c : 環路での空気の有効熱伝導率 (W/m·K)

λ : 熱伝導率 (W/m·K)

g : 重力加速度 (m/s²)

β : 膨張率 (K⁻¹)

L : 空気層の厚さ (m)

Δt : 温度差 (K)

ν : 動粘性係数 (m^2/s)

Pr : プラントル数

ここで、

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2, \quad L = \text{■■■■} \text{ m}$$

空気の温度を100℃とすると有効熱伝導率は、

$$\lambda_c = 0.135 \times 0.0316 \left[\left(\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\text{■■■■})^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right) \left(\frac{(0.70)^2}{1.36 + 0.70} \right) \right]^{0.278} \times (\Delta t)^{0.278}$$
$$= \text{■■■■} (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

空気層の節点が中央L/2にあるとすれば、熱伝達率は、

$$h = \frac{\lambda_c}{L/2} = \frac{2 \times \text{■■■■} \times (\Delta t)^{0.278}}{\text{■■■■}}$$
$$= \text{■■■■} (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

同様に各温度に対して熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温度(°C) | 熱伝達率 (W/m ² ·K) |
|--------|----------------------------|
| 0 | ■■■■ (Δt) ^{0.278} |
| 40 | ■■■■ (Δt) ^{0.278} |
| 100 | ■■■■ (Δt) ^{0.278} |
| 140 | ■■■■ (Δt) ^{0.278} |
| 200 | ■■■■ (Δt) ^{0.278} |
| 500 | ■■■■ (Δt) ^{0.278} |
| 800 | ■■■■ (Δt) ^{0.278} |

(ロ) 領域B

水平方向の熱伝達率はLiuの式を用いて求める。

$$L = \blacksquare \text{ m}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

から空気の温度を100°Cとすると有効熱伝導率は、

$$\lambda_c = 0.135 \times 0.0316 \left[\left(\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times \blacksquare^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right) \left(\frac{(0.70)^2}{1.36 + 0.70} \right) \right]^{0.278} \times (\Delta t)^{0.278}$$

$$= \blacksquare (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

空気層の節点が中央L/2にあるとすれば、熱伝達率は、

$$h = \frac{\lambda_c}{L/2} = \frac{2 \times \blacksquare \times (\Delta t)^{0.278}}{\blacksquare}$$

$$= \blacksquare (\Delta t)^{0.278} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

同様に各温度に対して熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|-----------------------------------|
| 0 | $\blacksquare (\Delta t)^{0.278}$ |
| 40 | $\blacksquare (\Delta t)^{0.278}$ |
| 100 | $\blacksquare (\Delta t)^{0.278}$ |
| 140 | $\blacksquare (\Delta t)^{0.278}$ |
| 200 | $\blacksquare (\Delta t)^{0.278}$ |
| 500 | $\blacksquare (\Delta t)^{0.278}$ |
| 800 | $\blacksquare (\Delta t)^{0.278}$ |

垂直方向の熱伝達率は次の密閉流体層内の垂直層の自然対流熱伝達を表わす式を用いる。

$$h = 0.18 \frac{\lambda}{L} \left[\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/4} \left(\frac{H}{L} \right)^{-1/9} \left(\frac{Pr}{0.72} \right)^{1/4}$$

ただし、

h : 熱伝達率 ($W/m^2 \cdot K$)

λ : 熱伝導率 ($W/m \cdot K$)

g : 重力加速度 (m/s^2)

β : 膨張率 (K^{-1})

L : 空気層の厚さ (m)

Δt : 温度差 (K)

ν : 動粘性係数 (m^2/s)

H : 空気層の高さ (m)

Pr : プラントル数

ここで、

$$L = \text{■} \text{ m} , \quad H = \text{■} \text{ m} , \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

空気の温度を 100°C とすると熱伝達率は、








$$h = 0.18 \times \frac{0.0316}{\text{■}} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\text{■})^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} (\text{■})^{-1/9} \times \left(\frac{0.70}{0.72} \right)^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

$$= \text{■} (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

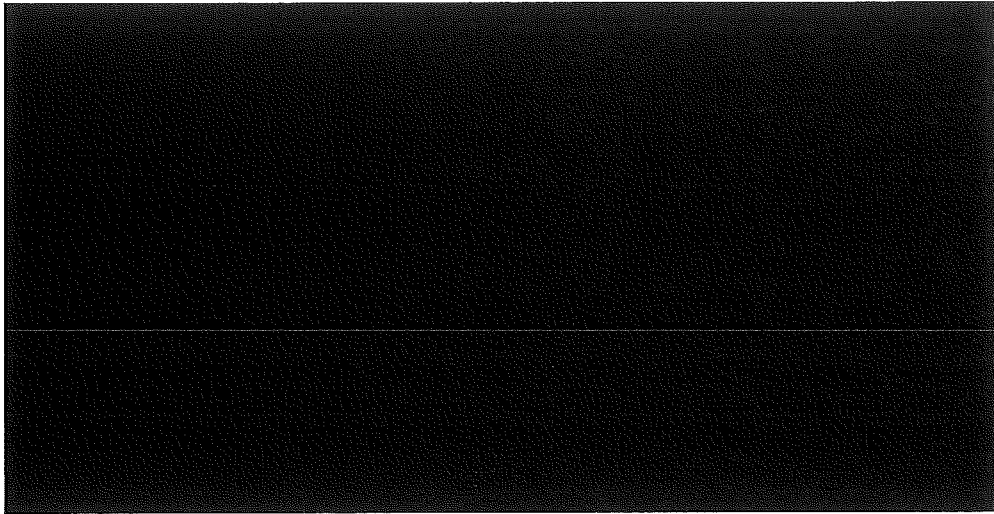
空気層の節点が中央にあるとすれば、半分の幅の熱抵抗は全厚さの熱抵抗の半分になるので、熱伝達率は上記の値の2倍となり、

$$h' = 2h = \text{■} (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|--|
| 0 |  $(\Delta t)^{1/4}$ |
| 40 |  $(\Delta t)^{1/4}$ |
| 100 |  $(\Delta t)^{1/4}$ |
| 140 |  $(\Delta t)^{1/4}$ |
| 200 |  $(\Delta t)^{1/4}$ |
| 500 |  $(\Delta t)^{1/4}$ |
| 800 |  $(\Delta t)^{1/4}$ |

(7) 本体上部の巻上ドラムカバー内の空気の熱伝達率



次の密閉流体層内の垂直層の自然対流熱伝達を表わす式を用いる。

$$h = 0.18 \frac{\lambda}{L} \left[\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/4} \left(\frac{H}{L} \right)^{-1/9} \left(\frac{Pr}{0.72} \right)^{1/4}$$

(使用記号は前述)

ここで、

$$L = \text{■■■■} \text{ m} \quad , \quad H = \text{■■■■} \text{ m} \quad , \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$








空気の温度を100℃とすると熱伝達率は、

$$h = 0.18 \times \frac{0.0316}{\text{■■■■}} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\text{■■■■})^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} \left(\frac{\text{■■■■}}{\text{■■■■}} \right)^{-1/9} \times \left(\frac{0.70}{0.72} \right)^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$
$$= \text{■■■■} (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

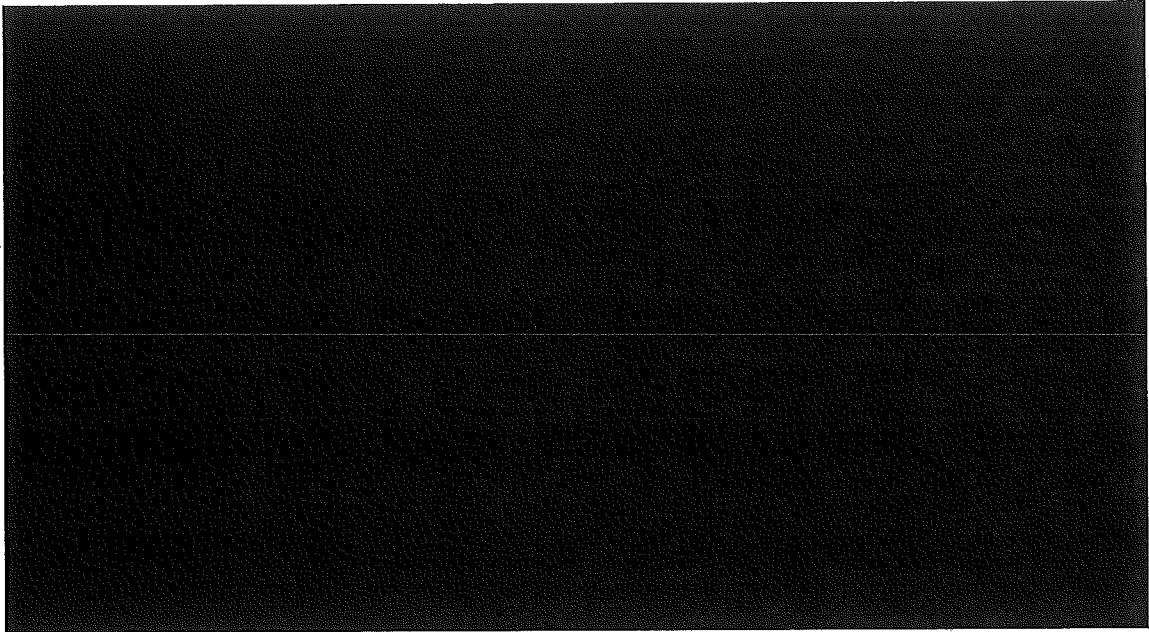
空気層の節点が中央にあるとすれば、熱抵抗は半分になるので、熱伝達率は上記の値の2倍となり、

$$h' = 2h = \text{■■■■} (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|--|
| 0 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 40 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 100 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 140 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 200 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 500 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 800 |  (Δ t) ^{1/4} |

(8) 巻上ドラムのシャフトカバー内の空気の熱伝達率



次の密閉流体層内の水平層の自然対流熱伝達を表わす式を用いる。

$$h = 0.195 \frac{\lambda}{L} \left[\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/4} \left(\frac{Pr}{0.72} \right)^{1/4}$$

ただし、

h : 熱伝達率 ($W/m^2 \cdot K$)

λ : 熱伝導率 ($W/m \cdot K$)

L : 空気層の厚さ (m)

g : 重力加速度 (m/s^2)

β : 膨張率 (K^{-1})

Δt : 温度差 (K)

ν : 動粘性係数 (m^2/s)

Pr : プラントル数

ここで、

$$L = \blacksquare \text{ m} , \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

空気の温度を100℃とすると熱伝達率は、

$$h = 0.195 \times \frac{0.0316}{\blacksquare} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\blacksquare)^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} \left(\frac{0.70}{0.72} \right)^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

$$= \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

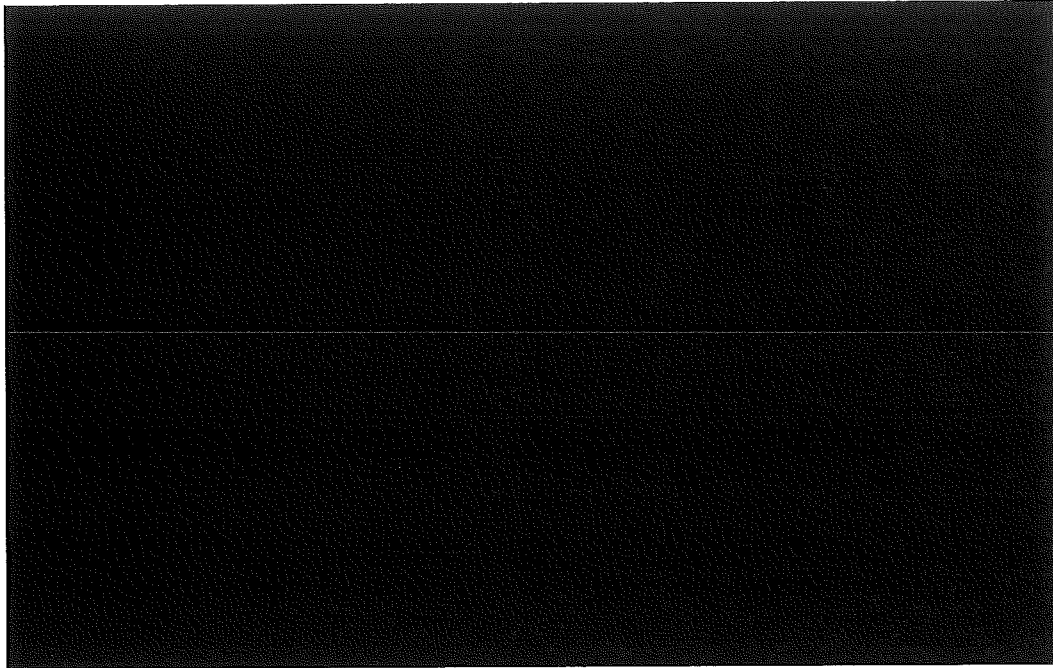
空気層の節点が中央にあるとすれば、熱抵抗は半分になるので、熱伝達率は上記の値の2倍となり、

$$h' = 2h = \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温度(°C) | 熱伝達率 (W/m ² ·K) |
|--------|---------------------------------|
| 0 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 40 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 100 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 140 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 200 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 500 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 800 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |

(9) シャッター蓋内部の空気の熱伝達率



水平方向の熱伝達率は次の密閉流体層内の水平層の自然対流熱伝達を表わす式を用いる。

$$h = 0.195 \frac{\lambda}{L} \left[\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/4} \left(\frac{Pr}{0.72} \right)^{1/4}$$

(記号は前述)

ここで、

$$L = \blacksquare \text{ m} \quad , \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$



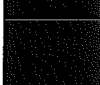




空気の温度を100°Cとすると熱伝達率は、

$$\begin{aligned} h &= 0.195 \times \frac{0.0316}{\blacksquare} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\blacksquare)^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} \left(\frac{0.70}{0.72} \right)^{1/4} (\Delta t)^{1/4} \\ &= \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

空気層の節点が中央にあるとすれば、熱伝達率は上記の値を2倍した値となり、

$$h' = 2h = \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|---|
| 0 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 40 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 100 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 140 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 200 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 500 |  (Δ t) ^{1/4} |
| 800 |  (Δ t) ^{1/4} |

垂直方向の熱伝達率は、次の密閉流体層内の垂直層の自然対流熱伝達を表わす式を用いる。

$$h = 0.18 \frac{\lambda}{L} \left[\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/4} \left(\frac{H}{L} \right)^{-1/9} \left(\frac{Pr}{0.72} \right)^{1/4}$$

(使用記号は前述)

ここで、

$$L = \blacksquare \text{ m} \quad , \quad H = \blacksquare \text{ m} \quad , \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

空気の温度を100℃とすると熱伝達率は、

$$h = 0.18 \times \frac{0.0316}{\blacksquare} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\blacksquare)^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} (\blacksquare)^{-1/9} \times \left(\frac{0.70}{0.72} \right)^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

$$= \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

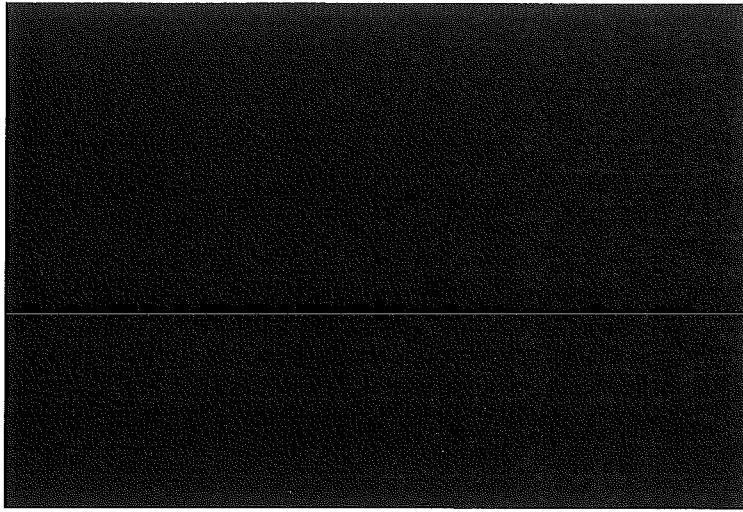
空気層の節点が中央にあるとすれば、熱伝達率は上記の値を2倍した値となり、

$$h' = 2h = \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度 (°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|----------|---------------------------------|
| 0 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 40 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 100 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 140 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 200 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 500 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |
| 800 | $\blacksquare (\Delta t)^{1/4}$ |

(10) 本体下部の密封容器の入口部の空気の熱伝達率



次の密閉流体層内の垂直層の自然対流熱伝達を表わす式を用いる。

$$h = 0.18 \frac{\lambda}{L} \left[\frac{g \beta L^3 \Delta t}{\nu^2} \right]^{1/4} \left(\frac{H}{L} \right)^{-1/9} \left(\frac{Pr}{0.72} \right)^{1/4}$$

(使用記号は前述)

ここで、

$$L = \blacksquare \text{ m} , \quad H = \blacksquare \text{ m} , \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

空気の温度を100℃とすると熱伝達率は、

$$h = 0.18 \times \frac{0.0316}{\blacksquare} \times \left[\frac{9.8 \times 2.681 \times 10^{-3} \times (\blacksquare)^3}{(0.239 \times 10^{-4})^2} \right]^{1/4} (\blacksquare)^{-1/9} \left(\frac{0.70}{0.72} \right)^{1/4} (\Delta t)^{1/4}$$

$$= \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

空気層の節点が中央にあるとすれば、熱伝達率は上記の値を2倍した値となり、

$$H' = 2h = \blacksquare (\Delta t)^{1/4} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

同様に各温度について熱伝達率を求めると以下のとおりである。

| 温 度(°C) | 熱 伝 達 率 (W/m ² ·K) |
|---------|-------------------------------|
| 0 | (Δ t) ^{1/4} |
| 40 | (Δ t) ^{1/4} |
| 100 | (Δ t) ^{1/4} |
| 140 | (Δ t) ^{1/4} |
| 200 | (Δ t) ^{1/4} |
| 500 | (Δ t) ^{1/4} |
| 800 | (Δ t) ^{1/4} |

(2) B.6.2 密封容器を用いる場合の熱解析

(照射済ウラン・プルトニウム炭化物及び窒化物燃料(F14)収納時の熱解析)

収納物F12からF16 (F13除く) を輸送する場合には密封容器を用いる。これらの収納物のうち、最大崩壊熱量はF14(照射済ウラン・プルトニウム炭化物及び窒化物燃料)を収納する場合である。

1. 熱解析の条件と方法

熱解析の条件及び方法を(ロ)―第B.21表に示す。熱解析の方法は被覆粒子燃料(F2)1体収納時と同様である。

2. 熱解析モデル

輸送容器の熱解析は差分法に基づく3次元定常及び非定常温度分布プログラムTRUMPを用いて行った。ウラン・プルトニウム炭化物と、ウラン・プルトニウム窒化物の熱的性質はほぼ同じなので、収納物は、ウラン・プルトニウム炭化物とし、ウラン・プルトニウム炭化物、ステンレス鋼等を均質化したものと考え、均質化領域の平均密度及び平均比熱は(ロ)章B.4.1.1(1)に示す式により求めた。均質化領域の体積及び構成材料の重量並びに平均密度及び平均比熱を(ロ)―第B.22表に示す。

密封容器の解析モデルを(ロ)―第B.9図に示す。ノード分割は図中に示すとおりである。なお、密封容器、格納容器及び緩衝体の解析モデルは、(ロ)―第B.1図から(ロ)―第B.4図と同じである。

3. 計算結果

3.1 最高温度

1. 及び2. に記載した解析条件及び解析モデルに基づいて、TRUMPを用い、通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における輸送物の温度分布を求めた。

(1) 一般の試験条件

一般の試験条件下における輸送物の温度分布を(ロ)―第B.10(a)図から(ロ)―第B.10(d)図に、また太陽熱放射のない通常時の輸送物表面の温度分布を(ロ)―第B.11図に示す。また、主要部の温度を(ロ)―第B.23表に示す。

(2) 特別の試験条件

特別の試験条件下における輸送物の温度分布を(口)－第B. 12(a)図から(口)－第B. 12 (d)図及び経時変化を(口)－第B. 13図に示す。また、主要部の温度を(口)－第B. 24表に示す。

(ロ)一第B.21表 熱解析の条件及び方法 (収納物F14)

| 項目 | 条件 | | 通常時 | | 一般の試験 | | 特別の試験 | | | |
|-------------|-----------------------|----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|
| | 太陽熱放射無の条件 | | 最低温度評価条件 | 最高温度評価条件 | 火災前 | 火災時 | 火災後 | | | |
| 崩壊熱量 | 80 W | | 80 W以下 | 80 W | 80 W | 80 W | 80 W | | | |
| 周囲温度 | 静止空気 38°C | | 静止空気 -20°C | 静止空気 38°C | 静止空気 38°C | 静止空気 38°C | 静止空気 38°C | | | |
| 太陽熱放射 | なし | | なし | あり | あり | あり | あり | | | |
| 周囲放射率 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | | | |
| 容器表面放射率 | 0.37 注1) | | 0.37 注1) | 0.37 注1) | 0.37 注1) | 0.8 注2) | 0.55 注3) | | | |
| 計算モデル | 3次元全体系熱伝達モデル (緩衝体を含む) | | | | | | | | | |
| | 輸送物 | 均質化近似 | | | | | | | | |
| 温度分布計算プログラム | 差分法温度分布計算プログラムTRUMP | | | | | | | | | |
| 使用物性値 | B.2 材料の熱的性質 | | | | | | | | | |
| 最大内圧 | 密封容器内圧 | $\frac{PV}{T} = \text{一定}$ | | | | | | | | |
| | 格納容器内圧 | | | | | | | | | |

注1) Bevans, J. T., et. Al., "Comparison of Total Emittances With Values Computed From Spectral Measurements", Trans. ASME, pp. 1405-1416, (Oct. 1958)

注2) IAEA Safety Standards Series "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material" (1996 Edition)

注3) Ohlsen, P. E. and Etemad, G. A., "Spectral and Total Radiation Data of Various Aircraft Materials" Report No. NA57-330, North American Aviation, Inc., (July 23, 1957), pp. 20-22. 26-33

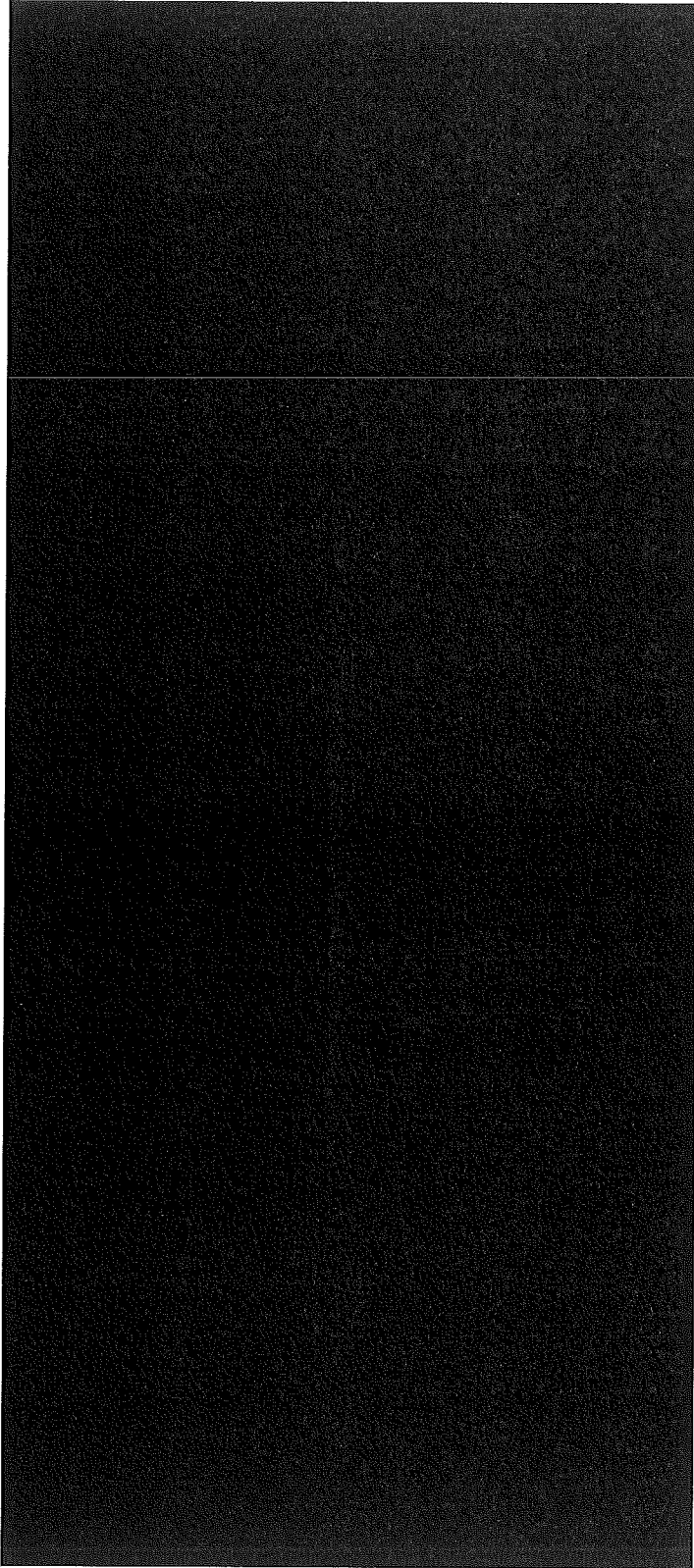
(ロ)－第B.22表 均質化領域の熱的性質 (収納物F14)

| | | | | |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|--|------|
| 収 納 物 名 | | ウラン・プルトニウム炭化物 燃 料 (F14) | | |
| 総 体 積 (m ³) | | | | |
| 総 重 量 (kg) | | | | |
| 重 量 の 内 訳 (kg) | ウラン・プルトニウム炭化物 | | | |
| | ス テ ン レ ス 鋼 | | | |
| | ア ル ミ ニ ウ ム | | | |
| | ヘ リ ウ ム (注) | | | |
| 平 均 密 度 (kg/m ³) | | | | |
| 平 均 比 熱 (kJ/kg·K) | 温 度 | | | 100℃ |
| | | | | 200℃ |
| | | | | 500℃ |

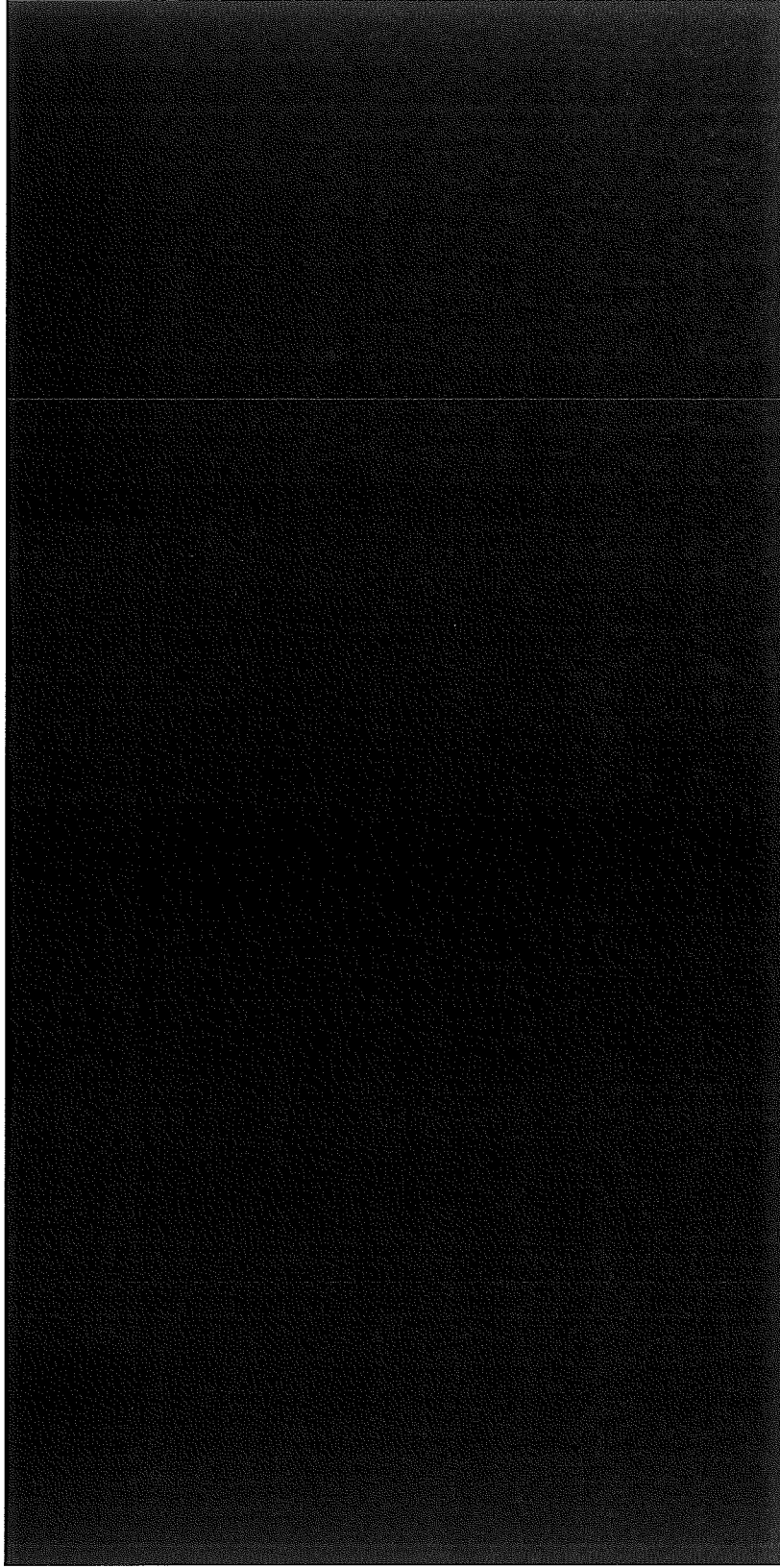
(注) ヘリウムの密度は100℃の値を用いた。

3. 2 最大内圧

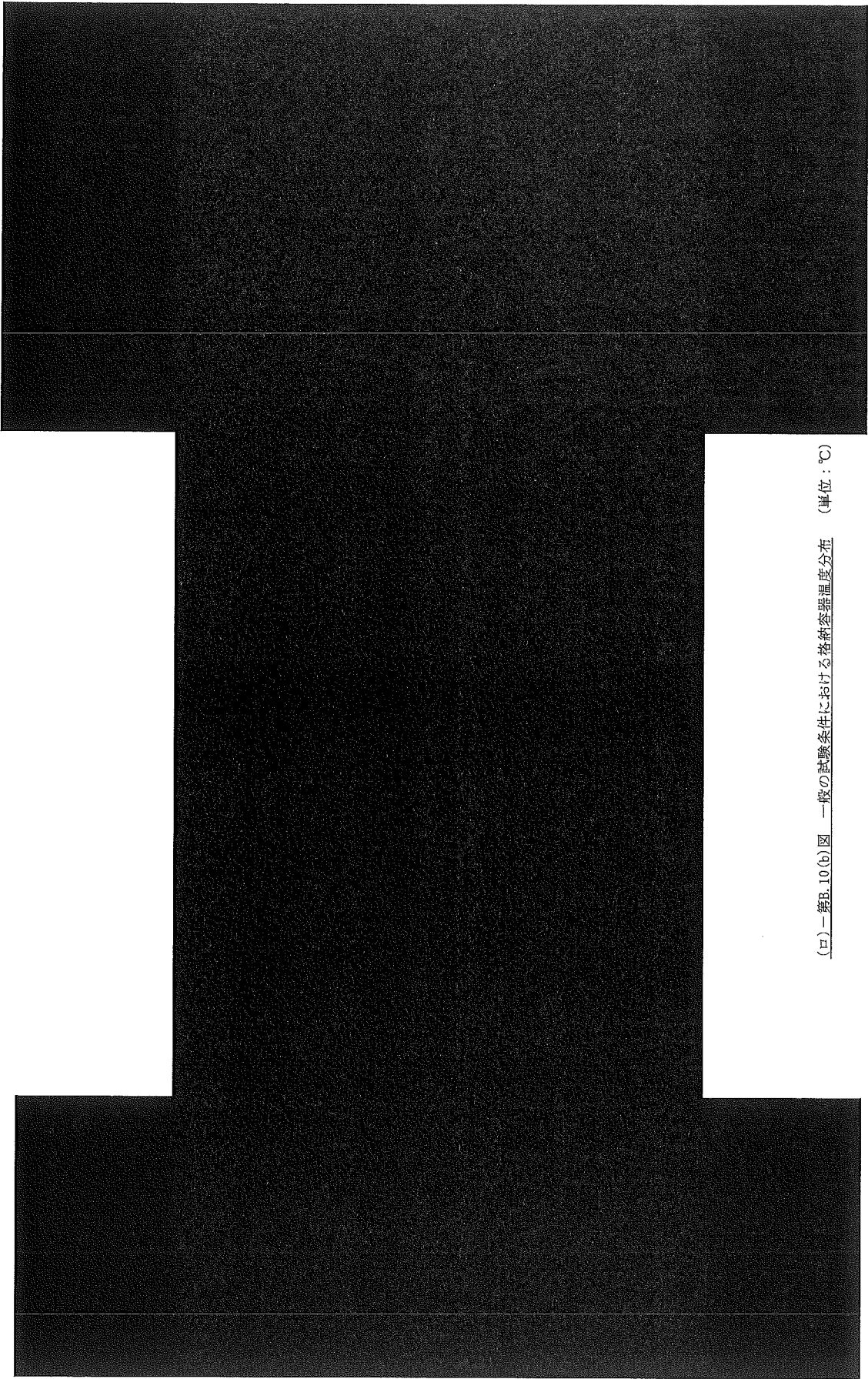
一般の試験条件下及び特別の試験条件下における密封内容器内、密封容器内及び格納容器内の最大内圧を(ロ)－第B.25表に示す。



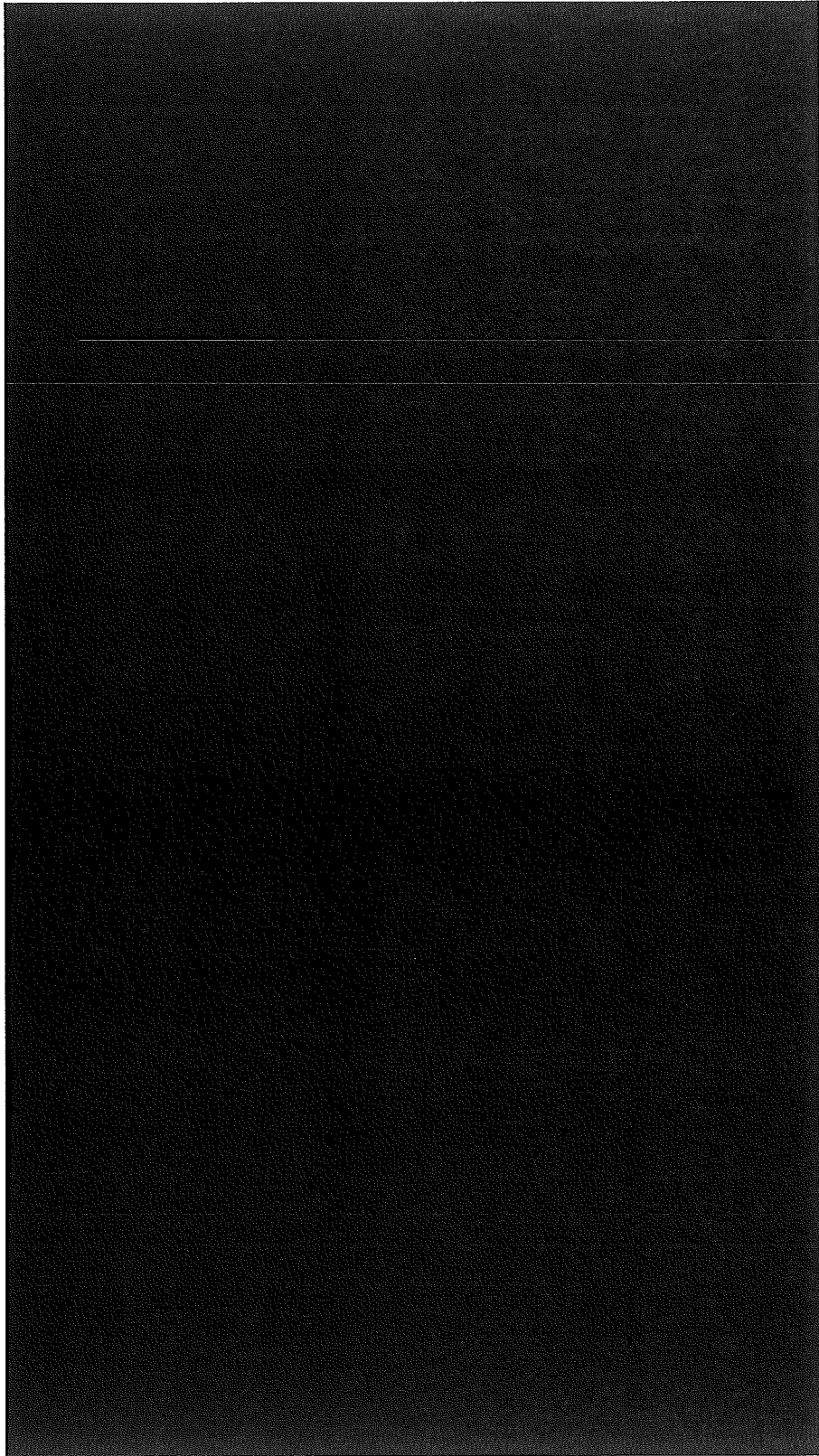
(ロ)一第B.9図 密封内容器及び密封容器熱解析モデル (ノード番号)



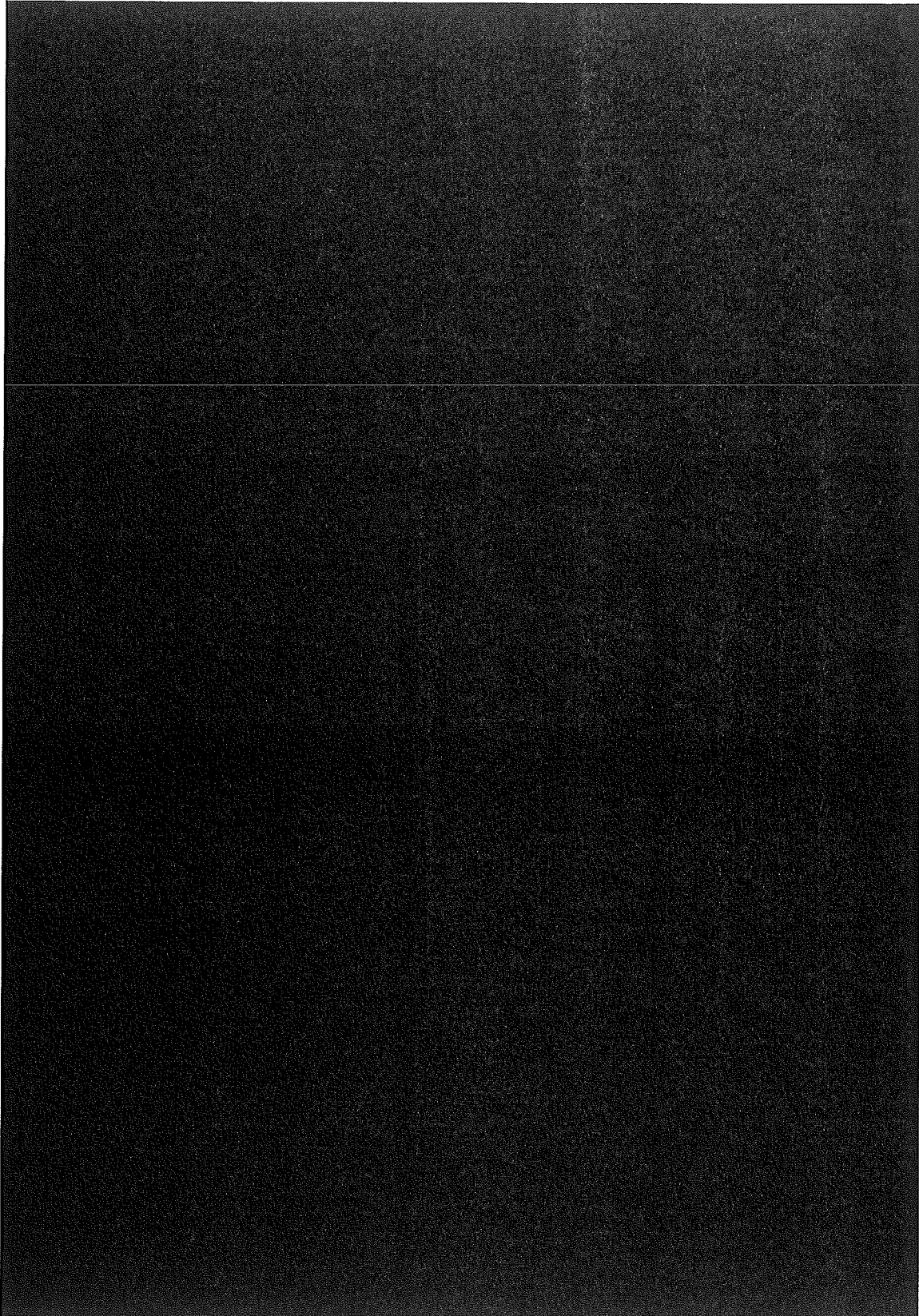
(ロ) 一第B.10(a)図 一般の試験条件における密封内容器及び密封容器温度分布 (単位：°C)



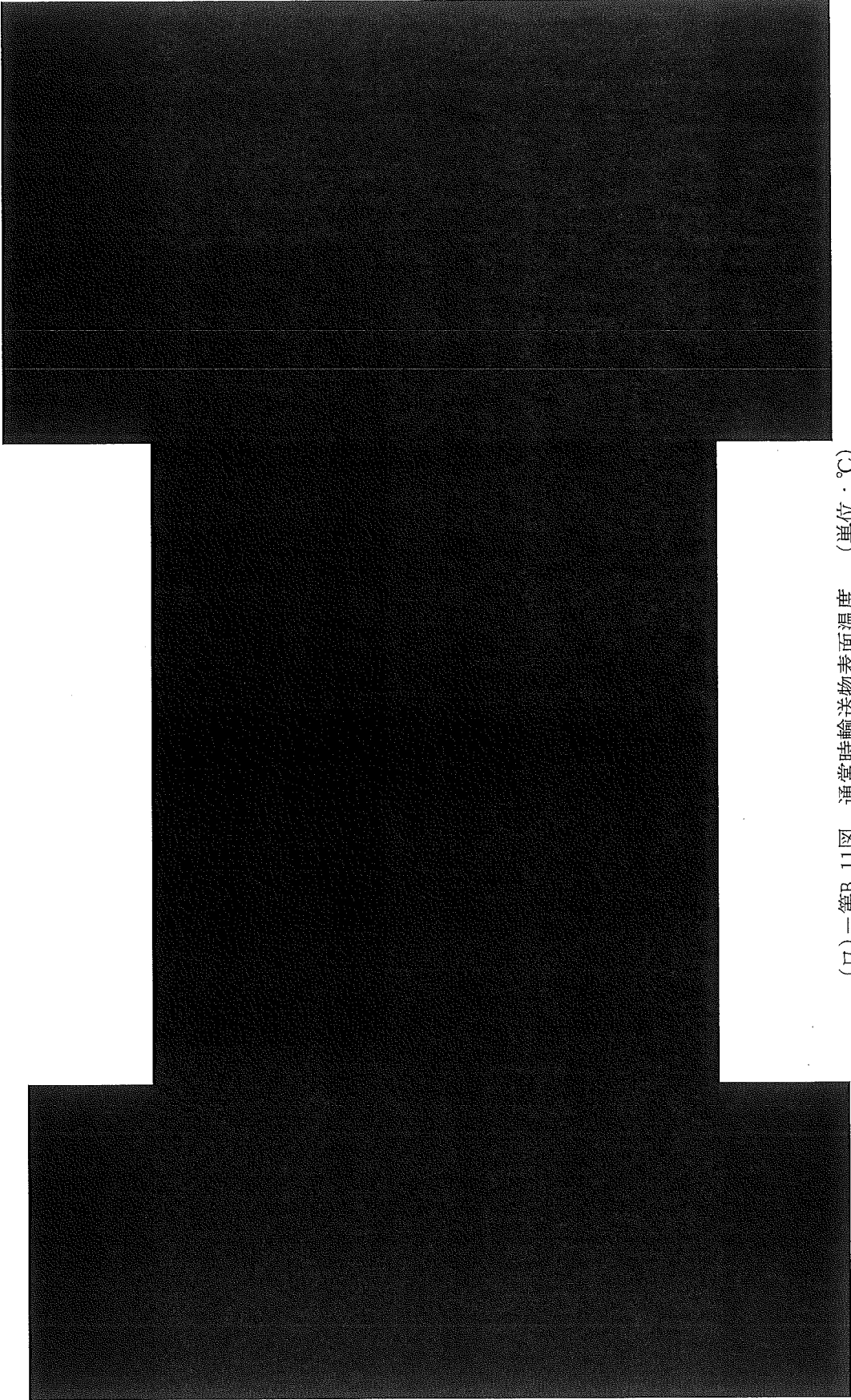
(口)一第B.10(b)図 一般の試験条件における格納容器温度分布 (単位: °C)



(口) - 第B. 10(c) 図 一般の試験条件における上部緩衝体温度分布 (単位 : °C)



(口) - 第B. 10(d) 図 一般の試験条件における底部緩衝体温度分布 (単位 : °C)

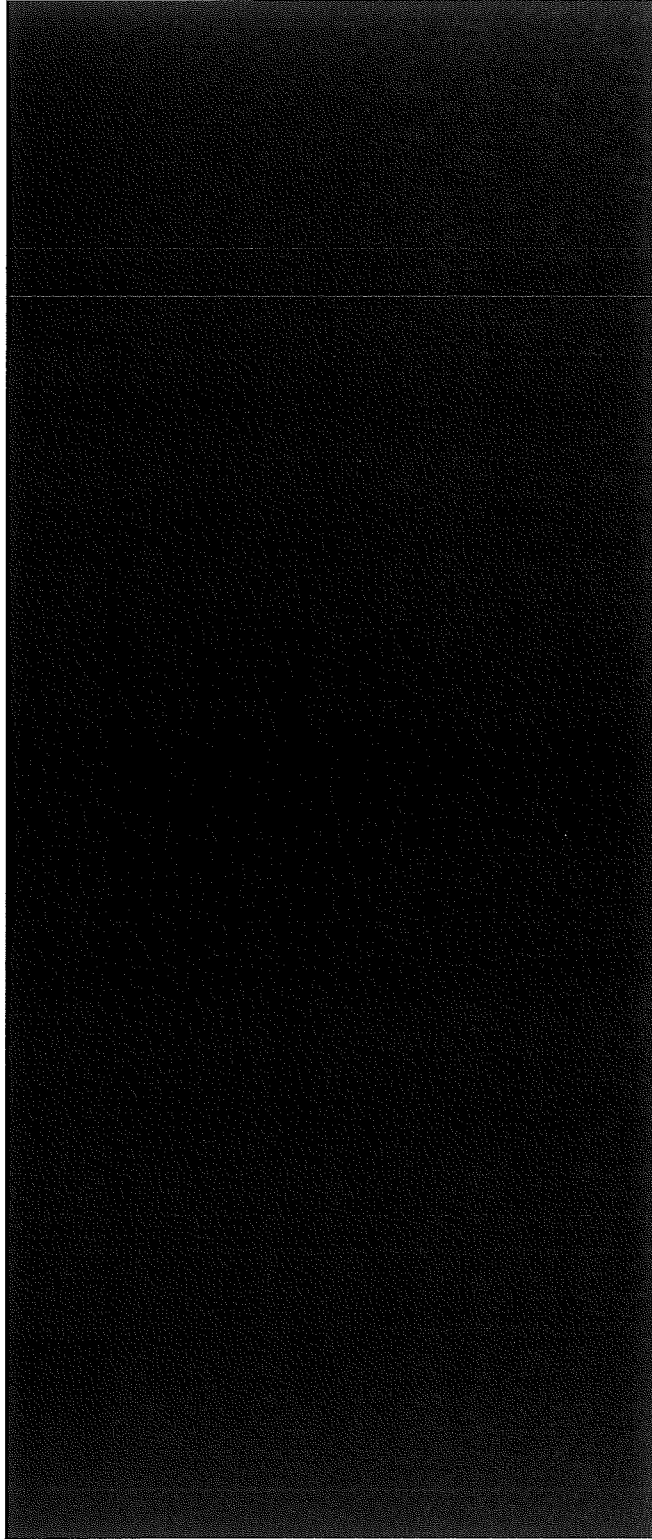


(口)一第B.11图 通常時輸送物表面温度 (单位: °C)

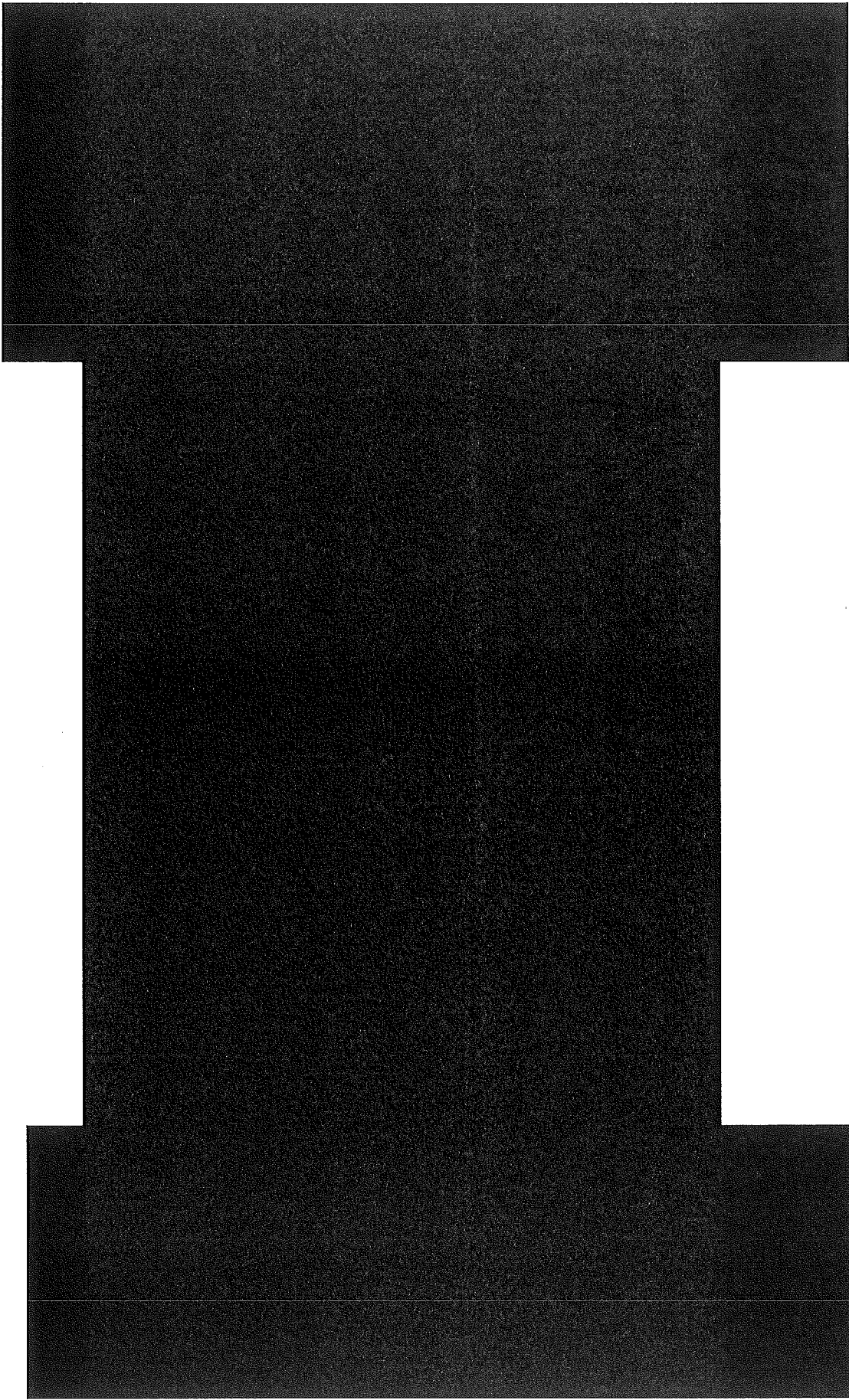
(ロ) - 第B.23表 一般の試験条件下における最高温度 (収納物F14) (単位: °C)

| 部位(ノード番号) | 条 件 | |
|------------------------|--------|--------|
| | 通 常 時 | 一 般 |
| | 太陽熱放射無 | 太陽熱放射有 |
| 収 納 物 (1) | | |
| 密 封 内 容 器 (2020) | | |
| 密 封 容 器 空 気 層 (4000) | | |
| 密 封 容 器 (30) | | |
| 格 納 容 器 内 面 (102) | | |
| 格 納 容 器 外 面 (402) | | |
| 鉛 (613) | | |
| 近 接 表 面 (403) | | |
| 密 封 内 容 器 O リ ン グ (1) | | |
| シャッターカバーガスケット (420) | | |
| 底部密封カバーOリング (440) | | |
| 巻上装置カバーOリング (3471) | | |
| 格 納 容 器 空 気 層 (70) | | |
| 巻 上 装 置 カ バ ー 部 (500) | | |
| 空 気 層 | | |
| シャッター部空気層 (520) | | |
| シャッター下部空気層 (530) | | |

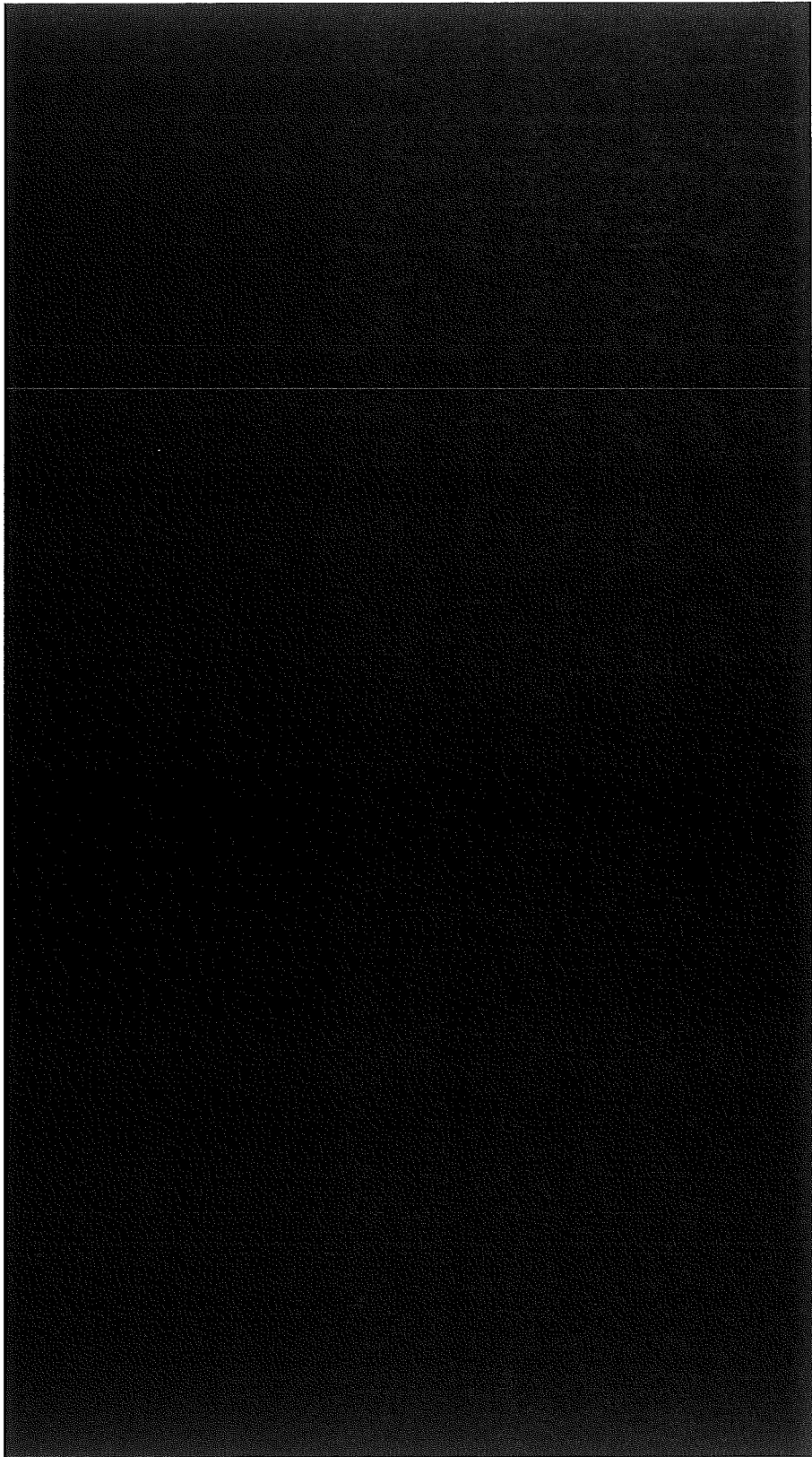
備考 : ()内はTRUMP計算のノード番号を示す。



(ロ)一第B.12 (a) 図 特別の試験条件における密封内容器及び密封容器温度分布 (火災後30分) (単位: °C)

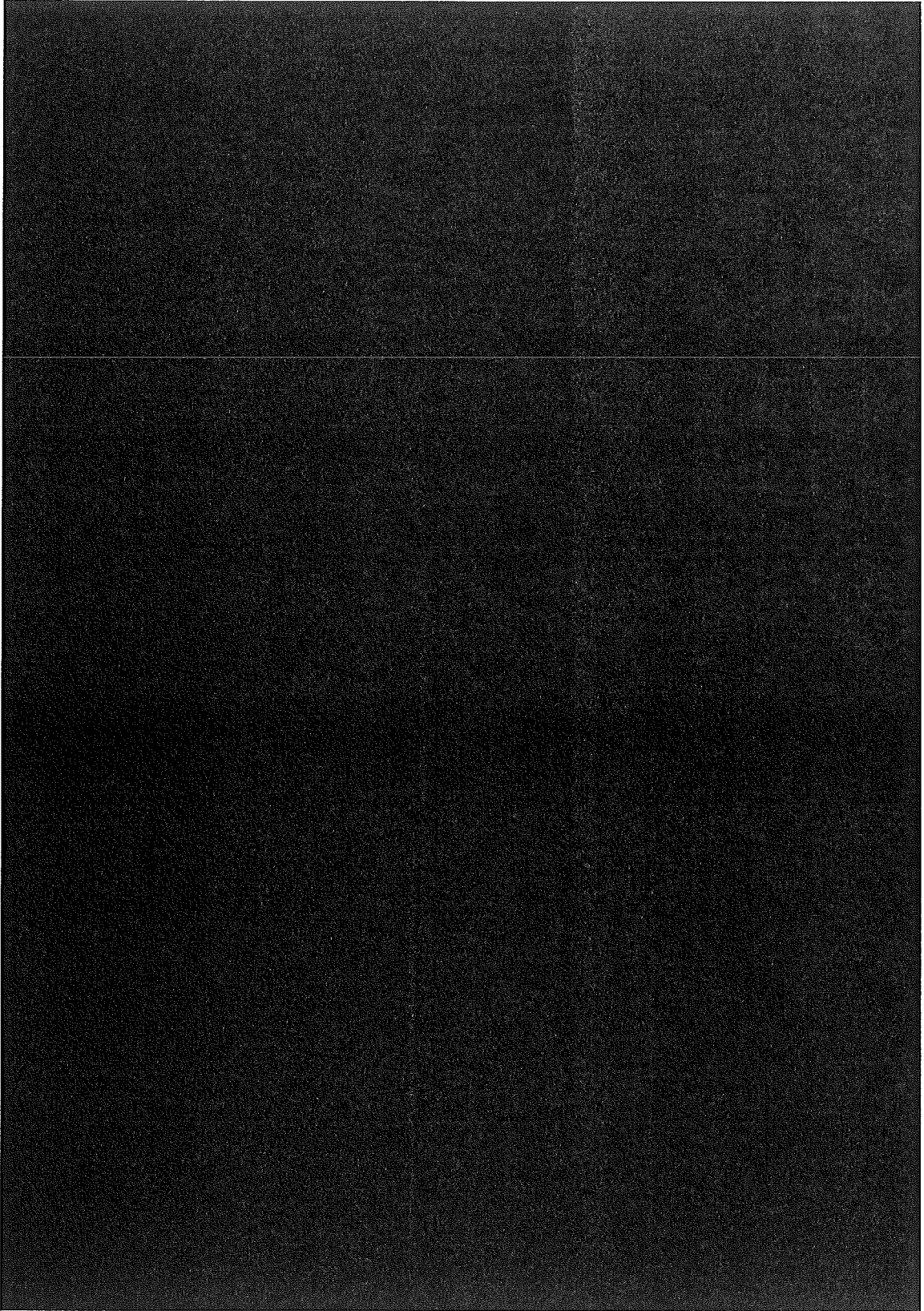


(ロ) 第B.12(b)図 特別の試験条件における格納容器温度分布 (火災後30分) (単位: °C)



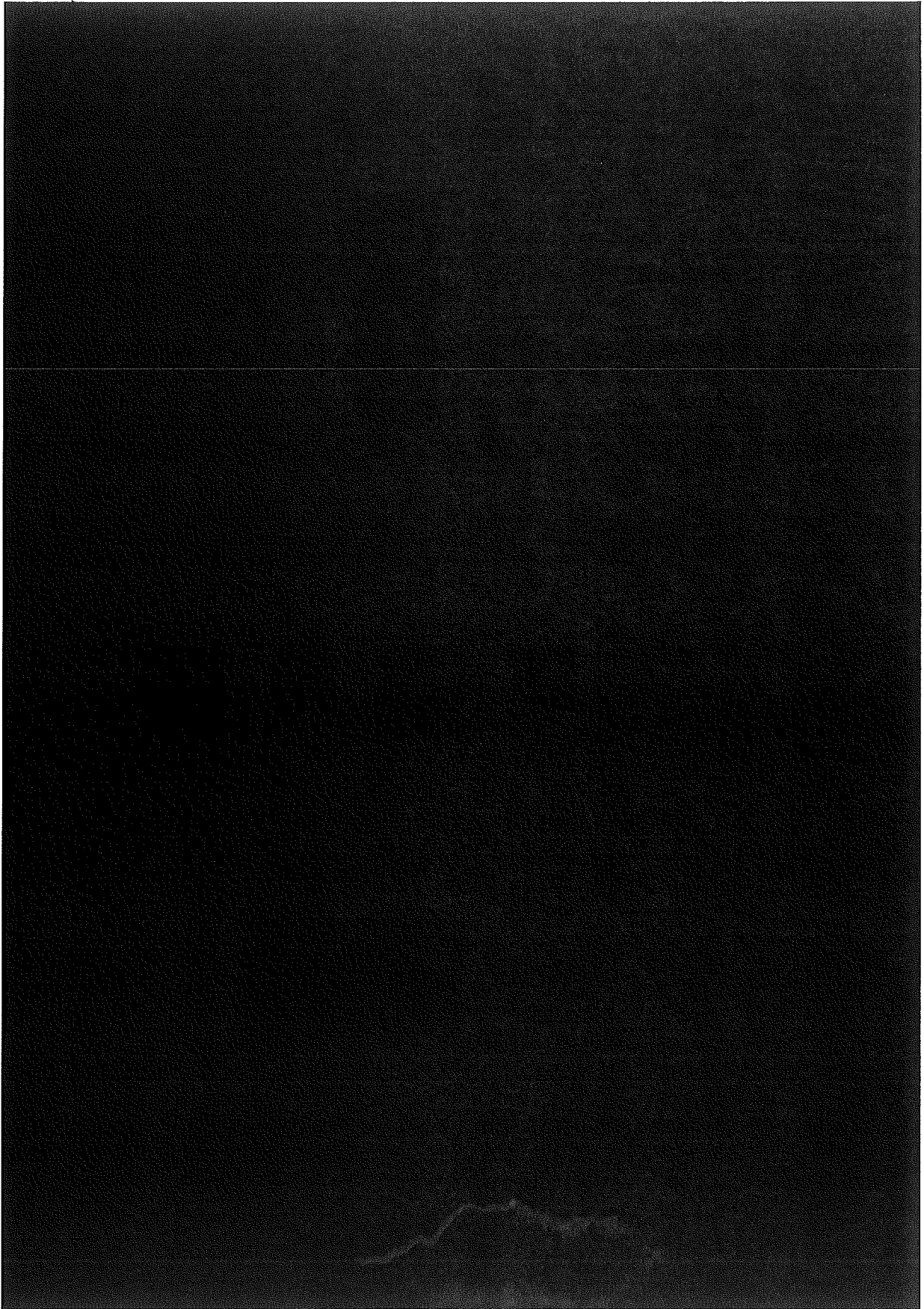
(ロ) - 第B. 12(c) 図 特別の試験条件における上部緩衝体温度分布

(火災後30分) (単位 : °C)



(ロ) - 第B. 12(d) 図 特別の試験条件における底部緩衝体温度分布

(火災後30分) (単位 : °C)



(口) - 第B. 13図 特別の試験条件下おける輸送物の各部位の温度変化

(ロ)－第B.24表 主要部の温度（特別の試験条件下）（収納物F14）

| 部 位 (ノード番号) | 温 度 (°C) | 火災発生後の時間 (h) |
|----------------------|----------|--------------|
| 収 納 物 (1) | | 14 |
| 密 封 内 容 器 (2020) | | 13 |
| 密 封 容 器 空 気 層 (4000) | | 13 |
| 密 封 容 器 (30) | | 12 |
| 格 納 容 器 空 気 層 (70) | | 7 |
| 格 納 容 器 内 面 (104) | | 3 |
| 格 納 容 器 外 面 (404) | | 0.5 |

(ロ)－第B.25表 一般及び特別の試験条件下における圧力（収納物F14）

| 部 位 | 一般の試験条件下 | | 特別の試験条件下 | |
|---------|----------|---------------|----------|---------------|
| | 温 度 (°C) | 圧 力 (MPa abs) | 温 度 (°C) | 圧 力 (MPa abs) |
| 密封内容器内部 | | | | |
| 密封容器空気層 | | | | |
| 格納容器空気層 | (注1) | | (注2) | |

(注1) 格納容器各空気層の温度と圧力の内訳は以下のとおりである。

| 部 位 | 温 度 (°C) | 圧 力 (MPa abs) |
|---------|----------|---------------|
| 巻上装置カバー | | |
| 格納容器本体 | | |
| シャッター部 | | |
| シャッター下部 | | |

(注2) 格納容器各空気層の温度と圧力の内訳は以下のとおりである。

| 部 位 | 温度 (°C) | 圧 力 (MPa abs) | 火災発生後の時間 (h) |
|---------|---------|---------------|--------------|
| 巻上装置カバー | | | 0.5 |
| 格納容器本体 | | | 7 |
| シャッター部 | | | 0.5 |
| シャッター下部 | | | 14 |

4. 評価

4. 1 最高温度

密封容器を用いる場合の温度分布は、(ロ)－第B. 10(a)図から(ロ)－第B. 10(d)図及び(ロ)－第B. 12(a)図から(ロ)－第B. 12(d)図に示すように、収納物及び密封容器以外の部位の温度は密封容器を用いない場合の(ロ)－第B. 5(a)図から(ロ)－第B. 5(d)図及び(ロ)－第B. 7(a)図から(ロ)－第B. 7(d)図に示す温度を超えることはない。

輸送物最高温度は、(ロ)－第B. 23表及び(ロ)－第B. 24表に示すように、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において、いずれも収納物の温度 \blacksquare °C及び \blacksquare °Cである。

一般の試験条件下で日陰において容易に人の近づき得る輸送物表面の最高温度は、通常時（周囲温度 38°C、太陽熱放射無）における近接表面の評価値から \blacksquare °Cであり許容基準値の 85°Cを超えることはない。

Oリングシール部、漏えい試験用カプラの温度は、収納物の温度以上になることはなく、一般の試験条件下における最高使用温度 \blacksquare °C及び特別の試験条件下における最高使用温度 \blacksquare °Cを超えることはない。

4. 2 最大内圧

(ロ)－第B. 25表に示すように密封容器及び格納容器の最大内圧は(ロ)－第B. 16表及び(ロ)－第B. 20表に示す圧力を超えることはない。

密封容器の最大内圧は構造解析で考慮した圧力を超えることはない。

(3) B.6.3 参考文献

- 1) Edwards, A. L., "TRUMP : A Computer Program for Transient and Steady State Temperature Distributions in Multidimensional Systems" , Lawrence Radiation Laboratory, Livermore, Report UCRL-14754 Rev.3 (1972)
- 2) M. J. Bell, " ORIGEN-The ORNL Isotope Generation and Depletion Code" , ORNL-4628, May 1973
- 3) A. G. Croff, "ORIGEN2 - A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code" , ORNL-5621, July 1980
- 4) BNFL Fact Sheet "Commercial Uranium 3 UO2"
- 5) 日本機械学会 "伝熱工学資料 (改訂第2版)"
- 6) Goldsmith, A., et, al., "Handbook of Thermophysical Properties of Solid Materials" Revised Edition, Vol. II. The MacMillan Company, New York (1961) PP. 157-172
- 7) "Basic Materials for Atomic Energy Industry" , Pamphlet F-86-55, National Lead Company, New York pp.10-14
- 8) Edwards, A. L. "A Compilation of Thermal Property Data for Computer Heat Conduction Calculation" , U C R L -50589, Feb, 1969
- 9) A. Sheth & L. Leibowits ANL-AFP-11, 1975
- 10) C. A. Alexander, J. S. Ogden and W. M. Pardue, in: Plutonium 1970 and other Actinides, Santa Fe' (1970), ed. W. N. Miner Nucl. Metallurgy 17(1970)95.
- 11) 日本機械学会 "技術資料 流体の熱物性値集"
- 12) 財) 原子力発電技術機構 "平成12年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書" (平成13年3月)
- 13) D. L. Hagerman, G. A. Reymann, R. E. Mason (ed.), "MATPRO Version 11 (Rev. 2) A Handbook of Material Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior" , NUREG/CR-0497 TREE-1280, Rev. 2, EG & G Idaho, Inc., Idaho, (1981)
- 14) ASME Sec. II Part D Properties

- 15) 太平電業株式会社 “中性子遮蔽材 NS-4-FR”
- 16) 財) 原子力発電技術機構 “平成13年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験
(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書” (平成14年3月) 原子力発電技術機構
- 17) 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確証試験
(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書” (平成15年3月) 原子力発電技術機構
- 18) 独) 原子力安全基盤機構 “平成15年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験
(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書” (平成16年6月)
- 19) N. Yamada, et, al., “Thermal Behavior of Neutron Shielding Material, NS-4-FR,
under Long Term Storage Conditions”, PATRAM2004, Berlin, Sep. 2004

(口) 章 C 密 封 解 析



(ロ) 章C 密封解析

C.1 概要

密封解析は、本輸送物が外運搬規則及び外運搬告示に基づいてBM型輸送物に係る技術上の基準に適合することを示すために行った。

本輸送容器の密封性は、(ロ)章C.2に記述する密封装置(収納物F1からF3、F5、F7、F9、F10を輸送する場合は密封容器及び格納容器)によって確保されている。また、収納物F12、F14からF16を輸送する場合には、密封容器本体内にさらに密封内容を設ける。

密封内容及び密封容器本体は密封性の良好な一体構造であり、蓋部のシールは規定の試験条件に耐える密封性の良好なOリングが使用されている。

格納容器においても密封性を確保できる構造であり、のOリング、のガスケット及びグランドパッキンが使用されている。

なお、密封内容及び密封容器は製作中にヘリウムリーク試験等により漏えいが参考B.6に示す基準以下であることを確認する。密封内容及び密封容器蓋部のシールは輸送ごとに空気漏えい試験により漏えいが(ハ)章A.2に示す基準値以下であることを確認する。格納容器についても輸送ごとに同様の空気漏えい試験を行い確認する。本解析では空気漏えい試験等によって求めた各密封境界からの漏えい率に基づいて放射性物質の密封境界外への漏えい率を評価し、その漏えい率が一般の試験条件及び特別の試験条件における放射性物質漏えい率の基準を満足することを示す。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

(1) 構成

密封容器は(イ)－第10図に示すように収納物を収納する密封容器本体と蓋及び保護カバーより構成される。密封容器の密封境界を(イ)－第7図に示す。

密封容器は(イ)－第11図に示すように、収納物を収納する密封容器本体と蓋、蓋開閉装置及び吊具より構成される。密封容器本体と蓋の接合部密封境界を(イ)－第8図に示す。

格納容器は(イ)－第15図及び(イ)－第16図に示すように密封容器を収納する格納容器本体、上部蓋、シャッタードア、シャッターカバー、底部密封カバー、巻上装置カバー、各部の蓋、パッキン等より構成される。また、格納容器の密封境界を(イ)－第9図に示す。

(2) 材質

密封容器蓋部シールに用いられるOリングは██████████である。密封容器蓋部シールに用いられるOリングは██████████である。格納容器上部蓋シール及び底部密封カバー部シールに用いられるOリングは██████████、巻上装置カバーシールに用いられるOリングは██████████、シャッターカバー部シールは██████████シートガスケット、シャッター開閉用ネジシャフトグランド部シールは██████████である。

(3) 圧力・温度

(ロ)－第C.1表の各条件において密封装置は収納物を収納しうる耐圧強度を備えている。

(ロ)－第C.1表 密封装置の圧力及び温度

| 項目 条件 | 密封内容器 | | 密封容器 | | 格納容器 | |
|----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | 圧力 (MPa abs) | 温度 (℃) | 圧力 (MPa abs) | 温度 (℃) | 圧力 (MPa abs) | 温度 (℃) |
| 一般の試験条件 | [Redacted] | | | | | |
| 特別の試験条件 | | | | | | |

備考：()内は密封内容器を用いた場合の値である。

(4) 製作・検査

密封装置の構成部品の製作及び検査は、密封性を確保するのに適した方法で行われる。詳細は参考に記述されている。

C.2.2 密封装置の貫通部

密封内容器の蓋部には空気漏えい試験のための貫通孔及びバルブが設けられている。また、密封容器の蓋部には空気漏えい試験用カプラが設けられ、2本のOリングの間に貫通している。

格納容器には、空気漏えい試験のために本体に貫通口がありカプラが設けられている。

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

(1) ガスケット

密封内容器フランジ部には [] Oリングが設けられている。また密封容器フランジ部には [] のOリングが設けられている。

格納容器上部蓋部には [] Oリング、巻上装置カバー部には [] 製Oリング、シャッターカバー部には [] シートガスケット、シャッター開閉用ネジシャフトグランド部には [] ガスケットが設けられている。

(2) 主要ガスケットの仕様

ガスケットの寸法及び材質を(ロ)－第C.2表に示す。

(ロ)－第C.2表 ガスケットの寸法及び材質

| 容 器 | 箇 所 | 太 さ (mm) | 材 質 |
|---------|--------------------------------|----------|-----|
| 密封内容器 | 蓋 部 | [] | [] |
| 密 封 容 器 | 内 側 | | |
| | 外 側 | | |
| 格 納 容 器 | 上 部 蓋 部 | | |
| | 巻 上 装 置 カ バ ー 部 | | |
| | 底 部 密 封 カ バ ー 部 | | |
| | シ ャ ッ タ ー 開 閉 用 ネジシャフトグランド部 | | |

(3) 溶接部

密封内容器の溶接部を(イ)－第7図に、また密封容器の溶接部を(イ)－第8図に示す。溶接部は、製作中に放射線検査あるいは液体浸透探傷試験を行ってその健全性を確認し、ヘリウムリーク試験により溶接部の漏えいのないことを確認する。格納容器本体は鍛造品であるが、巻上装置カバー、シャッターカバーフランジは本体に溶接により取り付けられ、溶接部は密封容器と同様の試験により漏えいのないことを確認する。

C.2.4 蓋

(1) 密封構造

密封内容器蓋、格納容器シャッターカバー、底部密封カバー及び巻上装置カバー蓋は(ロ)－第C.1表に示す温度、圧力に耐える強度を備え、かつ密封を保持できるシールが設けられている。

(2) 蓋の締め付け

密封内容器の蓋はボルトにより締め付けられる。密封容器蓋部の密封性を保持するため、蓋はカムとリンクにより締め付けられる。締め付力は██████████である。格納容器の蓋はボルトにより締め付けられる。

C.3 一般の試験条件

一般の試験条件における密封装置内の圧力及び温度は(ロ)－第C.1表に示すとおりであり、本条件において密封装置の性能が損われないことは(ロ)章A.構造解析により確認している。

C.3.1 放射性物質の漏えい

C.3.1.1 密封装置の設計漏えい率

1. 密封内容器

密封内容器は製作中に行うヘリウムリーク試験等により漏えいが一定基準以下であることが確認され、さらに保守時及び輸送ごとに空気漏えい試験により漏えい量が確認される。

放射性物質は密封内容器内部に存在するので、その漏えい率は空気漏えい試験から求められる。

したがって、25℃における空気漏えい試験から、一般の試験条件の最大空気漏えい率を求め、空気中の放射性物質濃度と最大空気漏えい率から、放射性物質の漏えい率を求める。

最後に放射性物質の漏えい率が外運搬規則及び外運搬告示の基準値以下であることを確認する。

(1) 空気漏えい試験時の漏えい率

真空法による漏えい試験の漏えい率は次式で表わされる⁽¹⁾。

$$L = \frac{V T_s}{3600H} \left[\frac{P_2}{T_2} - \frac{P_1}{T_1} \right] \times \frac{1}{0.1} \text{ 注) } \dots\dots\dots (C-1)$$

ただし、 L = 25℃における空気の漏えい率 (std・cm³/s)

V = テスト系の容積 (cm³)

H = テスト時間 (h)

T_s = 基準温度 298 K (25℃)

T₁ = 試験開始時の空気温度 (K)

T₂ = 試験終了時の空気温度 (K)

P₁ = 試験開始時の空気圧力 (MPa)

P₂ = 試験終了時の空気圧力 (MPa)

注) 1 atm=0.1 MPaとした漏えい率(std・cm³/s)への換算

(2) 空気漏えい試験条件における最大空気漏えい率

上記の式の空気漏えい試験条件を入れて最大空気漏えい率を求める。

(i) 空気漏えい試験条件

(イ) 試験開始時の空気圧力は、

$$P_1 = 1.07 \times 10^{-4} \text{ MPa とする。}$$

(ロ) 検知できる圧力上昇を 6×10^{-6} MPa とする。

この圧力上昇に対応する空気漏えい率が最大の空気漏えい率となる。

(ハ) テスト時間は 0.5時間とする。すなわち H = 0.5 h

(ニ) 計算においては T₁ = T₂ = T_s とする。

(ii) 空気漏えい試験による漏えい率

最大漏えい率を(ロ)－第C.3表に示す。

(ロ)－第C.3表 空気漏えい試験による最大漏えい率

| 部 位 | 密封内容器蓋部 |
|-----------------------------------|-----------------------|
| V : テスト系の容積 (cm ³) | ■ |
| P 1 : 試験開始時の圧力 (MPa) | 1.07×10 ⁻⁴ |
| P 2 : 試験終了時の圧力 (MPa) | 1.13×10 ⁻⁴ |
| H : テスト時間 (h) | 0.5 |
| L : 漏えい率 (std・cm ³ /s) | ■ |

2. 密封容器

密封容器は製作中に行うヘリウムリーク試験により漏えいが一定基準以下であることが確認され、さらに保守時及び輸送ごとに空気漏えい試験等により漏えい量が確認される。

本解析では空気漏えい試験において、蓋のシール部に供給した圧縮空気の圧力降下が一定時間後に検知されたと想定し、その圧力降下に対応する漏えい率に基づいて放射性物質の漏えいを評価する。

放射性物質は密封容器内の空気部に存在するので、その漏えい率は空気漏えい試験から求められる。

したがって、25℃における空気漏えい試験から、一般の試験条件の最大空気漏えい率を求め、空気中の放射性物質濃度と最大空気漏えい率から、放射性物質の漏えい率を求める。

最後に放射性物質の漏えい率が外運搬規則及び外運搬告示の基準値以下であることを確認する。

(1) 空気漏えい試験時の漏えい率

圧縮空気による漏えい試験の漏えい率は次式で表される⁽¹⁾。

$$L = \frac{V T_s}{3600H} \left[\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right] \times \frac{1}{0.1} \text{ (注)} \dots\dots\dots (C-2)$$

ただし、 L = 25℃における空気の漏えい率(std・cm³/s)

V = テスト系の容積 (cm³)

H = テスト時間 (h)

注) 1 atm=0.1 MPaとした漏えい率(std・cm³/s)への換算

$T_s =$ 基準温度 298 K (25°C)

$T_1 =$ 試験開始時の空気温度 (K)

$T_2 =$ 試験終了時の空気温度 (K)

$P_1 =$ 試験開始時の空気圧力 (MPa)

$P_2 =$ 試験終了時の空気圧力 (MPa)

(2) 空気漏えい試験条件における最大空気漏えい率

上記の式の空気漏えい試験条件を入れて最大空気漏えい率を求める。

(i) 空気漏えい試験条件

(イ) 試験開始時の空気圧力は、

$P_1 = 0.16$ MPa absを用いる。

(ロ) 空気圧力の降下は生じないが仮に検知できたとし、検知できる圧力降下

を 5×10^{-3} MPa ($P_1 - P_2 < 5 \times 10^{-3}$ MPa)とする。

この圧力降下に対応する空気漏えい率が最大の空気漏えい率となる。

(ハ) テスト時間は 0.5時間とする。すなわち $H = 0.5$ h

(ニ) 計算においては $T_1 = T_2 = T_s$ とする。

ii) 空気漏えい試験による最大漏えい率

最大漏えい率を(ロ)－第C.4表に示す。

(ロ)－第C.4表 空気漏えい試験による最大漏えい率

| 部 | 位 | 密封容器蓋部 |
|----------------|---------------------------------|--------|
| V | : テスト系の容積 (cm ³) | ■ |
| P ₁ | : 試験開始時の圧力 (MPa) | 0.16 |
| P ₂ | : 試験終了時の圧力 (MPa) | 0.155 |
| H | : テスト時間 (h) | 0.5 |
| L | : 漏えい率 (std·cm ³ /s) | ■ |

3. 格納容器

格納容器は輸送ごとに空気漏えい試験により、漏えいが(ロ)―第C.5表に示す最大漏えい量以下であることが確認される。

本解析では空気漏えい試験において、格納容器に供給した圧縮空気の圧力降下が一定時間後に検知されたと想定し、その圧力降下に対応する漏えい率に基づいて放射性物質の漏えいを評価する。

放射性物質は格納容器内の空気部に存在するので、その漏えい率は空気漏えい試験から求められる。

したがって、25℃における空気漏えい試験から、一般の試験条件の最大空気漏えい率を求め、空気中の放射性物質濃度と最大空気漏えい率から、放射性物質の漏えい率を求める。

最後に放射性物質の漏えい率が外運搬規則及び外運搬告示の基準値以下であることを確認する。

(1) 空気漏えい試験時の漏えい率

圧縮空気による漏えい試験時の漏えい率は(C-2)式で表わされる。

(2) 空気漏えい試験条件における最大空気漏えい率

(C-2)式に次の空気漏えい試験条件を入れて最大空気漏えい率を求める。

(i) 空気漏えい試験条件

(イ) 試験開始時の空気圧力は、

$P_1 = 0.16 \text{ MPa abs}$ を用いる。

(ロ) 空気圧力の降下は検知できる圧力降下を $5 \times 10^{-3} \text{ MPa}$ ($P_1 - P_2 < 5 \times 10^{-3} \text{ MPa}$)とする。

この圧力降下に対応する空気漏えい率が最大の空気漏えい率となる。

(ハ) テスト時間は0.5時間とする。すなわち $H = 0.5 \text{ h}$

(ニ) 計算においては $T_1 = T_2 = T_s$ とする。

(ii) 空気漏えい試験による最大漏えい率

最大漏えい率を(ロ)－第C.5表に示す。

(ロ)－第C.5表 空気漏えい試験による最大漏えい率

| 部 位 | 格納容器蓋部 |
|-----------------------------------|--------|
| V : テスト系の容積 (cm ³) | ■ |
| P 1 : 試験開始時の圧力 (MPa) | 0.16 |
| P 2 : 試験終了時の圧力 (MPa) | 0.155 |
| H : テスト時間 (h) | 0.5 |
| L : 漏えい率 (std・cm ³ /s) | ■ |

C.3.1.2 一般の試験条件における放射性核種の漏えい率

放射性核種の漏えいは、収納物が密封内容器に収納されない場合 (F1からF3、F5、F7、F9、F10) と収納された場合 (F12、F14からF16) で密封境界の数が変わってくるので2つに分けて評価する。

1. 密封内容器を用いない場合

容器からの放射性物質の漏えいは次式を用いて計算される。

$$\Delta Q = Q \times \Delta V$$

ただし、 ΔQ : 放射性物質の漏えい率 (μ Bq/h)

Q : 容器内の放射性物質濃度 (μ Bq/cm³)

ΔV : 容器からの空気漏えい率 (cm³ / h)

容器内の放射性物質濃度は、輸送中に収納物が破損することはないが、下記の核種が容器内に拡散しているものと仮定する。

- (a) 収納物から放出される核分裂生成ガス核種
- (b) 試料収納時に収納物から漏えいし、セル内のガス状核種として、容器内に封入されるダスト状核種
- (c) 試料収納時に収納物から浮遊し、セル内のダスト状核種として、容器内に封入されるダスト状核種
- (d) 試料収納時の⁶⁰Coによる収納物、密封容器の表面汚染

密封容器からの漏えいは上記(a)から(d)の核種であり、格納容器からの漏えいは密封容器から漏えいする核種と上記(b)から(d)の核種である。(漏えいモデル図を(ロ)-第C.1図に示す。)

核種ごとの放射性物質濃度は、(a)の核分裂生成ガス核種については被覆粒子燃料から得られた放出率を用い、(b)、(c)、(d)の核種については取扱施設で評価した汚染濃度及び汚染密度を用いて算出する。

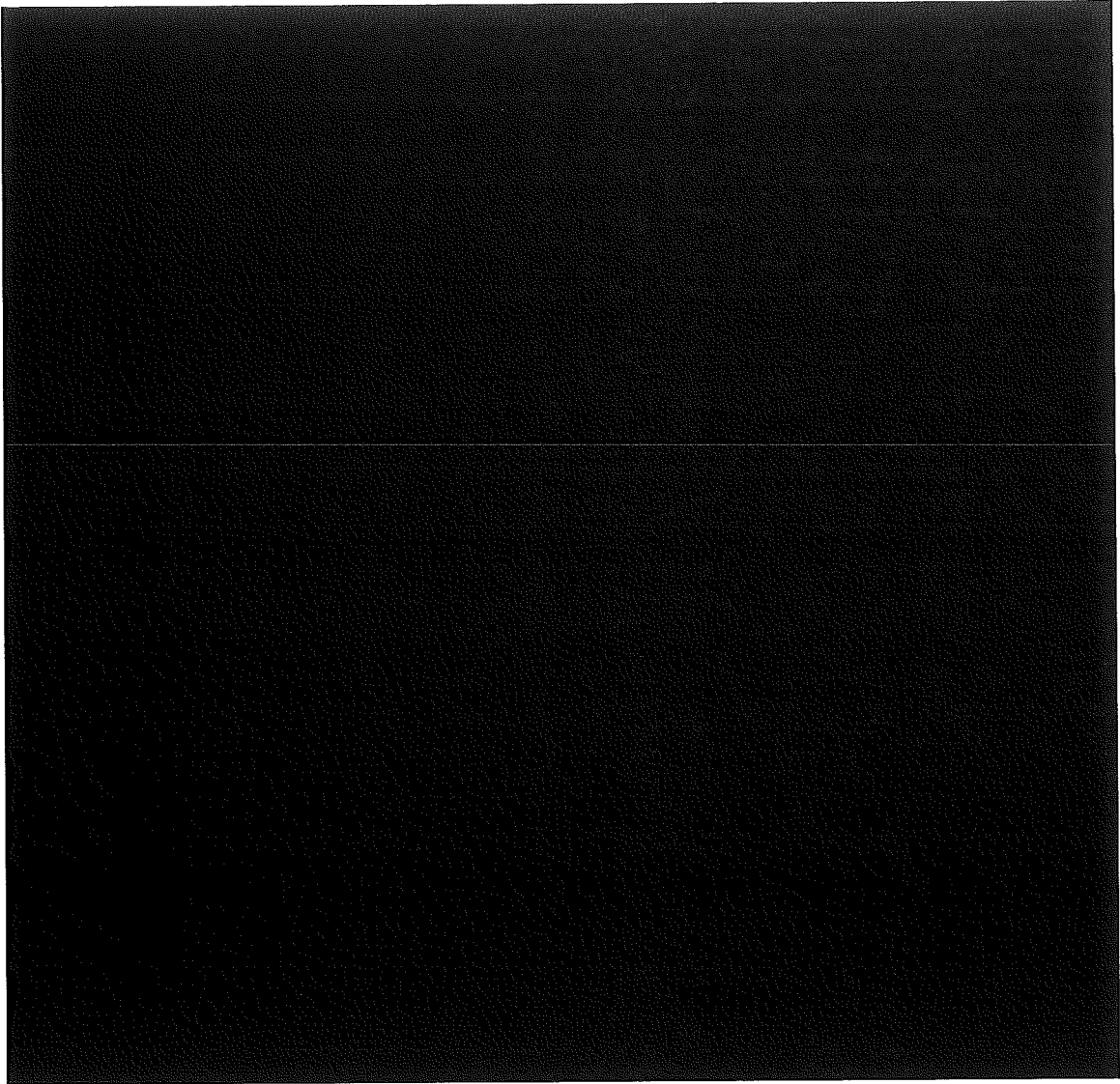
放射性物質濃度の算出に用いた放出率、汚染濃度及び汚染密度は下記の通りである。

- (a) 核分裂生成ガスの放出率 : ██████████
- (b) セル内ガス状核種の汚染濃度 : ██████████ $\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$ (██████████ $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)
- (c) セル内ダスト状核種の汚染濃度 : ██████████ $\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$ (██████████ $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)
- (d) ^{60}Co による表面汚染密度 : ██████████ Bq/cm^2 (██████████ dpm/cm^2)

(a)核分裂生成ガスの放出率は、Nuclear Science and Engineering Vol.18 30 1p~318p, ORNL(1964)に基づいている。(b)セル内ガス状核種の汚染濃度は、排気系ガスモニター検出限界から排気系を考慮して求めた。(c)セル内ダスト状核種の汚染濃度は、排気系ダストモニター検出限界から排気系及びフィルター効率を考慮して求めた。

(d) ^{60}Co による表面汚染密度は、セル内スミヤを採取し実測により求めた。

密封内容器を用いない場合の解析の対象としては、収納物F1からF10についてORIGENコードにより計算した核種ごとの放射エネルギーから漏えい率と基準値との比を求め、その比が最大となる収納物F1を選定した。(収納物F1からF10漏えい率と基準値との比を(ロ)章C.6の(1)に示す。)



(ロ)－第C.1図 密封解析の漏えいモデル(密封内容器を用いない場合)

(1) 密封容器の密封性

密封容器からの漏えいについては、次の4つの場合の放射性核種の漏えいが考えられる。

- (a) 核分裂生成ガス
- (b) 試料収納時に封入されるセル内ガス状核種
- (c) 試料収納時に封入されるセル内ダスト状核種
- (d) ^{60}Co による表面汚染

密封容器からの漏えいについては、上記(a)から(d)の各放射性核種の漏えい率を求め、その漏えい率と基準値との比率の合計が1以下であることを示す。

放射性核種の漏えい率は、密封容器内の放射性核種の濃度と空気の漏えい率を乗じて求められる。

一般の試験条件における最大空気漏えい率は、空気漏えい試験条件における最大空気漏えい量に基づいて次式により表わされる。

$$L_x = \frac{L_y \eta_y (P_u^2 - P_d^2)_x}{\eta_x (P_u^2 - P_d^2)_y} \dots\dots\dots (C-3)$$

ただし、

L = 空気の漏えい率 (std cm³/s)

η = 空気の絶対粘性係数 (MPa·s)

P_u = 空気の圧力(上流側) (MPa abs)

P_d = 空気の圧力(下流側) (MPa abs)

x = 一般の試験を表わす添字

y = 漏えい試験を表わす添字

ここで、

$$\begin{aligned} \eta_x &= \text{■■■■ MPa absにおける空気の粘性係数} \\ &= \text{■■■■ MPa}\cdot\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_y &= T_s, P_1 \text{における空気の粘性係数} \\ &= 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa}\cdot\text{s} \end{aligned}$$

$$P_{uy} = \text{漏えい試験圧力} \quad 0.16 \text{ MPa abs}$$

$$P_{dy} = \text{漏えい試験時の外気圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

$$P_{ux} = \text{一般の試験時の密封容器内圧} \quad \text{■■■■ MPa abs}$$

$$P_{dx} = \text{一般の試験時の格納容器内圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

(安全側に大気圧とする)

$$\begin{aligned} L_x &= \frac{\text{■■■■} \times 1.86 \times 10^{-11} (\text{■■■■}^2 - 0.10^2)}{\text{■■■■} (0.16^2 - 0.10^2)} \\ &= \text{■■■■} \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \\ &= \text{■■} \text{ cm}^3/\text{h} \end{aligned}$$

(□)-第C.6表に収納物F1の場合の密封容器からの放射性核種の漏えい率を示す。

(ロ)-第C.6表 密封容器からの放射性核種の漏えい率 (収納物F1、一般の試験条件)

(a) 核分裂生成ガスの漏えい

| 核 種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基 準 値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比 率 (-) |
|---------------------------|---|--|--------------------------------------|--------------|
| ^3H | [Redacted] | [Redacted] | 4.0×10^{13} | [Redacted] |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{13} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| | | | 合 計 | [Redacted] |

(b) 試料収納時に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核 種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基 準 値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比 率 (-) |
|---------------------------|---|--|--------------------------------------|--------------|
| ^3H | [Redacted] | [Redacted] | 4.0×10^{13} | [Redacted] |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{13} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| | | | 合 計 | [Redacted] |

(c) 試料収納時に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|-------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{89}Sr | [Redacted] | [Redacted] | 6×10^{11} | [Redacted] |
| ^{90}Sr | | | 3×10^{11} | |
| ^{91}Y | | | 6×10^{11} | |
| ^{95}Zr | | | 8×10^{11} | |
| ^{95}Nb | | | 1×10^{12} | |
| ^{103}Ru | | | 2×10^{12} | |
| ^{106}Ru | | | 2×10^{11} | |
| ^{134}Cs | | | 7×10^{11} | |
| ^{137}Cs | | | 6×10^{11} | |
| ^{144}Ce | | | 2×10^{11} | |
| ^{238}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{241}Pu | | | 6×10^{10} | |
| ^{244}Cm | | | 2×10^9 | |
| | | 合計 | | |

(d) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{60}Co | [Redacted] | [Redacted] | 4×10^{11} | [Redacted] |

以上より、(a), (b), (c), (d)の比率の合計は、

[Redacted]
= [Redacted]

(2) 格納容器の密封性

格納容器の密封性については、次の2つの場合の放射性核種の漏えいについて検討する。すなわち、密封容器から漏えいした放射性核種と試料収納時に格納容器に封入されるセル内の放射性核種についての漏えいである。前者の漏えいについては、密封容器の漏えいの評価と同一の割合で格納容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、格納容器内濃度に格納容器漏えい率を乗じて求められる。

一般の試験条件における最大空気漏えい率は、式 (C-3) より求められる。

$$\begin{aligned}\eta_x &= \text{■■■■} \text{ absにおける空気の粘性係数} \\ &= \text{■■■■} \text{ MPa}\cdot\text{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_y &= T_s, P_1 \text{ における空気の粘性係数} \\ &= 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa}\cdot\text{s}\end{aligned}$$

$$P_{uy} = \text{漏えい試験圧力} \quad 0.16 \text{ MPa abs}$$

$$P_{dy} = \text{漏えい試験時の外気圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

$$P_{ux} = \text{一般の試験時の格納容器内圧} \quad \text{■■■■} \text{ MPa abs}$$

$$P_{dx} = \text{一般の試験時の外気圧} \quad 0.06 \text{ MPa abs}$$

$$\begin{aligned}L_x &= \frac{\text{■■■■} \times 1.86 \times 10^{-11} (\text{■■■■}^2 - 0.06^2)}{\text{■■■■} (0.16^2 - 0.10^2)} \\ &= \text{■■■■} \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \\ &= \text{■■■■} \text{ cm}^3/\text{h}\end{aligned}$$

(ロ) - 第C.7表に放射性核種の濃度、漏えい率及びそれらの比を示す。

(ロ) - 第C.7表 格納容器からの放射性核種の漏えい率 (収納物F1、一般の試験条件)

(a) 密封容器からの漏えい((ロ) - 第C.6表より)

| 密封容器からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と 基準値との比の合計 |
|-------------------------|-------------------------|
| 核分裂生成ガス | |
| セル内ガス状核種 | |
| セル内ダスト状核種 | |
| ⁶⁰ Coによる表面汚染 | |
| 合計 | |

(b) 格納容器内に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (μ Bq/h) | 基準値 (μ Bq/h) | 比率 (-) |
|--------------------|---|--------------------------------|----------------------|-------------|
| ³ H | | | 4.0×10^{13} | |
| ⁸⁵ Kr | | | 1.0×10^{13} | |
| ^{131m} Xe | | | 4.0×10^{13} | |
| ¹³¹ I | | | 7.0×10^{11} | |
| | | 合計 | | |

(c) 格納容器内に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核 種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基 準 値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比 率 (-) |
|-------------------|---|--|--------------------------------------|--------------|
| ^{89}Sr | [Redacted] | [Redacted] | 6×10^{11} | [Redacted] |
| ^{90}Sr | | | 3×10^{11} | |
| ^{91}Y | | | 6×10^{11} | |
| ^{95}Zr | | | 8×10^{11} | |
| ^{95}Nb | | | 1×10^{12} | |
| ^{103}Ru | | | 2×10^{12} | |
| ^{106}Ru | | | 2×10^{11} | |
| ^{134}Cs | | | 7×10^{11} | |
| ^{137}Cs | | | 6×10^{11} | |
| ^{144}Ce | | | 2×10^{11} | |
| ^{238}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{241}Pu | | | 6×10^{10} | |
| ^{244}Cm | | | 2×10^9 | |
| | | | 合 計 | |

(d) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核 種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基 準 値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比 率 (-) |
|------------------|---|--|--------------------------------------|--------------|
| ^{60}Co | [Redacted] | [Redacted] | 4×10^{11} | [Redacted] |

以上より (a), (b), (c), (d) の比率の合計は、

$$= \text{[Redacted]}$$

したがって、格納容器からの放射性物質の漏えい率は基準値よりも小さい。

2. 密封容器を用いる場合

収納物F12からF16（F13除く）を輸送する場合には密封容器を用いる。容器内の放射性物質濃度は、下記の核種が容器内に拡散しているものとする。

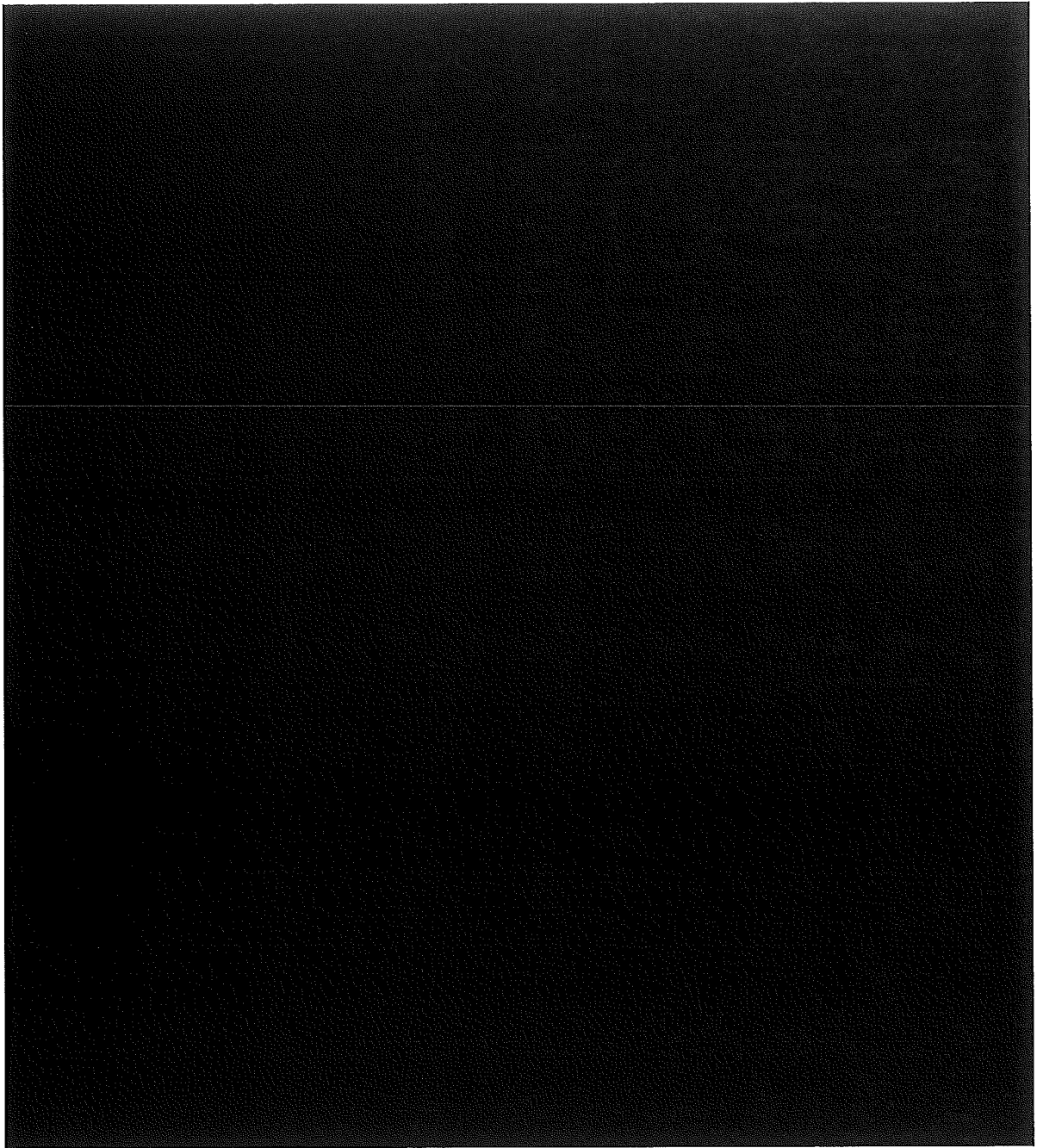
- (a) 収納物から放出される固体状核種
- (b) 収納物から放出される核分裂生成ガス
- (c) 試料収納時に収納物から漏えいし、セル内のガス状核種として、容器内に封入されるダスト状核種
- (d) 試料収納時に収納物から浮遊し、セル内のダスト状核種として、容器内に封入されるダスト状核種
- (e) 試料収納時の⁶⁰Coによる収納物、密封容器、密封容器の表面汚染

密封容器からの漏えいは上記(a)から(e)の核種であり、密封容器からの漏えいは密封容器から漏えいする核種と上記(c)から(e)の核種である。

また、格納容器からの漏えいは密封容器から漏えいする核種と上記(c)から(e)の核種である。漏えいモデル図を(ロ)－第C.2図に示す。

放射性物質濃度の算出に用いた放出率、汚染濃度及び汚染密度は、前項C.3.1.2の1で示した値を用いる。なお、収納物から放出される固体状核種については、Battelle研究所の実験データを用いる。

密封容器を用いる場合の解析の対象としては、収納物F12からF16（F13除く）についてORIGENコードにより計算した核種ごとの放射エネルギーから漏えい率と基準値との比を求め、収納物の側部が被覆されない打抜き板状ウラン燃料試験片であって漏えい率と基準値との比が最大となる収納物F12を選定した。（収納物F12からF16（F13除く）の漏えい率と基準値との比を(ロ)章C.6の(2)に示す。）



(ロ)－第C.2図 密封解析の漏えいモデル（密封内容器を用いる場合）

(1) 密封内容物の密封性

密封内容物からの漏えいについては、次の5つの場合の放射性核種の漏えいが考えられる。

- (a) 固体状核種
- (b) 核分裂生成ガス
- (c) 試料収納時に封入されるセル内ガス状核種
- (d) 試料収納時に封入されるセル内ダスト状核種
- (e) ^{60}Co による表面汚染

密封内容物からの漏えいについては、上記(a)から(e)の各放射性核種の漏えい率を求め、その漏えい率と基準値との比率の合計が1以下であることを示す。

(a) 固体状核種の漏えい

固体状核種の漏えい評価法は安全側に収納物が粉体になっているものとする。

一般には粉体の漏えいは気体状の放射性物質の漏えいよりも小さいと考えられる。プルトニウムは粉体では二酸化プルトニウムとして存在するので本解析では Battelle Columbus Laboratoriesで行われた $50\ \mu\text{m}$ のオリフィスを用いた二酸化プルトニウム粒子の漏えい試験における変換係数 PuO_2/He ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)⁽²⁾ を用いて放射性物質の漏えい量が外運搬規則及び外運搬告示に示された基準値を満足することを示す。

(i) 一般の試験条件における最大のヘリウムガス漏えい率

一般の試験条件における最大のヘリウムガス漏えい率は、漏えい試験条件における最大漏えい率に基づいて次式により表される。

$$L_x = \frac{L_y \eta_y (\text{Pu}^2 - \text{Pd}^2)_x}{\eta_x (\text{Pu}^2 - \text{Pd}^2)_y} \dots\dots\dots (\text{C-4})$$

ただし、

- L = ガスの漏えい率 (std·cm³/s)
- η = ガスの絶対粘性係数 (MPa·s)
- Pu = ガスの圧力(上流側) (MPa abs)
- Pd = ガスの圧力(下流側) (MPa abs)
- x = 一般の試験を表わす添字

y = 漏えい試験を表わす添字

ここで、

$L_y =$ 漏えい試験における漏えい率、 \blacksquare std·cm³/s

$\eta_x =$ \blacksquare MPa absにおけるヘリウムの粘性係数⁽³⁾

$=$ \blacksquare MPa·s

$\eta_y =$ 漏えい試験(25°C、0.1 MPa abs)における空気の粘性係数

$= 1.86 \times 10^{-11}$ MPa·s

$P_{uy} =$ 漏えい試験圧力 0.1 MPa abs

$P_{dy} =$ 漏えい試験時の外気圧 0 MPa abs

$P_{ux} =$ 一般の試験時の密封内容器内圧 \blacksquare MPa abs

$P_{dx} =$ 一般の試験時の密封容器内圧 0.1 MPa abs

(安全側に大気圧とする)

である。

したがって、

$$L_x = \frac{\blacksquare \times 1.86 \times 10^{-11} \times (\blacksquare^2 - 0.1^2)}{\blacksquare \times (0.1^2 - 0^2)}$$

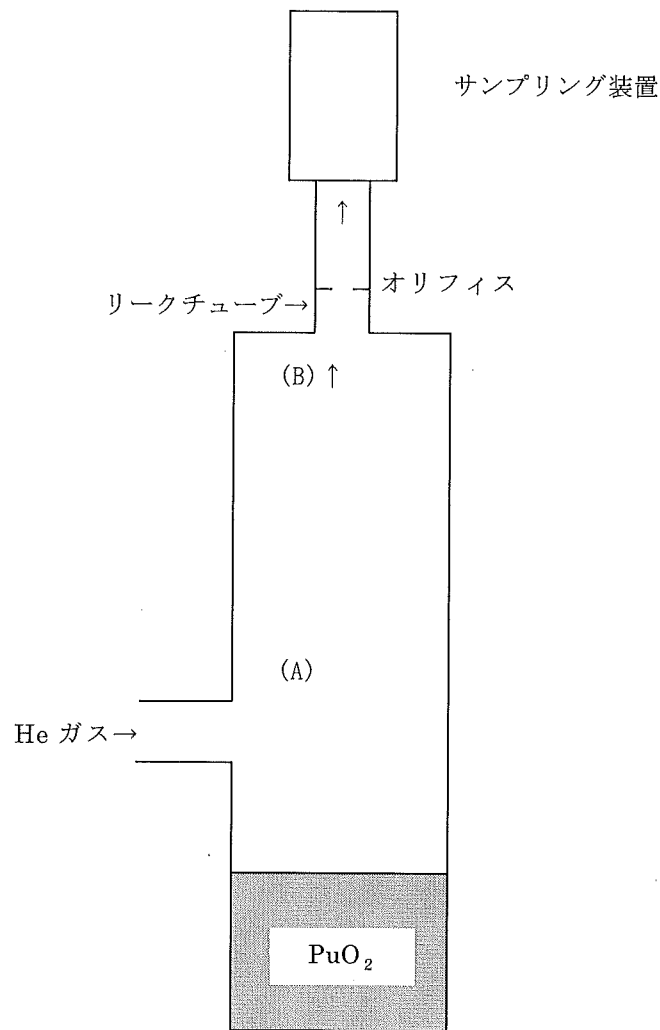
$=$ \blacksquare std·cm³/s

$=$ \blacksquare cm³/h

以下の解析では漏えい率を安全側に \blacksquare cm³/hとする。

(ii) 一般の試験条件における固体放射性核種の漏えい率

放射性物質の漏えい率をBattelle研究所の実験データより求められた(PuO₂/He変換係数)を用いて解析する。まずBattelle研究所で行われたPuO₂粉体の漏えい実験について概略を示す。実験の概要をモデル図として(ロ)－第C.3図に示す。



(ロ) - 第C. 3図 Battelle研究所のPuO₂粉体漏えい実験モデル

入口と出口は、(ロ) - 第C. 3図中(A)及び(B)を持つステンレス製の容器内にPuO₂粉体を入れ(A)よりHeガスを注入し、(B)からリークチューブ内へガスを引く。リークチューブ内にはオリフィス(穴径5 μm~50 μm厚さ0.1 mm)が設けられており、オリフィスの穴を通過したガスと粉体がサンプリング装置に導かれ、HeガスとPuO₂の量が測定される。

それに基づきPuO₂/He (μg/cm³)⁽²⁾を算出している。

その結果を(ロ) - 第C. 8表に示す。

(ロ) - 第C. 8表 PuO₂質量とHe流量との関係)

(単位: μg/cm³)

| Orifice Size (μm) | Mass/Flow Correlation | |
|-------------------|-----------------------|------|
| | min. | Max. |
| 5 | | |
| 8 | | |
| 10 | | |
| 20 | | |
| 50 | | |

なお、オリフィスの穴が5 μmより小さい場合は、粉体が穴を閉塞するため漏えいが生じにくくなり、変換係数 PuO₂/Heの値は小さくなる。変換係数 PuO₂/Heの値としては安全側に(ロ) - 第C. 8表に示された最大値 XXXXXXXXXX μg/cm³を用いる。固体状放射性物質の漏えい率は、変換係数 XXXXXXXXXX (μg/cm³) を用いて下記により求めた。

なお、固体状放射性物質としては、

- (イ) Pu同位体
- (ロ) Pu同位体以外の固体状核種

の2種類に区分し、Pu同位体以外の固体状核種は、PuO₂とともに漏えいするとした。

(イ) Pu同位体の漏えい率

Pu同位体の漏えい率L_p(Bq/h)は次式により求めた。

$$L_p = (C \times 10^{-6}) \times A_{si} \times \frac{A_{pi}/A_{si}}{\sum A_{pi}/A_{si}} \times L_x \dots \dots \dots (C-5)$$

ここで、 C : XXXXXXXXXX PuO₂/He変換係数 = XXXXXXXXXX (μg/cm³)

A_{si} : 固体状各核種の比放射能(Bq/g)

A_{pi} : Pu同位体各核種の放射エネルギー(Bq)

L_x : 一般の試験条件下のヘリウム漏えい率 = XXXXXXXXXX cm³/h

(ロ) Pu同位体以外の固体状核種の漏えい率

Pu同位体以外の固体状核種の漏えい率L_d(Bq/h)は、次式により求めた。

$$L_d = (C \times 10^{-6}) \times A_{si} \times \frac{A_{di}/A_{si}}{\sum (A_{pi}/A_{si} + A_{di}/A_{si})} \times L_x \dots \dots (C-6)$$

ここで、 A_{di} XXXXXXXXXX : Pu同位体以外の固体状各核種の放射エネルギー(Bq)

(ロ) - 第C. 9表に放射性核種の濃度、漏えい率及びそれらの比を示す。

(ロ) - 第C.9表 密封容器からの放射性核種の漏えい率 (収納物F12、一般の試験条件)

(a) 固体状核種の漏えい

| 核種 | 放射能強度 (Bq) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/h) | 基準値 (Bq/h) | 比率 (-) |
|-------------------|---------------|-------------------------|-----------------|-----------|
| ²³⁸ Pu | | | 1×10^3 | |
| ²³⁹ Pu | | | 1×10^3 | |
| ²⁴⁰ Pu | | | 1×10^3 | |
| ²⁴¹ Pu | | | 6×10^4 | |
| ⁸⁹ Sr | | | 6×10^5 | |
| ⁹⁰ Sr | | | 3×10^5 | |
| ⁹¹ Y | | | 6×10^5 | |
| ⁹⁵ Zr | | | 8×10^5 | |
| ⁹⁵ Nb | | | 1×10^6 | |
| ¹⁰³ Ru | | | 2×10^7 | |
| ¹⁰⁶ Ru | | | 2×10^5 | |
| ¹³⁴ Cs | | | 7×10^5 | |
| ¹³⁷ Cs | | | 6×10^5 | |
| ¹⁴⁴ Ce | | | 2×10^5 | |
| 合計 | | | | |

(b) 核分裂生成ガスの漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (μ Bq/h) | 基準値 (μ Bq/h) | 比率 (-) |
|--------------------|---|--------------------------------|----------------------|-----------|
| ³ H | | | 4.0×10^{13} | |
| ⁸⁵ Kr | | | 1.0×10^{13} | |
| ^{131m} Xe | | | 4.0×10^{13} | |
| ¹³¹ I | | | 7.0×10^{11} | |
| 合計 | | | | |

(c) 試料収納時に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|---------------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^3H | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{13} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| | | | 合計 | |

(d) 試料収納時に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|-------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{89}Sr | | | 6×10^{11} | |
| ^{90}Sr | | | 3×10^{11} | |
| ^{91}Y | | | 6×10^{11} | |
| ^{95}Zr | | | 8×10^{11} | |
| ^{95}Nb | | | 1×10^{12} | |
| ^{103}Ru | | | 2×10^{12} | |
| ^{106}Ru | | | 2×10^{11} | |
| ^{134}Cs | | | 7×10^{11} | |
| ^{137}Cs | | | 6×10^{11} | |
| ^{144}Ce | | | 2×10^{11} | |
| ^{238}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{239}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{240}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{241}Pu | | | 6×10^{10} | |
| | | | 合計 | |

(e) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|------------------|---|--|------------------------------------|----------------------|
| ^{60}Co | ████████████████████ | ████████████████████ | 4×10^{11} | ████████████████████ |

以上より(a)から(e)の比率の合計は、

$$\begin{aligned} & \text{████████████████████} \\ & = \text{████████████████████} \end{aligned}$$

(2) 密封容器の密封性

密封容器の密封性については、次の2つの場合の放射性核種の漏えいについて検討する。すなわち、密封容器から漏えいした放射性核種と試料収納時に密封容器に封入されるセル内の放射性核種についての漏えいである。前者の漏えいについては、密封容器の漏えいの項での評価と同一の割合で密封容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、密封容器内濃度に密封容器漏えい率を乗じて求められる。

密封容器の一般の試験条件における最大空気漏えい率は、式(C-3)より求められる。

$$\begin{aligned} \eta_x &= \text{██████████ MPa absにおける空気の粘性係数} \\ &= \text{██████████ MPa} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_y &= \text{Ts, P 1における空気の粘性係数} \\ &= 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

$$P_{uy} = \text{漏えい試験圧力} \quad 0.16 \text{ MPa abs}$$

$$P_{dy} = \text{漏えい試験時の外気圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

$$P_{ux} = \text{一般の試験時の密封容器内圧} \quad \text{██████████ MPa abs}$$

$$P_{dx} = \text{一般の試験時の格納容器内圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

(安全側に大気圧とする)

$$\begin{aligned} L_x &= \frac{\text{██████████} \times 1.86 \times 10^{-11} (\text{██████████}^2 - 0.10^2)}{\text{██████████} (0.16^2 - 0.10^2)} \\ &= \text{██████████} \text{ std} \cdot \text{cm}^3/\text{s} \\ &= \text{██████████} \text{ cm}^3/\text{h} \end{aligned}$$

(ロ) - 第C.10表に、評価結果(放射性物質濃度、放射性物質漏えい率、比率)を示す。

(ロ) - 第C.10表 密封容器からの放射性核種の漏えい (収納物F12、一般の試験条件)

(a) 密封内容器からの漏えい ((ロ) - 第C.9表より)

| 密封内容器からの放射性物質 | | 放射性物質漏えい率と基準値との比の合計 | |
|--------------------------|---------|---------------------|--|
| 収納物 | 固体状核種 | | |
| | 核分裂生成ガス | | |
| セル内ガス核種 | | | |
| セル内ダスト核種 | | | |
| ^{60}Co による表面汚染 | | | |
| 合計 | | | |

(b) 密封容器内に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|---------------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^3H | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{13} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| 合計 | | | | |

(c) 密封容器内に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|-------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{89}Sr | | | 6×10^{11} | |
| ^{90}Sr | | | 3×10^{11} | |
| ^{91}Y | | | 6×10^{11} | |
| ^{95}Zr | | | 8×10^{11} | |
| ^{95}Nb | | | 1×10^{12} | |
| ^{103}Ru | | | 2×10^{12} | |
| ^{106}Ru | | | 2×10^{11} | |
| ^{134}Cs | | | 7×10^{11} | |
| ^{137}Cs | | | 6×10^{11} | |
| ^{144}Ce | | | 2×10^{11} | |
| ^{238}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{239}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{240}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{241}Pu | | | 6×10^{10} | |
| | | | 合計 | |

(d) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{60}Co | | | 4×10^{11} | |

以上より (a), (b), (c), (d) の比率の合計は、

[Redacted]
 $= \text{[Redacted]}$

(3) 格納容器の密封性

格納容器の密封性については、次の2つの場合の放射性核種の漏えいについて検討する。

すなわち、密封容器から漏えいした放射性核種と試料収納時に格納容器に封入されるセル内の放射性核種についての漏えいである。前者の漏えいについては、密封容器の漏えいの項での評価と同一の割合で格納容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、格納容器内濃度に格納容器漏えい率を乗じて求められる。

格納容器の一般の試験条件における最大空気漏えい率は、式(C-3)より求められる。

$$L_y = \text{■■■} \text{ std cm}^3/\text{s}$$

$$\eta_x = \text{■■■■■■■■■■} \text{ MPa absにおける空気の粘性係数}$$

$$= \text{■■■■■■■■■■} \text{ MPa}\cdot\text{s}$$

$$\eta_y = T_s, P_1 \text{ における空気の粘性係数}$$

$$= 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa}\cdot\text{s}$$

$$P_{uy} = \text{漏えい試験圧力} \quad 0.16 \text{ MPa abs}$$

$$P_{dy} = \text{漏えい試験時の外気圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

$$P_{ux} = \text{一般の試験時の格納容器内圧} \quad \text{■■■■} \text{ MPa abs}$$

$$P_{dx} = \text{一般の試験時の外気圧} \quad 0.06 \text{ MPa abs}$$

$$L_x = \frac{\text{■■■} \times 1.86 \times 10^{-11} (\text{■■■■}^2 - 0.06^2)}{\text{■■■■■■■■■■} (0.16^2 - 0.10^2)}$$

$$= \text{■■■} \text{ std cm}^3/\text{s}$$

$$= \text{■■■■■■■■■■} \text{ cm}^3/\text{h}$$

(□) - 第C.11表に評価結果(放射性物質濃度、放射性物質漏えい率、比率)を示す。

(ロ) - 第C. 11表 格納容器からの放射性核種の漏えい (収納物F12、一般の試験条件)

(a) 密封容器からの漏えい((ロ) - 第C. 10表より)

| 密封容器からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と基準値との比の合計 |
|--------------------------|---------------------|
| 密封内容器からの核種 | |
| セル内ガス核種 | |
| セル内ダスト核種 | |
| ^{60}Co による表面汚染 | |
| 合 計 | |

(b) 格納容器内に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核 種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基 準 値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比 率 (-) |
|---------------------------|---|--|--------------------------------------|--------------|
| ^3H | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{13} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| 合 計 | | | | |

(c) 格納容器内に封入されるセル内ダスト核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|-------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{89}Sr | | | 6×10^{11} | |
| ^{90}Sr | | | 3×10^{11} | |
| ^{91}Y | | | 6×10^{11} | |
| ^{95}Zr | | | 8×10^{11} | |
| ^{95}Nb | | | 1×10^{12} | |
| ^{103}Ru | | | 2×10^{12} | |
| ^{106}Ru | | | 2×10^{11} | |
| ^{134}Cs | | | 7×10^{11} | |
| ^{137}Cs | | | 6×10^{11} | |
| ^{144}Ce | | | 2×10^{11} | |
| ^{238}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{239}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{240}Pu | | | 1×10^9 | |
| ^{241}Pu | | | 6×10^{10} | |
| | | | 合計 | |

(d) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^2$) | 放射性物質 漏えい率 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 基準値 ($\mu\text{Bq}/\text{h}$) | 比率 (-) |
|------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{60}Co | | | 4×10^{11} | |

以上より (a), (b), (c), (d) の比率の合計は、

[Redacted]
 $= \text{[Redacted]}$

したがって、格納容器からの放射性物質の漏えい率は基準値よりも小さい。

C.3.2 密封装置の加圧

1. 密封内容器を用いない場合

密封装置の加圧は以下(1)及び(2)によって起こる。

- (1) 密封容器内の空気の温度上昇
- (2) 密封容器内の核分裂生成ガス

(2)項の核分裂生成ガスの発生量を、(ロ)―第C.12表 に示す。

この表より核分裂生成ガスの発生量が密封容器内の空気量に比して無視できる程度であるから核分裂生成ガスによる加圧も無視できる。したがって密封容器の加圧は(1)項の空気の温度上昇によるものを考慮して、(ロ) 章C.2.1(3) に示す条件で密封容器の耐圧強度解析を行っている。

(ロ)―第C.12表 密封容器の核分裂生成ガスの発生量 (収納物F1、一般の試験条件)

| 核種 | 放射性物質濃度 | 放射性物質の量 | | | 密封装置内の 空気体積との 比 |
|---------------------------|----------------------------|---------|-------|-------------------|-----------------------|
| | $\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$ | Bq 注1) | G 注2) | cm^3 注3) | |
| ^3H | | | | | |
| ^{85}Kr | | | | | |
| ^{129}I | | | | | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | | | |
| ^{131}I | | | | | |

注1) 放射性物質濃度×空気体積 (cm^3)

注2) 放射性物質の量(Bq)÷比放射能(Bq/g)

注3) 放射性物質の量(g)×22.4(l/mol)/核種の原子量(g)

2. 密封内容器を用いる場合

密封装置の加圧は以下(1)及び(2)によって起こる。

- (1) 密封内容器内の空気の温度上昇
- (2) 密封内容器内の核分裂生成ガス

(2)項の核分裂生成ガスの発生量を(ロ)―第C.13表に示す。

この表より核分裂生成ガスの発生量が密封内容器内の空気量に比して無視できる程度であるから、核分裂生成ガスによる加圧も無視できる。したがって密封内容器の加圧は(1)項の空気の温度上昇によるものを考慮して、(ロ)章C.2.1(3)に示す条件で密封内容器の耐圧強度解析を行っている。

(ロ)－第C.13表 密封内容器の核分裂生成ガスの発生量 (収納物F12、一般の試験条件)

| 核種 | 放射性物質濃度 | 放射性物質の量 | | | 密封装置内の 空気体積との 比 |
|---------------------------|----------------------------|---------|-------|-------------------|-----------------------|
| | $\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$ | Bq 注1) | g 注2) | cm^3 注3) | |
| ^3H | | | | | |
| ^{85}Kr | | | | | |
| ^{129}I | | | | | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | | | |
| ^{131}I | | | | | |

注1) 放射性物質濃度×空気体積 (cm^3)

注2) 放射性物質の量(Bq)÷比放射能(Bq/g)

注3) 放射性物質の量(g)×22.4(ℓ/mol)/核種の原子量(g)

C.3.3 冷却材汚染

本輸送容器には冷却材を用いていないので該当しない。

C.3.4 冷却材損失

本輸送容器には冷却材を用いていないので該当しない。

C.4 特別の試験条件

特別の試験条件における密封装置内の圧力及び温度は(ロ)一第C.1表に示すとおりであり、本条件において密封装置である密封内容容器、密封容器及び格納容器の性能が損われないことは(ロ)章A.構造解析により確認している。

特別の試験条件下における放射性核種の漏えいは、収納物が密封内容容器に収納されない場合(F1からF3、F5、F7、F9、F10)と、密封内容容器に収納された場合(F12からF16(F13除く))で密封境界数が変わってくるので2つに分けて評価する。

C.4.1 核分裂生成ガス

密封装置内の核分裂生成ガスは、密封装置内の空気中に存在し空気とともに漏えいするものとする。なお、核分裂生成ガスとしてセル内ガス状核種も含めるものとする。

C.4.1.1 密封内容容器を用いない場合

密封内容容器を用いない場合の密封装置は、密封容器及び格納容器である。

1. 特別の試験条件下における最大空気漏えい率

(1) 密封容器の漏えい率

特別の試験条件下における最大空気漏えい率は、式(C-3)により求められる。

$$L_y = \text{空気の漏えい率} \quad \text{■■■■} \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$$

$$\eta_x = \text{■■■■ MPaにおける空気の粘性係数} \\ = \text{■■■■ MPa}\cdot\text{s}$$

$$\eta_y = T_s, P_1 \text{における空気の粘性係数} \\ = 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa}\cdot\text{s}$$

$$P_{uy} = \text{漏えい試験圧力} \quad 0.16 \text{ MPa abs}$$

$$P_{dy} = \text{漏えい試験時の外気圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

$$P_{ux} = \text{特別の試験時の密封容器内圧} \quad \text{■■■■ MPa abs}$$

$$P_{dx} = \text{特別の試験時の格納容器内圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs} \\ (\text{安全側に大気圧とする})$$

$$\begin{aligned}
 L_x &= \frac{\text{■} \times 1.86 \times 10^{-11} \times (\text{■}^2 - 0.10^2)}{\text{■} \times (0.16^2 - 0.10^2)} \\
 &= \text{■} \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \\
 &= \text{■} \text{ cm}^3/\text{week}
 \end{aligned}$$

(2) 格納容器の漏えい率

特別の試験条件下における最大空気漏えい率は、式 (C-3) により求められる。

$$L_y = \text{空気の標準漏えい率} \text{ ■} \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_x &= \text{■ MPaにおける空気の粘性係数} \\
 &= \text{■ MPa}\cdot\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_y &= T_s, P_1 \text{における空気の粘性係数} \\
 &= 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa}\cdot\text{s}
 \end{aligned}$$

$$P_{uy} = \text{漏えい試験圧力} \quad 0.16 \text{ MPa abs.}$$

$$P_{dy} = \text{漏えい試験時の外気圧} \quad 0.10 \text{ MPa abs}$$

$$P_{ux} = \text{特別の試験時の格納容器内圧} \quad \text{■ MPa abs}$$

$$P_{dx} = \text{特別の試験時の外気圧} \quad 0.06 \text{ MPa abs}$$

$$\begin{aligned}
 L_x &= \frac{\text{■} \times 1.86 \times 10^{-11} (\text{■}^2 - 0.06^2)}{\text{■} (0.16^2 - 0.10^2)} \\
 &= \text{■} \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \\
 &= \text{■} \text{ cm}^3/\text{week}
 \end{aligned}$$

2. 特別の試験条件下における核分裂生成ガスの漏えい率

(1) 密封容器の核分裂生成ガスの漏えい率

密封容器の核分裂生成ガス及びセル内ガス状核種の漏えい率を(ロ)－第C.14表に示す。

(ロ)－第C.14表 密封容器内からの核分裂生成ガスの漏えい(収納物F1、特別の試験条件)

(a) 核分裂生成ガスの漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|---------------------------|---|----------------------------|----------------------|-------------|
| ^3H | [Redacted] | [Redacted] | 4.0×10^{13} | [Redacted] |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{14} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| 合計 | | | | |

(b) 試料収納時に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|---------------------------|---|----------------------------|----------------------|-------------|
| ^3H | [Redacted] | [Redacted] | 4.0×10^{13} | [Redacted] |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{14} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| 合計 | | | | |

(a)及び(b)の比率の合計は、[Redacted]である。

(2) 格納容器の核分裂生成ガスの漏えい率

格納容器の漏えいについては、密封容器から漏えいした核分裂生成ガス及びセル内ガス状核種の漏えいと、密封容器収納時に格納容器に封入されるセル内ガス状核種の漏えいである。

前者の漏えいについては、密封容器の漏えいの項での評価と同一の割合で格納容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、格納容器内濃度に格納容器漏えい率を乗じて求められる。格納容器の核分裂生成ガスの漏えい率を(ロ)－第C.15表に示す。

(ロ) 第C.15表 格納容器からの核分裂生成ガスの漏えい率 (収納物F1、特別の試験条件)

(a) 密封容器からの漏えい((ロ) 第C.14表より)

| 密封容器からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と基準値との比の合計 |
|--------------|---------------------|
| 核分裂生成ガス | ■ |
| セル内ガス状核種 | |
| 合計 | |

(b) 格納容器内に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|---------------------------|---|--|------------------------------------|-----------|
| ^3H | ■ | ■ | 4.0×10^{13} | ■ |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{14} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| | | 合計 | | |

(a) 及び (b) の比率の合計は、■である。

C.4.1.2 密封内容容器を用いる場合

密封内容容器を用いる場合の密封装置は、密封内容容器、密封容器及び格納容器である。

1. 特別の試験条件下における最大のヘリウムガス漏えい率

(1) 密封内容容器の漏えい率

(ロ) 章C.3.1.2の2(1)と同様に特別の試験条件下における最大ヘリウム漏えい率は、式(C-4)により求められる。

$$L_y = \text{漏えい試験における漏えい率} \quad \text{■} \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$$

$$\eta_x = \text{■ MPaにおけるヘリウムの粘性係数}$$

$$= \text{■ MPa}\cdot\text{s}$$

$$\eta_y = T_s, P_1 \text{における空気の粘性係数}$$

$$= 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa}\cdot\text{s}$$

$$\begin{aligned}
P_{uy} &= \text{漏えい試験圧力} && 0.1 \text{ MPa abs} \\
P_{dy} &= \text{漏えい試験時の外気圧} && 0 \text{ MPa abs} \\
P_{ux} &= \text{特別の試験時の密封内容容器内圧} && \blacksquare \text{ MPa abs} \\
P_{dx} &= \text{特別の試験時の外気圧} && 0.1 \text{ MPa abs} \\
L_x &= \frac{\blacksquare \times 1.86 \times 10^{-11} \times (\blacksquare^2 - 0.1^2)}{\blacksquare \times (0.1^2 - 0^2)} \\
&= \blacksquare \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \\
&= \blacksquare \text{ cm}^3/\text{week}
\end{aligned}$$

(2) 密封容器の漏えい率

特別の試験条件下における最大空気漏えい率は、式(C-3)により求められる。

$$\begin{aligned}
L_y &= \text{空気の漏えい率} && \blacksquare \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \\
\eta_x &= \blacksquare \text{ MPaにおける空気の粘性係数} \\
&= \blacksquare \text{ MPa}\cdot\text{s} \\
\eta_y &= T_s, P_1 \text{における空気の粘性係数} \\
&= 1.86 \times 10^{-11} \text{ MPa}\cdot\text{s} \\
P_{uy} &= \text{漏えい試験圧力} && 0.16 \text{ MPa abs} \\
P_{dy} &= \text{漏えい試験時の外気圧} && 0.10 \text{ MPa abs} \\
P_{ux} &= \text{特別の試験時の密封容器内圧} && \blacksquare \text{ MPa abs} \\
P_{dx} &= \text{特別の試験時の格納容器内圧} && 0.10 \text{ MPa abs} \\
&\quad \text{(安全側に大気圧とする)} \\
L_x &= \frac{\blacksquare \times 1.86 \times 10^{-11} \times (\blacksquare^2 - 0.10^2)}{\blacksquare \times (0.16^2 - 0.10^2)} \\
&= \blacksquare \text{ std}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \\
&= \blacksquare \text{ cm}^3/\text{week}
\end{aligned}$$

(3) 格納容器の漏えい率

格納容器の漏えい率は、密封容器を用いない場合と同じように行い(ロ)章 C.4.1.1の1.(2)に \blacksquare MPaにおける空気の粘性係数 $\eta_x = \blacksquare$ MPa \cdot s を代入すると、 \blacksquare cm³/weekとなる。

2. 特別の試験条件下における核分裂生成ガスの漏えい率

(1) 密封内容物の核分裂生成ガスの漏えい率

密封内容物の核分裂生成ガス及びセル内ガス状核種の漏えい率を(ロ)－第C.16表に示す。

(ロ)－第C.16表 密封内容物からの核分裂生成ガスの漏えい率

(収納物F12、特別の試験条件)

(a) 核分裂生成ガスの漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|--------------------|---|----------------------------|----------------------|-------------|
| ³ H | | | 4.0×10^{13} | |
| ⁸⁵ Kr | | | 1.0×10^{14} | |
| ^{131m} Xe | | | 4.0×10^{13} | |
| ¹³¹ I | | | 7.0×10^{11} | |
| 合計 | | | | |

(b) 試料収納時に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|--------------------|---|----------------------------|----------------------|-------------|
| ³ H | | | 4.0×10^{13} | |
| ⁸⁵ Kr | | | 1.0×10^{14} | |
| ^{131m} Xe | | | 4.0×10^{13} | |
| ¹³¹ I | | | 7.0×10^{11} | |
| 合計 | | | | |

(a) 及び (b) の比率の合計は、 である。

(2) 密封内容物の核分裂生成ガス

密封内容物の漏えいについては、密封内容物から漏えいした核分裂生成ガス及びセル内ガス状核種の漏えいと密封内容物収納時に密封内容物に封入されるセル内ガス状核種の漏えいである。

前者の漏えいについては、密封内容物の漏えいの項の評価と同一の割合で密封容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、密封容器内濃度に密封容器漏えい率を乗じて求められる。

密封容器の核分裂生成ガスの漏えい率を、(ロ)－第C.17表 に示す。


(ロ)－第C.17表 密封容器からの核分裂生成ガスの漏えい率(収納物F12、特別の試験条件)

(a) 密封内容物からの漏えい((ロ)－第C.16表より)

| 密封内容物からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と基準値との比の合計 |
|---------------|---------------------|
| 核分裂生成ガス | |
| セル内ガス状核種 | |
| 合計 | |

(b) 密封容器内に封入されるセル内ガス状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|---------------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^3H | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{85}Kr | | | 1.0×10^{14} | |
| $^{131\text{m}}\text{Xe}$ | | | 4.0×10^{13} | |
| ^{131}I | | | 7.0×10^{11} | |
| | | | 合計 | |

(a)及び(b)の比率の合計は、である。

(3) 格納容器の核分裂生成ガス

格納容器の漏えいについては、密封容器から漏えいした核分裂生成ガス及びセル内ガス状核種の漏えいと密封容器収納時に格納容器に封入されるセル内ガス状核種の漏えいである。

前者の漏えいについては、密封容器の漏えいの項の評価と同一の割合で格納容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、格納容器内濃度に格納容器漏えい率を乗じて求められる。密封容器の核分裂生成ガスの漏えい率を、(ロ)－第C.18表 に示す。

(ロ)－第C.18表 格納容器からの核分裂生成ガスの漏えい率(収納物F12、特別の試験条件)

(a) 密封容器からの漏えい((ロ)－第C.17表より)

| | |
|------------------|---------------------|
| 密封容器からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と基準値との比の合計 |
| 密封内容容器からの核分裂生成ガス | |
| セル内ガス状核種 | |
| 合 計 | |

(b) 格納容器に封入されるセル内ガス核種の漏えい

| 核 種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基 準 値 (Bq/week) | 比 率 (-) |
|--------------------|---|----------------------------|----------------------|--------------|
| ³ H | | | 4.0×10^{13} | |
| ⁸⁵ Kr | | | 1.0×10^{14} | |
| ^{131m} Xe | | | 4.0×10^{13} | |
| ¹³¹ I | | | 7.0×10^{11} | |
| | | 合 計 | | |

(a)及び(b)の比率の合計は、 である。

C.4.2 放射性物質の漏えい

特別の試験条件下における放射性物質の漏えいは、一般の試験条件下と同様の方法により求められる。

C.4.2.1 密封内容容器を用いない場合

密封内容容器を用いない場合の密封装置は、密封容器及び格納容器である。

1. 密封容器からの放射性物質の漏えい

密封容器内には、セル内の雰囲気中に存在するダスト状核種及び表面汚染によるものが混在する。密封容器の放射性物質の漏えい率を(ロ)－第C.19表 に示す。

(ロ) - 第C.19表 密封容器からの放射性物質の漏えい率 (収納物F1、特別の試験条件)

(a) 試料収納時に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) | | |
|-------------------|---|----------------------------|--------------------|-------------|--|--|
| ^{89}Sr | [Redacted] | [Redacted] | 6×10^{11} | [Redacted] | | |
| ^{90}Sr | | | 3×10^{11} | | | |
| ^{91}Y | | | 6×10^{11} | | | |
| ^{95}Zr | | | 8×10^{11} | | | |
| ^{95}Nb | | | 1×10^{12} | | | |
| ^{103}Ru | | | 2×10^{12} | | | |
| ^{106}Ru | | | 2×10^{11} | | | |
| ^{134}Cs | | | 7×10^{11} | | | |
| ^{137}Cs | | | 6×10^{11} | | | |
| ^{144}Ce | | | 2×10^{11} | | | |
| ^{238}Pu | | | 1×10^9 | | | |
| ^{241}Pu | | | 6×10^{10} | | | |
| ^{244}Cm | | | 2×10^9 | | | |
| 合計 | | | | | | |

(b) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|------------------|---|----------------------------|--------------------|-------------|
| ^{60}Co | [Redacted] | [Redacted] | 4×10^{11} | [Redacted] |

(a) 及び (b) の比率の合計は、[Redacted]である。

2. 格納容器からの放射性物質の漏えい

格納容器の放射性物質の漏えいについては、密封容器から漏えいした放射性物質の漏えいと密封容器収納時に格納容器に封入されるセル内ダスト核種及び⁶⁰Coによる表面汚染によるものが混在する。

格納容器の放射性物質の漏えい率を、(ロ)－第C.20表 に示す。

(ロ)－第C.20表 格納容器からの放射性物質の漏えい率 (収納物F1、特別の試験条件)

(a) 密封容器からの漏えい((ロ)－第C.19表より)

| 密封容器からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と基準値との比の合計 |
|-------------------------|---------------------|
| セル内ダスト状核種 | |
| ⁶⁰ Coによる表面汚染 | |
| 合 計 | |

(b) 格納容器内に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核 種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基 準 値 (Bq/week) | 比 率 (-) |
|-------------------|---|----------------------------|--------------------|--------------|
| ⁸⁹ Sr | | | 6×10^{11} | |
| ⁹⁰ Sr | | | 3×10^{11} | |
| ⁹¹ Y | | | 6×10^{11} | |
| ⁹⁵ Zr | | | 8×10^{11} | |
| ⁹⁵ Nb | | | 1×10^{12} | |
| ¹⁰³ Ru | | | 2×10^{12} | |
| ¹⁰⁶ Ru | | | 2×10^{11} | |
| ¹³⁴ Cs | | | 7×10^{11} | |
| ¹³⁷ Cs | | | 6×10^{11} | |
| ¹⁴⁴ Ce | | | 2×10^{11} | |
| ²³⁸ Pu | | | 1×10^9 | |
| ²⁴¹ Pu | | | 6×10^{10} | |
| ²⁴⁴ Cm | | | 2×10^9 | |
| 合 計 | | | | |

(c) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{60}Co | ██████████ | ██████████ | 4×10^{11} | ██████████ |

(a), (b)及び(c)の比率の合計は、██████████である。

C.4.2.2 密封内容器を用いる場合

密封内容器を用いる場合の密封装置は、密封内容器、密封容器及び格納容器である。

1. 密封内容器の放射性物質の漏えい

密封内容器内には、収納物からの固体状核種、セル内の雰囲気中に存在するダスト状核種及び表面汚染によるものが混在する。

固体状核種の漏えいについては、一般の試験条件下と同様の方法により求められる。

(1) Pu 同位体の漏えい率

Pu 同位体の漏えい率 L_p (Bq/week) は、式(C-5)により求められる。

$$L_p = (C \times 10^{-6}) \times A_{si} \times \frac{A_{pi}/A_{si}}{\sum A_{pi}/A_{si}} \times L_x$$

ここで、

C : PuO_2/He 変換係数 = ██████████ ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)

A_{si} : 各核種の比放射能 (Bq/g)

A_{pi} : Pu同位体各核種の放射能 (Bq)

L_x : 特別の試験条件下のヘリウム漏えい率 = ██████████ cm^3/week

(2) Pu 同位体以外の核種の漏えい率

Pu 同位体以外の核種の漏えい率 L_d (Bq/week) は、式(C-6)により求められる。

$$L_d = (C \times 10^{-6}) \times A_{si} \times \frac{A_{di}/A_{si}}{\sum (A_{pi}/A_{si} + A_{di}/A_{si})} \times L_x$$

ここで、

A_{di} : Pu 同位体以外の各核種の放射能 (Bq)

密封内容器の放射性物質の漏えい率を、(ロ)－第C.21表 に示す。

(ロ)－第C.21表 密封容器からの放射性物質の漏えい率 (収納物F12、特別の試験条件)

(a) 固体状核種の漏えい

| 核種 | 放射能 (Bq) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|-------------------|-------------|----------------------------|--------------------|-----------|
| ²³⁸ Pu | | | 1×10 ⁹ | |
| ²³⁹ Pu | | | 1×10 ⁹ | |
| ²⁴⁰ Pu | | | 1×10 ⁹ | |
| ²⁴¹ Pu | | | 6×10 ¹⁰ | |
| ⁸⁹ Sr | | | 6×10 ¹¹ | |
| ⁹⁰ Sr | | | 3×10 ¹¹ | |
| ⁹¹ Y | | | 6×10 ¹¹ | |
| ⁹⁵ Zr | | | 8×10 ¹¹ | |
| ⁹⁵ Nb | | | 1×10 ¹² | |
| ¹⁰³ Ru | | | 2×10 ¹² | |
| ¹⁰⁶ Ru | | | 2×10 ¹¹ | |
| ¹³⁴ Cs | | | 7×10 ¹¹ | |
| ¹³⁷ Cs | | | 6×10 ¹¹ | |
| ¹⁴⁴ Ce | | | 2×10 ¹¹ | |
| 合計 | | | | |

(b) 試料収納時に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|-------------------|---|----------------------------|--------------------|-------------|
| ⁸⁹ Sr | [Redacted] | [Redacted] | 6×10^{11} | [Redacted] |
| ⁹⁰ Sr | | | 3×10^{11} | |
| ⁹¹ Y | | | 6×10^{11} | |
| ⁹⁵ Zr | | | 8×10^{11} | |
| ⁹⁵ Nb | | | 1×10^{12} | |
| ¹⁰³ Ru | | | 2×10^{12} | |
| ¹⁰⁶ Ru | | | 2×10^{11} | |
| ¹³⁴ Cs | | | 7×10^{11} | |
| ¹³⁷ Cs | | | 6×10^{11} | |
| ¹⁴⁴ Ce | | | 2×10^{11} | |
| ²³⁸ Pu | | | 1×10^9 | |
| ²³⁹ Pu | | | 1×10^9 | |
| ²⁴⁰ Pu | | | 1×10^9 | |
| ²⁴¹ Pu | | | 6×10^{10} | |
| | | | | |

(c) ⁶⁰Coによる表面汚染

| 核種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|------------------|---|----------------------------|--------------------|-------------|
| ⁶⁰ Co | [Redacted] | [Redacted] | 4×10^{11} | [Redacted] |

(a), (b)及び(c)の比率の合計は、[Redacted]である。

2. 密封容器の放射性物質の漏えい

密封容器の漏えいについては、密封内容から漏えいした固体状核種、セル内ダスト状核種及び⁶⁰Coによる表面汚染による核種の漏えいと密封内容収納時に封入されるセル内ダスト状核種及び⁶⁰Coによる表面汚染による核種の漏えいである。

前者の漏えいについては、密封内容の漏えいの項の評価と同一の割合で密封

容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、密封容器内濃度に密封容器漏えい率を乗じて求められる。密封容器の放射性物質の漏えい率を、(ロ)－第C.22表に示す。

(ロ)－第C.22表 密封容器からの放射性物質の漏えい率 (収納物F12、特別の試験条件)

(a) 密封内容器からの漏えい((ロ)－第C.21表より)

| 密封内容器からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と基準値との比の合計 |
|-------------------------|---------------------|
| 固体状核種 | |
| セル内ダスト状核種 | |
| ⁶⁰ Coによる表面汚染 | |
| 合計 | |

(b) 密封容器内に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 (μ Bq/cm ³) | 放射性物質漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|-------------------|---|------------------------|--------------------|-------------|
| ⁸⁹ Sr | | | 6×10^{11} | |
| ⁹⁰ Sr | | | 3×10^{11} | |
| ⁹¹ Y | | | 6×10^{11} | |
| ⁹⁵ Zr | | | 8×10^{11} | |
| ⁹⁵ Nb | | | 1×10^{12} | |
| ¹⁰³ Ru | | | 2×10^{12} | |
| ¹⁰⁶ Ru | | | 2×10^{11} | |
| ¹³⁴ Cs | | | 7×10^{11} | |
| ¹³⁷ Cs | | | 6×10^{11} | |
| ¹⁴⁴ Ce | | | 2×10^{11} | |
| ²³⁸ Pu | | | 1×10^9 | |
| ²³⁹ Pu | | | 1×10^9 | |
| ²⁴⁰ Pu | | | 1×10^9 | |
| ²⁴¹ Pu | | | 6×10^{10} | |
| 合計 | | | | |

(c) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|------------------|---|--|------------------------------------|-------------|
| ^{60}Co | ██████████ | ██████████ | 4×10^{11} | ██████████ |

(a), (b) 及び (c) の比率の合計は、██████████である。

3. 格納容器の放射性物質の漏えい

格納容器の漏えいについては、密封容器から漏えいした放射性物質と密封容器収納時に封入されるセル内ダスト状核種及び ^{60}Co による表面汚染による核種の漏えいである。

前者の漏えいについては、密封容器の漏えいの項での評価と同一の割合で格納容器から漏えいすると考える。後者の漏えいについては、格納容器内濃度に格納容器漏えい率を乗じて求められる。格納容器の放射性物質の漏えい率を、(ロ)－第C.23表に示す。

(ロ)－第C.23表 格納容器からの放射性物質の漏えい率 (収納物F12、特別の試験条件)

(a) 密封容器からの漏えい((ロ)－第C.22表より)

| 密封容器からの放射性物質 | 放射性物質漏えい率と 基準値との比 |
|--------------------------|----------------------|
| 密封内容器からの核種 | ██████████ |
| セル内ダスト状核種 | |
| ^{60}Co による表面汚染 | |
| 合計 | |

(b) 格納容器内に封入されるセル内ダスト状核種の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) | |
|-------------------|---|----------------------------|--------------------|-------------|--|
| ^{89}Sr | [Redacted] | [Redacted] | 6×10^{11} | [Redacted] | |
| ^{90}Sr | | | 3×10^{11} | | |
| ^{91}Y | | | 6×10^{11} | | |
| ^{95}Zr | | | 8×10^{11} | | |
| ^{95}Nb | | | 1×10^{12} | | |
| ^{103}Ru | | | 2×10^{12} | | |
| ^{106}Ru | | | 2×10^{11} | | |
| ^{134}Cs | | | 7×10^{11} | | |
| ^{137}Cs | | | 6×10^{11} | | |
| ^{144}Ce | | | 2×10^{11} | | |
| ^{238}Pu | | | 1×10^9 | | |
| ^{239}Pu | | | 1×10^9 | | |
| ^{240}Pu | | | 1×10^9 | | |
| ^{241}Pu | | | 6×10^{10} | | |
| | | | 合計 | | |

(c) ^{60}Co による表面汚染の漏えい

| 核種 | 放射性物質濃度 ($\mu\text{Bq}/\text{cm}^3$) | 放射性物質 漏えい率 (Bq/week) | 基準値 (Bq/week) | 比率 (-) |
|------------------|---|----------------------------|--------------------|-------------|
| ^{60}Co | [Redacted] | [Redacted] | 4×10^{11} | [Redacted] |

(a), (b)及び(c)の比率の合計は、[Redacted]である。

C.4.2.3 放射性物質の漏えいのまとめ

特別の試験条件下における密封装置からの放射性物質の漏えい率と基準値の比の合計は、(ロ)章C.3.1及び、(ロ)章C.3.2で求めた比率の合計である。密封装置からの放射性物質の漏えい率と基準値との比率のまとめを、(ロ)―第C.24表に示す。

(ロ)―第C.24表 密封装置からの放射性物質の漏えい率と基準値との比率

(特別の試験条件)

| 種類 | 項目 | 比 率 | |
|-------|---------|-------------------------|-------------------------|
| | | 密封内容器を用いない場合 (収納物F1) | 密封内容器を用いる場合 (収納物F12) |
| 密封内容器 | 核分裂生成ガス | — | ■ |
| | 放射性物質 | | |
| | 合計 | | |
| 密封容器 | 核分裂生成ガス | ■ | ■ |
| | 放射性物質 | | |
| | 合計 | | |
| 格納容器 | 核分裂生成ガス | ■ | ■ |
| | 放射性物質 | | |
| | 合計 | | |

(ロ)―第C.24表 より格納容器からの漏えい率と基準値との比率は最大 ■ であり1よりも小さい。したがって密封装置からの放射性物質の漏えい率は基準値よりも小さい。

C.5 結果の要約及びその評価

密封解析の評価結果は以下に示すとおりであり、本輸送容器の密封性能は外運搬規則及び外運搬告示に定められるBM型輸送物に係る技術上の基準に適合する。

1. 密装置

本輸送容器の密装置は密封内容器、密封容器及び格納容器であり、密封境界は、弁、Oリング、グランドパッキン及びカプラで構成されている。これらの密装置は、一般の試験条件及び特別の試験条件に対して十分な強度を有し、また、ガスケットの密封性能が損われることはない。

2. 一般の試験条件

(1) 放射性物質の漏えい

一般の試験条件における放射性物質の漏えい率と基準値との比率の合計は、密封内容器を用いる場合が最大となり ████████ であり、放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

(2) 密装置の加圧

密装置の加圧は、収納物の発熱による空気の温度上昇による。(ロ)章A.構造解析に示したようにこの加圧により密装置性能が損なわれるような変形は生じない。

(3) 冷却材汚染

本輸送容器には、冷却材を用いていないので冷却材による汚染はない。

(4) 冷却材損失

本輸送容器には、冷却材を用いていないので冷却材の損失はない。

3. 特別の試験条件

(1) 核分裂生成ガス

特別の試験条件においては、(ロ)章A.構造解析に示したように収納物の破損がなく、密装置内の核分裂生成ガスの量は一般の試験条件と同じである。

(2) 放射性物質の漏えい

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率と基準値との比率の合計は密封内容器を用いる場合が最大となり ████████ であり、放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

C.6 付属書類

- (1) C.6.1 密封容器を用いない場合の漏えい率と基準値との比
(F1からF3、F5、F7、F9、F10)
- (2) C.6.2 密封容器を用いる場合の漏えい率と基準値との比 (F12、F14からF16)
- (3) C.6.3 参考文献

(1) C.6.1 密封内容器を用いない場合の漏えい率と基準値との比 (F1からF3、F5、F7、F9、F10)

密封内容器を用いない場合の各収納物の漏えい率と基準値との比を(ロ)―第C.25表に示す。

(ロ)―第C.25表 密封内容器を用いない場合の漏えい率と基準値との比

| | | F1 | F2 | F3 | F5 | F7 | F9 | F10 |
|--------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 密封容器 | 核分裂生成ガスの基準値に対する比率 | | | | | | | |
| | ガス状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | |
| | ダスト状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | |
| | ⁶⁰ Coによる表面汚染の基準値に対する比率 | | | | | | | |
| | ガス状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | |
| | ダスト状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | |
| 格納容器 | ⁶⁰ Coによる表面汚染の基準値に対する比率 | | | | | | | |
| | 合計 | 1.00 | 0.44 | 0.42 | 0.75 | 0.13 | 0.74 | 0.61 |
| F1との比率 | | | | | | | | |

F1からF10の収納物の中で、F1の漏えい率と基準値の比が最大となるため、F1を解析対象としている。

注) 収納物F4、F6、F8は欠番。

(2) C.6.2 密封容器を用いる場合の漏えい率と基準値との比 (F12、F14からF16)

密封容器を用いる場合の各収納物の漏えい率と基準値との比を(ロ)－第C.26表に示す。

(ロ)－第C.26表 密封容器を用いる場合の漏えい率と基準値との比

| | | F12 | F14 | F15 | F16 | | | | |
|---------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 密封容器 | 固体状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | 核分裂生成ガスの基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | ガス状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | ダスト状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | ⁶⁰ Coによる表面汚染の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| 密封容器 | ガス状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | ダスト状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | ⁶⁰ Coによる表面汚染の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| 格納容器 | ガス状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | ダスト状核種の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| | ⁶⁰ Coによる表面汚染の基準値に対する比率 | | | | | | | | |
| 合計 | | | | | | | | | |
| F12との比率 | | | | | | 1.00 | 0.13 | 0.12 | 0.12 |

収納物F14、F15、F16は、Zry管又はSUS管で被覆され、さらにSUS内筒に封入されている。
F12からF16 (F13除く) の収納物の中で、F12の漏えい率と基準値との比が最大となるため、F12を解析対象としている。

注) 収納物F4、F6、F8、F11、F13、F17からF20は欠番。

(3) C.6.3 参考文献

- (1) ANSI N 14.5 1977 "American national standard for leakage tests on packages for shipment of radioactive materials"
- (2) NUREG/CR-1302 PNL-3278, 1980
"Study of plutonium oxide powder emissions from simulated shipping container leak"
- (3) 日本機械学会 "技術資料 流体の熱物性値集"

(口) 章 D 遮 蔽 解 析