

核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について

熊原第22-028号

令和4年11月16日

原子力規制委員会 殿

住所 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央四丁目33番5号

氏名 原子燃料工業株式会社

代表取締役社長 伊藤 義章

令和4年10月11日付熊原第22-006号を持って申請しました核燃料輸送物設計変更承認申請書について、下記の通り一部補正を致します。

記

核燃料輸送物設計変更承認申請書を次の通り変更する。

1. 核燃料輸送物の名称

TNF-XI型

2. 既に交付された核燃料輸送物設計承認番号

J/2042/AF

3. 変更内容

- ・令和4年4月15日付原規規発2204152号により承認を受けた核燃料輸送物設計承認申請書（以下「既承認申請書」という。）の記載事項について別記の通り変更する。
- ・既承認申請書について、以下の変更を行う。
  - ・ 収納物にスラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納するケース（以下、「ケース4」という。）を追加する。収納物の追加に伴い、（ロ）章D「遮蔽解析」及び（ロ）章E「臨界解析」にケース4に対する評価を追加する。また、（ロ）章F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」についても、一部評価を見直す。
  - ・ 収納物の使用予定期間を変更する。それに伴い、（ロ）章F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」についても、一部評価を見直す。
- ・ その他記載の見直しを行う。

4. 変更理由

- ・ 収納物を追加するため。
- ・ 繰り返し使用する収納物について、当社の事業環境から変更後の使用予定期間での使用が必要であると判断したため。
- ・ 記載を適正化するため。

別紙

- 1 輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書
- 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

[添付]

補正内容一覧

以上

1. 核燃料輸送物の名称

TNF-XI型

2. 輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料

(1) 輸送容器の外形寸法

長さ：約1.10m

幅：約1.10m

高さ：約1.04m

(2) 輸送容器の重量

660kg以下

(3) 核燃料輸送物の総重量

1,050kg以下

(4) 輸送容器の主要材料

表1の通り

(5) 輸送容器の概略を示す図

図1の通り

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月11日付熊原第22-006号（令和4年11月16日付熊原第22-028号をもって一部補正）に係る別紙1の(イ)－第1図から(イ)－第13図までに示されている。

3. 核燃料輸送物の種類

A型核分裂性輸送物

4. 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

表2～14の通り

5. 輸送制限個数

(1) 輸送制限個数：100個（ケース1、粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納）

制限なし（ケース2、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納）

制限なし（ケース3、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納）

1個（ケース4、スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納）

(2) 配列方法：任意

- (3) 臨界安全指数 : 0.5 (ケース1、粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)  
0 (ケース2、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)  
0 (ケース3、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)  
5.0 (ケース4、スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納)

6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

−4.0℃から38℃まで

7. 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のため、核燃料物質が収納される内容物がステンレス鋼の連結パイプで強固に固定され、所定の間隔が保たれるようになっている。また、内容物の側面、底面及び外蓋に中性子吸収材が配置されている。

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

臨界安全評価において内容器内を含む輸送物全体に浸水するものとして評価している。

9. 収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封境界である内容器は、内容器本体、内蓋及びガスケットで構成され、ガスケットにはE PDM (エチレン・プロピレンゴム) が用いられている。

10. BM型輸送物にあつては、BU型輸送物の設計基準のうち適合しない基準についての説明

該当しない。

11. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

輸送容器の保守及び定期自主検査並びに核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物設計承認申請書(令和4年10月11日付熊原第22-006号(令和4年11月16日付熊原第22-028号をもって一部補正))に係る別紙のとおり。

12. 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。)に関する事項

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。)については、本核燃料輸送物設計承認申請書(令和4年10月11日付熊原第22-006号(令和4年11月16日付熊原第22-028号をもって一部補正))に係る別紙のとおり。

### 1 3. その他特記事項

本輸送容器は、最も古いもので製造してから現在までに 20 年が経過している輸送容器であり、今後 20 年の使用を予定しているため、使用予定年数を 40 年としている。

#### 別紙

- 1 輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書
- 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

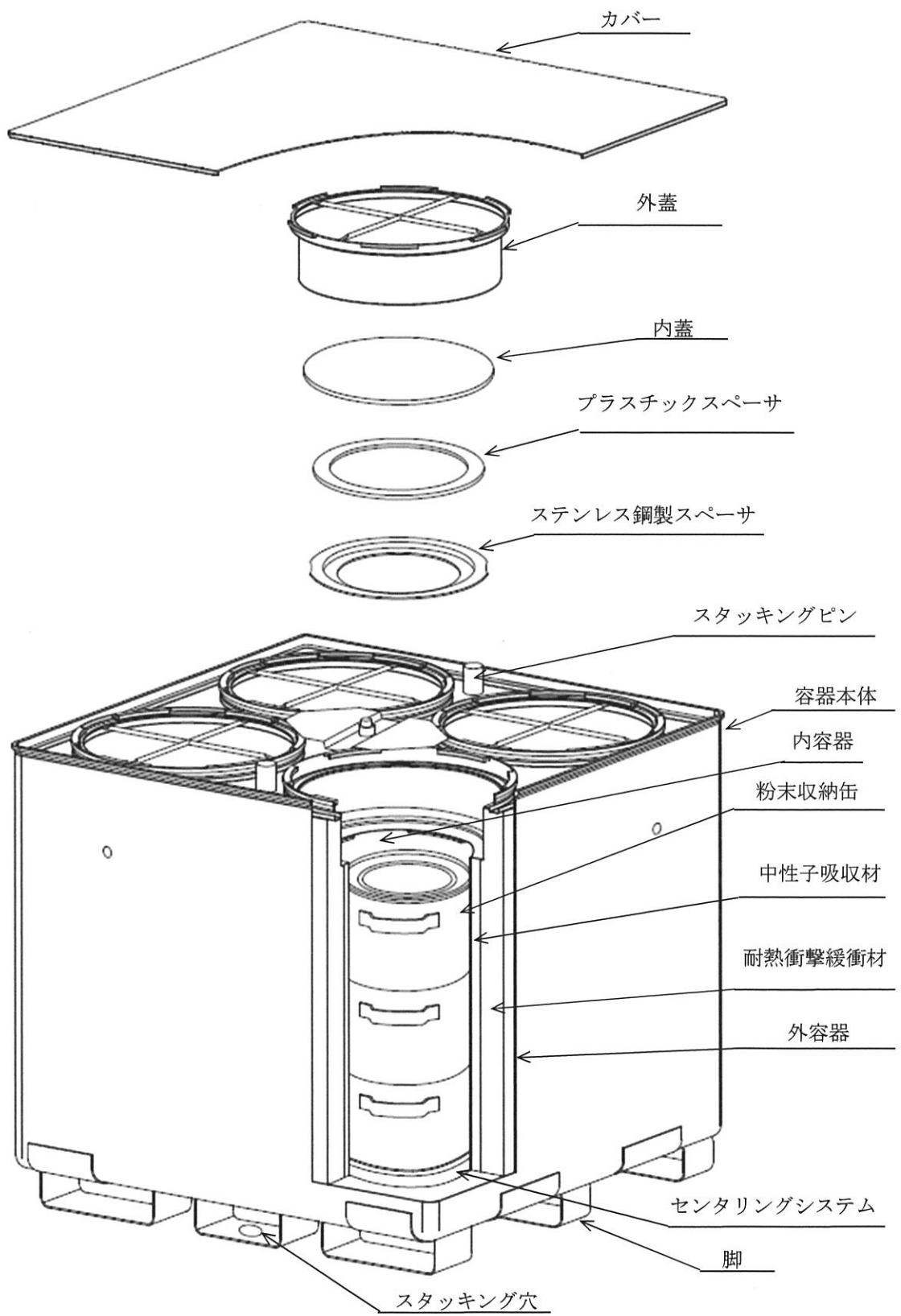


図1 TNF·XI型輸送物外観図

表 1 輸送容器の主要材料

容 器 部 位	材 質
外容器	ステンレス鋼
内容器	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	ボロン入りレジン、ボロン入りステンレス鋼
外蓋外殻	ステンレス鋼
外蓋補強材	アルミニウム合金
内蓋	ステンレス鋼
ガasket	エチレン・プロピレンゴム

表2 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（ケース1）

種類	ウラン酸化物（ $UO_2$ 、 $U_3O_8$ 又は $UO_3$ ）及び添加物（表3）		
性状	固体（粉末、焼結体又はスクラップ）		
重量	表4の通り		
放射能の量	総量	$4.012 \times 10^{10}$ Bq 以下	
	主要な核種	$^{232}U$	$1.440 \times 10^8$ Bq 以下
		$^{234}U$	$2.895 \times 10^{10}$ Bq 以下
		$^{235}U$	$2.004 \times 10^9$ Bq 以下
		$^{236}U$	$1.499 \times 10^8$ Bq 以下
		$^{238}U$	$8.873 \times 10^9$ Bq 以下
		$^{99}Tc$	$1.571 \times 10^6$ Bq 以下
濃縮度	5.0%以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量	0.03W 以下		
冷却日数	該当しない		
濃縮ウラン中の不純物仕様	$^{232}U$	$\leq 0.0001 \mu g/gU$	
	$^{234}U$	$\leq 10 \times 10^3 \mu g/g^{235}U$	
	$^{236}U$	$\leq 250 \mu g/gU$	
	$^{99}Tc$	$\leq 0.01 \mu g/gU$	
	ただし、 $^{236}U < 125 \mu g/gU$ の場合は、 $^{232}U$ 及び $^{99}Tc$ は適用外		

表3 添加物（ケース1）

	添加物	化学式	最大添加量
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	$C_2H_4N_4O_2$	



表4 内容器の収納制限 (ケース1)

(ポリエチレン製袋、添加物 A、B、C の合計重量が 390g 以下)

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 A、B、C の合計重量が 390g を超えて 1620g 以下)

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	67.50
4.65%以下	71.00	63.50	65.25
4.75%以下	71.00	61.75	61.75
4.85%以下	71.00	59.25	59.25
5.00%以下	71.00	55.75	55.75

\* 装荷制限条件には、ウラン酸化物と添加物 (A~F) の合計重量を記載している。

\* 輸送容器には、4 個の内容器があるため最大重量は、それぞれ 4 倍した値となる。

\* 各内容器に最大 4.0 kg 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 7.5 kg ステンレス鋼製の波板等を収納する。

\* 輸送容器には、収納する核燃料物質等の有無に関係なく、各内容器に 3 個 (輸送容器 1 基で計 12 個) の粉末収納缶が収納される。

\* 粉末収納缶には、表 5 に記載する仕様のボロン入りステンレス鋼製リングが粉末収納缶内側に接着固定される。

\* 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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3) 及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶 (ケース 4) は同一輸送容器内に混載しない。

表5 ボロン入りステンレス鋼製リング仕様

外径	[ ]mm		高さ	[ ]mm
板厚	[ ]mm		重量	[ ]4kg
材料	ボロン入りステンレス鋼	化学成分	Cr	[ ]
			Ni	
			B	

表6 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（ケース2）

種類	ウラン酸化物（ $UO_2$ 、 $U_3O_8$ 又は $UO_3$ ）及び添加物（表7）		
性状	固体（粉末、焼結体又はスクラップ）		
重量	表8の通り		
放射能の量	総量	$1.413 \times 10^9$ Bq 以下	
	主要な核種	$^{232}U$	$5.070 \times 10^6$ Bq 以下
		$^{234}U$	$1.019 \times 10^9$ Bq 以下
		$^{235}U$	$7.057 \times 10^8$ Bq 以下
		$^{236}U$	$5.277 \times 10^6$ Bq 以下
		$^{238}U$	$3.124 \times 10^8$ Bq 以下
$^{99}Tc$	$2.765 \times 10^5$ Bq 以下		
濃縮度	5.0%以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量	0.001W 以下		
冷却日数	該当しない		
濃縮ウラン中の不純物仕様	$^{232}U$	$\leq 0.0001 \mu g/gU$	
	$^{234}U$	$\leq 10 \times 10^3 \mu g/g^{235}U$	
	$^{236}U$	$\leq 250 \mu g/gU$	
	$^{99}Tc$	$\leq 0.05 \mu g/gU$	

表7 添加物（ケース2）

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	$Mg(C_{17}H_{35}COO)_2$	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
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	$C_2H_4N_4O_2$	

表 8 内容器の収納制限 (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。

\* 装荷制限条件は粉末、焼結体、スクラップ全て同じものである。

\* 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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3) 及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶 (ケース 4) は同一輸送容器内に混載しない。

表 9 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（ケース 3）

種類	ウラン化合物及びその他の含有物（表 10 の通り）		
性状	固体		
重量	表 11 の通り		
放射能の量	総量	$3.206 \times 10^9 \text{Bq}$ 以下	
	主要な核種	$^{232}\text{U}$	$1.150 \times 10^7 \text{Bq}$ 以下
		$^{234}\text{U}$	$2.313 \times 10^9 \text{Bq}$ 以下
		$^{235}\text{U}$	$1.601 \times 10^8 \text{Bq}$ 以下
		$^{236}\text{U}$	$1.197 \times 10^7 \text{Bq}$ 以下
		$^{238}\text{U}$	$7.089 \times 10^8 \text{Bq}$ 以下
	$^{99}\text{Tc}$	$1.255 \times 10^5 \text{Bq}$ 以下	
濃縮度	20.0%以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量	0.001W 以下		
冷却日数	該当しない		
濃縮ウラン中の不純物仕様	濃縮度 5.0%以下	$^{232}\text{U}$	$\leq 0.0001 \mu \text{g/gU}$
		$^{234}\text{U}$	$\leq 10 \times 10^3 \mu \text{g/g}^{235}\text{U}$
		$^{236}\text{U}$	$\leq 250 \mu \text{g/gU}$
		$^{99}\text{Tc}$	$\leq 0.01 \mu \text{g/gU}$
		ただし、 $^{236}\text{U} \leq 125 \mu \text{g/gU}$ の場合は、 $^{232}\text{U}$ 及び $^{99}\text{Tc}$ は適用外	
	濃縮度 20.0%以下	$^{232}\text{U}$	$\leq 0.0004 \mu \text{g/gU}$
		$^{234}\text{U}$	$\leq 10 \times 10^3 \mu \text{g/g}^{235}\text{U}$
		$^{236}\text{U}$	$\leq 1000 \mu \text{g/gU}$
$^{99}\text{Tc}$		$\leq 0.04 \mu \text{g/gU}$	

表 10 ウラン化合物及びその他の含有物（ケース 3）

項目	含有物
ウラン化合物の化学形態	
その他の含有物	

表 1 1 内容器の収納制限 (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

\* 輸送容器には、4 個の内容器があるため最大重量は、それぞれ 4 倍した値となる。

\* 輸送容器には、収納する核燃料物質等の有無に関係なく、各内容器に 3 個 (輸送容器 1 基で計 12 個) の粉末収納缶が収納される。

\* 各内容器に最大 4.0 kg のブロッキングシステムを収納する。

\* 粉末収納缶には、表 5 に記載する仕様のボロン入りステンレス鋼製リングが粉末収納缶内側に接着固定される。

\* 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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3) 及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶 (ケース 4) は同一輸送容器内に混載しない。

表 1 2 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量(ケース 4)

種類	金属ウランスラッジ (金属ウランの切粉とその他金属 (ステンレス鋼、真鍮) の切粉から成るスラッジ) ※	
性状	固体	
重量	表 1 3 の通り	
放射能の量	総量	7.180×10 <sup>9</sup> Bq 以下
	主要核種	表 1 4 の通り
濃縮度	□%以下	
燃焼度	15.0MWd/t	
発熱量	0.001W 以下	
冷却日数	3,583 日以上	

※表面から 1 メートルの距離における空気吸収線量率は 1 グレイ毎時を超えない。

表 1 3 内容物の収納制限 (ケース 4)

濃縮度	装荷制限条件	
	kg-U	kg-金属ウランスラッジ
□%以下	0.3	0.5

\* 輸送容器には、4 個の内容物があるため最大重量は、それぞれ 4 倍した値となる。

\* 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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3) 及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶 (ケース 4) は同一輸送容器内に混載しない。

表 1 4 収納する核燃料物質等の主な核種と放射能 (ケース 4)

核種	放射能(Bq)
Sr-90	1.163E+09
Y-90	1.163E+09
Ru-106	1.099E+06
Rh-106	1.099E+06
Cd-113m	8.586E+04
Sn-121m	3.211E+05
Sb-125	5.612E+06
Te-125m	1.374E+06
Cs-137	1.190E+09
Ba-137m	1.190E+09
Ce-144	1.784E+06
Pr-144m	1.703E+04
Pr-144	1.784E+06
Pm-147	2.020E+08
Sm-151	3.576E+07
Eu-155	8.388E+06
Ra-226	2.488E+03
Ac-227	1.460E+04
Th-230	4.633E+05
Th-231	8.967E+07
Th-232	9.924E-03
Th-234	8.721E+05
Pa-234	1.396E+03
Pa-231	4.717E+04
U-232	7.735E+01
U-233	5.602E+01
U-234	2.025E+09
U-235	8.967E+07
U-236	8.079E+06
U-237	8.972E-09
U-238	8.721E+05
Np-237	2.966E+02
Pu-238	1.610E+01
Pu-239	1.865E+05
Pu-240	4.270E-01
放射能量合計	7.180E+09

以上

添付

補正内容一覧  
(別記記載事項の補正前後比較表)



補正内容一覧

・別紙 1

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(イ)-16	D.1.1(6)	(6) 最大崩壊熱量 収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は無視し得る。	(6) 最大崩壊熱量 収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は <b>0.03W</b> 以下であり無視し得る。
(イ)-19	D.2.1(6)	(6) 最大崩壊熱量 収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は無視し得る。	(6) 最大崩壊熱量 収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は <b>0.001W</b> 以下であり無視し得る。
(イ)-22	D.3.1(6)	(6) 最大崩壊熱量 収納物であるウラン残渣は未照射であり、その崩壊熱量は無視し得る。	(6) 最大崩壊熱量 収納物であるウラン残渣は未照射であり、その崩壊熱量は <b>0.001W</b> 以下であり無視し得る。
(ロ)B-1	B.1(2)	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、本輸送物は、収納物の発熱は極めて微小であり、	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、本輸送物は、収納物の発熱は <b>0.03W</b> 以下と極めて微小であり、
(ロ)B-2	B.1(3)	(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。	(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、 <b>0.03W</b> 以下と極めて微少であり無視する。

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 4 年 10 月 11 日付、熊原第 22-006 号）の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(ロ)B-10	B.4(2)	<p>(2) 解析条件</p> <p>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。</p> <p>ウランの崩壊熱量は、無視する。</p>	<p>(2) 解析条件</p> <p>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。</p> <p>ウランの崩壊熱量は 0.03W 以下と微小であるため、無視する。</p>
(ロ)D-14	D.2.2.2	<p>D.2.2.2 中性子源</p> <p>該当せず。</p>	<p>D.2.2.2 中性子源</p> <p>ケース 4 の金属ウランは濃縮度 5%の単位重量あたりの中性子線源強度は、二酸化ウランの約 2 倍であるが、ウラン重量が 1,200 g しかないため、輸送物あたりの中性子線源強度はケース 1~3 の最大ケースと比較して 100 分の 1 以下であり、無視できる量である。</p> <p>以上のことから、中性子源に該当しない。</p>

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月11日付、熊原第22-006号)の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(ロ)F-1	F.1	また、繰り返し使用する収納物の使用予定期間は80年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計200回、また1回の輸送期間は通常最長4ヶ月を想定している。	<p>繰り返し使用する収納物については、以下を想定している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・粉末収納缶（ボロン入りステンレス鋼リング含む）については本輸送容器の製造時期より前に製造したものを使用することがある。そのため、使用予定期間は輸送容器より長い80年とし、使用期間を通しての輸送予定回数は計200回、また1回の輸送期間は通常最長4ヶ月を想定している。</li> <li>・長尺粉末収納缶については、使用予定期間を10年、使用期間を通しての輸送予定回数は計10回、また1回の輸送期間は通常最長1日を想定している。</li> <li>・スラッジ収納缶については、使用予定期間を20年（金属スラッジの保管期間を含む）、使用期間を通しての輸送予定回数は計1回、また1回の輸送期間は通常最長1日を想定している。</li> <li>・ブロッキングシステム（ステンレス鋼製スペーサ、プラスチックスペーサ、センタリングシステム）については、使用予定期間を40年、使用期間を通しての輸送予定回数は計100回、また1回の輸送期間は通常最長4ヶ月を想定している。</li> </ul>
(ロ)F-1	F.1	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輸送容器については40年の連続使用、繰り返し使用する収納物については80年の連続使用を考慮する。	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輸送容器については40年の連続使用、繰り返し使用する収納物についてはその種類を問わず80年の連続使用を考慮する。

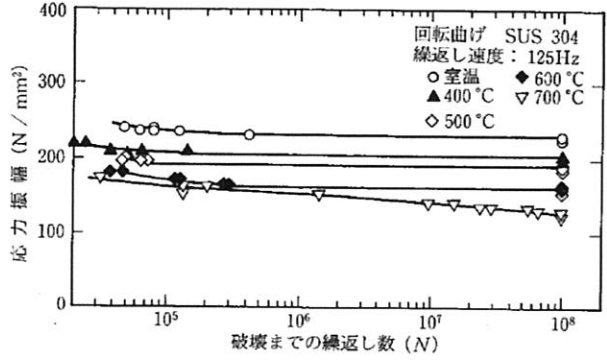
注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月11日付、熊原第22-006号）の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後																																
(ロ)F-3	(ロ)F-第 1 表[1/2]	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 1 表 ステンレス鋼の経年変化の考慮[1/2]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ステンレス鋼</td> <td>熱</td> <td>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、運転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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>80 年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2</math> 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 <math>10^{16} \text{ n/cm}^2</math> 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修し、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサの外観に異常がないことを確認している。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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、運転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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修し、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサの外観に異常がないことを確認している。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 1 表 ステンレス鋼の経年変化の考慮[1/2]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ステンレス鋼</td> <td>熱</td> <td>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、運転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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>80 年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2</math> 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 <math>10^{16} \text{ n/cm}^2</math> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修し、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサの外観に異常がないことを確認している。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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、運転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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		放射線	80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修し、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサの外観に異常がないことを確認している。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
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、運転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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修し、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサの外観に異常がないことを確認している。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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																																
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、運転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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																
	放射線	80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修し、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スベーサの外観に異常がないことを確認している。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月11日付、熊原第22-006号)の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後																
(ロ)F-4	(ロ)F-第 1 表[2/2]	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 1 表 ステンレス鋼の経年変化の考慮[2/2]</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">材料</th> <th style="width: 10%;">経年変化要因</th> <th style="width: 70%;">経年変化の評価</th> <th style="width: 10%;">経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ステンレス鋼</td> <td>疲労</td> <td> <p>輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>温度変化による内外圧差により発生する応力のうち、最も大きな応力が発生するのは一般の試験条件下において-40℃で収納物を梱包したのち内容器温度が 52℃まで達した場合の内容器内蓋であり、応力振幅は <input type="text" value=""/> MPa となった（(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/mm<sup>2</sup>以下の応力では室温から 700℃の環境下において 10<sup>7</sup>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く、計 14,600 回の応力発生を考慮しても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ベーサには、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。</p> <p>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> </td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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>輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>温度変化による内外圧差により発生する応力のうち、最も大きな応力が発生するのは一般の試験条件下において-40℃で収納物を梱包したのち内容器温度が 52℃まで達した場合の内容器内蓋であり、応力振幅は <input type="text" value=""/> MPa となった（(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/mm<sup>2</sup>以下の応力では室温から 700℃の環境下において 10<sup>7</sup>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く、計 14,600 回の応力発生を考慮しても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ベーサには、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。</p> <p>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	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 1 表 ステンレス鋼の経年変化の考慮[2/2]</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">材料</th> <th style="width: 10%;">経年変化要因</th> <th style="width: 70%;">経年変化の評価</th> <th style="width: 10%;">経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ステンレス鋼</td> <td>疲労</td> <td> <p>輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。温度変化による内外圧差により内容器に発生する応力の繰り返し回数を、使用予定より保守的な条件として 14,600 回発生すると想定して疲労を評価し、疲労破壊が発生しないことを確認している（(ロ)A.5.1.3.4 参照）。</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ベーサには、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</p> </td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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>輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。温度変化による内外圧差により内容器に発生する応力の繰り返し回数を、使用予定より保守的な条件として 14,600 回発生すると想定して疲労を評価し、疲労破壊が発生しないことを確認している（(ロ)A.5.1.3.4 参照）。</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ベーサには、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</p>	無し
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>輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。</p> <p>温度変化による内外圧差により発生する応力のうち、最も大きな応力が発生するのは一般の試験条件下において-40℃で収納物を梱包したのち内容器温度が 52℃まで達した場合の内容器内蓋であり、応力振幅は <input type="text" value=""/> MPa となった（(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/mm<sup>2</sup>以下の応力では室温から 700℃の環境下において 10<sup>7</sup>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く、計 14,600 回の応力発生を考慮しても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ベーサには、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。</p> <p>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																
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>輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。温度変化による内外圧差により内容器に発生する応力の繰り返し回数を、使用予定より保守的な条件として 14,600 回発生すると想定して疲労を評価し、疲労破壊が発生しないことを確認している（(ロ)A.5.1.3.4 参照）。</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ベーサには、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</p>	無し																

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 4 年 10 月 11 日付、熊原第 22-006 号）の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(補正前の (ロ)F-5)	(補正前の (ロ)F-第1 図)	 <p>回転曲げ SUS 304 繰返し速度：125Hz ○室温    ◆600℃ ▲400℃    ▼700℃ ◇500℃</p> <p>応力振幅 (N/mm<sup>2</sup>)</p> <p>破壊までの繰返し数 (N)</p> <p>(ロ)F-第1図 ステンレス鋼疲労曲線</p> <p>(出典) ステンレス鋼便覧-第3版-ステンレス協会(1995年1月)</p>	(図の消去)

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月11日付、熊原第22-006号)の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後																																								
(ロ)F-5	(ロ)F-第 2 表	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 2 表 フェノリックフォームの経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フェノリックフォーム</td> <td>熱</td> <td>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<sup>2)</sup>。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>40 年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>7 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2</math> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は <math>3 \times 10^3 \text{ Gy}</math> 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考えられる中性子照射量 <math>10^{14} \text{ n/cm}^2</math>、ガンマ線照射量 <math>10^4 \text{ Gy}</math> 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<sup>3)</sup>。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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は発生しない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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 <sup>2)</sup> 。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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 年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $3 \times 10^3 \text{ Gy}$ 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考えられる中性子照射量 $10^{14} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^4 \text{ Gy}$ 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 <sup>3)</sup> 。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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は発生しない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 2 表 フェノリックフォームの経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>フェノリックフォーム</td> <td>熱</td> <td>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<sup>2)</sup>。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>40 年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>7 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2</math> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は <math>3 \times 10^3 \text{ Gy}</math> 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考えられる中性子照射量 <math>10^{14} \text{ n/cm}^2</math>、ガンマ線照射量 <math>10^4 \text{ Gy}</math> 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<sup>3)</sup>。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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は発生しない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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 <sup>2)</sup> 。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		放射線	40 年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $3 \times 10^3 \text{ Gy}$ 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考えられる中性子照射量 $10^{14} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^4 \text{ Gy}$ 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 <sup>3)</sup> 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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は発生しない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
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 <sup>2)</sup> 。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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 年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $3 \times 10^3 \text{ Gy}$ 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考えられる中性子照射量 $10^{14} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^4 \text{ Gy}$ 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 <sup>3)</sup> 。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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は発生しない。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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																																								
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 <sup>2)</sup> 。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								
	放射線	40 年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $3 \times 10^3 \text{ Gy}$ 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考えられる中性子照射量 $10^{14} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^4 \text{ Gy}$ 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 <sup>3)</sup> 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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は発生しない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月11日付、熊原第22-006号)の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後																																								
(ロ)F-6	(ロ)F-第3表	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第3表 BORA レジンの経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の考慮の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BORA レジン</td> <td>熱</td> <td>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<sup>4)</sup>。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。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>40年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>7 \times 10^{10}</math> n/cm<sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は <math>9 \times 10^2</math> Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステルの材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 <math>10^{14}</math> n/cm<sup>2</sup>、ガンマ線照射量 <math>10^4</math> Gy と比較して十分小さい<sup>3)</sup>。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup>B の減損率は <math>10^{-10}</math> 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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	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 <sup>4)</sup> 。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。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10}$ n/cm <sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $9 \times 10^2$ Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステル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 <sup>2</sup> 、ガンマ線照射量 $10^4$ Gy と比較して十分小さい <sup>3)</sup> 。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> B 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第3表 BORA レジンの経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の考慮の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BORA レジン</td> <td>熱</td> <td>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<sup>4)</sup>。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。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>40年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>7 \times 10^{10}</math> n/cm<sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は <math>9 \times 10^2</math> Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステルの材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 <math>10^{14}</math> n/cm<sup>2</sup>、ガンマ線照射量 <math>10^4</math> Gy と比較して十分小さい<sup>3)</sup>。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup>B の減損率は <math>10^{-10}</math> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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	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 <sup>4)</sup> 。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。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		放射線	40年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10}$ n/cm <sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $9 \times 10^2$ Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステル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 <sup>2</sup> 、ガンマ線照射量 $10^4$ Gy と比較して十分小さい <sup>3)</sup> 。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> B 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		化学	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		疲労	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
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	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 <sup>4)</sup> 。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。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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10}$ n/cm <sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $9 \times 10^2$ Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステル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 <sup>2</sup> 、ガンマ線照射量 $10^4$ Gy と比較して十分小さい <sup>3)</sup> 。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> B 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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																																								
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	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 <sup>4)</sup> 。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。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								
	放射線	40年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10}$ n/cm <sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $9 \times 10^2$ Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステル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 <sup>2</sup> 、ガンマ線照射量 $10^4$ Gy と比較して十分小さい <sup>3)</sup> 。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> B 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								
	化学	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								
	疲労	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月11日付、熊原第22-006号）の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。



頁番号	変更箇所	補正前	補正後																																								
(ロ)F-7	(ロ)F-第 4 表	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 4 表 ボロン入りステンレス鋼の経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボロン入りステンレス鋼</td> <td>熱</td> <td>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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>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。80 年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2</math> 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 <math>10^{16} \text{ n/cm}^2</math> と比較して十分に小さい。加えて累積の中性子照射による<sup>10</sup>Bの減損率は <math>10^{-9}</math> 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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、また内容物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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	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。80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ と比較して十分に小さい。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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、また内容物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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	<p style="text-align: center;">(ロ)F-第 4 表 ボロン入りステンレス鋼の経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ボロン入りステンレス鋼</td> <td>熱</td> <td>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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>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。80 年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2</math> 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 <math>10^{16} \text{ n/cm}^2</math> と比較して十分に小さい。加えて累積の中性子照射による<sup>10</sup>Bの減損率は <math>10^{-9}</math> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>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、また内容物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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		放射線	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。80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ と比較して十分に小さい。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、また内容物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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	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。80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ と比較して十分に小さい。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> 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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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、また内容物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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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																																								
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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								
	放射線	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。80 年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 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 $10^{16} \text{ n/cm}^2$ と比較して十分に小さい。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、また内容物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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和 4 年 10 月 11 日付、熊原第 22-006 号)の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後																																								
(ロ)F-8	(ロ)F-第5表	<p>(ロ)F-第5表 ポリオキシメチレンの経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の考慮の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ポリオキシメチレン</td> <td>熱</td> <td>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<sup>5)</sup>。従って運転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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>80年の使用期間における中性子の累積照射量は<math>1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2</math>以下であり、またガンマ線の累積照射量は<math>1.4 \times 10^2 \text{ Gy}</math>以下であり、ポリオキシメ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<math>10^{13} \text{ n/cm}^2</math>、ガンマ線照射量<math>10^3 \text{ Gy}</math>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<sup>6)</sup>。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>ポリオキシメチレンは内容物の内部に使用され、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、ブロッッキングシステムは発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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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 <sup>5)</sup> 。従って運転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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	80年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $1.4 \times 10^2 \text{ Gy}$ 以下であり、ポリオキシメ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 $10^{13} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^3 \text{ Gy}$ 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 <sup>6)</sup> 。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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物の内部に使用され、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、ブロッッキングシステムは発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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	<p>(ロ)F-第5表 ポリオキシメチレンの経年変化の考慮</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>材料</th> <th>経年変化要因</th> <th>経年変化の考慮の評価</th> <th>経年変化の有無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ポリオキシメチレン</td> <td>熱</td> <td>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<sup>5)</sup>。従って運転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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>放射線</td> <td>80年の使用期間における中性子の累積照射量は<math>1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2</math>以下であり、またガンマ線の累積照射量は<math>1.4 \times 10^2 \text{ Gy}</math>以下であり、ポリオキシメ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<math>10^{13} \text{ n/cm}^2</math>、ガンマ線照射量<math>10^3 \text{ Gy}</math>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<sup>6)</sup>。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>化学</td> <td>ポリオキシメチレンは内容物の内部に使用され、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、ブロッッキングシステムは発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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> <tr> <td></td> <td>疲労</td> <td>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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</td> <td>無し</td> </tr> </tbody> </table>	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 <sup>5)</sup> 。従って運転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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		放射線	80年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $1.4 \times 10^2 \text{ Gy}$ 以下であり、ポリオキシメ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 $10^{13} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^3 \text{ Gy}$ 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 <sup>6)</sup> 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し		化学	ポリオキシメチレンは内容物の内部に使用され、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、ブロッッキングシステムは発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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
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 <sup>5)</sup> 。従って運転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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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	80年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $1.4 \times 10^2 \text{ Gy}$ 以下であり、ポリオキシメ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 $10^{13} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^3 \text{ Gy}$ 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 <sup>6)</sup> 。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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物の内部に使用され、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、ブロッッキングシステムは発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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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。以上のことから経年変化の考慮は必要なく、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																																								
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 <sup>5)</sup> 。従って運転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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								
	放射線	80年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $1.4 \times 10^2 \text{ Gy}$ 以下であり、ポリオキシメ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 $10^{13} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^3 \text{ Gy}$ 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 <sup>6)</sup> 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								
	化学	ポリオキシメチレンは内容物の内部に使用され、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、ブロッッキングシステムは発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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し																																								

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書(令和4年10月11日付、熊原第22-006号)の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(ロ)F-9	(ロ)F.3	<p>F.3 安全解析における経年変化の考慮内容</p> <p>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。</p> <p>その結果、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使用期間中の経年変化を考慮する必要がなく、ステンレス鋼については熱、放射線、化学における経年変化要因においては使用期間中の経年変化を考慮する必要がないことを確認した。</p> <p>ステンレス鋼製の内容器については内外圧力差によって繰り返し応力が発生するため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用期間中に想定される最も厳しい応力条件かつ保守的な繰り返し回数を考慮した上で内外圧差による疲労を評価したところ、使用期間において疲労による経年変化は発生せず、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ことを確認した。</p>	<p>F.3 安全解析における経年変化の考慮内容</p> <p>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。</p> <p>その結果、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対しては、使用期間中の経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要がなく、ステンレス鋼に対しては熱、放射線、化学における経年変化要因においては、使用期間中の経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要がないことを確認した。</p> <p>ステンレス鋼製の内容器については内外圧力差によって繰り返し応力が発生するため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用期間中に想定される最も厳しい応力条件かつ保守的な繰り返し回数を考慮した上で内外圧差による疲労を評価したところ、使用期間において疲労破壊は発生せず、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ことを確認した。</p>

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和4年10月11日付、熊原第22-006号）の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(ロ)G-1	第三条第三項	<p>下記に示すように、既認可の収納物（ケース 1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース 4）を収納する場合においても、経年変化の影響は受けない。そのため、規則に定める技術基準の適合に影響しないことに変更はない。</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"/> を想定している。また、繰り返し使用する収納物の使用予定期間は 80 年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計 200 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 4 ヶ月を想定している。</p>	<p>下記に示すように、既認可の収納物（ケース 1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース 4）を収納する場合においても、経年変化が規則に定める技術基準の適合していることに影響しないことに変更はない。</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"/> を想定している。</p> <p>・粉末収納缶（ボロン入りステンレス鋼リング含む）については本輸送容器の製造時期より前に製造したものを使用することがある。そのため、使用予定期間は輸送容器より長い 80 年とし、使用期間を通しての輸送予定回数は計 200 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 4 ヶ月を想定している。</p> <p>・長尺粉末収納缶については、使用予定期間を 10 年、使用期間を通しての輸送予定回数は計 10 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 1 日を想定している。</p> <p>・スラッジ収納缶については、使用予定期間を 20 年（金属スラッジの保管期間を含む）、使用期間を通しての輸送予定回数は計 1 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 1 日を想定している。</p> <p>・ブロッキングシステム（ステンレス鋼製スペーサ、プラスチックスペーサ、センタリングシステム）については、使用予定期間を 40 年、使用期間を通しての輸送予定回数は計 100 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 4 ヶ月を想定している。</p>

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 4 年 10 月 11 日付、熊原第 22-006 号）の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

頁番号	変更箇所	補正前	補正後
(ハ)・5	(ハ)A-第 1 表【1/2】 収納物検査	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 80 年を越えていないこと。	7. その他： 粉末収納缶の使用期間が 80 年を越えていないこと。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。
(ハ)・7	(ハ)A-第 2 表 収納物検査	7. その他：長尺粉末缶の使用期間が 80 年を越えていないこと。	7. その他：長尺粉末缶の使用期間が 10 年を越えていないこと。
(ハ)・8	(ハ)A-第 3 表【1/2】 収納物検査	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 80 年を越えていないこと。	7. その他： 粉末収納缶の使用期間が 80 年を越えていないこと。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。
(ハ)・10	(ハ)A-第 4 表 収納物検査	7. その他： 燃焼度：15.0MWd/t 以下であること。 冷却期間：3,583 日以上であること。 スラッジ収納缶：使用期間が 80 年を越えていないこと。 スラッジ収納缶用緩衝材：未使用のものであること。	7. その他： 燃焼度：15.0MWd/t 以下であること。 冷却期間：3,583 日以上であること。 スラッジ収納缶：使用期間が 20 年を越えていないこと。 スラッジ収納缶用緩衝材：未使用のものであること。

注)頁番号、変更箇所は核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 4 年 10 月 11 日付、熊原第 22-006 号）の箇所を示す。変更箇所をハッチングにて示す。なお、目次の変更、誤字脱字や体裁の訂正、図表追加に伴う図表番号の振り直し及び章追加に伴う章番号の振り直しは省略する。

## 別紙 1

輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の  
核燃料輸送物の安全性に関する説明書

# TNF - XI 型 輸送物安全解析書

令和 4 年 11 月

原子燃料工業株式会社

## 目次

(イ)章 核燃料輸送物の説明 .....	(イ)-1
(イ)-A 目的及び条件 .....	(イ)-1
(イ)-B 輸送物の種類 .....	(イ)-2
(イ)-C 輸送容器 .....	(イ)-2
(イ)-D 輸送容器の収納物 .....	(イ)-14
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析 .....	(ロ)A-1
(ロ)-A 構造解析 .....	(ロ)A-1
A.1 構造設計 .....	(ロ)A-1
A.1.1 概要 .....	(ロ)A-1
A.1.2 設計基準 .....	(ロ)A-2
A.2 重量及び重心 .....	(ロ)A-6
A.3 材料の機械的性質 .....	(ロ)A-9
A.4 輸送物の要件 .....	(ロ)A-11
A.4.1 化学的及び電気的反応 .....	(ロ)A-11
A.4.2 低温強度 .....	(ロ)A-15
A.4.3 密封装置 .....	(ロ)A-15
A.4.4 吊上装置 .....	(ロ)A-15
A.4.5 固縛装置 .....	(ロ)A-15
A.4.6 圧力 .....	(ロ)A-16
A.4.7 振動 .....	(ロ)A-20
A.5 一般の試験条件 .....	(ロ)A-21
A.5.1 熱的試験 .....	(ロ)A-21
A.5.1.1 温度及び圧力の要約 .....	(ロ)A-21
A.5.1.2 熱膨張 .....	(ロ)A-21
A.5.1.3 応力計算 .....	(ロ)A-24
A.5.1.4 許容応力との比較 .....	(ロ)A-28
A.5.2 水噴霧 .....	(ロ)A-28
A.5.3 自由落下 .....	(ロ)A-28
(a) 解析モデル .....	(ロ)A-28
(b) 原型試験 .....	(ロ)A-28
(c) モデル試験 .....	(ロ)A-29
A.5.4 積み重ね試験 .....	(ロ)A-29
A.5.5 貫通 .....	(ロ)A-33
A.5.6 角又は縁落下 .....	(ロ)A-33

A.5.7 結果の要約及びその評価 .....	(ロ)A-33
A.6 特別の試験条件 .....	(ロ)A-34
A.7 強化浸漬試験 .....	(ロ)A-34
A.8 放射性収納物 .....	(ロ)A-35
A.9 核分裂性輸送物 .....	(ロ)A-45
A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件 .....	(ロ)A-45
A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件 .....	(ロ)A-46
(ロ)A 付属資料 1 1. 予備落下試験	
(ロ)A 付属資料 2 2. 原型容器設計変更	
(ロ)A 付属資料 3 3. 落下試験	
(ロ)A 付属資料 4 4. 追加落下試験	
(ロ)A 付属資料 5 5. 主要材料の温度特性	
(ロ)A 付属資料 6 6. 輸送物総重量の検討	
(ロ)A 付属資料 7 7. 固有振動数導出に係る補足説明資料	
(ロ)A 付属資料 8 8. ブロッキングシステムの落下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健全性	
(ロ)-B 熱解析 .....	(ロ)B-1
B.1 概 要 .....	(ロ)B-1
B.2 材料の熱的性質 .....	(ロ)B-4
B.3 構成要素の仕様 .....	(ロ)B-7
B.4 一般の試験条件 .....	(ロ)B-7
B.4.1 熱解析モデル .....	(ロ)B-7
B.4.1.1 解析モデル .....	(ロ)B-7
B.4.1.2 試験モデル .....	(ロ)B-10
B.4.2 最高温度 .....	(ロ)B-11
B.4.3 最低温度 .....	(ロ)B-13
B.4.4 最大内圧 .....	(ロ)B-13
B.4.5 最大熱応力 .....	(ロ)B-13
B.4.6 結果の要約及びその評価 .....	(ロ)B-13
B.5 特別の試験条件 .....	(ロ)B-15
B.5.1 熱解析モデル .....	(ロ)B-15
B.5.1.1 解析モデル .....	(ロ)B-15
B.5.1.2 試験モデル .....	(ロ)B-15
B.5.2 輸送物の評価条件 .....	(ロ)B-16
B.5.3 輸送物温度 .....	(ロ)B-18
B.5.4 最大内圧 .....	(ロ)B-18
B.5.5 最大熱応力 .....	(ロ)B-18
B.5.6 結果の要約及びその評価 .....	(ロ)B-19



(ロ)B 付属資料 1	1. 予備耐火試験	
(ロ)B 付属資料 2	2. JTACO-3D : 有限要素法熱伝導解析コード	
(ロ)B 付属資料 3	3. 耐火試験	
(ロ)B 付属資料 4	4. 一般の試験条件解析結果	
(ロ)-C	密封解析	(ロ)C-1
C.1	概 要	(ロ)C-1
C.2	密封装置	(ロ)C-1
C.2.1	密封装置	(ロ)C-1
C.2.2	密封装置の貫通部	(ロ)C-1
C.2.3	密封装置のガスケット及び溶接部	(ロ)C-1
C.2.4	蓋	(ロ)C-1
C.3	一般の試験条件	(ロ)C-3
C.3.1	放射性物質の漏えい	(ロ)C-3
C.3.2	密封装置の加圧	(ロ)C-4
C.3.3	冷却材汚染	(ロ)C-4
C.3.4	冷却材損失	(ロ)C-4
C.4	特別の試験条件	(ロ)C-4
C.4.1	核分裂生成ガス	(ロ)C-5
C.4.2	放射性物質の漏えい	(ロ)C-5
C.5	結果の要約及びその評価	(ロ)C-6
(ロ)C	付属資料 1	1. 落下試験後の気密試験結果
(ロ)-D	遮蔽解析	(ロ)D-1
D.1	ケース 1(粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)、ケース 2(長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)及びケース 3(粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)	(ロ)D-1
D.1.1	概 要	(ロ)D-1
D.1.2	線源仕様	(ロ)D-3
D.1.2.1	ガンマ線源	(ロ)D-3
D.1.2.2	中性子源	(ロ)D-3
D.1.3	モデル仕様	(ロ)D-5
D.1.3.1	解析モデル	(ロ)D-5
D.1.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)D-10
D.1.4	遮蔽評価	(ロ)D-11
D.1.5	結果の要約と結果	(ロ)D-11
D.2	ケース 4(スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納)	(ロ)D-12
D.2.1	概 要	(ロ)D-12
D.2.2	線源仕様	(ロ)D-14
D.2.2.1	ガンマ線源	(ロ)D-14
D.2.2.2	中性子源	(ロ)D-14

D.2.3	モデル仕様	(ロ)D-17
D.2.3.1	解析モデル	(ロ)D-17
D.2.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)D-22
D.2.4	遮蔽評価	(ロ)D-23
D.2.5	結果の要約と結果	(ロ)D-23
(ロ)D	付属資料 1 最大線量当量率を与える評価点の検討 (ケース 1~3)	
(ロ)D	付属資料 2 最大線量当量率を与える評価点の検討 (ケース 4)	
(ロ)-E	臨界解析	(ロ)E-1
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)	(ロ)E-1
E.1.1	概要	(ロ)E-1
E.1.2	解析対象	(ロ)E-1
E.1.2.1	収納物	(ロ)E-1
E.1.2.2	輸送容器	(ロ)E-2
E.1.2.3	中性子吸収材	(ロ)E-2
E.1.3	モデル仕様	(ロ)E-4
E.1.3.1	解析モデル	(ロ)E-4
E.1.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)E-6
E.1.4	未臨界評価	(ロ)E-15
E.1.4.1	計算条件	(ロ)E-15
E.1.4.2	輸送物への水の浸入等	(ロ)E-15
E.1.4.3	計算方法	(ロ)E-15
E.1.4.4	計算結果	(ロ)E-16
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)	(ロ)E-18
E.2.1	概要	(ロ)E-18
E.2.2	解析対象	(ロ)E-18
E.2.2.1	収納物	(ロ)E-18
E.2.2.2	輸送容器	(ロ)E-18
E.2.2.3	中性子吸収材	(ロ)E-18
E.2.3	モデル仕様	(ロ)E-20
E.2.3.1	解析モデル	(ロ)E-20
E.2.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)E-21
E.2.4	未臨界評価	(ロ)E-30
E.2.4.1	計算条件	(ロ)E-30
E.2.4.2	輸送物への水の浸入等	(ロ)E-30
E.2.4.3	計算方法	(ロ)E-30
E.2.4.4	計算結果	(ロ)E-30
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)	(ロ)E-32
E.3.1	概要	(ロ)E-32
E.3.2	解析対象	(ロ)E-32

E.3.2.1	収納物	.....	(ロ)E-32
E.3.2.2	輸送容器	.....	(ロ)E-32
E.3.2.3	中性子吸収材	.....	(ロ)E-32
E.3.3	モデル仕様	.....	(ロ)E-34
E.3.3.1	解析モデル	.....	(ロ)E-34
E.3.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	.....	(ロ)E-36
E.3.4	未臨界評価	.....	(ロ)E-46
E.3.4.1	計算条件	.....	(ロ)E-46
E.3.4.2	輸送物への水の浸入等	.....	(ロ)E-46
E.3.4.3	計算方法	.....	(ロ)E-46
E.3.4.4	計算結果	.....	(ロ)E-47
E.4	ケース4(スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納する場合)	.....	(ロ)E-48
E.4.1	概要	.....	(ロ)E-48
E.4.2	解析対象	.....	(ロ)E-48
E.4.2.1	収納物	.....	(ロ)E-48
E.4.2.2	輸送容器	.....	(ロ)E-48
E.4.2.3	中性子吸収材	.....	(ロ)E-48
E.4.3	モデル仕様	.....	(ロ)E-49
E.4.3.1	解析モデル	.....	(ロ)E-49
E.4.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	.....	(ロ)E-51
E.4.4	未臨界評価	.....	(ロ)E-54
E.4.4.1	計算条件	.....	(ロ)E-54
E.4.4.2	輸送物への水の浸入等	.....	(ロ)E-54
E.4.4.3	計算方法	.....	(ロ)E-54
E.4.4.4	計算結果	.....	(ロ)E-55
E.5	ベンチマーク	.....	(ロ)E-56
E.6	結果の要約及びその評価	.....	(ロ)E-59
(ロ)E	付属資料1	ケース1～3に関するサーベイ計算の結果	
(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	
(ロ)E	付属資料3	ケース4に関するサーベイ計算の結果	
(ロ)-F	核燃料輸送物の経年変化の考慮	.....	(ロ)F-1
F.1	考慮すべき経年劣化要因	.....	(ロ)F-1
F.2	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価	.....	(ロ)F-2
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	.....	(ロ)F-9
(ロ)-G	規則及び告示に対する適合性の評価	.....	(ロ)G-1

(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法 .....	(ハ)－1
(ハ)－A 輸送物の取扱い方法 .....	(ハ)－1
A.1 装荷方法 .....	(ハ)－1
A.2 輸送物の発送前検査 .....	(ハ)－4
A.3 取出し方法 .....	(ハ)－11
A.4 空容器の準備 .....	(ハ)－11
(ハ)－B 保守条件 .....	(ハ)－16
B.1 外観検査 .....	(ハ)－16
B.2 耐圧検査 .....	(ハ)－16
B.3 気密漏えい検査 .....	(ハ)－16
B.4 遮蔽検査 .....	(ハ)－16
B.5 未臨界検査 .....	(ハ)－16
B.6 熱検査 .....	(ハ)－16
B.7 吊上検査 .....	(ハ)－17
B.8 作動確認検査 .....	(ハ)－17
B.9 補助系の保守 .....	(ハ)－17
B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守 .....	(ハ)－17
B.11 輸送容器の保管 .....	(ハ)－17
B.12 記録の保管 .....	(ハ)－17
B.13 その他 .....	(ハ)－17
(ニ)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項 .....	(ニ)－1

## (イ)章 核燃料輸送物の説明

### (イ)A 目的及び条件

#### (1) 使用目的

軽水炉向け燃料等の濃縮度 5%以下のウラン酸化物(粉末、焼結体又はスクラップ)、濃縮度 5%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣、濃縮度 20%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣並びに濃縮度 %以下の金属ウランを含んだ金属ウランスラッジの国内及び国際輸送に使用する。

#### (2) 輸送容器の型名

TNF-XI 型

#### (3) 輸送物の種類

A 型核分裂性輸送物

#### (4) 輸送制限個数

(ケース 1 : 粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

100 個

(ケース 2 : 長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

制限なし

(ケース 3 : 粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)

制限なし

(ケース 4 : スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納)

1 個

#### (5) 輸送指数

(ケース 1 : 粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

0.3

(ケース 2 : 長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

0.3

(ケース 3 : 粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)

0.3

(ケース 4 : スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納)

6.9

(6) 臨界安全指数

(ケース 1：粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

0.5

(ケース 2：長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

0

(ケース 3：粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)

0

(ケース 4：スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納)

50

(イ)B 輸送物の種類

A 型核分裂性輸送物

(イ)C 輸送容器

(1) 総重量

輸送容器の総重量 660 kg 以下

輸送物の総重量 1,050 kg 以下

(2) 構造材料及び中性子吸収材

本輸送容器は、外容器、中性子吸収材を含む内容器、耐熱衝撃緩衝材等からなる容器本体と外蓋、内蓋から構成されている。各構造材料及び中性子吸収材を(イ)-第 1 表に示す。

(3) 中性子減速材

該当なし

(4) 遮蔽材

該当なし

(5) 主要部分の寸法及び構造

(a) 概 要

本輸送物の全体図を(イ)-第 1 図に示す。本輸送容器は、外容器、中性子吸収材を含む内容器、耐熱衝撃緩衝材等からなる容器本体と外蓋、内蓋から構成されている。

容器本体には、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、又はスラッジ収納缶を収納する内容器が 4 個あり、粉末収納缶は内容器 1 つに対しそれぞれ 3 缶ずつ、長尺粉末収納缶、及びスラッジ収納缶は内容器 1 つに対し 1 缶のみ収納する。粉末収納缶にはウラン酸化物若しくはウラン残渣、長尺粉末収納缶にはウラン酸化物、スラッジ収納缶には金属ウランスラッジを収納する。また、長尺粉末収納缶は輸送容器 1 基に対し 1 缶のみ収納する。なお、ウラン酸化物を収納した粉末収納缶、長尺粉末収納缶、ウラン残渣を収納した粉末収納缶、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶は同一輸送容器内に混載しない。以下、

粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納した場合をケース 1、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納した場合をケース 2、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納した場合をケース 3、スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納した場合をケース 4 とする。

各内容器に対して、内蓋、外蓋がそれぞれ 1 個あり、バイオネット構造により密封する仕組みになっている。

## (b) 構造

### ① 容器本体

(イ) 第 2 図及び第 3 図に輸送容器の構造図を示す。容器本体は、外容器、中性子吸収材を含む内容器、耐熱衝撃緩衝材等から構成されている。

外容器は、厚さ  mm のステンレス鋼板から溶接により成型された箱型であり、外寸は約 1,100×1,100 mm、高さ約 1,040 mm の立方体である。外容器上面には外蓋を取り付けるステンレス鋼製のフランジ 4 個とステンレス鋼製の高さ  mm、外径  mm のスタッキングピンが 2 本取付けられており、底面には厚さ  mm のステンレス鋼板で加工された高さ 100 mm の脚が 3 組取付けられている。外容器上面中央には、ステンレス鋼製の外蓋回り止めデバイスが取付けられている。

内容器は、厚さ  mm のステンレス鋼板製の内壁、外壁からなる円筒型二重構造を有し、中間部分には BORA レジン製の中性子吸収材が挿入されている。内容器の収納部形状は、内径約  $\phi$  354 mm、内高約 674 mm であり、底には中性子吸収材として厚さ  mm の  wt% ボロン入りステンレス鋼板製のディスクが固定されている。最上部にはステンレス鋼製フランジが溶接により固定されている。4 個の内容器は、それぞれがステンレス鋼製の連結パイプで固定され、所定の間隔が保たれるようになっている。

外容器と内容器の間には耐熱衝撃緩衝材としての機能を有するフェノリックフォームが充填されている。容器本体に用いられるフェノリックフォームには 2 種類のタイプがあり、容器本体上部コーナー部と底面エッジ部全周には高密度 ( kg/m<sup>3</sup>;  g/cm<sup>3</sup>) のフォーム 、残りの部分には中密度 ( kg/m<sup>3</sup>;  g/cm<sup>3</sup>) のフォーム  が使用されている。

### ② 外蓋

(イ) 第 4 図に外蓋の構造図を示す。外蓋は、外殻、中性子吸収材、補強材及び耐熱衝撃緩衝材等から構成されている。

外殻は、上面が厚さ  mm、側面及び底面が厚さ  mm のステンレス鋼板であり、内部は上側から耐熱衝撃緩衝材としてフェノリックフォーム、補強材としてアルミニウム合金製ディスク、さらにフェノリックフォーム、そして中性子吸収材として厚さ  mm の  wt% ボロン入りステンレス鋼板製のディスクが積み重ねられている。ここで用いられているフェノリックフォームは、低密度 ( kg/m<sup>3</sup>;  g/cm<sup>3</sup>) のフォーム  である。

外蓋上面には、バイオネット構造を有するステンレス鋼製フランジが溶接され、下面にはネオプレン製のパッキンが取付けられている。また、開閉用ハンドルが十文字に取

付けられている。

③ 内 蓋

(イ)―第 5 図に内蓋の構造図を示す。ステンレス鋼製の内蓋は、厚さ  $\square$  mm のディスクであり、裏面にバイオネット構造を有している。内蓋下面には内容器の密封性を維持するため EPDM (エチレン・プロピレンゴム) 製のガスケットが取付けられている。

④ 付属品

輸送容器上面全体をホコリ避けのポリエチレン製のカバーにより覆う。

⑤ 可融栓

(イ)―第 2 図に示すように容器本体上面及び側面並びに外蓋の上面には火災時における内圧上昇を防ぐため、 $\phi \square$  mm の可融栓用穴を 22 個設けている。これらの孔にはポリエチレン製可融栓を埋め込んでおり、雨水の浸入を防止している。

⑥ バイオネット構造

輸送容器の外蓋、内蓋の締付けは、ともにボルト等を使用しないバイオネット構造である。(イ)―第 6 図にバイオネット構造の概略図を示す。この構造は、蓋側の突起とフランジ側の突起がそれぞれ噛合い、パッキン若しくはガスケットを締め込み、密封性を得る構造となっている。

これらのバイオネット構造の蓋については、外蓋は外蓋回り止めデバイスにより、また内蓋は内蓋回り止めストッパーにより容易に緩まない構造になっている。なお、本容器の密封境界は内容器と内蓋である。

(6) 熱除去の方法

該当なし

(7) 冷却材の種類及び量

該当なし

(8) 試料採取口

該当なし

(9) 内部及び外部の突出物

輸送容器の内容器には、突出物はない。容器本体外部では底部の脚と積み重ね用スタッキングピンのみである。

(10) 吊上装置及び固縛装置

(a) 吊上装置

本輸送容器には、特別な吊上装置は取付けられていない。なお、吊上げは、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て行う。

(b) 固縛装置

本輸送容器には海上コンテナ、トラック積載用の固縛装置はない。

(11) 圧力逃がし弁

該当なし

(12) 密装置

本輸送容器の容器は、(イ)-第 5 図及び第 6 図に示すようにフランジと内蓋との間に EPDM 製のガスケットが設置されており、バイオネット構造で締付けることにより密封性が保持されている。

内蓋の正規の位置に内蓋回り止めストッパーが入っていないとストッパーが飛び出た状態となり、外蓋が容器内に入らないため、常に内蓋は正しい位置まで回転し密封性を維持することが保証される。

(イ)-第1表 主要構成材料及び中性子吸収材 (1/2)

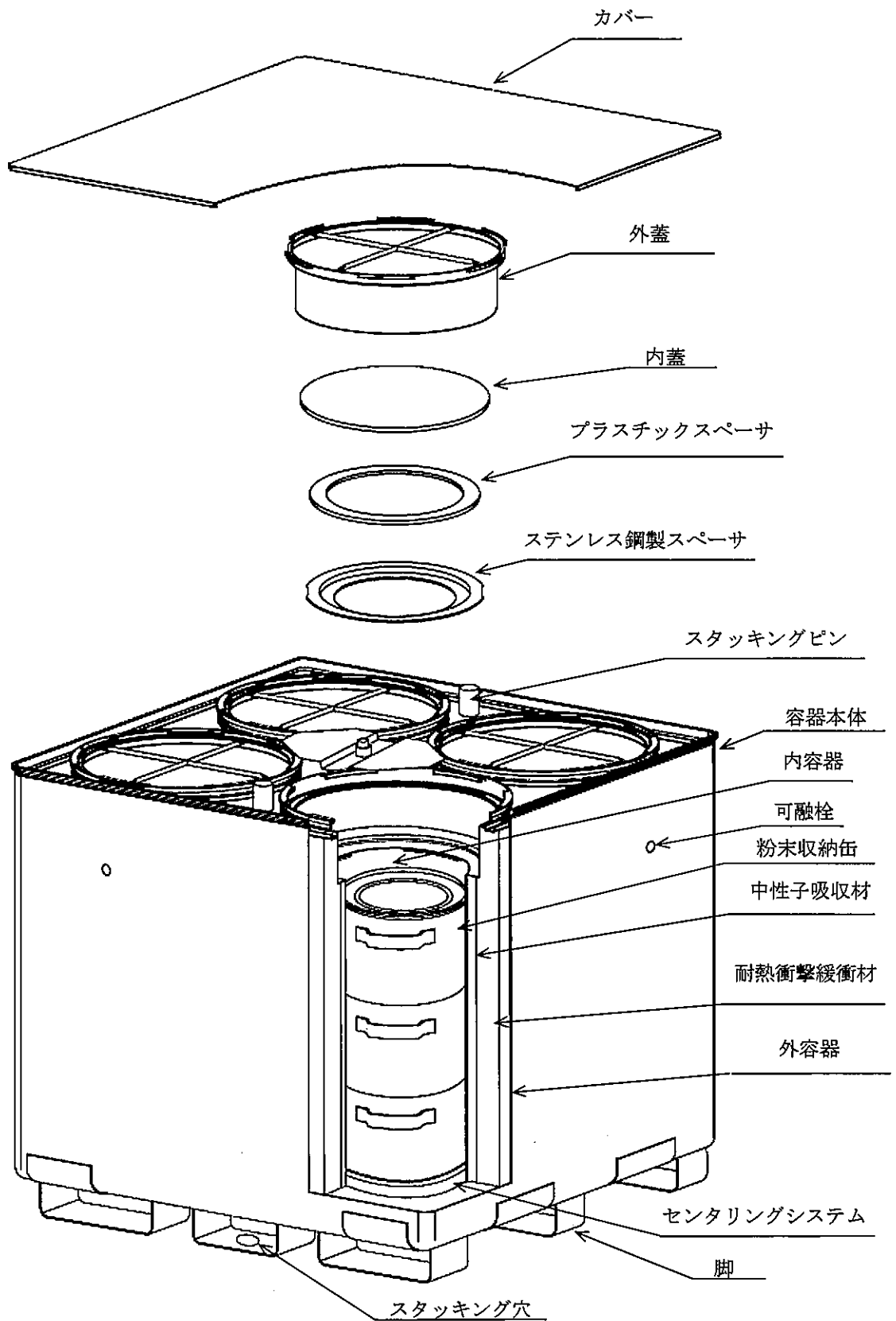
区分	主要構成要素名	材質	規格*	寸法 (mm)	個数	参照図
容器本体	外容器側面	ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L	[ ]	1	(イ)-第2図
	上面	同上	同上		1	(イ)-第2図
	底面	同上	同上		1	(イ)-第2図
	フランジ	同上	同上		4	(イ)-第6図
	内容器内壁	同上	同上		4	(イ)-第3図
	外壁	同上	同上		4	(イ)-第3図
	底面	同上	同上		4	(イ)-第3図
	フランジ	同上	同上		4	(イ)-第6図
	中性子吸収材 (側面)	BORA レジン	—		4	(イ)-第3図
	中性子吸収材 (底面)	ボロン入りステンレス鋼	[ ]		4	(イ)-第3図
	内容器連結パイプ	ステンレス鋼	NF A49-117 Z2CN18-10/Z3CN19-09		8	(イ)-第2図
	脚	同上	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L		3	(イ)-第1図
	スタッキングピン	同上	同上		2	(イ)-第1図
	外蓋回り止めデバイス	同上	同上		1	(イ)-第2図
	内蓋回り止めストッパー	同上	同上		4	(イ)-第5図

\*相当品を含む

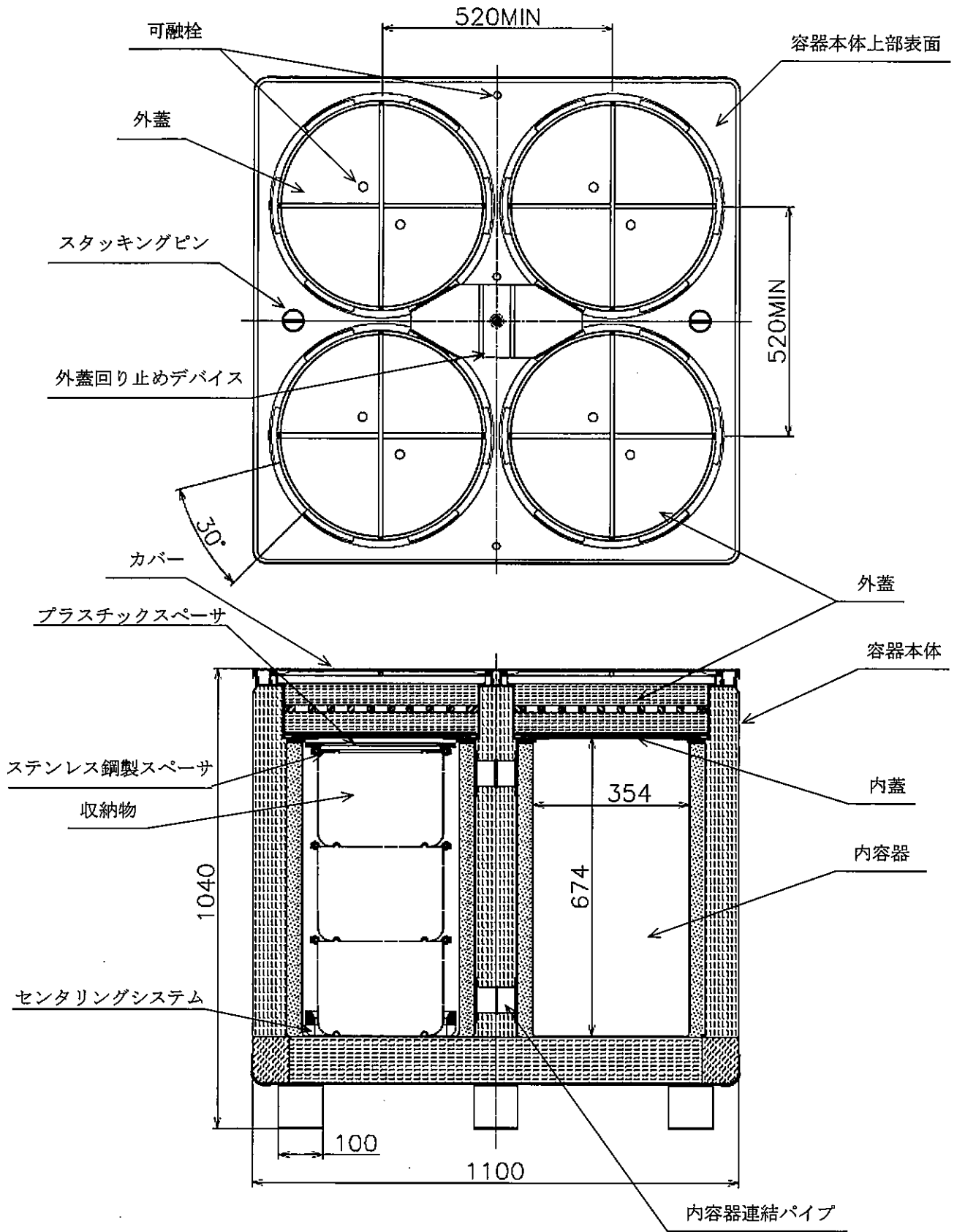
(イ)-第1表 主要構造材料及び中性子吸収材 (2/2)

区分	主要構成要素名	材質	規格*	寸法 (mm)	個数	参照図
外蓋	耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム	フォーム		1	(イ)-第3図
	耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム	フォーム		1	(イ)-第3図
	可融栓	ポリエチレン	—		14	(イ)-第1図
	側面	ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L		4	(イ)-第4図
	上面	同上	同上		4	(イ)-第4図
	底面	同上	同上		4	(イ)-第4図
	フランジ	同上	同上		4	(イ)-第4図
	バンドル	同上	NF A49-117 Z2CN18-10/Z3CN19-09		4	(イ)-第4図
	パッキン	ネオプレン	—		4	(イ)-第4図
	補強材	アルミニウム合金	EN 485-2 Grade 2017A 又は JIS H4000 KA2017AP		4	(イ)-第4図
	耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム	フォーム		8	(イ)-第4図
	中性子吸収材	ボロン入りステンレス鋼			4	(イ)-第4図
	可融栓	ポリエチレン	—		8	(イ)-第2図
	内蓋	内蓋	ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L		4
ガスケット		EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	—		4	(イ)-第3図
カバー		ポリエチレン	—		1	(イ)-第1図

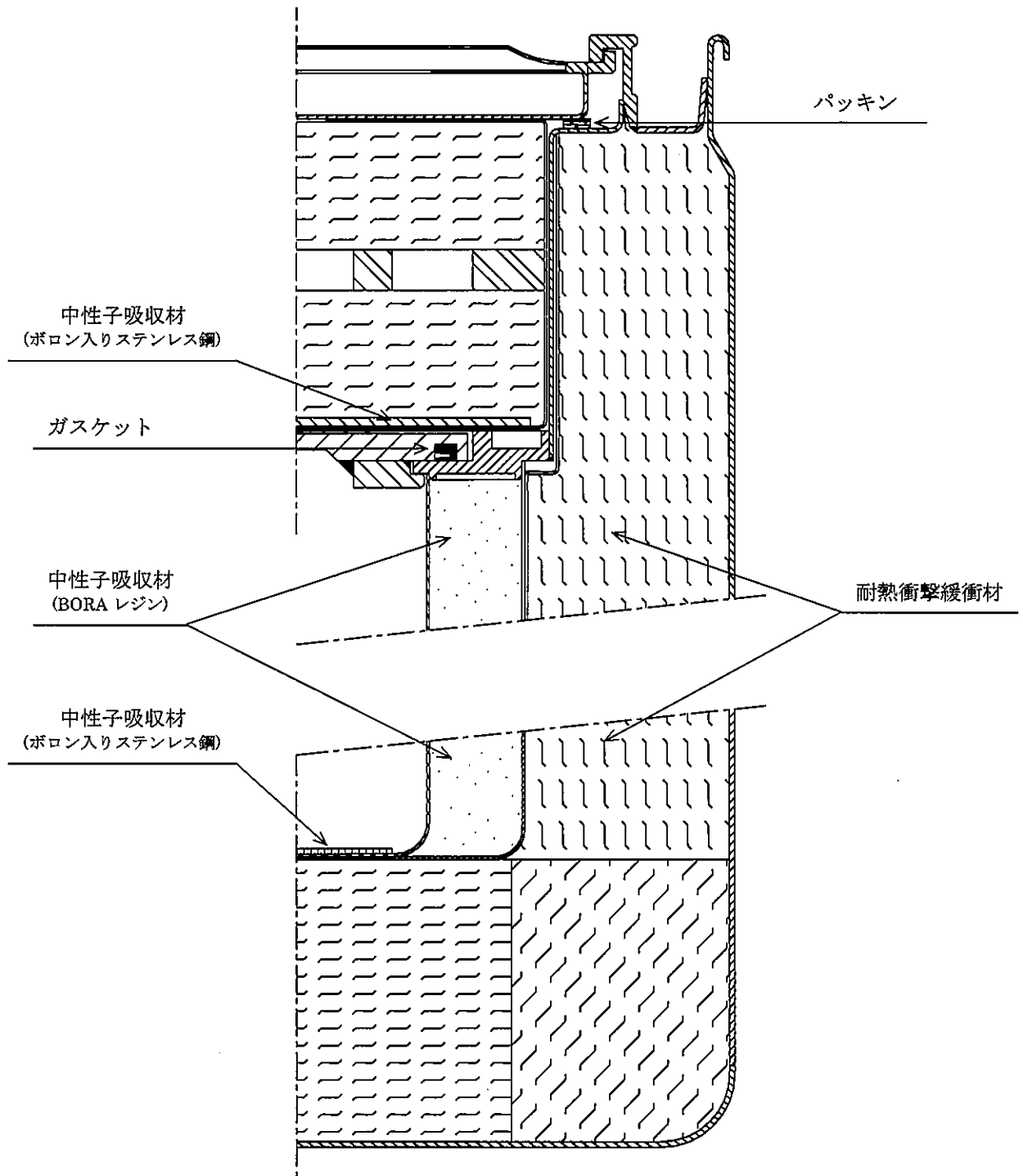
\*相当品を含む



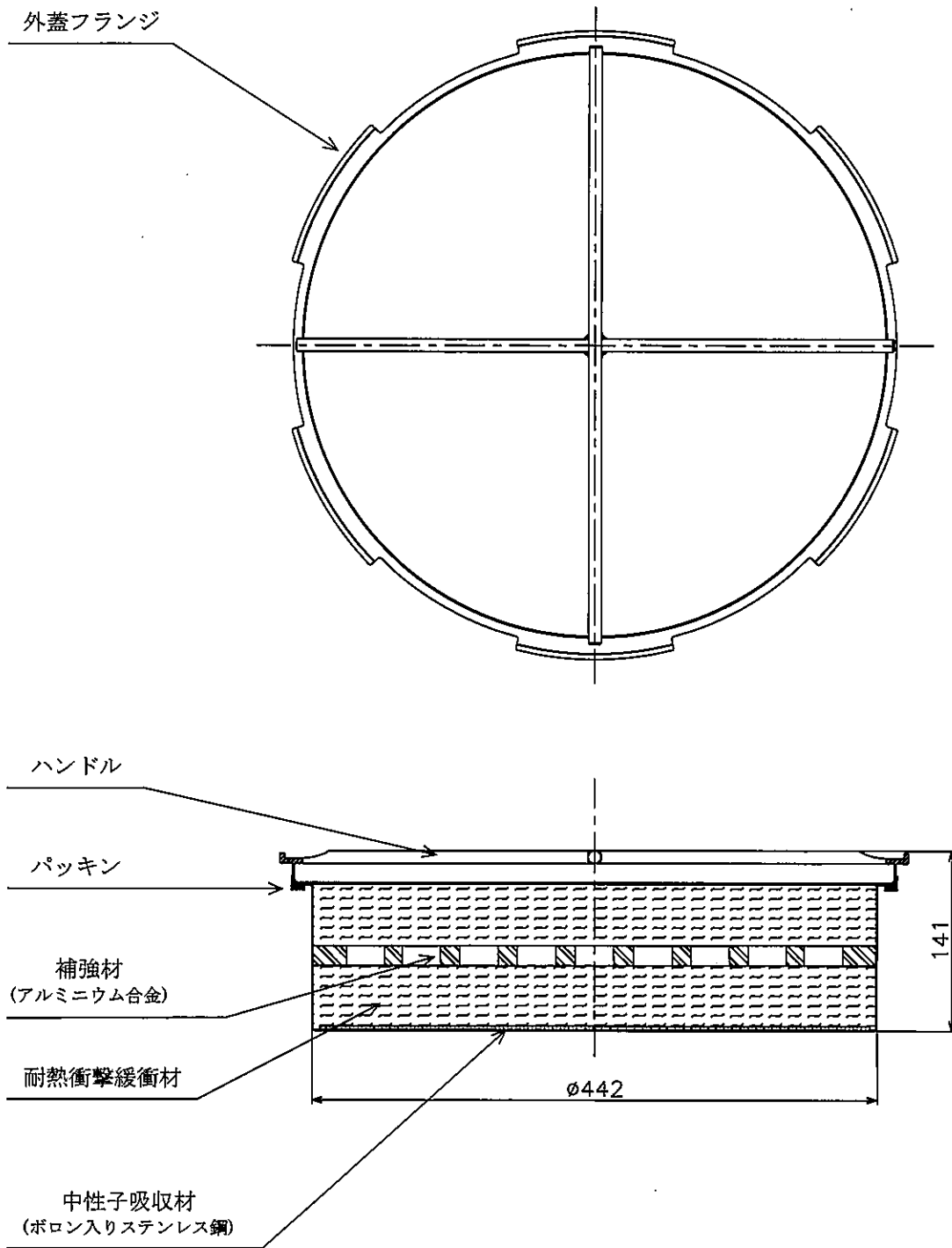
(イ)-第1図 TNF-XI型輸送物外観図



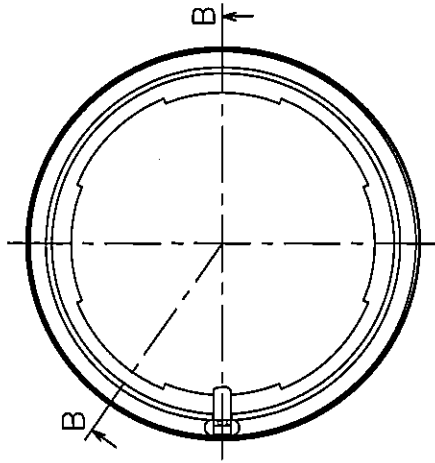
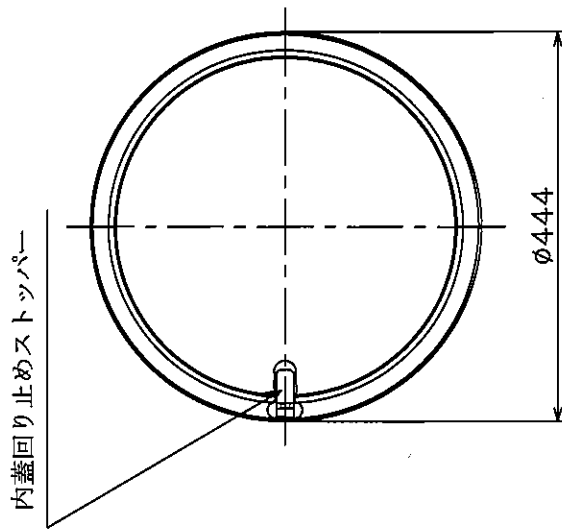
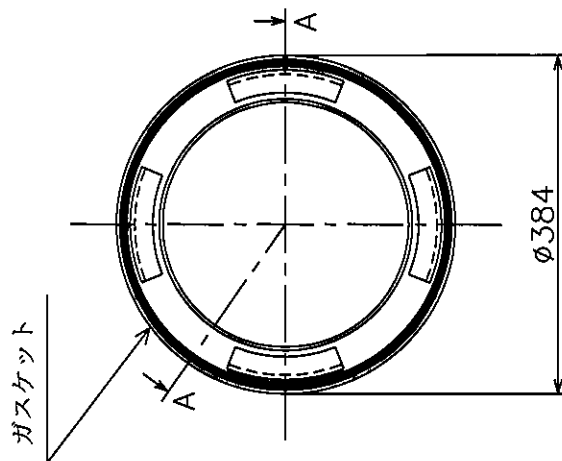
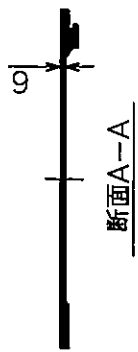
(イ)-第2図 TNF-XI型輸送物概略図



(イ)-第3図 容器本体構造詳細図



(イ)-第4図 外蓋概略図

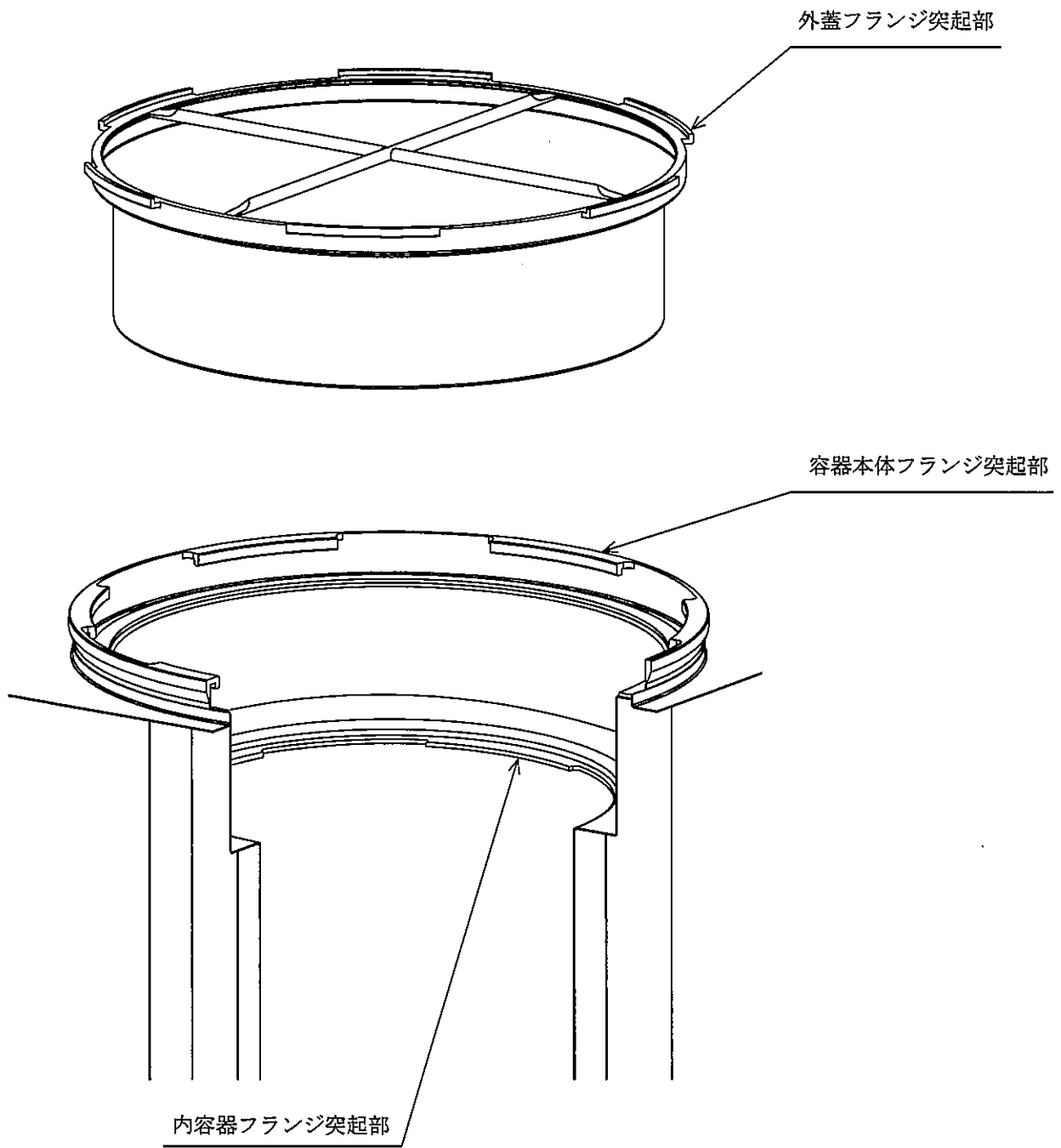


内蓋 (裏面)

内蓋-フランジ嵌合図

フランジ





(イ)-第6図 バイオネット構造図

(イ)D 輸送容器の収納物

輸送容器の収納物は、粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納するケース(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ケース(ケース 2)、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納するケース(ケース 3)、及びスラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納するケース(ケース 4)がある。

D.1 粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納するケース(ケース 1)

本輸送容器の収納物は、(イ)－第 7 図(a)に示すようにウラン酸化物、ステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製袋、(イ)－第 1 図及び(イ)－第 2 図に示すように粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納するステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサ、粉末収納缶の位置決めのため内容器底に収納するセンタリングシステム(以下ステンレス鋼製スペーサ、プラスチックスペーサ、センタリングシステムを一括して「ブロッキングシステム」と称す)からなる。焼結体収納時には、さらに(イ)－第 7 図(b)に示すようにステンレス鋼製の波板、ポリウレタン製の緩衝材、梱包材(ボール紙)からなる。

D.1.1 ウラン酸化物

(1) 主要な核種及び放射能の量

核種	<sup>232</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>236</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>99</sup> Tc	合計
放射能(Bq)	1.440×10 <sup>8</sup> 以下	2.895×10 <sup>10</sup> 以下	2.005×10 <sup>9</sup> 以下	1.499×10 <sup>8</sup> 以下	8.874×10 <sup>9</sup> 以下	1.571×10 <sup>6</sup> 以下	4.012×10 <sup>10</sup> 以下

(2) 物理的性状

ウラン酸化物(UO<sub>2</sub>, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, UO<sub>3</sub>)の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	Mg(C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COO) <sub>2</sub>	
B	ステアリン酸亜鉛	(CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COO) <sub>2</sub> Zn	
C	エチレンビスステアリン酸アミド	C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> CONHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NHCOC <sub>17</sub> H <sub>35</sub>	
D	ガドリニア	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
E	エルビア	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
F	アゾジカルボンアミド	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	

(3) 化学的性質

ウラン酸化物及び添加物は、化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることないので電気化学反応は発生しない。

(4) 材料密度

- i) 粉末かさ密度 . . . 5 g/cm<sup>3</sup>以下
- ii) 成型体密度 . . . 8 g/cm<sup>3</sup>以下
- iii) 焼結体密度 . . . 8~11 g/cm<sup>3</sup>

(5) 減速比

該当せず。

(6) 最大崩壊熱量

収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は 0.03W 以下であり無視し得る。

(7) 密封装置の最大圧力

本輸送物への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

(8) 装荷制限

i) 最大濃縮度

5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容器当たりの装荷制限量を(イ)―第 2 表、(イ)―第 3 表に示す。

iii) 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）

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$$

ただし、 $^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$  の場合は、 $^{232}\text{U}$  及び  $^{99}\text{Tc}$  は適用外

D1.2 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及び袋等

(1) 物理的形狀

粉末収納缶の形状は、(イ)―第 9 図に示す形状であり、ステンレス鋼板から成型されている。

粉末収納缶は以下の仕様である。

外 径：約 310 mm

高 さ：約 220 mm

重 量：約 7kg(ボロン入りステンレス鋼製リング含む)

材 質：ステンレス鋼

中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは、以下の仕様である。

外 径：約  mm  
高 さ： mm 以上  
板 厚： mm 以上  
重 量： kg 以下  
化学成分：Cr   
                  Ni   
                  B

袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン、ポリウレタン

焼結体収納時に使用される波板、梱包材、緩衝材の材質は以下の通りである。

波板：ステンレス鋼

梱包材：ボール紙

緩衝材：ポリウレタン

ポリエチレン袋を使用する場合は最大添加量の値に適合するように制限する。波板、梱包材、緩衝材を合わせた重量は最大 7.5kg である。

ブロッキングシステムの形状を(イ)-第 10 図に示す。内蓋と粉末収納缶の間のギャップにより、落下時に内蓋にかかる衝撃力が大きくなる可能性がある。衝撃力を低減するための措置として、(イ)-第 2 図に示すように内容器内にブロッキングシステムを収納する。ステンレス鋼製スペーサ及びプラスチックスペーサは内蓋と粉末収納缶のギャップを低減し、センタリングシステムは粉末収納缶の偏心を防ぎステンレス鋼製スペーサと内容器との干渉を防止する。ブロッキングシステムは繰返し使用する。

ブロッキングシステムの材質は以下の通りである。

ステンレス鋼製スペーサ：ステンレス鋼

プラスチックスペーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料であり、使用可能温度 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ <sup>1)</sup>、融点 $165^{\circ}\text{C}$ <sup>1)</sup>、圧縮強度 $100\text{MPa}$ <sup>2)</sup>の材料特性を有している。

## (2) 化学的性質

粉末収納缶及びステンレス鋼製スペーサ (ステンレス鋼)、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)、袋 (ポリエチレン、ポリウレタン)、緩衝材 (ポリウレタン)、梱包材 (ボール紙)、プラスチックスペーサ及びセンタリングシステム (ポリオキシメチレン) は、ともに化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることないので電気化学反応は発生しない。

(3) 材料密度

- i) ステンレス鋼 約 7.9 g/cm<sup>3</sup>
- ii) ボロン入りステンレス鋼 約 7.8 g/cm<sup>3</sup>

(4) 装荷制限

本輸送容器の各内容器には粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングを、ウラン酸化物の有無に係わらず 3 組ずつ収納する。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサを 1 つずつ収納する。

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスペーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を 0 から 3 枚の間で調整して収納する。

## D.2 長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納するケース(ケース 2)

本輸送容器の収納物は(イ)第 8 図に示すようにウラン酸化物、ステンレス鋼製の長尺粉末収納缶、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製の袋、瓶からなる。また、ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン製の緩衝材を使用する。なお長尺粉末収納缶は 4 つの内容器のうち 1 つにしか装荷しない。

### D.2.1 ウラン酸化物

#### (1) 主要な核種及び放射能の量

核種	$^{232}\text{U}$	$^{234}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{236}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{99}\text{Tc}$	合計
放射能量(Bq)	$5.070 \times 10^6$ 以下	$1.019 \times 10^9$ 以下	$7.057 \times 10^8$ 以下	$5.277 \times 10^6$ 以下	$3.124 \times 10^8$ 以下	$2.765 \times 10^5$ 以下	$1.413 \times 10^9$ 以下

#### (2) 物理的形狀

ウラン酸化物 ( $\text{UO}_2$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$ ,  $\text{UO}_3$ ) の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
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	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	
E	エルビア	$\text{Er}_2\text{O}_3$	
F	アゾジカルボンアミド	$\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$	

#### (3) 化学的性質

ウラン酸化物及び添加物は、化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることはないので電気化学反応は発生しない。

#### (4) 材料密度

- i) 粉末かさ密度 . . . 5 g/cm<sup>3</sup> 以下
- ii) 成型体密度 . . . 8 g/cm<sup>3</sup> 以下
- iii) 焼結体密度 . . . 8~11 g/cm<sup>3</sup>

#### (5) 減速比

該当せず。

#### (6) 最大崩壊熱量

収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は 0.001W 以下であり無視し得る。

(7) 密封装置の最大圧力

本輸送物への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

(8) 装荷制限

i) 最大濃縮度

5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容器1つの装荷制限量を(イ)－第4表に示す。

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \text{ } \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \text{ } \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \text{ } \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.05 \text{ } \mu\text{g/gU}$$

D.2.2 長尺粉末収納缶、袋等

(1) 物理的形狀

長尺粉末収納缶の形状は、(イ)－第11図に示す形状であり、ステンレス鋼板から成型されている。

長尺粉末収納缶の仕様を以下に示す。

外 径：約 310 mm  
高 さ：約 660 mm  
重 量：9kg 以下  
材 質：ステンレス鋼

緩衝材、袋、瓶は以下の材質である。

緩衝材：ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン

袋、瓶：ポリエチレン、ポリウレタン

緩衝材、添加物全てを合わせた重量は最大 5kg、袋、瓶の重量の合計は最大 5kg である。



(2) 化学的性質

長尺粉末収納缶（ステンレス鋼）、袋（ポリエチレン、ポリウレタン）及び緩衝材（ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン）は、ともに化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることないので電気化学反応は発生しない。

(3) 材料密度

長尺粉末収納缶の材料密度は以下の通りである。

ステンレス鋼	約 7.9 g/cm <sup>3</sup>
--------	-------------------------

(4) 装荷制限

長尺粉末収納缶は 4 つの容器のうち 1 つのみに装荷する。

### D.3 粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納するケース(ケース 3)

本輸送容器の収納物は、(イ)第 7 図(a)に示すようにウラン残渣、ウラン残渣を収納するステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン残渣を収納するポリエチレン製袋、粉末収納缶と輸送容器内蓋との間に収納するブロッキングシステムからなる。

#### D.3.1 ウラン残渣

##### (1) 主要な核種及び放射能の量

核種	<sup>232</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>236</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>99</sup> Tc	合計
放射能(Bq)*	1.150×10 <sup>7</sup> 以下	2.313×10 <sup>9</sup> 以下	1.601×10 <sup>8</sup> 以下	1.197×10 <sup>7</sup> 以下	7.089×10 <sup>8</sup> 以下	1.255×10 <sup>5</sup> 以下	3.206×10 <sup>9</sup> 以下

※濃縮度 5wt%、20kgU を装荷した場合の放射能を記載

##### (2) 物理的形狀

ウラン残渣は、ウラン化合物及びその他の含有物からなり、固体である。

項目	含有物
ウラン化合物の化学形態	
その他の含有物	

##### (3) 化学的性質

ウラン残渣は、化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることとはなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることはないので電気化学反応は発生しない。

##### (4) 材料密度

ウラン化合物のかさ密度 …… 19.05 g/cm<sup>3</sup> 以下

##### (5) 減速比

該当せず。

##### (6) 最大崩壊熱量

収納物であるウラン残渣は未照射であり、その崩壊熱量は 0.001W 以下であり無視し得る。

##### (7) 密封装置の最大圧力

本輸送物への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

(8) 装荷制限

i) 最大濃縮度

20.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン残渣及びそれに含まれるウラン化合物の容器あたりの装荷制限量を(イ)－第 5 表に示す。

iii) 濃縮ウランの種類

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、 $^{232}\text{U}$  及び  $^{99}\text{Tc}$  は適用外

b) 濃縮度 20%以下

$$^{232}\text{U} \leq 0.0004 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 1000 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.04 \mu\text{g/gU}$$

D3.2 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及びポリエチレン袋等

(1) 物理的形狀

粉末収納缶の形状は、(イ)－第 8 図に示す形状であり、ステンレス鋼板から成型されている。

中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは、以下の仕様である。

外 径：約  mm

高 さ： mm 以上

板 厚： mm 以上

重 量： kg 以下

化学成分：Cr

Ni

B

袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン

なお、ポリエチレン袋の収納制限はない。

ブロッキングシステムの形状を(イ)－第 10 図に示す。内蓋と粉末収納缶の間のギャップにより、落下時に内蓋にかかる衝撃力が大きくなる可能性がある。衝撃力を低減するための措置として、(イ)－第 2 図に示すように内容器内にブロッキングシステムを収納する。ステンレス鋼

製スパーサ及びプラスチックスパーサは内蓋と粉末収納缶のギャップを低減し、センタリングシステムは粉末収納缶の偏心を防ぎステンレス鋼製スパーサと内容器との干渉を防止する。ブロッキングシステムは繰返し使用する。

ブロッキングシステムの材質は以下の通りである。

ステンレス鋼製スパーサ：ステンレス鋼

プラスチックスパーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料であり、使用可能温度 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ <sup>1)</sup>、融点 $165^{\circ}\text{C}$ <sup>1)</sup>、圧縮強度 100MPa<sup>2)</sup>の材料特性を有している。

## (2) 化学的性質

ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼、ポリエチレン、ポリオキシメチレンは、ともに化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることないので電気化学反応は発生しない。

## (3) 材料密度

- i) ステンレス鋼                      約 7.9 g/cm<sup>3</sup>
- ii) ボロン入りステンレス鋼      約 7.8 g/cm<sup>3</sup>

## (4) 装荷制限

本輸送容器の各内容器には粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングを、ウラン酸化物の有無に係わらず 3 組ずつ収納する。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スパーサを 1 つずつ収納する。

ステンレス鋼製スパーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスパーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を 0 から 3 枚の間で調整して収納する。

#### D.4 スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納するケース(ケース 4)

本輸送容器の収納物は、金属ウランスラッジ（金属ウランの切粉とその他金属（ステンレス鋼、真鍮）の切粉から成るスラッジ）、金属ウランスラッジを収納するステンレス鋼製のスラッジ収納缶、収納缶の周りに設置するアルミニウム合金製、ステンレス鋼製、EPDM 製及びポリカーボネート製のスラッジ収納缶用緩衝材からなる。スラッジ収納缶及びスラッジ収納缶緩衝材を収納した際の概略図を(イ)－第 12 図に示す。

##### D.4.1 金属ウランスラッジ

###### (1) 主要な核種及び放射能の量

主要な核種： $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{231}\text{Th}$

核種の詳細及び放射エネルギーについては(イ)－第 6 表に示す。

###### (2) 物理的性状

金属ウランスラッジは金属ウラン、ステンレス鋼及び真鍮の切粉からなり、固体である。

###### (3) 化学的性質

金属ウランスラッジは化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることはないので電気化学反応は発生しない。さらに、金属ウラン、ステンレス鋼及び真鍮の切粉については、表面は十分に酸化しており安定である。

###### (4) 材料密度

金属ウランの密度・・・ 19.05 g/cm<sup>3</sup>以下

###### (5) 減速比

該当せず。

###### (6) 最大崩壊熱量

収納物である金属ウランの照射量は極めて小さく、燃焼度は 15.0MWd/t 以下であり、その上で冷却日数を 3,583 日以上設けたものである。そのため、崩壊熱量は小さく 0.001W 以下であり無視し得る。

###### (7) 密封装置の最大圧力

本輸送物への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

###### (8) 装荷制限

###### i) 最大濃縮度

%

###### ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物である金属ウランスラッジの内容器あたりの装荷制限量を(イ)－

第 7 表に示す。

iii) 濃縮ウランの仕様

収納する金属ウランの主要放射性核種を(イ)－第 6 表に示す。

iv) 燃焼度

15.0MWd/t 以下

v) 冷却期間

3,583 日以上

D.4.2 スラッジ収納缶、スラッジ収納缶用緩衝材

(1) 物理的性状

スラッジ収納缶の形状は、(イ)－第 13 図に示す形状であり、ステンレス鋼板から成型されている。スラッジ収納缶の重量は 1 缶あたり最大で 4.0kg である。

スラッジ収納缶用緩衝材の形状は、(イ)－第 12 図に示す形状であり、材質はアルミニウム合金、ステンレス鋼、EPDM 及びポリカーボネートである。スラッジ収納缶用緩衝材の重量は 1 内容器あたり最大で 60kg である。

ポリカーボネートは水より水素密度の低い材料であり、使用可能温度 $-100\sim 125^{\circ}\text{C}$ の材料特性を有している。

(2) 化学的性質

ステンレス鋼、アルミニウム合金、EPDM 及びポリカーボネートは、ともに化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることとはなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることとはないので電気化学反応は発生しない。

(3) 材料密度

i) ステンレス鋼 約 7.9 g/cm<sup>3</sup>

(4) 装荷制限

本輸送容器の各内容器にはスラッジ収納缶を 1 缶ずつ収納する。スラッジ収納缶用緩衝材は(イ)－第 12 図に示すように収納する。

D.4.3 収納物（核燃料物質）の区分について

金属ウランスラッジは、核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示における別表第五（種類が二種類以上あり、且つ、種類の全部が明らかで、種類別の分率が明らかである放射性物質）に該当する。よって、金属ウランスラッジの A<sub>2</sub> 値は

$$A_2 \text{ 値} = 1 / (f_1/X_1 + f_2/X_2 + f_3/X_3 + \dots + f_n/X_n)$$

f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, …, f<sub>n</sub> : 種類が明らかな各放射性物質の分率

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, …, X<sub>n</sub> : f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, …, f<sub>n</sub> に係る各放射性物質の A<sub>2</sub> 値

により求められる。

この式より、金属ウランスラッジの  $A_2$  値を評価した結果を(イ)第 6 表に示す。濃縮度  wt%、1.2kgU の金属ウランスラッジの放射能と  $A_2$  値は下記のとおりである。

金属ウランスラッジの放射能： $7.180 \times 10^9$  Bq

金属ウランスラッジの  $A_2$  値： $2.015 \times 10^{10}$  Bq

金属ウランスラッジの放射エネルギーは  $A_2$  値以下であるため、A 型核分裂性輸送物に該当する。

(イ)ー第2表 内容器の装荷制限条件 (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

\* 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。

\* 装荷制限条件には、ウラン酸化物と添加物(A~F)の合計重量を記載している。

\* 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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶(ケース4)は同一輸送容器内に混載しない。



(イ)－第3表 内容器の装荷制限条件 (ケース1)

(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	71.00	63.50	71.00
4.55%以下	71.00	63.50	67.50
4.65%以下	71.00	63.25	65.25
4.75%以下	71.00	61.75	61.75
4.85%以下	71.00	59.25	59.25
5.00%以下	71.00	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。

\*装荷制限条件には、ウラン酸化物と添加物(A～F)の合計重量を記載している。

\*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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶(ケース4)は同一輸送容器内に混載しない。

(イ)－第4表 内容器の装荷制限条件 (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。

\*装荷制限条件は粉末、焼結体、スクラップ全て同じものである。

\*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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶(ケース4)は同一輸送容器内に混載しない。

(イ)－第5表 内容器の装荷制限条件 (ケース3)

濃縮度	装荷制限条件	
	kgU	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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶(ケース4)は同一輸送容器内に混載しない。

(イ)－第6表 収納する金属ウランの主な核種と放射能およびA<sub>2</sub>値

核種	放射能(Bq)	A <sub>2</sub> 値(Bq)	放射能割合(Fi)	Fi/A <sub>2</sub>
Sr-90	1.163E+09	3E+11	1.6E-01	5.4E-13
Y-90	1.163E+09	3E+11	1.6E-01	5.4E-13
Ru-106	1.099E+06	2E+11	1.5E-04	7.7E-16
Rh-106	1.099E+06	2E+11	1.5E-04	7.7E-16
Cd-113m	8.586E+04	5E+11	1.2E-05	2.4E-17
Sn-121m	3.211E+05	9E+11	4.5E-05	5.0E-17
Sb-125	5.612E+06	1E+12	7.8E-04	7.8E-16
Te-125m	1.374E+06	9E+11	1.9E-04	2.1E-16
Cs-137	1.190E+09	6E+11	1.7E-01	2.8E-13
Ba-137m	1.190E+09	6E+11	1.7E-01	2.8E-13
Ce-144	1.784E+06	2E+11	2.5E-04	1.2E-15
Pr-144m	1.703E+04	2E+11	2.4E-06	1.2E-17
Pr-144	1.784E+06	2E+11	2.5E-04	1.2E-15
Pm-147	2.020E+08	2E+12	2.8E-02	1.4E-14
Sm-151	3.576E+07	1E+13	5.0E-03	5.0E-16
Eu-155	8.388E+06	3E+12	1.2E-03	3.9E-16
Ra-226	2.488E+03	3E+09	3.5E-07	1.2E-16
Ac-227	1.460E+04	9E+07	2.0E-06	2.3E-14
Th-230	4.633E+05	1E+09	6.5E-05	6.5E-14
Th-231	8.967E+07	2E+10	1.2E-02	6.2E-13
Th-232	9.924E-03	制限なし	1.4E-12	—
Th-234	8.721E+05	3E+11	1.2E-04	4.0E-16
Pa-234	1.396E+03	3E+11	1.9E-07	6.5E-19
Pa-231	4.717E+04	4E+08	6.6E-06	1.6E-14
U-232	7.735E+01	1E+09	1.1E-08	1.1E-17
U-233	5.602E+01	6E+09	7.8E-09	1.3E-18
U-234	2.025E+09	6E+09	2.8E-01	4.7E-11
U-235	8.967E+07	制限なし	1.2E-02	—
U-236	8.079E+06	6E+09	1.1E-03	1.9E-13
U-237	8.972E-09	6E+10	1.2E-18	2.1E-29
U-238	8.721E+05	制限なし	1.2E-04	—
Np-237	2.966E+02	2E+09	4.1E-08	2.1E-17
Pu-238	1.610E+01	1E+09	2.2E-09	2.2E-18
Pu-239	1.865E+05	1E+09	2.6E-05	2.6E-14
Pu-240	4.270E-01	1E+09	5.9E-11	5.9E-20
放射能量合計	7.180E+09			

※濃縮度  wt%、1.2kgU を装荷した場合の放射能量を記載

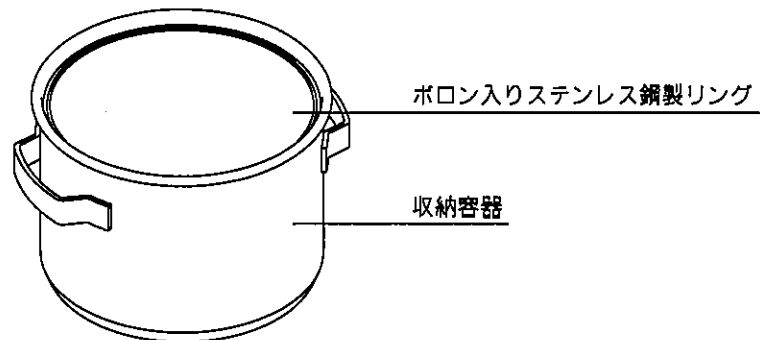
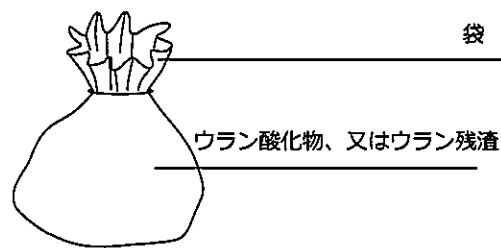
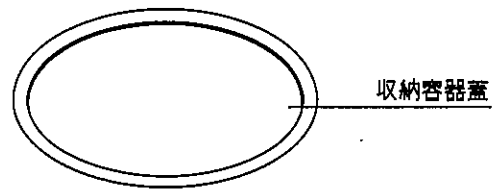
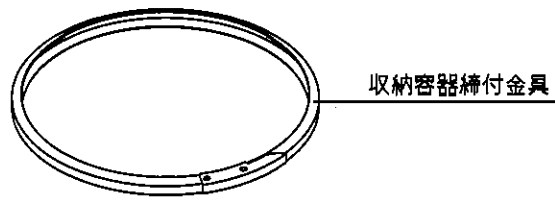
収納物の A<sub>2</sub> 値 =  $(1/\Sigma (Fi/A_2))=1/(4.96 \times 10^{-11}) = 2.015 \times 10^{10}$  Bq

(イ)－第7表 内容器の装荷制限条件 (ケース4)

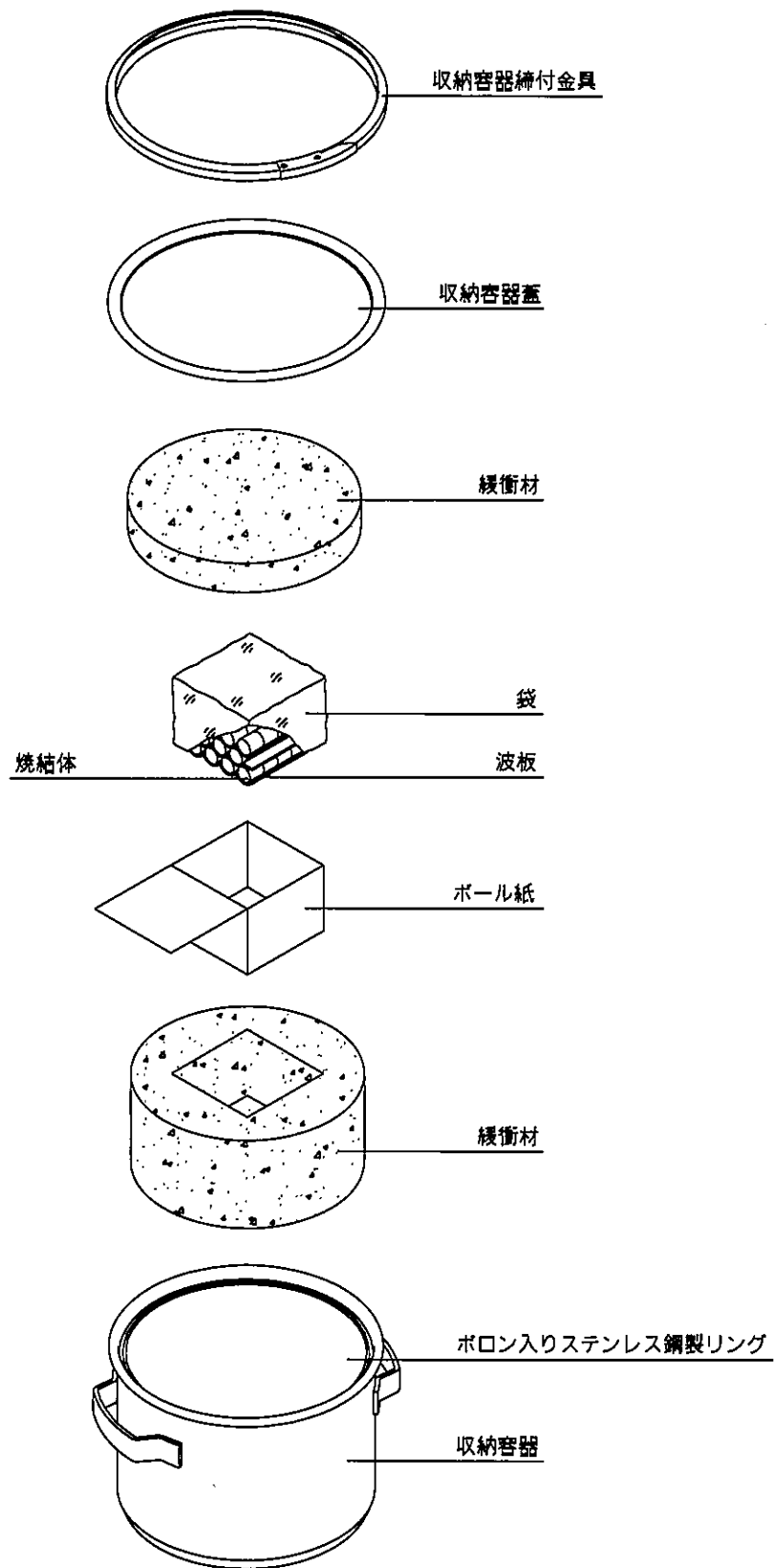
濃縮度	装荷制限条件	
	kgU	kg-金属ウランスラッジ
□%以下	0.3	0.5

\* 輸送物当たりの最大重量はそれぞれ4倍した値である。

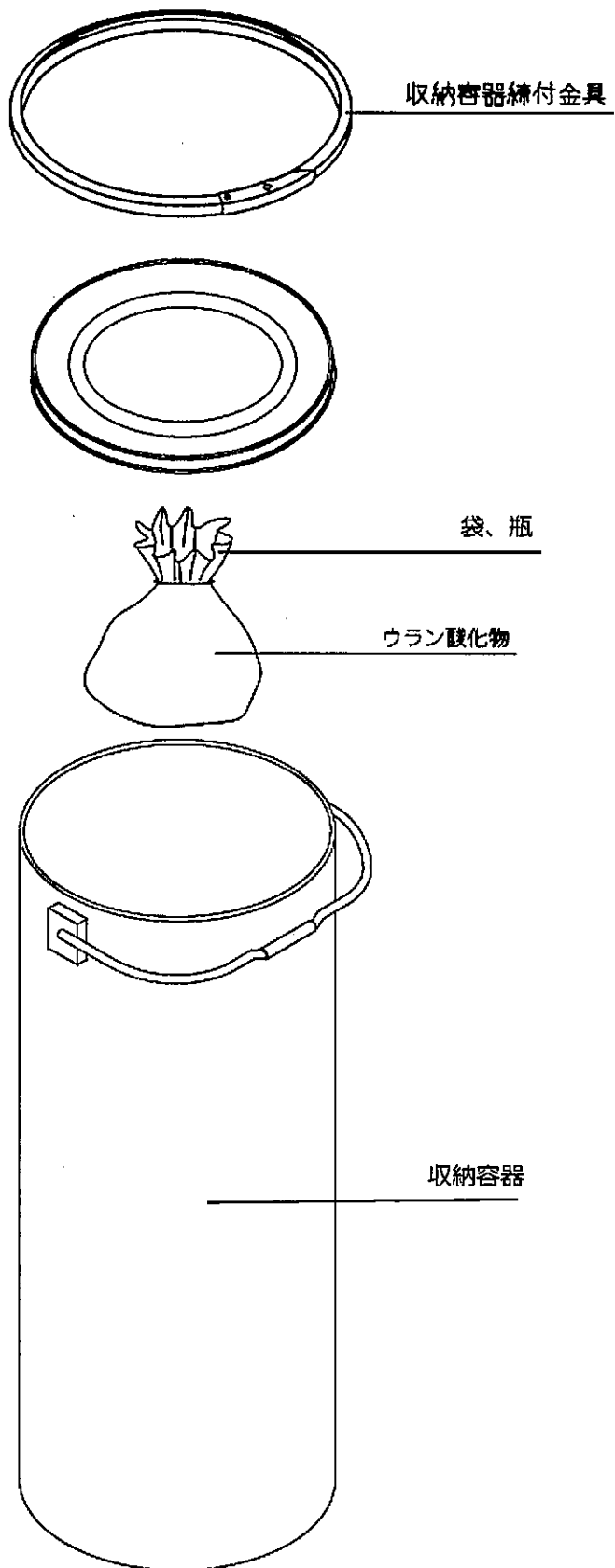
\* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶 (ケース 1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶 (ケース 2)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶 (ケース 4) は同一輸送容器内に混載しない。



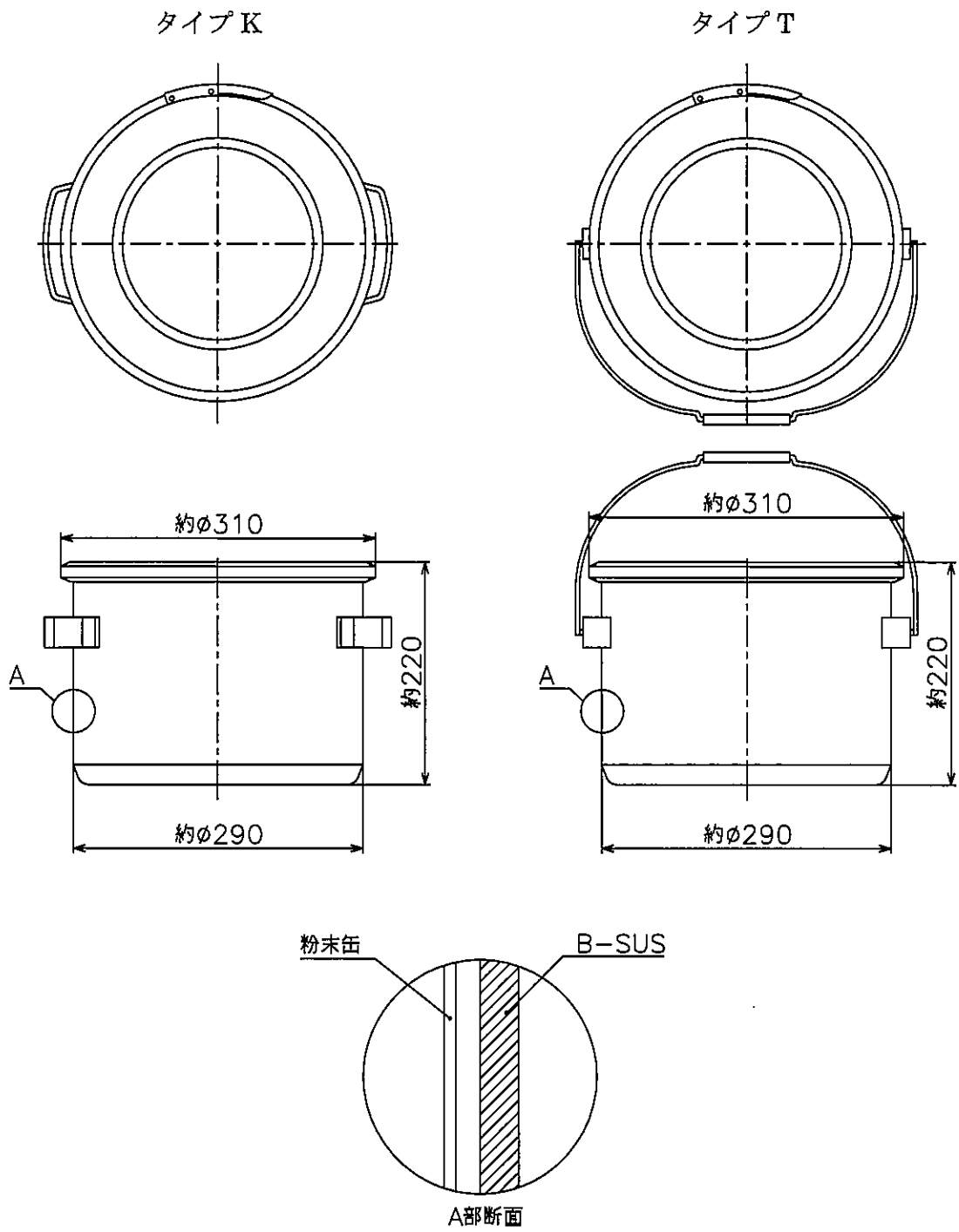
(イ)－第7図(a) 収納物概略図 (ケース1、ケース3における粉末、スクラップ、及びウラン残渣収納時)



(イ)－第7図(b) 収納物概略図 (ケース1における焼結体収納時)

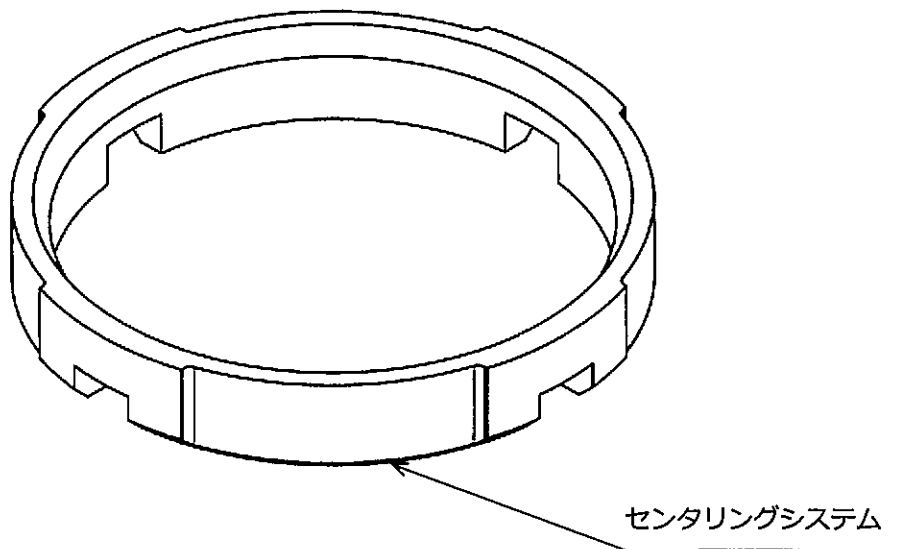
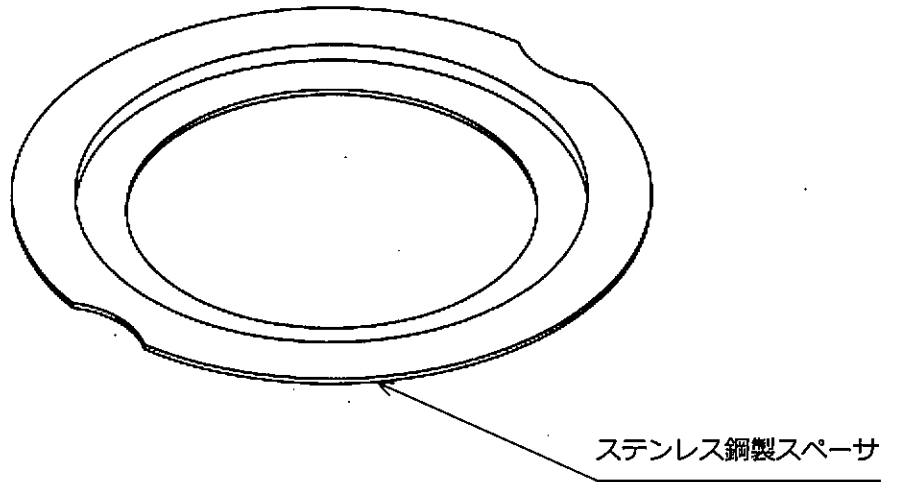
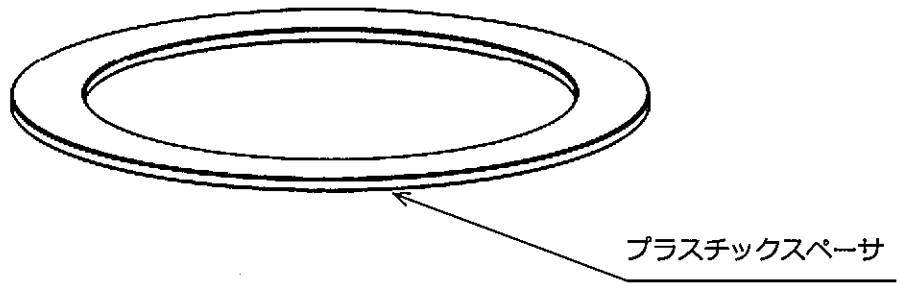


(イ)-第8図 収納物概略図 (ケース2)

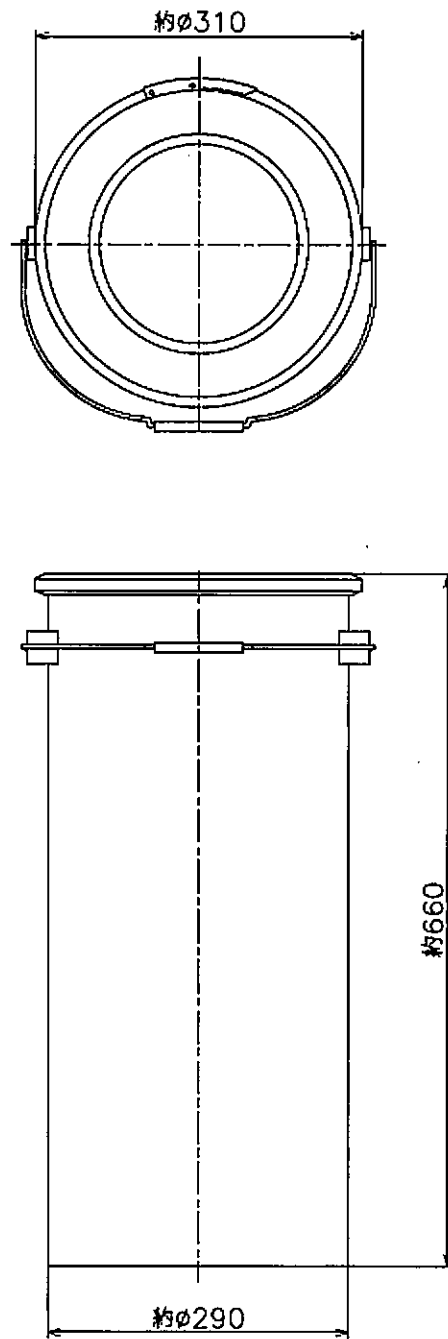


(イ)-第9図 粉末収納缶概略図

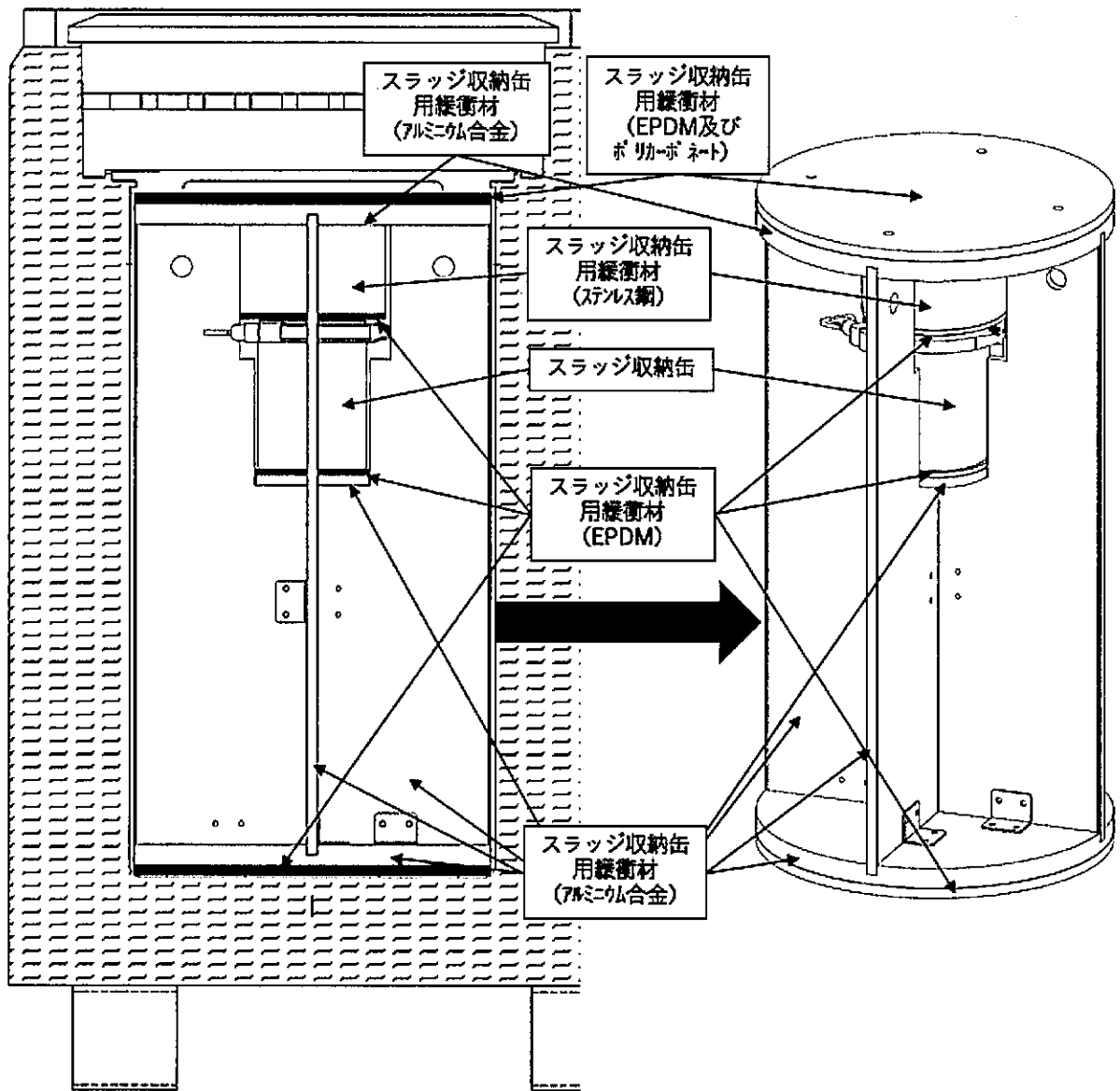




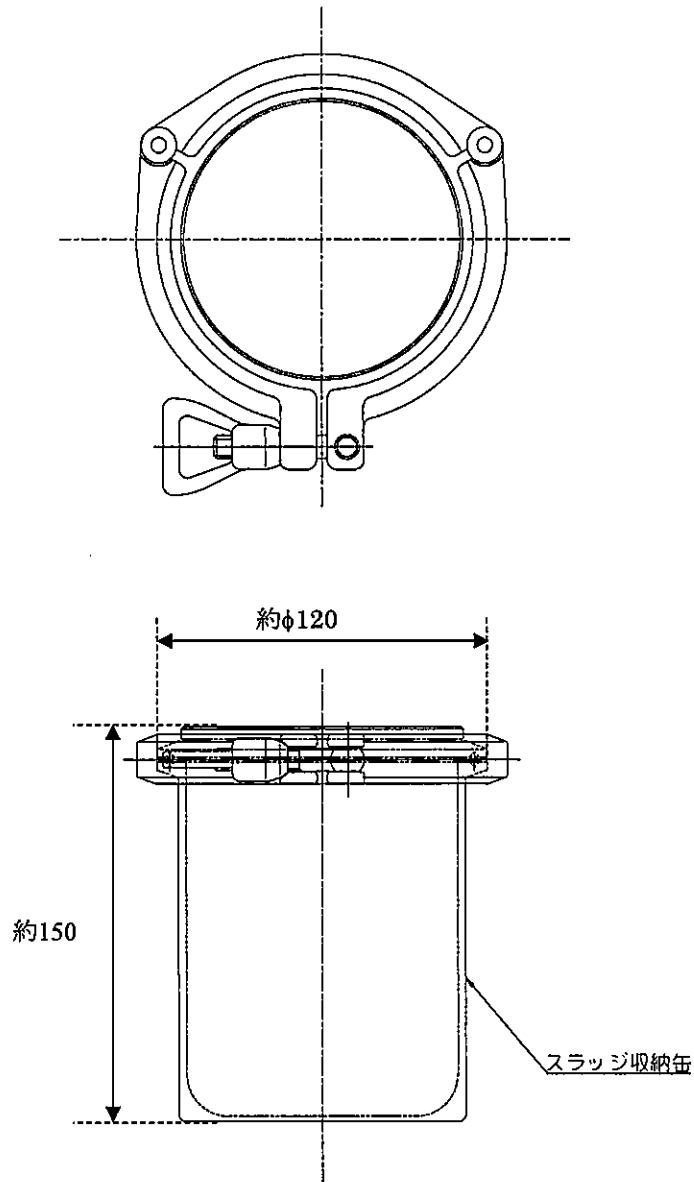
(イ)-第10図 ブロッキングシステム概略図



(イ)-第 11 図 長尺粉末収納缶概略図



(イ) - 第 12 図 収納物概略図 (ケース 4)



(イ)-第 13 図 スラッジ収納缶概略図

参考文献

- (1)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)
- (2)プラスチックエージ「プラスチック読本」(2019年4月)

## (ロ)章 核燃料輸送物の安全解析

本章では、本輸送物の設計が「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和53年総理府令第57号）」（以下「規則」と呼ぶ）及び「平成2年科学技術庁告示第5号（核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示）」（以下「告示」と呼ぶ）に定められるA型核分裂性輸送物の技術基準に適合していることを示す。

### (ロ)－A 構造解析

#### A.1 構造設計

##### A.1.1 概要

本輸送容器は、軽水炉向け燃料等の濃縮度5%以下のウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ）、濃縮度5%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣、濃縮度20%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣、及び濃縮度 $\square$ %以下の金属ウランを含んだ金属ウランスラッジを輸送するためのものである。本輸送容器は、外容器、中性子吸収材を含む内容器及び耐熱衝撃緩衝材等からなる容器本体と外蓋、内蓋から構成されており、粉末収納缶、長尺粉末収納缶及びスラッジ収納缶を収納する内容器が4個ある。粉末収納缶は内容器1つに対しそれぞれ3缶ずつ、長尺粉末収納缶及びスラッジ収納缶は内容器1つに対し1缶のみ収納する。粉末収納缶にはウラン酸化物若しくはウラン残渣、長尺粉末収納缶にはウラン酸化物、スラッジ収納缶には金属ウランスラッジを収納する。また、長尺粉末収納缶は輸送容器1基に対し1缶のみ収納する。なお、ウラン酸化物を収納した粉末収納缶、長尺粉末収納缶、ウラン残渣を収納した粉末収納缶、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶は同一輸送容器内に混載しない。各内容器に対して、内蓋、外蓋がそれぞれ1個あり、バイオネット構造により密封する仕組みになっている。また、4個の内容器は、それぞれがステンレス鋼製の連結パイプで固定され、所定の間隔が保たれるようになっている。

容器本体は、ステンレス鋼板製の外殻と内容器の間には耐熱衝撃緩衝材としての機能を有するフェノリックフォームが充填されている。容器本体に用いられるフェノリックフォームには2種類のタイプがあり、容器本体上部コーナー部と底面エッジ部全周には高密度のフォーム $\square$  ( $\square$  kg/m<sup>3</sup> ;  $\square$  g/cm<sup>3</sup>)、残りの部分には中密度のフォーム $\square$  ( $\square$  kg/m<sup>3</sup> ;  $\square$  g/cm<sup>3</sup>) が使用されている。

外蓋は、ステンレス鋼板製の外殻に内部は上側から耐熱衝撃緩衝材としてフェノリックフォーム、補強材としてアルミニウム合金製ディスク、さらにフェノリックフォーム、そして中性子吸収材のボロン入りステンレス鋼製のディスクが積み重ねられている。ここで用いられているフェノリックフォームは、低密度のフォーム $\square$  ( $\square$  kg/m<sup>3</sup> ;  $\square$  g/cm<sup>3</sup>) である。外蓋上面には、バイオネット構造を有するステンレス鋼製フランジが溶接され、天然ゴム製のパッキンが取り付けられている。この内蓋には内容器の密封性を維持するためEPDM（エチレン・プロピレンゴム）製のガスケットが取り付けられている。

輸送容器には、特別な吊上装置は取り付けられておらず、吊上げる場合は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て行う。

輸送容器外形は立方体構造であり、外表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。

### A.1.2 設計基準

本解析では、規則及び告示に規定される A 型核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下における輸送容器の構造を解析し、技術上の基準に適合することを示す。

解析の結果は、安全率を用いて整理し、安全率が 1 以上となることを確認する。

$$\text{安全率} = \frac{\text{解析基準値}}{\text{解析値}}$$

(ロ)A-第 1 表には、解析項目ごとに、対象となる部分の参照図、材質、設計温度及び対象となる部分に加わる設計負荷について記述している。また、解析方法に関しては、本文中で適用した式や手法を、その解析基準とともに記述している。解析基準値としては、引張応力に対して降伏応力を、また、せん断応力に対して降伏応力の 0.577 倍 ( $\times 1/\sqrt{3}$ ) の値を使用する。

(ロ)A-第1表 構造解析設計基準 (1/3)

解析項目	条 件							解析方法		備 考
	参照図	材 質	温 度	種 類	設計負荷		要 素	適用式又は要素	解析基準	
					負荷係数	負 荷				
1. 化学的及び電気的反応 (1) 化学的反応 (2) 電気的反応	—	—	-40~38 °C	腐 食	—	—	反応性	反応性の有無	—	
	—	—	-40~38 °C	腐 食	—	—	電位性	異種材質間の電位差の有無	—	
2. 低温強度 (1) 構造材 (2) 補強材 (3) 耐熱衝撃緩衝材 (4) ガスケット (5) 中性子吸収材	—	SUS304L	-40 °C	最低温度	1	—	低温強度	性能低下の有無 (低温脆性)	—	
	—	Al alloy A2017	-40 °C	最低温度	1	—	低温強度	性能低下の有無 (低温脆性)	—	
	—	フェノリックフオーム	-40 °C	最低温度	1	—	性能低下	性能低下の有無	—	
	—	EPDM	-40 °C	最低温度	1	—	性能低下	性能低下の有無	—	
	—	BORA レジン	-40 °C	最低温度	1	—	性能低下	性能低下の有無	—	
3. 密封装置 (1) 内蓋 (2) 外蓋	(イ)-第4図	SUS304L	20 °C	—	—	—	密封機能	密封機能の有無	—	
	(イ)-第6図	SUS304L	20 °C	—	—	—	密封機能	密封機能の有無	—	
4. 吊上装置										該当せず
5. 固縛装置										該当せず
6. 圧力 (1) 内容器胴部 (2) 内容器底面 (3) 内容器内蓋 (4) パイオネット嵌合部	(ロ)A-第2図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	—	引張応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_2 \sigma_0$	$\sigma_y$ (155 MPa)	
	(ロ)A-第3図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	—	圧縮応力	内圧 + $\frac{MG}{\pi(d/2)^2}$	圧縮強度 (2.0 MPa)	
	(ロ)A-第4図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	—	引張応力	$\sigma = \frac{3Pr^2}{8t^2} (3 + \nu)$	$\sigma_y$ (155 MPa)	
	(ロ)A-第5図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	—	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	0.577 $\sigma_y$ (89 MPa)	
7. 振動	—	—	—	—	—	—	振動	亀裂、破損の有無	—	



(ロ)A 第 1 表 構造解析設計基準 (2/3)

解析項目	条 件							備 考	
	参照図	材質	温度	設計負荷		要素	解析方法		
				種類	負荷係数		適用式又は要素		解析基準
1. 圧力 (1) 容器胴部 (2) 容器底面 (3) 容器内蓋 (4) バイオネット嵌合部	(ロ)A-第 2 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	引張応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2} - \sigma_z \sigma_\theta$ 内圧 + $\frac{MG}{\pi(d/2)^2}$ $\sigma = \frac{3Pr^2}{8t^2} (3 + \nu)$ $\tau = \frac{F}{A}$	$\sigma_y$ (155 MPa) 圧縮強度 (2.0 MPa) $\sigma_y$ (155 MPa) 0.577 $\sigma_y$ (89 MPa)	
	(ロ)A-第 3 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	圧縮応力			
	(ロ)A-第 4 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	引張応力			
	(ロ)A-第 5 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	せん断応力			
2. 水噴霧	—	—	20 °C	水噴霧	—	水吸収 水切り	— —	— —	
3. 自由落下 (1) 垂直落下 (2) 水平落下 (3) コーナ-落下	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	垂直に 1.2 m より落下	1	変形	原型容器試験	収納物 漏えい	
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	垂直に 1.2 m より落下	1	変形	原型容器試験	収納物 漏えい	
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	60° で 1.2 m より落下	1	変形	原型容器試験	収納物 漏えい	
4. 積み重ね (1) 容器上部 (2) 容器下部 (3) 脚部	—	SUS304L	20 °C	輸送物重量	5	座屈荷重	$W = A\sigma_c \left( 1 - \frac{\sigma_c}{4n\pi^2 E} \lambda^2 \right)$ $P = \frac{W_a/4}{\pi(d/2)^2}$ $\sigma = K \times E \times (t/b)^2 \times 1/(1-\nu^2)$	座屈荷重	
	—	SUS304L フェノリックフォーム	20 °C	輸送物重量	5	座屈荷重		座屈荷重	
	(ロ)A-第 8 図	SUS304L	20 °C	輸送物重量	5	座屈応力		座屈応力	
5. 貫通	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	丸棒の 1 m から落下	1	容器貫通	容器の貫通の有無	—	

(ロ)A-第1表 構造解析設計基準 (3/3)

解析項目	条 件							備 考
	参照図	材質	温度	設計負荷		解析方法		
				種類	負荷係数	要素	適用式又は要素	
1. 落下試験 I (1) 水平落下	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	9 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	9 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
2. 落下試験 II (1) 水平落下	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	ターゲットへ 1 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	ターゲットへ 1 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	ターゲットへ 1 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
3. 耐火試験	(ロ)B 付属資料 3	フェノリックフォーム	800 °C	—	—	—	原型容器試験	—
4. 浸漬試験	—	SUS304L EPDM	—	0.9 m の水頭 下浸漬	—	水の浸入 の有無	同左	—

特別の試験条件 (核分裂性輸送物)

## A.2 重量及び重心

輸送物及びその主な構成物の最大重量について、ケース 1 を(ロ)A-第 2 表、ケース 2 を(ロ)A-第 3 表、ケース 3 を(ロ)A-第 4 表、ケース 4 を(ロ)A-第 5 表に示す。ケース 1~4 の最大重量を比較した際、ケース 1 及びケース 3 の最大重量がケース 2 及びケース 4 より大きいいため、ケース 1 及びケース 3 において構造解析を行う方がより厳しい結果となる。よって以降は、ケース 1 及びケース 3 の最大重量を元に構造解析を行う。輸送物の重心位置は(ロ)A-第 1 図に示す通りである。

(ロ)A-第2表 輸送物の重量 (最大重量) : ケース 1)

(単位 : kg)

輸送容器本体	660
カバー	4
粉末収納缶+袋	86
ブロッキングシステム	16
粉末収納缶内容物*	284
総重量	1,050

(\* )袋を除いた粉末収納缶の内容物 (ウラン酸化物、添加物、波板、緩衝材及び梱包材の合計重量)

(ロ)A-第3表 輸送物の重量 (最大重量) : ケース 2)

(単位 : kg)

輸送容器本体	660
カバー	4
長尺粉末収納缶+袋、瓶	14
長尺粉末収納缶内容物*	15
総重量	693

(\* )袋、瓶を除いた長尺粉末収納缶の内容物 (ウラン酸化物、添加物、緩衝材の合計重量)

(ロ)A-第4表 輸送物の重量 (最大重量) : ケース 3)

(単位 : kg)

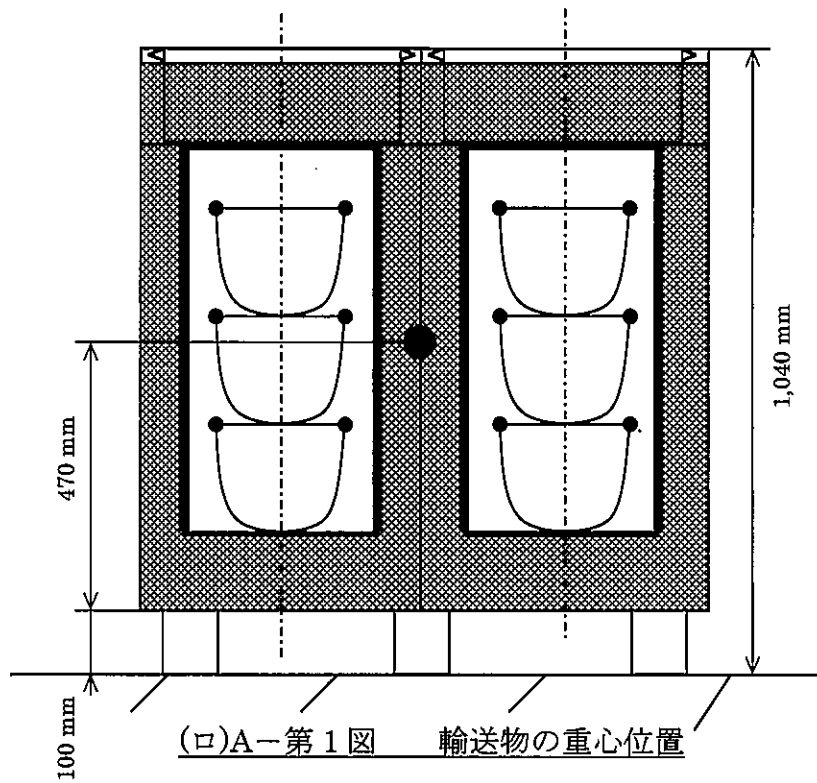
輸送容器本体	660
カバー	4
粉末収納缶	86
ブロッキングシステム	16
粉末収納缶内容物*	284
総重量	1,050

(\* )粉末収納缶の内容物 (ウラン残渣、袋の合計重量)

(ロ)A-第5表 輸送物の重量 (最大重量) : ケース 4)

(単位 : kg)

輸送容器本体	660
カバー	4
スラッジ収納缶	16
スラッジ収納缶用緩衝材	240
金属ウランスラッジ	2
総重量	922



### A.3 材料の機械的性質

輸送容器を構成する主要構造材料の機械的性質を(ロ)A-第6表に示す。

(ロ)A-第6表 主要構造材料の機械的性質

材料名	仕様	密度 (kg/m <sup>3</sup> ) 20 °C	熱伝導率 (W/m・K) 20 °C	降伏応力 (MPa) 20 °C	降伏応力 (MPa) 75 °C	引張強さ (MPa) 20 °C	引張強さ (MPa) 75 °C	伸び (%) 20 °C	ヤング率 (MPa) 20 °C
ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は、ASTM A240 type 304L 又は、JIS G 4305 SUS304L	7850	36	175	155	480	431	40	1.95×10 <sup>5</sup>
アルミニウム合金	EN 485-2 Grade 2017A 又は、 JIS H4000 KA2017AP	2800	150	250	—	390	—	12	—
耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム (水分含有率□%)	<input type="checkbox"/>							
		<input type="checkbox"/>							
		<input type="checkbox"/>							
中性子吸収材	BORA レジン								

#### A.4 輸送物の要件

##### A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器内及び輸送容器と収納物の相互に接触する異種材料の一覧をケース 1 及びケース 3 の場合は(ロ)A-第 7 表、ケース 2 の場合は(ロ)A-第 8 表、ケース 4 の場合は(ロ)A-第 9 表に示す。

ステンレス鋼と接触するフェノリックフォーム及び BORA レジンに塩素等ハロゲンを含んでおらず、吸収性及び腐食性がなく、化学的に安定している。

このように輸送容器に使用されている材料の組合せで、化学的又は電氣的反応を生じるおそれはない。



(ロ)A-第7表 輸送容器と収納物の接触する異種材料(ケース1及びケース3)

接触異種金属		主要接触部材	
ステンレス鋼	— フェノリックフォーム	構造材	— 耐熱衝撃緩衝材
ステンレス鋼	— BORA レジン	構造材	— 中性子吸収材
ステンレス鋼	— アルミニウム合金	構造材	— 補強材
ステンレス鋼	— EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	構造材	— ガスケット
ステンレス鋼	— 天然ゴム	構造材	— パッキン
ステンレス鋼	— ポリエチレン	構造材 構造材 粉末収納缶 波板	— カバー — 可融栓 — ポリエチレン袋 — ポリエチレン袋
ステンレス鋼	— ポリウレタン	粉末収納缶 波板	— ポリウレタン袋 — ポリウレタン袋
ステンレス鋼	— ナイロン	構造材	— リフティングベルト
ステンレス鋼	— ポリウレタン	粉末収納缶	— 緩衝材
ステンレス鋼	— ボール紙	粉末収納缶	— 梱包材
アルミニウム合金	— フェノリックフォーム	補強材	— 耐熱衝撃緩衝材
ポリエチレン	— フェノリックフォーム	可融栓	— 耐熱衝撃緩衝材
ボール紙	— ポリエチレン	梱包材	— ポリエチレン袋
ボール紙	— ポリウレタン	梱包材	— ポリウレタン袋
ボール紙	— ポリウレタン	梱包材	— 緩衝材
ステンレス鋼	— ポリオキシメチレン	粉末収納缶 構造材 ステンレス鋼製 スペーサ	— センタリングシステム — センタリングシステム — プラスチックスペーサ

(ロ)A-第8表 輸送容器と収納物の接触する異種材料(ケース2)

接触異種金属		主要接触部材	
ステンレス鋼	— フェノリックフォーム	構造材	— 耐熱衝撃緩衝材
ステンレス鋼	— BORA レジン	構造材	— 中性子吸収材
ステンレス鋼	— アルミニウム合金	構造材	— 補強材
ステンレス鋼	— EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	構造材	— ガスケット
ステンレス鋼	— 天然ゴム	構造材	— パッキン
ステンレス鋼	— ポリエチレン	構造材 構造材 長尺粉末収納缶 長尺粉末収納缶	— カバー — 可融栓 — ポリエチレン袋 — 緩衝材
ステンレス鋼	— ポリウレタン	長尺粉末収納缶 長尺粉末収納缶	— ポリウレタン袋 — 緩衝材
ステンレス鋼	— ナイロン	構造材	— リフティングベルト
ステンレス鋼	— ポリスチレン	長尺粉末収納缶	— 緩衝材
ステンレス鋼	— ポリプロピレン	長尺粉末収納缶	— 緩衝材
アルミニウム合金	— フェノリックフォーム	補強材	— 耐熱衝撃緩衝材
ポリエチレン	— フェノリックフォーム	可融栓	— 耐熱衝撃緩衝材
ポリスチレン	— ポリエチレン	緩衝材	— ポリエチレン袋
ポリスチレン	— ポリウレタン	緩衝材	— ポリウレタン袋
ポリウレタン	— ポリエチレン	緩衝材 ポリウレタン袋	— ポリエチレン袋 — 緩衝材
ポリプロピレン	— ポリエチレン	緩衝材	— ポリエチレン袋
ポリプロピレン	— ポリウレタン	緩衝材	— ポリウレタン袋

(ロ)A-第9表 輸送容器と収納物の接触する異種材料(ケース4)

接触異種金属		主要接触部材	
ステンレス鋼	— フェノリックフォーム	構造材	— 耐熱衝撃緩衝材
ステンレス鋼	— BORA レジン	構造材	— 中性子吸収材
ステンレス鋼	— アルミニウム合金	構造材 構造材 スラッシュ収納缶 スラッシュ収納缶用緩衝材	— 補強材 — スラッシュ収納缶用緩衝材 — スラッシュ収納缶用緩衝材 — スラッシュ収納缶用緩衝材
ステンレス鋼	— EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	構造材 構造材 スラッシュ収納缶 スラッシュ収納缶用緩衝材	— ガスケット — スラッシュ収納缶用緩衝材 — スラッシュ収納缶用緩衝材 — スラッシュ収納缶用緩衝材
ステンレス鋼	— 天然ゴム	構造材	— パッキン
ステンレス鋼	— ポリエチレン	構造材 構造材	— カバー — 可融栓
ステンレス鋼	— ナイロン	構造材	— リフティングベルト
ステンレス鋼	— ポリカーボネート	構造材	— スラッシュ収納缶用緩衝材
アルミニウム合金	— フェノリックフォーム	補強材	— 耐熱衝撃緩衝材
アルミニウム合金	— EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	スラッシュ収納缶用緩衝材	— スラッシュ収納缶用緩衝材
アルミニウム合金	— ポリカーボネート	スラッシュ収納缶用緩衝材	— スラッシュ収納缶用緩衝材
アルミニウム合金	— EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	スラッシュ収納缶用緩衝材	— スラッシュ収納缶用緩衝材
ポリエチレン	— フェノリックフォーム	可融栓	— 耐熱衝撃緩衝材

#### A.4.2 低温強度

輸送容器に使用されている金属材料は、オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304L 相当) 及びアルミニウム合金であり、ともに低温になるほど引張強さが増し、伸びについても $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上で著しい低下を起こすことはない。したがって、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境において機能を損なうことはない。(「(ロ)A 付属資料 5 5.1 及び 5.2」参照)

耐熱衝撃緩衝材として使用しているフェノリックフォームは、使用温度が $\square$ ~ $\square$  $^{\circ}\text{C}$ であり、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境においても変質を起こすことはない。(「(ロ)A 付属資料 5 5.3」参照)

ガasketに使用している EPDM は、ガラス遷移温度 (結晶化を起こしガラス状になりゴム状弾性を失う温度)が $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下であり、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境においても十分使用に耐え、機能を損なうことはない。(「(ロ)A 付属資料 5 5.4」参照)

中性子吸収材として使用している BORA レジン は、 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境においても脆化することはない。(「(ロ)A 付属資料 5 5.5」参照)

なお、輸送容器及び収納物に液体は使用されておらず凍結はない。

以上のことから、本輸送容器は $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境において、亀裂、破損等を生じるおそれはない。

#### A.4.3 密封装置

本輸送容器は内蓋が密封装置に該当する。(「(イ)」第 5 図及び第 6 図参照)

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、蓋側の突起とフランジ側の突起がそれぞれ嵌め合い EPDM 製のガasketを締め込み、密封性を得る構造となっており、内蓋回り止めストッパーにより緩むことはない。

また、この内蓋回り止めストッパーは、同じくバイオネット構造の外蓋を外さなければ外れない構造となっている。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となっており、誤操作により開かれるおそれはない。

#### A.4.4 吊上装置

本輸送容器には吊上装置は装備されていない。

#### A.4.5 固縛装置

本輸送容器には固縛装置は装備されていない。

#### A.4.6 圧力

周囲の圧力が絶対圧で 60 kPa まで低下した場合の輸送物の健全性について評価する。収納物の梱包は屋内で実施されることから初期条件を 0℃とし、評価時の温度は(ロ)B 項に示す解析結果より一般の試験条件下で内容物の最高温度 52℃とする。0℃で梱包し、内容物温度が 52℃に達した際の内容器内圧を求めると絶対圧 120 kPa となる。周囲の圧力が絶対圧で 60 kPa まで低下すると、内容器内圧との差圧である 60 kPa のゲージ圧が内容器に作用することになる。

##### A.4.6.1 内容器胴体部

内圧により胴体部に生じる応力を(ロ)A-第 2 図に示す。これらの応力は以下の式によって表される。

$$\sigma_z = \frac{Pd}{4t} \quad \sigma_\theta = \frac{Pd}{2t}$$

また、ミゼスの最大応力式より以下の式で表せる。1)

$$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_z \sigma_\theta}$$

ここで

$P = 0.060 \text{ MPa}$  内圧

$d = 354 \text{ mm}$  内容器内径

$t = \square \text{ mm}$  内容器内壁板厚

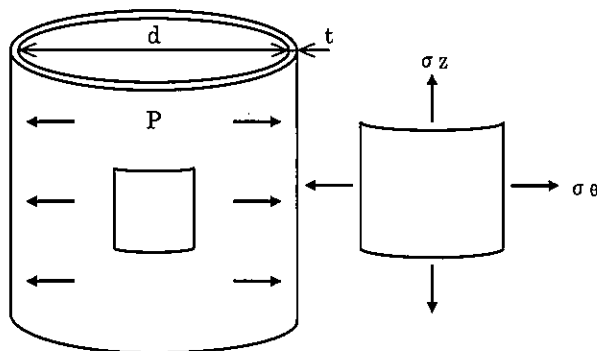
よって、胴体部に及ぼす引張応力は、

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

となる。

したがって、内容器胴体部に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力 155 MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =



(ロ)A-第 2 図 内容器胴体部解析モデル

A.4.6.2 内容器底面

(ロ)A-第3図に示すように内容器底面は全面に渡ってフェノリックフォーム ( ) によって支えられている。そのため、内容器からの応力がフェノリックフォームの圧縮強さを超えない限り、内容器底面が変形、破損することはない。

ここでは、内容器の内圧 0.060MPa 及び収納物による応力を考慮する。収納物によって内容器底面に与えられる応力  $\sigma$  は

$$\sigma = \frac{MG}{\pi(d/2)^2}$$

ここで、

$M = 96.5 \text{ kg}$  粉末収納缶、ブロッキングシステム、袋も含めた内容器当たりの収納物重量

$G = 9.81 \text{ m/s}^2$  重力加速度

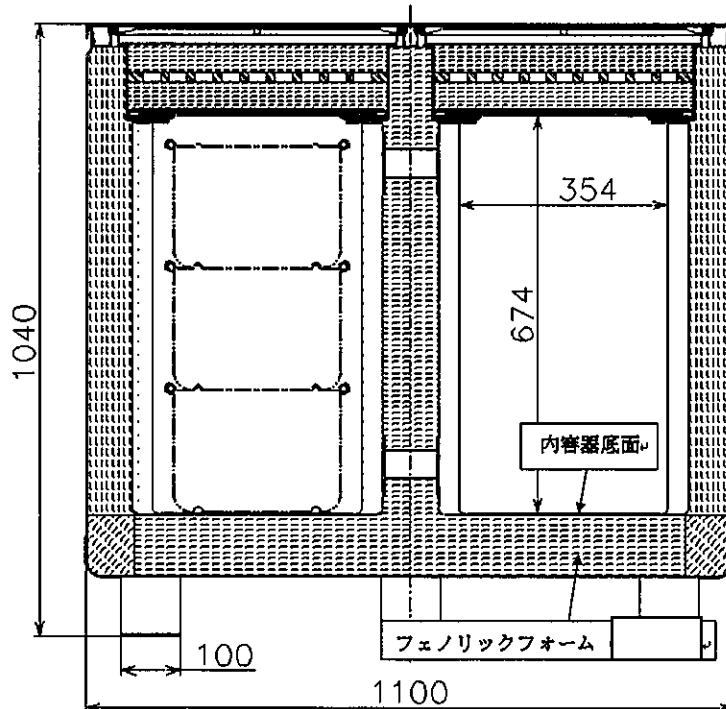
$d = 310 \text{ mm}$  粉末収納缶外径

よって、

$$\sigma = 0.013 \text{ MPa}$$

内容器の内圧と収納物によって内容器底面に与えられる応力の合計は 0.073MPa である。フェノリックフォーム ( ) の圧縮強度  MPa (70°C) より、安全率は以下の値となる。

安全率 =



(ロ)A-第3図 内容器底面の構造

A.4.6.3 内容器内蓋

内圧により内容器内蓋に生じる応力を(ロ)A-第4図に示す。周辺単純支持の薄板円板に対するこれらの応力は、次式によって表される。2)

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} (3 + \nu) \left( 1 - \frac{r^2}{a^2} \right)$$

$$\sigma_\theta = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} \left( (3 + \nu) - (1 + 3\nu) \frac{r^2}{a^2} \right)$$

ここで底面半径  $r=0$  のとき、 $\sigma_{\max}$  となる。  
よって、

$$\sigma = (\sigma_r)_{(r=0)} = (\sigma_\theta)_{(r=0)} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2 \cdot (3 + \nu)}{8 \cdot t^2}$$

ここで、

$P = 0.060$  MPa 内圧

$a = 177$  mm 内容器内径

$\nu = 0.3$  ポアソン比

$t = \square$  mm 内蓋板厚

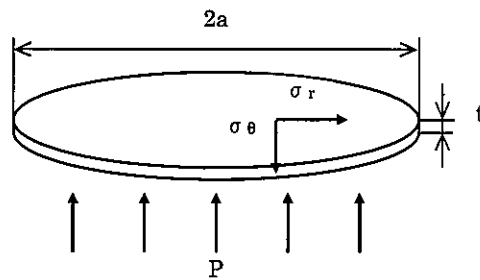
よって、内容器内蓋に及ぼす曲げ応力は、

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

となる。

したがって、内容器内蓋に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力 155 MPa (75°C) より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =



(ロ)A-第4図 内容器内蓋解析モデル

次に、バイオネット嵌合部に加わる応力について評価する。(ロ)A-第5図にバイオネット嵌合部の概略図を示す。内容器フランジ部円周上にそれぞれ45°の角度を持つ4個の嵌合部があり、この部分に加わるせん断応力は次式によって表される。

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{P \cdot \pi \cdot a^2}{\pi \cdot a \cdot t}$$

ここで

P = 0.060MPa 内圧

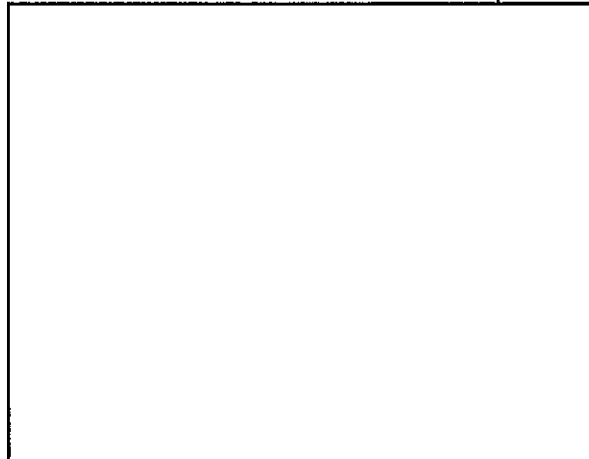
a = 176 mm 内蓋内径

t =  mm バイオネット嵌合部肉厚

よって、バイオネット嵌合部に及ぼすせん断応力は、 $\tau =$ MPa となる。

したがって、内容器バイオネット嵌合部に発生する応力は基準値である構造材であるステンレス鋼板のせん断許容応力 89MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =



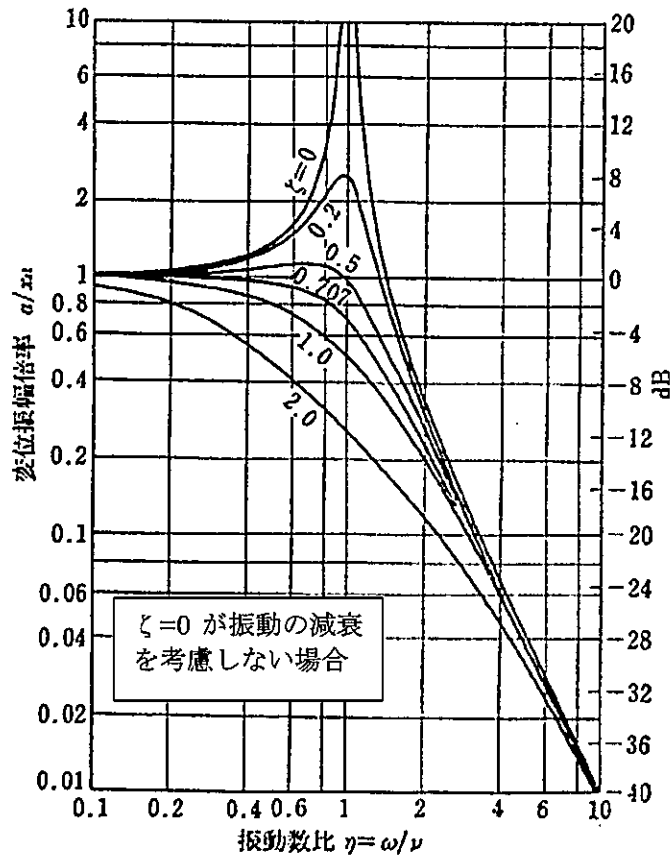
(ロ)A-第5図 内容器内蓋バイオネット嵌合部解析モデル



A.4.7 振動

固有振動数解析の結果、本輸送物の固有振動数は  $\square$  Hz である（詳細は、「(ロ)A 付属資料 7」参照）。一般的に運搬中にトラック、トレーラー等から受ける励振力の周波数は最大でも  $\square$  Hz 未満であり、本輸送物の固有振動数と差がある。(ロ)A-第6図に示すように、振動数比  $\square$  の場合、減衰を保守的に考慮しない場合でも変位振幅倍率は  $\square$  % 程度である。一般的に輸送中にトラック、トレーラーに発生する振動の加速度は、段差等の通過を考慮しても  $\square$  G 未満であることから、増幅を保守的に  $\square$  % 考慮しても輸送容器に負荷される荷重は輸送物の  $\square$  倍未満である。

一般の試験条件における積み重ね評価 ((ロ)-A.5.4) において自重の 5 倍荷重がかかった評価においても輸送容器に変形は生じないことを考慮しても、輸送中に発生する振動によって輸送容器に破損、亀裂が生じるおそれはない。



(ロ)A-第6図 力による強制振動の共振曲線<sup>3)</sup>

## A.5 一般の試験条件

### A.5.1 熱的試験

熱的試験の評価は太陽熱による加熱を考慮して(ロ)B.4 一般の試験条件で行い、内容物の最高温度は 52℃、外容器の最高温度は 72℃となる。また最低温度としては-40℃までを考慮する。熱的試験の詳細については、(ロ)B 熱解析で記述する。

#### A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件における温度及び圧力は、太陽放射熱による輸送物の最高温度とその温度上昇による最高圧力から求める。

(ロ)B 項に示す解析結果より一般の試験条件下で内容物の最高温度はガスケット部で 52℃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℃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℃とする。

内容物温度が初期条件の-40℃から 52℃まで上昇したときに、周辺圧力が 1 気圧 (101 kPa) とした場合の内容物の最大内外圧力差を求めると 40 kPa となる。

#### A.5.1.2 熱膨張

輸送容器の温度上昇は小さく、また構造材が金属であるため熱伝導が良いので、輸送容器各部の温度差は小さく、温度差による熱膨張差は発生しない。また、容器の内外板、外蓋、内蓋といった主要の構造材はステンレス鋼から成るため、異種材料による熱膨張差は発生しない。

収納物に係る熱膨張の影響について、粉末収納缶とブロッキングシステムを収納するケース 1 及びケース 3、長尺粉末収納缶を収納するケース 2、及びスラッジ収納缶とスラッジ収納缶用緩衝材を収納するケース 4 の三つに分け、収納物ごとに記載する。

##### ケース 1 及びケース 3

ステンレス鋼製スペーサは輸送容器の構造材と同じくステンレス鋼製であることから熱膨張によって内容物側面及び内蓋と接触することはない。

センタリングシステムは内容物底に収納され、内容物側面及び粉末収納缶と □ mm 以上のギャップが空いているため熱膨張によって内容物側面と接触することはない。

プラスチックスペーサは粉末収納缶と内蓋との間に収納される。内容物側面とは □ mm 以上のギャップが空いているため熱膨張により接触することはない。

高さ方向について、輸送容器構造材であるステンレス鋼とプラスチックスペーサのポリオキシメチレンの異種材料による熱膨張差を確認する。なお、ここでは保守的にステンレス鋼の熱膨張量を □ と仮定し、プラスチックスペーサの熱膨張量のみを考慮する。

- ・最低温度 □ まで上昇
- ・1枚当たりのプラスチックスペーサ厚み □ mm
- ・最大収納枚数 □ 枚を考慮

熱膨張量は以下の式で表される。

$$\Delta L = \alpha \Delta T L_0$$

$\Delta L$  : 熱膨張量 mm

$\alpha$  : 線熱膨張係数 1/K

$\Delta T$  : 温度変化 K

$L_0$  : 初期長さ mm

ここで、

温度変化 $\Delta T$  : 92 K

ポリオキシメチレンの線熱膨張係数 $\alpha$  :  $1.2 \times 10^{-4}$  1/K<sup>4)</sup>

プラスチックスペーサ厚み合計 $L_0$  :  mm  $\times$  3(最大収納枚数) =  mm

から

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

なお、 mm の熱膨張差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ことはない。

#### ケース 2

長尺粉末収納缶は輸送容器の構造材と同じくステンレス鋼製であり、内容器側面とは 60 mm 以上、内蓋とは 10 mm 以上の十分なギャップが存在するため、熱膨張によって内容器側面及び内蓋と接触することはない。

#### ケース 4

スラッジ収納缶用緩衝材と内蓋は接触した状態で収納する。そこで、輸送容器構造材であるステンレス鋼とスラッジ収納缶用緩衝材のアルミニウム合金の異種材料による熱膨張差を確認する。

- ・最低温度-40℃から 52℃まで上昇
- ・内容器高さ:674 mm

熱膨張量は以下の式で表される。

$$\Delta L = (\alpha_{Al} - \alpha_{SUS}) \Delta T L_0$$

$\Delta L$  : 熱膨張量 mm

$\alpha_{Al}$  : アルミニウムの線熱膨張係数 1/K

$\alpha_{SUS}$  : ステンレス鋼の線熱膨張係数 1/K

$\Delta T$  : 温度変化 K

$L_0$  : 初期長さ mm

ここで、

温度変化 $\Delta T$  : 92 K

アルミニウムの線熱膨張係数 $\alpha_{Al}$  :  $2.26 \times 10^{-5}$  1/K

ステンレス鋼の線熱膨張係数 $\alpha_{SUS}$  :  $1.73 \times 10^{-5}$  1/K

から

$\Delta L = 0.330$  mm

なお、内容器の底面には厚み約□mm の EPDM が敷かれているため、0.330mm の熱膨張差は EPDM の弾性変形により吸収される。よって、熱膨張差による顕著な応力は発生しない。

以上のことから、いずれの収納物を収納した場合でも、熱膨張による顕著な応力は発生せず、亀裂・破損の生じるおそれはない。

### A.5.1.3 応力計算

内容物の初期圧力は40℃のもとで絶対圧101kPaであるとすると、太陽放射熱による内容物の内部温度が52℃まで上昇した（(ロ)B.4項参照）時の内容物内圧は、

$$P = \frac{273 + 52}{273 - 40} \times 101 = 141$$

となる。したがって、内容物には内外圧力差分のゲージ圧40kPa (=141-101)が作用することになる。

以下、内容物に及ぼす応力について記述する。

#### A.5.1.3.1 内容物胴体部

内圧により胴体部に生じる応力を(ロ)A-第2図に示す。これらの応力は以下の式によって表される。1)

$$\sigma_z = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} \quad \sigma_\theta = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t}$$

また、ミゼスの最大応力式より以下の式で表せる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2} = \sigma_z \cdot \sigma_\theta$$

ここで

$$P = 0.040 \text{ MPa} \quad \text{内圧}$$

$$d = 354 \text{ mm} \quad \text{内容物内径}$$

$$t = \square \text{ mm} \quad \text{内容物内壁板厚}$$

よって、胴体部に及ぼす引張応力は、

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

となる。

したがって、内容物胴体部に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力155MPa (75℃)より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \square$$

#### A.5.1.3.2 内容物底面

(ロ)A-第3図に示すように内容物底面は全面に渡ってフェノリックフォーム(□)によって支えられている。そのため、内容物からの応力がフェノリックフォームの圧縮強さを超えない限り、内容物底面が変形、破損することはない。

内容物の内圧0.040MPa及び収納物による応力0.013MPa((ロ)A.4.6.2参照)より、内容物の内圧と収納物によって内容物底面に与えられる応力の合計は0.053MPaである。フェノリックフォーム(□)の圧縮強度□MPa(□)より、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \square$$

### A.5.1.3.3 内容器内蓋

内圧により内容器内蓋に生じる応力を(ロ)A-第4図に示す。周辺単純支持の薄板円板に対するこれらの応力は、次式によって表される。<sup>2)</sup>

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} (3 + \nu) \left( 1 - \frac{r^2}{a^2} \right)$$

$$\sigma_\theta = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} \left( (3 + \nu) - (1 + 3\nu) \frac{r^2}{a^2} \right)$$

ここで底面半径  $r=0$  のとき、 $\sigma_{\max}$  となる。

よって、

$$\sigma = (\sigma_r)_{(r=0)} = (\sigma_\theta)_{(r=0)} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2 \cdot (3 + \nu)}{8 \cdot t^2}$$

ここで、

$P = 0.040 \text{ MPa}$  内圧  
 $a = 177 \text{ mm}$  内容器内径  
 $\nu = 0.3$  ポアソン比  
 $t = \square \text{ mm}$  内蓋板厚

よって、内容器内蓋に及ぼす曲げ応力は、

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

となる。したがって、内容器内蓋に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力  $155 \text{ MPa}$  ( $75^\circ\text{C}$ ) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \square$$

次に、バイオネット嵌合部に加わる応力について評価する。(ロ)A-第5図にバイオネット嵌合部の概略図を示す。内容器フランジ部円周上にそれぞれ  $\square$  の角度を持つ4個の嵌合部があり、この部分に加わるせん断応力は次式によって表される。

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{P \cdot \pi \cdot a^2}{\pi \cdot a \cdot t}$$

ここで

$P = 0.040 \text{ MPa}$  内圧  
 $a = 176 \text{ mm}$  内蓋内径  
 $t = \square \text{ mm}$  バイオネット嵌合部肉厚

よって、バイオネット嵌合部に及ぼすせん断応力は、

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

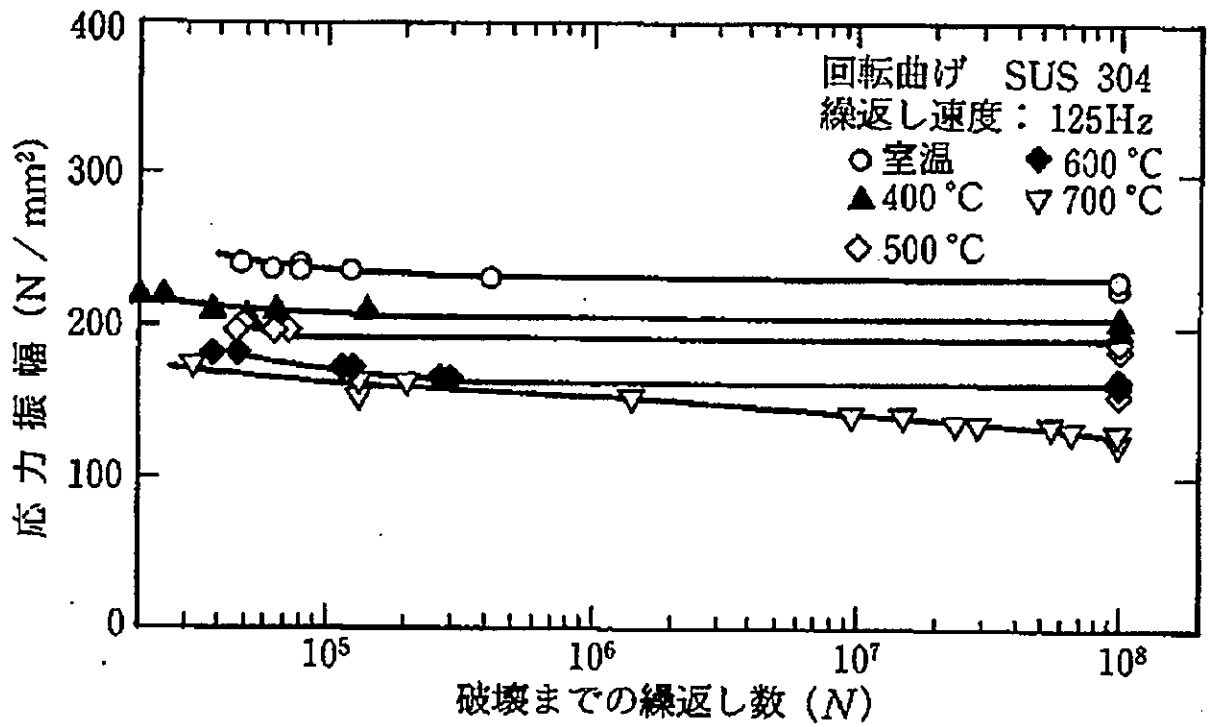
となる。

したがって、内容器バイオネット嵌合部に発生する応力は基準値である構造材であるステンレス鋼板のせん断許容応力 89 MPa (75°C) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \boxed{\phantom{000}}$$

#### A.5.1.3.4 繰り返し応力の評価

A.5.1.3.1~A.5.1.3.3にて内容器に及ぼす応力を評価した結果、最大  $\boxed{\phantom{000}}$  MPa の応力が内蓋に生じることが確認された。40年間の使用期間を想定し、使用予定より保守的な条件として40年間毎日1日1回の輸送を実施すると想定し、年間365回温度変化による応力が発生すると仮定すると、40年間の繰り返し応力の発生回数は40(年)×365(回)=14600回となる。(ロ)A-第7図のステンレス鋼の疲労曲線によると、少なくとも100 N/mm<sup>2</sup>以下の応力では室温から700°Cの環境下において10<sup>7</sup>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。



(ロ)-A 第7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)



#### A.5.1.4 許容応力との比較

許容応力と解析値の比較を(ロ)A-第 14 表に示す。いずれの解析結果も解析基準値を満足しており安全である。

#### A.5.2 水噴霧

本輸送容器の外殻はステンレス鋼板で覆われ、接合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なく、材料劣化は生じない。なお、臨界解析においては内容器への水の浸入を考慮している。

#### A.5.3 自由落下

##### (a) 解析モデル

落下試験を実施しており、解析は実施していない。

##### (b) 原型試験

本輸送物は、総重量が 5,000 kg 以下であるので、告示別記第三第一号ロ(1)に基づき、落下の高さは 1.2 m として、原型容器試験にて安全性を示す。

本試験に供した原型容器内にはウラン酸化物の粉末重量を模擬するために鉄粉を入れたステンレス製粉末収納缶を 12 缶装荷（純鉄粉末重量 300kg）し、総重量を 1,050kg とした。また、内容器ガスケット部から収納物が漏えいしていないかを目視で確認する目的で最上段の粉末収納缶の蓋上には消石灰を配置した。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。

原型容器試験に先立ち、予備試験において 2 基の原型容器を用いて“密封境界に熱的に厳しい”又は“臨界解析に影響を及ぼす”最大の損傷を及ぼす落下姿勢を検討した。((ロ)A 付属資料 1] 参照)

その結果、原型容器試験として 2 基の原型容器に対して、輸送物側面（落下角度□）、輸送物コーナー部（落下角度□）を下向きとした落下試験を行った。なお、落下角度□は、□なる角度である。

本試験によって原型容器コーナー部には三角錘状に X,Y,Z 方向それぞれに□mm の変形を生じた。原型容器の外形寸法は一辺が 1,100mm、高さが 1,040mm であるため、変形量を差し引いた寸法は、保守的に見積もって一辺□mm である。上記の変形を容積減少率に換算すると□%以下である。

これらの試験においても以下の(ロ)A-第 10 表に示すように大きな損傷は見られず輸送容器は健全性を保っており、収納物の漏えいは認められなかった。したがって本条件にお

いて規則に定める基準に合致する。

詳細は、「(ロ)A 付属資料 3」に示す。

(ロ)A-第 10 表 自由落下試験結果

試験項目	損傷箇所	試験結果
原型容器 P3	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="checkbox"/> )	変形なし
原型容器 P4	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="checkbox"/> )	コーナー部に局所の変形 容積減少約 <input type="checkbox"/> %

(c) モデル試験

モデル試験は実施していない。

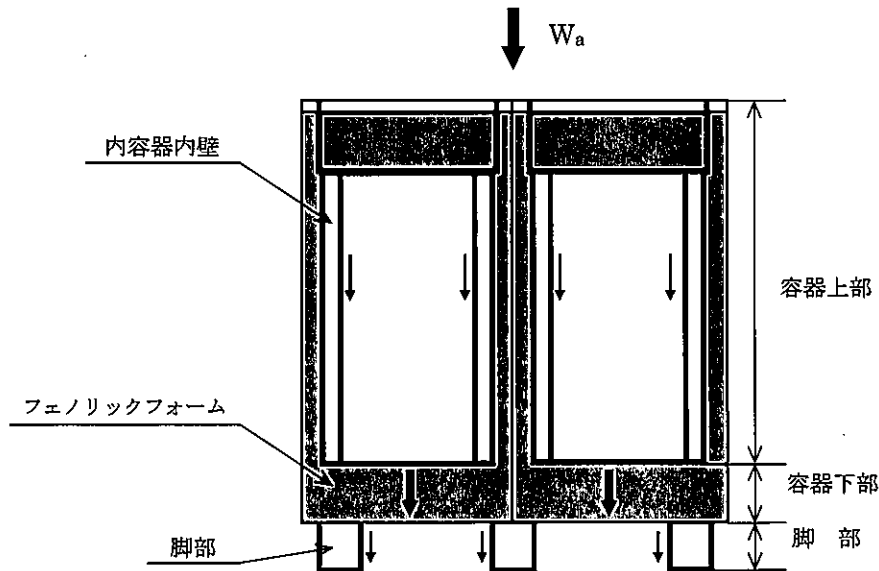
A.5.4 積み重ね試験

告示別記第三第一号ロ(3)で、要求されている圧縮試験については、計算により評価した。輸送物の自重の 5 倍荷重又は輸送物の鉛直投影面積に 13 kPa を乗じた荷重のいずれか大きい方の荷重に等しい圧縮力を供試物の底面及びその対面に均一に加える場合を考える。ここで輸送物の 5 倍の荷重を  $W_a$ 、 $13 \text{ kPa} \times$  鉛直投影面積の荷重を  $W_b$  とすると

$$W_a = 5 \times 1,050 \times 9.81 = 51,502.5 \text{ N}$$

$$W_b = 13,000 \times 1.1 \times 1.1 = 15,730 \text{ N}$$

$W_a > W_b$  であるので、 $W_a = 51,502.5 \text{ N}$  の荷重を用いて、下図に示す輸送容器上部、容器下部及び脚部について以下の解析を行った。



#### A.5.4.1 容器上部

容器上部は、外蓋、内容器、断熱材及び容器本体外殻からなるが、ここでは、内容器の座屈荷重について評価する。各内容器は輸送容器上部外殻及び連結パイプによって固定されていることから、両端固定の円筒柱として評価する。また、内容器は内壁及び外壁からなるが、安全側の評価として内壁のみ考慮する。

両端固定の柱の座屈荷重は以下のジョンソンの式によって求められる。1)

$$W = A\sigma_c \left( 1 - \frac{\sigma_c}{4n\pi^2 E} \lambda^2 \right)$$

ここで

A : 断面積

E = 195,000 MPa ヤング率

l =  mm 円筒高さ

$\lambda = l/k$  細長比

n =  両端固定の係数

$\sigma_c = 175$  MPa 圧縮強さ

また、断面二次半径 k は、次式によって求められる。1)

$$k = \frac{\sqrt{d_2^2 + d_1^2}}{4}$$

ここで

$d_1 = 354$  mm 内壁内径

$d_2 =$   mm 内壁外径

であり、断面二次半径は、

$$k =$$

となる。よって、細長比  $\lambda$  は、

$$\lambda =$$

となる。よって、座屈荷重は、

$$W =$$
  N

したがって、1つの内容器内壁の座屈荷重は、一つの内容器の負荷荷重の 12,876 N より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} =$$

#### A.5.4.2 容器下部

1つの内容器下のフェノリックフォーム  単位面積当たりに負荷される応力は、

$$P = \frac{\frac{W_a}{4}}{\pi \left( \frac{d_2}{2} \right)^2} =$$
  MPa

となる。

したがって、1つの内容器底面の単位面積当たりの負荷応力は、フォーム  の座屈応力である  MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \text{$$

#### A.5.4.3 脚部

脚部の軸方向板に負荷される圧縮応力は以下の式によって求められる。

$$P = \frac{W_a}{Nbt}$$

ここで

$N = 18$  枚                      軸方向鋼板（脚3組×6枚）

$t = \text{$  mm                      板厚

$b = 100$  mm                      板幅

であり、圧縮応力は

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

となる。

また、(ロ)A-第8図に示す脚部の座屈応力は、以下の式によって求められる。<sup>2)</sup>

$$\sigma = K \frac{E}{1-\nu^2} \left( \frac{t}{h} \right)^2$$

ここで

$K = 3.29$                       角型に対する係数

$E = 195,000$  MPa                      ヤング率

$t = \text{$  mm                      板厚

$h = 100$  mm                      高さ

$\nu = 0.3$                       ポアソン比

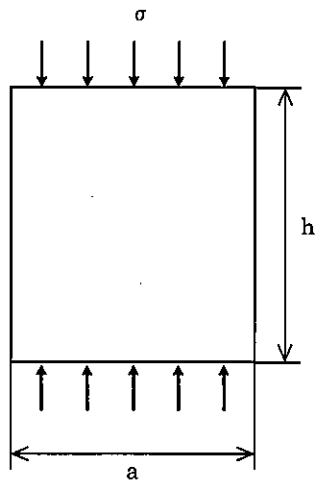
よって、脚部の座屈応力は、

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

となる。

したがって、脚部の座屈応力は、負荷される圧縮応力  MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \text{$$



(口)A-第8図 座屈応力解析モデル

#### A.5.5 貫 通

告示別記第三第一号(ロ)(4)で要求されている貫通試験については、2基の原型容器を用いた落下試験において、輸送物側面、輸送物底面、外蓋上面、外蓋バイオネット嵌合部及び外蓋回り止めデバイス止めピンに対して行った。これらの試験においても(ロ)A-第11表に示すように大きな損傷は見られず輸送容器は健全性を保っており、したがって本項目の場合にも基準に合致する。

詳細は、「(ロ)A 付属資料3」に示す。

(ロ)A-第11表 貫通試験結果

試験項目	損傷箇所	試験結果
原型容器 P3	・外蓋回り止めデバイス止めピン ・輸送物底面 <input type="text"/> の中心	貫通はなく、わずかな痕跡のみ 貫通はなく、凹みのみ
原型容器 P4	・輸送物側面 <input type="text"/> の中心 ・外蓋上面 ・外蓋バイオネット嵌合部間	貫通はなく、凹みのみ 同上 貫通はなく、わずかな痕跡のみ

#### A.5.6 角又は縁落下

該当せず

#### A.5.7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件について評価をした結果、熱的試験、水噴霧及び積み重ね試験は、収納物に影響を及ぼすことがなく、また、自由落下及び貫通試験は輸送容器に局所的な変形を及ぼすが収納物には変形等の影響は見られず、密封境界である内容容器から漏えいは認められなかった。

A.6 特別の試験条件

本輸送物は、A型核分裂性輸送物であるため、該当しない。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物は核燃料物質の収納量が  $A_2$  値以下となる A 型輸送物であり、 $A_2$  値の十万倍を超える量の放射能を収納しないため該当しない。

## A.8 放射性収納物

### A.8.1 収納物の仕様

ケース 1 における放射性収納物の構造を(イ)－第 7 図及び第 9 図に示す。本輸送容器の収納物は、ウラン酸化物、ステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製袋、(イ)－第 1 図及び(イ)－第 10 図に示すように粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納するステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサ、及び粉末収納缶の位置決めのため内容器底に収納するセンタリングシステムからなる。焼結体収納時には、さらにステンレス鋼製の波板、ポリウレタン製の緩衝材、梱包材（ボール紙）からなる。

ケース 2 における本輸送容器の収納物は(イ)－第 8 図及び第 11 図に示すようにウラン酸化物、ステンレス鋼製の長尺粉末収納缶、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製の袋、瓶からなる。また、ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン製の緩衝材を使用する。なおウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶は 4 つの内容器のうち 1 つにしか装荷しない。

ケース 3 における放射性収納物の構造を(イ)－第 7 図及び第 9 図に示す。本輸送容器の収納物は、ウラン残渣、ウラン残渣を収納するステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン残渣を収納するポリエチレン製袋、(イ)－第 1 図及び(イ)－第 10 図に示すように粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納するステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサ、及び粉末収納缶の位置決めのため内容器底に収納するセンタリングシステムからなる。

ケース 4 における放射性収納物の構造を(イ)－第 12 図及び第 13 図に示す。本輸送容器の収納物は、金属ウランスラッジ、金属ウランスラッジを収納するステンレス鋼製のスラッジ収納缶、収納缶の周りに設置するアルミニウム合金製、ステンレス鋼製、EPDM 製及びポリカーボネート製のスラッジ収納缶用緩衝材からなる。



A.8.1.1 ケース 1 の場合における収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

i) 主要な核種 . . .  $^{232}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{99}\text{Tc}$

ii) 放射能の量 . . . 40.2GBq 以下

iii) 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)

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$$

ただし、 $^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$  の場合は、 $^{232}\text{U}$  及び  $^{99}\text{Tc}$  は適用外

(2) 装荷制限

i) 最大濃縮度

5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容器当たりの装荷制限量を(イ)―第 2 表、第 3 表に示す。輸送物当たりの装荷制限量は(イ)―第 2 表の値を 4 倍した量である。

iii) 物理的形狀

ウラン酸化物( $\text{UO}_2$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$ ,  $\text{UO}_3$ )の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。

・粉末嵩密度 . . . 5 g/cm<sup>3</sup> 以下

・成型体密度 . . . 8 g/cm<sup>3</sup> 以下

・焼結体密度 . . . 8~11 g/cm<sup>3</sup>

ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
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	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	
E	エルビア	$\text{Er}_2\text{O}_3$	
F	アゾジカルボンアミド	$\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$	

(3) 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及び袋等

粉末収納缶並びに中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは以下の仕様である。

粉末収納缶

材 質：ステンレス鋼板  
外 径：約 310 mm  
高 さ：約 220 mm  
板 厚：1.0 mm 以上  
重 量：約 7 kg (中性子吸収材装着時)  
材 質：ステンレス鋼

中性子吸収材

材 質：ボロン入りステンレス鋼  
化学成分：Cr   
Ni   
B

外 径：約  mm  
高 さ： mm 以上  
板 厚： mm 以上  
重 量： kg 以下

粉末及びスクラップ収納時に使用される袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン、ポリウレタン

焼結体収納時に使用される袋、波板、梱包材、緩衝材の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン、ポリウレタン

波板：ステンレス鋼

梱包材：ボール紙

緩衝材：ポリウレタン

ポリエチレン袋を使用する場合は最大添加量の値に適合するように制限する。波板、梱包材、緩衝材を合わせた重量は最大 7.5kg である。

またブロッキングシステムは以下の材質である。

ステンレス鋼製スペーサ：ステンレス鋼

プラスチックスペーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

なお、ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料である。

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

#### 装荷制限

本輸送容器の各内容器には粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングが、ウラン酸化物の有無に係わらず3組ずつ収納される。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサを1つずつ収納する。

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスペーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を0から3枚の間で調整して収納する。

A.8.1.2 ケース 2 の場合における収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

i) 主要な核種 . . .  $^{232}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{99}\text{Tc}$

ii) 放射能の量 . . . 1.41GBq 以下

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン

$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$

$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$

$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$

$^{99}\text{Tc} \leq 0.05 \mu\text{g/gU}$

(2) 装荷制限

i) 最大濃縮度 5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容器当たりの装荷制限量を(イ)－第 4 表に示す。

iii) 物理的形狀

ウラン酸化物( $\text{UO}_2$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$ ,  $\text{UO}_3$ )の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。

・粉末嵩密度 . . .  $5 \text{ g/cm}^3$  以下

・成型体密度 . . .  $8 \text{ g/cm}^3$  以下

・焼結体密度 . . .  $8 \sim 11 \text{ g/cm}^3$

ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
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	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	
E	エルビア	$\text{Er}_2\text{O}_3$	
F	アゾジカルボンアミド	$\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$	

(3) 長尺粉末収納缶、袋等

粉末収納缶は以下の仕様である。

長尺粉末収納缶

外 径：約 310 mm  
高 さ：約 660 mm  
重 量：9kg 以下  
材 質：ステンレス鋼

緩衝材、袋、瓶は以下の材質である。

緩衝材：ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン  
袋、瓶：ポリエチレン、ポリウレタン

緩衝材、添加物全てを合わせた重量は最大 5kg、袋、瓶の重量の合計は最大 5kg である。

装荷制限

ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶は 4 つの容器のうち 1 つのみに装荷する。

A.8.1.3 ケース 3 の場合における収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

i) 主要な核種 . . .  $^{232}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{99}\text{Tc}$

ii) 放射能の量 . . . 3.21 GBq 以下

iii) 濃縮ウランの種類

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、 $^{232}\text{U}$  及び  $^{99}\text{Tc}$  は適用外

b) 濃縮度 20%以下

$$^{232}\text{U} \leq 0.0004 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 1000 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.04 \mu\text{g/gU}$$

(2) 装荷制限

i) 最大濃縮度

20.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン残渣の内容器当たりの装荷制限量を(イ)―第 5 表に示す。輸送物当たりの装荷制限量は(イ)―第 5 表の値を  $\square$  倍した量である。

iii) 物理的形狀

ウラン残渣は、ウランの化合物及びその他の含有物からなり、固体である。

項目	含有物
ウラン化合物の化学形態	
その他の含有物	

(3) 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及び袋等

粉末収納缶並びに中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは以下の仕様である。

粉末収納缶

材 質：ステンレス鋼板  
外 径：約 310 mm  
高 さ：約 220 mm  
板 厚：1.0 mm 以上  
重 量：約 7 kg (中性子吸収材装着時)  
材 質：ステンレス鋼

中性子吸収材

材 質：ボロン入りステンレス鋼  
化学成分：Cr   
Ni   
B   
外 径：約  mm  
高 さ： mm 以上  
板 厚： mm 以上  
重 量： kg 以下

使用される袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン

なおポリエチレン袋の重量制限はない。

またブロッキングシステムは以下の材質である。

ステンレス鋼製スペーサ：ステンレス鋼

プラスチックスペーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

なお、ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料である。

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサを1つずつ収納する。

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスペーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を0から3枚の間で調整して収納する。

A.8.1.4 ケース 4 の場合における収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

- i) 主要な核種 . . .  $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{231}\text{Th}$
- ii) 放射能の量 . . . 7.18 GBq 以下
- iii) 濃縮ウランの種類 . . . 濃縮度 % 以下

(2) 装荷制限

i) 最大濃縮度

%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン残渣の内容器当たりの装荷制限量を(イ)－第 7 表に示す。輸送物当たりの装荷制限量は(イ)－第 7 表の値を 4 倍した量である。

iii) 物理的形状

金属ウランスラッジは金属ウラン、ステンレス鋼及び真鍮の切粉からなり、固体である。

(3) スラッジ収納缶、スラッジ収納缶用緩衝材

スラッジ収納缶、スラッジ収納缶用緩衝材は以下の仕様である。

スラッジ収納缶

- 外 径：約 120 mm
- 高 さ：約 150 mm
- 重 量：4kg 以下

スラッジ収納缶用緩衝材

- 材 質：アルミニウム合金、ステンレス鋼、EPDM 及びポリカーボネート
- 重 量：1 内容器あたり 60 kg 以下

なお、ポリカーボネートは水より水素密度の低い材料である。



#### A.8.2 一般の試験条件における放射性収納物の挙動

一般の試験条件における放射性収納物の挙動については、1.2 m 落下試験によって、粉末収納缶は破損せず、さらに密封境界の容器からウラン酸化物及びウラン残渣が漏れないことを「(ロ)A 付属資料 3」に示しており、収納物の健全性が損なわれることはない。

#### A.8.3 特別の試験条件における放射性収納物の挙動

特別の試験条件における放射性収納物の挙動については、臨界解析において内容容器内への水の浸入を仮定して評価しており、その場合を仮定しても十分未臨界であることを確認している。

## A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は核分裂性物質（ウラン 235）を 15 グラム以上収納するため、核分裂性輸送物に該当する。本輸送物は、輸送中において臨界に達しないものであるほか、以下に記述するように規則第十一条に規定される技術基準に適合しているものである。

### A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

告示の別記第十一に示す核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下において、以下に記述する要件に適合している。

#### A.9.1.1 水噴霧

本輸送容器の外殻はステンレス鋼板で覆われ、接合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なく、材料劣化は生じない。なお、臨界解析においては内容器への水の浸入を考慮している。

#### A.9.1.2 1.2 m 落下試験

A.5.3 に示すように、本試験において本輸送物に最も大きな変形を与えるのはコーナー落下である。この試験によって、原型容器コーナー部には三角錘状に X,Y,Z 方向それぞれに □mm の変形を生じた。原型容器の外形寸法は、一辺が 1,100mm、高さが 1,040mm であるため、変形量を差し引いた寸法は、保守的に見積もって一辺 □mm となる。上記の変形を容積減少率に換算すると □%以下である。よって、これらの試験においては構造部に大きな損傷は見られず、臨界解析に影響を及ぼすような変形はない。

#### A.9.1.3 積み重ね試験及び貫通試験

A.5.4 に示すように、積み重ね試験は輸送物に発生する応力が許容応力の基準値を十分下回っている。

告示別記第十一第三号（告示別記第三第一号ロ(4)）で要求されている貫通試験については、2 基の原型容器を用いた落下試験において、輸送物側面、輸送物底面、外蓋上面、外蓋バイオネット嵌合部及び外蓋回り止めデバイス止めピンに対して行った。これらの試験においても(ロ)A-第 11 表に示すように大きな損傷は見られず輸送容器は健全性を保っており、したがって本項目の場合にも基準に合致する。

詳細は、「(ロ)A 付属資料 3」に示す。

よって、これらの試験においては構造部に損傷は見られず臨界解析に影響を及ぼすような変形はない。

#### A.9.1.4 結果

以上の結果より、核分裂性輸送物に関わる一般の試験条件下における本輸送物の状態を(ロ)A-第12表に示す。同表より、臨界の評価に与える本輸送物の容積に有意な減少は見られなかった。具体的には構造部に1辺10cmの立方体を包含するようなくぼみは生じず、また輸送容器に外接する直方体の各辺は10cm以上であった。

これらの試験においては構造部に大きな損傷は見られず、臨界解析において中性子増倍率を有意に増加させるような変化はない。

(ロ)A-第12表 一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	備考
水噴霧	損傷なし	—
□m 落下	容積減少□%以下	コーナー落下
積み重ね	損傷なし	—
6 kg 棒貫通	損傷なし	—

#### A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

告示の別記第十二に示す核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の試験手順のうち15m浸漬を含む試験よりも強度試験並びに耐火試験を実施する方が試験後の輸送物の変形が大きく、臨界評価に最も大きな影響を及ぼすと考えられる。このため、強度試験の本試験実施前に落下姿勢を検討するために本試験と同一仕様の原型容器2基(P1及びP2)を用いて予備落下試験を実施し、落下姿勢の検討を行った。(「(ロ)A 付属資料1」参照)

予備試験は、それぞれ“密封境界に熱的に厳しい損傷”及び“臨界解析に影響を及ぼす損傷”を与える落下姿勢を考慮し実施した。なお、落下試験Ⅱ(ターゲット、高さ1m)については、落下試験Ⅰ(高さ9m)の衝撃によるステンレス鋼板並びにフェノリックフォームの硬化を考慮し、落下試験Ⅰの前後に実施した。

##### (1) 密封境界に熱的に厳しい損傷(原型容器P1)

###### ①根拠

輸送物に対して“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。

###### ②選定理由

1.2mからの落下試験及び落下試験Ⅰについて、傾斜落下(エッジ部)とコーナー落下を実施した結果、コーナー落下の方が傾斜落下(エッジ部)に比べ損傷が大きく、

ガスケット部近傍への影響が大きいため、本試験に採用した。

落下試験Ⅱについては、落下試験Ⅰ実施前後の外蓋上面 (□P)への損傷を比較した場合、落下試験Ⅰによる外殻の変形を考慮すると、試験後に落下試験Ⅱを実施した方がより損傷が厳しく、また、外蓋バイオネット嵌合部間 (□P)と外蓋上面 (□P)を比較した場合、前者の方が外蓋の割れが大きく、耐火試験時のフォーム損傷が大きくなるため、落下試験Ⅰ実施後の落下試験Ⅱは、外蓋バイオネット嵌合部間への落下姿勢を本試験に採用した。

また、落下試験Ⅰ実施前の落下試験Ⅱについては、輸送物側面中央 (□P)と輸送物底面中央付近 (□P)の落下姿勢のうち変形の大きな側面中央への落下姿勢を本試験に採用した。

なお、本試験でのコーナー落下については、輸送物を逆さにした場合の収納物の移動による重心移動を考慮し、落下角度は□Pとした。

## (2) 臨界解析に影響を及ぼす損傷 (原型容器 P2)

### ①根拠

輸送物に対して“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□P変形を与える落下姿勢、又は外殻鋼板に裂け目を与える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。

### ②選定理由

落下試験Ⅰについては、側面への水平落下姿勢の方が、上面及び底面への垂直落下姿勢に比べ輸送容器外形寸法の変化が大きく容器間隔が減少するため、本試験に採用した。

落下試験Ⅱについては、落下試験Ⅰ前後の輸送物底面中央付近 (□P)への損傷を比較した場合、試験後には外殻の加工硬化が起こり、より損傷が厳しくなるため、輸送物底面中央付近に対しては試験後に行うことにした。

また、落下試験Ⅰ前に行う落下試験Ⅱについては、外蓋ハンドル部 (□P)、外蓋回り止めデバイス止めピン (□P)の落下については、大きな変形を与えなかったため、輸送物側面□P中心 (□P)への落下姿勢を本試験に採用した。

## (3) 特別の試験条件試験実施フロー

予備落下試験の結果を基に決定した特別の試験条件のもとの試験実施フローを(ロ)A-第13表に示す。(「(ロ)A 付属資料3」参照)

なお、本試験に供した原型容器内には前述の一般の試験条件下での試験 (A.5.2~A.5.5 項) と同様、ウラン酸化物の粉末重量を模擬するために鉄粉を入れたステンレス製粉末収納缶を12缶装荷 (純鉄粉末重量 300 kg) し、総重量を約 1,050 kg とした。また、内容器ガスケット部からの収納物の漏えいの有無を目視で確認する目的で最上段の収納容器の蓋上には消石灰を配置した。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。9m 落下時の衝撃によりブロッキングシステムが破損することではなく、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。  
(「(ロ)A 付属資料 8」参照)

(ロ)A-第 13 表 原型容器試験順序

試験項目	原型容器 P3	原型容器 P4
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"/> )	・輸送物側面中心 (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)	・輸送物側面 <input type="text"/> の中心 (落下角度 <input type="text"/> )	・外蓋バイオネット嵌合部間
耐火試験	(800 °C, 30 分)	(800 °C, 30 分)
0.9 m 浸漬試験	—	—

#### A.9.2.1 強度試験・落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)

落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) は、落下試験Ⅰ (高さ 9 m) の前に実施され、また、その試験の後に再び繰返された。試験は、(ロ)A-第 10 表に示すように予備落下試験の結果より、原型容器 P3 については、角度  による輸送物底面への衝撃、原型容器 P4 については、角度  による輸送物側面への衝撃を受ける落下方向で実施した。なお、この落下角度  は、落下試験Ⅱにおいて輸送容器外殻薄板に最もダメージを与える角度である。<sup>5)</sup>

試験の結果、(ロ)A-第 14 表に示すように P3 については衝撃点における外殻の割れ、P4 については変形のみ認められたが、密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。

#### A.9.2.2 強度試験・落下試験Ⅰ (高さ 9 m)

試験は、(ロ)A-第 13 表に示すように予備落下試験の結果より、原型容器 P3 については、角度  による輸送物側面への衝撃、原型容器 P4 については、角度  による輸送物上面コーナー部への衝撃を受ける落下方向で実施した。

試験の結果、(ロ)A-第 14 表に示すように、P3 については水平落下により平均  mm 圧縮変形 (最大約  mm) があり、容積減少は約  %であった。P4 については水平落下により圧縮変形はコーナー部  mm であり、容積減少は約  %であった。

また、本試験による密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。

#### A.9.2.3 強度試験・落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

本試験は、(ロ)A-第13表に示すように予備落下試験の結果より、原型容器P3については、角度□□による輸送物側面への衝撃、原型容器P4については、外蓋バイオネット嵌合部への衝撃を受ける落下方向で実施した。

試験の結果、(ロ)A-第14表に示すように衝撃点において輸送物外殻の割れが認められたが、密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。

#### A.9.2.4 耐火試験

落下試験に供した原型容器P3及びP4に対して耐火試験を行った。（「(ロ)B 付属資料3」参照）

試験の結果から、B.5に記述しているように内容器内蓋のEPDM製ガスケットの最高温度は□□℃でEPDMの使用可能温度□□℃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□□℃となり、使用可能温度である□□℃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。

輸送物側面のフェノリックフォーム炭化層厚さは、P3及びP4ともに平均□□mmであり、底部についてもP4において平均□□mmが観察された。また、外蓋の上部フェノリックフォームについては全て炭化し、コーナー落下を受けたP4の外蓋については下部フェノリックフォームも一部炭化していた。

#### A.9.2.5 浸漬試験

臨界安全解析は内容器内部への水の浸入を考慮に入れているため、規則に基づく0.9 mの水頭下の浸漬試験は実施していない。

(ロ)A-第14表 原型容器試験の条件と結果の一覧表

試験項目	原型容器 P3		原型容器 P4	
	損傷箇所	試験結果	損傷箇所	試験結果
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□)	圧縮変形: 変形深さ最大□mm 割れ寸法: 長さ約□mm	・輸送物側面中心 (落下角度□)	圧縮変形: 変形深さ最大□mm
落下試験Ⅰ (9 m)	・輸送物側面 (落下角度□)	圧縮変形: 最大□mm 平均約□mm 容積減少: 約□%	・輸送物上面コーナー部 (落下角度□)	圧縮変形: コーナー部□mm 容積減少: 約□%
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ1 m)	・輸送物側面□の中心 (落下角度□)	圧縮変形: 変形深さ最大□mm 割れ寸法: 長さ約□mm 最大幅□mmの割れ	・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□mm 最大幅□mm
耐火試験	(800 °C, 30分)	炭化層厚さ: 平均□mm 外蓋フェノリックフォーム 上部: 炭化	(800 °C, 30分)	炭化層厚さ: 平均□mm 外蓋フェノリックフォーム 上部: 炭化 下部: コーナー落下部炭化
浸漬試験	0.9 m	—	0.9 m	—

#### A.9.2.6 輸送物の損傷状態の要約

以下、特別の試験条件下における損傷状態を要約する。また、通常の輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件下の解析結果を(ロ)A-第15表に示す。

- ・輸送物側面への落下試験Ⅰ（高さ9 m）により、輸送容器は平均約□mmの圧縮変形を生じ、約□%の容積減少を生じた。
- ・輸送物上部コーナー部への落下試験Ⅰ（高さ9 m）により、コーナー部は約□mmの圧縮変形を生じ、約□%の容積減少を生じた。
- ・落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）は、落下試験Ⅰ（高さ9 m）の前後に実施され、衝撃点における外殻の割れが認められたが、密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。
- ・耐火試験の結果から、密封性を維持する内容器内蓋のEPDM製ガスケットの最高温度は□℃（使用可能温度□℃）と評価された。
- ・臨界管理上重要なBORAレジンの最高温度は□℃（使用可能温度□℃以下）と評価された。
- ・輸送物側面のフェノリックフォーム炭化層の平均厚さは□mmであり、外蓋の上部フェノリックフォームは全て炭化し、コーナー落下を受けた外蓋については下部フェノリックフォームも一部炭化していた。
- ・水平落下により、□が□mmから□mmに減少していた。
- ・密封境界である内容器の密封性は損なわれず、放射性物質の損失又は散逸はない。
- ・これらの結果は(ロ)-E 臨界評価に用いられる。

以上のことから、特別の試験条件下における輸送物の変形及び損傷の程度は設計想定範囲内であり、安全上問題はない。本破損条件に対する臨界評価は、(ロ)-E 臨界解析において行う。

#### A.9.2.7 追加落下試験

原型容器P4に対するコーナー落下試験において、内容器内蓋フランジの変形並びに外蓋溶接部において亀裂が認められたため、以下の改善を行い、密封性を高めた。それにともない、追加試験を実施し、健全性を確認した。（「(ロ)A 付属資料4」参照）

##### ・内蓋ガスケット位置の変更

変形時においても締付け圧力を保つために、内蓋と内容器フランジ部間のガスケットを水平方向（内蓋外周）から垂直方向（内蓋裏側）に変更した。

##### ・外蓋構造の変更

衝撃により外蓋の側面と上面との溶接部における開口を防ぐために、側面の鋼板を内側に折り曲げ、溶接位置を変更した。また耐衝撃性向上のため、フェノリックフォーム層を厚くし、アルミニウム合金ディスクを薄くした。



試験は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 を用いて、輸送物コーナー部（落下角度□）に対して、自由落下試験（高さ□m）、落下試験 I（高さ 9 m）及び落下試験 II（ターゲット、高さ 1 m）を実施した。

その結果、輸送容器コーナー部は変形し約□%の容積減少が生じたが、外蓋溶接部に裂け目は見られなかった。さらに、全ての落下試験後、衝撃を受けた外蓋を切断して取り除き、輸送物上面を下方にし揺さぶったが、輸送物内容器からの消石灰の漏えいは見られなかった。

なお、試験に供した原型容器 P5 は、内蓋ガスケット位置の変更及び外蓋構造の変更を行ったものであり、落下試験の結果においても変形量の減少及び外蓋溶接部に亀裂は見られないため、原型容器 P4 で実施した耐火試験が保守的な結果となることから、原型容器 P5 では耐火試験を実施していない。

#### A.9.2.8 輸送物総重量

本輸送物の総重量は 1,050 kg 以下に制限されているため、原型容器試験では 1,050 kg 以上の重量に総重量を調整すべきであったが、原型容器総重量は以下に示すように、原型容器 P3 のみ 1,050 kg 未満である。

原型容器 P3 の落下試験結果を安全解析に使用する妥当性については、「(ロ)A 付属資料 6」に説明する。

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

(ロ)A-第15表 構造解析結果 (1/2)

条件	項目	設計要件	解析基準	結果	安全率
通常輸送時	1. 化学的及び電氣的反応				
	(1) 化学的反應	反応性	反応性の有無	無	—
	(2) 電氣的反應	電位性	異種金属間の電位差の有無	無	—
	2. 低温強度				
	(1) 構造材	低温強度	性能低下の有無	無	—
	(2) 補強材	低温強度	性能低下の有無	無	—
	(3) 耐熱衝撃緩衝材	性能低下	性能低下の有無	無	—
	(4) ガスケット	性能低下	性能低下の有無	無	—
	(5) 中性子吸収材	性能低下	性能低下の有無	無	—
	3. 密封装置				
	(1) 内蓋	密封機能	密封機能の有無	無	—
	(2) 外蓋	密封機能	密封機能の有無	無	—
	6. 圧力				
	(1) 内容器胴部	引張応力	$\sigma_y$ (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(2) 内容器底面	圧縮応力	圧縮強度 ( <input type="text"/> MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(3) 内容器内蓋	引張応力	$\sigma_y$ (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(4) バイオネット嵌合部	せん断力	$0.577 \sigma_y$ (89 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
7. 振動	振動	亀裂、破損の有無	—	—	
一般の試験条件	1. 圧力				
	(1) 内容器胴部	引張応力	$\sigma_y$ (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(2) 内容器底面	圧縮応力	圧縮強度 ( <input type="text"/> MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(3) 内容器内蓋	引張応力	$\sigma_y$ (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(4) バイオネット嵌合部	せん断力	$0.577 \sigma_y$ (89 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	2. 水噴霧	水吸収・水切り	—	無	—
	3. 自由落下				
	(1) 水平落下	変形	収納物漏えい	無	—
	(2) コーナー落下	変形	収納物漏えい	無	—

(口)A-第15表 構造解析結果 (2/2)

条件	項目	設計要件	解析基準	結果	安全率
一般の試験条件	4. 積み重ね (1) 容器上部 (2) 容器下部 (3) 脚部	座屈荷重 座屈応力 座屈応力	座屈荷重 座屈応力 座屈応力	<input type="text"/> N <input type="text"/> MPa <input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	5. 貫通	容器の貫通	容器貫通の有無	無	—
特別の試験条件 (核分裂性輸送物)	1. 落下試験Ⅰ 水平落下、コーナー落下	変形	変形量	最大 <input type="text"/> mm 最大容積減少 <input type="text"/> %	—
	2. 落下試験Ⅱ 水平落下、傾斜落下、コーナー落下	変形	変形量	最大 <input type="text"/> mm	—
	3. 耐火試験	変形、破損	破損の有無	破損なし 炭化層平均 <input type="text"/> mm	—
	4. 浸漬試験	—	—	臨界解析で浸水を考慮	—

参考文献

- (1) 機械工学便覧第9編, 日本機械学会, 1984,6,25
- (2) Roark's Formulas for Stress and Strain - 7<sup>th</sup> Edition, Mc Graw Hill(2002)
- (3) 実用 機械振動学, 國枝正春著, 1984
- (4) プラスチック読本, プラスチックエージ, 2019
- (5) Technical mail DSIN/GRE/SD1/N°214/97 of 17/09/1997.

(口)A 付属資料 1

1. 予備落下試験

## 1. 予備落下試験

### 1.1 主題

本文書は、TNF-XI 型輸送物にウラン酸化物を模擬した純鉄粉末 300kg を収納する輸送容器の原型容器 P1 及び P2 に関する予備落下試験の結果を示す。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。

平常の輸送条件及び事故時の輸送条件を表す試験は、仏国トランスニュークリア社所有ロダン試験施設において実施された。

なお、試験は、IAEA 放射性物質安全輸送規則<sup>1)</sup>に準拠して実施された。

#### 平常の輸送条件

- ・高さ 1 m からの 6 kg 丸棒の自由落下
- ・高さ 1.2 m からの自由落下

#### 事故時の輸送条件

- ・高さ 1 m からターゲットへの自由落下
- ・高さ 9 m からの自由落下

## 1.2 試験施設

### 1.2.1 ロダン試験施設

試験のために用いられる落下試験台は、表面から底部まで、以下のように構成されている：

- ・落下試験台（鋼製プレート＋鉄筋コンクリート製ベース）
  - －重量：□トン
  - －深さ×幅×長さ：□m×□m×□m
- ・鋼製プレート
  - －材質：構造用鋼板 (□□□□□□□□)
  - －質量：□kg
  - －厚さ：□cm
  - －プレートの寸法：□m×□m
- ・コンクリート製ベース
  - －深さ×幅×長さ：□m×□m×□m
  - －地面の重量：□kg

鋼製プレートを固定するため、コンクリート製ベースに鋼製支柱ロッド（長さ □ m ; □ 本、長さ □ m ; □ 本）を埋め込んでいる。また、コンクリート製ベースは、□ cm のピッチで並べられた φ □ mm の丸鋼によって補強されている。

この落下試験台は、IAEA 放射性物質安全輸送規則（§ 717.1 及び § 717.2）<sup>1)</sup>に基づき、規則要件（§ 717）<sup>2)</sup>に適合している。

原型容器は、2 つのセミフックからなる機械的システムによって切り離され、そのセミフックは、ケーブルにより遠隔操作で開かれる。落下高さは、原型容器の最も低い衝撃点と落下点の間の長さとして測定される。

貫通試験に用いられる直径 □ mm の半球形端部が付いた □ kg の丸棒は、原型容器の上方で放され、その端部が原型容器の最も弱い部分の中心に衝突するように誘導される。

落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ 1 m）に用いられるターゲットは、直径 150 mm、高さ □ mm の軟鋼製丸棒であり、この丸棒は、水平の鋼製プレートに垂直に溶接されている。水平の鋼製プレート自体は、上で説明した落下試験台に固定されている。

### 1.3 試験

#### 1.3.1 供試体

供試体は、TNF-XI 型輸送物の 2 つのフルスケール原型容器（以下、P1 及び P2 という）であり、収納物には原子燃料工業(株)仕様粉末収納缶にウラン酸化物の粉末と同じ見掛け密度（約 1.7 g/cm<sup>3</sup>）の純鉄粉末 25 kg 入れ、12 缶（計 300 kg）を収納した。

写真 1.1 に粉末収納缶の内部並びにボロン入りステンレス鋼製のリング、写真 1.2 に純鉄粉末を示す。

これらの原型容器は試験用のためであり、輸送容器の安全性に悪影響を与えない計測器用電線の隙間及び識別板を除くと、輸送物設計を完璧に代表するものである。

TNF-XI 型輸送物は、主に、外部環境からの保護材である輸送容器外殻が、耐熱衝撃緩衝材であるフェノリックフォームを取り囲む形になっている。フェノリックフォームは、4 つの内容器それぞれのまわりにある中性子吸収材である BORA レジンを取り囲んでいる。

#### 輸送物の主要な寸法：

- ・全高 : 1,040 mm
- ・総断面積 : 1,100×1,100 mm
- ・内容器寸法 : φ 354 mm×H674 mm

#### 輸送物を構成する主要材料：

- ・内・外部の鋼板 : ステンレス鋼板
- ・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

原型容器 P1 は、「(ロ)B 付属資料 1」で説明する試験炉で行われる較正耐火試験のために用いる原型容器である。よって、容器内に熱電対を取り付けられている。

原型容器 P1 の場合、4 つの内容器は全て、内蓋によって閉じられる。この内蓋は、厚さが □ mm のステンレス鋼製ディスクを機械加工して作られている。

原型容器 P2 の場合、原型容器 P1 と同一の内蓋によって閉じられる内容器が □ あり、その他の 2 つの内蓋は、中央部の厚さが □ mm、外周付近の厚さが □ mm のステンレス鋼製ディスク上に、内蓋バイオネット嵌合部を溶接している。

写真 1.3 にバイオネット嵌合部が機械加工された設計の内蓋、写真 1.4 にバイオネット嵌合部が溶接加工された設計の内蓋を示す。

原型容器 P2 では、内容器ガスケットに密封性があることを（目視で）確認できるようにするため、各内容器の最上部粉末収納缶の上に消石灰が置かれた。原型容器 P1 においては、落下試験 I（高さ 9 m）の際に衝撃を受けるコーナー部に最も近い内容器の最上部粉末収納缶の上のみ、消石灰が置かれた。

TNF-XI 型輸送物の内容器は、粉末収納缶 3 缶を収納できるように設計されており、原型容器 P1 及び P2 それぞれ 12 缶入れられた。

### 1.3.2 試験の日程

原型容器 P1 の落下試験は、2001 年 6 月 20 日～22 日、原型容器 P2 の落下試験は、6 月 26 日～29 日に実施された。

### 1.3.3 試験手順

以下の 2 つの表は、原型容器 P1 及び P2 について実施された落下試験の順序を 表 1.1 及び 1.2 に示す。輸送物の落下方向及び衝撃点の位置については、図 1.1～1.25 に示す。



表 1.1 原型容器 P1 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・ 輸送物側面 1 内容器 <input type="text"/>	1
	・ 外蓋上面	2
	・ 外蓋バイオネット嵌合部間	3
落下試験 (高さ 1.2 m)	・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/> )	4
	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/> )	5
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"/> )	6
	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/> )	7
	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/> )	8
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"/> )	9
	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/> )	10
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"/> )	11
	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/> )	12

表 1.2 原型容器 P2 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・ 外蓋回り止めデバイス止めピン	1
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	2
落下試験 (高さ 1.2 m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/> )	3
	・ 輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/> )	4
	・ 輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/> )	5
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"/> )	6
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/> )	7
	・ 外蓋ハンドル部 (落下角度 <input type="text"/> )	8
	・ 外蓋回り止めデバイス止めピン (落下角度 <input type="text"/> )	9
落下試験 I (高さ 9 m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/> )	10
	・ 輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/> )	11
	・ 輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/> )	12
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/> )	13

#### 1.4 原型容器 P1 の落下試験の結果

落下試験の実施に先立ちその重量を計った。輸送物の総質量は□ kg で、熱電対及びケーブルの総重量は□ kg と推定される。

写真 1.5 に粉末収納缶を□ 缶入れた原型容器 P1 の内容物、写真 1.6 に内蓋によって閉じられた原型容器 P1 の内容物を示す。

##### 1.4.1 平常の輸送条件を表わす試験

###### 1.4.1.1 貫通試験 (6 kg 丸棒)

###### ・落下試験 No.1~3

輸送物への落下方向を図 1.1~1.3 に示す。輸送物の貫通はなく、わずかな痕跡若しくは凹みのみ認められた。

試験結果を写真 1.7~1.9 に示す。

###### 1.4.1.2 落下試験 (高さ 1.2 m)

###### ・落下試験 No.4 : 角度□ による輸送物上面エッジ部への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.4 に示す。輸送物の上面外周エッジ部が、衝撃を受けたエッジ部根元で折れ曲っていた。その衝撃の後、輸送物は回転し、上面が下となり、その結果、□ のスタッキングピンが曲った。上面外周エッジ部が折れ曲がったことにより、衝撃を受けたエッジ部に沿った□ の外蓋バイオネット部が局所的に変形した。

試験結果を写真 1.10~1.12 に示す。

###### ・落下試験 No.5 : 角度□ による輸送物上面のコーナー部への衝撃

衝撃を受けるコーナー部は、落下試験 No.4 の落下の際に衝撃を受けたエッジ部とは反対側のエッジ部にある。

輸送物の落下方向を図 1.5 に示す。衝撃を受けたコーナー部の近くでは、輸送物外殻に波状の変形が見られるが、外殻の裂けはない。この落下による容積減少は、□ %以下である。平常の輸送条件を表す落下試験中では、この落下が最も大きな変形を与えた。

試験結果を写真 1.13 及び 1.14 に示す。

##### 1.4.2 事故時の輸送条件を表す試験

###### 1.4.2.1 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)

###### ・落下試験 No.6 : 角度□ による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.6 に示す。輸送物側面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面に沿ってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□ mm となっている。

試験結果を写真 1.15 及び 1.16 に示す。

・落下試験 No.7：角度□による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.7 に示す。輸送物底面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面にそってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□mm となっている。

試験結果を写真 1.17 及び 1.18 に示す。

・落下試験 No.8：角度□による輸送物外蓋の 1 つへの衝撃

輸送物の落下方向を図 1.8 に示す。外蓋上面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。しかし、ハンドル部が破損しており、外蓋バイオネット嵌合部のいくつかで局所的変形が生じている。最も変形の大きな断面にそってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□mm となっている。

試験結果を写真 1.19 及び 1.20 に示す。

1.4.2.2 落下試験 I (高さ 9 m)

・落下試験 No.9：角度□による輸送物上面エッジ部への衝撃

この試験の衝撃を受けるエッジ部及び輸送物の落下方向は、落下試験 (高さ□ m) により、衝撃を受けたエッジ部と同一である (図 1.9 参照)。

この試験の後、衝撃を受けたエッジ部が、輸送物上面に対して垂直方向に□mm 後方に押されているのがわかる。この値は、高さ□ m 及び 9 m の落下試験により、受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□%である。

試験結果を写真 1.21～1.23 に示す。

・落下試験 No.10：角度□による輸送物上面のコーナー部への衝撃

この落下試験の衝撃を受けるコーナー部及び輸送物の落下方向は、落下試験 (高さ□ m) により、衝撃を受けたコーナー部と同一である (図 1.10 参照)。

衝撃を受けたコーナー部の周囲では輸送物外殻に波状の変形が見られた。下図での変形領域の程度は下記の通りである。



衝撃を受けた輸送物のコーナー部（C点）の落下方向に対する変形は、垂直方向に□ mmである。この値は、高さ□ m及び9 mの落下試験により、輸送物上面のコーナー部が受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□ %である。試験結果を写真 1.24 に示す。

#### 1.4.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

ターゲットへの最後の2回の落下試験Ⅱは、損傷の影響を強めるため、落下試験Ⅰ（高さ9 m）の後に再度実施した。

・落下試験 No.11：角度□による輸送物外蓋バイオネット部への衝撃

落下試験Ⅰ（高さ9 m）により、衝撃を受けたエッジ部近傍の1つの外蓋において、2つのバイオネット嵌合部の間が開き始めているのが観察された。この落下試験の目的は、さらにこの開口部を悪化させることにある。

輸送物の落下方向を図 1.11 に示す。この落下試験により、外蓋のバイオネット嵌合部の間に観察された開口部がさらに広がり、パッキンがあらわになり始めていることが確認された。最大開口部（半径方向）は□ mmである。

試験結果を写真 1.25 及び 1.26 に示す。

・落下試験 No.12：角度□による輸送物外蓋への衝撃

落下試験Ⅰ（高さ9 m）により、衝撃を受けた輸送物上面コーナー部に最も近い外蓋外殻が部分的に隆起しているのが観察された。この落下試験の目的は、この外殻を貫通させることにある。この衝撃点は、落下試験Ⅱ（高さ9 m）より衝撃を受けたコーナー部の近傍にある外蓋の平らな面である（写真 1.24 の衝撃点参照）。

輸送物の落下方向を図 1.12 に示す。バイオネット嵌合部の近くの衝撃を受けた外蓋上面に、きわめて局所的な裂け目が確認された。

試験結果を写真 1.27 及び 1.28 に示す。

## 1.5 原型容器 P2 の落下試験の結果

落下試験の実施に先立ち、P2 の重量を計った。輸送物の総質量は  kg である（この原型容器には、熱電対は取り付けられていない）。

### 1.5.1 平常の輸送条件を表す試験

#### 1.5.1.1 貫通試験（6 kg 丸棒）

- ・落下試験 No.1、2

輸送物への落下方向を図 1.13 及び 1.14 に示す。輸送物には、貫通を伴わないわずかな痕跡若しくは凹みのみが見られる。

試験結果を写真 1.29 及び 1.30 に示す。

#### 1.5.1.2 落下試験（高さ m）

- ・落下試験 No.3：角度  による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.15 に示す。この落下試験の後、衝撃を受けた面の変形は見られない。

試験結果を写真 1.31 及び 1.32 に示す。

- ・落下試験 No.4：角度  による輸送物上面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.16 に示す。

2 つのスタッキングピンが押し込まれ、その結果、ピン底部近傍で輸送物上面外殻が裂け、フェノリックフォームがあらわになった。

試験結果を写真 1.33～1.35 に示す。

- ・落下試験 No.5：角度  による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.17 に示す。この落下試験の後、輸送物脚部がゆがんだが、輸送物底面外殻が裂けることはなかった。

試験結果を写真 1.36 及び 1.37 に示す。

### 1.5.2 事故時の輸送条件を表す試験

#### 1.5.2.1 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ 1 m）

- ・落下試験 No.6：角度  による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.18 に示す。ターゲットの衝撃点は、最初の衝撃時にターゲットが脚部に当たることがないように選択された。

輸送物底面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面に沿ってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で  mm となっている。

試験結果を写真 1.38 及び 1.39 に示す。

- ・落下試験 No.7：角度□□による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.19 に示す。輸送物側面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面にそってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□□mm となっている。

写真 1.40 及び 1.41 に示す。

- ・落下試験 No.8：角度□□による外蓋ハンドル部の衝撃

輸送物の落下方向を図 1.20 に示す。この落下試験の目的は、ハンドル部にぶつけることにより、外蓋の回転を確認することにある。

この落下試験の後、ハンドル部の端の 1 つが外蓋から外れた。外蓋が回転し始めた形跡があるが、外蓋回り止めデバイスのリミット・ストップに到達する以前であり、この回り止めデバイスがなくても、外蓋が事故により開くことはありえないと考えるのが合理的である。

試験結果を写真 1.42 及び 1.43 に示す。

- ・落下試験 No.9：角度□□による外蓋回り止めデバイス止めピンへの衝撃

輸送物の落下方向を図 1.21 に示す。この落下試験後も、外蓋回り止めデバイス及びピンは、輸送物から離れターゲットの上に残った。輸送物上面中央の止めピン跡からフェノリックフォームがあらわになった。

試験結果を写真 1.44 及び 1.45 に示す。

#### 1.5.2.2 落下試験 I (高さ 9 m)

- ・落下試験 No.10：角度□□による輸送物側面への衝撃

衝撃を受けた側面は、落下試験 (高さ□□ m) において衝撃を受けた側面と同じである。輸送物の落下方向を図 1.22 に示す。

この落下試験の後、側面に平均□□mm の圧縮変形が見られる。この値は、高さ□□ m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□□%である。落下試験台にぶつかった上面外周エッジコーナー部の 1 つに、わずかな裂け目がある。

試験結果を写真 1.46 及び 1.47 に示す。

- ・落下試験 No.11：角度□□による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.23 に示す。この落下試験の後、輸送物の 1 つのコーナー部に裂け目が確認された。この裂け目は、輸送物の溶接部に限定されており、また輸送物底面に溶接されている脚部は、完全に平らになっていた。平均変形は□□mm である。この値は、高さ□□ m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□□%である。

試験結果を写真 1.48 及び 1.49 に示す。

- ・落下試験 No.12：角度□による輸送物上面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.24 に示す。バイオネット部に変形が見られ、大きな応力を受けたことがわかる。しかし、外蓋バイオネット嵌合部は曲っているが、外蓋は全て依然として適切な位置にあった。

試験結果を写真 1.50～1.52 に示す。

#### 1.5.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ 1 m）

- ・落下試験 No.13：角度□による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.25 に示す。この落下試験は、落下試験 No.7 の落下方向と同じであり、落下試験Ⅰ（高さ 9 m）の際に衝撃を受けた面に対して行われる。この落下試験の際、ターゲットは輸送物外殻を貫通し、フェノリックフォームがあらわになった。

開口角度□の場合、輸送物の貫通の幅は最高で約□mm である。

試験結果を写真 1.53 及び 1.54 に示す。

## 1.6 試験結果

予備落下試験結果を表 1.3 及び 1.4 に示す。また、これらの事故時の輸送条件を表す落下試験の後、内容器のガスケットを通じた消石灰の漏えいは確認されなかった。

原型容器 P1 に対する予備試験の結果は、表 1.6 に示す原型容器 P4 による落下試験に反映される。

P4 に対する貫通試験 (6 kg 丸棒) は、P1 で行われた落下試験と同じものとする。(落下試験 No.1~3)

高さ  m 及び 9 m の落下試験については、輸送物上面コーナー部が衝撃を受ける落下方向とする。それは、エッジ部が衝撃を受ける落下試験に比べて、その後の耐火試験に関して、苛酷な損傷を引き起こすためである。(落下試験 No.5~10)

落下試験 I (高さ 9 m) 前に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) については、輸送物底面への落下に比べて大きな変形をもたらす、側面への落下方向とする。(落下試験 No.6)

最後に、落下試験 I (高さ 9 m) 後に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、衝撃を受けたコーナー部に最も近い外蓋への落下方向とする。外蓋外殻の裂ける現象を再現するためである。(落下試験 No.12)

原型容器 P2 に対する予備試験の結果は、表 1.5 に示す原型容器 P3 による落下試験に反映される。

P3 に対する貫通試験 (6 kg 丸棒) は、P2 で行われた落下試験と同じものとする。(落下試験 No.1 及び 2)

高さ  m 及び 9 m の落下試験については、最大変形をもたらす側面が衝撃を受ける落下方向とする。(落下試験 No.3 及び 10)

落下試験 I (高さ 9 m) 前に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、衝撃において最大の変形がもたらされる角度  による輸送物底面の落下とする。(落下試験 No.6)

落下試験 I (高さ 9 m) 後に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、高さ 9 m からの落下の際に衝撃を受けた側面に対する角度  による落下とし、それによりターゲットの貫通の影響を確認する。(落下試験 No.13)



表 1.3 原型容器 P1 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/>	貫通なく、凹みのみ
	・ 外蓋上面 ・ 外蓋バイオネット嵌合部間	同上 貫通なく、わずかな痕跡のみ
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/> )	エッジ部のみ変形
	・ 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)	・ 輸送物側面中央 (落下角度 <input type="text"/> )	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm
	・ 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
	・ 外蓋上面 (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)	・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/> )	容積減少：約 <input type="text"/> %
	・ 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)	・ 外蓋バイオネット嵌合部間 (落下角度 <input type="text"/> )	深さ方向変形、局所的 割れ寸法：最大幅 <input type="text"/> mm
	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/> )	深さ方向変形、局所的 割れ寸法：局所的

表 1.4 原型容器 P2 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	・外蓋回り止めデバイス止めピン	貫通なく、わずかな痕跡のみ
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	貫通なく、凹みのみ
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/> )	変形なし
	・輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/> )	スタッキングピン根元で局所的割れ
	・輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/> )	脚部のみ変形
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
	・ <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
	・外蓋ハンドル部 (落下角度 <input type="text"/> )	圧縮変形：局所的
	・外蓋回り止めデバイス止めピン (落下角度 <input type="text"/> )	圧縮変形：局所的
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/> )	容積減少：約 <input type="text"/> %
	・輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/> )	容積減少：約 <input type="text"/> %
	・輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/> )	圧縮変形：局所的
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"/> )	深さ方向変形、局所的 割れ寸法：最大幅 <input type="text"/> mm

表 1.5 原型容器 P3 の落下試験順序

試験項目	衝撃点
貫通試験 (6 kg 丸棒)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外蓋回り止めデバイス止めピン</li> <li>・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/></li> </ul>
落下試験 (高さ 1.2 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)</li> </ul>
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)</li> </ul>
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)</li> </ul>
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)</li> </ul>

表 1.6 原型容器 P4 の落下試験順序

試験項目	衝撃点
貫通試験 (6 kg 丸棒)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/></li> <li>・外蓋上面</li> <li>・外蓋バイオネット嵌合部間</li> </ul>
落下試験 (高さ 1.2 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)</li> </ul>
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送物側面中心 (落下角度 <input type="text"/>)</li> </ul>
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)</li> </ul>
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外蓋バイオネット嵌合部間</li> </ul>

## 1.7 参考文献

- (1) Advisory Material for the Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (1996 Edition) – IAEA Safety Standards Series No. ST-2.
- (2) IAEA Safety standards series, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition, n° TS-R-1.

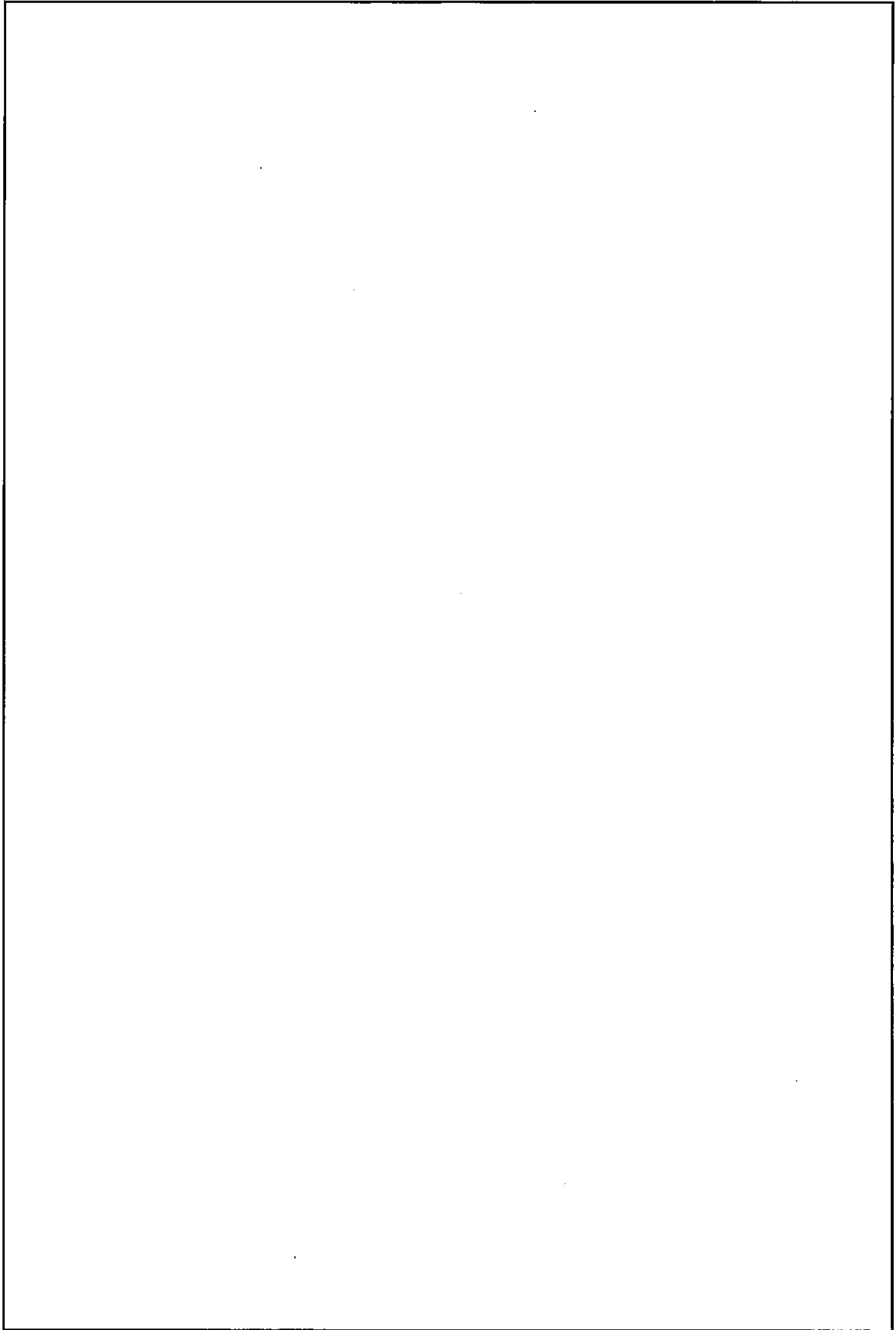


図 1.1 落下試験 No.1 - 原型容器 P1

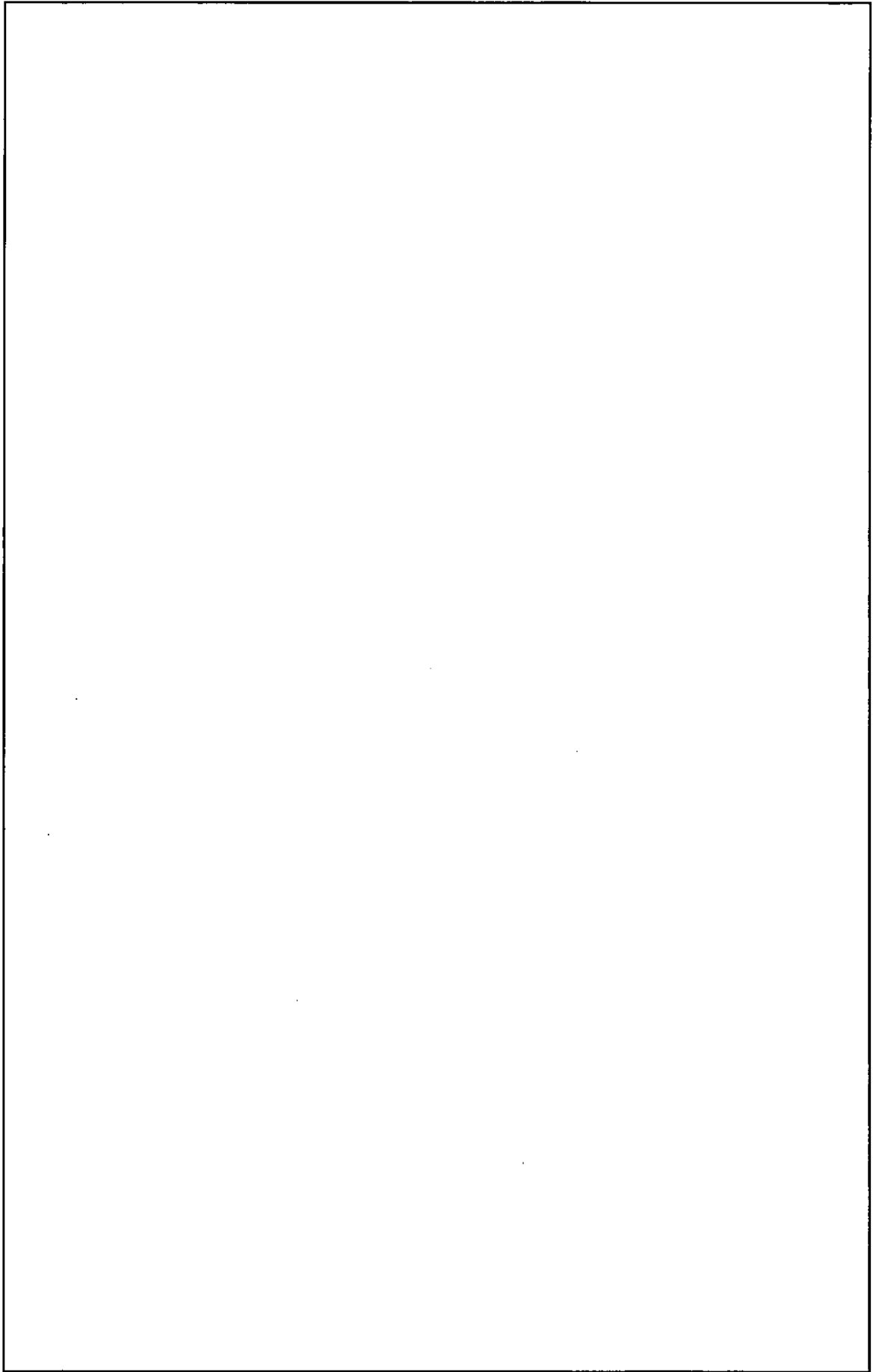


図 1.2 落下試験 No.2 - 原型容器 P1

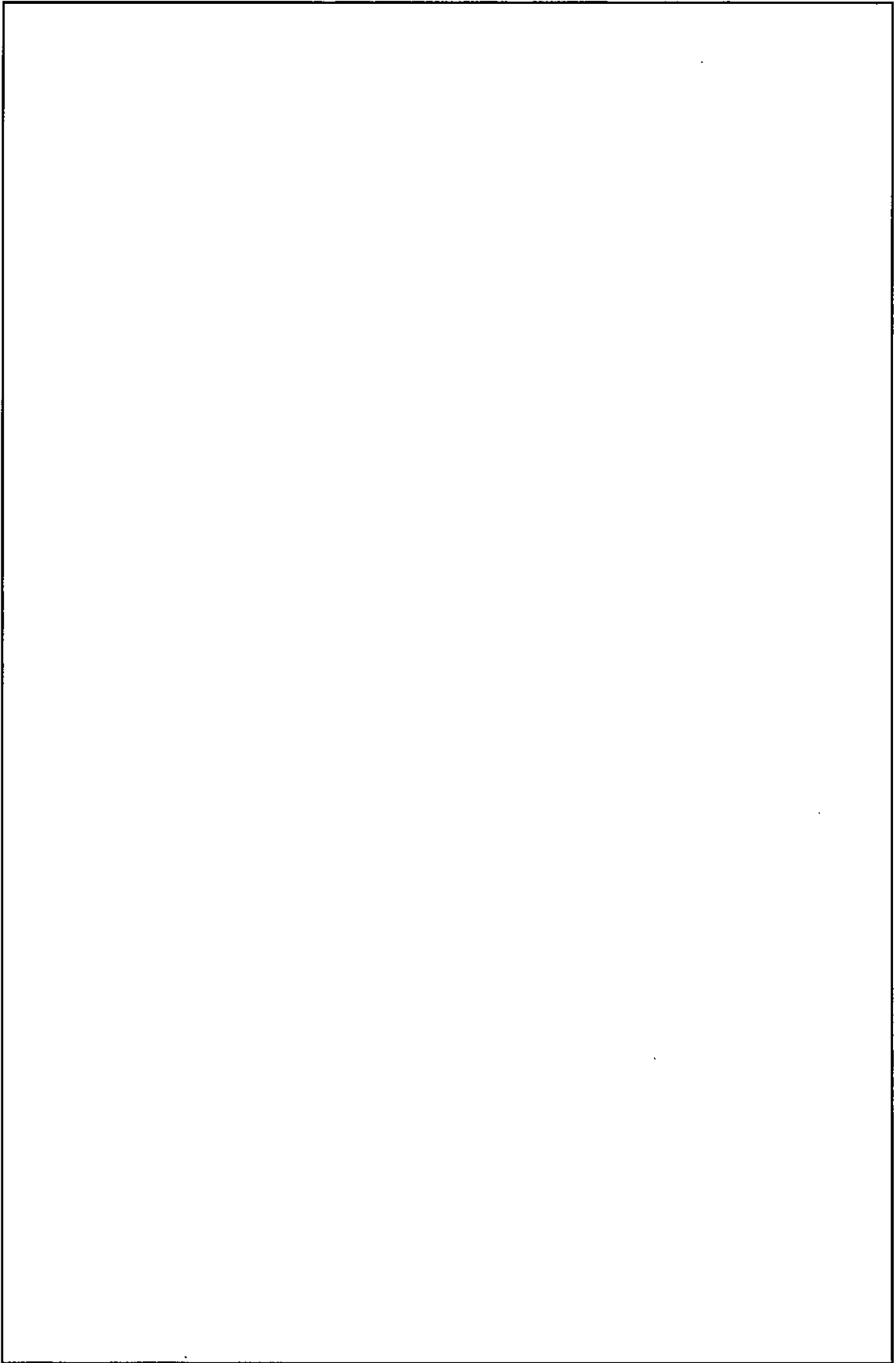


図 1.3 落下試験 No.3 - 原型容器 P1

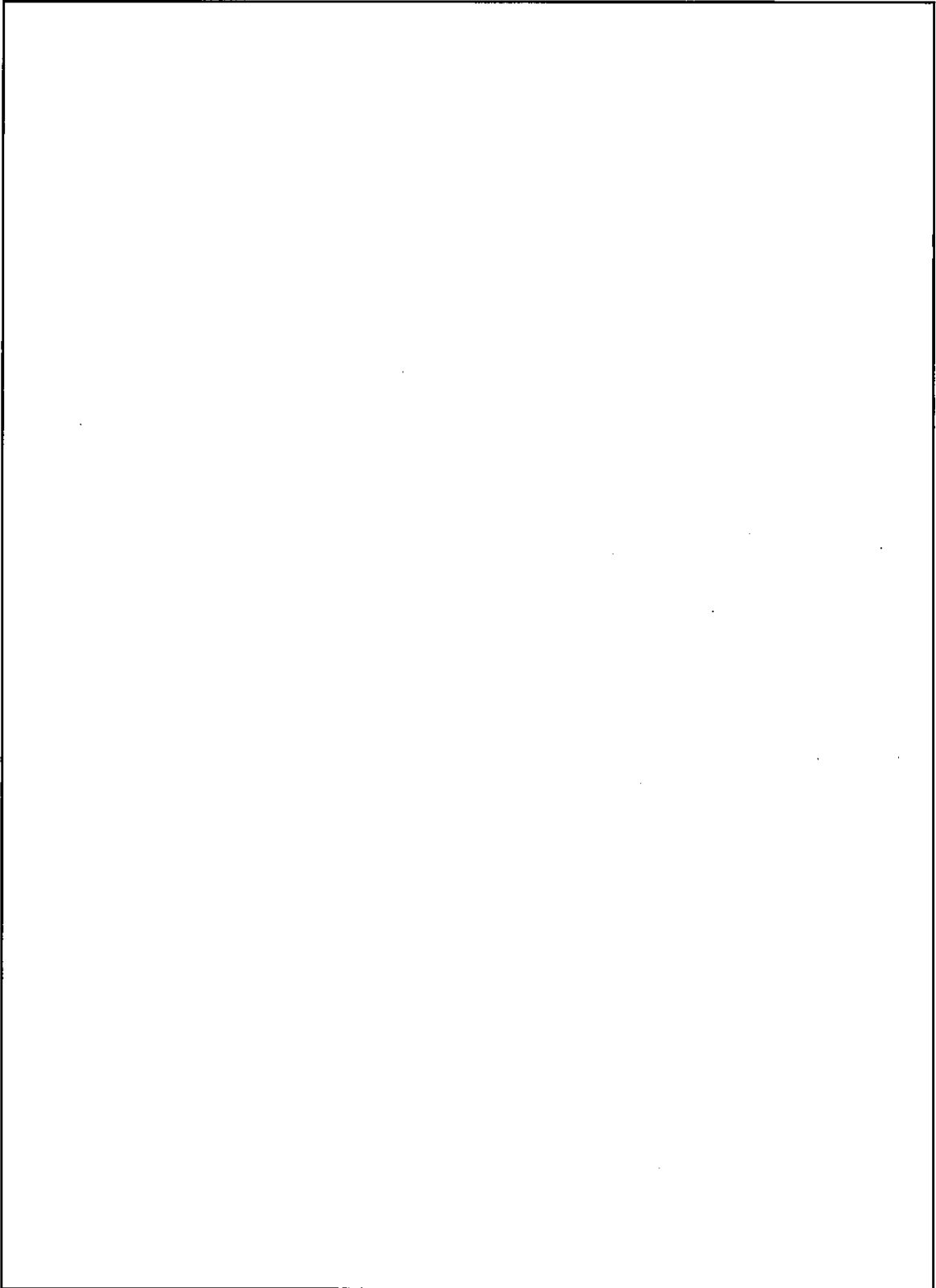


図 1.4 落下試験 No.4 - 原型容器 P1



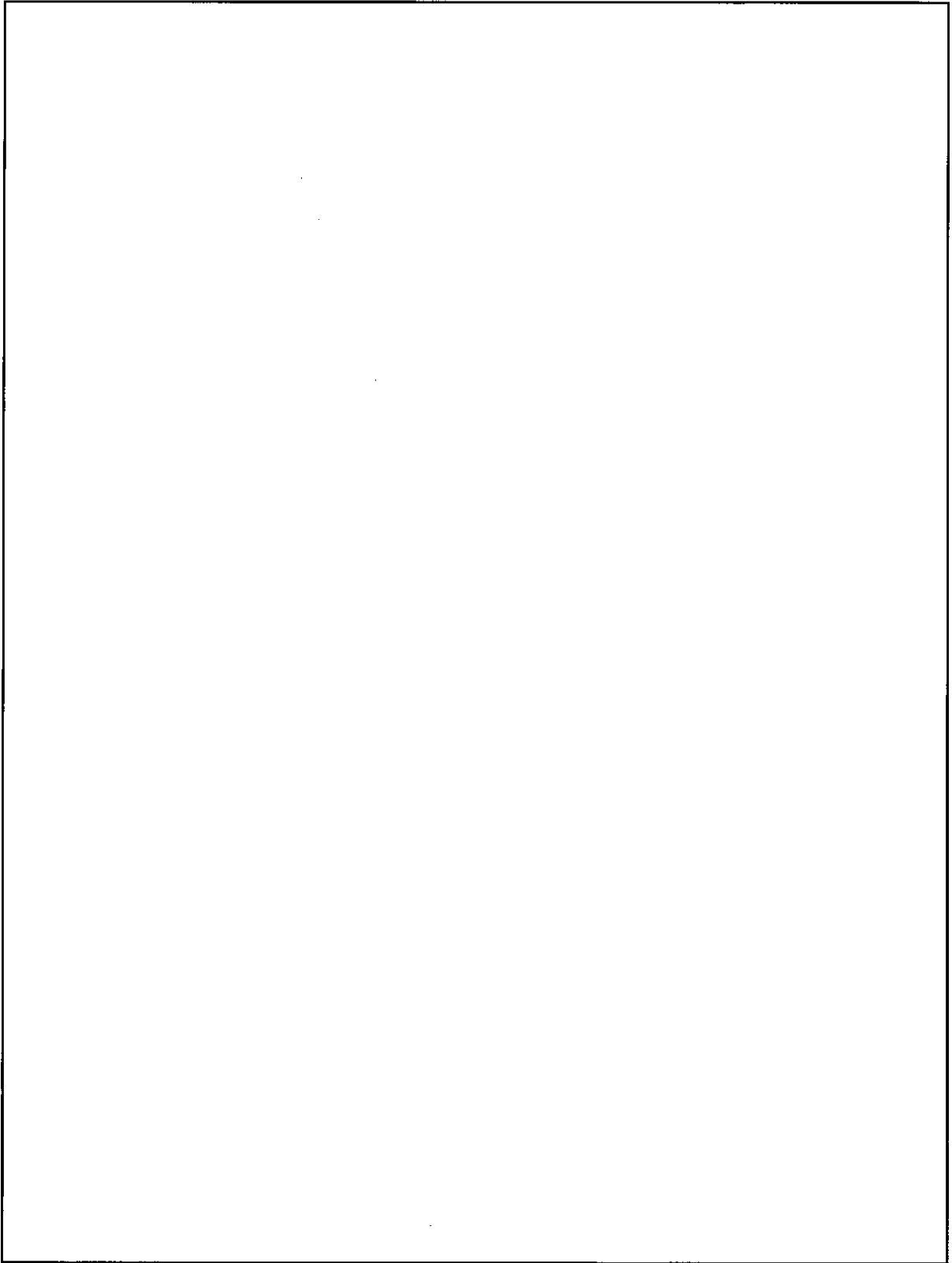


図 1.5 落下試験 No.5 - 原型容器 P1

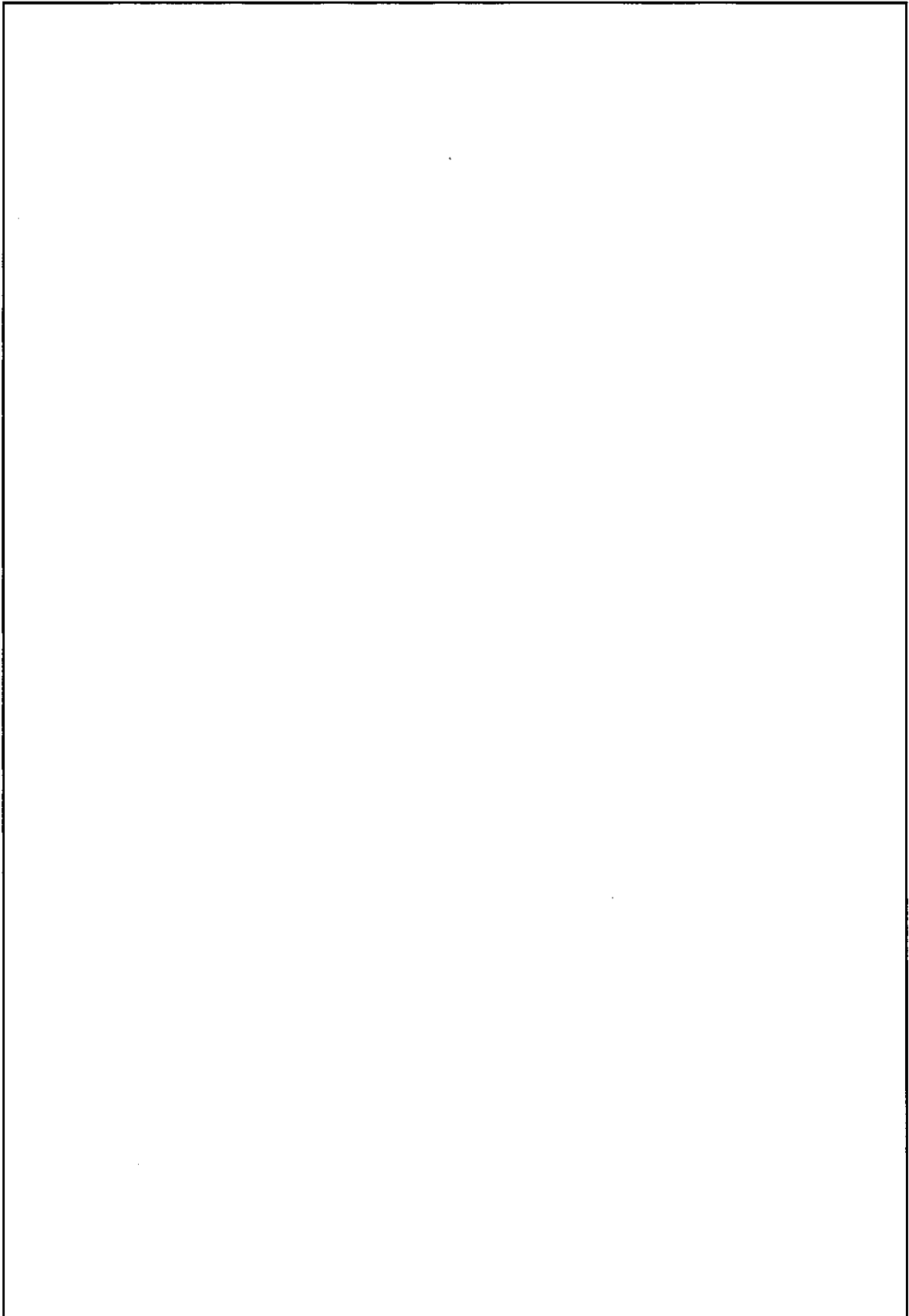


図 1.6 落下試験 No.6 - 原型容器 P1

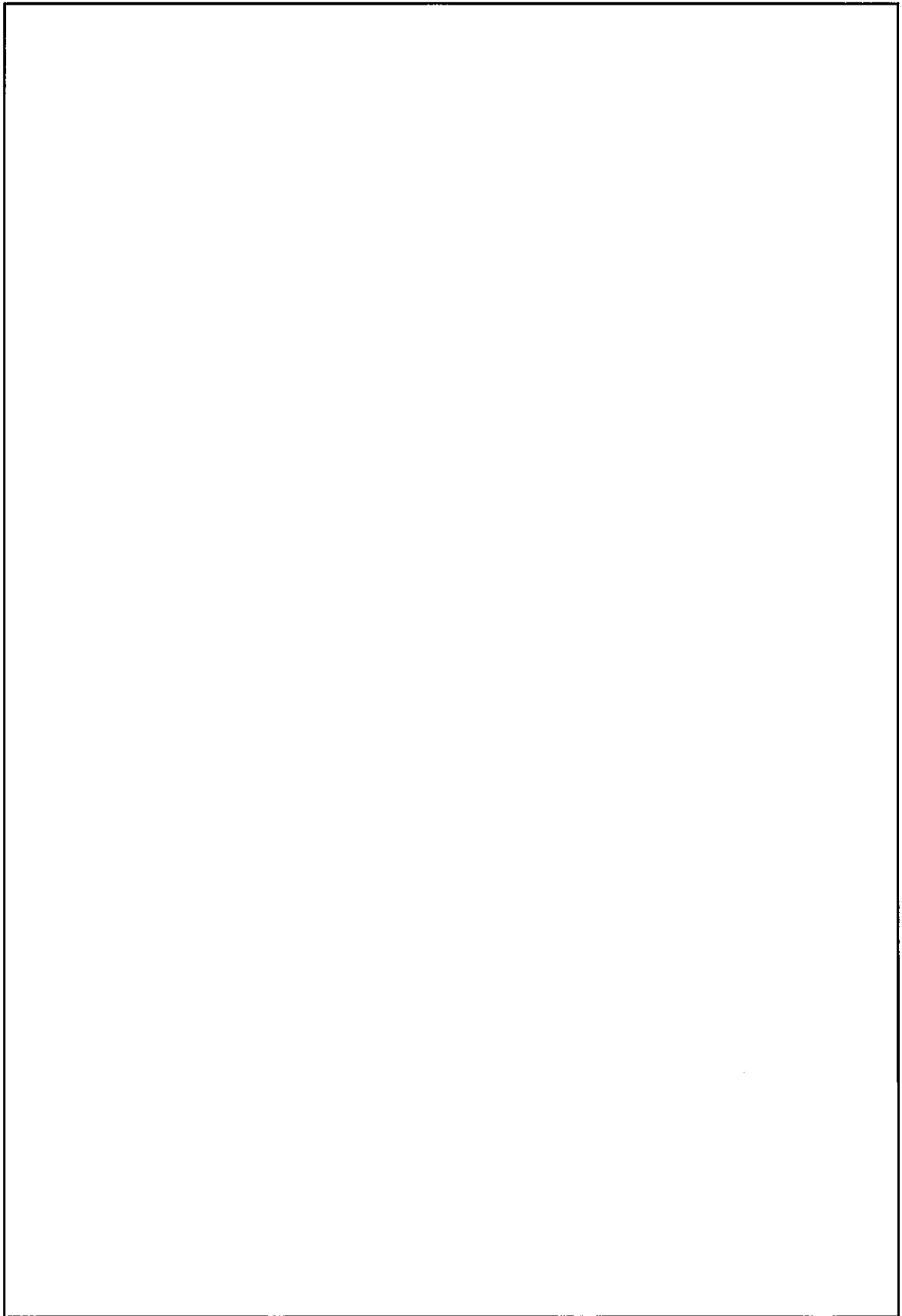


図 1.7 落下試験 No.7・原型容器 P1

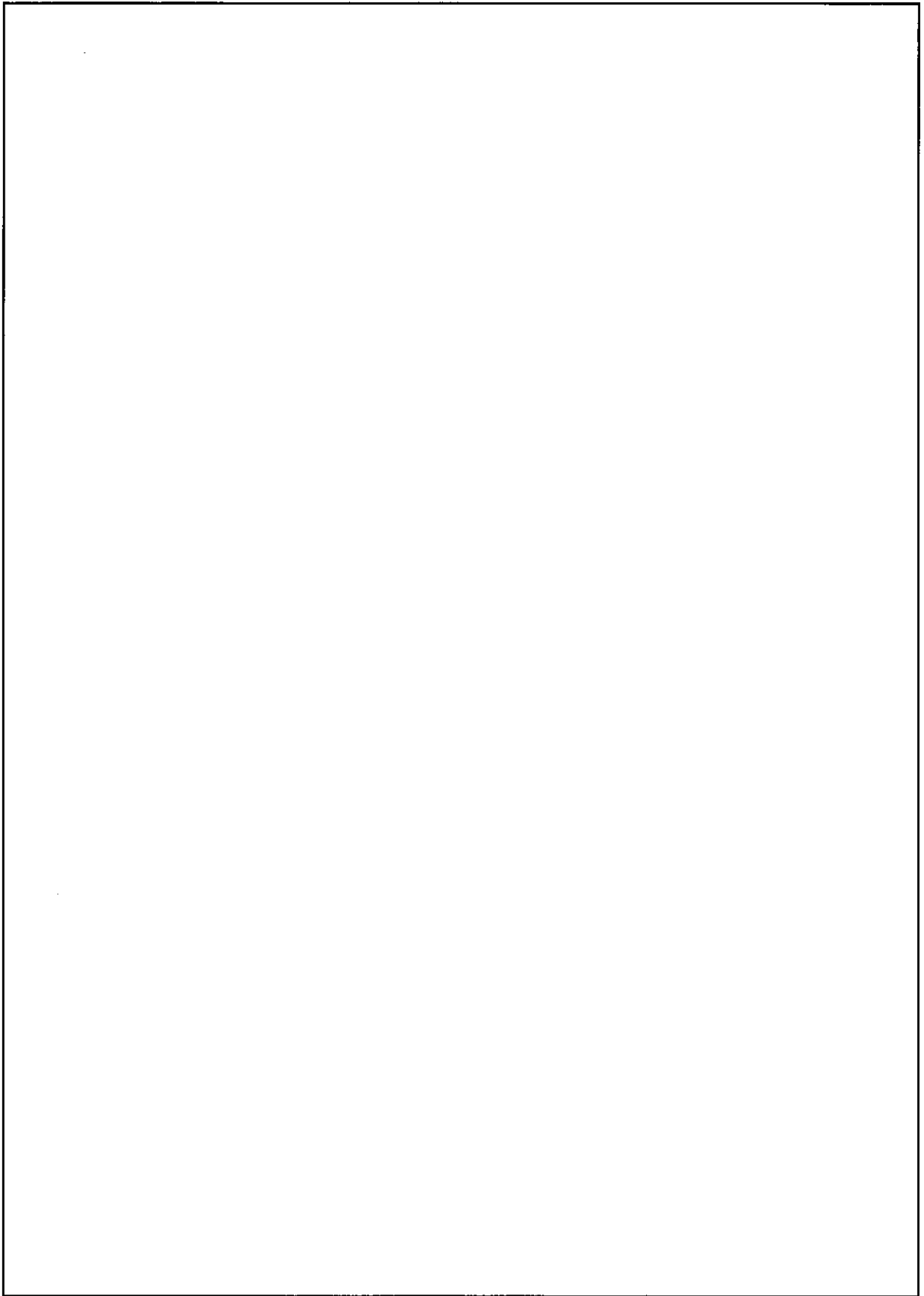


図 1.8 落下試験 No.8 - 原型容器 P1

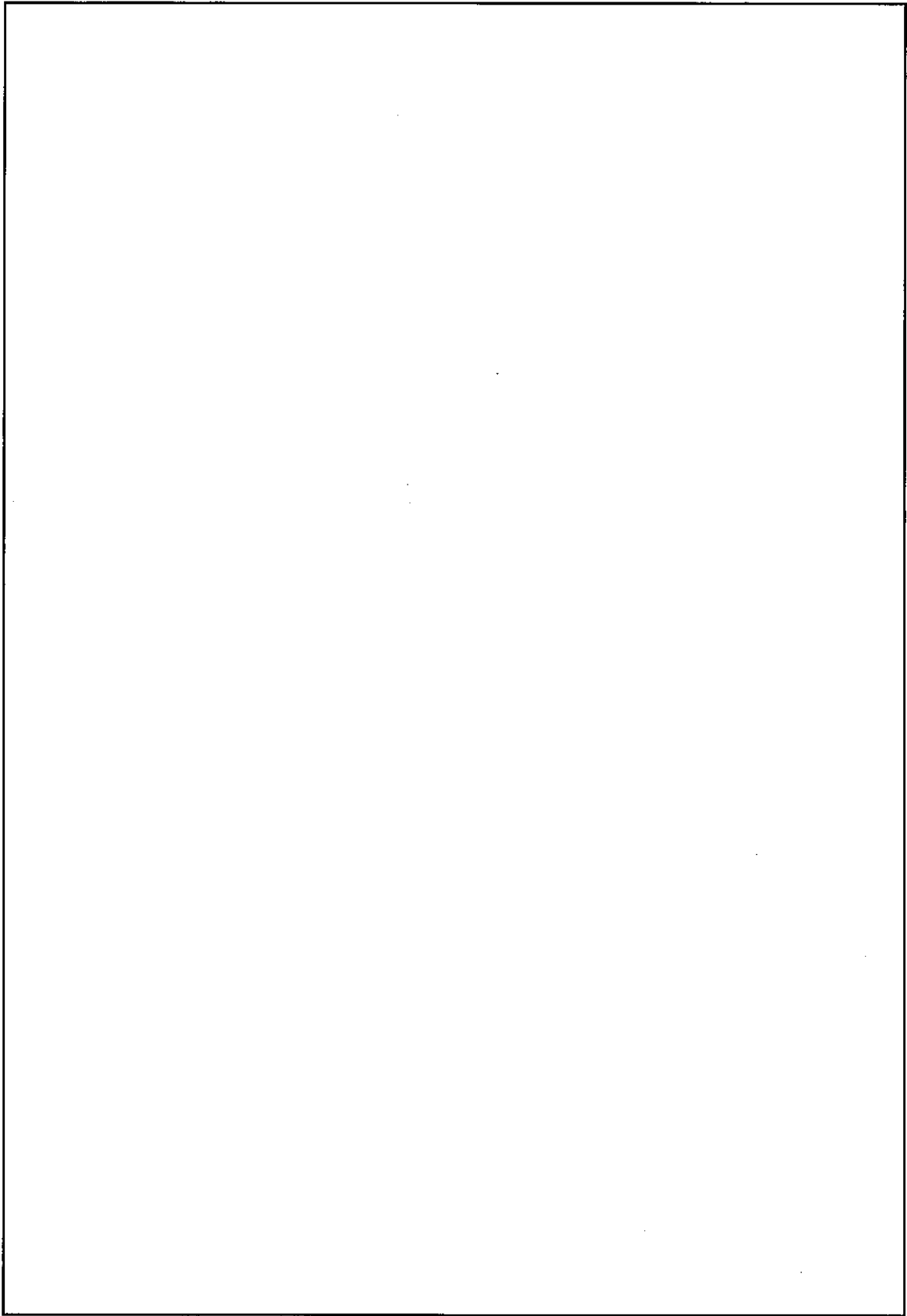


図 1.9 落下試験 No.9・原型容器 P1

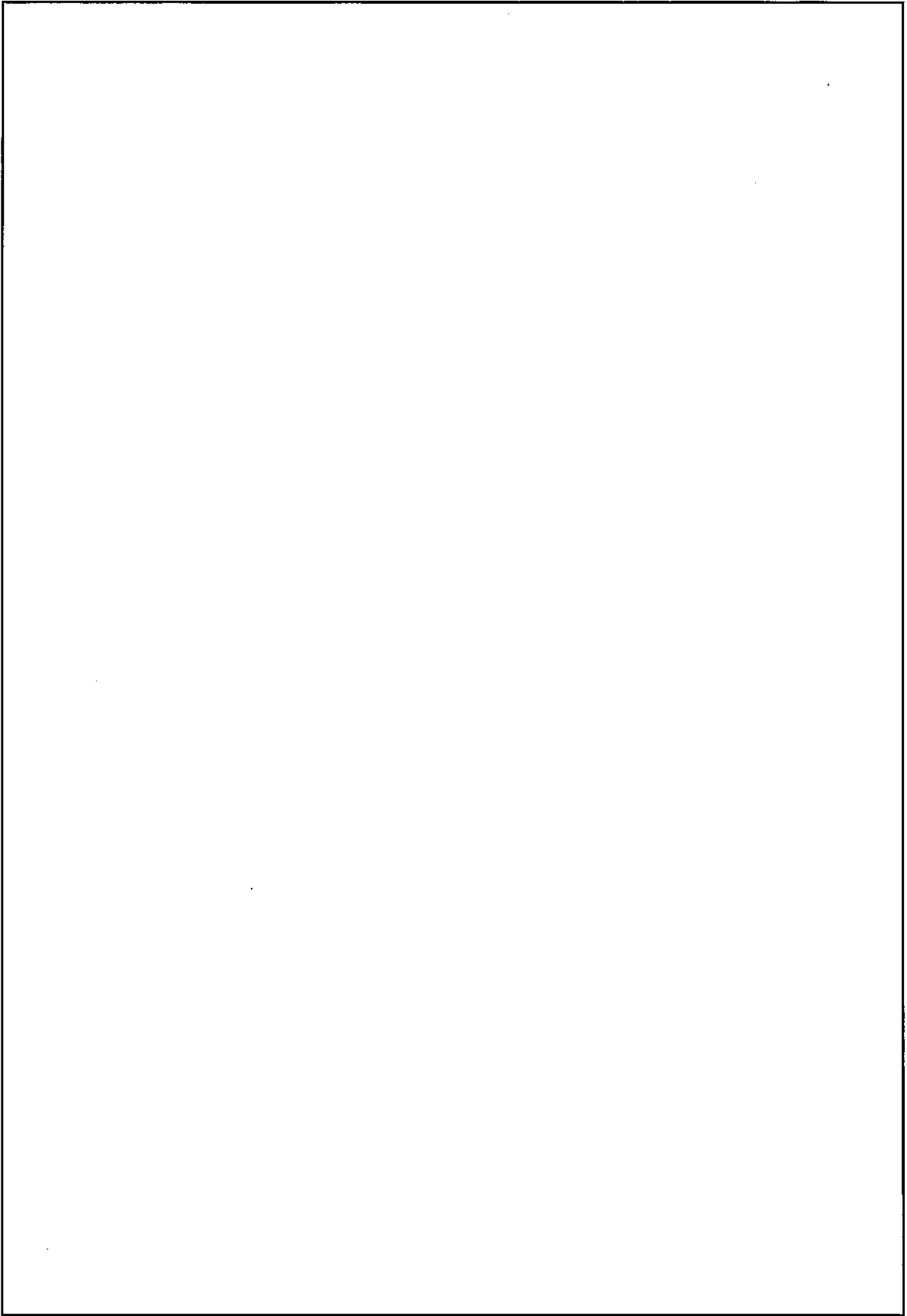


図 1.10 落下試験 No.10・原型容器 P1

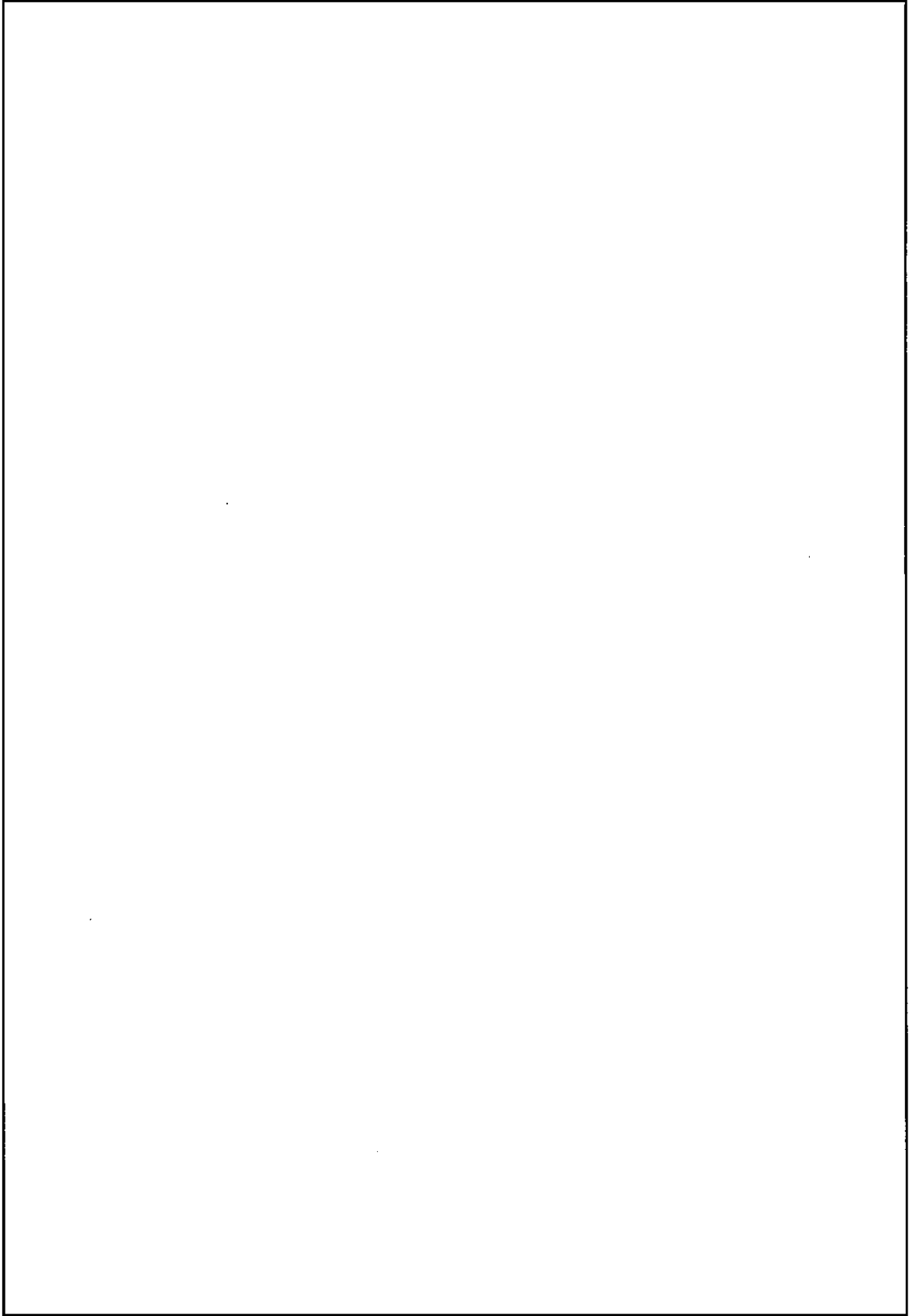


図 1.11 落下試験 No.11 - 原型容器 P1

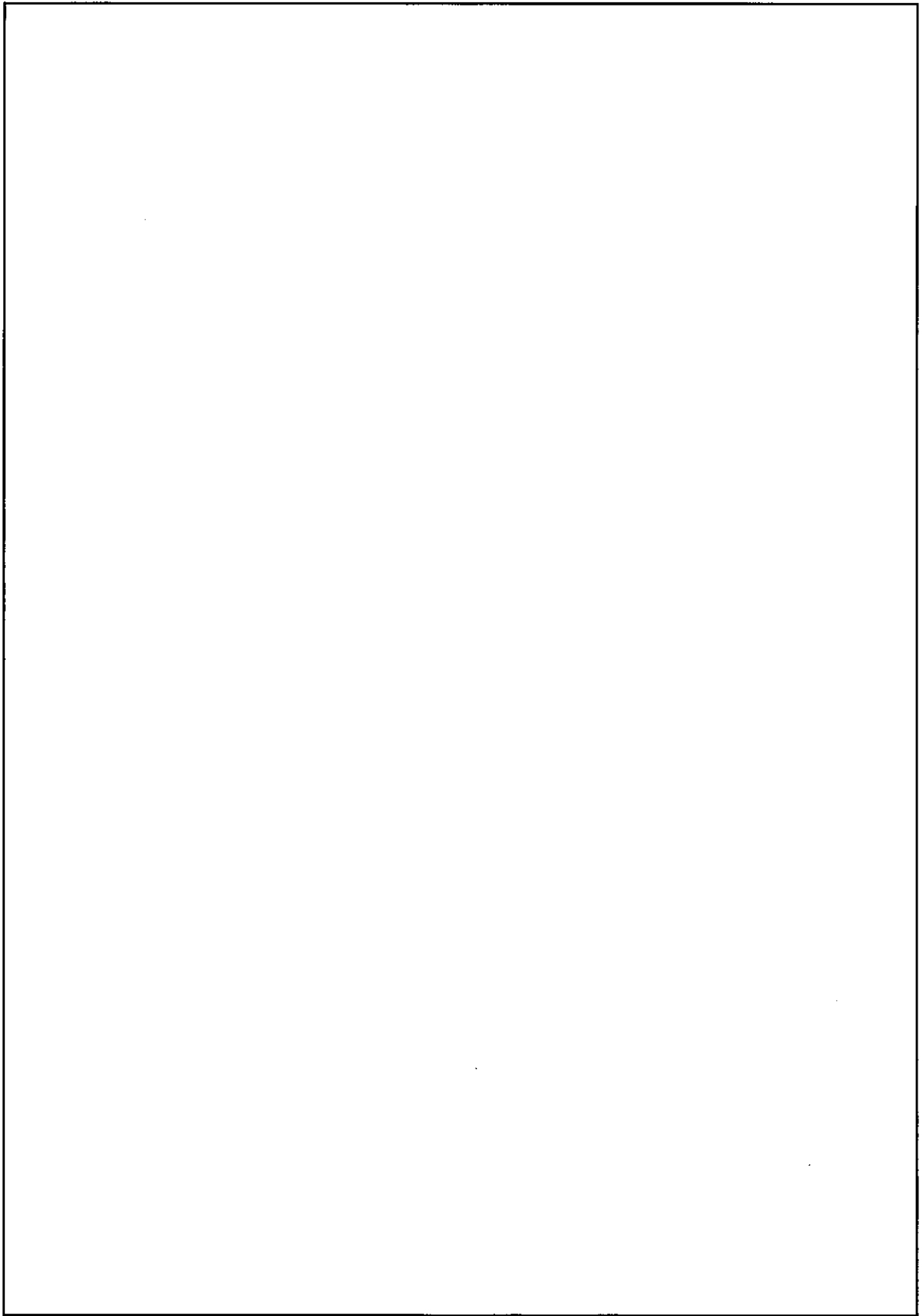


図 1.12 パンクチャー試験 No.12・原型容器 P1



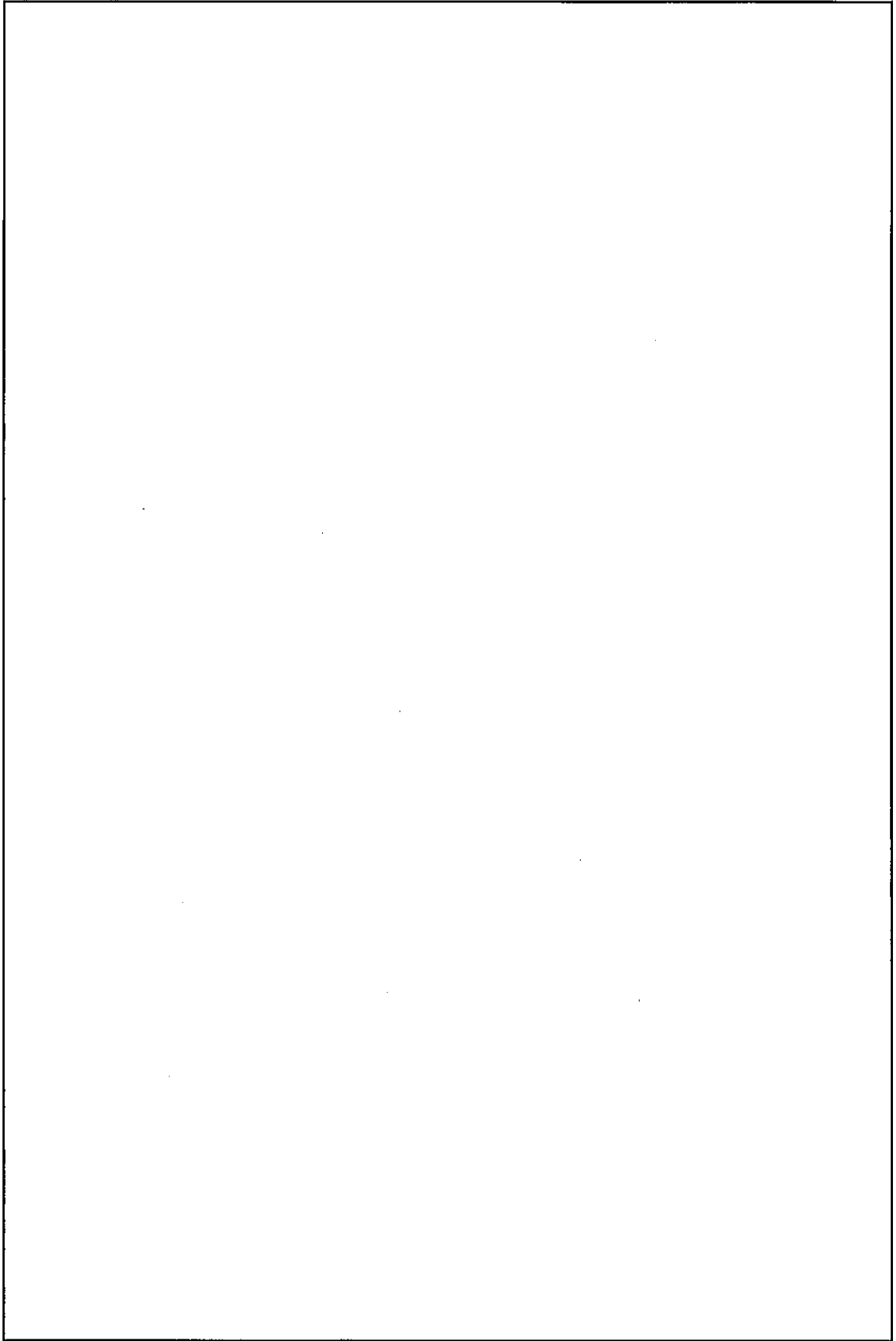


図 1.13 貫通試験 No.1 - 原型容器 P2

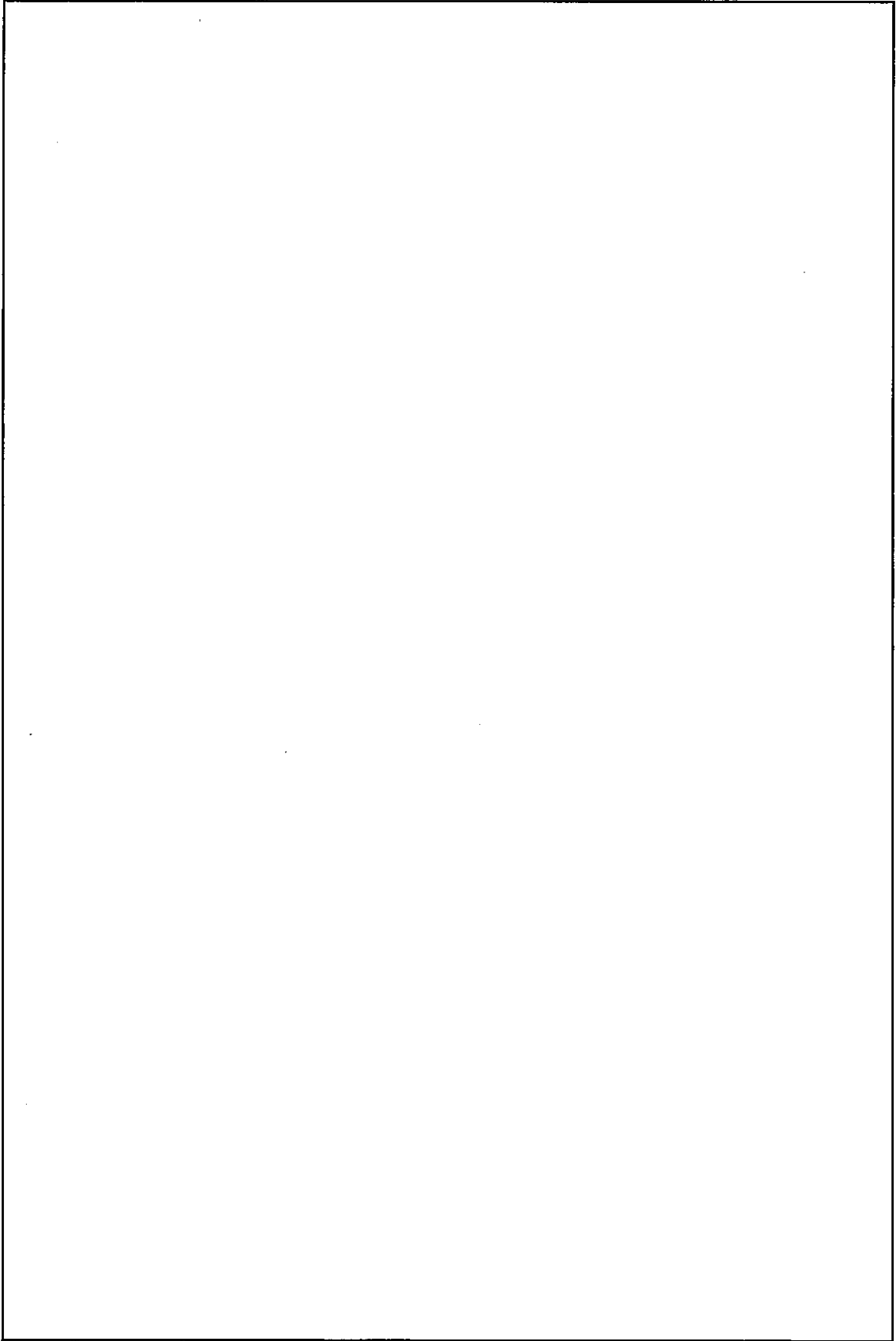


图 1.14 貫通試験 No.2 - 原型容器 P2

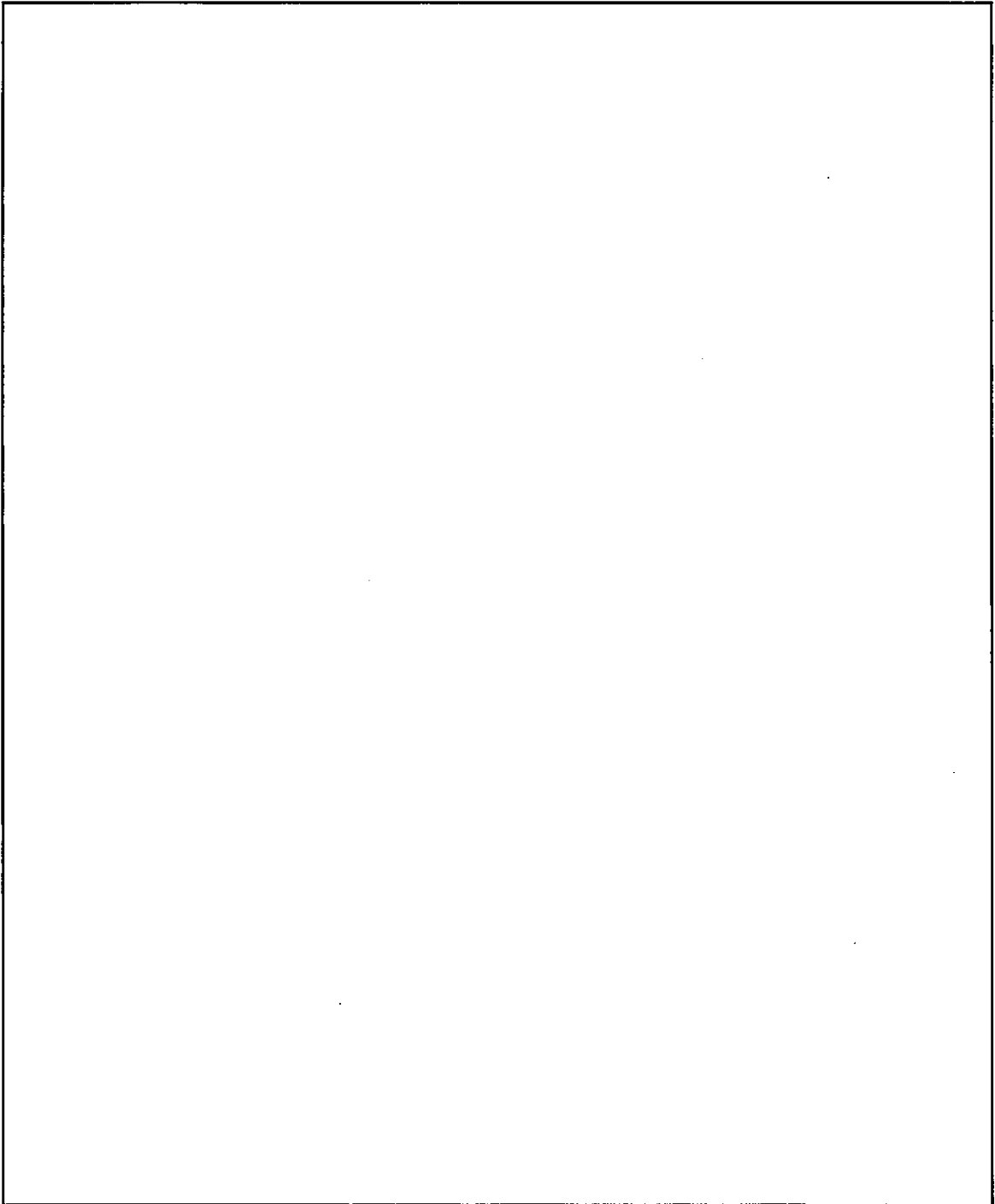


図 1.15 落下試験 No.3・原型容器 P2

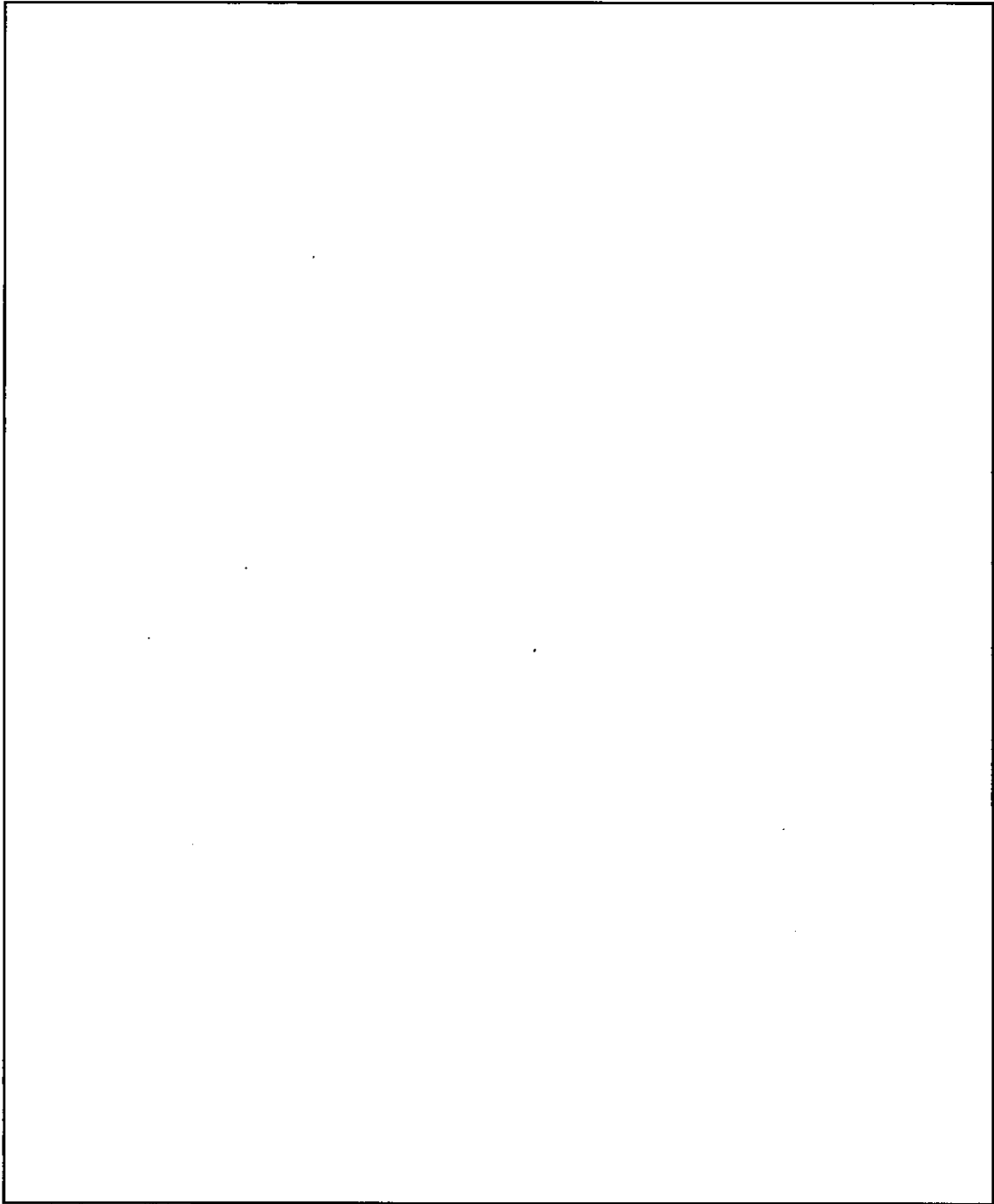


図 1.16 落下試験 No.4 - 原型容器 P2

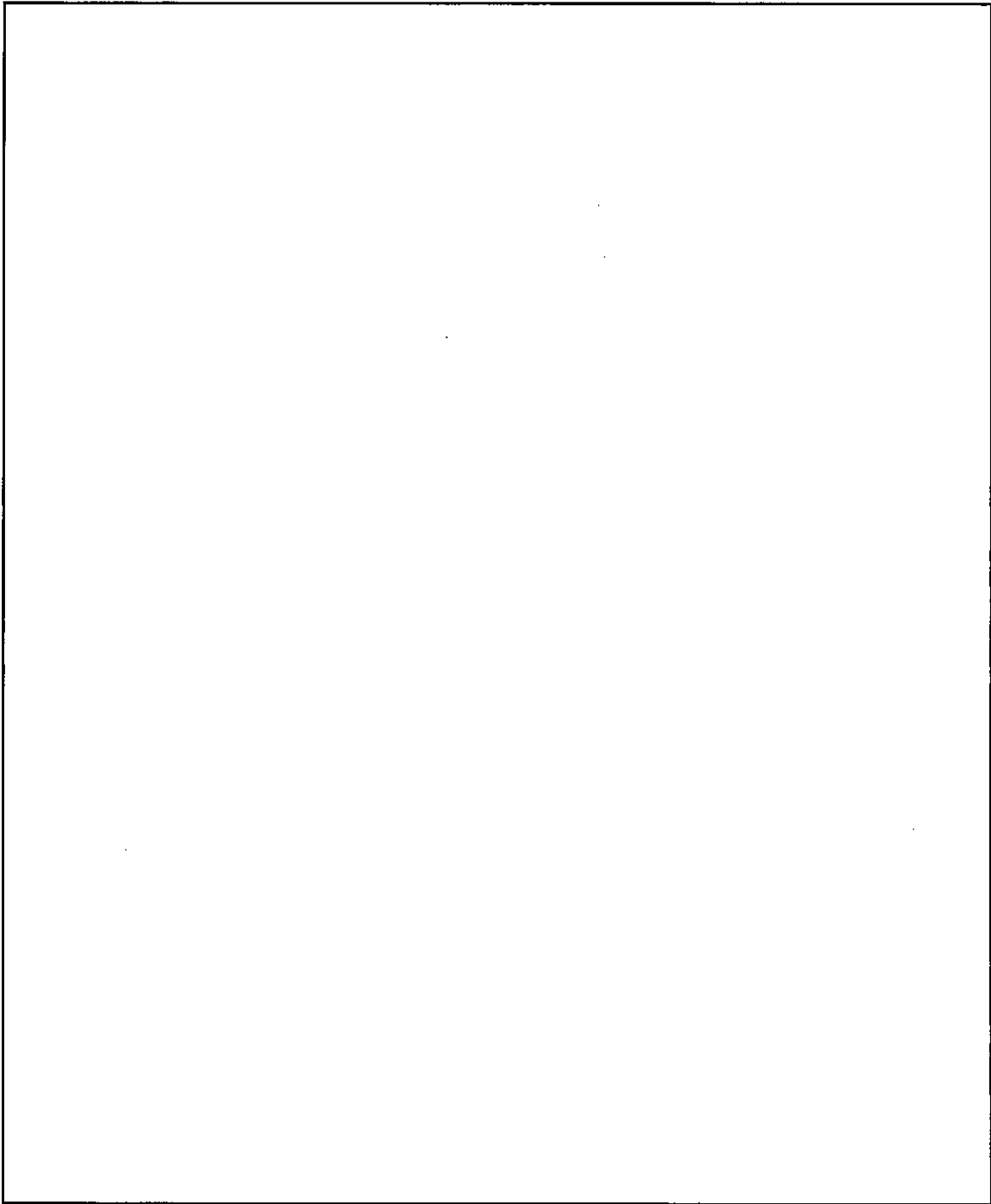


図 1.17 落下試験 No.5・原型容器 P2

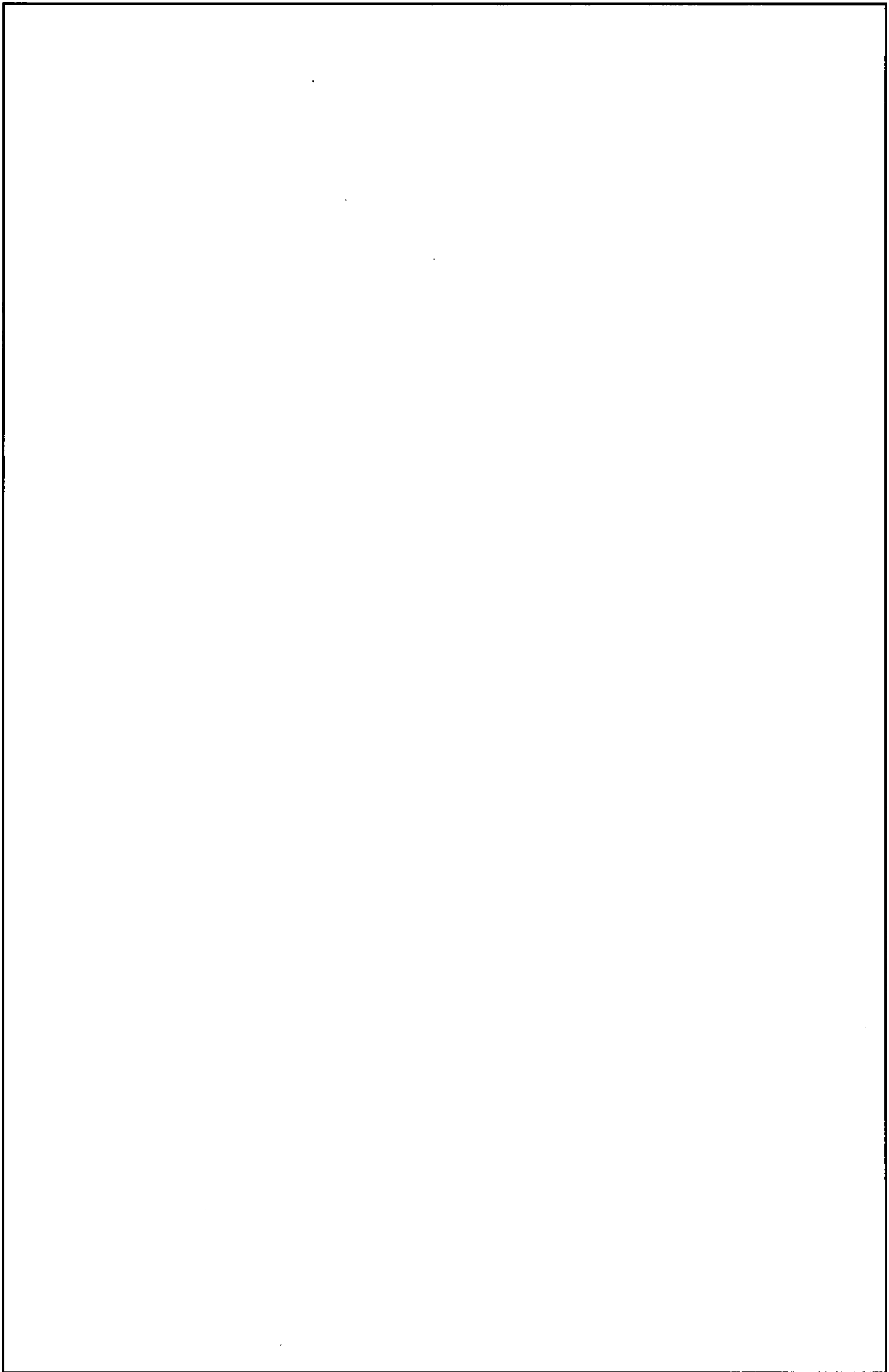


図 1.18 落下試験 No.6・原型容器 P2

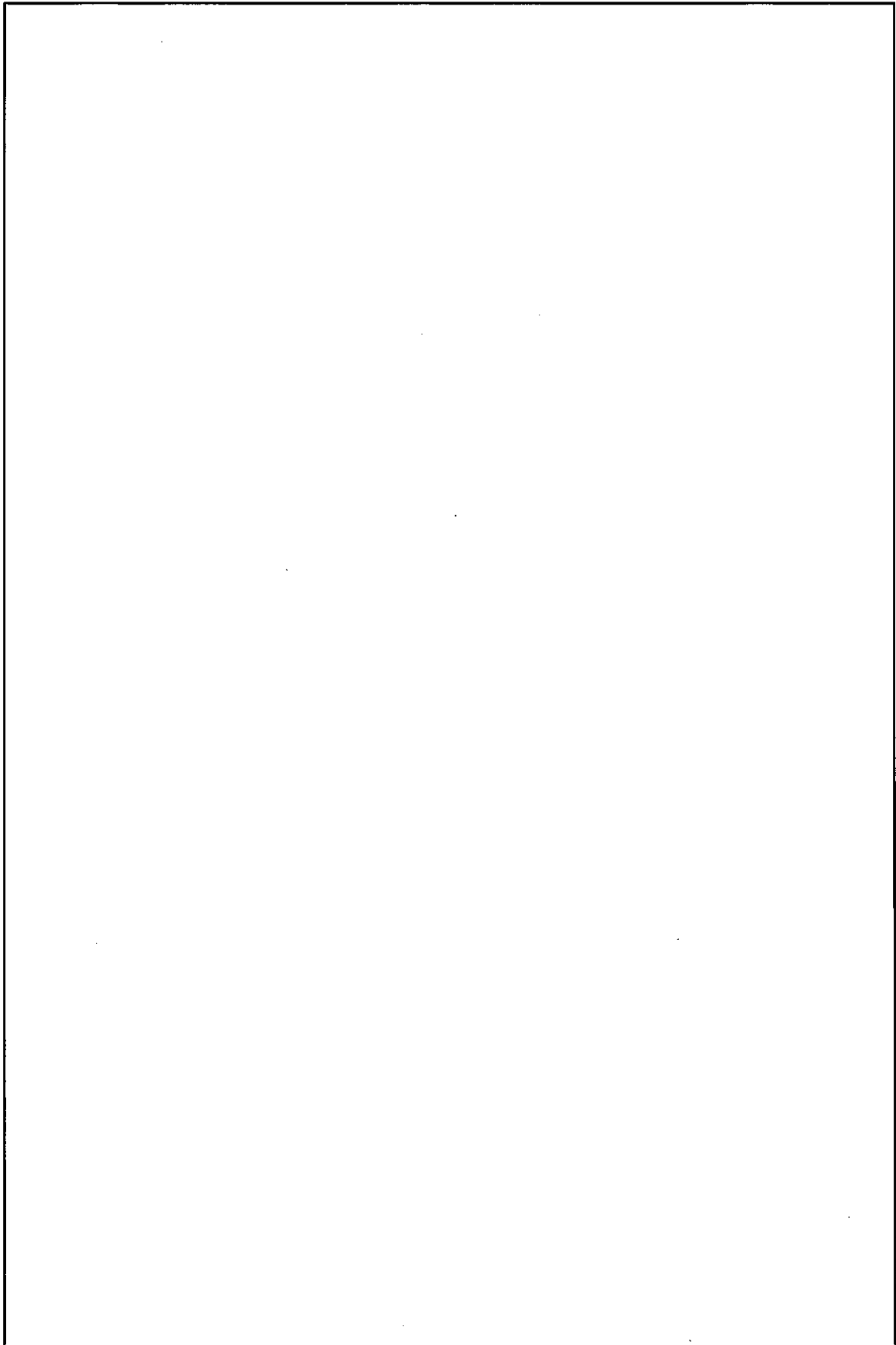


図 1.19 落下試験 No.7 - 原型容器 P2

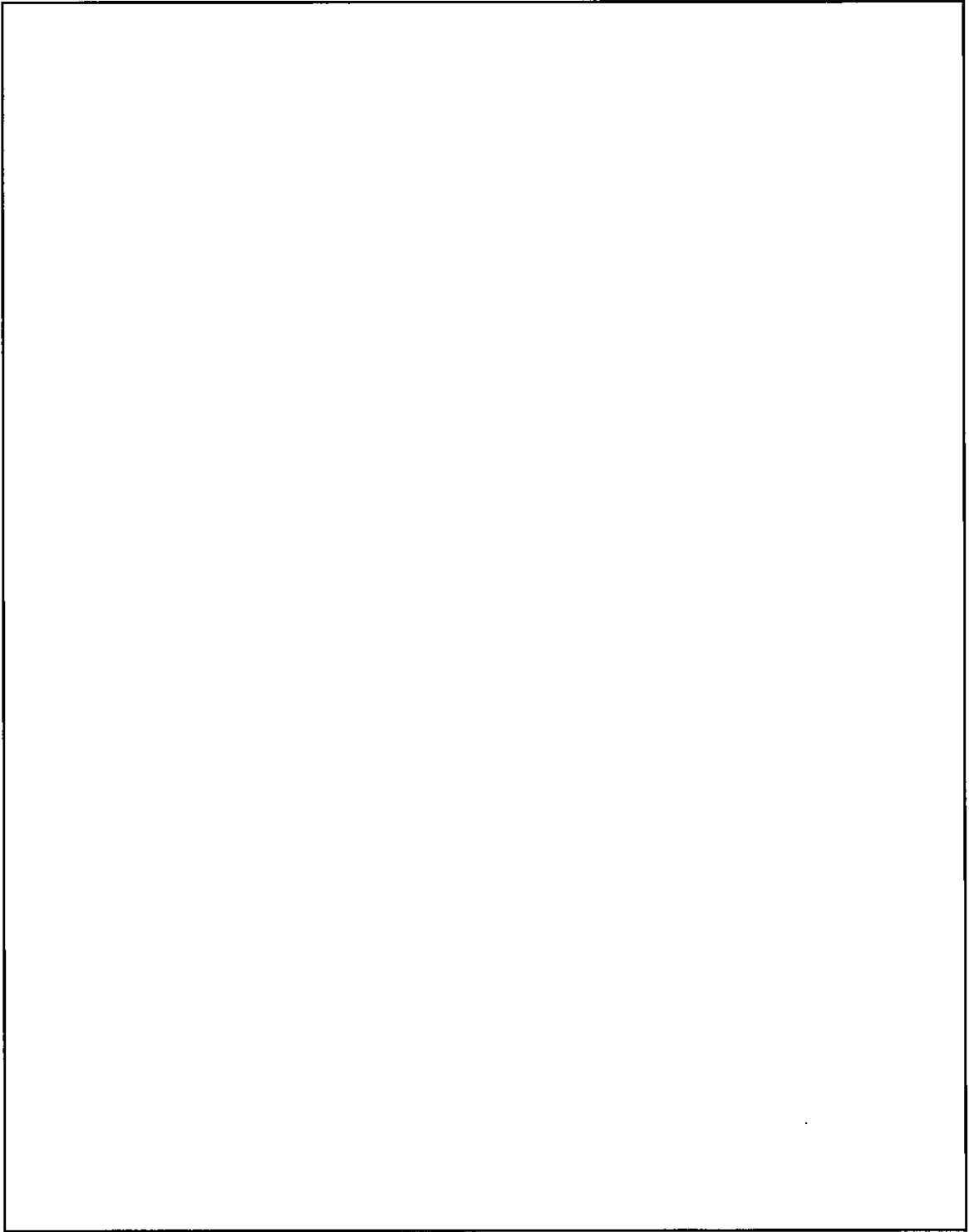


図 1.20 落下試験 No.8 - 原型容器 P2



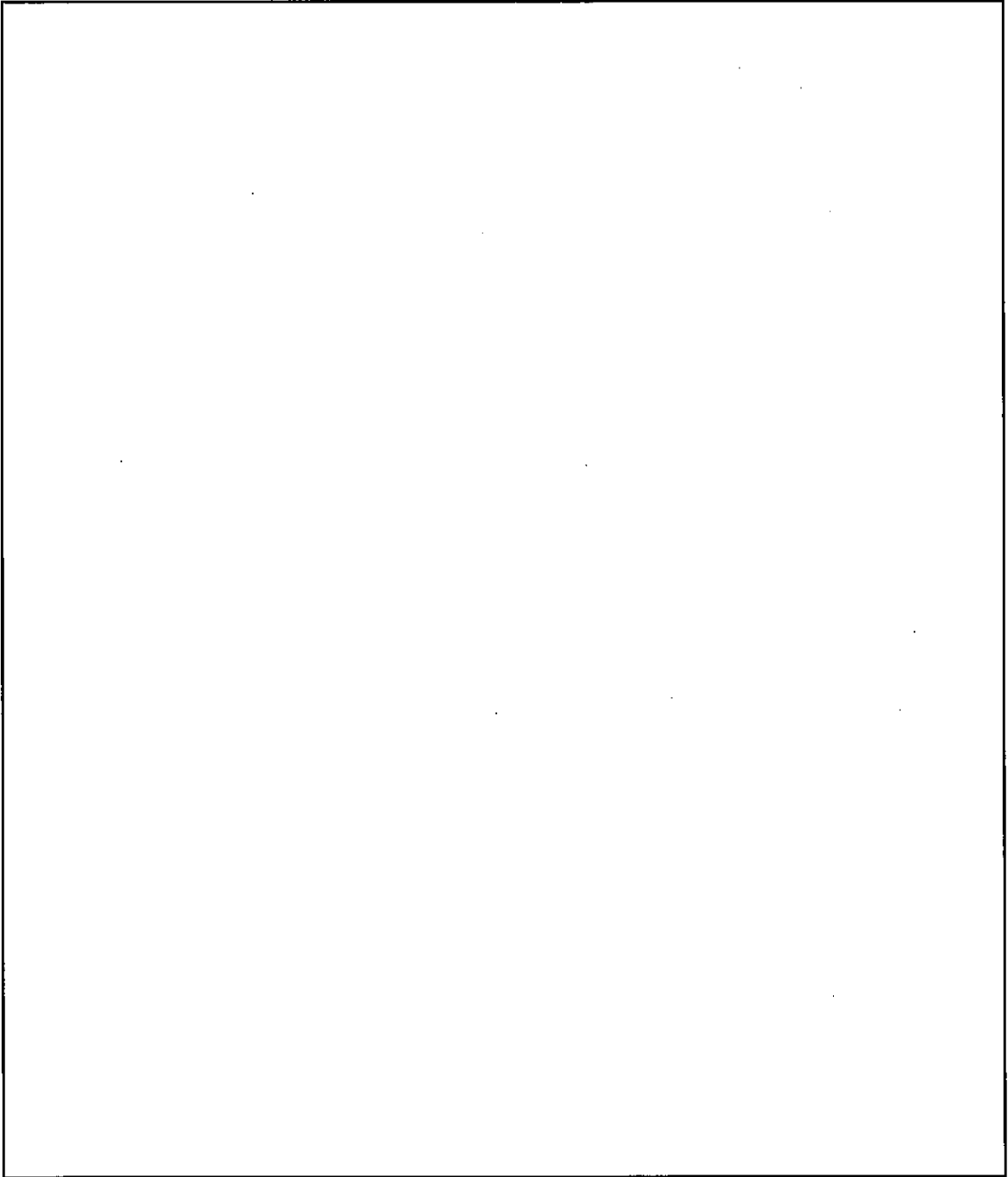


図 1.21 落下試験 NO.9 - 原型容器 P2

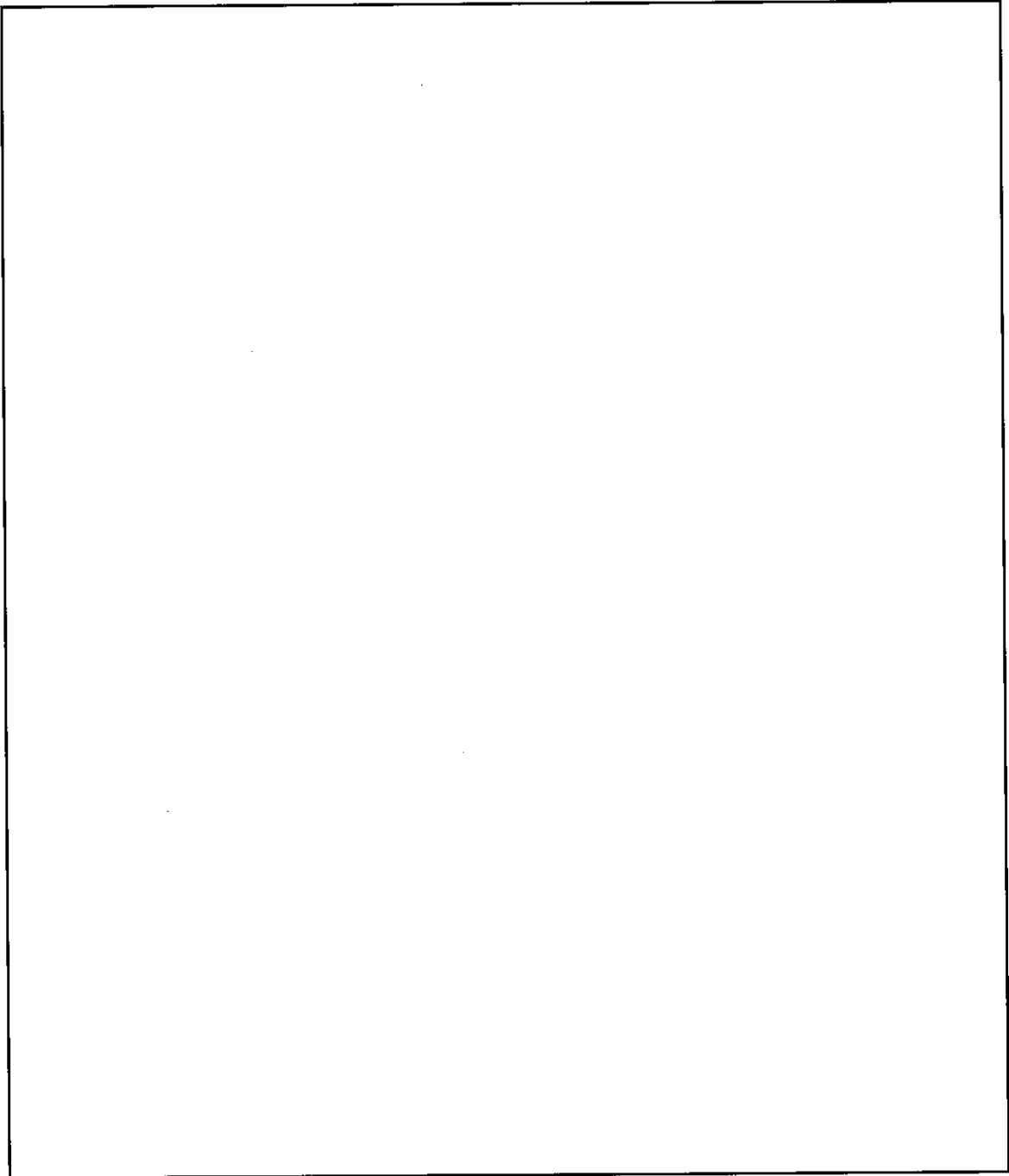


図 1.22 落下試験 No.10 - 原型容器 P2

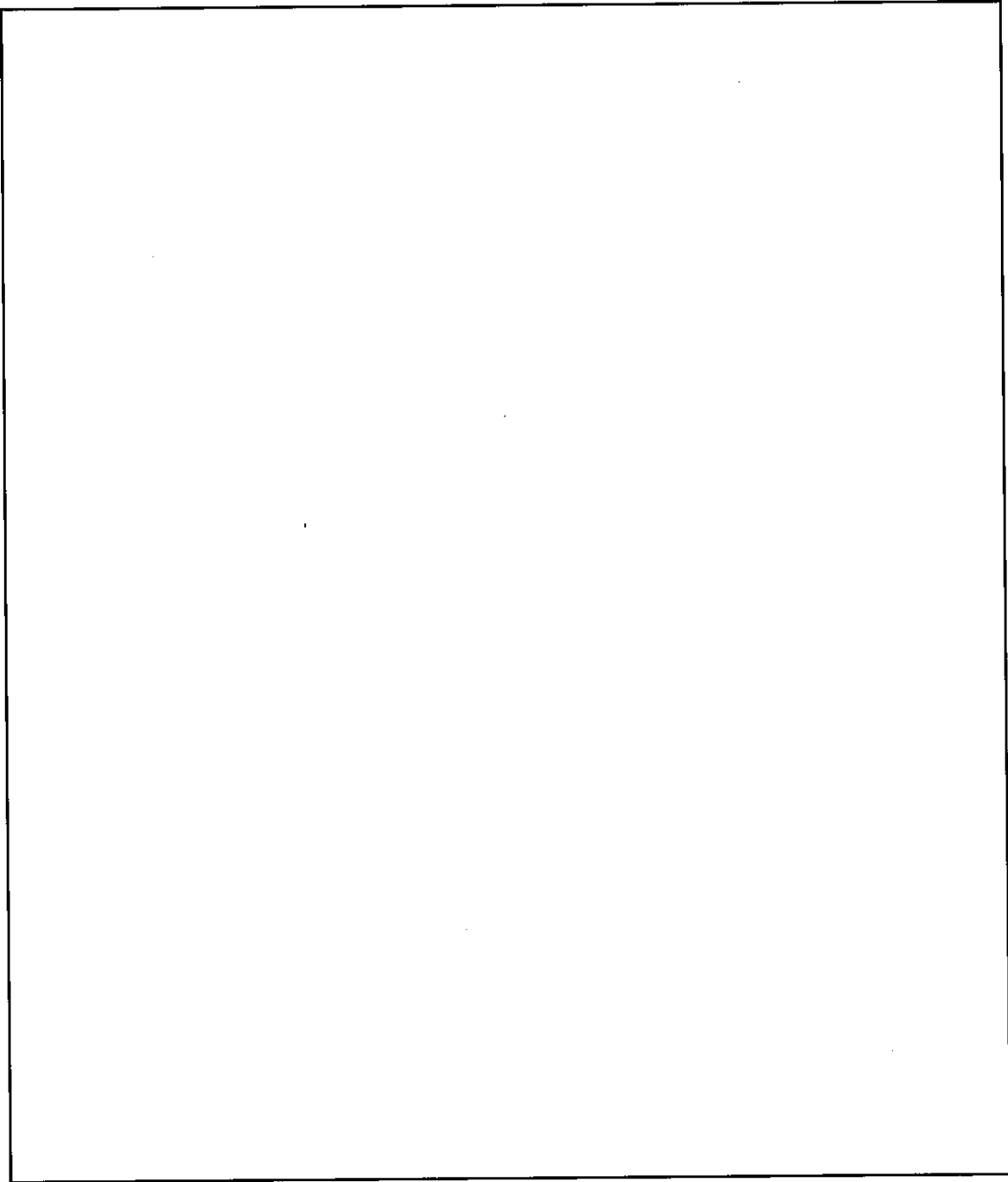


図 1.23 落下試験 No.11・原型容器 P2

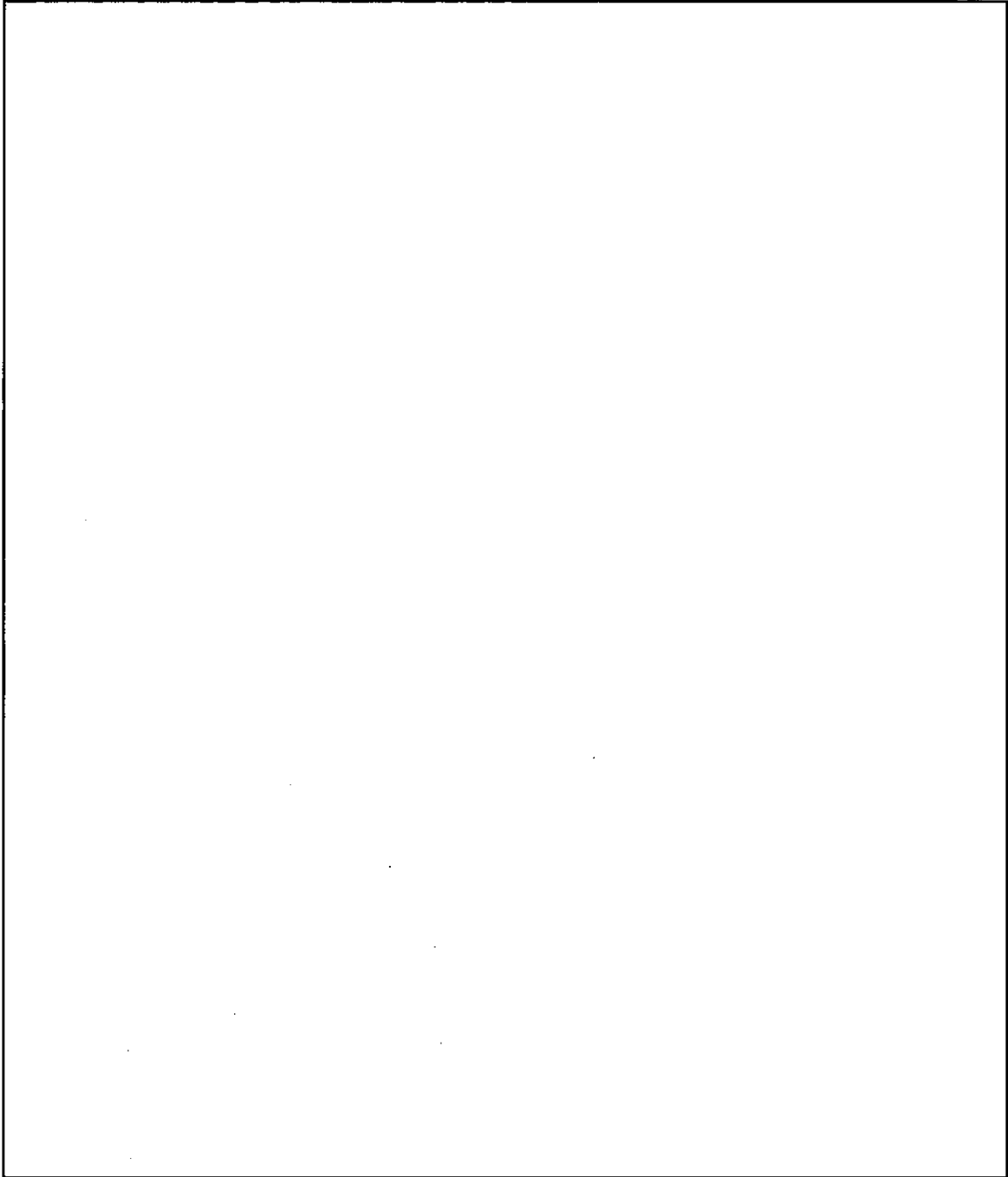


图 1.24 落下試験 No.12 - 原型容器 P2

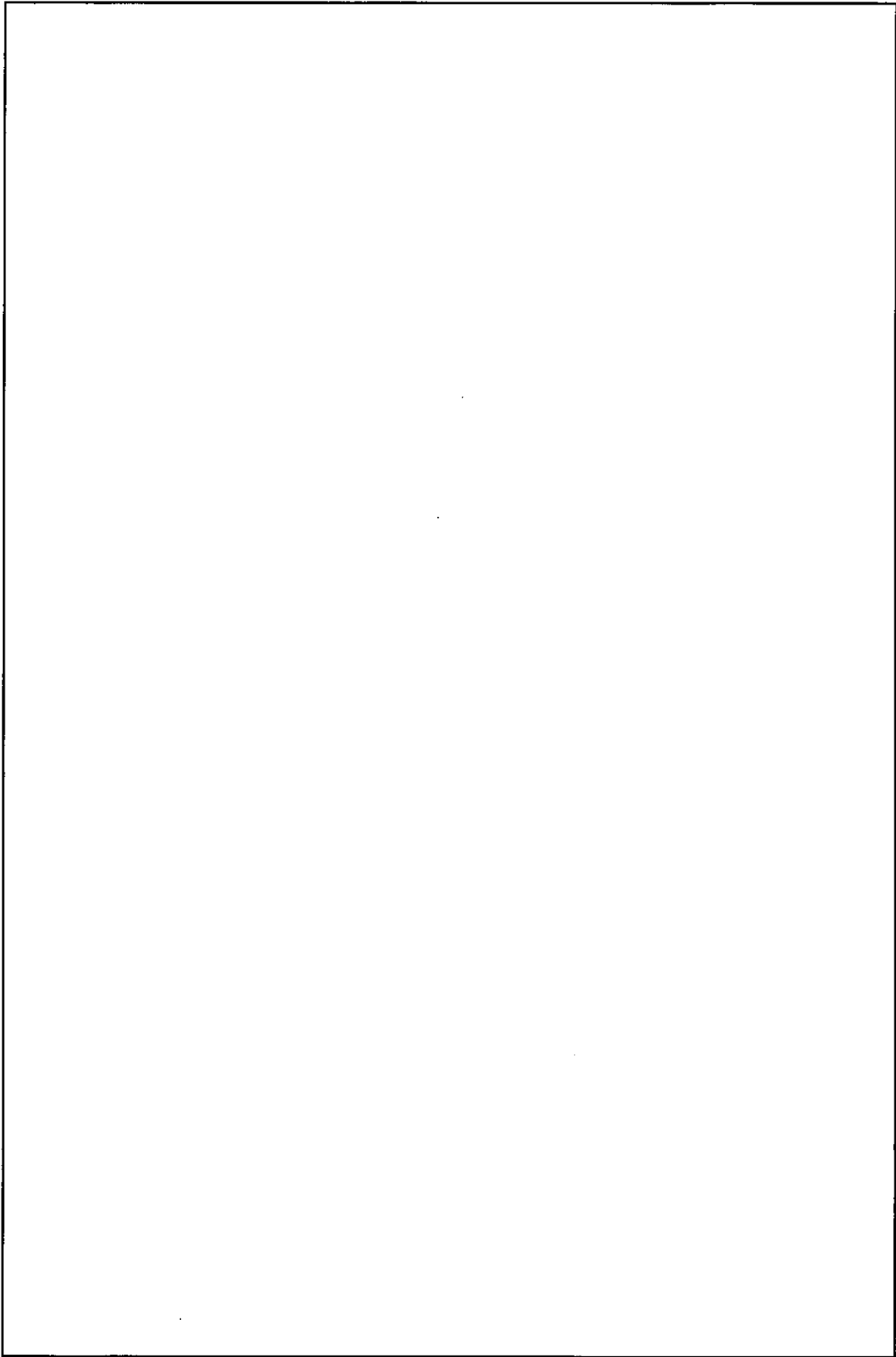


図 1.25 落下試験 No.13・原型容器 P2

(口)A 付属 1-40

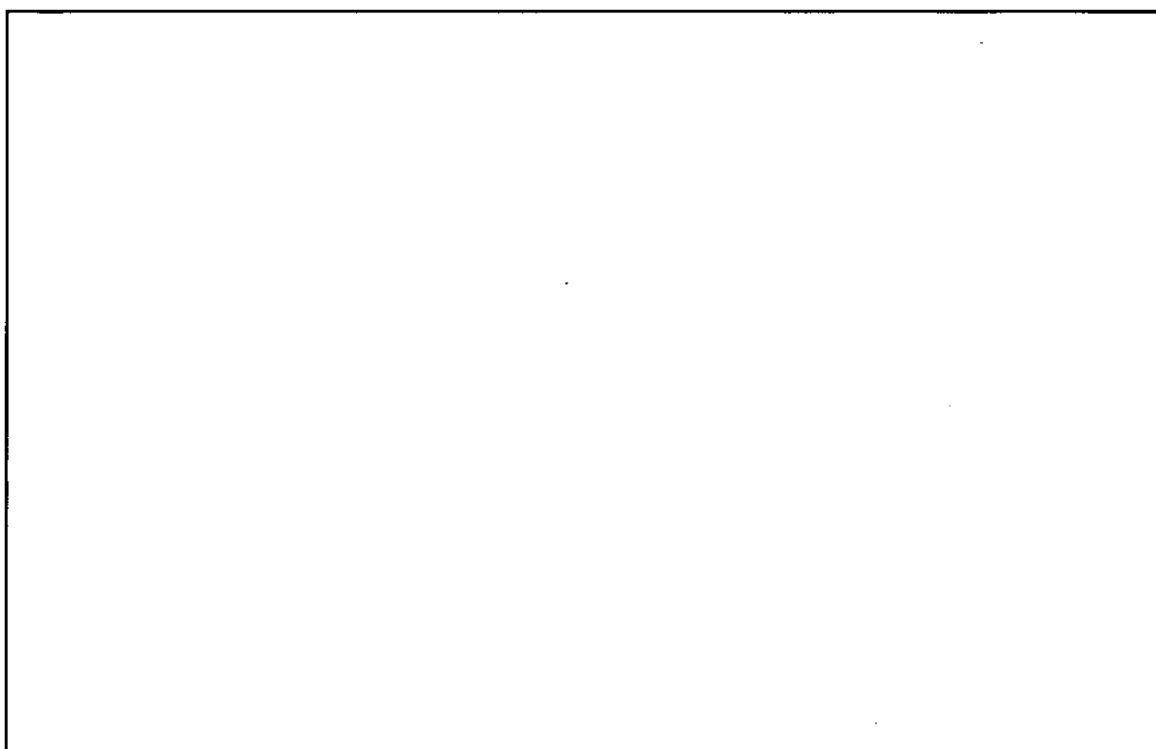


写真 1.1 粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングの外観

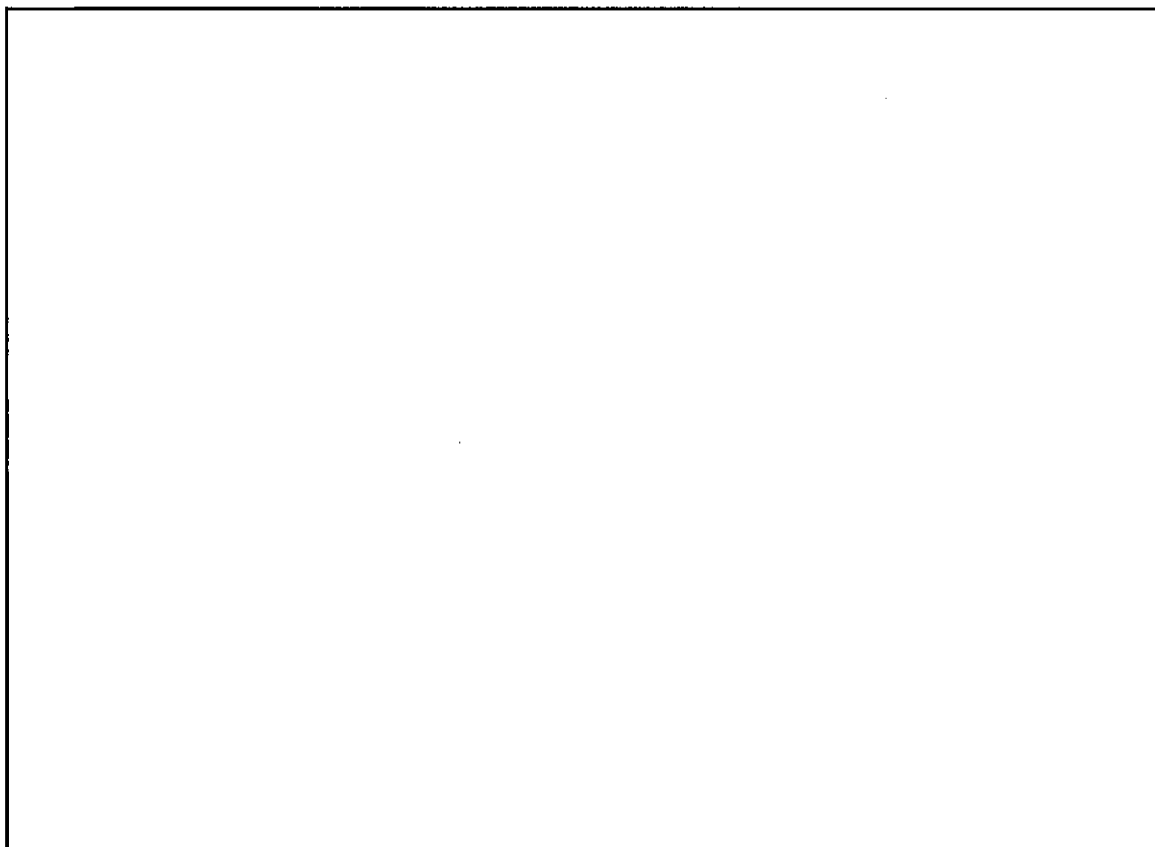


写真 1.2 純鉄粉末の外観

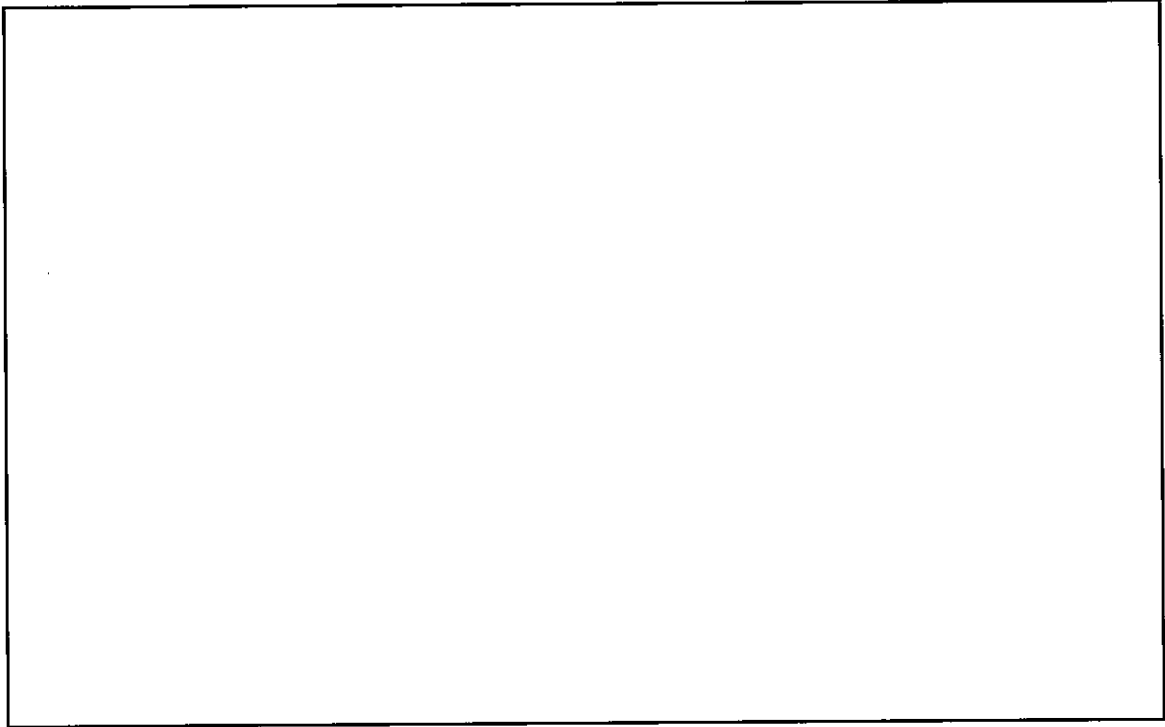


写真 1.3 内蓋 (機械加工バイオネット嵌合部)

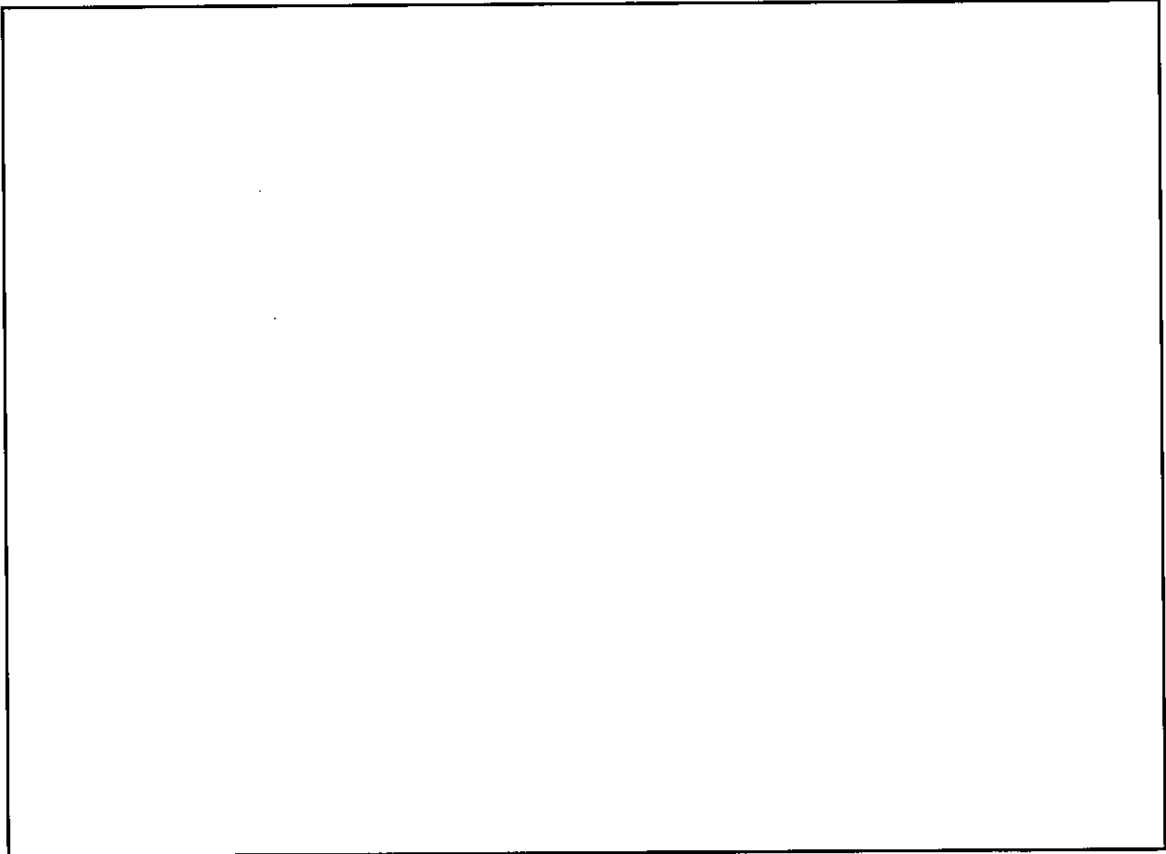


写真 1.4 内蓋 (溶接加工バイオネット嵌合部)

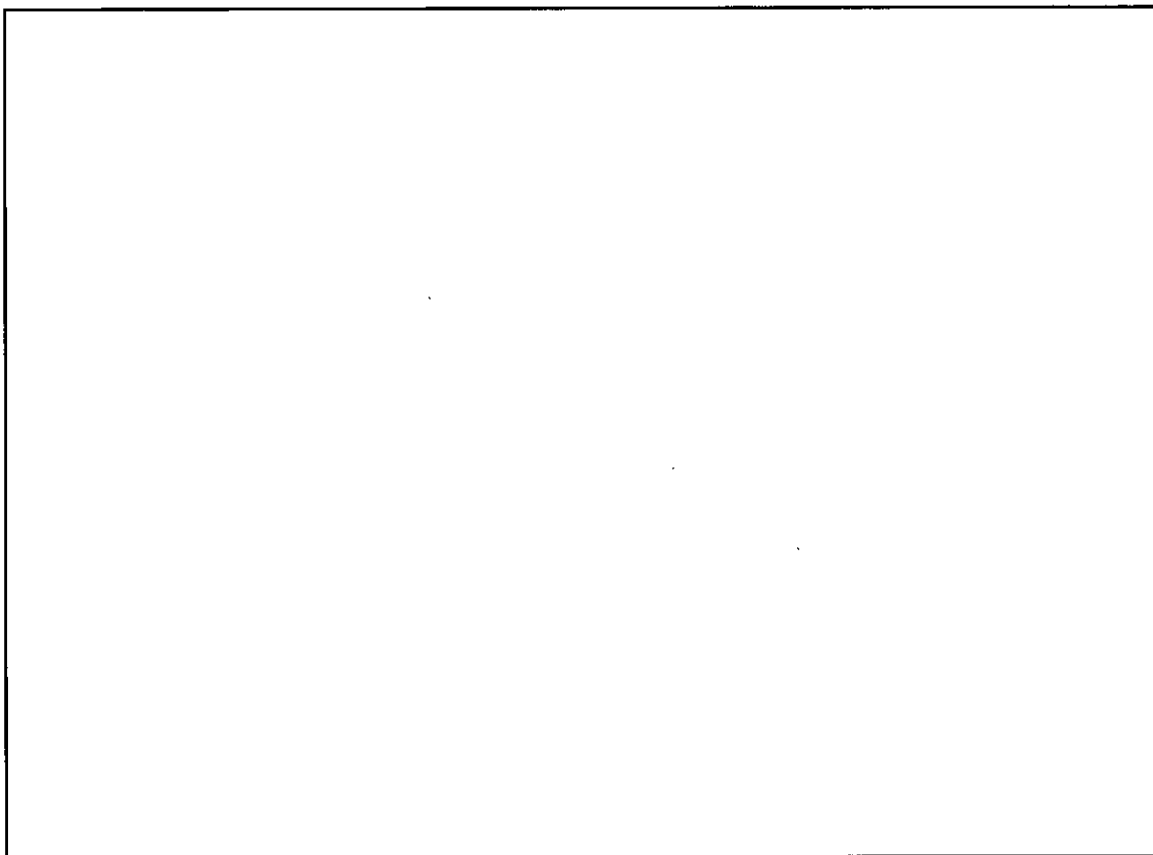


写真 1.5 内容器フランジ（重厚型）及び粉末収納缶の外観

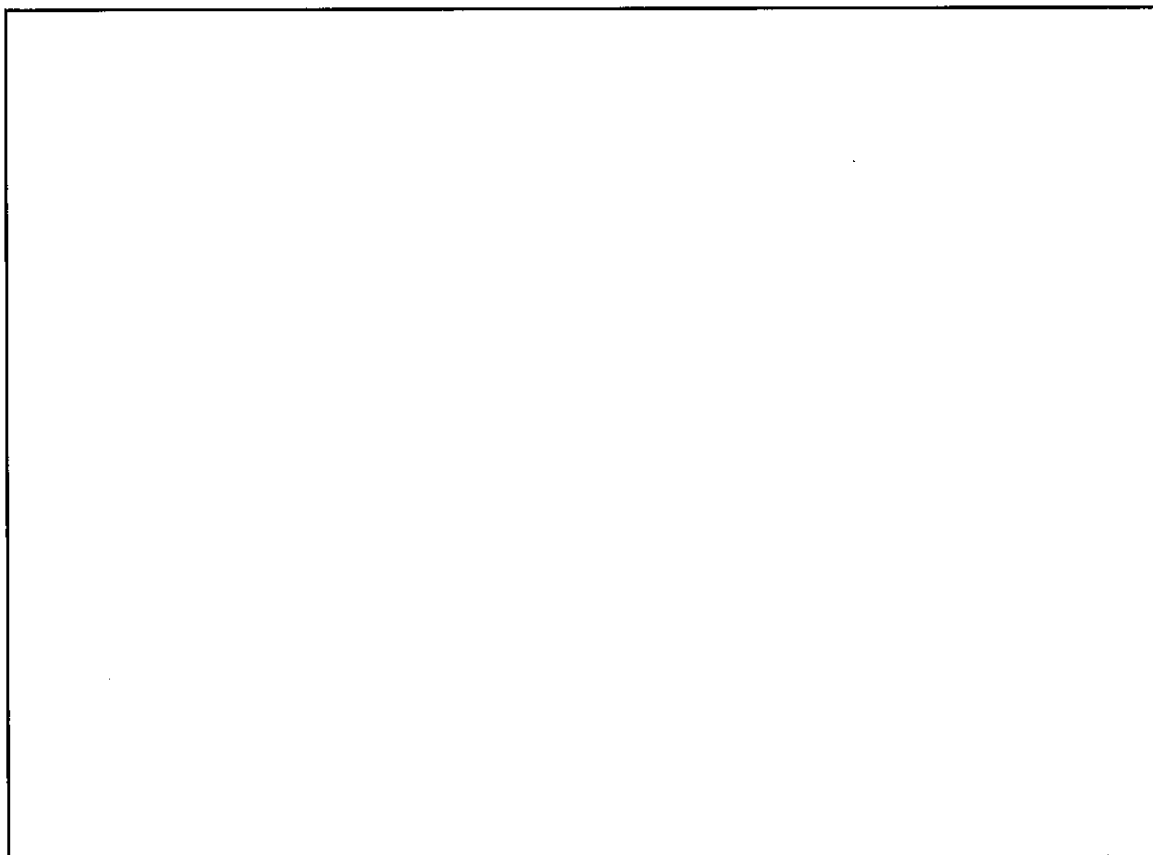


写真 1.6 内蓋の外観



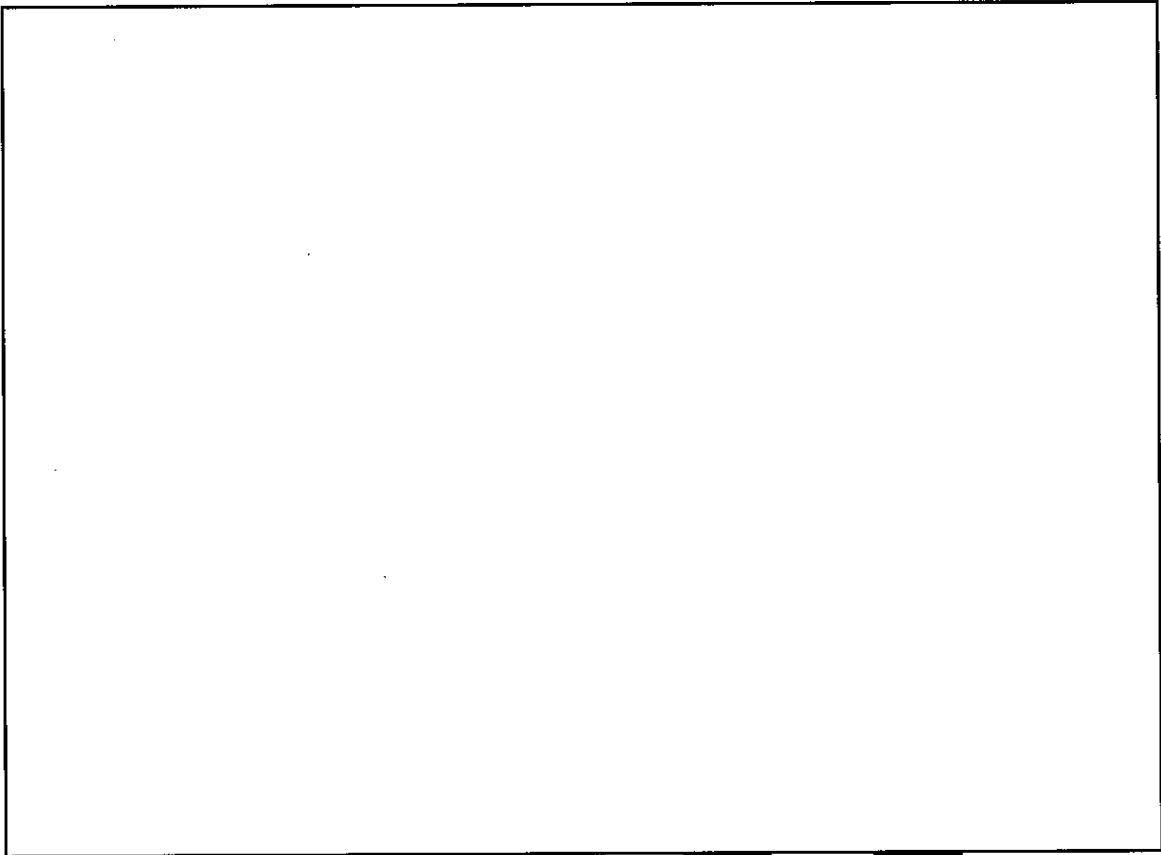


写真 1.7 貫通試験 (6 kg) 後 



 内容器

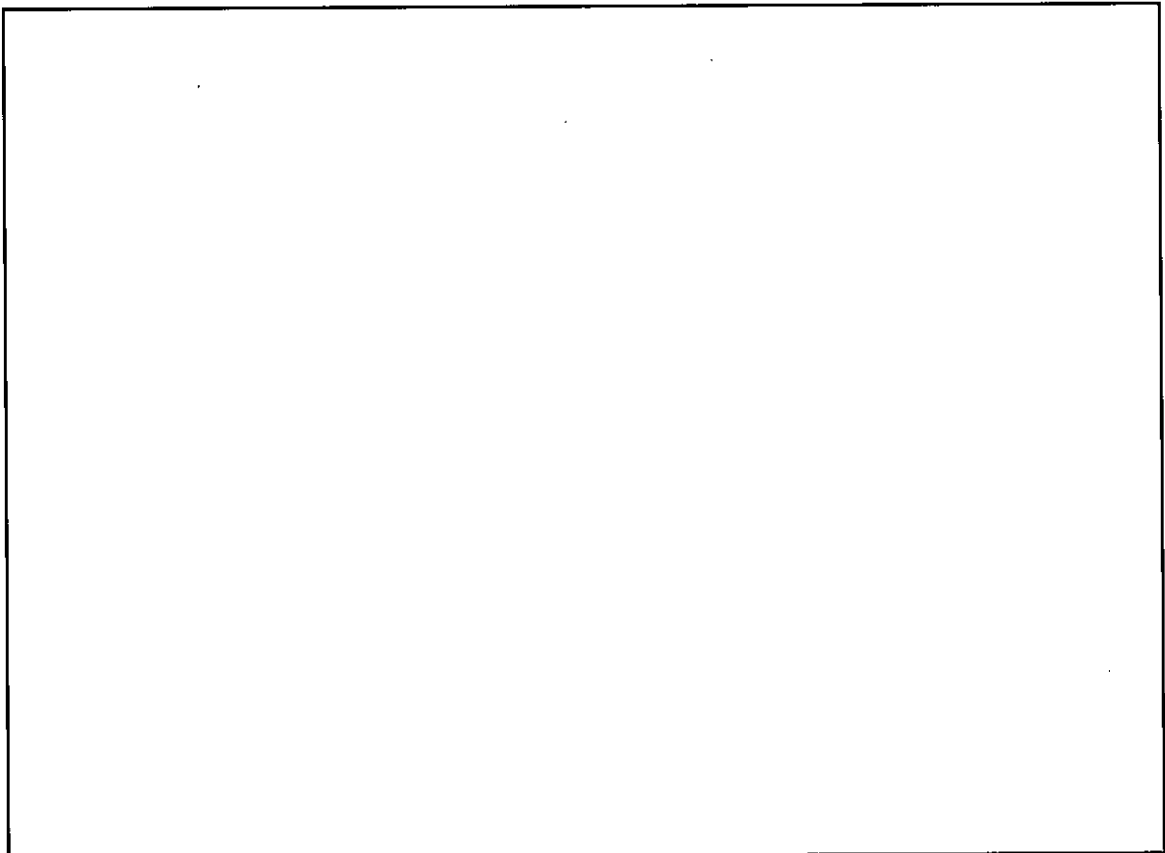


写真 1.8 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋上面

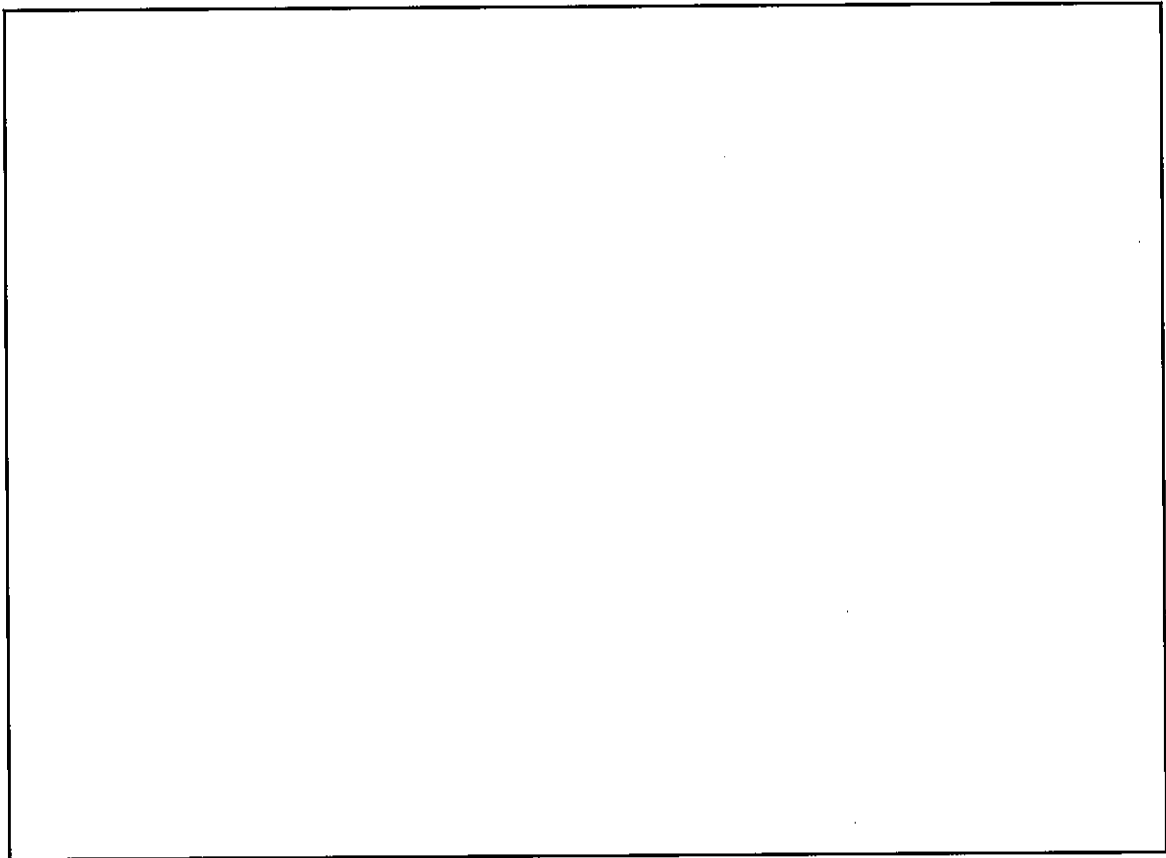


写真 1.9 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋バイonet 嵌合部間

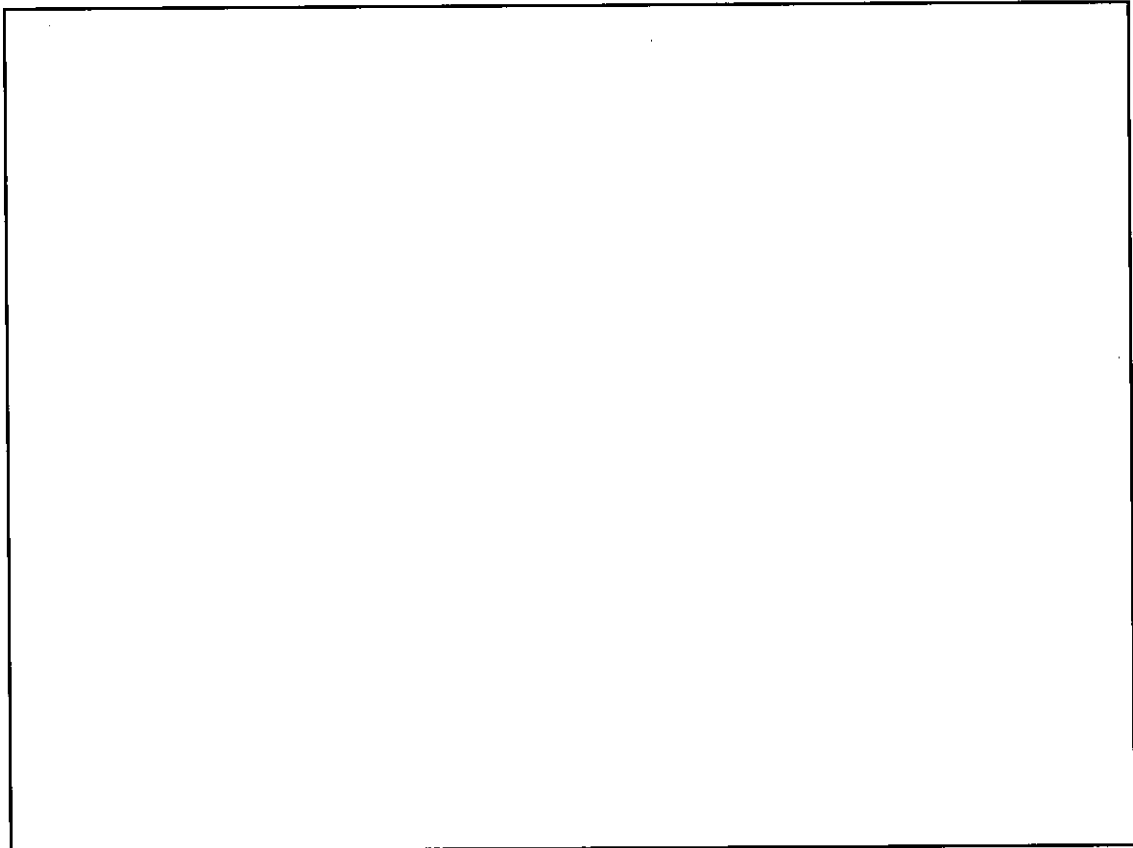


写真 1.10 落下試験 (高さ 1.2 m) 前 上面エッジ部

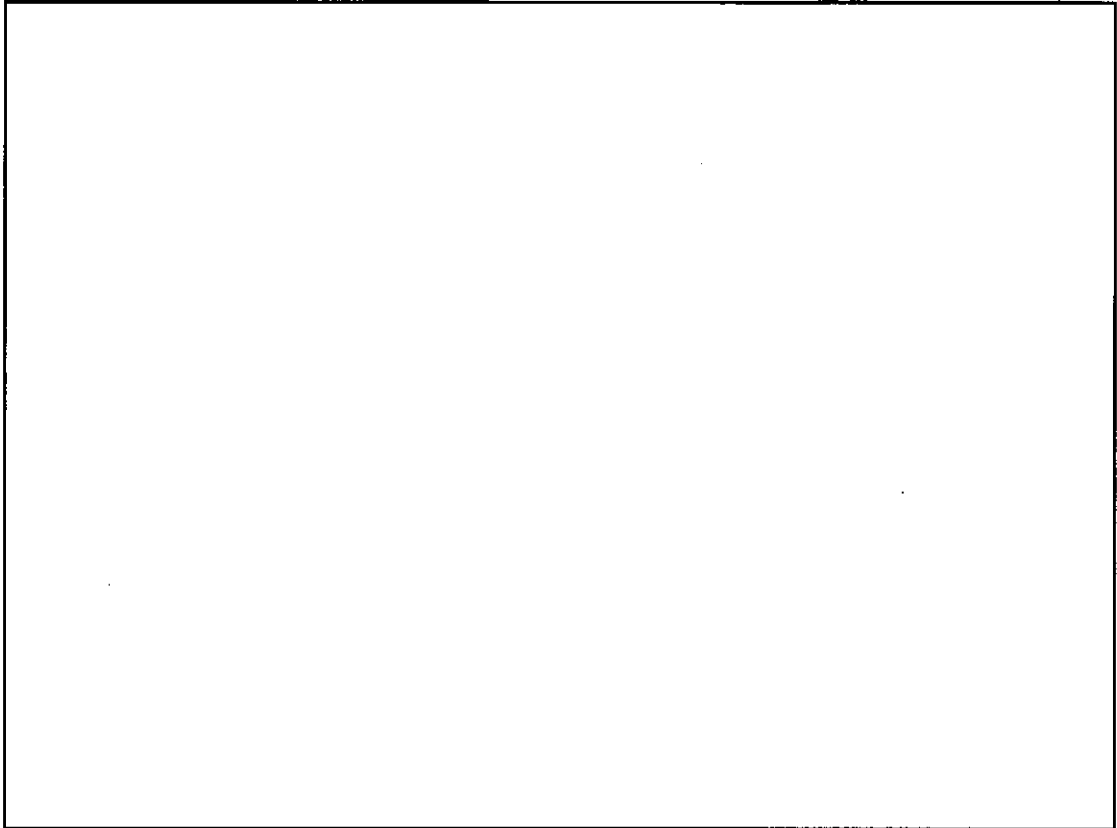


写真 1.11 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面エッジ部

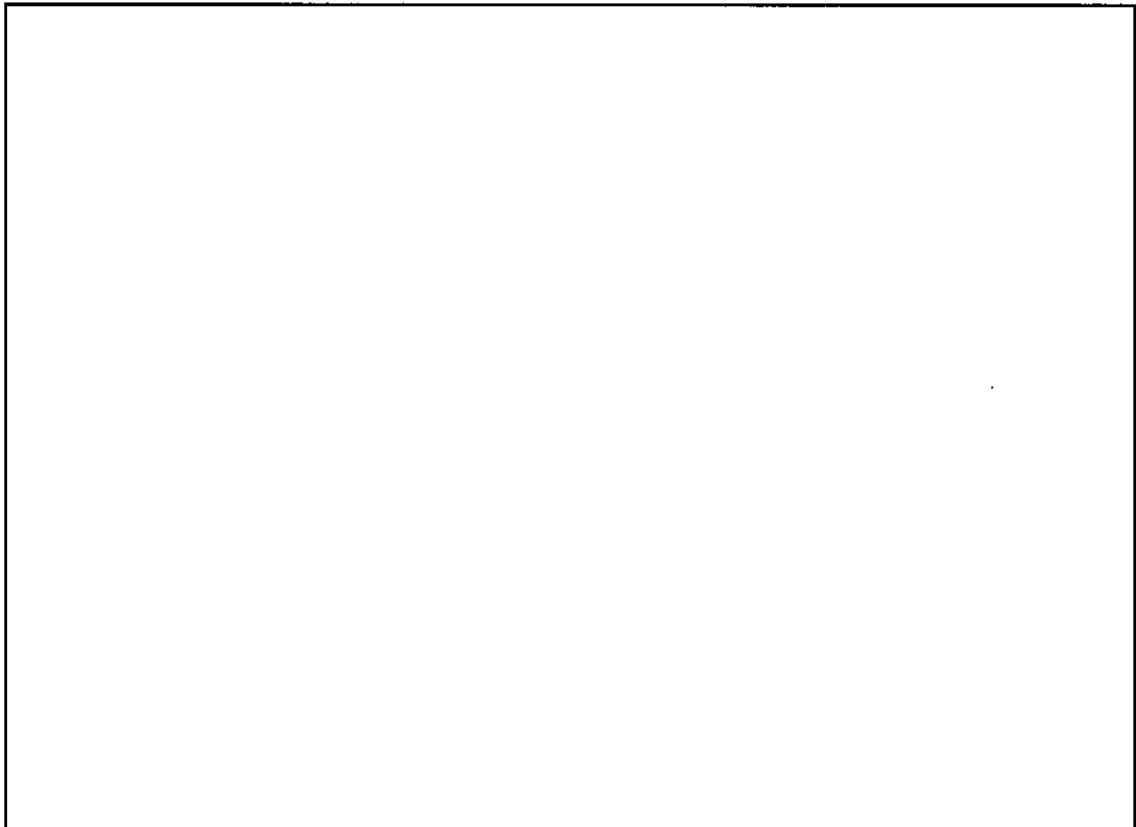


写真 1.12 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面エッジ部

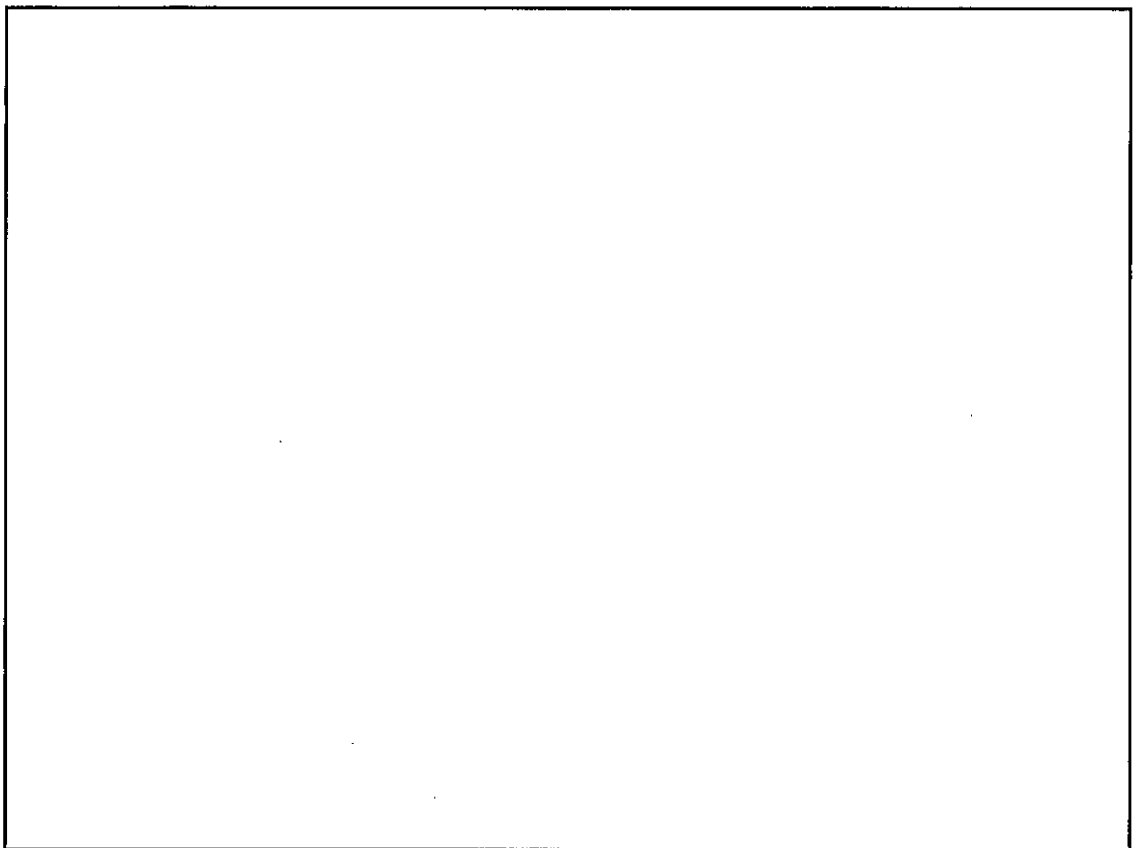


写真 1.13 落下試験（高さ 1.2 m）前 上面コーナー部

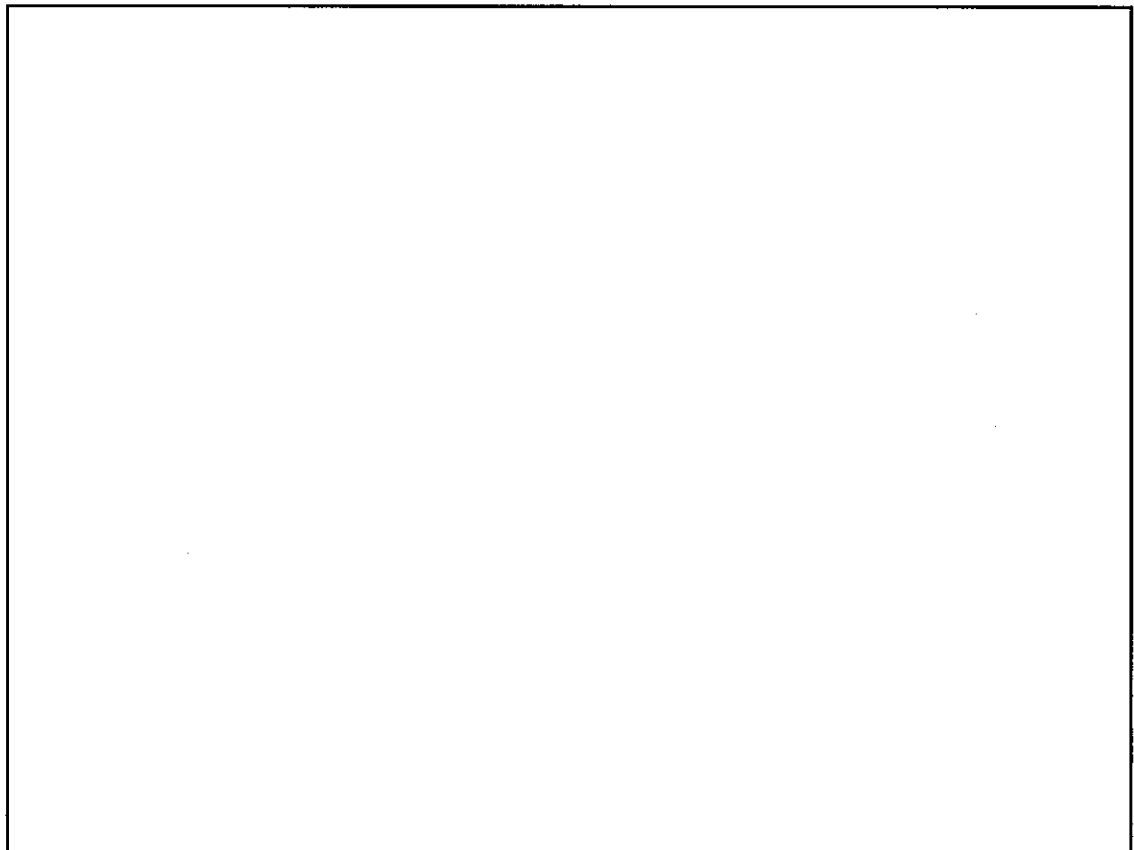


写真 1.14 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面コーナー部

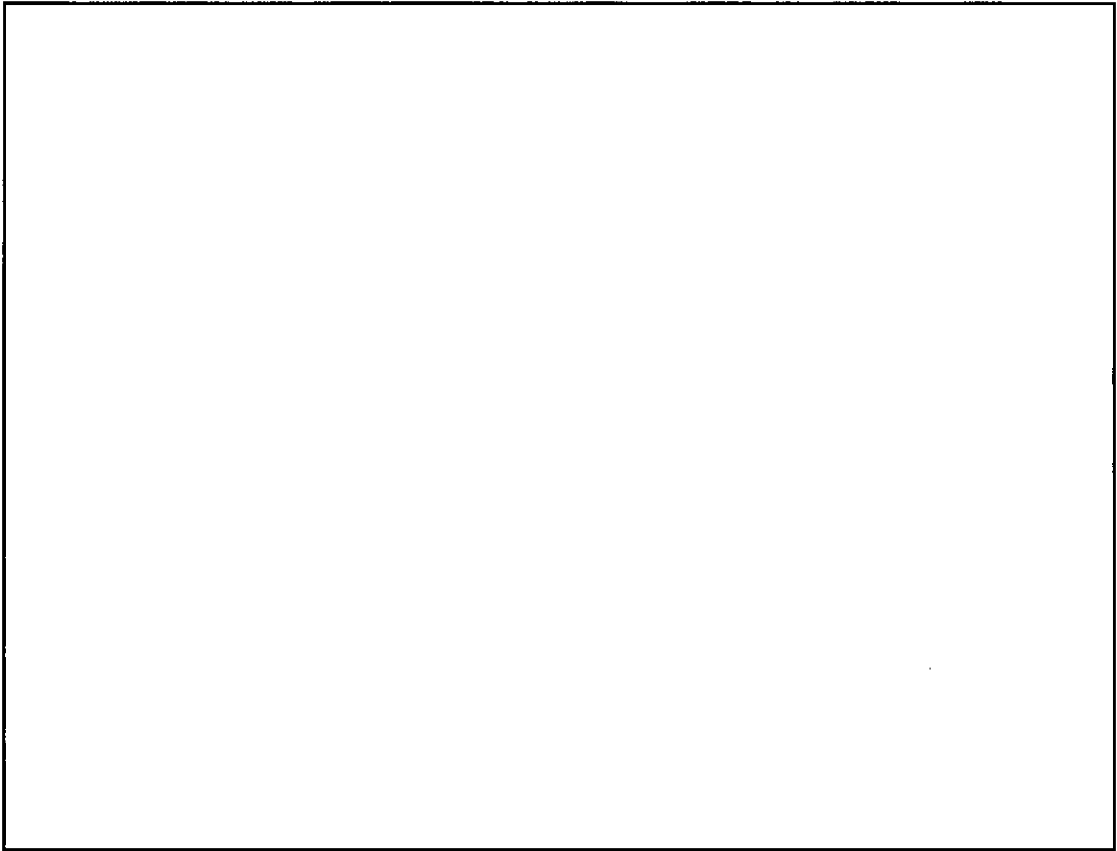


写真 1.15 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 側面中央

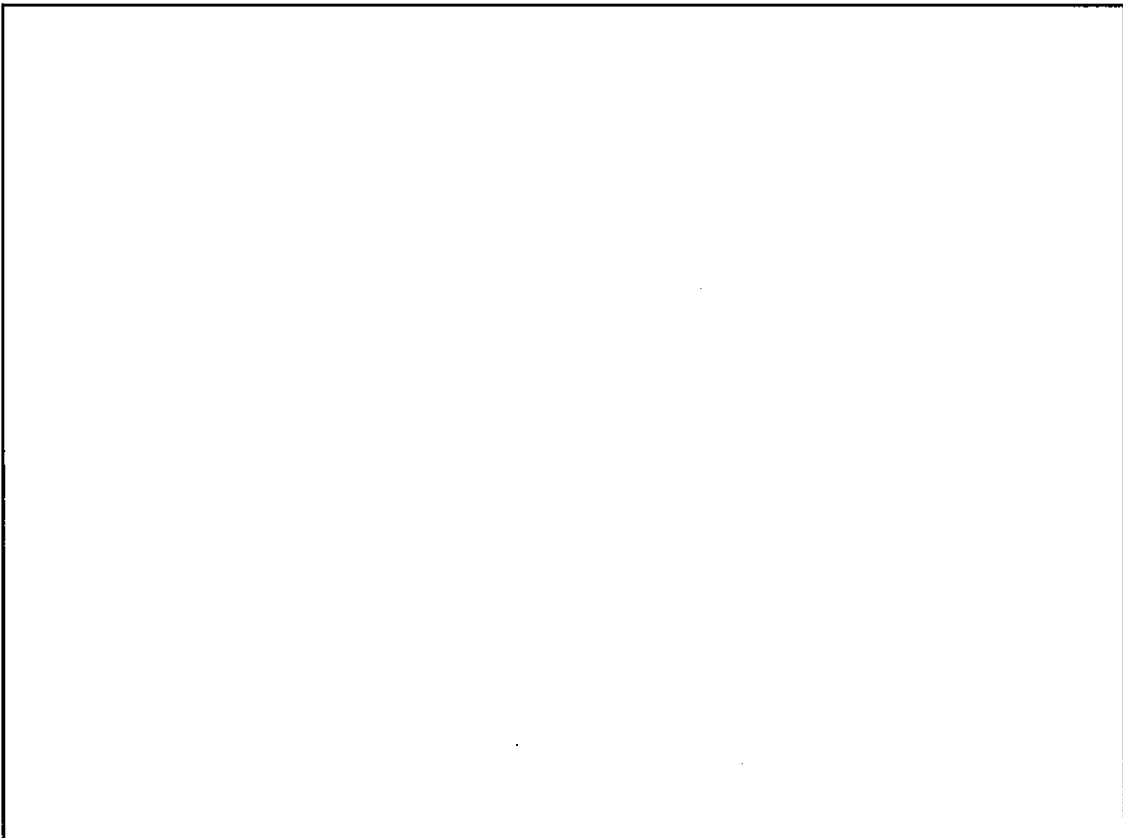


写真 1.16 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 側面中央

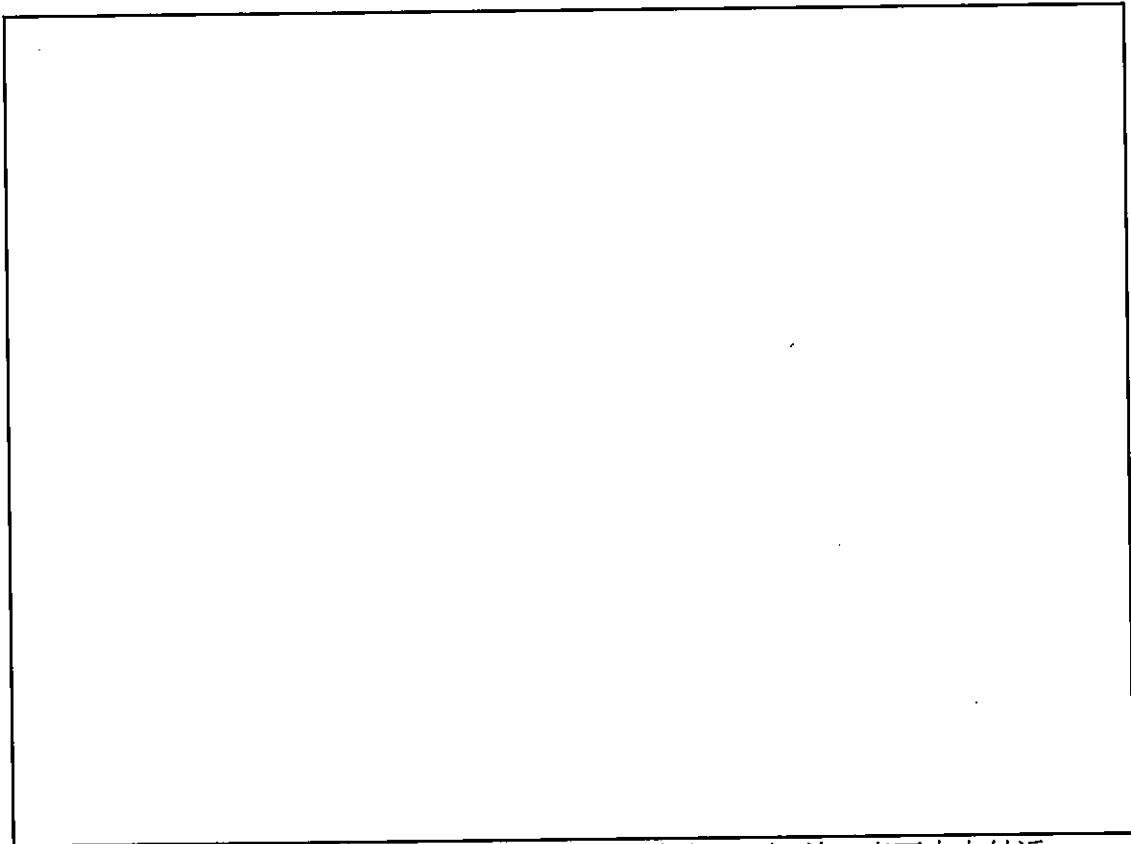


写真 1.17 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 底面中央付近

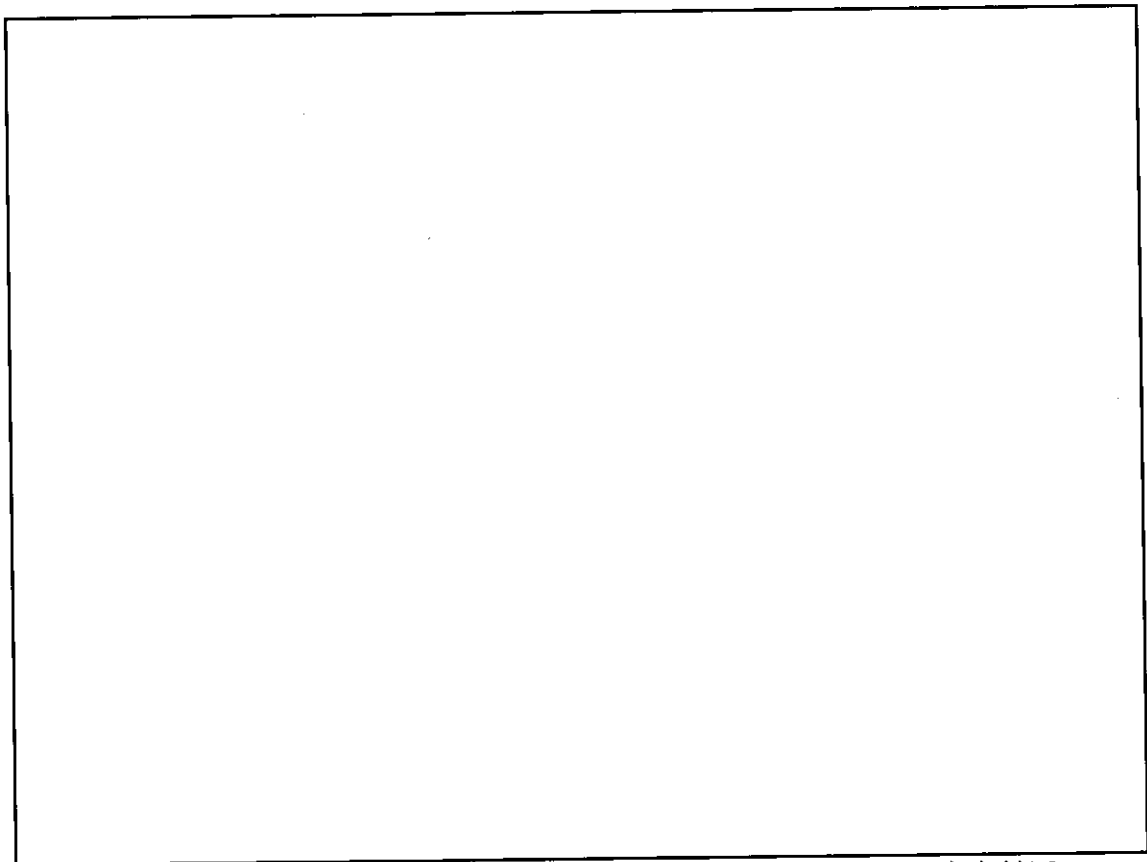


写真 1.18 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 底面中央付近

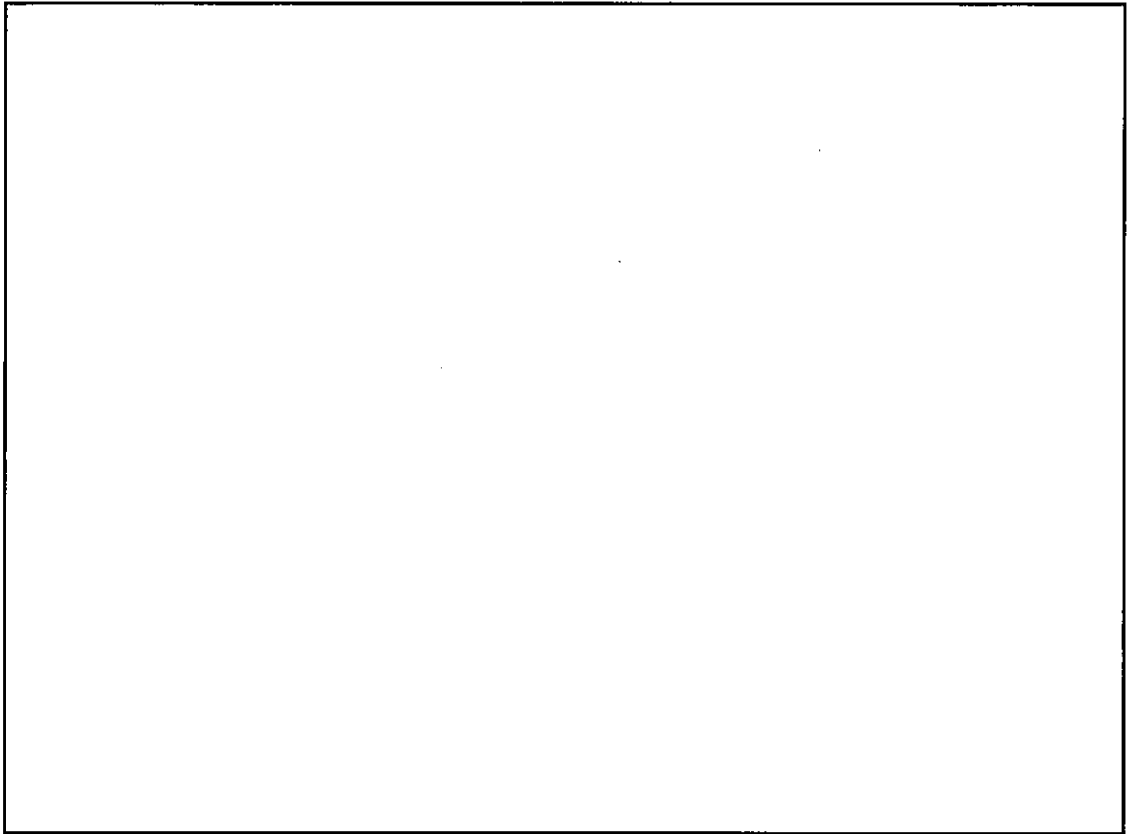


写真 1.19 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 外蓋上面

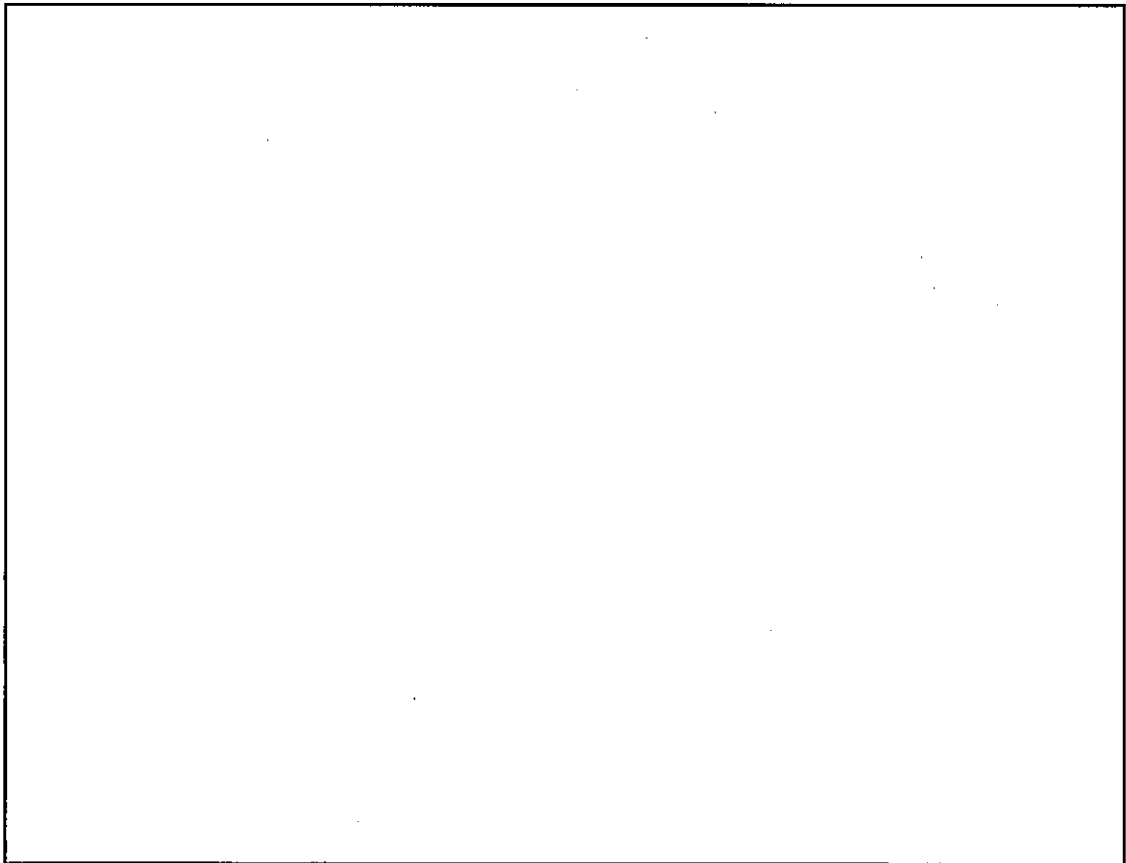


写真 1.20 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 外蓋上面

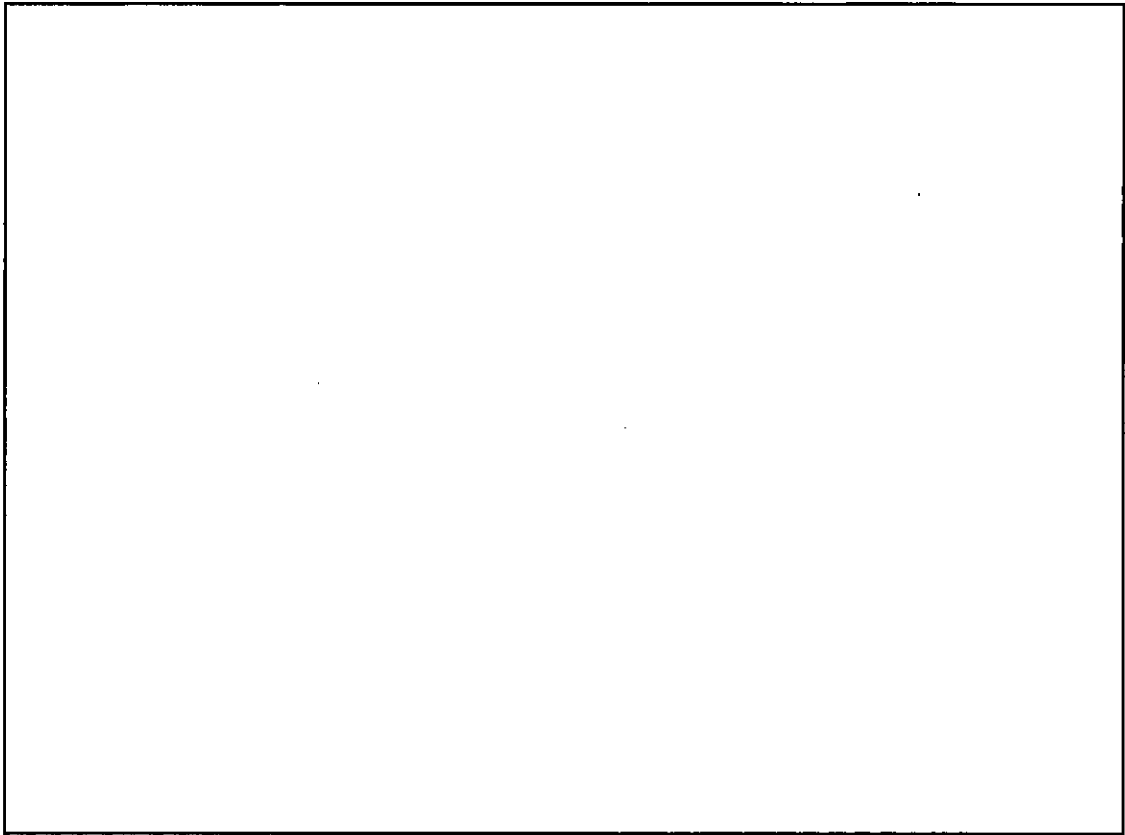


写真 1.21 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面エッジ部

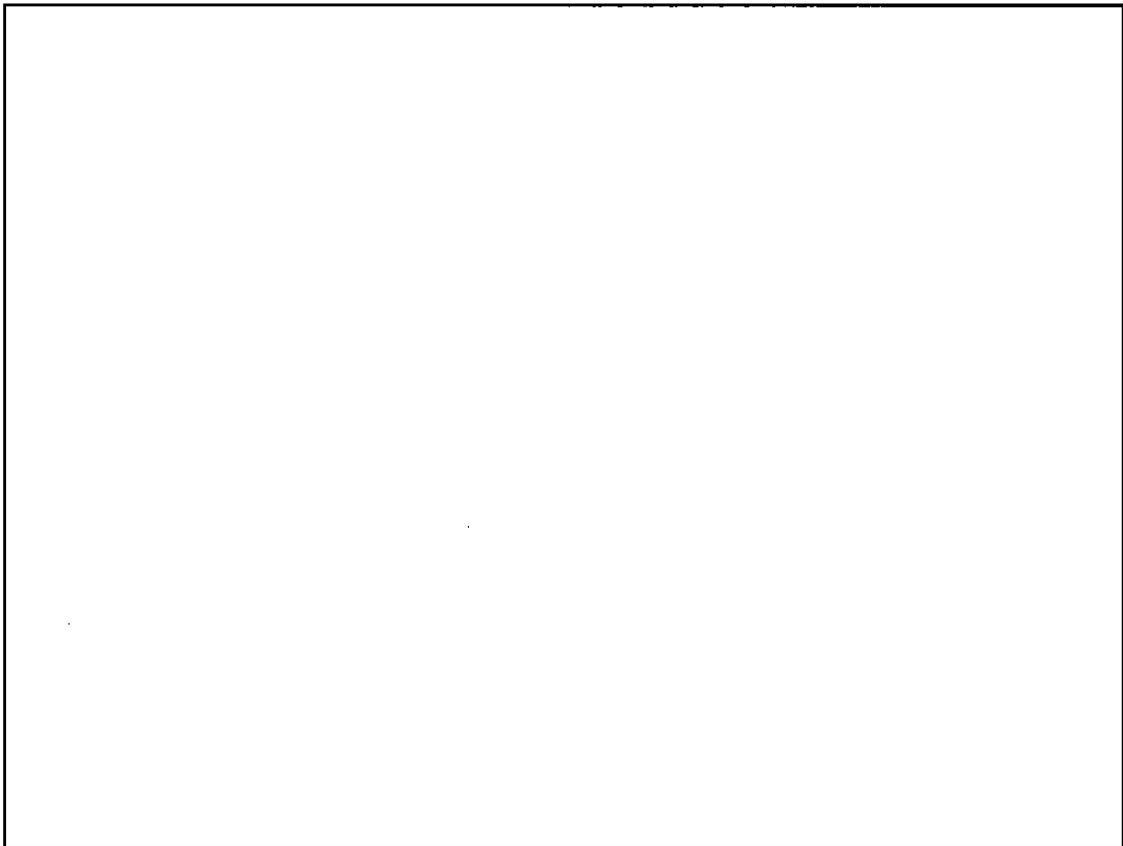


写真 1.22 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面エッジ部



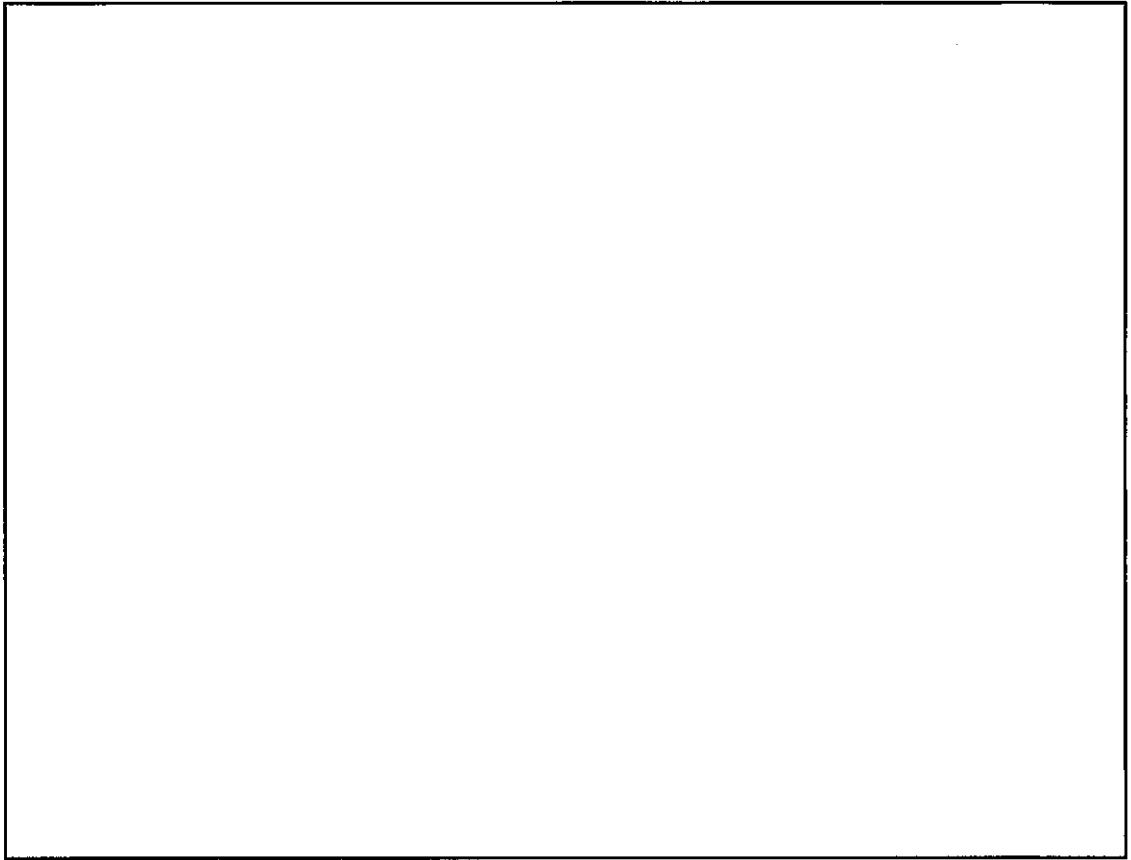


写真 1.23 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面エッジ部

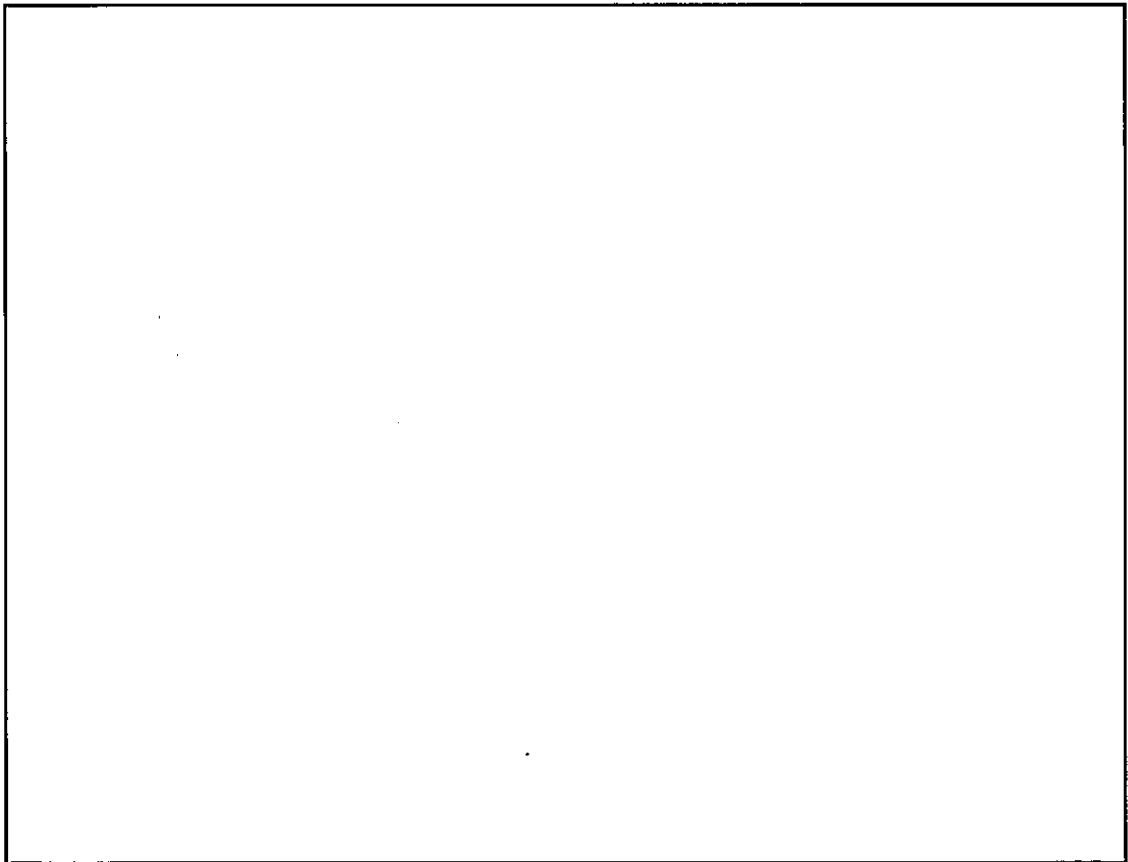


写真 1.24 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

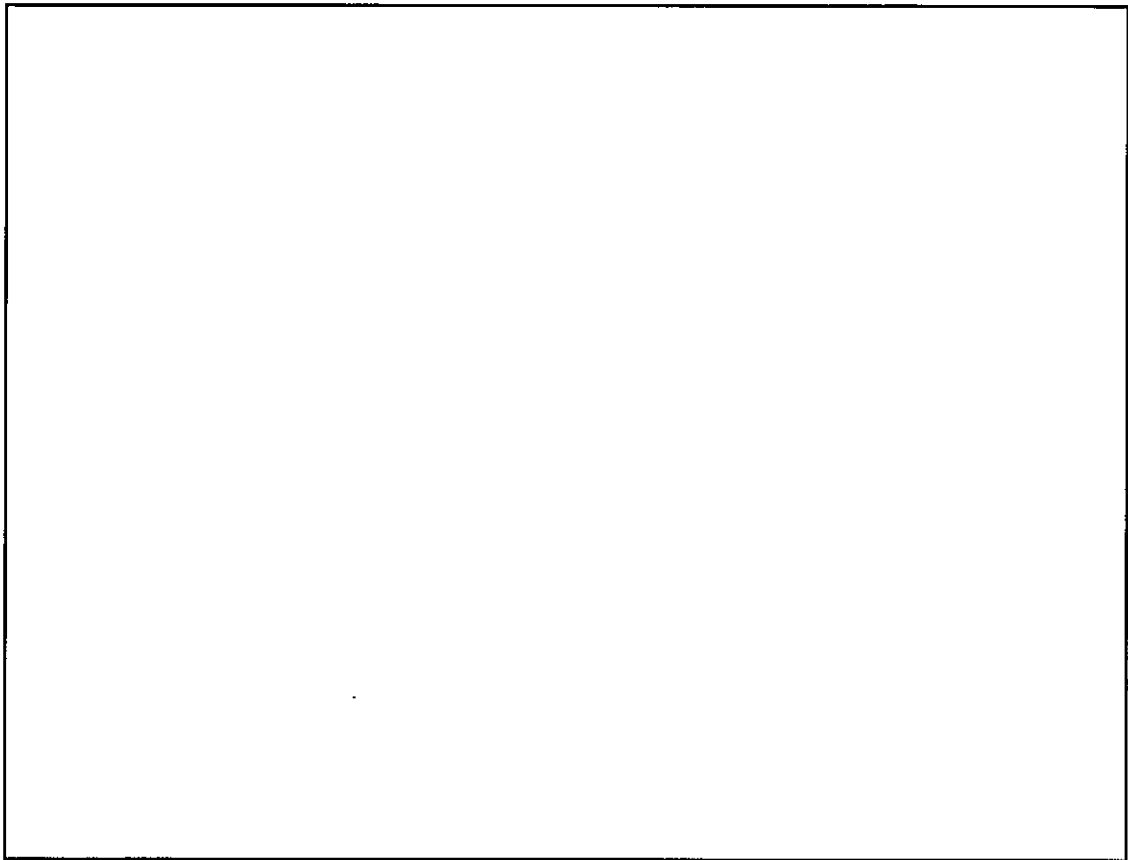


写真 1.25 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋バイオネット嵌合部間

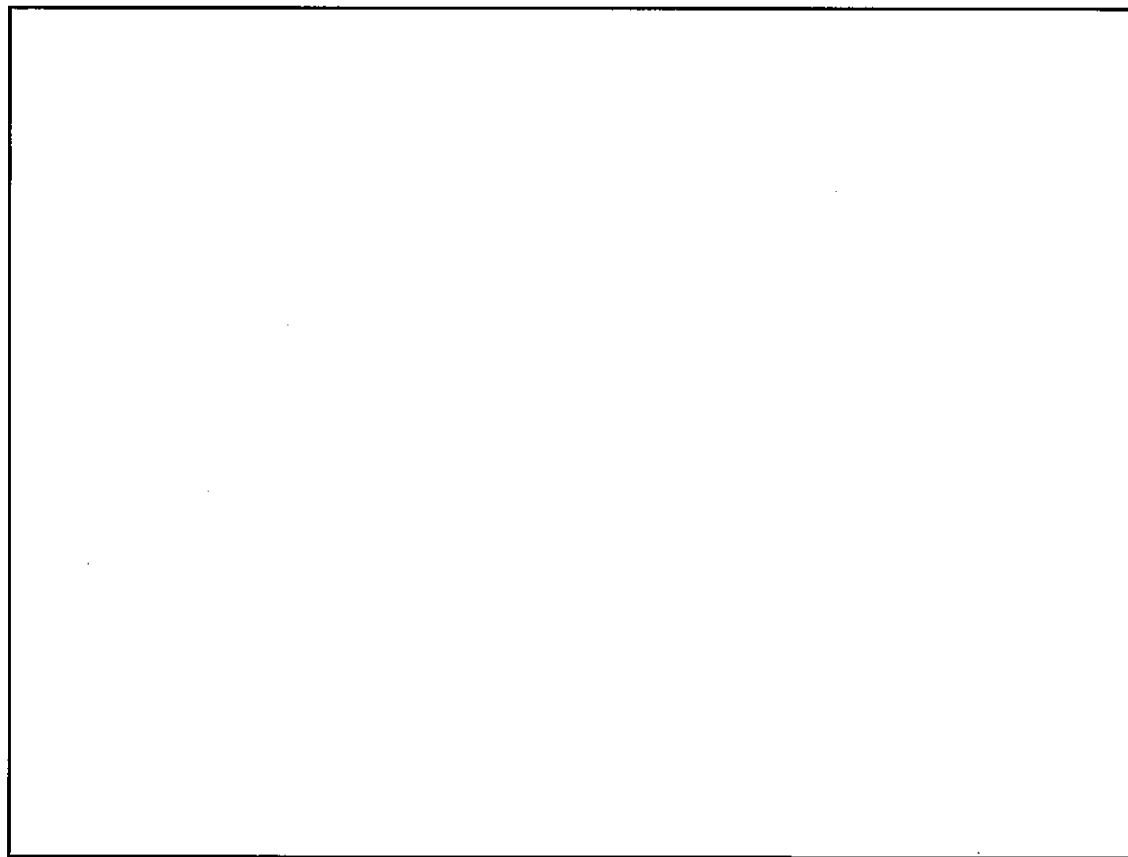


写真 1.26 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋バイオネット嵌合部間

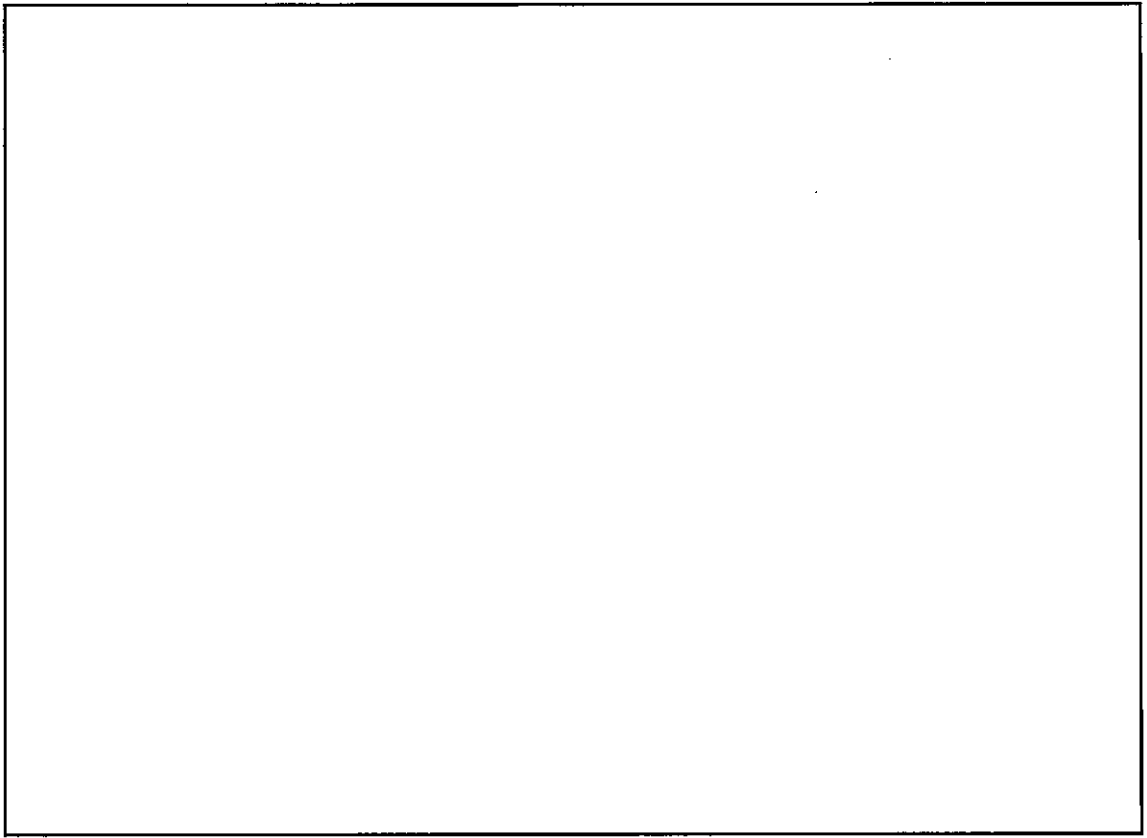


写真 1.27 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 外蓋上面

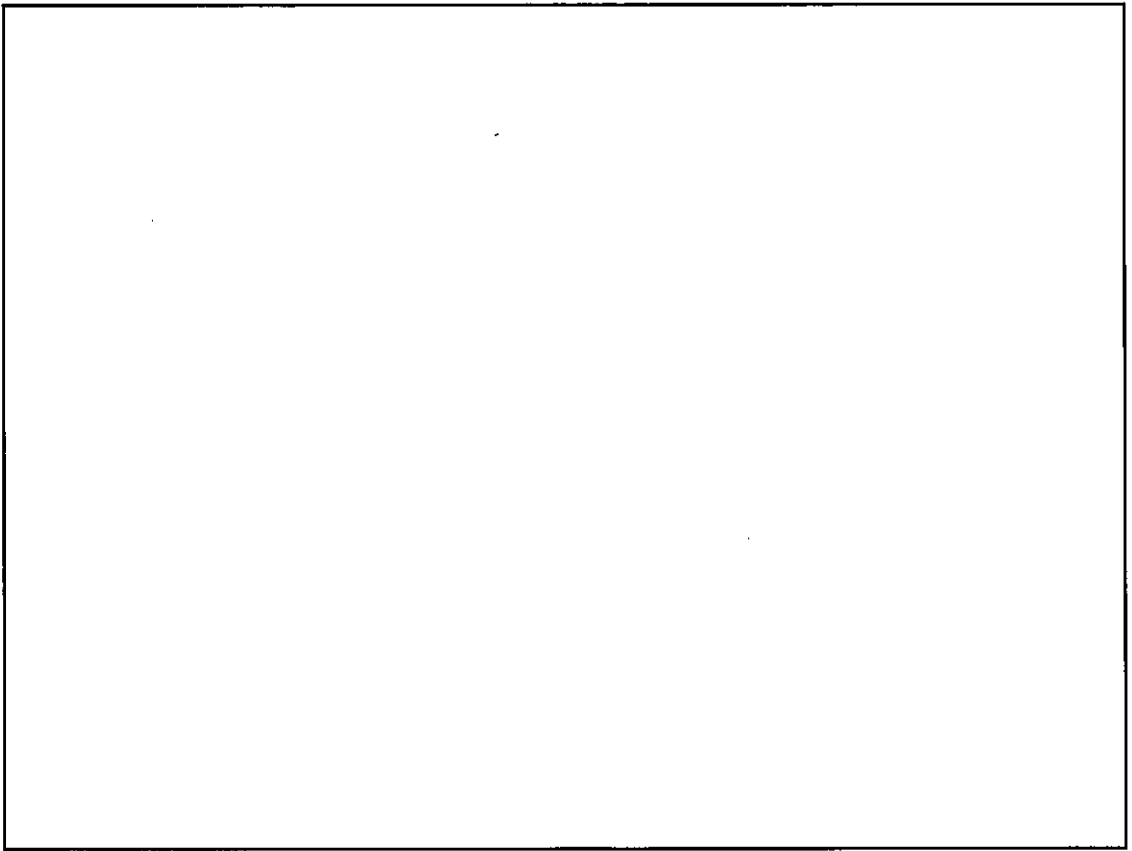


写真 1.28 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 外蓋バイオネット嵌合部間

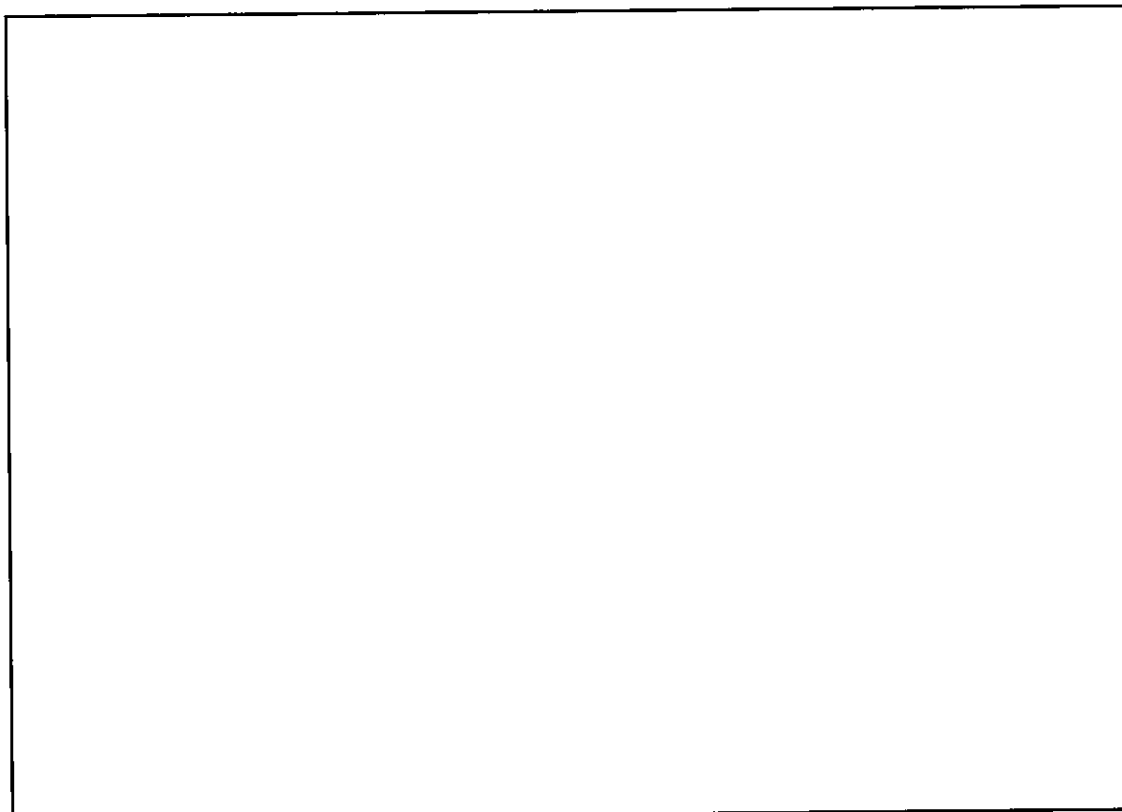


写真 1.29 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋回り止めデバイス止めピン

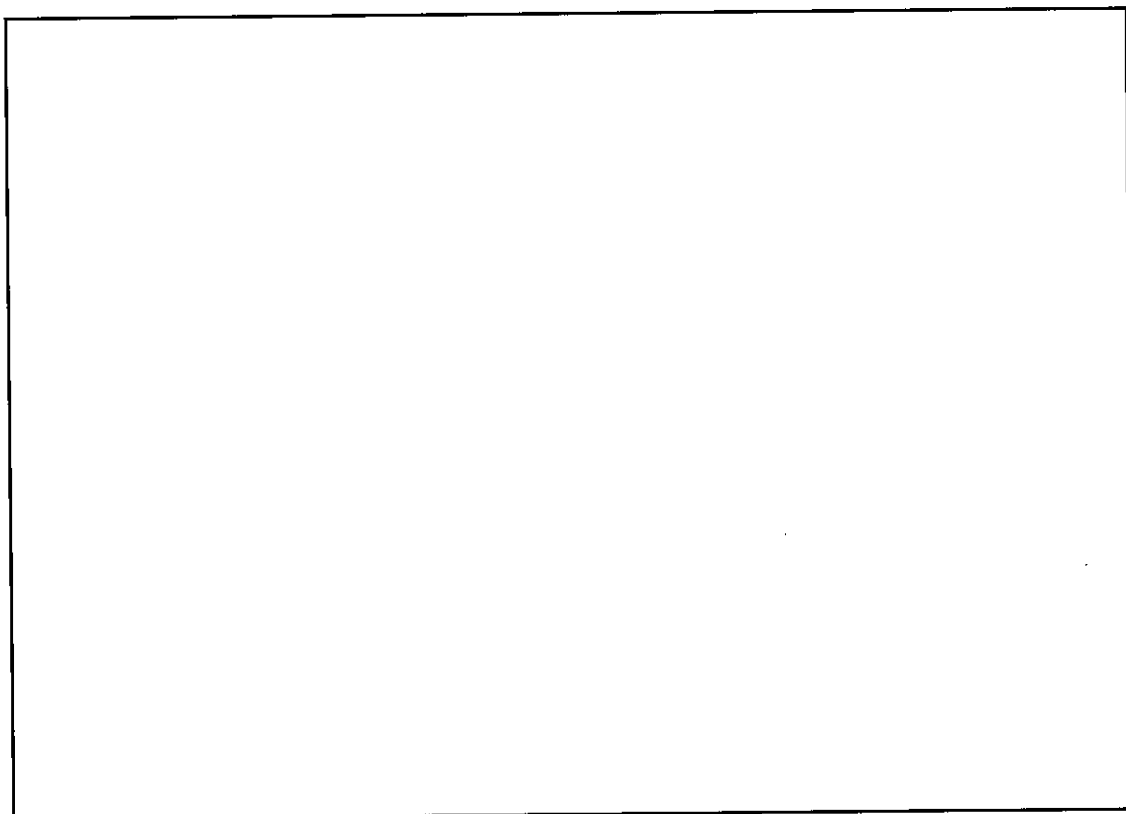


写真 1.30 貫通試験 (6 kg) 後  内容器

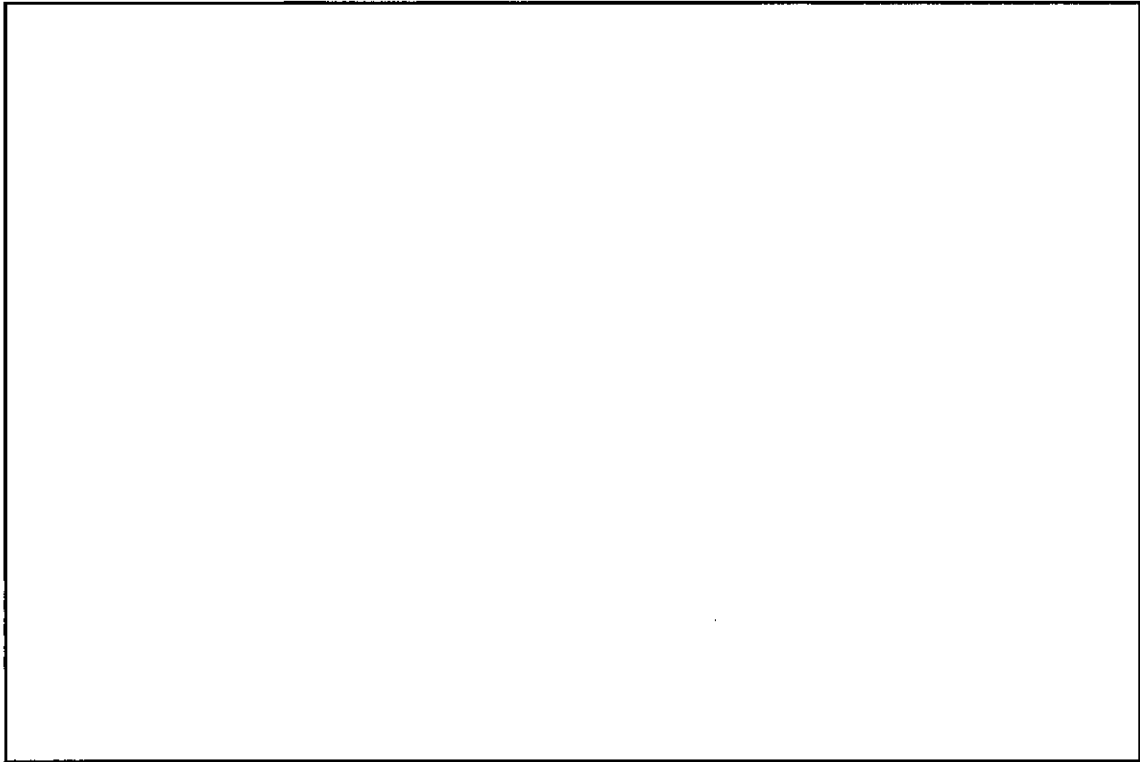


写真 1.31 落下試験（高さ 1.2 m）前 側面

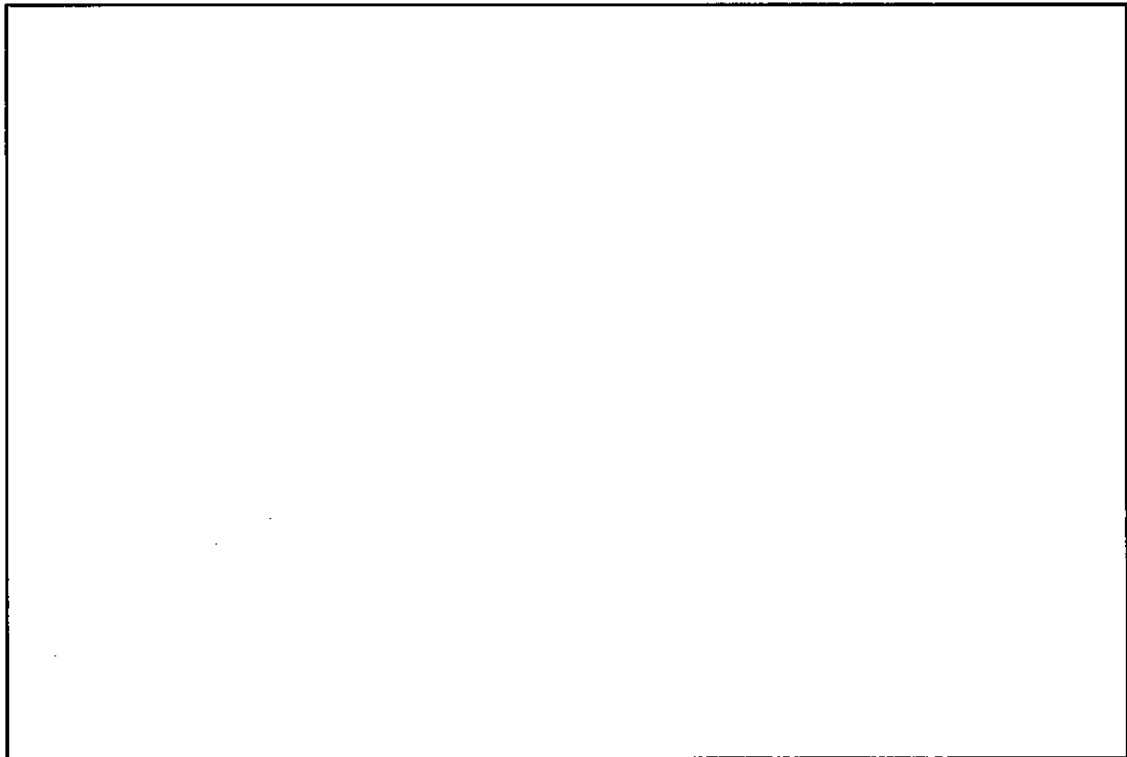


写真 1.32 落下試験（高さ 1.2 m）後 側面

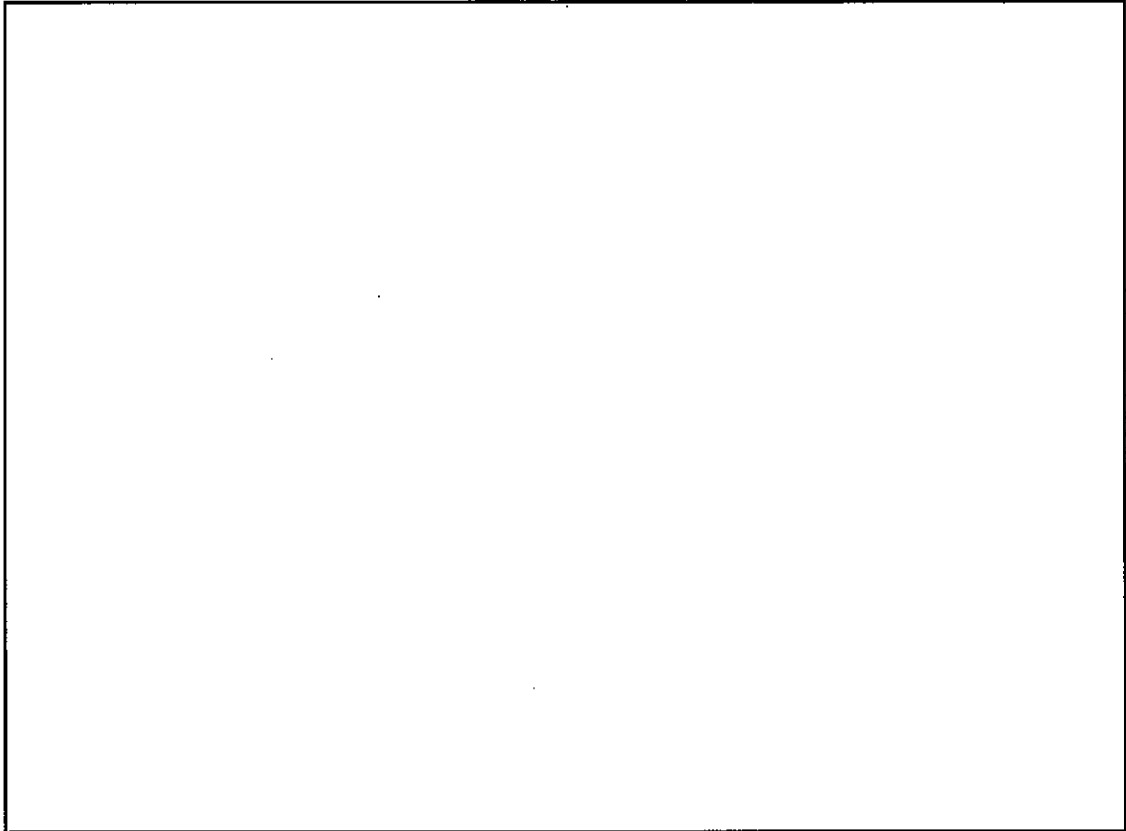


写真 1.33 落下試験（高さ 1.2 m）前 上面

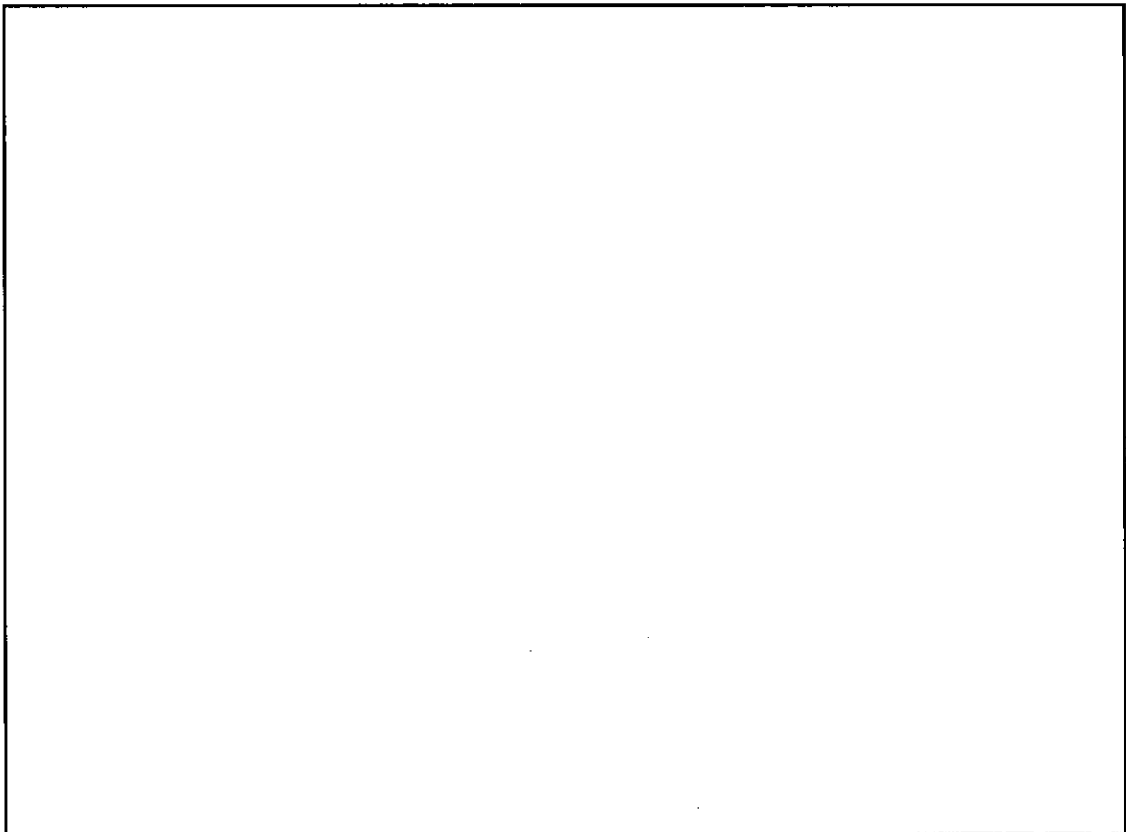


写真 1.34 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面

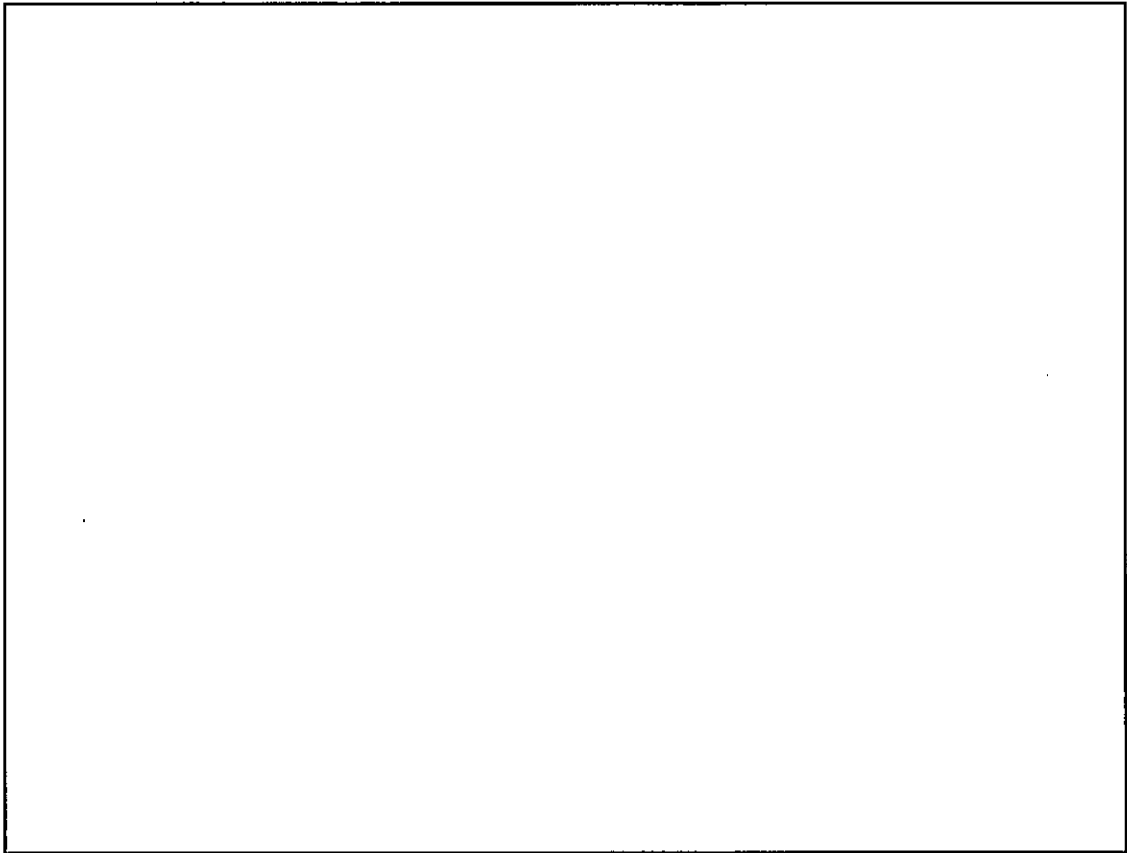


写真 1.35 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面

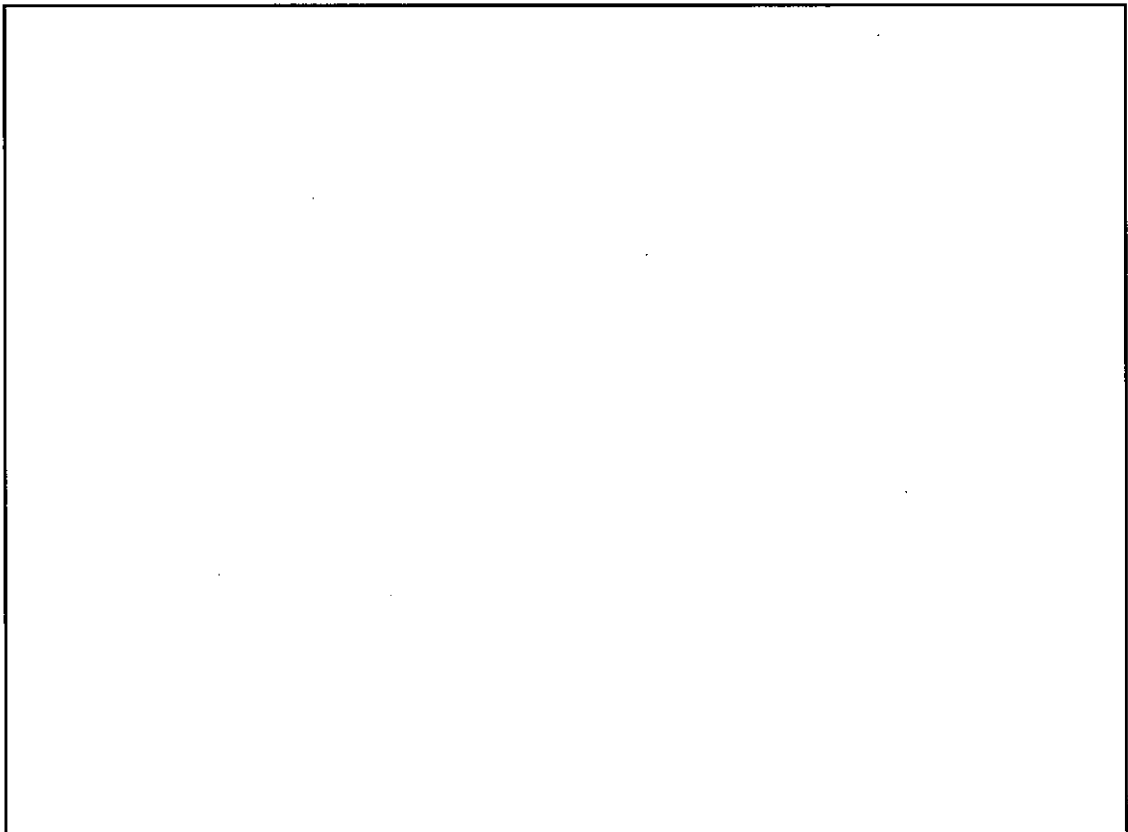


写真 1.36 落下試験（高さ 1.2 m）前 底面

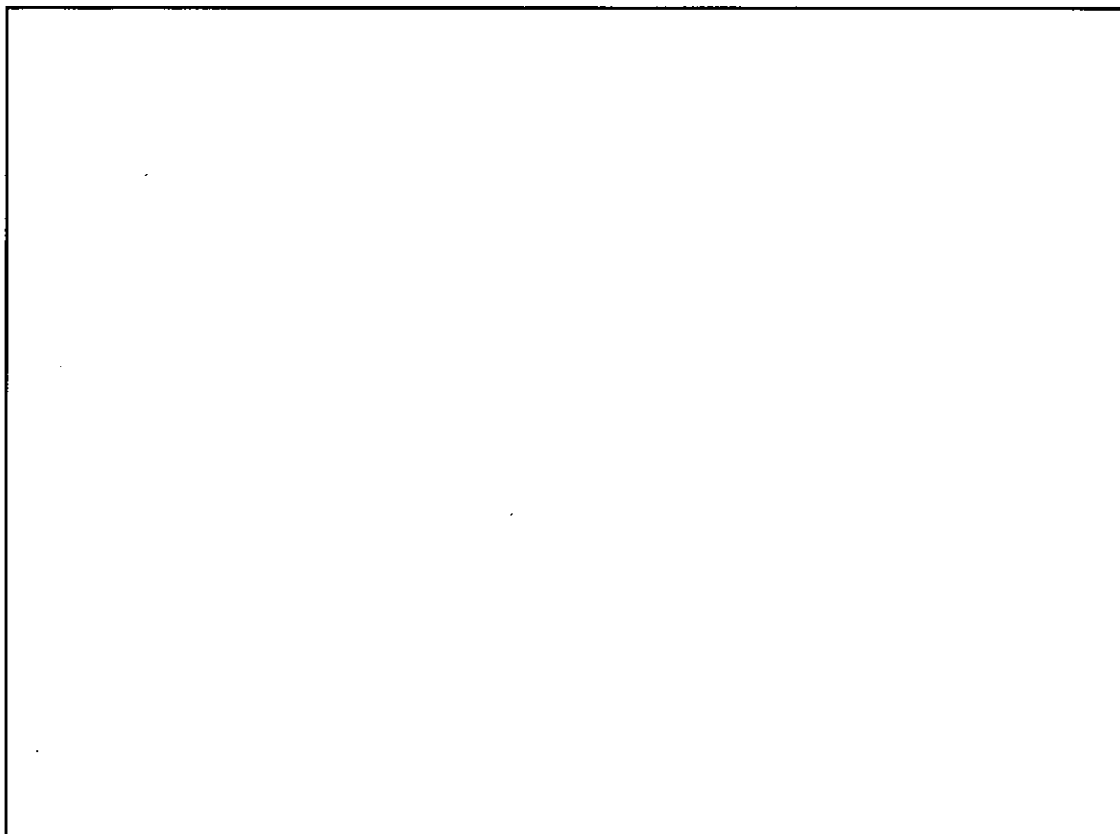


写真 1.37 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 底面

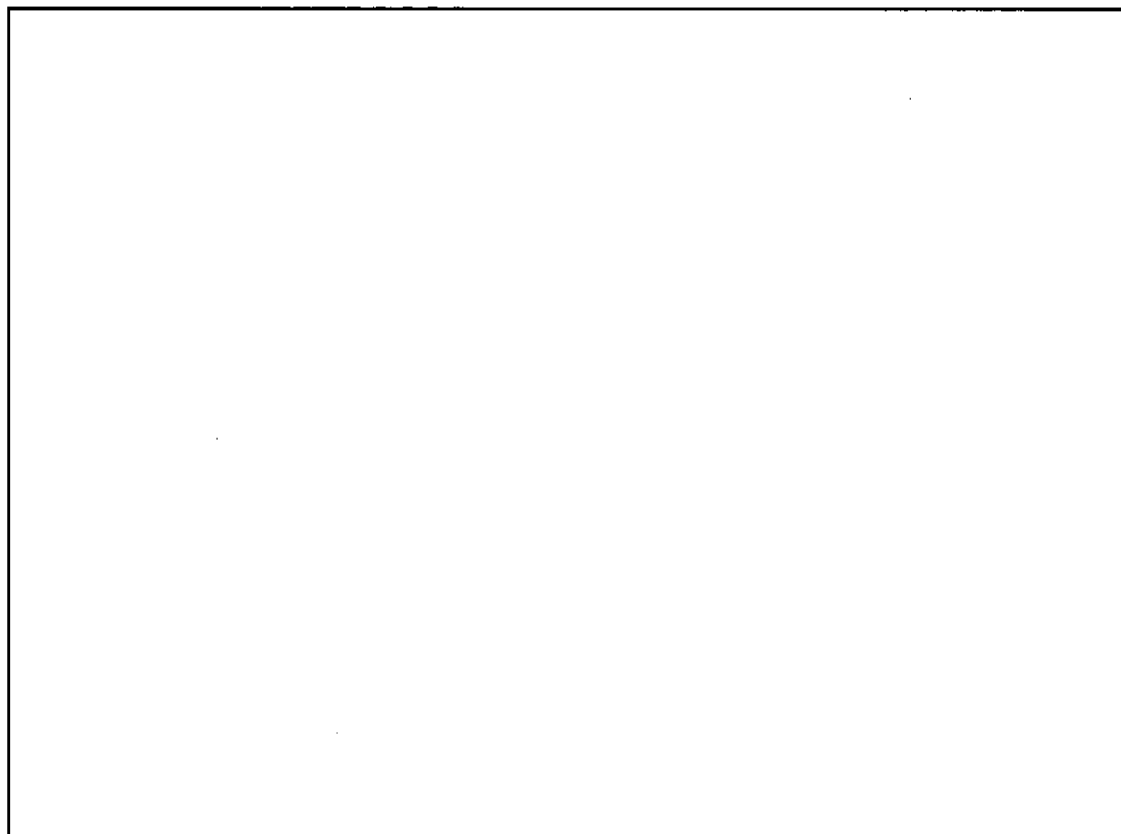


写真 1.38 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 底面中央付近



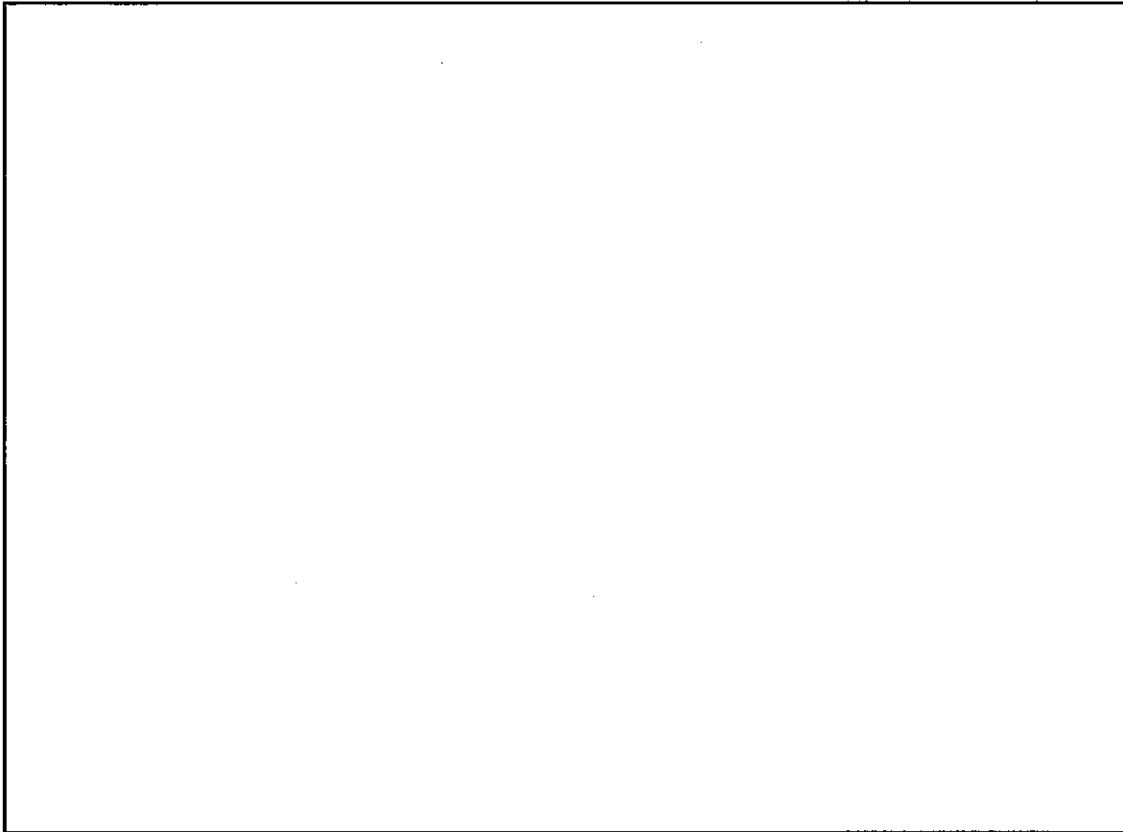


写真 1.39 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 底面中央付近

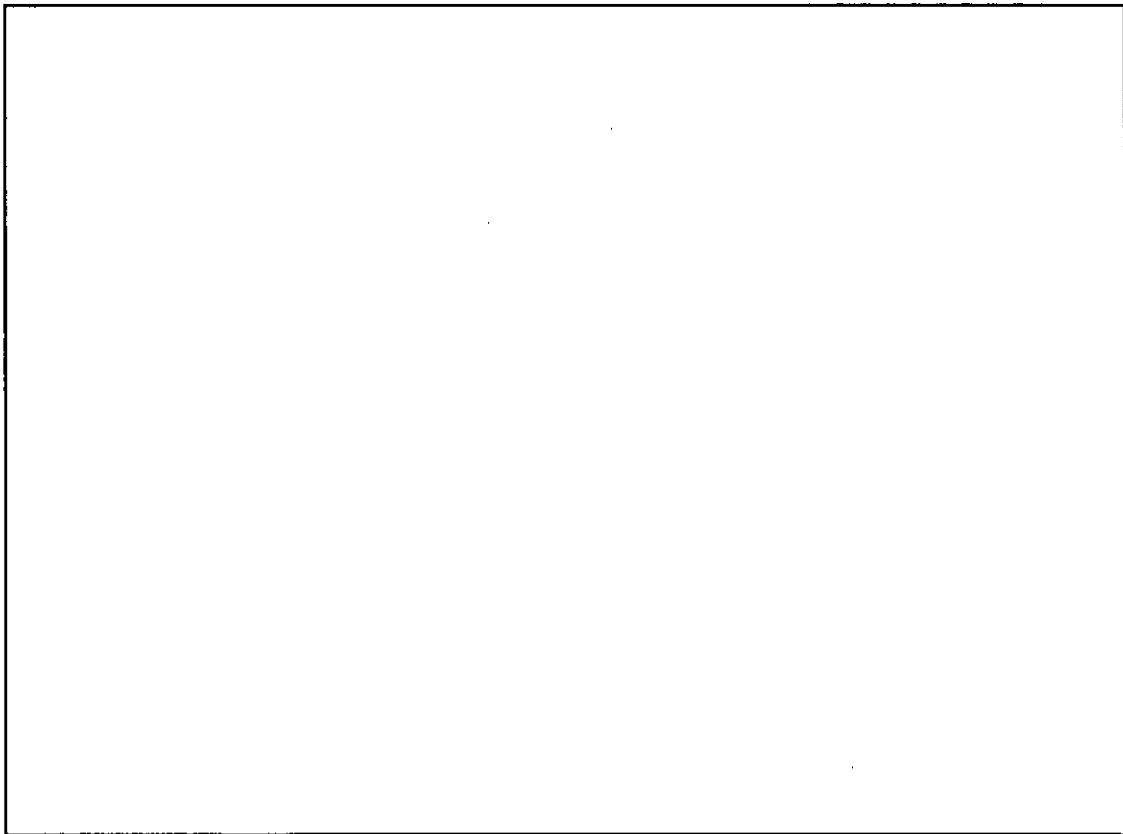


写真 1.40 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前  内容器

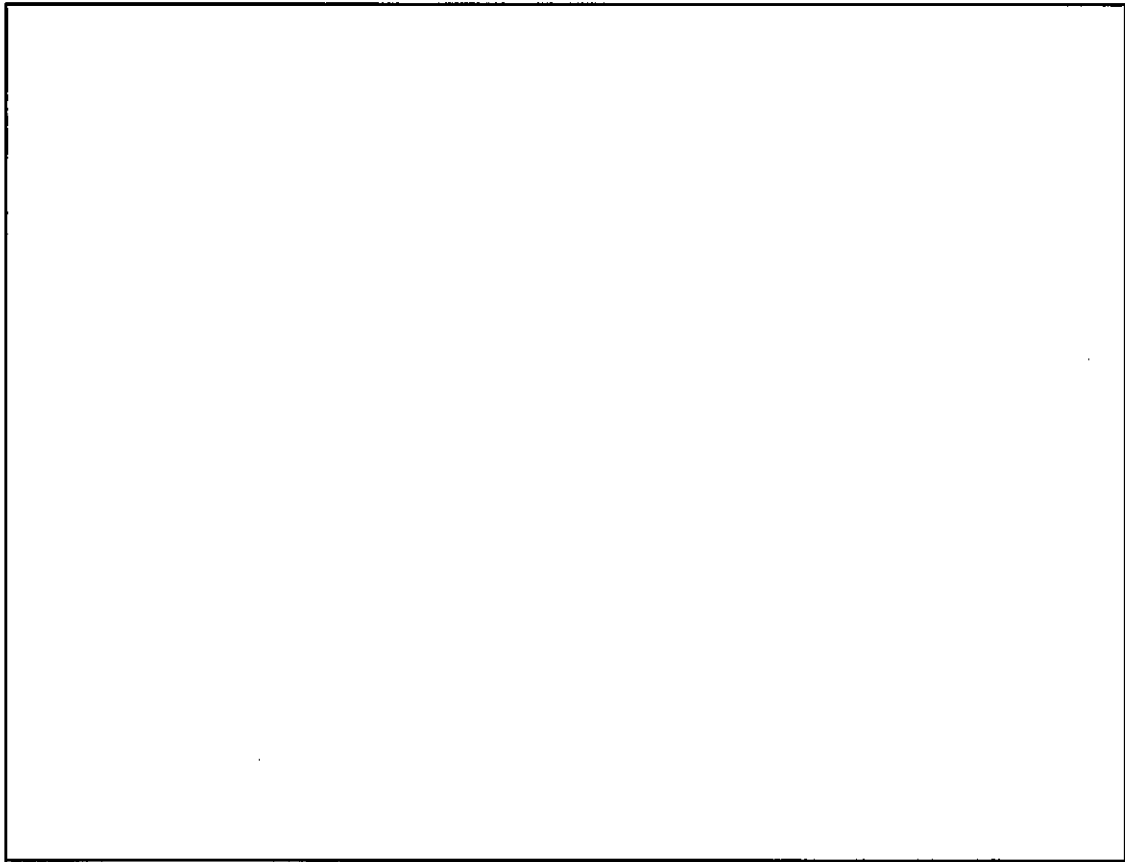


写真 1.41 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後  内容器

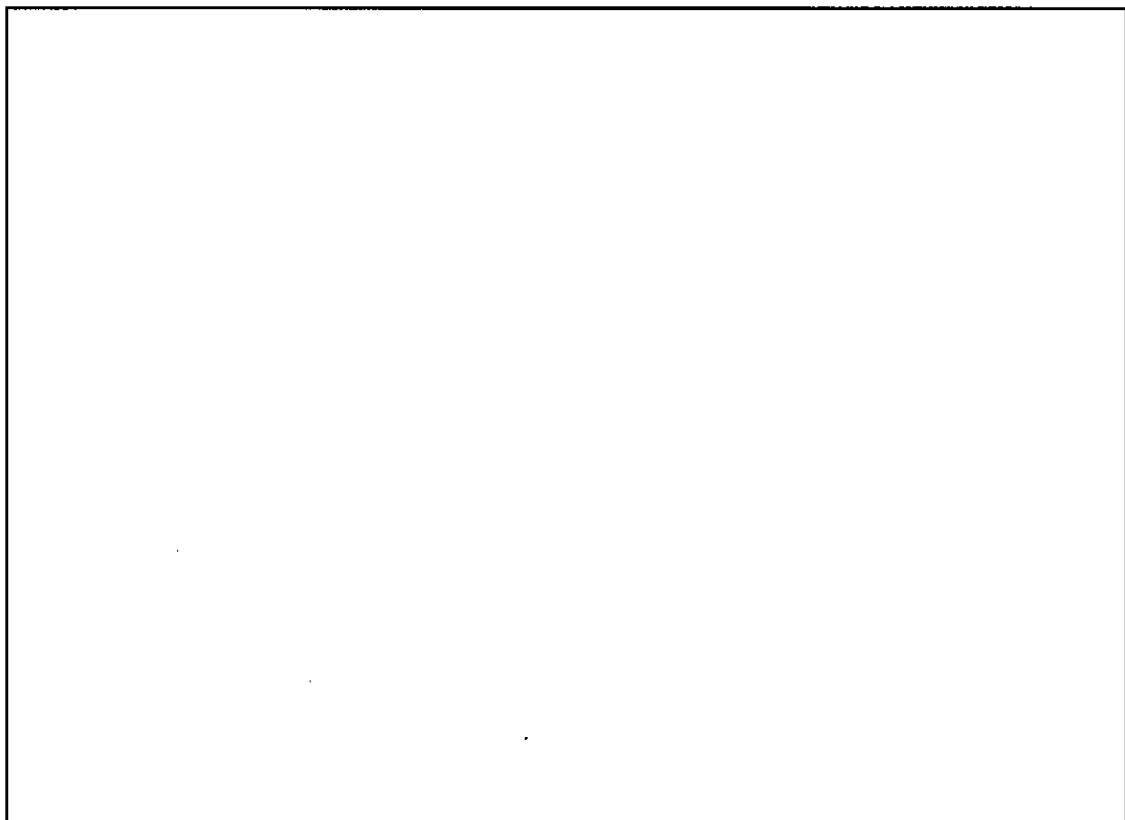


写真 1.42 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 外蓋ハンドル部

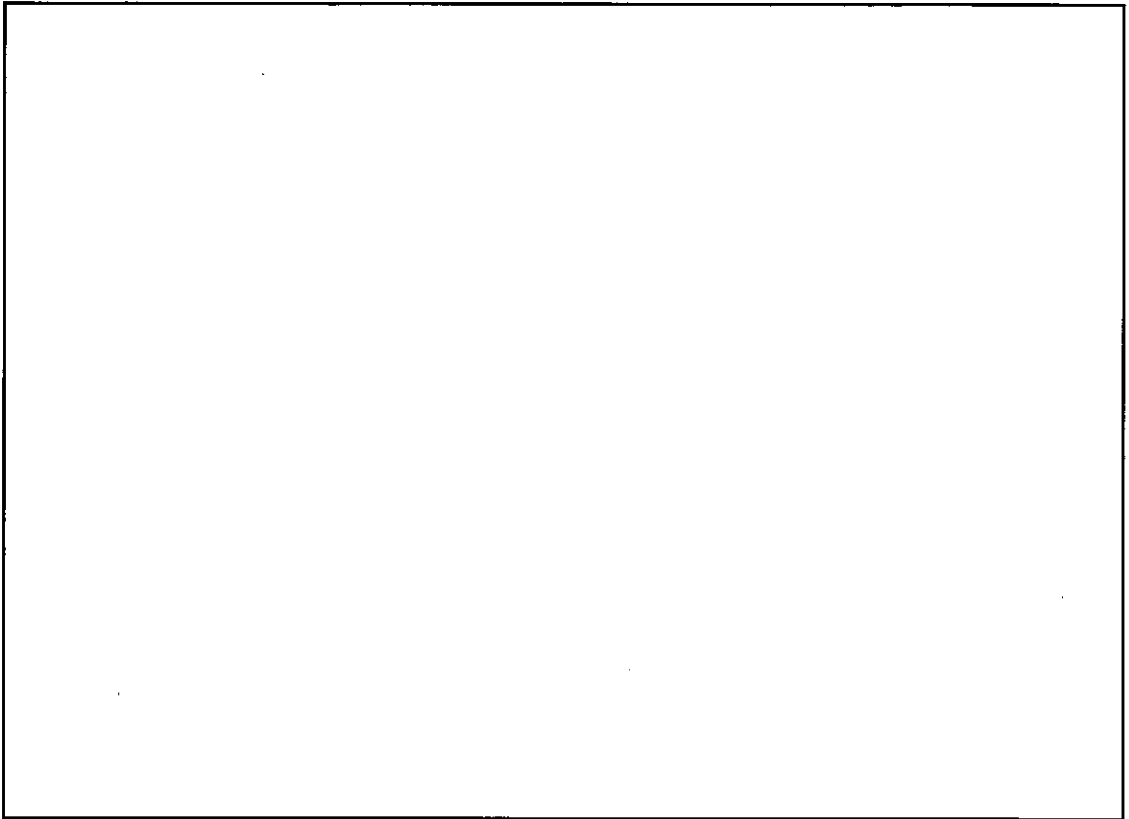


写真 1.43 落下試験Ⅱ（ターゲット, 高さ 1 m）後 外蓋ハンドル部

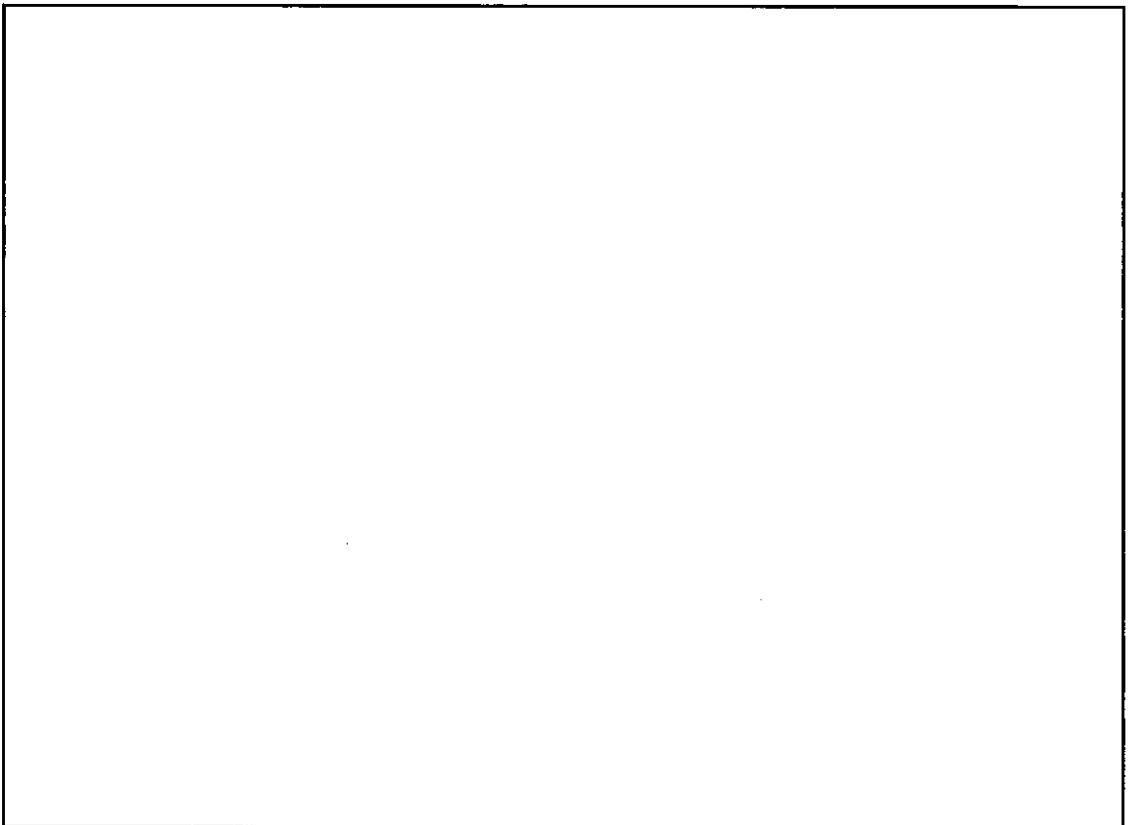


写真 1.44 落下試験Ⅱ（ターゲット, 高さ 1 m）前 外蓋回り止めデバイス止めピン

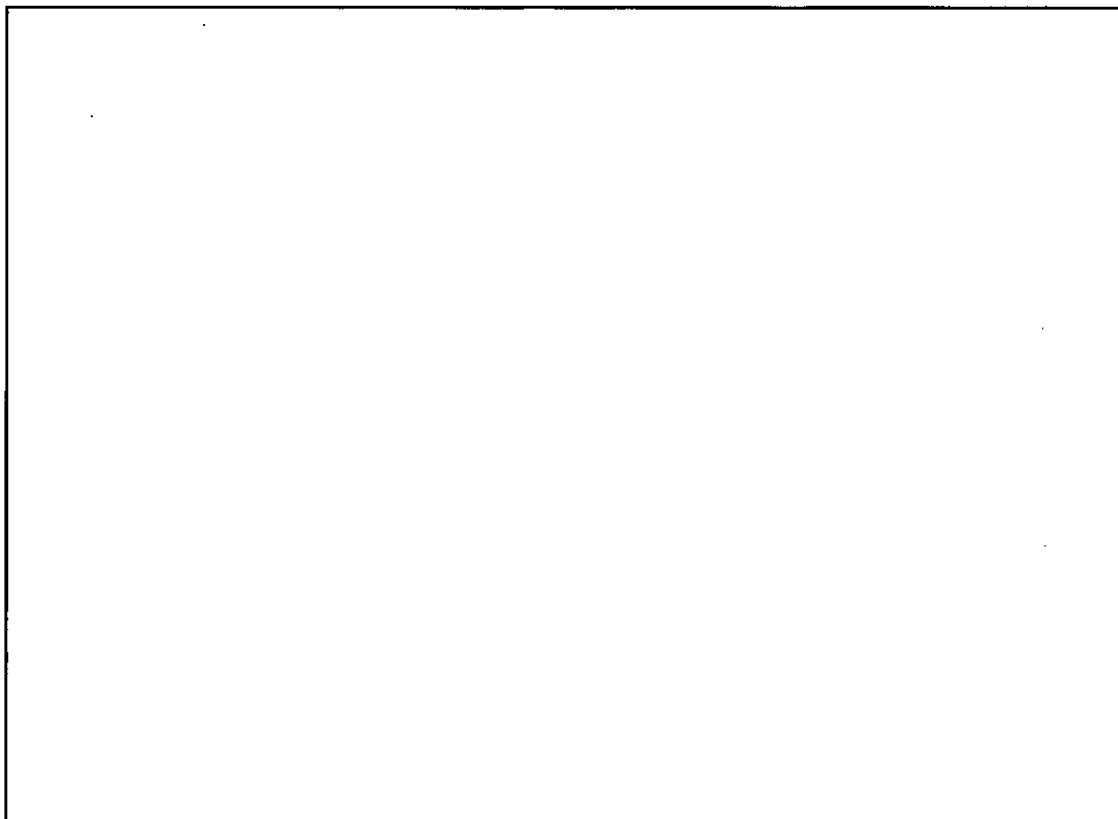


写真 1.45 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋回り止めデバイス止めピン

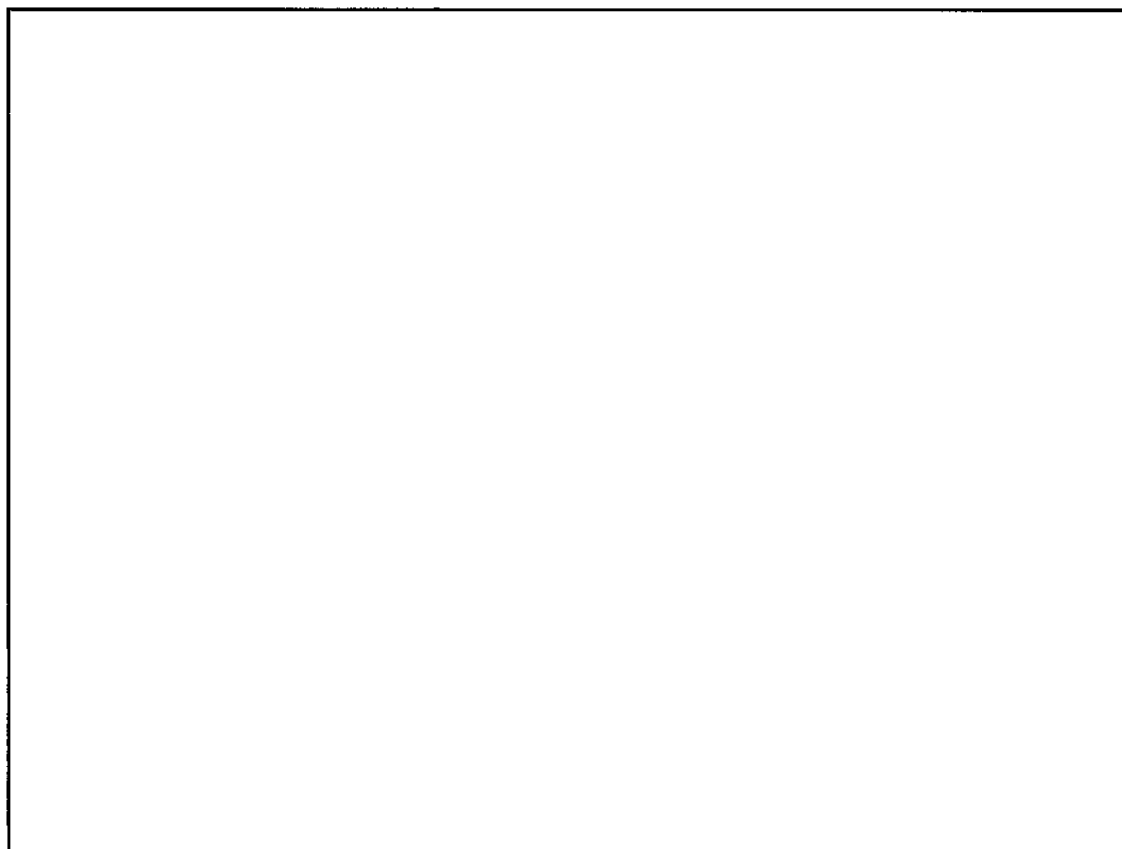


写真 1.46 落下試験Ⅰ（高さ 9 m）後 側面

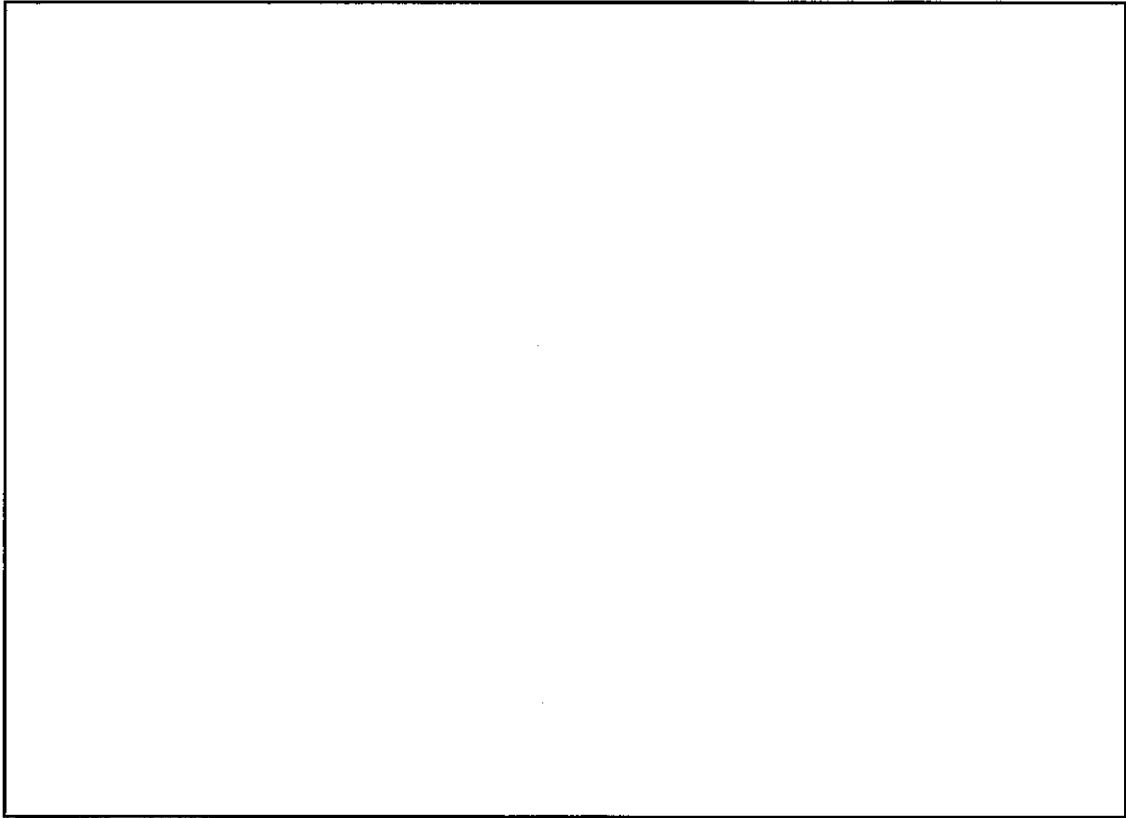


写真 1.47 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

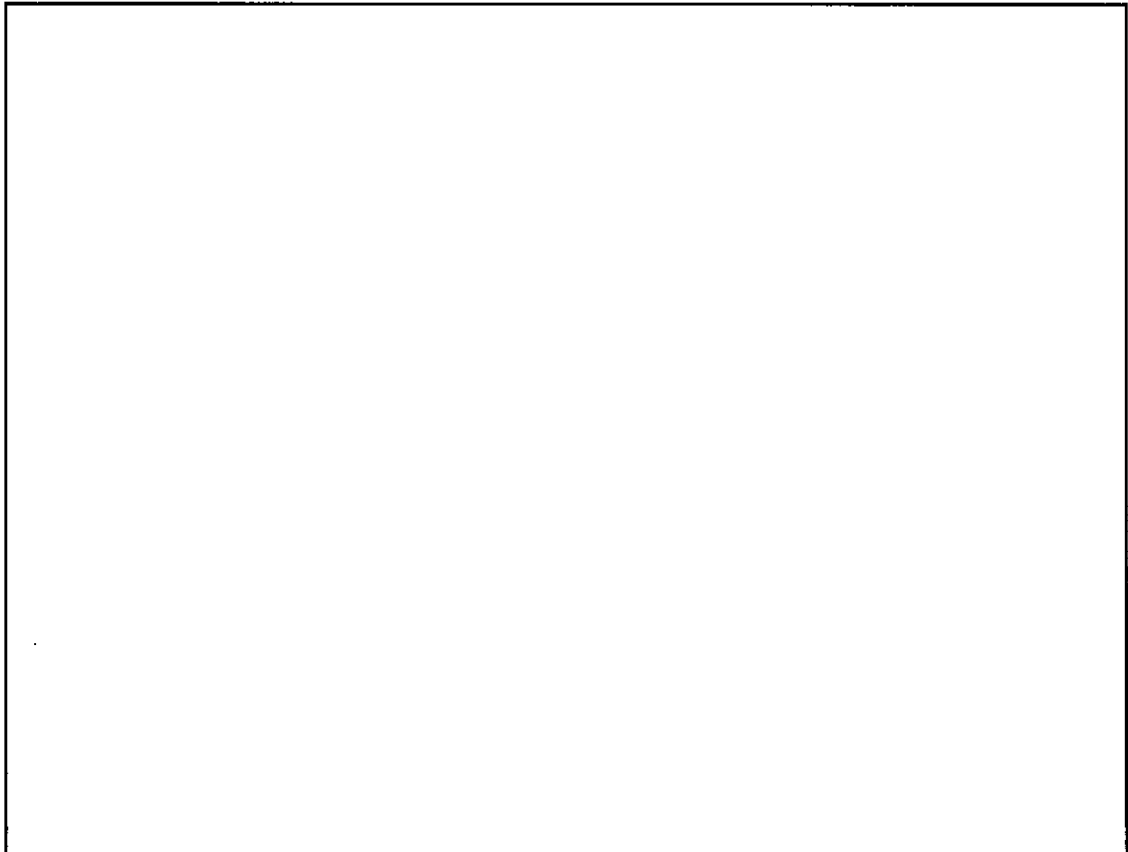


写真 1.48 落下試験 I (高さ 9 m) 後 底面

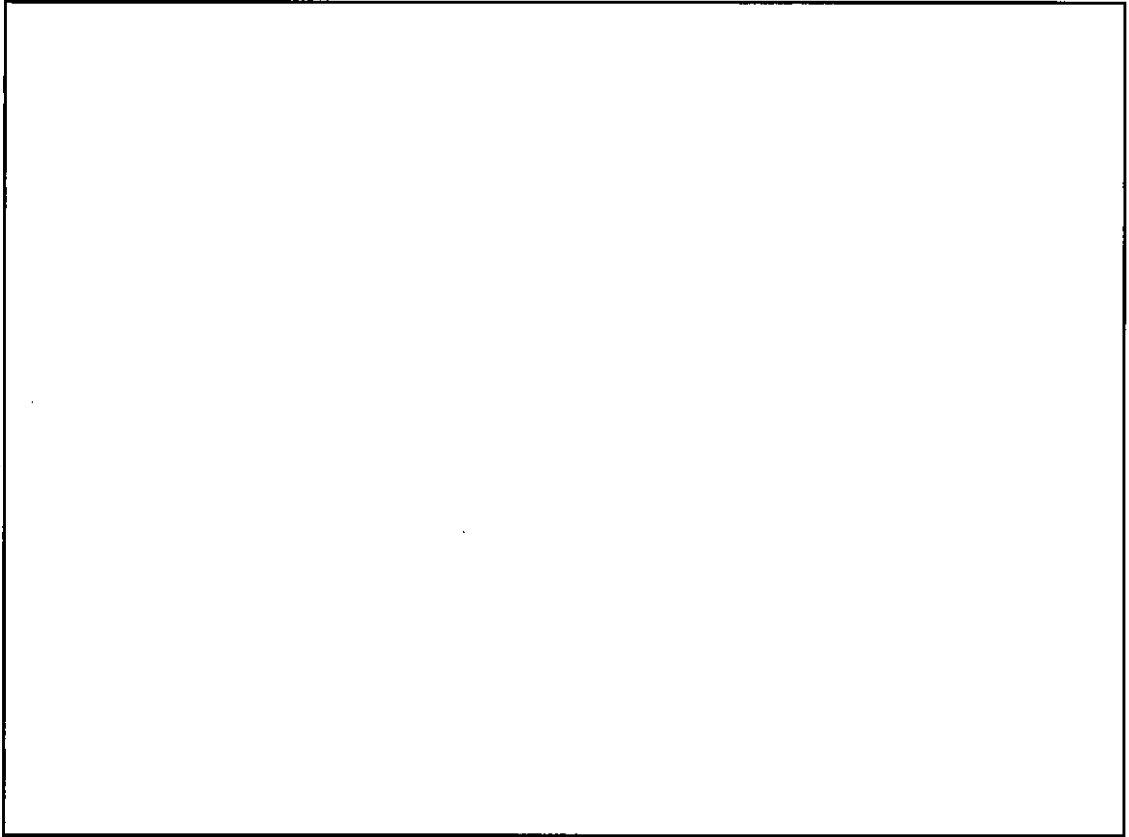


写真 1.49 落下試験 I (高さ 9 m) 後 底面

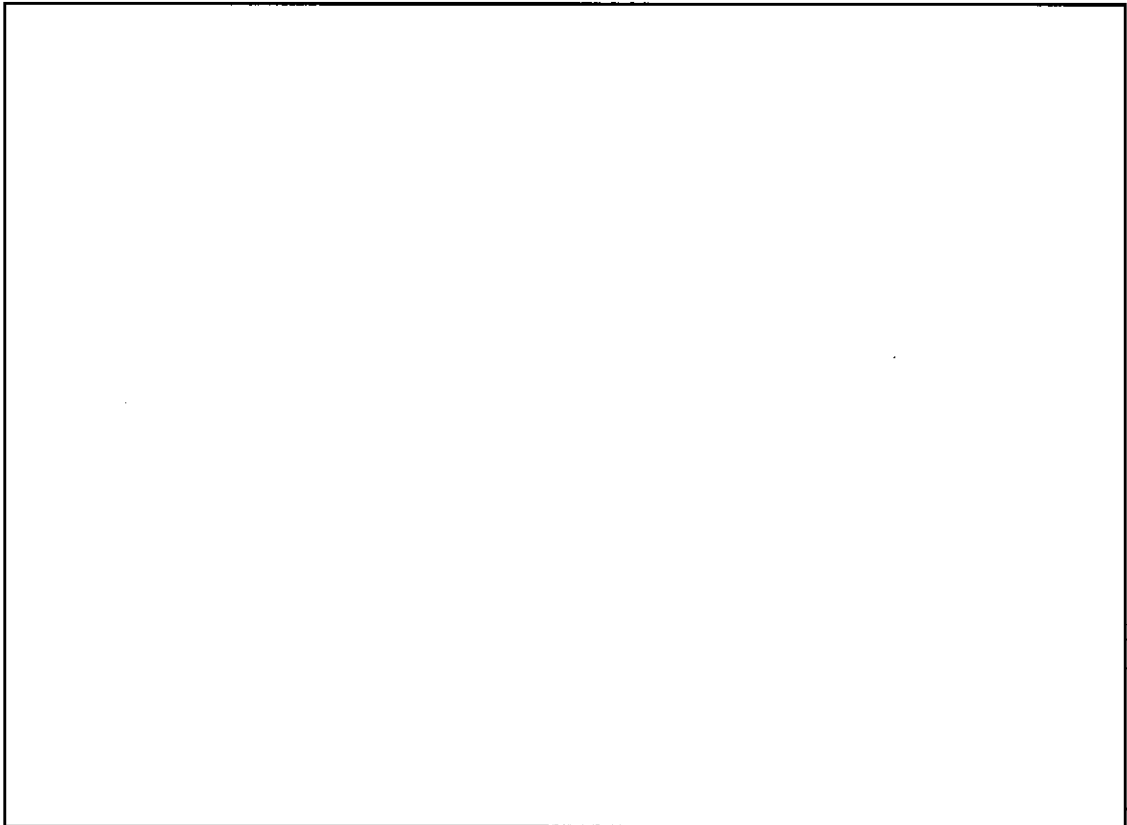


写真 1.50 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面

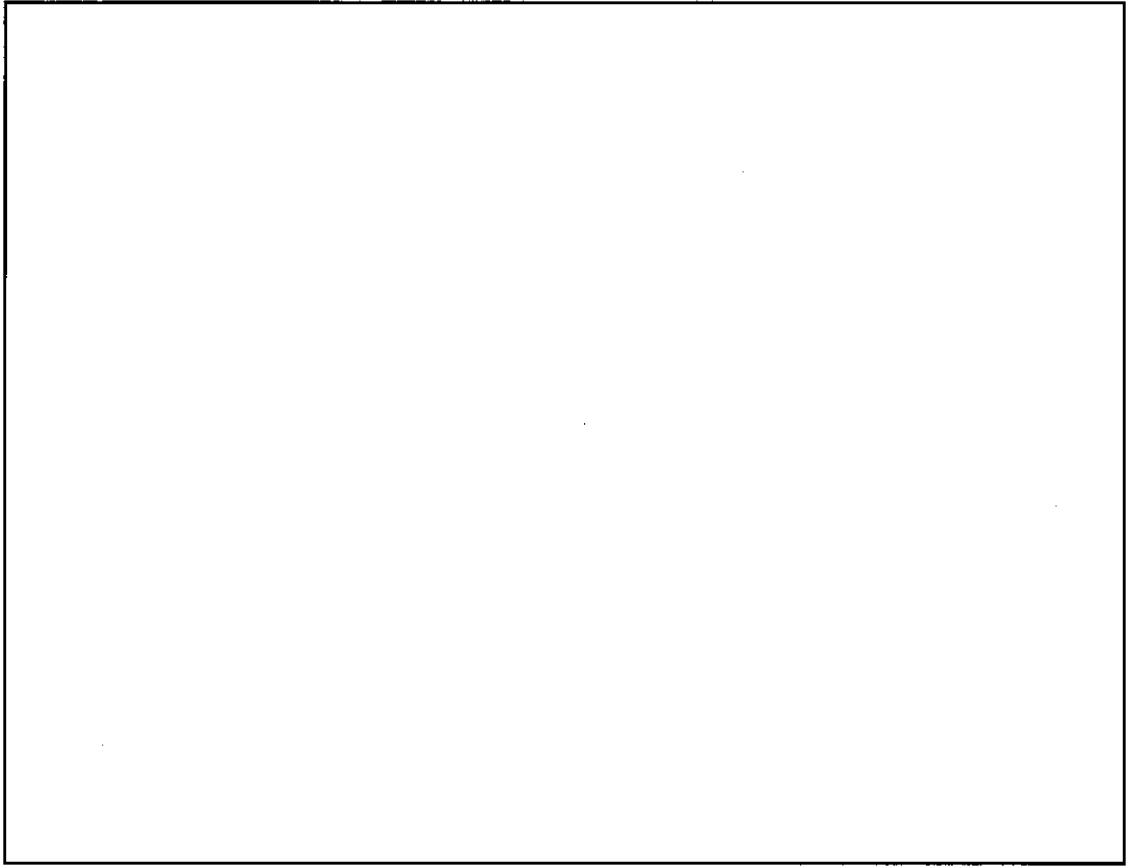


写真 1.51 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面

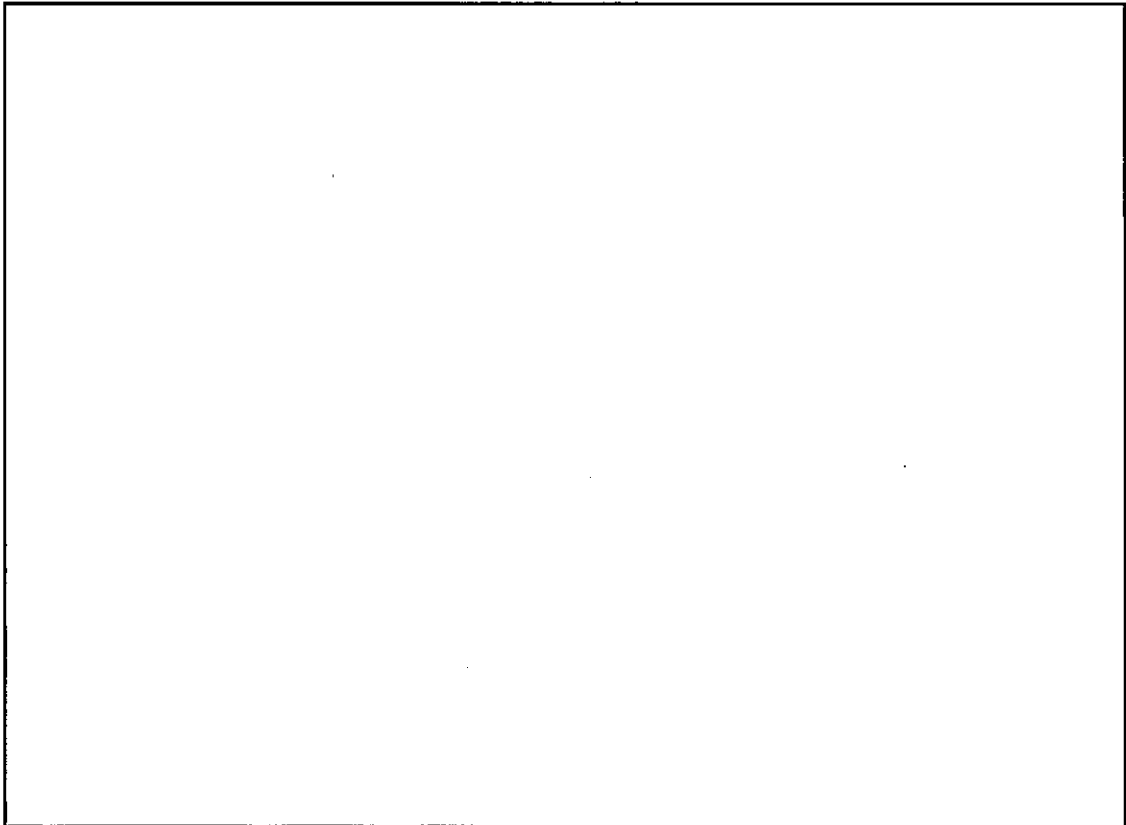


写真 1.52 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面

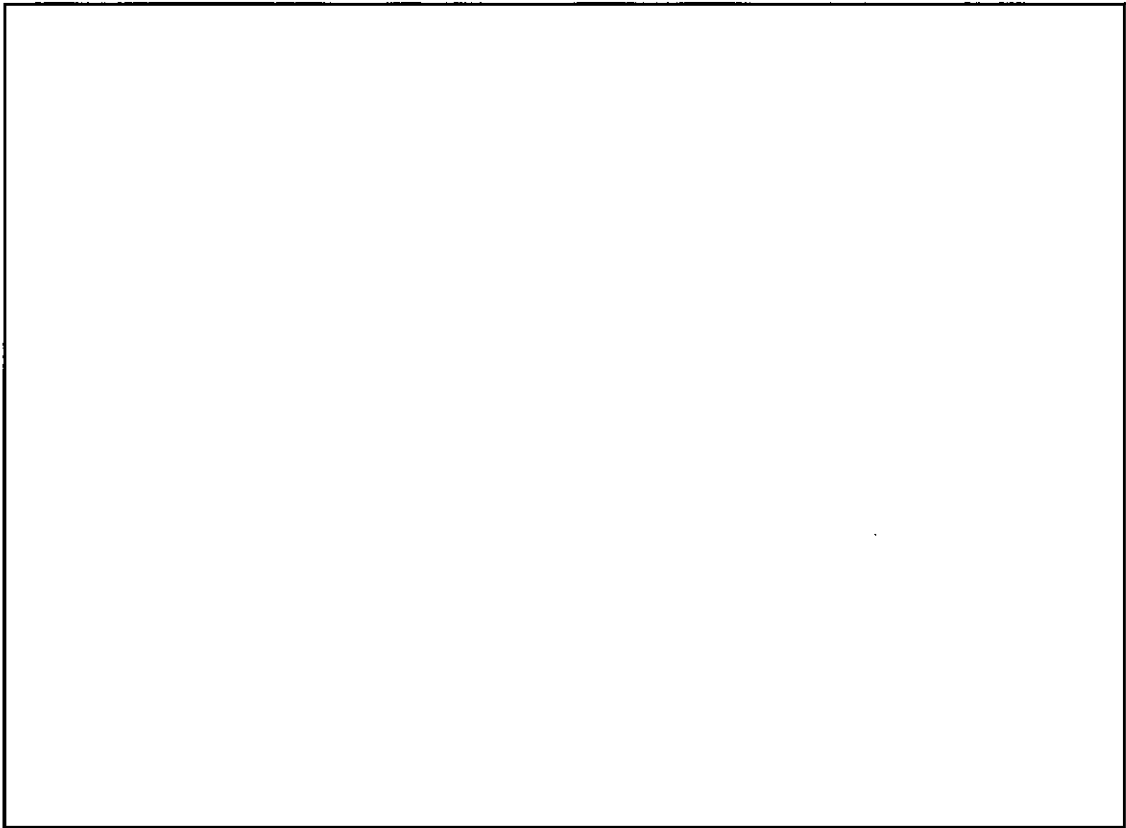


写真 1.53 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前  内容器

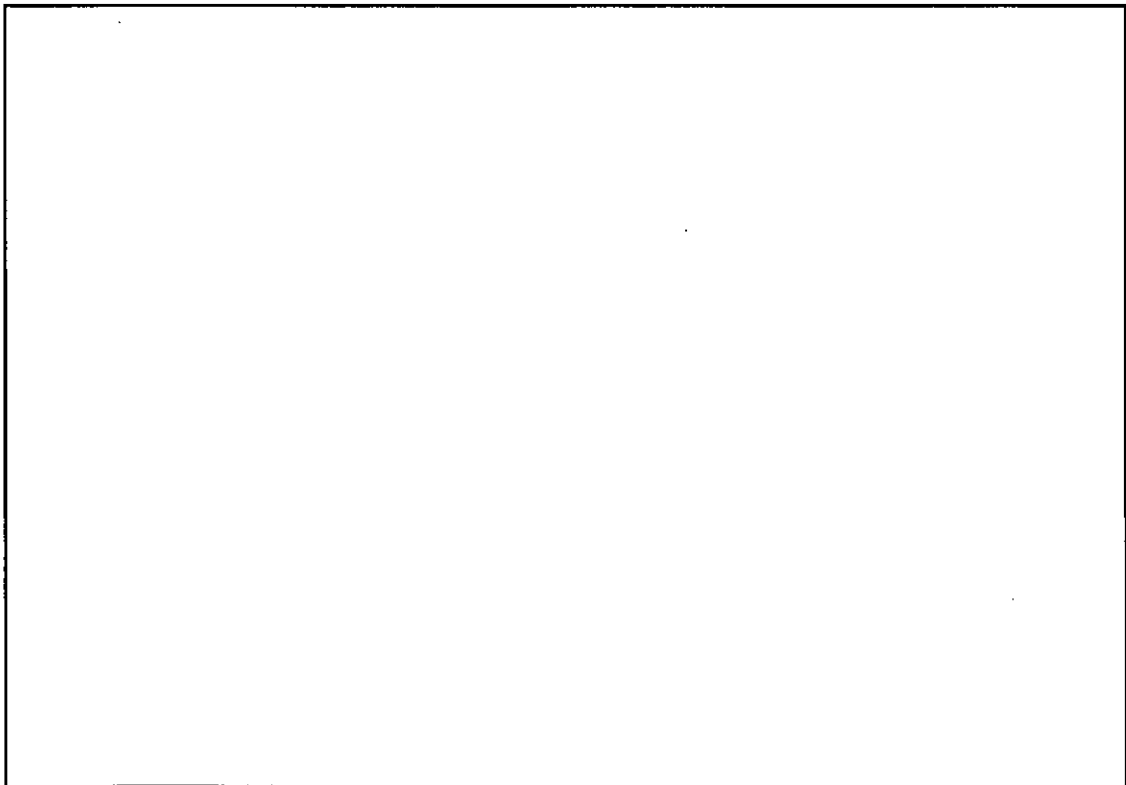


写真 1.54 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後  内容器



(口)A 付属資料 2

2. 原型容器設計変更

## 2. 原型容器設計変更

原型容器 P1 及び P2 による予備落下試験の後、落下試験時（及び／又は耐火試験時）の輸送物の挙動を改善し、あるいは輸送物の質量を減少させるため、部分的に概念設計に修正が加えられ、落下試験のための原型容器 P3 及び P4 に取り入れられた。原型容器 P3 及び P4 には、原型容器 P1 及び P2 同様ウラン酸化物を模擬した純鉄粉末 300 kg が収納されている。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。

### 2.1 可融栓の変更

予備落下試験及び予備耐火試験の結果をもとに、可融栓の形状、数量の変更を行った。

- ・予備落下試験において、可融栓が離脱したため、可融栓の寸法が修正された。(図 2.1 参照)
- ・予備耐火試験の挙動を改善するため、輸送物側面下部に位置する可融栓（計 8 ヶ）、輸送物上面コーナー部に位置する可融栓（計 4 ヶ）を除去した。  
上面コーナー部に位置する可融栓については、コーナー部に高密度フェノリックフォームを注入するため、φ□mm タップ付き穴に置き換えられた。

これらの変更は、落下試験における輸送物の挙動を変化させるものではない。

### 2.2 スタッキングピンの変更

輸送物上面への軸方向落下試験におけるスタッキングピンの押し込みによる輸送物上面の変形を改善するため、□に変更した。□にすることにより落下による衝撃をスタッキングピン自身の変形にて吸収し、原型容器の予備落下試験の際に観察されたピン底部での輸送物上面外殻の破れを減少させることを目的とした。(図 2.2 参照)

また、その位置についても、落下による衝撃により、スタッキングピンの変形による外蓋バイオネット嵌合部への影響をなくすために、□中心に移動させた。

### 2.3 脚部の変更

取扱いによる脚部の変形を改善するため、脚部中間部に補強板が追加された。この修正により落下試験時の輸送物の性能が変化する可能性はない。(図 2.3 参照)

### 2.4 上部コーナーのフェノリックフォーム変更

落下試験による輸送物上部コーナーの変形を減少させるため、コーナー部の耐熱衝撃緩衝材を高密度フェノリックフォームに変更し、耐衝撃性能を高めた。コーナー部へのフェノリックフォーム注入は輸送物上面の□のφ□mm タップ付き穴を通じて行われる。

## 2.5 フランジ概念設計の改良

輸送物質量を減らすため、フランジ表面側と裏面側を□に加工した軽量フランジを設計し、原型容器 P3 及び P4 の□内容器に取り付けた。残りのフランジは、原型容器 P1 及び P2 で使用された重厚フランジである。(図 2.4 参照)

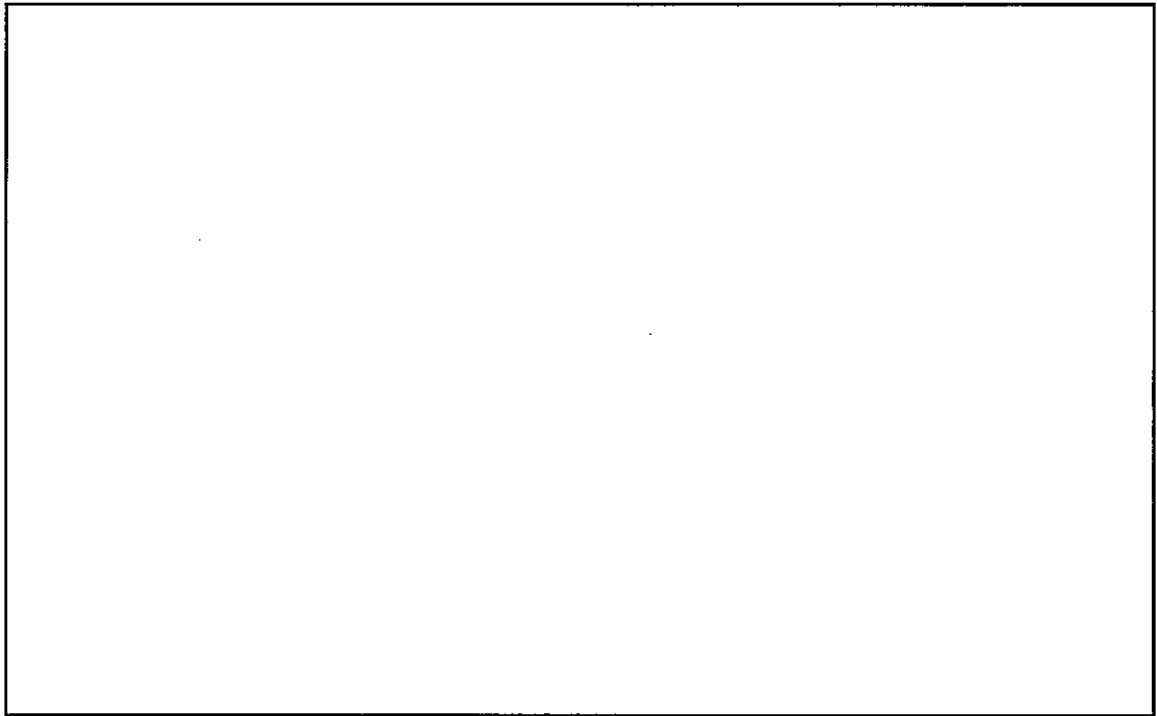


図 2.1 可融栓の変更

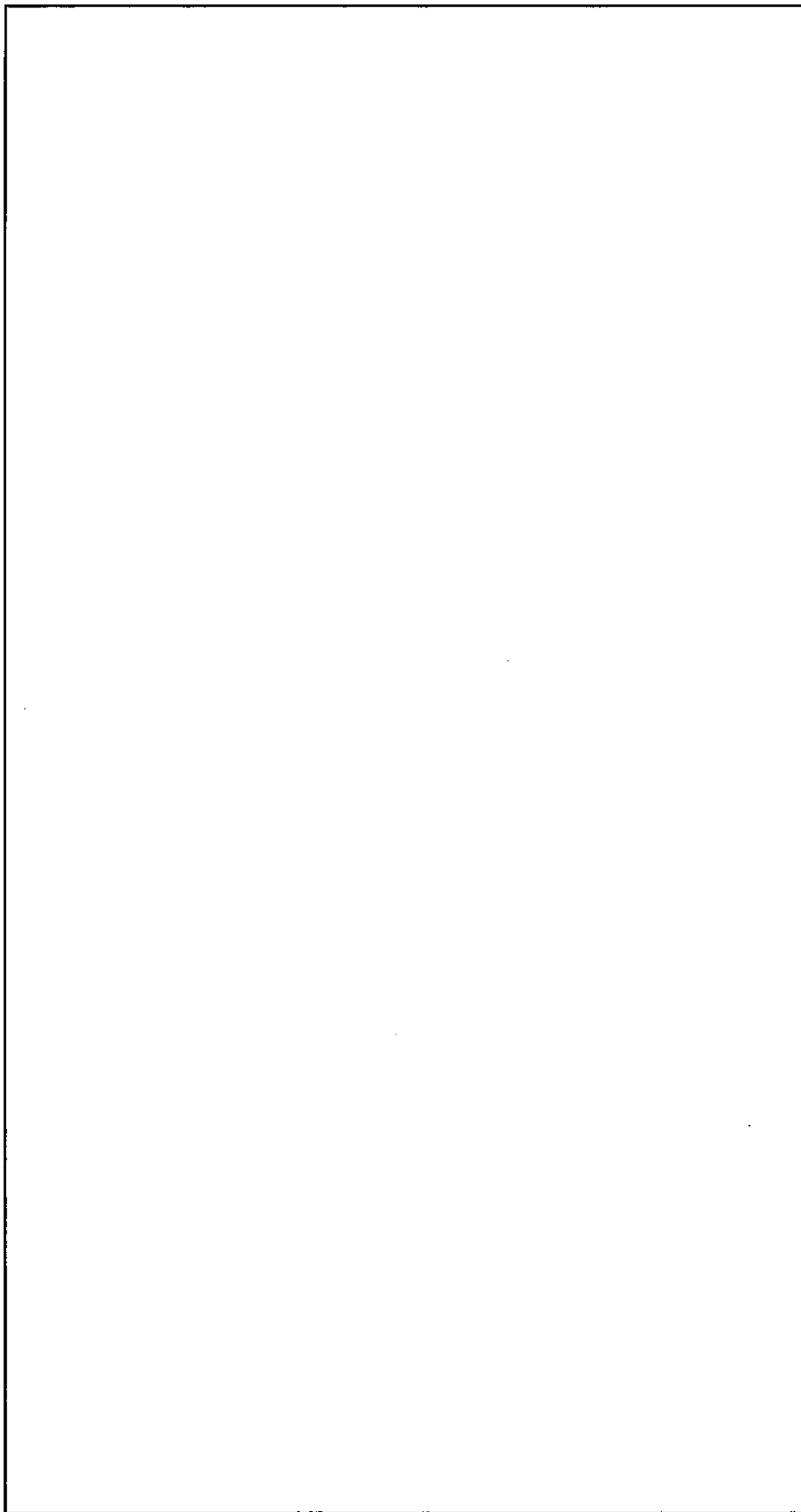


図 2.2 スタッキングピンの変更

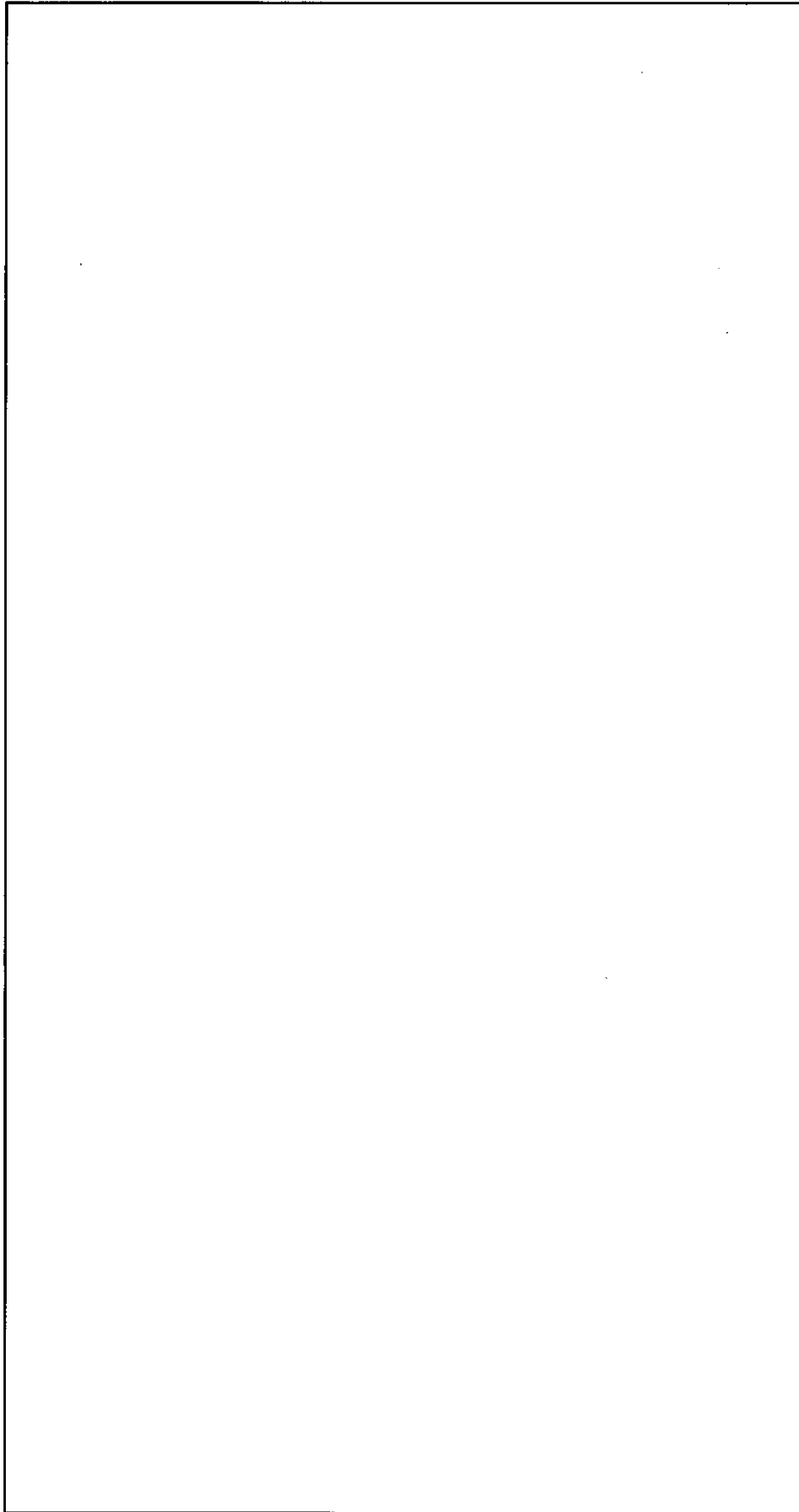


図 2.3 脚部の変更

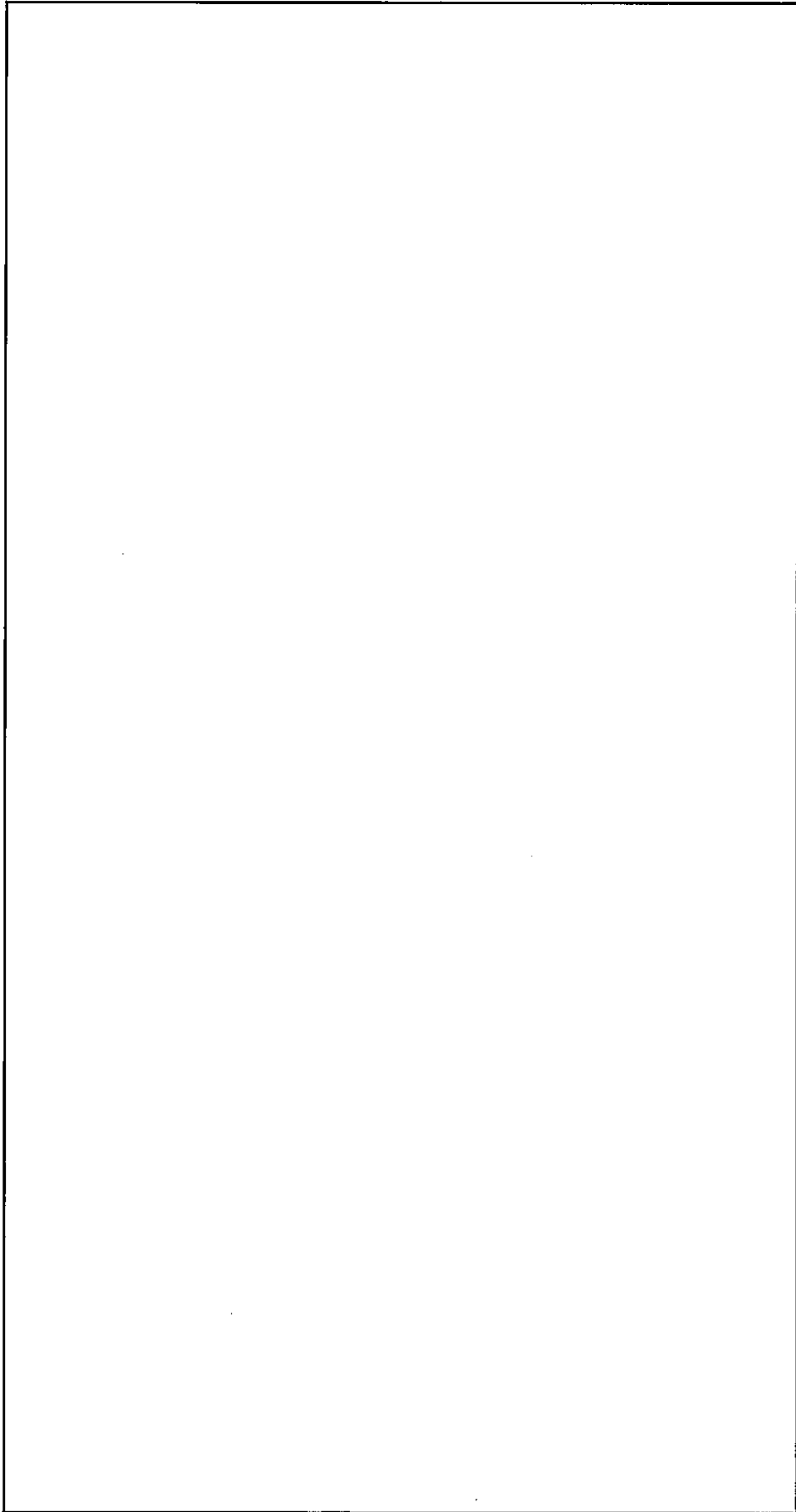


図 2.4 フランジの改良

(口)A 付属資料 3

### 3. 落下試験



### 3. 落下試験

#### 3.1 主題

本書は、TNF-XI 型輸送容器の 2 基のフルスケール原型容器について実施した落下試験の結果を示す。これらの落下試験は、仏国のロダン試験施設において、2001 年 7 月 24 日から 27 日の間に実施された。原型容器にはウラン酸化物を模擬した純鉄粉末 300 kg が収納されている。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。

試験の順序は、平常の輸送条件に耐え得る能力を実証するための試験と、事故時の輸送条件に耐え得る能力を実証するための試験からなり、臨界リスクに関連する最大規模の損傷を意味する組合せに従うものである<sup>1)</sup>。

本落下試験の落下方向は、予備落下試験の結果に基づき、最も損傷の大きい落下方向を決定し、2 基の原型容器 P3 及び P4 を用いて実施した。(「(ロ)A 付属資料 1」参照)

平常の輸送条件に対応する規則試験に耐え得る能力については、以下のように評価される。

- ・水の吹きつけは、ステンレス鋼板製輸送容器に影響を与えることがなく、その上、TNF-XI 型輸送物モデルの臨界解析は輸送物が完全な冠水に基づいているため、水の吹きつけ試験は考慮されていない。
- ・落下試験(高さ  m)は、表 3.1 及び 3.2 で説明される落下方向により実施された。
- ・積重ね試験は実施されなかったが、損傷を起こさずに当該試験に耐え得る TNF-XI 型輸送物の能力を実証するために、応力評価にて実施された。
- ・貫通試験は、表 3.1 及び 3.2 で説明される落下方向により実施された。

事故時の輸送条件に対応する規則試験に耐え得る能力については、以下のようにして評価される。

- ・落下試験Ⅱ(ターゲット, 高さ 1 m)は、落下試験Ⅰ(高さ 9 m)の前に実施され、また、その試験の後に再び繰返された。落下方向については、表 3.1 及び 3.2 において説明する。
- ・落下試験Ⅰ(高さ 9 m)は、表 3.1 及び 3.2 で説明される落下方向により実施された。
- ・臨界安全解析は内容器内部の水の存在を考慮に入れているため、規則に基づく 0.9 m の水頭下の浸漬試験は実施していない。

表 3.1 原型容器 P3 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・外蓋回り止めデバイス止めピン	1
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	2
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/> )	3
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"/> )	4
落下試験 I (高さ 9 m)	・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/> )	5
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"/> )	6

表 3.2 原型容器 P4 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	1
	・外蓋上面	2
	・外蓋バイオネット嵌合部間	3
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/> )	4
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・輸送物側面中心 (落下角度 <input type="text"/> )	5
落下試験 I (高さ 9 m)	・輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/> )	6
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	7

\* ) 落下角度  : 落下試験 II において、輸送容器外殻薄板に最もダメージを与える角度。<sup>2)</sup>

\*\* ) 落下角度  :

### 3.2 原型容器の構成

試験は、TNF-XI 型輸送物の 2 基のフルスケール原型容器で実施された。フルスケール原型容器のために利用された材料は、輸送物のために規定されたものと同等のものである。(写真 3.1 及び 3.2 参照)

輸送物の収納物であるウラン酸化物及びウラン残渣は有意な量の熱を放出しないため、温度が材料特性に与える影響を考慮する必要はない。よって、ウラン酸化物及びウラン残渣は、同密度 (約 1.7 g/cm<sup>3</sup>) の純鉄粉末に置き換えた。この粉末は、原子燃料工業(株)仕様粉末収納缶中にそれぞれ [ ] kg、輸送物中には [ ] kg が収納されている。

原型容器 P3 及び P4 には、上面には PEHD 製カバーが取り付けられていない。この構成要素は輸送物に機械的に連結されているわけではなく、輸送物の落下挙動を変化させ得る「ハード・ポイント」を有しているわけではない。加えて、ターゲットへの落下の際にこの構成要素によってもたらされる保護や、落下の際にこの構成要素によって吸収される可能性の高い変形エネルギーが考慮されないという点では、これらの原型容器での落下試験は安全側の評価を意味する。

原型容器においては、耐火試験の準備として輸送物内部に適合するように熱電対のワイヤを挿入するため、輸送物上面にある [ ] の可融栓の中、 [ ] の可融栓を除去しているが、落下時の輸送物の挙動に影響を与えない。

したがって、原型容器 P3 及び P4 は、TNF-XI 型輸送物を代表するものであり、設計又は製造上の差異が、ターゲットへの落下又は高さ 9 m からの落下に対する原型容器の挙動に顕著な影響を与えることはない。

原型容器の内蓋には [ ] 設計を採用しており、 [ ] からなる。写真 3.3 に軽量フランジの外観を示す。

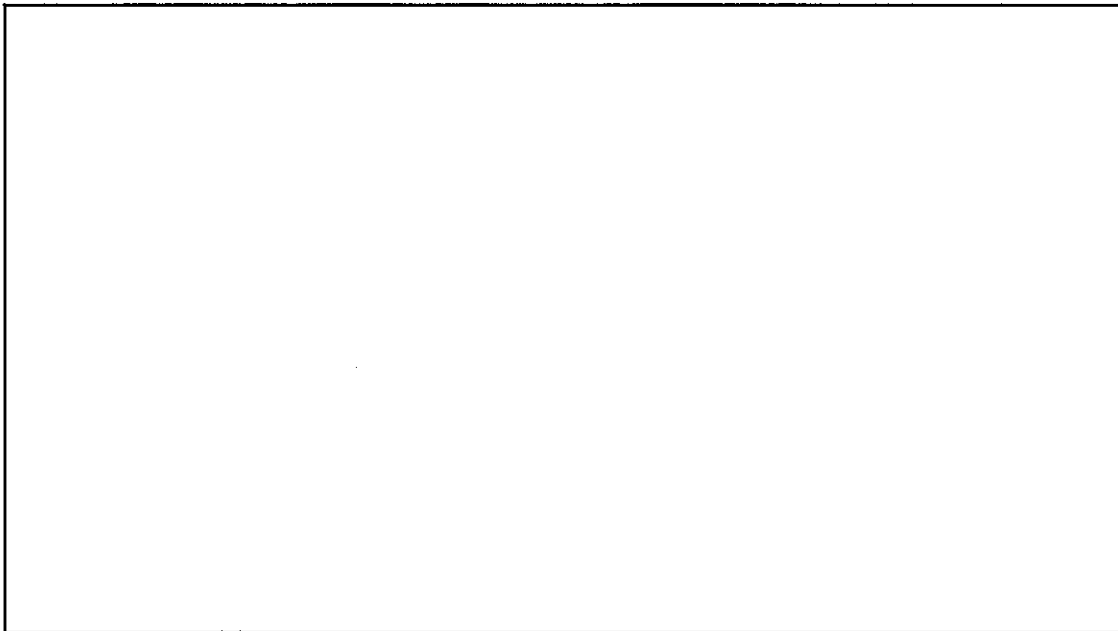
内容器のガスケットを通じた漏えいを目視で確認できるように、最上部の粉末収納缶上に消石灰を置いている (写真 3.4 参照)。また、それぞれの原型容器には、熱電対及び温度表示ラベルが取り付けられている。

### 3.3 原型容器 P3 の落下試験の結果

原型容器 P3 は、熱電対を含む輸送容器重量は  kg であり、純鉄粉末  kg を収納した輸送物の総重量は  kg である。また、原型容器 P3 は、下記の図に示すように   
 内容物が以下のような設計になっている。



原型容器 P3 の上面図を下記に示す。



原型容器 P3 の上面図

#### 3.3.1 平常の輸送条件を表す試験

##### 3.3.1.1 貫通試験 (6 kg 丸棒)

###### ・落下試験 No.1 及び 2

輸送物への落下方向は、図 3.1 及び 3.2 で示す。輸送物の貫通はなく、わずかな痕跡若しくは凹みのみ認められた。

試験結果を 写真 3.5 及び 3.6 に示す。

### 3.3.1.2 落下試験（高さ□m）

- ・落下試験 No.3：角度□による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 3.3 に示す。衝撃を受ける面は「F2」であり、落下試験により、衝撃を受けた面に変形は見られない。

試験結果を写真 3.7 及び 3.8 に示す。

### 3.3.2 事故時の輸送条件を表す試験

#### 3.3.2.1 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ 1 m）

- ・落下試験 No.4：角度□による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 3.4 に示す。ターゲットの衝撃点は、最初の衝撃時にターゲットが輸送物脚部に衝突しないように選択される。輸送物底面は、ターゲットによって変形し、外殻に長さ約 □ mm の非常に狭い裂け目が生じた。ターゲットによる変形深さの最大値は、□ mm であった。

試験結果を写真 3.9 及び 3.10 に示す。

#### 3.3.2.2 落下試験Ⅰ（高さ 9 m）

- ・落下試験 No.5：角度□による輸送物側面への衝撃

衝撃を受ける面は、落下試験（高さ□m）で衝撃を受けたのと同じ面である。輸送物の落下方向を図 3.5 に示す。衝撃を受けた面の下部コーナー部は曲がり、圧縮変形の最大値は□mm、平均値は約□mm であり、容積減少は約□%であった。

試験結果を写真 3.11～3.13 に示す。

### 3.3.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

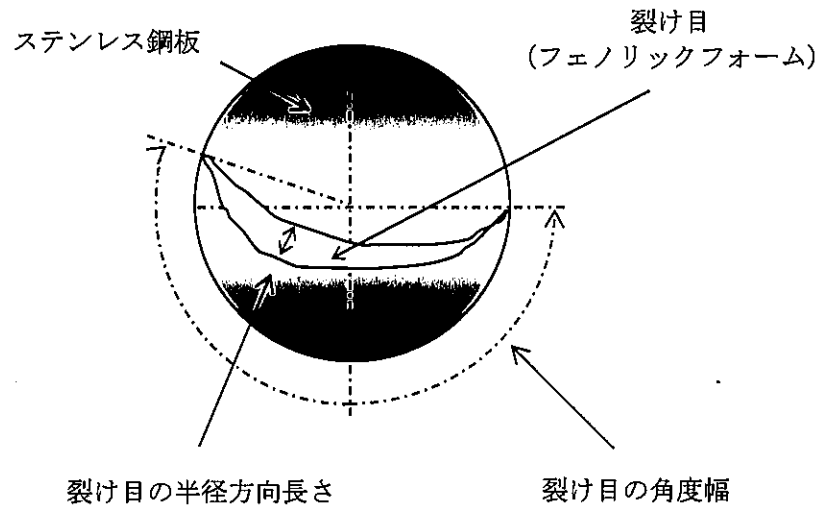
- ・落下試験 No.6：角度□による輸送物側面への衝撃

衝撃を受ける面は、落下試験Ⅰ（高さ9 m）で衝撃を受けたのと同じ面である。輸送物の落下方向を図 3.6 に示す。衝撃を受ける内容器は□である。

輸送物側面は、ターゲットによって変形し外殻に裂け目を生じた。裂け目の角度幅は□を超え、最大半径方向幅は□mm、深さの最大値は□mmであった。

試験結果を写真 3.14 及び 3.15 に示す。

いずれの落下試験においても、輸送物からの消石灰の漏えいは認められなかった。

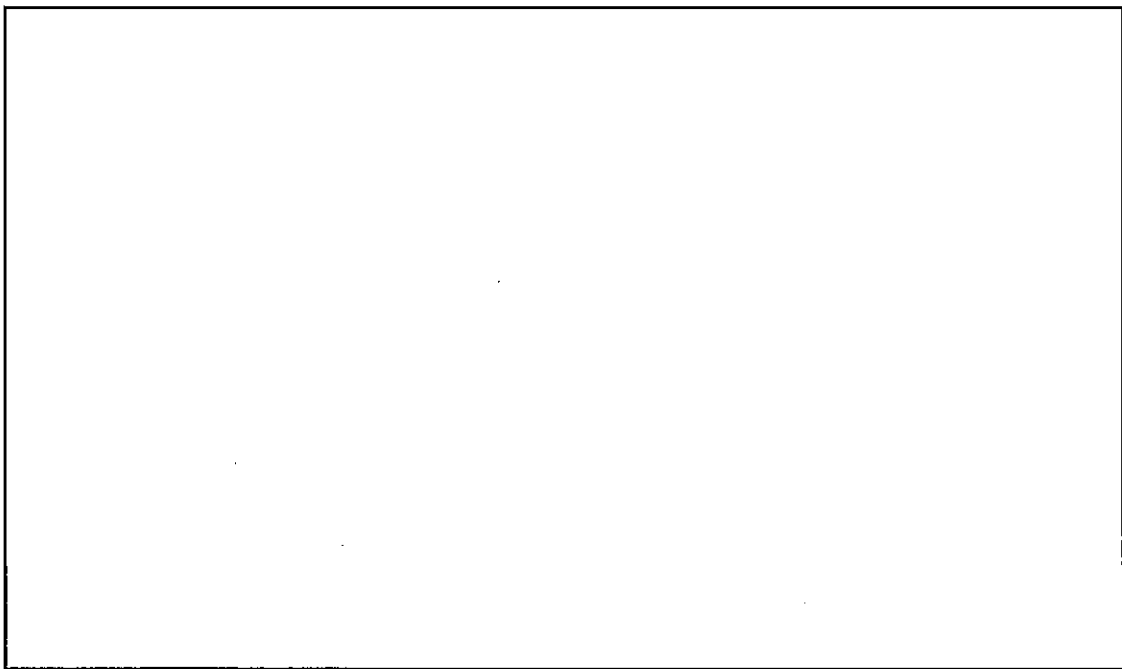


### 3.4 原型容器 P4 の落下試験の結果

原型容器 P4 は、熱電対を含む輸送容器重量は  kg であり、純鉄粉末  kg を収納した輸送物の総重量は  kg である。また、原型容器 P4 は、下記の図に示すように、  
 内容物が以下のような設計になっている。



原型容器 P4 の上面図を下図に示す。



原型容器 P4 の上面図

#### 3.4.1 平常の輸送条件を表す試験

##### 3.4.1.1 貫通試験 (6 kg 丸棒)

###### ・落下試験 No.1~3

輸送物への落下方向を 図 3.7~3.9 に示す。輸送物の貫通はなく、わずかな痕跡若しくは凹みのみ認められた。

試験結果を 写真 3.16~3.18 に示す。

### 3.4.1.2 落下試験（高さ□ m）

- ・落下試験 No.4：角度□ による輸送物上面コーナー部への衝撃

輸送物の落下方向を図 3.10 に示す。衝撃を受ける上面コーナー部は、□ に近いコーナー部である。

衝撃を受けたコーナー部の付近で輸送物外殻の波状の変形が見られるが、外殻の裂け目は見られない。この落下による容積減少は、□ %以下である。平常の輸送条件を表す落下試験のうちで、この落下試験が最も大きな変形を与えるものだった。

試験結果を写真 3.19 及び 3.20 に示す。

### 3.4.2 事故時の輸送条件を表す試験

#### 3.4.2.1 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ 1 m）

- ・落下試験 No.5：角度□ による輸送物側面への衝撃

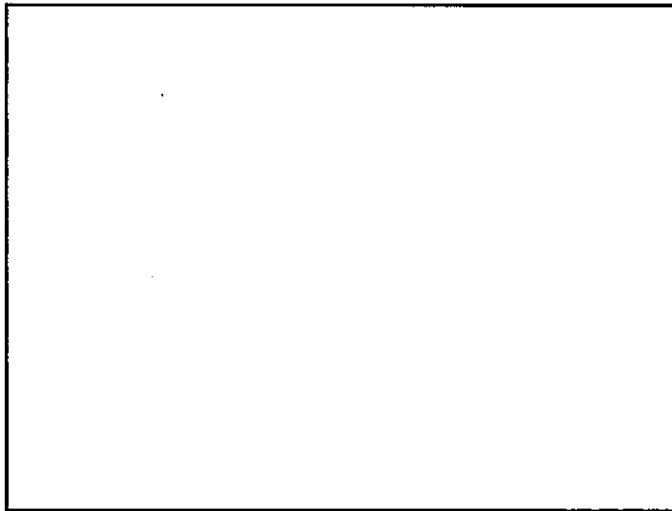
輸送物の落下方向を図 3.11 に示す。衝撃を受けた面は「F2」であり、輸送物側面はターゲットにより変形したが、外殻の貫通はなかった。ターゲットによってできた変形深さの最大値は、□ mm である。

試験結果を写真 3.21 及び 3.22 に示す。

#### 3.4.2.2 落下試験Ⅰ（高さ 9 m）

- ・落下試験 No.6：角度□ による輸送物上面コーナー部への衝撃

衝撃を受けるコーナー部は、落下試験（高さ□ m）で衝撃を受けたコーナー部と同じである。輸送物の落下方向を図 3.12 に示す。衝撃を受けたコーナー部周囲の外殻で波状の変形が見られる。下記の図における変形領域の程度は以下のとおりである。



これらの値は、高さ□ m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□ %である。平らな表面に垂直に測定した輸送物の衝撃を受けたコーナー部（C 点）の変位は、□ mm である。

試験結果を写真 3.23 及び 3.24 に示す。



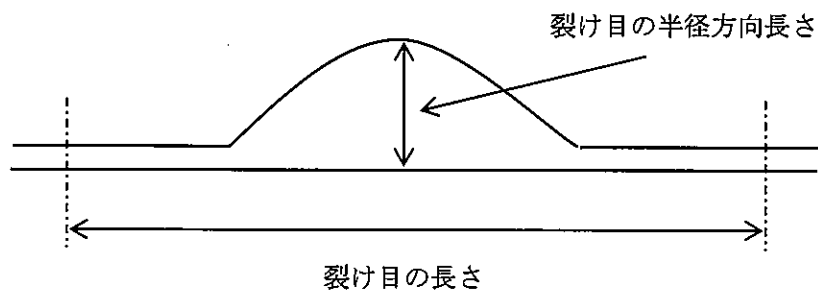
### 3.4.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ1 m）

#### ・落下試験 No.7：輸送物外蓋への衝撃

落下試験Ⅱ（高さ9 m）により、輸送物上面コーナー部に衝撃を受けたコーナー部付近の外蓋パイオネット部の2つのパイオネット嵌合部間が開き始めているのが観察された。したがって、この落下試験の目的は、この開口部を悪化させることにある。

輸送物の落下方向を図 3.13 に示す。この落下の衝撃により外蓋外殻に裂け目が生じた。裂け目の最大半径方向サイズは□mm で、目に見える長さは約□mm である。

試験結果を写真 3.25 及び 3.26 に示す。



### 3.5 試験結果

原型容器 P3 及び P4 に対する試験結果を表 3.3 及び 3.4 に示す。全ての落下試験において、輸送物からの消石灰の漏えいは発見されなかった。この 2 基の試験原型容器 P3 及び P4 について耐火試験が行われた。

表 3.3 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	・ 外蓋回り止めデバイス ・ <input type="text"/> 内容器の <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 <input type="text"/> m)	・ 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)	・ 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)	・ 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)	・ <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

表 3.4 原型容器 P4 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	・ <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、わずかな痕跡のみ 同上 貫通なく、凹みのみ
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 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)	・ 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)	・ 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)	・ 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

### 3.6 参考文献

- (1) IAEA Safety standards series, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition, No. TS-R-1.
- (2) Technical mail DSIN/GRE/SD1/N°214/97 of 17/09/1997.

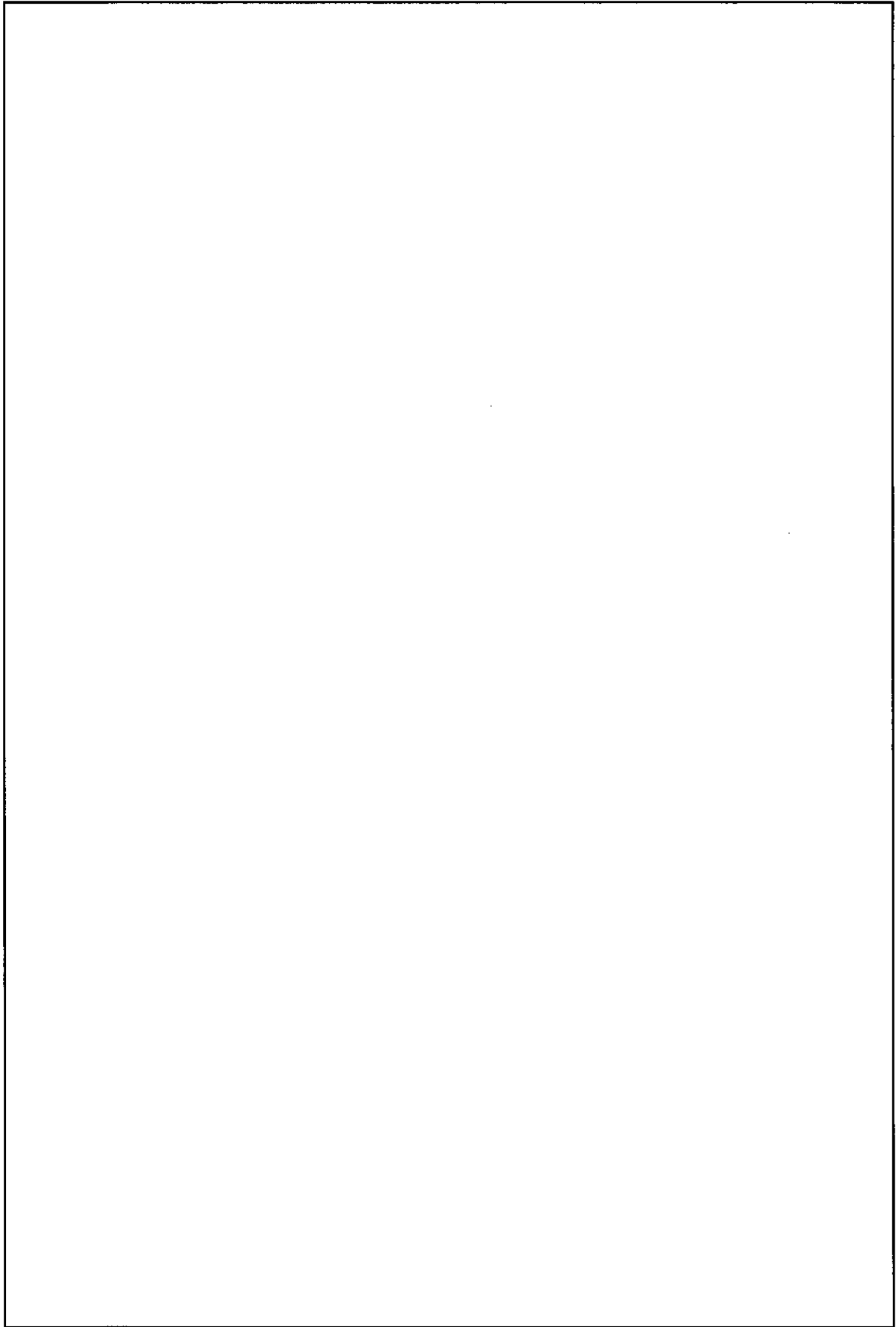


図 3.1 落下試験 No.1 - 原型容器 P3

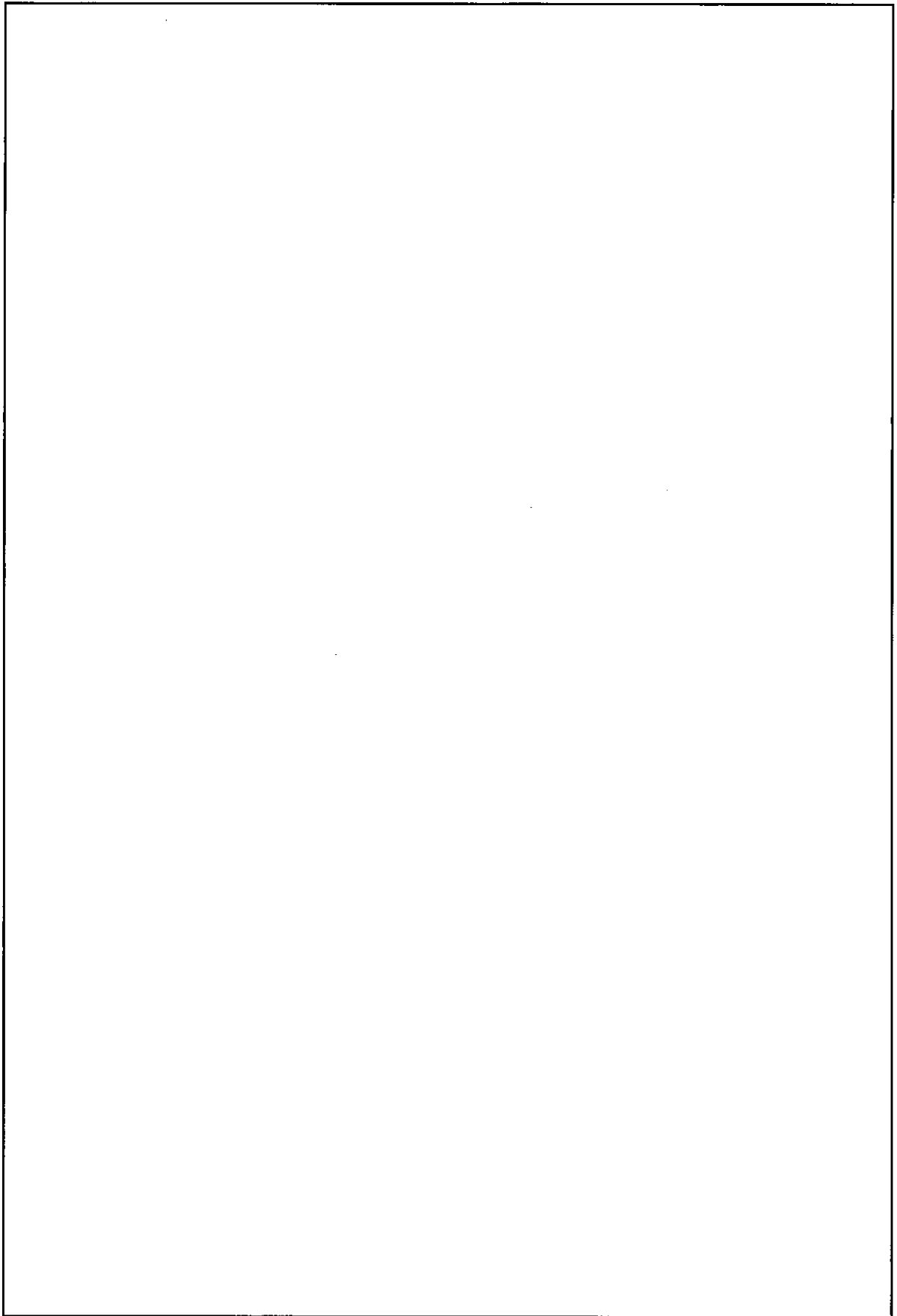


図 3.2 落下試験 No.2 - 原型容器 P3

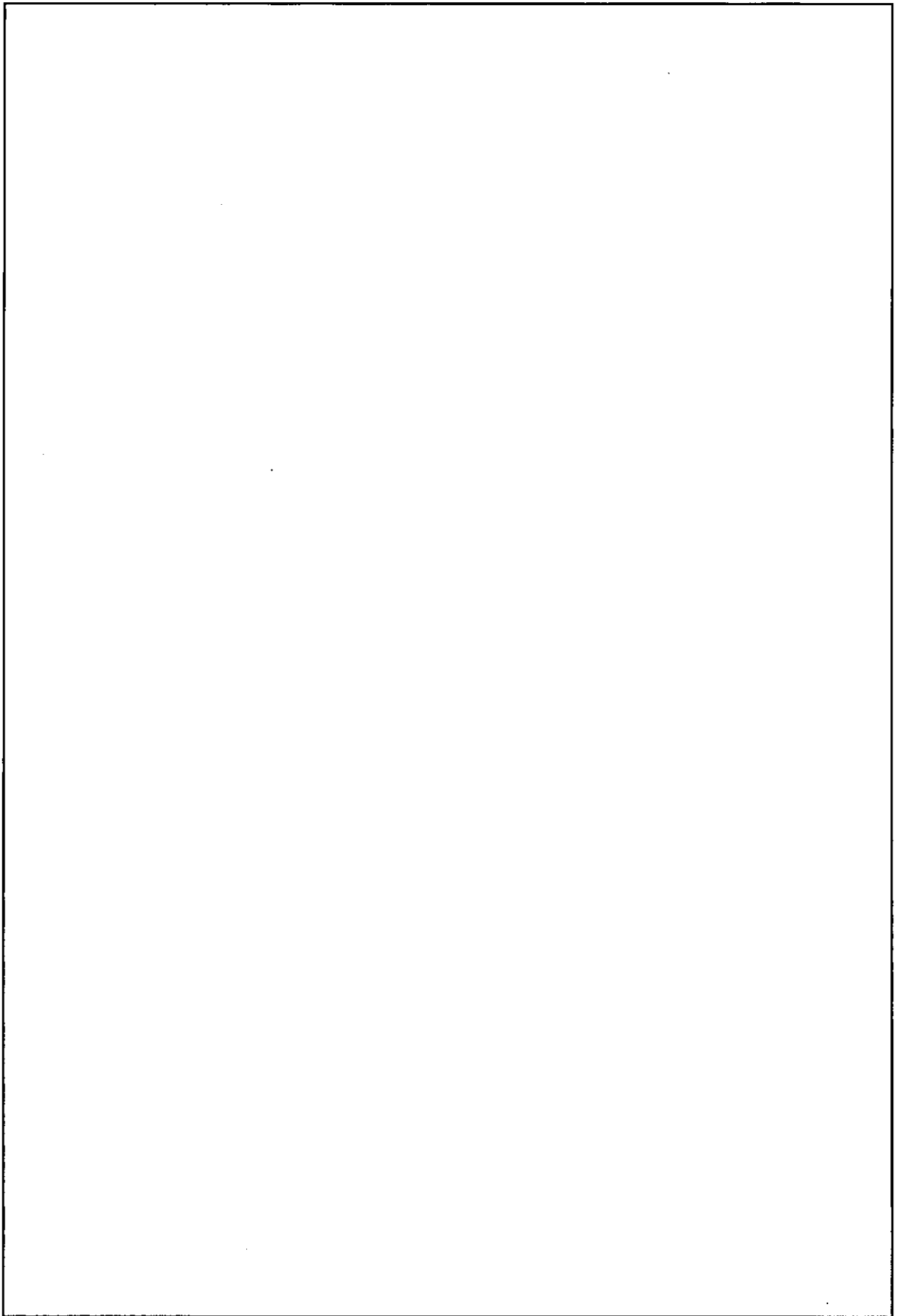


図 3.3 落下試験 No.3 - 原型容器 P3

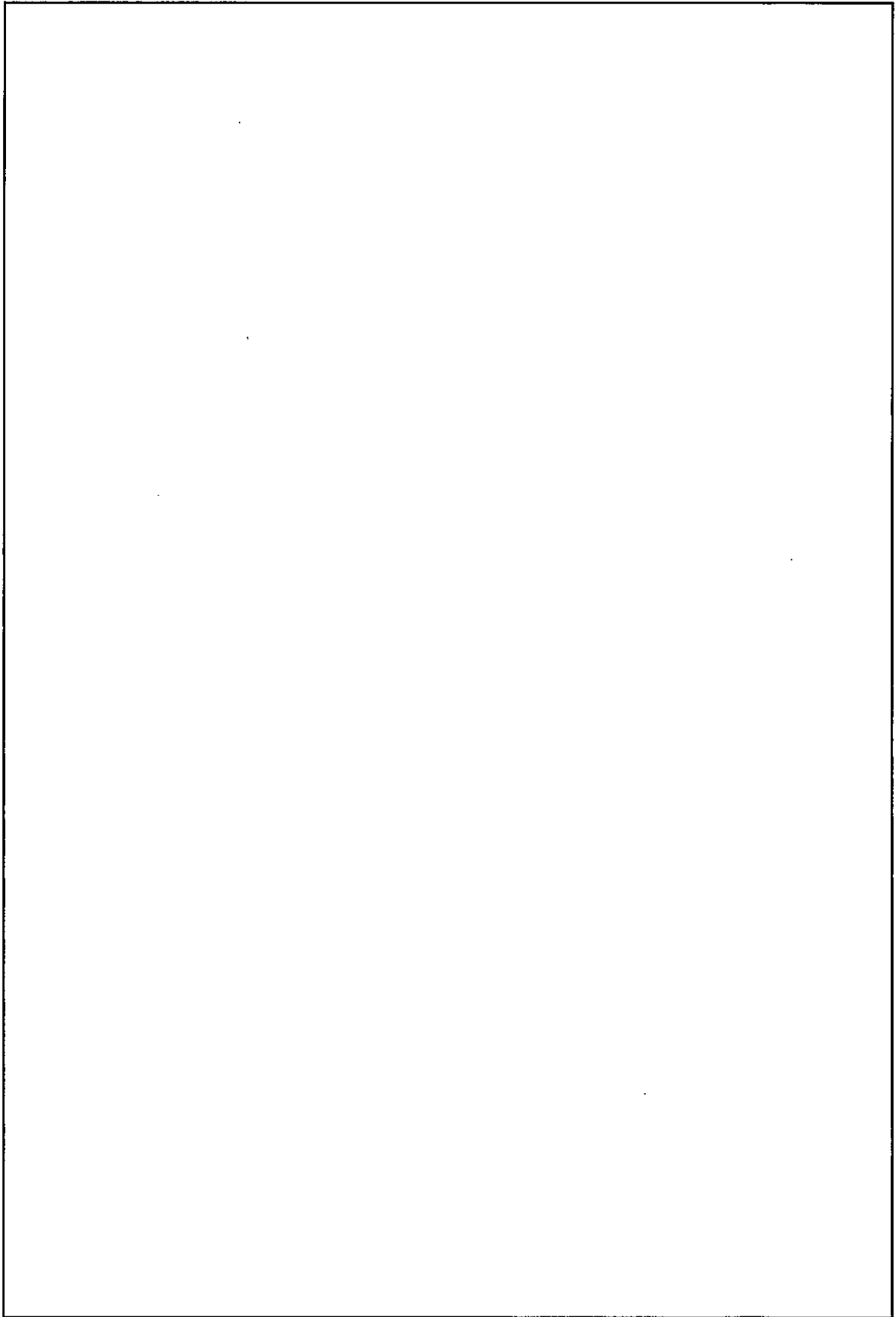


図 3.4 落下試験 No.4・原型容器 P3

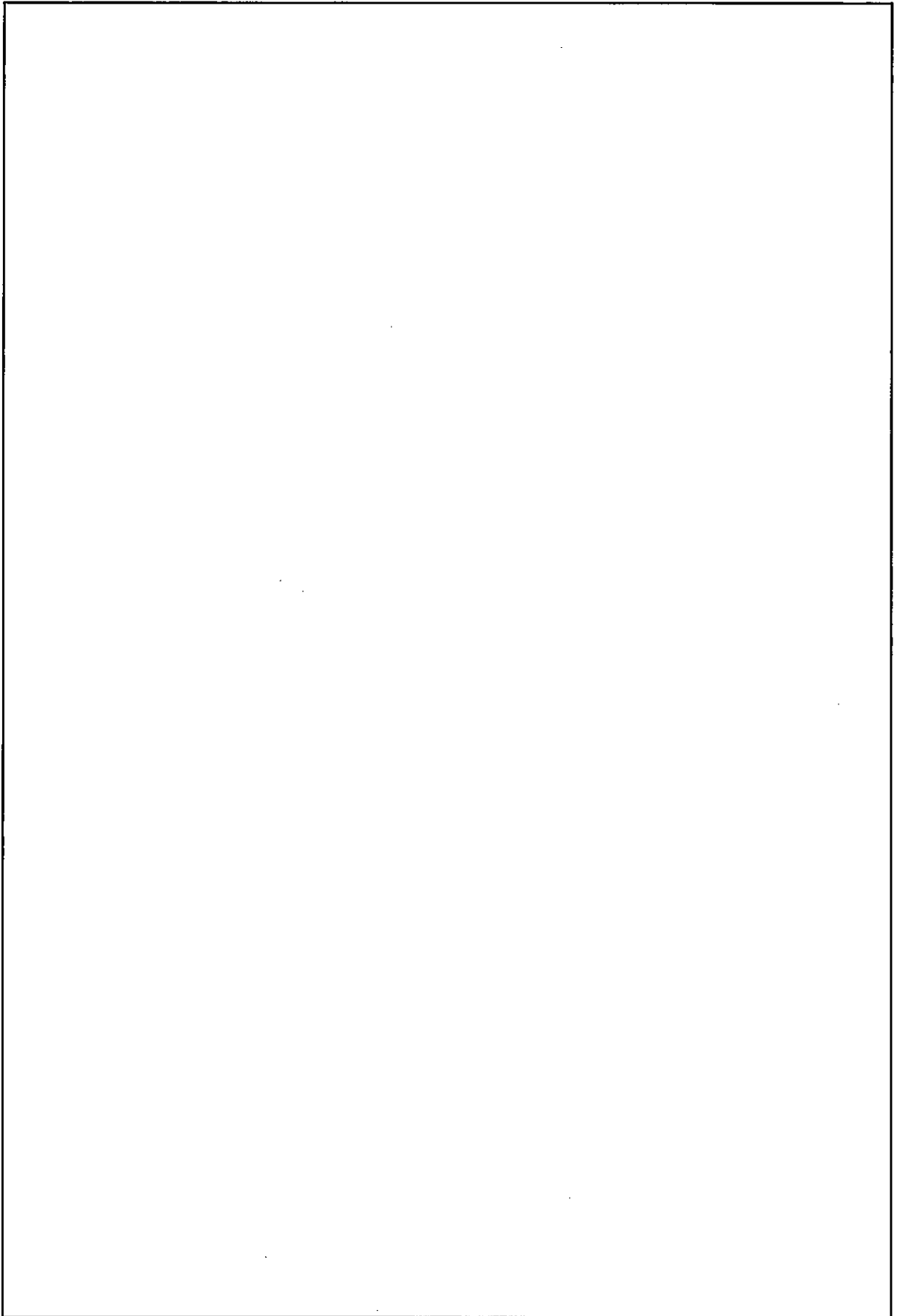


図 3.5 落下試験 No.5・原型容器 P3



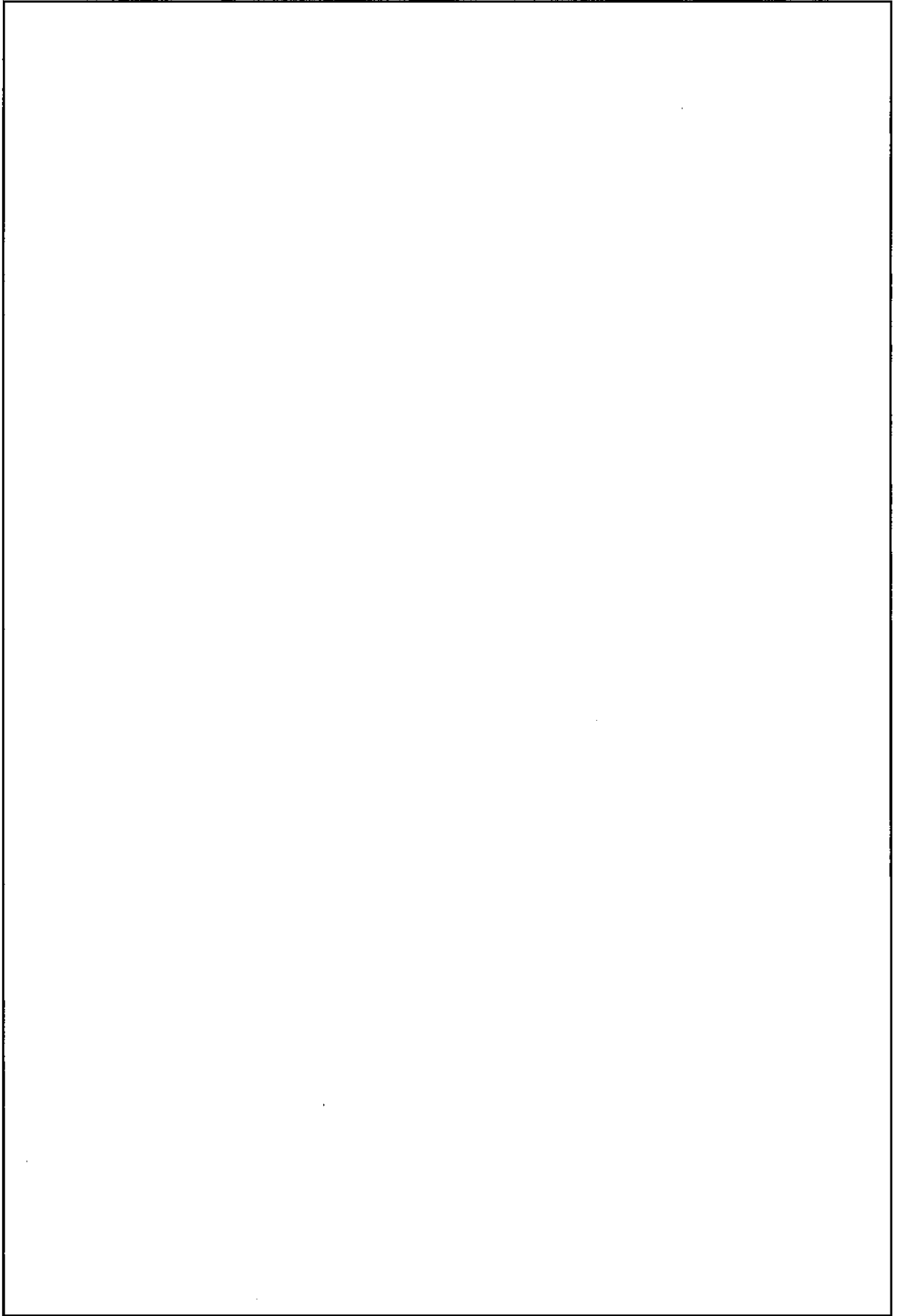


図 3.6 落下試験 No.6 - 原型容器 P3

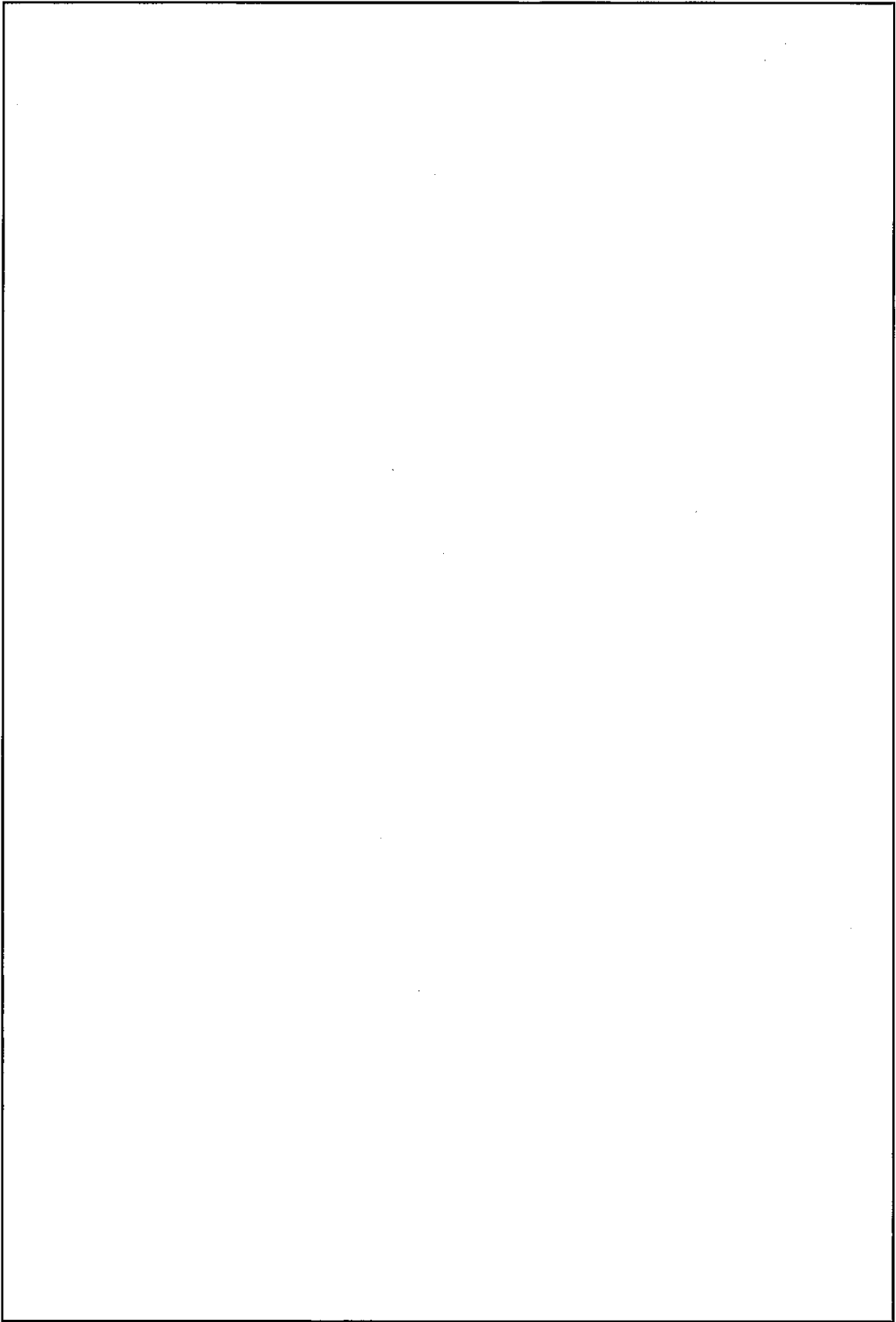


図 3.7 落下試験 No.1 - 原型容器 P4

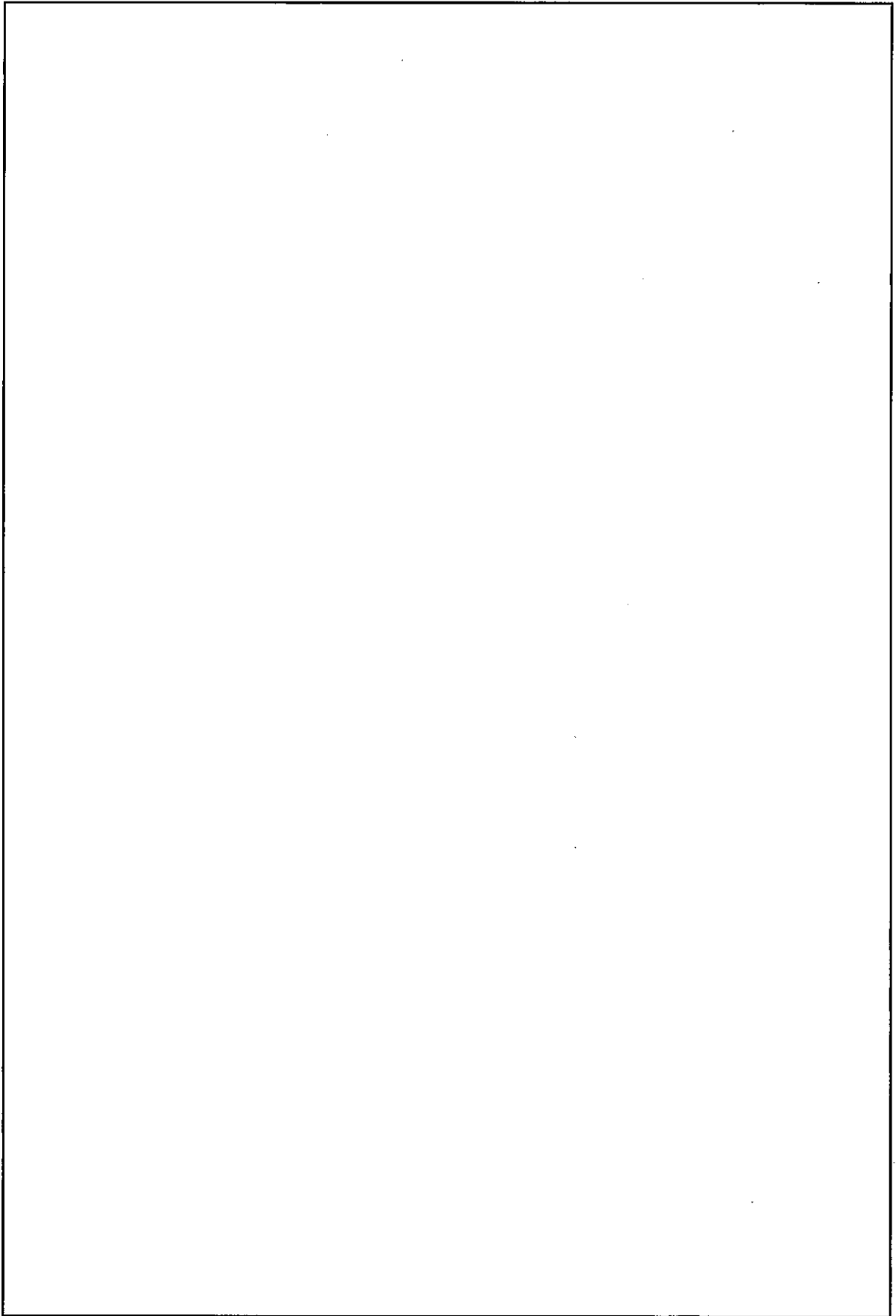


図 3.8 落下試験 No.2 - 原型容器 P4

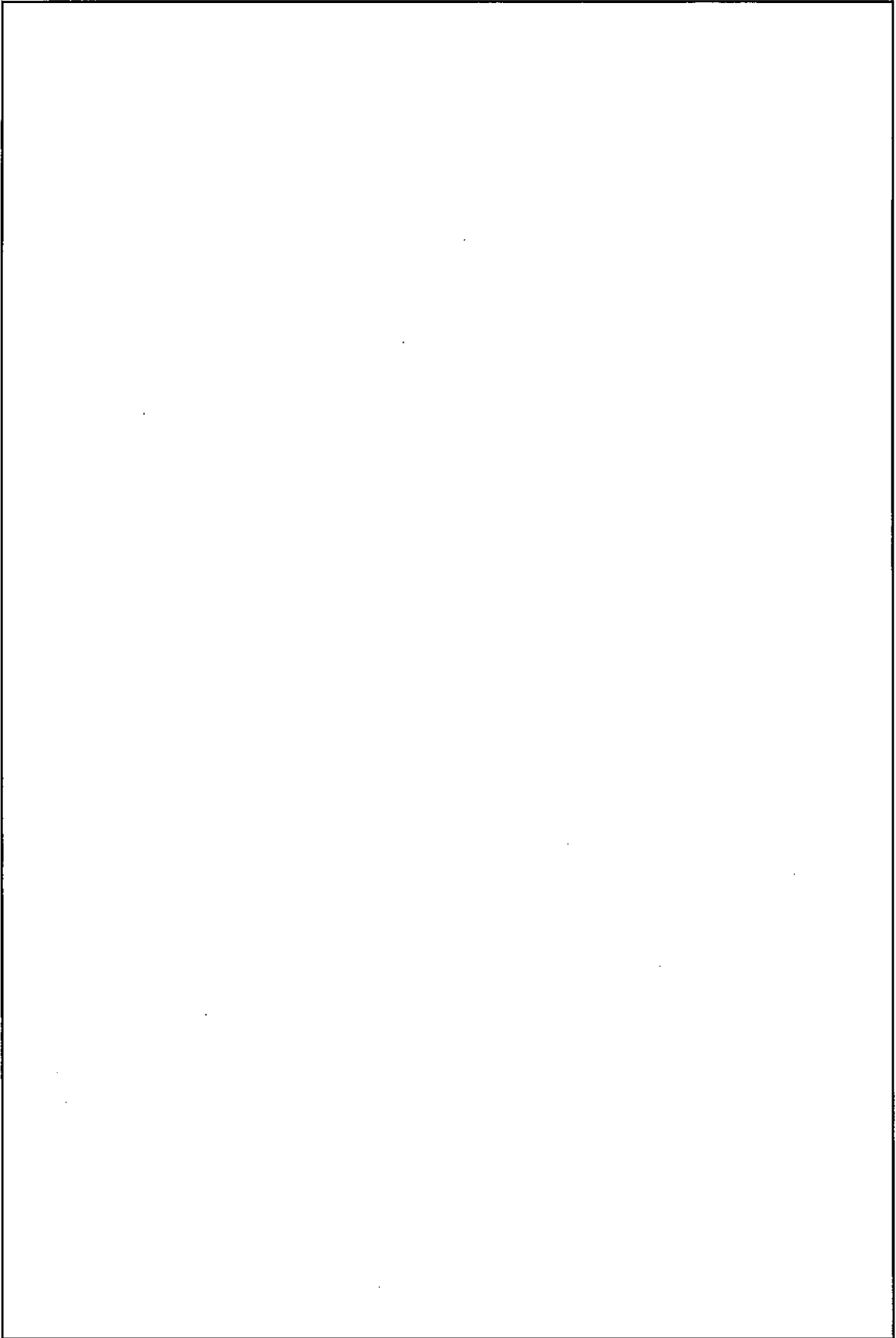


図 3.9 落下試験 No.3 - 原型容器 P4

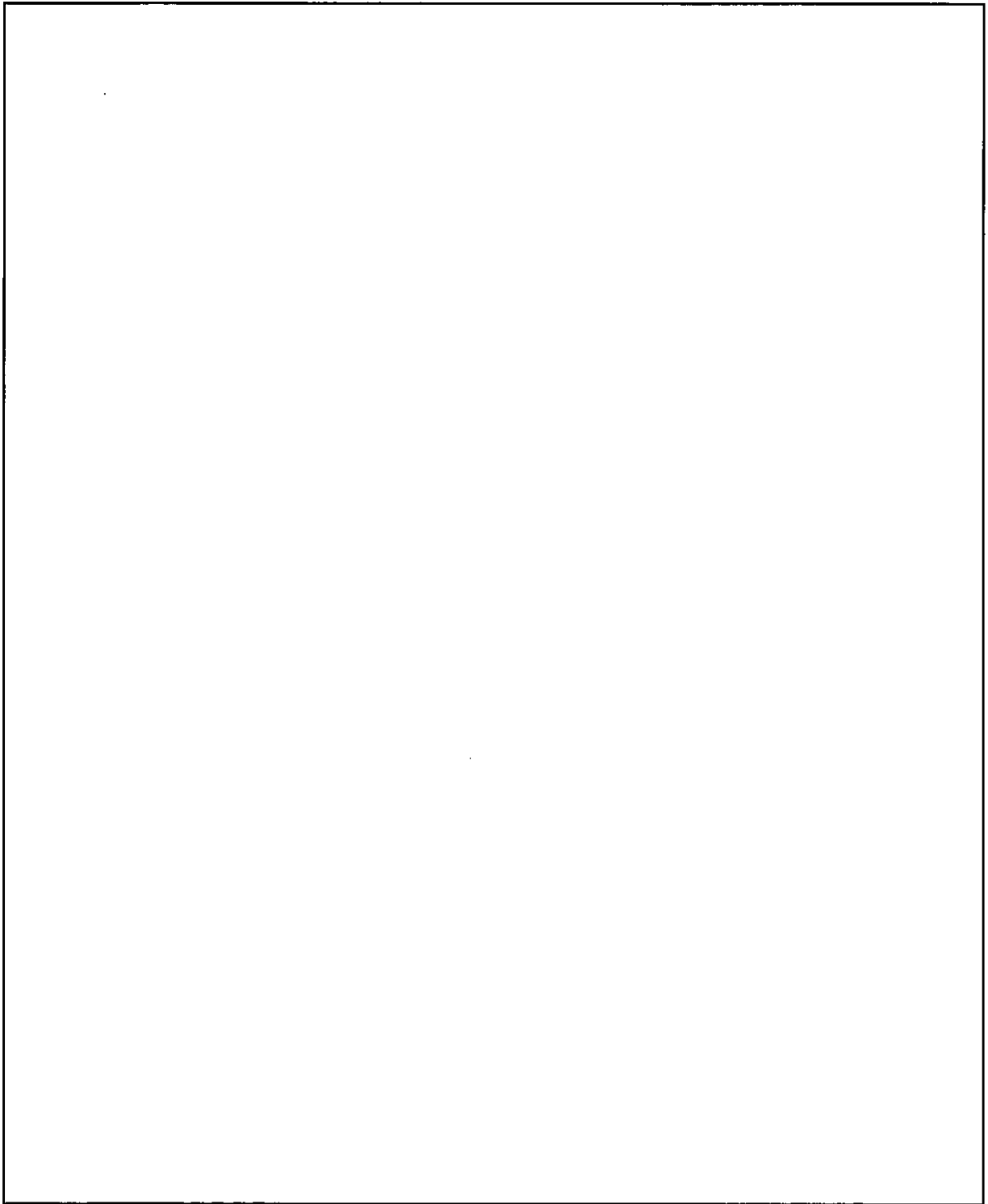


図 3.10 落下試験 No.4 - 原型容器 P4

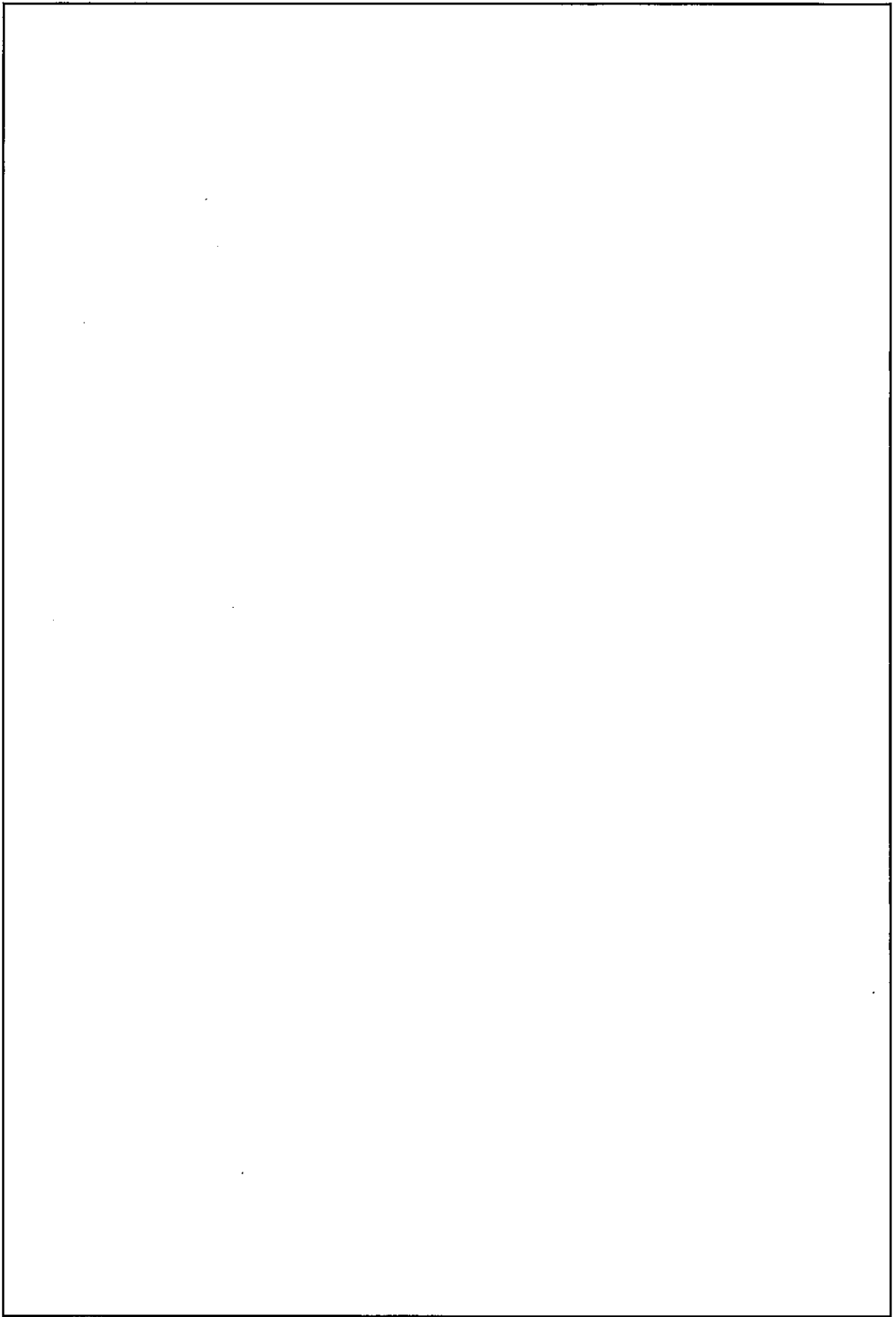


図 3.11 落下試験 No.5 - 原型容器 P4

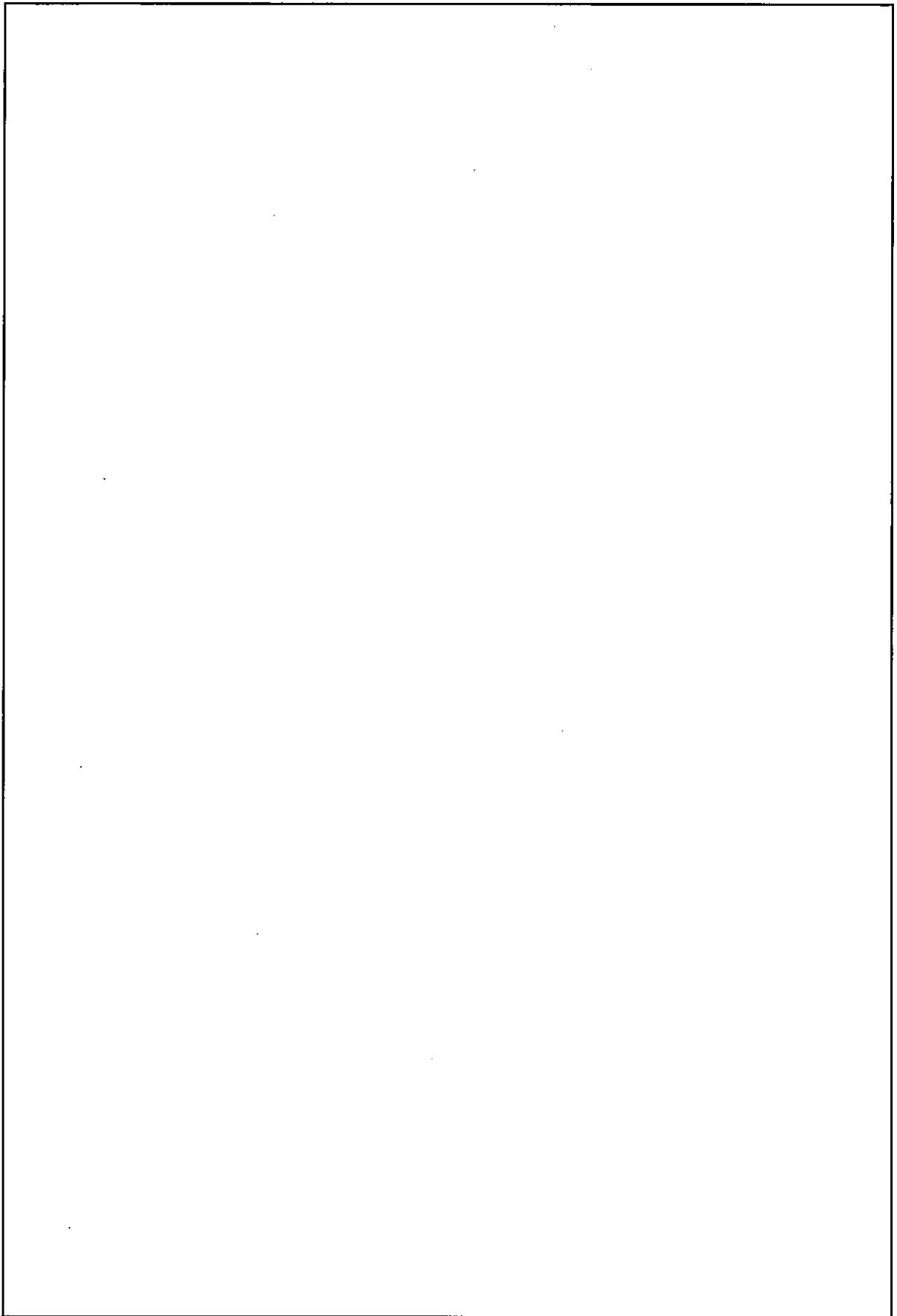


図 3.12 落下試験 No.6 - 原型容器 P4

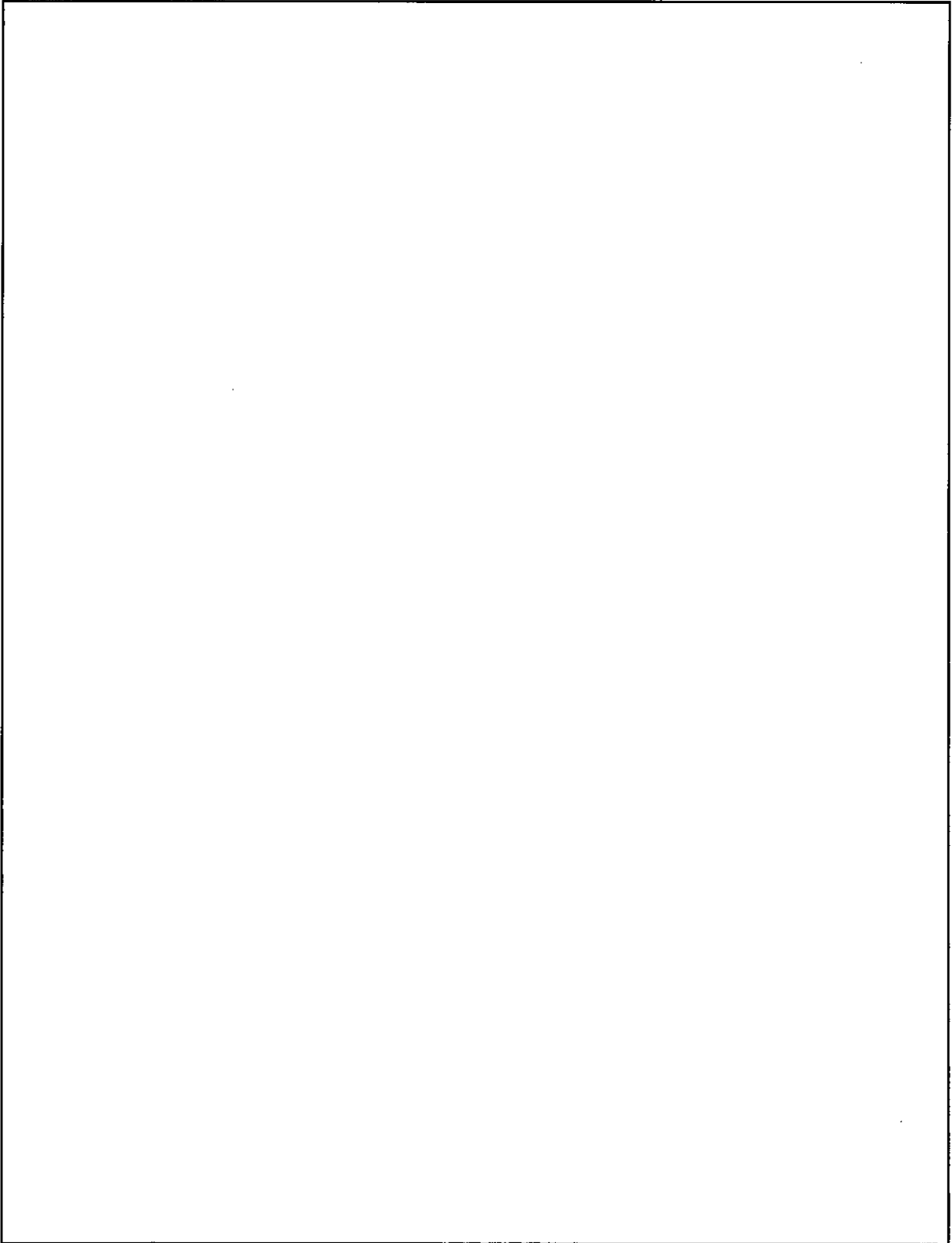


図 3.13 落下試験 No.7- 原型容器 P4



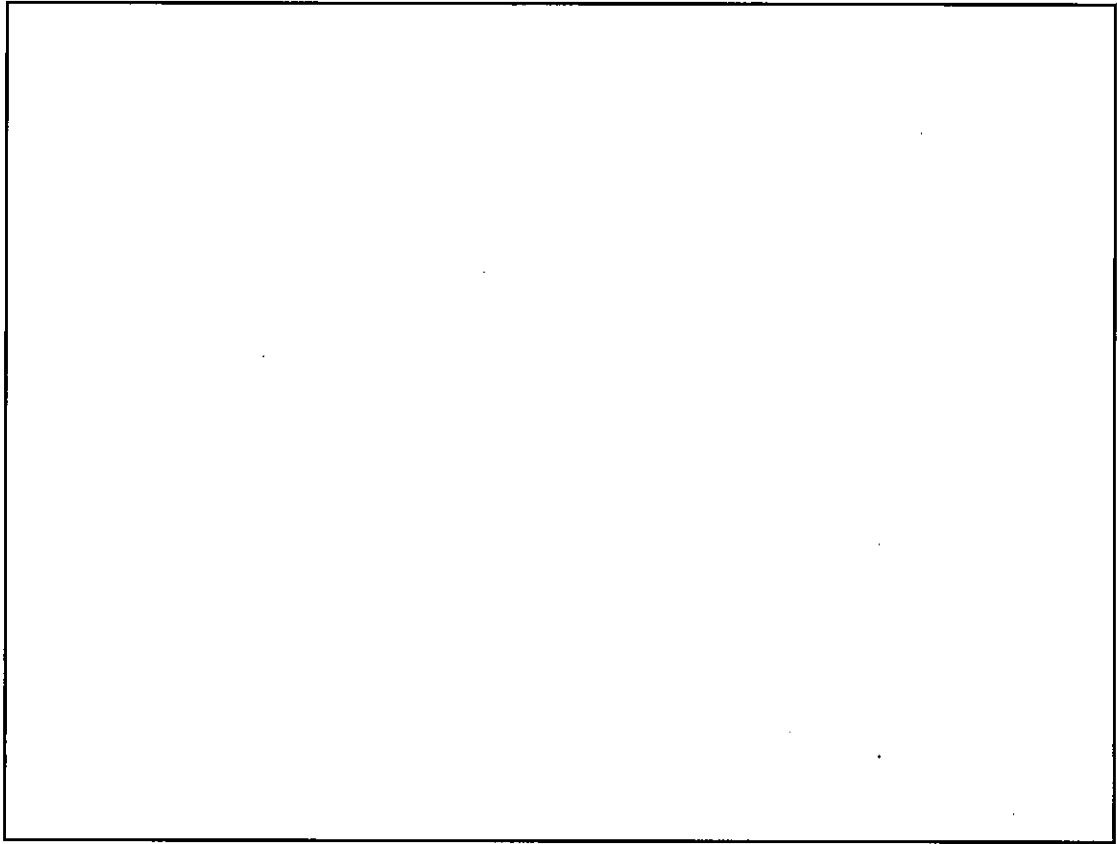


写真 3.1 試験前の供試体 (P3) の外観

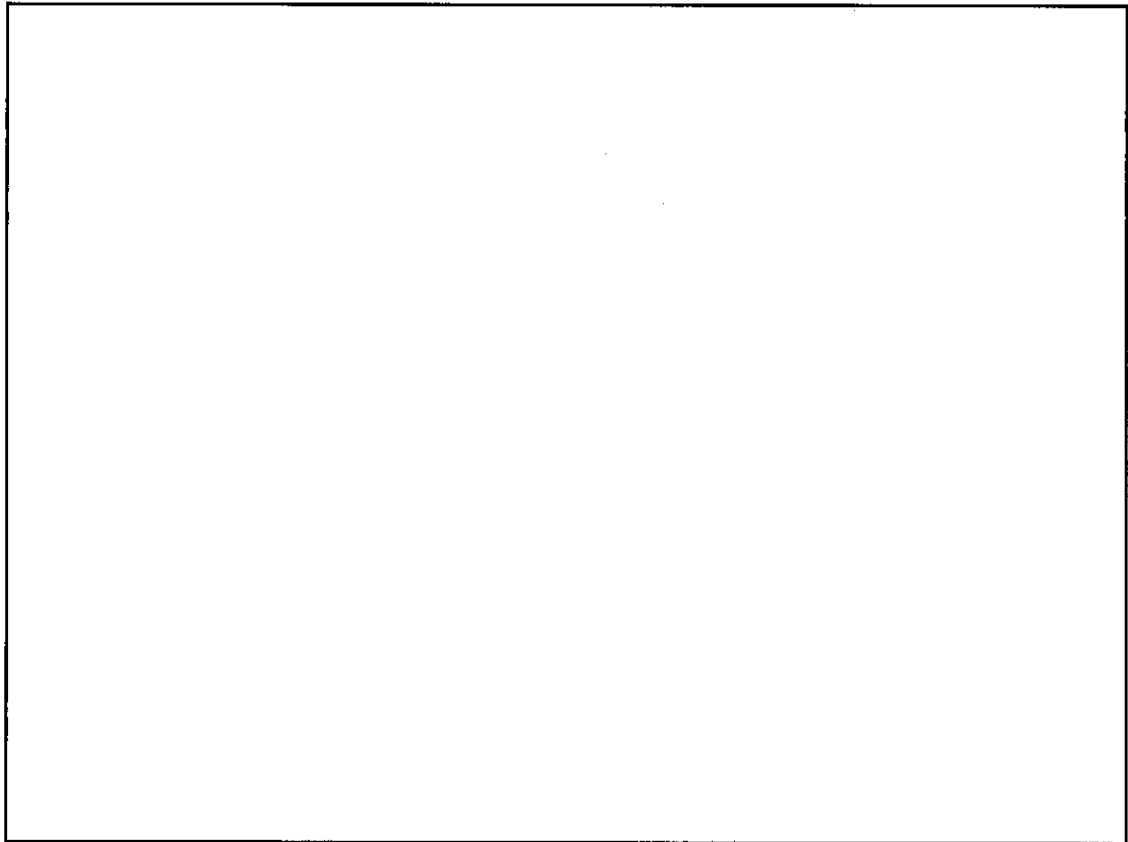


写真 3.2 外蓋底面の外観

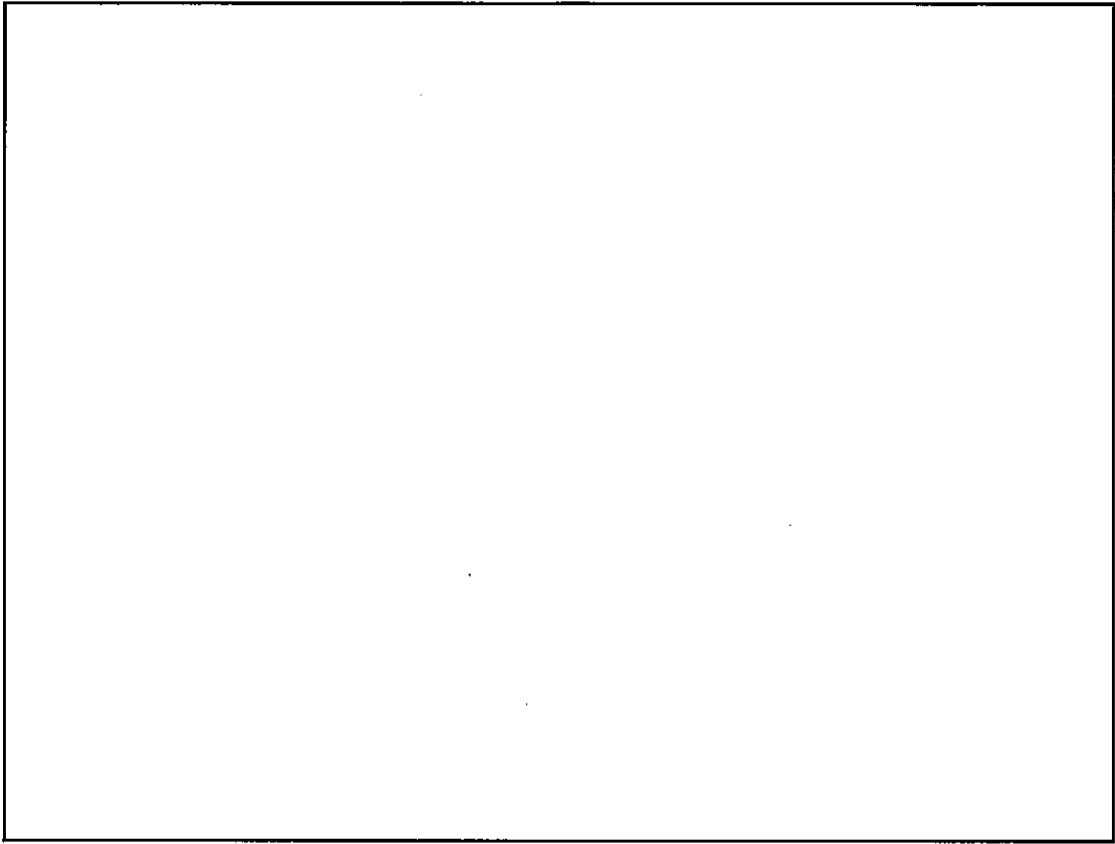


写真 3.3 軽量フランジ及び粉末収納缶の外観

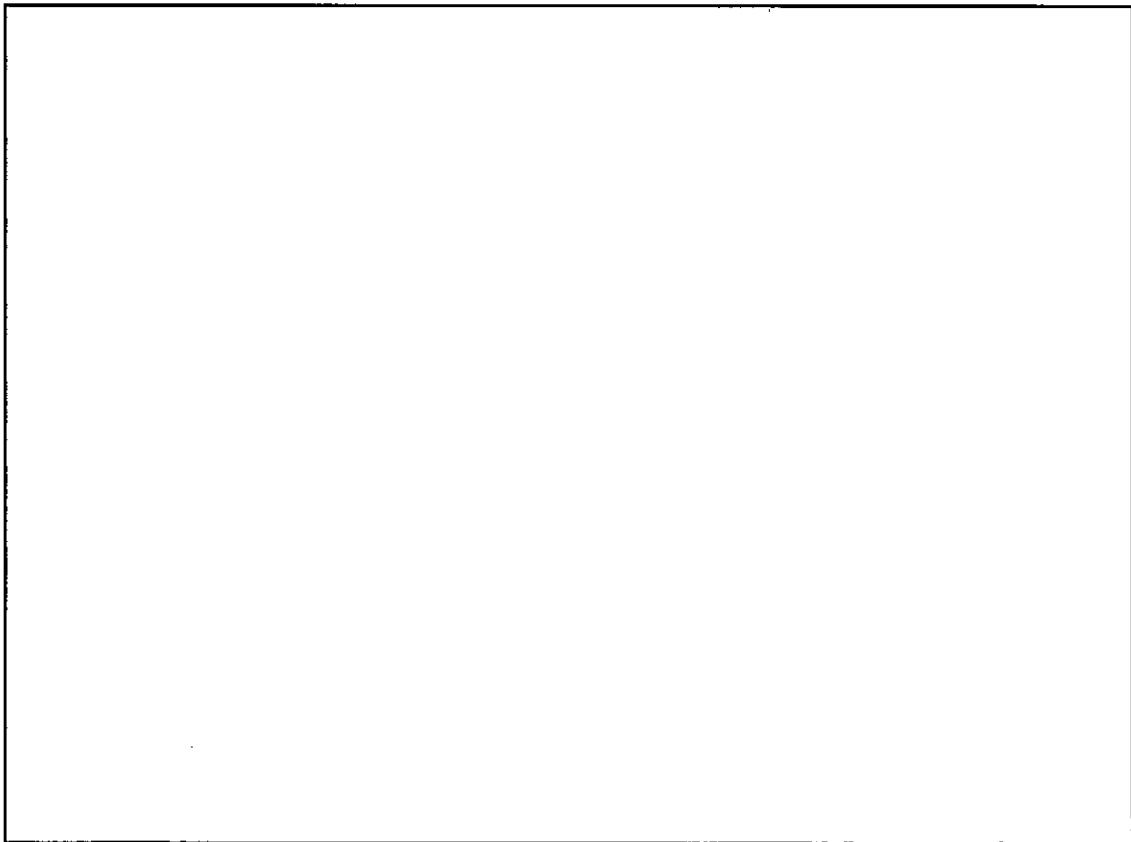


写真 3.4 粉末収納缶及び漏えい確認用消石灰の外観

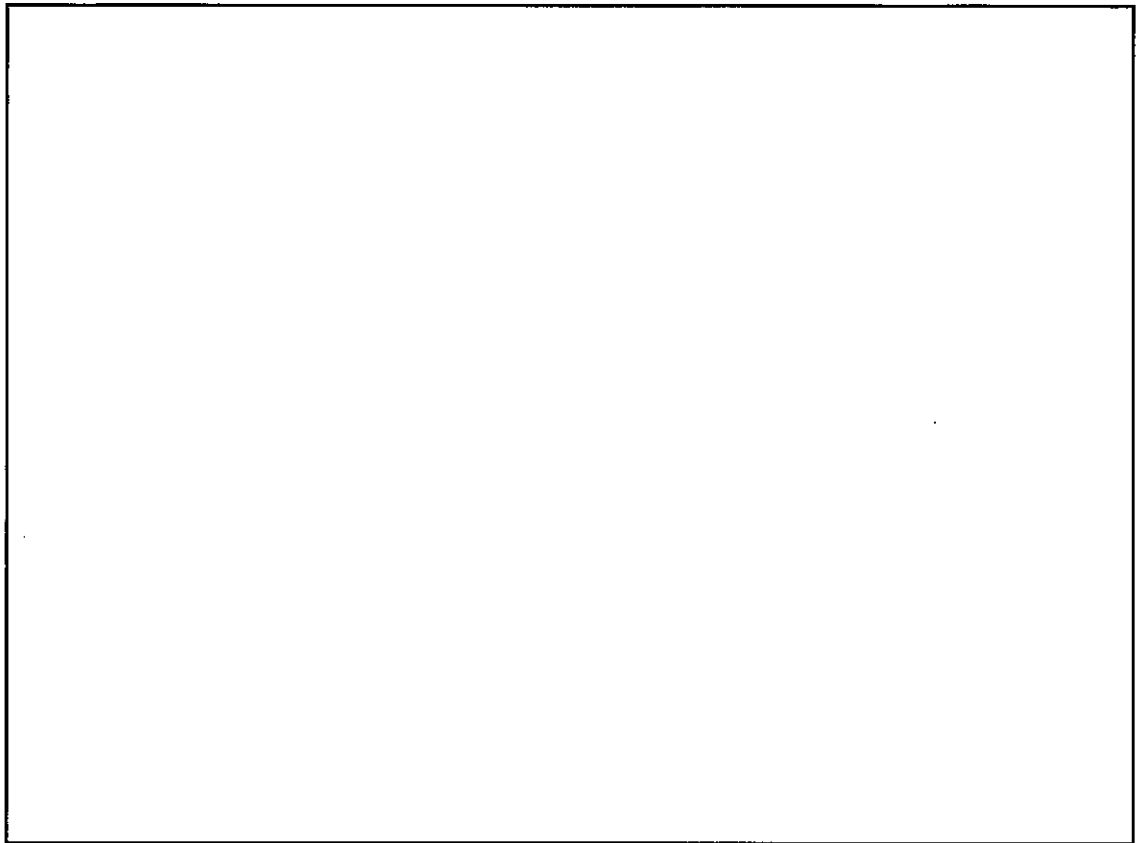


写真 3.5 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋回り止めデバイス止めピン

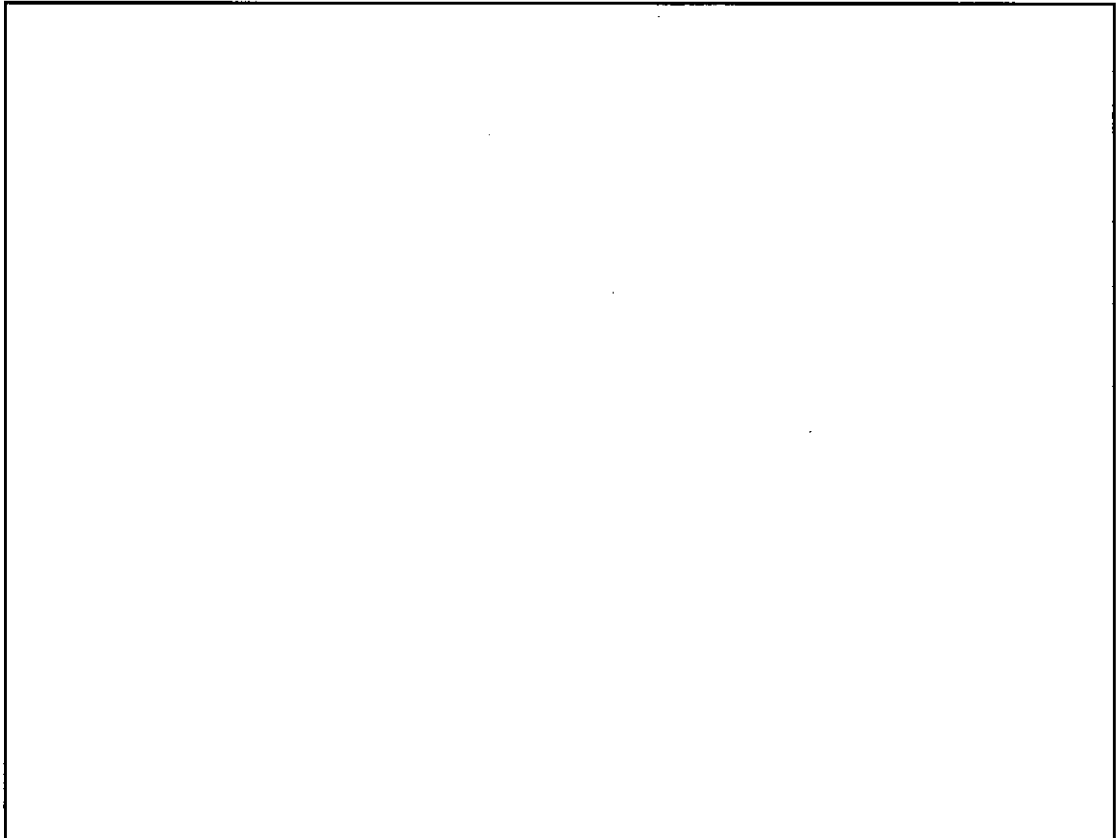


写真 3.6 貫通試験 (6 kg) 後 底面 1 内容器の中心

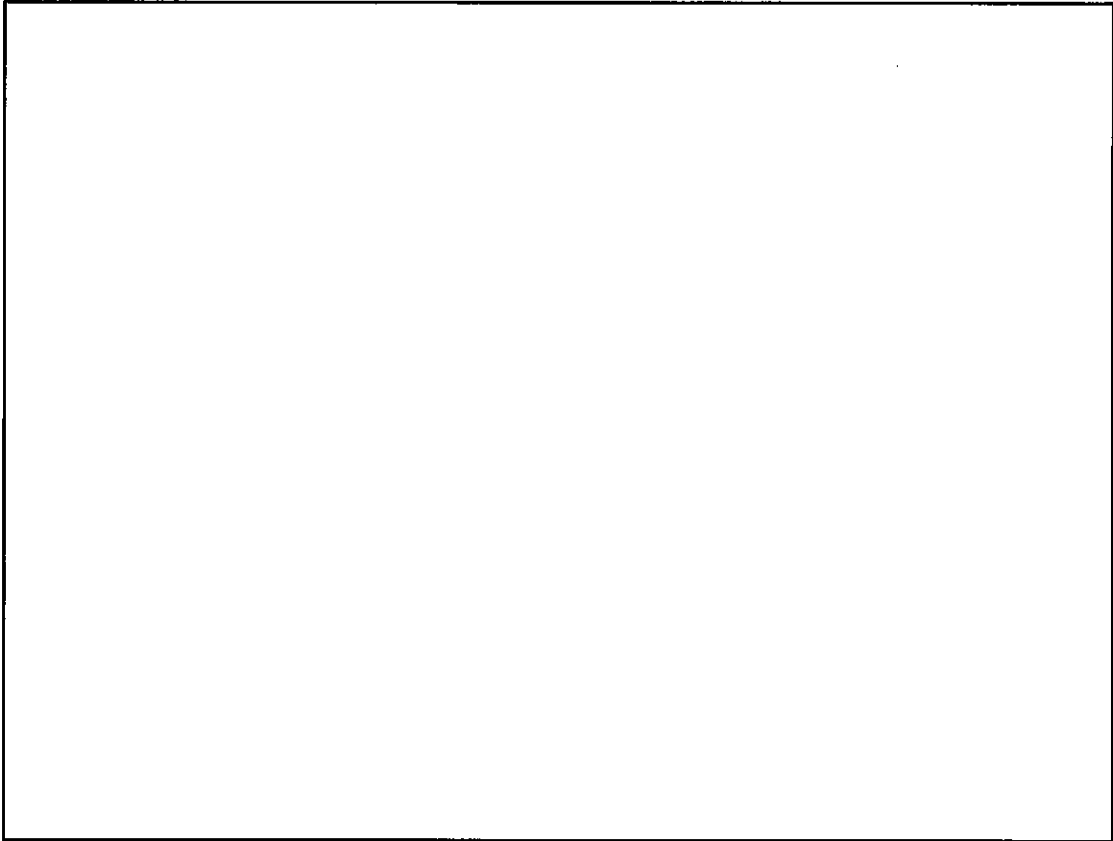


写真 3.7 落下試験（高さ 1.2 m）前 側面

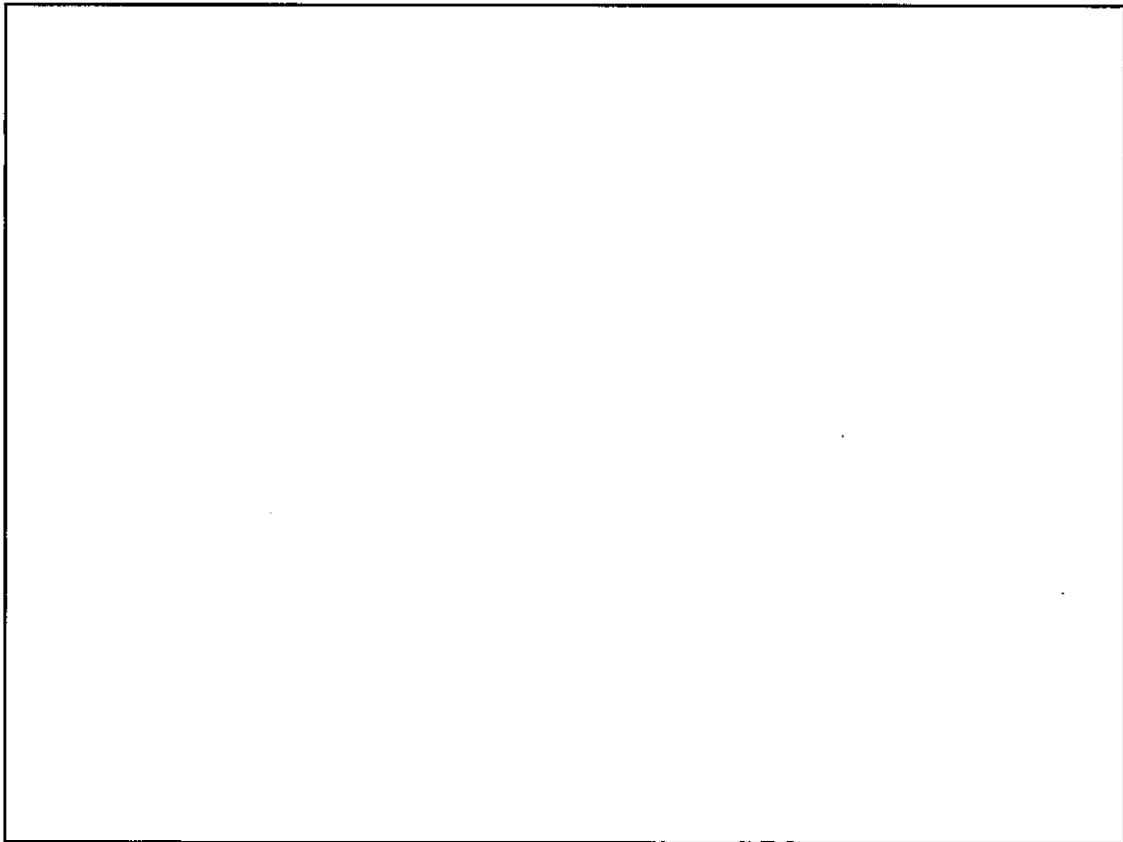


写真 3.8 落下試験（高さ 1.2 m）後 側面

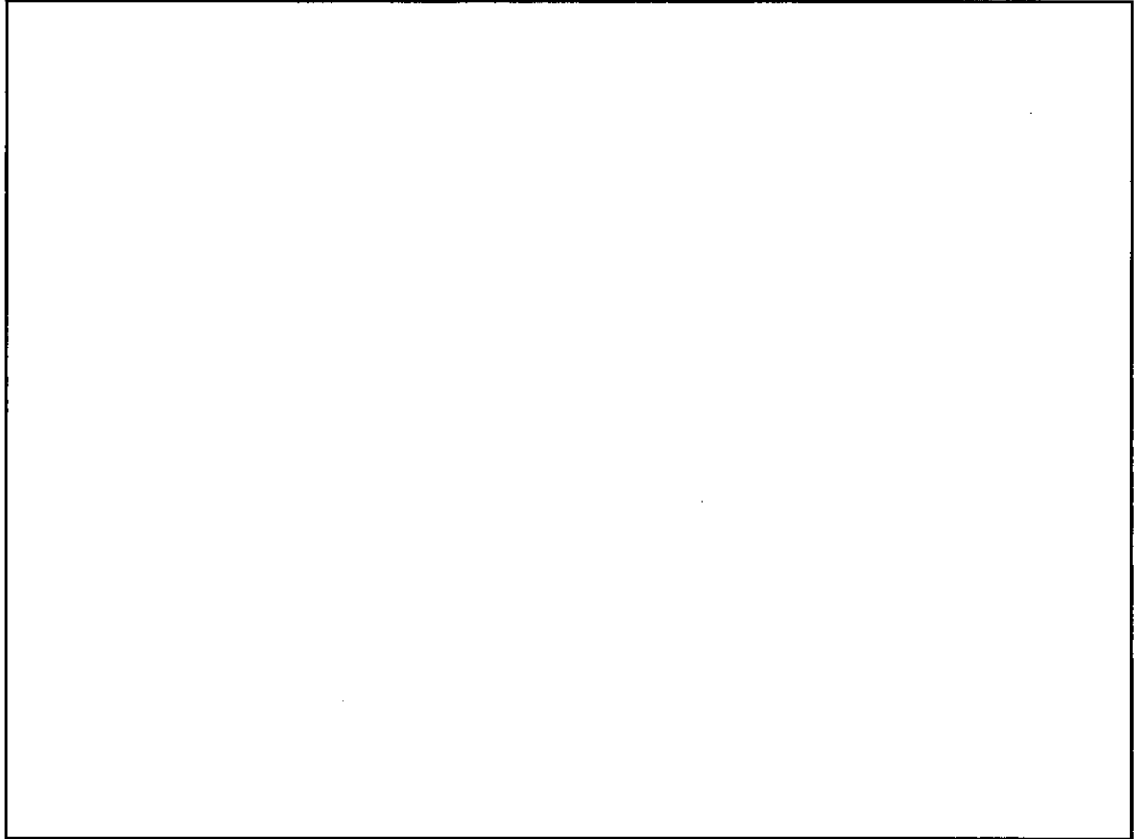


写真 3.9 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 底面中央付近

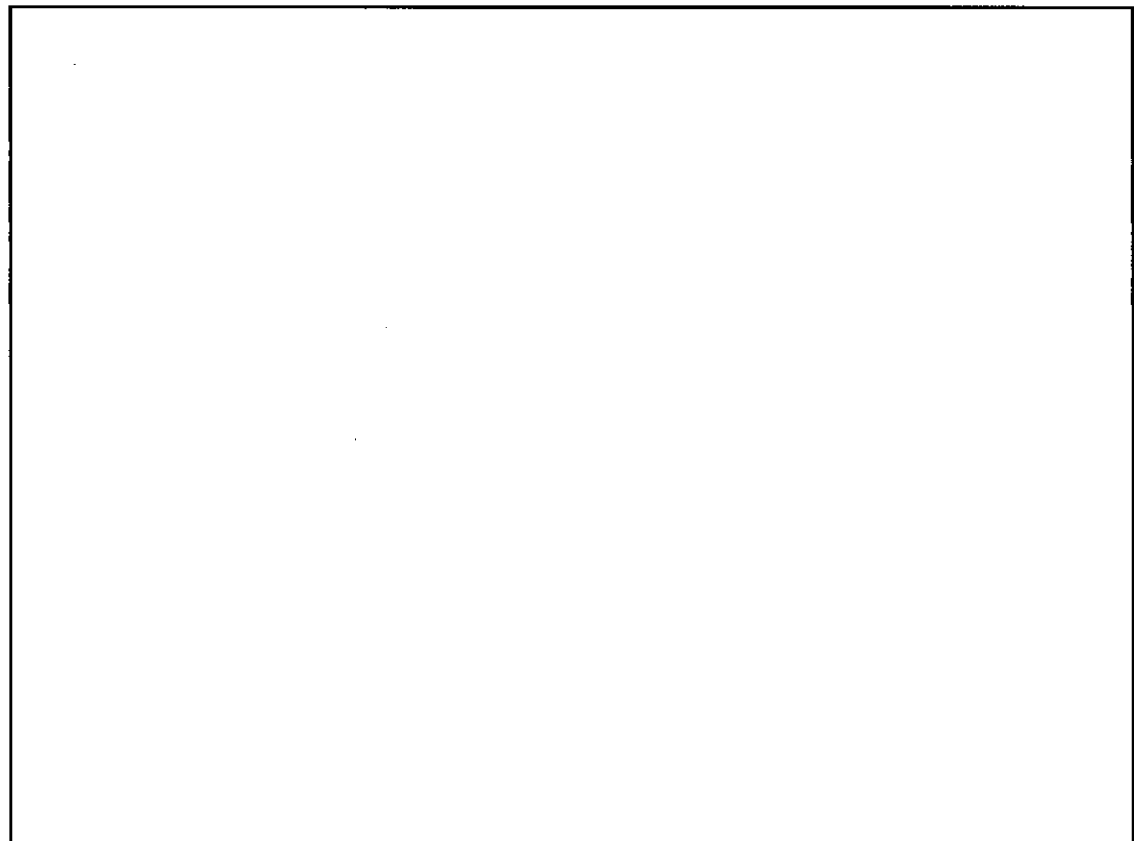


写真 3.10 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 底面中央付近

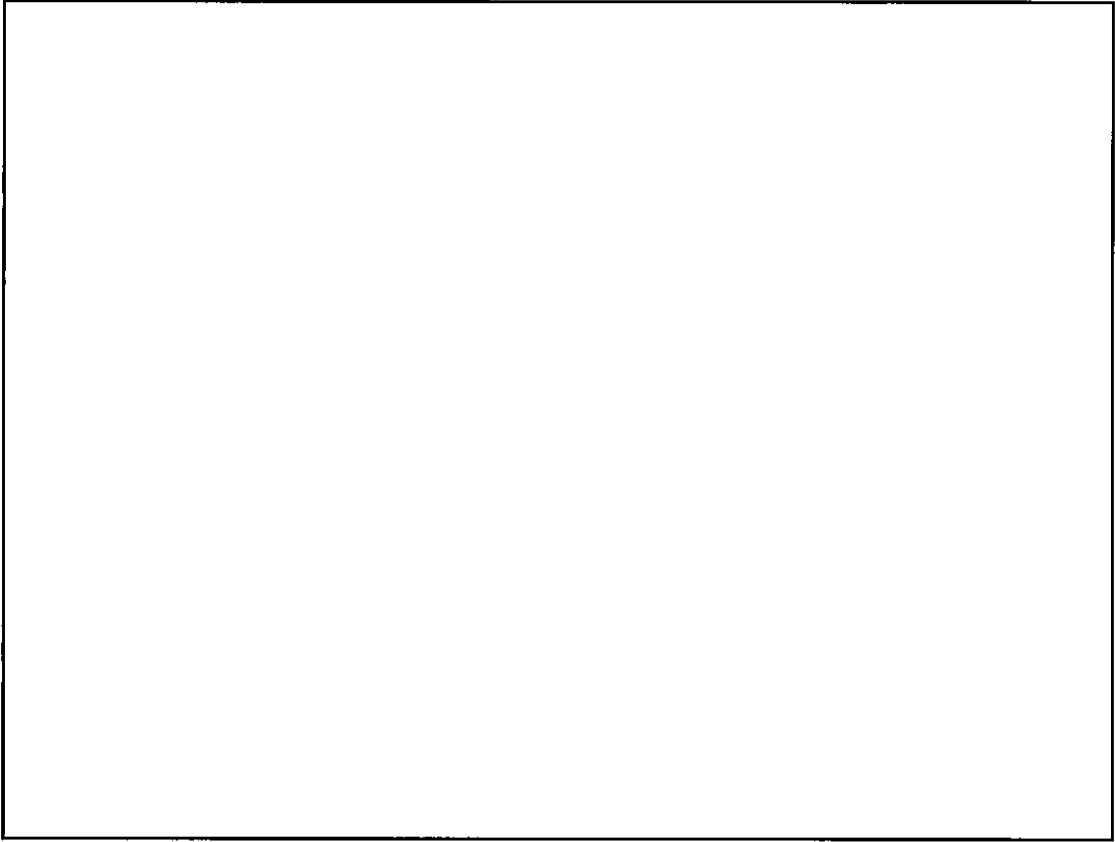


写真 3.11 落下試験 I (高さ 9 m) 前 側面

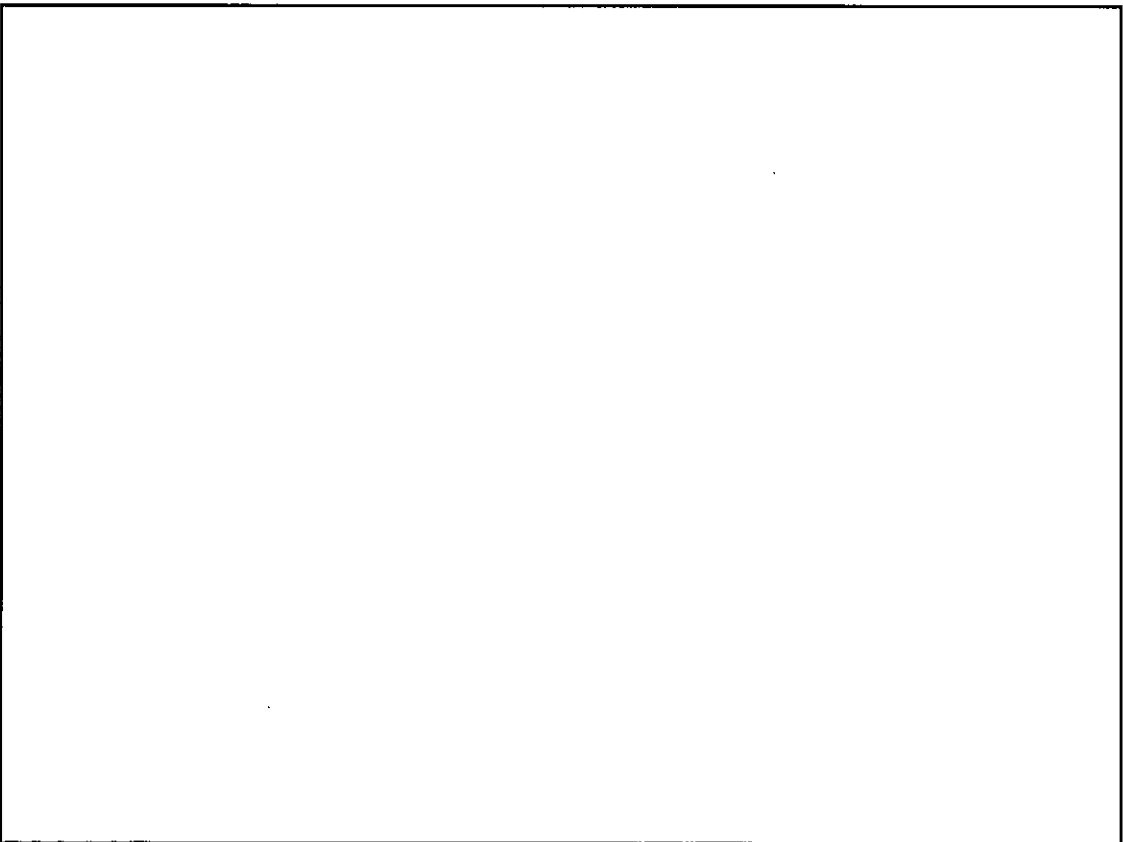


写真 3.12 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

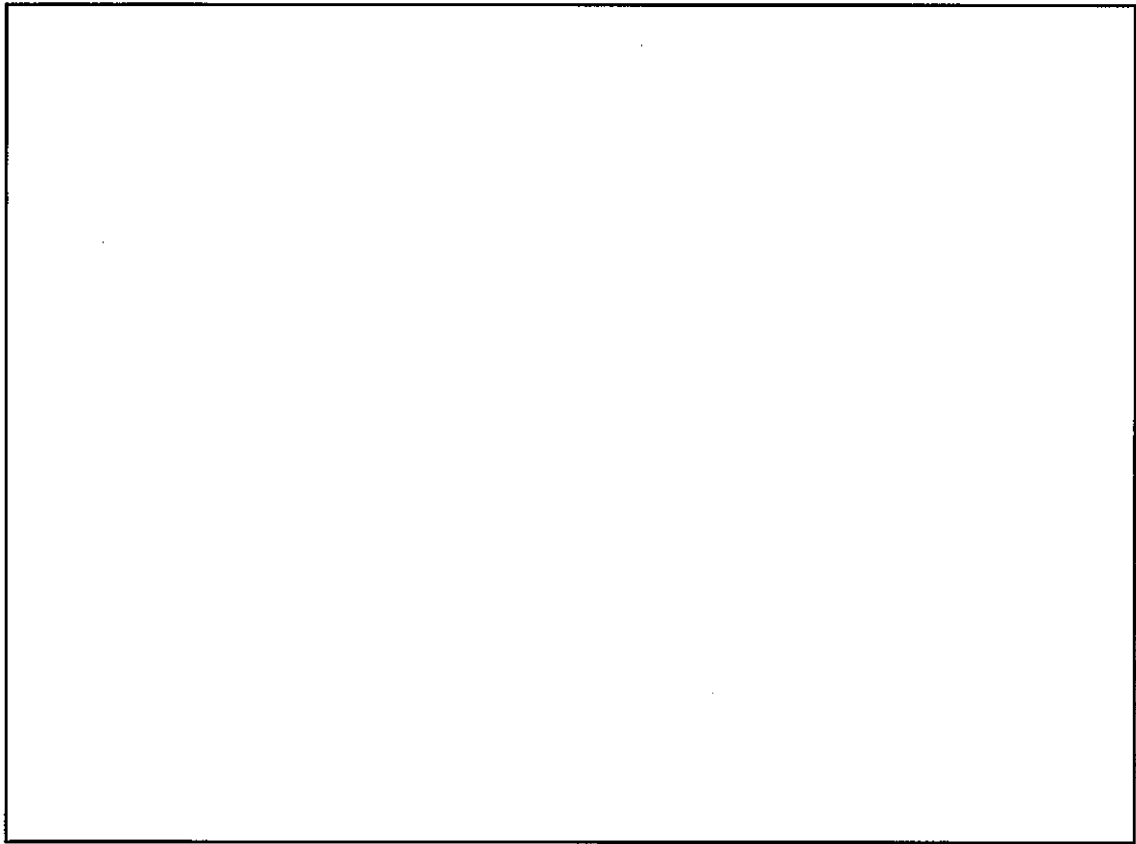


写真 3.13 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

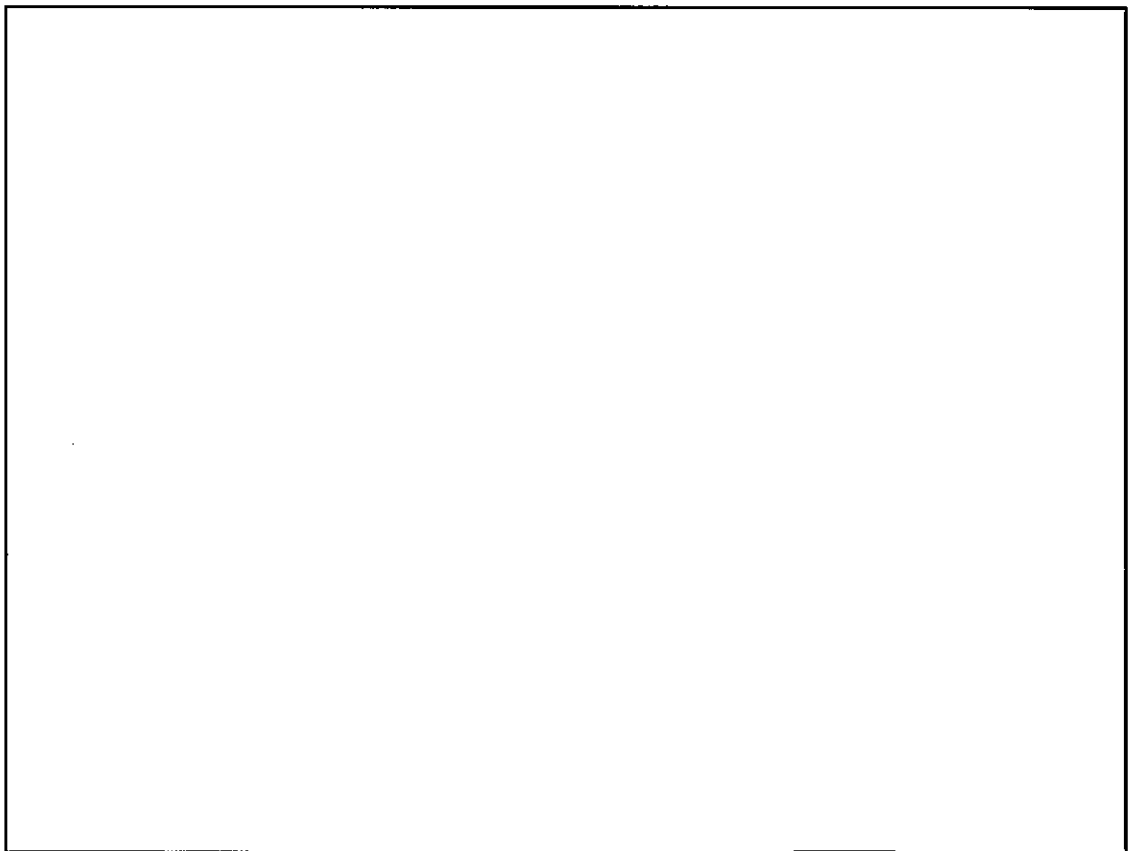


写真 3.14 落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) 前  内容器

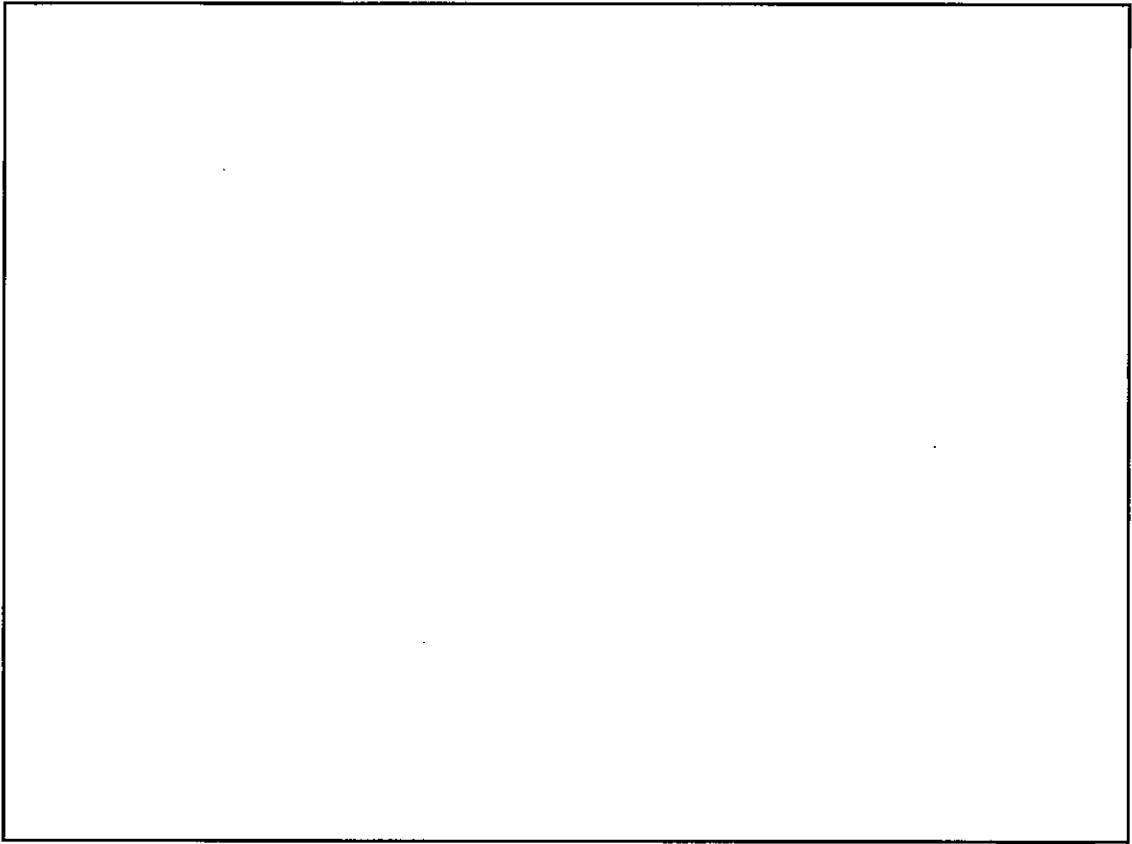


写真 3.15 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後  内容器

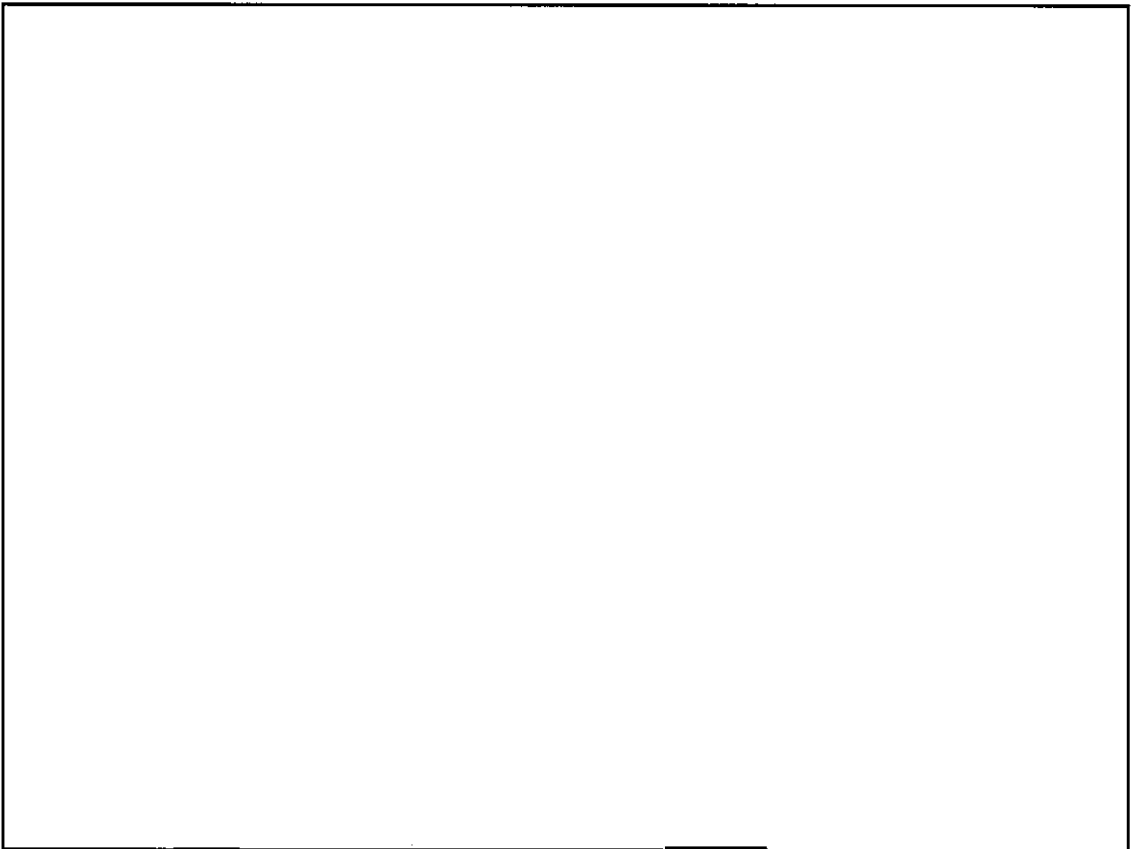


写真 3.16 貫通試験（6 kg）後  内容器



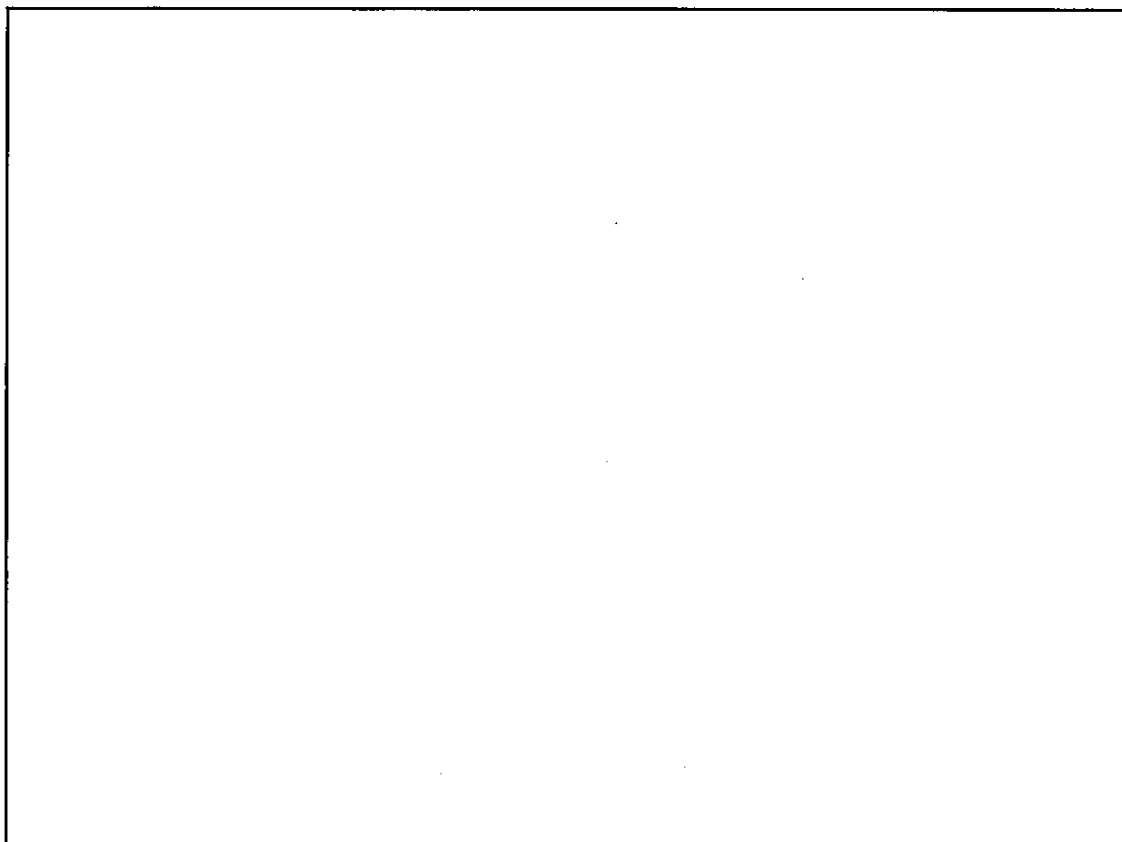


写真 3.17 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋上面

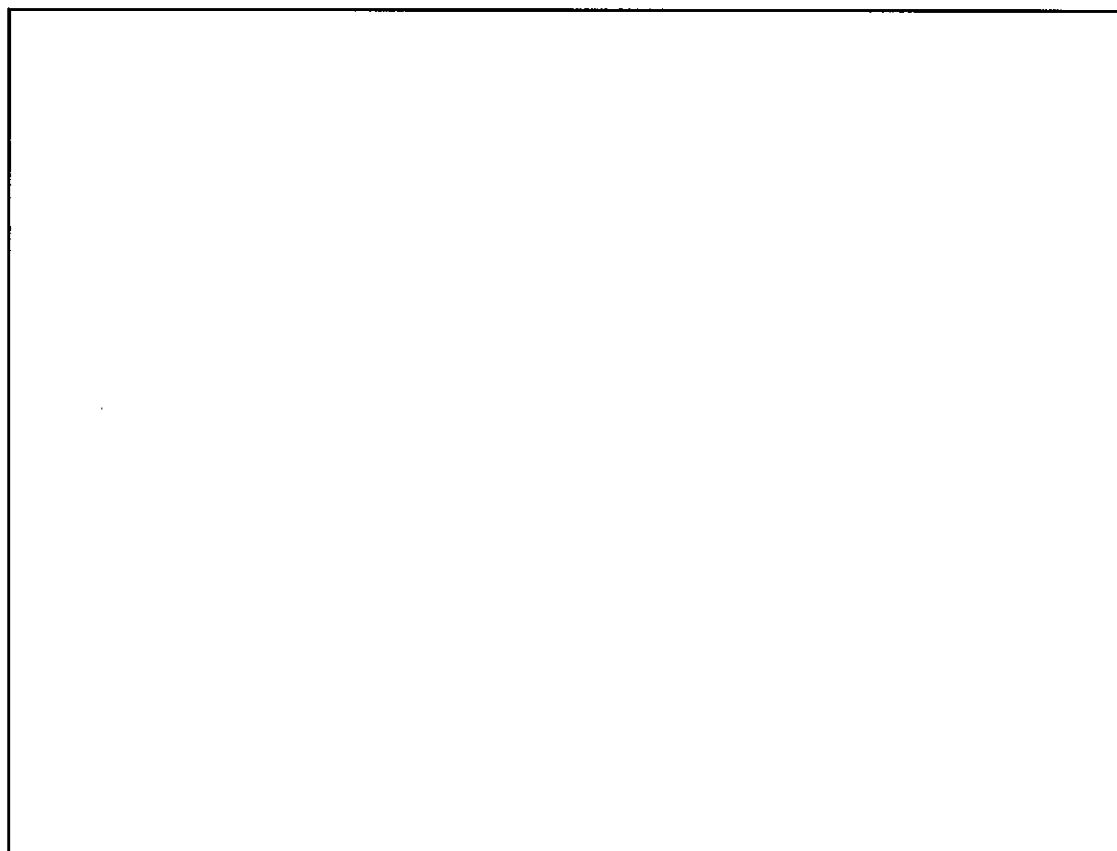


写真 3.18 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋バイオネット嵌合部間

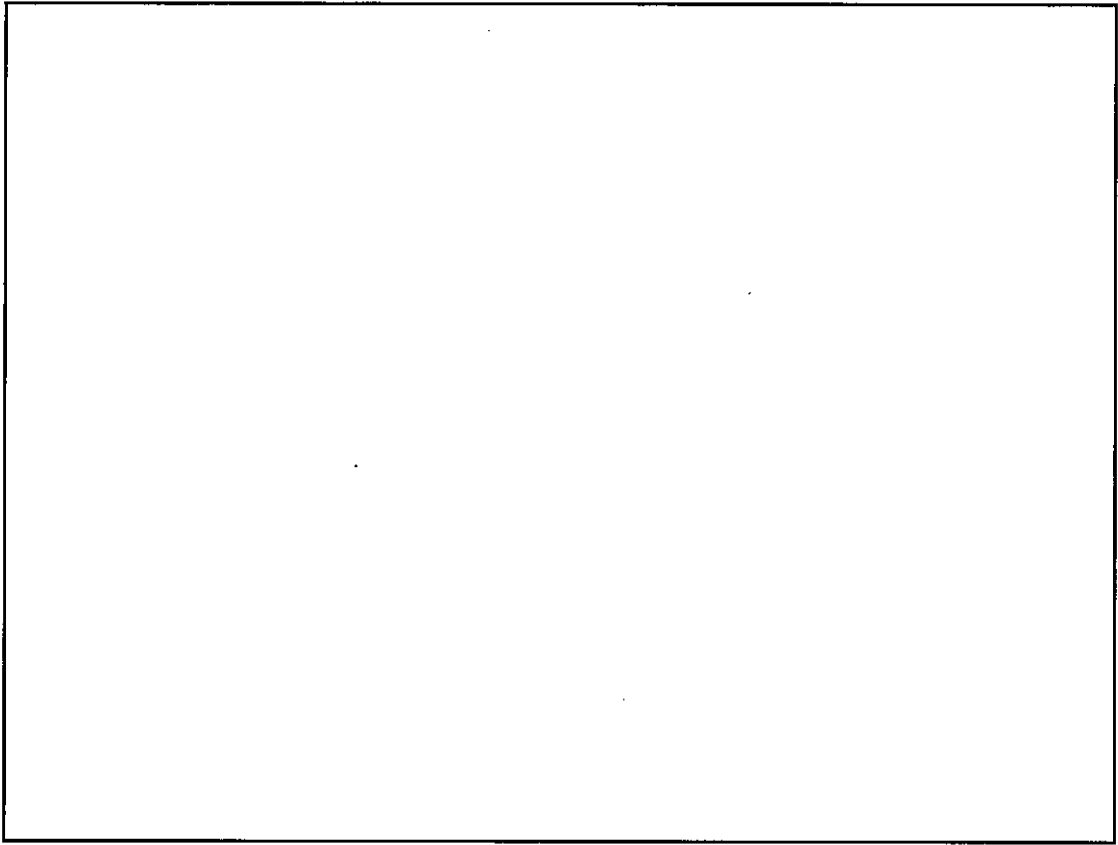


写真 3.19 落下試験（高さ 1.2 m）前 上面コーナー部

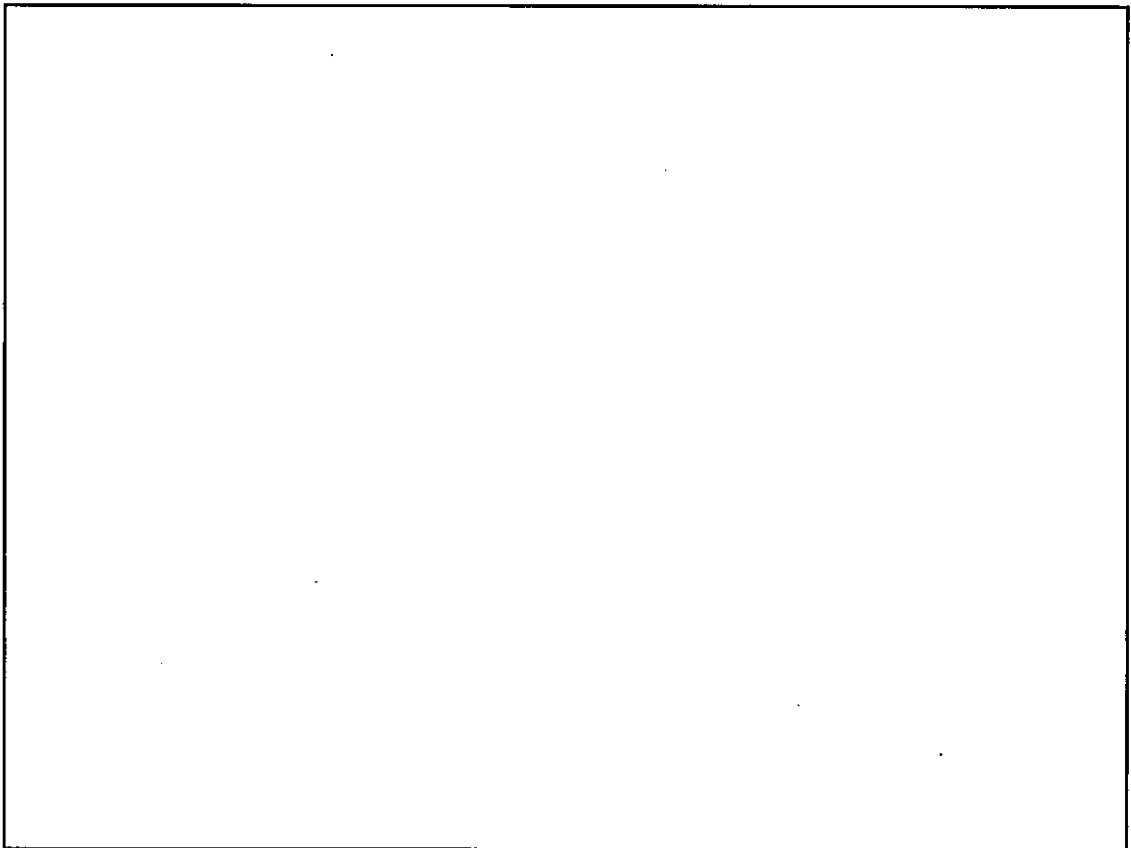


写真 3.20 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面コーナー部

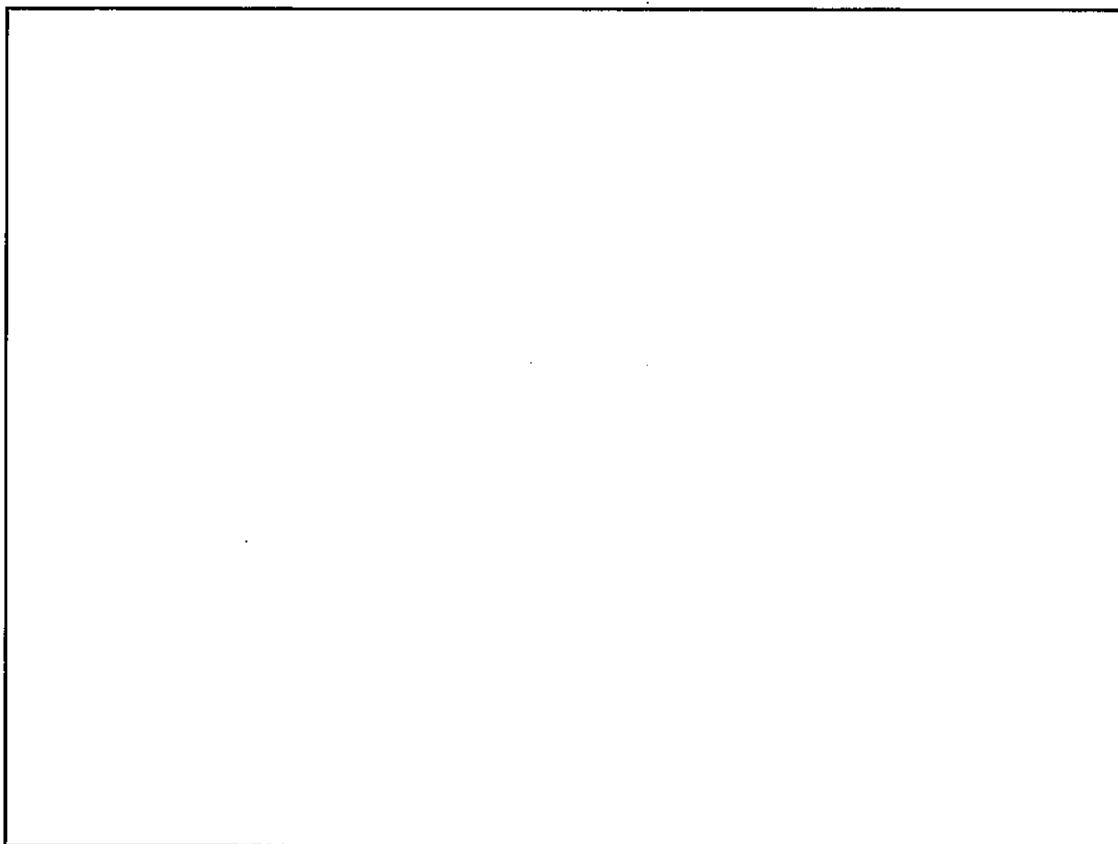


写真 3.21 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 側面中心

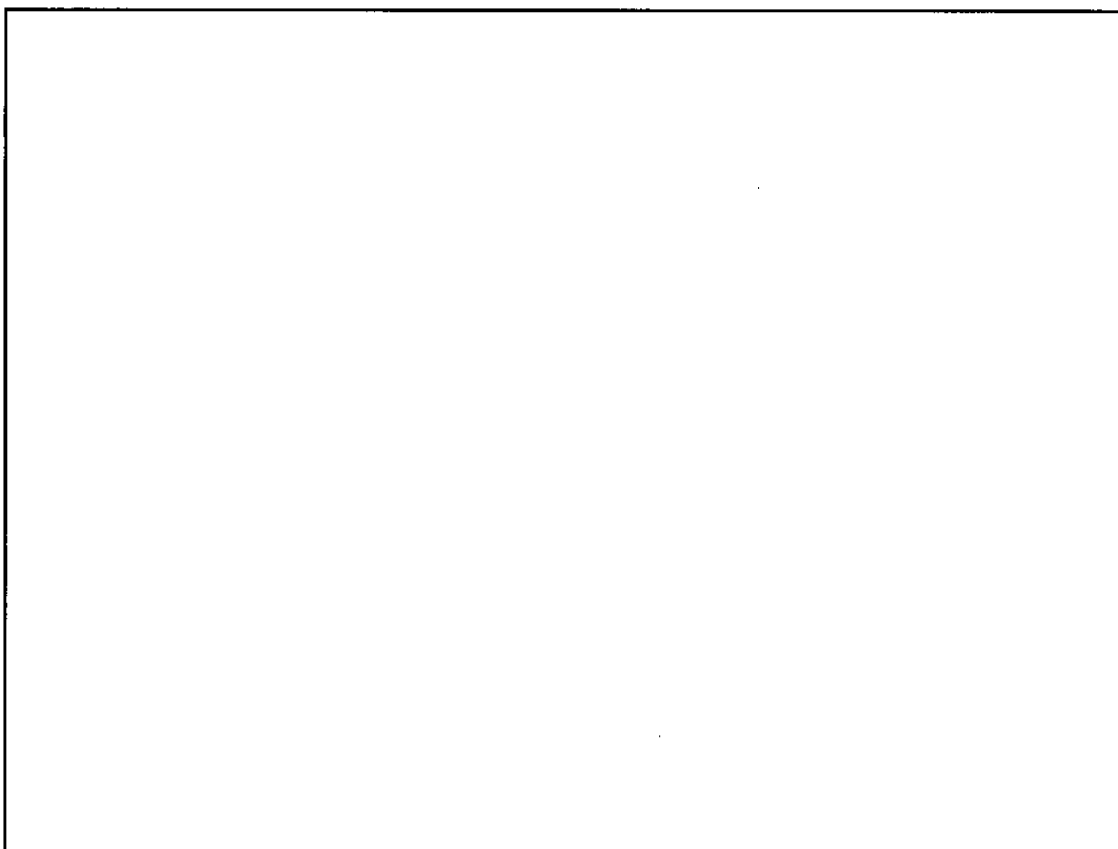


写真 3.22 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 側面中心

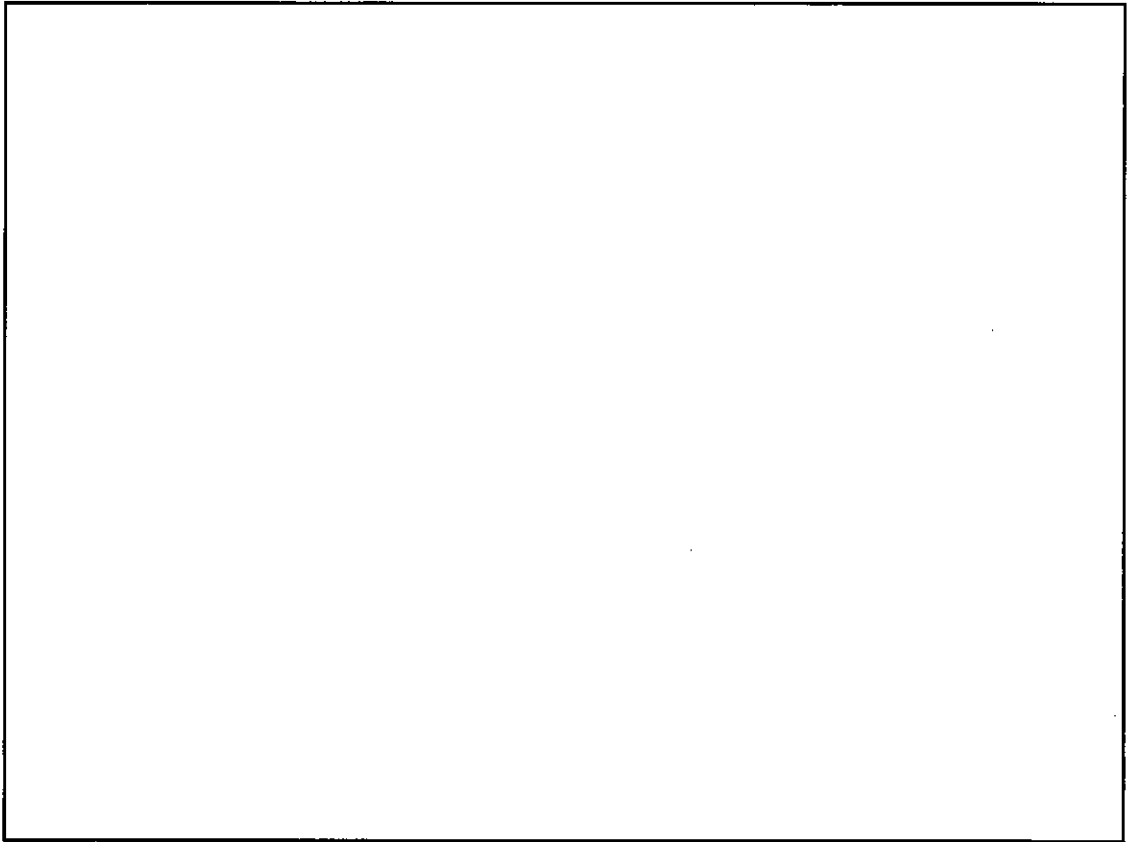


写真 3.23 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面コーナー部

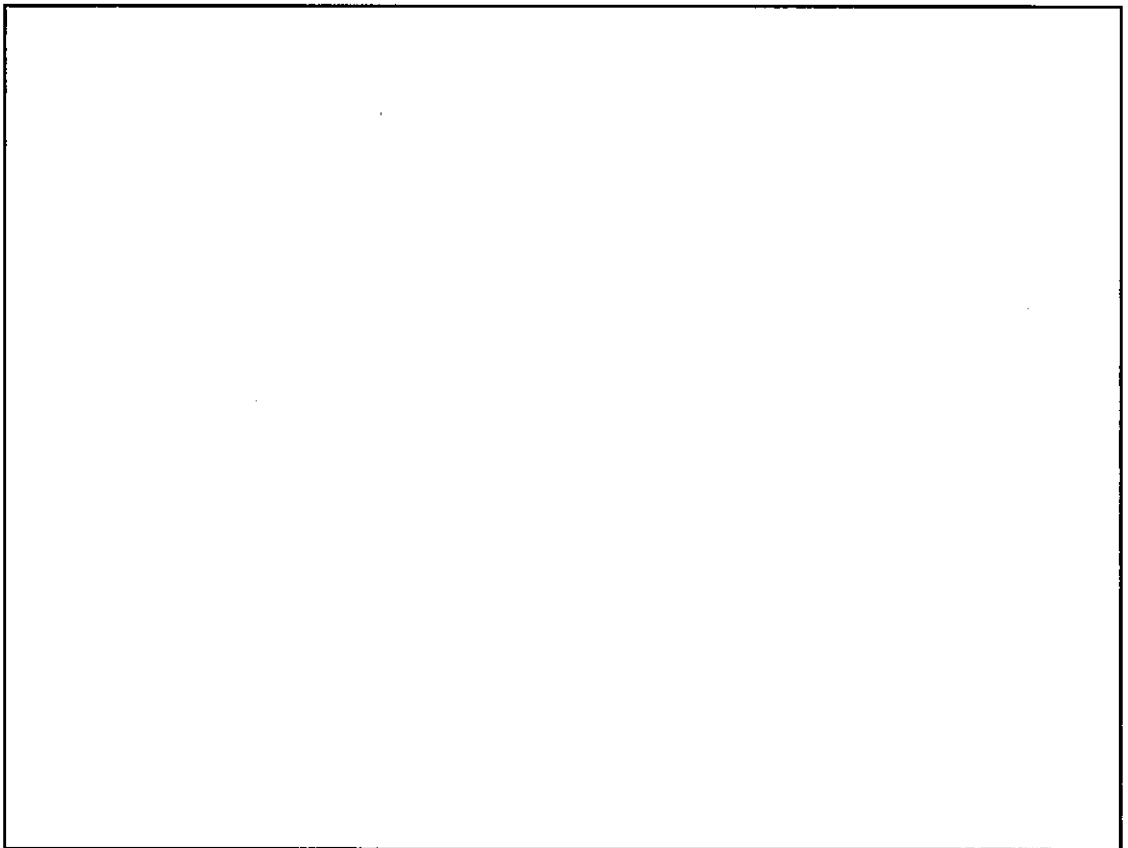


写真 3.24 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

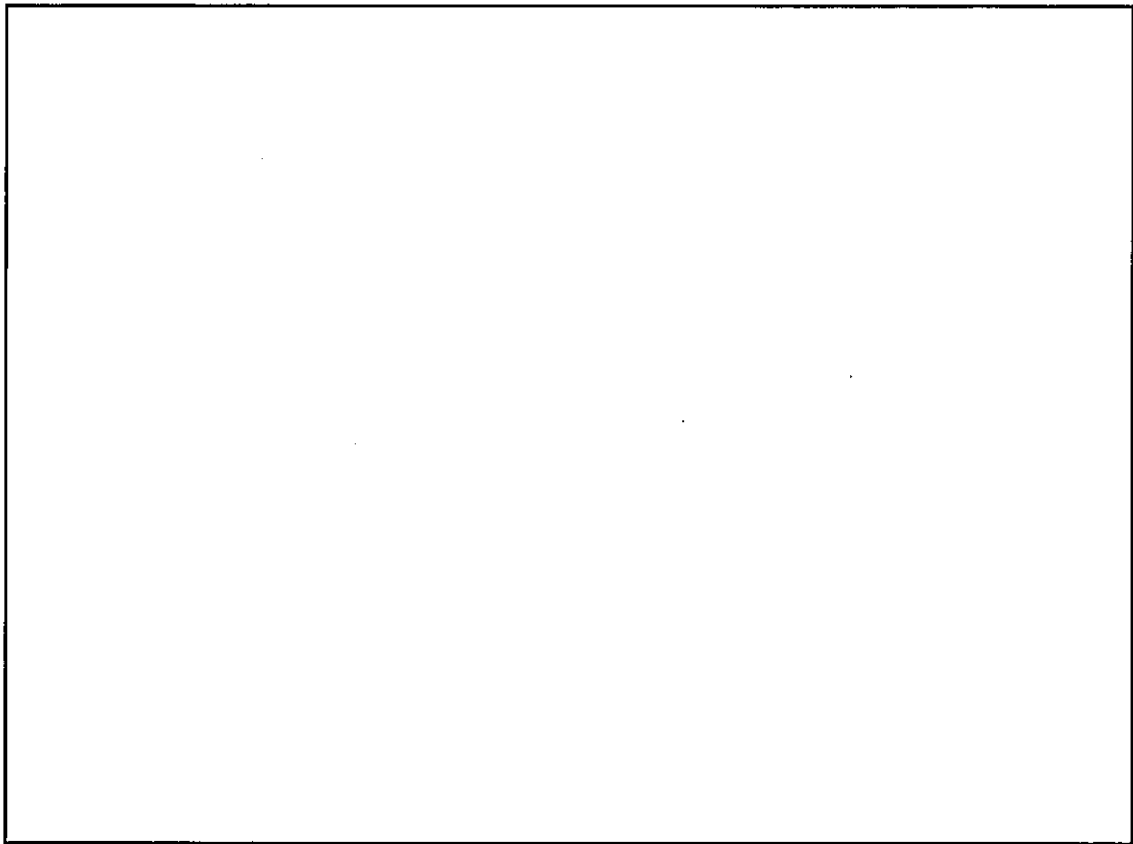


写真 3.25 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 上面コーナー部

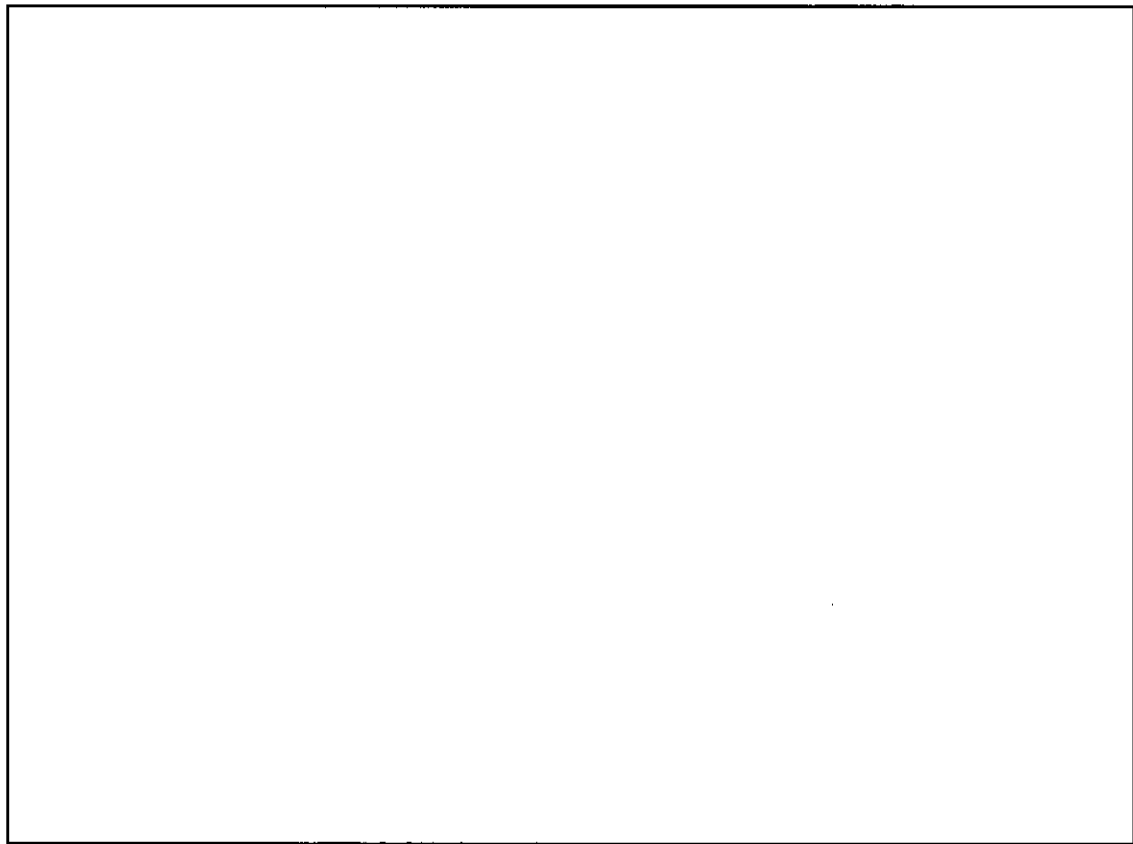


写真 3.26 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 上面コーナー部

(口)A 付属資料 4

4. 追加落下試験

## 4. 追加落下試験

### 4.1 主題

本文書は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 について実施された補足的な落下試験の結果を示す。これらの落下試験は、仏国のロダン試験施設において、2001 年 11 月 26 日から 27 日の間に実施された。

追加落下試験は、「(ロ)B 付属資料 3 3.5.4」に記述されているように、原型容器 P4 の内容器フランジ部に変形が見られたため、見直した一部設計の健全性を確認するためのものである。

試験は、以下のように評価された。

- ・ 輸送物上面コーナー部に対して高さ 1.2 m からの自由落下
- ・ 輸送物上面コーナー部に対して高さ 9 m からの自由落下
- ・ 輸送物上面コーナー部に対して高さ 1 m からのターゲットへの自由落下

### 4.2. 原型容器設計変更

原型容器 P3 及び P4 による落下試験及び耐火試験における輸送物の挙動を改善するため、部分的に概念設計に修正が加えられ、落下試験のための原型容器 P5 に取り入れられた。

#### 4.2.1 内容器ガスケット位置の変更

落下試験による内蓋及び内容器フランジ部の変形に対しても密封性を保持するために、内蓋と内容器フランジ部間のガスケットを水平方向（内蓋外側）から垂直方向（内蓋裏側）に変更した。垂直方向にすることにより、変形時においても締付け圧力を保つことを可能とする。

図 4.1 にガスケット部の構造を示す。

#### 4.2.2 外蓋構造の変更

落下試験により外蓋側面と上面との溶接部にて開口部が生じ、フェノリックフォームがあらわになっていたため、側面の鋼板を内側に折り曲げた構造とした。また耐熱衝撃性向上のため、フェノリックフォーム層を厚くし、アルミニウム合金ディスクを薄くした。

図 4.2 に外蓋の構造を示す。

#### 4.2.3 脚部の変更

脚部取り付けのための溶接加工による輸送容器底面の変形をなくすために、曲げ加工により脚部を一体化させて溶接加工の少ない構造に変更した。

図 4.3 に脚部の構造を示す。これらの変更は、落下試験における輸送物の挙動を変化させるものではない。

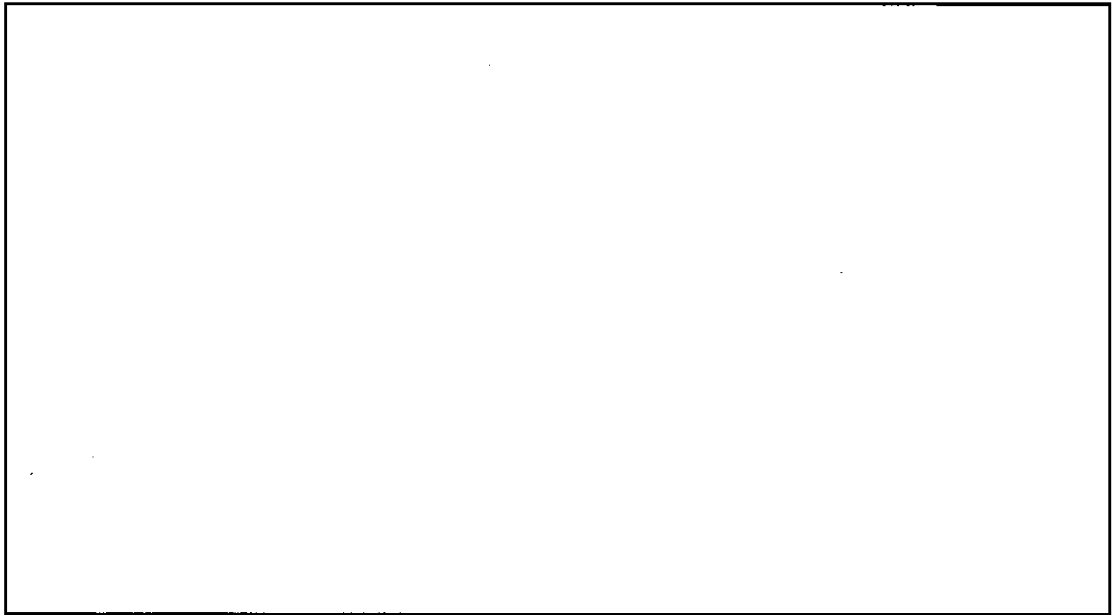
#### 4.3 原型容器の構成

試験は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 を用いて実施された。輸送物の収納物には、前述の試験同様にウラン酸化物の粉末と同密度（約 1.7 g/cm<sup>3</sup>）の純鉄粉末を用いて、原子燃料工業(株)仕様粉末収納缶にそれぞれ 25 kg、輸送物中には計 300 kg を収納した。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。それに加えて、上部の粉末収納缶に消石灰が置かれた。ガスケットを通じた漏えいを目視で点検できるようにするためである（写真 4.1 参照）。

この試験に用いる原型容器について、以下の  の内蓋を評価した。



P5 原型容器の上面図を下記に示す。



#### 4.4 P5 原型容器の落下試験の結果

熱電対を含む輸送物の正味重量は  kg である。純鉄粉末  kg を収納した輸送物の総重量は  kg である。

表 4.1 に落下試験の結果を示す。



#### 4.4.1 落下試験（高さ 1.2 m）

- ・落下試験：輸送物上面コーナー部（C2 近傍）への衝撃を受ける落下

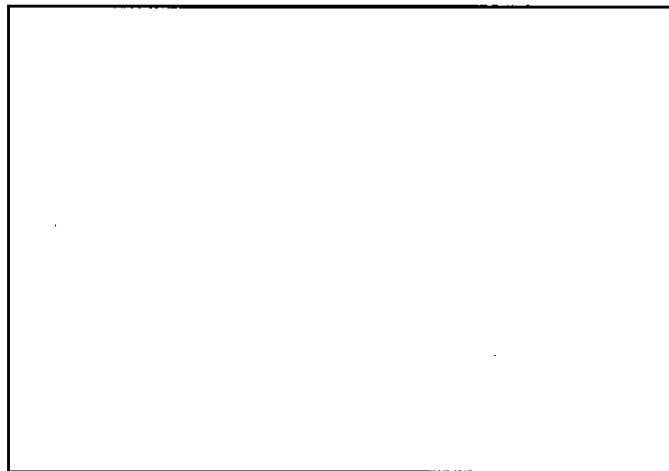
輸送物の落下方向を図 4.4 に示す。落下角度（) は、衝撃点と輸送物重心を結ぶ直線が落下試験台と垂直になるように選択されている（内容器上部での粉末収納缶の移動を考慮に入れる）。衝撃を受けたコーナー部付近で輸送物外殻の波状の変形が見られるが、外殻の裂け目は見られない。

試験結果を写真 4.2～4.5 に示す。

#### 4.4.2 落下試験 I（高さ 9 m）

- ・落下試験：輸送物上面コーナー部が衝撃を受ける落下

衝撃を受けるコーナー部は、落下試験（高さ  m）で衝撃を受けたコーナー部と同じである。輸送物の落下方向を図 4.5 に示す。衝撃を受けたコーナー部周りの外殻で波状の変形が見られ、その変形領域の程度は以下のとおりである。



これらの値は、高さ  m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約  % である。

試験結果を写真 4.6 及び 4.7 に示す。

#### 4.4.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

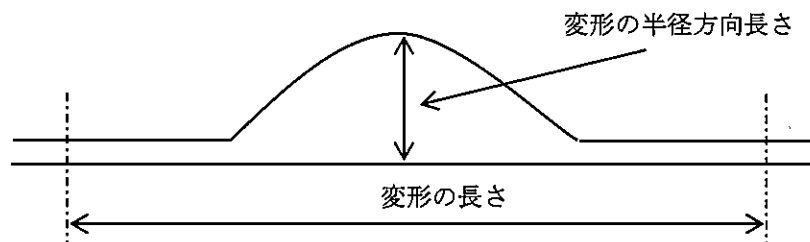
##### ・落下試験：輸送物外蓋への衝撃

落下試験Ⅱ（高さ9 m）により、衝撃を受けた輸送物上面コーナー部付近の外蓋上面外殻が曲がり、フェノリックフォームと離れているのが観察された。したがって、この落下試験の目的は、ターゲットによりこの部分の外殻を裂けさせることにある。

輸送物の落下方向を図4.6に示す。落下角度（）は、  
に選択されている。

この落下試験により衝撃を受けた外蓋外殻に大きな変形が見られたが、裂け目は見られず、変形の最大半径方向サイズはmm、目に見える長さは約mmである。

試験結果を写真4.8～4.10に示す。



#### 4.4.4 収納物漏えいの確認

全ての落下試験後、衝撃を受けた外蓋を切断して取り除き、輸送物上面を下方にし揺さぶったが、輸送物内容器からの消石灰の漏えいは認められなかった。

試験結果を写真 4.11 及び 4.12 に示す。

表 4.1 原型容器試験の条件と結果の一覧表

原型容器 P5		
試験項目	損傷箇所	試験結果
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/> )	コーナー部に局所的変形
落下試験 I (9 m)	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/> )	体積減少：約 <input type="text"/> %
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/> )	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れなし

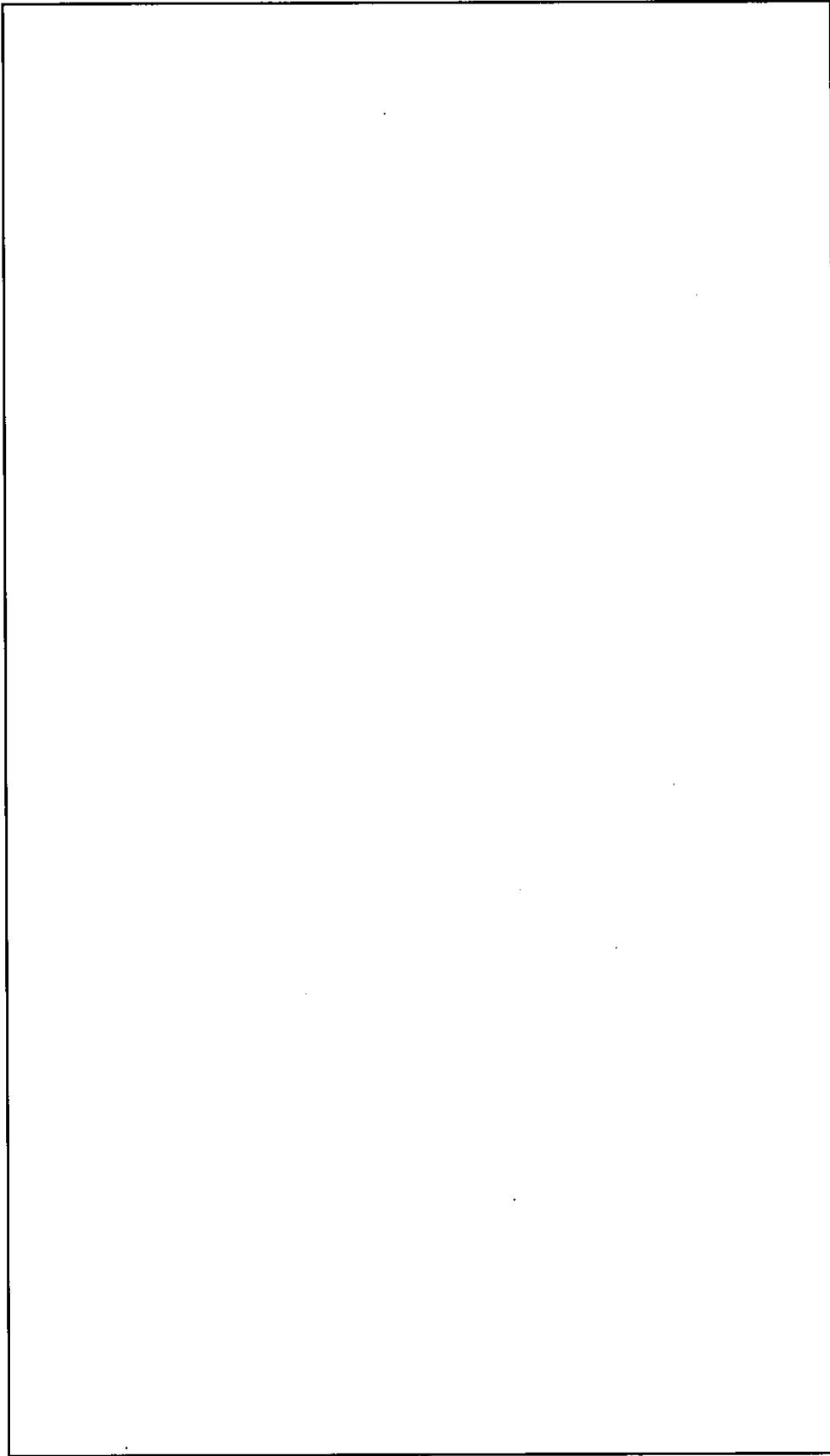


図 4.1 内容器ガasket位置の変更



図 4.2 外蓋の変更

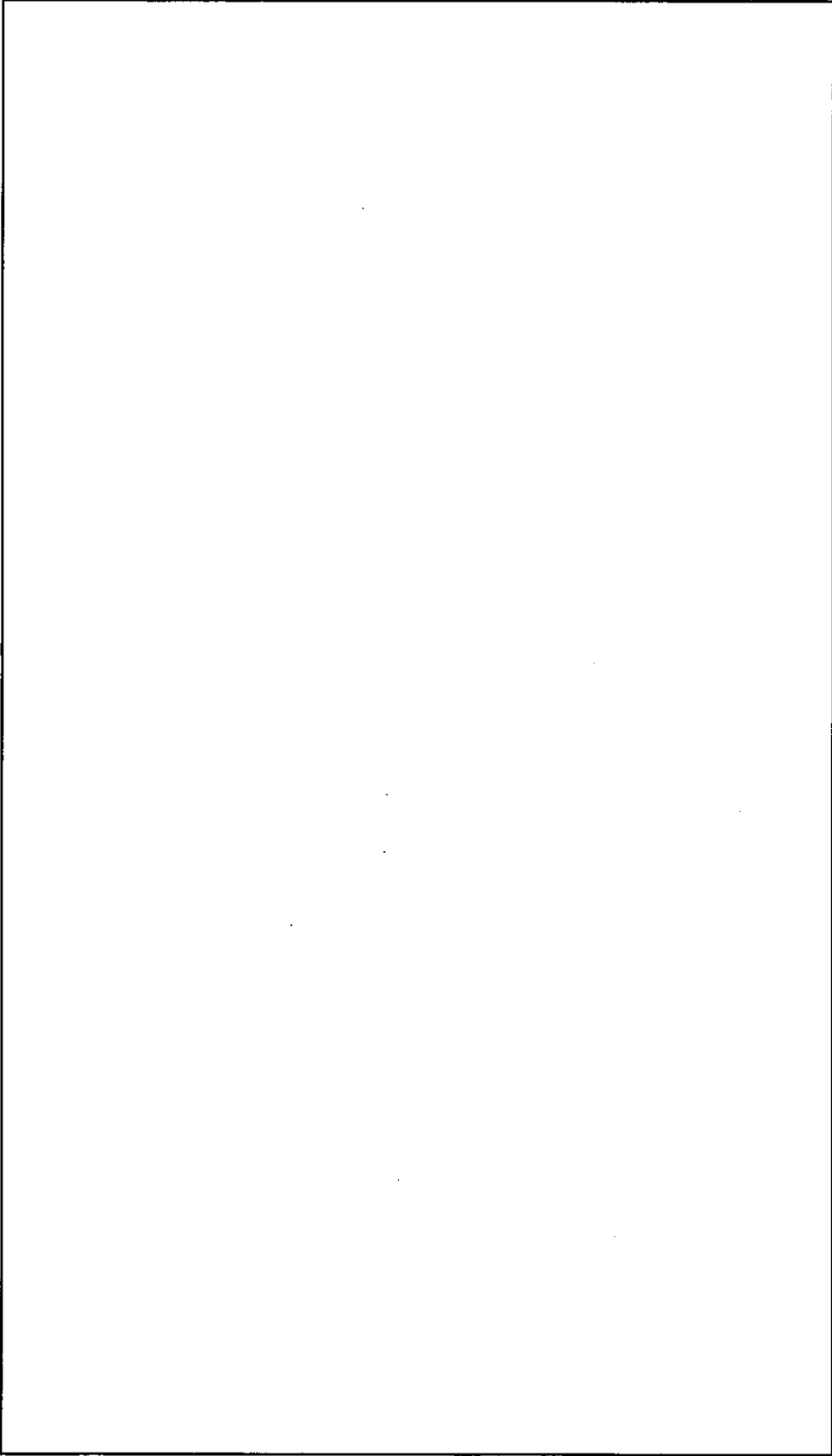


図 4.3 脚部の変更

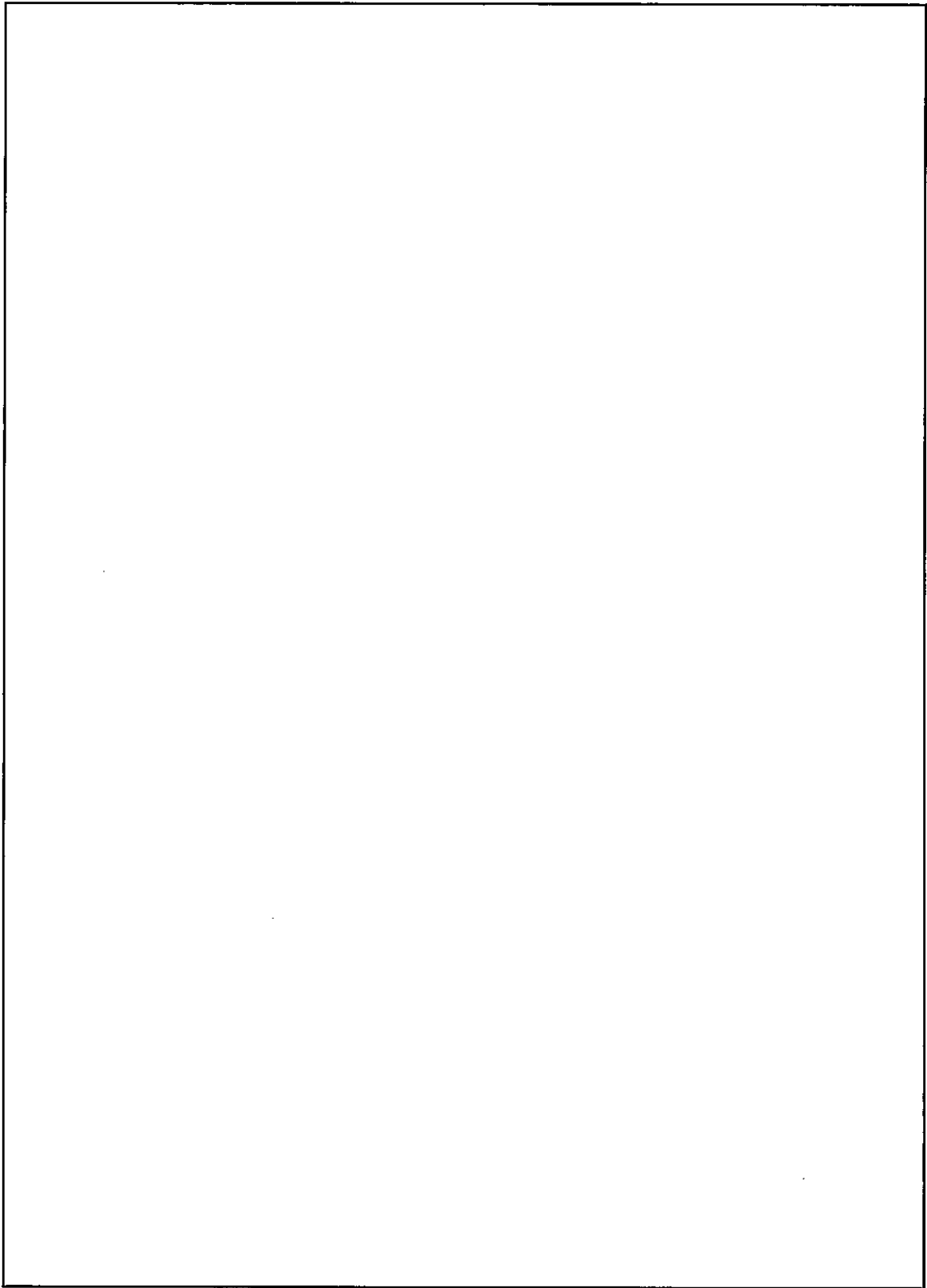


図 4.4 落下試験（高さ  m） - 原型容器 P5

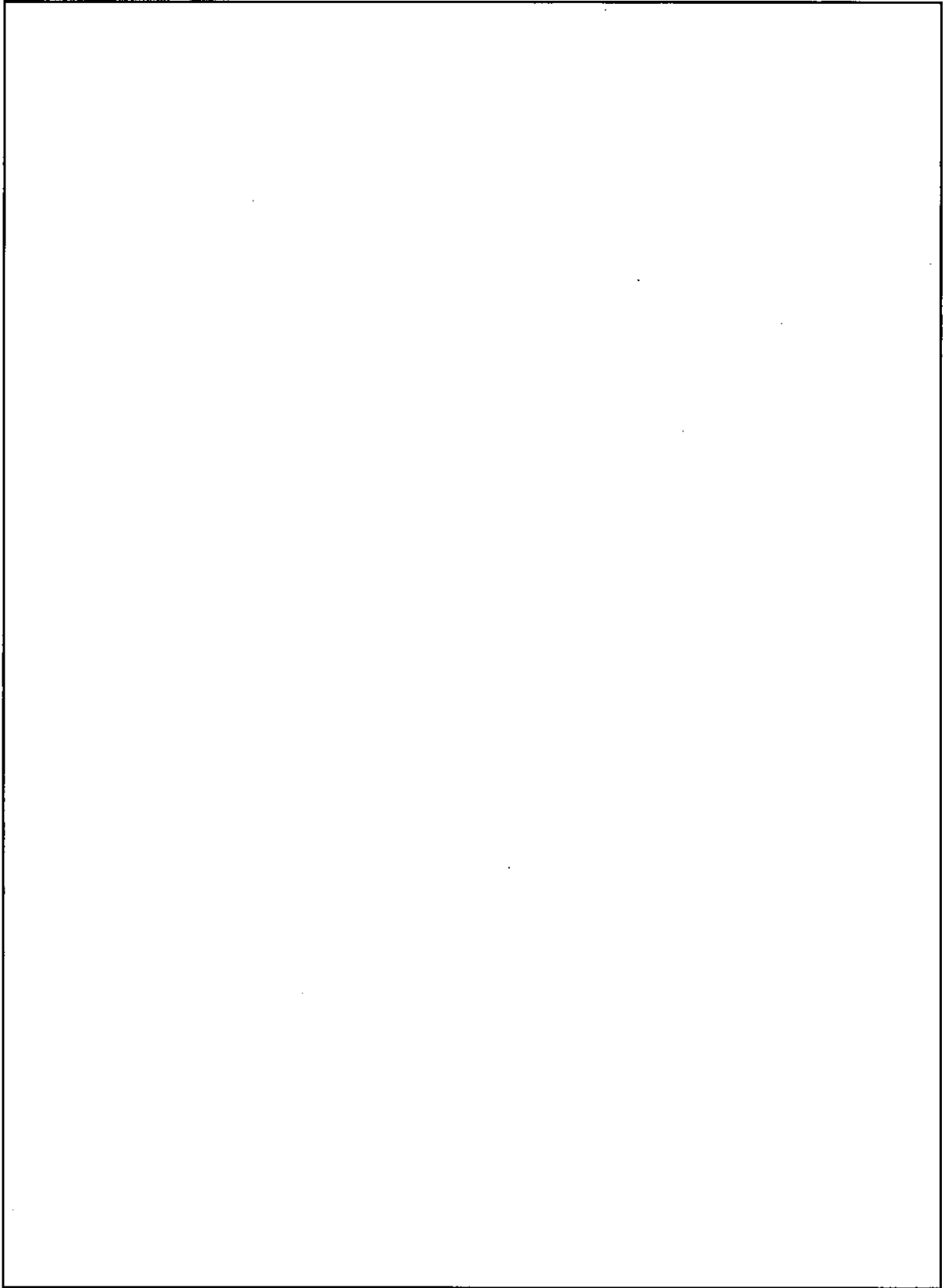


図 4.5 落下試験 I (高さ 9 m) ・原型容器 P5



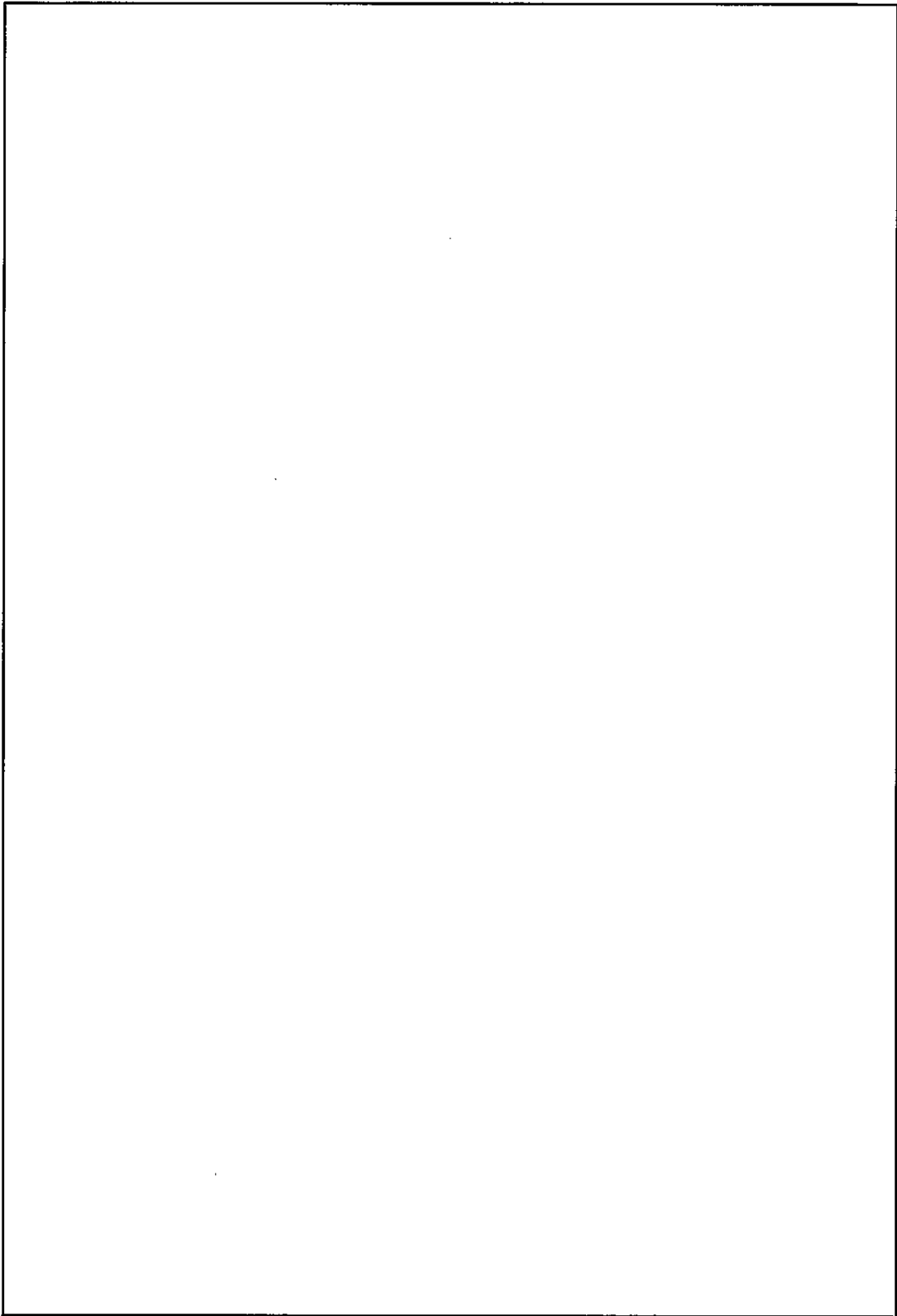


図 4.6 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) ・原型容器 P5

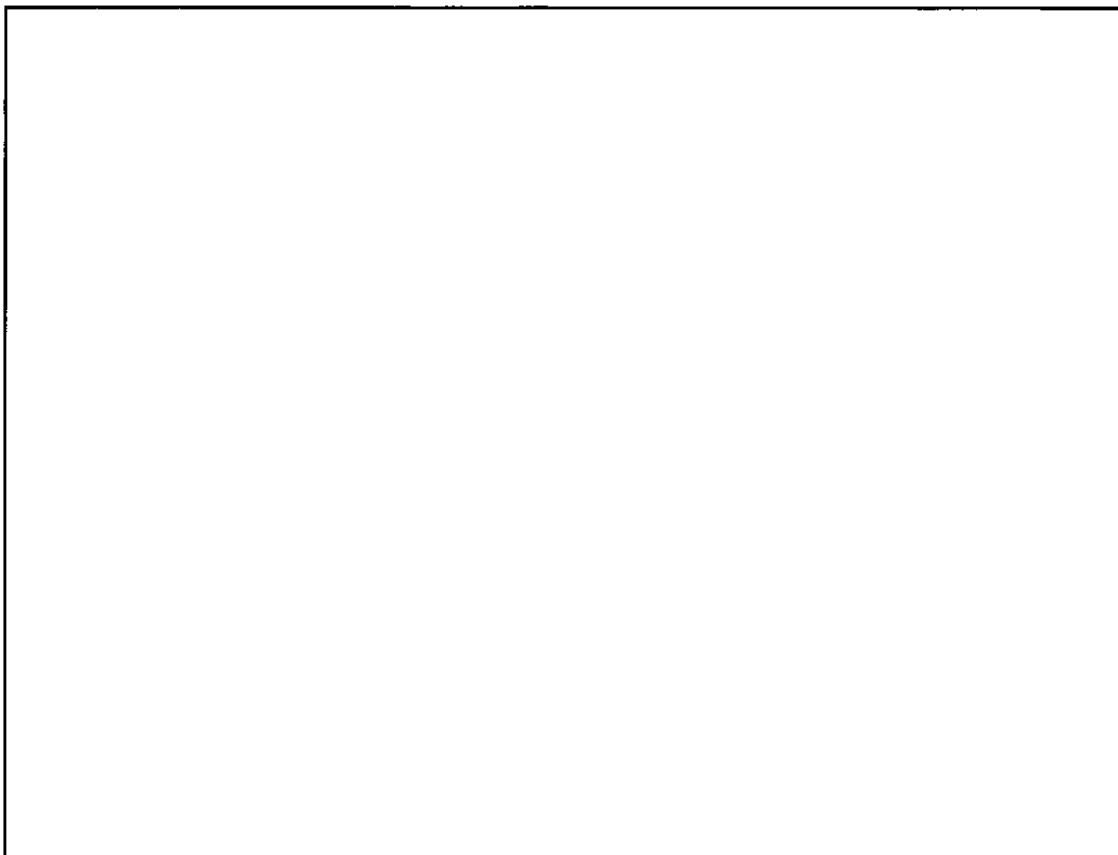


写真 4.1 粉末収納缶及び漏えい確認用消石灰の外観

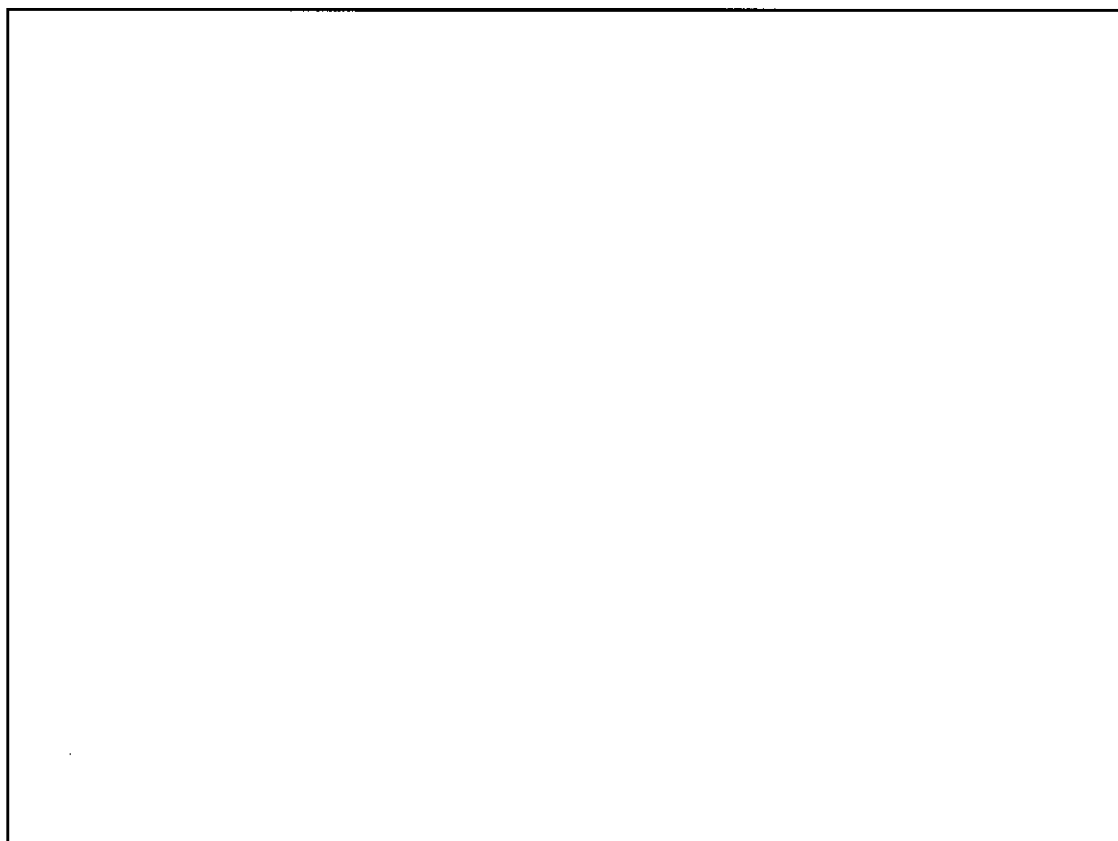


写真 4.2 落下試験（高さ 1.2 m）前

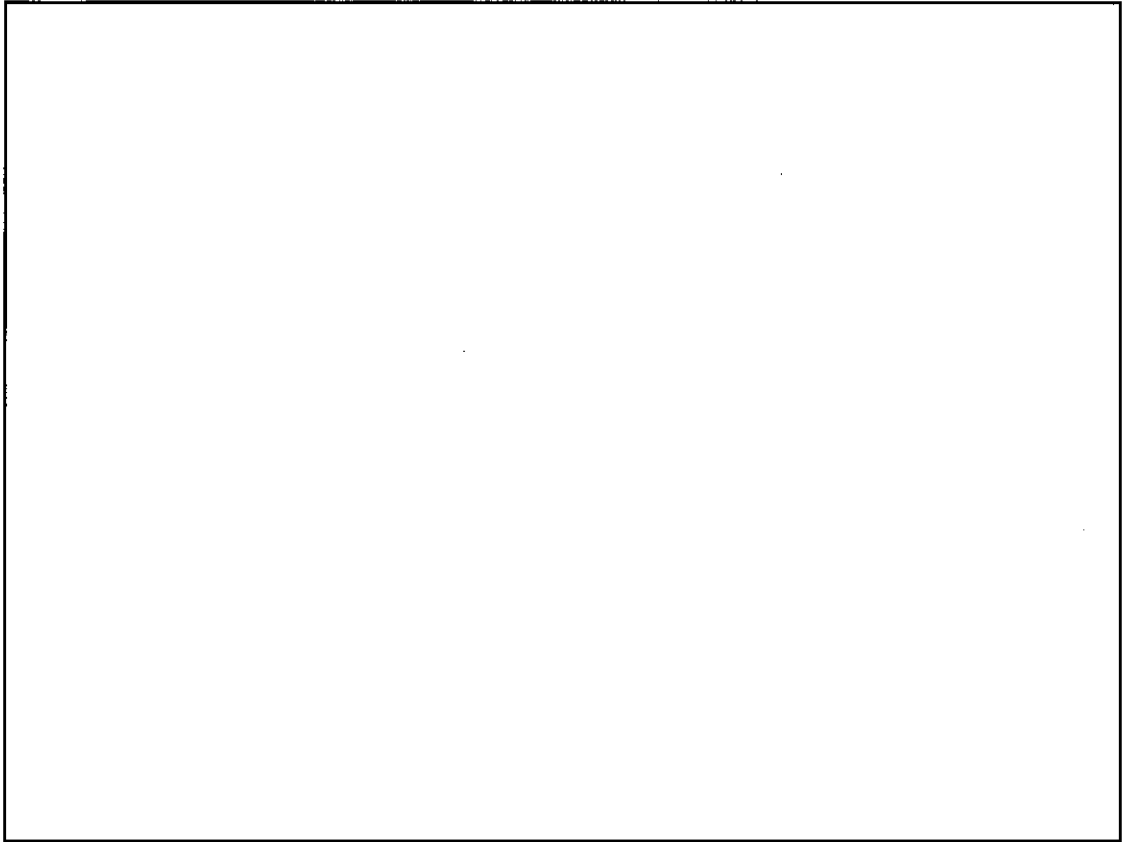


写真 4.3 落下試験 (高さ 1.2 m) 後

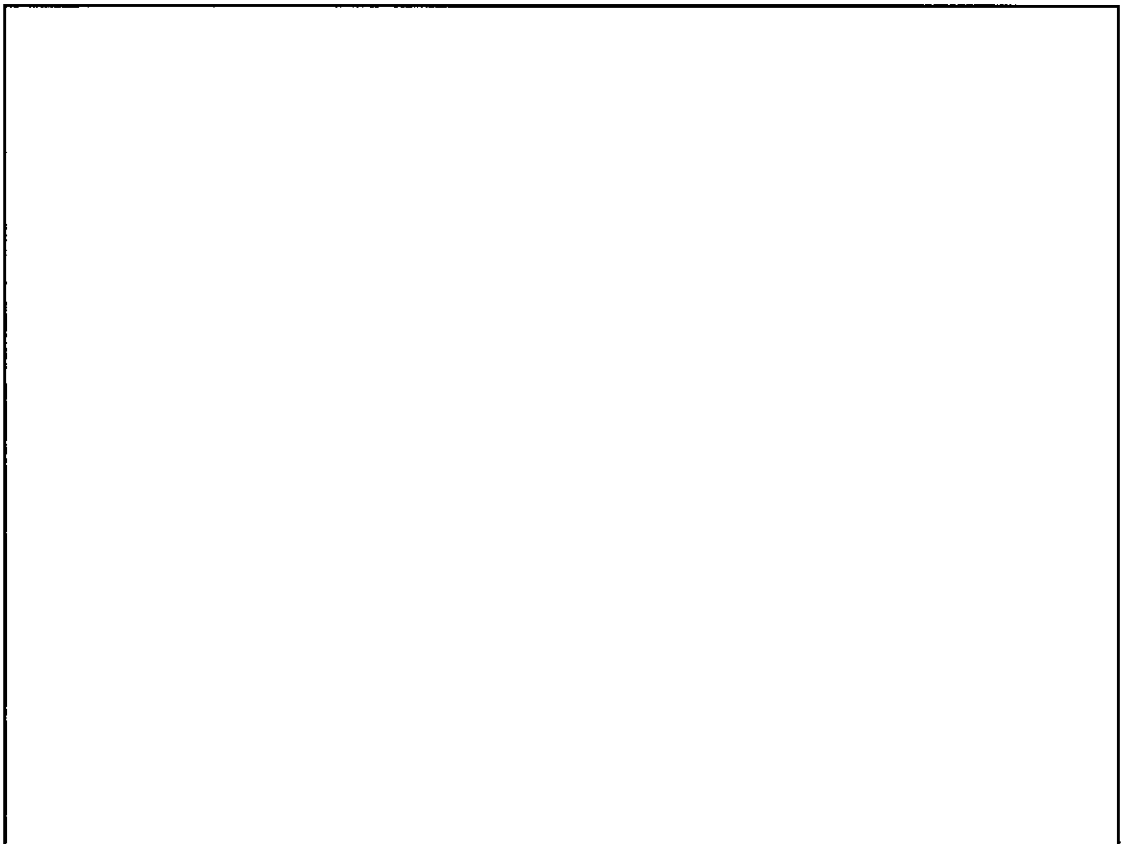


写真 4.4 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 上面コーナー部

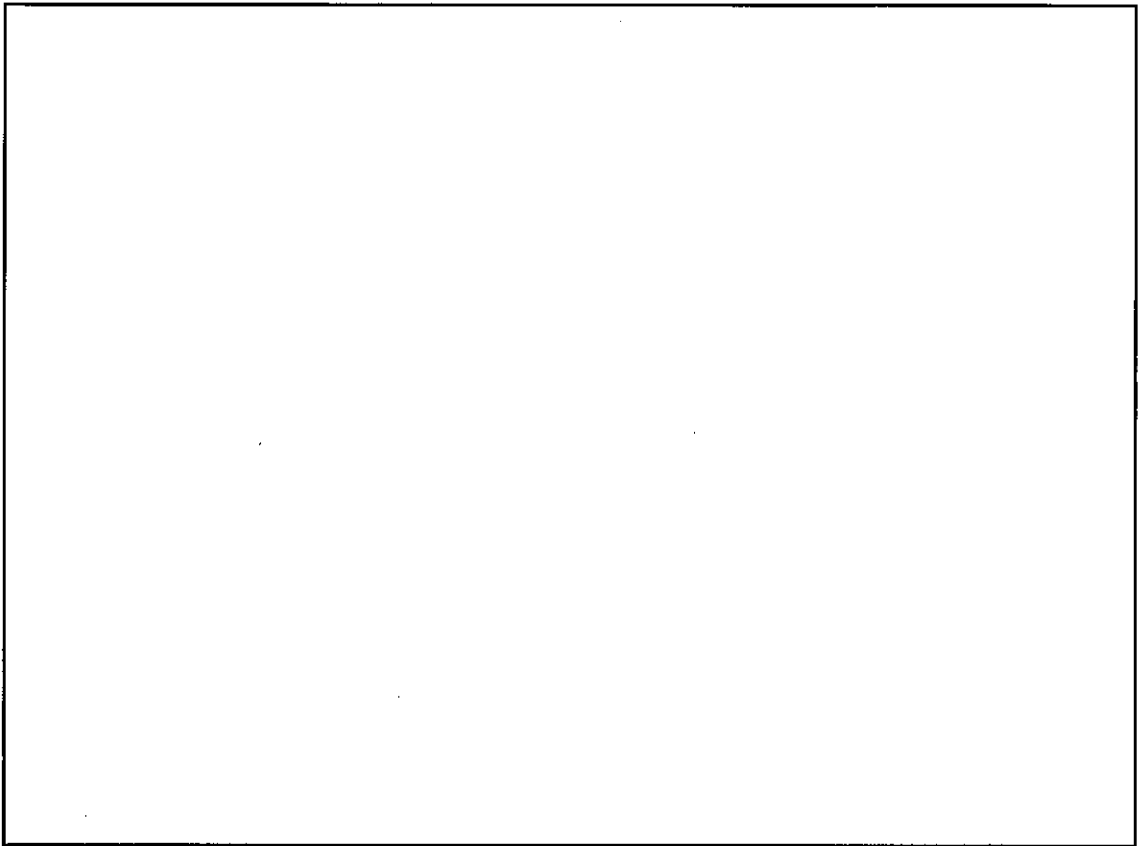


写真 4.5 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 上面コーナ一部

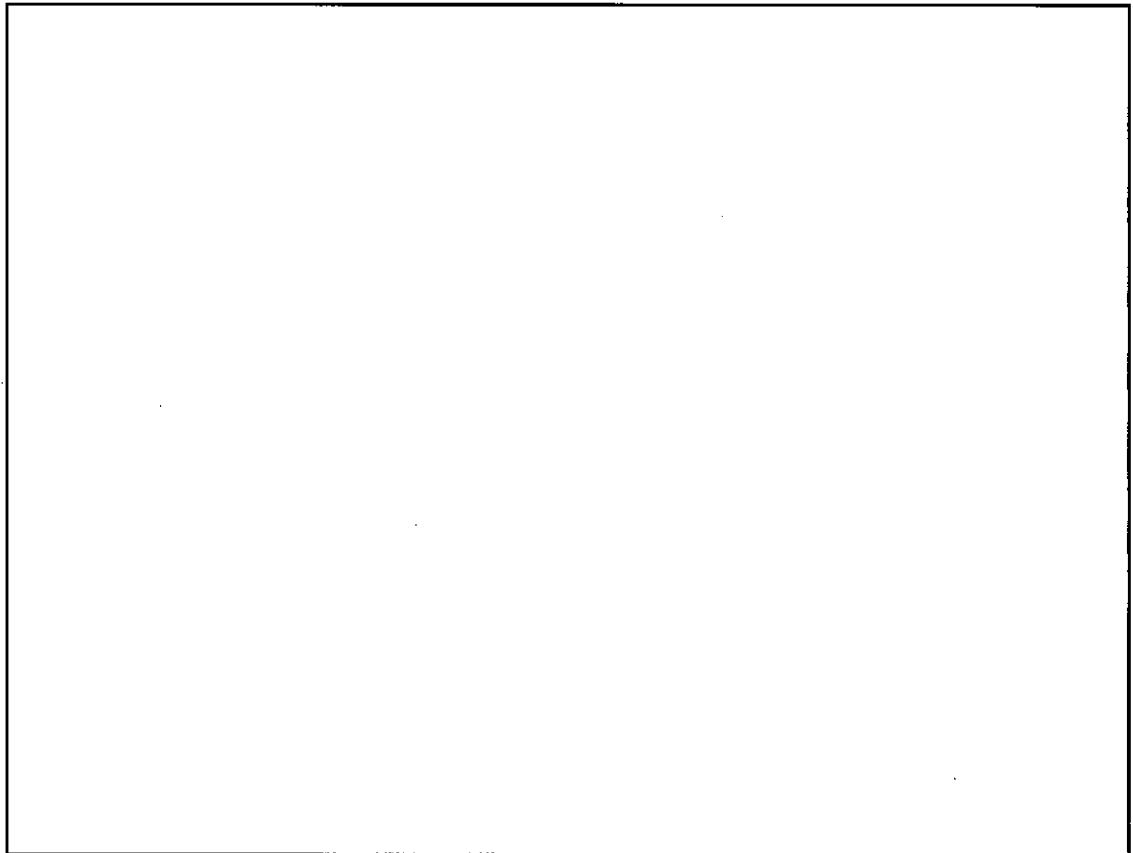


写真 4.6 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナ一部

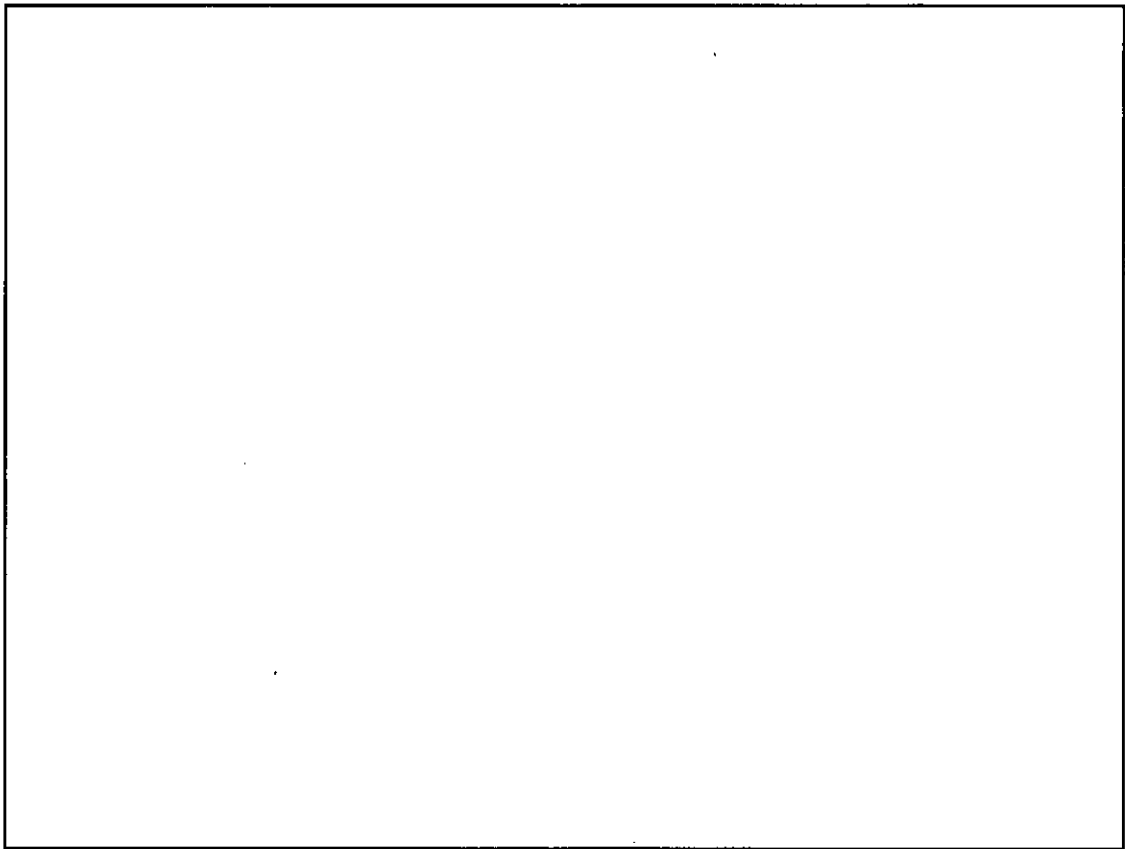


写真 4.7 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

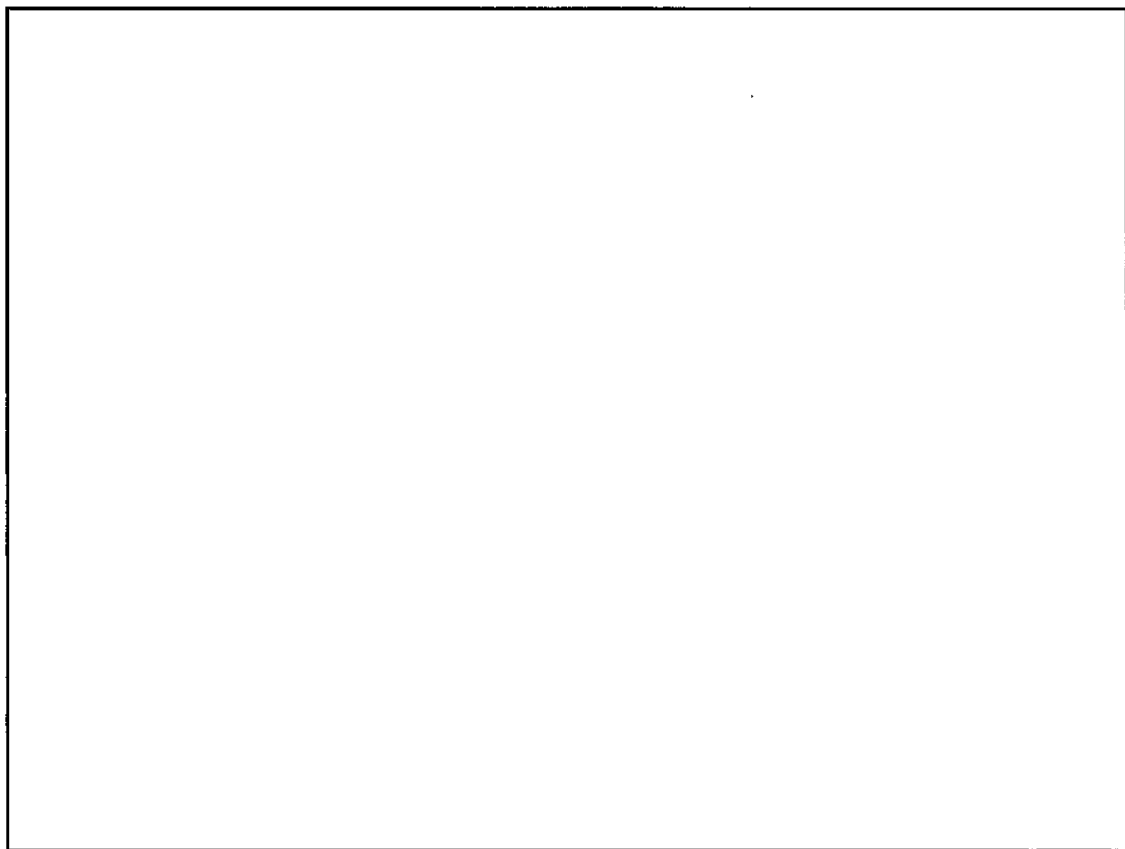


写真 4.8 落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) 前

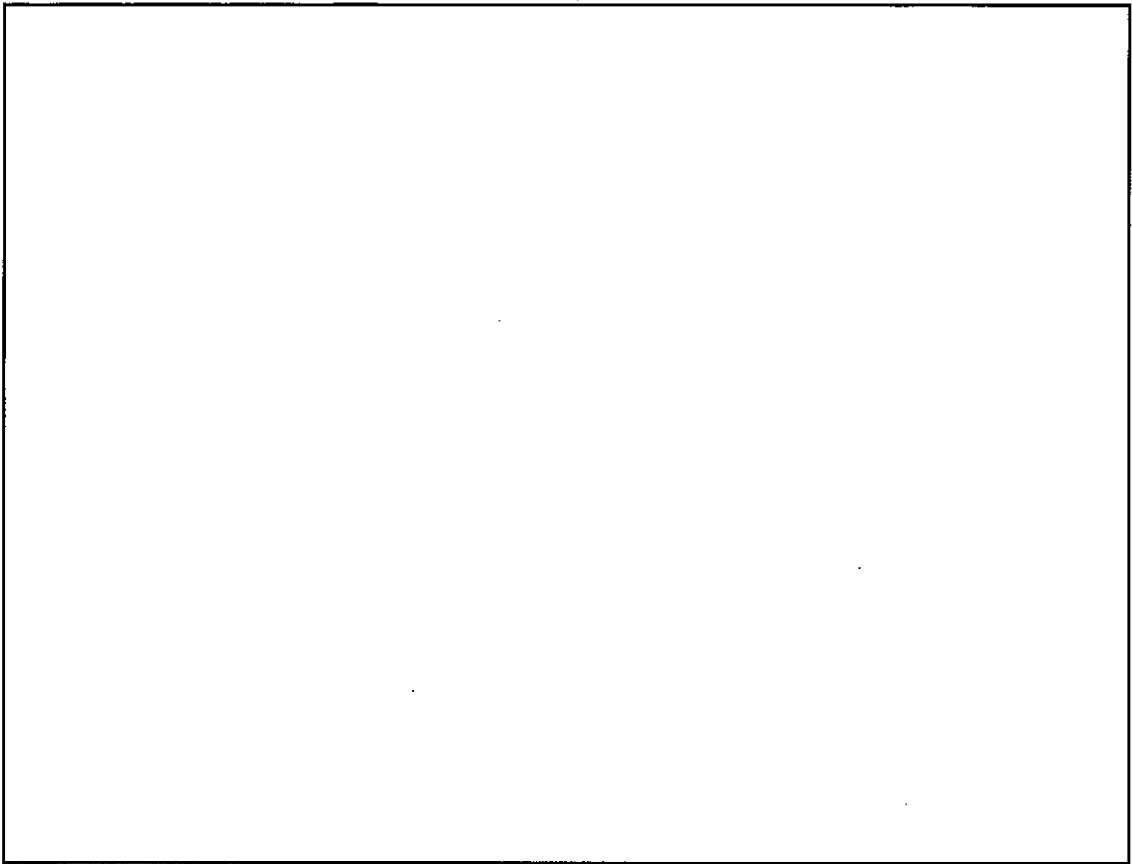


写真 4.9 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 外蓋

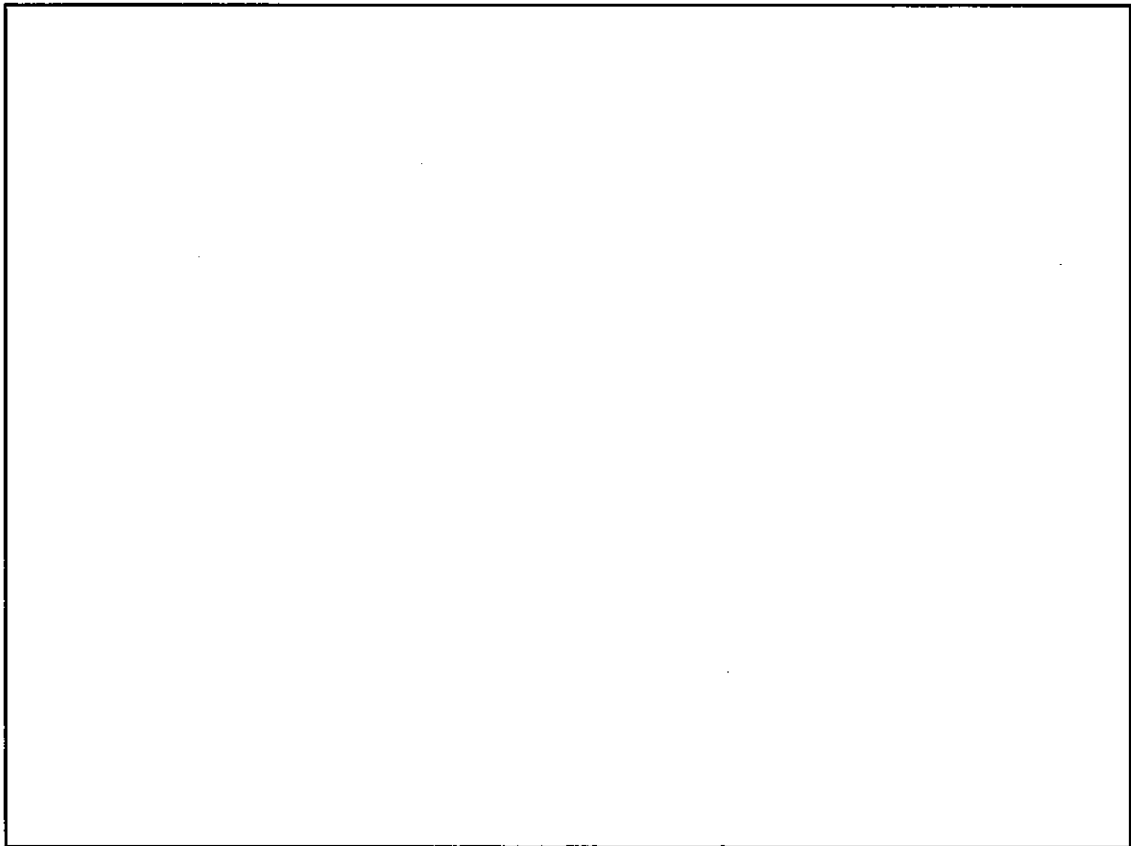


写真 4.10 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 外蓋

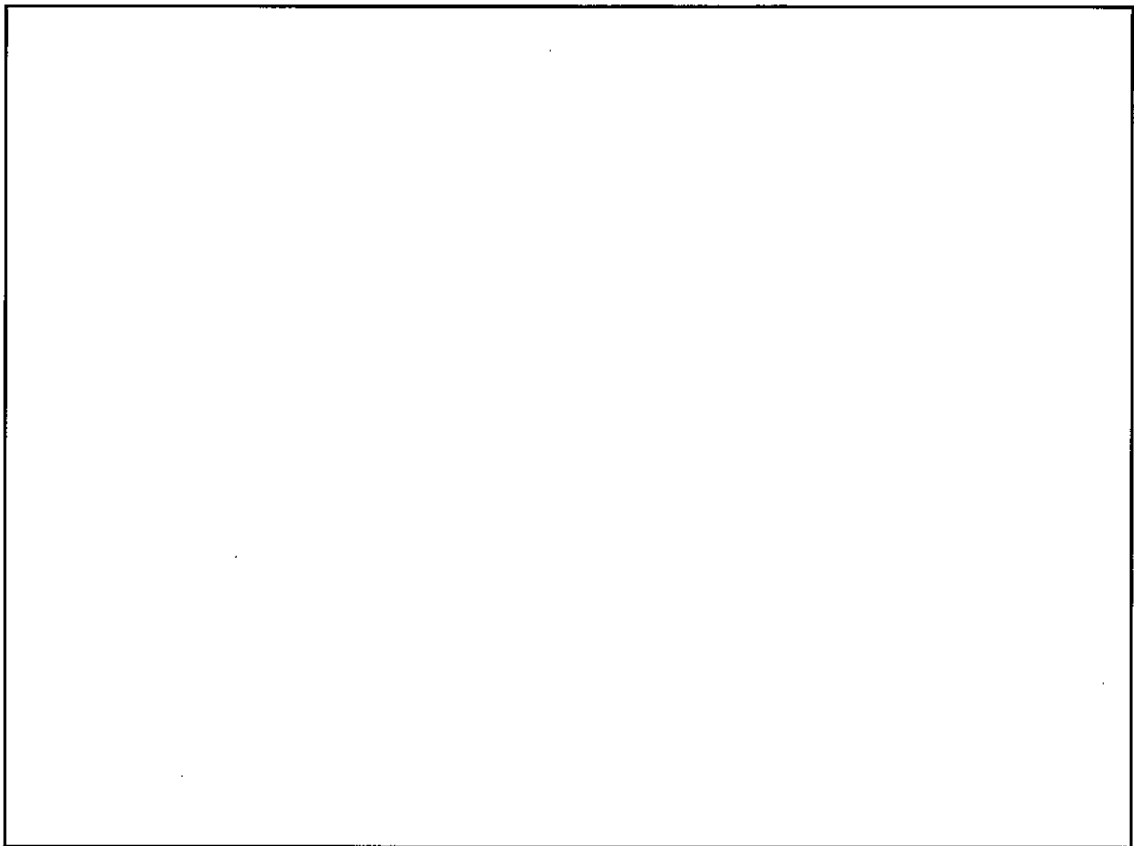


写真 4.11 試験後 内蓋の外観

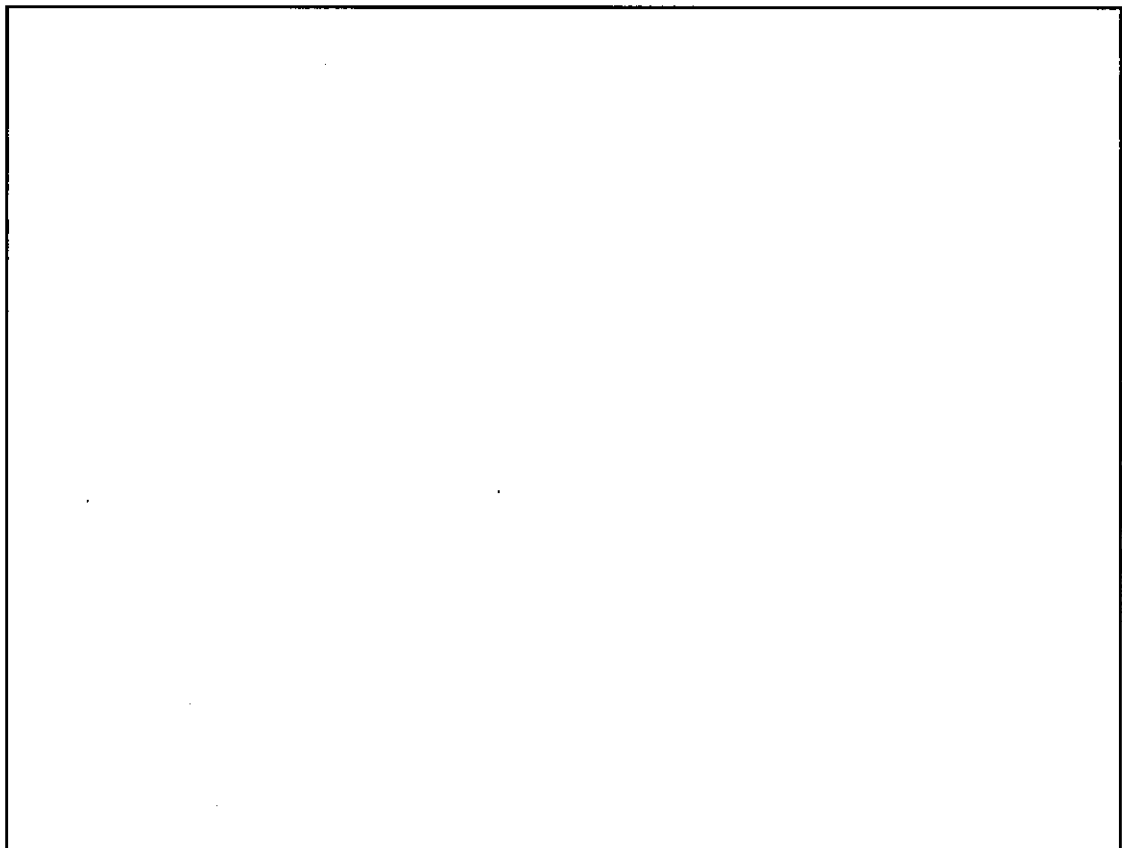


写真 4.12 試験後 内蓋フランジ部の外観

(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

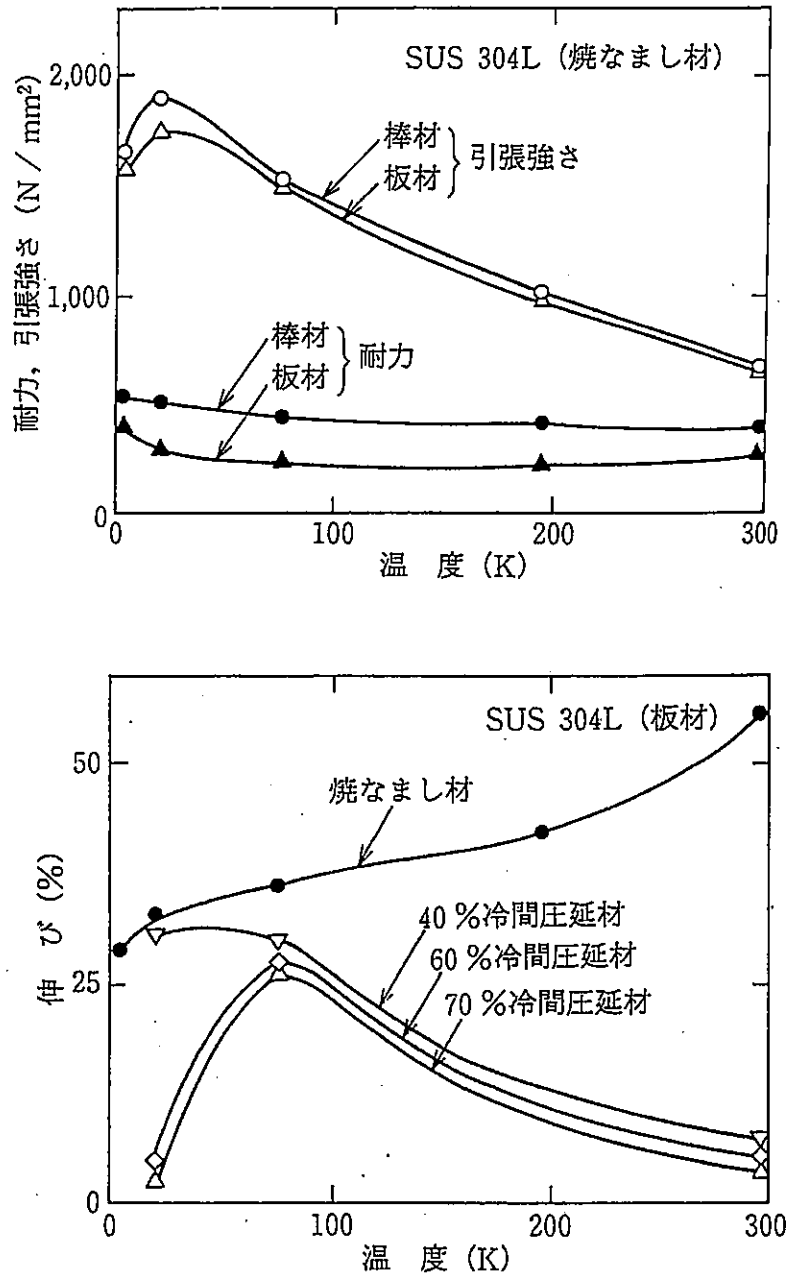


図 5.1 SUS304L の低温引張特性<sup>1)</sup>

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

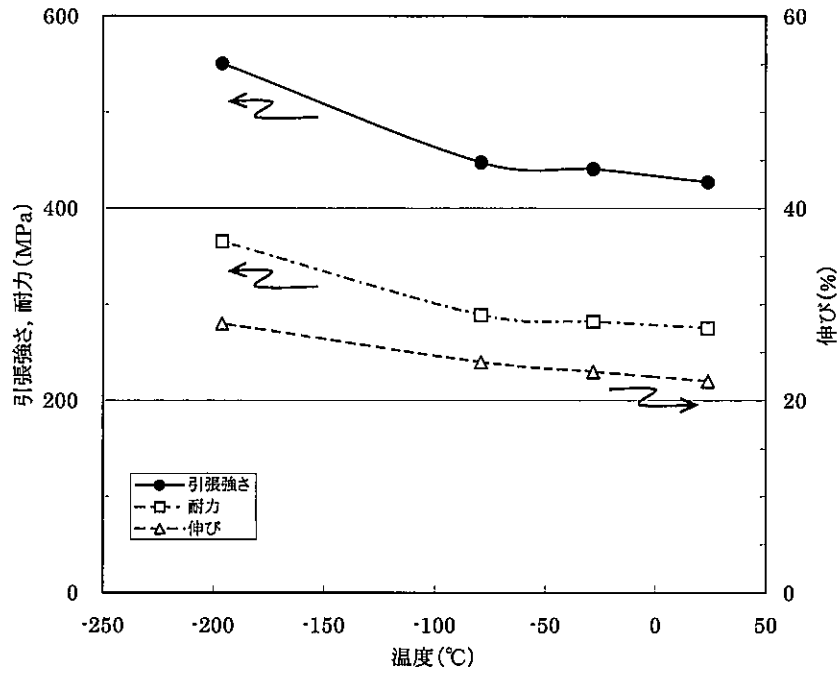


図 5.2 アルミニウム合金 (2017) の低温引張特性<sup>2)</sup>

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 $-40^{\circ}\text{C}$ 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 [ $20^{\circ}\text{C}$ ]	
最小圧縮強度 [ $20^{\circ}\text{C}$ ]	
最小圧縮強度 [ $-40^{\circ}\text{C}$ ]	

#### (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 ( $20^{\circ}\text{C}$ )	<input 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 ( $20^{\circ}\text{C}$ )	<input 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	<input type="text"/>	°C、期間	<input type="text"/>
条件 2 : 温度	<input type="text"/>	°C、期間	<input type="text"/>
条件 3 : 温度	<input type="text"/>	°C、期間	<input type="text"/>

#### 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	$0.8 \times 10^{-6}$	$0.8 \times 10^{-6}$	合
条件 2	$0.2 \times 10^{-6}$	$0.5 \times 10^{-6}$	合
条件 3	$0.8 \times 10^{-6}$	$0.9 \times 10^{-6}$	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  $-40 \text{ °C} \sim -60 \text{ °C}$  である。<sup>1)</sup>

1) : 「ゴムの辞典」朝倉書店, 奥山道夫他, 2000



(口)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	
本試験	P3	
	P4	
追加落下試験	P5	

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。）
内容物フランジ設計の改良	輸送物総重量軽減のため、内容物フランジの一部を <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1m) ・輸送物底面中央付近 (落下角度□)	圧縮変形：変形深さ最大□ mm 割れ寸法：長さ約□mm	圧縮変形：変形深さ最大□ mm 割れは生じていない
落下試験Ⅰ (高さ9m) ・輸送物側面 (落下角度□)	圧縮変形：最大□mm 平均約□mm 容積減少：約□%	圧縮変形：平均約□mm 容積減少：約□%
落下試験Ⅱ (ターゲット、高さ1m) ・□内容器□ (落下角度□)	圧縮変形：変形深さ最大□ mm 割れ寸法：長さ約□mm 最大幅□mmの割 れ	圧縮変形：局所的(未測定) 割れ寸法：長さ約□mm 最大幅□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。

(口)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。

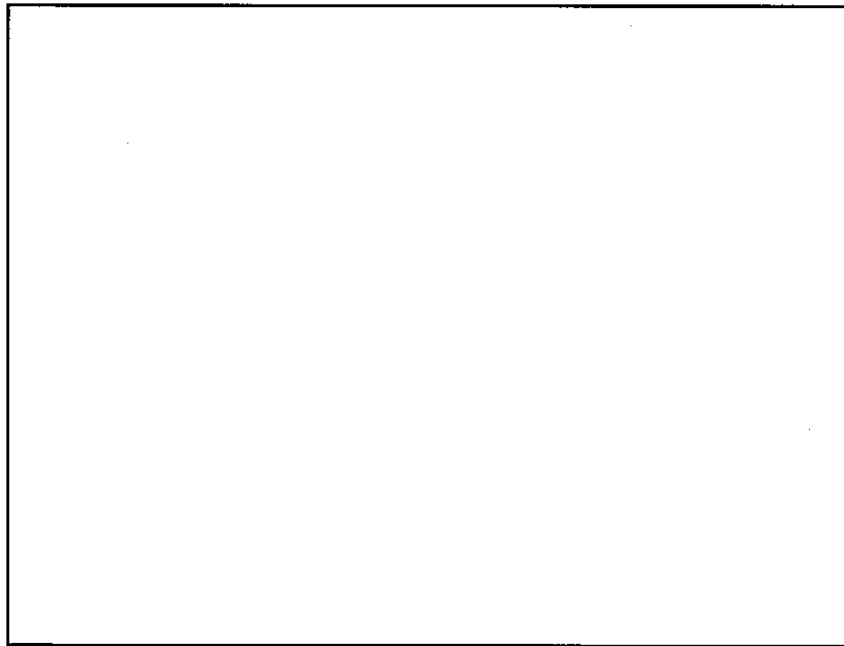


図 7.1 モデル概要図

### 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。

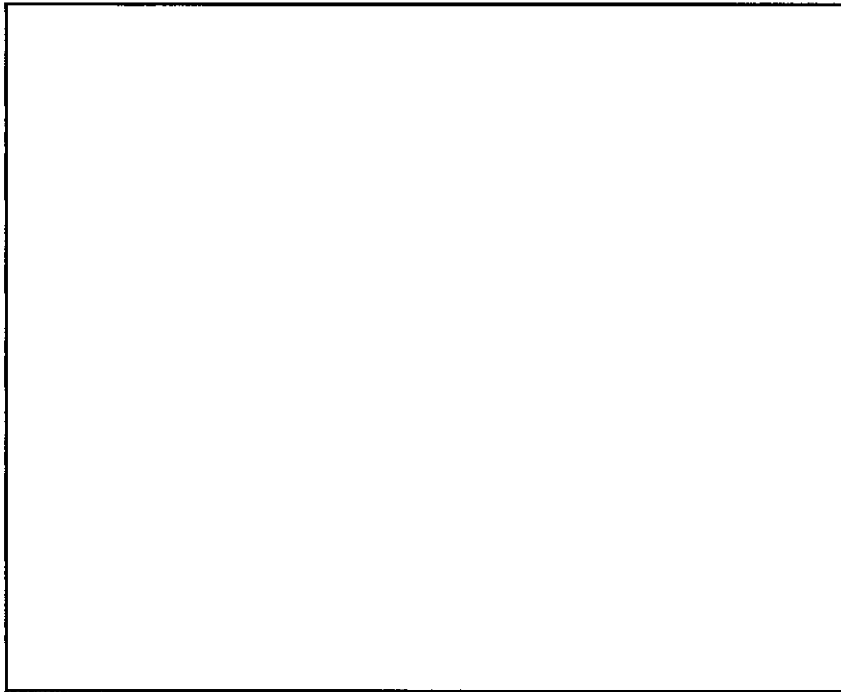


図 7.2 容器外壁のモデル化要素

### 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。

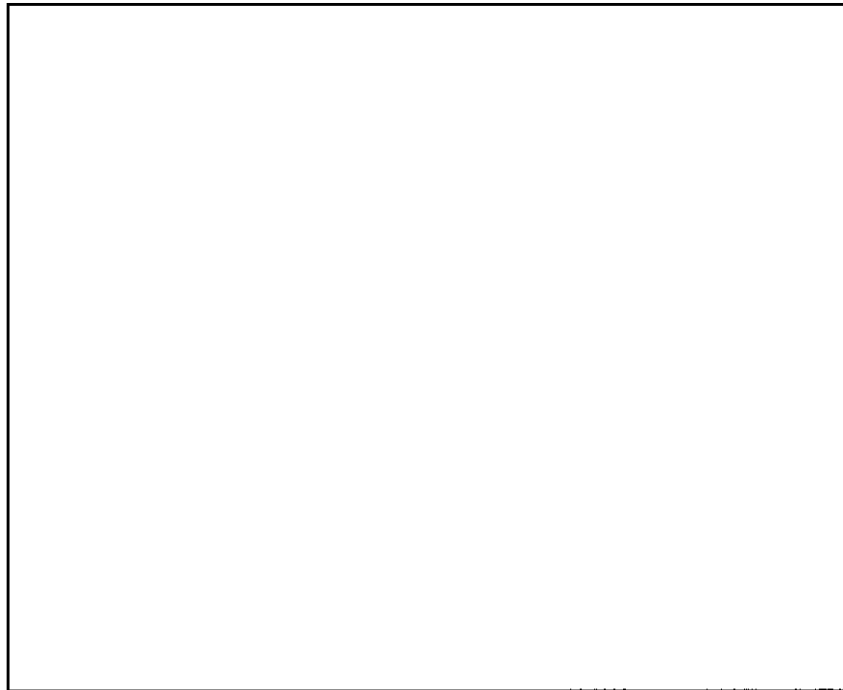


図 7.3 容器内部のモデル化要素

### 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。

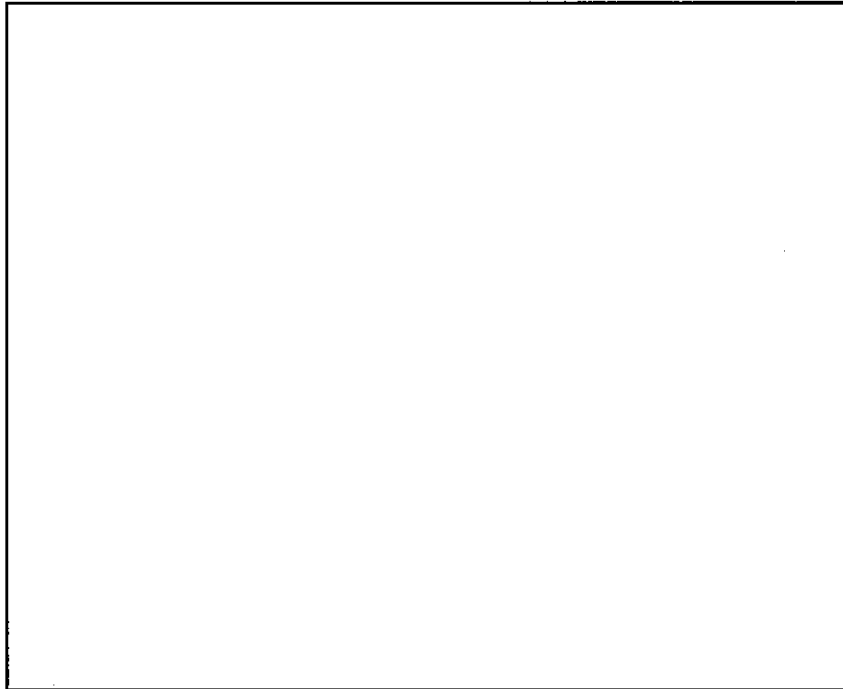


図 7.4 容器内部のモデル化要素

#### 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 $\sigma$ 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 <sup>2</sup>	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 <sup>4</sup> mm <sup>2</sup>	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 $\sigma$ 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" value=""/> 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、本輸送物は、収納物の発熱は0.03W以下と極めて微小であり、入熱は容器外部からの太陽入熱のみであり、収納物である粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶、及びプラスチックペーサ、センタリングシステム、ステンレス鋼製ペーサ(以下、これらを一括して「ブロッキングシステム」と称す)、スラッジ収納缶用緩衝材やウラン酸化物、ウラン残渣、金属ウランスラッジ等の収納物は、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及びケース4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、0.03W以下と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-1表 熱解析の条件と方法

項目		条件		一般の試験条件下	
	周囲温度	度		最高温度評価条件 静止空気 38 °C	
環境条件	太陽放射	放射		12時間入熱あり、12時間入熱なしを繰り返す 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 <sup>2</sup> 、側面：200 W/m <sup>2</sup>	
	周囲放射率	率		<input type="checkbox"/>	
容器表面放射率	輸送物	物		四分の一体系3次元熱伝達モデル	
	収納物	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	プログラム			有限要素法温度分布計算プログラム「JTACO-3D」	
使用物性値	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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>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<sup>1)</sup>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 <sup>3</sup>	
温度 K (°C)	熱伝導率 $\lambda$ (W/m·K)	比熱 C <sub>p</sub> (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 <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	<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 <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	<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 <sup>3</sup> )	□
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 <sup>3</sup>	
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-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

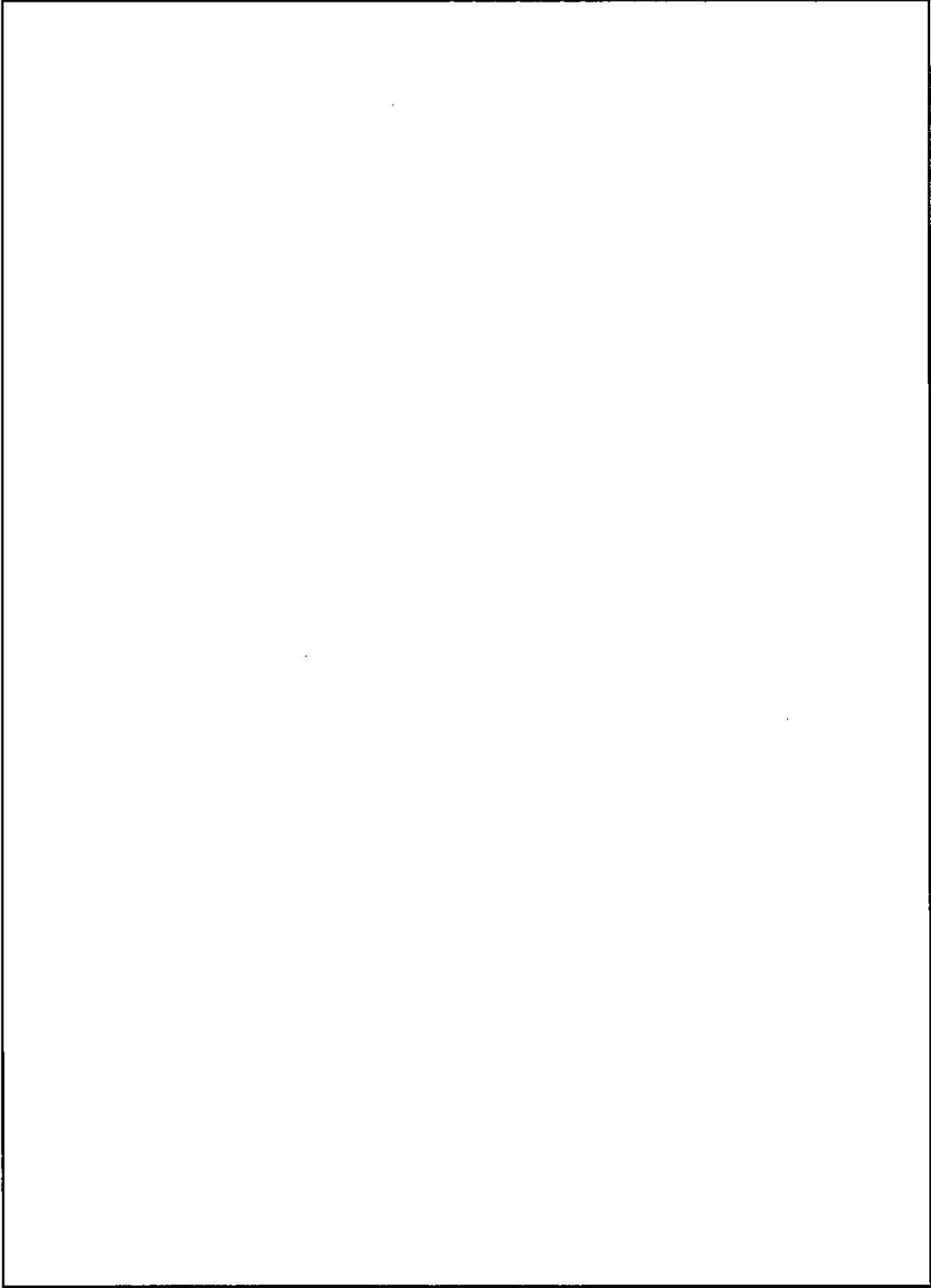
###### (1) 形状モデル

(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。

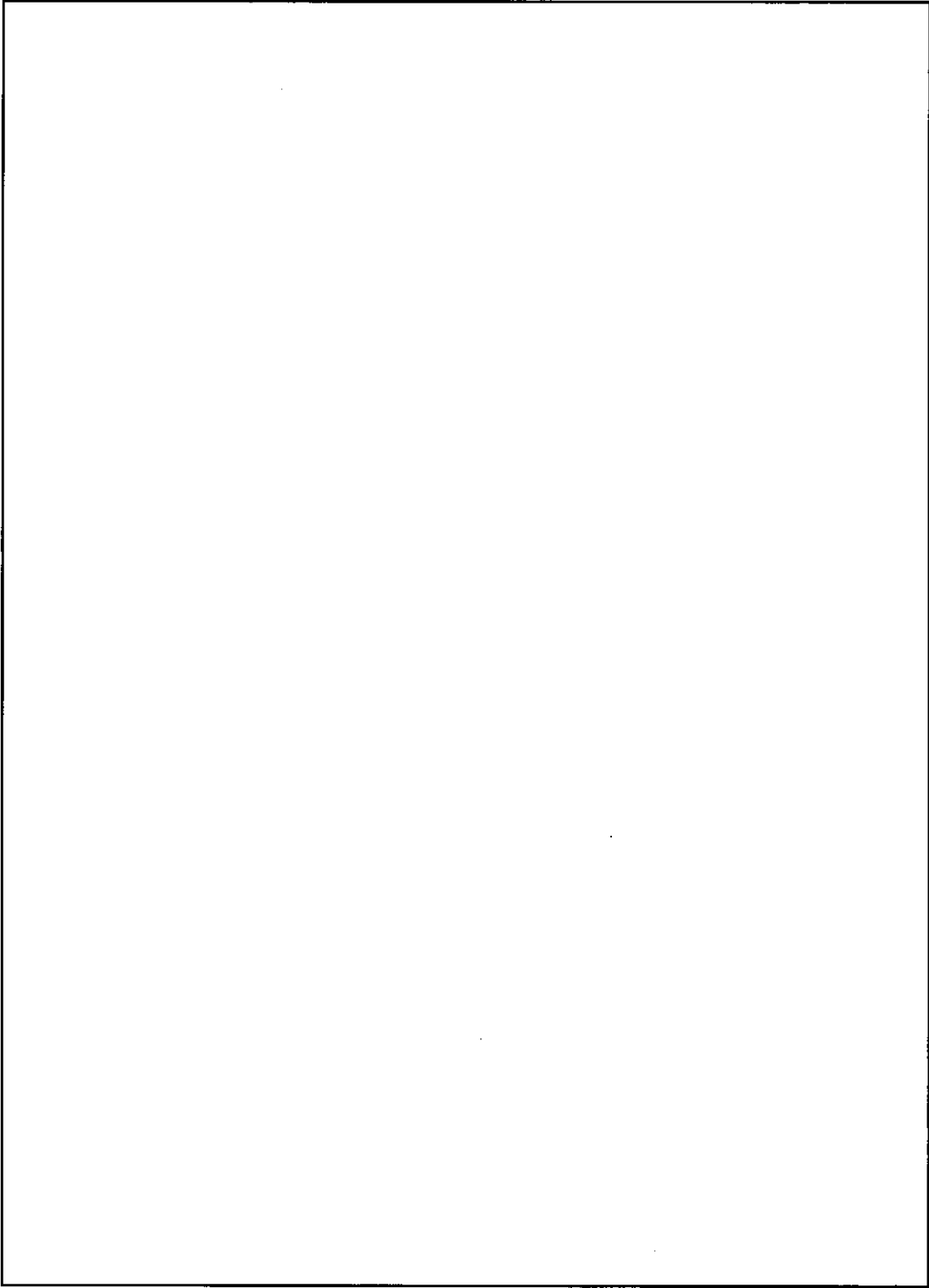
なお、本形状モデルにおいて考慮しているところは以下の通りである。

- 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-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 0.03W 以下と微小であるため、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 <sup>2</sup> )
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

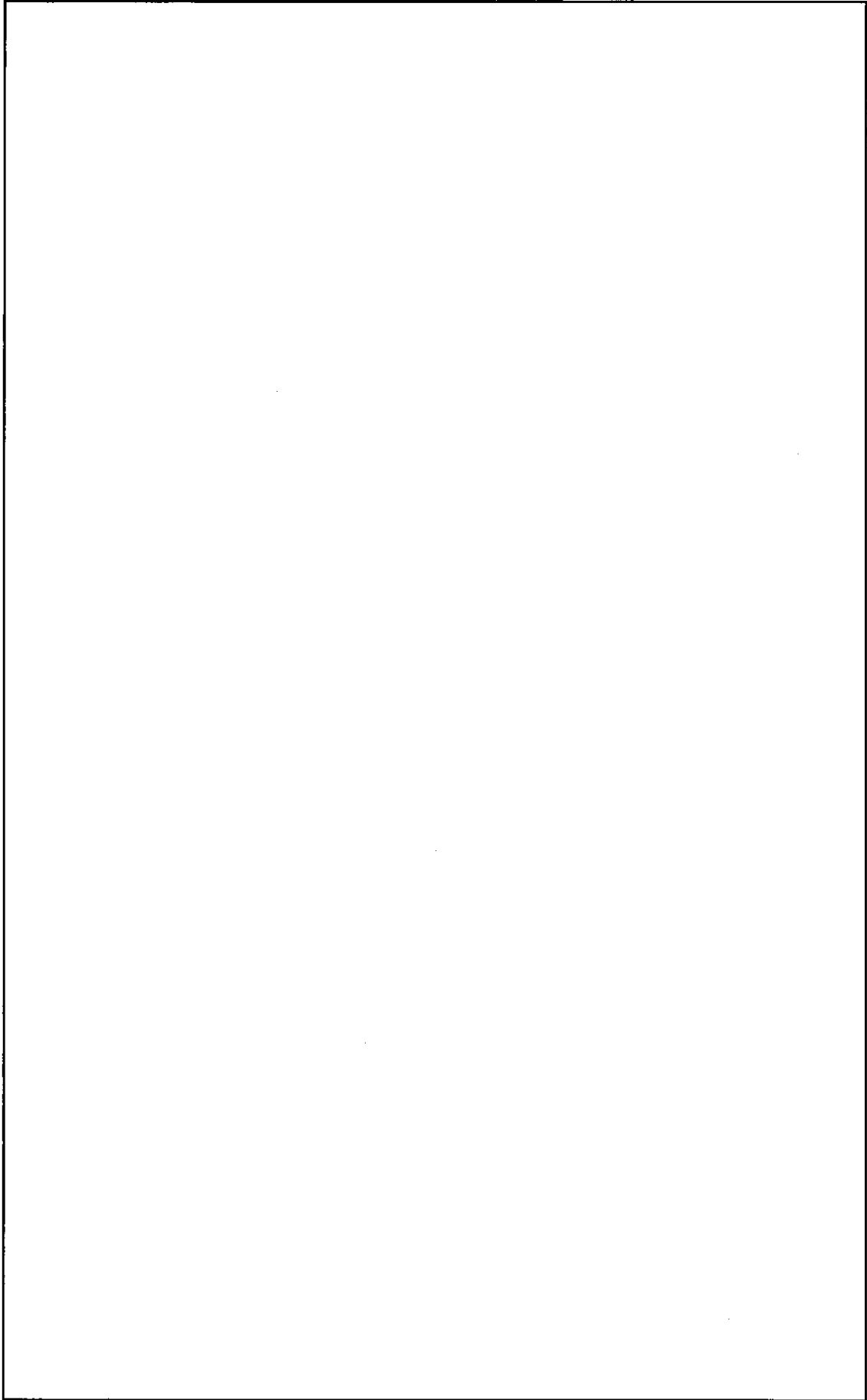
B.4.1.1に記載した解析モデルにより計算プログラム「JTACO-3D」で解析して得られた一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度を(ロ)B-第9表に、また、温度分布を(ロ)B-第3図に示す。

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℃、外容器耐熱衝撃緩衝材部で51℃、ガスケットで52℃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 $101\text{ kPa}$ ）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 $40\text{ kPa}$ 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(口)B-第 11 表及び第 12 表に示す。 ((口)A.9.2 及び(口)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	・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)	・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)	・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)	・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)	・ <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	・ <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)	・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)	・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)	・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)	・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器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溶融し、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（「校正耐火試験」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<sup>3</sup>）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、校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。(写真 1.3 及び 1.4 参照)
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。(写真 1.5～1.8 参照)。

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			コーナー落下 損傷近傍		

## 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（「(□)B 付属資料 2」参照）。

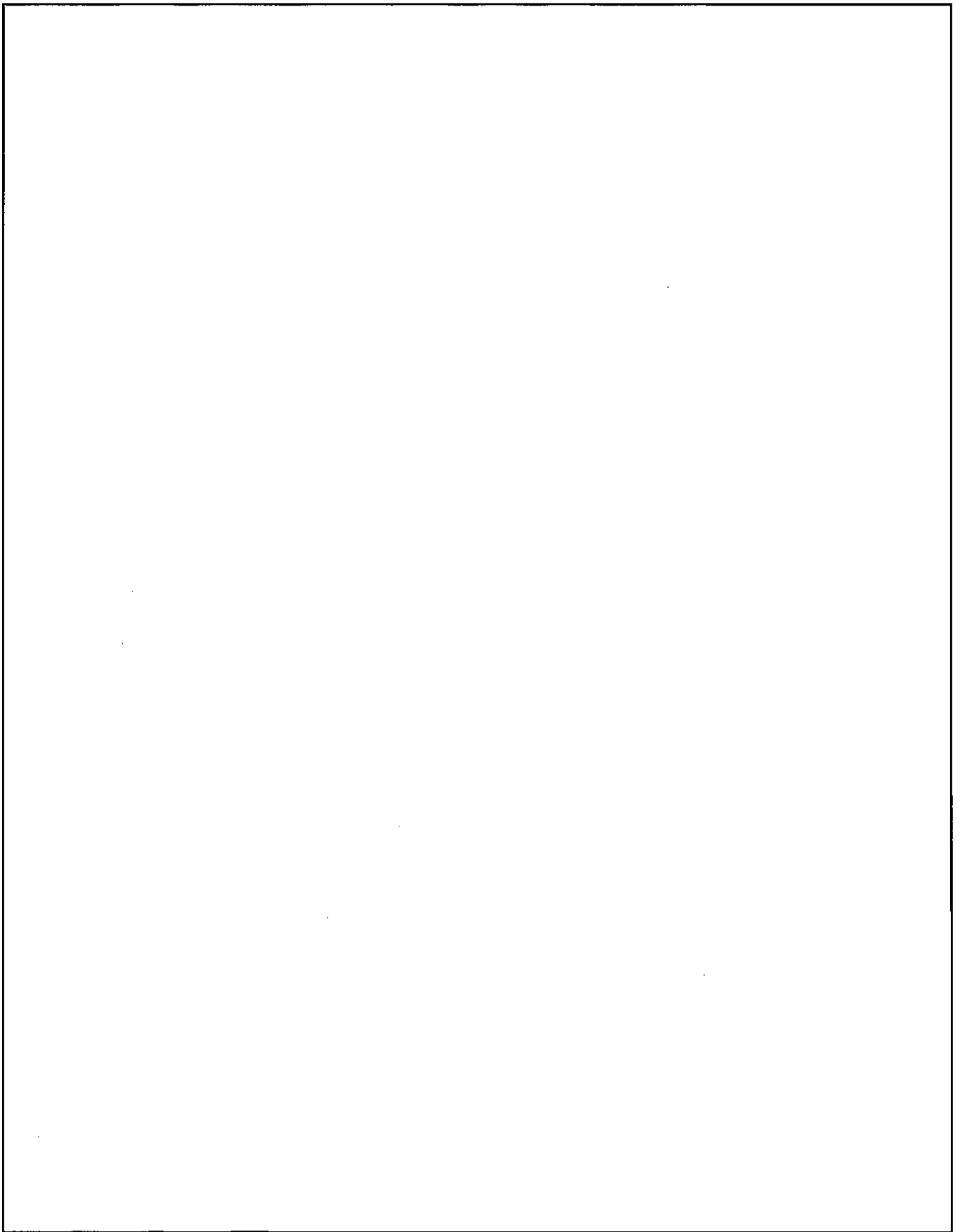


図 1.1 予備耐火試験における原型容器 P1 の熱電対位置

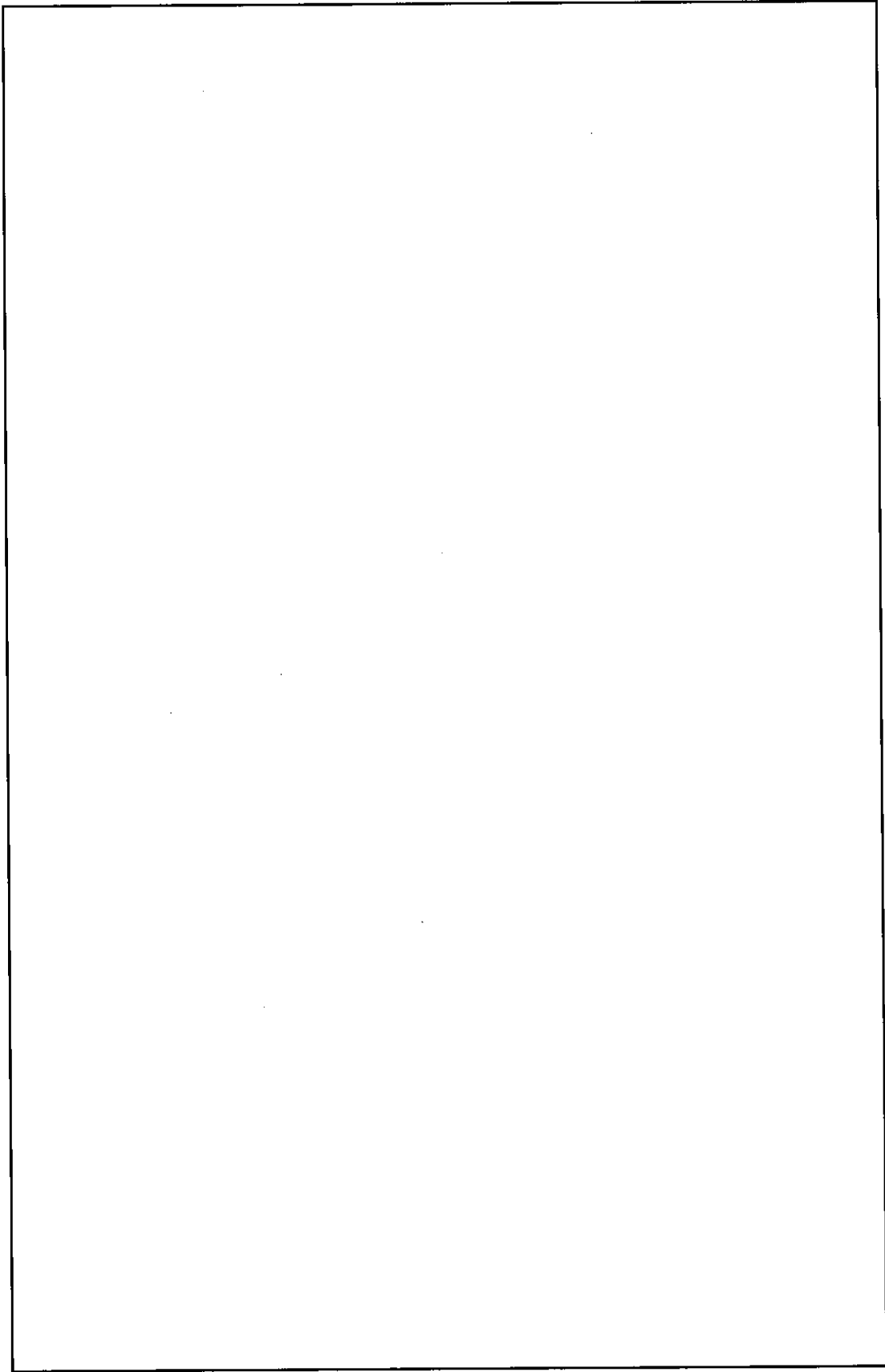


図 1.2 予備耐火試験における輸送物の温度曲線

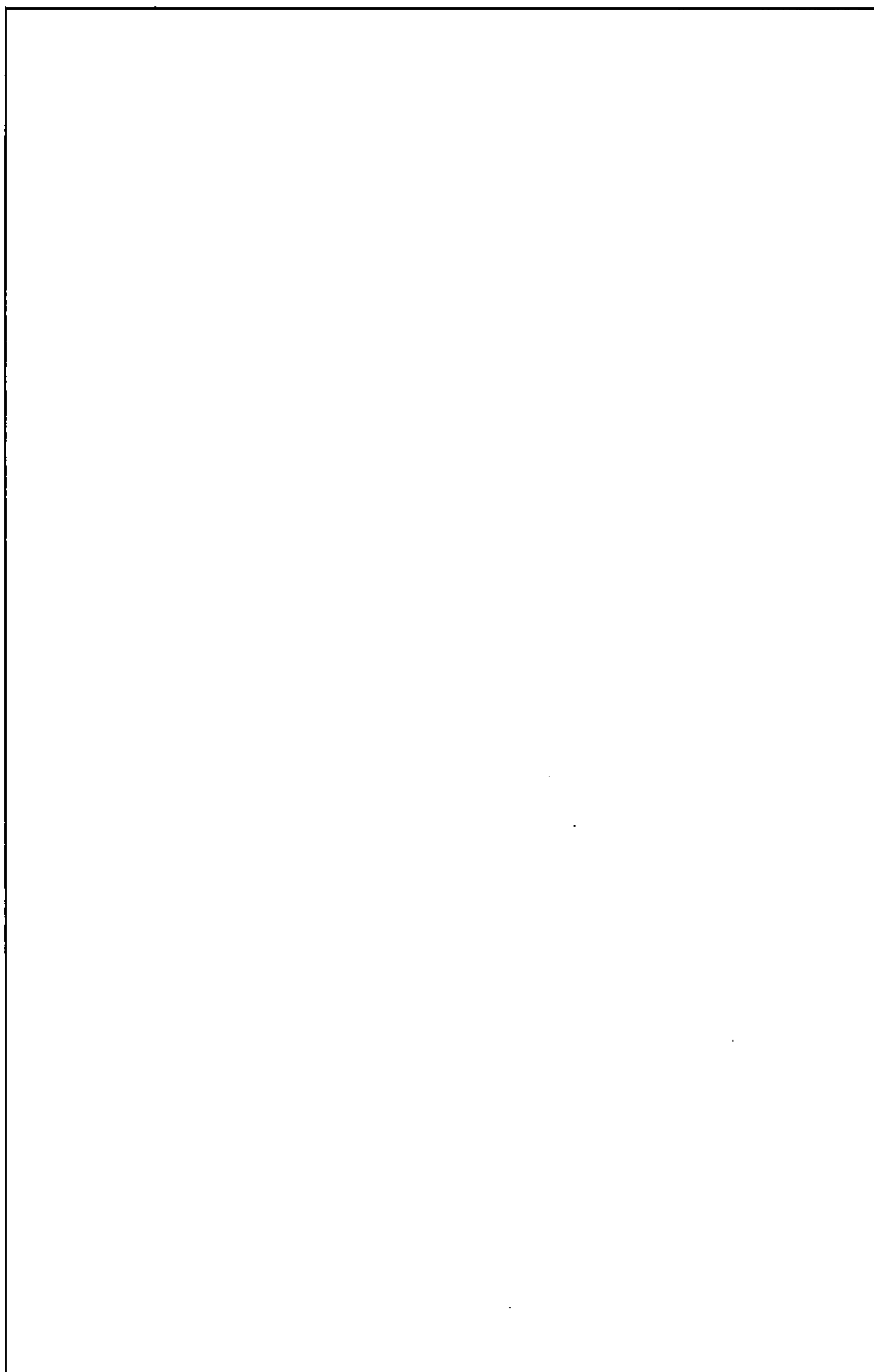


図 1.3 予備耐火試験における平均周囲温度曲線

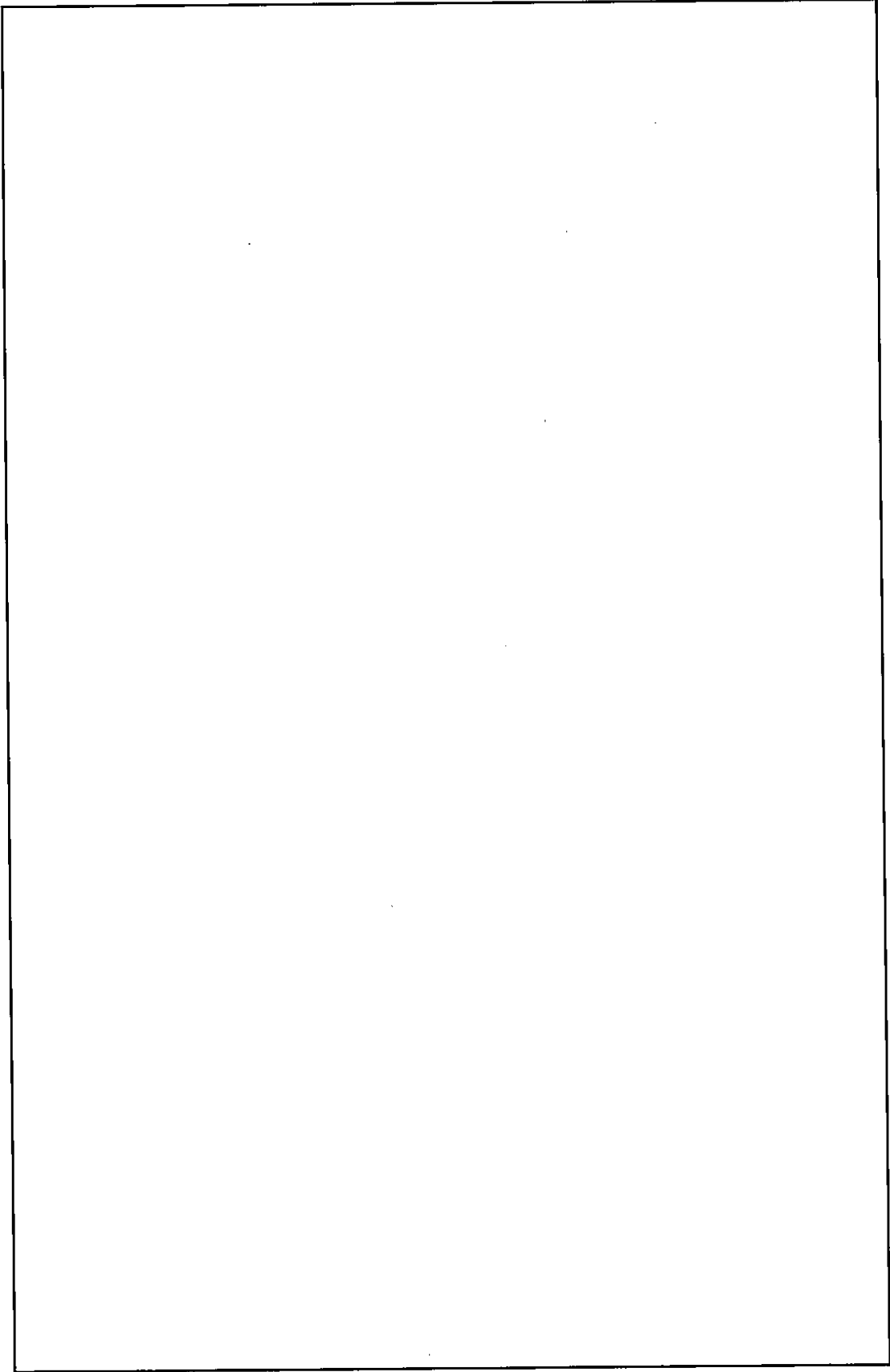


図 1.4 予備耐火試験におけるガスケット (内容器フランジ) の温度曲線



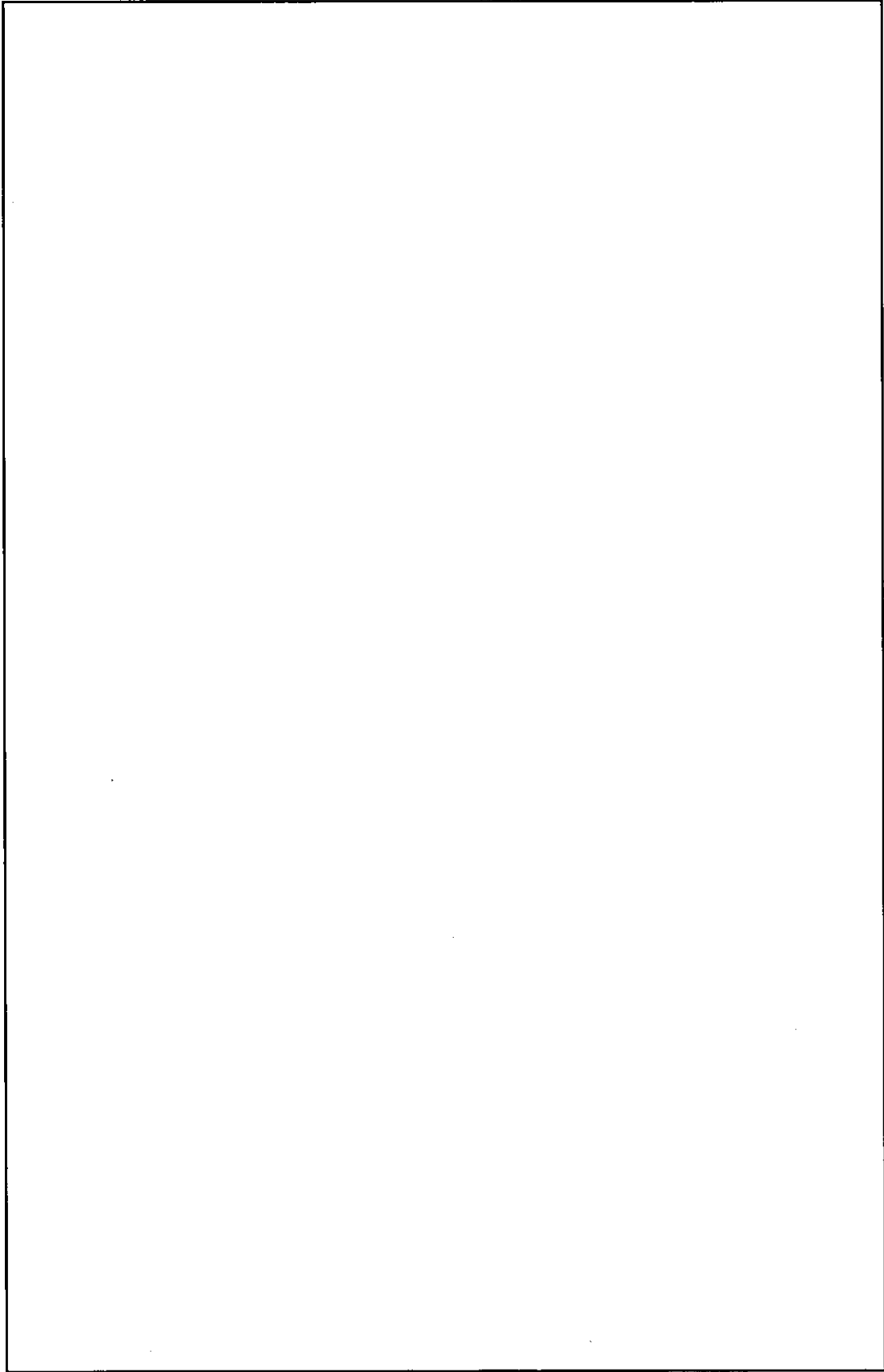


図 1.5 予備耐火試験における BORA レジン (中性子吸収材) 及び内容器の温度曲線

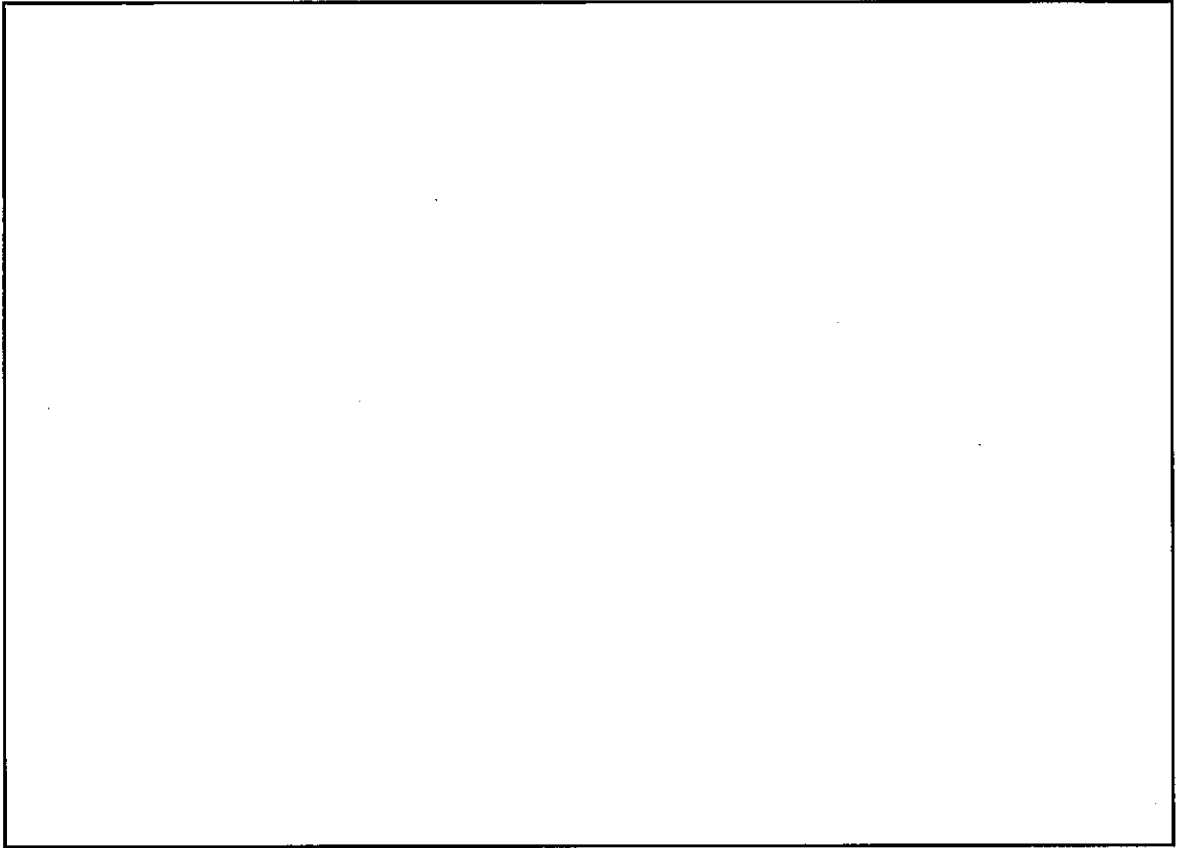


写真 1.1 予備耐火試験前の原型容器 P1 上面

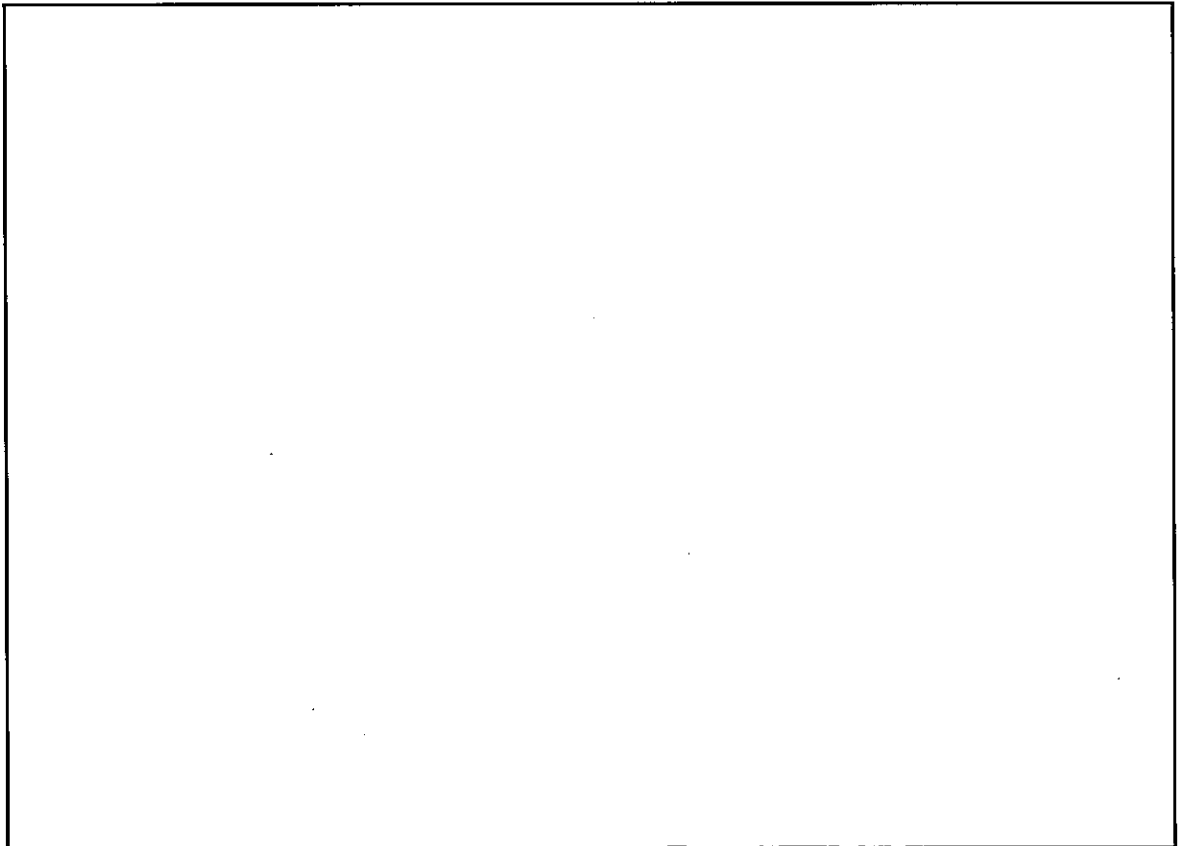


写真 1.2 予備耐火試験前の原型容器 P1 側面

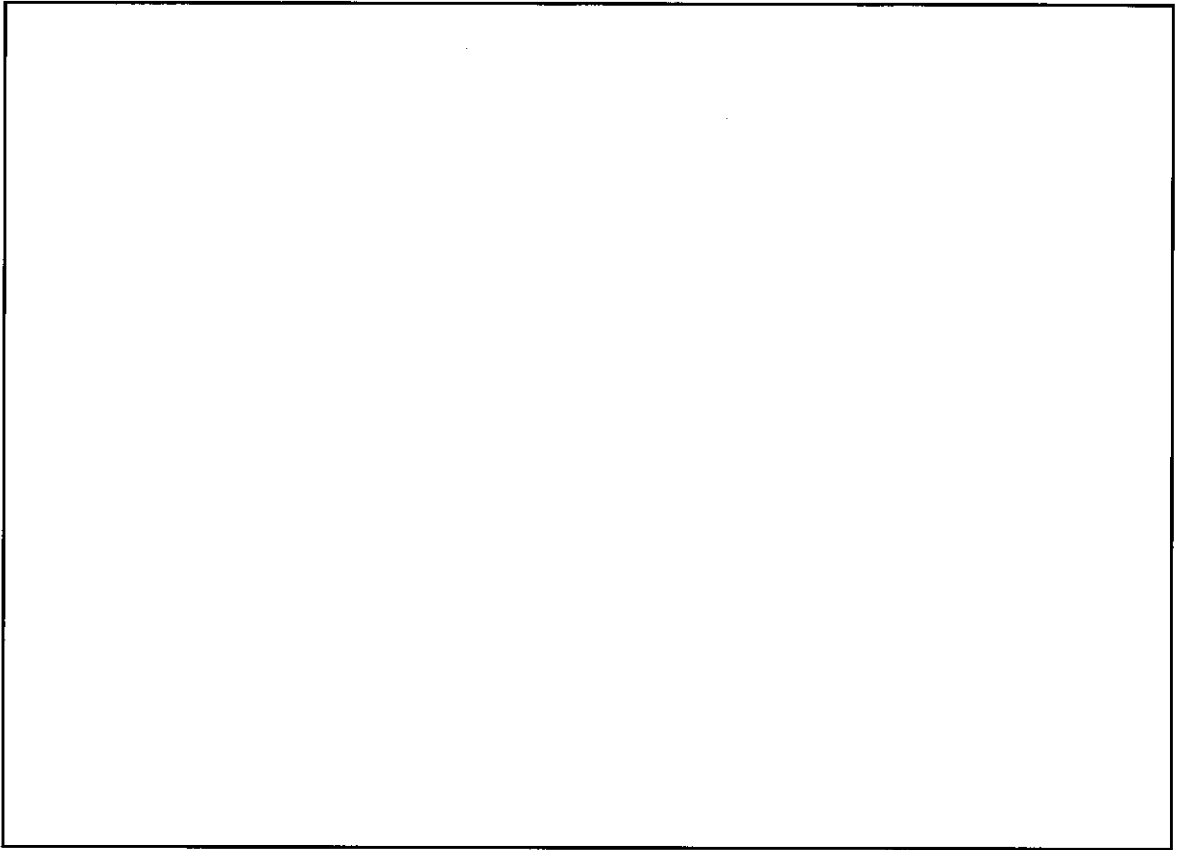


写真 1.3 試験炉挿入時の原型容器 P1 (1/2)

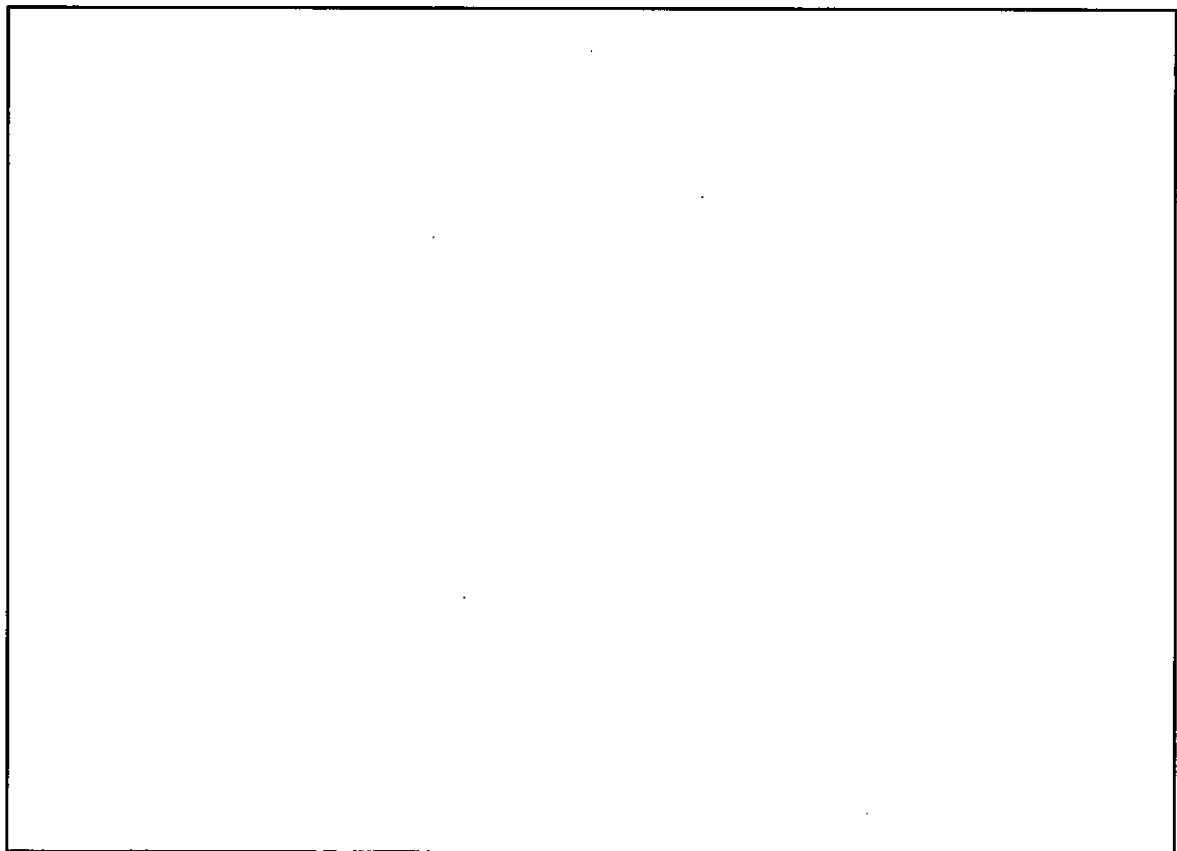


写真 1.4 試験炉挿入時の原型容器 P1 (2/2)

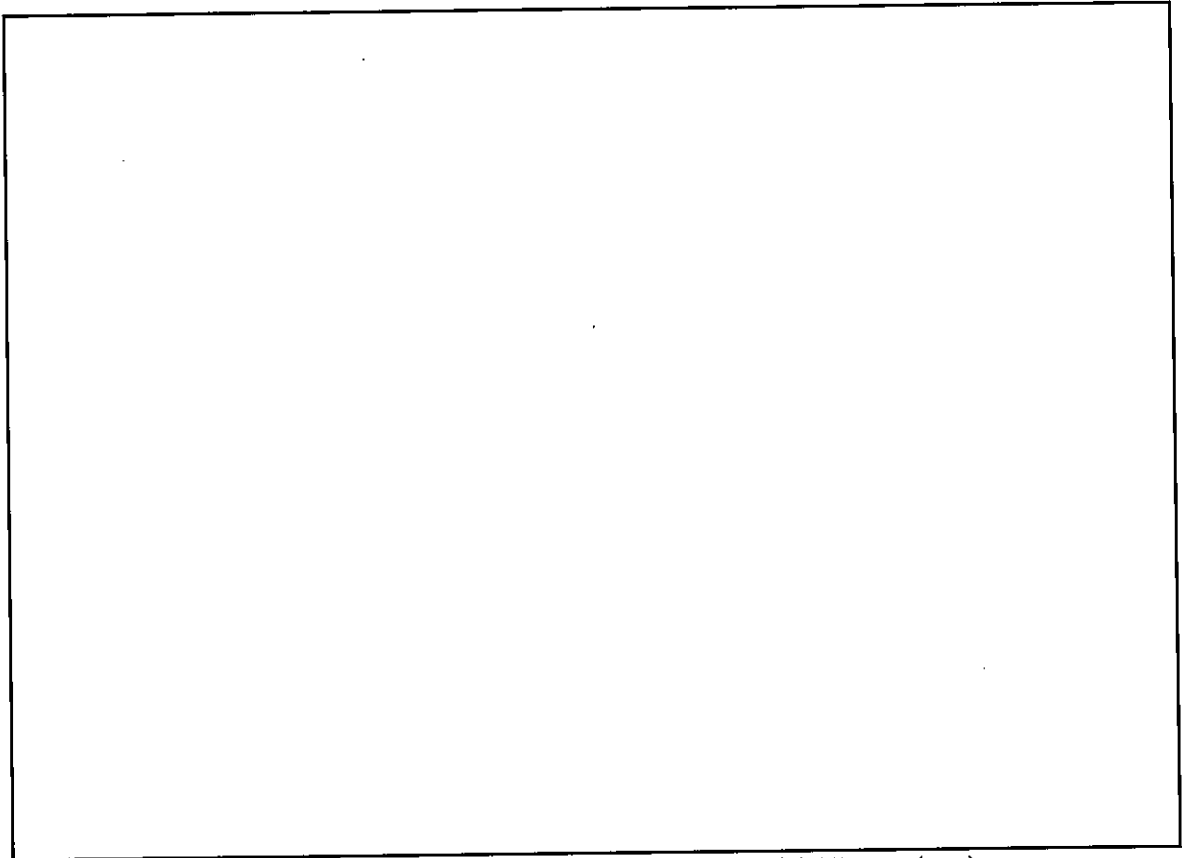


写真 1.5 予備耐火試験終了直後の原型容器 P1 (1/2)

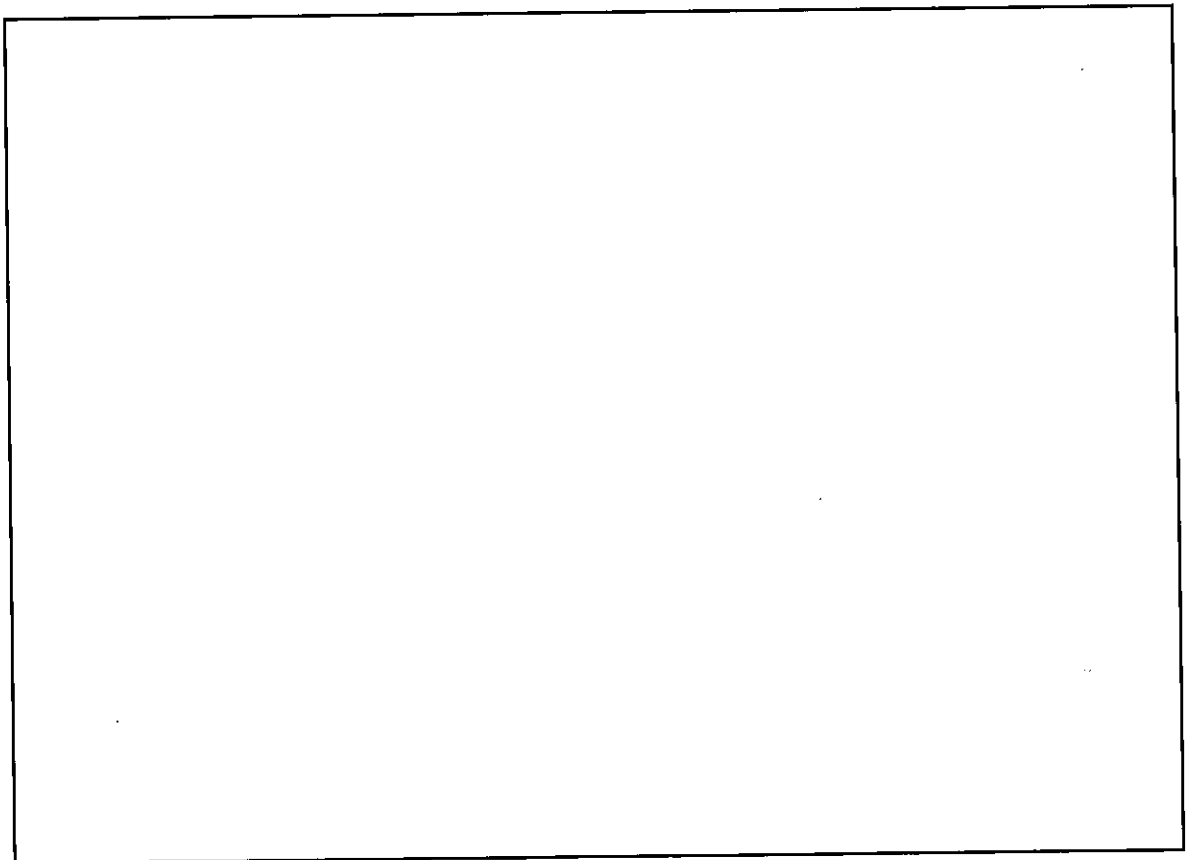


写真 1.6 予備耐火試験終了直後の原型容器 P1 (2/2)

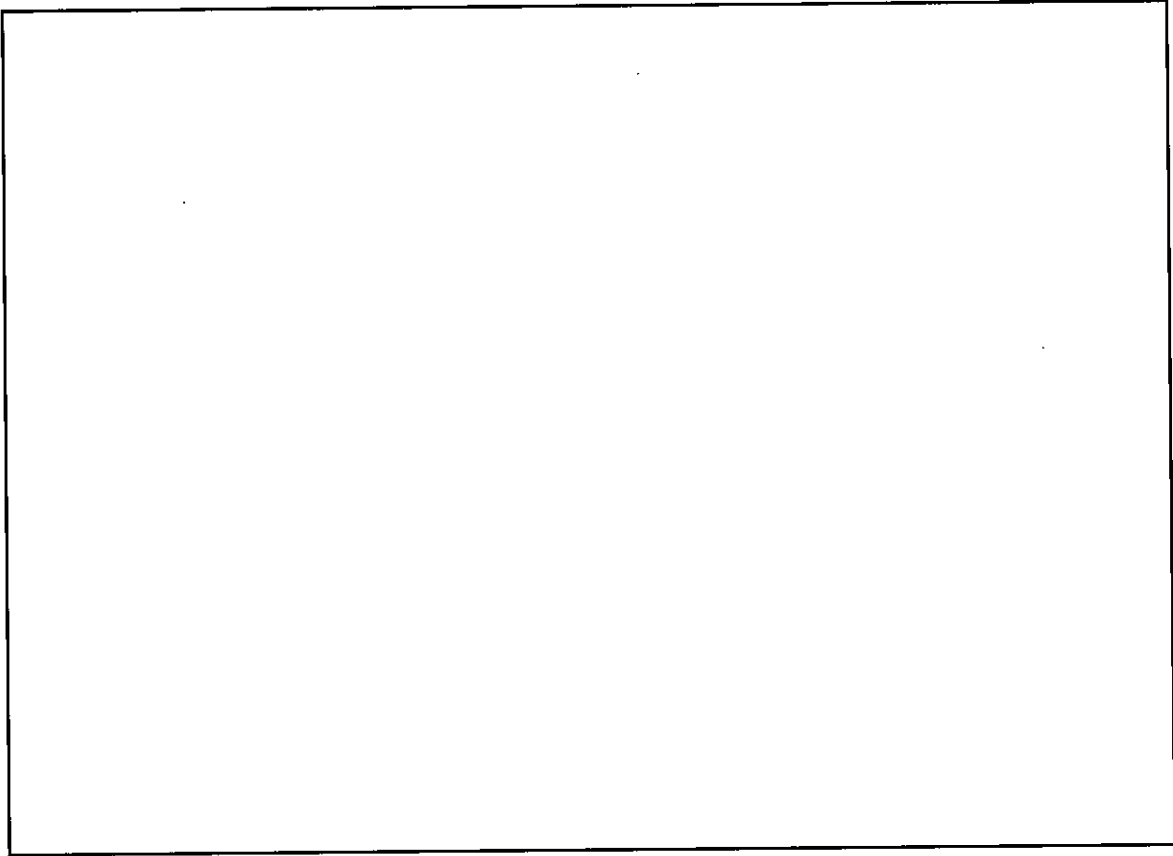


写真 1.7 予備耐火試験終了後の自然冷却状態

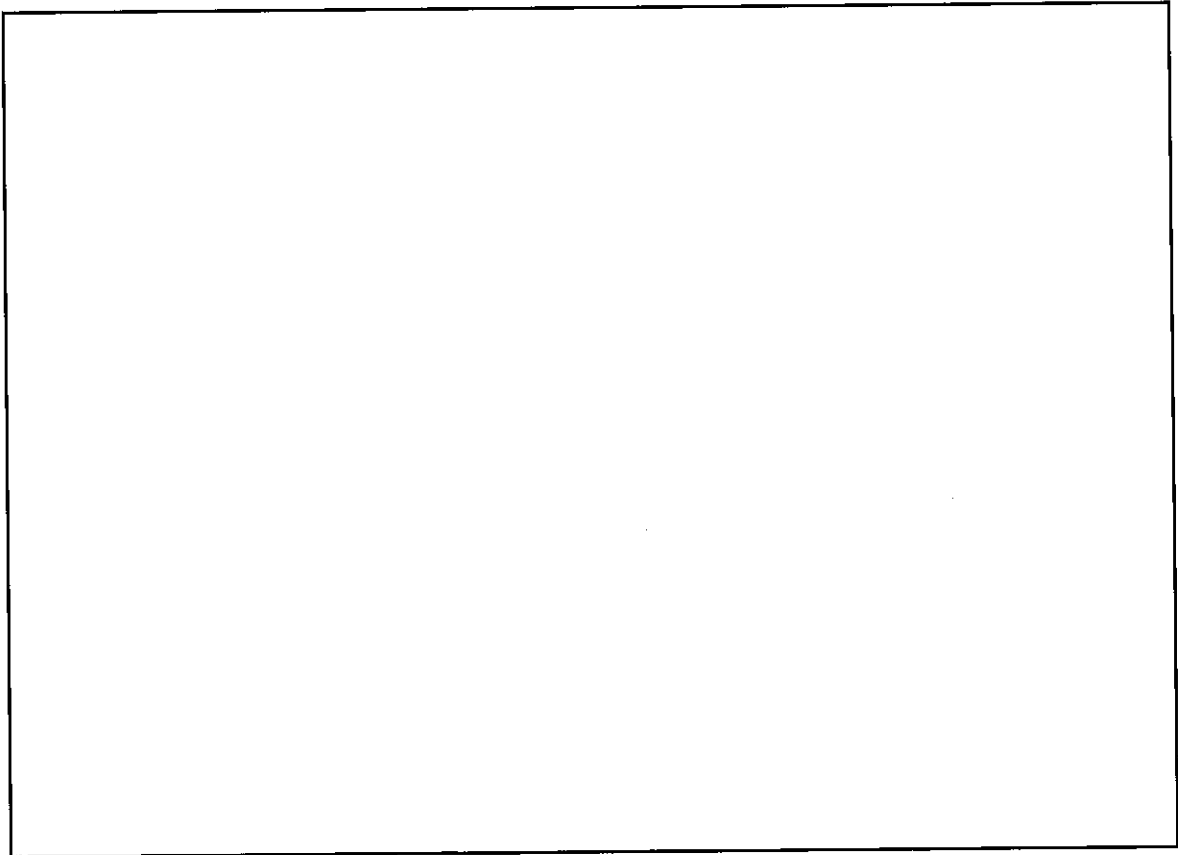


写真 1.8 予備耐火試験後の輸送物底面フェノリックフォーム (外殻切断後)

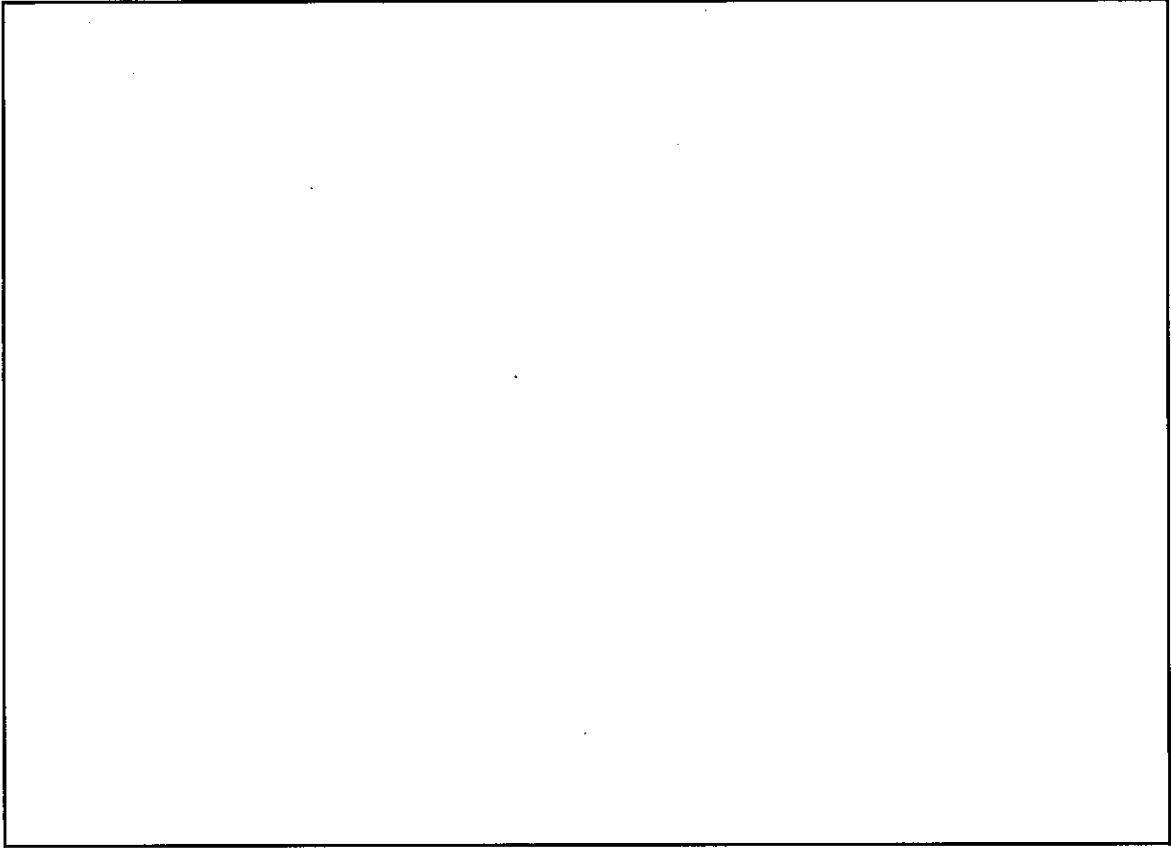


写真 1.9 予備耐火試験後の輸送物底面のフェノリックフォームの焦げた部分

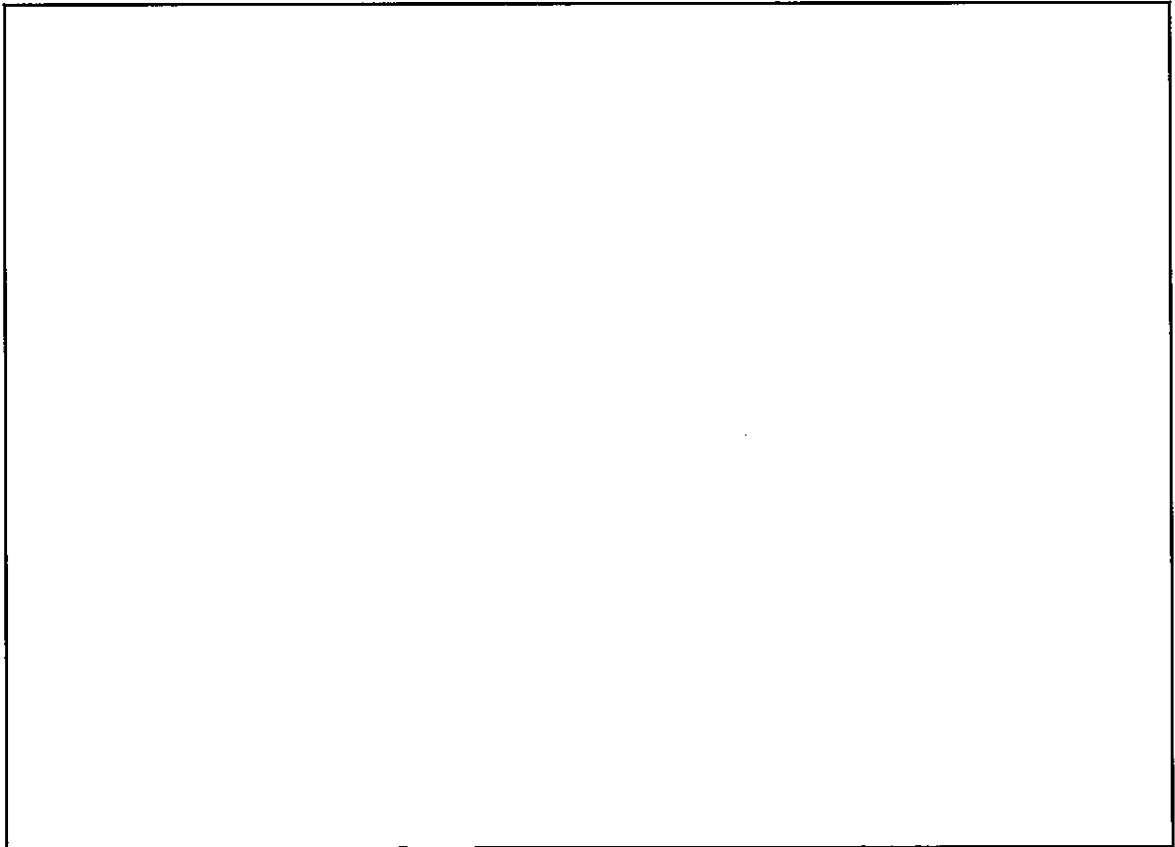


写真 1.10 予備耐火試験後の内容器下部側連結パイプ

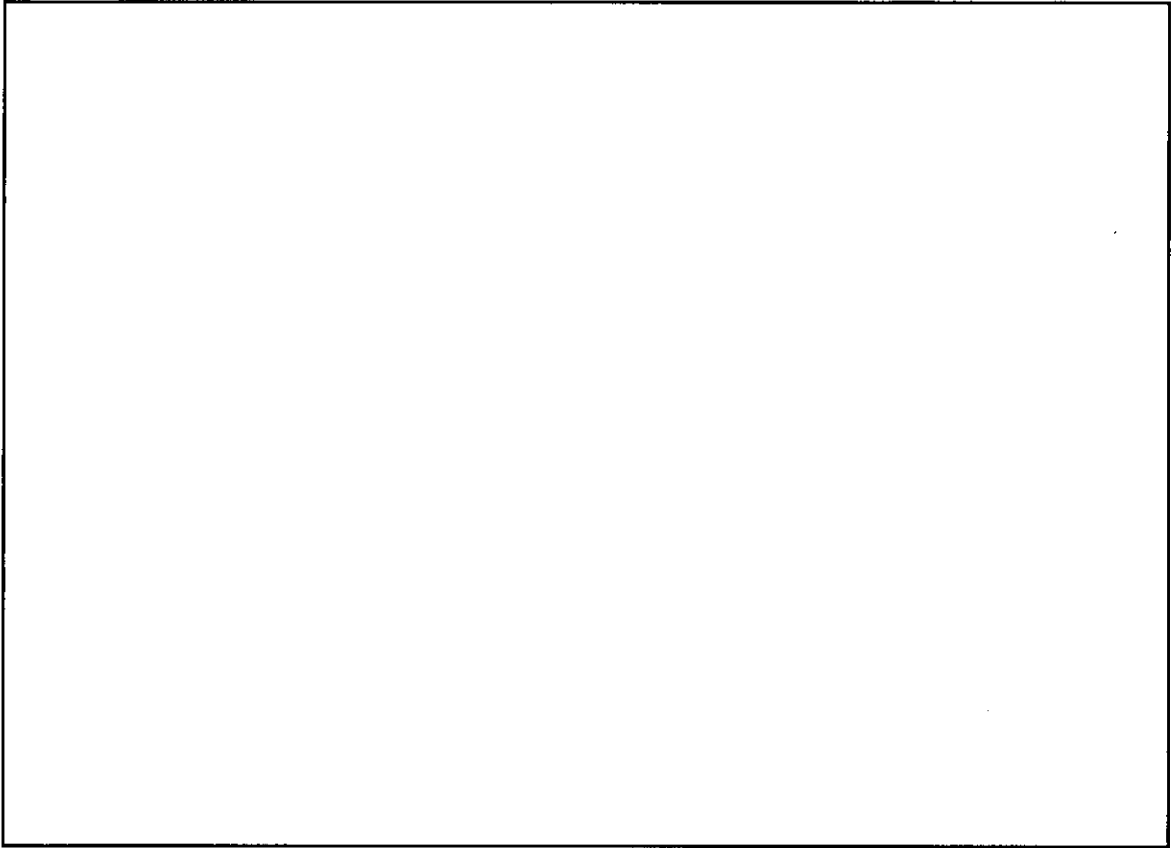


写真 1.11 予備耐火試験後の内容器底面

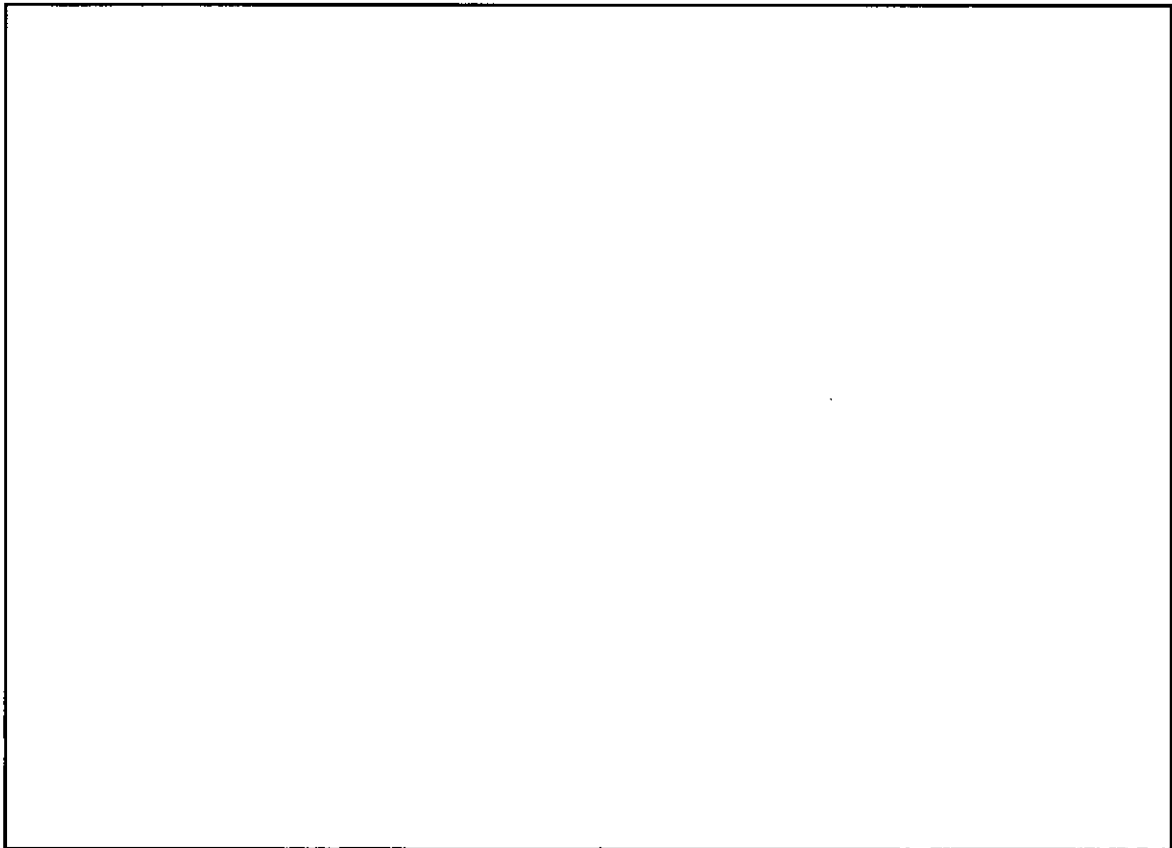


写真 1.12 予備耐火試験後の内蓋上面

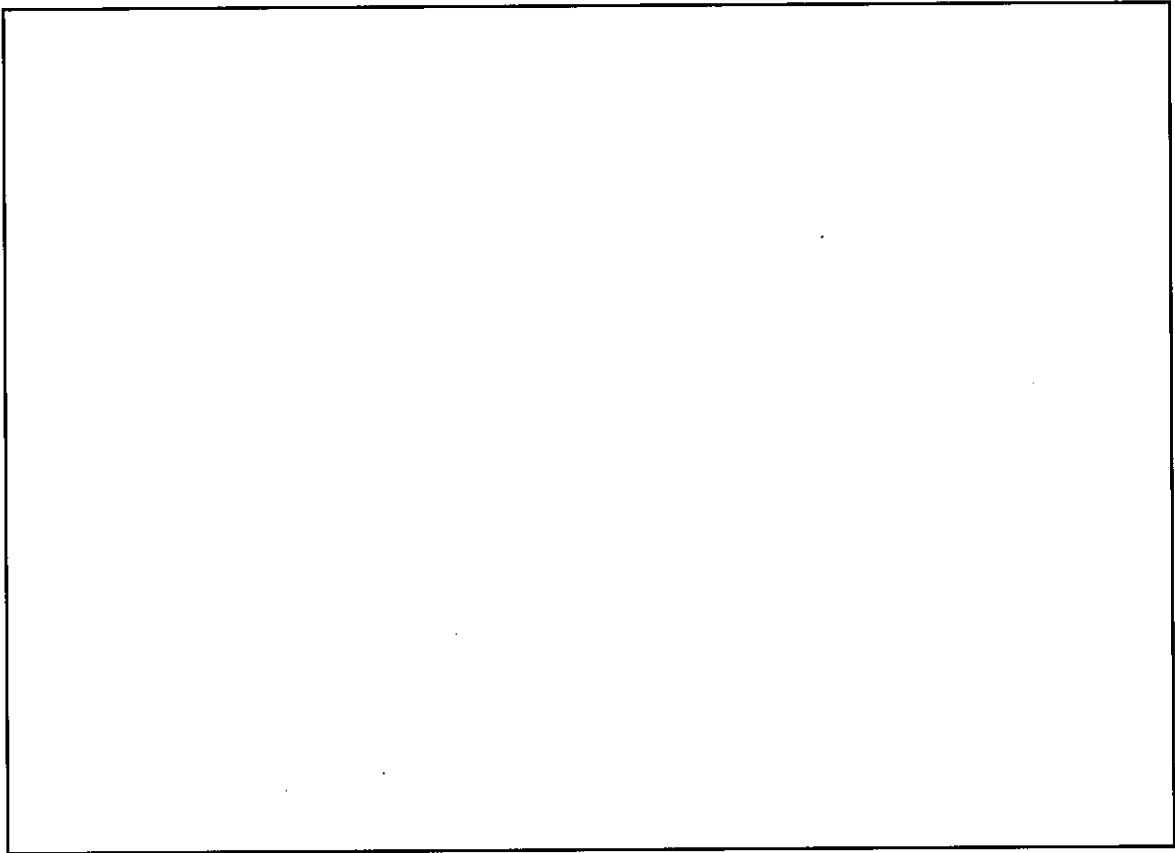


写真 1.13 予備耐火試験後の内蓋裏面



(ロ)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。

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

ここで、 $f, a, b, \theta_q$  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。

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

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

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

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
- $\theta$  = 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  $\alpha$  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、 $\alpha=1/2$  でクランク・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、 $\alpha$  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  $\theta_t$  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  $\Delta t$  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。

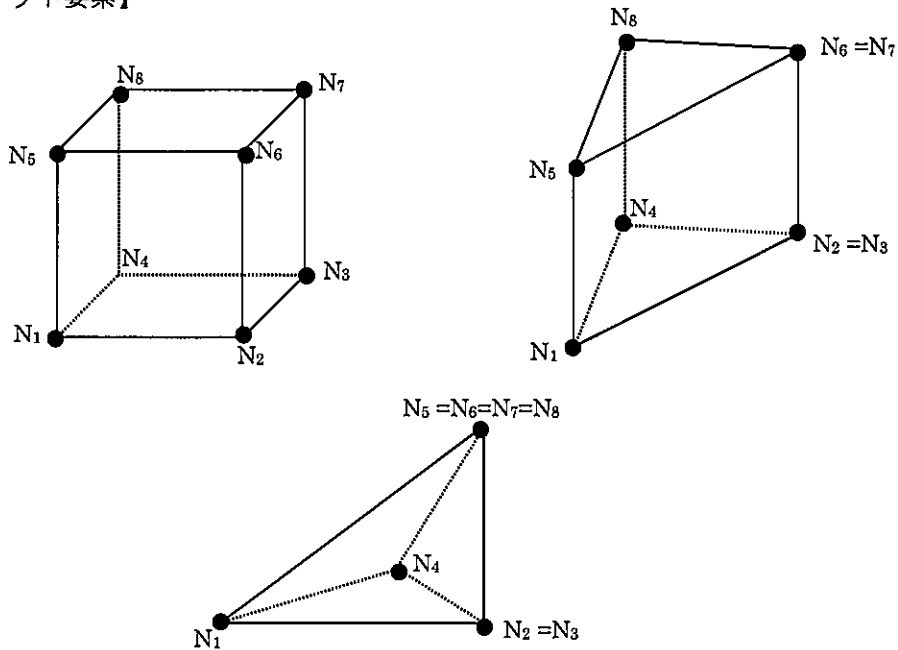
#### 5. 非線形解析法

非線形問題では、 $K^*$  と  $F^*$  は両方とも  $\theta$  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  $\Delta t$  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。

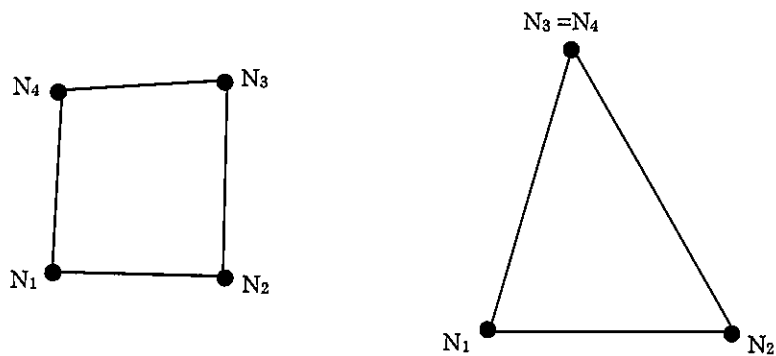
## 6. 要素の種類

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。

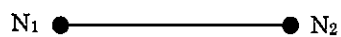
### 【ソリッド要素】



### 【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

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

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、 $\theta_\infty$  は平衡温度である。
3. 放射 :  $q = \sigma\varepsilon(\theta^4 - \theta_\infty^4)$   
 $f = \sigma\varepsilon, a = 4, b = 1, \theta_q = \theta_\infty$  にセットする。  
このとき、 $\sigma$  はステファンボルツマン定数。  
 $\varepsilon$  は表面放射率、 $\theta_\infty$  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。

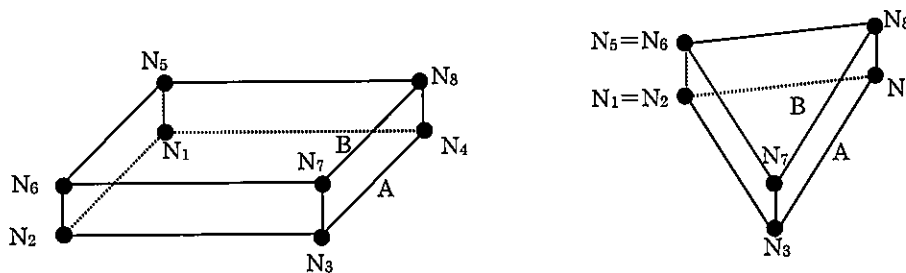
### 11. 内部面境界条件

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。

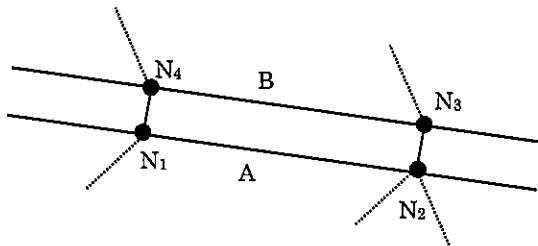
$$q = f(\theta, t)(\theta_A^n - \theta_B^n)^b$$

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、 $\theta_A, \theta_B$  はそれぞれ表面の平均温度である。

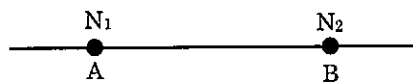
#### 【フェース型境界の場合】



#### 【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】 $N_3=N_4=N_5=N_6=N_7=N_8=0$



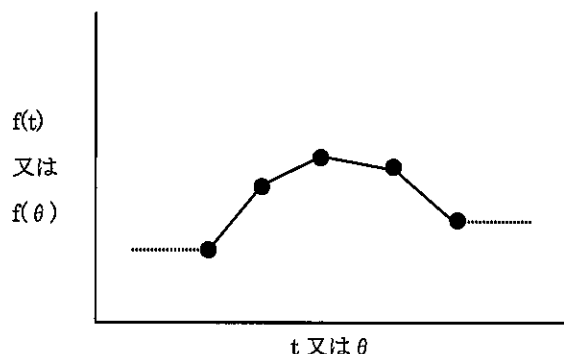
この形の内部境界条件は、表面間の接触抵抗を指定したり、ギャップ要素のあるタイプを表現したりするのに都合がよい。

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。

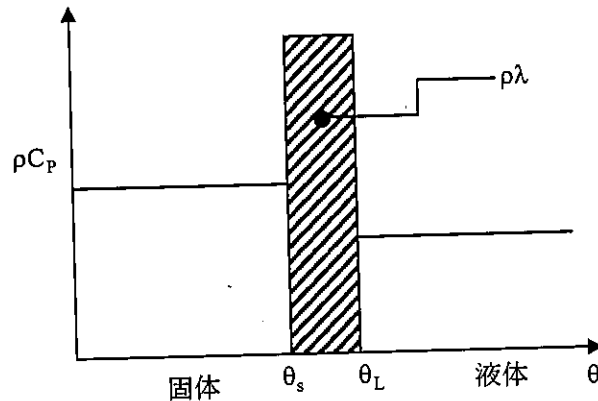
## 13. ユーザーサブプログラム

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、 $\rho$  が密度、 $\lambda$  が物質の潜熱である時、 $\rho\lambda$  と等しくなる。 $\theta_L$  が液化温度、 $\theta_s$  が固化温度とすると、長方形の巾は  $\theta_L - \theta_s$  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。

$\theta_s$  と  $\theta_L$  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  $\theta_M$  で起こる純性メタルのような物質には  $\theta_s$  と  $\theta_L$  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  $\rho$  と比熱  $C_p$  は別々に定義される。従って  $\rho C_p$  対温度のカーブの縦座標を得るために、比熱カーブは  $\rho$  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  $\Delta t$  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  $\rho C_p$  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	$\theta$	$^{\circ}\text{C}$
空間座標	$X_i$	m
時間	t	s
密度	$\rho$	$\text{kg}/\text{m}^3$
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	$\text{W}/\text{m}^3$
単位面積当たりの熱流束	q	$\text{W}/\text{m}^2$

(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  $\Delta t$  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/cm<sup>3</sup>）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			

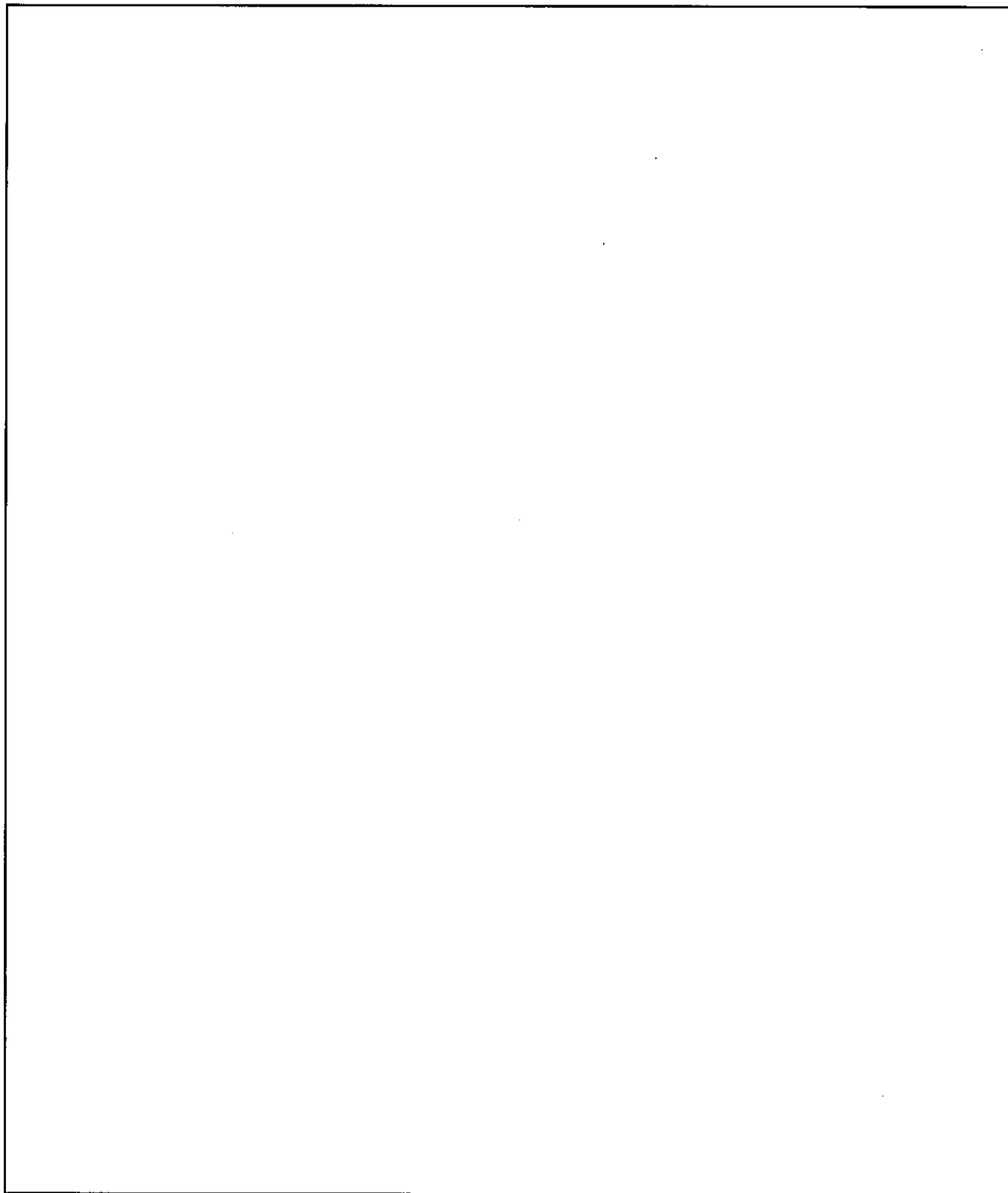


図 3.1 原型容器 P3 及び P4 における熱電対位置

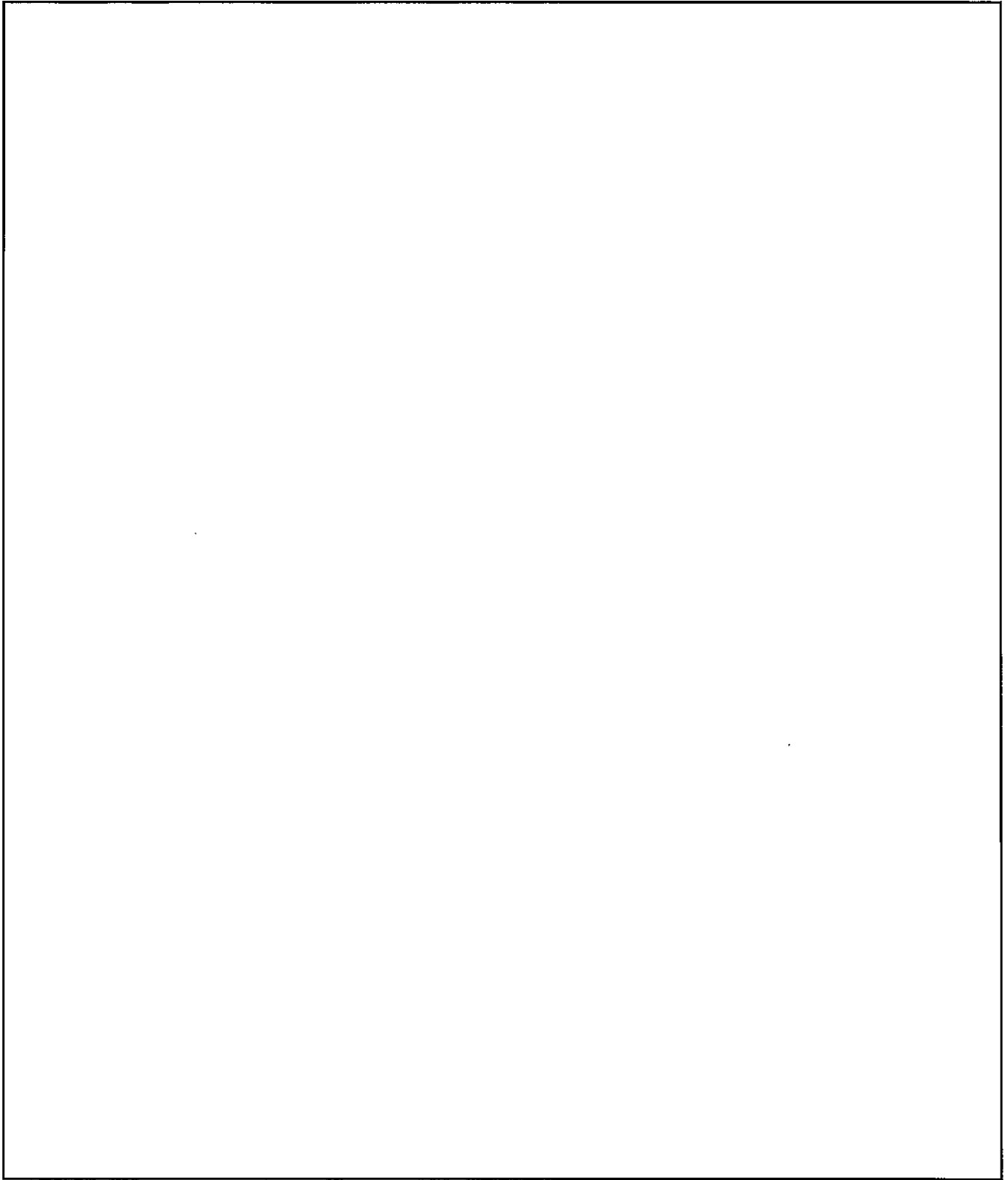


図 3.2 原型容器 P3 及び P4 におけるフランジ及び BORA レジンの熱電対位置

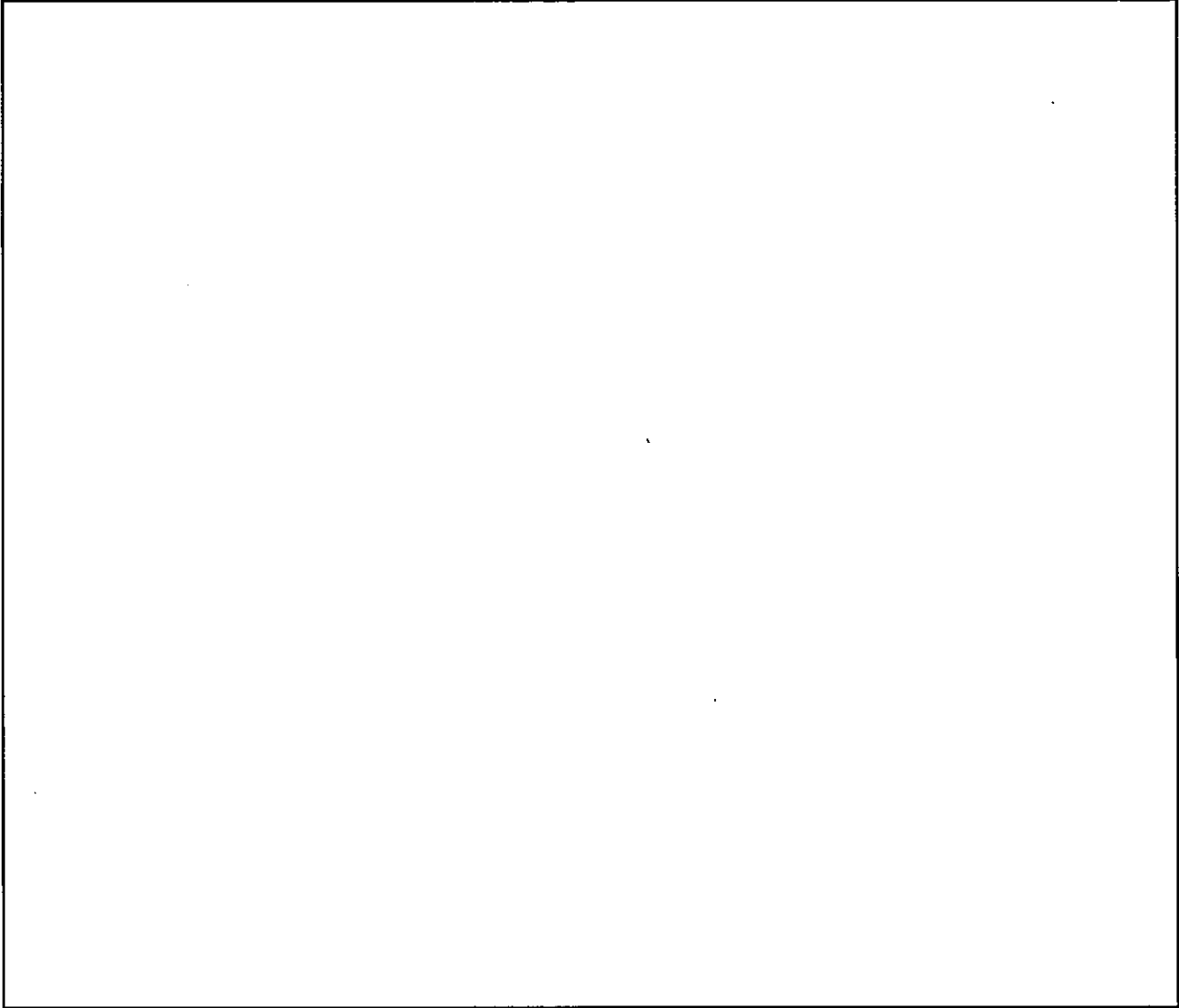


図 3.3 周囲温度測定用熱電対の位置

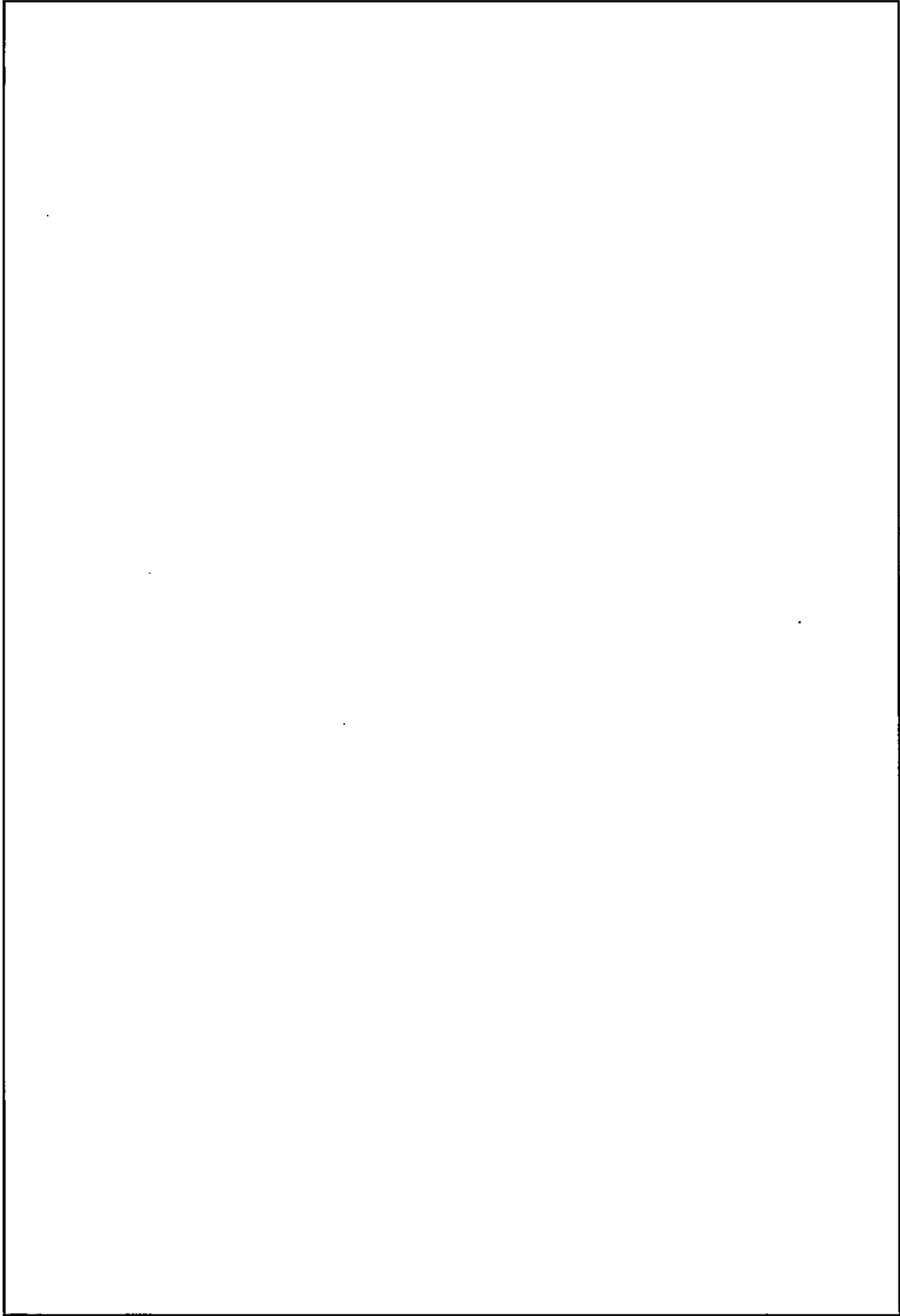


図 3.4 耐火試験における輸送物の温度曲線

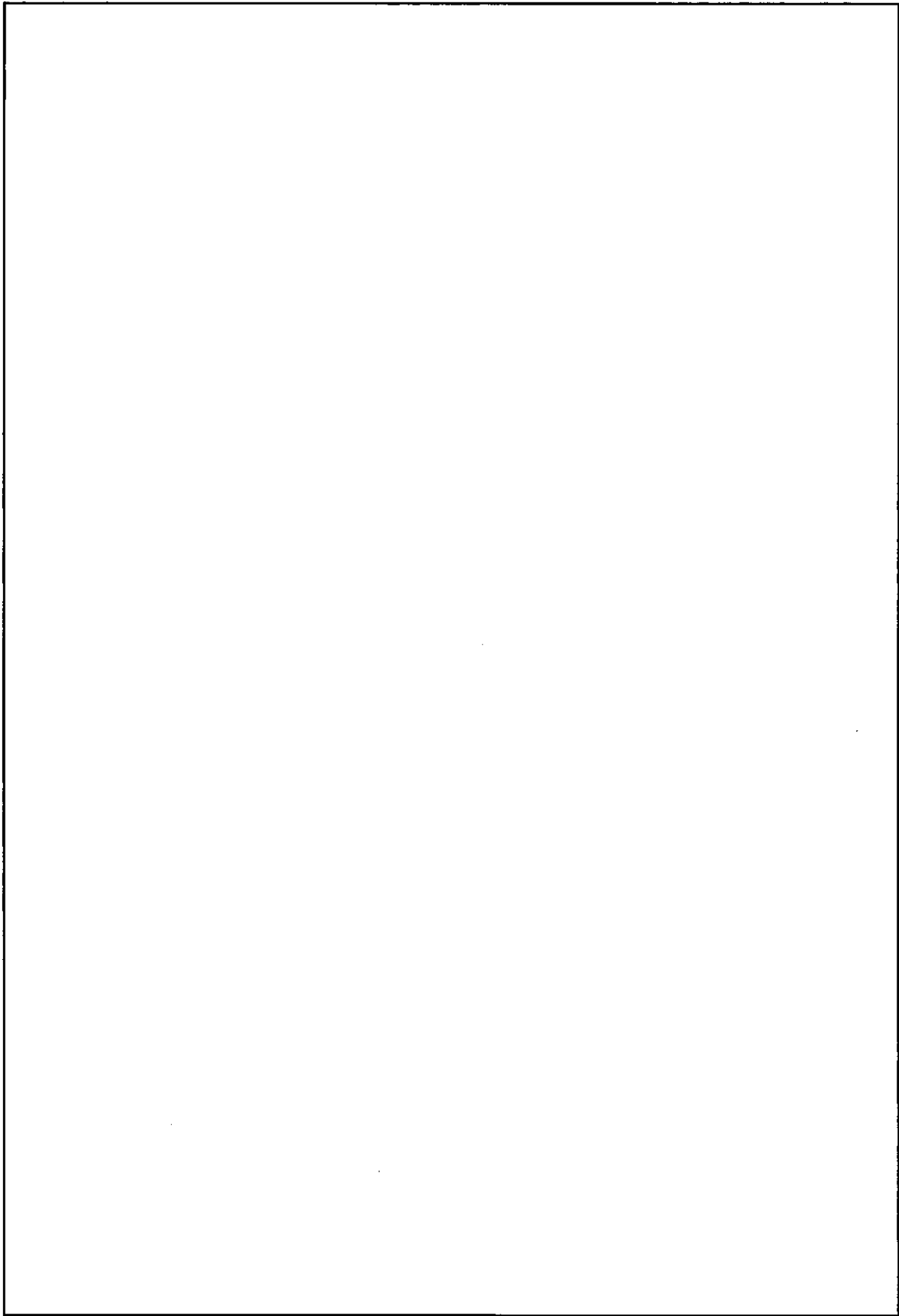


図 3.5 耐火試験における平均周囲温度曲線

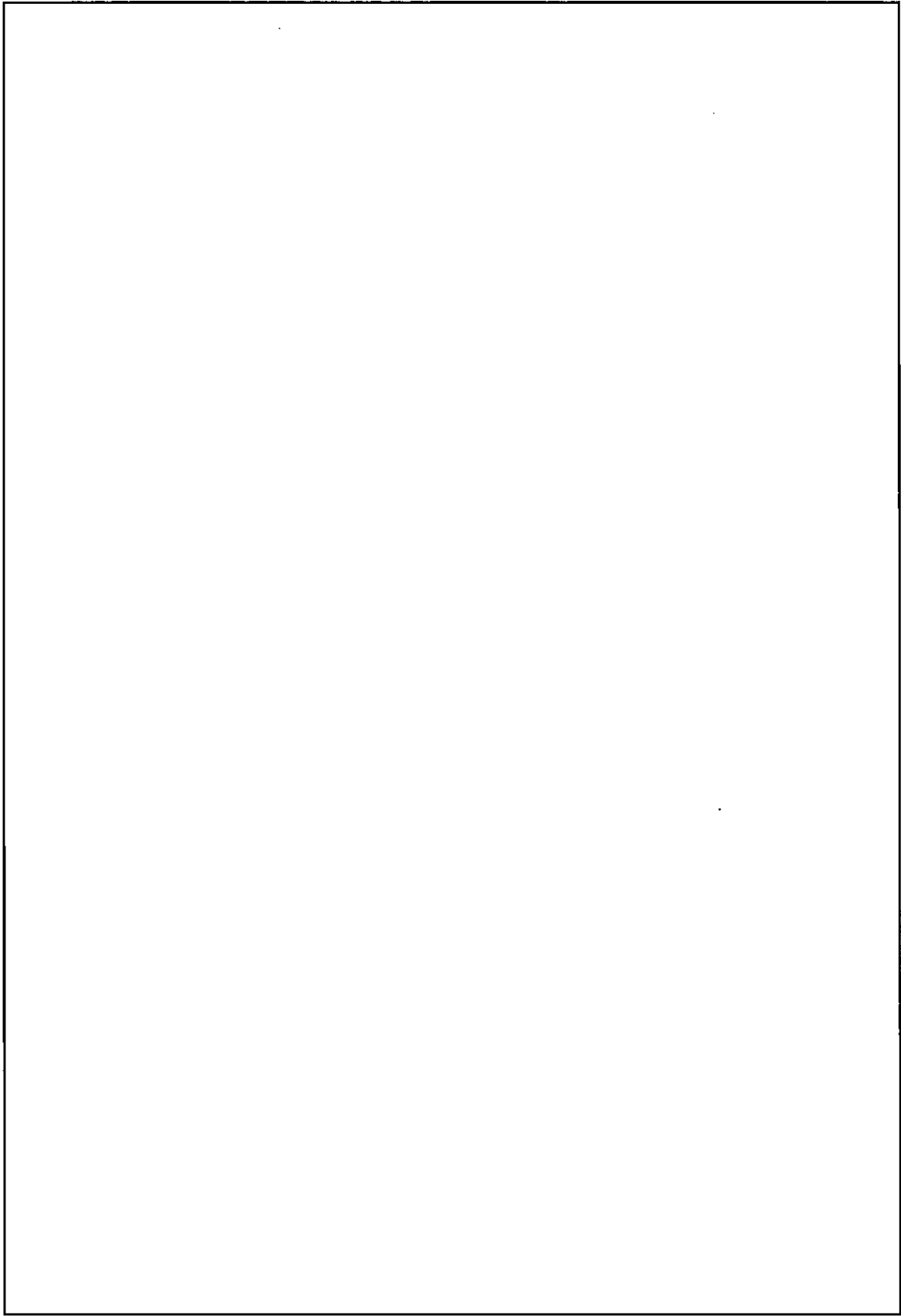


図 3.6 耐火試験におけるガスケット (内容器フランジ) の温度曲線



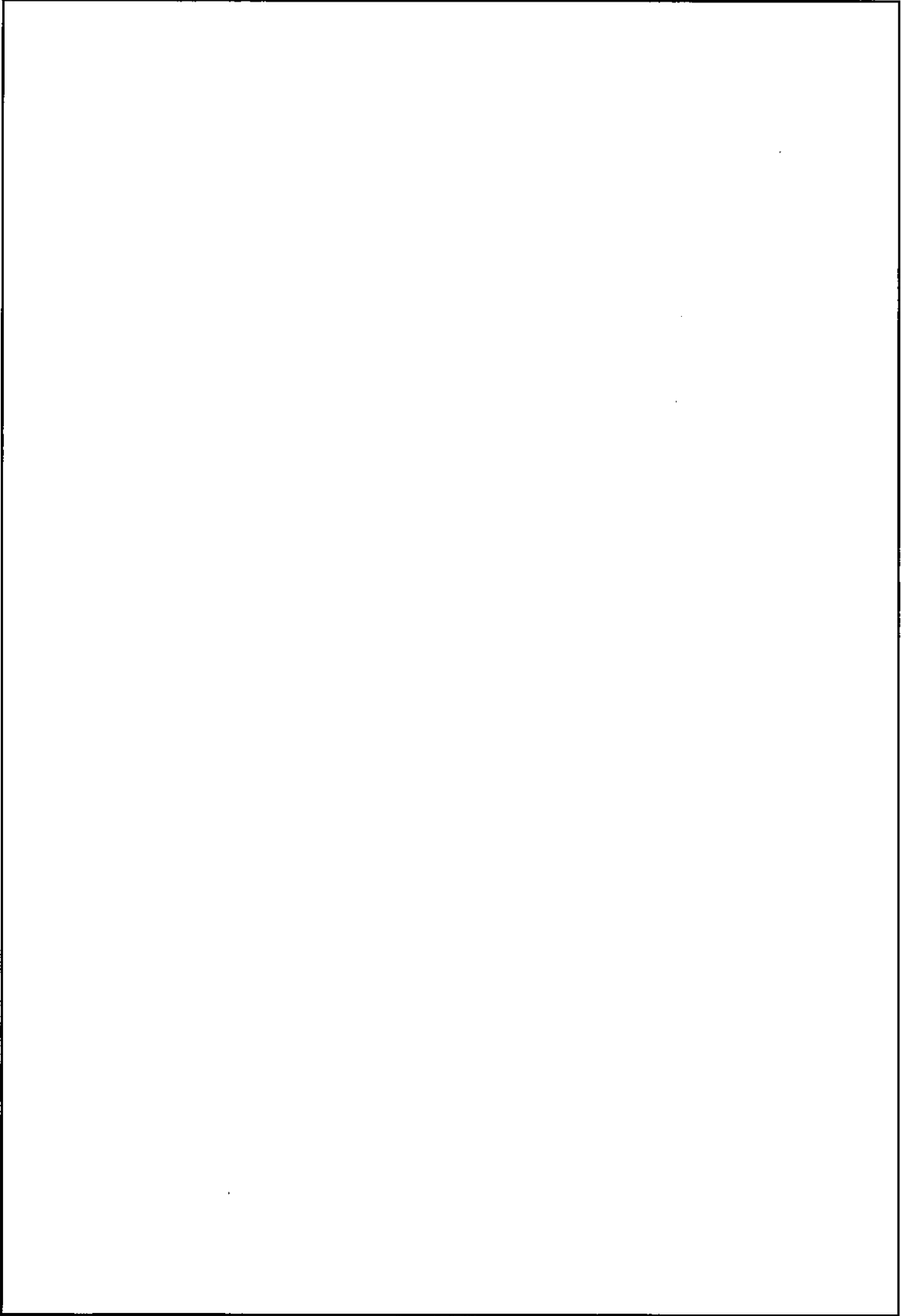


図 3.7 耐火試験における BORA レジン (中性子吸収材) の温度曲線

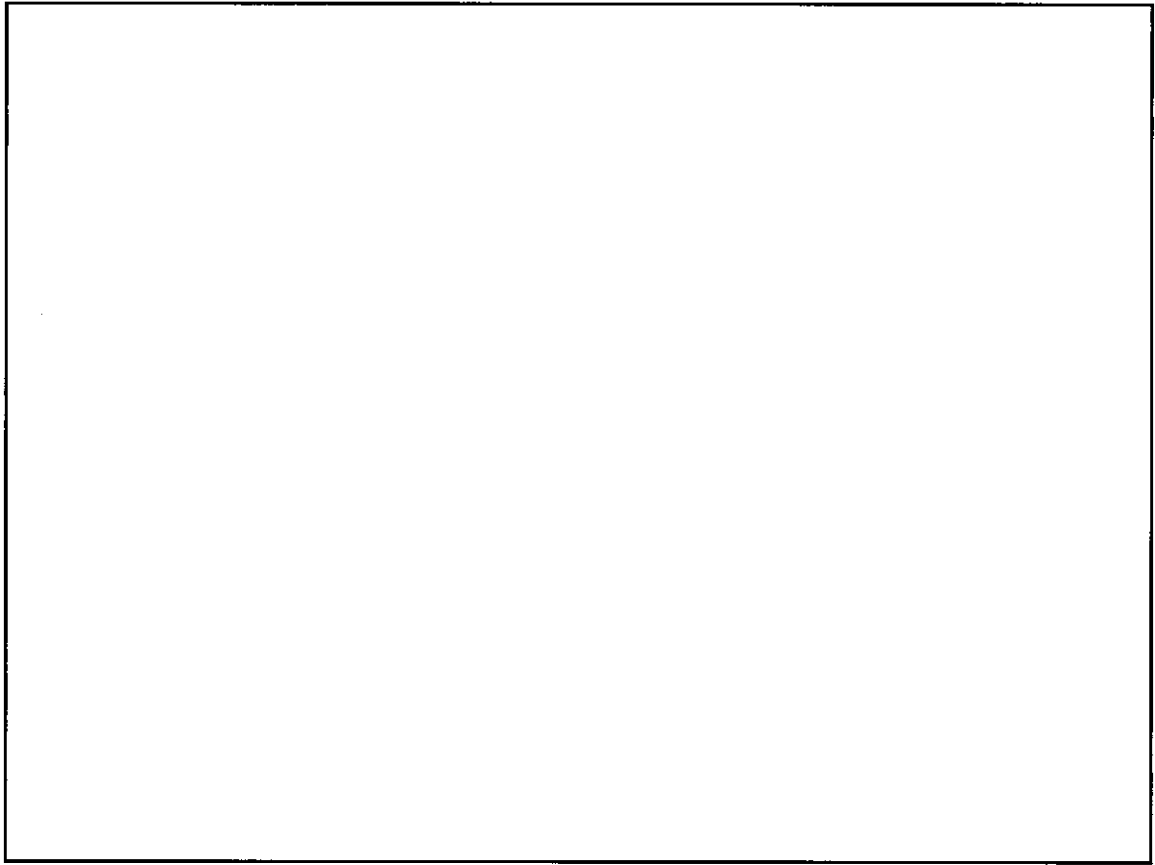


写真 3.1 耐火試験前の原型容器 P3

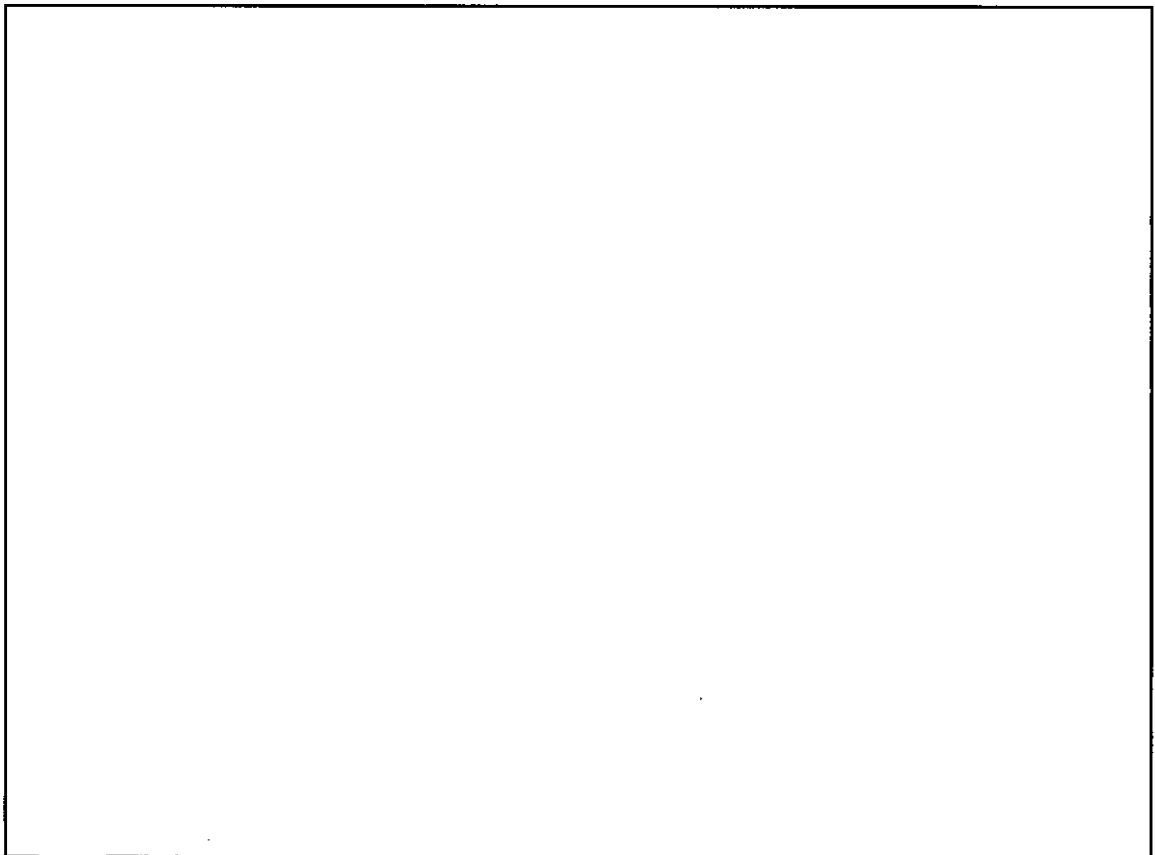


写真 3.2 耐火試験前の原型容器 P4 上面

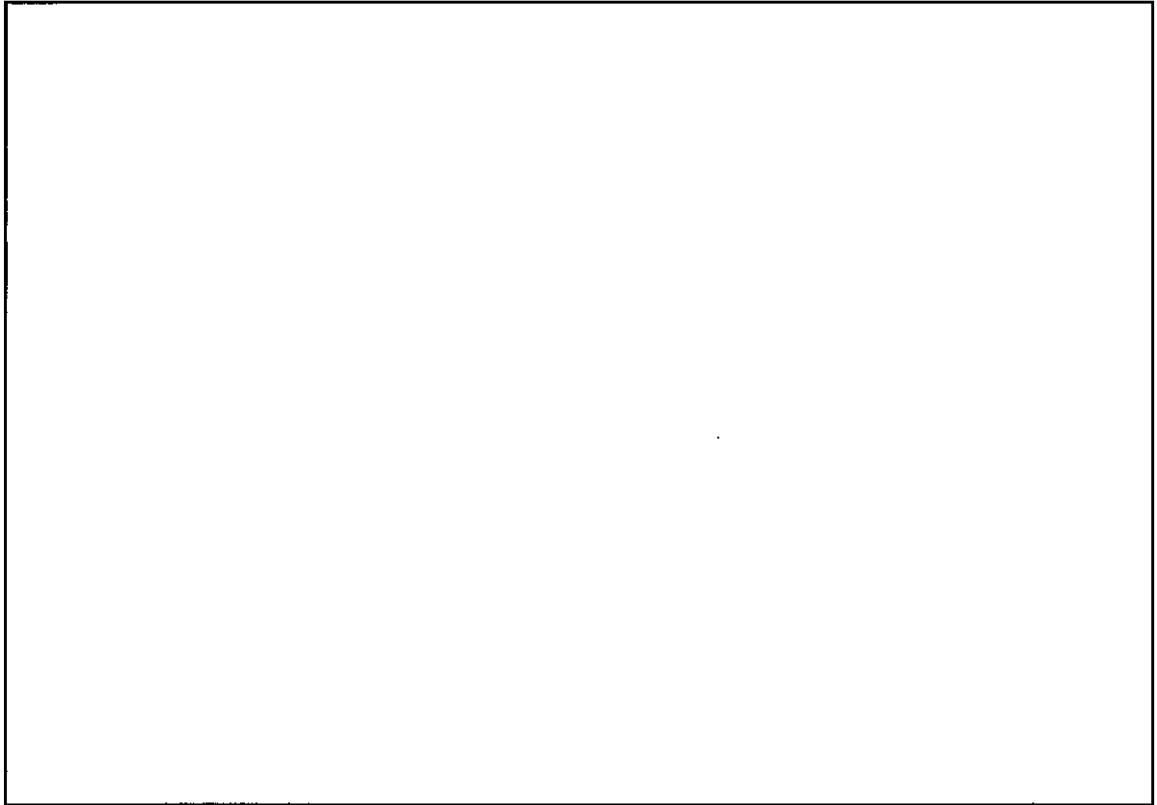


写真 3.3 試験炉挿入時の原型容器 (1/2)

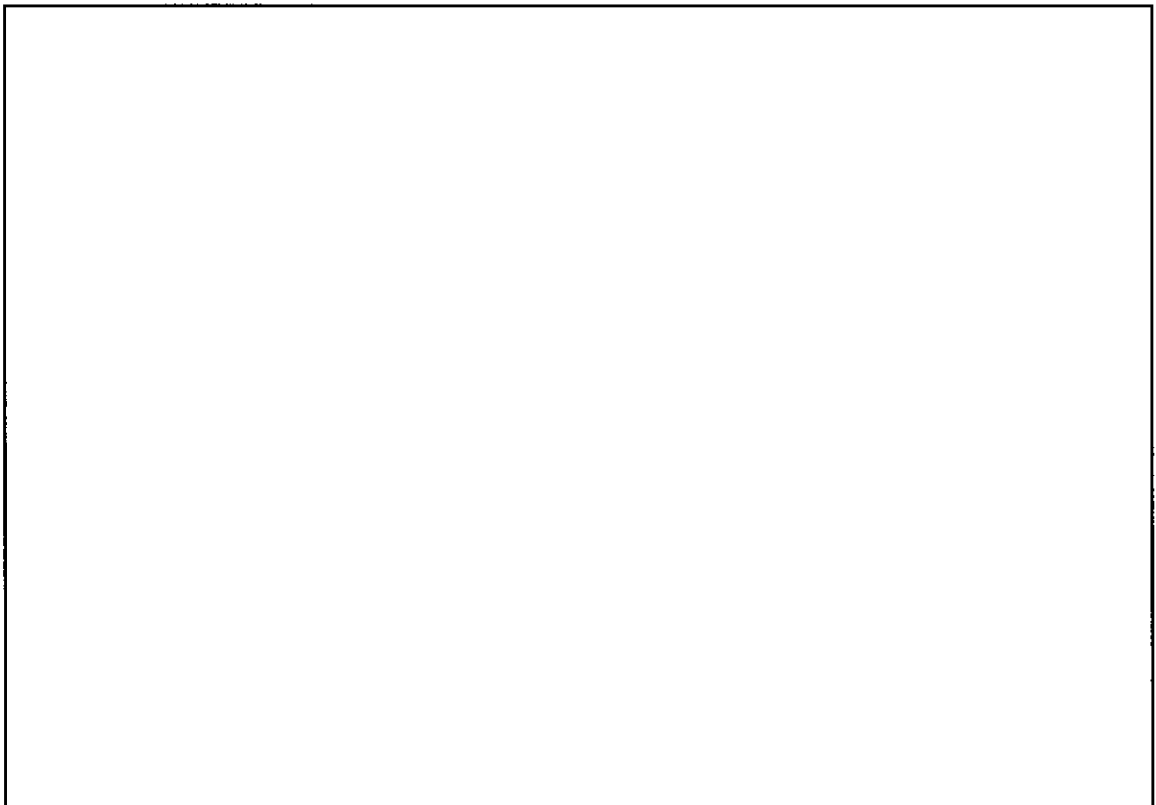


写真 3.4 試験炉挿入時の原型容器 (2/2)

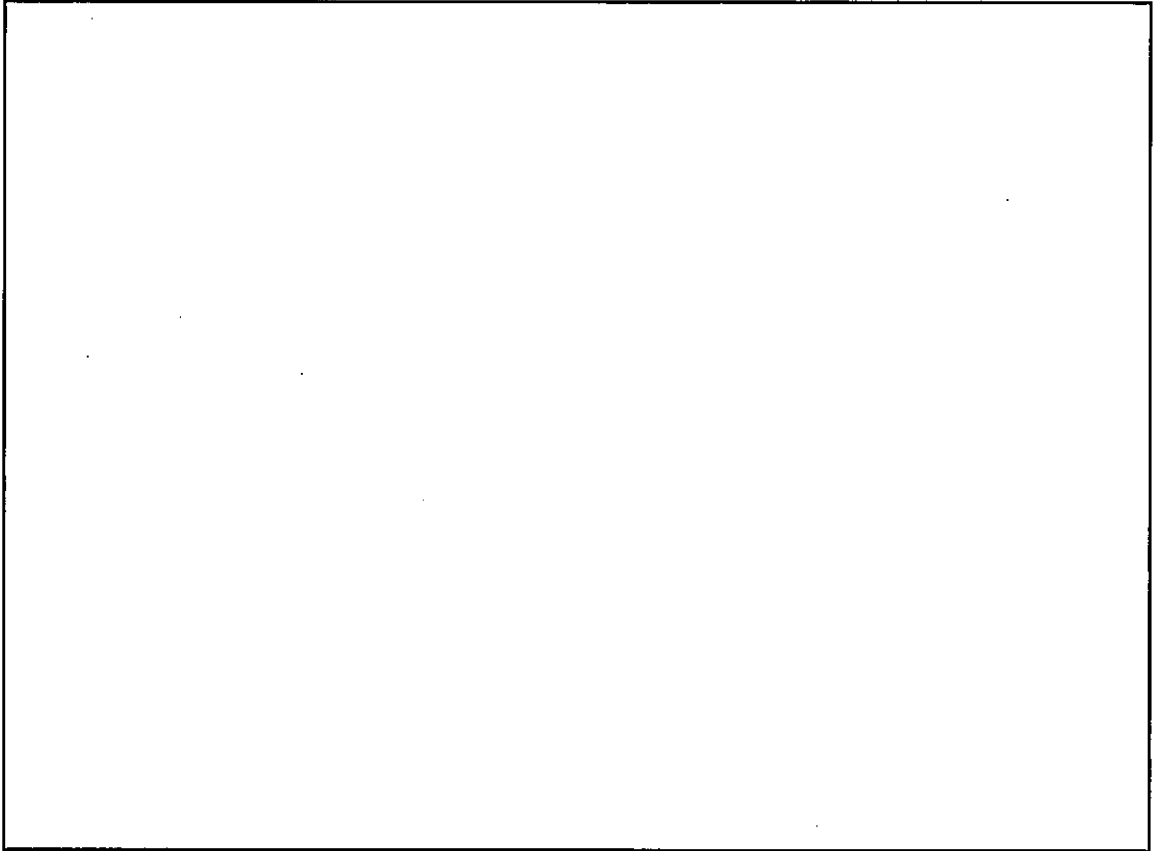


写真 3.5 耐火試験終了直後の原型容器

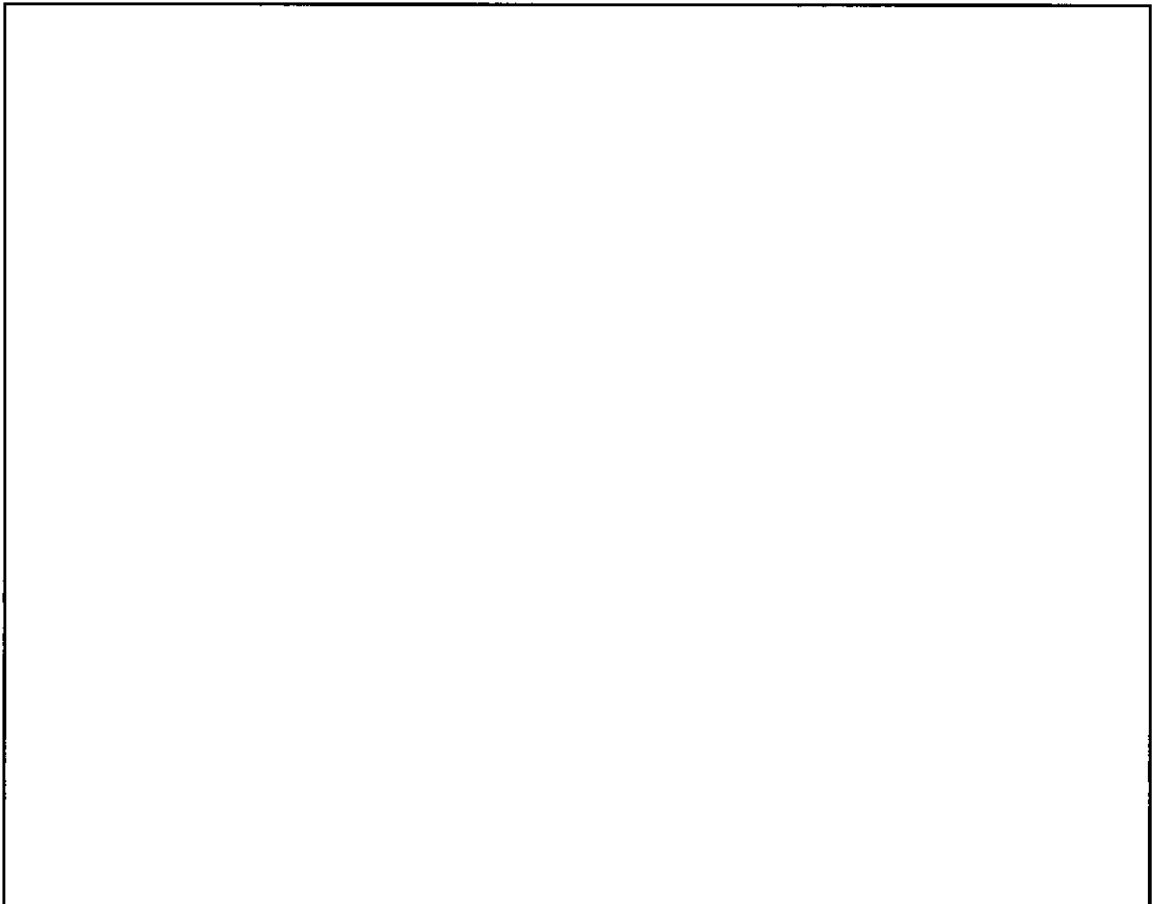


写真 3.6 耐火試験終了後の自然冷却状態：原型容器 P3

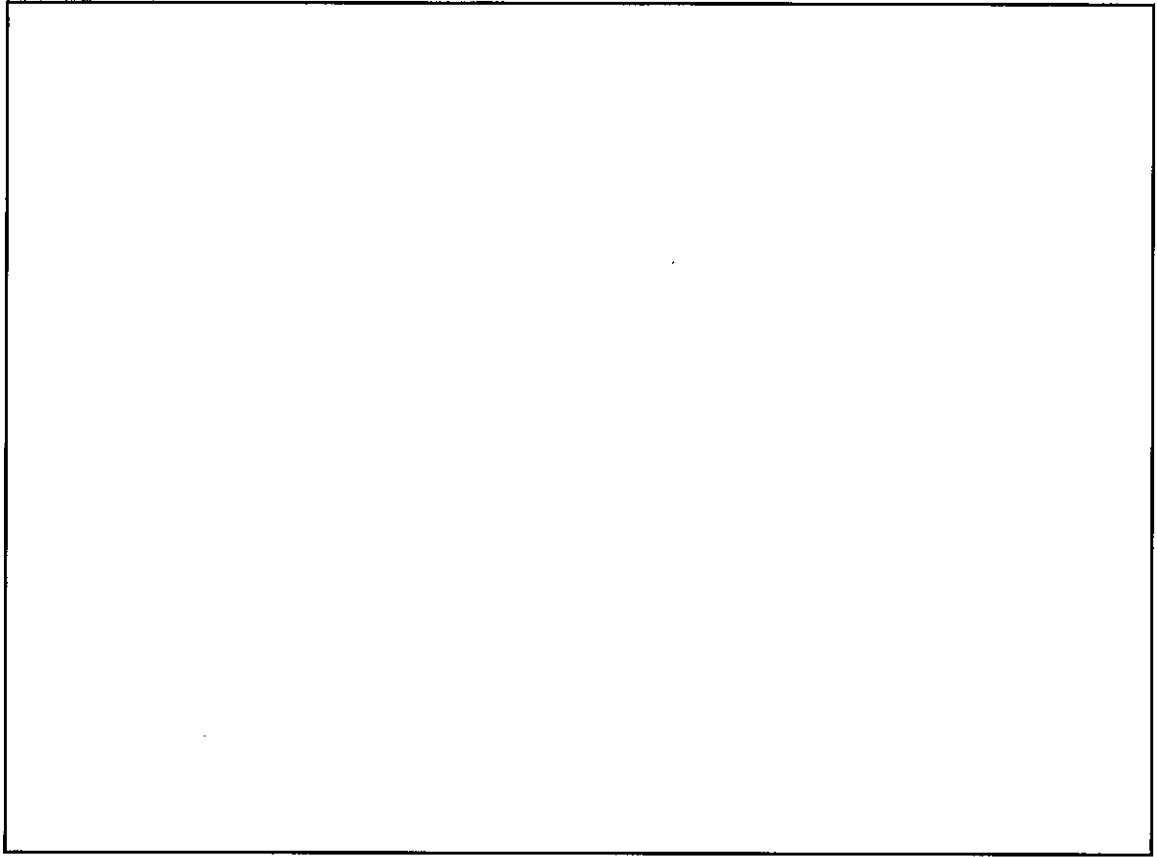


写真 3.7 耐火試験終了後の自然冷却状態：原型容器 P4

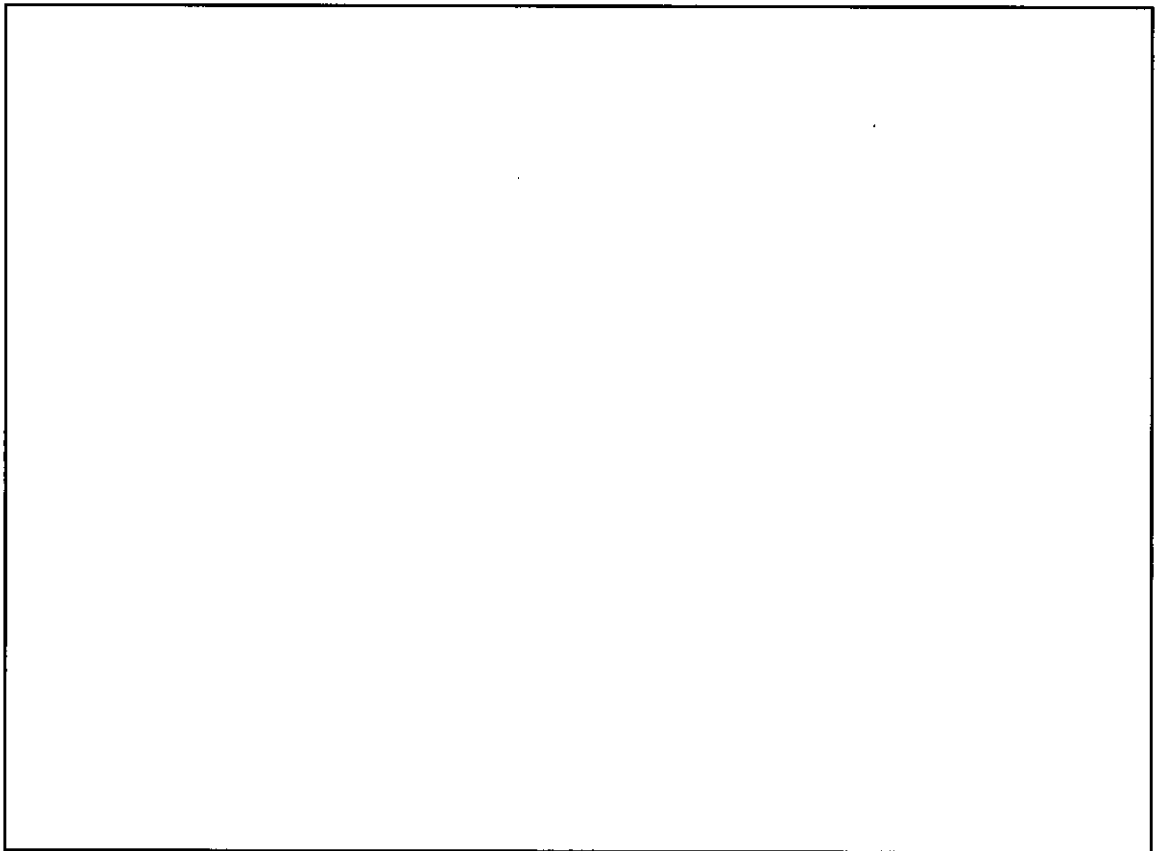


写真 3.8 耐火試験後の原型容器 P4 底部外殻切断前

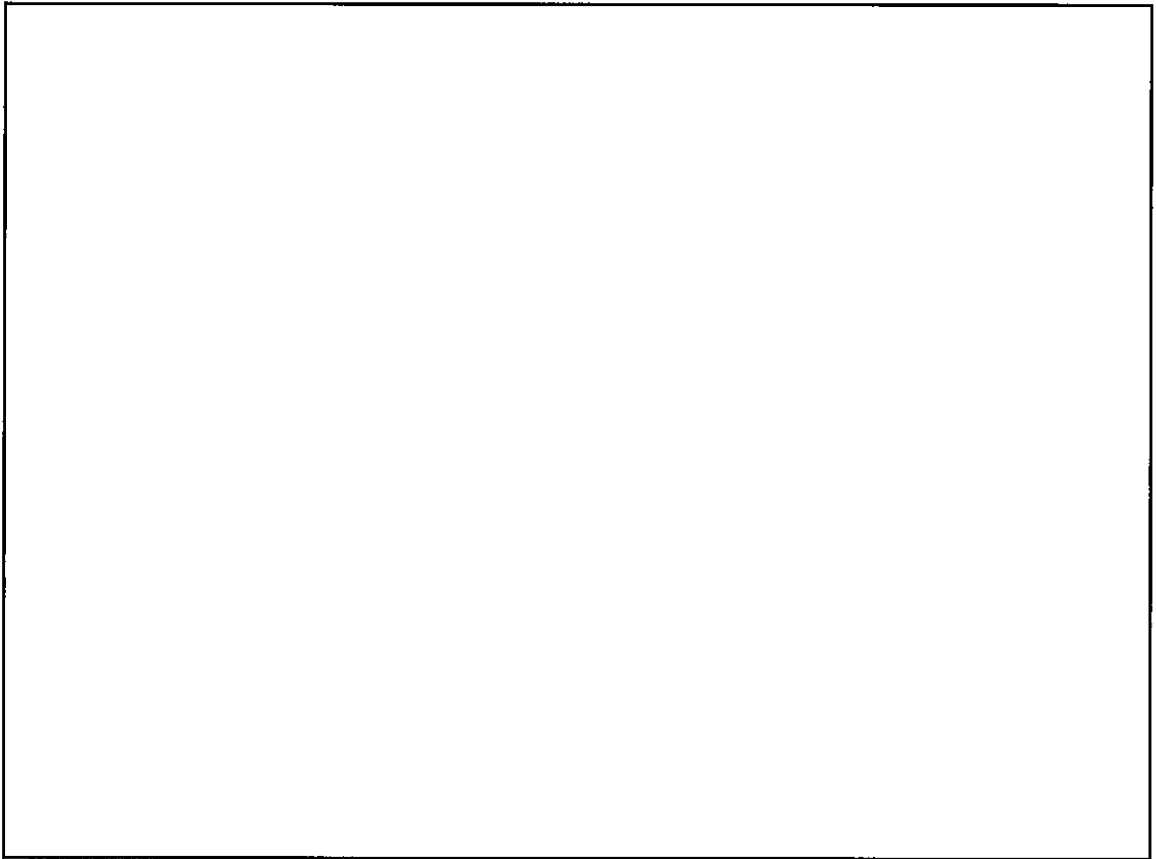


写真 3.9 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォーム (外殻切断後)

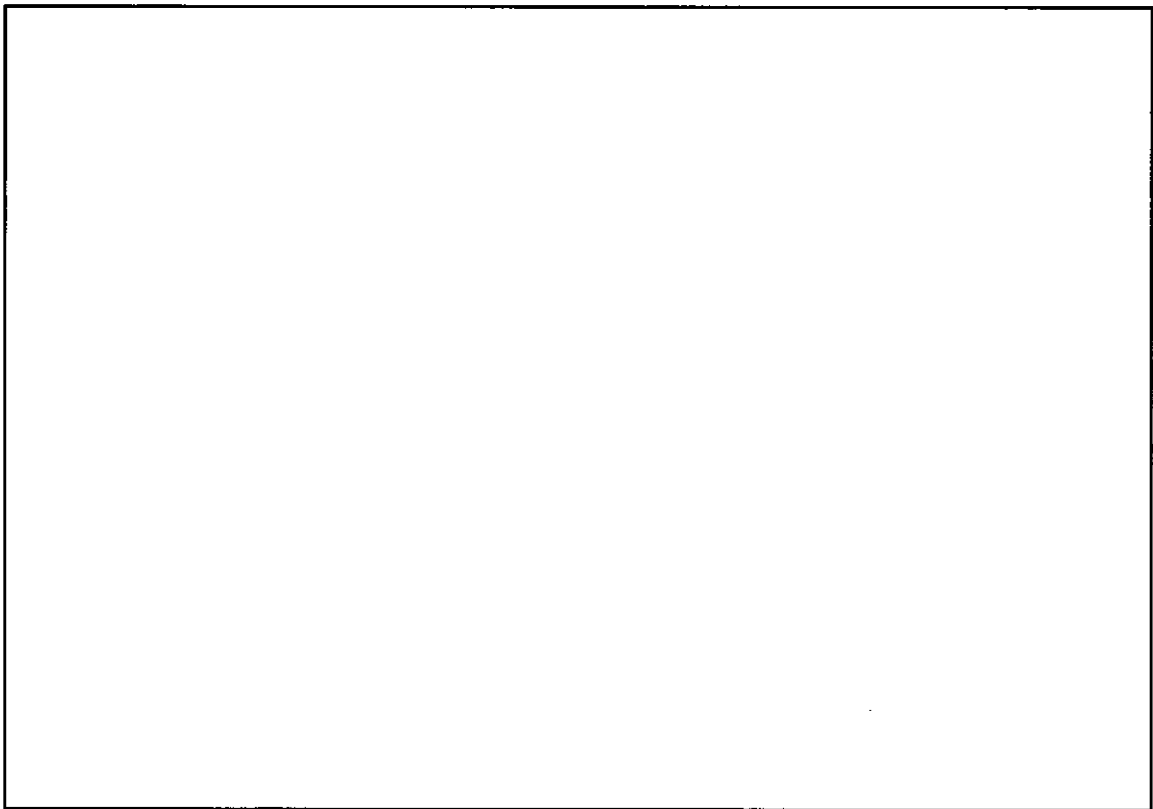


写真 3.10 耐火試験後の原型容器 P3 底部フェノリックフォーム (外殻切断後)

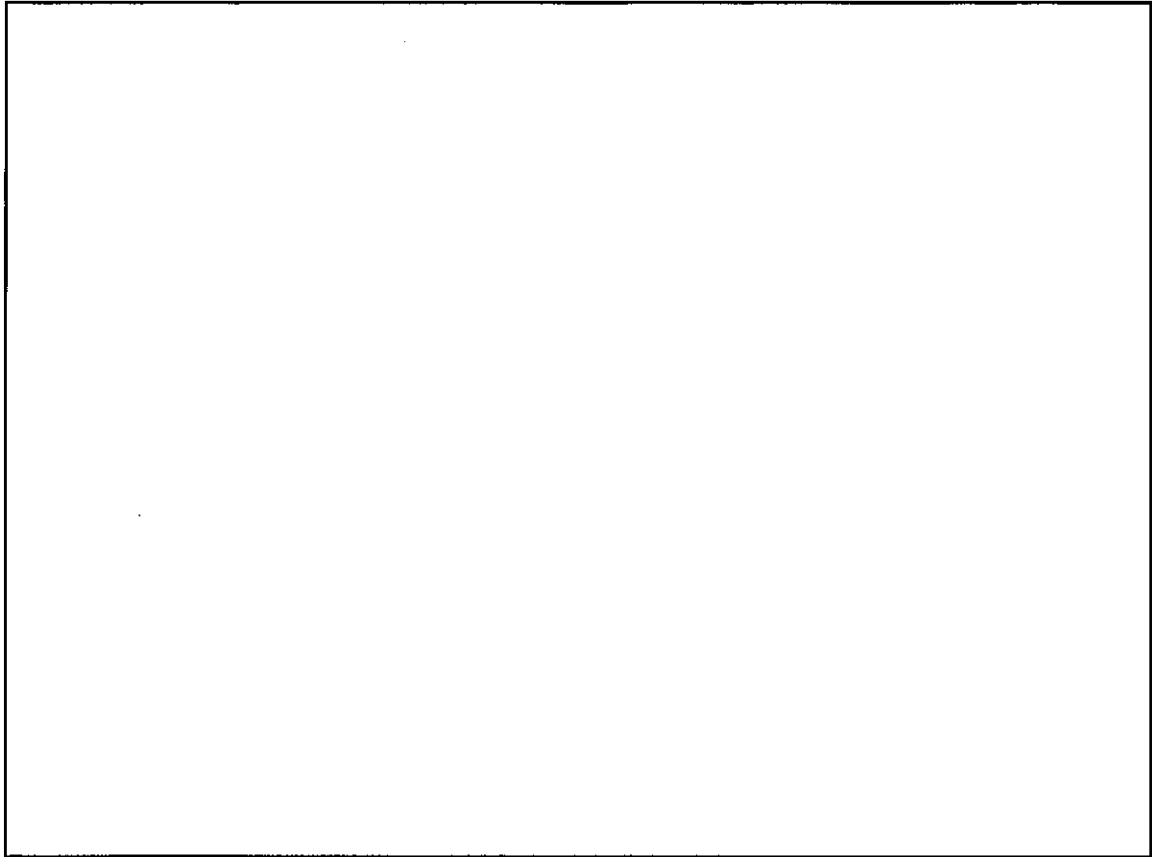
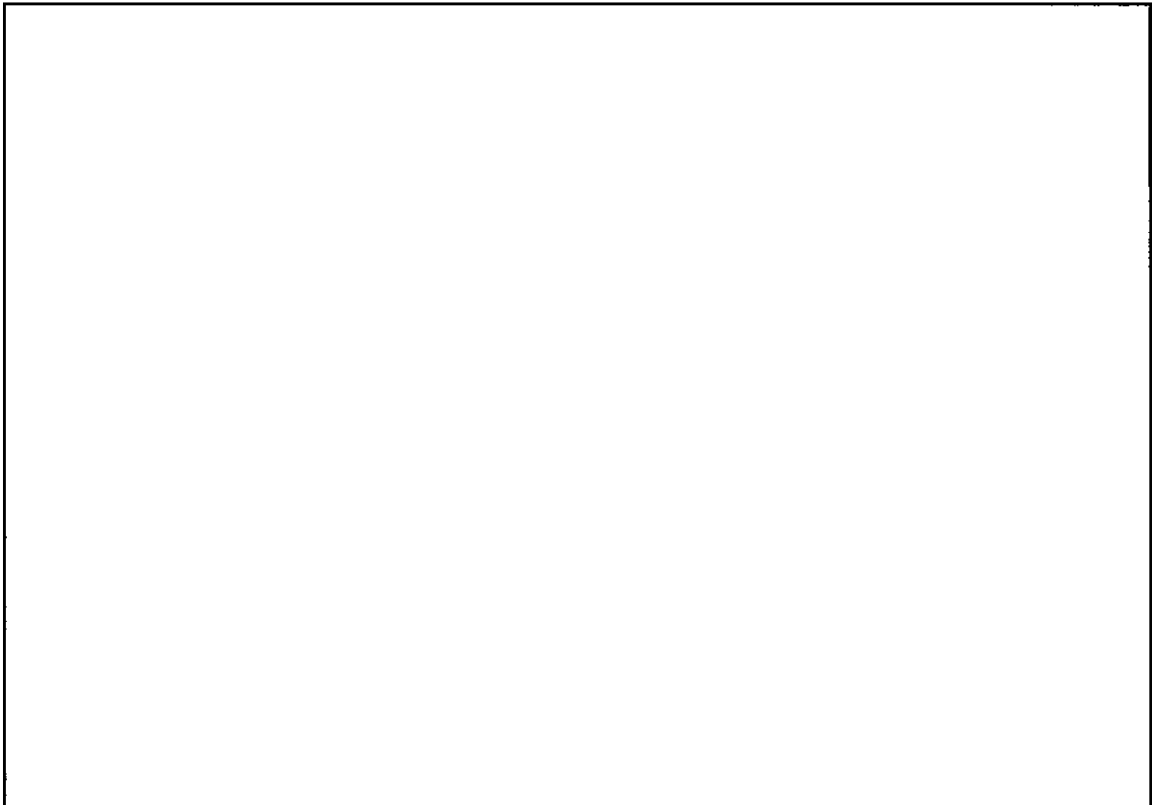


写真 3.11 耐火試験後の原型容器 P3 側面フェノリックフォームの焦げた層写真



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

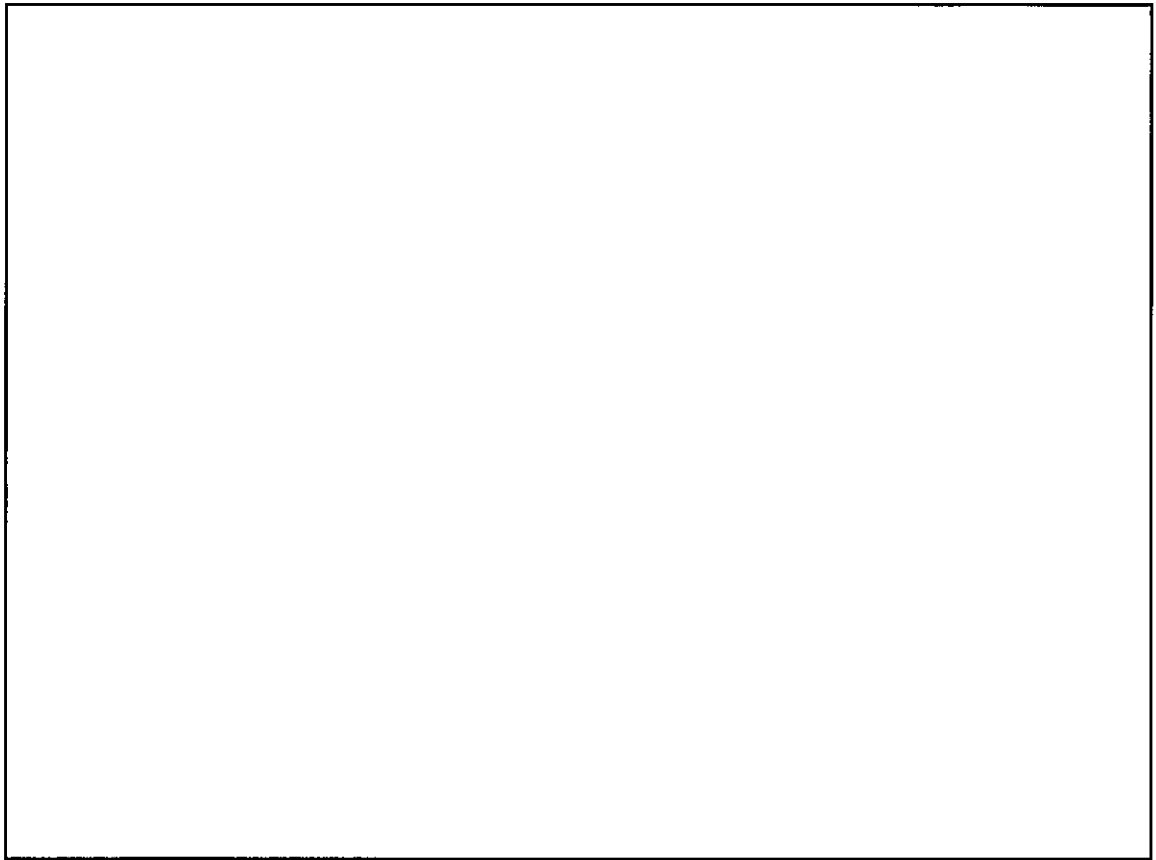


写真 3.13 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォームの焦げた層 (1/2)

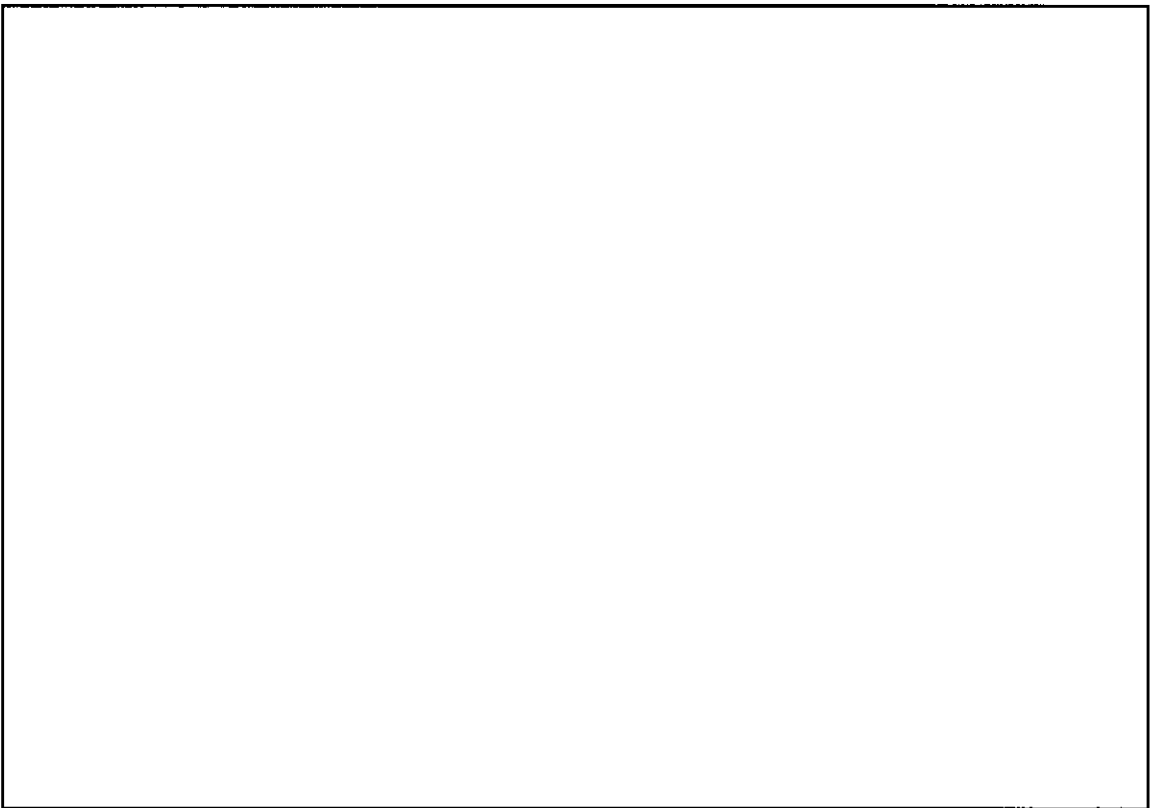


写真 3.14 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォームの焦げた層 (2/2)



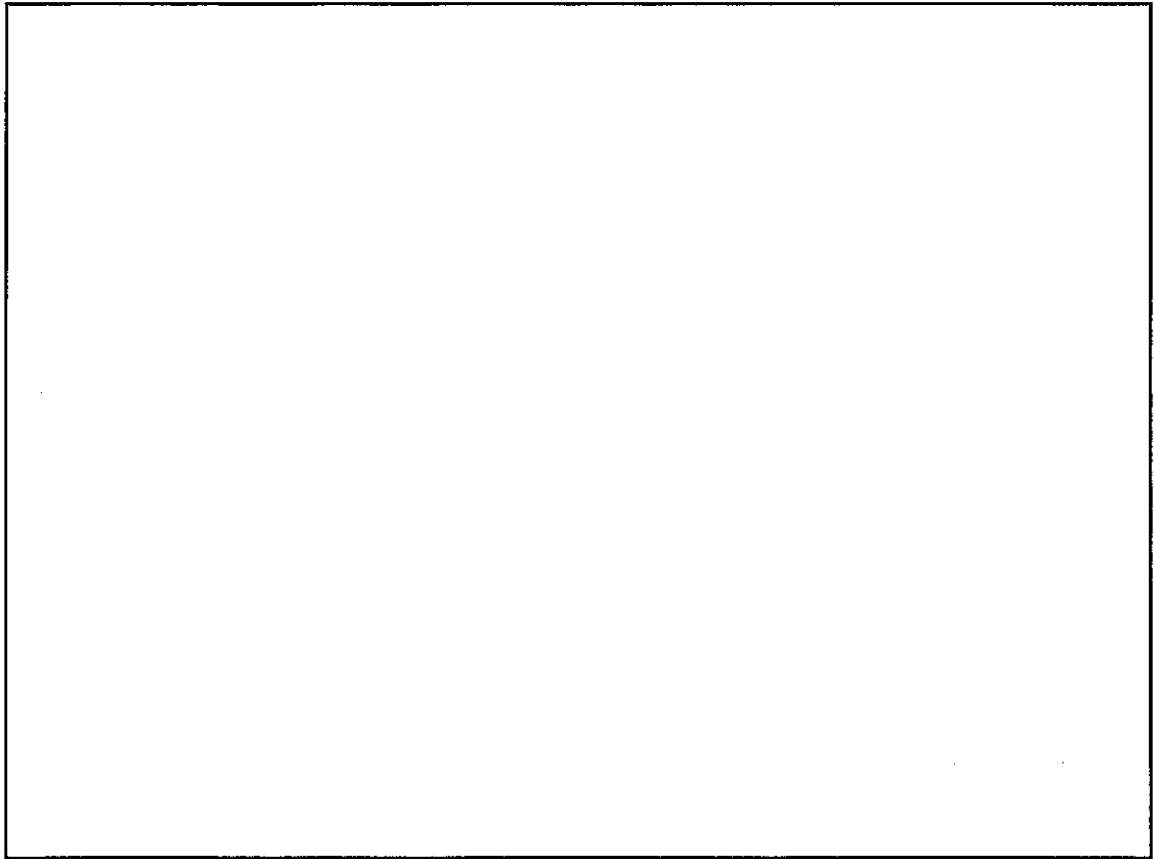


写真 3.15 耐火試験後の原型容器 P4 内容器底部

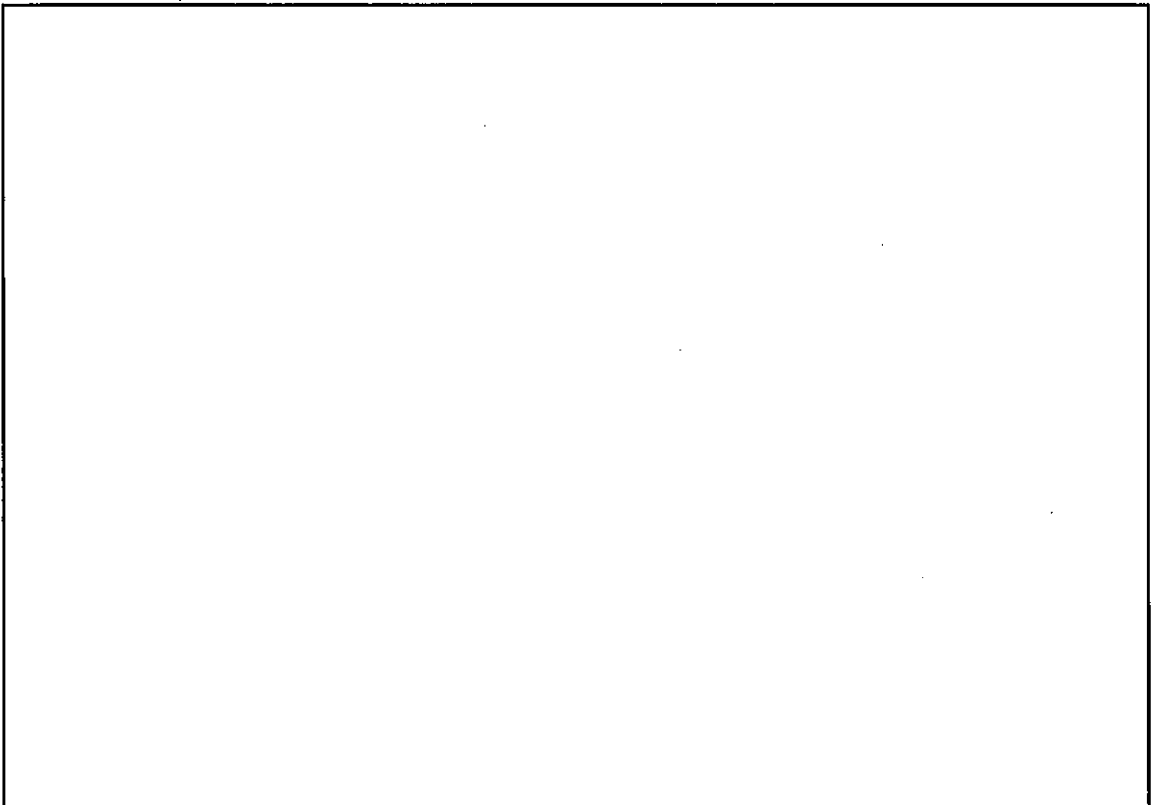


写真 3.16 耐火試験後の原型容器 P4 外蓋の下部フェノリックフォーム，補強材  
(アルミニウム合金) 及びボロン入りステンレス鋼製ディスク

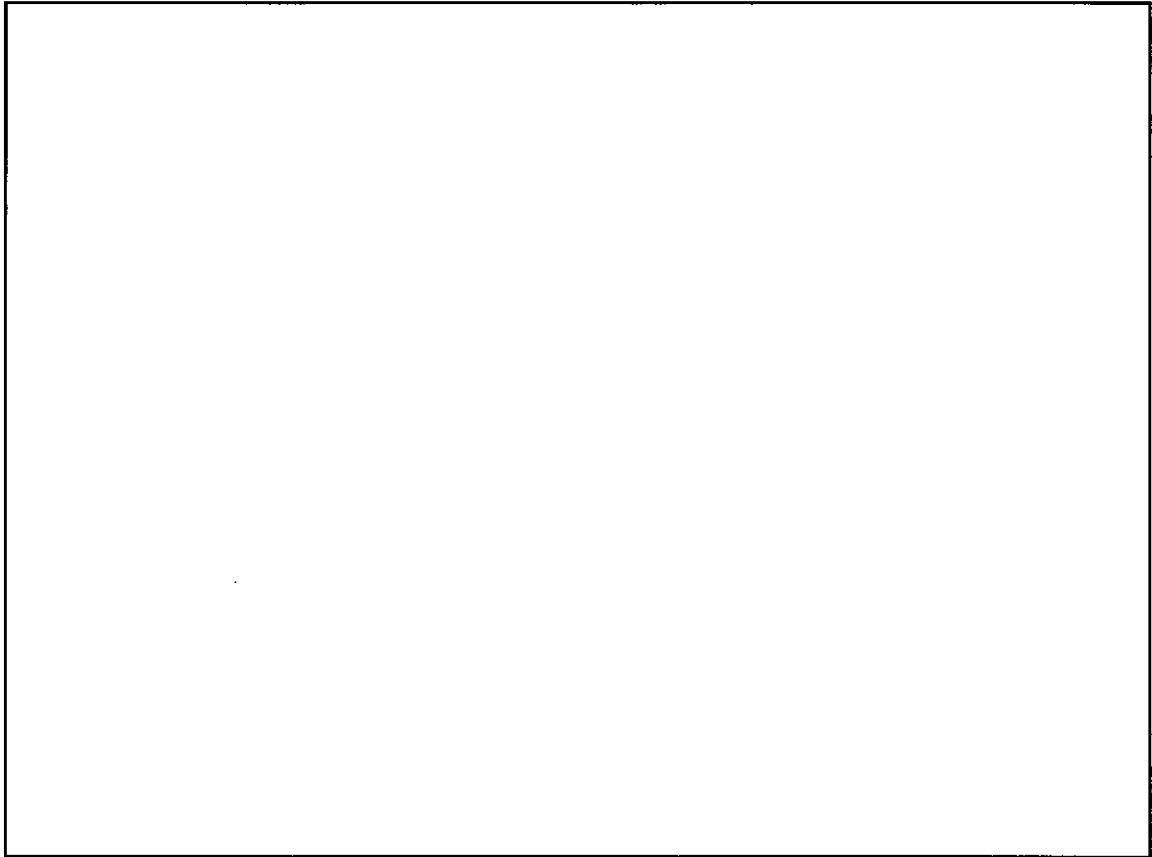


写真 3.17 落下試験 I (9 m) により衝撃を受けた原型容器 P4 内容器  の内蓋 (1/2)

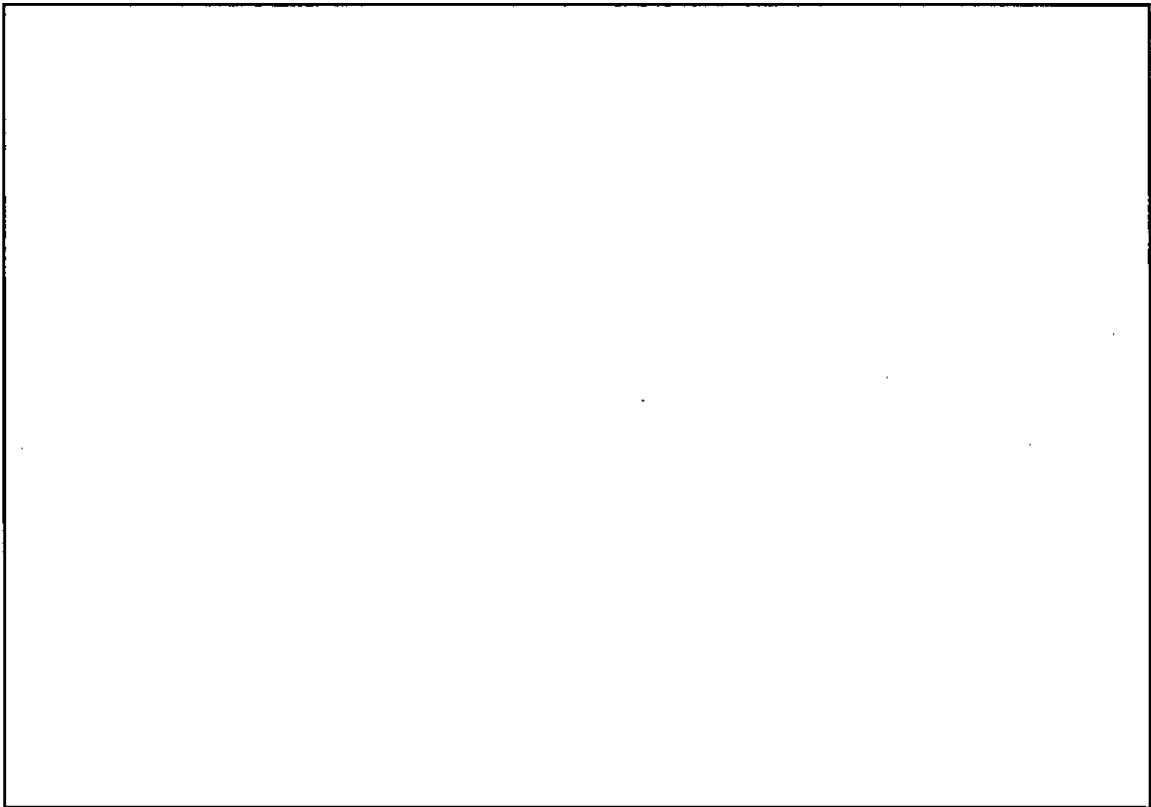


写真 3.18 落下試験 I (9 m) により衝撃を受けた原型容器 P4 内容器  の内蓋 (2/2)

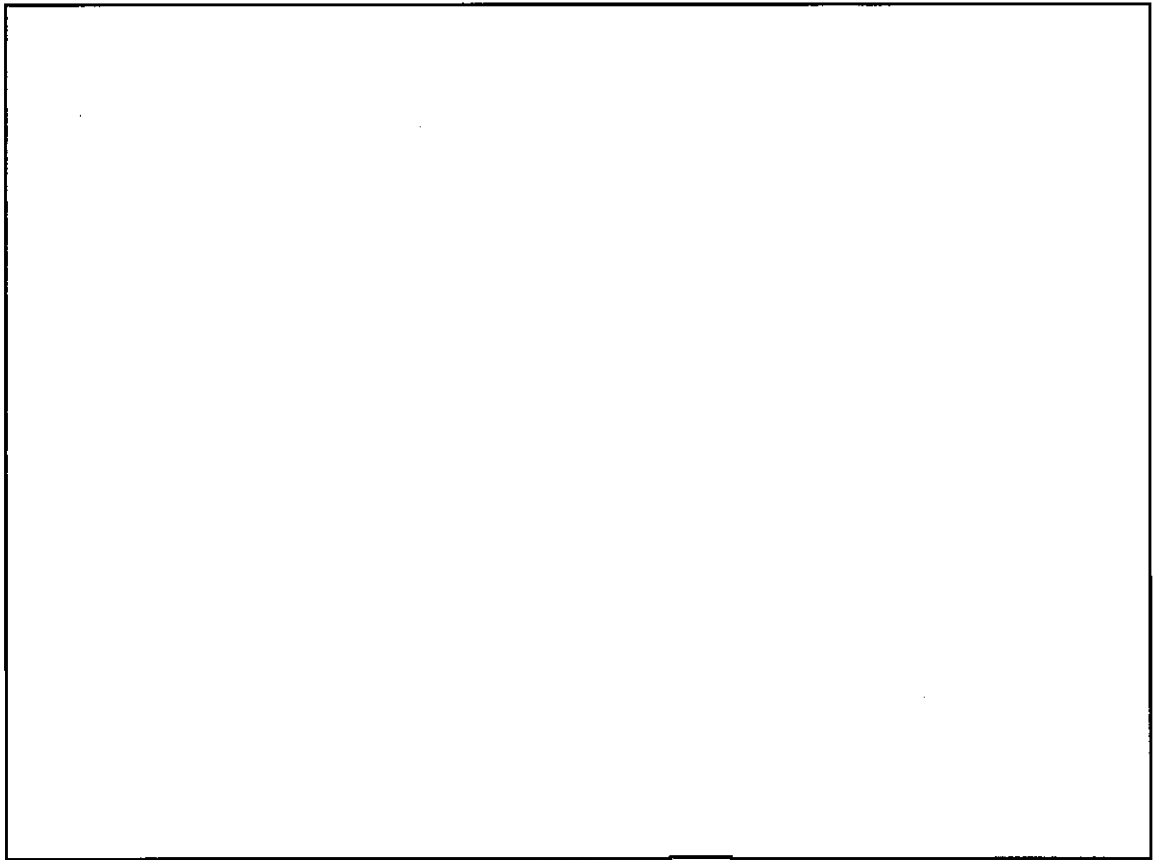


写真 3.19 原型容器 P3 内容器内蓋  : アルコール洗浄後

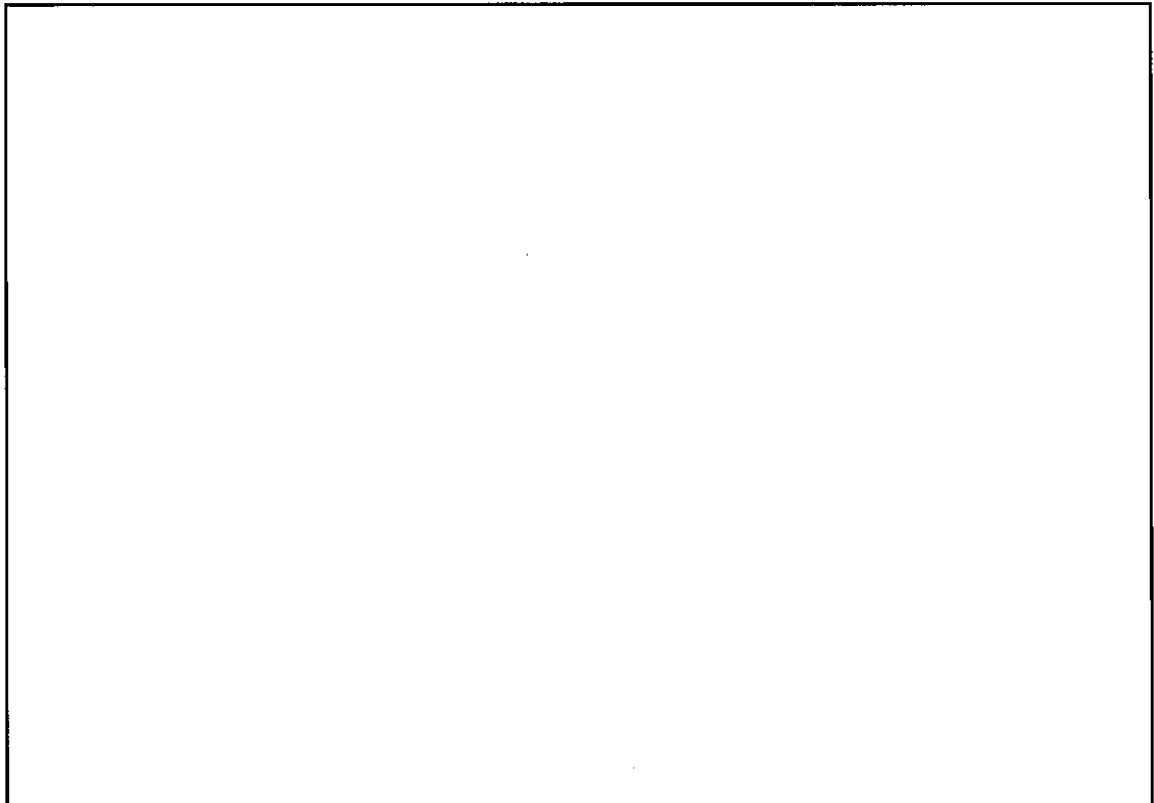


写真 3.20 原型容器 P3 の消石灰漏えい試験

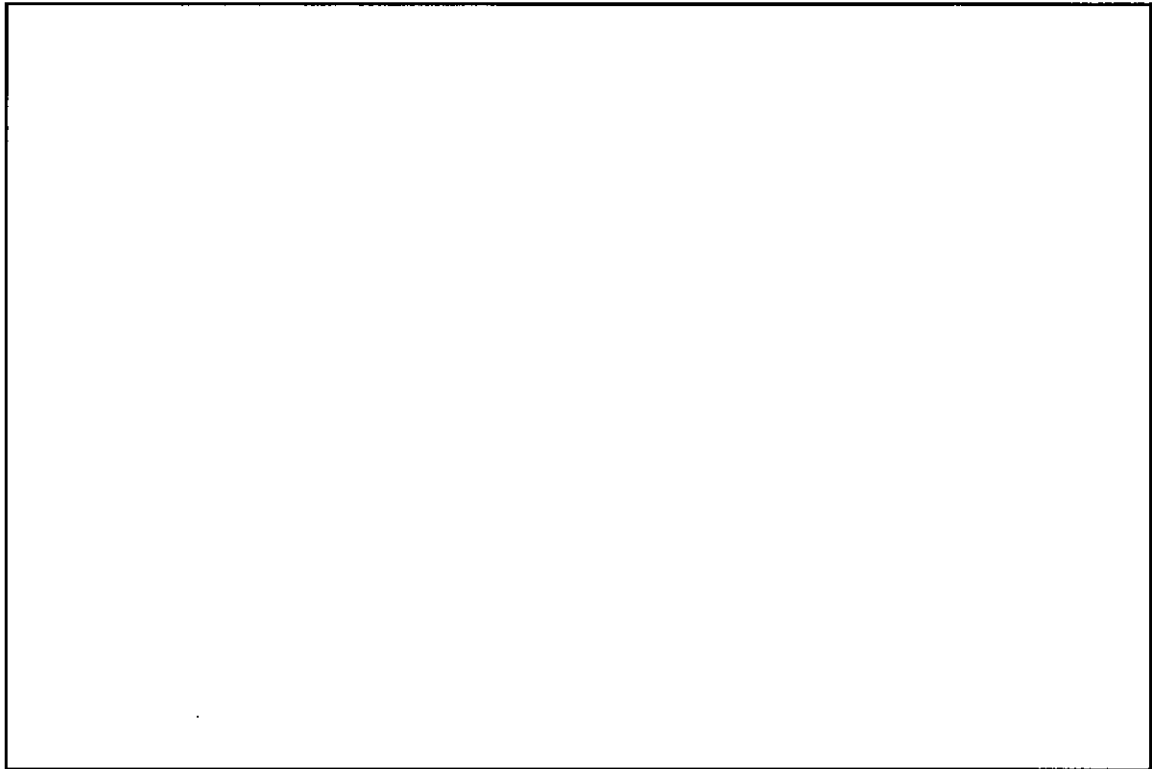


写真 3.21 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋  (1/3)

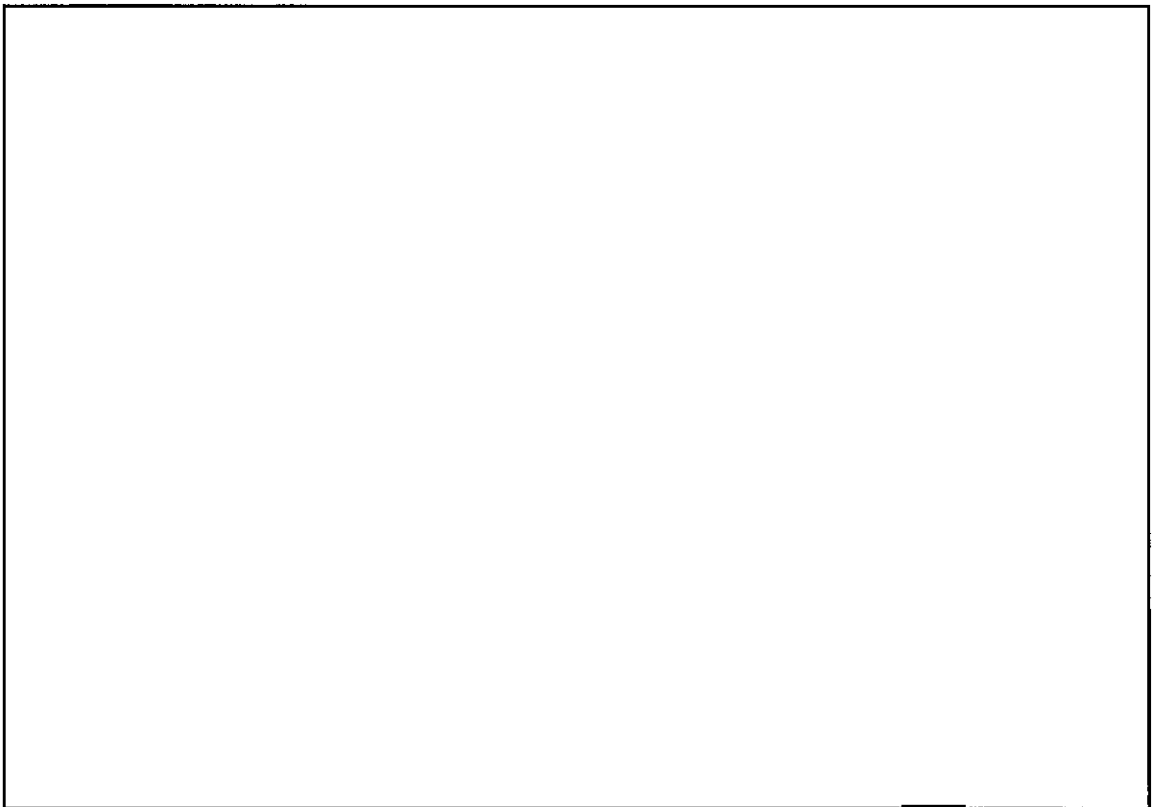


写真 3.22 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋  (2/3)

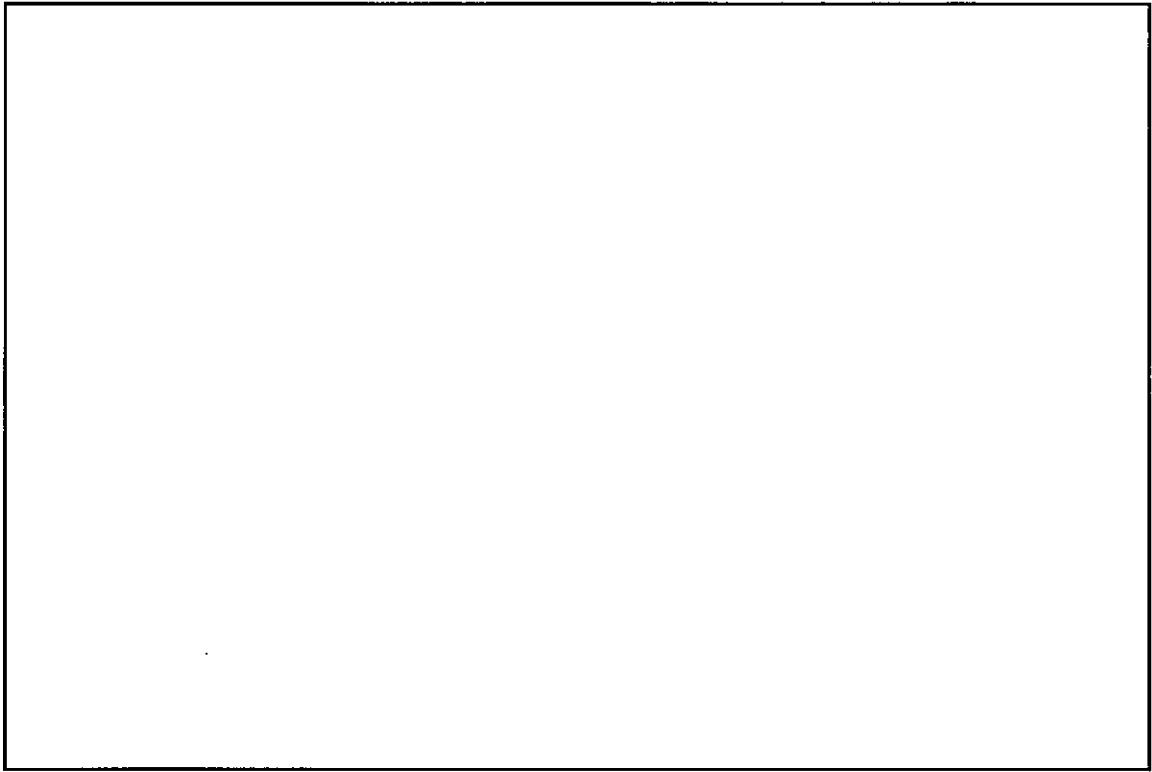


写真 3.23 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋  (3/3)

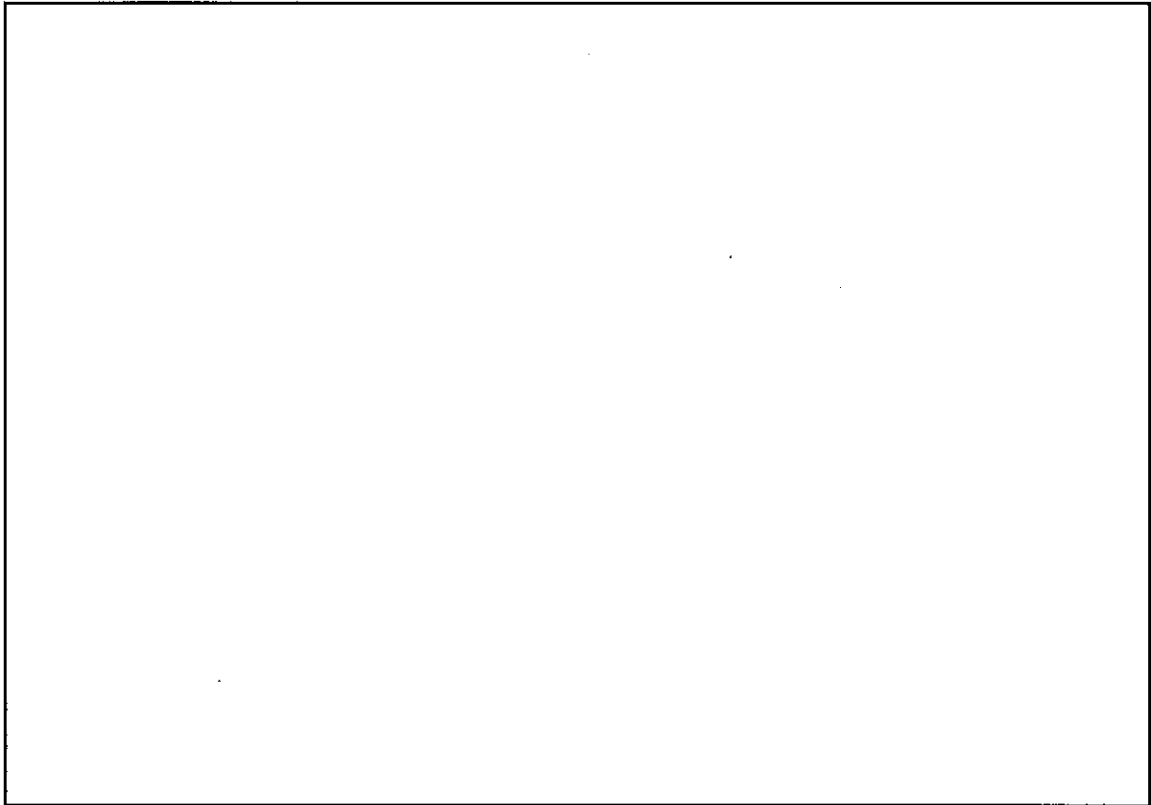


写真 3.24 耐火試験後の原型容器 P3 内容器  の粉末収納缶及び消石灰

(口)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/m<sup>2</sup>

側面 : □ W/m<sup>2</sup>

#### 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：℃)

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、大き目の値を使用することは安全側であることが分かる。

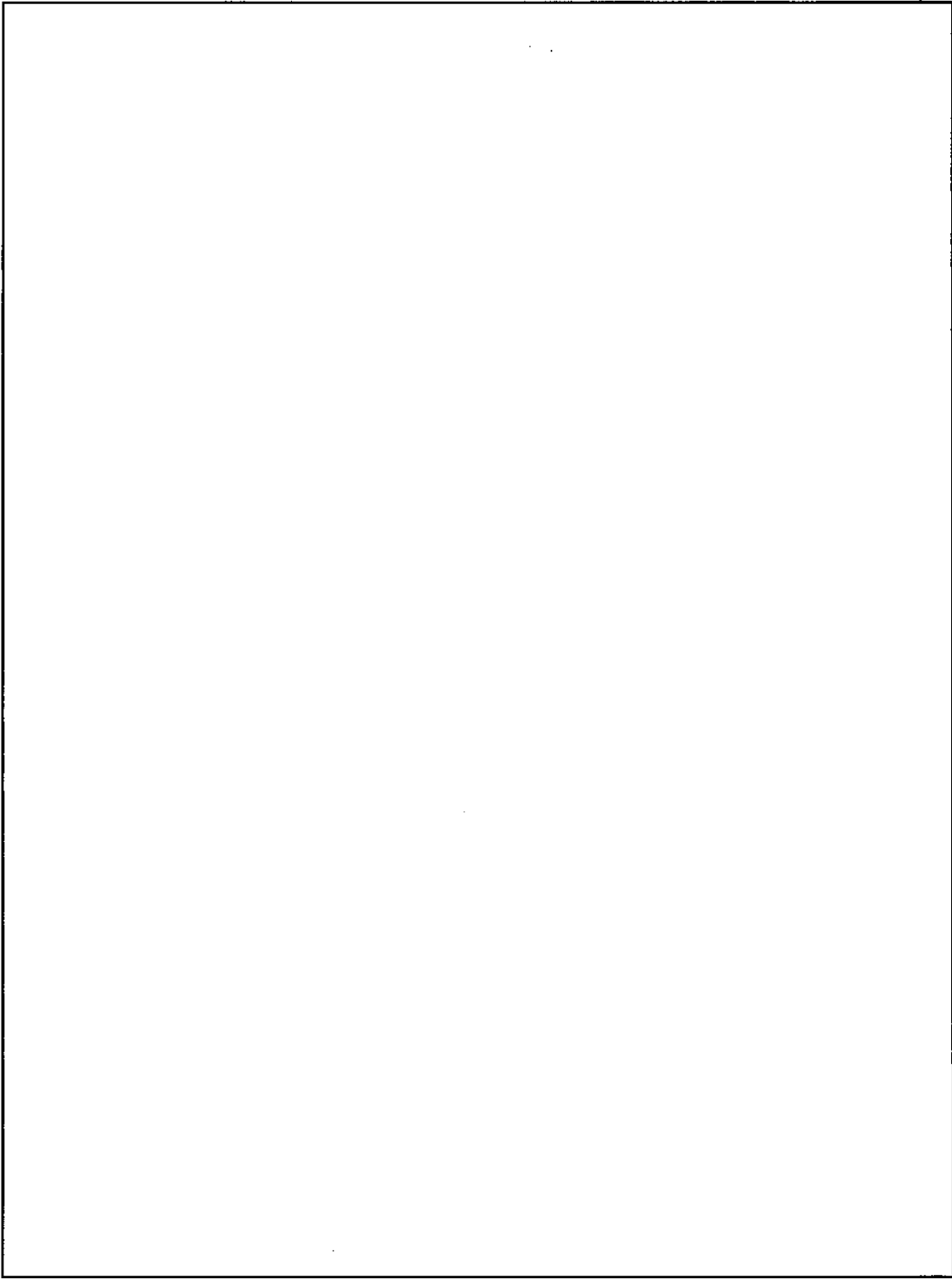


図 1.1 解析モデル外観図 (鳥瞰図)

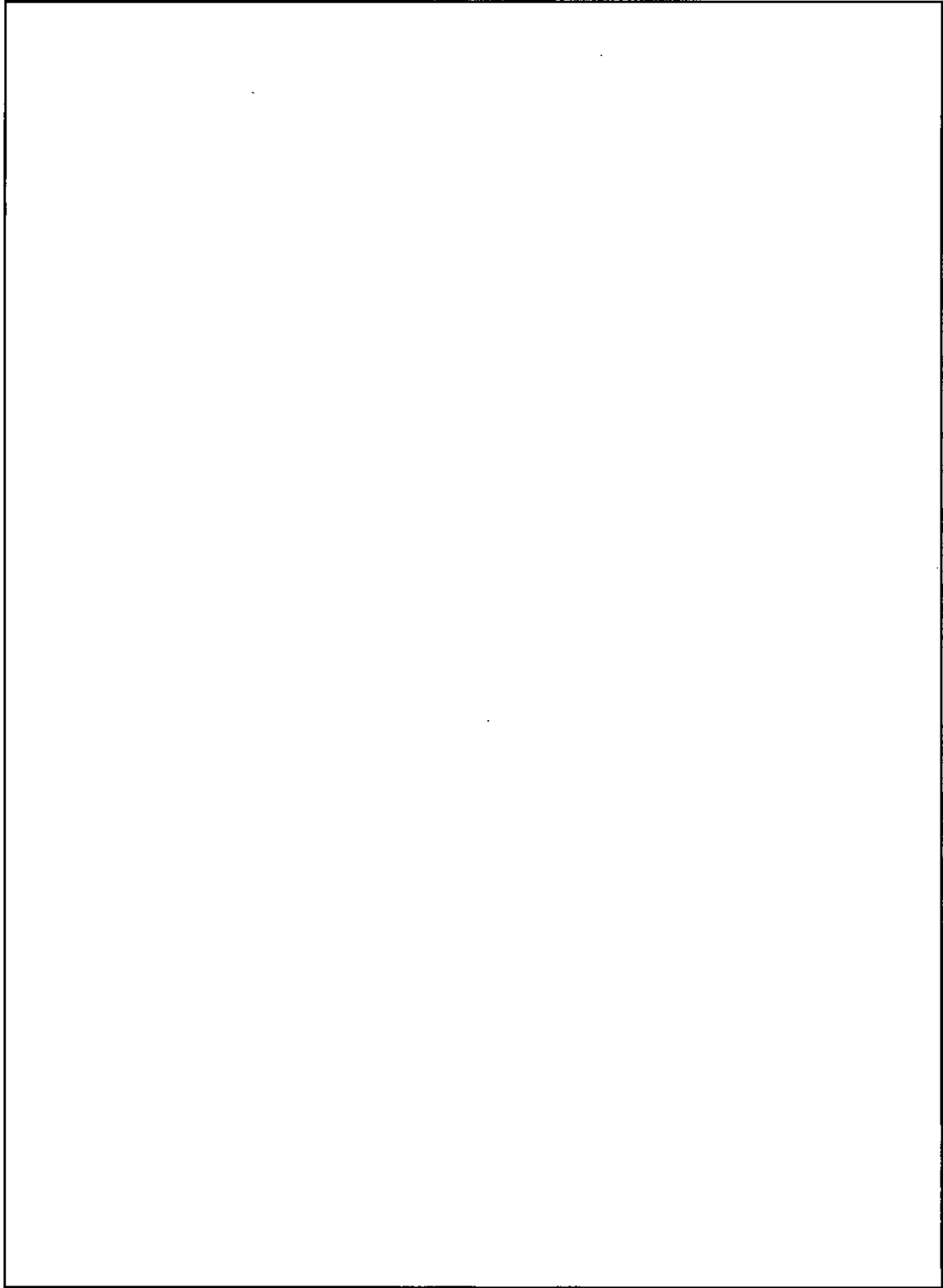


図 1.2 解析モデル要素分割図 (断面図)

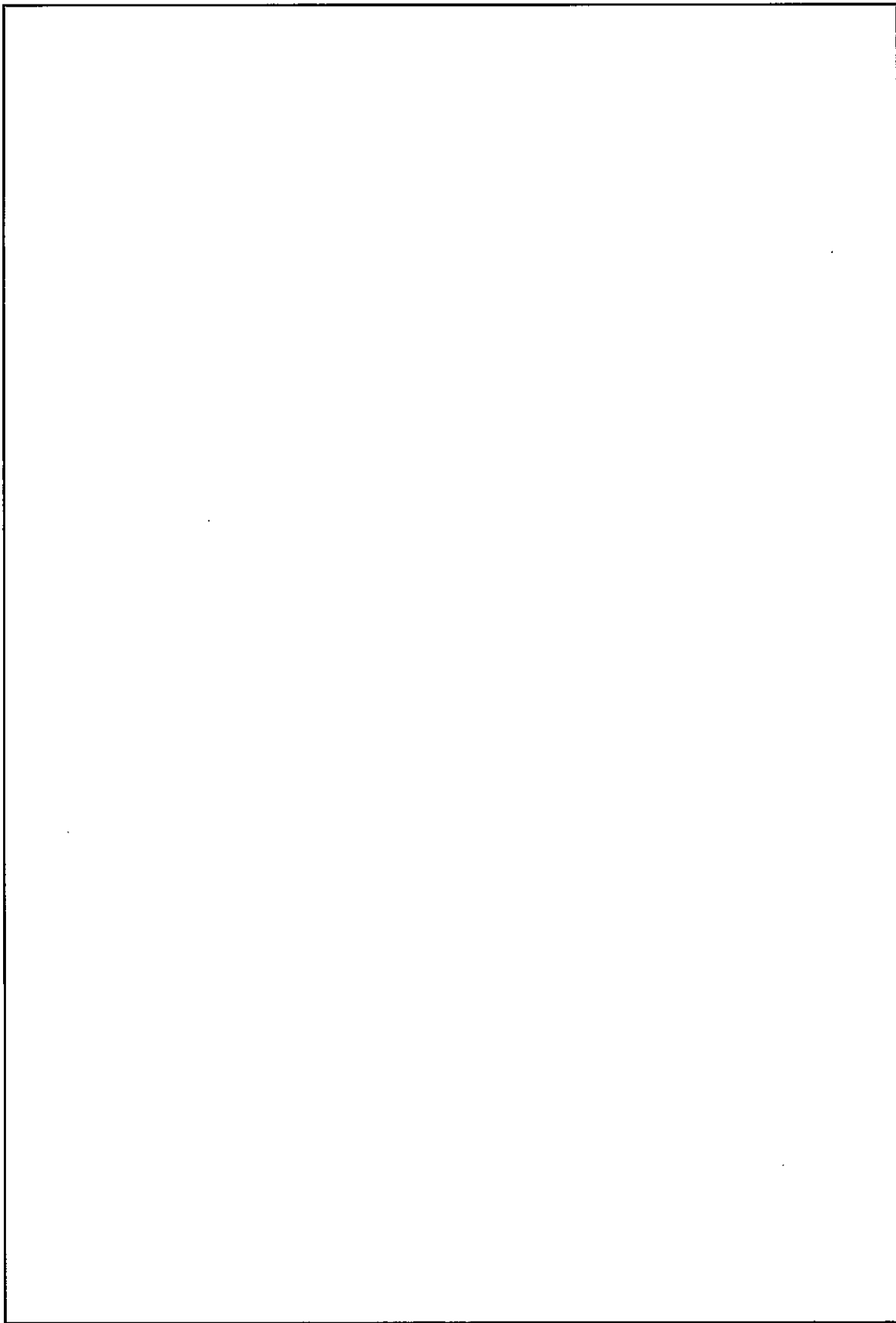


図 1.3 解析結果コンター図 (鳥瞰図)

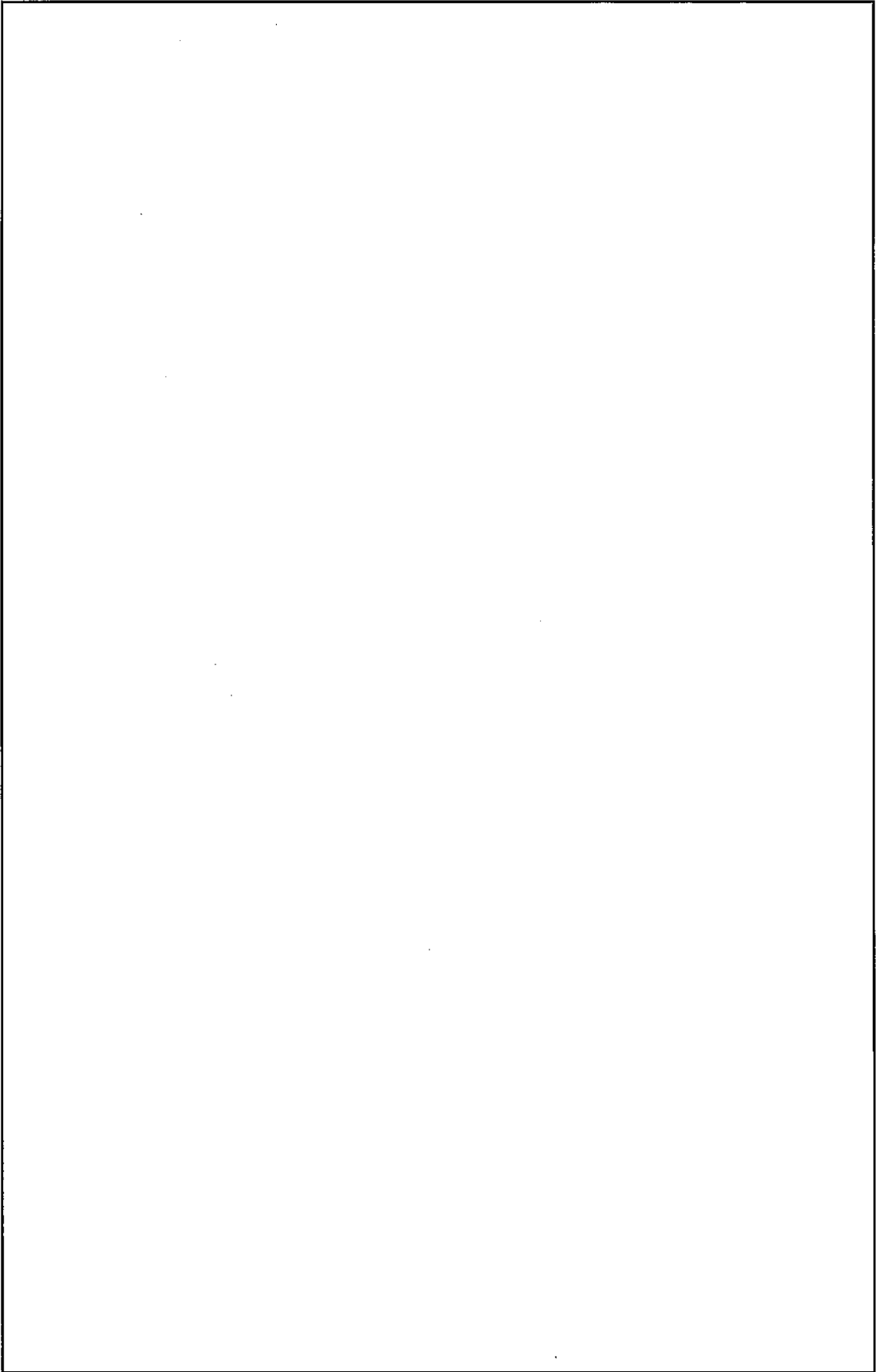


図 1.4 解析結果コンター図 (断面図)

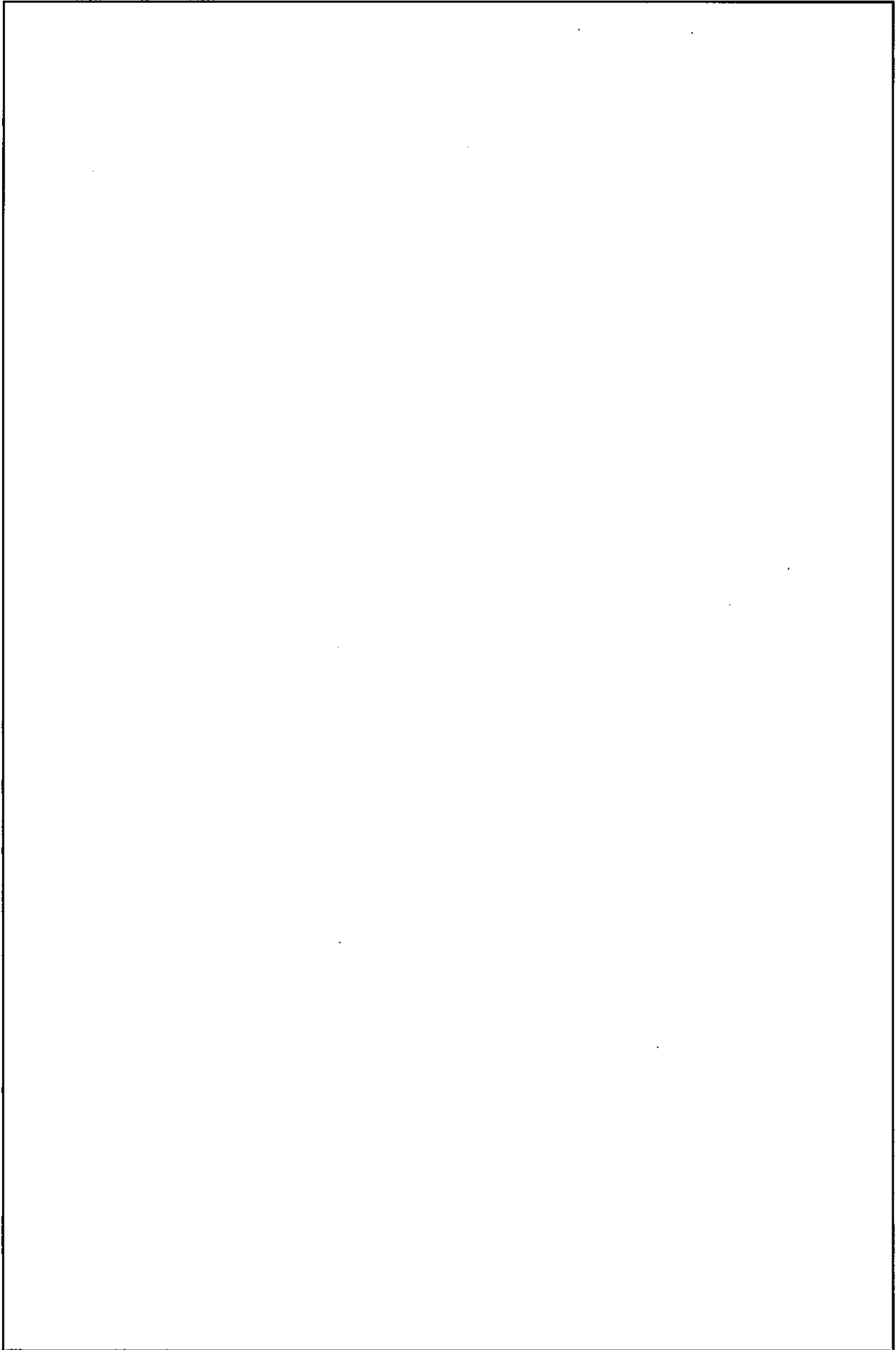


図 1.5 解析結果コンタナー図(断面図)

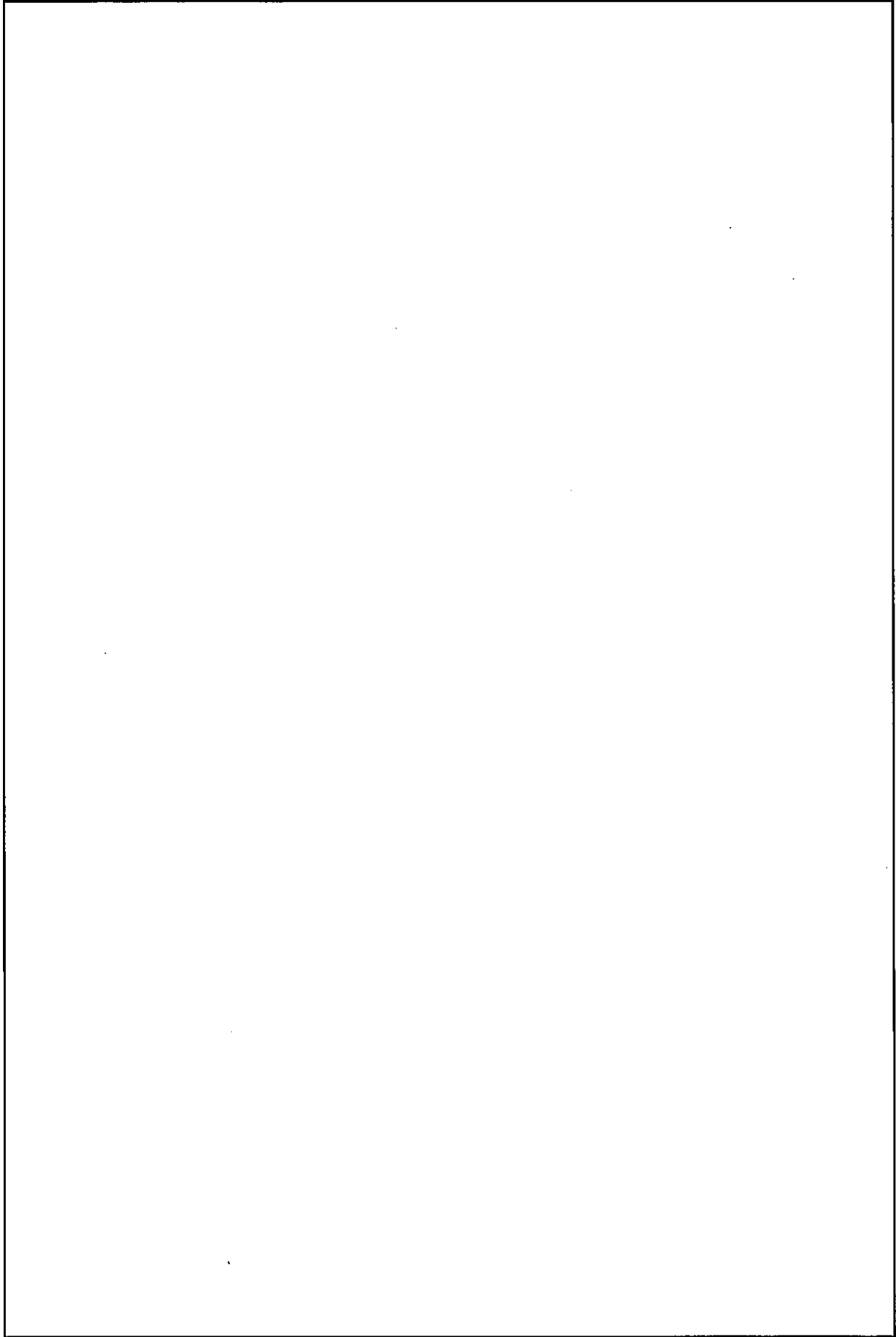


図 1.6 解析結果コンター図 (断面図)

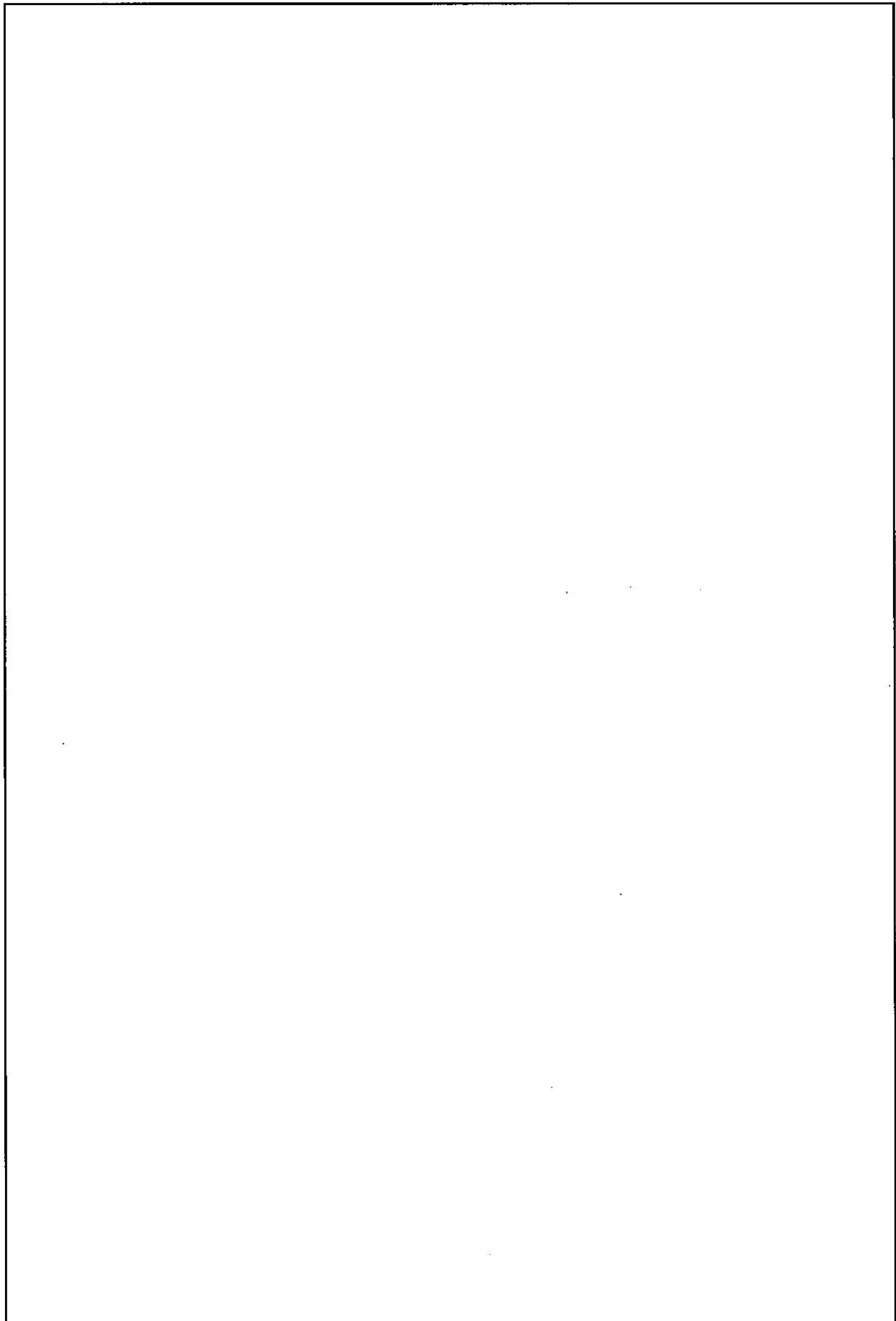


図 1.7 解析結果コンター図 (断面図)



## (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asket

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asket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。

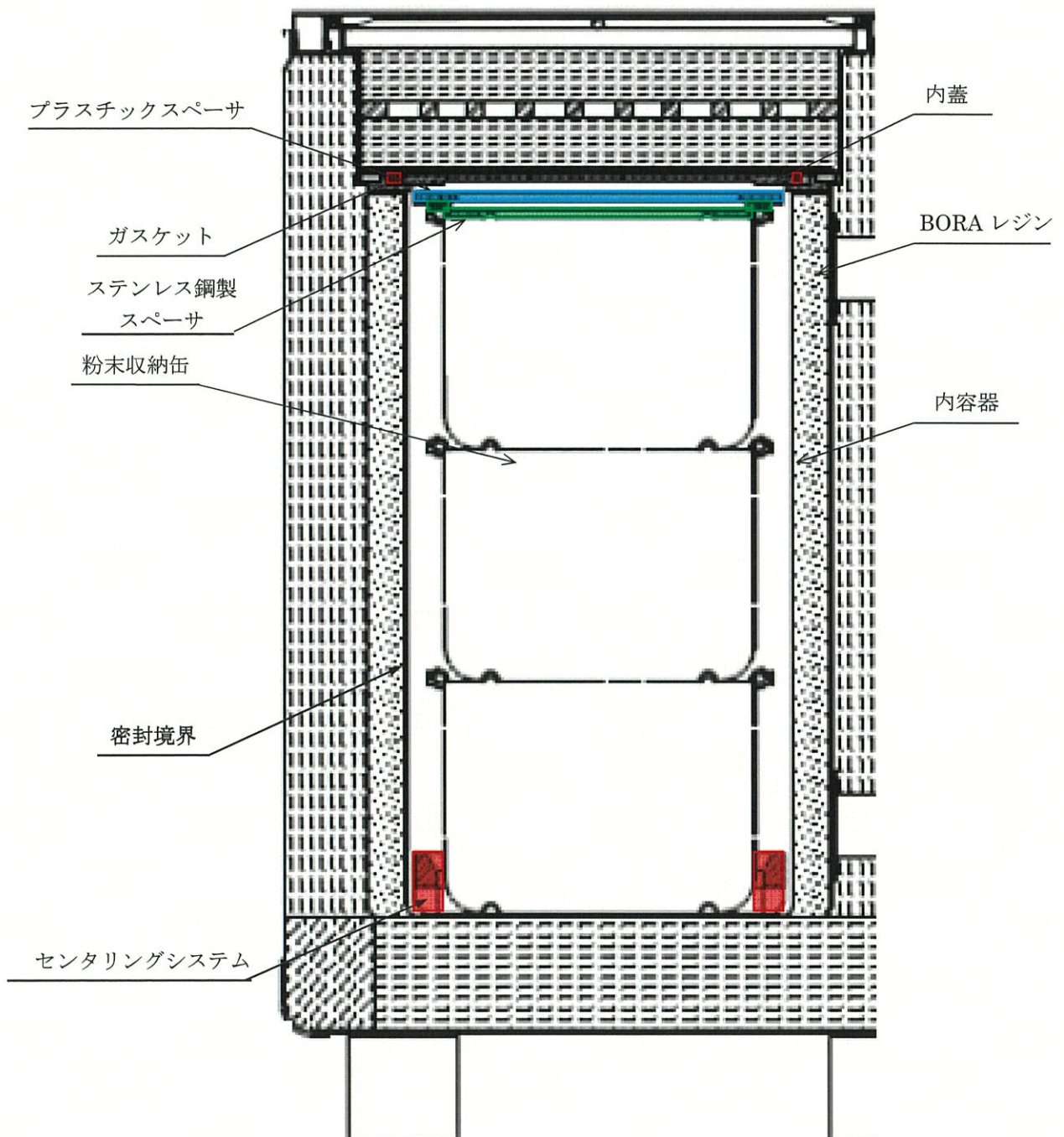
#### C.2.3 密封装置のガasket及び溶接部

密封境界である内蓋下側にはEPDM製ガasket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られている。

なお、外気圧が絶対圧で60kPa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。



(ロ)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 及びケース 4 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 がより厳しくなるためケース 1 を代表ケースとして評価を行った。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 及びケース 4 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、ケース 1 を代表ケースとして評価を行った。

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ることはなかった。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、ケース 1～3 については、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。ケース 4 については、スラッジ収納缶を包含する半径 9.0 cm の球形状の領域内にウランが存在するものとし、中性子吸収材を含む輸送容器及び内容器内のスラッジ収納缶、スラッジ収納缶用緩衝材の材質を水と置き換えて解析を行っている。

(口)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

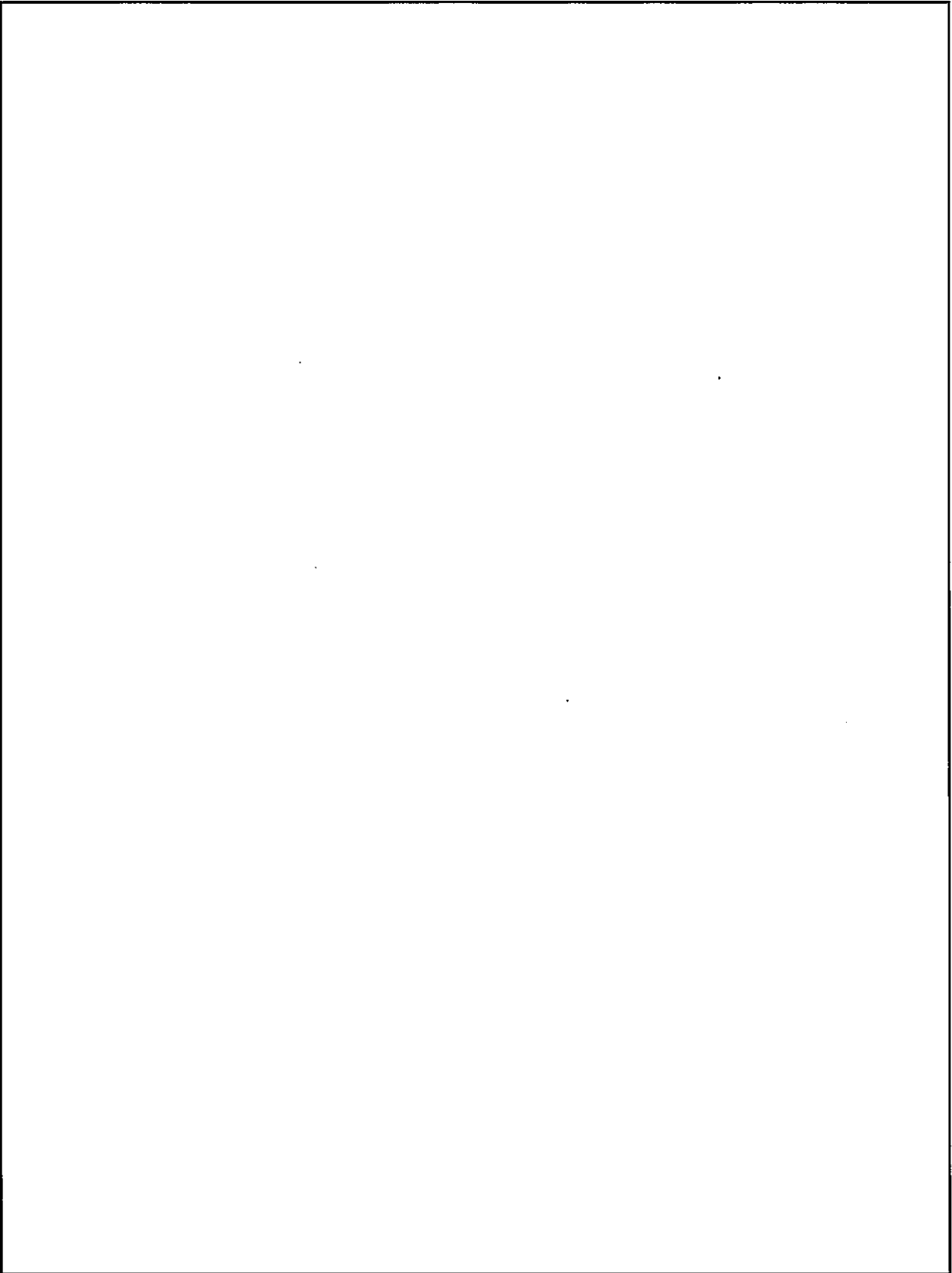


#### 4. 結論

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 ケース 1(粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)、ケース 2(長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)及びケース 3(粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)

### D.1.1 概要

ケース 1 からケース 3 において、本輸送容器に収納するのは未照射のウラン酸化物及びウラン残渣であり、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 kgUO<sub>2</sub> が 4 個の内容容器に均等に存在するものとした。(75 kgUO<sub>2</sub>/内容容器)
- 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、各内容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、線源領域には各内容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、ケース 1 からケース 3 において、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  $2.20 \times 10^{-2}$  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  $\mu$ 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  $\mu$ 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  $2.23 \times 10^{-2}$  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。

(ロ)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 1 m の点
通常輸送時	$2.20 \times 10^{-2}$ mSv/h	2.21 $\mu$ Sv/h
基準	$\leq 2$ mSv/h	$\leq 100$ $\mu$ Sv/h
一般の試験条件下	$2.23 \times 10^{-2}$ mSv/h	—————
基準	$\leq 2$ mSv/h	—————

## D.1.2 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.1.2.1 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  $^{232}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{236}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$  及び  $^{99}\text{Tc}$  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  $^{232}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{236}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{99}\text{Tc}$  の 6 核種を考慮した。組成は  $^{232}\text{U}$   $1.0 \times 10^{-8}$  wt%、 $^{234}\text{U}$   $5.0 \times 10^{-2}$  wt%、 $^{235}\text{U}$  5.0 wt%、 $^{236}\text{U}$   $2.5 \times 10^{-2}$  wt%、 $^{99}\text{Tc}$   $1.0 \times 10^{-6}$  wt%、残りは全て  $^{238}\text{U}$  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.1.2.2 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 kgUO<sub>2</sub>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 <sup>9</sup>
0.025	1.261×10 <sup>8</sup>
0.0375	5.680×10 <sup>7</sup>
0.0575	1.255×10 <sup>8</sup>
0.085	1.474×10 <sup>8</sup>
0.125	8.057×10 <sup>7</sup>
0.225	1.929×10 <sup>8</sup>
0.375	2.041×10 <sup>7</sup>
0.575	1.259×10 <sup>7</sup>
0.85	7.842×10 <sup>6</sup>
1.25	4.993×10 <sup>6</sup>
1.75	9.236×10 <sup>5</sup>
2.25	3.509×10 <sup>2</sup>
2.75	1.623×10 <sup>6</sup>
3.5	1.145×10 <sup>2</sup>
5	4.884×10 <sup>1</sup>
7	5.605×10 <sup>0</sup>
11	6.432×10 <sup>-1</sup>

(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	<sup>232</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>236</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>99</sup> Tc	合計
放射エネルギー(Bq)	1.521×10 <sup>8</sup>	3.058×10 <sup>10</sup>	2.117×10 <sup>9</sup>	1.583×10 <sup>8</sup>	9.373×10 <sup>9</sup>	1.659×10 <sup>6</sup>	4.238×10 <sup>10</sup>

### D.1.3 モデル仕様

#### D.1.3.1 解析モデル

##### D.1.3.1.1 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、容器の周囲には中性子吸収材（BORA レジン）、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。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。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容器内に存在するものとして、粉末の場合は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、ボロン入りステンレス鋼製リング及びブロッキングシステムは無視している。

計算点は、輸送物の表面及び表面から 1 m の点とした。

##### D.1.3.1.2 一般の試験条件

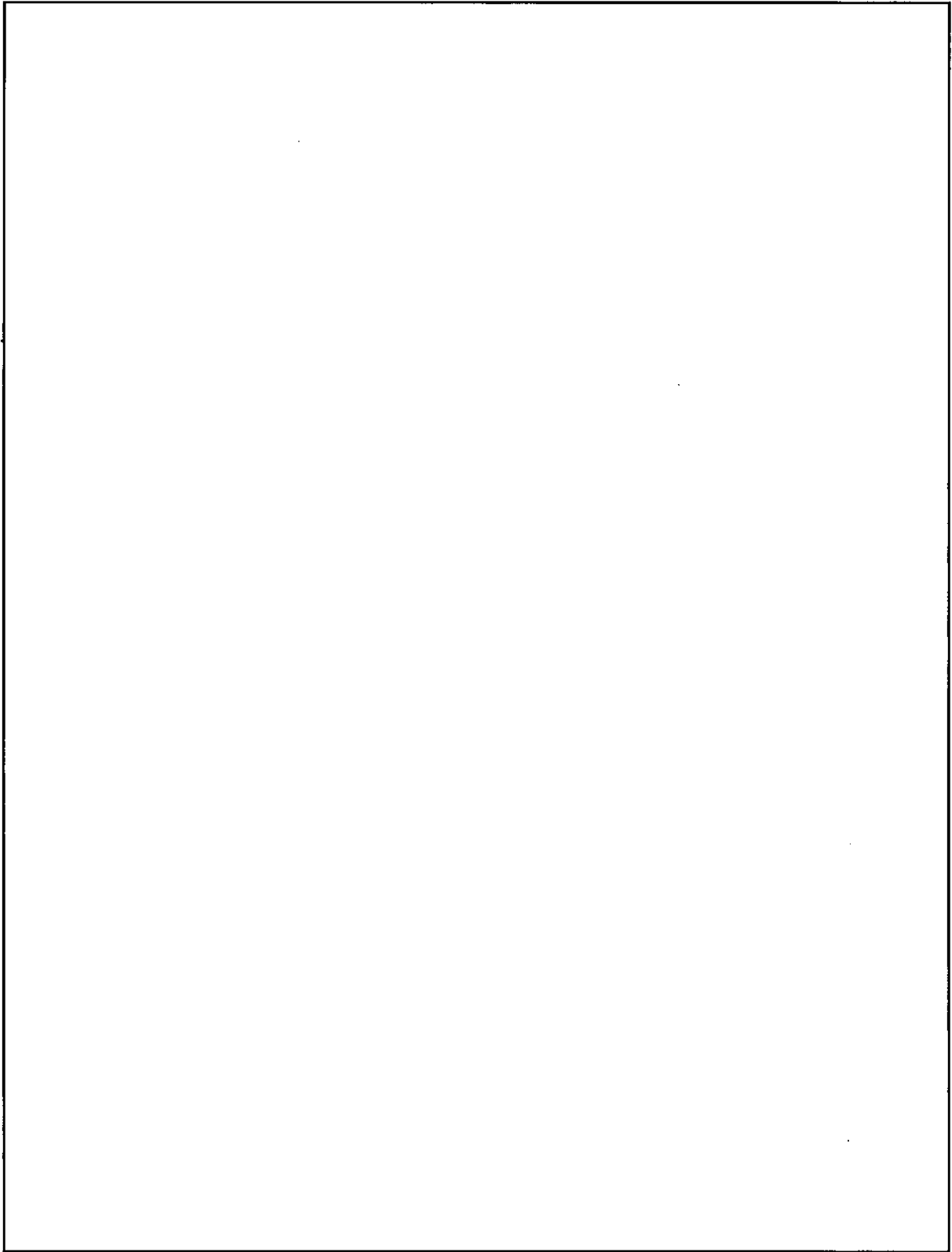
解析モデルを(ロ)D-第2図に示す。

一般の試験条件下において、(ロ)A-第12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14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、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。

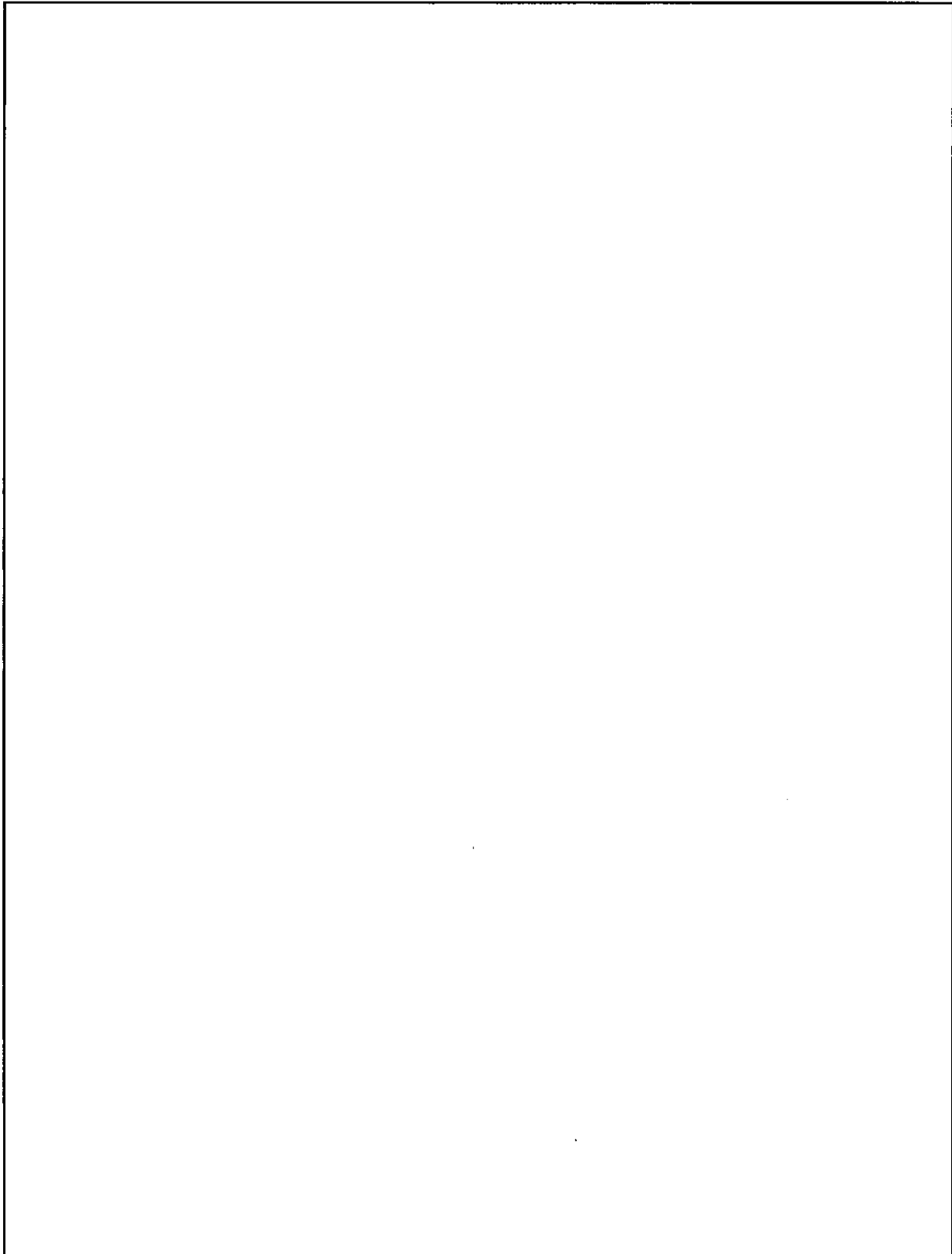
以上のことから、遮蔽解析では、輸送容器の変形量を保守的に外殻のみ各方向に  mm 圧縮変形するものとした。また、容器外蓋は耐熱衝撃緩衝材のうち上部側のみ変形するものとした。その他容器の形状や間隔及び中性子吸収材とその収納筒については通常輸送時と同一としており、線源領域が輸送物表面に近くなることから保守的なモデルとなっている。

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。

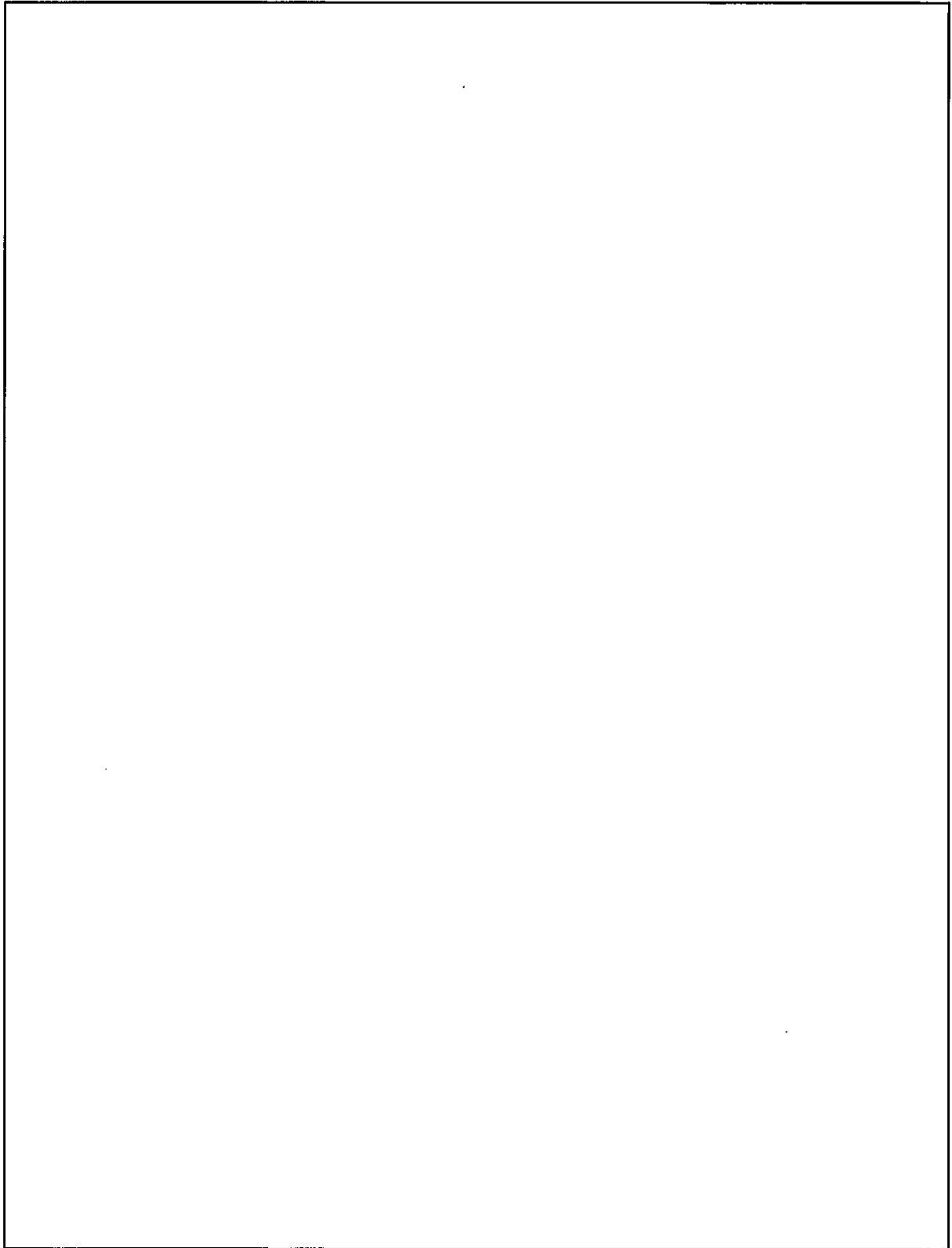


(ロ)D-第1図 [1/2] 通常輸送時遮蔽解析モデル  
(二酸化ウラン粉末収納時)

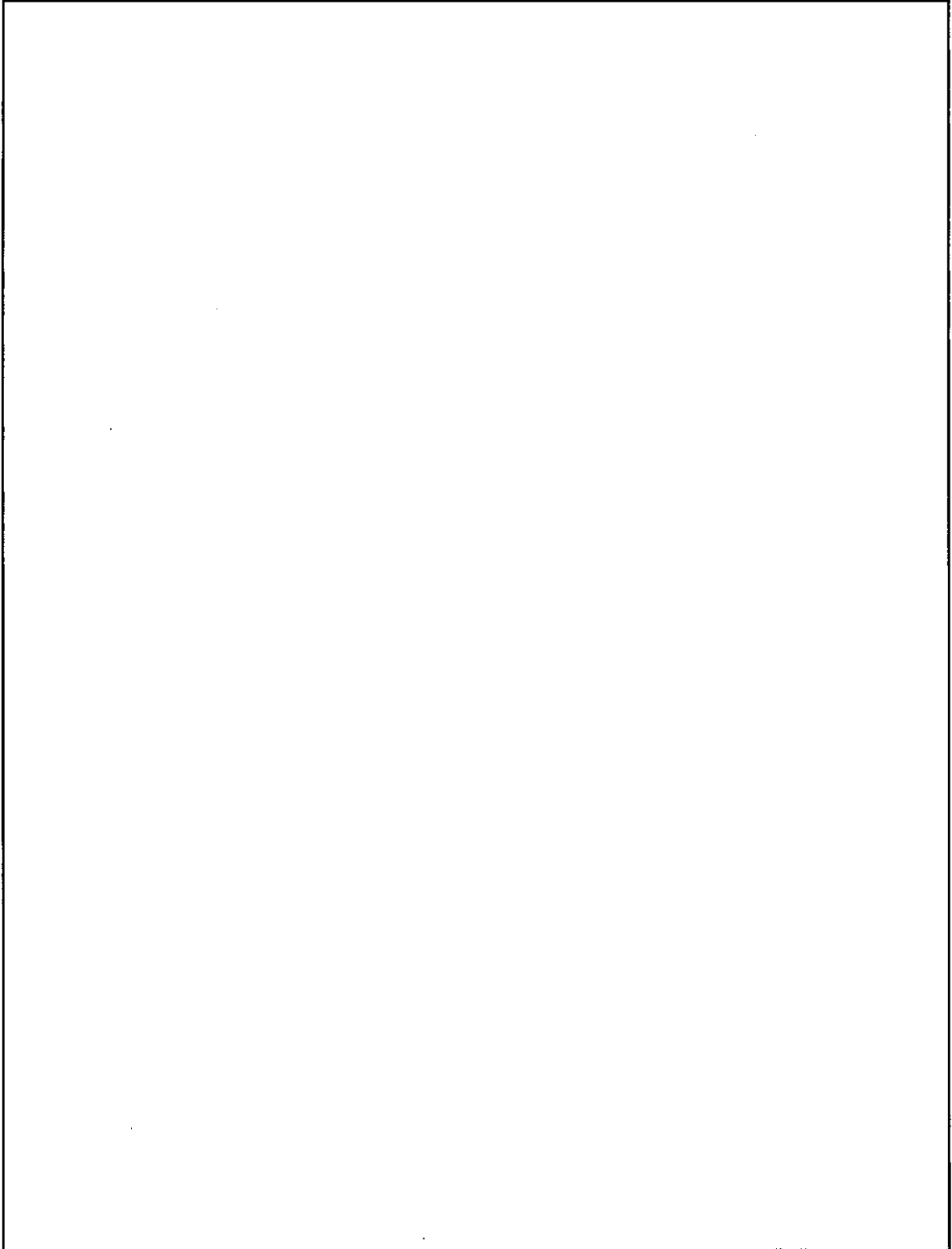




(ロ)D-第1図 [2/2] 通常輸送時遮蔽解析モデル  
(二酸化ウラン焼結体収納時)



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

#### D.1.4 遮蔽評価

##### D.1.4.1 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.1.4.2 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	$1.45 \times 10^{-2}$ mSv/h	1.84 $\mu$ Sv/h	$1.53 \times 10^{-2}$ mSv/h
	側面	$1.65 \times 10^{-2}$ mSv/h	1.82 $\mu$ Sv/h	$1.73 \times 10^{-2}$ mSv/h
	底面	$1.94 \times 10^{-2}$ mSv/h	<u>2.21 <math>\mu</math>Sv/h</u>	$2.06 \times 10^{-2}$ mSv/h
焼結体収納時	底面	<u><math>2.20 \times 10^{-2}</math> mSv/h</u>	2.17 $\mu$ Sv/h	<u><math>2.23 \times 10^{-2}</math> 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.1.5 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、ケース1からケース3において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。

## D.2 ケース 4(スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納)

### D.2.1 概 要

ケース 4 において、本輸送容器に収納するのは濃縮度  % の金属ウランをわずかに照射し (燃焼度 15.0MWd/t 以下)、その上で冷却日数を 3,583 日以上設けた金属ウランを含む金属ウランスラッジであり、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、ウランを含むアクチニド及びその娘核種、並びに FP 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、線源は保守的に金属ウランを収納量上限の 1,200gU 収納するものとして条件を定めた。また、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、 wt% の金属ウラン 1,200 gU が 4 個の容器に均等に存在するものとした。(300 gU/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 線源領域には各容器内にかさ密度が最も低い状態又は最も高い状態の密度と領域を考慮し、保守的にスラッジ収納缶及びスラッジ収納缶用緩衝材は存在しないものとした。
- ⑥ 線源強度はウランを含むアクチニド及びその娘核種、並びに FP 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 6 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かさ密度が最も高い状態の時に得られ  $8.52 \times 10^{-1}$  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かさ密度が最も高い状態の時に得られ 68.04  $\mu$ 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  $\mu$ Sv/h 以下) を満足している。

一般の試験条件下においては、最大線量当量率はかさ密度が最も高い状態の時に得られ、表面での線量当量率は  $9.35 \times 10^{-1}$  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最大線量当量率の増加割合は約 10% であり、著しい増加はない。

(ロ)D-第6表 輸送物の最大線量当量率

	輸送物の表面	表面から 1 m の点
通常輸送時	$8.52 \times 10^{-1}$ mSv/h	68.04 $\mu$ Sv/h
基準	$\leq 2$ mSv/h	$\leq 100$ $\mu$ Sv/h
一般の試験条件下	$9.35 \times 10^{-1}$ mSv/h	—————
基準	$\leq 2$ mSv/h	—————

## D.2.2 線源仕様

本収納物の金属ウランの最大収納量は 1,200 gU 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に 300 gU ずつの金属ウランが収納されるものとした。

### D.2.2.1 ガンマ線源

収納物は濃縮度 % の金属ウランをわずかに照射し（燃焼度 15.0MWd/t 以下）、その上で冷却日数を 3,583 日設けた金属ウランを含む金属ウランスラッジであり、金属ウラン、アクチニド及びその娘核種、並びに FP を含んでいる。線源仕様の詳細を以下に示す。

#### (1) 同位体組成及び放射能

本収納物の同位体組成及び放射能を(ロ)D-第 7 表に示す。

#### (2) 線源強度

(1)に記した同位体組成について 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。ガンマ線源スペクトルが最も高くなる冷却期間を考慮しない場合のガンマ線源スペクトルの計算結果を(ロ)D-第 8 表に示す。

### D.2.2.2 中性子源

ケース 4 の金属ウランは濃縮度 5% の単位重量あたりの中性子線源強度は、二酸化ウランの約 2 倍であるが、ウラン重量が 1,200 g しかないため、輸送物あたりの中性子線源強度はケース 1~3 の最大ケースと比較して 100 分の 1 以下であり、無視できる量である。

以上のことから、中性子源に該当しない。



(ロ)D-第7表 各同位体の組成及び放射能

核種	放射能(Bq)
Sr-90	1.163E+09
Y-90	1.163E+09
Ru-106	1.099E+06
Rh-106	1.099E+06
Cd-113m	8.586E+04
Sn-121m	3.211E+05
Sb-125	5.612E+06
Te-125m	1.374E+06
Cs-137	1.190E+09
Ba-137m	1.190E+09
Ce-144	1.784E+06
Pr-144m	1.703E+04
Pr-144	1.784E+06
Pm-147	2.020E+08
Sm-151	3.576E+07
Eu-155	8.388E+06
Ra-226	2.488E+03
Ac-227	1.460E+04
Th-230	4.633E+05
Th-231	8.967E+07
Th-232	9.924E-03
Th-234	8.721E+05
Pa-234	1.396E+03
Pa-231	4.717E+04
U-232	7.735E+01
U-233	5.602E+01
U-234	2.025E+09
U-235	8.967E+07
U-236	8.079E+06
U-237	8.972E-09
U-238	8.721E+05
Np-237	2.966E+02
Pu-238	1.610E+01
Pu-239	1.865E+05
Pu-240	4.270E-01
放射能量合計	7.180E+09

(ロ)D-第8表 ガンマ線源スペクトル計算結果 (300 gU 相当)

平均 $\gamma$ 線エネルギー (MeV)	線源スペクトル (Photons/s)
0.01	$3.262 \times 10^8$
0.025	$5.433 \times 10^7$
0.0375	$5.254 \times 10^7$
0.0575	$4.685 \times 10^7$
0.085	$3.187 \times 10^7$
0.125	$2.178 \times 10^7$
0.225	$3.540 \times 10^7$
0.375	$1.047 \times 10^7$
0.575	$3.135 \times 10^8$
0.85	$1.605 \times 10^6$
1.25	$5.338 \times 10^5$
1.75	$4.259 \times 10^4$
2.25	$3.840 \times 10^3$
2.75	$6.397 \times 10^1$
3.5	$8.082 \times 10^0$
5	$5.061 \times 10^{-2}$
7	$4.386 \times 10^{-3}$
9.5	$4.083 \times 10^{-4}$

## D.2.3 モデル仕様

### D.2.3.1 解析モデル

#### D.2.3.1.1 通常輸送時

解析モデルを(ロ)D-第3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、容器の周囲には中性子吸収材（BORA レジン）、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。容器外蓋ではアルミニウム合金部分を見捨てている。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見捨てている。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300 gの金属ウランが各々の容器内に存在するものとして、かさ密度最小の場合は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。かさ密度最大の場合は、理論密度の金属ウランが容器底に存在するものとしてモデル化している。なお、スラッジ収納缶及びスラッジ収納缶用緩衝材は見捨てている。

計算点は、輸送物の表面及び表面から1 mの点とした。

#### D.2.3.1.2 一般の試験条件

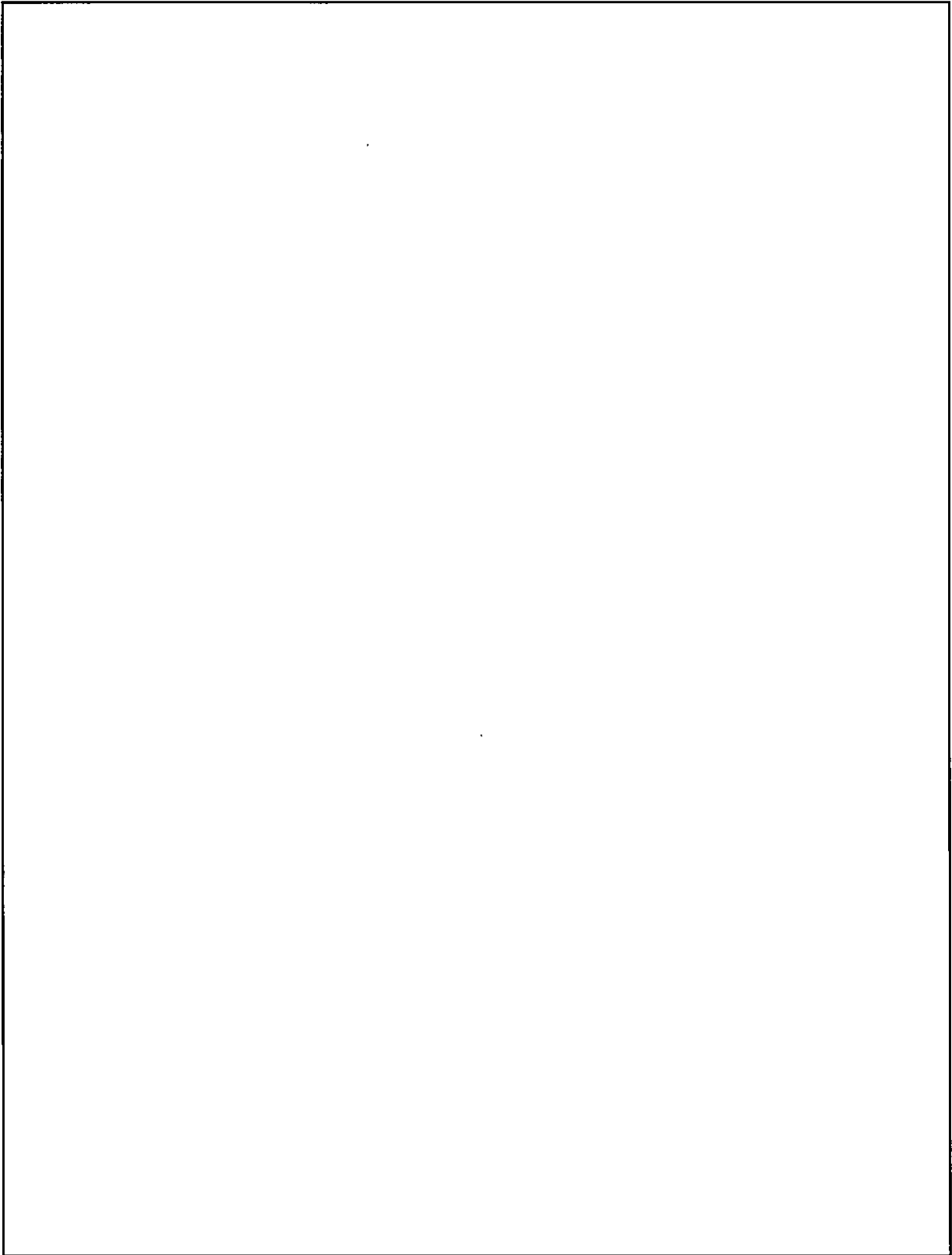
解析モデルを(ロ)D-第4図に示す。

一般の試験条件下において、(ロ)A-第12表に記載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14表に記載したように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。

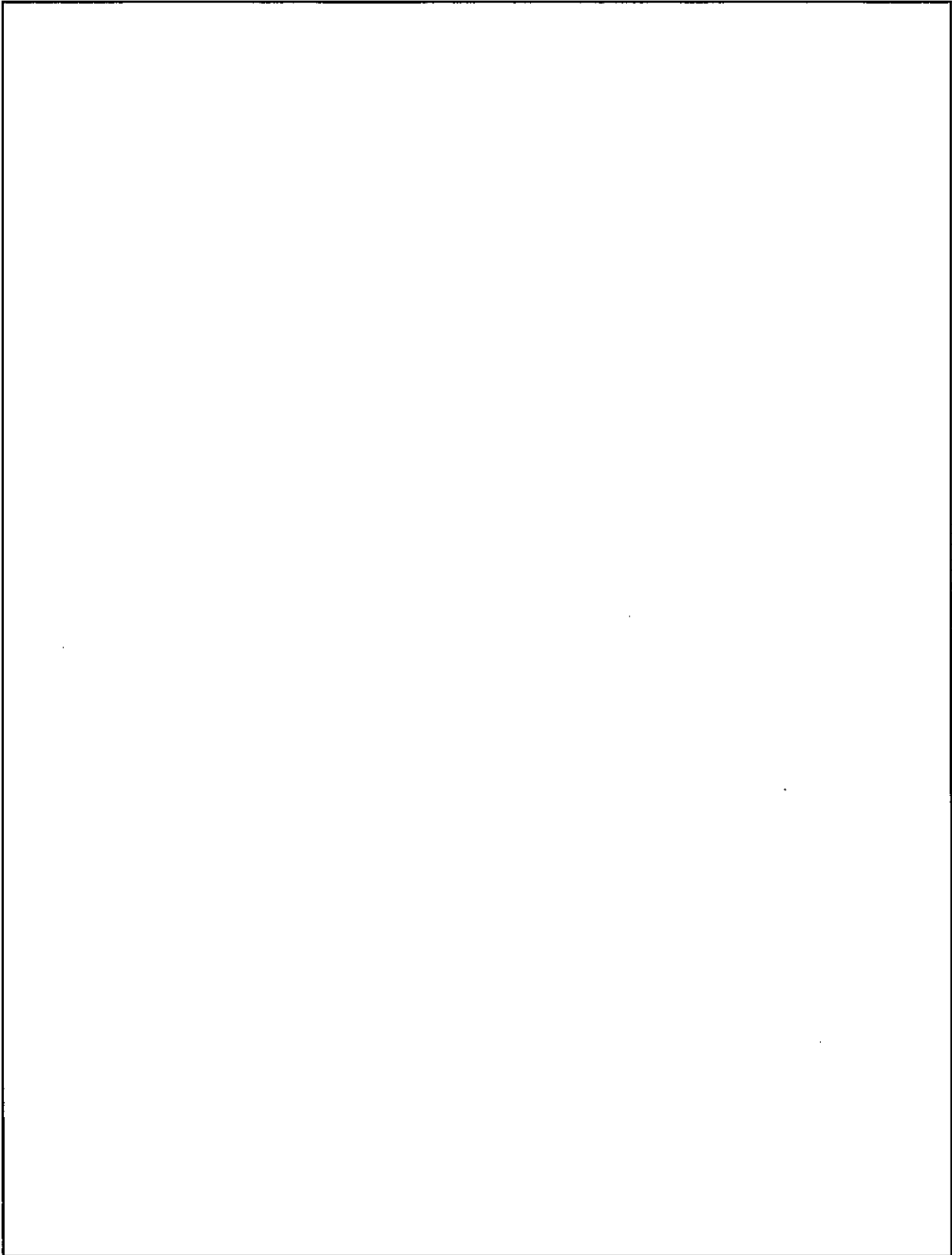
一方、耐火試験後に供試体を解体して確認したところ、容器間の距離はほとんど変化がなかったことから、一般の試験条件下において容器間の距離は変化しなかったものと考えられる。

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、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。

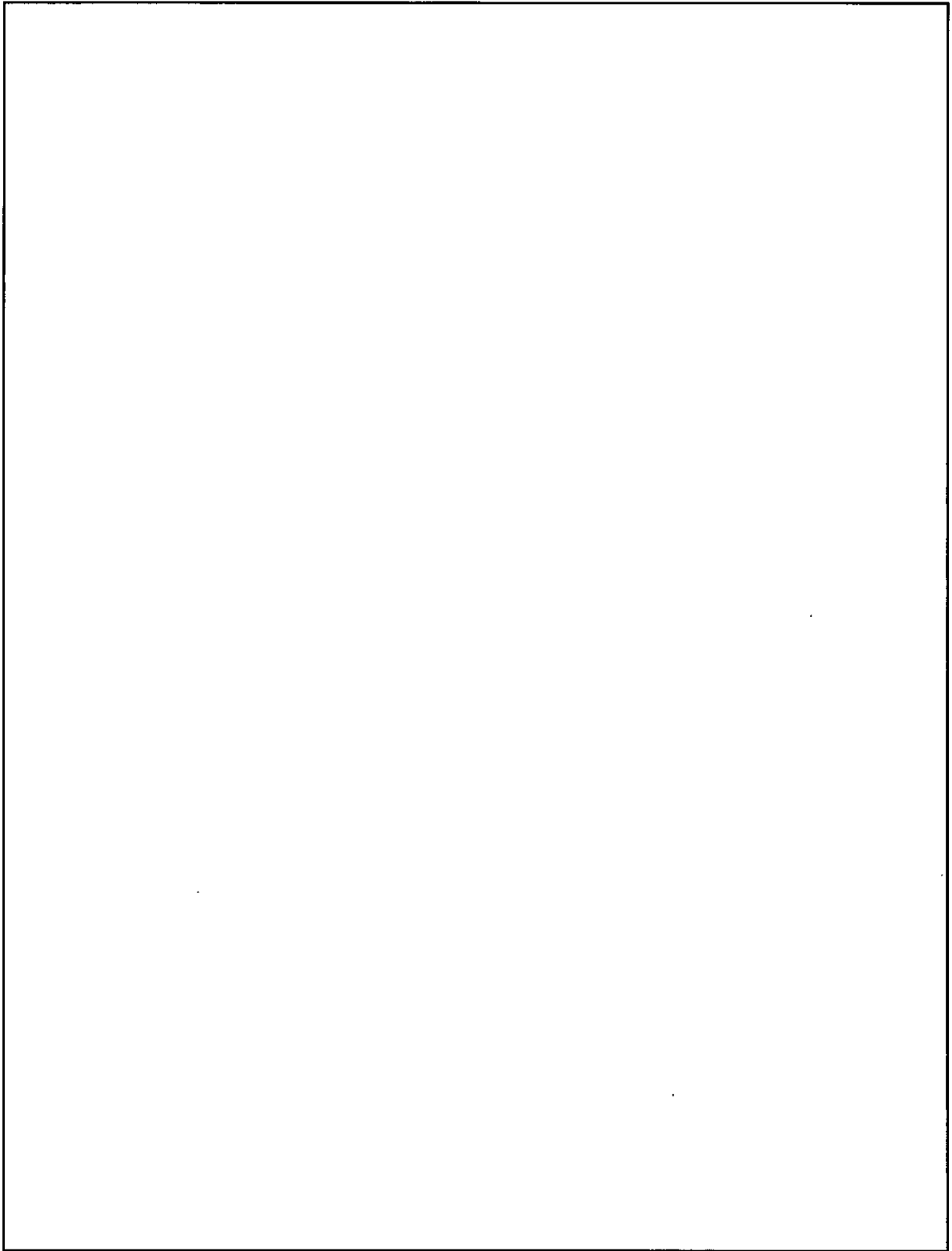
輸送物に発生する変形は圧縮変形であるが、保守的に耐熱衝撃緩衝材の密度変化は考慮していない。



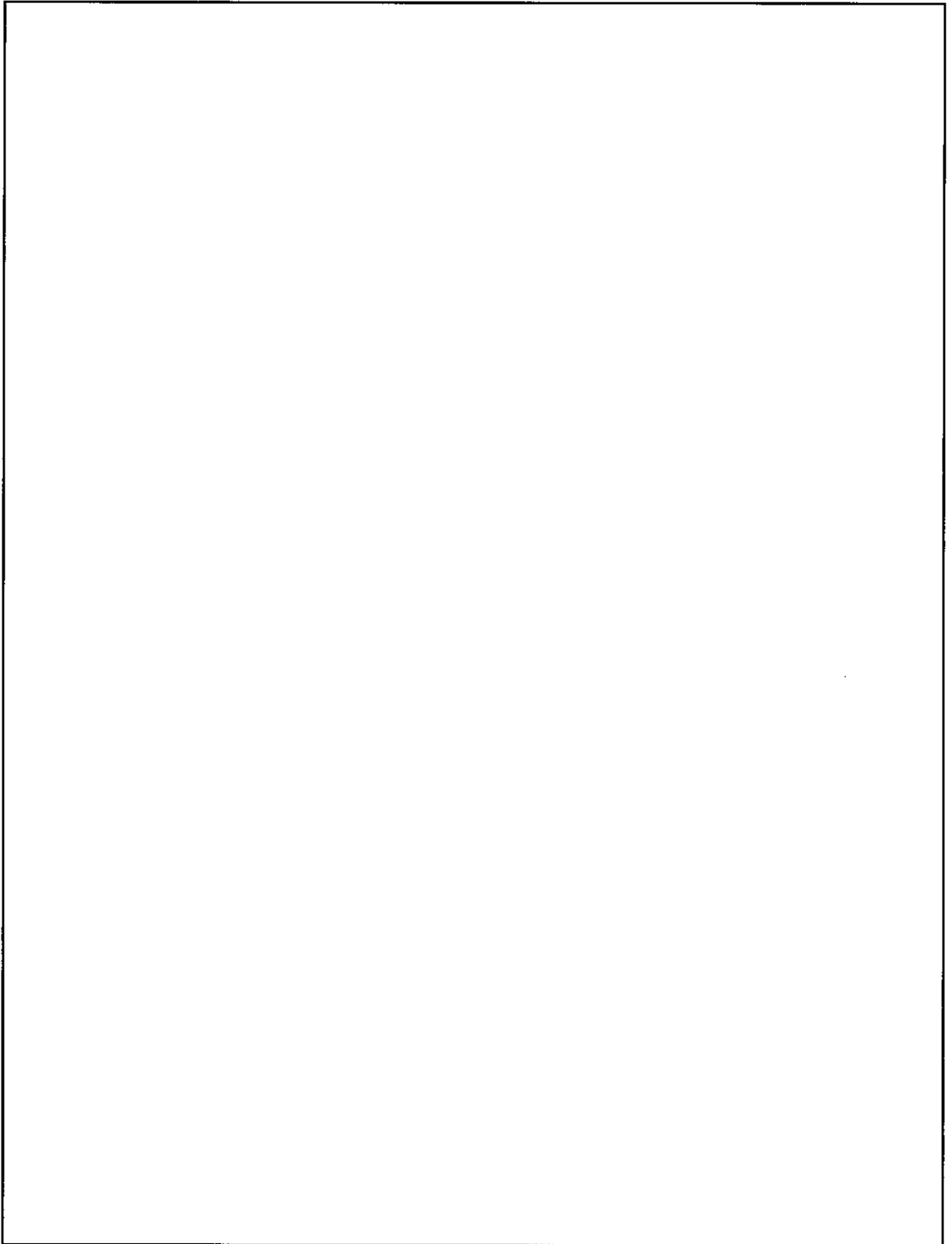
(ロ)D-第3図 [1/2] 通常輸送時遮蔽解析モデル  
(かさ密度最小時)



(ロ)D-第3図 [2/2] 通常輸送時遮蔽解析モデル  
(かさ密度最大時)



(ロ)D-第4図 [1/2] 一般の試験条件下遮蔽解析モデル  
(かさ密度最小時)



(ロ)D-第4図 [2/2] 一般の試験条件下遮蔽解析モデル  
(かさ密度最大時)

D.2.3.2 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9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9表 各領域の密度、組成及び原子個数密度

領域	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	組成	原子個数密度 (atoms/barn·cm)
ステンレス鋼	7.85	Fe	$6.095 \times 10^{-2}$
		Cr	$1.637 \times 10^{-2}$
		Ni	$8.054 \times 10^{-3}$
金属ウラン線源 (かさ密度最小)	0.00452	U	$1.158 \times 10^{-5}$
金属ウラン線源 (かさ密度最大)	19.05	U	$4.877 \times 10^{-2}$



## D.2.4 遮蔽評価

### D.2.4.1 評価方法

(ロ)D-第3図及び第4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.2.4.2 評価結果

本輸送容器に金属ウランを収納し、かさ密度最小の場合とかさ密度最大の場合の評価結果を(ロ)D-第10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かさ密度最大の場合の底面で与えられる。また、通常輸送時の表面から 1 m の点における最大値はかさ密度最大の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 2」参照)

(ロ)D-第10表 かさ密度最小又はかさ密度最大時の解析結果

		通常輸送時		一般の試験条件下
		輸送物表面	表面から 1 m の点	輸送物表面
かさ密度最小時	上面	$1.51 \times 10^{-1}$ mSv/h	29.84 $\mu$ Sv/h	$1.61 \times 10^{-1}$ mSv/h
	側面	$1.70 \times 10^{-1}$ mSv/h	20.48 $\mu$ Sv/h	$1.80 \times 10^{-1}$ mSv/h
	底面	$2.16 \times 10^{-1}$ mSv/h	38.43 $\mu$ Sv/h	$2.31 \times 10^{-1}$ mSv/h
かさ密度最大時	底面	$8.52 \times 10^{-1}$ mSv/h	68.04 $\mu$ Sv/h	$9.35 \times 10^{-1}$ mSv/h

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 1 m 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 10%であり、著しい増加はない。

## D.2.5 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6表に示すように、ケース 4 において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。

(ロ)D 付属資料 1

最大線量当量率を与える評価点の検討 (ケース 1~3)

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 4 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 4 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  $\square$  mm 容器外蓋が突出していることから、 $\square$  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も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、4 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。

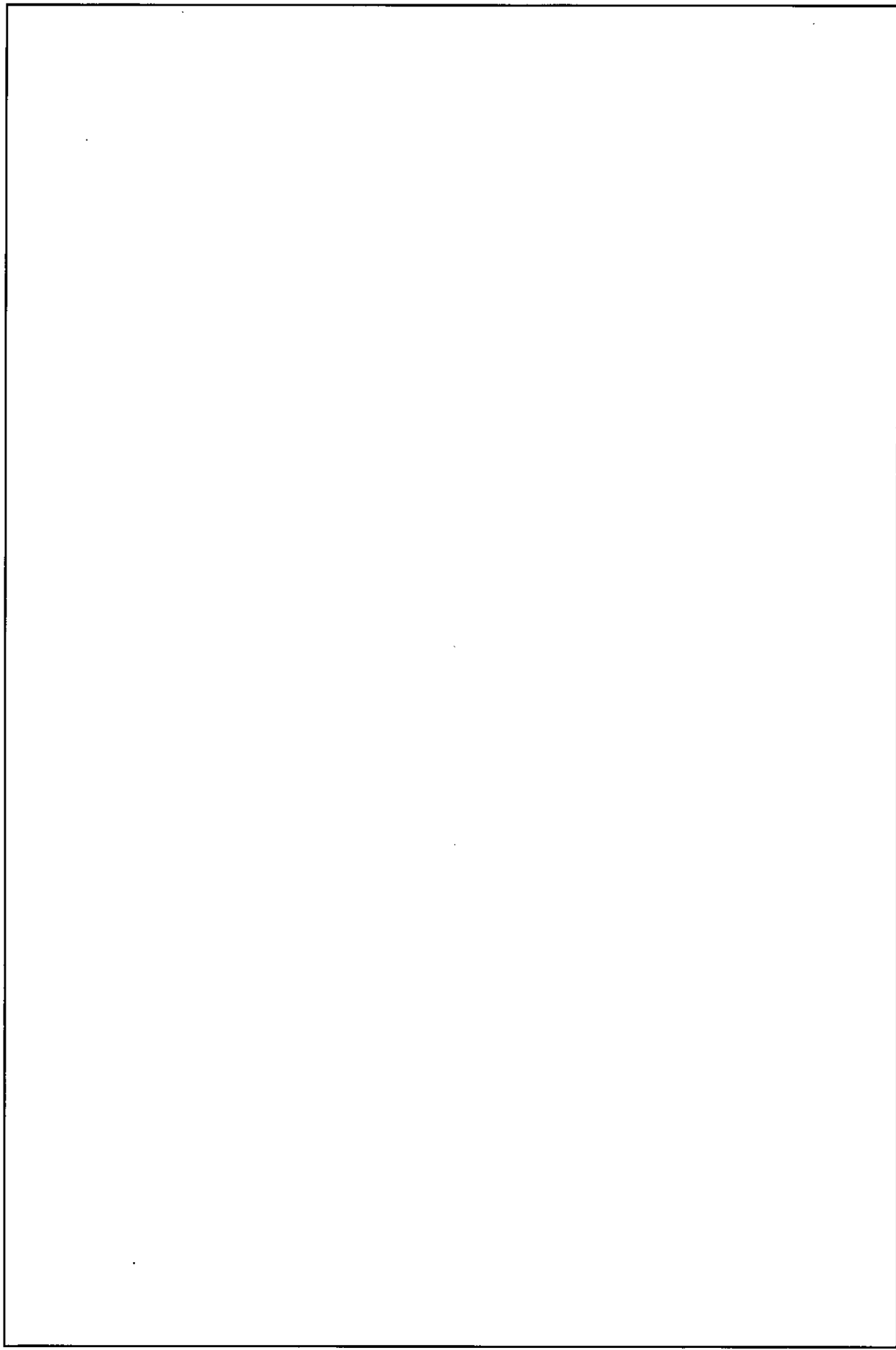


図1 線量当量率評価点サーベイ箇所説明概略図

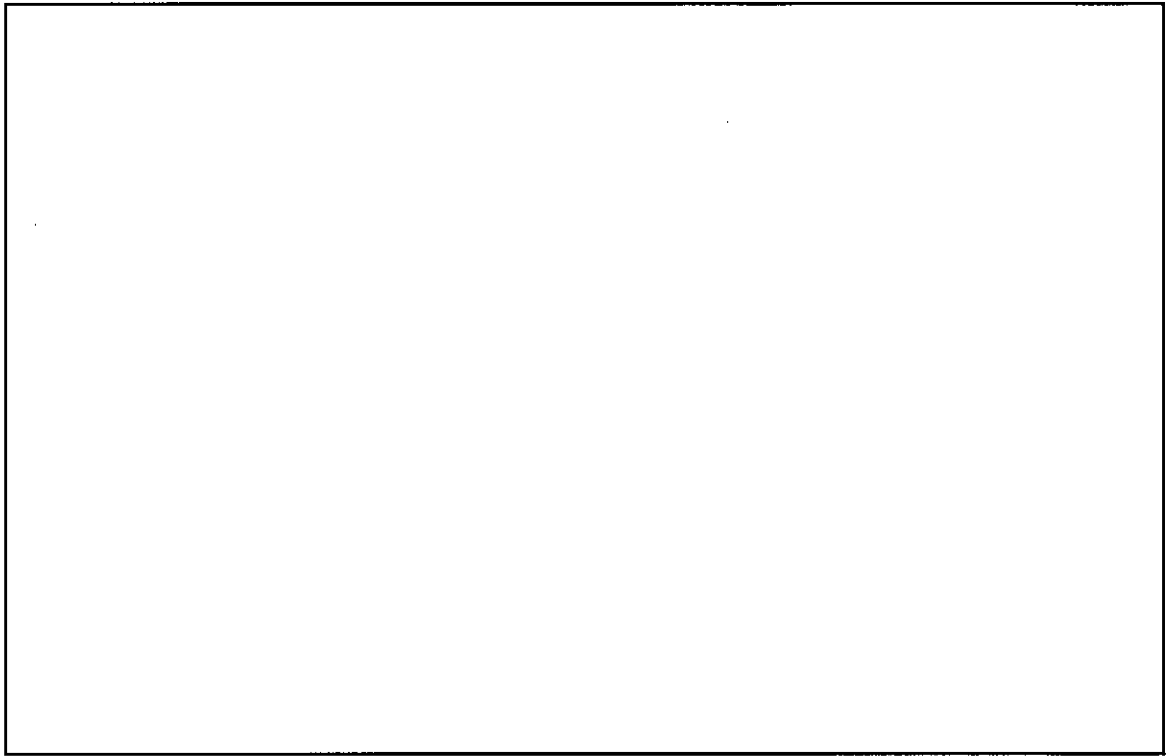


図 2 通常輸送時外蓋上面表面

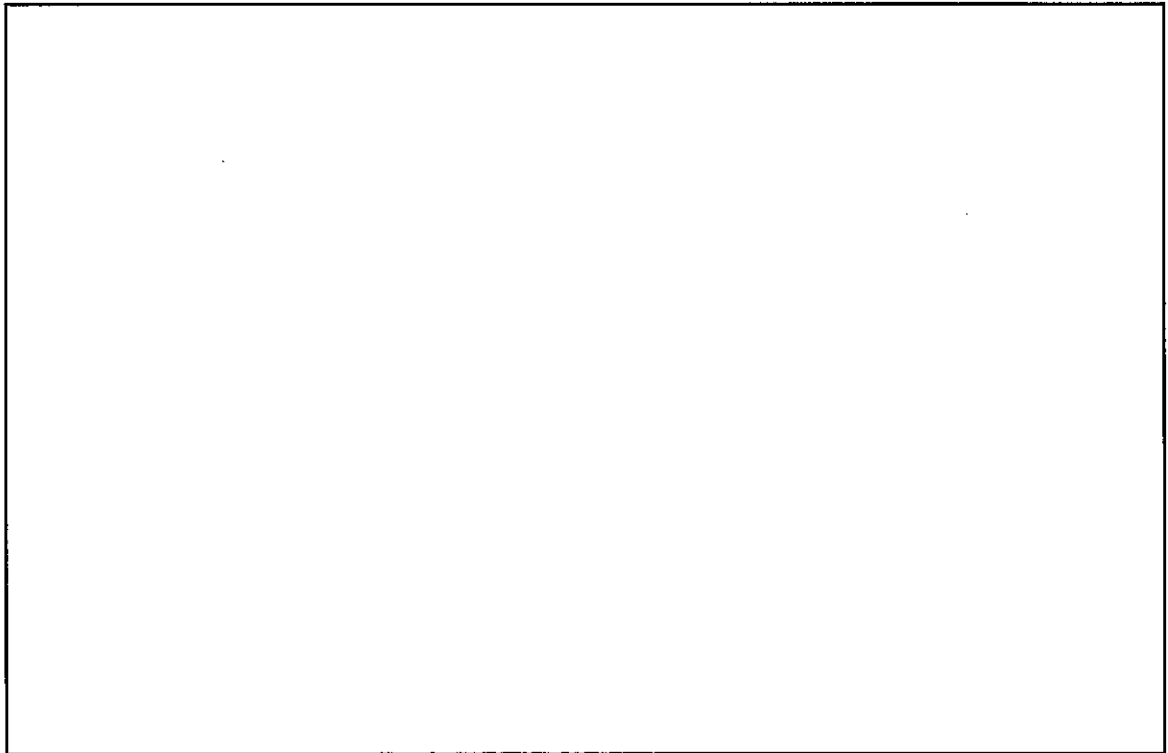


図 3 通常輸送時上面表面

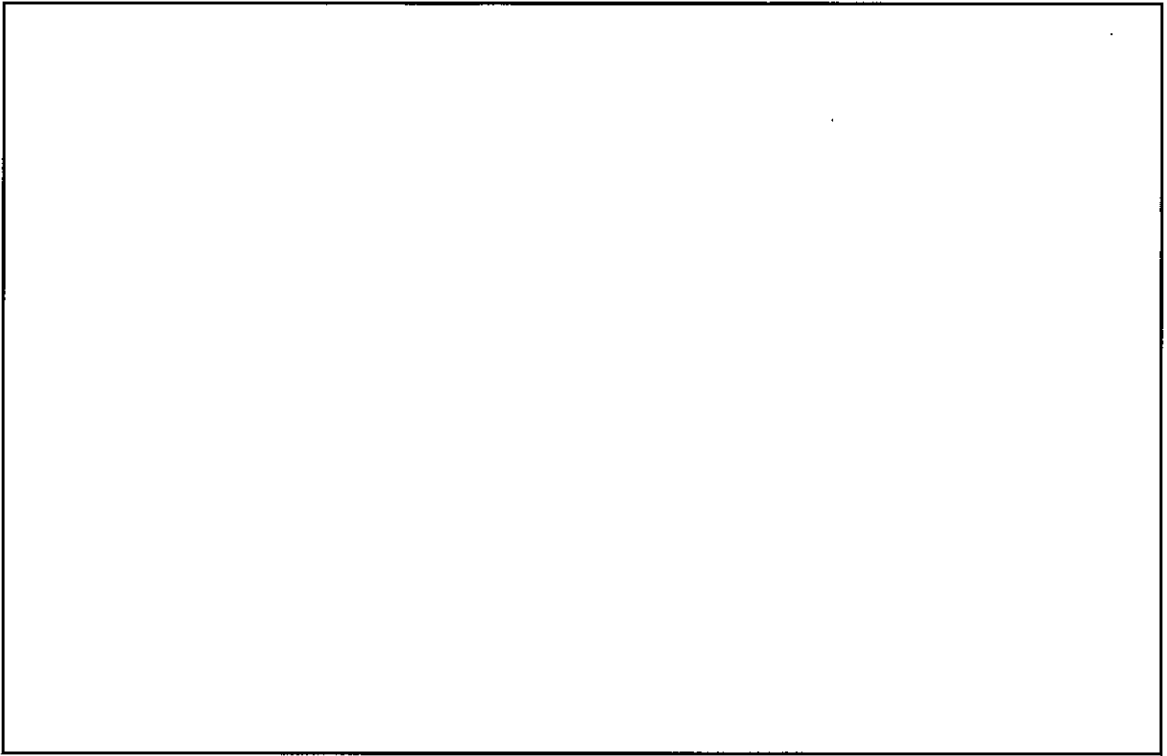


図 4 一般の試験条件下時外蓋上面表面

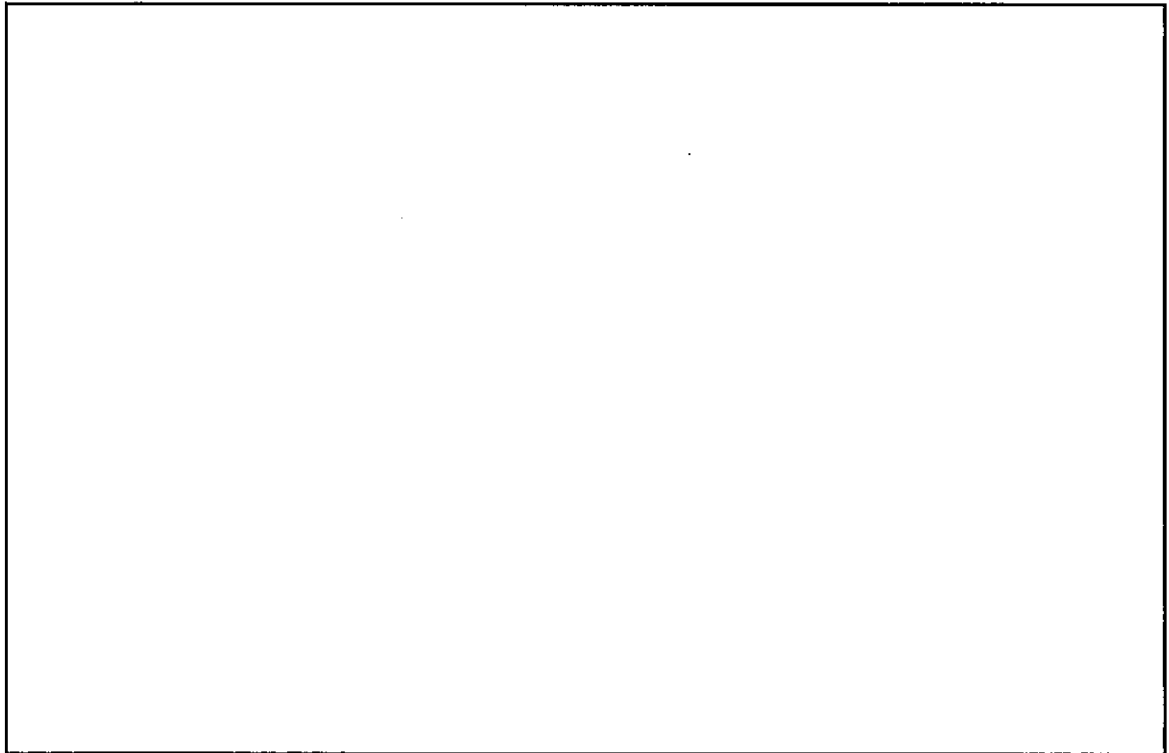


図 5 通常輸送時側面表面 (水平方向)

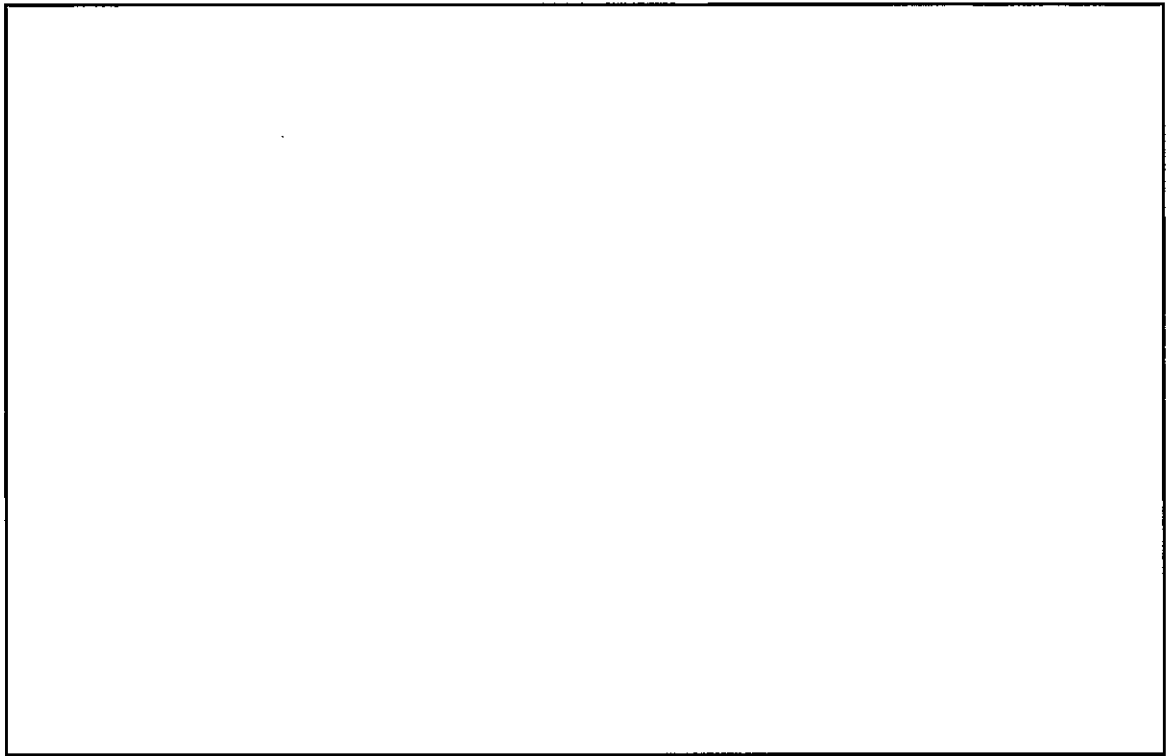


図 6 通常輸送時側面表面（垂直方向）

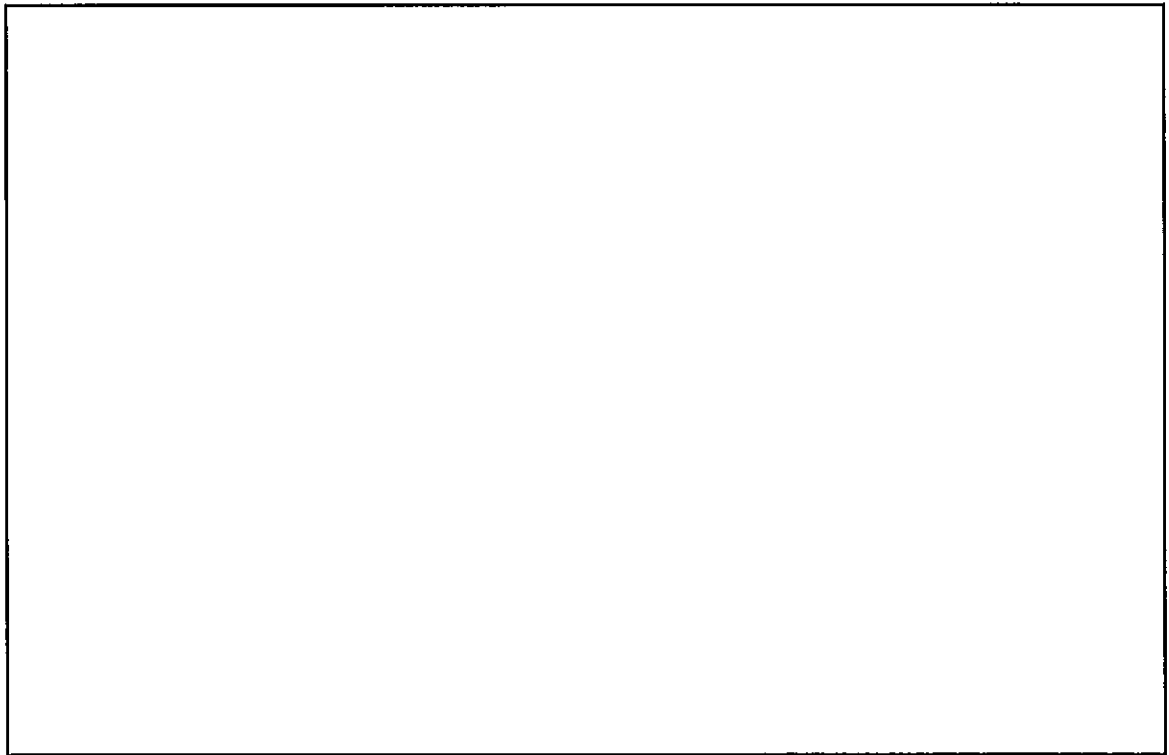


図 7 一般の試験条件下時側面表面（水平方向）

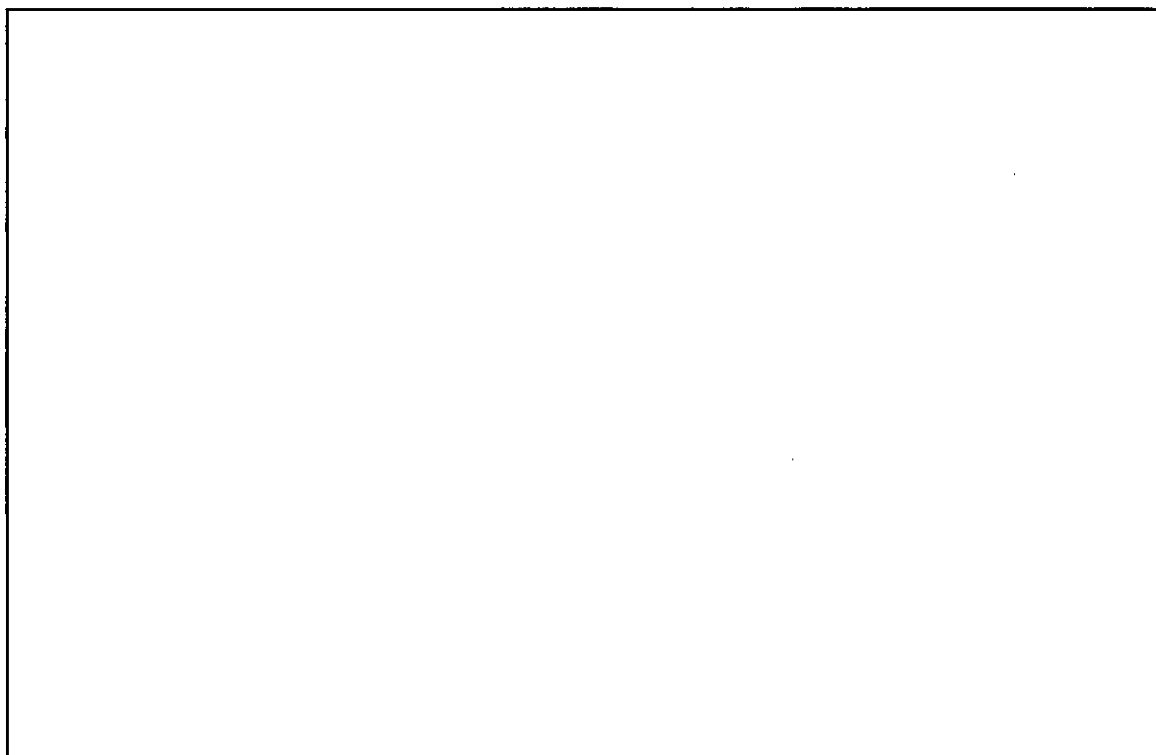


図 8 一般の試験条件下時側面表面 (垂直方向)

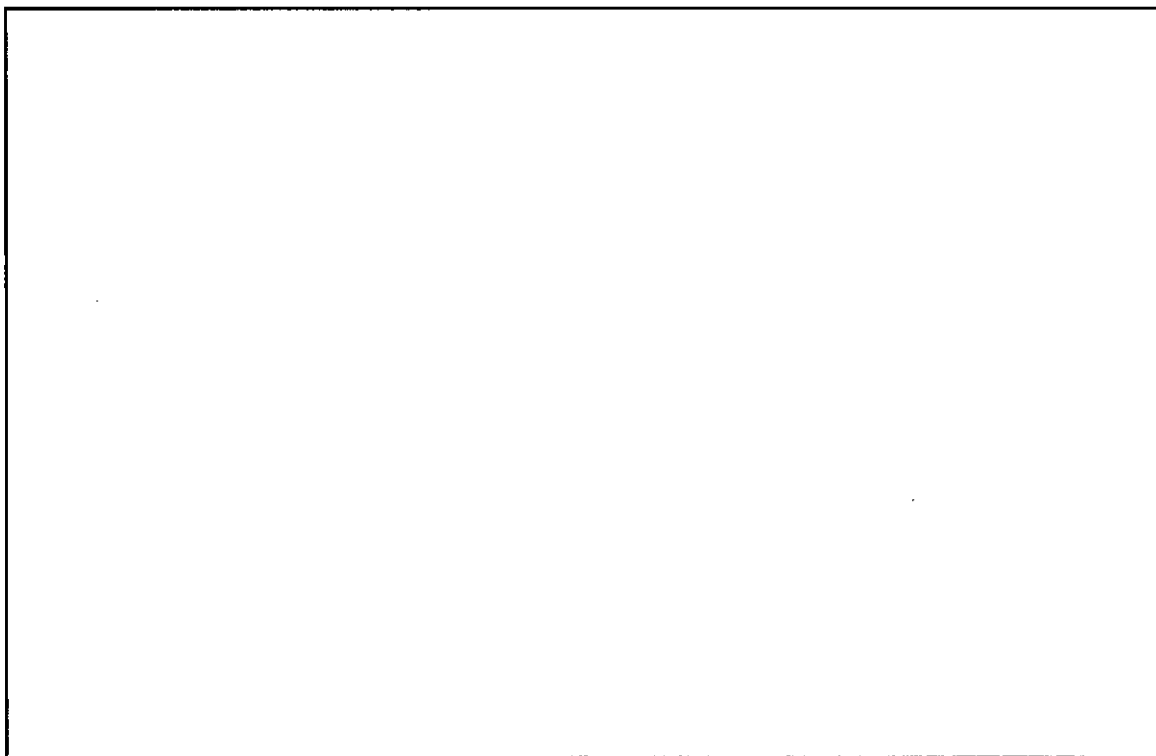


図 9 通常輸送時底面表面



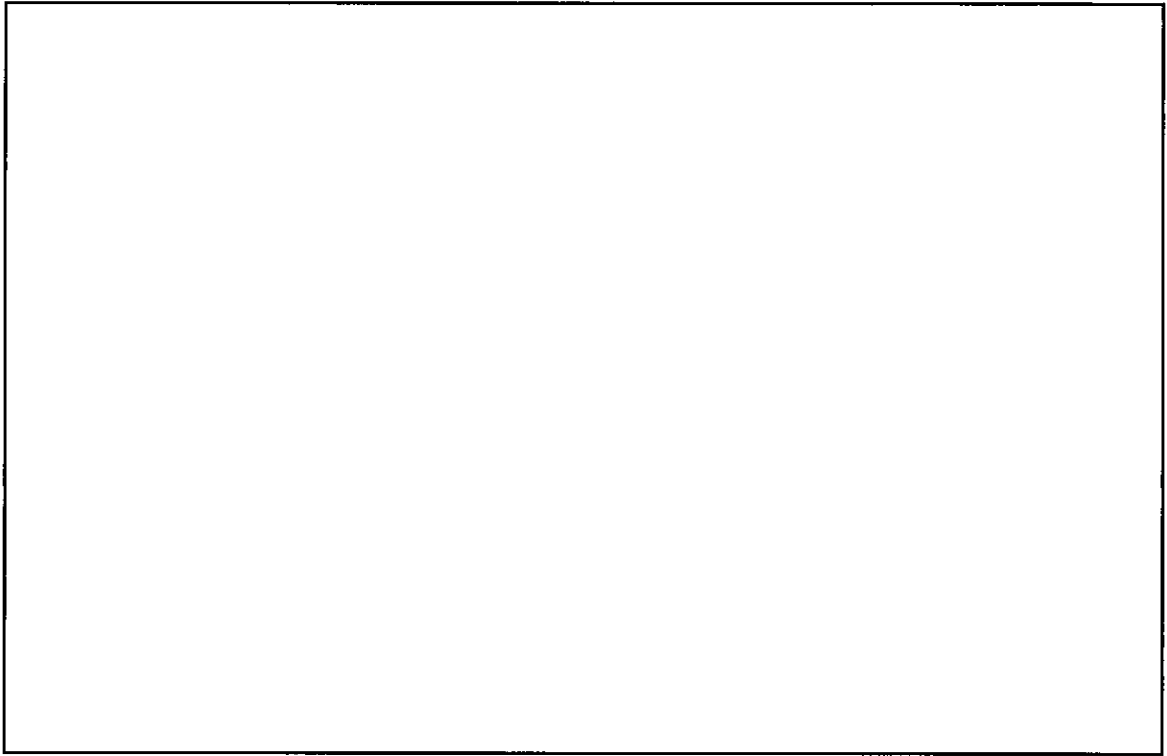


図 10 一般の試験条件下時底面表面

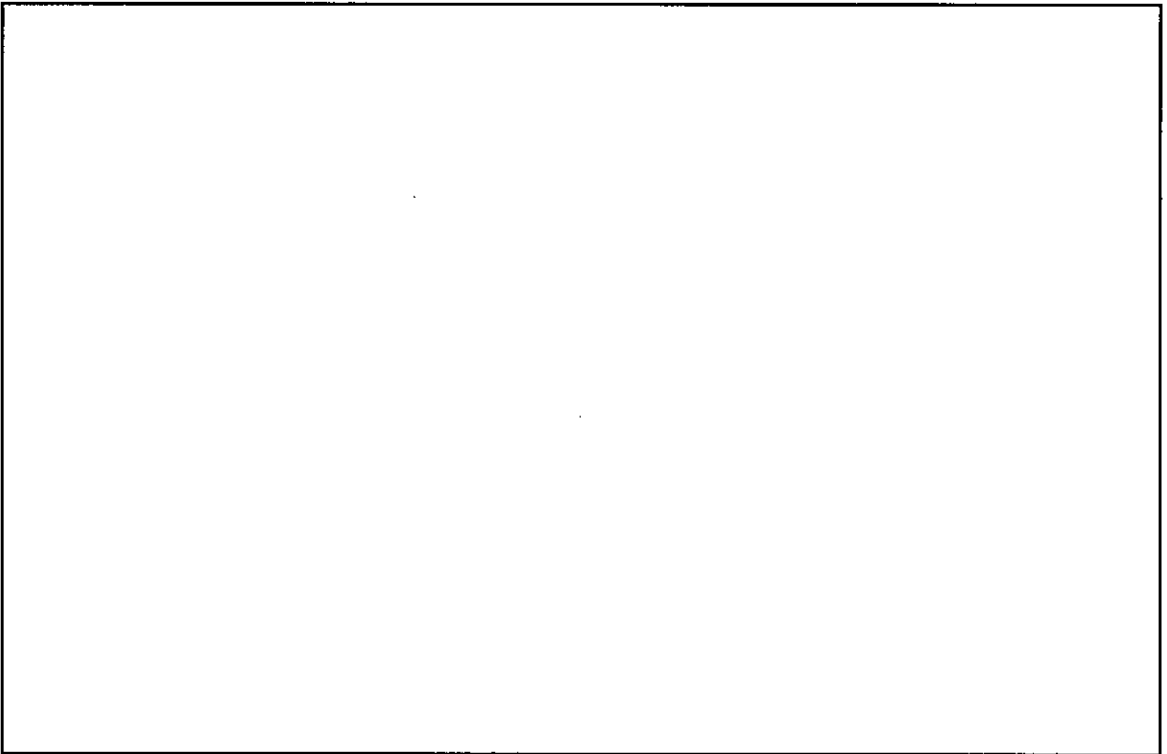


図 11 通常輸送時上面 1 m

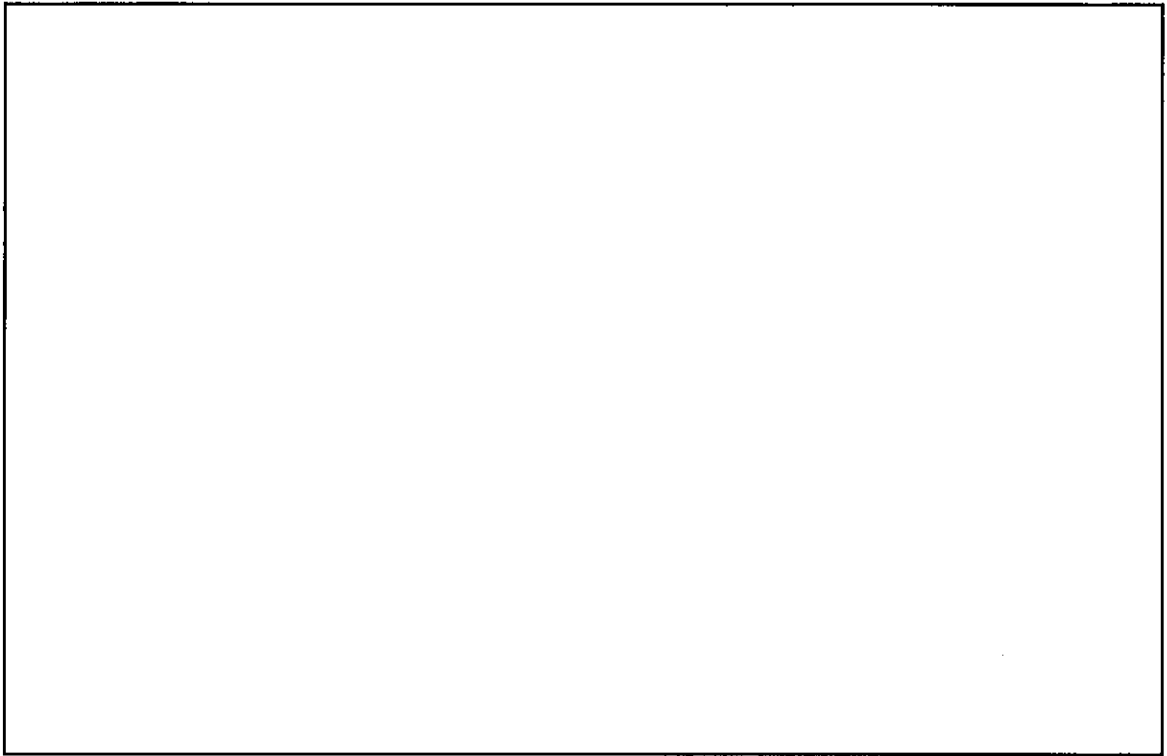


図 12 通常輸送時側面 1 m

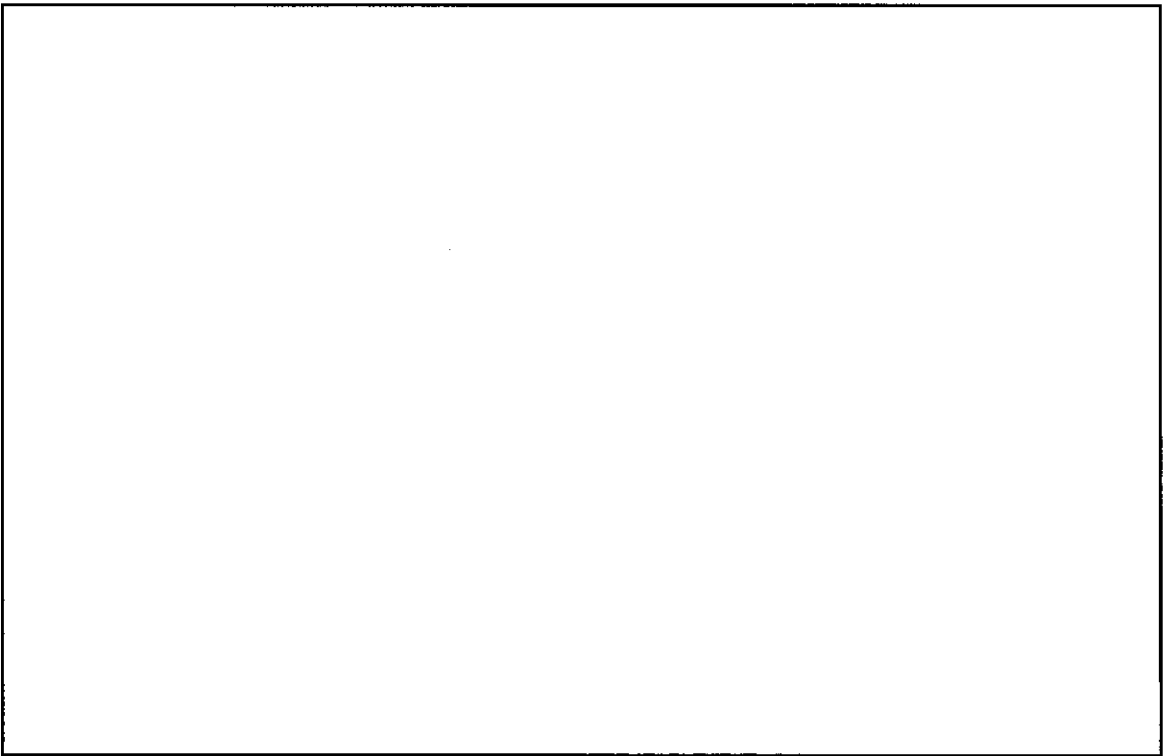


図 13 通常輸送時底面 1 m

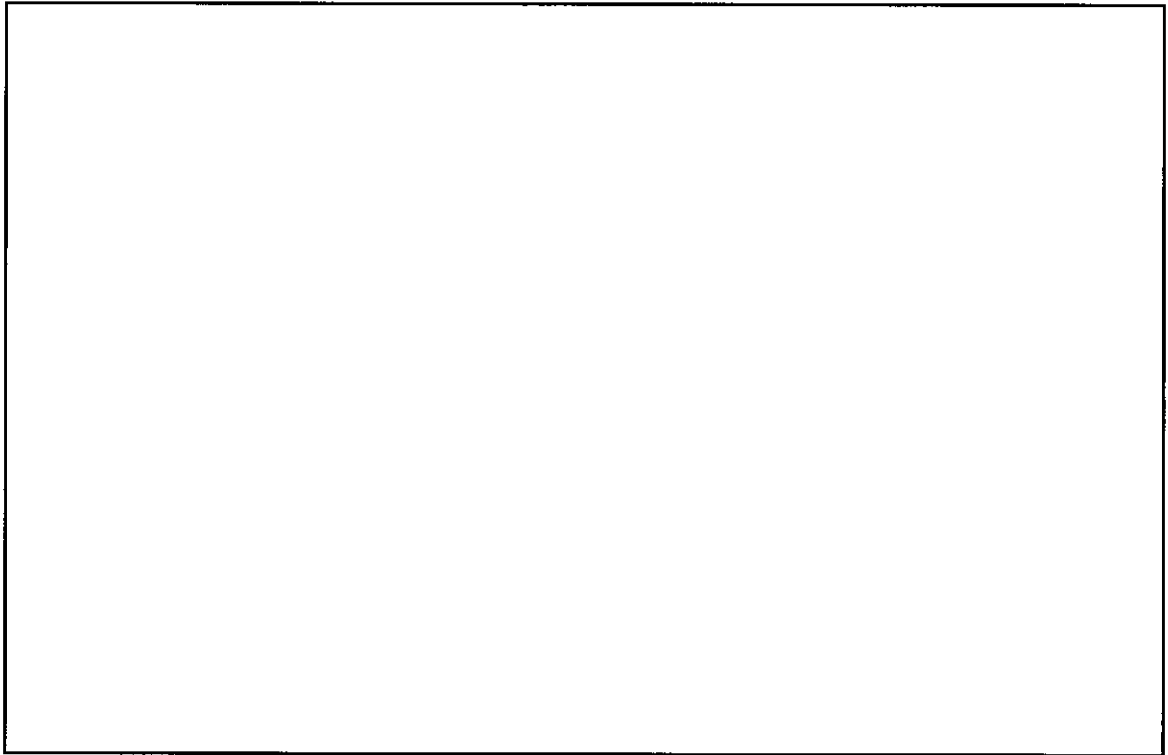


図 14 通常輸送時底面表面 (焼結体)

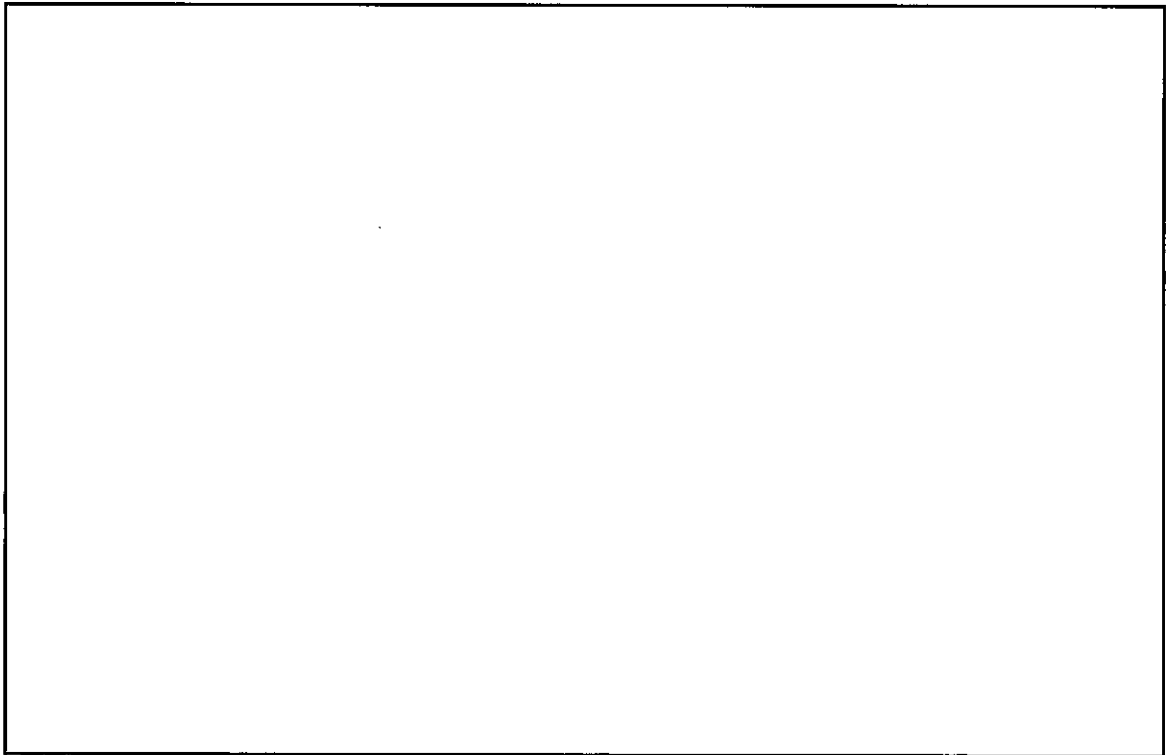


図 15 通常輸送時底面 1 m (焼結体)

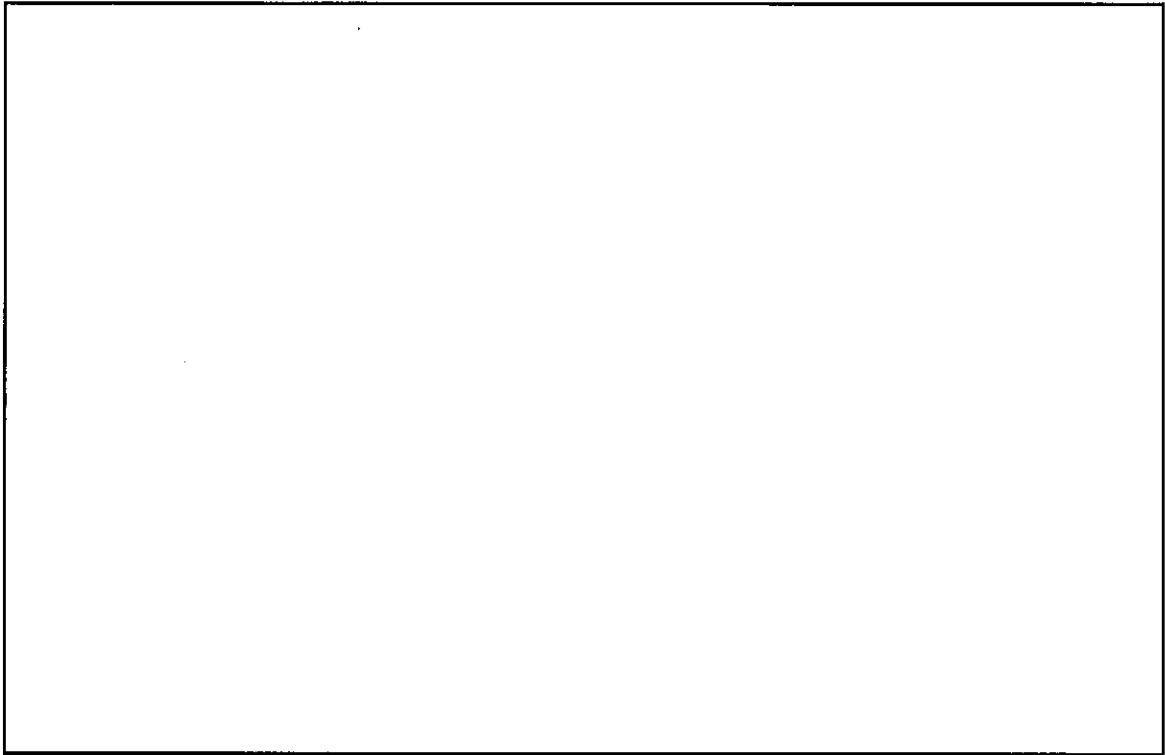


図 16 一般の試験条件時底面表面（焼結体）

(ロ)D 付属資料 2

最大線量当量率を与える評価点の検討 (ケース 4)

TNF-XI 型輸送物は収納物である金属ウランを 4 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 4 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. かさ密度最小時

(1) 輸送物の上面表面

輸送物の上面は約  $\square$  mm 容器外蓋が突出していることから、 $\square$  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大値となることが最も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. かさ密度最大時

かさ密度最大時の解析モデルでは、理論密度の金属ウラン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

金属ウランを収納する 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、4 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。

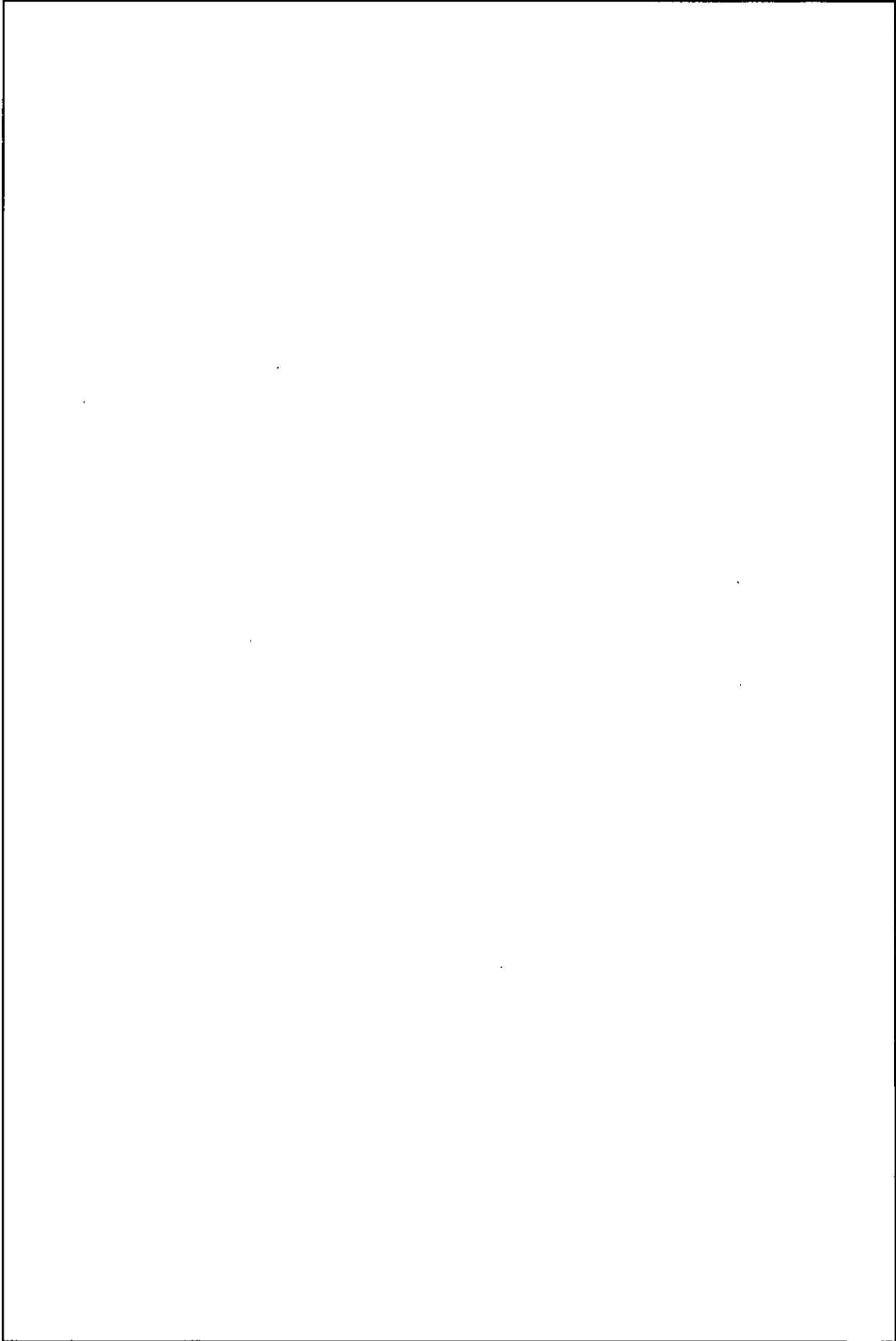


図1 線量当量率評価点サーベイ箇所説明概略図

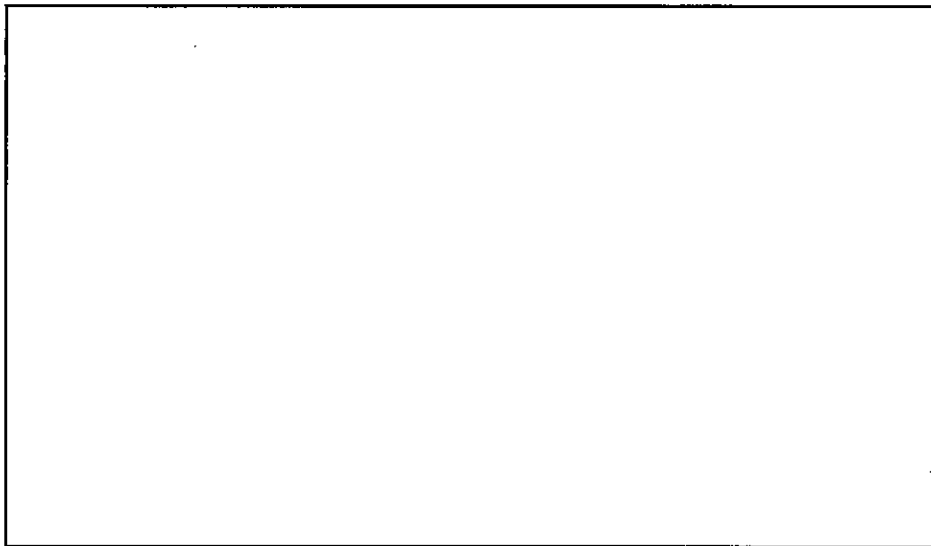


图 2 通常輸送時外蓋上面表面

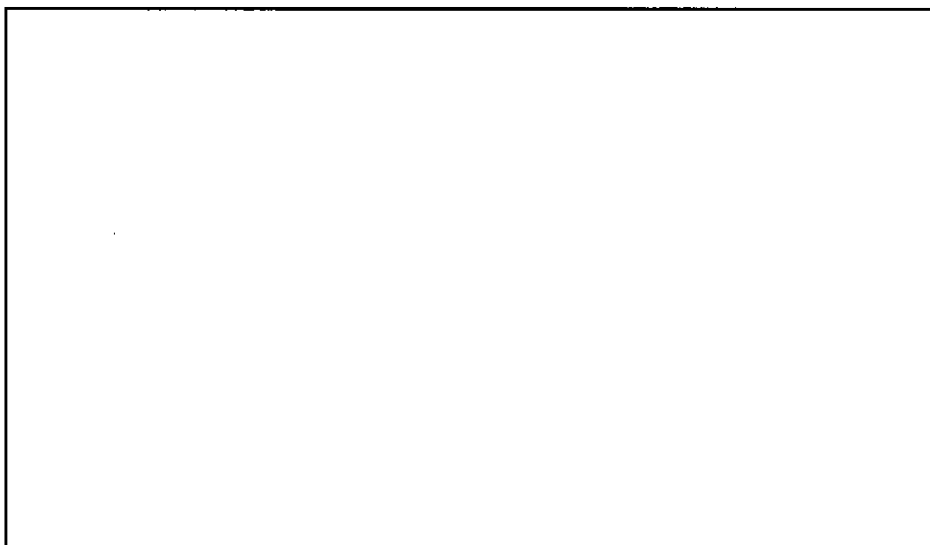


图 3 通常輸送時上面表面



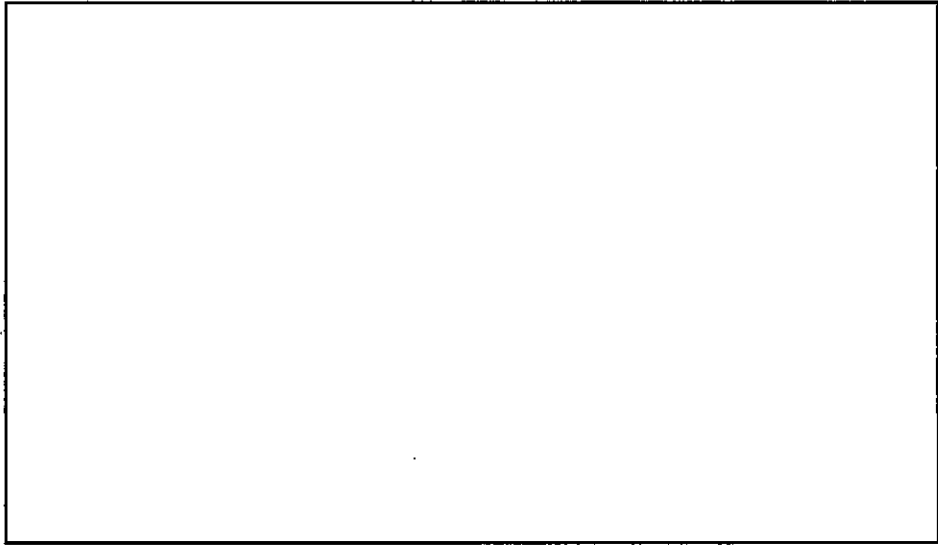


図 4 一般の試験条件下時外蓋上面表面

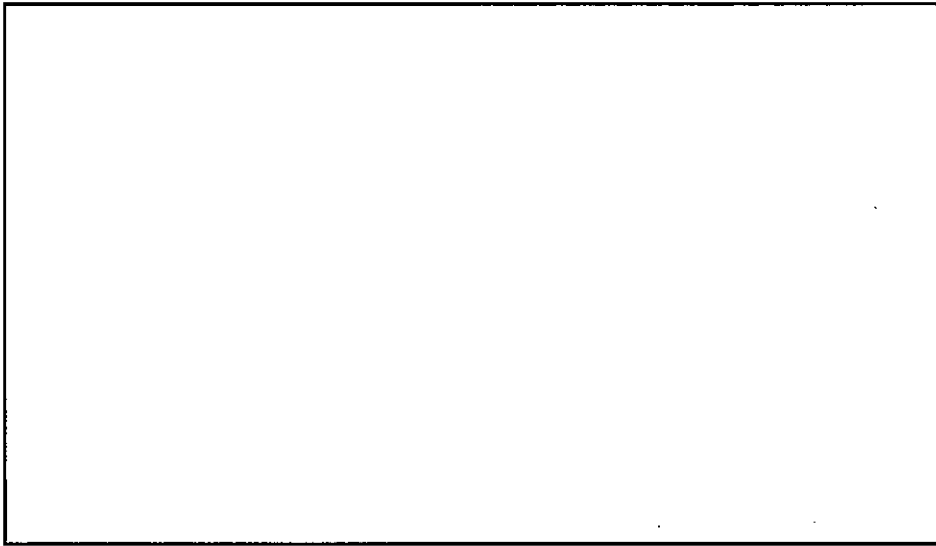


図 5 通常輸送時側面表面（水平方向）

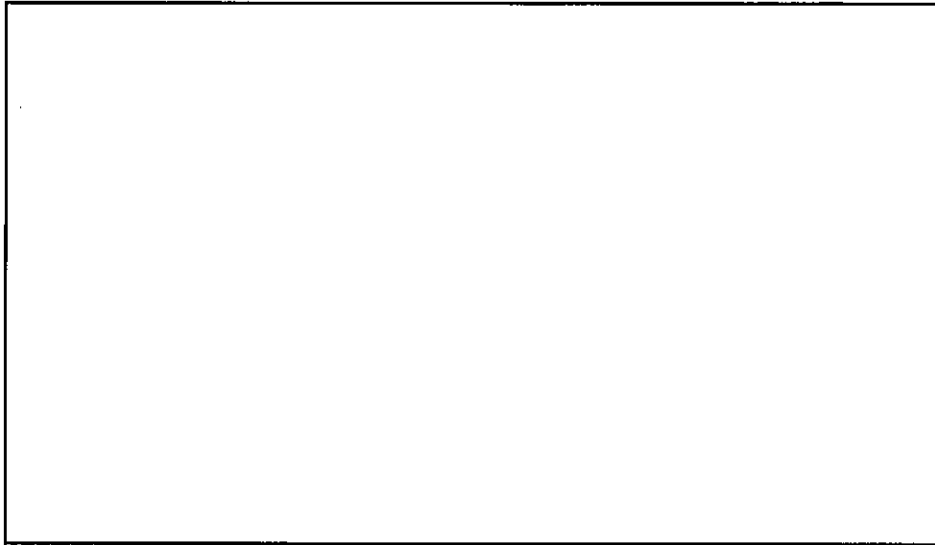


図 6 通常輸送時側面表面（垂直方向）

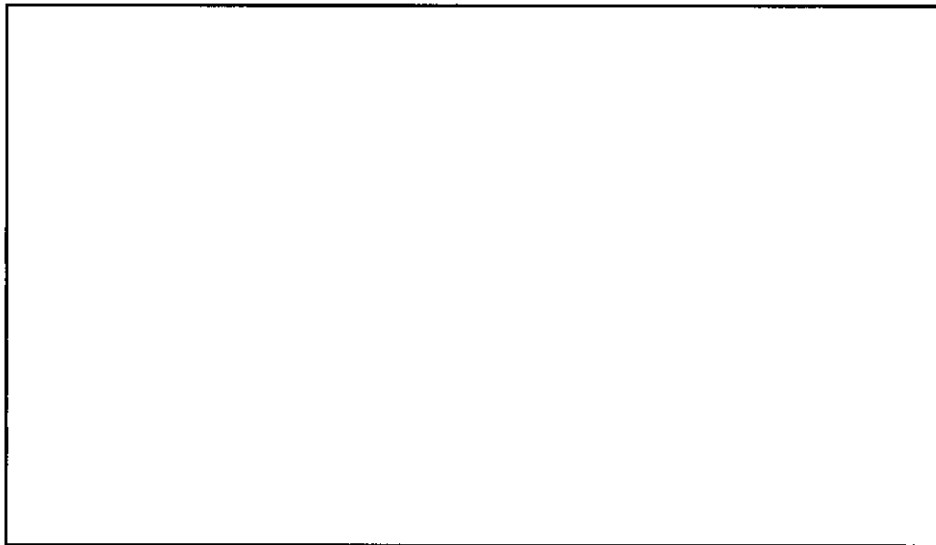


図 7 一般の試験条件下時側面表面（水平方向）

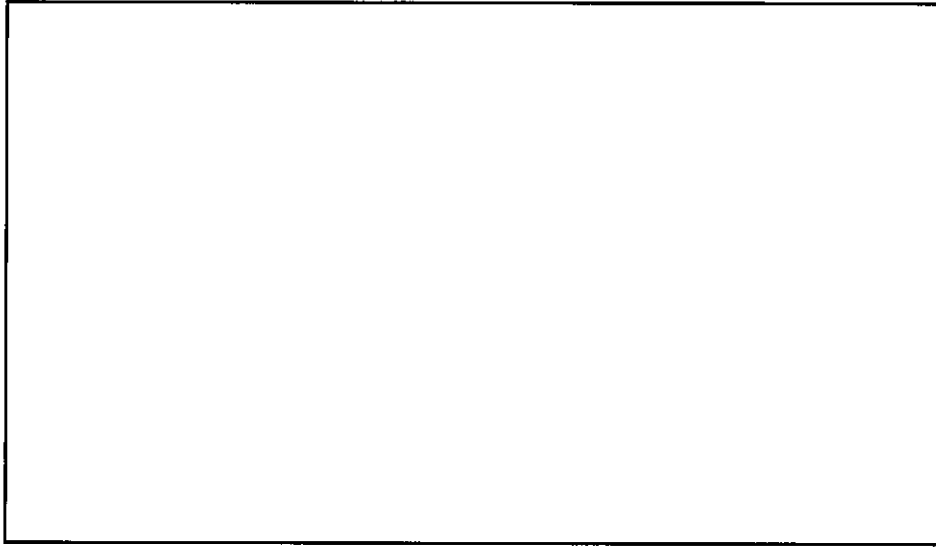


図 8 一般の試験条件下時側面表面（垂直方向）

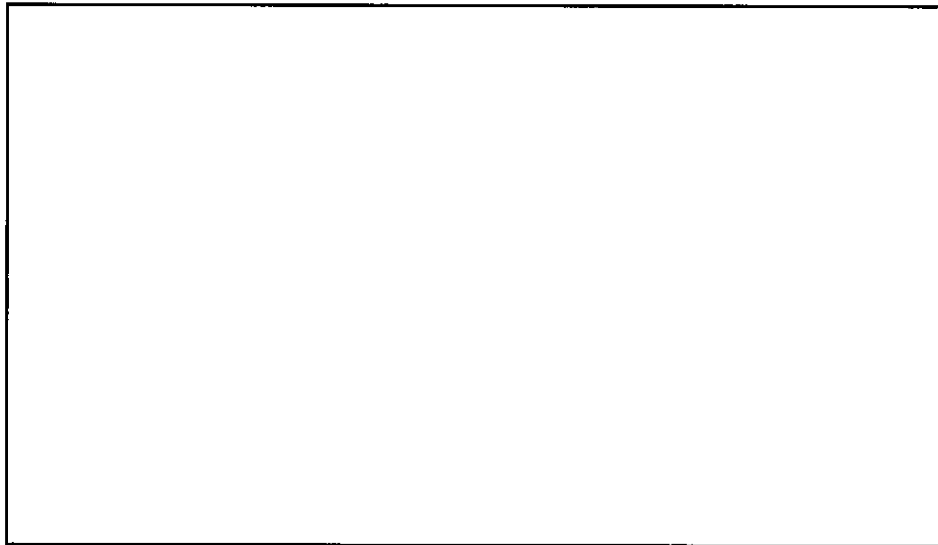


図 9 通常輸送時底面表面

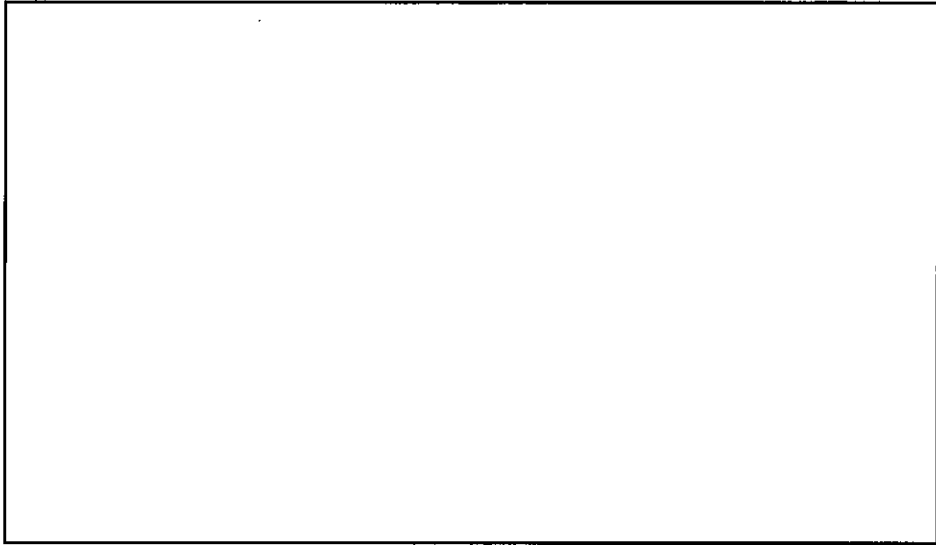


図 10 一般の試験条件下時底面表面

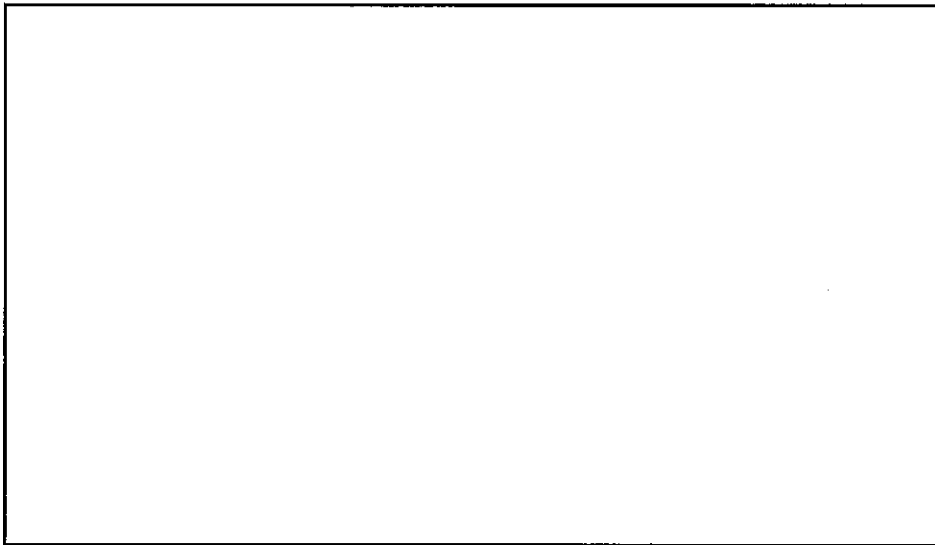


図 11 通常輸送時上面 1 m

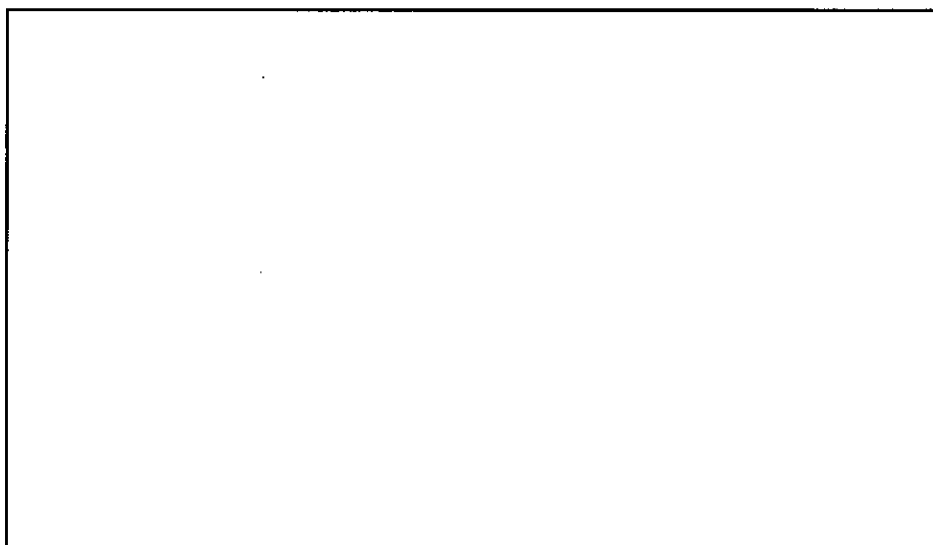


图 12 通常輸送時側面 1 m

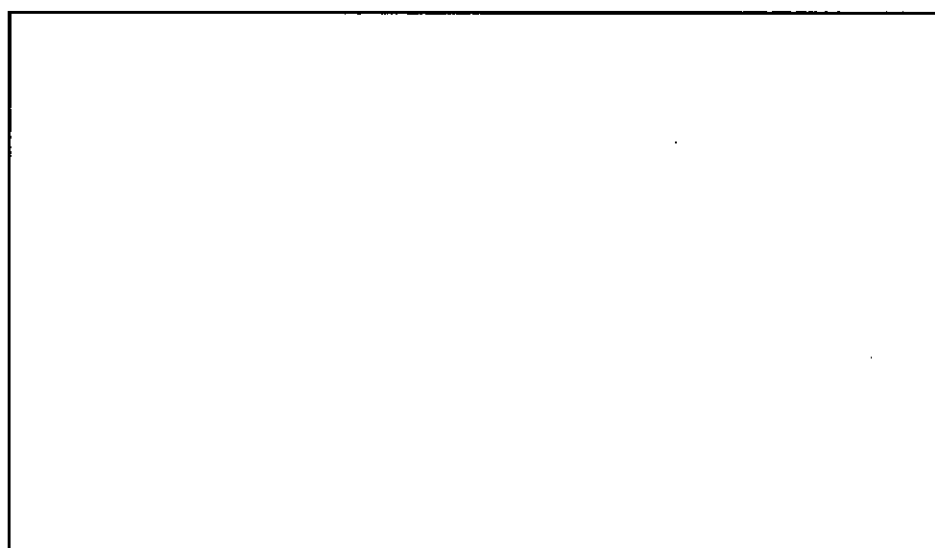


图 13 通常輸送時底面 1 m

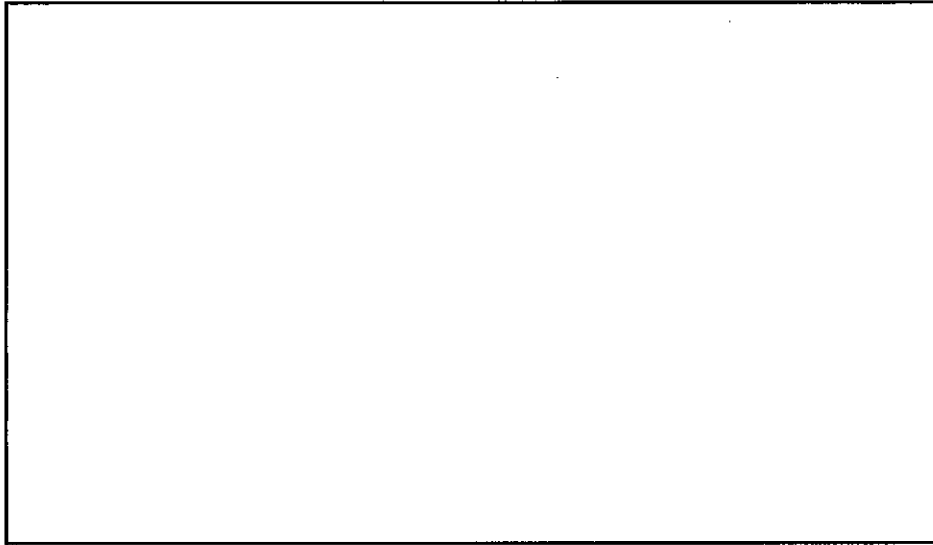


図 14 通常輸送時底面表面 (かさ密度最大)

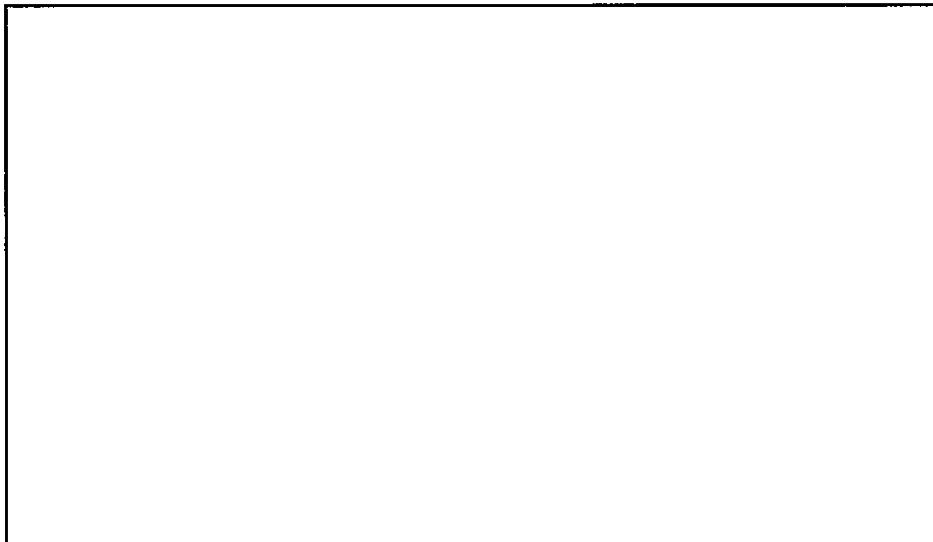


図 15 通常輸送時底面 1 m (かさ密度最大)

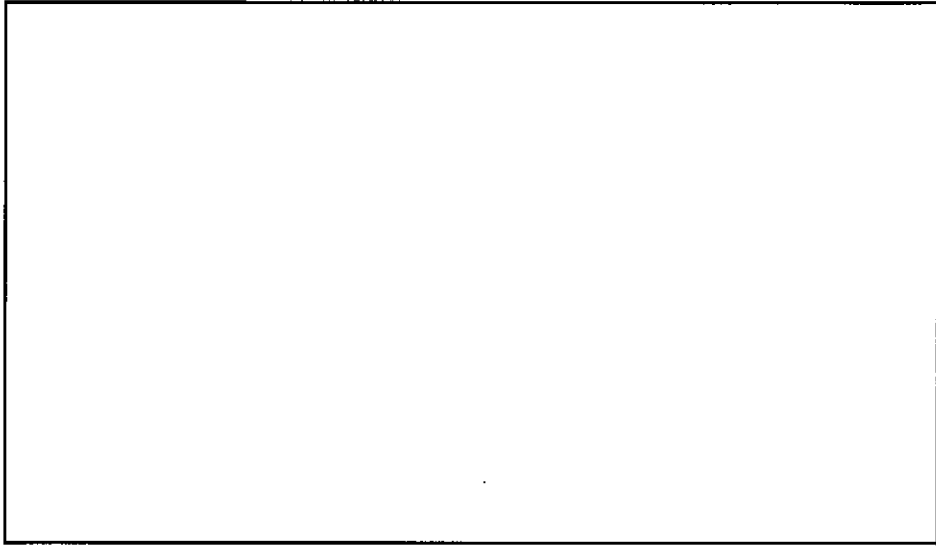


図 16 一般の試験条件時底面表面 (かさ密度最大)

(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  $\text{UO}_2$  収納量の上限

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g 以下の場合)

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg $\text{UO}_2$ )	
	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  $\text{UO}_2$  収納量の上限

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g を超えて  g 以下の場合)

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg $\text{UO}_2$ )	
	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 水による反射	512 個(8 行×8 列×8 段) あり(厚さ <input type="text"/> )
特別の試験条件下の輸送物	輸送物個数 水による反射	216 個(6 行×6 列×6 段) 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  $\square$ cm のつぶれ）した。
- ・ 底面落下による変形として、底面のフォーム厚みは  $\square$ cm 減少させた。
- ・ ターゲットへの高さ 1 m 落下による損傷範囲として、内容器外表面までの直径  $\square$ cm の部分を水及び炭化層で置換した。
- ・ 耐火試験の結果を反映し、安全側の設定として断熱材の表面から  $\square$ cm を炭化したフェノリックフォームが占めている。
- ・ 耐火試験により、外蓋中のアルミニウム合金ディスクより上部のフェノリックフォームが炭化する。
- ・ この結果から、(ロ)E-第 2 図の形状モデルを用いる。以上のモデル化は、寸法を減少させるため、中性子の相互作用が大きくなる。
- ・ フェノリックフォームの炭化を実際よりも多めに考慮することで、フォーム中の水素による中性子遮蔽の影響が小さくなる。

という理由で安全側の仮定となっている。

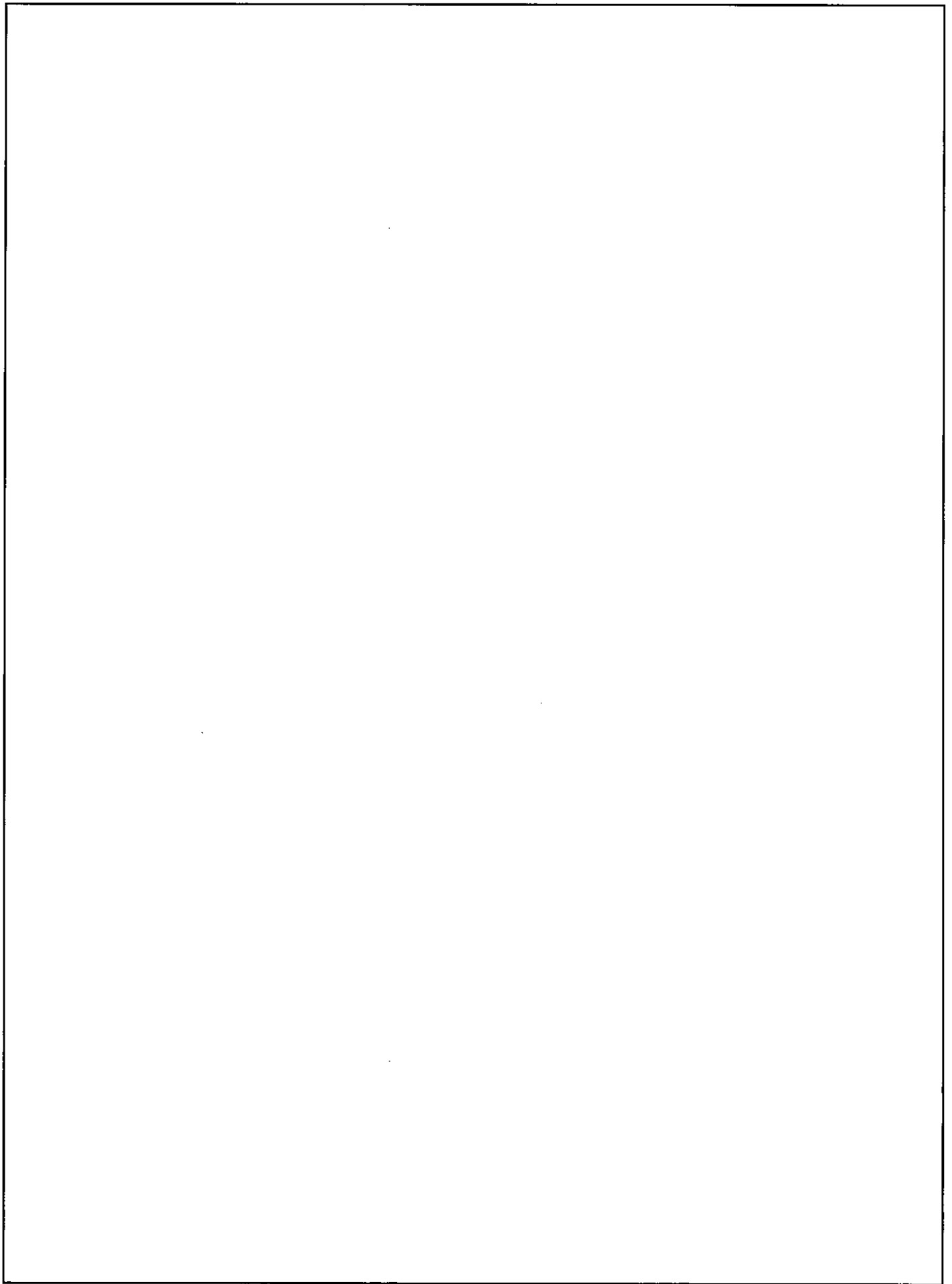
また、本モデル中では、各粉末収納缶が内容器内でそれぞれ容器本体の中心に向かって偏心しているという安全側の仮定も適用している。

### E.1.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

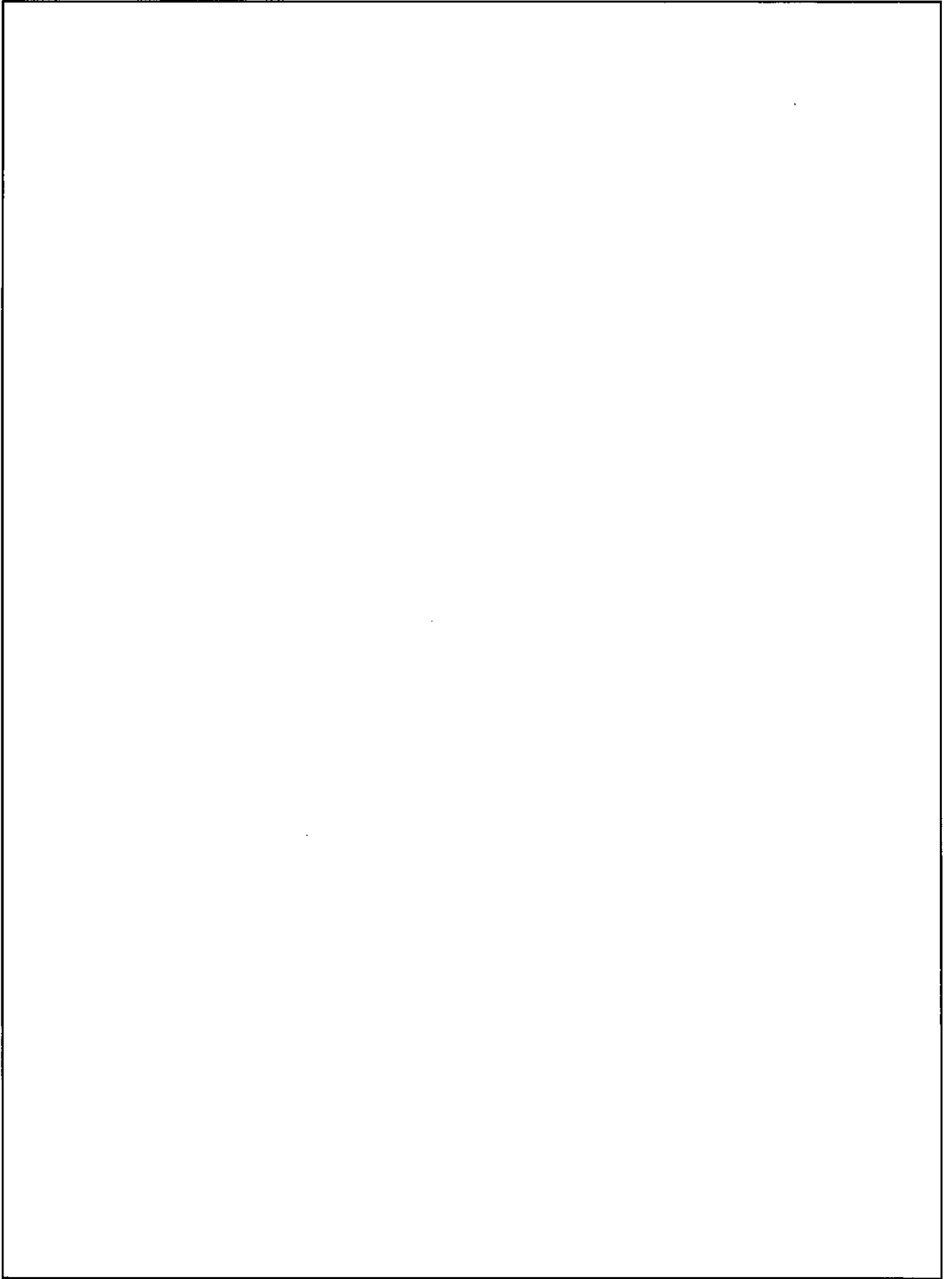
本解析に使用した輸送物の各領域の原子個数密度を(ロ)E-第3表に、また、燃料領域の $UO_2$ と減速材(水及びポリエチレン)の体積比を(ロ)E-第4表に、それぞれ示す。

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

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



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

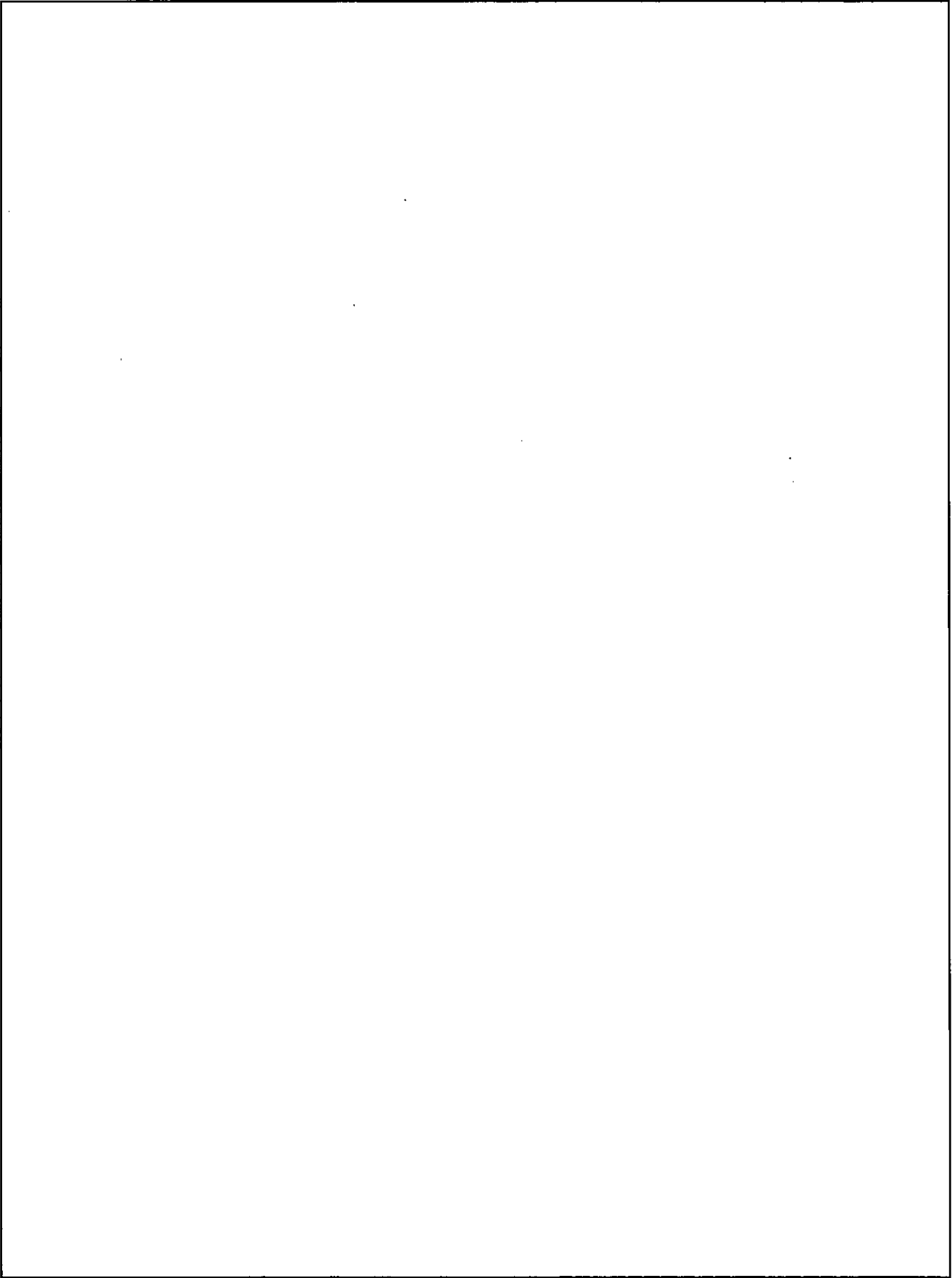


(ロ)E-第1図 [3/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (内容器周辺部)



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

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



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

(ロ)E-第3表 計算に使用した各物質の原子個数密度

--

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

(ロ)E-第4表 UO<sub>2</sub>を収納したときの燃料領域のUO<sub>2</sub>と減速材(水及びポリエチレン)の体積比(75kgUO<sub>2</sub>/内容器)

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

#### 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ビスクラップの場合、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 <sub>2</sub>	0.947	<b>0.947</b>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	0.945	0.946	<b>0.946</b>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	0.944	<u>0.945</u>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	0.943	<u>0.946</u>	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  $\text{UO}_2$  収納量の上限

(ポリエチレン製容器及び添加物 A、B、C は無制限

ただし、 $\text{UO}_2$  を収納する内容器は 1 個のみ)

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg $\text{UO}_2$ )	
	粉末	焼結体及び スクラップ
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。

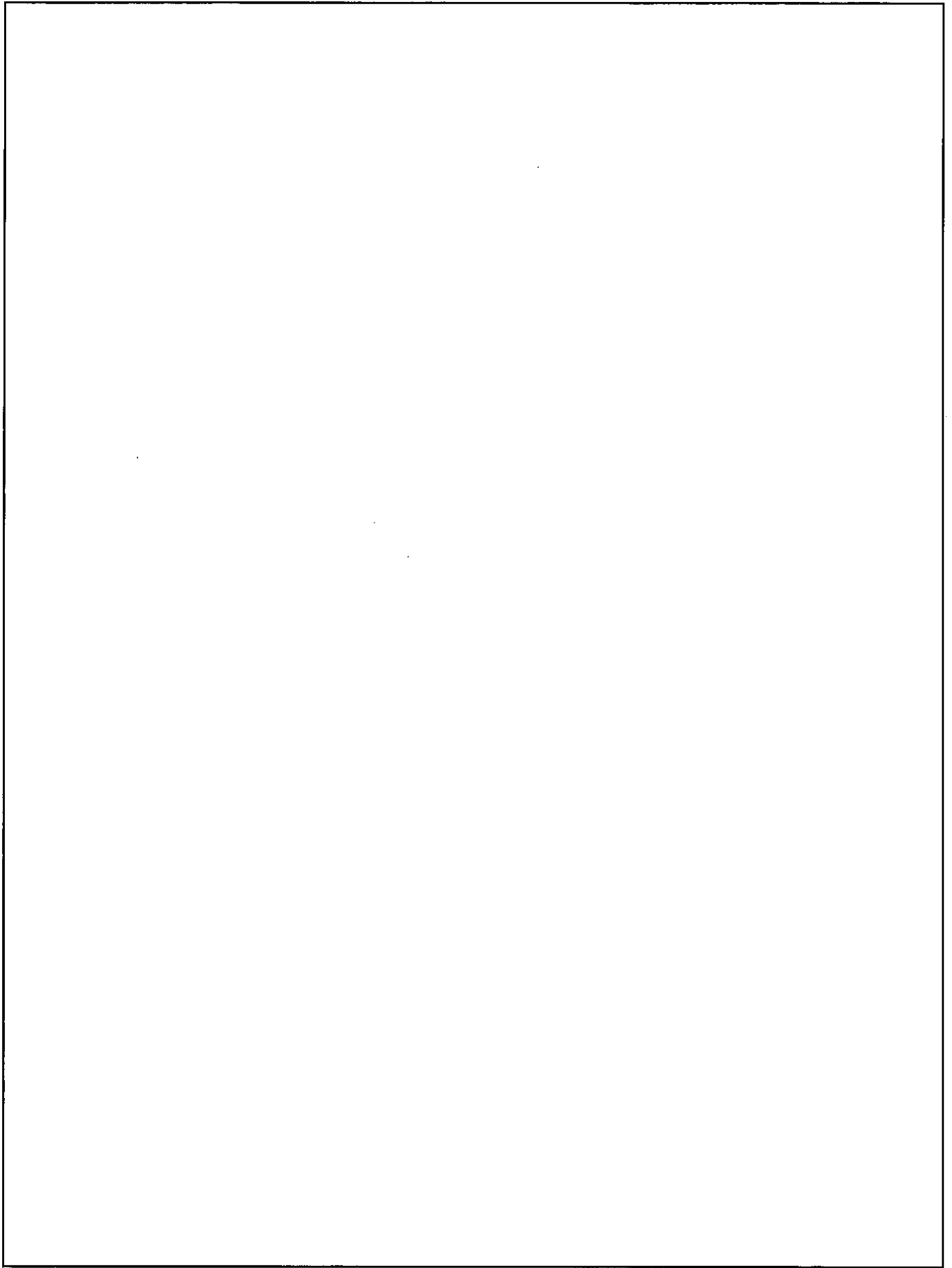
#### E.2.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本解析に使用した輸送物の燃料領域 (UO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> と減速材の体積比を(ロ)E-第 9 表に示す。

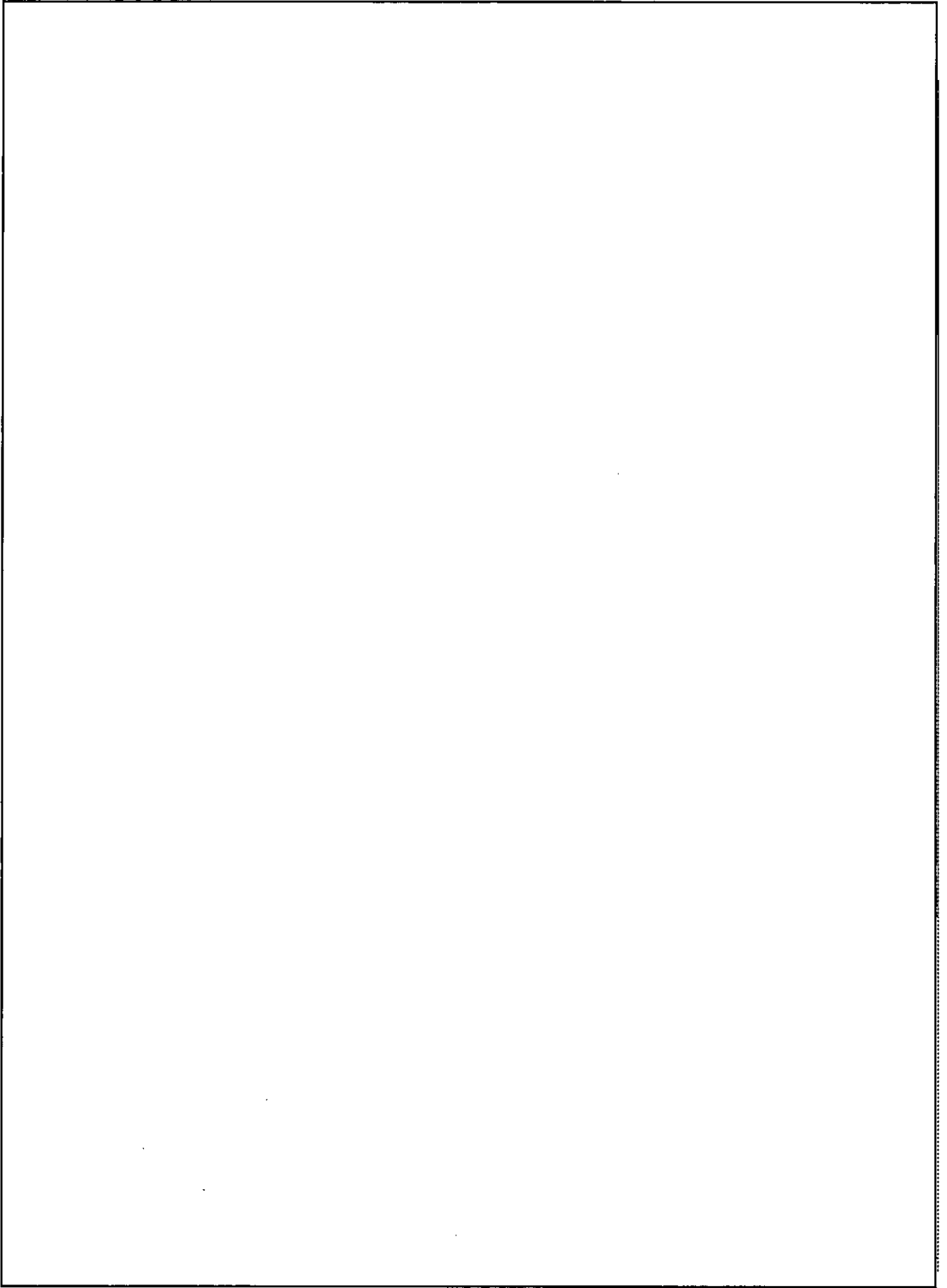
ここで、内容器内の減速材の材質を水よりも水素密度の高いポリエチレンとするという安全側の仮定を適用した。

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)



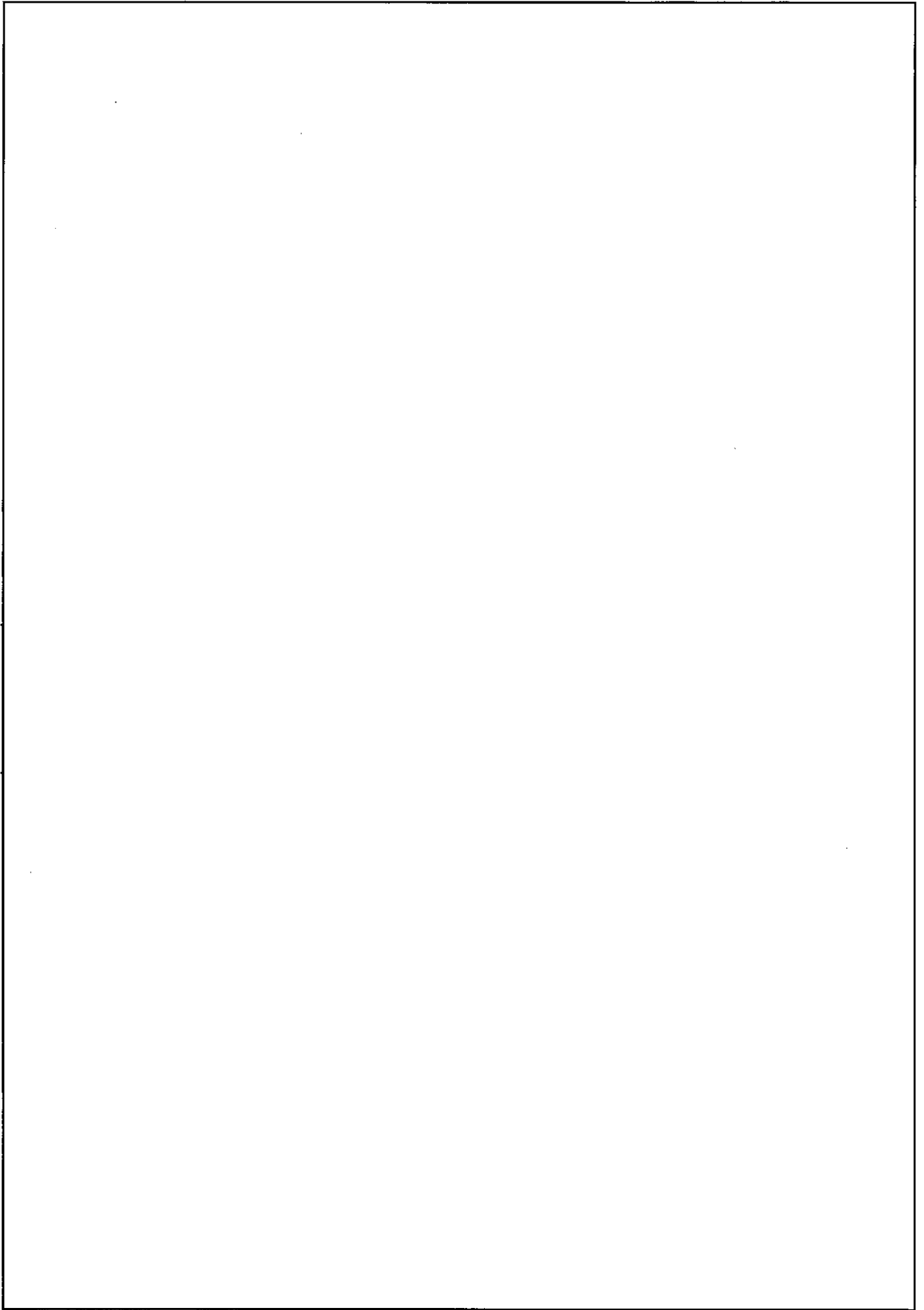
(ロ)E-第3図 [2/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (全体・上部)



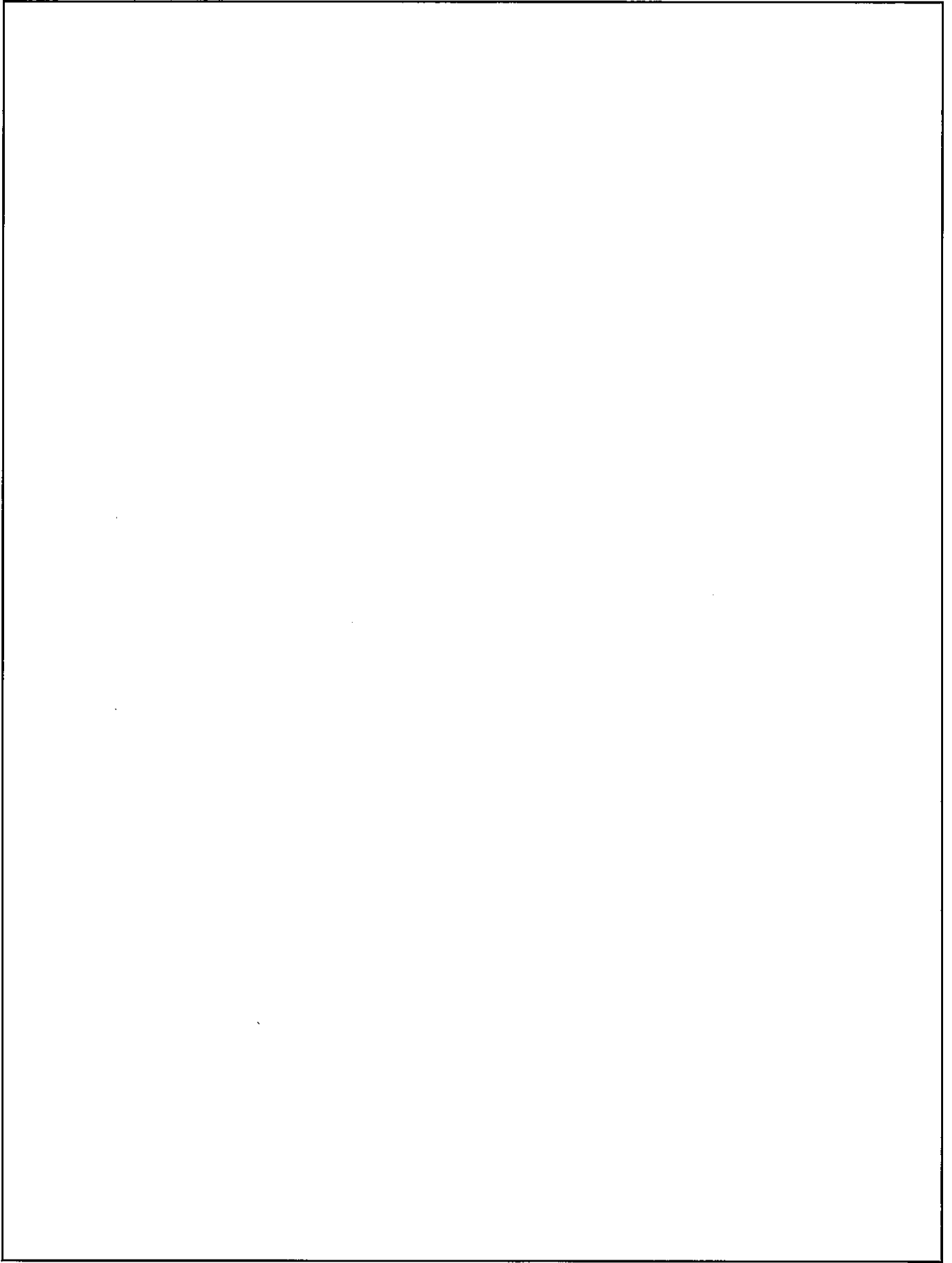
(ロ)E-第3図 [3/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (内容器周辺部)

(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)



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

(口)E-第8表 計算に使用した燃料領域の原子個数密度

材質	核種	原子個数密度 (atoms/barn-cm)



## 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  $\text{UO}_2$  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  $\text{UO}_2$  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 <sup>(注1)</sup> (粉末)	非均質 <sup>(注2)</sup> (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  $\sigma$  の 3 倍を加えた値。

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

## E.3 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

本輸送物の収納物は濃縮度 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  $^{234}\text{U}$  が含まれているが、解析においては安全側に全て  $^{238}\text{U}$  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が

イ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 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 (kgU)
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、ウランの物理的形状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1m落下による損傷範囲として、内容器外表面までの直径□cmの部分の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。

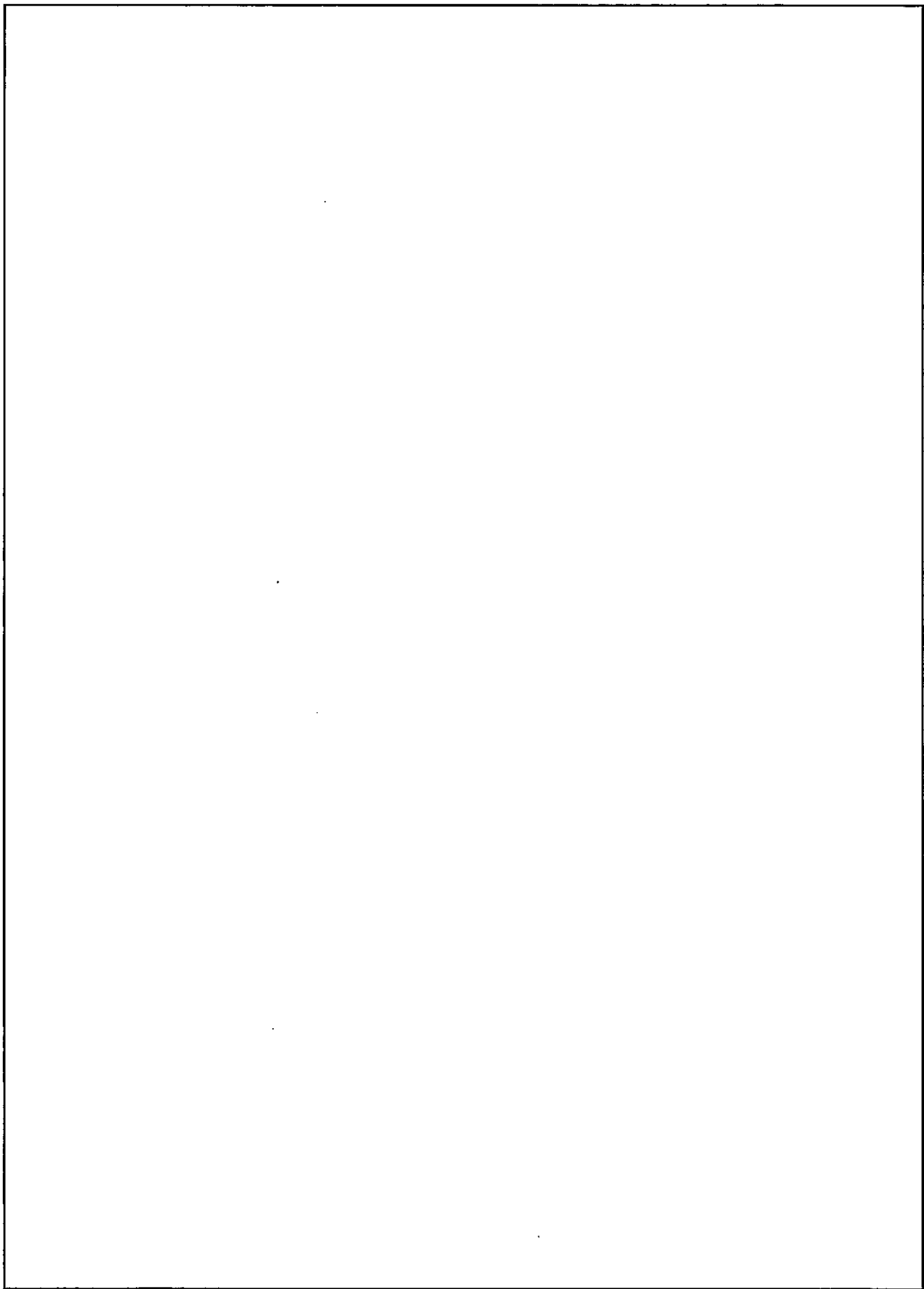
また、本モデル中では、各粉末収納缶が内容器内でそれぞれ容器本体の中心に向かって偏心しているという安全側の仮定も適用している。

### E.3.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

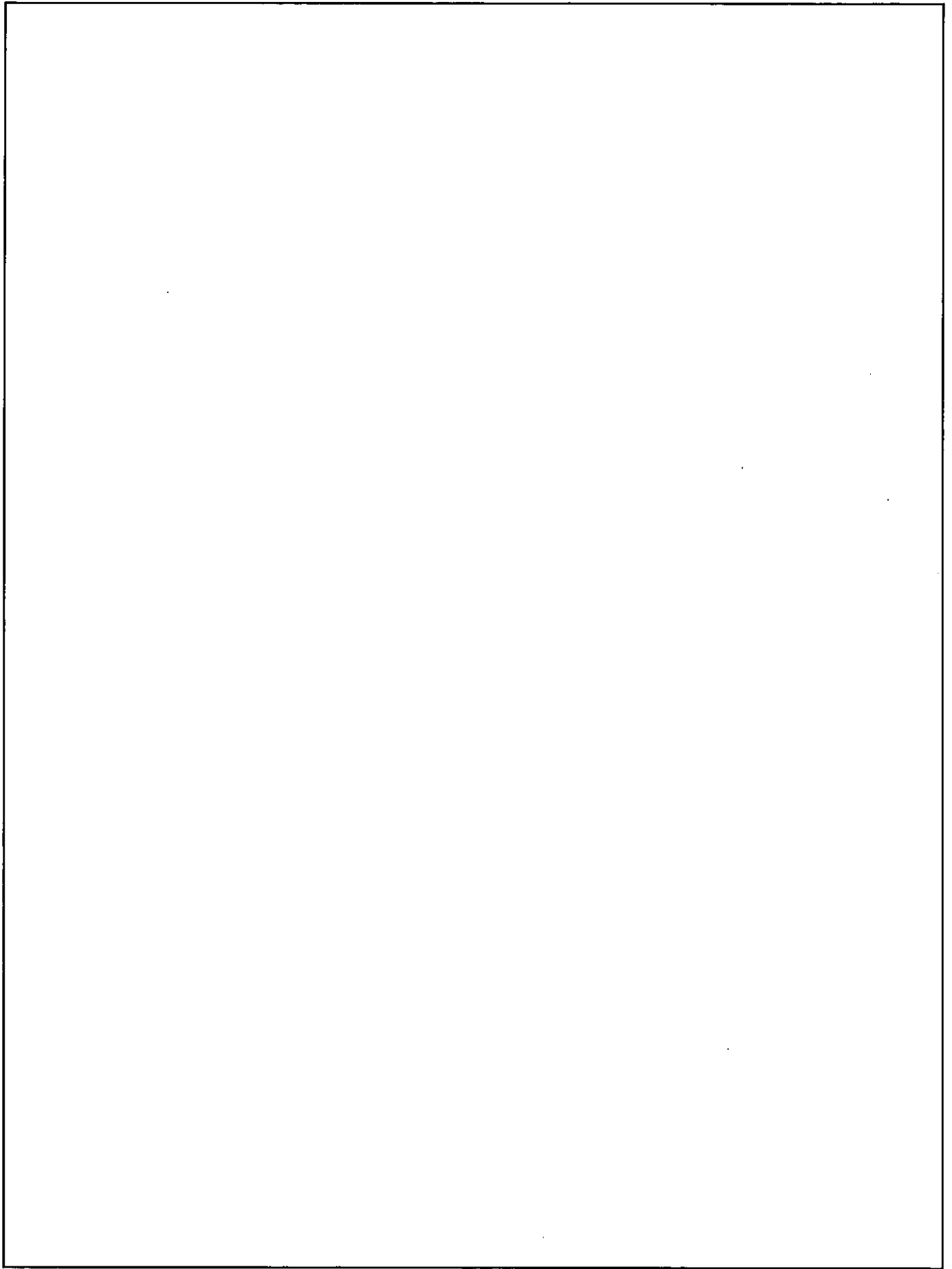
本解析に使用した輸送物の各領域の原子個数密度を(口)E-第 13 表に、また、燃料領域のウランと水の体積比を(口)E-第 14、15 表に、それぞれ示す。

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  $1.0 \text{ g/cm}^3$  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)

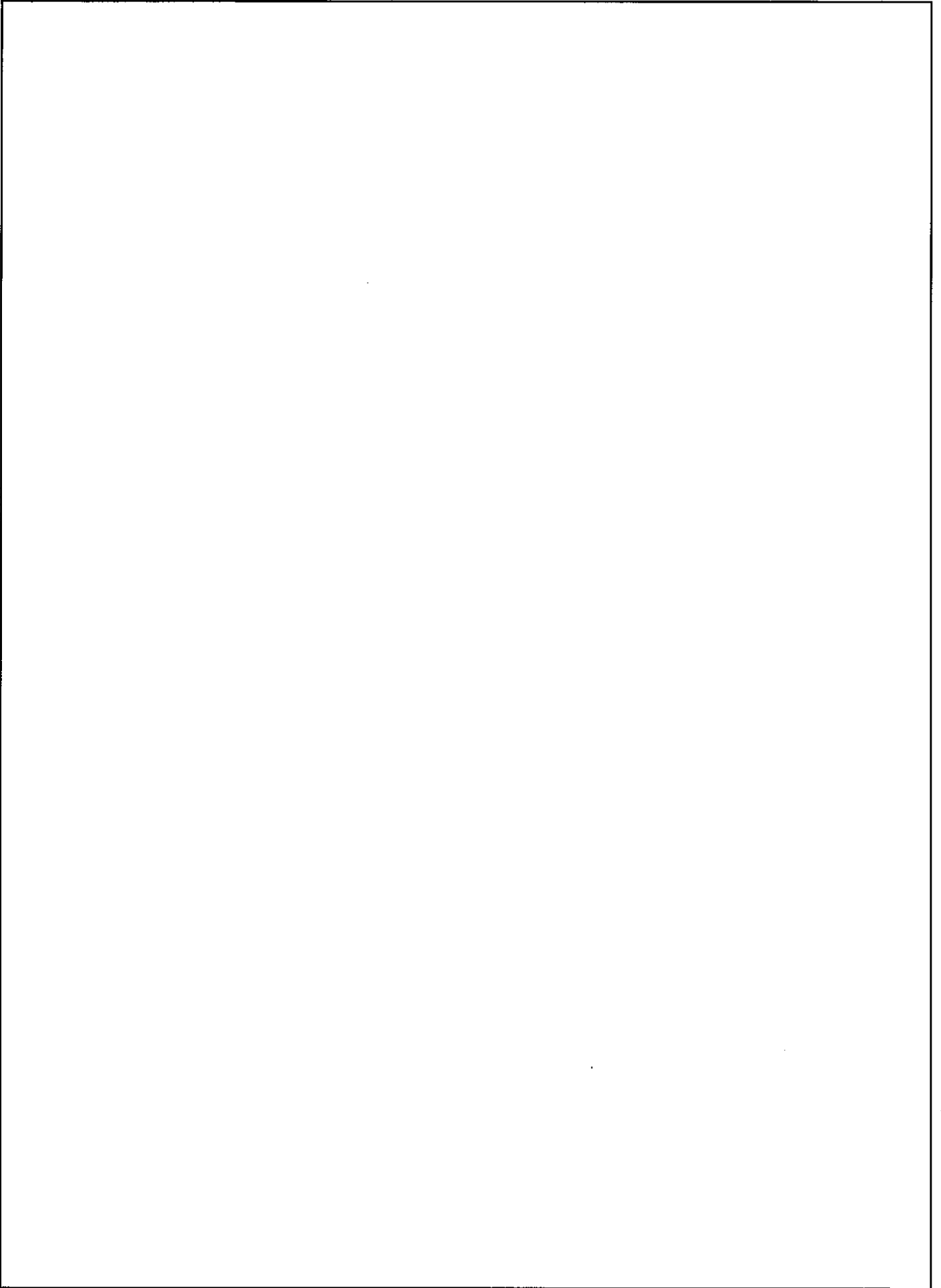


(ロ)E-第5図 [2/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (全体・上部)



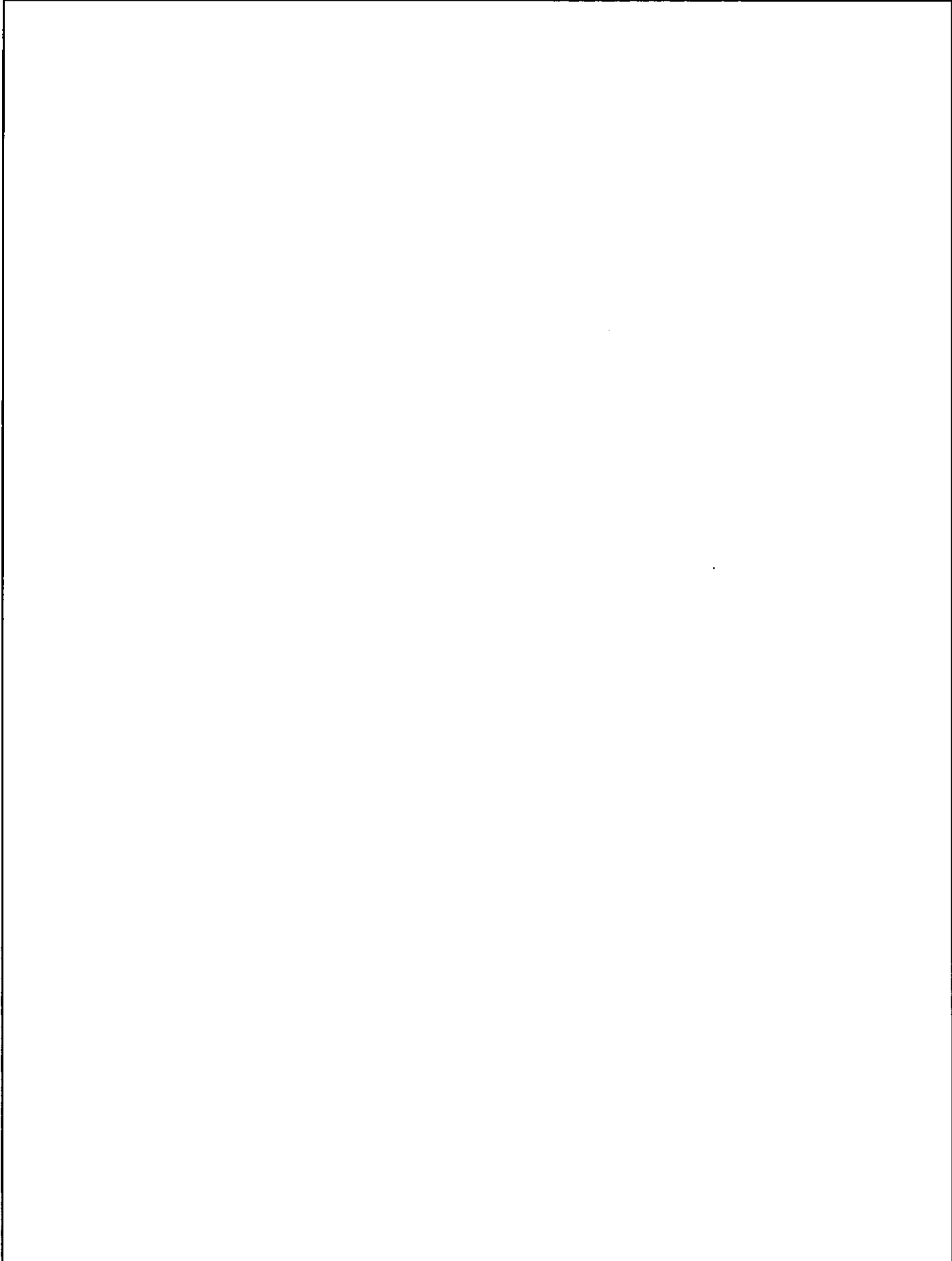
(ロ)E-第5図 [3/3] 一般の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル (内容器周辺部)

(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」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.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いる。そこで、ウランの物理的形状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 <sup>(注1)</sup>	非均質 <sup>(注2)</sup>
濃縮度：5%	0.477	—
収納量：5.0 kgU	0.479	<u>0.527</u>
濃縮度：20%	0.291	—
収納量：0.5 kgU	0.293	<u>0.299</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 $\sigma$ の3倍を加えた値。

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

## E.4 ケース 4(スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納する場合)

### E.4.1 概要

本輸送物は、輸送制限個数を 1 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、本解析においては条件①から⑤を包含する解析モデルにおいて、臨界計算コード KENO-VI を用いた解析を行い、未臨界であることを確認する。

### E.4.2 解析対象

#### E.4.2.1 収納物

本輸送物の収納物は濃縮度  wt% の金属ウランを含む金属ウランスラッジである。

本輸送物には 4 個の容器があり、容器当たりの金属ウランの収納量の上限を 300gU と設定している。

なお、臨界解析では評価上保守的になるよう、濃縮度 100wt% の金属ウランが各容器に 300gU ずつ収納する条件で計算した。

#### E.4.2.2 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、金属ウランを収納したスラッジ収納缶が、容器当たり 1 缶 (合計 4 缶) 収納される。また、各容器にはスラッジ収納缶用緩衝材が収納される。

なお、臨界解析では評価上保守的になるよう、輸送容器及び容器内の金属ウランを収納したスラッジ収納缶、スラッジ収納缶用緩衝材は考慮せず、水に置き換えて計算した。

#### E.4.2.3 中性子吸収材

本輸送容器の外蓋部及び容器底部には  wt% ボロン入りステンレス鋼ディスクが固定され、容器内壁と外壁間には BORA レジンが設置されている。

なお、臨界解析では保守的に中性子吸収材は考慮せず、水に置き換えて計算した。

### E.4.3 モデル仕様

#### E.4.3.1 解析モデル

本解析に使用した解析モデルは以下のとおりである。

##### (1) 考慮した他の解析結果

一般の試験条件下および特別の試験条件下の結果を受けて、臨界解析で考慮する結果を以下に示す。なお、解析モデルは収納物の金属ウランと水のみで構成されることから、寸法に関わる結果についてのみ記載している。

- A. 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。
- B. 特別の試験条件下においては、落下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。
  - ・ 内容器は変形及び破損しない。

臨界解析では、条件①から⑤を包含する解析モデルとして、特別の試験条件下における試験結果を考慮する。

##### (2) 輸送物の条件

一般の試験条件下に置いた輸送物の場合は輸送制限個数 1 個の 5 倍の 5 個以上を、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 1 個の 2 倍の 2 個以上を考慮する必要がある。そこで、臨界解析では、(ロ)E-第 17 表に示すとおり、条件①から⑤を包含する条件下における輸送物の個数として 27 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 17 表 臨界解析条件

項目	条件
輸送物個数	27 個(3 行×3 列×3 段)
水による反射	あり(厚さ <input type="text"/> )



### (3) 収納物の条件

- ・ 金属ウランについて、実物は濃縮度  wt%、密度 18.65 g/cm<sup>3</sup> であるが、安全側に解析モデルでは濃縮度 100 wt%、密度 19.05 g/cm<sup>3</sup> (理論密度) とする。
- ・ 収納量については、内容器当たりの収納量の上限である 300gU とする。
- ・ スラッジ収納缶およびスラッジ収納缶用緩衝材について、解析モデルでは安全側にこれらを考慮せず、水に置き換える。
- ・ 実物ではスラッジ収納缶内 (高さ : 15 cm、外径 : 12 cm の円筒形状) にウランが存在するが、安全側に解析モデルではスラッジ収納缶を包含する半径 9.0 cm の球形状の領域内にウランが存在するものとする ((ロ)E 付属資料 3 の 2 章参照)。
- ・ 金属ウランについて、実物は収納缶内にスラッジ状態として収納されるが、解析モデルでは水と均質化することにより、収納缶内において中性子増倍率が最大となる減速状態になるようモデル化する。

(注) : ウランが低濃縮度の場合は、(ロ)E 付属資料 2 に示すように共鳴吸収の影響が大きく、非均質体系とした方が安全側の評価となるが、ケース 4 では濃縮度 100% としてモデル化するため、共鳴吸収に寄与する U-238 がいないことから、この効果を考える必要はない。よって、共鳴吸収の影響がないケース 4 の場合は、均質化体系とした方が減速された中性子が体系から漏れる前にウランと反応を起こす確率を高くなるため、安全側のモデル化となる。

### (4) 形状モデル

臨界解析では、条件①から⑥を包含する解析モデルとして、(1)で得られた特別の試験条件下における解析結果等を反映し、以下のモデル化を行った。

- ・ 中性子吸収材を含む輸送容器及び内容器内のスラッジ収納缶、スラッジ収納缶用緩衝材の材質は安全側に全て水と置き換え、収納物である金属ウランのみを考慮しモデル化を行った。ただし、解析モデル内の水密度については、中性子増倍率が最大となる水密度を考慮する。
- ・ 内容器の形状については、実物 (高さ方向 67.5 cm、水平方向に半径 17.7 cm の円筒形状) より金属ウラン間距離を短くすることで安全側の評価になるよう、(3)に示したウランの存在範囲をモデル化した形状と同一の半径 9 cm の球形状とする。このモデル化は、内容器内の収納物の偏心も考慮した安全側な仮定となっている。
- ・ 内容器間距離は、同一の輸送容器内における水平方向の内容器間距離が最も近く通常 16.6cm である。そこから、特別の試験条件下における変形量  cm) を考慮し、 cm としてモデルする。

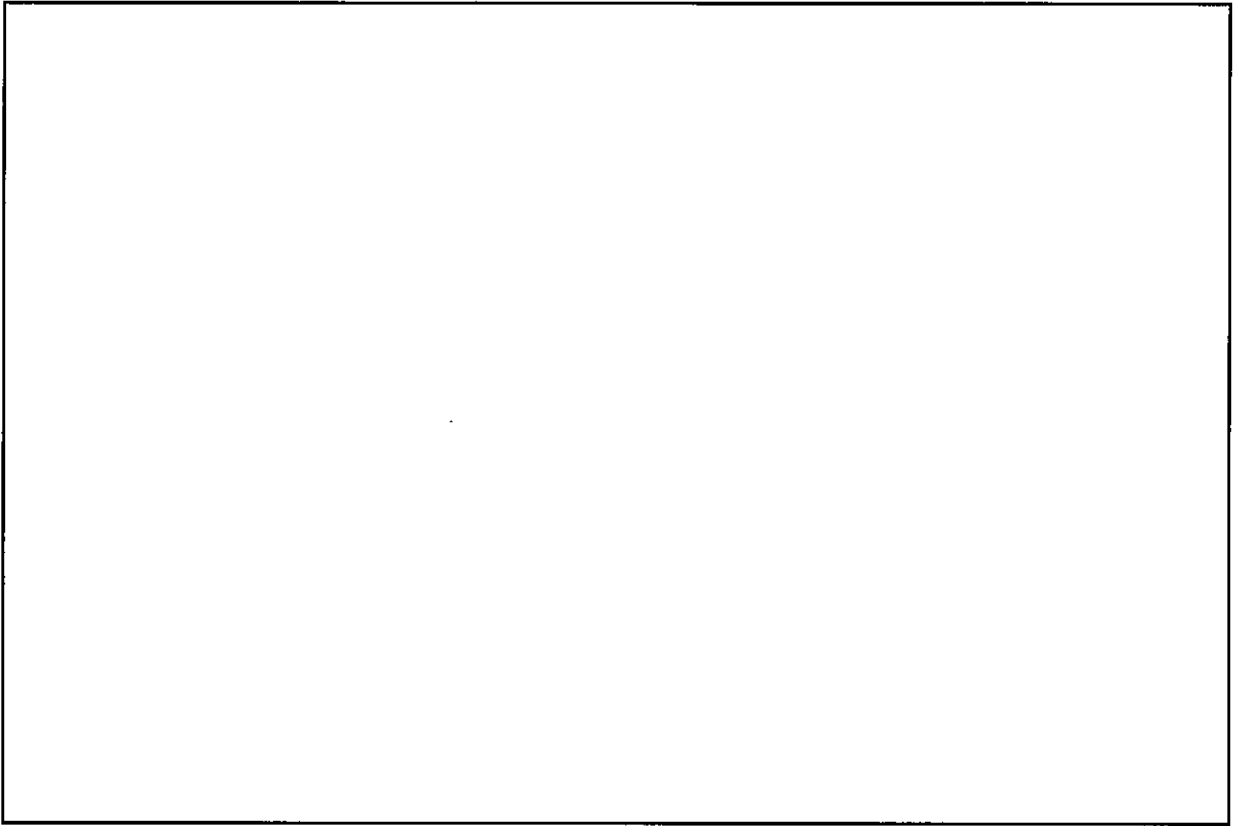
以上のモデル化を行った形状モデルを(ロ)E-第 7 図に示す。こちらは、中性子吸収効果を生じる構造材を無視していること、及び収納物間の寸法を安全側に減少させているため、収納物間の中性子の相互作用が大きくなる、という理由で保守的なモデルとなっている。

<sup>1</sup> 「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 p.31

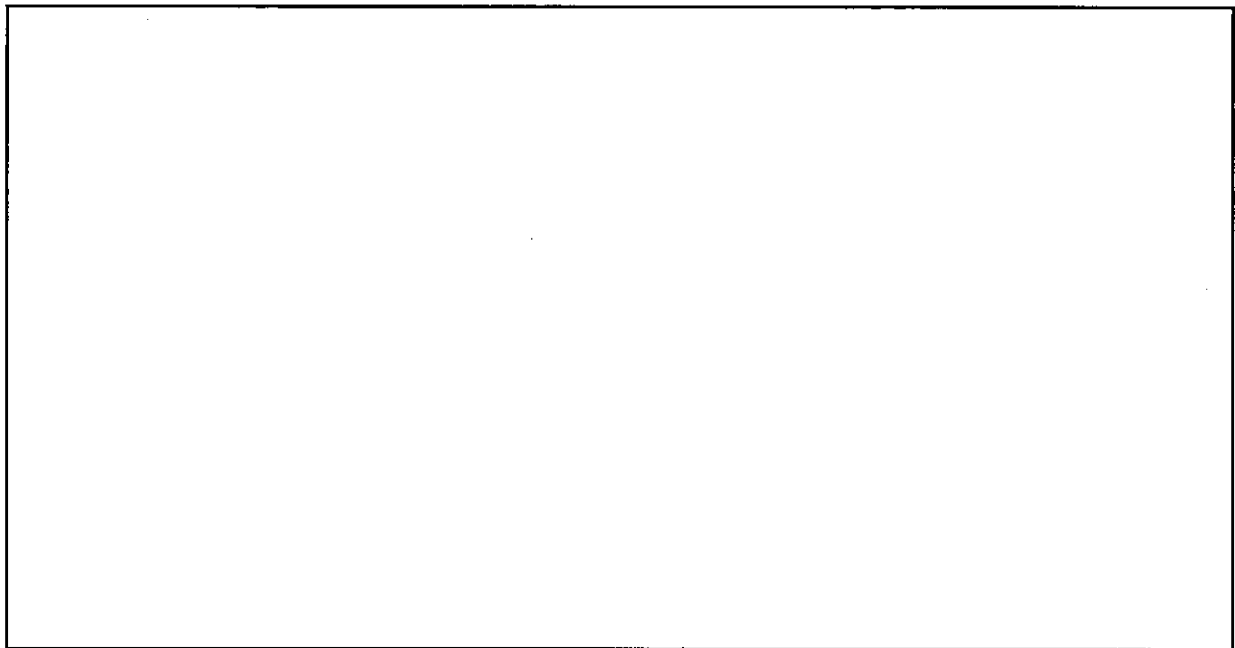
#### E.4.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本解析に使用した輸送物の各領域の原子個数密度を(口)E-第18表に示す。

金属ウランについては、濃縮度 100 wt%、密度  $19.05 \text{ g/cm}^3$  (理論密度) のウランと密度  $1.0 \text{ g/cm}^3$  の水を均質化した物質としており、輸送容器間の水については、水密度  $0.08 \text{ g/cm}^3$  ((口)E 付属資料3の3章を参照)、水 (反射体) については常温での最大値である水密度  $1.0 \text{ g/cm}^3$  とした。



(ロ)E-第7図 [1/2] 条件①から⑤を包含する輸送物の形状モデル (平面図)



(ロ)E-第7図 [2/2] 条件①から⑤を包含する輸送物の形状モデル (立面図)

(ロ)E-第 18 表 計算に使用した各物質の原子個数密度

材質	核種	原子個数密度 (atoms/barn-cm)

#### E.4.4 未臨界評価

##### E.4.4.1 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、解析モデルでは孤立系よりも配列系の方が実効増倍係数は明らかに大きくなる。

また、解析モデルでは、E.4.1(2)で述べたとおり、一般の試験条件下と特別の試験条件下の評価条件を包絡する輸送物を 27 個置いた場合の臨界計算を行う。

##### E.4.4.2 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 3 の 1 章」に示すように、収納缶内の水密度を 0 から 1.0 g/cm<sup>3</sup> の範囲で変化させた評価を行い、その影響について考慮している。さらに、「(ロ)E 付属資料 3 の 3 章」に示すように、輸送容器と輸送容器との間隙については、水密度を 0 から 1.0 g/cm<sup>3</sup> の範囲で変化させた評価を行い、その影響について考慮している。

##### E.4.4.3 計算方法

本計算に使用したコードは KENO-VI である。

KENO-VI 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-VII.0 をマスタライブラリとする 238 群ライブラリである。

#### E.4.4.4 計算結果

E.4.1 に示した条件①から⑤を包含する解析モデルを用いて行った計算結果を(ロ)E-第 19 表に示す。

(ロ)E-第 19 表 中性子増倍率の計算結果

	計算結果
中性子増倍率	0.930 <u>0.931</u>

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

## E.5 ベンチマーク

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、ケース 1～3 に関する分類 (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) およびケース 4 に関する分類 (HEU-MET : 高濃縮-金属) を対象に、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った。

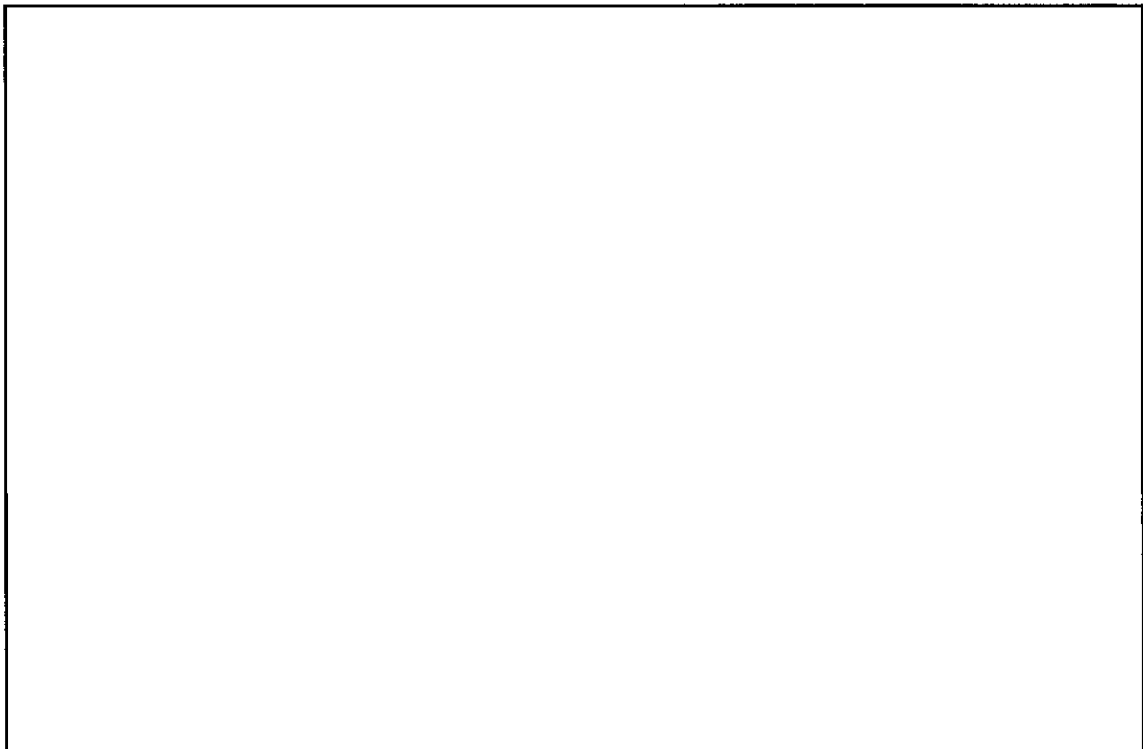
E.5.1 ケース 1～3 に関するベンチマーク

ケース 1～3 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 8 図に示す。また、(ロ)E - 第 8 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 20 表に示す。

(ロ)E - 第 20 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 20 表 ベンチマーク実験解析結果のまとめ

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



(ロ)E - 第 8 図 ベンチマーク実験解析結果



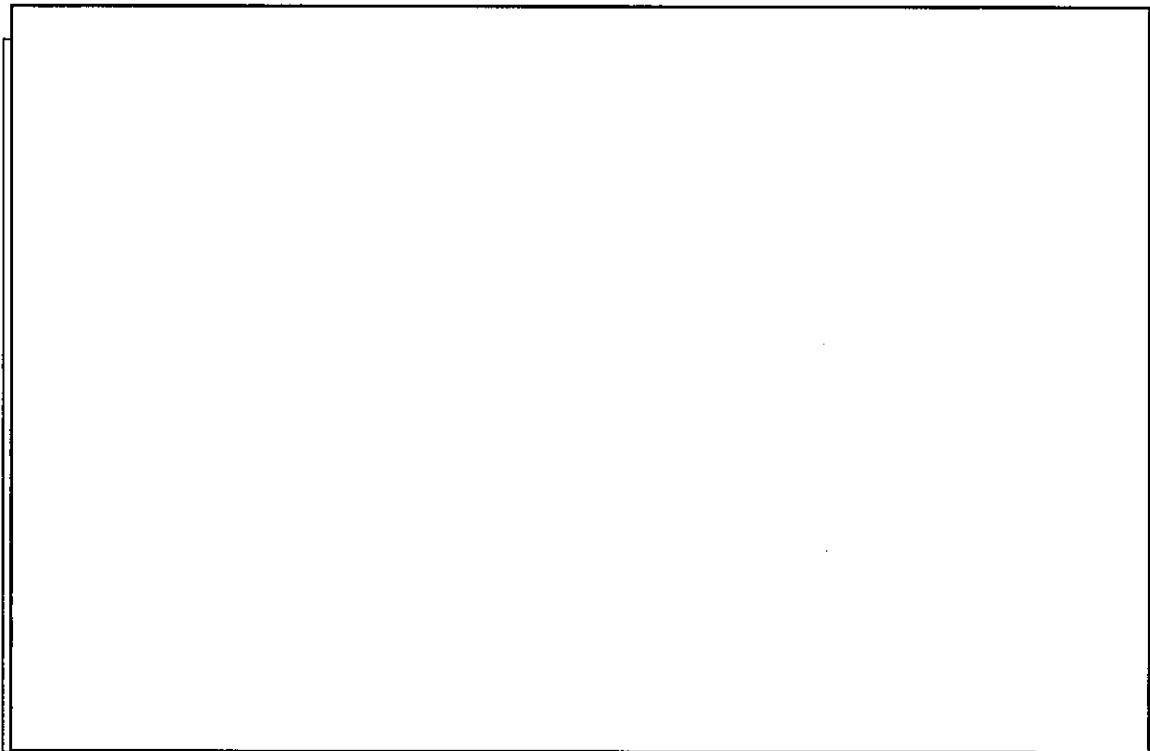
E.5.2 ケース 4 に関するベンチマーク

ケース 4 の臨界評価に関連する分類 (HEU-MET : 高濃縮・金属) 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 9 図に示す。また、(ロ)E - 第 9 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 21 表に示す。

(ロ)E - 第 21 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 21 表 ベンチマーク実験解析結果のまとめ

ケース数	<input type="checkbox"/>
平均誤差 ( $\Delta k$ (M-C) の平均値)	
標準偏差 ( $\sigma$ )	
信頼係数 (f : 97.5%信頼度・97.5%確率)	
推定臨界下限増倍率 ( $1 - \Delta k - f\sigma$ )	
制限値	



(ロ)E - 第 9 図 ベンチマーク実験解析結果

## E.6 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 22 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 22 表 [1/4] 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 22 表 [2/4] 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 22 表 [3/4] 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 - 第 22 表 [4/4] 実効増倍係数の最大値

(ケース 4(スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納する場合))

収納物
金属ウランスラッジ
0.931

(ロ)E 付属資料 1

ケース 1～3 に関する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  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合、内容器内及び外蓋部の水密度変化による反応度の変化は図 1 及び図 2 の通りである。

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  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合、フェノリックフォーム中の水分濃度変化による反応度の変化を図 3 に示す。

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

3. 炭化したフェノリックフォームの組成の変化による反応度の変化

輸送容器中に濃縮度 5.0%、内容器当たり 75 kg の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の炭化したフェノリックフォームの元素の残存割合変化による反応度の変化を図 4 に示す。なお、ここでは、変化させる元素以外の残存割合は□%としている。さらに、条件の違いによる反応度の差異を明確にするため、統計誤差を小さくすることを目的に、ヒス通り数は「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  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の燃料領域直径変化による反応度の変化を 図 7 に示す。

結果より、反応度は燃料領域直径に依存しており、燃料領域直径  $\square$  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  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の燃料領域の偏心の有無による反応度の変化を 図 8 に示す。

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

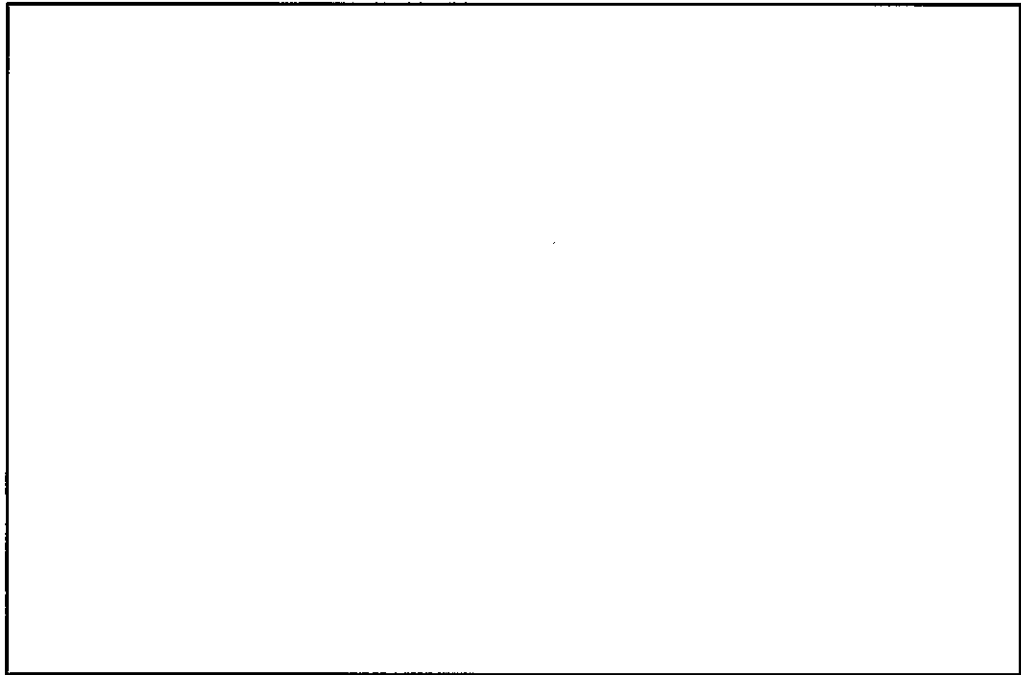


図 1 内容器内部の水密度変化に対する反応度変化

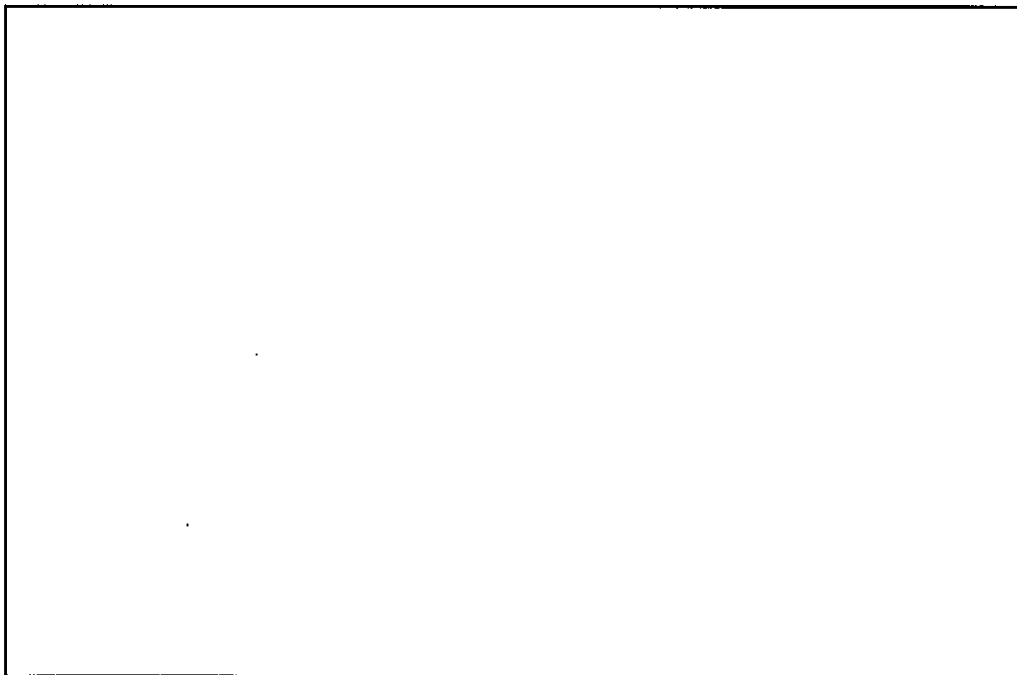


図 2 外蓋部の水密度変化に対する反応度変化

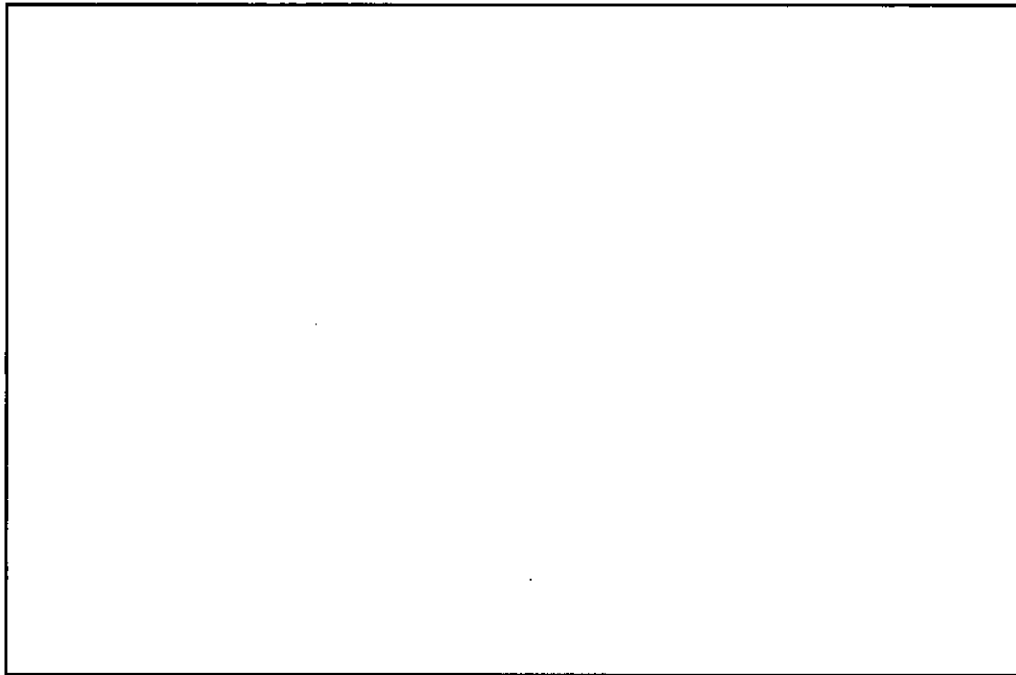


図 3 フェノリックフォーム中の水密度変化に対する反応度変化

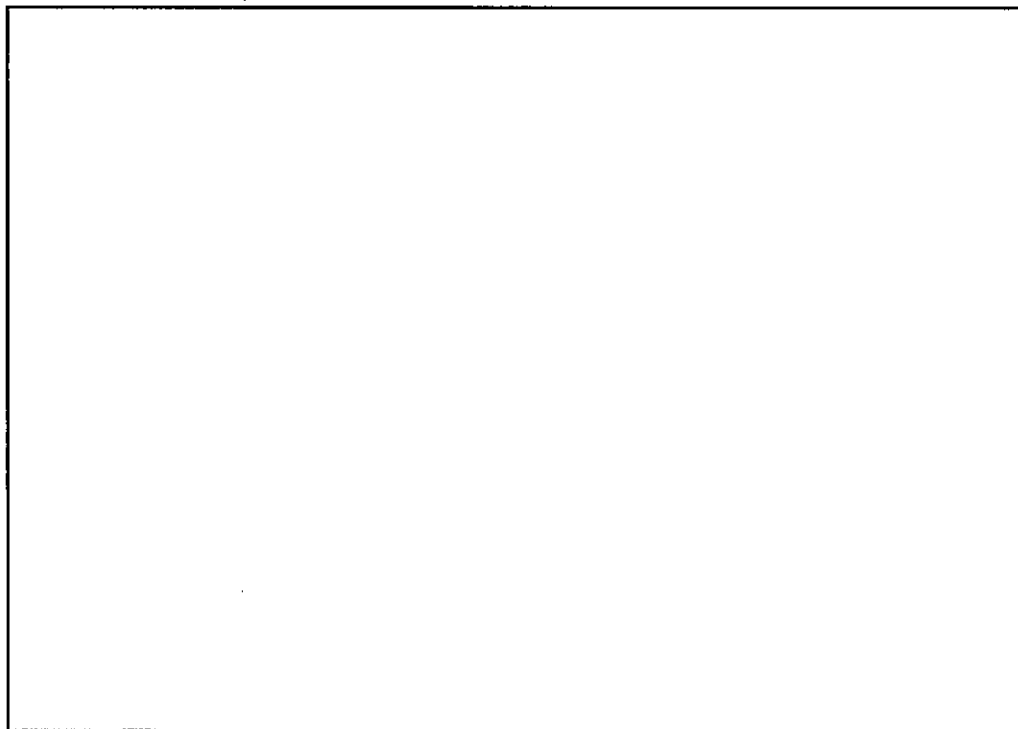


図 4 炭化したフェノリックフォームの組成の変化による反応度の変化



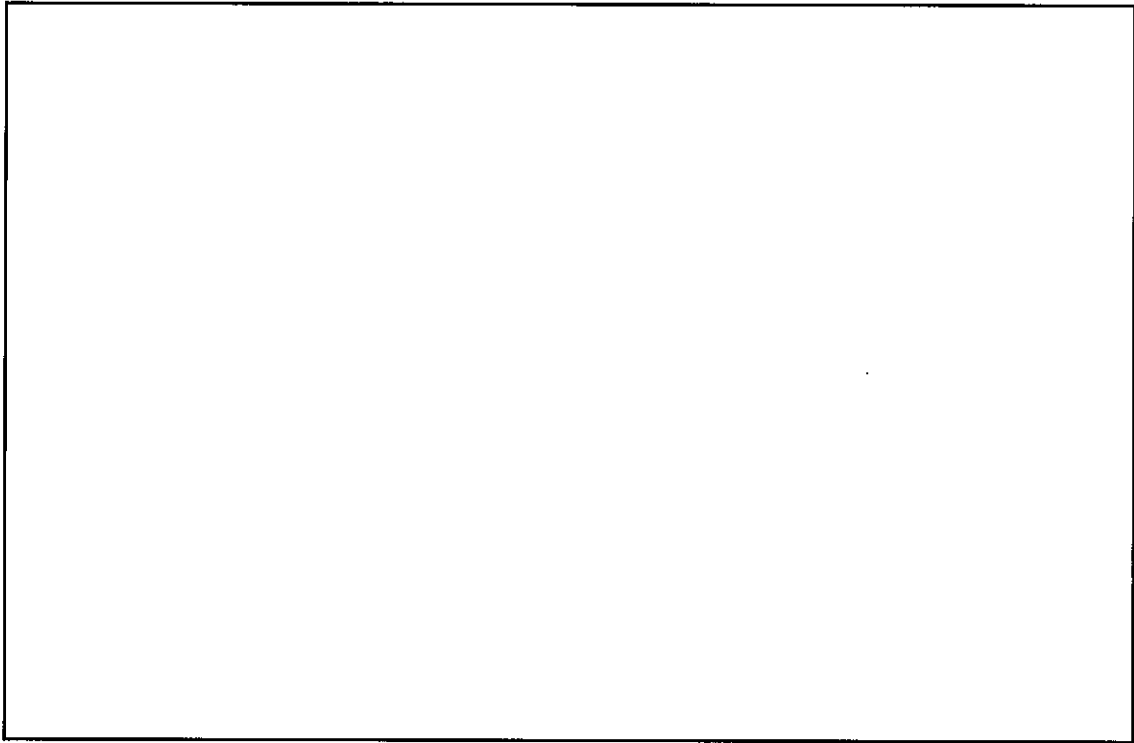


図5 燃料領域高さの変化による反応度の変化

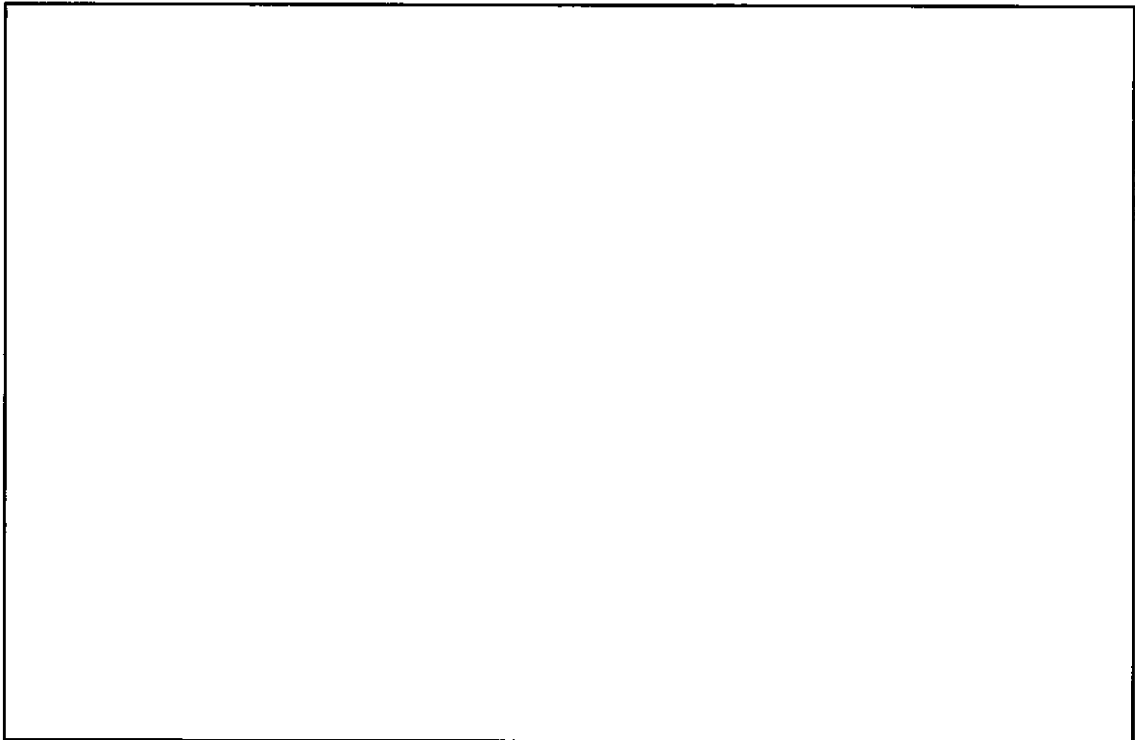


図6 一般の試験条件下に輸送物を置いた場合と特別の試験条件下に輸送物を置いた場合  
における計算結果の比較

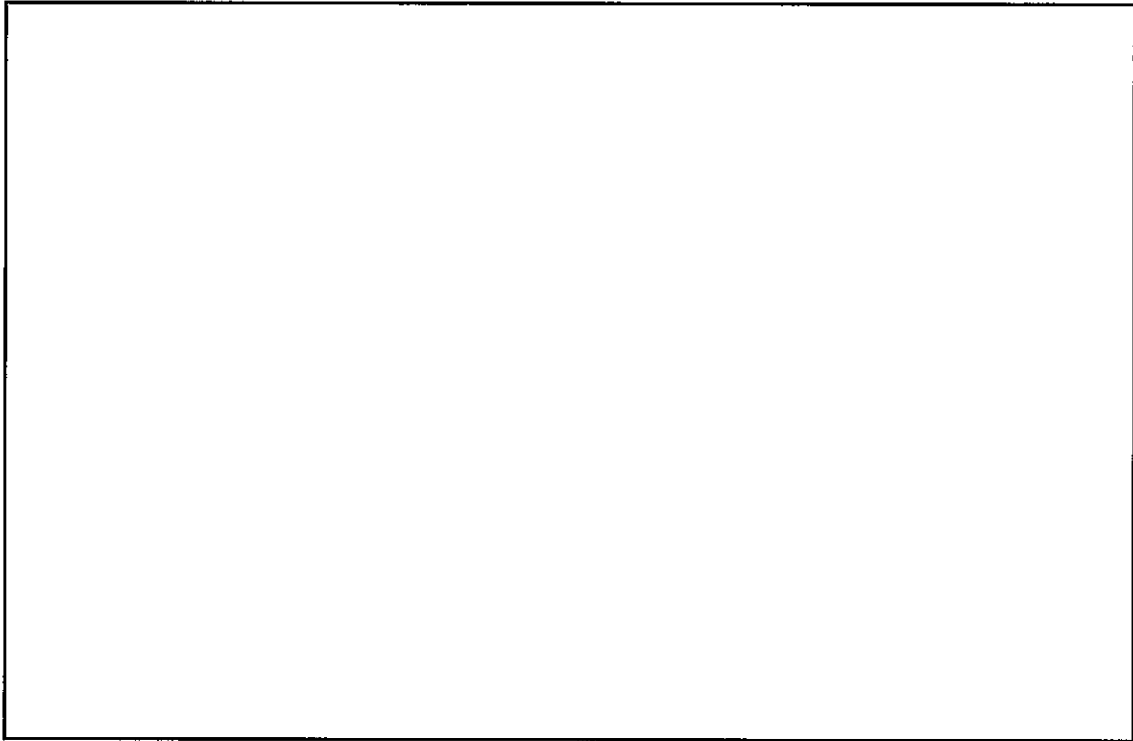


図 7 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直径変化による反応度の変化

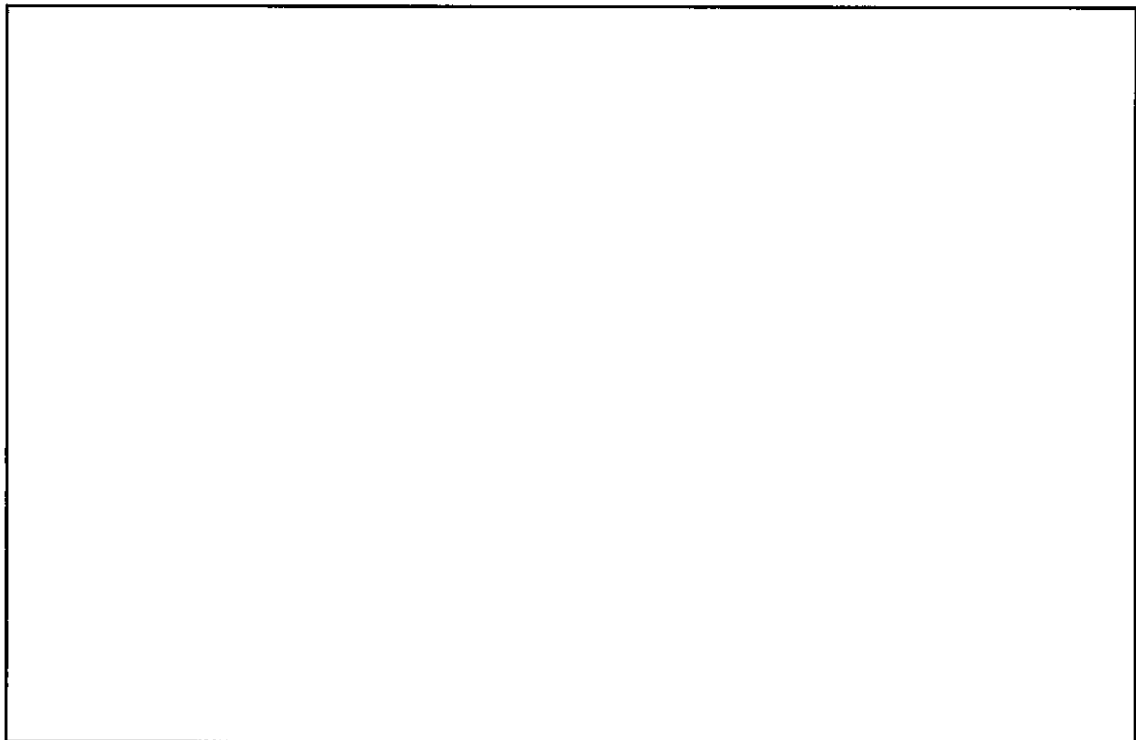


図 8 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直の偏心による反応度の変化

(ロ)E 付属資料 2

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

ウランが低濃縮度の場合は、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<sup>\*1</sup>として未臨界評価を実施する必要がある<sup>\*2</sup>。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<sup>\*3</sup>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<sup>\*4</sup>。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。

<sup>\*1</sup> 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。

<sup>\*2</sup> 「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

<sup>\*3</sup> 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一体系となり、燃料棒の配列が一様でない体系は非均質不均一体系となる。

<sup>\*4</sup> 「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

### 3. 均質体系に対する非均質体系の影響度

「臨界安全ハンドブック第2版」図 3.7<sup>\*5</sup>を参考にし、燃料球直径を変化させて非均質効果<sup>\*6</sup>が最も大きくなる条件を評価した。

なお、ケース2及びケース3の濃縮度5%の場合、「臨界安全ハンドブック第2版」図 3.7では直径が6 mmまでの結果しか示されていないため、直径が6 mmより大きくなった場合の影響を確認するため、再現計算を実施した。また、「臨界安全ハンドブック第2版」図 3.7は無有限体系での評価であるため、有限体系とした場合の影響も評価した。

図1に「臨界安全ハンドブック第2版」図 3.7の再現計算の結果を示す。図1から、濃縮度5%の場合、「臨界安全ハンドブック第2版」図 3.7から、球の直径が6 mmまでは、非均質効果は単調に増加しているが、球の直径が6 mm以上においても、非均質効果は単調に増加するわけではなく、球の直径が10mmにおいて、非均質効果は最大となり、その値は約5%  $\Delta k/k$ であることが確認できる。

図2に無限体系と有限体系における非均質効果の比較を示す。図2から、無限体系の方が非均質効果は大きくなることが確認できる。

以上のことから、非均質効果の最大値は約5%  $\Delta k/k$ であることがわかる。そのため、ケース2及びケース3の濃縮度5%の評価においては、非均質効果を10%  $\Delta k/k$ と見込んで安全側の評価とする。

次に、濃縮度20%の場合、「臨界安全ハンドブック第2版」図 3.7から、球の直径が2 mmの時に非均質効果は最大となり、その非均質効果は2%以下である。そのため、ケース3の濃縮度20%の評価においては、非均質効果を2%  $\Delta k/k$ と見込んで安全側の評価とする。

結果として、非均質効果による実効増倍率の変化割合は、

濃縮度5%の場合 : 10%  $\Delta k/k$

濃縮度20%の場合 : 2%  $\Delta k/k$

となり、均質体系からの非均質効果による影響を、濃縮度5%の場合は少なくとも10%  $\Delta k/k$  並びに濃縮度20%の場合は少なくとも2%  $\Delta k/k$  見込むことで、均質体系の評価に対する非均質体系の影響を考慮する。

<sup>\*5</sup> 「臨界安全ハンドブック第2版」編集兼発行 日本原子力研究所 1999年3月 p61

<sup>\*6</sup> ここで、非均質効果 (% $\Delta k/k$ ) は、以下の式により算出される。

非均質効果 (% $\Delta k/k$ ) = { (非均質体系の増倍係数) - (均質体系の増倍係数) } / (均質体系の増倍係数) × 100

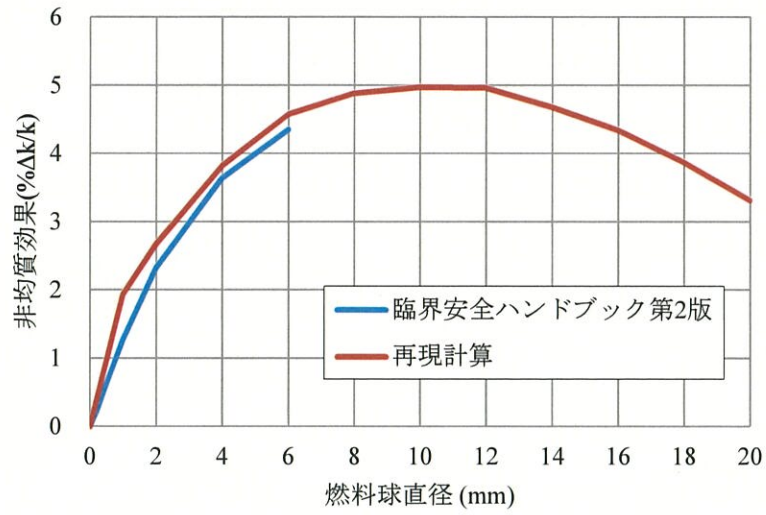


図1 「臨界安全ハンドブック第2版」図3.7の再現計算

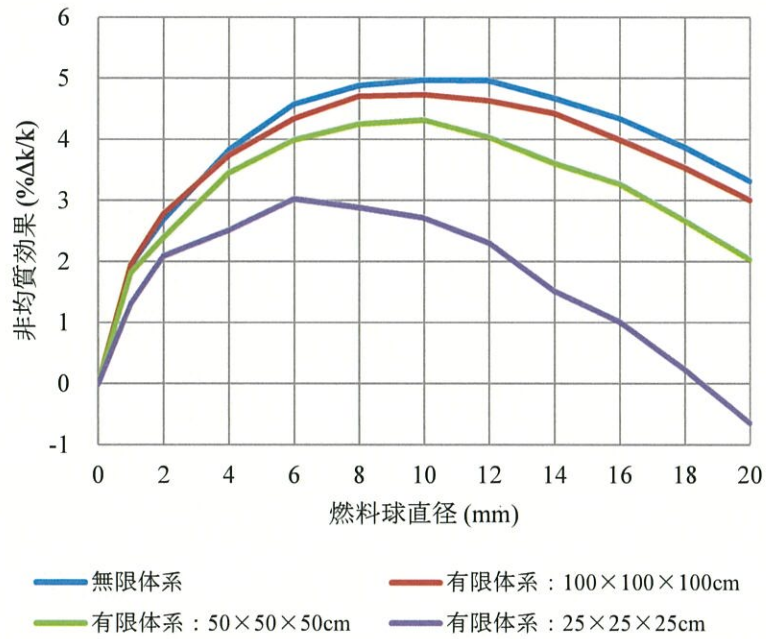


図2 無限体系と有限体系における非均質効果の比較

ケース 4 に関するサーベイ計算の結果

1. 中性子増倍率の収納物内の水密度依存性

本輸送物の評価では、収納物内へは水の侵入はあるものとしており、水の侵入による中性子増倍率への影響について評価している。収納物の大きさを収納缶の外寸を包含する半径 9.0 cm の球形状とした場合の評価結果を 図 1 に示す。

図より、水密度が高くなるに従い中性子増倍率は大きくなり、収納物内の水密度  $1.0 \text{ g/cm}^3$  (完全水没) において最大となる。このことから、本輸送物は核的には不足減速であることが確認できる。

以上より、本輸送物の評価においては、収納物内の水密度を  $1.0 \text{ g/cm}^3$  (完全水没) として実施している。

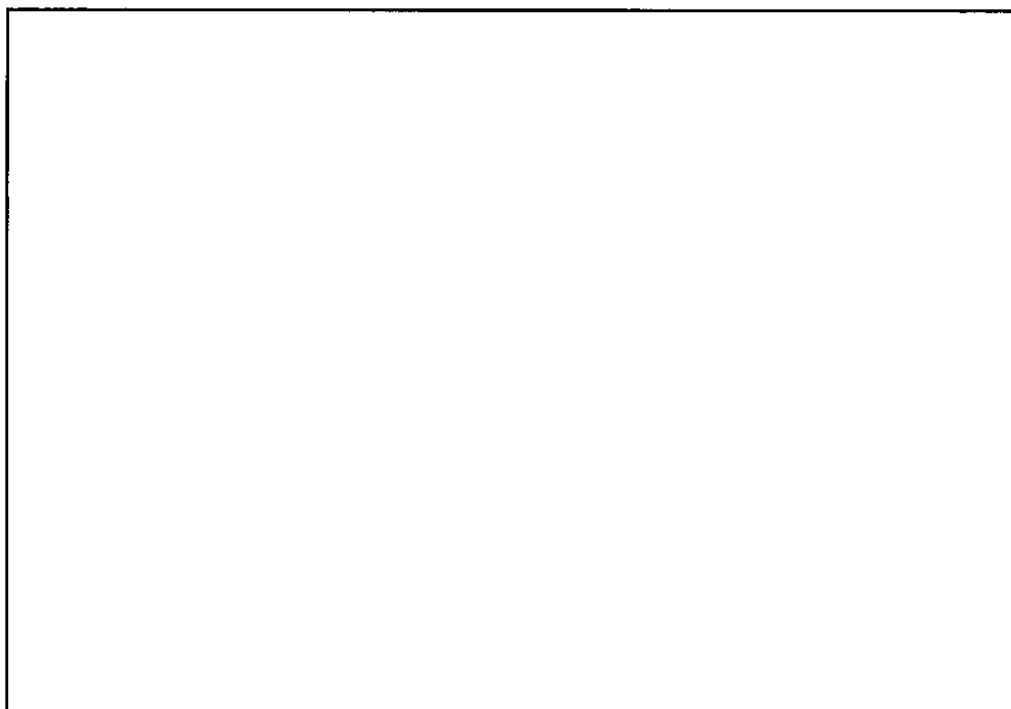


図 1 中性子増倍率の収納物内の水密度依存性

## 2. 中性子増倍率の収納物の大きさ依存性

本輸送物の評価体系では、完全水没の収納缶 4 個（収納物の大きさを収納缶の外寸を包含する半径 9.0 cm の球形状としている）を TNF-XI 容器に収納した体系を 1 個の輸送容器とし、それを配列した評価を行なっている。

収納物の大きさが縮小した場合、収納物内のウランのかさ密度が高くなるため、半径 9.0 cm の球形状の収納物より中性子増倍率が高くなる可能性がある。そこで、収納物の大きさによる中性子増倍率への影響を評価している。評価結果を図 2に示す。

図 2 より、本輸送物の評価体系では、収納物の大きさが 9.0 cm で最大となることが確認できる。以上より、本輸送物の評価体系では、半径 9.0 cm の球形状の収納物として実施している。

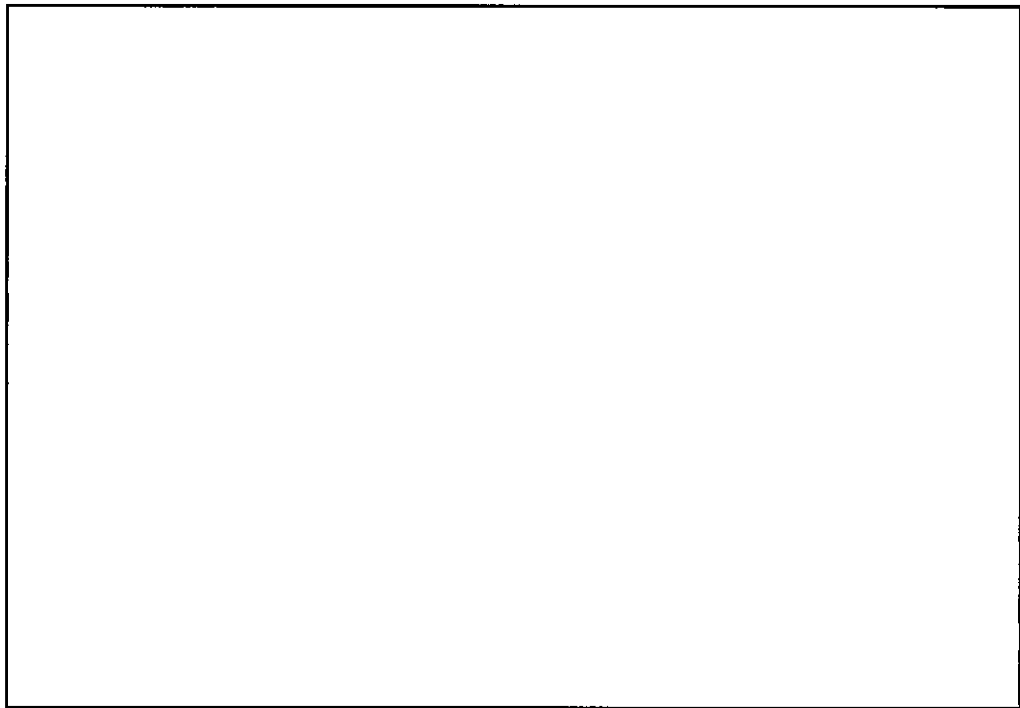


図 2 中性子増倍率の収納物の大きさ依存性

### 3. 中性子増倍率の収納物間の水密度依存性

本輸送物の評価体系では、完全水没の収納物 4 個（収納物の大きさを収納缶の外寸を包含する半径 9.0 cm の球形状としている）を TNF-XI 内容器に収納した体系を 1 個の輸送容器とし、それを配列した評価を行なっている。

収納物間の水密度が低下した場合、収納物同士の中性子相互作用のため完全水没状態より中性子増倍率が高くなる可能性がある。そこで、収納物間の水密度による中性子増倍率への影響を評価している。評価結果を図 3 に示す。

図 3 より、本輸送物の評価体系では、収納物間の水密度が  $0.08 \text{ g/cm}^3$  で最大となることが確認できる。

以上より、本輸送物の評価体系では、収納物間の水密度について、 $0.08 \text{ g/cm}^3$  として実施している。

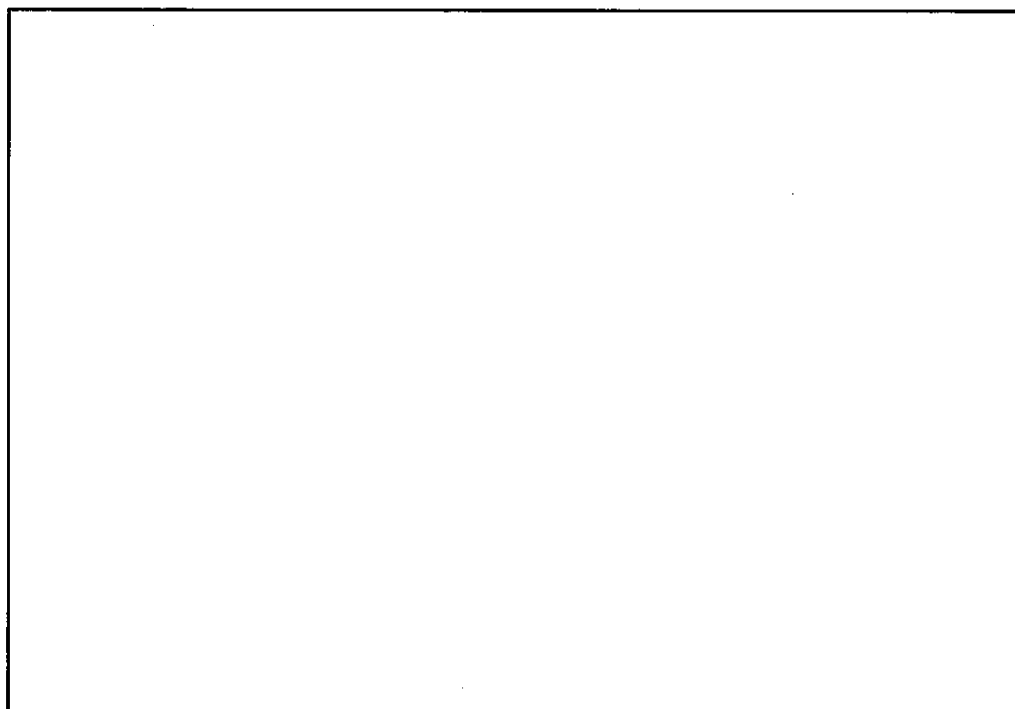


図 3 中性子増倍率の収納物間の水密度依存性



(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 $\square$ 、また1回の輸送期間は $\square$ を想定している。

繰り返し使用する収納物については、以下を想定している。

- ・粉末収納缶（ボロン入りステンレス鋼リング含む）については本輸送容器の製造時期より前に製造したものを使用することがある。そのため、使用予定期間は輸送容器より長い80年とし、使用期間を通しての輸送予定回数は計200回、また1回の輸送期間は通常最長4ヶ月を想定している。
- ・長尺粉末収納缶については、使用予定期間を10年、使用期間を通しての輸送予定回数は計10回、また1回の輸送期間は通常最長1日を想定している。
- ・スラッジ収納缶については、使用予定期間を20年（金属スラッジの保管期間を含む）、使用期間を通しての輸送予定回数は計1回、また1回の輸送期間は通常最長1日を想定している。
- ・ブロッキングシステム（ステンレス鋼製スペーサ、プラスチックスペーサ、センタリングシステム）については、使用予定期間を40年、使用期間を通しての輸送予定回数は計100回、また1回の輸送期間は通常最長4ヶ月を想定している。

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輸送容器については40年の連続使用、繰り返し使用する収納物についてはその種類を問わず80年の連続使用を考慮する。

放射線の評価において、照射量の算出における収納物条件は、最も厳しくなるケースとして以下を考慮する。

- ・中性子照射量の算出：ウラン酸化物 300 kg-UO<sub>2</sub> が4個の容器に均等に存在する条件（ケース1）
- ・ガンマ線照射量の算出：金属ウラン 1,200gU が4個の容器に均等に存在する条件（ケース4）

※ただし、ポリオキシメチレンの場合はケース4で収納しないことから、ガンマ線照射量の算出に関してもウラン酸化物 300 kg-UO<sub>2</sub> が4個の容器に均等に存在する条件（ケース1）とする。

また、疲労の評価においては、輸送容器に発生する内外圧差による応力は、使用予定より保守的な条件として40年間毎日1日1回の輸送を実施すると想定し、 $40 \times 365 = 14,600$ 回発生すると考慮する。

## 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別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	
スラッジ収納缶	
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	

なお、スラッジ収納缶用緩衝材については、繰り返し使用しないため、経年変化は考慮しない。

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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	80年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11}$ n/cm <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合には補修し、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スパーサに腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに、発送前検査で輸送容器外面、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、スラッジ収納缶及びステンレス鋼製スパーサの外観に異常がないことを確認している。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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>輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。温度変化による内外圧差により内容器に発生する応力の繰り返し回数を、使用予定より保守的な条件として14,600回発生すると想定して疲労を評価し、疲労破壊が発生しないことを確認している ((ロ)A.5.1.3.4 参照)。</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パーサには、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</p>	無し

(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 <sup>2)</sup> 。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	40年の使用期間における中性子の累積照射量は $7 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$ 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $3 \times 10^3 \text{ Gy}$ 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 $10^{14} \text{ n/cm}^2$ 、ガンマ線照射量 $10^4 \text{ Gy}$ 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 <sup>3)</sup> 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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は発生しない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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<sup>4)</sup>。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</p>	無し
	放射線	<p>40年の使用期間における中性子の累積照射量は <math>7 \times 10^{10}</math> n/cm<sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は <math>9 \times 10^2</math> Gy 以下であり、BORA レジンの母材であるポリエステル<sup>5)</sup>の材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 <math>10^{14}</math> n/cm<sup>2</sup>、ガンマ線照射量 <math>10^4</math> Gy と比較して十分小さい<sup>3)</sup>。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup>B の減損率は <math>10^{-10}</math> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。</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りない。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	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。80年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11}$ n/cm <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> と比較して十分に小さい <sup>1)</sup> 。加えて累積の中性子照射による <sup>10</sup> 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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、また内容物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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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 <sup>5)</sup> 。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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	80年の使用期間における中性子の累積照射量は $1.4 \times 10^{11}$ n/cm <sup>2</sup> 以下であり、またガンマ線の累積照射量は $1.4 \times 10^2$ Gy以下であり、ポリオキシメ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 <sup>2</sup> 、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 <sup>6)7)</sup> 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	化学	ポリオキシメチレンは内容物の内部に使用され、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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	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、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対しては、使用期間中の経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要がなく、ステンレス鋼に対しては熱、放射線、化学における経年変化要因においては、使用期間中の経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要がないことを確認した。

ステンレス鋼製の内容器については内外圧力差によって繰り返し応力が発生するため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用期間中に想定される最も厳しい応力条件かつ保守的な繰り返し回数を考慮した上で内外圧差による疲労を評価したところ、使用期間において疲労破壊は発生せず、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ことを確認した。

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)ー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 及び 別表第五</p>	<p>設計変更において追加した収納物（ケース 4）は、外運搬告示における別表第五（種類が二種類以上あり、且つ、種類の全部が明らかで、種類別の分率が明らかである放射性物質）に該当する。放射能量は A<sub>2</sub> 値以下であるため、既認可の収納物（ケース 1～3）と同様に A 型輸送物である。</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ことに変更はない。</p>	<p>(イ)ーD.4.3</p>
<p>第三条 第三項</p>		<p>下記に示すように、既認可の収納物（ケース 1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース 4）を収納する場合においても、経年変化が規則に定める技術基準の適合していることに影響しないことに変更はない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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"/> を想定している。</li> <li>・粉末収納缶（ボロン入りステンレス鋼リング含む）については本輸送容器の製造時期より前に製造したものを使用することがある。そのため、使用予定期間は輸送容器より長い 80 年とし、使用期間を通しての輸送予定回数は計 200 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 4 ヶ月を想定している。</li> <li>・長尺粉末収納缶については、使用予定期間を 10 年、使用期間を通しての輸送予定回数は計 10 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 1 日を想定している。</li> <li>・スラッジ収納缶については、使用予定期間を 20 年（金属スラッジの保管期間を含む）、使用期間を通しての輸送予定回数は計 1 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 1 日を想定している。</li> <li>・ブロッキングシステム（ステンレス鋼製スペーサ、プラスチックスペーサ、センタリングシステム）については、使用予定期間を 40 年、使用期間を通しての輸送予定回数は計 100 回、また 1 回の輸送期間は通常最長 4 ヶ月を想定している。</li> <li>・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。</li> <li>・使用予定期間を通して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。</li> </ul>	<p>(ロ)ー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
<p>第三条 第三項 (続き)</p>		<p>・保守的な条件として、使用予定期間を通して連続してウラン酸化物を各内容器に 75kg ずつ、計 300kg 収納した場合および金属ウラン 300gU ずつ、計 1.2kgU 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。</p> <p>・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、定期自主検査の外観検査で輸送容器外面に腐食が確認された場合は補修し、ステンレス鋼製の収納物に腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに発送前検査にて外観に異常がないことを確認している。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。</p> <p>・輸送容器構造材に用いているステンレス鋼について、繰り返し応力が発生することから経年変化の考慮が必要となる。使用予定より保守的な条件として使用期間中に内外圧差の応力が計 14,600 回発生するとし、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く、疲労による経年変化は生じない。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ことから経年変化の考慮は必要なく、疲労による経年変化の影響は受けない。</p>	<p>(ロ)－F</p>
<p>第四条 第一号</p>		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材質、構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p>	<p>(イ)－C(1) (イ)－C(10)(a)  (イ)－C(5)(b)③</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
<p>第四条 第二号</p>		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材質、構造に変更はない。既認可の収納物（ケース1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース4）を収納する場合も、以下に示すように運搬中に予想される輸送容器の温度・内圧の変化及び振動を考慮しても、技術基準に適合する。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ことに変更はない。</p> <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、スラッジ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、温度差により発生する熱応力は無視しうる。</p> <p>ケース1及びケース3については、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との間については、-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"/> 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>ケース2については、長尺粉末収納缶と内容器に十分なギャップが存在するため、熱膨張によって内容器側面及び内蓋と接触することはない。</p> <p>ケース4については、スラッジ収納缶用緩衝材と内蓋は接触した状態で収納されるが、-40℃から52℃までの温度変化による輸送容器構造材であるステンレス鋼とスラッジ収納缶用緩衝材のアルミニウム合金の熱膨張差は0.330 mm 程度であり、内容器底面に配置するEPDMの弾性変形により吸収されるため、熱膨張差による顕著な応力は発生しない。</p> <p>以上のことから、いずれの収納物を収納した場合でも、熱膨張による顕著な応力は発生せず、亀裂・破損の生じるおそれはない。</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>(ロ)－B.4.2 (ロ)－B.4.3</p> <p>(ロ)－A.5.1.2</p> <p>(ロ)－B.4.2 (ロ)－A.4.6</p> <p>(ロ)－A.5.1.3</p> <p>(ロ)－A.4.7</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 第三号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材質、構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p>	(イ)-C(5)(b)① (イ)-C(9)
第四条 第四号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材質、構造に変更はなく、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のないことに变更はない。</p> <p>設計変更において追加した収納物（ケース4）であるスラッジ収納缶を収納する際、スラッジ収納缶用緩衝材と内蓋は接触した状態であるが、-40℃から52℃までの温度変化による輸送容器構造材であるステンレス鋼とスラッジ収納缶用緩衝材のアルミニウム合金の熱膨張差は0.330 mm程度であり、内容器底面に配置するEPDMの弾性変形により吸収されるため、熱膨張差による顕著な応力は発生しない。したがって、既認可の収納物（ケース1～3）と同じく、危険な物理的作用が生じるおそれはない。</p> <p>設計変更において追加した収納物であるスラッジ収納缶及びスラッジ収納缶用緩衝材は、ステンレス鋼、アルミニウム合金、EPDM及びポリカーボネートであり、化学的に安定した材料である。したがって、既認可の収納物（ケース1～3）と同じく、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ことに变更はない。</p>	(ロ)-A.5.1.2  (ロ)-A.4.1
第四条 第五号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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ことに变更はない。</p>	(イ)-C(11)
第四条 第八号	第九条	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる表面密度限度に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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（<math>\alpha</math>線を放出する核種：0.4Bq/cm<sup>2</sup>、<math>\alpha</math>線を放出しない核種：4 Bq/cm<sup>2</sup>）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ことに变更はない。</p>	(ハ)-A.1(2)
第四条 第十号		<p>設計変更においては、既認可と同じく、核燃料物質等の使用等に必要な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ことに变更はない。</p>	(ハ)-A.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
第五条 第二号		<p>設計変更においては、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p>	(イ) - C(5)(b)①
第五条 第三号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造及び封印の運用方法に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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している。</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ことに变更はない。</p>	(ロ) - A.4.3 (ハ) - A.1(2)
第五条 第四号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料に変更はない。そのため、既認可と同じく、本輸送物における運転中に予想される温度範囲は -40℃ ~ 72℃ であり、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、運転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、当該輸送物が規則に定める技術上の基準に適合することに变更はない。</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
第五条 第五号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料、構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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。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、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに变更はない。</p>	(ロ) - A.4.6
第五条 第六号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、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。</p>	(イ) - D

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
第五条 第七号		<p>下記に示す通り、既認可の収納物（ケース 1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース 4）においても、表面における最大線量当量率は 2mSv/h を超えることはない。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ことに変更はない。</p> <p>・既認可の収納物（ケース 1～3）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 71 kg 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>・設計変更において追加した収納物（ケース 4）の中で最も線源強度が高くなる条件として、300gU の金属ウランを各内容器に配置し、保守的にスラッジ収納缶及びスラッジ収納缶用緩衝材は存在しないものとし、線源強度が最も高くなるウランを含むアクチニド及びその娘核種、並びに FP の組成を考慮した。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 0.852 mSv/h 以下と 2 mSv/h を超えない結果が得られている。</p>	(ロ)-D.1.1 (ロ)-D.1.2.1(2)  (ロ)-D.2.1 (ロ)-D.2.2.1(2)
第五条 第八号		<p>下記に示す通り、既認可の収納物（ケース 1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース 4）においても、輸送物表面から 1 m 離れた位置における線量当量率は 100 μSv/h を超えることはない。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ことに変更はない。</p> <p>・既認可の収納物（ケース 1～3）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 71 kg 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 1 m 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>・設計変更において追加した収納物（ケース 4）の中で最も線源強度が高くなる条件として、300gU の金属ウランを各内容器に配置し、保守的にスラッジ収納缶及びスラッジ収納缶用緩衝材は存在しないものとし、線源強度が最も高くなるウランを含むアクチニド及びその娘核種、並びに FP の組成を考慮した。QAD-CGGP2R コードによる遮蔽解析を実施し、輸送物表面から 1 m 離れた位置における線量当量率は 68.04 μSv/h 以下と 100 μSv/h を超えない結果が得られている。</p>	(ロ)-D.1.1   (ロ)-D.2.1



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
<p>第五条 第九号 (イ)</p>	<p>第十三条 及び 別記第三</p>	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、総重量に変更はない。 したがって、既認可と同じく、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、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</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
第五条 第九号 (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、既認可の収納物（ケース 1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース 4）においても、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、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p>・既認可の収納物（ケース 1～3）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 71 kg 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、2 mSv/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> <p>・設計変更において追加した収納物（ケース 4）の中で最も線源強度が高くなる条件として、300gU の金属ウランを各内容器に配置し、保守的にスラッジ収納缶及びスラッジ収納缶用緩衝材は存在しないものとし、線源強度が最も高くなるウランを含むアクチニド及びその娘核種、並びに FP の組成を考慮し、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 0.935mSv/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 10%とわずかである。</p>	(ロ)-D.1.1 (ロ)-D.1.3.1.2  (ロ)-D.2.1 (ロ)-D.2.3.1.2
第十一条		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。	(ロ)-F
	第二十三条	<p>設計変更において、追加した収納物（ケース 4）は、既認可の収納物（ケース 1～3）と同様に、15g 以上のウラン 235 を輸送する。</p> <p>以上のことから、本輸送物が技術基準における核分裂性輸送物に該当することに変更はない。</p>	(イ)-第 2 表 第 3 表 第 4 表 第 5 表 第 7 表

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>第十一条 第一号 (イ)</p>	<p>第二十四条 及び 別記第十一</p>	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、総重量に変更はない。したがって、既認可と同じく、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、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</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長方体の各辺は 10 cm 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り 1 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 10 cm 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長方体の各辺は 10 cm 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長方体の各辺は 10 cm 以上である。</p>	<p>(ロ)－A.9.1.4</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
<p>第十一条 第一号 (ロ)</p>	<p>第二十四条 及び 別記第十一</p>	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、総重量に変更はない。したがって、既認可と同じく、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。 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ことに変更はない。</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>	<p>(ロ)-A.9.1.4</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
<p>第十一条 第二号 (イ)～(ホ)</p>	<p>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>	<p>既認可の収納物（ケース 1～3）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース 4）においても、下記の通り、臨界に達しない。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ことに変更はない。</p> <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>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 4 における配列系の評価は、一般の試験条件下と特別の試験条件下の評価条件を包絡する条件として、輸送制限個数の 5 倍以上の輸送物を配列し、評価を行った。</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容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>(ロ)－E.1.4.4 (ロ)－E.2.4.4 (ロ)－E.3.4.4 (ロ)－E.4.4.4</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
第十一条 第二号 (イ)～(ホ) (続き)	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>ケース4において、保守的に中性子吸収材を含む輸送容器及び内容器内のスラッジ収納缶、スラッジ収納缶用緩衝材の材質は全て水と置き換え、収納物間の距離を減少させてモデル化し、配列系の条件として輸送制限個数の5倍を超える個数を配列し、KENO-VI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0.931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>	
第十一条 第三号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、外運搬規則第五条第四号において説明で述べた通り、-40～72℃の温度範囲において、き裂、破損等を生じないことに変更はない。</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ことに変更はない。</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)、スラッジ収納缶を使用し金属ウランスラッジを収納する場合(ケース 4)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スケット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スケット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スケット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 4

金属ウランスラッジは直接スラッジ収納缶に収納する。この後、スラッジ収納缶の蓋を載せガasketを介して締付金具にて締付ける。次にスラッジ収納缶を輸送容器内容器に収納する。スラッジ収納缶を内容器に収納する際は、スラッジ収納缶用緩衝材と一緒に収納する。スラッジ収納缶は各内容器に1缶ずつ収納する。

### (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、 $\alpha$ 線を放出する核種が $0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 以下、 $\alpha$ 線を放出しない核種が $4 \text{ Bq/cm}^2$ 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1mの位置での線量当量率の測定を行ない、各々 $2 \text{ mSv/h}$ 以下、 $100 \mu\text{Sv/h}$ 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

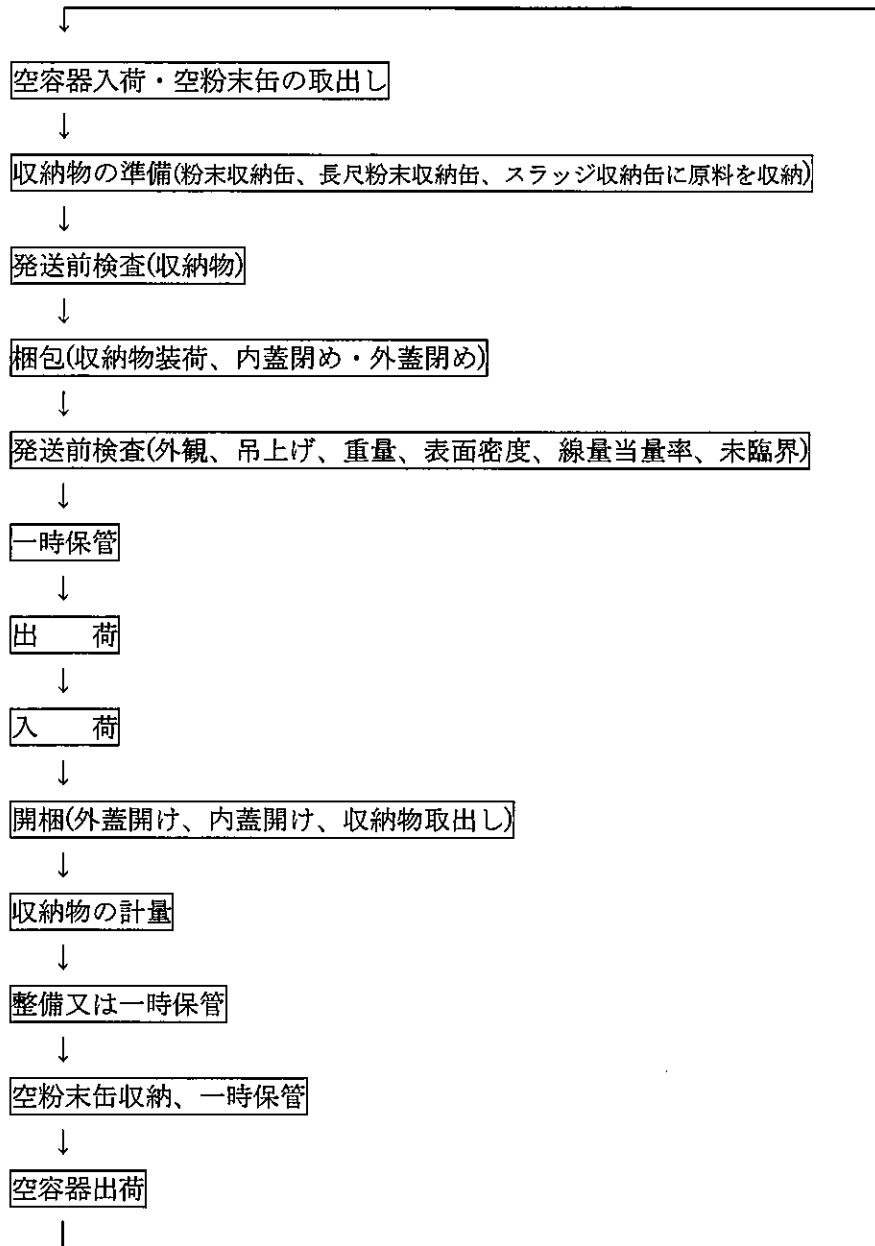
#### ①フォークリフト及びパレットトラックによる移動

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	<p>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>	<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) <math>^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}</math> <math>^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}</math> <math>^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}</math> <math>^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}</math> ただし、<math>^{236}\text{U} &lt; 125 \mu\text{g/gU}</math> の場合は、<math>^{232}\text{U}</math> 及び <math>^{99}\text{Tc}</math> は適用外</p> <p>4. 収納量：(ハ)A-第5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： (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： 粉末収納缶の使用期間が80年を越えていないこと。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	<p>輸送物の外観を目視で検査する。</p>	<p>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。</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。	$\alpha$ 線を放出する核種 : 0.4 Bq/cm <sup>2</sup> 以下 $\alpha$ 線を放出しない核種 : 4 Bq/cm <sup>2</sup> 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 $\mu$ 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"> <li>種類：ウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ）</li> <li>濃縮度：5%以下</li> <li>濃縮ウランの種類 濃縮ウラン <math>^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}</math> <math>^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}</math> <math>^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}</math> <math>^{99}\text{Tc} \leq 0.05 \mu\text{g/gU}</math></li> <li>収納量：(ハ)A-第6表を満たしていること。</li> <li>放射能量：1.41GBq 以下</li> <li>外観： (1)長尺粉末収納缶 異常がないこと。 (2)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。</li> <li>その他：長尺粉末缶の使用期間が10年を越えていないこと。</li> </ol>
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。	$\alpha$ 線を放出する核種：0.4 Bq/cm <sup>2</sup> 以下 $\alpha$ 線を放出しない核種：4 Bq/cm <sup>2</sup> 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
<p>収納物検査</p>	<p>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>	<p>1. 種類：ウラン残渣                  2. 濃縮度：20%以下                  3. 濃縮ウランの種類                  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)  <math>^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}</math>  <math>^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}</math>  <math>^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}</math>  <math>^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}</math>                  ただし、<math>^{236}\text{U} &lt; 125 \mu\text{g/gU}</math> の場合は、<math>^{232}\text{U}</math> 及び <math>^{99}\text{Tc}</math> は適用外                  b) 濃縮度 20%以下  <math>^{232}\text{U} \leq 0.0004 \mu\text{g/gU}</math>  <math>^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}</math>  <math>^{236}\text{U} \leq 1000 \mu\text{g/gU}</math>  <math>^{99}\text{Tc} \leq 0.04 \mu\text{g/gU}</math>                  4. 収納量：(ニ)A-第7表を満たしていること。                  5. 放射能量：3.21 GBq 以下                  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で収納されていないこと。                  7. その他：                  粉末収納缶の使用期間が 80 年を越えていないこと。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。	$\alpha$ 線を放出する核種 : 0.4 Bq/cm <sup>2</sup> 以下 $\alpha$ 線を放出しない核種 : 4 Bq/cm <sup>2</sup> 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 $\mu$ 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4表 輸送物発送前検査(ケース4)

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。	1. 種類：金属ウランスラッジ 2. 濃縮度： <input type="text"/> %以下 3. 濃縮ウランの種類 主要な核種： $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{231}\text{Th}$ 4. 収納量：(ニ)A-第8表を満たしていること。 5. 放射エネルギー：7.18 GBq 以下 6. 外観： (1)スラッジ収納缶： 異常がないこと。内容器当たり、1缶収納されていること。 (2)スラッジ収納缶用緩衝材： 異常のないこと。所定の緩衝材が内容器に収められていること ((イ)-第12図参照)。 (3)その他： 核燃料物質等の使用等に必要物品以外のものが収納されていないこと。 7. その他： 燃焼度：15.0MWd/t 以下であること。 冷却期間：3,583日以上であること。 スラッジ収納缶：使用期間が20年を越えていないこと。 スラッジ収納缶用緩衝材：未使用のものであること。
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。	$\alpha$ 線を放出する核種：0.4 Bq/cm <sup>2</sup> 以下 $\alpha$ 線を放出しない核種：4 Bq/cm <sup>2</sup> 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1mの位置：100 $\mu$ 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5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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶(ケース4)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	$\text{Gd}_2\text{O}_3$
E	エルビア	$\text{Er}_2\text{O}_3$
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-6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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶 (ケース 4) 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	$Mg(C_{17}H_{35}COO)_2$
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	$C_2H_4N_4O_2$

(ハ)A-第7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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶(ケース4)は同一輸送容器内に混載しない。

(ハ)A-第8表 内容器の装荷制限(ケース4)

濃縮度	装荷制限条件	
	kg-U	kg-金属スラッジ
<input type="text"/> %以下	0.3	0.5

\* 輸送物当たりの最大重量はそれぞれ4倍した値である。

\* 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)、ウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)、及び金属ウランスラッジを収納したスラッジ収納缶(ケース4)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 11 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10月11日付熊原第22-006号（令和4年11月16日付熊原第22-028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内に確立し、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社長より権限移譲を受け、熊取事業所長、東海事業所長及びエンジニアリング事業部長の3事業部門長が共同で担う。（以下、トップマネジメントと云う。）トップマネジメント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)－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

トップマネジメント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－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

トップマネジメントは、熊取事業所、東海事業所及びエンジニアリング事業部からそれぞれ管理責任者を任命する。それら管理責任者は本来の職務とは関係なく、各事業部において次の事項の責任と権限を有す。

- (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トップマネジメントへ報告する。

B.3 熊取事業所品質保証部（以下、熊取品質保証部と云う。）

熊取品質保証部長は、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 熊取事業所燃料製造部（以下、熊取燃料製造部と云う。）

熊取燃料製造部長は、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 エンジニアリング事業部燃料サイクル技術部（以下、燃料サイクル技術部と云う。）

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 エンジニアリング事業部炉心・安全技術部（以下、炉心・安全技術部と云う。）

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 熊取事業所環境安全部（以下、熊取環境安全部と云う。）

熊取環境安全部長は、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 熊取事業所設備管理部（以下、熊取設備管理部と云う。）

熊取設備管理部長は、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

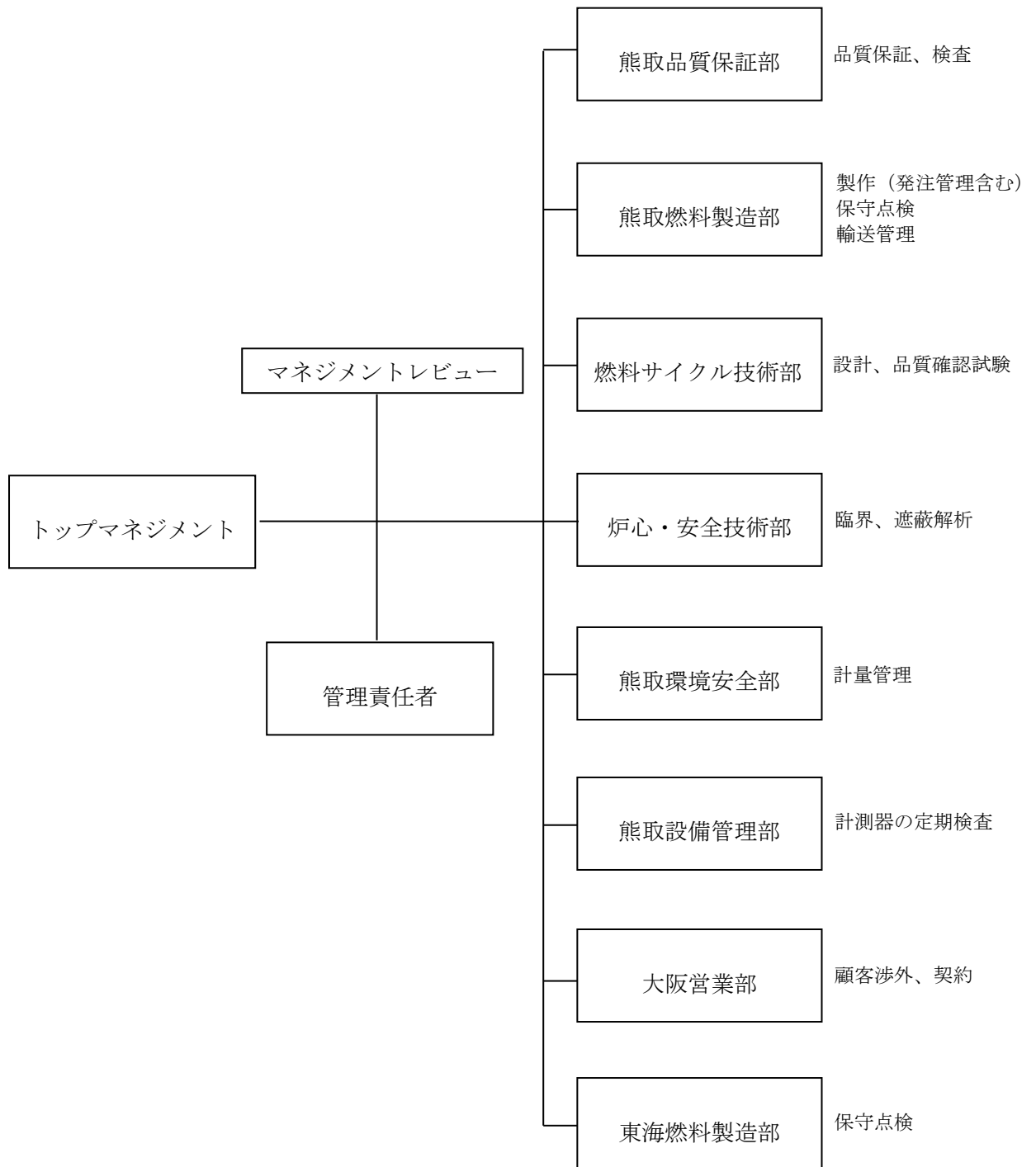
大阪営業部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 顧客への渉外、契約の実施

B.10 東海事業所燃料製造部（以下、東海燃料製造部と云う。）

東海燃料製造部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 輸送容器の取扱い・保守の実施



(イ) B-第1図 原子燃料工業(株) 輸送容器の設計及び製作に係る組織

(イ)－C 教育・訓練

熊取品質保証部長、熊取燃料製造部長、燃料サイクル技術部長、炉心・安全技術部長、熊取環境安全部長、熊取設備管理部長、大阪営業部長及び東海燃料製造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、熊取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

熊取燃料製造部長は、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

熊取燃料製造部長は、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、熊取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、熊取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) 熊取品質保証部長は、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、熊取燃料製造部長は、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。熊取品質保証部長は、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) 熊取品質保証部長は、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) 熊取燃料製造部長は、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

熊取燃料製造部長及び東海燃料製造部長は、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、ウラン再転換先等に委託する場合がある。熊取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

熊取品質保証部長は、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

熊取燃料製造部長は、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。