

(ロ)E 臨界解析

E.1 ケース 1(粉末収納缶を使用する場合)

E.1.1 概要

本輸送物は、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も臨界に達することがないように設計されている。

臨界解析では、以下のいずれの条件においても臨界に達しないことを評価する。

- 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、本解析においては上記のうち評価上最も厳しい条件である、特別の試験条件に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合について、臨界計算コード KENO-V.a を用いた解析を行い、未臨界であることを確認する。

E.1.2 解析対象

E.1.2.1 収納物

本輸送物の収納物は濃縮度 $\square\%$ 以下のウラン酸化物（粉末、焼結体及びスクラップ）及びウラン酸化物を収納する袋（ポリエチレン製若しくはポリウレタン製）である。ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式
A		
B		
C		
D		
E		
F		

ウラン酸化物の物理的形狀、濃縮度及び、水より水素密度の大きな材料（ポリエチレン製袋及び添加物 A、B、C）の合計重量によってウラン酸化物の収納量の上限が異なる。

本輸送物には $\square$ 個の容器があり、容器当たりの収納量の上限を設定している。

臨界解析における  $UO_2$  収納量の上限を(ロ)E-第 1 表に示す。なお、 $UO_2$  収納量には、ポリエチレン製袋及び添加物 A、B、C の重量は含まれない。また、濃縮ウランには反応度を低下させる  $^{234}U$  が含まれているが、解析においては安全側に全て  $^{238}U$  として計算した。

#### E.1.1.2.2 輸送容器

本輸送容器は、内容器（□個）、耐熱衝撃緩衝材及び外容器から構成される。内容器には、ウラン酸化物（粉末又は焼結体及びスクラップ）を収納した粉末収納缶が、□  
□ 収納される。

#### E.1.1.2.3 中性子吸収材

本輸送容器に用いる粉末収納缶の内面には、□wt%ボロン入りステンレス鋼リングが固定されている。また、外蓋部及び内容器底部にも □wt%ボロン入りステンレス鋼ディスクが固定されている。さらに、内容器内壁と外壁間に BORA レジンが設置されており、臨界解析では、これら中性子吸収材と容器本体による中性子吸収の効果を考慮した。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下においても、これらの構成物に変形及び損傷は認められておらず、その機能が損なわれることはない。

(ロ)E-第1表 [1/2] 臨界解析における  $UO_2$  収納量の上限

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g 以下の場合)

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg- $UO_2$ )	
	粉末	焼結体及び スクラップ
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>

\* ポリエチレン製袋及び添加物の重量は含まれない

(ロ)E-第1表 [2/2] 臨界解析における  $UO_2$  収納量の上限

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g を超えて  g 以下の場合)

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg- $UO_2$ )	
	粉末	焼結体及び スクラップ
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>

\* ポリエチレン製袋及び添加物の重量は含まれない

### E.1.3 モデル仕様

#### E.1.3.1 解析モデル

##### (1) 考慮した他の解析結果

- ① 一般の試験条件下においては、輸送物の変形は軽微なものにとどまっており、臨界解析モデルとしては損傷がないものとして取り扱うことができる。そのため、輸送物を孤立系の条件に置く場合と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は共通の評価となる。
- ② 特別の試験条件下においては、落下試験及び耐火試験で得られた以下の結果を考慮している。なお、9m 落下については、コーナー落下による変形よりも側面落下による変形の方が実効増倍係数に与える影響が大きいため、各変形量は側面落下試験による結果を用いた。
  - ・ 水平方向の内容器間距離は、通常時に□ cm であったものが側面への落下試験により □ cm に減少する。
  - ・ 同様に、側面落下により落下方向の全幅は通常時に比較して □ cm 減少する。
  - ・ また、底面落下による変形量は □ cm である。
  - ・ ターゲットへの高さ 1 m 落下による損傷範囲は直径 □ cm で、その深さは、耐火試験を考慮して内容器外表面まで達するものとしている。
  - ・ 耐火試験により、外蓋中のアルミニウム合金ディスクより上部のフェノリックフォームが炭化する。
  - ・ その他の面は表面から平均 □ cm、最大 □ cm にわたって炭化している。
  - ・ 内容器は変形、破損せず、粉末収納缶の破損もない。

##### (2) 輸送物の条件

(ロ)E-第2表に示すとおり、一般の試験条件下に置いた輸送物の場合は、本輸送物の輸送制限個数 □ を配列し、特別の試験条件下に置いた輸送物の場合は輸送制限個数 □ 個を配列した。なお、中性子の漏れをできるだけ小さくした方が明らかに臨界評価上厳しい条件となるため、立方体体系としている。

(ロ)E-第2表 臨界解析条件

輸送物の状態	項目	条件
一般の試験条件下の輸送物	輸送物個数 水による反射	
特別の試験条件下の輸送物	輸送物個数 水による反射	

### (3) 収納物の条件

収納物の条件として、粉末・焼結体・スクラップいずれの場合においても燃料／減速材比を考慮する必要があるため、濃縮度  $\square\%$  以下の  $UO_2$  に対して、後述のとおり、内容器内での燃料領域高さを変化させることによって燃料／減速材比についてサーベイ計算を行い、その結果として最適な  $UO_2$  密度を得た。なお、スクラップを輸送する際には、焼結体とウラン酸化物の粉末が混合される場合もあるが、これらは焼結体体系の計算で包含されている。また、ポリエチレン製袋及び添加物 A、B、C については、最も水素密度の高いポリエチレンを、これらの代表組成として考慮している。

### (4) 形状モデル

#### ① 一般の試験条件下に置いた輸送物

一般の試験条件下に置いた輸送物においては、(ロ)E-第1図の形状モデルを用いる。

#### ② 特別の試験条件下に置いた輸送物

特別の試験条件下に置いた輸送物においては、(1)で得られた結果等を反映し、以下のモデル化を行った。

- ・ 一般の試験条件下での変形量と特別の試験条件下での変形量の合計を反映（側面に  $\square$ cm のつぶれ）した。
- ・ 底面落下による変形として、底面のフォーム厚みは  $\square$ cm 減少させた。
- ・ ターゲットへの高さ 1 m 落下による損傷範囲として、内容器外表面までの直径  $\square$ cm の部分を水及び炭化層で置換した。
- ・ 耐火試験の結果を反映し、安全側の設定として断熱材の表面から  $\square$ cm を炭化したフェノリックフォームが占めている。
- ・ 耐火試験により、外蓋中のアルミニウム合金ディスクより上部のフェノリックフォームが炭化する。
- ・ この結果から、(ロ)E-第2図の形状モデルを用いる。以上のモデル化は、寸法を減少させるため、中性子の相互作用が大きくなる。
- ・ フェノリックフォームの炭化を実際よりも多めに考慮することで、フォーム中の水素による中性子遮蔽の影響が小さくなる。

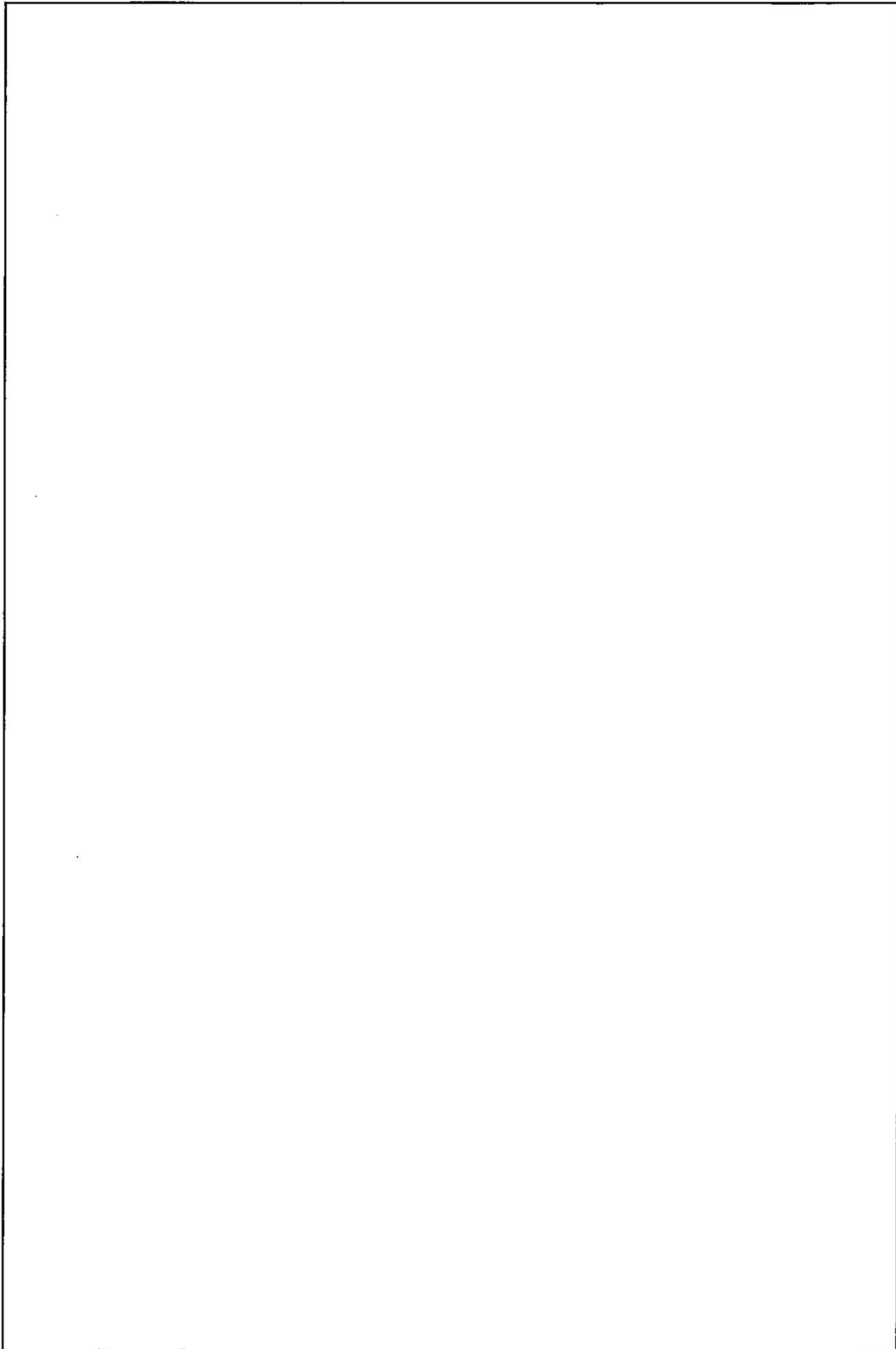
という理由で安全側の仮定となっている。

また、本モデル中では、各粉末収納缶が内容器内でそれぞれ容器本体の中心に向かって偏心しているという安全側の仮定も適用している。

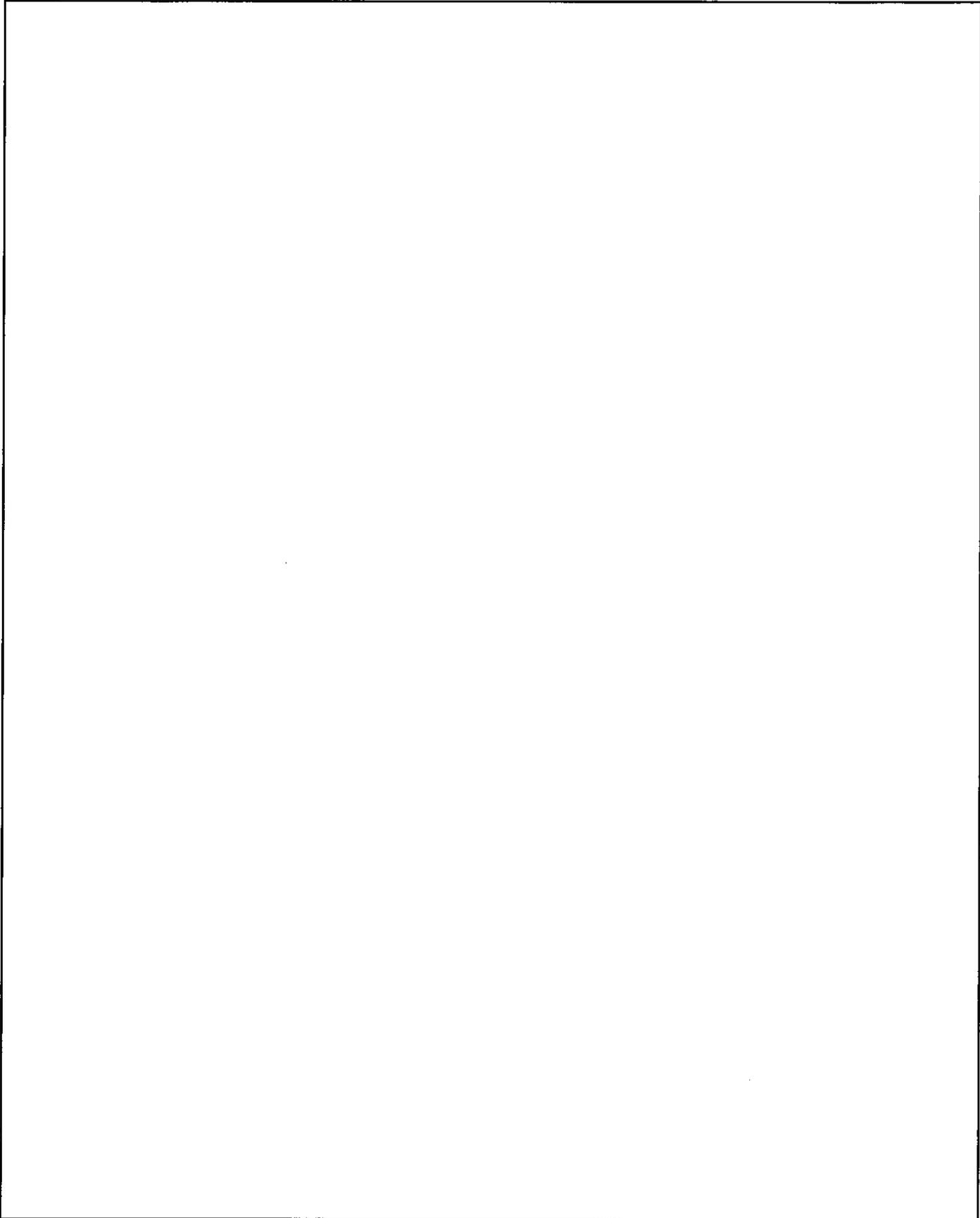
### E.1.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本解析に使用した輸送物の各領域の原子個数密度を(ロ)E-第3表に、また、燃料領域の $\text{UO}_2$ と減速材(水及びポリエチレン)の体積比を(ロ)E-第4表に、それぞれ示す。

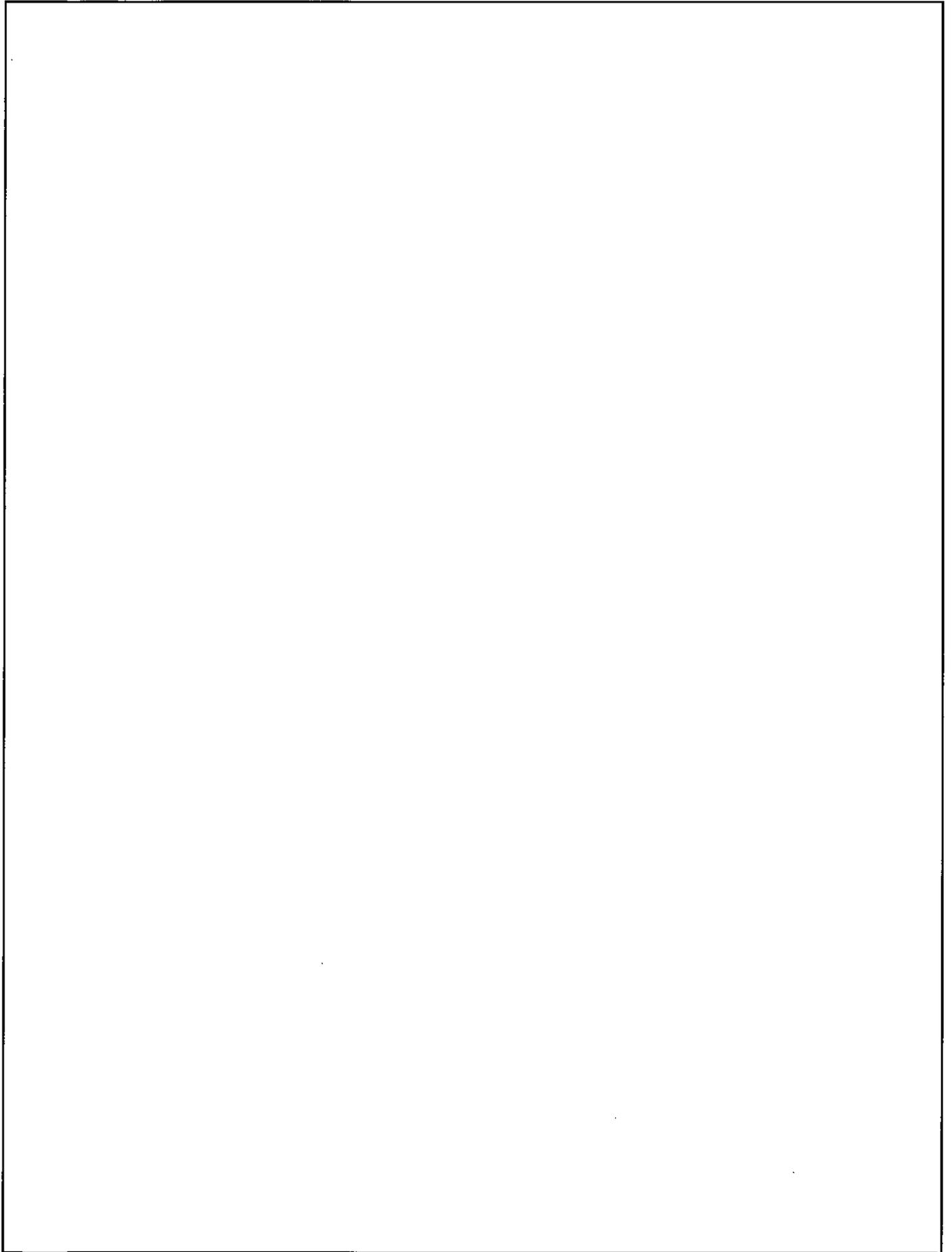
一般の試験条件下に置いた輸送物ではフェノリックフォーム領域中に水が浸漬することはないが、損傷時の影響を考慮するため、「(ロ)E 付属資料1の1,2章」に示すサーベイ計算を行った。その結果、フェノリックフォーム中の水分濃度及び空間部の水密度については影響度が小さいことが明らかとなった。このため、フェノリックフォーム中の水分濃度は耐火試験後の分析に基づく値を、空間部水密度については $1.0 \text{ g/cm}^3$ をそれぞれ用いた。また、炭化したフェノリックフォームについては、炭化の影響を考量するため、「(ロ)E 付属資料1の3章」に示すサーベイ計算を行なった。その結果、炭化したフェノリックフォーム中の水素量が低下すると反応度が高くなることが確認され、炭素量及び酸素量の影響はないことが明らかとなった。このため、炭化したフェノリックフォームについては、炭素については、炭化前と同じとし、水素及び酸素は消失したとした。



(ロ)E-第1図 [1/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・下部)



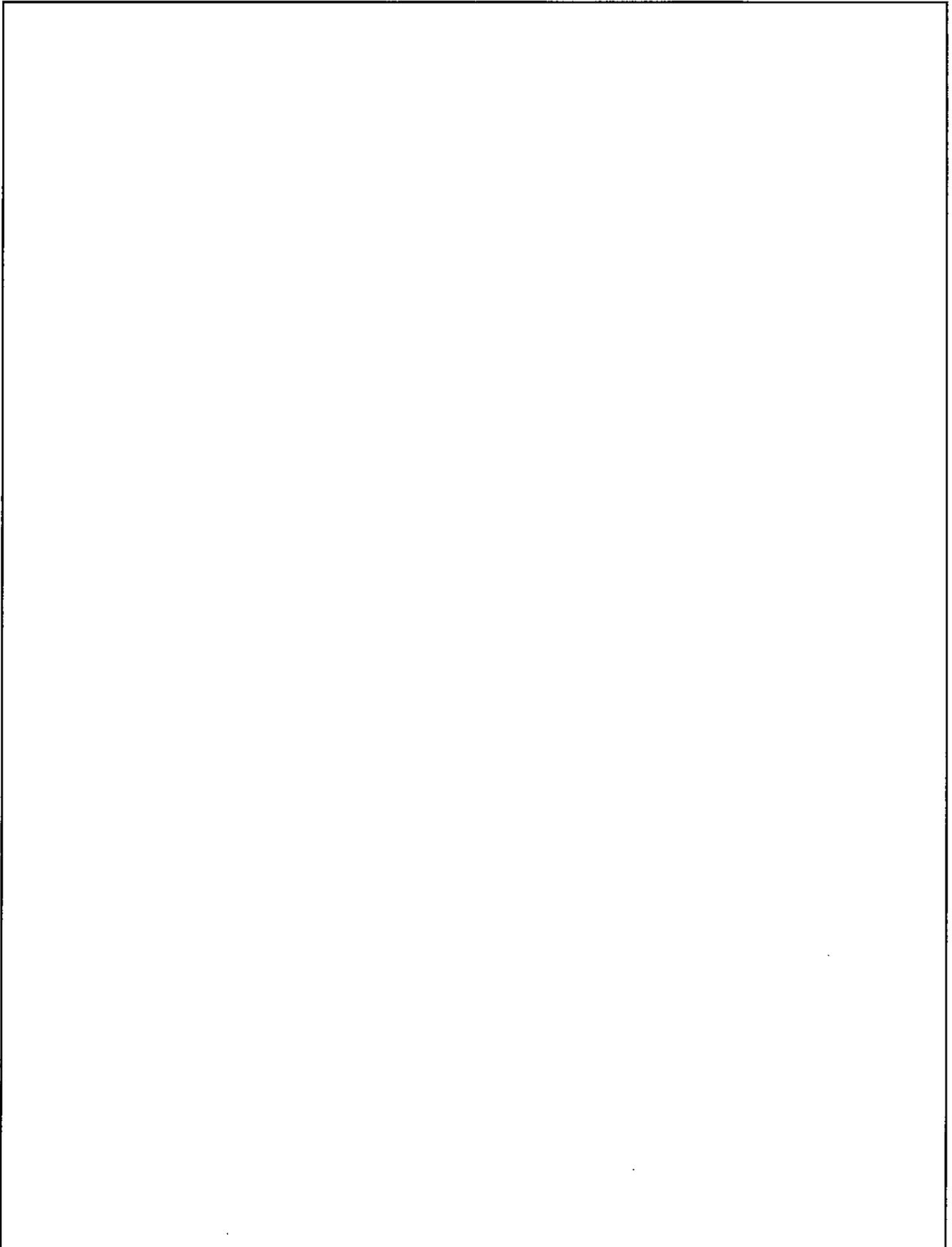
(ロ)E-第1図 [2/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・上部)



(ロ)E-第1図 [3/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(内容器周辺部)

(ロ)E-第2図 [1/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・下部)

(ロ)E-第2図 [2/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・上部)



(ロ)E-第2図 [3/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(内容器周辺部)

(ロ)E-第3表 計算に使用した各物質の原子個数密度

--

- \* それぞれ、SCALEの標準組成「Standard Composition Library」を用いた。例えば、ボロン入りステンレス鋼は、「ステンレス鋼」99%とボロン1%からなる。
- \*\* 外蓋のアルミニウム合金補強材にある孔中の水分についても考慮している。



## E.1.4 未臨界評価

### E.1.4.1 計算条件

全ての解析モデルにおいて内容器への水の浸入を考慮していることから、孤立系のモデルと配列系のモデルを比較すると配列系では体系内の燃料が多くなるため、孤立系よりも実効増倍係数は明らかに大きくなる。

また、一般の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の5倍以上(512個)置く場合よりも、特別の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の2倍以上(216個)置くとした場合の方が未臨界評価上安全側であることから(「(ロ)E 付属資料1の5章」参照)、実際の臨界計算は特別の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の2倍以上(216個)置くとしたを置いた場合についてのみ行う。

### E.1.4.2 輸送物への水の浸入等

解析においては輸送物の損傷の有無にかかわらず、容器内に水が浸入するものとしており、そこで、「(ロ)E 付属資料1の4章」に示すように、燃料領域高さ((ロ)E-第2図参照)を変化させることにより収納物の水密度(燃料/減速材比)を(ロ)E-第4表のとおり変化させて解析を行い、その影響について考慮している。

収納物が粉末の場合、燃料領域高さを考慮した結果についてサーベイ計算を行う。

収納物が焼結体及びスクラップの場合、非均質体系の影響度が明らかとなるように、燃料領域高さごとに焼結体直径と焼結体間距離についてサーベイ計算を行う。

### E.1.4.3 計算方法

本計算に使用したコードはKENO-V.aである。

KENO-V.a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、体系の中性子増倍係数の計算を行う臨界計算コードである。

計算に使用した微視的断面積は、ENDF-B/Vをマスタライブラリとする44群ライブラリである。

E.1.4.4 計算結果

以上の条件で行った計算結果を(ロ)E-第5表に示す。

なお、ここでは収納物が粉末の場合、実効増倍係数が最大となる燃料領域高さ及びその前後の計算結果を示している。また、収納物が焼結体及びスクラップの場合、実効増倍係数が最大となる焼結体直径及びその前後の計算結果を示している。

(ロ)E-第5表 [1/2] 実効増倍係数の計算結果 (ケース1)

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  以下の場合)

実効増倍係数 (収納物：粉末)				
	燃料領域高さ <input type="text"/> cm	燃料領域高さ <input type="text"/> cm	燃料領域高さ <input type="text"/> cm	燃料領域高さ <input type="text"/> cm

(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 $\sigma$ の3倍を加えた値。

(ロ)E-第5表 [2/2] 実効増倍係数の計算結果 (ケース1)

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g を超えて  g 以下の場合)

実効増倍係数 (収納物：粉末)				
	燃料領域高さ <input type="text"/> cm	燃料領域高さ <input type="text"/> cm	燃料領域高さ <input type="text"/> cm	燃料領域高さ <input type="text"/> cm

(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 $\sigma$ の3倍を加えた値。

## E.2 ケース 2(長尺粉末収納缶を使用する場合)

### E.2.1 概要

本輸送物は、、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も臨界に達することがないように設計されている。

臨界解析では、以下のいずれの条件においても臨界に達しないことを評価する。

- 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、本解析においては上記のうち評価上最も厳しい条件である。特別の試験条件に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合について臨界計算コード KENO-V.a を用いた解析を行い、未臨界であることを確認する。

### E.2.2 解析対象

#### E.2.2.1 収納物

本輸送物の収納物は濃縮率 %以下のウラン酸化物（粉末、焼結体及びスクラップ）、緩衝材（ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン及びポリウレタン）及びウラン酸化物を収納する袋、瓶（ポリエチレン製若しくはポリウレタン製）である。ウラン酸化物には、「(ロ) E.1.2.1」記載の添加物を含む。

本輸送物には  個の容器があり、そのうちの 1 個の容器にのみウラン酸化物は収納される。

臨界解析における  $UO_2$  収納量の上限を(ロ)E-第 6 表に示す。なお、 $UO_2$  収納量には、ポリエチレン製容器及び添加物の重量は含まれない。また、濃縮ウランには反応度を低下させる  $^{234}U$  が含まれているが、解析においては安全側に全て  $^{238}U$  として計算した。

#### E.2.2.2 輸送容器

本輸送容器は、容器  個)、耐熱衝撃緩衝材及び外容器から構成される。容器には、ウラン酸化物（粉末又は焼結体及びスクラップ）を収納した長尺粉末収納缶が、容器 4 個のうち 1 個のみに 1 缶が収納されるが、長尺粉末収納缶は解析対象とはしない。

#### E.2.2.3 中性子吸収材

外蓋部及び容器底部には  wt%ボロン入りステンレス鋼ディスクが固定されている。さらに、容器内壁と外壁間に BORA レジンが設置されており、臨界解析では、これら中性子吸収材と容器本体による中性子吸収の効果を考慮した。なお長尺粉末収納缶にはボロン入りステンレス鋼リングは使用されていない。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下においても、これらの構成物に変形及び損傷は認められておらず、その機能が損なわれることはない。

(ロ)E-第6表 臨界解析における  $\text{UO}_2$  収納量の上限

(ポリエチレン製容器及び添加物 A、B、C は無制限

ただし、 $\text{UO}_2$  を収納する容器は )

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg- $\text{UO}_2$ )	
	粉末	焼結体及び スクラップ
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	

\*ポリエチレン製容器及び添加物の重量は含まれない

## E.2.3 モデル仕様

### E.2.3.1 解析モデル

#### (1) 考慮した他の解析結果

「(ロ)E.1.3.1(1)」に同じ。

#### (2) 輸送物の条件

(ロ)E-第7表に示すとおり、一般の試験条件下に置いた輸送物の場合並びに特別の試験条件下に置いた輸送物の場合、、輸送物を配列した。

(ロ)E-第7表 臨界解析条件

輸送物の状態	項目	条件
一般の試験条件下の輸送物	輸送物個数	<input type="text"/>
特別の試験条件下の輸送物		

#### (3) 収納物の条件

収納物の条件として、ポリエチレン製容器及び添加物 A、B、C については、最も水素密度の高いポリエチレンを、これらの代表組成とし、ポリエチレンを減速材として用いる。さらに、 $UO_2$  の物理的形狀によらず、燃料/減速材比を考慮する必要があるため、均質（粉末）の  $UO_2$  の場合は、内容器内での燃料領域直径を変化させることによって燃料/減速材比についてサーベイ計算を行い、臨界評価上最も安全側の条件を得た。また、非均質（焼結体・スクラップ）な  $UO_2$  の場合については、均質体系に対する非均質体系の影響度を見込むことで、その非均質性を考慮する。

#### (4) 形状モデル

##### ① 一般の試験条件下に置いた輸送物

一般の試験条件下に置いた輸送物においては、(ロ)E-第3図の形状モデルを用いる。

##### ② 特別の試験条件下に置いた輸送物

特別の試験条件下に置いた輸送物においては、(ロ)E-第4図の形状モデルを用いる。

また、本モデル中では、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼ディスク及び BORA レジンに燃料を近接させないという理由で、偏心による燃料同士の近接はモデル化せず、内容器内中央に燃料領域が存在するという安全側の仮定を適用している。なお、偏心による反応度の影響度については、「(ロ)E 付属資料 1 の 7 章」に示している。

さらに、燃料領域からの中性子の漏れを少なくするという理由で、燃料領域が球形形状として存在するという安全側の仮定も適用している。

その他の条件は「(ロ)E.1.3.1(4)」と同じである。

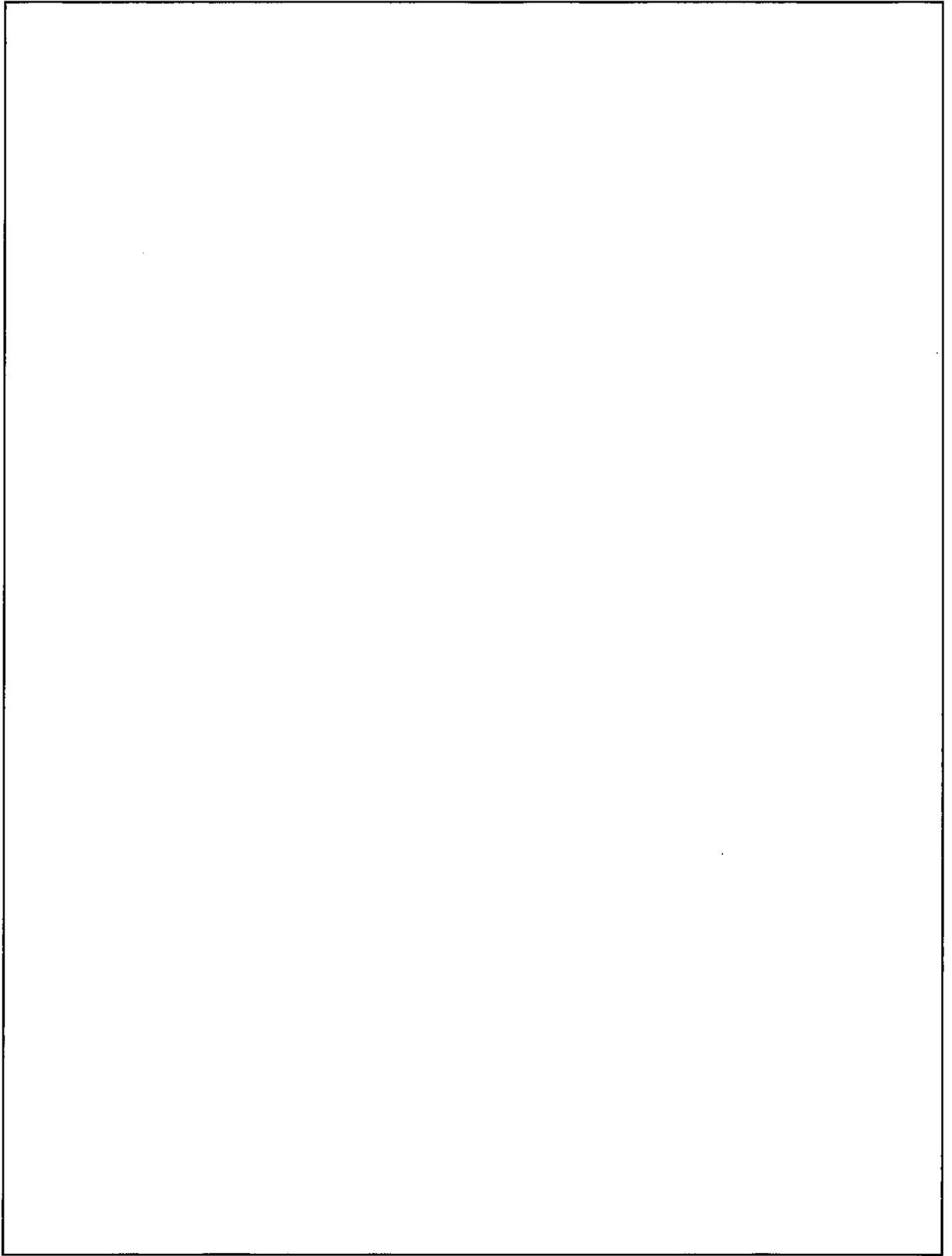
#### E.2.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本解析に使用した輸送物の燃料領域 ( $\text{UO}_2$  及び減速材) の原子個数密度を(ロ)E-第 8 表に、燃料領域の  $\text{UO}_2$  と減速材の体積比を(ロ)E-第 9 表に示す。

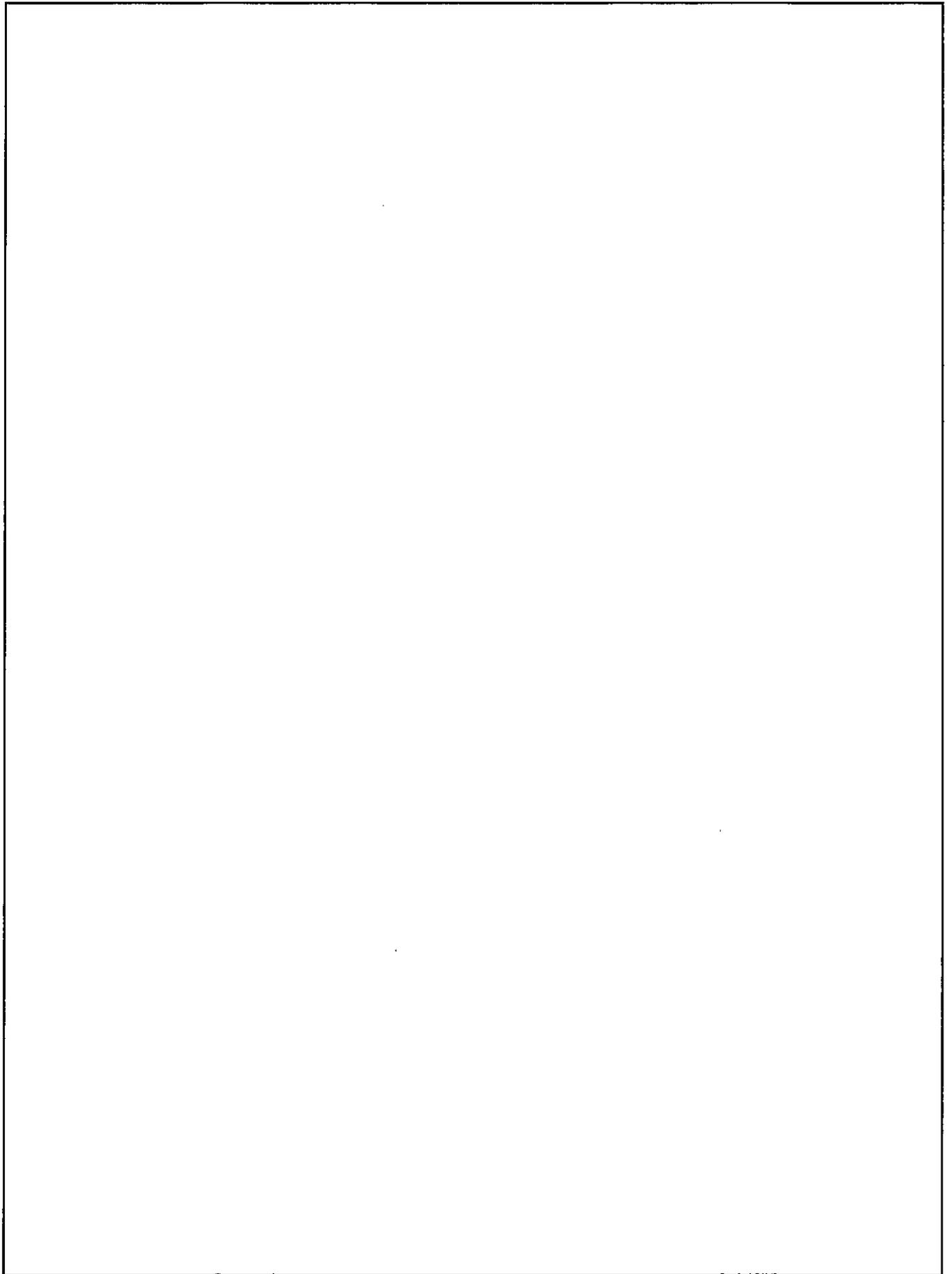
ここで、内容器内の減速材の材質を水よりも水素密度の高いポリエチレンとするという安全側の仮定を適用した。

その他の条件は「(ロ)E.1.3.2」と同じである。

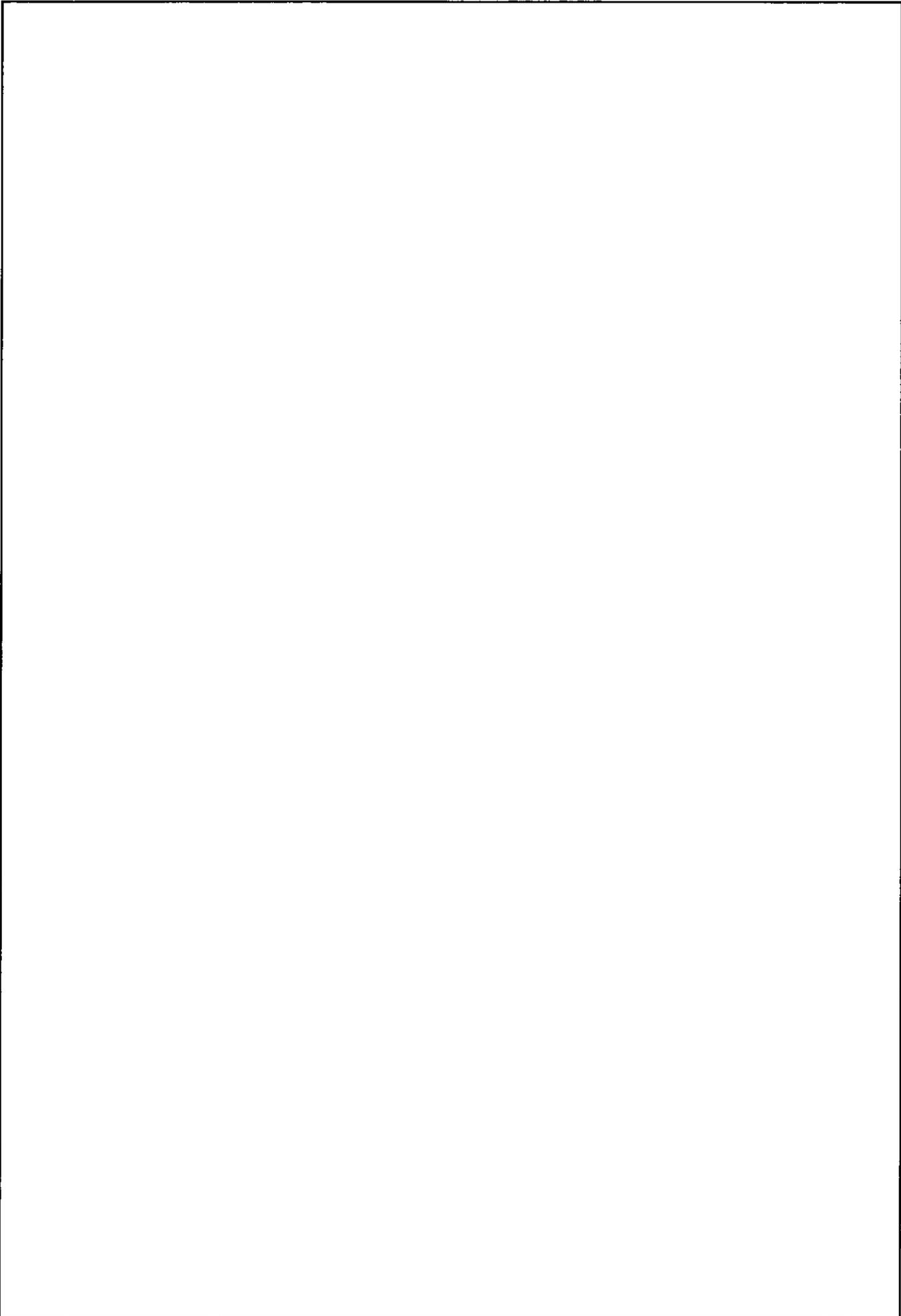
(ロ)E-第3図 [1/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・下部)



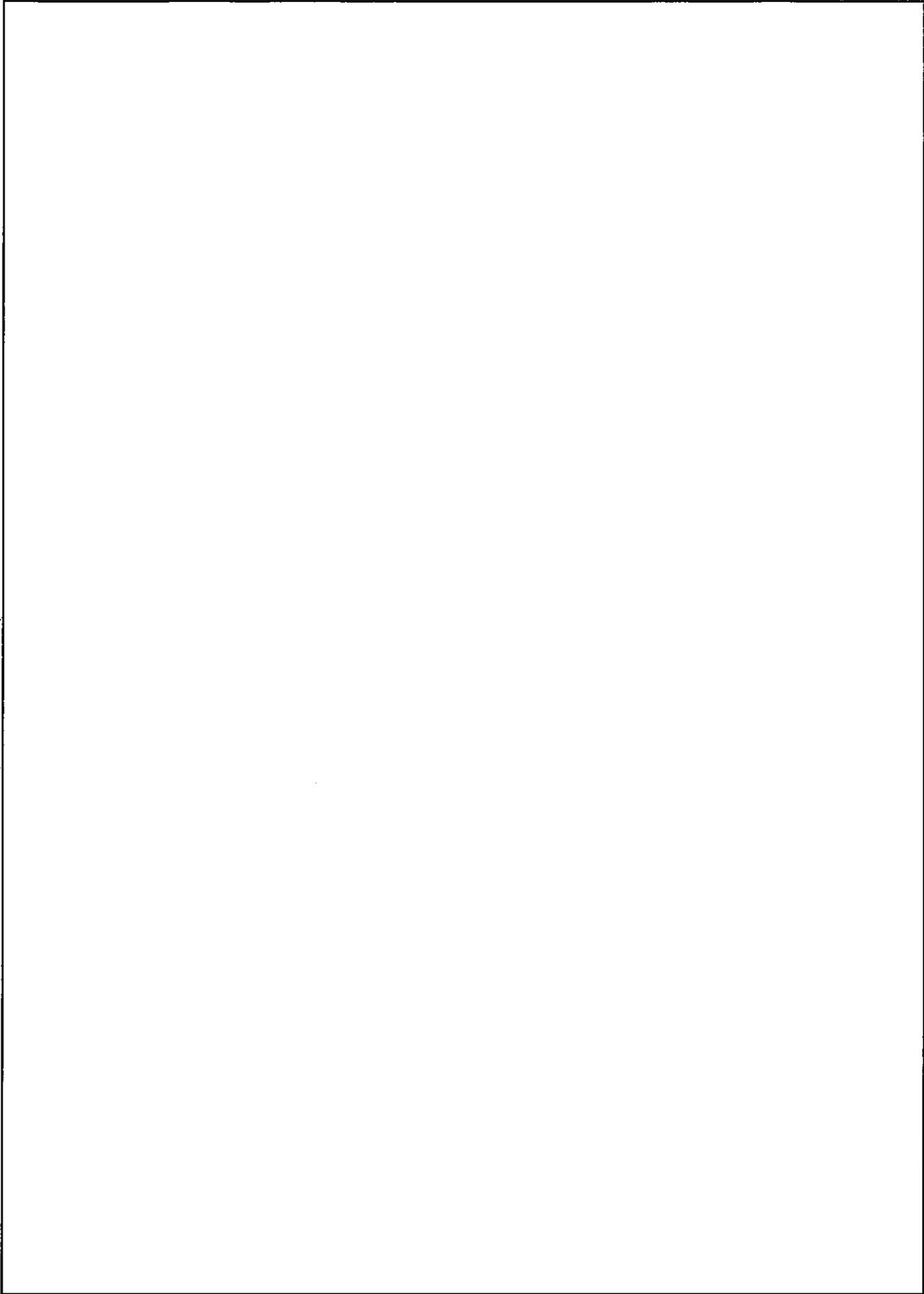
(ロ)E-第3図 [2/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・上部)



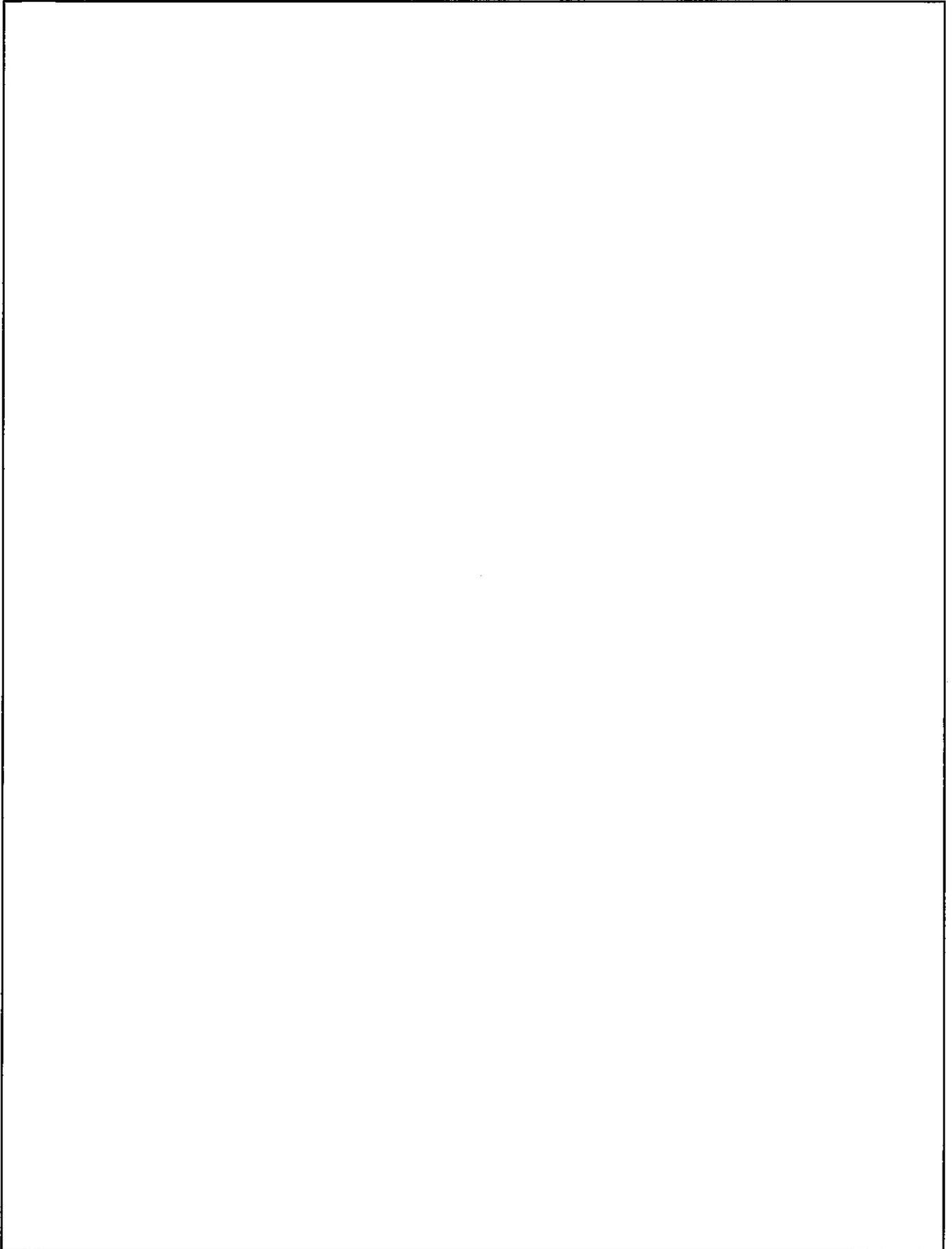
(ロ)E-第3図 [3/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(内容器周辺部)



(ロ)E-第4図 [1/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・下部)



(ロ)E-第4図 [2/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・上部)

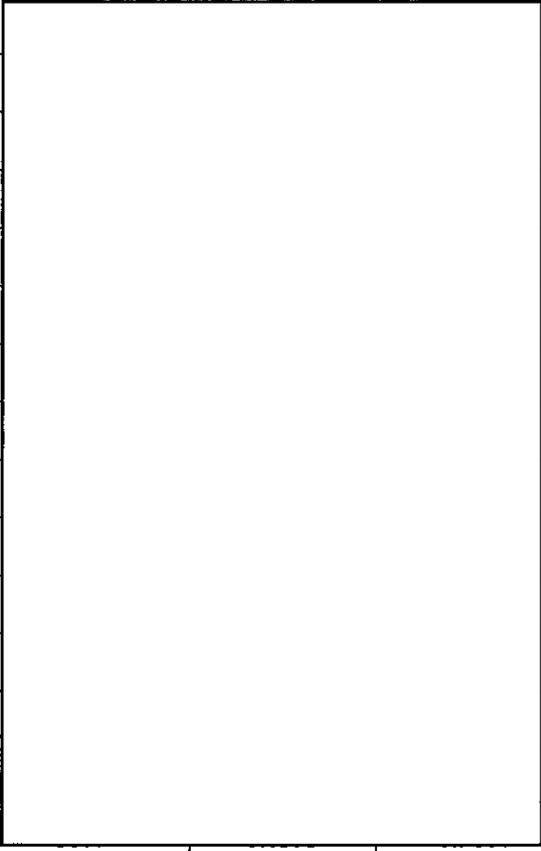


(ロ)E-第4図 [3/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(内容器周辺部)

(口)E-第8表 計算に使用した燃料領域の原子個数密度

材質	核種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)

(ロ)E-第9表 UO<sub>2</sub>を収納したときの燃料領域のUO<sub>2</sub>と減速材(ポリエチレン)の体積比(10kg-UO<sub>2</sub>/内容器)

燃料領域直径(cm)	UO <sub>2</sub> 体積比	減速材 体積比
		

## E.2.4 未臨界評価

### E.2.4.1 計算条件

全ての解析モデルにおいて内容器への水の浸入を考慮していることから、孤立系のモデルと配列系のモデルを比較すると配列系では体系内の燃料が多くなるため、孤立系よりも実効増倍係数は明らかに大きくなる。

また、一般の試験条件下に輸送物を置いた場合と特別の試験条件下に置いた場合については、輸送物の配列個数はともに無限であるため、明らかに特別の試験条件下に輸送物を置いた場合の方が臨界評価上安全側の条件となる。このため、実際の臨界計算は特別の試験条件下に輸送物を置いた場合についてのみ行った。

### E.2.4.2 輸送物への水の浸入等

解析においては輸送物の損傷の有無にかかわらず、内容器内に水が浸入するものとしている。ここで、内容器内に侵入した水を、水よりも水素密度の高いポリエチレンと置き換え、水の浸入を模擬した。そこで、「(ロ)E 付属資料 1 の 6 章」に示すように、均質な  $UO_2$  の場合は、燃料領域直径 ((ロ)E-第 3 図及び(ロ)E-第 4 図参照) を変化させることにより収納物の減速材 (ポリエチレン) 密度 (燃料/減速材比) を(ロ)E-第 9 表のとおり変化させて解析を行い、その影響について考慮している。また、非均質な  $UO_2$  の場合については、「(ロ)E 付属資料 2」に示すように、均質体系に対する非均質体系の影響度を見込むことで、その影響について考慮している。

### E.2.4.3 計算方法

計算方法は「(ロ)E.1.4.3」と同じである。

### E.2.4.4 計算結果

以上の条件で行った計算結果を(ロ)E-第 10 表に示す。

(ロ)E-第 10 表 実効増倍係数の計算結果 (ケース 2)

ポリエチレン製容器 及び 添加物 <input type="text"/> の合計重量	収納物	
	均質 <sup>(注1)</sup> (粉末)	非均質 <sup>(注2)</sup> (焼結体及びスクラップ)
<input type="text"/>		

(注 1) 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  $\sigma$  の 3 倍を加えた値。

(注 2) 「(ロ)E 付属資料 2」に基づき、均質なウランの実効増倍係数  
(標準偏差  $\sigma$  の 3 倍を加えた値) に非均質効果を考慮した。

### E.3 ベンチマーク試験

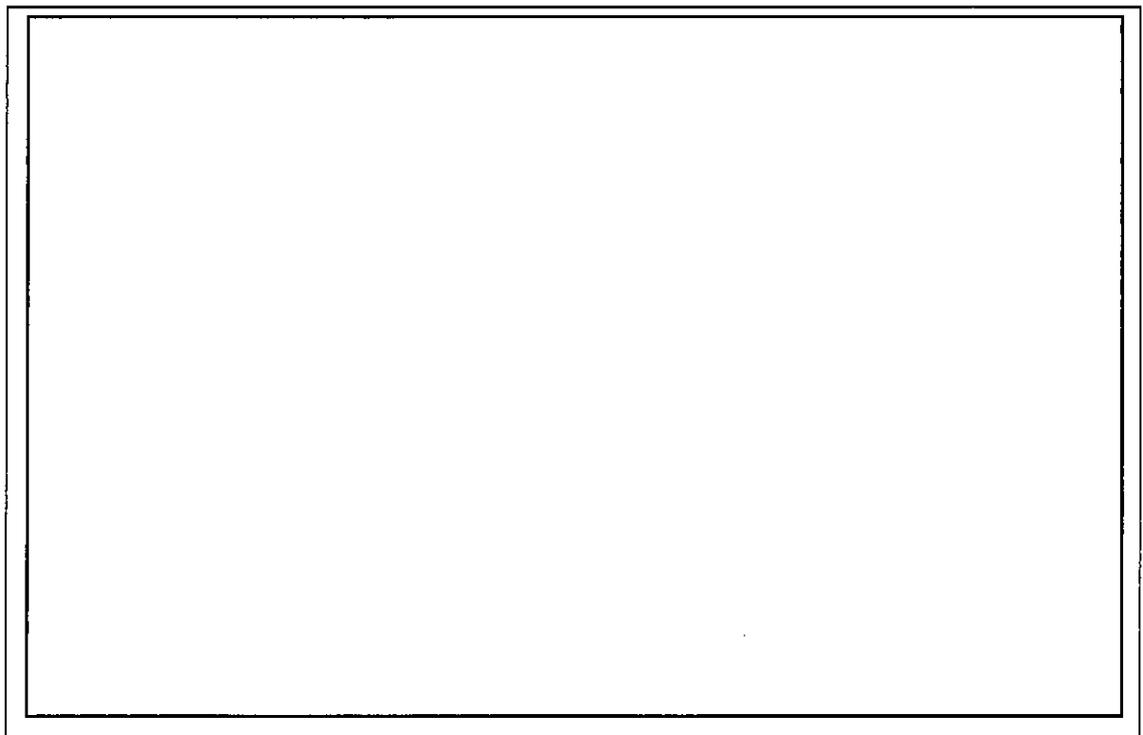
OECD/NEA の国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト (ICSBEP) では、評価済み臨界ベンチマーク実験ハンドブック (ICSBEP ハンドブック) を発行している。

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) から  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(ロ)E - 第 5 図に示す。また、(ロ)E - 第 5 図に示した  ケースの計算結果に対する統計処理結果を(ロ)E - 第 11 表に示す。

(ロ)E - 第 11 表より、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。

(ロ)E - 第 11 表 ベンチマーク実験解析結果のまとめ

ケース数	
平均誤差 ( $\Delta k$ (M-C) の平均値)	
標準偏差 ( $\sigma$ )	
信頼係数 (f: 99%信頼度・99%確率)	
推定臨界下限増倍率 ( $1 - \Delta k - f\sigma$ )	
制限値	



(ロ)E - 第 5 図 ベンチマーク実験解析結果

E.4 結果の要約及びその評価

TNF-XI 型輸送物の臨界解析を実施した。

解析においてはモデル化等で様々な安全側の仮定を行ったが、統計上の偏差値を考慮した実効増倍係数の最大値は、収納物の条件に応じて(ロ)E-第 12 表に示すとおりであり、いずれの値も  未満であり、臨界安全上問題はない。

(ロ)E - 第 12 表 [1/2] 実効増倍係数の最大値  
(ケース 1(粉末収納缶を使用する場合))

ポリエチレン製袋 及び 添加物 <input type="text"/> の合計重量	収納物	
	粉末	焼結体及びスクラップ
<input type="text"/> g 以下	<input type="text"/>	
<input type="text"/> g を超えて <input type="text"/> g 以下		

(ロ)E - 第 12 表 [2/2] 実効増倍係数の最大値  
(ケース 2(長尺粉末収納缶を使用する場合))

ポリエチレン製容器 及び 添加物 <input type="text"/> の合計重量	収納物	
	粉末	焼結体及びスクラップ
<input type="text"/>	<input type="text"/>	

(ロ)E 付属資料 1

サーベイ計算の結果

1. 空間部水密度の変化による反応度の変化

輸送容器中に濃縮度 %、内容器当たり kg の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合、内容器内及び外蓋部の水密度変化による反応度の変化は図 1 及び図 2 のとおりである。

結果より、いずれの場合も、反応度の変化量は統計的なばらつきの範囲内にあるため、空間部水密度の影響は小さい。

2. フェノリックフォーム中の水分濃度変化による反応度の変化

輸送容器中に濃縮度 %、内容器当たり kg の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合、フェノリックフォーム中の水分濃度変化による反応度の変化を図 3 に示す。

結果より、ここでの水分濃度変化も反応度に及ぼす影響は統計的なばらつきの範囲内に収まっており、フェノリックフォーム中の水分濃度の影響は小さい。

3. 炭化したフェノリックフォームの組成の変化による反応度の変化

輸送容器中に濃縮度 %、内容器当たり kg の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の炭化したフェノリックフォームの元素の残存割合変化による反応度の変化を図 4 に示す。なお、ここでは、変化させる元素以外の残存割合は %としている。さらに、条件の違いによる反応度の差異を明確にするため、統計誤差を小さくすることを目的に、ヒストリ数は「E.1.4.4 計算結果」に示す未臨界評価の 倍としている（統計誤差は となる）。また、参考のため、炭化したフェノリックフォームの組成を通常のフェノリックフォームの組成とした場合の結果も記載している。

結果より、水素に対する反応度の変化については、残存割合が低いほど反応度は高くなり、炭素及び酸素に対する反応度の変化については、統計的なばらつきの範囲内であり、有意な差異は確認

できなかった。このため、炭化したフェノリックフォームの組成としては、水素を無視することで十分に安全側な仮定となっていること、及び、炭化という事象を考慮し、水素及び酸素のみを無視するという安全側な仮定を適用し、未臨界評価を行うこととした。

#### 4. 燃料領域高さの変化による反応度の変化

燃料領域高さの変化による反応度の変化を確認するため、輸送容器中に濃縮度  %、内容器当たり  kg の  $UO_2$  粉末が装荷されている場合の燃料領域高さごとの反応度を確認する。なお、輸送物については、一般の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の 5 倍以上 ( 個) 置く場合と特別の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の 2 倍以上 ( 個) 置くとした場合において確認する。

確認した結果を図 5 に示す。確認結果より、実効増倍係数は燃料領域高さに依存することが明らかとなった。このため、収納物ごとに燃料領域高さを考慮したサーベイ計算を行うこととした。

#### 5. 一般及び特別の試験条件下に輸送物を置いた場合の配列系における反応度の比較

一般の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の 5 倍以上 ( 個) 置く場合よりも、特別の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の 2 倍以上 ( 個) 置くとした場合の方が安全側な仮定であることを示すため、輸送容器中に濃縮度  %、内容器当たり  kg の  $UO_2$  粉末が装荷されている場合の一般及び特別の試験条件下に輸送物を置いた場合による反応度の比較を行う。また、反応度の比較を行う際には、反応度が最大となる燃料領域高さにおける反応度を比較する。なお、条件の違いによる反応度の差異を明確にするため、統計誤差を小さくすることを目的に、ヒストリ数は「E.1.4.4 計算結果」に示す未臨界評価の  倍としている (統計誤差は  となる)。

比較した結果を図 6 に示す。比較結果より、一般の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の 5 倍以上 (512 個) 置く場合よりも、特別の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の 2 倍以上 (216 個) 置くとした場合の方が、反応度は高く、安全側な仮定であることが明らかとなった。以上のことから、特別の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の 2 倍以上 ( 個) 置くとした場合の評価結果を用いて未臨界評価を行うこととした。

6. 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直径変化による反応度の変化

長尺粉末収納缶を使用し、輸送容器中に濃縮度  %、内容器当たり  kg の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の燃料領域直径変化による反応度の変化を 図 7 に示す。

結果より、反応度は燃料領域直径に依存しており、燃料領域直径  cm の状態で最大となることが確認できた。

7. 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域の偏心による反応度の変化

長尺粉末収納缶を使用し、輸送容器中に濃縮度  %、内容器当たり  kg の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の燃料領域の偏心の有無による反応度の変化を 図 8 に示す。

結果より、反応度は燃料領域の偏心の有無に依存しており、燃料領域の偏心がない状態で最大となることが確認できた。

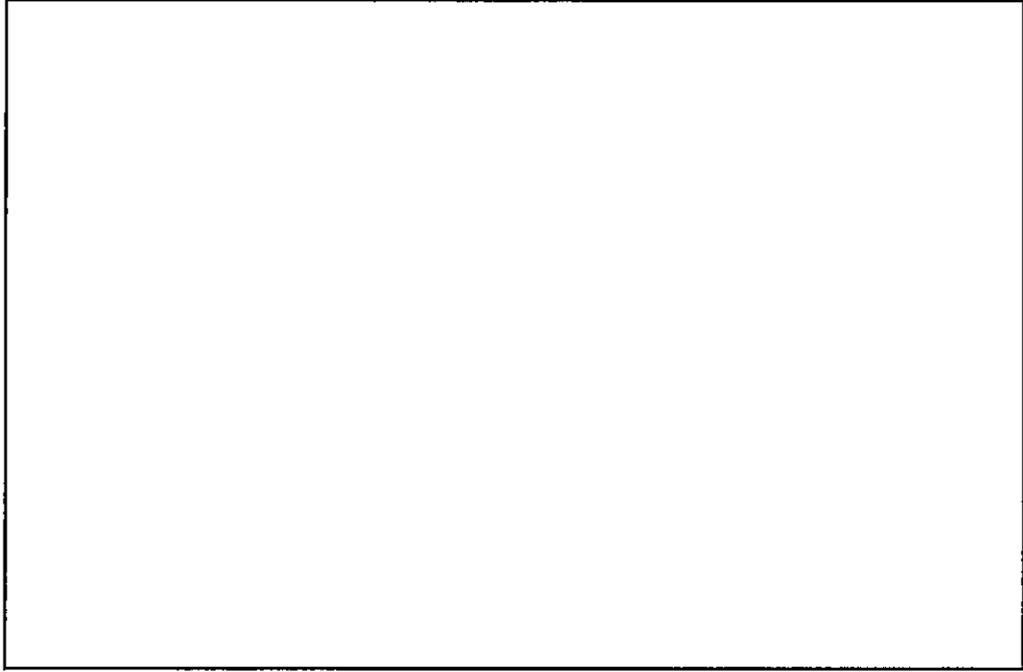


図 1 内容器内部の水密度変化に対する反応度変化

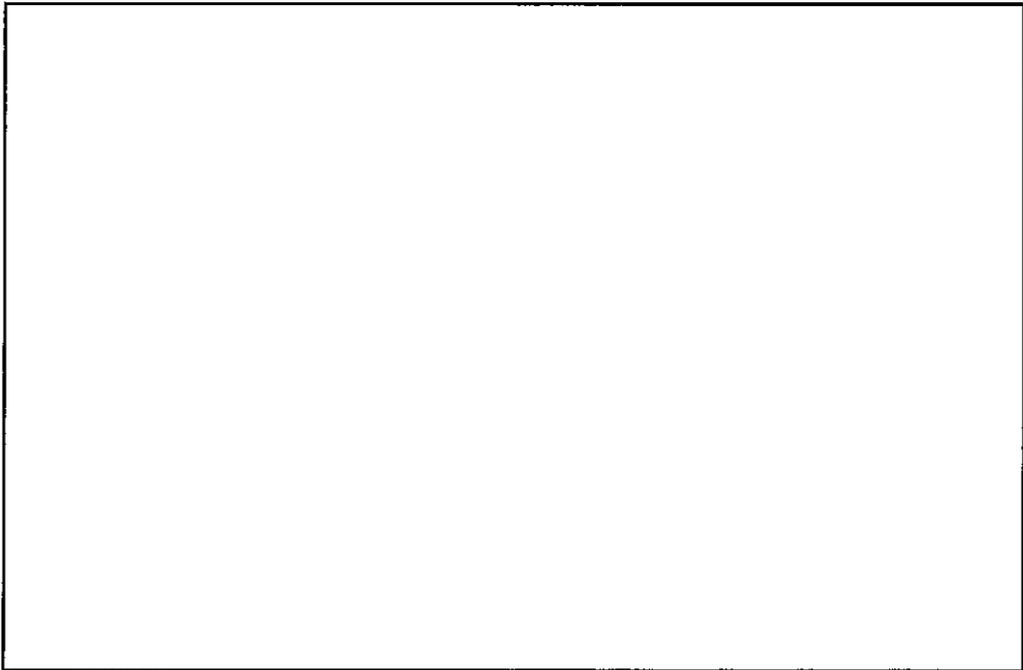


図 2 外蓋部の水密度変化に対する反応度変化

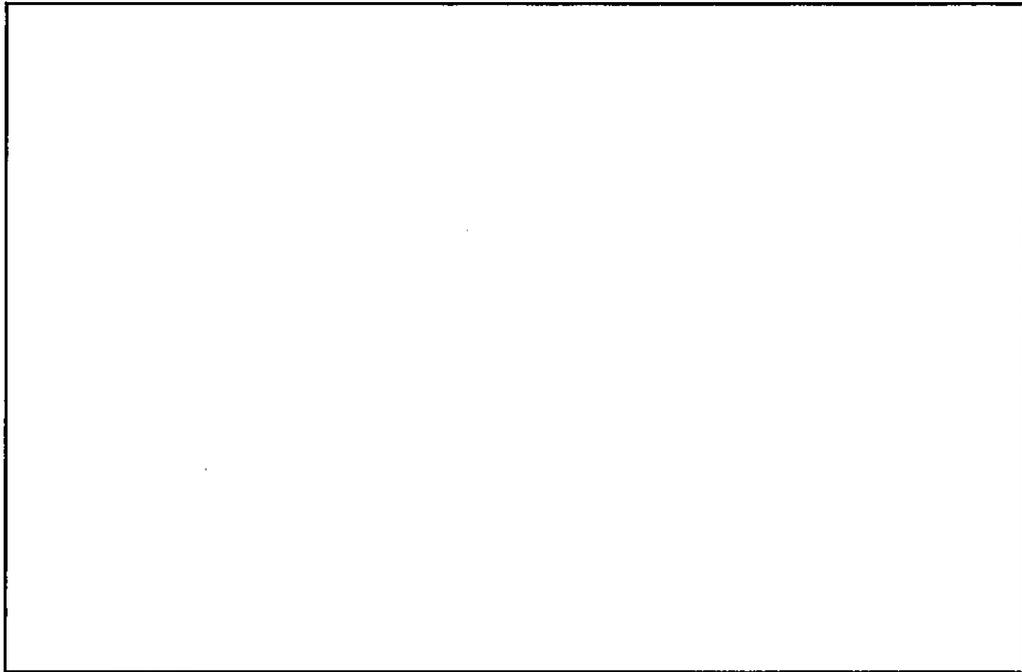


図3 フェノリックフォーム中の水密度変化に対する反応度変化

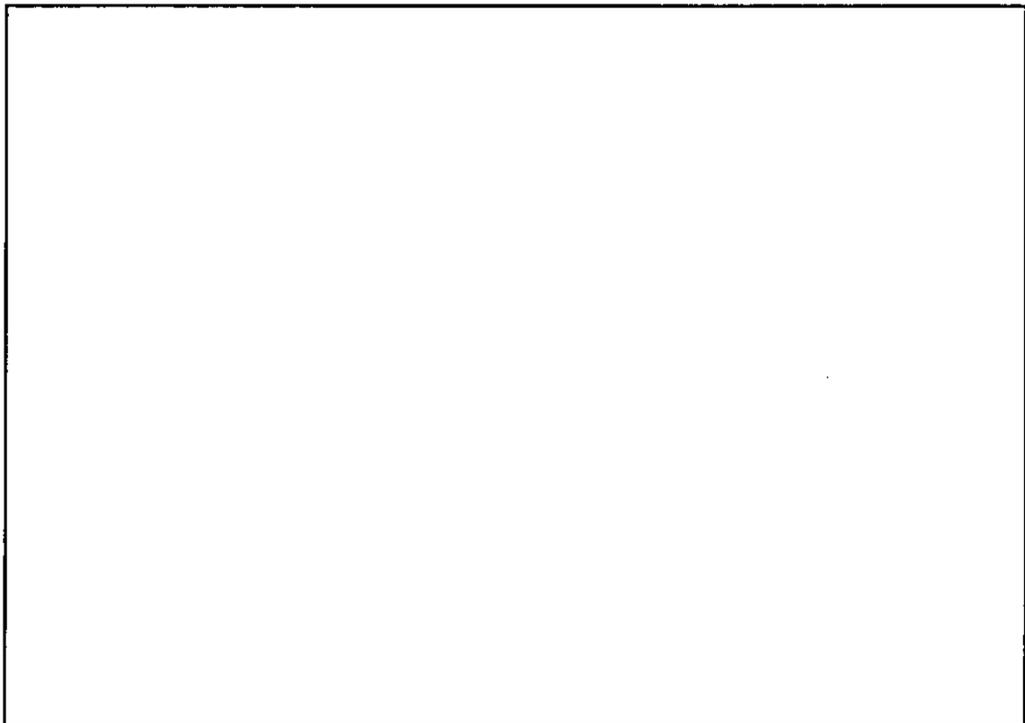


図4 炭化したフェノリックフォームの組成の変化による反応度の変化

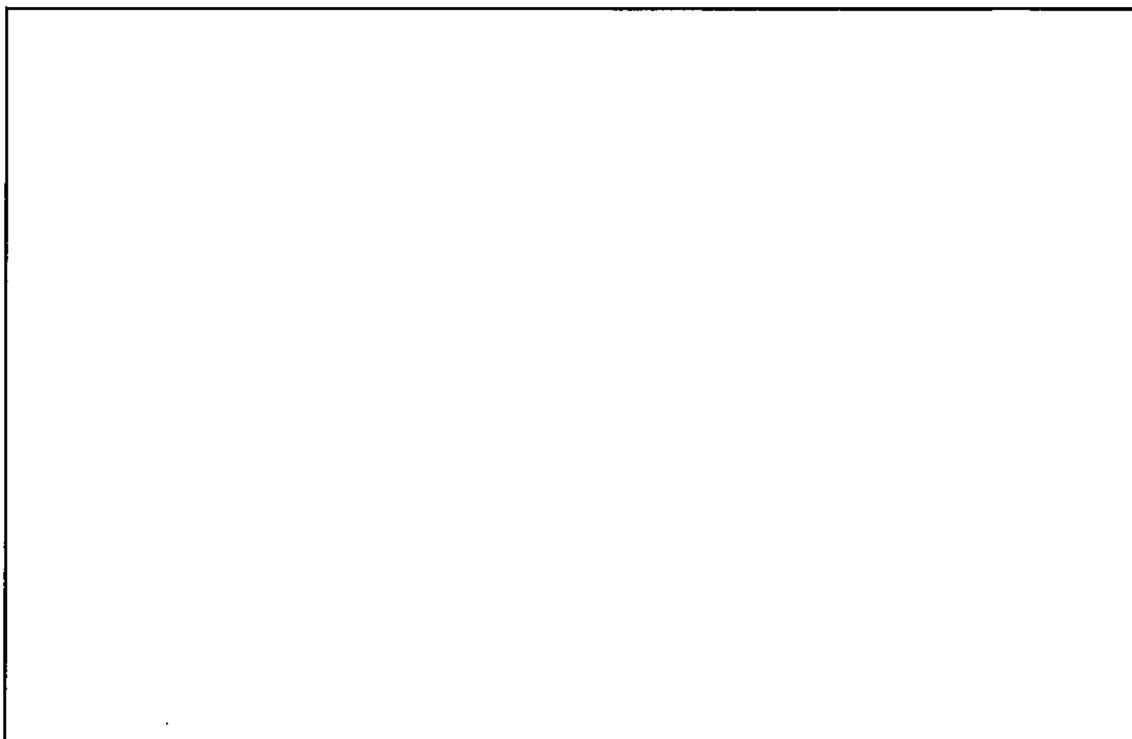


図 5 燃料領域高さの変化による反応度の変化

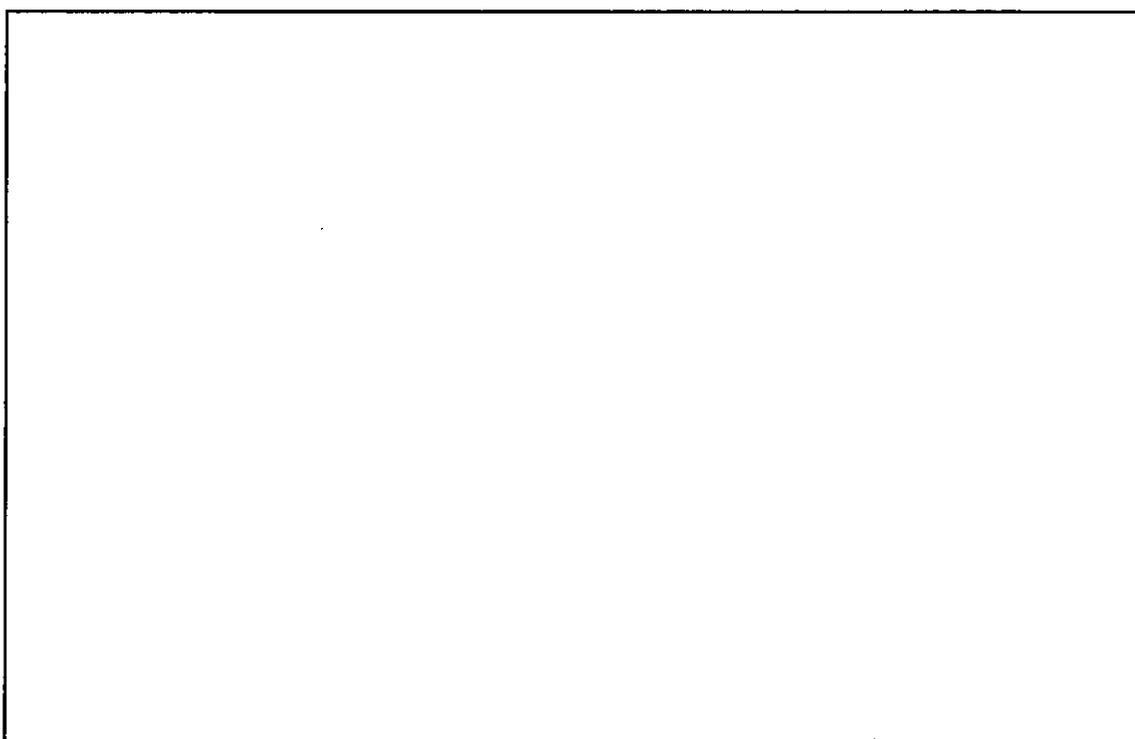


図 6 一般の試験条件下に輸送物を置いた場合と特別の試験条件下に輸送物を置いた場合  
における計算結果の比較

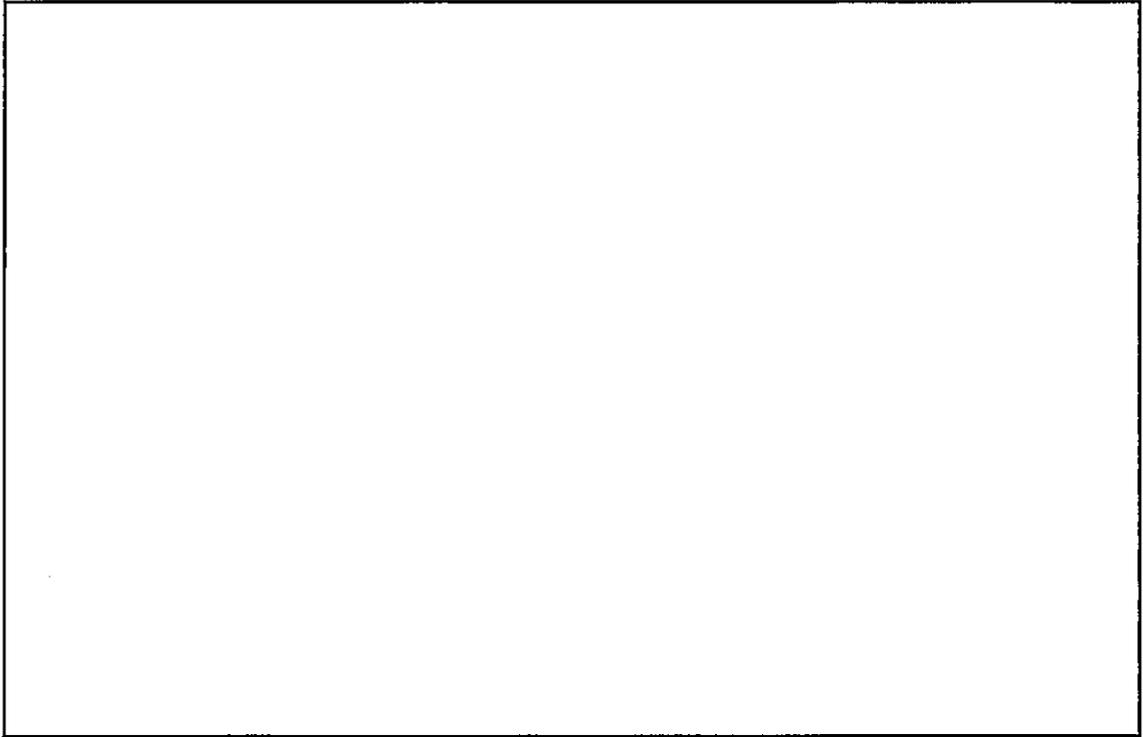


図 7 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直径変化による反応度の変化

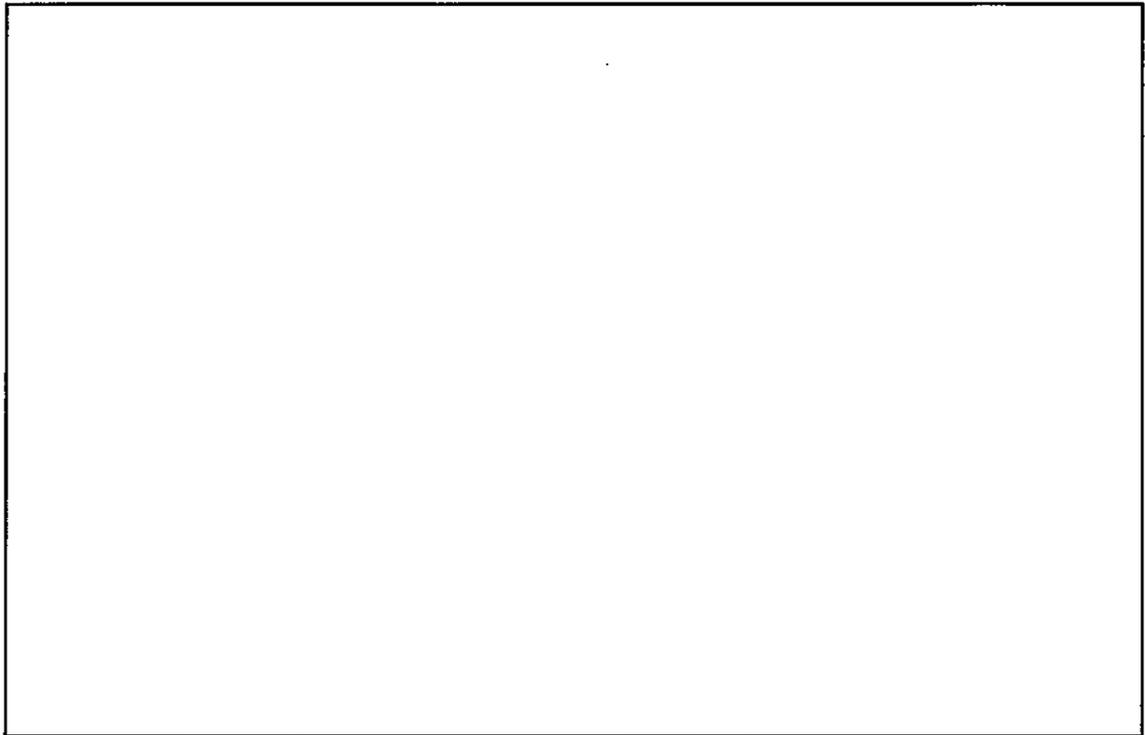


図 8 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直の偏心による反応度の変化

(ロ)E 付属資料 2

均質体系の評価に対する非均質体系の影響度

1. 収納物の非均質性

本評価において対象となる収納物 (UO<sub>2</sub>) は、物理的・化学的性質が不連続に変化することから、非均質体系としてモデル化する必要がある\*1。

2. 均質体系に対する非均質体系の影響度

均質体系としての評価に非均質体系の影響を、「臨界安全ハンドブック第2版」図3.7\*2を用いて考慮し、評価した。

濃縮度□%の場合、「臨界安全ハンドブック第2版」図3.7から、球の直径が□mmまでは、非均質効果は単調に増加しているが、球の直径が□mm以上においても、非均質効果は単調に増加するわけではなく、他の濃縮度における球の直径と非均質効果の関係から、濃縮度□%においても、非均質効果が最大となる球直径が存在することが分かる。さらに、濃縮度□%における球の直径と非均質効果の関係を表した曲線の傾向から、非均質効果として□%を見込めば十分安全側の評価であることも分かる。そのため、本評価においては、非均質効果を□%と見込んで安全側の評価とする。

\*1 「臨界安全ハンドブック第2版」編集兼発行 日本原子力研究所 1999年3月 p31

\*2 「臨界安全ハンドブック第2版」編集兼発行 日本原子力研究所 1999年3月 p61