

(口)A 付属資料 5

5. 主要材料の温度特性

5.1 ステンレス鋼の低温特性

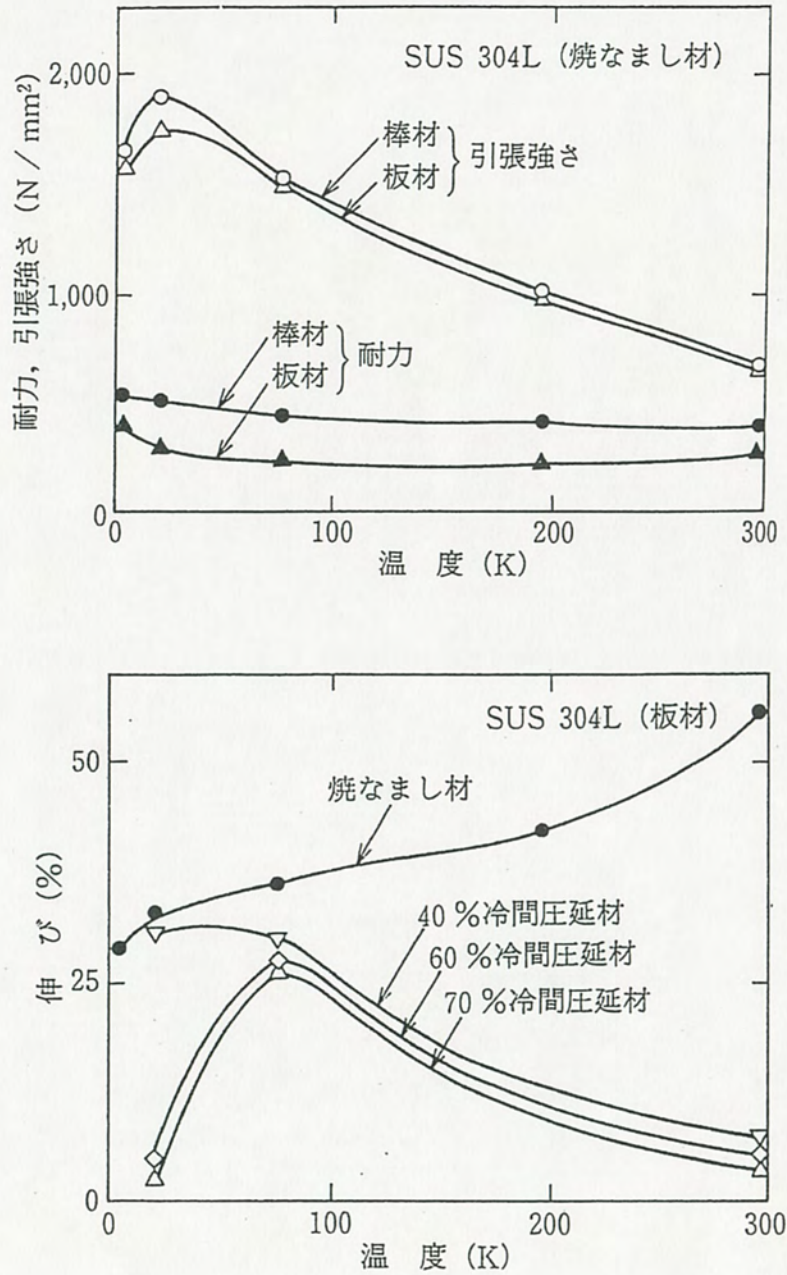


図 5.1 SUS304L の低温引張特性¹⁾

1) ステンレス鋼便覧 (第 3 版), 日刊工業新聞社 (1995)

5.2 アルミニウム合金の低温特性

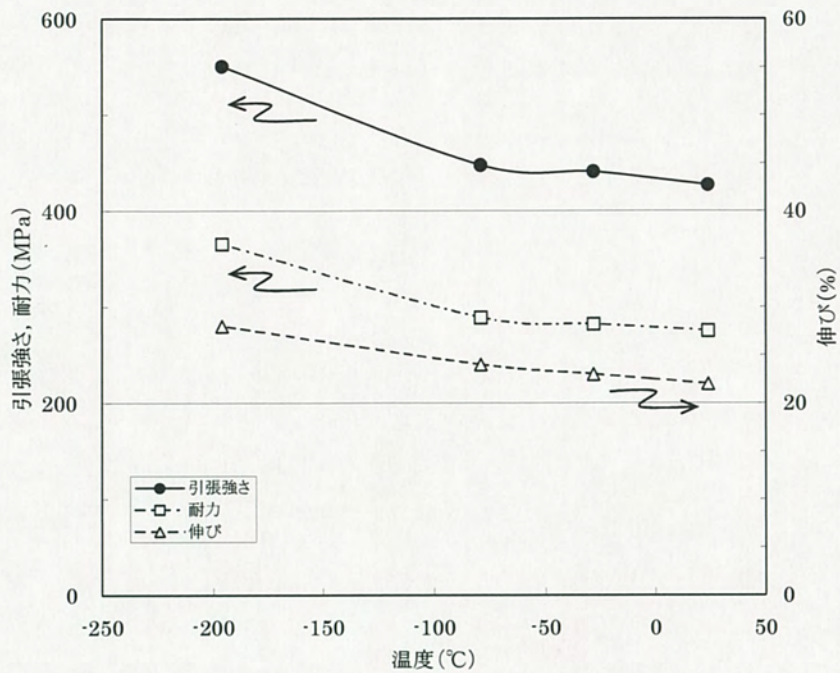


図 5.2 アルミニウム合金 (2017) の低温引張特性²⁾

2) アルミニウム技術便覧 (第 1 版), 軽金属出版株式会社 (1985)

5.3 フェノリックフォームの低温強度並びに熱的特性

(1) 低温強度

下表に示すように -40°C においても、フェノリックフォームは十分な強度を有している。

フォーム名	
密度 [20°C]	
最小圧縮強度 [20°C]	
最小圧縮強度 [-40°C]	

(2) 熱的特性

① 熱伝導率

フェノリックフォームの温度変化による熱伝導率変化測定結果を下表に示す。

温 度	熱伝導率
	W/m·K
	W/m·K
	W/m·K

② 比熱

フェノリックフォームの常温における比熱測定結果を下表に示す。

温 度	比 熱
常温 (20°C)	<input style="width: 30px;" type="text"/> kJ/kg·K

③ 潜熱

フェノリックフォームの常温における潜熱測定結果を下表に示す。

温 度	潜 熱
常温 (20°C)	<input style="width: 30px;" type="text"/> kJ/kg

5.4 EPDM の高温並びに低温特性

(1) 高温特性

トランスニュークリア社が 1999 年に実施した EPDM ガスケットに対する高温特性試験の結果をまとめた資料 (11965-B-7) によると、EPDM は短期間であれば °C においても気密性を維持することが確認されている。

その試験方法と試験結果は以下のとおりである。

a. 試験方法

直径 10 mm の O リングを用いて、二つのフランジの間に 8 本のボルトで締め付けた状態で以下の 3 条件のもとで気密性を測定する。

気密測定にはヘリウムリーク試験を採用している。

条件 1 : 温度 °C、期間
条件 2 : 温度 °C、期間
条件 3 : 温度 °C、期間

b. 試験結果

使用の可否の判定基準は漏えい率が $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ を超えないことである。

各条件に対する結果を下表に示す。

(単位 : $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)

項目	試験開始前	試験終了後	合 否
条件 1	0.8×10^{-6}	0.8×10^{-6}	合
条件 2	0.2×10^{-6}	0.5×10^{-6}	合
条件 3	0.8×10^{-6}	0.9×10^{-6}	合

c. 結論

EPDM ガスケットは °C においても短期間であれば使用可能である。

(2) 低温特性

EPDM の最低使用温度は $-40 \text{ }^\circ\text{C} \sim -60 \text{ }^\circ\text{C}$ である。¹⁾

1) : 「ゴムの辞典」朝倉書店, 奥山道夫他, 2000

5.5 BORA レジンの強度並びに熱的特性

(1) 強度の温度依存性

下表に示すように -40°C 又は $\square^{\circ}\text{C}$ においても、BORA レジンは十分な強度を有している。

温度		圧縮強度	
-40°C		\square	MPa
$\square^{\circ}\text{C}$		\square	MPa
$\square^{\circ}\text{C}$		\square	MPa

(2) 熱的特性

① 熱伝導率

BORA レジンの温度変化による熱伝導率変化測定結果を下表に示す。

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

② 比熱

BORA レジンの温度変化による比熱変化測定結果を下表に示す。

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	比熱 ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)

(ロ)A 付属資料 6

6. 輸送物総重量の検討

輸送物総重量の検討

1. 原型容器落下試験

安全解析書に記述した原型容器試験では、表 6.1 に示す 5 基の原型容器を試験に使用した。

表 6.1 原型容器試験に用いた原型容器総重量

試験内容	原型容器番号	輸送物総重量
予備試験	P1	□ kg
	P2	□ kg
本試験	P3	□ kg
	P4	□ kg
追加落下試験	P5	□ kg

表に示すように、原型容器 P3 を除き、全てが □ kg 以上の総重量であり、原型容器試験結果をそのまま安全解析に用いても差し支えない。

原型容器 P3 は輸送物総重量制限値である □ kg に比べ □ kg 軽いですが、原型容器 P2 を用いた予備試験において同一の試験を実施しており、その結果と比較することができる。

2. 予備試験結果

予備試験では、原型容器 P1 に対して“密封境界に熱的に厳しい損傷”を与えるため、密封境界の中で熱的に厳しいガスケット部が近い容器上面への局所的な損傷、又はフォーム全体への損傷を与える落下姿勢を考慮し、試験を実施した。

また、原型容器 P2 に対しては“臨界解析に影響を及ぼす損傷”を与えるため、輸送容器外形寸法の変化又は □ 狭める変形を与える落下姿勢、又は外殻鋼板に裂け目を与え未臨界性担保において重要な中性子吸収材 (BORA レジン) に対して熱的に影響を及ぼす落下姿勢、さらに外蓋が外れるような損傷を与える落下姿勢を考慮し、試験を実施した。

予備試験の結果をもとに、本試験の試験内容を検討し、表 6.2 に示す原型容器 P1 に相当する原型容器 P4 を用いた試験と、表 6.3 に示す原型容器 P2 に相当する原型容器 P3 を用いた試験を本試験として実施した。(本試験では、表中○をつけた試験を選択した)

表 6.2 密封境界に熱的に厳しい試験順序

項目	予備試験 (原型容器 P1)	本試験 (原型容器 P4)
落下試験Ⅱ (ターゲット、高さ 1 m)	・ 輸送物側面中央 (落下角度 <input type="text"/>)	○
	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	
	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/>)	
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/>)	
	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	○
落下試験Ⅱ (ターゲット、高さ 1 m)	・ 外蓋バイオネット嵌合部間 (落下角度 <input type="text"/>)	○
	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/>)	

表 6.3 臨界解析に影響を及ぼす試験順序

項目	予備試験 (原型容器 P2)	本試験 (原型容器 P3)
落下試験Ⅱ (ターゲット、高さ 1 m)	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	○
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	
	・ 外蓋ハンドル部 (落下角度 <input type="text"/>)	
	・ 外蓋回り止めデバイス止めピン (落下角度 <input type="text"/>)	
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	○
	・ 輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/>)	
	・ 輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/>)	
落下試験Ⅱ (ターゲット、高さ 1 m)	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	○

3. 原型容器設計変更点

次に、原型容器 P2 と原型容器 P3 の設計の差異について説明する。

原型容器 P2 と原型容器 P3 の設計が落下試験に影響を与えない範囲で同一であれば、その結果を比較することで安全評価上問題ないことがいえる。

表 6.4 に、予備試験と本試験に用いた原型容器の設計が異なる点並びに当該変更が原型容器 P3 の落下試験結果に与える影響を記述する。

表 6.4 原型容器の設計変更とその影響

原型容器設計変更点	設計変更が原型容器 P3 の落下試験結果に与える影響
可融栓の形状、数量の変更	容器外側ケースに設けた可融栓の形状を少し大きくし、個数を減らしたものであるが、容器全体の強度に変化はなく、落下試験における輸送物挙動に影響は与えない。
スタッキングピン構造の変更	輸送物上面に位置するものであり、原型容器 P3 の落下姿勢においては底面及び側面を落下面としていることから、落下試験結果に影響は与えない。
脚部構造の変更	脚部は板厚 <input type="text"/> mm のステンレス鋼板で構成されており、取り扱い時の変形防止のため、脚部中間部に補強板を追加したものである。脚部は原型容器 P3 の落下面である底面にあるが、落下試験Ⅱにおいては脚部の間をターゲットとしていることから、落下試験結果に影響は与えない。
上部コーナーのフェノリックフォーム変更	上部コーナーのフェノリックフォームを高密度に変更しコーナー部の対衝撃性を高めたものであるが、側面全体から考えると、当該部分の割合は <input type="text"/> %以下であり影響は小さい。また、原型容器 P3 に対する落下試験Ⅰの側面落下では内容物の位置する中央部分が主要な衝撃緩衝位置となるため、本変更による影響はわずかである。(実際、表 6.5 に示すように落下試験結果は変更前と同等である。)
内容器フランジ設計の改良	輸送物総重量軽減のため、内容器フランジの一部を <input type="text"/> に追加加工したものであるが、容器内部の構造変更であり、前述したように原型容器 P3 の落下試験は臨界解析に影響を及ぼす損傷を与えることを目的としていることから、落下試験結果に影響は与えない。

表 6.4 に記述したように、原型容器 P2 と原型容器 P3 の設計は落下試験に影響を与えない範囲で同一であるといえる。

4. 試験結果の検討

P3の落下試験内容とその結果並びにそれに対応するP2の試験結果を表6.5に記述する。

表 6.5 落下試験結果の比較

試験項目	原型容器 P3	原型容器 P2
落下試験Ⅱ (ターゲット、高さ 1 m) ・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れ寸法：長さ約 <input type="text"/> mm	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れは生じていない
落下試験Ⅰ (高さ 9 m) ・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形：最大 <input type="text"/> mm 平均約 <input type="text"/> mm 容積減少：約 <input type="text"/> %	圧縮変形：平均約 <input type="text"/> mm 容積減少：約 <input type="text"/> %
落下試験Ⅱ (ターゲット、高さ 1 m) ・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れ寸法：長さ約 <input type="text"/> mm 最大幅 <input type="text"/> mm の割れ	圧縮変形：局所的(未測定) 割れ寸法：長さ約 <input type="text"/> mm 最大幅 <input type="text"/> mm の割れ

表 6.5 から明らかなように、原型容器 P3 と原型容器 P2 の試験結果は多少の差はあるもののばらつきの範囲内であり、ほぼ同等であるといえる。

原型容器 P3 の落下試験は臨界解析に影響を及ぼす損傷を与えることを目的として実施しており、試験結果は臨界解析の損傷輸送物モデル化に使用している。

具体的には、臨界解析モデルにおいて、落下試験Ⅰによる輸送物の圧縮変形量は原型容器 P3 と原型容器 P2 の両方の変形を包含した値である mm としている。内容器 は耐火試験後に解体した原型容器 P3 の変形量測定値のうち、最低値である mm を用いている。この変形量は原型容器 P3 と原型容器 P2 の容器本体変形量が同等であったことから、妥当な値であるといえる。

落下試験Ⅱの輸送物側面変形並びに割れについては、耐火試験におけるフェノリックフォームの燃焼状況から割れ幅とは関係なく直径 mm の円筒状に内容器外表面までフェノリックフォームが炭化するものとしており、原型容器 P3 と原型容器 P2 の両方の変形に対して保守的な評価となっている。

このように、原型容器 P3 は輸送物総重量制限値である kg に比べ kg 軽い、 %程度の重量の違いは落下試験結果に影響を与えていないこと、臨界解析に用いている変形量は実測値に基づく保守的な評価をしていることから、原型容器落下試験結果を用いて安全解析を行うことは妥当である。

(ロ)A 付属資料 7

7. 固有振動数導出に係る補足説明資料

1. 固有振動数の導出

固有振動数を導出するにあたって使用したプログラム(FAP-3)、及び固有振動数評価にて作成した解析モデルについて説明する。

2. FAP-3 について

本評価に用いたプログラム(FAP-3)とは、株式会社構造システムが開発した線材（部材）と平板要素で構成された任意形状構造の弾性応力解析、及び固有振動数解析を行うためのプログラムである。材質、断面情報、拘束条件等のインプットを入力し、立体フレームモデルを作成することで発生する固有振動数や応力を導出することが可能である。

3. 解析モデル

3.1 概要

本解析モデルの概要図を図 7.1 に示す。本モデルでは外容器と内容器、及びそれらの間に充填されている耐熱衝撃吸収材を、平板要素を用いてモデル化した。実物と同様立方体の形状を有している。6面の平板要素で構成された容器の外壁と、内容器同士を隔てる内部の平板要素 4面 でモデルを構成している。

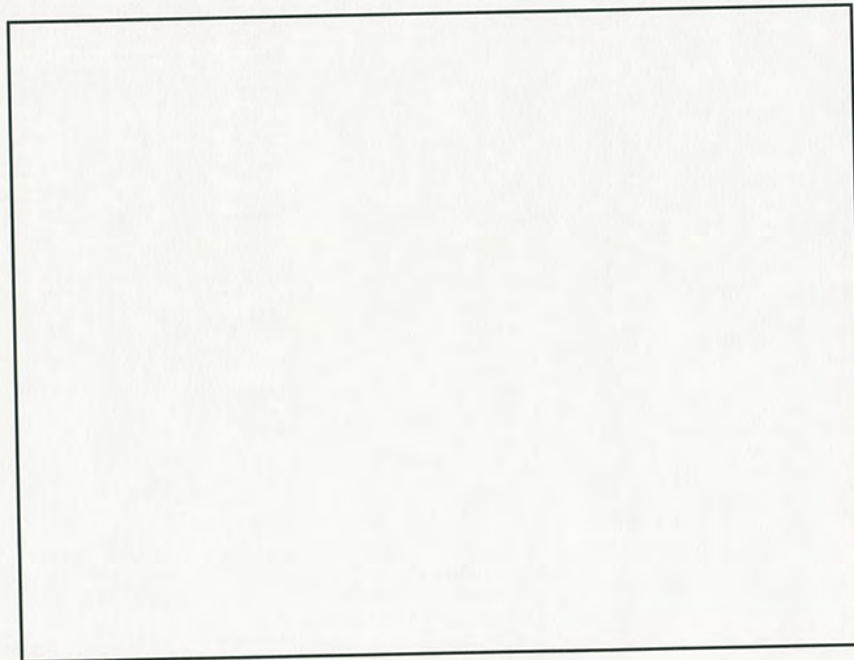


図 7.1 モデル概要図

3.2 容器外壁についてのモデル化

容器外壁のモデル化要素を図 7.2 に示す。TNF-XI の外壁を平面板要素 6 面でモデル化したものであり、外容器と内容器の間隔が最も小さくなる箇所を平面板要素の厚みとして採用している。そのため、本モデルの固有振動数は実体より小さくなっている。平面板要素の剛性については、外容器と内容器のステンレス鋼、及び外容器と内容器の間に充填されたフェノリックフォームを考慮している。

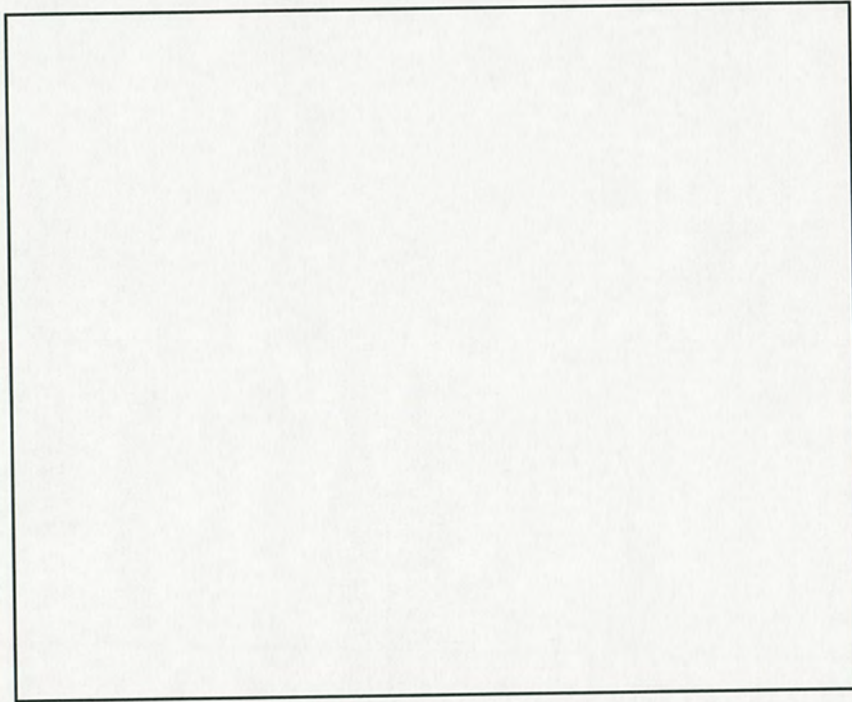


図 7.2 容器外壁のモデル化要素

3.3 容器内部のモデル化

容器内部のモデル化要素を図 7.3 に示す。TNF-XI の内容器同士を隔てた板要素をモデル化したものである。内容器同士の間隔が最も小さくなる箇所を平板要素の厚みとして採用している。そのため、本モデルの固有振動数は実体より小さくなっている。平板要素の剛性については、内容器のステンレス鋼、及び内容器間に充填されたフェノリックフォームを考慮している。

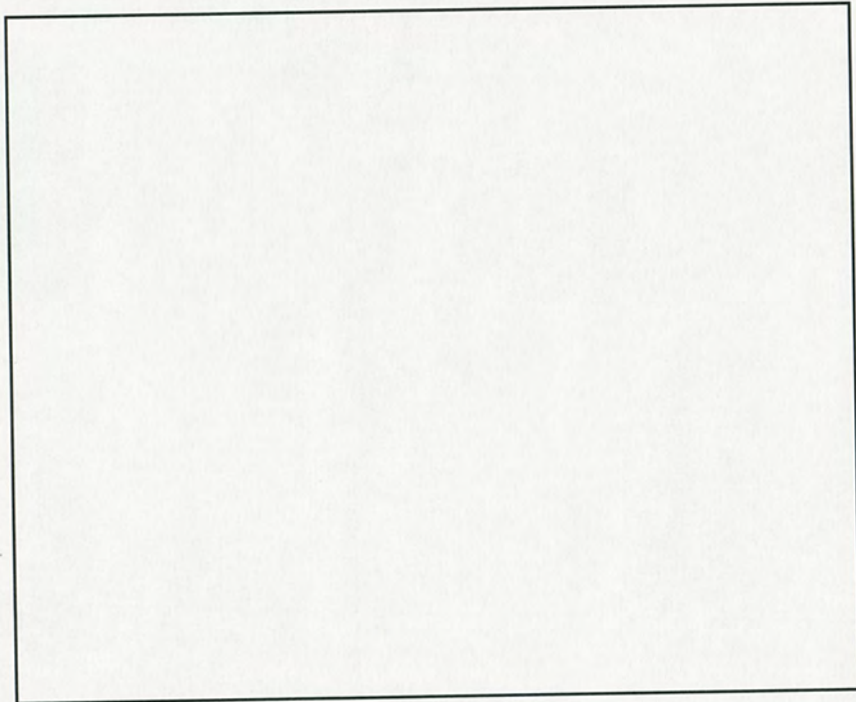


図 7.3 容器内部のモデル化要素

3.4 拘束条件

本解析モデルの拘束条件を図 7.4 に示す。赤丸で囲った 8 点が拘束点となる。

輸送中の容器は、容器同士、固縛機材やコンテナ等によって 4 辺を面で抑えて固定するが、モデル上における拘束点は下面のみで拘束する形でモデル化した。そのため、本モデルの固有振動数は実体より小さくなっている。拘束点は全て移動拘束のみであり、回転拘束はかけていない。

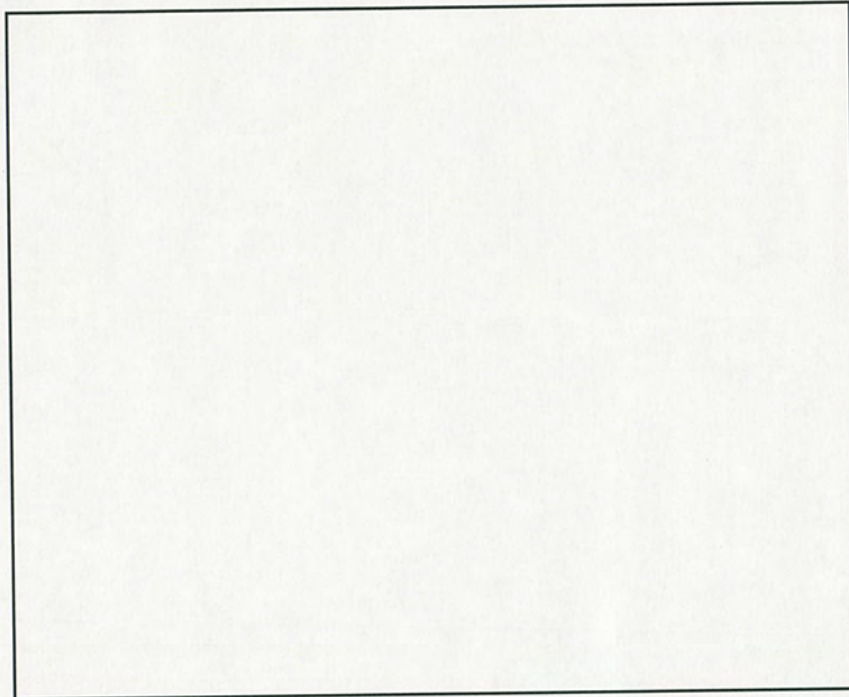


図 7.4 容器内部のモデル化要素

4. 解析結果

3で述べた解析モデルの固有振動数を求めた結果、固有振動数は□ Hz となった。この固有振動数は輸送中のトラックにおける固有振動数と比べて大きく、共振する恐れがないことが確認出来た。

(ロ)A 付属資料 8

8. ブロッキングシステムの落下時健全性
及び
ブロッキングシステム装荷による輸送物への影響評価

8.1. はじめに

本文書では、落下時におけるブロッキングシステムの健全性評価及びブロッキングシステム装荷による輸送物への影響評価をまとめる。ブロッキングシステムは(イ)D で示した通り、落下時の衝撃力を低減するため内容容器内に装荷する収納物である。

8.2. 落下時におけるブロッキングシステムの健全性評価

ブロッキングシステムを収納した状態で 9m 落下した場合の、ブロッキングシステムの健全性評価を行う。

落下時には内容容器内の収納物（核燃料物質、粉末収納缶、ブロッキングシステム）の全重量が、内蓋と粉末収納缶との間に収納されるステンレス鋼製スペーサ、及びプラスチックスペーサに負荷される。これらのうち、強度の低いプラスチックスペーサを対象に健全性評価を行う。

最も厳しい条件として、特別の試験条件である落下試験 I と同じ高さ 9m からケース 1 及びケース 3 の収納物の最大重量を有した輸送物を落下させた場合の評価を行う。また、収納物の全重量がプラスチックスペーサに負荷するよう、輸送容器上面を下向きにして落下する条件とする。

プラスチックスペーサに加わる圧縮応力 σ は以下の式で表される。

$$\sigma = \frac{M \times a}{A}$$

M : 内容容器内の収納物最大重量

a : 衝撃加速度

A : 荷重を受ける面積

ここで、各パラメータは以下の通りである。

項目	設定値	設定根拠
M	100kg	ケース 1 及びケース 3 の収納物の最大重量 96.5kg を元に保守的に設定。
a	5194m/s ²	原型容器 P3 の落下試験 I の結果 (A.9.2.2 参照) を元に、以下の式から算出。 <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 50px; margin: 10px auto;"></div>
A	1.9×10 ⁴ mm ²	プラスチックスペーサが荷重を受ける面積を元に保守的に設定

プラスチックスペーサにかかる圧縮応力 σ は

$$\sigma = \square \text{MPa}$$

プラスチックスペーサの圧縮強さは 100MPa 以上であるため、落下時の衝撃により破損することはない。

8.3. ブロッキングシステム装荷による輸送物への影響評価

ここでは、ブロッキングシステム装荷による輸送物への影響を確認する。各項目について、影響確認結果を表1に示す。

表1に示す通り、いずれの項目においてもブロッキングシステム装荷によって輸送物に悪影響を与えることはない。

表1 ブロッキングシステム装荷による輸送物への影響評価

輸送物への影響を考慮する項目	影響確認結果
ブロッキングシステムの重量に係る対応	落下試験 ((ロ)A.9 参照) に用いた原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末を、TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg ((イ)・第2表及び(イ)・第5表参照) より 16kg 多い 300kg にすることで、ブロッキングシステムの重量を考慮している。したがって、安全解析においては、ブロッキングシステムの重量を考慮した条件で評価を行っている。
運搬中に予想される温度範囲での熱的特性	ブロッキングシステムの運搬中に予想される温度範囲は-40℃から 52℃である((ロ)B.4.6 参照)。センタリングシステム及びプラスチックスペーサには、予想される温度範囲で熱的に安定な材料であるポリオキシメチレン (使用可能温度：-40℃～100℃、(イ)D.1.2 参照) を採用している。
熱膨張による影響	センタリングシステムと内容器側面及び粉末収納缶のギャップは、それぞれ <input type="text"/> mm 以上あるため、熱膨張により接触する恐れはない。 プラスチックスペーサと内蓋については、熱膨張を考慮しても内蓋と接触しないように内容器に収納するプラスチックスペーサの枚数を調整するため、熱膨張により接触する恐れはない((ロ)A.5.1.2 参照)。
輸送物回りの線量当量率への影響	ブロッキングシステムは核燃料物質より外側に配置されるため線量を下げる効果がある。また、収納物である核燃料物質から発生する中性子源強度は小さく、ブロッキングシステムからの二次放射線は無視できる。
未臨界性への影響	臨界評価については、本輸送物の内容器内が水に満たされた状態で臨界に達しないことを確認している。ポリオキシメチレンの水素原子個数密度は水の 85%程度であるため、中性子の反射効果及び減速効果が水より低くなる。したがって、臨界解析においては、ブロッキングシステムを水に置き換えた条件で評価を行っている((ロ)E.1.2 及び(ロ)E.3.2 参照)。
経年変化の影響	センタリングシステム及びプラスチックスペーサの材質であるポリオキシメチレンについて経年変化の考慮について評価を実施した結果、熱・放射線・化学・疲労のいずれの要因においても経年変化の影響を考慮する必要はないことから(ロ)F・第5表参照)、ブロッキングシステムの装荷による経年変化への影響は発生しない。

(ロ)－B 熱解析

B.1 概要

(1) 熱設計

本輸送容器は内容器と外容器からなる二重構造をしており、内容器と外容器の間に耐熱衝撃緩衝材を設置して、特別の試験条件である落下試験時の変形を制限すると共に、火災試験時の熱が内部まで伝わらないような構造を採用している。内容器には外蓋と内蓋を設けており、外蓋は容器本体と同様に耐熱衝撃緩衝材を設置することで火災時にも断熱構造を保ち、内蓋には所要の密封機能を満足するためのガスケットが設けられている。

(2) 熱解析

通常輸送時及び一般の試験条件下における熱的条件は、次の通りである。

最高温度条件：

輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽熱放射を受ける環境に1週間置かれる。

特別の試験条件下における熱的条件は、次の通りである。

(i) 輸送物は、0.9の周囲放射率を持つ800℃の熱放射環境に30分間さらされる(火災事故)。この場合、試験中も輸送物は12時間ごとに太陽熱放射を受ける。

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

本輸送物は、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において外容器に変形を生じるので輸送物の熱的性能は、これらの変形の影響を受けると考えられる。

一般の試験条件下では、外容器に若干の変形を生じるが、変形していないとする方が表面積が大きくなり太陽入熱量が多くなるので収納物の温度を高く評価する。したがって、一般の試験条件下の熱解析では、外容器には変形がないものとして安全側に評価する。なお、ケース1とケース3では収納物の形状に変わり無く、ケース1の収納物は粉末収納缶3缶を縦に重ねた形状とケース2の長尺粉末缶の形状はほぼ同等なため、一般の試験条件下の熱解析においては、ケース1、ケース2及びケース3の評価は共通とする。また、収納物であるプラスチックスペーサ、センタリングシステム、及びステンレス鋼製スペーサ(以下、これらを一括して「ブロッキングシステム」と称す)やウラン酸化物及びウラン残渣等の収納物は、内容器やガスケットの温度に大きく影響しないことから、ブロッキングシステムを収納せず300kgのウラン酸化物を収納した場合を代表して評価する。

特別の試験条件下では、落下試験における変形量を考慮し試験と解析を組み合わせで評価することとする。

落下試験における変形量は、内容器ガスケットへの入熱が最も大きくなると考えられる条件として、1.2m落下、9m落下並びに1mターゲット落下の組合せ変形量と

して評価する。なお、(ロ)Aでも述べたように、輸送物の最大重量が大きいためケース1の方がケース2より落下試験における容器の変形が大きくなると考えられる。またケース1とケース3で輸送物の最大重量は変わらない。そのため、落下試験はケース1を対象に実施している。

耐火試験は試験方法及び試験条件の確認のために実施する予備耐火試験と特別の試験条件に対する評価を目的とする本試験の2回実施する。(予備耐火試験の結果については「(ロ)B 付属資料1」参照)

計算機による熱解析は、有限要素法にもとづく定常及び非定常温度分布計算プログラム「JTACO-3D」を用いて行う。

本解析コードの概要については「(ロ)B 付属資料2」を参照のこと。

(3) 最大崩壊熱量

本輸送容器に収納するウランの崩壊熱量は、極めて微少であり無視する。

(4) 熱解析の条件及び方法

計算機による熱解析の条件及び方法を(ロ)B-第1表に示す。

一般の試験条件における輸送物最高温度は解析で求めるが、特別の試験条件における輸送物各部の温度は落下試験後の原型容器を用いた炉内耐火試験により求める。

(ロ)B-第1表 熱解析の条件と方法

項目		条件		一般の試験条件下	
	項目			最高温度評価条件	
	周囲温度			静止空気 38 °C	
環境条件	太陽熱放射			12時間入熱あり、12時間入熱なしを繰り返す	
	太陽熱放射			太陽放射熱は容器外表上面及び外表側面に付与 上面：800 W/m ² 、側面：200 W/m ²	
容器	周囲放射率			<input type="checkbox"/>	
	表面放射率			<input type="checkbox"/>	
計算モデル	輸送物			四分の一体系3次元熱伝達モデル	
	収納物			ウラン酸化物の粉末 300 kg 収納時の輸送物の温度を評価。	
温度分布計算プログラム				有限要素法温度分布計算プログラム「JTACO-3D」	
使用物物性値				「B.2 材料の熱的性質」に示す	

B.2 材料の熱的性質

輸送容器の構成材料のうち熱解析で用いる材料の熱的性質を以下に示す。

(1) ステンレス鋼

ステンレス鋼の熱的性質を(ロ)B-第 2 表に示す。この数値はエンジニアガイドブック¹⁾にもとづいている。

(2) 空 気

空気の熱伝導率は保守的な値として、常温における値である $0.025 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ を一定値として用いた。この数値は、伝熱工学資料²⁾にもとづいている。

(3) 耐熱衝撃緩衝材 (フェノリックフォーム)

耐熱衝撃緩衝材 (フォーム 、フォーム) の熱的性質を(ロ)B-第 3 表及び第 4 表に示す。このデータは、測定結果にもとづいている。(「(ロ)A 付属資料 5」参照)

(4) BORA レジン

BORA レジンの熱的性質を(ロ)B-第 5 表に示す。このデータは、測定結果にもとづいている。(「(ロ)A 付属資料 5」参照)

(5) アルミニウム合金 (ディスク)

アルミニウム合金 (ディスク) の熱的性質を(ロ)B-第 6 表に示す。アルミニウム合金 (ディスク) の熱伝導率は保守的な値として、常温における値である $134 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ に空孔率: %を考慮して $\text{W/m}\cdot\text{K}$ を一定値として用いた。

この数値はエンジニアガイドブック¹⁾にもとづいている。

(ロ)B-第2表 ステンレス鋼の熱的性質

ステンレス鋼		
密度	7850 kg/m ³	
温度 K (°C)	熱伝導率 λ (W/m·K)	比熱 C _p (kJ/kg·K)
200 (-73)	12.6	0.402
400 (127)	16.6	0.515
600 (327)	19.8	0.557
800 (527)	22.6	0.582
1000 (727)	25.4	0.611
1200 (927)	28.0	0.640

(ロ)B-第3表 耐熱衝撃緩衝材 (フォーム) の熱的性質

耐熱衝撃緩衝材	フォーム <input type="text"/>
密度 (kg/m ³)	<input type="text"/>
熱伝導率 (W/m·K)	<input type="text"/>
比熱 (kJ/kg·K)	<input type="text"/>
潜熱 (kJ/kg)*	<input type="text"/>

*製造時重量当たり

(ロ)B-第4表 耐熱衝撃緩衝材 (フォーム) の熱的性質

耐熱衝撃緩衝材	フォーム <input type="text"/>
密度 (kg/m ³)	<input type="text"/>
熱伝導率 (W/m·K)	<input type="text"/>
比熱 (kJ/kg·K)	<input type="text"/>
潜熱 (kJ/kg)*	<input type="text"/>

*製造時重量当たり

(ロ)B-第5表 BORA レジンの熱的性質

BORA レジン	BORA
密度 (kg/m ³)	□
熱伝導率 (W/m·K)	
比熱 (kJ/kg·K)	

(ロ)B-第6表 アルミニウム合金 (ディスク) の熱的性質

アルミニウム合金 (ディスク)		
密度 (*)	□ kg/m ³	
温度 K (°C)	熱伝導率 (*) λ (W/m·K)	比熱 Cp (kJ/kg·K)
200 (-73)	□	0.8
298 (25)		0.9
300 (27)		0.902
400 (127)		0.956
700 (227)		1.001
600 (327)		1.042
700 (427)		1.086
800 (527)		1.143
900 (627)		1.226

(*) 空孔率 □ を考慮

B.3 構成要素の仕様

構成要素である内容器ガスケットの仕様を下記に示す。

材 質	: EPDM (エチレン・プロピレンゴム)
硬 度	: ショアー60
使用可能温度範囲	: -40～ <input type="text"/> °C ((ロ)A 付属資料 5 参照)
形 状	: リップ型

B.4 一般の試験条件

一般の試験条件における輸送物各部の温度評価に当たっては、有限要素法温度分布計算プログラム「JTACO-3D」を使用した。

本計算プログラムの内容については「(ロ)B 付属資料 2」に説明する。

B.4.1 熱解析モデル

輸送物の一般の試験条件における最高温度の評価のための熱解析は、有限要素法に基づく定常及び非定常熱伝達計算プログラム「JTACO-3D」を用いて行った。

B.4.1.1 解析モデル

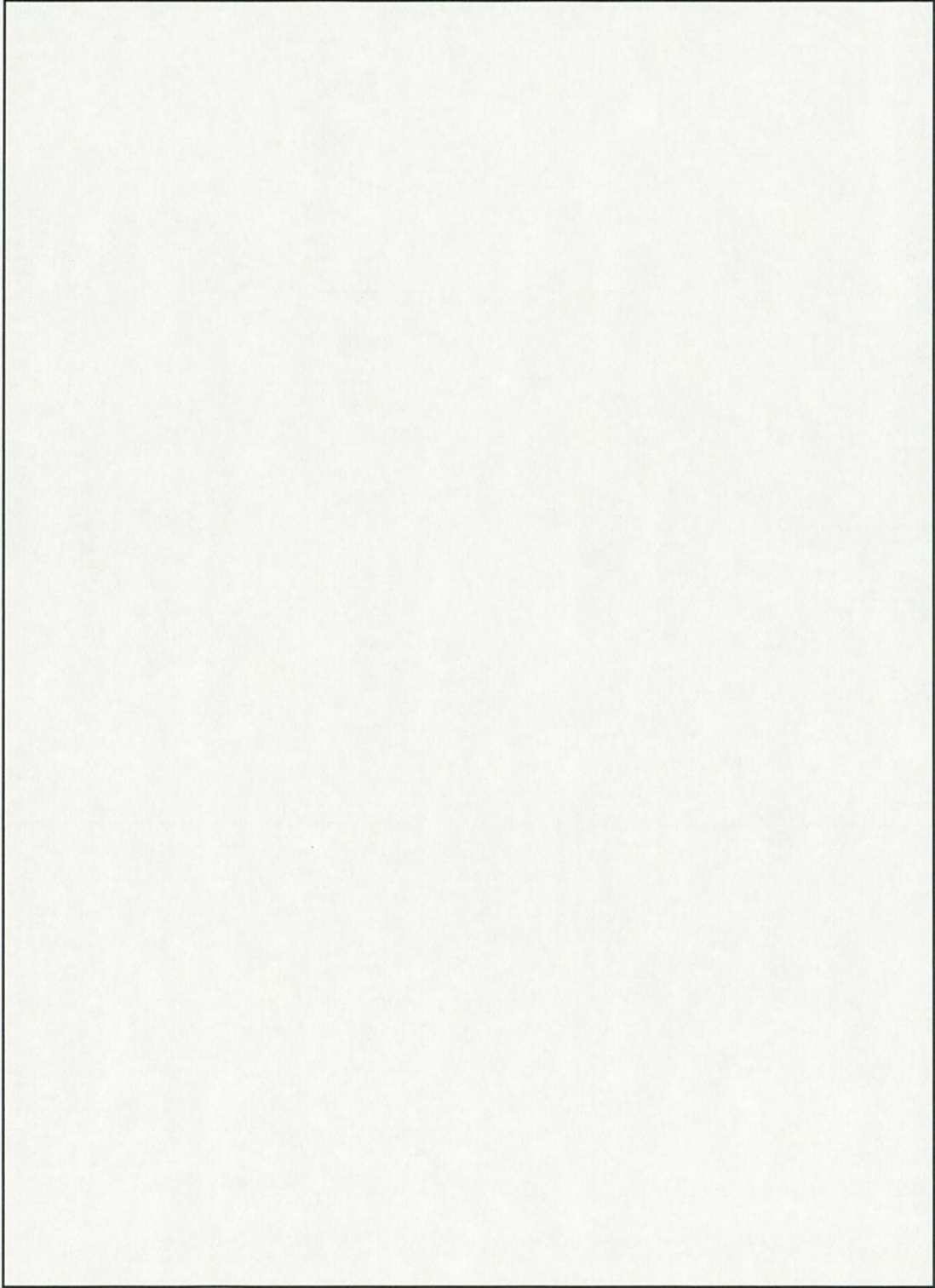
(1) 形状モデル

(ロ)B-第 1 図及び第 2 図に一般の試験条件における解析モデルの外観と要素分割図を示す。

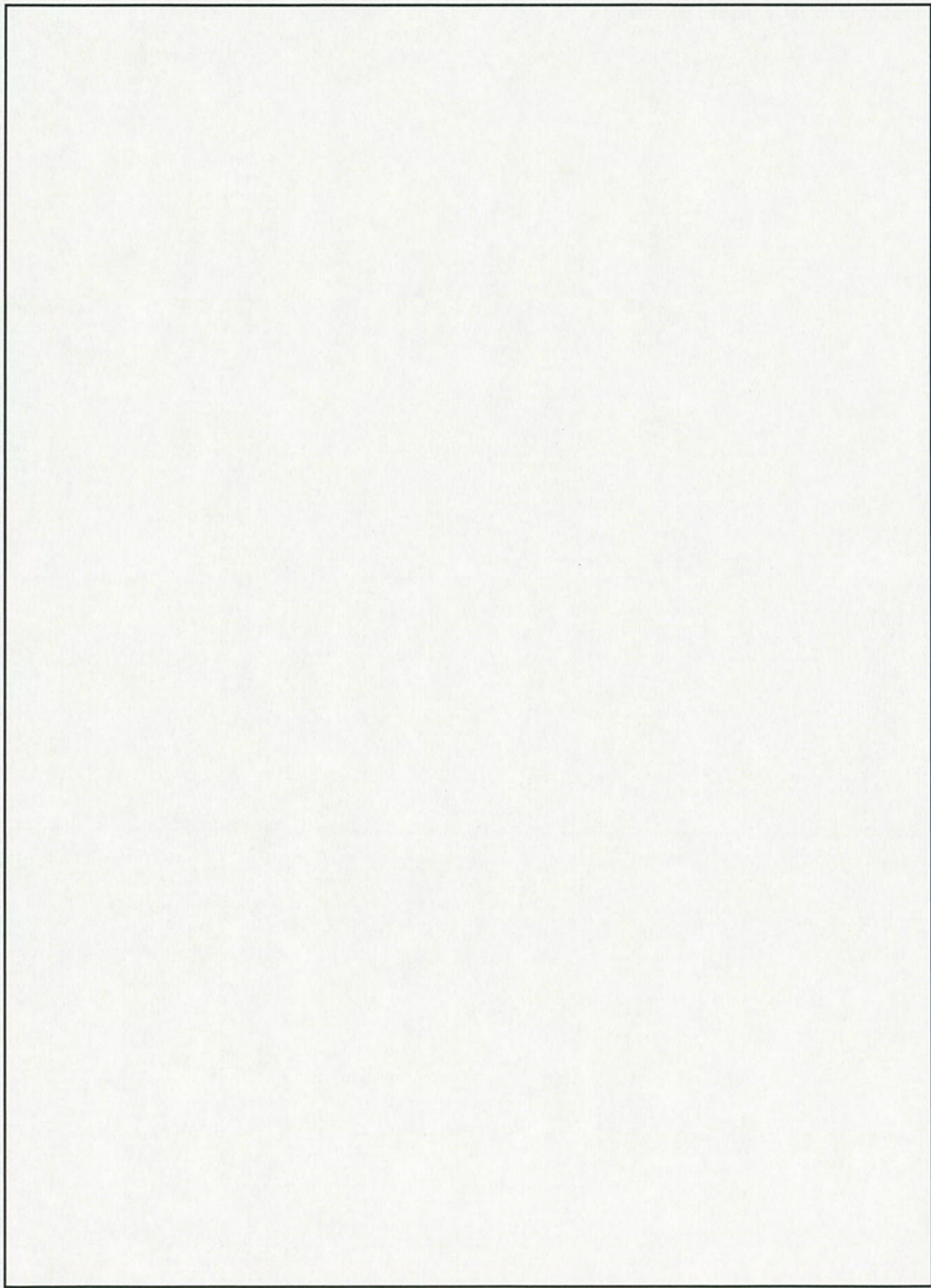
なお、本形状モデルにおいて考慮しているところは以下の通りである。

- ① 本輸送物は、一般の試験条件の自由落下試験において外容器に若干の変形を生じるが、この変形により、輸送物全体の表面積は小さくなり、このため輸送物の温度を上昇させる熱源である太陽熱放射の入熱量が減少する。
本輸送物は崩壊熱が無視できるので、輸送物の温度を上昇させる熱源は太陽熱のみである。したがって、変形していないとする方が太陽入熱量を多く評価するので、一般の試験条件下の熱解析においては、外容器は変形していないものとする。
- ② 本形状モデルは実物の四分の一体系を 3 次元モデル化しており、したがって耐熱衝撃緩衝材等の構成材寸法、厚さ等は変形のない状態の実物と同等である。
- ③ 輸送物の姿勢は縦置状態とし、底面を断熱とした場合が、ガスケットに近い輸送物上面の温度が最も高くなると考えられるので、この姿勢として評価する。

なお、本計算プログラムを用いた 3 次元解析モデルによる解析結果の詳細と耐熱衝撃緩衝材熱伝導率が解析結果に与える影響に関する感度解析の結果を「(ロ)B 付属資料 4」に説明する。



(ロ)B-第1図 解析モデル外観図(鳥瞰図)



(ロ)B-1第2図 解析モデル要素分割図(断面図)

(2) 解析条件

一般の試験条件における解析条件を(ロ)B-第7表に示す。また、太陽放射熱を(ロ)B-第8表に示す。

ウランの崩壊熱量は、無視する。周囲空気温度は 38 °Cとし、容器表面の放射率は 周囲放射率は とする。また、(ロ)B-第8表の熱量が 100%吸収されるものとする。

(ロ)B-第7表 一般の試験条件下の熱解析条件

崩壊熱量		0
環境条件	周囲温度	38 °C
	太陽熱放射	12時間入熱あり、12時間入熱なしを繰り返す 入熱あり時の熱量は(ロ)B-第8表の通り
	周囲放射率	<input type="text"/>
容器表面放射率		<input type="text"/>

(ロ)B-第8表 太陽放射熱データ

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

B.4.1.2 試験モデル

該当なし

B.4.2 最高温度

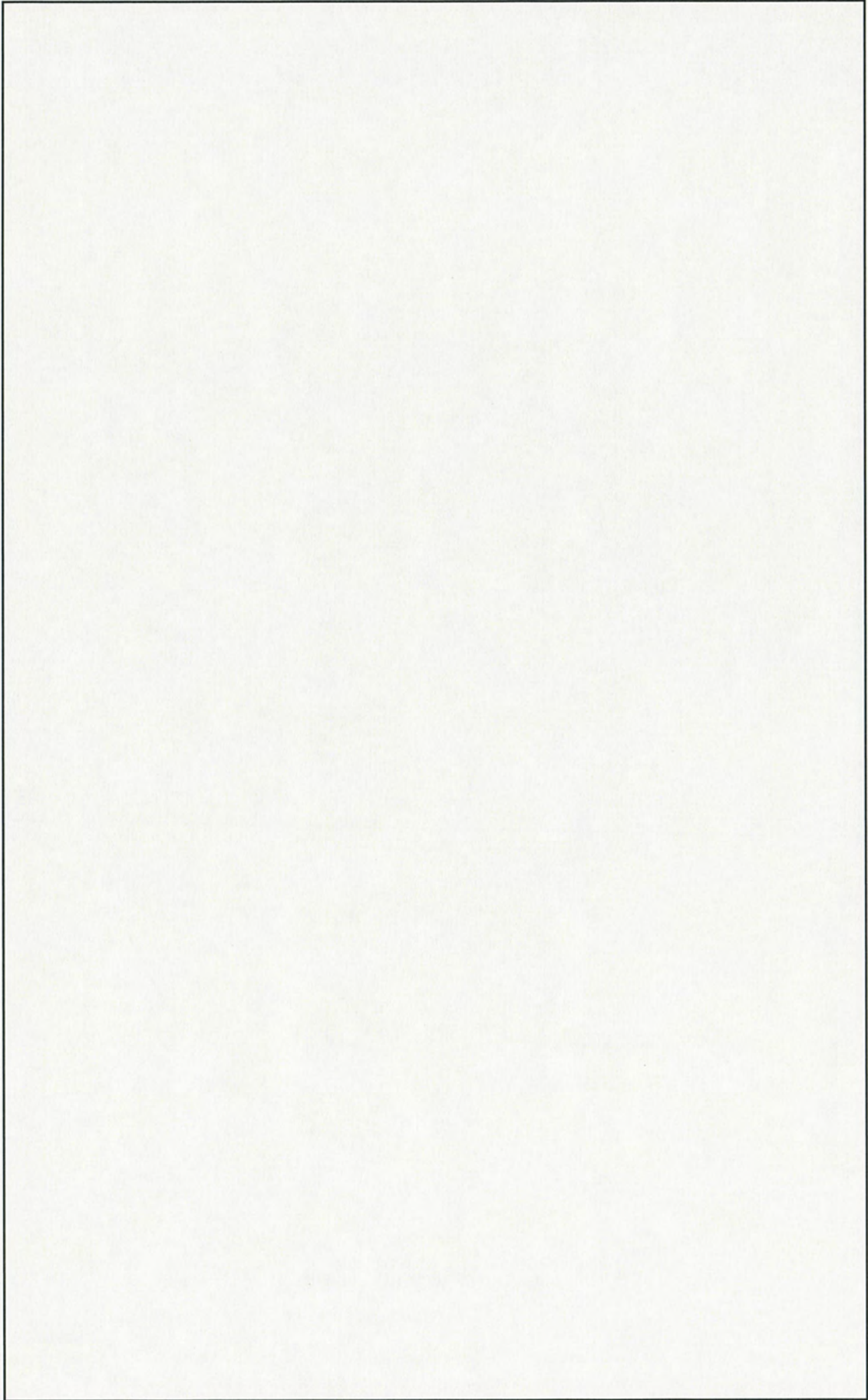
B.4.1.1 に記載した解析モデルにより計算プログラム「JTACO-3D」で解析して得られた一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度を(ロ)B-第9表に、また、温度分布を(ロ)B-第3図に示す。

一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度は、外蓋表面で 72 °C、外容器耐熱衝撃緩衝材部で 51 °C、ガスケットで 52 °C である。

B.3 に記載したガスケットの仕様より、一般の試験条件下において、密封装置の最高温度はその使用可能温度を超えることはない。また、耐熱衝撃緩衝材等の構成材料についても悪影響を及ぼすような温度にはならない。

(ロ)B-第9表 一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度

部 位	最高温度 (°C)
外 蓋 上 面	72
外 容 器 側 面	64
側 部 耐 熱 衝 撃 緩 衝 材	51
B O R A レ ジ ン	50
内 容 器 内 壁 面	50
内 蓋 中 央 部	51
ガ ス ケ ッ ト	52



(ロ)B-第3図 一般の試験条件下における温度分布

B.4.3 最低温度

周囲温度を $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ と考える。この場合、輸送物内収納物からの崩壊熱の発生はなく、太陽放射熱もないとすると輸送物温度は最低となり、その値は周囲温度と等しく、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ である。

輸送物温度が $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ となっても、容器に使用されている材質に使用上の問題はない。また、EPDM（エチレン・プロピレンゴム）製ガスケットも、B.3に記載した使用限度を超えることはない。

B.4.4 最大内圧

一般の試験条件下において、内容器の最高温度はガスケット部で $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ である。また、収納物の梱包は屋内で実施されることから梱包時の環境温度が $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 未満になる可能性はないが、ここでは初期温度条件を保守的に最低温度の $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ とする。

内容器内圧：P は初期条件を $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ から内容器温度が $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで上昇したときに、周辺圧力が1気圧（絶対圧 101 kPa ）とすると以下のように求まる。

$$P = \frac{273 + 52}{273 - 40} \times 101 = 141\text{ kPa(a)} = 40\text{ kPa(g)}$$

よって、内容器には最大 40 kPa のゲージ内圧が作用することになる。

B.4.5 最大熱応力

外容器及び内容器は共にステンレス鋼製であり、フランジ、バイオネット部及び内蓋を除き厚さ $\square\text{ mm}$ 以下である。この厚さでは鋼板の内外面の温度差は小さく、熱勾配による熱応力は無視できる。また、異種金属の溶接はないので、熱膨張差による応力は発生しない。

B.4.6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度は(ロ)B-第9表に示した通りである。

容器本体の最高温度は $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ となり、容器に使用されている材質に使用上の問題はない。また、EPDM製ガスケットの最高温度は $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ となり、B.3に記載した使用限度を超えることはない。

輸送物温度が $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ となっても、容器に使用されている材質に使用上の問題はない。また、EPDM製ガスケットも、B.3に記載した使用限度を超えることはない。

内容器には最大で $\square\text{ kPa}$ の内圧が作用することになるが、構造上の問題はない。一般の試験条件下における熱解析結果の要約と評価を(ロ)B-第10表に示す。

(ロ)B-第 10 表 一般の試験条件下における輸送物の総合的評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度			
ガスケット	使用限度 <input type="text"/> °C	52 °C	基準に合致
容 器 本 体		72 °C	
耐熱衝撃緩衝材		51 °C	
BORA レジン		50 °C	
内 容 器		50 °C	
最低温度			
ガスケット	使用限度 -40 °C	-40 °C	基準に合致
最大内圧	-	<input type="text"/> kPa (g)	
最大熱応力	-	-	問題なし

B.5 特別の試験条件

特別の試験条件下では、原型容器を用いた落下試験において熱的に最も厳しい変形を与えた後に耐火試験を実施し、輸送物各部の最高温度を求めた。

ただし、試験においては試験前の一般の試験条件（太陽熱放射）における輸送物温度上昇や試験中並びに試験後の太陽熱放射を考慮できないため、(ロ)B-第9表に示した一般の試験条件下の輸送物温度を用いて温度測定結果を補正した。

B.5.1 熱解析モデル

B.5.1.1 解析モデル

該当なし

B.5.1.2 試験モデル

(1) 試験モデル

試験に用いたモデルは実際の輸送容器と同一寸法、同一材質のものであるが、収納物についてはウラン酸化物の粉末と比重が同等の純鉄粉末：300 kgを12個の粉末収納缶に分けて収納した。なお試験に用いたモデルにはブロッキングシステム(最大重量16 kg)は収納されていないが、TNF-XI型輸送物におけるウラン酸化物もしくはウラン残渣の最大重量は284 kgであるため、ブロッキングシステム分の重量は純鉄粉末300kgの重量に包絡される。よって試験モデルはTNF-XI型輸送物と同等の条件を満たす。

耐火試験に供した試験モデルは、あらかじめ一般の試験条件及び特別の試験条件に定められた落下試験を実施している。落下試験の内容は「(ロ)A 付属資料3」に記述している。

(2) 試験条件

耐火試験は熱処理炉を用いて実施した。

試験においては試験前の一般の試験条件（太陽熱放射）における輸送物温度上昇を考慮できないため、試験開始時の温度と一般の試験条件下における輸送物解析温度の差を温度測定結果に加えることで保守的な評価とすることとした。また、炉内における800℃の保持時間は規則では30分としているが、保守的な条件として保持時間を33分に増加させて試験を実施した。試験中並びに試験後の太陽熱放射による入熱量は火災条件に比べきわめて小さいため、以上の保守的な条件で十分に保守的な評価になる。

なお、実際の耐火試験は平均周囲温度 ℃、保持時間33分間の条件で行った。

試験では、密封性を保持する内容物のガスケットの温度や臨界管理上重要なBORAレジンの温度を測定し、試験後には耐熱衝撃緩衝材の燃焼並びに炭化状況を観察した。

(「(ロ)B 付属資料3 3.5.3、3.5.4、表3.1及び表3.2」参照)

B.5.2 輸送物の評価条件

耐火試験に供した試験モデルは、原型容器 P3 と P4 の 2 基である。

これらの供試体は、あらかじめ一般の試験条件及び特別の試験条件に定められた落下試験を実施しており、その結果生じた変形の一覧を(ロ)B-第 11 表及び第 12 表に示す。 ((ロ)A.9.2 及び(ロ)A-第 12 表 参照)

(ロ)B-第 11 表 原型容器 P3 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	<ul style="list-style-type: none"> ・外蓋回り止めデバイス ・<input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> 	貫通なく、わずかな痕跡のみ 貫通なく、凹みのみ
落下試験 (高さ 1.2 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>) 	変形なし
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>) 	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れ寸法: 長さ約 <input type="text"/> mm
落下試験 I (高さ 9 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>) 	圧縮変形: 最大 <input type="text"/> mm 平均約 <input type="text"/> mm 容積減少: 約 <input type="text"/> %
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・<input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>) 	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れ寸法: 長さ約 <input type="text"/> mm 最大幅 <input type="text"/> mm の割れ

(ロ)B-第 12 表 P4 原型容器の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	<ul style="list-style-type: none"> ・<input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> ・外蓋上面 ・外蓋バイオネット嵌合部間 	貫通なく、凹みのみ 同上 貫通なく、わずかな痕跡のみ
落下試験 (高さ 1.2 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>) 	容積減少 <input type="text"/> % 以下
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物側面中心 (落下角度 <input type="text"/>) 	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm
落下試験 I (高さ 9 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>) 	容積減少: 約 <input type="text"/> %
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・外蓋バイオネット嵌合部間 	深さ方向変形、局所的 割れ寸法: 長さ約 <input type="text"/> mm 最大幅 <input type="text"/> mm

B.5.3 輸送物温度

B.5.1.2 (1)及び(2)に記載した試験モデル及び試験条件に基づき実施した耐火試験における輸送物各部の最高温度とそれが生じる火災発生後からの時間の結果を(ロ)B-第13表に示す。

試験開始時の輸送物温度は□℃であったため、一般の試験条件下におけるガスケット並びにBORAレジンの最高温度である52℃及び50℃との差である□℃及び□℃をそれぞれに測定結果に加えて求めた補正温度を(ロ)B-第13表に合わせて示す。

補正の結果、密封性を保持する内容物のガスケットの最高温度は□℃となり、EPDMの使用可能温度の□℃を超えることはない。臨界管理上重要なBORAレジンの最高温度は□℃となり、使用可能温度である□℃を超えることはない。

(ロ)B-第13表 特別の試験条件下における輸送物各部の最高温度

部 位	最高温度 (°C)		火災発生後の時間 (h)
	測定結果	補正温度	
ガスケット	□		□
BORA レジン			

B.5.4 最大内圧

特別の試験条件下において、ガスケットの最高温度は□℃である。内容器も同様に□℃になるとしたときに、内容器内圧：P は初期条件を0℃、1気圧（絶対圧101 kPa）とすると以下のように求まる。

$$P = \square$$

よって、内容器には最大□kPaのゲージ内圧が作用することになる。

なお、原型容器試験で確認した結果、内容器に割れ、変形等は生じていない。

外容器及び外蓋については、耐火試験において可融栓が熔融し、適切に機能したことを確認しているため内外圧差は発生しない。

B.5.5 最大熱応力

外容器及び内容器は共にステンレス鋼製であり、フランジ、バイオネット部及び内蓋を除き厚さ□mm以下である。この厚さでは鋼板の内外面の温度差は小さく、熱勾配による熱応力は無視できる。また、異種金属の溶接はないので、熱膨張差による応力は発生しない。

なお、原型容器試験で確認した結果、耐火試験により容器に割れ、変形等は生じていない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下における輸送物の熱的性能の評価は、保守的な条件として平均周囲温度 °C、 分間の炉内耐火試験条件で得られた温度測定結果に一般の試験条件（太陽熱放射）における輸送物温度上昇を考慮した補正を行うことで実施した。温度補正後の輸送物各部における最高温度と火災発生時からの時間をまとめると、(ロ)B-第 13 表に示す通りである。

内蓋の EPDM 製ガスケットの最高温度は(ロ)B-第 13 表に示したように °C で EPDM の使用可能温度 °C を超えず、特別の試験条件下で密封性が損なわれることはない。また、臨界管理上重要な BORA レジンの最高温度は °C となり、使用可能温度である °C 以下であることから、臨界解析における損傷モデルにおいて BORA レジンの劣化を考慮する必要はない。

また、原型容器試験で確認した結果、耐火試験により容器に割れ、変形等は生じていない。

特別の試験条件下における輸送物の総合的評価を(ロ)B-第 14 表に示す。

(ロ)B-第 14 表 特別の試験条件下における輸送物の総合的評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度 ガスケット BORA レジン	使用限度 <input type="text"/> °C 使用限度 <input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C <input type="text"/> °C	基準に合致 基準に合致

参考文献

- (1) エンジニアガイドブック ("Techniques de l'ingénieur") , Roger DEVELAY (1989)
- (2) 伝熱工学資料 (改訂第4版) , 日本機械学会 (1986)

(口)B 付属資料 1

1. 予備耐火試験

1. 予備耐火試験

1.1 主題

本文書は、事故時の輸送条件による予備耐火試験（「較正耐火試験」という）の結果を示す。この試験は、予備落下試験に用いられた TNF-XI 型輸送物のフルスケール原型容器 P1 について行われた。

この試験は、耐火試験方法及び試験条件の確認のために実施した。

1.2 供試体

供試体は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器に、収納物としてウラン酸化物の粉末と同じ見掛け密度（約 1.7 g/cm^3 ）の純鉄粉末 25 kg 入りの粉末収納缶が 12 缶（計 300 kg）収納されている。当該原型容器に対しては、予備耐火試験に先立ち予備落下試験が行われた。（「(ロ)A 付属資料 1」参照）なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。

1.3 試験設備

試験は、仏国のエッフェル社ロータボルグ工場における熱処理炉で行われた。

試験炉仕様

- ・ 試験炉寸法：奥行 m
： 幅 m
： 高さ m
- ・ バーナー：
- ・ 容 量：

1.4 試験手順

本予備耐火試験は、2001 年 6 月 26 日に行われた。

なお、較正耐火試験における温度プロフィールは以下のとおりであった：

- ・ 周囲温度から 800 °C まで 分間で上昇する。
- ・ 保持期間：800 °C (+30, -0) / 30 分間持続。
- ・ 保持期間終了後、輸送物を試験炉から取り出す。

写真 1.1 及び 1.2 に予備耐火試験前の輸送物を示す。試験中に周囲温度及び輸送物の温度変化を監視するため、23 本の熱電対が用いられた（図 1.1 参照）。ただし、そのうち 3 本の熱電対 (Tc 4、Tc 6、Tc 9) については、信号が途絶えていることが認められた。

1.4.1 測定及び確認

- ・図 1.2 に示す周囲温度及び輸送物の温度曲線は有限要素モデルにおける数値計算の相関のために用いる。
- ・試験後に内蓋閉鎖状態の確認。
- ・各内容器における収納物漏えいの確認。
- ・原型容器を解体し、耐熱衝撃緩衝材フェノリックフォームの焦げた厚さ、内容器の形状、中性子吸収材である BORA レジン層の形状の確認。

1.4.2 予備試験時刻表

時 間	操 作
14 時 00 分～18 時 00 分	試験炉の予備加熱、制御条件の調整のための扉開閉及び炉床の引出し／挿入試験の実施。
18 時 00 分～18 時 20 分	試験炉温度 900 °C まで加熱。
18 時 22 分 00 秒	試験炉扉を開け、炉床を引出し、容器吊上げ治具＋輸送物の位置決めを行う。
18 時 25 分 00 秒	容器吊上げ治具＋輸送物を炉床に置く。 <u>(写真 1.3 及び 1.4 参照)</u>
18 時 30 分 00 秒	試験炉扉を閉める。
18 時 36 分 10 秒	800 °C 保持開始。
19 時 06 分 10 秒	800 °C 保持終了。
19 時 10 分 00 秒	試験炉から炉床を引出し、輸送物を取り出し自然冷却をさせる。 <u>(写真 1.5～1.8 参照)</u> 。

800 (+30, - 0) °C の耐火試験保持時間は、規定されているとおり 30 分である。

1.5 結果

1.5.1 輸送物の温度

この試験期間における輸送物の最高温度は、以下のとおりである。

- ・ 30 分の保持時間中の平均周囲温度 : °C (図 1.3)
- ・ ガasket (内容器フランジ) の最高温度 (Tc 8) : °C (図 1.4)
- ・ BORA レジン層の最高温度 (Tc 1) : °C (図 1.5)

1.5.2 予備耐火試験後の輸送物の評価

試験後の輸送物の外観検査及び解体検査により、以下の結果が観察された：

- ・ 可融栓は、溶解し内部材料によって発生した蒸気を解放し、適切に機能した。

- ・輸送物本体の溶接部には割れは認められなかった。
- ・輸送物底面を切断した後、フェノリックフォームの焦げた部分を観察することができた。また、下部側内容器連結パイプにゆがみが認められず、内容器 [] mm であり十分に保持されていることを観察した。底面中央部における焦げたフェノリックフォームの厚さは、 [] mm だった。(写真 1.9~1.11 参照)
- ・輸送物側面における焦げたフェノリックフォームの厚さは、 [] mm だった。
- ・外蓋と輸送容器本体の間のパッキンは、炭化し灰となっていた。
- ・輸送物を逆向け揺すった後も、 [] のガスケットに収納物の漏えいは見られなかった。(写真 1.12 参照)
- ・ [] の外蓋の上部フェノリックフォームは焦げていたが、アルミニウム合金製補強材の下に置かれた下部フェノリックフォームは焦げてはいなかった。
- ・内蓋を開いた後、粉末収納缶から内容器内部に純鉄粉末が漏えいしていないことを観察した。
- ・識別可能な温度表示ラベルから表 1.1 に示す結果を得た (写真 1.12 及び 1.13 参照) ;
- ・内容器の上部側内容器連結補強パイプにゆがみは認められなかった。内容器の形状及びその BORA レジン層には変形は観察されなかった。

表 1.1 耐火試験測定温度

測定方法	部位	内容器位置			
		C1	C2	C3	C4
温度表示ラベル	外蓋裏面	[]			
	内蓋裏面				
	内容器内壁 (上部から 30 mm)				
熱電対測定	ガスケット (内容器フランジ)				
	BORA レジン				
備考					

1.6 結論

- ・原型容器 P1 の較正耐火試験は、規則に定められた仕様を満たし実施された。
- ・試験の結果から、輸送物は密封性を保持し、BORA レジン層に対する良好な熱防護を保証することを実証した。内蓋は、閉じられたままで、粉末収納缶を内容器内部の適切な位置に保持し

た。また、輸送容器本体に亀裂は認められなかった。

- ・試験後、輸送物に収納物の漏えいの徴候は認められなかった。
- ・本予備耐火試験の測定結果は、有限要素モデルにおける数値計算の相関のために利用された
（「(口)B 付属資料 2」参照）。

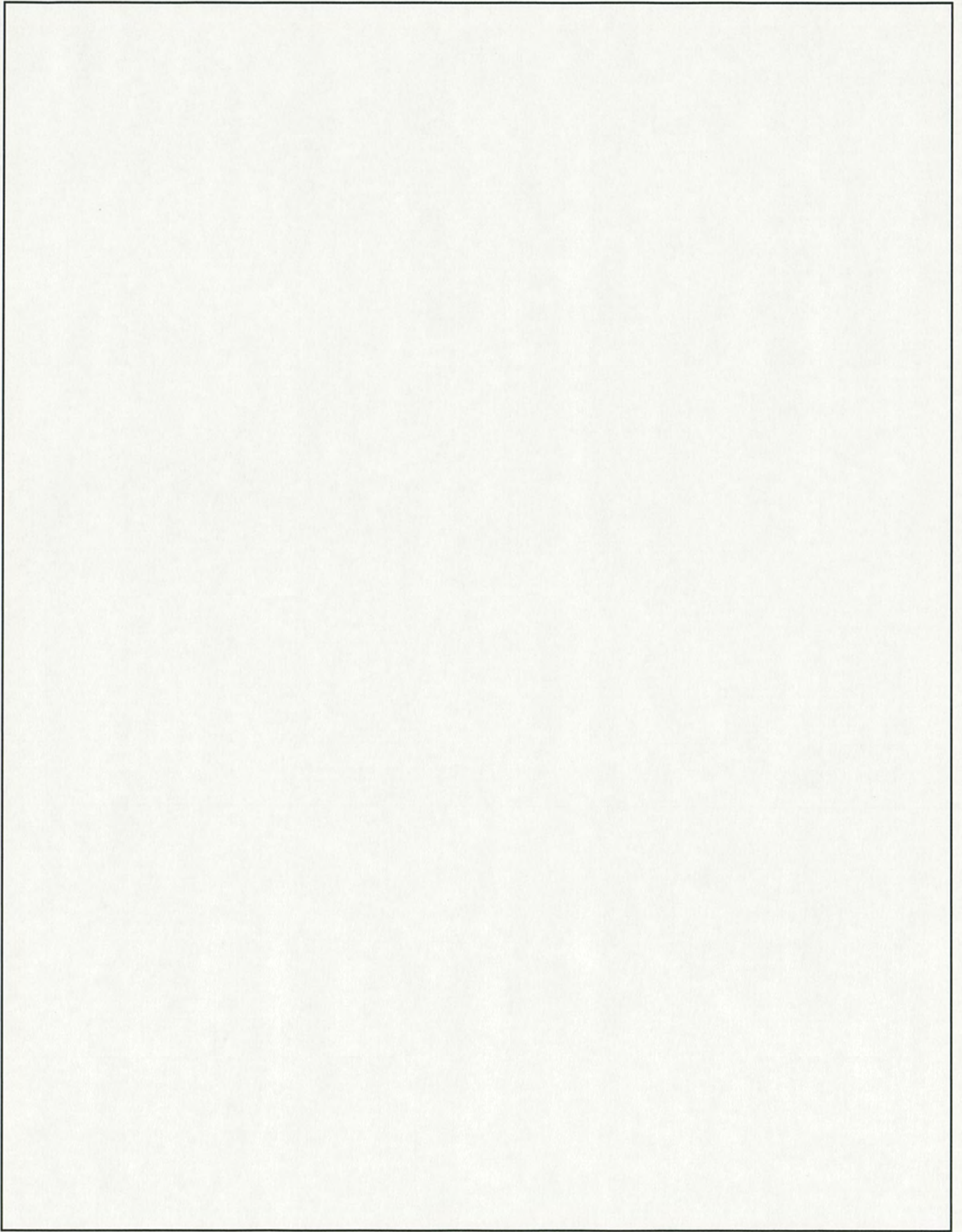


図 1.1 予備耐火試験における原型容器 P1 の熱電対位置

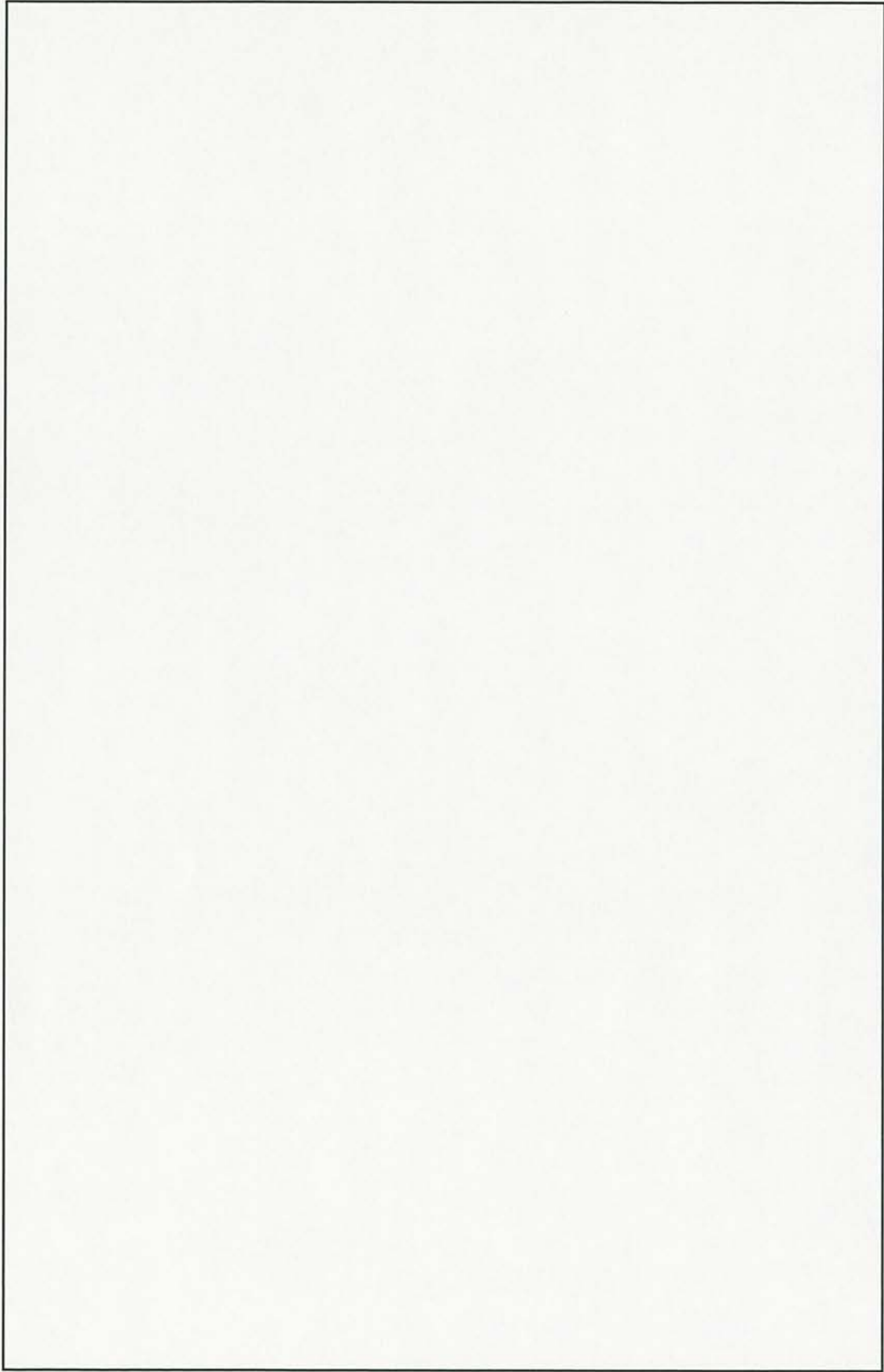


図 1.2 予備耐火試験における輸送物の温度曲線

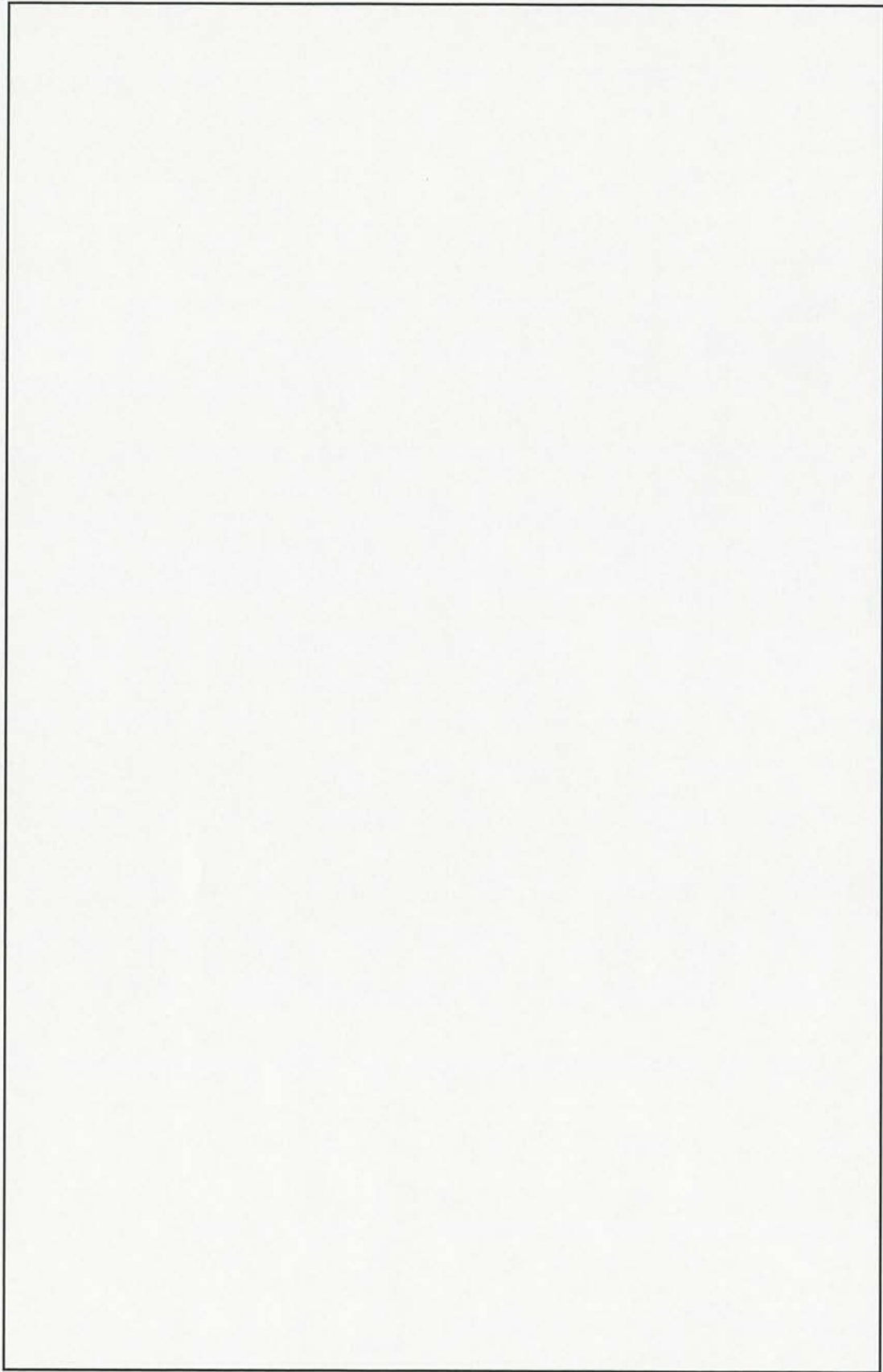


図 1.3 予備耐火試験における平均周囲温度曲線

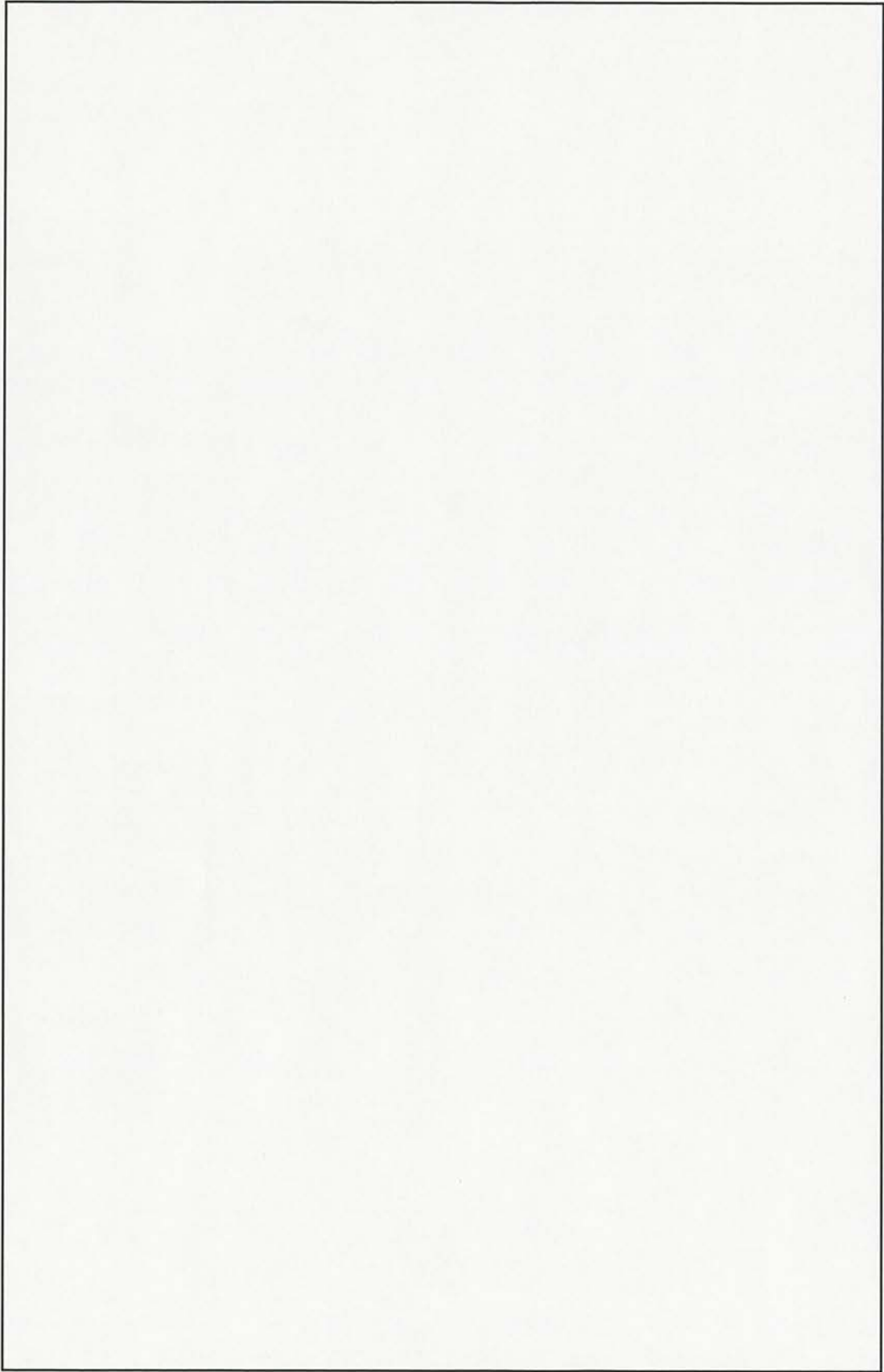


図 1.4 予備耐火試験におけるガスケット (内容器フランジ) の温度曲線

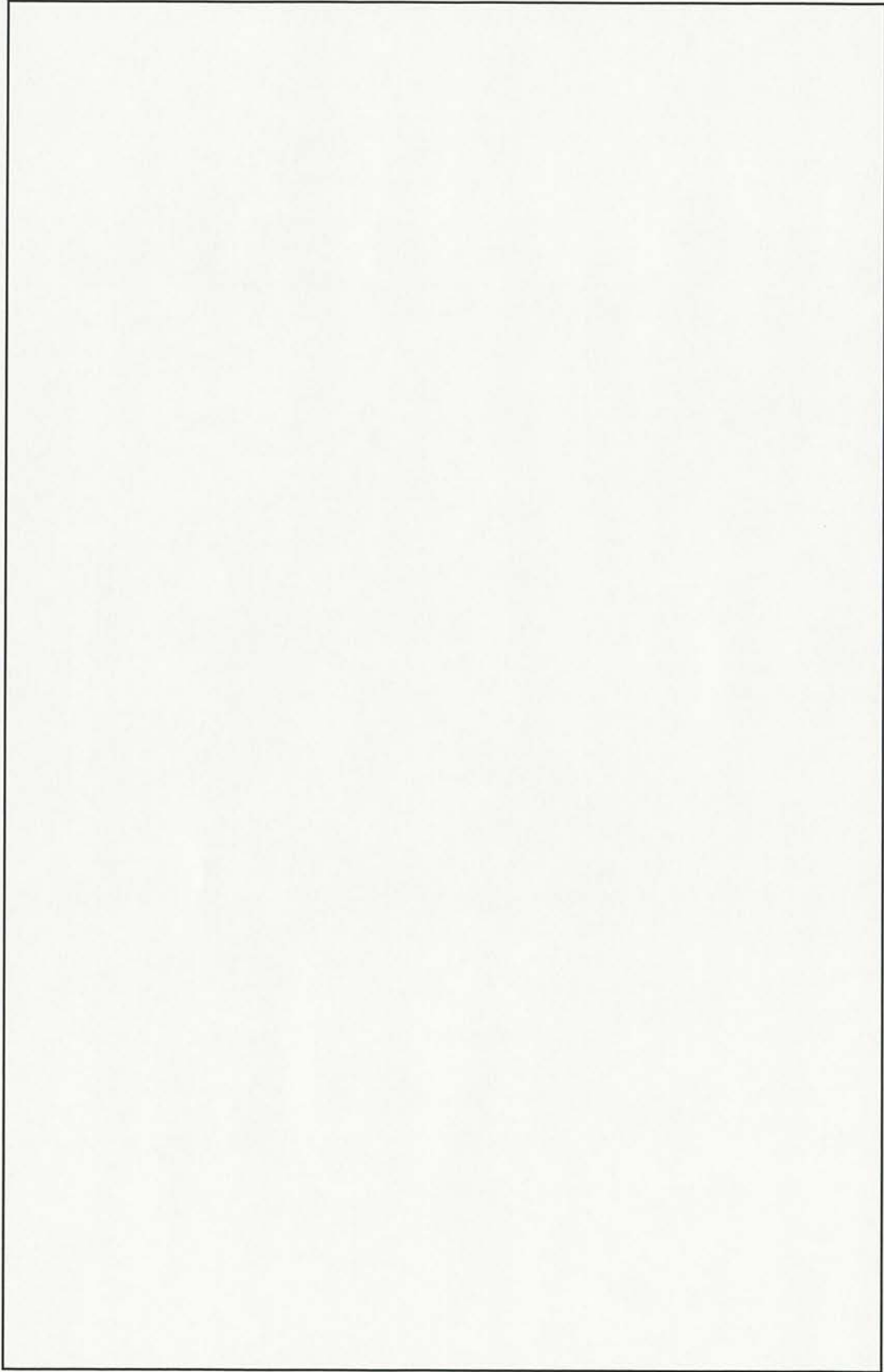


図 1.5 予備耐火試験における BORA レジン (中性子吸収材) 及び内容器の温度曲線

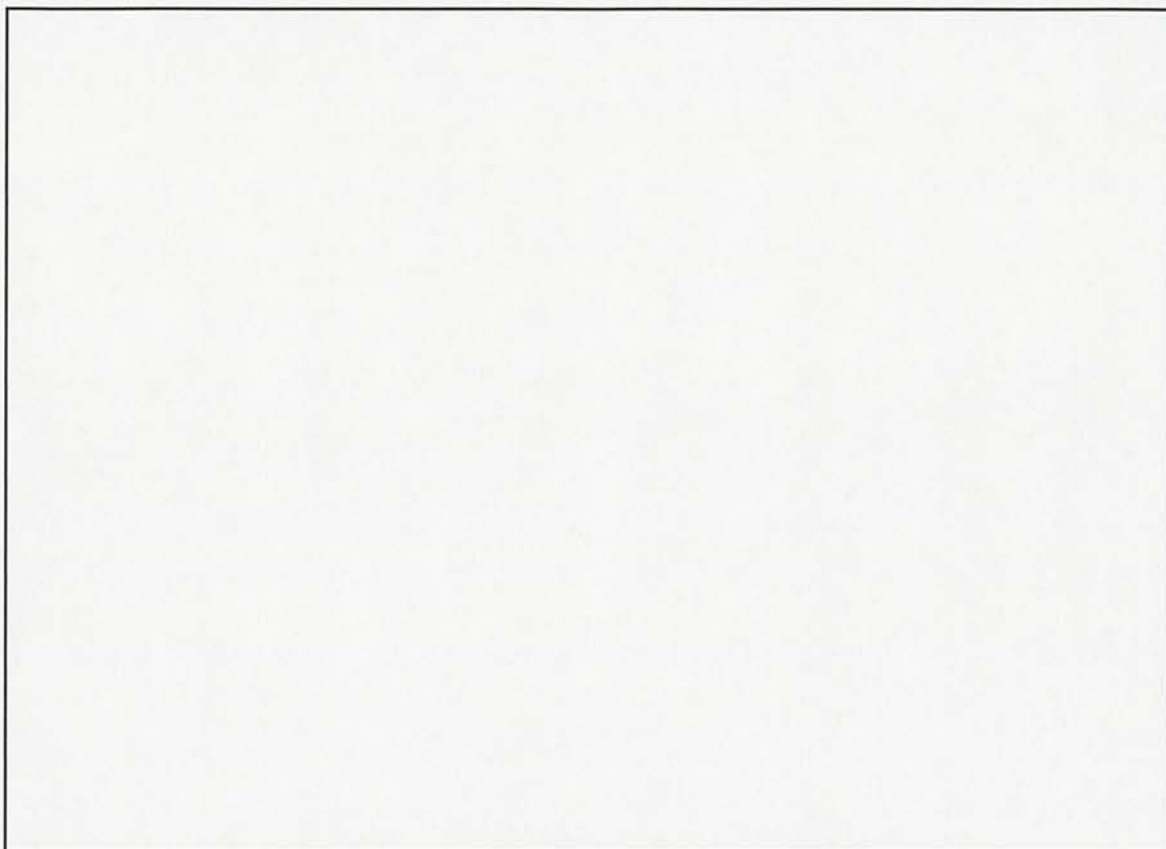


写真 1.1 予備耐火試験前の原型容器 P1 上面



写真 1.2 予備耐火試験前の原型容器 P1 側面

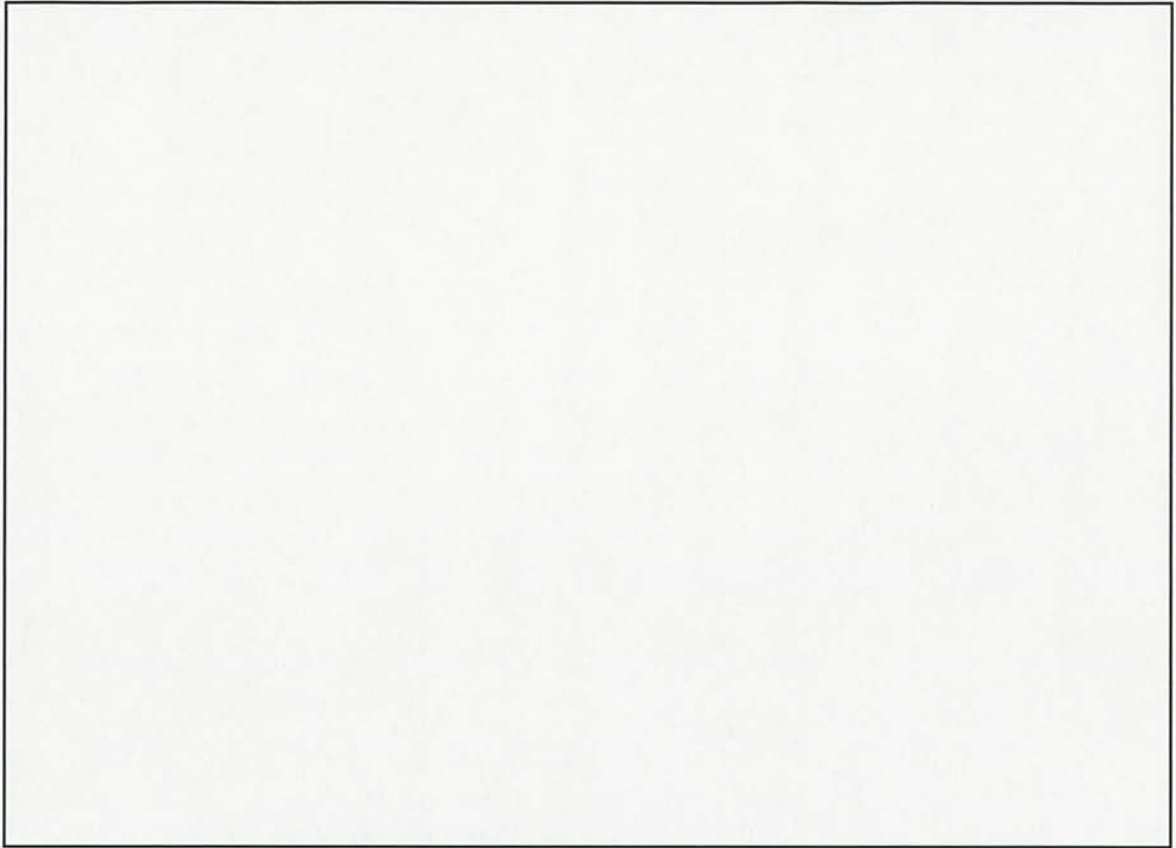


写真 1.3 試験炉挿入時の原型容器 P1 (1/2)

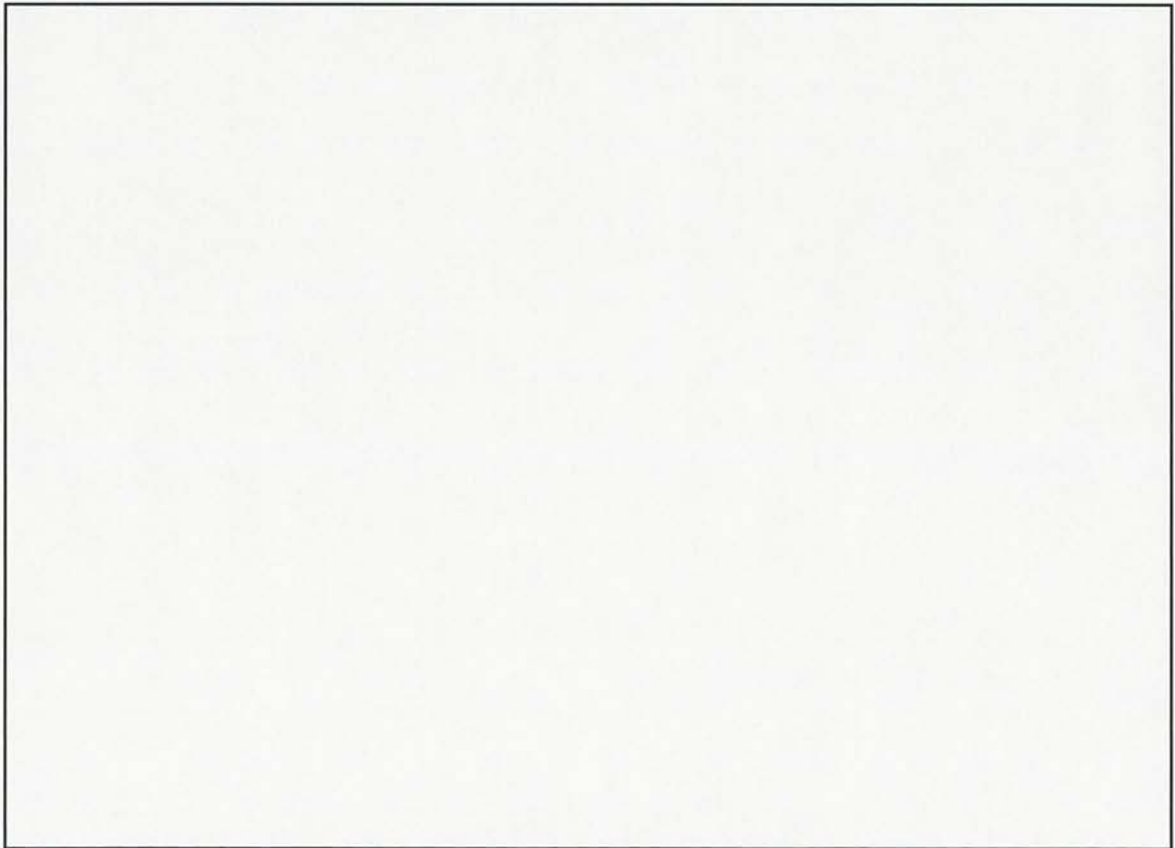


写真 1.4 試験炉挿入時の原型容器 P1 (2/2)

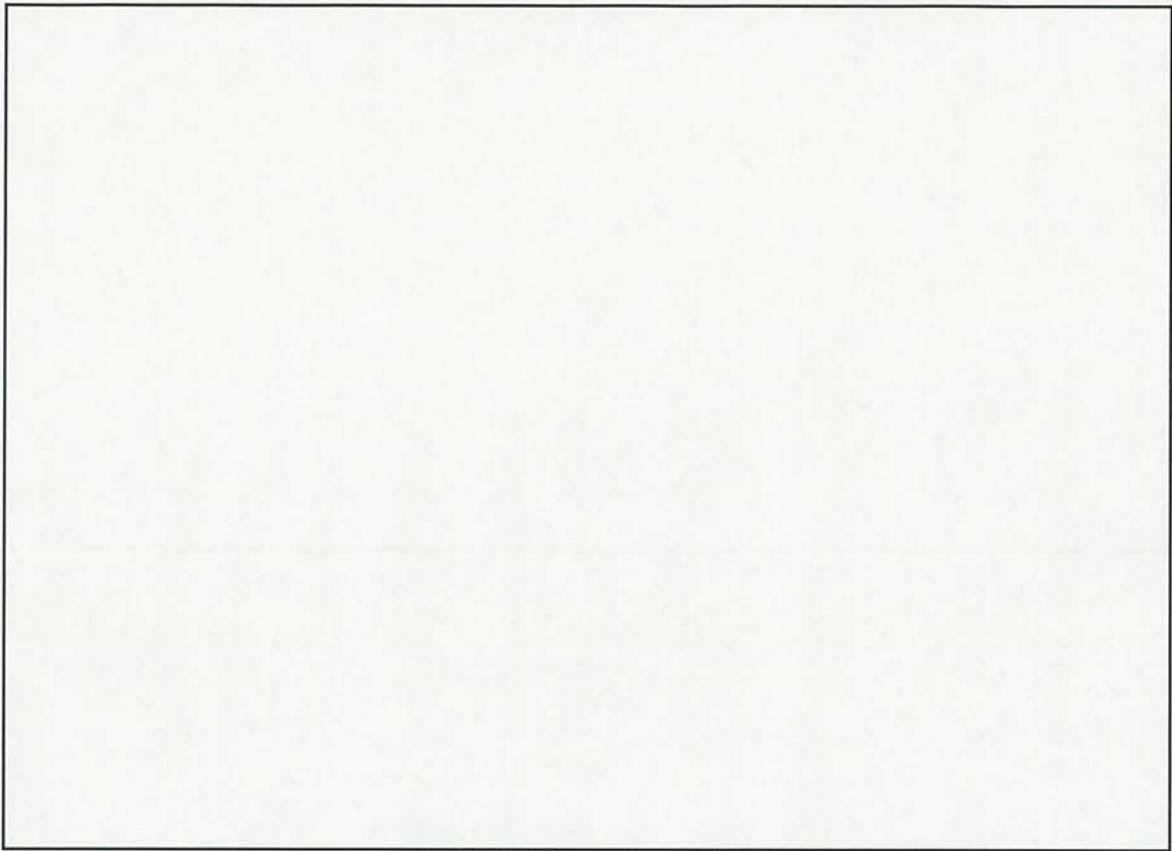


写真 1.5 予備耐火試験終了直後の原型容器 P1 (1/2)

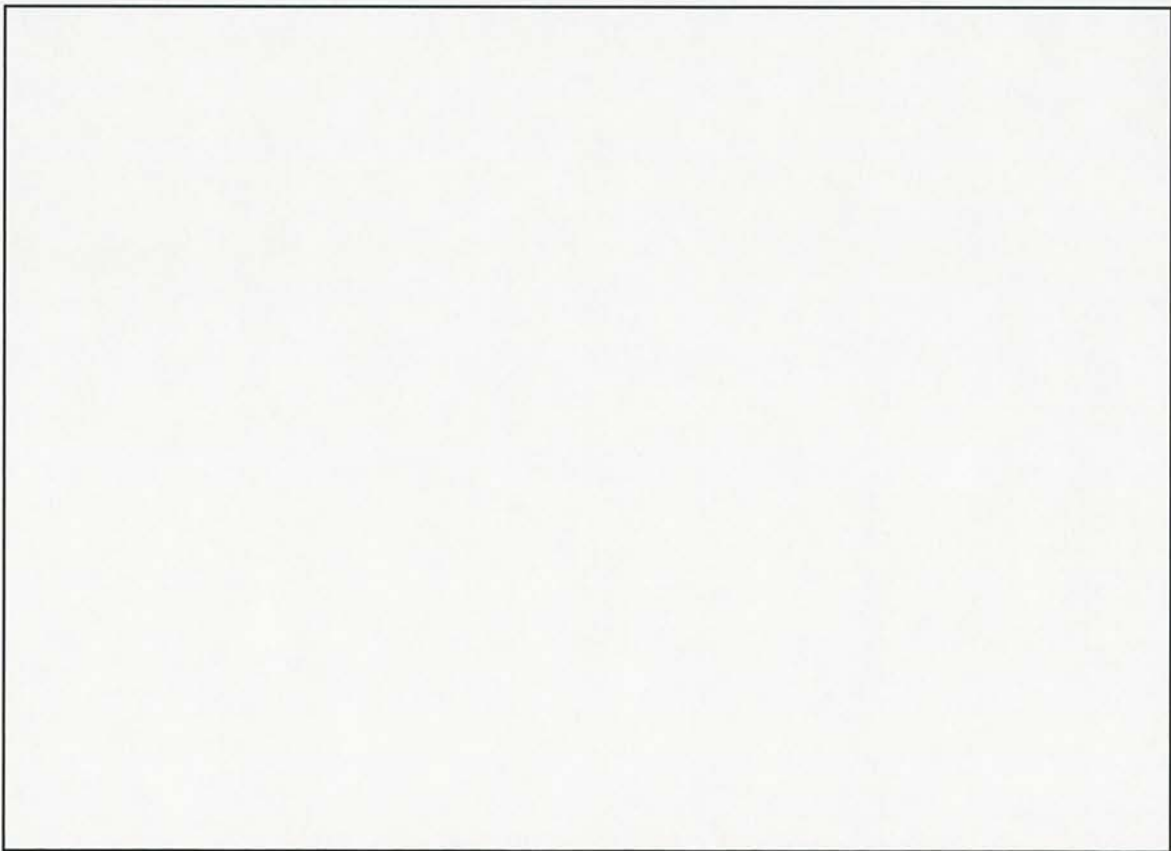


写真 1.6 予備耐火試験終了直後の原型容器 P1 (2/2)

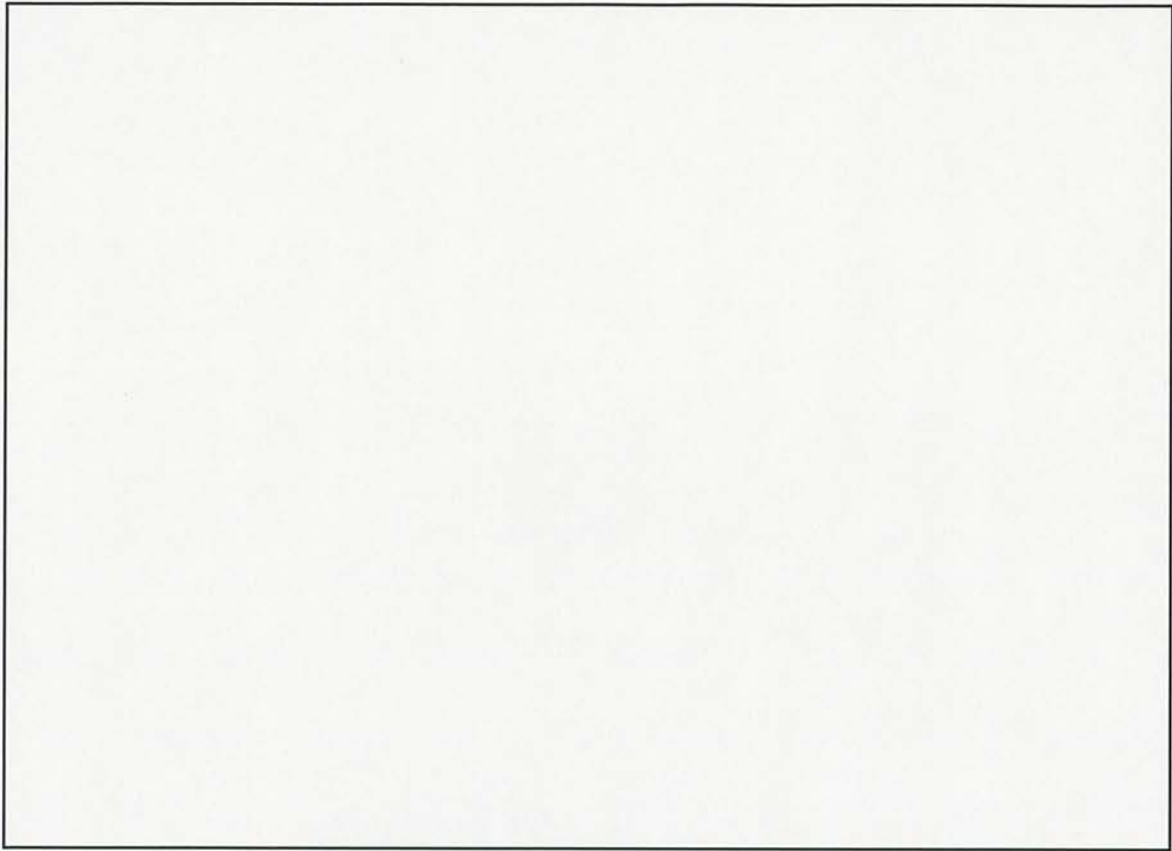


写真 1.7 予備耐火試験終了後の自然冷却状態

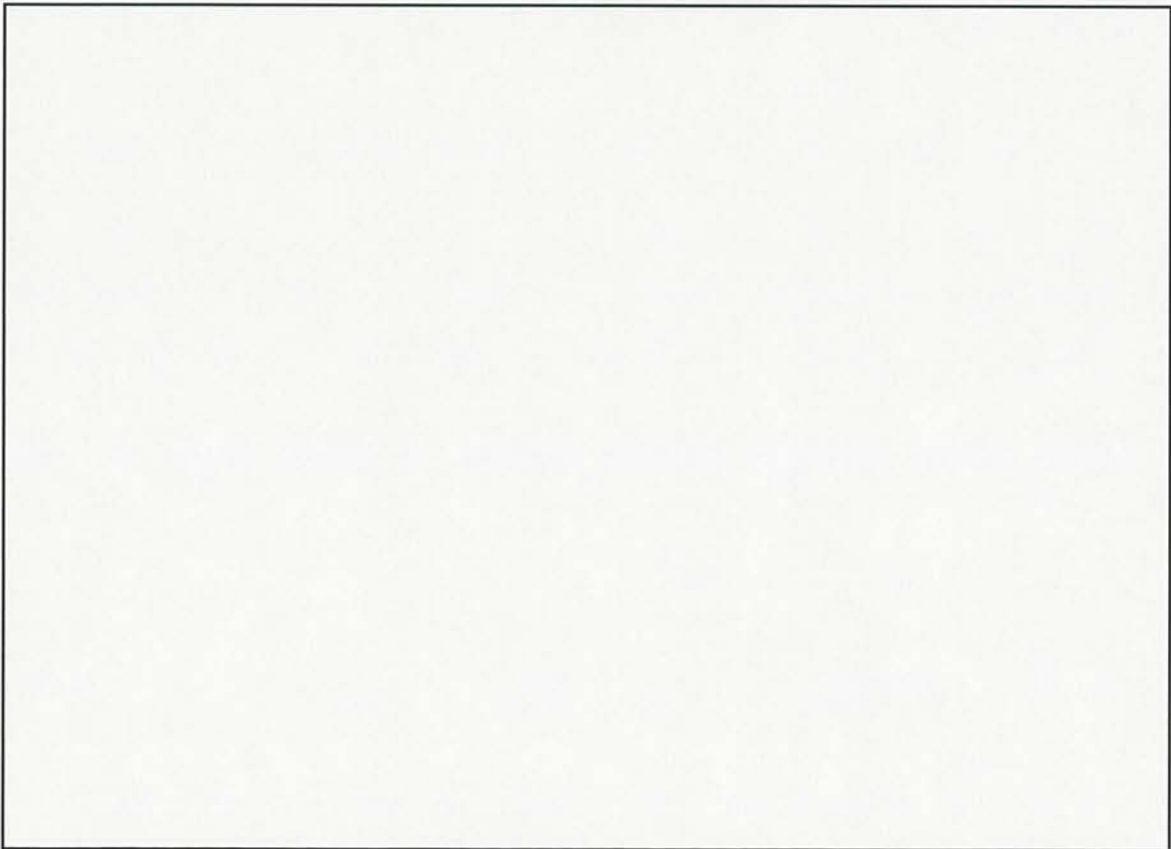


写真 1.8 予備耐火試験後の輸送物底面フェノリックフォーム（外殻切断後）

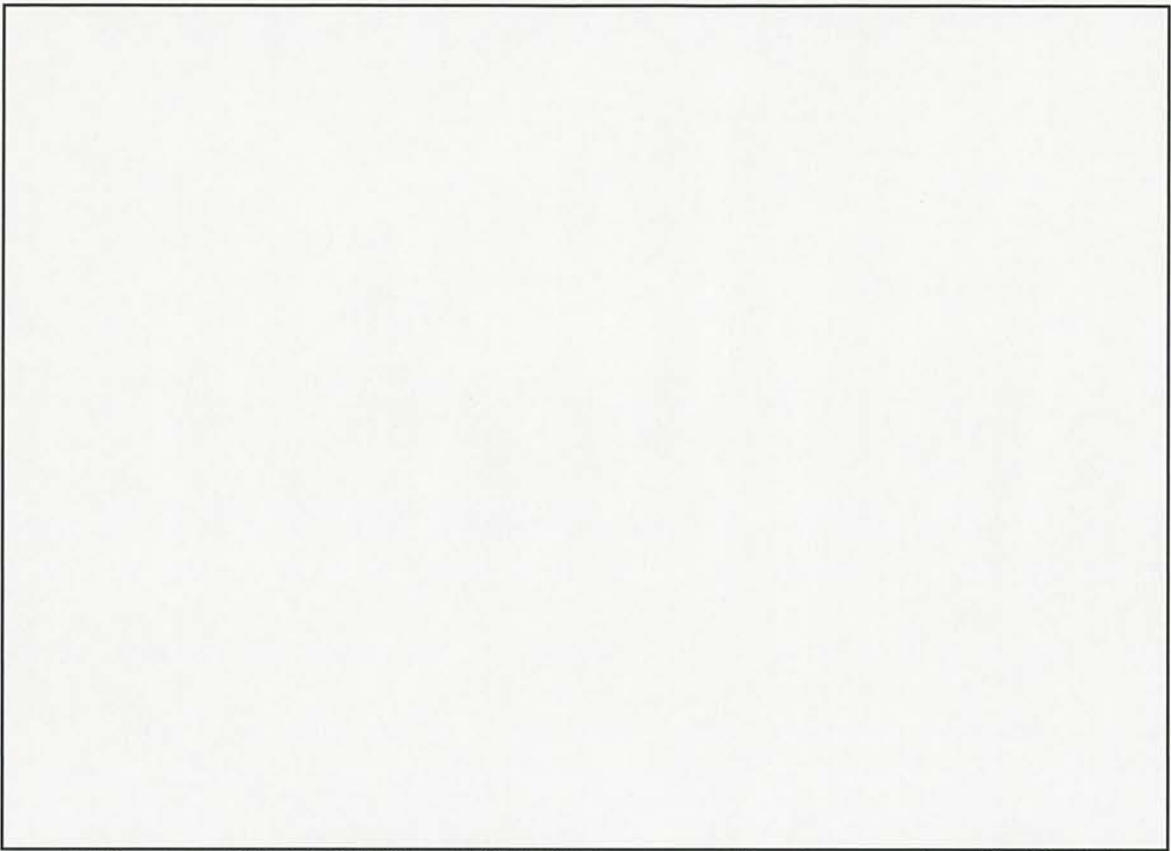


写真 1.9 予備耐火試験後の輸送物底面のフェノリックフォームの焦げた部分

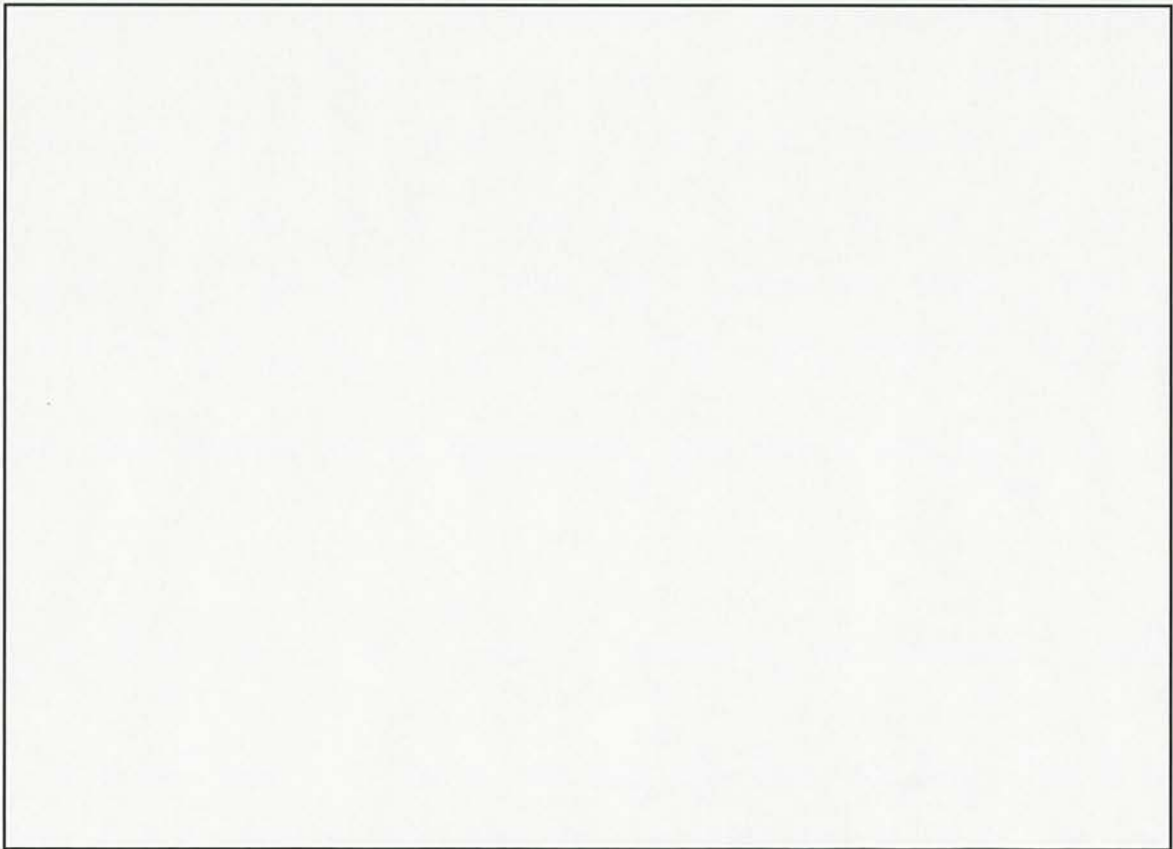


写真 1.10 予備耐火試験後の内容器下部側連結パイプ

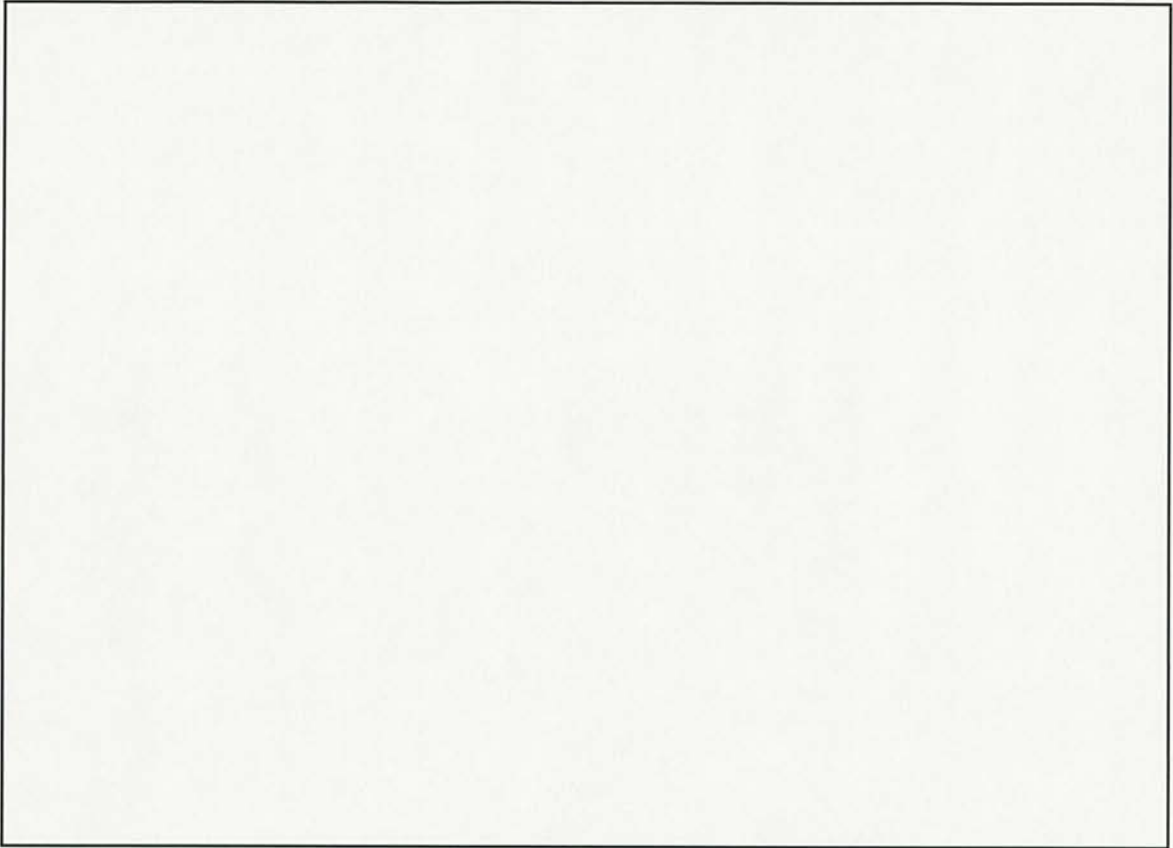


写真 1.11 予備耐火試験後の内容器底面

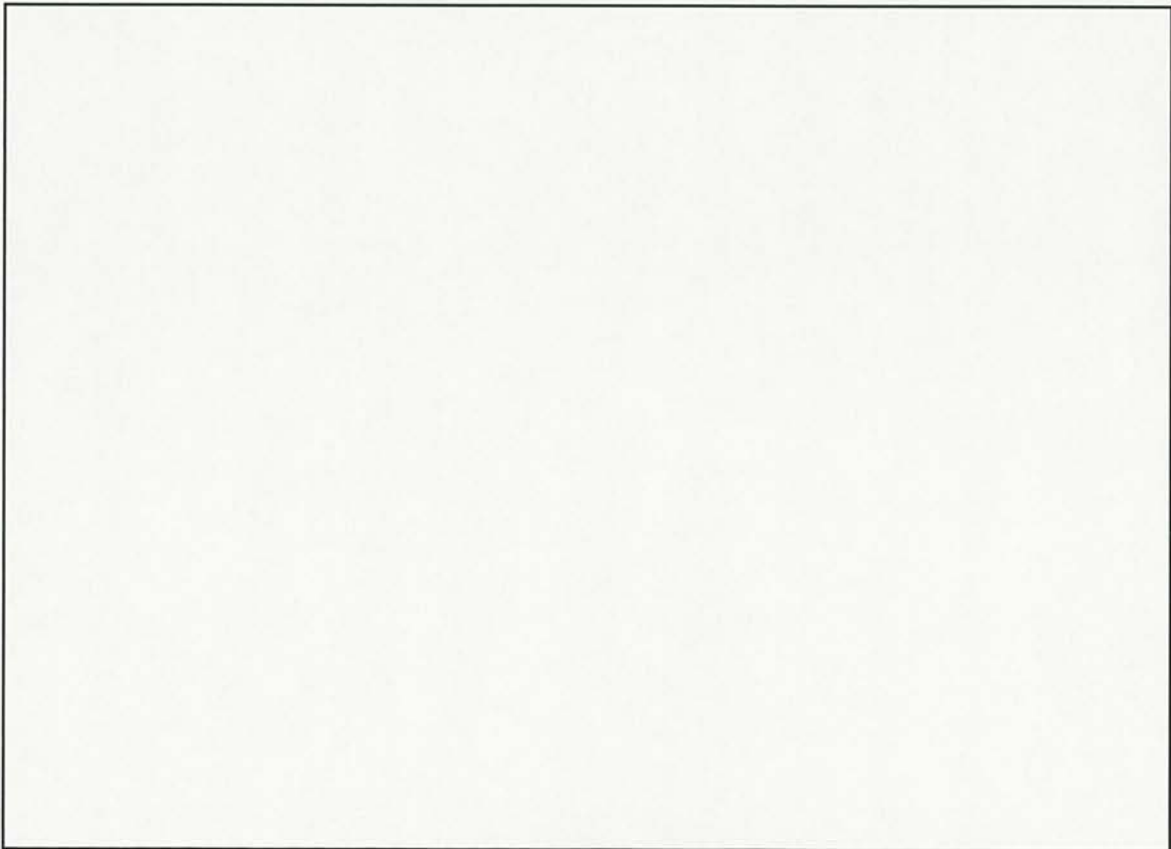


写真 1.12 予備耐火試験後の内蓋上面



写真 1.13 予備耐火試験後の内蓋裏面

(口)B 付属資料 2

2. JTACO-3D : 有限要素法熱伝導解析コード

序文

JTACO-3D は、陰解法による 3 次元熱伝導解析のための有限要素法コードである。このコードの原版は、ウィリアム・E・メイスンジュニア (William E. mason, Jr) により、1977 年～1980 年にかけて開発され、JTACO-3D は、その 3 次元版である*。彼は現在サンディアリバモア (Sandia Livermore) 国立研究所にて在職中である。

JTACO-3D は、線形、非線形の両方の解析ができ、定常と非定常の問題が解析できる。JTACO-3D は、時間依存又は温度依存の物性を取り扱うことができ、物質は、等方性、直交異方性のどちらでもよい。時間依存型と、温度依存型の荷重及び境界条件が使える。境界条件として、温度境界、フラックス境界、伝達境界、放射境界があり、荷重としては内部発熱がある。

さらに、JTACO-3D は、次のような特徴を持っている。内部面境界、体積節点、放射境界、化学反応である。ユーザーサブプログラムでは、温度又は時間のどのような形の関数表現も考慮できる。このコードでは、バンド巾、プロファイルの最適化オプションも使用できる。

以下の章で、JTACO-3D の基本理論の概要、コードの性能、JTACO-3D の実行に必要な入力データについて説明する。

*この開発は、米国エネルギー省の賛助のもとで、ローレンスリバモア (Lawrence Livermore) 国立研究所により行われた。

1. 基本方程式

JTACO-3D は、熱伝導問題を解くために設計されているが、非定常、非線形伝導問題は、以下に示す方程式で記述することができる。

境界面 $S = S_1 + S_2$ に囲まれた領域を R とすると、

領域 R 内で、

$$\rho C_P \dot{\theta} = (K_{ij} \theta_{,j})_{,i} + Q \quad (1)$$

境界条件 S_1 上で、

$$\theta = \theta_s \quad (2)$$

S_2 上で、

$$K_{ij} \theta_{,j} n_i + q = 0 \quad (3)$$

$t = t_0$ の時の初期条件は、

$$\theta = \theta_0 \quad (4)$$

である。式中のコンマ (,) は空間積分を表しドット (·) は時間に関する偏微分を表している。添字は総和規約に従う。また式中の変数は次のように定義されている。

$\theta = \theta(X_i, t)$	= 温度
X_i	= 空間座標
t	= 時間
$\rho = \rho(X_i)$	= 密度
$C_P = C_P(X_i, \theta, t)$	= 比熱
$K_{ij} = K_{ij}(X_i, \theta, t)$	= 熱伝導率
$Q = Q(X_i, \theta, t)$	= 単位体積当たりの内部発熱率
$\theta_s = \theta(s, t)$	= 境界 S_1 上の指定温度
$q = q(s, \theta, t)$	= 境界 S_2 を横切る指定熱流束
n_i	= 境界 S 上の単位ノルマルベクトルの成分 (cos 方向)
$\theta_0 = \theta_0(X_i)$	= 初期温度
t_0	= 初期時間

境界熱流量 q は、次のように表される。

$$q = \sum f(\theta, t) (\theta^n - \theta_q^n)^h \quad (5)$$

ここで、 f, a, b, θ_q は、指定された境界条件のタイプに依存する。総和の記号は、1つ以上の条件 (例えば、伝達と放射) が境界上の点に指定できることを示している。式(5)は、次の形に“線形化”できる。

$$q = f_0(\theta, t) + h(\theta, t)(\theta - \theta_q) \quad (6)$$

ここで、 f_0 の項は式(5)で $a=b=0$ となる場合 (すなわち、フラックス境界条件) を表す。

2. 有限要素定式化

有限要素法 [2] では、上記の問題を定式化するためには、次のようにする。まずはじめに、領域 R をサブ領域すなわち要素に分割する。その内部温度は

$$\theta(X_i, t) = \sum_j N_j(X_i) \theta_j(t) \quad (7)$$

と、近似される。この時、 $\theta_q(t)$ は要素の節点温度、 $N_j(X_i)$ は要素の内挿関数を表している。

次に、ガラーキン (Galerkin) 法 [2] を適用して、要素の熱容量マトリックス、電動マトリックス、熱荷重ベクトルを求めることができる。これらは、次のように表される。

$$C_{ij} = \int_V N_i \rho C_P N_j dv \quad (8)$$

$$K_{ij} = \int_V N_{i,a} K_{a\beta} N_{j,\beta} dv + \int_{s_2} N_i h \bar{N}_j ds \quad (9)$$

$$F_i = \int_V N_i Q dv + \int_{s_2} N_i (\bar{h}\theta_q - f_0) ds \quad (10)$$

ここで体積(V)や面積(S)による積分は各要素に対してのものである。

要素マトリックスの結合により、次のシステム方程式が導かれる。

$$C\dot{\theta} + K\theta = F \quad (11)$$

ここで、

C = システム熱容量マトリックス

K = システム伝導マトリックス

F = 熱荷重ベクトル

θ = 節点温度ベクトル

$\dot{\theta}$ = 節点温度の時間微分ベクトル

3. 時間積分法

JTACO-3D では、一般化された中心差分法を使うと式(11)のように変形される。

$$C_{t+\alpha\Delta t} \dot{\theta}_{t+\alpha\Delta t} + K_{t+\alpha\Delta t} \theta_{t+\alpha\Delta t} = F_{t+\alpha\Delta t} \quad (12)$$

ここで、

$$\theta_{t+\alpha\Delta t} = (1-\alpha)\theta_t + \alpha\theta_{t+\Delta t} \quad (13)$$

$$\theta_{t+\Delta t} = \theta_t + \Delta\theta_t \quad (14)$$

$$\dot{\theta}_{t+\alpha\Delta t} = (\theta_{t+\Delta t} - \theta_t) / \Delta t \quad (15)$$

$$C_{t+\alpha\Delta t} = C(\theta_{t+\alpha\Delta t}) \quad (16)$$

$$K_{t+\alpha\Delta t} = K(\theta_{t+\alpha\Delta t}) \quad (17)$$

$$F_{t+\alpha\Delta t} = (1-\alpha)F_t + \alpha F_{t+\Delta t} \quad (18)$$

である。式(13)~(18)を式(12)に代入して整理すると、 $\Delta\theta_t$ に関する次の式が得られる。

$$K_{t+\alpha\Delta t}^* \Delta\theta_t = F_{t+\alpha\Delta t}^* \quad (19)$$

ここで、

$$K_{t+\alpha\Delta t}^* = C_{t+\alpha\Delta t} / \Delta t + \alpha K_{t+\alpha\Delta t} \quad (20)$$

$$F_{t+\alpha\Delta t}^* = F_{t+\alpha\Delta t} - K_{t+\alpha\Delta t} \theta_t \quad (21)$$

上記の式中のパラメータ α は、 $0 < \alpha \leq 1$ でなければならない。古典的なやり方では、 $\alpha=0$ で陽解法、 $\alpha=1/2$ で克蘭ク・ニコルソン (Crank-Nicholson) 法、 $\alpha=1$ で陰解法が与えられる。この方法は、 $0 < \alpha \leq 1/2$ の場合無条件安定で、時間刻みが大きすぎると不安定になる。従って、 α は $1/2 \leq \alpha \leq 1$ の範囲で選択されるのが望ましい。

このコードでは、デフォルトで $\alpha=1/2$ が使われている。

定常問題の場合、式(11)は、

$$K\theta = F \quad (22)$$

で表せ、線形問題であれば、1ステップの解析でよい。非線形問題 (すなわち $K = K(\theta)$) の場合は、収束計算が必要である。

4. 線形解析法

線形問題では、各時間ステップごとの $\Delta\theta_t$ に対して式(19)を単に解いていく。この $\Delta\theta_t$ は、節点温度を最新のものにするために、1つ前の θ_t にたし込まれる。新しい F^* ベクトルは各時間ステップごとに作らねばならない。しかし有効伝導マトリックス K^* は、時間刻みの大きさ Δt が変化する場合は、非線形解析を行っている場合には作り換える必要がある。

式(19)は、対称かつバンド型又はプロフィール型の連立一次方程式である。JTACO-3D では、この式を能率的にコア外で、直接法のブロックプロフィールソルバーを使って解いている。

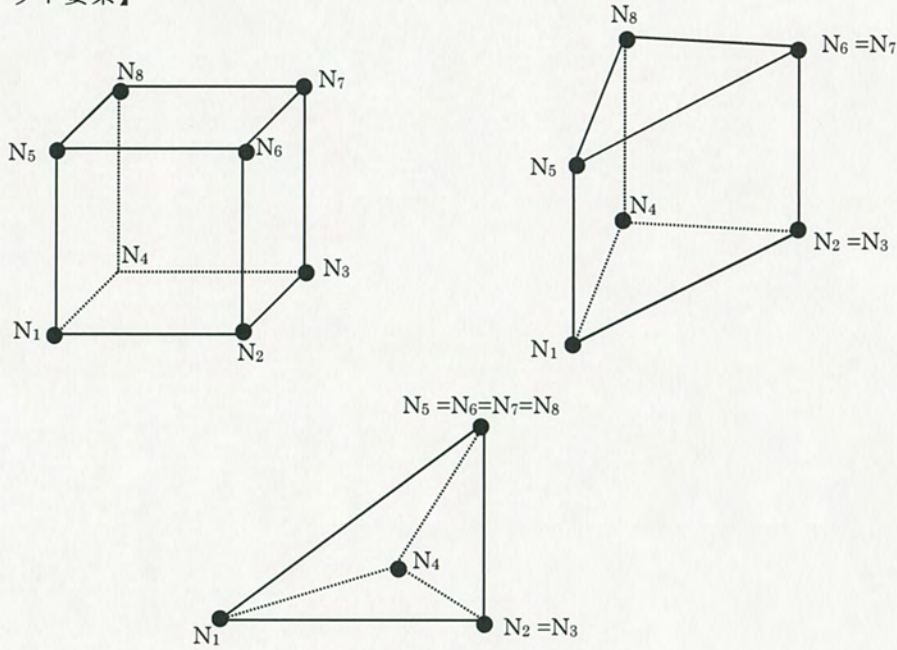
5. 非線形解析法

非線形問題では、 K^* と F^* は両方とも θ の関数が許されるので、式(19)を解くために収束計算が使われなければならない。JTACO-3D では、そのような式を解くために2つの収束法が利用できる。1つめは直接収束法で、各収束ステップごとに K^* は作り換えられ、必要ならば回数が減らされる。2つめは修正直接収束法で、 K^* は各収束ステップごとには作り換えられないが、時間ステップの1回目の収束ステップで初期 K^* が計算される。直接収束法の法が修正法よりもより早く収束するが、各収束ステップには多くの計算時間が要求される。また JTACO-3D では、2つの方法を組み合わせて使うことも可能である。個々の問題に対してどちらの方法又は組合せが最も有用であるかの決定は、ユーザーの経験とトライアンドエラーによってなされる。さらに K^* が温度によってゆっくり変化する問題や Δt が変化しない問題には、JTACO-3D ではいくつかの時間ステップの間同じ K^* を使用するというオプションが用意されている。

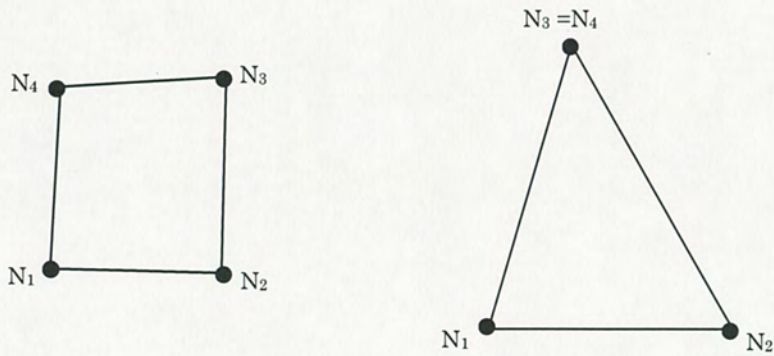
6. 要素の種類

現在のところ、JTACO-3D では、内部領域に対して 8 節点アイソパラメトリック要素（ソリッド要素）、4 節点アイソパラメトリック要素（シェル要素）、2 節点要素（ビーム要素）を使用している。各要素とも、次の図に示すような指定の方法で、三角要素等も表現することができる。

【ソリッド要素】



【シェル要素】



【ビーム要素】



7. 物性

密度、比熱、熱伝導率は、各要素内で一定であると仮定されている。密度は時間に対して一定でなければならないが、比熱と伝導率は、時間又は温度のどちらに関数でもよい。密度と比熱は、熱伝導問題ではかけ合わせで出てくるので、密度の温度依存は、比熱の温度依存として取り扱える。さらに、熱伝導率は等方性と直交異方性が可能である。JTACO-3D では物性の数に制限がないので極端な場合、各要素が全て異なる物性でもよい。

8. 内部発熱

内部発熱率は、温度又は時間の関数にできる。空間的には、要素内で一定であると仮定されている。内部発熱は要素ごとに指定でき、物性ごとにも指定できる。両方で指定した場合は両者の和が有効となる。

9. 初期条件

初期温度は、モデル全体に一定数を指定することも各節点に異なる値を指定することもできる。また隣合う要素に異なる初期温度を指定したい場合には、要素間の節点にはその平均温度を指定しなければならない。

10. 境界条件

1 の項で示したように、境界条件は、温度 (式(2)) でも熱流束 (式(3)) でもどちらでも指定できる。温度境界条件は、時間の関数とし、物理的な境界上の節点でもそうでない節点でも指定できる。

熱流束境界条件は、すでに説明したように、一般に

$$q = f(\theta, t)(\theta^u - \theta_q^u)^h \quad (23)$$

の形で表せ、放射と伝達の組合せのように、1つ以上を同じ面に指定することができる。熱流束境界条件は、どのような面 (要素境界) にも指定できる。

式(23)は、境界条件のいくつかの標準タイプに指定できる。次に例を示す。

1. フラックス : $q = qr$
 $f = qr, a = 1, b = \theta_q = 0$ にセットする。
2. 強制熱伝達 : $q = h(\theta, t)(\theta - \theta_\infty)$
 $f = h, a = b = 1, \theta_q = \theta_\infty$ にセットする。
この時、 h は熱伝導率、 θ_∞ は平衡温度である。
3. 放射 : $q = \sigma\varepsilon(\theta^I - \theta_\infty^I)$
 $f = \sigma\varepsilon, a = 4, b = 1, \theta_q = \theta_\infty$ にセットする。
このとき、 σ はステファンボルツマン定数。
 ε は表面放射率、 θ_∞ は平衡温度である。

式(23)の一般形の境界条件につけ加えて、JTACO-3D では、フラックスの直接指定と強制熱伝達境界が考慮されている。

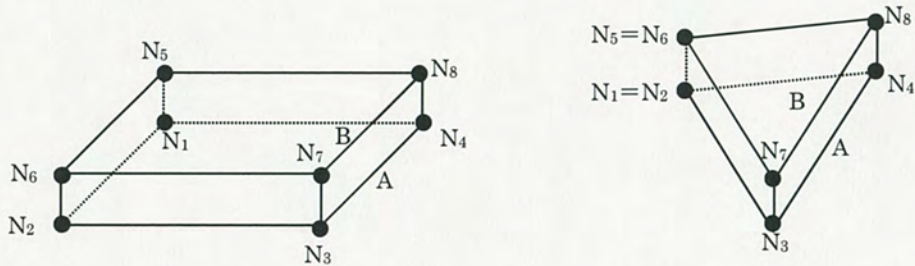
11. 内部面境界条件

前項に述べた一般的な外部境界条件と同じように、JTACO-3D では、内部面境界条件も指定することができる。この場合一般形は次の形である。

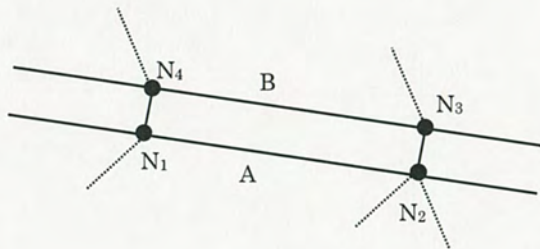
$$q = f(\theta, t)(\theta_A^n - \theta_B^n)^b$$

ここで、右下に記してある A と B は次の図に示している要素セグメントをさしており、 θ_A, θ_B はそれぞれ表面の平均温度である。

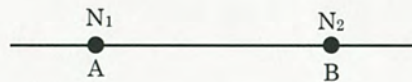
【フェース型境界の場合】



【ライン型境界の場合】 $N_5=N_6=N_7=N_8=0$



【ポイント型境界の場合】 $N_3=N_4=N_5=N_6=N_7=N_8=0$

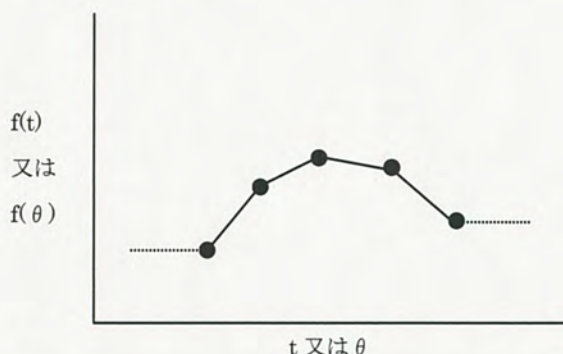


この形の内部境界条件は、表面間の接触抵抗を指定したり、ギャップ要素のあるタイプを表現したりするのに都合がよい。

この形の境界条件を定義するためには、フェース型境界の場合は 8 つ、ライン型境界の場合は 4 つ、ポイント型境界の場合は 2 つの節点が必要で、向かい合った節点座標値は同一でもよい。すなわち、要素の板厚は 0 でもよい。この特別なギャップは入力要素として考慮されない。

12. 関数の定義

時間や温度についての関数（例えば、物性、温度荷重、境界条件）は、区分線形なカーブ又はユーザーサブプログラムで定義できる。区分線形なカーブの代表的なものを次に示す。



カーブの中間点の関数値は線形補間によって求められる。また、カーブの範囲外の関数値は、定数値（破線で示してある）として外挿される。

いくつかの関数の縦座標が相似形の場合は、1つのカーブにできる。これにはカーブの縦座標に対して与えられているカーブの倍率を使用すればよい。ただし、比熱、質量、伝導率には適用できない。

関数が時間の関数であるか温度の関数であるか区別するために、関数のカーブ番号に符号が付けられる。時間関数には正のカーブ番号、温度関数には負のカーブ番号でカーブ番号0は関数が定数であることを示す。

区分線形カーブ以外で関数を表現したい場合には、ユーザーサブプログラムのオプションを使用できる。このオプションについては、次の項で説明する。

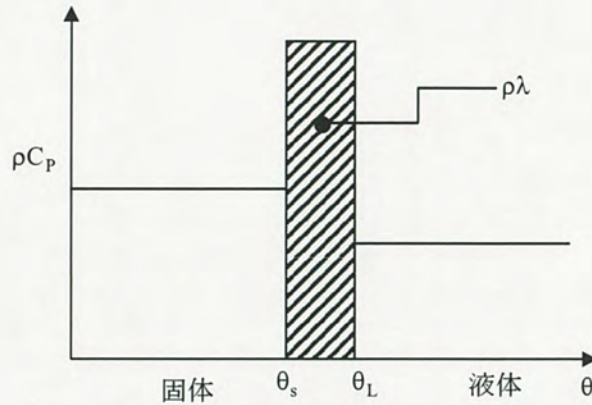
13. ユーザーサブプログラム

JTACO-3D では、任意の関数関係を定義するためにユーザーサブプログラムオプションが利用できる。ユーザーサブプログラムは、別々にコンパイルされ、専用の JTACO-3D バイナリーファイルとともにロードされ、別のモジュールが作られる。

ユーザーサブプログラム関数は、前項の区分線形関数と同じように取り扱われる。すなわち、正のカーブ番号は時間関数を示し、負のカーブ番号は温度関数を示す。関数がユーザーサブプログラムかどうか区別するために、カーブ番号は（絶対値で）999より大きい数が割り当てられる。

14. 相変化

JTACO-3D で、相変化は下図に示すように不連続な熱容量カーブを指定することにより近似できる。



カーブの斜線入りの長方形の面積は、 ρ が密度、 λ が物質の潜熱である時、 $\rho\lambda$ と等しくなる。 θ_L が液化温度、 θ_s が固化温度とすると、長方形の中は $\theta_L - \theta_s$ で与えられる。従って、長方形の高さは $\rho\lambda / (\theta_L - \theta_s)$ である。

θ_s と θ_L に囲まれた温度範囲にまたがらずに相変化が 1 つの温度 θ_M でおこる純性メタルのような物質には θ_s と θ_L に次のような仮想の値を定義する必要がある。

$$\theta_s = \theta_M - \Delta\theta$$

$$\theta_L = \theta_M + \Delta\theta$$

$\Delta\theta$ は微小の温度差である。

JTACO-3D で、密度 ρ と比熱 C_p は別々に定義される。従って ρC_p 対温度のカーブの縦座標を得るために、比熱カーブは ρ で割られねばならない。

相変化を伴う問題において、時間刻み Δt と、相変化温度差 $\theta_L - \theta_s$ を選ぶには、注意を払わなければならない。相変化に関する潜熱の効果（前記のカーブ ρC_p の長方形部分）を失わないようにするために小さな時間刻みを決定するには、何度もやり直しが要求されるかもしれない。このような問題の場合、可変時間刻みのオプションが便利である。

15. 化学反応

JTACO-3D では、ユーザーサブプログラムオプションを使って、化学反応を含む計算を取り扱うことができる。サブプログラムは実際の反応をいくつかのタイプに分けて作られる。

16. 単位

JTACO-3D では、どんな単位の組合せで使用してもよい。しかし、全ての単位が統一されなくてはならない。単位系の統一されているものの例を、下の表に示す。

内容	記号	単位
温度	θ	$^{\circ}\text{C}$
空間座標	X_i	m
時間	t	s
密度	ρ	kg/m^3
比熱	C_p	$\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
熱伝導度	K	$\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$
単位体積当たりの発熱率	Q	W/m^3
単位面積当たりの熱流束	q	W/m^2

(注：密度の kg は kg 質量である。)

17. 非定常解析

JTACO-3D 時間刻みとして、固定、可変の両方を取り扱うことができる。さらに、固定時間刻みの大きさを変化させたブロックが指定できるようになっている。

正確さを補償するために、異なる時間刻みを使って実行を行うことがしばしば必要である。例えば、固定時間刻みとして Δt が使われた場合、次の実行での時間刻みを $1/2 \Delta t$ とするのが得策である。解析時間を比較すれば時間刻みの細かさが十分であることが解る。

18. 定常解析

陰解法コードなので、JTACO-3D では、1 ステップで 1 つの定常解析結果を得ることができる。しかし、定常状態になるまでの時間が必要な場合には、非定常解析を実行しなければならない。

非線形定常問題での節点温度の設定の仕方は、非定常問題の初期温度の入力方法と同じである。初期温度を上手く設定すると、実行時間をかなり節約することができる。

(口)B 付属資料 3

3. 耐火試験

3. 耐火試験

3.1 主題

本文書は、事故時の輸送条件による認定耐火試験の結果を示す。この試験は、落下試験に用いられた TNF-XI 型輸送物のフルスケール原型容器 P3 及び P4 について行われた。

3.2 供試体

供試体は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器に、収納物としてウラン酸化物の粉末と同じ見掛け密度（約 1.7 g/cm³）の純鉄粉末 25 kg 入りの粉末収納缶が 12 缶（計 300 kg）収納されている。当該容器に対しては、耐火試験に先立ち落下試験が行われた。（「(ロ)A 付属資料 3」参照

なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。

3.3 試験設備

本耐火試験は、予備耐火試験同様に仏国のエッフェル社ロータボルグ工場における熱処理炉で行われた。

3.4 試験手順

本耐火試験は、2001 年 8 月 1 日に行われた。

なお、本試験における温度プロフィールは、以下のとおりである。800 °C の保持時間は規則に定める 30 分以上の設定に対して安全側に 分とした。

- ・周囲温度から 800 °C まで上昇する。
- ・保持期間：800 °C (+30, -0) / 分間持続。
- ・保持期間終了後、輸送物を試験炉から取り出す。

写真 3.1 及び 3.2 に耐火試験前の輸送物を示す。試験中に周囲温度の変化及び輸送物の各部分を監視するため、23 本の熱電対が用いられた。それらの位置については 図 3.1~3.3 に示す。

- ・各内容器の中性子吸収材 BORA レジン層内部測定用：8 本 ()
- ・「軽量」フランジ内部測定用： 本（輸送物 1 基当たり熱電対 2 本）
- ・P3 外殻外側測定用：1 本
- ・輸送物の周囲温度測定用：9 本
- ・試験炉内壁の温度測定用：1 本

3.4.1 測定と確認

- ・ 周囲温度及び輸送物温度曲線。
- ・ 試験後の内蓋閉鎖状態の確認。
- ・ 各内容器における収納物漏えいの確認。
- ・ 原型容器を解体し、耐熱衝撃緩衝材フェノリックフォームの焦げた厚さ、内容器の形状、BORAレジン層の形状の確認。

3.4.2 認定試験時刻表

	時 間	操 作
1		容器吊上げ治具上で原型容器を準備し、熱電対を取り付ける。
2		試験炉温度を 900 °C まで加熱し温度到達後、15 分間保持。
3	11 時 14 分	試験炉扉を開け、炉床を引出し、容器吊上げ治具+原型容器の位置決めを行う。
4	11 時 20 分	炉床を試験炉に挿入し、試験炉扉を閉める。(写真 3.3 及び 3.4 参照)
5	11 時 26 分	800 °C 保持開始。
6	11 時 59 分	800 °C 保持終了。試験炉扉を開け、原型容器を試験炉から取り出し自然冷却させる。(写真 3.5~3.7 参照)

800 (+30, - 0) °C の耐火試験保持時間は、前述したとおり 分である。

3.5 結果

3.5.1 輸送物温度

原型容器 P3 に取り付けられた 3 本の熱電対は、落下試験により損傷を受けていた。これらの熱電対は、内容器 の BORA レジン層内部 (Tc 38、Tc 42)、並びに、内容器 のフランジ内部 (Tc 43) である。 内容器は、落下試験 I (9 m) の際に衝撃を受けた輸送物側面に面した位置にある。

平均試験温度プロフィールは、[図 3.4](#) に示す温度曲線中の Tc 34 (試験炉内壁) 及び Tc 36 (原型容器 P3 の側面) を除く全ての熱電対が測定した温度の平均値である。内蓋ガスケットは、内蓋での温度により評価された。

原型物内部における熱電対の温度曲線で見られる温度の振動は、周囲温度の振動に対応している。容器内部は火災終了後に最高温度に達するため、温度の振動による影響は受けない。

この試験期間における輸送物の最高温度は、以下のとおりである。

- ・ 33 分の保持期間中の平均周囲温度 : °C ([図 3.5](#))
- ・ ガスケット (内容器フランジ) の最高温度 (P4/Tc 45) : °C [火災発生後約 0.7 時間後] ([図 3.6](#))
- ・ BORA レジン層の最高温度 (P4/Tc 48) : °C [火災発生後約 0.9 時間後] ([図 3.7](#))

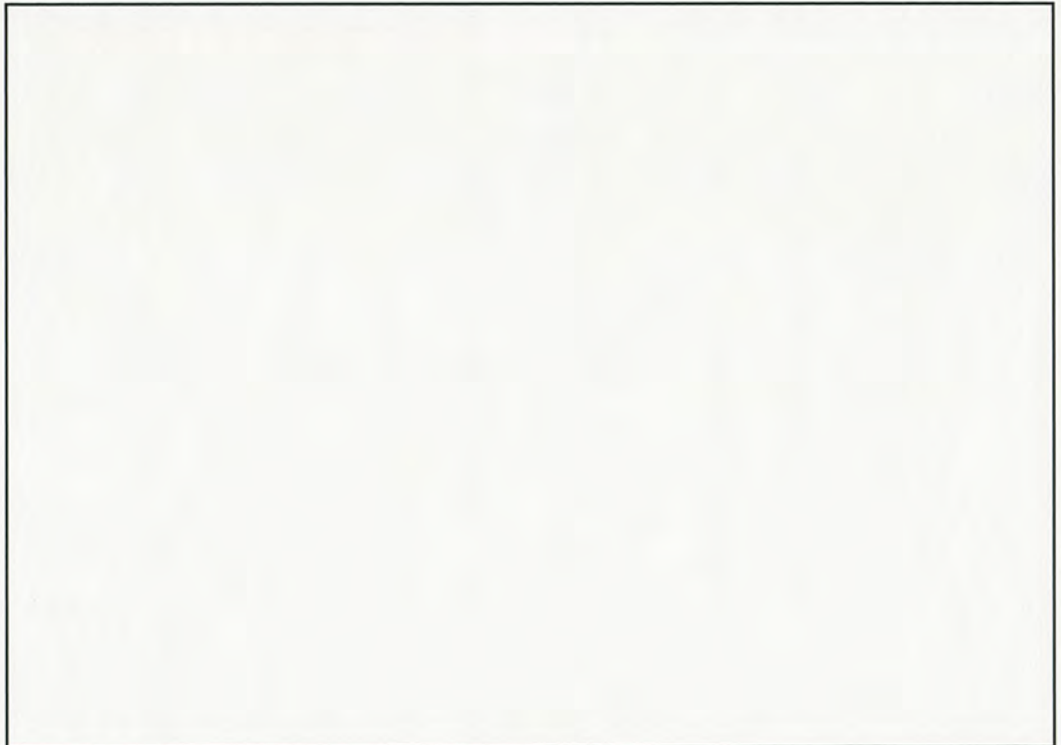
3.5.2 試験後の原型容器の評価

試験後の輸送物（原型容器 P3 及び P4）の外観検査及び解体検査により、以下の結果が観察された。なお、解体は、写真 3.8～3.10に示すように底部外殻を切断して行った。

- ・可融栓は、溶解し内部材料によって発生した蒸気を解放し、適切に機能した。
- ・輸送物本体の溶接部には割れは認められなかった。
- ・外蓋と輸送容器本体の間のパッキンは、炭化し灰になっていた。
- ・内蓋を開いた後、粉末収納缶から内容器内部に純鉄粉末が漏えいしていないことを観察した。
- ・内容器の形状及び BORA レジンの変形は観察されなかった。

3.5.3 原型容器 P3 の測定結果

- ・輸送物底部を切断した後、輸送物底部のフェノリックフォームに落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ 1 m）の衝撃による亀裂が生じているのが観察された。
- ・輸送物側面の焦げたフェノリックフォームの平均厚さは mm である。（写真 3.11 参照）
- ・ 外蓋の上部フェノリックフォームは焦げていたが、アルミニウム製補強材の下に置かれた下部フェノリックフォームは焦げていなかった。
- ・外蓋底部のボロン入りステンレス鋼製ディスク（厚さ mm）及び外蓋中央のアルミニウム合金製補強材（厚さ mm）は、試験による損傷は認められなかった。
- ・内容器連結パイプは、上・下部側ともにゆがみが見られなかった。（写真 3.12 参照）
- ・識別可能な温度表示ラベルより測定温度を表 3.1 に示す。
- ・輸送物側面への一連の落下試験を受けた内容器の外径及び は、下記に示すとおりであった：



3.5.4 原型容器 P4 の測定結果

- ・輸送物底部を切断した後、焦げたフェノリックフォームの平均厚さは□mm である。中央フェノリックフォーム・ブロックと□の外周フェノリックフォーム・ブロックの間の隙間においては、最高□mm の焦げた厚さが観察された (写真 3.13 及び 3.14 参照)。
- ・輸送物側面の焦げたフェノリックフォームの平均厚さは□mm である。
- ・内容器の外径及び中心間距離は、変化していない。(写真 3.15 参照)
- ・内容器連結パイプは、上・下部側ともにゆがみが見られなかった。
- ・内容器 □ (衝撃を受けたコーナーに近い内容器) の外蓋においては、上部・下部のフェノリックフォームはともに焦げており、またアルミニウム製補強材(厚さ□mm)にも変形が観察された。
- ・内容器 □ 外蓋においては、上部のフェノリックフォームのみ焦げていた。また、アルミニウム製補強材の試験による損傷も認められなかった。(写真 3.16 参照)
- ・全ての外蓋底部のボロン入りステンレス鋼製ディスク (厚さ□mm) は、試験による損傷は認められなかった。
- ・衝撃を受けたコーナー付近の内容器のフランジ及び内蓋は、落下試験 I (9 m) による損傷により、ガスケットに隙間が生じ、内容器は防水状態を維持していない。(写真 3.17 及び 3.18 参照)
- ・識別可能な温度表示ラベルより測定温度を表 3.2 に示す。

3.5.5 内容器の密封性の確認

原型容器 P3 及び P4 について内容器に収納した消石灰の漏えいの有無を確認した。

なお、上記で述べた原型容器 P4 の内容器 □ (衝撃を受けたコーナーに近い内容器) は、防水状態を維持していないので確認対象外とし、当該部分についてはフランジ部分の設計変更を行い再度追加の落下試験を実施することで消石灰の漏えいがないことを確認することとした。(「(ロ)A 付属資料 4」参照)

消石灰漏えいの有無の確認手順を以下に示す。

- ・輸送物の内蓋及びフランジを、アルコールにより念入りに洗浄する。(写真 3.19 参照)
- ・輸送物を逆さまにクレーンで持ち上げる。(写真 3.20 参照)
- ・内蓋を通じた消石灰の漏えいがないことを確認するため、それぞれの内容器を目視で点検する (写真 3.21～3.23 参照)。
- ・消石灰が依然として微粉状態であることを確認するため、それぞれの内蓋を取り外す。(写真 3.24 参照)

P3 及び P4 の原型容器の試験された内容器は全て消石灰の漏えいがないことを確認した。

表 3.1 耐火試験原型容器 P3 測定温度

測定方法	部位	内容器位置	
温度表示ラベル	外蓋裏面		
	内蓋裏面		
熱電対測定	ガスケット (内容器フランジ)		
	BORA レジン		
備考			

表 3.2 耐火試験原型容器 P4 測定温度

測定方法	部位	内容器位置	
温度表示ラベル	外蓋裏面		
	内容器フランジ (輸送物外周方向)		
	内容器フランジ (輸送物中心方向)		
熱電対測定	ガスケット (内容器フランジ)		
	BORA レジン		
備考			

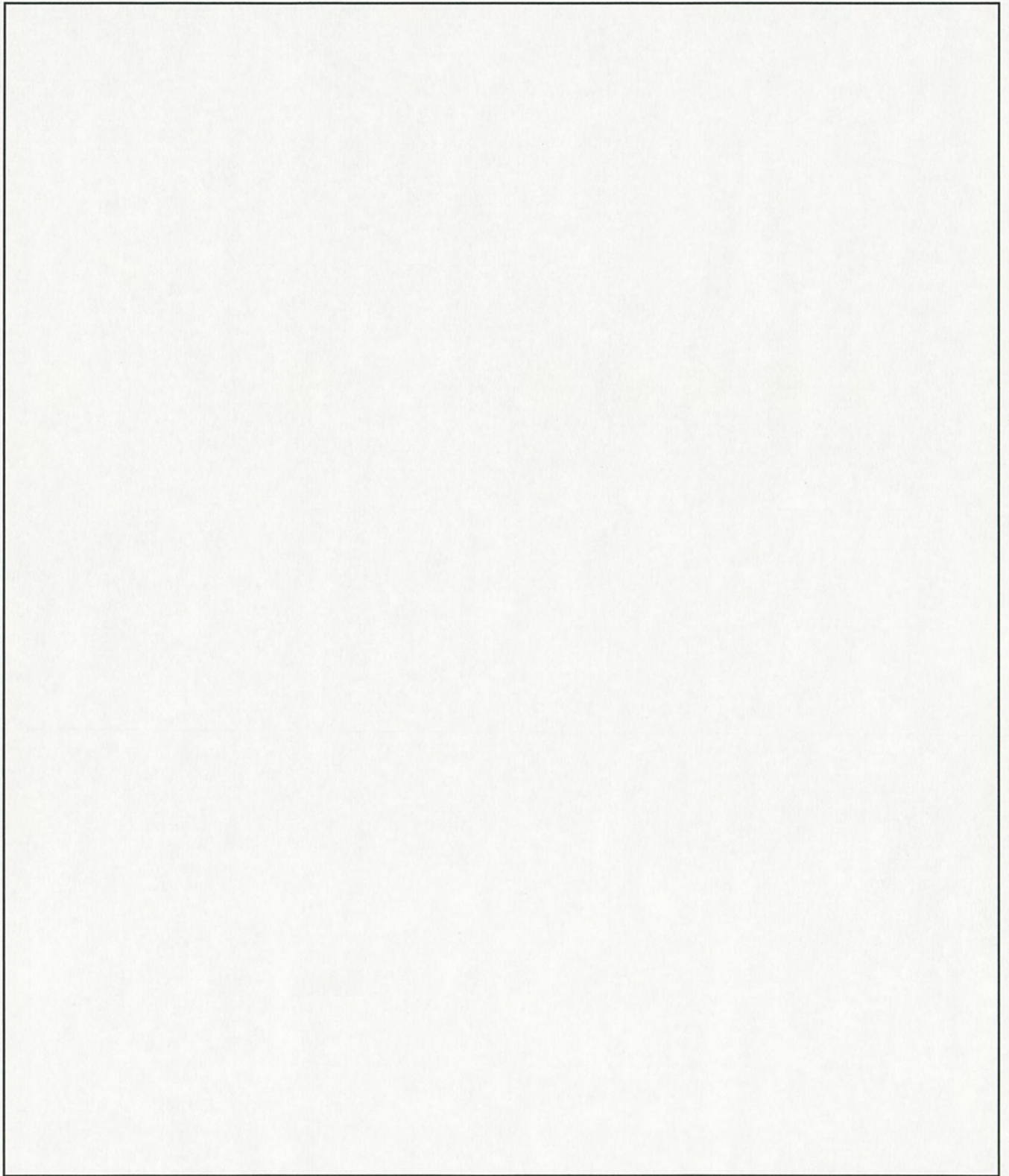


図 3.1 原型容器 P3 及び P4 における熱電対位置

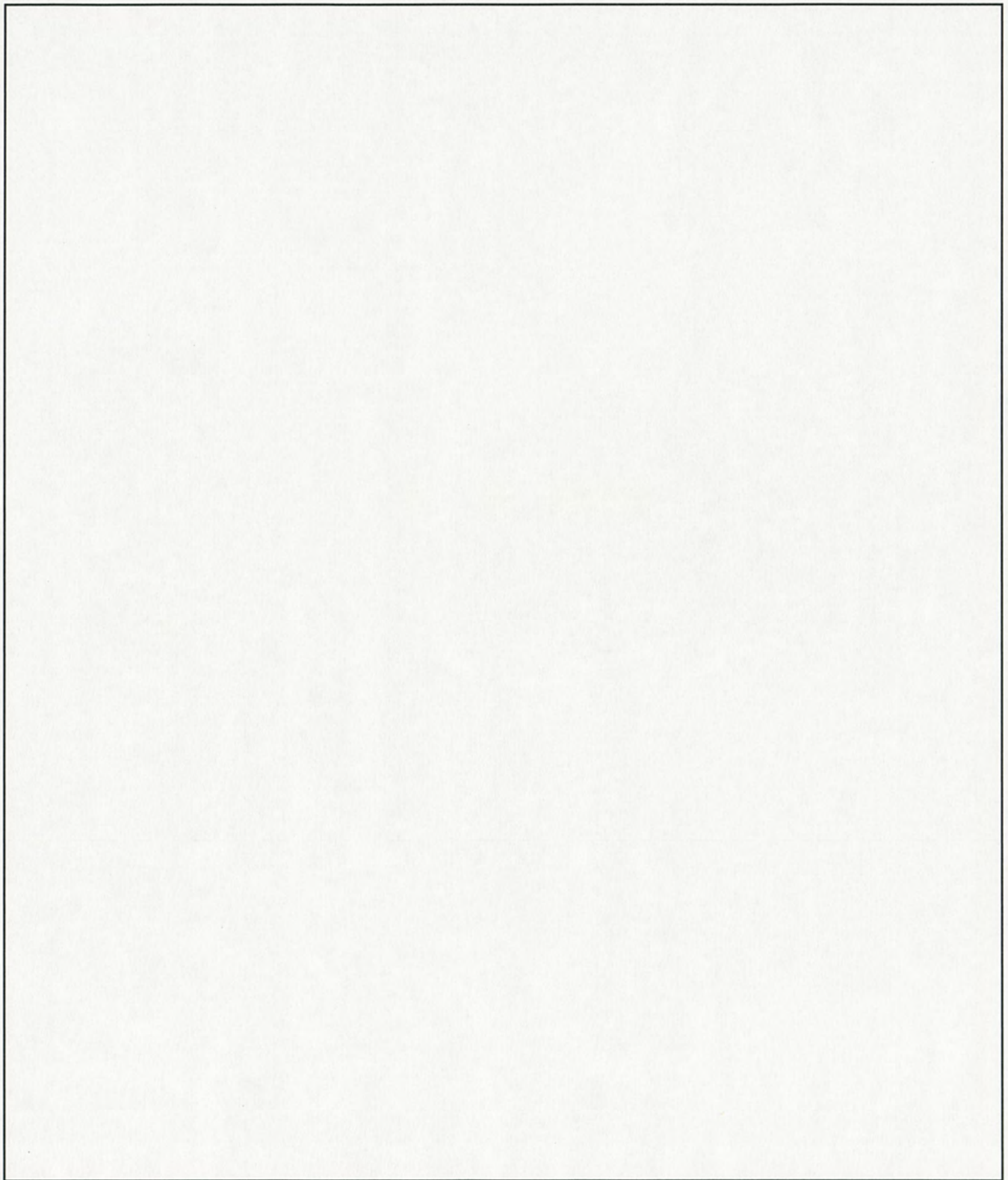


図 3.2 原型容器 P3 及び P4 におけるフランジ及び BORA レジンの熱電対位置

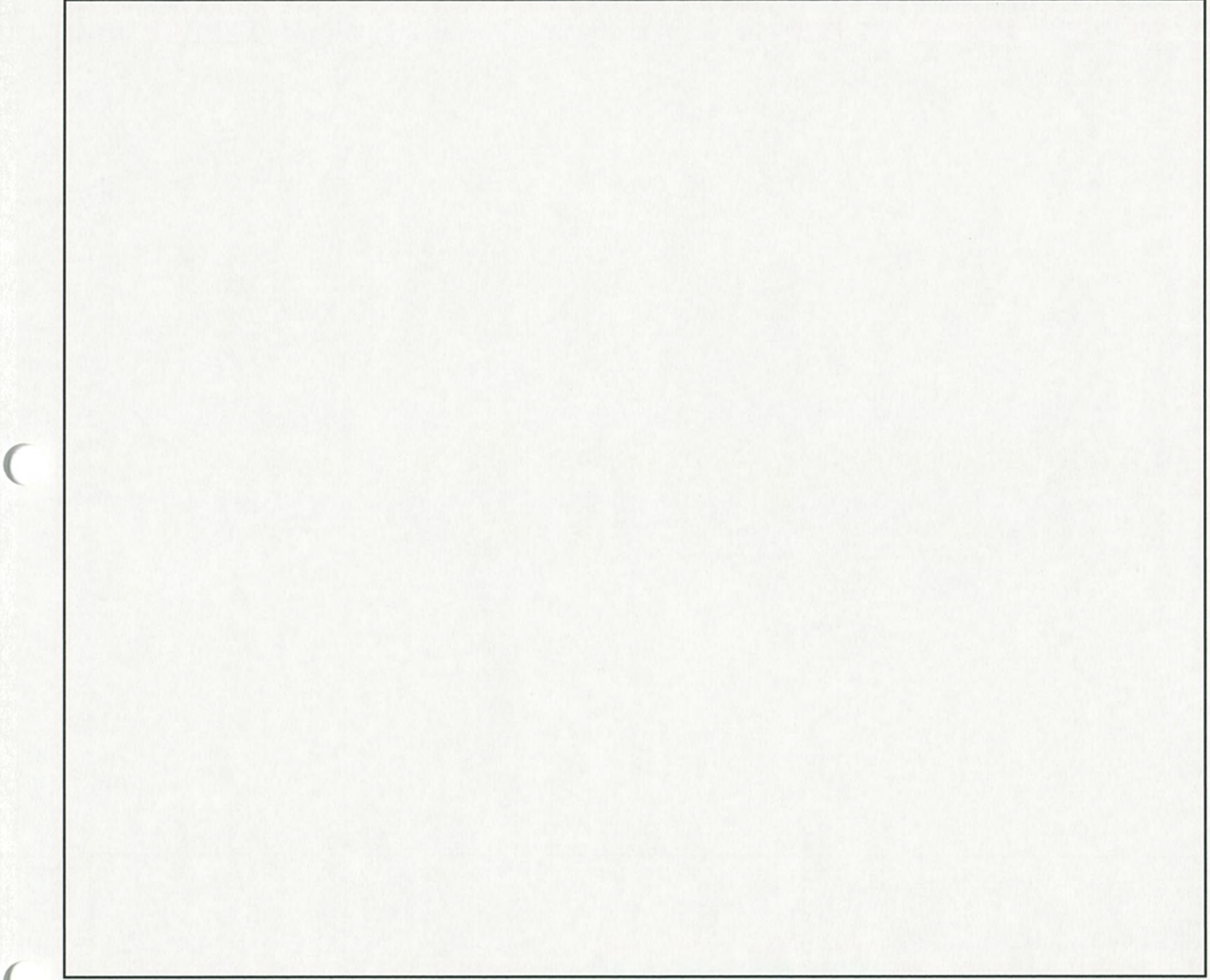


図 3.3 周囲温度測定用熱電対の位置

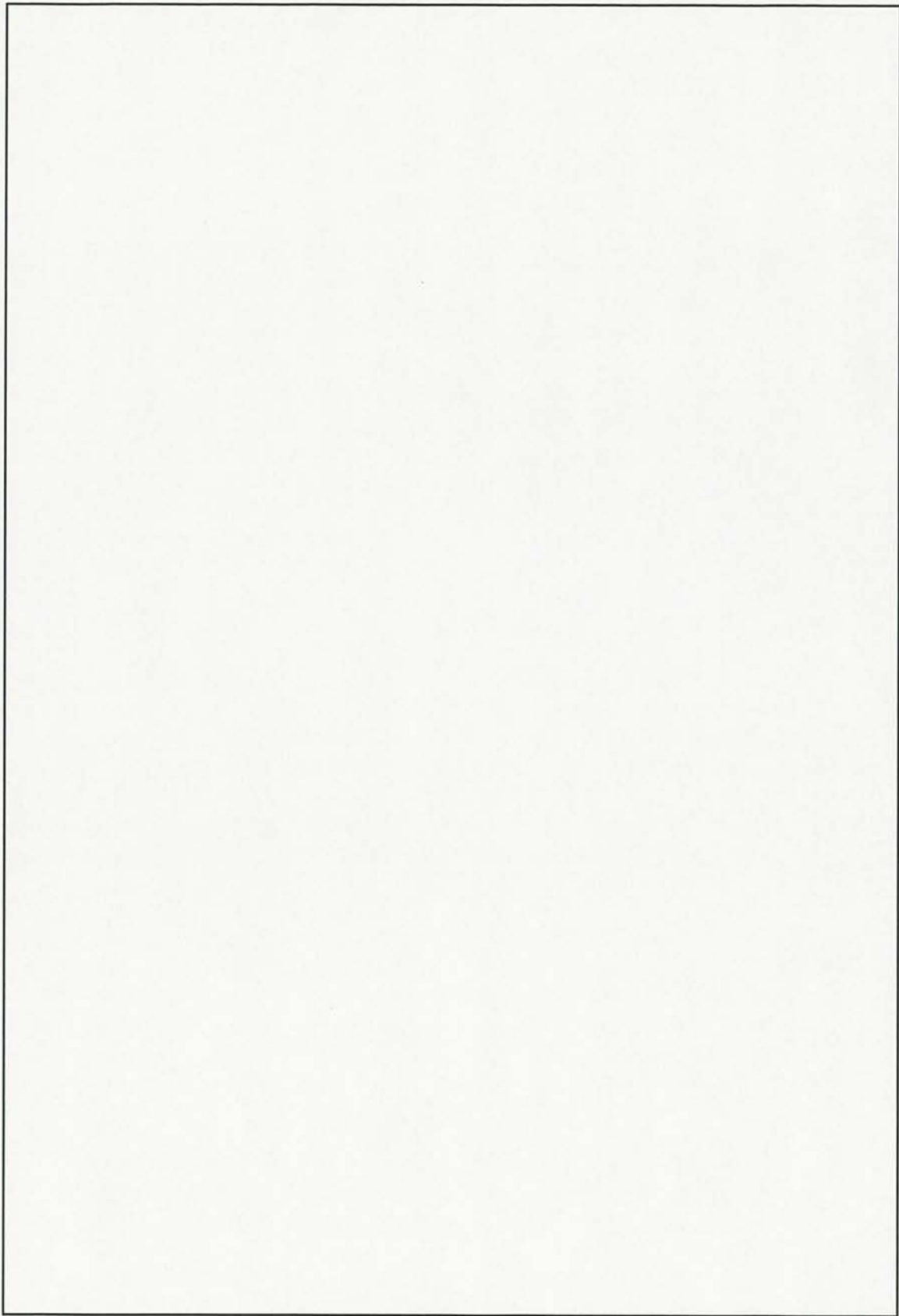


図 3.4 耐火試験における輸送物の温度曲線

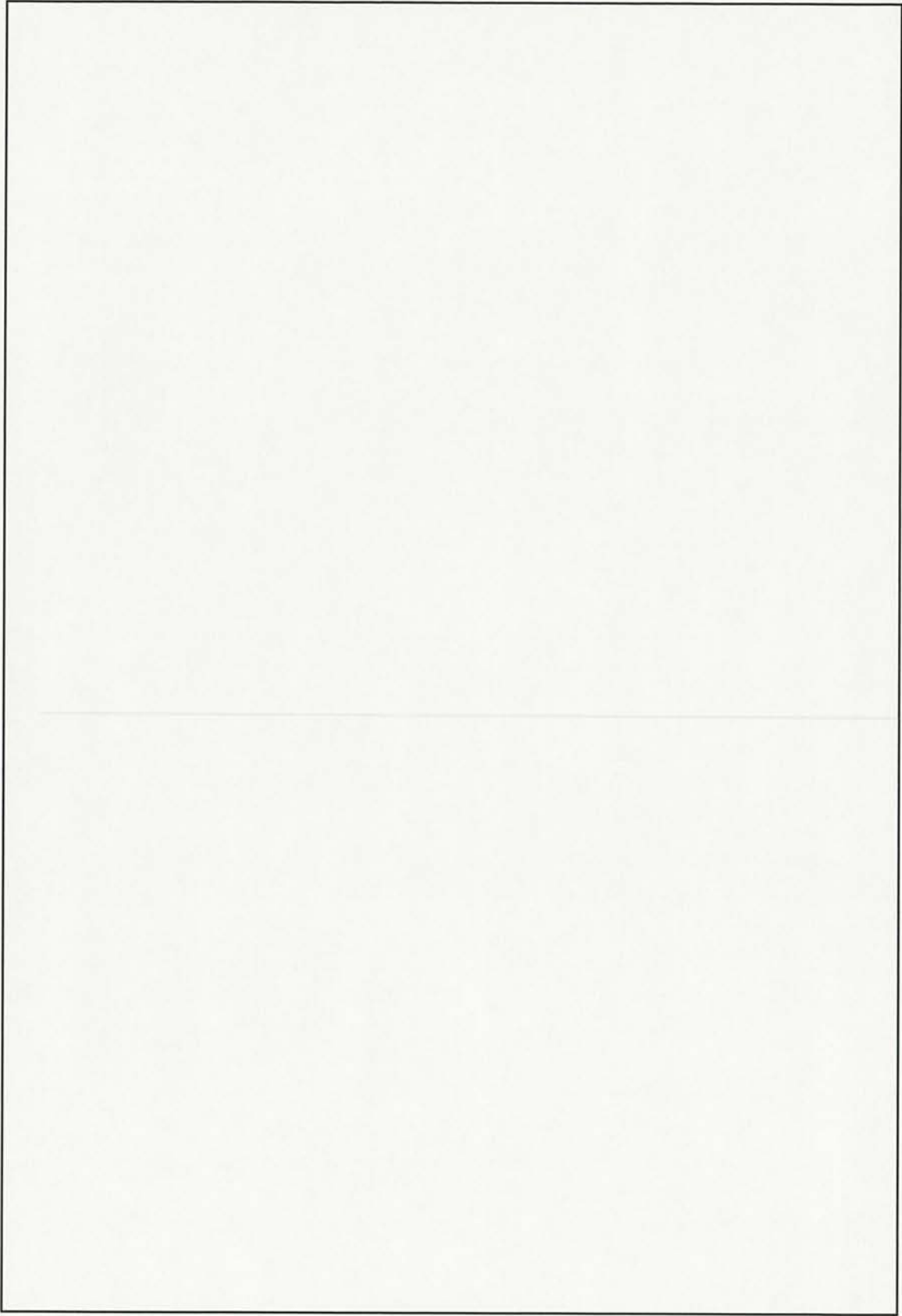


図 3.5 耐火試験における平均周囲温度曲線

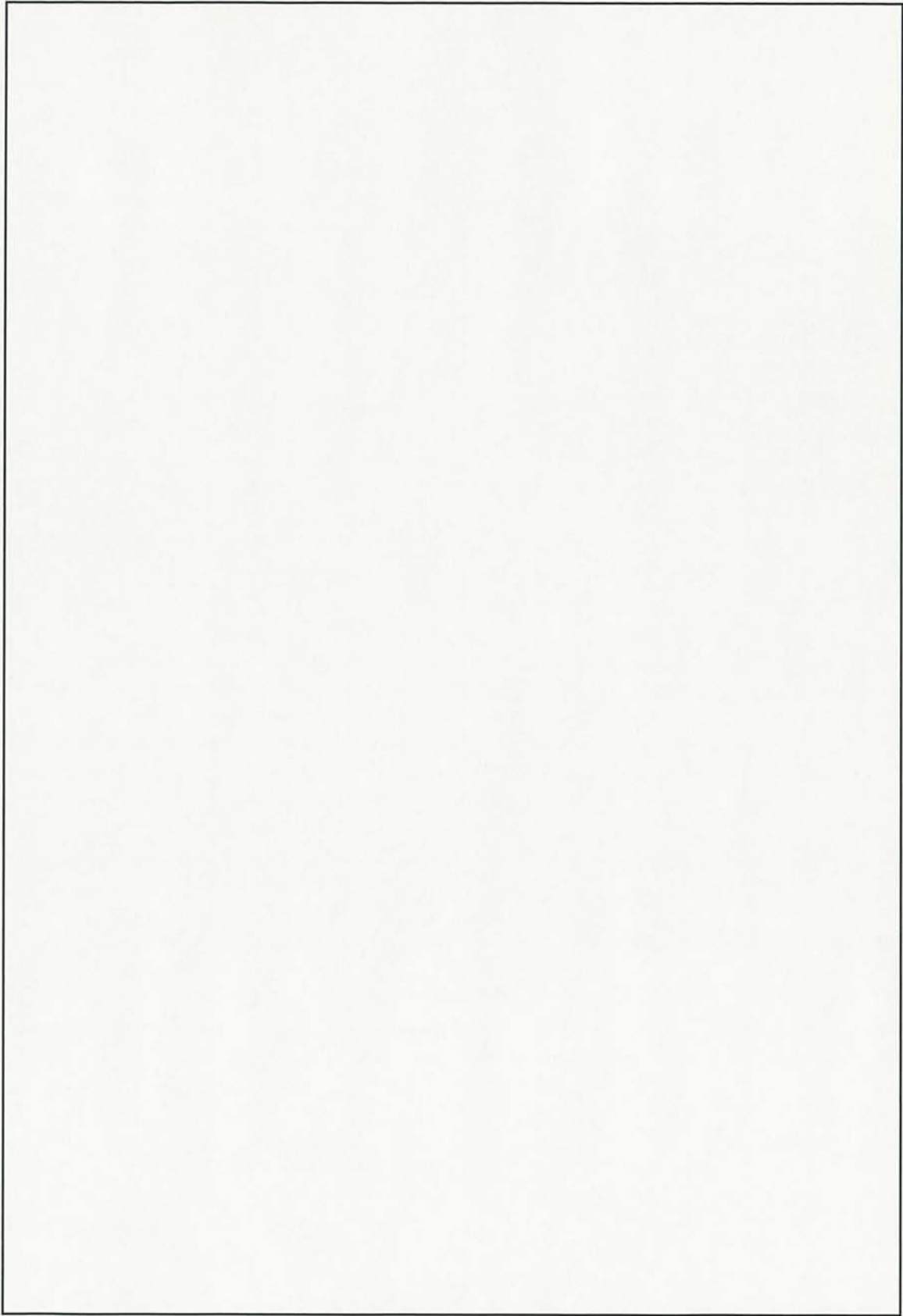


図 3.6 耐火試験におけるガスケット (内容器フランジ) の温度曲線



図 3.7 耐火試験における BORA レジン (中性子吸収材) の温度曲線



写真 3.1 耐火試験前の原型容器 P3

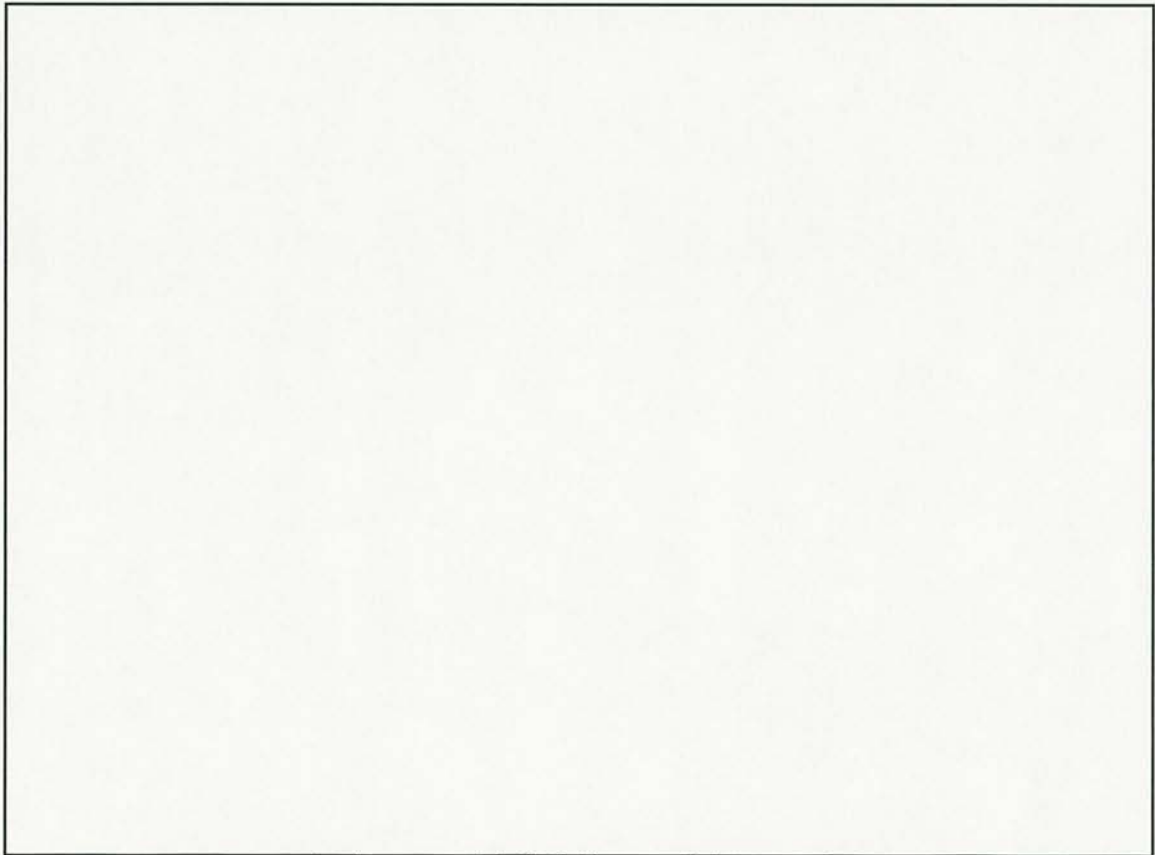


写真 3.2 耐火試験前の原型容器 P4 上面



写真 3.3 試験炉挿入時の原型容器 (1/2)

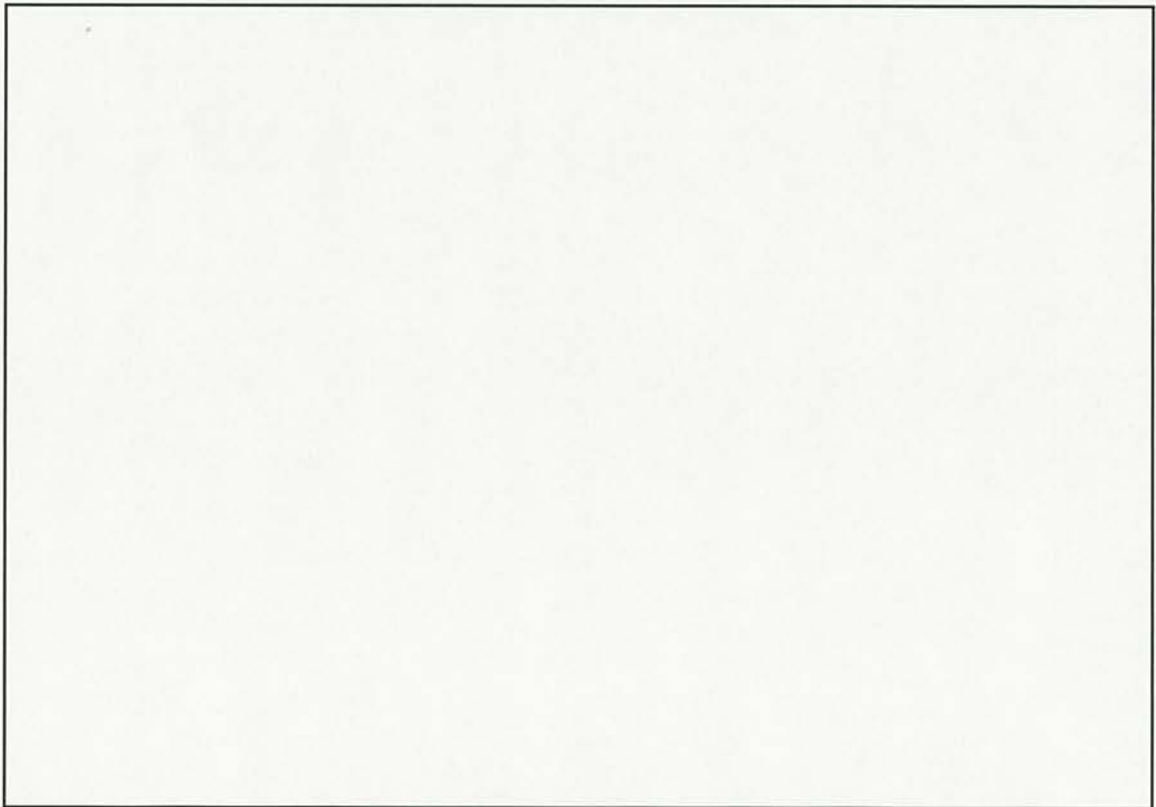


写真 3.4 試験炉挿入時の原型容器 (2/2)



写真 3.5 耐火試験終了直後の原型容器



写真 3.6 耐火試験終了後の自然冷却状態：原型容器 P3



写真 3.7 耐火試験終了後の自然冷却状態：原型容器 P4

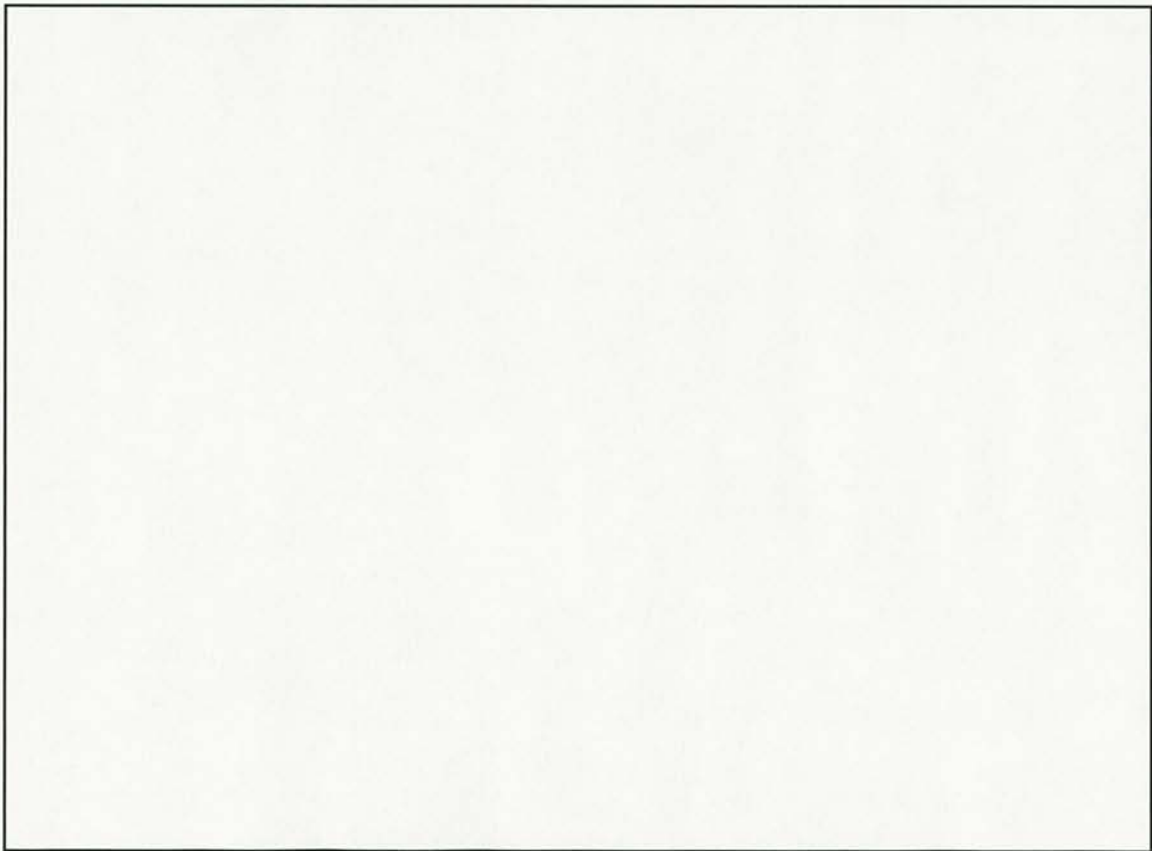


写真 3.8 耐火試験後の原型容器 P4 底部外殻切断前



写真 3.9 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォーム (外殻切断後)

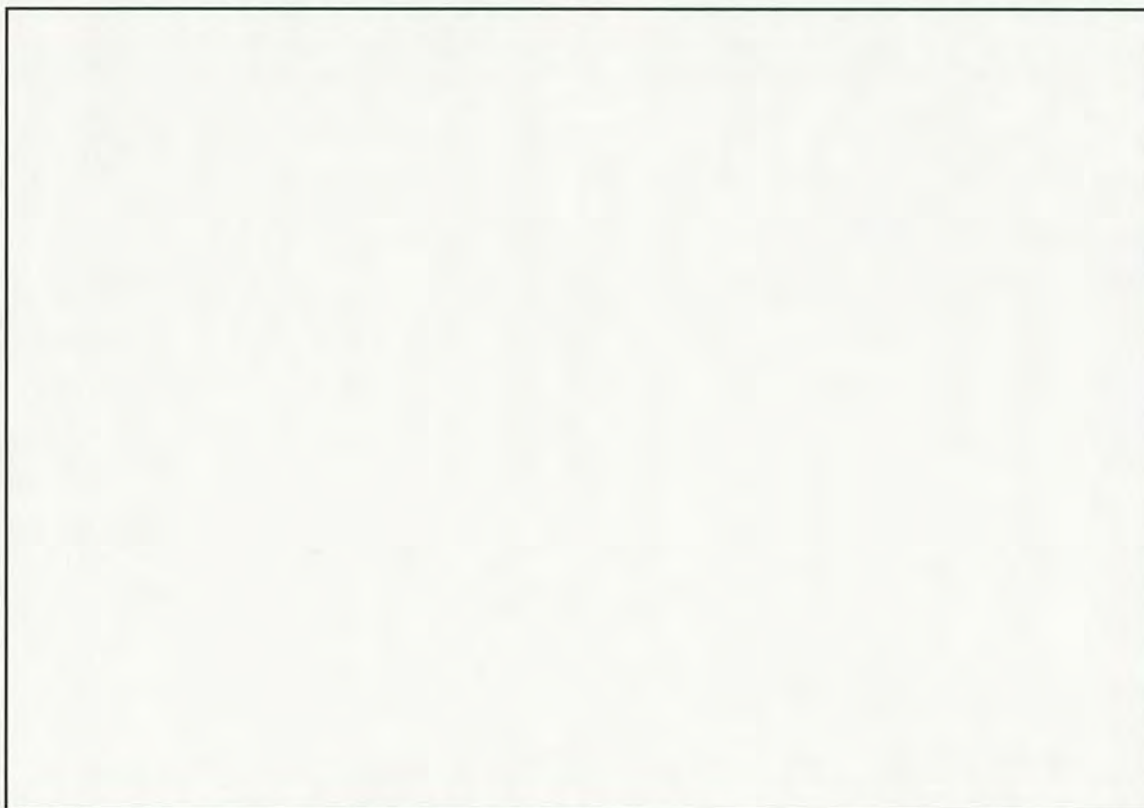
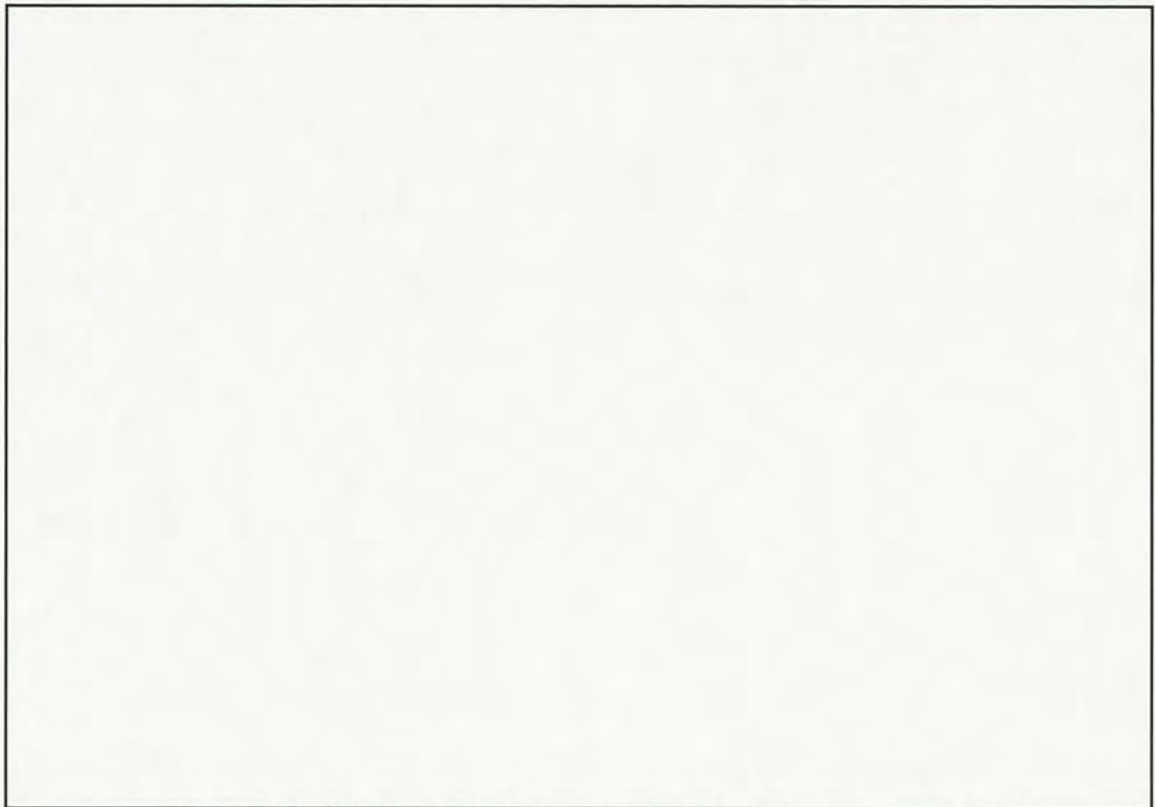


写真 3.10 耐火試験後の原型容器 P3 底部フェノリックフォーム (外殻切断後)



写真 3.11 耐火試験後の原型容器 P3 側面フェノリックフォームの焦げた層写真



3.12 耐火試験後の原型容器 P3 の内容器底面及び連結パイプ



写真 3.13 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォームの焦げた層 (1/2)



写真 3.14 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォームの焦げた層 (2/2)



写真 3.15 耐火試験後の原型容器 P4 内容器底部



写真 3.16 耐火試験後の原型容器 P4 外蓋の下部フェノリックフォーム，補強材
(アルミニウム合金) 及びボロン入りステンレス鋼製ディスク

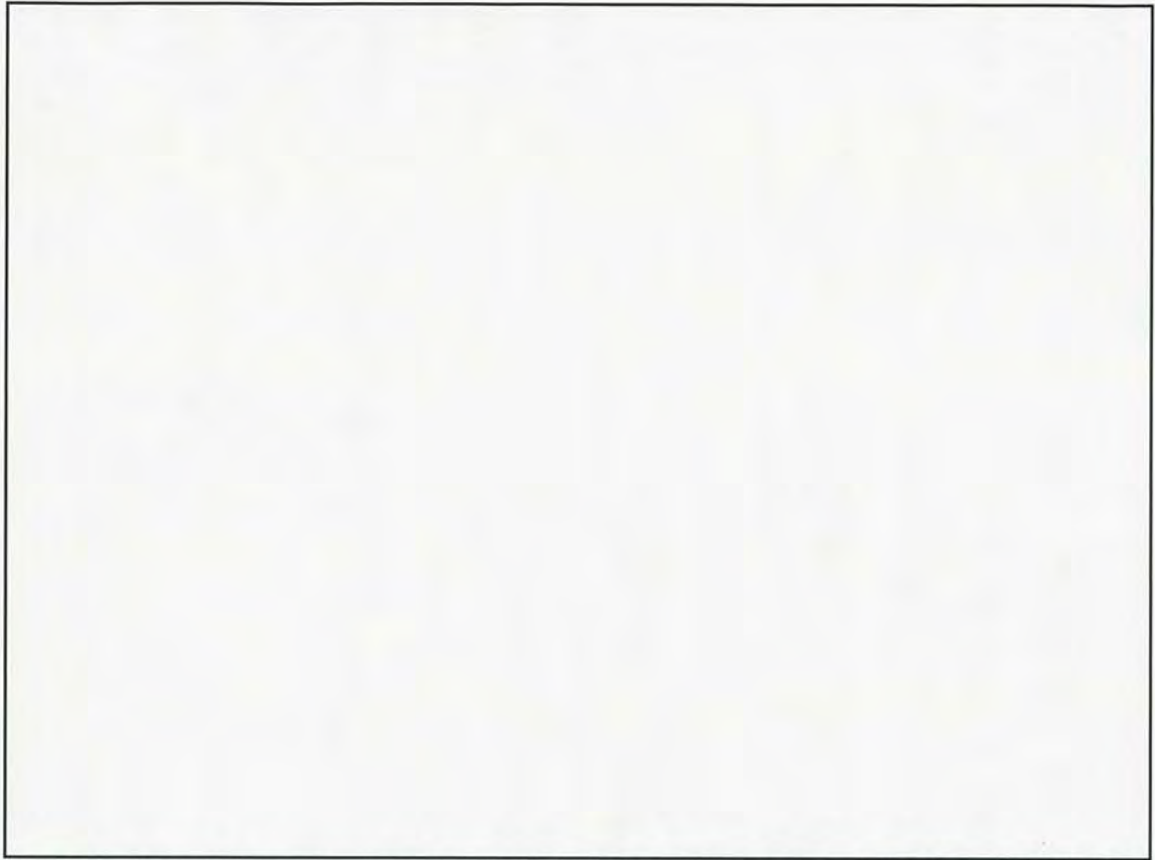


写真 3.17 落下試験 I (9 m) により衝撃を受けた原型容器 P4 内容器 の内蓋 (1/2)

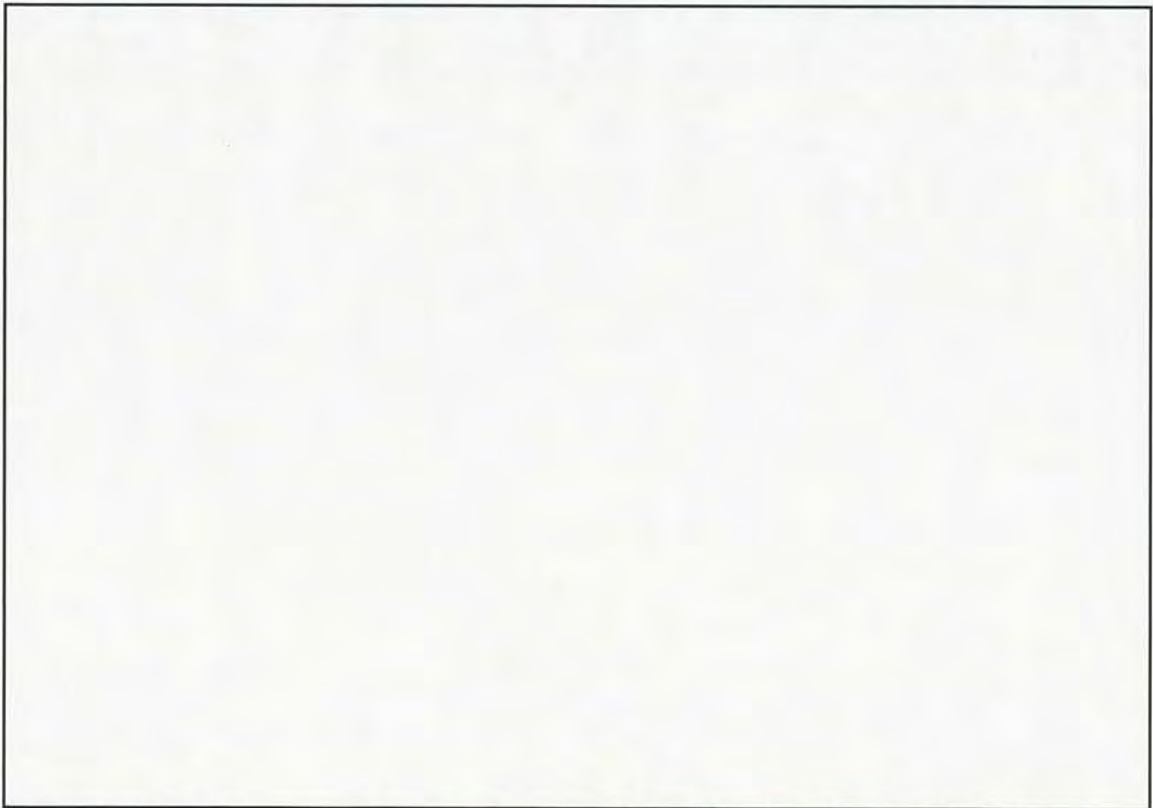


写真 3.18 落下試験 I (9 m) により衝撃を受けた原型容器 P4 内容器 の内蓋 (2/2)



写真 3.19 原型容器 P3 内容器内蓋 : アルコール洗浄後



写真 3.20 原型容器 P3 の消石灰漏えい試験

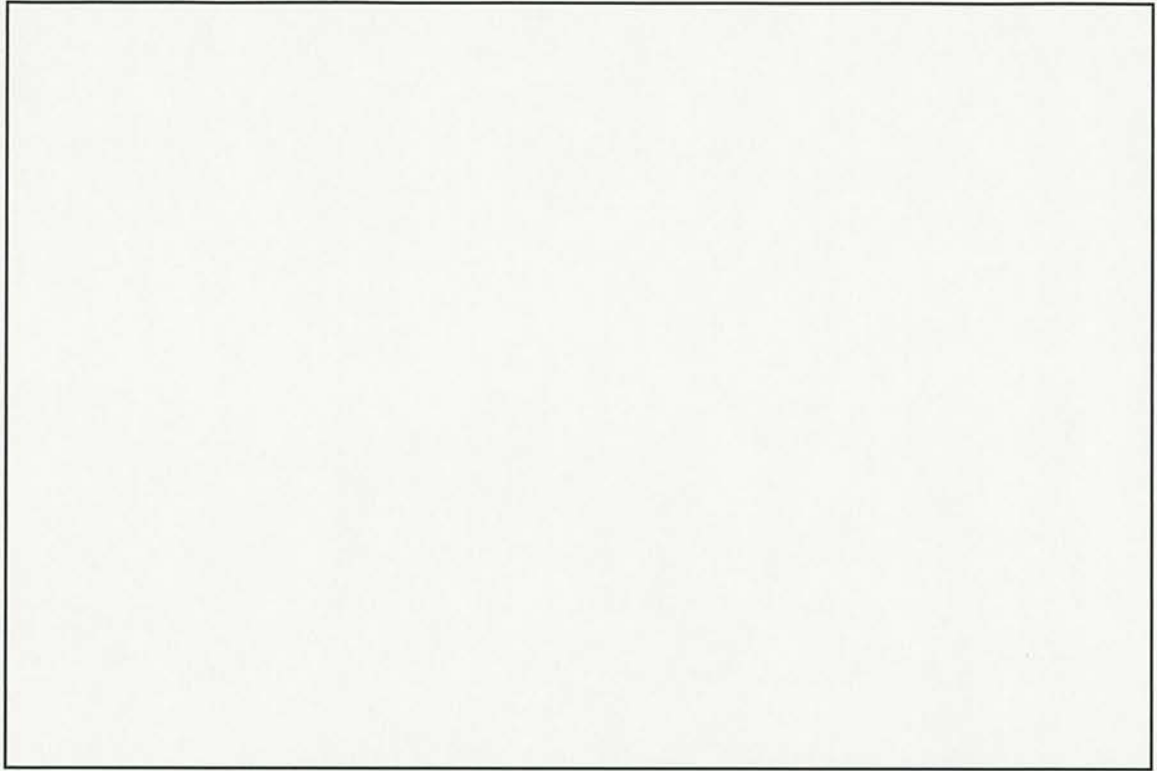


写真 3.21 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋 (1/3)

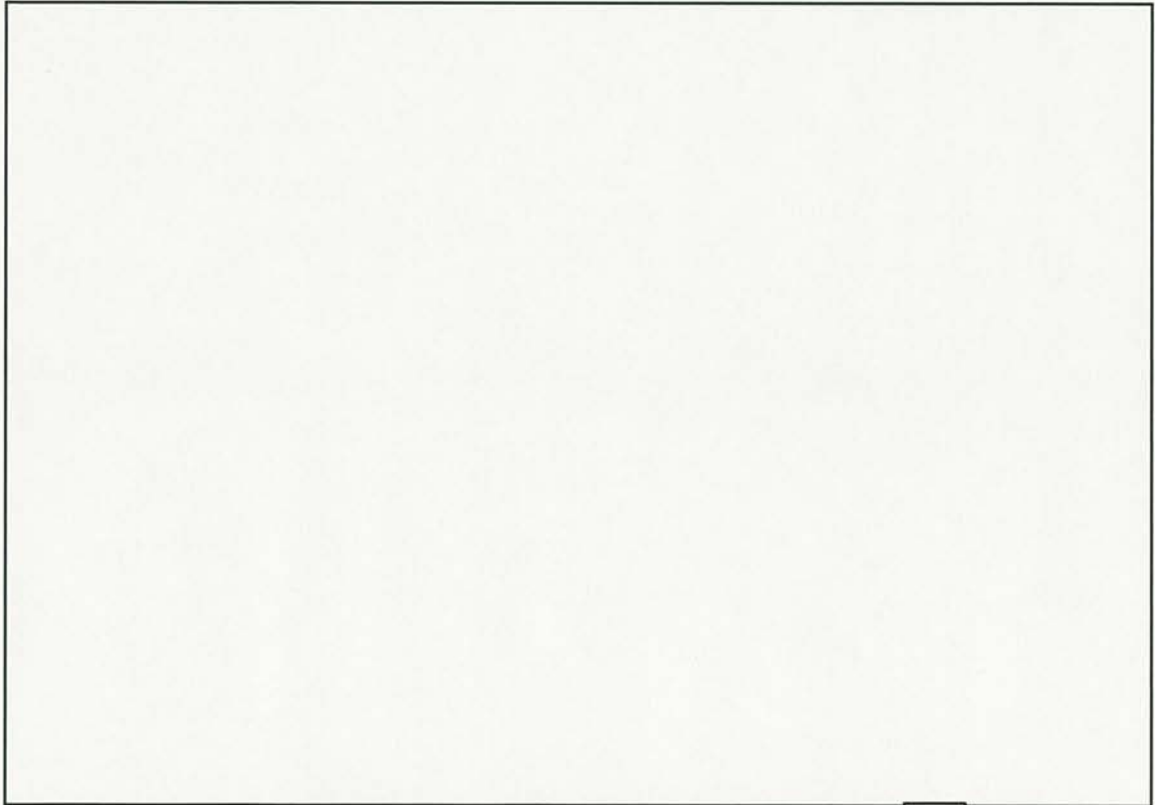


写真 3.22 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋 (2/3)



写真 3.23 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋 (3/3)



写真 3.24 耐火試験後の原型容器 P3 内容器 の粉末収納缶及び消石灰

(ロ)B 付属資料 4

4. 一般の試験条件解析結果

1. はじめに

熱解析における一般の試験条件下の温度評価では「JTACO-3D」コードを用いて三次元形状の四分の一体系解析モデルで計算している。解析に用いる物性値のうち、耐熱衝撃緩衝材と BORA レジンの値は熱伝導率等の実測値に基づき設定している。

本資料では、一般の試験条件下の解析条件の詳細とその解析結果について説明する。

また、解析条件の設定が解析結果に非安全側の影響を与えていないことを確認するために、耐熱衝撃緩衝材の熱伝導率が解析結果に与える影響に関する感度解析を同じ三次元形状解析モデルを用いて実施した。

2. 一般の試験条件下の温度評価

(1) 解析ソフト及び物性値

①解析内容 : 三次元非定常熱解析

②解析ソフト : 三次元有限要素法熱伝導コード「JTACO-3D」

JTACO-3D は、陰解法による三次元熱伝導解析のための有限要素法コード。

コードの原版は、William E. Mason Jr. により、1977～1980 年にかけて開発された。JTACO-3D は、その三次元版である。

③モデル物性値 : (ロ)–B 熱解析、B.2 材料の熱的性質 に記述したとおり。

なお、耐熱衝撃緩衝材の熱伝導率は「(ロ)A 付属資料 5」に示した測定結果を基に常温から□℃までの測定結果を包含する値として、□ W/m·K を使用した。

同様に、BORA レジンの物性値も常温近傍の測定値を包含する値を使用した。

(2) 解析条件

①入熱条件

- ・太陽熱による熱流束は、□時間入熱あり、□時間入熱なしを繰り返すものとした。
- ・入熱の熱流束を与えるのは容器外表上面及び外表側面である。

上面 : □ W/m²

側面 : □ W/m²

②その他境界条件

- ・下面は断熱条件
- ・内側対称面は、対象性から断熱条件

③内部境界条件 : 内部空間における熱の移動は、内部熱伝達条件として与えた。

④モデル初期温度 : □℃

⑤周囲温度 : 38℃ (静止空気)

(3) 解析モデル

図 1.1 に解析モデル外観図 (鳥瞰図) を示す。

図 1.2 に解析モデル要素分割図 (断面図) を示す。

(4) 解析結果

図 1.3に解析結果コンター図（鳥瞰図）を示す。

図 1.4に解析結果コンター図（断面図）を示す。

(5) 結論

上記解析結果から求まる一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度を表 1.1に示す。

表 1.1 輸送物各部の最高温度

部 位	最高温度 (°C)
外 蓋 上 面	72
外 容 器 側 面	64
側 部 耐 熱 衝 撃 緩 衝 材	51
B O R A レ ジ ン	50
内 容 器 内 壁 面	50
内 蓋 中 央 部	51
ガ ス ケ ッ ト	52

3. 熱伝導率の解析結果への影響

(1) 解析ソフト及び物性値

2章、一般の試験条件下の温度評価で記述したとおり。

(2) 解析条件

2章、一般の試験条件下の温度評価で記述したとおり。

ただし、太陽熱放射による入熱条件は、解析時間短縮のため24時間連続入熱とした。

また、耐熱衝撃緩衝材の熱伝導率としては、0.4 W/m・K、0.2 W/m・K 及び 0.05 W/m・K（乾燥時の実測値）の場合を比較計算した。

(3) 解析モデル

2章、一般の試験条件下の温度評価で記述したとおり。

(4) 解析結果

図 1.5～1.7に耐熱衝撃緩衝材の熱伝導率を変化させた場合の解析結果コンター図（断面図）を示す。

(5) 結論

上記解析結果から求まる輸送物各部の温度を耐熱衝撃緩衝材の熱伝導率と関連付けて表 1.2 に示す。

表 1.2 感度解析結果

(単位 : °C)

熱 伝 導 率	
ガ ス ケ ッ ト	
B O R A レ ジ ン	

上記結果から、耐熱衝撃緩衝材の熱伝導率が小さくなると容器内部温度は低下するため、大きい値を使用することは安全側であることが分かる。

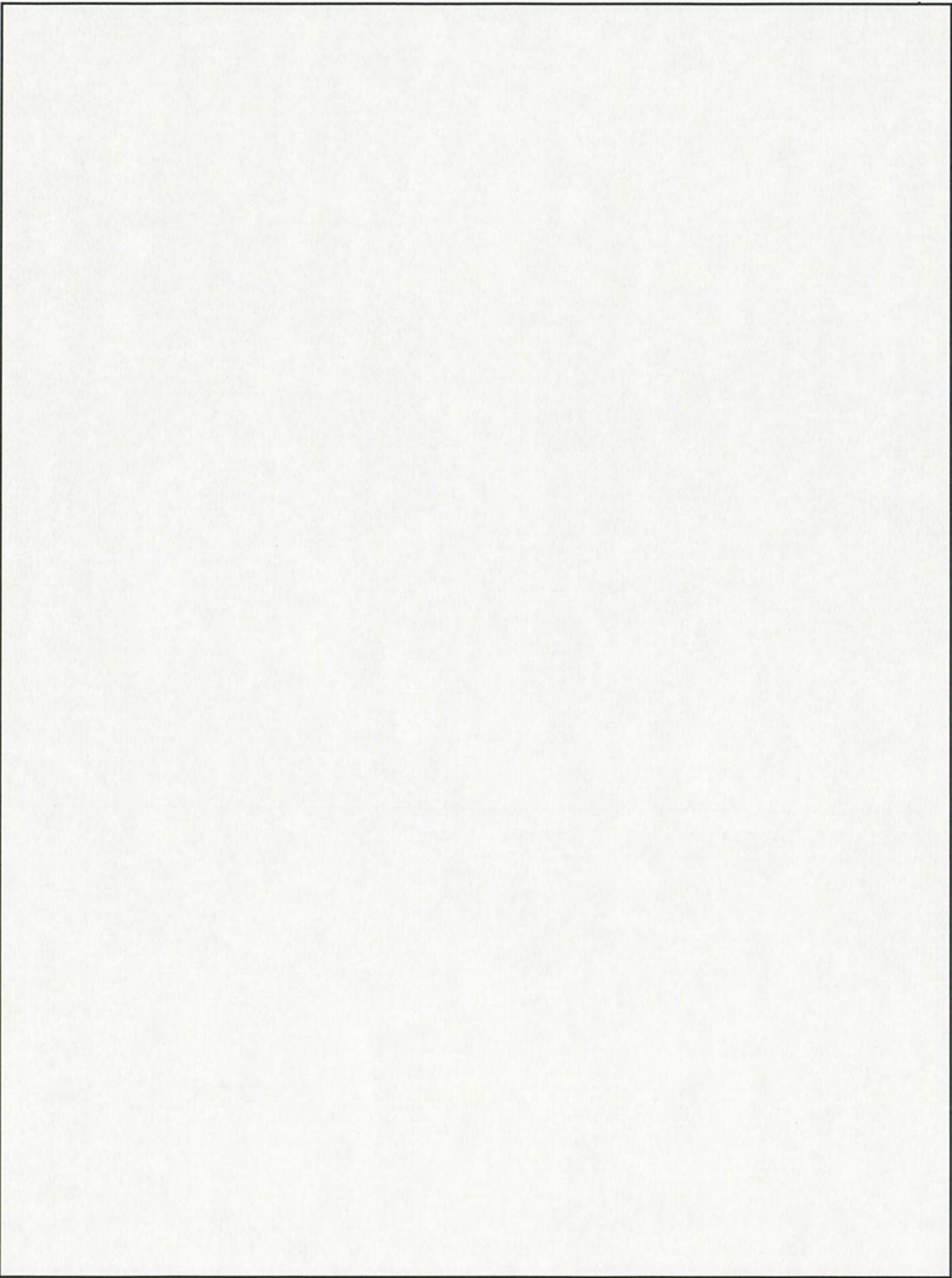


図 1.1 解析モデルの外観図 (鳥瞰図)

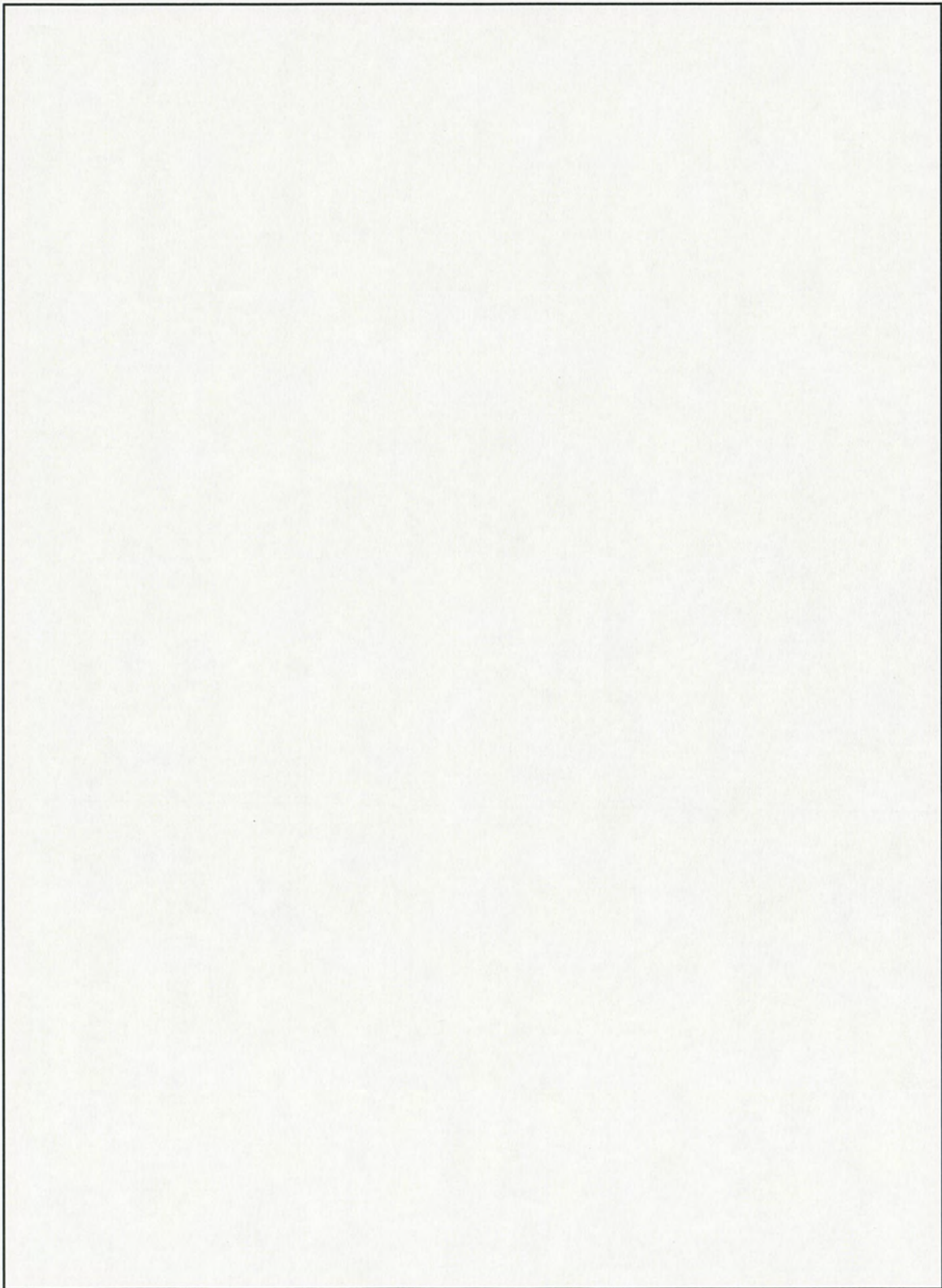


図 1.2 解析モデル要素分割図 (断面図)

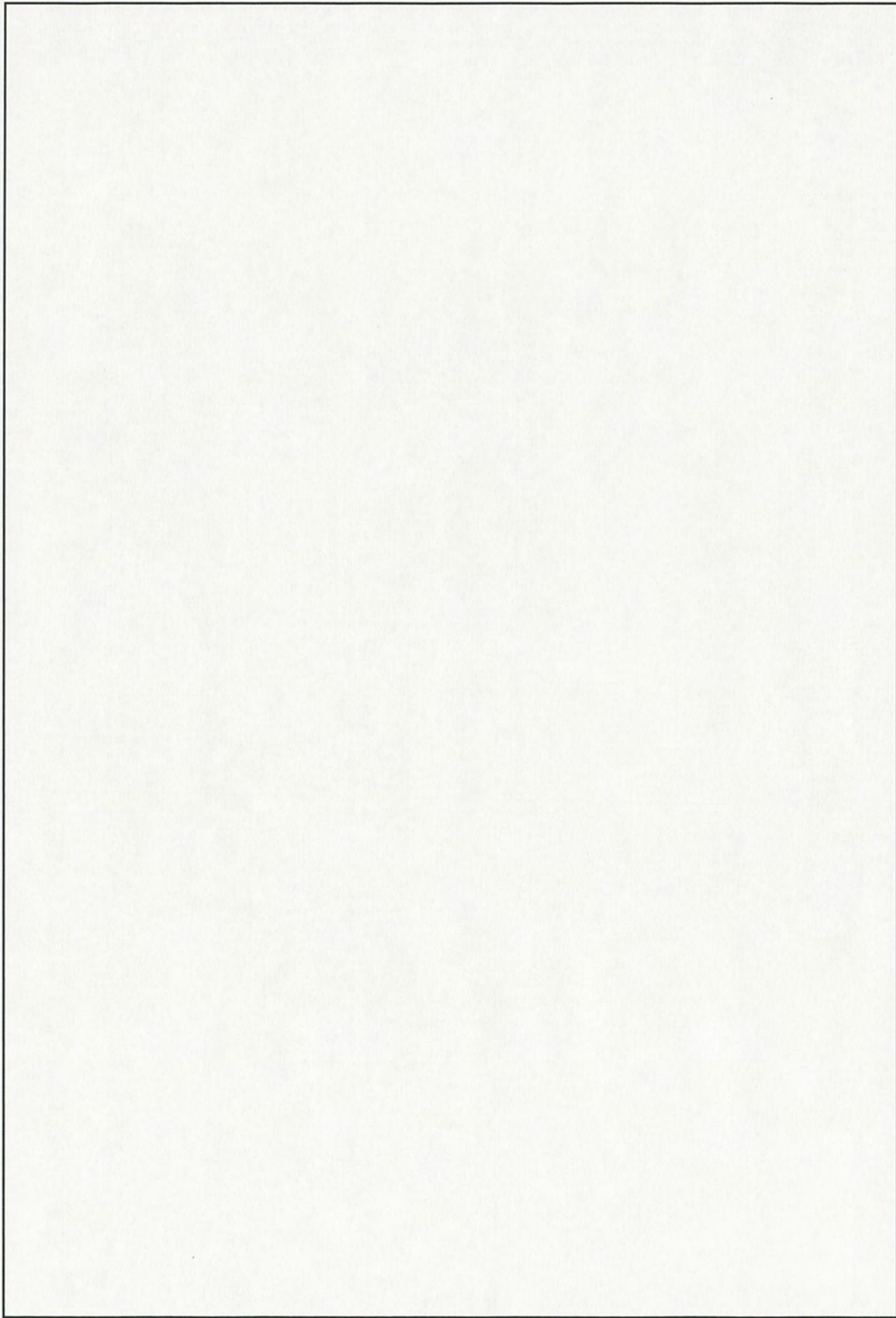


図 1.3 解析結果コンター図 (鳥瞰図)

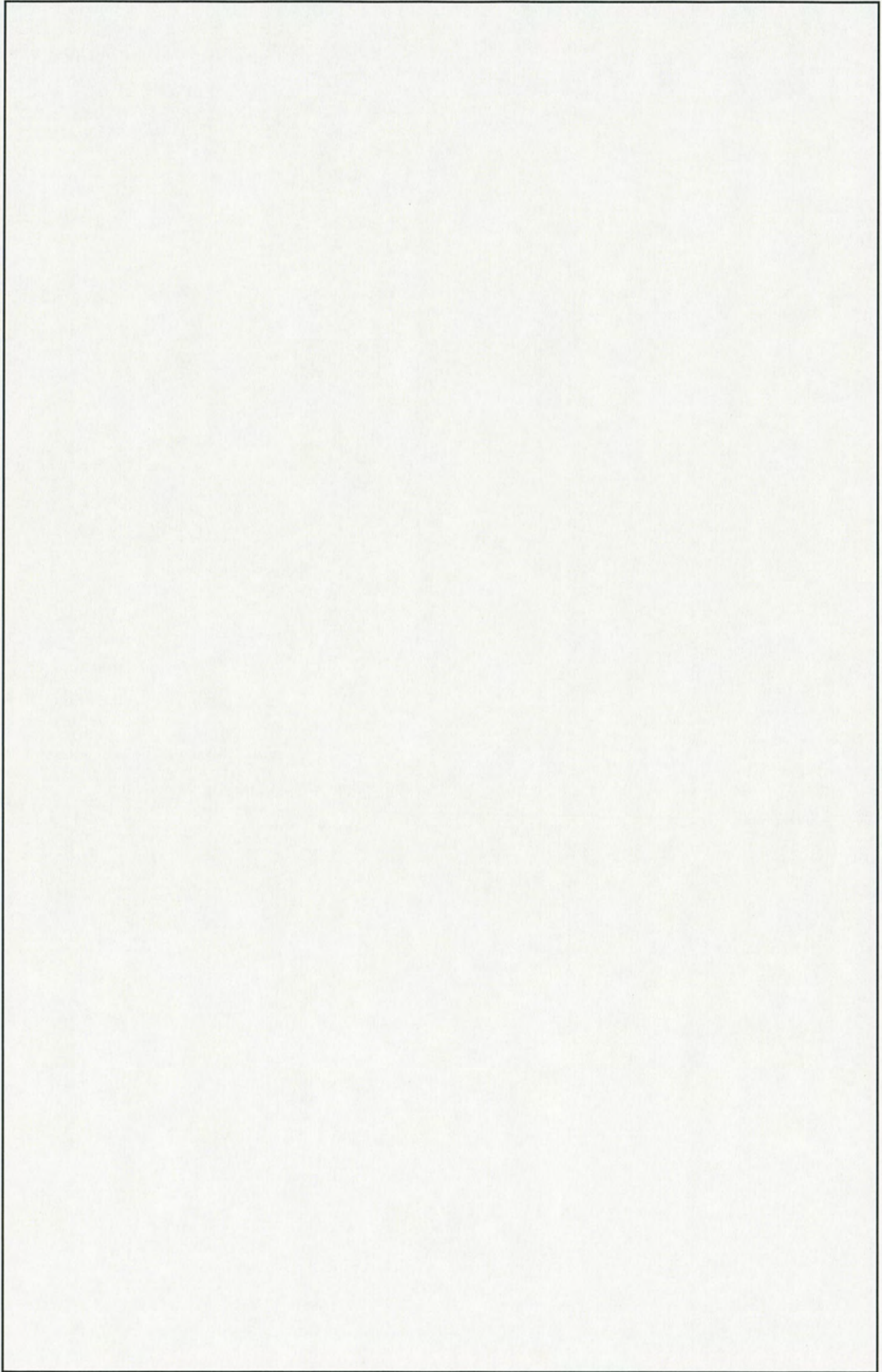


図 1.4 解析結果コンター図 (断面図)

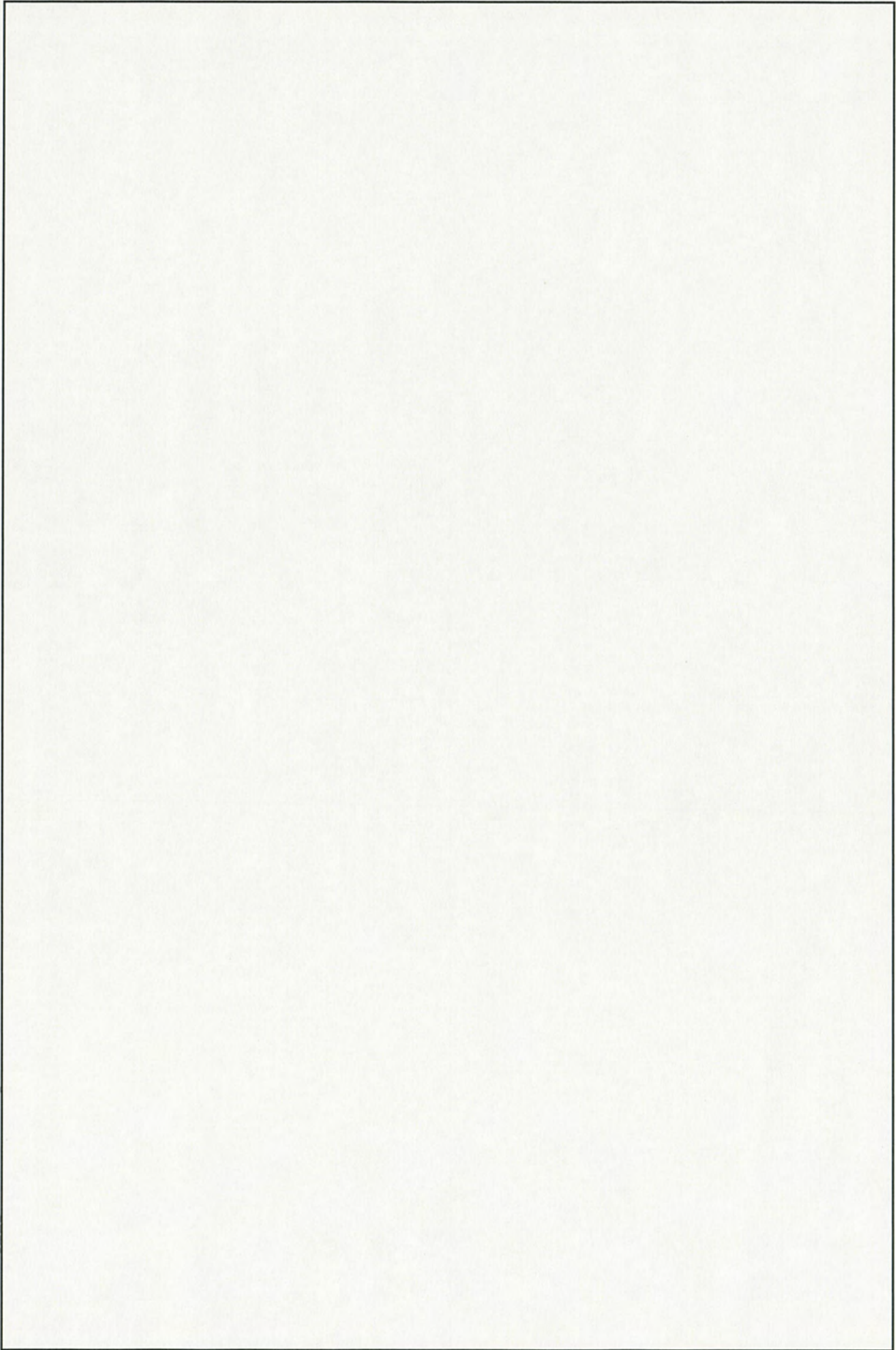


図 1.5 解析結果コンター図(断面図)

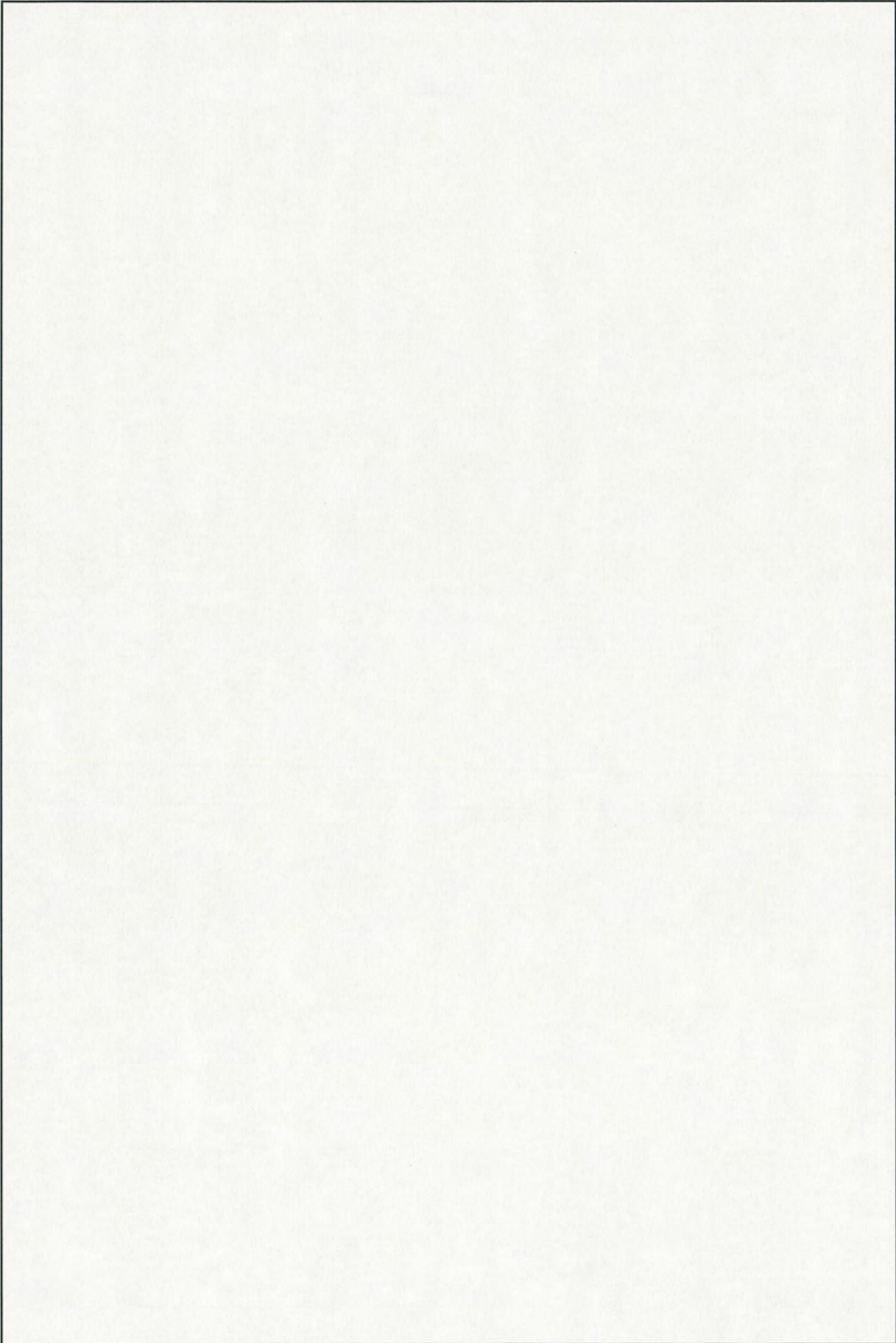


図 1.6 解析結果コンター図 (断面図)

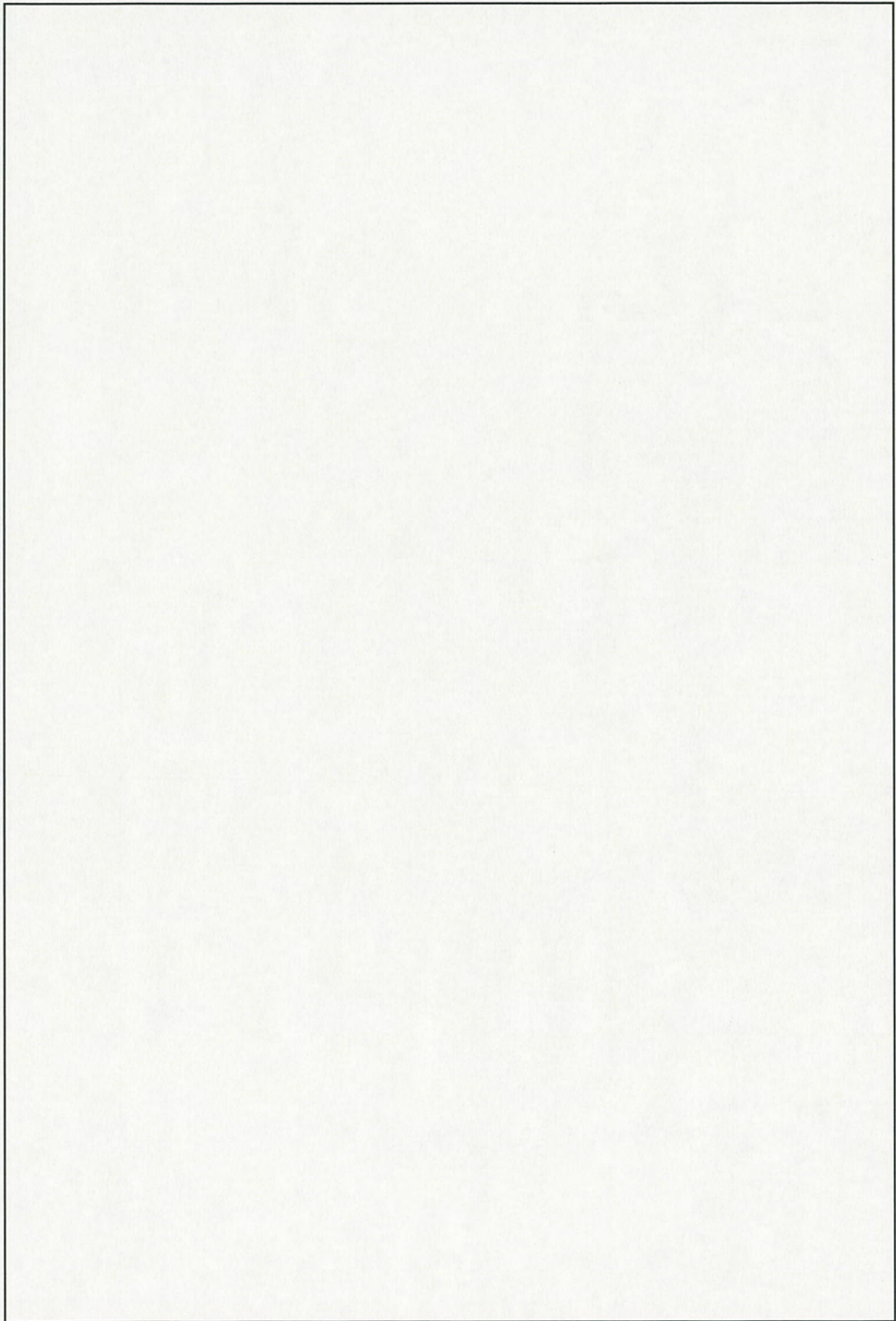


図 1.7 解析結果コンター図 (断面図)

(ロ)‑C 密封解析

C.1 概要

本輸送物の密封境界は内容器である。以下に内容器の密封性について評価する。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

密封境界である内容器は、

- i) 内容器本体
- ii) 内蓋
- iii) ガスケット

で構成されている。((ロ)C‑第 1 図参照)

内容器本体上部にはステンレス鋼製のバイオネット用フランジが溶接されており、胴部は肉厚□mm のステンレス製鋼板二枚と中性子吸収材の BORA レジンで構成されている。内蓋は板厚□mm のステンレス鋼製であり、下側には容器本体側のバイオネットと嵌合する形でバイオネットが溶接により取り付けられている。内容器の密封は、EPDM (エチレン・プロピレンゴム) 製ガスケットをバイオネット構造で締め付けることで保持している。

C.2.2 密封装置の貫通部

密封境界である内容器には貫通部に該当するものはない。

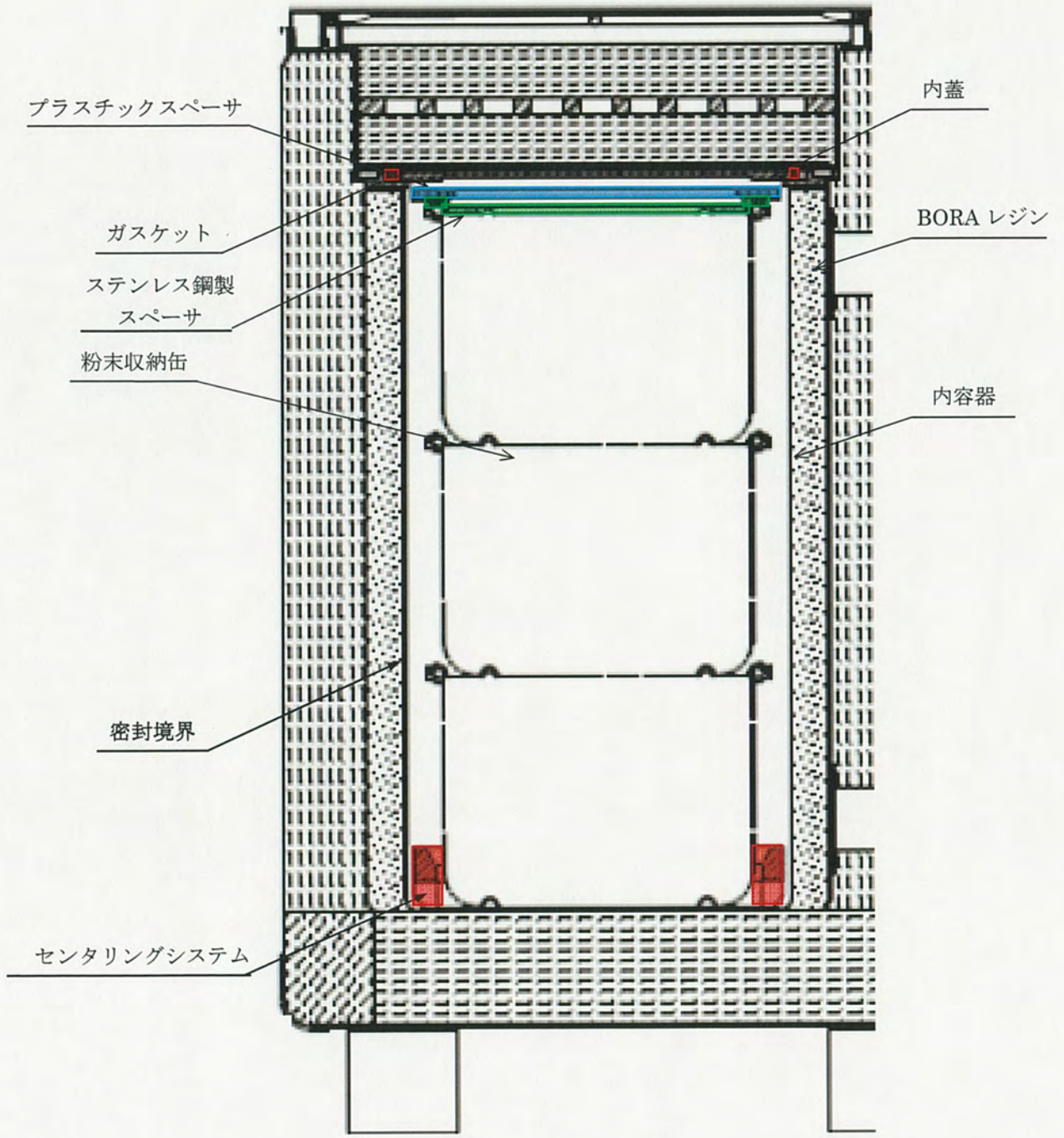
C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

密封境界である内蓋下側には EPDM 製ガスケットが取り付けられている。また、内容器本体上部には密封のためのバイオネット用フランジを溶接により取り付けている。

なお、外気圧が絶対圧で 60 kPa まで低下した場合の □kPa ゲージ内圧作用時においても内容器の密封性能が保持されることを解析により評価している。((ロ)A.4.6 参照)

C.2.4 蓋

蓋は肉厚が□mm のステンレス製鋼板で構成されており、下側には内容器本体のバイオネット用フランジ部に嵌合する形でバイオネットが溶接により取り付けられている。



(口)C-第1図 内容器密封境界

C.3 一般の試験条件

一般の試験の実施に際し、内容物の密封性能を確認する目的で消石灰を粉末収納缶（粉末収納缶内には重量模擬のため純鉄粉 300 kg を収納している。）の上面に載せて試験を実施した。なお、ケース 1の方がケース 2より輸送物の最大重量が大きく、ケース 1とケース 3は同一であることから、一般の試験における評価はケース 1がより厳しくなることから、代表してケース 1を対象に評価を行った。なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。試験後に内蓋を外し、ガスケット部を確認したがガスケットより外側に消石灰の付着は認められなかったことから、収納物の漏えいは生じないと考えられる。なお、収納物は水密性の粉末収納缶内に入れられ収納容器上蓋が締付金具により締め付けられているが、模擬収納物として使用した純鉄粉は一般の試験条件後、粉末収納缶から一切飛散していない。

以上のように、ガスケットから消石灰の漏えいはなく、内容物にも大きな変形は生じていないことから放射性物質が漏えいすることはない。

1) 水噴霧

本輸送物の内容物については、内蓋にガスケットを取り付けて密封性を維持しているの
で、水の吹きつけ試験で水が内部へ浸入することはない。

2) 自由落下

自由落下試験による輸送物の変形は、輸送容器の変形に留まり収納物の変形はなく、内
容器の密封性は維持される。((口)A.5.3 参照)

3) 積み重ね

積み重ね試験による輸送物の変形を解析により評価した結果、輸送容器への影響は弾性
変形域に留まり、内容物の密封性は維持される。((口)A.5.4 参照)

4) 貫通

貫通試験による輸送物の変形は、輸送容器のわずかな変形に留まり、内容物の密封性は
維持される。((口)A.5.5 参照)

C.3.1 放射性物質の漏えい

原型容器試験の結果から、一般の試験条件下においても内容物は良好な密封性を維持し
ているため放射性物質の漏えいはない。なお、太陽ふく射熱により内容物内圧が上昇し
kPa のゲージ内圧作用時においても密封性能が保持されることを解析により評価している。
((口)A.5.1.3 参照)

C.3.2 密封装置の加圧

本輸送物の収納物は新燃料用のウラン酸化物であり、核分裂生成ガスの発生はない。また、内容器温度が太陽ふく射熱により上昇しても最高 52 °C であり、この温度では内容器内の EPDM、ポリエチレン、ポリウレタン及びポリオキシエチレンからの気体の発生はない。従って、密封装置の加圧の問題はない。

C.3.3 冷却材汚染

冷却材を使用していないので、冷却材汚染はない。

C.3.4 冷却材損失

冷却材を使用していないので、冷却材損失はない。

C.4 特別の試験条件

本輸送物は A 型核分裂性輸送物であり、特別の試験条件下における密封性は要求されないが、参考のため、原型容器試験において特別の試験条件下における密封性についても確認している。なお、ケース 1 の方がケース 2 より輸送物の最大重量が大きく、ケース 1 とケース 3 は同一であることから、特別の試験条件下における評価はケース 1 がより厳しくなることより、代表してケース 1 を対象に評価を行った。

確認の方法としては、原型容器を用いた一連の特別の試験（落下試験 I、落下試験 II、耐火試験）の実施に際し、一般の試験条件と同様に粉末収納缶内には重量模擬のための純鉄粉を 300kg 収納し、収納容器の上面には内容器の密封性を確認するために消石灰を載せて試験を行った。なお、模擬重量物である純鉄粉は輸送物総重量が設計最大重量となるように収納している。なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。試験後に内容器ガスケットの密封性を確認するために、変形した外蓋を切断により取り外し、内蓋並びにフランジ面を清浄にした後、容器をさかさまに吊り振ってみたが内蓋から消石灰がこぼれ出すことはなかった。その後の外観検査において内蓋を外し、ガスケット部を確認したがガスケットより外側に消石灰の付着は認められなかった。（「(ロ)B 付属資料 3 3.5.5」及び「(ロ)A 付属資料 4 4.4.3 及び写真 4.12」参照）

また、特別の試験条件下の落下試験に引き続き実施した耐火試験の後でも、密封境界である内容器の健全性が保たれることを試験により確認しており、臨界に影響を及ぼすような著しい漏えいはない。

C.4.1 核分裂生成ガス

該当せず。

C.4.2 放射性物質の漏えい

前述のように特別の試験条件下における落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ並びに耐火試験後においても消石灰の漏れは認められなかった。

また、参考として特別の試験条件下における落下試験後に気密試験を実施したところ、 kPa のゲージ内圧を内容器に加えて、1 時間後においても kPa のゲージ内圧が保持されていることが確認できた。(「(ロ)C 付属資料 1」参照)

C.5 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下における輸送物の密封性について評価した。この結果、密封境界である内容器には大きな変形はなく、健全であり、常に密封性が保たれることが確認できた。

参考のため、特別の試験条件下における輸送物の密封性について評価した。この結果、密封境界である内容器は健全であり、臨界に影響を及ぼすような著しい漏えいはないことが確認できた。

このことから、臨界解析では収納物が常に内容器内にとどまるものとして解析を行う。ただし、保守的な仮定として、ウラン酸化物若しくはウラン残渣は粉末収納缶から内容器内に出るものとし、内容器内には水が浸入するものとして解析を行っている。

(ロ)C 付属資料 1

1. 落下試験後の気密試験結果

1. はじめに

TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 の追加落下試験後の気密性について、内容器内部を加圧後一定時間経過後の圧力降下により評価した。

本資料では気密試験の方法並びに結果について記述する。

2. 試験方法

(1) 試験実施日 2002 年 2 月 21 日

(2) 試験場所 仏国ロダン試験施設

(3) 試験装置 試験ゲージ : FGP M202、標示器 : P211

(4) 試験手順

- ① 内容器底部に試験用にあらかじめ設けたバルブからコンプレッサを用いて内部を約 kPa のゲージ圧まで加圧する。
- ② 内部圧力が安定するまで約 15 分程度待ってから試験を開始し、初期圧力及び温度をチェックシートに記入する。
- ③ 一定時間 (今回の試験では 60 分) 放置後、試験を終了し、終了時の圧力及び温度をチェックシートに記入する。

(5) その他 試験はトランスニュークリア社技能クラス、COFREND 2 又は 3 保有者が実施すること。

3. 試験結果

表 1 に示す。

表 1 気密試験結果

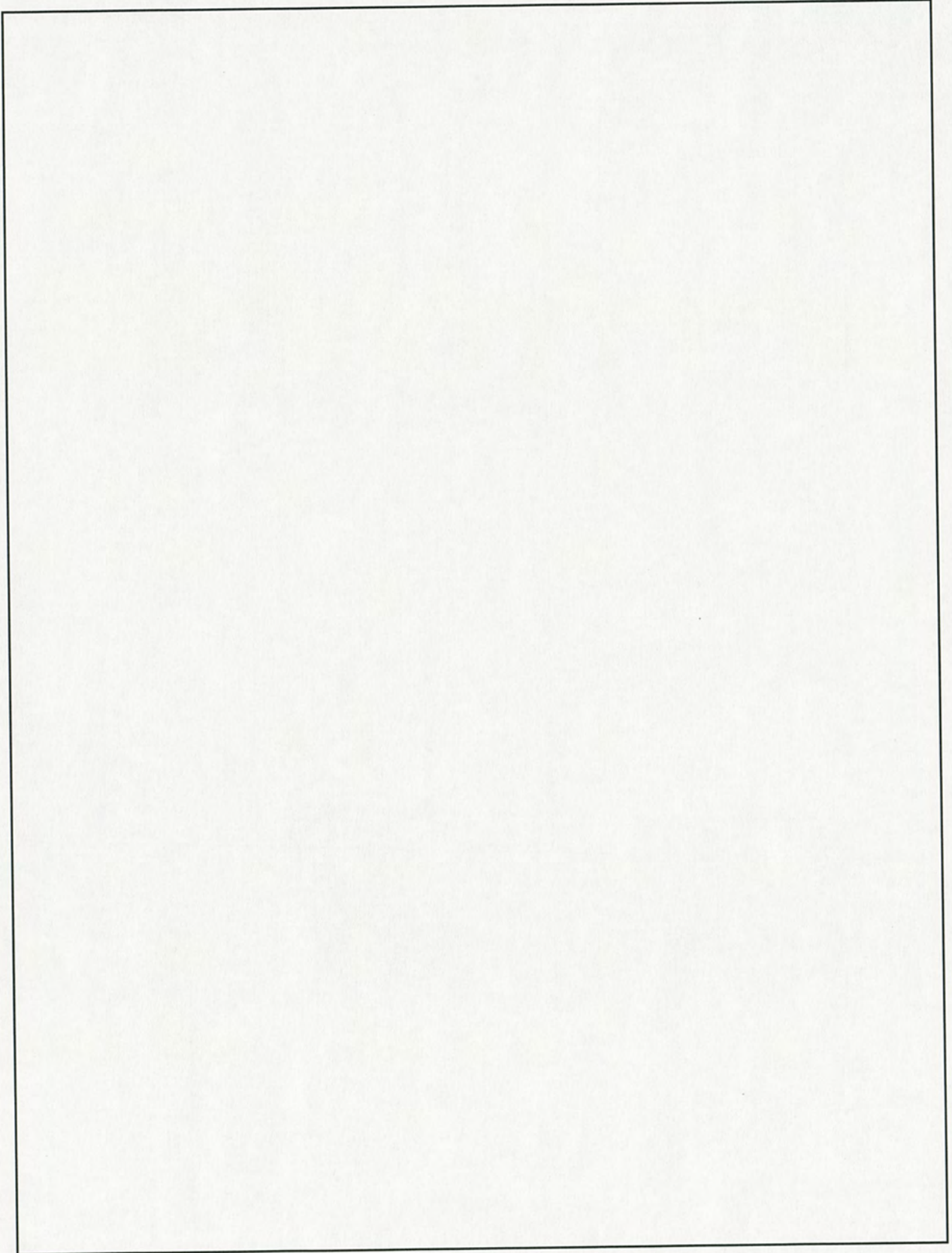
条 件	内部圧力 (kPa : ゲージ圧)	温度 (°C)	備 考
試験開始時	<input type="text"/>	8.5	
試験終了時	<input type="text"/>	8.5	
圧力降下	0.1	—	3600 秒後

4. 結論

TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 の追加落下試験後の気密性を確認した。

その結果、kPa の内部圧力において、1 時間後の圧力降下はkPa であり、試験後も気密性は確保できているといえる。

添付資料：トランスニュークリア社作成チェックシート



(ロ)D 遮蔽解析

D.1 概要

本輸送容器に収納するのは、濃縮度 5%以下のウラン酸化物(粉末、焼結体又はスクラップ)であり、その線源強度が低いので遮蔽を目的とした構成部材や装置は設けていない。

輸送物からの放射線量のほとんどは、ウラン及びその娘核種がアルファ崩壊又はベータ崩壊する際に放出するガンマ線によるものである。

本輸送物の遮蔽解析では、保守的に粉末収納缶やボロン入りステンレス鋼製リングは無視してモデル化するため、粉末収納缶の形状の違いは評価に影響しない。(イ)D 章に示すケース 1 からケース 3 の「主要な核種及び放射能の量」を比較すると、全核種でケース 1 の放射能量が最大となることから、線源強度が最も高くなるのはケース 1 である。なお、ケース 1 では濃縮度 5%の二酸化ウランの最大収納量は 284 kg であるが、本解析では保守的に濃縮度 5%の二酸化ウランを 300 kg 収納する条件で解析を行う。通常輸送時及び一般の試験条件下の輸送物の線量当量率は、以下のような条件で点減衰核積分コード QAD-CGGP2R を用いて求めた。本コードは国際放射線防護委員会 (ICRP) の 1990 年勧告 (Publication. 74) の取り入れにより国内法令で採用された実効線量当量の計算が可能となっている。

- ① 解析モデルは、ウラン酸化物 300 kg-UO₂ が 4 個の容器に均等に存在するものとした。(75 kg-UO₂/容器)
- ② 解析モデルには、輸送容器の主要構成部材であるステンレス鋼板、中性子吸収材 (BORA レジン)、耐熱衝撃緩衝材 (フェノリックフォーム) 及び) を考慮している。
- ③ 一般の試験条件下の解析モデルは、輸送容器外殻が縦、横、高さそれぞれの方向に mm ずつ縮んだモデルとした。この際、線源と輸送物表面との距離が近づき保守的となることから、各容器間の距離は変わらないものとした。
- ④ 一般の試験条件下の解析モデルでは、耐熱衝撃緩衝材の変形による密度変化はないものとした。
- ⑤ 解析モデルにおいて、線源領域には各容器内にかさ密度が最も低い二酸化ウラン粉末又は最も高い二酸化ウラン焼結体が存在するものとしてそれぞれ密度と領域を考慮し、保守的に粉末収納缶やボロン入りステンレス鋼製リング、ブロッキングシステムは存在しないものとした。
- ⑥ 線源強度はウランの娘核種を考慮して ORIGEN 2 コードを用いて求めた。

以上のような解析条件のもとで得られた計算結果を(ロ)D-第 1 表に示す。計算の結果、通常輸送時における輸送物表面の最大線量当量率は二酸化ウラン焼結体収納時に得られ 2.20×10^{-2} mSv/h であり、また表面から 1 m の点における線量当量率は二酸化ウラン粉末収納時に得られ 2.21 μ Sv/h であるため、基準の線量当量率 (表面で 2 mSv/h 以下、表面から 1 m の点で 100 μ Sv/h 以下) を満足している。

一般の試験条件下においては、最大線量当量率は二酸化ウラン焼結体収納時に得られ、表面での線量当量率は 2.23×10^{-2} mSv/h であり、基準の線量当量率 (表面で 2 mSv/h 以下) を満足している。一般の試験条件下における線量当量率の増加割合は約 1.4%とわずかである。

(口)D-第1表 輸送物の最大線量当量率

	輸送物の表面	表面から1mの点
通常輸送時	2.20×10^{-2} mSv/h	2.21 μ Sv/h
基準	≤ 2 mSv/h	≤ 100 μ Sv/h
一般の試験条件下	2.23×10^{-2} mSv/h	—————
基準	≤ 2 mSv/h	—————

D.2 線源仕様

本収納物のウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大収納量は 284 kg であり、4 個の容器に収納する。解析モデルでは線源として 4 個の容器にそれぞれ保守的に 75 kg ずつ、計 300 kg のウラン酸化物が収納されるものとした。

D.2.1 ガンマ線源

収納物は濃縮度が 5% 以下の濃縮ウランで、その主要構成核種は ^{232}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 及び ^{99}Tc である。線源仕様の詳細を以下に示す。

(1) ウラン同位体及びウラン娘核種

本収納物のウラン同位体としては ^{232}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 、 ^{99}Tc の 6 核種を考慮した。組成は ^{232}U 1.0×10^{-8} wt%、 ^{234}U 5.0×10^{-2} wt%、 ^{235}U 5.0 wt%、 ^{236}U 2.5×10^{-2} wt%、 ^{99}Tc 1.0×10^{-6} wt%、残りは全て ^{238}U とした。

(2) 線源強度

(1) に記したウランの同位体について ORIGEN 2 コードを用いて、娘核種を考慮した各同位体のガンマ線源スペクトルを求めた。(ロ)D-第 2 表にガンマ線源スペクトルの計算結果を示す。各同位体の放射エネルギーは、各ウラン同位体について [] を考慮した比放射能を用いて計算した。計算結果を(ロ)D-第 3 表に示す。

D.2.2 中性子源

該当せず。

(ロ)D-第2表 ガンマ線源スペクトル計算結果 (75 kg-UO₂相当)

平均γ線エネルギー (MeV)	線源スペクトル (Photons/s)
0.015	1.812×10^9
0.025	1.261×10^8
0.0375	5.680×10^7
0.0575	1.255×10^8
0.085	1.474×10^8
0.125	8.057×10^7
0.225	1.929×10^8
0.375	2.041×10^7
0.575	1.259×10^7
0.85	7.842×10^6
1.25	4.993×10^6
1.75	9.236×10^5
2.25	3.509×10^2
2.75	1.623×10^6
3.5	1.145×10^2
5	4.884×10^1
7	5.605×10^0
11	6.432×10^{-1}

(ロ)D-第3表 各同位体の放射エネルギー (輸送物当たり)

ウラン同位体	²³² U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	⁹⁹ Tc	合計
放射エネルギー(Bq)	1.521×10^8	3.058×10^{10}	2.117×10^9	1.583×10^8	9.373×10^9	1.659×10^6	4.238×10^{10}

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

D.3.1.1 通常輸送時

解析モデルを(ロ)D-第1図に示す。

本輸送容器は箱型の外殻とその中に正方状に配置された4個の円筒形状の容器から構成され、その間には耐熱衝撃緩衝材（フェノリックフォーム）が充填されている。また、内容器の周囲には中性子吸収材（BORA レジン）、内容器底部にはボロン入りステンレス鋼板が配されている。各内容器の外蓋は耐熱衝撃緩衝材とアルミニウム合金ディスクが層状に形成されており、緩衝効果を期待した構造となっている。

解析モデルは、主要構成部材の寸法から外殻をH: cm、W: cm、L: cm、各内容器をH: cm、OD: cmとしてステンレス鋼でモデル化しており、耐熱衝撃緩衝材及び各内容器周囲の中性子吸収材とその収納筒（ステンレス鋼）を考慮している。内容器外蓋ではアルミニウム合金部分を無視している。その他、位置決めピンや、フォークリフトパスを兼ねた脚部等の輸送容器外表面の構造物は無視している。内容器底部のボロン入りステンレス鋼板はステンレス鋼としている。

線源領域は75 kgのウラン酸化物が各々の内容器内に存在するものとして、粉末の場合は内容器内全体に均質に分布するものとしてモデル化している。焼結体の場合は、密度を模擬して内容器底に存在するものとしてモデル化している。なお、粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングは無視している。

計算点は、輸送物の表面及び表面から1 mの点とした。

D.3.1.2 一般の試験条件

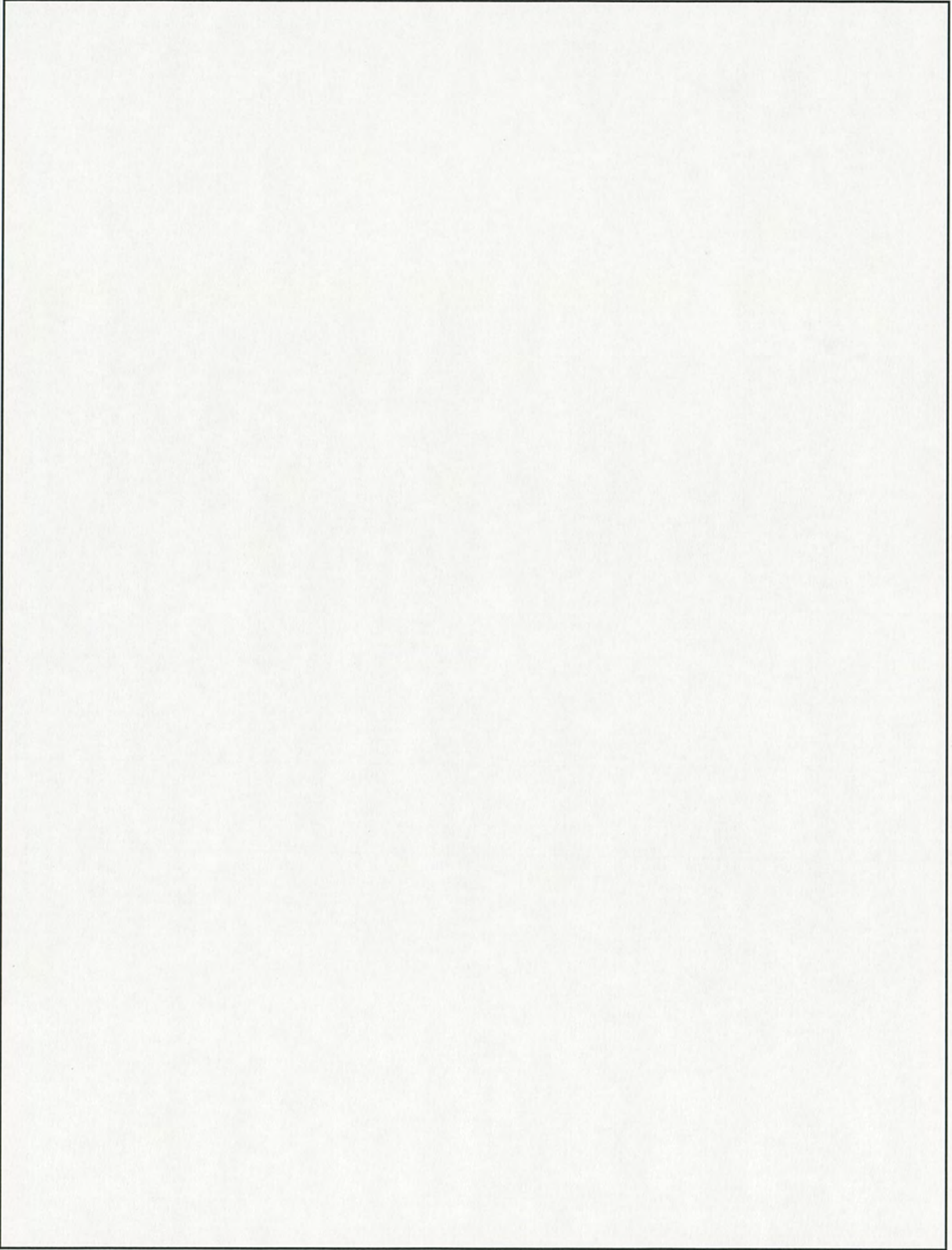
解析モデルを(ロ)D-第2図に示す。

一般の試験条件下において、(ロ)A-第10表に記述したように輸送容器に有意な変形は無く、 mmを超える変形量は認められなかった。また、特別の試験条件下においても、(ロ)A-第12表に記述したように9 m水平落下した場合の圧縮変形は最大でも mmであった。

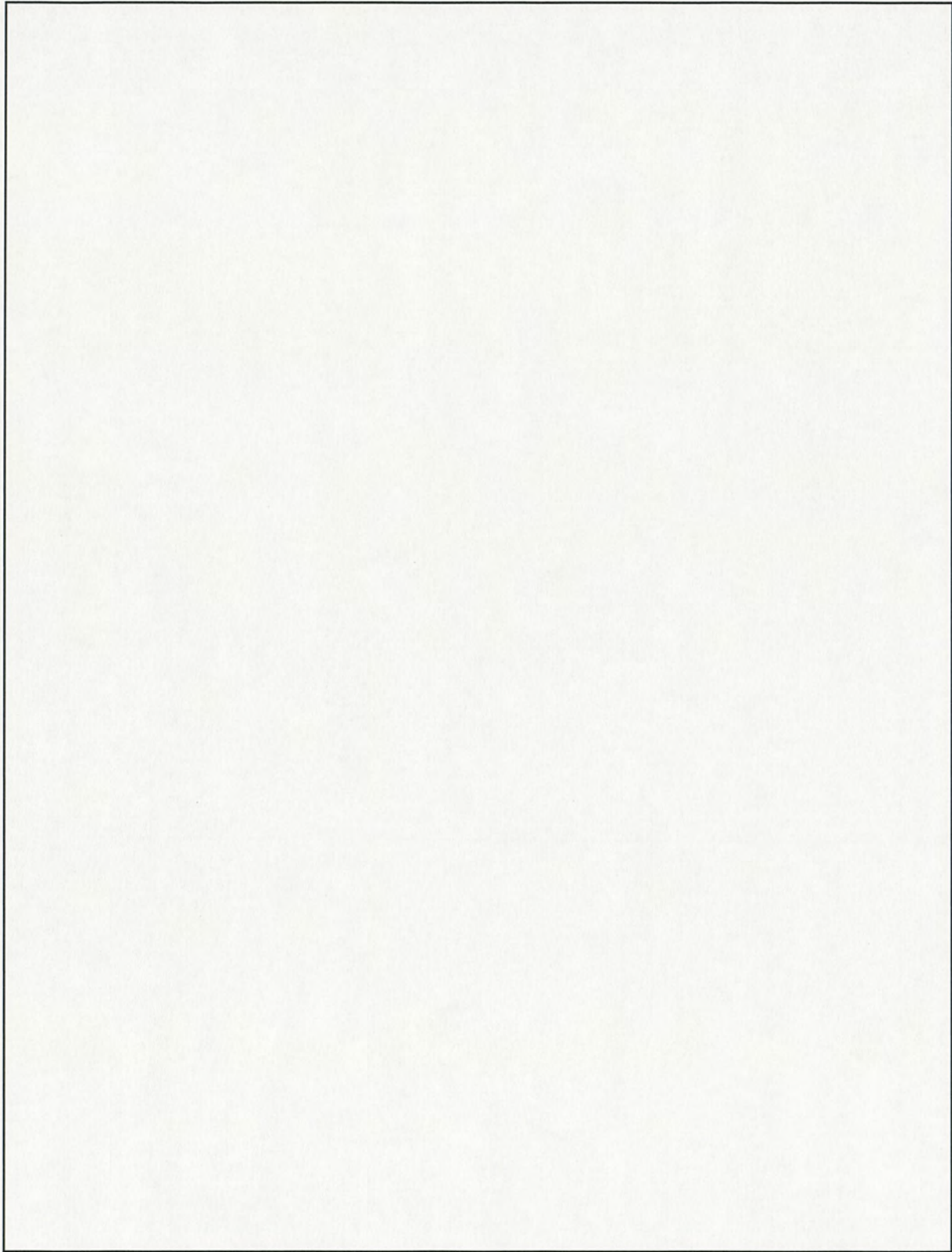
一方、耐火試験後に供試体を解体して確認したところ、内容器間の距離はほとんど変化がなかったことから、一般の試験条件下において内容器間の距離は変化しなかったものと考えられる。

以上のことから、遮蔽解析では、輸送容器の変形量を保守的に外殻のみ各方向に mm圧縮変形するものとした。また、内容器外蓋は耐熱衝撃緩衝材のうち上部側のみ変形するものとした。その他内容器の形状や間隔及び中性子吸収材とその収納筒については通常輸送時と同一としており、線源領域が輸送物表面に近くなることから保守的なモデルとなっている。

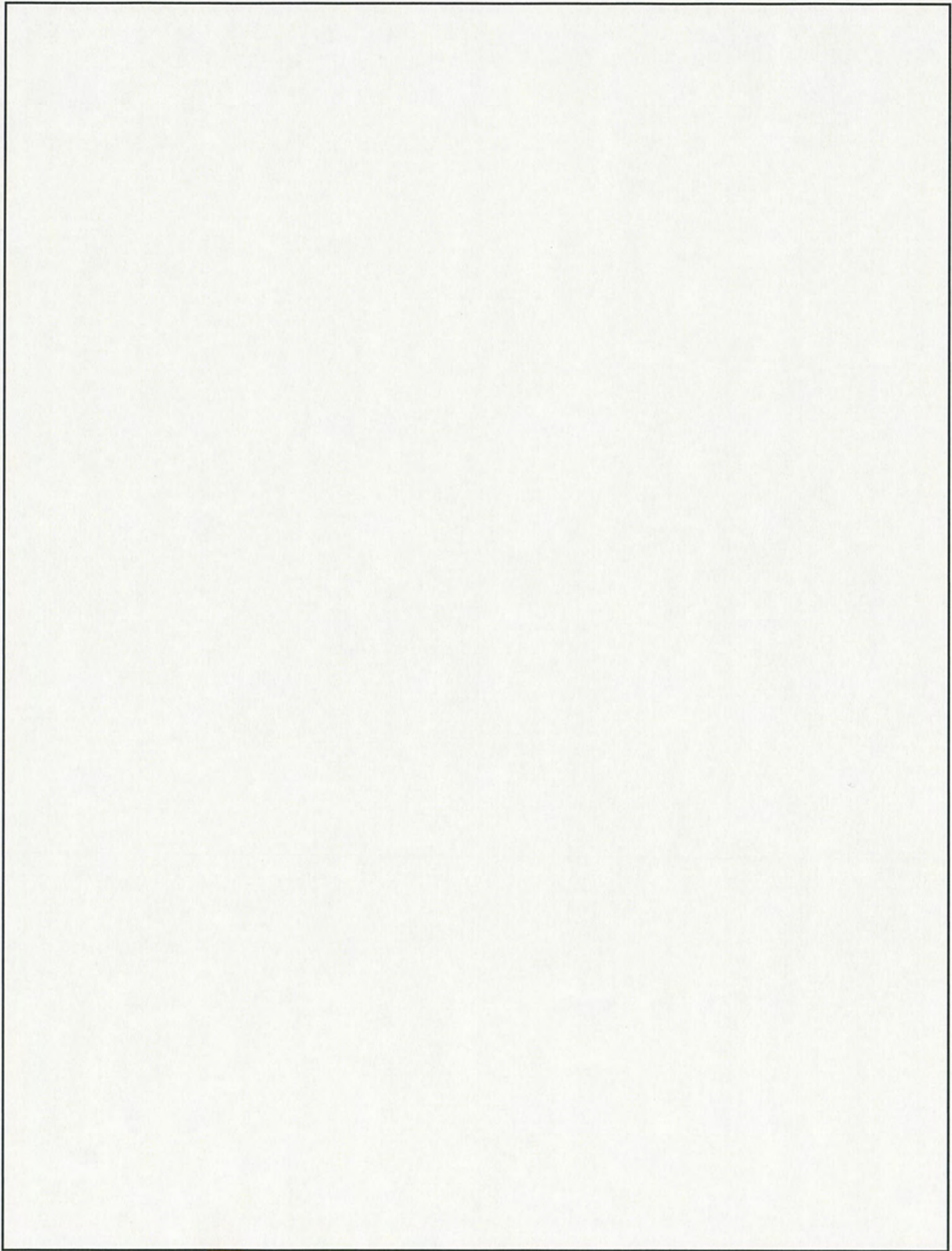
輸送物に発生する変形は圧縮変形であるが、保守的に耐熱衝撃緩衝材の密度変化は考慮していない。



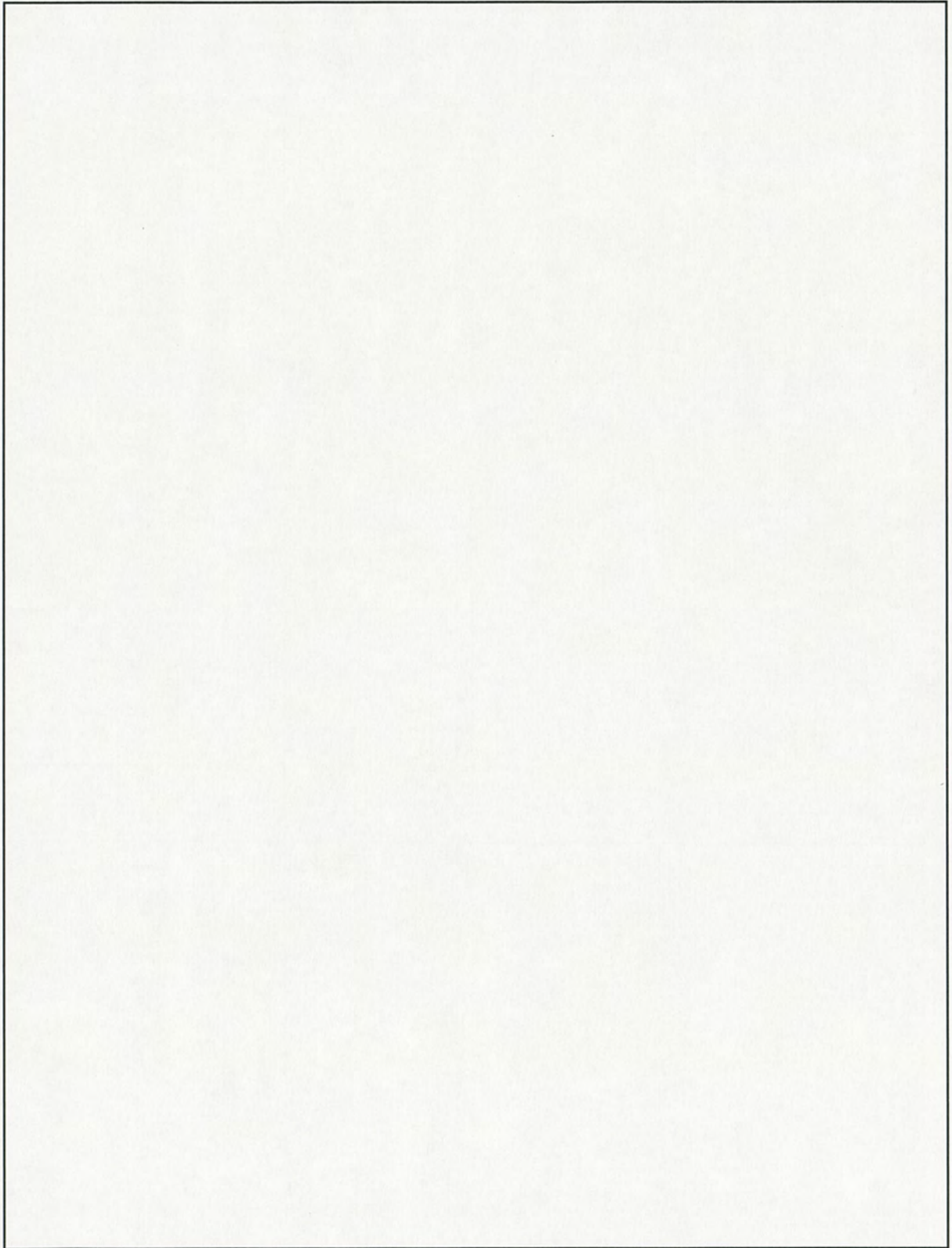
(ロ)D-第1図 [1/2] 通常輸送時遮蔽解析モデル
(二酸化ウラン粉末収納時)



(ロ)D-第1図 [2/2] 通常輸送時遮蔽解析モデル
(二酸化ウラン焼結体収納時)



(ロ)D-第2図 [1/2] 一般の試験条件下遮蔽解析モデル
(二酸化ウラン粉末収納時)



(ロ)D-第2図 [2/2] 一般の試験条件下遮蔽解析モデル
(二酸化ウラン焼結体収納時)

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

遮蔽計算モデルにおける領域は、線源及び輸送容器本体に分けられる。各領域の密度、組成及び原子個数密度を(ロ)D-第4表に示す。

線源及び輸送容器本体以外の領域は全て空気として計算した。

(ロ)D-第4表 各領域の密度, 組成及び原子個数密度

領域	密度 (g/cm ³)	組成	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
ステンレス鋼	7.85	Fe	6.095×10^{-2}
		Cr	1.637×10^{-2}
		Ni	8.054×10^{-3}
粉末線源	1.13	U	2.521×10^{-3}
		O	5.041×10^{-3}
焼結体線源	10.41	U	2.322×10^{-2}
		O	4.644×10^{-2}

D.4 遮蔽評価

D.4.1 評価方法

(ロ)D-第1図及び第2図に示した遮蔽計算モデルについてQAD-CGGP2Rコードを用いて遮蔽解析を行った。

QADコードは点減衰核積分プログラムであり、減衰係数、再生係数等のデータは、ライブラリとしてコードに内蔵されている。本コードではICRP1990年勧告(Publication. 74)を採用した日本国内法令に定められた実効線量当量を求めるために、空気の吸収線量への変換係数と、空気の吸収線量から線量当量率への換算を容易且つ合理的に行うための補正係数が導入されている。

D.4.2 評価結果

本輸送容器に二酸化ウラン粉末を収納した場合と二酸化ウラン焼結体を収納した場合の評価結果を(ロ)D-第5表に示す。その結果、通常輸送時及び一般の試験条件下における輸送物表面の最大値は共に二酸化ウラン焼結体を収納した場合の底面で与えられる。また、通常輸送時の表面から1mの点における最大値は二酸化ウラン粉末を収納した場合の底面で与えられる。なお、各評価値は最大値を与える検出点をサーベイすることにより決定している。(「(ロ)D 付属資料1」参照)

(ロ)D-第5表 粉末又は焼結体収納時の解析結果

		通常輸送時		一般の試験条件下
		輸送物表面	表面から1mの点	輸送物表面
粉末収納時	上面	1.45×10^{-2} mSv/h	1.84 μ Sv/h	1.53×10^{-2} mSv/h
	側面	1.65×10^{-2} mSv/h	1.82 μ Sv/h	1.73×10^{-2} mSv/h
	底面	1.94×10^{-2} mSv/h	<u>2.21 μSv/h</u>	2.06×10^{-2} mSv/h
焼結体収納時	底面	<u>2.20×10^{-2} mSv/h</u>	2.17 μ Sv/h	<u>2.23×10^{-2} mSv/h</u>

このように通常輸送時及び一般の試験条件下における輸送物表面と輸送物表面から1mの点における最大線量当量率はいずれの値も、基準値を満足している。

また、通常輸送時と一般の試験条件下における輸送物表面での線量当量率の増加割合は約1.4%であり、わずかである。

D.5 結果の要約及びその評価

TNF-XI型輸送物の通常輸送時及び一般の試験条件下における遮蔽解析を実施した。

この結果、(ロ)D-第1表に示すように、各条件における線量当量率は法令に規定されている値を超えることはない。

最大線量当量率を与える評価点の検討

TNF-XI 型輸送物は収納物であるウラン酸化物及びウラン残渣を□個の容器に分けて収納することから、遮蔽解析においても□個の線源をもつ多線源の遮蔽解析モデルとして評価を実施している。この場合、単線源のモデルと異なり各評価点に複数の線源の影響が現れるため、最大線量当量率を与える評価点を簡単には決定できない。

このため、TNF-XI 型輸送物の遮蔽解析では、輸送物の上面、側面、底面において最大線量当量率を与える評価点について検討し、サーベイを行った。輸送物の各サーベイ箇所の説明概略図を図 1 に示す。

1. 二酸化ウラン粉末収納時

(1) 輸送物の上面表面

輸送物の上面は約□mm 容器外蓋が突出していることから、□個の容器の外蓋表面中心間を結ぶ直線間をサーベイした。(図 2) その結果、容器外蓋中心付近で最大値が算出された。また、外蓋部以外の輸送物上面の表面で最も最大値が期待できる容器外蓋近傍をサーベイした結果、容器外蓋表面よりも小さい値が算出された。(図 3)

また、一般の試験条件下においても同様に容器外蓋中心付近で最大値が算出された。(図 4)

(2) 輸送物の側面表面

輸送物の側面表面と線源である容器が最も近づく位置よりも若干輸送物中央に寄った位置で最大値が得られることが推察されたことから、輸送物表面を水平方向にサーベイした。(図 5) その結果に基づき、輸送物の側面表面を縦方向にサーベイして最大値を算出した。(図 6)

また、一般の試験条件下で同様にサーベイした結果(図 7)に基づき輸送物の側面表面を縦方向にサーベイして最大値を算出した。(図 8)

(3) 輸送物の底面表面

2 個の容器の中心間を結ぶ直線間について輸送物の底面表面をサーベイした結果、若干輸送物中央側に寄った位置で最大値が算出された。(図 9)

また、一般の試験条件下でも同様に若干輸送物中央側に寄った位置で最大値が算出された。(図 10)

(4) 表面から 1 m の点

表面から 1 m における点での最大値は輸送物中央線上の位置で算出されると推定される。評価位置をサーベイした結果、上面、側面、底面それぞれにおいて輸送物中央相当の位置でそれぞれ最大値が算出された。(図 11, 12 及び 13)

2. 二酸化ウラン焼結体収納時

二酸化ウラン焼結体の解析モデルでは、焼結体相当の密度を持つ線源領域を内容器底面に配しているため、線量当量率の最大値は輸送物の底面で与えられる。従って、通常輸送時における輸送物表面及び表面から 1 m における点、一般の試験条件下における輸送物表面について輸送物の底面をサーベイした。(図 14, 15 及び 16)

3. まとめ

二酸化ウラン粉末又は二酸化ウラン焼結体を収納する TNF·XI 型輸送物の通常輸送時及び一般の試験条件下における輸送物表面と表面から 1 m における点の最大線量当量率をサーベイした。

その結果、個の線源領域を持つ遮蔽解析モデルにおいて輸送物表面では通常輸送時及び一般の試験条件下ともに線源領域に最も近い位置から若干輸送物中央寄りの点、表面から 1 m における点では輸送物中央線上の点でそれぞれ最大値が算出された。

図1 線量当量率評価点サーベイ箇所説明概略図

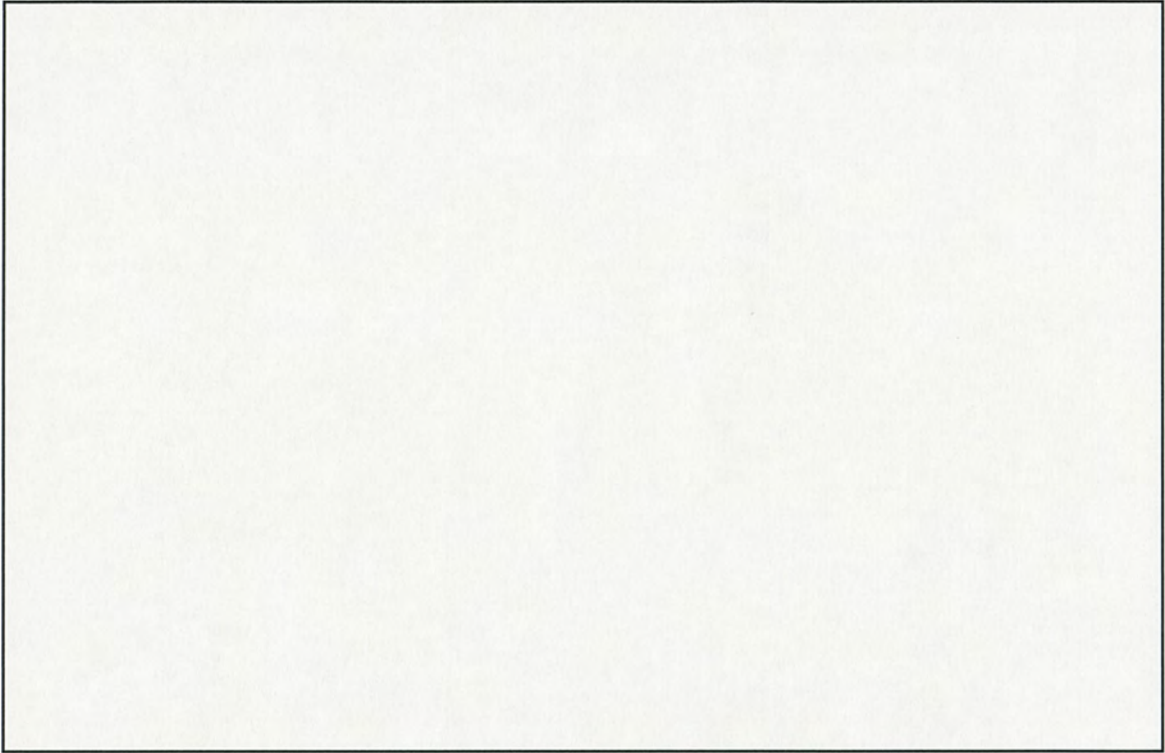


図 2 通常輸送時外蓋上面表面

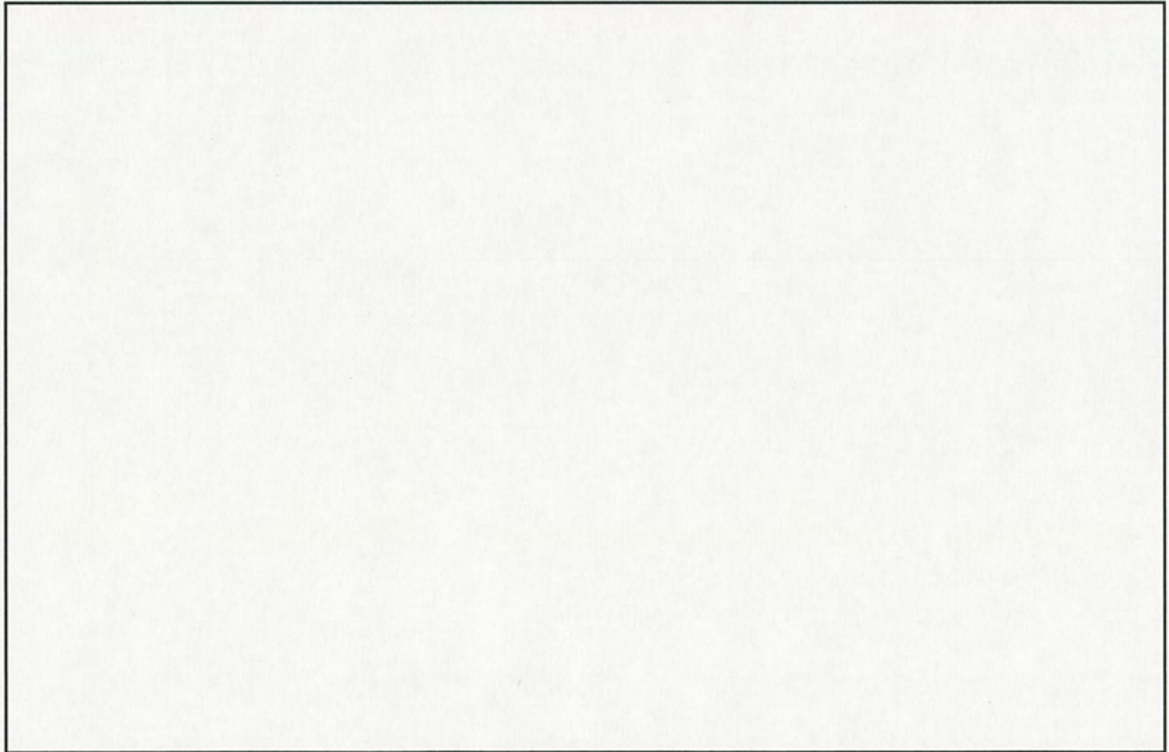


図 3 通常輸送時上面表面

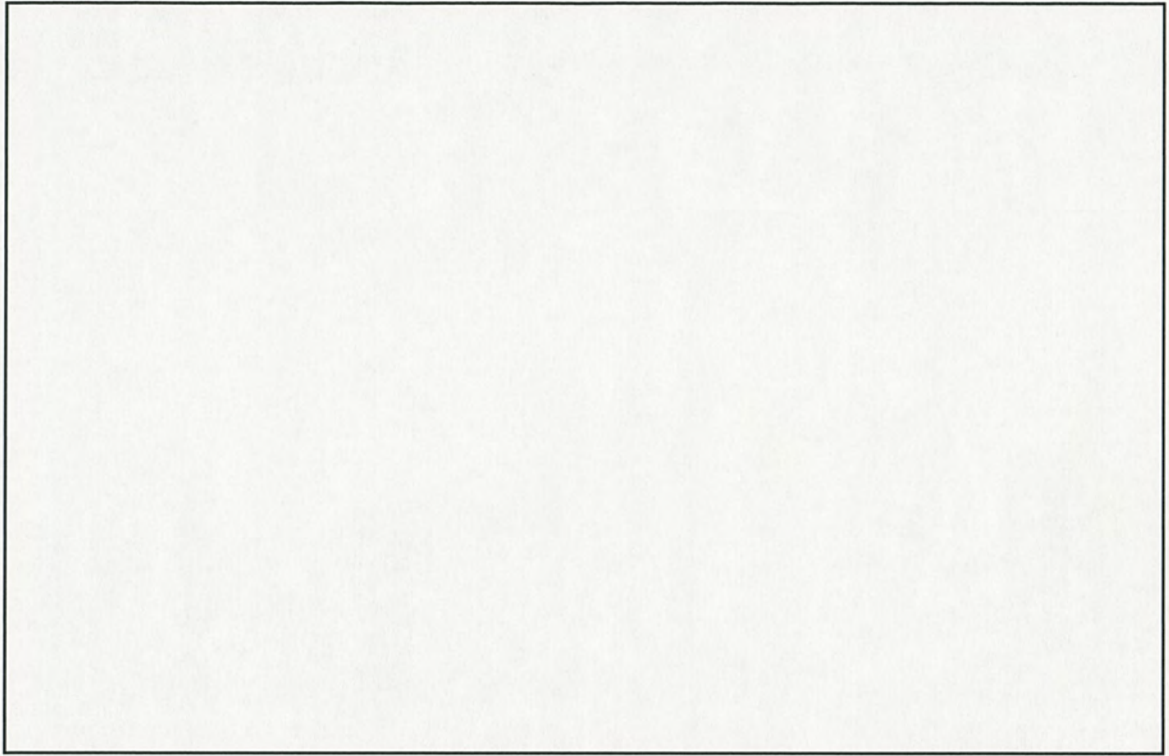


図 4 一般の試験条件下時外蓋上面表面

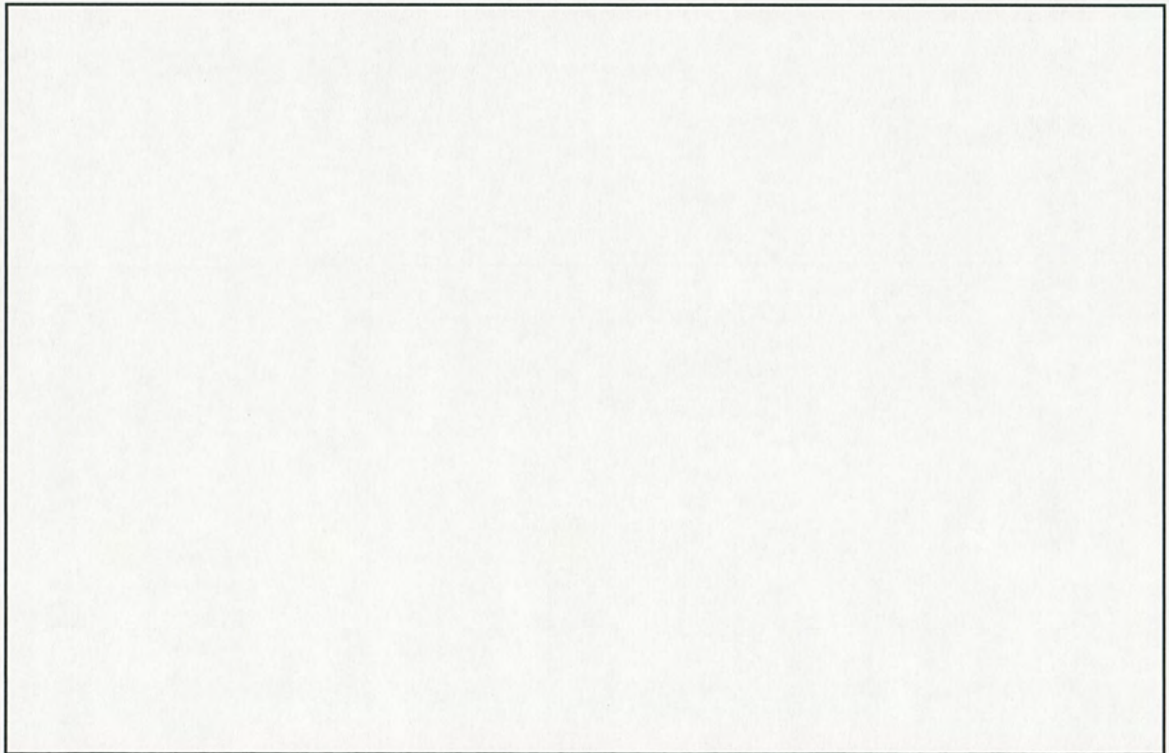


図 5 通常輸送時側面表面（水平方向）

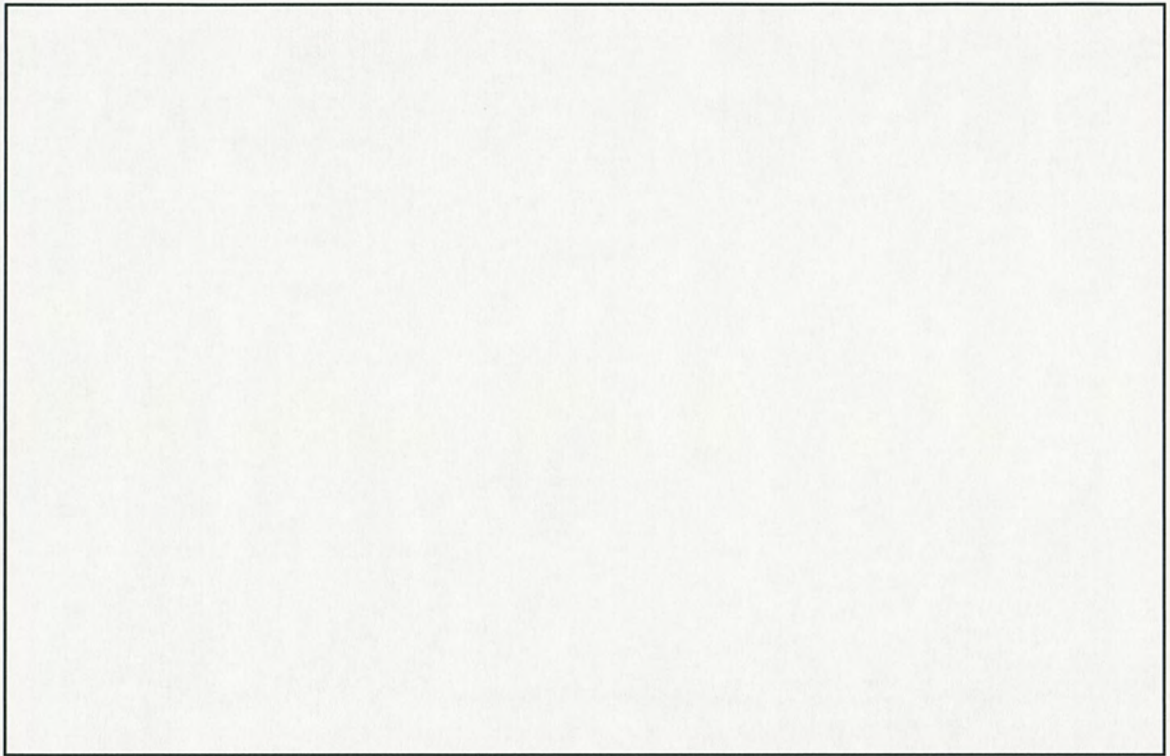


図 6 通常輸送時側面表面（垂直方向）

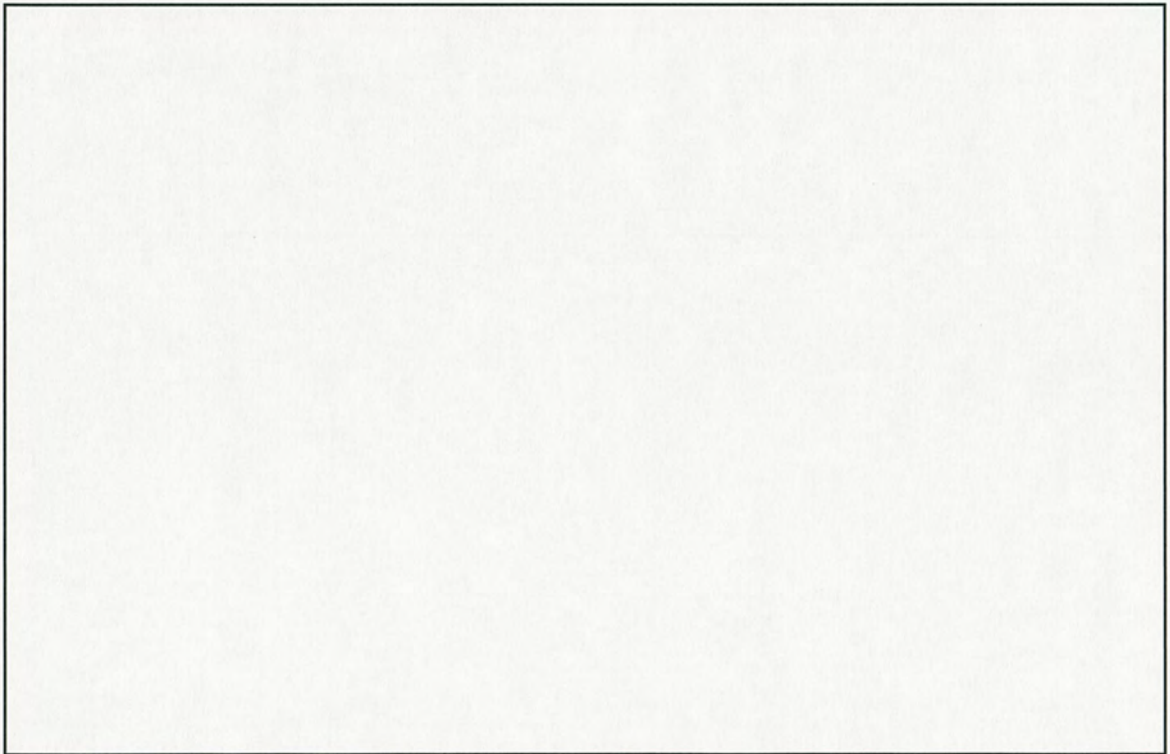


図 7 一般の試験条件下時側面表面（水平方向）

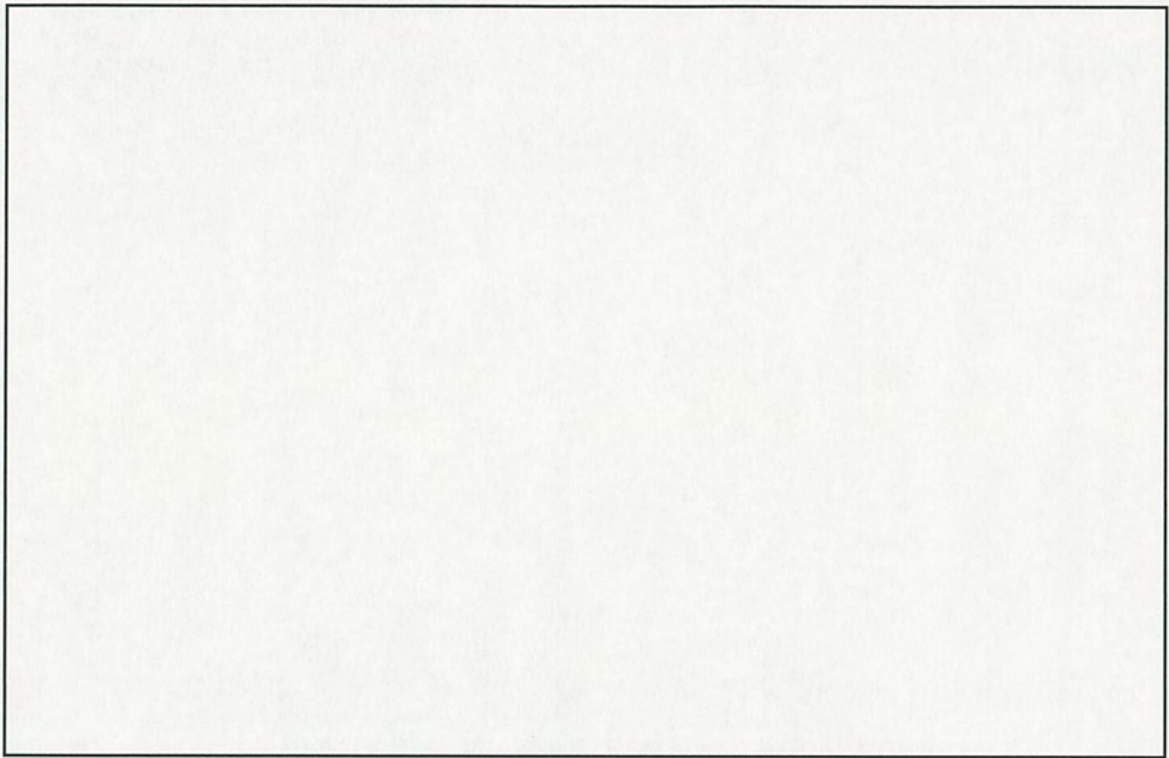


図 8 一般の試験条件下時側面表面（垂直方向）

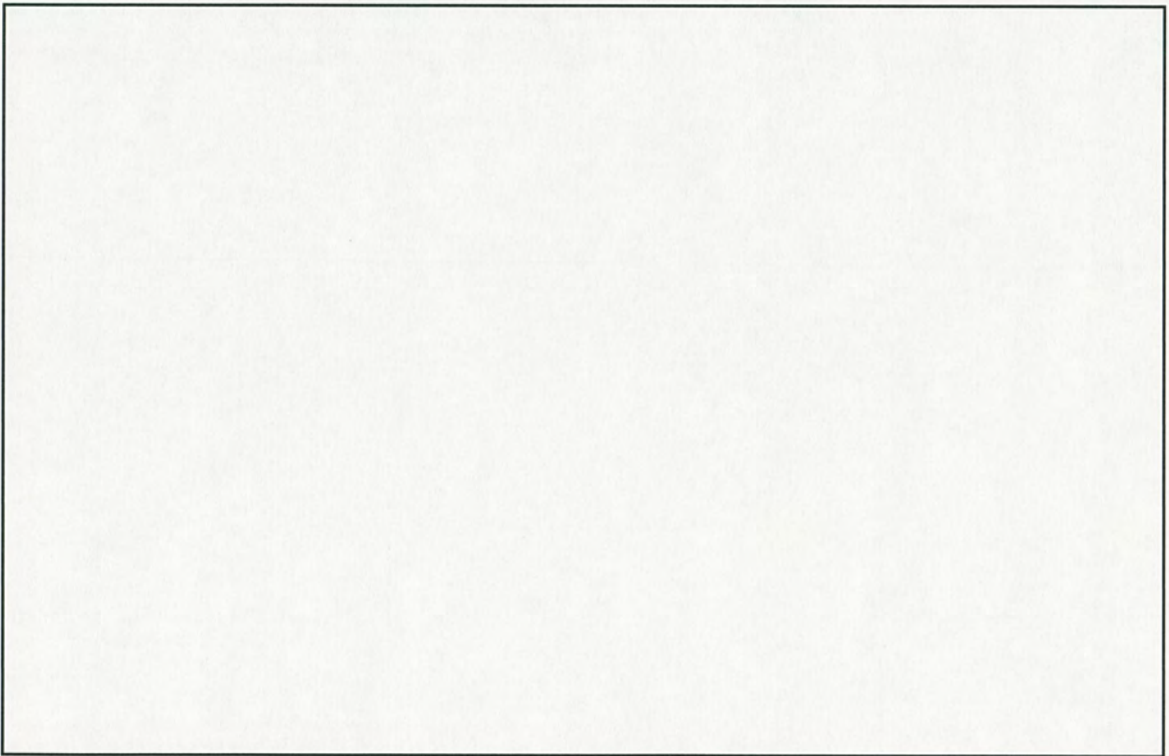


図 9 通常輸送時底面表面

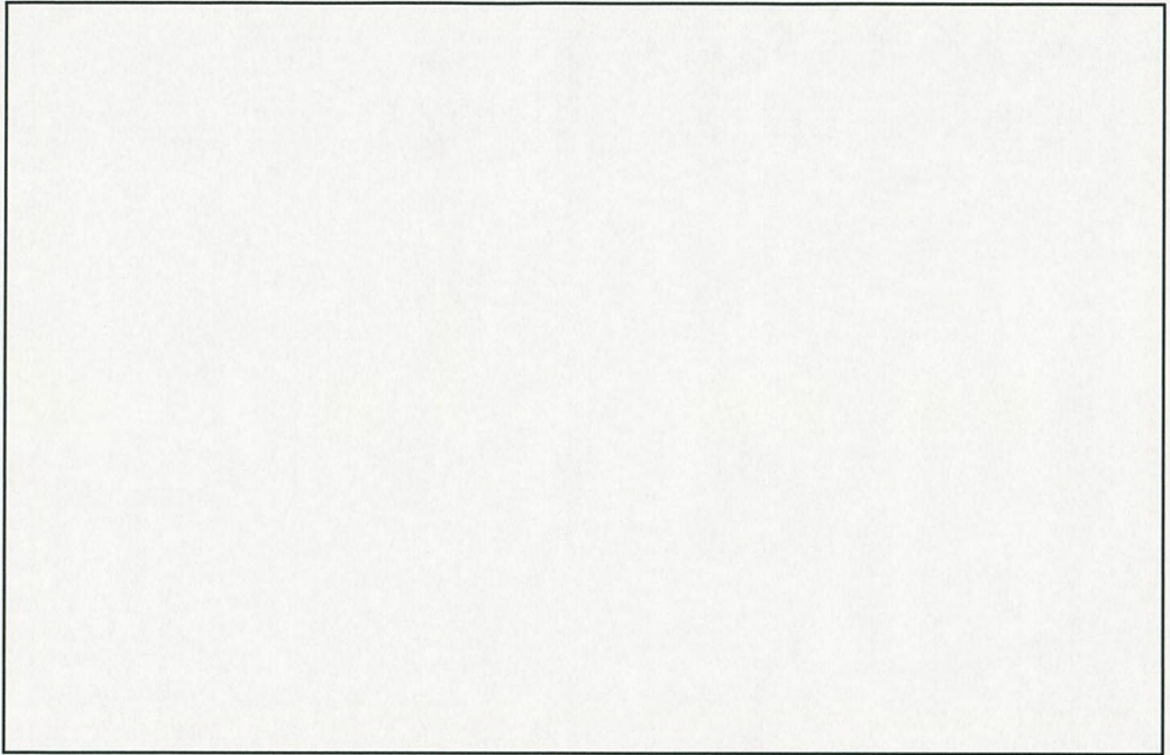


図 10 一般の試験条件下時底面表面

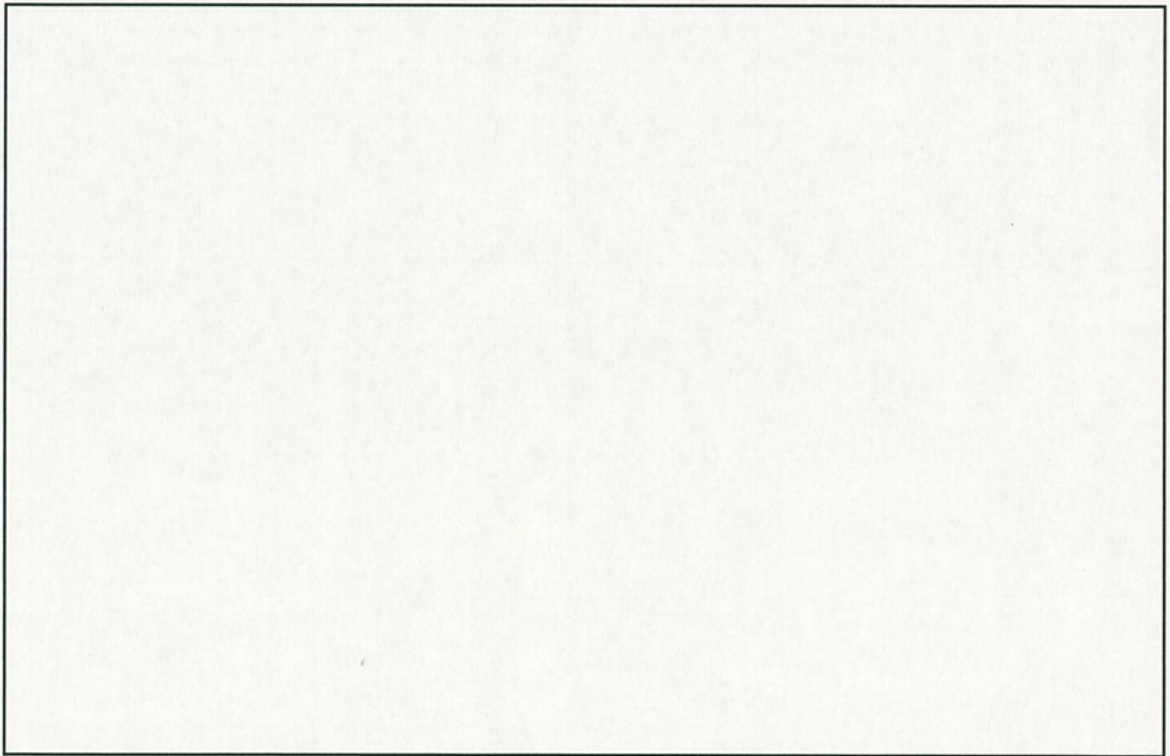


図 11 通常輸送時上面 1 m

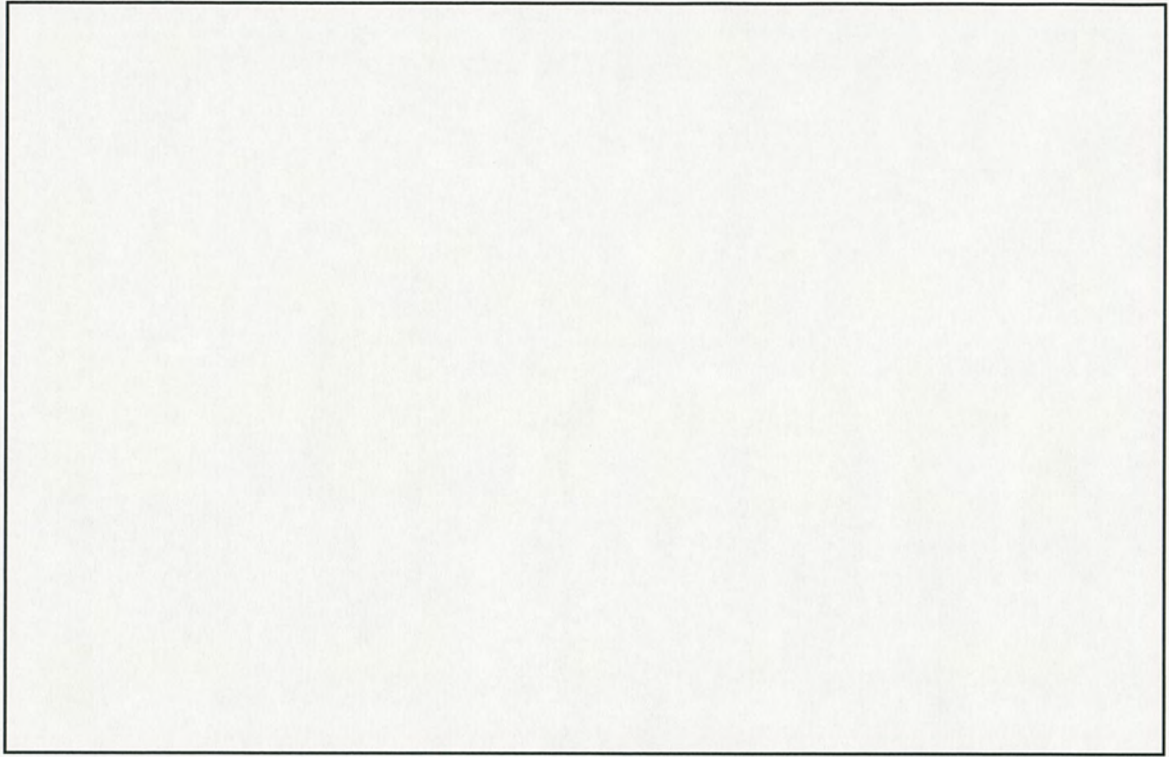


図 12 通常輸送時側面 1 m

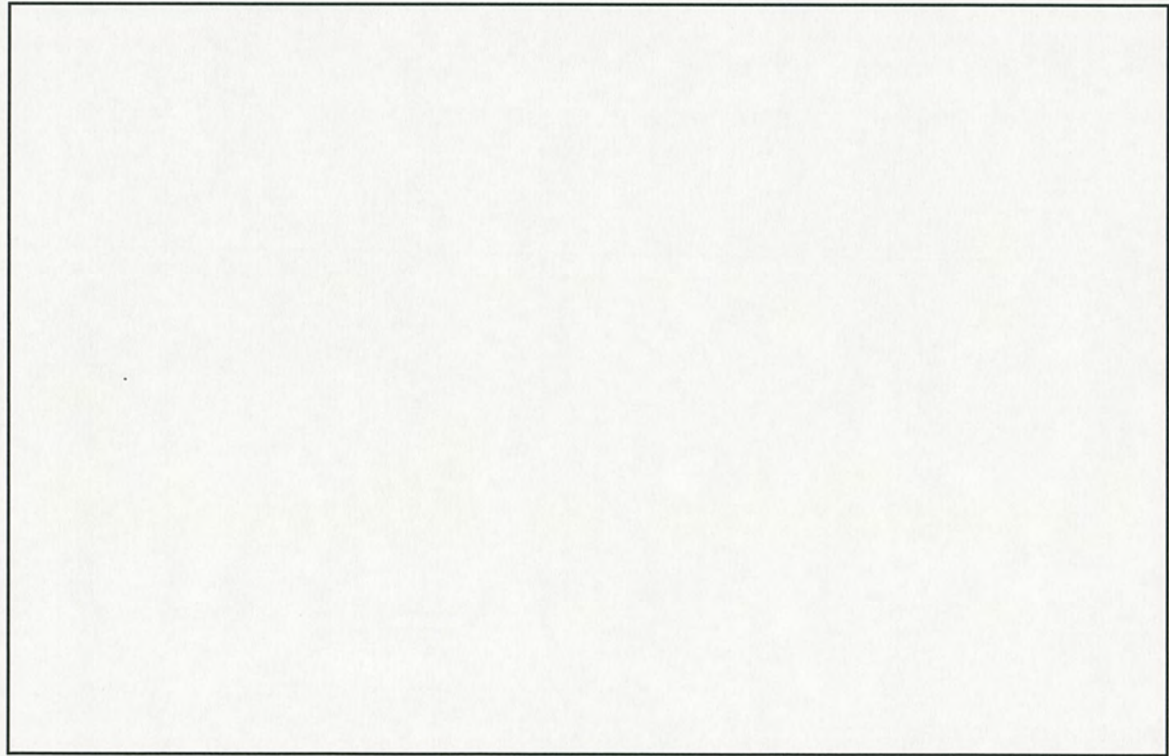


図 13 通常輸送時底面 1 m

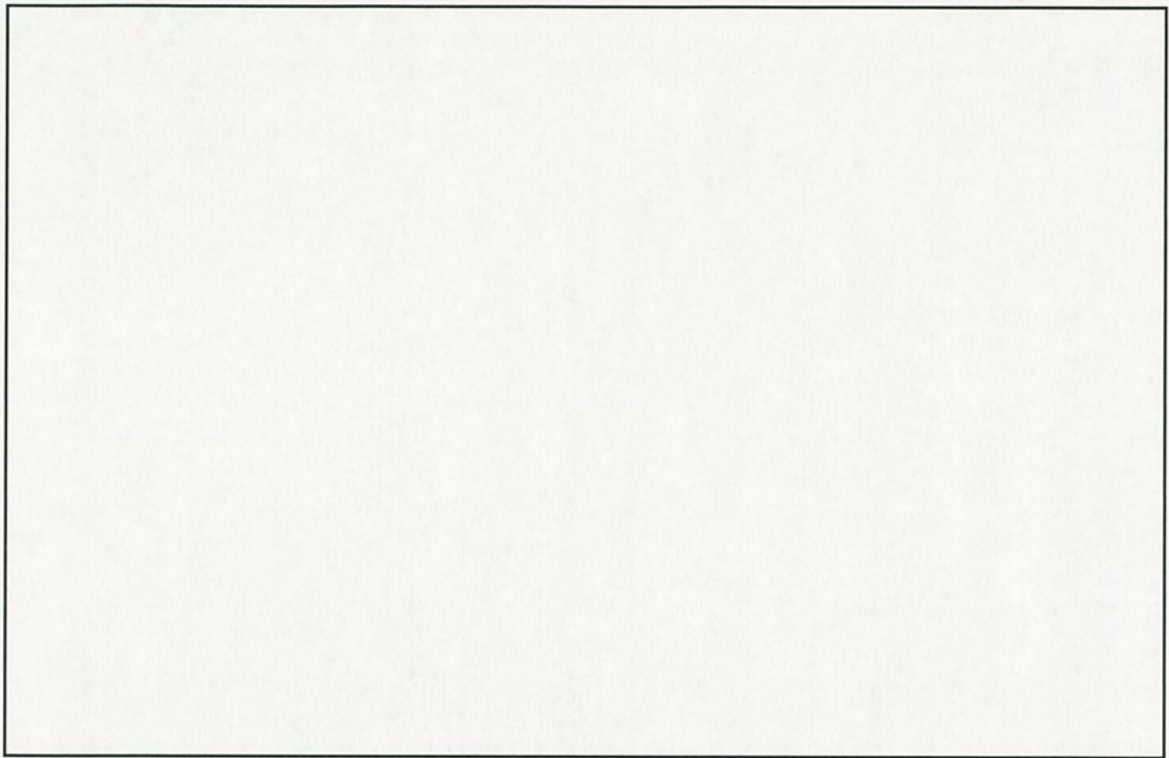


図 14 通常輸送時底面表面 (焼結体)

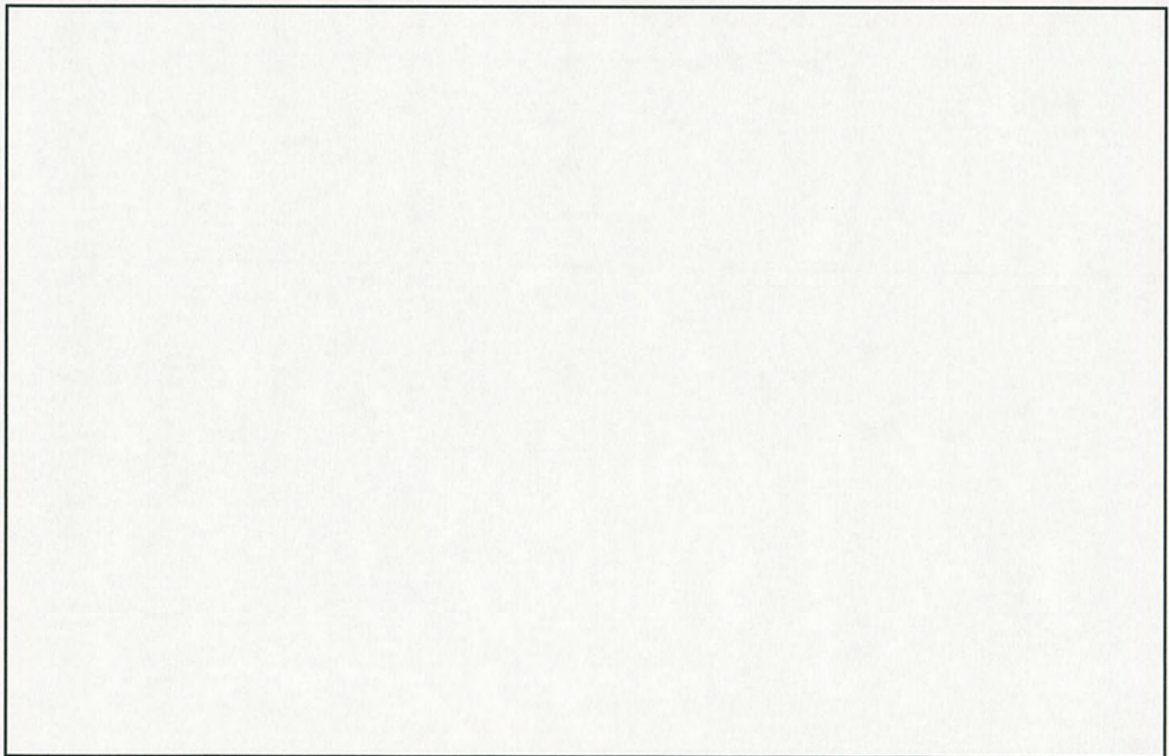


図 15 通常輸送時底面 1 m (焼結体)

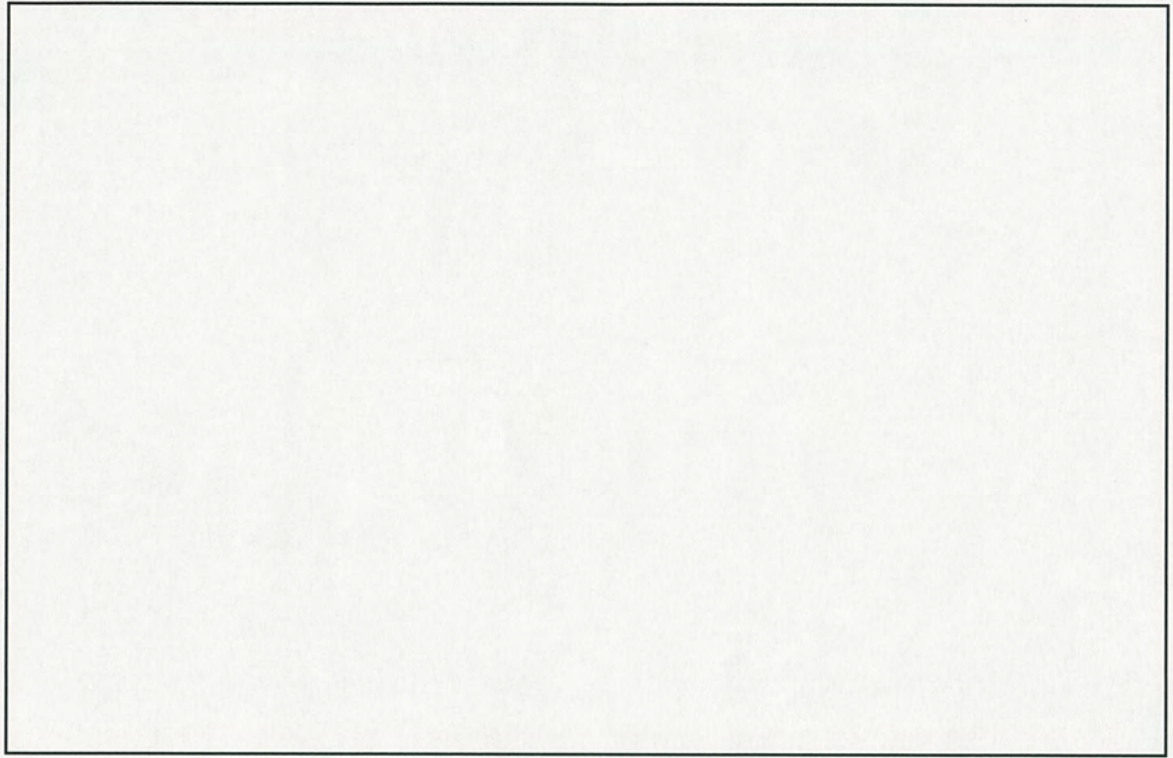


図 16 一般の試験条件時底面表面（焼結体）

(ロ)E 臨界解析

E.1 ケース 1(粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納する場合)

E.1.1 概要

本輸送物は、輸送制限個数を 100 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 5%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	ステアリン酸マグネシウム	$Mg(C_{17}H_{35}COO)_2$
B	ステアリン酸亜鉛	$(CH_3(CH_2)_{16}COO)_2Zn$
C	エチレンビスステアリン酸アミド	$C_{17}H_{35}CONHCH_2CH_2NHCOC_{17}H_{35}$
D	ガドリニア	Gd_2O_3
E	エルビア	Er_2O_3
F	アゾジカルボンアミド	$C_2H_4N_4O_2$

ウラン酸化物の物理的性状、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 4 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。臨界解析上保守的になるよう実際の UO_2 最大収納量よりも上限値を大きく設定している。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。

本輸送物の内容器にはブロッキングシステムが収納されるが、ブロッキングシステムの材料（ステンレス鋼、ポリオキシメチレン）は水より水素密度が低く、中性子の反射効果及び減速効果は水より低くなるため、臨界解析上保守的になるようブロッキングシステムは水に置き換えて計算した。

E.1.2.2 輸送容器

本輸送容器は、内容器（4 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、内容器 1 個当たり 3 缶（合計 12 缶）収納される。

E.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 UO₂ 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
4.45 以下	75.00	75.00
4.55 以下	75.00	71.25
4.65 以下	75.00	68.75
4.75 以下	75.00	65.00
4.85 以下	75.00	62.50
5.00 以下	75.00	58.75

* 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 UO₂ 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
4.45 以下	71.25	71.25
4.55 以下	71.25	67.50
4.65 以下	71.25	65.25
4.75 以下	71.25	61.75
4.85 以下	71.25	59.25
5.00 以下	71.25	55.75

* 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 52 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表に示す通り、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 100 個の 5 倍以上の個数である 512 個を配列し、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 100 個の 2 倍以上の個数である 216 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	512 個(8 行×8 列×8 段)
	水による反射	あり(厚さ <input type="text"/>)
特別の試験条件下の輸送物	輸送物個数	216 個(6 行×6 列×6 段)
	水による反射	あり(厚さ <input type="text"/>)

(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 5%以下の UO_2 に対して、後述の通り、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 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 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 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 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。

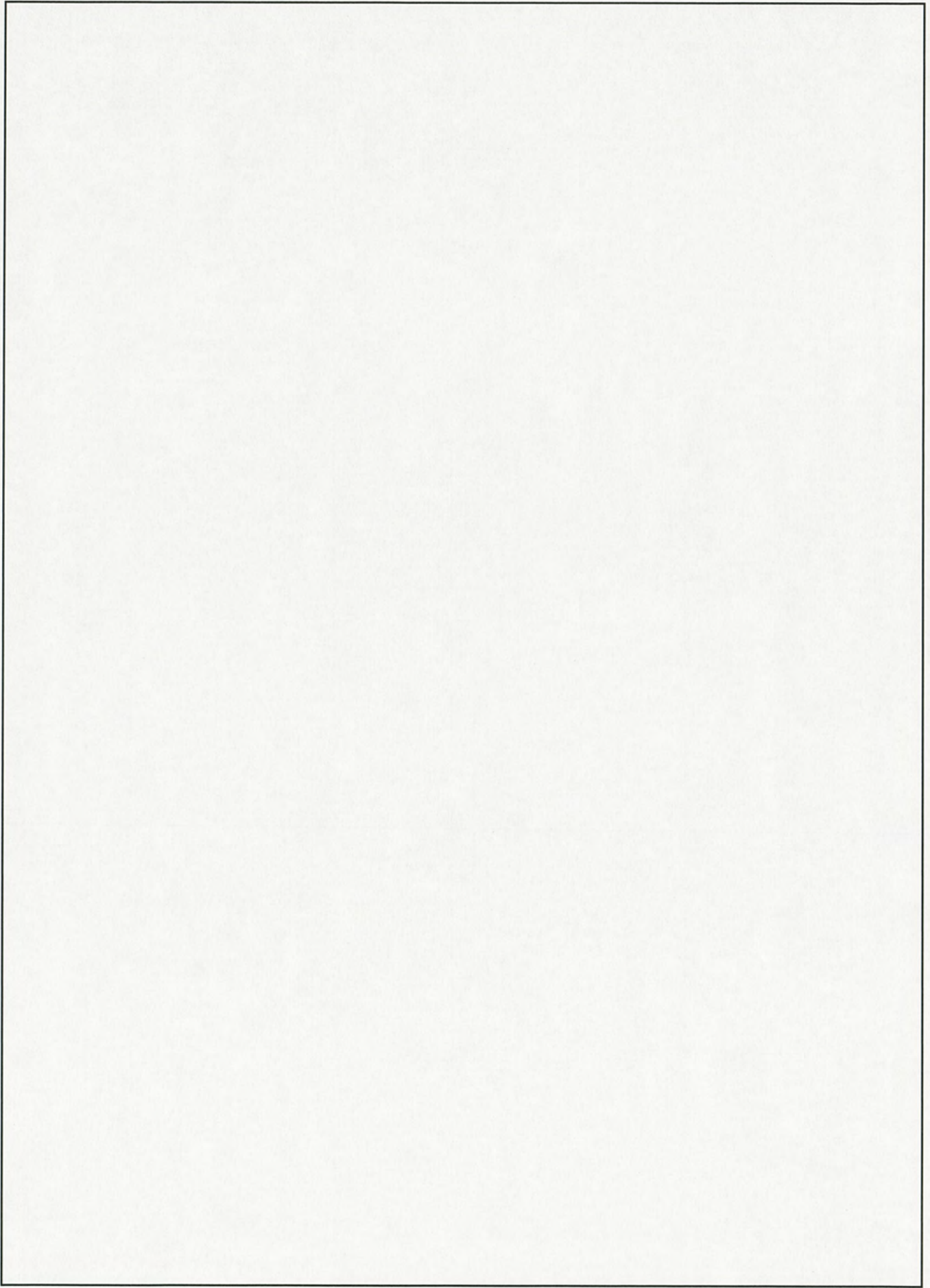
また、本モデル中では、各粉末収納缶が内容器内でそれぞれ容器本体の中心に向かって偏心しているという安全側の仮定も適用している。

E.1.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

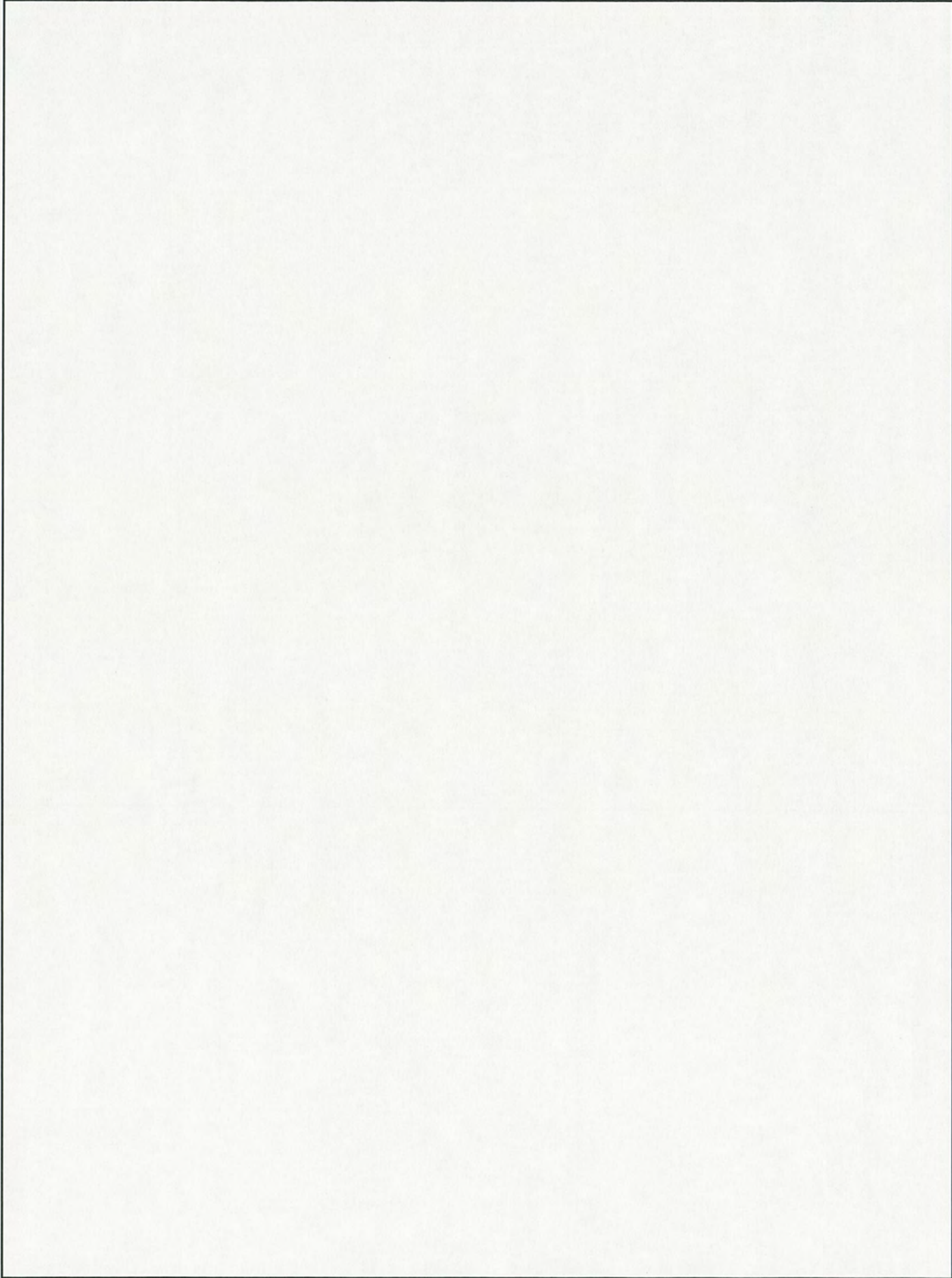
本解析に使用した輸送物の各領域の原子個数密度を(ロ)E-第3表に、また、燃料領域の UO_2 と減速材(水及びポリエチレン)の体積比を(ロ)E-第4表に、それぞれ示す。

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 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)



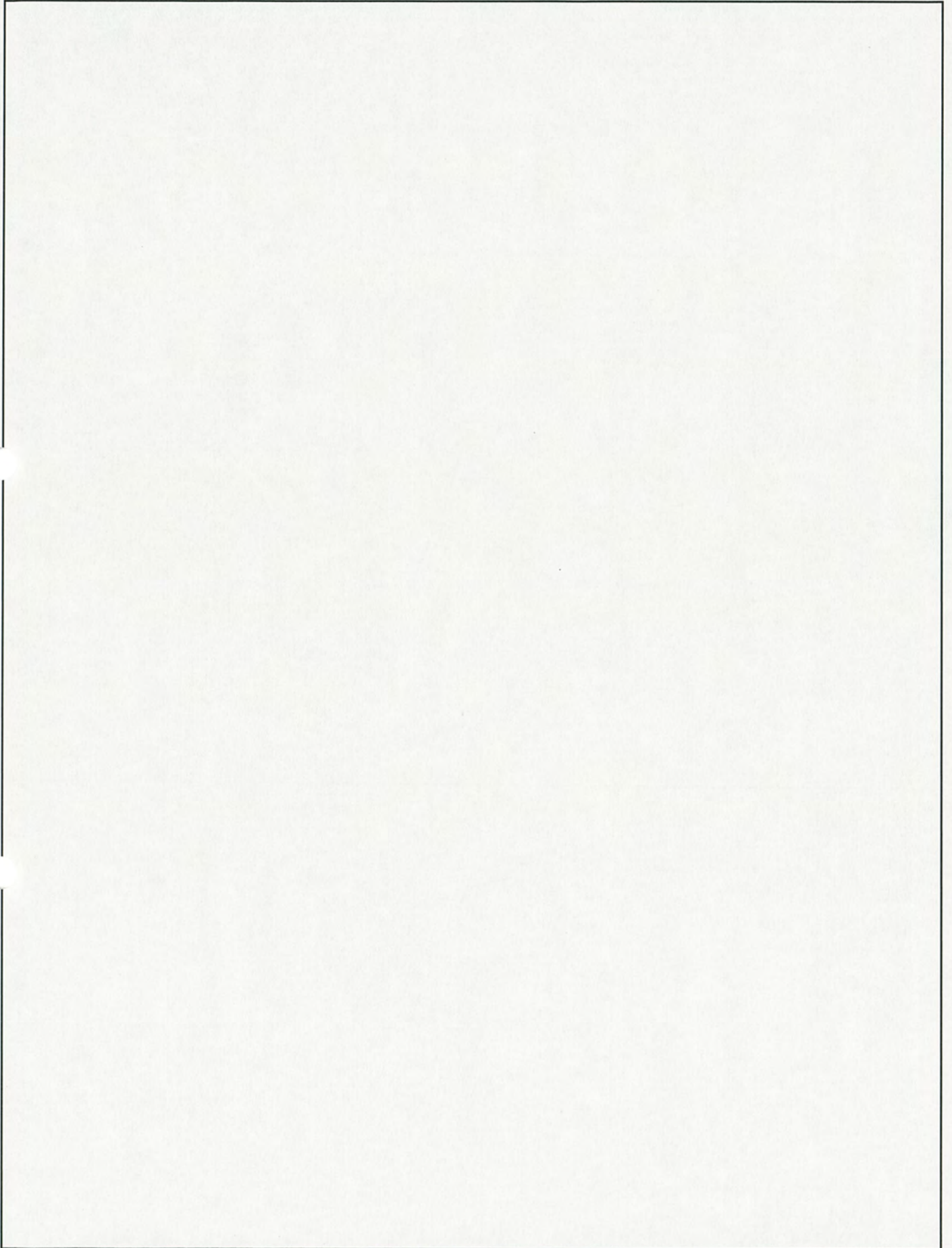
(ロ)E-第1図 [2/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (全体・上部)



(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)

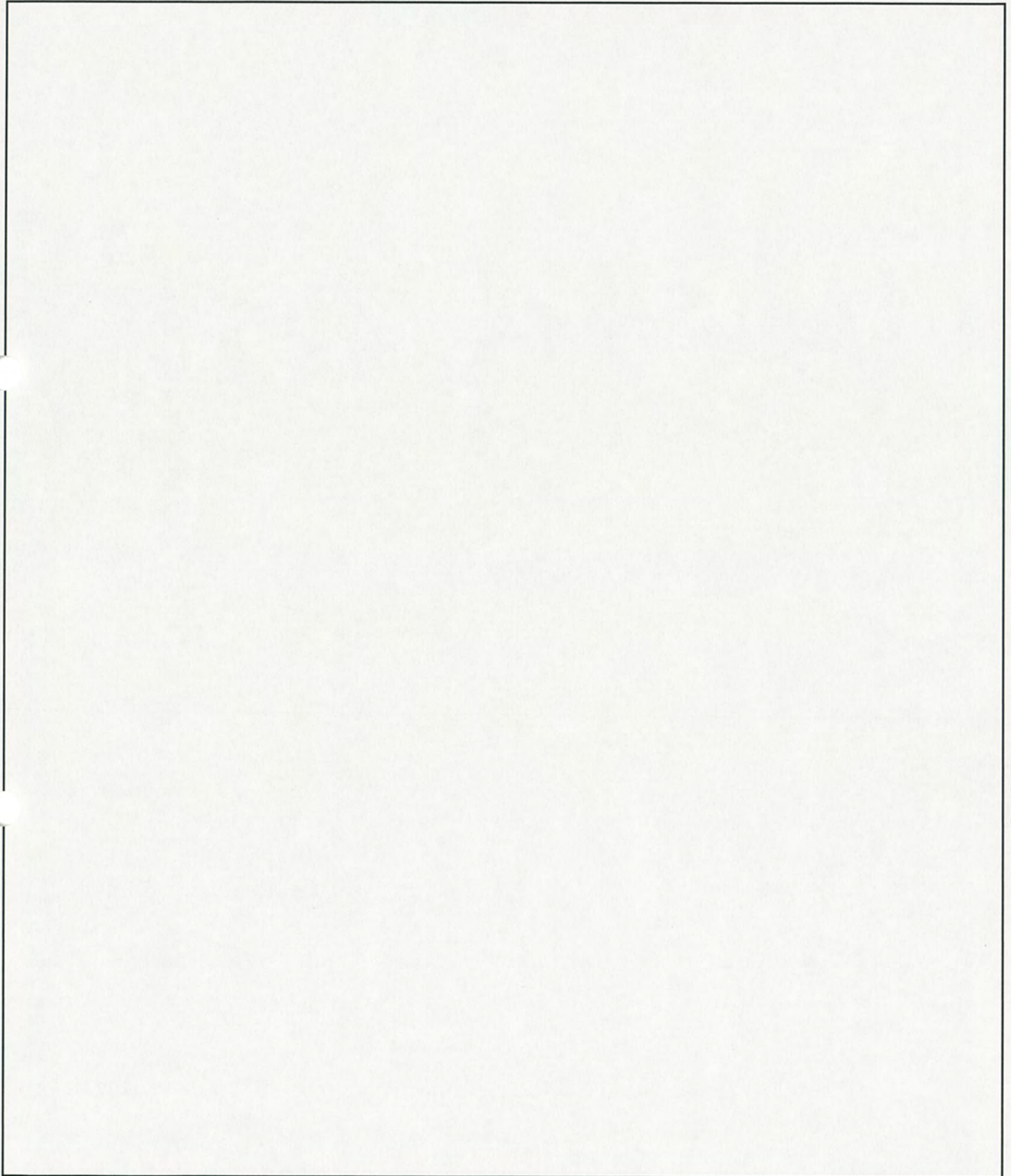
(ロ)E-第2図 [1/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (全体・下部)

(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)



(口)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いる。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 表の通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もち、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 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
濃縮度：5.00%	0.944	0.945	0.945	0.944
収納量：75 kgUO ₂	0.947	0.947	0.947	0.946
実効増倍係数 (収納物：焼結体及びスクラップ)				
	径:0.22 cm	径:0.26 cm	径:0.30 cm	径:0.34 cm
濃縮度：4.45%	0.943	0.944	0.944	0.944
収納量：75.00 kgUO ₂	0.946	0.946	0.946	0.946
	径:0.22 cm	径:0.26 cm	径:0.30 cm	径:0.34 cm
濃縮度：4.55%	0.942	0.943	0.942	0.942
収納量：71.25 kgUO ₂	0.944	0.945	0.944	0.944
	径:0.22 cm	径:0.26 cm	径:0.30 cm	径:0.34 cm
濃縮度：4.65%	0.943	0.944	0.944	0.942
収納量：68.75 kgUO ₂	0.946	0.946	0.946	0.945
	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm	径:0.30 cm
濃縮度：4.75%	0.942	0.943	0.943	0.942
収納量：65.00 kgUO ₂	0.945	0.945	0.945	0.945
	径:0.14 cm	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm
濃縮度：4.85%	0.942	0.943	0.944	0.942
収納量：62.50 kgUO ₂	0.945	0.946	0.946	0.944
	径:0.14 cm	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm
濃縮度：5.00%	0.943	0.944	0.944	0.943
収納量：58.75 kgUO ₂	0.945	0.946	0.946	0.945

(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。

(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
濃縮度：5.00%	0.942	0.943	0.942	0.942
収納量：71.25 kgUO ₂	0.944	0.945	0.945	0.945
実効増倍係数 (収納物：焼結体及びスクラップ)				
	径:0.22 cm	径:0.26 cm	径:0.30 cm	径:0.34 cm
濃縮度：4.45%	0.941	0.941	0.942	0.941
収納量：71.25 kgUO ₂	0.943	0.944	0.944	0.944
	径:0.14 cm	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm
濃縮度：4.55%	0.940	0.943	0.943	0.940
収納量：67.50 kgUO ₂	0.942	0.945	0.945	0.942
	径:0.14 cm	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm
濃縮度：4.65%	0.941	0.941	0.943	0.941
収納量：65.25 kgUO ₂	0.943	0.944	0.946	0.944
	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm	径:0.30 cm
濃縮度：4.75%	0.940	0.941	0.941	0.941
収納量：61.75 kgUO ₂	0.942	0.944	0.944	0.943
	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm	径:0.30 cm
濃縮度：4.85%	0.941	0.942	0.941	0.941
収納量：59.25 kgUO ₂	0.944	0.944	0.944	0.944
	径:0.14 cm	径:0.18 cm	径:0.22 cm	径:0.26 cm
濃縮度：5.00%	0.941	0.943	0.940	0.942
収納量：55.75 kgUO ₂	0.943	0.946	0.943	0.945

(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.2 ケース 2(長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納する場合)

E.2.1 概要

本輸送物は、輸送制限個数を制限せず、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度 5%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 4 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、内容器（4 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）を収納した長尺粉末収納缶が、内容器 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

外蓋部及び内容器底部には 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、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。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 UO₂ 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、UO₂ を収納する内容器は 1 個のみ)

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
5.00 以下	10.00	

* 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表に示す通り、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、共に輸送個数を制限せず、輸送物を無限個配列した。

(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	無限
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。

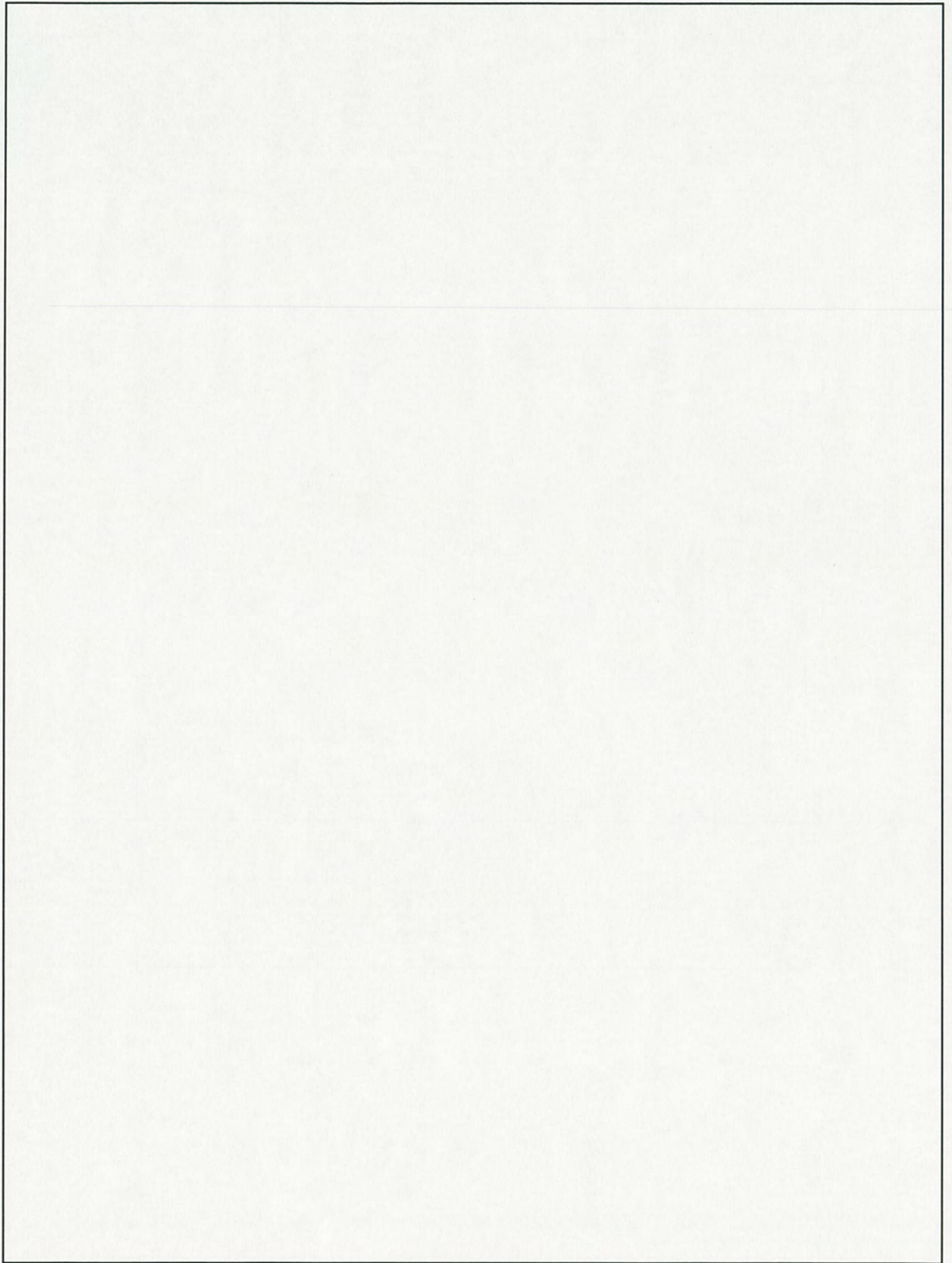
E.2.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本解析に使用した輸送物の燃料領域 (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 UO_2 と減速材の体積比を(ロ)E-第 9 表に示す。

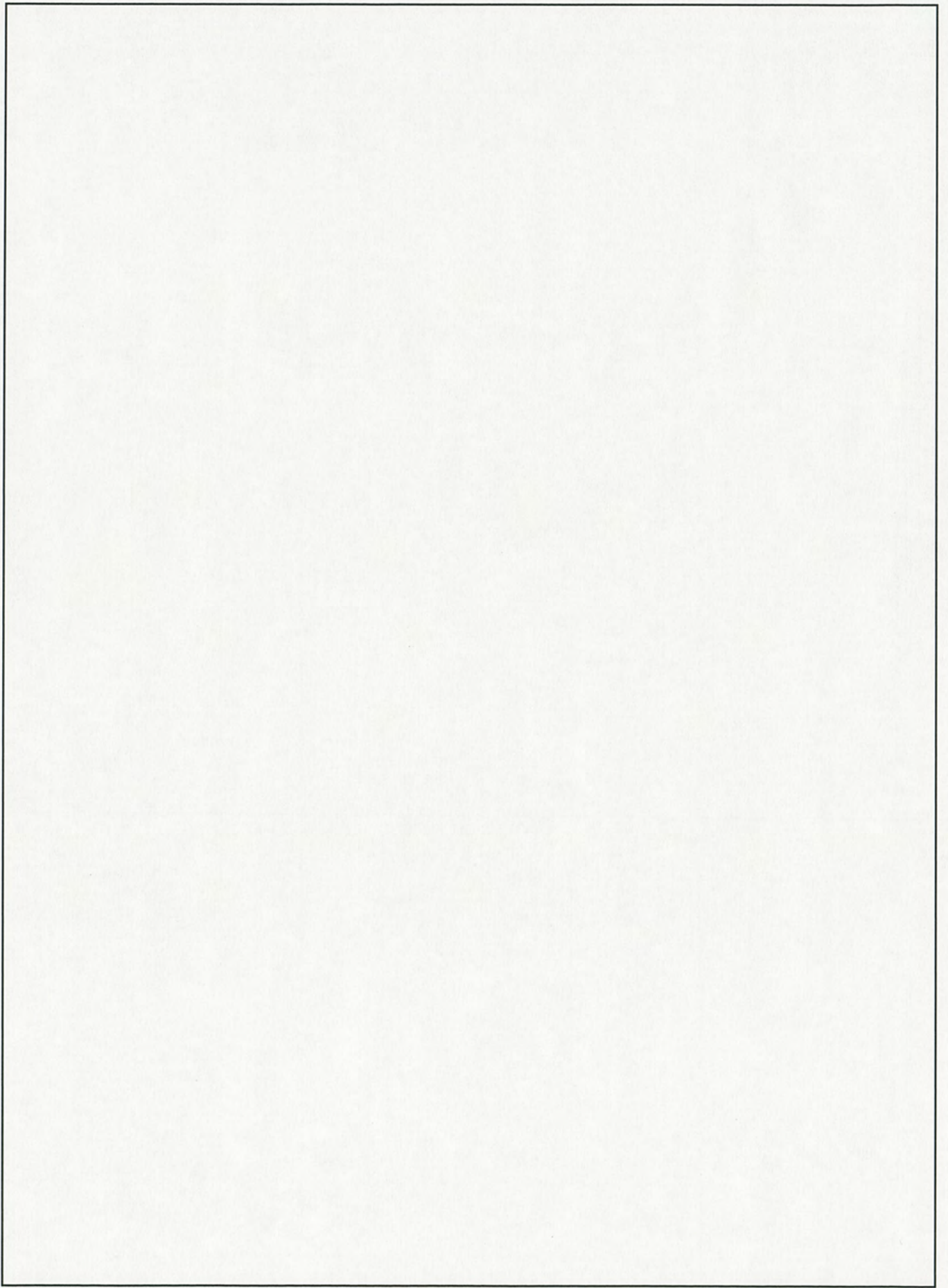
ここで、内容器内の減速材の材質を水よりも水素密度の高いポリエチレンとするという安全側の仮定を適用した。

その他の条件は「(ロ)E.1.3.2」と同じである。

(口)E-第3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)

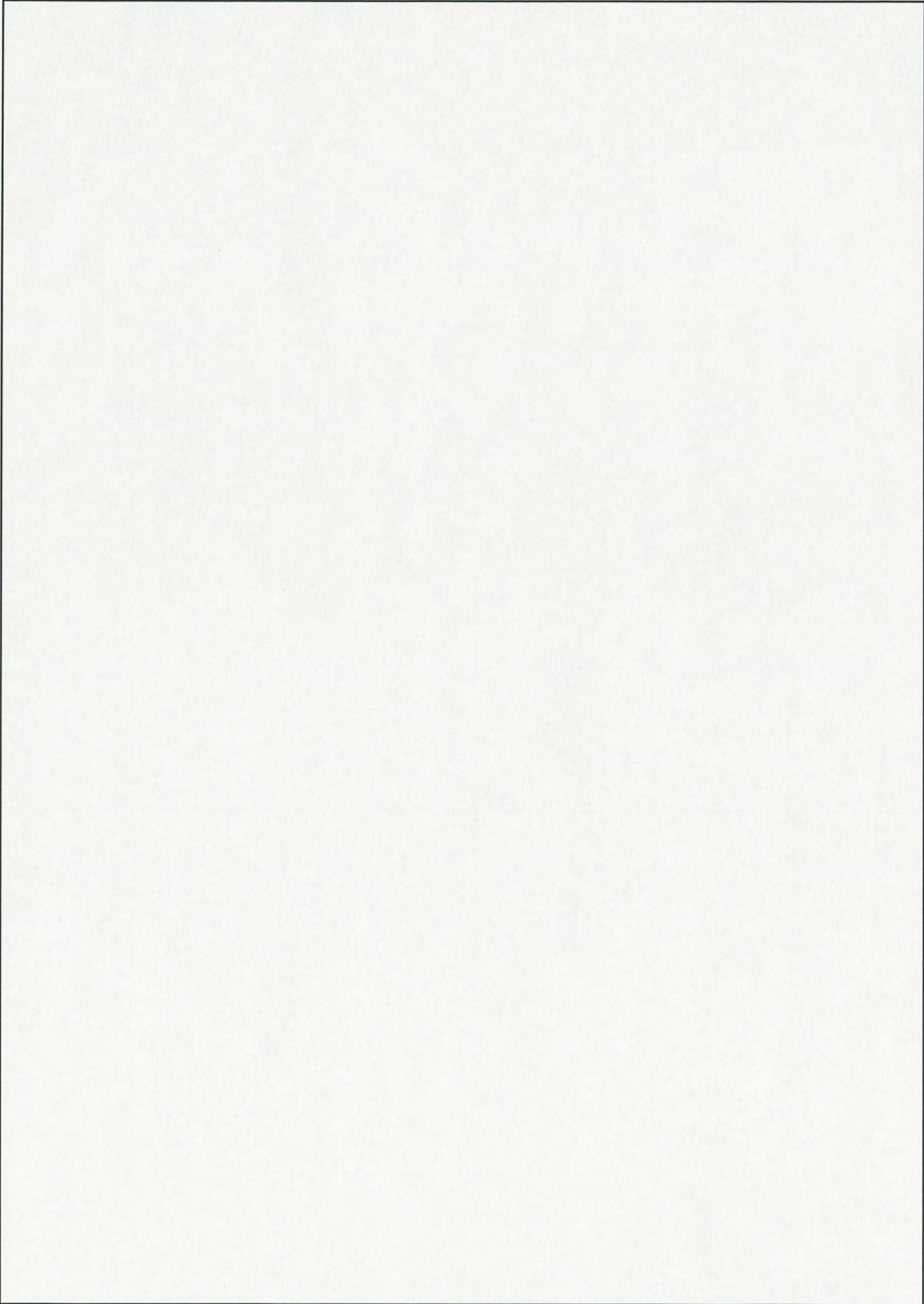


(ロ)E-第3図 [2/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (全体・上部)

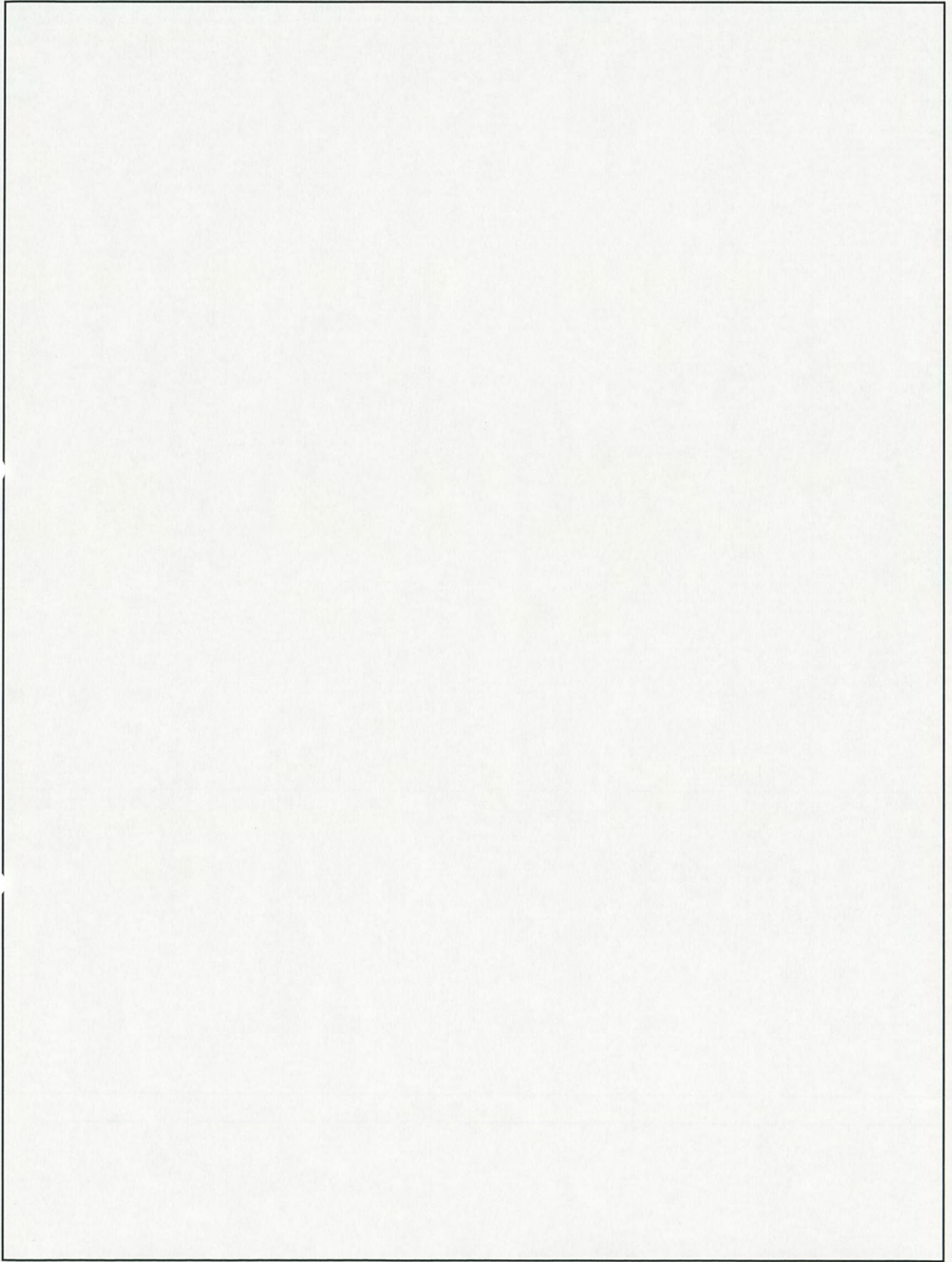


(ロ)E-第3図 [3/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (内容器周辺部)

(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)



(口)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)

(ロ)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_2 を収納したときの燃料領域の UO_2 と減速材 (ポリエチレン)

の体積比 (10kg- UO_2 /内容器)

燃料領域直径(cm)	UO_2 体積比	減速材 体積比
[Empty Table Area]		

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、内容容器内に水が浸入するものとしている。ここで、内容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 表の通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 A、B、C の合計重量	収納物	
	均質 ^(注1) (粉末)	非均質 ^(注2) (焼結体及びスクラップ)
無制限	0.827 <u>0.829</u>	— <u>0.912</u>

(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 σ 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 σ の 3 倍を加えた値) に非均質効果を考慮した。

E.3 ケース 3(粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納する場合)

E.3.1 概要

本輸送物は、輸送制限個数を制限せず、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.3.2 解析対象

E.3.2.1 収納物

濃縮度 5%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣並びに濃縮度 20%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣であるが、その濃縮度によって収納量の上限が異なる。

本輸送物には 4 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。

臨界解析における収納量の上限を(ロ)E-第 11 表に示す。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。

本輸送物の容器にはブロッキングシステムが収納されるが、ブロッキングシステムの材料(ステンレス鋼、ポリオキシメチレン)は水より水素密度が低く、中性子の反射効果及び減速効果は水より低くなるため、臨界解析上保守的になるようブロッキングシステムは水に置き換えて計算した。

E.3.2.2 輸送容器

本輸送容器は、容器(4 個)、耐熱衝撃緩衝材及び外容器から構成される。容器には、ウラン化合物を含んだウラン残渣を収納した粉末収納缶が、容器 1 個当たり 3 缶(合計 12 缶)収納される。

E.3.2.3 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、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 11 表 臨界解析におけるウラン量の上限

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg-U)
5.00 以下	5.0
20.00 以下	0.5

E.3.3 モデル仕様

E.3.3.1 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 12 表に示す通り、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、共に臨界個数を制限せず、輸送物を無限個配列した。

(ロ)E-第 12 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	無限
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ウラン化合物を含んだウラン残渣を、減速効果が最も大きくなるウラン単体と水に置き換える。

さらに、ウランの物理的形狀及び濃縮度によらず、燃料／減速材比を考慮する必要があるため、均質なウランの場合は、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、臨界評価上最も保守的な条件を得た。また、非均質なウランの場合については、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5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□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□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□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□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6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。

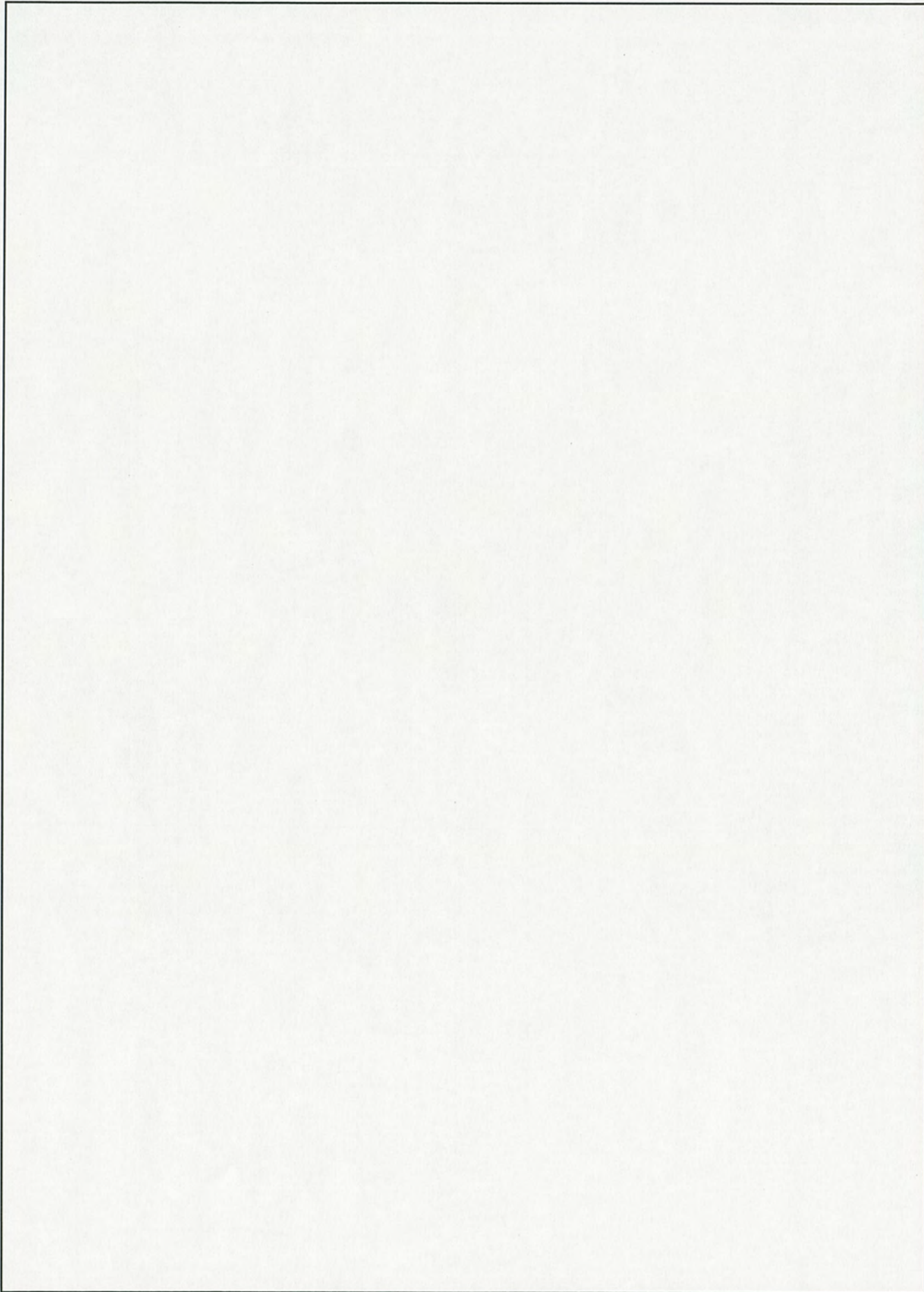
また、本モデル中では、各粉末収納缶が内容器内でそれぞれ容器本体の中心に向かって偏心しているという安全側の仮定も適用している。

E.3.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

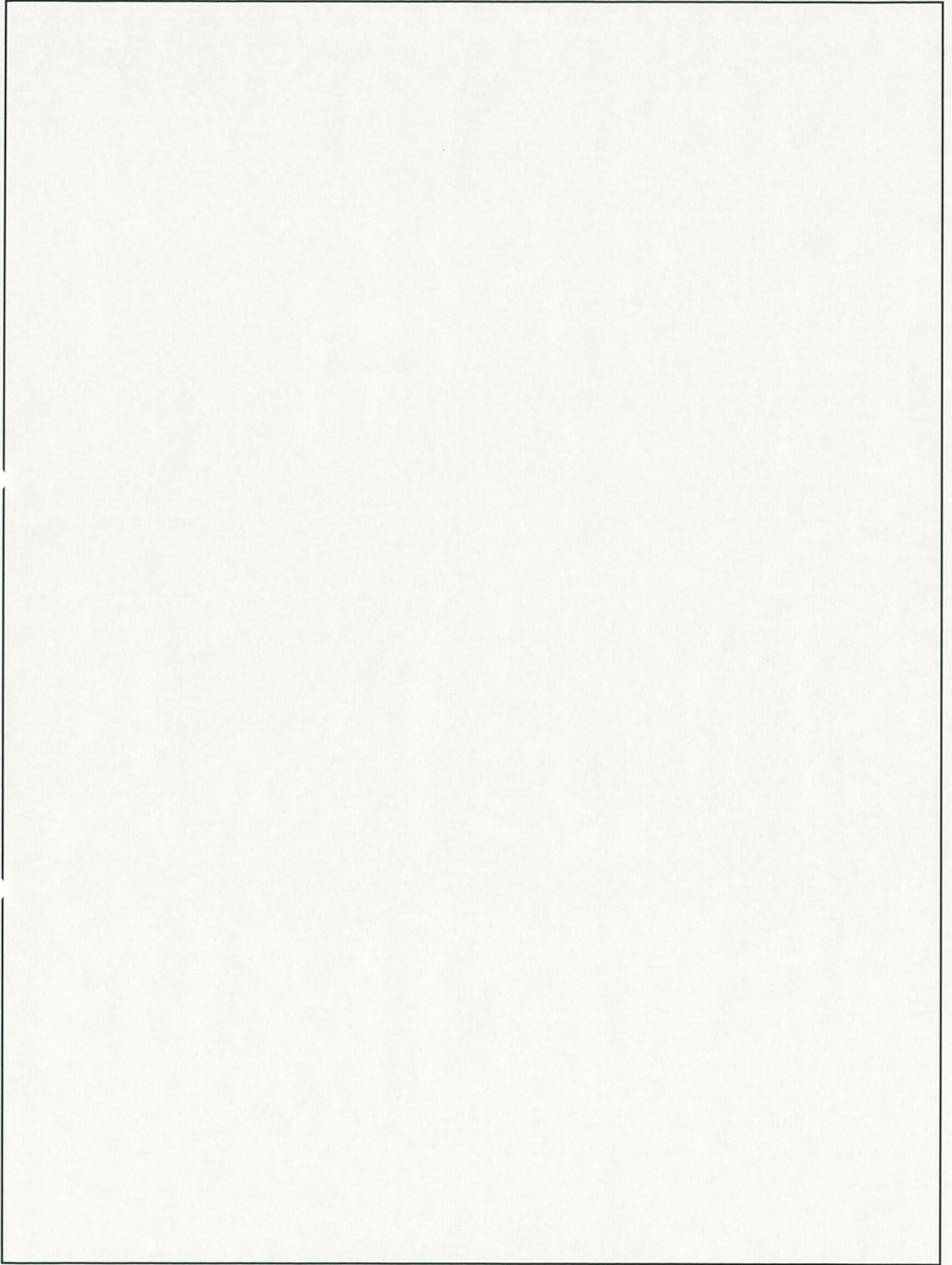
本解析に使用した輸送物の各領域の原子個数密度を(ロ)E-第 13 表に、また、燃料領域のウランと水の体積比を(ロ)E-第 14、15 表に、それぞれ示す。

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 g/cm^3 をそれぞれ用いた。

(ロ)E-第5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5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)



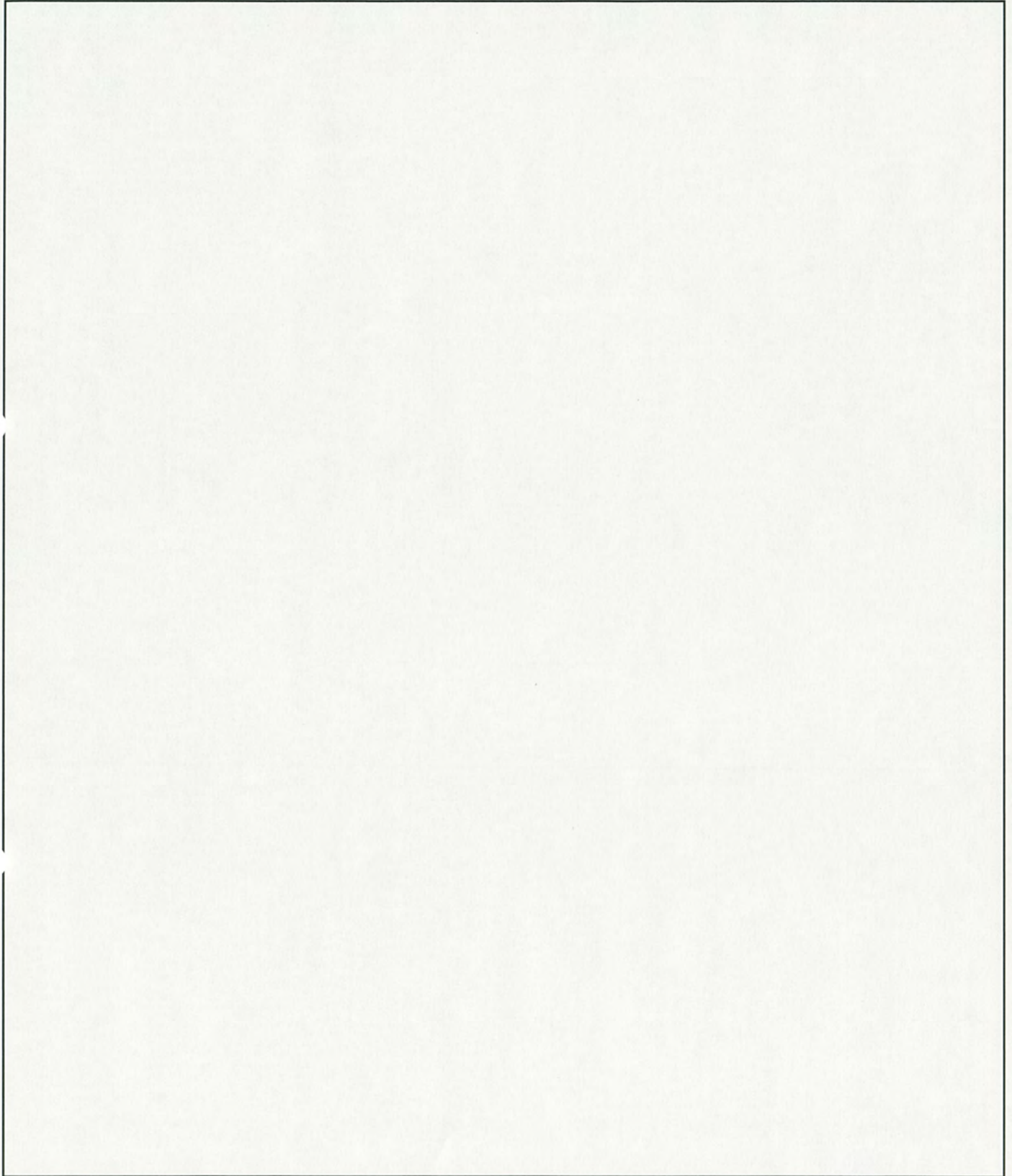
(ロ)E-第5図 [3/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (内容器周辺部)

(ロ)E-第6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6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6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13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」□%とボロン□%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.3.4 未臨界評価

E.3.4.1 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温度が多くなるため、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共に無限であるため、明らかに特別の試験条件下に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.3.4.2 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、そこで、ウランの物理的形狀及び濃縮度によらず、燃料／減速材比を考慮する必要があるため、均質なウランの場合は、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(ロ)E-第 14、15 表の通りサーベイ計算を行い、その影響について考慮している。また、非均質なウランの場合については、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.3.4.3 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.3.4.4 計算結果

以上の条件で行った計算結果を(ロ)E-第16表に示す。

(ロ)E-第16表 実効増倍係数の計算結果 (ケース3)

実効増倍率		
	均質 ^(注1)	非均質 ^(注2)
濃縮度：5%	0.477	—
収納量：5.0 kg-U	0.479	0.527
濃縮度：20%	0.291	—
収納量：0.5 kg-U	0.293	0.299

(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 σ 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率(標準偏差 σ の3倍を加えた値)に非均質効果を考慮した。

E.4 ベンチマーク試験

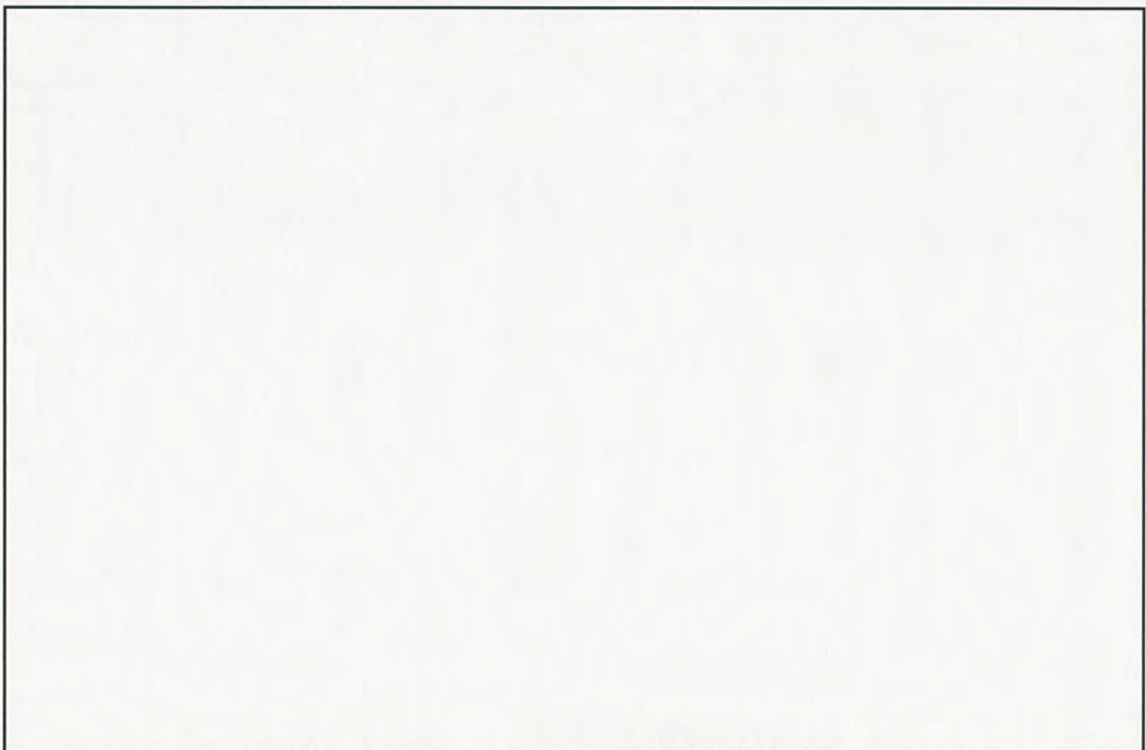
OECD/NEA の国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト (ICSBEP) では、評価済み臨界ベンチマーク実験ハンドブック (ICSBEP ハンドブック) を発行している。

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、IEU-COMP-THERM : 中濃縮・化合物・熱中性子スペクトル、IEU-MET-FAST : 中濃縮・金属・高速中性子スペクトル) 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 7 図に示す。また、(ロ)E - 第 3 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 17 表に示す。

(ロ)E - 第 7 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 17 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 (Δk (M-C) の平均値)	
標準偏差 (σ)	
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 7 図 ベンチマーク実験解析結果

E.5 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 18 表に示す通りであり、いずれの値も 0.95 未満であり、臨界安全上問題はない。

(ロ)E - 第 18 表 [1/3] 実効増倍係数の最大値

(ケース 1(粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納する場合))

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	0.947	0.946
<input type="text"/> g を超えて <input type="text"/> g 以下	0.945	0.946

(ロ)E - 第 18 表 [2/3] 実効増倍係数の最大値

(ケース 2(長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納する場合))

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"/>	0.829	0.912

(ロ)E - 第 18 表 [3/3] 実効増倍係数の最大値

(ケース 3(粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納する場合))

ウラン濃縮度	収納物
	ウラン残渣
5%以下	0.527
20%以下	0.299

(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 4.1%、内容器当たり 75 kg の 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 の通りである。

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 4.1%、内容器当たり 75 kg の 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 5.0%、内容器当たり 75 kg の 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、ヒス通り数は「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 4.1%、内容器当たり 75 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、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 (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 5.0%、内容器当たり 75 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、ヒストリ一数は「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 (216 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 5.0%、内容器当たり 10 kg の 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 \square 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 5.0%、内容器当たり 10 kg の 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。

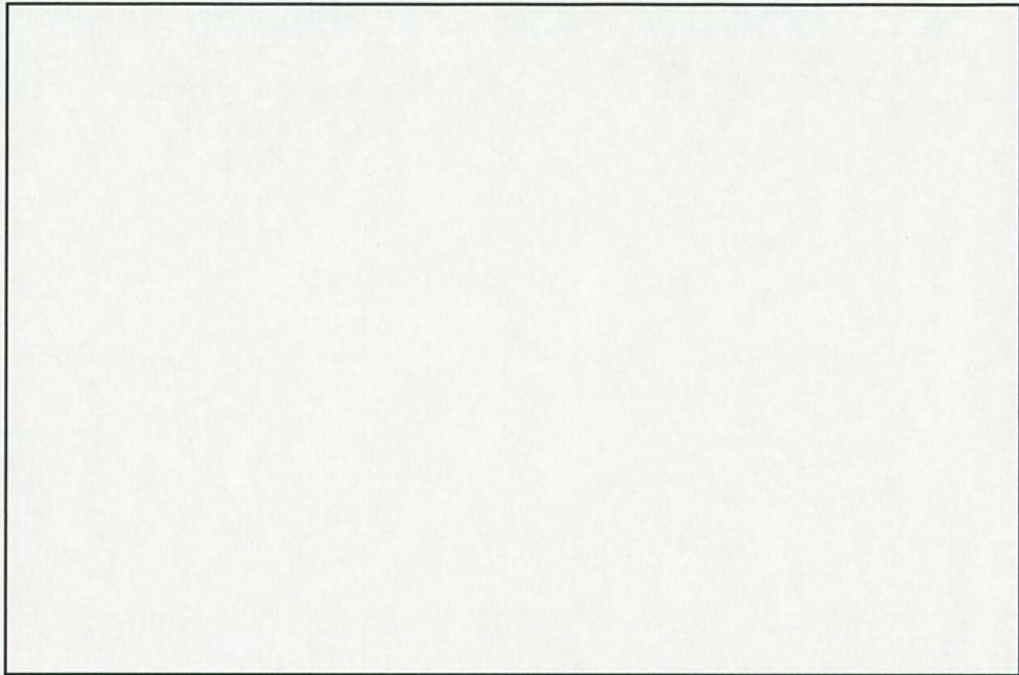


図 1 内容器内部の水密度変化に対する反応度変化



図 2 外蓋部の水密度変化に対する反応度変化

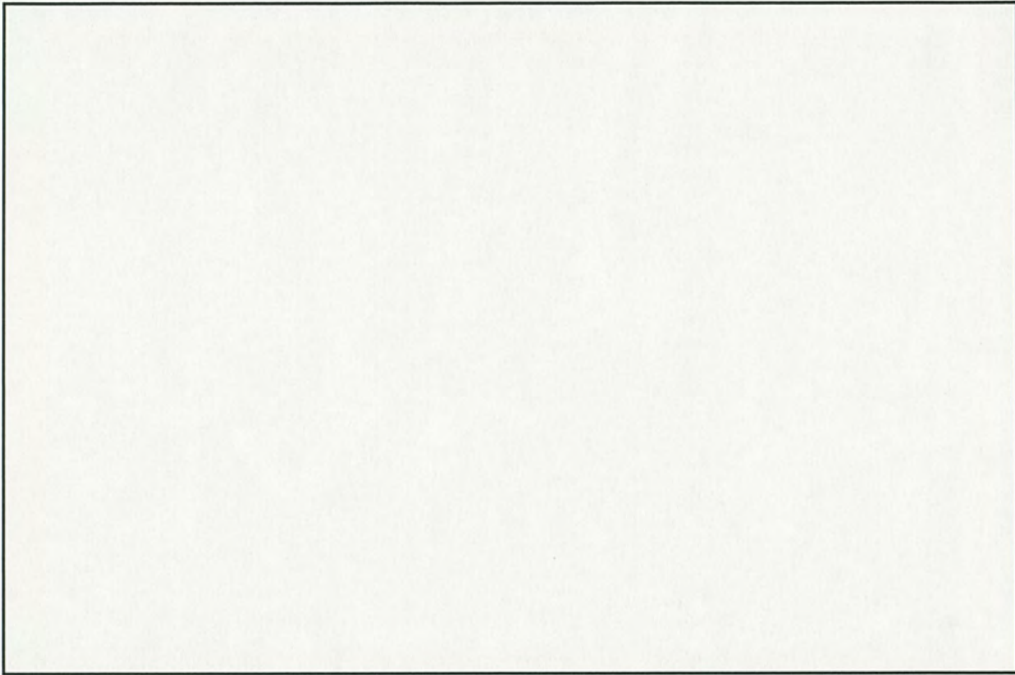


図3 フェノリックフォーム中の水密度変化に対する反応度変化

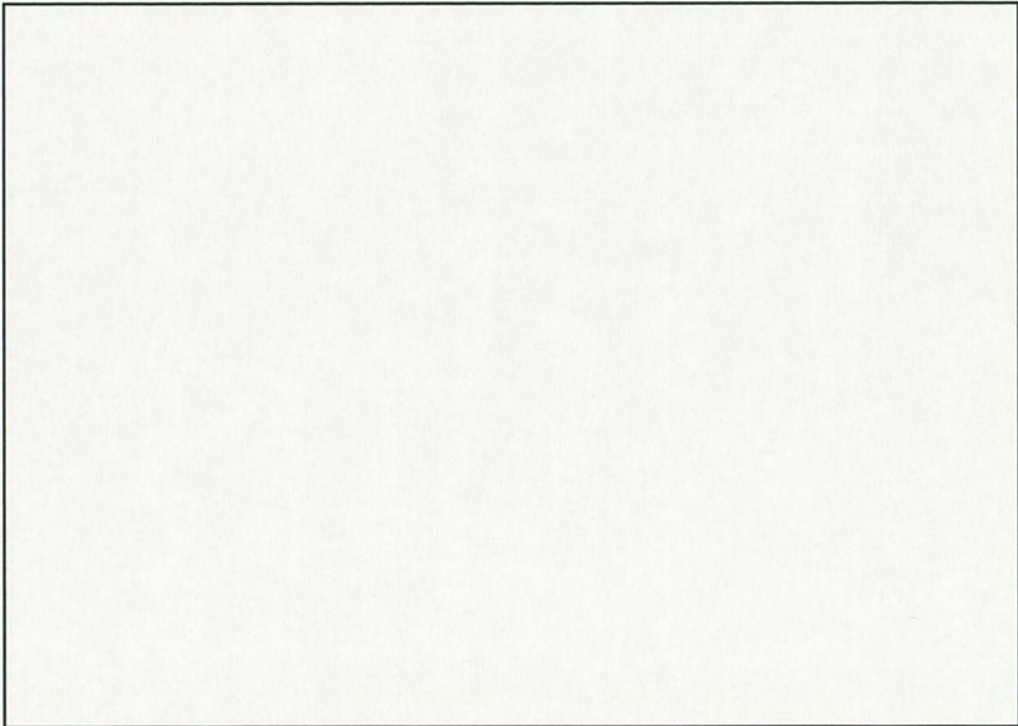


図4 炭化したフェノリックフォームの組成の変化による反応度の変化

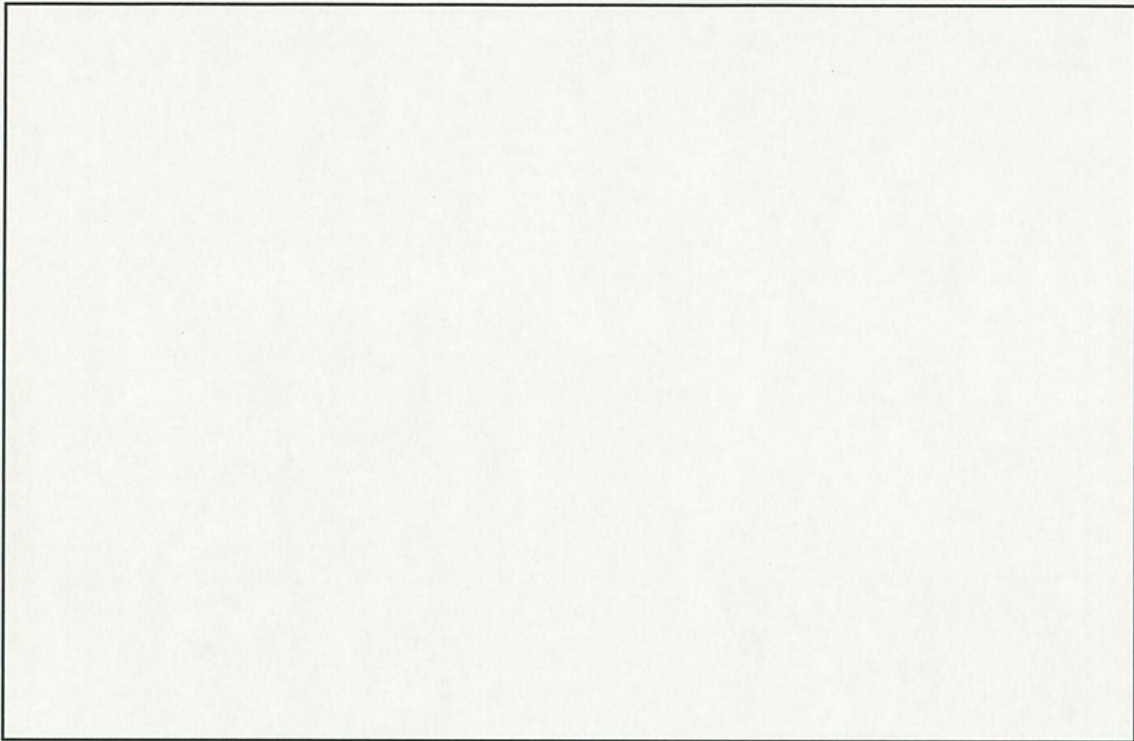


図5 燃料領域高さの変化による反応度の変化

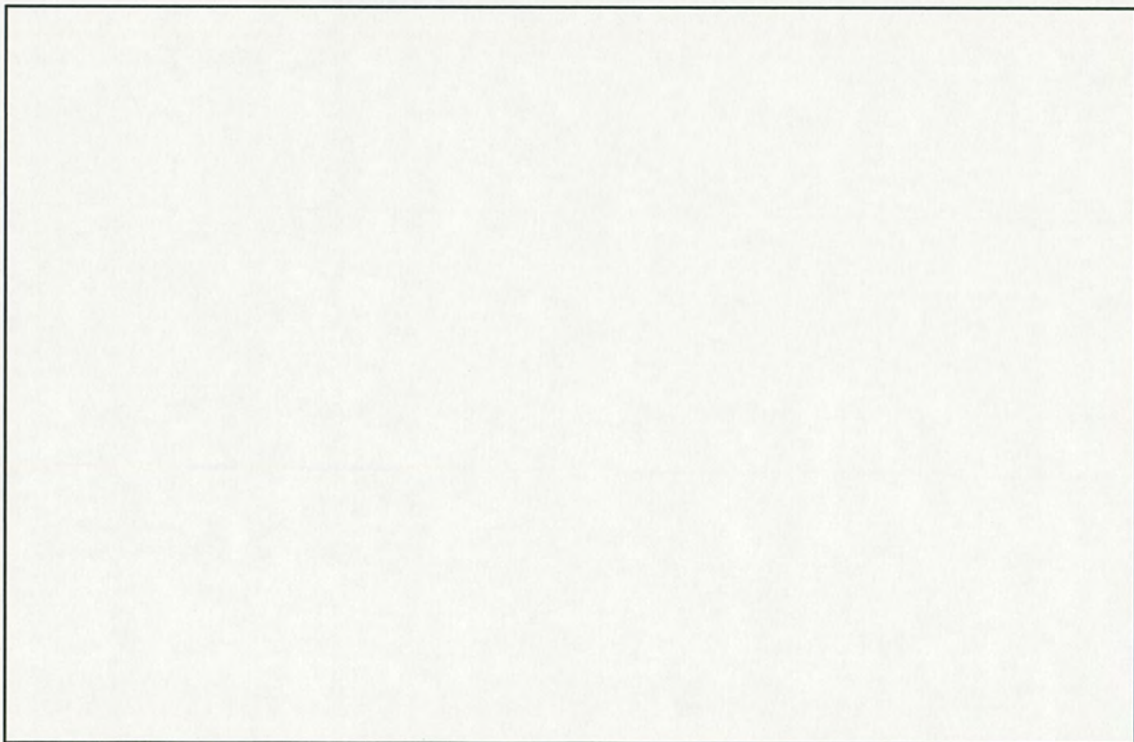


図6 一般の試験条件下に輸送物を置いた場合と特別の試験条件下に輸送物を置いた場合
における計算結果の比較

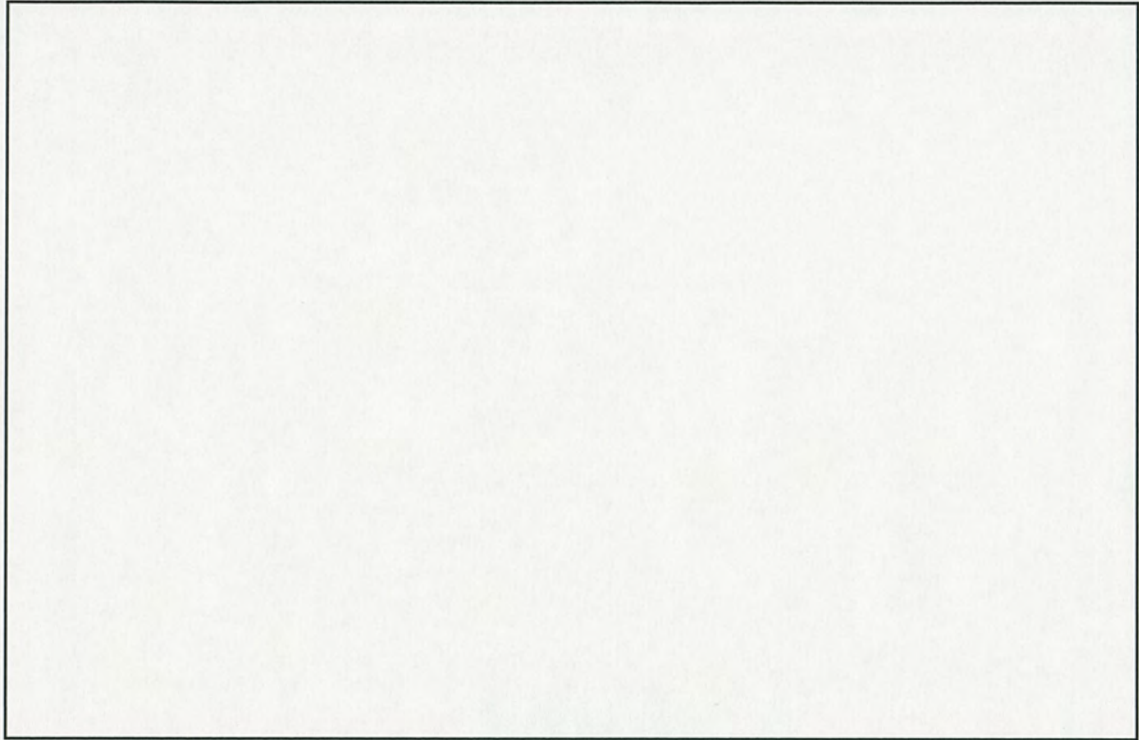


図 7 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直径変化による反応度の変化

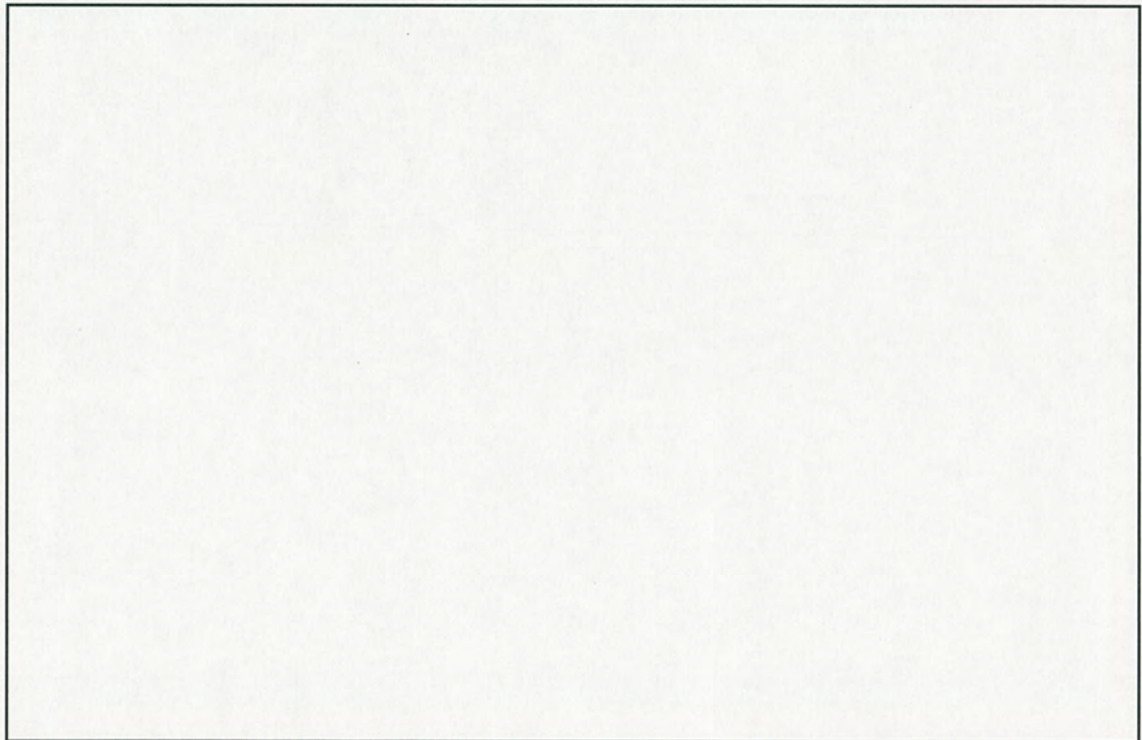


図 8 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直の偏心による反応度の変化

(ロ)E 付属資料 2

ケース 2 及びケース 3 における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

ペレットやスクラップ、及びウラン残渣等の非均質の収納物を輸送する場合、非均質体系*1として未臨界評価を実施する必要がある*2。ここで、非均質体系の評価方法は、以下の手法がある。

- ・ 収納物の配列状態を直接再現したモデルを用いて評価する手法
- ・ 均質体系で評価を実施した上で、均質体系の評価に対する非均質体系の影響度（非均質効果）を保守的に見込んで評価する手法

ケース 2 及びケース 3 においては、収納物の配列状態を特定できないことから、後者の手法を採用する。

2. 非均質体系の収納物の配列

非均質体系において、均一な配列*3をした場合の方が不均一な配列をした場合よりも反応度が高くなるのが、実験及び理論にて明らかにされている*4。そのため、本評価においては、非均質体系として均一な配列（燃料球直径を均一かつ規則的な格子配列）を仮定することとした。

*1 ここで、均質体系とは溶液系のように物理的・化学的性質が全体系にわたって一定もしくは連続的に変化している体系であり、非均質体系とは水中の燃料棒体系のように物理的・化学的性質が不連続に変化する体系のことである。

*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 p31

*3 ここで、均一な配列とは燃料の性質が体系内で一様である配列であり、不均一な配列とは燃料の性質が体系内で一様でない配列のことである。例えば、水中に燃料棒が一様に配列した体系は非均質均体系となり、燃料棒の配列が一様でない体系は非均質不均体系となる。

*4 「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 p29

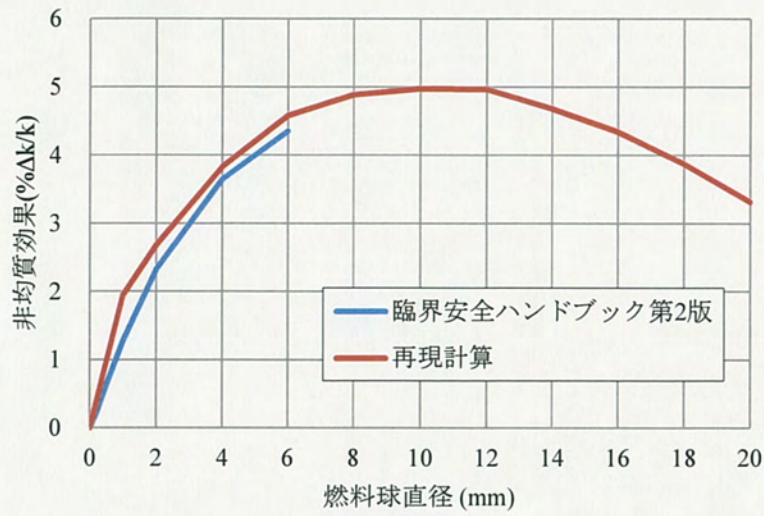


図1 「臨界安全ハンドブック第2版」図3.7の再現計算

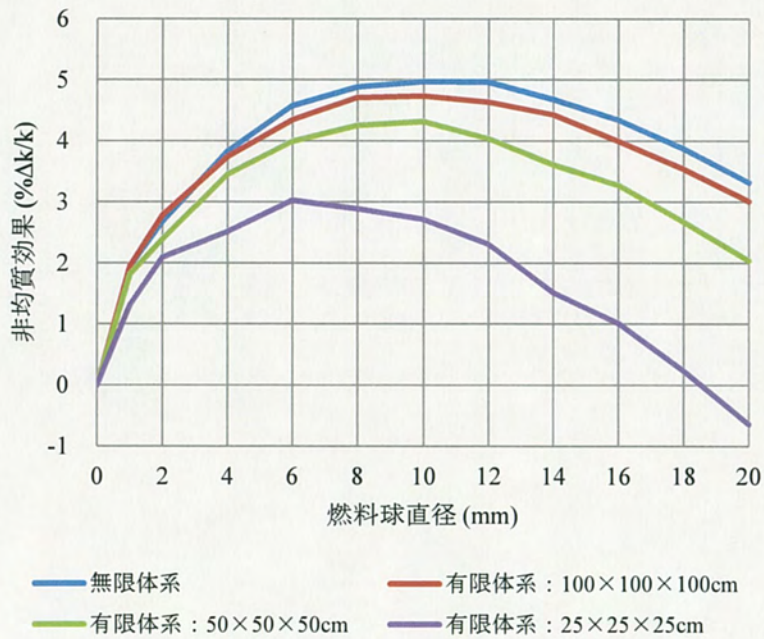


図2 無限体系と有限体系における非均質効果の比較

(ロ)F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F.1 考慮すべき経年変化要因

本章では、本輸送物について使用を予定する期間中に想定される使用状況及びそれに伴う経年変化について考慮する。

本輸送容器の使用予定期間は40年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は□□□□、また1回の輸送期間は□□□□を想定している。

本輸送物の使用期間中に想定される経年変化の要因としては、容器保管中や使用中における温度変化(熱)、収納物から発生する放射線、腐食等の化学変化及び繰り返し応力が生じることによる疲労が考えられる。そこで、これらの経年変化を生じさせる要因について、本輸送容器の構成部品と繰り返し使用する収納物に関して評価を実施する。

熱、放射線、化学変化の評価においては、使用予定より保守的な条件として40年の連続使用を考慮する。また、疲労の評価においては、使用予定より保守的な条件として40年間毎日1日1回の輸送実施を考慮する。

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

経年変化の考慮する本輸送容器の構成部品として、安全機能を担う構成部品とその使用材料を下記に示す。

輸送容器の構成部品	材料
輸送容器構造材	ステンレス鋼
耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム
中性子吸収材	BORA レジン
	ボロン入りステンレス鋼

外蓋の補強材として使用されているアルミニウム合金は、外蓋に充填されているフェノリックフォームを区分けするために使用しており、安全機能を有しないことから経年変化を考慮する必要がない。また、ガasketについては輸送実施前に新しいものと取替えるため、経年変化は考慮しない。

次に、経年変化を考慮する収納物として、繰り返し使用する収納物とその使用材料を下記に示す。

収納物	材料
粉末収納缶	ステンレス鋼
長尺粉末収納缶	
ステンレス鋼製スペーサ	
ボロン入りステンレス鋼リング	ボロン入りステンレス鋼
プラスチックスペーサ	ポリオキシメチレン
センタリングシステム	

以上を纏めると、輸送容器、及び収納物において経年変化を考慮する材料は下記の5つである。

- ・ステンレス鋼
- ・フェノリックフォーム
- ・BORA レジン
- ・ボロン入りステンレス鋼
- ・ポリオキシメチレン

以下に、各材料の経年変化の考慮について、熱、放射線、化学及び疲労の観点から示す。

(1)ステンレス鋼

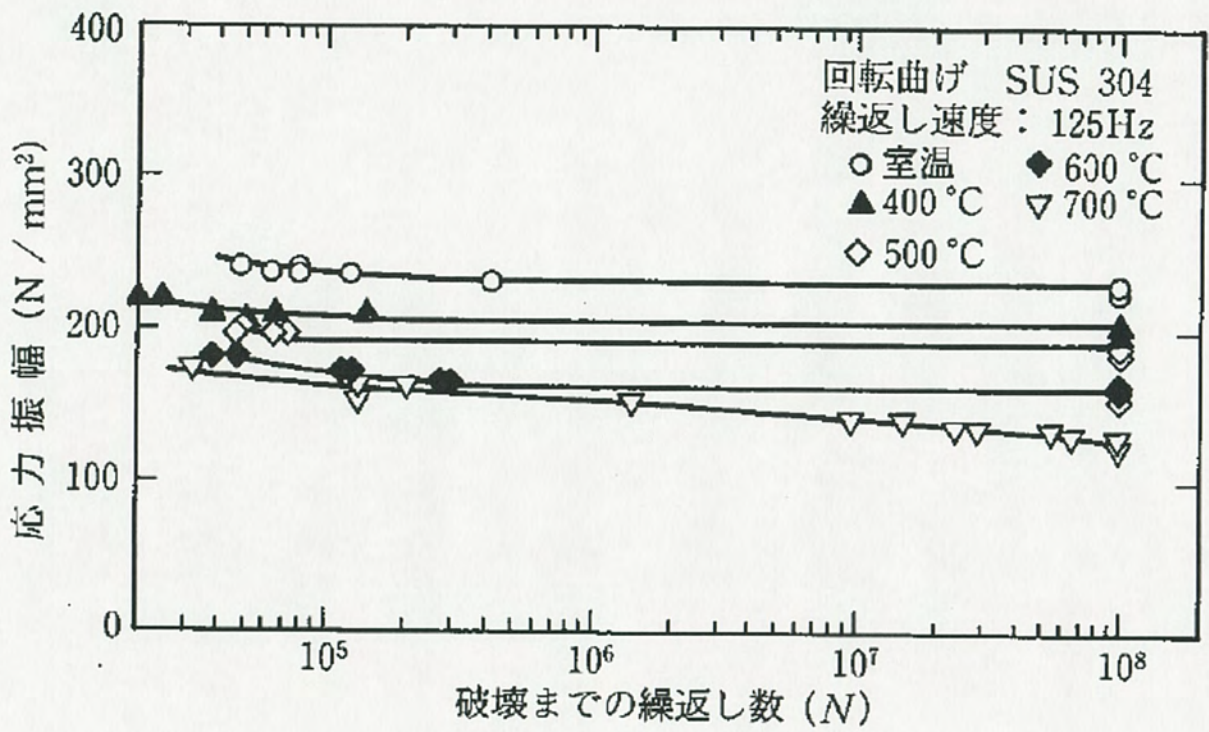
ステンレス鋼の経年変化の考慮について、(ロ)F-第1表に示す。

(ロ)F-第1表 ステンレス鋼の経年変化の考慮[1/2]

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
ステンレス鋼	熱	使用期間中に想定されるステンレス鋼の温度範囲である-40℃から72℃((ロ)B.4.6参照)までを考慮する。クリープの影響を受ける温度はステンレス鋼の融点(1300℃以上)の三分の一である433℃であり、運搬中に予想される最高温度(72℃)と比較して十分に高いことから、仮にステンレス鋼を使用期間中、継続して上記温度環境下に置いた場合でも、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	40年の使用期間において、ウラン酸化物を各内容器に75kgずつ、計300kg収納するものとして条件を定める。使用期間における中性子の累積照射量は 7×10^{10} n/cm ² 以下であり、ステンレス鋼の材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{16} n/cm ² と比較して十分に小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	ステンレス鋼は材料の表面に不動態膜を形成することから腐食は発生しにくい。また、輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、及びステンレス鋼製スペーサの腐食については発送前検査や定期自主検査にて外観にて確認可能であり、確認された場合には補修又は交換される。このため、使用期間内に腐食等の経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(ロ)F-第1表 ステンレス鋼の経年変化の考慮[2/2]

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
ステンレス鋼	疲労	<p>輸送容器構造材については、-40℃から 52℃までの温度変化による内外圧力差により、最大 <input type="text"/> MPa (N/mm²)の応力が内蓋に生じる（「(ロ)-A.5.1.3 応力計算」参照）。(ロ)F-第1図のステンレス鋼の疲労曲線によると、100 N/mm²以下の応力では室温から 700℃の環境下において 10⁷回以上繰り返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。保守的に年間 365 回温度変化による応力が発生すると仮定し、使用期間の 40 年間を考慮しても、応力の繰り返し回数は 40(年)×365(回)=14600 回であり、許容繰り返し回数と比較して十分に小さい。</p> <p>また、粉末収納缶、長尺粉末収納缶及びステンレス鋼製スぺーサには、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じない。そのため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し



(ロ)-F 第1図 ステンレス鋼疲労曲線

(出典) ステンレス鋼便覧-第3版-ステンレス協会(1995年1月)

(2)フェノリックフォーム

フェノリックフォームの経年変化の考慮について、(ロ)F-第2表に示す。

(ロ)F-第2表 フェノリックフォームの経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
フェノリックフォーム	熱	使用期間中に想定されるフェノリックフォームの温度範囲である-40℃から72℃((ロ)B.4.6参照)までを考慮する。使用期間中に想定される温度範囲は、熱重量分析で確認された顕著な重量変化が生じる温度(90℃)と比較し十分に低い ²⁾ 。また、外容器外面と内容器外壁により密閉されているため、熱による経年変化を促進させる外気・水分との接触がない。よって、熱による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	40年の使用期間において、ウラン酸化物を各内容器に75kgずつ、計300kg収納するものとして条件を定める。使用期間における中性子の累積照射量は 7×10^{10} n/cm ² 以下であり、またガンマ線の累積照射量は 5×10^1 Gy以下であり、フェノリックフォームの材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{14} n/cm ² 、ガンマ線照射量 10^4 Gyと比較して十分に小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない ³⁾ 。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	フェノリックフォームはステンレス鋼の外容器外面と内容器外壁により密閉されているため、外気との接触はなく、加水分解、紫外線による分解は発生しない。よって化学変化による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	疲労	フェノリックフォームの使用箇所には、内外圧力差や取扱いに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(3)BORA レジン

BORA レジンの経年変化の考慮について、(ロ)F-第3表に示す。

(ロ)F-第3表 BORA レジンの経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の評価	経年変化の有無
BORA レジン	熱	<p>使用期間中に想定される BORA レジンの温度範囲である -40℃から 50℃ ((ロ) B.4.6 参照) までを考慮する。使用期間中に想定される温度範囲は、熱重量分析で確認された顕著な重量変化が生じる温度 (150℃) と比較し十分に低い⁴⁾。また、BORA レジンはステンレス鋼の容器外壁と容器内壁により密閉されているため、熱による経年変化を促進させる外気・水分との接触がない。</p> <p>よって、使用期間中にさらされる温度において熱による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し
	放射線	<p>40 年の使用期間において、ウラン酸化物を各容器に 75kg ずつ、計 300kg 収納するものとして条件を定める。</p> <p>使用期間における中性子の累積照射量は 7×10^{10} n/cm² 以下であり、またガンマ線の累積照射量は 6×10^1 Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステル³⁾の材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{14} n/cm²、ガンマ線照射量 10^4 Gy と比較して十分小さい³⁾。加えて累積の中性子照射による ¹⁰B の減損率は 10^{-10} 未満であり、中性子吸収性能への影響はない。よって、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し
	化学	<p>BORA レジンはステンレス鋼の容器外壁と容器内壁により密閉されているため、外気との接触はなく、加水分解、紫外線による分解は発生しない。よって化学変化による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し
	疲労	<p>BORA レジンの使用箇所には、内外圧差や取扱いに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。</p>	無し

(4)ボロン入りステンレス鋼

ボロン入りステンレス鋼の経年変化の考慮について、(ロ)F-第4表に示す。

(ロ)F-第4表 ボロン入りステンレス鋼の経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
ボロン入り ステンレス鋼	熱	使用期間中に想定されるボロン入りステンレス鋼の温度範囲である-40℃から 72℃ ((ロ)B.4.6 参照) までを考慮する。ボロン入りステンレス鋼は□%のステンレス鋼と□%のボロンからなるので、基本的な性質はステンレス鋼と変わらない。そのため、ボロン入りステンレス鋼はステンレス鋼と同様に、使用期間中に想定される温度範囲では、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	40年の使用期間において、ウラン酸化物を各内容器に75kgずつ、計300kg 収納するものとして条件を定める。ボロン入りステンレス鋼は□%のステンレス鋼と□%のボロンからなるので、中性子照射に対する性質はステンレス鋼と同等である。使用期間における中性子の累積照射量は 7×10^{10} n/cm ² 以下であり、ボロン入りステンレス鋼の材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{16} n/cm ² と比較して十分に小さい ¹⁾ 。加えて累積の中性子照射による ¹⁰ Bの減損率は 10^{-9} 未満であり、中性子吸収性能への影響はない。よって、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	ボロン入りステンレス鋼はステンレス鋼と同様に材料の表面に不動態膜を形成することから腐食は発生しにくい。またボロン入りステンレス鋼は外蓋の内部、また内容器の底面及び粉末収納缶に使用され、輸送中日光や雨に直接さらされることはないため、腐食等の経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	疲労	ボロン入りステンレス鋼の使用箇所には、内外圧差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

(5)ポリオキシメチレン

ポリオキシメチレンの経年変化の考慮について、(ロ)F-第5表に示す。

(ロ)F-第5表 ポリオキシメチレンの経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の考慮の評価	経年変化の有無
ポリオキシメチレン	熱	使用期間中に想定されるポリオキシメチレンの温度範囲である-40℃から52℃ ((ロ)B.4.6 参照) までを考慮する。使用期間中に想定される温度範囲は、ポリオキシメチレンの使用可能温度 (-40℃~100℃) の範囲内であり、熱分解等の反応は発生しない ⁵⁾ 。従って運搬中の温度においては熱による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	放射線	40年の使用期間において、ウラン酸化物を各内容器に75kgずつ、計300kg収納するものとして条件を定める。使用期間における中性子の累積照射量は 7×10^{10} n/cm ² 以下であり、またガンマ線の累積照射量は 7×10^1 Gy以下であり、ポリオキシエチレンの材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{13} n/cm ² 、ガンマ線照射量 10^3 Gyと比較して十分に小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない ⁶⁾⁷⁾ 。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	化学	ポリオキシメチレンは内容器の内部に使用され、日光や雨に直接さらされることはないため、加水分解や紫外線による分解は発生しない。また、ブロッキングシステムは発送前検査による確認が可能であり、有害な傷、割れ等の異常が確認された場合は交換する。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し
	疲労	ポリオキシメチレンの使用箇所には、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。	無し

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

前節に示した通り、本輸送物に係る安全機能を担う構成部品及び繰り返し使用する収納物の材料を対象に、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。その結果、構成部品及び繰り返し使用する収納物について、安全解析において使用期間中の経年変化を考慮する必要がないことがわかった。

参考文献

- (1) R. K. Nanstad, K. Farrell, D. N. Braski, and W. R. Corwin "Accelerated Neutron Embrittlement of Ferritic Steels at Low Fluence: Flux and Spectrum Effects" (1988)
- (2) 東京大学宇宙航空研究所「フェノール系樹脂の熱重量分析」(1964年4月)
- (3) C. L. Hanks, D. J. Hamman "RADIATION EFFECTS DESIGN HANDBOOK ~Section 3 Electrical Insulating Materials and Capacitors ~" (1971)
- (4) Herve Issard "DEVELOPMENT OF NEUTRON SHIELDING MATERIALS FOR HIGH BURN UP NUCLEAR FUEL STORAGE FACILITIES" (2009)
- (5) 日本トライボロジー学会固体潤滑研究会「新版固体潤滑ハンドブック」(2010年3月)
- (6) E. G. FRITZ "STUDY OF THE EFFECTS OF NUCLEAR RADIATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ACETAL RESINS DERIN AND CELCON" (1964)
- (7) 日本原子力研究所「原子力産業に要求される高分子材料(1981年3月)

(ロ)－G 規則及び告示に対する適合性の評価

本輸送物の設計変更内容が規則及び告示に定める技術基準に適合していることを各条文ごとに説明する。

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
<p>第三条 第一項 第二号</p>	<p>第四条 及び 別表第一</p>	<p>本輸送物に収納される放射性物質は「特別形核燃料物質等以外のもの」に該当することから、A_2 値は無制限である。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は技術基準における A 型輸送物に該当する。</p>	<p>(イ)－A(1)</p>
<p>第三項</p>		<p>本輸送容器の使用予定期間は 40 年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は <input type="text"/> 1 回の輸送期間は <input type="text"/> <input type="text"/> を想定している。輸送物の安全機能を担う構成部品と繰り返し使用する収納物の材料(ステンレス鋼、フェノリックフォーム、BORA レジン、ボロン入りステンレス鋼、ポリオキシメチレン)を対象に、技術上の基準に適合性を確認する上で考慮が必要となる経年変化に係り、その影響について評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 40 年間連続して構成部品等が使用中に想定される最高温度であるとした保守側の条件の下で、組織変化、クリープ、割れ、熱分解は発生せず、熱による経年変化の影響は受けない。 ・ 保守的な条件として、40 年間連続してウラン酸化物を各容器に 75kg ずつ、計 300kg 収納した場合における放射線の累積照射量は、主要材料に影響の与える照射量と比較して十分に小さいことから、放射線による経年変化の影響は受けない。 ・ ステンレス鋼については材料の表面に不動態膜を形成することから腐食は発生しにくく、輸送容器外面、及びステンレス鋼製の収納物については、発送前検査や定期自主検査にて外観確認が可能で確認された場合には補修又は交換する。また、ボロン入りステンレス鋼、ポリオキシメチレンは輸送容器内部に使用するため日光や雨に直接さらされることはなく、化学変化による経年変化の影響は受けない。フェノリックフォーム、BORA レジンについては構造材により密閉されているため、化学変化による経年変化の影響は受けない。 ・ 輸送容器構造材に用いているステンレス鋼について、保守的に年間 365 回温度変化による応力が発生すると仮定し、想定される最大応力から求めた許容繰り返し回数と比較すると、使用期間中に想定される応力の繰り返し回数は十分に小さい。フェノリックフォーム、BORA レジン、ボロン入りステンレス鋼、ポリオキシメチレンについては内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じない。以上のことから疲労による経年変化の影響は受けない。 <p>以上のことから、経年変化に対する輸送物への影響はなく、規則に定める技術基準の適合に影響しない。</p>	<p>(ロ)－F</p>

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第四条 第一号		<p>輸送物総重量は 1,050 kg 以下であり、本輸送容器は吊上装置を有していない。フォークリフトやクレーン等の汎用機器により荷上げ・荷下ろし等を行う際、フォークリフトの爪や吊り具を輸送容器に設けられた脚に通すことで輸送物の脱落を防止し、輸送物を容易に、かつ安全に取扱うことができる。また、輸送容器の内蓋の締付けは、ボルト等を使用しないバイオネット構造であり、この構造は容易かつ安全に取り扱うことができる。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(イ)－C(1) (イ)－C(10)(a) (イ)－C(5)(b)③
第二号		<p>・ 輸送時の周囲温度は-40℃～38℃である。輸送容器の最低温度は周囲温度と同じ-40℃、最高温度は太陽熱放射の影響を考慮し、JTACO-3D コードによる解析結果から、外容器の最高温度は 72℃、内容器の最高温度は 52℃である。</p> <p>・ 運搬中に予想される周囲温度の変化によって、輸送容器各部及び収納物の温度が変化しても、輸送容器の主要な構造材及び収納物である粉末収納缶、長尺粉末収納缶、及びステンレス鋼製スペーサはステンレス鋼であること、外容器と内容器の温度差は最大でも 22℃程度であること、内容器と収納物の温度差は最大でも 14℃程度であることから、熱膨張差によるこれらの収納物と内容器の干渉はなく、輸送容器各部に発生する熱応力も無視しうる。センタリングシステムは内容器や粉末収納缶と十分なギャップが空いており熱膨張によって接触することはない。また、プラスチックスペーサと内蓋の間については、-40℃から 52℃までの温度変化によるプラスチックスペーサの熱膨張量 <input type="text" value=""/> mm を考慮して内容器に収納するプラスチックスペーサの枚数を調整するため、内蓋と接触する恐れはなく熱膨張による応力は発生しない。</p> <p>・ 梱包時温度を 0℃、内容器温度を 52℃とし、周囲の圧力が絶対圧で 60kPa まで低下した場合の内容器の最大内外圧差は 60kPa であるが、内容器胴体部、内容器底面、内容器内蓋に発生する応力は、いずれも基準値より小さいことから、内容器にき裂、破損等は生じない。また、内容器の温度範囲である-40℃から 52℃まで温度変化したことによる最大内外圧差は 40kPa であるが、内容器胴体部、内容器底面、内容器内蓋に発生する応力は、いずれも基準値より小さいことから、内容器に亀裂、破損等は生じない。</p> <p>・ 輸送中は運搬中、車両等に固定され、輸送物の最大重量及び運搬中に予想される加速度を考慮しても輸送物の健全性は確保される構造となっている。また、輸送物の固有振動数と車両から受ける励振力の周波数域には大きな開きがあり、応答振幅の影響を考慮しても輸送物の構造健全性は確保され亀裂、破損を生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)－B.4.2 (ロ)－B.4.3 (ロ)－A.5.1.2 (ロ)－B.4.2 (ロ)－A.4.6 (ロ)－A.5.1.3 (ロ)－A.4.7
第三号		<p>輸送物の外面の突起物は積み重ね用のスタッキングピンと容器本体底部の脚のみであり、ステンレス鋼板で覆われているため除染は容易である。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(イ)－C(5)(b)① (イ)－C(9)

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
第四号		<p>輸送容器の構成部品は化学的に安定した材料を使用していることから、材料相互の接触による危険な物理的作用又は化学反応が生じるおそれはない。</p> <p>収納物である粉末収納缶、ステンレス鋼製スぺーサ、センタリングシステムは、内容器と十分なギャップが空いている。また、粉末収納缶及びステンレス鋼製スぺーサは容器の構造材と同じくステンレス鋼製であり、熱膨張によって内容器と接触することはない。また、プラスチックスぺーサの熱膨張量を考慮して内容器に収納するプラスチックスぺーサの枚数を調整するため、内蓋と接触する恐れはなく熱膨張による応力は発生しない。そのため、危険な物理的作用が生じるおそれはない。</p> <p>収納物であるステンレス鋼製スぺーサ、プラスチックスぺーサ、センタリングシステムは、ステンレス鋼及びポリオキシメチレンであり、化学的に安定した材料であるため、輸送容器との間に腐食等、危険な化学的反応が生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)－A.5.1.2 (ロ)－A.4.1
第五号		<p>本輸送物には弁に相当するものはないため、規則に定める技術基準に該当しない。</p>	(イ)－C(11)
第八号	第九条	<p>収納物の表面の放射性物質の密度は任意の場所をとっても告示第九条で定められた表面密度限度（α線を放出する核種：0.4Bq/cm²、α線を放出しない核種：4 Bq/cm²）を超えないことを確認することになっている。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ハ)－A.1(2)
第十号		<p>核燃料物質等の使用等に必要物品以外のもの収納していないことを確認の上で輸送を行う。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ハ)－A.2
第五条 第二号		<p>輸送物の外寸法は、次の通り 10 cm 以上である。(単位：mm)</p> <p>(長さ) (巾) (高さ)</p> <p>1,100 × 1,100 × 1,040</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(イ)－C(5)(b)①
第三号		<p>容器外蓋は外蓋回り止めデバイスとその止めピンにより緩まない構造になっており、誤操作により開かれるおそれはない。また、開封された場合に開封されたことが明らかになるよう、止めピンには封印を施すことになっている。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)－A.4.3 (ハ)－A.1(2)

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
第四号		<p>本輸送物における運転中に予想される温度範囲は-40℃～72℃である。</p> <p>構成部品に使用する材料（ステンレス鋼、EPDM、フェノリックフォーム等）は、運搬中に予想される温度範囲（-40℃から72℃）において、著しい強度の低下や脆化等がなく、必要とされる材料強度等に影響しないため、亀裂・破損が生じるおそれはない。</p> <p>以上より、当該輸送物は規則に定める技術上の基準に適合する。</p>	(ロ)－B.4.6 (ロ)A－第4表 (ロ)－A.4.2 (ロ)A 付属資料 5 5.1 (ロ)A 付属資料 5 5.4
第五号		<p>構造解析により求めた周囲の圧力が絶対圧で60kPaまで低下した場合の内容容の最大内外圧差は60kPaであるが、内容器胴体部、内容器底面、内容器内蓋に発生する応力は、いずれも基準値より小さいことから、内容器にき裂、破損等は生じない。そのため、輸送物から放射性物質が漏えいするおそれはない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)－A.4.6
第六号		<p>本輸送容器には液体状の核燃料物質等を収納しないため、技術基準に該当しない。以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(イ)－D
第七号		<p>全ケースの中で最も線源強度が高くなる条件は濃縮度5%の二酸化ウランを各内容器に71kg収納するものであるが、保守的に75kgのウラン酸化物を各内容器に配置し、粉末収納缶やボロン入りステンレス鋼製リング、ブロッキングシステムは存在しないものとし、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件を考慮した。QAD－CGGP2Rコードによる遮蔽解析を実施し、輸送物の表面の線量当量率は0.022 mSv/h以下と2 mSv/hを超えない結果が得られている。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)－D.1 (ロ)－D.2.1(2)
第八号		<p>全ケースの中で最も線源強度が高くなる条件は濃縮度5%の二酸化ウランを各内容器に71kg収納するものであるが、保守的に75kgのウラン酸化物を各内容器に配置し、粉末収納缶やボロン入りステンレス鋼製リング、ブロッキングシステムは存在しないものとし、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件を考慮した。QAD－CGGP2Rコードによる遮蔽解析を実施し、輸送物表面から1m離れた位置における線量当量率は2.21 μSv/h以下と100 μSv/hを超えない結果が得られている。</p> <p>以上のことから、当該輸送物規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)－D.1

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
第九号 (イ)	第十三条 及び 別記第三	<p>下記に示す通り外運搬告示第十三条に掲げる条件下に置いた場合でも、放射性物質の漏えいはない。 以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p> <p><u>別記第三の第一号 (イ)</u> 本輸送容器の外殻はステンレス鋼板で覆われ、接合部は全て溶接されている。また、内容器のガスケットが密封性を維持し、内容器内には水が入らない構造となっている。したがって、水噴霧による輸送容器内への水の浸透はなく、材料劣化は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも密封境界も含めた輸送容器全体には材料劣化による破損、亀裂が生じず、放射性物質が漏えいするおそれはない。</p> <p><u>別記第三の第一号 (ロ) (1)</u> 落下時の衝撃力を低減するブロッキングシステムを収納せず、粉末収納缶内容物重量 284kg にブロッキングシステムの重量 16kg を考慮して純鉄粉末 300kg を収納した保守的な条件で実施した原型容器に対する落下高さ 1.2m の自由落下試験において、原型容器の変形は衝突面のみの局所的なものであり、健全性は保たれていた。そのため、本条件下に置いた場合でも密封境界も含めた輸送容器全体に破損、亀裂が生じず、放射性物質が漏えいするおそれはない。</p> <p><u>別記第三の第一号 (ロ) (2)</u> 本輸送物の材料、重量は本告示の項目に該当しない。</p> <p><u>別記第三の第一号 (ロ) (3)</u> 総重量の 5 倍に相当する荷重条件で構造解析を実施した結果、各部位の負荷荷重は座屈荷重を下回り、輸送容器に変形は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも、密封境界も含めた輸送容器全体に破損、亀裂が生じず、放射性物質が漏えいするおそれはない。</p> <p><u>別記第三の第一号 (ロ) (4)</u> 原型容器に対して 6kg 丸棒を 1m 高さから落下させる貫通試験を実施した結果、輸送容器に大きな損傷は見られず、健全性を保っていた。そのため、本条件下に置いた場合でも、密封境界も含めた輸送容器全体に破損、亀裂が生じず、放射性物質の漏えいするおそれはない。</p>	<p>(ロ)－A.5.2</p> <p>(ロ)－A.5.3</p> <p>(イ)－C</p> <p>(ロ)－A.5.4</p> <p>(ロ)－A.5.5</p>

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
(ロ)	第十三条及び別記第三	<p>下記に示す通り外運搬告示第十三条に掲げる条件下に置いた場合でも、表面における最大線量当量率は著しく増加せず、かつ2mSv/hを超えることはない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p> <p>全ケースの中で最も線源強度が高くなる条件は濃縮度5%の二酸化ウランを各内容器に71kg収納するものであるが、保守的に75kgのウラン酸化物を各内容器に配置し、粉末収納缶やボロン入りステンレス鋼製リング、ブロッキングシステムは存在しないものとし、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件を考慮し、一般の試験条件下における寸法変更として保守的に各方向に□mm圧縮変形するものとした上で、QAD-CGGP2Rコードによる遮蔽解析を実施したところ、輸送物の表面の線量当量率は最大でも0.0223mSv/h以下で、2mSv/hを超えることはない。また、線量当量率の増加割合は約1.4%とわずかである。</p>	(ロ)-D.1 (ロ)-D.3.1.2
第十一条		<p>第三条第三項の技術上の基準に対する説明の通り、経年変化に対する輸送物への影響はなく、規則に定める技術基準の適合に影響しない。</p>	(ロ)-F
	第二十三条	<p>本輸送物は、15g以上のウラン235を輸送する。</p> <p>以上のことから、本輸送物は技術基準における核分裂性輸送物に該当する。</p>	(イ)-第2表 第3表 第4表
第一号(イ)	第二十四条及び別記第十一	<p>下記に示す通り外運搬告示第二十四条に掲げる条件下に置いた場合でも、容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみは生じない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p> <p><u>別記第三の第一号(イ)</u></p> <p>第五条第九号(イ)において説明の通り、水噴霧による輸送物内外の材料劣化は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する長方体の各辺は10cm以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(1)</u></p> <p>第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対する落下高さ1.2mの自由落下試験において、輸送容器の変形は局所的であり一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみは生じなかった。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する長方体の各辺は10cm以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(3)</u></p> <p>第五条第九号(イ)において説明の通り、総重量の5倍に相当する荷重条件でも輸送容器に変形は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する長方体の各辺は10cm以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(4)</u></p> <p>第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対して6kg丸棒を1m高さから落下させる貫通試験を実施した結果、輸送容器に大きな損傷は見られず、健全性を保っていた。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する長方体の各辺は10cm以上である。</p>	(ロ)-A.9.1.4

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
(ロ)	第二十四条及び別記第十一	<p>下記に示す通り外運搬告示第二十四条に掲げる条件下に置いた場合でも、外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p> <p><u>別記第三の第一号 (イ)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、水噴霧による輸送物内外の材料劣化は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号 (ロ) (1)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対する落下高さ 1.2m の自由落下試験において、輸送容器の変形は局所的であった。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号 (ロ) (3)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、総重量の 5 倍に相当する荷重条件でも輸送容器に変形は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号 (ロ) (4)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対して 6kg 丸棒を 1m 高さから落下させる貫通試験を実施した結果、輸送容器に大きな損傷は見られず、健全性を保っていた。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。</p>	(ロ)-A.9.1.4

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
第二号 (イ)～(ホ)	第二十四条 第二十五条 第二十六条 第二十七条 及び 別記第十二	<p>全てのケースにおいて、孤立系の評価は、配列系の評価において、内容器への水の侵入を考慮していることから、孤立系の評価は配列系の評価に包絡される。</p> <p>ケース 1 において、配列系の評価は、一般の試験条件下においては輸送制限個数の 5 倍以上、特別の試験条件下においては、輸送制限個数の 2 倍以上を配列し、中性子実効増倍係数の差異を確認したところ、特別の試験条件下における配列系において中性子実効増倍係数は最大となった。</p> <p>またケース 2 及びケース 3 における配列系の評価は、一般の試験条件下における輸送制限個数及び特別の試験条件下における輸送制限個数はともに無限個であるため、明らかに特別の試験条件下に置いた場合の方が臨界評価上安全側の解析となる。</p> <p>ケース 1 において、最も中性子実効増倍係数が大きくなる場合として、核分裂性輸送物に係る特別な試験条件に置いた輸送物として、落下試験によって得られた変形量、耐火試験によって得られた炭化量を保守的にモデル化し、水より水素密度の低いブロッキングシステムは水に置き換え、配列系の条件として輸送制限個数の 2 倍を超える個数を配列し、KENO-V.a コードで解析を実施した結果、実効増倍係数は標準偏差の三倍を考慮して最大でも 0.947 である。実効増倍係数は 0.95 未満であり、臨界に達しない。</p> <p>ケース 2 において、保守的にケース 1 と同じ変形量、炭化量を考慮してモデル化し、(イ)～(ホ)の条件を全て包含する条件の下、臨界評価上厳しい結果を与えるよう、輸送物の外表面を完全反射条件とすること及び内容器の内部を水よりも水素密度の高いポリエチレンに満たす等、保守側の仮定を考慮して KENO-V.a で解析を行った結果、実効増倍係数は標準偏差の三倍を考慮して最大でも 0.912 となった。実効増倍係数は 0.95 未満であり、臨界に達しない。</p> <p>ケース 3 において、ケース 1 と同じ変形量、炭化量を考慮してモデル化し、水より水素密度の低いブロッキングシステムは水に置き換え、(イ)～(ホ)の条件を全て包含する条件の下、臨界評価上厳しい結果を与えるよう、輸送物の外表面を完全反射条件とすること及びウラン化合物を含んだウラン残渣を、減速効果が最も大きくなるようウラン単体と水に置き換える等、保守側の仮定を考慮して KENO-V.a で解析を行った結果、実効増倍係数は標準偏差の三倍を考慮して最大でも 0.527 となった。実効増倍係数は 0.95 未満であり、臨界に達しない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)E.1.4.4 (ロ)E.2.4.4 (ロ)E.3.4.4 (ロ)E 付属資料 1
第三号		<p>第五条第四号において説明の通り、$-40\sim 72$ °C の温度範囲において、き裂、破損等を生じない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)A.4.2 (ロ)B.4.6

(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

(ハ)－A 輸送物の取扱い方法

輸送物の代表的な取扱い方法を以下に示す。輸送物は取扱施設に適用される法令、規定及び設備上の制限に従った運用を行わなければならないことから、必要により下記取扱い方法と異なる運用を行う場合もある。代表的な取扱いフローを(ハ)A－第1図に示す。

A.1 装荷方法

(1) 収納物の装荷

粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納した場合(ケース 1)、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納する場合(ケース 2)、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納する場合(ケース 3)それぞれの収納物装荷方法を記載する。

ケース 1

粉末及びスクラップの場合、ポリエチレン製袋もしくはポリウレタン製袋に入れ、粉末収納缶に収納する。焼結体の場合は、金属製波板、ポリエチレン製袋若しくはポリウレタン製袋、ボール紙等で梱包し、ポリウレタン製緩衝材とともに粉末収納缶に収納する。なお、ウラン酸化物を粉末収納缶に入れる前に粉末収納缶内側には中性子吸収材としてボロン入りステンレス鋼製リングが装荷されていることを確認する。この後、粉末収納缶蓋を載せガasketを介して締付金具にて蓋を締付ける。次に粉末収納缶を輸送容器内容器に収納する。収納する際、粉末収納缶の取手を用いて3缶をまとめて収納する。なお、輸送時は、ウラン酸化物の有無に関わらず各内容器に必ず3缶ずつ粉末収納缶を収納する。内容器底にセンタリングシステムを収納し、ステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサを粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納する。プラスチックスペーサと内蓋のギャップ量が所定の範囲に収まっていることを確認する。

ケース 2

ウラン酸化物をポリエチレン製若しくはポリウレタン製の袋、瓶に入れ、ポリスチレン製、ポリプロピレン製、ポリエチレン製、若しくはポリウレタン製の緩衝材とともに長尺粉末収納缶に収納する。この後、粉末収納缶蓋を載せガasketを介して締付金具にて蓋を締付ける。長尺粉末収納缶は1つの輸送容器に1缶のみ収納する。

ケース 3

ウラン残渣はポリエチレン袋に入れ、粉末収納缶に収納する。なお、ウラン残渣を粉末収納缶に入れる前に粉末収納缶内側には中性子吸収材としてボロン入りステンレス鋼製リングが装荷されていることを確認する。この後、粉末収納缶蓋を載せガasketを介して締付金具にて蓋を締付ける。次に粉末収納缶を輸送容器内容器に収納する。収納する際、粉末収納缶の取手、若しくはナイロンスリングを用いて3缶をまとめて収納する。なお、輸送時は、ウラン残渣の有無に関わらず各内容器に必ず3缶ずつ粉末収納缶を収納する。内容器底にセンタリングシステムを収納し、ステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサ

ーサを粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納する。プラスチックペーサと内蓋のギャップ量が所定の範囲に収まっていることを確認する。

(2) 蓋閉め

内容器フランジ並びに内容器のガスケットに密封性能を損なう異常な傷等がないことを確認した後、バイオネットを嵌め合わせ閉じ、内蓋回り止めストッパーを倒す。

次に外蓋を載せバイオネットを嵌め合わせる。4 個の外蓋を閉じた後、外蓋回り止めデバイスを取り付け。また、外蓋回り止めデバイス止めピンの孔を用いて封印を行う。

装荷後、外容器表面について、スミヤ法等による表面密度検査を行ない、 α 線を放出する核種が 0.4 Bq/cm^2 以下、 α 線を放出しない核種が 4 Bq/cm^2 以下であることを確認する。さらに、輸送物表面及び表面から 1 m の位置での線量当量率の測定を行ない、各々 2 mSv/h 以下、 $100 \text{ }\mu\text{Sv/h}$ 以下であることを確認する。

最後に、輸送物上面にホコリ避けのためのカバーを取り付ける。

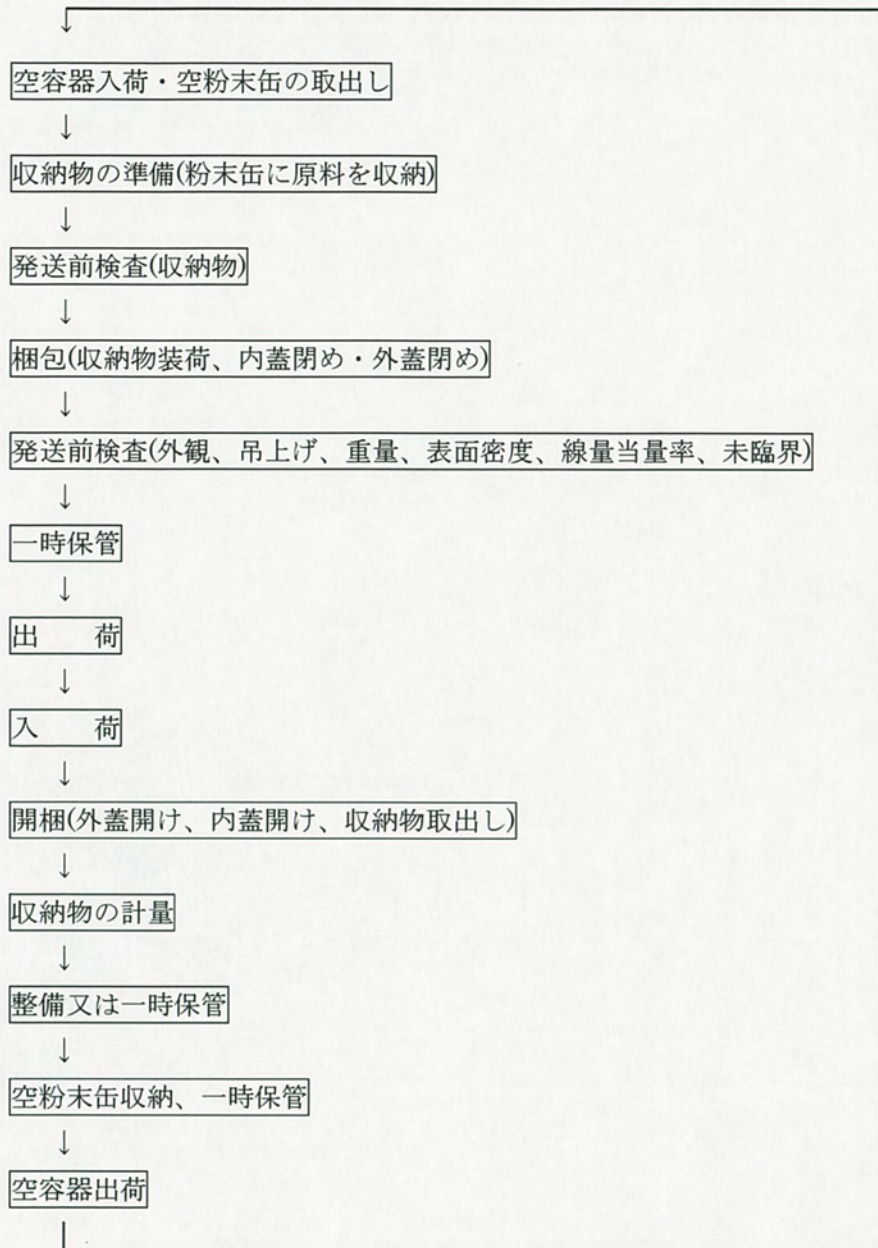
(3) 輸送物の取扱い

①フォークリフト及びパレットトラックによる移動

輸送容器底部のフォークリフトパス ((イ) 第 1 図参照) にフォークリフト又はパレットトラックの爪を差込み取扱う。

②クレーンによる移動

輸送容器底部のフォークリフトパスにリフティングベルトを通し、クレーンを用いて吊上げ移動を行う。



(ハ)A-第1図 輸送物の取扱いフロー例

A.2 輸送物の発送前検査

輸送物発送の都度、ケース 1 の場合は(ハ)A-第 1 表、ケース 2 の場合は(ハ)A-第 2 表、
ケース 3 の場合は(ハ)A-第 3 表に示す輸送物発送前検査を実施する。

(ハ)A-第1表【1/2】 輸送物発送前検査(ケース1)

検査項目	検査方法	合格基準
収納物検査	基準を満足していることを、検査記録、測定記録、証明書*、現物確認等の適切な方法によって確認する。	<p>1. 種類：ウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ）</p> <p>2. 濃縮度：5%以下</p> <p>3. 濃縮ウランの種類 濃縮ウラン(再生濃縮ウランを除く：ASTM C996-04 ECGU に準拠)</p> <p>$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$</p> <p>$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$</p> <p>$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$</p> <p>$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$</p> <p>ただし、$^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外</p> <p>4. 収納量：(ハ)A-第4表を満たしていること。</p> <p>5. 放射能量：40.1 GBq 以下</p> <p>6. 外観：</p> <p>(1)粉末収納缶： 異常がないこと。内容器当たり、3缶収納されていること。</p> <p>(2)中性子吸収材： 所定のボロン入りステンレス鋼製リングが異常なく粉末収納缶内に納められていること。</p> <p>(3)ブロッキングシステム： センタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサがそれぞれ1枚、プラスチックスペーサが内蓋と粉末収納缶のギャップ量に合わせて0~3枚収納されていること。 ブロッキングシステムに有害な傷、割れがなく、形状に著しい異常がないこと。 プラスチックスペーサと内蓋のギャップ量が所定の範囲に収まっていること。</p> <p>(4)その他： 核燃料物質等の使用等に必要な物品以外のものが収納されていないこと。</p> <p>7. その他： 粉末収納缶、ブロッキングシステムの使用期間が40年を越えていないこと。</p>
外観検査	輸送物の外観を目視で検査する。	<p>有害な傷、割れがなく、形状に著しい異常がないこと。</p> <p>内蓋回り止めストッパーが正規の位置に倒されていること。また、外蓋回り止めデバイスが取り付けられていること。</p> <p>封印されていること。</p>

(ハ)A-第1表【2/2】 輸送物発送前検査(ケース1)

検査項目	検査方法	合格基準
重量検査	輸送物の総重量を計算により確認する。	収納状態で総重量が 1,050 kg 以下
表面密度検査	スミヤ法等により輸送物の表面密度を検査する。	α 線を放出する核種 : 0.4 Bq/cm ² 以下 α 線を放出しない核種 : 4 Bq/cm ² 以下
線量当量率検査	核燃料物質等を収納した状態において線量当量率をサーベイメータにより検査する。	輸送物表面 : 2 mSv/h 以下 輸送物表面から 1 m の位置 : 100 μ Sv/h 以下
未臨界検査	形状等を目視により検査する。	輸送容器の形状に著しい損傷、変形のないこと。

(ハ)A-第2表 輸送物発送前検査(ケース2)

検査項目	検査方法	合格基準
収納物検査	基準を満足していることを、検査記録、測定記録、証明書*、現物確認等の適切な方法によって確認する。	<ol style="list-style-type: none"> 種類：ウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ） 濃縮度：5%以下 濃縮ウランの種類 濃縮ウラン $^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$ $^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$ $^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$ $^{99}\text{Tc} \leq 0.05 \mu\text{g/gU}$ 収納量：(ハ)A-第5表を満たしていること。 放射エネルギー：1.41GBq以下 外観： <ol style="list-style-type: none"> 長尺粉末収納缶 異常がないこと。 その他 核燃料物質等の使用等に必要な物品以外のものが収納されていないこと。 その他：使用期間が40年を越えていないこと。
外観検査	輸送物の外観を目視で検査する。	有害な傷、割れがなく、形状に著しい異常がないこと。 内蓋回り止めストッパーが正規の位置に倒されていること。また、外蓋回り止めデバイスが取り付けられていること。 封印されていること。
重量検査	輸送物の総重量を計算により確認する。	収納状態で総重量が1,050 kg以下
表面密度検査	スミヤ法等により輸送物の表面密度を検査する。	α 線を放出する核種：0.4 Bq/cm ² 以下 α 線を放出しない核種：4 Bq/cm ² 以下
線量当量率検査	核燃料物質等を収納した状態において線量当量率をサーベイメータにより検査する。	輸送物表面：2 mSv/h以下 輸送物表面から1 mの位置：100 $\mu\text{Sv/h}$ 以下
未臨界検査	形状等を目視により検査する。	輸送容器の形状に著しい損傷、変形のないこと。

(ハ)A-第3表【1/2】 輸送物発送前検査(ケース3)

検査項目	検査方法	合格基準
収納物検査	基準を満足していることを、検査記録、測定記録、証明書、現物確認等の適切な方法によって確認する。	<p>1. 種類：ウラン残渣</p> <p>2. 濃縮度：20%以下</p> <p>3. 濃縮ウランの種類</p> <p>a) 濃縮度5%以下 濃縮ウラン(再生濃縮ウランを除く：ASTM C996-04 ECGU に準拠) $^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$ $^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$ $^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$ $^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$ ただし、$^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外</p> <p>b) 濃縮度20%以下 $^{232}\text{U} \leq 0.0004 \mu\text{g/gU}$ $^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$ $^{236}\text{U} \leq 1000 \mu\text{g/gU}$ $^{99}\text{Tc} \leq 0.04 \mu\text{g/gU}$</p> <p>4. 収納量：(ニ)A-第6表を満たしていること。</p> <p>5. 放射エネルギー：3.21 GBq 以下</p> <p>6. 外観： (1)粉末収納缶： 異常がないこと。内容器当たり、3缶収納されていること。 (2)中性子吸収材： 所定のボロン入りステンレス鋼製リングが異常なく粉末収納缶内に納められていること。 (3)ブロッキングシステム： センタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサがそれぞれ1枚、プラスチックスペーサが内蓋と粉末収納缶のギャップ量に合わせて0~3枚収納されていること。 ブロッキングシステムに有害な傷、割れがなく、形状に著しい異常がないこと。 プラスチックスペーサと内蓋のギャップ量が所定の範囲に収まっていること。 (4)その他： 核燃料物質等の使用等に必要な物品以外のものが収納されていないこと。</p> <p>7. その他： 粉末収納缶、ブロッキングシステムの使用期間が40年を越えていないこと。</p>

(ハ)A-第3表【2/2】 輸送物発送前検査(ケース3)

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	輸送物の外観を目視で検査する。	有害な傷、割れがなく、形状に著しい異常がないこと。 内蓋回り止めストッパーが正規の位置に倒されていること。また、外蓋回り止めデバイスが取り付けられていること。 封印されていること。
重量検査	輸送物の総重量を計算により確認する。	収納状態で総重量が 1,050 kg 以下
表面密度検査	スミヤ法等により輸送物の表面密度を検査する。	表面密度 0.4 Bq/cm ² 以下
線量当量率検査	核燃料物質等を収納した状態において線量当量率をサーベイメータにより検査する。	輸送物表面：2 mSv/h 以下 輸送物表面から 1 m の位置：100 μ Sv/h 以下
未臨界検査	形状等を目視により検査する。	輸送容器の形状に著しい損傷、変形のないこと。

A.3 取出し方法

取出しの方法は、装荷と逆の手順であり、特に相違する箇所はない。

A.4 空容器の準備

- (1) 容器は使用后直ちに内面、外面部の汚染の有無を確認し、必要に応じて除染等の処置を行う。
- (2) 空容器の保管は、原則として屋内で行ない、装荷時に準じて内容物を密封後、外蓋を取付け保管する。

(ハ)A-第4表 内容物の装荷制限(ケース1)

(ポリエチレン製袋、添加物 が g 以下の場合)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
4.45%以下	71.00	63.50	71.00
4.55%以下	71.00	63.50	71.00
4.65%以下	71.00	63.50	68.75
4.75%以下	71.00	63.50	65.00
4.85%以下	71.00	62.50	62.50
5.00%以下	71.00	58.75	58.75

(ポリエチレン製袋、添加物 が g を超えて g 以下の場合)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
4.45%以下	71.25	67.50	71.25
4.55%以下	71.25	67.50	67.50
4.65%以下	71.25	65.25	65.25
4.75%以下	71.25	61.75	61.75
4.85%以下	71.25	59.25	59.25
5.00%以下	71.25	55.75	55.75

* 輸送物当たりの最大重量はそれぞれ4倍した値である。各内容器に最大4.0kgのブロッキングシステムを収納する。焼結体を収納する場合は、各内容器に最大7.5kgステンレス鋼製の波板等を収納する。

* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶(ケース1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶(ケース2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)は同一輸送容器内に混載しない。

* 装荷制限には、ウラン酸化物と添加物（A～F）の合計重量を記載している。

	添加物	化学式
A	ステアリン酸マグネシウム	$\text{Mg}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$
B	ステアリン酸亜鉛	$(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO})_2\text{Zn}$
C	エチレンビスステアリン酸アミド	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{CONHCH}_2\text{CH}_2\text{NHCOC}_{17}\text{H}_{35}$
D	ガドリニア	Gd_2O_3
E	エルビア	Er_2O_3
F	アゾジカルボンアミド	$\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$

(ハ)A-5 表 内容器の装荷制限(ケース 2)

装荷制限条件(kg)			
ウラン酸化物量 (濃縮度 5%以下)	添加物、緩衝材合計	袋、瓶合計	合計
10.00	5.00	5.00	20.00

* 収納物を装荷する内容器は 1 つのみであり、その中に 1 個の長尺粉末収納缶を装荷する。

* 添加物 (A~F) は以下の通りである。

* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶 (ケース 1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶 (ケース 2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3) は同一輸送容器内に混載しない。

	添加物	化学式
A	ステアリン酸マグネシウム	$\text{Mg}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$
B	ステアリン酸亜鉛	$(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO})_2\text{Zn}$
C	エチレンビスステアリン酸アミド	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{CONHCH}_2\text{CH}_2\text{NHCOC}_{17}\text{H}_{35}$
D	ガドリニア	Gd_2O_3
E	エルビア	Er_2O_3
F	アゾジカルボンアミド	$\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$

(ハ)A-第6表 内容器の装荷制限(ケース3)

濃縮度	装荷制限条件	
	kg-U	kg-ウラン残渣
5.00%以下	5.00	71.0
20.00%以下	0.50	71.0

* 輸送物当たりの最大重量はそれぞれ4倍した値である。各内容器に最大4.0kgのブロッキングシステムを収納する。

* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶(ケース1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶(ケース2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)は同一輸送容器内に混載しない。

(ハ)ーB 保守条件

輸送容器の保管は屋内で行ない、「平成23年6月1日付け平成23・03・07原院第7号 工場又は事業所の外において運搬される核燃料輸送物の確認等に関する事務手続について」に基づき下記の定期自主検査を1年に1回以上（年間の使用回数が10回を超える場合は10回ごとに1回以上）行う。(ハ)Bー第1表に定期自主検査要領を示す。なお、輸送容器を1年以上の長期間にわたって使用せず、連続的に同じ場所に保管する場合の定期自主検査要領を(ハ)Bー第2表に示す。

外蓋回り止めデバイス等の着脱可能な構成部品は輸送容器の機能維持や保守整備等の理由により必要があれば随時同一規格品と取替える。ガasketについては輸送実施前に新しいものと取替える。

B.1 外観検査

輸送容器を構成する容器本体、外蓋、外蓋回り止めデバイス、バイオネット嵌合部、内容器内面、内蓋及び内蓋回り止めストッパーの外観を目視にて検査し、有害な傷、割れ等のないこと及び、形状等に異常のないことを確認する。

輸送容器を1年以上の長期間にわたって使用せず、連続的に同じ場所に保管する場合は、容器本体のみ部位を対象とする上記検査を実施し、保管が終了し輸送に使用する前に上記の検査を実施する。

B.2 耐圧検査

該当なし。

B.3 気密漏えい検査

該当なし。

B.4 遮蔽検査

該当なし。

B.5 未臨界検査

輸送容器を構成する容器本体、外蓋、外蓋回り止めデバイス、バイオネット嵌合部、内容器内面、内蓋及び内蓋回り止めストッパーの外観を目視にて検査し、有害な傷、割れ等のないこと及び、形状等に異常のないことを確認する。

輸送容器を1年以上の長期間にわたって使用せず、連続的に同じ場所に保管する場合は、容器本体のみ部位を対象とする上記検査を実施し、保管が終了し輸送に使用する前に上記の検査を実施する。

B.6 熱検査

該当なし。

B.7 吊上検査

該当なし。

B.8 作動確認検査

該当なし。

B.9 補助系の保守

該当なし。

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

内容器フランジについて、密封性能を損なう傷、損耗が認められないことを目視により検査する。

輸送容器を1年以上の長期間にわたって使用せず、連続的に同じ場所に保管する場合は、当該検査は対象外とし、保管が終了し輸送に使用する前に上記の検査を実施する。

なお、ガスケットについては輸送実施前に新しいものと取替える。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器を1年以上の長期にわたって使用せず、連続的に同じ場所に保管する場合は、屋内保管とする。

B.12 記録の保管

製作時検査記録及び定期自主検査記録は、当該輸送容器の使用予定がなく承認登録を廃止するまで保管する。

B.13 その他

特になし。

(ハ)B-第1表 輸送容器定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	輸送容器を構成する容器本体、外蓋、外蓋回り止めデバイス、バイオネット嵌合部、内容器内面、内蓋及び内蓋回り止めストッパーの外観を目視にて検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常がないこと。
密封容器の弁、ガスケット等の検査	内容器フランジを目視により検査する。	密封性能を損なう傷、損耗のないこと。
未臨界検査	輸送容器を構成する容器本体、外蓋、外蓋回り止めデバイス、バイオネット嵌合部、内容器内面、内蓋及び内蓋回り止めストッパーの外観を目視にて検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常がないこと。

(ハ)B-第2表 長期保管時定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	輸送容器器本体外観を目視にて検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常がないこと。
未臨界検査	輸送容器器本体外観を目視にて検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常がないこと。

(二)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

特記事項なし。

別紙 2

輸送容器に係る品質管理の方法等
(設計に係るものに限る。) に関する説明書

令和 4 年 3 月

原子燃料工業株式会社

(イ)章 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る）に関する説明

(イ)－A 品質マネジメントシステム

申請者である原子燃料工業株式会社（以下、当社と云う。）は、核燃料輸送物設計承認申請書（令和4年1月26日付熊原熊原第21-021号（令和4年3月17日付熊原第22-002号をもって一部補正））により申請した輸送容器に関し、法令に定める技術上の基準並びに運搬に関する確認の申請書又は容器承認の申請書に示された設計仕様及び製作方法に適合して製作するため、以下のとおり品質マネジメントシステムを当社熊取事業所に確立し、文書化し、実施し、かつ、維持する。

A.1 品質マニュアル

品質マネジメントシステムにおけるトップマネジメントは当社社長より権限移譲された熊取事業所長が担う。（以下、所長と云う。）所長は品質マネジメントシステムの適用範囲、品質マネジメントシステムについて確立され文書化された手順及び品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述を含む品質マニュアルを作成、維持させる。なお、品質マネジメントシステム業務を規定する品質管理計画はこの品質マニュアルとその下位規定により構築される。

A.2 文書管理

品質マニュアル及びその下位規定により品質マネジメントシステムで必要とされる文書について、承認及びレビュー並びに識別に関する手順を定める。

A.3 品質記録の管理

品質マニュアル及びその下位規定により、読みやすく、識別可能で、検索可能な品質記録を作成、維持するために、品質記録の識別、保管、保護、検索、保管期間及び廃棄に関して必要な管理手順を定める。なお、品質記録には、容器製造者等から提出される品質記録を含むとともに、容器承認及び設計承認の有効期間を考慮した保管期間を定める。

(イ)ーB 申請者の責任

B.1 品質マネジメントシステムにおけるトップマネジメント

所長は輸送容器の製作に係る最高責任者として、品質方針を設定し、それを基に(イ)Bー第1図に示す関係各部に品質目標を設定させる。また、マネジメントレビューを実施し、品質マネジメントシステムの実施状況をレビューするとともに、その有効性を継続的に改善する責任を負う。

B.2 管理責任者

所長は、管理責任者に品質保証部長を任命する。品質保証部長は本来の職務とは関係なく、次の事項について責任と権限を有す。

- (1) 品質マネジメントシステムを確立し、実行し、維持することを確実にする。
- (2) 品質マネジメントシステムの実施状況を所長へ報告する。

B.3 品質保証部

品質保証部長は、下記の責任及び権限を有する。

- (1) 品質マネジメントシステムの立案と推進
- (2) 内部品質監査及び容器製造者等調達先の品質監査の実施、審査並びに是正処置の指示
- (3) 輸送容器の製造時受入検査、定期自主検査及び発送前検査の実施
- (4) 製造時検査記録の作成
- (5) 是正処置の効果の確認及び報告

B.4 燃料製造部

燃料製造部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 輸送容器の製作、取扱い、保守等に関する文書の作成
- (2) 容器製造者等調達先の技術能力評価及び承認
- (3) 容器製造者等調達先への発注仕様書の作成
- (4) 容器製造者等調達先から提出させる文書の審査及び承認
- (5) 輸送容器の製作の管理
- (6) 輸送容器の取扱い・保守の実施
- (7) 核燃料輸送物の輸送の管理

B.5 燃料サイクル技術部

燃料サイクル技術部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 輸送容器の設計及び許認可取得
- (2) 輸送容器の設計に関する文書の作成
- (3) 輸送容器の試作、評価及び品質確認試験の管理

B.6 炉心・安全技術部

炉心・安全技術部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 輸送容器の臨界・遮蔽解析

B.7 環境安全部

環境安全部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 核燃料物質の計量管理に関する計画立案及び実施
- (2) 計量管理規定及び関連基準類の策定及び遵守状況の管理

B.8 設備管理部

設備管理部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 計測器の定期検査

B.9 大阪営業部

大阪営業部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 顧客への渉外、契約の実施

(イ)－C 教育・訓練

品質保証部長、燃料製造部長、燃料サイクル技術部長、炉心・安全技術部長、環境安全部長、設備管理部長及び大阪営業部長は、輸送容器の製作に関連する教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠として力量がある要員を従事させる。そのために以下の事項を実施する。

- (1) 輸送容器の製作に係る品質に影響する活動に従事する要員に必要な力量を明確にする。
- (2) 必要な力量がもてるように教育・訓練し、又は他の処置をとる。
- (3) 教育・訓練又は他の処置の有効性を評価する。
- (4) 部内の要員が、自らの活動の持つ意味と重要性を認識し、品質目標の達成に向けて自らどのように貢献できるかを認識することを確実にする。
- (5) 教育・訓練、技能及び経験について該当する記録を維持する。

(イ)－D 設計管理

燃料サイクル技術部長は、設計が設計要求事項に適合することを確実にするため、次の事項を実施する。

D.1 設計管理

- (1) 顧客の要求事項、法令の技術上の基準、性能・機能上の要求事項を明確にし、設計を実施する。設計の一部を外部に委託する場合は、顧客の要求事項、法令の技術上の基準、性能・機能上の要求事項等を踏まえた設計要求事項を発注仕様書で明確にし、委託先に提示する。
- (2) 新設計・新技術又は特殊材料を採用する場合には、当社の設計要求事項を設計者に十分理解させるため、必要に応じ設計者及び材料メーカーとの間で、安全性と仕様との関連、仕様決定の背景等についての情報交換を行う。
- (3) 設計文書（図面、計算書、解析書等）に設計要求事項が適切に反映されていることを審査し、承認する。

D.2 設計検証

上記の設計結果に基づき、新設計・新技術又は特殊材料を採用する場合は、必要に応じ実証試験、代替計算等により設計検証を行う。

D.3 設計変更

設計仕様を変更する場合、変更の内容を明確に文書化し、審査し、承認する。設計仕様の変更に伴い、設計者に設計変更をさせる場合、又は設計の委託先に設計を変更させる場合、設計者又は設計の委託先が作成する設計文書（図面、計算書、解析書等）に要求事項が適切に反映されていることを審査し、承認する。また、関係する各部へ設計変更に関する内容を文書により伝達する。

D.4 設計委託先の評価

輸送容器の設計を外部に委託する場合は、委託先が適切な人員、技術能力及び品質マネジメントシステムを有していることを確認する。なお、品質マネジメントシステムについては、品質保証部長が燃料サイクル技術部長の依頼を受け、委託先が適切な品質マネジメントシステムを有していることを資格審査で確認する。

(イ)－E 輸送容器の製造発注

輸送容器が顧客の要求事項、法令の技術上の基準、設計承認申請書の設計仕様、容器承認申請書の製作方法等の調達要求事項に適合することを確実にするため、次の事項を実施する。

E.1 容器製造者の評価

燃料製造部長は、容器製造者の選定に際して、容器製造者の技術能力、組織、品質保証体制等を評価する。評価に当たっては、必要に応じて次の事項を考慮する。

- (1) 輸送容器の製造に関する技術・要員及び製造設備
- (2) 容器製造者の品質方針、品質計画及びそれらの実施状況
- (3) 輸送容器又は類似のものに関する供給実績
- (4) 輸送容器又は類似のものに関する使用実績及び品質に関する記録
- (5) 試作品、サンプル等の評価

E.2 容器製造者への品質マネジメントシステムの要求事項

燃料製造部長は、輸送容器の製造発注に当たって、容器製造者に対して、適切な品質を確保させるために、次の事項を発注仕様書で明確に指示し、実施させる。

- (1) 容器製造者の業務範囲
- (2) 設計、製作、検査、適用法令等の技術的要求事項
- (3) 品質計画の提出に関する事項
- (4) 品質監査、検査等のための容器製造者への立ち入りに関する事項
- (5) 文書の提出、並びに記録の提出及び保管に関する事項
- (6) 不適合の処置に関する事項
- (7) 調達要求事項の適用を供給者まで及ぼすための事項

さらに、次の事項についても具体的に発注仕様書に明記する。

- ① ISO 9001 等に適合する品質管理が行われること。
- ② 当社及び規制当局が、容器製造者及び容器製造者の供給者等において、輸送容器の製造時の検査や品質管理状況の確認を行うことができること。
- ③ 当社が容器製造者の供給者の選定基準について審査し、承認できるように措置すること。
- ④ 輸送容器の製造に携わる事業者間の責任関係を契約等により明確にするための措置を講じること。また、当社が容器製造者の供給者の選定状況を確認できるよう措置すること。
- ⑤ 当社が示す安全上重要な材料仕様値等について、容器製造者及び容器製造者の供給者にその数値の意味と重要性を十分理解させるための措置を講じること。
- ⑥ 輸送容器の製造に当たって、安全上重要度の高い特殊材料を使用する場合は、あらかじめ製造に係わる施工・分析・検査方法について、輸送容器の製造に携わる各事業者間における情報交換や技術的検討が十分行われるための措置を講じること。
- ⑦ 輸送容器の製造に携わる複数の事業者間にまたがる工程では、作業指示や納期などの

取決めを明確にし、緊密な連携を図るための措置を講じること。

- ⑧ 不適合品が発生し手直し等により使用する場合は、燃料製造部長に文書で通知し、取扱いの指示を受けるように措置すること。
- ⑨ 容器製造者の製造工程において重要な変更があった場合は、燃料製造部長に速やかに報告し、承認を受けるように措置すること。
- ⑩ 容器製造者がその供給者に対して、次の事項を行うよう措置すること。
 - (a) E.1項に準じて、下請負を行う能力の評価を行うこと。
 - (b) E.2項(1)～(7)に準じて、当社が容器製造者に要求した事項をその供給者に指示し、実施させること。
 - (c) E.3項に準じて、容器製造者がその供給者に対して、品質監査及び検査により検証すること。

ただし、容器製造者の供給者が、次の場合は、この限りではない。

- (i) 容器承認申請書の検査項目と関係のないと認められる下請負である場合。
- (ii) 容器製造者等が立会検査を行うことにより、直接管理する場合。
- (iii) JIS等の公的規格や公的資格制度により製造が行われる場合。
- (iv) 検査の確認項目が簡易なものや汎用品であって、受入時の検収で十分と認められる場合。

E.3 輸送容器の製造の検証

輸送容器が調達要求事項に適合していることを検証するために、次の事項を実施する。

- (1) 品質保証部長は、品質監査に当たって、品質監査計画及び品質監査要領を策定し、これに従い実施する。また、燃料製造部長は、輸送容器の検査に当たって、検査計画及び検査要領を策定する。品質保証部長は、策定された検査要領に基づき輸送容器の検査を実施する。
- (2) 品質保証部長は、容器製造者の品質監査を行うとともに、必要に応じ容器製造者の供給者に対し品質監査を行う。
- (3) 燃料製造部長は、輸送容器の検査に当たって、安全上の重要性などを考慮しつつ、公的規格及び公的資格制度の有無、容器製造者及びその供給者の品質管理状況等を勘案し、立会確認又は記録確認等の確認要領を策定する。

(イ)－F 取扱い及び保守

燃料製造部長は、核燃料輸送物に関する法令の技術上の基準、設計承認申請書の設計仕様を維持するため、以下のとおり、安全解析書(ハ)章の記載に則した要領を策定し、取扱い、保守を行う。

F.1 取扱い

核燃料輸送物の取扱い作業に関する手順を策定するとともに、関係する各部に周知徹底し、輸送中の輸送物の安全性を確保する。

- ・“梱包作業手順”
- ・“受入作業手順”
- ・“納入作業手順”

F.2 発送前検査

核燃料輸送物の発送前検査の要領を策定するとともに、関係する各部に周知徹底し、輸送中の核燃料輸送物の安全性を確保する。

- (1) 発送前検査を実施するに当たり、“発送前検査標準”や検査記録様式として具体化する。
- (2) 発送前検査を実施した結果は、輸送容器の種類ごとに定めた検査記録様式に従い必要な事項を記入して保管する。

F.3 保管及び保守点検

輸送容器の保管及び保守点検について、輸送容器の“管理要領”を策定、実施し、継続的に輸送容器の性能維持を図る。

F.4 定期自主検査

輸送容器の定期自主検査の要領を策定するとともに、関係する組織に周知徹底し、性能維持を確認する。

- (1) 承認容器は、安全解析書に記載の内容に則り必要な定期自主検査項目について 1 年に 1 回以上（年間の使用回数が 10 回を超える場合には使用回数 10 回ごとに 1 回以上）実施する。
- (2) 輸送容器の定期自主検査は、有効期限以内に確実に実施するように、輸送容器の運用状況等を考慮して事前に実施予定を立案する。
- (3) 定期自主検査を実施するに当たり、“定期自主検査標準”や検査記録様式として具体化する。
- (4) 定期自主検査を実施した結果は、輸送容器の種類ごとに定めた検査記録様式に従い必要な事項を記入して保管する。

F.5 取扱い及び保守の委託

F.1 項～F.4 項の取扱い及び保守に関しては、核燃料輸送物の輸送運用上、当社東海事業所及びウラン再転換先等に委託する場合がある。燃料製造部長はそれら委託先に対して、取扱い及び保守に必要な要求仕様を明確にするとともに、委託先で実施された取扱い及び保守に関する記録を確認し、維持する。

(イ)－G 測定、分析及び改善

G.1 内部品質監査

品質保証部長は、品質マネジメントシステムが効果的に実施され、維持されているかを明確にするため、定期的に内部品質監査を実施する。監査の計画及び実施について、手順書で規定する。監査員は、自らの仕事は監査しない。被監査領域の責任者は、発見された不適合及びその原因を除去するために遅滞なく処置する。

G.2 不適合品の管理

燃料製造部長は、不適合品を識別し管理する。不適合品の処理に関する管理及びそれに関連する責任及び権限を手順書に規定する。

G.3 是正処置及び予防処置

(1) 是正処置

当社は、再発防止のため、不適合の原因を除去する処置をとる。不適合の内容確認、原因の特定、再発防止処置、処置の結果の記録等に関する要求事項を規定する手順書を定める。

(2) 予防処置

当社は、起こりうる不適合が発生することを防止するため、その原因を除去する処置を決める。起こりうる不適合及びその原因の特定、発生防止処置、処置の結果の記録等に関する要求事項を、手順書に定める。