

(ロ)E 臨界解析

E.1 概 要

本輸送容器に収納するのは、濃縮度 \square wt%以下の濃縮ウランを使用した PWR 用未照射燃料集合体であり、輸送制限個数を \square 個として、通常輸送時はもちろんのこと一般及び特別の試験条件下において臨界に達することがないように設計されている。

臨界評価に当たって、輸送物の中性子実効増倍率を求める解析には、臨界計算コード KENO-VI (参考文献(1)) 及び ENDF-B/VII をマスタライブラリとする 238 群ライブラリ (参考文献(2)) を用いて、以下のいずれかの条件においても臨界に達しないことを評価した。

- ① 輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ② 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
- ③ 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
- ④ 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
- ⑤ 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

なお、評価の際、試験結果等を考慮し、表(ロ)E-1 に示す安全側なモデル化を行った。さらに、配列系における輸送物配列数及び境界条件を表(ロ)E-2 に示す。

以上の評価条件に基づき得られた統計上の偏差を考慮した中性子実効増倍率の最大値は \square となった。この値は制限値の 0.95 未満であり、臨界安全上問題ないことを確認した。

表(ロ)E-1 一般及び特別の試験条件下における試験結果とモデル化 (1/6)

| 解析対象 | 試験項目 | 一般の試験条件下における試験結果 | 特別の試験条件下における試験結果 | 一般の試験条件下におけるモデル化 | 特別の試験条件下におけるモデル化 | 安全側な設定となる根拠 |
|------|------|-------------------------|---|-----------------------------------|---------------------|-------------|
| 収納物 | 落下試験 | 収納物の形状、性質に変化等は確認されなかった。 | 燃料集合体の端部について、下端から長さ508mmにわたって、燃料棒ピッチが拡大した。 | | | |
| | | | 燃料棒の一部は破損したが、亀裂は小さく、ペレットが燃料棒外に飛び出すことはなかった。 | 燃料棒を密封境界として、燃料棒内へは浸水しないとしてモデル化する。 | 燃料棒内へ浸水するとしてモデル化する。 | |
| | | | 燃料集合体はクラムシエルから飛び出すことはなく、燃料棒の軸方向の移動範囲は、中性子吸収材 (BORAL®製板) が存在する高さ領域に留まっていた。 | | | |

表(ロ)E-1 一般及び特別の試験条件下における試験結果とモデル化 (2/6)

| 解析対象 | 試験項目 | 一般の試験条件下における試験結果 | 特別の試験条件下における試験結果 | 一般の試験条件下におけるモデル化 | 特別の試験条件下におけるモデル化 | 安全側な設定となる根拠 |
|------|------|---------------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|
| 収納物 | 耐火試験 | 燃料集合体に大きな損傷は確認されなかった。 | | | | |
| | | ポリエチレン製袋が熔融する温度とはならなかった。 | | | | |
| | 浸水試験 | 本章において、浸水を考慮した評価を実施するため、浸水試験は実施していない。 | | 燃料棒を密封境界として、燃料棒内へは浸水しないとしてモデル化する。 | 燃料棒内へ浸水するとしてモデル化する。 | |

表(ロ)E-1 一般及び特別の試験条件下における試験結果とモデル化 (3/6)

| 解析対象 | 試験項目 | 一般の試験条件下における試験結果 | 特別の試験条件下における試験結果 | 一般の試験条件下におけるモデル化 | 特別の試験条件下におけるモデル化 | 安全側な設定となる根拠 |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| 収納物 | その他 | — | | | | |

(ロ) E-4

表(ロ)E-1 一般及び特別の試験条件下における試験結果とモデル化 (4/6)

| 解析対象 | 試験項目 | 一般の試験条件下における試験結果 | 特別の試験条件下における試験結果 | 一般の試験条件下におけるモデル化 | 特別の試験条件下におけるモデル化 | 安全側な設定となる根拠 |
|------|------|--|---|------------------|------------------|-------------|
| 輸送容器 | 落下試験 | 局所的な変形に留まっており、輸送容器の形状、性質に変化等は特に確認されなかった。 | <p>下部ノズル側端部以外の変形は局所的な変形に留まっていた。 下部ノズル側端部が最大で 50.8mm 変形圧縮した。</p> <p>クラムシェルに変形は生じず、所定の位置から移動しなかった。</p> <p>減速材ブロックは大きな損傷は認められず、所定の位置から移動しなかった。</p> | | | |
| | 耐火試験 | 輸送容器の形状、性質に変化等は特に確認されなかった。 | 発泡ポリウレタンの一部は消失及び炭化した。 | | | |

表(ロ)E-1 一般及び特別の試験条件下における試験結果とモデル化 (5/6)

| 解析対象 | 試験項目 | 一般の試験条件下における試験結果 | 特別の試験条件下における試験結果 | 一般の試験条件下におけるモデル化 | 特別の試験条件下におけるモデル化 | 安全側な設定となる根拠 |
|------|------|---------------------------------------|--|------------------|------------------|-------------|
| 輸送容器 | 耐火試験 | 輸送容器の形状、性質に変化等は特に確認されなかった。 | 減速材ブロックの質量の減少は認められず、健全性が損なわれることはなかった。 クラムシェルに損傷は認められなかった。 | | | |
| | 浸水試験 | 本章において、浸水を考慮した評価を実施するため、浸水試験は実施していない。 | | | | |
| | その他 | — | | | | |

表(ロ)E-1 一般及び特別の試験条件下における試験結果とモデル化 (6/6)

| 解析対象 | 試験項目 | 一般の試験条件下における試験結果 | 特別の試験条件下における試験結果 | 一般の試験条件下におけるモデル化 | 特別の試験条件下におけるモデル化 | 安全側な設定となる根拠 |
|--------|------|--|------------------|------------------|------------------|-------------|
| 中性子吸収材 | 落下試験 | 中性子吸収材 (BORAL®製板) の性質に変化等は特に確認されず、所定の位置からの移動も確認されなかった。 | | | | |
| | 耐火試験 | 中性子吸収材 (BORAL®製板) の性質に変化等は特に確認されなかった。 | | | | |
| | 浸水試験 | クラムシェルが密封境界となっているため、中性子吸収材 (BORAL®製板) 内には浸水しない。 | | | | |
| | その他 | — | | | | |

表(ロ)E-2 臨界評価における輸送物配列数及び境界条件

| 試験条件 | 項目 | 条件 |
|---------|--------|--|
| 一般の試験条件 | 輸送物配列数 | 径方向： <input type="text"/> 個 軸方向： <input type="text"/> 段 |
| | 境界条件 | 径方向：水反射体 軸方向上面：水反射体 軸方向下面：完全反射 |
| 特別の試験条件 | 輸送物配列数 | 径方向： <input type="text"/> 個 軸方向： <input type="text"/> 段 |
| | 境界条件 | 径方向：水反射体 軸方向上面：水反射体 軸方向下面：完全反射 |

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

本輸送物の収納物は濃縮度 \square wt%以下の PWR 用未照射燃料集合体であり、その仕様を表 (ロ)E-3 に示す。燃料集合体は表面の保護のため、ポリエチレン製袋を側面に巻いた状態で収納されることがある。

一般の試験条件下における収納物の形状、性質の変化等はないことが確認されているが、特別の試験条件下における収納物の形状、性質の変化等として表(ロ)E-1 に示す結果が確認されている。

表(ロ)E-3 燃料集合体仕様

| 項 目 | 14×14型 | 15×15型 | 17×17型 タイプ 64 | 17×17型 タイプ 57 |
|-------------------|-------------------------------|------------|------------------|------------------------|
| 燃 料 組 成 | 濃縮度□wt%以下 のUO ₂ | 同 左 | 同 左 | 同 左 |
| ペレット直径 | 9.21 mm | 9.21 mm | 8.05 mm | 8.19 mm |
| ペレット密度 | 97%TD 以下 | 同 左 | 95%TD | 97%TD 以下 |
| 燃料棒有効長 | 3,642 mm | 同 左 | 3,648 mm | 同 左 |
| 被覆管組成 | ジルカロイ-4 及び ジルコニウム合金 | 同 左 | ジルカロイ-4 | ジルカロイ-4 及び ジルコニウム合金 |
| 被覆管肉厚 | 0.66 mm | 0.66 mm | 0.64 mm | 0.57 mm |
| 被覆管外径 | 10.72 mm | 10.72 mm | 9.50 mm | 同 左 |
| 燃料棒本数 | 179 本 | 204 本 | 264 本 | 同 左 |
| 燃料棒配列 | 14×14 正方格子 | 15×15 正方格子 | 17×17 正方格子 | 同 左 |
| UO ₂ 量 | | | | |
| 燃料棒ピッチ | 14.12 mm | 14.30 mm | 12.60 mm | 同 左 |

E.2.2 輸送容器

本輸送容器は図(イ)-1に示すような円筒形状で、外容器及びクラムシェルから構成され、それらの主要構造材を表(ロ)E-4に示す。クラムシェル内部に1体の燃料集合体を収納することができ、減速材ブロックは水平、傾斜落下時にクラムシェル及び収納物の衝撃を吸収する機能とともに、収納物間の中性子相互作用を抑える機能のために、配置されている。

一般の試験条件下における輸送容器の形状、性質の変化等はないことが確認されているが、特別の試験条件下における輸送容器の形状、性質の変化等として表(ロ)E-1に示す結果が確認されている。

表(ロ)E-4 輸送容器の主要構造材

| 区分 | 主要構造材 | 材質 |
|--------|---------------------|-------------|
| 外容器 | 外板 | ステンレス鋼 |
| | 内板 | ステンレス鋼 |
| | 発泡ポリウレタン (衝撃吸収材) | 発泡ポリウレタン |
| | 減速材ブロック | 超高分子量ポリエチレン |
| クラムシェル | クラムシェル | アルミニウム |

E.2.3 中性子吸収材

本輸送物にはBORAL®製板がクラムシェルの各側面の内側表面に1枚ずつ(合計4枚)配置されている。BORAL®製板は B_4C とアルミニウム合金から構成される中性子吸収材であり、 B_4C を含むアルミニウム合金の芯部と B_4C を含まないアルミニウム合金の被覆部により構成されている。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下におけるBORAL®製板の形状、性質の変化等として表(ロ)E-1に示す結果が確認されている。

E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

(1) 孤立系

孤立系の評価は、配列系の評価において、完全水没状態についても評価を実施することから、孤立系の評価は配列系の評価に包含される。そのため、孤立系の評価は実施せず、配列系の評価を代表とする。

(2) 配列系

配列系の評価は、本輸送物の輸送制限個数は□個であるため、一般の試験条件下においては□個以上の輸送物を、特別の試験条件下においては□個以上の輸送物を配列した体系にて行う。その際の具体的な輸送物配列数及び境界条件を表(ロ)E-2に示す。

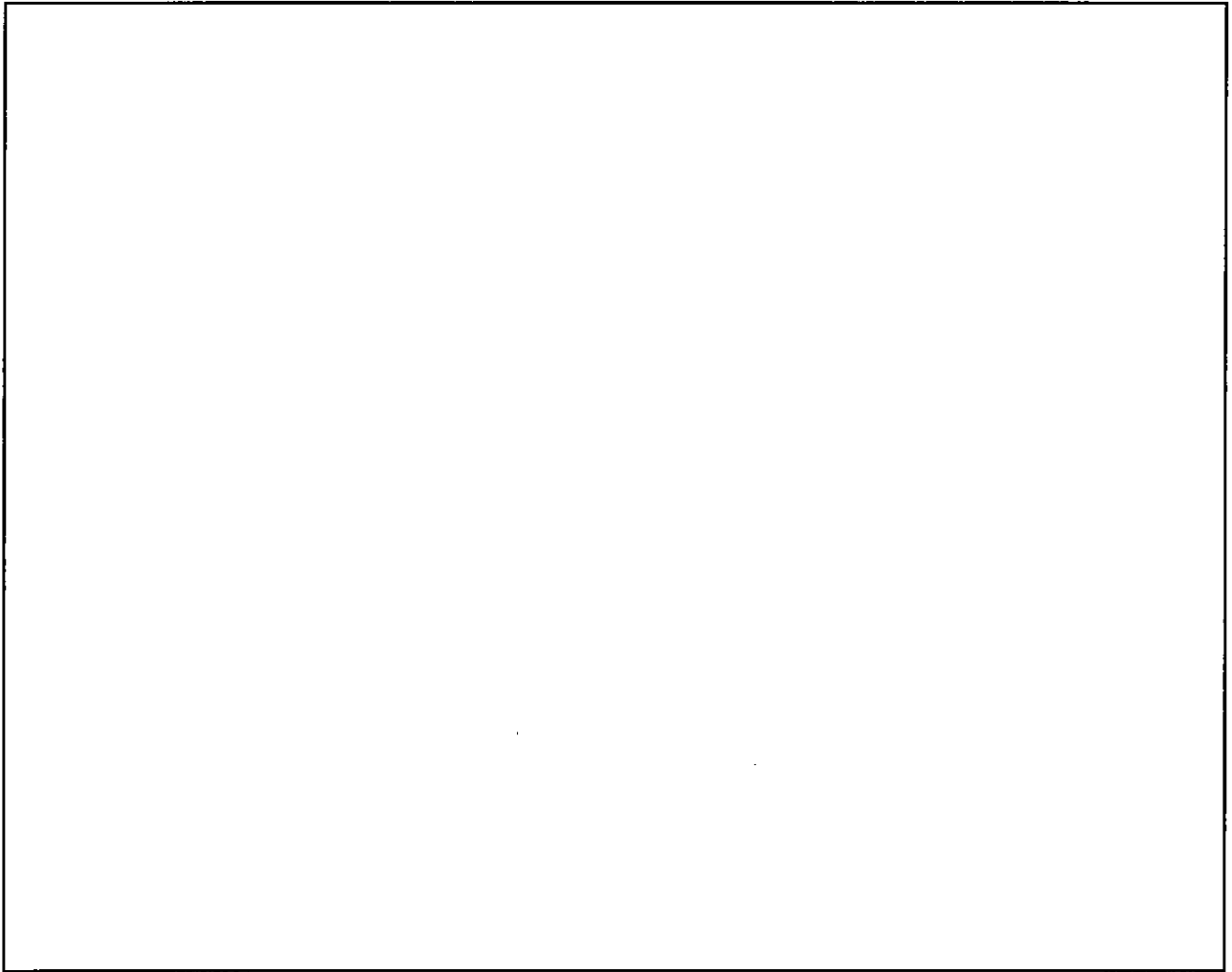
次に、一般の試験条件下における輸送物及び特別の試験条件下における輸送物の配列系における解析モデルを示す。

① 一般の試験条件下における輸送物

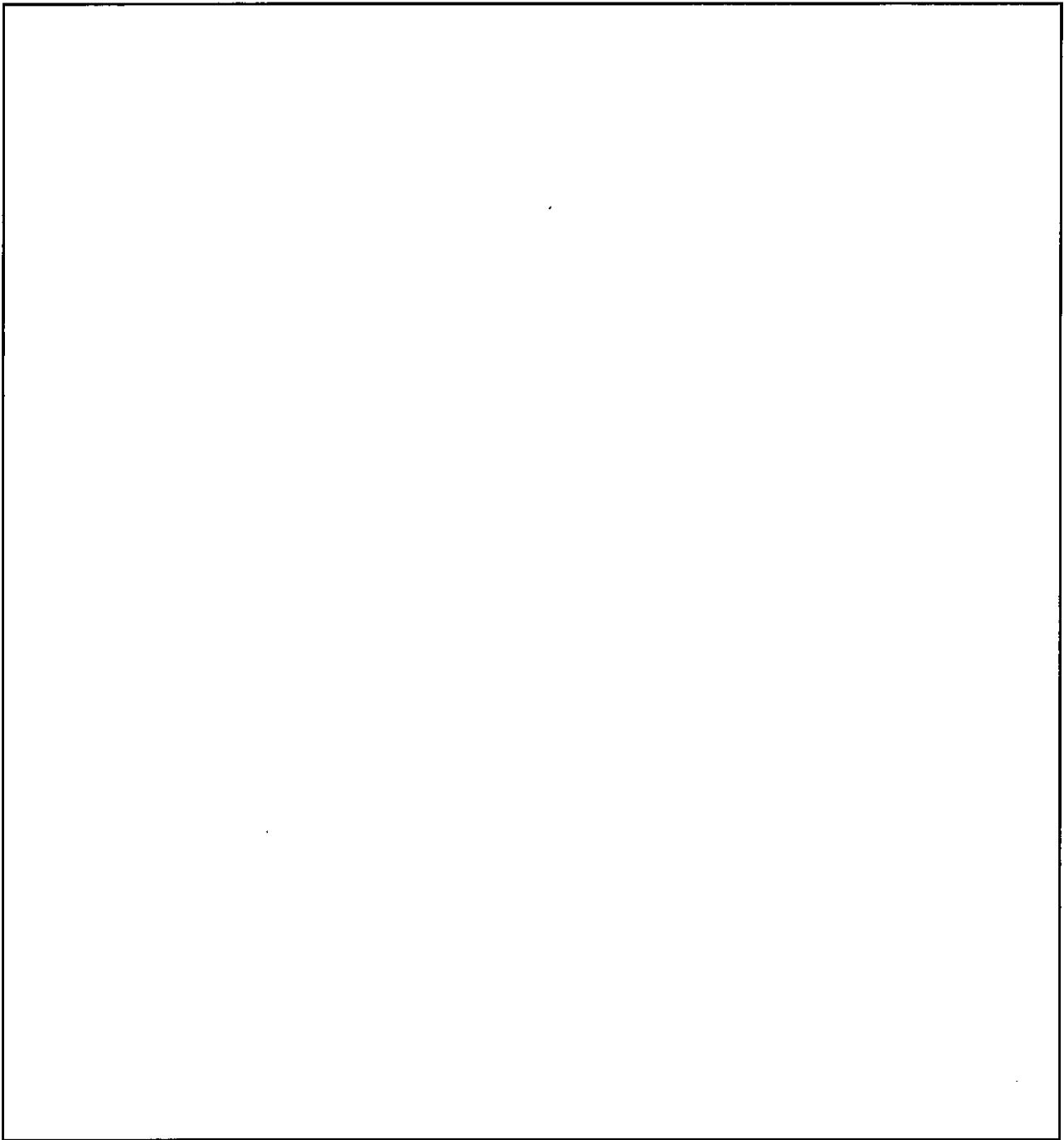
一般の試験条件下における輸送物においては、「(ロ)E.2」で得られた結果等を反映し、表(ロ)E-1及び表(ロ)E-2に示すモデル化を行った。このモデル化を基に作成した形状モデルを図(ロ)E-1に、燃料集合体の評価条件を表(ロ)E-5から表(ロ)E-8に示す。

② 特別の試験条件下における輸送物

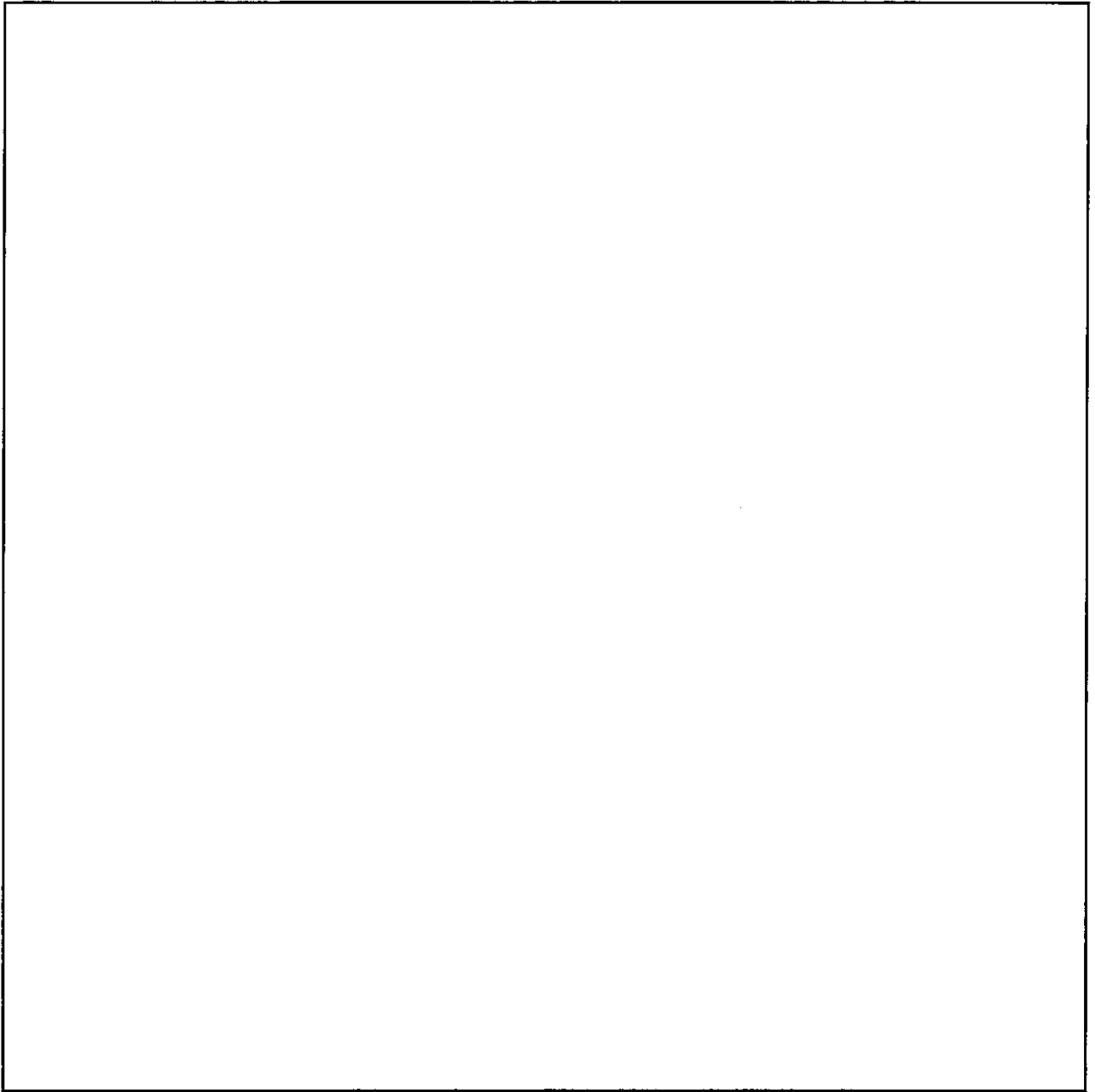
特別の試験条件下における輸送物については、「(ロ)E.2」で得られた結果等を反映し、表(ロ)E-1及び表(ロ)E-2に示すモデル化を行った。このモデル化を基に作成した形状モデルを図(ロ)E-2に、燃料集合体の評価条件を表(ロ)E-5から表(ロ)E-8に示す。



図(ロ)E-1(1/7) 一般の試験条件下における配列系の形状モデル (全体・軸方向)

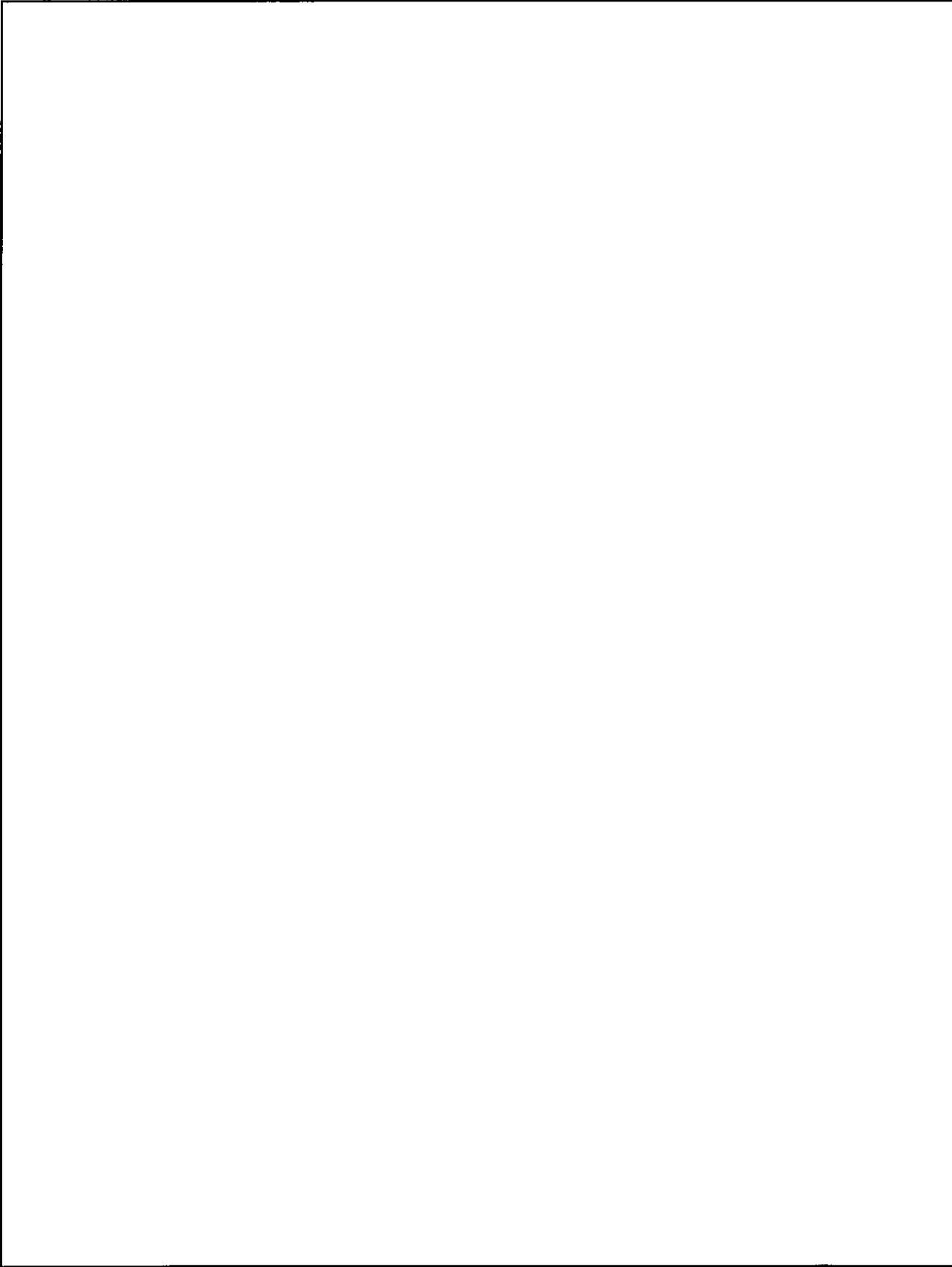


図(ロ)E-1(2/7) 一般の試験条件下における配列系の形状モデル (全体・径方向)

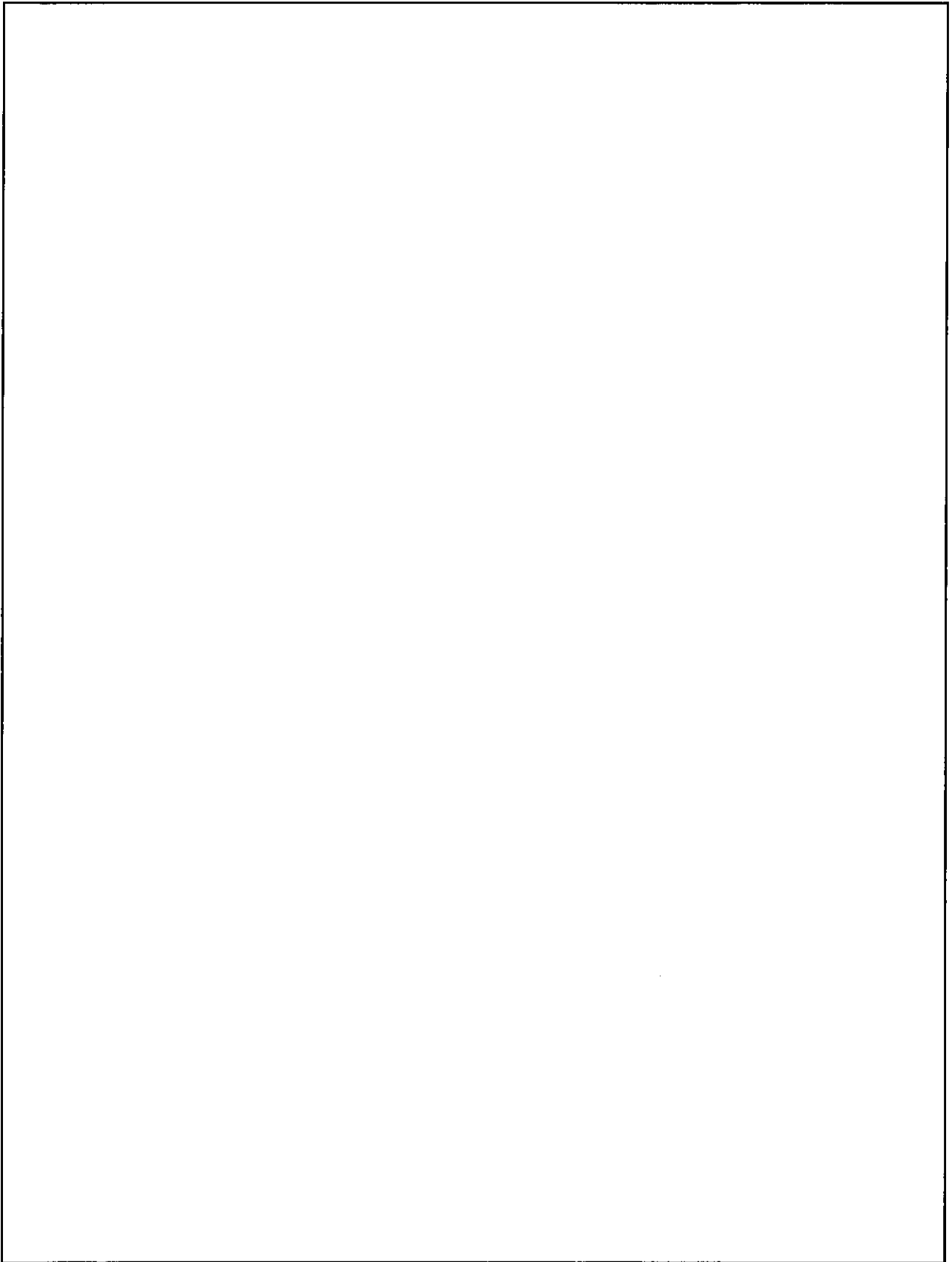


図(ロ)E-1(3/7) 一般の試験条件下における配列系の形状モデル
(輸送容器・径方向・ノミナル領域(1/2))

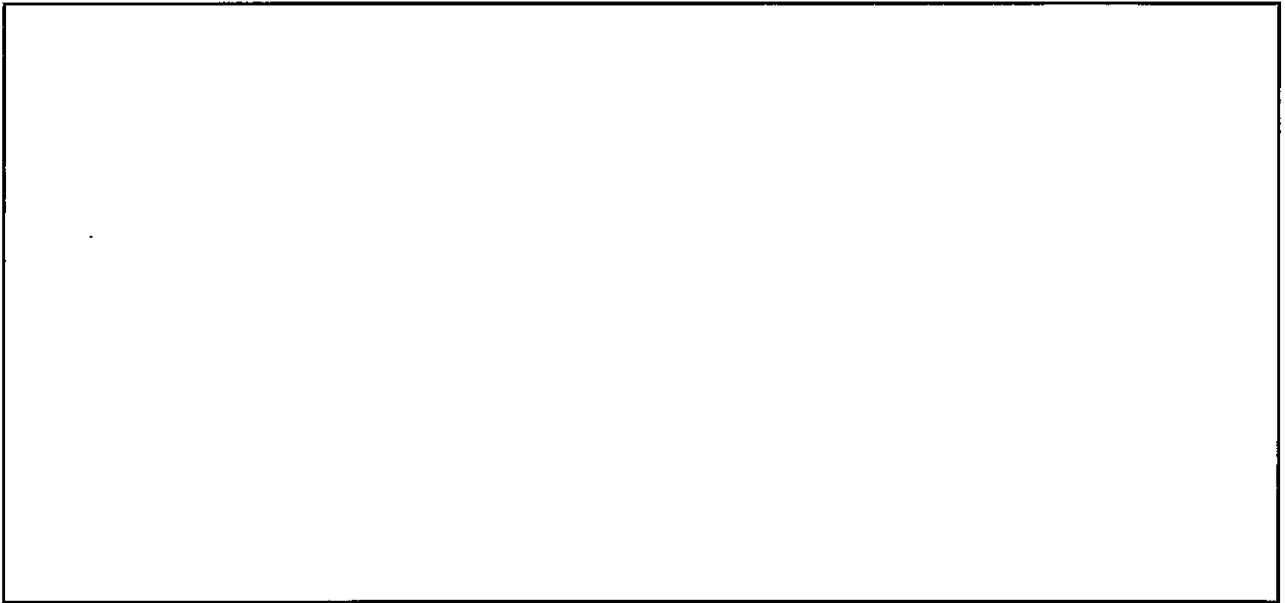
図(ロ)E-1(4/7) 一般の試験条件下における配列系の形状モデル
(輸送容器・径方向・ノミナル領域(2/2))



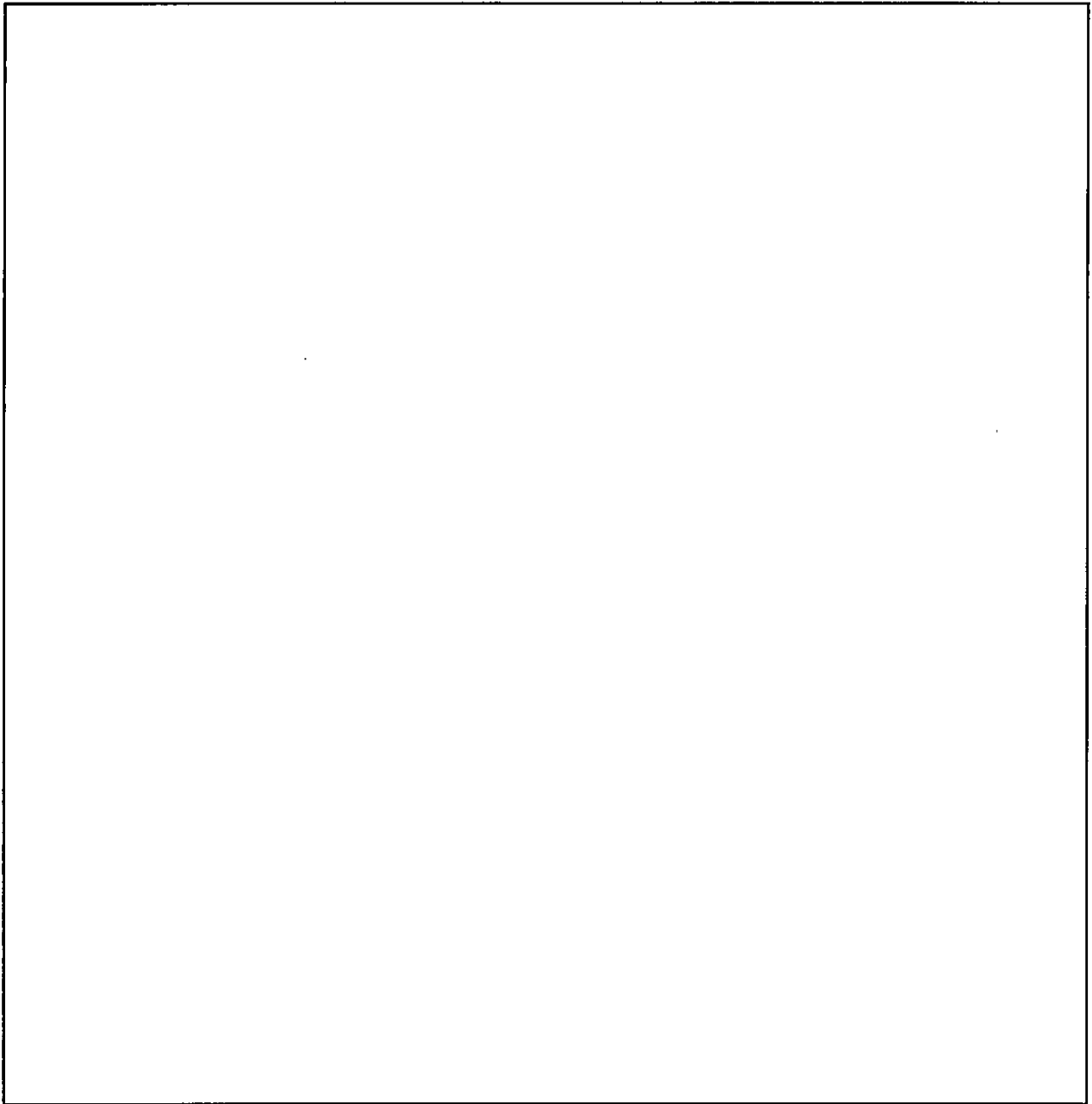
図(口)E-1(5/7) 一般の試験条件下における配列系の形状モデル (輸送容器・軸方向)



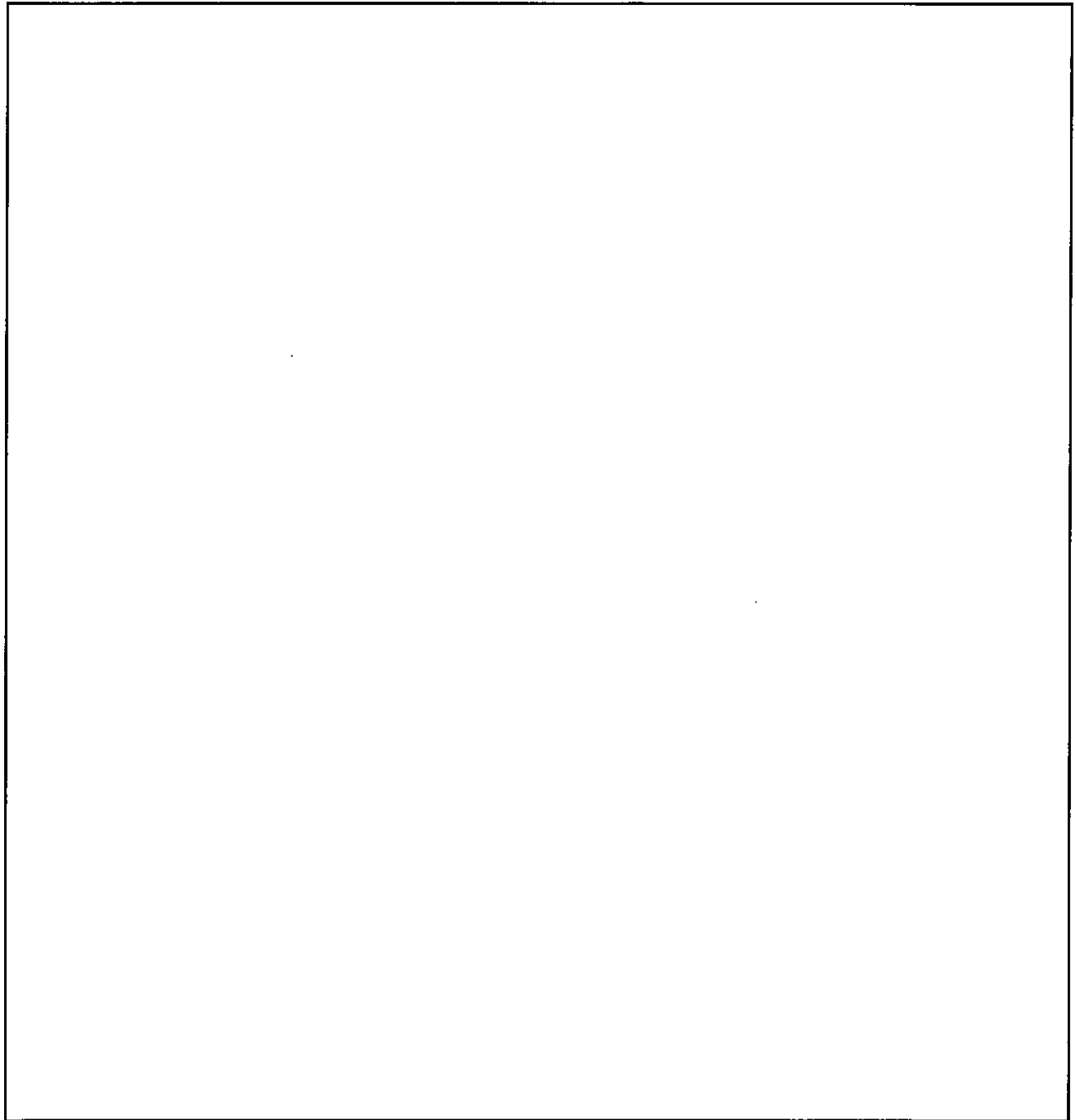
図(ロ)E-1(6/7) 一般の試験条件下における配列系の形状モデル
(輸送容器・軸方向・減速材ブロックショックマウント部)



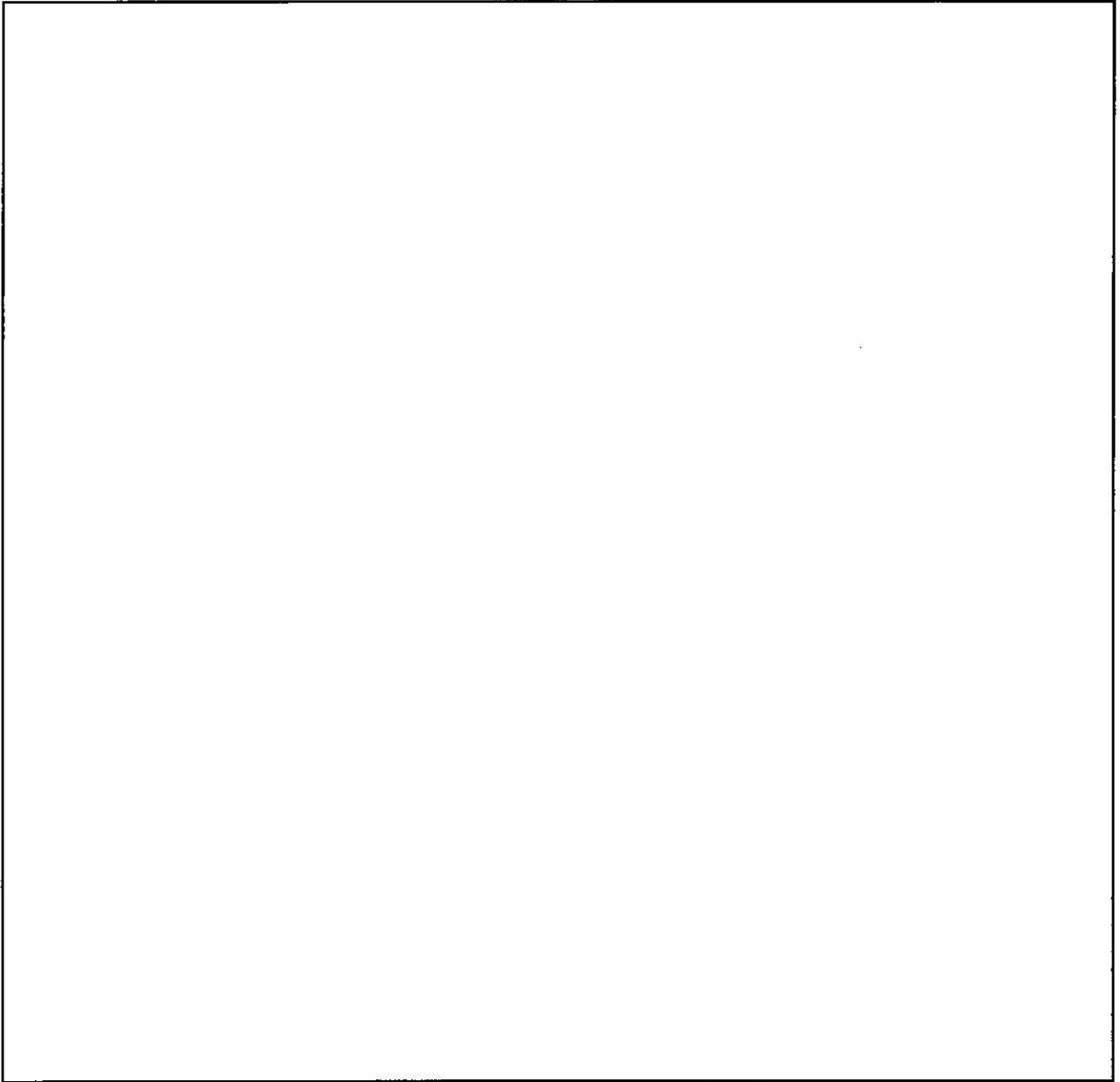
図(ロ)E-1(7/7) 一般の試験条件下における配列系の形状モデル(BORAL[®]製板・径方向断面図)



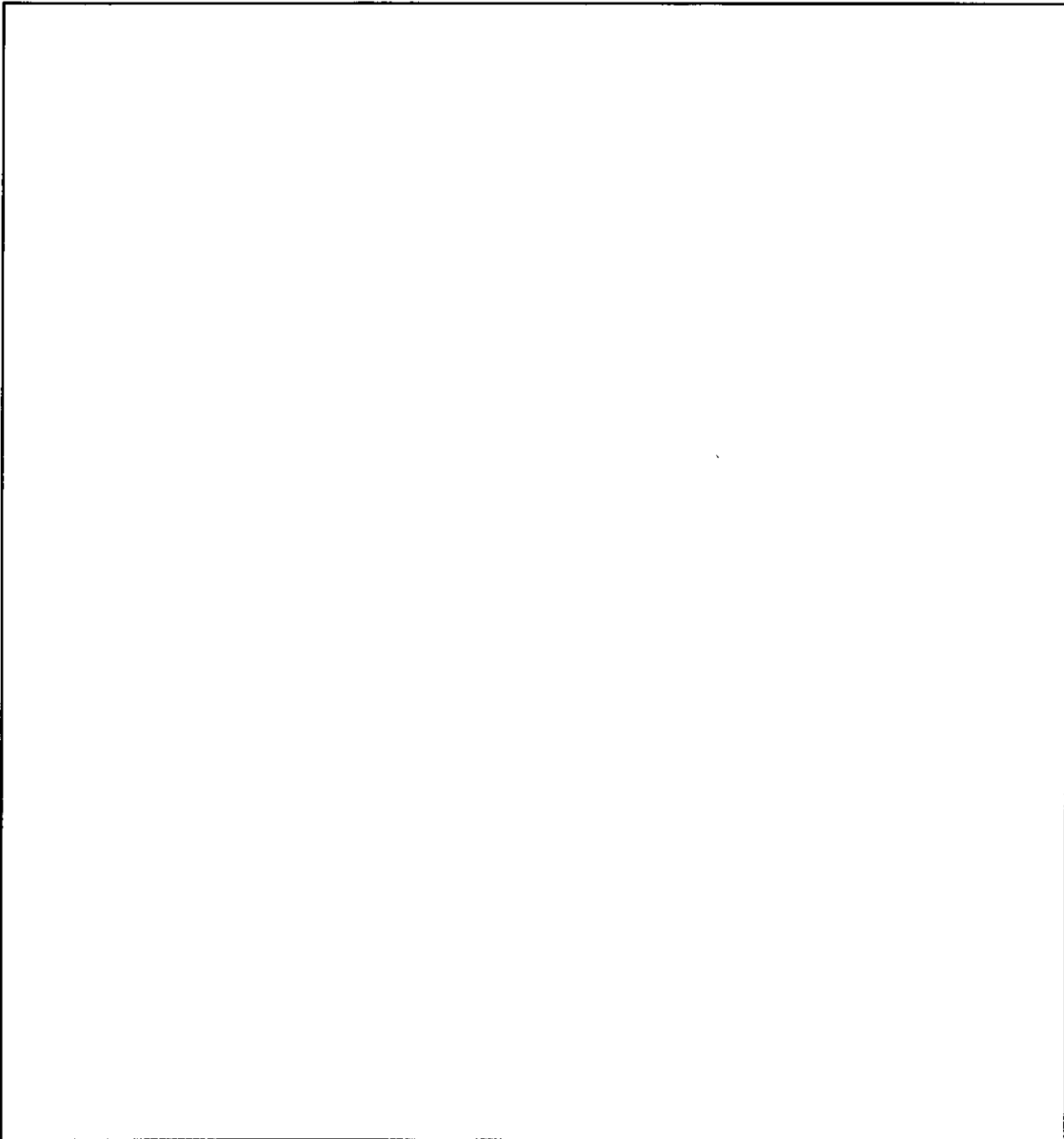
図(ロ)E-2(1/7) 特別の試験条件下における配列系の形状モデル (全体・軸方向)



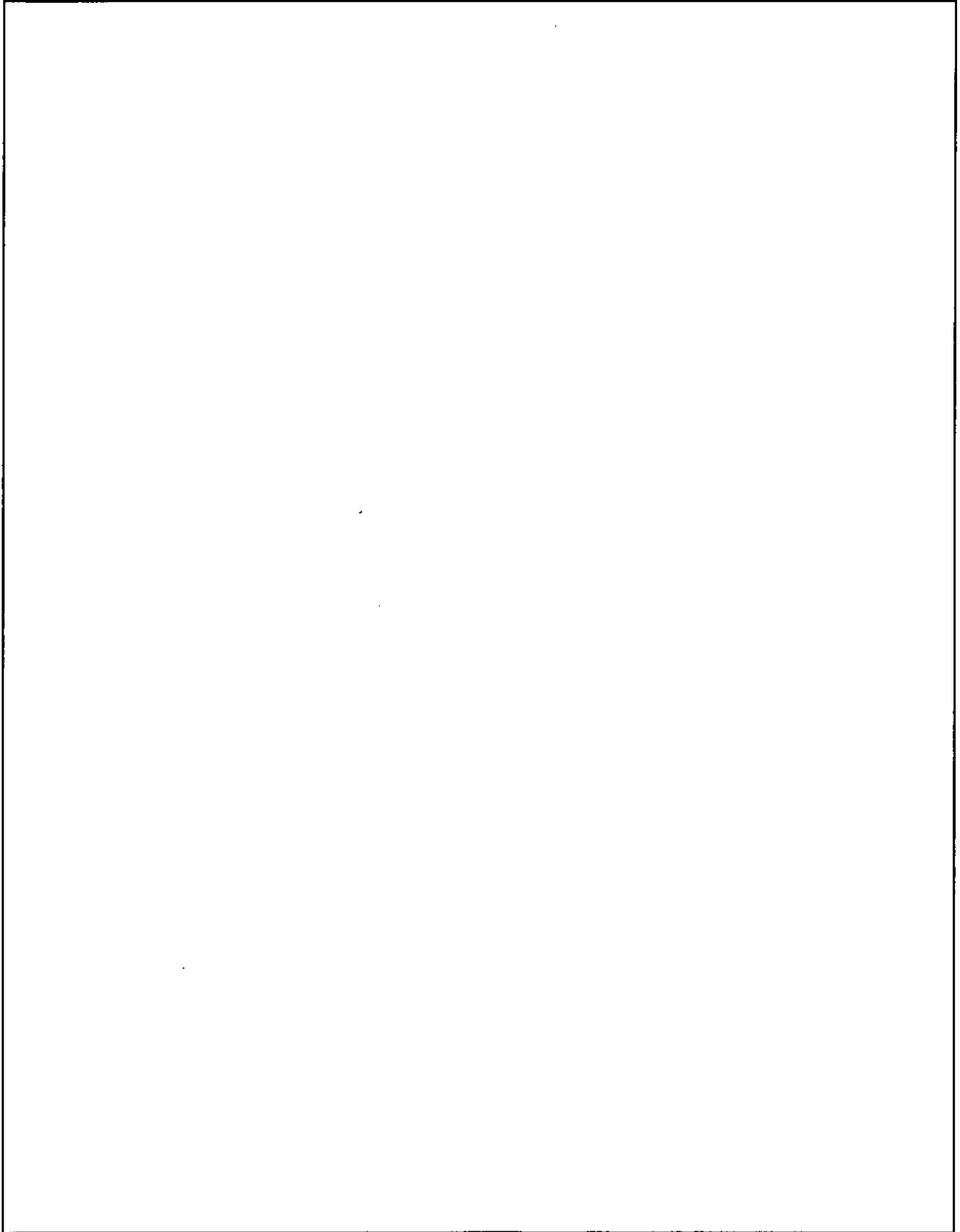
図(ロ)E-2(2/7) 特別の試験条件下における配列系の形状モデル (全体・径方向)



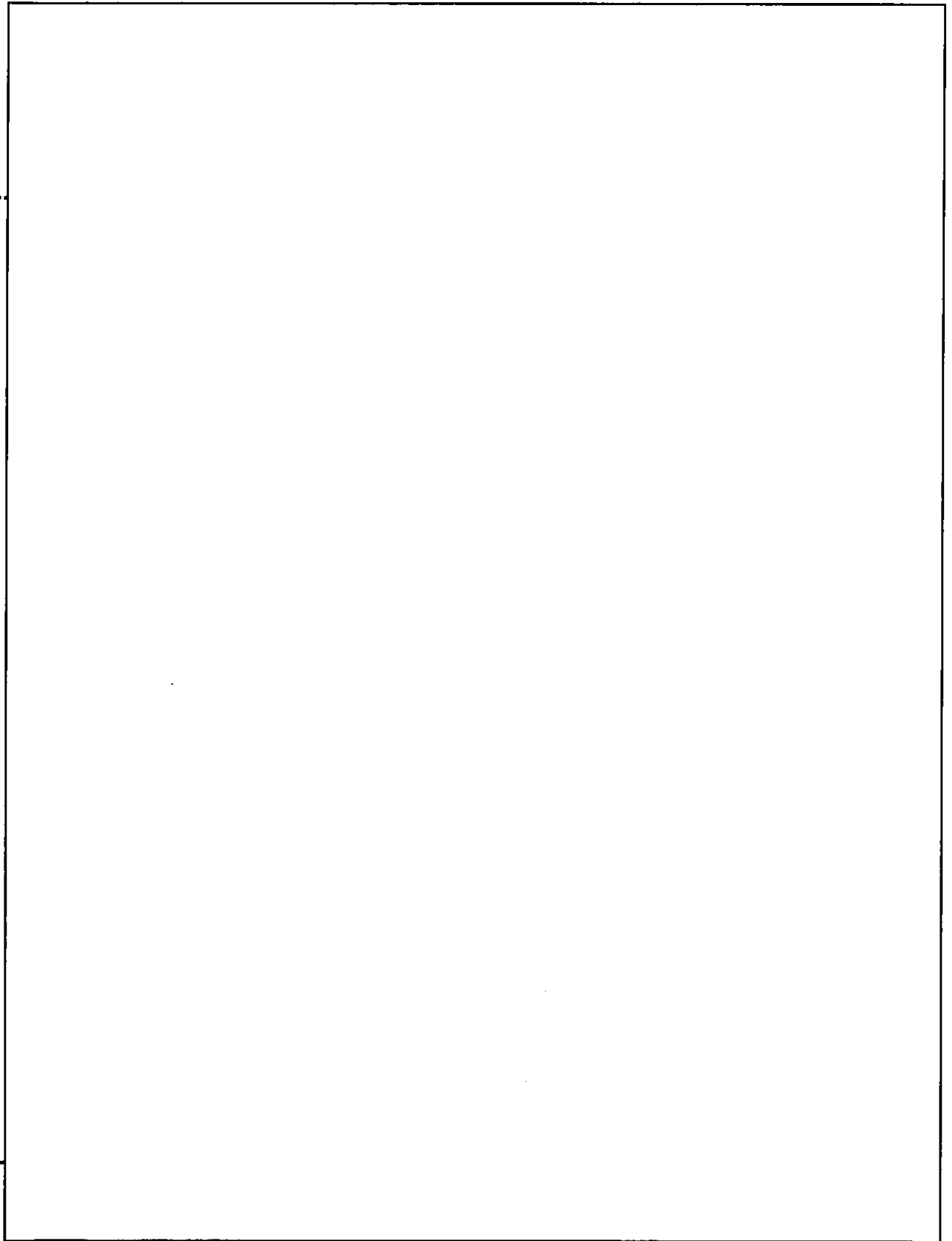
図(ロ)E-2(3/7) 特別の試験条件下における配列系の形状モデル
(輸送容器・径方向・ノミナル領域)



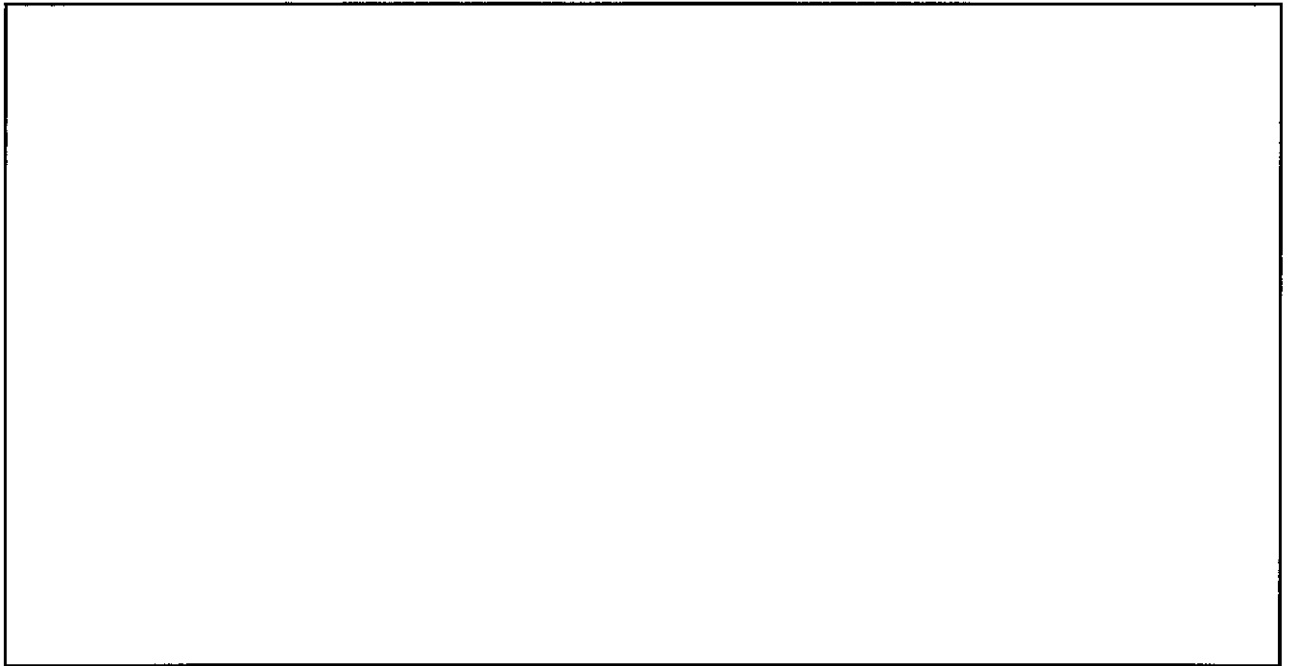
図(ロ)E-2(4/7) 特別の試験条件下における配列系の形状モデル
(輸送容器・径方向・拡張領域)



図(ロ)E-2(5/7) 特別の試験条件下における配列系の形状モデル
(輸送容器・軸方向)



図(ロ)E-2(6/7) 特別の試験条件下における配列系の形状モデル
(輸送容器・軸方向・減速材ブロックショックマウント部)



図(ロ)E-2(7/7) 特別の試験条件下における配列系の形状モデル(BORAL®製板・径方向断面図)

表(ロ)E-5 燃料集合体の評価条件 (14×14 型)

| 項目 | | ノミナル値 (mm) | 解析使用値(mm) | |
|--------------|--------|---------------|-----------|----------|
| | | | 一般の試験条件下 | 特別の試験条件下 |
| ペレット 直径 | ノミナル領域 | 9.21 | | |
| | 拡張領域 | | | |
| 燃料有効長 | | 3,642 | | |
| 被覆管外径 | | 10.72 | | |
| 被覆管内径 | | 9.40 | | |
| 燃料棒 ピッチ | ノミナル領域 | 14.12 | | |
| | 拡張領域 | | | |
| ポリエチレン製袋領域高さ | | — | | |

表(ロ)E-6 燃料集合体の評価条件 (15×15 型)

| 項目 | | ノミナル値 (mm) | 解析使用値(mm) | |
|--------------|--------|---------------|-----------|----------|
| | | | 一般の試験条件下 | 特別の試験条件下 |
| ペレット 直径 | ノミナル領域 | 9.21 | | |
| | 拡張領域 | | | |
| 燃料有効長 | | 3,642 | | |
| 被覆管外径 | | 10.72 | | |
| 被覆管内径 | | 9.40 | | |
| 燃料棒 ピッチ | ノミナル領域 | 14.30 | | |
| | 拡張領域 | | | |
| ポリエチレン製袋領域高さ | | — | | |

表(ロ)E-7 燃料集合体の評価条件 (17×17 型タイプ 64)

| 項目 | | ノミナル値 (mm) | 解析使用値(mm) | |
|--------------|--------|---------------|------------|----------|
| | | | 一般の試験条件下 | 特別の試験条件下 |
| ペレット 直径 | ノミナル領域 | 8.05 | [Redacted] | |
| | 拡張領域 | | | |
| 燃料有効長 | | 3,648 | | |
| 被覆管外径 | | 9.50 | | |
| 被覆管内径 | | 8.22 | | |
| 燃料棒 ピッチ | ノミナル領域 | 12.60 | | |
| | 拡張領域 | | | |
| ポリエチレン製袋領域高さ | | — | | |

表(ロ)E-8 燃料集合体の評価条件 (17×17 型タイプ 57)

| 項目 | | ノミナル値 (mm) | 解析使用値(mm) | |
|--------------|--------|---------------|------------|----------|
| | | | 一般の試験条件下 | 特別の試験条件下 |
| ペレット 直径 | ノミナル領域 | 8.19 | [Redacted] | |
| | 拡張領域 | | | |
| 燃料有効長 | | 3,648 | | |
| 被覆管外径 | | 9.50 | | |
| 被覆管内径 | | 8.36 | | |
| 燃料棒 ピッチ | ノミナル領域 | 12.60 | | |
| | 拡張領域 | | | |
| ポリエチレン製袋領域高さ | | — | | |

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本評価に使用した輸送物の各領域の原子個数密度を表(ロ)E-9に示す。

表(ロ)E-9 計算に使用した各領域の原子個数密度

| 材質 | 核種 | 原子個数密度 (atoms/barn-cm) |
|--|------------------|---------------------------|
| UO ₂ ペレット (²³⁵ U濃縮度：□wt%、 ペレット密度：10.96g/cm ³) | ²³⁵ U | 1.23762E-03 |
| | ²³⁸ U | 2.32178E-02 |
| | O | 4.89105E-02 |
| 被覆管 (ジルカロイ-4、 密度：6.56g/cm ³) | Cr | 7.59676E-05 |
| | Fe | 1.48548E-04 |
| | Zr | 4.25257E-02 |
| | Sn | 4.82381E-04 |
| | Hf | 2.21323E-06 |
| ポリエチレン製袋 (密度：0.922g/cm ³) | H | □ |
| | C | |
| 水 (密度：1.0g/cm ³) | H | 6.68718E-02 |
| | O | 3.34359E-02 |
| ステンレス鋼 (密度：8g/cm ³) | C | 1.60442E-04 |
| | Si | 8.57515E-04 |
| | P | 3.57742E-05 |
| | S | 2.25342E-05 |
| | Cr | 1.76022E-02 |
| | Mn | 8.76935E-04 |
| | Fe | 6.05345E-02 |
| Ni | 7.58927E-03 | |
| BORAL®製板 芯部 (密度：2.5g/cm ³) | ¹⁰ B | □ |
| | ¹¹ B | |
| | C | |
| | Al | |
| | Si | |
| | Mn | |
| | Fe | |
| | Cu | |
| Zn | | |
| BORAL®製板 被覆部 (密度：2.71g/cm ³) | Al | □ |
| | Si | |
| | Mn | |
| | Fe | |
| | Cu | |
| | Zn | |
| 減速材ブロック (ポリエチレン、 密度：0.9108g/cm ³) | H | □ |
| | C | |
| クラムシェル (アルミニウム、 密度：2.702g/cm ³) | Al | 6.03067E-02 |

E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

収納物、輸送容器及び中性子吸収材のモデル化が、未臨界評価上安全側であることを以下に示す。

(1) 収納物

収納物のモデル化について、表(ロ)E-1の「収納物」に示す安全側なモデル化を行った。

(2) 輸送容器

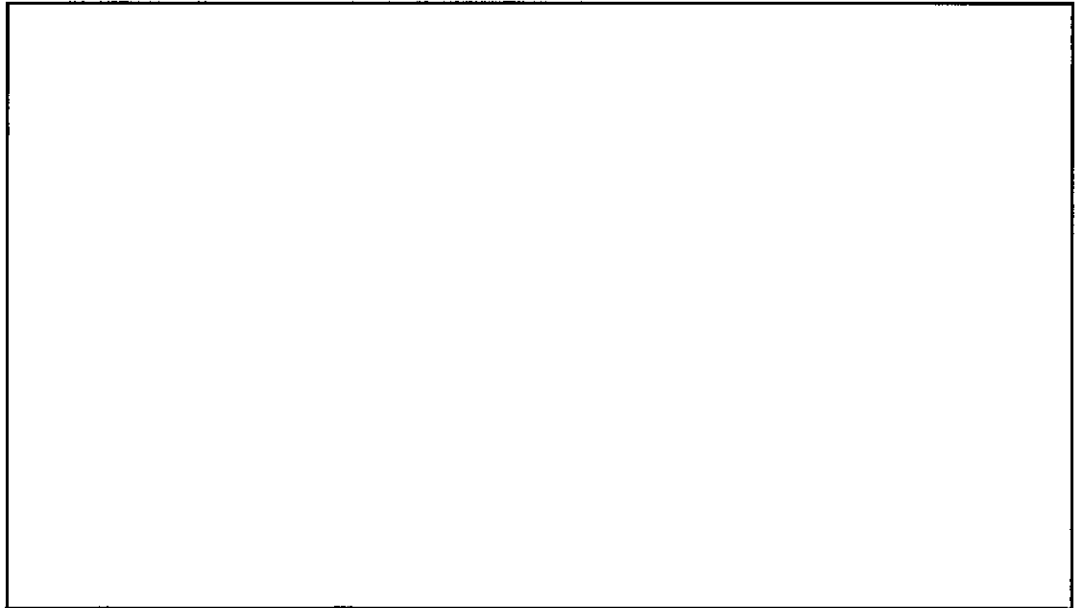
輸送容器のモデル化について、表(ロ)E-1の「輸送容器」に示す安全側なモデル化を行った。

(3) 中性子吸収材

中性子吸収材のモデル化について、表(ロ)E-1の「中性子吸収材」に示す安全側なモデル化を行った。

なお、安全側の設定として、実際の収納物、輸送容器の構造や試験結果よりも厳しいモデルとした点を以下にまとめる。

- ・ 落下試験の結果、一部の燃料棒のみの破損にとどまったが、すべての燃料棒内への浸水を考慮する。



E.4.2 輸送物への水の浸入等

評価においては、輸送物の試験条件にかかわらず、輸送容器内に水が浸入するものとしている。一般の試験条件下においては被覆管を密封境界とし、特別の試験条件下においては被覆管内まで水が浸入するものとしている。

その他の核的安全に与える影響について以下に示す。

(1) 体系の水密度依存性 (水の侵入の影響)

詳細を「(ロ)E 付属資料 1(1.体系の水密度依存性)」に示す。

(2) 一般及び特別の試験条件下における配列系の中性子実効増倍率の差異

一般の試験条件下における配列系と特別の試験条件下における配列系の配列数は異なるが、表(ロ)E-1に示すモデル化の違いから、特別の試験条件下における配列系の方が中性子実効増倍率は最大となる。詳細を「(ロ)E 付属資料 1(2.一般及び特別の試験条件下における配列系の中性子実効増倍率の差異)」に示す。

(3) 収納物の影響

特別の試験条件下における配列系において収納物ごとにその影響を確認した結果、17×17型タイプ57を収納物とした場合に、中性子実効増倍率は最大となる。詳細を「(ロ)E 付属資料 1(3.収納物の影響)」に示す。

(4) 収納物の再配列の影響

収納物の再配列については、中性子相互作用を増大させるよう表(ロ)E-10に示すモデル化を行った。

表(ロ)E-10 収納物の再配列に関するモデル化

| 再配列の項目 | | モデル化方法 | モデル化の根拠 |
|--------|-------------------|--------|---------|
| 径方向 | クラムシェル内の 燃料集合体 | | |
| | クラムシェル | | |
| | 輸送容器 | | |
| 軸方向 | クラムシェル内の 燃料集合体 | | |

E.4.3 計算方法

本評価に使用したコードは KENO-VI (参考文献(1)) である。

KENO-VI (参考文献(1)) は、米国オークリッジ国立研究所で開発された多群モンテカルロコードであり、複雑な 3 次元幾何形状を正確に扱える利点を持ち、体系の中性子実効増倍率の計算を行なう臨界計算コードである。

また、本評価に使用した微視的断面積は、ENDF-B/VII をマスタライブラリとする 238 群ライブラリ (参考文献(2)) である。

E.4.4 計算結果

「(ロ)E.4.2」において確認したように、特別の試験条件下における輸送物の配列系 (図(ロ)E-2) の収納物を 17×17 型タイプ 57 とした場合において中性子実効増倍率は最大となり、その評価結果を表(ロ)E-11 に示す。

表(ロ)E-11 中性子実効増倍率の評価結果

| | | |
|--|--|--|
| 17×17 型 タイプ 57 | | |
| <table border="1"><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr></table> | | |
| | | |
| | | |

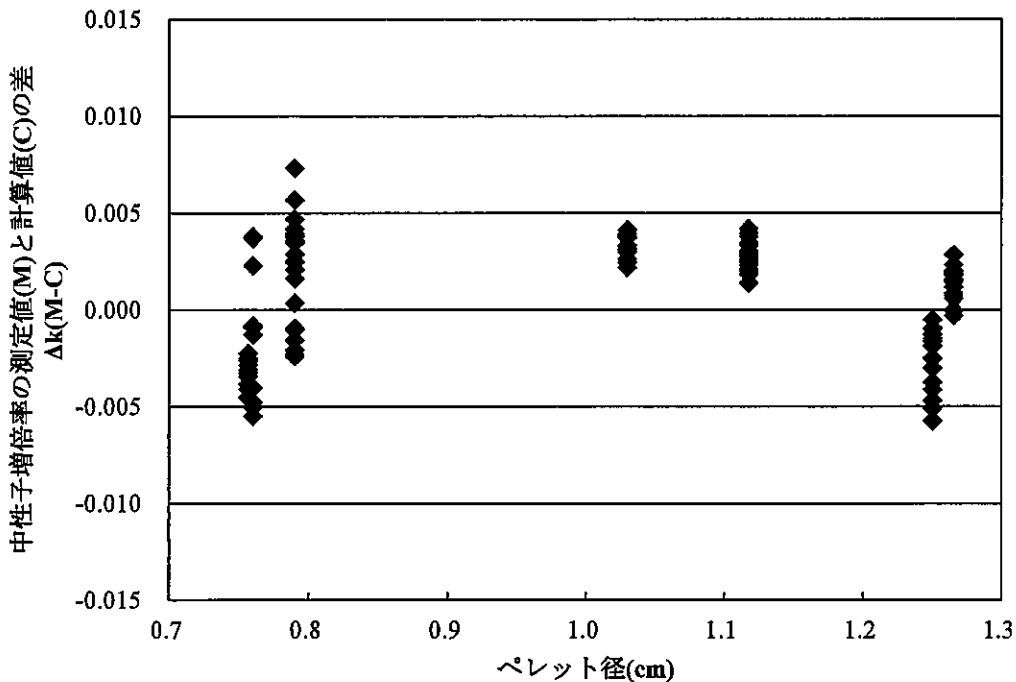
(注) 上段は平均値。下段はモンテカルロ計算における統計上の標準偏差 σ の 3 倍を加えた値。

E.5 ベンチマーク試験

OECD/NEA の国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト (ICSBEP) では、評価済み臨界ベンチマーク実験ハンドブック (ICSBEP ハンドブック) を発行している (参考文献(4))。

ICSBEP ハンドブックでは、各種パラメータによって臨界実験が分類されて掲載されている。そこで、本輸送物の臨界評価に関連する分類 (LEU-COM-THERM: 低濃縮-化合物-熱中性子スペクトル、HEU-MET-FAST: 高濃縮-金属-高速中性子スペクトル) から 132 ケースのベンチマーク試験を抽出し、本輸送物の臨界評価で使用した計算方法と同じ計算方法を用いて実験解析を行なった。計算結果を図(ロ)E-3 に示す。また、図(ロ)E-3 に示した 132 ケースの計算結果に対する統計処理結果を表(ロ)E-12 に示す。

表(ロ)E-12 より、本輸送物の臨界評価で使用した計算方法は、中性子増倍率を十分な精度で評価できることが分かる。



図(ロ)E-3 ベンチマーク実験解析結果

表(ロ)E-12 ベンチマーク実験解析結果のまとめ

| | |
|---|----------|
| ケース数 | 132 |
| 平均誤差 ($\Delta k (M-C)$ の平均値) | -0.00030 |
| 標準偏差 (σ) | 0.00329 |
| 信頼係数 (f: 99%信頼度・99%確率) | 2.772 |
| 推定臨界下限増倍率 ($1 - \Delta k - f\sigma$) (平均誤差が負の場合は平均誤差を 0 とする) | 0.9908 |
| 制限値 | 0.95 |

E.6 結果の要約及びその評価

Traveller XL 型輸送物の一般及び特別の試験条件下における未臨界評価を実施した。

この結果、表(□)E-11 に示すように、統計上の偏差を考慮した中性子実効増倍率の最大値は □ となった。この値は制限値の 0.95 未満であり、臨界安全上問題ないことを確認した。

参考文献

- (1) Hollenbach, D. F., L. M. Petrie, and N. F. Landers. "KENO-VI: a general quadratic version of the KENO program." Sect. F17 of SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluations, ORNL/TM-2005/39, Version 5 (1995).
- (2) Bowman, S. M., et al. "Scale Cross Section Libraries." ORNL/TM-2005/39 Version 5 (2006).
- (3) H. R. Dyer, C. V. Parks., " Recommendations for Preparing the Criticality Safety Evaluation of Transportation Packages", NUREG/CR-5661, ORNL/TM-11936, Oak Ridge National Laboratory, 1997
- (4) International Criticality Safety Benchmark Evaluation, September 2013 Edition, OECD/NEA

付属資料

1) (ロ)E 付属資料 1 サーベイ計算の結果

(ロ)E 付属資料 1

サーベイ計算の結果

1. 体系の水密度依存性（水の侵入の影響）

■評価内容

体系の水密度依存性（水の侵入の影響）を確認するため、特別の試験条件下における配列系（収納物は17×17型タイプ57）を用いて、中性子実効増倍率への影響評価を行った。

この際、体系の水密度依存性（水の侵入の影響）については、収納物自体への水の侵入と収納物間の中性子相互作用のバランスにより決まると考えられることから、水の存在領域を以下の4ケースと設定し、ケースごとに水密度を変化させ、評価を行った。なお、輸送物の配列条件として、表(ロ)E-2に示す特別の試験条件下における配列条件を用い、収納物の評価条件として、表(ロ)E-1及び表(ロ)E-8に示す特別の試験条件下における評価条件を用いた。

- ①
- ②
- ③
- ④

| |
|--|
| |
|--|

■評価結果

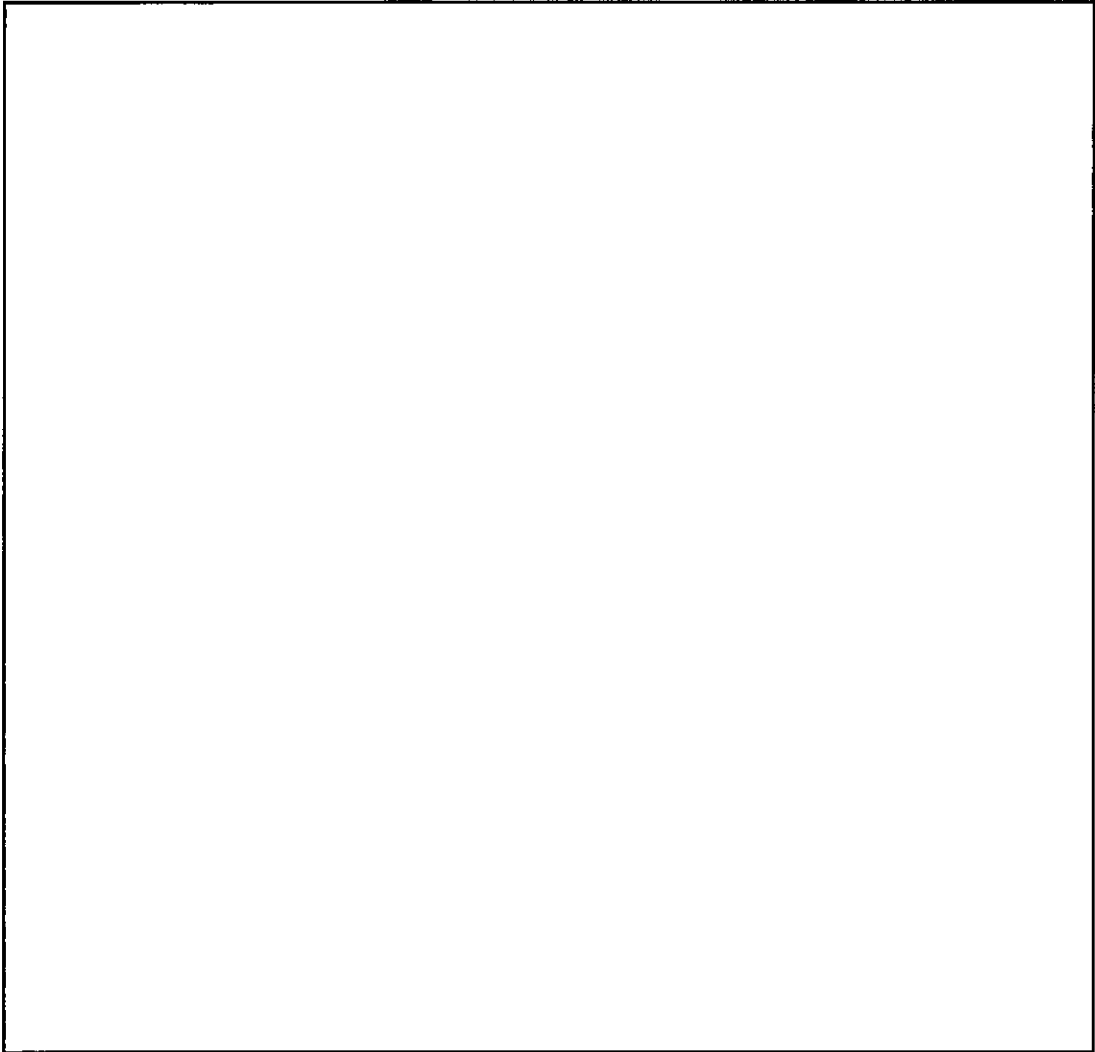
図(ロ)E付1-1に示す結果より、以下のことを確認した。

| |
|--|
| |
|--|

■まとめ

本輸送物の未臨界評価においては、以下の条件を安全側な評価モデルとして採用することとした。

| |
|--|
| |
|--|



図(ロ)E 付 1-1 体系の水密度依存性 (水の侵入の影響)

2. 一般及び特別の試験条件下における配列系の中性子実効増倍率の差異

■評価内容

一般及び特別の試験条件下における配列系のどちらが安全側な評価モデルとなるかを確認するため、それぞれの試験条件下における配列系の中性子実効増倍率の比較評価を行った。

この際、中性子実効増倍率が最大となるよう収納物は 17×17 型タイプ 57、

評価を行った。なお、輸送物の配列条件として、表(ロ)E-2 に示す一般及び特別の試験条件下における配列条件を用い、収納物の評価条件として、表(ロ)E-1 及び表(ロ)E-8 に示す一般及び特別の試験条件下における評価条件を用いた。

■評価結果

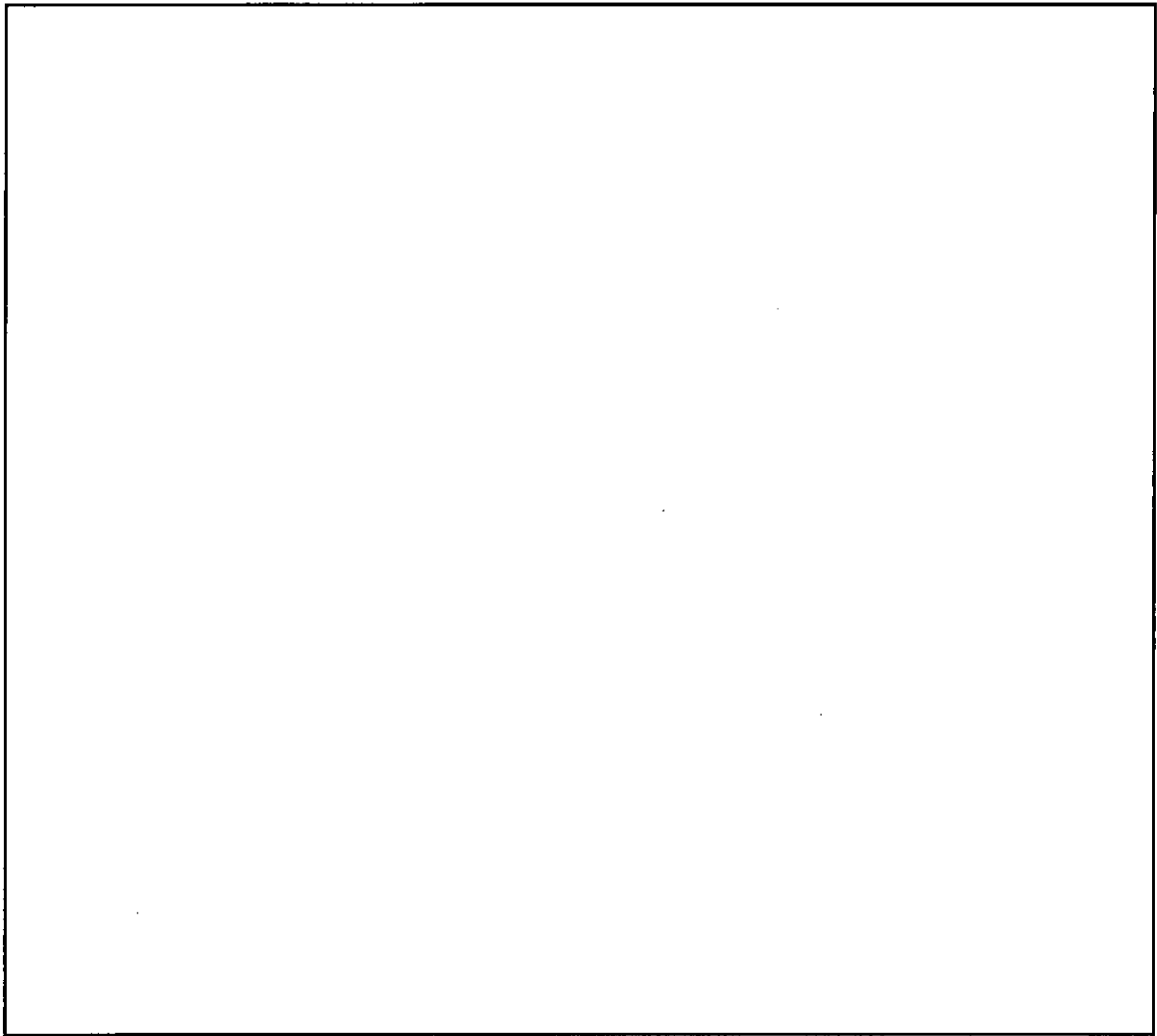
図(ロ)E 付 1-2 に示す結果より、以下のことを確認した。

- ・ 中性子実効増倍率の最大値は、特別の試験条件下における配列系の方が大きくなる。

■まとめ

本輸送物の未臨界評価においては、以下のケースを安全側な評価モデルとして採用することとした。

特別の試験条件下における配列系



図(ロ)E 付 1・2 一般及び特別の試験条件下における配列系の影響

3. 収納物の影響

■評価内容

収納物の影響を確認するため、対象とした収納物ごとの中性子実効増倍率の評価を行った。

この際、中性子実効増倍率が最大となるよう特別の試験条件下における配列系、体系の

なお、輸送物の配列条件として、表(ロ)E-2 に示す特別の試験条件下における配列条件を用い、収納物の評価条件として、表(ロ)E-1 及び表(ロ)E-5 から表(ロ)E-8 に示す特別の試験条件下における評価条件を用いた。

■評価結果

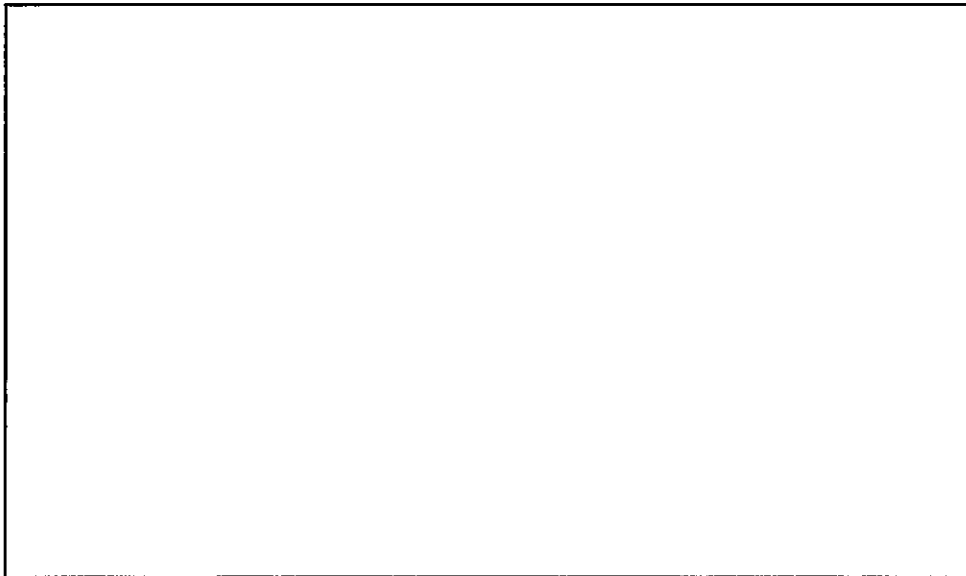
図(ロ)E 付 1-3 に示す結果より、以下のことを確認した。

- ・ 中性子実効増倍率は、収納物を 17×17 型タイプ 57 とした場合に最大となる。

■まとめ

本輸送物の未臨界評価においては、以下の収納物を安全側な評価モデルとして採用することとした。

17×17 型タイプ 57



図(ロ)E 付 1-3 収納物の影響

4. 特別の試験条件下における燃料棒ピッチのモデル化の検討

■評価内容

特別の試験条件下における配列系では、燃料棒ピッチがノミナル値より拡張する領域（拡張領域）が生じることが試験結果より示唆されているが、

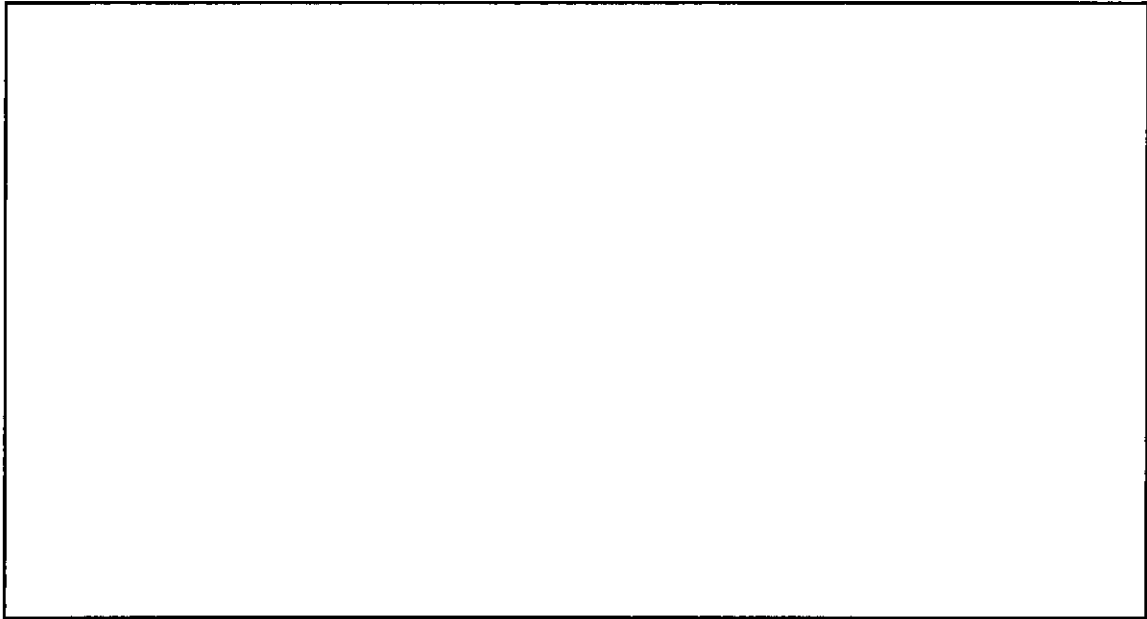
輸送物の配列条件として、表(ロ)E-2 に示す特別の試験条件下における配列条件を用い、拡張領域の燃料棒ピッチ以外の収納物の評価条件として、表(ロ)E-1 及び表(ロ)E-8 に示す特別の試験条件下における評価条件を用いた。

■評価結果

図(ロ)E 付 1-4 に示す結果より、以下のことを確認した。

■まとめ

本輸送物の未臨界評価においては、以下の拡張領域の燃料棒ピッチを安全側な評価モデルとして採用することとした。



図(ロ)E 付 1-4 拡張領域の燃料棒ピッチの影響

5. ポリエチレン製袋のモデル化（一般の試験条件下における配列系）

■評価内容

ポリエチレン製袋（以下、ポリエチレンとする。）は [] しているが、 []
[] 中性子実効増倍率に与える影響が異なると考えられる。

そこで、一般の試験条件下における配列系（収納物は 17×17 型タイプ 57）を用い、 []
[] による中性子実効増倍率への影響評価を行った。

この際、中性子実効増倍率が最大となるよう体系の水の存在領域は []
[] 評価を行った。なお、輸送物の配列条件として、表
(ロ)E-2 に示す一般の試験条件下における配列条件を用い、ポリエチレン以外の収納物の評価条件とし
て、表(ロ)E-1 及び表(ロ)E-8 に示す一般の試験条件下における評価条件を用いた。

- ① []
- ② []
- ③ []
- ④ []

■評価結果

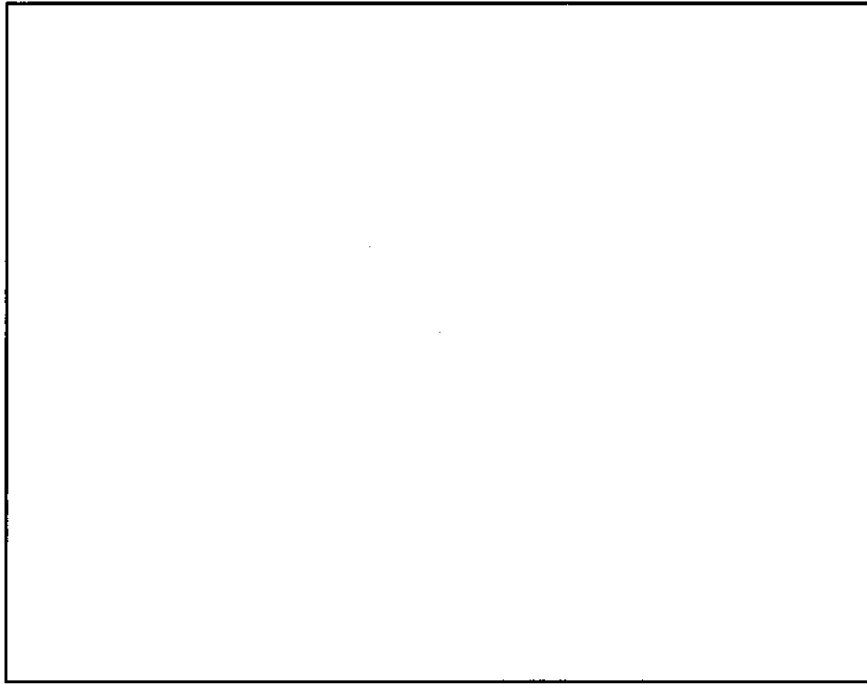
図(ロ)E 付 1-5 に示す結果より、以下のことを確認した。

[]

■まとめ

本輸送物の一般の試験条件下における配列系の未臨界評価においては、ポリエチレンについて以下の設定を安全側な評価モデルとして採用することとした。

[]



図(ロ)E 付 1-5 一般の試験条件下におけるポリエチレン製袋のモデル化の影響

6. ポリエチレン製袋のモデル化（特別の試験条件下における配列系）

■評価内容

一般の試験条件下における配列系のポリエチレン製袋（以下、ポリエチレンとする。）のモデル化の結果より、確認できた。そこで、同様に特別の試験条件下における配列系（収納物は 17×17 型タイプ 57）においても、の違い（以下の 7 ケース）による中性子実効増倍率への影響評価を行った。

この際、中性子実効増倍率が最大となるよう

と設定して評価を行った。なお、輸送物の配列条件として、表(ロ)E-2 に示す特別の試験条件下における配列条件を用い、ポリエチレン以外の収納物の評価条件として、表(ロ)E-1 及び表(ロ)E-8 に示す特別の試験条件下における評価条件を用いた。

- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥
- ⑦

| | |
|--|--|
| | |
|--|--|

■評価結果

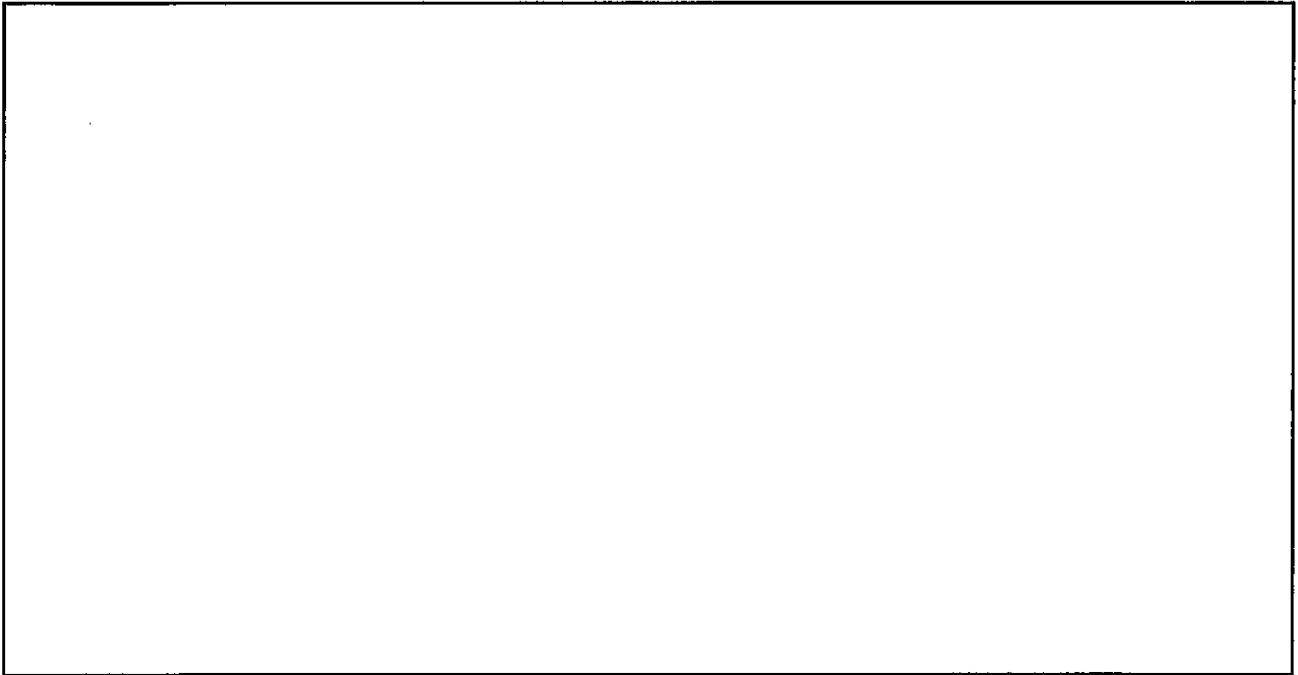
図(ロ)E 付 1-6 に示す結果より、以下のことを確認した。

| |
|--|
| |
|--|

■まとめ

本輸送物の特別の試験条件下における配列系の未臨界評価においては、ポリエチレンについて以下の設定を安全側な評価モデルとして採用することとした。

| |
|--|
| |
|--|



図(ロ)E 付 1-6 特別の試験条件下におけるポリエチレン製袋のモデル化の影響