

(□)-第 B.8 表 一般の試験条件における胴内圧計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|----------------------|------------|-----|-----------------------|
| 胴内ヘリウムの初期充填圧力 | P_{c0} | MPa | 0.0477 |
| 一般の試験条件における胴内ヘリウムの温度 | T_{0nor} | K | 479.15 (206 °C) |
| 胴内ヘリウムの初期温度 | T_{c0} | K | 293.15 (20 °C) |
| 一般の試験条件における胴内圧 | P_0 | MPa | 0.0780 (-0.0233 MPaG) |

2. 一二次蓋間圧力

一次蓋と二次蓋の間には、二次蓋取付け後、所定の圧力となるまでヘリウムが充填される。一般の試験条件におけるヘリウムの温度を保守側に一二次蓋間ヘリウムの最高温度とすると、一二次蓋間圧力は以下のとおり求められる。

$$P_1 = P_{10} \frac{T_{1nor}}{T_{10}}$$

ここで、

- P_1 : 一般の試験条件における一二次蓋間圧力 (MPa)
- P_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)
- T_{1nor} : 一般の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度
(一二次蓋間ヘリウムの最高温度) (K)
- T_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)

計算条件と計算結果を(□)-第 B.9 表に示す。

(□)-第 B.9 表 一般の試験条件における一二次蓋間圧力計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|-------------------------|------------|-----|--------------------|
| 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 | P_{10} | MPa | 0.300 |
| 一般の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度 | T_{1nor} | K | 381.15 (108 °C) |
| 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 | T_{10} | K | 293.15 (20 °C) |
| 一般の試験条件における一二次蓋間圧力 | P_1 | MPa | 0.390 (0.289 MPaG) |

3. 二三次蓋間圧力

三次蓋取付け時における二三次蓋間の雰囲気は常温、大気圧の空気とし、一般の試験条件における空気の温度は、保守側に二三次蓋間空気の最高温度とする。また、保守側に二次蓋の密封性が失われ一二次蓋間ヘリウムが二三次蓋間に漏えいすると仮定すると、二三次蓋間圧力は以下のとおり求められる。

$$P_2 = \frac{P_{10} V_1 \frac{T_{1nor}}{T_{10}} + P_{20} V_2 \frac{T_{1nor}}{T_{20}}}{V_1 + V_2}$$

ここで、

P_2 : 一般の試験条件における二三次蓋間圧力 (MPa)

P_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)

P_{20} : 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) (MPa)

V_1 : 一二次蓋間体積 (m^3)

V_2 : 二三次蓋間体積 (m^3)

T_{1nor} : 一般の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度
(一二次蓋間ヘリウムの最高温度) (K)

T_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)

T_{20} : 三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度 (K)

計算条件と計算結果を(p)-第 B. 10 表に示す。なお、この圧力は三次蓋取付け時の周囲温度が仮に $-20^{\circ}C$ であった場合には空気の密度が大きくなるため、約 4%増加する可能性があるが、構造評価は保守的にこれを包絡する圧力で評価している。

(p)-第 B. 10 表 一般の試験条件における二三次蓋間圧力計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|-----------------------------|------------|-------|---------------------------|
| 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 | P_{10} | MPa | 0.300 |
| 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) | P_{20} | MPa | 0.101325 |
| 一二次蓋間体積 | V_1 | m^3 | <input type="text"/> |
| 二三次蓋間体積 | V_2 | m^3 | <input type="text"/> |
| 一般の試験条件における 一二次蓋間ヘリウムの温度 | T_{1nor} | K | 381.15 (108 $^{\circ}C$) |
| 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 | T_{10} | K | 293.15 (20 $^{\circ}C$) |
| 三次蓋取付け時における 二三次蓋間空気の初期温度 | T_{20} | K | 293.15 (20 $^{\circ}C$) |
| 一般の試験条件における 二三次蓋間圧力 | P_2 | MPa | 0.253 (0.152 MPaG) |

4. 三次蓋－胴内圧力

保守側に一次蓋及び二次蓋の密封性が失われ、一二次蓋間に充填されたヘリウム及び二三次蓋間空気が胴内に漏えいすると仮定すると、三次蓋－胴内圧力は、以下のとおり求められる。

$$P_3 = \frac{P_{10} V_1 \frac{T_{0nor}}{T_{10}} + P_{20} V_2 \frac{T_{0nor}}{T_{20}} + P_{c0} V_c \frac{T_{0nor}}{T_{c0}}}{V_1 + V_2 + V_c}$$

ここで、

P_3 : 一般の試験条件における三次蓋－胴内圧力 (MPa)

P_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)

P_{20} : 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) (MPa)

P_{c0} : 胴内ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)

V_1 : 一二次蓋間体積 (m^3)

V_2 : 二三次蓋間体積 (m^3)

V_c : 胴内体積 (m^3)

T_{0nor} : 一般の試験条件における胴内ヘリウムの温度 (燃料集合体最高温度) (K)

T_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)

T_{20} : 三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度 (K)

T_{c0} : 胴内ヘリウムの初期温度 (K)

計算条件と計算結果を (v)-第 B.11 表に示す。

(□)-第 B. 11 表 一般の試験条件における三次蓋-胴内圧力計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|-----------------------------|------------|-------|-----------------------|
| 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 | P_{10} | MPa | 0.300 |
| 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) | P_{20} | MPa | 0.101325 |
| 胴内ヘリウムの初期充填圧力 | P_{c0} | MPa | 0.0477 |
| 一二次蓋間体積 | V_1 | m^3 | <input type="text"/> |
| 二三次蓋間体積 | V_2 | m^3 | <input type="text"/> |
| 胴内体積 | V_c | m^3 | <input type="text"/> |
| 一般の試験条件における 胴内ヘリウムの温度 | T_{0ner} | K | 479.15 (206 °C) |
| 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 | T_{10} | K | 293.15 (20 °C) |
| 三次蓋取付け時における 二三次蓋間空気の初期温度 | T_{20} | K | 293.15 (20 °C) |
| 胴内ヘリウムの初期温度 | T_{c0} | K | 293.15 (20 °C) |
| 一般の試験条件における 三次蓋-胴内圧力 | P_3 | MPa | 0.0822 (-0.0191 MPaG) |

B. 4. 5 最大熱応力

一般の試験条件においては輸送物に熱応力が生じるが、A. 5. 1 に示すようにいずれも評価基準を下回る。

B. 4. 6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件における熱解析結果の要約及びその評価を(ロ)-第 B. 12 表に示す。本輸送物は以下のとおり一般の試験条件の基準を満足している。

- ・最高温度評価条件において、17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時における三次蓋 O リングの最高温度は 103 °C であり、使用可能温度 150 °C を超えることはない。
- ・最高温度評価条件において、17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時における一次蓋金属ガスケット及び二次蓋金属ガスケットの最高温度はそれぞれ 110 °C 及び 105 °C であり、使用可能温度 130 °C を超えることはない。
- ・最高温度評価条件において、側部中性子遮蔽材、蓋部中性子遮蔽材、及び底部中性子遮蔽材の最高温度は 17×17 燃料収納時では 127 °C、15×15 燃料収納時では 126°C であり、使用可能温度である 149 °C を超えることはない。
- ・最高温度評価条件において、上記を除く構成材料についても、健全性に悪影響を及ぼすような温度には到達しない。
- ・人が近づきうる表面の最高温度評価条件において、17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時における容易に人が近づきうる部位としての緩衝体表面の最高温度は 82 °C であり、基準値の 85 °C を超えることはない。一方、17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時における外筒外面及びトラニオン温度はそれぞれ 90 °C 及び 103 °C であり 85 °C を超えているが、外筒及びトラニオン部には必要に応じ近接防止金網を取り付けて輸送するため、人が容易に近づきうる表面の温度は 85 °C 以下である。
- ・最低温度評価条件において、周囲温度が -20 °C で、太陽熱放射がなく崩壊熱量が 0 kW であるため、すべての部位が -20 °C に達するが、輸送物の健全性に問題はない。

(ロ)-第 B. 12 表 一般の試験条件の熱解析結果の要約及びその評価 (1/3)

[17×17 燃料収納時]

| 項目 | 結果 [°C] | 基準値 [°C] | 評価結果 | 他の解析への条件 |
|----------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 最高温度 | | | | |
| 燃料集合体 | 206 | 275 ¹⁶⁾ | 基準値以下 | 構造解析では □°Cを使用 ^(注1) |
| バスケット | 177 | 250 ¹⁷⁾ | 基準値以下 | 構造解析では □°Cを使用 ^(注1) |
| 中性子遮蔽材 | 127 ^(注2) | 149 ⁷⁾ | 基準値以下 | — |
| 一次蓋金属ガスケット | 110 ^(注3) | 130 ¹³⁾ | 基準値以下 | — |
| 二次蓋金属ガスケット | 105 ^(注4) | 130 ¹³⁾ | 基準値以下 | — |
| 三次蓋Oリング | 103 ^(注5) | 150 ¹¹⁾ | 基準値以下 | — |
| 外筒 | 114 | 350 ¹⁸⁾ | 基準値以下 | 構造解析では □°Cを使用 ^(注1) |
| 胴 | 133 | 350 ¹⁸⁾ | 基準値以下 | 構造解析では □°Cを使用 ^(注1) |
| 近接表面 ^(注6) | 82 ^(注7) | 85 | 基準値以下 | — |
| 最低温度 | 輸送物の全部位 が-20 °C | 胴内の凍結 なし | 胴内雰囲気ガヘ リウムであるた め凍結しない | — |

(注1) 構造解析における熱応力算出では、容器全体の温度分布を入力するが、(ロ)-第 B. 12 表には、許容値及び内圧計算に使用する温度を代表として示している。なお、この温度は熱解析結果に裕度をみて設定した温度である。

(注2) 蓋部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材及び側部中性子遮蔽材のうち、最高となる温度。

(注3) 保守側に評価するため、一次蓋の最高温度とする。

(注4) 保守側に評価するため、二次蓋の最高温度とする。

(注5) 保守側に評価するため、三次蓋の最高温度とする。

(注6) 一般の試験条件のうち、人が近づきうる表面の最高温度評価条件における評価結果である。

なお、外筒外面及びトラニオン温度はそれぞれ 90 °C 及び 103 °C であり 85 °C を超えているが、外筒及びトラニオン部には必要に応じ近接防止金網 (66°C 以下 (B. 6. 3 参照)) を取り付けて輸送するため、人が容易に近づきうる表面の温度は 85 °C 以下である。

(注7) 緩衝体表面の最高温度。

(p)-第 B. 12 表 一般の試験条件の熱解析結果の要約及びその評価 (2/3)

[15×15 燃料収納時]

| 項目 | 結果 [°C] | 基準値 [°C] | 評価結果 | 他の解析への条件 |
|----------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|--|
| 最高温度 | | | | |
| 燃料集合体 | 206 | 275 ¹⁶⁾ | 基準値以下 | 構造解析では <input type="checkbox"/> °Cを使用 ^(注1) |
| バスケット | 178 | 250 ¹⁷⁾ | 基準値以下 | 構造解析では <input type="checkbox"/> °Cを使用 ^(注1) |
| 中性子遮蔽材 | 126 ^(注2) | 149 ⁷⁾ | 基準値以下 | — |
| 一次蓋金属ガスケット | 110 ^(注3) | 130 ¹³⁾ | 基準値以下 | — |
| 二次蓋金属ガスケット | 105 ^(注4) | 130 ¹³⁾ | 基準値以下 | — |
| 三次蓋 O リング | 103 ^(注5) | 150 ¹¹⁾ | 基準値以下 | — |
| 外筒 | 114 | 350 ¹⁸⁾ | 基準値以下 | 構造解析では <input type="checkbox"/> °Cを使用 ^(注1) |
| 胴 | 133 | 350 ¹⁸⁾ | 基準値以下 | 構造解析では <input type="checkbox"/> °Cを使用 ^(注1) |
| 近接表面 ^(注6) | 82 ^(注7) | 85 | 基準値以下 | — |
| 最低温度 | 輸送物の全部位 が-20 °C | 胴内の凍結 なし | 胴内雰囲気はヘ リウムであるた め凍結しない | — |

(注 1) 構造解析における熱応力算出では、容器全体の温度分布を入力するが、(p)-第 B. 12 表には、許容値及び内圧計算に使用する温度を代表として示している。なお、この温度は熱解析結果に裕度をみて設定した温度である。

(注 2) 蓋部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材及び側部中性子遮蔽材のうち、最高となる温度。

(注 3) 保守側に評価するため、一次蓋の最高温度とする。

(注 4) 保守側に評価するため、二次蓋の最高温度とする。

(注 5) 保守側に評価するため、三次蓋の最高温度とする。

(注 6) 一般の試験条件のうち、人が近づきうる表面の最高温度評価条件における評価結果である。なお、外筒外面及びトラニオン温度はそれぞれ 90 °C 及び 103 °C であり 85 °C を超えているが、外筒及びトラニオン部には必要に応じ近接防止金網 (66°C 以下 (B. 6. 3 参照)) を取り付けて輸送するため、人が容易に近づきうる表面の温度は 85 °C 以下である。

(注 7) 緩衝体表面の最高温度。

(□)-第 B. 12 表 一般の試験条件の熱解析結果の要約及びその評価 (3/3)

| 項目 | 結果 [MPa] | 基準値 [MPa] | 評価 | 他の解析への条件 |
|----------|--------------------------|--------------|--|----------------------------------|
| 最大内圧 | | | | |
| 洞内圧 | 0.0780 (-0.0233 MPaG) | — | 設計評価期間中の ヘリウム内部への 漏えいを考慮し ても 0.097 MPa ^(注) 未満 | 構造解析では -0.101325 MPaG を 使用 |
| 一二次蓋間圧力 | 0.390 (0.289 MPaG) | — | — | 構造解析では 0.31 MPaG を使用 |
| 二三次蓋間圧力 | 0.253 (0.152 MPaG) | — | — | 構造解析では 0.19 MPaG を使用 |
| 三次蓋-洞内圧力 | 0.0822 (-0.0191 MPaG) | — | 設計評価期間中の ヘリウム内部への 漏えいを考慮し ても 0.097 MPa ^(注) 未満 | — |

(注) 気象変化による圧力変動(±0.004 MPa)を考慮した大気圧。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

輸送物の熱解析は、ABAQUS コードを用いた有限要素法により行った。以下に解析に用いるモデル及び解析条件について示す。

B.5.1.1 解析モデル

1. 解析に用いる各モデル

一般の試験条件と同様に、本輸送物の各部位の温度を算出するために、解析モデルとして以下の2種類のモデルを適用した。

- ・全体モデル
- ・燃料集合体モデル

各解析モデルにおける温度算出部位は次のとおりである。

全体モデル …………… 上・下部緩衝体表面、胴、外筒、下部端板、一次蓋、二次蓋、三次蓋、一次蓋金属ガスケット、二次蓋金属ガスケット、三次蓋Oリング、一次蓋ボルト、二次蓋ボルト、三次蓋ボルト、蓋部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材、側部中性子遮蔽材、蓋部中性子遮蔽材カバー、底部中性子遮蔽材カバー、バスケット^(注)、伝熱フィン、トラニオン

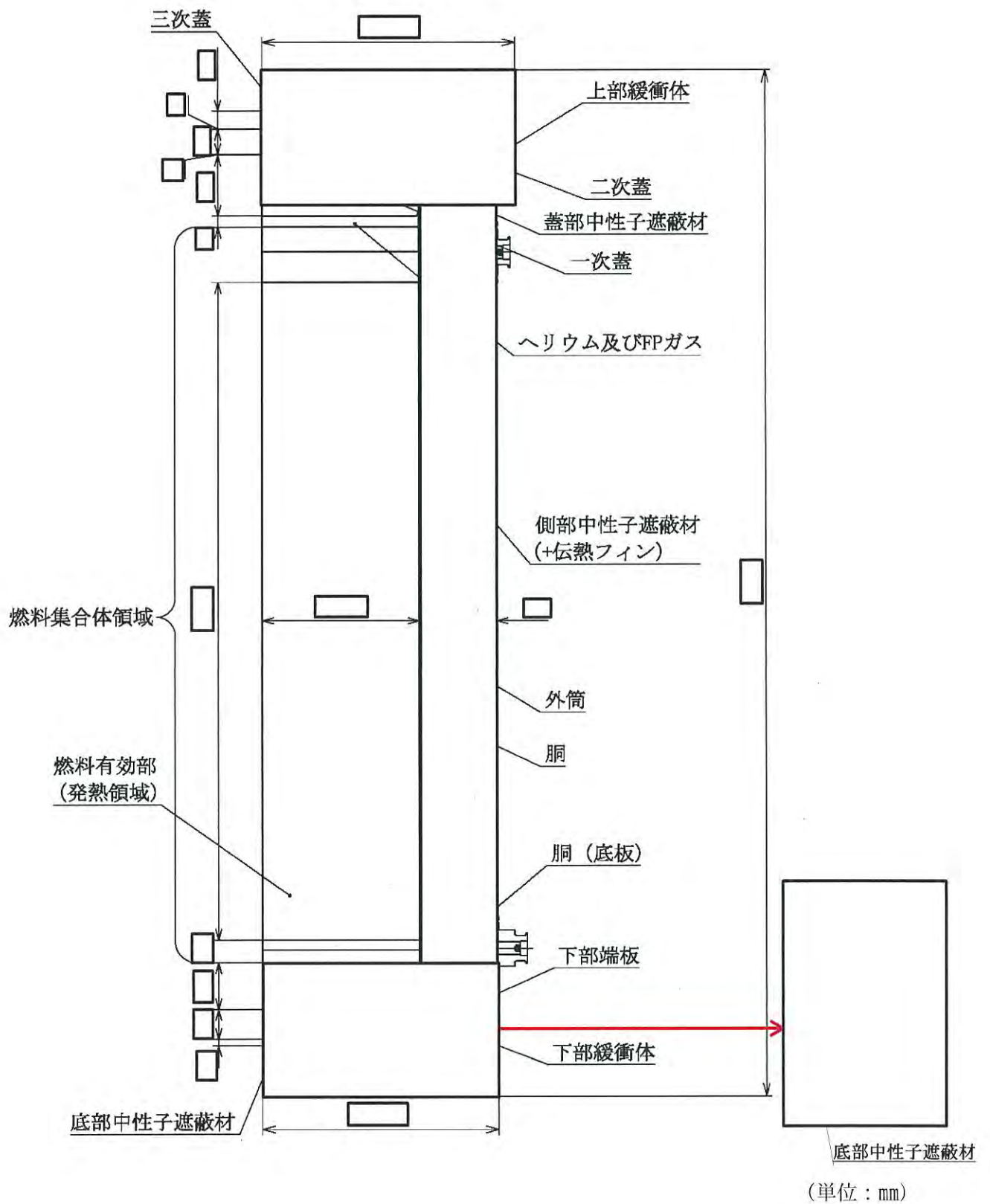
燃料集合体モデル ……… 燃料集合体

(注)バスケットは、アルミニウム合金製のバスケットプレート、ほう素添加アルミニウム合金製の中性子吸収材、アルミニウム合金製のバスケットサポートで構成される。本評価におけるバスケットの最高温度は、これらの構成部材の最高温度とする。

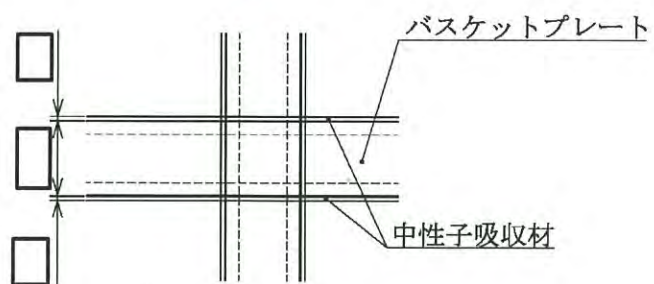
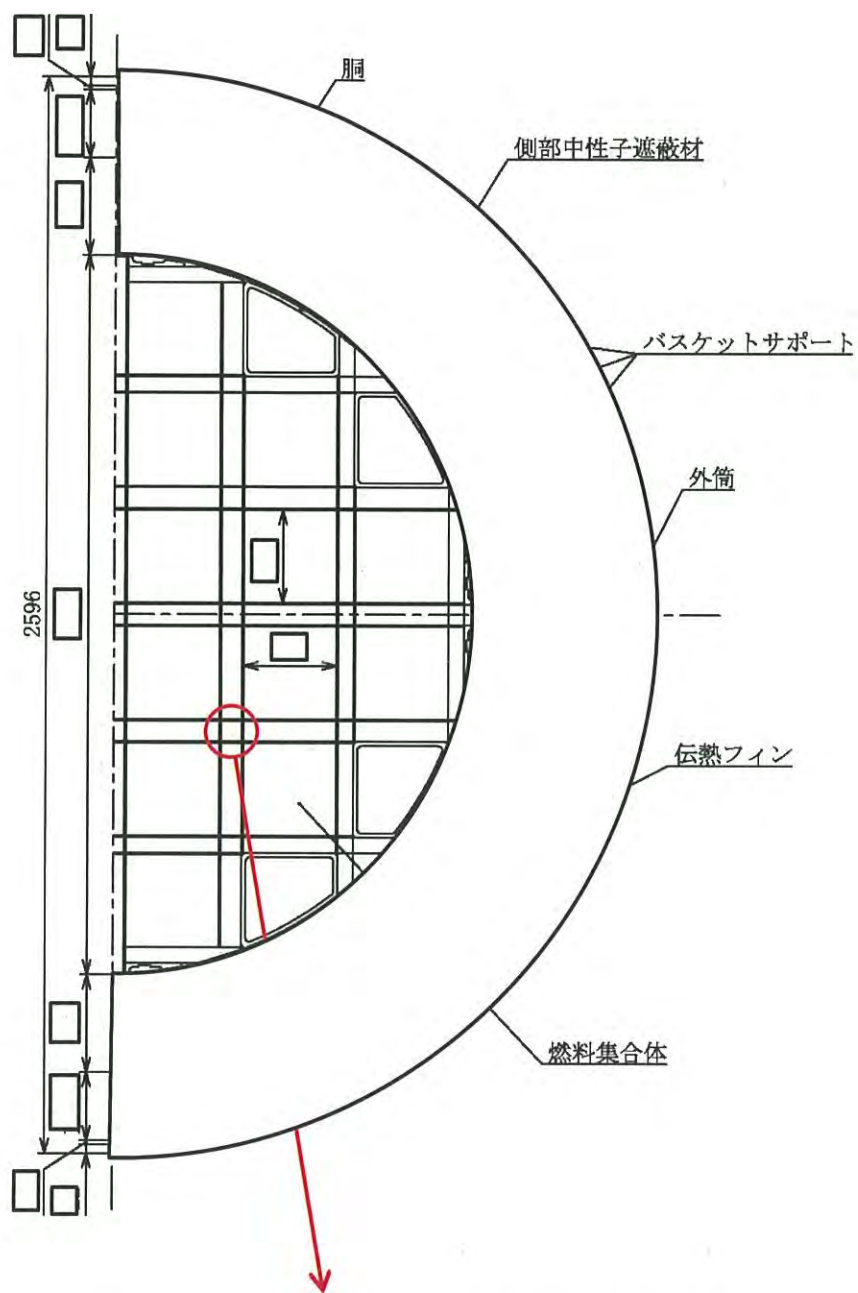
特別の試験条件の熱解析は、輸送物が強度試験（9 m 落下試験及び1 m 貫通試験）条件に引き続いて、火災事故条件下におかれるものとし、落下試験等の影響を以下のように考慮した。

- ・ 9 m 落下試験により緩衝体が変形するため、変形後の形状をモデルに考慮した。
- ・ 1 m 貫通試験における輸送物の変形は外筒、側部中性子遮蔽材及び緩衝体に生じる変形である。外筒及び側部中性子遮蔽材には直径 150 mm の範囲の変形が生じるが、熱解析結果への影響は無視しうるものであることから、解析モデルでは外筒及び側部中性子遮蔽材が変形しないものとした。また、緩衝体に穴があく可能性があるが、局所的であり断熱効果への影響は無視しうるものであることから、解析モデルでは緩衝体の変形しないものとした。
- ・ 9 m 落下試験により全燃料棒からヘリウム及びFP ガスが放出されるものと仮定し、胴内ガスの熱伝導率の低下を考慮した。

以上の条件を考慮した特別の試験条件における、全体モデルの形状及び要素分割図を (a)-第 B. 10 図及び (a)-第 B. 11 図にそれぞれ示す。また、燃料集合体モデルの形状及び要素分割図を (a)-第 B. 3 図及び (a)-第 B. 4 図にそれぞれ示す。なお、燃料集合体モデルにおけるバスケットセル内の充填気体は、全体モデルと同様にヘリウムとFP ガスの混合気体である。

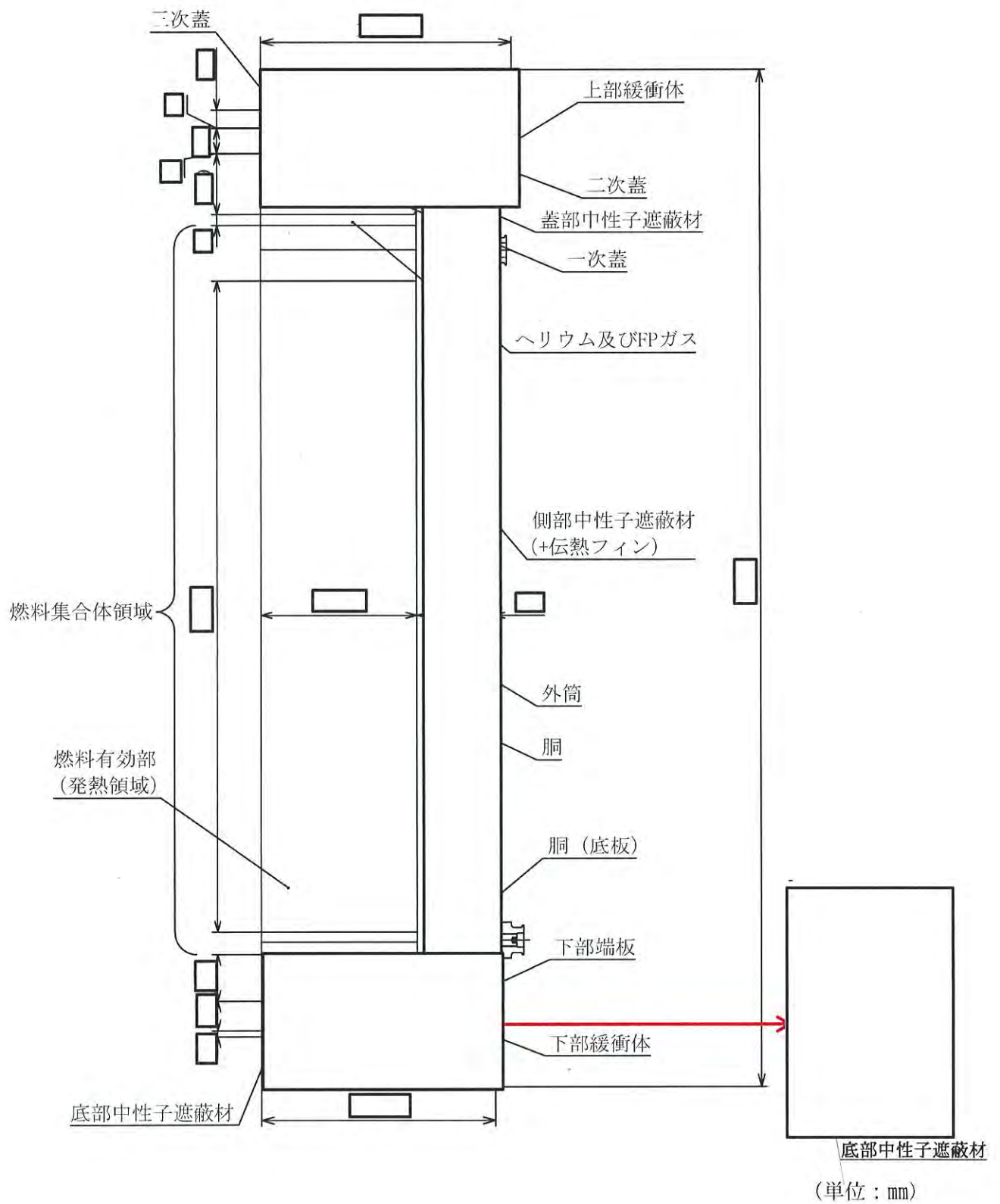


(n) -第 B. 10 図 特別の試験条件の全体モデル形状図(1/4) (17×17 燃料収納時、縦断面図)

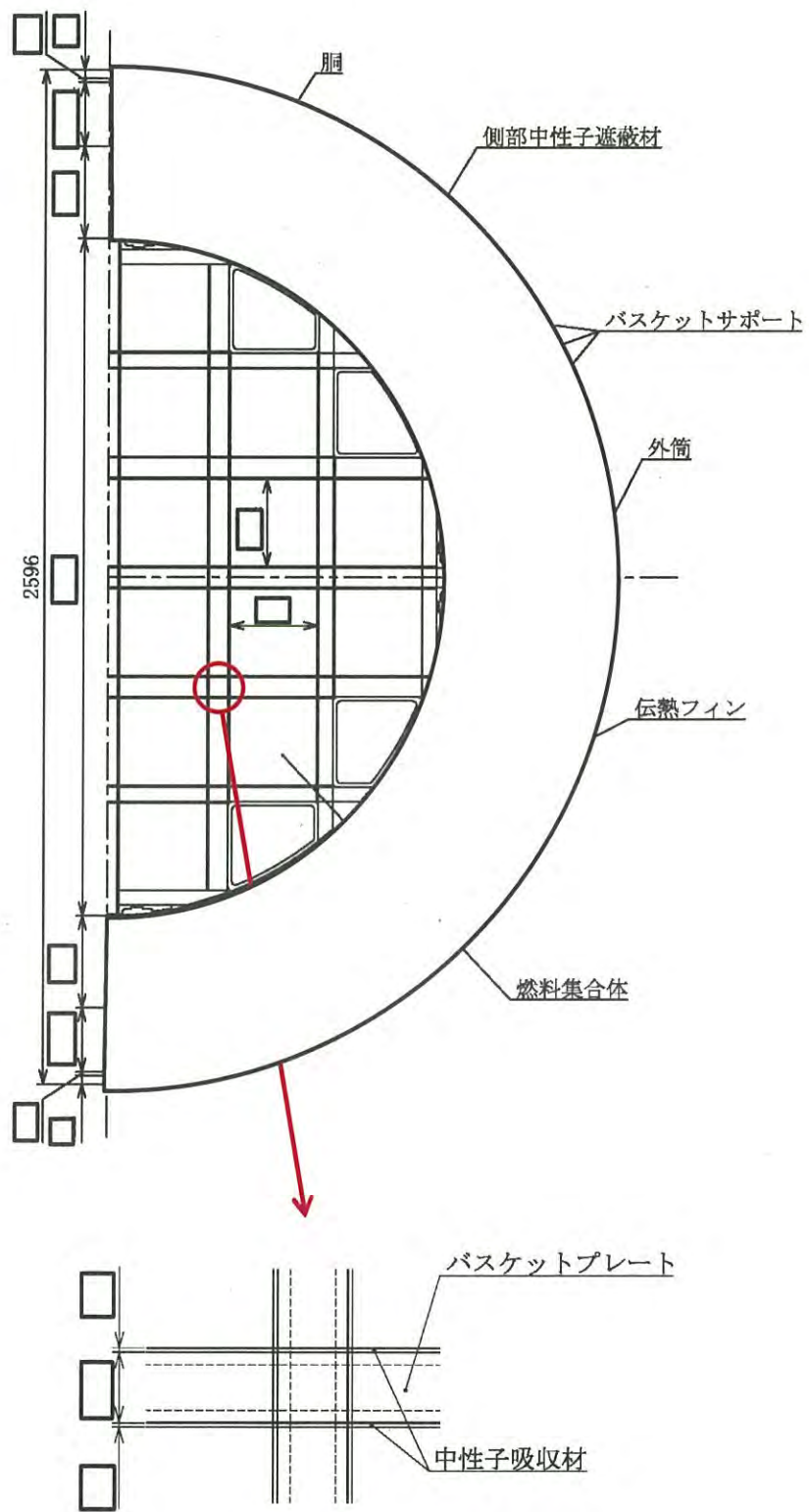


(単位：mm)

(ロ)-第 B. 10 図 特別の試験条件の全体モデル形状図 (2/4) (17×17 燃料収納時、横断面図)

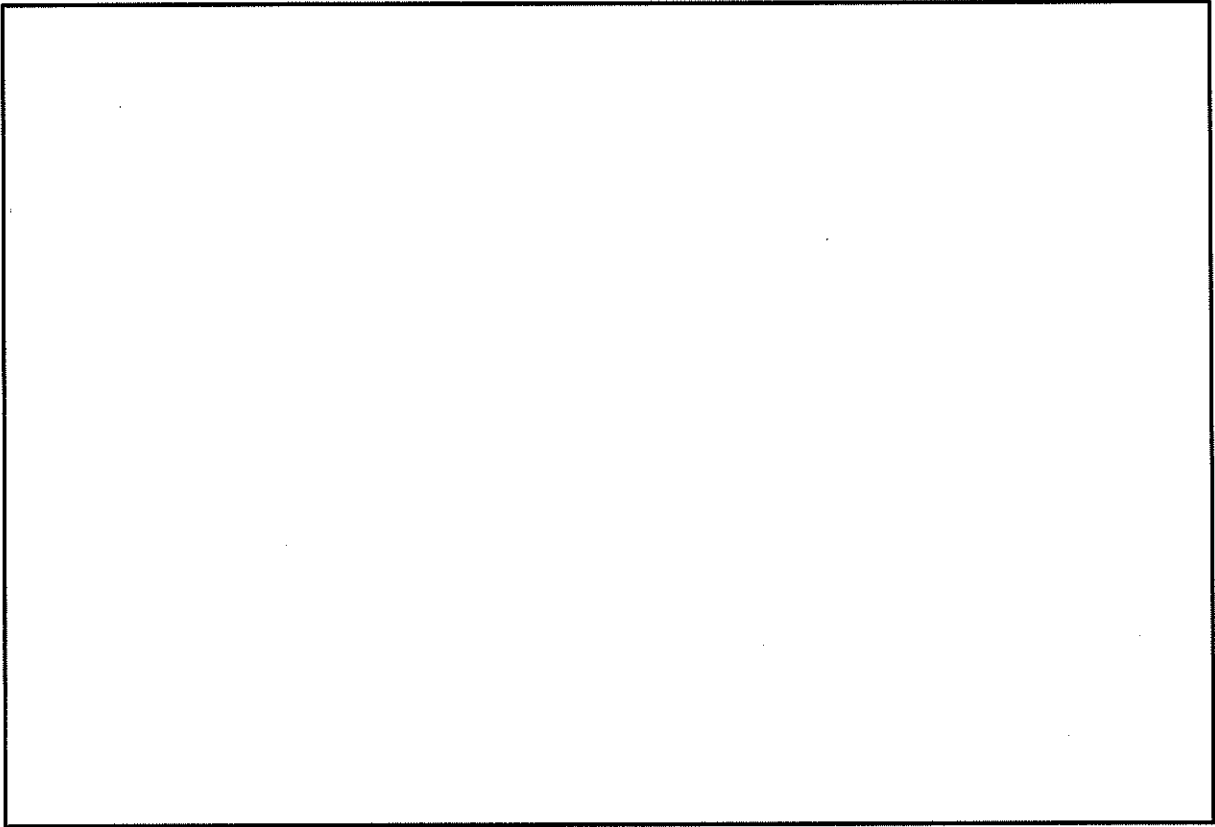


(ロ) -第 B. 10 図 特別の試験条件の全体モデル形状図 (3/4) (15×15 燃料収納時、縦断面図)



(単位：mm)

(ロ)-第 B. 10 図 特別の試験条件の全体モデル形状図(4/4) (15×15 燃料収納時、横断面図)

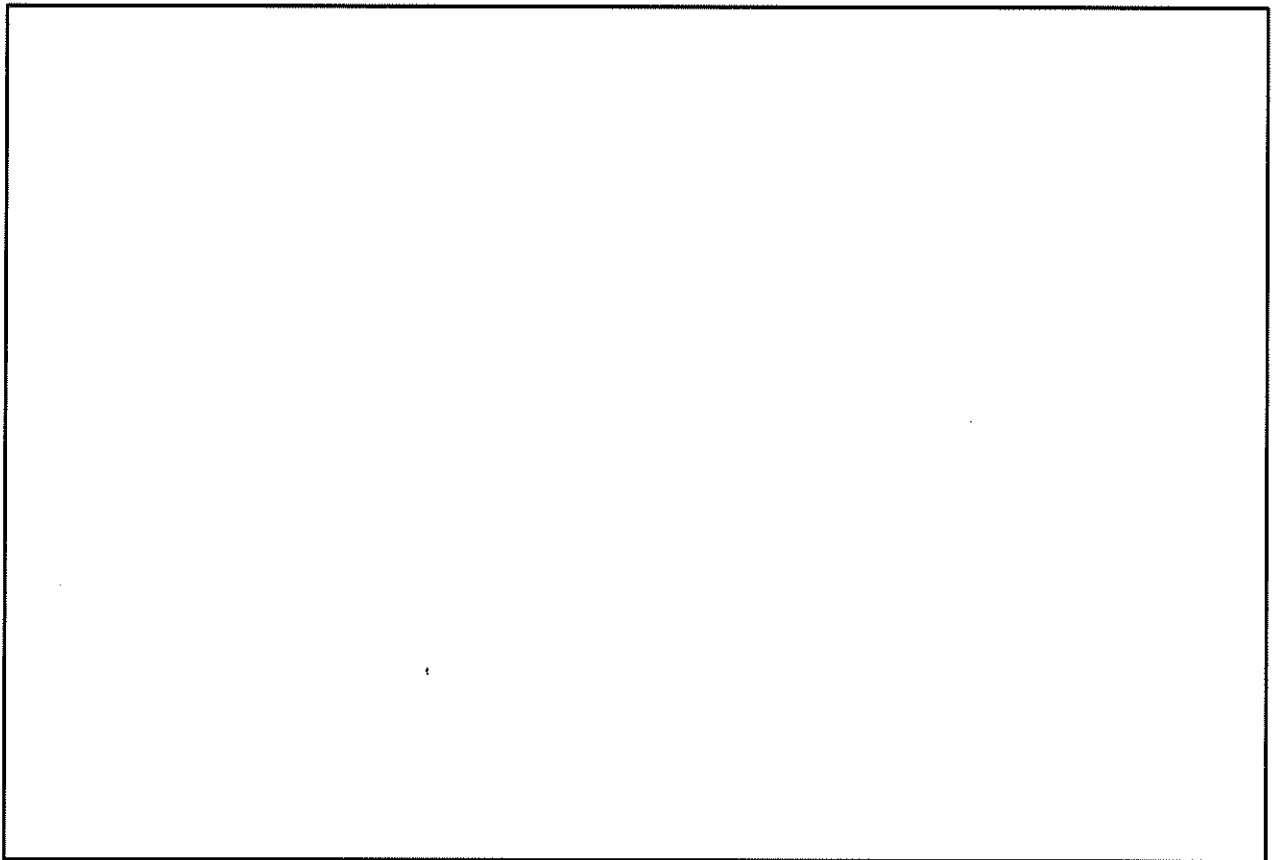


(モデル全体)

(バスケット)

(燃料集合体領域)

(ロ)-第 B. 11 図 特別の試験条件の全体モデル要素分割図(1/2) (17×17 燃料収納時)



(モデル全体)

(バスケット)

(燃料集合体領域)

(ロ) - 第 B. 11 図 特別の試験条件の全体モデル要素分割図 (2/2) (15×15 燃料収納時)

2. 解析条件

特別の試験条件における熱解析条件を(ロ)-第 B. 13 表に示す。火災時は火炎の放射による入熱が主となる。また、太陽熱放射の条件は(ロ)-第 B. 6 表に示したとおりである。さらに、各モデルにおいて考慮した解析条件は次のとおりである。

- ・特別の試験条件における洞内ガス（ヘリウム及び FP ガス）の熱伝導率は、FP ガス放出後の洞内のヘリウム及び FP ガスのモル分率を考慮して、混合気体の熱伝導率の計算式²⁾を用いて算出した。特別の試験条件における洞内ガスの熱伝導率を(ロ)-第 B. 14 表に示す。
- ・各モデルのその他の解析条件は一般の試験条件と同じである。

(ロ)-第 B. 13 表 特別の試験条件における熱解析条件 (1/2) [17×17 燃料収納時]

| 項目 | | 火災前 | 火災時 | 火災後 |
|---------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 設計崩壊熱量 | 全体モデル | | | |
| | 中央部 | | | |
| | 外周部 | | | |
| | 燃料集合体モデル | | | |
| 環境条件 | 周囲温度 | 38 ℃ | 800 ℃ (30 分間) | 38 ℃ |
| | 太陽熱放射 | あり | あり | あり |
| | 周囲吸収率 | 1.0 | 0.9 ^(注) | 1.0 |
| 容器表面 | 放射率 | 0.8 | 0.8 | 0.64 |
| | 吸収率 | 0.5 | 0.8 ²⁰⁾ | 1.0 ²¹⁾ |
| 緩衝体、 トラニオン 表面 | 放射率 | 0.15 | 0.8 | 0.15 |
| | 吸収率 | 0.5 ¹⁹⁾ | 0.8 ²⁰⁾ | 1.0 ²¹⁾ |

(注) 火炎の放射率を示す。

(ロ)-第 B. 13 表 特別の試験条件における熱解析条件 (2/2) [15×15 燃料収納時]

| 項目 | | 火災前 | 火災時 | 火災後 |
|---------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 設計崩壊熱量 | 全体モデル | | | |
| | 中央部 | | | |
| | 外周部 | | | |
| | 燃料集合体モデル | | | |
| 環境条件 | 周囲温度 | 38 °C | 800 °C (30 分間) | 38 °C |
| | 太陽熱放射 | あり | あり | あり |
| | 周囲吸収率 | 1.0 | 0.9 (注) | 1.0 |
| 容器表面 | 放射率 | 0.8 | 0.8 | 0.64 |
| | 吸収率 | 0.5 | 0.8 ²⁰⁾ | 1.0 ²¹⁾ |
| 緩衝体、 トラニオン 表面 | 放射率 | 0.15 | 0.8 | 0.15 |
| | 吸収率 | 0.5 ¹⁹⁾ | 0.8 ²⁰⁾ | 1.0 ²¹⁾ |

(注) 火災の放射率を示す。

(ロ)-第 B. 14 表 特別の試験条件における胴内ガスの熱伝導率

| 温度 | | 熱伝導率 (W/(m・K)) | |
|-----|--------|----------------|----------|
| (K) | (°C) | 17×17 燃料 | 15×15 燃料 |
| 300 | 26.85 | 0.0937 | 0.0999 |
| 400 | 126.85 | 0.115 | 0.123 |
| 500 | 226.85 | 0.134 | 0.143 |
| 600 | 326.85 | 0.153 | 0.163 |

B. 5. 1. 2 試験モデル

該当なし。

B. 5.2 輸送物の評価条件

9 m 落下試験における輸送物の変形は緩衝体に生じる変形である。解析においては、垂直落下、水平落下及びコーナ落下の変形後の形状を包絡する以下の変形量にて緩衝体をモデル化した。

- ・ 頭部垂直落下 : mm
- ・ 底部垂直落下 : mm
- ・ 頭部水平落下 : mm
- ・ 底部水平落下 : mm
- ・ 頭部コーナ落下 : mm
- ・ 底部コーナ落下 : mm

1 m 貫通試験における輸送物の変形は緩衝体、外筒及び側部中性子遮蔽材に生じる変形である。緩衝体は落下時に穴があく可能性があるが、局所的であるため、断熱効果に大きな変化はない。

外筒及び側部中性子遮蔽材の最大変形は直径 150 mm の範囲の変形である。この変形は局所的であるため、輸送物の熱的性能に影響を及ぼすことはない。

B. 5.3 輸送物温度

特別の試験条件における B. 5.1 に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた輸送物各部の最高温度、及び火災事故発生時を基準とした最高温度算出時間を (p)-第 B. 15 表に示す。

火災事故発生から 30 分後の輸送物各部の温度分布を (p)-第 B. 12 図に示す。また、17×17 燃料の燃料集合体温度が最も高くなる火災事故発生から 25.1 時間後、及び 15×15 燃料の燃料集合体温度が最も高くなる火災事故発生から 23.1 時間後における温度分布を (p)-第 B. 13 図及び (p)-第 B. 14 図に、さらに、時刻歴温度変化を (p)-第 B. 15 図に示す。

(ロ)-第 B. 15 表 特別の試験条件における最高温度 (1/2) [17×17 燃料収納時]

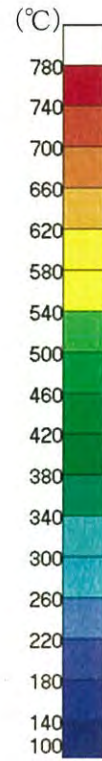
| 部位 | 温度(°C) | 最高温度算出時間(h) ^(注) |
|-------------|--------|----------------------------|
| 緩衝体表面 | 783 | 0.500 |
| 外筒 | 714 | 0.500 |
| 下部端板 | 655 | 0.500 |
| 伝熱フィン | 491 | 0.502 |
| 側部中性子遮蔽材 | 701 | 0.502 |
| 蓋部中性子遮蔽材 | 138 | 31.1 |
| 底部中性子遮蔽材 | 160 | 3.92 |
| 胴(底板) | 175 | 2.22 |
| 胴(本体部) | 206 | 0.559 |
| 胴(フランジ部) | 224 | 0.524 |
| 一次蓋 | 139 | 31.1 |
| 二次蓋 | 137 | 5.35 |
| 三次蓋 | 186 | 1.32 |
| 一次蓋ボルト | 139 | 13.3 |
| 二次蓋ボルト | 137 | 5.35 |
| 三次蓋ボルト | 153 | 3.11 |
| 一次蓋金属ガスケット | 137 | 19.1 |
| 二次蓋金属ガスケット | 135 | 7.73 |
| 三次蓋Oリング | 149 | 3.56 |
| 蓋部中性子遮蔽材カバー | 137 | 22.1 |
| 底部中性子遮蔽材カバー | 161 | 3.83 |
| トラニオン | 742 | 0.500 |
| バスケット | 218 | 22.1 |
| 燃料集合体 | 254 | 25.1 |

(注) 火災事故発生時を基準とした最高温度算出時間である。

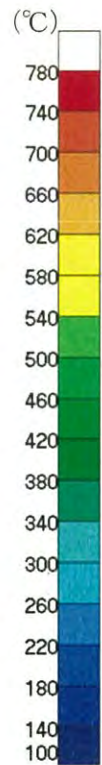
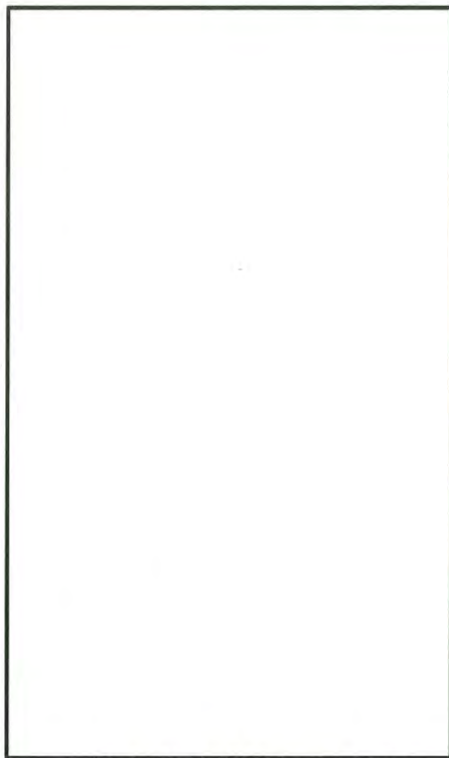
(ロ)-第 B.15 表 特別の試験条件における最高温度 (2/2) [15×15 燃料収納時]

| 部位 | 温度 (°C) | 最高温度算出時間 (h) (注) |
|-------------|---------|------------------|
| 緩衝体表面 | 783 | 0.500 |
| 外筒 | 714 | 0.500 |
| 下部端板 | 655 | 0.500 |
| 伝熱フィン | 491 | 0.502 |
| 側部中性子遮蔽材 | 701 | 0.502 |
| 蓋部中性子遮蔽材 | 138 | 31.1 |
| 底部中性子遮蔽材 | 160 | 3.92 |
| 胴 (底板) | 175 | 2.22 |
| 胴 (本体部) | 206 | 0.559 |
| 胴 (フランジ部) | 224 | 0.524 |
| 一次蓋 | 139 | 31.1 |
| 二次蓋 | 137 | 5.34 |
| 三次蓋 | 186 | 1.32 |
| 一次蓋ボルト | 139 | 13.3 |
| 二次蓋ボルト | 137 | 5.52 |
| 三次蓋ボルト | 153 | 3.11 |
| 一次蓋金属ガスケット | 137 | 19.1 |
| 二次蓋金属ガスケット | 136 | 7.72 |
| 三次蓋 O リング | 149 | 3.56 |
| 蓋部中性子遮蔽材カバー | 137 | 22.1 |
| 底部中性子遮蔽材カバー | 161 | 3.82 |
| トラニオン | 742 | 0.500 |
| バスケット | 217 | 21.1 |
| 燃料集合体 | 251 | 23.1 |

(注) 火災事故発生時を基準とした最高温度算出時間である。



(全体)

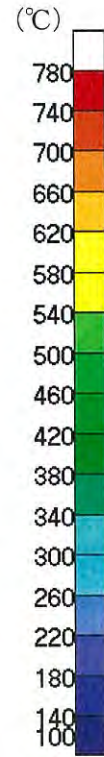
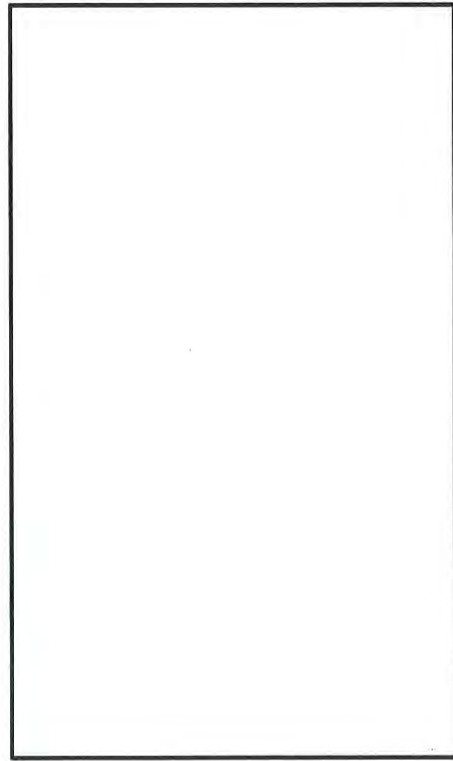


(燃料集合体最高温度位置断面)

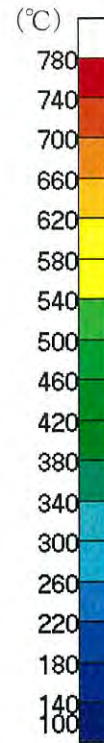
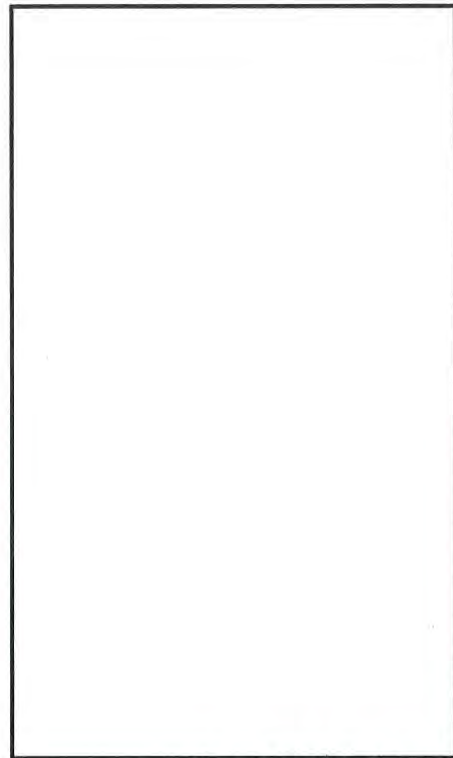
(□)-第 B. 12 図 特別の試験条件の全体モデル温度分布 (火災事故発生から 30 分後) (1/2)

[17×17 燃料収納時]

(□)-B-56



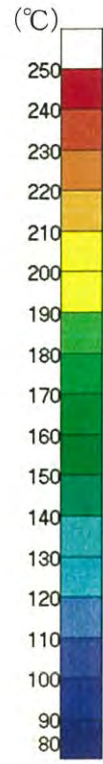
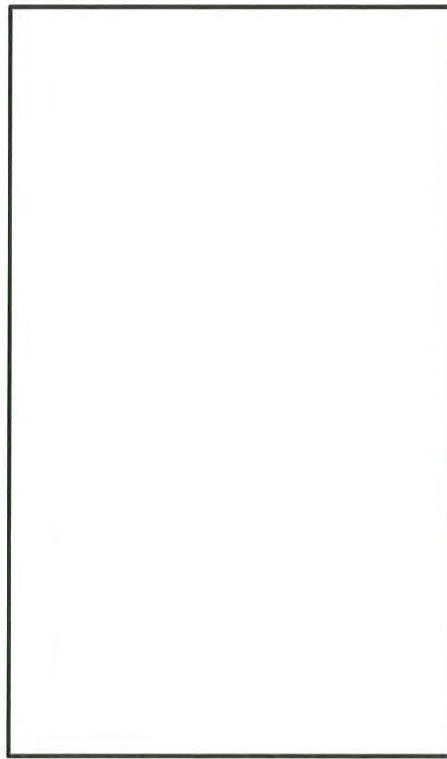
(全体)



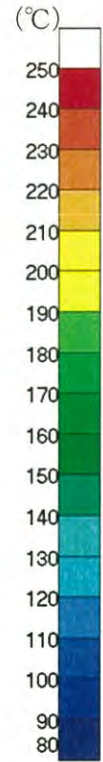
(燃料集合体最高温度位置断面)

(a)-第 B. 12 図 特別の試験条件の全体モデル温度分布 (火災事故発生から 30 分後) (2/2)

[15×15 燃料収納時]

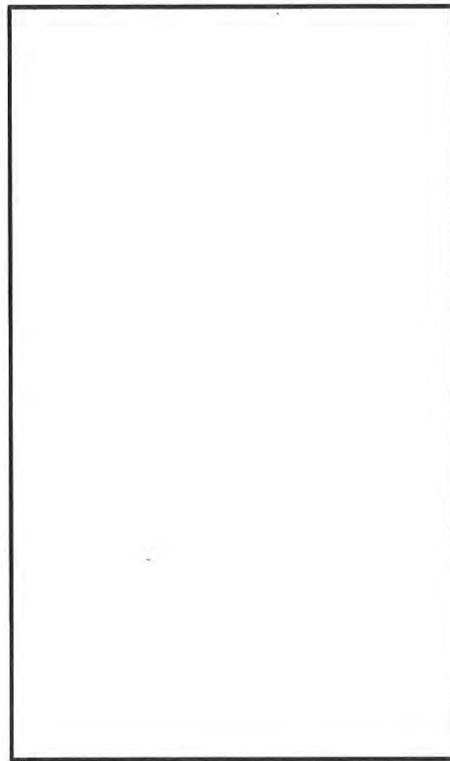


(全体)

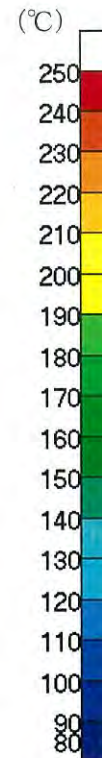
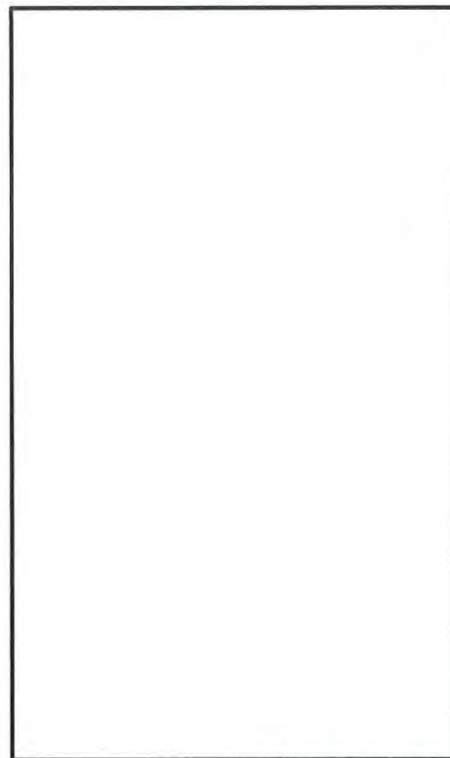


(燃料集合体最高温度位置断面)

(ロ)-第 B. 13 図 特別の試験条件の全体モデル温度分布 (1/2)
(火災事故発生から 25.1 時間後) [17×17 燃料収納時]



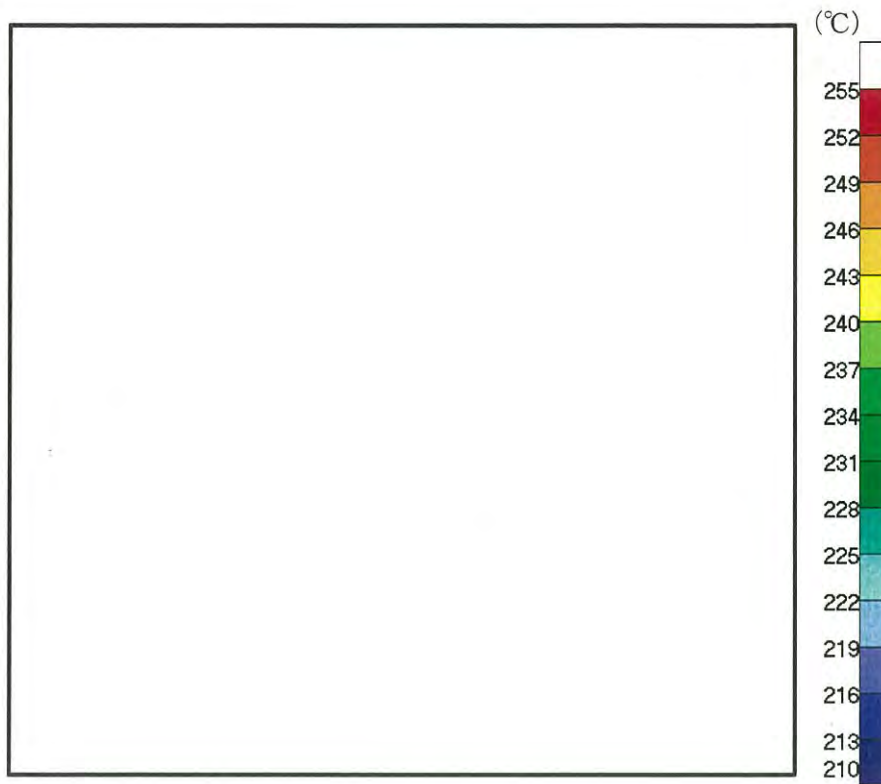
(全体)



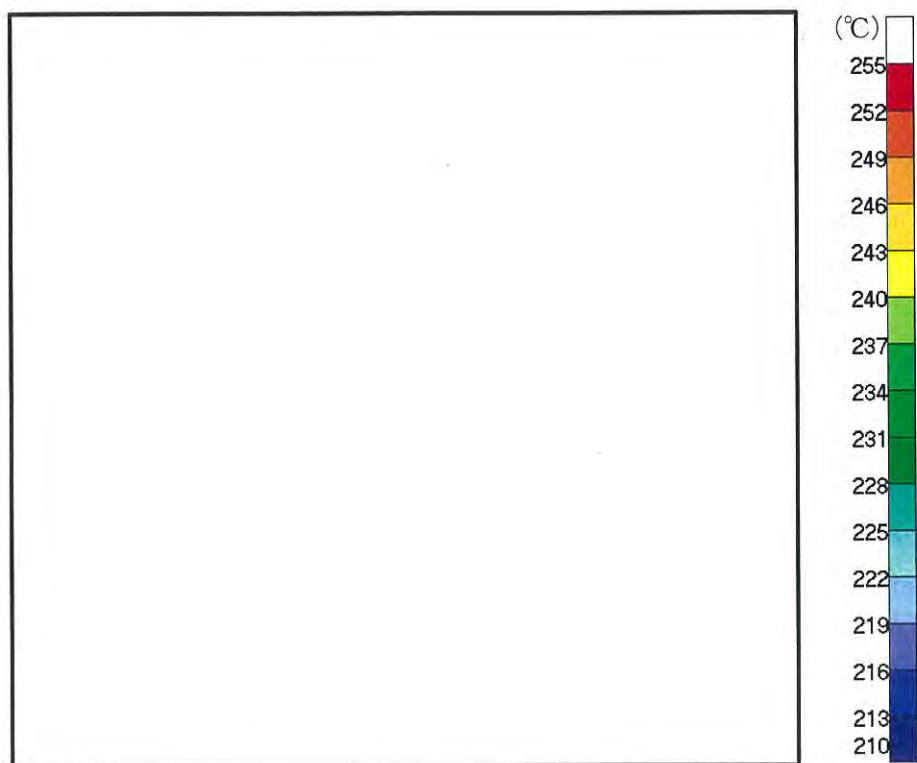
(燃料集合体最高温度位置断面)

(ロ)-第 B. 13 図 特別の試験条件の全体モデル温度分布 (2/2)

(火災事故発生から 23.1 時間後) [15×15 燃料収納時]

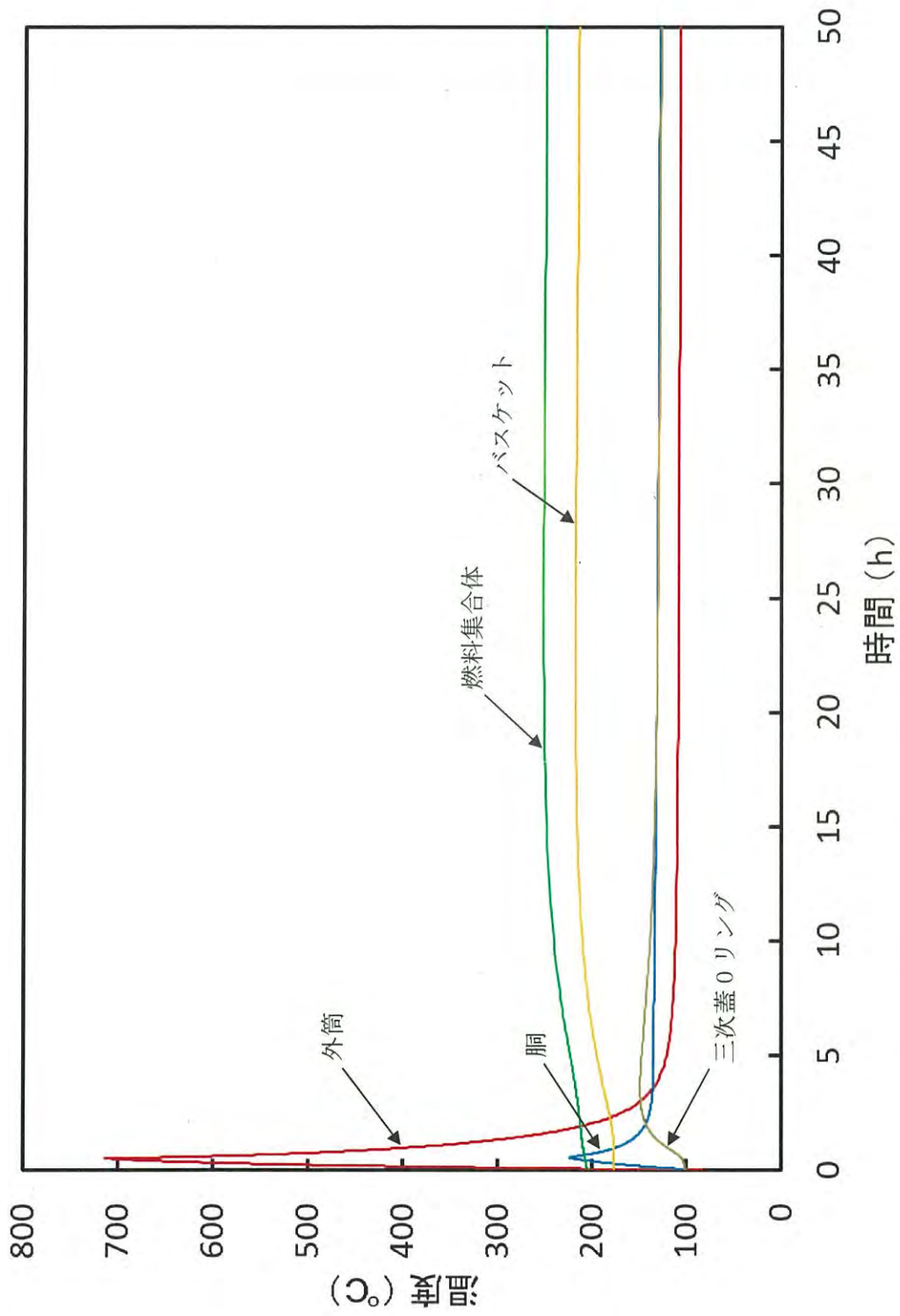


(□)-第 B. 14 図 特別の試験条件の燃料集合体モデルの温度分布 (1/2)
(火災事故発生から 25.1 時間後) [17×17 燃料収納時]

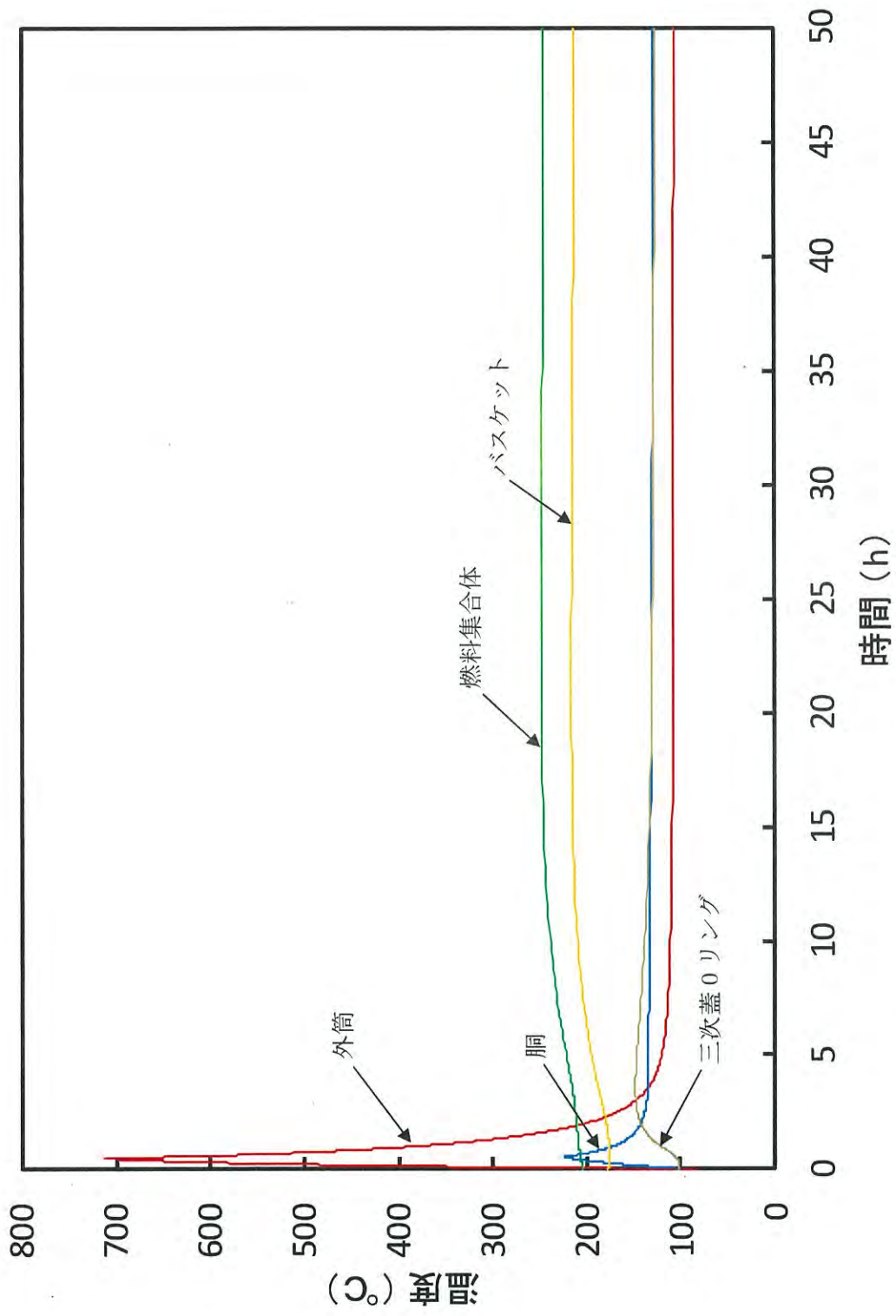


(□)-第 B. 14 図 特別の試験条件の燃料集合体モデルの温度分布 (2/2)

(火災事故発生から 23.1 時間後) [15×15 燃料収納時]



(ロ)-第B.15図 特別の試験条件の時刻歴温度変化 (1/2) [17×17 燃料収納時]



(ロ) 第 B.15 図 特別の試験条件の時刻歴温度変化 (2/2) [15×15 燃料収納時]

B.5.4 最大内圧

17×17 燃料収納時と 15×15 燃料収納時では、17×17 燃料収納時の方が燃料集合体最高温度は高く、その他温度条件は 17×17 燃料収納時と 15×15 燃料収納時で同じであるため、内圧の計算は 17×17 燃料収納時の条件により行う。

輸送物の熱解析から、特別の試験条件における輸送物の胴内圧は、胴内のヘリウム及び FP ガスの温度が最高となる時、つまり燃料集合体の温度が最高となる火災事故発生から 25.1 時間後に最大となる。また、一二次蓋間圧力は、一二次蓋間ヘリウムの温度が最高となる火災発生時から 5.87 時間後に最大となる。さらに、二三次蓋間圧力は、二三次蓋間空気の温度が最高となる火災発生時から 3.56 時間後に最大となる。胴内圧、一二次蓋間圧力、二三次蓋間圧力及び三次蓋-胴内圧力の計算方法及び計算結果を以下に示す。

1. 胴内圧

胴内圧の算出には、全燃料棒の密封機能が失われたと仮定して、燃料棒内に封入されていたヘリウム及び FP ガス放出による圧力上昇を考慮する。特別の試験条件におけるヘリウム及び FP ガスの温度を保守側に燃料集合体最高温度とすると、胴内圧は、以下のとおり求められる。

$$P_0' = \frac{P_0 V_c \frac{T_{0acc}}{T_{0nor}}}{V_c + V_p} + P_{FP}$$

ここで、

P_0' : 特別の試験条件における胴内圧力 (MPa)

P_0 : 一般の試験条件における胴内圧力 (MPa)

P_{FP} : 胴内に放出されたヘリウム及び FP ガス圧力 (MPa)

V_c : 胴内体積 (m³)

V_p : 全燃料棒内部の体積 (m³)

T_{0acc} : 特別の試験条件における胴内ガス温度 (燃料集合体最高温度) (K)

T_{0nor} : 一般の試験条件における胴内ガス温度 (燃料集合体最高温度) (K)

計算条件と計算結果を (p)-第 B.16 表に示す。

(p)-第 B. 16 表 特別の試験条件における胴内圧計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|---------------------------|------------|-------|----------------------|
| 一般の試験条件における胴内圧力 | P_0 | MPa | 0.0780 |
| 胴内に放出されたヘリウム及び FP ガス圧力 | P_{FP} | MPa | 0.223 |
| 胴内体積 | V_c | m^3 | <input type="text"/> |
| 全燃料棒内部の体積 | V_p | m^3 | <input type="text"/> |
| 特別の試験条件における胴内ガス温度 | T_{0acc} | K | 527.15 (254 °C) |
| 一般の試験条件における胴内ガス温度 | T_{0nor} | K | 479.15 (206 °C) |
| 特別の試験条件における胴内圧力 | P_0' | MPa | 0.307 (0.206 MPaG) |

2. 一二次蓋間圧力

特別の試験条件におけるヘリウムの温度を保守側に一二次蓋間ヘリウムの最高温度とすると、一二次蓋間圧力は以下のとおり求められる。

$$P_1' = P_{10} \frac{T_{1acc}}{T_{10}}$$

ここで、

P_1' : 特別の試験条件における一二次蓋間圧力 (MPa)

P_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)

T_{1acc} : 特別の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度
(一二次蓋間ヘリウムの最高温度) (K)

T_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)

計算条件と計算結果を (p)-第 B. 17 表に示す。

(p)-第 B. 17 表 特別の試験条件における一二次蓋間圧力計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|-----------------------------|------------|-----|--------------------|
| 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 | P_{10} | MPa | 0.300 |
| 特別の試験条件における 一二次蓋間ヘリウムの温度 | T_{1acc} | K | 410.15 (137 °C) |
| 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 | T_{10} | K | 293.15 (20 °C) |
| 特別の試験条件における一二次蓋間圧力 | P_1' | MPa | 0.420 (0.319 MPaG) |

3. 二三次蓋間圧力

特別の試験条件における空気の温度を保守側に二三次蓋間空気の最高温度とする。また、一般の試験条件と同様に、保守側に二次蓋の密封性が失われ一二次蓋間ヘリウムが二三次蓋間に漏えいすると仮定すると、二三次蓋間圧力は以下のとおり求められる。

$$P_2' = \frac{P_{10}V_1 \frac{T_{1acc}}{T_{10}} + P_{20}V_2 \frac{T_{1acc}}{T_{20}}}{V_1 + V_2}$$

ここで、

P_2' : 特別の試験条件における二三次蓋間圧力 (MPa)

P_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)

P_{20} : 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) (MPa)

V_1 : 一二次蓋間体積 (m^3)

V_2 : 二三次蓋間体積 (m^3)

T_{1acc} : 特別の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度
(一二次蓋間ヘリウムの最高温度) (K)

T_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)

T_{20} : 三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度 (K)

計算条件と計算結果を(□)-第 B. 18 表に示す。なお、この圧力は三次蓋取付け時の周囲温度が仮に $-20^{\circ}C$ であった場合には空気の密度が大きくなるため、約 4% 増加する可能性があるが、構造評価は保守的にこれを包絡する圧力で評価している。

(□)-第 B. 18 表 特別の試験条件における二三次蓋間圧力計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|-------------------------|------------|-------|----------------------|
| 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 | P_{10} | MPa | 0.300 |
| 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) | P_{20} | MPa | 0.101325 |
| 一二次蓋間体積 | V_1 | m^3 | <input type="text"/> |
| 二三次蓋間体積 | V_2 | m^3 | <input type="text"/> |
| 特別の試験条件における一二次蓋間ヘリウムの温度 | T_{1acc} | K | 410.15 (137 °C) |
| 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 | T_{10} | K | 293.15 (20 °C) |
| 三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度 | T_{20} | K | 293.15 (20 °C) |
| 特別の試験条件における二三次蓋間圧力 | P_2' | MPa | 0.272 (0.171 MPaG) |

4. 三次蓋－洞内圧力

密封解析に使用する三次蓋－洞内圧力は、設計評価期間中の一次蓋の漏えいを考慮して一般の試験条件の洞内圧を 0.0970 MPa と仮定し、また、全燃料棒の密封機能が失われたと仮定して、燃料棒内に封入されていたヘリウム及び FP ガス放出による圧力上昇を考慮する。さらに、一次蓋及び二次蓋の密封性が失われたと仮定し、特別の試験条件における洞内ガスの温度上昇に伴う圧力上昇を考慮すると、三次蓋－洞内圧力は、以下のとおり求められる。

$$P_3' = \frac{P_{10}V_1 \frac{T_{0acc}}{T_{10}} + P_{20}V_2 \frac{T_{0acc}}{T_{20}} + \left(P_c \frac{T_{0acc}}{T_{0nor}} + P_{FP} \right) (V_c + V_p)}{V_1 + V_2 + V_c + V_p}$$

ここで、

- P_3' : 特別の試験条件における三次蓋－洞内圧力 (MPa)
- P_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 (MPa)
- P_{20} : 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) (MPa)
- P_c : 設計評価期間中の一次蓋の漏えいを考慮した一般の試験条件の洞内圧 (MPa)
- P_{FP} : 洞内に放出されたヘリウム及び FP ガス圧力 (MPa)
- V_1 : 一二次蓋間体積 (m^3)
- V_2 : 二三次蓋間体積 (m^3)
- V_c : 洞内体積 (m^3)
- V_p : 全燃料棒内部の体積 (m^3)
- T_{0acc} : 特別の試験条件における洞内ヘリウム及び FP ガスの温度 (燃料集合体最高温度) (K)
- T_{0nor} : 一般の試験条件における洞内ヘリウムの温度 (燃料集合体最高温度) (K)
- T_{10} : 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 (K)
- T_{20} : 三次蓋取付け時における二三次蓋間空気の初期温度 (K)

計算条件と計算結果を (□)-第 B. 19 表に示す。

(ロ)-第 B. 19 表 特別の試験条件における三次蓋-胴内圧力計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|------------------------------------|------------|-------|----------------------|
| 一二次蓋間ヘリウムの初期充填圧力 | P_{10} | MPa | 0.300 |
| 二三次蓋間空気の初期圧力 (大気圧) | P_{20} | MPa | 0.101325 |
| 設計評価期間中の一次蓋の漏えいを考慮した 一般の試験条件胴内圧 | P_c | MPa | 0.0970 |
| 胴内に放出されたヘリウム及び FP ガス圧力 | P_{FP} | MPa | 0.223 |
| 一二次蓋間体積 | V_1 | m^3 | <input type="text"/> |
| 二三次蓋間体積 | V_2 | m^3 | <input type="text"/> |
| 胴内体積 | V_c | m^3 | <input type="text"/> |
| 全燃料棒内部の体積 | V_p | m^3 | <input type="text"/> |
| 特別の試験条件における胴内ヘリウム及び FP ガスの温度 | T_{0acc} | K | 527.15 (254 °C) |
| 一般の試験条件における胴内ヘリウムの温度 | T_{0nor} | K | 479.15 (206 °C) |
| 一二次蓋間ヘリウムの初期温度 | T_{10} | K | 293.15 (20 °C) |
| 三次蓋取付け時における 二三次蓋間空気の初期温度 | T_{20} | K | 293.15 (20 °C) |
| 特別の試験条件における 三次蓋-胴内圧力 | P_3' | MPa | 0.330 (0.229 MPaG) |

B. 5. 5 最大熱応力

特別の試験条件において輸送物に生じる熱応力は、A. 6. 3 で説明したように容器各部位が熱膨張を拘束しあうことで生じ、最大熱応力については、温度差が最大になる火災事故発生時から 30 分後に生じる。

ただし、A. 6. 3 で示したとおり、容器に生じる最大熱応力は小さく、容器の構造健全性に問題はない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件における熱解析結果の要約及びその評価を(ロ)-第 B.20 表に示す。本輸送物の状態は以下のとおりであり、損傷については他の解析に反映している。

- ・密封境界となる三次蓋 O リングの最高温度は、17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時ともに 186 °C であり、使用限度 48 時間における使用可能温度である 300 °C を超えることはない。したがって、特別の試験条件において密封性能が失われることはない。
- ・蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材の最高温度は、17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時ともに 138 °C 及び 160 °C であり、使用可能温度 180 °C を超えることはない。一方、側部中性子遮蔽材の最高温度は、17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時ともに 701 °C であり、使用可能温度を超えるが全て失われることはない。
- ・遮蔽解析においては、中性子遮蔽材の欠損を密度減少量として考慮する。なお、側部中性子遮蔽材だけでなく、蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材についても密度減少を考慮している。
- ・臨界解析においては、外筒までをモデル化し、中性子遮蔽材は全て失われるとしてモデル化しないことにより、中性子吸収効果を見逃し、保守側の解析を行う。
- ・その他の構成材料については、輸送物の健全性に対し悪影響を及ぼす温度には到達しない。

(p)-第 B. 20 表 特別の試験条件における熱解析結果の要約及びその評価 (1/3)

[17×17 燃料収納時]

| 項目 | 結果 [°C] | 基準値 [°C] | 評価 | 他の解析への条件 |
|------------|---------------------|---------------------|--|---|
| 最高温度 | | | | |
| 燃料集合体 | 254 | — | — | — |
| バスケット | 218 | 250 ⁽¹⁷⁾ | 基準値以下 | — |
| 中性子遮蔽材 | 701 ^(注1) | 180 ⁽¹⁵⁾ | 蓋部、底部：基準値以下 ^(注2) 側部：基準値を超過 ^(注2) | 遮蔽解析では密度減少量として考慮 臨界解析では保守側にモデル化しない |
| 二次蓋金属ガスケット | 137 ^(注3) | 190 ⁽¹⁴⁾ | 基準値以下 | — |
| 三次蓋 O リング | 186 ^(注4) | 300 ⁽¹²⁾ | 基準値以下 | — |
| 胴 | 224 | 350 ⁽¹⁸⁾ | 基準値以下 | 構造解析では □ °C を使用 ^(注5) |

(注 1) 蓋部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材及び側部中性子遮蔽材のうち、最高となる温度。

(注 2) 蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材の最高温度はそれぞれ 138 °C 及び 160 °C であり、使用可能温度 180 °C を超えることはない。一方、側部中性子遮蔽材の最高温度は 701 °C であり、使用可能温度を超えるが全て失われることはない。

(注 3) 保守側に評価するため、二次蓋の最高温度とする。

(注 4) 保守側に評価するため、三次蓋の最高温度とする。

(注 5) 構造解析における熱応力算出では、容器全体の温度分布を入力するが、(p)-第 B. 20 表には、許容値及び内圧計算に使用する温度を代表として示している。

(p)-第 B. 20 表 特別の試験条件における熱解析結果の要約及びその評価 (2/3)

[15×15 燃料収納時]

| 項目 | 結果 [°C] | 基準値 [°C] | 評価 | 他の解析への条件 |
|------------|---------------------|--------------------|--|---|
| 最高温度 | | | | |
| 燃料集合体 | 251 | — | — | — |
| バスケット | 217 | 250 ¹⁷⁾ | 基準値以下 | — |
| 中性子遮蔽材 | 701 ^(注1) | 180 ¹⁵⁾ | 蓋部、底部：基準値以下 ^(注2) 側部：基準値を超過 ^(注2) | 遮蔽解析では密度減少量として考慮 臨界解析では保守側にモデル化しない |
| 二次蓋金属ガスケット | 137 ^(注3) | 190 ¹⁴⁾ | 基準値以下 | — |
| 三次蓋 O リング | 186 ^(注4) | 300 ¹²⁾ | 基準値以下 | — |
| 胴 | 224 | 350 ¹⁸⁾ | 基準値以下 | 構造解析では □ °C を使用 ^(注5) |

(注 1) 蓋部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材及び側部中性子遮蔽材のうち、最高となる温度。

(注 2) 蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材の最高温度はそれぞれ 138 °C 及び 160 °C であり、使用可能温度 180 °C を超えることはない。一方、側部中性子遮蔽材の最高温度は 701 °C であり、使用可能温度を超えるが全て失われることはない。

(注 3) 保守側に評価するため、二次蓋の最高温度とする。

(注 4) 保守側に評価するため、三次蓋の最高温度とする。

(注 5) 構造解析における熱応力算出では、容器全体の温度分布を入力するが、(p)-第 B. 20 表には、許容値及び内圧計算に使用する温度を代表として示している。

(□)-第 B. 20 表 特別の試験条件における熱解析結果の要約及びその評価 (3/3)

| 項目 | 結果 [MPa] | 基準値 [MPa] | 評価 | 他の解析への条件 |
|----------|-----------------------|--------------|----|--------------------------|
| 最大内圧 | | | | |
| 胴内圧 | 0.307 (0.206 MPaG) | — | — | 構造解析では 0.250 MPaG を使用 |
| 一二次蓋間圧力 | 0.420 (0.319 MPaG) | — | — | 構造解析では 0.340 MPaG を使用 |
| 二三次蓋間圧力 | 0.272 (0.171 MPaG) | — | — | 構造解析では 0.270 MPaG を使用 |
| 三次蓋-胴内圧力 | 0.330 (0.229 MPaG) | — | — | 密封解析では 0.330 MPa を使用 |

B.6 付属書類

B.6.1 解析に用いた対流熱伝達率について

B.6.1.1 全体モデルに用いた対流熱伝達率

1. 輸送物表面と周囲の熱伝達率

(1) 外筒表面の自然対流熱伝達率

外筒表面の自然対流熱伝達率は、水平円筒表面の自然対流熱伝達率を表わす次の Schutz の式²⁾を用いる。

$$h = 0.1 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t_{Pr}}{\nu^2} \right)^{1/3}$$

ただし、

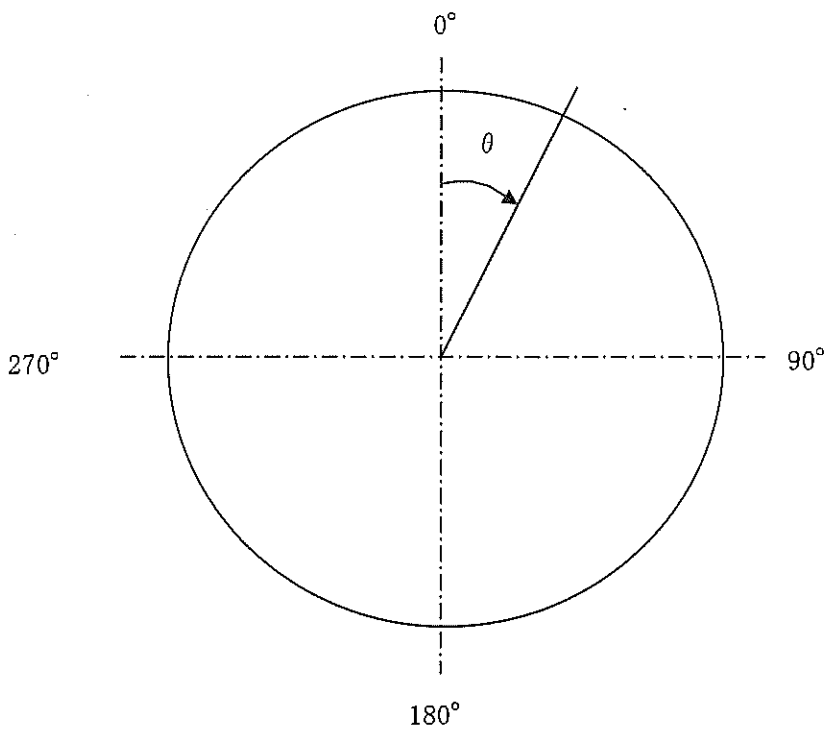
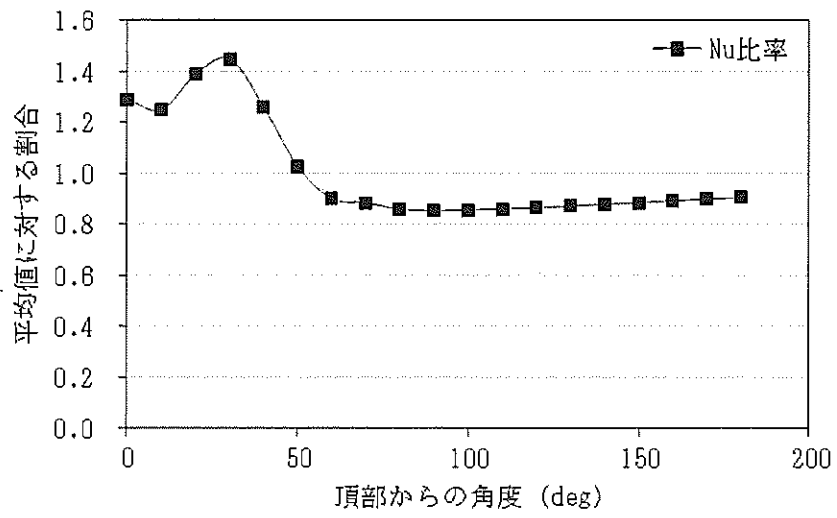
- h : 熱伝達率 (W/(m²・K))
- λ : 熱伝導率 (W/(m・K))
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- β : 体積膨張係数 (K⁻¹)
- ν : 動粘性係数 (m²/s)
- Pr : プラントル数
- Δt : 温度差 (K)

各温度に対して求めた熱伝達率を(ρ)-第B.付1表に示す。

ここで、実際に用いた熱伝達率としては、(ρ)-第B.付1図に示される水平円筒外表面の周方向分布を考慮して、0°～180°の平均値に対する割合のうち、90°～180°の割合を平均化して算出した係数(0.87)を(ρ)-第B.付1表の値に乗じた値を保守側に設定した。ただし、火災時に対しては入熱が多くなるよう(ρ)-第B.付1表の値を設定した。

(ρ)-第B.付1表 外筒表面の自然対流熱伝達率

| 温度(°C) | 熱伝達率(W/(m ² ・K)) |
|--------|-----------------------------|
| -20 | 1.33 Δt ^{1/3} |
| 0 | 1.26 Δt ^{1/3} |
| 20 | 1.20 Δt ^{1/3} |
| 100 | 1.02 Δt ^{1/3} |
| 200 | 0.863 Δt ^{1/3} |
| 300 | 0.760 Δt ^{1/3} |
| 400 | 0.682 Δt ^{1/3} |
| 600 | 0.577 Δt ^{1/3} |
| 800 | 0.500 Δt ^{1/3} |



(p)-第B.付1図 外表面における自然対流熱伝達率の周方向分布²²⁾

(2) 緩衝体円筒表面の自然対流熱伝達率

緩衝体円筒面に対しては外筒表面の自然対流熱伝達率にて使用した Schutz の式を用いる。(a)-第 B. 付 1 表に示す値に周方向分布を考慮した係数 0.87 を乗じて保守的な値を設定した。ただし、火災時に対しては入熱が多くなるように(a)-第 B. 付 1 表の値を設定した。

(3) 緩衝体垂直面の自然対流熱伝達率

緩衝体垂直表面の自然対流熱伝達率は、垂直平板に対する次の Jakob の式²³⁾を用いる。

$$h = 0.129 \lambda \left(\frac{g \beta \Delta t}{\nu^2 Pr} \right)^{1/3}$$

ただし、

- h : 熱伝達率 (W/(m²・K))
- λ : 熱伝導率 (W/(m・K))
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- β : 体積膨張係数 (K⁻¹)
- ν : 動粘性係数 (m²/s)
- Pr : プラントル数
- Δt : 温度差 (K)

各温度に対して求めた熱伝達率を(a)-第 B. 付 2 表に示す。

(a)-第 B. 付 2 表 垂直面の自然対流熱伝達率

| 温度(°C) | 熱伝達率(W/(m ² ・K)) |
|--------|-----------------------------|
| -20 | 1.72 Δt ^{1/3} |
| 0 | 1.63 Δt ^{1/3} |
| 20 | 1.55 Δt ^{1/3} |
| 100 | 1.31 Δt ^{1/3} |
| 200 | 1.11 Δt ^{1/3} |
| 300 | 0.980 Δt ^{1/3} |
| 400 | 0.880 Δt ^{1/3} |
| 600 | 0.744 Δt ^{1/3} |
| 800 | 0.645 Δt ^{1/3} |

(4) 緩衝体と輸送容器本体との間の熱伝達

緩衝体と輸送容器本体との間には取合いの関係上ギャップがあり、この間の熱伝達は空気の熱伝導及び放射によるものとした。

B.6.2 混合気体の熱伝導率の計算式について

特別の試験条件における胴内ガスの熱伝導率は、ヘリウム及びFPガス放出後の胴内のヘリウム及びFPガスのモル分率を考慮して、混合気体の熱伝導率の計算式²⁾を用いて算出する。なお、FPガスは生成量の多いキセノンとした。

$$\lambda_m = \frac{\lambda_1}{1 + \phi_{12} \frac{x_2}{x_1}} + \frac{\lambda_2}{1 + \phi_{21} \frac{x_1}{x_2}}$$
$$\phi_{12} = \frac{1}{4} \left\{ 1 + \left[\frac{\eta_1}{\eta_2} \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{3/4} \frac{1 + \frac{S_1}{T}}{1 + \frac{S_2}{T}} \right]^{1/2} \right\}^2 \left(\frac{1 + \frac{S_{12}}{T}}{1 + \frac{S_1}{T}} \right)$$

ここで、

- λ_m : 混合ガスの熱伝導率 (W/m/K)
- λ_1 : ヘリウムの熱伝導率 (W/m/K)
- λ_2 : 核分裂生成ガスの熱伝導率 (W/m/K)
- x_1 : ヘリウムの分圧 (MPa abs)
- x_2 : 核分裂生成ガスの分圧 (MPa abs)
- η_1 : ヘリウムの粘性率 (Pa·s)
- η_2 : 核分裂生成ガスの粘性率 (Pa·s)
- M_1 : ヘリウムの分子量 (-)
- M_2 : 核分裂生成ガスの分子量 (-)
- S : Sutherland 定数

計算条件及び計算結果を (p)-第 B. 付 3 表に示す。

(ロ)-第B.付3表 胴内ガスの熱伝導率計算条件及び計算結果 (1/2) [17×17 燃料収納時]

| 項目 | | 記号 | 単位 | T : 温度 (K) | | | |
|-----------|------|-------------|-----------------------------|------------|---------|---------|---------|
| | | | | 300 | 400 | 500 | 600 |
| 熱伝導率 | ヘリウム | λ_1 | W/(m·K) | 0.1527 | 0.1882 | 0.2212 | 0.2523 |
| | キセノン | λ_2 | W/(m·K) | 0.00562 | 0.00728 | 0.00881 | 0.01025 |
| モル分率 | ヘリウム | x_1 | - | 0.840 | | | |
| | キセノン | x_2 | - | 0.160 | | | |
| 粘性係数 | ヘリウム | η_1 | $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ | 19.93 | 24.29 | 28.36 | 32.21 |
| | キセノン | η_2 | $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ | 23.30 | 30.29 | 36.80 | 42.81 |
| 分子量 | ヘリウム | M_1 | g/mol | 4.002602 | | | |
| | キセノン | M_2 | g/mol | 131.293 | | | |
| 標準沸点 | ヘリウム | T_{b1} | K | 4.21 | | | |
| | キセノン | T_{b2} | K | 164.1 | | | |
| 混合気体の熱伝導率 | | λ_m | W/(m·K) | 0.0937 | 0.115 | 0.134 | 0.153 |

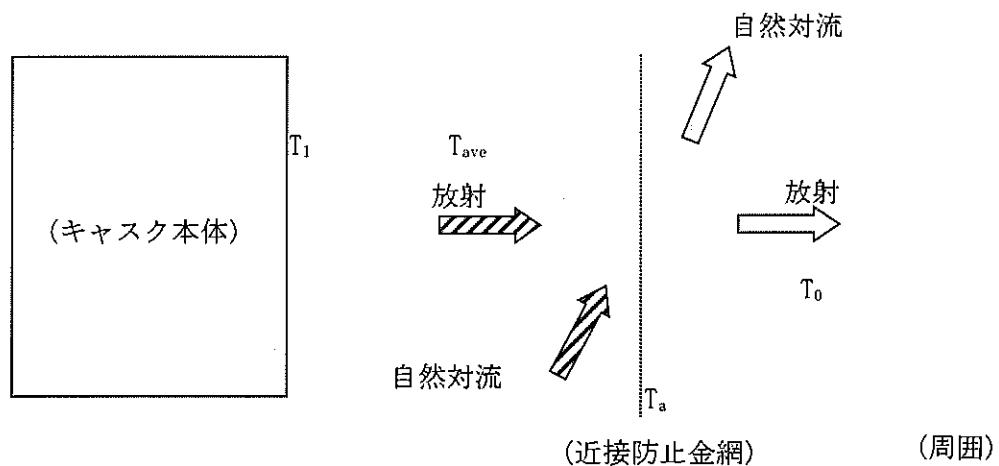
(ロ)-第B.付3表 胴内ガスの熱伝導率計算条件及び計算結果 (2/2) [15×15 燃料収納時]

| 項目 | | 記号 | 単位 | T : 温度 (K) | | | |
|-----------|------|-------------|-----------------------------|------------|---------|---------|---------|
| | | | | 300 | 400 | 500 | 600 |
| 熱伝導率 | ヘリウム | λ_1 | W/(m·K) | 0.1527 | 0.1882 | 0.2212 | 0.2523 |
| | キセノン | λ_2 | W/(m·K) | 0.00562 | 0.00728 | 0.00881 | 0.01025 |
| モル分率 | ヘリウム | x_1 | - | 0.863 | | | |
| | キセノン | x_2 | - | 0.137 | | | |
| 粘性係数 | ヘリウム | η_1 | $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ | 19.93 | 24.29 | 28.36 | 32.21 |
| | キセノン | η_2 | $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ | 23.30 | 30.29 | 36.80 | 42.81 |
| 分子量 | ヘリウム | M_1 | g/mol | 4.002602 | | | |
| | キセノン | M_2 | g/mol | 131.293 | | | |
| 標準沸点 | ヘリウム | T_{b1} | K | 4.21 | | | |
| | キセノン | T_{b2} | K | 164.1 | | | |
| 混合気体の熱伝導率 | | λ_m | W/(m·K) | 0.0999 | 0.123 | 0.143 | 0.163 |

B. 6.3 近接防止金網の温度評価について

以下の考え方にに基づき近接防止金網の温度を評価した。(□)-第B.付2図参照)

- ①近接防止金網温度に対応する規則要件は 38°Cの日陰における近接可能な容器表面最高温度を 85°C以下とすることであるから、太陽熱放射を考慮しない。
- ②近接防止金網は、当該輸送容器を架台上に設置した際に近接可能な外筒領域及びトラニオン領域を覆うように取り付けられている。
- ③近接防止金網は容器周りに垂直平板状に設けられているため、厚さを持たない板として考える。
- ④近接防止金網は輸送容器と周囲の自然対流を阻害しない形状とすることにより熱伝達を干渉しないものと仮定する。したがって、近接防止金網温度を求めるために使用する輸送容器表面の温度は一般の試験条件（人の近づきうる表面の最高評価条件）で得られた結果を用いる。
- ⑤温度を求めるに当たっては、自然対流と放射を考慮する。自然対流熱伝達率は垂直平板の自然対流熱伝達率を用いて評価する。これらを考慮して、容器から近接防止金網への入熱量と近接防止金網から大気への放熱量がつりあうように近接防止金網温度を定める。
- ⑥容器と近接防止金網間にある空気は自然対流の評価において、容器と近接防止金網の間の空気の温度は近接防止金網温度と容器表面温度の平均温度であるとする。



(□)-第B.付2図 近接防止金網周りの伝熱モデル

以上より、キャスク本体から近接防止金網への入熱量 Q_{in} 及び近接防止金網から大気への放熱量 Q_{out} は、それぞれ以下の式で表わされ、近接防止金網温度 T_a は、 $Q_{in}=Q_{out}$ を満たす T_a を求める。

$$\begin{cases} Q_{in}=h_1(T_{ave}-T_0)+\sigma F_\epsilon\{(T_1+273.15)^4-(T_a+273.15)^4\} \\ Q_{out}=h_0(T_a-T_0)+\sigma \epsilon_2\{(T_a+273.15)^4-(T_0+273.15)^4\} \\ F_\epsilon=1/\{(1/\epsilon_1)+(1/\epsilon_2)-1\} \end{cases}$$

ただし、

- Q_{in} : 近接防止金網への入熱量 (W/m^2)
- Q_{out} : 近接防止金網から大気への放熱量 (W/m^2)
- h_1 : 入熱の境界膜温度における垂直平板の自然対流熱伝達率 ($W/(m^2 \cdot K)$)
((p)-第 B. 付 4 表参照)
- h_0 : 放熱の境界膜温度における垂直平板の自然対流熱伝達率 ($W/(m^2 \cdot K)$)
((p)-第 B. 付 4 表参照)
- T_1 : キャスク本体外表面温度 (103 °C)
(キャスク本体外表面において最も温度が高いトラニオンの温度)
- T_{ave} : キャスク本体外表面と近接防止金網の平均温度 (°C)
- T_a : 近接防止金網温度 (°C)
- T_0 : 周囲温度 (38 °C)
- σ : ステファン・ボルツマン定数 ($5.670367 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$)
- F_ϵ : 形態係数
- ϵ_1 : キャスク本体外表面の放射率 (0.8)
- ϵ_2 : 近接防止金網の放射率 (0.33 : アルミニウムの酸化面)

(p)-第 B. 付 4 表 垂直平板の自然対流熱伝達率

| 境界膜温度 (°C) | 垂直平板の自然対流熱伝達率 ($W/(m^2 \cdot K)$) |
|---------------|--|
| 20 | $1.55 \Delta T^{1/3}$ |
| 100 | $1.31 \Delta T^{1/3}$ |
| 200 | $1.11 \Delta T^{1/3}$ |

入熱の境界膜温度 : T_{ave}

放熱の境界膜温度 : $(T_a+T_0)/2$

容器表面各部位近傍に設けられた近接防止金網温度を(□)-第B.付5表に示す。容器表面に設けられた近接防止金網の温度は基準値(85°C)より低い。

(□)-第B.付5表 近接防止金網の温度評価結果

| 評価条件 (°C) | | 評価結果 (°C) |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------|
| キャスク本体外表面温度 (T ₁) | 周囲温度 (T ₀) | 近接防止金網温度 (T _a) |
| 103 | 38 | 66 |

B.6.4 参考文献

- 1) Dassault Systèmes, “ABAQUS Analysis User’s Manual(6.12)”, (2012).
- 2) (一社)日本機械学会, 「伝熱工学資料 改訂第4版」, (1986).
- 3) American Society of Mechanical Engineers, “ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part D Properties (Metric)”, (2010).
- 4) 中性子吸収材メーカ資料
- 5) (公財)原子力安全研究協会, 「軽水炉燃料のふるまい 改訂第5版」, (2013).
- 6) D. L. Hagrman, G. A. Reymann, R. E. Mason, “MATPRO-Version 11(Rev.2) A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior,” EG&G Idaho Inc., (1981).
- 7) BISCO PRODUCTS, Inc., “NS-4-FR Fire Resistant Neutron and/or Gamma Shielding Material”, (1986).
- 8) 木材工業ハンドブック編集委員会, 「木材工業ハンドブック 改訂3版」, (1982).
- 9) (公社)日本化学会, 「化学便覧 基礎編 改訂5版」, (2004).
- 10) 三菱重工業(株), 「化学試験報告書 エポキシ系樹脂の熱特性測定結果」, (2006).
- 11) 産業技術センター, 「複合材料技術集成」, (1976).
- 12) (一財)電力中央研究所, 「輸送キャスク密封装置の耐熱限界性能の評価」, (1998).
- 13) (一財)電力中央研究所, 「平成20年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(中間貯蔵設備等長期健全性等試験のうち貯蔵設備長期健全性等調査)報告書」, (2009).
- 14) (独)原子力安全基盤機構, 「金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書 1/3 最終報告」, (2004).
- 15) Y. Momma, et al., “Evaluation Test on the Thermal Stability of Resin as Neutron Shielding Material for Spent Fuel Transport Cask”, The 12th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, (1998).
- 16) (独)原子力安全基盤機構, 「平成18年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)」, (2007).
- 17) 三菱重工業(株), 「型式設計特定容器等の型式指定申請書 本文及び添付書類の一部補正について」, (2017).
- 18) (一社)日本機械学会, 「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)」, (2007).
- 19) F. P. Incropera, D. P. Dewitt, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Third Edition”, John Wiley & Sons, Inc., (1990).
- 20) 平成二年十一月二十八日科学技術庁告示第五号, 「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示」.

- 21) (一社)日本機械学会, 「伝熱工学資料 改訂第3版」, (1975).
- 22) 三角利之, 鈴木幸治, 北村健三, 「大きな水平加熱円柱まわりの自然対流の流動と伝熱 (空気の場合)」, (一社)日本機械学会, (1999).
- 23) M. Jakob, "Heat Transfer. Volume 1", John Wiley & Sons, Inc., (1949).

(四)章C 密封解析

C. 密封解析

C.1 概要

本輸送物は、B.4.6 に示すように一般の試験条件において密封境界の内部は負圧である。したがって、一般の試験条件における放射性物質の漏えいはないが、仮に密封境界の内部の圧力が大気圧になる場合を想定し、漏えい試験によって求めた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。また、特別の試験条件においては、密封境界の内部が正圧になる可能性があるため、同様に、漏えい試験によって求めた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、その漏えい率が特別の試験条件下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。

なお、本評価における収納放射エネルギーは、ORIGEN2.2UPJ コードを用いて求めた。また、データライブラリはPWRU50 ライブラリを用いた。

また、(イ)-第D.4表に示すとおり、17×17型燃料と15×15型燃料では、17×17型燃料の方が輸送容器1基当たりの³Hと⁸⁵Krの放射能強度は大きいことから、密封解析は17×17型燃料で代表する。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

輸送容器の密封境界を構成する密封装置は、(イ)-第C.4図に示すように収納物を収納する胴、三次蓋及びリリーフバルブカバープレートから構成される。また、密封装置の材質は(イ)-第C.1表に示すとおりである。なお、三次蓋及びリリーフバルブカバープレートは、ともに上部緩衝体で覆われているため、不用意に取り外されることはない。また、緩衝体の取付部には□を施すことができるようになっている。

C.2.2 密封装置の貫通部

密封装置には、(イ)-第C.13図に示すように、三次蓋にリリーフバルブを設けるための貫通部が設けられている。リリーフバルブは二次三次蓋間と外部との圧力を同圧にするために用いられる。

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

1. ガスケット

三次蓋及びリリーフバルブカバープレートには、(イ)-第C.12図及び(イ)-第C.13図に示すようにEPDM製のOリングが同心円状に設けられている。ガスケットの寸法は(イ)-第C.2表に示すとおりである。

ガスケットは輸送容器の製作中に気密漏えい試験を行ってその健全性が確認される。

EPDM製のOリングは、その耐熱性(B.4.6及びB.5.6)及び耐寒性(A.4.2)により、一般及び特別の試験条件並びに最低使用温度でも蓋の密封性を保つことができる。

2. 溶接部(胴と底板を溶接する場合)

密封境界に係る溶接部は、胴と底板である。胴と底板は、金属キャスク構造規格等に準拠して実施した溶接施工法確認試験に合格した施工法に従って溶接施工される。

溶接部は製作中に放射線透過試験又は浸透探傷試験等を行ってその健全性が確認される。

C.2.4 蓋

三次蓋には、一般及び特別の試験条件の温度、圧力に耐える強度を備え、かつ、密封性を保つことができるOリングを設けている。三次蓋の密封性を保つため、蓋ボルトを適切なトルクで締付ける。

C.3 一般の試験条件

一般の試験条件において密封装置の構造強度が維持され機能が損なわれないことはA.5により確認している。また、B.4.6に示すように一般の試験条件における三次蓋と胴で構成される密封容器の圧力(以下「三次蓋-胴内圧力」という。)は、0.0822 MPaであり、設計評価期間中のヘリウムの内部への漏えいを考慮しても0.097 MPa未満である。したがって、一般の試験条件において密封装置の加圧を考慮しても三次蓋-胴内圧力は負圧である。また、一般の試験条件において密封装置は健全であり漏えいはない。このように漏えいはないが、仮に密封境界の内部の圧力が大気圧の上限值0.105 MPa、外気圧が大気圧の下限值0.097 MPaであると仮定し、一般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確認する。

C.3.1 放射性物質の漏えい

1. 核分裂生成ガス

一般の試験条件において燃料棒の破損がないことはA.5により確認されているが、ここでは全収納物の0.1%の燃料棒の密封性が失われたとし、燃料が有する放射性物質が(ρ)-第C.1表に示す割合及び量で三次蓋-胴内雰囲気中に放出されると仮定する。なお、密封解析の対象とする燃料は、(イ)-第D.4表に示す放射能強度とする。

(ρ)-第C.1表 放射性物質の放出率

| 主要核種 | 収納放射能量 (TBq) | 破損率 (%) | 放出率 (%) | A ₂ 値 (TBq) | 放出放射能量 (A ₂ 値比) | 放射性物質濃度 ^(注1) (A ₂ 値比/ref cm ³) |
|------------------|-----------------|------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| ³ H | □ | 0.1 | 10 ⁻¹¹ | 40 | □ | 8.53×10 ⁻¹¹ |
| ⁸⁵ Kr | | | | 10 | | 5.03×10 ⁻⁹ |
| 合計 | | — | — | — | | 5.11×10 ⁻⁹ |

(注1) 三次蓋-胴内ガス体積は□ref cm³である。

2. 一般の試験条件におけるガス漏えい率

一般の試験条件におけるガス漏えい率は、漏えい試験における許容漏えい率 L_{Rt} に基づいて求める。

(1) 漏えい試験における許容漏えい率

密封解析の設計基準として設定した許容漏えい率 L_{Rt} は、輸送容器の三次蓋の被検査部の漏えい率として (v)-第 C.2 表に示す値とする。なお、表中の各項目の添え字の 0 は、漏えい試験条件を示す。

(v)-第 C.2 表 許容漏えい率及び漏えい試験条件

| 項目 | | 密封境界 (三次蓋及びリリーフバルブカバープレート) |
|---|-----------------------------|-------------------------------|
| L_{Rt} : 許容漏えい率 (ref cm ³ /s) | | 2×10^{-3} |
| 圧力条件 | $P_{u,0}$: 上流側圧力 (MPa·abs) | 0.760 |
| | $P_{d,0}$: 下流側圧力 (MPa·abs) | 0.101 (大気圧) |
| T_0 : 温度 (K) | | 298.15 |
| $L_{u,0}$: 漏えい試験時のガス漏えい率 (cm ³ /s at $P_{u,0}$, T_0) | | 2.66×10^{-4} |

(2) 一般の試験条件におけるガス漏えい率

密封装置の漏えい孔径は、許容漏えい率に基づいて、以下の漏えい計算式により求める。なお、(1)～(6)式中の添え字の i は試験条件を表し、 $i=0$: 漏えい試験条件、 $i=1$: 一般の試験条件を表す。

$$L_{u,i} = (F_{c,i} + F_{m,i}) (P_{u,i} - P_{d,i}) \left(\frac{P_{a,i}}{P_{u,i}} \right)^2 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

$L_{u,i}$: 圧力 $P_{u,i}$ における漏えい率 (cm³/s at $P_{u,i}$, T_i)

$F_{c,i}$: 連続流の流動伝導係数 (cm³/(MPa·s))

$$F_{c,i} = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_i^4}{a_i \mu_i} \dots \dots \dots (2)$$

$F_{m,i}$: 自由分子流の流動伝導係数 (cm³/(MPa·s))

$$F_{m,i} = \frac{\sqrt{2 \pi R_0}}{6} \times \frac{D_i^3 \sqrt{\frac{T_i}{M}}}{a_i P_{a,i}} \dots \dots \dots (3)$$

$P_{u,i}$: 上流側の圧力 (MPa)

$P_{d,i}$: 下流側の圧力 (MPa)

$$P_{a,i} = \frac{1}{2}(P_{u,i} + P_{d,i}) \quad \dots \dots \dots (4)$$

$P_{a,i}$: 流れの平均圧力 (MPa)

ただし、

D_i : 漏えい孔径 (cm)

a_i : 漏えい孔長 (cm)

μ_i : 粘性係数 (MPa・s)

R_0 : 気体定数 (8.3144598×10^7 erg/(mol・K))⁴⁾

T_i : 流体の温度 (K)

M : 流体の分子量

また、漏えい試験条件において、 $L_{u,i}$ は次式で与えられる。

$$L_{u,i} = L_{RT} \left(\frac{P_s T_i}{P_{u,i} T_s} \right) \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、

L_{RT} : 許容漏えい率(2箇所) (ref cm³/s)

P_s : 基準圧力 (0.101 MPa)

T_s : 基準温度 (298.15 K)

一般の試験条件におけるガス漏えい率は、漏えい孔が漏えい試験時の漏えい孔径を維持するとして、上記の漏えい計算式により求める。

また、次式により上記のガス漏えい率 ($L_{u,i}$) を 25 °C、0.101 MPa (1 atm) の標準状態における漏えい率 $L_{x,i}$ に換算する。

$$L_{x,i} = L_{u,i} \left(\frac{P_{u,i} T_s}{P_s T_i} \right) \quad \dots \dots \dots (6)$$

一般の試験条件におけるガス漏えい率を (p)-第 C.3 表 に示す。

(p)-第 C. 3 表 一般の試験条件におけるガス漏えい率

| 項目 ^(注1) | 部位 | 密封境界 | |
|--|-------|--|--|
| | | 三次蓋 | リリーフバルブ カバープレート |
| $P_{u,1}$: 上流側圧力 | (MPa) | 0.105 | |
| $P_{d,1}$: 下流側圧力 | (MPa) | 0.097 | |
| T_1 : 流体の温度 | (K) | 383.15 ^(注2) | |
| a_1 : 漏えい孔長 | (cm) | <input type="text"/> ^(注3) | <input type="text"/> ^(注3) |
| D_1 : 漏えい孔径 | (cm) | <input type="text"/> | |
| $L_{u,1}$: 一般の試験条件におけるガス漏えい率 (cm^3/s at $P_{u,1}$, T_1) | | 5.95×10^{-6} | 6.50×10^{-6} |
| $L_{x,1}$: 一般の試験条件におけるガス漏えい率 (cm^3/s at 0.101 MPa, 25 °C) | | 4.82×10^{-6} ($1.73 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{h}$) | 5.26×10^{-6} ($1.89 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{h}$) |

(注1)各項目の添え字の1は、一般の試験条件 ($i=1$) を示す。

(注2)三次蓋ガスケット部温度

(注3)Oリングの断面直径を採用

3. 一般の試験条件における放射性物質の漏えい率

一般の試験条件における放射性物質の漏えい率は、(p)-第 C. 1 表に示す密封装置内にガス状で存在する核種の放射性物質濃度と前項で求めた一般の試験条件におけるガス漏えい率 ($L_{x,1}$) を乗じて求められる。

なお、ここでは保守的に漏えい率の大きいリリーフバルブカバープレートにおけるガス漏えい率を用いて評価する。

一般の試験条件における放射性物質濃度を用いて求めたガス中の放射性物質の漏えい率、基準値 A_2 値 $\times 10^{-6}/\text{h}$ 及び漏えい率と基準値との比率を (p)-第 C. 4 表に示す。密封装置からの放射性物質の1時間当りの漏えい量と各核種の基準値 A_2 値 $\times 10^{-6}/\text{h}$ との比率の合計は1よりも小さい。

(p)-第 C. 4 表 一般の試験条件におけるガス中の放射性物質の漏えい率

| 核種 | 放射性物質漏えい率 (Bq/h) | 基準値 : A_2 値 $\times 10^{-6}/\text{h}$ (Bq/h) | 比率 |
|------------------|---------------------|---|-----------------------|
| ^3H | 6.46×10^1 | 4×10^7 | 1.62×10^{-6} |
| ^{85}Kr | 9.52×10^2 | 1×10^7 | 9.52×10^{-5} |
| | | 合計 | 9.68×10^{-5} |

C.3.2 密封装置の加圧

密封装置の加圧は、密封装置内のガスの温度上昇及び設計評価期間中の一次蓋と二次蓋間に充填されているヘリウムのキャスク本体内部への漏えいにより生じる。さらに、全収納物の 0.1 %の燃料棒の密封機能が失われ核分裂生成ガスがキャスク本体内部に放出されたと仮定しても、三次蓋と胴で構成される密封装置内の圧力は負圧に維持される。

C.3.3 冷却材汚染

輸送容器は、冷却水を用いない乾式タイプであり、冷却材は使用しない。

C.3.4 冷却材損失

輸送容器は、冷却水を用いない乾式タイプであり、冷却材は使用しない。したがって、冷却材の損失はない。また、密封装置にはベント装置はない。

C.4 特別の試験条件

特別の試験条件において密封装置の構造強度が維持され機能が損なわれないことはA.6により確認している。また、B.5.6に示すように特別の試験条件における三次蓋－胴内圧力は、0.330 MPaである。

C.4.1 核分裂生成ガス

特別の試験条件において、安全側に全燃料棒の密封性が失われたと仮定し、燃料が有する放射性物質が(ρ)-第C.5表に示す割合及び量で三次蓋－胴内雰囲気中に放出されると仮定する。

(ρ)-第C.5表 放射性物質の放出率

| 主要核種 | 収納放射能量 (TBq) | 放出率 (%) | A ₂ 値 ^(注1) (TBq) | 放出放射能量 (A ₂ 値比) | 放射性物質濃度 ^(注2) (A ₂ 値比/ref cm ³) |
|------------------|--------------|------------------|--|----------------------------|--|
| ³ H | | 10 ¹¹ | 40 | | 2.96 × 10 ⁻⁸ |
| ⁸⁵ Kr | | | 100 | | 1.75 × 10 ⁻⁷ |
| 合計 | | | — | | 2.04 × 10 ⁻⁷ |

(注1) ⁸⁵Kr については A₂ 値の 10 倍である。

(注2) 三次蓋－胴内ガス体積は ref cm³ である。

C.4.2 放射性物質の漏えい

1. 特別の試験条件におけるガス漏えい率

特別の試験条件におけるガス漏えい率は、(1)～(6)式に特別の試験条件下の圧力、温度条件、ガス物性値及び漏えい孔寸法を代入して求められる。

特別の試験条件におけるガス漏えい率を(ρ)-第C.6表に示す。

(p)-第 C. 6 表 特別の試験条件におけるガス漏えい率

| 項目 ^(注1) | 部位 | 密封境界 | |
|--|----|--|--|
| | | 三次蓋 | リリースバルブ カバープレート |
| $P_{u,2}$: 上流側圧力 (MPa) | | 0.330 | |
| $P_{d,2}$: 下流側圧力 (MPa) | | 0.097 | |
| T_2 : 流体の温度 (K) | | 468.15 ^(注2) | |
| a_2 : 漏えい孔長 (cm) | | <input type="text"/> ^(注3) | <input type="text"/> ^(注3) |
| D_2 : 漏えい孔径 (cm) | | <input type="text"/> | |
| $L_{u,2}$: 特別の試験条件におけるガス漏えい率 (cm^3/s at $P_{u,2}$, T_2) | | 8.96×10^{-5} | 9.50×10^{-5} |
| $L_{s,2}$: 特別の試験条件におけるガス漏えい率 (cm^3/s at 0.101 MPa, 25 °C) | | 1.87×10^{-4} ($1.13 \times 10^2 \text{ cm}^3/\text{week}$) | 1.98×10^{-4} ($1.20 \times 10^2 \text{ cm}^3/\text{week}$) |

(注1)各項目の添え字の2は、特別の試験条件 (i=2) を示す。

(注2)三次蓋ガスケット部温度

(注3)Oリングの断面直径を採用

2. 特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、(p)-第 C. 5 表に示す密封装置内にガス状で存在する核種の放射性物質濃度と前項で求めた特別の試験条件におけるガス漏えい率 ($L_{s,2}$) を乗じて求められる。

なお、ここでは保守的に漏えい率の大きいリリースバルブカバープレートにおけるガス漏えい率を用いて評価する。

特別の試験条件における放射性物質濃度を用いて求めたガス中の放射性物質の漏えい率、基準値 A_2 値/week 及び漏えい率と基準値との比率を (p)-第 C. 7 表に示す。密封装置からの放射性物質の1週間当りの漏えい量と各核種の基準値 A_2 値/week との比率の合計は1よりも小さい。

(p)-第 C. 7 表 特別の試験条件におけるガス中の放射性物質の漏えい率

| 核種 | 放射性物質漏えい率 (Bq/week) | 基準値 : A_2 値/week (Bq/week) | 比率 |
|------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| ^3H | 1.42×10^8 | 4×10^{13} | 3.55×10^{-6} |
| ^{85}Kr | 2.09×10^9 | 1×10^{14} | 2.09×10^{-5} |
| | | 合計 | 2.45×10^{-5} |

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、輸送容器の密封性能は規則及び告示に定められる BM 型輸送物に係る技術上の基準に適合する。

1. 密封装置

輸送容器の主な密封装置は、胴、三次蓋及びリリーフバルブカバープレートで構成されている。この密封装置は、一般及び特別の試験条件に対して十分な強度を有し、また、ガスケットの密封機能が損なわれることはない。

2. 一般の試験条件

(1) 放射性物質の漏えい

輸送物は一般の試験条件では負圧を維持するため、放射性物質の環境への漏えいはないが、三次蓋－胴内圧力が大気圧上限値まで上昇し、その後大気圧下限値の環境下に置かれたとしても、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最大 9.68×10^{-5} であり、放射性物質の漏えい率は基準値 A_2 値 $\times 10^{-6}/h$ を満足する。

(2) 密封装置の加圧

密封装置の加圧は、主に密封装置の内部ガスの温度上昇による。A.5 に示したようにこの加圧により密封機能が損なわれるような変形は生じない。

3. 特別の試験条件

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最大 2.45×10^{-5} であり、放射性物質の漏えい率は基準値 A_2 値/week を満足する。

C.6 付属書類

C.6.1 参考文献

- 1) (一社)日本原子力学会, 「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」, (2014).
- 2) American National Standards Institute, Inc., “American National Standard for Radioactive Materials - Leakage Tests on Packages for Shipment”, ANSI N14.5-2014, (2014).
- 3) International Organization for Standardization, “Safe transport of radioactive materials - Leakage testing on packages”, ISO 12807, (1996).
- 4) 自然科学研究機構 国立天文台, 「理科年表(平成28年度版)」, (2015).

(四)章 D 遮 蔽 解 析

D. 遮蔽解析

D.1 概要

本輸送容器の主要なガンマ線遮蔽材は、(イ)-第 C.5 図及び(イ)-第 C.6 図に示すとおり、側部方向には胴及び外筒の炭素鋼であり、軸方向には胴（底部）及び蓋の炭素鋼等である。主要な中性子遮蔽材は、側部方向の胴と外筒間のレジンであり、軸方向の底部及び蓋部のレジンである。また、側部方向の胴及び外筒の炭素鋼、軸方向の胴（底部）及び蓋の炭素鋼等もその役目をする。

線源としては核分裂生成物、アクチノイドによる線源及び構造材の放射化による線源を考えた。線源強度は、ORIGEN2.2UPJ コード¹⁾ 及び放射化計算式により連続照射を仮定して求めた。また、ORIGEN2.2UPJ コードによる線源強度計算で用いるライブラリは、ORIGEN2.2UPJ コード内蔵の PWRU50 及び PWRU のデータを使用した。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下においては、想定される輸送容器及び収納物の状態を考慮して線量当量率を評価した。

線量当量率の計算には、DOT3.5 コード²⁾ を用いた。また、線量当量率評価で用いる断面積ライブラリは、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリ MATXSLIB-J33（以下、「MATXSLIB-J33」という。）のデータ³⁾ を使用した。

これらの計算から得られた線量当量率は、規則及び告示で定められた基準を満足する。

D.2 線源仕様

線源強度の計算に用いる燃焼度、照射日数、初期濃縮度及び冷却日数を(ロ)-第 D.1 表に示す。

線源強度の計算は(ロ)-第 D.1 表に示した平均比出力で連続照射したものとして行った。

なお、バーナブルポイズン集合体は中央部 12 体に挿入されているものとした。

(ロ)-第 D.2 表に燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度を示す。(ロ)-第 D.2 表より、燃料有効部ガンマ線源強度及び燃料有効部中性子源強度が高い、17×17 燃料 48,000MWd/t 型（A型）及び 15×15 燃料 48,000MWd/t 型（A型）をそれぞれ収納した場合を対象として遮蔽解析を実施した。

(ロ)-第D.1表 収納物の線源計算条件(1/2)

| 燃料集合体の種類と型式 | | 中央部 | | | | 外周部 | | | |
|----------------------|----------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| | | 17×17 燃料 | | | | | | | |
| 条件 | 燃焼度 (MWd/t) | 48,000MWd/t型 | | 39,000MWd/t型 | | 48,000MWd/t型 | | 39,000MWd/t型 | |
| | | A型 | B型 | A型 | B型 | A型 | B型 | A型 | B型 |
| | | 48,000 | | 39,000 | | 44,000 | | 39,000 | |
| 照射日数 (日) | 使用済燃料集合体 | | | | | | | | |
| | バーナブルポイズン集合体 | | | | | | | | |
| 平均比出力 (注1) (MW/t) | | | | | | | | | |
| 初期濃縮度 (注2) (wt%) | | | | | | | | | |
| 冷却日数 (日) | 使用済燃料集合体 | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 |
| | バーナブルポイズン集合体 | | | | | | | | |
| ウラン重量 (kg/体) | | | | | | | | | |

(注1) 比出力は定格出力に相当する炉平均値を用いた。

(注2) 初期濃縮度は最低濃縮度とした。

(ロ) - 第 D.1 表 収納物の線源計算条件 (2/2)

| 燃料集合体の種類と型式 | | 中央部 | | | | 外周部 | | | |
|-------------|-----------------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| | | 15×15 燃料 | | | | | | | |
| 条件 | 燃焼度 (MWd/t) | 48,000MWd/t 型 | | 39,000MWd/t 型 | | 48,000MWd/t 型 | | 39,000MWd/t 型 | |
| | | A 型 | B 型 | A 型 | B 型 | A 型 | B 型 | A 型 | B 型 |
| | | 48,000 | | 39,000 | | 44,000 | | 39,000 | |
| 照射日数 (日) | 使用済燃料集合体 | | | | | | | | |
| | バーナブルポイズン集合体 | | | | | | | | |
| | 平均比出力 (注 1) (MW/t) | | | | | | | | |
| | 初期濃縮度 (注 2) (wt %) | | | | | | | | |
| 冷却日数 (日) | 使用済燃料集合体 | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 |
| | バーナブルポイズン集合体 | | | | | | | | |
| | ウラン重量 (kg/体) | | | | | | | | |

(注 1) 比出力は定格出力に相当する炉平均値を用いた。

(注 2) 初期濃縮度は最低濃縮度とした。

(ロ)-第D.2表 燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度(1/2)

(輸送物1基当たり)

| 放射線種類 | 燃料集合体の種類と型式 | | 17×17 燃料 | |
|---|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 種類と型式 | | 48,000MWd/t 型 ^(注1) | 39,000MWd/t 型 ^(注2) |
| | A型 | B型 | A型 | B型 |
| 燃料有効部ガンマ線 (photons/s) | 1.073×10^{17} | 1.007×10^{17} | 9.067×10^{16} | 8.518×10^{16} |
| 構造材放射化ガンマ線 ^(注3) (⁶⁰ Co TBq) | 5.922×10^2 | 6.024×10^2 | 5.801×10^2 | 5.736×10^2 |
| 燃料有効部中性子 ^(注4) (n/s) | 1.205×10^{10} | 1.120×10^{10} | 8.408×10^9 | 7.811×10^9 |

(注1) 中央部12体の燃焼度を48,000MWd/t、外周部12体の燃焼度を44,000MWd/tとした輸送物1基当たりの線源強度である。

(注2) 中央部12体及び外周部12体の燃焼度を全て39,000MWd/tとした輸送物1基当たりの線源強度である。

(注3) バーナブルポイズン集合体の放射化線源を考慮した値である。

(注4) 記載値は実効増倍率 k_{eff} を考慮した全中性子源強度とした。

(D)-第D.2表 燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度(2/2)

(輸送物1基当たり)

| 放射線種類 | 燃料集合体の種類と型式 | | 15×15燃料 | |
|---|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | | 48,000MWd/t型 ^(注1) | 39,000MWd/t型 ^(注2) |
| | A型 | B型 | A型 | B型 |
| 燃料有効部ガンマ線 (photons/s) | 1.062×10^{17} | 9.967×10^{16} | 9.018×10^{16} | 8.474×10^{16} |
| 構造材放射化ガンマ線 ^(注3) (⁶⁰ Co TBq) | 4.438×10^2 | 4.984×10^2 | 4.919×10^2 | 4.880×10^2 |
| 燃料有効部中性子 ^(注4) (n/s) | 1.266×10^{10} | 1.175×10^{10} | 8.380×10^9 | 7.787×10^9 |

(注1) 中央部12体の燃焼度を48,000MWd/t、外周部12体の燃焼度を44,000MWd/tとした輸送物1基当たりの線源強度である。

(注2) 中央部12体及び外周部12体の燃焼度を全て39,000MWd/tとした輸送物1基当たりの線源強度である。

(注3) バーナブルポイズン集合体の放射化線源を考慮した値である。

(注4) 記載値は実効増倍率 k_{eff} を考慮した全中性子源強度とした。

D. 2. 1 ガンマ線源

1. 燃料有効部のガンマ線源

燃料有効部のガンマ線源は、核分裂生成物及びアクチノイドによるものである。ガンマ線源強度の計算は、ORIGEN2. 2UPJ コードを用いて行った。計算においては、付属書類 D. 6. 1 に示す軸方向の燃焼度分布を考慮した。

燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度を (□)-第 D. 3 表に示す。

(ロ)-第D.3表 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度(1/2)

(17×17燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

| エネルギー 群数 | 平均エネルギー (MeV) | 燃料有効部 (photons/s) | | |
|-------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 中央部 | 外周部 | 合計 |
| 1 | 0.01 | 1.433×10^{16} | 1.337×10^{16} | 2.770×10^{16} |
| 2 | 0.025 | 2.888×10^{15} | 2.710×10^{15} | 5.599×10^{15} |
| 3 | 0.0375 | 3.729×10^{15} | 3.445×10^{15} | 7.174×10^{15} |
| 4 | 0.0575 | 2.903×10^{15} | 2.725×10^{15} | 5.628×10^{15} |
| 5 | 0.085 | 1.636×10^{15} | 1.528×10^{15} | 3.165×10^{15} |
| 6 | 0.125 | 1.581×10^{15} | 1.445×10^{15} | 3.027×10^{15} |
| 7 | 0.225 | 1.363×10^{15} | 1.275×10^{15} | 2.637×10^{15} |
| 8 | 0.375 | 5.802×10^{14} | 5.452×10^{14} | 1.125×10^{15} |
| 9 | 0.575 | 2.481×10^{16} | 2.278×10^{16} | 4.759×10^{16} |
| 10 | 0.85 | 1.142×10^{15} | 1.003×10^{15} | 2.145×10^{15} |
| 11 | 1.25 | 7.743×10^{14} | 6.784×10^{14} | 1.453×10^{15} |
| 12 | 1.75 | 2.373×10^{13} | 2.089×10^{13} | 4.463×10^{13} |
| 13 | 2.25 | 1.395×10^{10} | 1.289×10^{10} | 2.684×10^{10} |
| 14 | 2.75 | 6.962×10^9 | 5.818×10^9 | 1.278×10^{10} |
| 15 | 3.5 | 6.777×10^8 | 5.046×10^8 | 1.182×10^9 |
| 16 | 5.0 | 2.157×10^8 | 1.477×10^8 | 3.634×10^8 |
| 17 | 7.0 | 2.487×10^7 | 1.703×10^7 | 4.190×10^7 |
| 18 | 9.5 | 2.857×10^6 | 1.957×10^6 | 4.814×10^6 |
| 合計 | | 5.576×10^{16} | 5.152×10^{16} | 1.073×10^{17} |

(e)-第D.3表 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度(2/2)

(15×15燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

| エネルギー 群数 | 平均エネルギー (MeV) | 燃料有効部 (photons/s) | | |
|-------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 中央部 | 外周部 | 合計 |
| 1 | 0.01 | 1.414×10^{16} | 1.320×10^{16} | 2.734×10^{16} |
| 2 | 0.025 | 2.843×10^{15} | 2.670×10^{15} | 5.512×10^{15} |
| 3 | 0.0375 | 3.689×10^{15} | 3.411×10^{15} | 7.100×10^{15} |
| 4 | 0.0575 | 2.866×10^{16} | 2.692×10^{15} | 5.558×10^{15} |
| 5 | 0.085 | 1.612×10^{15} | 1.507×10^{15} | 3.119×10^{15} |
| 6 | 0.125 | 1.566×10^{15} | 1.432×10^{15} | 2.998×10^{15} |
| 7 | 0.225 | 1.342×10^{15} | 1.256×10^{15} | 2.598×10^{15} |
| 8 | 0.375 | 5.700×10^{14} | 5.360×10^{14} | 1.106×10^{15} |
| 9 | 0.575 | 2.462×10^{16} | 2.262×10^{16} | 4.724×10^{16} |
| 10 | 0.85 | 1.128×10^{15} | 9.922×10^{14} | 2.120×10^{15} |
| 11 | 1.25 | 7.723×10^{14} | 6.781×10^{14} | 1.450×10^{15} |
| 12 | 1.75 | 2.368×10^{13} | 2.088×10^{13} | 4.456×10^{13} |
| 13 | 2.25 | 1.295×10^{10} | 1.198×10^{10} | 2.493×10^{10} |
| 14 | 2.75 | 6.936×10^9 | 5.801×10^9 | 1.274×10^{10} |
| 15 | 3.5 | 6.904×10^8 | 5.128×10^8 | 1.203×10^9 |
| 16 | 5.0 | 2.261×10^8 | 1.555×10^8 | 3.816×10^8 |
| 17 | 7.0 | 2.607×10^7 | 1.793×10^7 | 4.400×10^7 |
| 18 | 9.5 | 2.995×10^6 | 2.059×10^6 | 5.054×10^6 |
| 合計 | | 5.517×10^{15} | 5.101×10^{16} | 1.062×10^{17} |

2. 放射化線源

燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源のうち、容器外部の線量当量率に寄与するものは、構造材中に含まれる ^{59}Co の (n, γ) 反応により生じる ^{60}Co が大部分である。 ^{60}Co の放射化線源強度は次式を用いて求めた。

$$A = N_0 \sigma \phi \{1 - \exp(-\lambda T_1)\} \times \exp(-\lambda T_2)$$

ここで、

A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq)

N_0 : ターゲット核種 (^{59}Co) の個数 (atoms)

σ : 2200 m/s の中性子による ^{59}Co の (n, γ) 反応断面積 (cm^2)
(37.2 barn = $37.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$) ⁴⁾

ϕ : 炉内照射熱中性子束 ($\text{n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$) ^(注)

λ : ^{60}Co の崩壊定数 ($3.6001 \times 10^{-4}/\text{日}$)

T_1 : 照射日数 (日)

T_2 : 冷却日数 (日)

線源強度の計算にあたって、燃料集合体構造材のガンマ線源強度は、上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部プレナム部及び下部ノズル部の5領域に分けて求める。

^{60}Co の放射化線源強度計算結果を (v)-第D.4表 に示す。

なお、 ^{60}Co は1崩壊で1.17MeVと1.33MeVのガンマ線を1個ずつ放出するものとした。

(注) 炉設計コードによる炉心計算で求められた軸方向炉内中性子束分布の典型例により放射化評価部位での熱中性子束を求めた。

(ロ)-第 D. 4 表 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度(1/2)

(17×17 燃料 A 型収納時、輸送物 1 基当たり)

| モデル化領域 | 燃料集合体構造材の線源強度 (^{60}Co TBq) | | |
|---------|--|---------------------|--|
| | 中央部 (注) | 外周部 | 合計 |
| 上部ノズル部 | 9.676×10^0 (5.339×10^0) | 4.046×10^0 | 1.372×10^1 (5.339×10^0) |
| 上部プレナム部 | 4.126×10^1 (6.583×10^0) | 3.235×10^1 | 7.361×10^1 (6.583×10^0) |
| 燃料有効部 | 3.356×10^2 (1.939×10^2) | 1.322×10^2 | 4.678×10^2 (1.939×10^2) |
| 下部プレナム部 | 6.278×10^0 | 5.857×10^0 | 1.214×10^1 |
| 下部ノズル部 | 1.288×10^1 | 1.201×10^1 | 2.489×10^1 |

(注)燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度の合計値 (() 内はバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度)

(ロ)-第 D. 4 表 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度(2/2)

(15×15 燃料 A 型収納時、輸送物 1 基当たり)

| モデル化領域 | 燃料集合体構造材の線源強度 (^{60}Co TBq) | | |
|---------|--|---------------------|--|
| | 中央部 (注) | 外周部 | 合計 |
| 上部ノズル部 | 7.199×10^0 (4.265×10^0) | 2.742×10^0 | 9.941×10^0 (4.265×10^0) |
| 上部プレナム部 | 2.995×10^1 (5.398×10^0) | 2.295×10^1 | 5.290×10^1 (5.398×10^0) |
| 燃料有効部 | 2.639×10^2 (1.617×10^2) | 9.552×10^1 | 3.594×10^2 (1.617×10^2) |
| 下部プレナム部 | 2.842×10^0 | 2.657×10^0 | 5.499×10^0 |
| 下部ノズル部 | 8.272×10^0 | 7.732×10^0 | 1.600×10^1 |

(注)燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度の合計値 (() 内はバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度)

D.2.2 中性子源

燃料中には中性子源となるアクチノイドが生成される。これらの核種から中性子が発生する反応は、自発核分裂及び (α, n) 反応である。一次中性子源強度の計算は、ORIGEN2.2UPJコードを用いて行った。計算においては、付属書類D.6.1に示す軸方向の燃焼度分布を考慮した。

体系の増倍効果を考慮した全中性子源強度 (N_s) は次式で求めた。

$$N_s = N_o / (1 - k_{eff})$$

ここで、

N_o : 輸送物 1 基当りの一次中性子源強度

k_{eff} : 使用済燃料を収納した場合の輸送物の実効増倍率

ここでは乾燥状態において使用済燃料を収納した場合の輸送物の k_{eff} を考慮した。

解析に用いた中性子源強度を(□)-第D.5表に示す。

上記の中性子源強度のうち大部分は、 ^{244}Cm の自発核分裂線源及び増倍による ^{235}U 及び ^{239}Pu の核分裂線源であり、 (α, n) 反応による線源はわずかである。

そこで、計算に用いる線源のエネルギースペクトルは、線源強度に支配的な核分裂線源のうち最もスペクトルが硬い ^{239}Pu の核分裂スペクトルとした。計算に使用する ^{239}Pu の核分裂スペクトルを(□)-第D.6表に示す。

(a)-第D.5表 中性子源強度(1/2)

(17×17 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

| | | 燃料有効部 | | |
|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| | | 中央部 | 外周部 | 合計 |
| 一次中性子源強度 No (n/s) | (α, n) 反応 | 9.369×10^7 | 7.472×10^7 | 1.684×10^8 |
| | 自発核分裂 | 4.909×10^9 | 3.360×10^9 | 8.269×10^9 |
| | 合計 | 5.003×10^9 | 3.435×10^9 | 8.437×10^9 |
| 輸送物の実効増倍率 keff (注) | | 0.30 | | |
| 全中性子源強度 Ns (n/s) | | 7.147×10^9 | 4.907×10^9 | 1.205×10^{10} |

(注)ORIGEN2.2UPJコードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及びポイズンとなる核分裂生成物の生成量を求め、これらを考慮した核種組成を用いて臨界解析に示す手法と同一手法(KENO-VIコード)により評価して得られた値である。

(a)-第D.5表 中性子源強度(2/2)

(15×15 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

| | | 燃料有効部 | | |
|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| | | 中央部 | 外周部 | 合計 |
| 一次中性子源強度 No (n/s) | (α, n) 反応 | 9.669×10^7 | 7.716×10^7 | 1.739×10^8 |
| | 自発核分裂 | 5.148×10^9 | 3.537×10^9 | 8.685×10^9 |
| | 合計 | 5.245×10^9 | 3.614×10^9 | 8.859×10^9 |
| 輸送物の実効増倍率 keff (注) | | 0.30 | | |
| 全中性子源強度 Ns (n/s) | | 7.492×10^9 | 5.163×10^9 | 1.266×10^{10} |

(注)ORIGEN2.2UPJコードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及びポイズンとなる核分裂生成物の生成量を求め、これらを考慮した核種組成を用いて臨界解析に示す手法と同一手法(KENO-VIコード)により評価して得られた値である。

(□)-第D.6表 中性子源スペクトル (1/5)

| エネルギー群数 | 上限エネルギー (eV) | スペクトル (注) |
|---------|---------------------|------------------------|
| 1 | 1.964×10^7 | 0.0 |
| 2 | 1.733×10^7 | 7.107×10^{-6} |
| 3 | 1.691×10^7 | 7.117×10^{-6} |
| 4 | 1.649×10^7 | 2.368×10^{-5} |
| 5 | 1.568×10^7 | 3.835×10^{-5} |
| 6 | 1.492×10^7 | 2.686×10^{-5} |
| 7 | 1.455×10^7 | 3.351×10^{-5} |
| 8 | 1.419×10^7 | 4.165×10^{-5} |
| 9 | 1.384×10^7 | 5.111×10^{-5} |
| 10 | 1.350×10^7 | 1.392×10^{-4} |
| 11 | 1.284×10^7 | 1.018×10^{-4} |
| 12 | 1.252×10^7 | 1.017×10^{-4} |
| 13 | 1.221×10^7 | 2.917×10^{-4} |
| 14 | 1.162×10^7 | 4.082×10^{-4} |
| 15 | 1.105×10^7 | 5.613×10^{-4} |
| 16 | 1.051×10^7 | 7.571×10^{-4} |
| 17 | 1.000×10^7 | 1.002×10^{-3} |
| 18 | 9.512×10^6 | 1.303×10^{-3} |
| 19 | 9.048×10^6 | 1.668×10^{-3} |
| 20 | 8.607×10^6 | 2.101×10^{-3} |
| 21 | 8.187×10^6 | 2.608×10^{-3} |
| 22 | 7.788×10^6 | 3.191×10^{-3} |
| 23 | 7.408×10^6 | 3.853×10^{-3} |
| 24 | 7.047×10^6 | 4.592×10^{-3} |
| 25 | 6.703×10^6 | 1.708×10^{-3} |
| 26 | 6.592×10^6 | 3.698×10^{-3} |
| 27 | 6.376×10^6 | 6.293×10^{-3} |
| 28 | 6.065×10^6 | 7.243×10^{-3} |
| 29 | 5.770×10^6 | 8.251×10^{-3} |
| 30 | 5.488×10^6 | 9.302×10^{-3} |
| 31 | 5.221×10^6 | 1.039×10^{-2} |
| 32 | 4.966×10^6 | 1.151×10^{-2} |
| 33 | 4.724×10^6 | 1.263×10^{-2} |
| 34 | 4.493×10^6 | 2.859×10^{-2} |
| 35 | 4.066×10^6 | 3.286×10^{-2} |

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(ロ)-第 D.6 表 中性子源スペクトル (2/5)

| エネルギー群数 | 上限エネルギー (eV) | スペクトル (注) |
|---------|---------------------|------------------------|
| 36 | 3.679×10^6 | 3.674×10^{-2} |
| 37 | 3.329×10^6 | 1.965×10^{-2} |
| 38 | 3.166×10^6 | 2.042×10^{-2} |
| 39 | 3.012×10^6 | 2.108×10^{-2} |
| 40 | 2.865×10^6 | 2.165×10^{-2} |
| 41 | 2.725×10^6 | 2.214×10^{-2} |
| 42 | 2.592×10^6 | 2.252×10^{-2} |
| 43 | 2.466×10^6 | 1.517×10^{-2} |
| 44 | 2.385×10^6 | 3.833×10^{-3} |
| 45 | 2.365×10^6 | 3.812×10^{-3} |
| 46 | 2.346×10^6 | 7.657×10^{-3} |
| 47 | 2.307×10^6 | 1.535×10^{-2} |
| 48 | 2.231×10^6 | 2.310×10^{-2} |
| 49 | 2.123×10^6 | 2.312×10^{-2} |
| 50 | 2.019×10^6 | 2.305×10^{-2} |
| 51 | 1.921×10^6 | 2.290×10^{-2} |
| 52 | 1.827×10^6 | 2.267×10^{-2} |
| 53 | 1.738×10^6 | 2.236×10^{-2} |
| 54 | 1.653×10^6 | 2.200×10^{-2} |
| 55 | 1.572×10^6 | 2.160×10^{-2} |
| 56 | 1.496×10^6 | 2.115×10^{-2} |
| 57 | 1.423×10^6 | 2.059×10^{-2} |
| 58 | 1.353×10^6 | 2.010×10^{-2} |
| 59 | 1.287×10^6 | 1.947×10^{-2} |
| 60 | 1.225×10^6 | 1.892×10^{-2} |
| 61 | 1.165×10^6 | 1.827×10^{-2} |
| 62 | 1.108×10^6 | 3.460×10^{-2} |
| 63 | 1.003×10^6 | 1.367×10^{-2} |
| 64 | 9.616×10^5 | 1.834×10^{-2} |
| 65 | 9.072×10^5 | 1.502×10^{-2} |
| 66 | 8.629×10^5 | 1.437×10^{-2} |
| 67 | 8.209×10^5 | 1.372×10^{-2} |
| 68 | 7.808×10^5 | 1.309×10^{-2} |
| 69 | 7.427×10^5 | 1.247×10^{-2} |
| 70 | 7.065×10^5 | 1.186×10^{-2} |

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(D)-第D.6表 中性子源スペクトル (3/5)

| エネルギー群数 | 上限エネルギー (eV) | スペクトル (注) |
|---------|---------------------|------------------------|
| 71 | 6.721×10^5 | 1.127×10^{-2} |
| 72 | 6.393×10^5 | 1.070×10^{-2} |
| 73 | 6.081×10^5 | 1.014×10^{-2} |
| 74 | 5.784×10^5 | 9.605×10^{-3} |
| 75 | 5.502×10^5 | 9.086×10^{-3} |
| 76 | 5.234×10^5 | 8.591×10^{-3} |
| 77 | 4.979×10^5 | 1.576×10^{-2} |
| 78 | 4.505×10^5 | 1.401×10^{-2} |
| 79 | 4.076×10^5 | 6.397×10^{-3} |
| 80 | 3.877×10^5 | 6.017×10^{-3} |
| 81 | 3.688×10^5 | 1.097×10^{-2} |
| 82 | 3.337×10^5 | 9.670×10^{-3} |
| 83 | 3.020×10^5 | 1.040×10^{-3} |
| 84 | 2.985×10^5 | 3.887×10^{-4} |
| 85 | 2.972×10^5 | 7.998×10^{-4} |
| 86 | 2.945×10^5 | 2.159×10^{-3} |
| 87 | 2.873×10^5 | 4.115×10^{-3} |
| 88 | 2.732×10^5 | 7.463×10^{-3} |
| 89 | 2.472×10^5 | 3.378×10^{-3} |
| 90 | 2.352×10^5 | 3.160×10^{-3} |
| 91 | 2.237×10^5 | 2.955×10^{-3} |
| 92 | 2.128×10^5 | 2.763×10^{-3} |
| 93 | 2.024×10^5 | 2.581×10^{-3} |
| 94 | 1.926×10^5 | 2.411×10^{-3} |
| 95 | 1.832×10^5 | 2.254×10^{-3} |
| 96 | 1.742×10^5 | 2.100×10^{-3} |
| 97 | 1.657×10^5 | 1.964×10^{-3} |
| 98 | 1.576×10^5 | 1.828×10^{-3} |
| 99 | 1.500×10^5 | 1.709×10^{-3} |
| 100 | 1.426×10^5 | 1.590×10^{-3} |
| 101 | 1.357×10^5 | 1.485×10^{-3} |
| 102 | 1.291×10^5 | 1.384×10^{-3} |
| 103 | 1.228×10^5 | 1.287×10^{-3} |
| 104 | 1.168×10^5 | 1.202×10^{-3} |
| 105 | 1.111×10^5 | 2.653×10^{-3} |

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(ロ)-第D.6表 中性子源スペクトル (4/5)

| エネルギー群数 | 上限エネルギー (eV) | スペクトル (注) |
|---------|---------------------|------------------------|
| 106 | 9.804×10^4 | 2.219×10^{-3} |
| 107 | 8.652×10^4 | 7.446×10^{-4} |
| 108 | 8.250×10^4 | 5.458×10^{-4} |
| 109 | 7.950×10^4 | 1.324×10^{-3} |
| 110 | 7.200×10^4 | 7.861×10^{-4} |
| 111 | 6.738×10^4 | 1.744×10^{-3} |
| 112 | 5.656×10^4 | 6.216×10^{-4} |
| 113 | 5.248×10^4 | 8.958×10^{-4} |
| 114 | 4.631×10^4 | 7.457×10^{-4} |
| 115 | 4.087×10^4 | 8.384×10^{-4} |
| 116 | 3.431×10^4 | 2.982×10^{-4} |
| 117 | 3.183×10^4 | 3.831×10^{-4} |
| 118 | 2.850×10^4 | 1.659×10^{-4} |
| 119 | 2.700×10^4 | 1.020×10^{-4} |
| 120 | 2.606×10^4 | 1.347×10^{-4} |
| 121 | 2.479×10^4 | 6.373×10^{-5} |
| 122 | 2.418×10^4 | 6.142×10^{-5} |
| 123 | 2.358×10^4 | 1.712×10^{-4} |
| 124 | 2.188×10^4 | 2.461×10^{-4} |
| 125 | 1.931×10^4 | 3.741×10^{-4} |
| 126 | 1.503×10^4 | 2.577×10^{-4} |
| 127 | 1.171×10^4 | 7.100×10^{-5} |
| 128 | 1.060×10^4 | 1.066×10^{-4} |
| 129 | 9.119×10^3 | 1.222×10^{-4} |
| 130 | 7.102×10^3 | 8.411×10^{-5} |
| 131 | 5.531×10^3 | 5.787×10^{-5} |
| 132 | 4.307×10^3 | 2.564×10^{-5} |
| 133 | 3.707×10^3 | 1.416×10^{-5} |
| 134 | 3.355×10^3 | 1.219×10^{-5} |
| 135 | 3.035×10^3 | 1.050×10^{-5} |
| 136 | 2.747×10^3 | 4.685×10^{-6} |
| 137 | 2.613×10^3 | 4.348×10^{-6} |
| 138 | 2.485×10^3 | 7.778×10^{-6} |
| 139 | 2.249×10^3 | 6.696×10^{-6} |
| 140 | 2.035×10^3 | 1.294×10^{-5} |

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(ロ)-第D.6表 中性子源スペクトル (5/5)

| エネルギー群数 | 上限エネルギー (eV) | スペクトル (注) |
|---------|------------------------|-------------------------|
| 141 | 1.585×10^3 | 8.896×10^{-6} |
| 142 | 1.234×10^3 | 6.116×10^{-6} |
| 143 | 9.611×10^2 | 4.204×10^{-6} |
| 144 | 7.485×10^2 | 2.890×10^{-6} |
| 145 | 5.830×10^2 | 1.986×10^{-6} |
| 146 | 4.540×10^2 | 1.365×10^{-6} |
| 147 | 3.536×10^2 | 9.385×10^{-7} |
| 148 | 2.754×10^2 | 6.450×10^{-7} |
| 149 | 2.145×10^2 | 4.433×10^{-7} |
| 150 | 1.670×10^2 | 3.047×10^{-7} |
| 151 | 1.301×10^2 | 2.094×10^{-7} |
| 152 | 1.013×10^2 | 1.439×10^{-7} |
| 153 | 7.889×10^1 | 9.893×10^{-8} |
| 154 | 6.144×10^1 | 6.799×10^{-8} |
| 155 | 4.785×10^1 | 4.673×10^{-8} |
| 156 | 3.727×10^1 | 3.201×10^{-8} |
| 157 | 2.902×10^1 | 2.218×10^{-8} |
| 158 | 2.260×10^1 | 1.517×10^{-8} |
| 159 | 1.760×10^1 | 1.043×10^{-8} |
| 160 | 1.371×10^1 | 7.168×10^{-9} |
| 161 | 1.068×10^1 | 4.925×10^{-9} |
| 162 | 8.315×10^0 | 3.385×10^{-9} |
| 163 | 6.476×10^0 | 2.327×10^{-9} |
| 164 | 5.044×10^0 | 1.599×10^{-9} |
| 165 | 3.928×10^0 | 1.099×10^{-9} |
| 166 | 3.059×10^0 | 7.657×10^{-10} |
| 167 | 2.382×10^0 | 5.087×10^{-10} |
| 168 | 1.855×10^0 | 3.568×10^{-10} |
| 169 | 1.445×10^0 | 2.452×10^{-10} |
| 170 | 1.125×10^0 | 1.686×10^{-10} |
| 171 | 8.764×10^{-1} | 1.158×10^{-10} |
| 172 | 6.826×10^{-1} | 7.961×10^{-11} |
| 173 | 5.316×10^{-1} | 5.472×10^{-11} |
| 174 | 4.140×10^{-1} | 1.060×10^{-10} |
| 175 | 1.000×10^{-1} | 1.427×10^{-11} |

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXSLIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

遮蔽解析モデルは二次元 (R-Z) モデルとし、トラニオンのない方向の断面をモデル化した。

各試験条件下におけるモデル化は以下に示す条件を考慮した。

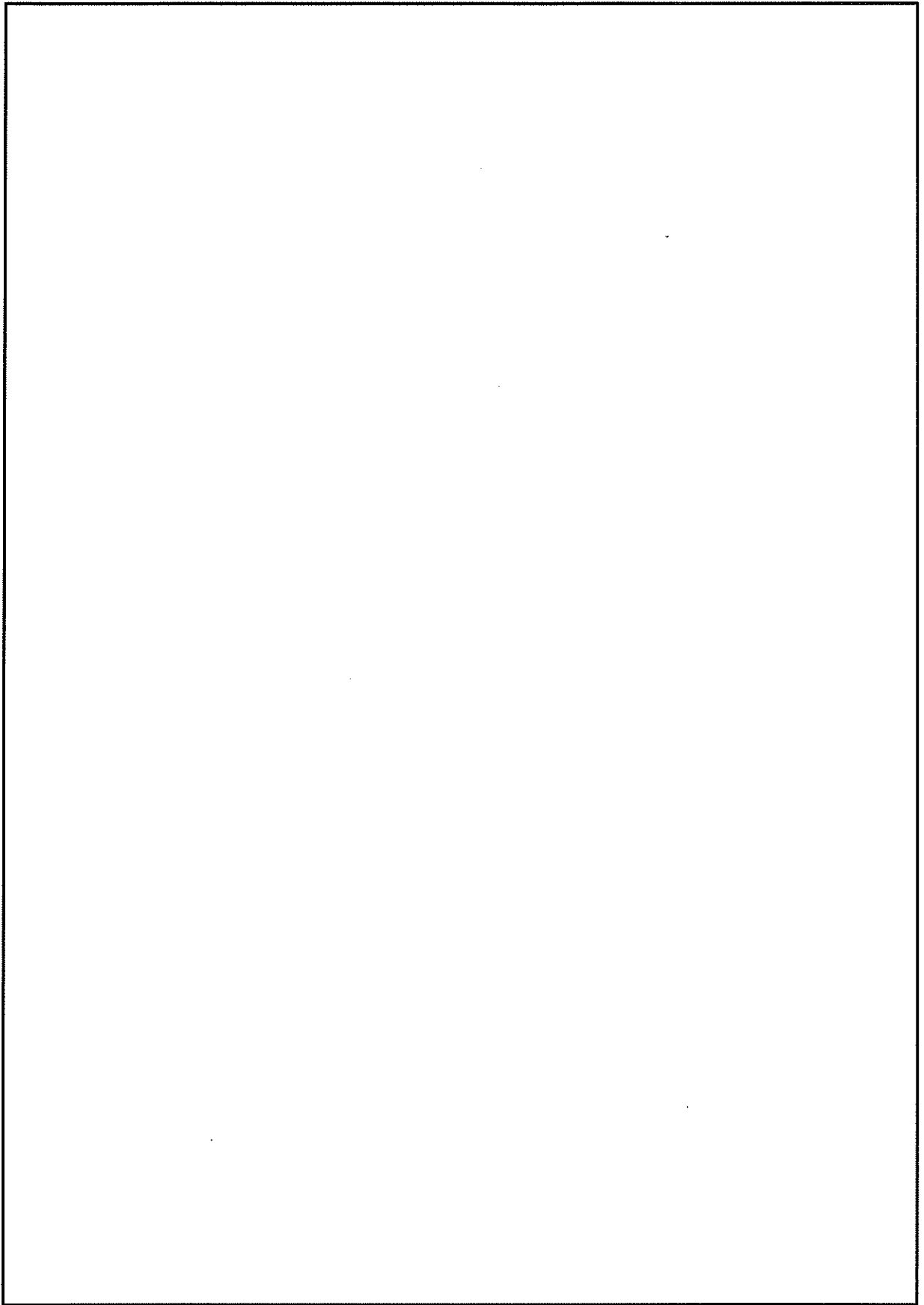
1. 通常輸送時及び一般の試験条件下

通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下において 0.3 m 落下における緩衝体の変形を考慮すること以外は同一とし、以下の条件とした。

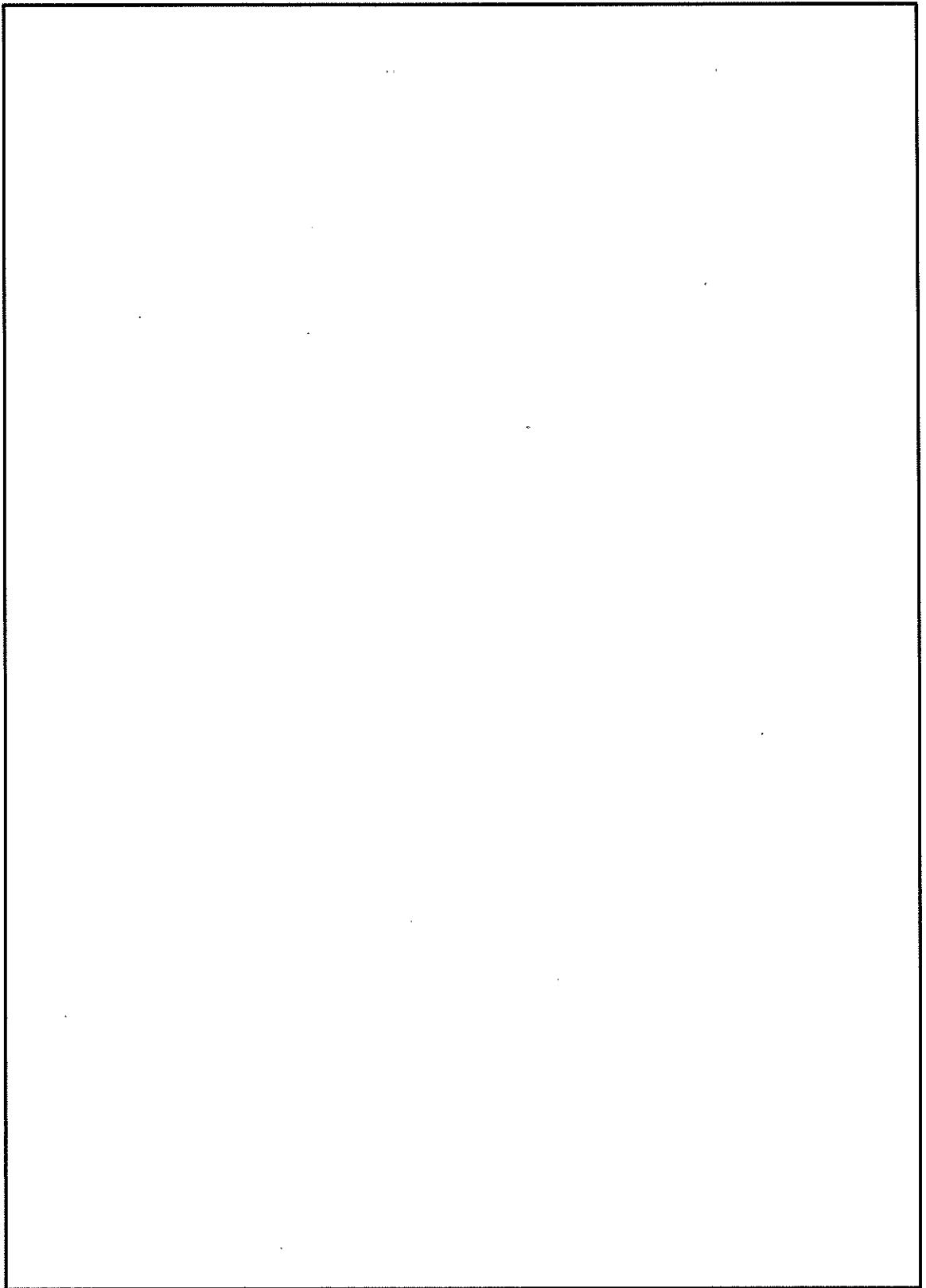
解析モデルを (ロ)-第 D.1 図に示す。

- ① 胴内での燃料集合体の軸方向の移動を考慮し、安全側に蓋方向、底部方向に移動したモデルとした。
- ② 緩衝体は、安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮した。
- ③ 各部寸法はノミナル値とし、寸法公差は密度係数として考慮した。
- ④ 蓋部中性子遮蔽材、側部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材については保守側の仮定として、中性子遮蔽材の 2.5 % の質量減損を考慮した。
- ⑤ 燃料はバスケットと均質化した。ただし、上部ノズル部の上側についてはバスケット上端より露出するため、バスケットと均質化しない。
- ⑥ バスケットの外周部は均質化した。
- ⑦ バーナブルポイズン集合体の物性値は安全側に考慮しないモデルとした。

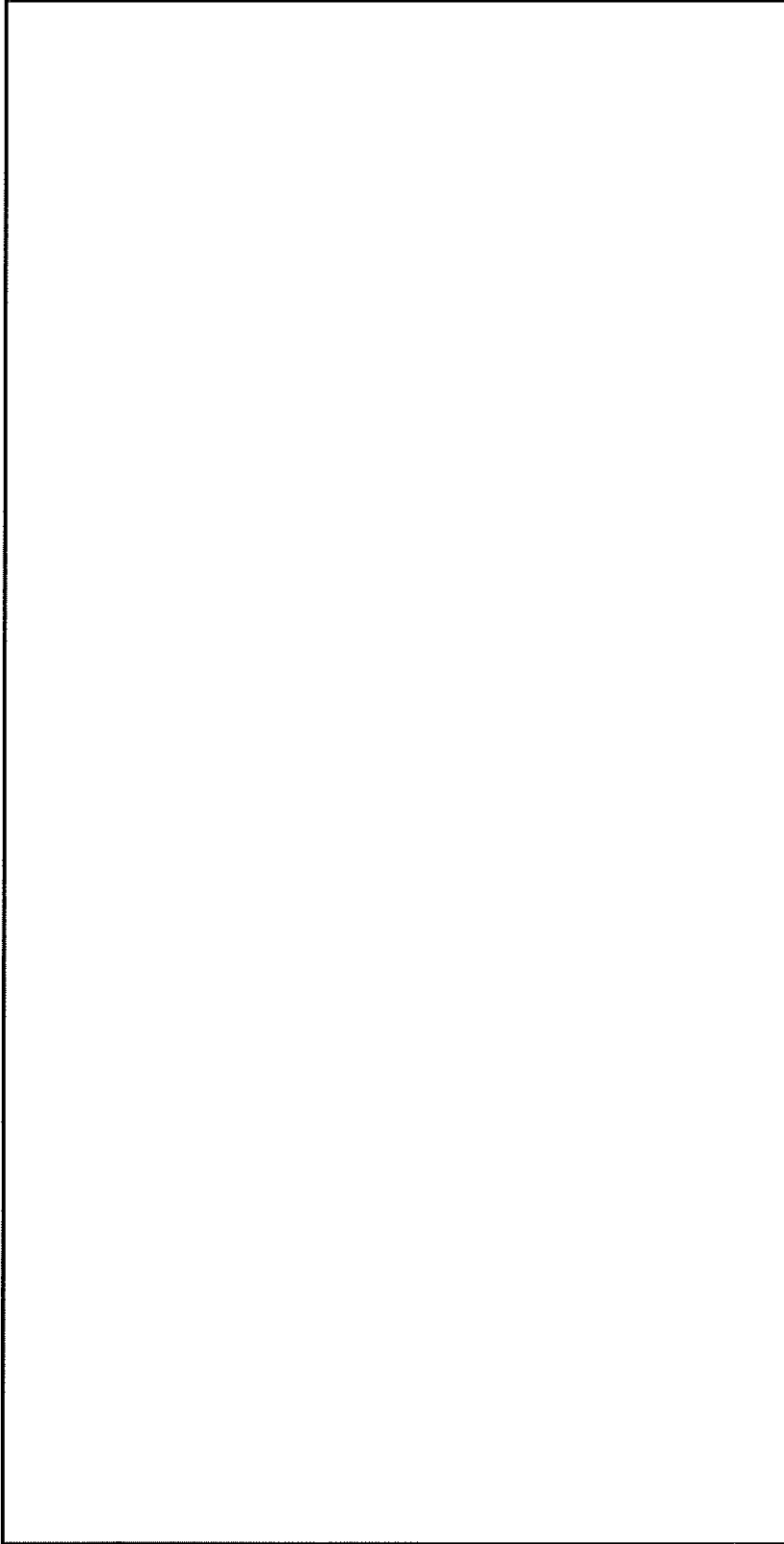
本輸送容器では、上部、下部トラニオンが燃料有効部近傍にあり、中性子ストリーミング箇所となっている。この箇所は上述のモデルに含まれないため、頭部及び底部モデルの当該部近傍の線束を用いて、トラニオン部を模擬したモデルとの線束接続計算により解析を行った。トラニオン部モデルを (ロ)-第 D.2 図に示す。



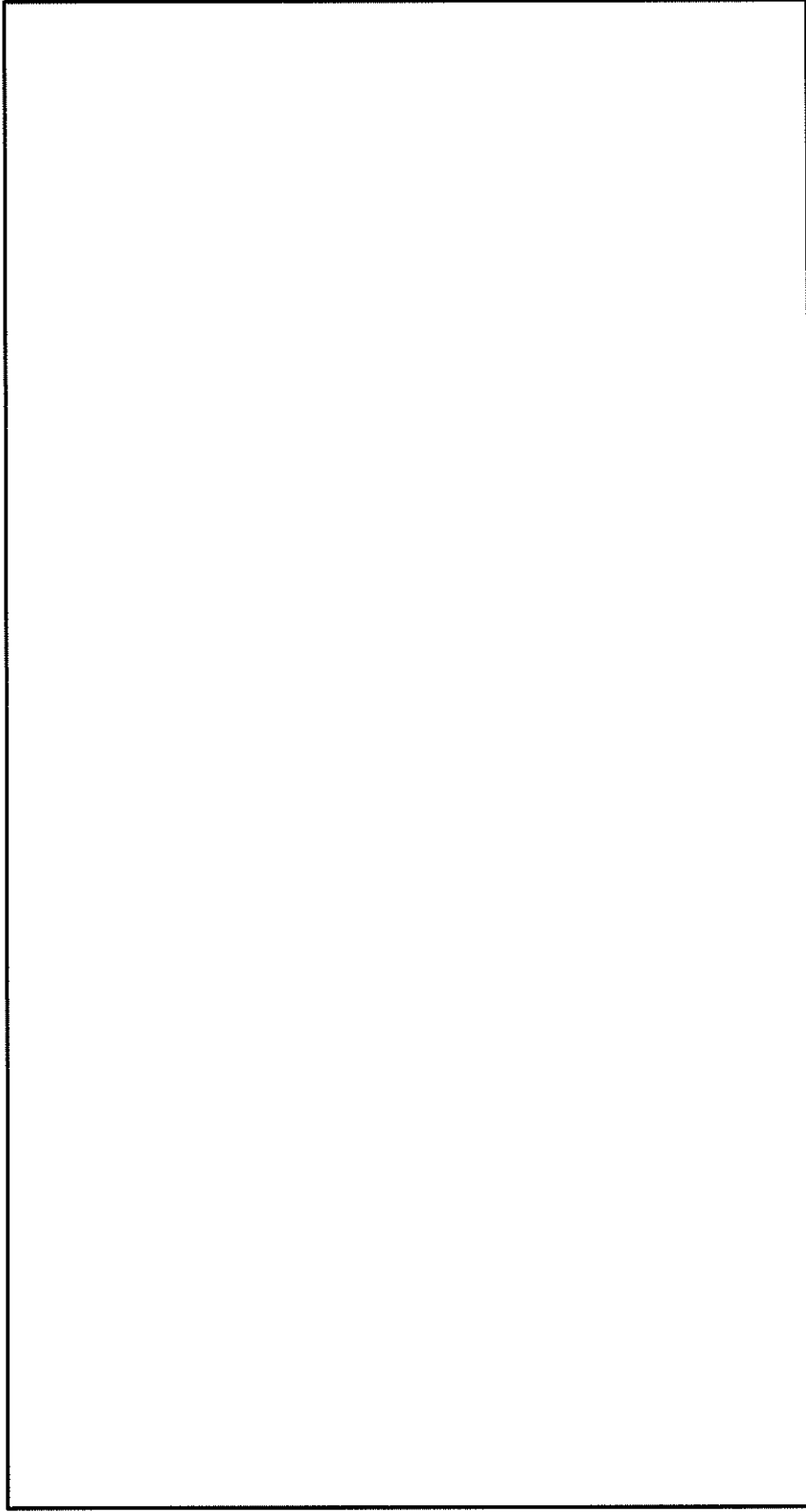
(p)-第 D. 1(a) 図 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル (頭部)



(ロ)-第 D. 1(b) 図 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル (底部)



(p)-第 D. 2(a) 図 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル (上部トラニオン部)

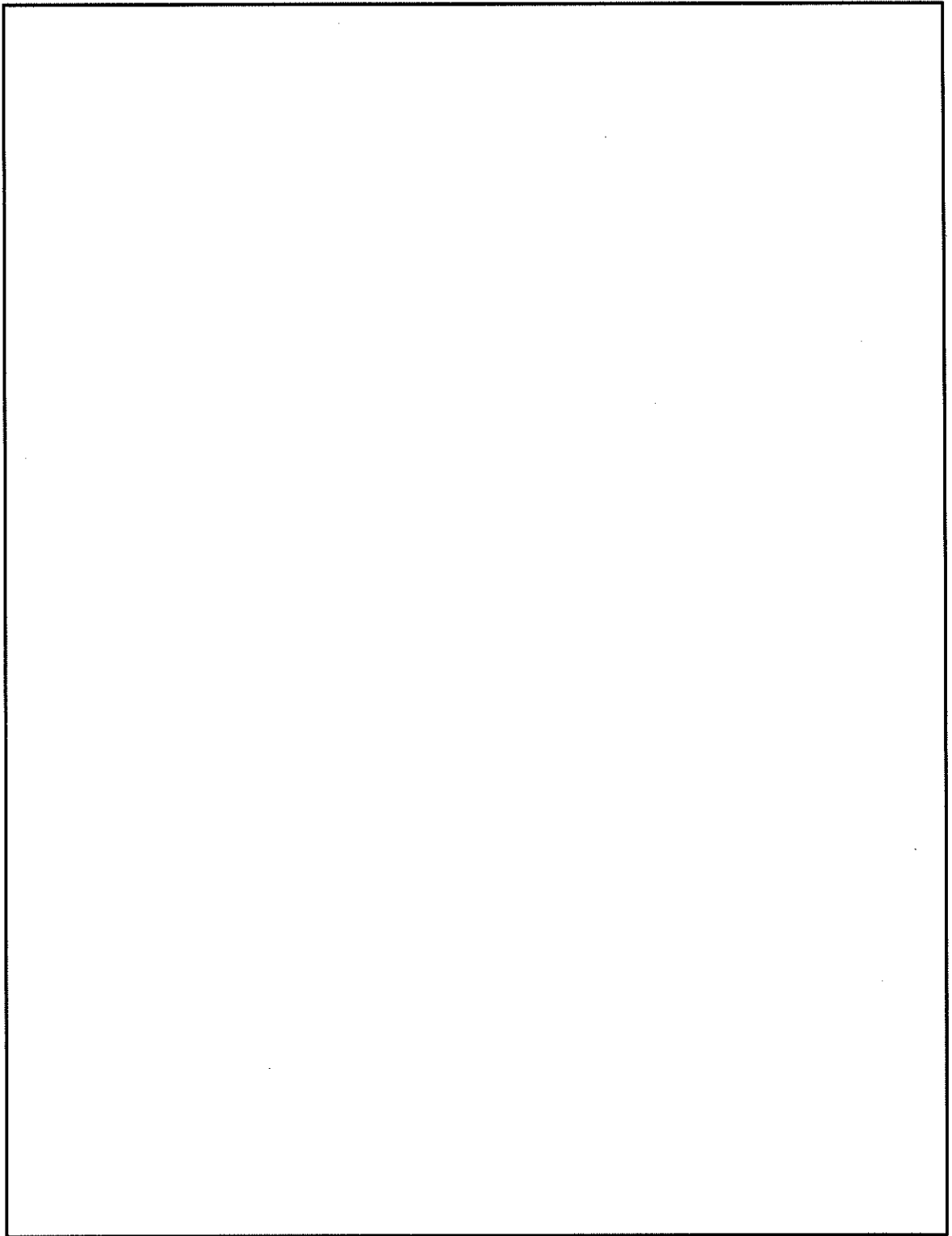


(ロ)-第D.2(b)図 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル (下部トラニオン部)

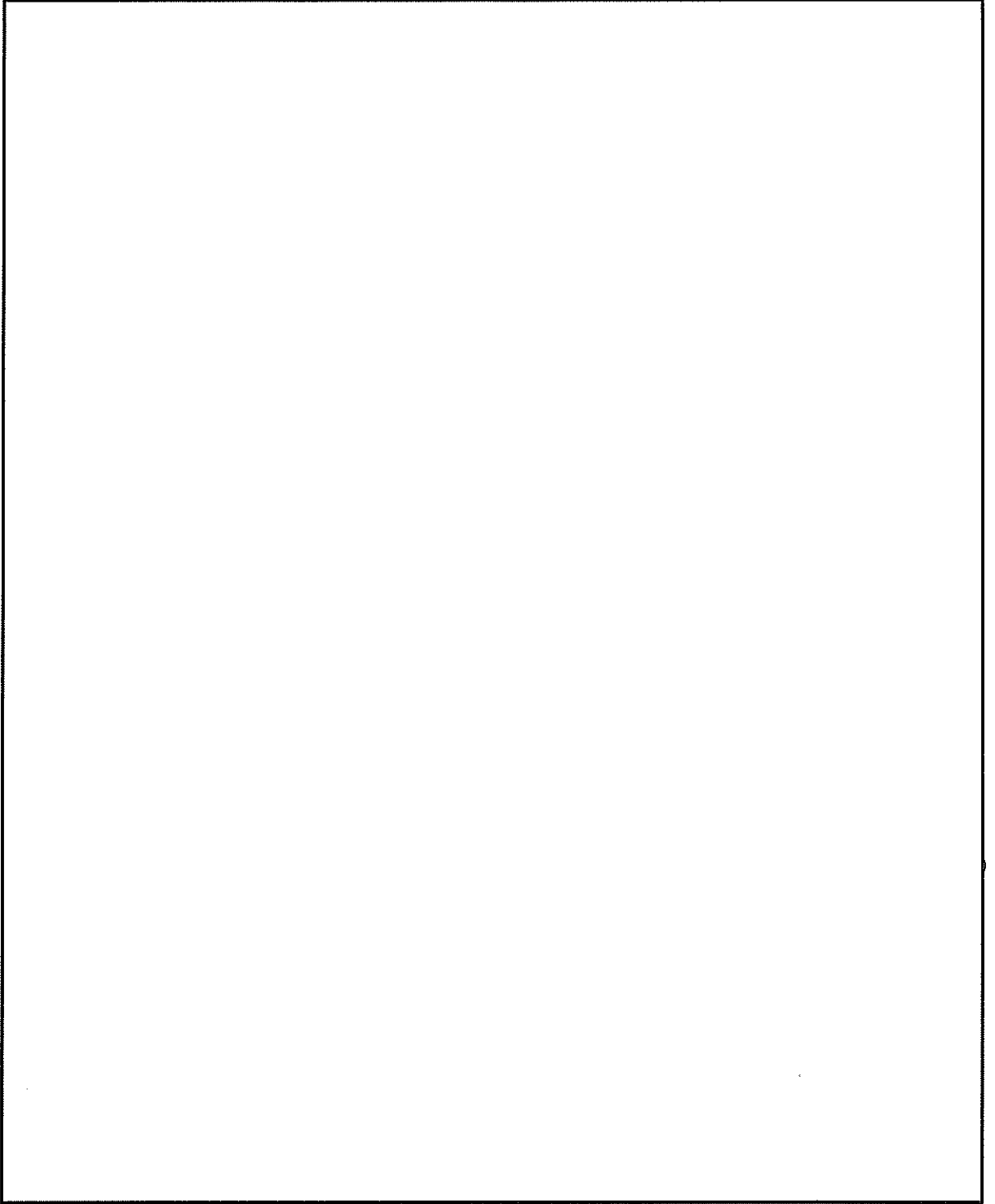
2. 特別の試験条件下

特別の試験条件下における解析モデルは一般の試験条件下の場合と次の点で異なる。
解析モデルを(□)-第 D.3 図に示す。

- ① 熱解析の結果では耐火試験により蓋部中性子遮蔽材、側部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材及びトラニオン部中性子遮蔽材が著しく焼損することはないが、安全側にその密度が半分に減少するものとした。
- ② 1 m 貫通試験により外筒、側部中性子遮蔽材が部分的に変形することが考えられるので、安全側に貫通すると仮定して外筒、側部中性子遮蔽材に貫通孔を模擬した。
- ③ 落下試験により緩衝体は大幅に変形するので、無視するものとした。



(ロ)-第 D. 3(a) 図 特別の試験条件下の解析モデル (頭部)



(v)-第 D. 3 (b) 図 特別の試験条件下の解析モデル (底部)

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

遮蔽解析に用いた均質化領域の構成物質体積比を(Ⅱ)-第 D.7 表に示す。また、遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度を(Ⅱ)-第 D.8 表に、各部位の材料密度と密度係数を(Ⅱ)-第 D.9 表に示す。

(ロ)第D.7表 解析に用いた均質化領域の構成物質体積比(1/2)

| 領域 構成物質 | | 均質化領域(17×17燃料A型) | | | | | | レジン +伝熱フィン |
|------------|-------------------|------------------|----------------|-------------|-------|-------------|------------|---------------|
| | | 燃料領域 | | | | | | |
| | | 上部ノズル部 (上側) | 上部ノズル部 (下側) | 上部 プレナム部 | 燃料有効部 | 下部 プレナム部 | 下部 ノズル部 | |
| 燃料 集合体 | UO ₂ | [Blank Box] | | | | | | — |
| | Zr | | | | | | | — |
| | ステンレス鋼 | | | | | | | — |
| | インコネル | | | | | | | — |
| | アルミニウム合金 | | | | | | | — |
| バスケット | ほう素添加 アルミニウム合金 | — | — | — | — | — | — | |
| | 中性子遮蔽材 (レジン) | — | — | — | — | — | — | |
| 伝熱フィン (銅) | | — | — | — | — | — | — | [Blank Box] |
| ボイド | | [Blank Box] | | | | | | — |

(ロ)-第 D.7 表 解析に用いた均質化領域の構成物質体積比(2/2)

| 領域 | | 均質化領域(15×15燃料A型) | | | | | | | |
|--------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------|-------|-------------|------------|---------------|---|
| | | 燃料領域 | | | | | | | |
| 構成物質 | 領域 | 上部ノズル部 (上側) | 上部ノズル部 (下側) | 上部 プレナム部 | 燃料有効部 | 下部 プレナム部 | 下部 ノズル部 | レジン +伝熱フィン | |
| | | 燃料 | UO ₂ | [Blank Box] | | | | | |
| 燃料 | Zr | - | | | | | | | |
| 燃料 | ステンレス鋼 | - | | | | | | | |
| 燃料 | インコネル | - | | | | | | | |
| バスケット | アルミニウム合金 | - | - | - | - | - | - | - | |
| | ほう素添加 アルミニウム合金 | - | - | - | - | - | - | - | |
| 中性子遮蔽材 (レジン) | | - | - | - | - | - | - | [Blank Box] | |
| 伝熱フィン (銅) | | - | - | - | - | - | - | [Blank Box] | |
| ボイド | | [Blank Box] | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | - |

(a)-第D.8表 解析に用いた各領域の原子個数密度 (1/3)

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

| 領域 元素 | 均質化領域 燃料領域(17×17燃料A型) | | | | | |
|------------------|--------------------------|----------------|---------|-------|---------|--------|
| | 上部ノズル部 (上側) | 上部ノズル部 (下側) | 上部プレナム部 | 燃料有効部 | 下部プレナム部 | 下部ノズル部 |
| H | | | | | | |
| ¹⁰ B | | | | | | |
| C | | | | | | |
| N | | | | | | |
| O | | | | | | |
| Al | | | | | | |
| Cr | | | | | | |
| Fe | | | | | | |
| Ni | | | | | | |
| Cu | | | | | | |
| Zr | | | | | | |
| ²³⁵ U | | | | | | |
| ²³⁸ U | | | | | | |

(ロ)-第D.8表 解析に用いた各領域の原子個数密度 (2/3)

(単位: 10^{24} atoms/cm³)

| 領域 元素 | 均質化領域 燃料領域(15×15燃料A型) | | | | |
|------------------|--------------------------|----------------|---------|-------|---------|
| | 上部ノズル部 (上側) | 上部ノズル部 (下側) | 上部プレナム部 | 燃料有効部 | 下部プレナム部 |
| H | | | | | |
| ¹⁰ B | | | | | |
| C | | | | | |
| N | | | | | |
| O | | | | | |
| Al | | | | | |
| Cr | | | | | |
| Fe | | | | | |
| Ni | | | | | |
| Cu | | | | | |
| Zr | | | | | |
| ²³⁵ U | | | | | |
| ²³⁸ U | | | | | |

(ロ)-第D.8表 解析に用いた各領域の原子個数密度 (3/3)

(単位: 10^{24} atoms/cm³)

| 領域 元素 | バスケット 外周部 | ステンレス鋼 | 析出硬化系 ステンレス鋼 | 炭素鋼 | 中性子遮蔽材 | | 空気 |
|-----------------|--------------|--------|-----------------|-----|----------------|-----|----|
| | | | | | レジン + 伝熱フィン | レジン | |
| H | | | | | | | |
| ¹⁰ B | | | | | | | |
| C | | | | | | | |
| N | | | | | | | |
| O | | | | | | | |
| Al | | | | | | | |
| Cr | | | | | | | |
| Fe | | | | | | | |
| Ni | | | | | | | |
| Cu | | | | | | | |

(注) () 内は特別の試験条件下の値である。

(ロ)-第D.9表 各部位の材料密度と密度係数 (1/2)

| 部位 | 材質 | 材料密度 (g/cm ³) | 密度係数 |
|------------------|-------------------|------------------------------|------|
| 胴 | 炭素鋼 | | |
| 胴 (底部) | | | |
| 胴 (フランジ部) | | | |
| 外筒 | | | |
| 一次蓋 | | | |
| 蓋部中性子遮蔽材カバー (蓋板) | | | |
| 蓋部中性子遮蔽材カバー (側板) | | | |
| 二次蓋 | | | |
| 下部端板 | ステンレス鋼 | | |
| 底部中性子遮蔽材カバー | | | |
| 三次蓋 | | | |
| トラニオン | 析出硬化系 ステンレス鋼 | | |
| 側部中性子遮蔽材 | レジン | | |
| 底部中性子遮蔽材 | | | |
| 蓋部中性子遮蔽材 | | | |
| トラニオン部中性子遮蔽材 | | | |
| 伝熱フィン | 銅 | | |
| バスケット (バスケット外周部) | アルミニウム合金 | | |
| | ほう素添加 アルミニウム合金 | | |

(注 1) 17×17 燃料A型の密度係数

(注 2) 15×15 燃料A型の密度係数

(u)-第D.9表 各部位の材料密度と密度係数 (2/2)

| 部位 | 材質 | 材料密度 (g/cm ³) | 密度係数 |
|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|------|
| 燃料領域 (17×17 燃料A型、 15×15 燃料A型共通) | UO ₂ | | — |
| | Zr | | — |
| | ステンレス鋼 | | — |
| | インコネル | | — |
| | アルミニウム合金 | | — |
| | ほう素添加 アルミニウム合金 | | — |

D.4 遮蔽評価

輸送物の外部の指定場所でガンマ線線量当量率、中性子線量当量率を評価するために使用した基本手法とコードについて以下に説明する。

1. 基本手法

遮蔽計算はガンマ線、中性子ともに DOT3.5 コードを用いて行った。

線束から線量当量率への変換係数は ICRP Pub. 74⁵⁾ の 1 cm 線量当量率変換係数に基づく MATXSLIB-J33 の中性子 175 群、ガンマ線 42 群構造に対する値を用いた。

2. 計算結果

各モデルにおける主要部位でのガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率の計算結果を収納燃料タイプ別に以下に示す。

・ 17×17 燃料 A 型収納時の計算結果：

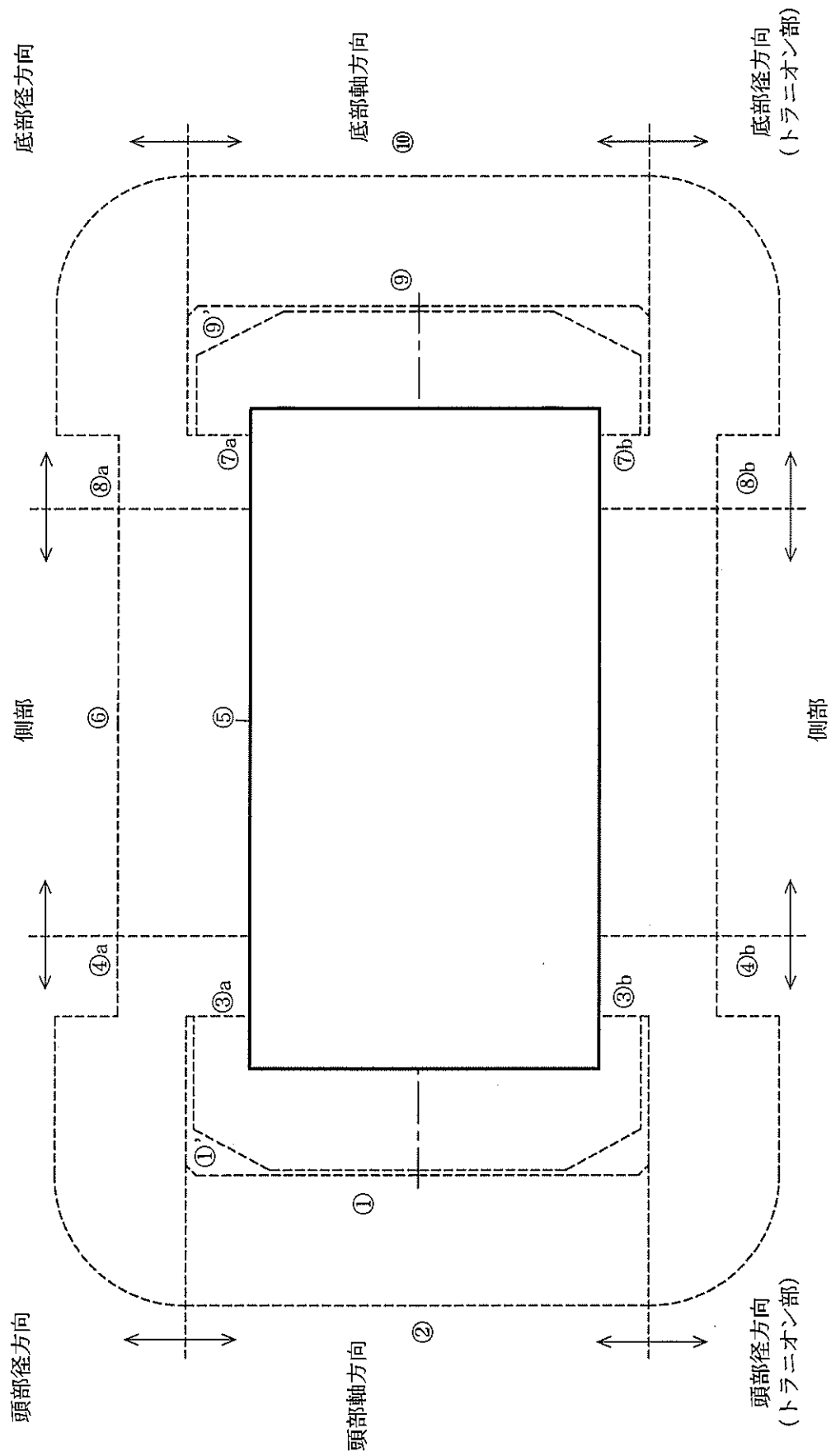
(a)-第 D. 4 図、(a)-第 D. 5 図及び(a)-第 D. 10 表～(a)-第 D. 12 表

・ 15×15 燃料 A 型収納時の計算結果：

(a)-第 D. 6 図、(a)-第 D. 7 図及び(a)-第 D. 13 表～(a)-第 D. 15 表

ここでは、頭部、側部及び底部の各エリアにおいて、輸送物表面及び表面から 1 m で線量当量率が最大となる位置での線量当量率の合計値及びその内訳を記載している。

また、(a)-第 D. 10 表、(a)-第 D. 11 表及び(a)-第 D. 13 表、(a)-第 D. 14 表に示すように一般の試験条件下に置かれた輸送物表面の最大線量当量率は、著しく増加することはない。



(注)①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(p)-第D.10表及び(p)-第D.11表に示す。

(p)-第D.4図 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率評価位置 (17×17燃料A型収納時)

(D) 第 D. 10 表 通常輸送時の線量当量率 (I7×I7 燃料 A 型収納時)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

| 評価点 | 頭部 | | | 側部 | 底部 | | | |
|----------|--------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|--------|------|
| | 軸方向 | 径方向 | 径方向 (トラネオン部) | | 径方向 | 径方向 (トラネオン部) | 軸方向 | |
| 表面 | ガンマ線 | ① | ③a | ③b | ⑤ | ⑦a | ⑦b | ⑨ |
| | | <0.1 | <0.1 | 8.0 | 100.7 | 5.9 | 5.4 | 6.0 |
| | | 0.2 | 0.6 | 103.0 | 25.9 | 15.0 | 13.4 | 35.9 |
| | 二次ガンマ線 | 0.2 | 1.1 | 5.7 | 25.7 | 4.4 | 4.8 | 4.6 |
| 中性子 | 41.7 | 389.3 | 753.8 | 45.1 | 258.6 | 1108.3 | 25.2 | |
| | 合計 | 42.2 | 391.1 | 870.5 | 197.4 | 283.9 | 1131.9 | 71.7 |
| 評価点 | ② | ④a | ④b | ⑥ | ⑧a | ⑧b | ⑩ | |
| 表面から 1 m | ガンマ線 | <0.1 | 22.5 | 22.6 | 44.8 | 25.8 | 25.1 | 2.6 |
| | | <0.1 | 20.1 | 20.9 | 12.5 | 14.6 | 12.8 | 14.8 |
| | | <0.1 | 5.4 | 5.4 | 10.4 | 5.8 | 5.7 | 1.7 |
| | 中性子 | 20.9 | 24.5 | 34.0 | 18.4 | 15.2 | 26.3 | 15.8 |
| 合計 | 21.2 | 72.5 | 82.9 | 86.1 | 61.4 | 69.9 | 34.9 | |

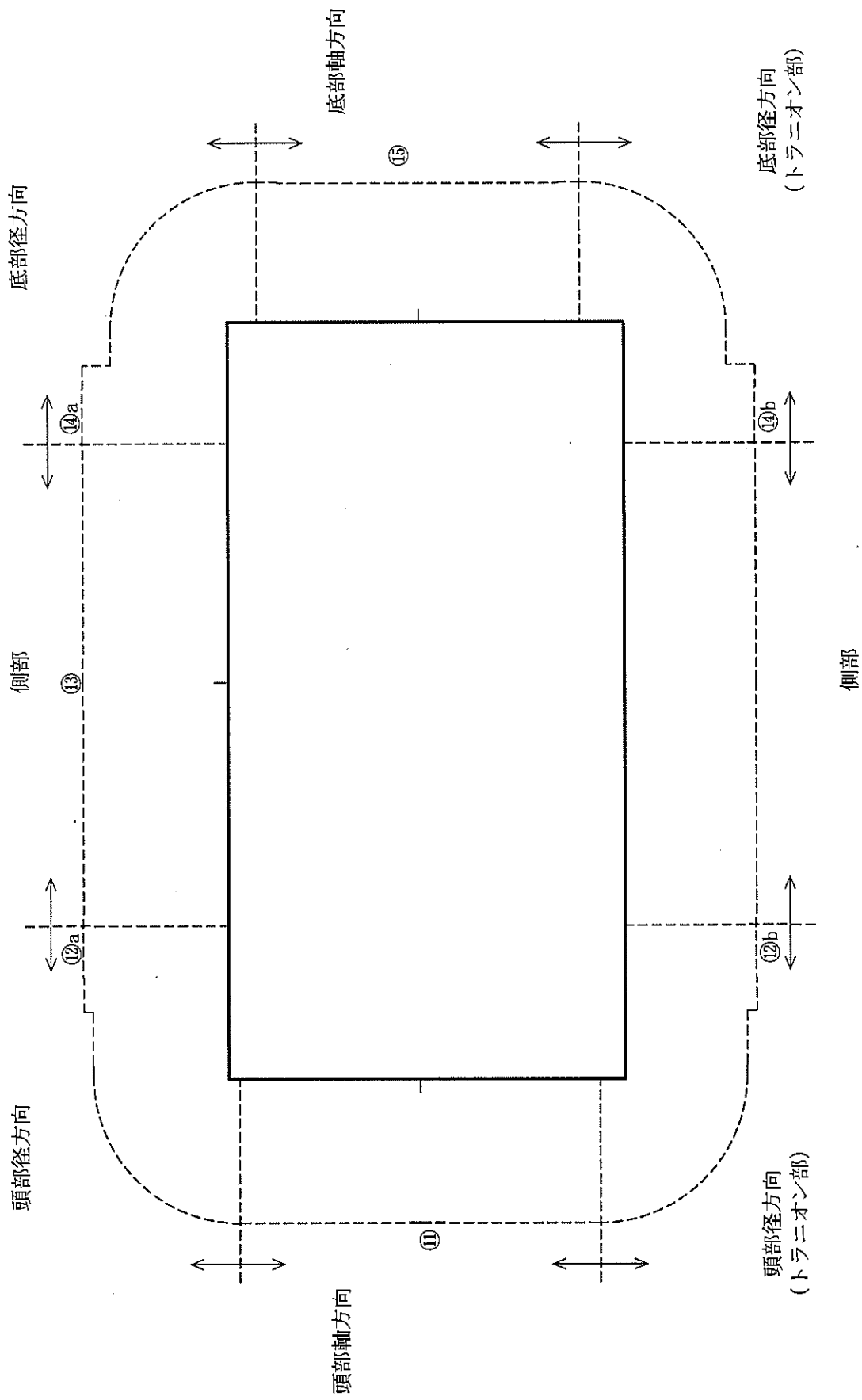
(注)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

(ロ)-第D.11表 一般の試験条件下の線量当量率 (17×17燃料A型収納時)

(単位：μSv/h)

| 評価点 | 頭部 | | | 側部 | 底部 | | | |
|------|--------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|------|-----|
| | 軸方向 | 径方向 | 径方向 (トラニオン部) | | 径方向 | 径方向 (トラニオン部) | 軸方向 | |
| | ①' | ③a | ③b | | ⑦a | ⑦b | ⑨' | |
| ガンマ線 | 燃料有効部 | 0.5 | <0.1 | 8.0 | 100.7 | 5.9 | 5.4 | 1.5 |
| | 構造材放射化 | 0.6 | 0.6 | 103.0 | 25.9 | 15.0 | 13.4 | 2.2 |
| | 二次ガンマ線 | 0.4 | 1.1 | 5.7 | 25.7 | 4.4 | 4.8 | 1.2 |
| 中性子 | 43.3 | 389.3 | 753.8 | 45.1 | 258.6 | 1108.3 | 93.9 | |
| 合計 | 44.8 | 391.1 | 870.5 | 197.4 | 283.9 | 1131.9 | 98.8 | |

(注)0.1未満の値は0.1として合計に考慮した。



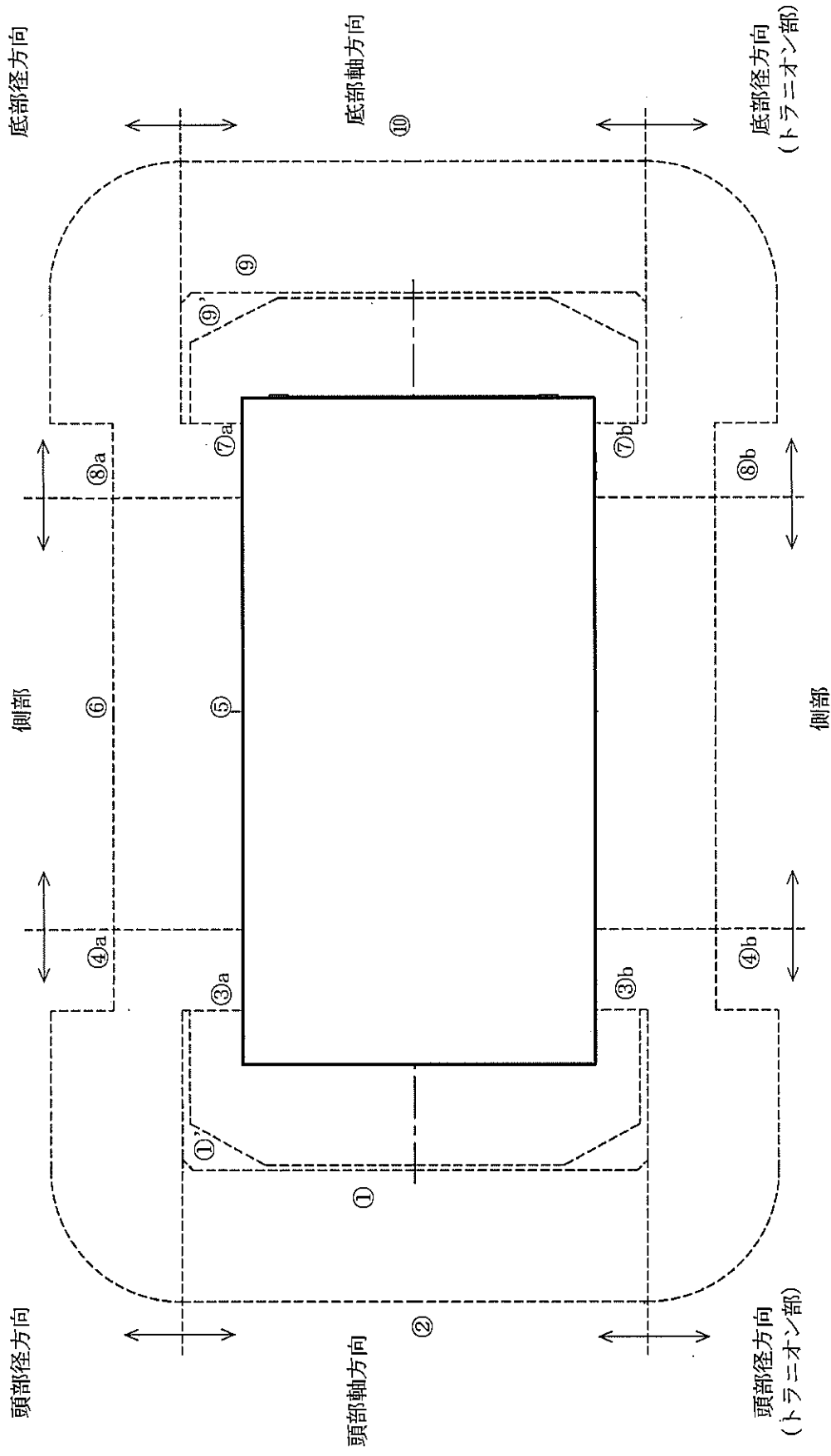
(注)⑪~⑮の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(ロ)-第D.12表に示す。
 (ロ)-第D.5図 特別の試験条件下の線量当量率評価位置 (17×17燃料A型収納時)

(ロ)-第D.12表 特別の試験条件下の線量当量率 (17×17 燃料A型収納時)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

| 評価点 | 頭部 | | | 側部 | 底部 | | | |
|------|--------|-------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------|
| | 軸方向 | 径方向 | 径方向 (トランニオン部) | | 径方向 (トランニオン部) | 径方向 (トランニオン部) | 軸方向 | |
| | | | | | | | | ⑪ |
| ガンマ線 | 燃料有効部 | <0.1 | 44.1 | 44.3 | 137.1 | 50.6 | 48.8 | 8.3 |
| | 構造材放射化 | 0.3 | 37.9 | 38.2 | 36.5 | 28.5 | 24.1 | 50.1 |
| | 二次ガンマ線 | 0.5 | 12.0 | 11.9 | 21.7 | 13.1 | 12.9 | 6.9 |
| 中性子 | 77.2 | 135.4 | 143.9 | 681.3 | 132.3 | 142.1 | 116.9 | |
| 合計 | 78.1 | 229.4 | 238.3 | 876.6 | 224.5 | 227.9 | 182.2 | |

(注)0.1未満の値は0.1として合計に考慮した。



(注)①~⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(ロ)-第D.13表及び(ロ)-第D.14表に示す。

(ロ)-第D.6図 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率評価位置 (15×15 燃料A型収納時)

(ロ)第D.13表 通常輸送時の線量当量率 (15×15燃料A型収納時)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

| 評価点 | 頭部 | | | 側部 | 底部 | | |
|--------|--------|-------|------------------|-------|-------|------------------|------|
| | 軸方向 | 径方向 | 径方向 (トランニオン部) | | 径方向 | 径方向 (トランニオン部) | 軸方向 |
| | ① | ③a | ③b | | ⑦a | ⑦b | ⑨ |
| ガンマ線 | 燃料有効部 | <0.1 | 8.0 | 100.2 | 5.8 | 5.3 | 0.9 |
| | 構造材放射化 | 0.2 | 75.3 | 18.8 | 8.8 | 7.9 | 1.8 |
| | 二次ガンマ線 | 0.2 | 6.0 | 26.9 | 4.6 | 5.1 | 1.3 |
| 中性子 | 44.3 | 421.0 | 773.1 | 47.4 | 271.8 | 1154.6 | 66.3 |
| 合計 | 44.8 | 422.8 | 862.4 | 193.3 | 291.0 | 1172.9 | 70.3 |
| 評価点 | ② | ④a | ④b | ⑥ | ⑧a | ⑧b | ⑩ |
| ガンマ線 | 燃料有効部 | <0.1 | 22.4 | 44.5 | 25.7 | 16.0 | 2.7 |
| | 構造材放射化 | <0.1 | 14.7 | 15.2 | 9.1 | 6.4 | 9.5 |
| | 二次ガンマ線 | <0.1 | 5.7 | 5.6 | 10.9 | 4.4 | 1.8 |
| 中性子 | 22.2 | 25.9 | 35.8 | 19.4 | 16.0 | 40.9 | 16.6 |
| 合計 | 22.5 | 68.7 | 79.1 | 83.9 | 57.5 | 67.7 | 30.6 |
| 表面から1m | | | | | | | |

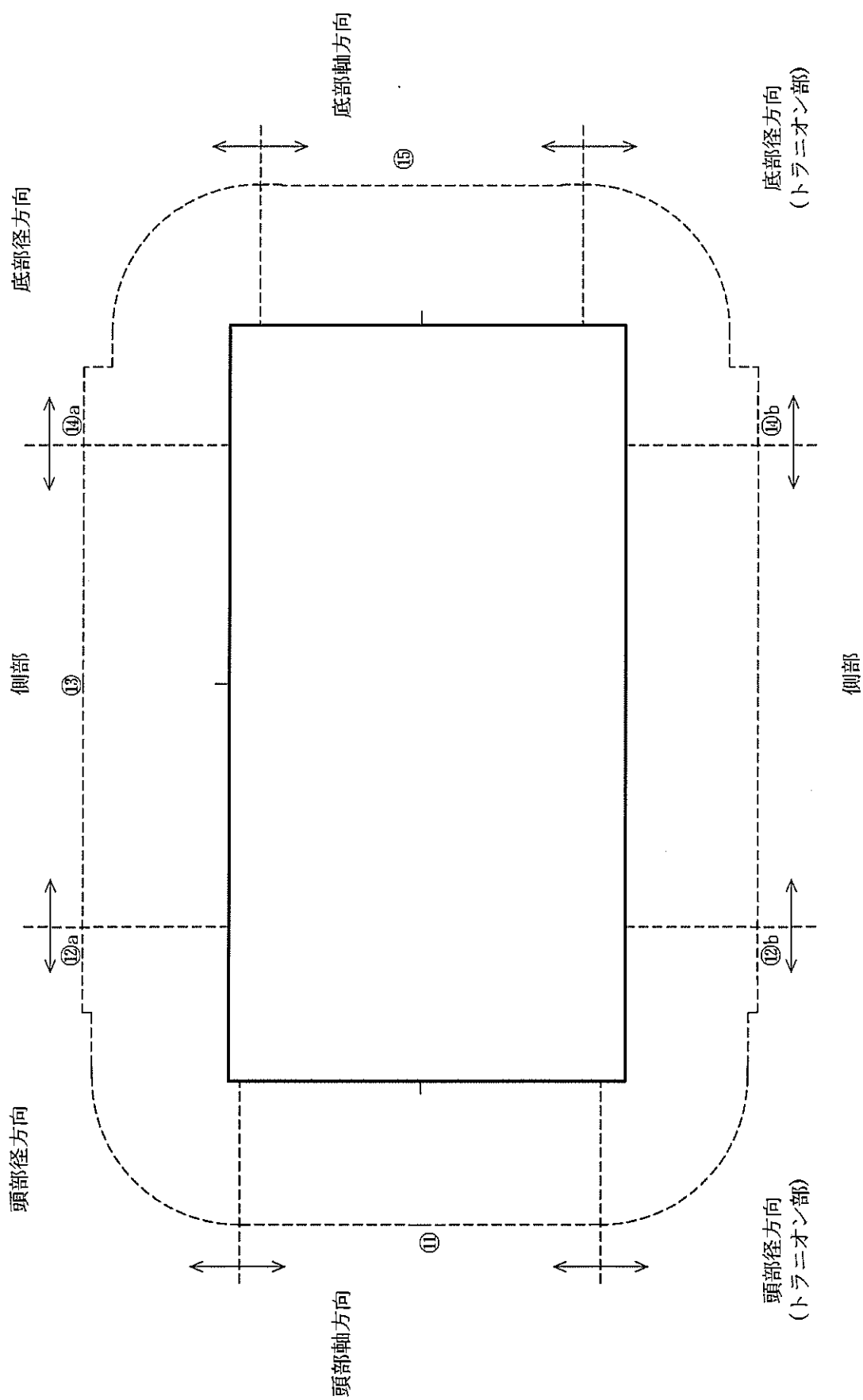
(注)0.1未満の値は0.1として合計に考慮した。

(ロ)-第D.14表 一般の試験条件下の線量当量率 (15×15 燃料A型収納時)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

| 評価点 | 頭部 | | | 側部 | 底部 | | |
|--------|------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| | 軸方向 | 径方向 | 径方向 (トラニオン部) | | 径方向 | 径方向 (トラニオン部) | 軸方向 |
| | ①' | ③a | ③b | ⑤ | ⑦a | ⑦b | ⑨' |
| 燃料有効部 | 0.5 | <0.1 | 8.0 | 100.2 | 5.8 | 5.3 | 1.1 |
| 構造材放射化 | 0.5 | 0.5 | 75.3 | 18.8 | 8.8 | 7.9 | 1.4 |
| 二次ガンマ線 | 0.4 | 1.2 | 6.0 | 26.9 | 4.6 | 5.1 | 1.2 |
| 中性子 | 45.8 | 421.0 | 773.1 | 47.4 | 271.8 | 1154.6 | 98.8 |
| 合計 | 47.2 | 422.8 | 862.4 | 193.3 | 291.0 | 1172.9 | 102.5 |

(注)0.1未満の値は0.1として合計に考慮した。



(注)⑪～⑮の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(ρ)-第D.15表に示す。

(ρ)-第D.7図 特別の試験条件下の線量当量率評価位置 (15×15 燃料A型収納時)

(v)-第 D.15 表 特別の試験条件下の線量当量率 (15×15 燃料 A 型収納時)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

| 評価点 | 頭部 | | | 側部 | 底部 | | |
|------------------|--------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| | 軸方向 | 径方向 | 径方向 (トラニオン部) | | 径方向 | 径方向 (トラニオン部) | 軸方向 |
| | ⑪ | ⑫a | ⑫b | | ⑬a | ⑬b | ⑭ |
| ガンマ線 表面から 1 m | 燃料有効部 | <0.1 | 43.9 | 44.0 | 136.1 | 48.6 | 8.6 |
| | 構造材放射化 | 0.2 | 27.6 | 27.8 | 26.4 | 16.2 | 32.2 |
| | 二次ガンマ線 | 0.5 | 12.6 | 12.5 | 22.7 | 13.5 | 7.3 |
| 中性子 | 82.3 | 142.2 | 150.7 | 710.7 | 138.8 | 149.0 | 123.5 |
| 合計 | 83.1 | 226.3 | 235.0 | 895.9 | 221.7 | 227.3 | 171.6 |

(注)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

D.5 結果の要約及びその評価

通常輸送時、一般及び特別の試験条件下の遮蔽解析条件の要約を(□)-第 D.16 表に示す。

また、計算から得られた最大線量当量率の要約は(□)-第 D.17 表及び(□)-第 D.18 表に示すとおりであり、規則及び告示で定められた基準を満足する。

(□)-第 D.16 表 遮蔽解析条件の要約

| 項目 | | 条件 | | |
|-----|-----|--|-------------------------|---|
| | | 通常輸送時 | 一般の試験条件下 | 特別の試験条件下 |
| 線源 | | 軸方向の移動を考慮し、頭部方向評価モデルでは蓋方向に、底部方向評価モデルでは底方向に移動した状態を模擬した。 | | |
| 遮蔽体 | 本体 | 胴、蓋、外筒、中性子遮蔽材 | | 同左 ただし、外筒、側部中性子遮蔽材（レジンの貫通孔を考慮。また、中性子遮蔽材密度については半分とする。 |
| | 緩衝体 | 空気に置換し、距離のみ考慮 | 変形を考慮した上で、空気に置換し、距離のみ考慮 | 無視 |

(□)-第 D.17 表 最大線量当量率の要約 (17×17 燃料 A 型収納時)

| 項目 | 部位 | | 輸送物表面 ($\mu\text{Sv/h}$) | | | | | 表面から 1 m ($\mu\text{Sv/h}$) | | | | |
|----------|------|-------|-------------------------------|--------|------|------|-------|----------------------------------|-------|-------|--|--|
| | 頭部 | | 側部 | 底部 | | 頭部 | | 側部 | 底部 | | | |
| | 軸方向 | 径方向 | | 径方向 | 軸方向 | 軸方向 | 径方向 | | 径方向 | 軸方向 | | |
| 通常輸送時 | | | | | | | | | | | | |
| ガンマ線 | 0.5 | 116.7 | 152.3 | 23.6 | 46.5 | 0.3 | 48.9 | 67.7 | 43.6 | 19.1 | | |
| 中性子 | 41.7 | 753.8 | 45.1 | 1108.3 | 25.2 | 20.9 | 34.0 | 18.4 | 26.3 | 15.8 | | |
| 合計 | 42.2 | 870.5 | 197.4 | 1131.9 | 71.7 | 21.2 | 82.9 | 86.1 | 69.9 | 34.9 | | |
| 一般の試験条件下 | | | | | | / | | | | | | |
| ガンマ線 | 1.5 | 116.7 | 152.3 | 23.6 | 4.9 | | | | | | | |
| 中性子 | 43.3 | 753.8 | 45.1 | 1108.3 | 93.9 | | | | | | | |
| 合計 | 44.8 | 870.5 | 197.4 | 1131.9 | 98.8 | | | | | | | |
| 特別の試験条件下 | | | | | | | | | | | | |
| ガンマ線 | | | | | | 0.9 | 94.4 | 195.3 | 85.8 | 65.3 | | |
| 中性子 | | | | | | 77.2 | 143.9 | 681.3 | 142.1 | 116.9 | | |
| 合計 | | | | | | 78.1 | 238.3 | 876.6 | 227.9 | 182.2 | | |
| 基準値 | | | | | | | | | | | | |
| 通常輸送時 | | | 2000 | | | | | 100 | | | | |
| 一般の試験条件下 | | | 2000 | | | | | — | | | | |
| 特別の試験条件下 | | | — | | | | | 10000 | | | | |

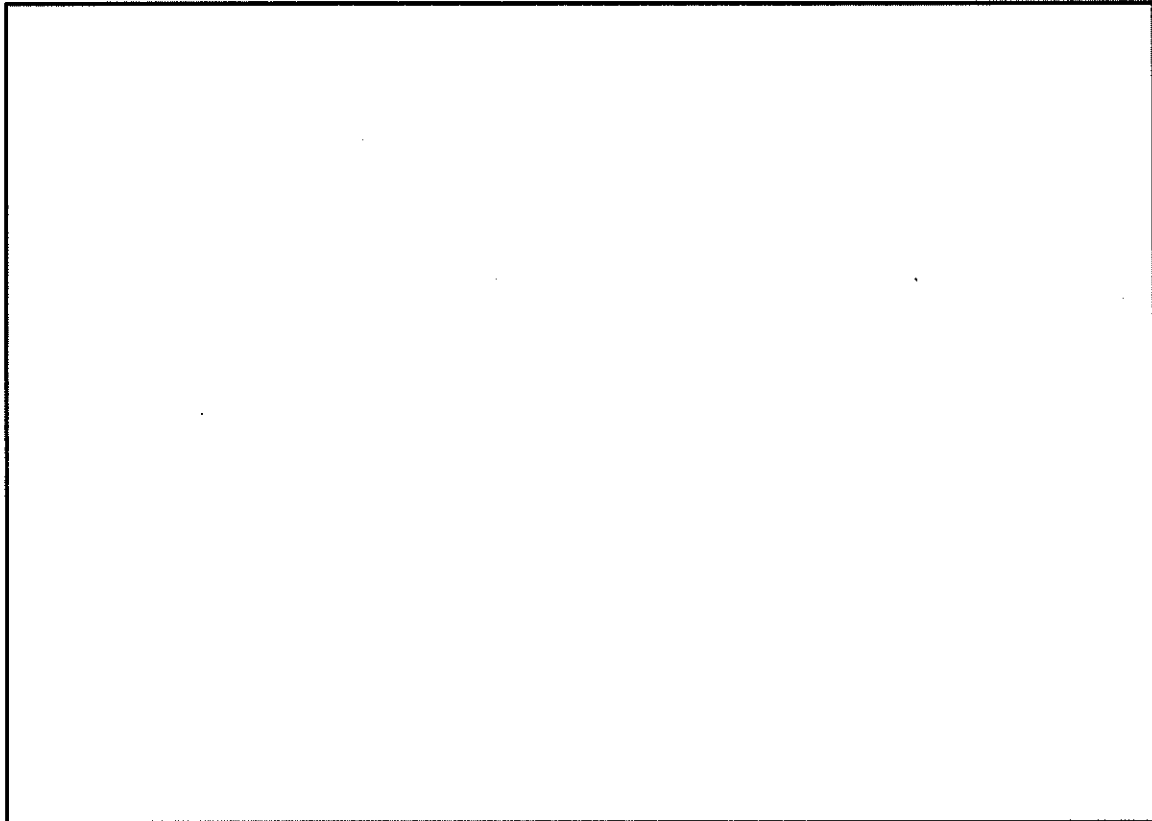
(□)-第 D. 18 表 最大線量当量率の要約 (15×15 燃料 A 型収納時)

| 項目 | 部位 | | 輸送物表面 ($\mu\text{Sv/h}$) | | | | | 表面から 1 m ($\mu\text{Sv/h}$) | | | | |
|----------|------|-------|-------------------------------|--------|-------|------|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|--|
| | 頭部 | | 側部 | 底部 | | 頭部 | | 側部 | 底部 | | | |
| | 軸方向 | 径方向 | | 径方向 | 軸方向 | 軸方向 | 径方向 | | 径方向 | 軸方向 | | |
| 通常輸送時 | | | | | | | | | | | | |
| ガンマ線 | 0.5 | 89.3 | 145.9 | 18.3 | 4.0 | 0.3 | 43.3 | 64.5 | 26.8 | 14.0 | | |
| 中性子 | 44.3 | 773.1 | 47.4 | 1154.6 | 66.3 | 22.2 | 35.8 | 19.4 | 40.9 | 16.6 | | |
| 合計 | 44.8 | 862.4 | 193.3 | 1172.9 | 70.3 | 22.5 | 79.1 | 83.9 | 67.7 | 30.6 | | |
| 一般の試験条件下 | | | | | | | | | | | | |
| ガンマ線 | 1.4 | 89.3 | 145.9 | 18.3 | 3.7 | / | | | | | | |
| 中性子 | 45.8 | 773.1 | 47.4 | 1154.6 | 98.8 | | | | | | | |
| 合計 | 47.2 | 862.4 | 193.3 | 1172.9 | 102.5 | | | | | | | |
| 特別の試験条件下 | | | | | | | | | | | | |
| ガンマ線 | / | | | | | 0.8 | 84.3 | 185.2 | 78.3 | 48.1 | | |
| 中性子 | | | | | | 82.3 | 150.7 | 710.7 | 149.0 | 123.5 | | |
| 合計 | | | | | | 83.1 | 235.0 | 895.9 | 227.3 | 171.6 | | |
| 基準値 | | | | | | | | | | | | |
| 通常輸送時 | | | | | | 2000 | | | | | 100 | |
| 一般の試験条件下 | | | | | | 2000 | | | | | — | |
| 特別の試験条件下 | | | | | | — | | | | | 10000 | |

D.6 付属書類

D.6.1 線源強度の計算に用いる軸方向燃焼度分布

線源強度の計算に用いる軸方向燃焼度分布を(e)-第D.付1図に示す。



(e)-第D.付1図 軸方向燃焼度分布

D. 6.2 中性子遮蔽材の構成元素の原子個数密度と製造時の確認

(ロ)-第 D. 8 表に記載の解析に用いる中性子遮蔽材の構成元素の原子個数密度は、中性子遮蔽材の元素組成と、製品仕様としての中性子遮蔽材の密度、水素及び B₄C 含有量の最低値から算出した。

製造時には、中性子遮蔽材の元素組成については、中性子遮蔽材が所定の銘柄又はその相当品であることを確認し、中性子遮蔽材の密度、水素及び B₄C 含有量については、サンプルによる中性子遮蔽材の密度測定記録及び成分分析記録を確認する。

D.6.3 参考文献

- 1) M. Ishikawa, T. Jin, J. Katakura, M. Kataoka, H. Matsumoto, Y. Ohkawachi, S. Ohki, A. Onoue, A. Sasahara, K. Suyama, H. Yanagisawa, "ZZ-ORIGEN2.2-UPJ, A Complete Package of ORIGEN2 Libraries Based on JENDL-3.2 and JENDL-3.3", OECD/NEA Databank, (2006).
- 2) Oak Ridge National Laboratory, "DOT3.5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", CCC-276, (1977).
- 3) K. Kosako, N. Yamano, T. Fukahori, K. Shibata and A. Hasegawa, "The Libraries FSXLIB and MATXSLIB Based on JENDL-3.3", JAERI-Data/Code 2003-011, (2003).
- 4) Brookhaven National Laboratory, "Neutron Cross Sections", BNL-325 Third Edition, (1973).
- 5) ICRP, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26(3-4), (1996).

(四)章 E 臨界解析

E. 臨界解析

E.1 概要

本輸送容器のバスケットは、断面形状が中空状であるアルミニウム合金製のバスケットプレートで構成された格子構造であり、個々の燃料集合体が輸送容器の所定の位置に収納される。また、バスケットプレートと中性子吸収材を併せて配置することで臨界を防止する構造としている。

本輸送容器は燃料集合体を収納後、内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封性能を有した複数の蓋を有しており、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件下においても胴内に水が浸入することはない。したがって、胴内を告示第 25 条第 1 号のただし書きに記載されている「浸水及び漏水を防止する特別な措置が講じられた部分」とし、胴内を水で満たさない条件で臨界解析を行うこととする。

本臨界解析では、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における輸送容器及び燃料集合体の変形を考慮し、境界条件として完全反射を仮定することにより、以下の条件より厳しい評価とする。

- ① 通常輸送時
- ② 輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ③ 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ④ 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ⑤ 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合
- ⑥ 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

臨界解析には、SCALE コードシステム¹⁾を用い、中性子実効増倍率 (k_{eff}) の計算は多群モンテカルロ法による KENO-VIコード²⁾を用いて行った。その結果、 k_{eff} は標準偏差 (σ) の 3 倍を加えても十分未臨界である。

したがって、本輸送物は上記①～⑥のいずれの条件においても未臨界である。

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

本輸送容器には PWR 燃料集合体を 24 体収納する。

本輸送容器に収納する燃料集合体の型式と仕様は(イ)-第 A.1 表に示したとおりであり、17×17 燃料及び 15×15 燃料それぞれを全数収納した場合の臨界解析を実施する。臨界解析の対象燃料は、中性子実効増倍率が最も大きくなる 17×17 燃料 48,000MWd/t 型 (A型) 及び 15×15 燃料 48,000MWd/t 型 (A型) とする。燃料集合体の仕様を(ロ)-第 E.1 表に示す。




本輸送容器に収納する燃料集合体は照射済のものであるが、²³⁵U 濃縮度は未照射のままの減損していない値をとり、安全側の仮定とする。また、燃料集合体には可燃性毒物と

してガドリニウムを添加した燃料棒が含まれる場合があるが、ガドリニウムの存在を無視する。さらに、燃料集合体はバーナブルポイズン集合体を挿入した状態で収納される場合があるが、バーナブルポイズン集合体を無視する。

また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における燃料集合体の変形を考慮し、輸送容器に収納される全燃料集合体について支持格子 1 スパン間の燃料棒ピッチの変化を仮定する。燃料棒ピッチ変化の中性子実効増倍率への影響を確認するため、燃料棒ピッチが変形前のピッチである場合に加えて、燃料棒ピッチが最小（燃料棒直径と等しい）の場合及び燃料棒がバスケット格子内で均一に広がった場合について評価する。

(ロ)-第 E.1 図にピッチ変化部位の燃料モデルを示す。

(ロ)-第 E.1 表 臨界解析に用いる燃料集合体の仕様 (1/2)

| 項目 | 単位 | 17×17 燃料 |
|---------------|-------|--|
| | | 48,000MWd/t 型 |
| | | A型 |
| 燃料材質 | — | 二酸化ウラン |
| 被覆管材質 | — | ジルカロイ-4 |
| 燃料密度 | %理論密度 |  |
| 燃料棒直径 | cm | |
| ペレット直径 | cm | |
| 被覆管肉厚 | cm | 0.057 |
| 燃料有効長 | cm |  |
| 燃料棒配列 | — | 17×17 |
| 燃料集合体当たりの燃料棒数 | 本 | 264 |
| 燃料棒ピッチ | cm |  |
| 燃料集合体の幅 | cm | |
| 初期濃縮度 | wt% | 4.2 |

(注1) 燃料棒ピッチ変化なしの場合

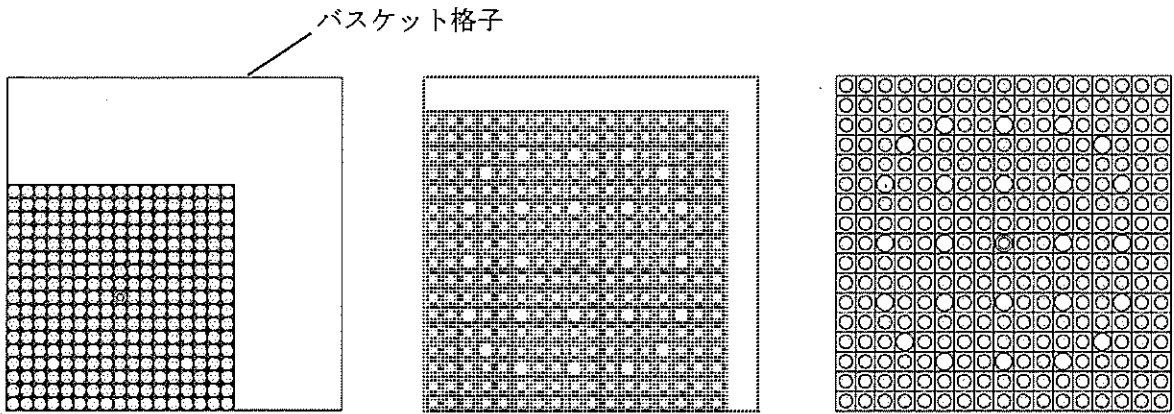
(注2) (燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列数) を臨界解析上の集合体の幅とする。

(ロ)-第 E.1 表 臨界解析に用いる燃料集合体の仕様 (2/2)

| 項目 | 単位 | 15×15 燃料 |
|---------------|-------|---------------|
| | | 48,000MWd/t 型 |
| | | A型 |
| 燃料材質 | — | 二酸化ウラン |
| 被覆管材質 | — | ジルカロイ-4 |
| 燃料密度 | %理論密度 | □ |
| 燃料棒直径 | cm | |
| ペレット直径 | cm | |
| 被覆管肉厚 | cm | 0.062 |
| 燃料有効長 | cm | □ |
| 燃料棒配列 | — | 15×15 |
| 燃料集合体当たりの燃料棒数 | 本 | 204 |
| 燃料棒ピッチ | cm | □ |
| 燃料集合体の幅 | cm | |
| 初期濃縮度 | wt% | 4.1 |

(注1) 燃料棒ピッチ変化なしの場合

(注2) (燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列数) を臨界解析上の集合体の幅とする。

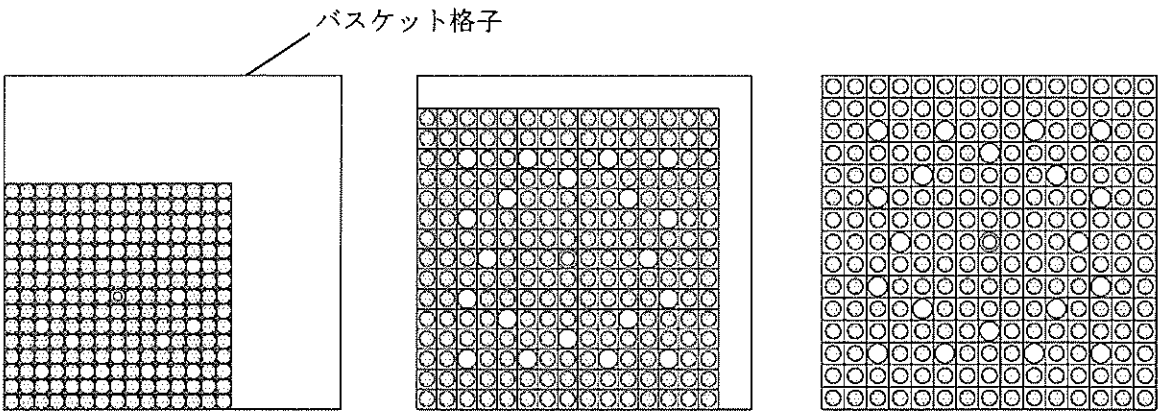


燃料棒ピッチ=最小 (燃料棒直径)

燃料棒ピッチ=変化なし

燃料棒ピッチ=均一拡大

(a)-第 E. 1 図(a) 燃料モデル (ピッチ変化部位) (17×17 燃料収納時)



燃料棒ピッチ=最小 (燃料棒直径)

燃料棒ピッチ=変化なし

燃料棒ピッチ=均一拡大

(b)-第 E. 1 図(b) 燃料モデル (ピッチ変化部位) (15×15 燃料収納時)

E. 2.2 輸送容器

輸送容器の形状は、(イ)-第 C. 2 図等に示すとおりである。

本輸送容器は(ロ)章 A. 9 に示すとおり核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下において、臨界評価に影響する構造物の形状変化は生じない。

また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下において、臨界評価に影響するものとして、外筒が 1 m 貫通試験により損傷し、熱的試験において側部中性子遮蔽材のレジンの一部が焼損するが、臨界解析では中性子遮蔽材を無視している。

E. 2.3 中性子吸収材

(イ)-第 C. 14 図にバスケットの構造を示す。

バスケットプレートは、アルミニウム合金製であり、ほう素添加アルミニウム合金製の中性子吸収材が併せて配置される。ほう素添加アルミニウム合金の原子個数密度を E. 3. 2 に示す。

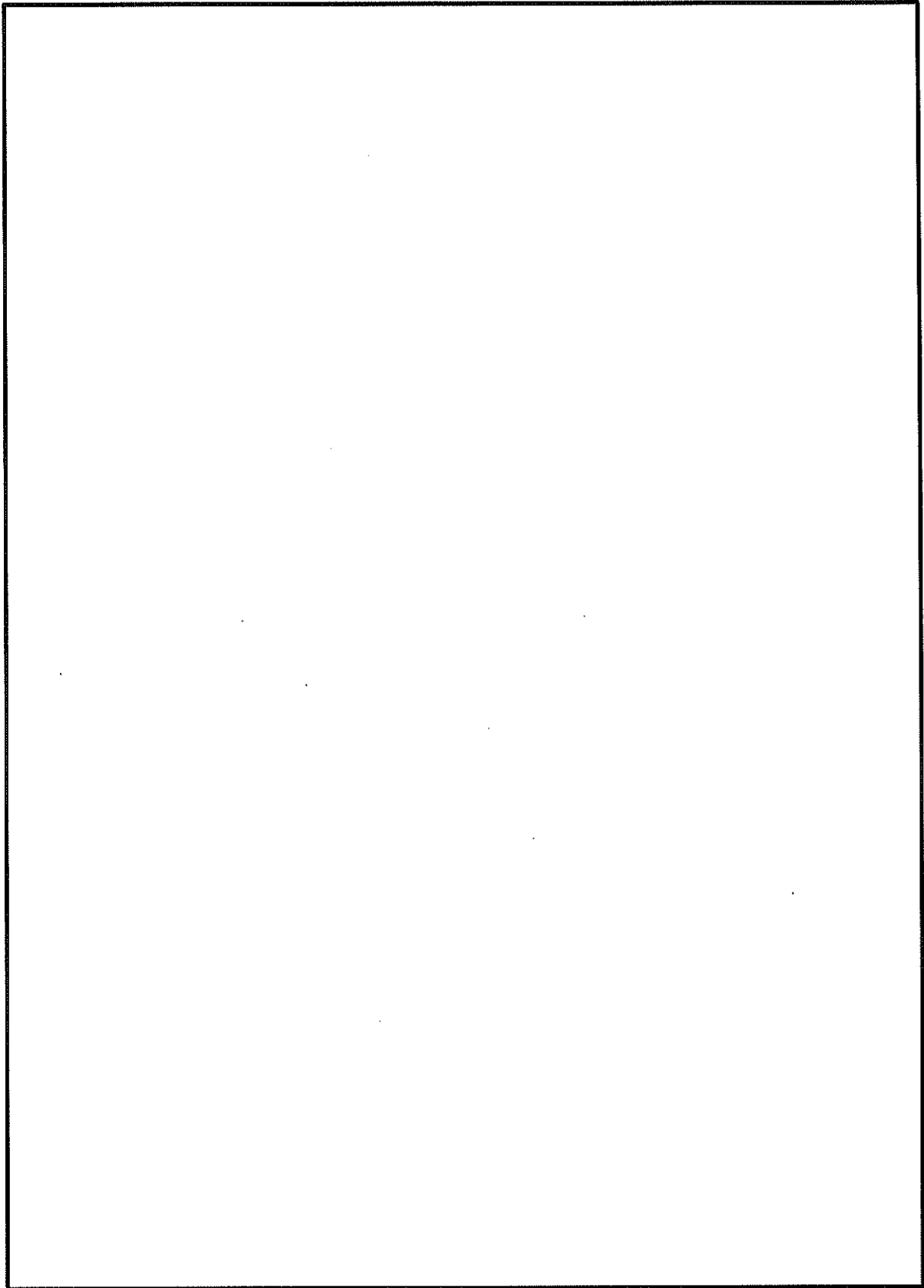
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下において、バスケットプレートは変形しないため、中性子吸収材の配置に変化はない。

E.3 モデル仕様

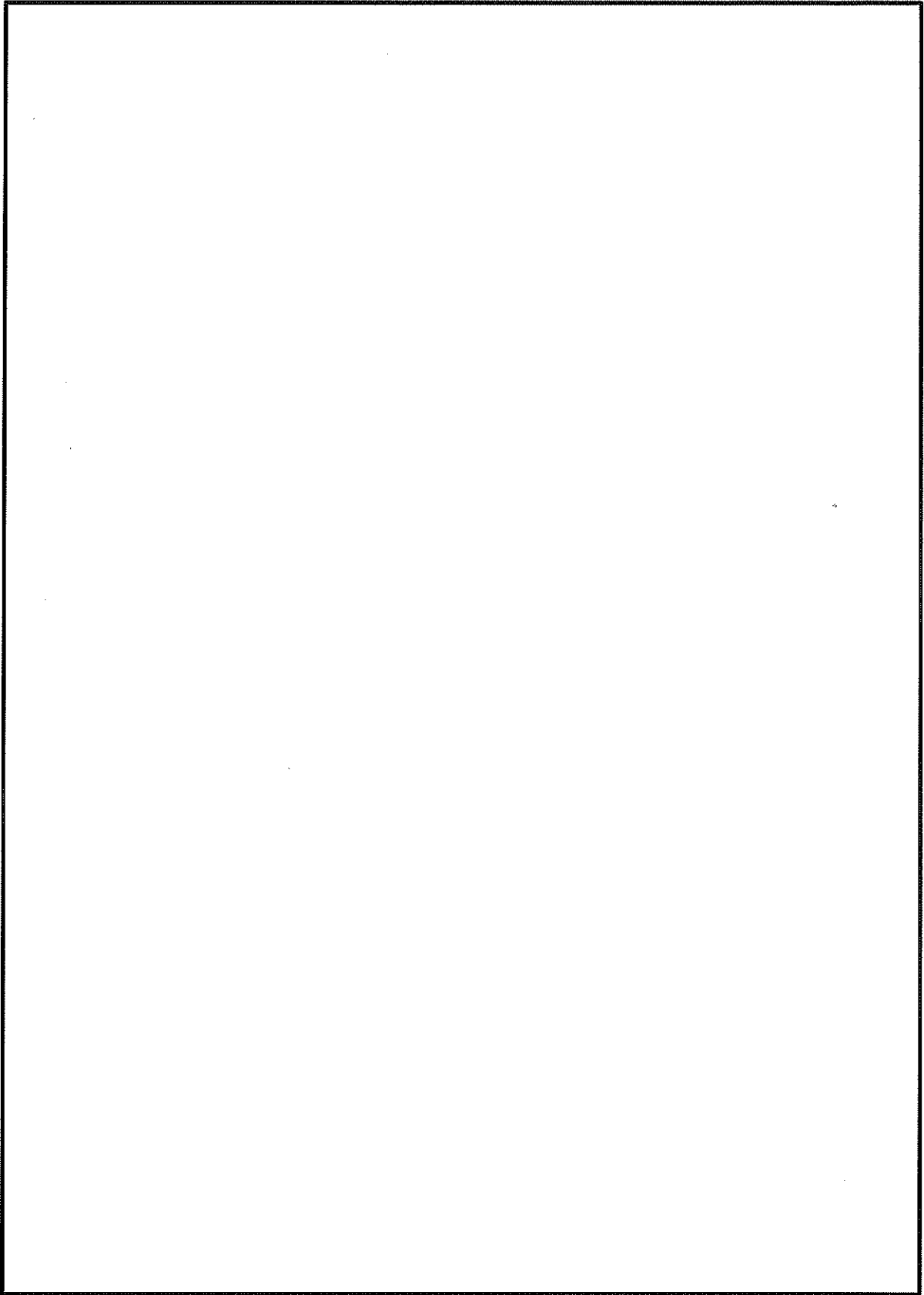
E.3.1 解析モデル

(ロ)-第 E.2 図に臨界解析モデルを示す。解析モデルは安全側の評価となるよう以下の条件を考慮した。

- ・輸送物が無限に配列している体系とする。
- ・中性子遮蔽材を無視する。
- ・緩衝体及び三次蓋を無視する。
- ・中性子実効増倍率が最大となるように、バスケットプレート板厚、バスケットプレート内幅、中性子吸収材板厚及びバスケット格子内のりの公差を考慮する。
- ・バスケット格子内の燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となるように配置する。
(燃料棒ピッチを拡大しない場合)
- ・支持格子 1 スパン間の燃料棒ピッチの変化を考慮する。
- ・安全側に胴内には 5000 cm³の水が均一に分散していると仮定する。
- ・バスケットプレート及び中性子吸収材は、中性子の吸収が小さくなるように、実在する部分は燃料有効部に相当する部分のみと仮定し、それ以外の部分は無視する。

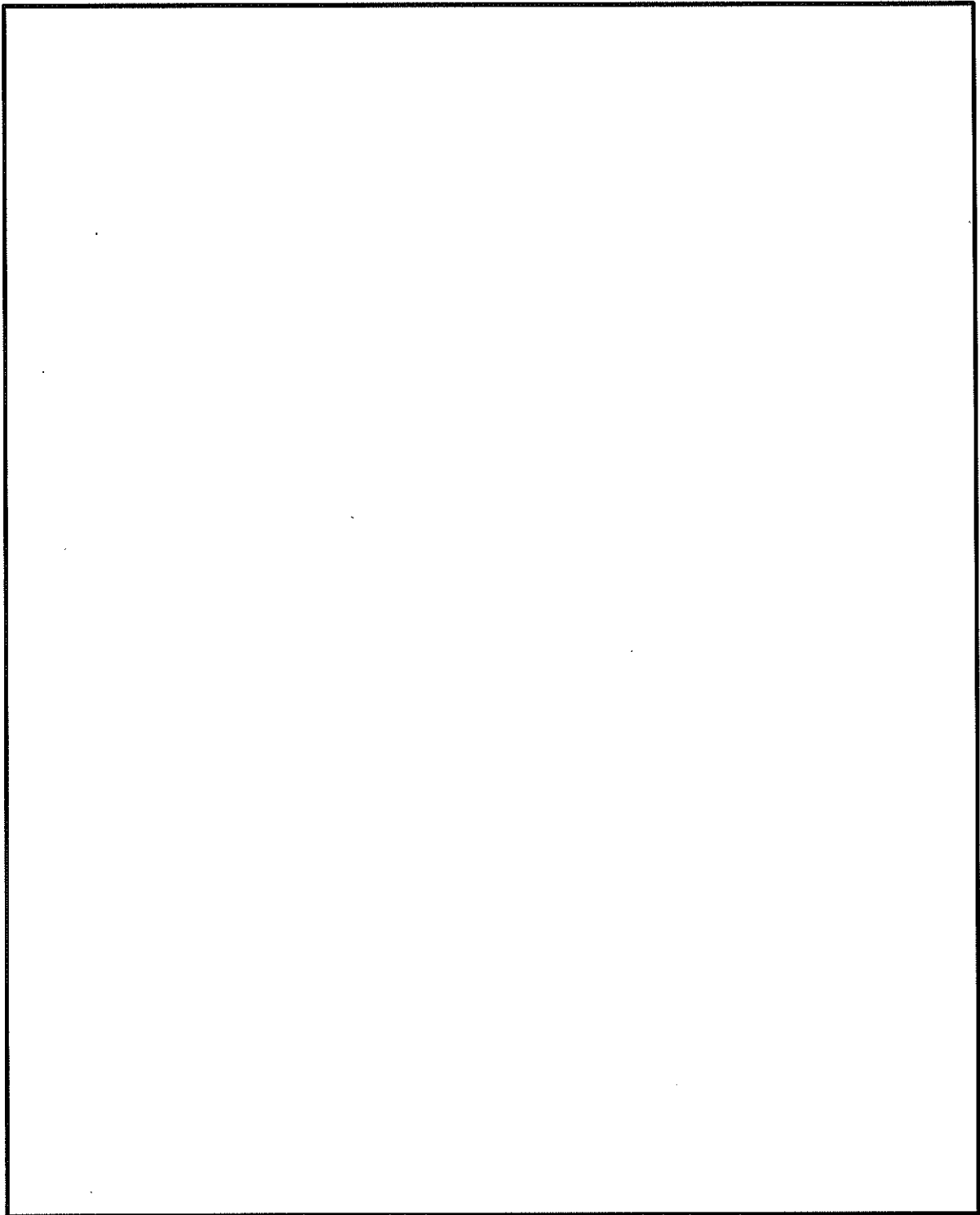


(p)-第 E. 2 図(a) 臨界計算モデル (縦断面図) (17×17 燃料収納時)

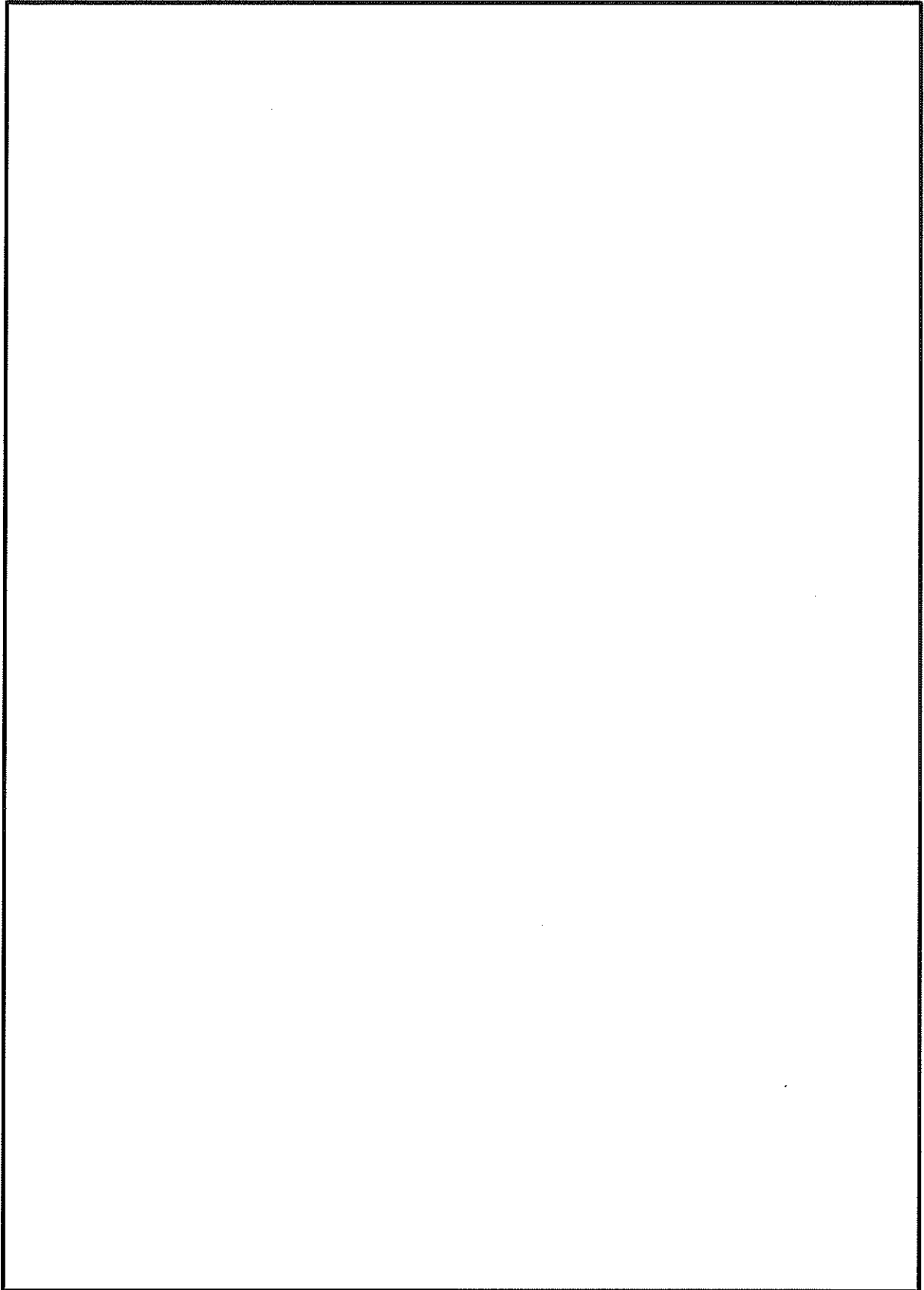


(ロ)-第 E. 2 図 (b-1) 臨界計算モデル (燃料領域横断面図) (燃料棒ピッチ最小)

(17×17 燃料収納時)

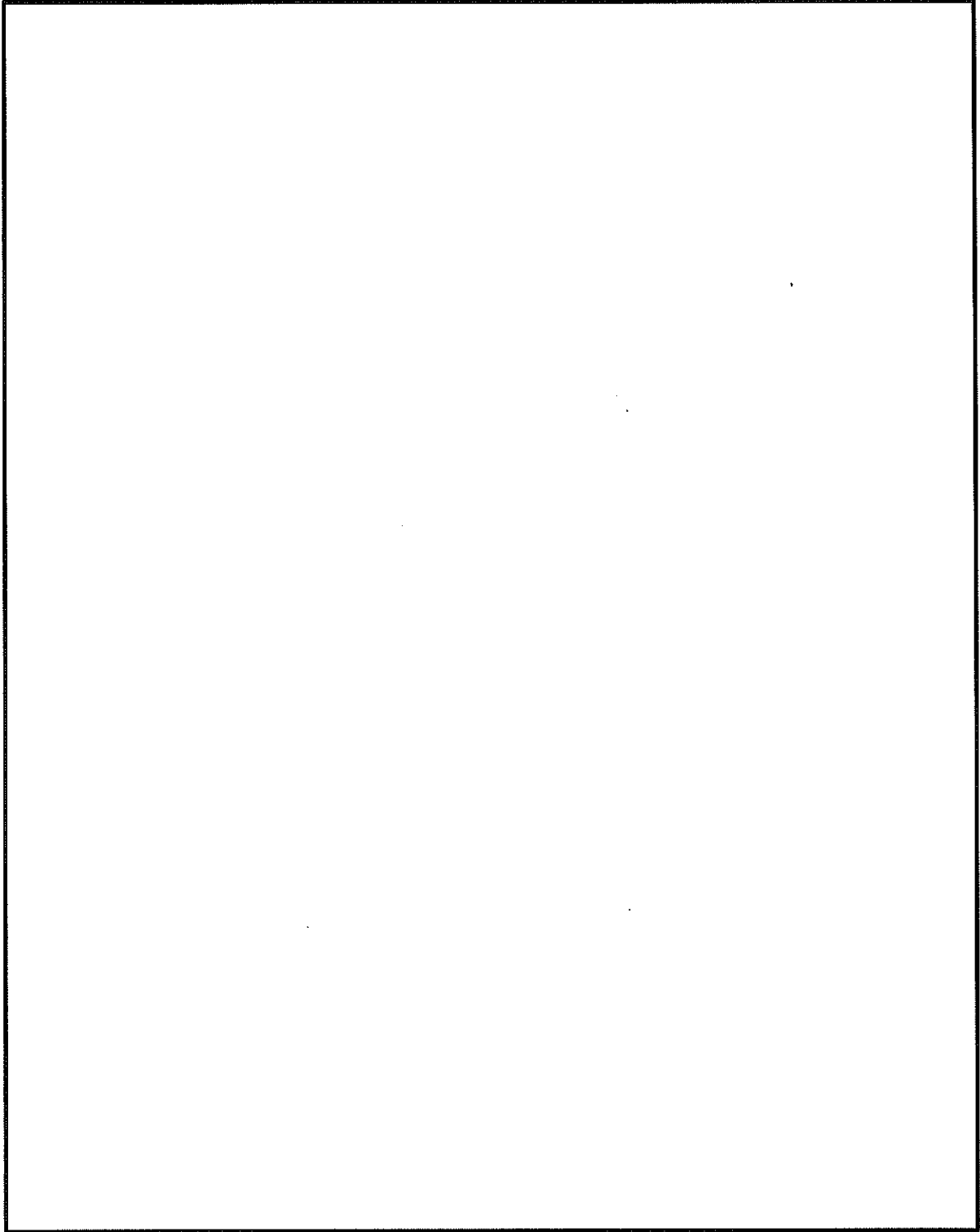


(ロ)-第 E. 2 図(b-2) 臨界計算モデル (燃料領域拡大図) (燃料棒ピッチ最小)
(17×17 燃料収納時)

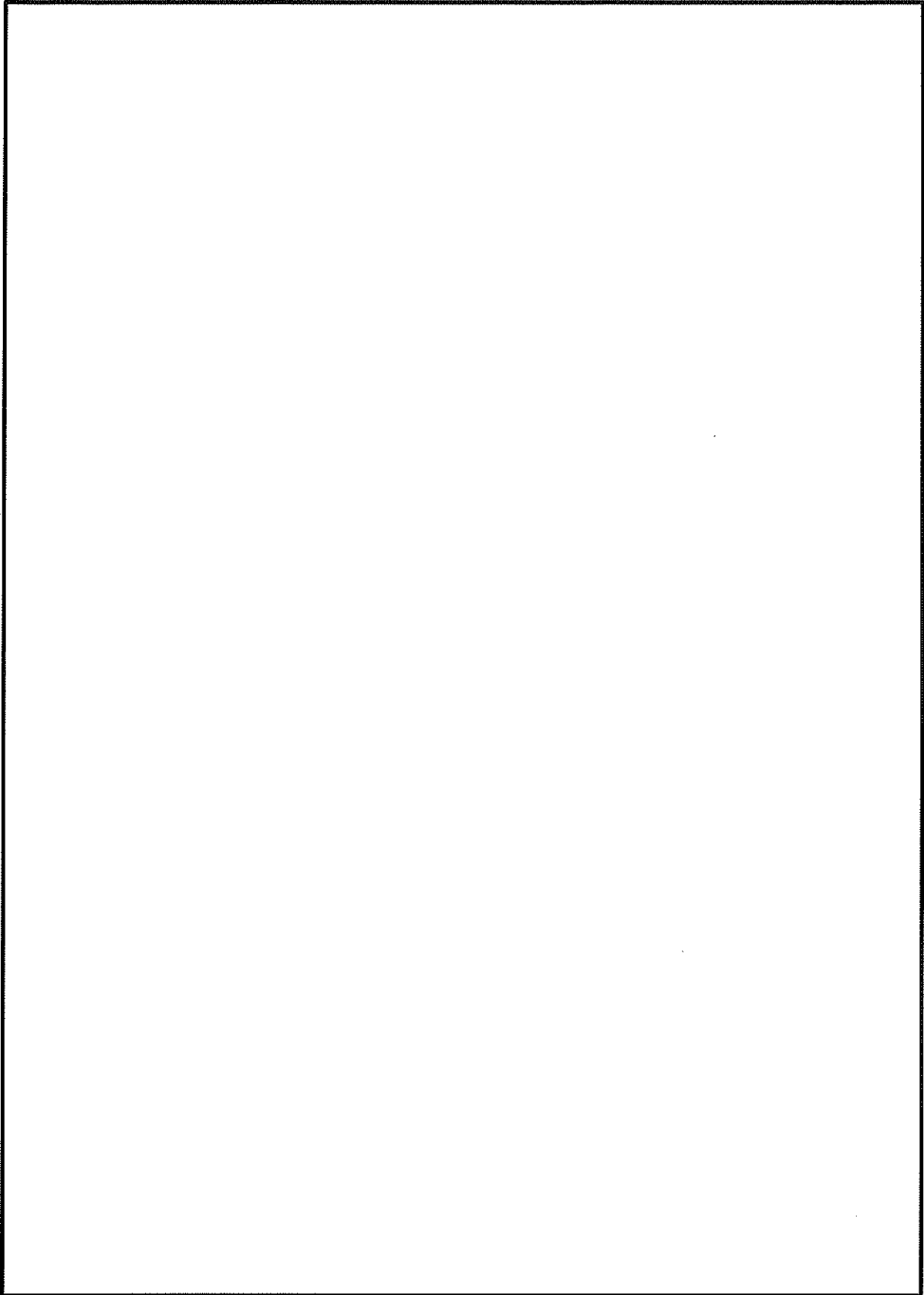


(□)-第 E. 2 図 (b-3) 臨界計算モデル (燃料領域横断面図) (燃料棒ピッチ変化なし)

(17×17 燃料収納時)

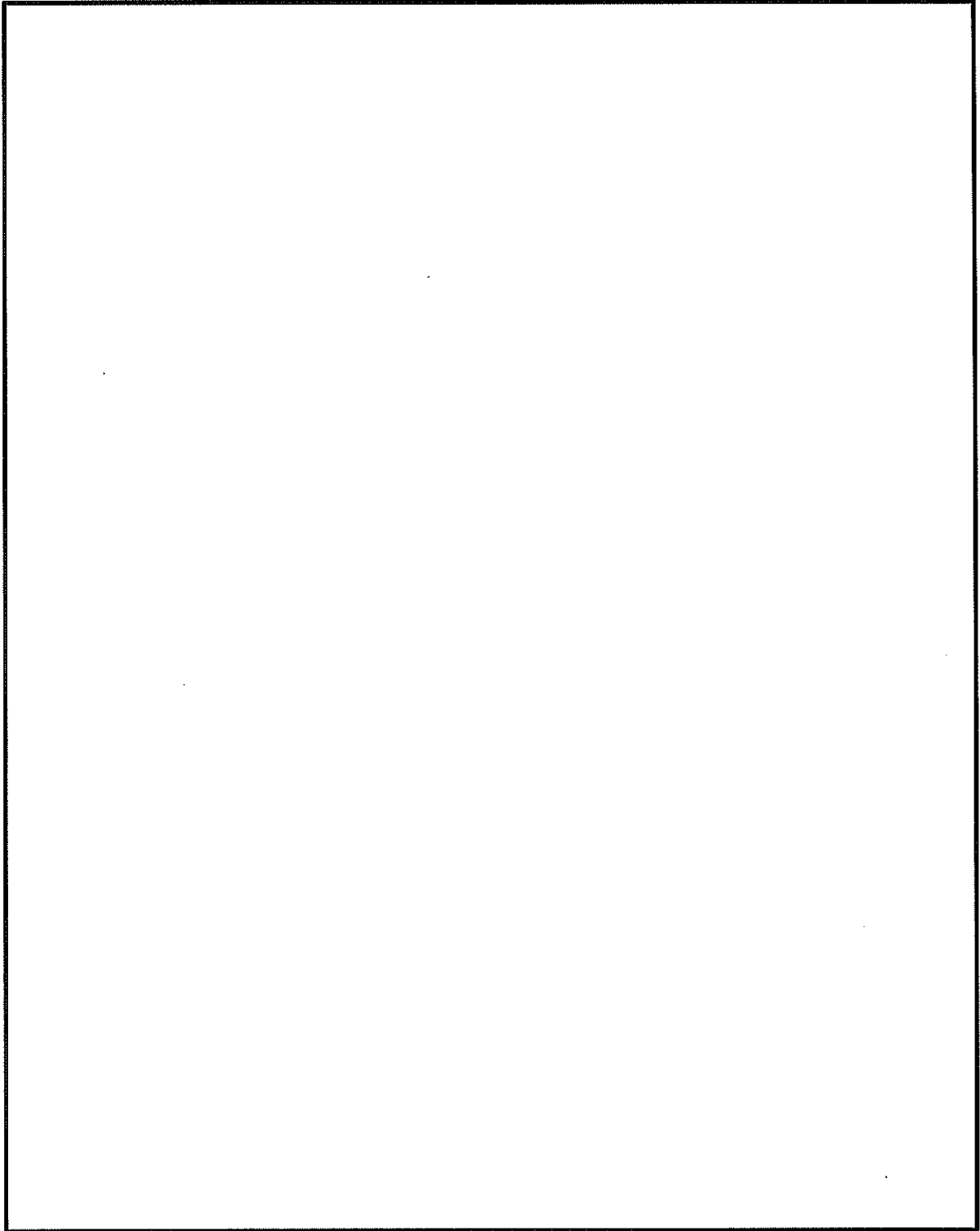


(ロ)-第 E. 2 図 (b-4) 臨界計算モデル (燃料領域拡大図) (燃料棒ピッチ変化なし)
(17×17 燃料収納時)

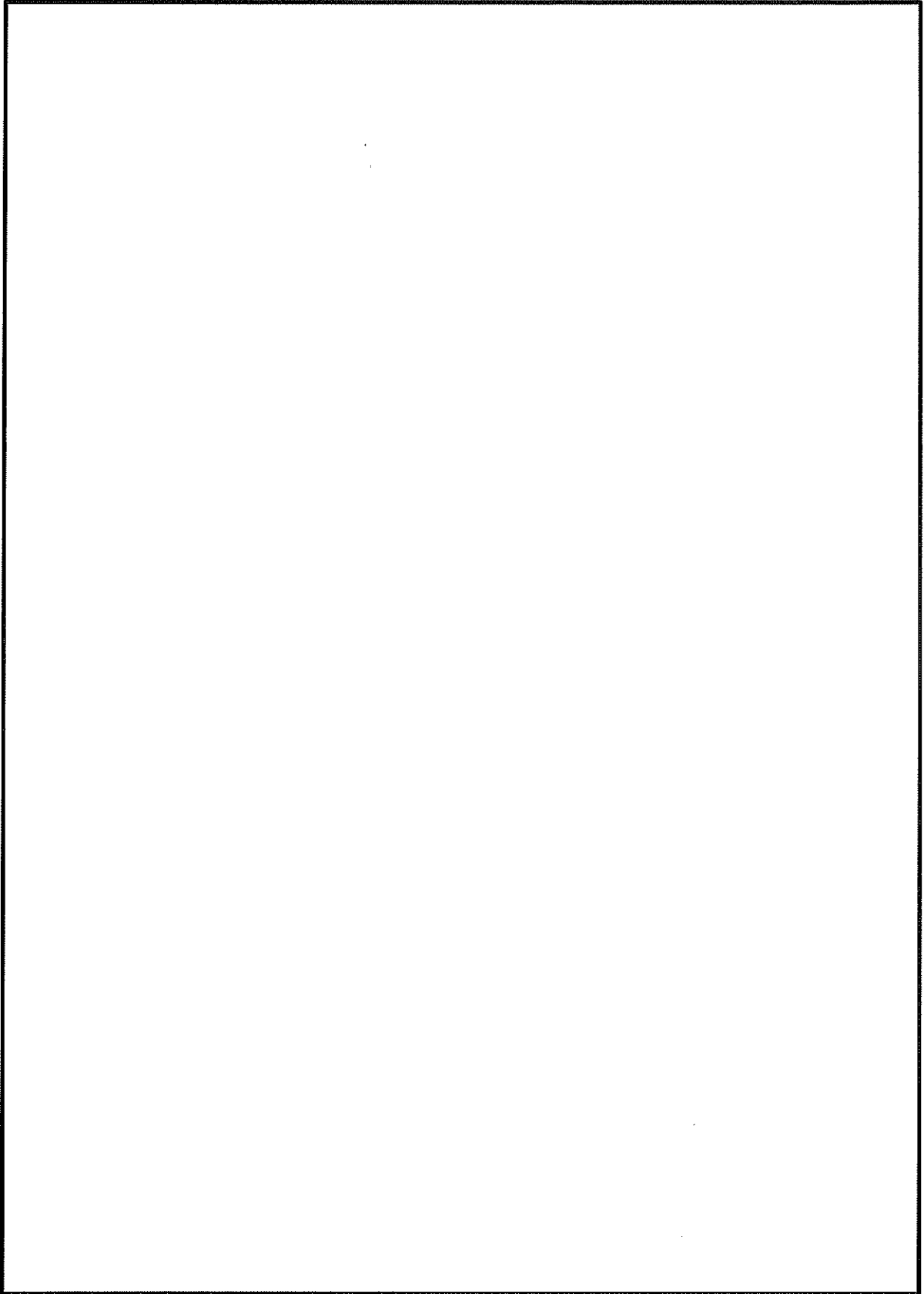


(v)-第 E. 2 図 (b-5) 臨界計算モデル (燃料領域横断面図) (燃料棒ピッチ均一拡大)

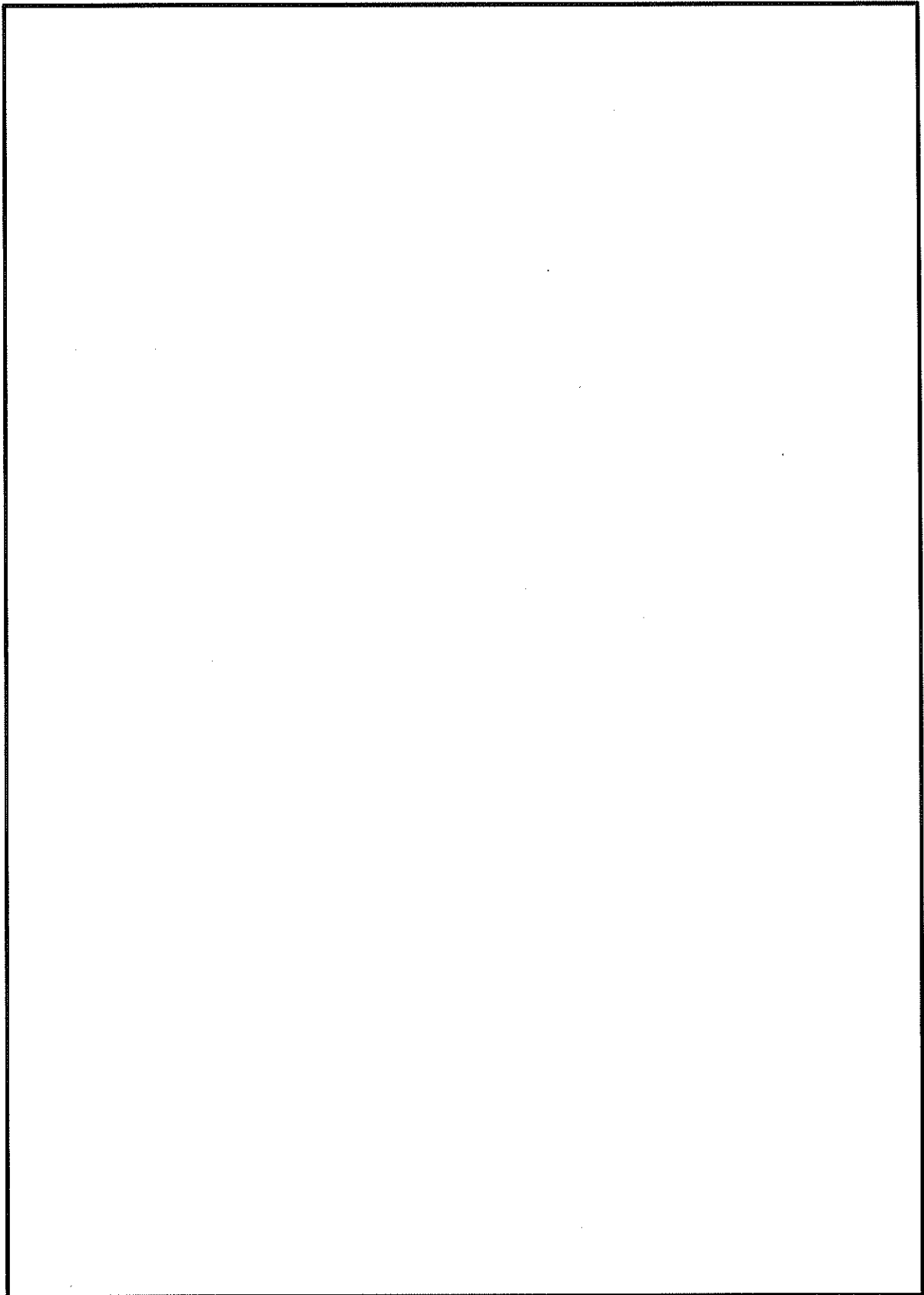
(17×17 燃料収納時)



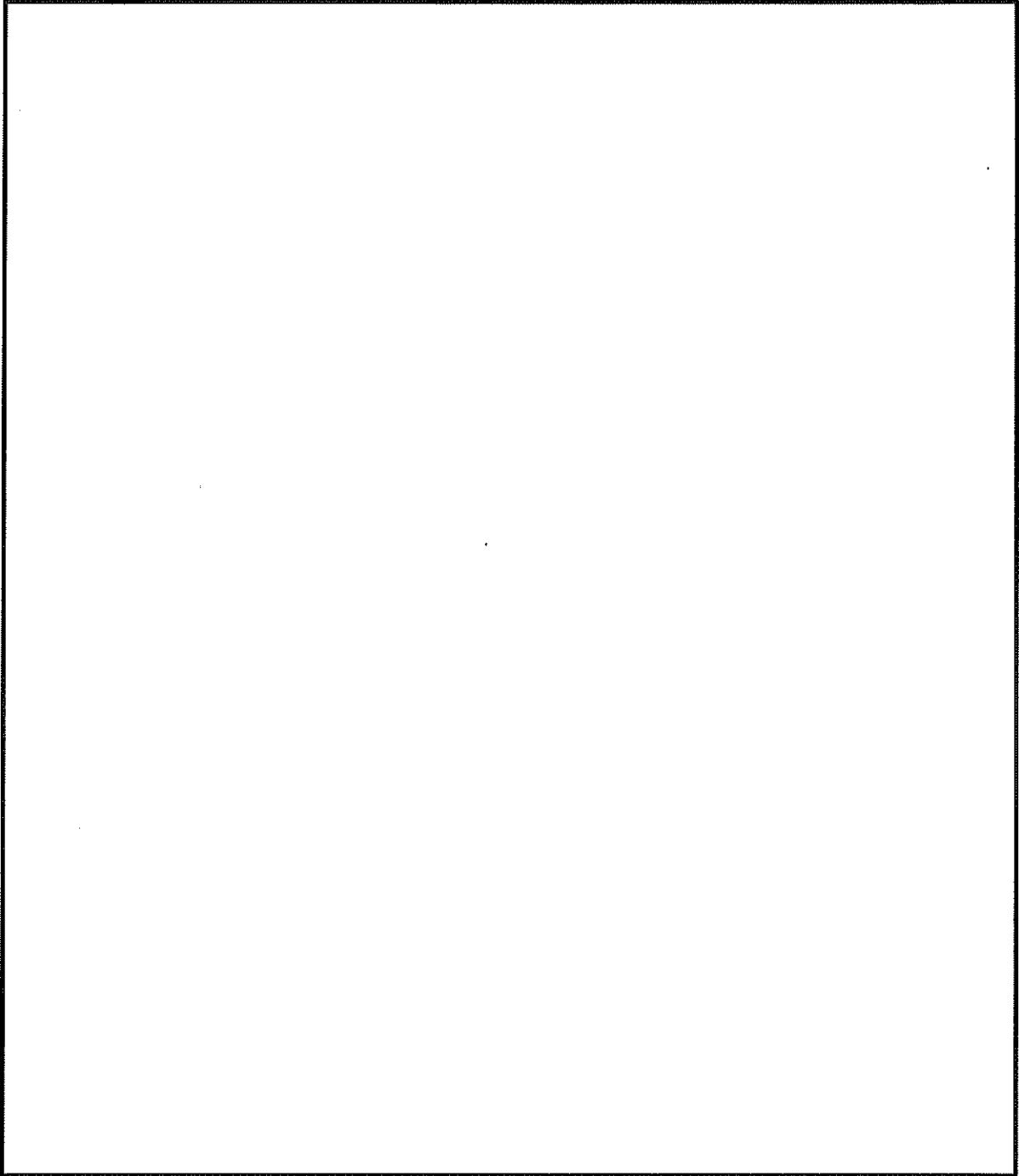
(a)-第 E. 2 図 (b-6) 臨界計算モデル (燃料領域拡大図) (燃料棒ピッチ均一拡大)
(17×17 燃料収納時)



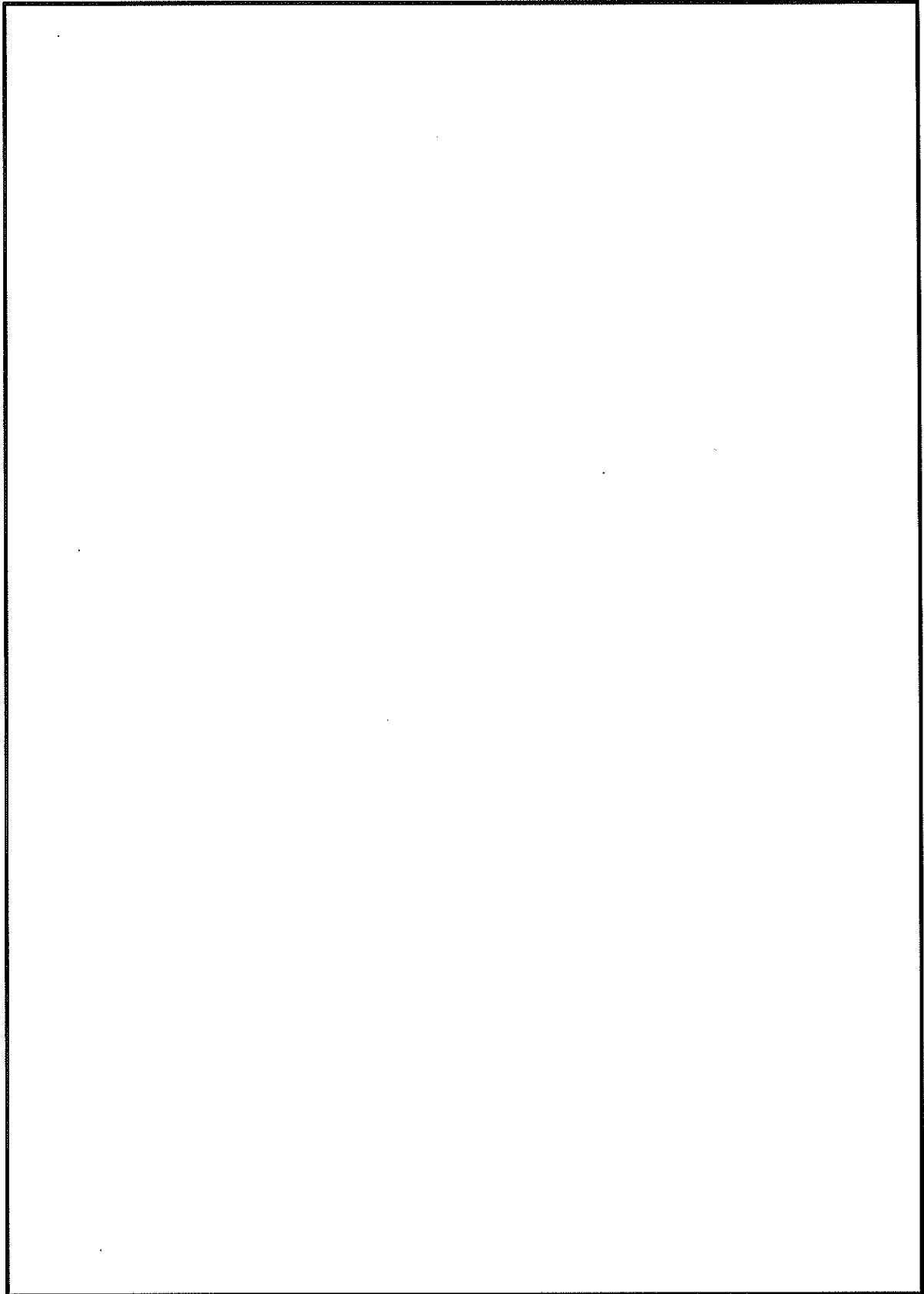
(ロ)-第 E. 2 図(c) 臨界計算モデル (縦断面図) (15×15 燃料収納時)



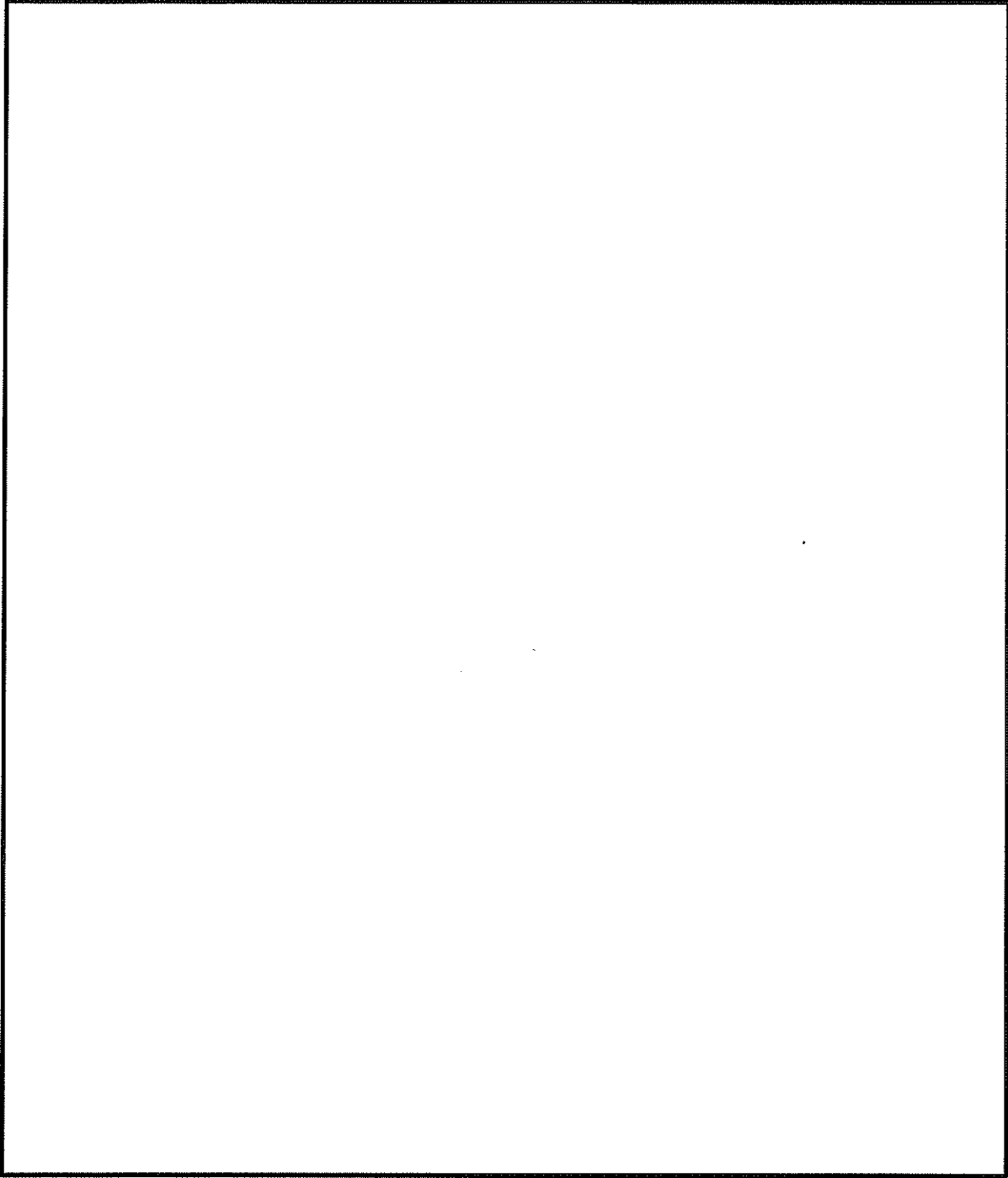
(□)-第 E. 2 図(d-1) 臨界計算モデル(燃料領域横断面図) (燃料棒ピッチ最小)
(15×15 燃料収納時)



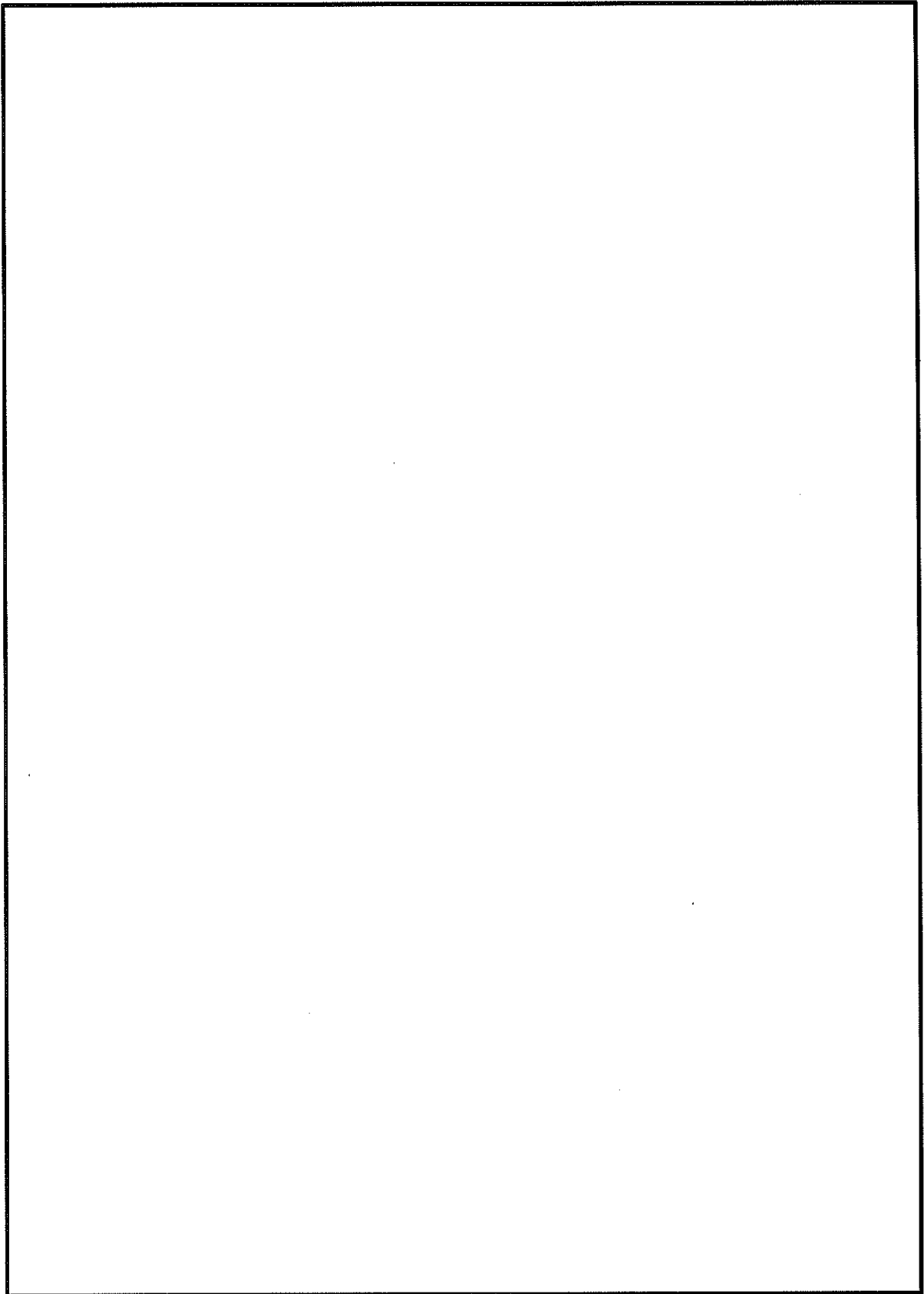
(ロ)-第 E. 2 図(d-2) 臨界計算モデル (燃料領域拡大図) (燃料棒ピッチ最小)
(15×15 燃料収納時)



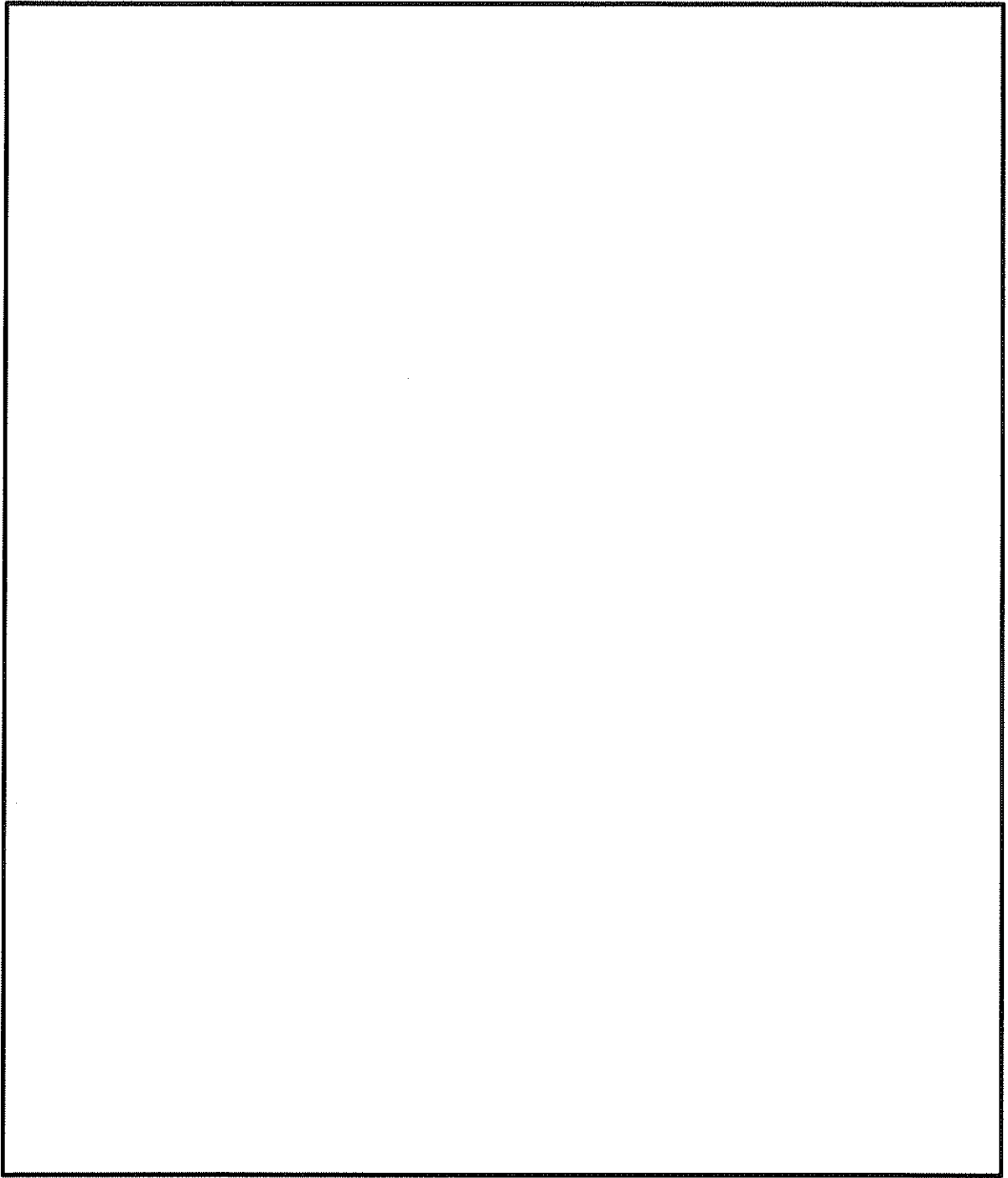
(ロ)-第 E. 2 図 (d-3) 臨界計算モデル (燃料領域横断面図) (燃料棒ピッチ変化なし)
(15×15 燃料収納時)



(ロ)-第 E. 2 図(d-4) 臨界計算モデル (燃料領域拡大図) (燃料棒ピッチ変化なし)
(15×15 燃料収納時)



(ロ)-第 E. 2 図(d-5) 臨界計算モデル (燃料領域横断面図) (燃料棒ピッチ均一拡大)
(15×15 燃料収納時)



(□)-第 E. 2 図(d-6) 臨界計算モデル(燃料領域拡大図) (燃料棒ピッチ均一拡大)
(15×15 燃料収納時)

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本臨界解析で用いた輸送物各領域の構成物質の原子個数密度を(ρ)-第E.2表に示す。

(ρ)-第E.2表 輸送物各領域の原子個数密度 (1/2)

| 領域 | 密度 (g/cm ³) | 元素 | 原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³) | |
|-------------------|----------------------------|----------------------|--|----------------------|
| | | | 17×17燃料 | |
| | | | 48,000MWd/t型 | |
| | | | A型 | |
| 燃料領域 | UO ₂ | <input type="text"/> | ²³⁵ U | <input type="text"/> |
| | | <input type="text"/> | ²³⁸ U | <input type="text"/> |
| | | <input type="text"/> | O | <input type="text"/> |
| | 燃料棒被覆管 制御棒案内管 計装用案内管 | <input type="text"/> | Zr ^(注1) | <input type="text"/> |
| | | <input type="text"/> | H | <input type="text"/> |
| | O | | <input type="text"/> | |
| ほう素添加 アルミニウム合金 | <input type="text"/> | ¹⁰ B | <input type="text"/> | |
| | | ¹¹ B | <input type="text"/> | |
| | | C | <input type="text"/> | |
| | | Al | <input type="text"/> | |
| 炭素鋼 | <input type="text"/> | Fe | <input type="text"/> | |
| ステンレス鋼 | <input type="text"/> | Cr | <input type="text"/> | |
| | | Fe | <input type="text"/> | |
| | | Ni | <input type="text"/> | |
| アルミニウム合金 | <input type="text"/> | Al | <input type="text"/> | |

(注1) 実際の仕様はジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) であるが、解析上は純度 100% のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分 (スズ等) は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいので、この取扱いは保守的である。

(ロ)-第 E. 2 表 輸送物各領域の原子個数密度 (2/2)

| 領域 | | 密度 (g/cm ³) | 元素 | 原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³) | |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|--|--------------------|
| | | | | 15×15燃料 | 48,000MWd/t型 A型 |
| 燃料領域 | UO ₂ | □ | ²³⁵ U | □ | □ |
| | | | ²³⁸ U | | |
| | | | O | | |
| | 燃料棒被覆管 制御棒案内管 計装用案内管 | □ | Zr ^(注1) | □ | □ |
| | | | 胴内ガス | | |
| | | | | O | |
| ほう素添加 アルミニウム合金 | □ | ¹⁰ B | □ | □ | |
| | | ¹¹ B | | | |
| | | C | | | |
| | | Al | | | |
| 炭素鋼 | □ | Fe | □ | □ | |
| ステンレス鋼 | □ | Cr | □ | □ | |
| | | Fe | | | |
| | | Ni | | | |
| アルミニウム合金 | □ | Al | □ | □ | |

(注1) 実際の仕様はジルコニウム合金（ジルカロイ-4）であるが、解析上は純度 100%のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分（スズ等）は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいいため、この取扱いは保守的である。

E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

1. 収納物

解析の対象とした(ロ)-第 E.1 表に示す燃料仕様は E.2.1 に示すとおり中性子実効増倍率が最も大きくなる仕様である。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における燃料集合体の変形を考慮し、支持格子 1 スパン間の燃料棒ピッチを縮小及び拡大させている。

なお、中性子実効増倍率が最大となるように、バスケット格子内の燃料集合体配置を考慮している。(燃料棒ピッチを拡大しない場合)

2. 輸送容器

本臨界解析では、安全側に緩衝体及び三次蓋が存在しないモデルとし、輸送容器の外側で完全反射境界条件とする。

また、胴内には核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においても浸水はないため水が存在しないが、安全側に浸水量を仮定し、水は胴内に均一に存在するものとする。

3. 中性子吸収材

本臨界解析では、中性子吸収材に含まれるほう素添加量を仕様上の下限値としている。また、胴内中性子束が小さいのでほう素添加アルミニウム合金が使用期間中に中性子を吸収して効果を失うことはない。

E.4.2 核燃料輸送物への水の浸入等

輸送物への水の浸入等に関しては次のとおりである。

- ・(ロ)章 A.9 に示したように核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においても密封装置の健全性及び二次蓋の防水性能は保たれるので、輸送物内部への水の浸入はない。ただし、臨界解析モデルでは 15 m 浸漬における浸水量に基づいて安全側に胴内の水量を 5000 cm³ とし、この水が均一に分散していると仮定した。
- ・本臨界解析では緩衝体を無視し、輸送容器の外側で完全反射境界条件としているので、輸送物の配列変化による接近により中性子実効増倍率がより大きくなることはない。
- ・燃料集合体は最も中性子実効増倍率が大きくなるようにバスケット格子内に配置しているので、収納物の再配列により中性子実効増倍率がより大きくなることはない。
- ・本臨界解析では輸送容器の外側で完全反射境界条件としているので、水中又は雪中への浸漬によって中性子実効増倍率がより大きくなることはない。
- ・本臨界解析では胴内の水量を上述のように仮定しているため、温度変化の水密度への影響はなく、中性子実効増倍率への影響はない。

- ・浸水及び漏水を防止する特別な措置に係る品質管理及び取扱いについては、E.7.1に示す。

E.4.3 計算方法

臨界計算には、米国オークリッジ国立研究所で、原子力関連許認可評価用に開発された SCALE¹⁾ (Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation) コードシステムを用いた。中性子実効増倍率の計算には、KENO-VIコードを用いた。各領域の群定数計算には共鳴処理コード BONAMI、CENTRM 及び PMC を用い、核データライブラリは SCALE コードシステムの内蔵ライブラリデータの一つである ENDF/B-VIIに基づく 252 群断面積ライブラリを用いた。計算の流れを(ρ)-第 E.3 図に示す。本計算コードを用い、(ρ)-第 E.2 図のモデルに対して臨界計算を行った。

E.4.4 計算結果

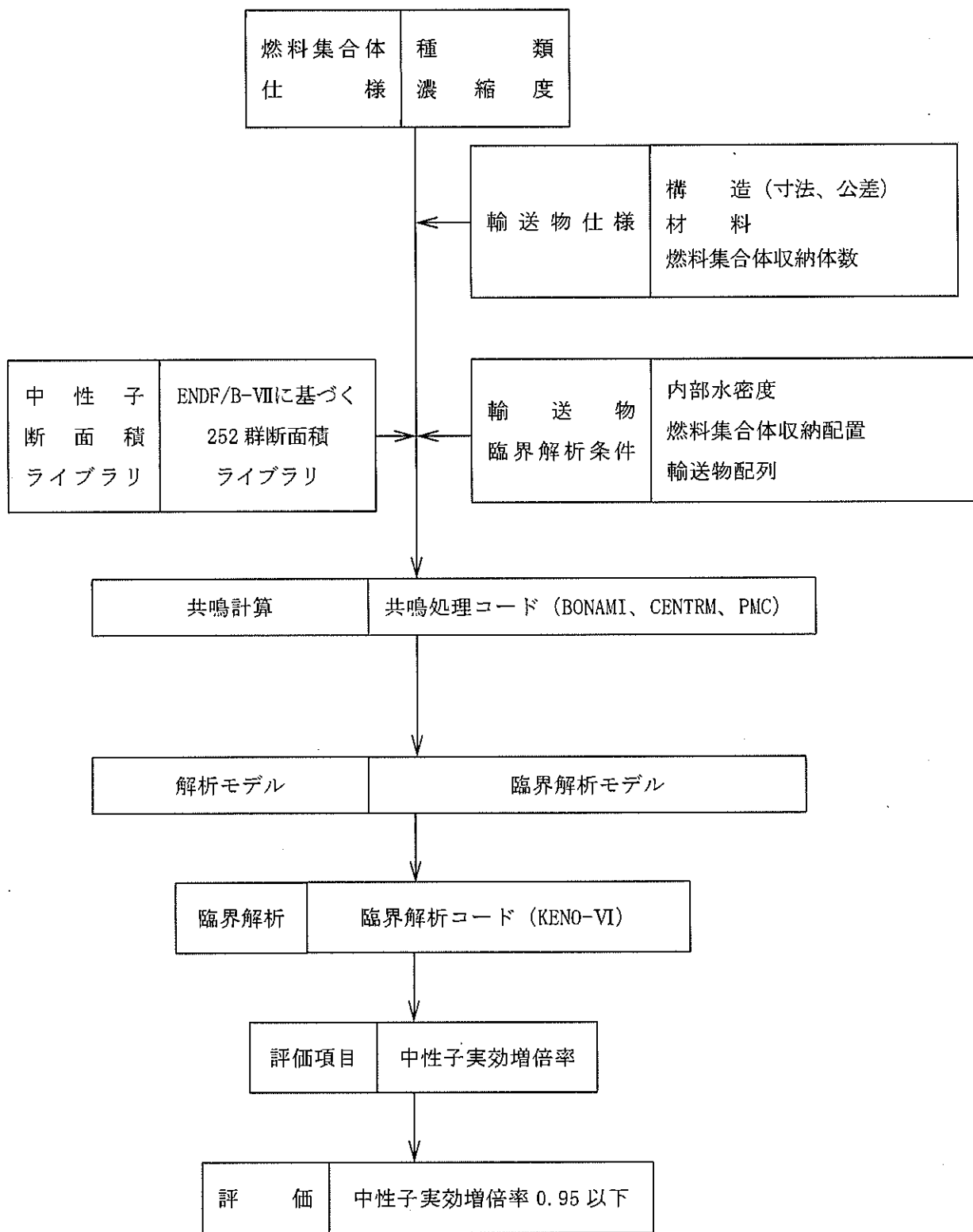
臨界解析の結果を(ρ)-第 E.3 表に示す。本計算は通常輸送時並びに核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件下に置かれた輸送物の孤立系及び配列系の各状態と比較して安全側の計算であり、中性子実効増倍率 (k_{eff}) は標準偏差 (σ) の 3 倍を加えても十分未臨界である。

(ρ)-第 E.3 表 臨界計算結果 (1/2)

| | 項目 | k_{eff} | σ | $k_{eff} + 3\sigma$ |
|----------------|------------|-----------|----------|---------------------|
| 17×17燃料 収納時 | 燃料棒ピッチ最小 | 0.38706 | 0.00013 | 0.38745 |
| | 燃料棒ピッチ変化なし | 0.38666 | 0.00013 | 0.38704 |
| | 燃料棒ピッチ均一拡大 | 0.38646 | 0.00015 | 0.38689 |

(ρ)-第 E.3 表 臨界計算結果 (2/2)

| | 項目 | k_{eff} | σ | $k_{eff} + 3\sigma$ |
|----------------|------------|-----------|----------|---------------------|
| 15×15燃料 収納時 | 燃料棒ピッチ最小 | 0.38147 | 0.00013 | 0.38186 |
| | 燃料棒ピッチ変化なし | 0.38105 | 0.00013 | 0.38145 |
| | 燃料棒ピッチ均一拡大 | 0.38080 | 0.00014 | 0.38122 |



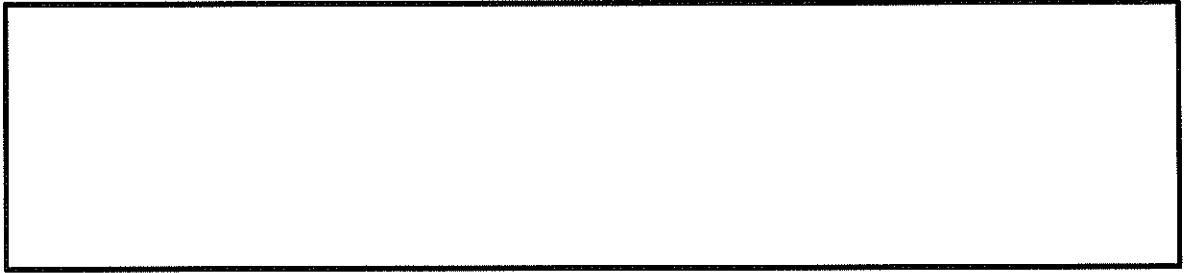
(ロ)-第 E.3 図 臨界計算の流れ

E.5 ベンチマーク試験

本輸送物の臨界解析に用いた計算方法及び核データの妥当性を確認するため、OECD/NEAにて評価・収集された臨界実験に関わる国際ベンチマークデータベース²⁾から、収納対象である燃料集合体の仕様並びに下記の輸送時の取扱いに関わる条件を考慮し、臨界解析を行う臨界実験を選定する。

- ① 燃料棒を配列した集合体が水中に単独で存在する場合
- ② 複数の集合体が近接して配列する場合
- ③ この集合体の配列の間に鋼板、中性子吸収材（ほう素）を含む板が存在する場合
- ④ 集合体に近接して反射体（鋼板、鉛）を配置した場合
- ⑤ 水中に中性子吸収材（ほう素）が溶解している場合
- ⑥ 乾式貯蔵の条件を模擬し、減速材を用いない場合

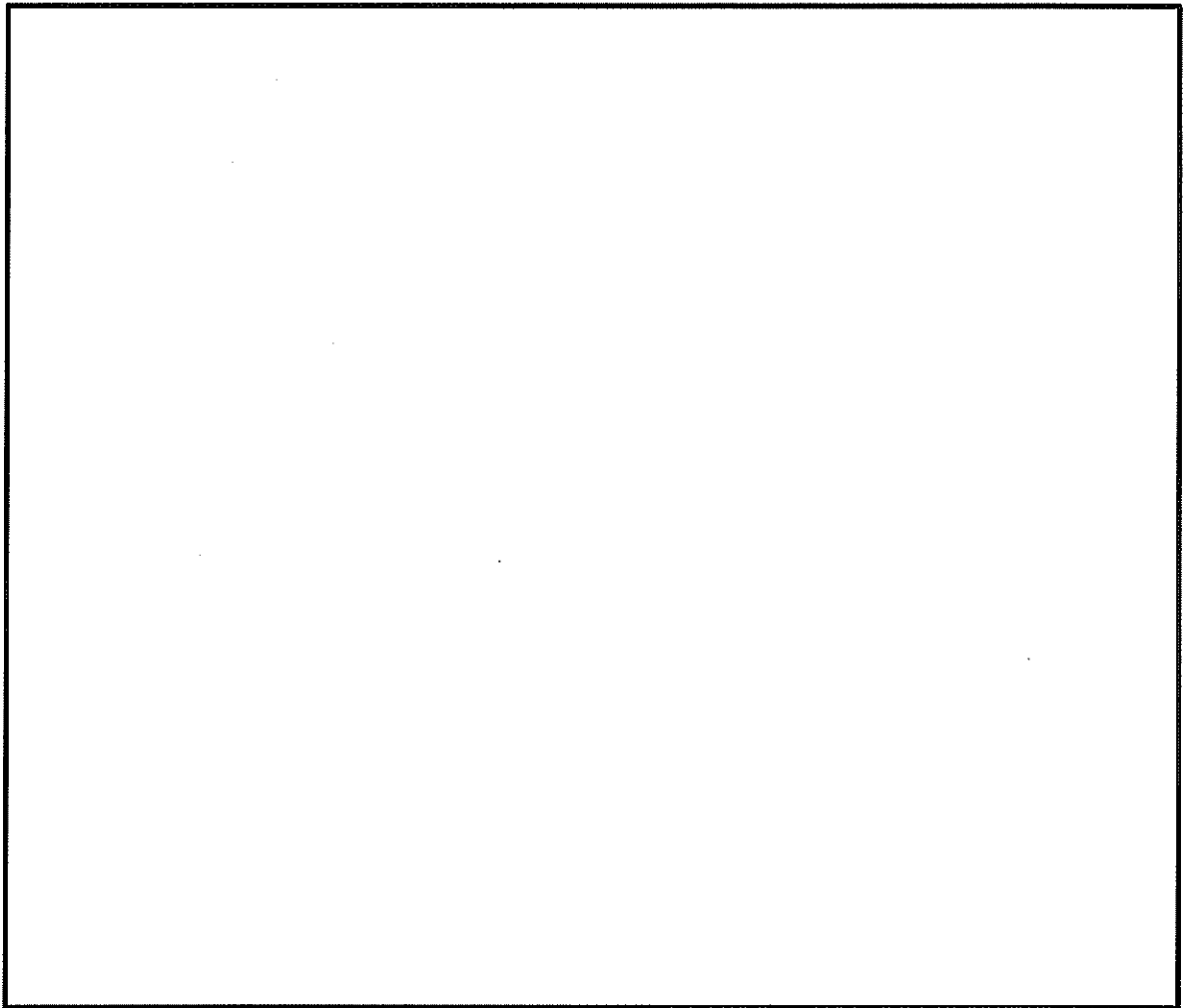
以上より、次の3つの機関により実施された臨界実験より、合計 ケースを選定した。



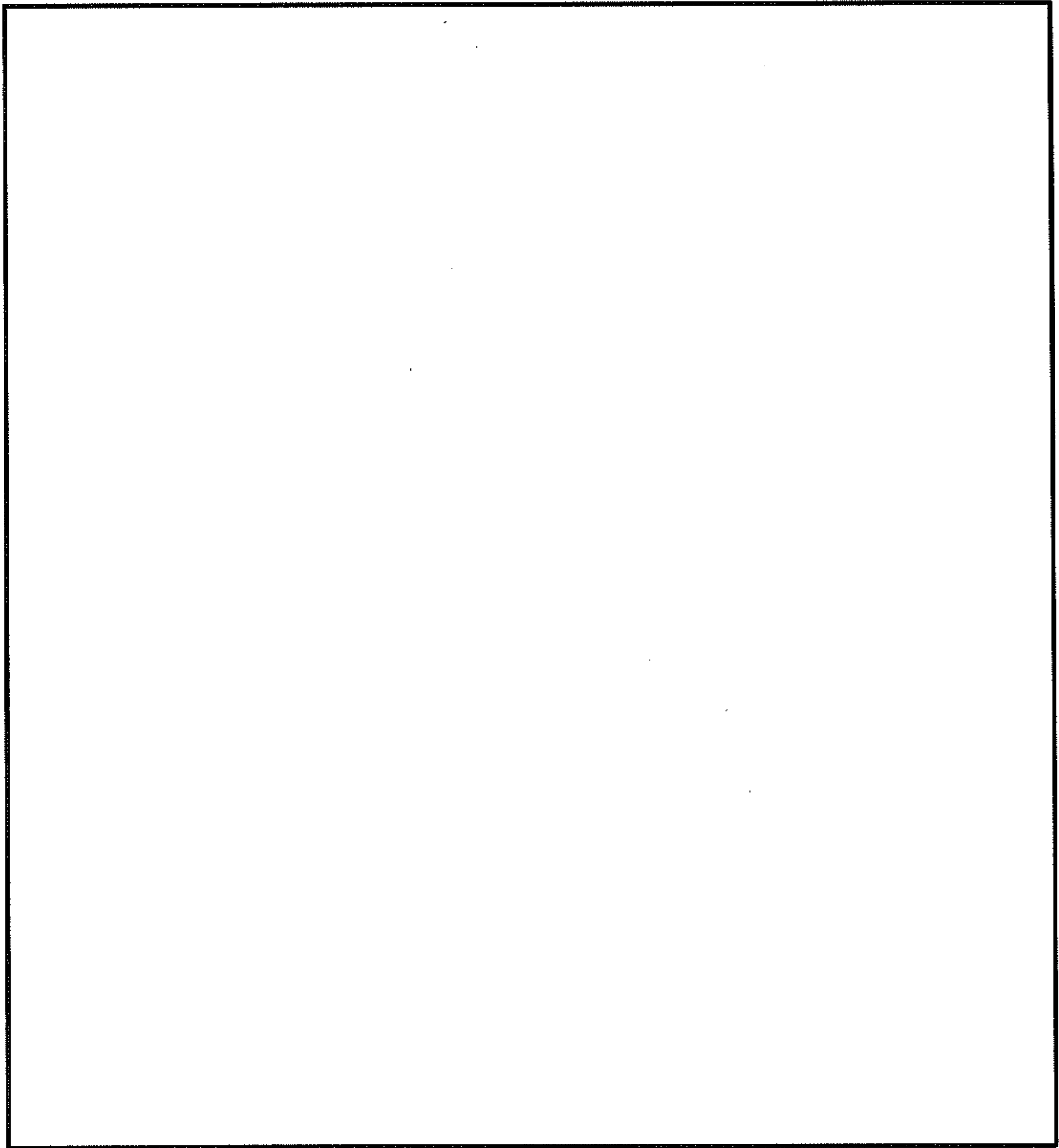
解析結果を (ロ)-第 E.4 表に示す。ベンチマーク解析の結果、本輸送物の臨界解析に用いた計算コード及び核データは妥当な結果を与えるといえる。

(㍀)-第 E. 4 表 臨界解析結果

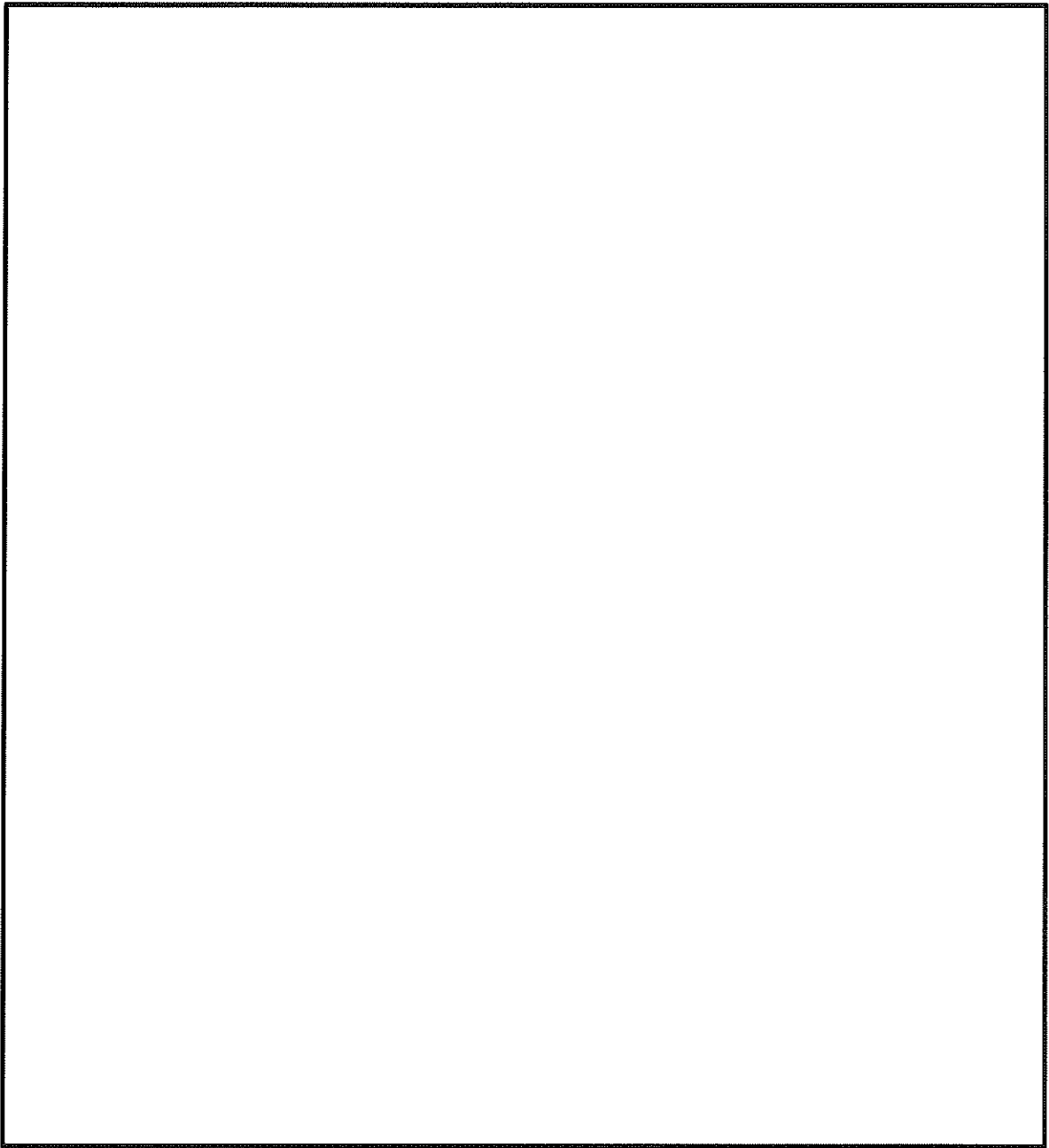
| | ケース数 | 平均値 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 |
|---------|---|---------|---------|---------|---------|
| 臨界実験(1) |  | 0.99961 | 0.00304 | 1.01172 | 0.99651 |
| 臨界実験(2) | | 0.99776 | 0.00264 | 1.00055 | 0.99363 |
| 臨界実験(3) | | 1.00279 | 0.00259 | 1.00452 | 0.99981 |
| 合計 | | 0.99940 | 0.00309 | 1.01172 | 0.99363 |



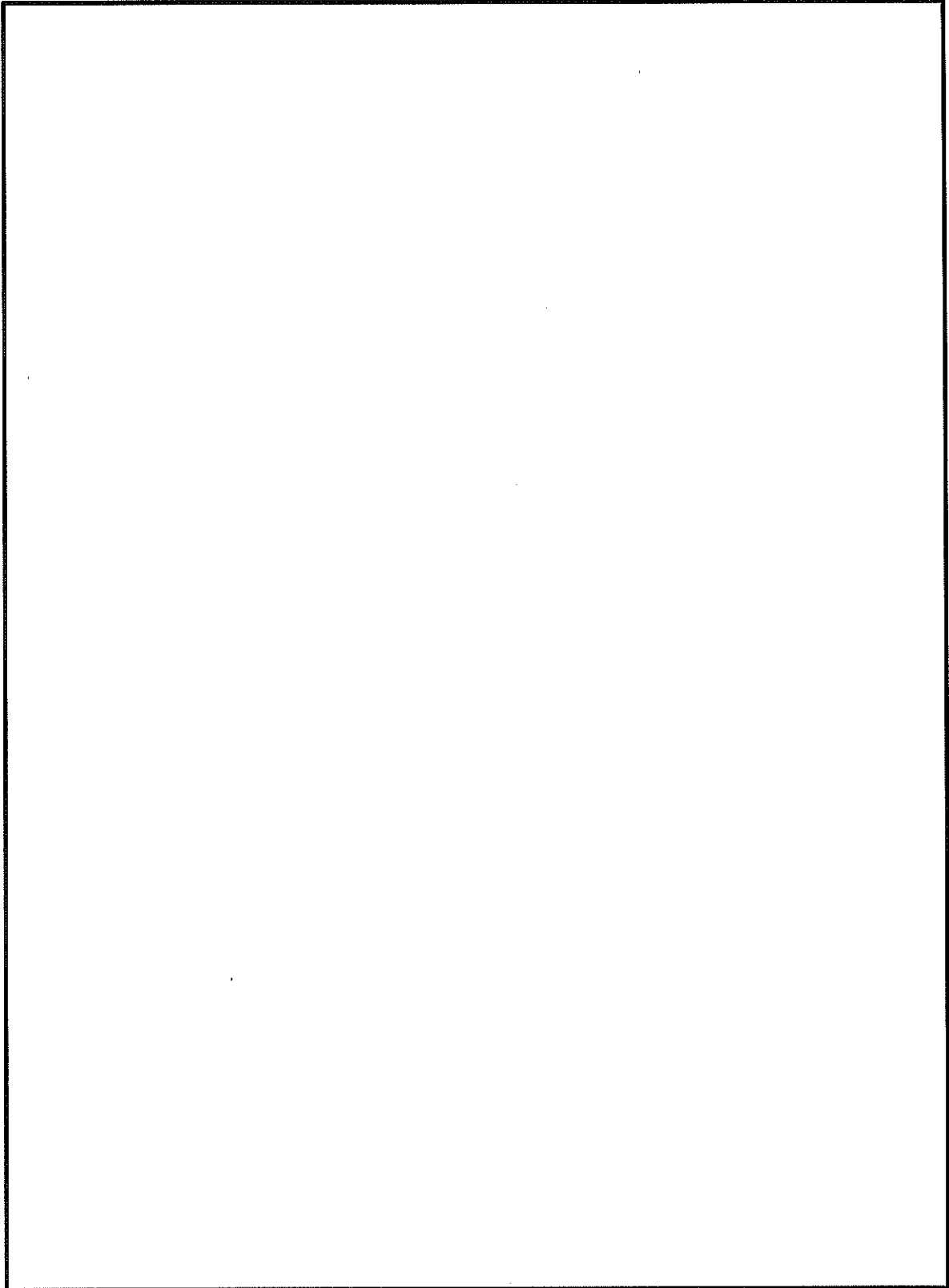
(㍀)-第 E. 4 図(a)  臨界実験に用いた燃料棒



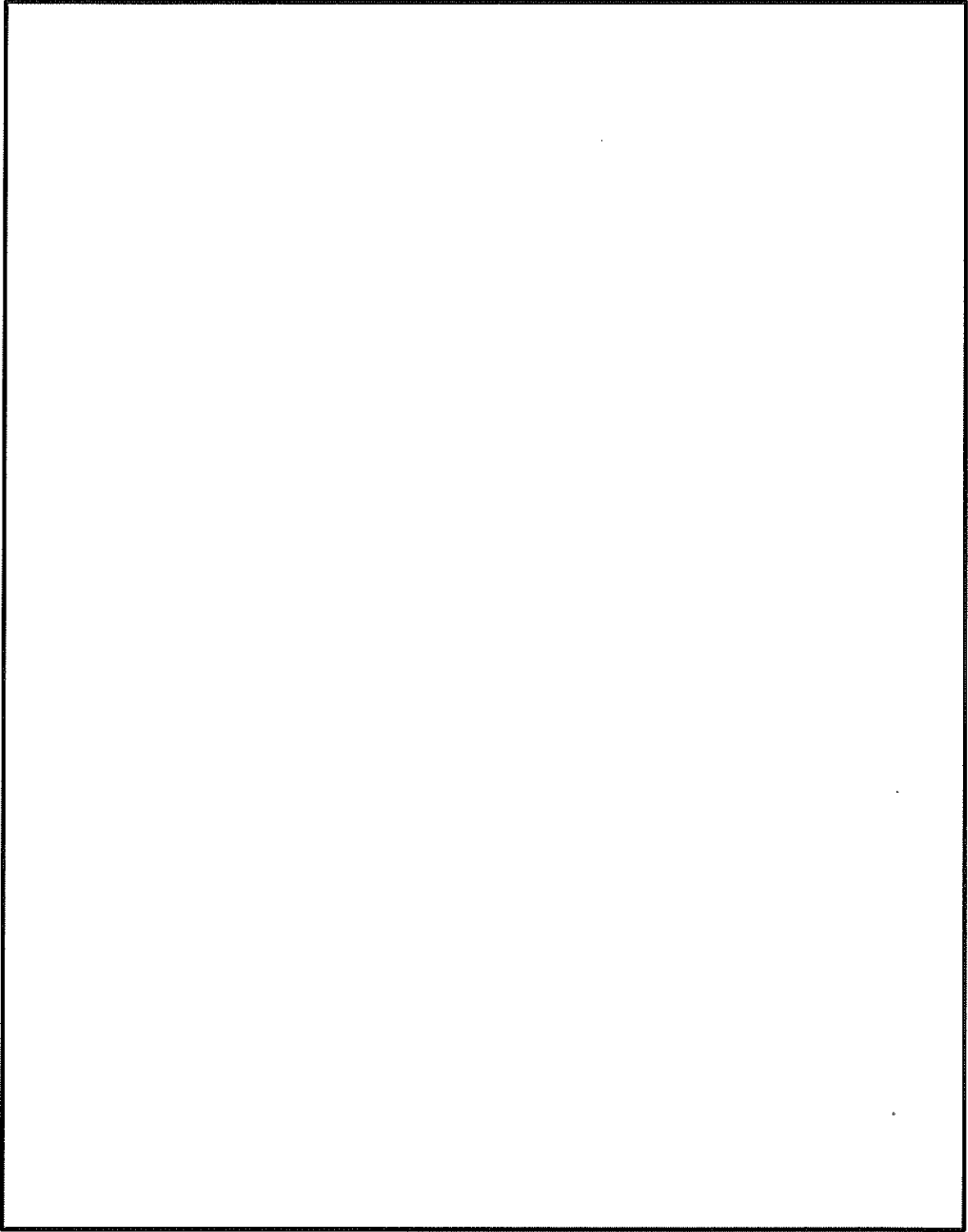
(p)-第E.4図(b) [redacted] 臨界実験体系(1)



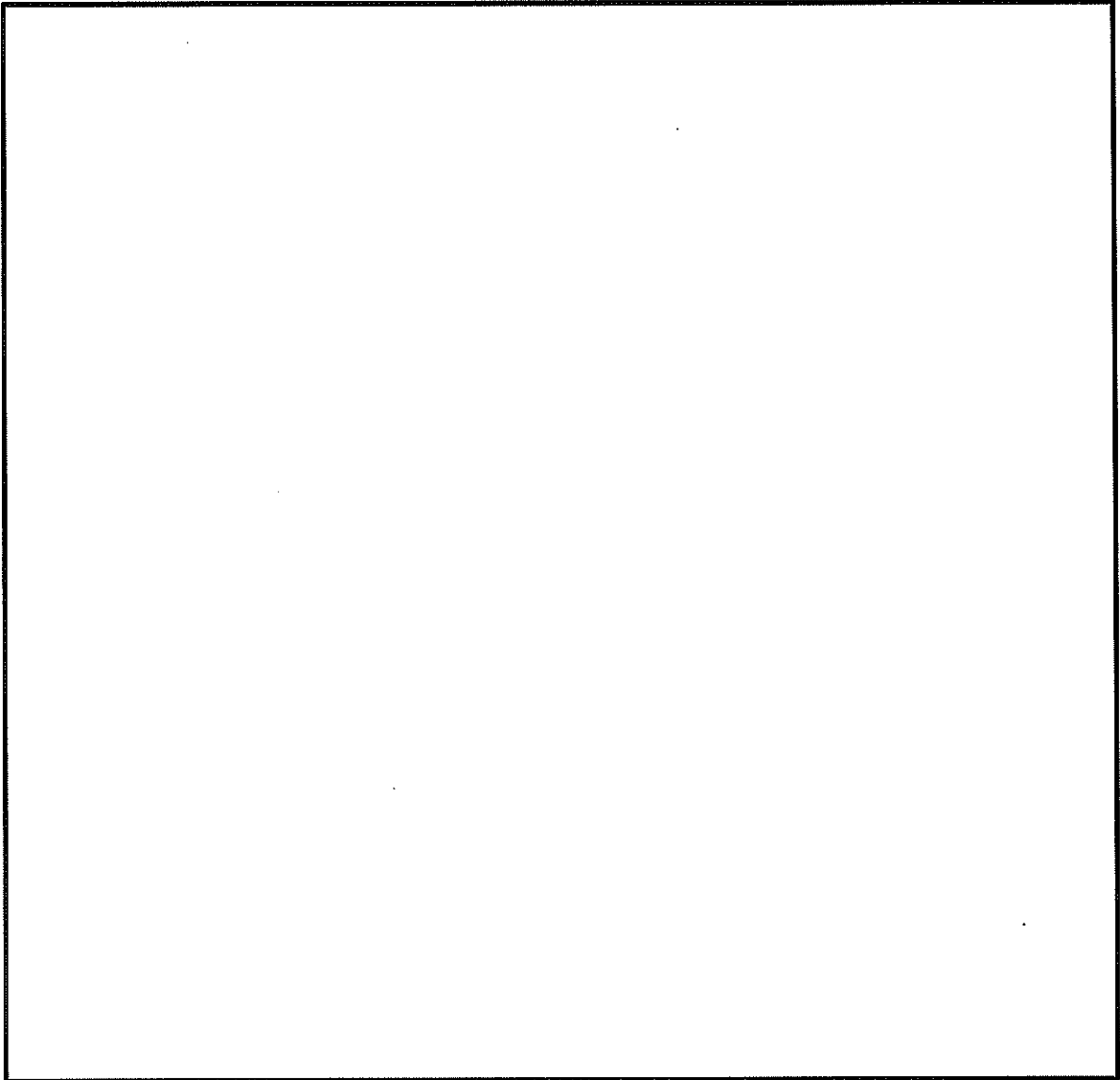
(□)-第E.5 図 臨界実験体系(2)



(a)-第E.6图 臨界実験体系(1)



(□)-第E.7図 臨界実験体系(2)



(□)-第E.8区 臨界実験体系

E.6 結果の要約及びその評価

本輸送容器のバスケットは、断面形状が中空状であるアルミニウム合金製のバスケットプレートで構成された格子構造であり、個々の燃料集合体が輸送容器内部の所定の位置に収納される。また、バスケットプレートと中性子吸収材を併せて配置することで臨界を防止する構造としている。

本輸送物の臨界解析は、通常輸送時並びに核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件下に置かれた輸送物の孤立系及び配列系のいずれの条件より厳しい条件で行い、結果は十分未臨界であった。したがって、上記のいずれの条件においても未臨界が維持される。

E.7 付属書類

E.7.1 輸送容器の品質管理及び輸送前の密封性能の確認

本輸送容器については、発電用原子炉設置者の保安規定に基づく品質マネジメントシステムにより品質管理が行われ、参考に示すように、製作中及び製作完了時に十分な検査が行われる。また、(ハ)章に示す保守により性能が維持される。

輸送前には、(ハ)章に示すように発送前検査において三次蓋及び二次蓋の気密漏えい試験が実施され密封性能が確認される。

E.7.2 洞内の浸水量

本輸送容器は燃料集合体を収納後、内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、A.9.2の2.に示すように、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においても、輸送容器の三次蓋及び二次蓋は密封性能を維持し、二重の防水機能が維持されるため、洞内が水で満たされることはない。しかし、ここでは仮想的に、洞内への浸水としては、浸漬試験において洞内に浸入する水を仮定する。

本輸送容器の防水機能である三次蓋及び二次蓋の密封性能は(ロ)-第E.付1表に示すとおりである。洞内への浸水量を、三次蓋の密封性を安全側に無視して、二次蓋に対して15 m浸漬の水圧がかかったとして評価する。

(ロ)章Cに示した手法により二次蓋のガスケットからの浸水率を求めた結果を(ロ)-第E.付2表に示す。1ヶ月間の浸水量は2000 cm³程度である。

上記の15 m浸漬における浸水量に基づいて安全側に洞内の水量としては5000 cm³を考慮し、この水が均一に分散していると仮定した。

(ロ)-第E.付1表 防水機能の密封性能

| 部位 | 漏えい率 (ref cm ³ /s) | 備考 |
|-----|----------------------------------|---|
| 三次蓋 | 1×10 ⁻³ | 気密漏えい試験の基準値 |
| 二次蓋 | 5×10 ⁻³ | 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の影響を考慮した金属ガスケットの漏えい率 ³⁾ |

(ロ)-第 E. 付 2 表 15 m 浸漬の水圧による浸水率

| 項目 | 部位 | 密 封 境 界 (蓋部) |
|---|----|--|
| P_u : 上 流 側 圧 力 (MPa) | | 0.251325 |
| P_d : 下 流 側 圧 力 (MPa) | | 0.0 |
| T : 流 体 の 温 度 (K) | | 383.15 ^(注1) |
| a : 漏 え い 孔 長 (cm) | | |
| D : 漏 え い 孔 径 (cm) | | |
| L : 15 m 浸漬の水圧による浸水率 (cm ³ /s) ^(注3) | | 7.32×10 ⁻⁴ (1.90×10 ³ cm ³ /月) |

(注1) ガasket部温度

(注2) ガasketの接触幅を採用

(注3) 水の計算においては(ロ)章Cの(1)式に替えて次式で求めた。

$$L = F_c \times (P_u - P_d) \quad 4)$$

E.7.3 取扱い時の臨界解析

輸送物の取扱い時においては、胴内に水が満たされる。ここでは、胴内に水が満たされる場合の臨界解析を行う。

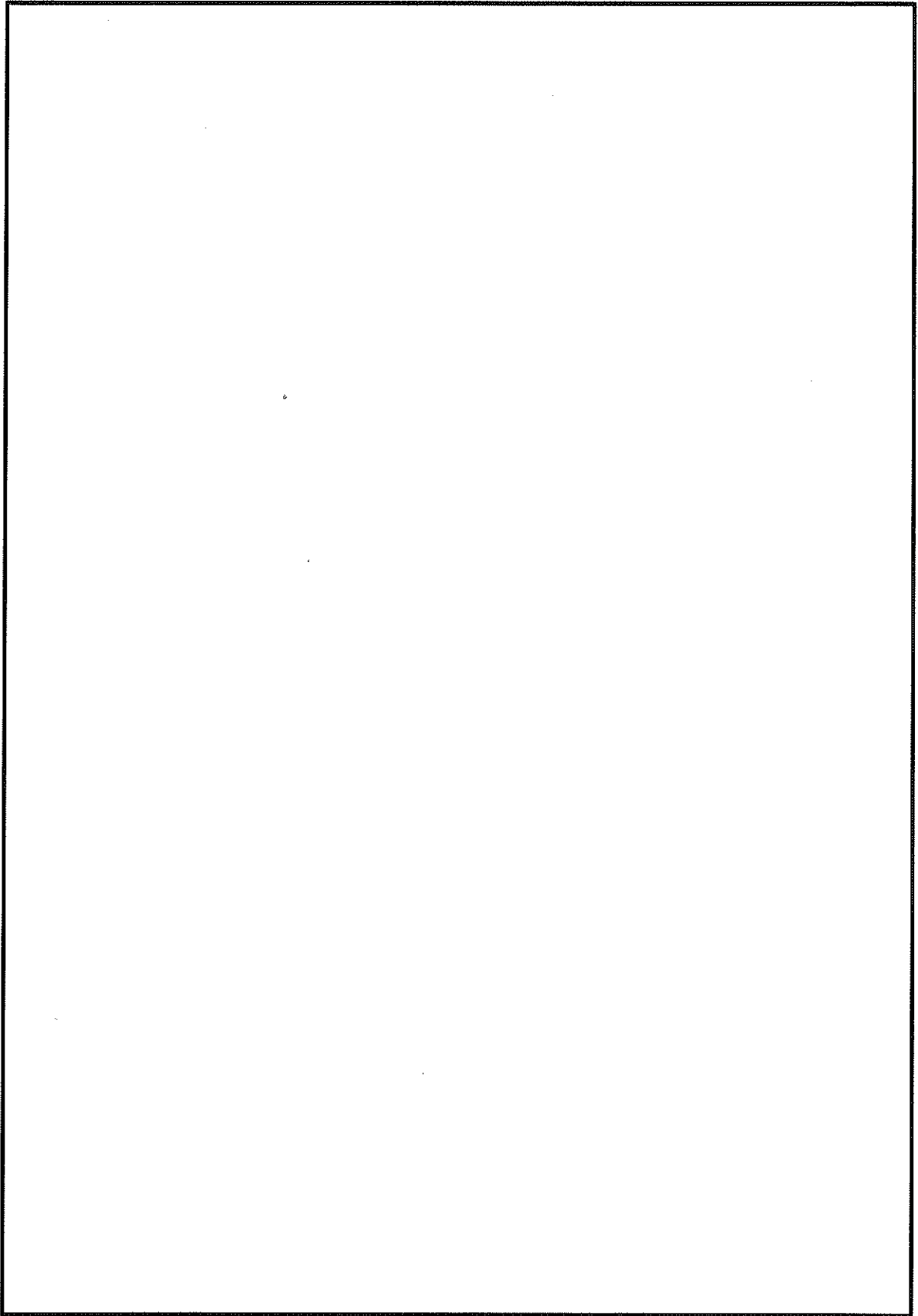
1. 解析モデル

(p)-第 E. 付 1 図に臨界解析モデルを示す。解析モデルは安全側の評価となるよう以下の条件を考慮した。

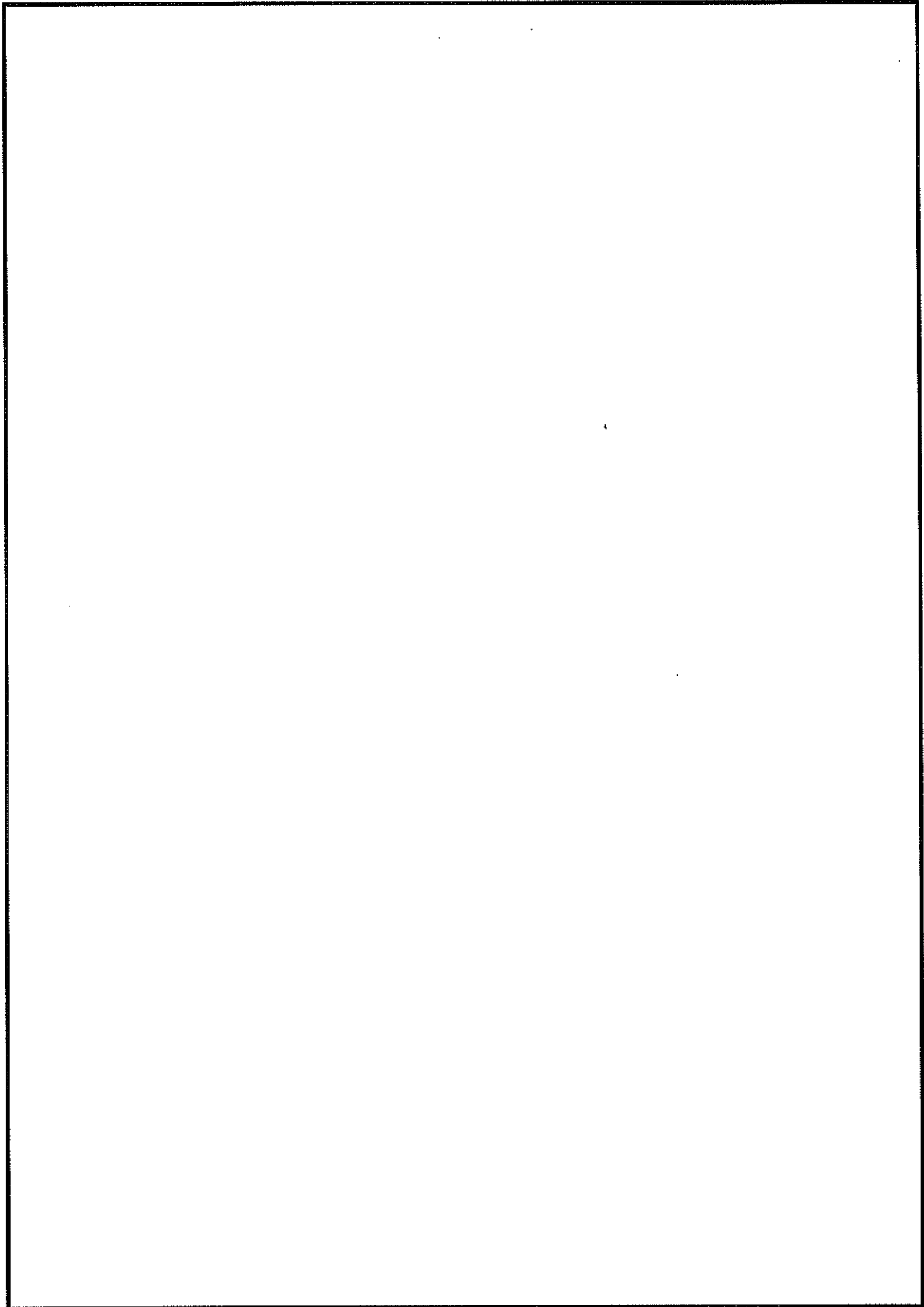
- ・輸送物が無限に配列している体系とする。
- ・中性子遮蔽材を無視する。
- ・緩衝体及び三次蓋を無視する。
- ・中性子実効増倍率が最大となるように、バスケットプレート板厚、バスケットプレート内幅、中性子吸収材板厚及びバスケット格子内のりの公差を考慮する。
- ・バスケット格子内の燃料集合体は、中性子実効増倍率が最大となるように配置する。
- ・胴内には水が存在するものとする。
- ・バスケットプレート及び中性子吸収材は、実在する部分は燃料有効部に相当する部分のみと仮定し、それ以外の部分は水に置き換える。

本臨界解析で用いた輸送物各領域の構成物質の原子個数密度を(p)-第 E. 付 3 表に示す。

輸送物の中性子実効増倍率を最も大きく評価するために、胴内の水の密度は 1.0 g/cm^3 とした。



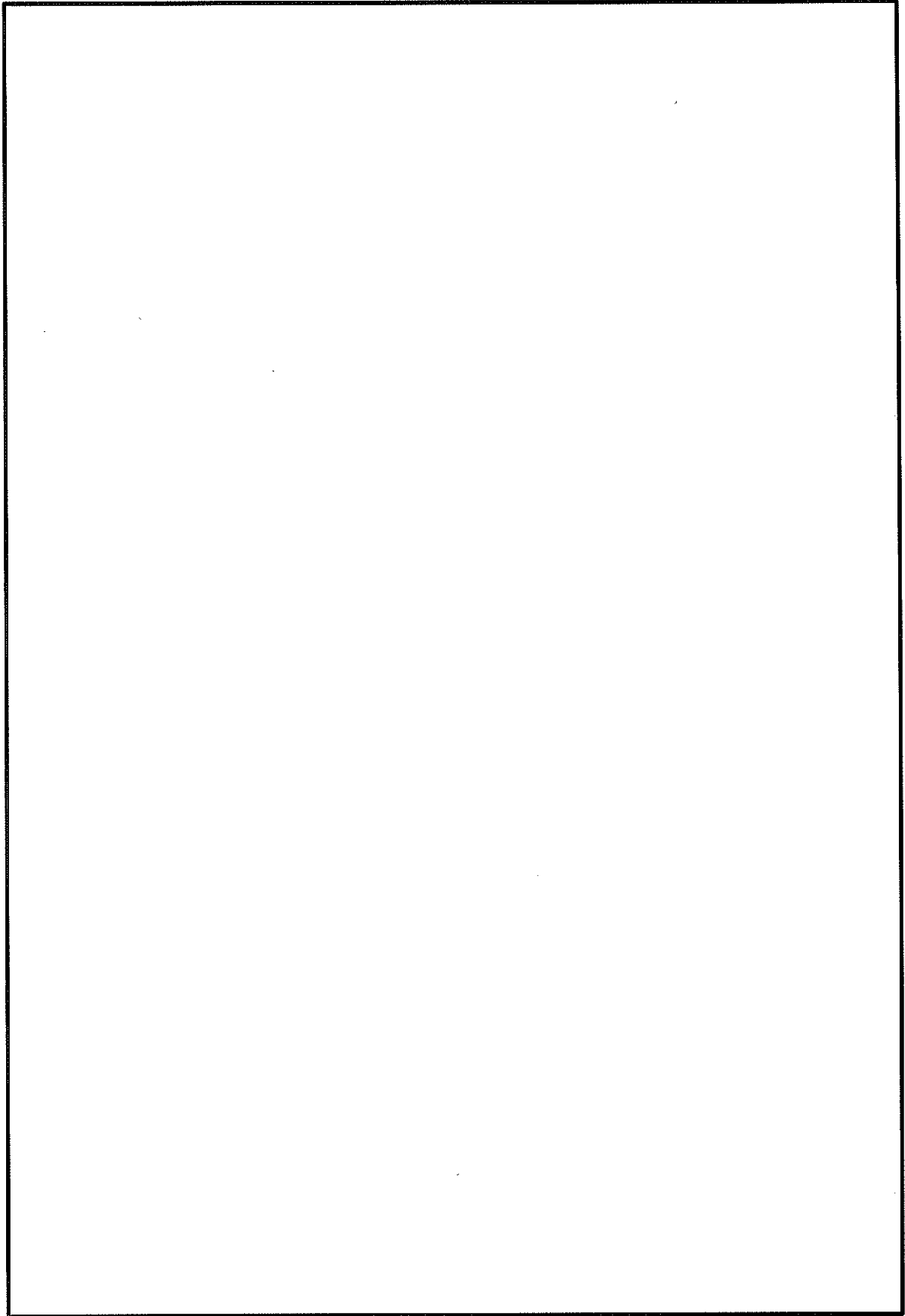
(ロ)-第 E. 付 1 図(a) 臨界計算モデル (縦断面図) (17×17 燃料収納時)



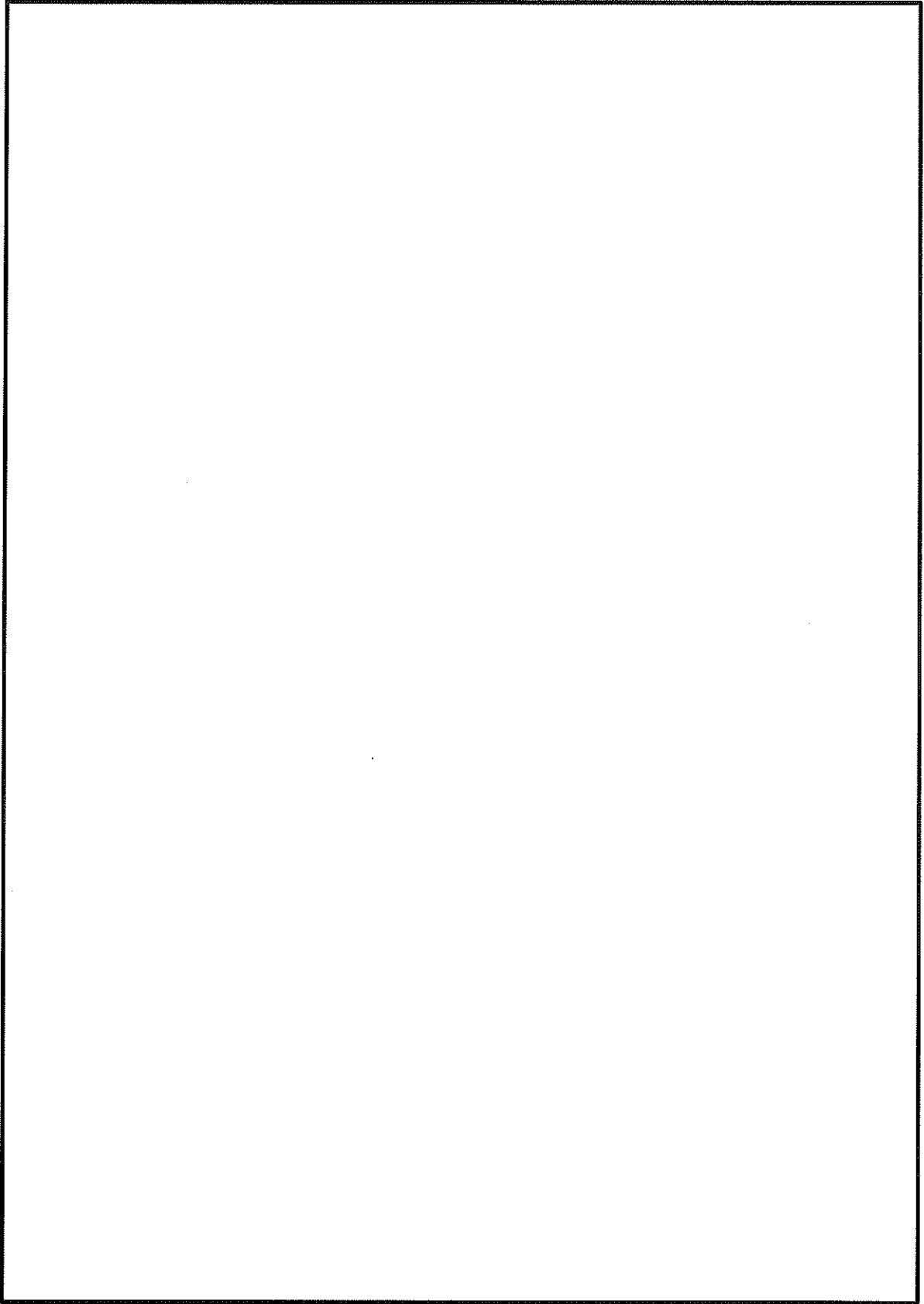
(ロ)-第 E. 付 1 図(b-1) 臨界計算モデル (燃料領域横断面図)
(17×17 燃料収納時)



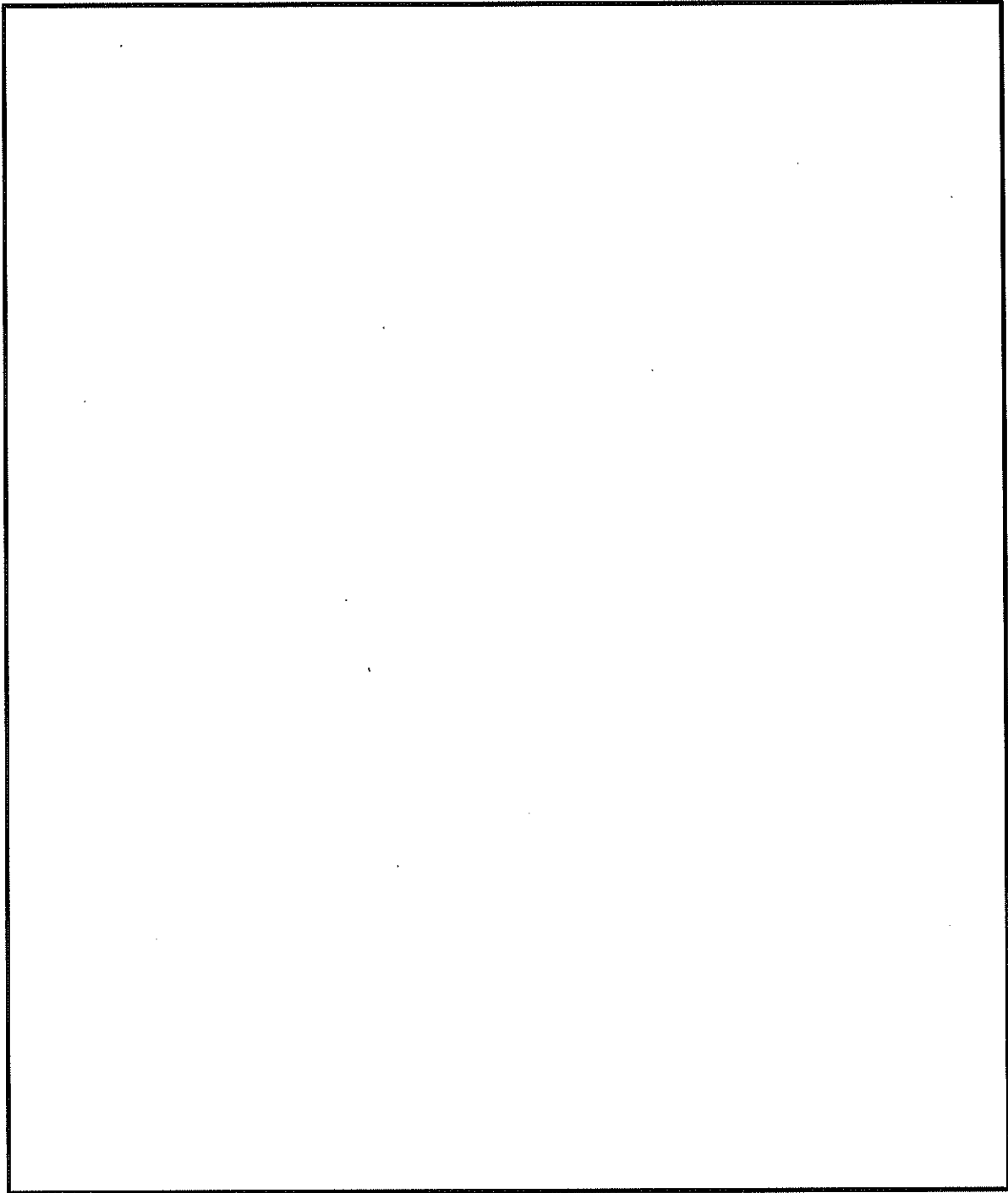
(ロ)-第E.付1図(b-2) 臨界計算モデル (燃料領域拡大図)
(17×17 燃料収納時)



(ロ)-第 E. 付 1 図(c) 臨界計算モデル (縦断面図) (15×15 燃料収納時)



(ロ)-第 E. 付 1 図 (d-1) 臨界計算モデル (燃料領域横断面図)
(15×15 燃料収納時)



(ロ)-第 E. 付 1 図(d-2) 臨界計算モデル (燃料領域拡大図)

(15×15 燃料収納時)

(ロ)-第 E. 付 3 表 輸送物各領域の原子個数密度 (1/2)

| 領域 | | 密度 (g/cm ³) | 元素 | 原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³) | | |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|--|---|---|
| | | | | 17×17燃料 | | |
| | | | | 48,000MWd/t型 | | |
| | | | | A型 | | |
| 燃料領域 | UO ₂ | □ | ²³⁵ U | □ | □ | |
| | | | ²³⁸ U | | | |
| | | | O | | | |
| | 燃料棒被覆管 制御棒案内管 計装用案内管 | □ | Zr ^(注1) | | □ | □ |
| | | | | | | |
| | 水 | □ | | H | □ | □ |
| O | | | | | | |
| ほう素添加 アルミニウム合金 | □ | | ¹⁰ B | □ | □ | |
| | | | ¹¹ B | | | |
| | | | C | | | |
| | | | Al | | | |
| 炭素鋼 | □ | | Fe | □ | □ | |
| ステンレス鋼 | □ | | Cr | □ | □ | |
| | | | Fe | | | |
| | | | Ni | | | |
| アルミニウム合金 | □ | | Al | □ | □ | |

(注 1) 実際の仕様はジルコニウム合金 (ジルカロイ-4) であるが、解析上は純度 100% のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分 (スズ等) は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいいため、この取扱いは保守的である。

(ロ)-第E.付3表 輸送物各領域の原子個数密度 (2/2)

| 領域 | | 密度 (g/cm ³) | 元素 | 原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³) | | | | | |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|--|---|---|---|---|---|
| | | | | 15×15燃料 | | | | | |
| | | | | 48,000MWd/t型 | | | | | |
| | | | | A型 | | | | | |
| 燃料領域 | UO ₂ | □ | ²³⁵ U | □ | □ | | | | |
| | | | ²³⁸ U | | | | | | |
| | | | O | | | | | | |
| | 燃料棒被覆管 制御棒案内管 計装用案内管 | □ | Zr ^(注1) | □ | □ | | | | |
| | | | | | | 水 | □ | H | □ |
| | | | | | | | | O | |
| ほう素添加 アルミニウム合金 | □ | □ | ¹⁰ B | □ | □ | | | | |
| | | | ¹¹ B | | | | | | |
| | | | C | | | | | | |
| | | | Al | | | | | | |
| 炭素鋼 | □ | □ | Fe | □ | □ | | | | |
| ステンレス鋼 | □ | □ | Cr | □ | □ | | | | |
| | | | Fe | | | | | | |
| | | | Ni | | | | | | |
| アルミニウム合金 | □ | □ | Al | □ | □ | | | | |

(注1) 実際の仕様はジルコニウム合金（ジルカロイ-4）であるが、解析上は純度100%のジルコニウムとして扱う。なお、他の合金成分（スズ等）は中性子吸収効果がジルコニウムより大きいいため、この取扱いは保守的である。

2. 計算方法

臨界計算には、E. 4. 3 と同様に SCALE コードシステムを用いた。

3. 計算結果

(□)-第 E. 付 4 表に臨界計算の結果を示す。本計算は E. 4. 4 に示した臨界計算結果より中性子実効増倍率 (k_{eff}) が大きくなるが、標準偏差(σ)の 3 倍を加えても十分未臨界である。

(□)-第 E. 付 4 表 臨界計算結果 (1/2)

| | k_{eff} | σ | $k_{eff}+3\sigma$ |
|------------|-----------|----------|-------------------|
| 17×17燃料収納時 | 0.91053 | 0.00045 | 0.91187 |

(□)-第 E. 付 4 表 臨界計算結果 (2/2)

| | k_{eff} | σ | $k_{eff}+3\sigma$ |
|------------|-----------|----------|-------------------|
| 15×15燃料収納時 | 0.90956 | 0.00041 | 0.91078 |

E. 7. 4 参考文献

- 1) B. T. Rearden and M. A. Jessee, Eds., "SCALE Code System", ORNL/TM-2005/39, Version 6.2.1, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee (2016).
- 2) "International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments.", NEA/NSC/DOC(95)03 (2006).
- 3) (独) 原子力安全基盤機構, 「平成 16 年度 中間貯蔵施設健全性評価手法等調査 最終報告」, (2005).
- 4) American National Standards Institute, Inc., "American National Standard for Radioactive Materials - Leakage Tests on Packages for Shipment", ANSI N14.5-2014, (2014).

(ロ)章F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

本輸送容器は、特定兼用キャスク貯蔵施設における貯蔵後の輸送にも用いられる。ここでは、使用予定期間（60年）中の輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化について、(ロ)章の安全解析で考慮する事項について示す。

F.1 考慮すべき経年変化要因

本核燃料輸送物において想定される使用条件（使用予定期間60年及び使用予定回数10回）を踏まえ、輸送容器の構成部材及び収納物に対して考慮すべき経年変化の要因を以下に示す。

(1) 熱的劣化

高温での材料組成・材料組織の変化、強度・延性・脆性・クリープ・その他物性値の変化及び質量減損

(2) 放射線照射による劣化

中性子照射による材料組成・材料組織の変化及び強度・弾性・延性・脆性・その他物性値の変化

(3) 化学的劣化

全面腐食、応力腐食割れ、異種材料接触部の化学的反応及び燃料被覆管材料における水素吸収・酸化

(4) 疲労による劣化

繰返し荷重の作用による疲労破壊

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

(1) 経年変化の考慮の必要性の評価条件

「F.1」において抽出した経年変化要因を踏まえ、経年変化の考慮の必要性について以下の考えで評価した。

- a. 使用予定期間（60年）中継続して使用される輸送物の各構成部材については、長期間の貯蔵に供した後、1回の事業所外運搬により再処理工場に輸送されるケースと、再利用により短期間の貯蔵と輸送を最大10回繰返すケースを考慮して、使用予定期間中に想定される最大の温度、累積照射量、負荷の繰返し回数を用いて経年変化の影響を評価した。
- b. 輸送時のみに使用される三次蓋・緩衝体の構成部材については、以下のとおり評価した。なお、EPDM製の三次蓋Oリングは、輸送の都度交換する部材であるため、評価から除外している。

- ・ 三次蓋については、上記の使用予定期間（60 年）中継続して使用される輸送物の構成部材と同様に評価した。
- ・ 緩衝材については、使用済燃料の輸送実績から想定される輸送容器が通常使用される条件での緩衝材の温度評価、及び過去に使用済燃料の輸送に供された輸送容器から採取した木材の試験結果を基に評価した。放射線照射による劣化、化学的劣化については、上記の使用予定期間（60 年）中継続して使用される輸送物の構成部材と同様に評価した。

ここで、使用予定期間（60 年）中継続して使用される輸送物の各構成部材に係る熱的劣化については、(ロ)-第 F.1 表に示すとおり貯蔵時及び輸送時（一般の試験条件下の太陽熱放射ありの条件）の最高温度のうち高い温度が 60 年間継続する際の影響を評価する。

(2) 経年変化の考慮の必要性の評価結果

収納物の経年変化考慮の必要性を評価した結果を(ロ)-第 F.2 表に示す。また、輸送容器の構成部材のうち使用予定期間（60 年）中継続して使用される輸送容器の構成部材である特定兼用キャスク本体、バスケット、一次蓋及び二次蓋の経年変化考慮の必要性を評価した結果を(ロ)-第 F.3 表に、輸送時のみに使用される三次蓋及び緩衝体の経年変化考慮の必要性を評価した結果を(ロ)-第 F.4 表に示す。なお、疲労による劣化については、別途(ロ)章 A「構造解析」の A.4.4.2 において取扱時に荷重が負荷される上部トラニオンの、A.5.1.4 において内圧変化による荷重が負荷される三次蓋及び三次蓋ボルトの疲労評価を実施し、使用計画回数は許容繰返し回数を十分下回っていることを確認している。よって、繰返し荷重に伴う疲労による劣化の影響はない。

(ロ)-第 F.2 表から(ロ)-第 F.4 表に示す評価結果に基づき、(ロ)章では、バスケット（アルミニウム合金）、中性子遮蔽材（レジン）及び金属ガスケットの経年変化を考慮する。

(ロ)-第 F.1 表 使用予定期間 (60 年) 中継続して使用される輸送物の各構成部材における

貯蔵時及び輸送時の最高温度の比較

| 構成部材 | 最高温度 (°C) (注) | |
|-------------------|---------------|-----|
| | 貯蔵時 | 輸送時 |
| 燃料被覆管 | 215 | 206 |
| 胴 (本体部) | 132 | 121 |
| 胴 (フランジ部) | 119 | 111 |
| 胴 (底板) | 142 | 133 |
| 一次蓋 | 118 | 110 |
| 一次蓋ボルト | 118 | 110 |
| 二次蓋 | 112 | 105 |
| 二次蓋ボルト | 112 | 105 |
| 外筒 | 123 | 114 |
| 下部端板 | 123 | 115 |
| 蓋部中性子遮蔽材カバー | 116 | 108 |
| 底部中性子遮蔽材カバー | 124 | 117 |
| トラニオン | 127 | 118 |
| バスケット | 188 | 178 |
| 伝熱フィン | 126 | 115 |
| 金属ガスカート | 118 | 109 |
| 中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部) | 135 | 127 |

(注) 17×17 燃料収納時及び 15×15 燃料収納時のうち、温度が高い方を示す。

なお、貯蔵時の最高温度は、添付書類 9「特定兼用キャスクの冷却能力に関する説明書」における解析結果である。

(ロ)-第F.2表 収納物の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/2)

| 収納物 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|------------------|------------|---|
| 燃料被覆管 (ジルカロイ) | 熱 | <p>クリーブひずみの進行による燃料被覆管の破損、照射硬化の回復による燃料被覆管強度の低下、燃料被覆管中の水素化物再配向による燃料被覆管の脆化、及び応力腐食割れについて評価する必要がある¹⁾。</p> <p>クリーブひずみの進行については、予測式に基づき累積クリーブひずみが1%以下となるよう制限することで防止できる²⁾ことが示されており、後述する燃料被覆管中の水素化物再配向を防止する基準以内では、クリーブひずみが1%を超えることはない。</p> <p>照射硬化の回復については、国内の軽水炉で照射された PWR 燃料の燃料被覆管を用いた照射硬化回復試験の結果では、硬化の回復のしきい値は 300 °C 近傍³⁾であり、しきい値以下であれば照射硬化の回復の可能性は小さく、燃料被覆管の温度を制限することにより防止できる。</p> <p>燃料被覆管中の水素化物再配向については、国内の軽水炉で照射された PWR 燃料の燃料被覆管を用いた水素化物再配向試験及び機械的特性試験の結果、被覆管の周方向機械的特性が低下しない燃料被覆管の温度が 275 °C 以下、周方向応力が 100 MPa 以下⁴⁾と求められており、燃料被覆管温度と周方向応力を上記基準以内に制限することによって、機械的特性の劣化を防止できる。</p> <p>上記に示すとおり、燃料被覆管中の水素化物再配向を防止することにより、他の発生も同時に防ぐことができる。使用予定期間中の燃料被覆管の最高温度は、215 °C である。また、最高温度における燃料被覆管の周方向応力は、94 MPa (17×17 燃料) 及び 99 MPa (15×15 燃料) であり、水素化物再配向を防止する基準以内であることから、熱による経年変化を考慮する必要はない。</p> |

(ロ)-第 F.2 表 収納物の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/2)

| 収納物 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|------------------|------------|---|
| 燃料被覆管 (ジルカロイ) | 照射 | 使用予定期間中の累積中性子照射量が 1.5×10^{15} n/cm ² であり、炉内の中性子照射量 ($10^{21} \sim 10^{22}$ n/cm ²) に対して十分低いことから、放射線照射による影響は無視し得る ¹⁾ 。 |
| | 化学 | <p>応力腐食割れについては、燃料ペレットの温度上昇による腐食性核分裂生成ガスの放出はなく、また、原子炉運転中に燃料ペレットから放出されたよう素はヨウ化セシウムとして安定に存在することから応力腐食割れが発生する化学的雰囲気となっていない¹⁾。なお、腐食性雰囲気を整った条件下での応力腐食割れ試験でジルコニウム合金の応力腐食割れのしきい応力は 200 MPa であり、使用済燃料貯蔵時の応力はこれに比べて十分低い¹⁾。</p> <p>また、残留水分が 10 wt% 以下の不活性ガス雰囲気にある燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量は無視し得るほど小さい²⁾ため、燃料被覆管の健全性に影響はない。</p> |

(ロ) 第 F.3 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/7)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|-------------------------------------|------------|---|
| 胴 一次蓋 二次蓋 (炭素鋼) | 熱 | 高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、最高温度 (142 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (300 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ^{3), 4)} されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。 |
| 一次蓋ボルト 二次蓋ボルト (ニッケルクロムモリブデン鋼) | 照射 | 中性子照射量が 10^{16} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁵⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 6.9×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 |
| | 化学 | 輸送容器の使用済燃料を閉じ込める空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、使用済燃料を貯蔵する設計としている。一方で、炭素鋼は、淡水に完全に浸漬した条件においても腐食速度は十分に小さいことが示されている ⁶⁾ 。したがって、残留水分 (10 wt%) を考慮しても腐食の影響はない。また、使用済燃料貯蔵時の温度条件において、仮に燃料破損率 1 % 相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、腐食の影響はない ⁷⁾ 。 一次蓋と二次蓋の間の空間部 (以下「蓋間空間」という。) には不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、不活性雰囲気維持されるため、腐食の影響はない。また、中性子遮蔽材 (レジン) に接する部材には中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。なお、大気に触れる部分については、塗装等の防錆措置により腐食を防止する。 |

(ウ)-第 F.3 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (2/7)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|--|------------|---|
| バスケット プレート バスケットサ ポート (アルミニウム 合金) | 熱 | アルミニウム合金は、高温環境下では組織変化による強度低下 (過時効の効果含む) が考えられる。加えて、高温環境下で応力が長期作用する場合はクリープによる変形が考えられる。このため、上記影響を考慮することとし、貯蔵開始時の温度 (188 °C) が 60 年間継続する際の材料特性を反映した設計用強度・物性値 ⁶⁾ を基に、構造解析を実施する。なお、貯蔵時にバスケットプレートに発生する応力は 1 MPa 未満と小さく、使用予定期間中のバスケットプレートのクリープ変形量は無視し得る。 |
| 中性子吸収材 (ほう素添加 アルミニウム 合金) | 照射 | アルミニウム合金は、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁶⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1.5×10^{15} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。また、ほう素添加アルミニウム合金については、中性子吸収材中のほう素の使用予定期間中の減損割合は 10^{-5} 程度であり、無視し得るほど小さいため、臨界防止機能への影響はない。 バスケットが置かれた空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入する設計としている。したがって、不活性雰囲気維持されるため、残留水分 (10 wt%) を考慮しても腐食の影響はない ^{2), 7)} 。 |
| | 化学 | |

(ロ) 第 F.3 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (3/7)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|----------------------------|------------|--|
| トラニオン (析出硬化系ス テンレス鋼) | 熱 | 高温環境下では組織変化による強度低下及びクリーブによる変形が考えられるが、最高温度 (127 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリーブによる変形を考慮する必要のない範囲 (280 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ³⁾ 、 ⁴⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。 |
| | 照射 | 中性子照射量が 10^{17} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁹⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 6.9×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 |
| | 化学 | トラニオンの内面は中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じる。ここで、淡水中におけるステンレス鋼は不動態膜を形成するため、全面腐食の程度が不動態膜のない炭素鋼と比較して小さく、また、塩化物を含む環境であれば局部腐食が問題となるが ¹⁰⁾ 、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素及び塩化物が連続的に供給されないため腐食の影響はない。 |

(ロ) 第 F.3 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (4/7)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|-----------------------------------|------------|--|
| 外筒及び蓋部 中性子遮蔽材 カバナー (炭素鋼) | 熱 | 高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、最高温度 (123 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (300 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ³⁾ 、 ⁴⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。 |
| | 照射 | 中性子照射量が 10^{16} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁵⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は外筒では 3.7×10^{12} n/cm ² 、また、蓋部中性子遮蔽材カバナーでは 6.9×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 |
| | 化学 | 外筒の内面及び蓋部中性子遮蔽材カバナーの内面は中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じる。一方、炭素鋼の腐食速度は、水中に溶存した酸素濃度に比例して増大するが ¹⁰⁾ 、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。また、蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを封入し、蓋部中性子遮蔽材カバナーの外面は不活性雰囲気維持されるため、腐食の影響はない。 なお、外筒の外面については、塗装等の防錆措置により腐食を防止する。 |

(ロ)-第 F.3 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (5/7)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|---|------------|--|
| 下部端板 底部中性子遮 蔽材カパー (ステンレス 鋼) | 熱 | 高温環境下では組織変化による強度低下及びクリーブによる変形が考えられるが、最高温度 (124 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリーブによる変形を考慮する必要のない範囲 (280 °C 以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ³⁾ 、 ⁴⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。 |
| | 照射 | 中性子照射量が 10^{17} n/cm ² オードーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁹⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 8.4×10^{13} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 |
| | 化学 | 内面は中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じる。ここで、淡水中におけるステンレス鋼は不動態膜を形成するため、全面腐食の程度が不動態膜のない炭素鋼と比較して小さく、また、塩化物を含む環境であれば局部腐食が問題となるが ¹⁰⁾ 、中性子遮蔽材充真空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。 |
| 中性子遮蔽材 (レジン) | 熱・化学 | 高温環境下では含有する水分が放出されることによる質量減損が生じることが考えられる。このため、上記影響を考慮することとし、貯蔵開始時の温度 (135 °C) が 60 年間継続する際の質量減損量を基に遮蔽解析を実施する。 |
| | 照射 | 中性子照射量が 10^{15} n/cm ² オードーまでは、顕著な質量減損は見られない ¹¹⁾ 、 ¹²⁾ ことが示されており ¹⁰⁾ 、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1.6×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 |

(ロ)-第 F.3 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (6/7)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|-------------------------------------|------------|---|
| 金属ガスケット (アルミニウム /ニッケル基 合金) | 熱 | <p>高温環境下ではニッケル基合金製のコイルスプリング並びにニッケル基合金及びアルミニウム製の被覆材のリラクゼーションに伴う、落下時の密封性能の低下が考えられる。このため、上記影響を考慮することとし、貯蔵開始時の温度 (118 °C) が 60 年間継続する際の密封性能の低下を考慮しても保証できる漏えい率¹³⁾、¹⁴⁾を踏まえ、15 m 浸漬における 1 か月間の浸水量を基に臨界解析を実施する。</p> <p>アルミニウム/ニッケル基合金は、中性子照射量がそれぞれ 10^{19} n/cm² オーダー又は 10^{17} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない¹⁵⁾、¹⁶⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 2.5×10^{14} n/cm² であることから照射脆化の影響はない。</p> |
| | 照射 | |
| | 化学 | <p>蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、その圧力を監視する設計としている。一次蓋の金属ガスケット及び二次蓋の金属ガスケットの内側は不活性雰囲気があり、腐食を考慮する必要はない。大気と接触する二次蓋金属ガスケットの外側については、約 3 年間の塩水噴霧試験を実施し、実機の使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化のないことが示されている¹⁷⁾。また、10 年間海浜条件で大気ばく露させた際の平均浸食深さ及び最大孔食深さが示されており、使用予定期間中の浸食深さ及び孔食深さを評価した結果、それぞれ約 0.025 mm 及び約 0.33 mm であり⁶⁾、外被材の製造公差^(注)を含めても、板厚 0.5 mm より小さいため、閉じ込め機能に影響はない。</p> <p>(注) 製造公差の例 (ノミナル寸法 : 0.5 mm、製造公差 : <input type="text"/>)</p> |

(ロ)-第 F.3 表 使用予定期間中継続して使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (7/7)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|--------------|------------|--|
| 伝熱フィン (銅) | 熱 | 高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、最高温度 (126 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (170 °C以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ¹⁸⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要はない。 |
| | 照射 | 中性子照射量が 10^{16} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ¹⁹⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1.6×10^{14} n/cm ² であることから照射脆化の影響はない。 |
| | 化学 | 銅の電極電位は炭素鋼に比べて高く、イオン化傾向の低い金属である ¹⁰⁾ ことから、銅は腐食することではなく、炭素鋼が選択的に腐食される。また、中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱的劣化により水分が生じるが、酸化鉄の生成により酸素の拡散障壁が形成されること、及び中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないことから、腐食の影響はない。 伝熱フィン並びに胴及び外筒の接合部において、異種金属接触により胴及び外筒の腐食が促進される可能性があるが、閉鎖環境かつ淡水環境では、銅が接続された鋼の腐食速度が鋼単独の場合と同程度になる ²⁰⁾ ことが示されている。また、中性子遮蔽材の熱的劣化により生じる水分量は限定的であることに加え、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、異種金属接触による接合部への腐食促進の影響は小さく、腐食の影響はない。 |

(ロ) 第 F. 4 表 輸送時のみに使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(1/2)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|---|------------|---|
| 三次蓋 (ステンレス 鋼) | 熱 | 高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、最高温度 (103 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (280 °C以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ³⁾ 、 ⁴⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要性はない。 |
| | 照射 | 中性子照射量が 10^{17} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁵⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1×10^{15} n/cm ² を下回ることから照射脆化の影響はない。 |
| 三次蓋ボルト 緩衝体ボルト (ニッケルクロ ムモリブデン 鋼) | 化学 | 耐食性に優れたステンレス鋼を使用するため、実用上問題となる腐食は生じない。 |
| | 熱 | 高温環境下では組織変化による強度低下及びクリープによる変形が考えられるが、最高温度 (103 °C) は、上記の中で最も厳しい条件となるクリープによる変形を考慮する必要のない範囲 (300 °C以下) である。また、設計用強度・物性値が規定 ³⁾ 、 ⁴⁾ されている温度範囲において構造健全性を確認しているため、熱的劣化を考慮する必要性はない。 |
| | 照射 | 中性子照射量が 10^{16} n/cm ² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない ⁵⁾ ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1×10^{15} n/cm ² を下回ることから照射脆化の影響はない。 |
| | 化学 | メッキ処理等の防錆措置を実施するため、実用上問題となる腐食は生じない。 |

(ロ)-第 F.4 表 輸送時のみに使用される輸送容器の構成部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(2/2)

| 構成部材 (材料) | 経年変化 要因 | 経年変化の考慮の必要性の評価 |
|--------------|------------|---|
| 緩衝材 (木材) | 熱 | <p>高温環境下では熱による強度低下が考えられ、木材温度が 200 °C に達すると木材の熱分解が進む²¹⁾との文献が確認できたものの、直接参照できる文献は乏しい状況にある。一方で、緩衝材として木材が広く使用されていることを踏まえ、本輸送容器を含め現在国内事業者が使用又は使用予定の輸送容器について、これまでの実輸送時の条件をもとに収納物による設計上の最大入熱を考慮した輸送容器の緩衝材の平均温度を評価した結果、約 40～70 °C 程度であること、使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の圧潰強度及び密度測定の結果、木材の衝撃吸収性能は健全であり、性能劣化はなかったことから、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる^(注)。</p> <p>なお、輸送に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後輸送を行う。</p> |
| | 照射 | <p>中性子照射量が 10^{16} n/cm² オーダーまでは、顕著な機械的特性変化は見られない²²⁾ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、使用予定期間中の累積中性子照射量は 1×10^{13} n/cm² を下回ることから照射脆化の影響はない。</p> |
| | 化学 | <p>緩衝材の充填空間はステンレス鋼製のカバープレートに覆われた閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐朽しない。</p> |

(注) 参考資料：第 12 回輸送容器及び使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器に関する審査会合（令和 4 年 4 月 25 日） 資料 1 別紙「緩衝材（木材）の熱的劣化について」

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

安全解析における経年変化の考慮が必要とされたバスケット、中性子遮蔽材及び金属ガスケットについて、安全解析における経年変化の考慮方法を示す。

(1) バスケット

バスケットに使用されるアルミニウム合金については、構造解析において、(ロ)章 A「A.10.5 MSF-24P(S)型輸送容器のバスケットプレート用材料アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) に関する説明書」に示す、高温での 60 年間の熱ばく露後の材料特性を反映した設計用強度・物性値を使用する。

(2) 中性子遮蔽材

a. 構造解析における中性子遮蔽材部の圧力上昇

蓋部、側部及び底部中性子遮蔽材部には、レジンが充填されており、その空間部には空気が大気圧で封入されている。側部中性子遮蔽材部及び底部中性子遮蔽材部には可溶栓が設置されており、輸送前にはそれらの交換などの容器保守で一時的に圧力が開放されるが、通常は大気と遮断された環境にある。また、蓋部中性子遮蔽材部は、圧力が解放されることはなく、常時閉鎖されている。

中性子遮蔽材に用いるエポキシ系レジンについて、貯蔵期間を考慮した経年劣化評価試験が実施されており^{(12)、(23)~(25)}、長期貯蔵後の中性子遮蔽材部の気相部分の成分は主に水、二酸化炭素及び窒素と考えられる。

水については、水の存在による圧力上昇を飽和水蒸気圧として考慮する。二酸化炭素については、初期に空間部分に存在する酸素によるレジン酸化反応により発生するため、二酸化炭素は初期に存在した酸素と同量の物質質量に設定する。また、窒素は、不活性ガスであることからレジンへの吸収がないものとし、初期に存在した物質質量とする。したがって、空間部分の水を除くガスの物質質量は変化しないものとし、初期に存在する空気として評価する。

構造解析では中性子遮蔽材部の気相部分の圧力上昇として、空気温度の上昇、レジン熱膨張による空气体積の減少及び飽和水蒸気圧を考慮した。

中性子遮蔽材部の圧力 P (MPa) は、以下のとおり求められる。なお、外筒内面の膨張吸収材が取り付けられる面には以下式によって求めた中性子遮蔽材部圧力に、膨張吸収材の圧縮による圧力 を加えて圧力を設定した。

$$P = P_w + P_g$$

ここで、

P_w : 温度 t の飽和水蒸気圧 (MPa)

P_g : 温度 t の空気の分圧 (MPa)

$$P_G = P_0 \times \frac{t + 273.15}{20 + 273.15} \times \frac{V - V_{R0}}{V_V}$$

P_0 : 大気圧 (0.101325 MPa)

t : 一般または特別の試験条件における中性子遮蔽材温度 (°C)

V : 中性子遮蔽材部の全容積 (m³)

V_{R0} : 初期の中性子遮蔽材の体積 (m³)

V_V : 温度 t の空気の体積 (m³)

$$V_V = V - V_{R0} \times (1 + \alpha(t - 20))^3$$

α : 温度 t の中性子遮蔽材の熱膨張係数 (m/m°C)

一般の試験条件及び特別の試験条件における中性子遮蔽材部圧力の計算条件及び計算結果を(ロ)-第F.5表に示す。なお、特別の試験条件において、側部中性子遮蔽材部の圧力は可溶栓によって開放される。

(ロ)-第 F. 5 表 中性子遮蔽材充填部圧力の計算条件及び計算結果

| 部位 | 試験条件 | 中性子遮蔽材部の全容積 : V (m^3) | 初期の中性子遮蔽材の体積 : V_{R0} (m^3) | 中性子遮蔽材温度 : t ($^{\circ}C$) (注 1) | 温度 t の空気の体積 : V_V (m^3) | 温度 t の空気の分圧 : P_G (MPa) | 温度 t の飽和水蒸気圧 : P_W (MPa) | 中性子遮蔽材部圧力 : P (MPa) |
|----|-------------|-----------------------------------|---|---|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 蓋部 | 一般 | | | | | | | |
| | 特別 | | | | | | | |
| 側部 | 一般 (注 3) | | | | | | | |
| | 特別 (注 4) | | | | | | | |
| 底部 | 一般 (注 3) | | | | | | | |
| | 特別 (注 5) | | | | | | | |

(注 1) 一般の試験条件又は特別の試験条件における平均温度

(注 2) 20 $^{\circ}C$ における体積

(注 3)

(注 4) 特別の試験条件において、下部端板に設けられた可溶栓が熱により溶融し、側部中性子遮蔽材部は大気圧となるが、一般の試験条件と同じ圧力とする。

(注 5) 底部中性子遮蔽材部の特別の試験条件における計算においては、飽和水蒸気圧に加え、一般の試験条件における圧力に対し、空気温度の上昇及びレジンの熱膨脹による空气体積の減少による圧力上昇を考慮する。

(注 6) 一般の試験条件での中性子遮蔽材温度（平均温度）における体積

(注 7) 外筒内側の膨張吸収材が取り付けられている面には、表中に記載の圧力に加えて膨張吸収材の圧縮による圧力 を考慮する。

b. 遮蔽解析における質量減損

使用予定期間経過後の中性子遮蔽材の質量減損率の評価を行い、経年劣化を考慮した原子個数密度を遮蔽解析に用いている。

質量減損率は、劣化パラメータにより次式で表される。

$$\Delta w = 5.69 \times 10^{-4} \times E_p^{-19.2} \quad (11)$$

ここで、

Δw : 中性子遮蔽材の質量減損率 (%)

E_p : 劣化パラメータ

$$E_p = T \times (77.6 + \ln(t))$$

T : 中性子遮蔽材温度 (K)

t : 中性子遮蔽材加熱時間 (h)

貯蔵中は、使用済燃料の崩壊熱量の低下に伴い、中性子遮蔽材の温度も低下するが、使用予定期間経過後の中性子遮蔽材の質量減損率算定においては、保守的に貯蔵開始直後の中性子遮蔽材の最高温度が使用予定期間にわたり一定として質量減損率を算定する。使用予定期間初期の中性子遮蔽材の最高温度を(ロ)-第F.6表に示す。

上記を基にすれば、使用予定期間経過後の劣化パラメータは、温度の高い底部中性子遮蔽材で約 37100 となり、質量減損率は約 1.9%と算定される。遮蔽解析ではこれを切り上げて 2.5%の質量減損があるとして評価する。

なお、中性子遮蔽材から放出される成分は水が支配的であり、水よりも水素含有率が高いガス成分はわずかである^{12)、23)~25)}。したがって、遮蔽解析においては、中性子の遮蔽性能を安全側に設定するため、中性子遮蔽材の質量減損の成分を全て水とし、この質量減損分を遮蔽体として無視している。

(ロ)-第F.6表 使用予定期間初期の中性子遮蔽材の最高温度^(注)

| 蓋部 (°C) | 側部 (°C) | 底部 (°C) |
|---------|---------|---------|
| 118 | 128 | 135 |

(注)最高温度の主な算出条件を以下に示す。

- ・キャスクの貯蔵方式：横置き貯蔵
- ・環境温度：45°C

(3) 金属ガスケット

a. 金属ガスケットの横ずれ／口開き量と漏洩率の関係性

高温で長期間使用する金属ガスケットについては、構造解析において、これまでの知見に基づき経年変化を考慮した金属ガスケットの横ずれ基準値を設定する。

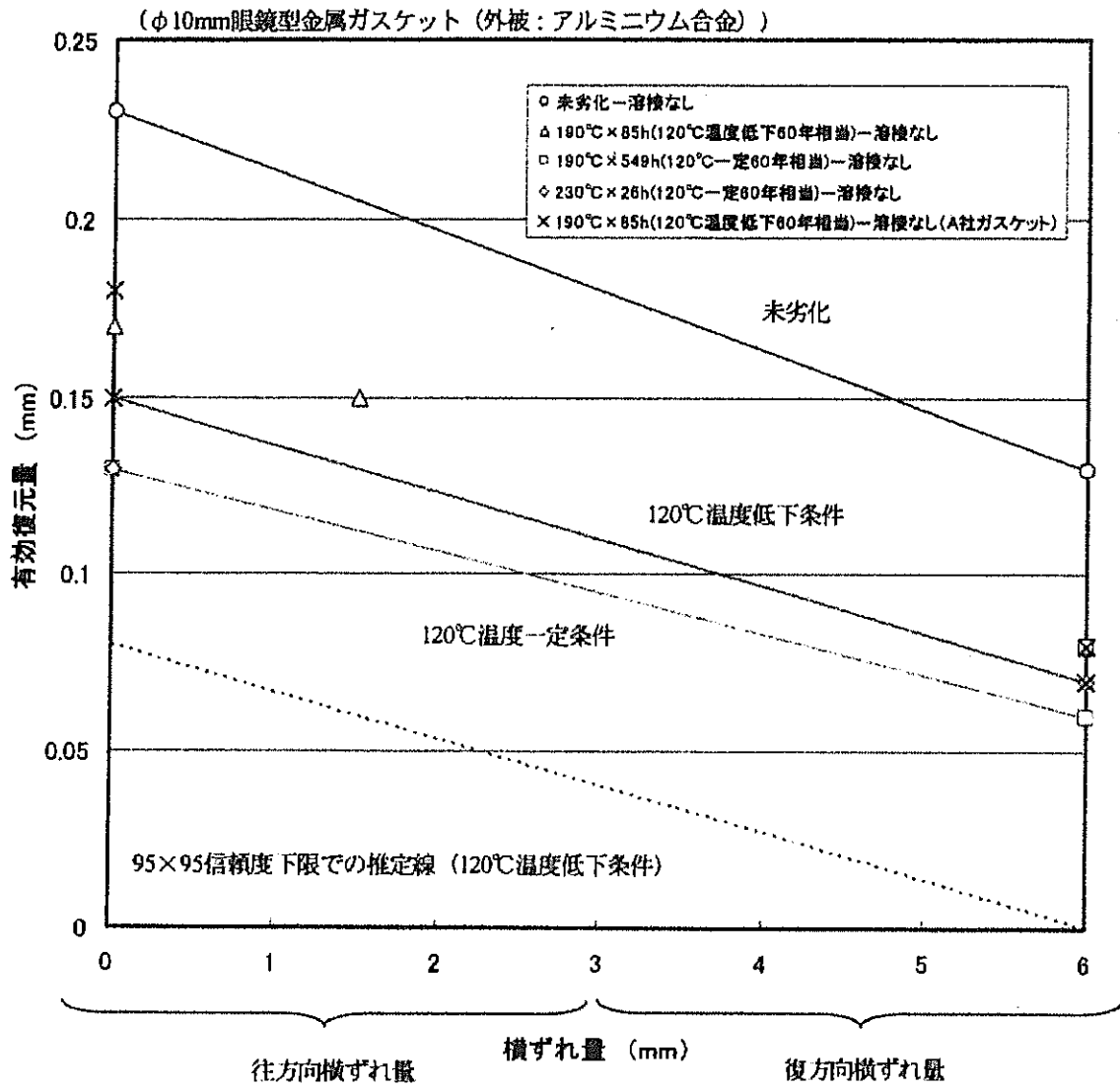
金属ガスケットについては、貯蔵後の輸送時密封性能に関する要素試験として、静的口開き試験、静的横ずれ試験、動的口開き試験、動的横ずれ試験が実施されている。当試験では静的口開きと横ずれが同時に発生した場合に、(p)-第 F.1 図に示す輸送時の基準漏えい率を確保するための横ずれ量と有効復元量（許容口開き量）の相関関係が得られている⁷⁾。また、落下試験を想定した動的横ずれと漏えい率の関係についてまとめられ、(p)-第 F.2 図に示す統計誤差を考慮した安全側の評価線が示されている²⁶⁾。

本輸送容器で使用する金属ガスケットは上述の試験に用いられたものと、外被、内被及びコイルスプリングの材料は同等であり、断面径も 10 mm と等しい。また、貯蔵終了時（使用予定期間（60 年））のラーソン・ミラー・パラメータ（LMP）は 7340 であり、上述の試験に用いられた試験体の LMP 7375 を下回っているため、上述の試験以上の密封性能が期待できる。ただし、本輸送容器で使用する金属ガスケットのフープ径は上述の試験の約 10 倍であるため、漏えい率は試験における漏えい率の 10 倍として評価する。

上述の試験に基づき、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に対しては、十分な防水機能が得られる密封性能（ 5×10^{-3} ref cm^3/s ）となるよう、構造解析の基準値を、横ずれ量と有効復元量（許容口開き量）の関係より静的横ずれに対して 3 mm、動的横ずれと漏えい率の関係より動的横ずれに対して 3 mm と設定した。

b. 漏水量評価に使用する二次蓋金属ガスケットの密封性能

構造解析において、a. で定めた基準を満たすことを確認できたことから、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における二次蓋金属ガスケットの密封性能を 5×10^{-3} ref cm^3/s と設定し、口章 E 臨界解析 E.7 にて胴内の浸水量を評価した。

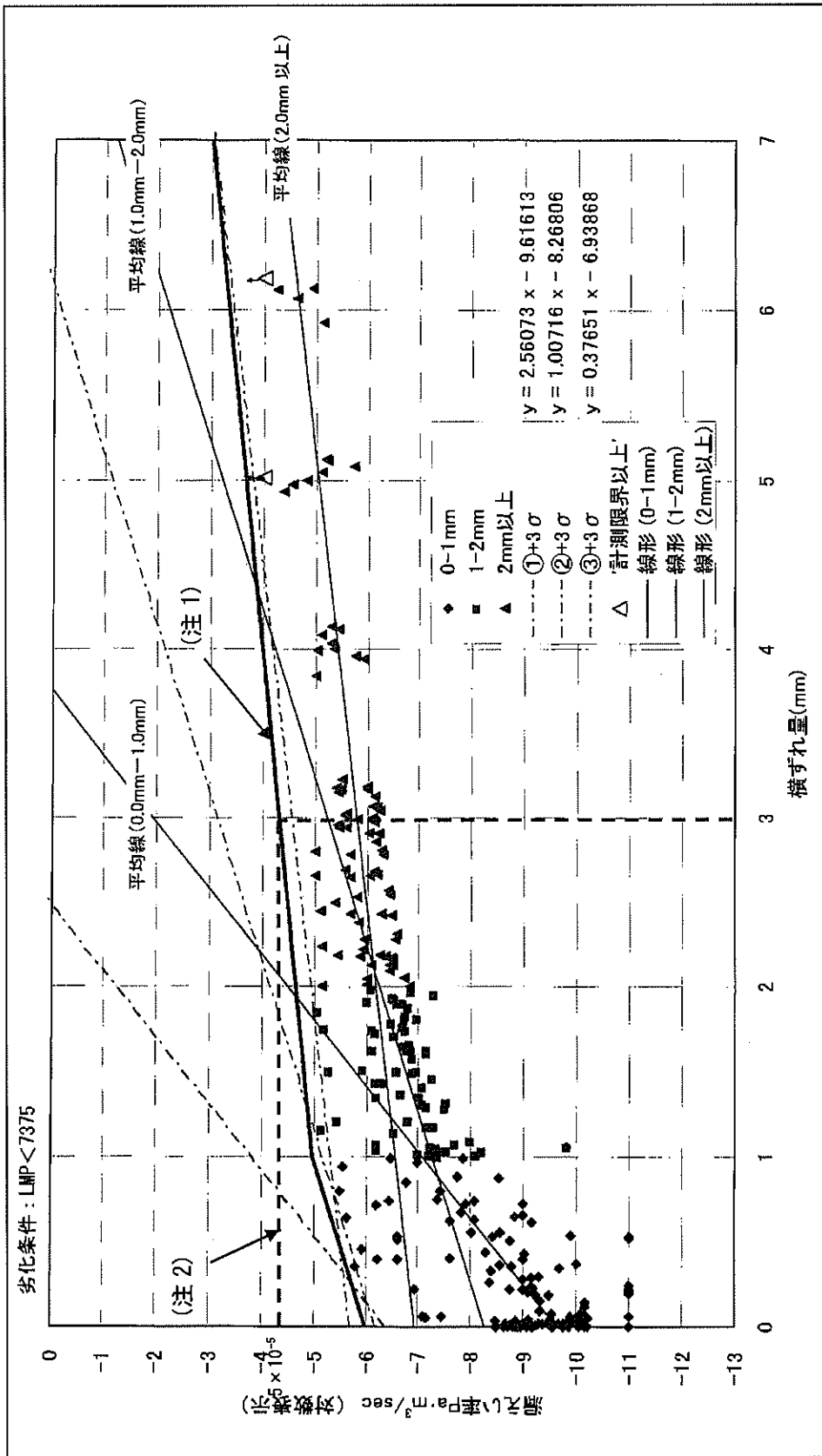


注1: 図中のラインは、横ずれ後の口開き試験を行ったデータにつき、劣化条件ごとでの下限線を示す。

注2: 破線で示す値及びラインは全データでの95×95信頼度下限値の値(0.08mm)と120°C温度低下条件下での下限ラインと平行に引いた場合の想定線である。

(v)-第F.1図 静的横ずれ変位と口開き変位が同時に起こった場合の許容量推定図⁷⁾

(基準漏えい率に対する有効復元量)



(注1) 試験データのばらつき (3σ) を考慮して設定した漏えい率評価のための上限
 (注2) 元図に横ずれ 3 mm のときの漏えい率読み取り補助線等を追記

(v)-第F.2図 金属ガスケット動的横ずれの整理²⁶⁾

F.4 付属書類

F.4.1 参考文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ, 「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」, (2009).
- 2) (一社)日本原子力学会標準委員会, 「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準: 2021 (AESJ-SC-F002: 2021)」, (2022).
- 3) (一社)日本機械学会, 「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 (JSME S FA1-2007)」, (2007).
- 4) (一社)日本機械学会, 「発電用原子力設備規格 材料規格 (JSME S NJ1-2012)」, (2012).
- 5) K. Farrell, S. T. Mahmood, R. E. Stoller, L. K. Mansur, “An Evaluation of Low Temperature Radiation Embrittlement Mechanisms in Ferritic Alloys”, *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 210, (1994).
- 6) (一社)日本アルミニウム協会, 「アルミニウムハンドブック第7版」, (2007).
- 7) (独)原子力安全基盤機構, 「平成15年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書 最終報告」, (2004).
- 8) 三菱重工業(株), 「型式設計特定容器等の型式指定申請書 本文及び添付書類の一部補正について」, (2017).
- 9) 土肥謙次, 秀耕一郎, 黛正己, 恩地健雄, 大岡紀一, 「304 ステンレス鋼の SCC 特性に及ぼす中性子照射効果 (その2) - 熱鋭敏化材の SCC 感受性に及ぼす照射影響 -」, (一財)電力中央研究所, (1997).
- 10) (公社)腐食防食協会編, 「腐食・防食ハンドブック CD-ROM 版 第2版」, 丸善(株), (2005).
- 11) (財)原子力発電技術機構, 「平成14年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (2003).
- 12) T. Ichihashi, D. Ishiko, A. Ogawa, M. Morishima, “Verification Tests of Neutron Shielding Materials and Shielding Assessment”, *Proceedings of the 15th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials*, (2007).
- 13) 加藤治, 伊藤千浩, 三枝利有, 「使用済燃料貯蔵キャスクの長期密封性能評価手法の開発」, 日本原子力学会誌, Vol.38, No.6, (1996).
- 14) (一財)電力中央研究所, 「平成21年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等報告書」, (2010).

- 15) H. Yoshida, et al., "Reactor Irradiation Effects on Al 1100", Proc. Jpn. Congr. Mater. Res., Vol.24, (1981).
- 16) T.S.Byun, K.Farrell, "Tensile Properties of Inconel 718 after Low Temperature Neutron Irradiation", Journal of Nuclear Materials, 318, (2003).
- 17) 小崎明朗, 「使用済燃料貯蔵中の耐久性に関する海外動向他」, (株)日本原子力情報センター主催セミナー「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」, (1998).
- 18) (一財)日本規格協会, 「圧力容器の設計 (JIS B 8267:2015)」, (2015).
- 19) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, "Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys", ASTM STP888, (1986).
- 20) 能登谷武紀, 「密閉系淡水における鋼-銅系のガルバニック腐食」, 伸銅技術研究会誌 33 巻, (1994).
- 21) 岡野健, 祖父江信夫, 「木材科学ハンドブック」, 朝倉書店, (2006).
- 22) 三菱重工業(株), 「発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請書(特定兼用キャスク)本文及び添付書類の一部補正について」, (2021).
- 23) 原燃輸送(株), 「使用済燃料等の輸送容器に用いられる中性子しゃへい材(NS-4-FR)の連続加熱評価試験」, NFT-TR-97001, (1997).
- 24) (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」, (2002).
- 25) (財)原子力発電技術機構, 「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験)報告書」, (2003).
- 26) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 16 年度 中間貯蔵施設健全性評価手法等調査報告書(1/2) 最終報告」, (2005).

(v) 章 G 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|--|-----------------|-------|--|-----|--|----------|--|--|--|----|----|----|----|----------|-----------------|--|--|--|----|---------------------|--|--|--|------------------|--|--|--|--|-------------------|-------------------|-----|--|--|--|-----|-----------------------|--------|--------|--|-----------------------|--------|--|--|----------------|------|--|--|--|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------|----|--|----|--|
| (核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬) 第3条 第1項第1号 | (L型輸送物として運搬できる核燃料物質等) 第3条 | 該当しない。 | (イ)-A, (イ)-D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (A型輸送物として運搬できる核燃料物質等の放射能の量の限度) 第2号 | 該当しない。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 第3号 | 本輸送物の収納物は下記のとおりであり、原子力規制委員会の定める量を超える量の放射能を有する核燃料物質等に該当するのでBM型輸送物として輸送する。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th colspan="2">中央部</th> <th colspan="2">外周部</th> </tr> <tr> <th colspan="4">17×17 燃料</th> </tr> <tr> <th>A型</th> <th>B型</th> <th>A型</th> <th>B型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>燃料集合体の種類</td> <td colspan="4">軽水炉 (PWR) 使用済燃料</td> </tr> <tr> <td>性状</td> <td colspan="4">固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)</td> </tr> <tr> <td>ウラン重量 (kg 以下)</td> <td colspan="4" rowspan="2" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>放射能の量 (PBq 以下)</td> </tr> <tr> <td>初期濃縮度 (wt% 以下)</td> <td colspan="4">4.2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">燃焼度</td> <td>収納物最高 (MWD/MTU 以下)</td> <td>48,000</td> <td colspan="2">44,000</td> </tr> <tr> <td>収納物平均 (MWD/MTU 以下)</td> <td colspan="3">44,000</td> </tr> <tr> <td>発熱量 (kW 以下)</td> <td colspan="4">15.8</td> </tr> <tr> <td>冷却日数 (日以上)</td> <td>5,479</td> <td>6,209</td> <td>5,479</td> <td>6,209</td> </tr> <tr> <td>収納体数 (体)</td> <td colspan="2">12</td> <td colspan="2">12</td> </tr> </tbody> </table> | | 中央部 | | 外周部 | | 17×17 燃料 | | | | A型 | B型 | A型 | B型 | 燃料集合体の種類 | 軽水炉 (PWR) 使用済燃料 | | | | 性状 | 固体 (二酸化ウラン粉末焼結体) | | | | ウラン重量 (kg 以下) | | | | | 放射能の量 (PBq 以下) | 初期濃縮度 (wt% 以下) | 4.2 | | | | 燃焼度 | 収納物最高 (MWD/MTU 以下) | 48,000 | 44,000 | | 収納物平均 (MWD/MTU 以下) | 44,000 | | | 発熱量 (kW 以下) | 15.8 | | | | 冷却日数 (日以上) | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 | 収納体数 (体) | 12 | | 12 | |
| | 中央部 | | | 外周部 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17×17 燃料 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A型 | B型 | A型 | B型 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 燃料集合体の種類 | 軽水炉 (PWR) 使用済燃料 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 性状 | 固体 (二酸化ウラン粉末焼結体) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ウラン重量 (kg 以下) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 放射能の量 (PBq 以下) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 初期濃縮度 (wt% 以下) | 4.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 燃焼度 | 収納物最高 (MWD/MTU 以下) | 48,000 | 44,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 収納物平均 (MWD/MTU 以下) | 44,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 発熱量 (kW 以下) | 15.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 冷却日数 (日以上) | 5,479 | 6,209 | 5,479 | 6,209 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 収納体数 (体) | 12 | | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (注) 17×17 燃料を代表として記載する。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|-----------------------|-------|--|---------------|
| 第3条 第2項 第3項 | | <p>該当しない。</p> <p>輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化を以下のとおり考慮した上で、第6条の技術上の基準に適合していることを確認している。</p> <p>a. 本輸送物に想定される使用状況及びそれに伴い考慮すべき経年変化の要因は以下のとおり。</p> <p>(1) 使用状況 構内輸送、貯蔵（保管）、再処理工場への輸送の用途で、使用予定年数を60年、使用予定回数を10回と想定する。</p> <p>(2) 経年変化の要因 熱的劣化、放射線照射による劣化、化学的劣化及び疲労による劣化とする。</p> <p>b. 「a.」を踏まえ、経年変化の考慮の必要性及び考慮の方法について、以下のとおり評価した。</p> <p>(1) 熱的劣化については、貯蔵又は輸送時における除熱解析結果（最高温度評価結果）を基に評価した結果、安全解析において以下の構成部材の熱的劣化を考慮することとした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バスケット（アルミニウム合金）については、高温環境下では組織変化による強度低下（過時効の効果含む）が考えられるため、貯蔵開始時の温度が60年間継続する際の材料特性を反映した設計用強度・物性値を基に強度評価を行う。 ・中性子遮蔽材（レジン）については、高温環境下では含有する水分が放出されることによる質量減損が考えられるため、貯蔵開始時の温度が60年間継続する際の質量減損量を評価した結果、約1.9%となったことから、遮蔽解析では、保守的に2.5%の質量減損を考慮する。 | (ロ)-F |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|--------------------|-------|---|---------------|
| <p>第3条 第3項</p> | | <p>・金属ガスケット（アルミニウム／ニッケル基合金）については、高温環境下ではリラクゼーションによる落下時の密封性能低下が考えられるため、貯蔵開始時の温度が60年間継続する際の密封性能の低下を考慮しても保証できる漏えい率を用いて15m浸漬における1か月間の浸水量を評価した結果、約2リットルとなったことから、臨界解析では、保守的に5リットルの浸水を考慮する。</p> <p>また、緩衝材として用いる木材については、実輸送時における緩衝材の温度及び使用済燃料輸送実績のある輸送容器を廃棄する際に採取した木材の試験結果より、これまでの実績と同様の使用環境であれば、木材の熱的劣化は生じないと考えられる。</p> <p>その他の部材については、最高温度がクリープによる変形を考慮する必要のない温度以下である等の理由により安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</p> <p>(2) 放射線照射による劣化については、中性子照射による強度、弾性、脆化等の機械的性質への影響が考えられるが、使用予定期間中の累積照射量が機械的特性変化を考慮する必要のない照射量に比べて小さい等の理由により安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</p> <p>(3) 化学的劣化に関しては、腐食による強度の低下が考えられるが、不活性ガス雰囲気下にある、又は酸素が連続的に供給されない閉鎖環境下にある等の理由により安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</p> <p>(4) 疲労による劣化に関しては、繰返し荷重の作用による疲労破壊が考えられるが、荷重の作用回数が許容繰返し回数を大きく下回るため安全解析において考慮すべき経年変化は生じない。</p> | |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|--------------------|-------|--|---------------|
| (BM 型輸送物に係る技術上の基準) | | c. 以上より、安全解析においては、上記で抽出されたバスケット（アルミニウム合金）、中性子遮蔽材（レジン）及び金属ガスケットの熱的劣化による影響を考慮した評価を実施し、第 6 条の技術上の基準に適合していることを確認した。 | |
| 第 6 条第 1 号 | | 後述のとおり第 5 条第 1 号～第 8 号までに定める基準に適合している。ただし、第 6 号に定められる要件は該当しない。 | |
| (第 5 条第 1 号) | | 後述のとおり第 4 条第 1 号～第 5 号、第 8 号及び第 10 号に定める基準に適合している。 | |
| (第 4 条第 1 号) | | 本輸送物は、以下に示すように容易に、かつ、安全に取扱うことができる。 | |
| | | a. 輸送物は、キャスク本体にトラニオンがあり、吊上げ、吊下しは専用吊具を用い、クレーンを使用して容易に行える。また、輸送物は専用の輸送架台を用いて車輛又は船舶に強固に積付けられる等、安全に取り扱えるものである。 | (イ)-C |
| | | b. 輸送物の吊上装置であるトラニオンは、公式を用いた計算により、取扱時を考慮して安全係数を 3 とし、収納物の最大収納体数を考慮した輸送物の吊上げ荷重の負荷時にも設計降伏点を下回るよう設計しており、急激な吊上げに耐えられるものである。 | (ロ)-A. 4. 4 |
| | | c. 輸送物には、トラニオンを除いて輸送物を吊上げるおそれのある吊手はない。 また、輸送物は、専用吊具によって容易に、かつ、安全に取り扱うことができる。 | (イ)-C |
| | | d. 輸送物の表面は滑らかに仕上げしており、雨水が溜らない構造となっている。 | (イ)-C |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|----------|-------|---|---|
| (第4条第2号) | | <p>本輸送物は、以下に示すように運搬中に予想される温度(-20℃～38℃)及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>a. 運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は一律-20℃とし、最高温度は一般の試験条件の熱的試験と同様に周囲温度 38℃及び太陽放射熱を保守的に連続で負荷した条件の下で、軸方向燃焼度分布を考慮した上で、収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た 18.1 kW として輸送物各部の温度を ABAQUS コードを用いて解析評価している。収納物の最高温度は 206℃であり、制限温度 275℃より低いため、燃料被覆管の機械的特性に影響はない。</p> <p>本輸送物の主要な中性子遮蔽材であるレジンの温度は 127℃であり、使用可能温度 149℃より低いため、遮蔽性能が低下することはない。また、二次蓋金属ガスケット温度は 105℃であり、金属ガスケットの使用可能温度 130℃より低く、三次蓋 Oリング温度は 103℃であり、Oリングの使用可能温度 150℃より低いため、密封性能が低下することはない。</p> <p>b. 運搬中に予想される温度の変化に対して、輸送物は周囲温度-20℃～38℃の温度の範囲において、各部品の熱膨張に伴う寸法変化は十分小さく、部品同士の干渉が生じないため、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、発生する熱応力に対しても、耐える強度をもつことから、構造健全性は維持される。</p> <p>c. 運搬中に予想される内圧の変化に対して、輸送物の運搬中に予想される最大内圧は胴内圧が 0.078MPa、一二次蓋間が 0.39MPa、二三次蓋間が 0.253MPa であり、構造解析ではその圧力条件を上回る差圧を胴内、一二次蓋空間及び二三次蓋空間に設定した条件で、熱応</p> | <p>(ロ)-B. 4. 6</p> <p>(ロ)-A. 5. 1. 2</p> <p>(ロ)-A. 5. 1</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|----------|-------|--|---|
| (第4条第2号) | | <p>力を含めた各部の応力を ABAQUS コードを用いて解析評価している。また、中性子遮蔽材充填空間においても温度上昇に伴う圧力上昇を考慮している。運搬中の温度変化により予想される容器本体各部の温度差による熱応力や内圧の変化による荷重が負荷されても各部が設計応力強さ等基準値を下回り、構造健全性が維持され、き裂、破損等の生じるおそれはない。また、三次蓋の口開き変形量は Oリングの初期締め付け代より小さく、密封性を損なうことはない。</p> <p>d. 本輸送物の胴内は、真空置換によりヘリウムを充填するため残留水はなく、水の放射線分解によってガスが発生しないため、内圧を高めることはなく、密封性を損なうことはない。</p> <p>e. 三次蓋は輸送時の振動等により緩まないよう、三次蓋ボルトにより強固に締付けられており、運搬中の温度及び内圧の変化を考慮しても、開くことはない。また、輸送物のキャスク本体と三次蓋の接合部の密封境界には Oリングを設けており、密封を保っている。</p> <p>f. 固縛装置であるトラニオンは、公式を用いた計算により、輸送物最大重量を考慮したうえで、輸送中発生する上下及び前後方向加速度 2 g 並びに左右方向加速度 1 g の負荷時にも設計降伏点を下回るように設計されているため、構造健全性は維持される。また、本輸送物は固有振動数 (215 Hz) と輸送による振動数 (10 Hz) の差が大きく、励振力による輸送物の応答増幅の影響はなく、輸送中の振動による荷重は 0.3m 落下事象に包絡される。よって、輸送物は予想される振動等によって、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> | <p>(ロ)-B. 4. 4</p> <p>(ロ)-A. 4. 7、 (ロ)-A. 5. 1、 (ロ)-C. 2. 4</p> <p>(ロ)-A. 4. 5、 (ロ)-A. 4. 7</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|----------|-------|--|---|
| (第4条第3号) | | 輸送物表面には、取扱い時に使用するトランニオン以外には不要な突起物がなく、また、輸送物表面はステンレス鋼もしくは塗装を施した炭素鋼面であり、滑らかに仕上げていることから、除染は容易である。 | (イ)-C |
| (第4条第4号) | | <p>本輸送物には、炭素鋼、ステンレス鋼等化学的に安定した材料を使用しており、以下に示すように各々の材料相互の間及び収納物との間では、危険な物理的作用又は化学反応を起こすおそれはない。</p> <p>a. 構成部品同士の熱膨張による干渉はないことから、材料相互の接触による、き裂、破損等を生じるおそれはない。</p> <p>b. レジンを外筒等に密閉する、また、胴内をヘリウム雰囲気にする等、材料相互で腐食等が生じない設計としている。</p> <p>c. レジン及びOリングは金属と接触しても化学反応を起こすおそれはない。</p> <p>d. 伝熱フィンと胴及び外筒の接合部は、異種金属接触による電氣的な腐食促進の影響は小さい。</p> | (ロ)-A. 5. 1. 2 (ロ)-A. 4. 1 (ロ)-A. 4. 1 (ロ)-A. 4. 1 |
| (第4条第5号) | | 三次蓋に設置されるリリーフバルブにはリリーフバルブカバープレートを設け、運搬中は覆われる設計としており、誤って操作されることはない。 | (ロ)-A. 4. 3 |
| (第4条第6号) | | 該当しない。 | |
| (第4条第7号) | | 該当しない。 | |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 | | | | | | |
|------------------|------------------------------|--|---------------|------------------------------|-----------------|-----|------------------|---|-------|
| (第4条第8号) | (表面密度限度) 第9条 | <p>本輸送物の表面の放射性物質の密度は、発送前に表面密度限度以下であることを確認したうえで、発送される。</p> <table border="1" data-bbox="715 474 1243 692"> <thead> <tr> <th data-bbox="715 474 975 546">放射性物質の区分</th> <th data-bbox="975 474 1243 546">密 度 (Bq/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="715 546 975 618">アルファ線を放出する放射性物質</td> <td data-bbox="975 546 1243 618">0.4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="715 618 975 692">アルファ線を放出しない放射性物質</td> <td data-bbox="975 618 1243 692">4</td> </tr> </tbody> </table> | 放射性物質の区分 | 密 度 (Bq/cm ²) | アルファ線を放出する放射性物質 | 0.4 | アルファ線を放出しない放射性物質 | 4 | (ハ)-A |
| 放射性物質の区分 | 密 度 (Bq/cm ²) | | | | | | | | |
| アルファ線を放出する放射性物質 | 0.4 | | | | | | | | |
| アルファ線を放出しない放射性物質 | 4 | | | | | | | | |
| (第4条第9号) | | 該当しない。 | | | | | | | |
| (第4条第10号) | | <p>本輸送物には、収納物以外のものが収納されていないことを確認したうえで蓋をするので、本輸送物の安全性を損なうおそれのあるものを収納することはない。</p> | (ハ)-A | | | | | | |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|----------|-------|---|--|
| (第5条第2号) | | 本輸送容器の仕様は外径 3550mm、長さ 6783mm の円筒型容器であり、外接する直方体の各辺は 10 cm 以上である。 | (イ)-C |
| (第5条第3号) | | 本輸送物の三次蓋は、三次蓋ボルトで強固に締め付けられており、輸送の際には上部緩衝体で覆われるため、不用意に三次蓋ボルトが外されることはない。また、上部緩衝体は取付後 <input type="checkbox"/> されるので、開放された場合はそれが明らかとなる。 | (ロ)-C. 2、 (ハ)-A |
| (第5条第4号) | | 本輸送物は、周囲温度 -20 °C ~ 38 °C で使用する。本輸送容器の構成部品は、-20 °C から運搬中に予想される最高温度の範囲で脆化、著しい強度の低下等、材料強度への影響はなく、構成部品にき裂、破損等を生じるおそれはない。 | (ロ)-A. 3、 (ロ)-A. 4. 2、 (ロ)-B. 4. 6 |
| (第5条第5号) | | 本輸送物の密封装置は、周囲圧力が 60 kPa の場合を考慮した差圧を胴内及び二三次蓋空間に設定した解析により、密封装置の健全性を損なうことがないことを規則第4条第2号の熱解析及び構造解析において ABAQUS コードを用いて確認しているため、放射性物質の漏えいはない。 | (ロ)-A. 4. 6 |
| (第5条第6号) | | 該当しない。 | |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|-----------|-------|--|---------------------|
| (第5条第7号) | | <p>本輸送物は、以下を考慮して保守的な条件を設定し、DOT3.5コードにて解析した結果、通常輸送時の輸送物表面の最大線量当量率は1172.9 μSv/hであり、基準値の2 mSv/hを超えることはない。</p> <p>a. 線源として保守的に中央部に全てバーナブルポイズン集合体を装荷した最高燃焼度の燃料12体を、外周部に全て平均燃焼度の燃料12体を収納するとしている。</p> <p>b. 燃料の燃焼条件を包絡する軸方向燃焼度分布を考慮している。</p> <p>c. 燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の放射化を考慮している。</p> <p>d. 解析モデルについては遮蔽材の最小寸法を使用し、中性子遮蔽材については規則第3条第3項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、熱的劣化を考慮し、その質量が2.5%減損したとしている。</p> | (p)-D.4、 (p)-D.5 |
| (第5条第8号) | | <p>本輸送物は、上記と同じ条件にて解析した結果、通常輸送時の輸送物の表面から1m離れた位置における最大線量当量率は86.1 μSv/hであり、基準値の100 μSv/hを超えることはない。</p> | (p)-D.4、 (p)-D.5 |
| (第5条第9号) | | 該当しない。 | |
| (第5条第10号) | | 該当しない。 | |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| 第 6 条第 2 号 | 第 14 条 別記第 3 第 1 号 | <p>ロ. (1) 自由落下</p> <p>本輸送物の重量は 134.4 トン以下であるため、落下高さは 0.3 m であり、落下時に輸送物が最大損傷を受けるよう、垂直、水平及びコーナーの各姿勢について CRUSH コードを用いて、緩衝体を除いた輸送物と落下試験台を剛体とし、緩衝体の変形量及び落下試験との比較検証結果を踏まえ保守的に設定した負荷係数 1.2 を考慮して衝撃荷重を解析し、保守的な設計加速度を設定している。緩衝体の最大変形量は底部コーナー落下時における 324 mm である。</p> <p>また、この時の容器本体各部の応力を ABAQUS コードを用いて解析評価し、バスケット及び燃料被覆管については公式を用いた計算により評価している。ここで、バスケットについては規則第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、熱的劣化を考慮した設計用強度・物性値を基に評価している。容器本体、バスケット及び燃料被覆管は、自由落下による衝撃力が負荷されても各部に生じる応力が設計応力強さ等基準値を下回ることから、容器本体、バスケット及び燃料被覆管の構造健全性並びに容器本体の密封性を損なうことはない。</p> <p>(2) 該当しない。</p> <p>(3) 積み重ね試験</p> <p>自重の 5 倍に相当する荷重は 6.591×10^6 N であり、鉛直投影面積に 13 kPa を乗じて得た値に相当する荷重より大きいので、これを解析している。</p> <p>解析は、公式を用いた計算により、輸送物の垂直方向の圧縮強度及び水平方向の曲げ強度について行っており、本試験の実施によっても設計降伏点を下回り、容器本体の構造健全</p> | <p>(ロ)-A. 5. 3</p> <p>(ロ)-A. 5. 4</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|---|---|---|--|
| <p>第 6 条第 2 号</p> <p style="text-align: right;">イ</p> | <p>第 14 条 別記第 3 第 1 号</p> <p style="text-align: right;">第 2 号</p> | <p>性を損なうことはなく、密封部の健全性が維持される。</p> <p>なお、輸送物を積み重ねた場合、緩衝体部分が積み重なるので、外筒や蓋部及び底部中性子遮蔽材カバーには荷重が作用しないため、遮蔽解析に影響する破損は生じない。</p> <p>一方、緩衝体は最大 20 mm 程度変形する可能性があるが、口章 D の遮蔽解析で考慮している 0.3 m 落下で想定される変形量には包絡される。</p> <p>(4) 貫通試験</p> <p>貫通試験は重量 6 kg、直径 3.2 cm の棒を輸送物の最も弱い部分に 1 m の高さから落下させたとしている。試験棒は軟鋼とし、衝撃荷重は輸送物が受け持つものとして公式を用いた計算を行った結果、本試験の実施によっても棒の落下エネルギーは本輸送物外表面で最も板厚の薄い緩衝体カバープレートのせん断エネルギーよりも小さいため、容器本体の構造健全性を損なうことはない。</p> <p>また、遮蔽解析に影響する破損も生じない。</p> <p>該当しない。</p> <p>本輸送物を一般の試験条件下に置いた場合、緩衝体に変形が生じることを踏まえ、第 5 条第 7 号の通常輸送時の評価条件に基づき、CRUSH コードにより得られた緩衝体の各落下方向の変形を重ねさせた保守的なモデルを用いて、DOT3.5 コードにて解析した結果、一般の試験条件下の輸送物表面の最大線量当量率は $1172.9 \mu\text{Sv/h}$ であり、基準値の 2 mSv/h を超えることはない。</p> <p>なお、この緩衝体の変形を考慮しても、通常輸送時に比べ本輸送物の最大線量当量率の著しい増加はない。</p> | <p>(ロ)-A. 5. 5</p> <p>(ロ)-D. 4、 (ロ)-D. 5</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|-------------------------------------|---|--|--|
| <p>第 6 条第 2 号</p> <p>□</p> <p>ハ</p> | <p>(BM 型輸送物に係 る一般の試験条 件の下における 漏えい量)</p> <p>第 15 条</p> | <p>本輸送物は、一般の試験条件下に置いた場合でも規則第 6 条第 2 号の ABAQUS コードを用いた熱解析で三次蓋 0 リングの健全性を、また、同号の構造解析で蓋密封部の健全性が確認されており、密封性を損なうことはない。本輸送物は、一般の試験条件下では負圧を維持するため、放射性物質の環境への漏えいはないが、全燃料棒の 0.1 % の燃料棒の密封性が失われ、核分裂生成ガスが胴内に放出されたうえで、胴内圧が大気圧上限値まで上昇し、その後大気圧下限値の環境下に置かれたと仮定して公式を用いた放射性物質 (^3H 及び ^{85}Kr) の漏えい計算をしても、1 時間当りの漏えい量と各核種の基準値 $A_2 \times 10^{-6}$ Bq/h との比率の合計は、9.68×10^{-5} で、1 より小さく、基準値 $A_2 \times 10^{-6}$ Bq/h を超えることはない。</p> <p>本輸送物は、専用積載として運搬する。収納物の最大崩壊熱量に余裕をみた 18.1 kW を収納したとして、一般の試験条件下に置いた場合の輸送物の温度を高く評価する条件のもとで周囲温度 38 °C の日陰に置いた場合の輸送物の表面温度を ABAQUS コードを用いて解析した結果、外筒外面及びトラニオン温度が 85 °C を超えるが、必要に応じて近接防止金網を取り付けて輸送するとともに、上記を除いた部位の最高表面温度は緩衝体表面の 82 °C となることから、輸送中に人が容易に接近し得る部分の最高温度は日陰において基準値の温度 85 °C を超えることはない。(近接防止金網の温度は 66 °C 以下)</p> | <p>(□)-C. 3. 1</p> <p>(□)-B. 4. 1、 (□)-B. 4. 6</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|--------------------------------------|---|--|---|
| <p>第 6 条第 2 号 ニ</p> <p>第 3 号</p> | <p>第 9 条</p> <p>(BM 型輸送物に係 る特別の試験条 件)</p> <p>第 16 条 別記第 5 第 1 号</p> | <p>本輸送物は、一般の試験条件下に置いた場合でも密封性を損なうことはないことを規則第 6 条第 2 号の ABAQUS コード等を用いた構造解析の結果より確認している。また、輸送物表面の放射性物質の密度を発送前検査においても測定により確認するため、表面密度限度を超えることはない。</p> <p>強度試験</p> <p>イ. 落下試験 I</p> <p>本輸送物は、一般の試験条件と同様の方法で最大損傷を受けるよう、垂直、水平及びコーナー方向に剛体平面である落下試験台上に 9 m 高さから落下するとして CRUSH コードを用いて緩衝体変形量及び衝撃荷重を解析している。また、この時の容器本体各部の応力を ABAQUS コードを用いて解析評価し、バスケットについては公式を用いた計算により評価している。ここで、バスケットについては規則第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、熱的劣化を考慮した設計用強度・物性値を基に評価している。容器本体及びバスケットは、落下試験 I による衝撃力（内部収納物には、加速度割増係数として垂直落下時 2.6、水平落下時 1.2 を考慮）が負荷されても容器本体各部に生じる応力が設計引張強さ等基準値を下回ることから、容器本体及びバスケットの構造健全性並びに容器本体の密封性を損なうことはない。</p> <p>さらに、本輸送物が傾斜落下するとして、蓋密封部が二次衝撃側となる場合について評価している。落下試験結果を基にした密封性能の評価を行った結果、本輸送物の蓋部の変形</p> | <p>(㍑)-A. 5. 1、 (㍑)-C. 3. 1、 (ハ)-A</p> <p>(㍑)-A. 6. 1、 (㍑)-A. 10. 3</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|------------|-----------------------|--|---------------|
| 第 6 条第 3 号 | 第 16 条 別記第 5 第 1 号 | <p>量は落下試験で密封健全性維持が確認された落下試験モデルに比べて小さいことから、傾斜落下時に容器本体の密封性を損なうことはない。</p> <p>ロ. 落下試験Ⅱ</p> <p>9 m 落下試験に引き続いて、以下のように 1 m 貫通試験が起こるとした場合、外筒及び中性子遮蔽材に貫通又は変形が生じるおそれがあるが、公式を用いた計算により、蓋部、底部及び胴にせん断が生じないことを確認しているため、容器本体に破損が生じることはなく、密封性を損なうことはない。</p> <p>i. 本輸送物は、最大損傷を受けるよう、垂直方向及び水平方向に輸送物の重心が軟鋼棒直上となる 1 m の高さから落下するとして解析している。</p> <p>ii. 軟鋼棒の長さは、輸送物に最大の破損を与えるように十分長いものとして解析している。</p> <p>また、三次蓋のリリーフバルブカバープレート及び三次蓋シール部への垂直方向又は水平方向落下に対しても、密封性能維持が確認された落下試験モデルと同じ緩衝体内部構造を適用しており、密封性を損なうことはない。</p> | (ロ)-A. 6. 2 |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|------------|-----------------------|---|--------------------------|
| 第 6 条第 3 号 | 第 16 条 別記第 5 第 2 号 | <p>熱的試験(火災試験)</p> <p>i. 本輸送物は、落下試験 I、II の落下順序を考慮して火災による入熱量を大きく評価するように、落下試験 I の緩衝体の各落下方向の変形を重畳させた保守的なモデルで解析している。</p> <p>ii. これらの試験は、最大崩壊熱量に余裕をみた 18.1 kW の設計崩壊熱量があるという条件で ABAQUS コードを用いて輸送物各部の温度を解析している。</p> <p>iii. 解析の結果、一部の側部中性子遮蔽材は使用可能温度を超えるが著しく焼損することはない。また、密封境界の三次蓋 O リングやその他の構成部材の温度は、使用可能温度を下回り、熱的健全性及び密封性を損なうことはない。</p> <p>iv. また、この時の各部の応力を ABAQUS コードを用いて解析評価している。容器本体は火災による胴内圧及び熱応力が負荷されても各部が設計引張強さ等基準値を下回り、容器本体は破損しない。</p> | (p)-A. 6. 3、 (p)-B. 5 |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|--|-----------------------|---|--|
| 第 6 条 第 3 号 4 | 第 16 条 別記第 5 第 3 号 | <p>浸漬試験(15 m)</p> <p>本輸送物は、より厳しい強化浸漬試験に対して評価し、胴、底板及び三次蓋に破損はないことを確認している。また、三次蓋については、公式を用いた計算により 0.251325 MPa の差圧を负荷しても発生する応力は設計降伏点を下回ることを確認している。容器本体に破損が生じることはなく、また、外圧が蓋を押し付ける方向に作用することから Oリングの密封性能は維持されることから、本輸送物の密封性を損なうことはない。</p> <p>また、外筒及び底部中性子遮蔽材カバーは内部空間にそれぞれ <input type="text"/> MPa G 及び <input type="text"/> MPa G の内圧が生じているが、水深 15m の水圧 (0.15 MPa) が外圧として负荷されることで差圧が緩和されるため、遮蔽解析に影響する破損も生じない。</p> <p>本輸送物は、特別の試験条件下に置いた場合、構造解析の結果から緩衝体に変形、中性子遮蔽材に貫通変形及び、燃料集合体に変形が生じる可能性がある。そのため、緩衝体の全部及び中性子遮蔽材の一部をモデルから除いて DOT3.5 コードにて遮蔽解析を行っている。また、熱解析で一部の中性子遮蔽材が使用可能温度を超えることから、規則第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、熱的劣化を考慮しその質量が 2.5 % 減損したとした上で、さらにその密度が保守的に半減するものとしている。なお、燃料集合体の変形は遮蔽解析結果に有意な影響を与えないため考慮していない。その場合でも輸送物の表面から 1 m 離れた位置での最大線量当量率は 895.9 μSv/h であり、基準値の 10 mSv/h を超えることはない。</p> | <p>(ロ)-A. 6. 4</p> <p>(ロ)-D. 4、 (ロ)-D. 5</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|-----------------|---|--|--|
| 第 6 条第 3 号 □ | (BM 型輸送物に係 る特別の試験条 件の下における 漏えい量) 第 17 条 | <p>本輸送物は、特別の試験条件下に置いた場合、緩衝体及び中性子遮蔽材に変形が生じるが、密封装置は健全であり、火災試験を経た後も輸送容器の密封性は保持できる。ここで安全側に一次蓋、二次蓋及び全燃料棒の密封性が失われたと仮定し、燃料が有するヘリウム及び核分裂生成ガスが三次蓋一洞内雰囲気中に放出されると仮定している。この条件で、公式を用いた放射性物質 (^3H 及び ^{85}Kr) の漏えい計算をしても、1 週間当りの漏えい量と各核種の基準値 A_2 Bq/week との比率の合計は、2.45×10^{-5} で、1 より小さく、基準値 A_2 Bq/week を超えることはない。</p> | (p)-C. 4 |
| 第 4 号 | | <p>本輸送物は、周囲温度 -20 °C 以上で使用する。本輸送容器の材料は、-20 °C の低温下においても機械的性能が低下することはない。また、規則第 4 条第 2 号 a. の熱解析において、周囲温度 38 °C で収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た 18.1 kW のときの輸送物の各部温度を評価している。続いて、上記で評価した各部の温度分布を引き継いだ構造解析において、各部が設計応力強さ等基準値を下回り、輸送物の構造健全性を損なうことがないことを確認している。なお、落下解析においては、低温時の木材の強度上昇及び高温時の木材の強度低下の影響を考慮している。したがって、本輸送物は -20 °C ~ 38 °C までの運搬中に予想される温度変化に対してもき裂、破損等の生じるおそれはない。</p> | (p)-A. 4. 2、 (p)-A. 5. 1、 (p)-A. 10. 4、 (p)-B. 4. 6 |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|----------------------------------|---|---|----------------|
| <p>第 5 号</p> <p>第 7 条～第 10 条</p> | <p>(原子力規制委員会の定める量を超える放射能を有する核燃料物質等を収納した核燃料輸送物に係る試験条件)</p> <p>第 18 条 別記第 6</p> | <p>強化浸漬試験 (200 m)</p> <p>本輸送物の収納物は、使用済燃料であり、最大放射エネルギーは A_2 値の 10 万倍を超える。公式を用いた計算により 2.101325 MPa の水圧下に置かれたとしても、胴、底板及び三次蓋は許容外圧や設計引張強さ等の基準を下回るので、密封装置は破損しない。</p> <p>該当しない。</p> | <p>(□)-A.7</p> |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|------------------------------------|---|--|---|
| (核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準) 第 11 条 | 第 23 条第 1 号 | <p>本輸送物に収納する核分裂性物質量は、^{235}U が約 <input type="text" value=""/> kg であり、本輸送物は核分裂性輸送物として輸送する。</p> <p>輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化を、規則第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性における説明のとおり考慮した上で、規則第 11 条第 2 号の技術上の基準に対する適合性において後述するように、通常輸送時に比べてより保守的な条件で臨界解析を行った結果においても臨界に達することはないことから、本輸送物は輸送中において臨界に達することはない。また、経年変化を考慮した上で、本条第 1 号から第 3 号の技術上の基準に適合していることを確認している。</p> | (イ)-A、 (イ)-B、 (ロ)-E. 4. 4、 (ロ)-F |
| 第 1 号 | (核分裂性輸送物に係る一般の試験条件) 第 24 条 別記第 11 | <p>本輸送物は、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置いた場合、規則第 6 条第 2 号の構造解析により 0.3 m 落下及び積み重ね試験では緩衝体の変形が生じるが、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。また、他の試験条件も含めそれ以外の部位に損傷はない。以上より、構造部に一辺が 10 cm の立方体を包含するようなくぼみを生じることはなく、かつ外接する直方体の各辺は 10 cm 以上である。</p> | (ロ)-A. 9. 1 |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|--------------------------|--|--|--|
| 第 11 条第 2 号 イ、ロ、ハ、ニ、ホ | (核分裂性輸送物に係る孤立系の条件) 第 25 条 第 1、2、3 号 (核分裂性輸送物に係る特別の試験条件) 第 26 条 別記第 12 (核分裂性輸送物に係る配列系の条件) 第 27 条 | <p>規則第 6 条第 2 号の熱解析及び、負荷係数 1.2 を考慮した衝撃加速度に対し保守的な設計加速度を設定することで、0.3 m 落下後の 9 m 落下の衝撃力をも考慮できている規則第 6 条第 3 号の構造解析の結果より、本輸送容器は、経年変化を考慮した上で、落下試験等においてもバスケットの臨界解析モデルに影響を与えるような物理的・化学的变化はないが、燃料集合体は落下試験において変形する可能性がある。</p> <p>また、水密境界となる二次蓋の金属ガスケットについては規則第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり経年変化を考慮することとし、貯蔵開始時の温度が 60 年間継続する際の密封性能の低下を考慮しても保証できる漏えい率を用いて、15 m 浸漬における 1 か月間の浸水量を評価した結果、約 2 リットルとなった。</p> <p>以上を踏まえ、臨界解析では SCALE コードシステムを用い、規則第 11 条第 2 号のイ、ロ、ハ、ニ及びホに要求される評価条件のいずれよりも厳しい条件とした以下の保守的な条件で実効増倍率を求めた結果、0.38745 となり、いずれの評価条件に置かれた場合にも臨界に達しない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・保守的に、三次蓋の存在を無視した上で、胴内への 5 リットルの水の浸入を考慮する。 ・燃料集合体の下部側支持格子 1 スパン間の拡大／縮小変形を考慮する。 ・燃料のウラン濃縮度は保守的に減損していない未照射の値とし、一部の燃料に添加されているガドリニウムや収納する可能性のあるバーナブルポイズンの効果は考慮しない。 ・収納物の温度は常温(20℃)とし、収納物は容器中央に最も近接して配置する。 | (p)-E. 2. 2、 (p)-E. 3. 1、 (p)-E. 4. 1、 (p)-E. 4. 2、 (p)-E. 4. 4、 (p)-E. 6 |

| 規則の項目 | 告示の項目 | 説明 | 申請書記載 対応項目 |
|-------------|-------|---|---|
| 第 11 条第 3 号 | | <p>・ 中性子遮蔽材、三次蓋及び上・下部緩衝体が存在しない保守的なモデルで、周囲が完全反射の条件で評価する。</p> <p>本輸送物は、周囲温度-20℃以上で使用する。本輸送容器の材料は、-20℃の低温下においても機械的性能が低下することはない。また、規則第4条第2号 a. にて前述するように、周囲温度 38℃で収納物の崩壊熱量の最大値に裕度を見た 18.1 kW のときの輸送物の各部温度の評価結果及び、同じく前述する構造解析において、各部が設計応力強さ等基準値を下回り、輸送物の構造健全性及び密封性を損なうことはない。なお、落下解析においては、低温時の木材の強度上昇及び高温時の木材の強度低下の影響を考慮している。したがって、本輸送物は、-20℃～38℃までの運搬中に予想される温度変化に対してもき裂、破損等の生じるおそれはない。</p> | <p>(㍀)-A. 9、 (㍀)-B. 4. 6、 (㍀)-A. 5. 1、 (㍀)-A. 10. 4</p> |

(ハ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

輸送物の安全設計に合致した標準的な取扱い方法について記述するとともに、保守条件を記述する。

A. 核燃料輸送物の取扱い方法

輸送物の標準的な取扱いは、以下の方法により行われる。輸送物の取扱いの流れの例を(ハ)-第A.1図に示す。

A.1 装荷方法

輸送容器への燃料装荷は、以下の方法により行われる。

A.1.1 発電所での空容器受取・燃料装荷準備作業

輸送容器は、建屋内作業場に移動し、蓋を取り外して、クレーンにより燃料プールに吊り下ろし、燃料装荷準備を行う。

(1) 水切作業

岸壁クレーン及び水平吊具を用いて、輸送容器を運搬船から吊り上げ輸送車両上に固縛する。

(2) 搬入作業

- a. 輸送車両を建屋内に搬入する。
- b. 上・下部緩衝体を取り外す。

(3) 除染場への移動

- a. クレーン及び垂直吊具を用いて、輸送容器をたて起こす。
- b. 輸送容器を吊り上げ、除染場へ移動してたて置き設置する。

(4) 燃料プールへの移動

- a. クレーン及び蓋吊具を用いて、一次蓋、二次蓋及び三次蓋を取り外す。
- b. 輸送容器のフランジ面に異常がないこと及びバスケットに異常がないこと（未臨界検査）かつ、異物がないことを確認する。
- c. 燃料プール入水のための養生を行う。
- d. 輸送容器に純水を入れる。
- e. クレーン及び垂直吊具を用いて、輸送容器を吊り上げ、燃料プール上に移動する。
- f. 輸送容器を燃料プールに吊り下ろす。

A. 1. 2 燃料装荷作業・構内輸送準備作業

燃料取扱装置を用いて、輸送容器に使用済燃料集合体を1体ずつバスケット内へ装荷する。装荷燃料の収納配置の確認を行う。

使用済燃料を装荷後、輸送容器に一次蓋の取付け、胴内の真空乾燥、胴内のヘリウム充填、二次蓋及び三次蓋の取付け、輸送容器表面の除染を行う。その後、建屋内作業場より移動し、上・下部緩衝体を取り付ける。

(1) 蓋取付け及び輸送容器除染場への移動

- a. クレーン及び垂直吊具を用いて、一次蓋を吊り上げ、一次蓋を燃料プール上に移動する。
- b. 一次蓋を吊り下ろし、輸送容器に取り付ける。
- c. 輸送容器を除染場に移動する。

(2) 除染場内作業

- a. 一次蓋ボルトを規定トルクにて取り付ける。
- b. 燃料プール入水のための養生を取り外し輸送容器の仮除染を行う。
- c. 胴内水の排水を行う。
- d. 排水後、真空乾燥を行い、胴内の湿度が規定値以下であることを確認する。
- e. 胴内にヘリウムを規定量充填する。
- f. 一次蓋密封部の漏えい率を測定する。
- g. 一次蓋の除染を行う。
- h. 二次蓋を輸送容器に取り付ける。
- i. 一二次蓋間にヘリウムを規定量充填する。
- j. 二次蓋密封部の漏えい率を測定する。
- k. 三次蓋を輸送容器に取り付ける。
- l. 三次蓋密封部の漏えい率を測定する。
- m. 輸送容器の除染を行う。

(3) 搬出作業

- a. クレーン及び垂直吊具を用いて、輸送容器を移動し、輸送車両上の輸送架台へ設置し、固縛する。
- b. 上・下部緩衝体を取り付ける。
- c. 輸送容器に□を施す。
- d. 近接防止金網を取り付ける。
- e. 輸送車両を建屋外に搬出し、輸送物を特定兼用キャスク貯蔵施設（以下「貯蔵施設」

という。)まで構内輸送する。

A.2 貯蔵方法

A.2.1 貯蔵施設での取扱い

(1) 貯蔵施設での輸送物の受取

貯蔵施設での輸送物の受取りは、以下の方法により行われる。

- a. 輸送物から封印を解き、上・下部緩衝体を取り外した後、三次蓋を取り外す。
- b. 輸送容器へ貯蔵用三次蓋、貯蔵用緩衝体及び監視計器を取り付ける。
- c. 輸送容器を所定の貯蔵場所に据え付ける。

(2) 貯蔵施設での輸送容器の貯蔵

貯蔵施設での輸送容器の貯蔵は、以下の方法により行われる。

- a. 貯蔵場所に据え付けられた輸送容器に対し、適宜貯蔵期間中検査を実施する。

(3) 貯蔵施設での輸送物の発送前準備

貯蔵施設での貯蔵後、輸送物の発送前準備は、以下の方法により行われる。

- a. 輸送容器から監視計器、貯蔵用緩衝体及び貯蔵用三次蓋を撤去する。
- b. 三次蓋を取り付け、気密漏えい検査を行う。
- c. 上・下部緩衝体を取り付けた後、を施す。

A.2.2 再処理工場への輸送

輸送物は、輸送車両又は専用運搬船に積み付け、再処理工場まで輸送される。

(1) 再処理工場への輸送

- a. 輸送物を輸送車両に積み込む。
- b. 輸送車両によって、岸壁まで輸送する。
- c. 近接防止金網を取り外す。
- d. 岸壁クレーン及び水平吊具を用いて、輸送物を吊り上げ、指定船倉内に積み込む。
- e. 船内にて輸送物を固縛する。
- f. 近接防止金網を取り付ける。
- g. 専用運搬船によって、再処理工場まで輸送する。

A.3 取出し方法

輸送容器からの使用済燃料の取出しは、以下の方法により行われる。

A. 3.1 再処理工場での輸送物の受取・燃料取出し準備作業

(1) 水切作業

- a. 近接防止金網を取り外す。
- b. 岸壁クレーン及び水平吊具を用いて、輸送物を専用運搬船から吊り上げ、輸送車両上に固縛する。
- c. 近接防止金網を取り付ける。

(2) 輸送物受入・保管

- a. 輸送容器管理建屋内のトレーラエリアに、輸送車両により輸送物を搬入する。
- b. 近接防止金網を取り外す。
- c. クレーン及び水平吊具を用いて、輸送物を輸送車両より吊り上げ、輸送容器受入エリア内移送台車上に設置する。
- d. 移送台車にて、輸送物を輸送容器保管エリアの所定の保管場所へ移送し、保管する。

(3) 輸送容器搬送室への移送

- a. 移送台車にて、輸送物を輸送容器保管エリアより輸送容器搬送室に移送する。
- b. 近接防止金網を取り外す。
- c. 輸送容器に取り付けられている□を解除する。
- d. 上・下部緩衝体を取り外す。
- e. クレーン及び垂直吊具を用いて、輸送容器をたて起こす。
- f. 輸送容器を吊り上げ、燃料取出準備室に移送し、所定の位置に設置する。

(4) 燃料取出準備室内作業

- a. 三次蓋及び二次蓋を取り外す。
- b. 輸送容器内を再冠水する。
- c. 燃料プール入水のための養生を行う。
- d. 一次蓋ボルトを取り外す。

(5) 燃料取出し準備

- a. クレーン及び垂直吊具を用いて、輸送容器を燃料取出準備室より燃料取出ピット上へ移送する。
- b. クレーン及び吊具を用いて、輸送容器を燃料取出ピット中の燃料取出し位置に吊り下ろす。
- c. クレーン及び蓋吊具を用いて、一次蓋を取り外す。
- d. 一次蓋を蓋置場へ移動し、除染を行った後仮置きする。

A. 3.2 燃料取出し作業

燃料取出装置を用いて、輸送容器から使用済燃料集合体を取り出し、所定の燃料ラックに収納する。

A. 3.3 後作業

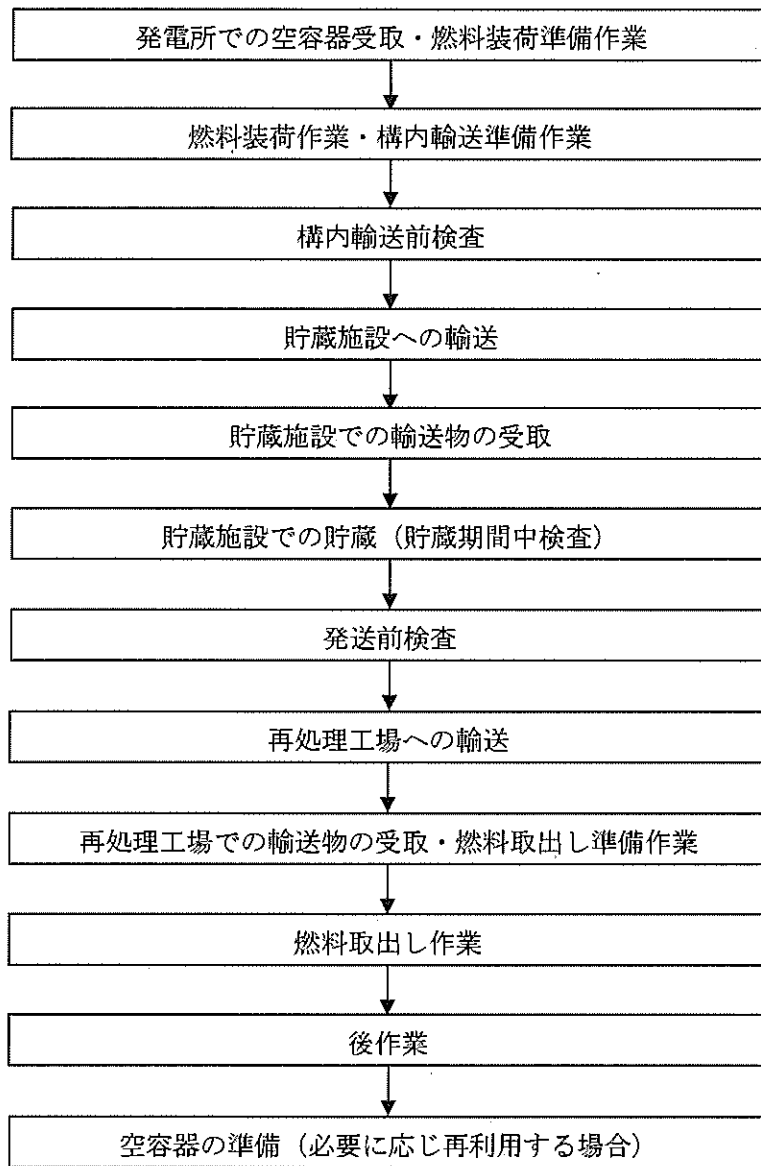
燃料取出し後、輸送容器を燃料取出ピットから吊り出し、輸送容器の除染を行う。

(1) 後作業

- a. クレーン及び吊具を用いて、輸送容器を燃料取出ピットから吊り上げる。
- b. クレーン及び垂直吊具を用いて、輸送容器を空容器返却準備室へ移送する。
- c. 燃料プール入水のための養生等を取り外す。
- d. 一次蓋を取り付ける。
- e. 輸送容器内水の排水を行う。
- f. クレーン及び蓋吊具を用いて、二次蓋及び三次蓋を取り付ける。
- g. 三次蓋密封部の漏えい率を測定する。
- h. 輸送容器の除染を行う。

A. 4 空容器の準備

燃料取出し後の輸送容器を再使用する場合は、次の輸送のために適切に保管し、空容器搬出前には適切に発送準備を行い、発電所まで輸送する。



(ハ)-第 A.1 図 標準的な輸送物の取扱いの流れ

A.5 核燃料輸送物の発送前検査

A.5.1 発送前検査

貯蔵施設から再処理工場へ輸送物を発送する前に(ハ)-第A.1表に示す輸送物の発送前検査を行う。

この際の収納物検査については、一次蓋及び二次蓋を開放して使用済燃料の外観を目視等にて検査することなく、記録の確認によって行う。

(ハ)-第 A.1 表 発送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (1/2)

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|---------|---|---|
| 1 | 外観検査 | 輸送物の外観を目視で検査する。 | 基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないこと。 輸送物の <input type="checkbox"/> が施されていること。 |
| 2 | 吊上検査 | 輸送物を吊り上げた後の状態において、トラニオン部の外観を目視で検査する。 | トラニオン部の性能に影響を与えるような傷、変形又は損傷のないこと。 |
| 3 | 重量検査 | 輸送容器及び収納物の合計重量を、製造時の重量検査記録及び構内輸送前検査の収納物検査記録により確認する。 | 134.4 トン以下であること。 |
| 4 | 表面密度検査 | スミヤ法により輸送物の表面密度を測定する。 | α 線を放出する放射性物質：0.4 Bq/cm ² α 線を放出しない放射性物質：4 Bq/cm ² をそれぞれ超えないこと。 |
| 5 | 線量当量率検査 | 輸送物の表面及び表面から 1 m の距離におけるガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定する。 | ガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率の合計が 表面：2 mSv/h 表面から 1 m の距離：100 μ Sv/h をそれぞれ超えないこと。 |
| 6 | 未臨界検査 | 構内輸送前検査及び貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の未臨界検査記録並びに発送前検査の外観検査記録を確認する。 | ① 貯蔵期間中に臨界防止機能が維持されていること。 ② 臨界防止機能に影響する輸送容器の変形又は破損がないこと。 |
| 7 | 収納物検査 | 構内輸送前検査及び貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の収納物検査記録並びに発送前検査の外観検査記録を確認する。 | ① 使用済燃料集合体の仕様、数量及び収納配置が、輸送認可条件のとおりであること。 ② 貯蔵期間中に使用済燃料集合体の健全性が維持されていること。 ③ 使用済燃料集合体の健全性に影響する輸送容器の変形又は破損がないこと。 |

(ハ)-第 A.1 表 発送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (2/2)

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|---------|---|---|
| 8 | 温度測定検査 | 温度計により輸送物の表面温度を測定し、周囲温度 38 °C での値に補正する。 | 輸送中人が容易に近づくことができる表面の温度が日陰において 85 °C を超えないこと。 |
| 9 | 気密漏えい検査 | ① 三次蓋密封部の漏えい率を加圧法又は真空法により測定する。 ② 二次蓋密封部の漏えい率をヘリウムリーク試験、加圧法又は真空法により測定する。 | ① 三次蓋密封部の漏えい率が検査要領書に規定する漏えい率を超えないこと。 ② 二次蓋密封部の漏えい率が検査要領書に規定する漏えい率を超えないこと。 |
| 10 | 圧力測定検査 | ① 残留水分：構内輸送前検査の圧力測定検査記録により確認する。 ② ガス成分及び充填量：構内輸送前検査の圧力測定検査記録により確認する。 ③ 圧力：輸送容器内部圧力は構内輸送前検査の圧力測定検査記録により確認する。また、二重蓋間圧力は貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録により確認する。 | ① 輸送容器内部は、残留水分が 10 % 以下となるよう検査要領書に規定する真空度又は湿度を超えないこと。二重蓋間については、水分が除去されていること。 ② 充填ガスが純度 99 % 以上のヘリウムであり、内部ガス充填量が検査要領書に規定する充填量範囲にあること。 ③ 輸送容器内部圧力及び二重蓋間圧力が検査要領書に規定する圧力範囲にあること。また、貯蔵期間中の二重蓋間圧力が検査要領書に規定する圧力範囲にあることで、残留水分、ガス成分及び充填量並びに輸送容器内部圧力が検査要領書に規定する範囲にある状態で維持されていること。 |

A.5.2 構内輸送前及び貯蔵期間中に実施する検査

本輸送容器は、貯蔵施設における使用済燃料の貯蔵後の輸送に使用することから、発送前検査に先立ち、「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2021 (AESJ-SC-F002:2021、(一社)日本原子力学会標準委員会)」を基に設定した(ハ)-第A.2表に示す検査を実施する。また、輸送に係る検査の詳細は以下のとおり。

(1) 構内輸送前検査

燃料収納後、貯蔵施設まで輸送する前に(ハ)-第A.3表に示す構内輸送前検査を行う。

(2) 貯蔵期間中検査 (貯蔵機能維持確認検査)

貯蔵期間中に、貯蔵時に必要な基本的安全機能及び構造強度を維持していることを確認するために(ハ)-第A.4表に示す貯蔵期間中検査 (貯蔵機能維持確認検査) を外観検査、二重蓋間圧力検査、未臨界検査、表面温度検査及び収納物検査については1年に1回以上、遮蔽性能検査及び熱検査については10年に1回以上実施する。

(3) 貯蔵期間中検査 (輸送機能維持確認検査)

貯蔵期間中に、輸送時に必要な基本的安全機能及び構造強度を維持していることを確認するために(ハ)-第A.5表に示す貯蔵期間中検査 (輸送機能維持確認検査) を外観検査、気密漏えい検査、未臨界検査及び吊上検査については1年に1回以上、遮蔽性能検査及び熱検査については10年に1回以上実施する。

(ハ)第 A.2 表 兼用キャスクに係る検査の一覧

| 確認項目 | 検査 検査で確認する機能 検査項目 | 構内輸送前 検査 | 貯蔵前 検査 | 貯蔵期間中 検査※ | | 発送前検査 |
|----------|-------------------------|-------------|-----------|--------------|----|-------|
| | | 構内運搬 | 貯蔵 | 貯蔵 | 輸送 | 輸送 |
| 全般 | 外観検査 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ◎ |
| 密封 | 気密漏えい検査 | ◎ | ○ | | ○ | ◎ |
| | 圧力測定検査 | ◎ | ○ | | | ○ |
| | 二重蓋間圧力検査 | | ◎ | ○ | | |
| 遮蔽 | 遮蔽性能検査 | | | □ | ○ | |
| | 線量当量率検査 | ◎ | ◎ | | | ◎ |
| 臨界 | 未臨界検査 | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 除熱 | 熱検査 | | | □ | ○ | |
| | 温度測定検査 | ◎ | ◎ | | | ◎ |
| | 表面温度検査 | | ◎ | ○ | | |
| 構造 強度 | 吊上検査 | ◎ | ◎ | | ○ | ◎ |
| | 重量検査 | ○ | ○ | | | ○ |
| | 据付検査 | | ◎ | | | |
| その 他 | 収納物検査 | ◎ | ○ | ○ | | ○ |
| | 表面密度検査 | ◎ | ◎ | | | ◎ |

◎：直接確認するもの □：代表容器にて直接確認するもの ○：記録確認によるもの

※ 貯蔵期間中検査については、貯蔵機能に係る検査（貯蔵機能維持確認検査）及び輸送機能に係る検査（輸送機能維持確認検査）を実施する。

(ハ)-第A.3表 構内輸送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (1/2)

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|---------|--|--|
| 1 | 外観検査 | 輸送物の外観を目視で検査する。 | 基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないこと。輸送物の□が施されていること。 |
| 2 | 吊上検査 | 輸送物を吊り上げた後の状態において、トラニオン部の外観を目視で検査する。 | トラニオン部の性能に影響を与えるような傷、変形又は損傷のないこと。 |
| 3 | 重量検査 | 輸送容器及び収納物の合計重量を製造時の重量検査記録及び構内輸送前検査の収納物検査記録により確認する。 | 134.4トン以下であること。 |
| 4 | 表面密度検査 | スマイヤ法により輸送物の表面密度を測定する。 | α 線を放出する放射性物質：0.4 Bq/cm ² α 線を放出しない放射性物質：4 Bq/cm ² をそれぞれ超えないこと。 |
| 5 | 線量当量率検査 | 輸送物の表面及び表面から1mの距離におけるガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定する。 | ガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率の合計が 表面：2 mSv/h 表面から1mの距離：100 μ Sv/hをそれぞれ超えないこと。 |
| 6 | 未臨界検査 | 使用済燃料集合体を装荷する前の状態において、輸送容器内に収納されたバスケットの外観を目視により検査する。 | 臨界防止機能に影響するバスケットの変形又は破損がないこと。 |
| 7 | 収納物検査 | ① 使用済燃料集合体の仕様、数量及び収納配置を原子炉での運転中のデータ及び燃料装荷作業記録により検査する。 ② 使用済燃料集合体の健全性を目視及び真空乾燥時における漏えいモニタリングにより検査する。 | ① 使用済燃料集合体の仕様、数量及び収納配置が輸送認可条件のとおりであること。 ② 使用済燃料集合体の外観に異常がなく、燃料被覆管からの漏えいがないこと。 |

(ハ)-第 A.3 表 構内輸送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (2/2)

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|-------------|--|--|
| 8 | 温度測定 検査 | 温度計により輸送物の表面温度を測定し、周囲温度 38 °C での値に補正する。 | 輸送中人が容易に近づくことができる表面の温度が日陰において 85 °C を超えないこと。 |
| 9 | 気密漏えい 検査 | ① 三次蓋密封部の漏えい率を加圧法又は真空法により測定する。 ② 二次蓋密封部の漏えい率をヘリウムリーク試験、加圧法又は真空法により測定する。 | ① 三次蓋密封部の漏えい率が検査要領書に規定する漏えい率を超えないこと。 ② 二次蓋密封部の漏えい率が検査要領書に規定する漏えい率を超えないこと。 |
| 10 | 圧力測定 検査 | ① 残留水分: 輸送容器内部の真空乾燥後の真空度又は内部ガス充填後の湿度を、二重蓋間については脱水されていることを輸送容器仕立て作業記録により確認する。 ② ガス成分及び充填量: 内部ガス、二重蓋間ガスの種類、純度及び充填量を輸送容器仕立て作業記録により確認する。 ③ 圧力: 圧力計による実測結果又はガス充填量と充填部体積に基づく計算結果を輸送容器仕立て作業記録により確認する。 | ① 輸送容器内部は、残留水分が 10 % 以下となるよう検査要領書に規定する真空度又は湿度を超えないこと。二重蓋間については、水分が除去されていること。 ② 充填ガスが純度 99 % 以上のヘリウムであり、内部ガス充填量が検査要領書に規定する充填量範囲にあること。 ③ 輸送容器内部圧力及び二重蓋間圧力が検査要領書に規定する圧力範囲にあること。 |

(ハ)-第 A. 4 表 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の項目、検査方法及び合格基準（1/2）

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|----------|---|--|
| 1 | 外観検査 | 輸送容器の外観を目視で検査する。 | 基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないこと。 |
| 2 | 二重蓋間圧力検査 | 二重蓋間圧力のモニタリング記録により測定値が検査要領書に規定する圧力範囲にあることを確認する。 | 二重蓋間圧力が検査要領書に規定する圧力範囲にあること。 |
| 3 | 遮蔽性能検査 | 代表容器の表面におけるガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定し、代表容器の収納物仕様及び貯蔵期間に基づいた線量当量率解析値と比較する。 | 測定値が解析値と比較して妥当であること。 |
| 4 | 未臨界検査 | <p>① 構内輸送前検査の未臨界検査記録を確認する。</p> <p>② 貯蔵前検査の収納物検査記録を確認する。</p> <p>③ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録を確認する。</p> <p>④ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の表面温度検査記録を確認する。</p> <p>⑤ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の外観検査記録を確認する。</p> | <p>① バスケットに臨界防止機能に影響する変形又は破損が生じていないこと。</p> <p>② 収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内であること。</p> <p>③ 輸送容器の密封機能が健全であり、バスケットの腐食防止環境が維持されていること。</p> <p>④ バスケットの形状、寸法及び強度に影響する輸送容器の表面温度の異常がないこと。</p> <p>⑤ バスケットの形状、寸法及び強度に影響する輸送容器の変形又は破損がないこと。</p> |
| 5 | 熱検査 | 代表容器について温度計にて各部温度を測定するか又は貯蔵期間中の表面温度検査記録を確認し、代表容器の収納物仕様、貯蔵期間及び貯蔵環境に基づいた表面温度解析値と比較する。 | 測定値又は記録値が解析値と比較して妥当であること。 |

(ハ)-第 A. 4 表 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の項目、検査方法及び合格基準（2/2）

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|--------|---|--|
| 6 | 表面温度検査 | 表面温度のモニタリング記録により測定値が検査要領書に規定する温度範囲にあることを確認する。 | 検査要領書に規定する温度範囲にあること。 |
| 7 | 収納物検査 | ① 構内輸送前検査の収納物検査記録を確認する。 ② 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録を確認する。 ③ 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の外観検査記録及び表面温度検査記録を確認する。 | ① 収納前の使用済燃料が健全であること。 ② 輸送容器の密封機能が健全であり使用済燃料が腐食防止環境にあること。 ③ 設計仕様書で規定する異常事象を超える外力及び外部からの熱の作用がないこと。 |

(ハ)-第 A. 5 表 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の項目、検査方法及び合格基準

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|---------|--|--|
| 1 | 外観検査 | 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の外観検査記録を確認する。 | 輸送容器に、基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷がないこと。 |
| 2 | 気密漏えい検査 | 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の二重蓋間圧力検査記録を確認する。 | 二重蓋間圧力が検査要領書に規定する圧力範囲にあること。 |
| 3 | 遮蔽性能検査 | 代表容器の貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の遮蔽性能検査記録を確認する。 | 代表容器が遮蔽機能を維持していること。 |
| 4 | 未臨界検査 | 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の未臨界検査記録を確認する。 | バスケットの外観、寸法に影響する輸送容器の異常がないこと。また、収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内であること。 |
| 5 | 熱検査 | 代表容器の貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の熱検査記録を確認する。 | 代表容器が除熱機能を維持していること。 |
| 6 | 吊上検査 | 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）の外観検査記録により、トラニオン部に異常がないことを確認する。 | トラニオン部の性能に影響を与えるような傷、変形又は損傷のないこと。 |

A. 5. 3 貯蔵施設において貯蔵を行わない場合に実施する発送前検査

貯蔵施設において貯蔵を行わず、燃料装荷後に再処理工場へ直接搬出する場合は、輸送物を発送する前に(ハ)-第 A. 3 表に示す構内輸送前検査と同様の輸送物の発送前検査を行う。

A.6 使用済燃料の長期健全性に関する状況調査

本輸送容器に収納した使用済燃料は、貯蔵施設において長期の貯蔵を行った後に輸送することとなる。

貯蔵施設から輸送物を発送する前に行う輸送物の発送前検査の収納物検査については、一次蓋及び二次蓋を開放して使用済燃料の外観を目視等にて検査することなく、記録の確認によって行うことから、国内外で実施されている以下のような使用済燃料の長期健全性に関する試験の実施状況を調査し、知見の蓄積を図る。なお、本輸送容器の安全性に影響する新たな技術的知見が得られた場合の対応については(二)章に示す。

(1) 米国の貯蔵試験

米国アイダホ国立研究所において、使用済 PWR 燃料の 15 年乾式貯蔵後の試験結果 (INEEL/EXT-01-001837 Revision 1, NUREG/CR-6831) 等のレポートがある。同研究所における使用済燃料の長期健全性の調査は、乾式貯蔵容器の内部ガスのサンプリングにより、漏えい燃料の有無を確認している。判定において着目する核種は ^{85}Kr としている。また、過去調査では、使用済燃料の外観確認、抜き取った燃料 1 体に対するクリープ、水素化物再配向、照射硬化回復等に関する詳細調査を実施している。

米国アイダホ国立研究所では、15×15 型 PWR 燃料を貯蔵している。貯蔵している使用済燃料について (ハ)-第 A.6 表 に示す。

(2) 国内の貯蔵試験

国内研究施設においても使用済燃料の中間貯蔵期間中の状態を模擬した使用済 PWR 燃料の貯蔵試験の計画が発表されている (N Irie, et. al “Demonstration Test Program for Long-term Dry Storage of PWR Spent Fuel”, PATRAM 2016, Kobe, #5047)。同試験においては試験容器の内部ガスのサンプリングにより、漏えい燃料の有無を米国試験と同様に ^{85}Kr に着目して確認する計画とされている。同試験に使用される使用済燃料の仕様等について (ハ)-第 A.7 表 に示す。

(ハ)-第 A.6 表 米国アイダホ国立研究所で乾式貯蔵されている使用済燃料 (注1) (注2)

| | アイダホ国立研究所 (サリー2号炉燃料) |
|-----------|----------------------|
| 燃料タイプ | 15×15型 PWR 燃料 |
| 貯蔵燃料の燃焼度 | ～約 35,700 MWd/t |
| 冷却期間 | 約 2～4 年 |
| 貯蔵期間 (注3) | 約 32 年 |
| 被覆管の材質 | ジルカロイ-4 |

(注1)貯蔵後 10 年目 (1995 年度) の測定でクリプトンガスが検出されているが、サンプル容器の汚染又は分析準備中の汚染が原因とされている。

(注2)燃料被覆管温度 (ベンチマーク試験時/貯蔵初期/状況調査時) は、約 415 °C/約 344 °C/約 155 °Cである。

(注3)貯蔵期間は、貯蔵開始 (1985 年) から 2018 年 2 月時点での経過年数を示す。

(ハ)-第 A.7 表 国内での貯蔵試験に使用する使用済燃料

| | 高浜 3 号機燃料 |
|----------|----------------|
| 燃料タイプ | 17×17型 PWR 燃料 |
| 冷却期間 | 約 24 年 |
| 貯蔵燃料の燃焼度 | 約 42,800 MWd/t |
| 被覆管の材質 | ジルカロイ-4 |

(注)既に PIE 試験に供した燃料であり、燃料棒が 15 本程度抜き取られた状態で試験に供されている。

B. 保守条件

貯蔵中の輸送容器の健全性の維持に関し、B. 1、B. 3～B. 7 及び B. 13 については、貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の記録により確認する。

B. 1 外観検査

貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の外観検査記録を確認し、輸送容器に、基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないことを確認する。

B. 2 耐圧検査

貯蔵中に発生する応力レベルは低く、かつ、変動がほとんどないことから、供用期間中に耐圧検査を実施する必要はなく、該当しない。

B. 3 気密漏えい検査

貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の気密漏えい検査記録を確認し、二重蓋間圧力が検査要領書に規定する圧力範囲にあることを確認する。

B. 4 遮蔽検査

代表容器の貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の遮蔽性能検査記録を確認し、代表容器が遮蔽機能を維持していることを確認する。

B. 5 未臨界検査

貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の未臨界検査記録を確認し、バスケットの外観、寸法に影響する輸送容器の異常がないこと、また、収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内であることを確認する。

B. 6 熱検査

代表容器の貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の熱検査記録を確認し、代表容器が除熱機能を維持していることを確認する。

B. 7 吊上検査

貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の吊上検査記録により、トラニオン部に異常がないことを確認し、トラニオン部の性能に影響を与えるような汚れ、傷、変形又は損傷のないことを確認する。

B.8 作動確認検査

弁はなく該当しない。

B.9 補助系の保守

補助系はなく該当しない。

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守（定期保守）

三次蓋用 O リングは、(ハ)-第 B.1 表に示す交換頻度に従い使用する。

(ハ)-第 B.1 表 部品交換頻度

| 部品名 | 交換頻度 | 備考 |
|------------|------------------------------|--------------|
| 三次蓋用 O リング | 実使用期間（燃料装荷期間）の合計で 1 年に 1 回以上 | 密封境界に係る部位とする |

B.11 輸送容器の保管

使用済燃料が装荷されていない保管中の輸送容器は、内部に不活性ガスを充填する等の腐食防止措置を講じ、屋内に保管するか、又は屋外に保管する場合には養生を行う。

B.12 記録の保管

製造時検査記録、構内輸送前検査記録、貯蔵前検査記録、貯蔵期間中検査記録、発送前検査記録及び定期自主検査記録（補修記録や部品交換履歴を含む）は、当該輸送容器存続中保存する。

B.13 その他

(1) 貯蔵施設での貯蔵中の定期自主検査

貯蔵施設で貯蔵中の輸送容器については(ハ)-第 B.2 表に示す定期自主検査を貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の記録を確認することにより 1 年に 1 回以上実施する。

(ハ)-第 B.2 表 貯蔵施設で貯蔵中の輸送容器の定期自主検査の項目、

検査方法及び合格基準

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|-----------|--|--|
| 1 | 外観検査 (注1) | 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の外観検査記録を確認する。 | 輸送容器に、基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないこと。 |
| 2 | 気密漏えい検査 | 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の気密漏えい検査記録を確認する。 | 二重蓋間圧力が検査要領書で規定する圧力範囲にあること。 |
| 3 | 未臨界検査 | 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の未臨界検査記録を確認する。 | バスケットの外観、寸法に影響する輸送容器の異常がないこと。また、収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内であること。 |
| 4 | 吊上検査 | 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）の吊上検査記録により、トラニオン部に異常がないことを確認する。 | トラニオン部の性能に影響を与えるような傷、変形又は損傷のないこと。 |

(注1)緩衝体及び三次蓋については、保管期間中検査として、1年に1回以上の頻度で目視により外観検査を行い、異常のないことを確認する。また、これらの使用に当たっては、使用開始検査として目視により外観検査を行い、異常のないことを確認する。なお、緩衝材の充填空間はカバープレートに覆われた閉鎖環境であること、また、緩衝体は常温環境下に保管するため劣化環境にないことから、緩衝材に有意な経年劣化は生じない。

(2) 使用済燃料を装荷したことのある輸送容器の定期自主検査

使用済燃料を装荷したことのある輸送容器については、(ハ)-第 B.3 表に示す定期自主検査を1年に1回以上実施する。

(ハ)-第 B.3 表 使用済燃料を装荷したことのある輸送容器の定期自主検査の項目、
検査方法及び合格基準

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|---------|--|--|
| 1 | 外観検査 | 輸送容器の外観を目視で検査する。 | 基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないこと。 |
| 2 | 気密漏えい検査 | ①三次蓋密封部の漏えい率を加圧法又は真空法により測定する。 ②二次蓋密封部の漏えい率をヘリウムリーク試験、加圧法又は真空法により測定する。 | ①三次蓋密封部の漏えい率が検査要領書に規定する漏えい率を超えないこと。 ②二次蓋密封部の漏えい率が検査要領書に規定する漏えい率を超えないこと。 |
| 3 | 未臨界検査 | 輸送容器内に収納されたバスケットの外観を目視で検査する。 | 臨界防止機能に影響するバスケットの変形又は破損がないこと。 |
| 4 | 吊上検査 | 輸送容器を吊り上げた後の状態において、トラニオンの外観を目視で検査する。 | トラニオン部の性能に影響を与えるような傷、変形又は損傷のないこと。 |

(3) 保管中の輸送容器の定期自主検査

a. 使用済燃料を装荷したことの無い保管中の輸送容器の定期自主検査

使用済燃料を装荷したことの無い保管中の輸送容器については、内部に不活性ガスを充填する等の腐食防止措置を講じ、屋内に保管するか、又は屋外に保管する場合には養生を行い、(ハ)-第 B.4 表に示す定期自主検査を1年に1回以上実施する。

当該輸送容器の保管が終了し、使用済燃料を装荷する前には、(ハ)-第 B.3 表と同じ検査を実施する。

(ハ)-第 B.4 表 使用済燃料を装荷したことの無い保管中の輸送容器の定期自主検査の項目、
検査方法及び合格基準

| No. | 検査項目 | 検査方法 | 合格基準 |
|-----|------|------------------|-------------------------------------|
| 1 | 外観検査 | 輸送容器の外観を目視で検査する。 | 基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷のないこと。 |

b. 使用済燃料を装荷したことの無い保管中の輸送容器の定期自主検査

使用済燃料を装荷したことの無い保管中の輸送容器について、当面の再利用計画がない等の理由により保管措置を講ずる場合は、保管する前に(ハ)-第 B.3 表と同じ検査を実施する。

また、保管にあたっては、内部に不活性ガスを充填する等の腐食防止措置を講じ、屋内に保管するか、又は屋外に保管する場合には養生を行い、保管中は(ハ)-第 B.4 表に示す定期自主検査を1年に1回以上実施する。

当該輸送容器の保管が終了し、使用済燃料を装荷する前には、(ハ)-第 B.3 表と同じ検査を実施する。

(二)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

(二)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

本輸送物の安全設計、安全輸送に関する特記事項は以下のものとする。

1. 近接防止金網の装着

本輸送物は発送前の温度測定検査で、太陽熱放射のない条件において輸送中人が容易に近づくことができる表面温度が 85 °Cを超える場合は、近接防止金網を装着して輸送するものとする。

2. 三次蓋及び緩衝体の取扱いについて

本輸送物の三次蓋及び緩衝体は同型式の輸送容器間で共用する。

また、安全性向上の観点から、緩衝材として使用する木材の経年変化に関する知見の拡充の取り組みの一環として、緩衝体の使用に際しては、都度、輸送容器の使用履歴を蓄積し、輸送前に、輸送容器の使用履歴、収納物の発熱量及び輸送時に想定される環境温度を踏まえ、木材温度が、概ね実績のある温度の範囲内であることを確認した後に輸送を行う。

3. 技術基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合の対応について

外運搬規則等の改正に伴い本輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを行う。

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

輸送容器は、(ロ)章「核燃料輸送物の安全解析」に述べられた構造、熱、密封、遮蔽、臨界の各解析及びそれらにより決定される寸法、構造等を満足するように、参考 A. 「輸送容器の製作方法」に従って製作し、それらが上記各設計条件を満足していることを、参考 B. 「輸送容器の試験、検査方法」に説明する各種検査により確認する。

A. 輸送容器の製作方法

A.1 概要

輸送容器の製作手順例を(参)-第 A.1 図に示す。

以下、(参)-第 A.1 図に従い、製作手順及び方法の概要について述べる。

1. キャスク本体の製作

(1) 胴の機械加工

胴は炭素鋼製の鍛造品であり、内外面及び溶接開先部の機械加工を行う。なお、胴及び胴（底板）は一体鍛造で製造する場合がある。また、機械加工を行った胴を購入する場合がある。

(2) 胴（底板）の機械加工

胴（底板）は炭素鋼製の鍛造品であり、内外面及び溶接開先部の機械加工を行う。なお、胴及び胴（底板）は一体鍛造で製造する場合がある。また、機械加工を行った胴（底板）を購入する場合がある。

(3) 胴と胴（底板）の組立溶接

胴と胴（底板）の組立溶接（周継手）を行う。なお、胴を2つ以上の部材として鍛造する場合は、上記の作業が1つ以上追加となる。また、胴及び胴（底板）を一体で製造する場合は、本作業が省略される。

(4) 胴の機械加工

胴と胴（底板）の組立溶接（周継手）部外面の機械加工を行う。なお、胴を2つ以上の部材として鍛造し溶接する場合は、上記の作業が1つ以上追加となる。また、胴及び胴（底板）を一体で製造する場合は、本作業が省略される。

(5) 胴の []

胴のフランジ面に []、底部中性子遮蔽材カバー及び下部端板を溶接する部位に [] を行う。

(6) 胴の熱処理

胴の組立溶接（周継手）、 [] に対し溶接後熱処理を行う。

(7) 胴の機械加工

胴のネジ穴部等の機械加工を行う。

(8) 伝熱フィン及び外筒の組立溶接

伝熱フィン及び外筒の組立溶接を行う。

(9) 中性子遮蔽材（レジン）の充填

胴側部中性子遮蔽材部及び底部中性子遮蔽材部に中性子遮蔽材（レジン）を充填する。

(10) 下部端板及び底部中性子遮蔽材カバーの組立溶接

下部端板及び底部中性子遮蔽材カバーの組立溶接を行う。

(11) キャスク本体の機械加工

キャスク本体のフランジ面等の機械加工を行う。

(12)

キャスク本体の内面に [] を行う。

(13) キャスク本体の塗装

キャスク本体外面に塗装を施す。

2. 蓋の製作

2.1 一次蓋

(1) 蓋板の機械加工

蓋板は炭素鋼製の鍛造品であり、外面の機械加工を行う。なお、機械加工を行った蓋板を購入する場合がある。

(2) 蓋板の []

蓋板のキャスク本体と接する部位に [] を行う。

(3) 蓋板の熱処理

蓋板溶接部の溶接後熱処理を行う。

(4) 蓋板の機械加工

蓋ボルト穴等の機械加工を行う。

(5) 側板の組立溶接

側板の組立溶接を行う。

(6) 中性子遮蔽材（レジン）の充填

中性子遮蔽材（レジン）を充填する。

(7) 蓋部中性子遮蔽材カバーの組立溶接

蓋部中性子遮蔽材カバーの組立溶接を行う。

(8) 蓋板の機械加工

カバープレート部等の機械加工を行う。

(9)

蓋板表面に [] を行う。

(10) 蓋板の機械加工

□等の機械加工を行う。

(11) バルブ、カバープレートの組立て

バルブ、カバープレート等の蓋への取付けを行う。

2.2 二次蓋

(1) 蓋板の機械加工

蓋板は炭素鋼製の鍛造品であり、外面の機械加工を行う。なお、機械加工を行った蓋板を購入する場合がある。

(2) 蓋板の□

蓋板のキャスク本体と接する部位及び圧力センサー取付け部に□
□を行う。

(3) 蓋板の熱処理

蓋板溶接部の溶接後熱処理を行う。

(4) 蓋板の機械加工

カバープレート部等の機械加工を行う。

(5) □

蓋板表面に□を行う。

(6) 蓋板の機械加工

□等の機械加工を行う。

(7) バルブ、カバープレートの組立て

バルブ、カバープレート等の蓋への取付けを行う。

2.3 三次蓋

(1) 蓋板の機械加工

蓋板はステンレス鋼製の鍛造品又は板材であり、外面の機械加工を行う。なお、機械加工を行った蓋板を購入する場合がある。

(2) 蓋板の機械加工

カバープレート部等の機械加工を行う。

(3) バルブ、カバープレートの組立て

バルブ、カバープレート等の蓋への取付けを行う。

3. バスケットの製作

(1) 部材加工

アルミニウム合金製のバスケットプレート及びバスケットサポート、並びにほう素

添加アルミニウム合金製の中性子吸収材を所定の寸法・形状に加工する。

(2) 組立

所定の寸法・形状に加工された部材等の組立を行う。

4. 上部及び下部緩衝体の製作

(1) 部材加工

ステンレス鋼板を所定の寸法・形状に加工（切断、機械加工、曲げ加工等）する。

(2) 組立溶接

所定の寸法・形状に加工された部材の組立溶接を行う。

(3) 緩衝材の組込み

缶体に緩衝材を組込む。

(4) 組立溶接

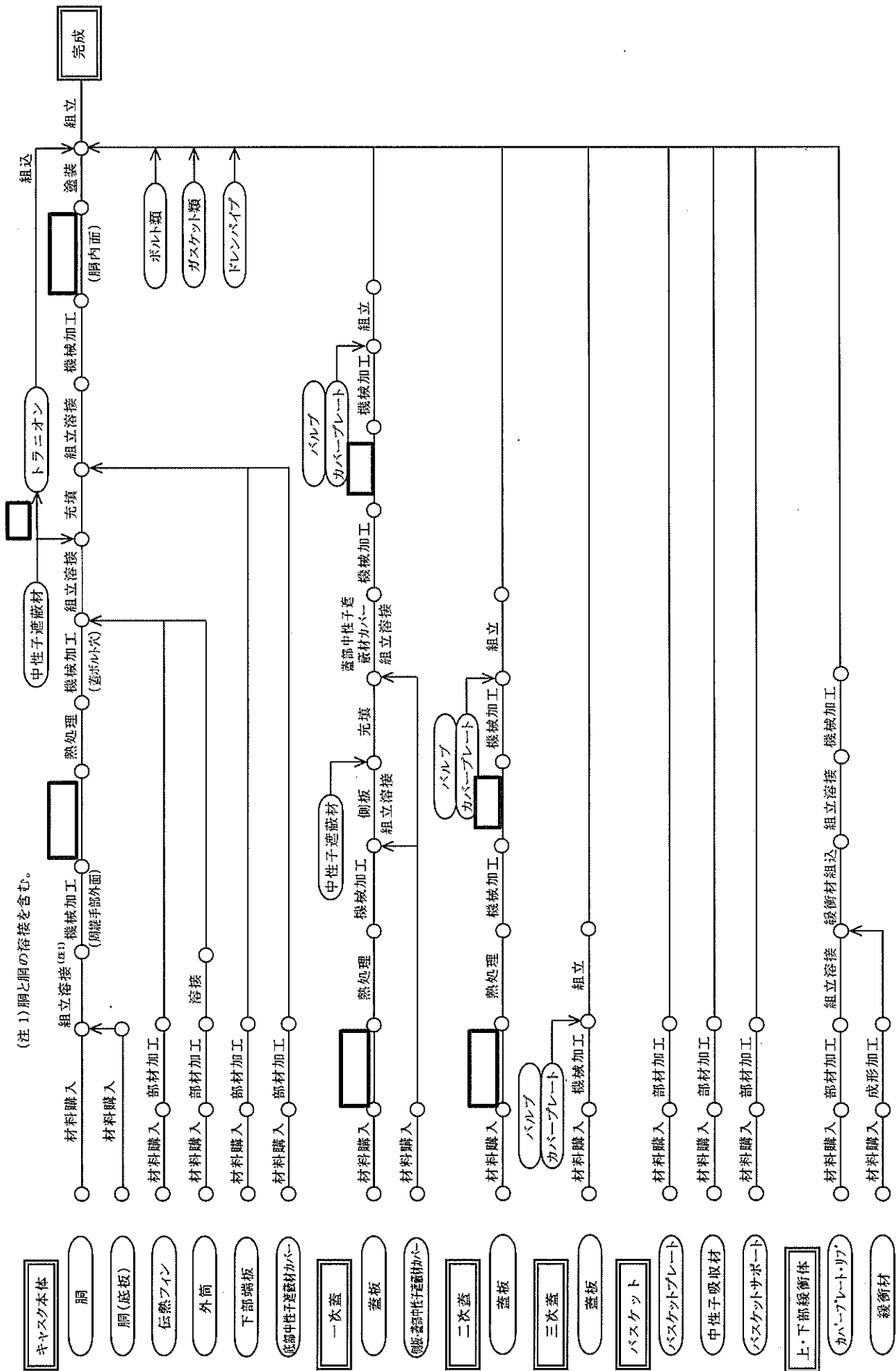
緩衝材の組込みを完了した缶体にカバープレートの溶接を行う。

(5) 機械加工

容器との当り面等の機械加工を行う。

5. 輸送容器の組立

完成したキャスク本体にバスケット及びドレンパイプの組込み、並びにトラニオン、蓋、上・下部緩衝体の取付けを行い、輸送容器を組立てる。



(参)-第A.1図 輸送容器全体製作手順図 (例)

A.2 材料の説明

A.2.1 一般材料

輸送容器には、(参)-第 A.1 表に示す規格の材料又はその相当品を使用する。

A.2.2 特殊材料

前記一般材料の他に、(参)-第 A.2 表に示す特殊材料を使用する。

(参)-第A.1表 材料適用規格 (板、棒、押出、鍛造及びボルト材)

| 使用部位 | 材料区分 | 適用規格 (注1) | 備考 |
|--|-----------------------------------|--|--|
| <u>1. キャスク本体</u> 胴 外筒 下部端板 伝熱フィン トラニオン 底部中性子遮蔽材カバー | 鍛造材 板材 板材 板材 棒材 板材 | JIS H 3100 C1020P <input type="text"/> JIS G 4303 SUS630-H1150 (注2) <input type="text"/> | 炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 銅 析出硬化系ステンレス鋼 ステンレス鋼 |
| <u>2. 蓋</u> (1) 一次蓋 蓋板 蓋部中性子遮蔽材カバー カバープレート 蓋ボルト | 鍛造材 板材 棒材 又は板材 ボルト材 | | 炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼 |
| (2) 二次蓋 蓋板 モニタリングポート カバープレート 蓋ボルト | 鍛造材 棒材 又は板材 ボルト材 | | 炭素鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼 |
| (3) 三次蓋 蓋板 リリーフバルブカバー プレート 蓋ボルト | 鍛造材 又は板材 棒材 又は板材 ボルト材 | | ステンレス鋼 ステンレス鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼 |
| <u>3. バスケット</u> バスケットプレート バスケットサポート | 押出材 押出材 | MB-A3004-H112 (注2) MB-A3004-H112 (注2) | アルミニウム合金 アルミニウム合金 |
| <u>4. 緩衝体</u> カバープレート リブ | 板材 板材 | | ステンレス鋼 ステンレス鋼 |

(注1)記載の規格材料又はその相当品を用いる。

(注2)破壊靱性試験を行う。

(参)-第 A. 2 表 特殊材料

| 使用部位 | 材料名 | 適用規格 ^(注) | 備考 |
|----------------|---|---------------------|---|
| 中性子遮蔽材 | レジン | メーカー標準 | |
| 中性子吸収材 | ほう素添加アルミニウム合金 | メーカー標準 | |
| 緩衝材 | | メーカー標準 | |
| シール材 (Oリング) | EPDM (三次蓋シール部等) | JIS B 2401 | 硬さ(Hs):70±5 |
| 金属 ガスケット | ニッケル基合金及び アルミニウム (一次蓋及び二次蓋 シール部) | メーカー標準 | ヘリコフレックス コイルスプリング:ニッケル基合金 内側被覆:ニッケル基合金 外側被覆:アルミニウム |

(注) 記載の規格材料又は相当品を用いる。

A.3 溶接

容器の溶接は、日本機械学会の「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」及び「発電用原子力設備規格 溶接規格」に準拠した施工法により行う。

溶接方法の例を (参)-第 A.3 表 に示す。

(参)-第 A.3 表 適用する溶接方法 (例)

| 適用継手 | 溶接方法 (注) |
|------------------------------|-----------------------|
| 胴と胴 (底板) の突合せ溶接 | サブマージアーク溶接 (SAW) |
| | 被覆アーク溶接 (SMAW) |
| | ティグ溶接 (GTAW) |
| | |
| | |
| 伝熱フィンと胴または外筒の溶接 | ティグ溶接 (GTAW) |
| | ミグ溶接 (GMAW) |
| 胴と下部端板及び 胴と底部中性子遮蔽材カバーの溶接 | 被覆アーク溶接 (SMAW) |
| | ティグ溶接 (GTAW) |
| | フラックスコールドアーク溶接 (FCAW) |
| 外筒同士の溶接及び 外筒と下部端板の溶接 | 被覆アーク溶接 (SMAW) |
| | ティグ溶接 (GTAW) |
| | ミグ溶接 (GMAW) |
| ステンレス鋼同士の溶接 | 被覆アーク溶接 (SMAW) |
| | ティグ溶接 (GTAW) |
| | フラックスコールドアーク溶接 (FCAW) |
| | サブマージアーク溶接 (SAW) |

(注) 上記は代表例であり変更となる場合がある。また、同等であれば他の溶接方法を用いることが出来る。

B. 輸送容器の試験、検査方法

(ロ)章で述べられた各解析に対応する設計条件を満たすように製造されていることを確認するために、日本原子力学会標準「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準」に準じて(参)-第 B.1 表に示す検査を実施する。

(参)-第B.1表 検査項目一覽表

| 検査項目 | 容器(蓋を含む) | | バスケット | | 緩衝体 | |
|---------|----------|------------|-------|------------|------|------------|
| | 実施区分 | 実施時期 | 実施区分 | 実施時期 | 実施区分 | 実施時期 |
| 材料検査 | ○ | 製作中(材料受取時) | ○ | 製作中(材料受取時) | ○ | 製作中(材料受取時) |
| 寸法検査 | ○ | 製作中及び製作完了時 | ○ | 製作中及び製作完了時 | ○ | 製作完了時 |
| 溶接検査 | ○ | 製作中 | - | - | ○ | 製作中 |
| 外觀検査 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 |
| 耐圧検査 | ○ | 製作中 | - | - | - | - |
| 気密漏えい検査 | ○ | 製作中及び製作完了時 | - | - | - | - |
| 遮蔽性能検査 | ○ | 製作中 | - | - | - | - |
| 遮蔽寸法検査 | ○ | 製作中 | - | - | - | - |
| 伝熱検査 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 |
| 吊上荷重検査 | ○ | 製作完了時 | - | - | - | - |
| 重量検査 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 |
| 未臨界検査 | - | - | ○ | 製作中及び製作完了時 | - | - |
| 作動確認検査 | ○ | 製作完了時 | - | - | - | - |
| 取扱い検査 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 | ○ | 製作完了時 |

添付書類 14 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する説明書

目次

| | |
|---|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 型式設計特定機器の設計及び製作に係る組織 | 1 |
| 2.1 設計に係る組織 | 1 |
| 2.2 製造、試験・検査に係る組織 | 1 |
| 2.3 購買に係る組織 | 2 |
| 3. 品質マネジメントシステムに係る社内規定 | 4 |
| 4. 型式設計特定機器の設計及び製作に係る製品実現の計画 | 8 |
| 4.1 プロジェクト・マネージャーの責任と権限 | 8 |
| 4.2 プロジェクト組織の確立と運営 | 8 |
| 4.3 プロジェクト工程管理 | 8 |
| 5. 型式設計特定機器の設計及び製作に係る設計、製造、試験・検査及び購買の手順 | 8 |
| 6. 設計に係る品質管理の方法 | 12 |
| 6.1 設計インプットの明確化 | 12 |
| 6.2 設計計画の作成と運営管理 | 12 |
| 6.3 設計インタフェース管理 | 13 |
| 6.4 設計の体系的レビュー | 13 |
| 6.5 設計解析 | 13 |
| 6.6 設計アウトプットの文書化 | 15 |
| 6.7 設計検証 | 15 |
| 6.8 設計の妥当性確認 | 16 |
| 6.9 設計変更管理 | 17 |
| 6.10 型式指定申請書の作成 | 17 |
| 7. 製造に係る品質管理の方法 | 18 |
| 7.1 設計要求事項及び購入要求事項 | 18 |
| 7.2 製造工程管理 | 18 |
| 7.3 識別管理 | 21 |
| 7.4 出荷検査の実施 | 22 |
| 7.5 輸 送 | 23 |
| 8. 試験・検査に係る品質管理の方法 | 23 |
| 8.1 試験・検査要領の確立 | 23 |
| 8.2 検査員の技量管理 | 24 |
| 8.3 試験・検査設備（計測器、試験機等）の管理 | 24 |

| | | |
|-----|-----------------|----|
| 8.4 | 試験・検査の実施 | 25 |
| 8.5 | 試験・検査結果と不適合品の識別 | 25 |
| 8.6 | 出荷検査の実施 | 25 |
| 9. | 購買に係る品質管理の方法 | 25 |
| 9.1 | 購買計画及び購買先の選定 | 26 |
| 9.2 | 購買先とのコミュニケーション | 26 |
| 9.3 | 発注 | 27 |
| 9.4 | 文書の管理 | 27 |
| 9.5 | 試験・検査及び受入管理 | 27 |
| 9.6 | 品質記録の保管 | 28 |

1. 概要

本書は、「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則（令和2年1月23日原子力規制委員会規則第2号）」及び「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年12月28日通商産業省令第77号）」（以下「実用炉規則」という。）に適合するための計画として「型式設計特定機器の型式指定申請書」（以下「本申請書」という。）7.「申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項」に記載した事項のうち「実用発電用原子炉及びその付随施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第5号）」、及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」（昭和53年12月28日総理府令第57号）等に対する適合性の確保に必要な設計、製造、試験・検査及び購買に係る品質管理の方法、及び組織について、具体的に実績並びに計画を記載したものである。

2. 型式設計特定機器の設計及び製作に係る組織

型式設計特定機器の設計及び製作等に係る設計、製造、試験・検査及び購買の組織は第2-1図に示す。

2.1 設計に係る組織

機器設計部 プラント機器設計課は設計取りまとめとして、設計計画書の作成、基本設計、基本形状図の作成、解析条件書の作成、安全解析、解析報告書の作成、型式指定申請書の取りまとめを行い、その他設計部門とのインタフェース調整、各プロセスに関するレビュー活動取りまとめを行う。

炉心・安全技術部 炉心・放射線技術課は設計部門として、設計取りまとめの指示に従い、安全解析及び解析報告書の作成を行い、その結果を設計取りまとめに報告する。

原子力部 軽水炉課及び神戸原子力営業部 プラント課は営業部門として、顧客要求事項を受け取り、その他関連部門に配付する。

品質保証部 原子力品質保証課は品証担当部門として、品質保証計画書を作成し、その他関連部門に配付する。

その他関連部門は設計取りまとめの指示に従い、各プロセスにおいて必要に応じてレビュー等を行う。

2.2 製造、試験・検査に係る組織

設計取りまとめは、製作図面／組立図面の発行、購入品注文仕様書の発行、及び製造、試験・検査に関連するレビュー等を行う。

原子力工作部 生産技術課、大型機器工作課、蒸気発生器工作課、及び機械電機工作課は製造部門として、製作フローチャートの発行、製作手順書／製作要領書の発行、製造及び出荷を行い、

製造及び出荷に関する結果を作業記録に記録する。また、製造、試験・検査に関連するレビュー等を行う。

品質保証部 機器品質管理課及び購入品品質管理課は品管担当部門として、試験・検査に対する立会検査又は記録確認を実施する。また、品質管理程度表／試験・検査要領書の発行、製造部門が実施した製造に対する試験・検査を行い、試験・検査に関する結果を試験・検査記録に記録する。また、製造、試験・検査に関連するレビュー等を行う。

営業部門は、顧客の発注仕様書を受け取り、その他関連部門に配付する。

調達部 素材・外注グループ、機器・工事契約グループ、物流・シェアドサービスグループは購買部門として、購買、出荷等に係る手続きを行う。

設計部門は、製造、試験・検査に関連するレビュー等を行う。

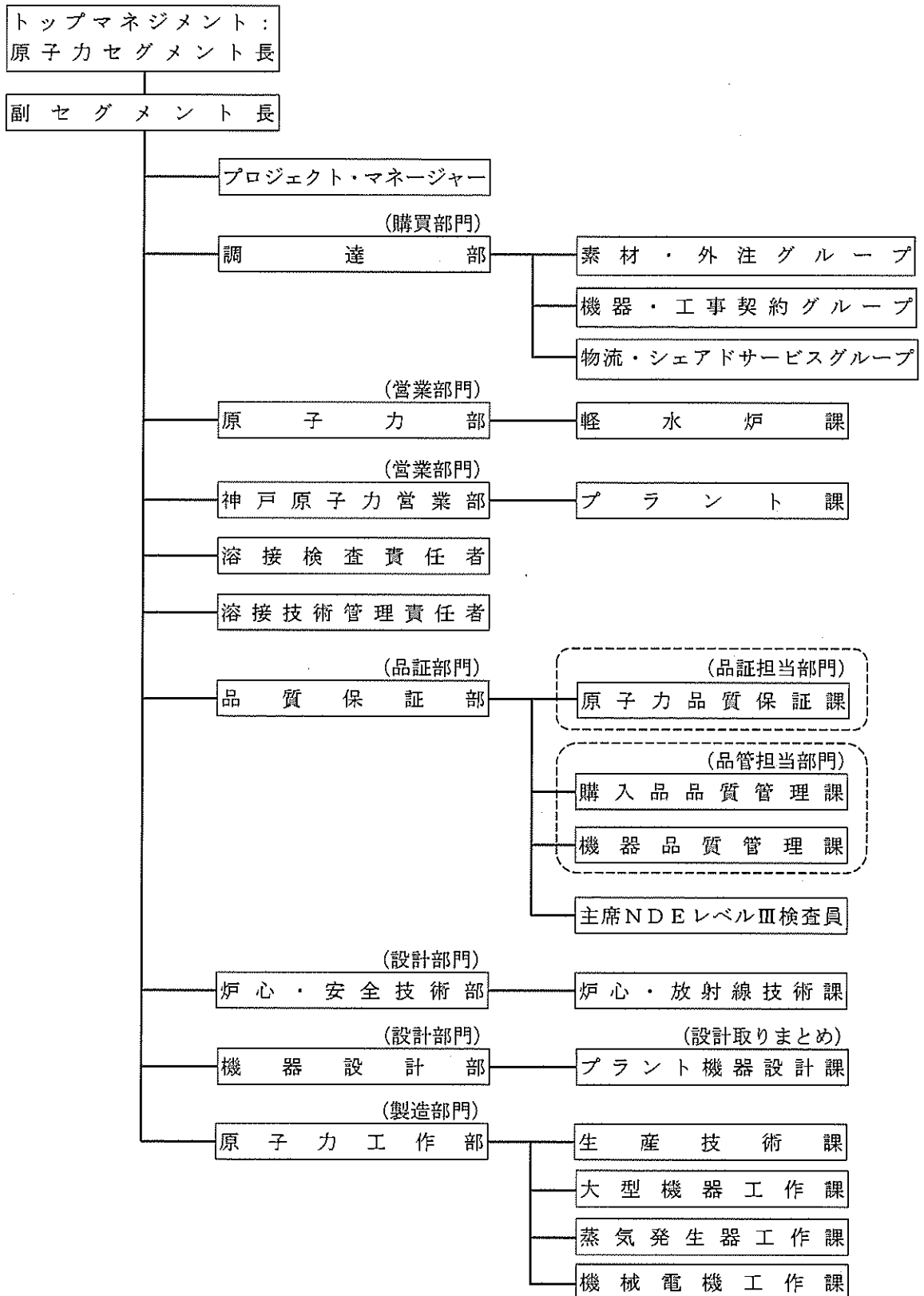
2.3 購買に係る組織

営業部門は、顧客要求事項を受け取り、その他関連部門に配付する。

設計部門、品証担当部門、品管担当部門、製造部門は購入要求元部門として、購買先監査・調査・評価、注文仕様書の発行、購買先が発行する図面仕様書、各種要領書のレビュー・承認、購買先の製造・役務の受入、三年ごとの購買先認定更新及び購買に関連するレビュー等を行う。

購買部門は、購買先監査・調査・評価、購買先決定、発注、三年ごとの購買先認定更新及び購買に関連するレビュー等を行う。

品証担当部門／品管担当部門は品質保証要求事項を購買先に配付、購買先の品質マネジメントシステムへの反映結果をレビュー、購買先監査・調査・評価、購買先認定、図面仕様書、各種要領書のレビュー、購買先の製造・役務に対する受入・工程中・完成検査、発送許可証の発行、品質記録の発行、三年ごとの購買先認定更新及び購買に関連するレビュー等を行う。



(注) 本組織図は QMS 上の関係を示したものである。

第 2-1 図 型式設計特定機器の設計及び製作に係る組織

3. 品質マネジメントシステムに係る社内規定

品質マネジメントシステムに係る主な社内規定の一覧を第3-1表に示す。

第3-1表 品質マネジメントシステムに係る主な社内規定 (1/4)

| 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項の項目 | 社内規定 | | | |
|--|-----------------|-----------|--|--------|
| | 一次文書 | 制定者 | 二次文書 | 制定者 |
| 7.4 品質マネジメントシステム 7.4.1 一般要求事項 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 品質保証組織 原子力関連製品の品質マネジメントシステム体系 原子力関連製品の品質保証体制変更に伴う影響評価実施要領 製品品質に係る重要度分類による品質保証方式適用基準 | 品質保証部長 |
| 7.4.2 文書化に関する要求事項 7.4.2.1 一般 7.4.2.2 品質マニュアル 7.4.2.3 文書管理 7.4.2.4 記録の管理 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 原子力関連製品の品質マネジメントシステム体系 原子力関連製品の品質保証体制変更に伴う影響評価実施要領 品質保証組織 品質マニュアル管理要領 文書管理要領 標準管理要領 図面管理要領 品質記録管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.5 経営者の責任 7.5.1 経営者のコミットメント 7.5.2 顧客重視 7.5.3 品質方針 7.5.4 計画 7.5.4.1 品質目標 7.5.4.2 品質マネジメントシステムの計画 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 品質保証組織 原子力関連製品マネジメントレビュー運営要領 品質マニュアル管理要領 原子力関連製品の品質マネジメントシステム体系 原子力関連製品の品質保証体制変更に伴う影響評価実施要領 標準管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.5.5 責任、権限及びコミュニケーション 7.5.5.1 責任及び権限 7.5.5.2 管理責任者及び関連部門の長 7.5.5.3 内部コミュニケーション | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 品質保証組織 原子力関連製品の品質マネジメントシステム体系 原子力関連製品マネジメントレビュー運営要領 製造工程管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.5.6 マネジメントレビュー 7.5.6.1 一般 7.5.6.2 マネジメントレビューへのインプット 7.5.6.3 マネジメントレビューからのアウトプット | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 原子力関連製品マネジメントレビュー運営要領 | 品質保証部長 |
| 7.6 資源の運用管理 7.6.1 資源の提供 7.6.2 人的資源 7.6.2.1 一般 7.6.2.2 力量、教育・訓練及び認識 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 力量評価及び教育・訓練管理要領 製造工程管理要領 特殊工程管理要領 監査員・監査リーダー資格認定要領 | 品質保証部長 |
| 7.6.3 インフラストラクチャー 7.6.4 作業環境 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 業務支援プログラム品質保証方針 | 品質保証部長 |

第3-1表 品質マネジメントシステムに係る主な社内規定 (2/4)

| 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項の項目 | 社内規定 | | | |
|--|-----------------|-----------|---|--------|
| | 一次文書 | 制定者 | 二次文書 | 制定者 |
| 7.7 製品実現 7.7.1 製品実現の計画 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 品質保証組織 原子力関連製品の品質マネジメントシステム体系 製品品質に係る重要度分類による品質保証方式適用基準 中小工事品質保証運営要領 試験・検査管理要領 I P Sシステムによる日程計画管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.7.2 顧客関連のプロセス 7.7.2.1 製品に関連する要求事項の明確化 7.7.2.2 製品に関連する要求事項のレビュー 7.7.2.3 顧客とのコミュニケーション | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> プロジェクト運営要領 設計管理要領 設計レビューボード会議運営要領 顧客満足に関する情報処理要領 | 品質保証部長 |
| 7.7.3 設計・開発 7.7.3.1 設計・開発の計画 7.7.3.2 設計・開発へのインプット 7.7.3.3 設計・開発からのアウトプット 7.7.3.4 設計・開発のレビュー 7.7.3.5 設計・開発の検証 7.7.3.6 設計・開発の妥当性確認 7.7.3.7 設計・開発の変更管理 7.7.3.8 設計インタフェースの管理 7.7.3.9 解析業務管理 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 設計管理要領 設計レビューボード会議運営要領 技術評価・研究の業務管理要領 ソフトウェア品質保証方針 図面管理要領 設計解析管理要領 解析ソフトウェア管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.7.4 購買 7.7.4.1 購買プロセス 7.7.4.2 購買情報 7.7.4.3 購買製品の検証 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 調達管理要領 注文仕様書作成要領 品質保証協定管理要領 調達先に対する品質保証要求事項 (品質管理レベルA工場製作メカ向) 調達先に対する品質保証要求事項 (品質管理レベルB工場製作メカ向) 調達先に対する品質保証要求事項 (加工外注メカ向) 調達先に対する品質保証要求事項 (原子力施設に関わる設計役務全般) 社内研究所に対する品質保証要求事項 (原子力施設に供する解析/分析業務等) 試験・検査管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.7.5 製造及びサービス提供 7.7.5.1 製造及びサービス提供の管理 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 梱包, 出荷及び輸送の管理要領 製造工程管理要領 特殊工程管理要領 異物管理要領 試験・検査管理要領 計測器, 試験機の管理要領 ソフトウェア品質保証方針 技術評価・研究の業務管理要領 工法レビュー要領 | 品質保証部長 |
| 7.7.5.2 製造及びサービス提供に関するプロセスの妥当性確認 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> 製造工程管理要領 特殊工程管理要領 力量評価及び教育・訓練管理要領 | 品質保証部長 |

第3-1表 品質マネジメントシステムに係る主な社内規定 (3/4)

| 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項の項目 | 社内規定 | | | |
|--|-----------------|-----------|--|--------|
| | 一次文書 | 制定者 | 二次文書 | 制定者 |
| 7.7.5.3 識別及びトレーサビリティ 7.7.5.4 顧客の所有物 7.7.5.5 製品の保存 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・材料及び機器の管理要領 ・梱包, 出荷及び輸送の管理要領 ・試験・検査管理要領 ・顧客の所有物の管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.7.6 監視機器及び測定機器の管理 7.7.6.1 計測器・計量器の管理要領 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・計測器, 試験機の管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.8 測定, 分析及び改善 7.8.1 一般 7.8.2 監視及び測定 7.8.2.1 顧客満足 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・顧客満足に関する情報処理要領 ・不適合及び是正処置管理要領 ・クレーム管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.8.2.2 内部監査 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・ISO9001 審査結果に対する処置実施要領 ・内部監査運営要領 ・監査員・監査リーダー資格認定要領 | 品質保証部長 |
| 7.8.2.3 プロセスの監視及び測定 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・原子力関連製品の品質マネジメントシステム体系 ・原子力関連製品の品質保証体制変更に伴う影響評価実施要領 ・ISO9001 審査結果に対する処置実施要領 ・製造工程管理要領 ・試験・検査管理要領 ・内部監査運営要領 ・原子力関連製品モニタリング運営要領 | 品質保証部長 |
| 7.8.2.4 製品の監視及び測定 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・梱包, 出荷及び輸送の管理要領 ・据付・試運転管理要領 ・試験・検査管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.8.3 不適合製品の管理 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・不適合及び是正処置管理要領 ・クレーム管理要領 ・顧客満足に関する情報処理要領 ・試験・検査管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.8.4 データの分析 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・顧客満足に関する情報処理要領 ・試験・検査管理要領 ・不適合及び是正処置管理要領 ・原子力発電プラント不適合情報管理要領 | 品質保証部長 |
| 7.8.5 改善 7.8.5.1 継続的改善 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | ・原子力関連製品マネジメントレビュー運営要領 ・顧客満足に関する情報処理要領 ・不適合及び是正処置管理要領 ・内部監査運営要領 ・原子力関連製品モニタリング運営要領 | 品質保証部長 |

第3-1表 品質マネジメントシステムに係る主な社内規定 (4/4)

| 申請に係る型式設計特定機器の設計及び製作に係る品質管理の方法並びにその実施に係る組織に関する事項の項目 | 社内規定 | | | |
|---|-----------------|-----------|--|--------|
| | 一次文書 | 制定者 | 二次文書 | 制定者 |
| 7.8.5.2 是正処置 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> ・顧客満足に関する情報処理要領 ・ISO9001 審査結果に対する処置実施要領 ・不適合及び是正処置管理要領 ・クレーム管理要領 ・三菱グループ対策不適合管理要領 ・内部監査運営要領 ・原子力関連製品モタリック®運営要領 | 品質保証部長 |
| 7.8.5.3 予防処置 | 原子力関連製品の品質マニュアル | 原子力セグメント長 | <ul style="list-style-type: none"> ・ISO9001 審査結果に対する処置実施要領 ・不適合及び是正処置管理要領 ・不適合情報管理要領 ・不正常現象に関する処理要領 ・内部監査運営要領 ・原子力関連製品モタリック®運営要領 | 品質保証部長 |

4. 型式設計特定機器の設計及び製作に係る製品実現の計画

4.1 プロジェクト・マネージャーの責任と権限

当社の原子力関連製品の QMS を管理・実行する責任と権限を有する原子力セグメント副セグメント長は、金属製乾式キャスクの設計・製作等に係るプロジェクト・マネージャー（以下「プロ・マネ」という。）を任命する。

プロ・マネは、プロジェクト体制のリーダーとして関連部門の職制の壁を越え、主要技術事項、プロジェクト工程、品質を管理し、コーディネーションを確実に行う責任がある。

4.2 プロジェクト組織の確立と運営

(1) 社内の責任分担

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

(2) 体制の確立と周知徹底

プロ・マネは、プロジェクト全体の体制表を作成し、関連部門に周知徹底させる。

(3) プロジェクト会議の開催

プロ・マネは、定期的にプロジェクト会議を開催し、プロジェクトに関してプロジェクトメンバーの認識の統一を図る。

また、工事着手前会議を開催し、業務推進体制、工事工程、関連法規／指針、基本設計仕様書、品質保証計画等の周知を図る。

4.3 プロジェクト工程管理

(1) 主要工程表の作成

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

(2) 工程管理

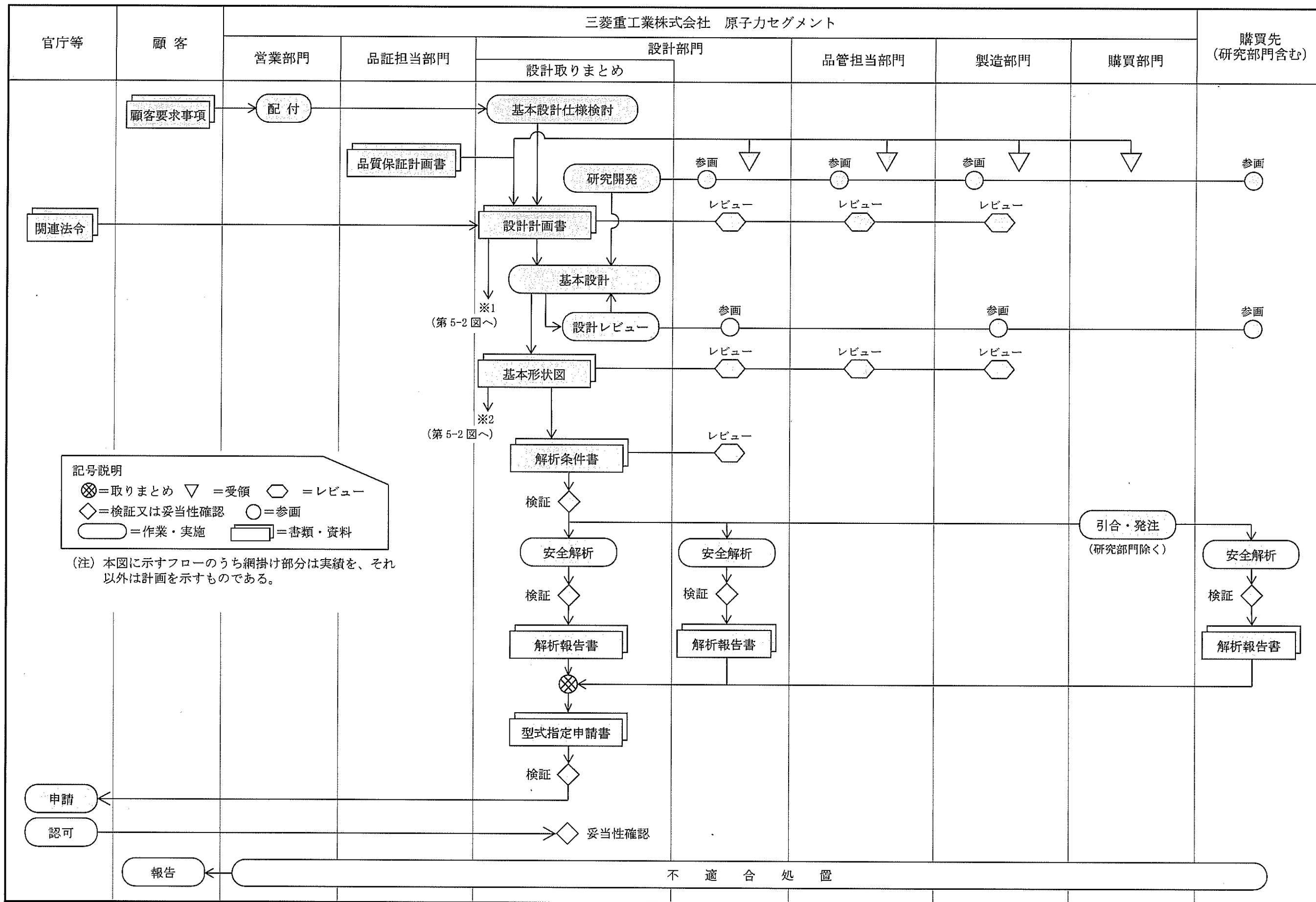
プロ・マネは、工程の監視を行い、遅れがある場合や遅れが出そうな事態の場合、遅延対策として適切な処理を行う。

(3) 設計と製造インタフェース調整

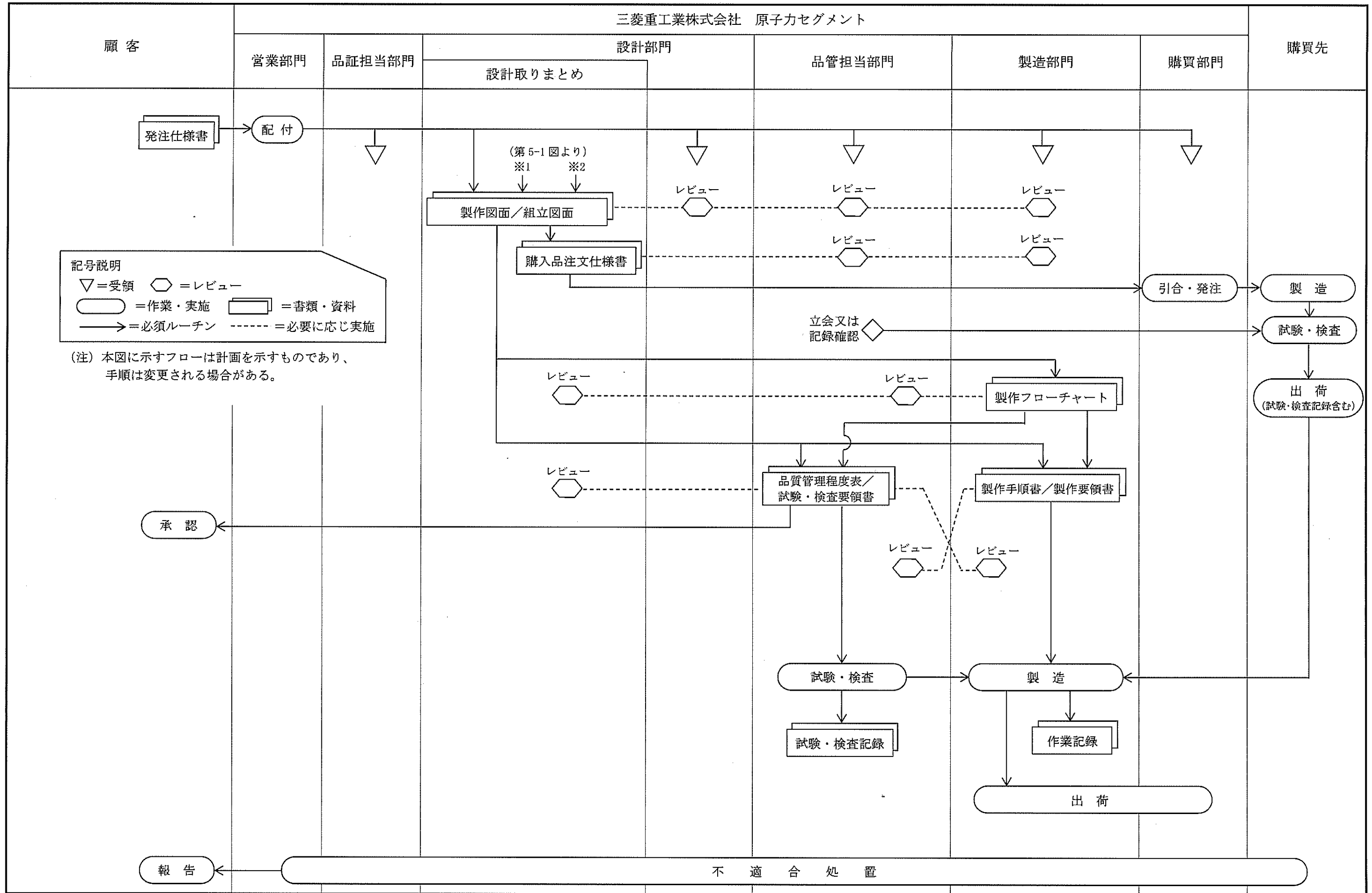
プロ・マネは、設計部門間、及び設計部門と製造部門に関連する事項を調整する。

5. 型式設計特定機器の設計及び製作に係る設計、製造、試験・検査及び購買の手順

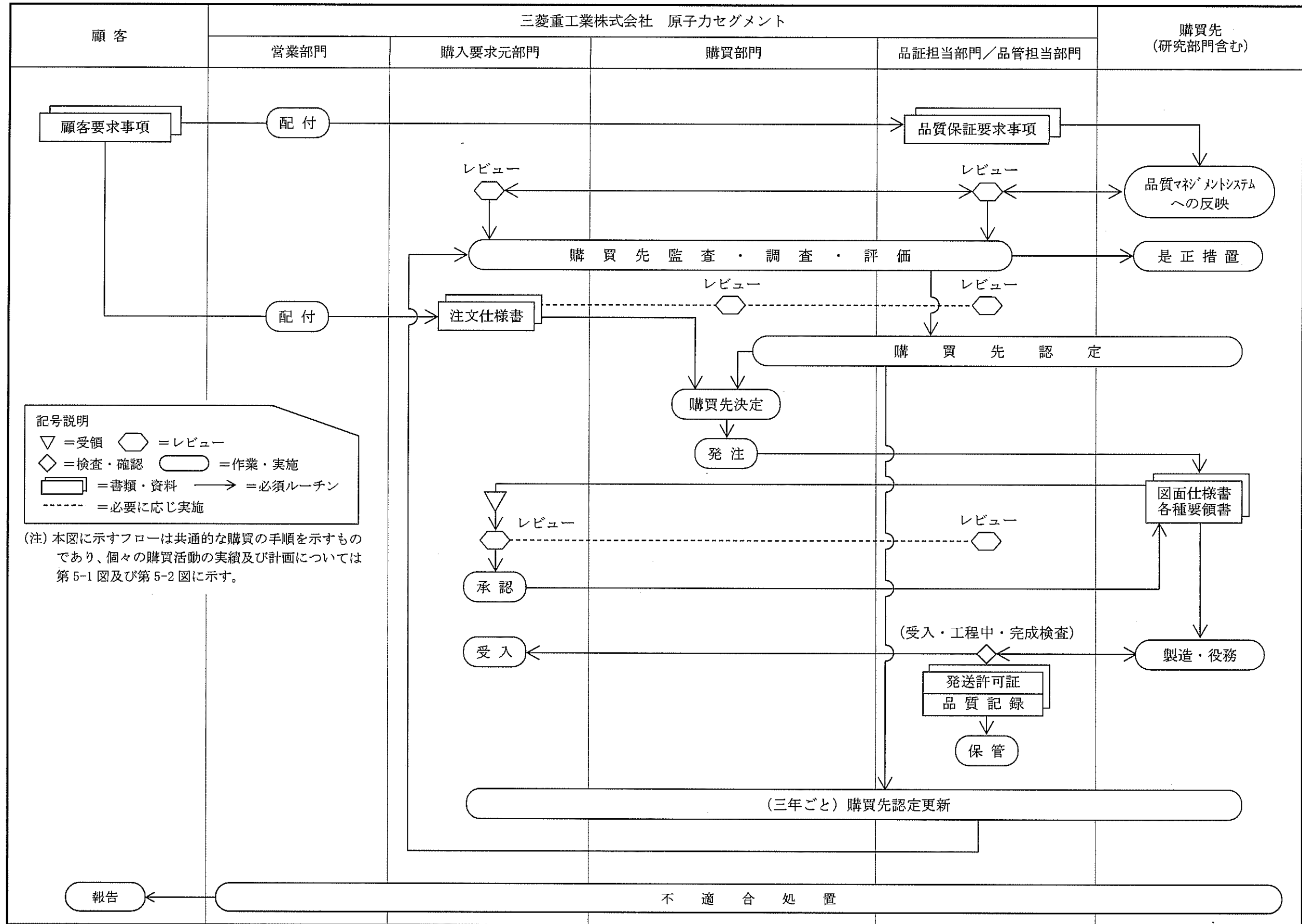
型式設計特定機器の設計及び製作等に係る設計、製造、試験・検査及び購買の手順を、第 5-1 図、第 5-2 図及び第 5-3 図に示す。なお、具体的な品質管理の方法については 6.、7.、8. 及び 9. に示す。



第 5-1 図 型式設計特定機器の設計及び製作に係る設計フロー図



第5-2図 型式設計特定機器の設計及び製作に係る製造、試験・検査フロー図



第5-3図 型式設計特定機器の設計及び製作に係る購買フロー図

6. 設計に係る品質管理の方法

次の設計方法には実績及び計画を記載しており、実績及び計画の範囲については第5-1図に示す。

6.1 設計インプットの明確化

設計部門は、設計作業が正しい方法で実施されるよう、また設計内容の決定、設計検証の実施、妥当性確認の実施及び設計変更の評価を行うための適切な基準を与えるよう、設計インプットを適時、明確に文書化し、承認する。また、設計部門は、承認された設計インプットからの変更とその理由を明確に文書化し、承認し、管理する。

設計部門は、型式設計特定機器の設計及び製作に関する法令、規則（実用炉規則等）、技術基準及び既に認可を取得した当該型式証明申請書を確実にインプットとして管理する。

6.2 設計計画の作成と運営管理

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

- (1) 工事概要
- (2) 設計部門の業務
- (3) 設計レビュー計画
- (4) 設計インプット
- (5) 設計業務フロー及び設計インターフェース
- (6) 解析業務管理要領（解析業務を行う場合）
- (7) 設計工程
- (8) 設計体制
- (9) 設計アウトプット
- (10) 設計検証の要領^(注1) ^(注2)
- (11) 設計の妥当性確認^(注1)

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

(注2) 本資料の6.7.1に記載している設計検証要領による。この要領を適用しない場合は、その方法と理由を記載することとしている。

設計計画は設計の進捗に応じて適宜改訂し、運営管理する。また、設計の妥当性確認が完了した段階で最終版として改訂を行う。なお、最終改訂版では全ての設計インプット、設計アウトプット、設計の妥当性確認結果を明確にする。（6.8参照）

6.3 設計インタフェース管理

設計部門は、設計インタフェースが複雑な業務等については、個々の設計作業に先立ち、必要に応じて、詳細な設計分担・インタフェース管理要領を作成し、管理する。この設計分担・インタフェース管理要領の作成にあたって、その他関連部門のレビューを受ける。

6.4 設計の体系的レビュー

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

6.5 設計解析

許認可等の重要な安全評価に係る解析業務については、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（JANSI-GQA-01 第3版 2021年6月）」に準拠して次のとおり管理する。

6.5.1 解析業務の計画

設計部門は、解析業務の計画段階において、次の事項の計画を明確にする。

- (1) 解析の目的
- (2) 実施体制
- (3) 解析及び審査、検証の実施者
- (4) 解析業務の作業手順
- (5) 各作業プロセスの実施時期
- (6) 解析結果の検証方法
- (7) 業務報告書の確認
- (8) 解析業務の変更管理

6.5.2 計算機プログラムの検証

設計部門は、計算機プログラムの検証が未実施の場合は、計画段階で別途検証を実施する。なお、適用実績のない解析手順を適用する場合は、適切な検証を実施する。また、検証報告書には、検証された計算機プログラム名称及びバージョンを明記し、計算機プログラム名称が同じであってもバージョンが相違する計算機プログラムを使用する場合は、改めて検証を実施する。

設計部門は、プログラム管理台帳等を作成して、開発又は変更した全てのプログラムの管理状況が把握できるようにする。

6.5.3 入力根拠の明確化

設計部門は、各計算機プログラムへの入力データの技術的な根拠事項を文書化することを解析業務計画時に認識するため、次に例示する入力根拠書を作成する。

また、過去に実績のある入力データを流用する場合は、流用する対象及び対象の入力根拠を確認する。

- (1) 解析諸元入力データ根拠書
- (2) 解析条件入力データ根拠書
- (3) 解析モデル根拠書

6.5.4 入力結果の確認

設計部門は、入力値の確認のため、確認方法の状態に応じたエビデンス（エコーバック [計算機が読み込んだ入力データを出力として書き出したもの]、入力画面、入力リスト（入力データの一覧）等）を技術図書として残す。このうち、エコーバック以外の手段を採用する場合は、入力書式についてもプログラムマニュアル等で確認する。なお、入力値の確認にあたっては、必要に応じてダブルチェックによる確認を実施する。

6.5.5 解析結果の確認

解析計画に従い、以下の視点で解析結果を確認する。確認の結果は、客観的な証拠によって示せるようにする。

- ・正しいインプットが使用されている
- ・解析ソフトウェアの有効範囲で使用されている
- ・アウトプットが正しい
- ・確認されるべき仮定が確認されている

6.5.6 業務報告書の確認

設計部門は、顧客の要求する解析業務報告書（設置許可申請書、設計及び工事計画認可申請書等に記載される計算書等）が、所定の要求事項（様式等）に適合し、また、確認済みの解析結果が適切に解析業務報告書に反映されていることを確認する。

6.5.7 解析業務の変更管理

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

解析業務において電子ファイルに変更が生じた場合は、変更を識別できるようにする。

6.5.8 品質記録の保管管理

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

6.6 設計アウトプットの文書化

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

これらの設計文書は、次の条件を満たすこととしている。

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

6.7 設計検証

設計部門は、設計アウトプットが設計インプットを満たしていることを検証するために、設計部門長が原設計者以外の設計検証者を指名し、設計検証者に検証を実施させる。なお、設計検証者は、設計部門長を含め、同じ部門の者でもよいこととしている。また、設計部門長は、使用する設計検証方法を識別し、文書化する。

6.7.1 設計検証要領

(1) 設計検証の方法

設計部門は、次の一つ以上の方法を用いて設計検証を実施する。

(a) 設計検証者による評価/確認

設計検証者が、原設計者の設計作業を次の観点で評価/確認することにより検証する。

- ・設計インプットが適切に選定されている。
- ・設計条件や仮定が適切であり、記述されている。設計が完了する時点で、再度仮定の適切性を確認する必要がある場合、それを明記している。
- ・設計方法が適切である。

- ・設計インプットが適切に設計に取り入れられている。
- ・設計インプットに対して妥当なアウトプットである。
- ・設計インタフェースのある部門が必要とする設計インプット及び設計検証事項を、その設計図書に明記している。
- ・適切に材料、部品、プロセス及び試験・検査の判定基準が規定されている。

(b) 代替計算

設計検証者が、設計に使用した計算又は解析と、別の計算又は解析により得られた結果の比較により検証する。

(c) 実証試験

設計検証者が、設計要求事項に対して、試作機、モデル等により適切な条件下で試験により検証する。

なお、上述の方法に加えて、必要に応じ検証済みの設計との比較（既に設計検証が完了した設計又は類似の証明された設計との比較評価により検証する）を実施する。

(2) 設計検証の範囲

必要な設計検証の範囲は、設計部門長が安全性に対する重要度、設計の複雑さ、標準化の程度、技術レベル及び検証済みの設計との類似性により判断する。

(3) 設計検証のタイミング

設計検証は、設計部門から設計アウトプットとして出図される前に行う。データが不十分で、そのタイミングで設計検証が実施できない場合は、(4)の規定に従う。

(4) 未検証範囲の特定及び管理

設計部門は、設計検証ができていない範囲を明確化し、管理する。その設計が関連する機器等が使用される前の適切な時期に検証を完了させる。

(5) 設計検証結果による設計修正

設計部門は、設計検証時の所見により設計修正を行う場合は、再度設計検証を行う。

(6) 設計検証記録

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

6.8 設計の妥当性確認

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

(1) 設計の計画において、設計部門は、妥当性確認の方法と時期を明確にする。

(2) 設計の妥当性確認は、実施可能な場合にはいつでも、製品の引渡し前又は提供の前に完了する。

- (3) 品管担当部門が作成する試験・検査要領書や試運転要領書等のレビューを通じて、試験・検査段階で設計の妥当性確認が実施できることを確認する。
- (4) 設計計画に定めた方法と時期で妥当性確認を行った後、設計計画に妥当性確認結果を記載する。

6.9 設計変更管理

設計部門は、設計変更を行うにあたり、次のとおり管理する。

- (1) 設計変更を明確にし、記録を維持する。
 - (2) 設計変更に対して、設計の体系的レビュー、設計検証及び妥当性確認を適宜行い、その設計変更を実施する前に承認する。
 - (3) 設計変更のレビューには、その設計変更が当該製品を構成する要素及び関連する製品に及ぼす影響の評価を含める。^(注1)
 - (4) 設計変更のレビュー結果の記録、及び必要な処置があればその記録を維持する。^(注1)
- (注1) 設計変更のレビューとは、変更に対して適切に行われた設計の体系的レビュー、設計検証及び妥当性確認をいう。

6.10 型式指定申請書の作成

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

6.10.1 本文の作成

設計取りまとめは、文書化された設計インプット及び設計アウトプットを基に、実用炉規則第107条第1項及び第2項の規定に従って、必要な事項（申請者及び製造工場、並びに型式設計特定機器の種類、名称・型式、設計及び製作の方法の概要並びに設計及び製作に係る品質管理の方法等）を本文として取りまとめる。

6.10.2 添付書類の作成

設計部門は、設計インプットを基に設計解析を行い、結果を設計アウトプットとして文書化する。設計取りまとめは、設計部門が作成した設計アウトプット文書を基に、実用炉規則第107条第3項の規定に従って、必要な事項を添付書類として取りまとめる。

6.10.3 型式指定申請書の検証

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

を完了する。

7. 製造に係る品質管理の方法

次の製造方法には計画を記載しており、本申請段階において実績はない。

7.1 設計要求事項及び購入要求事項

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

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

7.2 製造工程管理

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

7.2.1 技能管理

- (1) 製造部門、品管担当部門は、特殊工程である次の作業について技能管理要領を確立し、技能管理を行う。
 - (a) 溶接作業
 - (b) 非破壊検査作業
 - (c) 熱処理作業
 - (d) 中性子遮蔽材（レジン）充填作業
- (2) 製造部門及び品管担当部門は、技能管理に関する記録を作成し管理する。

7.2.2 設備管理

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

- (1) 製造に使用する設備（工作機械、溶接機、治工具類、計測器、試験機、純水製造装置、

揚重クレーン、熱処理設備、他)

- (2) 製造に適した環境を保持する設備 (清浄、空調設備、乾燥炉、換気設備、他)
- (3) その他、製品要求事項への適合に影響ある設備等

7.2.3 製造の管理

7.2.3.1 製造に使用する図面

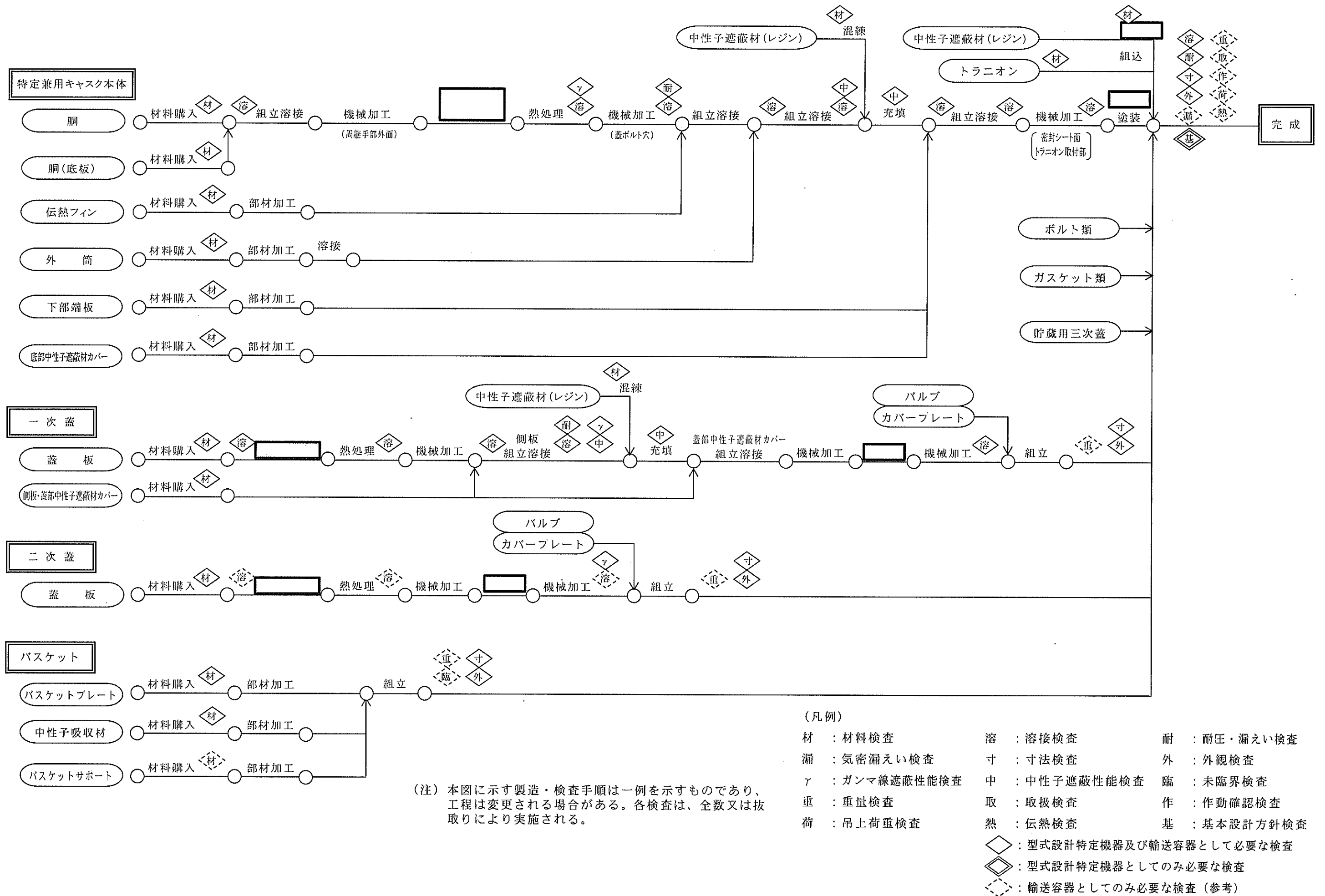
- (1) 製造部門は、製造に使用する図面において、原則、最新の「決定図」で製造を行う。設計部門は製造工程に支障がないよう、適切な時期に顧客と調整し、図面を「決定図」とする。

7.2.3.2 製作フローチャートの作成

- (1) 製造部門は、主要機器について、図面等に基づき、製品ごとに製造及び試験・検査に関する全体的な製作フローチャートを作成する。
製作フローチャートの例を第7-1図に示す
- (2) 品管担当部門及び設計取りまとめは、必要に応じて製作フローチャートをレビューし、検査計画で要求する試験・検査項目及びそれらの実施時期が適切であることを確認する。

7.2.3.3 製造手順・要領の確立

- (1) 製造部門は、適用法令、規格、基準及び設計要求事項に適合する製品を製造するために、製作手順書及び製作要領書を作成する。
- (2) 製造部門は、次の事項を製作手順書で明確にする。
 - (a) 必要に応じて、作業環境 (温度、湿度、塵埃等) 条件の設定、指示
 - (b) 次の作業手順。ただし、これに限定しない。
 - (i) 製造取合い工程において、引継作業着手前に、前作業がすべて終了していることを確認する手順
 - (ii) ステンレス表面清浄度を確認する手順
 - (iii) 異物除去 (清掃) 及び異物が残留していないことを確認する手順
- (3) 品管担当部門は、製作手順書をレビューし、品質上の要求事項が適正に反映されていることを確認する。



第7-1図 型式設計特定機器 MSF-24P(S)型 製作フローチャート(例)

7.2.3.4 作業実施の指示

- (1) 製造部門は、次の事項を実施し作業指示を明確にする。
 - (a) 製造着工前に、製作手順書及び当該手順書に適用する製作要領書を明らかにし、製造作業の実施を指示する。
 - (b) 特殊工程作業については、特殊工程管理要領を明確にし、作業実施を指示する。
 - (c) 作業実施前に、作業者に対して製作手順書、製作要領書の内容について周知徹底する。

7.2.3.5 作業実施

- (1) 製造部門は、図面、製作手順書、製作要領書に基づいて適切な作業を行う。
- (2) 製造部門は、作業終了後速やかに製作手順書に定める手順ごとに作業実施者名及び実施日付を記録する。
- (3) 製造部門は、製作手順書の要求に従い作業記録を作成する。
- (4) 製造部門は、製作フローチャート等に基づき定期的に製造工程のフォローを行う。

7.2.3.6 工程中試験・検査の依頼

- (1) 製造部門は、立会試験・検査に先立ち、次の事項を点検・確認した後、品管担当部門に検査依頼をする。
 - (a) 当該試験・検査前にすべての作業が完了し、製作手順書に作業実施者名及び実施日付が記録されていること。
 - (b) 作成した作業記録は、製造担当者によりレビューされていること。

7.3 識別管理

7.3.1 識別

7.3.1.1 識別を要する材料

設計部門は、次の材料の識別表示を図面あるいは注文仕様書で規定する。

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

7.3.1.2 マーキング方法

- (1) 永久マーキングは、対象物の厚さにより次項に定めるいずれかの方法により行う。
 - (a) 低応力スタンプによる刻印
 - (b) 銘板取付

- (c) パイブレーションツール（彫刻機を含む）によるマーキング
- (2) 材料に永久マーキングができない場合、適切な方法により仮マーキングを行うとともに、記録により材料成績書と関連づけを行う。

7.3.1.3 識別マーキングの内容

- (1) 識別マーキングとは、材料番号及び材料、部品の製造工程の追跡を可能とするもので、原則として次の項目からなる。ただし、一連番号などにより材料成績書と照合確認できる場合は、(a)、(c)は必ずしも必要ではない。
 - (a) 材質
 - (b) 材料番号（同一材料番号で同一形状のものは必ず一連番号を符し、個々のものが識別可能にすること。）
 - (c) 材料メーカー名又は社章
- (2) 上記識別表示を行うことが実際的に不可能若しくは困難な場合には、簡略符号によりマーキングをしてもよいが、簡略符号と正規のマーキングとの対応づけを標準又は要領書等で明確にする。

7.3.1.4 材料識別表示の記録

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

7.3.2 材料使用前の確認

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

7.3.3 マークシフト

- (1) 製造部門は、官庁検査、顧客検査及び社内検査に係る検査刻印及び識別マーキング（以下「刻印・識別マーキング」という。）を、製造工程中適切に維持する。
- (2) 製造部門は、製造中に刻印・識別マーキングが機械加工、切断、溶接及び熱処理等により消える場合、当該刻印・識別マーキングが消える前に官庁、顧客あるいは品管担当部門立会のもとで移し換えを行うか、維持のための適切な保護措置をとる。

7.4 出荷検査の実施

- (1) 製造部門は、梱包に先立ち製作手順書のすべての作業ステップが完了していることを確認し、「発送許可証」に必要事項を記入の上、品管担当部門に送付して出荷検査を依頼する。

7.5 輸 送

- (1) 製造部門は、製品が輸送中に損傷・破損・劣化しないよう設計指示事項に基づき輸送用機材、保護具等の製造及び摺動部の固定を行うとともに、次の事項を文書にて明らかにして輸送を依頼する。
 - (a) 積荷、緩衝、保護措置に係る指示
 - (b) 輸送中の留意、厳守事項に係る指示
 - (c) 製品と一緒に送付する文書
 - (i) 「発送許可証」(原紙)
 - (ii) 納品書及び受領書
 - (iii) 必要な検査記録
- (2) 購買部門は、輸送依頼製品の輸送計画を作成し、必要に応じ顧客と打合せの上輸送手配を行う。
- (3) 製造部門は、原則として、製品出荷日の5日前までに「出荷通知書」等により、輸送先に連絡する。

8. 試験・検査に係る品質管理の方法

次の試験・検査方法には計画を記載しており、本申請段階において実績はない。

8.1 試験・検査要領の確立

8.1.1 設計要求事項及び購入要求事項

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

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

8.1.2 品質管理程度表の作成

品管担当部門は、製品品質の重要度に応じ、材料購買、製造（購買製品を含む）の各段階で実施する試験・検査項目、立会検査の程度並びに試験・検査要領書の作成の有無を明確にした品質管理程度表を作成し、発行する。

8.1.3 試験・検査要領書の作成

品管担当部門は、品質管理程度表に従い、試験・検査要領書を作成し、発行する。試験・検査要領書には下記の事項を明確に記載する。

- (1) 目的
- (2) 対象
- (3) 製造者及び検査場所
- (4) 適用規格
- (5) 試験・検査の項目及び立会程度
- (6) 試験・検査の要領と判定基準
- (7) 記録の顧客への提出範囲及び保管期限

8.2 検査員の技量管理

品管担当部門は、次の事項により検査員の技量管理を行う。

- (1) 作業内容に応じて定められた要領書に従い技量認定された検査員又は必要な技量がある検査員に試験・検査を実施させる。
- (2) 非破壊検査は、技量認定された検査員に実施させる。
- (3) 非破壊検査については、「非破壊試験技術者の資格及び認証（JIS Z 2305）」に基づく資格認定取得者を従事させる。

8.3 試験・検査設備（計測器、試験機等）の管理

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

- (1) 試験・検査設備の精度及び性能を維持し管理する。
- (2) 試験・検査設備の使用前に試験・検査設備の計量器検査成績書を必要に応じて準備し、検査が適切に実施されていること、かつ有効期限内であること及び記載内容に不備がないことを確認する。なお、顧客より要求がある場合には検査記録に同計量器検査成績書を添付する。

8.4 試験・検査の実施

- (1) 品管担当部門は、試験・検査の実施にあたっては、事前に適用する要領書を明確にし、検査員に指示するとともに、周知する。
- (2) 品管担当部門は、検査依頼に基づき設計指示事項及び適用要領書に従い試験・検査を行うとともに、要求される試験・検査記録をすみやかに作成する。

8.5 試験・検査結果と不適合品の識別

品管担当部門は、試験・検査結果について、次の方法により製品の状態を識別する。

8.5.1 合格品（適合品）の識別

次の(1)～(4)のいずれかにより識別すること。

- (1) 製作手順書の試験・検査ステップ欄に日付と署名を記入する。
- (2) 複数部品の場合で袋、ケースなどの使用により明確に仕分けられる場合には、その仕分に対して「合格ステッカ」を貼付する。「合格ステッカ」は次工程を行うものが除去する。
- (3) 指定されたマーキング材を用いて、検査結果のマーキング表示を行う。
- (4) 社内又は顧客指定の検査刻印を打刻する。

8.5.2 不適合品の識別

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

8.6 出荷検査の実施

- (1) 品管担当部門は、製品に発生した不適合に対するすべての処置が完了し合格となっていること、及び製造工程中に採取された試験・検査記録を点検して問題がないことを確認した後、「発送許可証」記載の製品について出荷検査を実施の上、「発送許可証」を完成させ、発行する。
- (2) 品管担当部門は、「発送許可証」（原紙）を製造部門に送付する。

9. 購買に係る品質管理の方法

次の購買方法には実績及び計画を記載しており、実績及び計画の範囲については第5-1図及び第5-2図に示す。

9.1 購買計画及び購買先の選定

9.1.1 購買計画

- (1) 購入要求元部門は、日程計画に基づき、注文仕様書及び購入要求書を計画的に発行する。
なお、その他関連部門との打合せにより仕様内容の相互確認を行い、仕様の早期確立を図る。

9.1.2 購買先の選定

- (1) 購買先の選定は以下の手順に基づくものとする。
 - (a) 購買先を新規に選定する場合、次の事項に関する調査・評価・監査を実施し、選定する。
 - (i) 技術的能力及び製品供給能力
 - (ii) 製品・役務の使用実績又は供給実績
 - (iii) 試作品等の検証と評価
 - (iv) 経営的能力
 - (v) 品質保証体制
 - (2) 購入要求元部門、購買部門及び品管担当部門は、既に評価済みの購買先が要求品質を満足する購買製品の供給能力を維持していることを上記(1)(a)の(i)～(v)に関する調査・評価・監査を適宜行うことにより確認する。
 - (3) 購入要求元部門は特殊材料^(注1)を採用する場合、上記(2)に加え発注前に購買先と情報交換及び技術検討を行い、次の事項を文書により明確にする。
 - (a) 安全性と仕様の関係、仕様決定の背景及び根拠
 - (b) 製造方法、試験・検査方法（成分分析含む）

(注1) 特殊材料の定義

特殊材料とは安全上重要な機能を有する部位に使用する材料、部品のうち、公的規格が定められておらず、仕様・製造方法・品質管理方法に関する技術情報が公開されていないものを言う。

9.2 購買先とのコミュニケーション

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

- (1) 購入要求元部門
 - (a) 進捗状況のステイタス管理（設計・製造工程に基づく文書提出・製造状況の把握）
- (2) 購買部門
 - (a) 適切な購買先の選定、早期発注による納期確保

- (b) 進捗日程フォロー（情報入手と関係先への周知）、納期管理
- (3) 品管担当部門
 - (a) 不適合の早期発見による是正処置
 - (b) 製造工程上のホールドポイントの明確化、必要に応じた出張立会検査
- (4) その他

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

- (a) 交流会、講演会
- (b) 発注時、製造又は作業着手前の確認会
- (c) 不適合事例周知、コンプライアンス及び原子力安全に関連した個別の連絡会等

9.3 発注

- (1) 購入要求元部門の担当者は、注文仕様書を作成し、審査を受けた後、承認を受ける。また、レビューが必要な仕様書は発行前に関係先のレビューを受ける。
- (2) 購買部門は、最新の購入要求書及び注文仕様書に基づき、品質要求事項を満足する購買先へ発注する。

9.4 文書の管理

購買受領文書及び購買先が必要な当社文書については、次のとおり管理する。

- (1) 購入要求元部門は、注文仕様書で提出を要求した文書について、提出文書リスト、管理台帳等により当該文書の受領、レビュー等を管理する。
- (2) 購入要求元部門は、発注作業の中で購買先が必要な当社文書を明確にし、購買先がそれら文書の適切な版を利用できるよう管理する。
- (3) 購入要求元部門は、当社が納入を要求した文書について、納入文書の受領に関する要領を確立し、この要領に基づき必要に応じて当該文書に関するその他関連部門のコメントを取りまとめ、購買先に返却する。納入文書受領要領には、適宜、図面、仕様書、要領書等が要求事項に適合していることの確認について含める。

9.5 試験・検査及び受入管理

購買製品が購買要求事項を満足していることを確認するために、購入要求元部門及び品管担当部門は購買製品に対して次のとおり試験・検査及び受入管理を行う。

- (1) 品管担当部門は、注文仕様書及び購入要求書に基づき、製品の試験・検査を実施し、記録を作成する。

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

9.6 品質記録の保管

- (1) 品管担当部門は、注文仕様書の要求に従って提出された品質記録（試験・検査記録、補修記録等）を保管する。
- (2) 購入要求元部門は、注文仕様書、購入要求書及び前記(1)以外の受領文書を適切に保管する。

添付書類15 第百六条の型式設計特定機器を購入する契約を
締結している者にとっては、当該契約書の写し

1. 概要

MSF-24P(S)型の型式指定申請において、申請者は型式設計特定機器を製作することを業とする者である。申請者は、申請者以外の製造者等とMSF-24P(S)型を購入する契約を締結しておらず、当該契約書の写しは添付しない。