

## 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20-023号

令和3年1月28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

取締役社長 北川 健一

令和2年4月20日付熊原第20-005号（令和2年8月7日付け熊原第20-014号で一部補正）をもって申請した核燃料輸送物設計変更承認申請書について、下記のとおり一部補正します。

### 記

核燃料輸送物設計変更承認申請書の「3. 変更内容」を次のとおり変更し、別紙を添付のとおり変更する。

#### 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  m

幅：約  m

高さ：約  m

##### (2) 輸送容器の重量

kg 以下

##### (3) 核燃料輸送物の総重量

kg 以下

##### (4) 輸送容器の概略を示す図

図1のとおり

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2年4月20日付熊原第20-005号（令和2年8月7日付け熊原第20-014号および令和

3年1月28日付け熊原第20-023号で一部補正))に係る別紙の(イ)-第1図から(イ)-第6図までに示されている。

(5) 輸送容器の主要材料

表1のとおり

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2～8のとおり

5. 輸送制限個数

- (1) 輸送制限個数 : 個(ケース1、粉末収納缶使用時)  
個(ケース2、長尺粉末収納缶使用時)
- (2) 配列方法 : 任意
- (3) 臨界安全指数 :  (ケース1、粉末収納缶使用時)  
 (ケース2、長尺粉末収納缶使用時)

6. 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。

7. 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EPDM(エチレン・プロピレンゴム)が用いられている。

8. 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

9. 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

本輸送物の保守及び核燃料輸送物の取扱いについては、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2年4月20日付け熊原第20-005号(令和2年8月7日付け熊原第20-014号および令和3年1月28日付け熊原第20-023号で一部補正))に係る別紙のとおり。

## 10. その他特記事項

### (1) 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

−40℃から38℃まで

### (2) 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、底面および外蓋に中性子吸収材が配置されている。

### (3) 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、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和2年4月20日付熊原第20-005号（令和2年8月7日付け熊原第20-014号および令和3年1月28日付け熊原第20-023号で一部補正））に係る別紙のとおり。

## 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

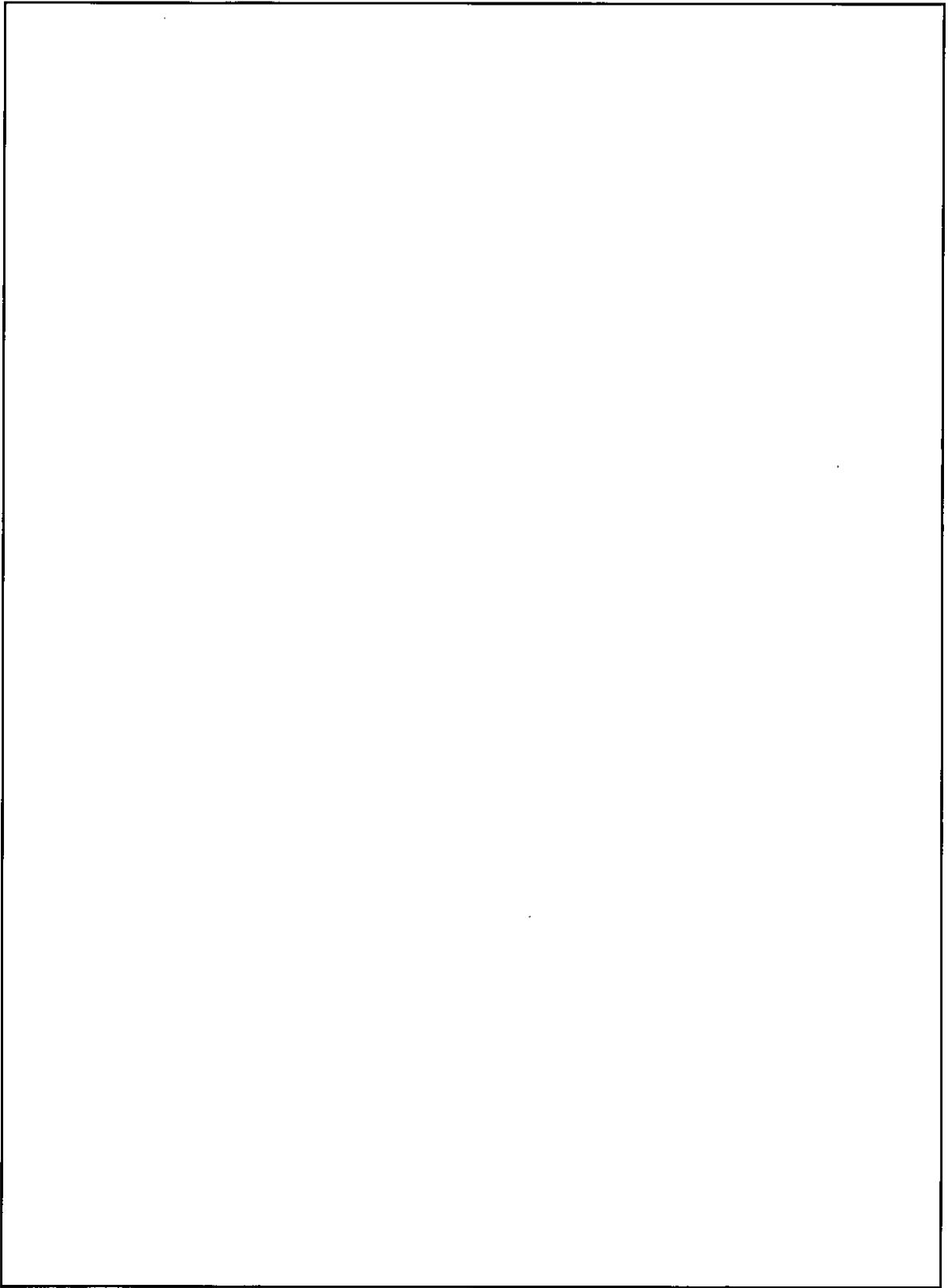


图 1 TNF-XI 型输送机外观图

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
ガスケット	エチレン・プロピレンゴム
収納袋	ポリエチレン、ポリウレタン

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 のとおり		
放射能の量	総 量		Bq 以下
	主要な核種	$^{232}U$	Bq 以下
		$^{234}U$	Bq 以下
		$^{235}U$	Bq 以下
		$^{236}U$	Bq 以下
		$^{238}U$	Bq 以下
		$^{99}Tc$	Bq 以下
濃縮度	<input type="checkbox"/> %以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量			
冷却日数			
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			
B			
C			
D			
E			
F			

表4 各内容器当たりの収納制限 (ケース1)

(以下)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(以下)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

\*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。

\*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。

\*粉末収納缶 (ケース1) と長尺粉末収納缶 (ケース2) 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	約 <input type="text"/> mm	高さ	最小 <input type="text"/> mm
板厚	最小 <input type="text"/> mm	重量	最大 <input type="text"/> kg
材料	ボロン入りステンレス鋼	化学成分	Cr <input type="text"/> %以上、 <input type="text"/> %以下
			Ni <input type="text"/> %以上、 <input type="text"/> %以下
			B <input type="text"/> %以上、 <input type="text"/> %以下

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 <sub>2</sub> , U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 又は UO <sub>3</sub> ) 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 のとおり		
放射能の量	総量		Bq 以下
	主要な核種	<sup>232</sup> U	Bq 以下
		<sup>234</sup> U	Bq 以下
		<sup>235</sup> U	Bq 以下
		<sup>236</sup> U	Bq 以下
		<sup>238</sup> U	Bq 以下
		<sup>99</sup> Tc	Bq 以下
濃縮度	<input type="checkbox"/> %以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量			
冷却日数			
濃縮ウラン中の不純物仕様	<sup>232</sup> U	≤0.0001 μg/gU	
	<sup>234</sup> U	≤10×10 <sup>3</sup> μg/g <sup>235</sup> U	
	<sup>236</sup> U	≤250 μg/gU	
	<sup>99</sup> Tc	≤0.01 μg/gU	
	ただし、 <sup>236</sup> U < 125 μg/gU の場合は、 <sup>232</sup> U 及び <sup>99</sup> Tc は適用外		

表 7 添加物（ケース 2）

	添加物	化学式	最大添加量
A			
B			
C			
D			
E			
F			



表8 内容器1つ当たりの収納制限（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

\* 収納物を装荷する内容器は [ ] 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。

\* 粉末収納缶（ケース1）と長尺粉末収納缶（ケース2）は同一輸送容器内に混載しない。

以上

## 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 3 年 1 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)－1
(イ)－C 輸送容器	(イ)－1
(イ)－D 輸送容器の収納物	(イ)－13
(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－1
A.2 重量及び重心	(ロ)A－6
A.3 材料の機械的性質	(ロ)A－8
A.4 輸送物の要件	(ロ)A－10
A.4.1 化学的及び電気的反応	(ロ)A－10
A.4.2 低温強度	(ロ)A－12
A.4.3 密封装置	(ロ)A－12
A.4.4 吊上装置	(ロ)A－12
A.4.5 固縛装置	(ロ)A－12
A.4.6 圧 力	(ロ)A－13
A.4.7 振 動	(ロ)A－16
A.5 一般の試験条件	(ロ)A－18
A.5.1 熱的試験	(ロ)A－18
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ)A－18
A.5.1.2 熱 膨 張	(ロ)A－18
A.5.1.3 応力計算	(ロ)A－18
A.5.1.4 許容応力との比較	(ロ)A－21
A.5.2 水 噴 霧	(ロ)A－21
A.5.3 自由落下	(ロ)A－21
(a) 解析モデル	(ロ)A－21
(b) 原型試験	(ロ)A－21
(c) モデル試験	(ロ)A－22
A.5.4 積み重ね試験	(ロ)A－22
A.5.5 貫 通	(ロ)A－25
A.5.6 角又は縁落下	(ロ)A－25

A.5.7 結果の要約及びその評価 .....	(ロ)A-25
A.6 特別の試験条件 .....	(ロ)A-26
A.7 強化浸漬試験 .....	(ロ)A-26
A.8 放射性収納物 .....	(ロ)A-27
A.9 核分裂性輸送物 .....	(ロ)A-31
A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件 .....	(ロ)A-31
A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件 .....	(ロ)A-32
(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)-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-3
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-4
C.4.2 放射性物質の漏えい	(ロ)C-4
C.5 結果の要約及びその評価	(ロ)C-5

(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 概要	(ロ)D-1
D.2 線源仕様	(ロ)D-3
D.2.1 ガンマ線源	(ロ)D-3
D.2.2 中性子源	(ロ)D-3
D.3 モデル仕様	(ロ)D-5
D.3.1 解析モデル	(ロ)D-5
D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)D-10
D.4 遮蔽評価	(ロ)D-11
D.5 結果の要約と結果	(ロ)D-11

(ロ)D 付属資料 1 最大線量当量率を与える評価点の検討

(ロ)E 臨界解析	(ロ)E-1
E.1 ケース 1(粉末収納缶を使用する場合)	(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	ベンチマーク試験	(ロ)E-32
E.4	結果の要約及びその評価	(ロ)E-33
(ロ)E	付属資料 1 サーベイ計算の結果	
(ロ)E	付属資料 2 ケース 2 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)-F	規則及び告示に対する適合性の評価	(ロ)F-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)-7
A.4	空容器の準備	(ハ)-7
(ハ)-B	保守条件	(ハ)-10
B.1	外観検査	(ハ)-10
B.2	耐圧検査	(ハ)-10
B.3	気密漏えい検査	(ハ)-10
B.4	遮蔽検査	(ハ)-10

B.5	未臨界検査	.....	(ハ)－10
B.6	熱検査	.....	(ハ)－10
B.7	吊上検査	.....	(ハ)－10
B.8	作動確認検査	.....	(ハ)－11
B.9	補助系の保守	.....	(ハ)－11
B.10	密封装置の弁、ガスケット等の保守	.....	(ハ)－11
B.11	輸送容器の保管	.....	(ハ)－11
B.12	記録の保管	.....	(ハ)－11
B.13	その他	.....	(ハ)－11
(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 %以下のウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ）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：粉末収納缶使用時)

個

(ケース 2：長尺粉末収納缶使用時)

個

(5) 輸送指数

(6) 臨界安全指数

(ケース 1：粉末収納缶使用時)

(ケース 2：長尺粉末収納缶使用時)

(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  kg 以下

輸送物の総重量  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、又は長尺粉末収納缶を収納する内容器が


以下、粉末収納缶使用時をケース1、長尺粉末収納缶使用時をケース2とする。

に対して、内蓋、外蓋が、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 mm, mm の立方体である。外容器上面は外蓋を取り付けるステンレス鋼製のフランジ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 mm の脚が組取付けられている。

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 φ mm、内高約 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。ステンレス鋼製の連結パイプで固定され、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一部と底面エッジ部全周には高密度 (  $\square$  kg/m<sup>3</sup> ;  $\square$  g/cm<sup>3</sup> ) のフォーム  $\square$ 、残りの部分には中密度 (  $\square$  kg/m<sup>3</sup> ;  $\square$  g/cm<sup>3</sup> ) のフォーム  $\square$  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  $\square$  mm、側面及び底面が厚さ  $\square$  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  $\square$  mm の  $\square$  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 (  $\square$  kg/m<sup>3</sup> ;  $\square$  g/cm<sup>3</sup> ) のフォーム  $\square$  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

輸送容器上面中央には、ステンレス鋼製の外蓋回り止めデバイスを取付け、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。(イ)―第 1 図及び第 2 図にこれらの付属品を示す。

## 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  $\square$  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) 密封装置

本輸送容器の内容器は、(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、外蓋が内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)ー第1表 主要構造材料及び中性子吸収材 (1/2)

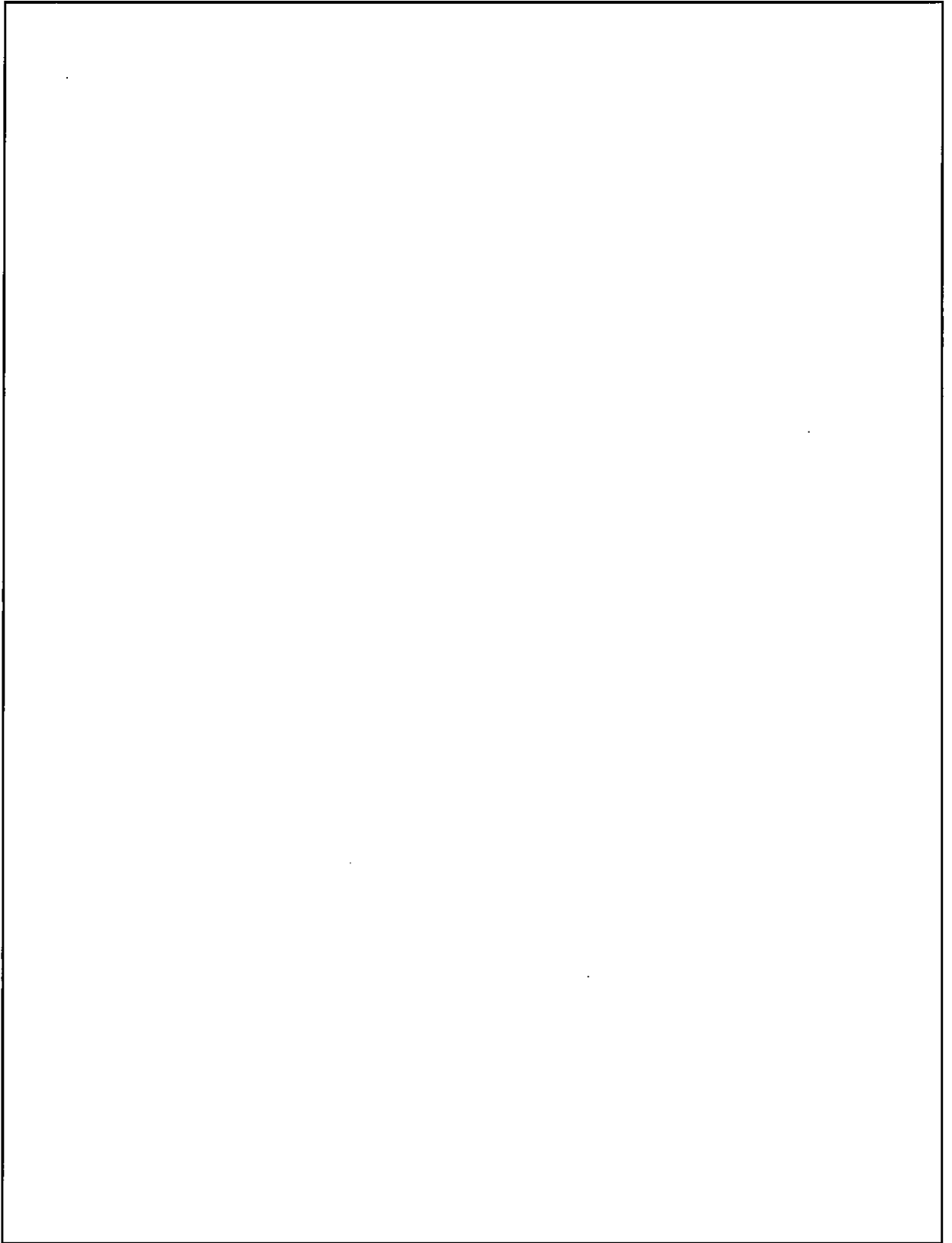
区分	主要構成要素名	材質	規格*	寸法 (mm)	個数	参照図
容器本体	外容器側面	ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L	[ ]		(イ)ー第2図
	上面	同上	同上			(イ)ー第2図
	底面	同上	同上			(イ)ー第2図
	フランジ	同上	同上			(イ)ー第6図
	内容器内壁	同上	同上			(イ)ー第3図
	外壁	同上	同上			(イ)ー第3図
	底面	同上	同上			(イ)ー第3図
	フランジ	同上	同上			(イ)ー第6図
	中性子吸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

\*相当品を含む

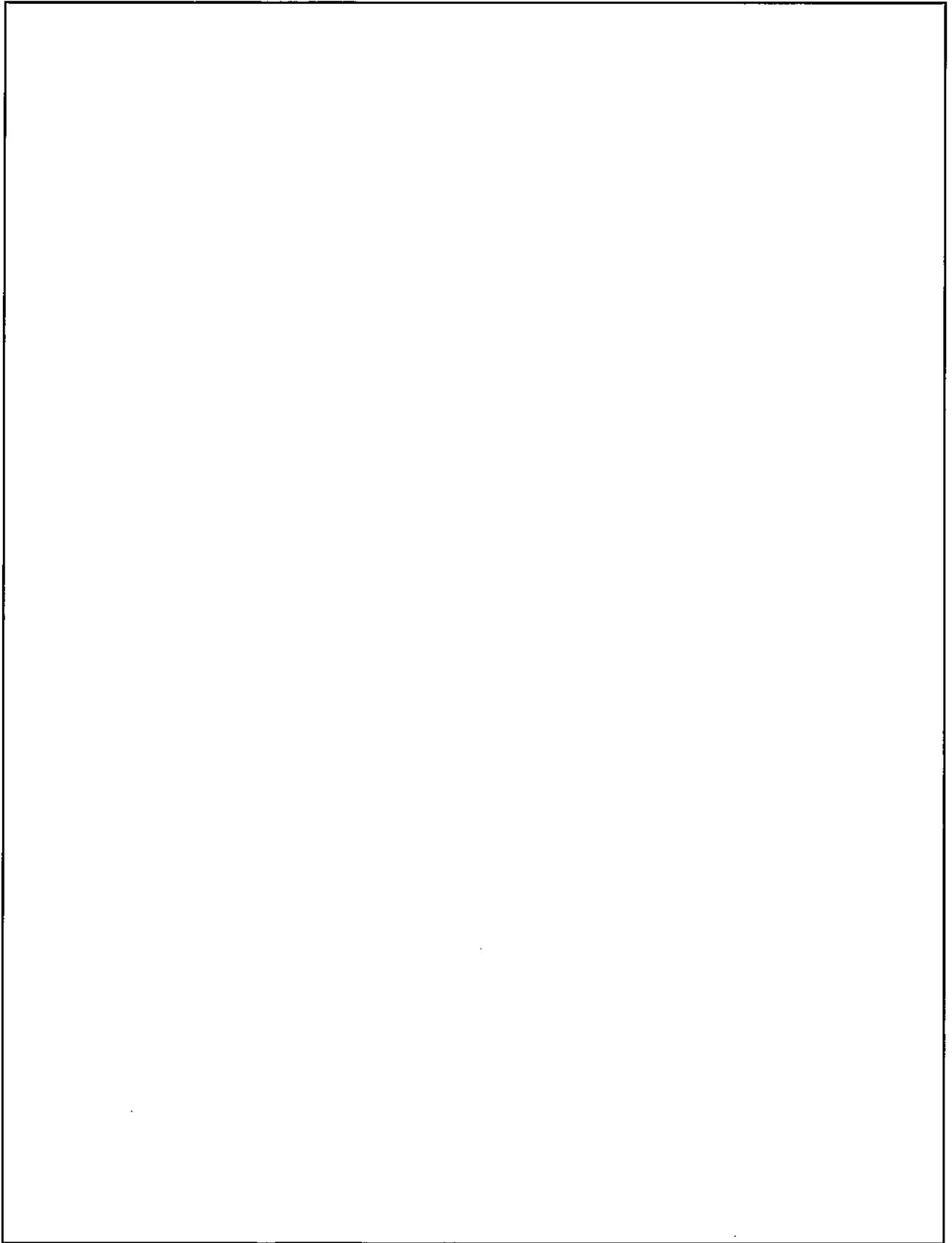
(イ)-第1表 主要構造材料及び中性子吸収材 (2/2)

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			(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			(イ)-第3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			(イ)-第4図
	上面	同上	同上			(イ)-第4図
	底面	同上	同上			(イ)-第4図
	フランジ	同上	同上			(イ)-第4図
	ハンドル	同上	NF A49-117 Z2CN18-10/Z3CN19-09			(イ)-第4図
	パッキン	ネオプレン	—			(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			(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			(イ)-第4図
内蓋	中性子吸収材	ボロン入りステンレス鋼				(イ)-第4図
	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			(イ)-第5図
	ガスケット	EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	—			(イ)-第3図
付属品	カバー	ポリエチレン	—			(イ)-第1図
	可融栓	同上	—			(イ)-第2図

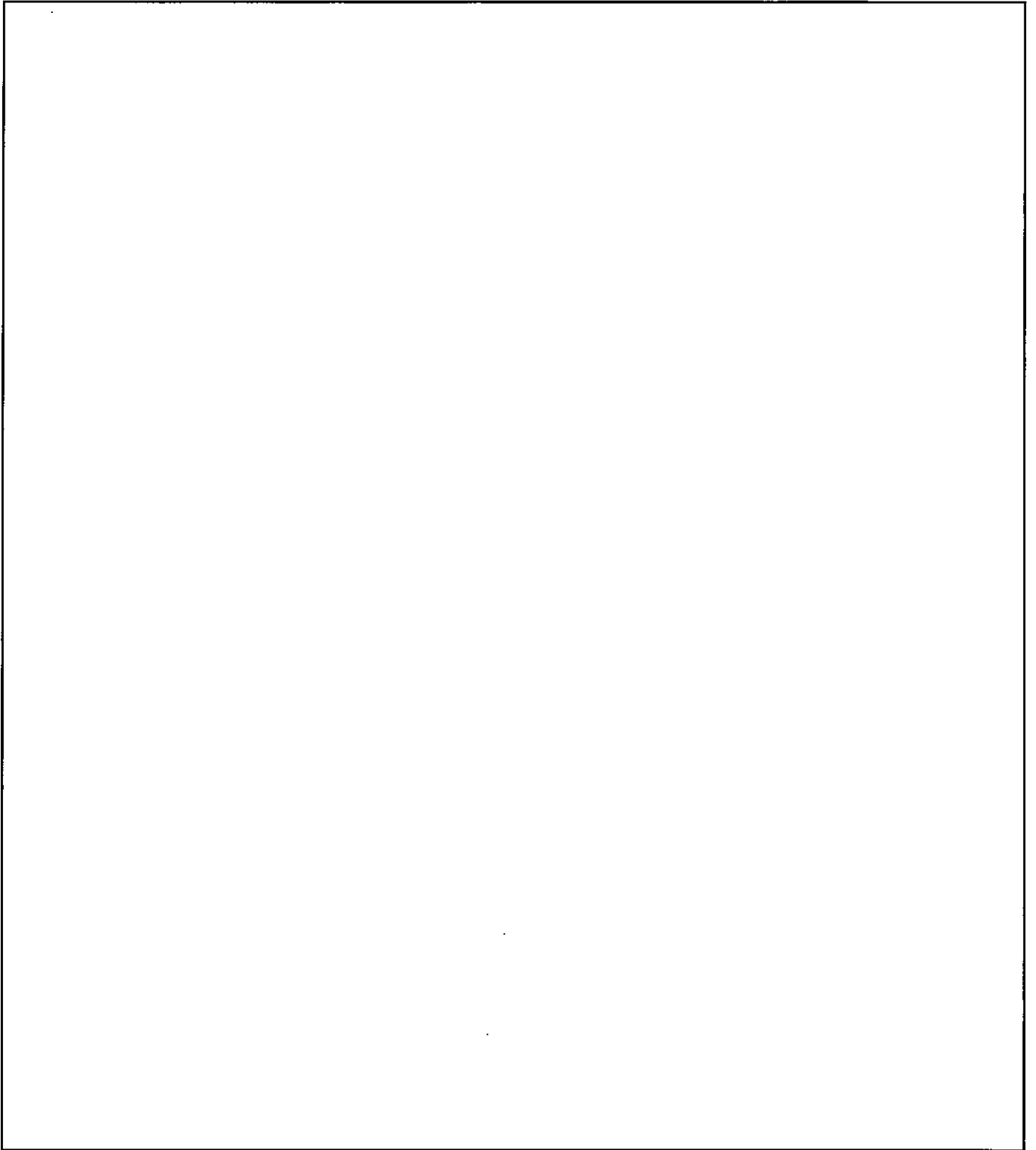
\*相当品を含む



(イ)-第1図 TNF-XI型輸送物外観図

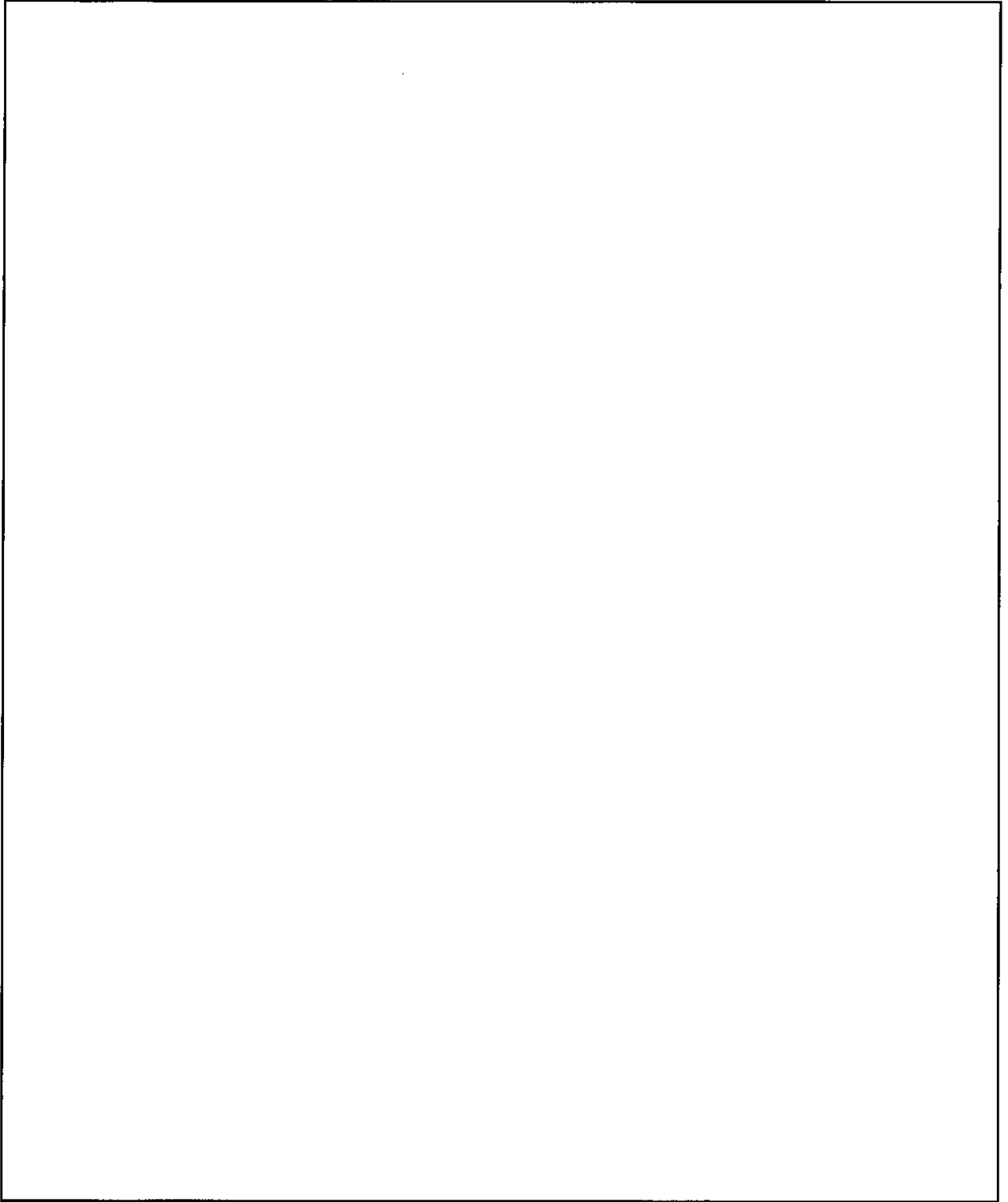


(イ) - 第 2 図 TNF·XI 型輸送物概略図



(イ)-第3図 容器本体構造詳細図





(イ)-第4図 外蓋概略図

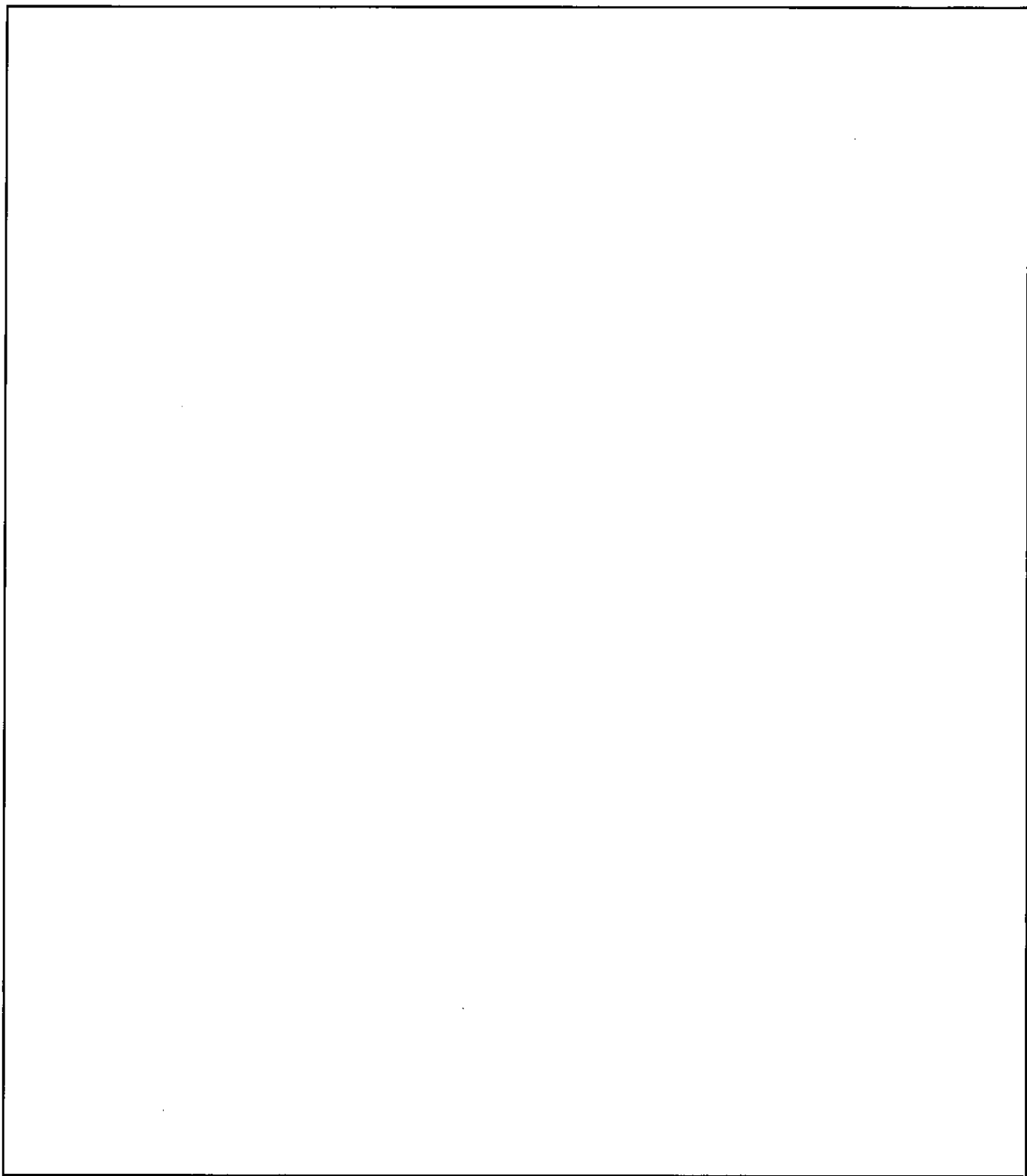


内蓋 (裏面)

内蓋-フランジ嵌合図

フランジ

(イ)-第5図 内蓋バイオネット構造



(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、粉末収納缶を使用するケース（ケース 1）と長尺粉末収納缶を収納するケース（ケース 2）がある。

D.1 粉末収納缶使用時(ケース 1)

本輸送容器の収納物は、(イ)–第 7 図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。

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)	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下

(2) 物理的形狀

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		
B	ステアリン酸亜鉛		
C	エチレンビスステアリン酸アミド		
D	ガドリニア		
E	エルビア		
F	アゾジカルボンアミド		

(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 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下
- ii) 成型体密度 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下
- iii) 焼結体密度 . . .  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

D.1.2 粉末収納缶、中性子吸収材及び袋等

(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 mm

高 さ：約 mm

重 量：約 kg(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。

材 質：ボロン入りステンレス鋼

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  kg である。

## (2) 化学的性質

粉末収納缶(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)及び梱包材(ボール紙)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

粉末収納缶の材料密度は以下の通りである。

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

## (4) 装荷制限

本輸送容器の  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  収納される。

(イ)D.2 輸送容器の収納物(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も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  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	<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
放射能量(Bq)	以下	以下	以下	以下	以下	以下	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			
B			
C			
D			
E			
F			

(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 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下
- ii) 成型体密度 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下
- iii) 焼結体密度 . . .  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（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

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10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  mm

高 さ：約  mm

重 量： kg 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  kg、袋、瓶の重量の合計は最大  kg 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  g/cm<sup>3</sup>

(4) 装荷制限

長尺粉末収納缶は  装荷する。

(イ)ー第2表 各内容器当たりの装荷制限条件 (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
<input type="text"/> %以下	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			

\*

\*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。

(イ)ー第3表 各内容器当たりの装荷制限条件 (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
<input type="text"/> %以下	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			
<input type="text"/> %以下			

\*

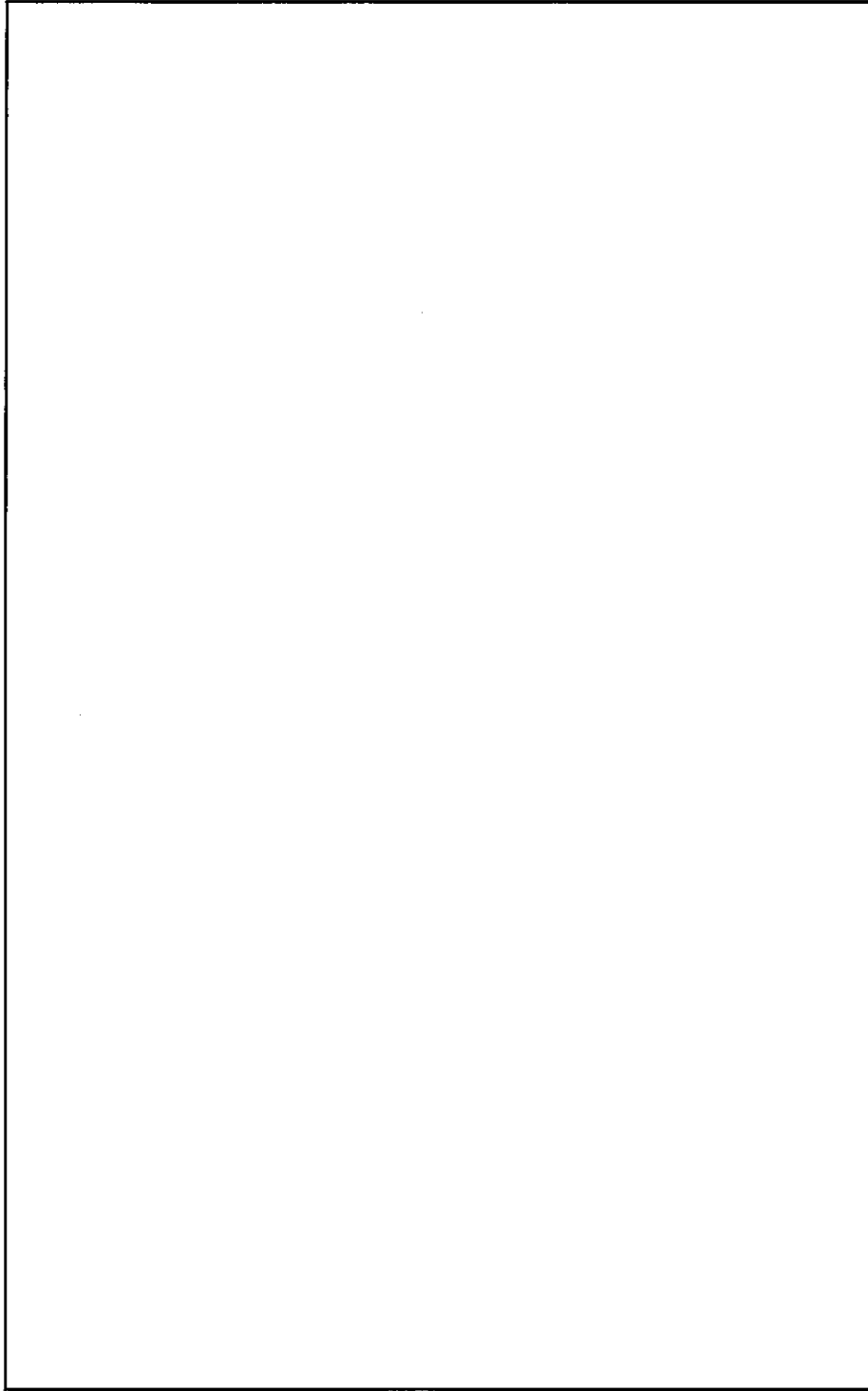
\*装荷制限条件には、ウラン酸化物と添加物 (A~F) の合計重量を記載している。

(イ)－第4表 内容器1つ当たりの装荷制限条件 (ケース2)

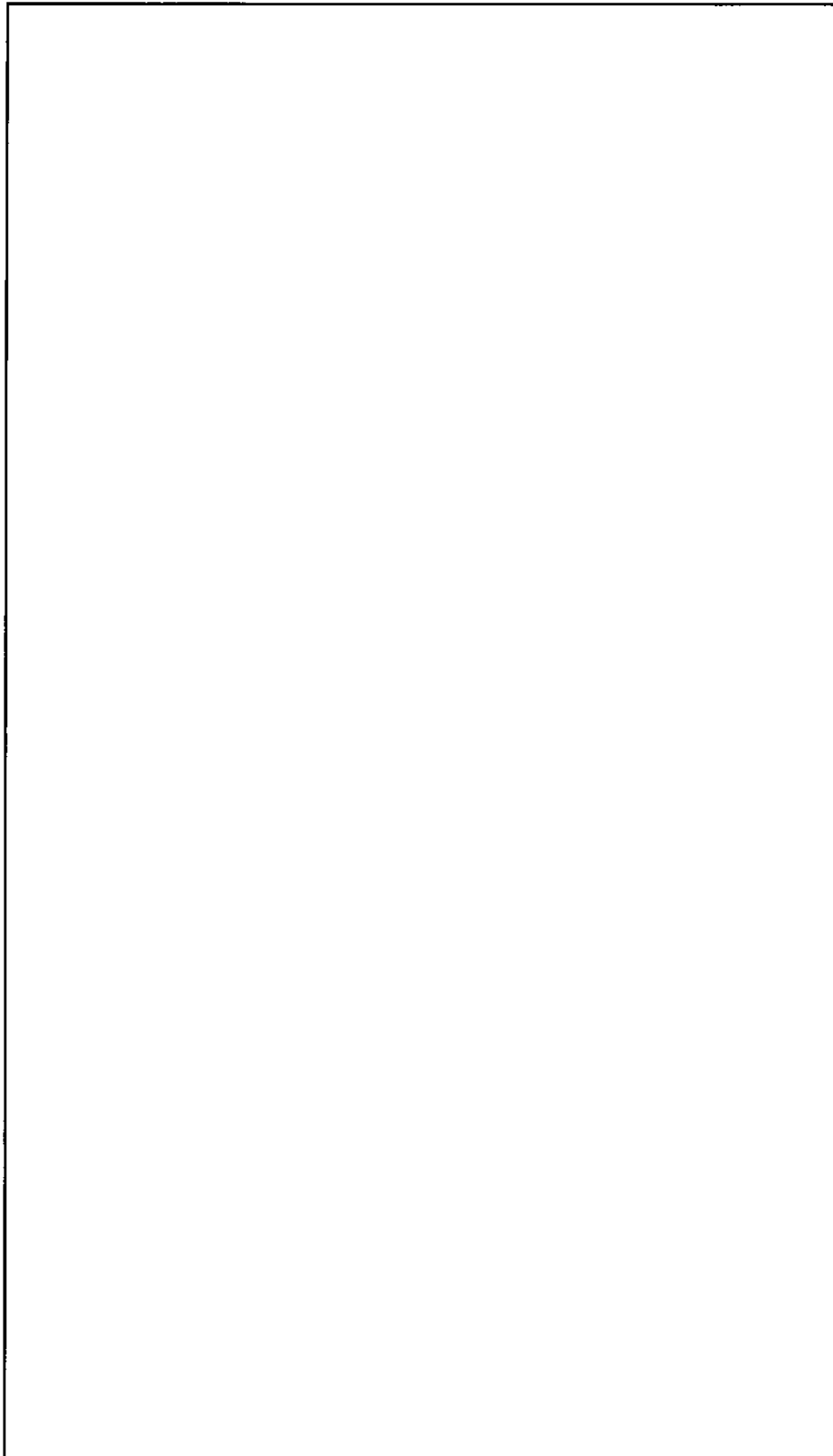
装荷制限条件(kg)			
ウラン酸化物量 (濃縮度 5%以下)	添加物、緩衝材合計	袋、瓶合計	合計
[ ]			

\* 収納物を装荷する内容器は [ ] を装荷する。

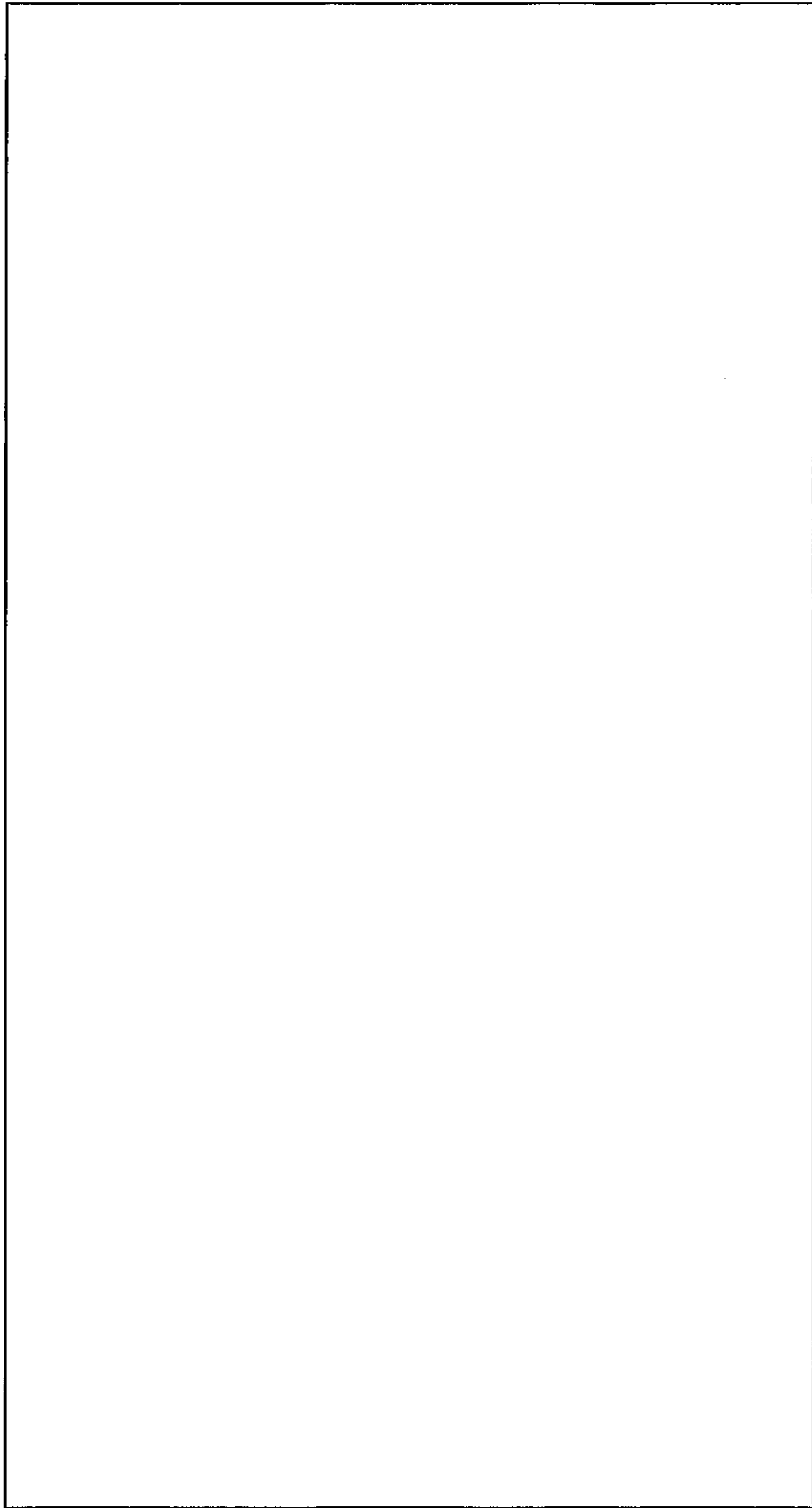
\* 装荷制限条件は粉末、焼結体、スクラップ全て同じものである。



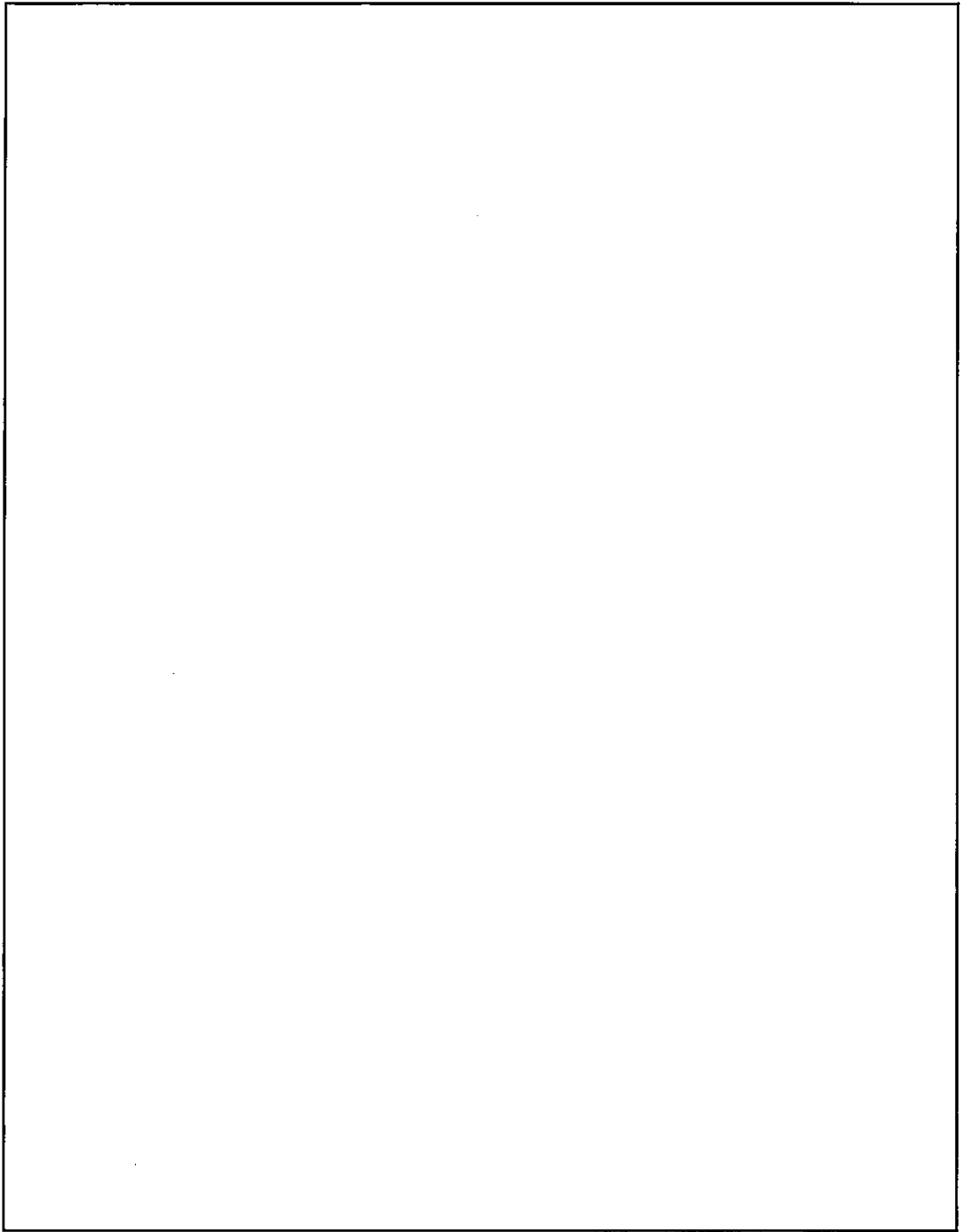
(イ)－第 7 図(a) 収納物概略図 (ケース 1 における粉末、スクラップ収納時)



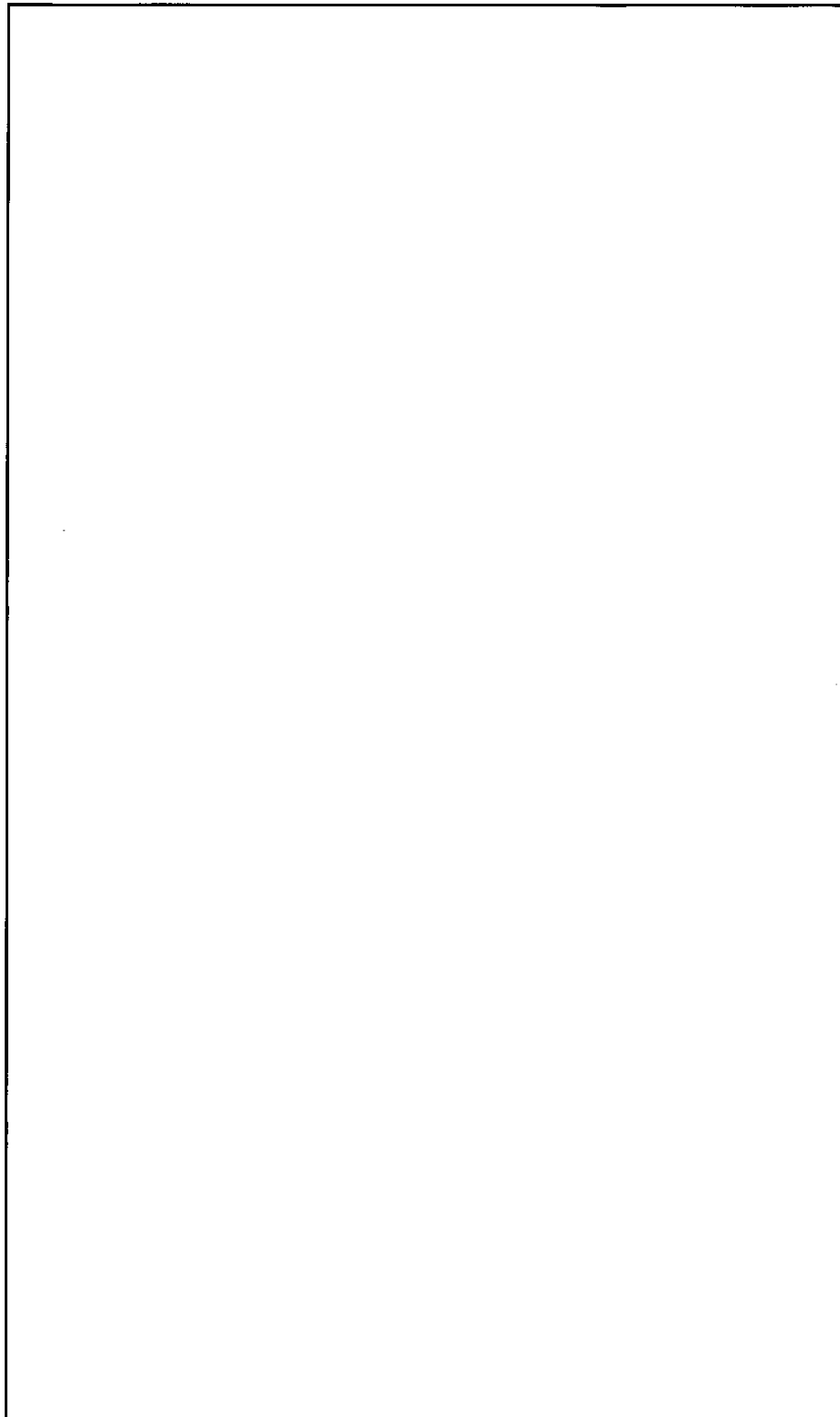
(イ)－第 7 図(b) 収納物概略図 (ケース 1 における焼結体収納時)



(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 長尺粉末収納缶概略図



## (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 $\square$ %以下のウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ）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、ウラン酸化物を納める粉末収納缶又は長尺粉末収納缶を収納する内容器が  $\square$

$\square$ 、また、長尺粉末収納缶は $\square$ 。なお、粉末収納缶と長尺粉末収納缶は同一輸送容器内に混載しない。 $\square$ に対して、内蓋、外蓋が $\square$ 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、 $\square$ 内容器は、 $\square$ ステンレス鋼製の連結パイプで固定され、 $\square$ 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 $\square$ 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 NU275 ( $\square$ 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 $\square$ 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										備 考
	参照図	材 質	温 度	種 類	設計負荷		要 素	解析方法		解析基準	
					負荷係数	負荷係数		適用式又は要素	適用式又は要素		
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 -40~38 °C	腐 食 腐 食	— —	— —	反応性 電位性	反応性の有無 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) 耐熱衝撃吸収材 (4) ガスケット (5) 中性子吸収材	— — — — —	SUS304L Al alloy A2017 フェノリックフォーム EPDM BORA レジン	-40 °C -40 °C -40 °C -40 °C -40 °C	最低温度 最低温度 最低温度 最低温度 最低温度	1 1 1 1 1	低温強度 低温強度 性能低下 性能低下 性能低下	性能低下の有無 (低温脆性) 性能低下の有無 (低温脆性) 性能低下の有無 性能低下の有無 性能低下の有無	— — — — —			
3. 密封装置 (1) 内蓋 (2) 外蓋	(イ)-第4図 (イ)-第6図	SUS304L SUS304L	20 °C 20 °C	— —	— —	密封機能 密封機能	密封機能の有無 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) 容器胴部 (2) 容器器底面 (3) 容器器内蓋 (4) バイオネット嵌合部	(ロ)A-第2図 (ロ)A-第3図 (ロ)A-第4図 (ロ)A-第5図	SUS304L SUS304L SUS304L SUS304L	°C °C °C °C	内 圧 内 圧 内 圧 内 圧	1 1 1 1	引張応力 圧縮応力 引張応力 せん断応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_z \sigma_\theta}$ 内圧 + $\frac{MG}{\pi(d/2)^2}$ $\sigma = \frac{3Pr^2}{8t^2}(3+\nu)$ $\tau = \frac{F}{A}$	$\sigma_y$ ( ) MPa 圧縮強度 ( ) MPa $\sigma_y$ ( ) MPa 0.577 $\sigma_y$ ( ) 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		解析方法	解析基準	
				種類	負荷係数			
1. 圧力 (1)内容器胴部 (2)内容器底面 (3)内容器内蓋 (4)バイオネット嵌合部	(ロ)A-第 2 図	SUS304L	℃	内 圧	1	引張応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2} - \sigma_z \sigma_\theta$	$\sigma_y$ (MPa)
	(ロ)A-第 3 図	SUS304L	℃	内 圧	1	圧縮応力	内圧 + $\frac{MG}{\pi(d/2)^2}$	圧縮強度 (MPa)
	(ロ)A-第 4 図	SUS304L	℃	内 圧	1	引張応力	$\sigma = \frac{3Pr^2}{8t^2}(3+\nu)$	$\sigma_y$ (MPa)
	(ロ)A-第 5 図	SUS304L	℃	内 圧	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	$0.577 \sigma_y$ (MPa)
2. 水噴霧	—	—	20 °C	水噴霧	—	水吸収 水切り	同左 同左	—
3. 自由落下 (1) 垂直落下 (2) 水平落下 (3) コーナ-ナ-落下	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	垂直に <input type="text"/> 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 <input type="text"/> 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	<input type="text"/> で <input type="text"/> 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		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 7 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		要素	適用式又は要素	解析基準	
				種類	負荷係数	種類	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	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	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	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	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	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		—	—	—	原型容器試験	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	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 表に示す。ケース 1 とケース 2 の最大重量を比較した際、ケース 1 の最大重量がケース 2 より大きいため、ケース 1 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 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 図に示すとおりである。

(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	
カバー	
粉末収納缶+袋	
粉末収納缶内容物*	
総重量	

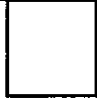
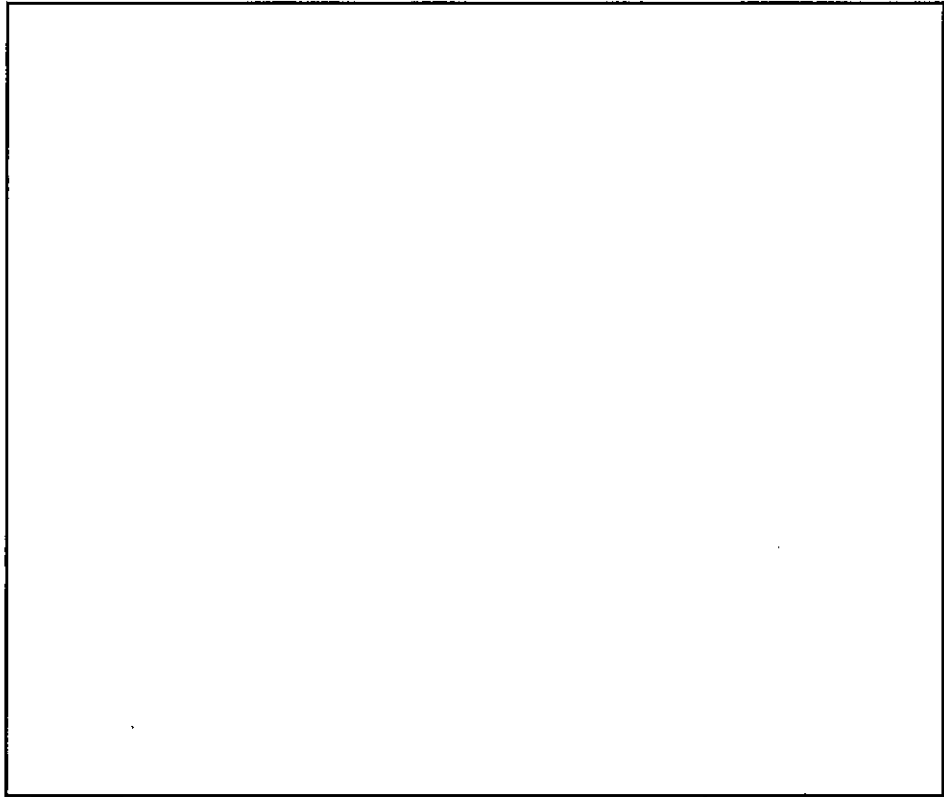
(\*)袋を除いた粉末収納缶の内容物 (ウラン酸化物、添加物、波板、緩衝材及び梱包材の合計重量)

(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	
カバー	
長尺粉末収納缶+袋、瓶	
長尺粉末収納缶内容物*	
総重量	

(\*)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1図 輸送物の重心位置

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(口)A-第4表に示す。



(ロ)A-第4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) □°C	引張強さ (MPa) 20 °C	引張強さ (MPa) □°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								
アルミニウム合金	EN 485-2 Grade 2017A 又は、 JIS H4000 KA2017AP								
耐熱衝撃吸収材	フェノリックフォーム (水分含有率□%)	□							
		□							
		□							
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 の場合は(ロ)A-第 5 表、ケース 2 の場合は(ロ)A-第 6 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 レジンは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 5 表 輸送容器と収納物の接触する異種材料(ケース 1)

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	— 耐熱衝撃吸収材
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	— カバー
		構造材	— 可融栓
		粉末収納缶	— ポリエチレン袋
		波板	— ポリエチレン袋
ステンレス鋼	— ポリウレタン	粉末収納缶	— ポリウレタン袋
		波板	— 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	— 耐熱衝撃吸収材
ポリエチレン	— フェノリックフォーム	可融栓	— 耐熱衝撃吸収材
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

(ロ)A-第6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	— 耐熱衝撃吸収材
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asket
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	— 耐熱衝撃吸収材
ポリエチレン	— フェノリックフォーム	可融栓	— 耐熱衝撃吸収材
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

#### 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  °C 以上で著しい低下を起こすことはない。したがって、-40 °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)

耐熱衝撃吸収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  ~  °C であり、-40 °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)

ガスケットに使用している 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  °C 以下であり、-40 °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 °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 °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 密装置

本輸送容器は内蓋が密装置に該当する。(「(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 製のガスケットを締め込み、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°C 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器の最高温度  °C とする。0°C で梱包し、内容  
 器温度が  °C に達した際の内容器内圧を求めると絶対圧  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  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 =  MPa 内圧  
 d =  mm 内容器内径  
 t =  mm 内容器内壁板厚

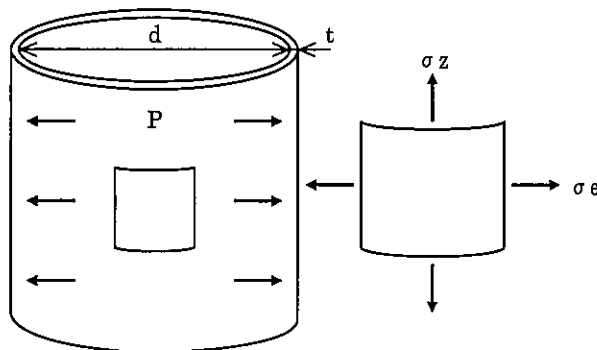
よって、胴体部に及ぼす引張応力は、

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

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   
 MPa ( °C) 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 (NU200) 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  MPa およ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、

$M =$   kg 粉末収納缶、袋も含めた内容器あたりの収納物重量

$G = 9.81 \text{ m/s}^2$  重力加速度

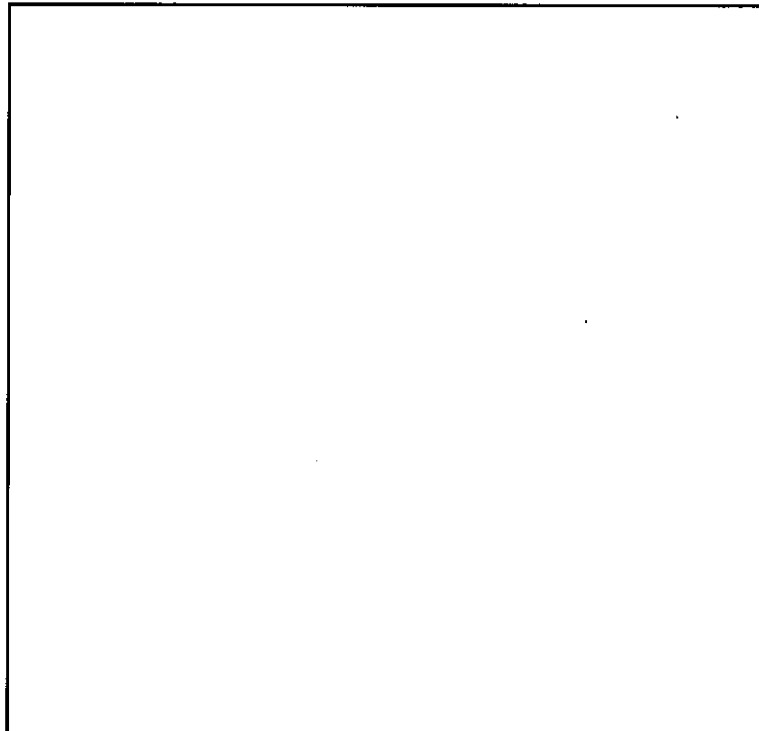
$d =$   mm 粉末収納缶外径

よって、

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

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  MPa である。フェノリックフォーム () の圧縮強度  MPa ( °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、

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

ここで、

$P = \square$  MPa 内圧  
 $a = \square$  mm 内容器内径  
 $\nu = \square$  ポアソン比  
 $t = \square$  mm 内蓋板厚

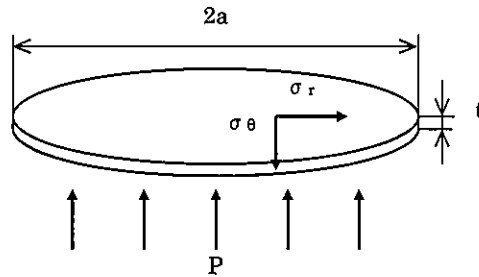
よって、内容器内蓋に及ぼす曲げ応力は、

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

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  $\square$  MPa ( $\square$  °C) より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =  $\square$



(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。

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

$$= \square$$

ここで

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

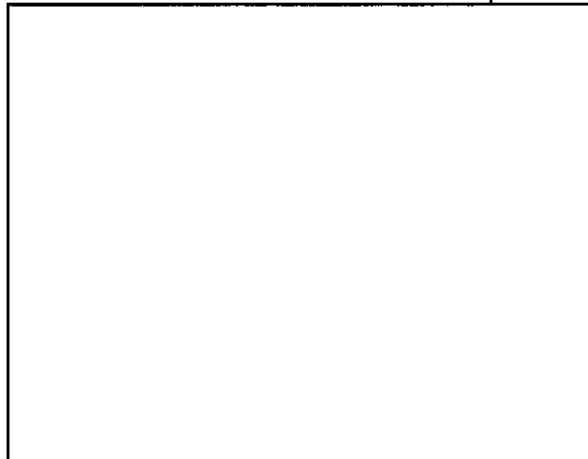
$$a = \square \text{mm} \quad \text{内蓋内径}$$

$$t = \square \text{mm} \quad \text{バイオネット嵌合部肉厚}$$

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 $\square \text{MPa}$ ( $\square \text{C}$ )より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \square$$



(ロ)A-第5図 内容器内蓋バイオネット嵌合部解析モデル

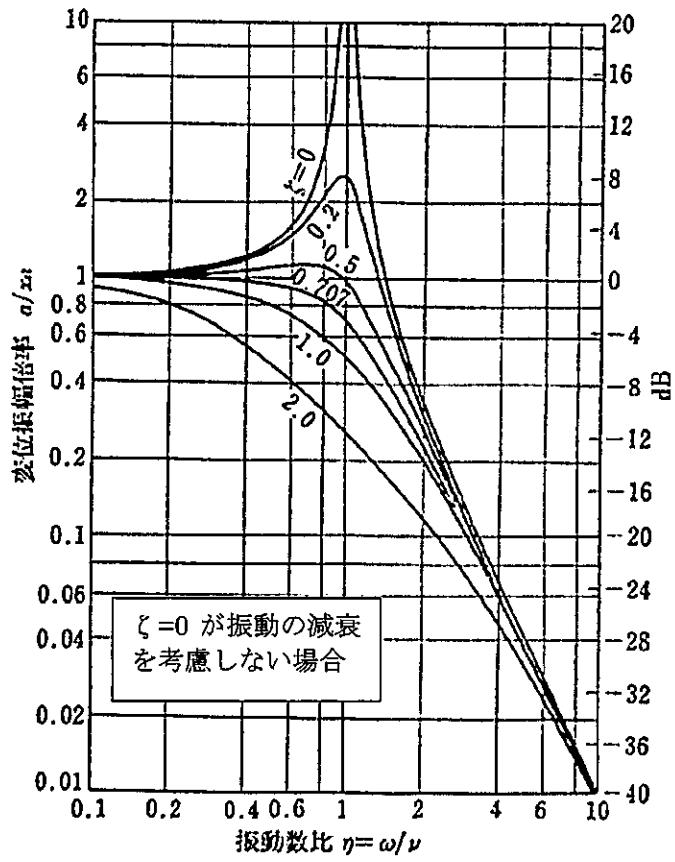
#### A.4.7 振動

固有振動数解析の結果、本輸送物の固有振動数は $\square \text{Hz}$ 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 $\square \text{Hz}$ 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 $\square \text{G}$ 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。



(口)A-第6図 力による強制振動の共振曲線<sup>1)</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、内容器的最高温度は  $\square$  °C、外容器の最高温度は  $\square$  °Cとなる。また最低温度としては-40 °C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器的最高温度はガスケット部で  $\square$  °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°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°Cとする。

内容器温度が初期条件の-40°Cから  $\square$  °Cまで上昇したときに、周辺圧力が1気圧(101 kPa)とした場合の内容器の最大内外圧力差を求めると  $\square$  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。さらに、収納物である粉末収納缶および長尺粉末収納缶は、(イ)第2図に示すように内容器と十分なギャップが空いており、輸送容器の構造材とおな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器側面および内蓋と接触することはない。

(ロ)B.4.2の一般の試験条件下における温度評価結果から、外容器と内容器的温度差は最大でも  $\square$  °C程度であること、内容器と収納物の温度差は最大でも  $\square$  °C程度であることから、熱膨張差による収納物と内容器的の干渉はなく、輸送容器各部に発生する熱応力も無視しうる。

以上のことから、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

内容器的初期圧力は-40 °Cのもとで絶対圧 101 kPa であるとすると、太陽放射熱による内容器的内部温度が  $\square$  °Cまで上昇した((ロ)B.4 項参照)時の内容器内圧は、

$$P = \square$$

となる。従って、内容器には内外圧力差分のゲージ圧  $\square$  kPa ( $=\square - 101$ ) が作用することになる。

以下、内容器に及ぼす応力について記述する。

#### A.5.1.3.1 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。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

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

$$d = \square \text{mm} \quad \text{内容器内径}$$

$$t = \square \text{mm} \quad \text{内容器内壁板厚}$$

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  $\square$  MPa ( $\square$ °C) 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 ( $\square$ ) 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。

内容器の内圧  $\square$  MPa および収納物による応力  $\square$  MPa ((ロ)A.4.6.2 参照) より、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  $\square$  MPa である。フェノリックフォーム ( $\square$ ) の圧縮強度  $\square$  MPa ( $\square$ °C) 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。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、

$P = \square$  MPa 内圧

$a = \square$  mm 内容器内径

$\nu = \square$  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、

$\sigma = \square$  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  $\square$  MPa ( $\square$  °C) より小さく、安全率は以下の値となる。

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  $\square$  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。

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

=  $\square$

ここで

$P = \square$  MPa 内圧

$a = \square$  mm 内蓋内径

$t = \square$  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、

$\tau = \square$  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  $\square$  MPa ( $\square$  °C) より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =  $\square$

#### 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12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□ 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□ 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□ 缶装荷（純鉄粉末重量 □ kg）し、総重量を □ kg 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。

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 □ mm、高さが □ mm 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7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。従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7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="text"/> )	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="text"/> )	コーナー部に局所的変形 容積減少約 <input type="text"/> %

(c) モデル試験

モデル試験は実施していない。

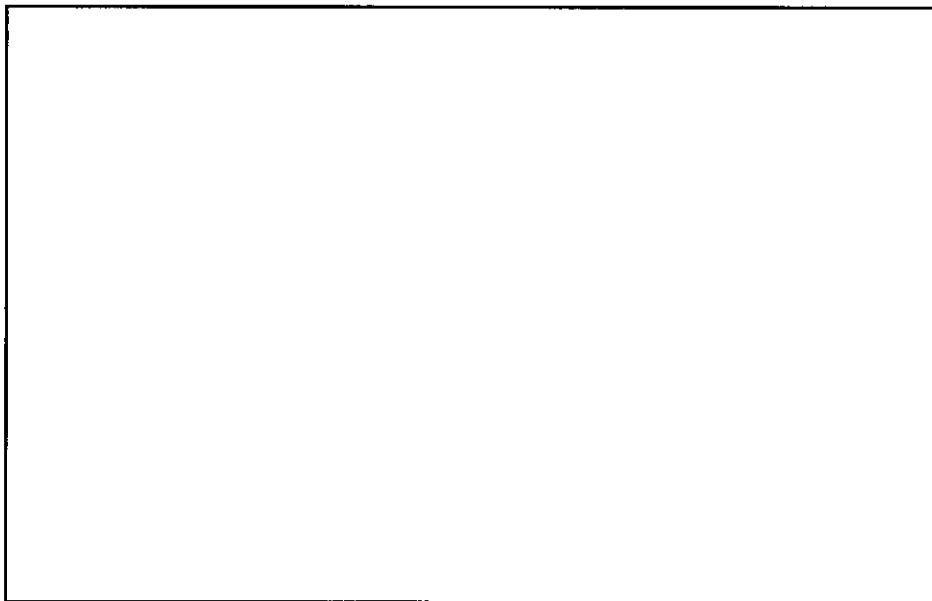
A.5.4 積み重ね試験

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

$$W_a = \text{} \text{ N}$$

$$W_b = \text{} \text{ N}$$

$W_a > W_b$  であるので、 $W_a = \text{} \text{ N}$  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。 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。<sup>2)</sup>

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

ここで

A : 断面積

E =  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

$\sigma_c =$   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。<sup>1)</sup>

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

ここで

$d_1 =$   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つの内容物内壁の座屈荷重は、一つの内容物の負荷荷重の  N より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =

#### A.5.4.2 容器下部

1つの内容物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 =  MPa

となる。

したがって、1つの内容物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。

安全率 =

A.5.4.2 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 =  枚                      軸方向鋼板 (  )  
 t =  mm                      板厚  
 b =  mm                      板幅

であり、圧縮応力は

$$P = \text{ MPa}$$

となる。

また、(ロ)A-第7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>3)</sup>

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

ここで

K =                        に対する係数  
 E =  MPa                      ヤング率  
 t =  mm                      板厚  
 h =  mm                      高さ  
 ν =                       ポアソン比

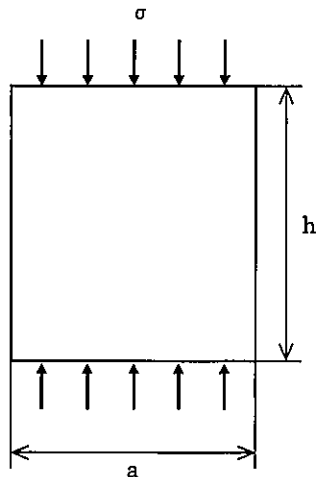
よって、脚部の座屈応力は、

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

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。

安全率 =



(ロ)A-第7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8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、従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8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 結果の要約と評価

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及び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 10 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も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

#### 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 . . .  GBq 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

$$\text{ \%}$$

- 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  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 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下

・成型体密度 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下

・焼結体密度 . . .  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			
B			
C			
D			
E			
F			

(3) 粉末収納缶、中性子吸収材及び袋等

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  mm  
 高 さ：約  mm  
 板 厚： mm 以上  
 重 量：約  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  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  組ずつ収納される。

#### 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 . . .  GBq 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  %

##### 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) 物理的形状

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 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下

・成型体密度 . . .  g/cm<sup>3</sup> 以下

・焼結体密度 . . .  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			
B			
C			
D			
E			
F			

(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  mm  
 高 さ：約  mm  
 重 量： kg 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kg、袋、瓶の重量の合計は最大kg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  装荷する。

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、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 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  mm の変形を生じた。原型容器の外形寸法は、 mm、 mm 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、外蓋パ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 6 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、従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9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9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

□m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 (□°)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 (□°)と外蓋上面 (□)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 (□)と輸送物底面中央付近 (□)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□°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□□□□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。

### 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 (□°)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 (□°)、外蓋回り止めデバイス止めピン (□°)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□□□□中心 (□°)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での試験実施フローを(ロ)A-第10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□□缶装荷(純鉄粉末重量□□kg)し、総重量を約□□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。

(ロ)A-第10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□)	・ 輸送物側面中心 (落下角度□)
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	・ 輸送物側面 (落下角度□)	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度□)
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□)	・ 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 8 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>4)</sup>

試験の結果、(ロ)A-第 11 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 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 11 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 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 11 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11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12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 [ ] kg 以下に制限されているため、原型容器試験では [ ] 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 [ ] 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12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) 耐熱衝撃吸収材	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	$\sigma_y$ ( <input type="text"/> 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	$\sigma_y$ ( <input type="text"/> MPa )	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>	
(4) バイオネット嵌合部	せん断力	<input type="text"/> $\sigma_y$ ( <input type="text"/> MPa )	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>	
7. 振動	振動	亀裂、破損の有無	<input type="text"/>	—	
一般の試験条件	1. 圧力				
	(1)内容器胴部	引張応力	$\sigma_y$ ( <input type="text"/> 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	$\sigma_y$ ( <input type="text"/> MPa )	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(4)バイオネット嵌合部	せん断力	<input type="text"/> $\sigma_y$ ( <input type="text"/> 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12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) 実用 機械振動学, 國枝正春著, 1984
- (2) 機械工学便覧第9編, 日本機械学会, 1984,6,25
- (3) Roark's Formulas for Stress and Strain - 7<sup>th</sup> Edition, Mc Graw Hill(2002)
- (4) 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 型輸送物に最大  kg のウラン酸化物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。

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  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  $\phi$   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1m）に用いられるターゲットは、直径150mm、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1.7g/cm<sup>3</sup>）の純鉄粉末□kg入れ、□缶（計□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、□内容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 : □mm
- ・総断面積 : □×□mm
- ・内容器寸法 : φ□mm×H□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、□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にも、消石灰が置かれた。

TNF-XI 型輸送物の内容器は、粉末収納缶  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  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)	・ <input type="text"/> 内容器の <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"/> 内容器の <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
	・ 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"/> 内容器の <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 □ 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)。

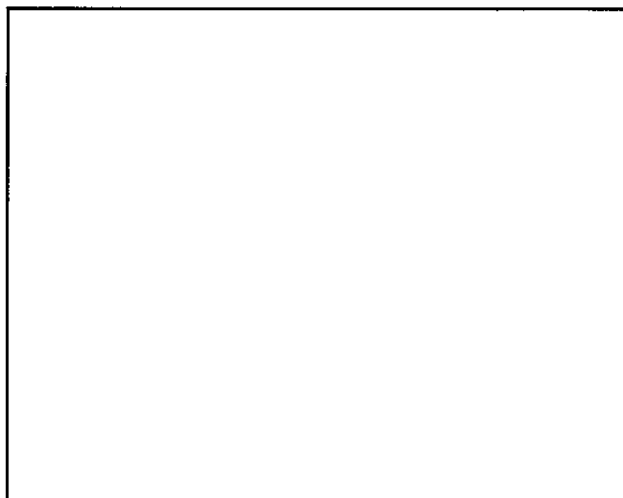
この試験の後、衝撃を受けたエッジ部が、輸送物上面に対して垂直方向に□mm 後方に押されているのがわかる。この値は、高さ□m 及び 9 m の落下試験により、受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□%である。

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とおりである。





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をもたらされる角度  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 同上
	・ 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
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)	・外蓋回り止めデバイス止めピン ・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/>
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/> )
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"/> )
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	・輸送物側面 (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"/> )

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)	・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/> ・外蓋上面 ・外蓋バイオネット嵌合部間
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"/> )
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"/> )
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"/> )
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



## 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.

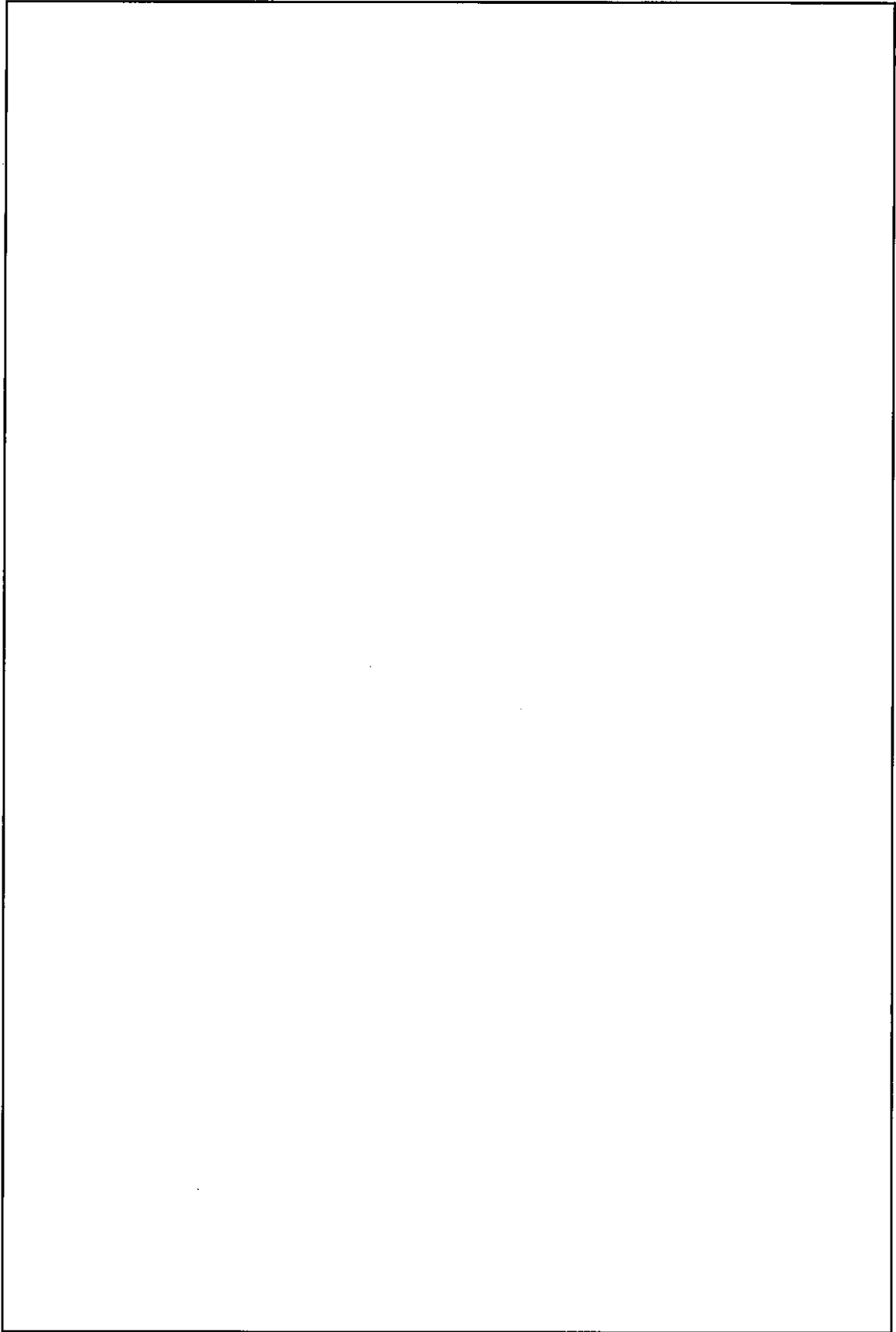


図 1.1 落下試験 No.1 - 原型容器 P1

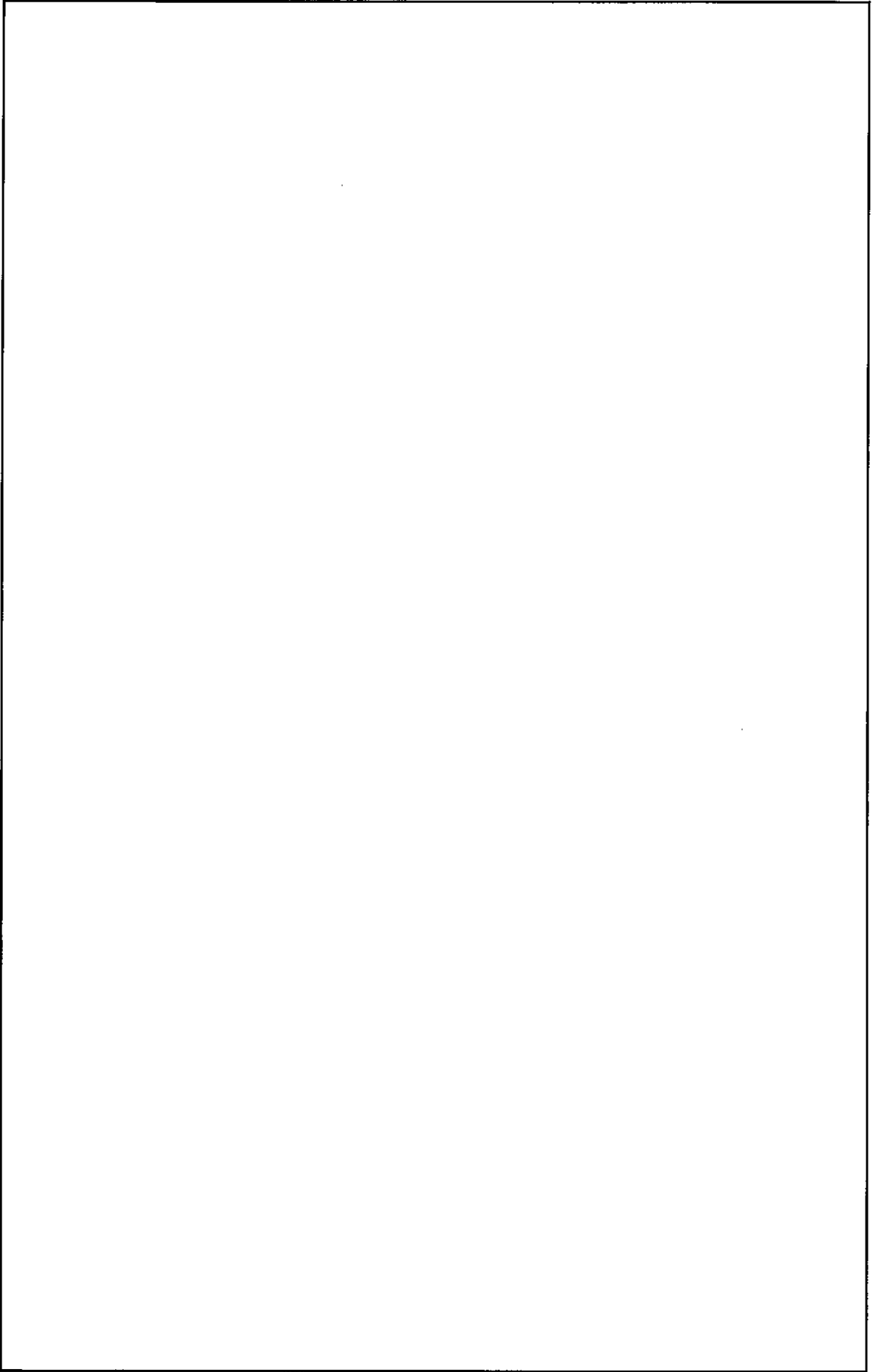


図 1.2 落下試験 No.2 - 原型容器 P1

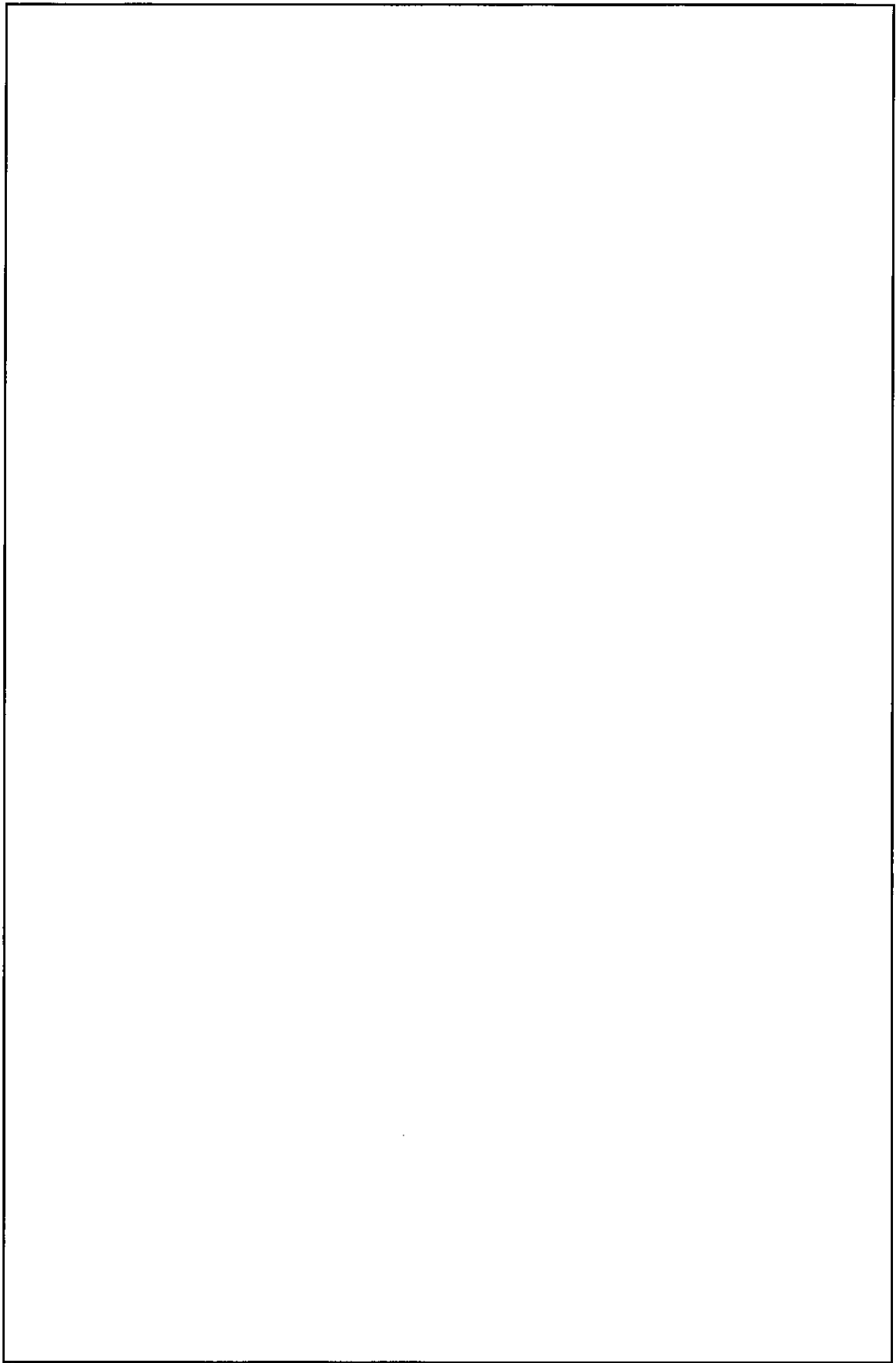


図 1.3 落下試験 No.3 - 原型容器 P1

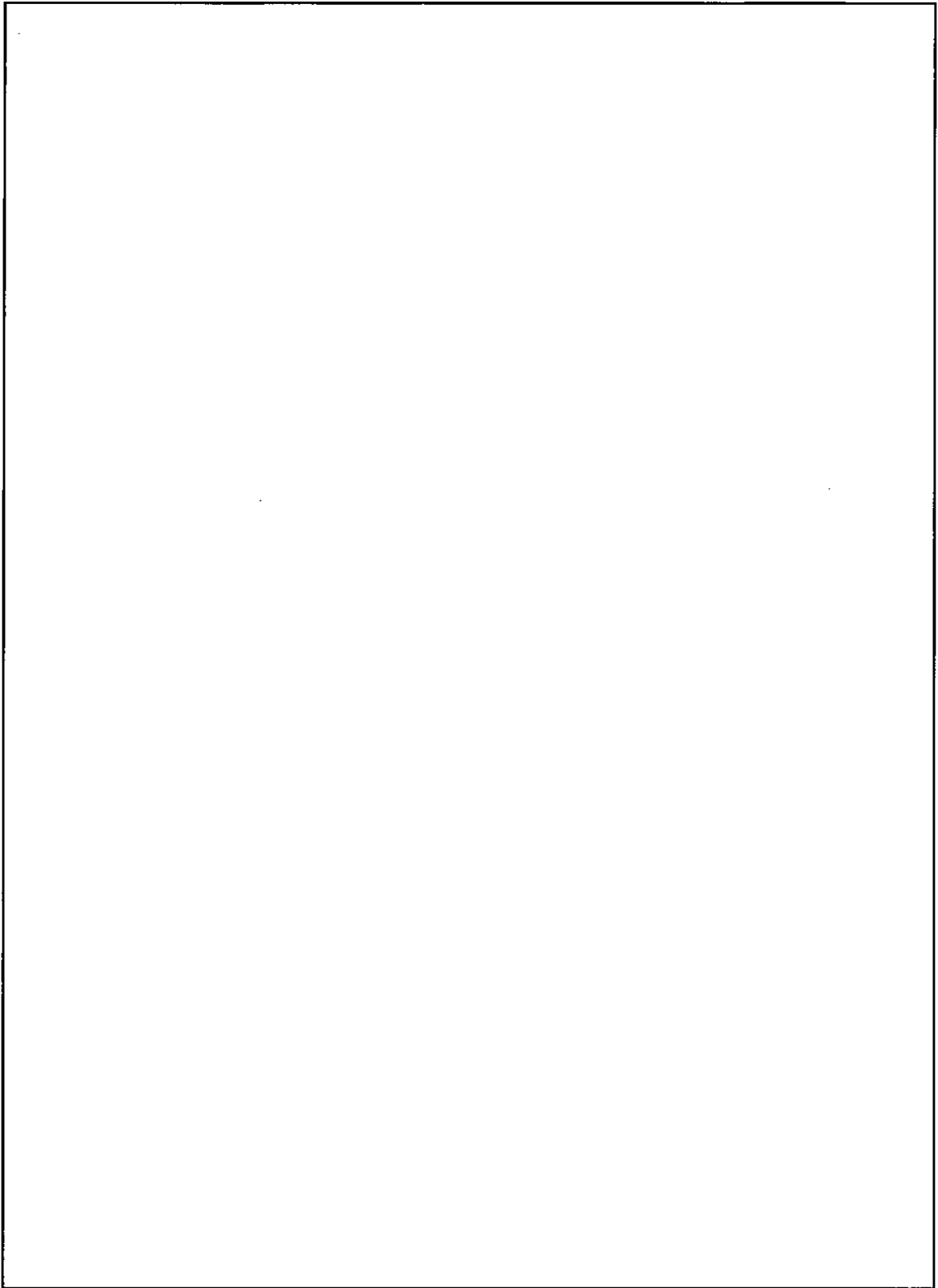


図 1.4 落下試験 No.4 - 原型容器 P1

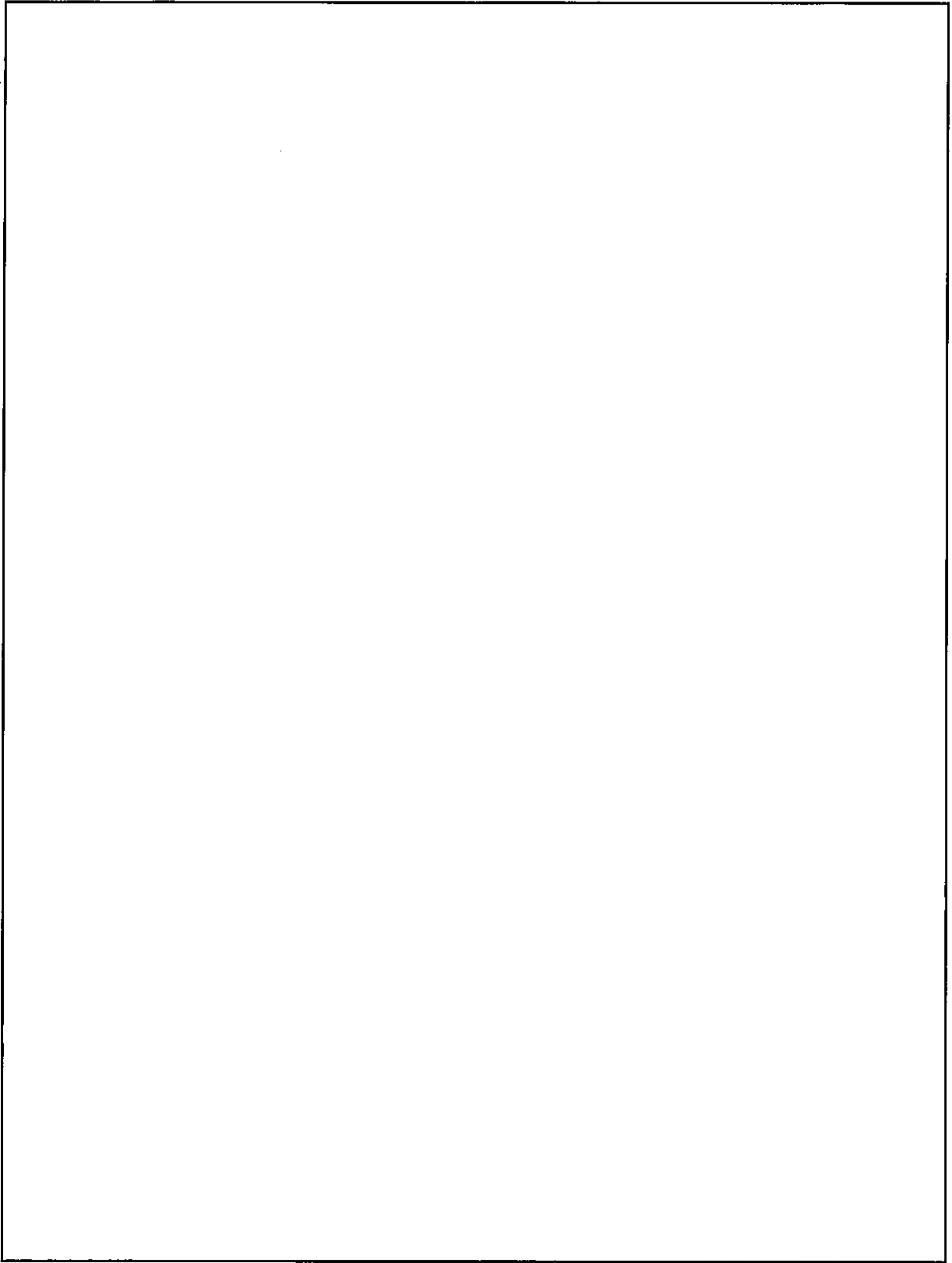


図 1.5 落下試験 No.5 - 原型容器 P1

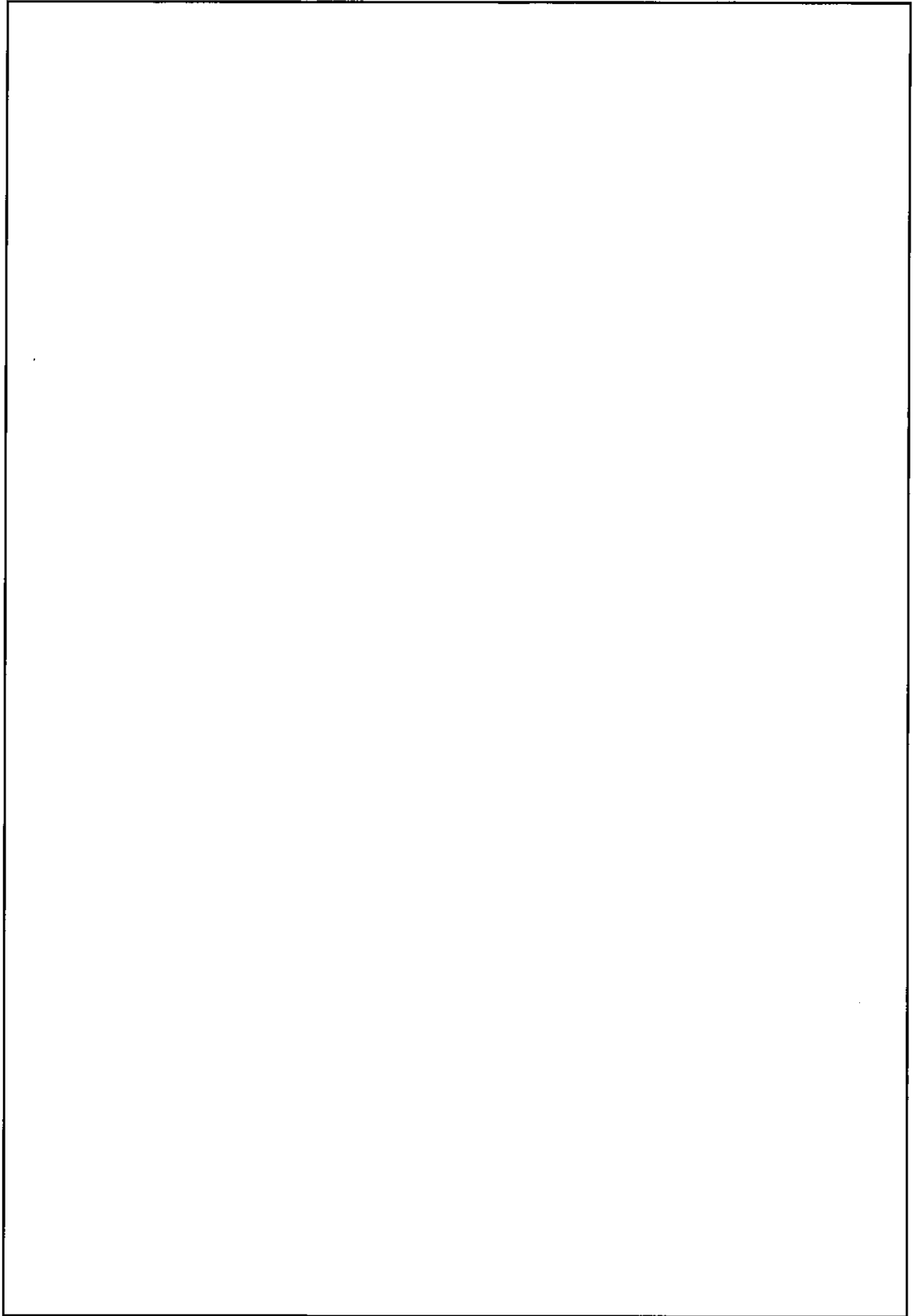


図 1.6 落下試験 No.6 - 原型容器 P1

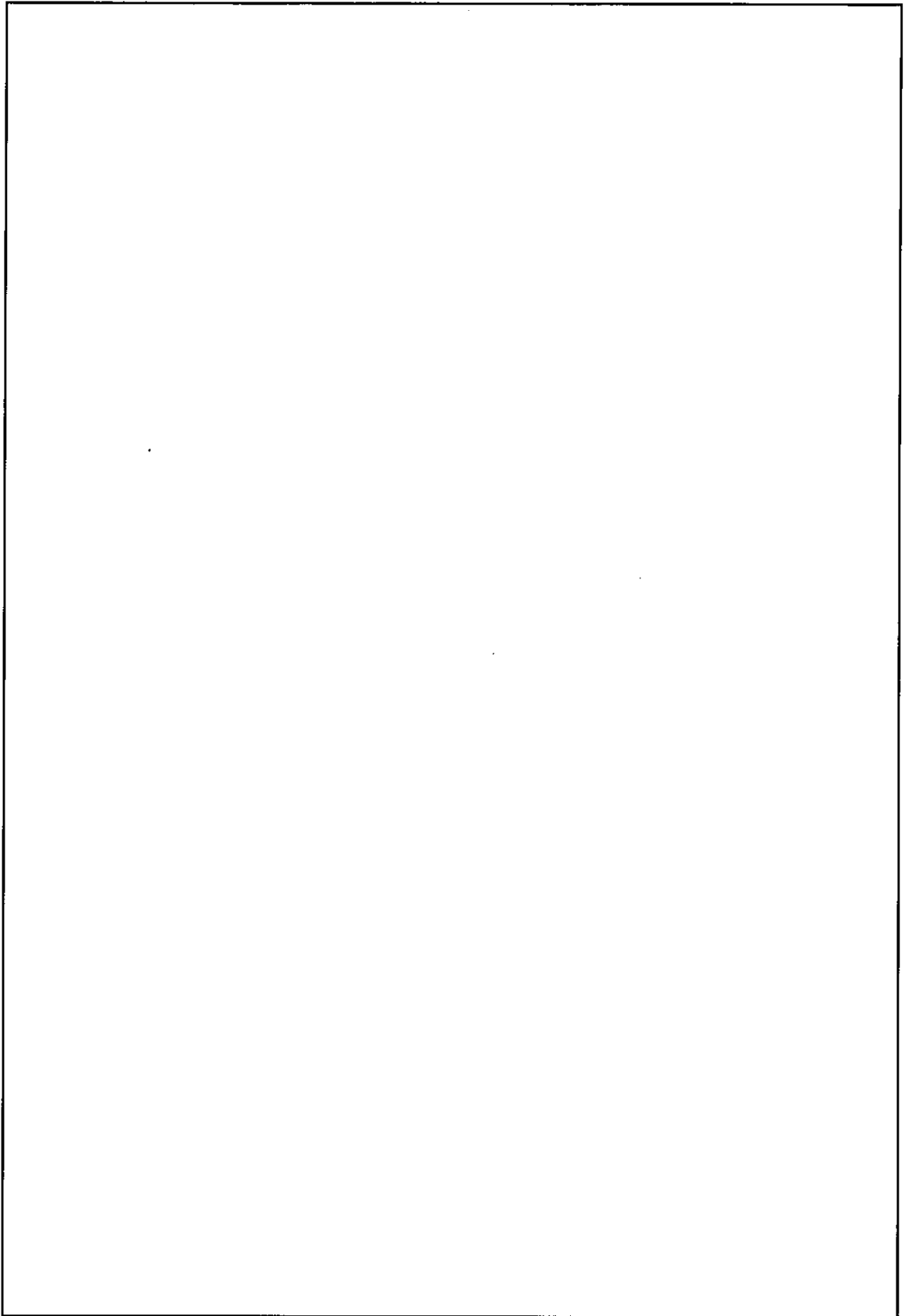


図 1.7 落下試験 No.7・原型容器 P1



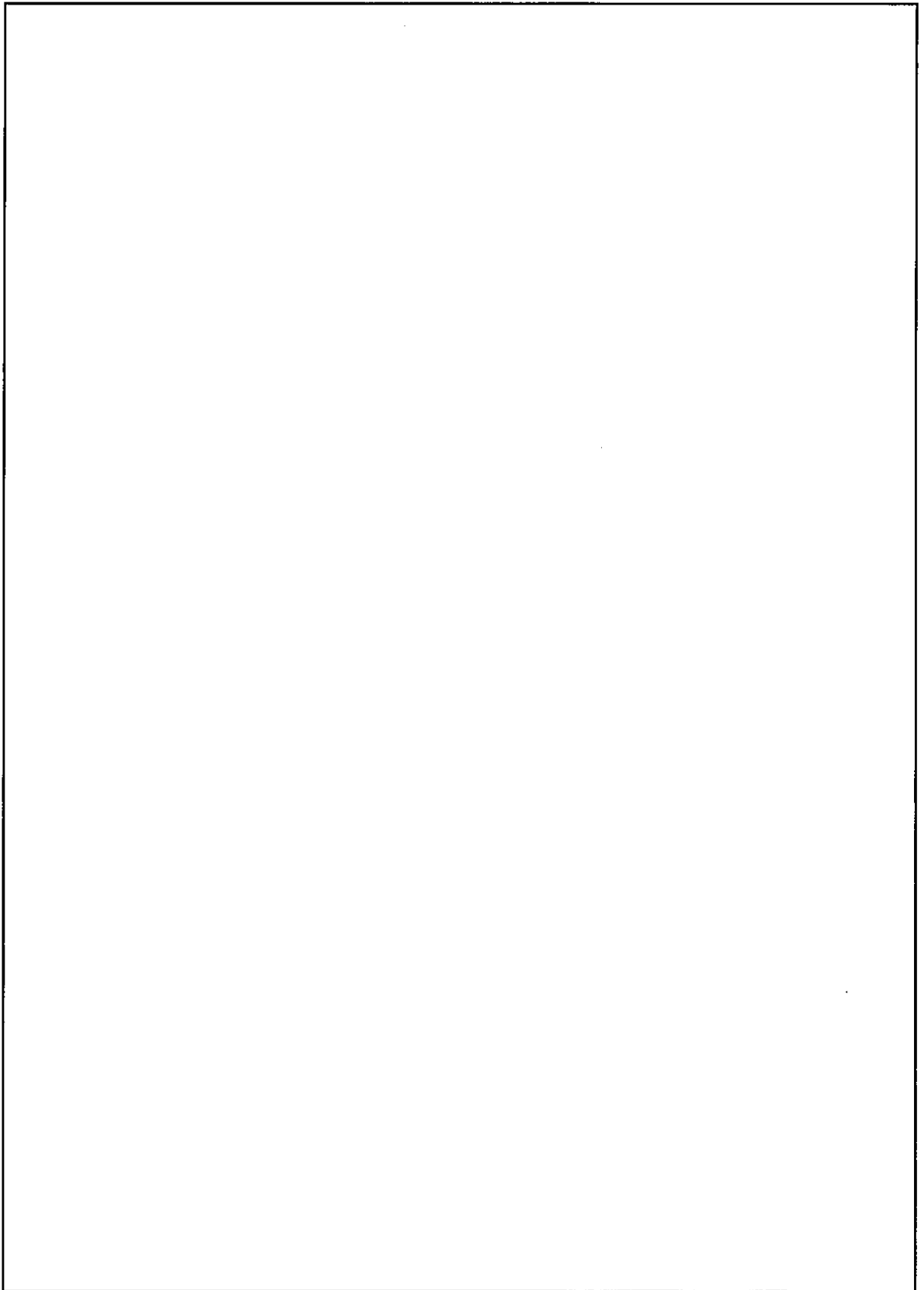
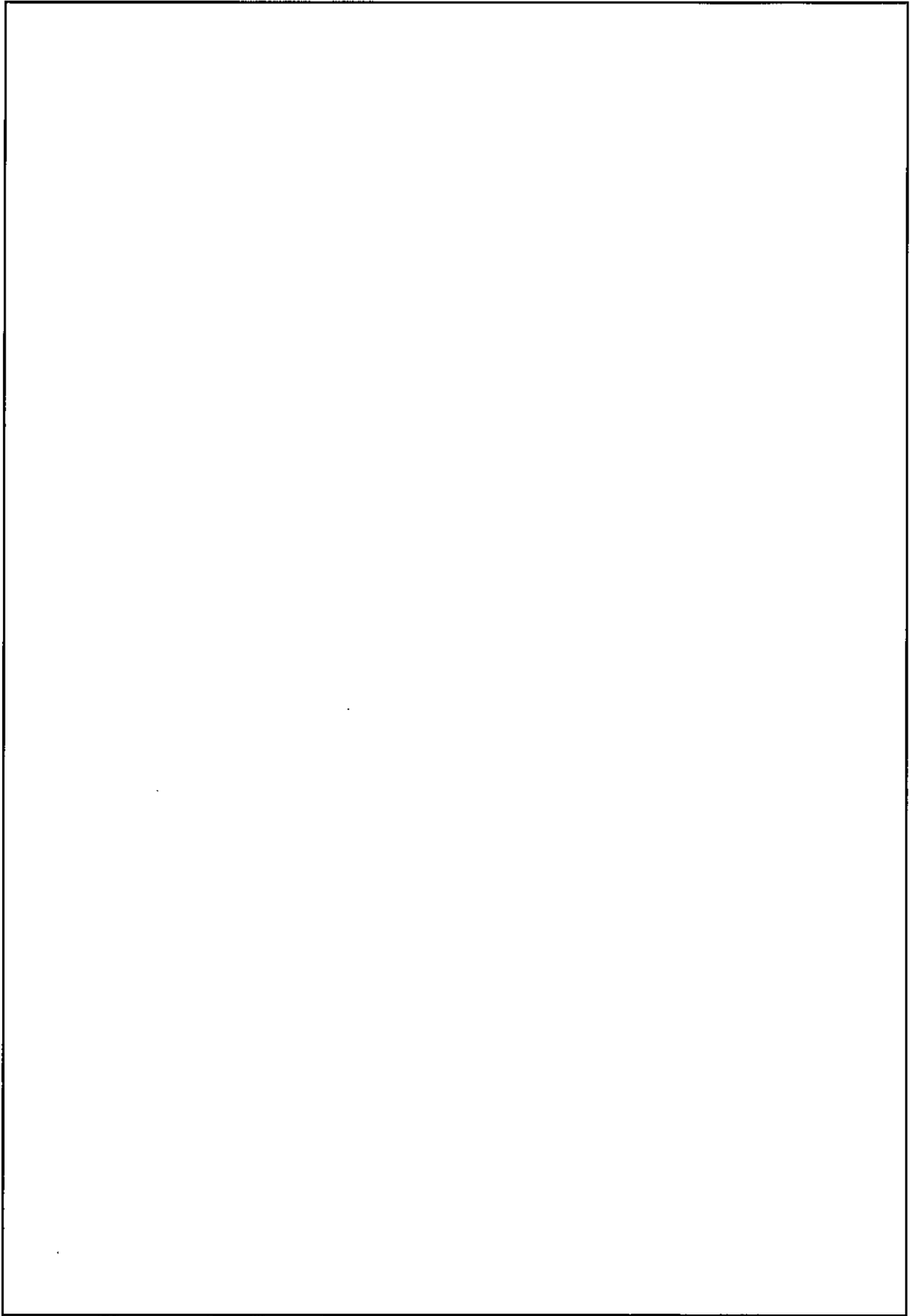


図 1.8 落下試験 No.8 - 原型容器 P1



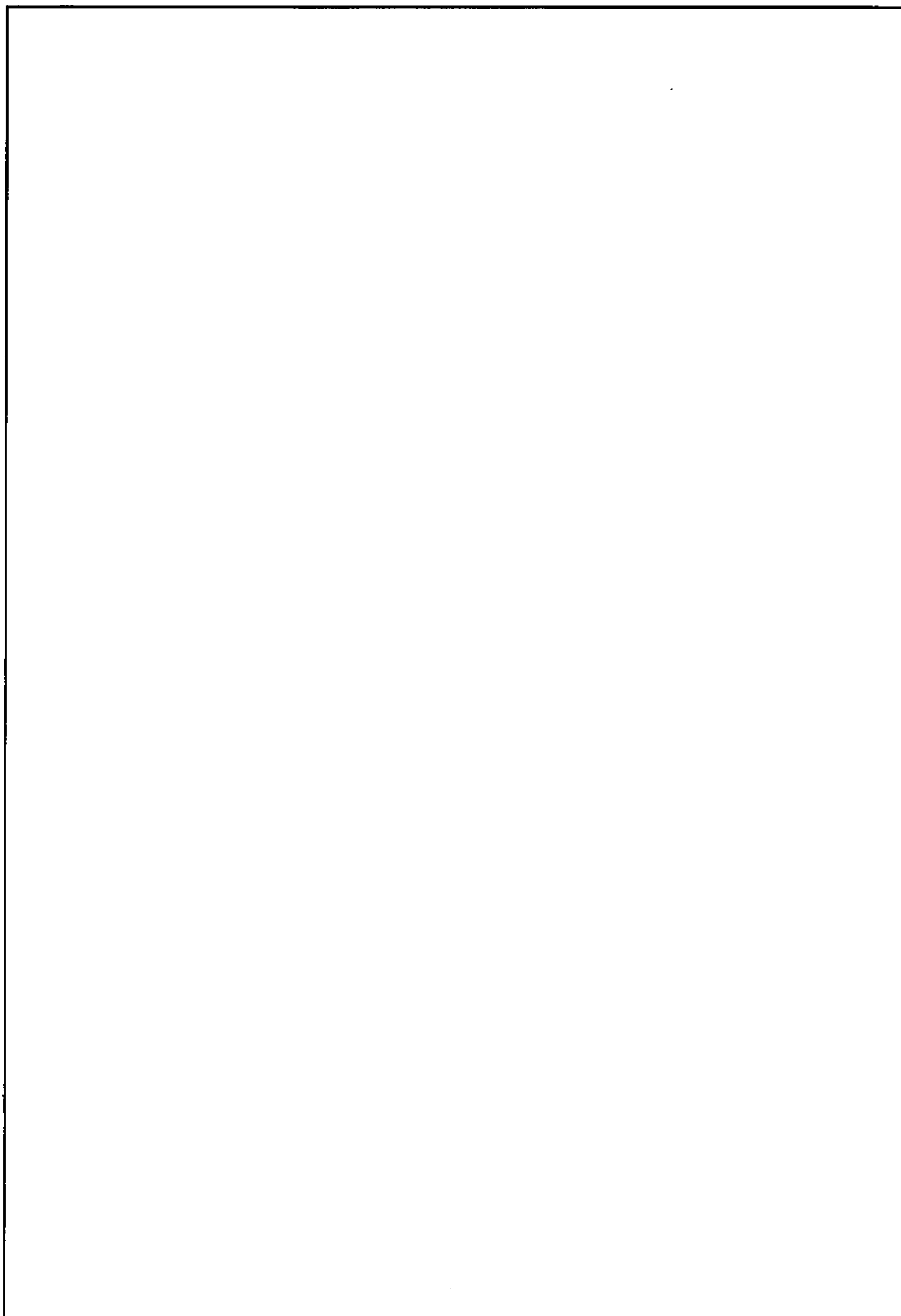


図 1.10 落下試験 No.10 - 原型容器 P1

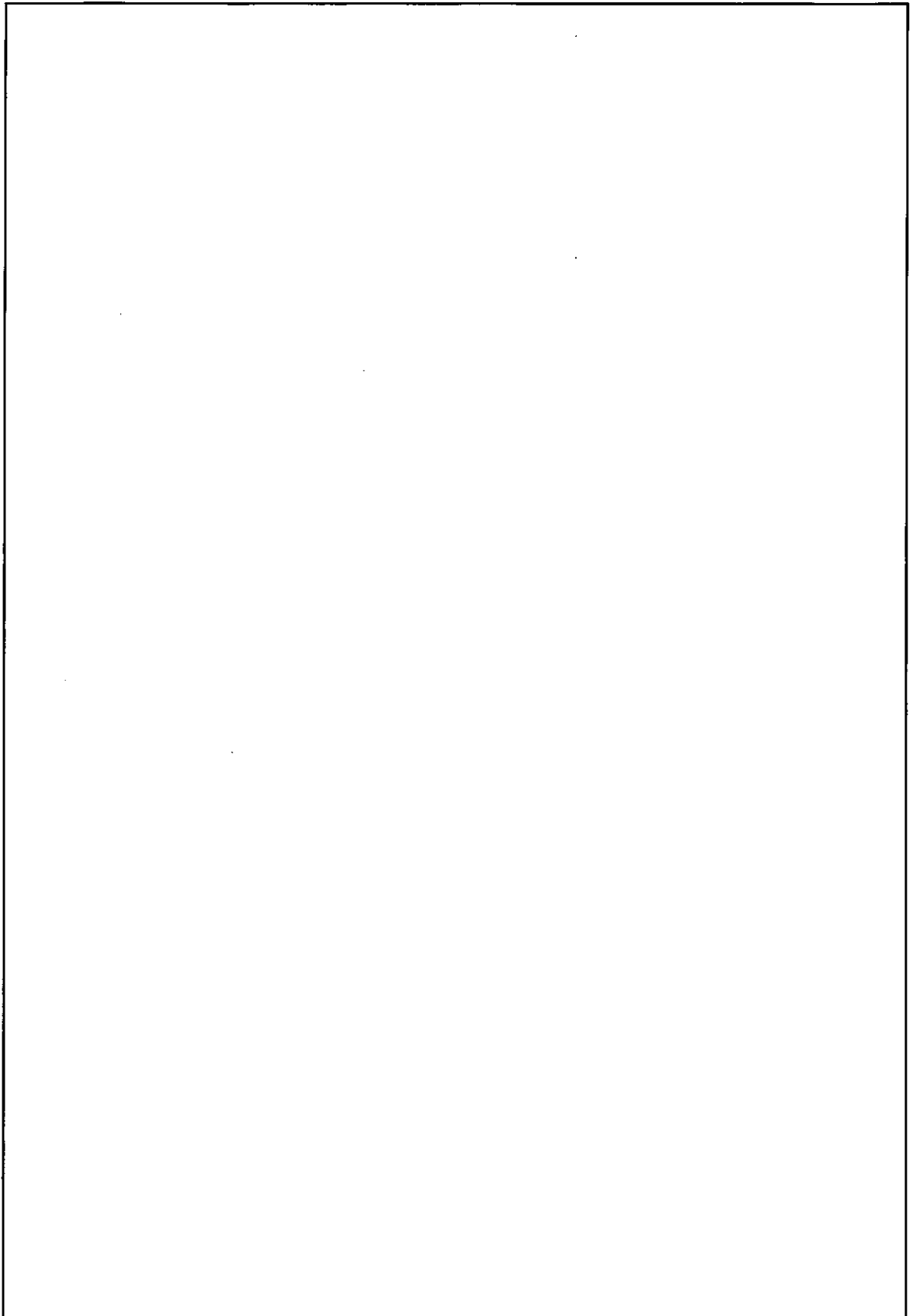


図 1.11 落下試験 No.11・原型容器 P1

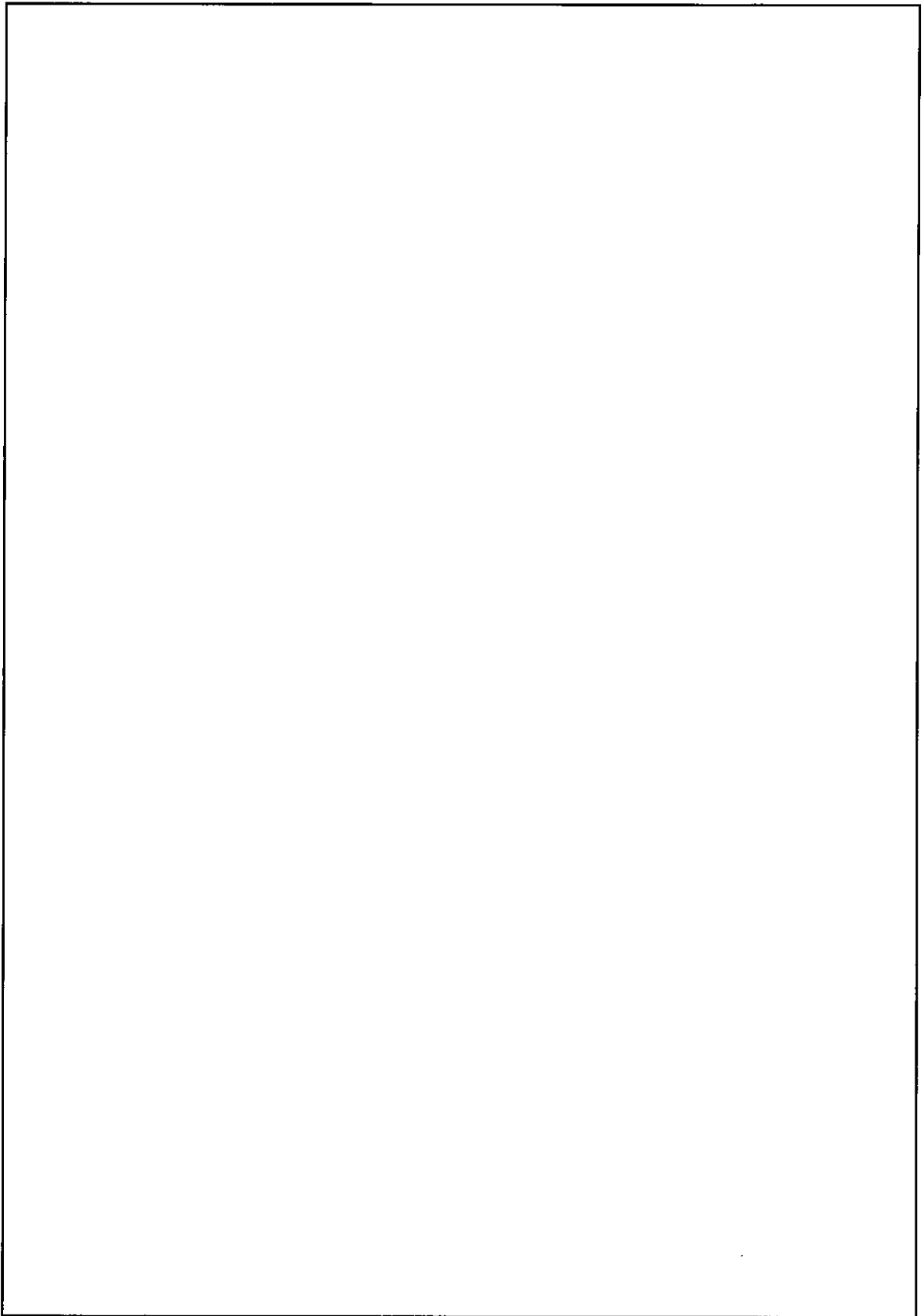


図 1.12 パンクチャー試験 No.12・原型容器 P1

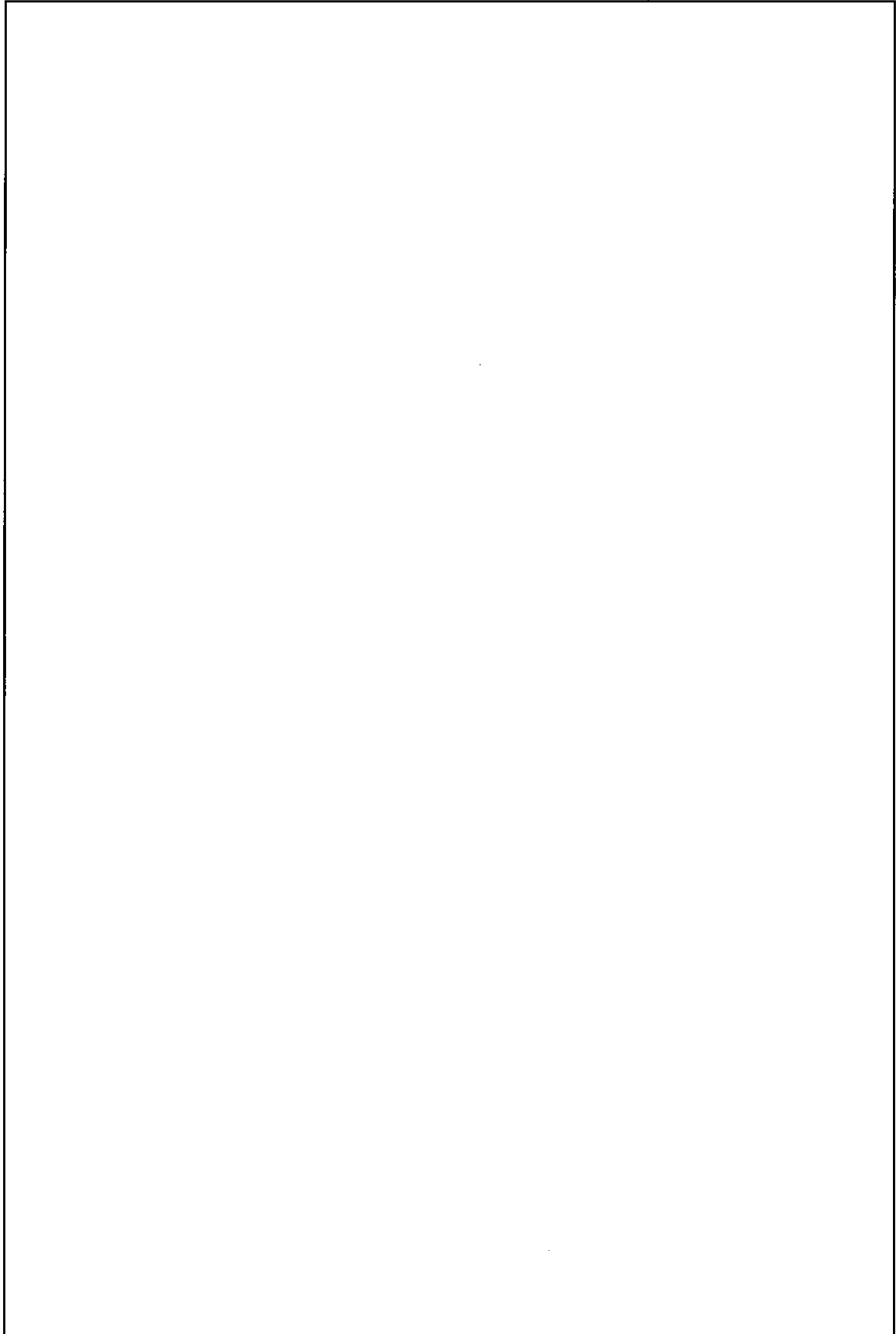


図 1.13 貫通試験 No.1・原型容器 P2

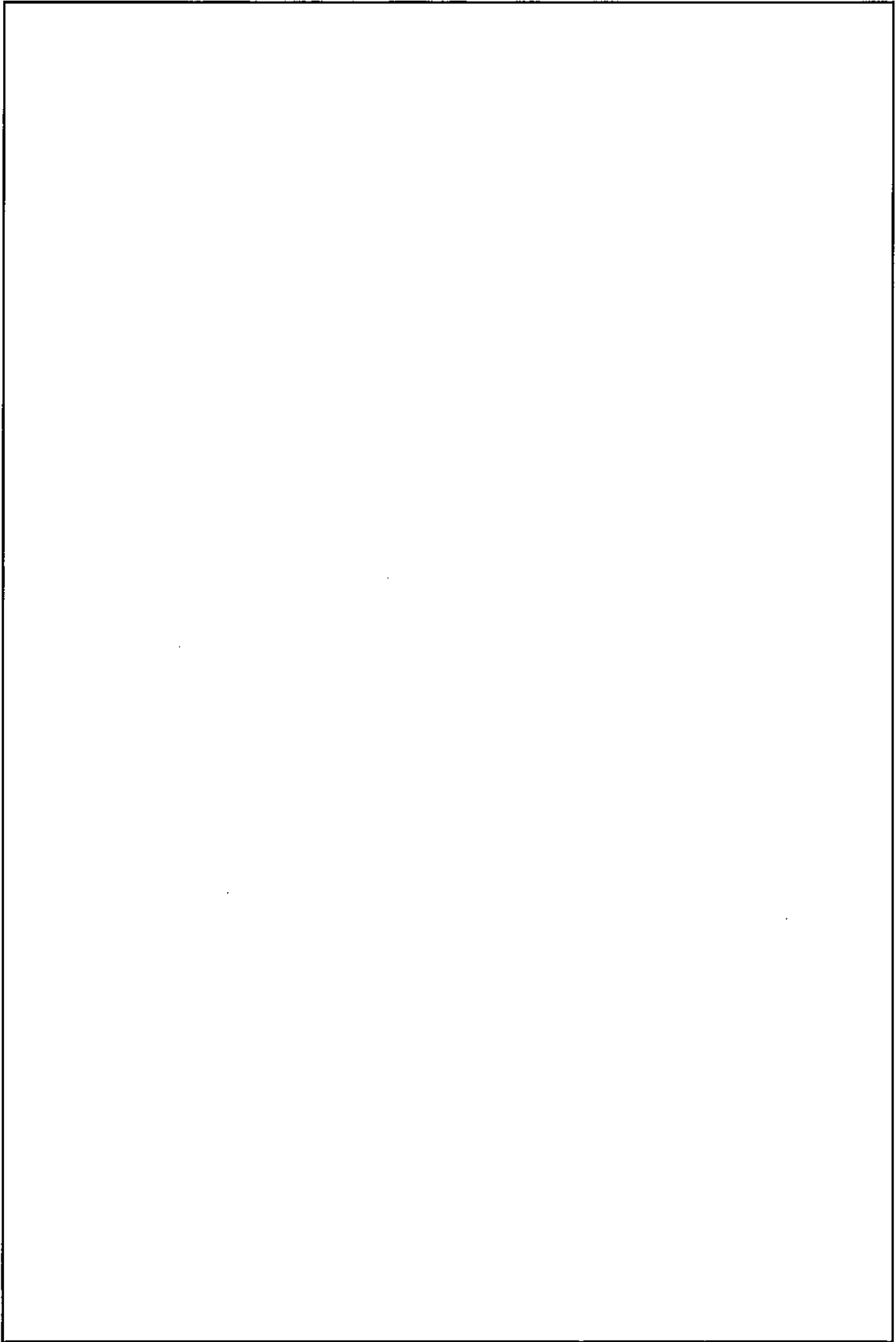


図 1.14 貫通試験 No.2 - 原型容器 P2

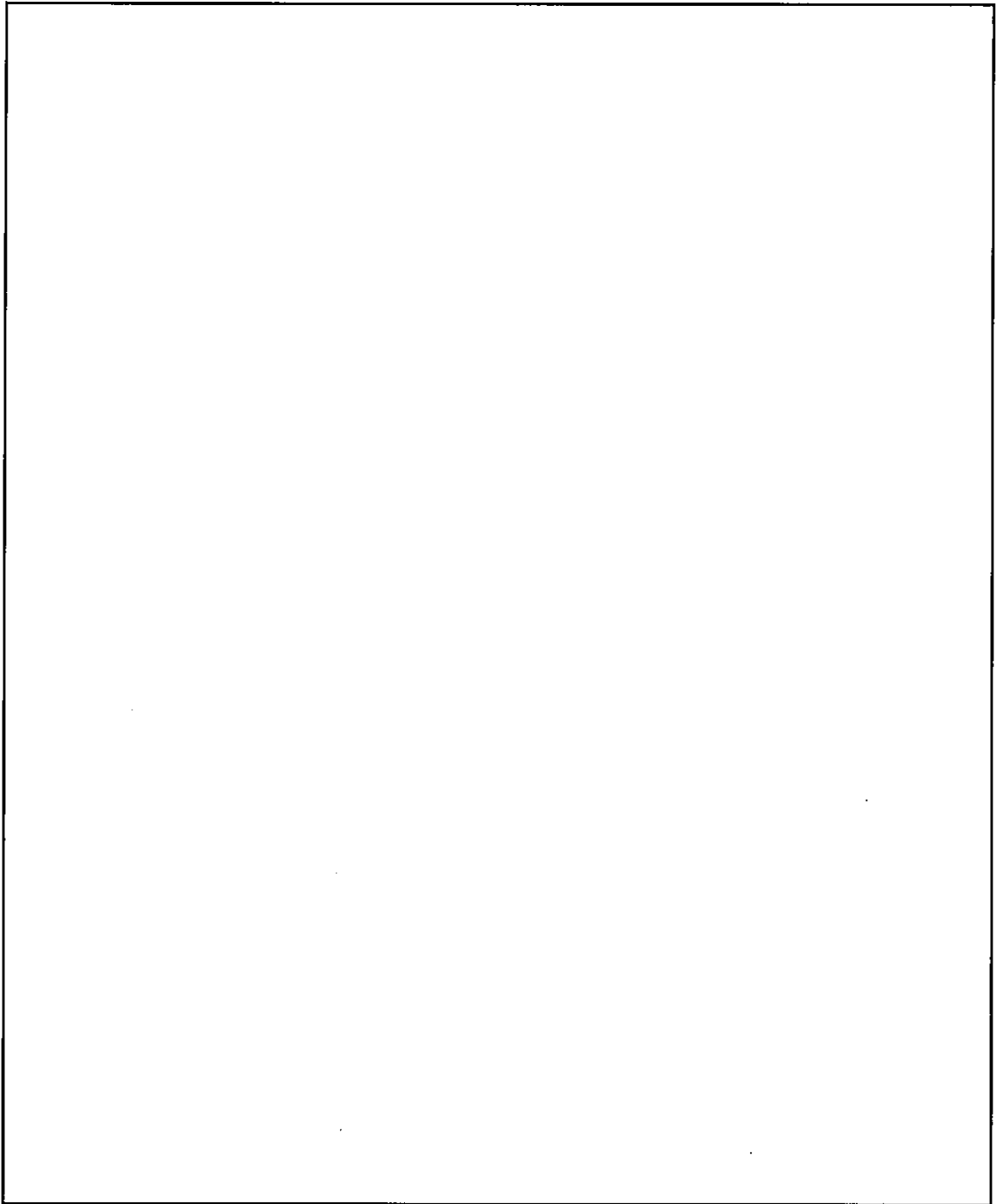


図 1.15 落下試験 No.3・原型容器 P2



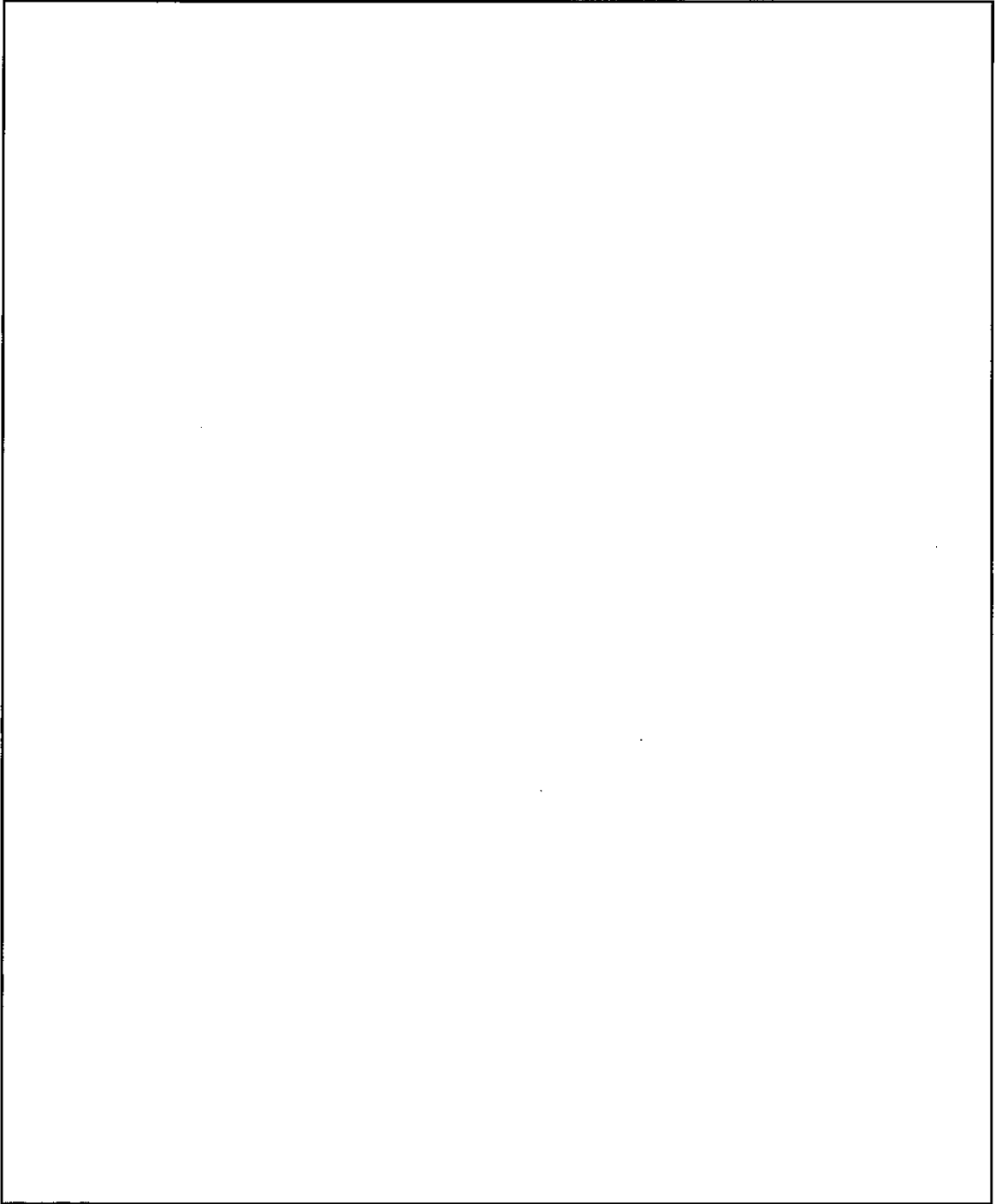


図 1.16 落下試験 No.4・原型容器 P2

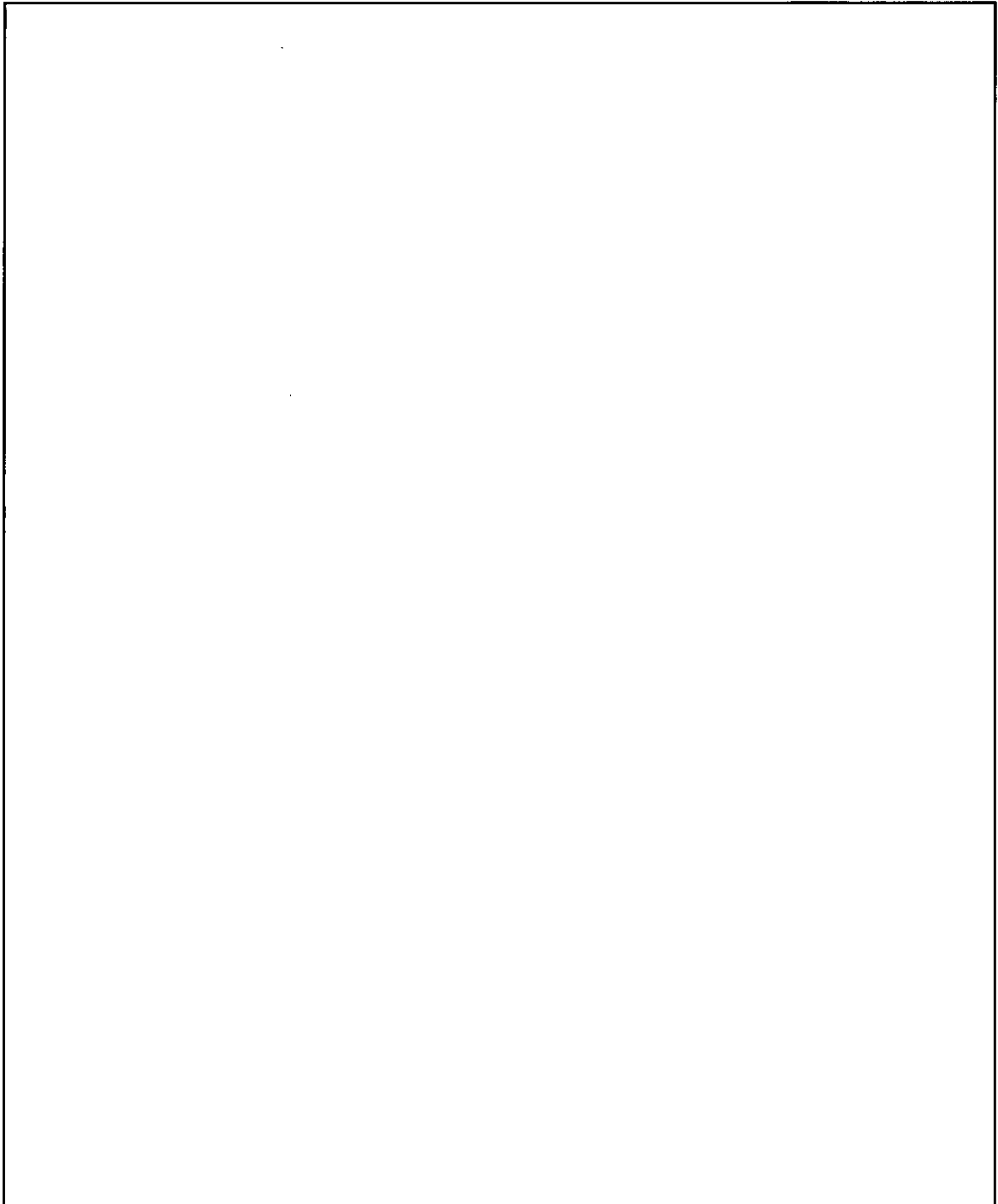


図 1.17 落下試験 No.5 - 原型容器 P2

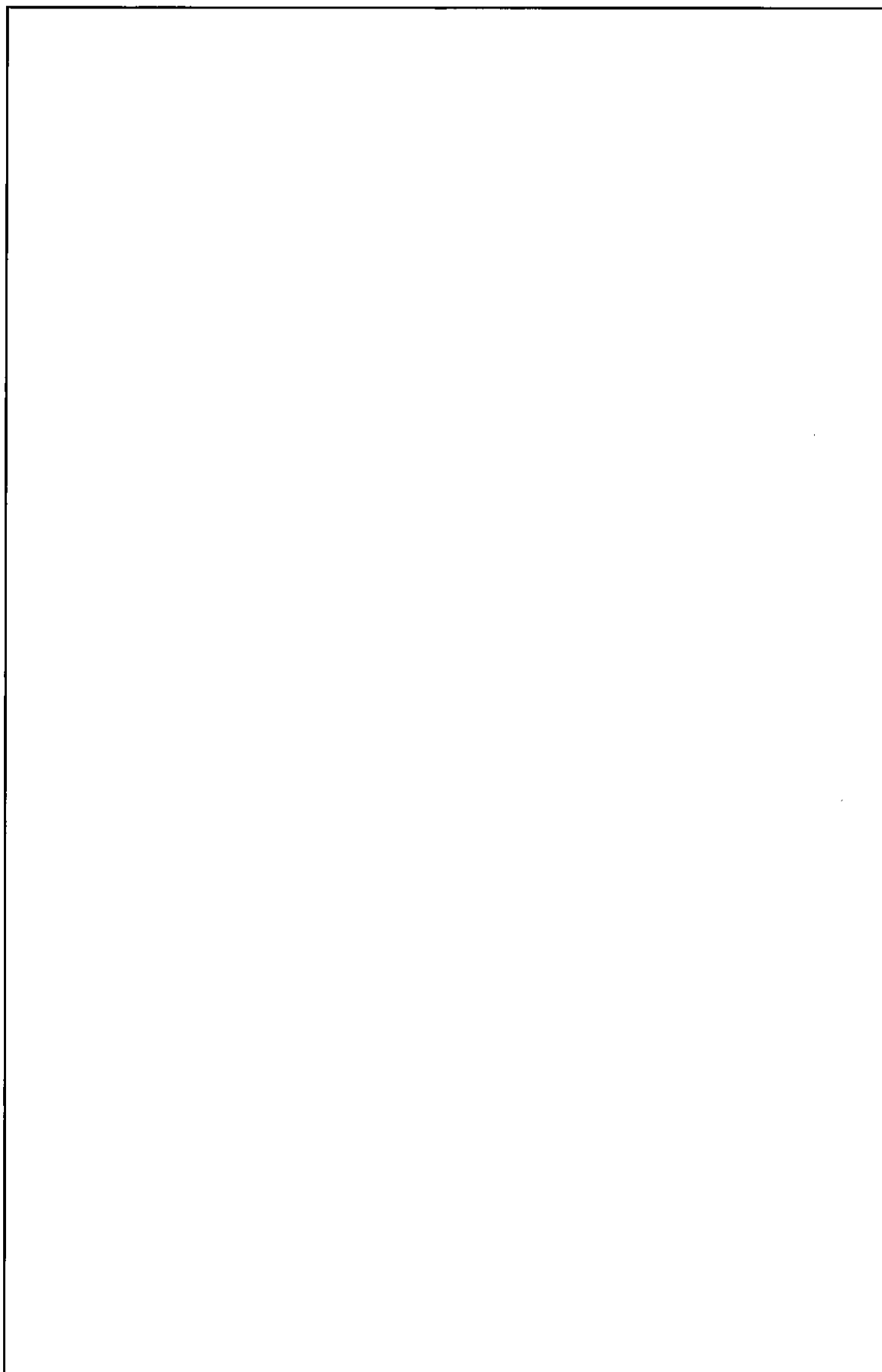


図 1.18 落下試験 No.6・原型容器 P2

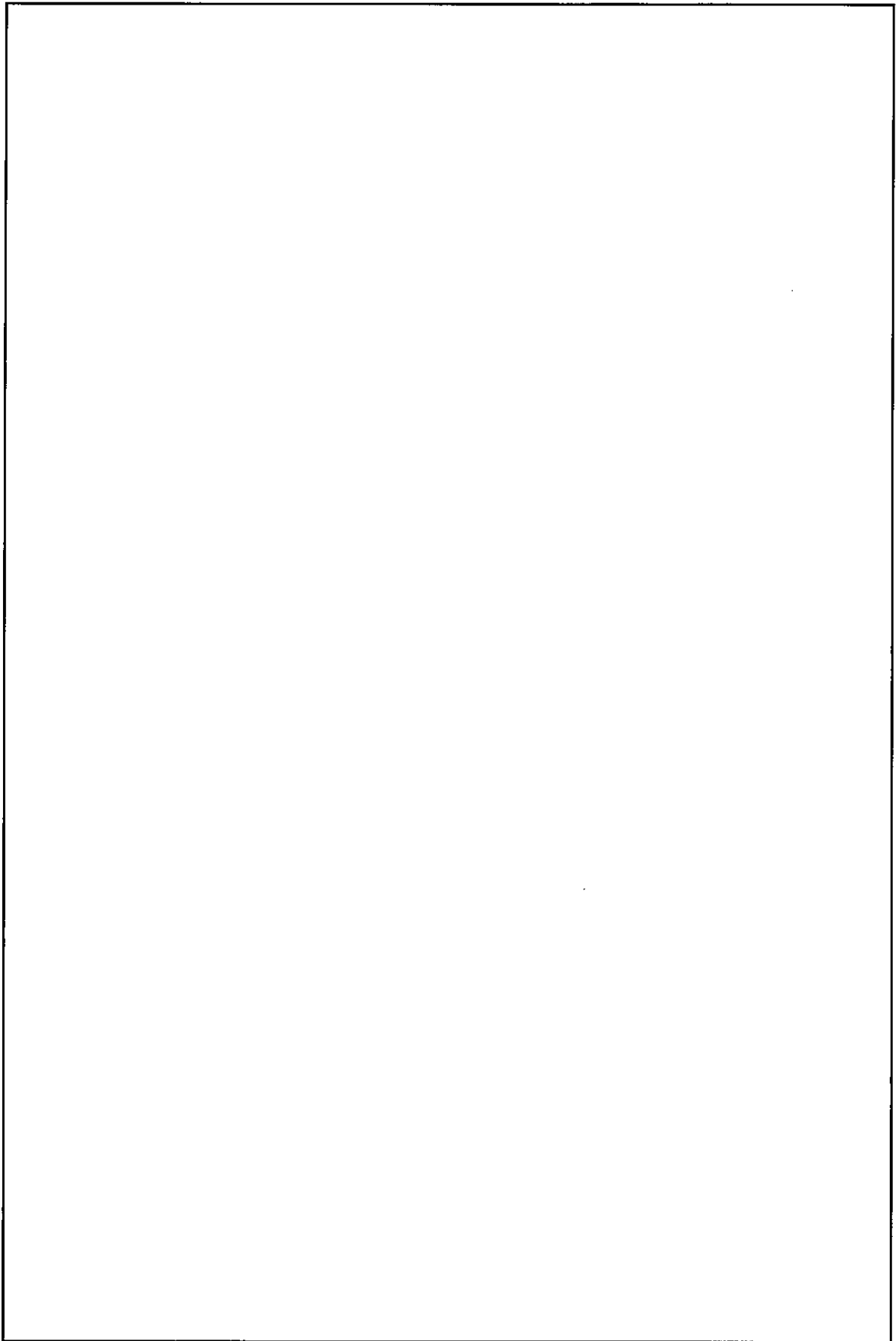


図 1.19 落下試験 No.7・原型容器 P2

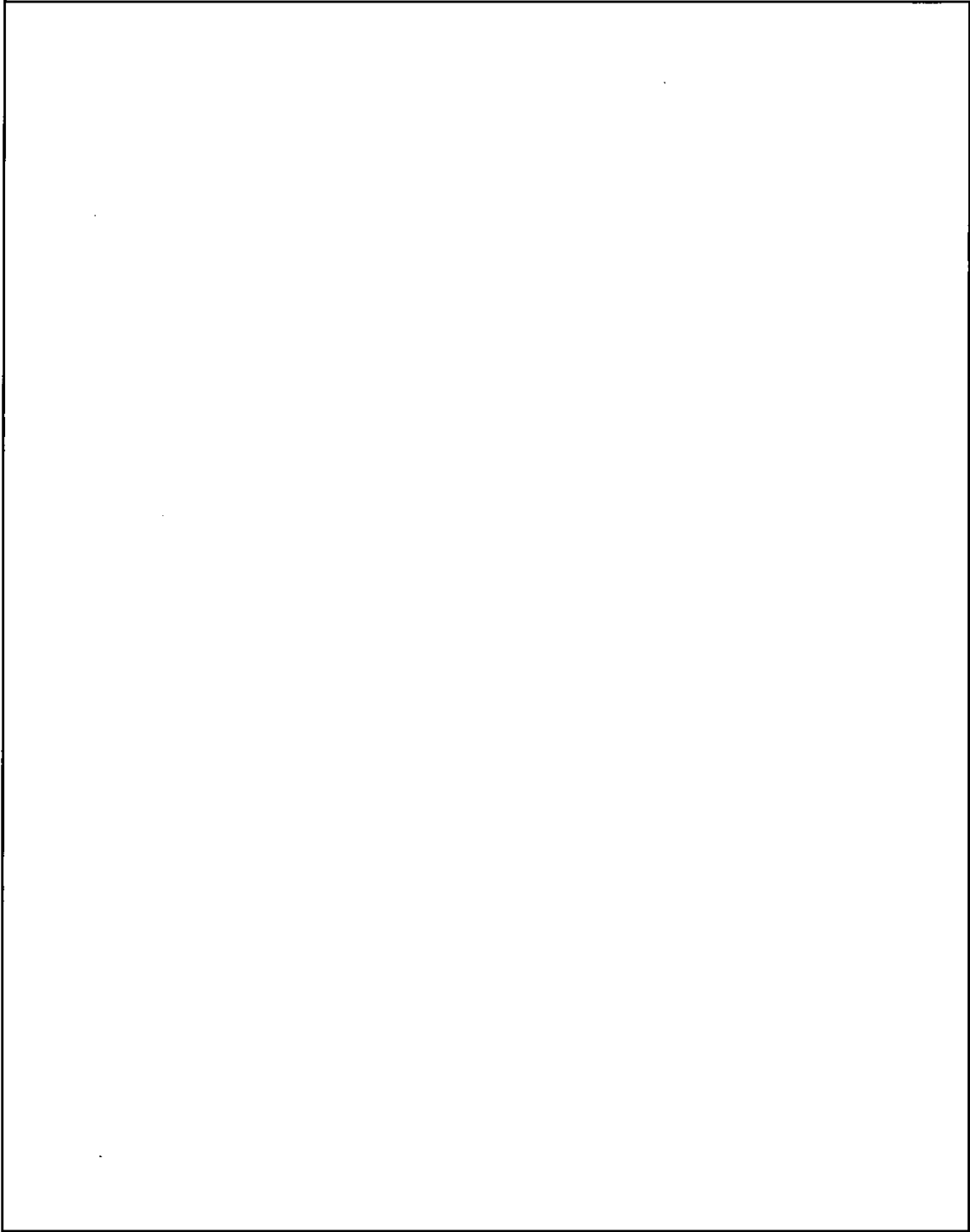


图 1.20 落下試験 No.8 - 原型容器 P2

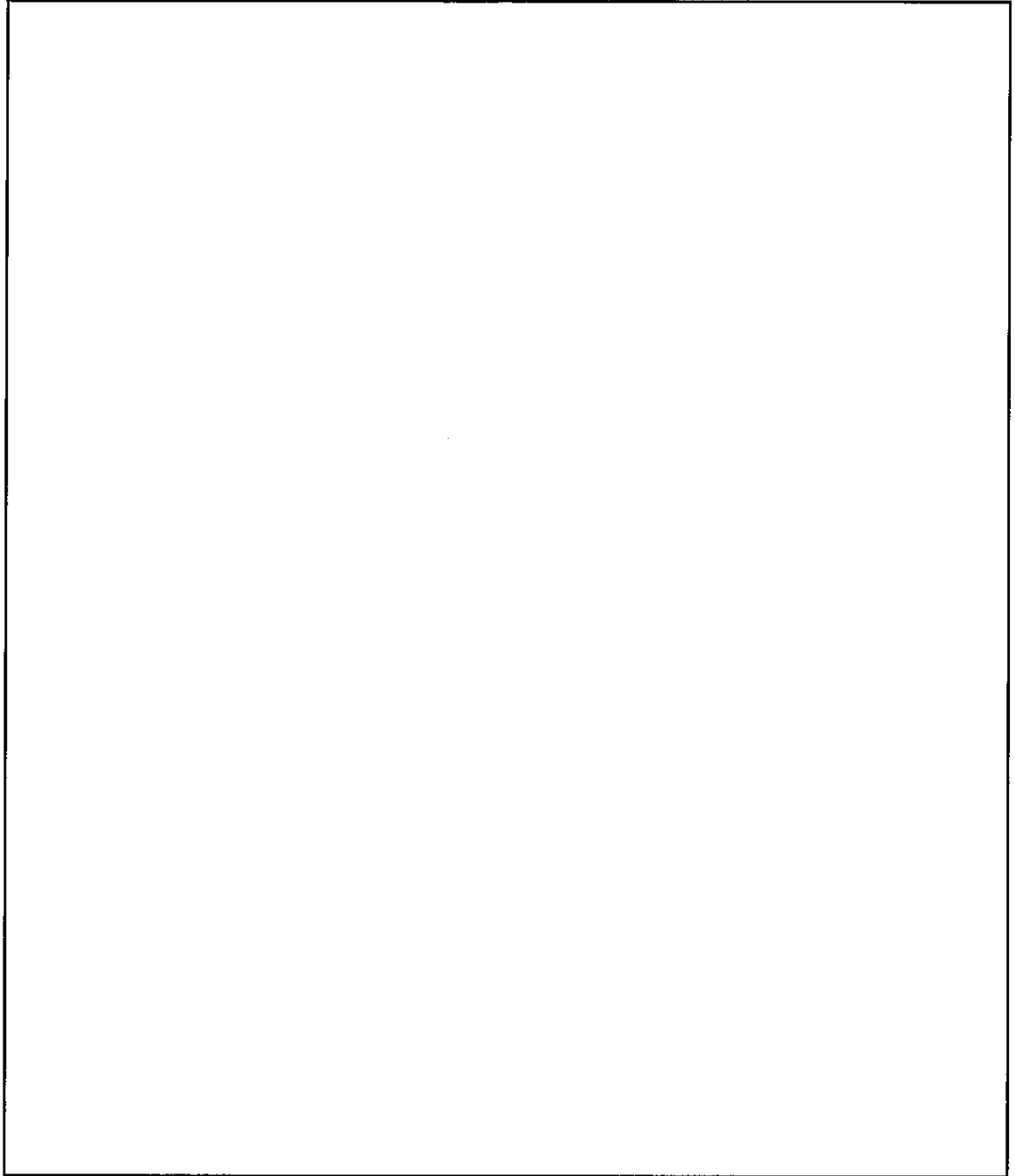


図 1.21 落下試験 NO.9 - 原型容器 P2

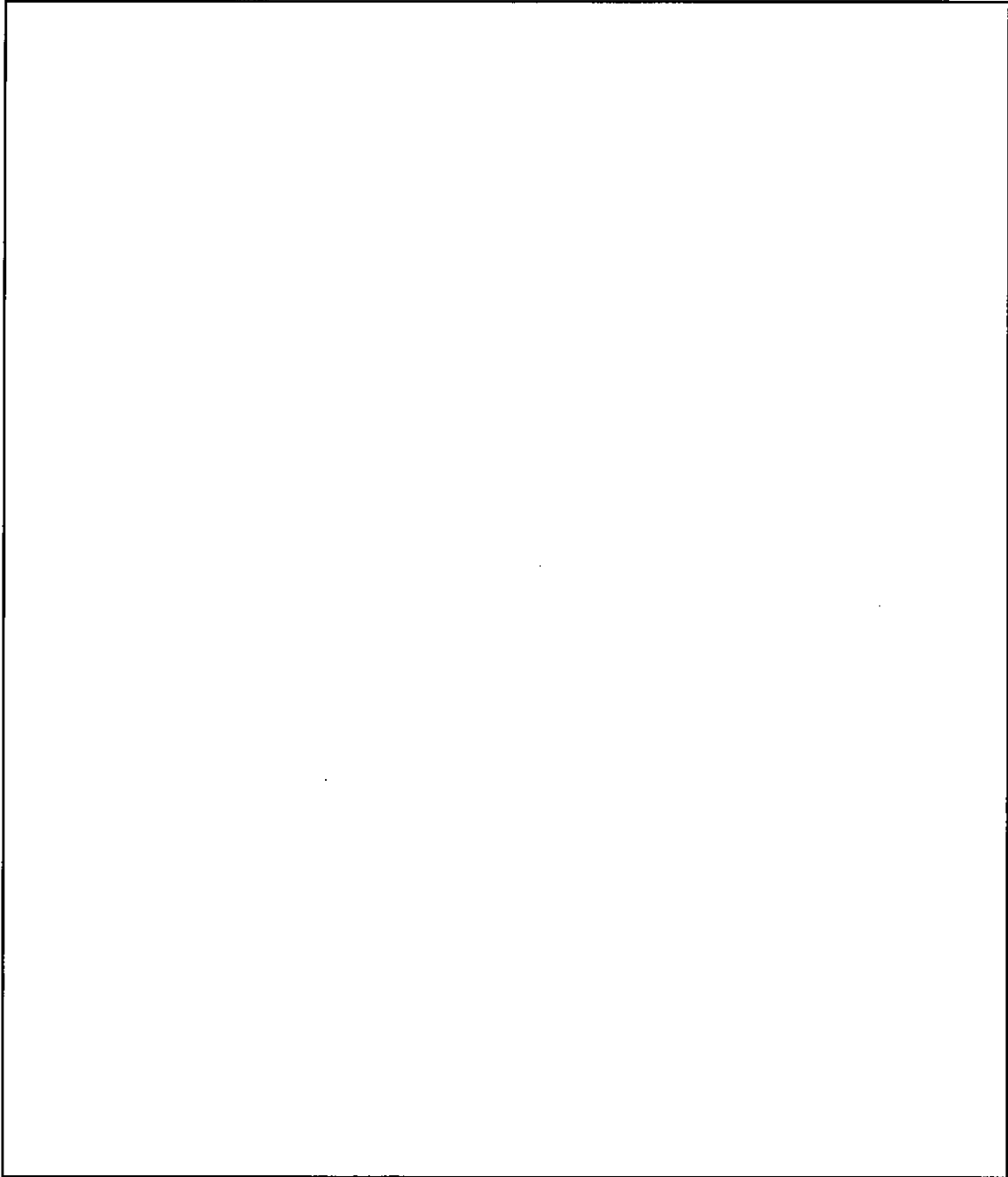


図 1.22 落下試験 No.10 - 原型容器 P2

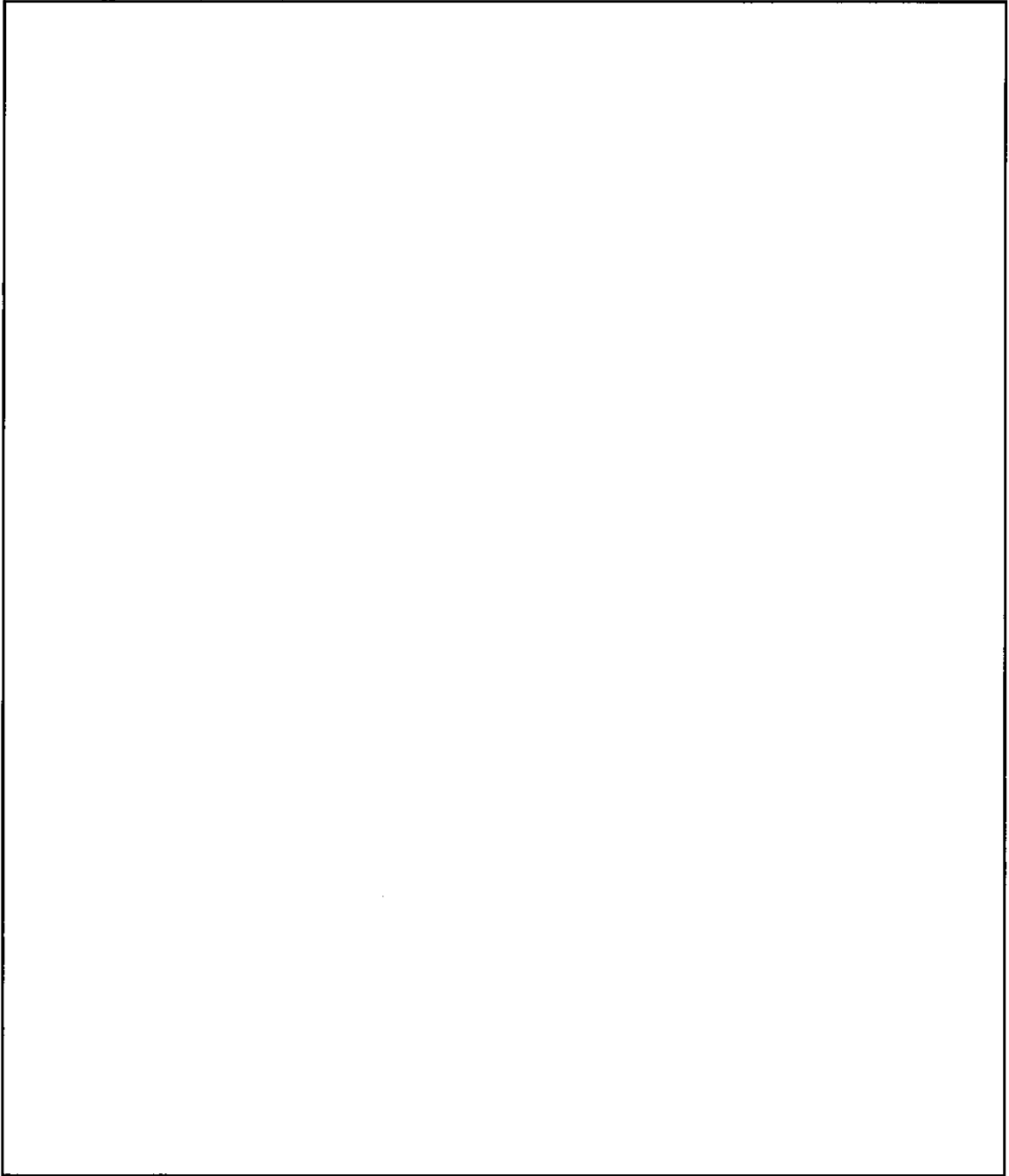


図 1.23 落下試験 No.11・原型容器 P2



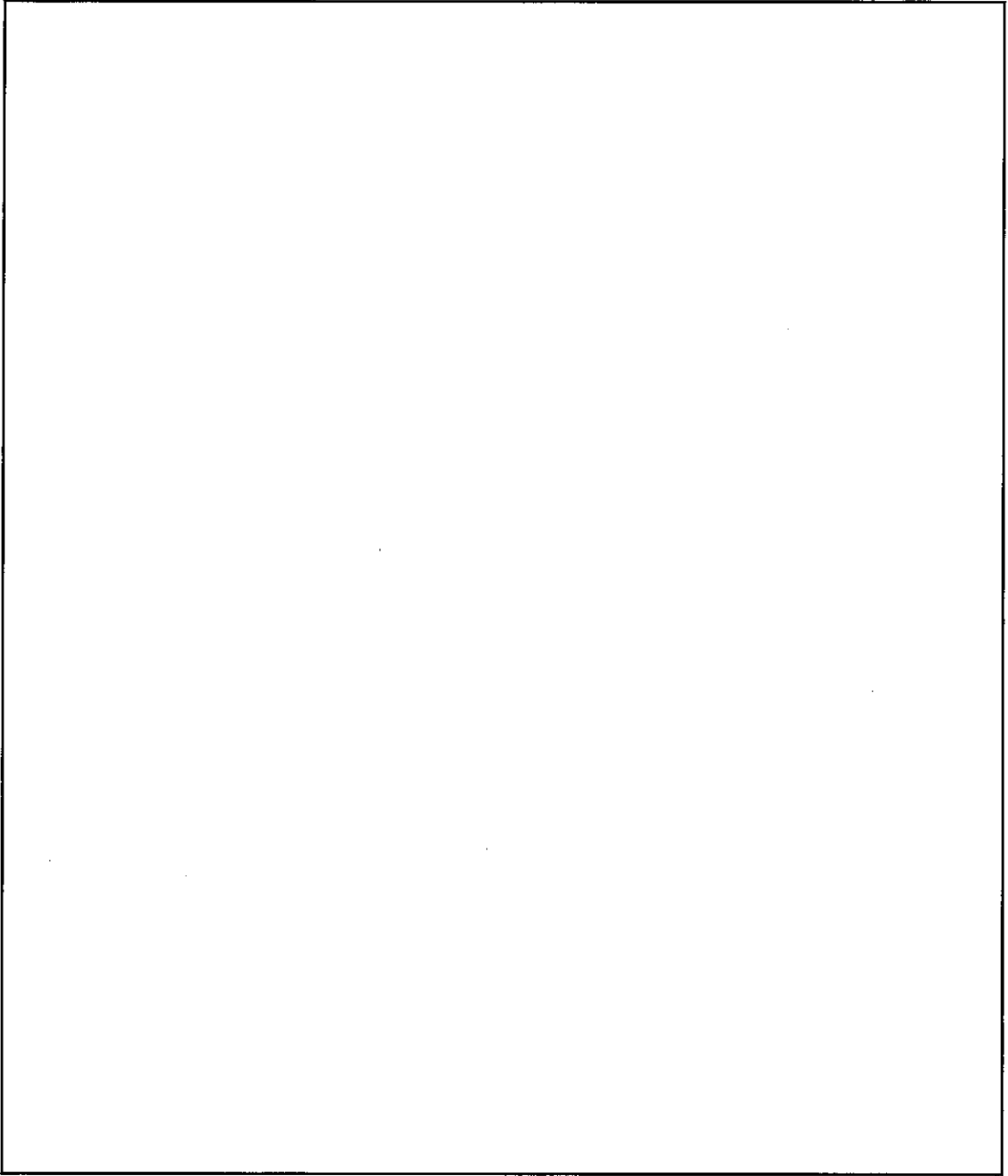


図 1.24 落下試験 No.12 - 原型容器 P2

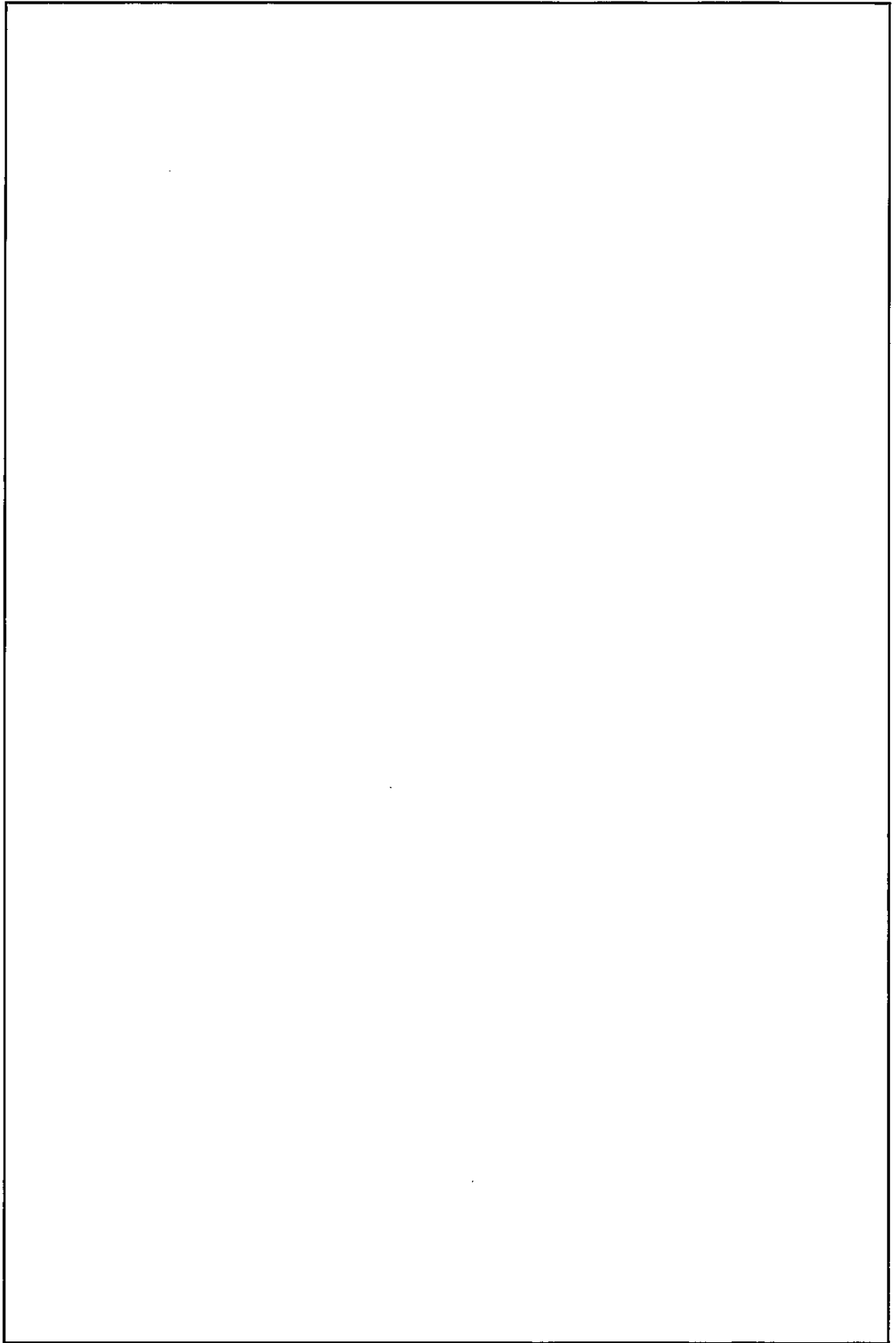


図 1.25 落下試験 No.13 - 原型容器 P2

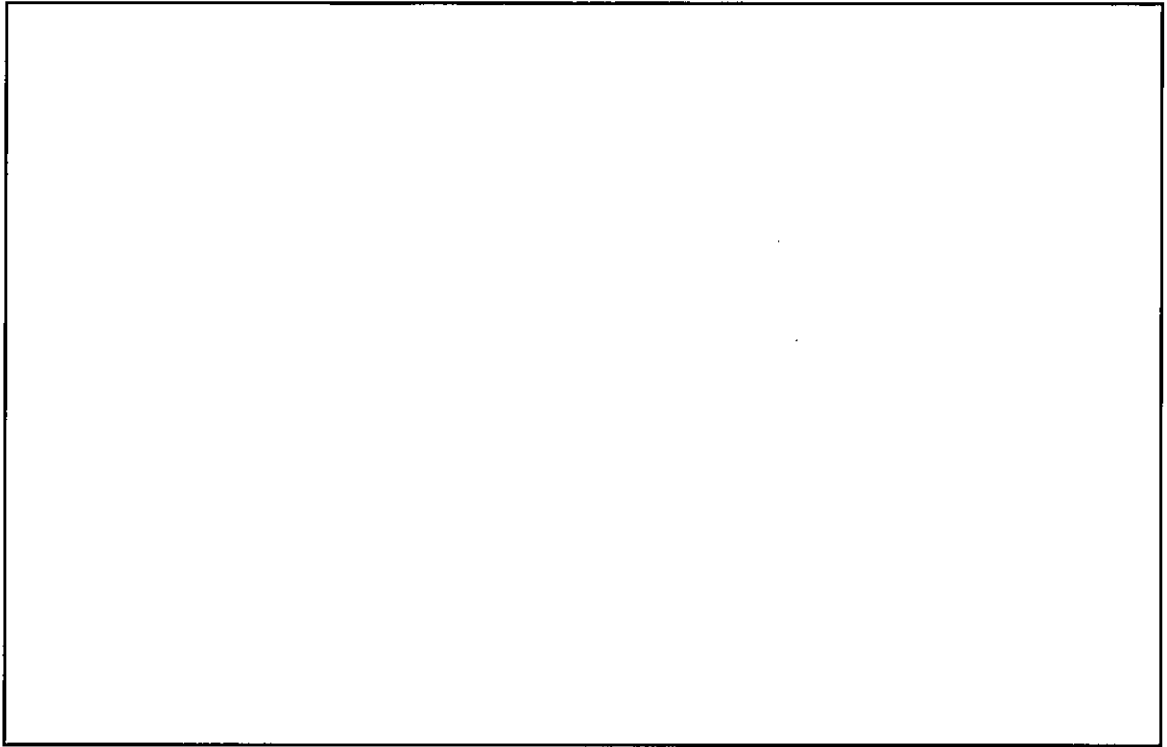


写真 1.1 粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングの外観

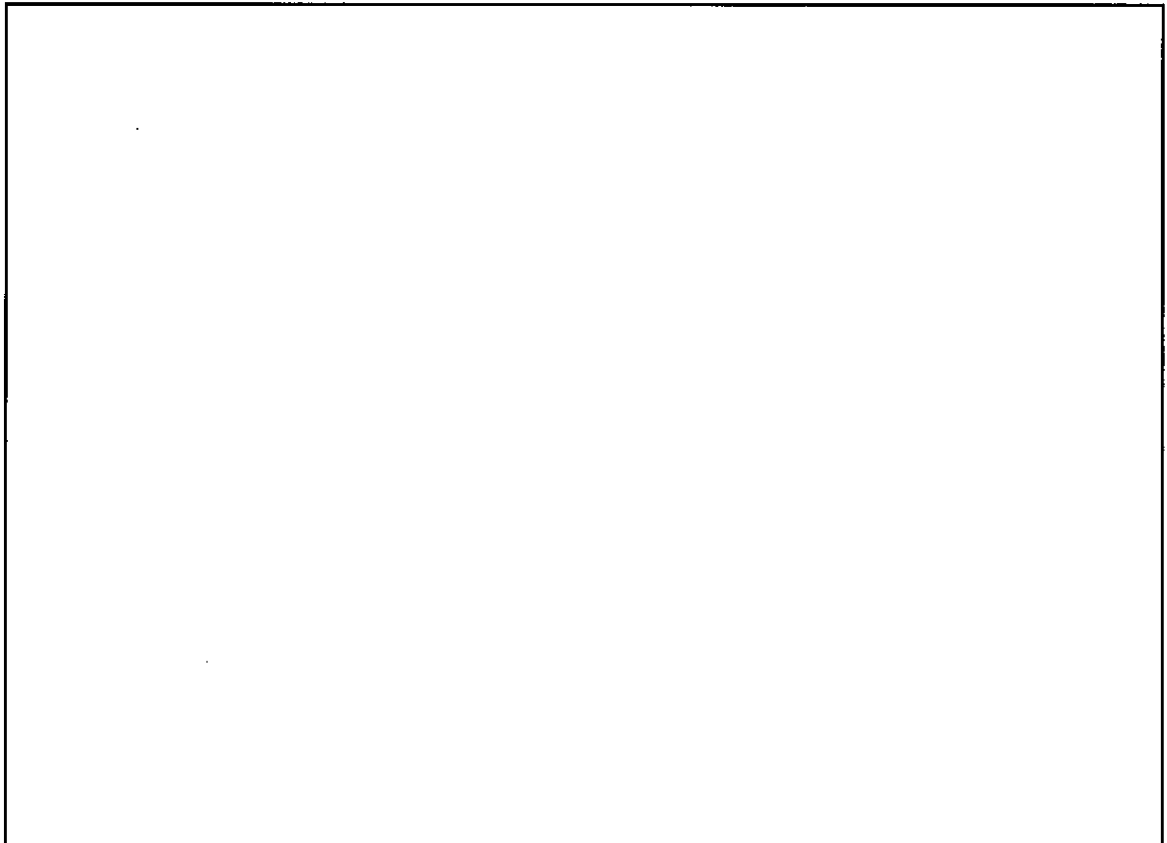


写真 1.2 純鉄粉末の外観

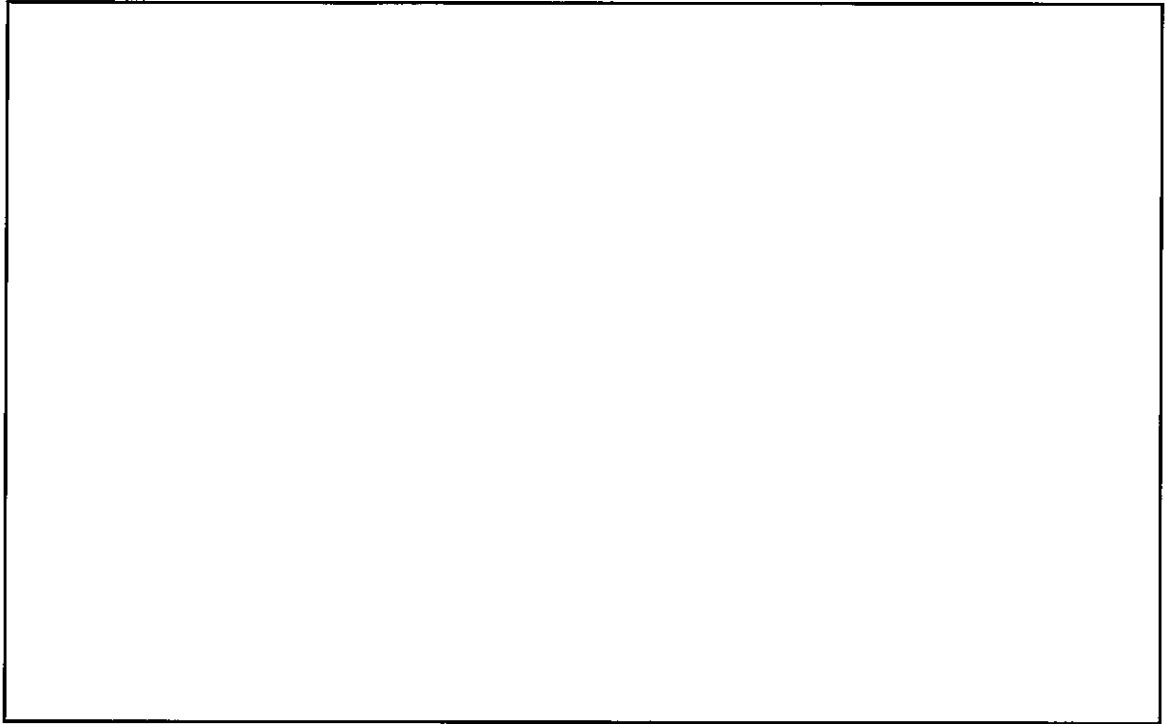


写真 1.3 内蓋 (機械加工バイオネット嵌合部)

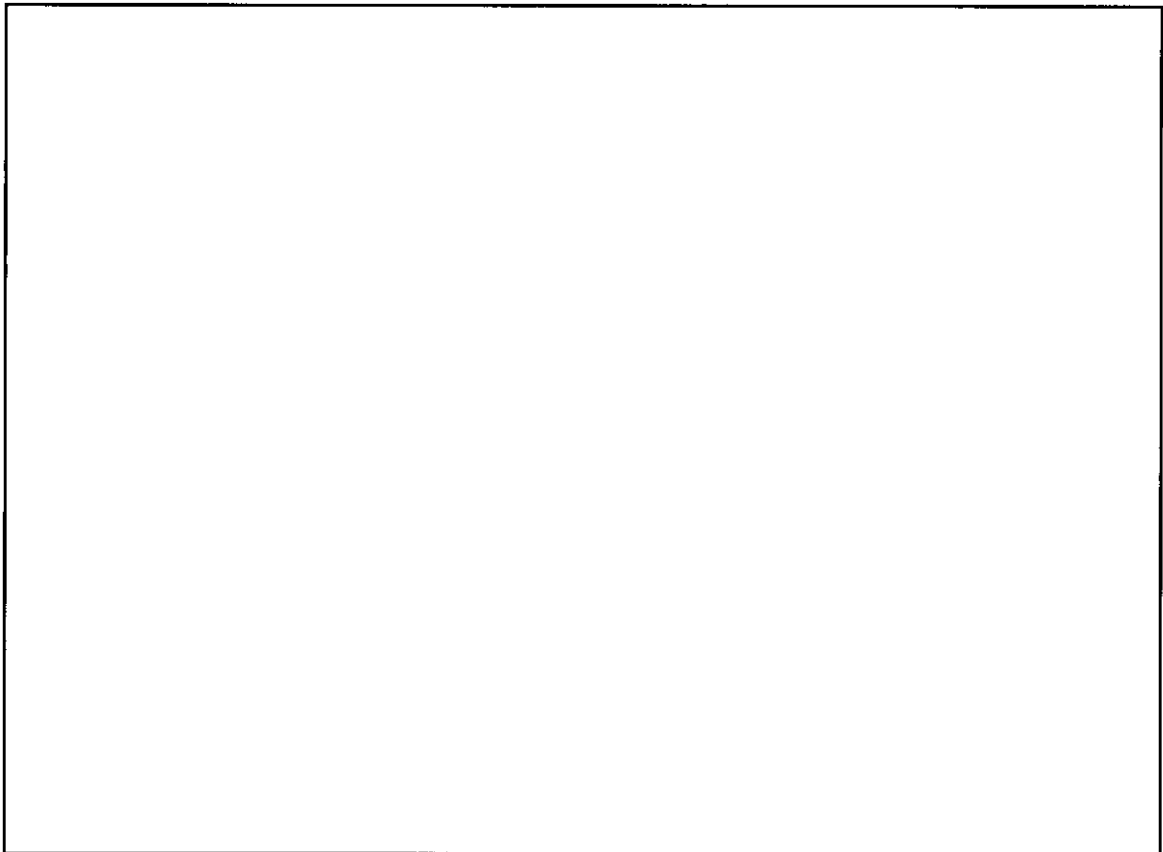


写真 1.4 内蓋 (溶接加工バイオネット嵌合部)

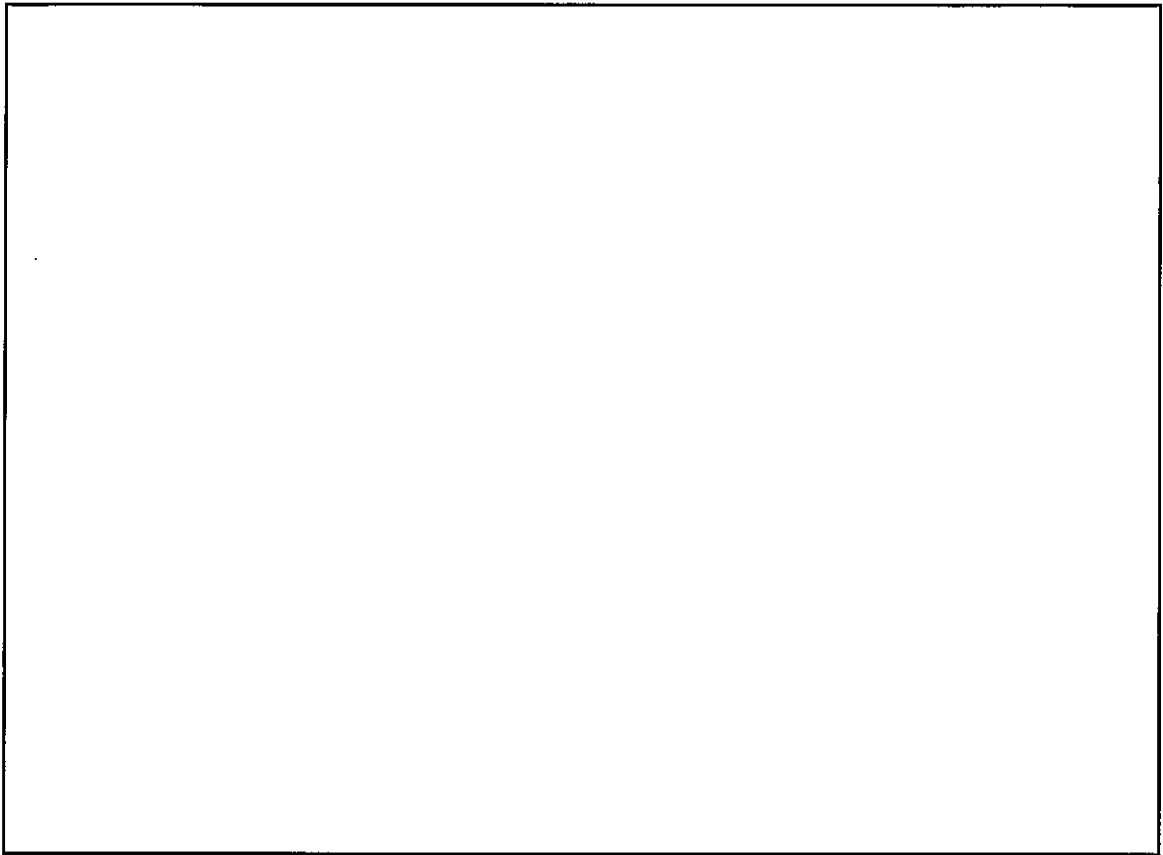


写真 1.5 内容器フランジ（重厚型）及び粉末収納缶の外観

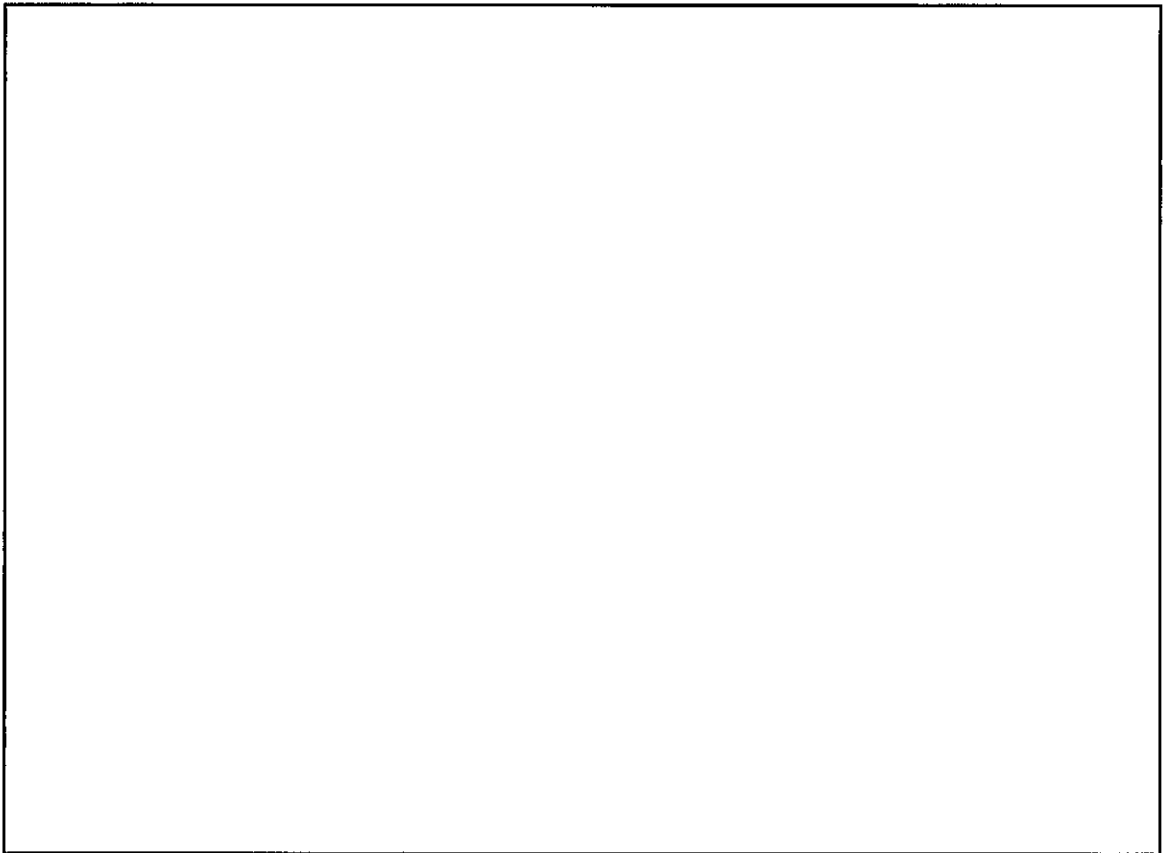


写真 1.6 内蓋の外観

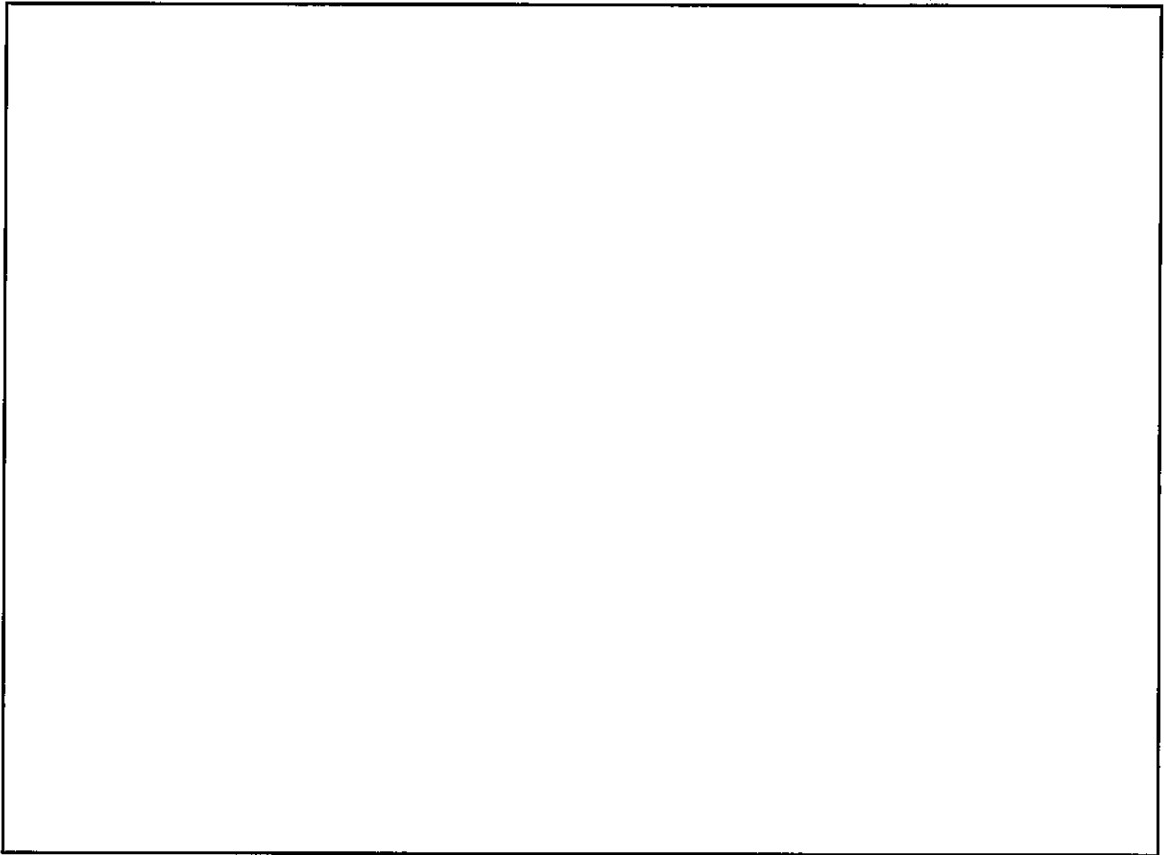


写真 1.7 貫通試験 (6 kg) 後 

--

 内容器 

--

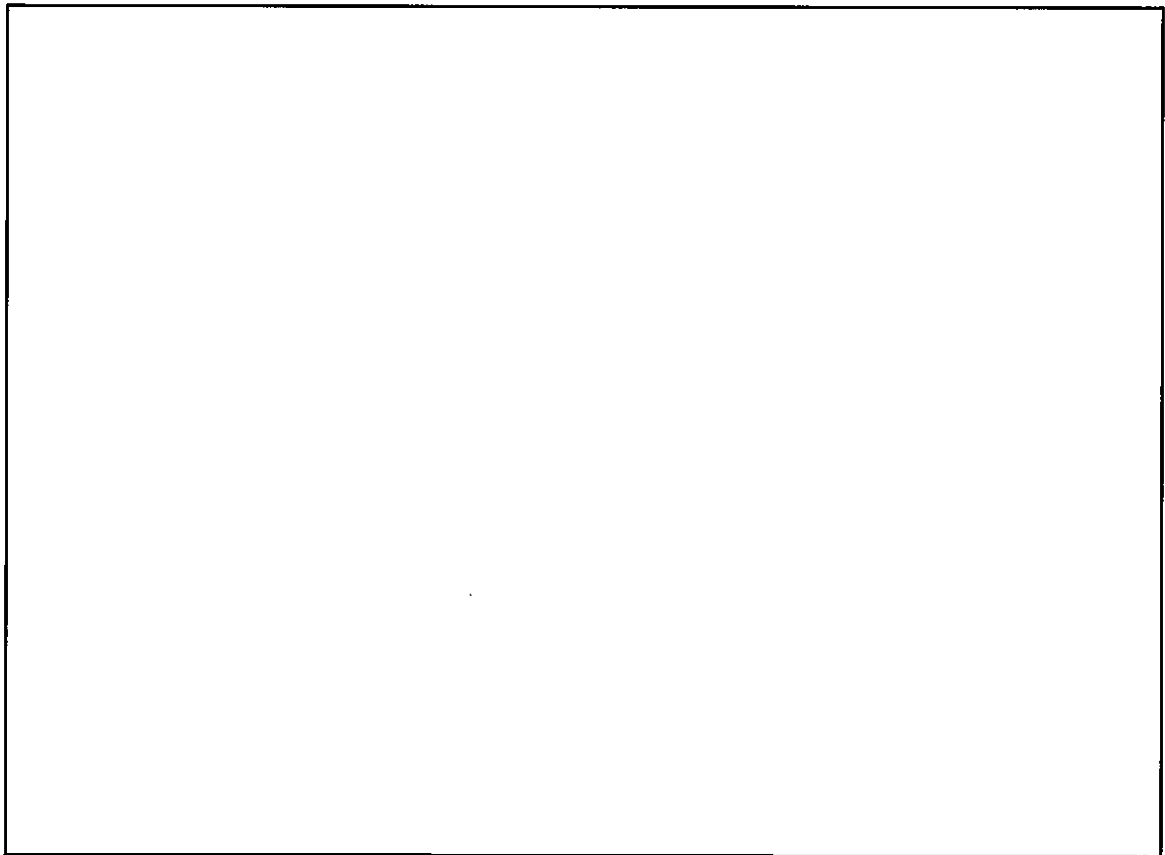


写真 1.8 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋上面

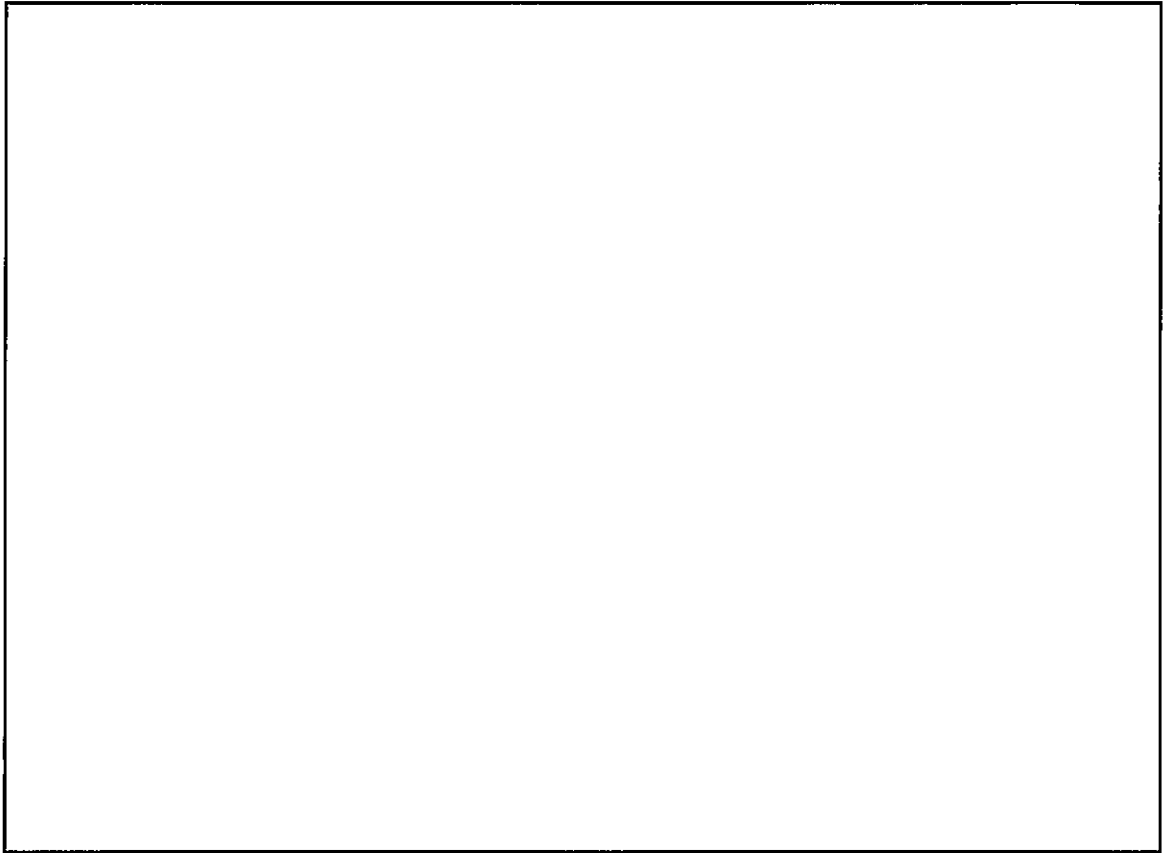


写真 1.9 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋バイオネット嵌合部間

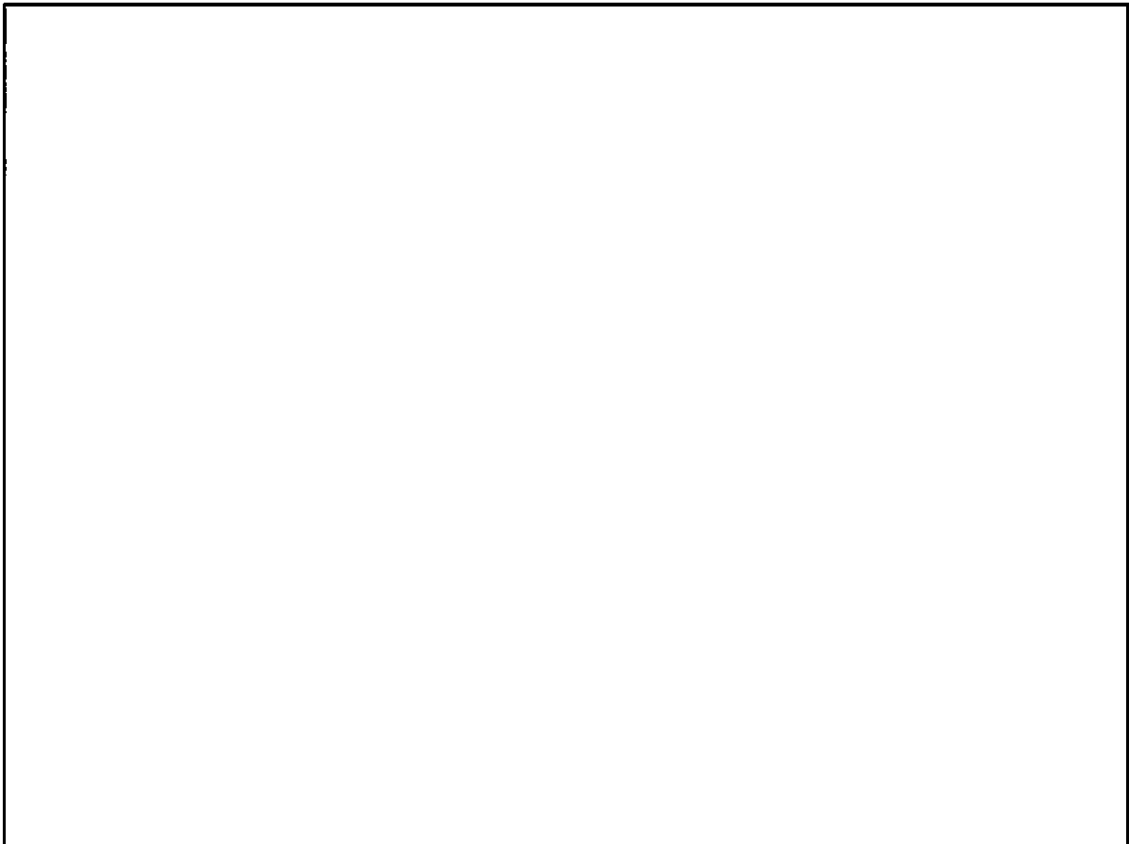


写真 1.10 落下試験 (高さ [ ] m) 前 上面エッジ部

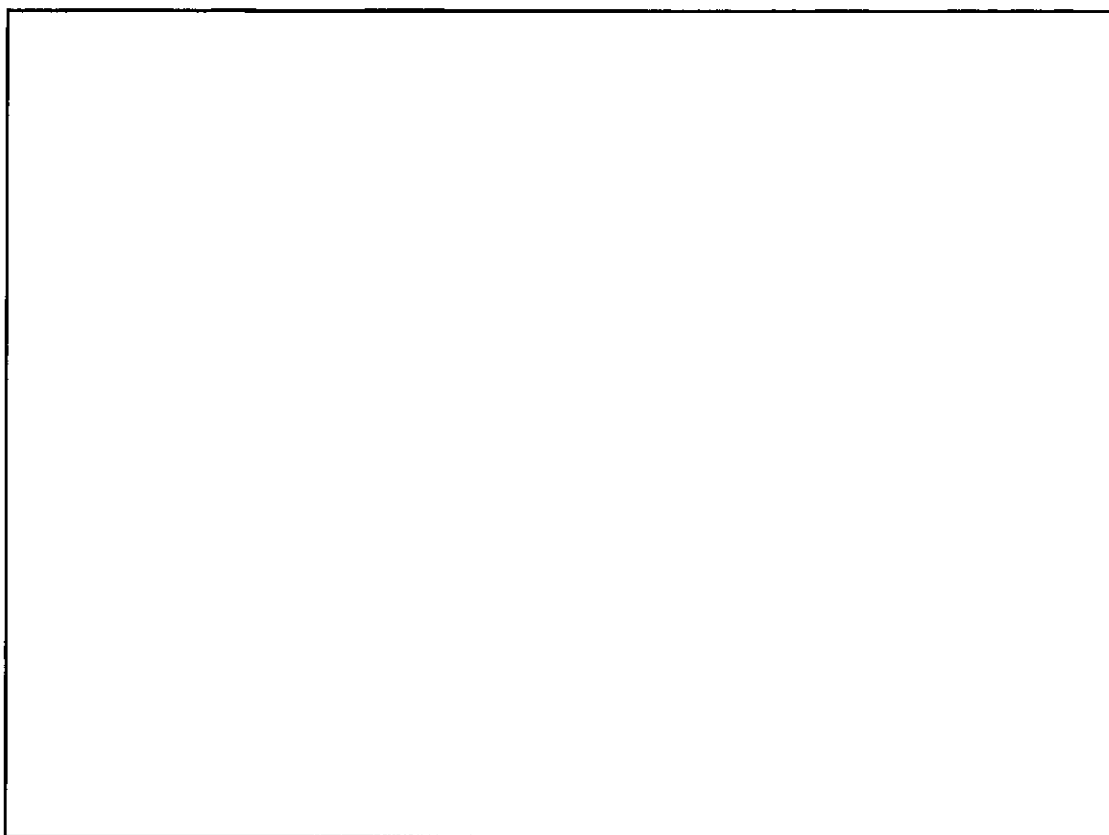


写真 1.11 落下試験（高さ [ ] m）後 上面エッジ部

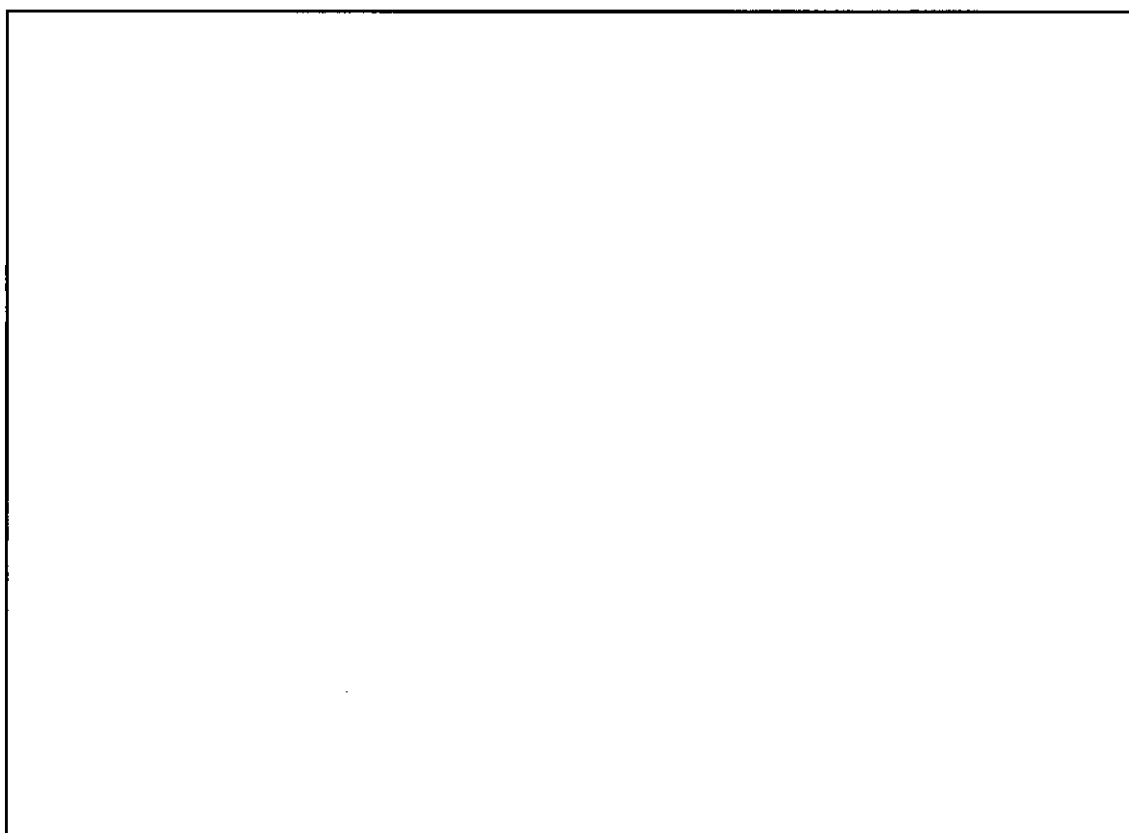


写真 1.12 落下試験（高さ [ ] m）後 上面エッジ部



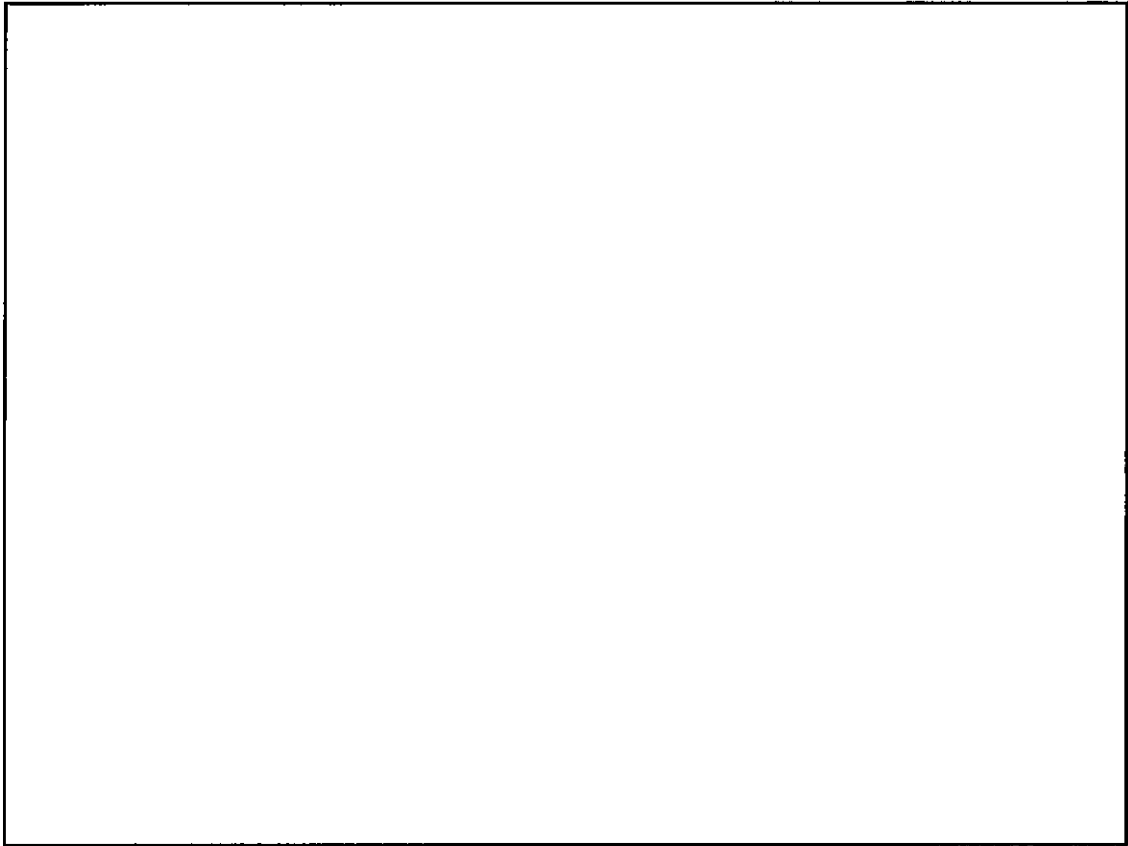


写真 1.13 落下試験（高さ  m）前 上面コーナー部



写真 1.14 落下試験（高さ  m）後 上面コーナー部

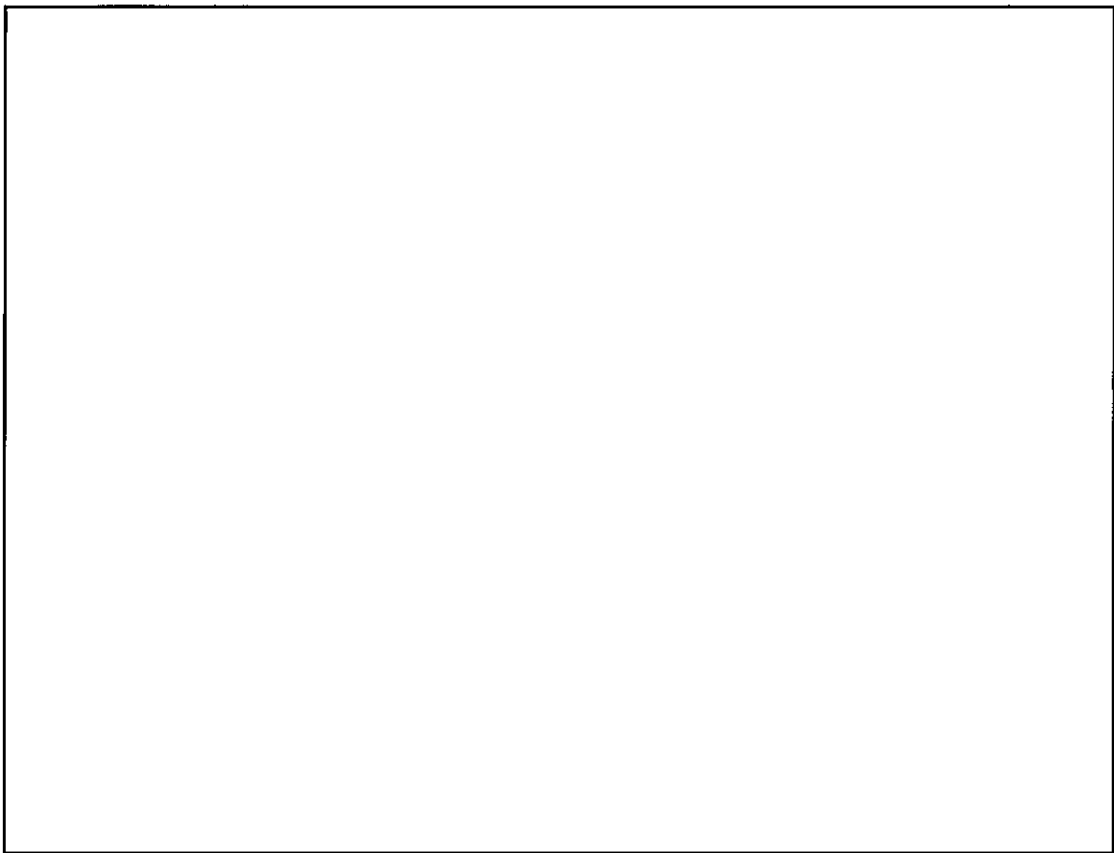


写真 1.15 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 側面中央



写真 1.16 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 側面中央

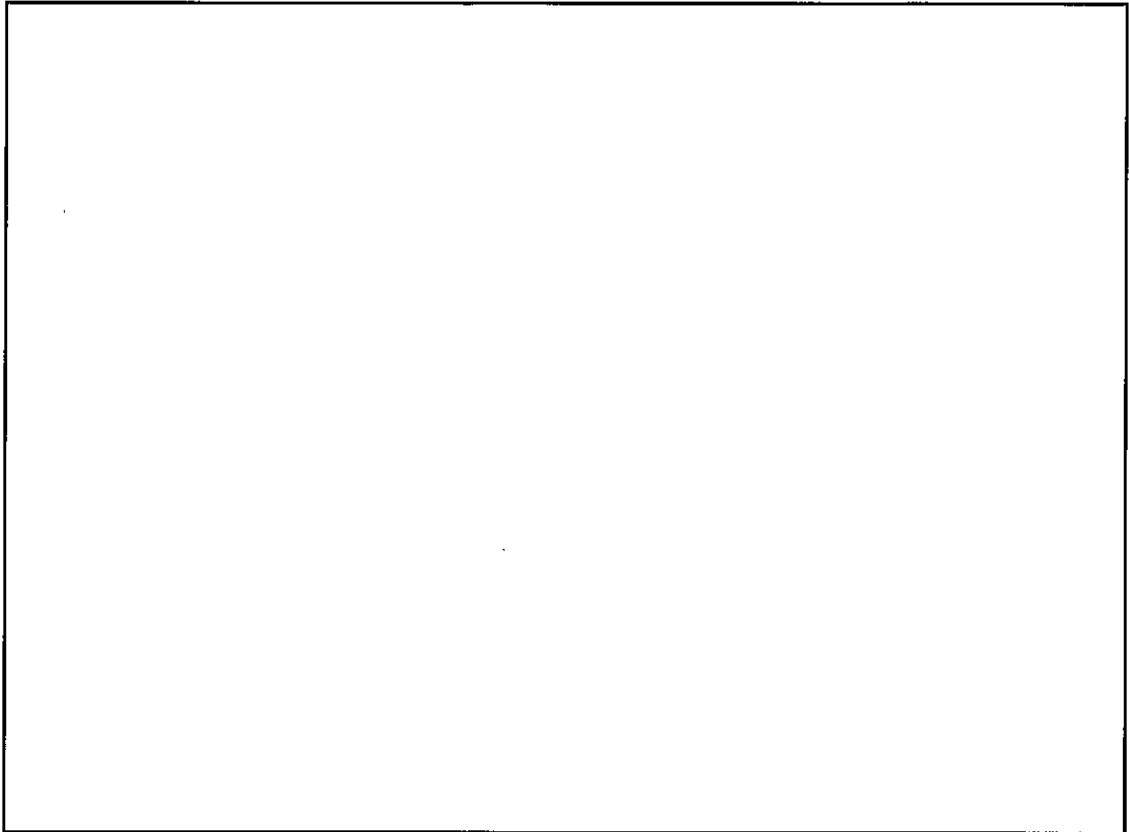


写真 1.17 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 底面中央付近

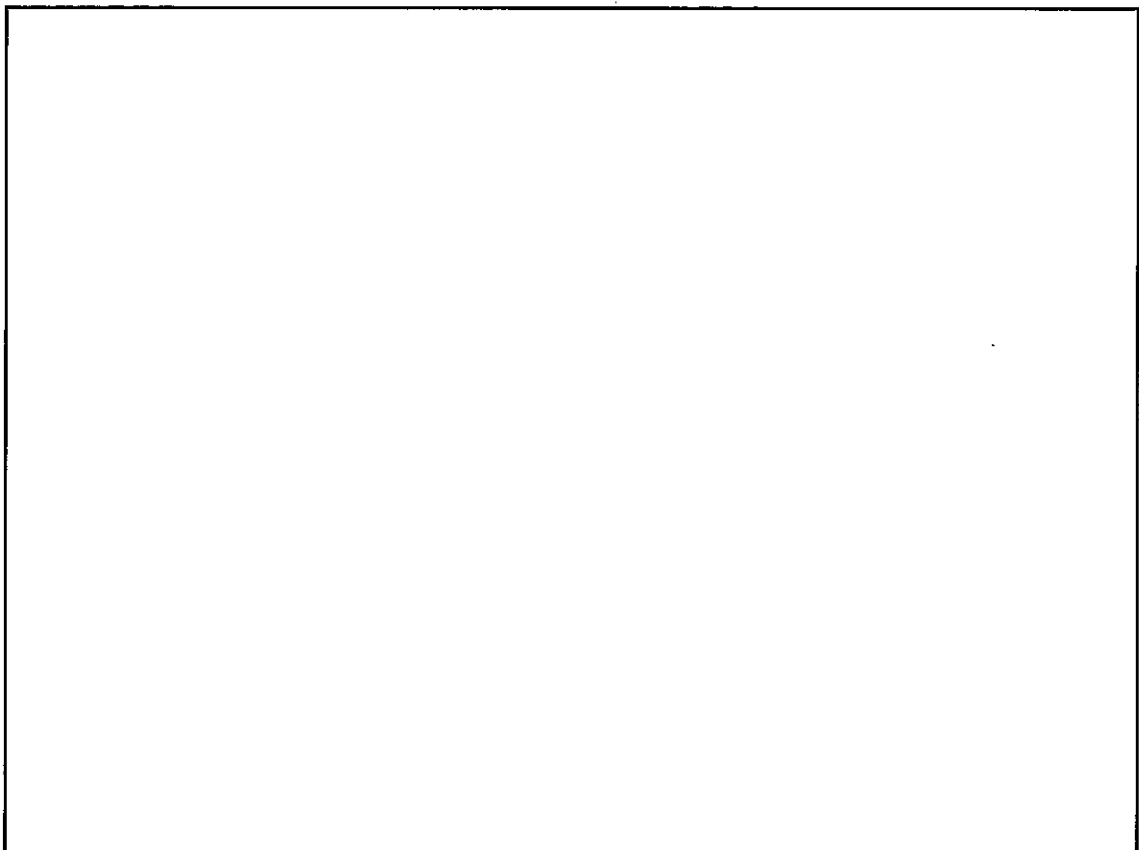


写真 1.18 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 底面中央付近

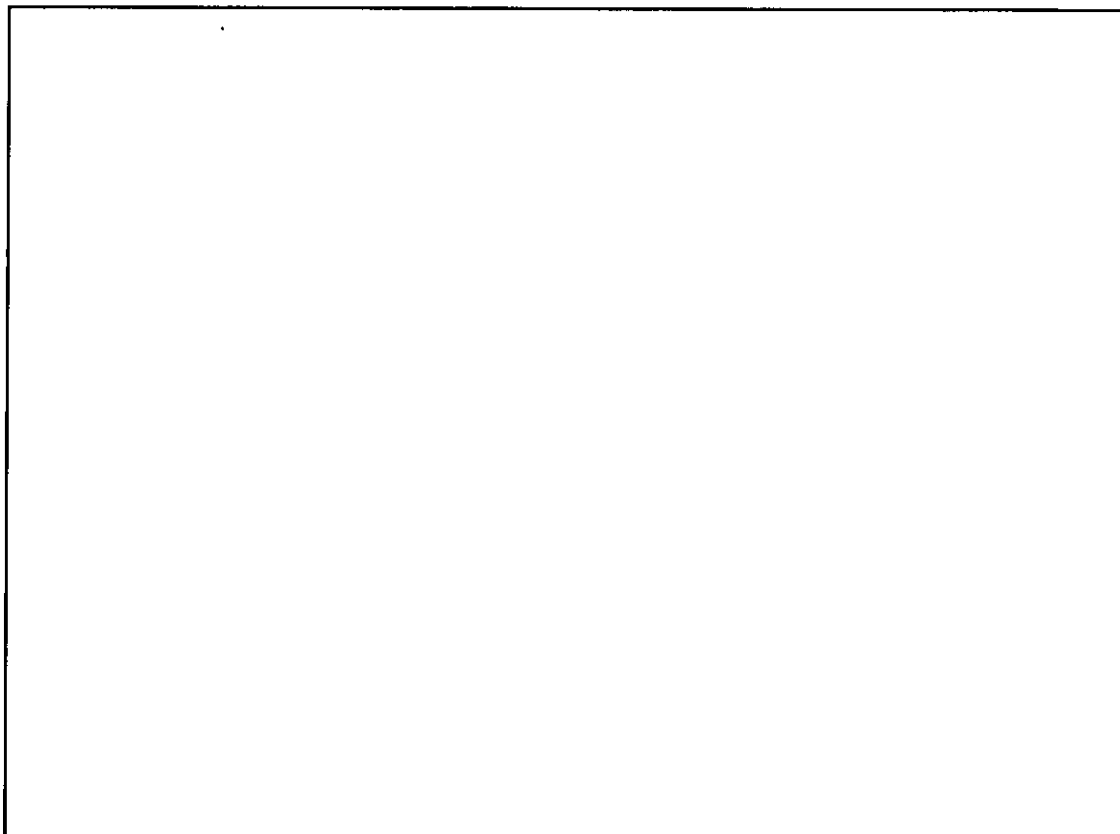


写真 1.19 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 外蓋上面

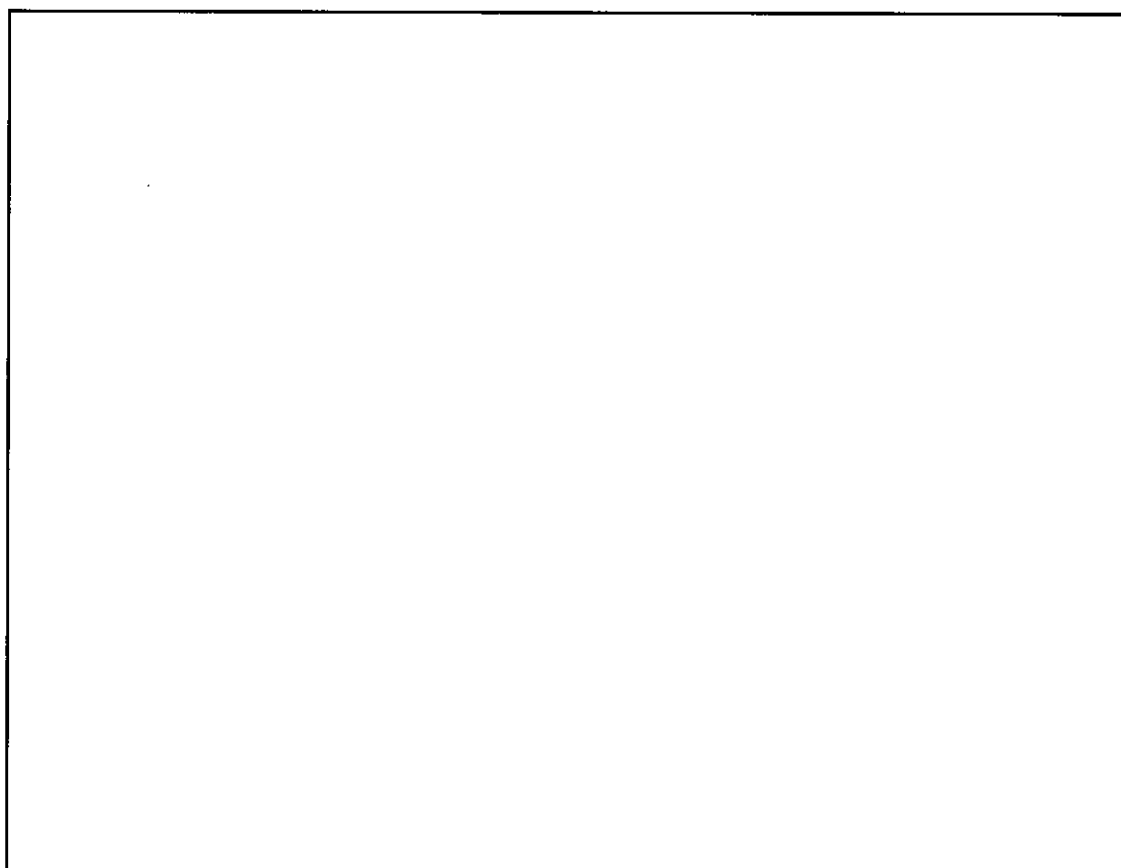


写真 1.20 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 外蓋上面

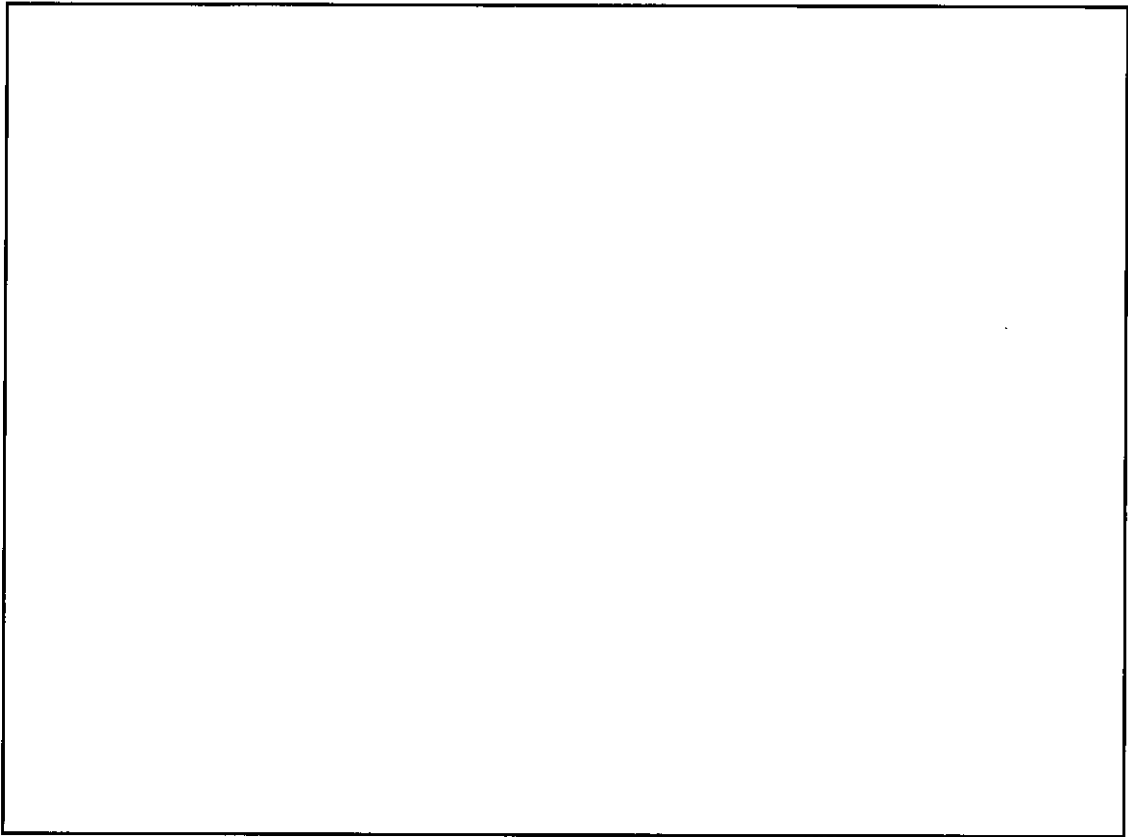


写真 1.21 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面エッジ部

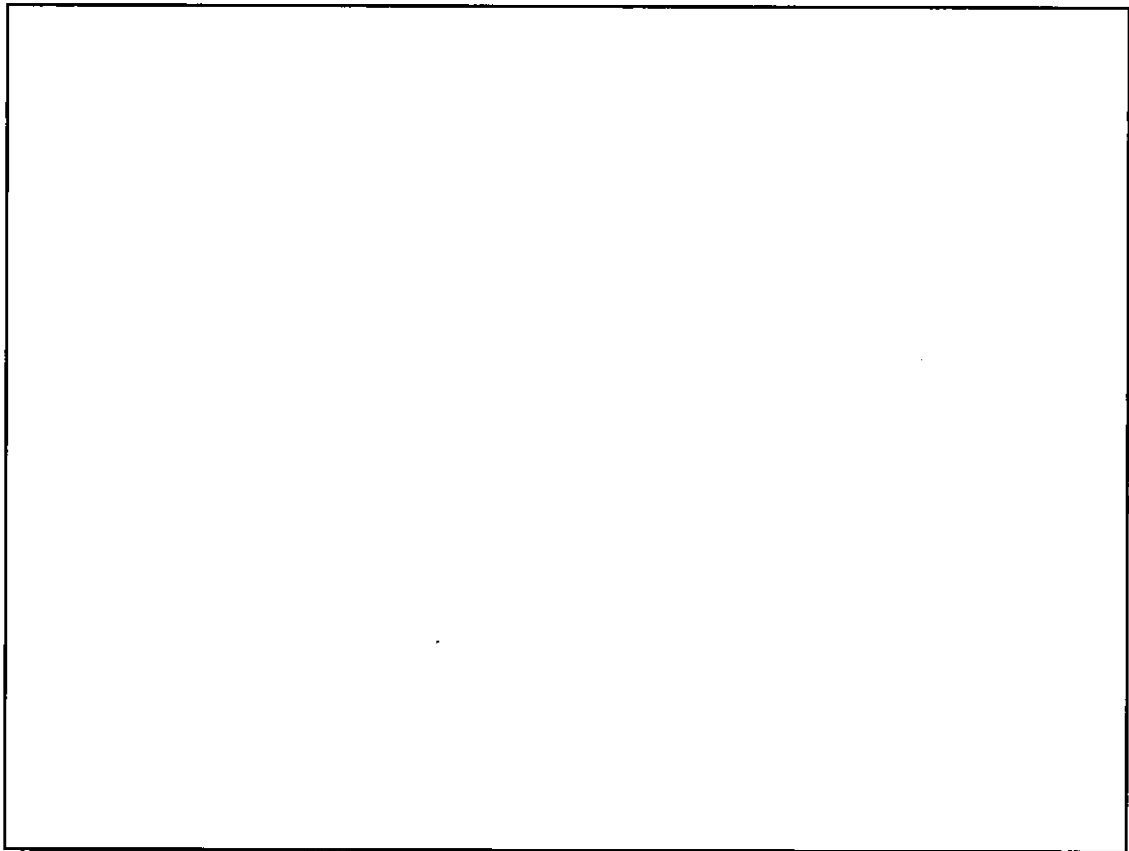


写真 1.22 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面エッジ部

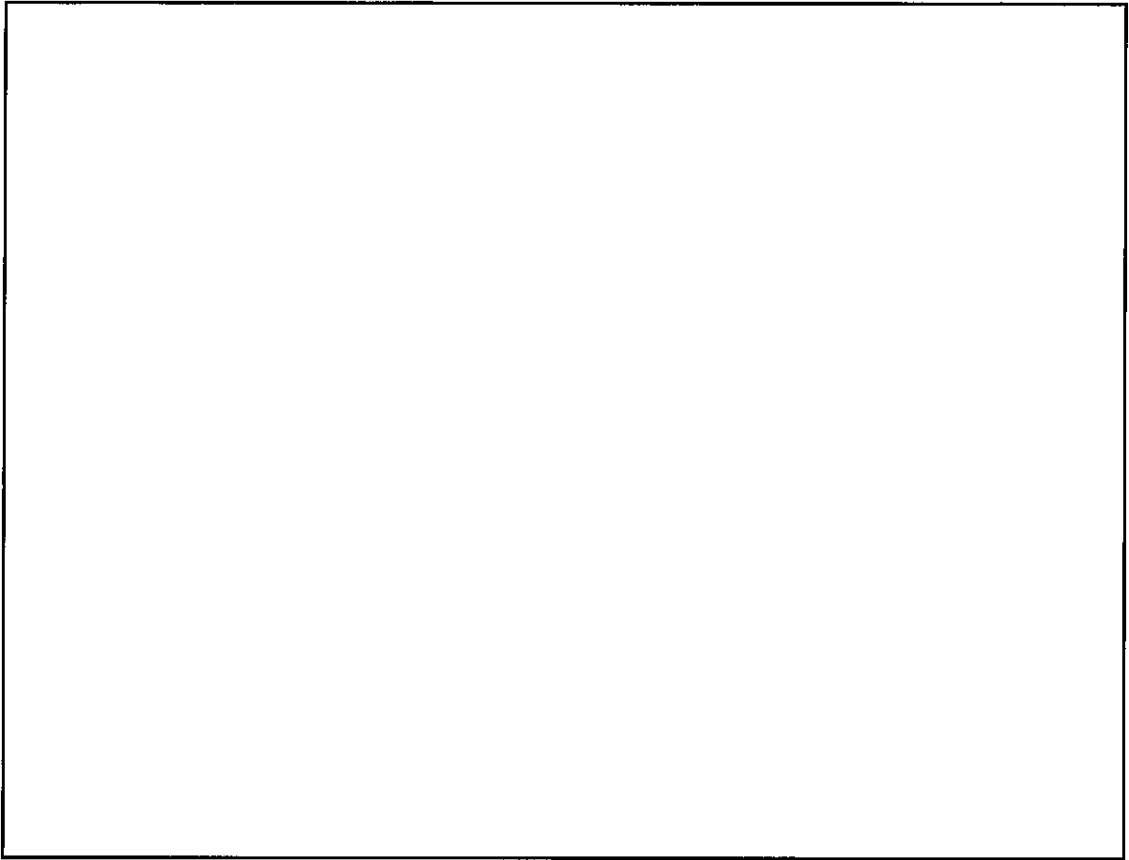


写真 1.23 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面エッジ部

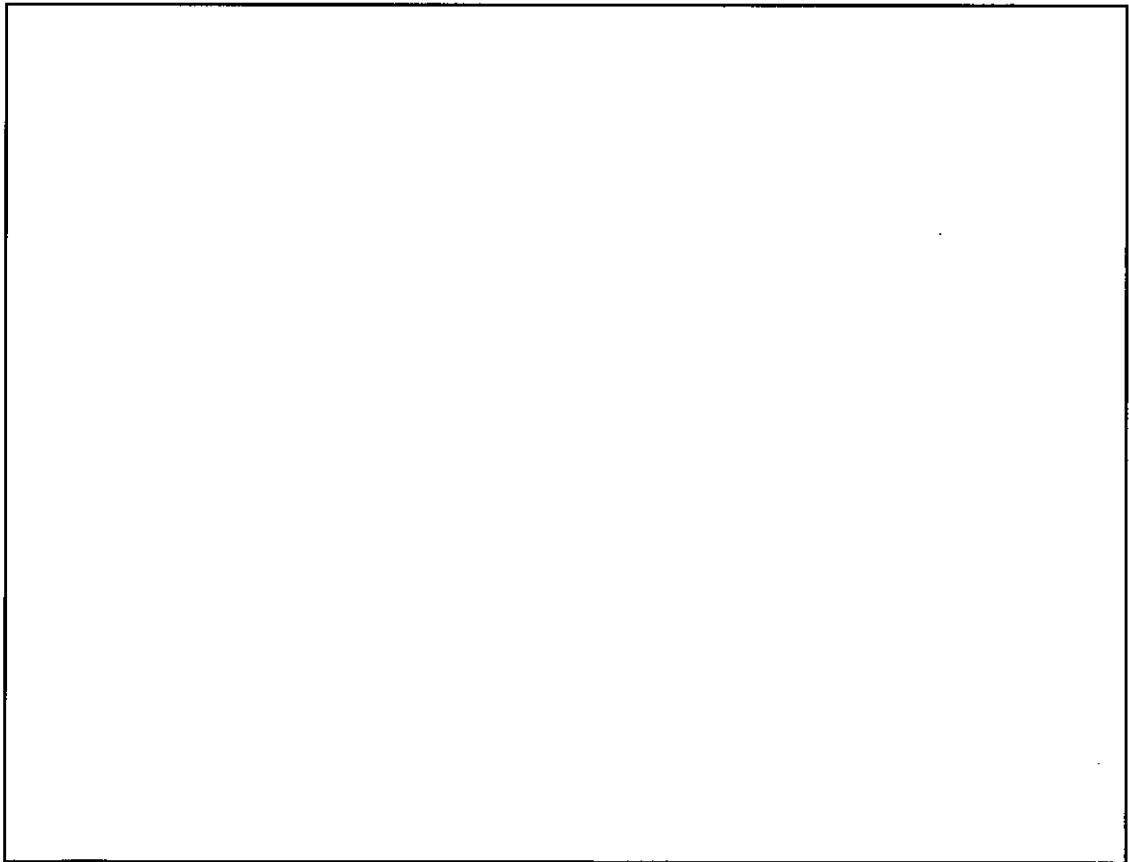


写真 1.24 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

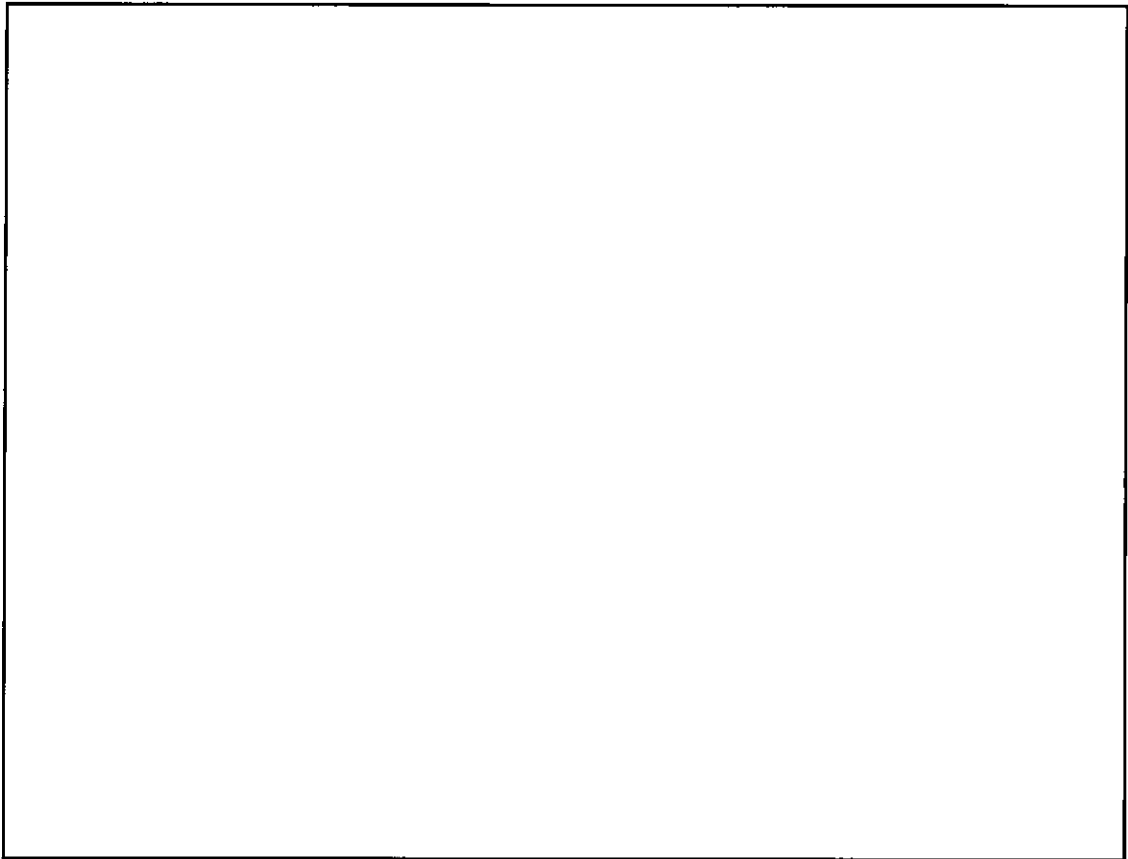


写真 1.25 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋バイオネット嵌合部間

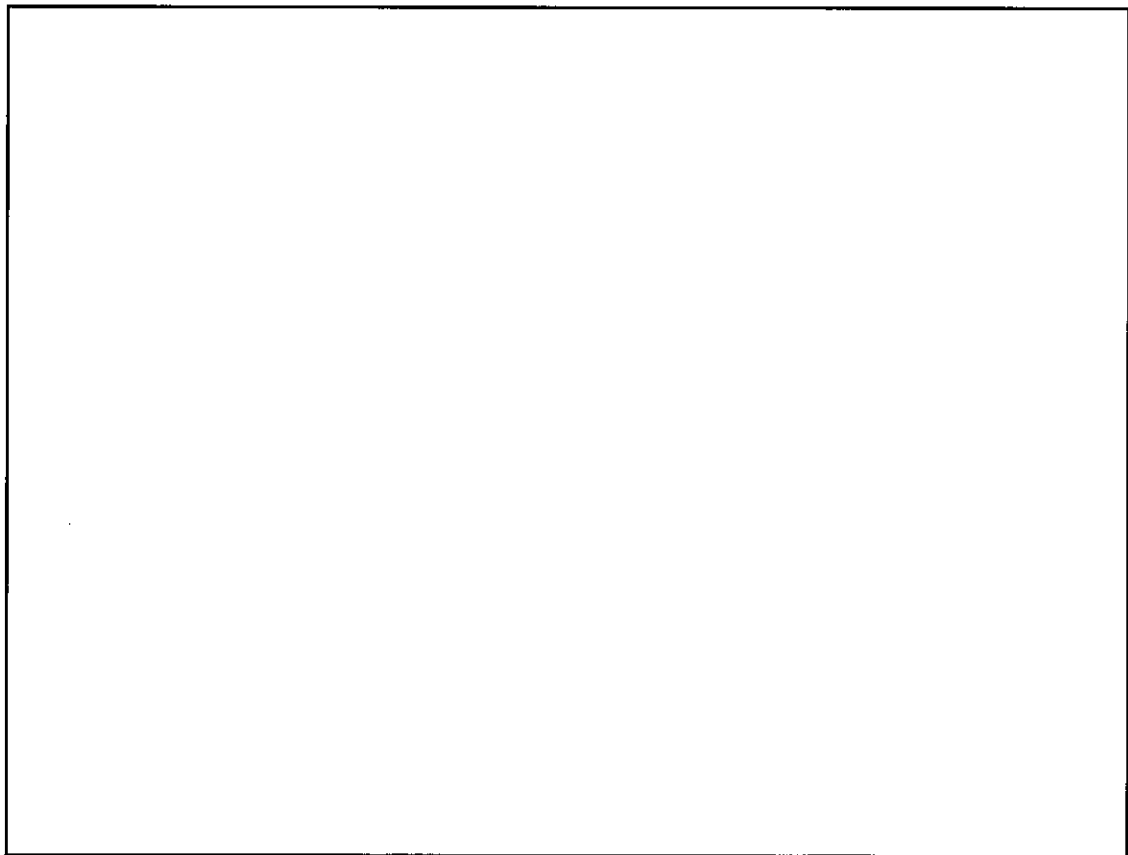


写真 1.26 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋バイオネット嵌合部間

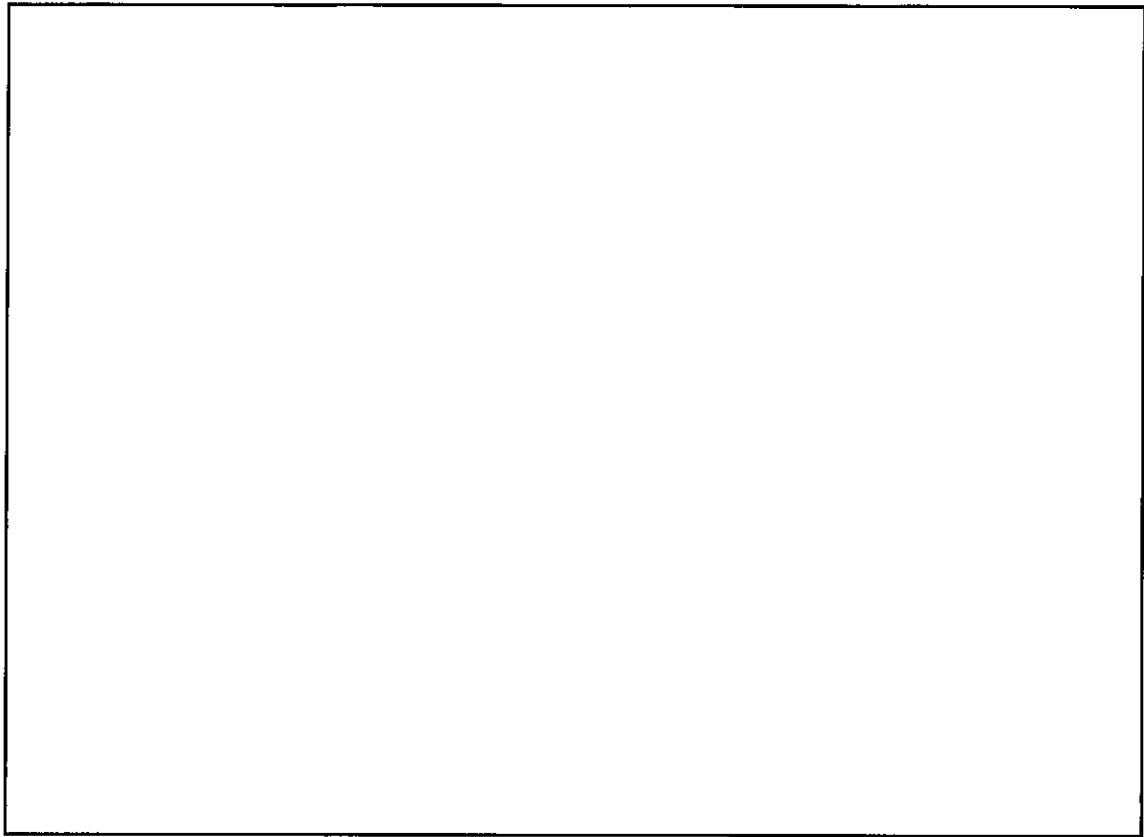


写真 1.27 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋上面

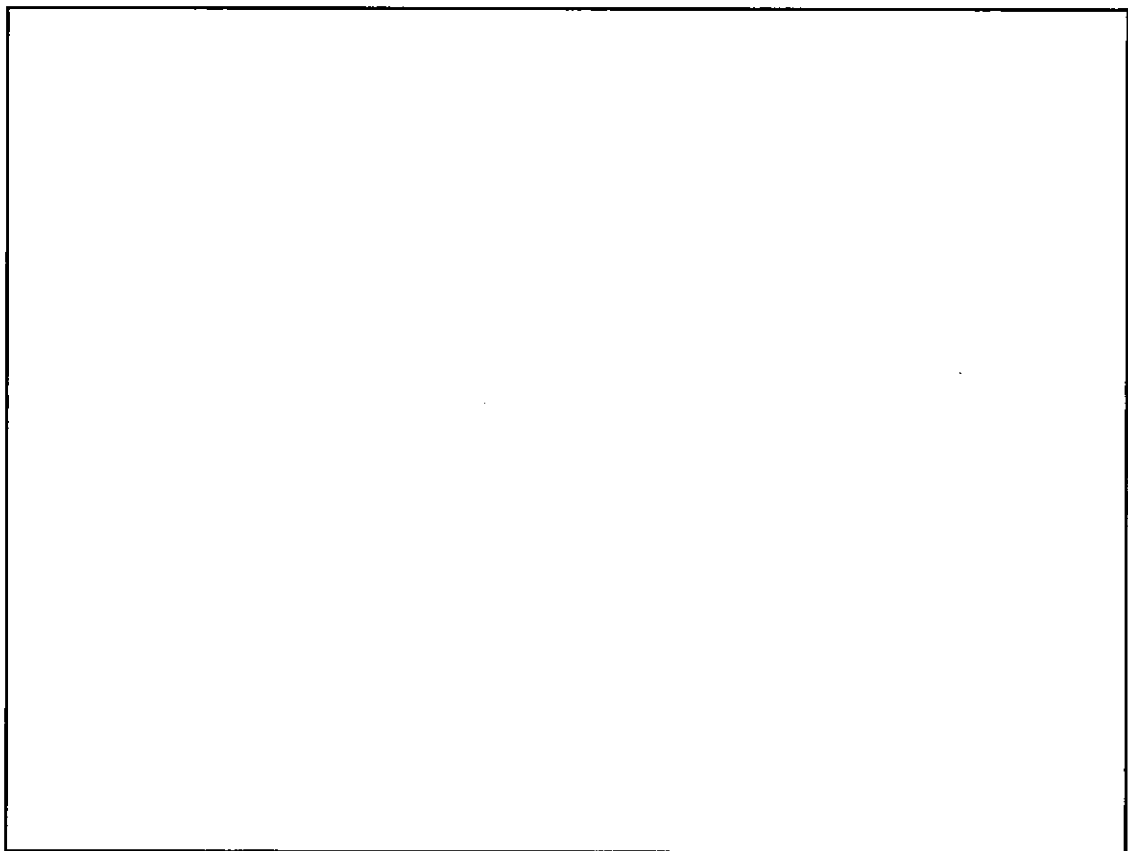


写真 1.28 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋バイオネット嵌合部間



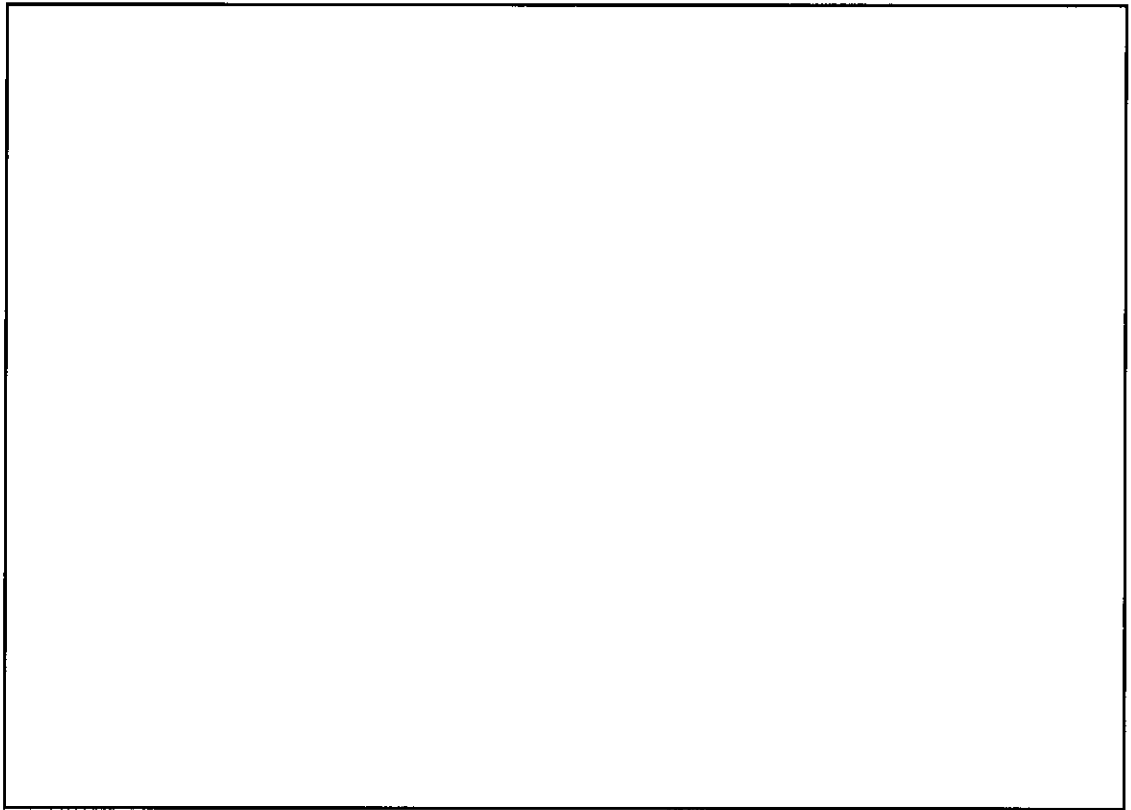


写真 1.29 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋回り止めデバイス止めピン

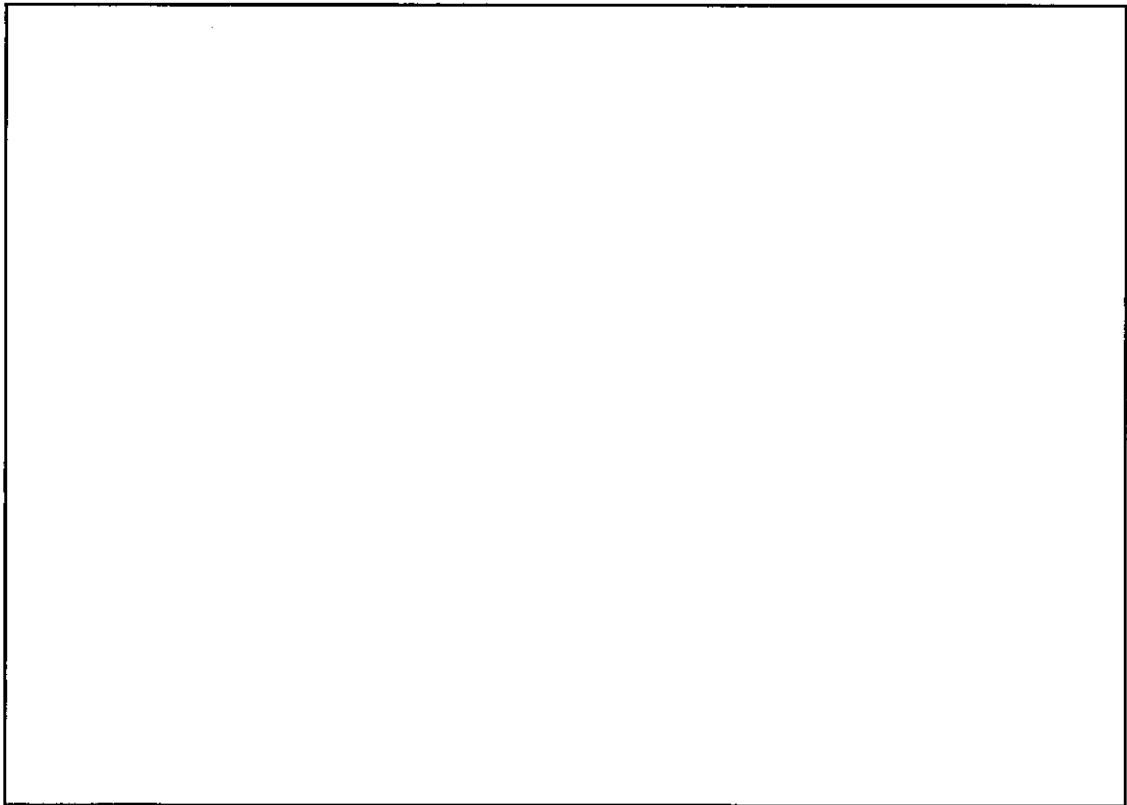


写真 1.30 貫通試験 (6 kg) 後  内容器

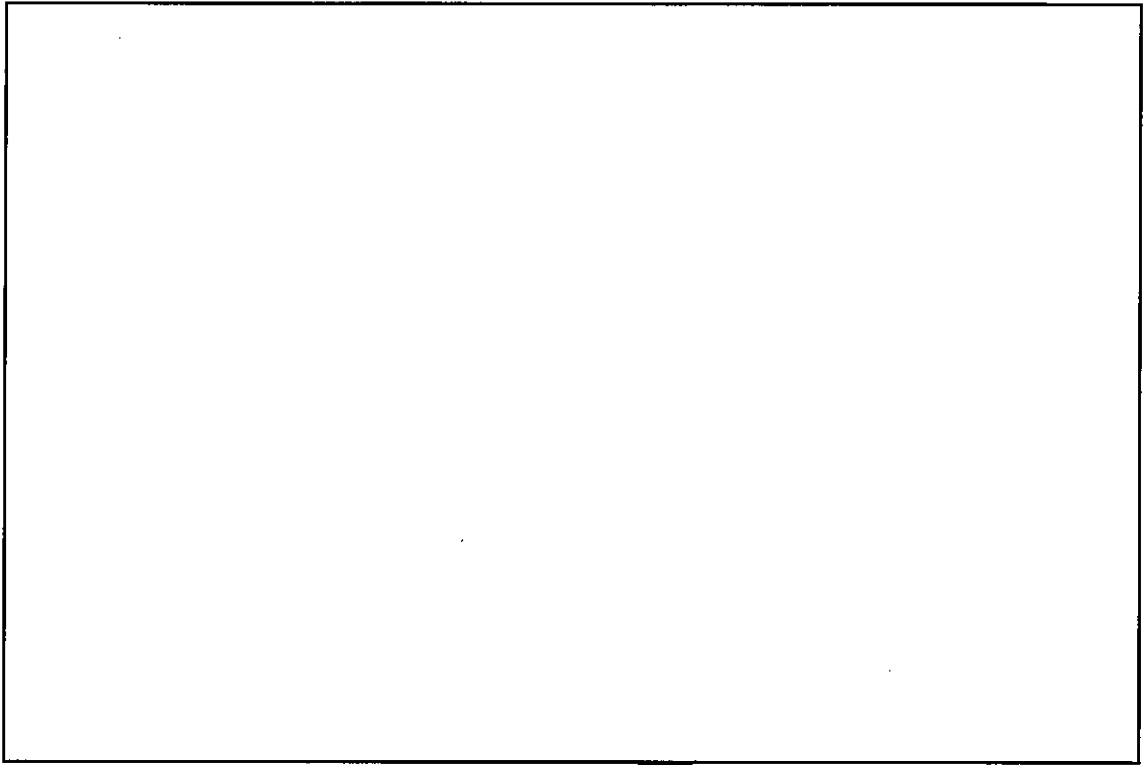


写真 1.31 落下試験（高さ  m）前 側面

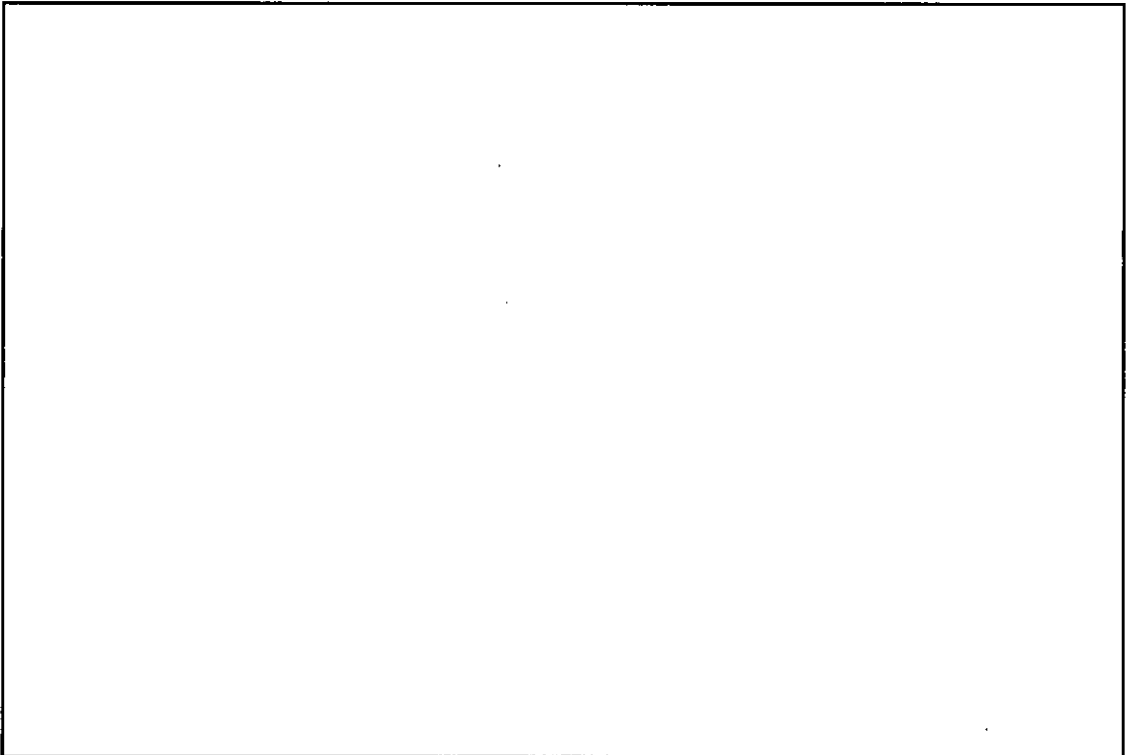


写真 1.32 落下試験（高さ  m）後 側面

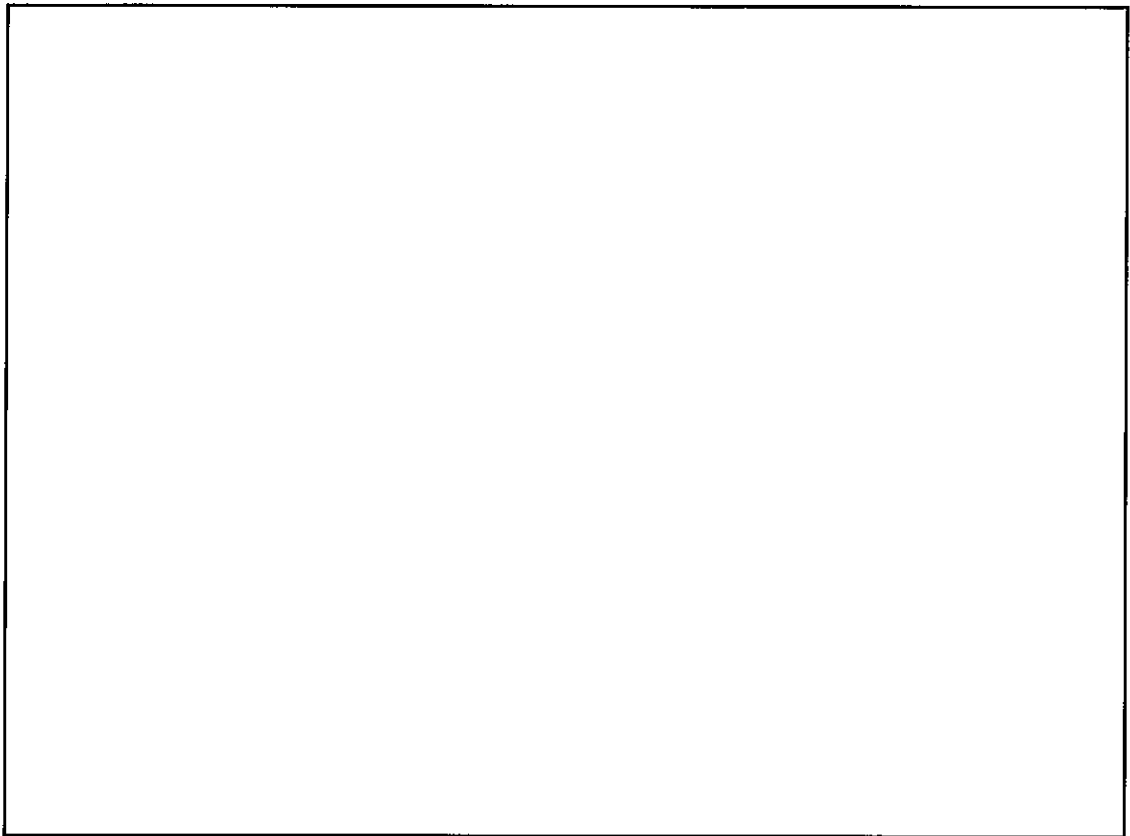


写真 1.33 落下試験（高さ  m）前 上面

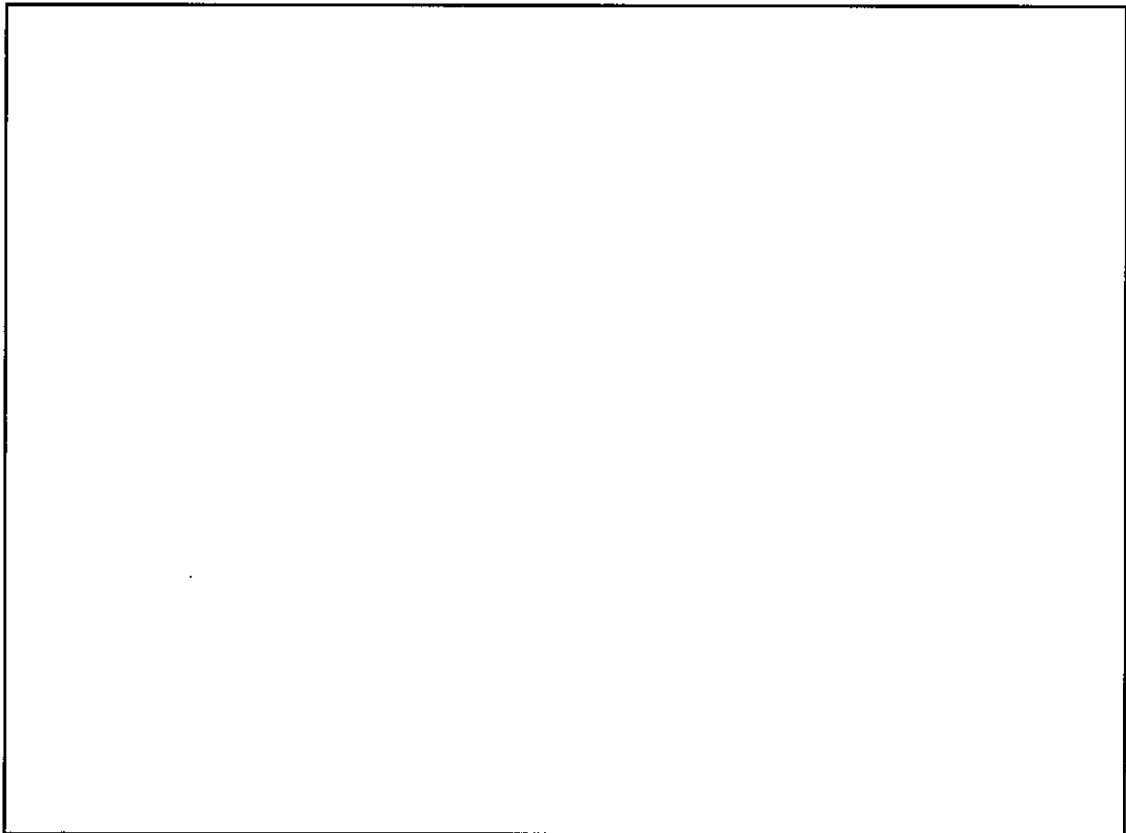


写真 1.34 落下試験（高さ  m）後 上面

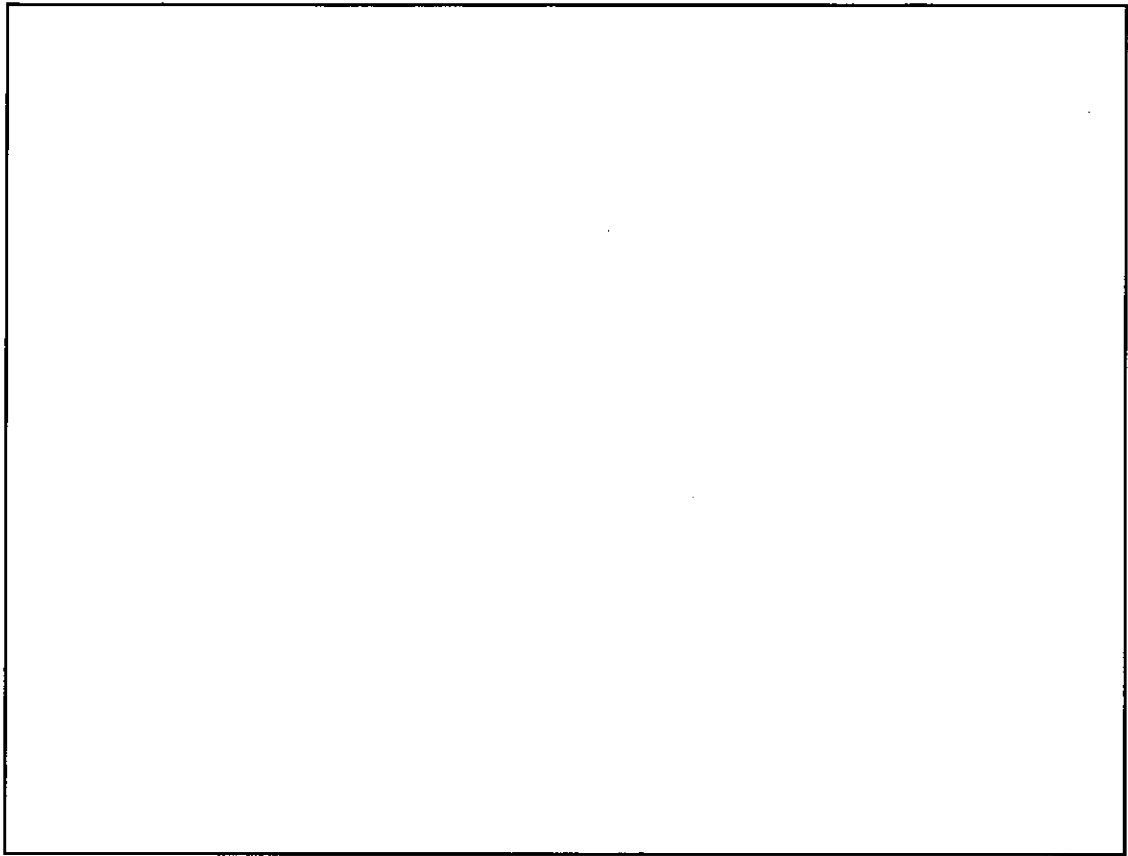


写真 1.35 落下試験（高さ  m）後 上面

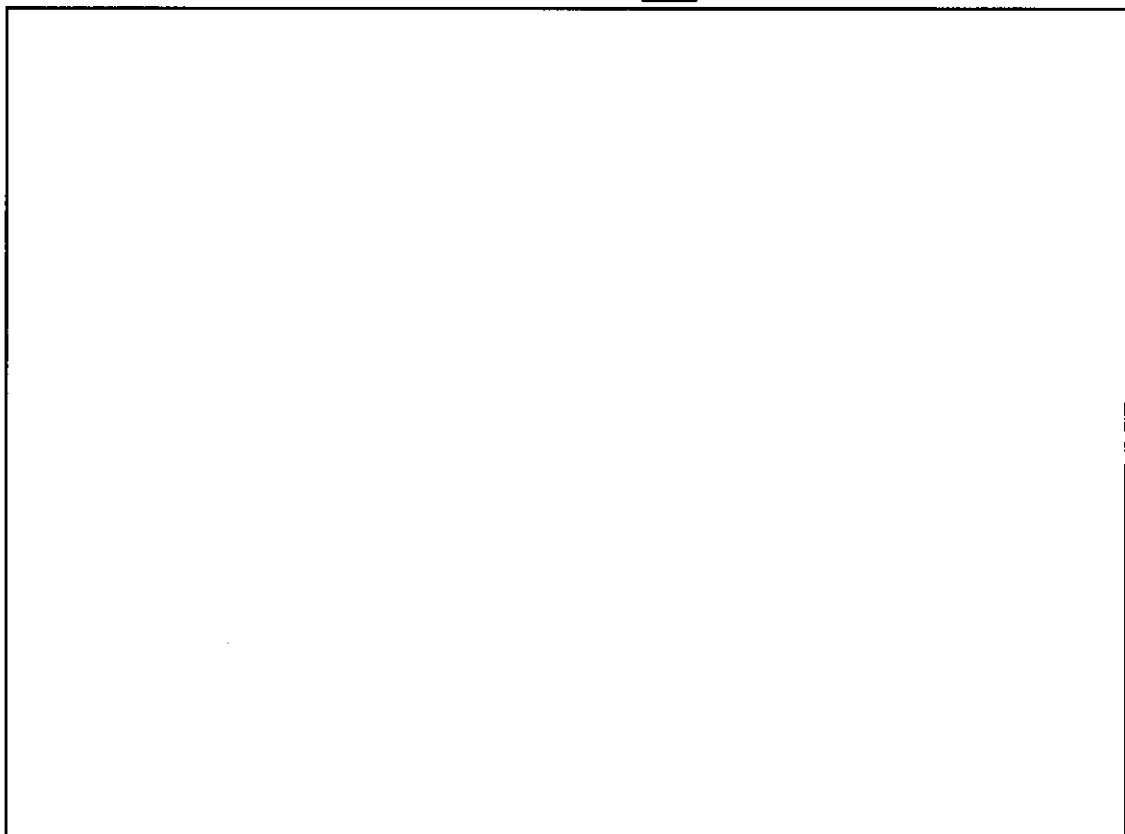


写真 1.36 落下試験（高さ  m）前 底面

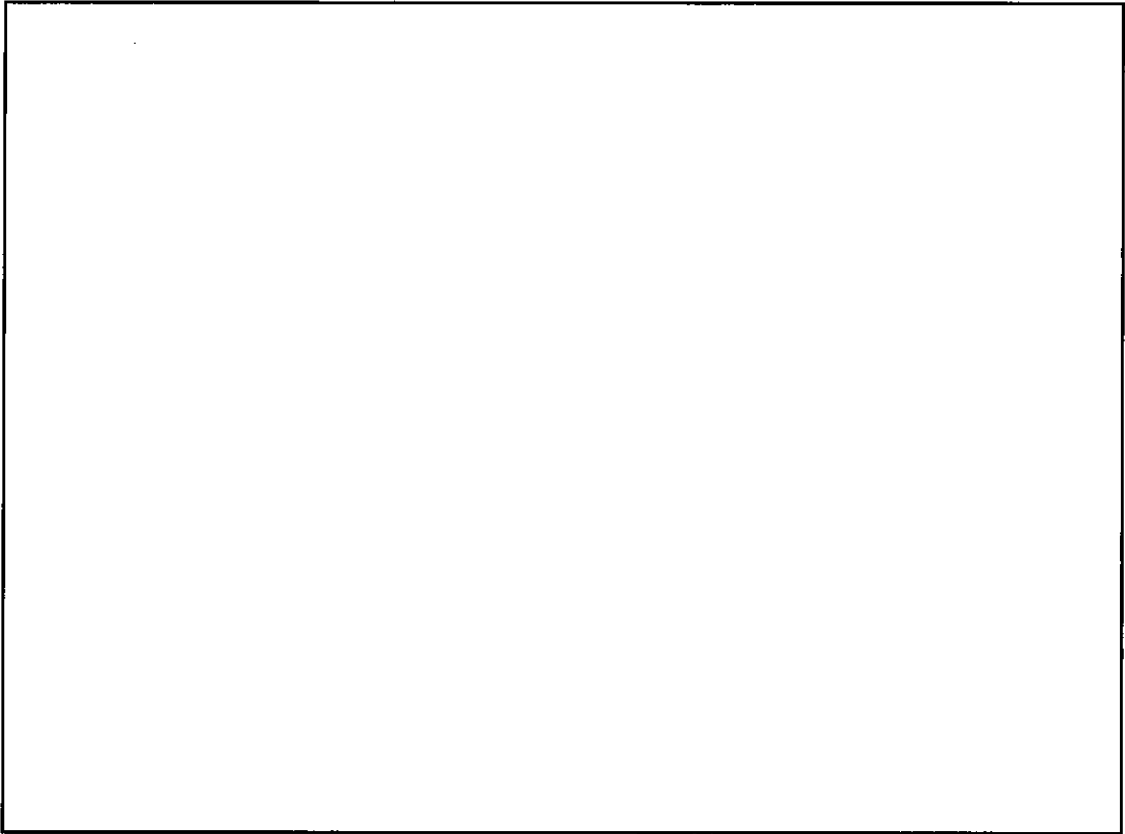


写真 1.37 落下試験 (高さ  m) 後 底面

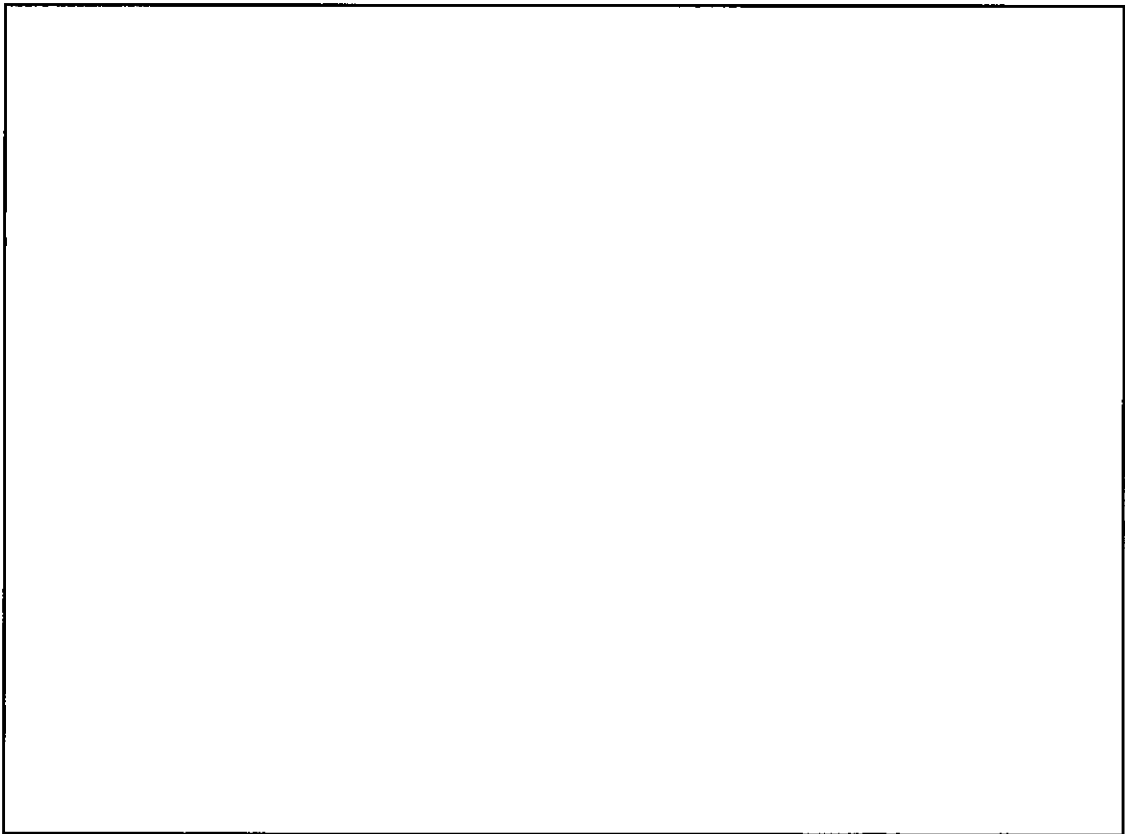


写真 1.38 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 底面中央付近

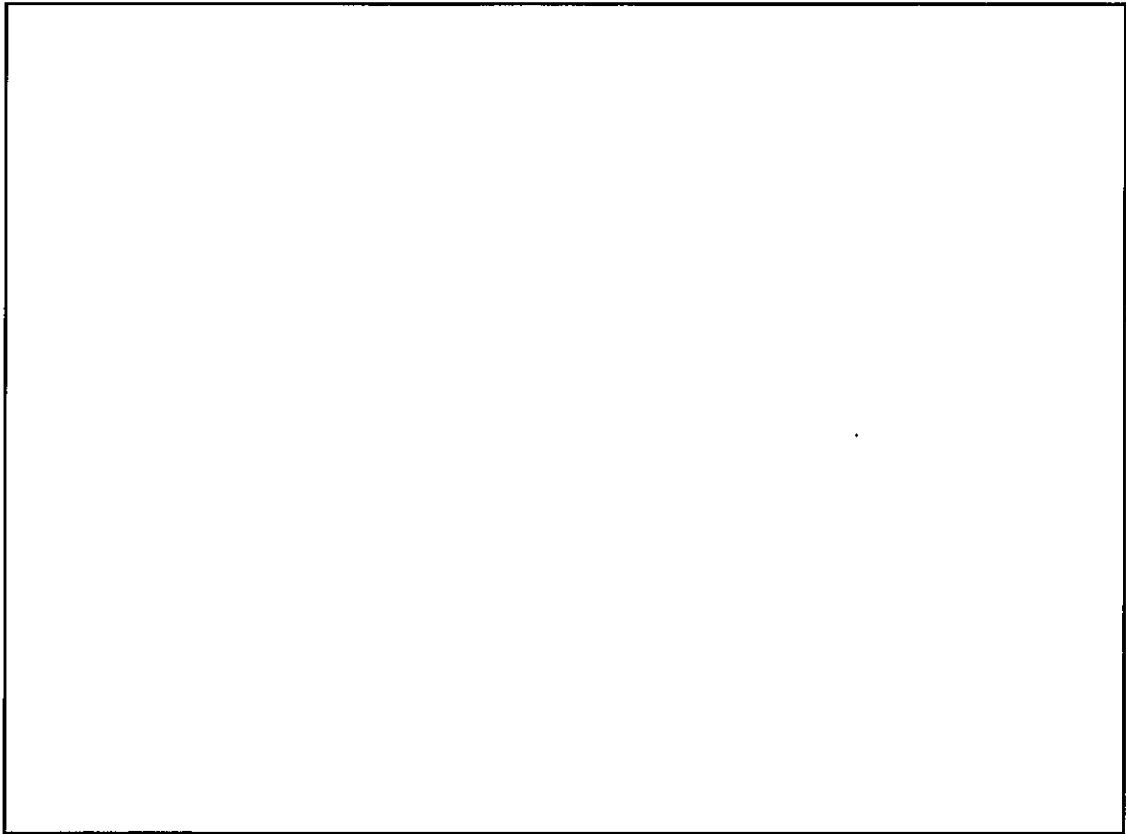


写真 1.39 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 底面中央付近

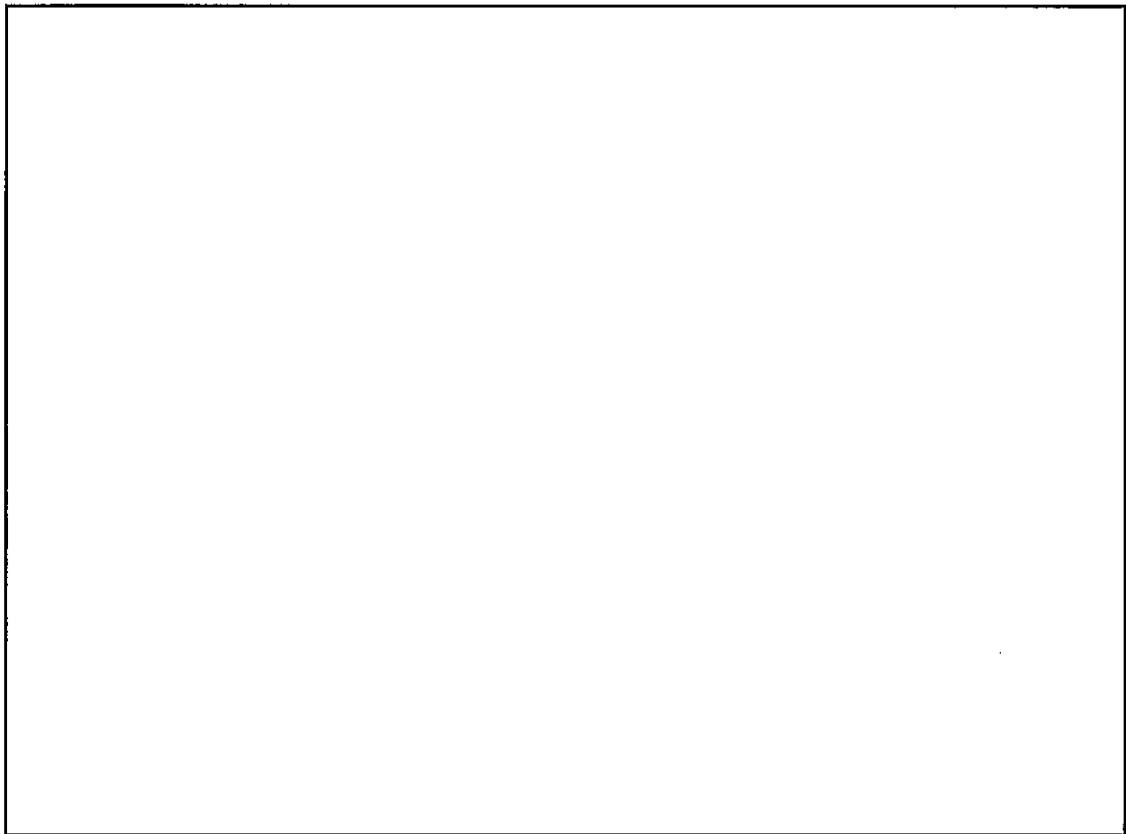


写真 1.40 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前  内容器

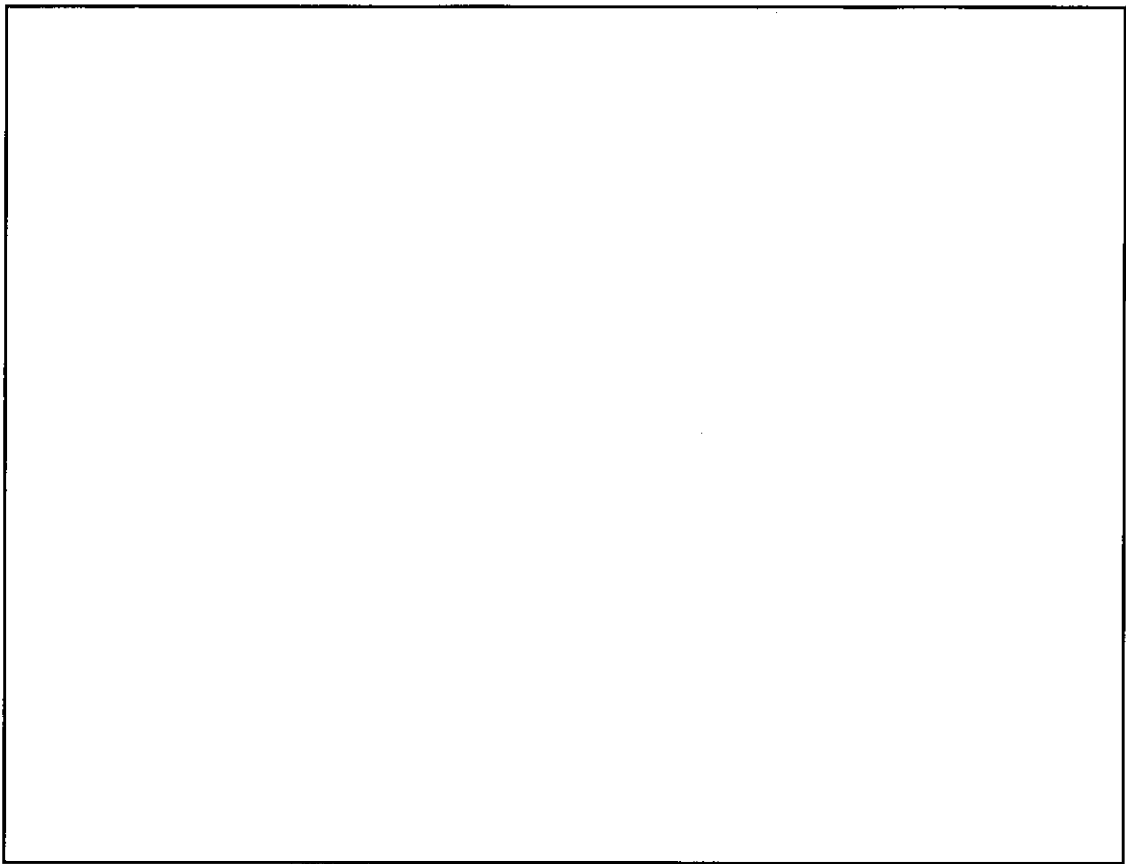


写真 1.41 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後  内容器

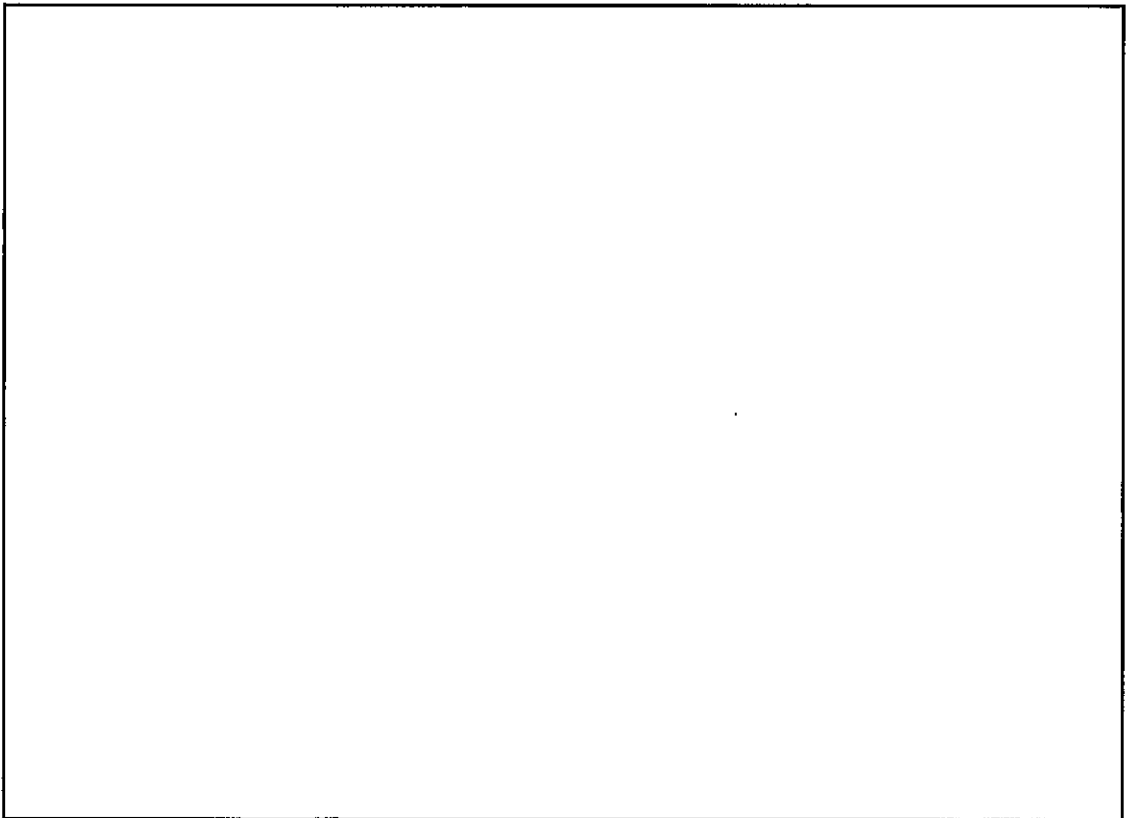


写真 1.42 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 外蓋ハンドル部

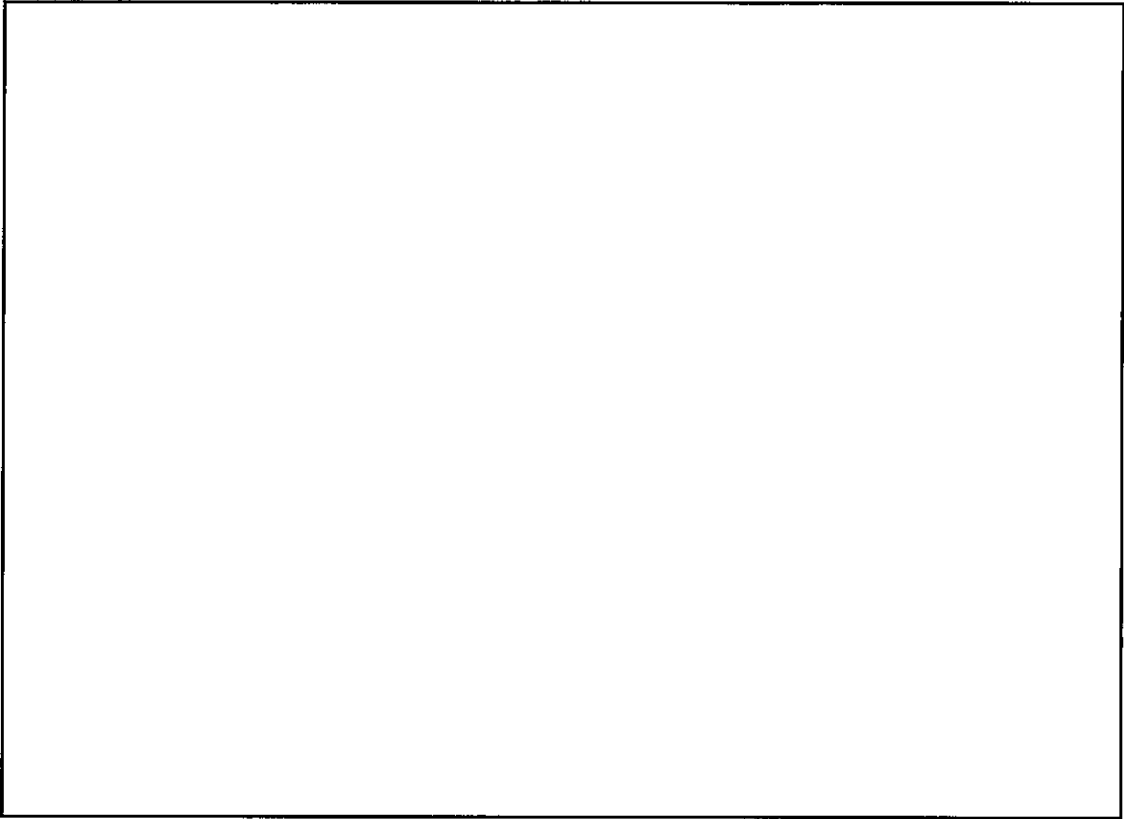


写真 1.43 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋ハンドル部

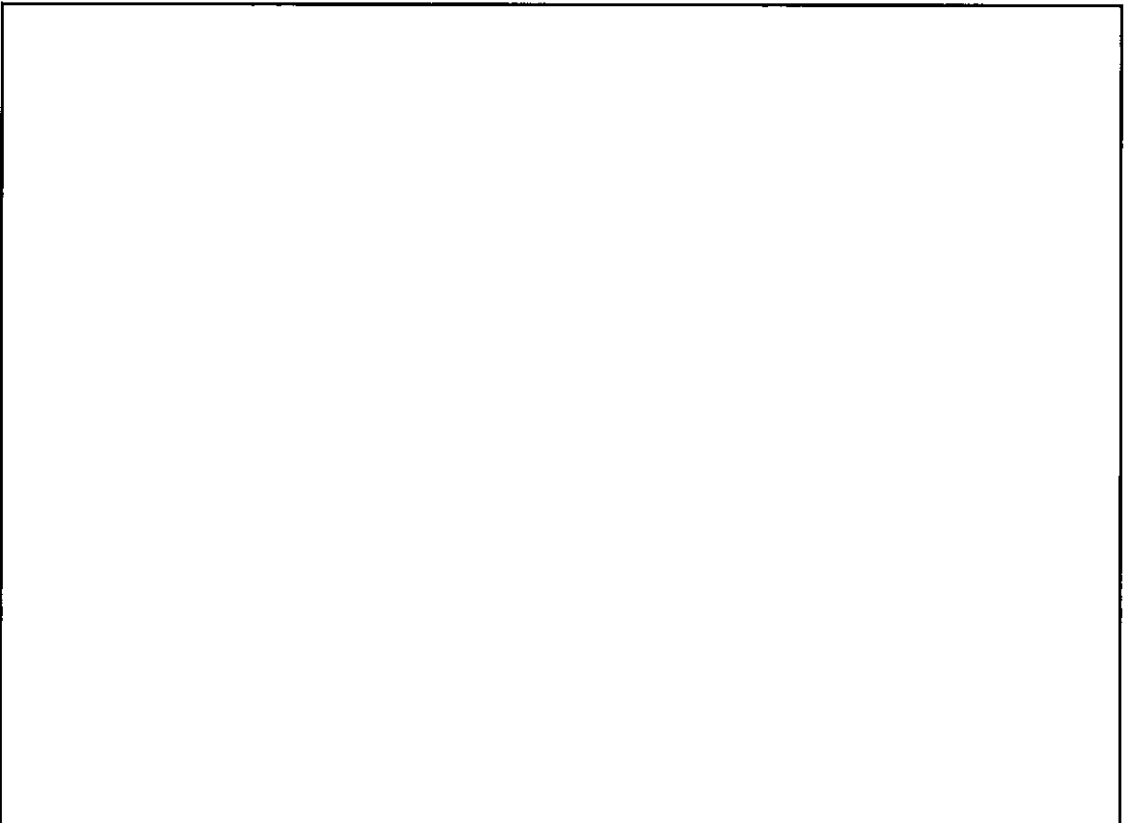


写真 1.44 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋回り止めデバイス止めピン



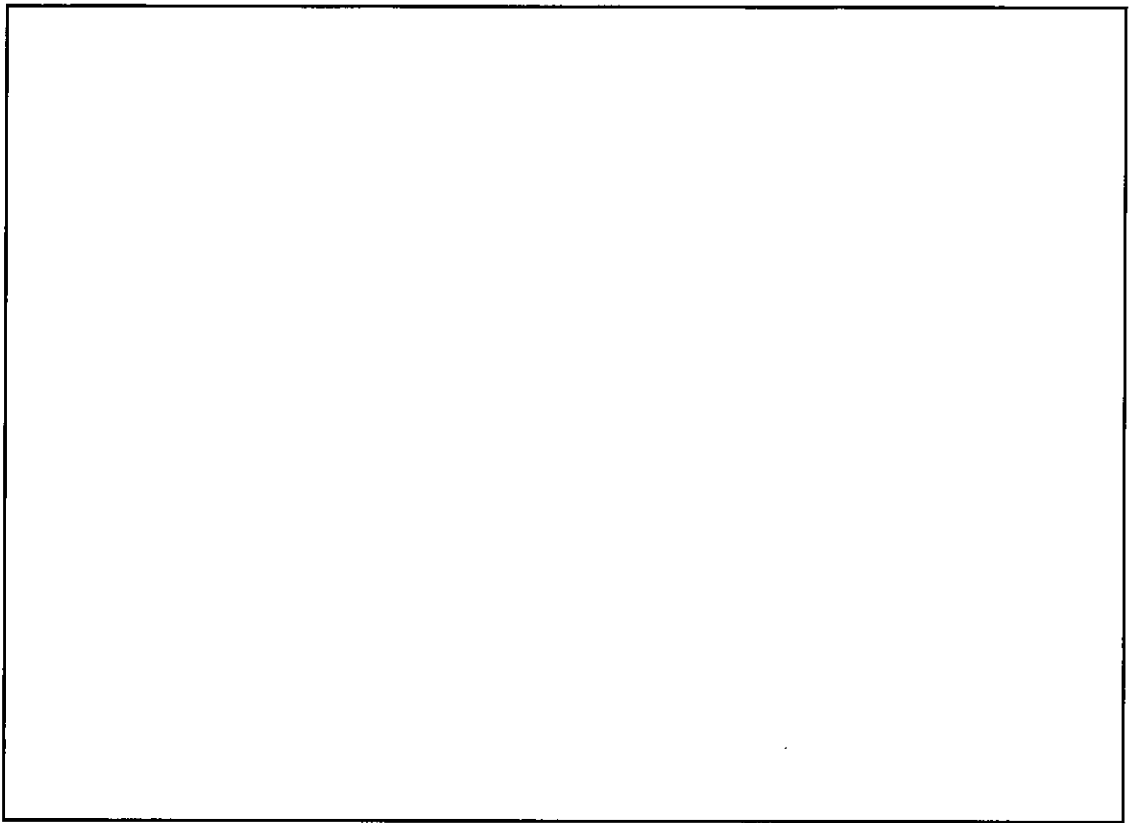


写真 1.45 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋回り止めデバイス止めピン

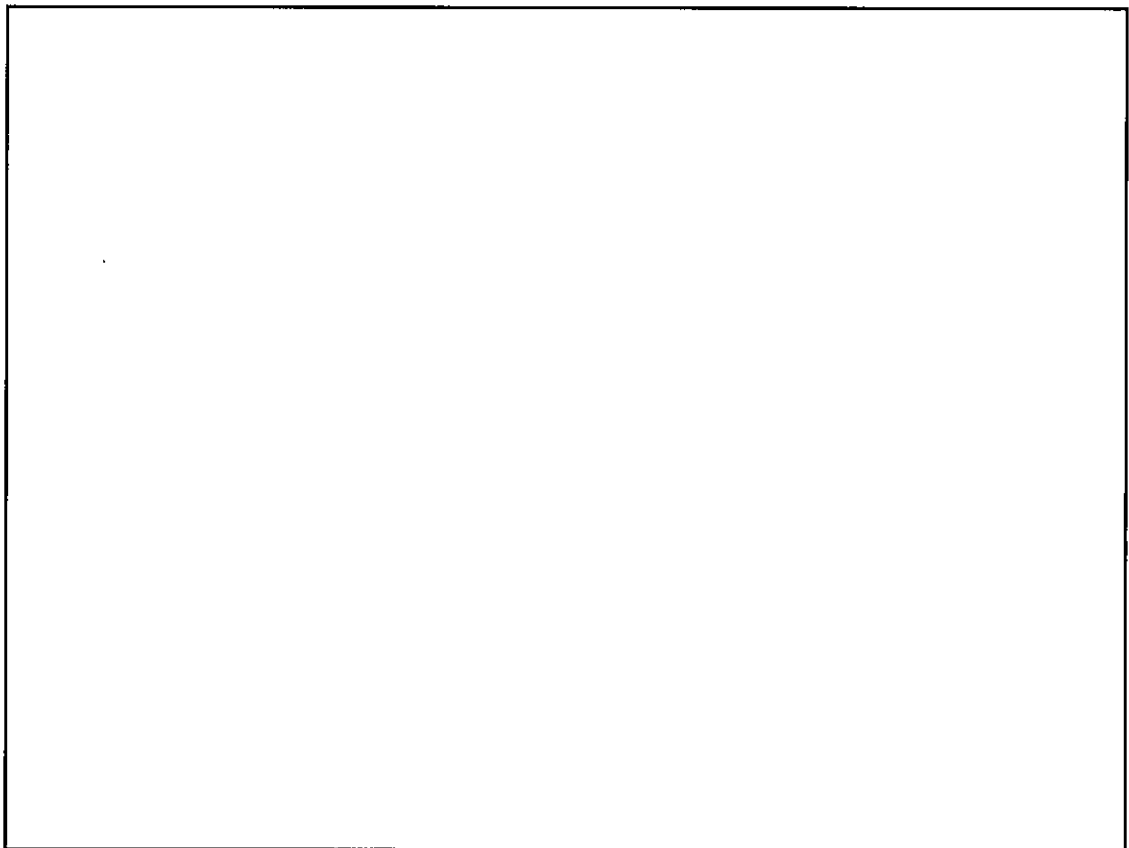


写真 1.46 落下試験Ⅰ（高さ 9 m）後 側面

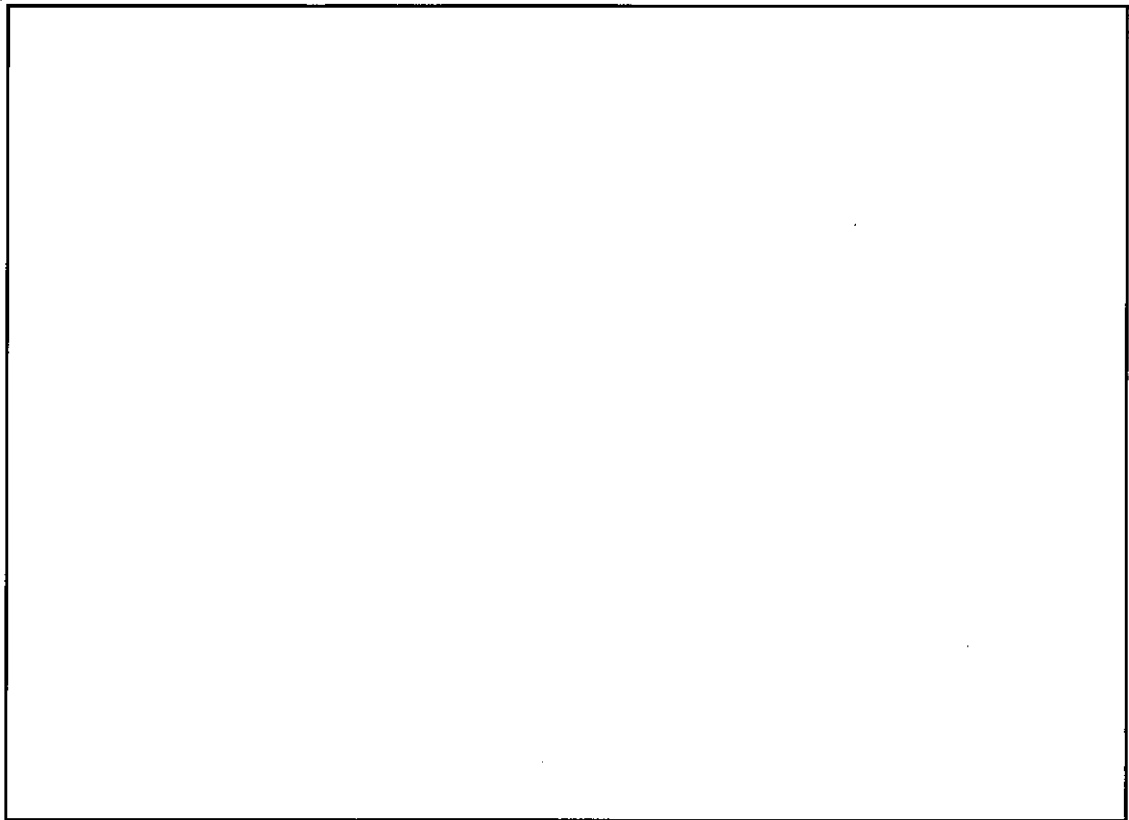


写真 1.47 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

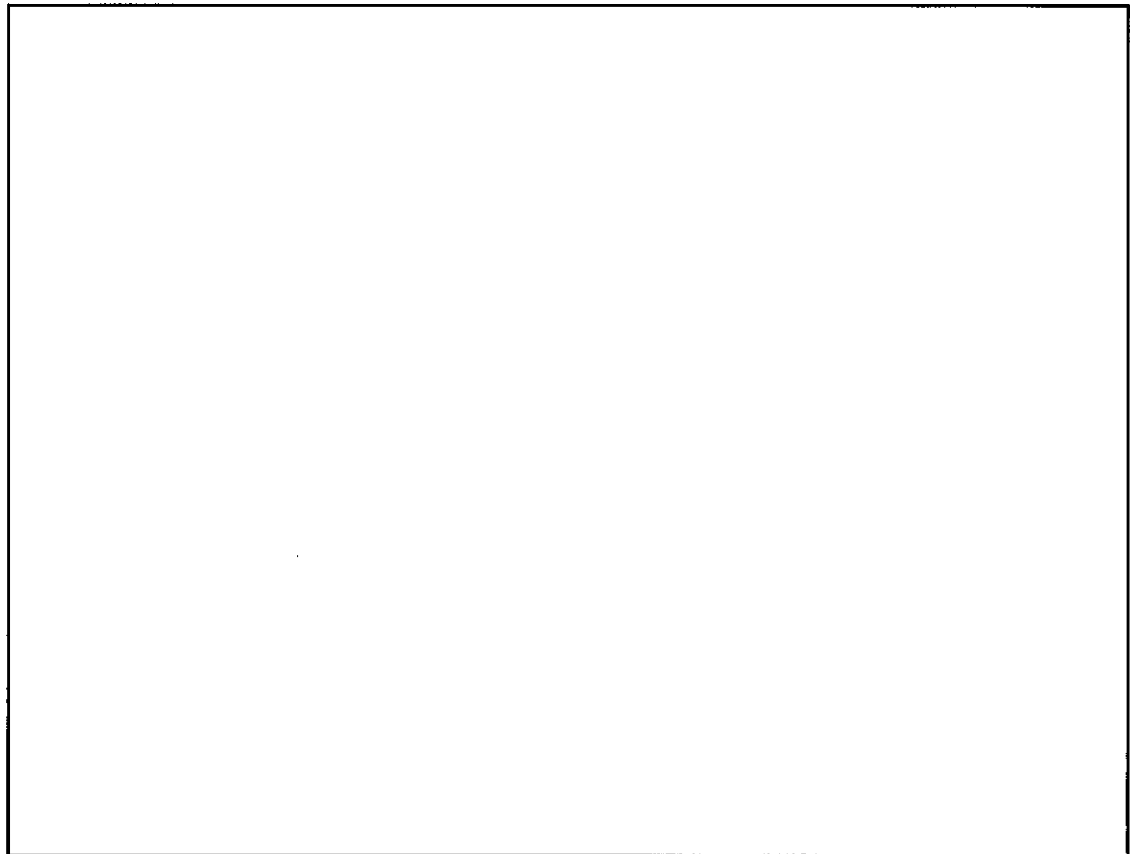


写真 1.48 落下試験 I (高さ 9 m) 後 底面

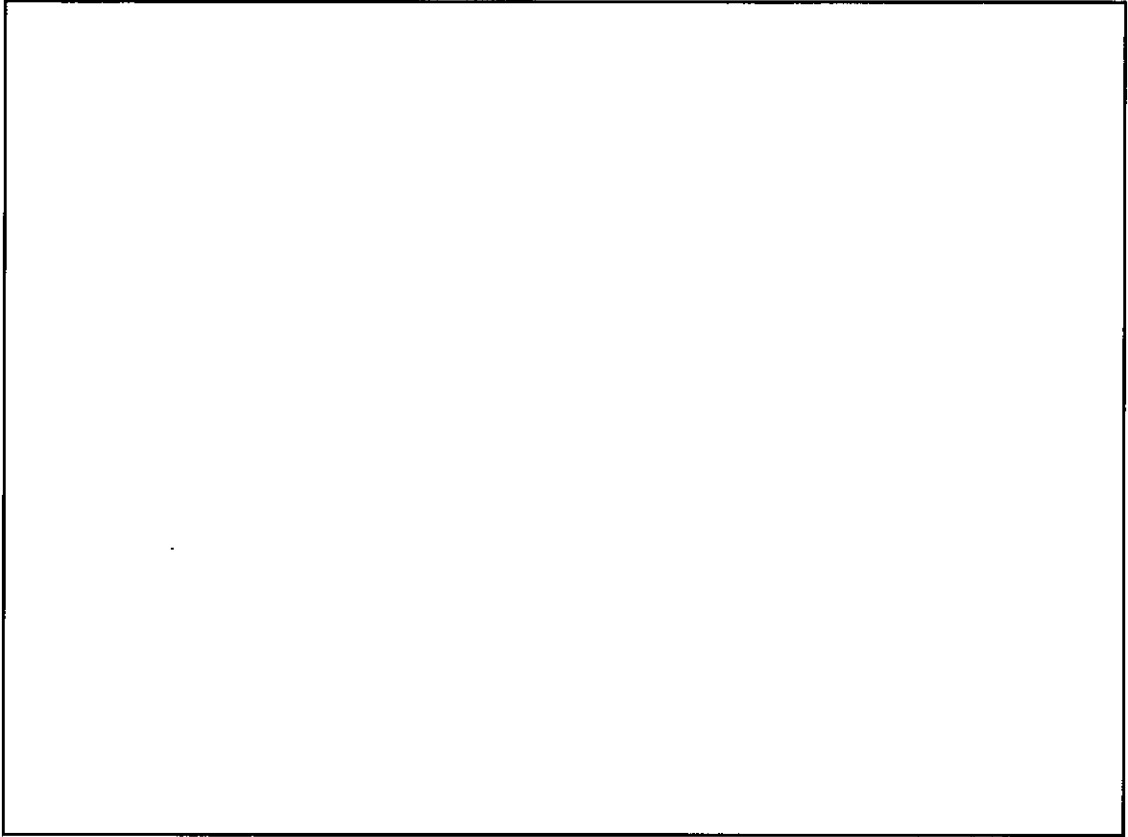


写真 1.49 落下試験 I (高さ 9 m) 後 底面

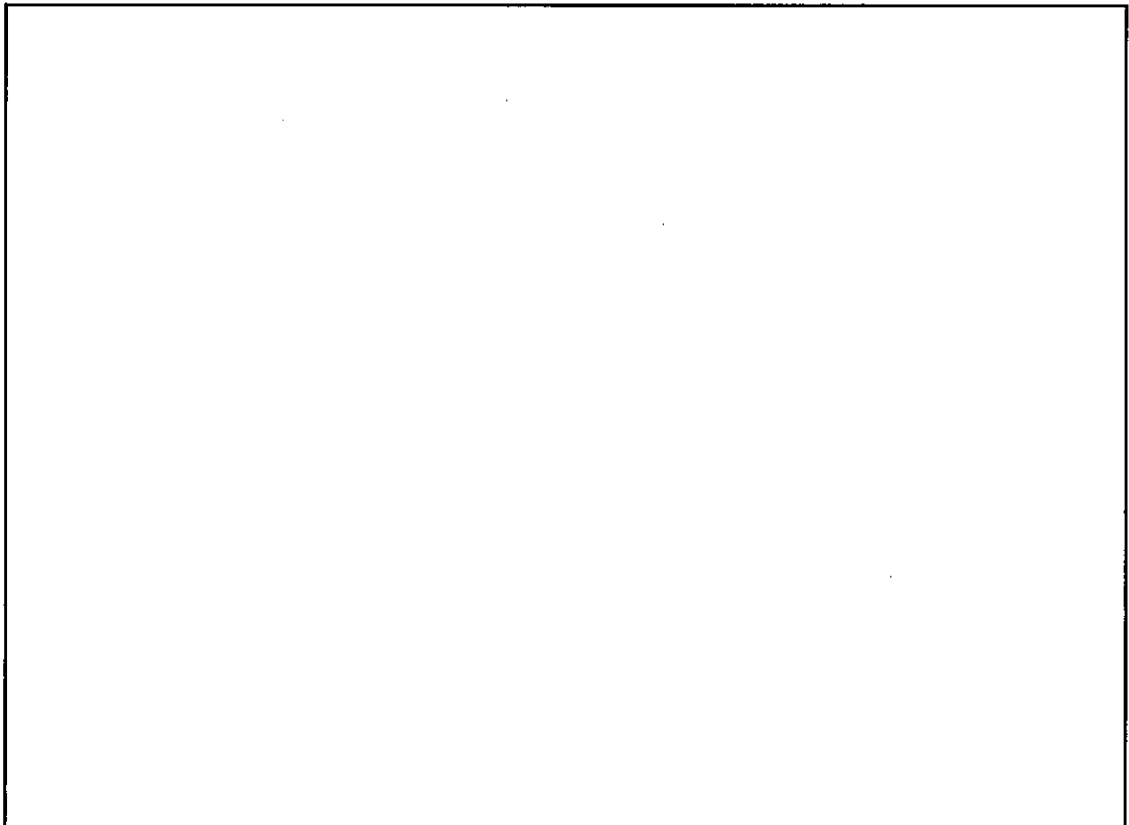


写真 1.50 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面

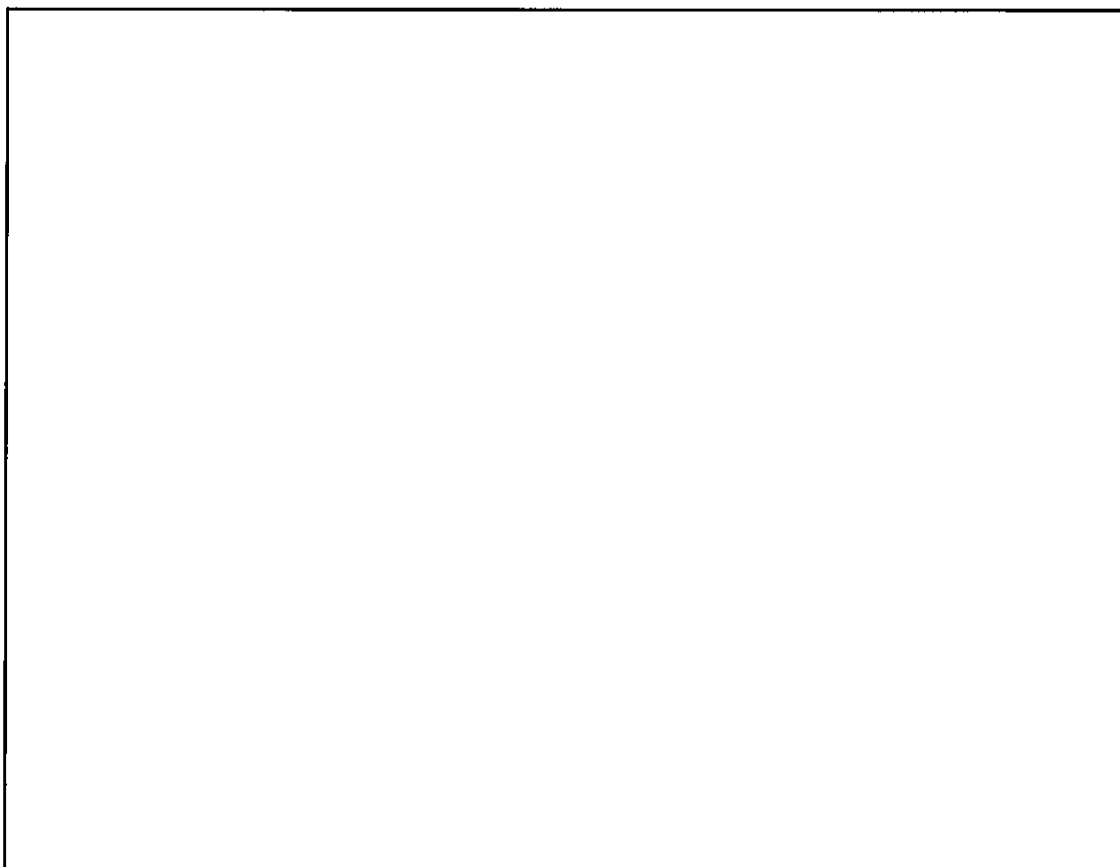


写真 1.51 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面

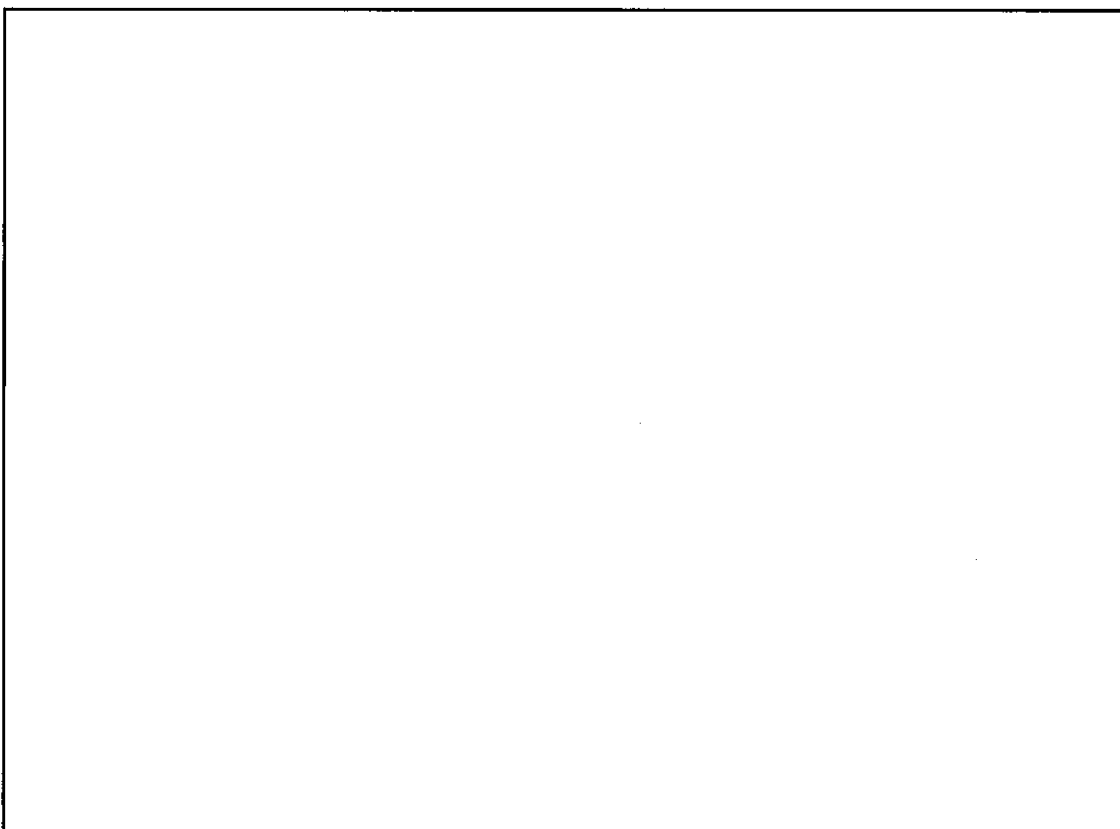


写真 1.52 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面

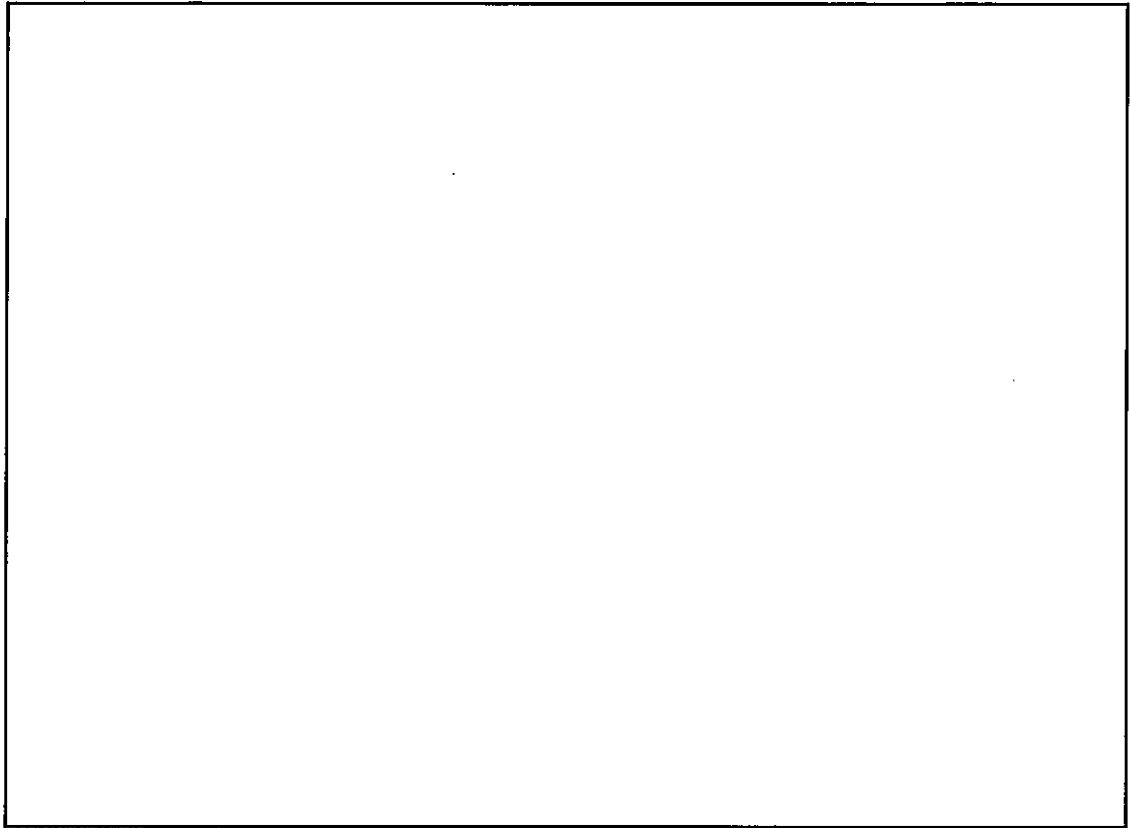


写真 1.53 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前  内容器

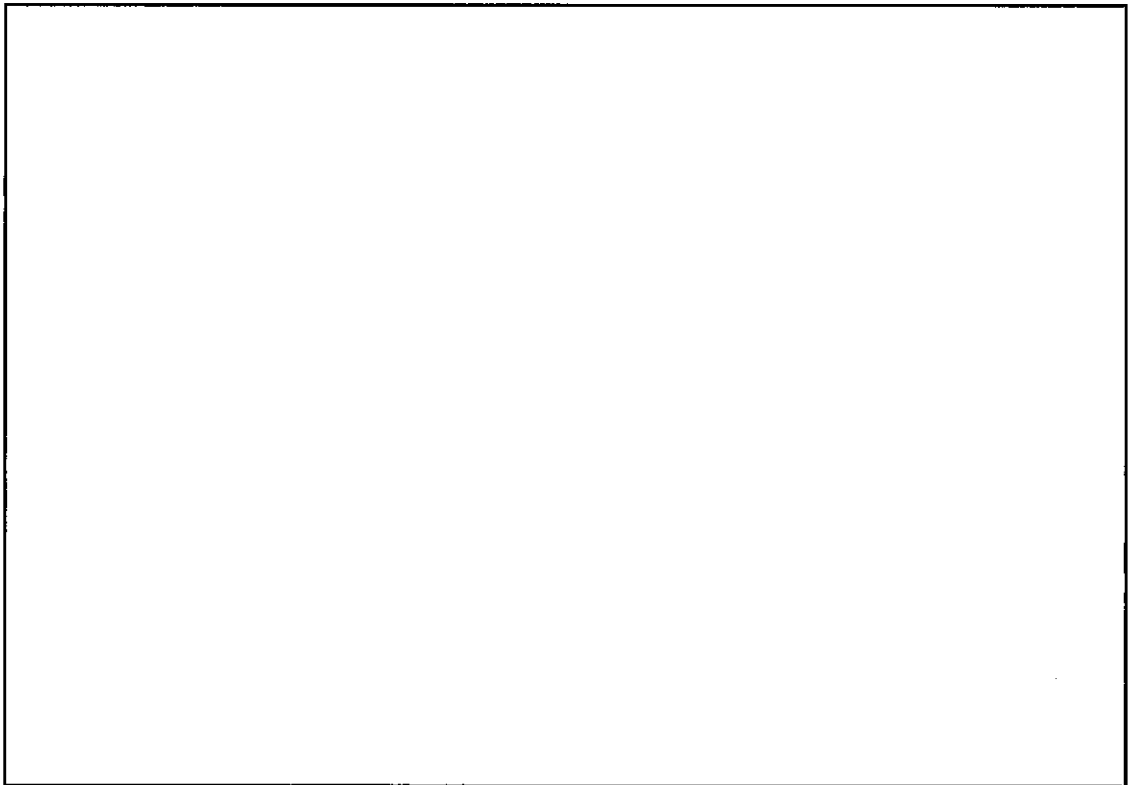


写真 1.54 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後  内容器

(口)A 付属資料 2

2. 原型容器設計變更

## 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。

### 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  ）、輸送物上面コーナー部に位置する可融栓（計  ）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、 $\phi$   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  $\phi$   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](#)）

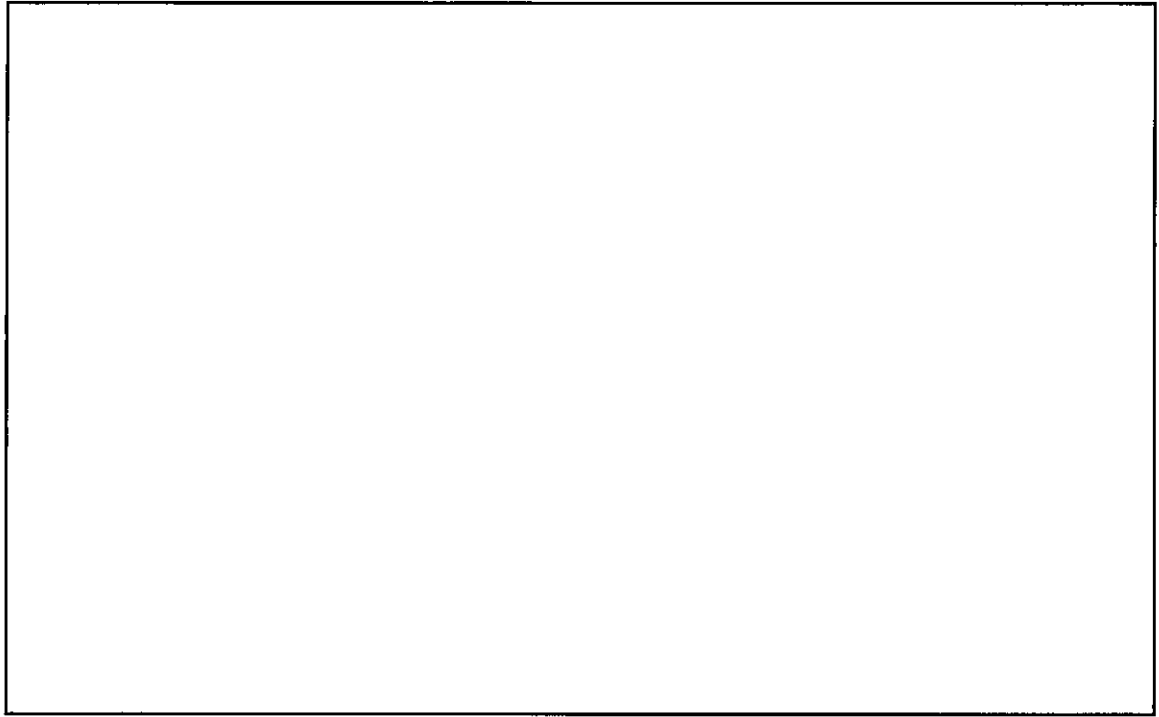


図 2.1 可融栓の変更



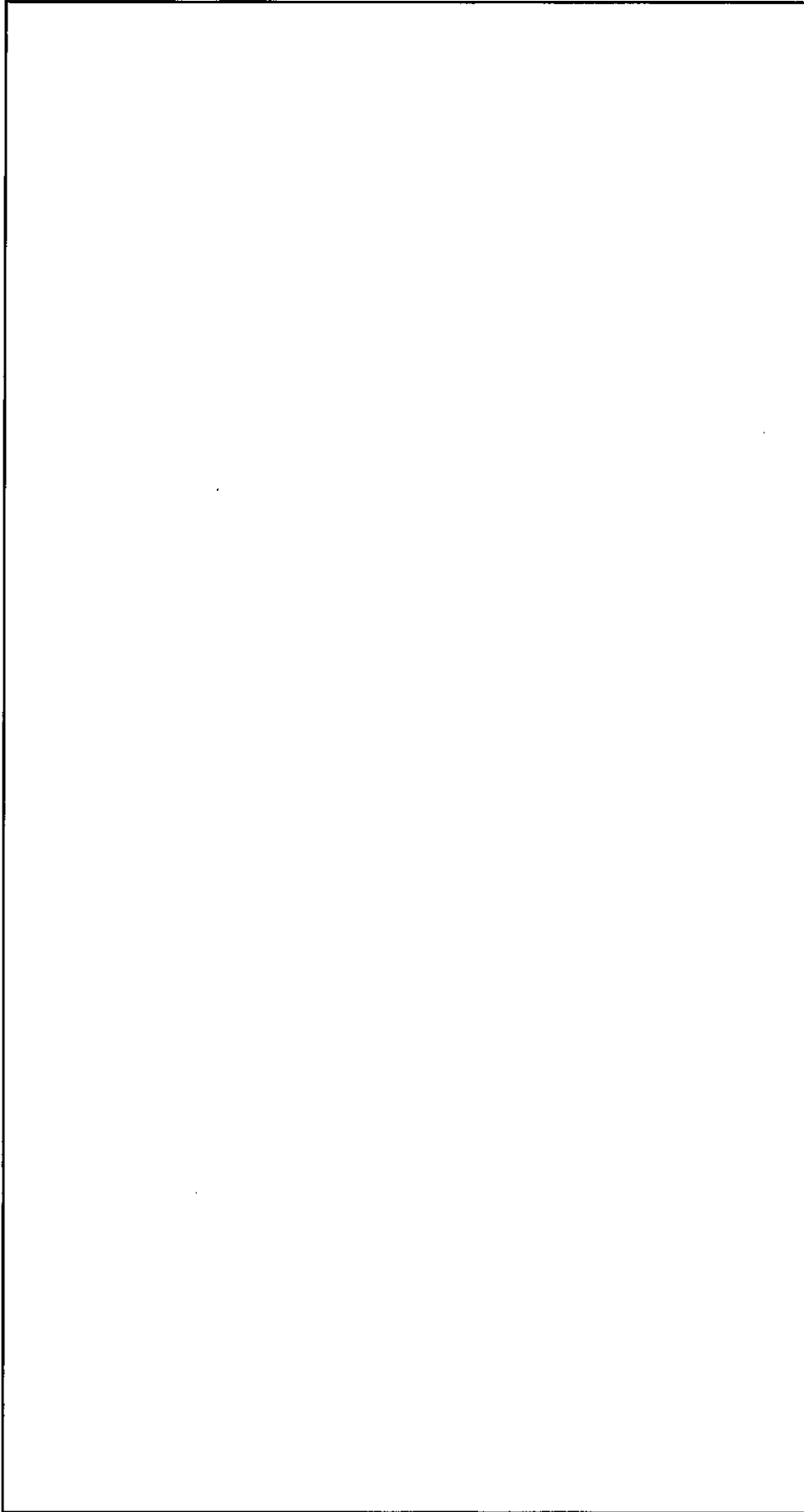


図 2.2 スタッキングゲピンの変更

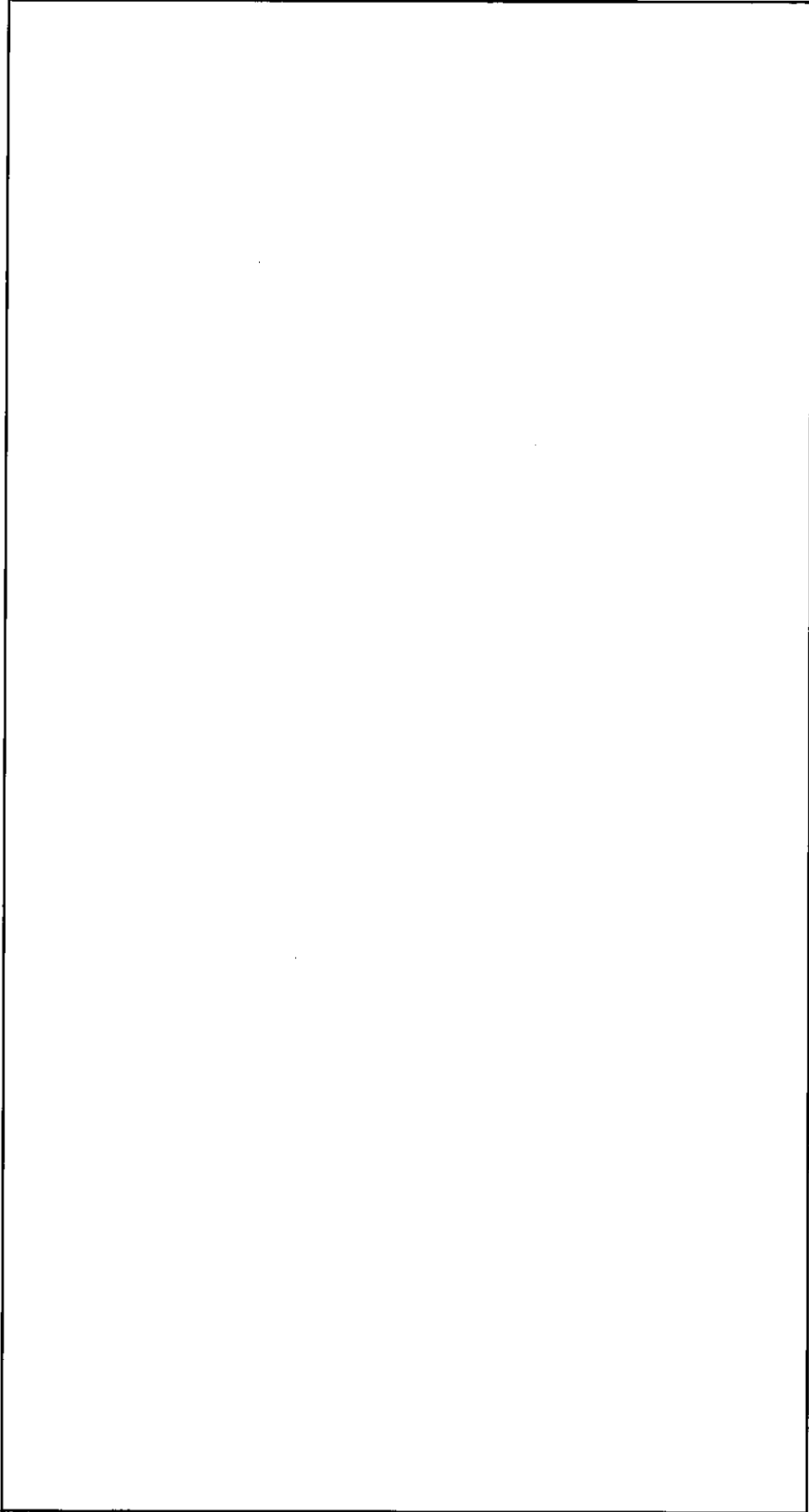


図 2.3 脚部の変更

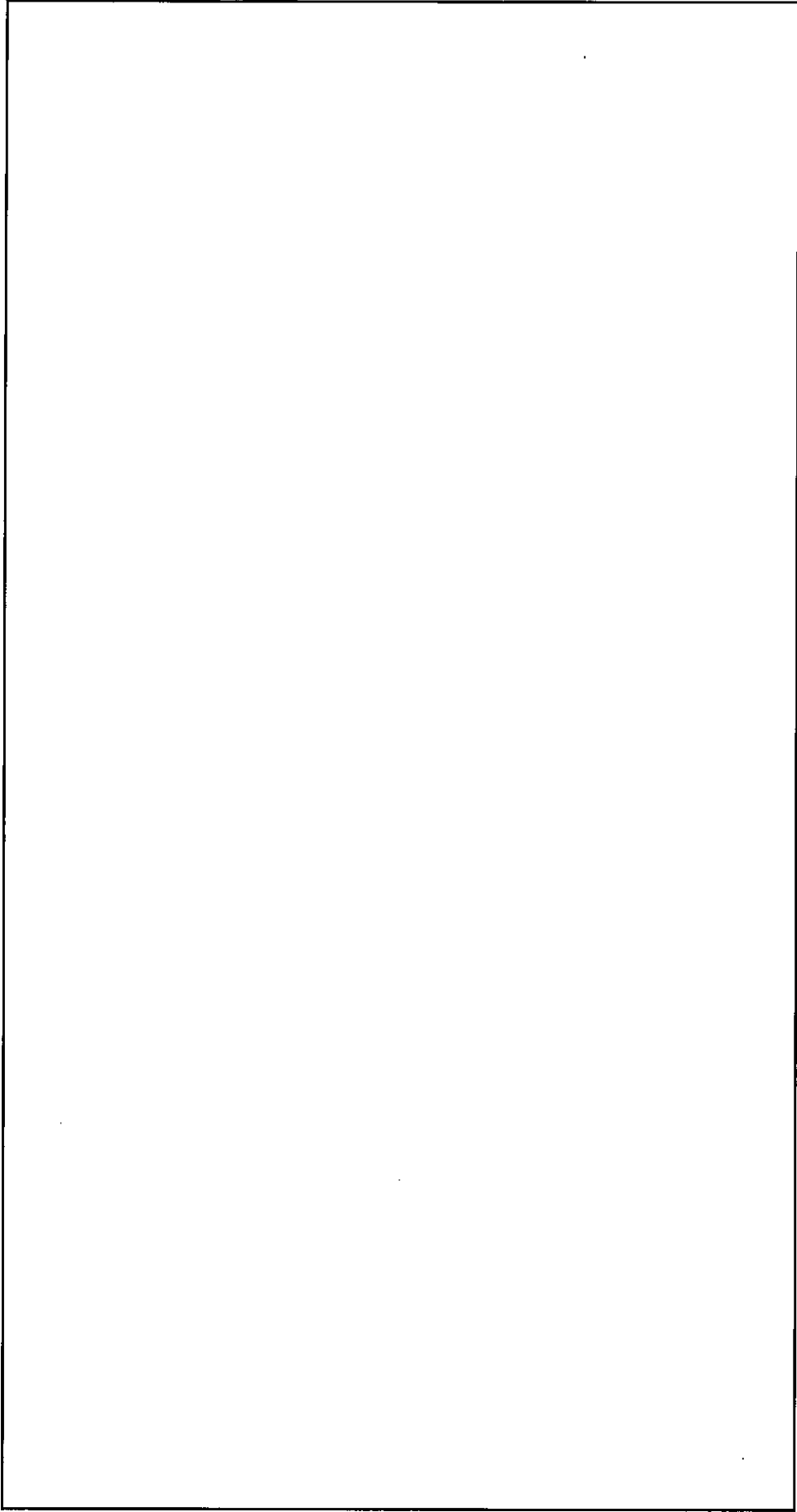


図 2.4 フランジの改良

(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。

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の粉末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、ウラン酸化物の粉末は、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。

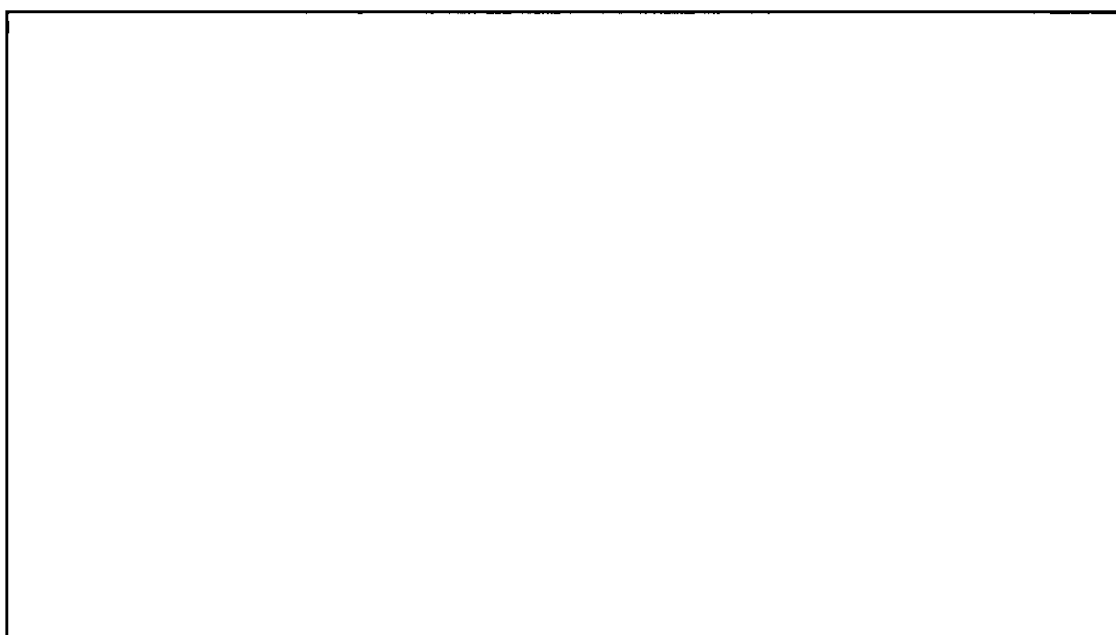
内容器のガスケットを通じた漏えいを目視で確認できるように、最上部の粉末収納缶上に消石灰を置いている (写真 3.4 参照)。また、それぞれの原型容器には、熱電対及び温度表示ラベルが取り付けられている。

### 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）

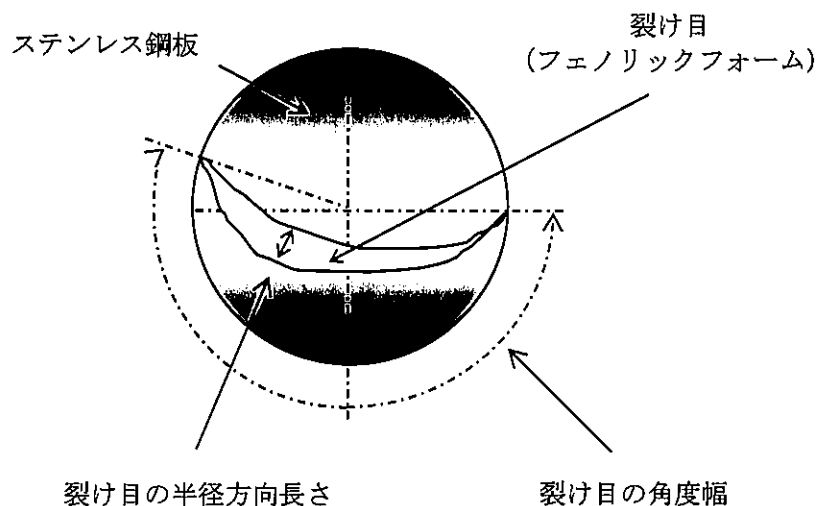
- ・落下試験 No.6：角度□による輸送物側面への衝撃

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。

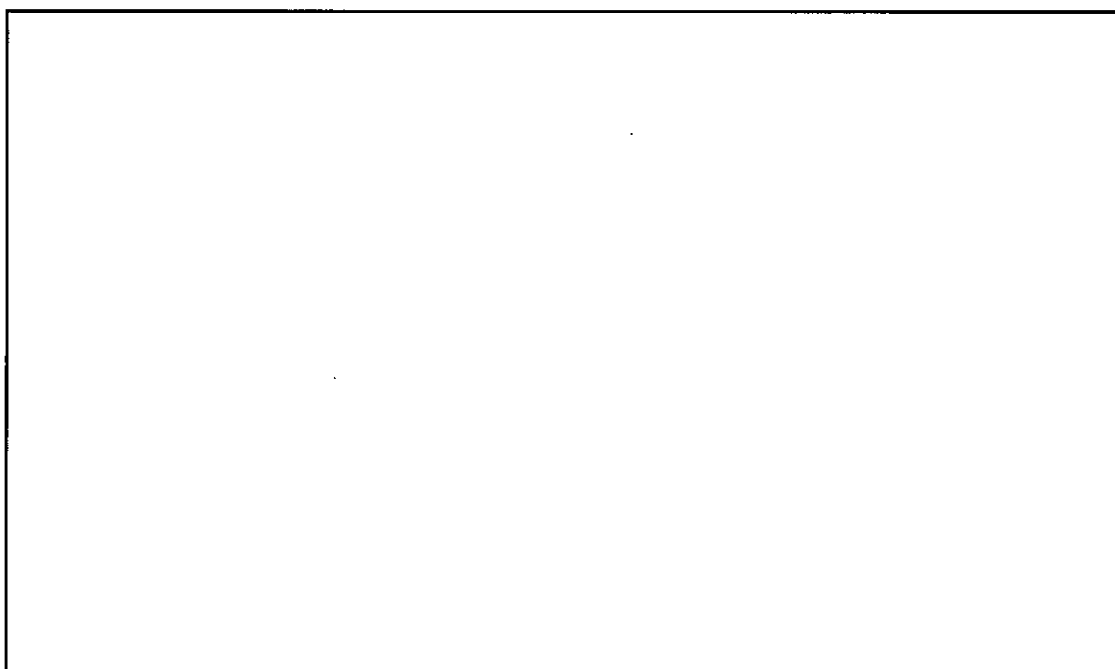


### 3.4 原型容器 P4 の落下試験の結果

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

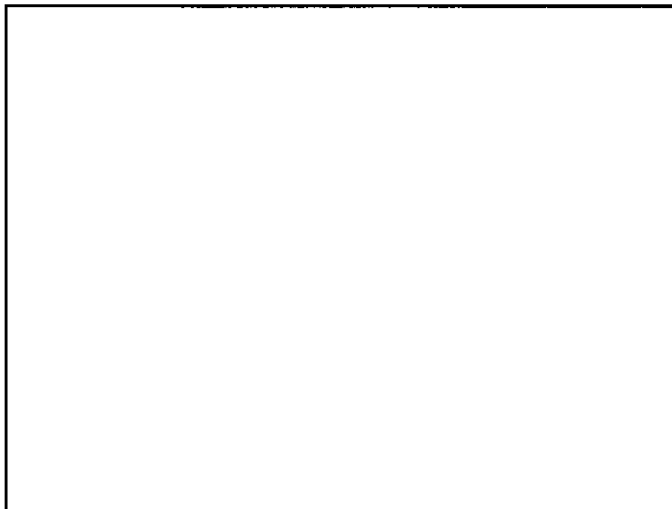
輸送物の落下方向を図 3.11 に示す。衝撃を受けた面は「F2」であり、輸送物側面はターゲットにより変形したが、外殻の貫通はなかった。ターゲットによってできた変形深さの最大値は、□mm である。

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。

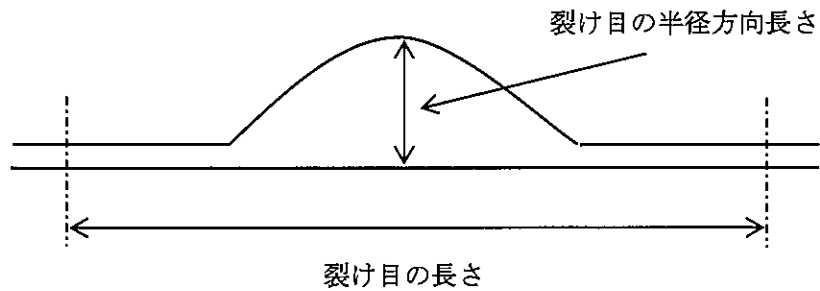
### 3.4.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

#### ・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バイオネット部の2つのバ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.

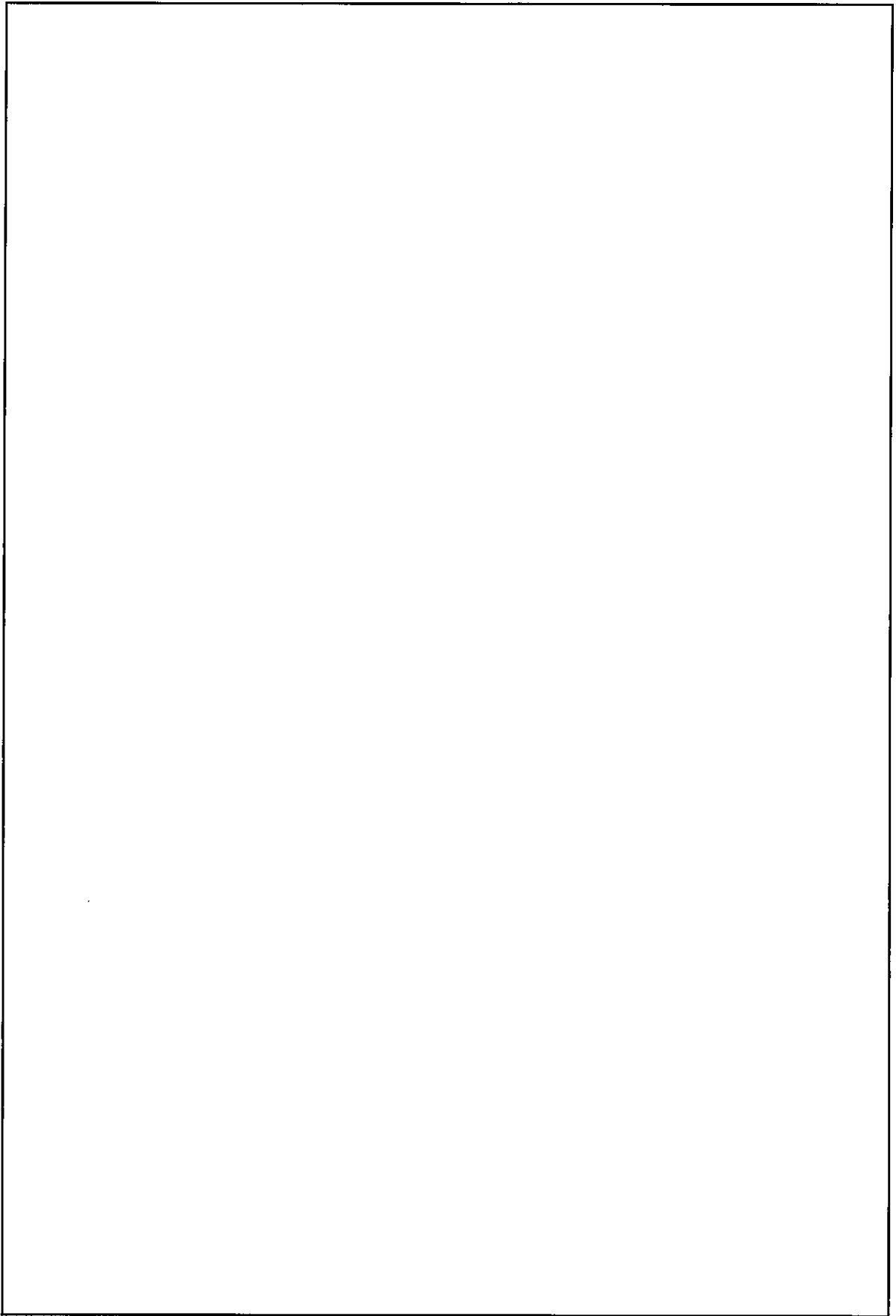


図 3.1 落下試験 No.1 - 原型容器 P3



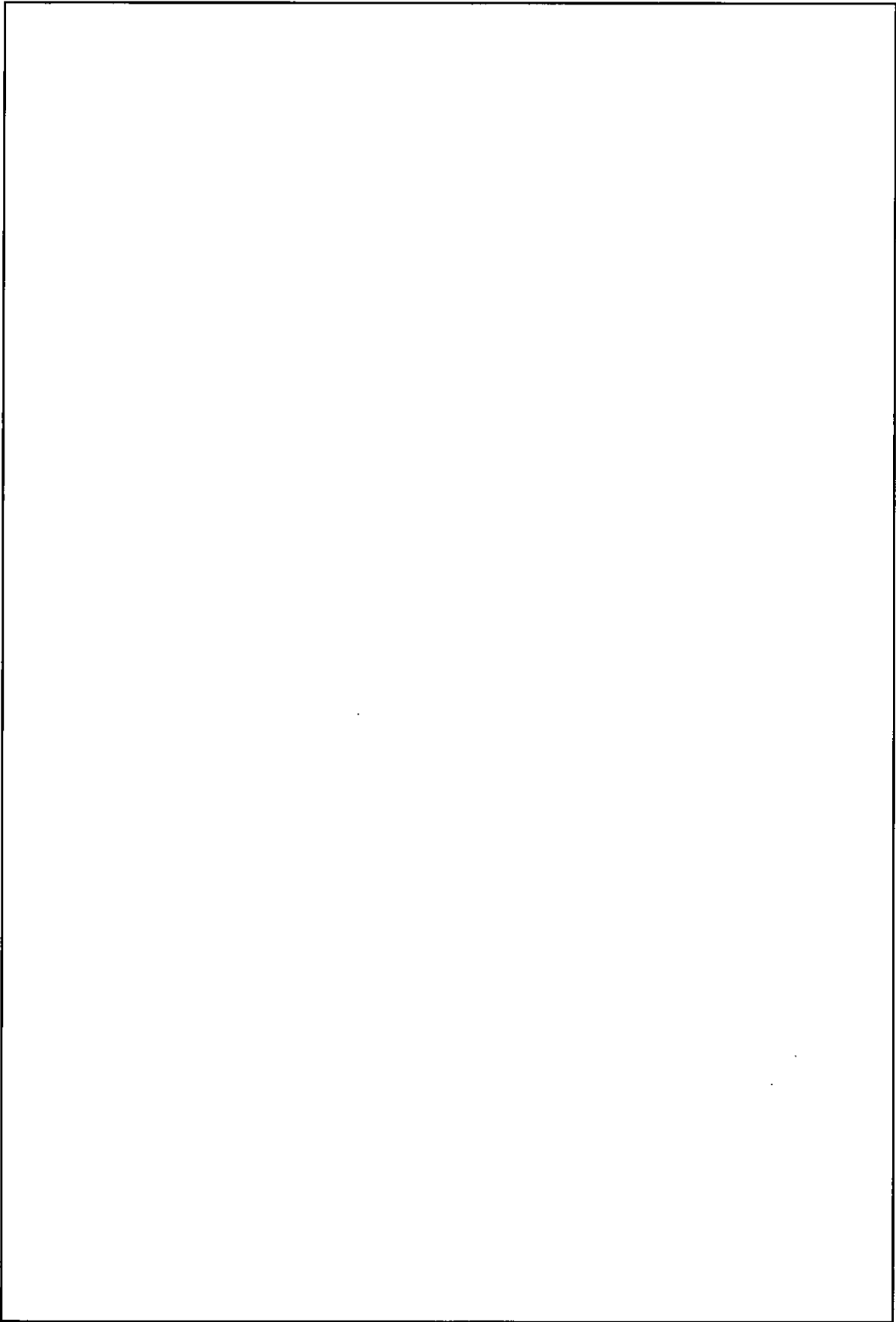


図 3.2 落下試験 No.2 - 原型容器 P3

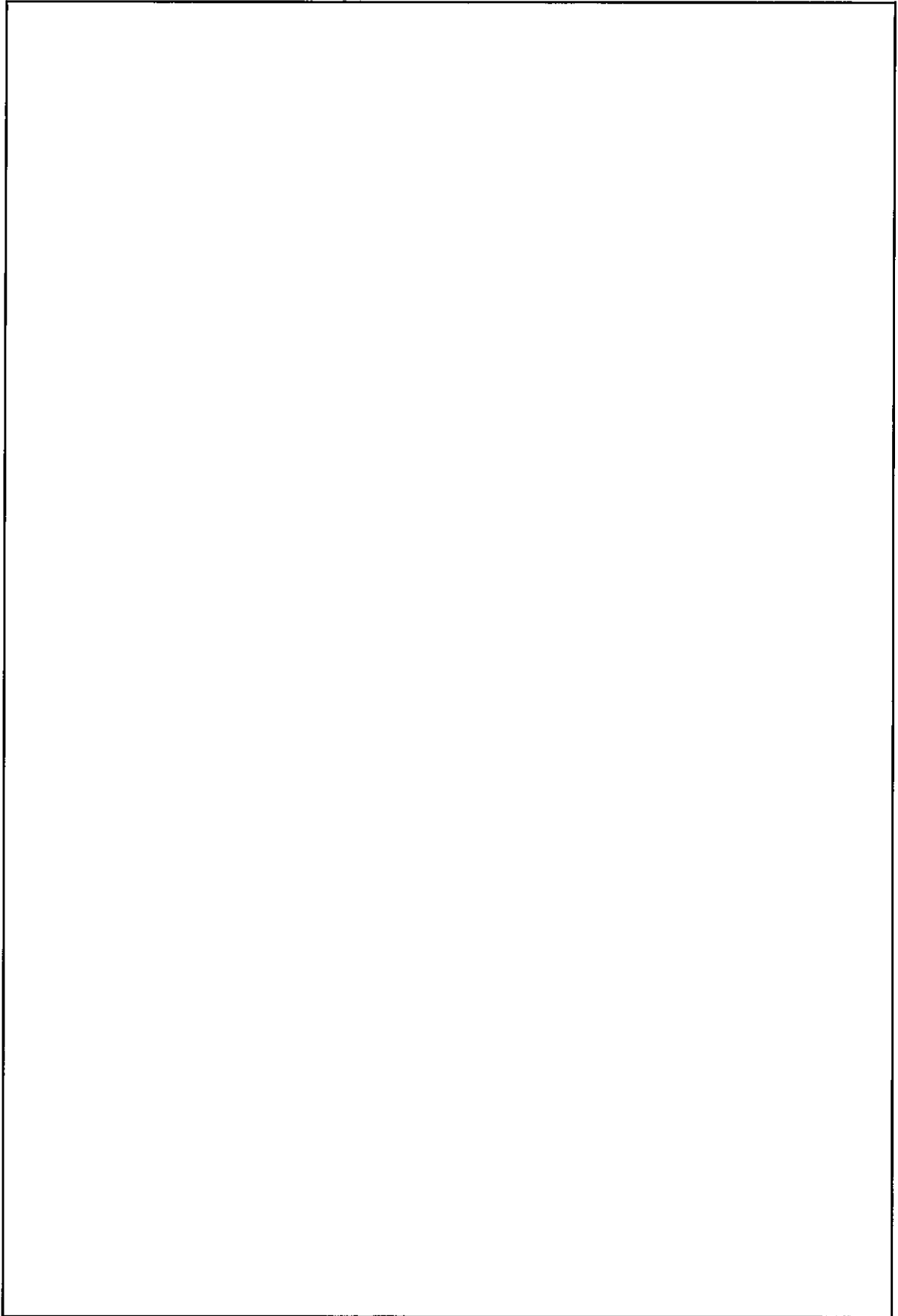


図 3.3 落下試験 No.3 - 原型容器 P3

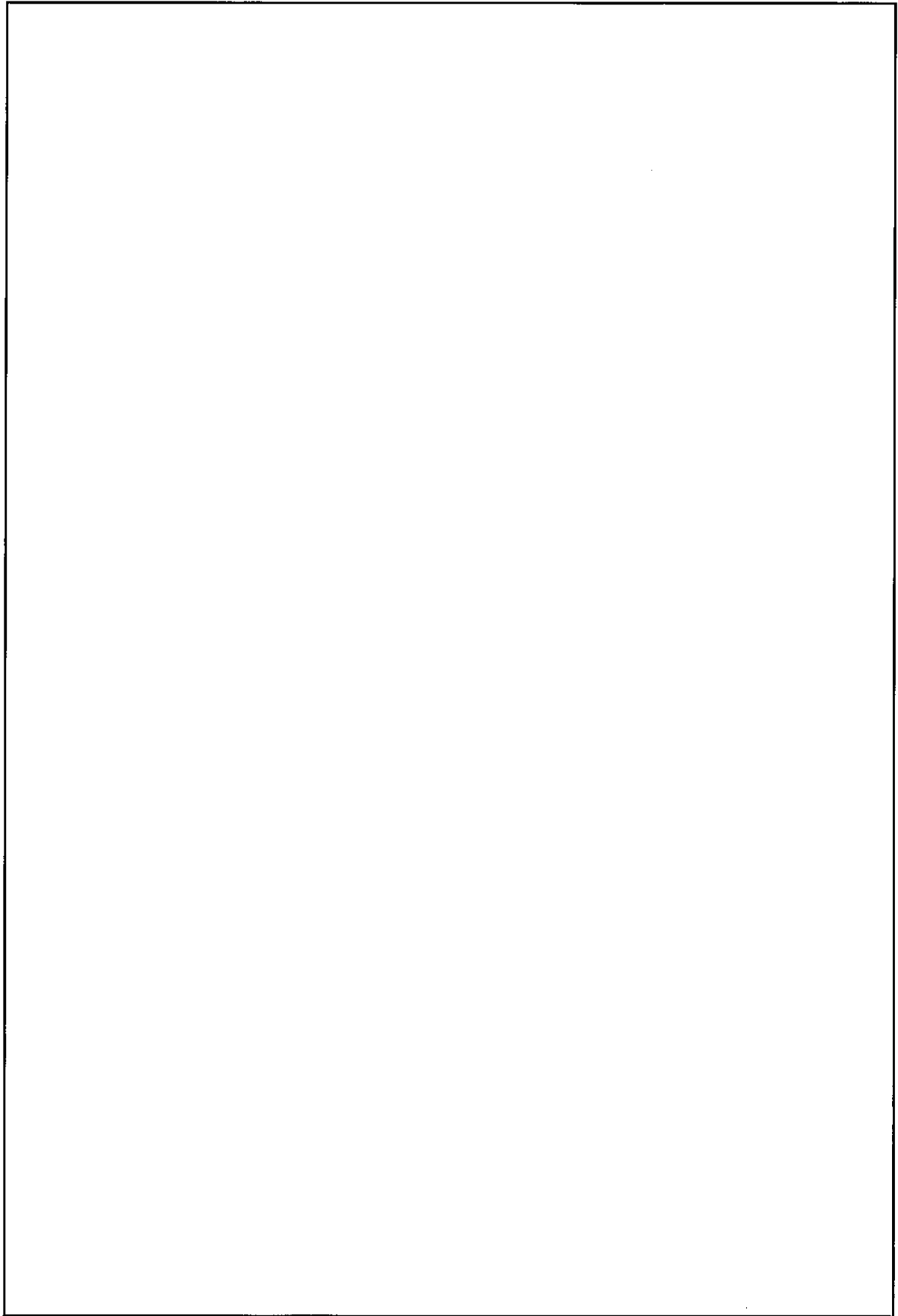


図 3.4 落下試験 No.4 - 原型容器 P3

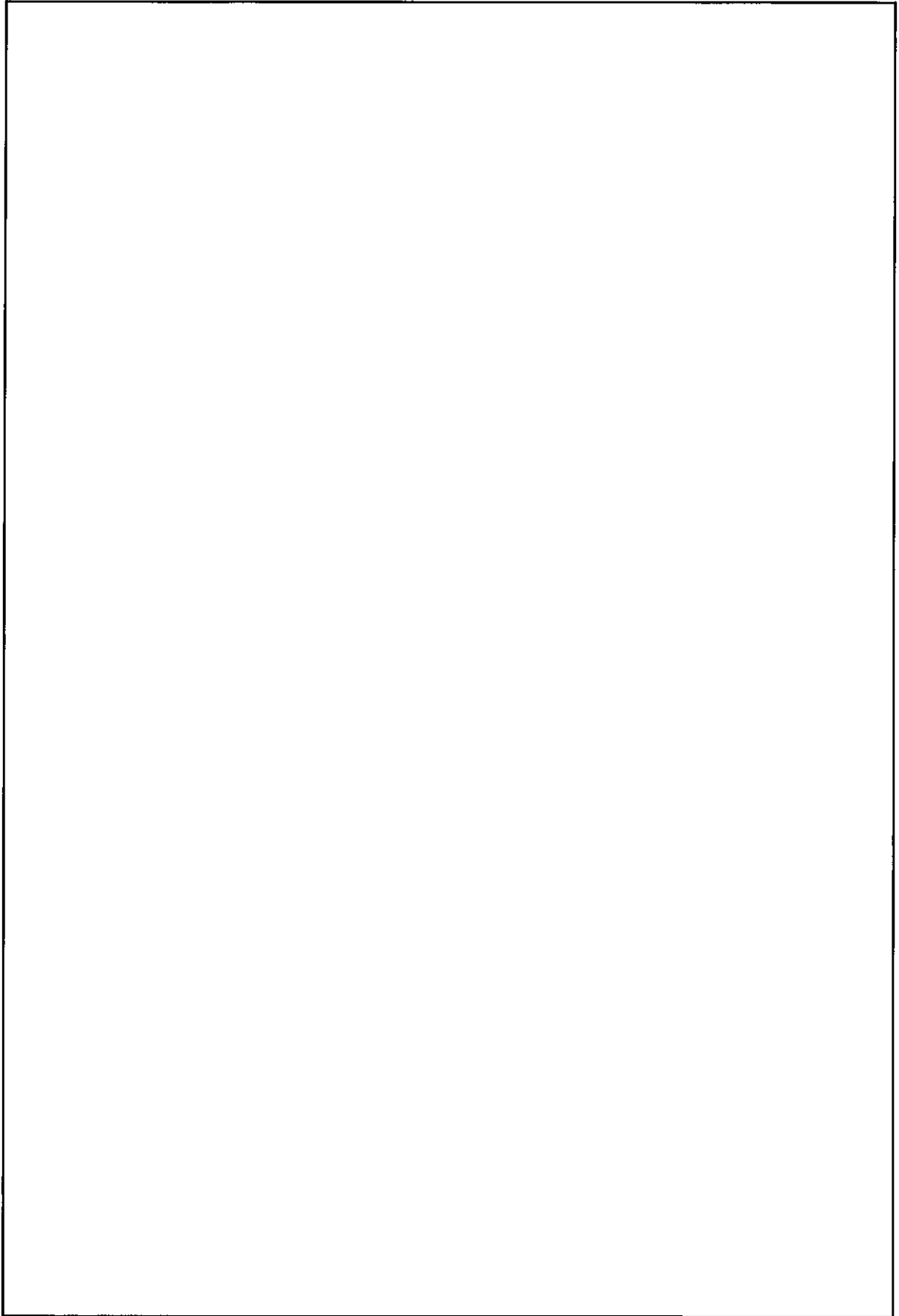


図 3.5 落下試験 No.5 - 原型容器 P3

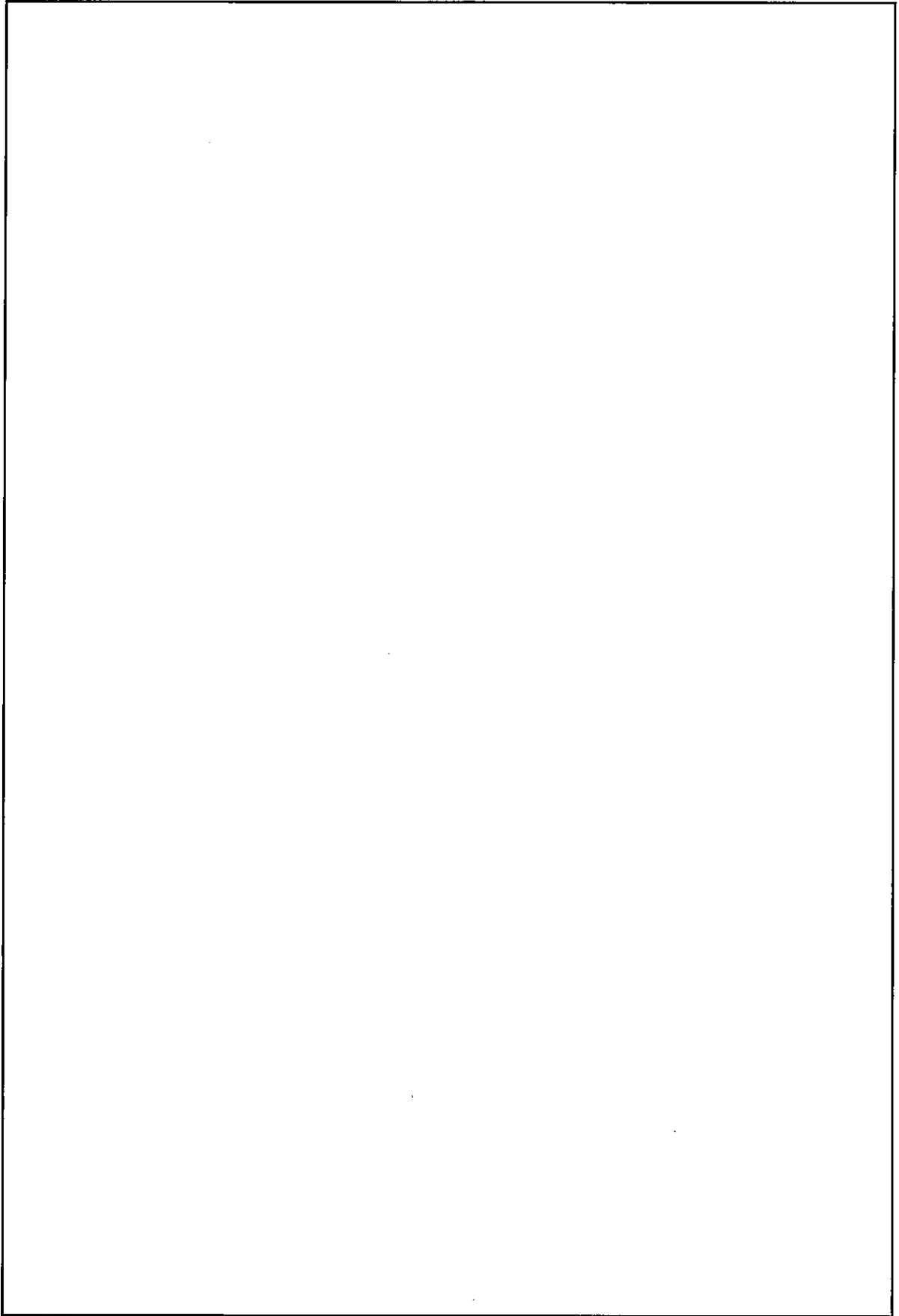


図 3.6 落下試験 No.6 - 原型容器 P3

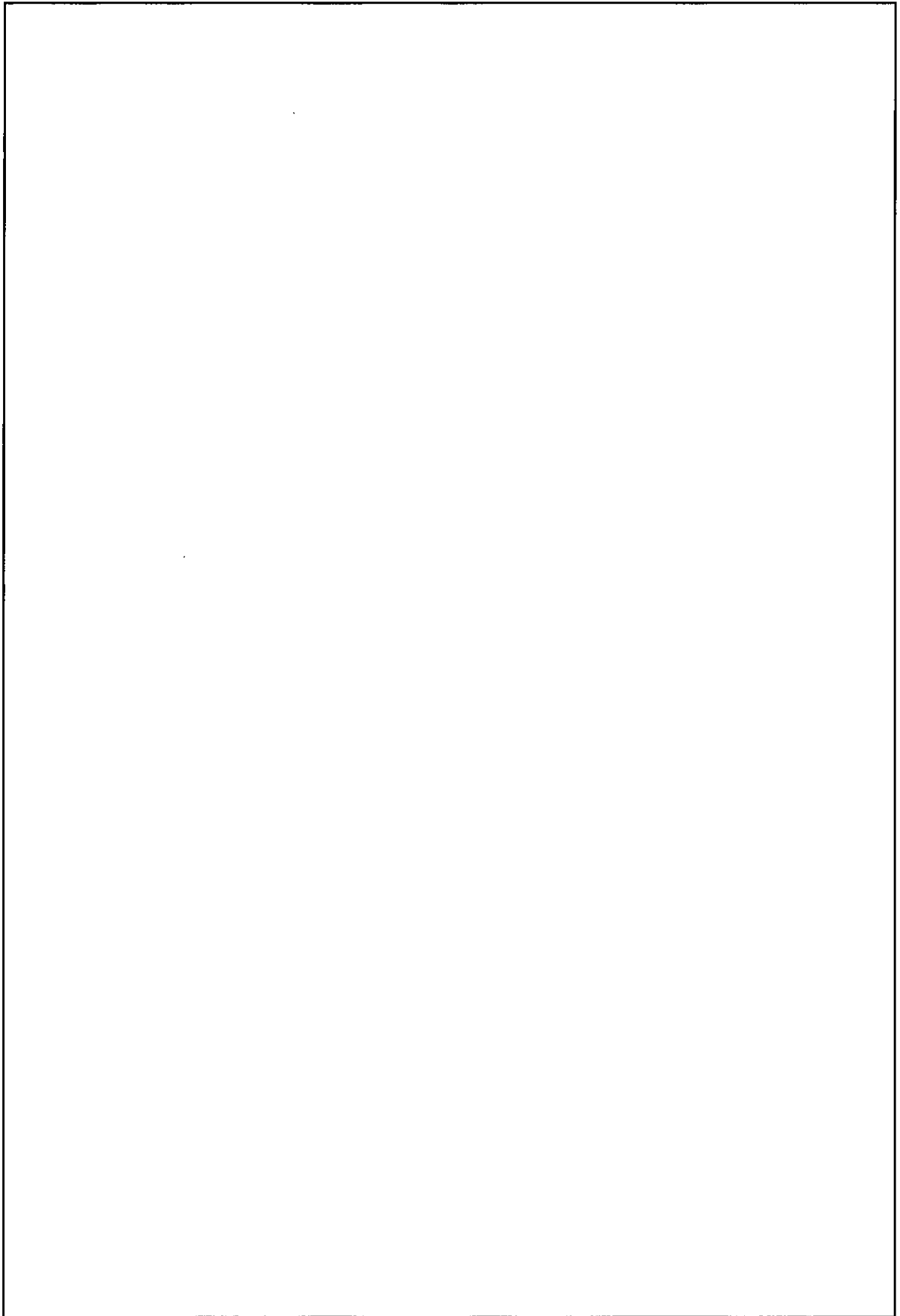


図 3.7 落下試験 No.1 - 原型容器 P4

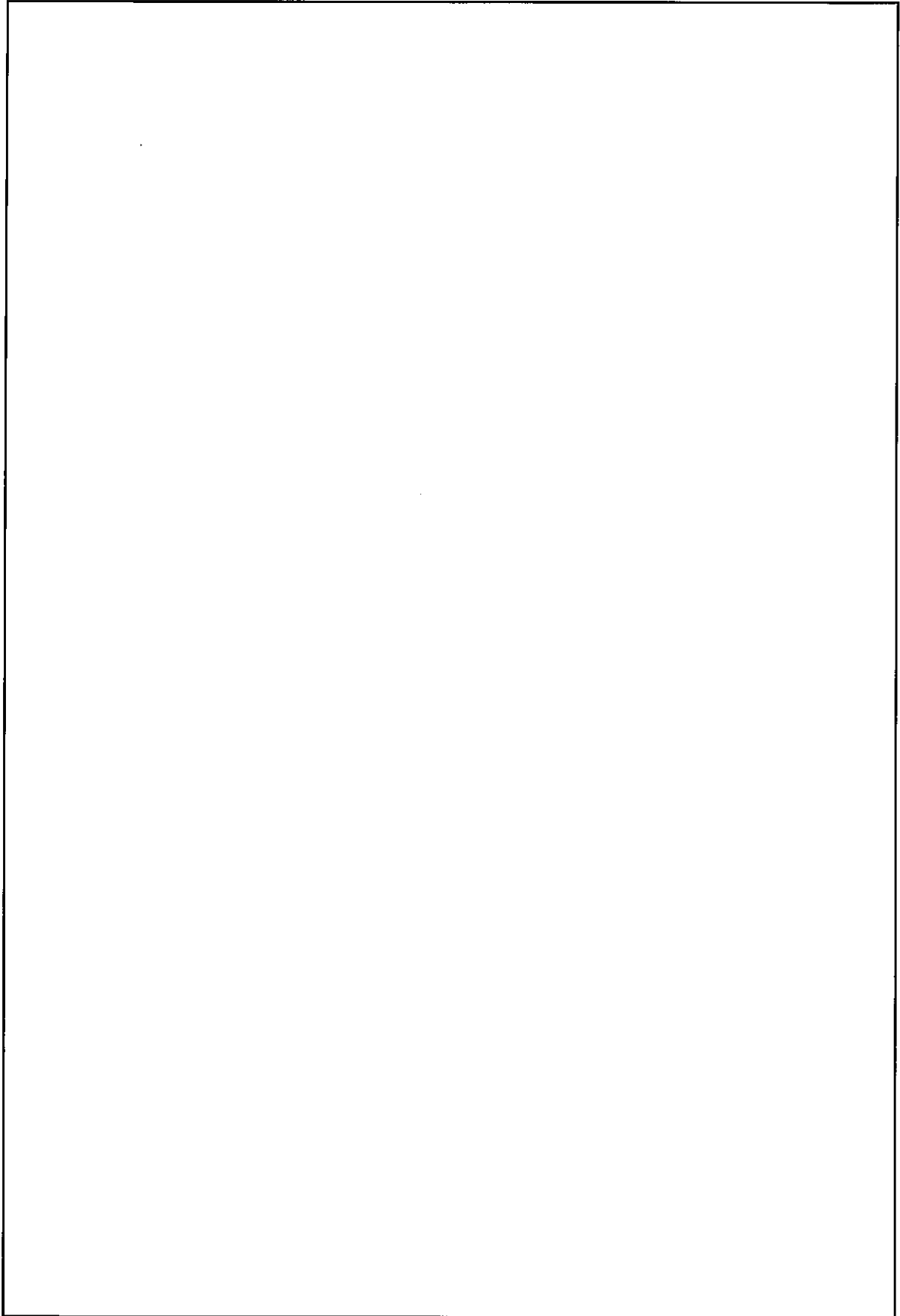


図 3.8 落下試験 No.2 - 原型容器 P4

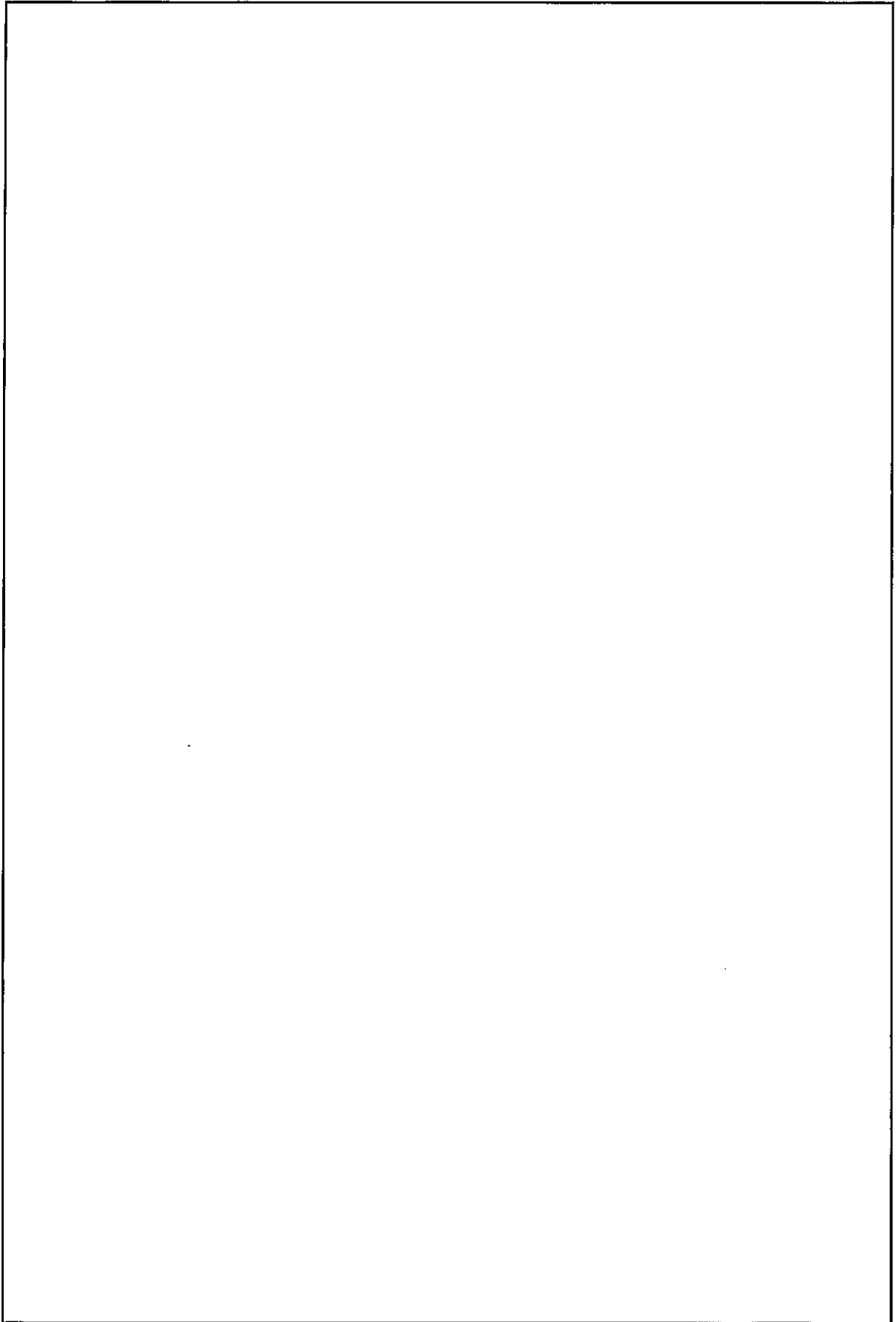


図 3.9 落下試験 No.3 - 原型容器 P4



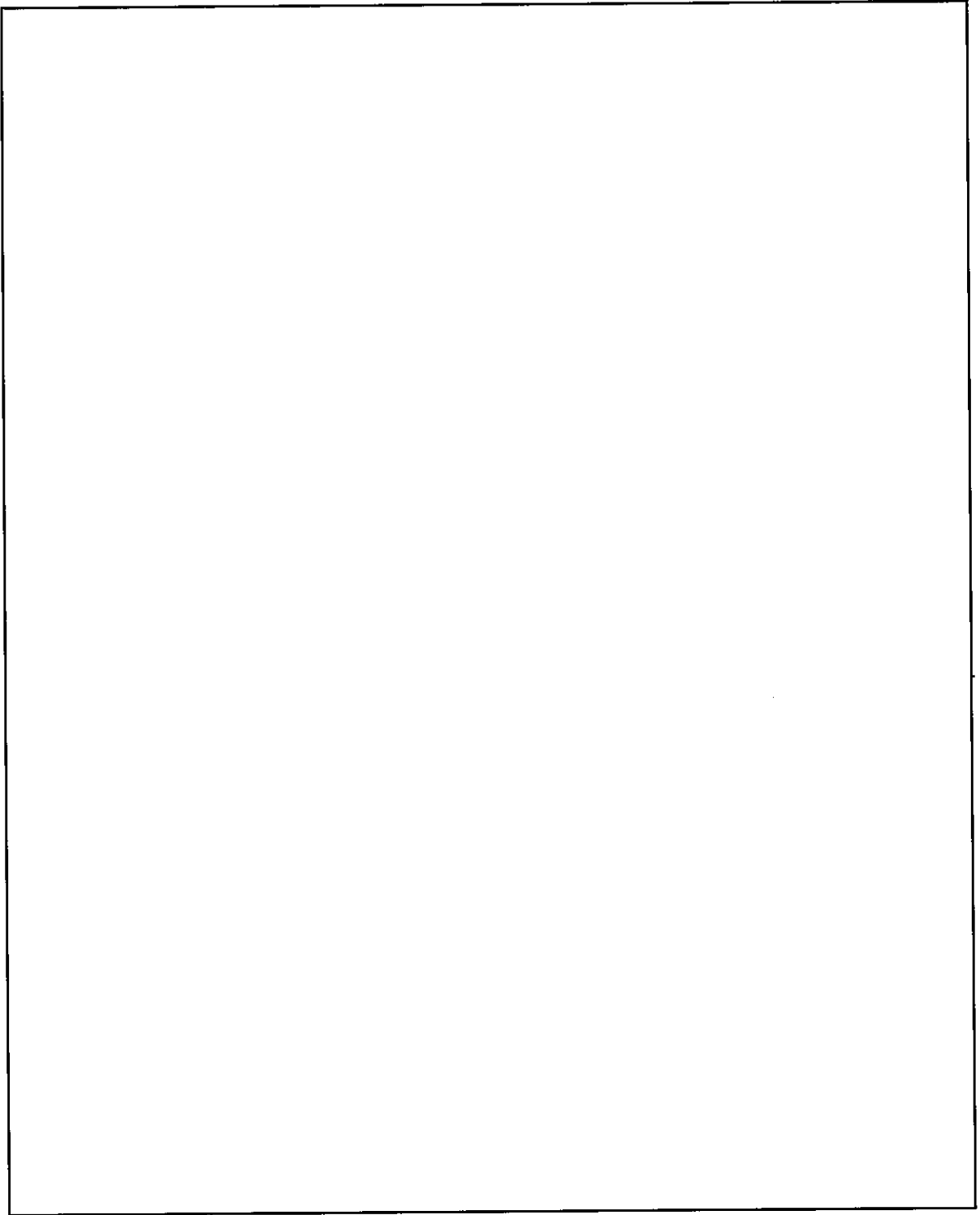


図 3.10 落下試験 No.4 - 原型容器 P4

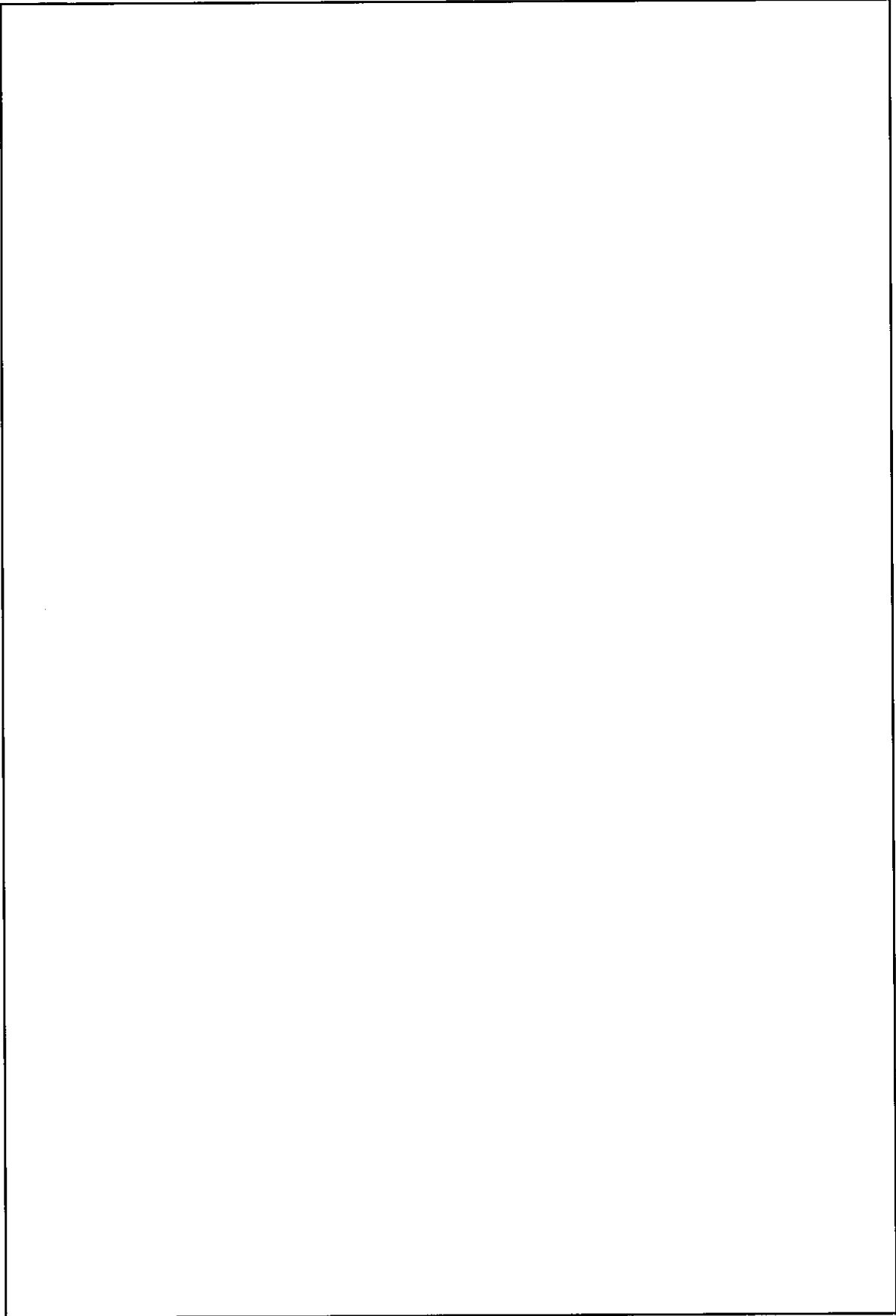


図 3.11 落下試験 No.5・原型容器 P4

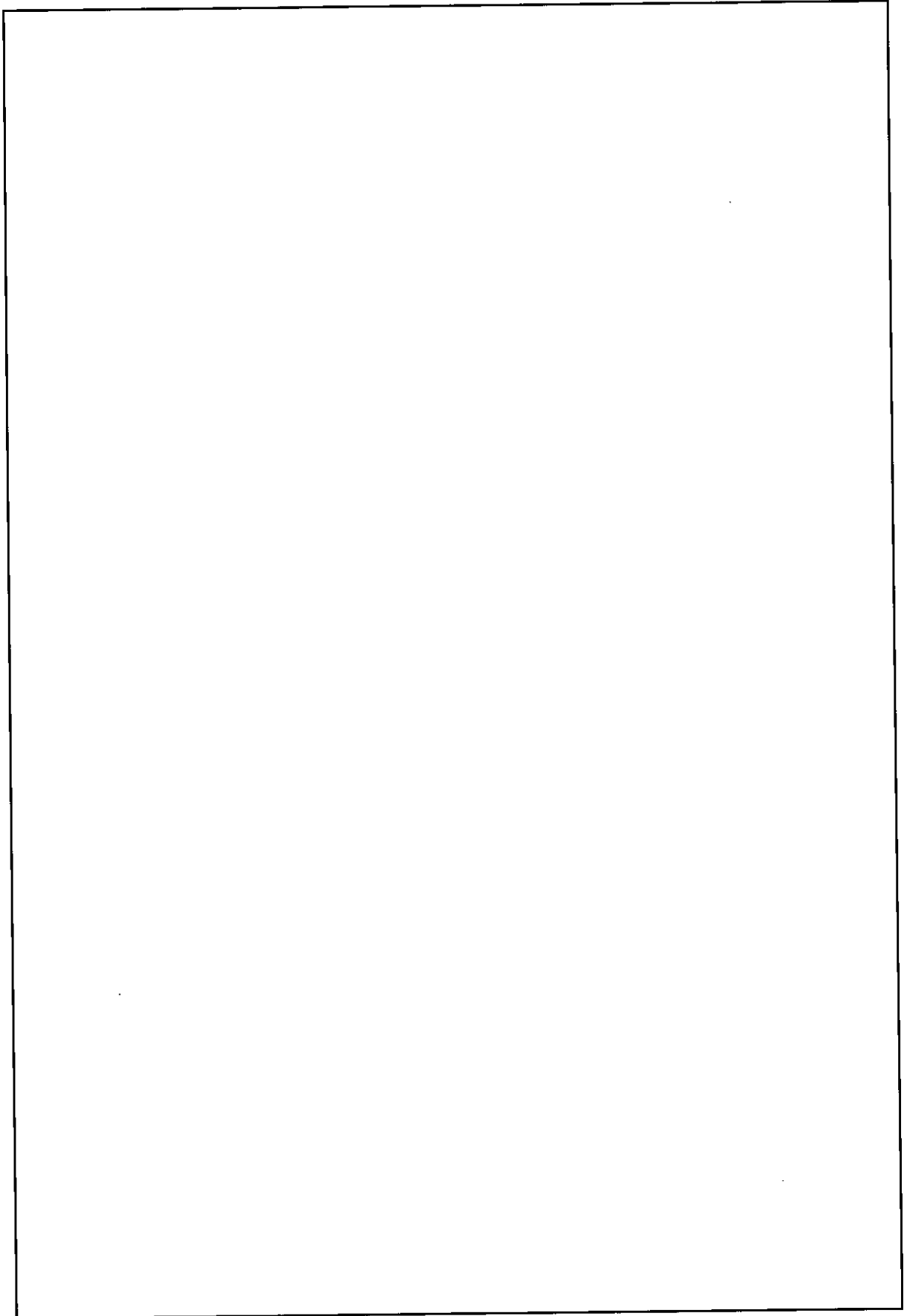


図 3.12 落下試験 No.6 - 原型容器 P4

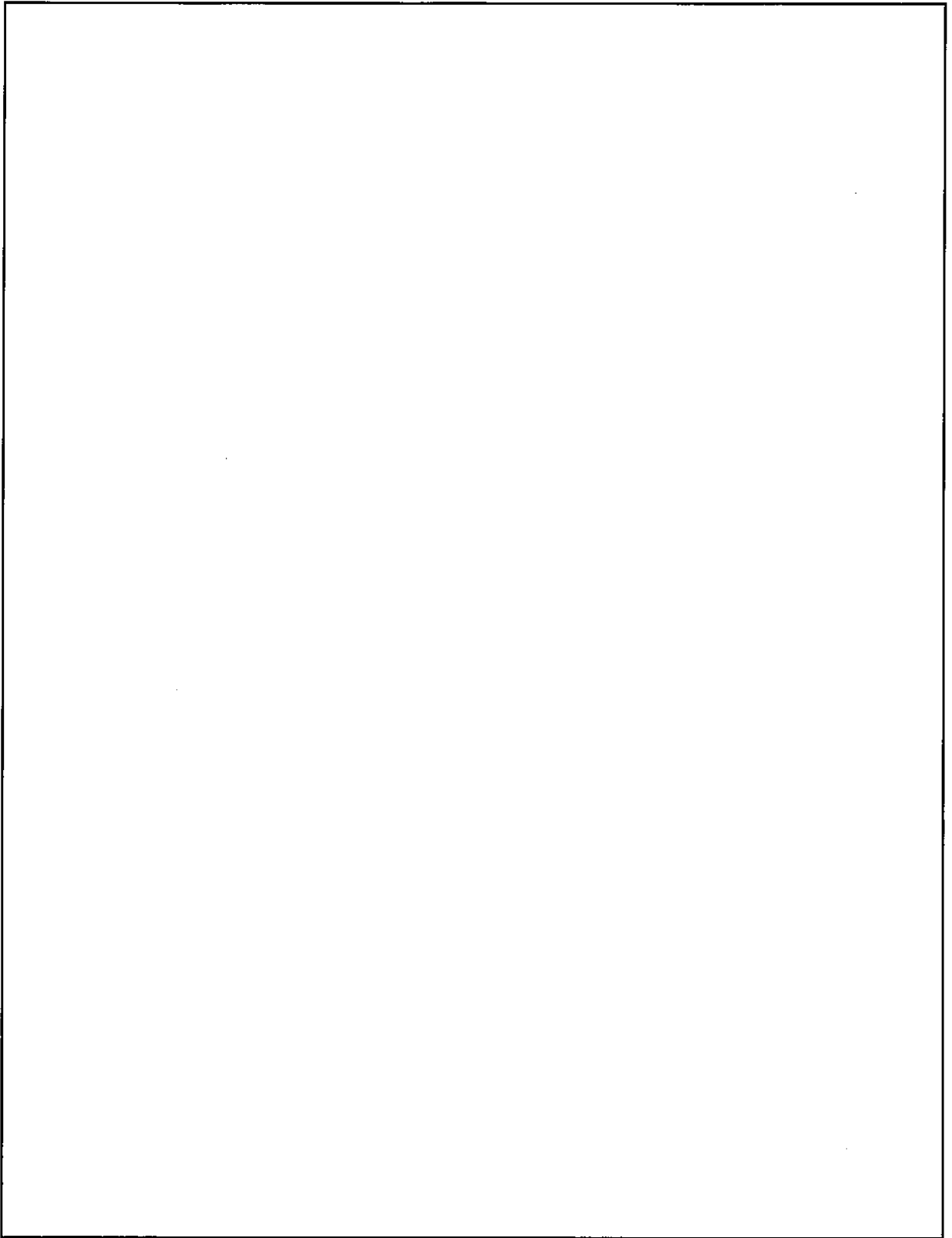


図 3.13 落下試験 No.7- 原型容器 P4

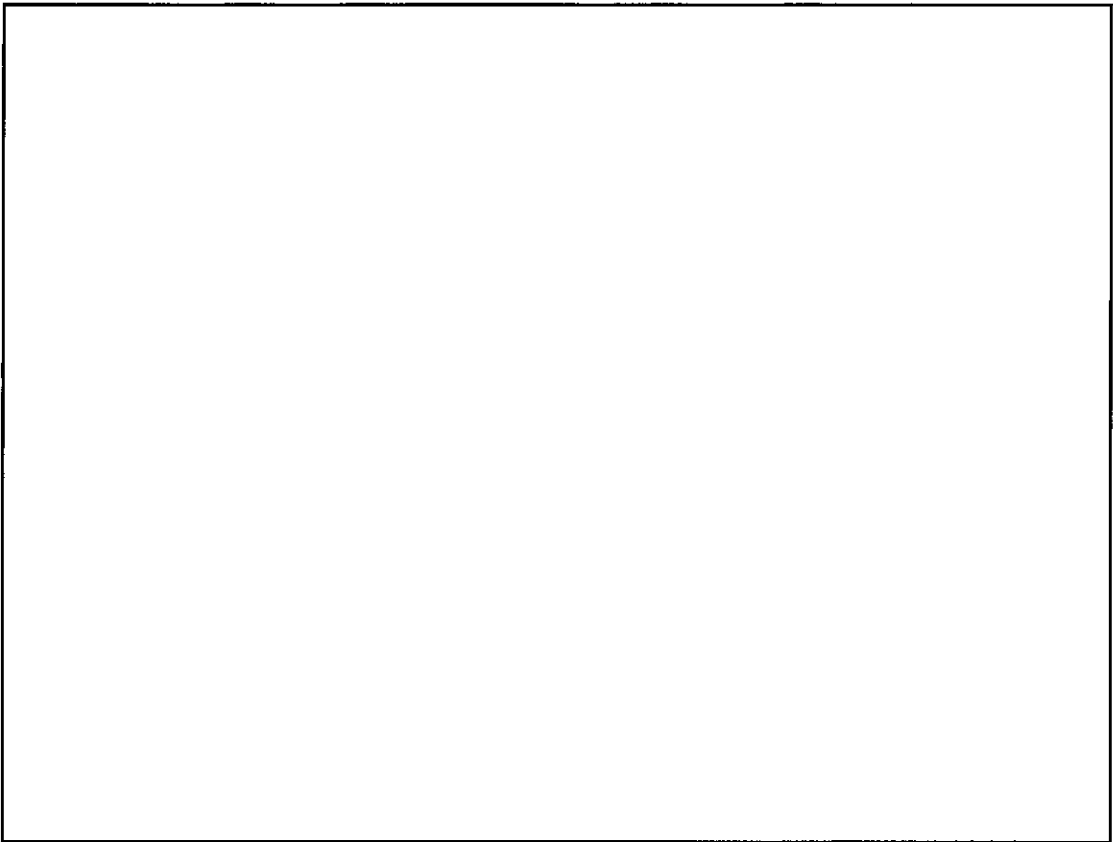


写真 3.1 試験前の供試体 (P3) の外観

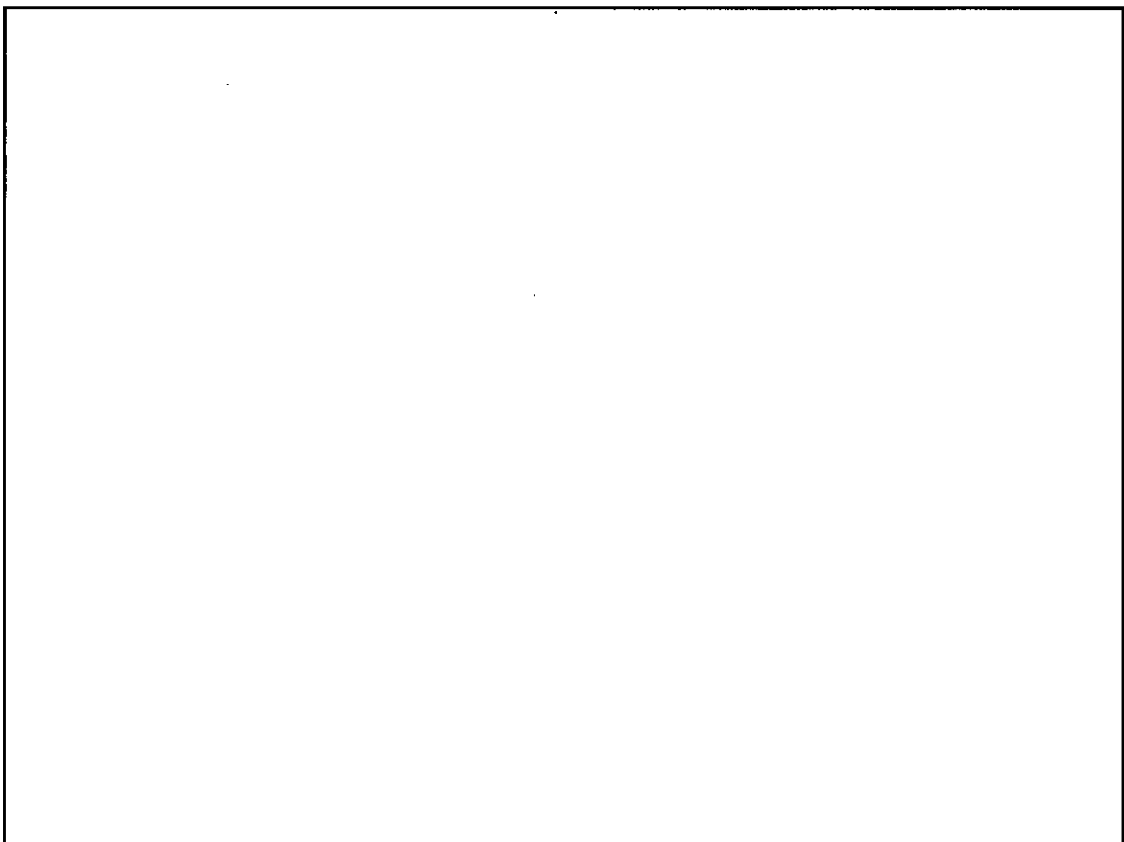


写真 3.2 外蓋底面の外観

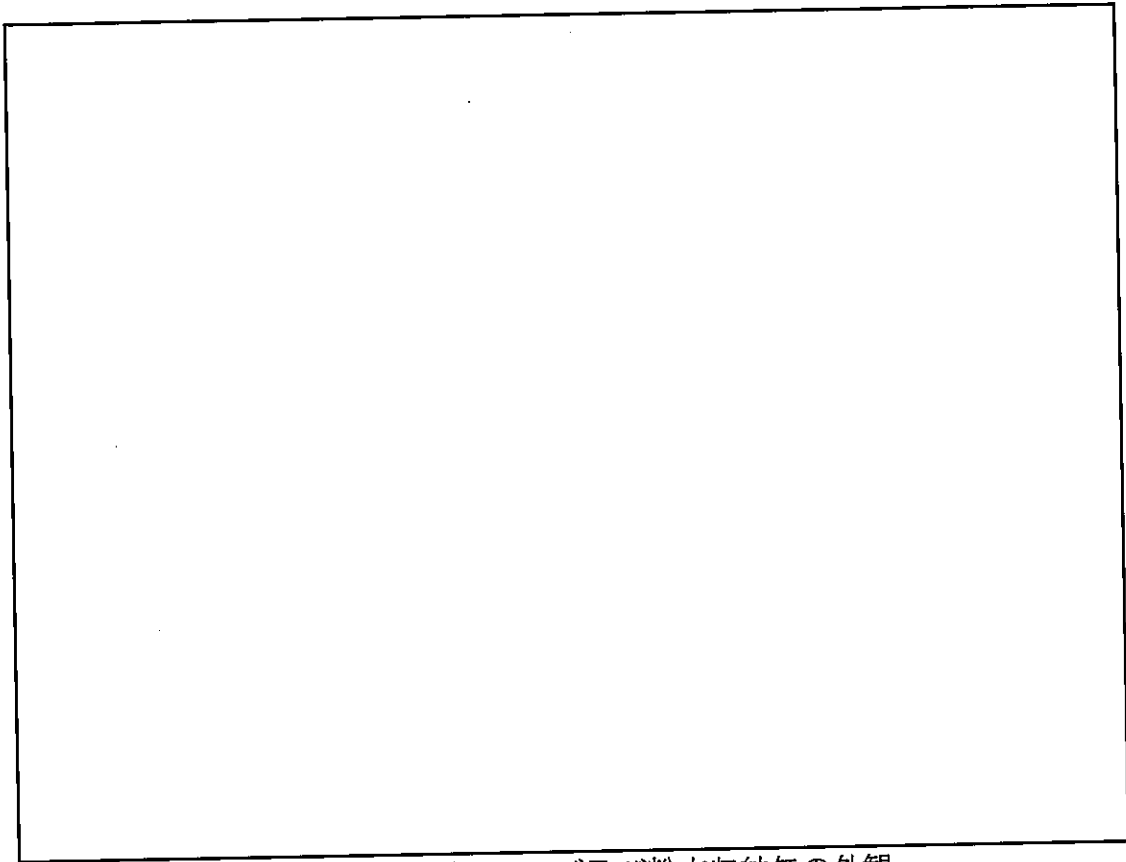


写真 3.3 軽量フランジ及び粉末収納缶の外観

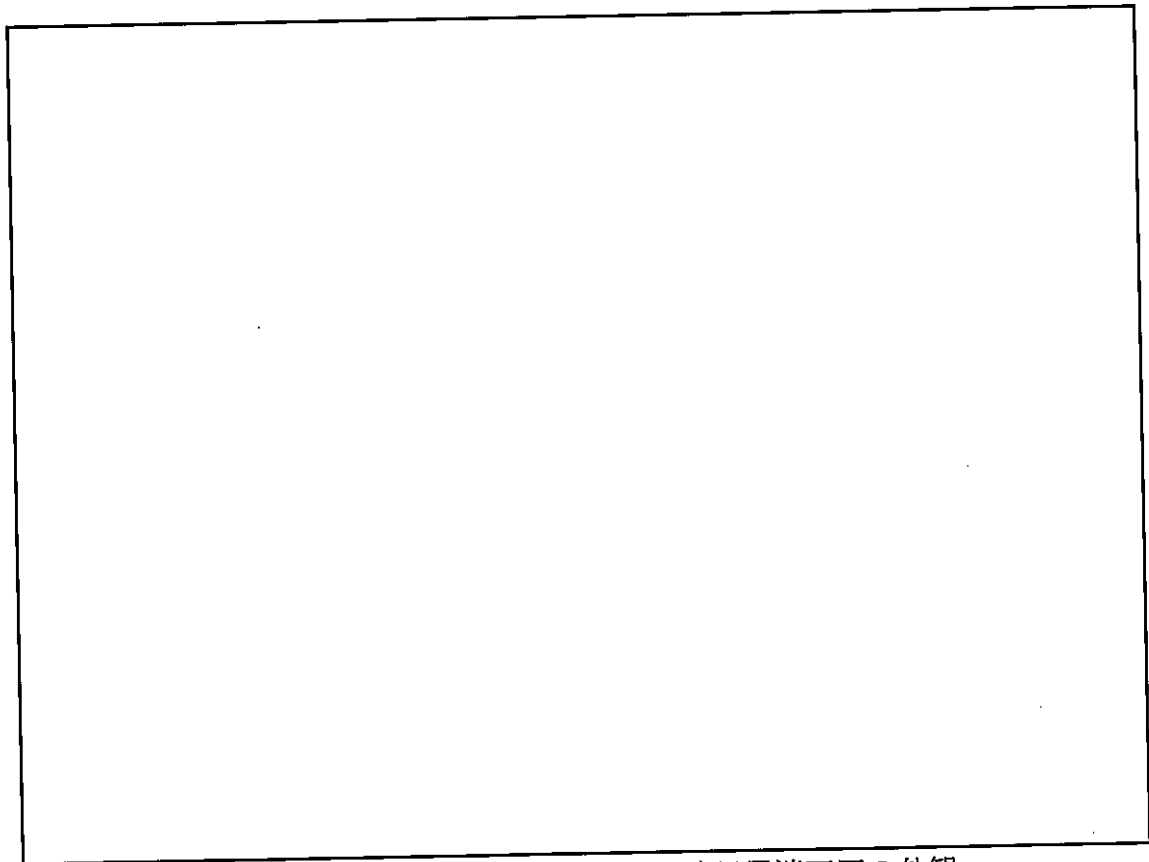


写真 3.4 粉末収納缶及び漏えい確認用消石灰の外観

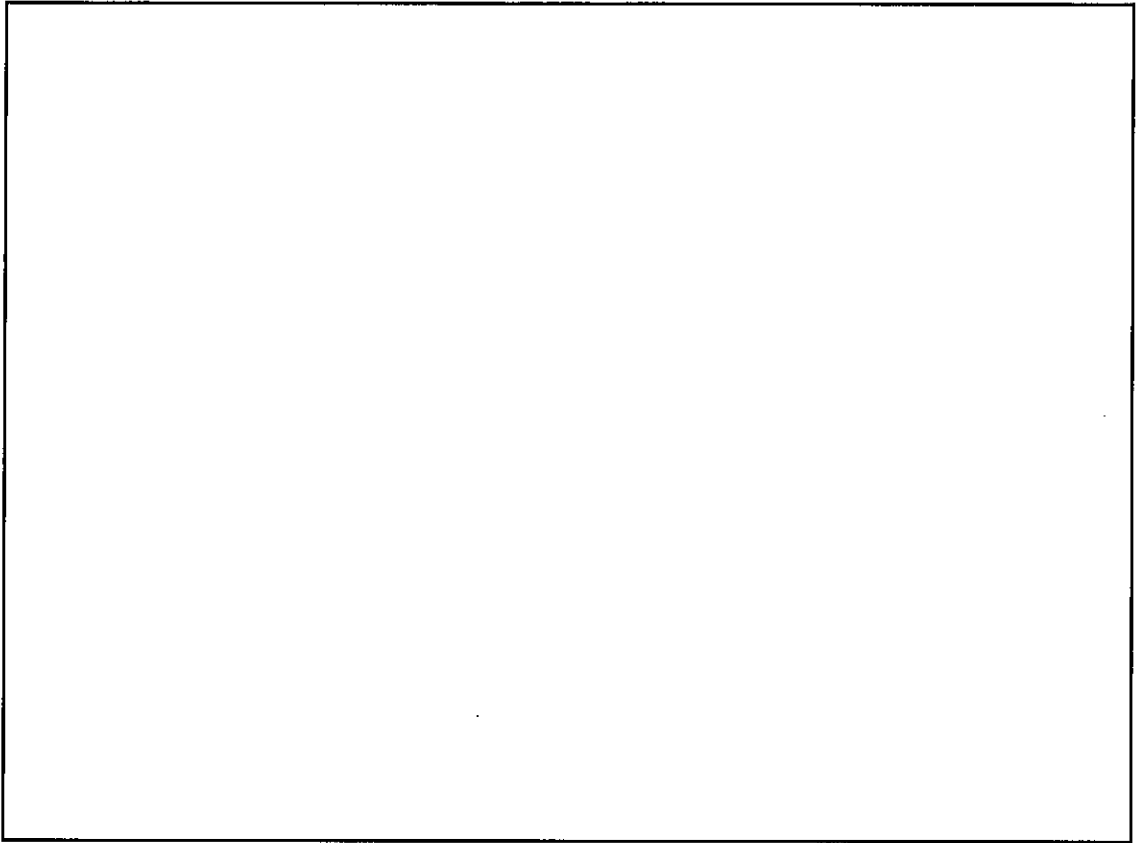


写真 3.5 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋回り止めデバイス止めピン

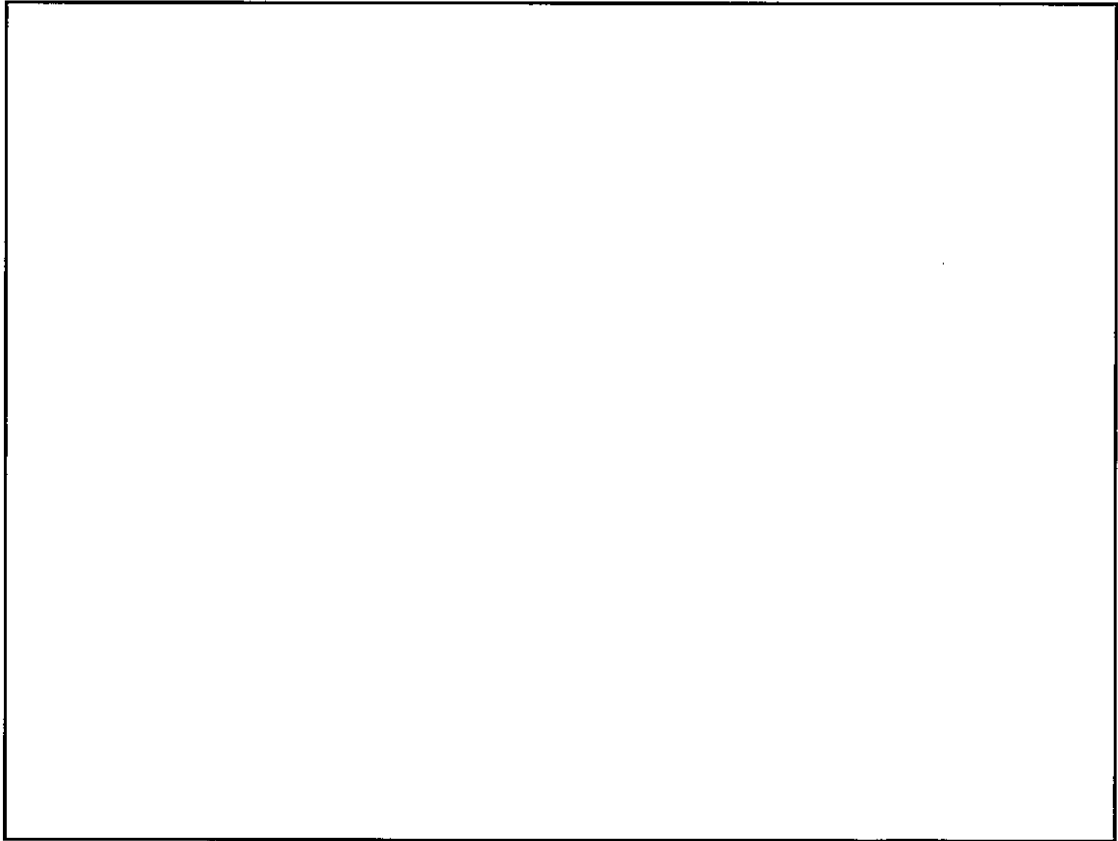


写真 3.6 貫通試験 (6 kg) 後 底面 1 内容器の中心

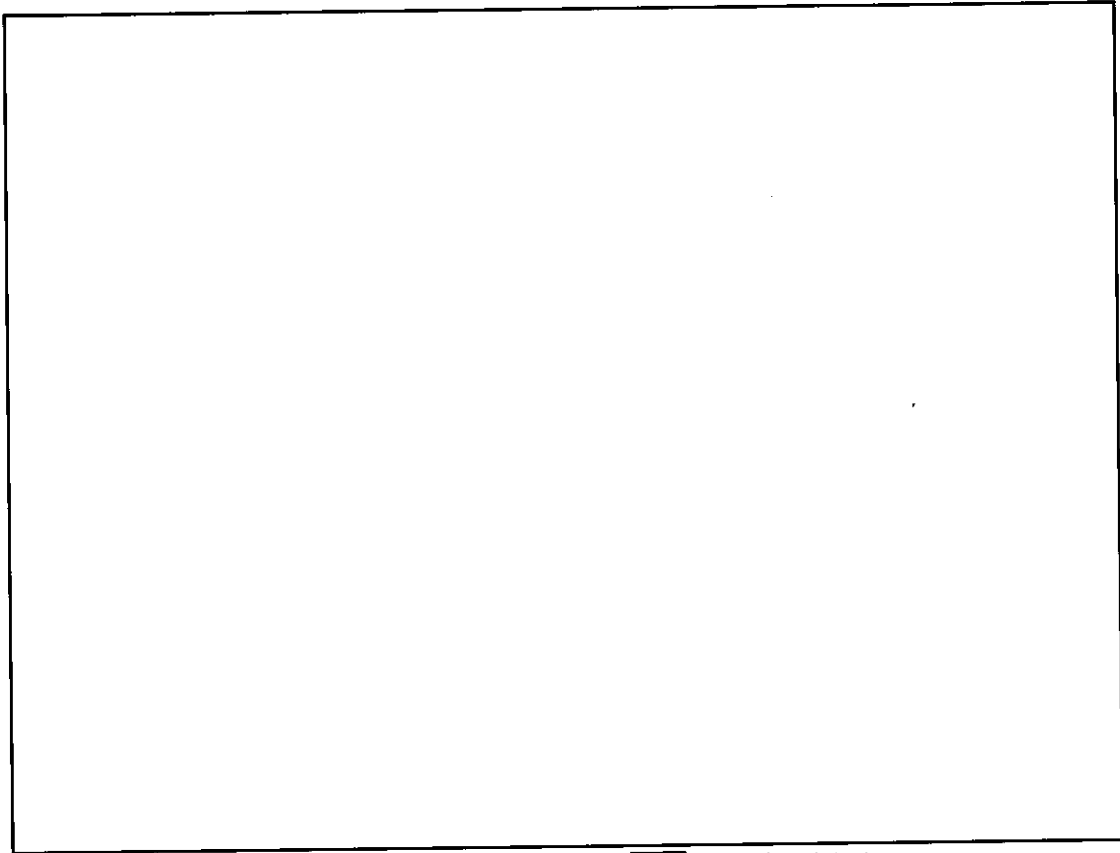


写真 3.7 落下試験（高さ□m）前 側面

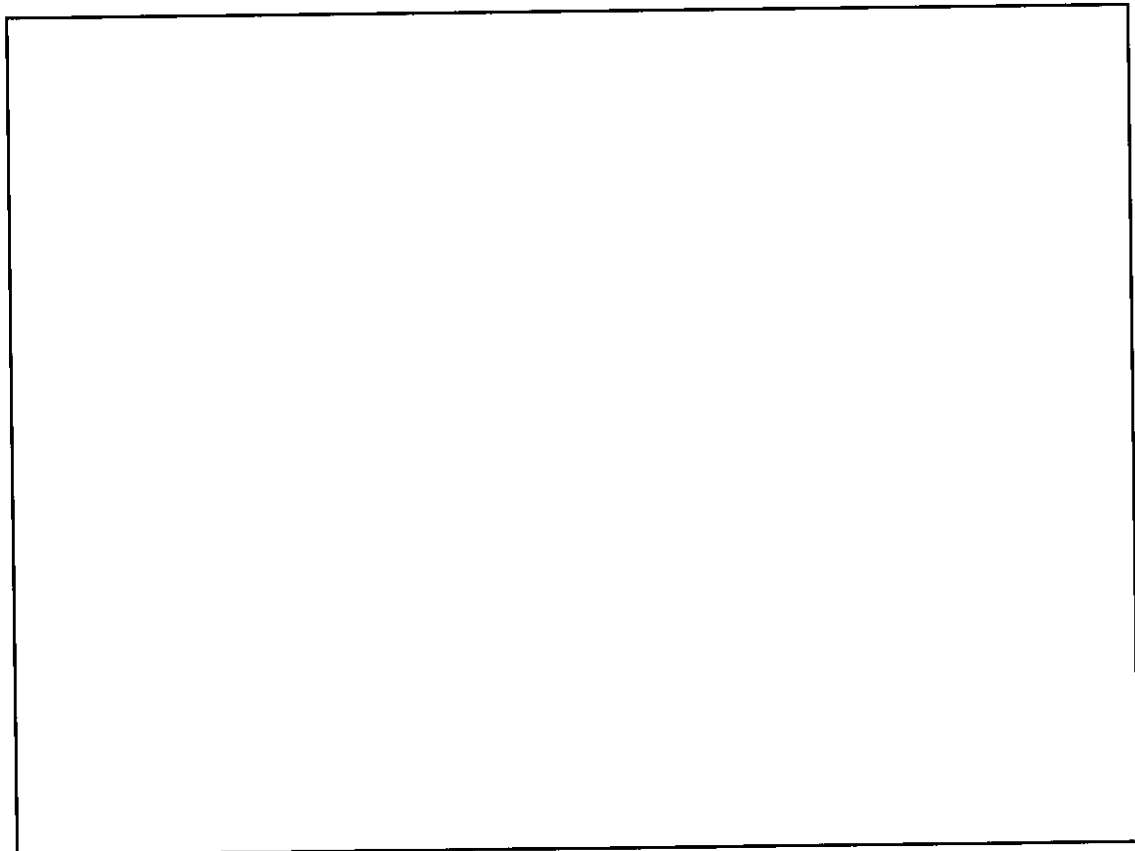


写真 3.8 落下試験（高さ□m）後 側面



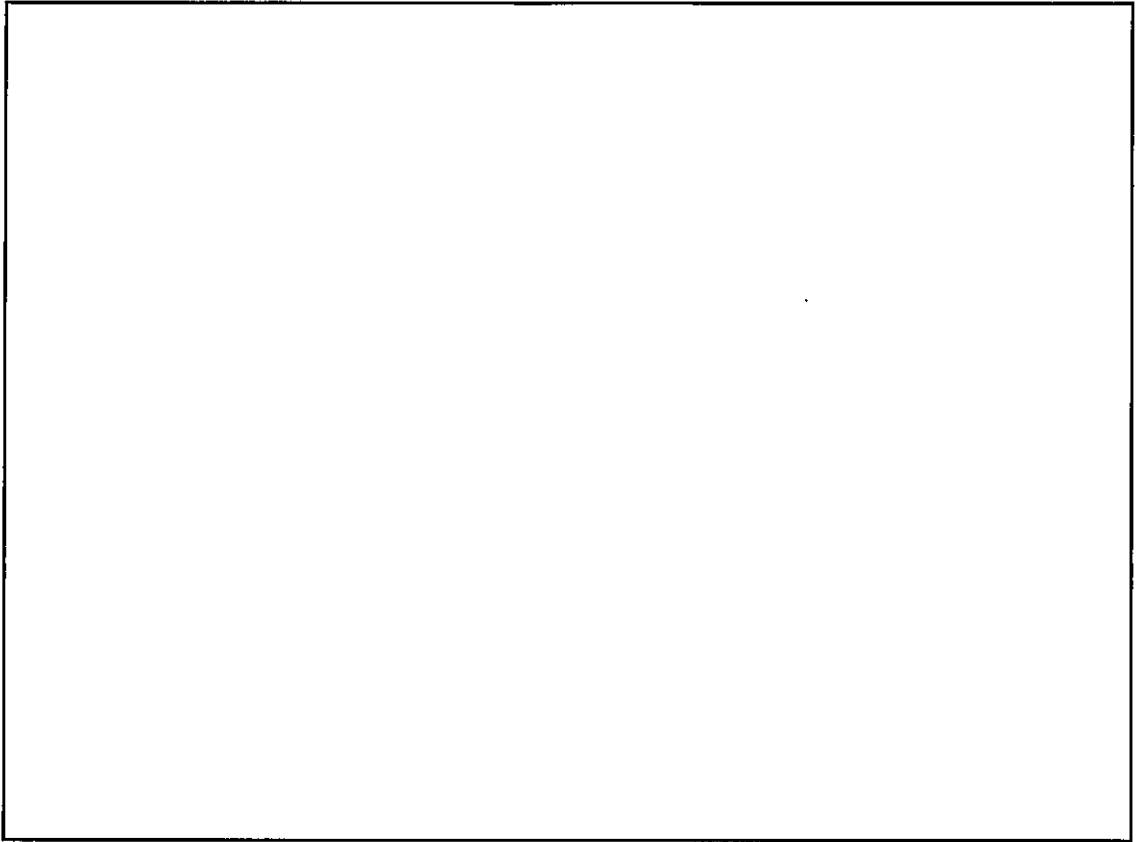


写真 3.9 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 底面中央付近

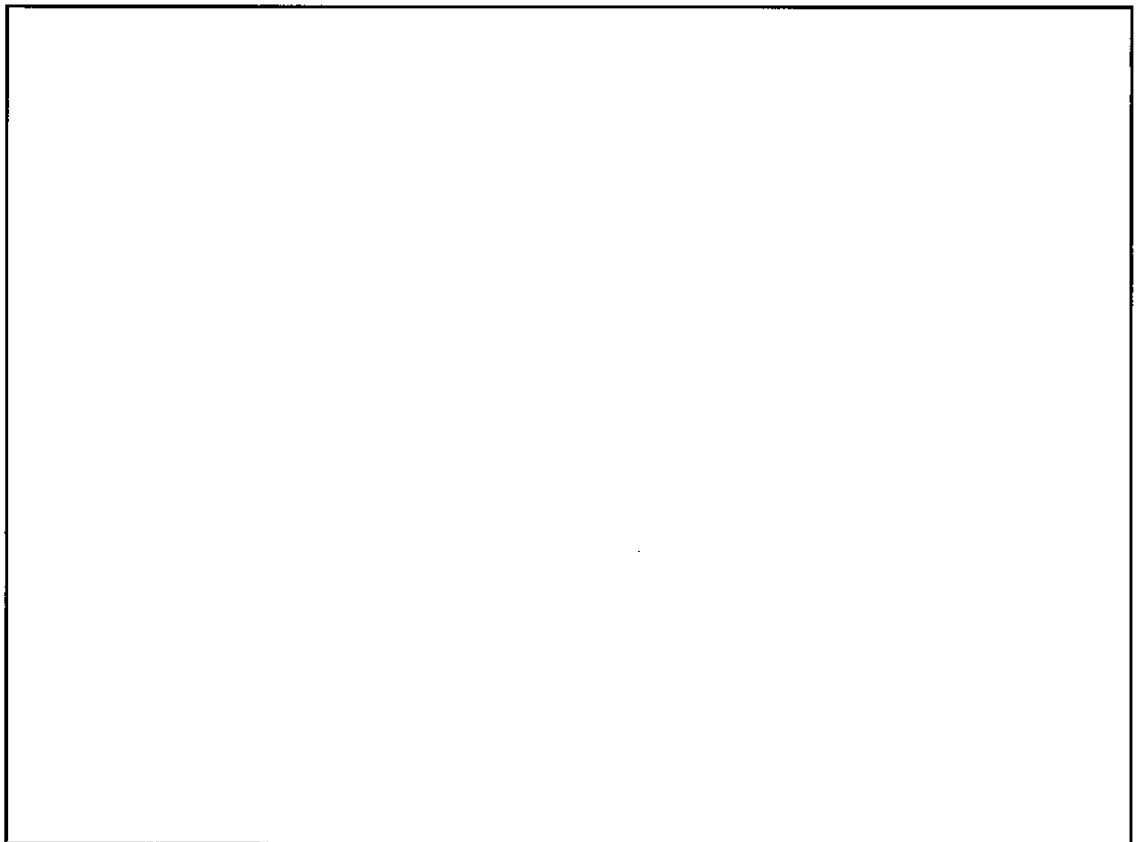


写真 3.10 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 底面中央付近

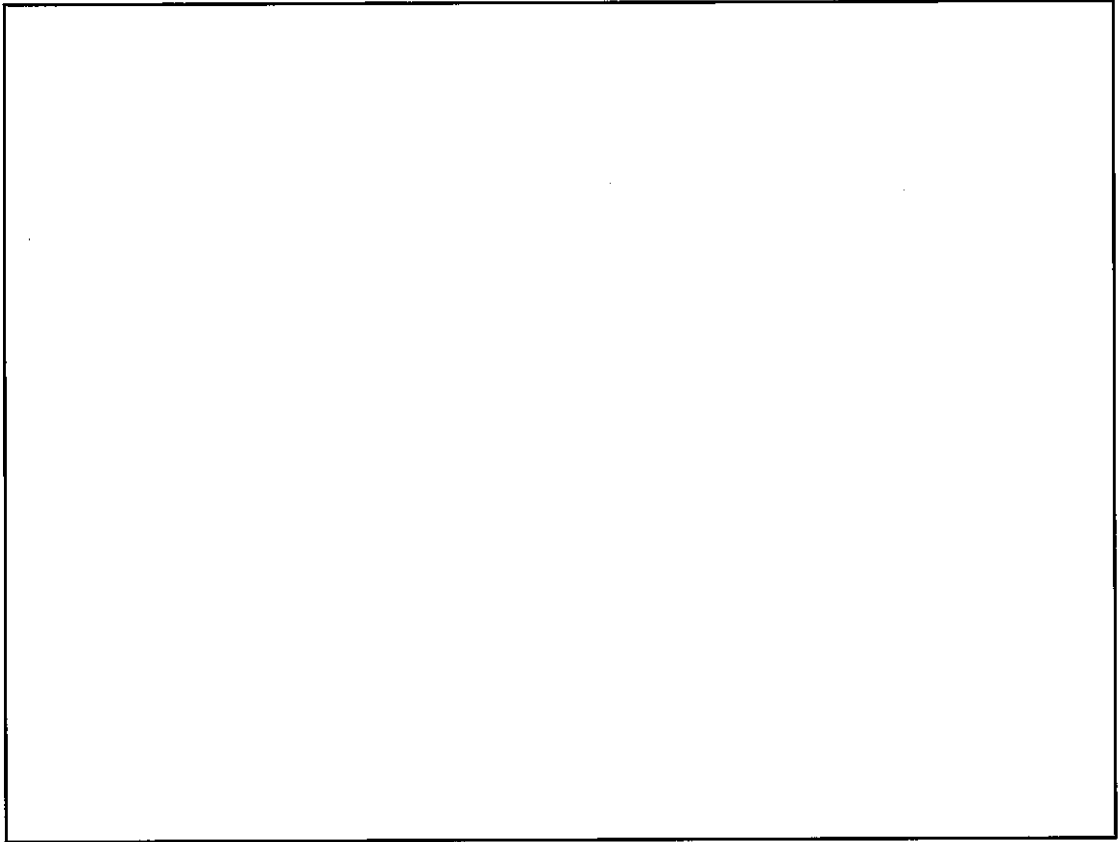


写真 3.11 落下試験 I (高さ 9 m) 前 側面

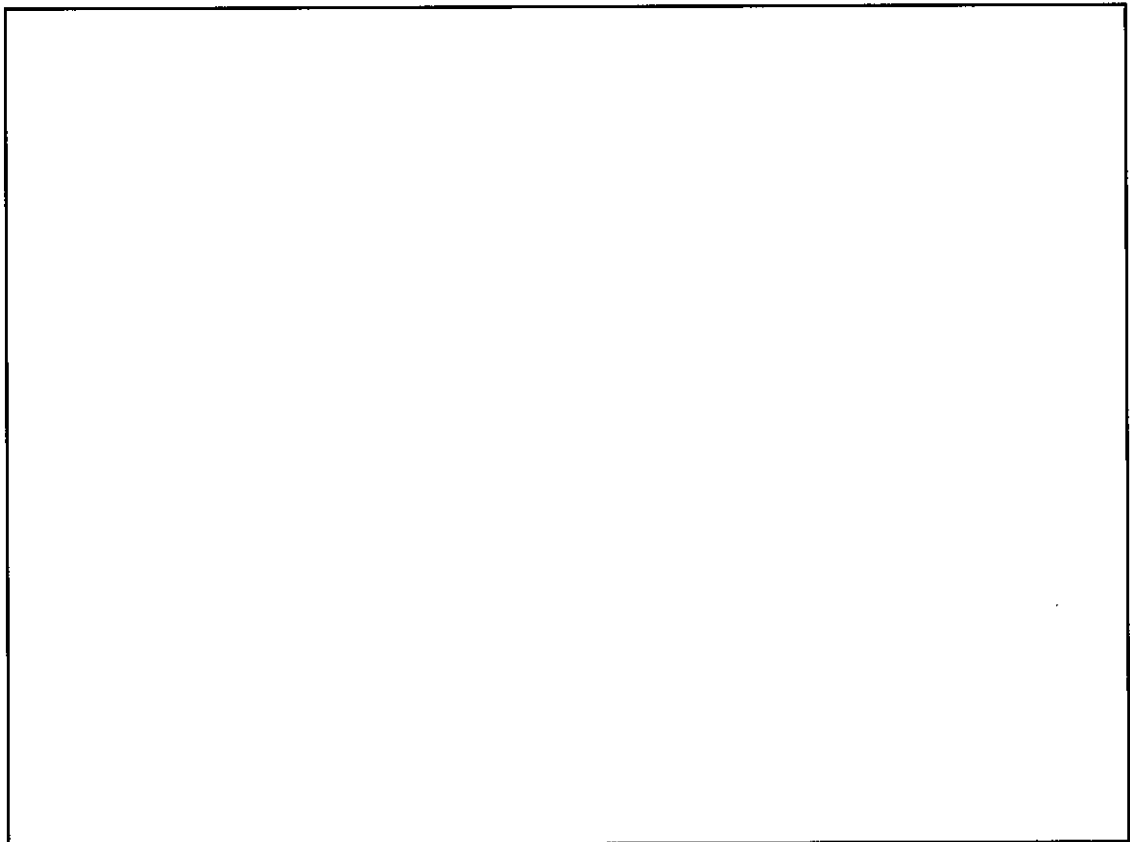


写真 3.12 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

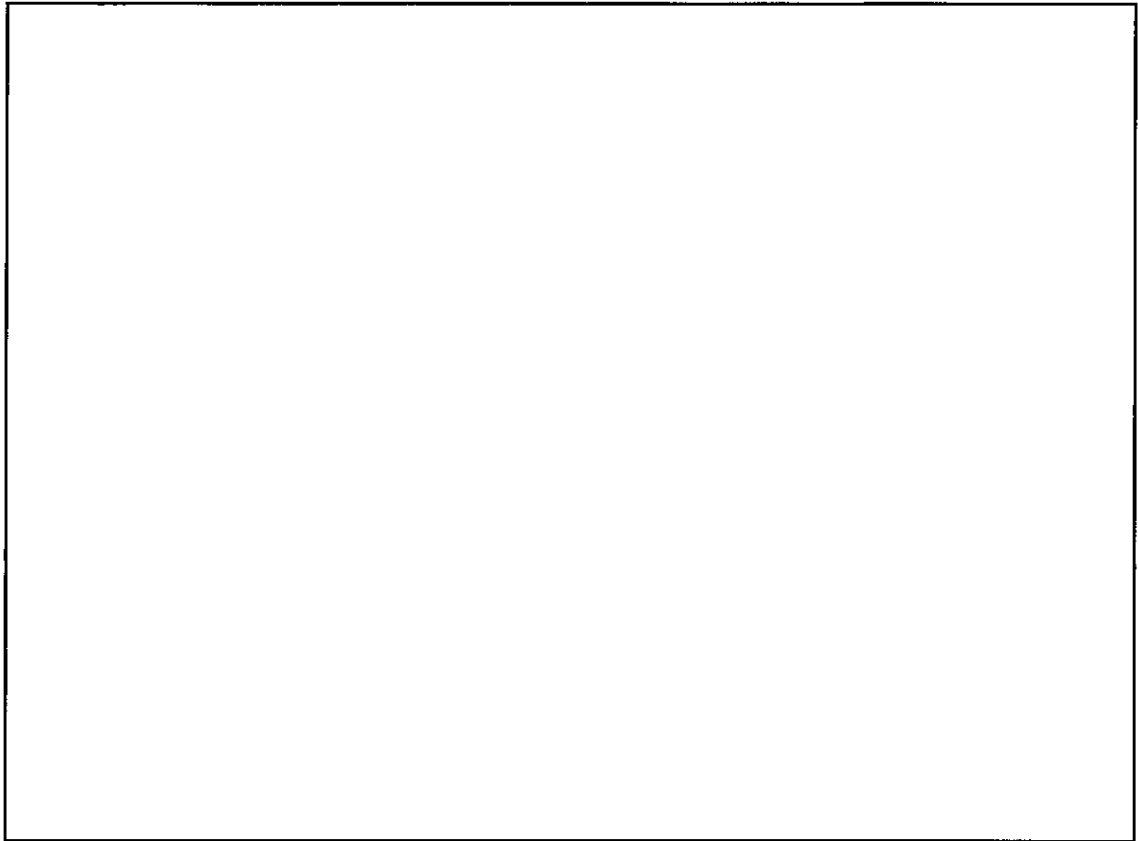


写真 3.13 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

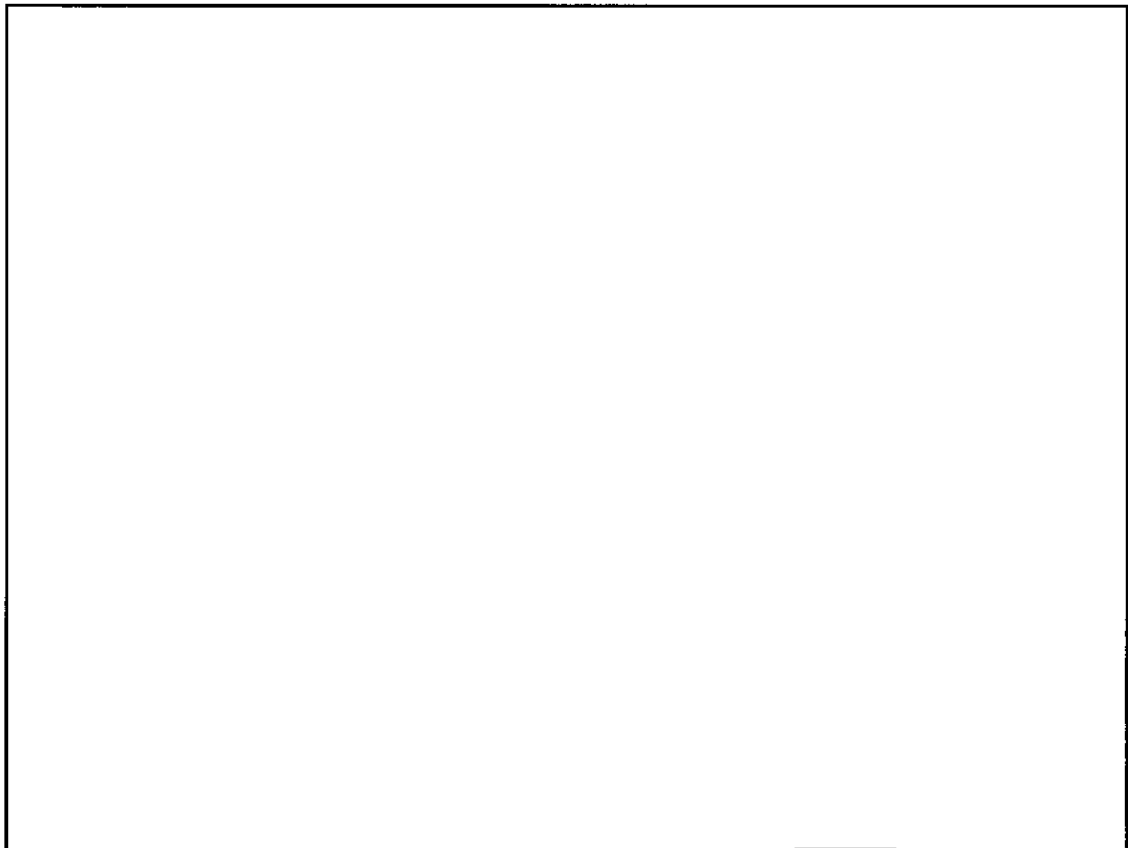


写真 3.14 落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) 前  内容器

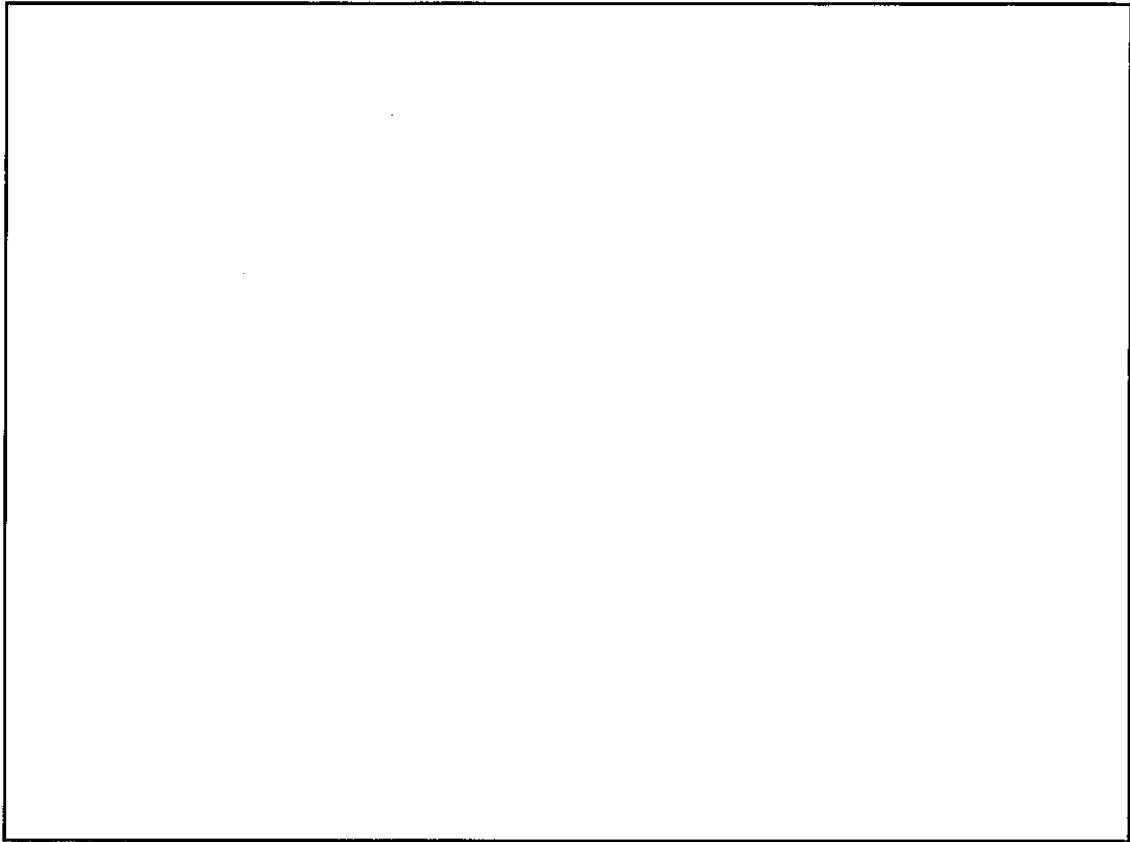


写真 3.15 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後  内容器

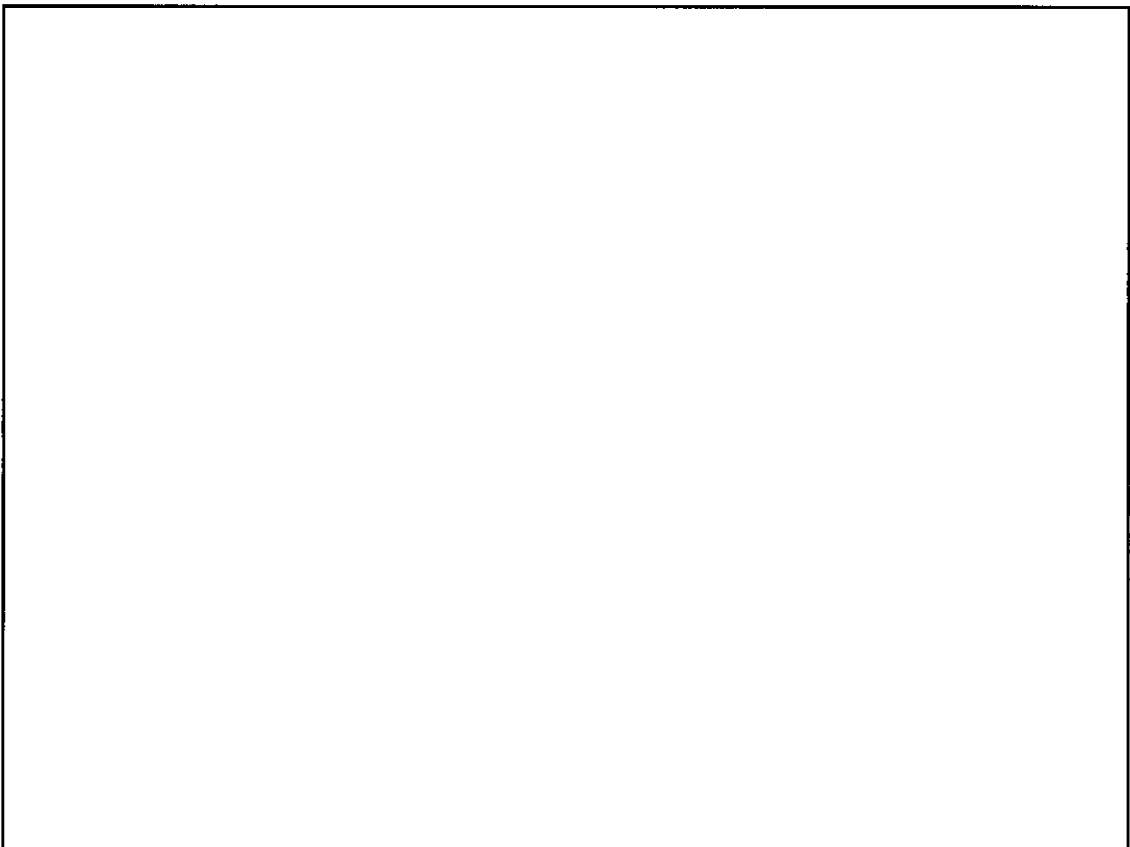


写真 3.16 貫通試験 (6 kg) 後  内容器

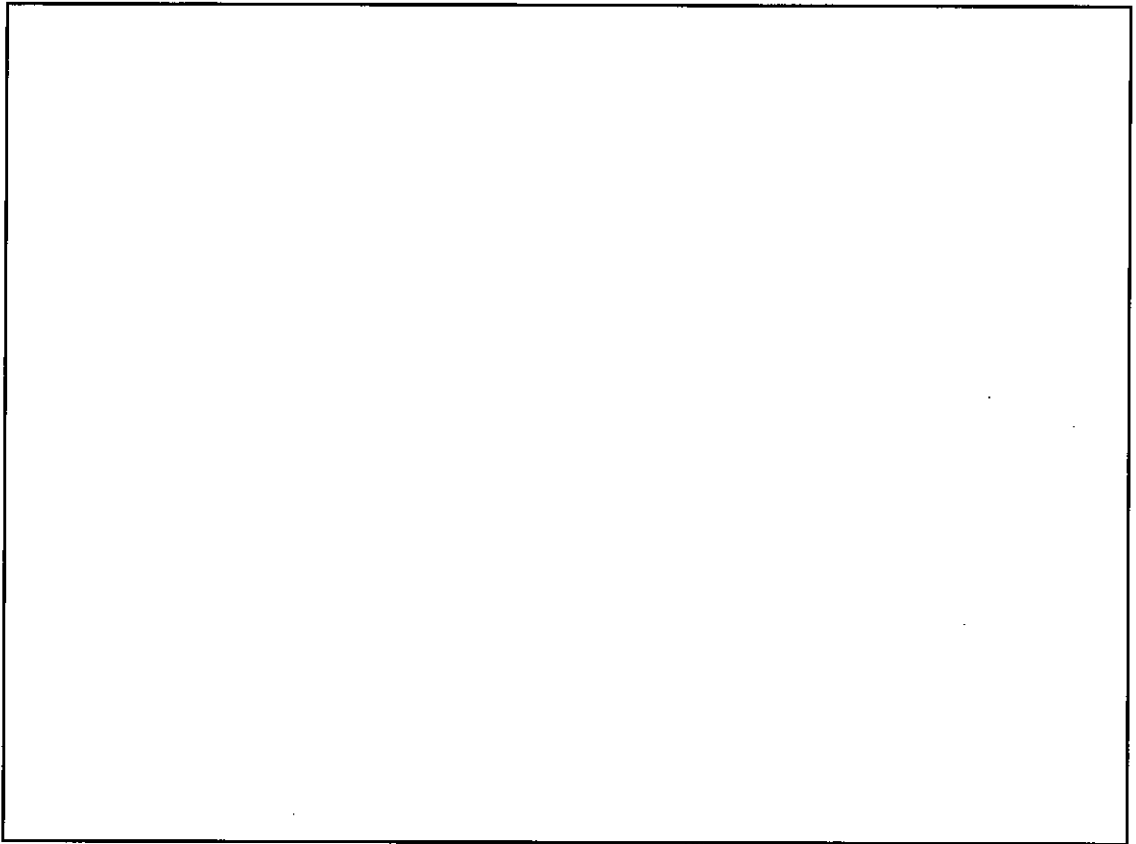


写真 3.17 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋上面

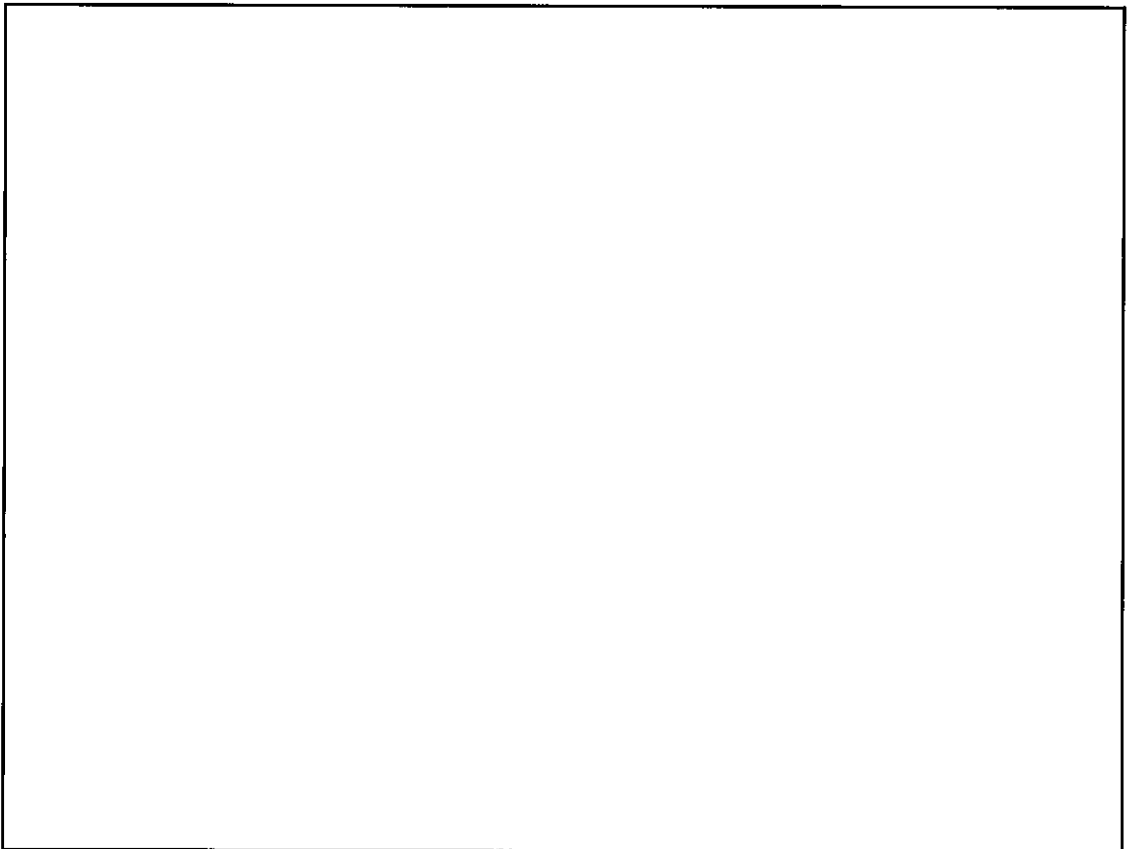


写真 3.18 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋バイオネット嵌合部間

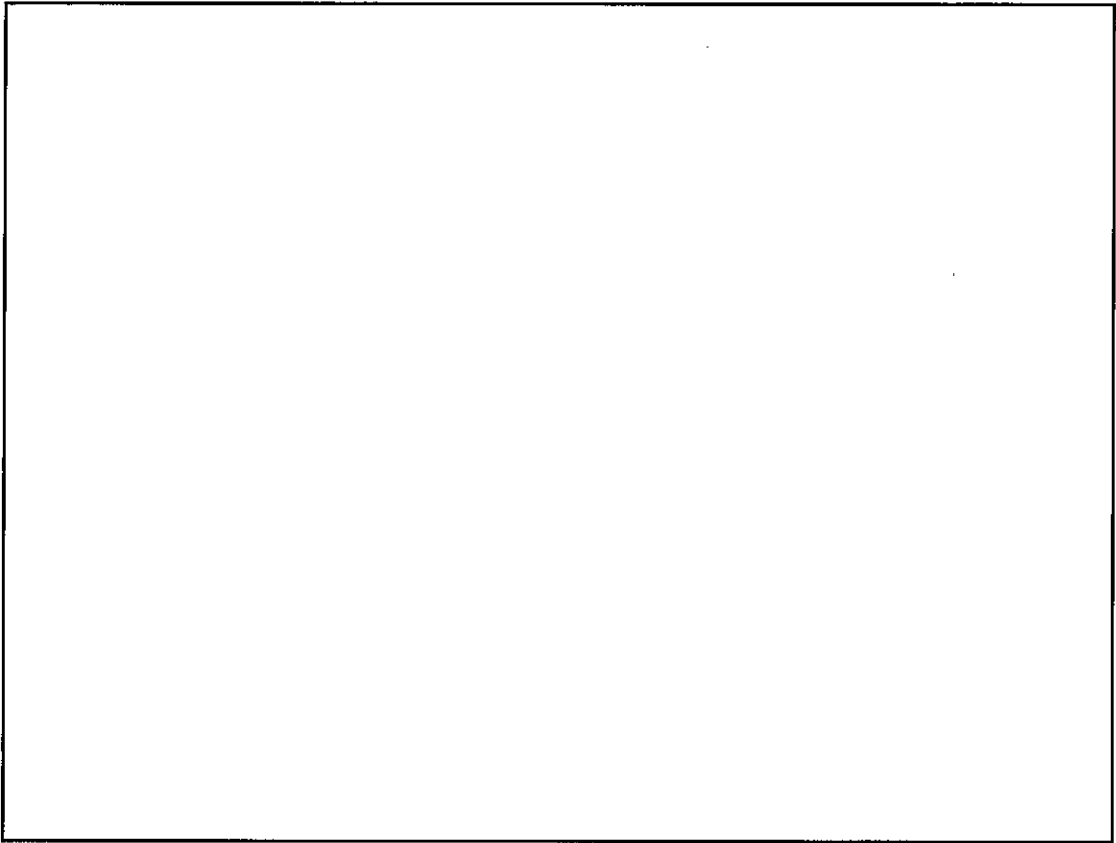


写真 3.19 落下試験（高さ  m）前 上面コーナー部

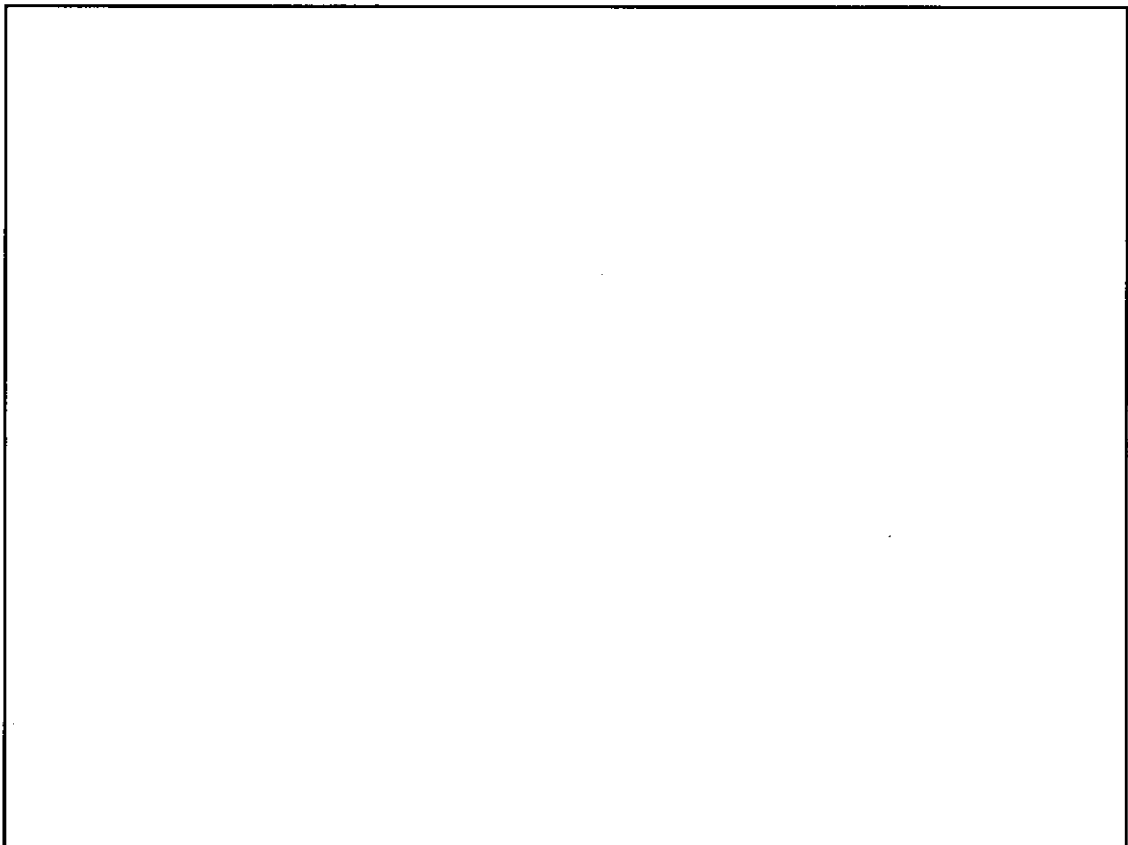


写真 3.20 落下試験（高さ  m）後 上面コーナー部

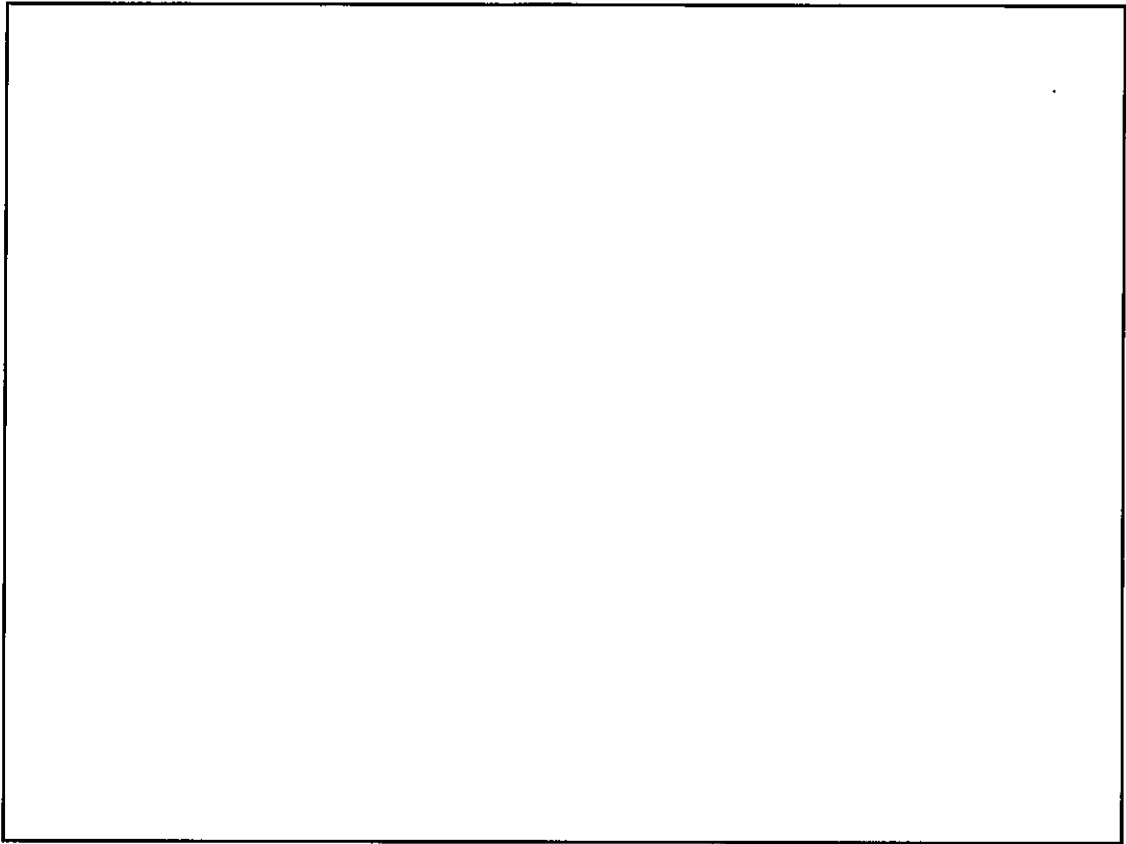


写真 3.21 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 側面中心

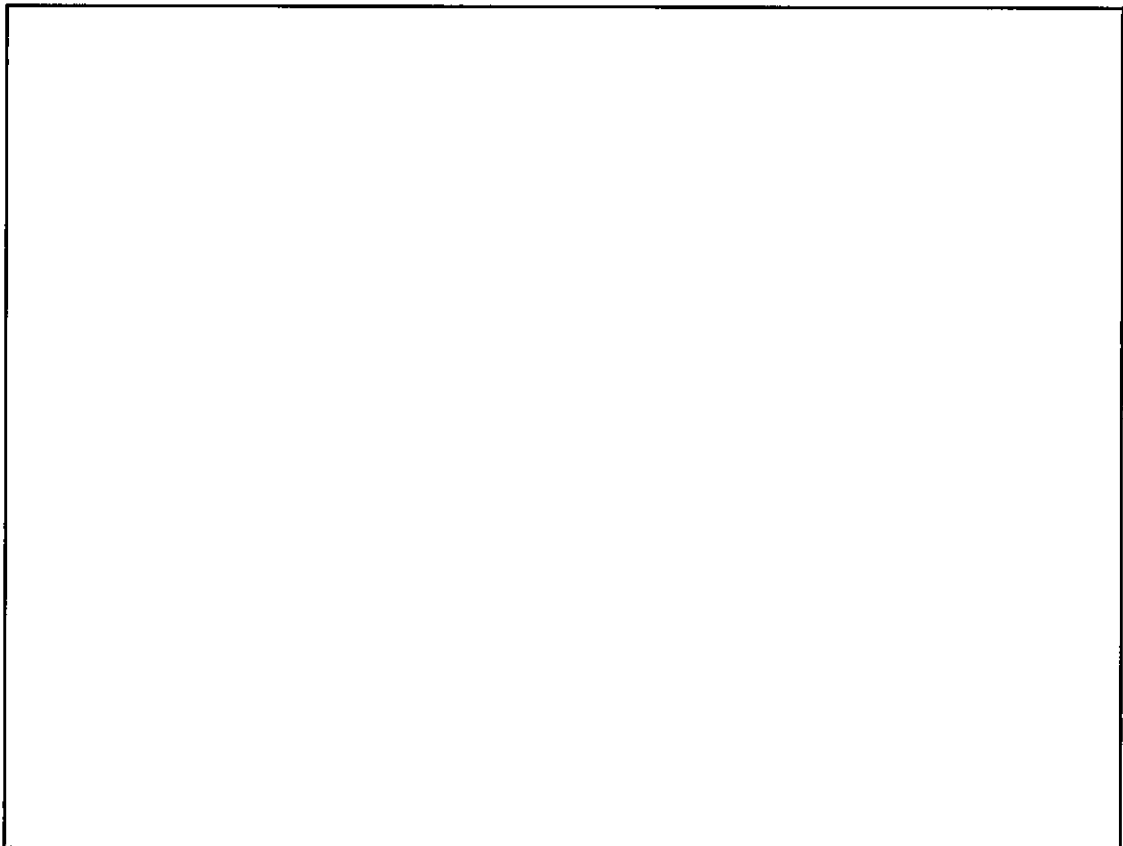


写真 3.22 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 側面中心

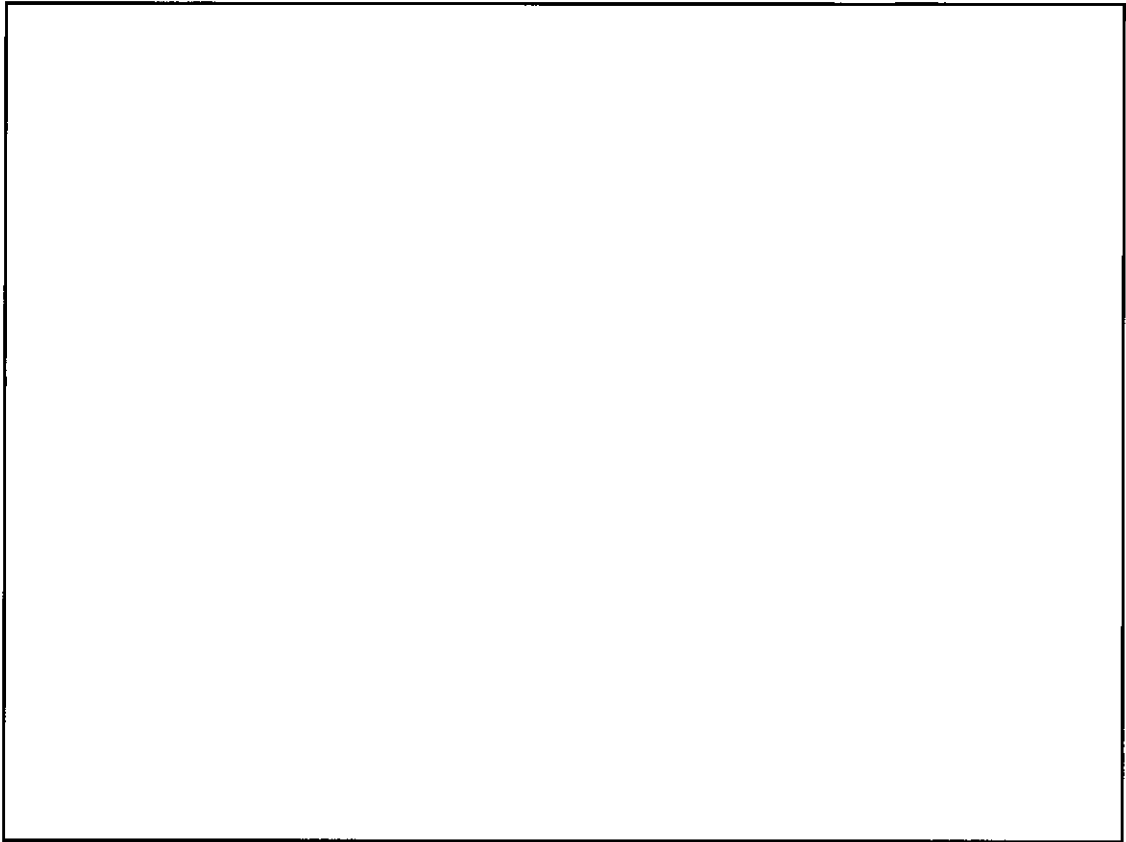


写真 3.23 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面コーナー部

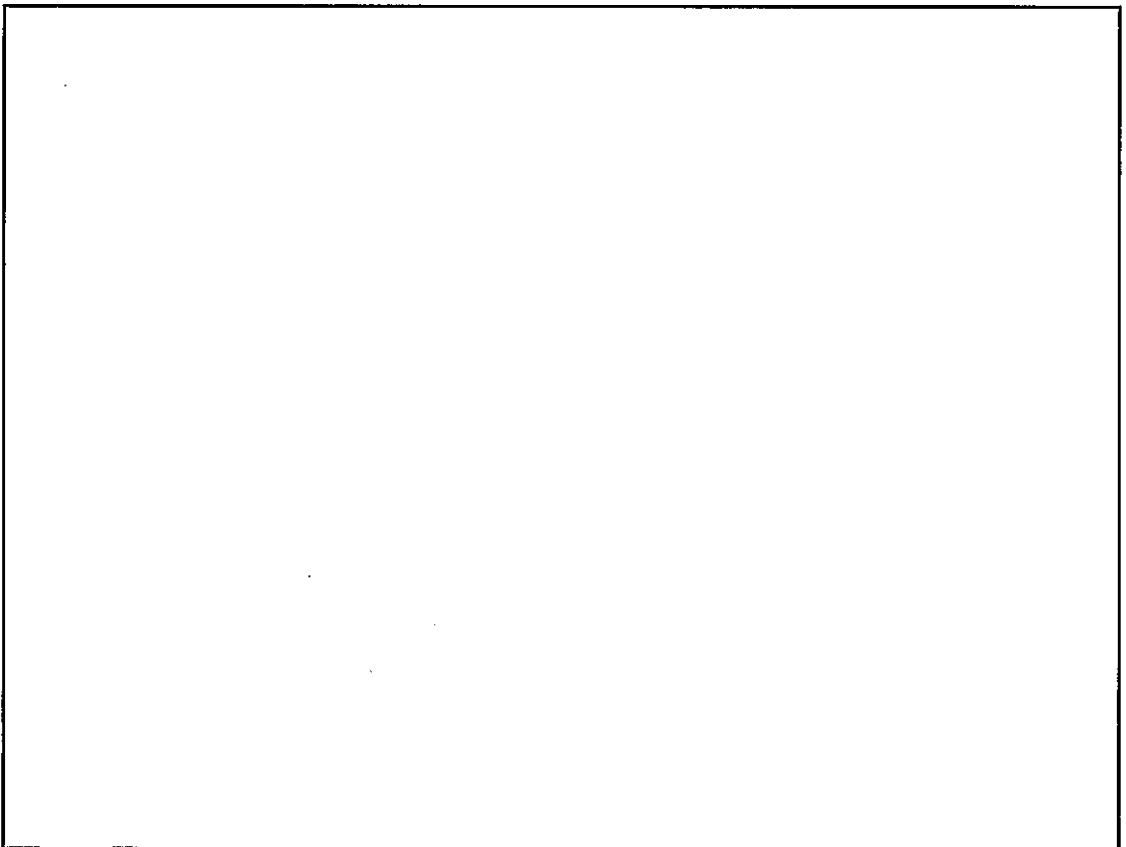


写真 3.24 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部



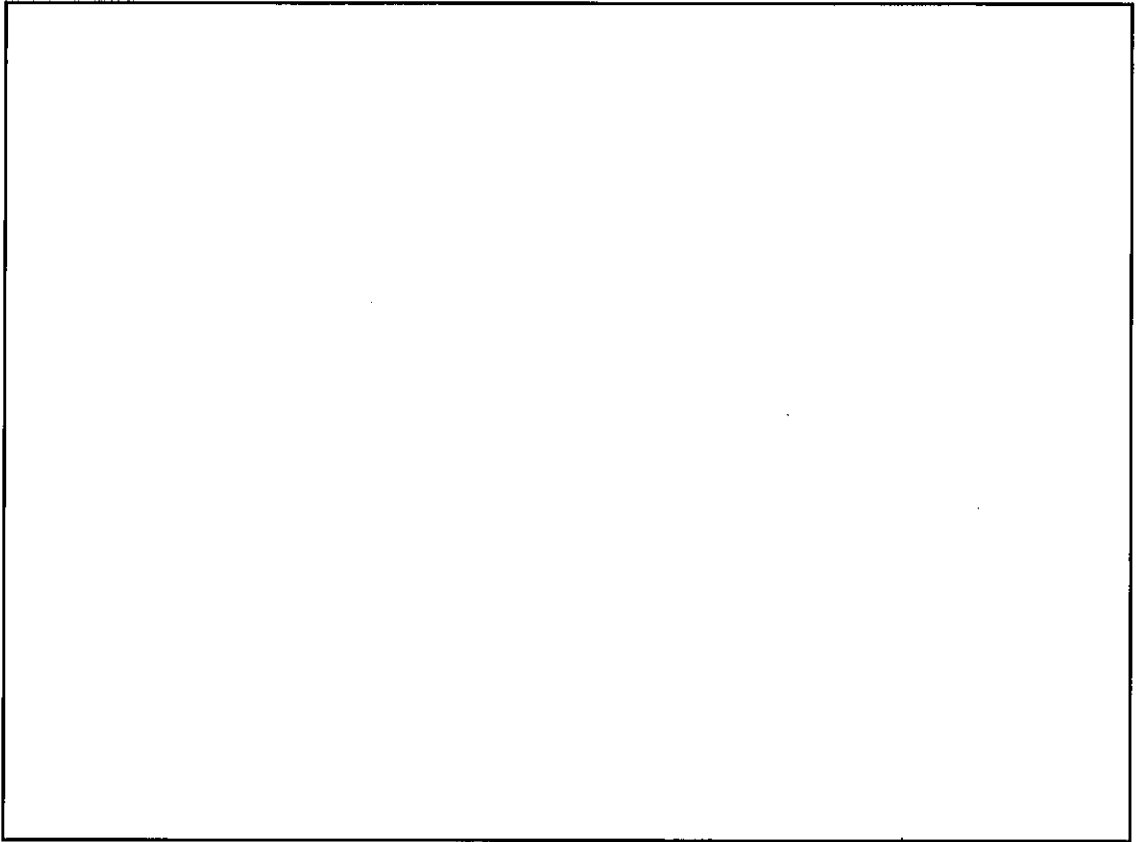


写真 3.25 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 上面コーナー部

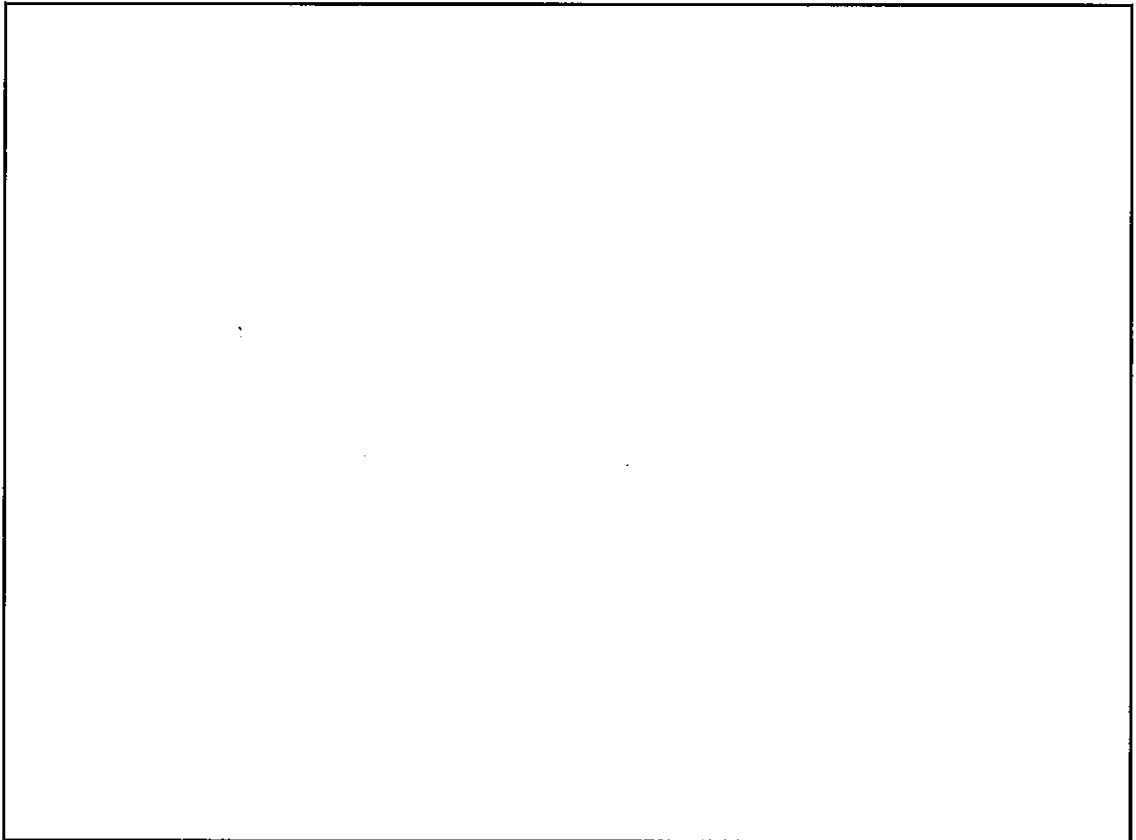


写真 3.26 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 上面コーナー部

(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□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。

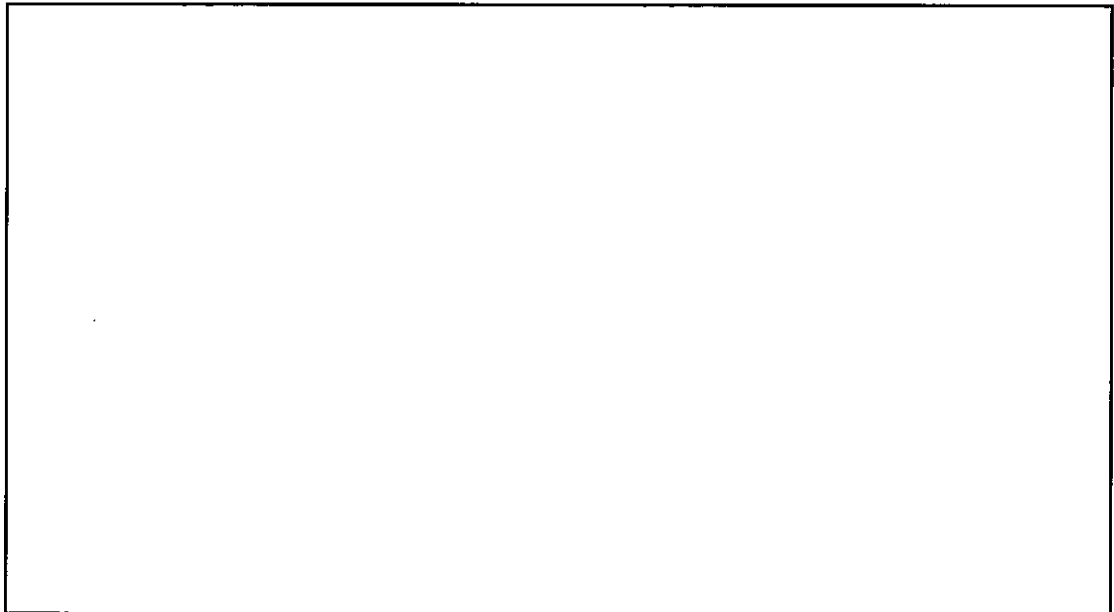
#### 4.3 原型容器の構成

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。輸送物の収納には、前述の試験同様にウラン酸化物の粉末と同密度（約  $\square$  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  $\square$  kg、輸送物中には計  $\square$  kg を収納した。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  $\square$  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  $\square$  kg である。純鉄粉末  $\square$  kg を収納した輸送物の総重量は  $\square$  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 $\square$ 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

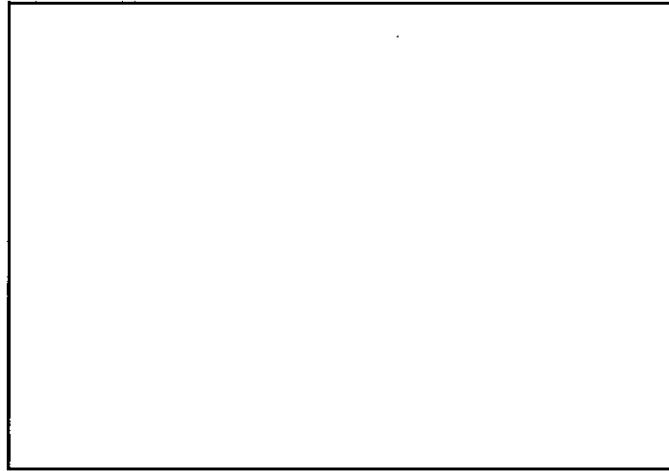
輸送物の落下方向を図 4.4 に示す。落下角度（ $\square$ ）は、衝撃点と輸送物重心を結ぶ直線が落下試験台と垂直になるように選択されている（内容器上部での粉末収納缶の移動を考慮に入れる）。衝撃を受けたコーナー部付近で輸送物外殻の波状の変形が見られ

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)

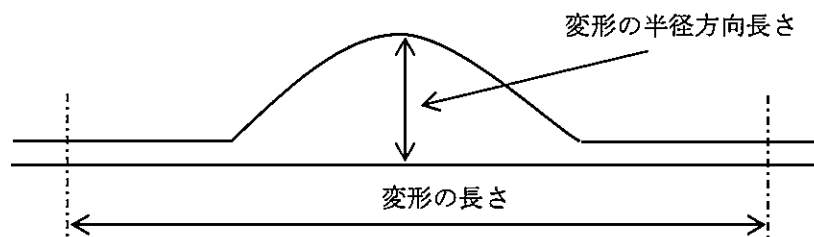
- ・落下試験：輸送物外蓋への衝撃

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

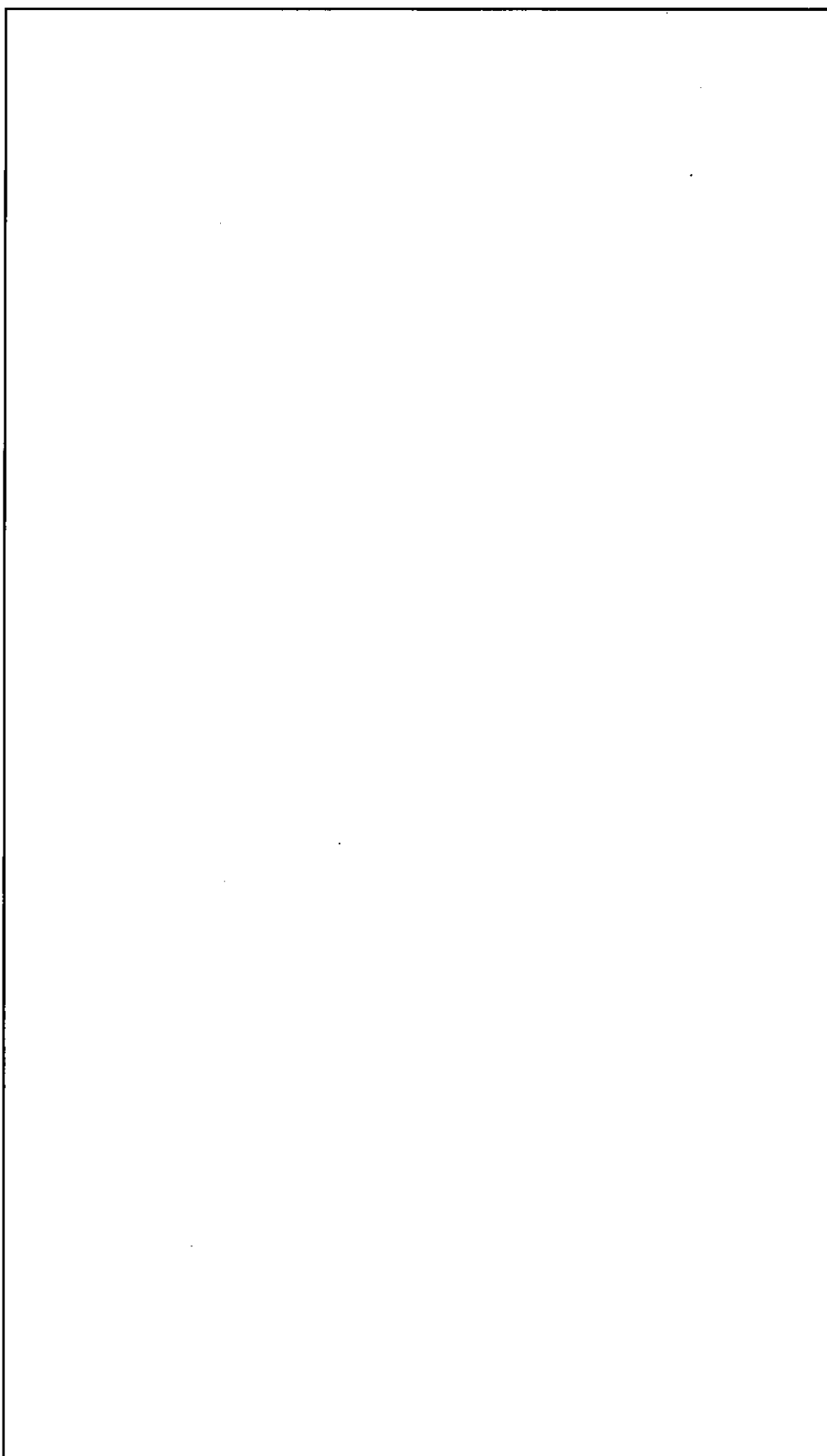


図 4.1 内容器ガスケット位置の変更

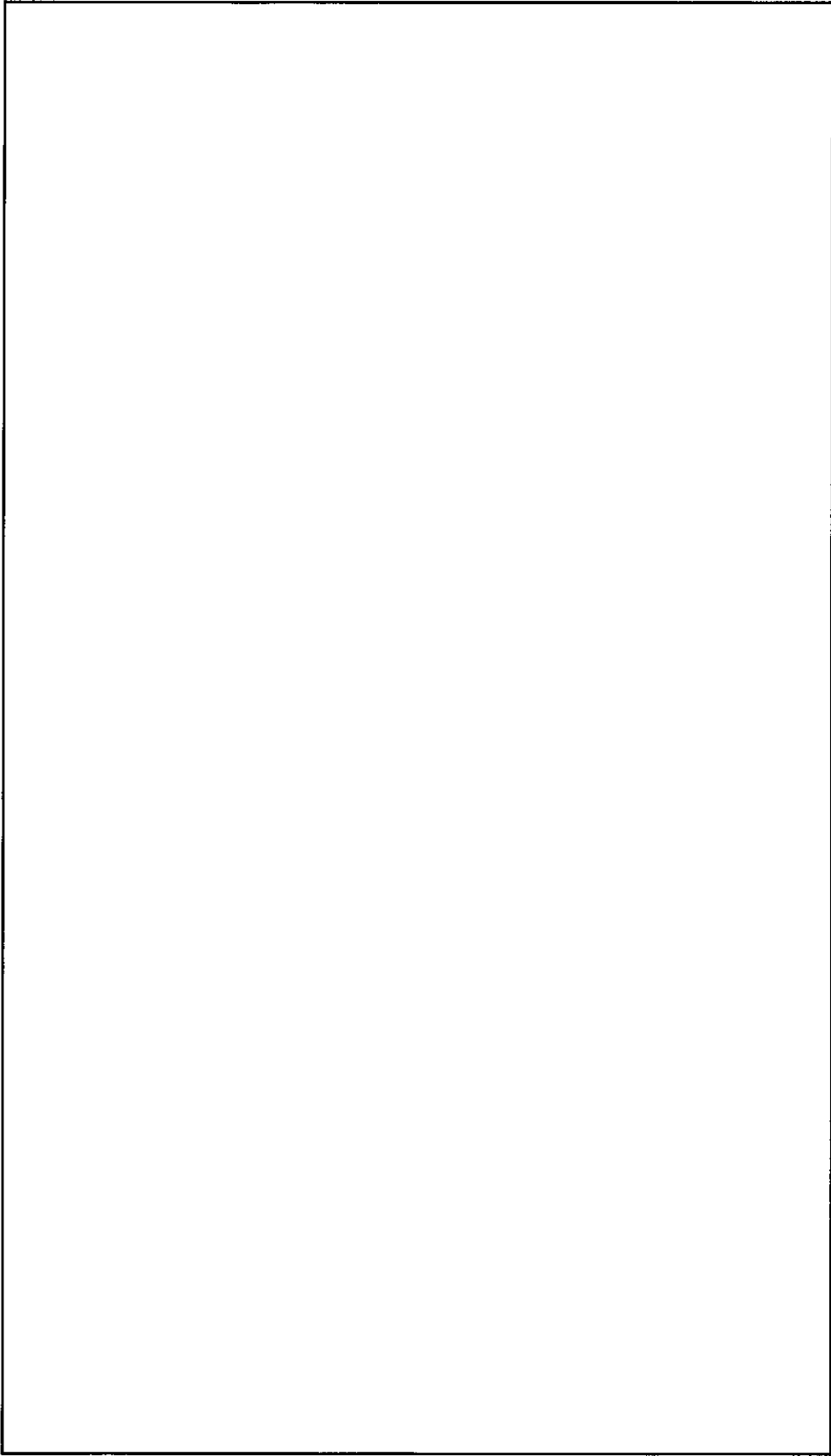


図 4.2 外蓋の変更



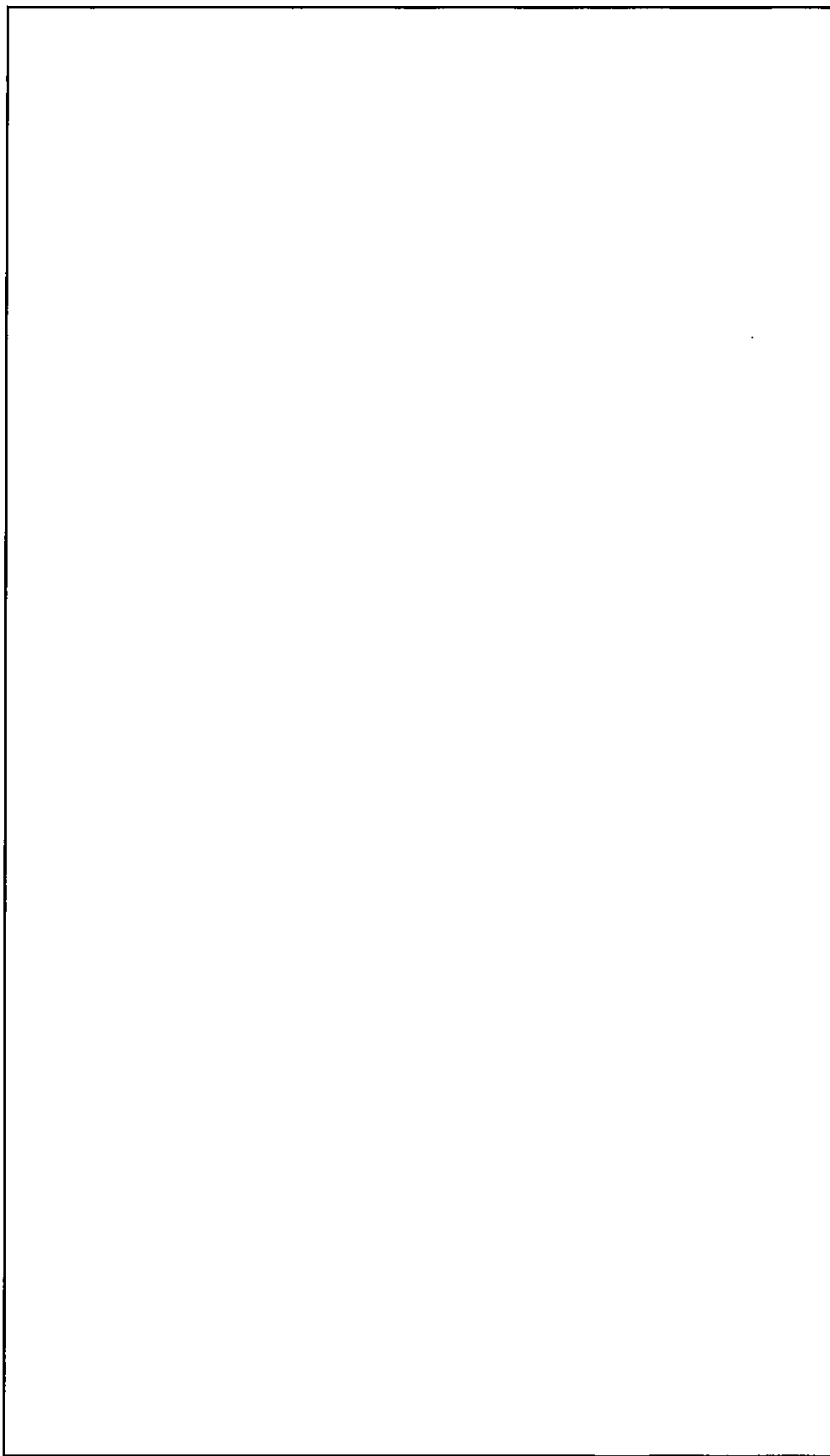


図 4.3 脚部の変更

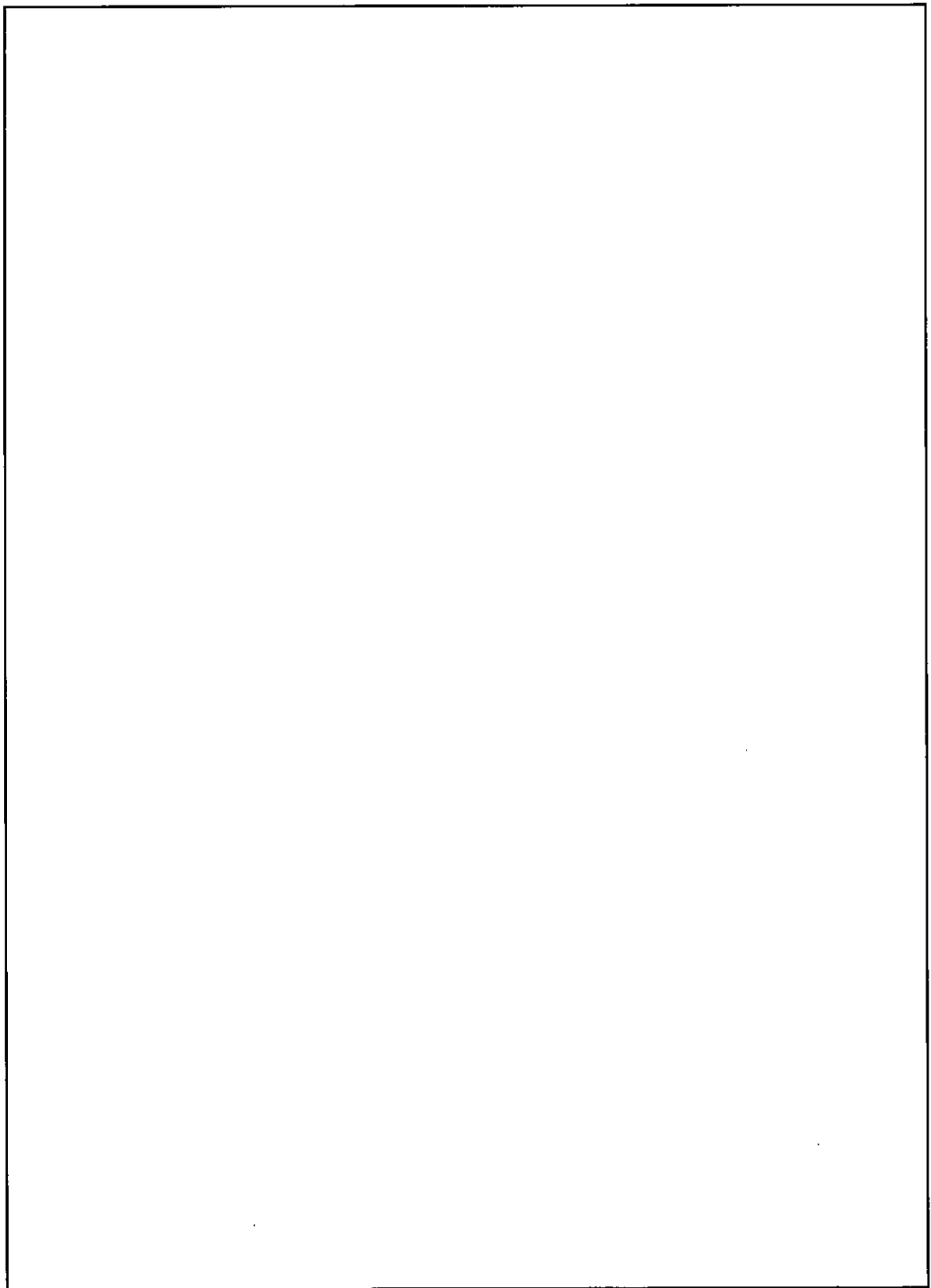


図 4.4 落下試験 (高さ  m) - 原型容器 P5

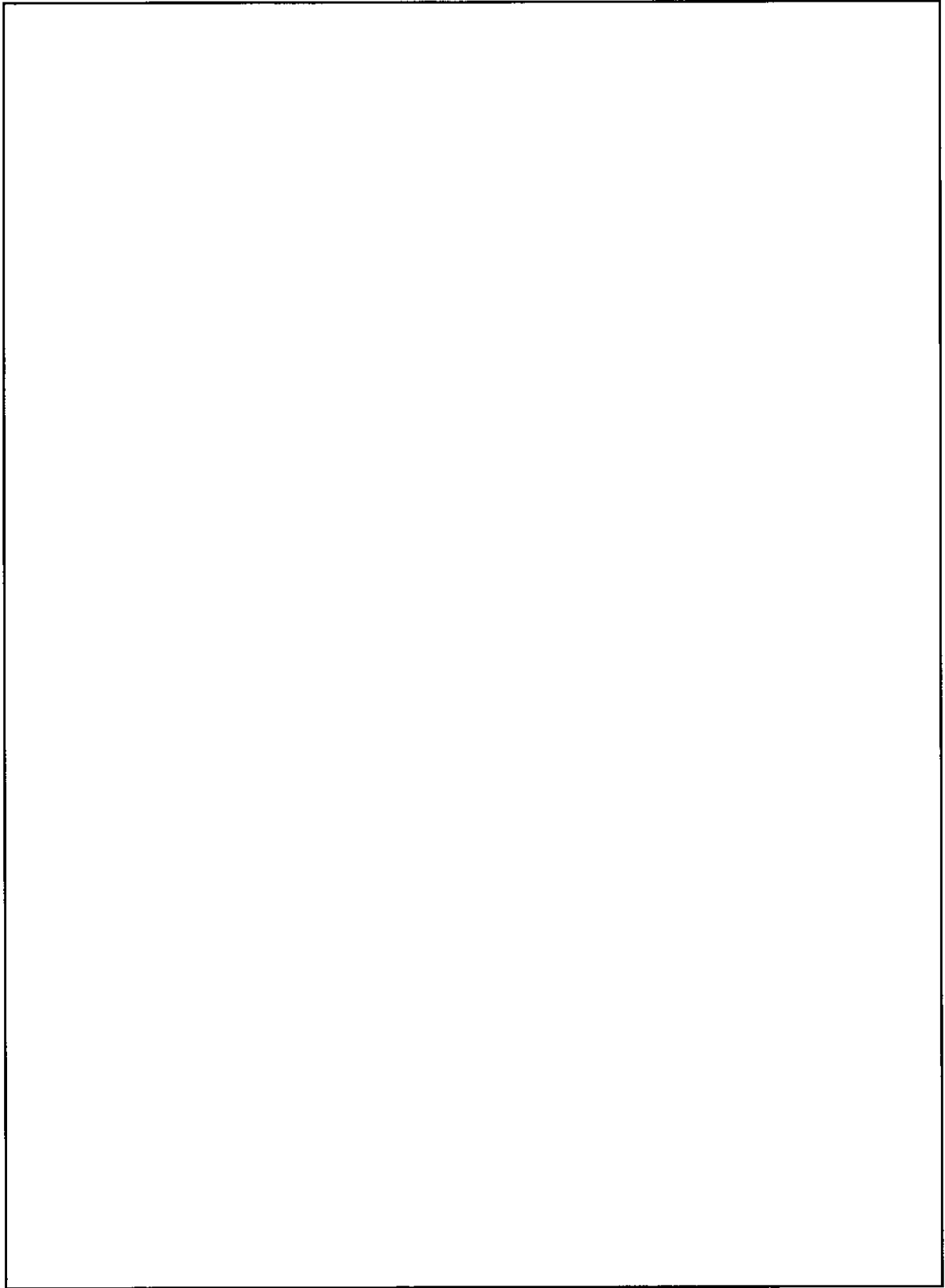


図 4.5 落下試験 I (高さ 9 m) ・原型容器 P5

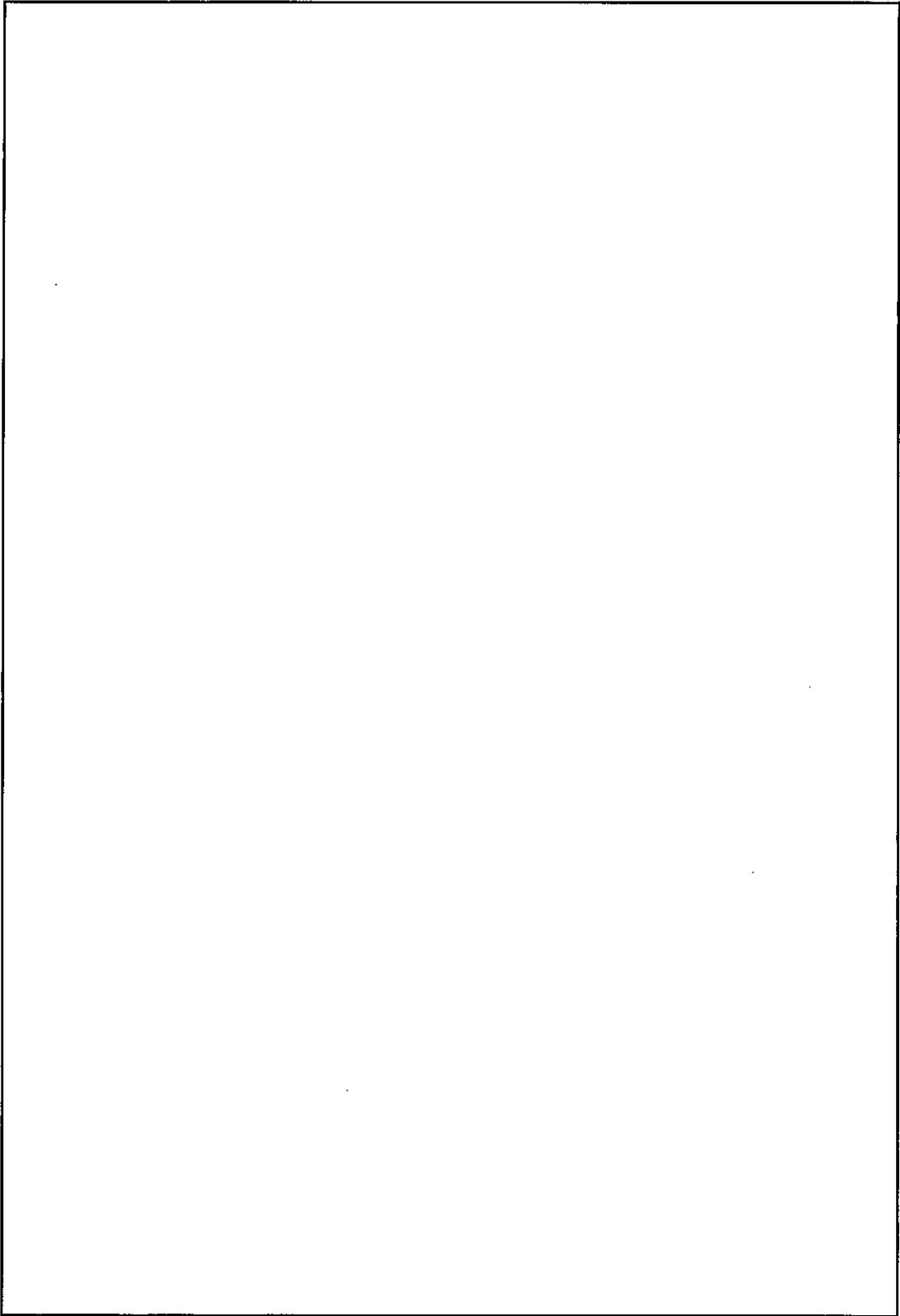


図 4.6 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) - 原型容器 P5

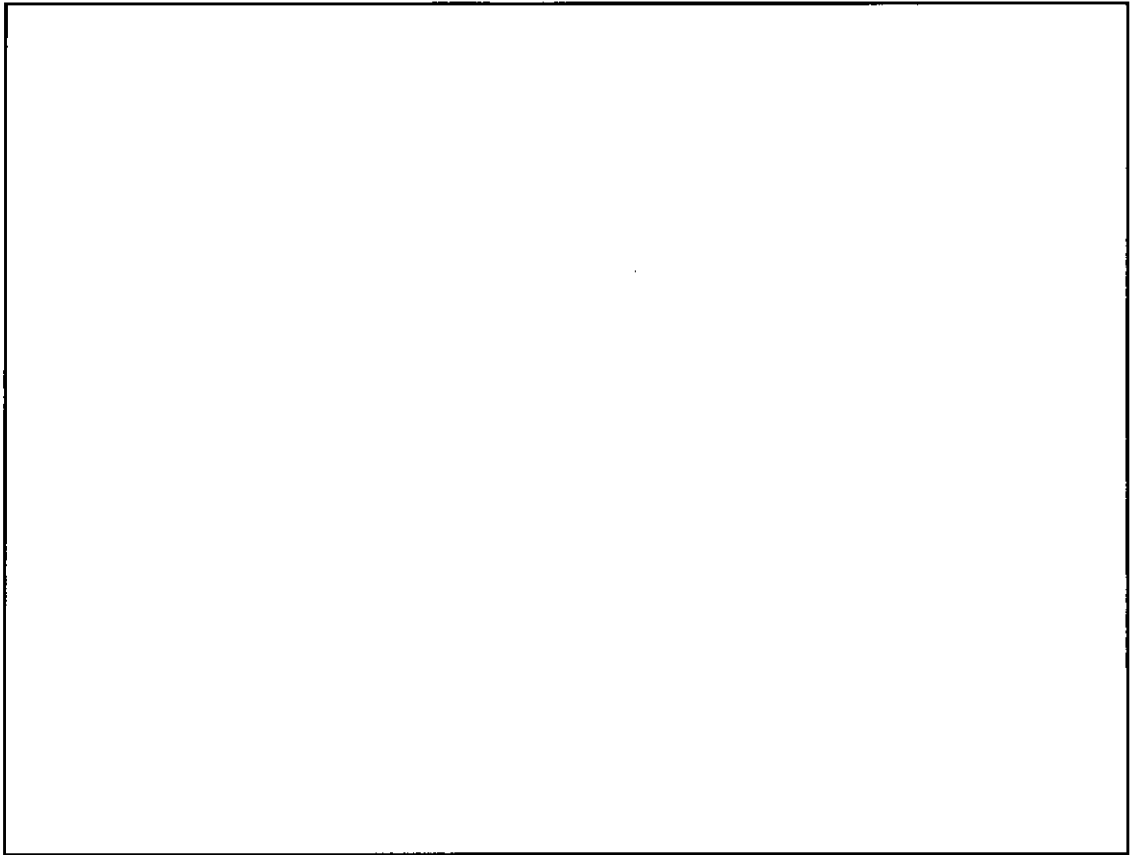


写真 4.1 粉末収納缶及び漏えい確認用消石灰の外観

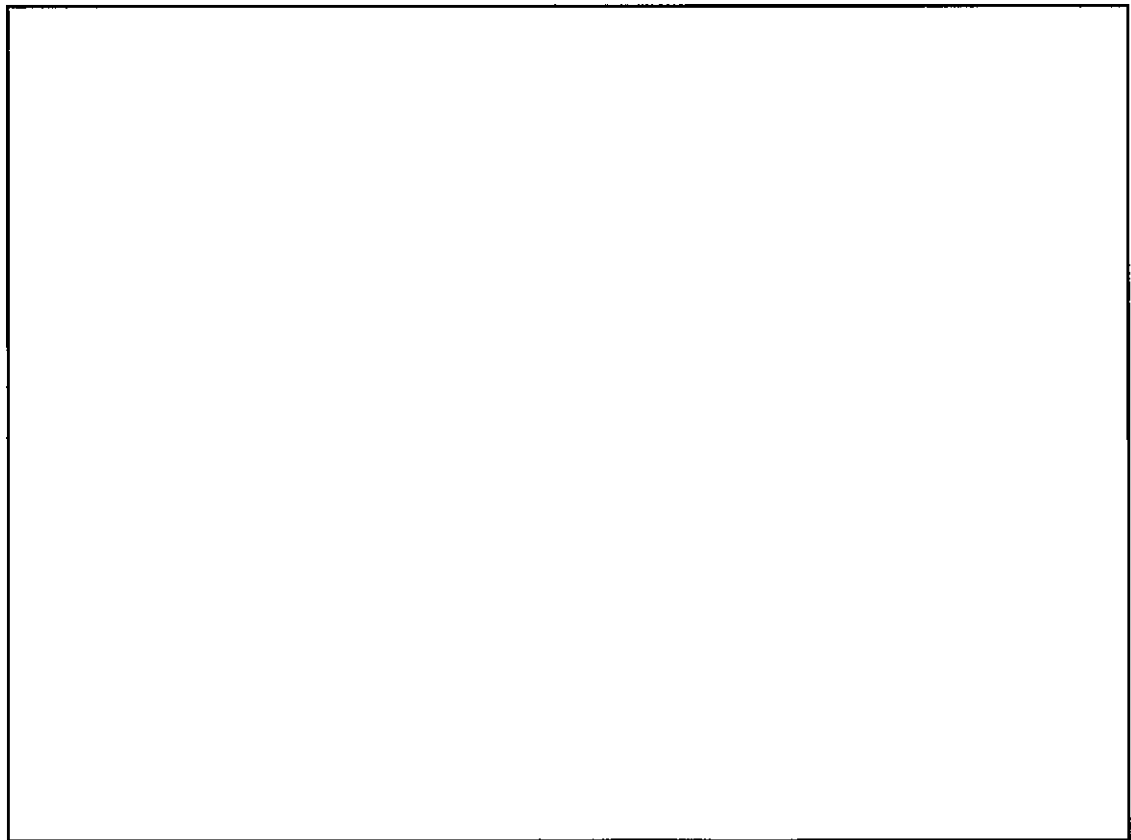


写真 4.2 落下試験（高さ  m）前

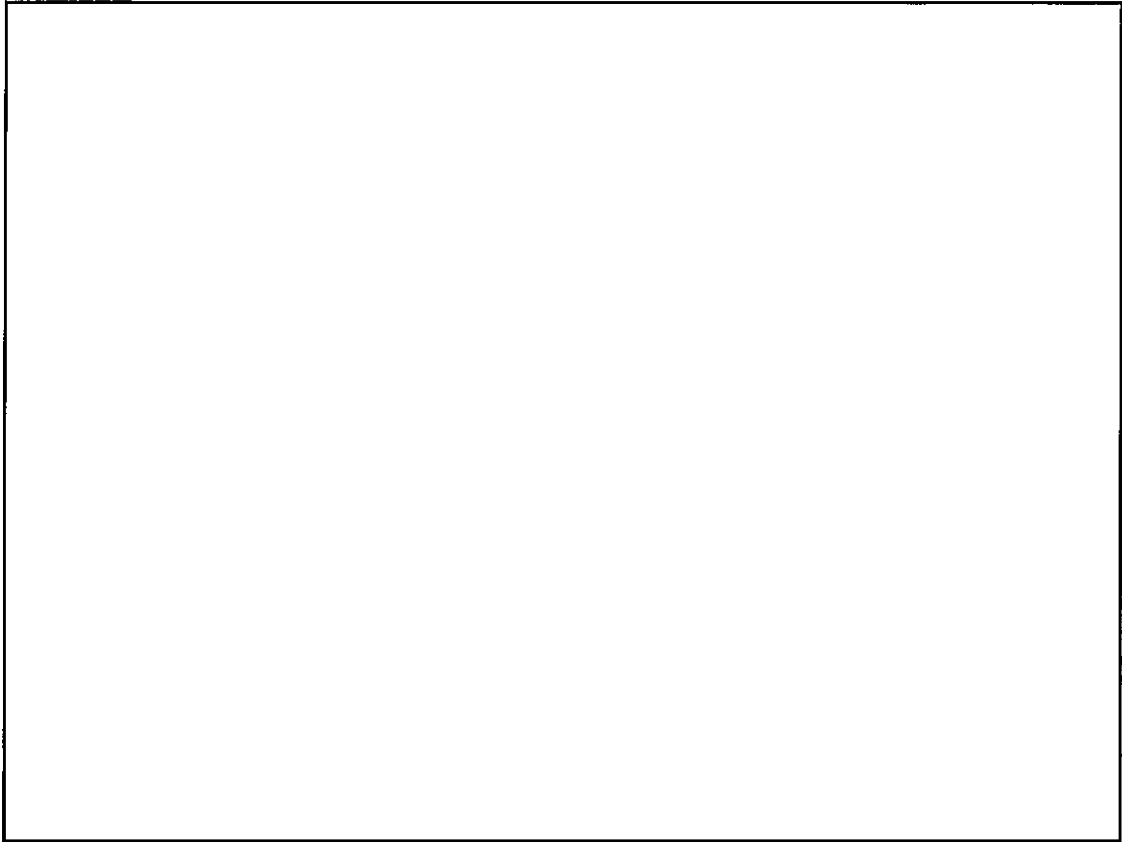


写真 4.3 落下試験（高さ  m）後

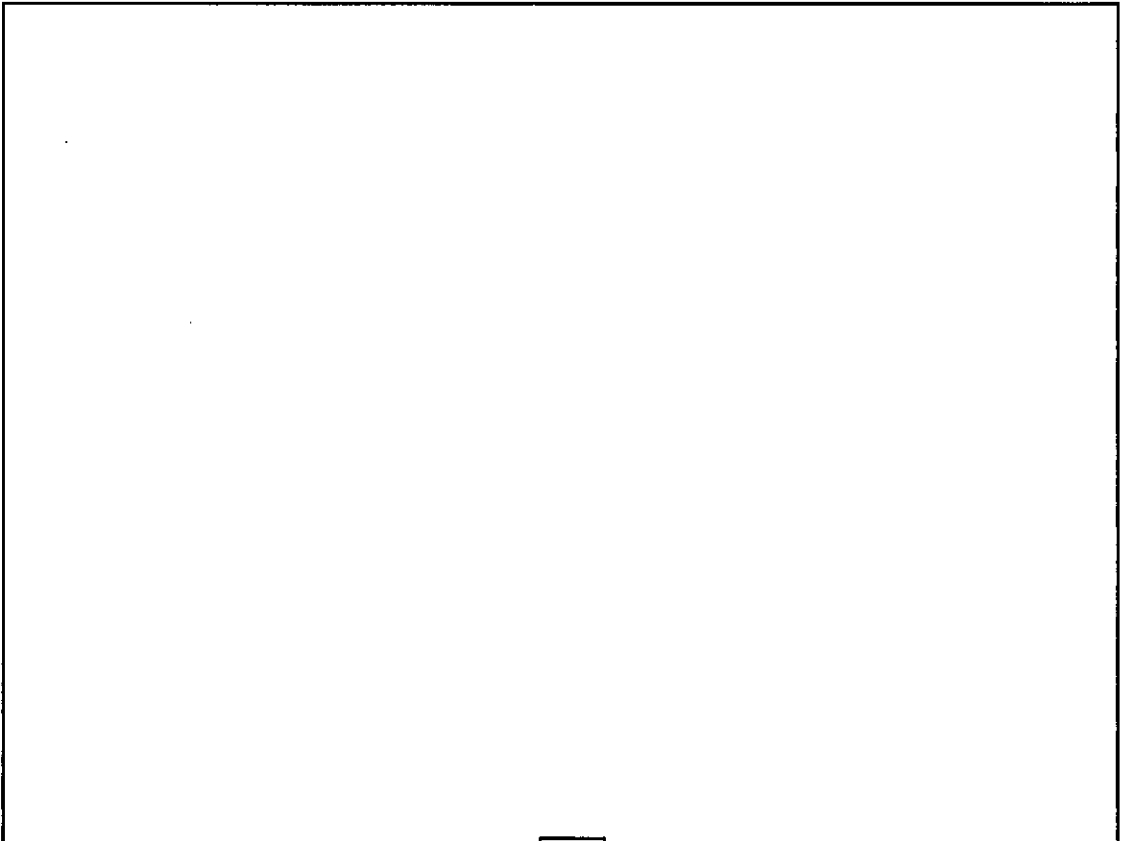


写真 4.4 落下試験（高さ  m）後 上面コーナ一部

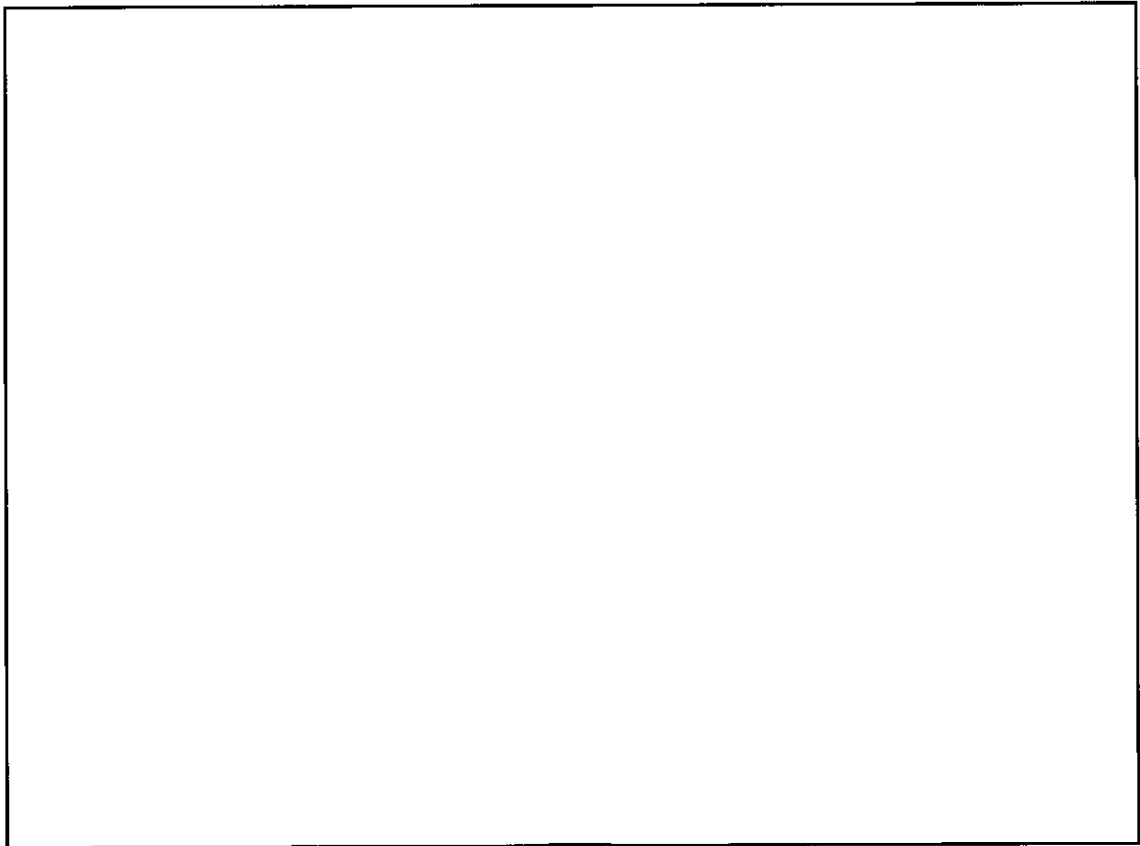


写真 4.5 落下試験 (高さ  m) 後 上面コーナー部

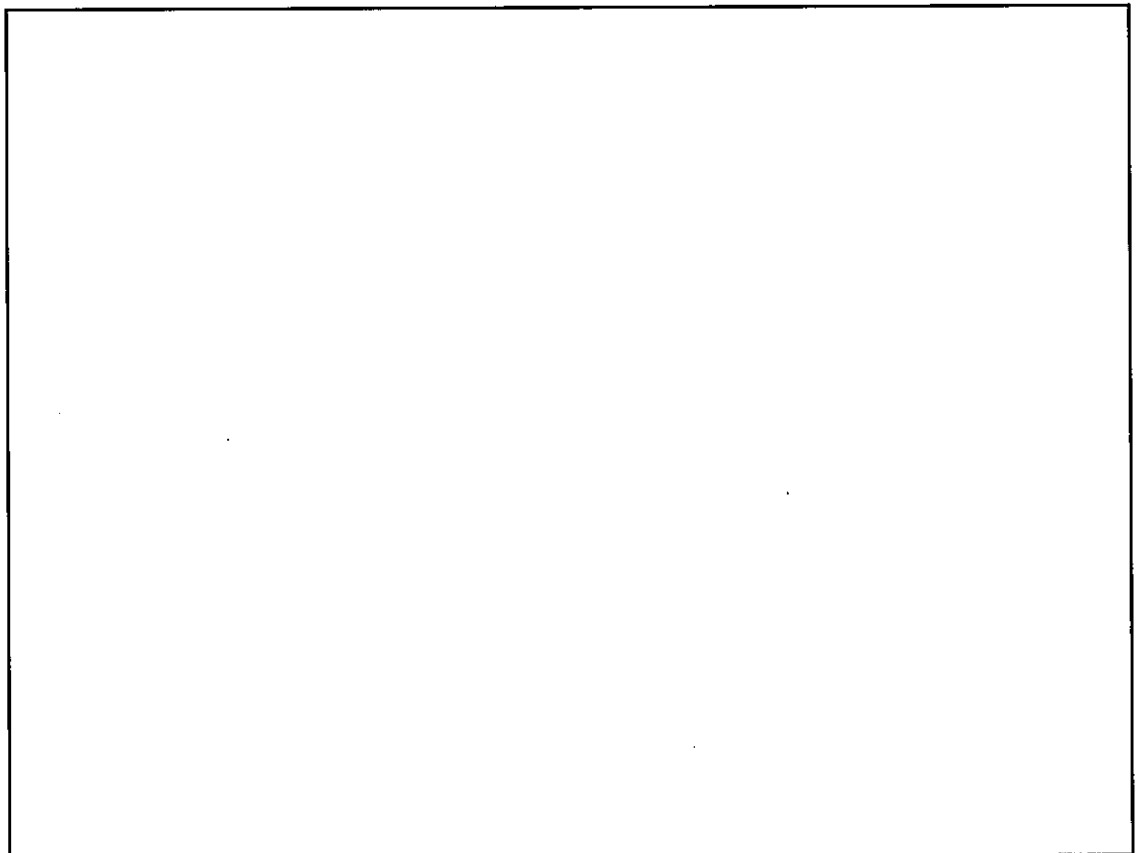


写真 4.6 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

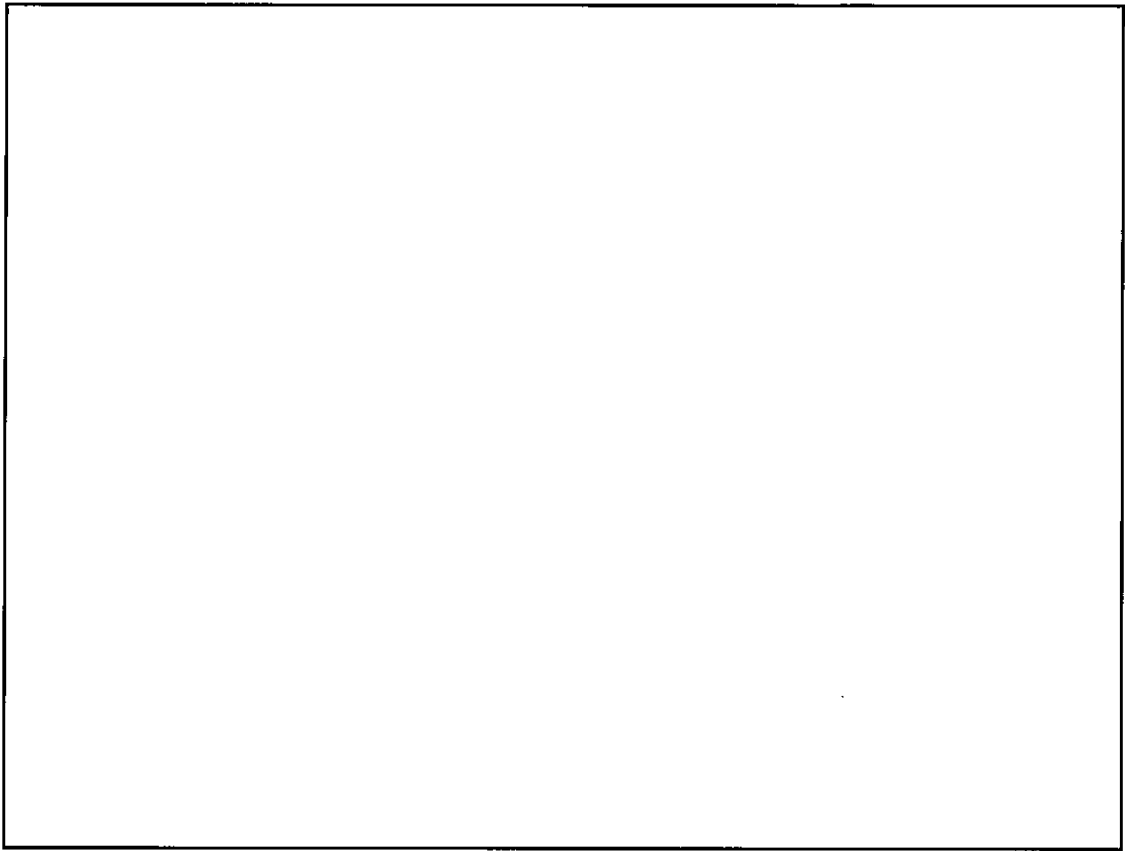


写真 4.7 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

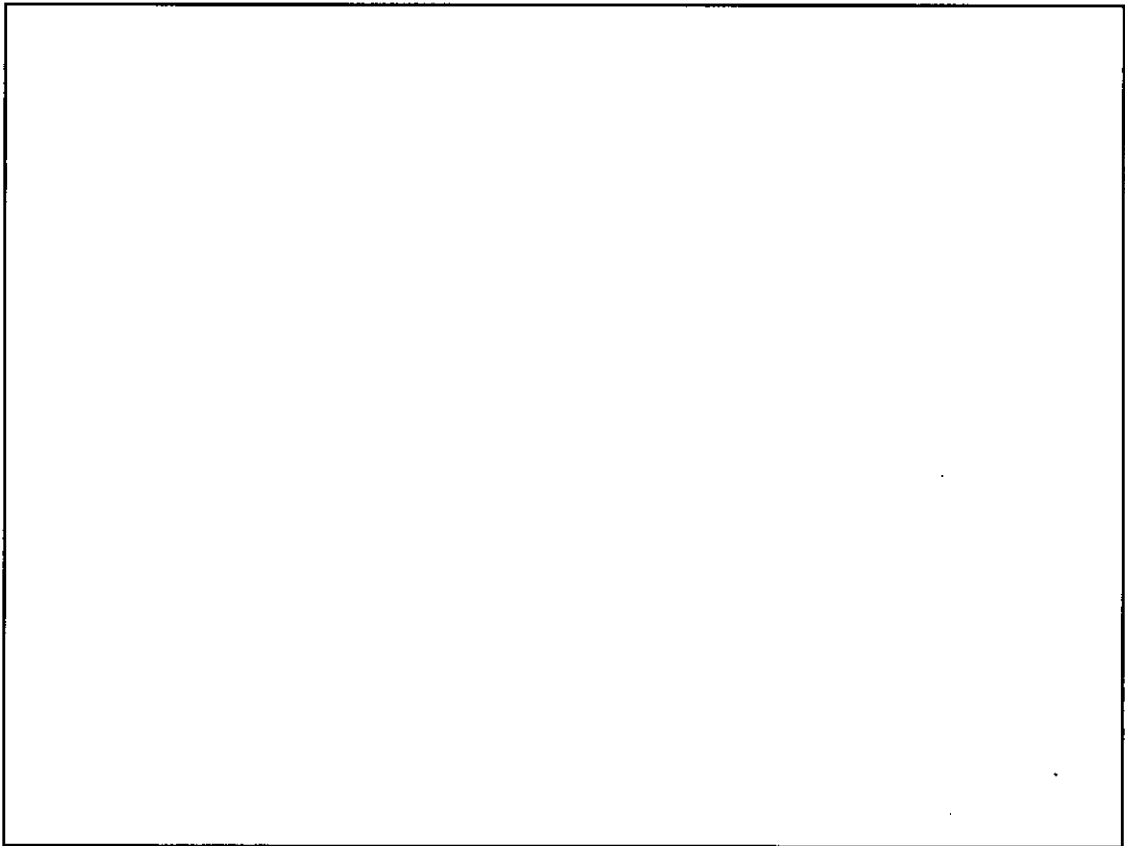


写真 4.8 落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) 前



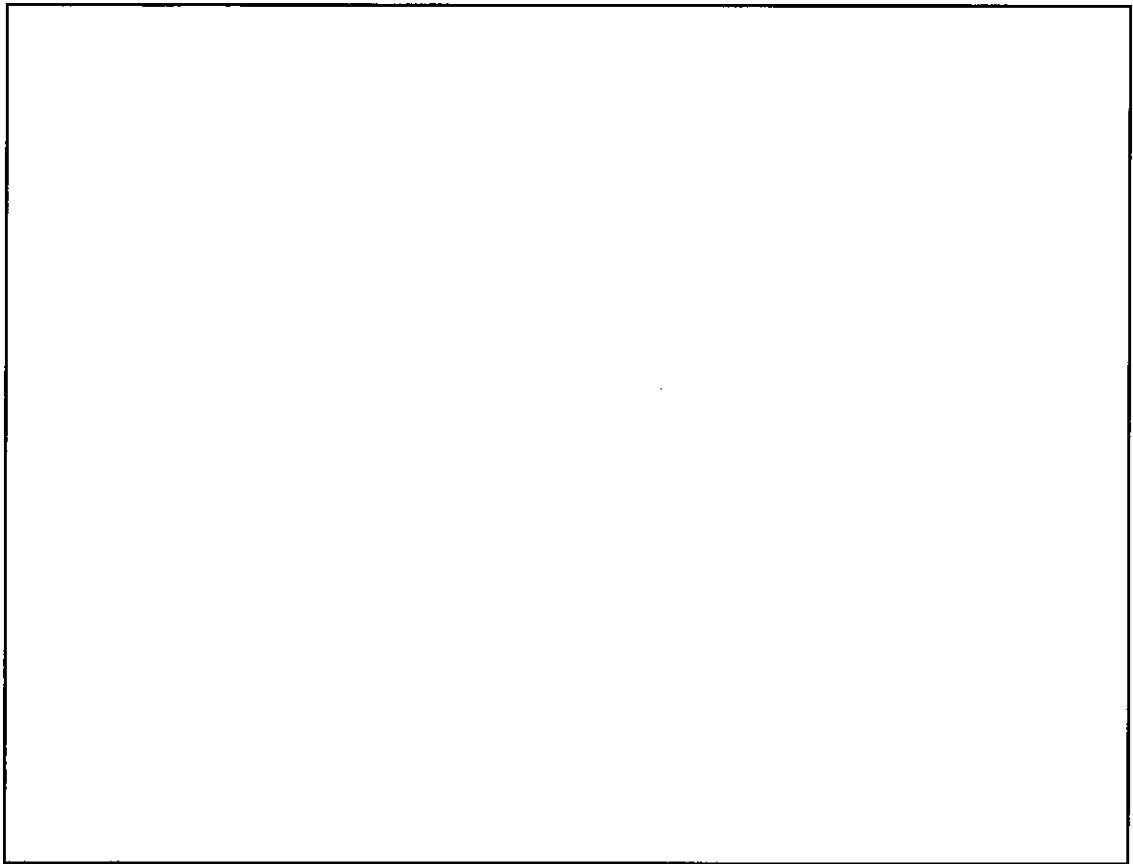


写真 4.9 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 外蓋

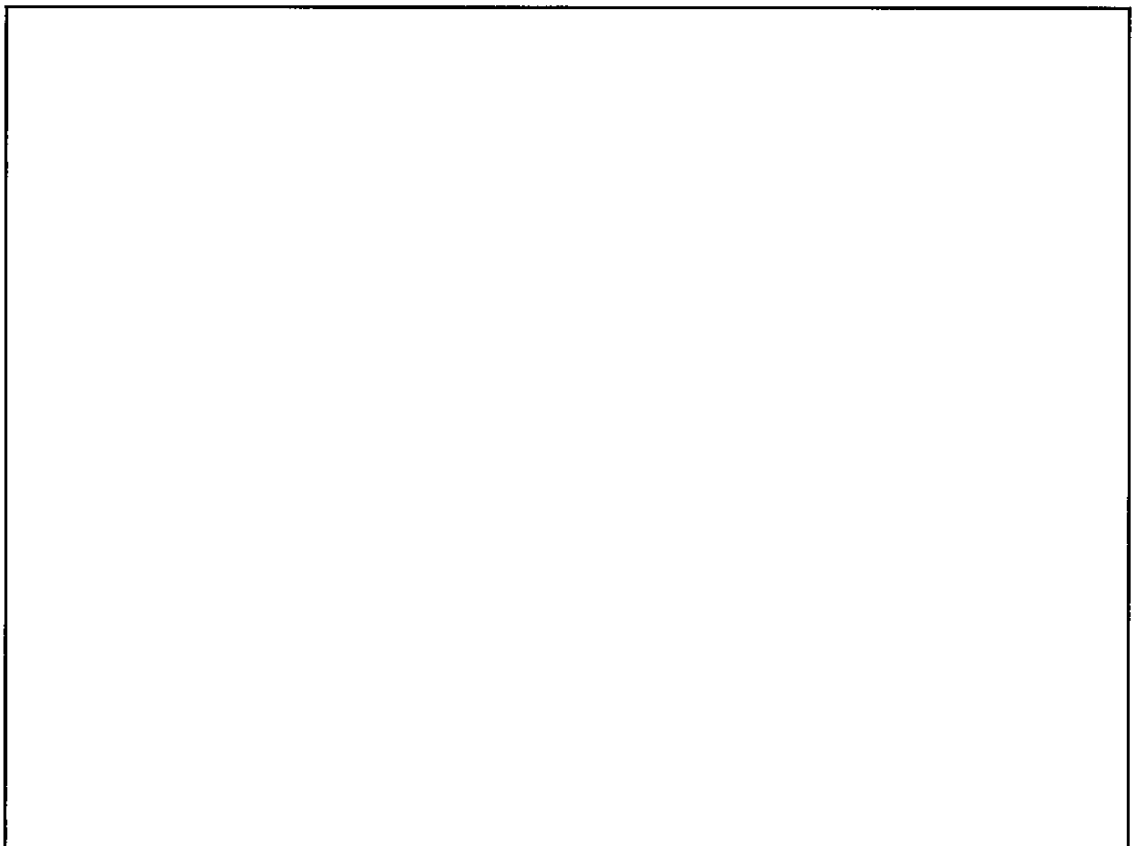


写真 4.10 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 外蓋

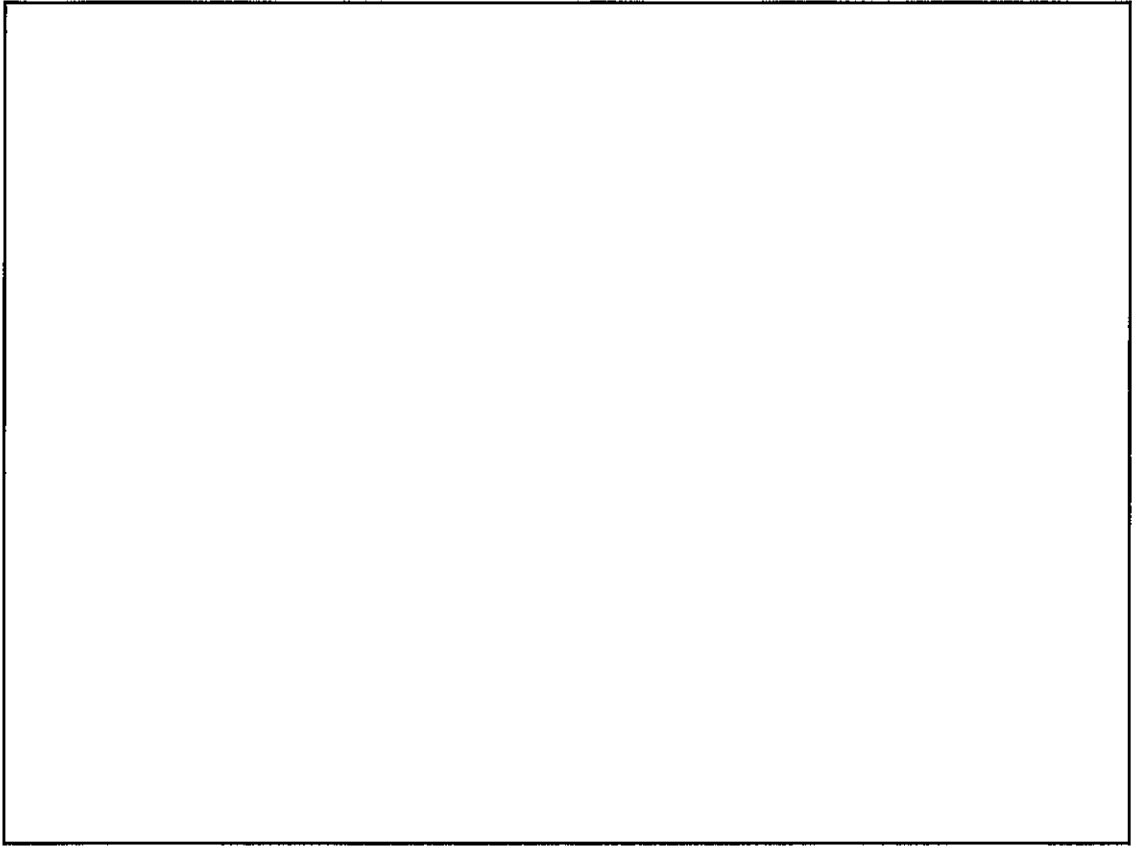


写真 4.11 試験後 内蓋の外観

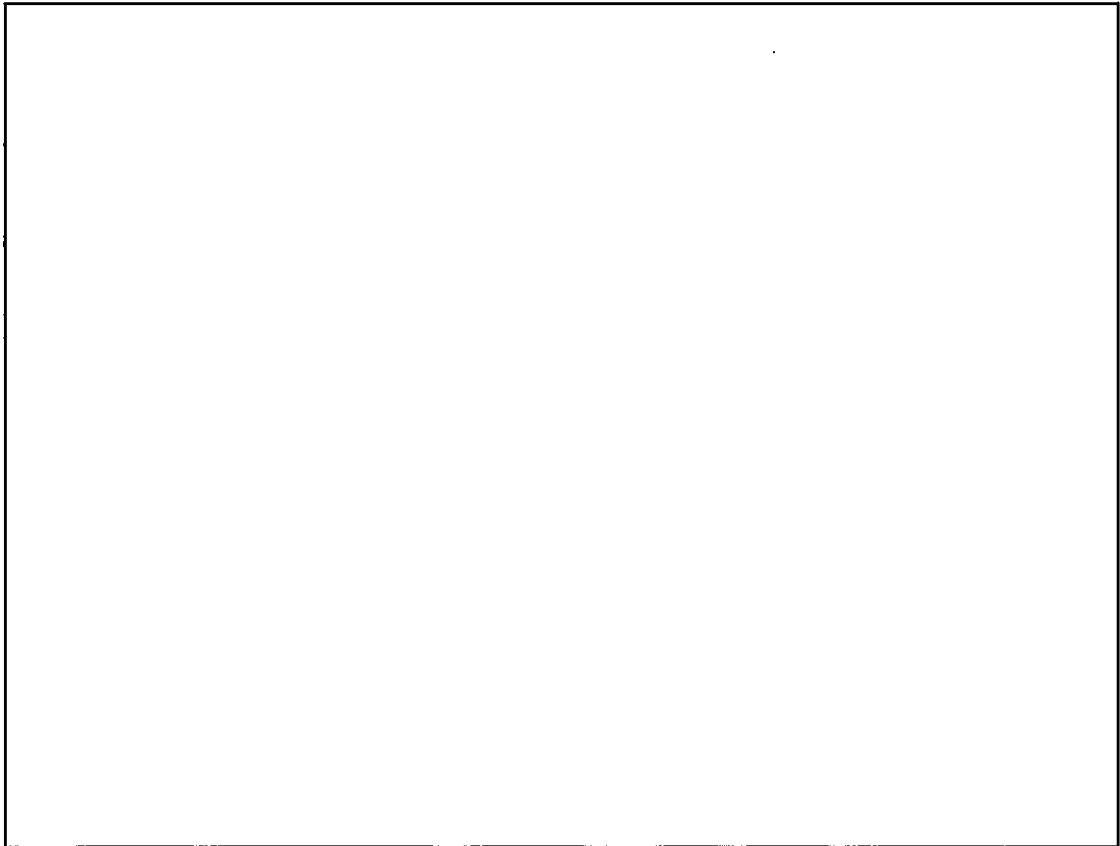


写真 4.12 試験後 内蓋フランジ部の外観

(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

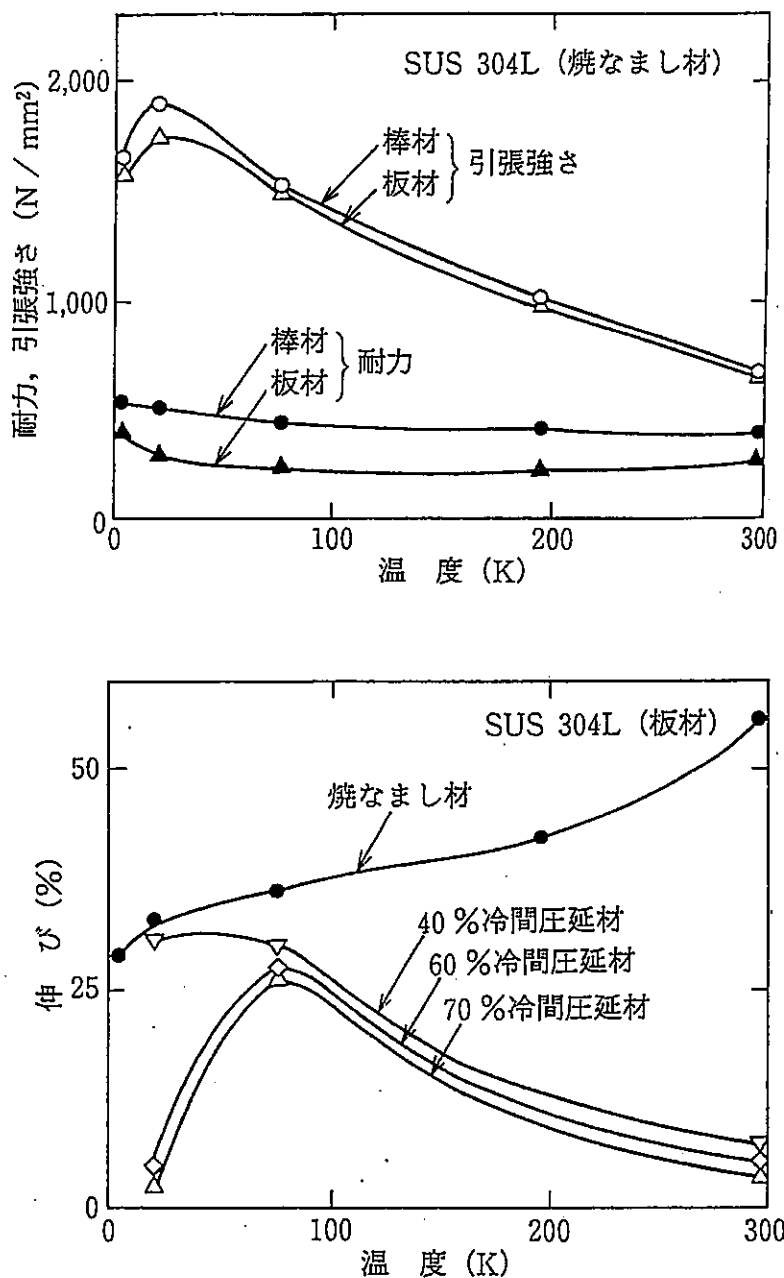


図 5.1 SUS304L の低温引張特性<sup>1)</sup>

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

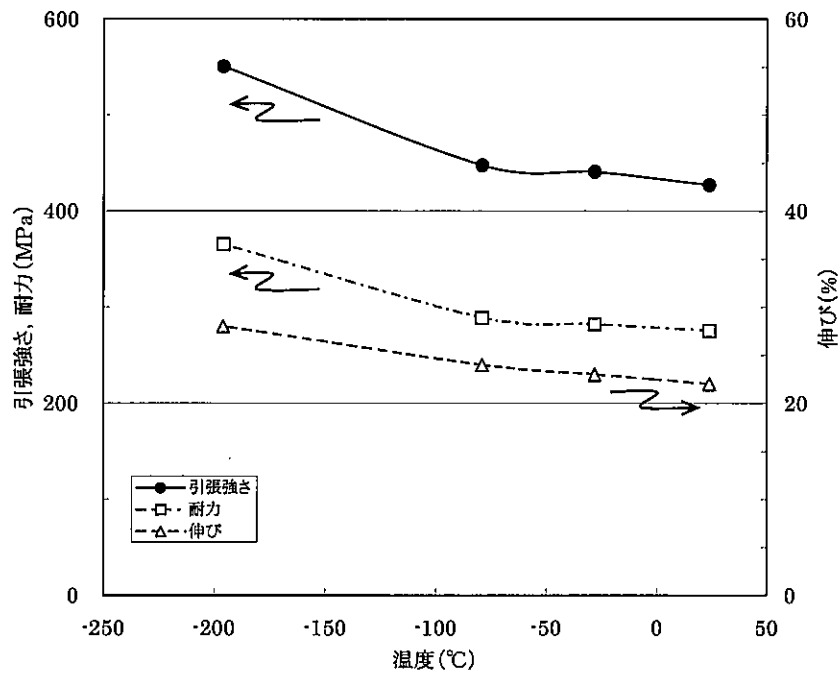


図 5.2 アルミニウム合金 (2017) の低温引張特性<sup>2)</sup>

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

#### b. 試験結果

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

各条件に対する結果を下表に示す。

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

項目	試験開始前	試験終了後	合 否
条件 1	$0.8 \times 10^{-6}$	$0.8 \times 10^{-6}$	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	□ kg
本試験	P3	□ kg
	P4	□ kg
追加落下試験	P5	□ kg

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

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

### 2. 予備試験結果

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

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

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

表 6.2 密封境界に熱的に厳しい試験順序

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

表 6.3 臨界解析に影響を及ぼす試験順序

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

### 3. 原型容器設計変更点

次に、原型容器 P2 と原型容器 P3 の設計の差異について説明する。

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

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

表 6.4 原型容器の設計変更とその影響

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

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

#### 4. 試験結果の検討

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

表 6.5 落下試験結果の比較

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

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

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

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

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

このように、原型容器 P3 は輸送物総重量制限値である  kg に比べ  kg 軽いですが、 %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。

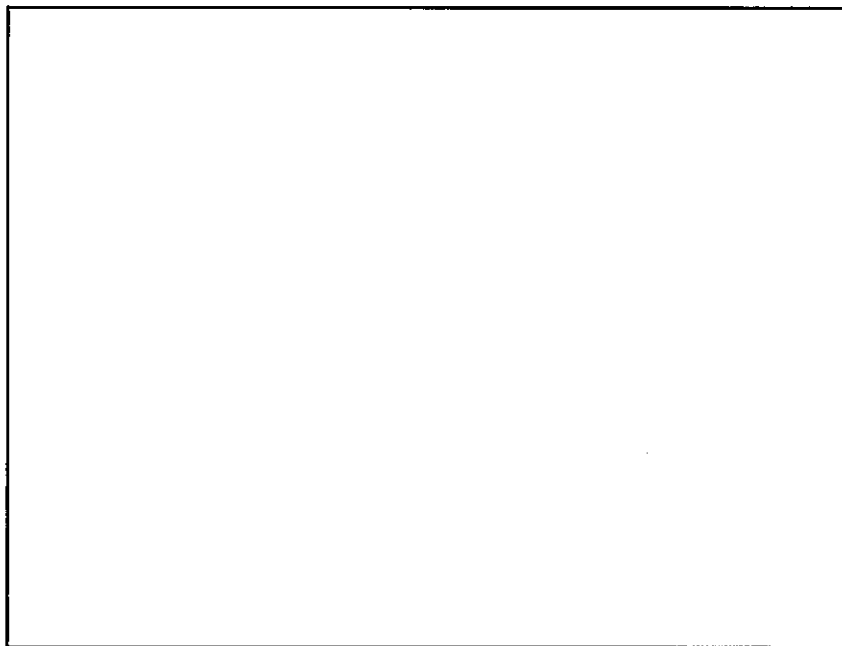


図 7.1 モデル概要図

### 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、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。

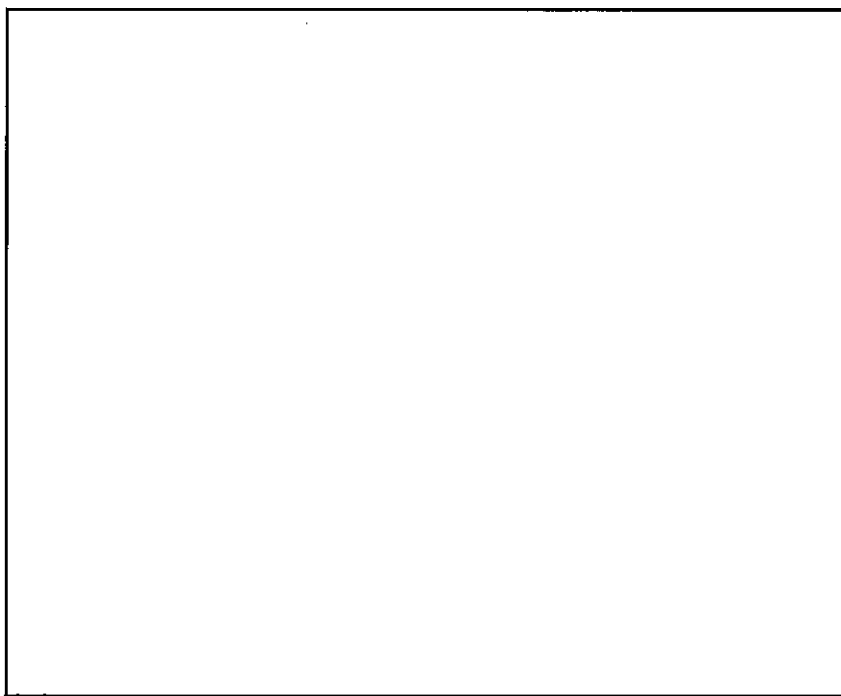


図 7.2 容器外壁のモデル化要素



### 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。

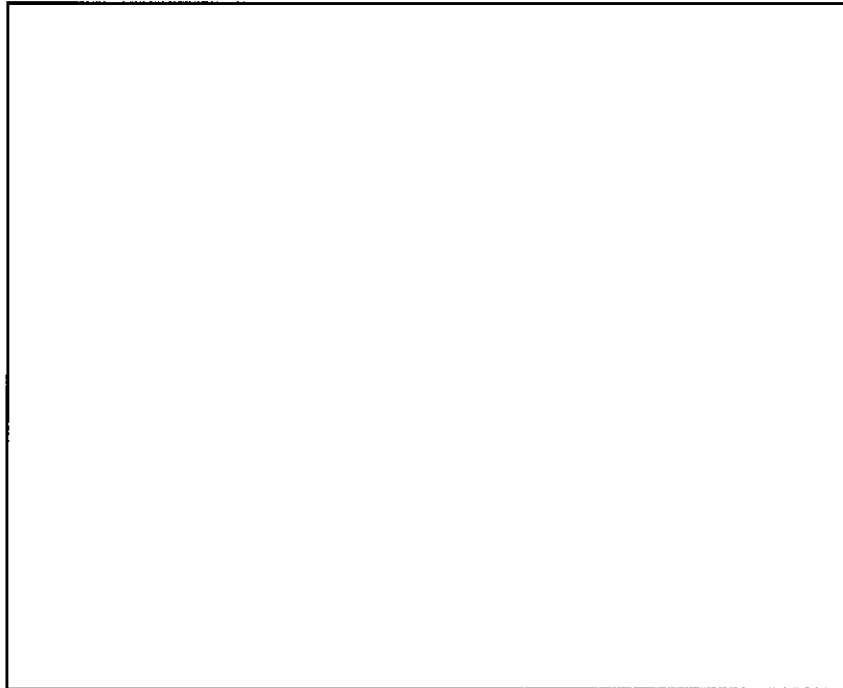


図 7.3 容器内部のモデル化要素

### 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。

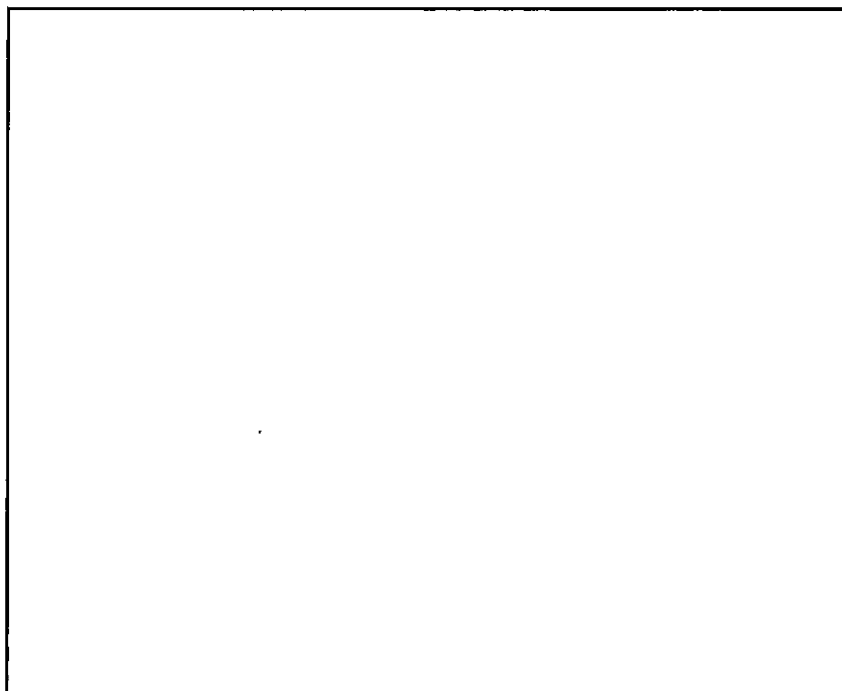


図 7.4 容器内部のモデル化要素

#### 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)－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、次のとおりである。

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、次のとおりである。

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

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

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

一般の試験条件下では、外容器に若干の変形を生じるが、変形していないとする方が表面積が大きくなり太陽入熱量が多くなるので収納物の温度を高く評価する。したがって、一般の試験条件下の熱解析では、外容器には変形がないものとして安全側に評価する。なお、ケース1の収納物は粉末収納缶3缶を縦に重ねた形状とケース2の長尺粉末缶の形状はほぼ同等なため、一般の試験条件下の熱解析においては、ケース1とケース2の評価は共通とする。

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もっとも大きくなると考えられる条件として、□m落下、9m落下並びに1mターゲット落下の組合せ変形量として評価する。なお、(ロ)－Aでも述べたように、輸送物の最大重量が大きいためケース1の方がケース2より落下試験における容器の変形が大きくなると考えられる。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

については「(ロ)B 付属資料 1」参照)

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

本解析コードの概要については「(ロ)B 付属資料 2」を参照のこと。

(3) 最大崩壊熱量

本輸送容器に収納するウランの崩壊熱量は、極めて微少であり無視する。

(4) 熱解析の条件及び方法

計算機による熱解析の条件及び方法を(ロ)B-第 1 表に示す。

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

(ロ)B-第1表 熱解析の条件と方法

項目		条件		一般の試験条件下	
	周囲温度	度		最高温度評価条件	
	周囲温度	度		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	放射		太陽放射熱は容器外表上面及び外表側面に付与 上面：800 W/m <sup>2</sup> 、側面：200 W/m <sup>2</sup>	
容器	周囲放射率	放射率		<input type="checkbox"/>	
	表面放射率	放射率		<input type="checkbox"/>	
計算モデル	輸送物	物		四分の一体系三次元熱伝達モデル	
	収納物	物		ウラン酸化物の粉末 <input type="checkbox"/> 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	ラム		有限要素法温度分布計算プログラム「JTACO-3D」	
使用物	物	性質	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"/>	
熱伝導率 (W/m·K)		
比熱 (kJ/kg·K)		
潜熱 (kJ/kg)*		

\* 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"/>	
熱伝導率 (W/m·K)		
比熱 (kJ/kg·K)		
潜熱 (kJ/kg)*		

\* 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	: ショアー60
使用可能温度範囲	: -40～ <input type="text"/> ℃ ((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

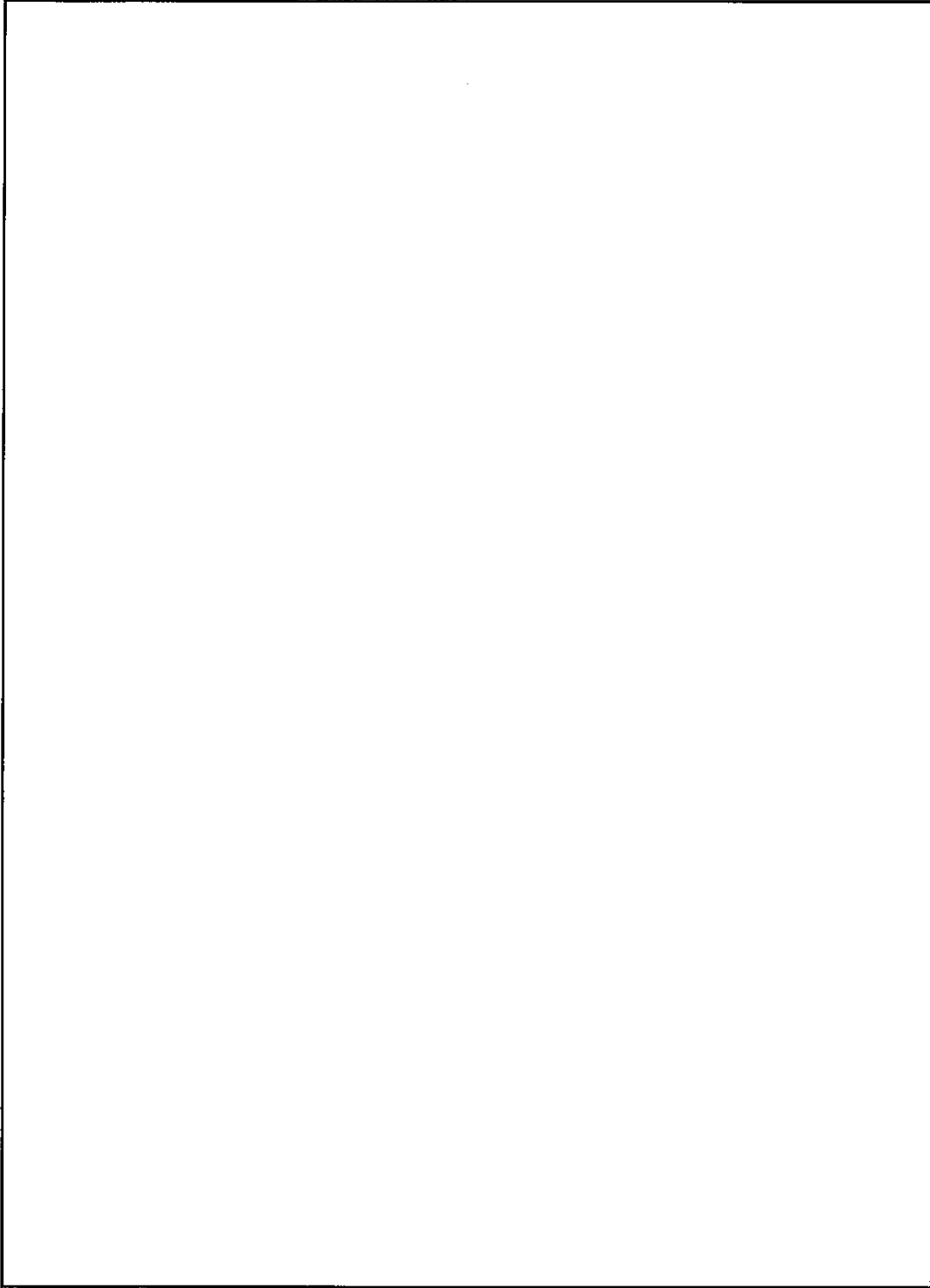
###### (1) 形状モデル

(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。

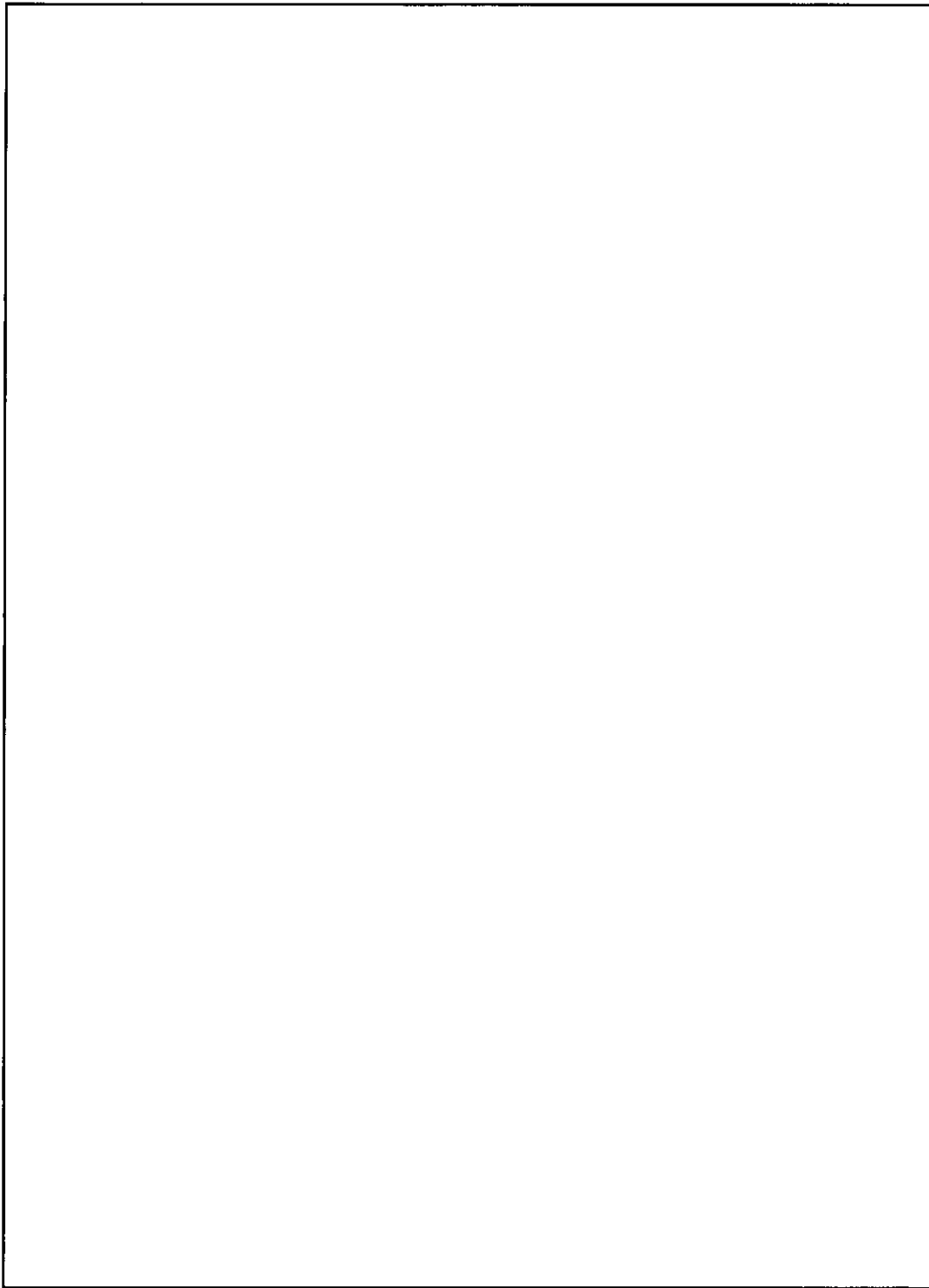
なお、本形状モデルにおいて考慮しているところは以下のとおりである。

- 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三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三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、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	□
容器表面放射率	□	

(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

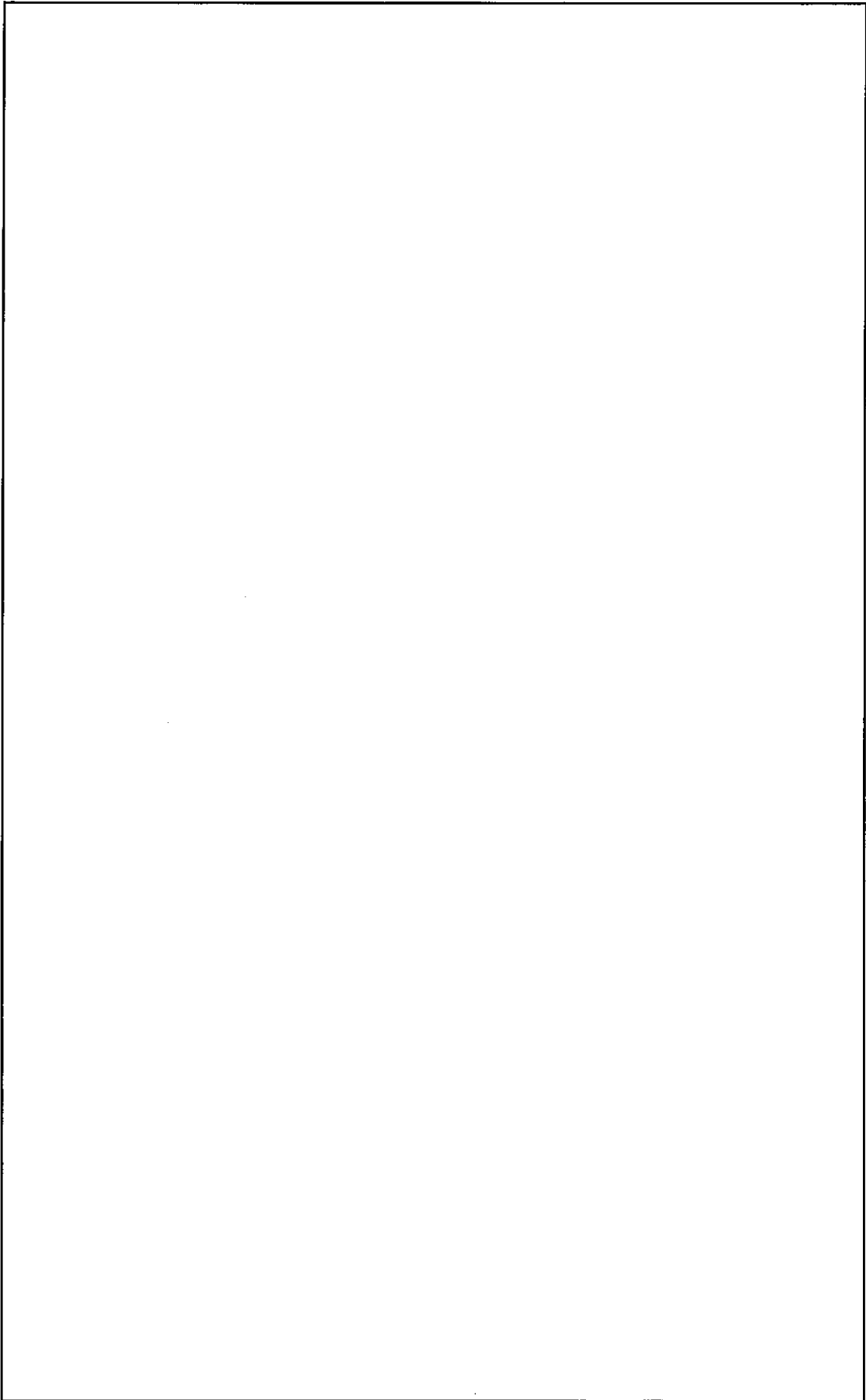
B.4.1.1に記載した解析モデルにより計算プログラム「JTACO-3D」で解析して得られた一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度を(ロ)B-第9表に、また、温度分布を(ロ)B-第3図に示す。

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□°C、外容器耐熱衝撃緩衝材部で□°C、ガスケットで□°Cである。

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

(ロ)B-第9表 一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度

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



(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 $\square\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $\square\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。

$$\square$$

よって、内容器には最大 $\square\text{ kPa}$ 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、パ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表に示したとおりである。


容器本体の最高温度は $\square\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $\square\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 □ °C		基準に合致
容 器 本 体			
耐熱衝撃緩衝材			
BORA レジン			
内 容 器			
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	—	□ 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：□kgを□個の粉末収納缶に分けて収納した。

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□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□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レジン温度を測定し、試験後には耐熱衝撃緩衝材の燃焼並びに炭化状況を観察した。

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

### B.5.2 輸送物の評価条件

耐火試験に供した試験モデルは、原型容器 P3 と P4 の 2 基である。

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

(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 <input type="text"/> m)	・ 輸送物上面コーナ一部 (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)	・ 輸送物上面コーナ一部 (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  °C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  °C及び  °Cとの差である  °C及び  °Cをそれぞれに測定結果に加えて求めた補正温度を(ロ)B-第13表に合わせて示す。

補正の結果、密封性を保持する内容物のガスケットの最高温度は  °Cとなり、EPDM の使用可能温度の  °C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  °Cとなり、使用可能温度である  °C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	<input type="text"/>		<input type="text"/>
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  °Cである。内容器も同様に  °Cになるとしたときに、内容器内圧：P は初期条件を 0 °C、1 気圧（絶対圧 101 kPa）とすると以下のように求まる。

$$P = \text{$$

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 表に示すとおりである。

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	使用限度 <input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	基準に合致
BORA レジン	使用限度 <input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	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。

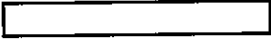

### 1.2 供試体

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  $\square \text{ g/cm}^3$ ）の純鉄粉末  $\square \text{ kg}$  入りの粉末収納缶が  $\square$  缶（計  $\square \text{ kg}$ ）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）

### 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  $\square \text{ m}$   
：幅  $\square \text{ m}$   
：高さ  $\square \text{ m}$
- ・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  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  まで  $\square$  分間で上昇する。
- ・保持期間： $800 \text{ }^\circ\text{C}$  (+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	[測定結果の表]			
	内蓋裏面				
	内容器内壁 (上部から 30 mm)				
熱電対測定	ガスケット (内容器フランジ)				
	BORA レジン				
備考					

### 1.6 結論

- ・ 原型容器 P1 の較正耐火試験は、規則に定められた仕様を満たし実施された。
- ・ 試験の結果から、輸送物は密封性を保持し、BORA レジン層に対する良好な熱防護を保証することを実証した。内蓋は、閉じられたままで、粉末収納缶を内容器内部の適切な位置に保持した。また、輸送容器本体に亀裂は認められなかった。
- ・ 試験後、輸送物に収納物の漏えいの徴候は認められなかった。
- ・ 本予備耐火試験の測定結果は、有限要素モデルにおける数値計算の関連のために利用された (「(ロ)B 付属資料 2」 参照)。

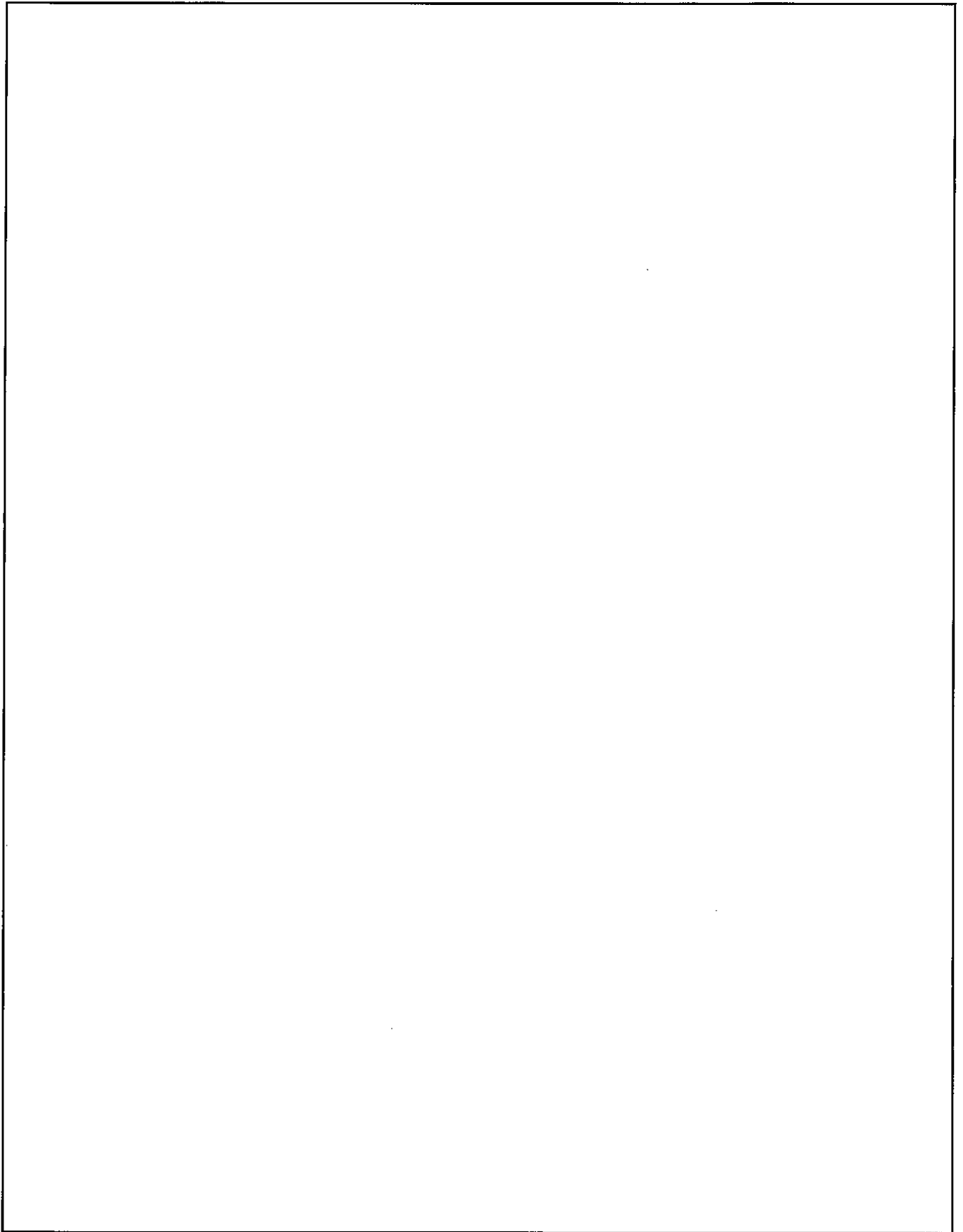


図 1.1 予備耐火試験における原型容器 P1 の熱電対位置

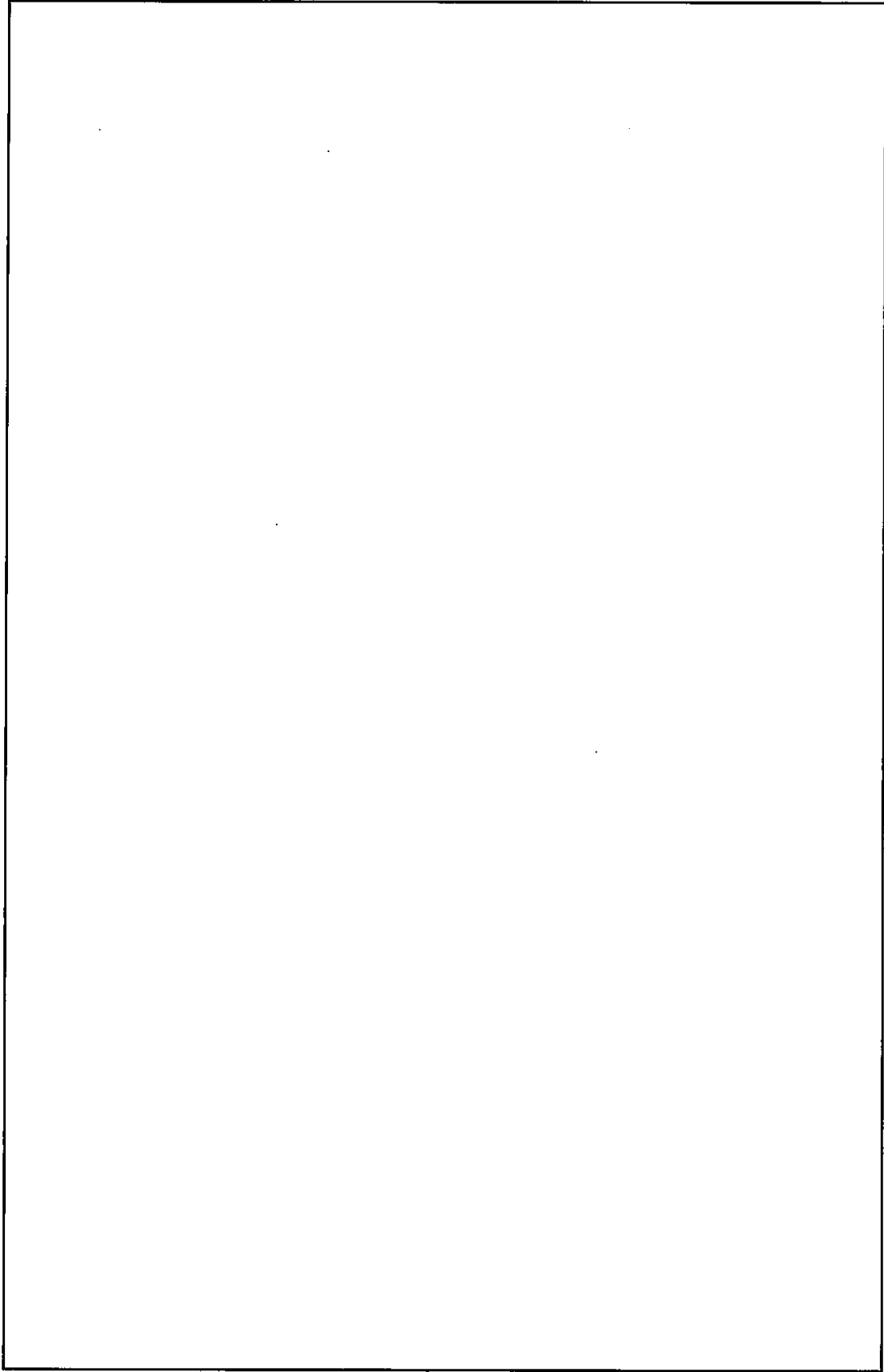


図 1.2 予備耐火試験における輸送物の温度曲線

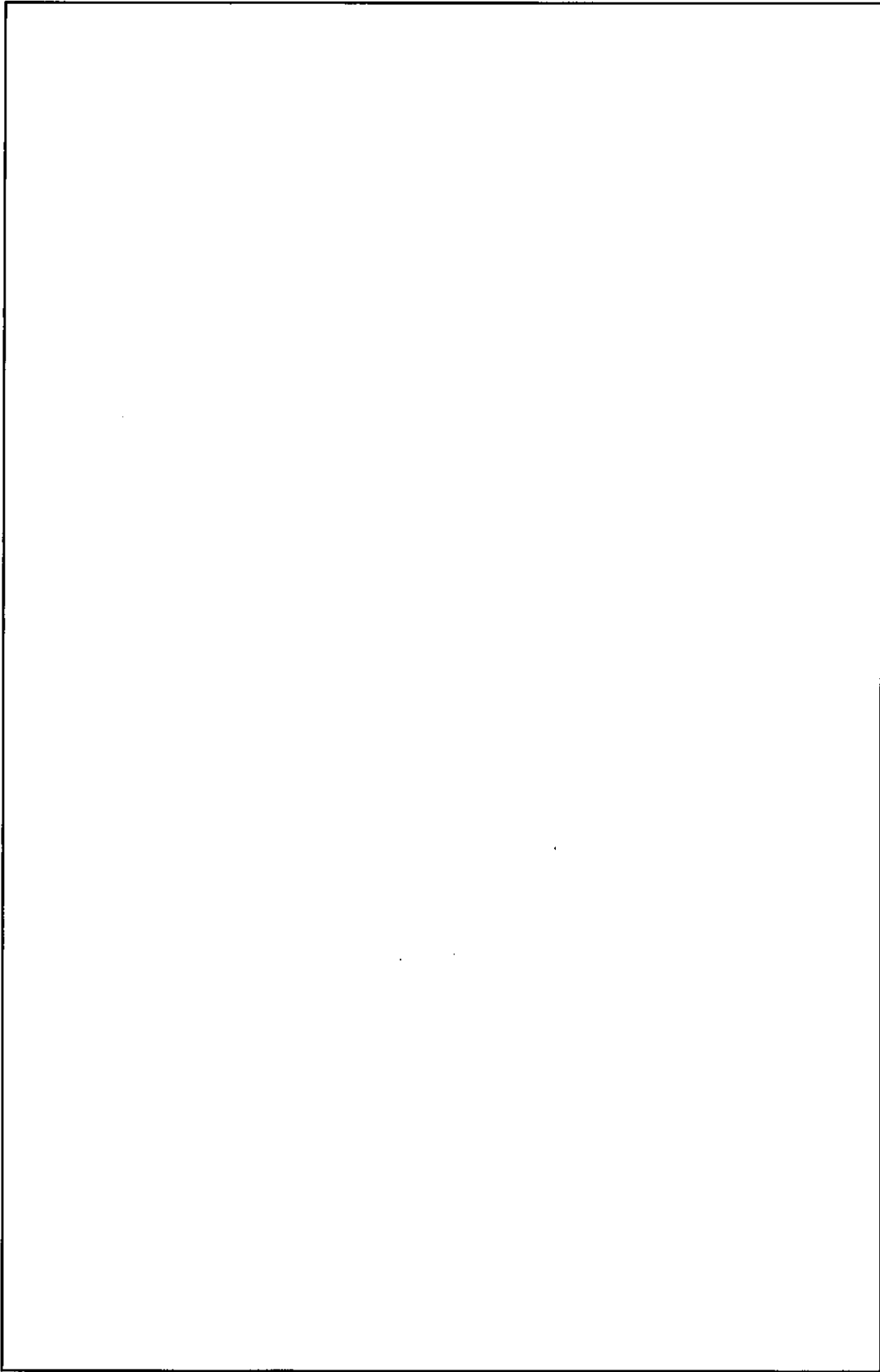


図 1.3 予備耐火試験における平均周囲温度曲線

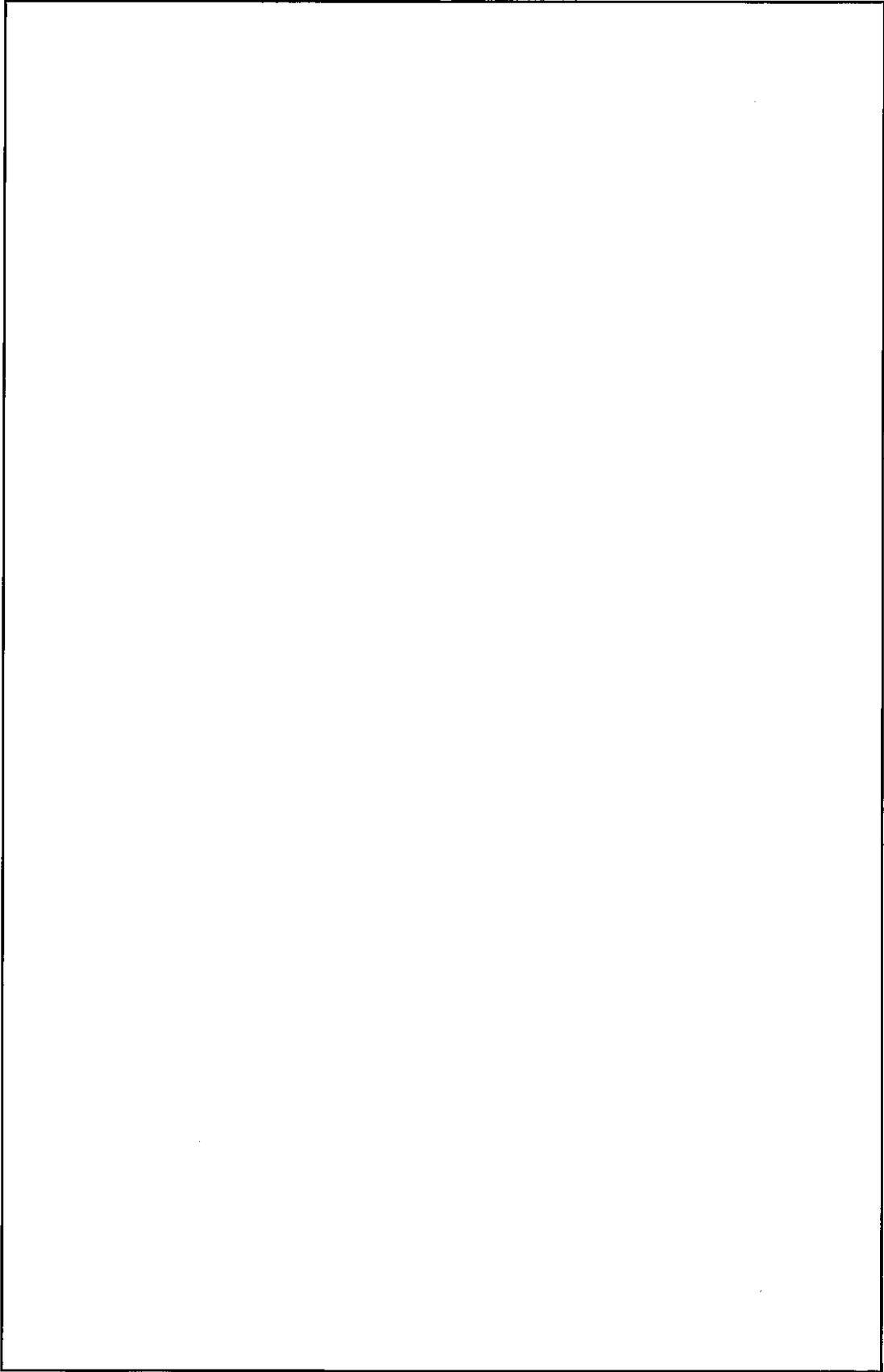


図 1.4 予備耐火試験におけるガスケット (内容器フランジ) の温度曲線

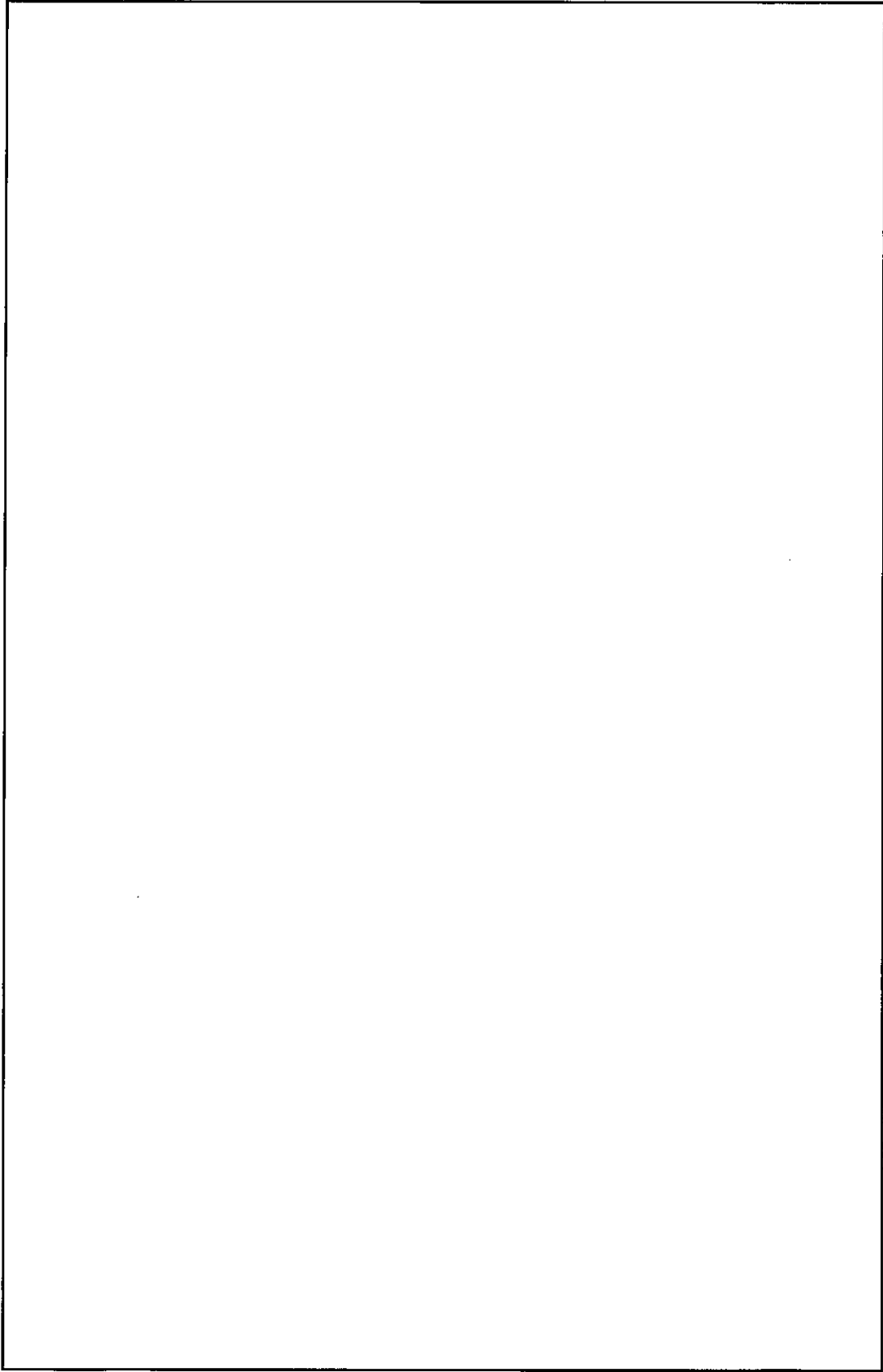


図 1.5 予備耐火試験における BORA レジン (中性子吸収材) 及び内容器の温度曲線



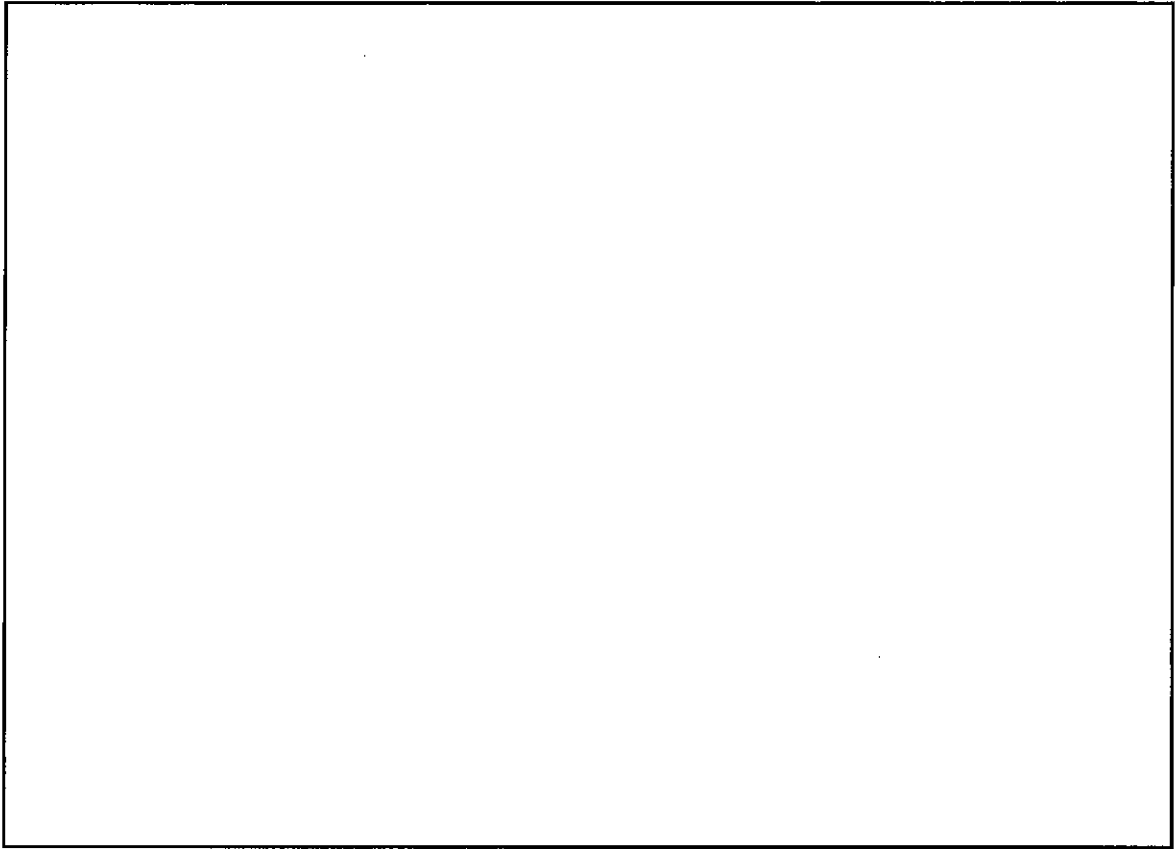


写真 1.1 予備耐火試験前の原型容器 P1 上面

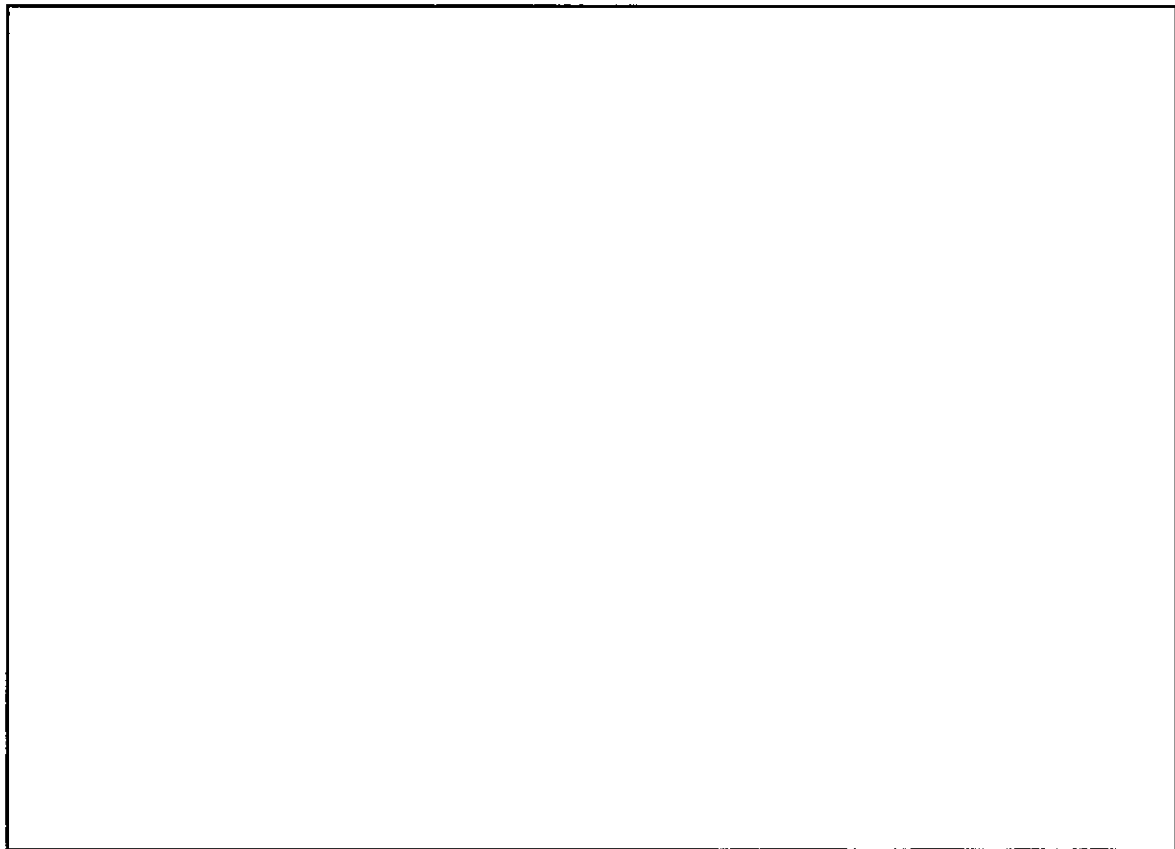


写真 1.2 予備耐火試験前の原型容器 P1 側面

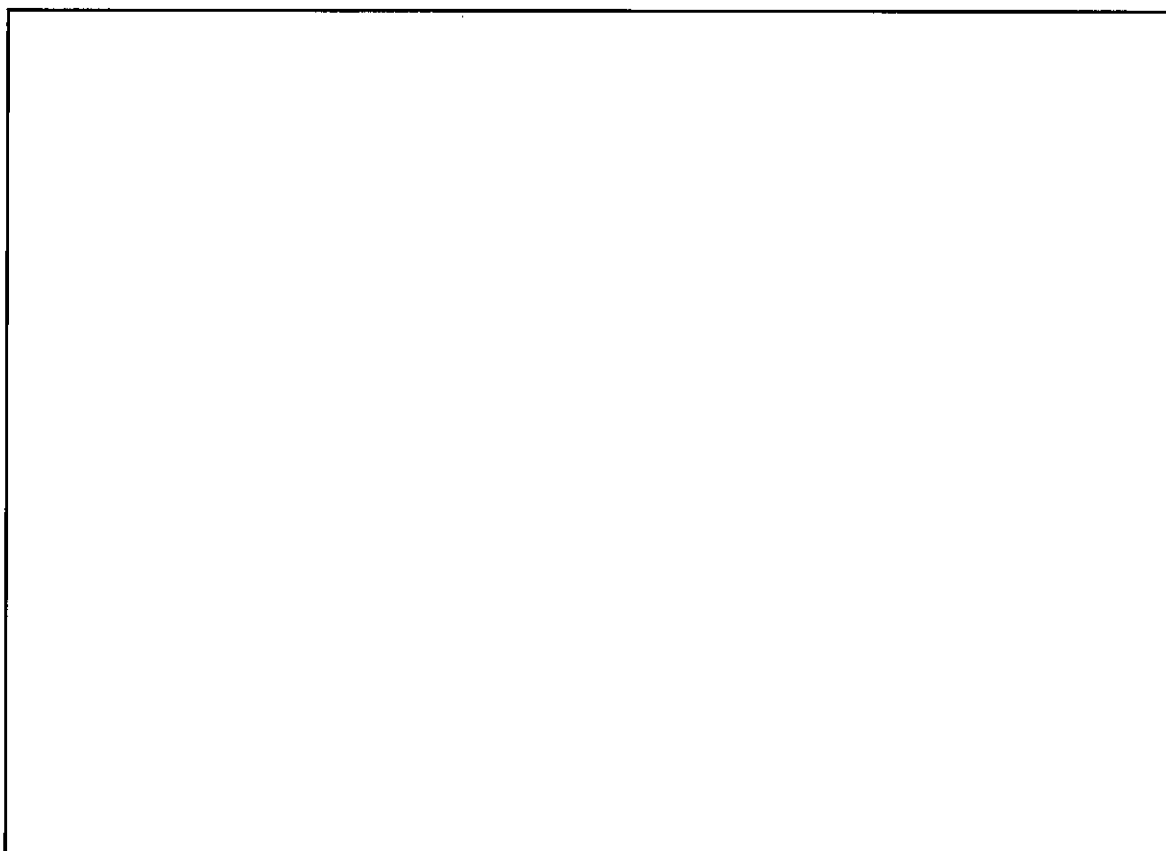


写真 1.3 試験炉挿入時の原型容器 P1 (1/2)

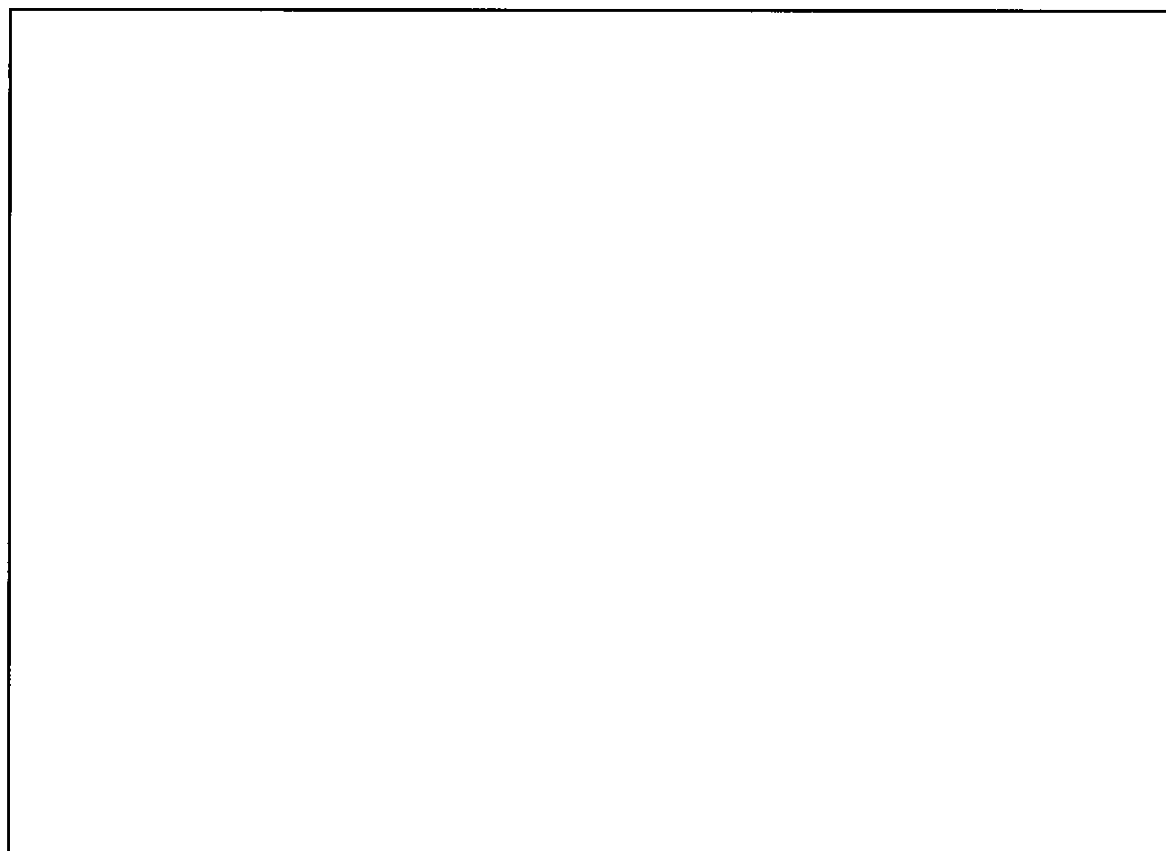


写真 1.4 試験炉挿入時の原型容器 P1 (2/2)

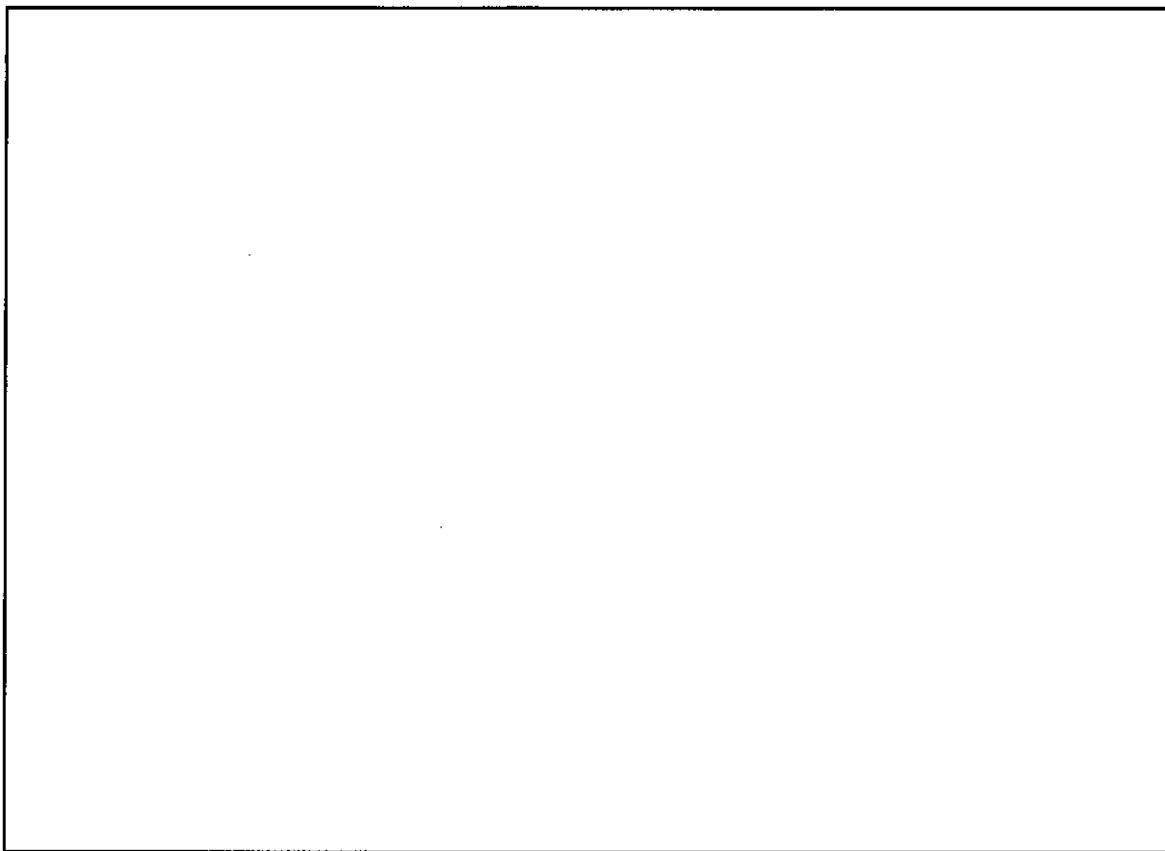


写真 1.5 予備耐火試験終了直後の原型容器 P1 (1/2)

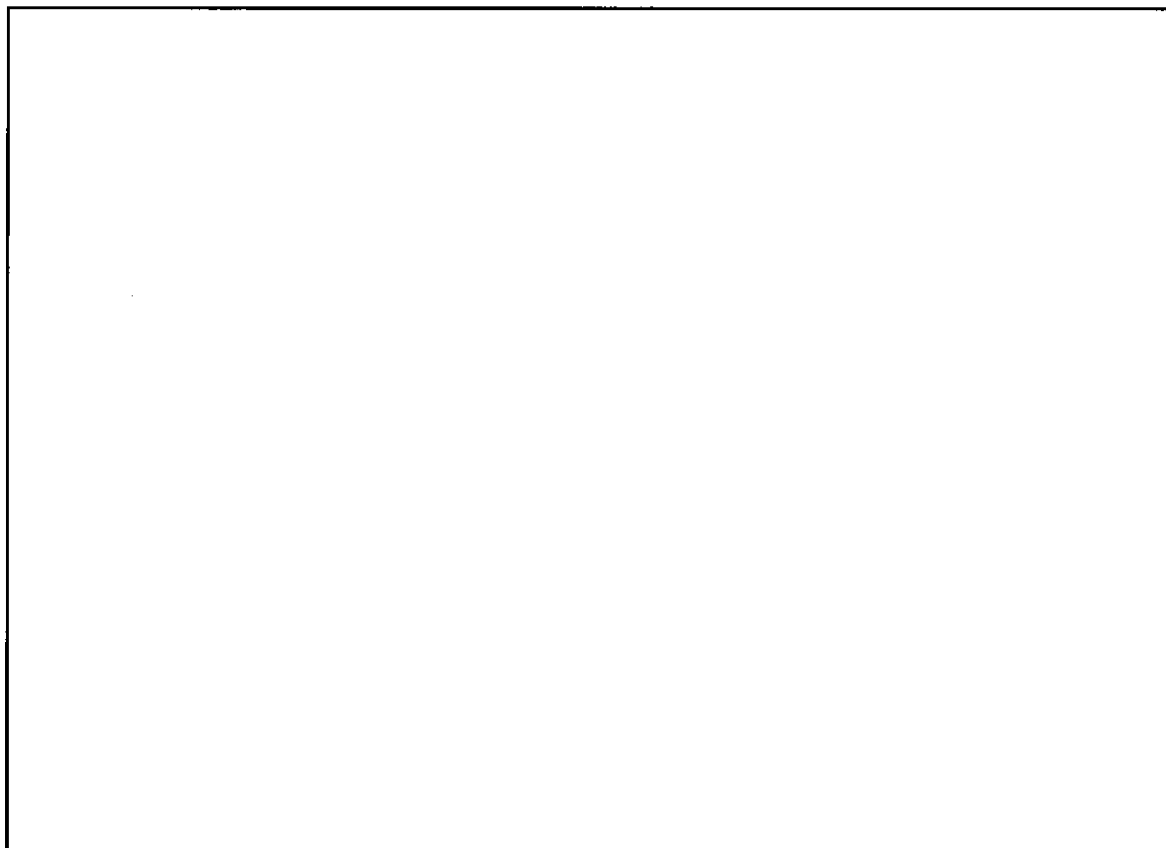


写真 1.6 予備耐火試験終了直後の原型容器 P1 (2/2)

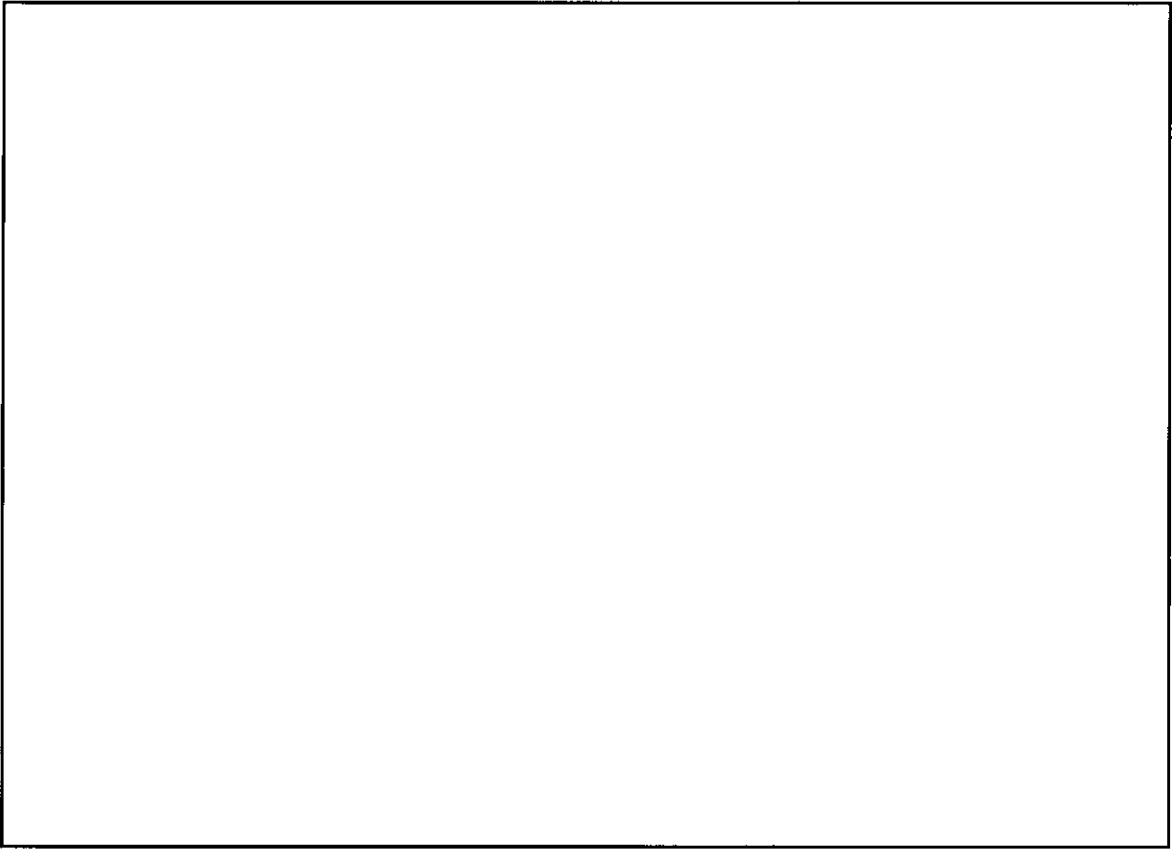


写真 1.7 予備耐火試験終了後の自然冷却状態

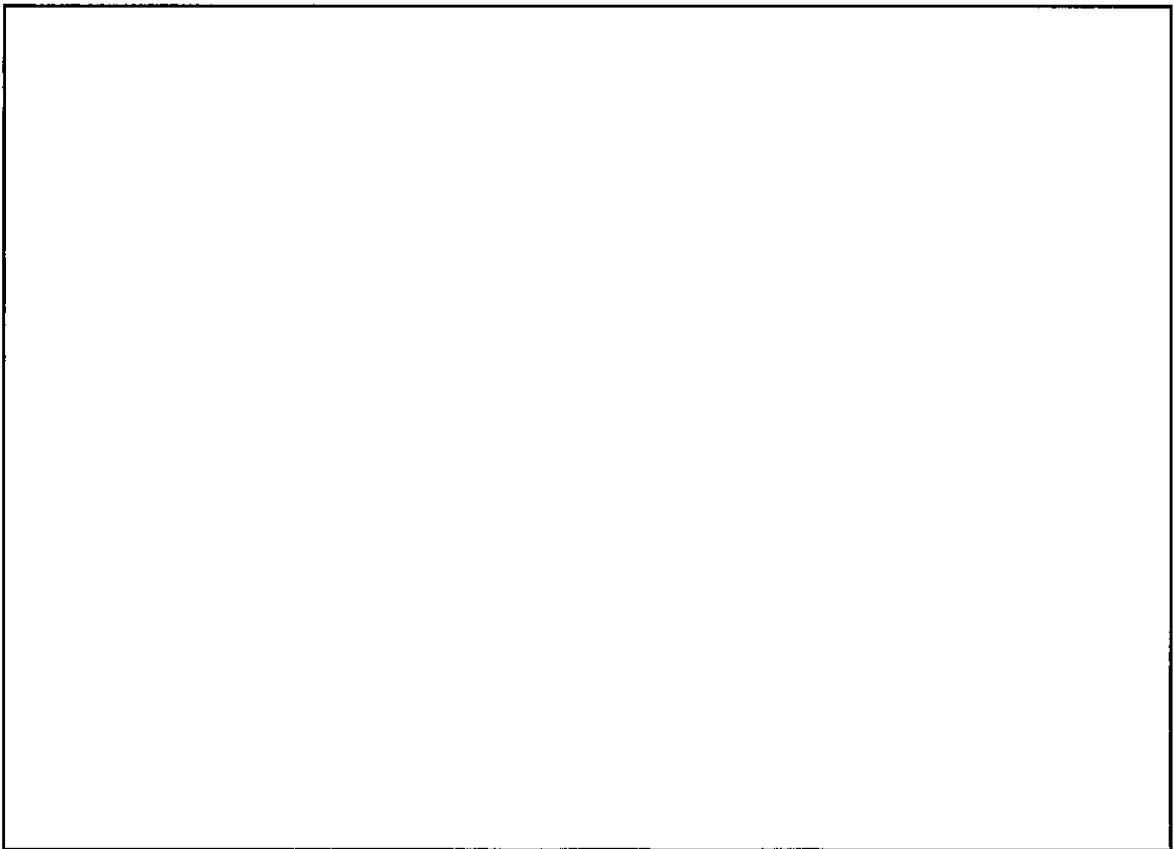


写真 1.8 予備耐火試験後の輸送物底面フェノリックフォーム（外殻切断後）

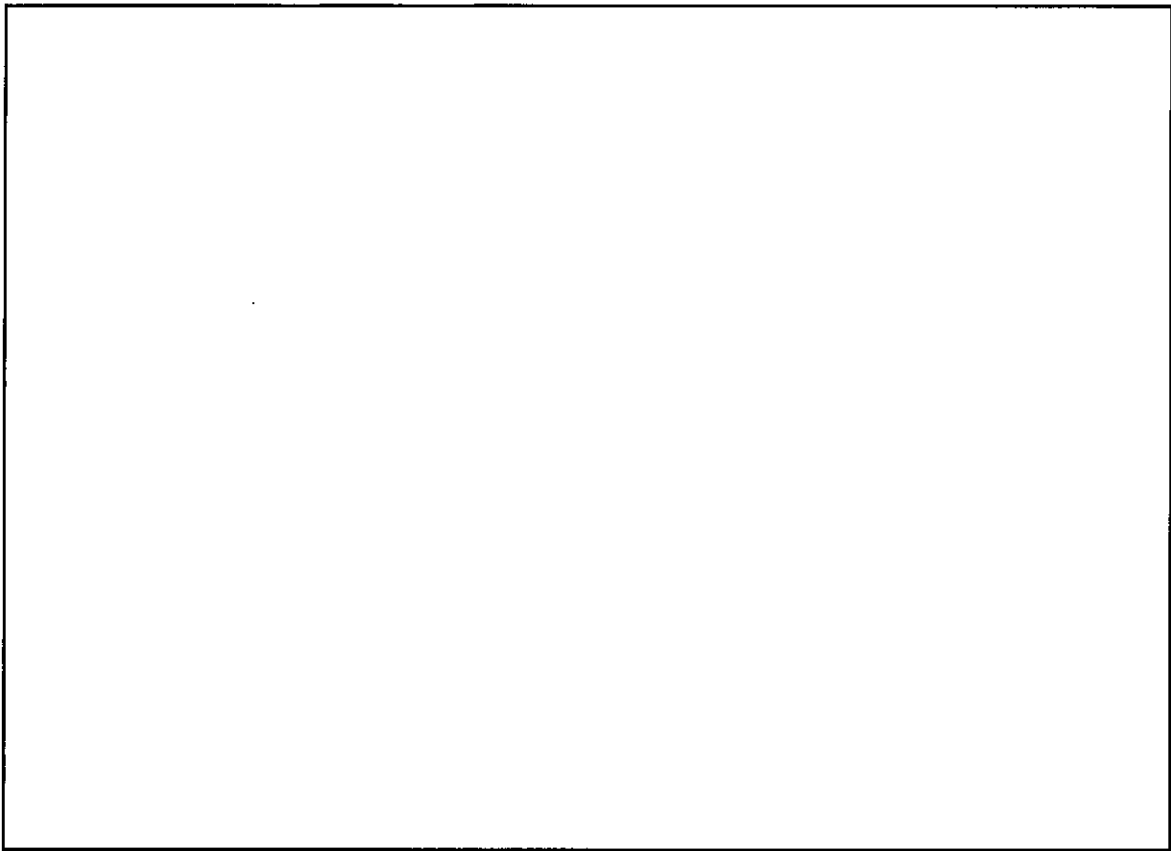


写真 1.9 予備耐火試験後の輸送物底面のフェノリックフォームの焦げた部分

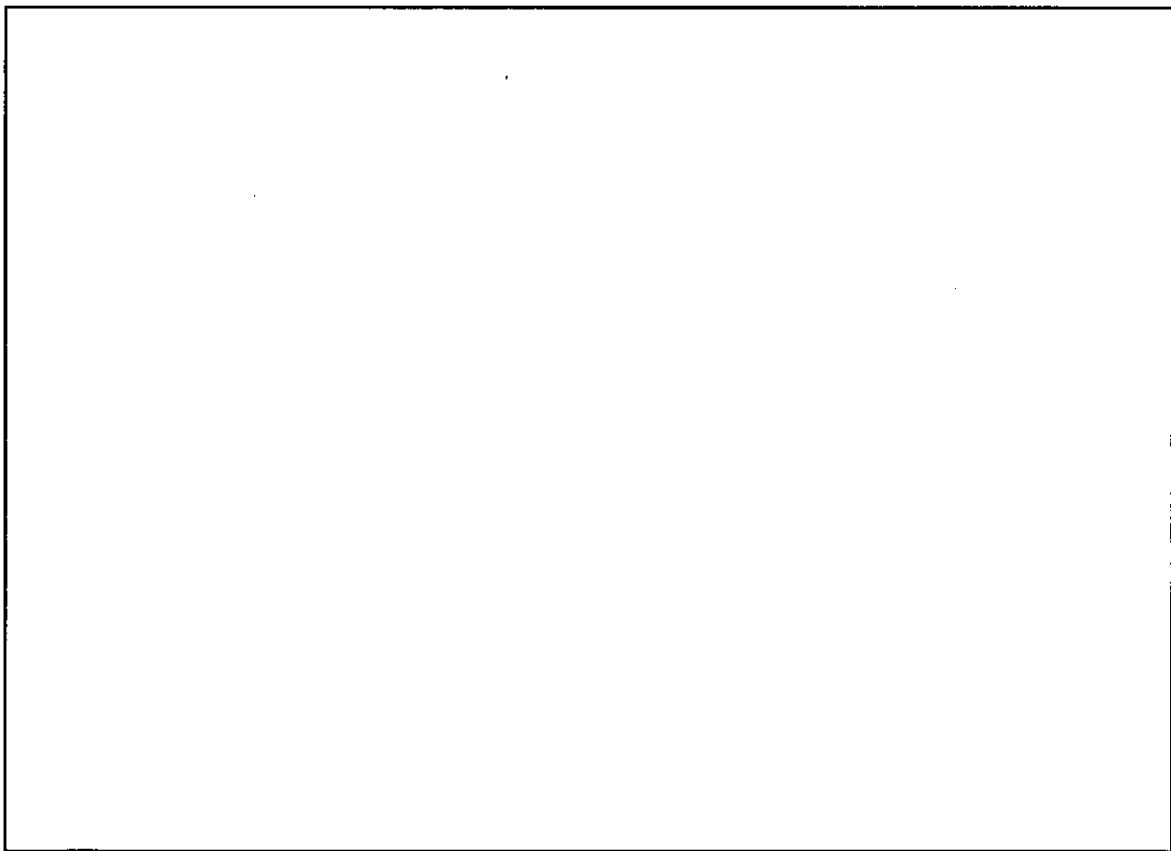


写真 1.10 予備耐火試験後の内容器下部側連結パイプ

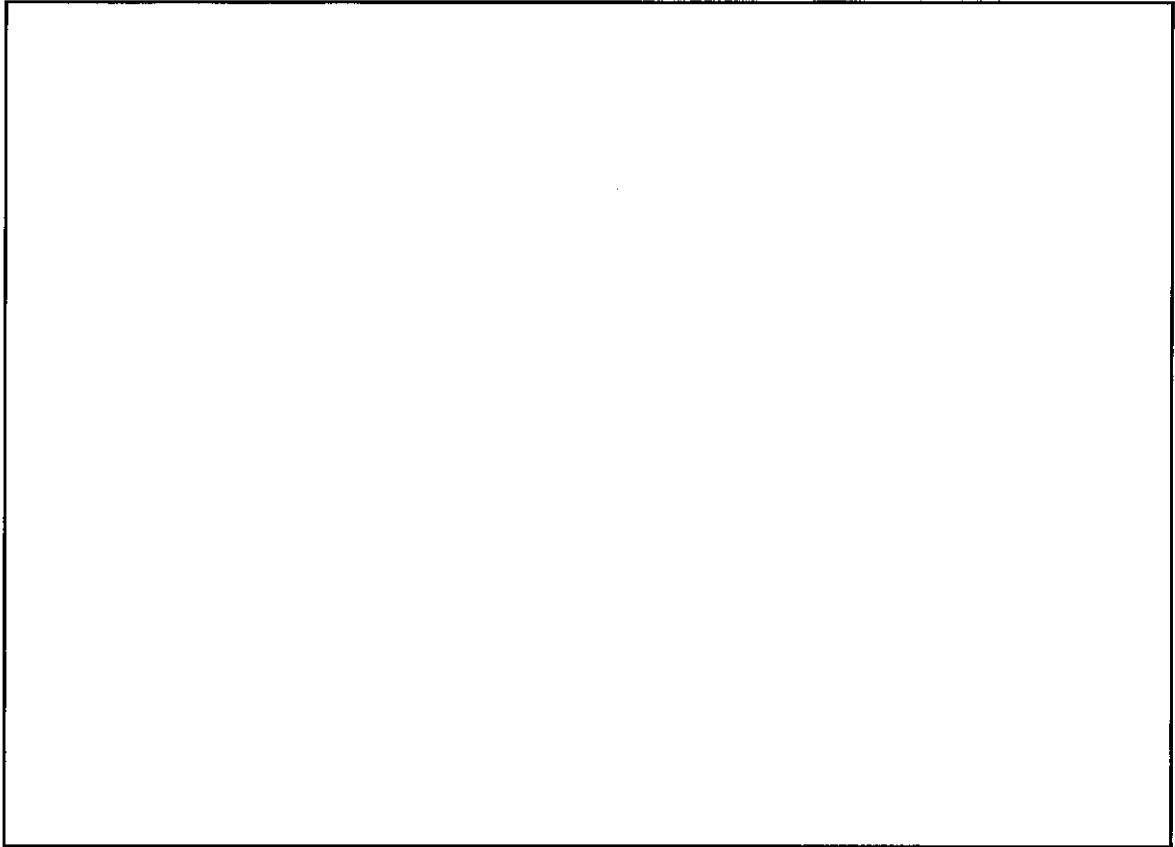


写真 1.11 予備耐火試験後の内容器底面

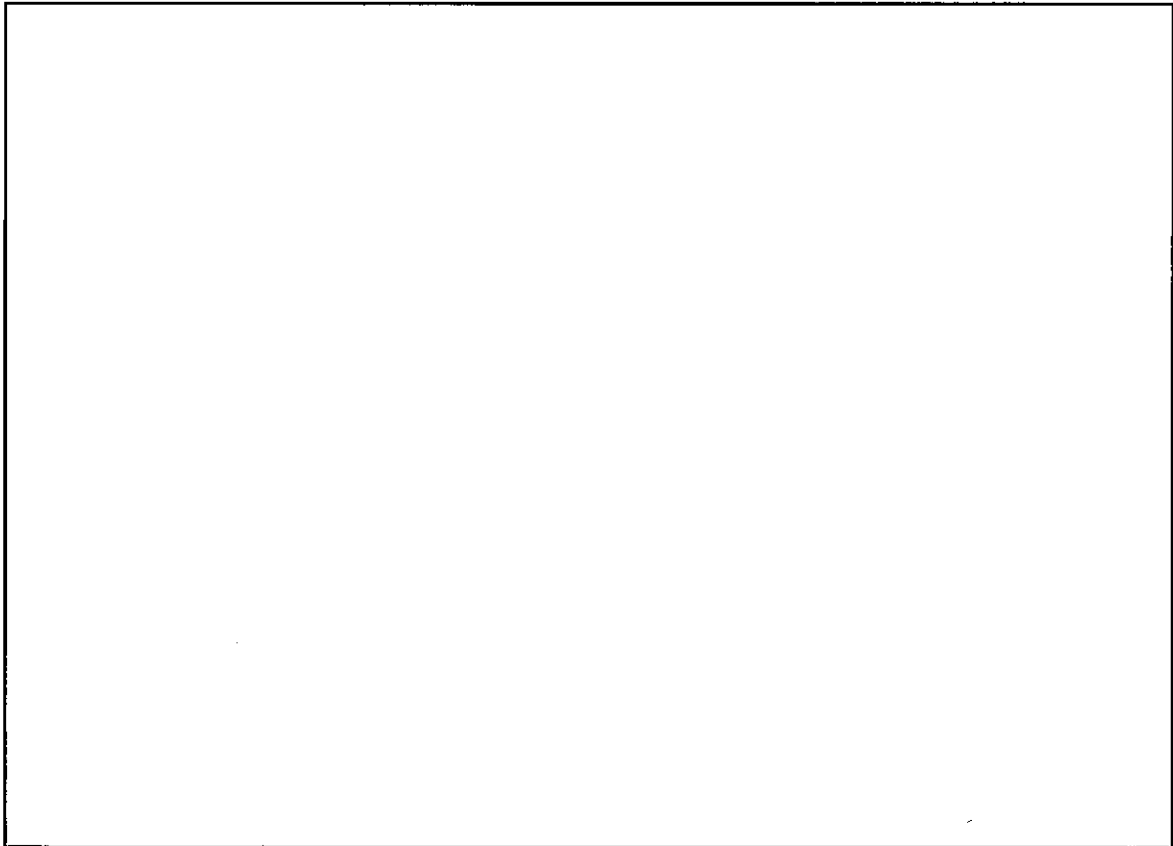


写真 1.12 予備耐火試験後の内蓋上面

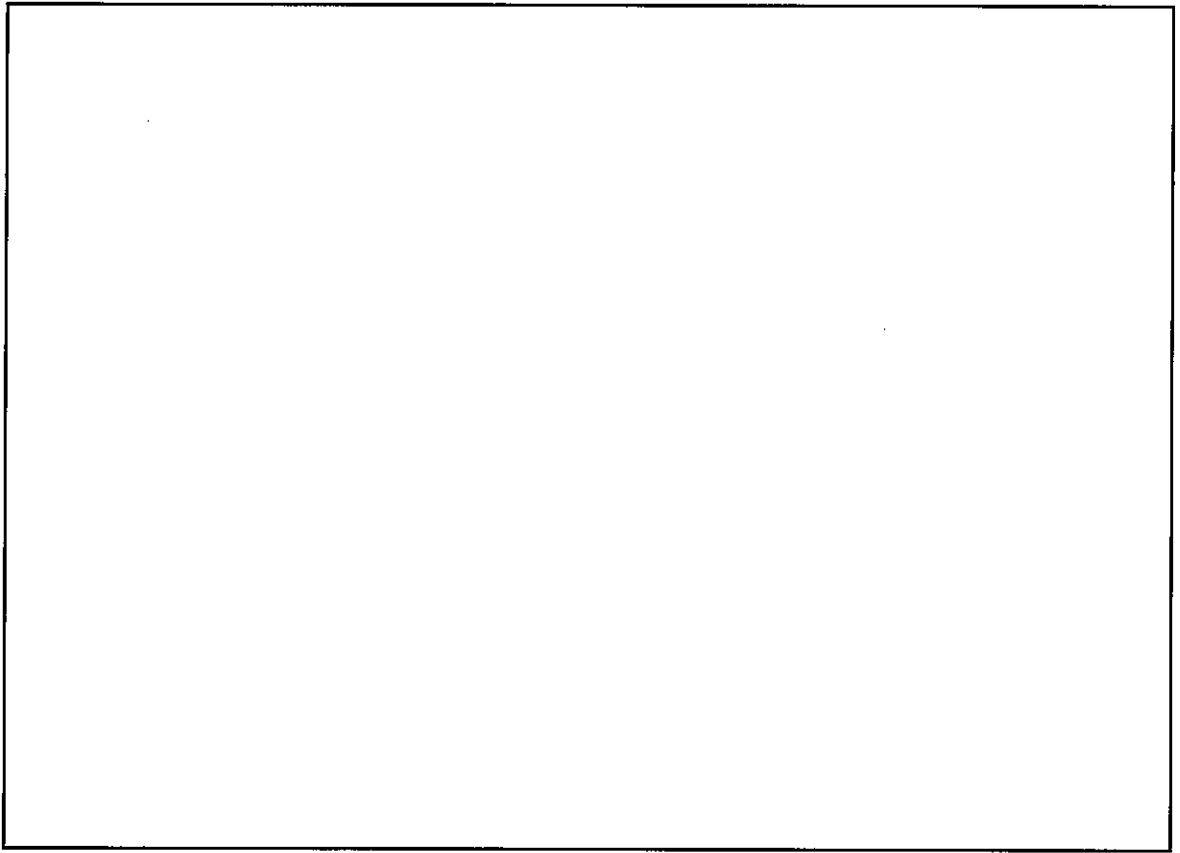


写真 1.13 予備耐火試験後の内蓋裏面

(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、プロフィルの最適化オプションも使用できる。

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

---

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

## 1. 基本方程式

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

境界面  $S = S_1 + S_2$  に囲まれた領域を  $R$  とすると、

領域  $R$  内で、

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

境界条件  $S_1$  上で、

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

$S_2$  上で、

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

$t = t_0$  の時の初期条件は、

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

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

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

境界熱流量  $q$  は、次のように表される。

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

ここで、 $f, a, b, \theta_q$  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、ガラーキソ (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。

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

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

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

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。

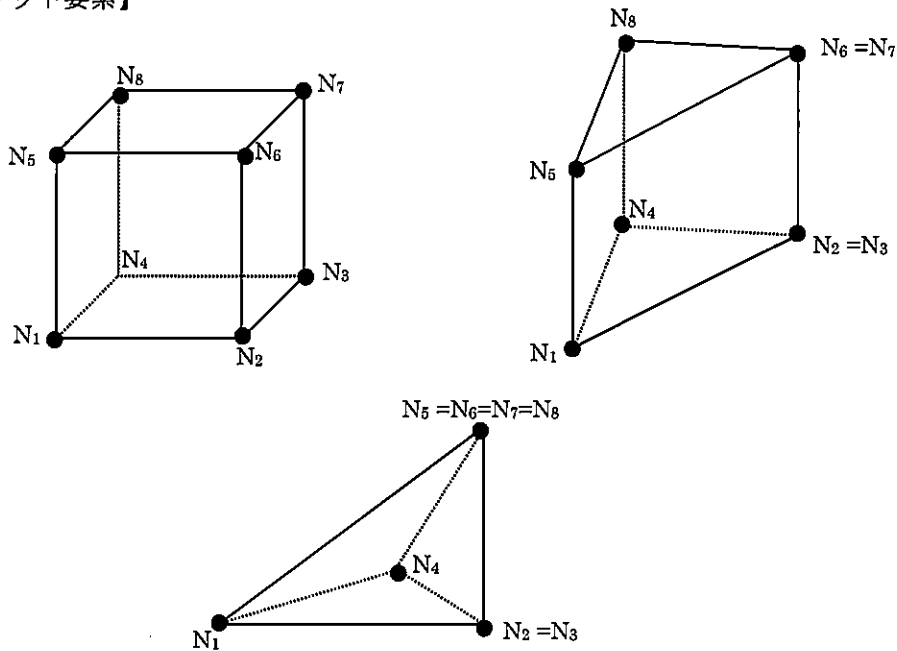
#### 5. 非線形解析法

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。

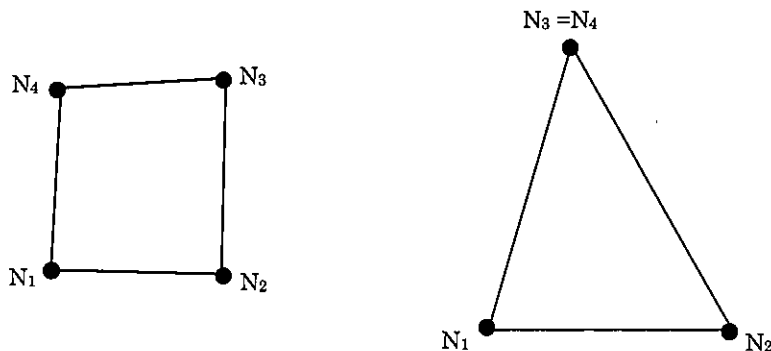
## 6. 要素の種類

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。

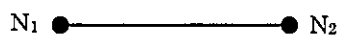
### 【ソリッド要素】



### 【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

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

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

式(23)は、境界条件のいくつかの標準タイプに指定できる。次に例を示す。

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

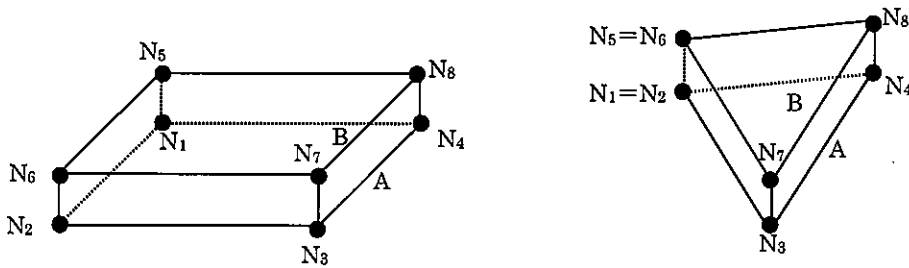
### 11. 内部面境界条件

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。

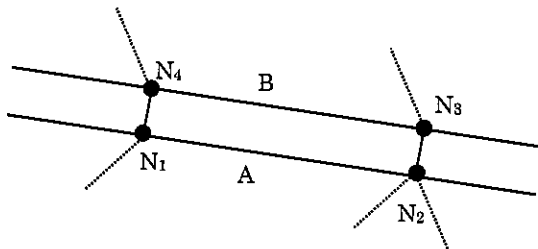
$$q = f(\theta, t)(\theta_A^n - \theta_B^n)^b$$

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。

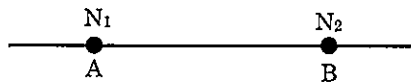
【フェース型境界の場合】



【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】  $N_3=N_4=N_5=N_6=N_7=N_8=0$

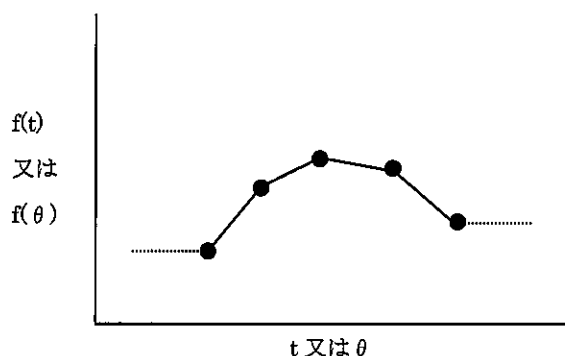


この形の内部境界条件は、表面間の接触抵抗を指定したり、ギャップ要素のあるタイプを表現したりするのに都合がよい。

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

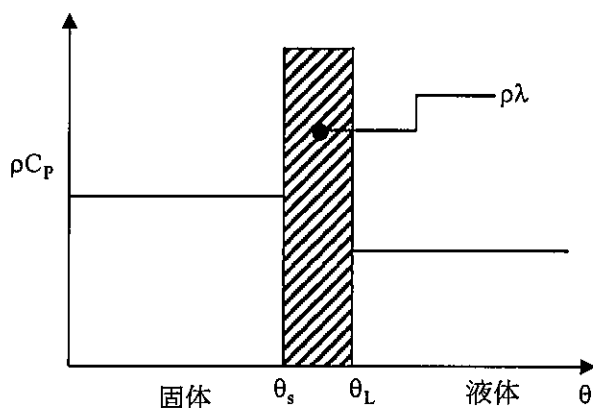
JTACO-3D では、任意の関数関係を定義するためにユーザーサブプログラムオプションが利用できる。ユーザーサブプログラムは、別々にコンパイルされ、専用の JTACO-3D バイナリーファイルとともにロードされ、別のモジュールが作られる。

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  $\theta_M$  でお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	$\theta$	°C
空間座標	$X_i$	m
時間	t	s
密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
比熱	$C_p$	J/kg·°C
熱伝導度	K	W/m·°C
単位体積当たりの発熱率	Q	W/m <sup>3</sup>
単位面積当たりの熱流束	q	W/m <sup>2</sup>

(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  $\square$  g/cm<sup>3</sup>）の純鉄粉末  $\square$  kg 入りの粉末収納缶が  $\square$  缶（計  $\square$  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）

#### 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  $\square$  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） $\surd$   $\square$  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（ $\square$ ）
- ・「軽量」フランジ内部測定用  $\square$  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。

- ・  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)

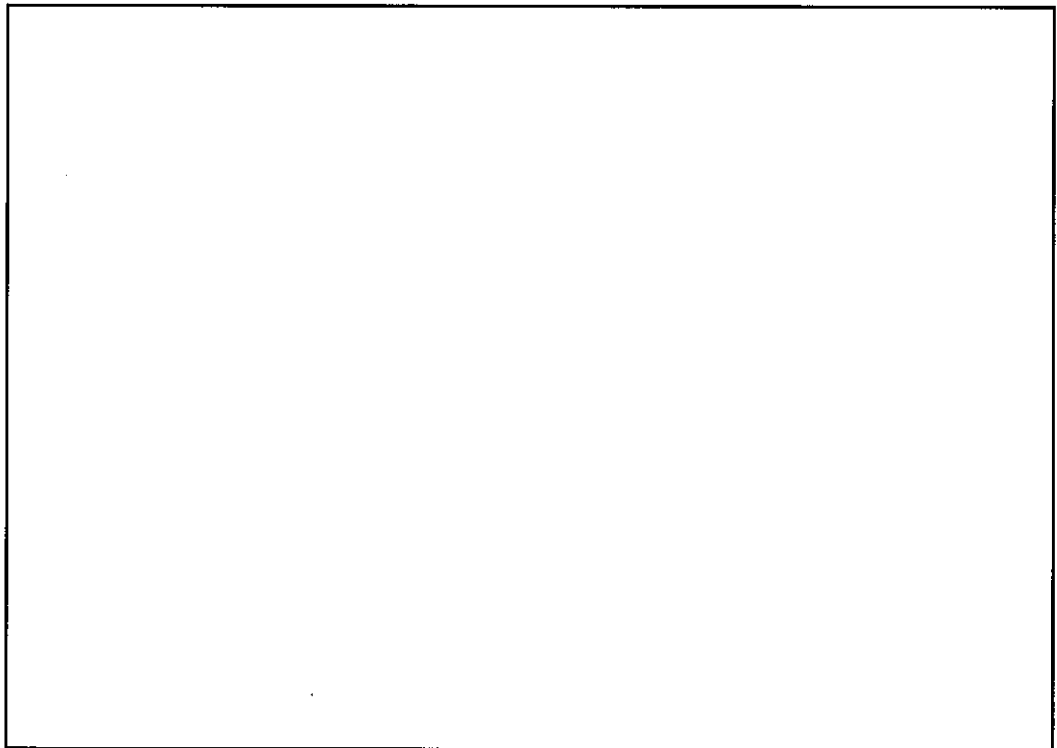
### 3.5.2 試験後の原型容器の評価

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。(「(口)A 付属資料 4」参照)

消石灰漏えいの有無の確認手順を以下に示す。

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

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

表 3.1 耐火試験原型容器 P3 測定温度

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

表 3.2 耐火試験原型容器 P4 測定温度

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



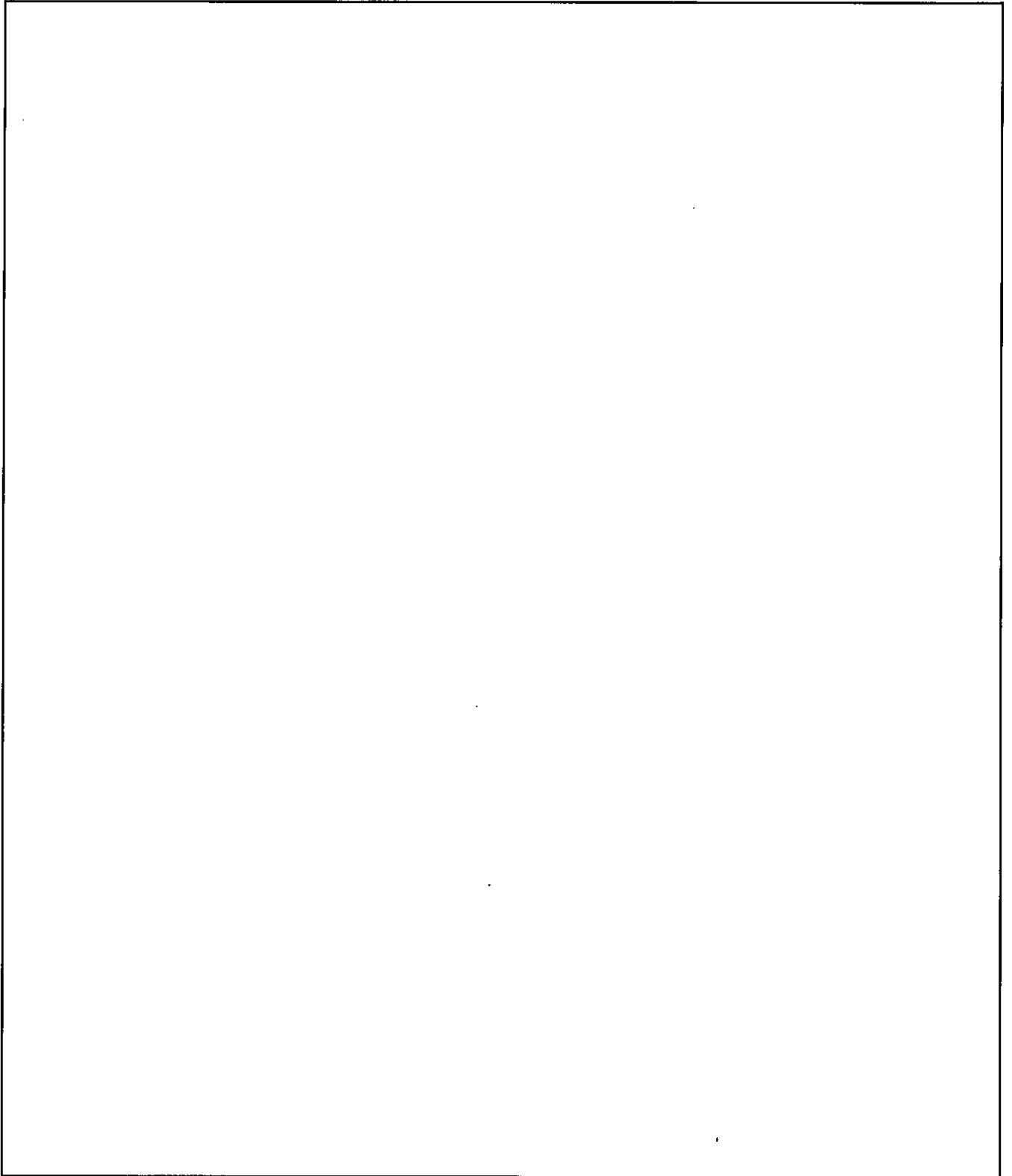


図 3.1 原型容器 P3 及び P4 における熱電対位置

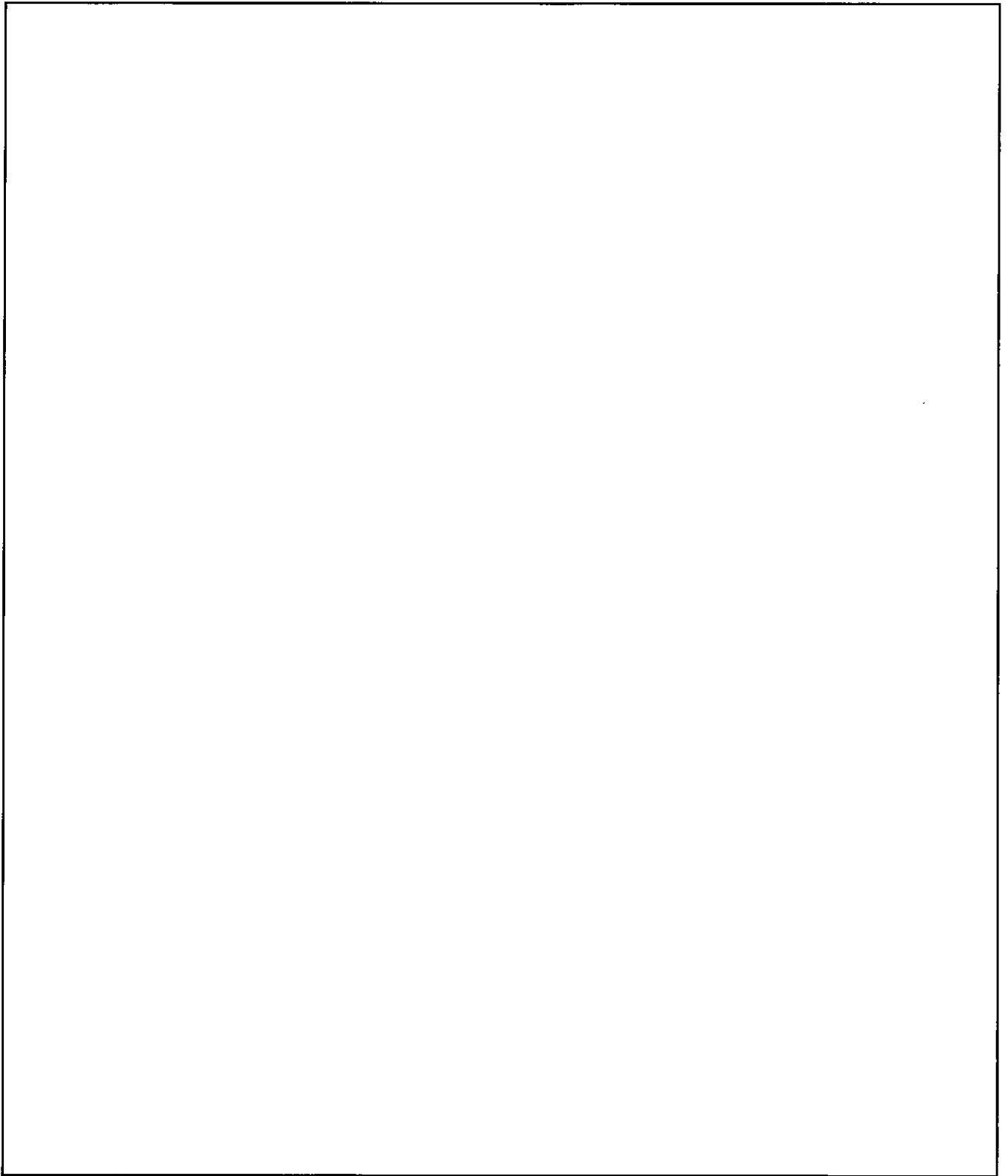


図 3.2 原型容器 P3 及び P4 におけるフランジ及び BORA レジンの熱電対位置

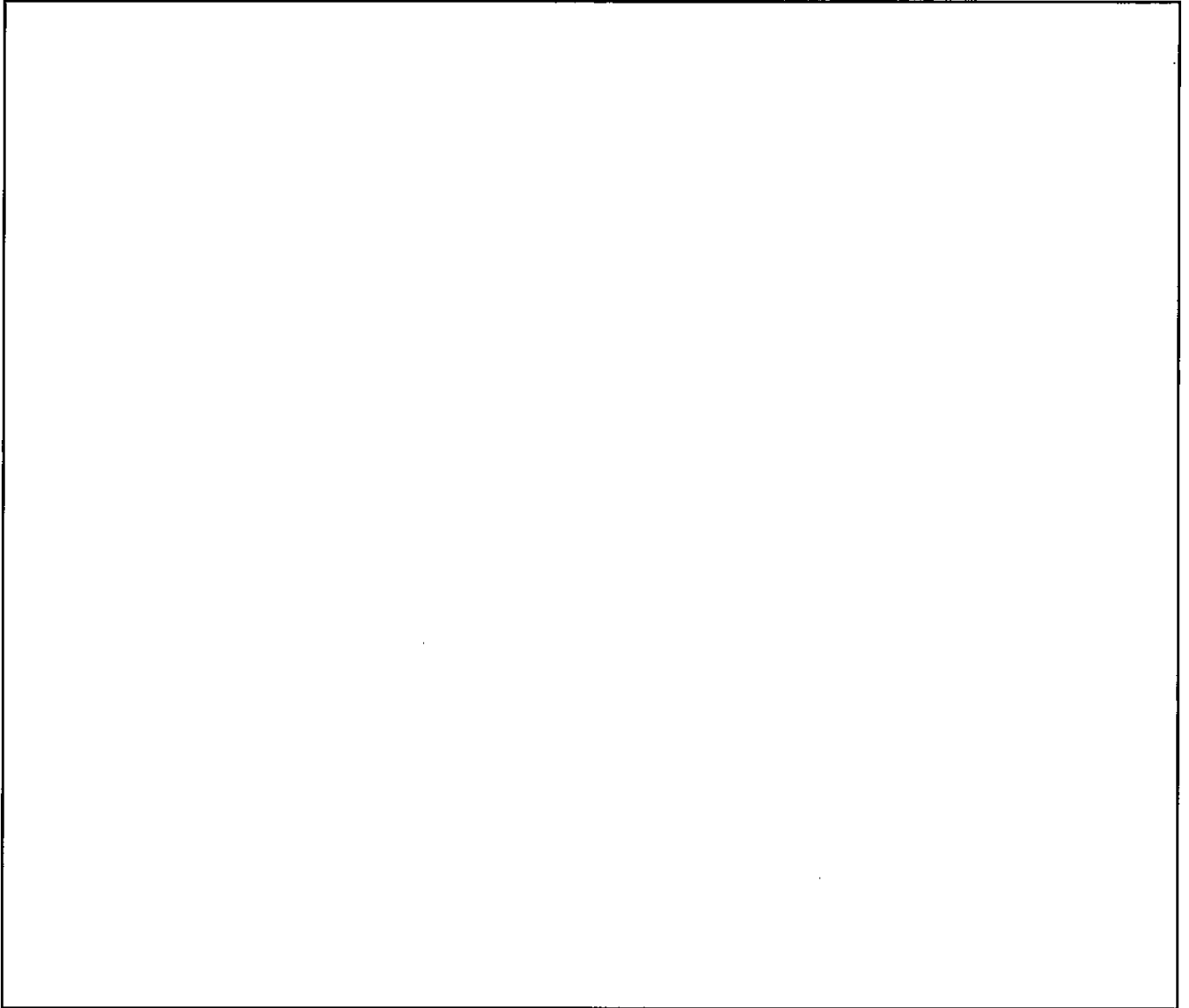
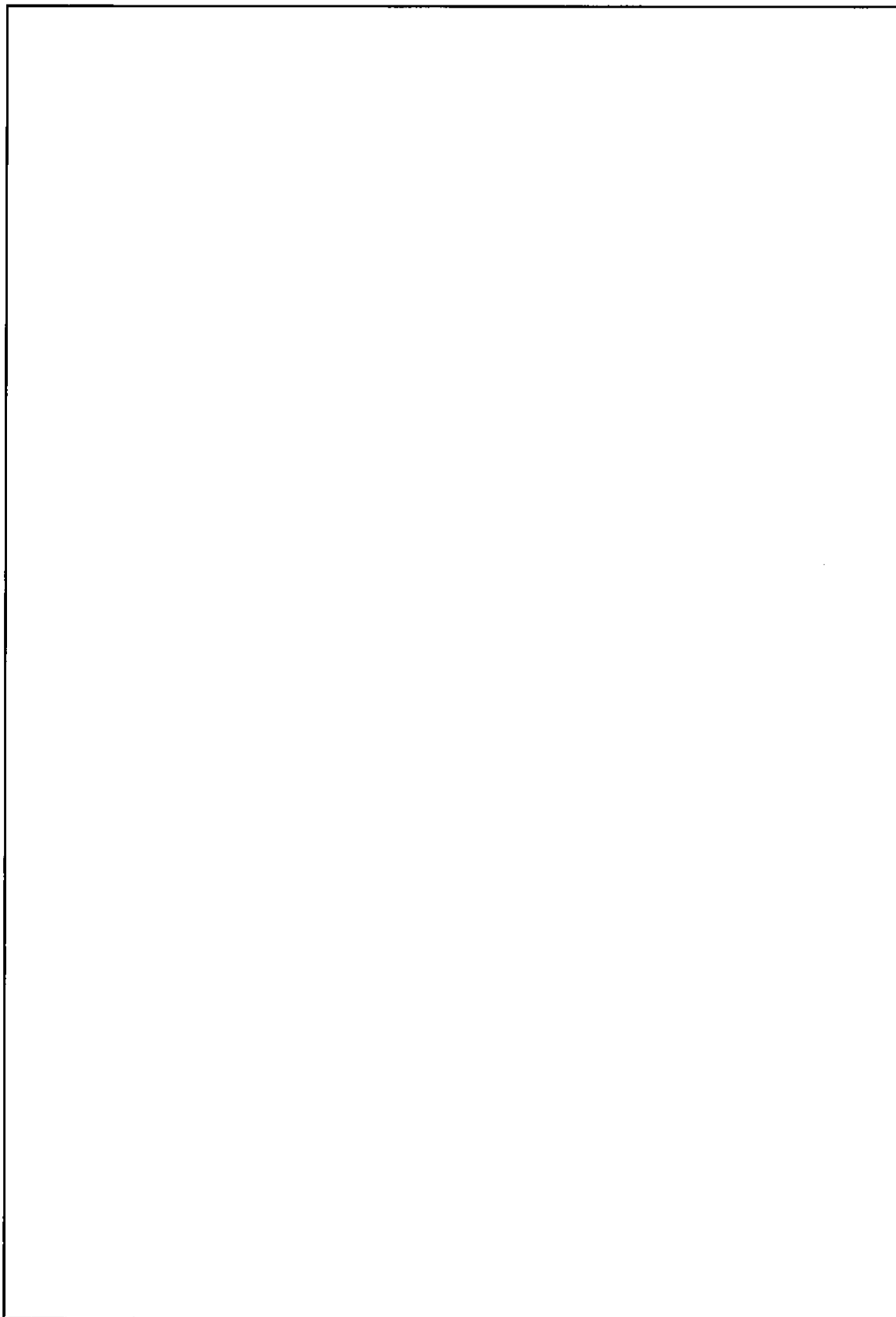


図 3.3 周囲温度測定用熱電対の位置

図 3.4 耐火試験における輸送物の温度曲線



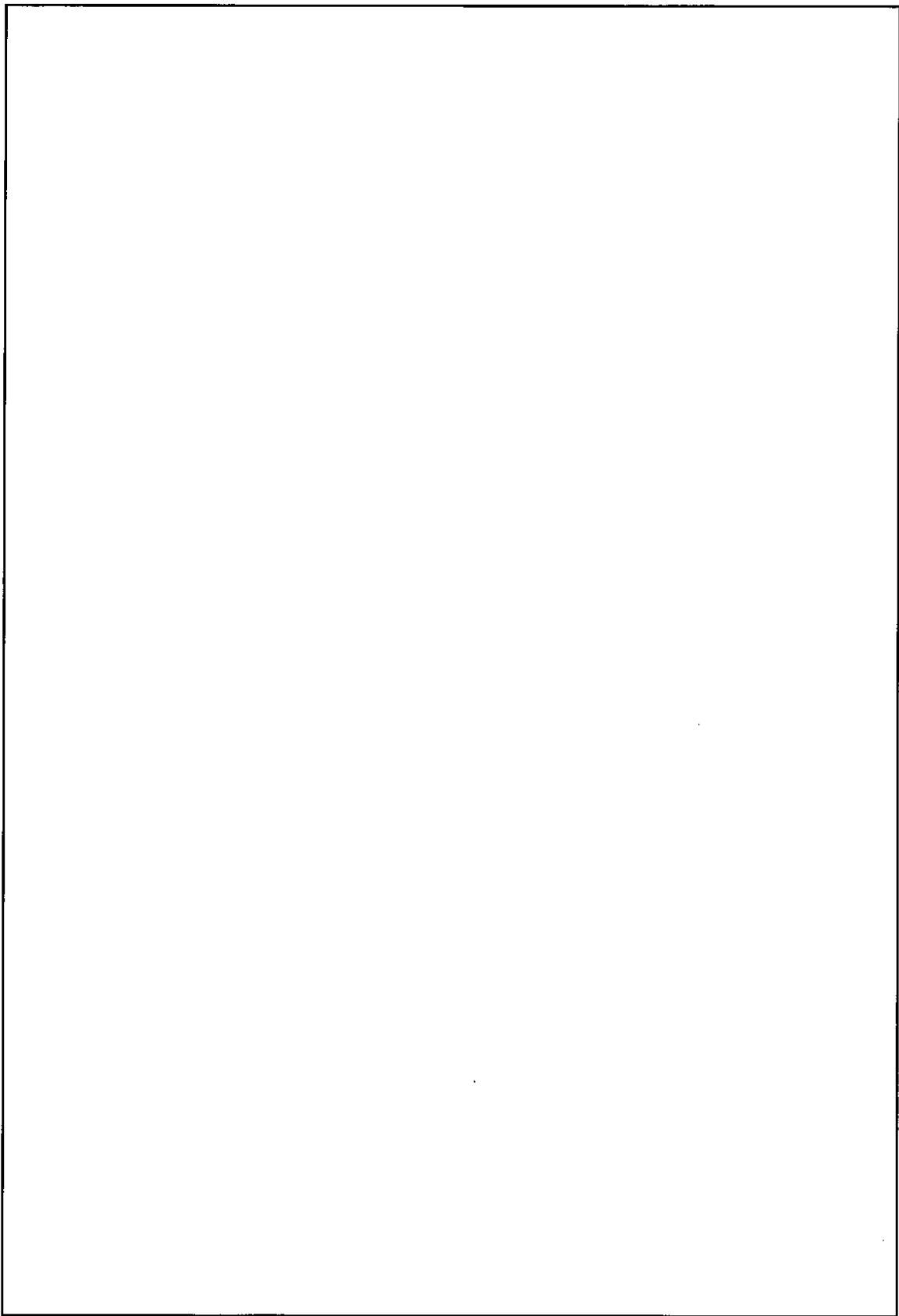


図 3.5 耐火試験における平均周囲温度曲線

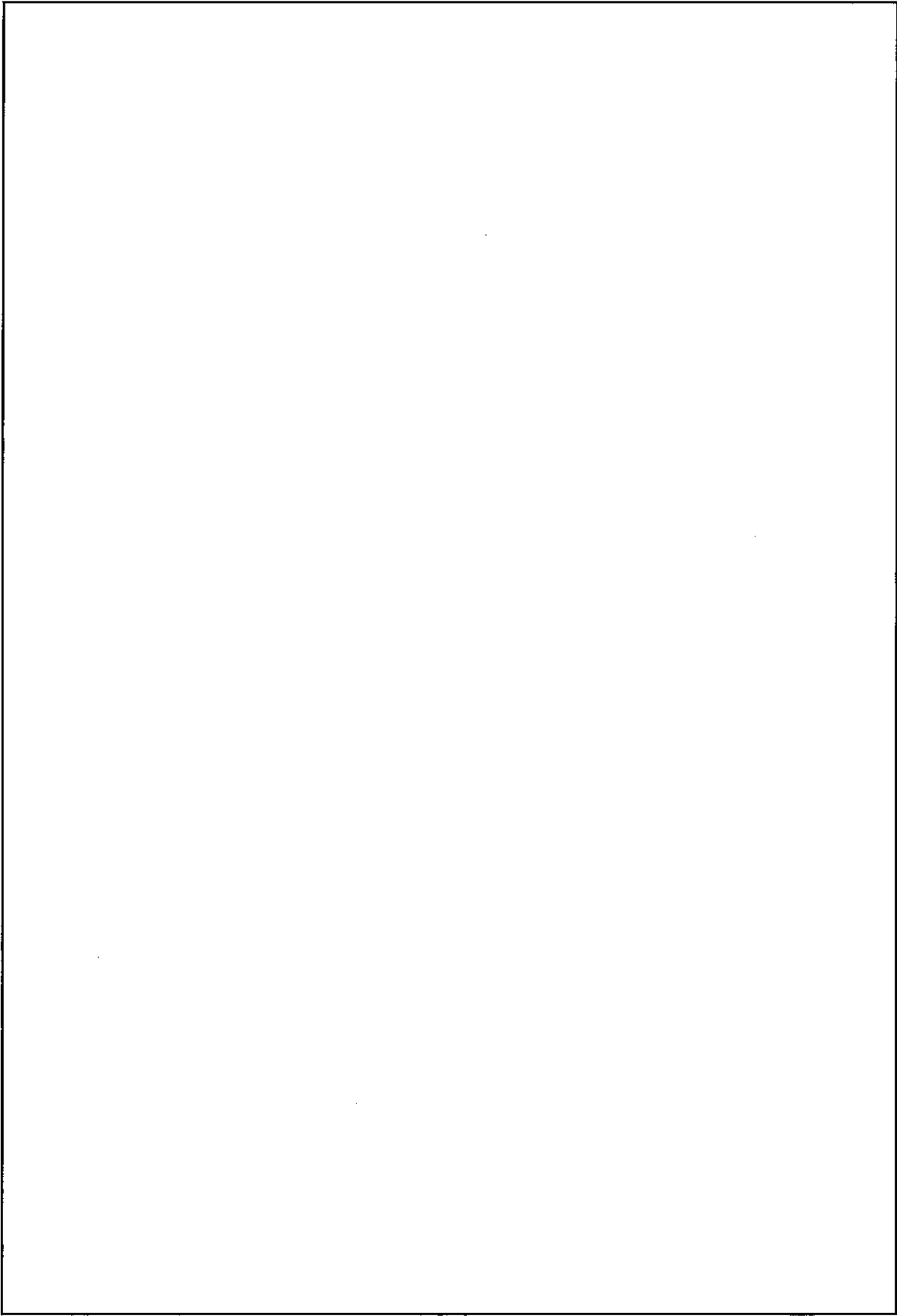


図 3.6 耐火試験におけるガスケット (内容器フランジ) の温度曲線

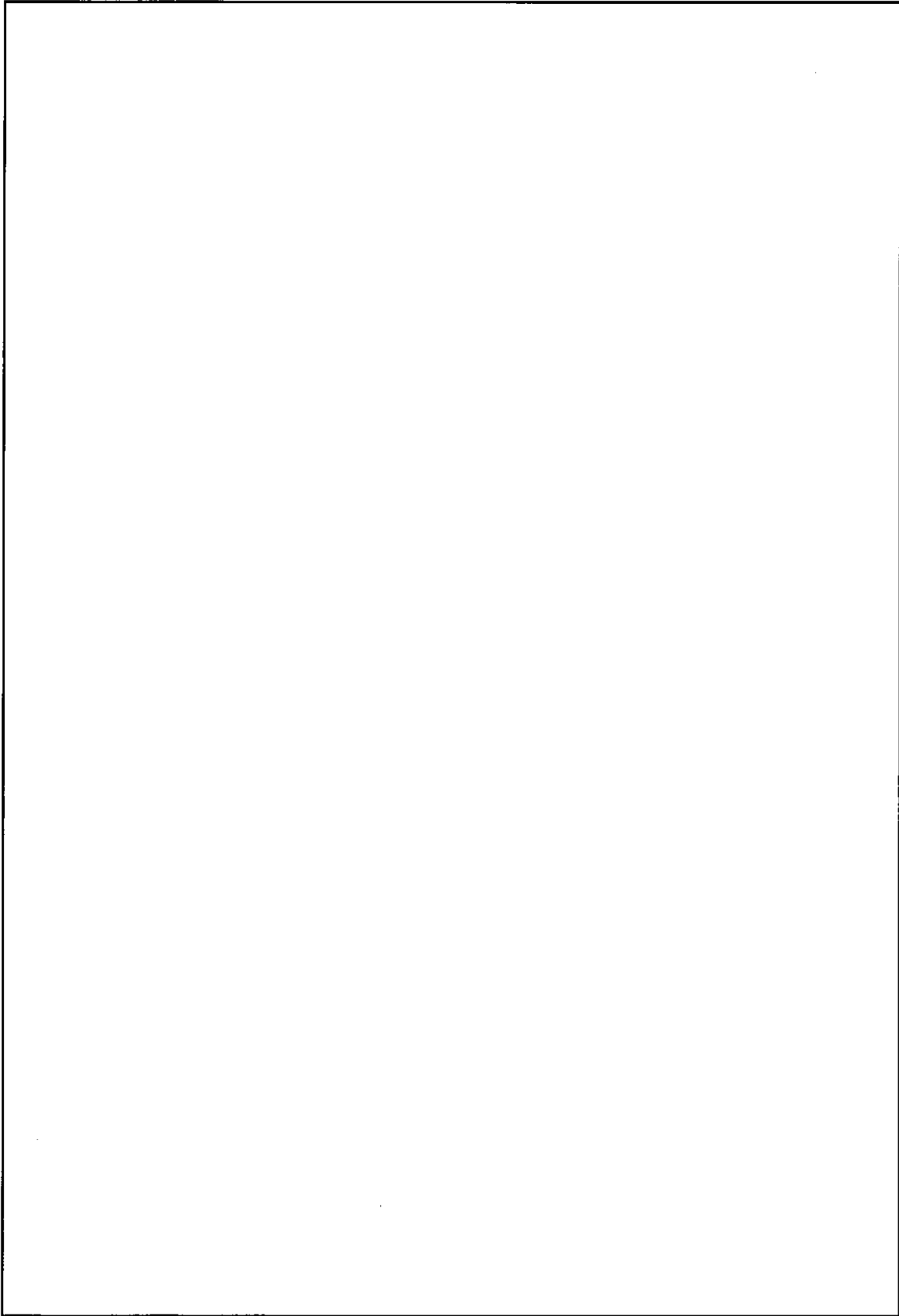


図 3.7 耐火試験における BORA レジン (中性子吸収材) の温度曲線

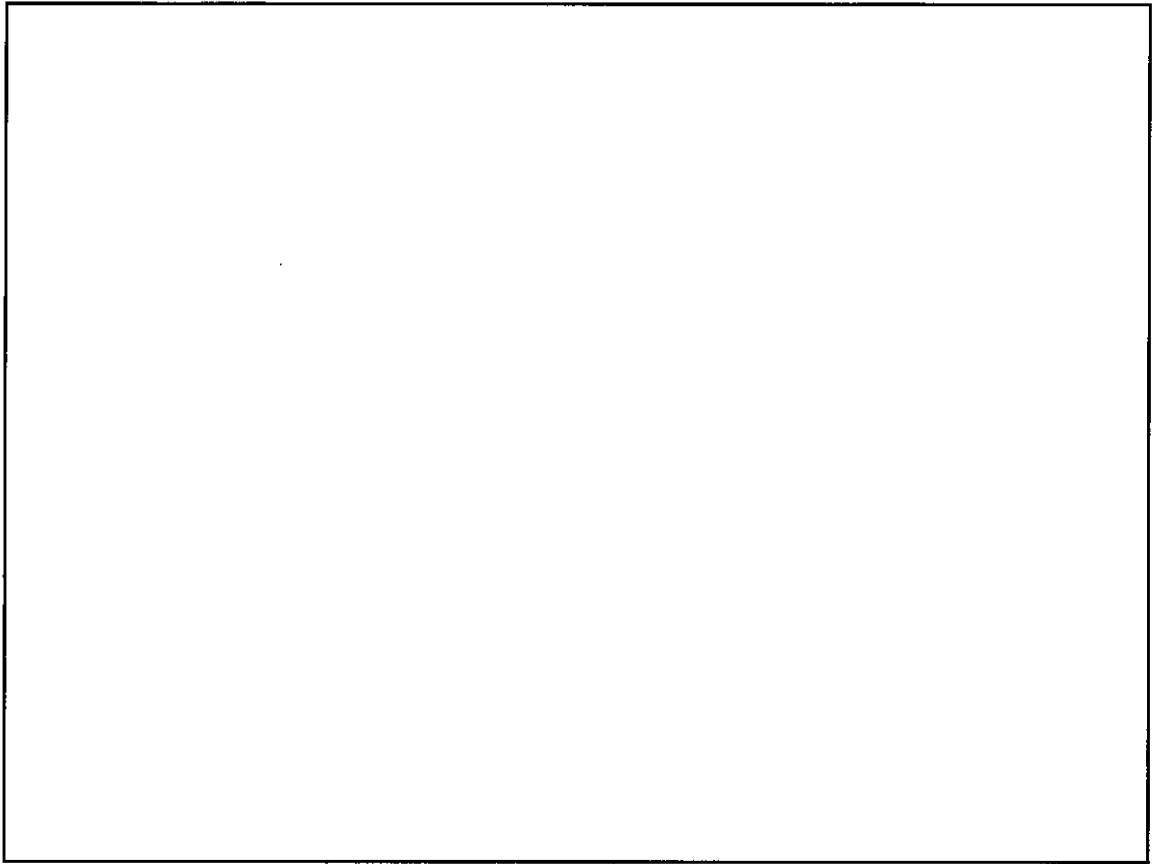


写真 3.1 耐火試験前の原型容器 P3

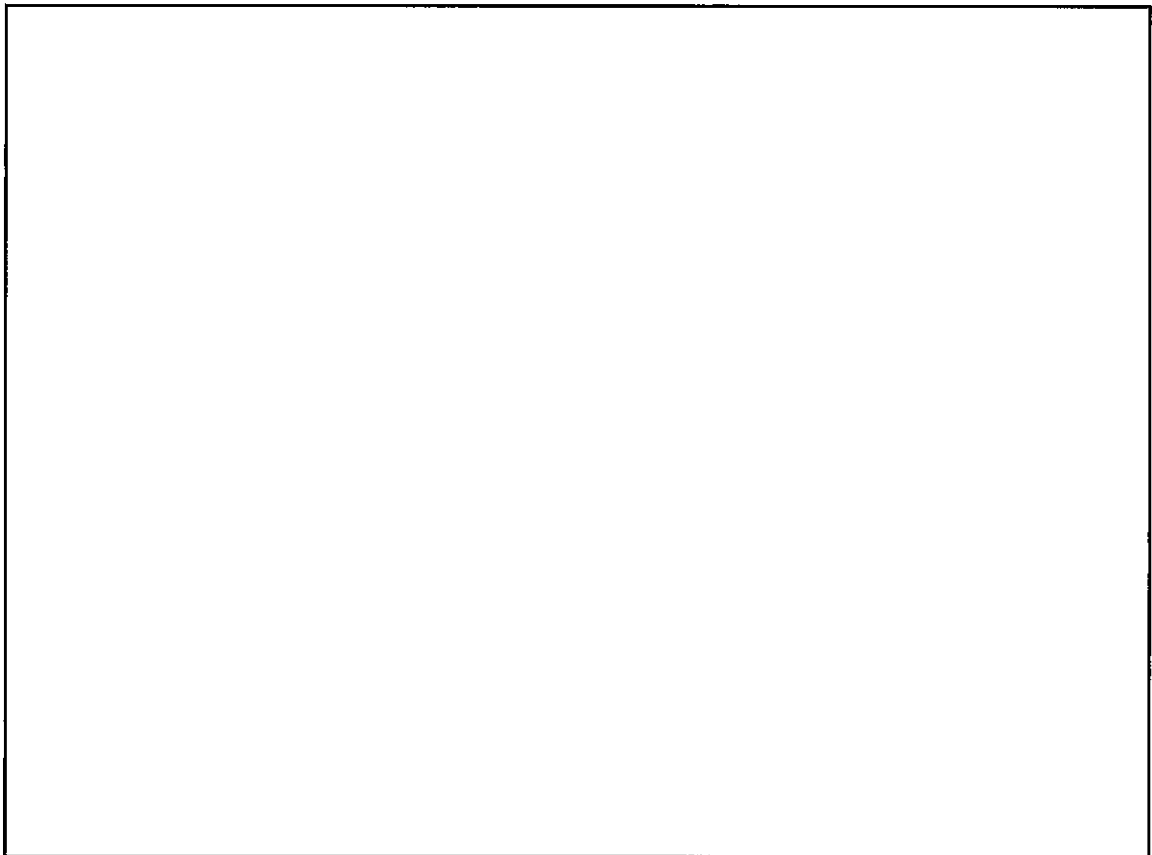


写真 3.2 耐火試験前の原型容器 P4 上面



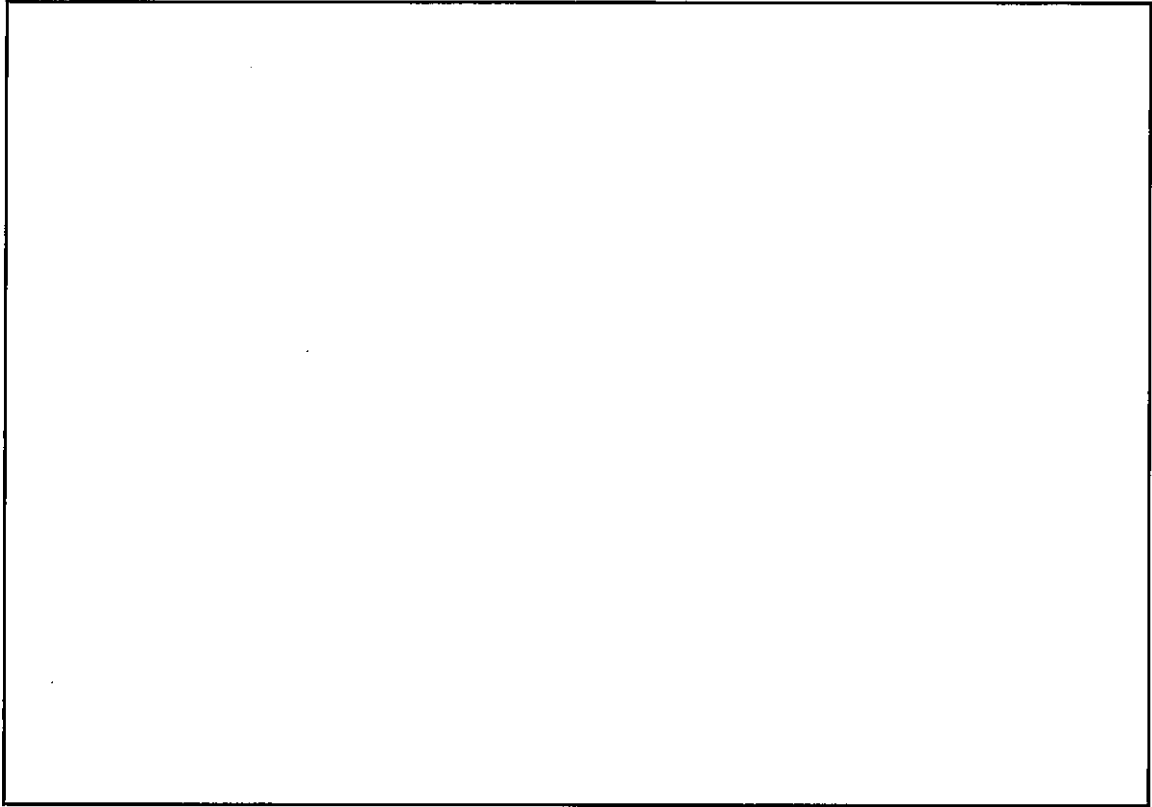


写真 3.3 試験炉挿入時の原型容器 (1/2)

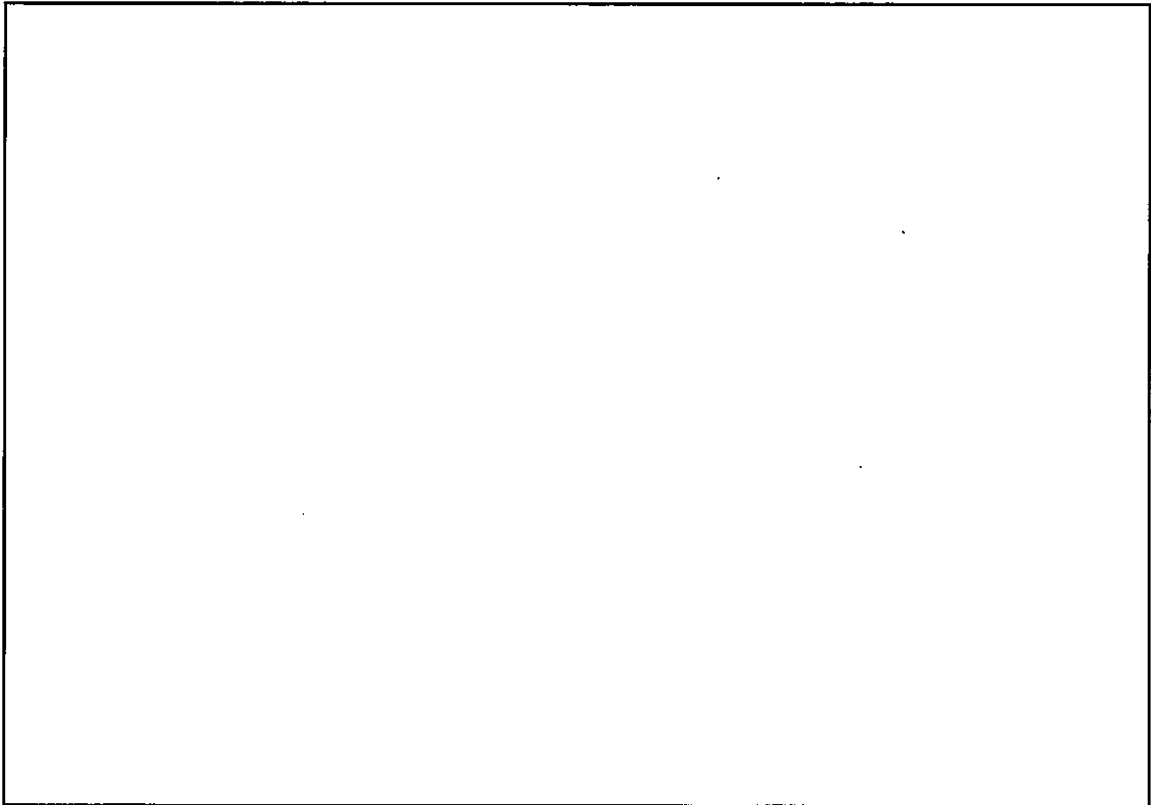


写真 3.4 試験炉挿入時の原型容器 (2/2)

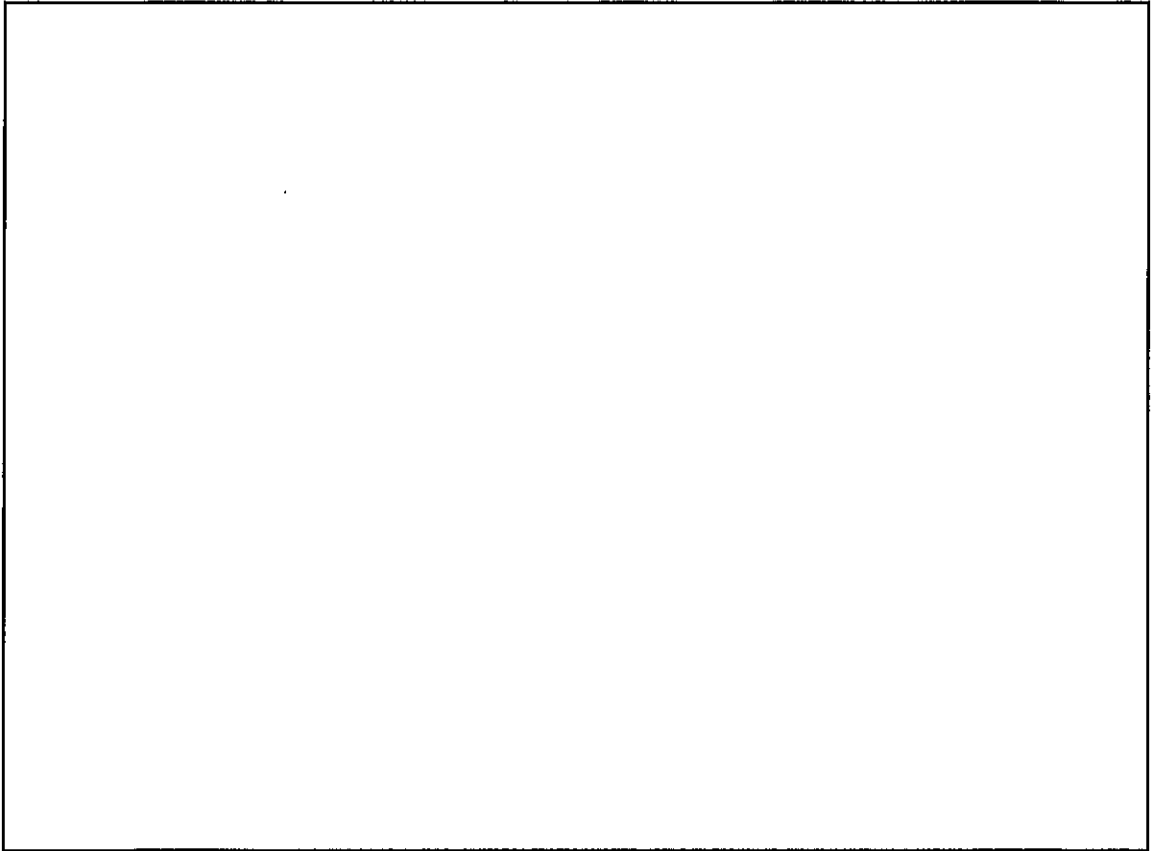


写真 3.5 耐火試験終了直後の原型容器

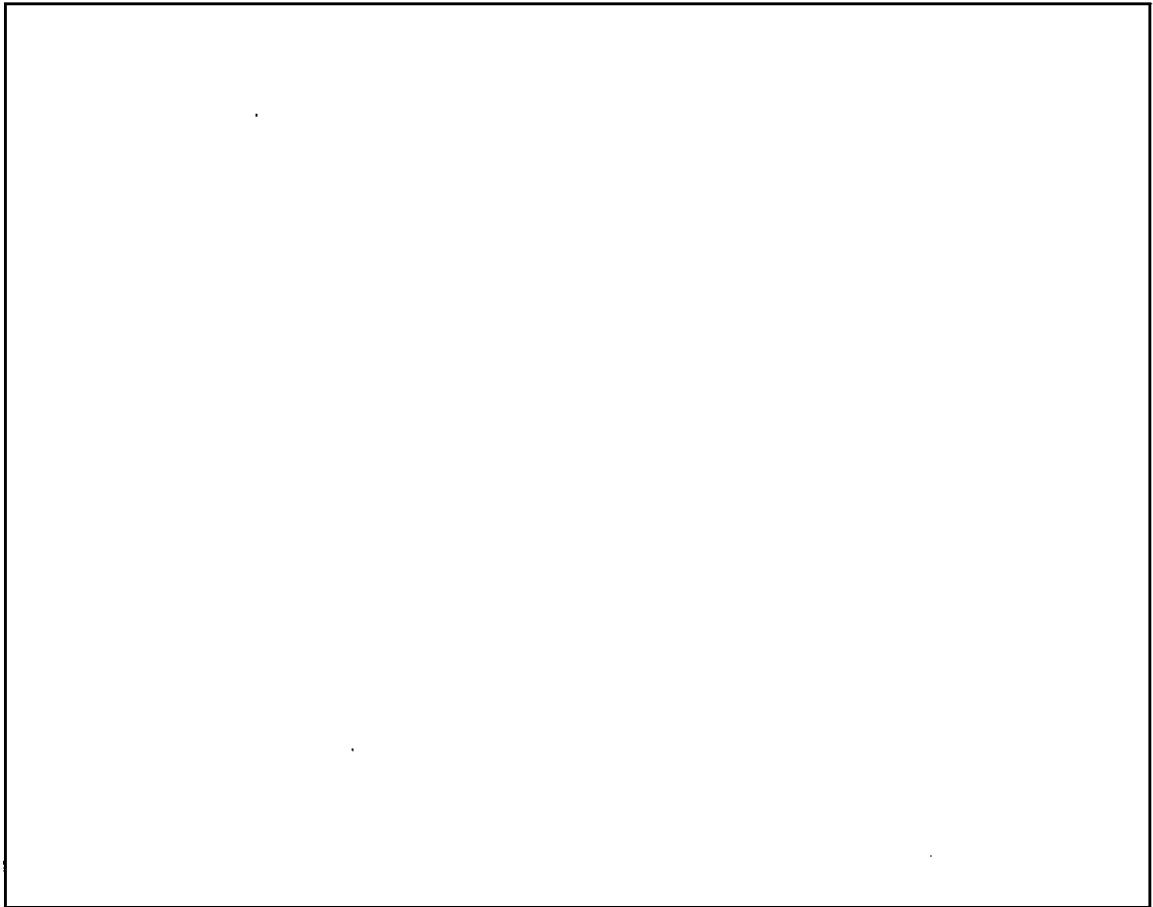


写真 3.6 耐火試験終了後の自然冷却状態：原型容器 P3

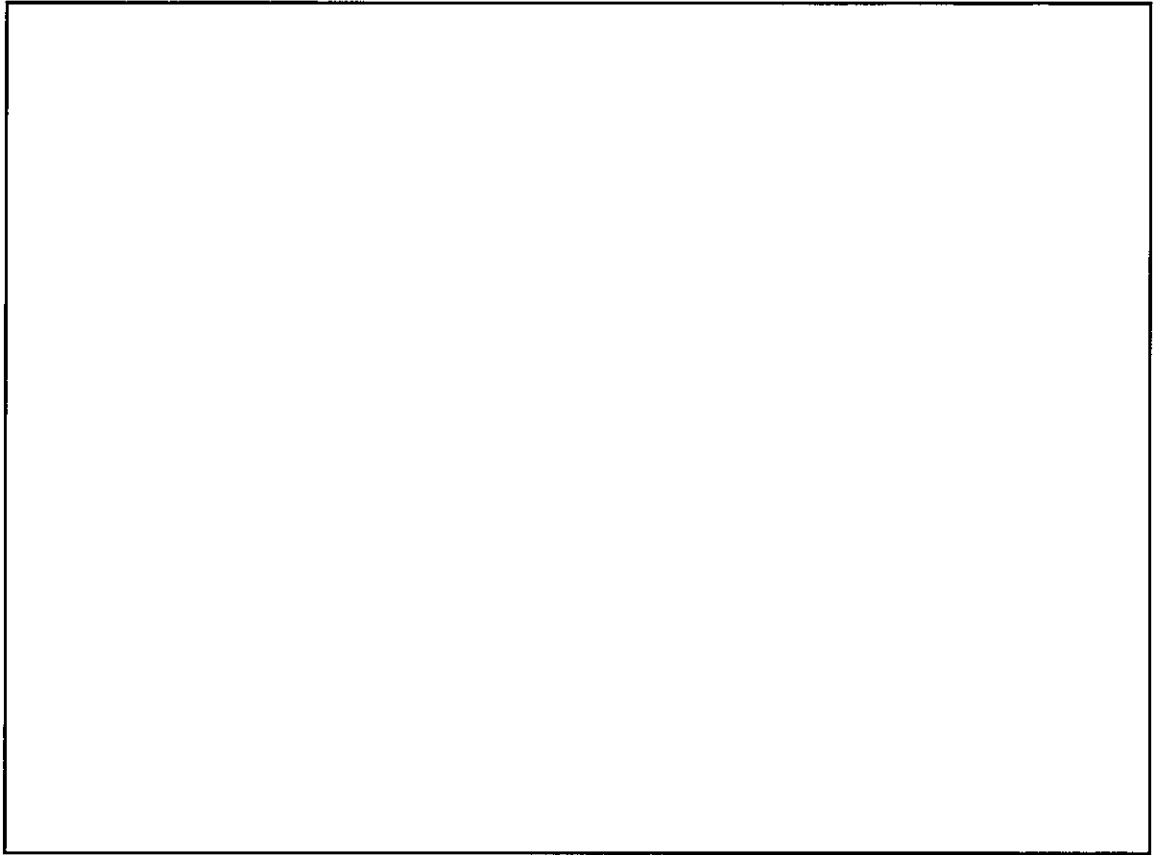


写真 3.7 耐火試験終了後の自然冷却状態：原型容器 P4

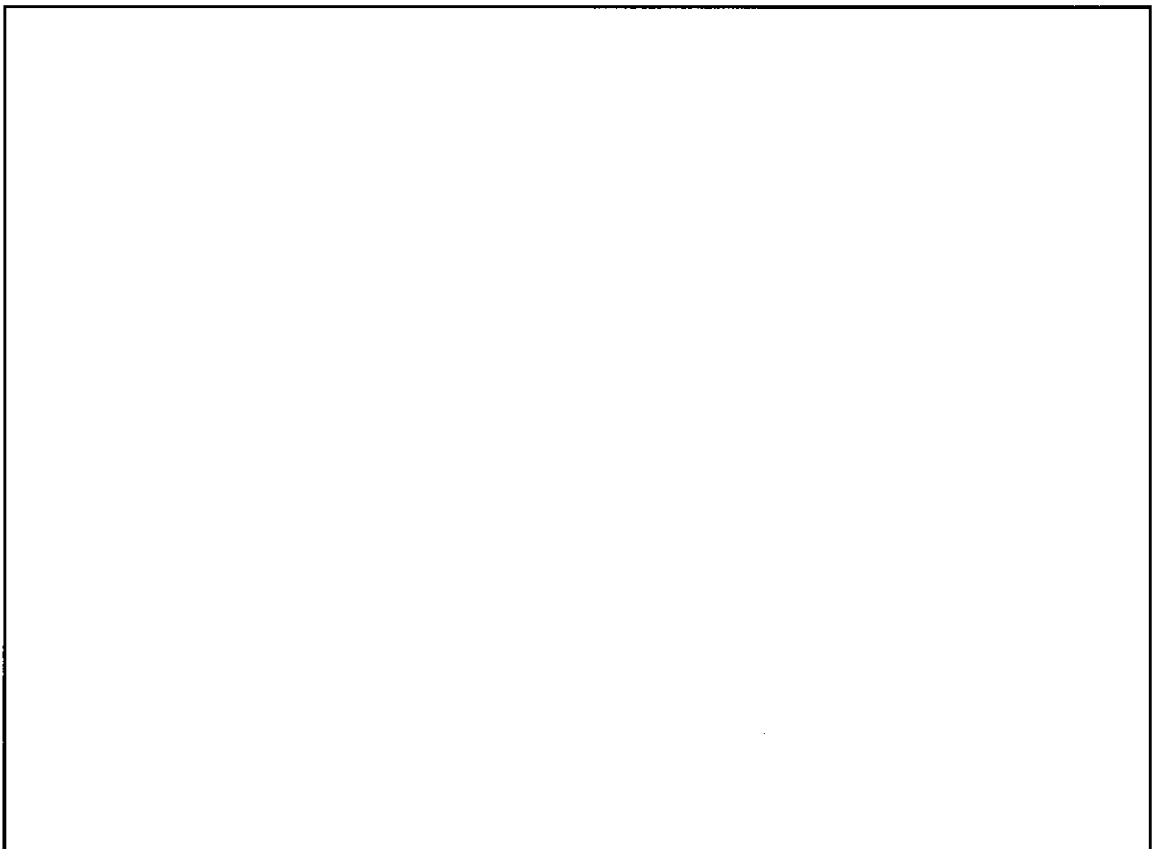


写真 3.8 耐火試験後の原型容器 P4 底部外殻切断前

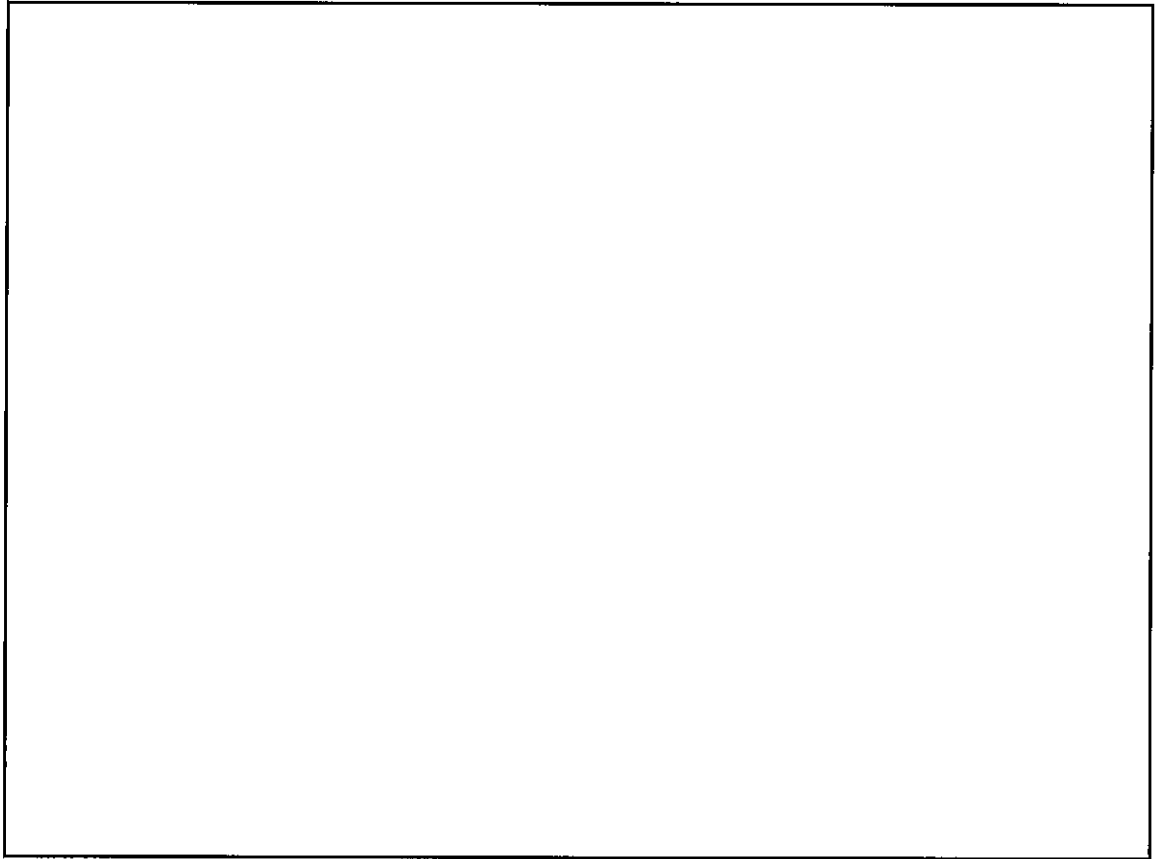


写真 3.9 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォーム (外殻切断後)

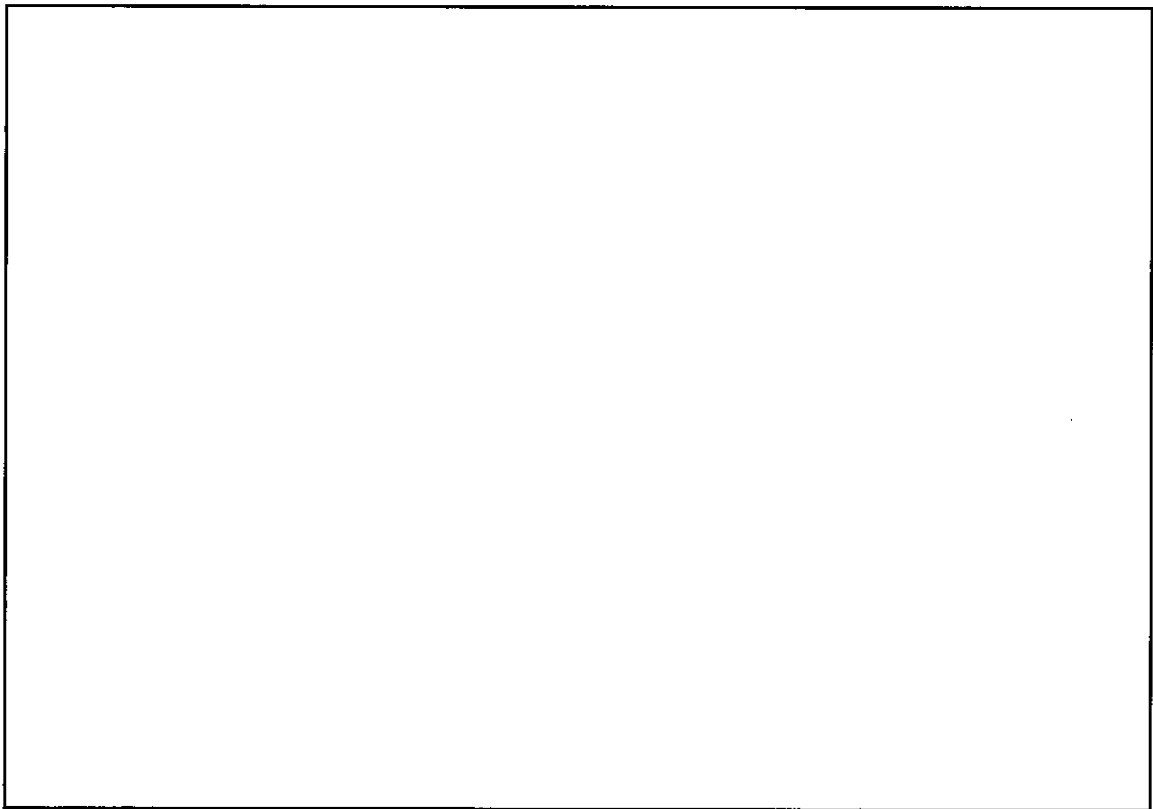


写真 3.10 耐火試験後の原型容器 P3 底部フェノリックフォーム (外殻切断後)

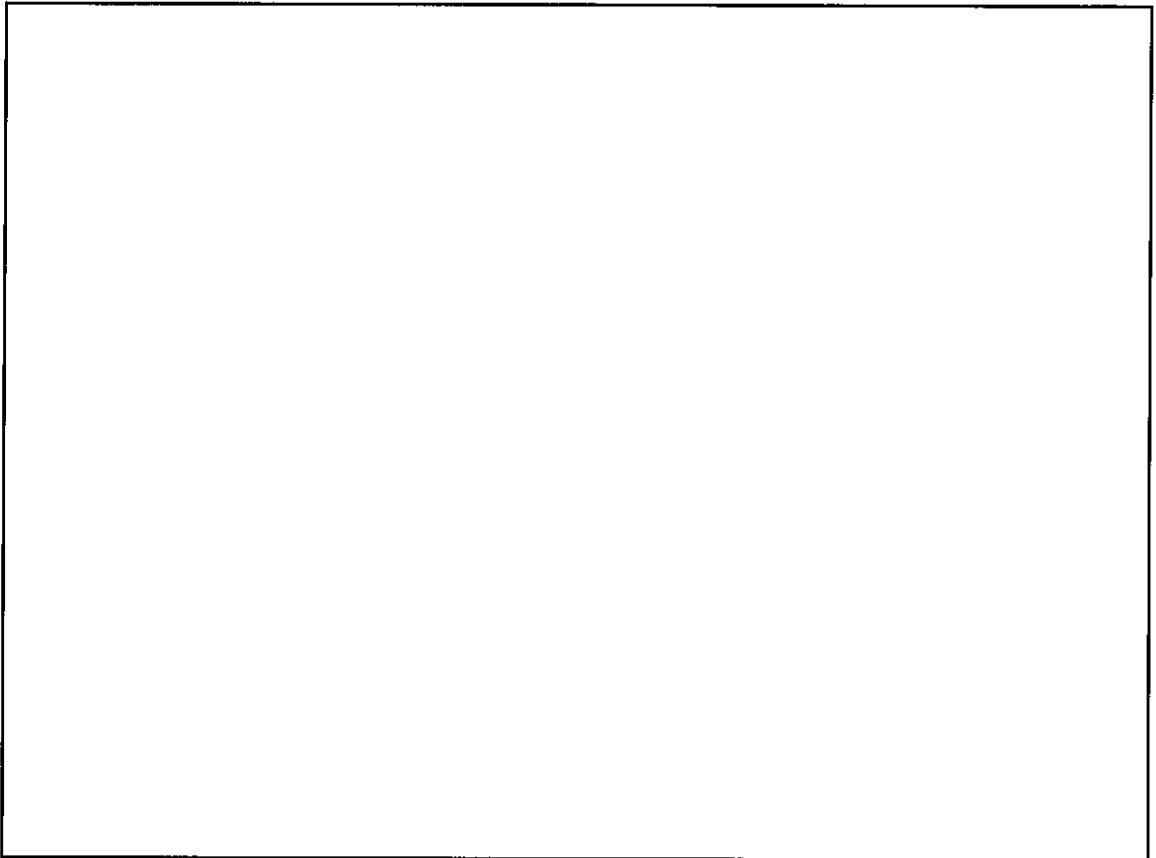
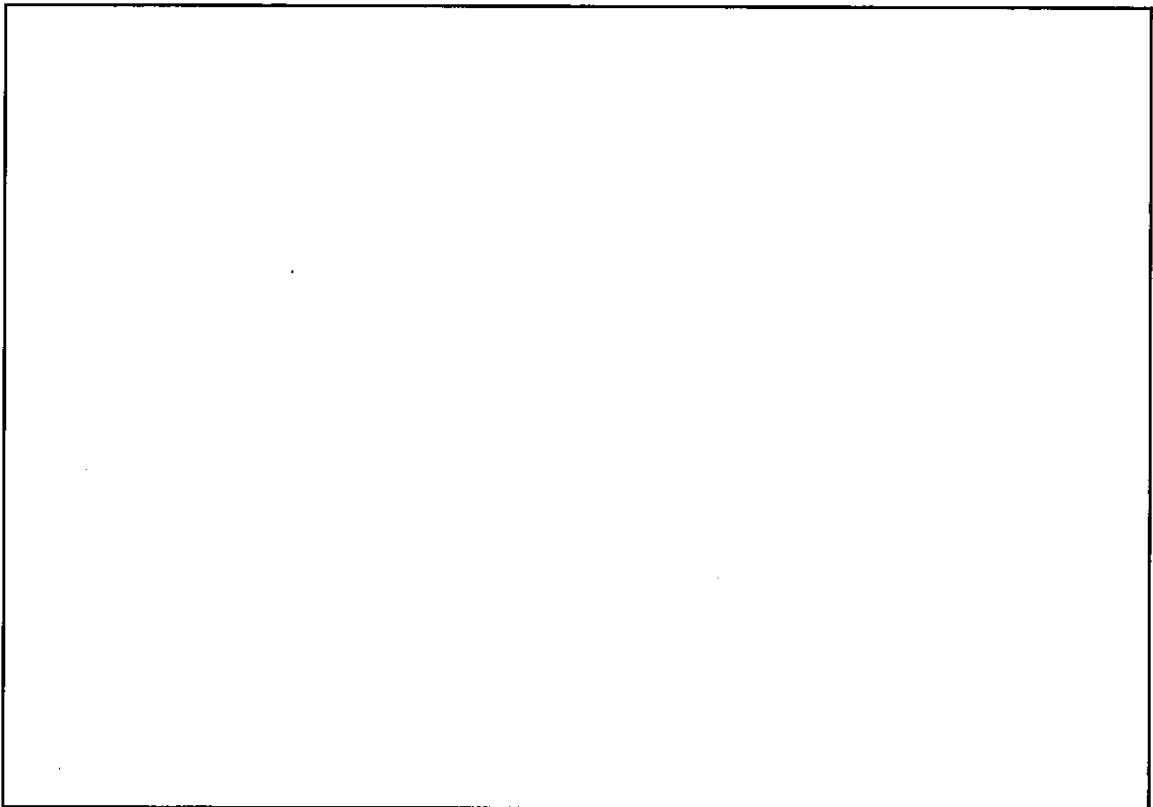


写真 3.11 耐火試験後の原型容器 P3 側面フェノリックフォームの焦げた層写真



3.12 耐火試験後の原型容器 P3 の内容器底面及び連結パイプ

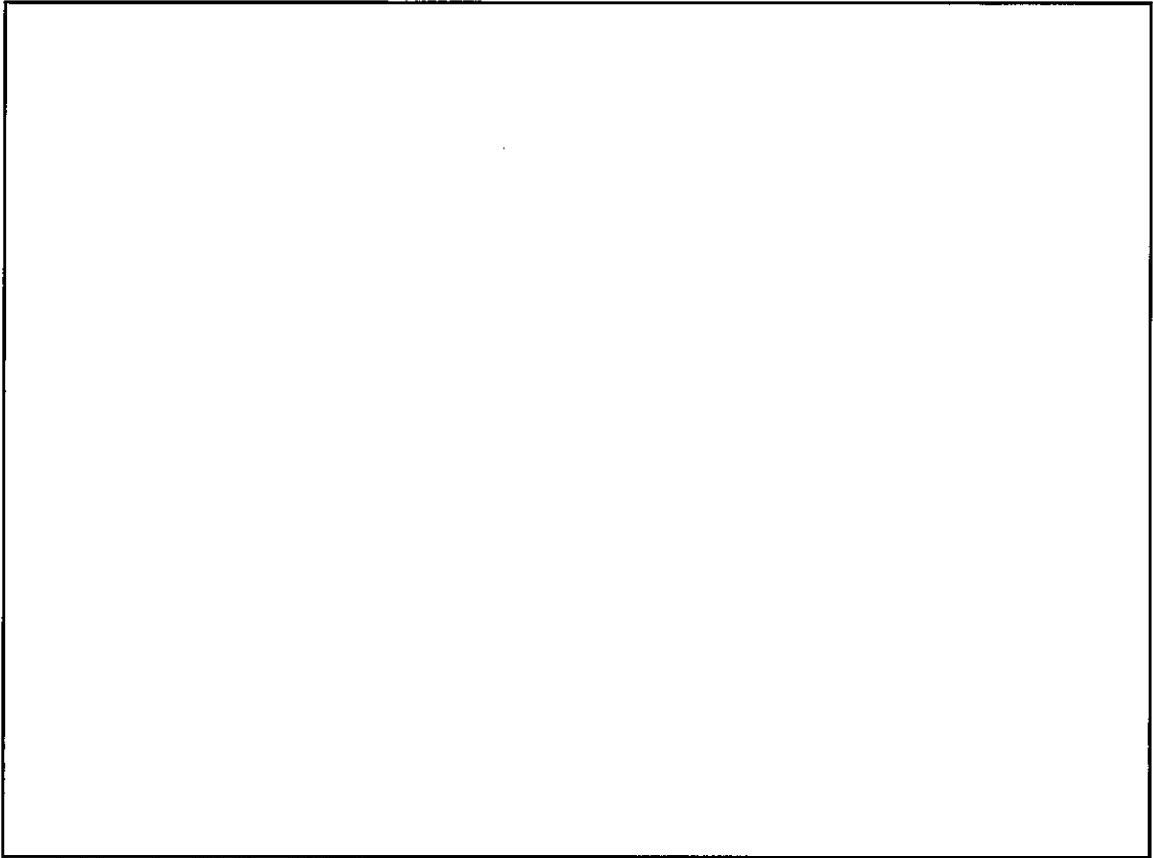


写真 3.13 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォームの焦げた層 (1/2)

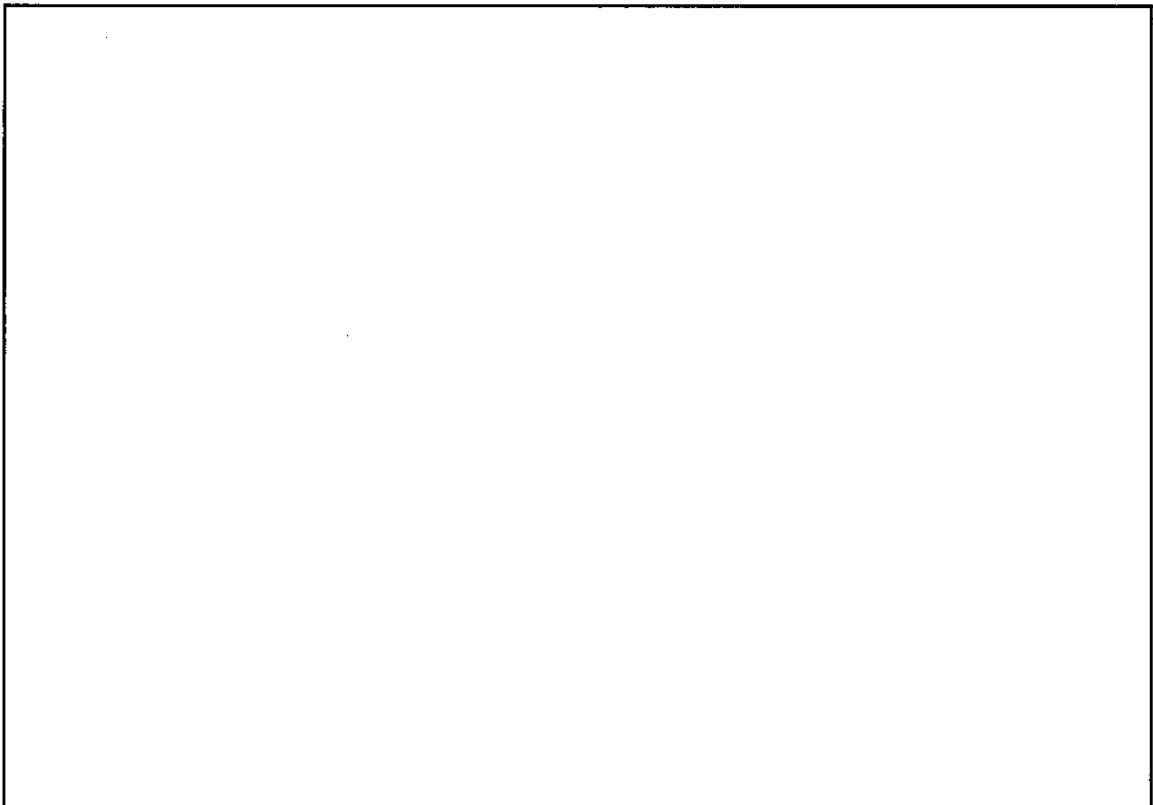


写真 3.14 耐火試験後の原型容器 P4 底部フェノリックフォームの焦げた層 (2/2)

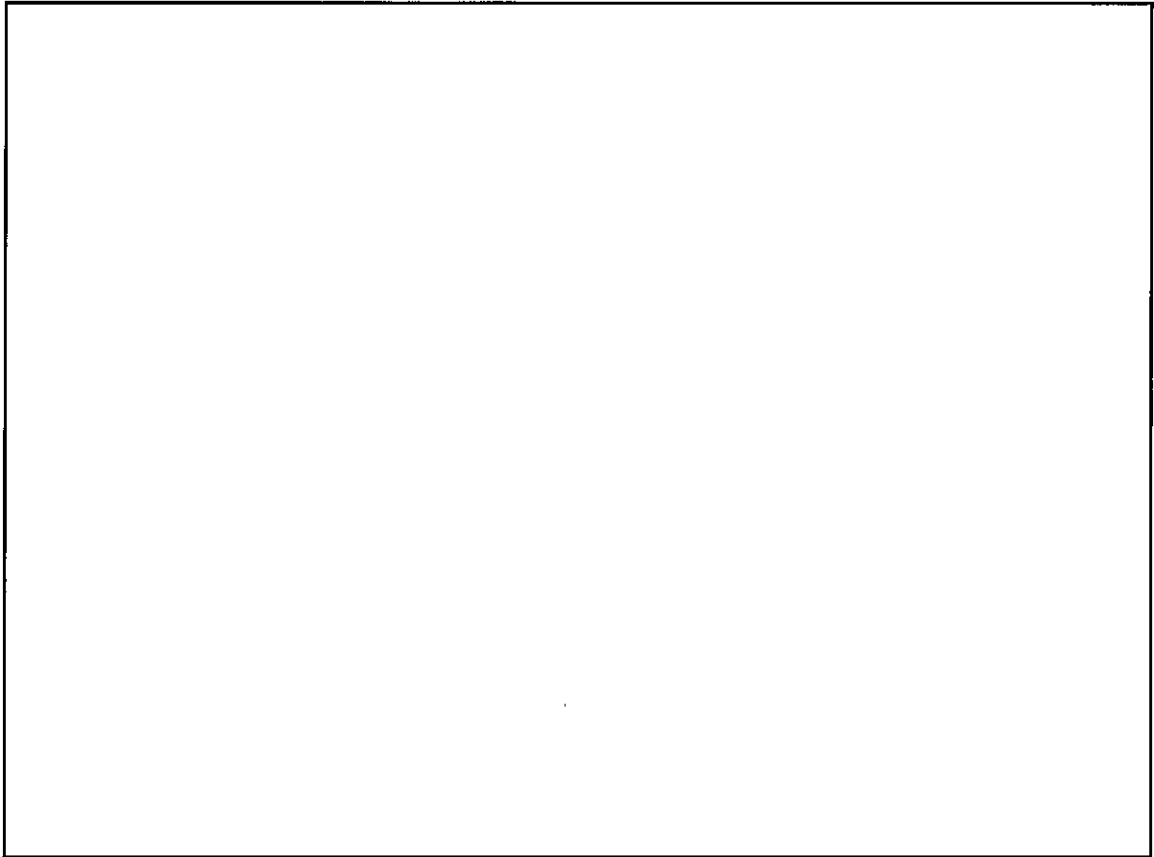


写真 3.15 耐火試験後の原型容器 P4 内容器底部

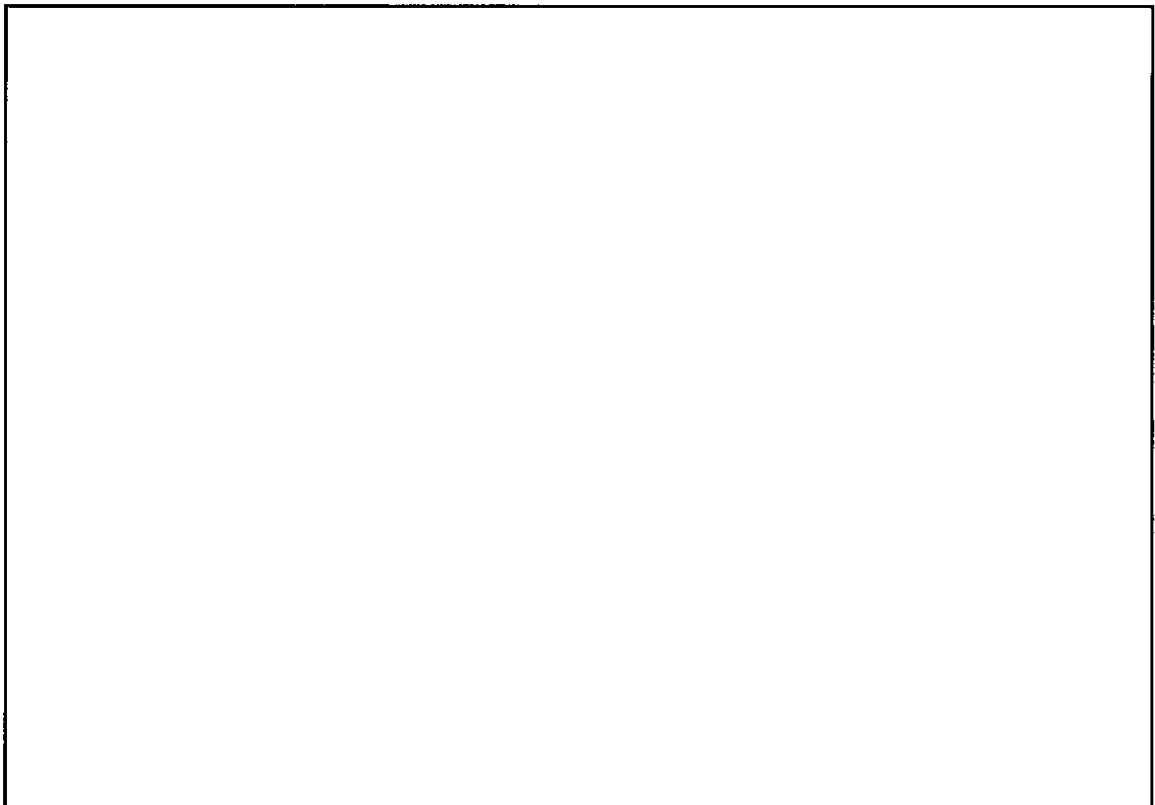


写真 3.16 耐火試験後の原型容器 P4 外蓋の下部フェノリックフォーム，補強材  
(アルミニウム合金) 及びボロン入りステンレス鋼製ディスク

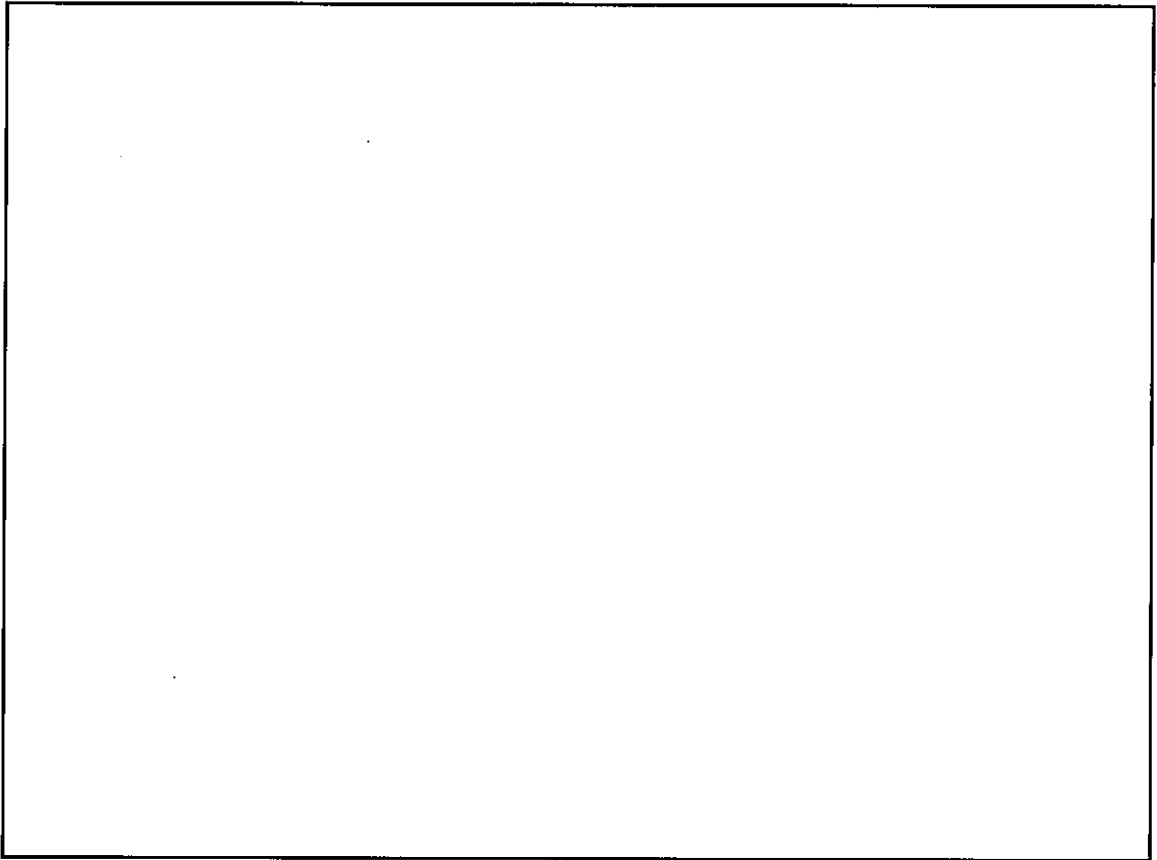


写真 3.17 落下試験 I (9 m) により衝撃を受けた原型容器 P4 内容器  の内蓋 (1/2)

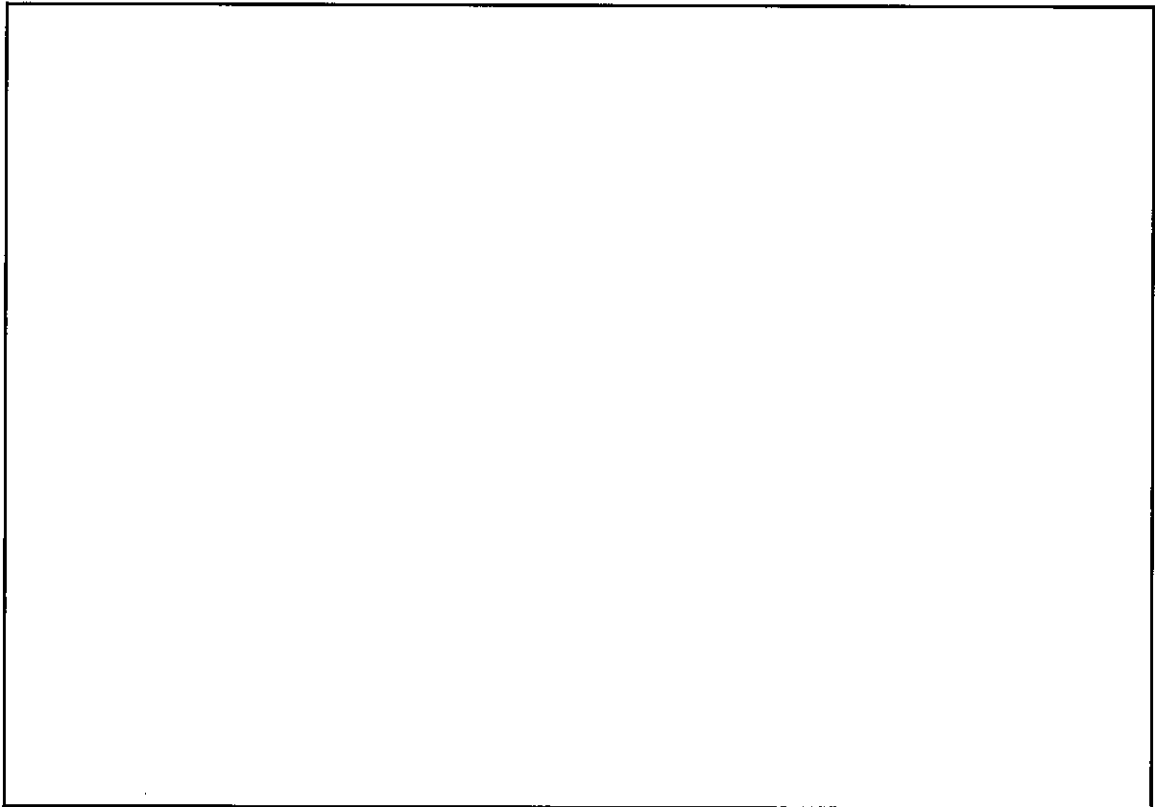


写真 3.18 落下試験 I (9 m) により衝撃を受けた原型容器 P4 内容器  の内蓋 (2/2)



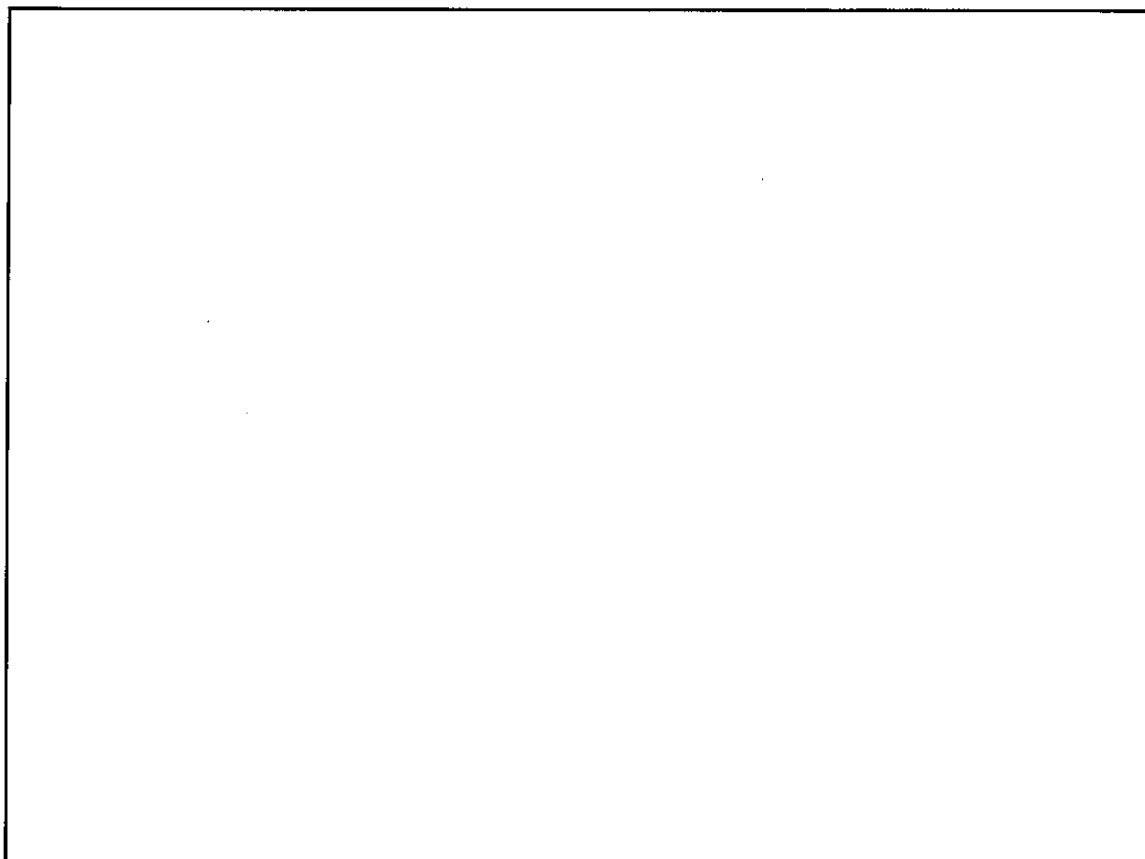


写真 3.19 原型容器 P3 内容器内蓋  : アルコール洗浄後

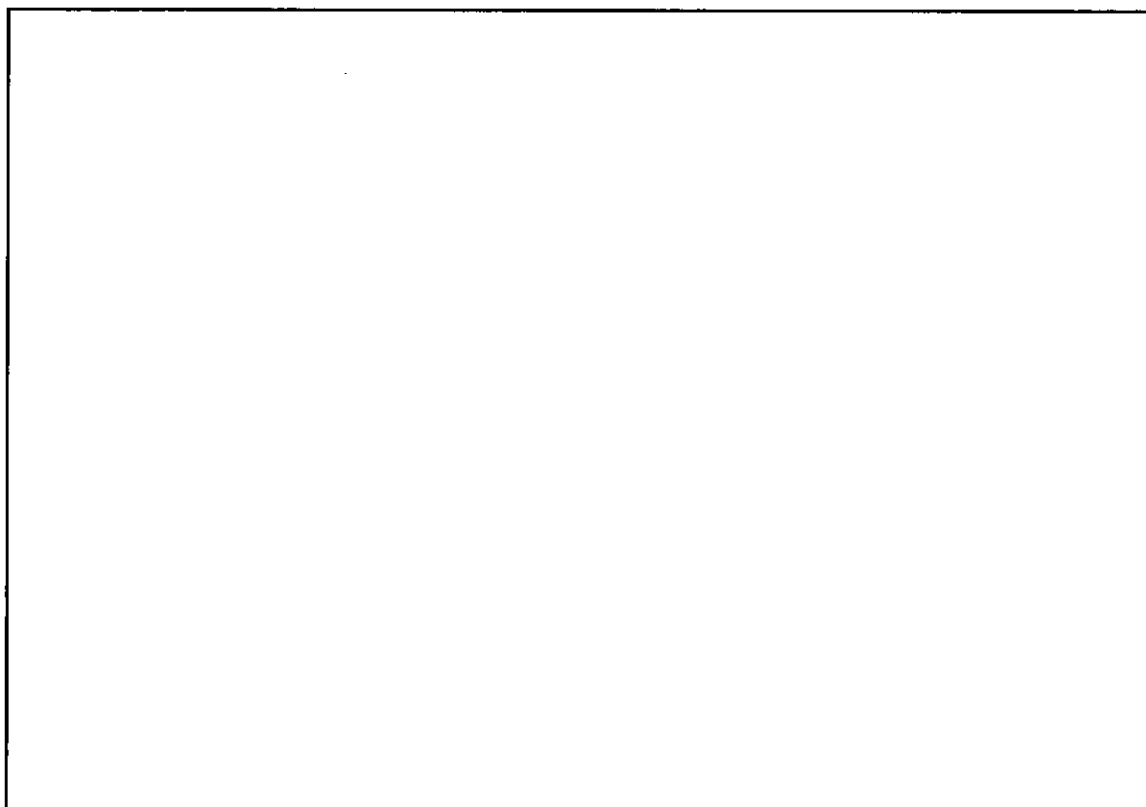


写真 3.20 原型容器 P3 の消石灰漏えい試験

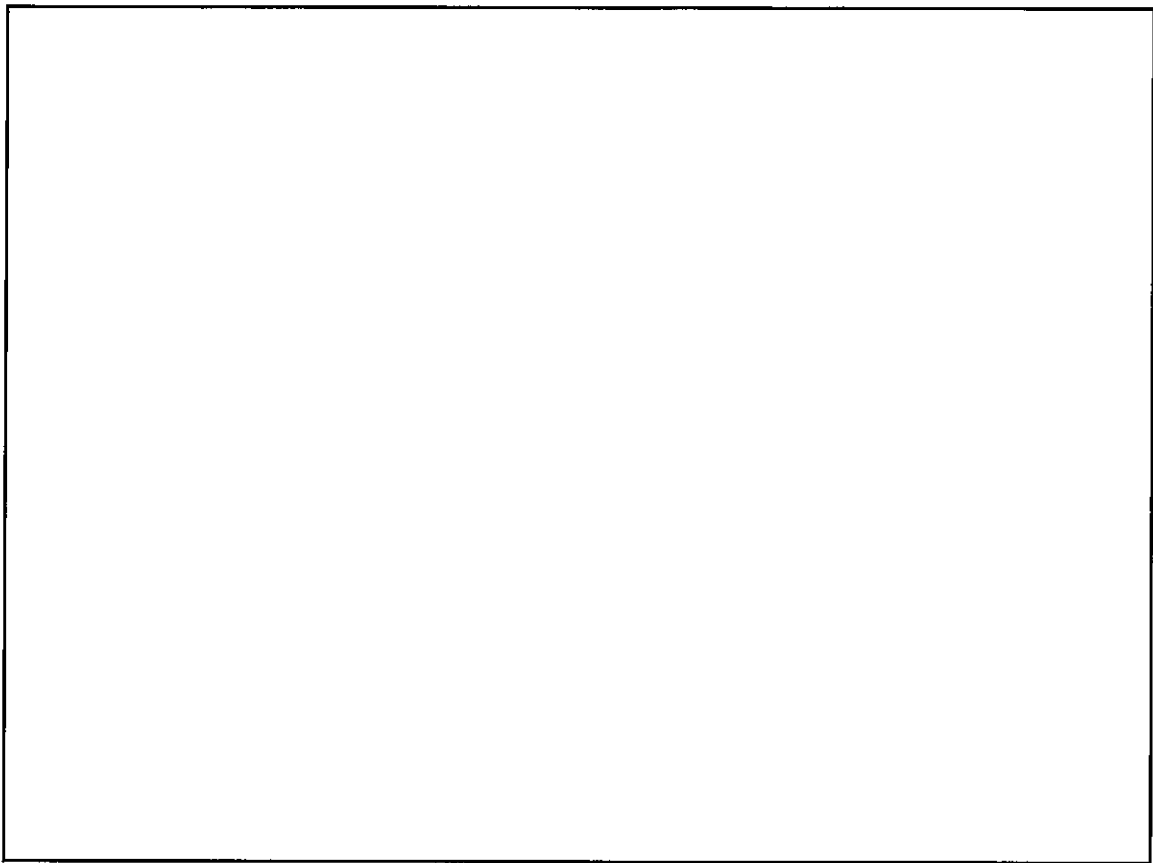


写真 3.21 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋  (1/3)

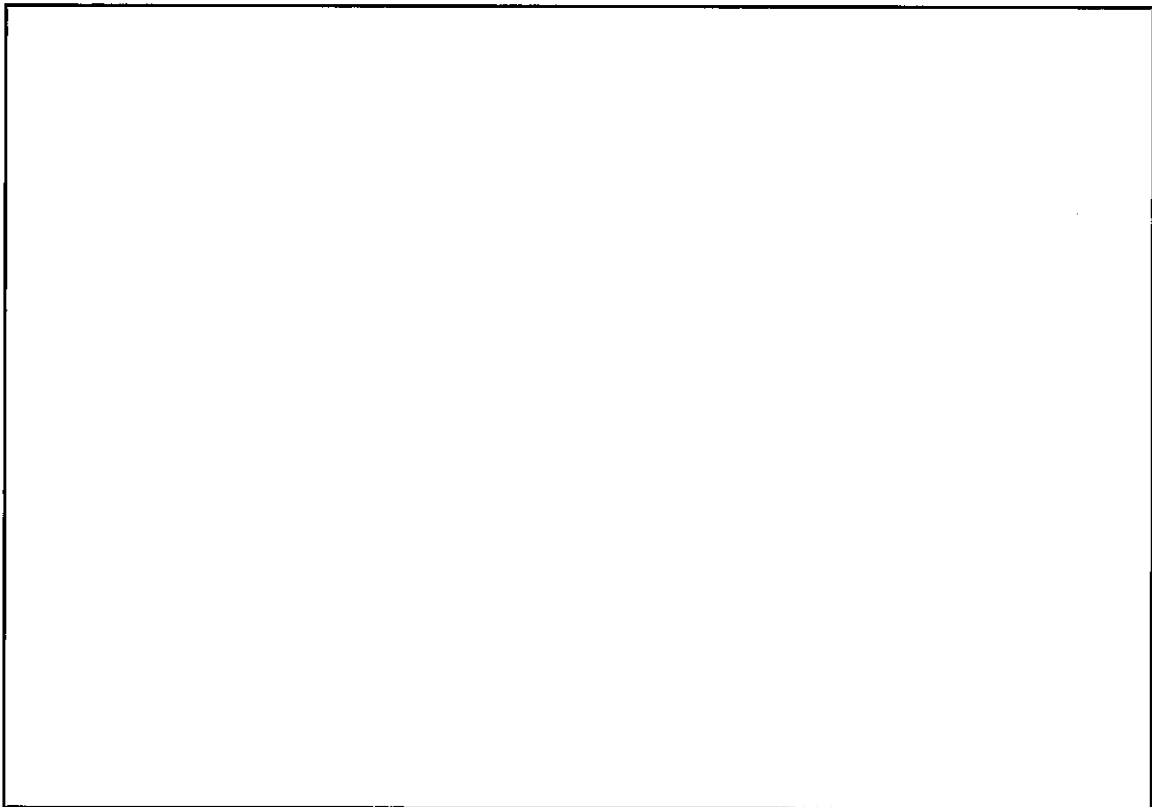


写真 3.22 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋  (2/3)

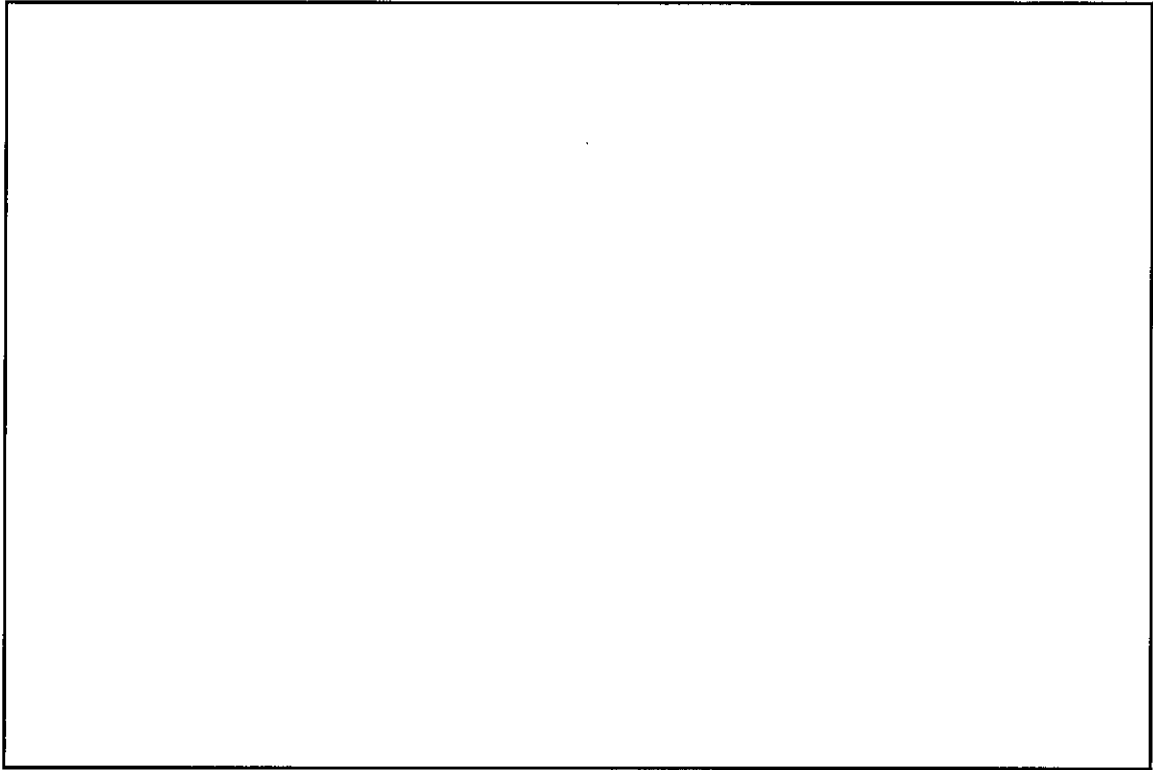


写真 3.23 消石灰漏えい試験後の原型容器 P3 内容器内蓋  (3/3)

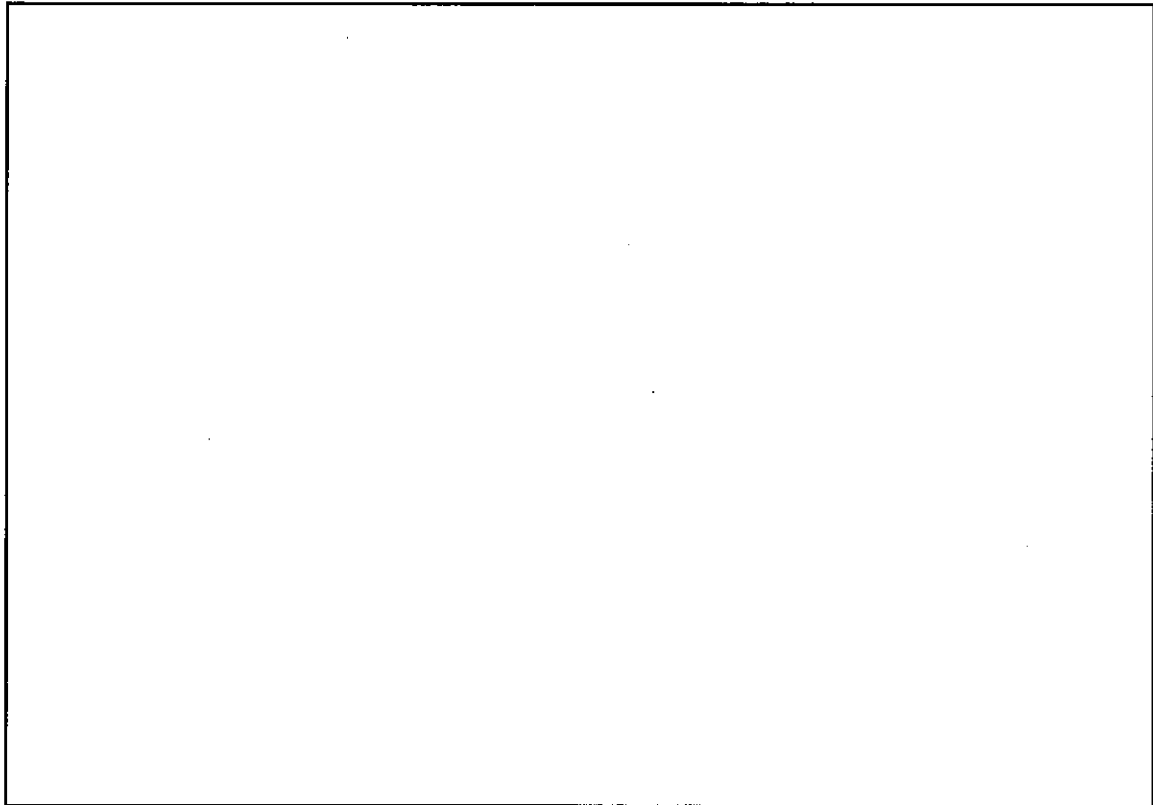


写真 3.24 耐火試験後の原型容器 P3 内容器  の粉末収納缶及び消石灰

(ロ)B 付属資料 4

4. 一般の試験条件解析結果

## 1. はじめに

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

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

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

## 2. 一般の試験条件下の温度評価

### (1) 解析ソフト及び物性値

①解析内容 : 三次元非定常熱解析

②解析ソフト : 三次元有限要素法熱伝導コード「JTACO-3D」

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

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

③モデル物性値 : (ロ)ー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  $\square$ °C までの測定結果を包含する値として、 $\square$  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、 $\square$ 時間入熱あり、 $\square$ 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 :  $\square$  W/m<sup>2</sup>

側面 :  $\square$  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 :  $\square$ °C

⑤周囲温度 : 38 °C (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	[ ]
外 容 器 側 面	
側 部 耐 熱 衝 撃 緩 衝 材	
B O R A レ ジ ン	
内 容 器 内 壁 面	
内 蓋 中 央 部	
ガ ス ケ ッ ト	

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、[ ] W/m·K、[ ] W/m·K 及び [ ] 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、大きい値を使用することは安全側であることが分かる。

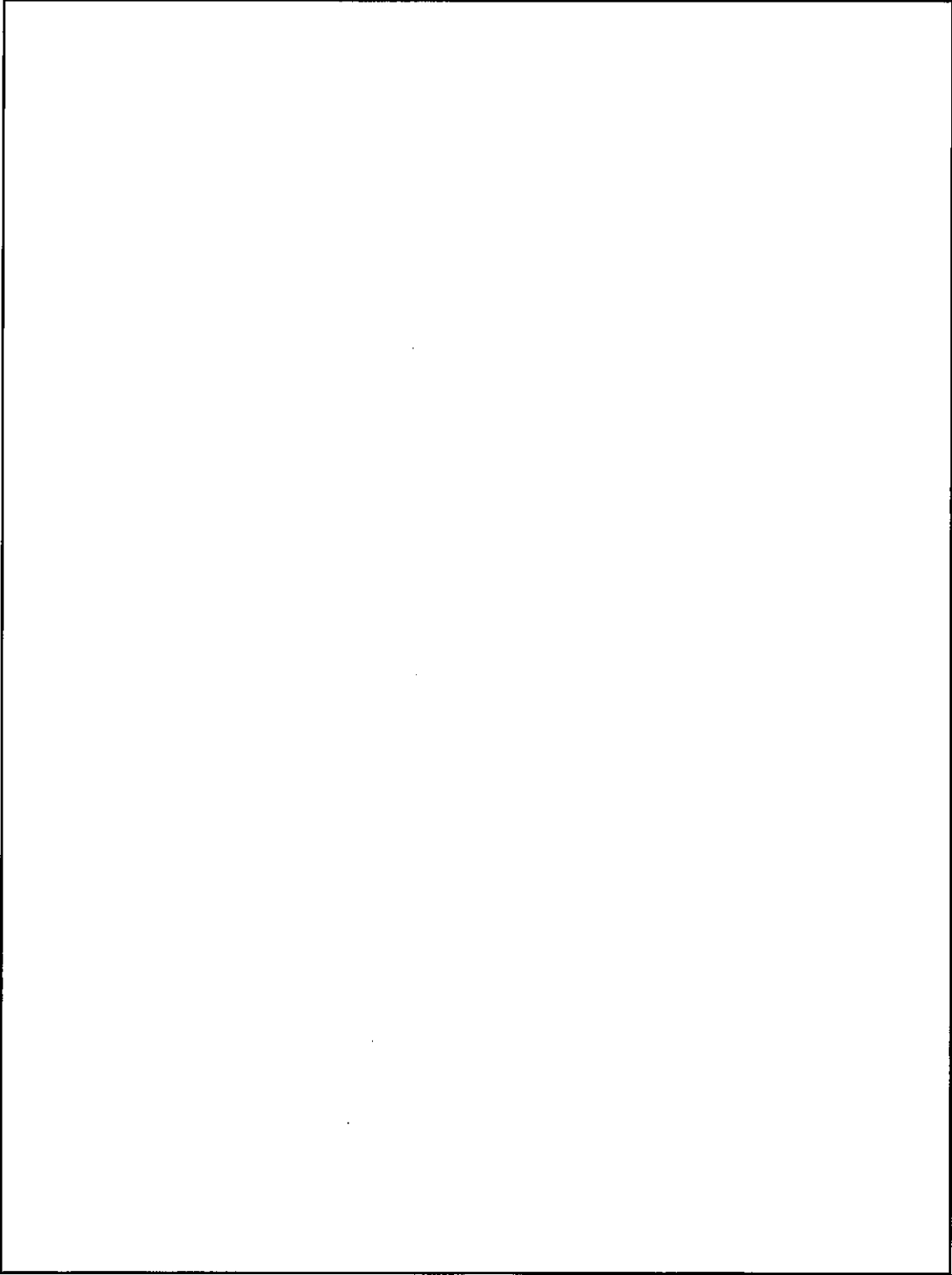


図 1.1 解析モデル外観図 (鳥瞰図)



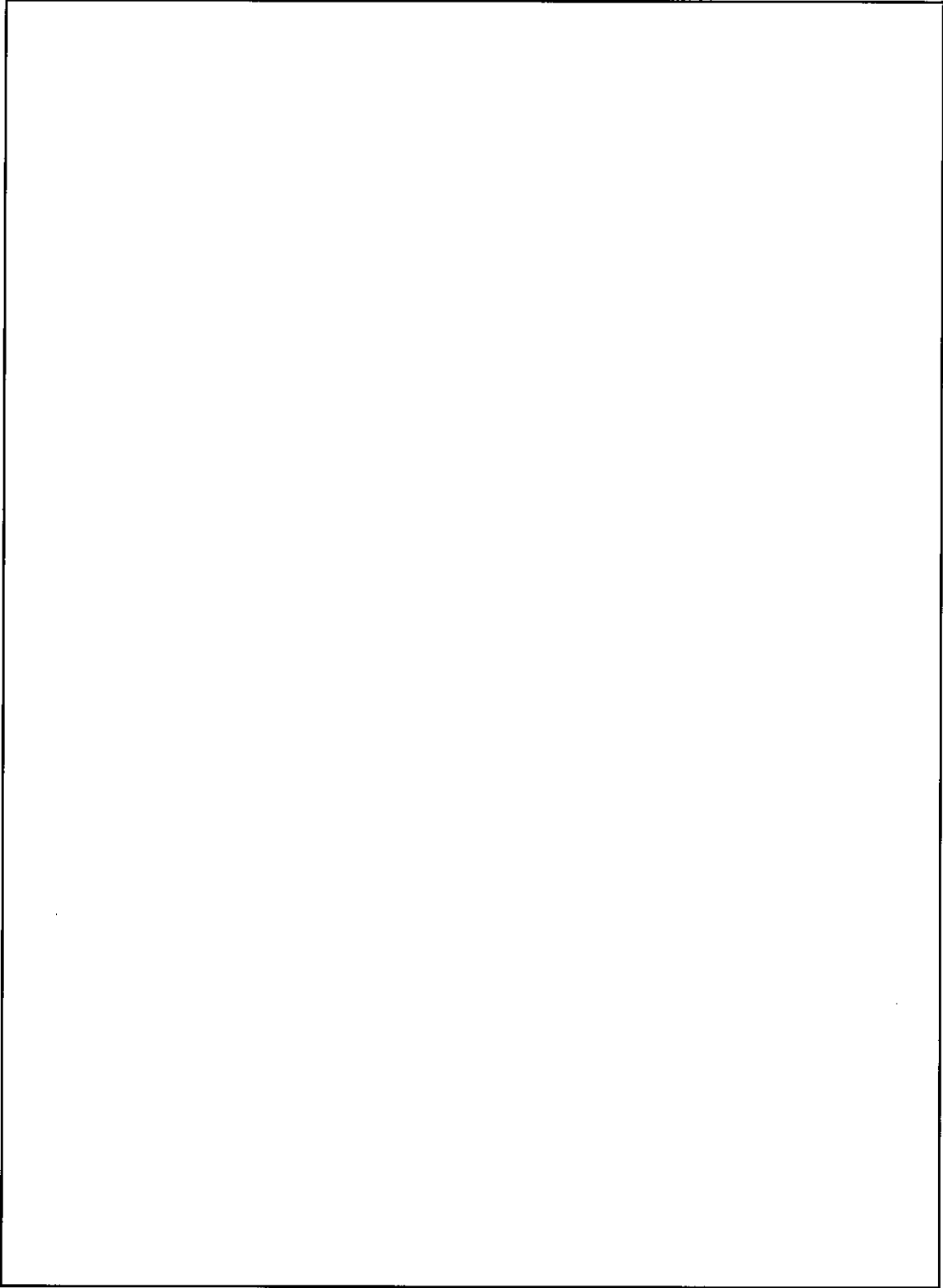


図 1.2 解析モデル要素分割図 (断面図)

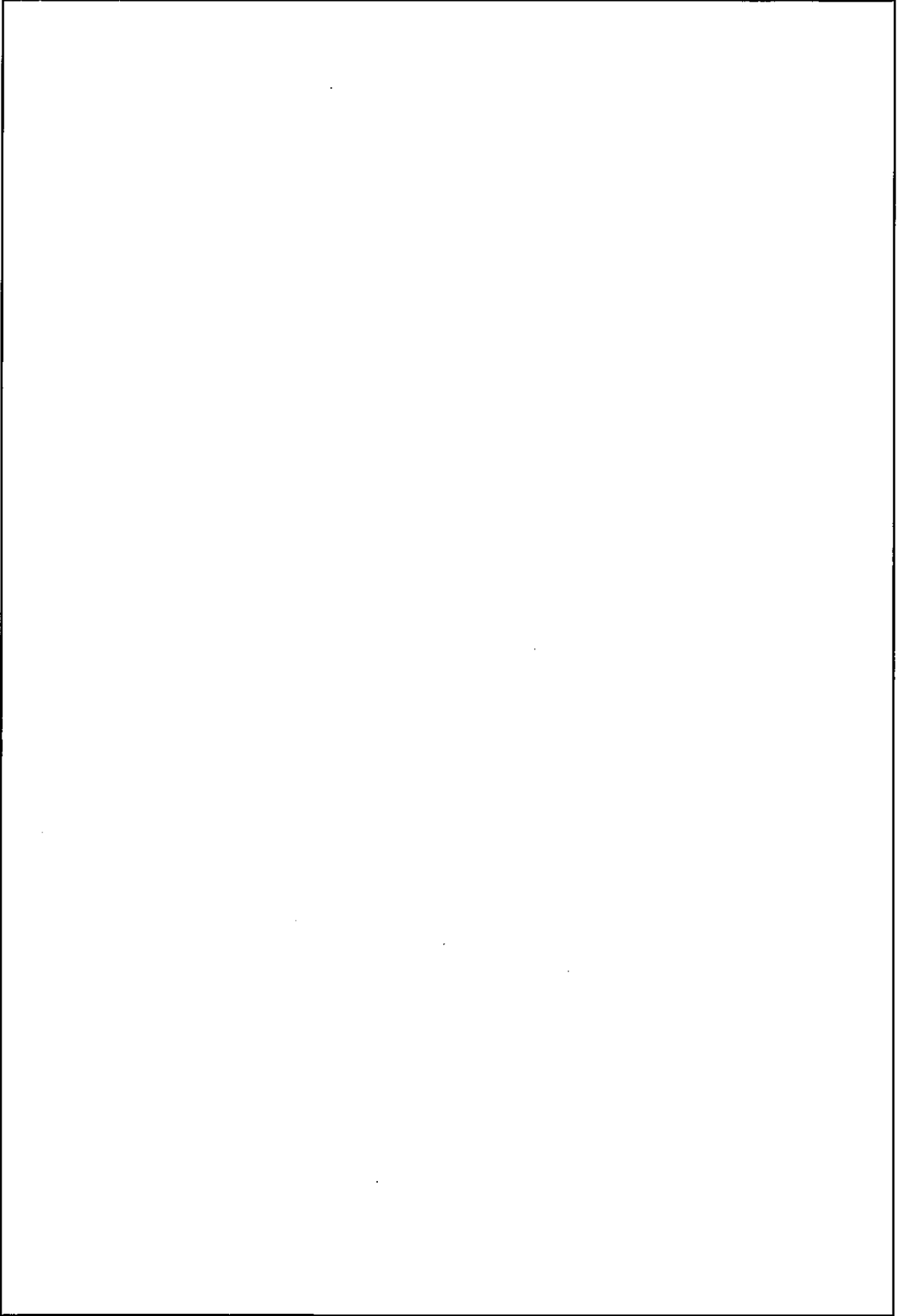


図 1.3 解析結果コンタナー図 (鳥瞰図)

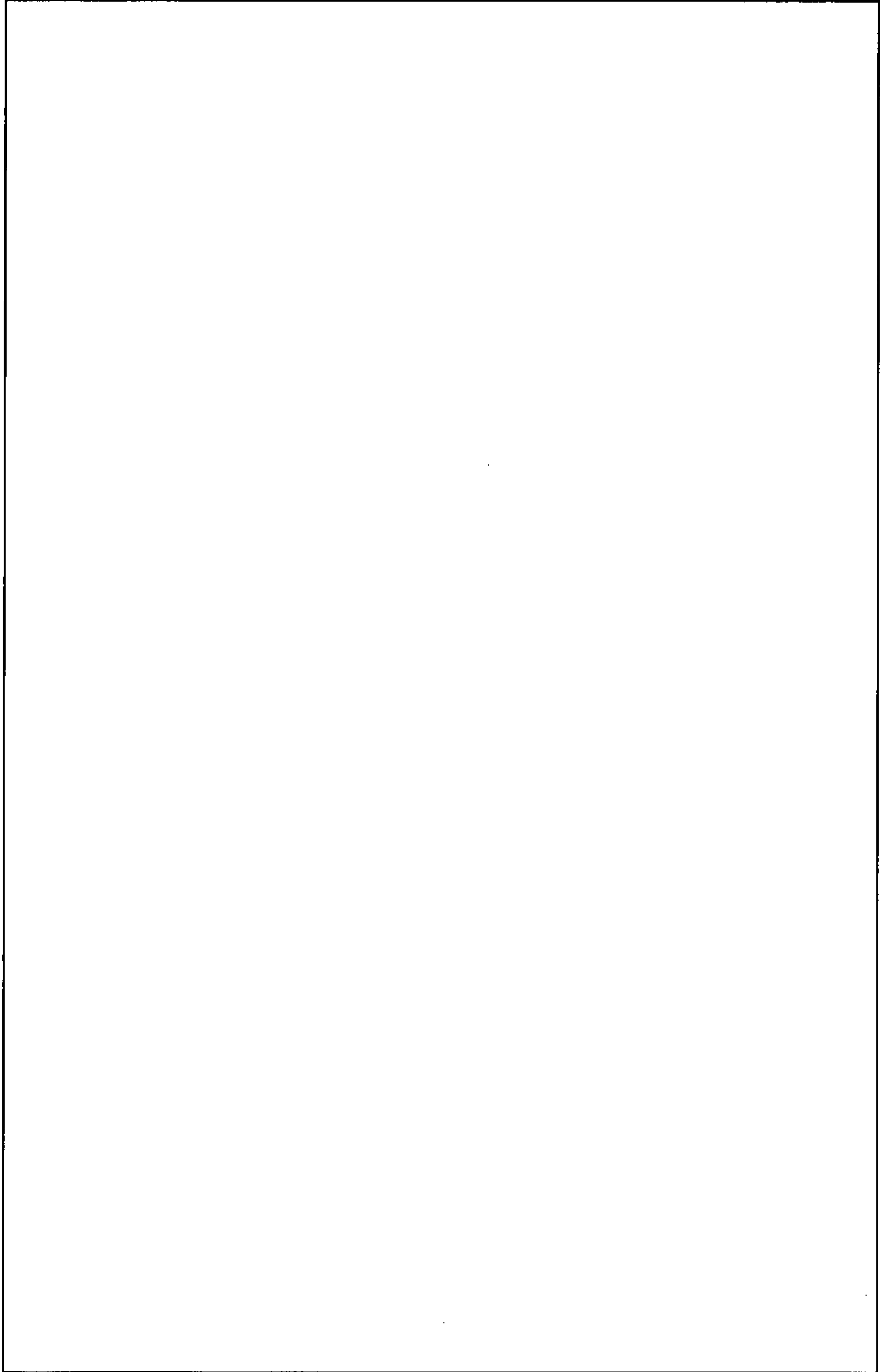


図 1.4 解析結果コンター図 (断面図)

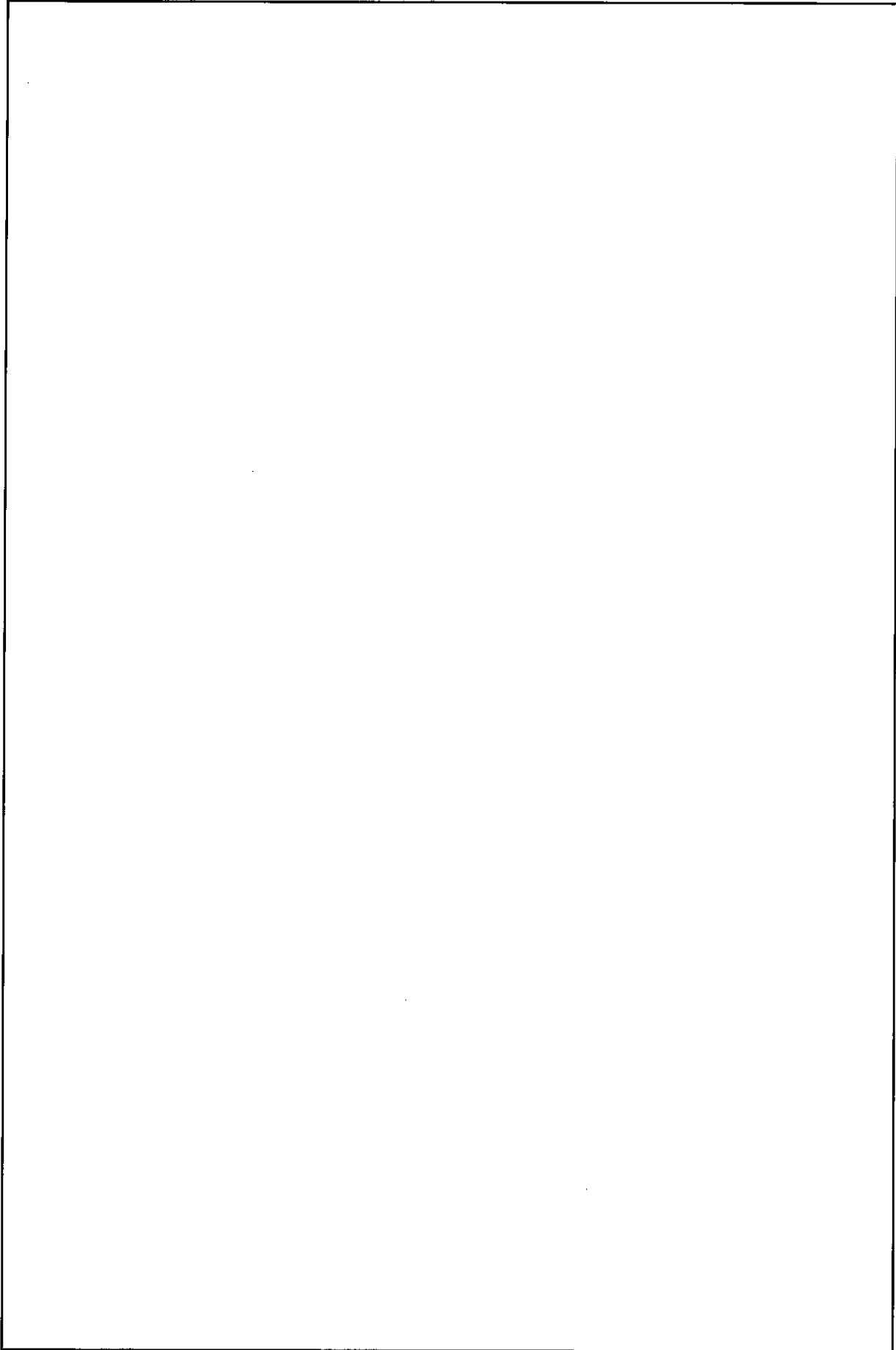


図 1.5 解析結果コンタナー図(断面図)

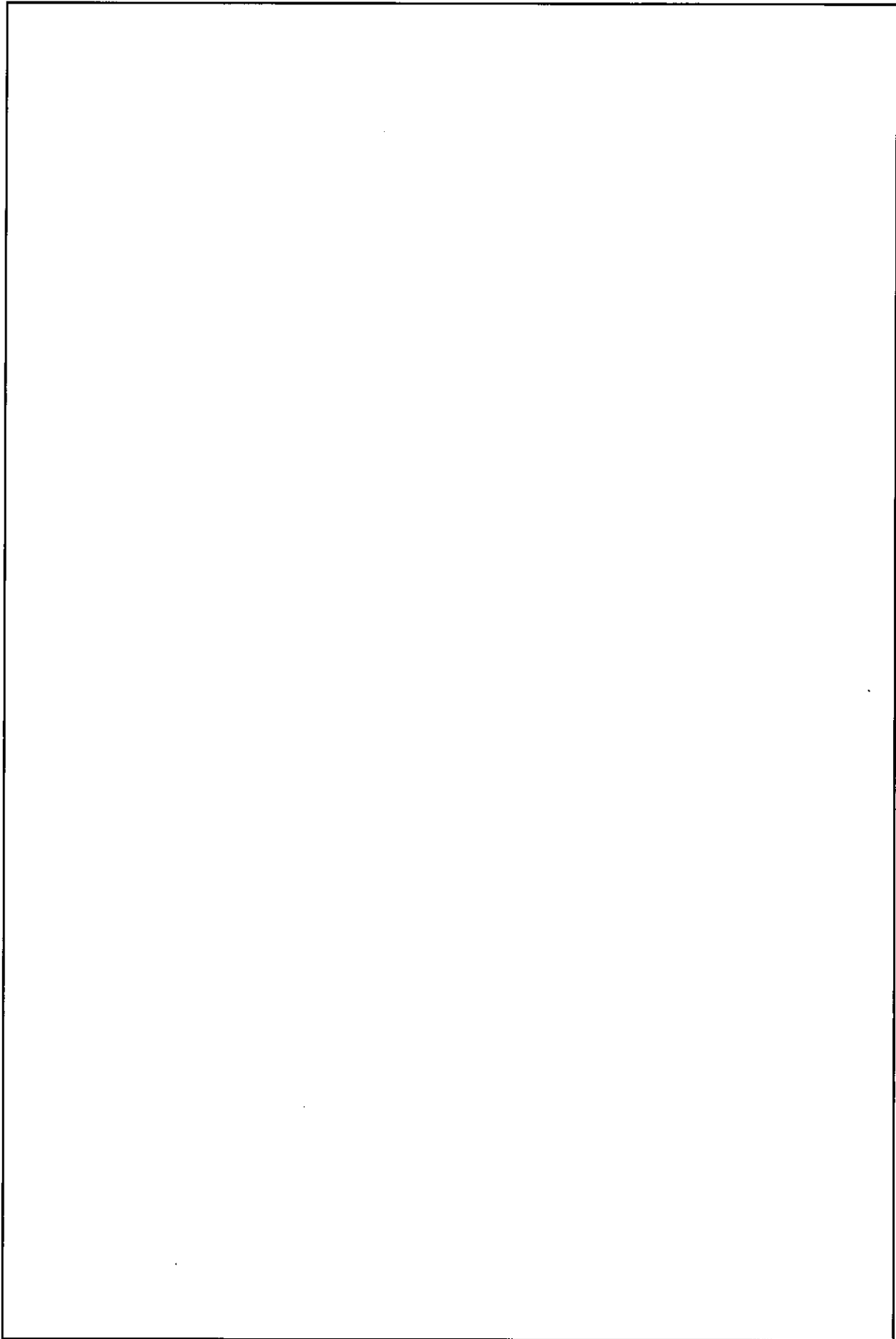


図 1.6 解析結果コンタナー図 (断面図)

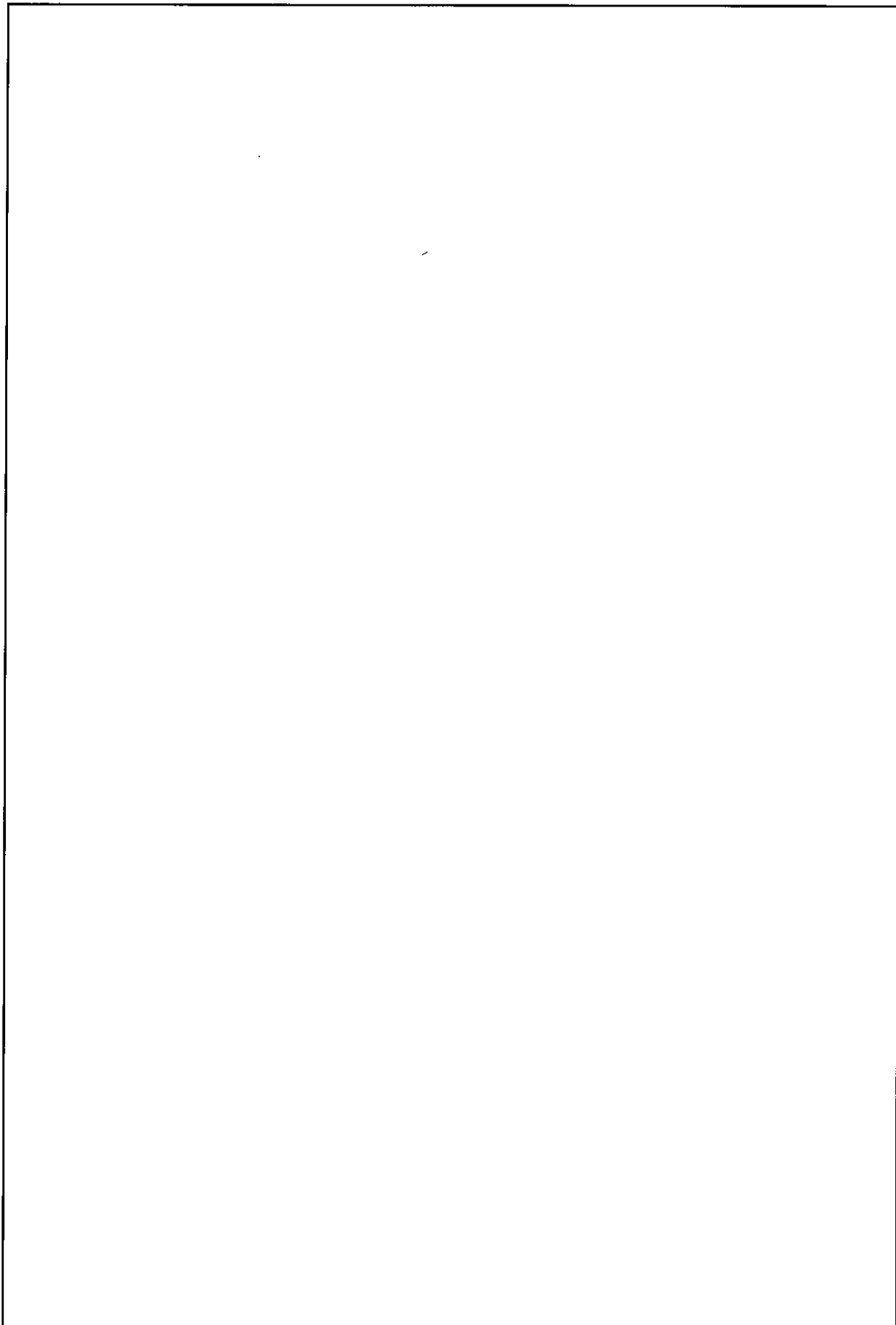


図 1.7 解析結果コンター図 (断面図)

## (ロ)－C 密封解析

### C.1 概要

本輸送物の密封境界は内容器である。以下に内容器の密封性について評価する。

### C.2 密封装置

#### C.2.1 密封装置

密封境界である内容器は、

- i) 内容器本体
- ii) 内蓋
- iii) ガスケット

で構成されている。((ロ)C－第1図参照)

内容器本体上部にはステンレス鋼製のバイオネット用フランジが溶接されており、胴部は肉厚  $\square$ 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  $\square$ mm のステンレス鋼製であり、下側には容器本体側のバイオネットと嵌合する形でバイオネットが溶接により取り付けられている。内容器の密封は、EPDM (エチレン・プロピレンゴム) 製ガスケットをバイオネット構造で締め付けることで保持している。

#### C.2.2 密封装置の貫通部

密封境界である内容器には貫通部に該当するものはない。

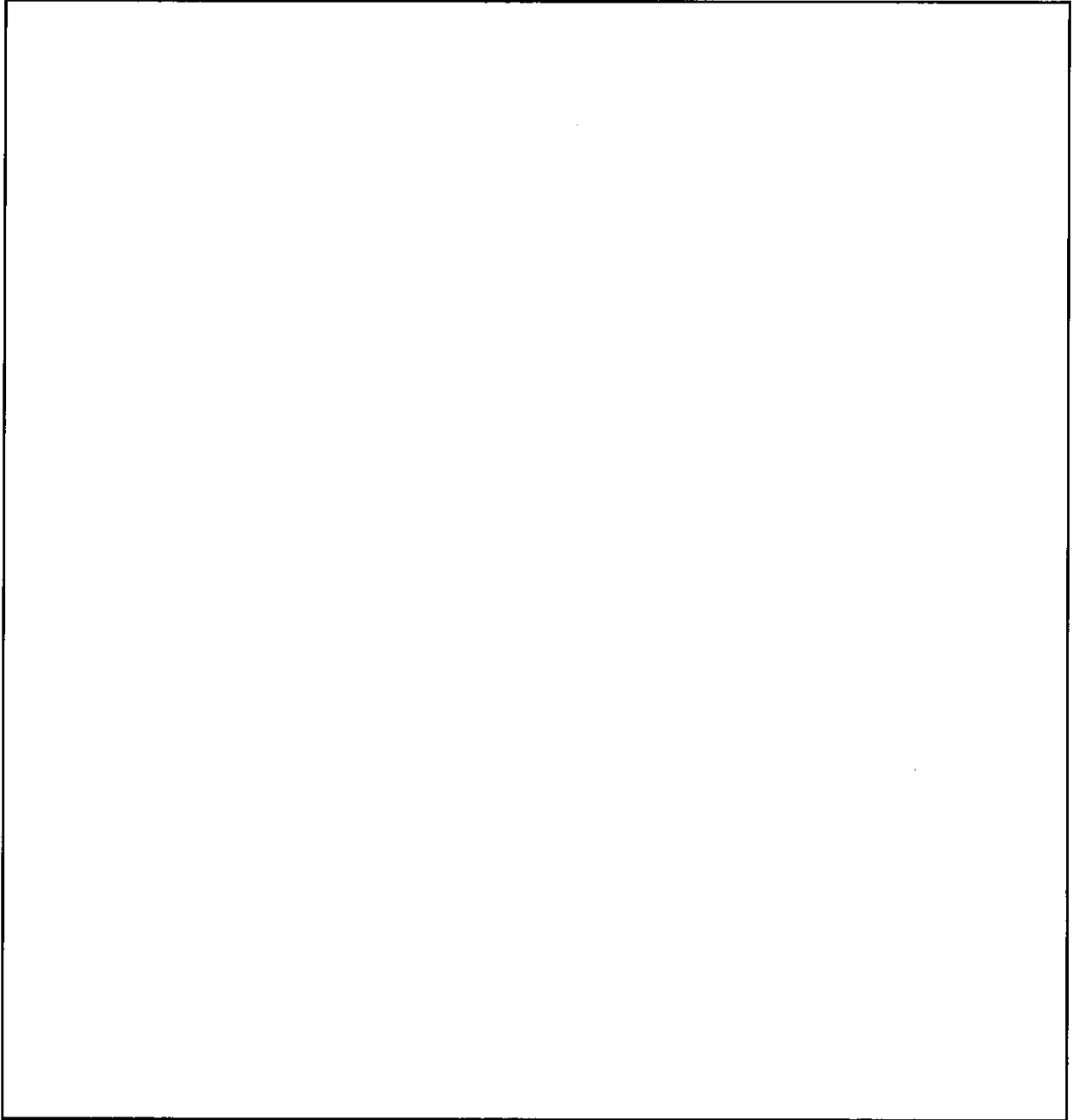
#### C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

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

なお、外気圧が絶対圧で 60 kPa まで低下した場合の  $\square$ 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  $\square$ mm のステンレス製鋼板で構成されており、下側には内容器本体のバイオネット用フランジ部に嵌合する形でバイオネットが溶接により取り付けられている。



(口)C-第1図 内容器密封境界



### C.3 一般の試験条件

一般の試験の実施に際し、内容物の密封性能を確認する目的で消石灰を粉末収納缶（粉末収納缶内には重量模擬のため純鉄粉を収納している。）の上面に載せて試験を実施した。なおケース 1の方がケース 2より輸送物の最大重量が大きく、一般の試験における評価はケース 1がより厳しくなることから、代表してケース 1を対象に評価を行った。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、内容物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  $\square$  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、内容物温度が太陽ふく射熱により上昇しても最高  $\square$  °Cであり、この温度では内容物内の EPDM、ポリエチレン、ポリウレタン及びナイロンからの気体の発生はない。従って、密封装置の加圧の問題はない。

### C.3.3 冷却材汚染

冷却材を使用していないので、冷却材汚染はない。

### C.3.4 冷却材損失

冷却材を使用していないので、冷却材損失はない。

## C.4 特別の試験条件

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

確認の方法としては、原型容器を用いた一連の特別の試験（落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ、耐火試験）の実施に際し、一般の試験条件と同様に粉末収納缶内には重量模擬のための純鉄粉を収納し、収納容器の上面には内容物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。試験後に内容物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にはなかった。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物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物に加えて、1 時間後においても  kPa のゲージ内圧が保持されていることが確認できた。（「(ロ)C 付属資料 1」参照）

#### C.5 結果の要約及びその評価

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

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

このことから、臨界解析では収納物が常に内容器内にとどまるものとして解析を行う。ただし、保守的な仮定として、ウラン酸化物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。

(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

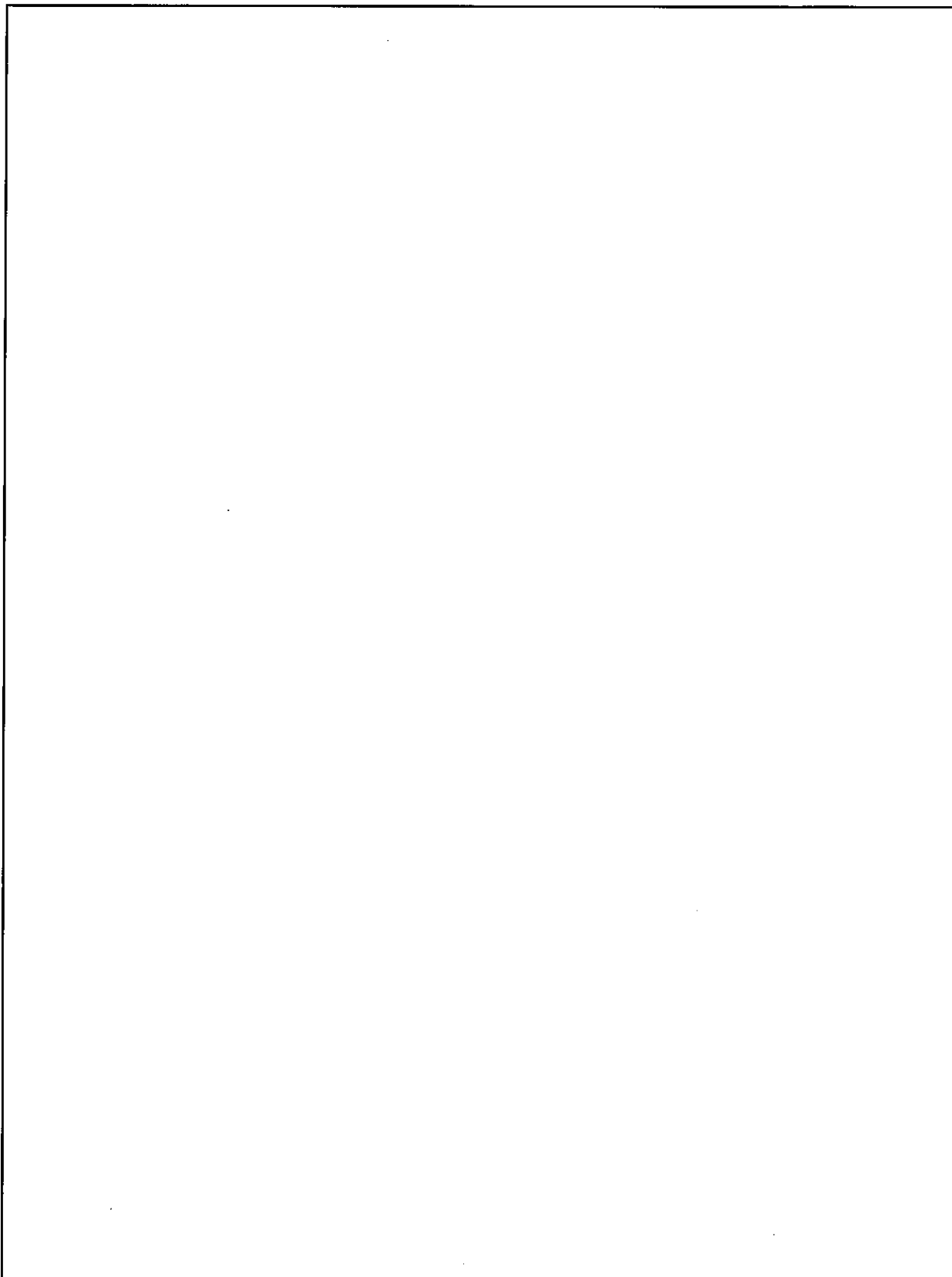
条 件	内部圧力 (kPa : ゲージ圧)	温度 (°C)	備 考
試験開始時	<input type="text"/>	8.5	
試験終了時	<input type="text"/>	8.5	
圧力降下	0.1	—	3600 秒後

#### 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 概要

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

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

本輸送物の遮蔽解析では、保守的に粉末収納缶やボロン入りステンレス鋼製リングは無視してモデル化するため、ケース 1 と 2 の粉末収納缶の形状の違いは評価に影響しない。よって線源はケース 1 及びケース 2 の中で線源強度が最も高くなる条件として、濃縮度 $\square\%$ の二酸化ウランを最大量 $\square$  kg 収納するものとした。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、ウラン酸化物 $\square$  kg- $\text{UO}_2$ が $\square$ 内容容器に均等に存在するものとした。( $\square$  kg- $\text{UO}_2$ /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 $\square$  及び $\square$ ) 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 $\square$  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、 $\square$ 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 線源領域には各内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、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いる。
- ⑥ 線源強度はウランの娘核種を考慮して ORIGEN 2 コードを用いて求めた。

以上のような解析条件のもとで得られた計算結果を(ロ)D‑第 1 表に示す。計算の結果、通常輸送時における輸送物表面の最大線量当量率は二酸化ウラン焼結体収納時に得られ $\square$ 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 $\square$   $\mu\text{Sv/h}$  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  $\mu\text{Sv/h}$  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 $\square$  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 $\square\%$ 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1mの点
通常輸送時		
基準	$\leq 2 \text{ mSv/h}$	$\leq 100 \text{ }\mu\text{Sv/h}$
一般の試験条件下		—
基準	$\leq 2 \text{ mSv/h}$	—

## D.2 線源仕様

本収納物の最大収納量は、ウラン酸化物 [ ] kg であり、 [ ] 個の容器に [ ] 収納することから、解析モデルでは線源として [ ] 個の容器にそれぞれ [ ] kg ずつウラン酸化物が収納されるものとした。

### D.2.1 ガンマ線源

収納物は濃縮度が [ ] % 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  $^{232}\text{U}$  [ ] wt%,  $^{234}\text{U}$  [ ] wt%,  $^{235}\text{U}$  [ ] wt%,  $^{236}\text{U}$  [ ] wt%,  $^{99}\text{Tc}$  [ ] 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.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 (□ kg-UO<sub>2</sub>相当)

平均γ線エネルギー (MeV)		線源スペクトル (Photons/s)	

(ロ)D-第3表 各同位体の放射能量 (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

### D.3 モデル仕様

#### D.3.1 解析モデル

##### D.3.1.1 通常輸送時

解析モデルを(ロ)D-第1図に示す。

本輸送容器は箱型の外殻とその中に正方状に配置された□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、フォークリフトバ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 □ 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、粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングは無視している。

計算点は、輸送物の表面及び表面から 1 m の点とした。

##### D.3.1.2 一般の試験条件

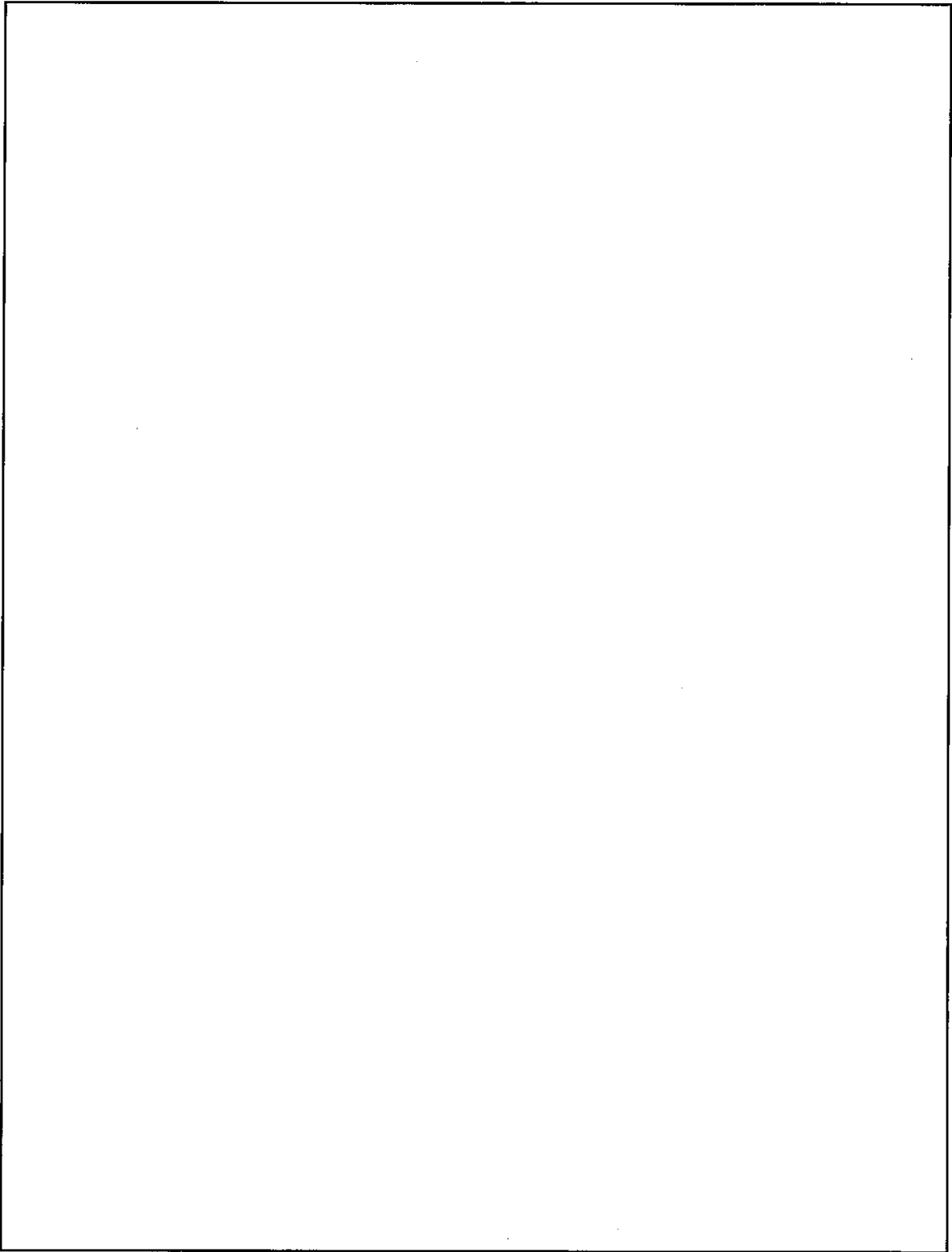
解析モデルを(ロ)D-第2図に示す。

一般の試験条件下において、(ロ)A-第9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11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。

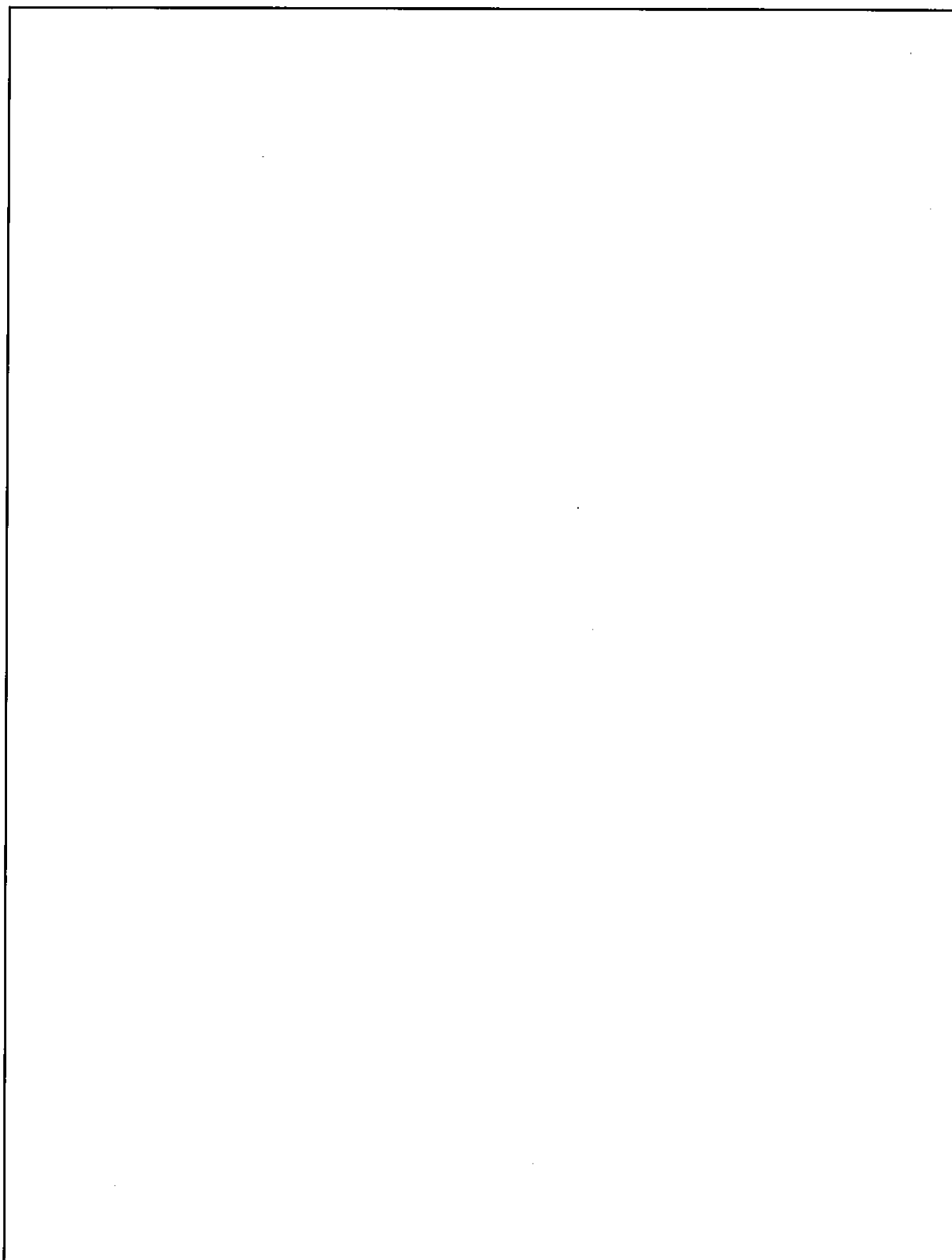
一方、耐火試験後に供試体を解体して確認したところ、容器間の距離はほとんど変化がなかったことから、一般の試験条件下において容器間の距離は変化しなかったものと考えられる。

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。

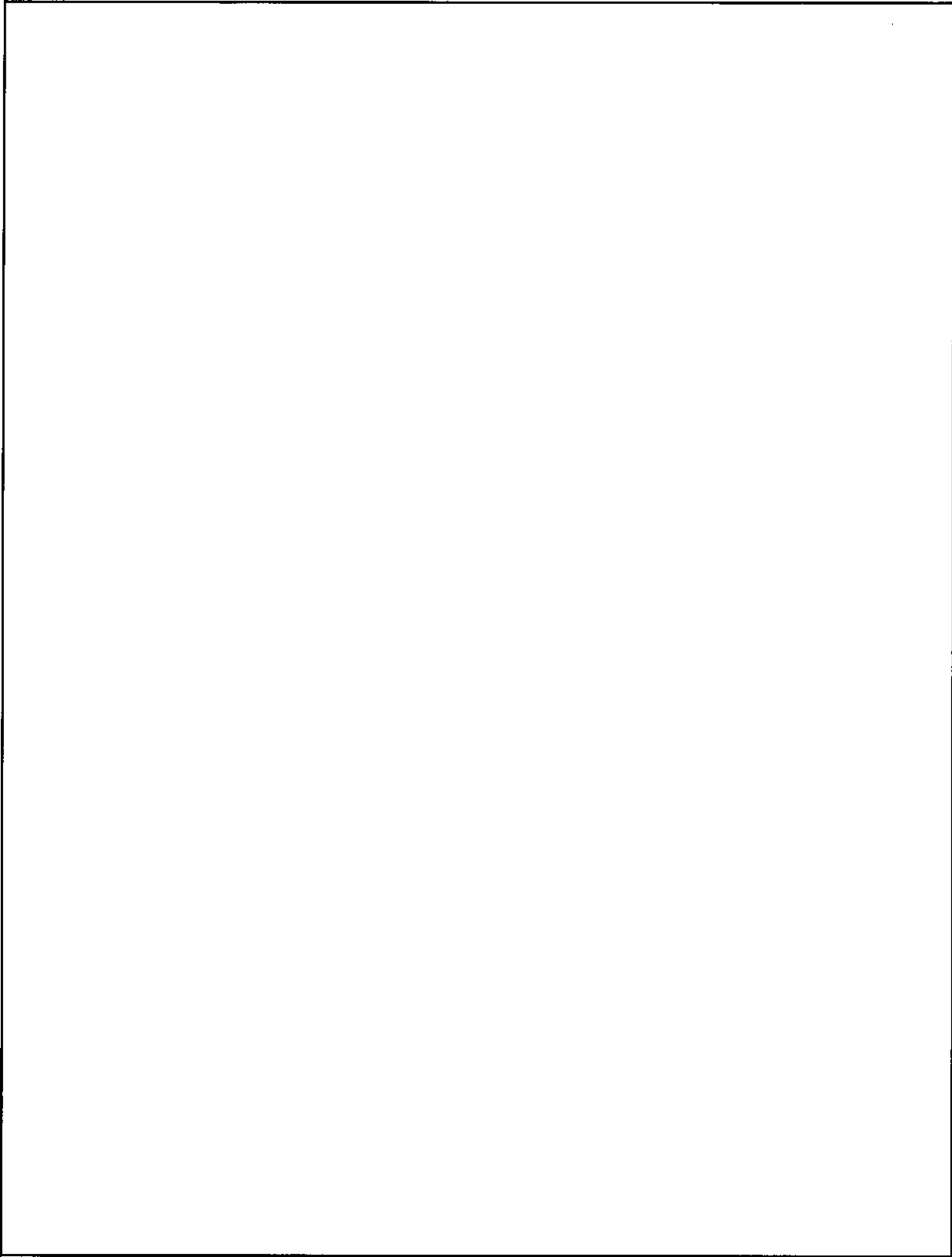
輸送物に発生する変形は圧縮変形であるが、保守的に耐熱衝撃緩衝材の密度変化は考慮していない。



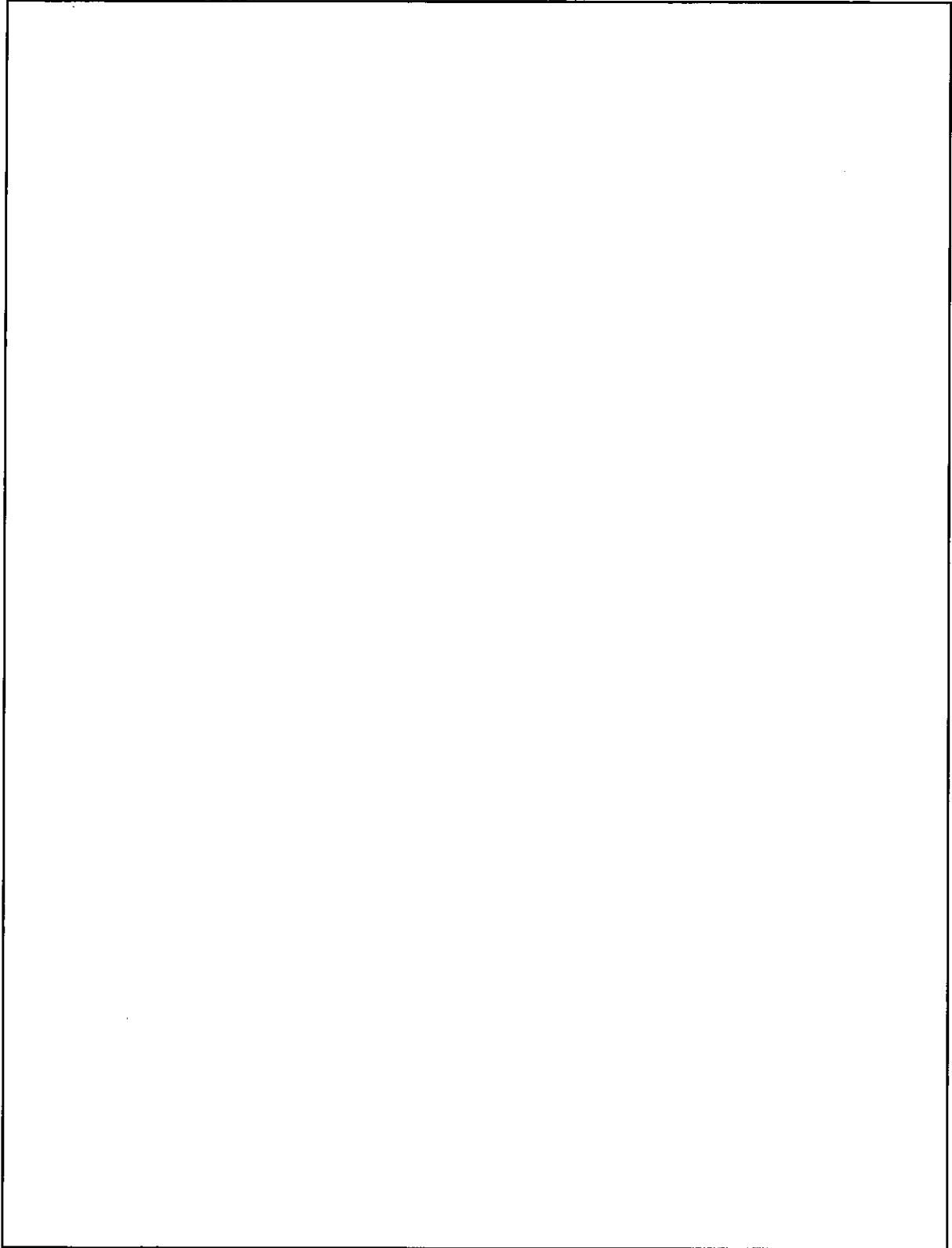
(ロ)D-第1図 [1/2] 通常輸送時遮蔽解析モデル  
(二酸化ウラン粉末収納時)



(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.4 遮蔽評価

##### D.4.1 評価方法

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

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

##### D.4.2 評価結果

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

(ロ)D-第5表 粉末又は焼結体収納時の解析結果

		通常輸送時		一般の試験条件下
		輸送物表面	表面から1mの点	輸送物表面
粉末収納時	上面			
	側面			
	底面			
焼結体収納時	底面			

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□%であり、わずかである。

#### D.5 結果の要約及びその評価

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

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

最大線量当量率を与える評価点の検討

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

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

1. 二酸化ウラン粉末収納時

(1) 輸送物の上面表面

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

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

(2) 輸送物の側面表面

輸送物の側面表面と線源である容器が最も近づく位置よりも若干輸送物中央に寄った位置で最大値が得られることが推察されたことから、輸送物表面を水平方向にサーベイした。

(図 5) その結果に基づき、輸送物の側面表面を縦方向にサーベイして最大値を算出した。

(図 6)

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

(3) 輸送物の底面表面

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

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

(図 10)

(4) 表面から 1 m の点

表面から 1 m における点での最大値は輸送物中央線上の位置で算出されると推定される。

評価位置をサーベイした結果、上面、側面、底面それぞれにおいて輸送物中央相当の位置でそれぞれ最大値が算出された。(図 11, 12 及び 13)

2. 二酸化ウラン焼結体収納時

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

### 3. まとめ

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

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

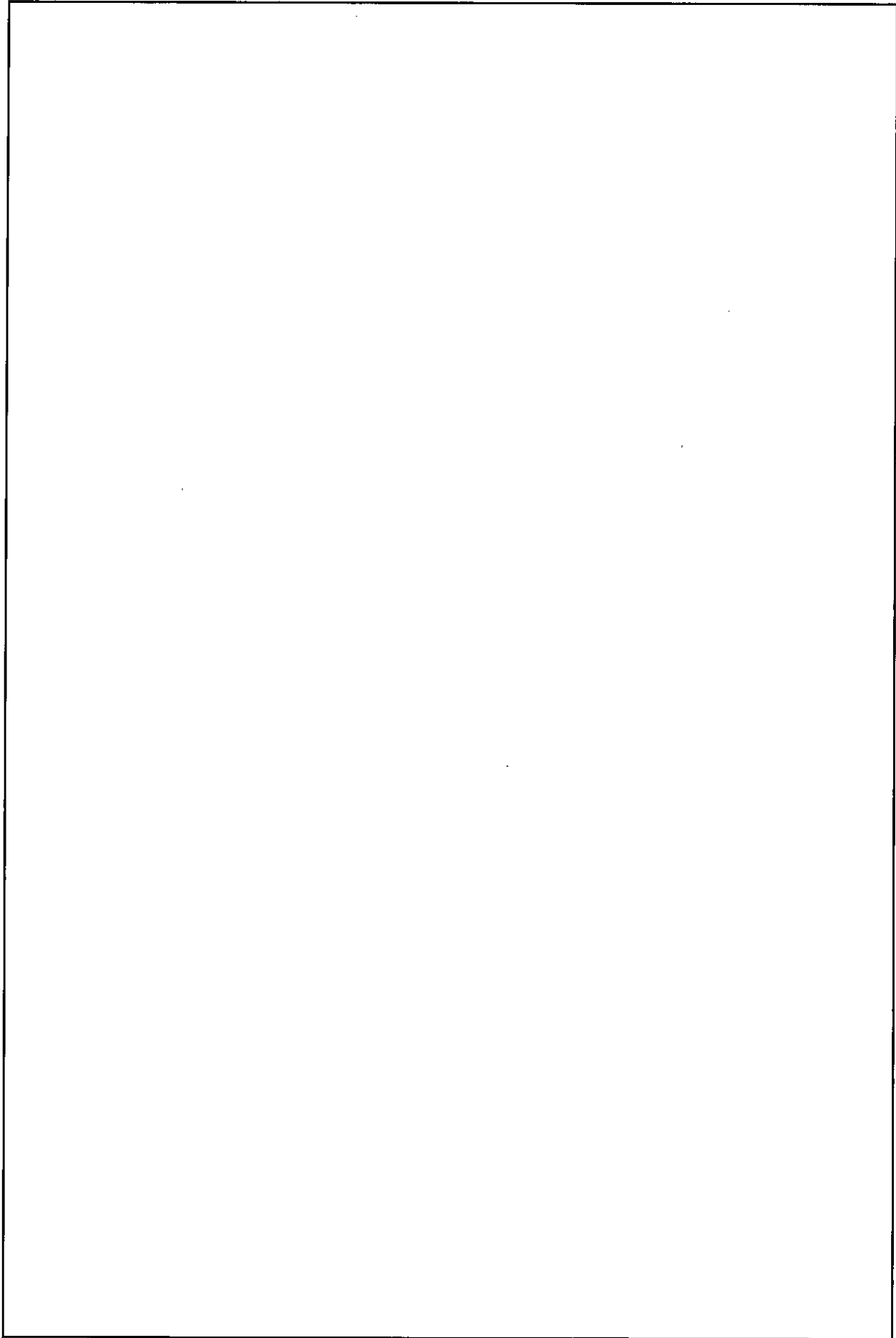


図1 線量当量率評価点サーベイ箇所説明概略図

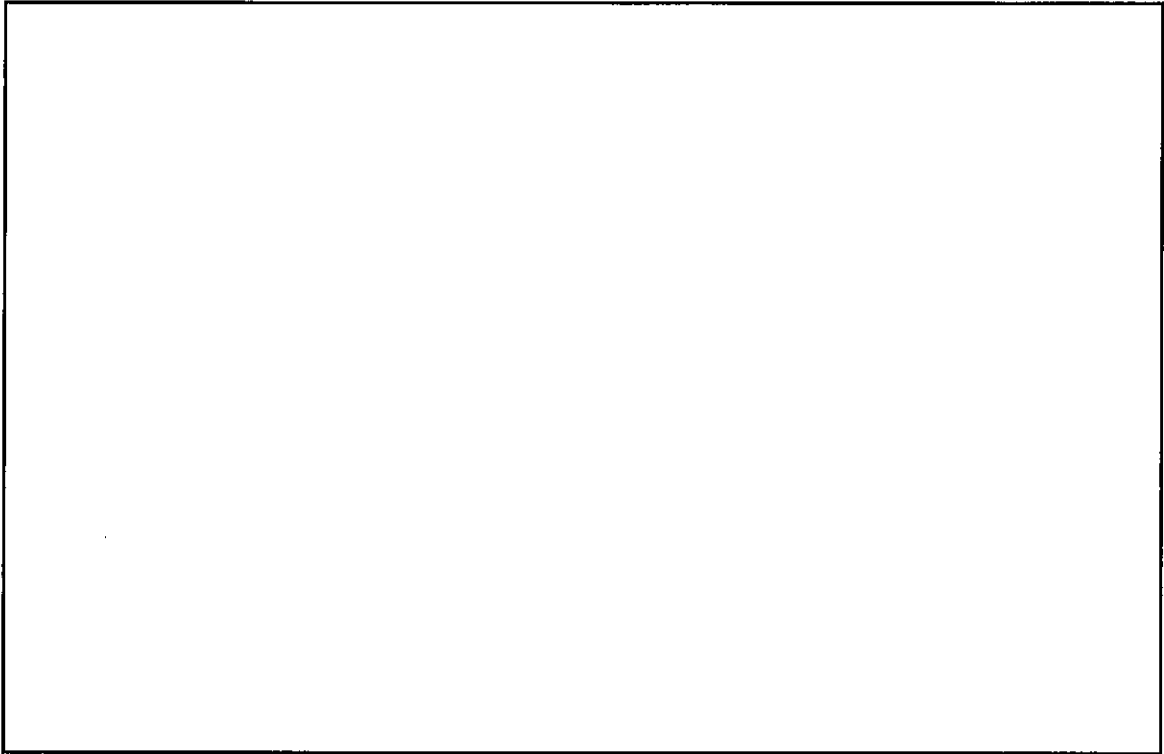


图 2 通常輸送時外蓋上面表面

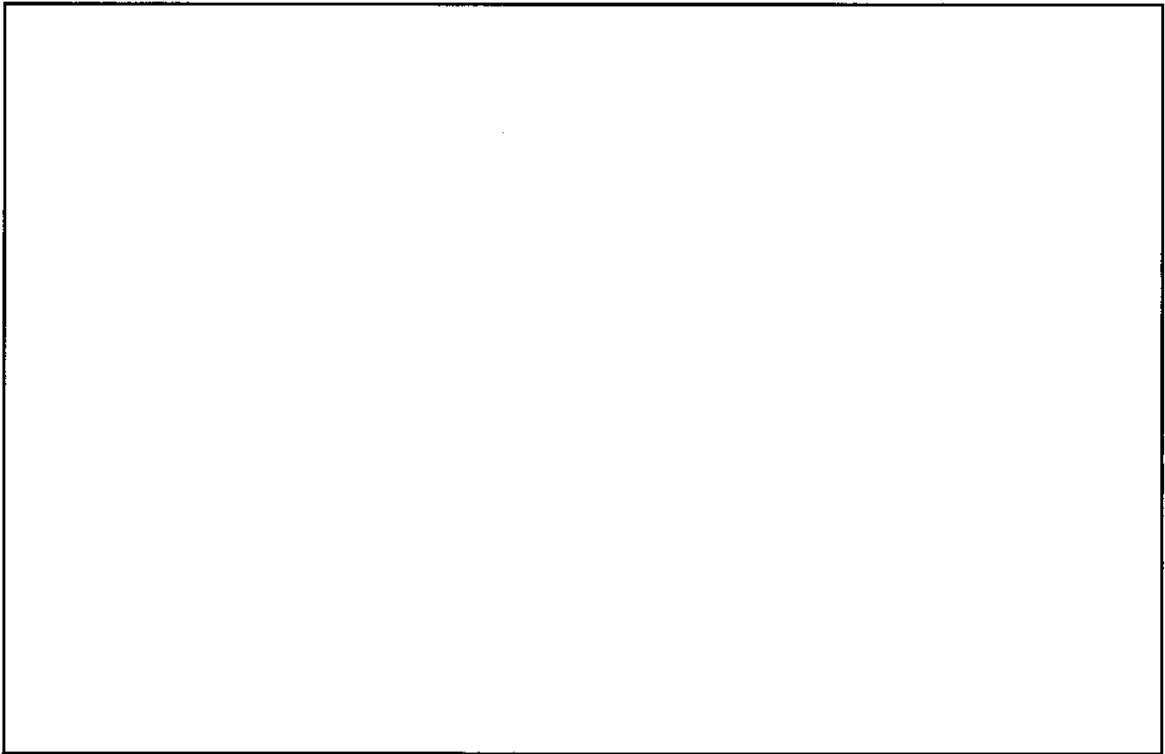


图 3 通常輸送時上面表面

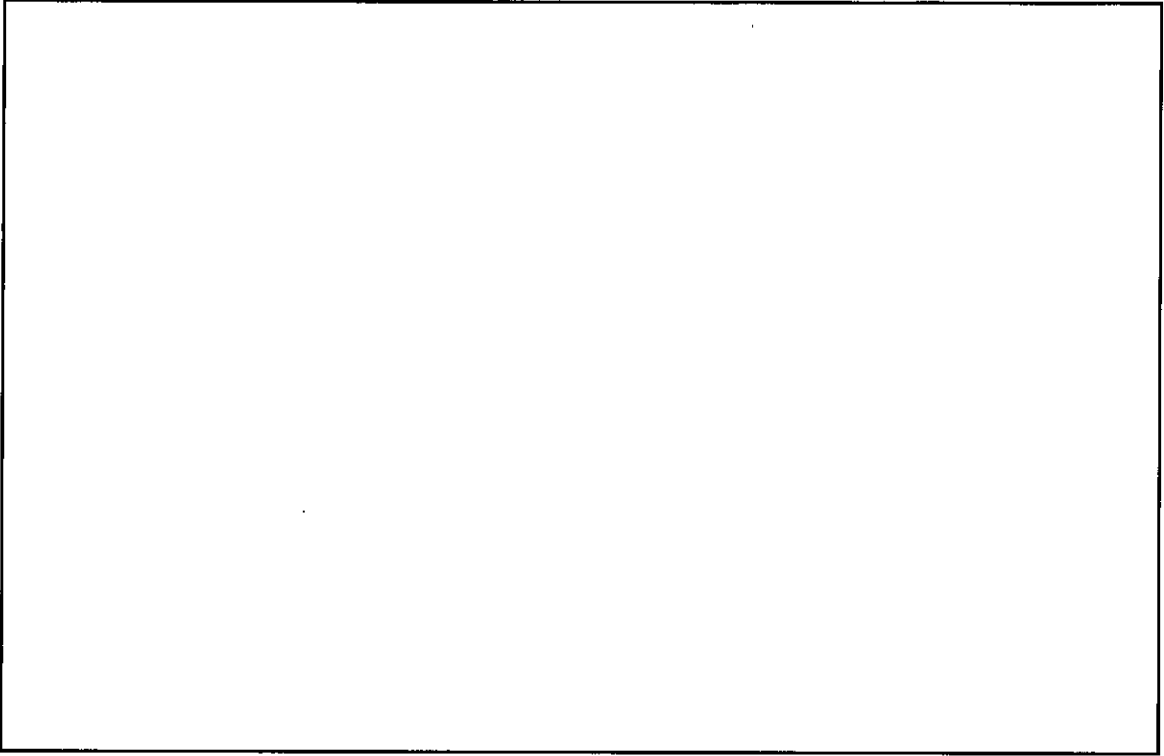


図 4 一般の試験条件下時外蓋上面表面

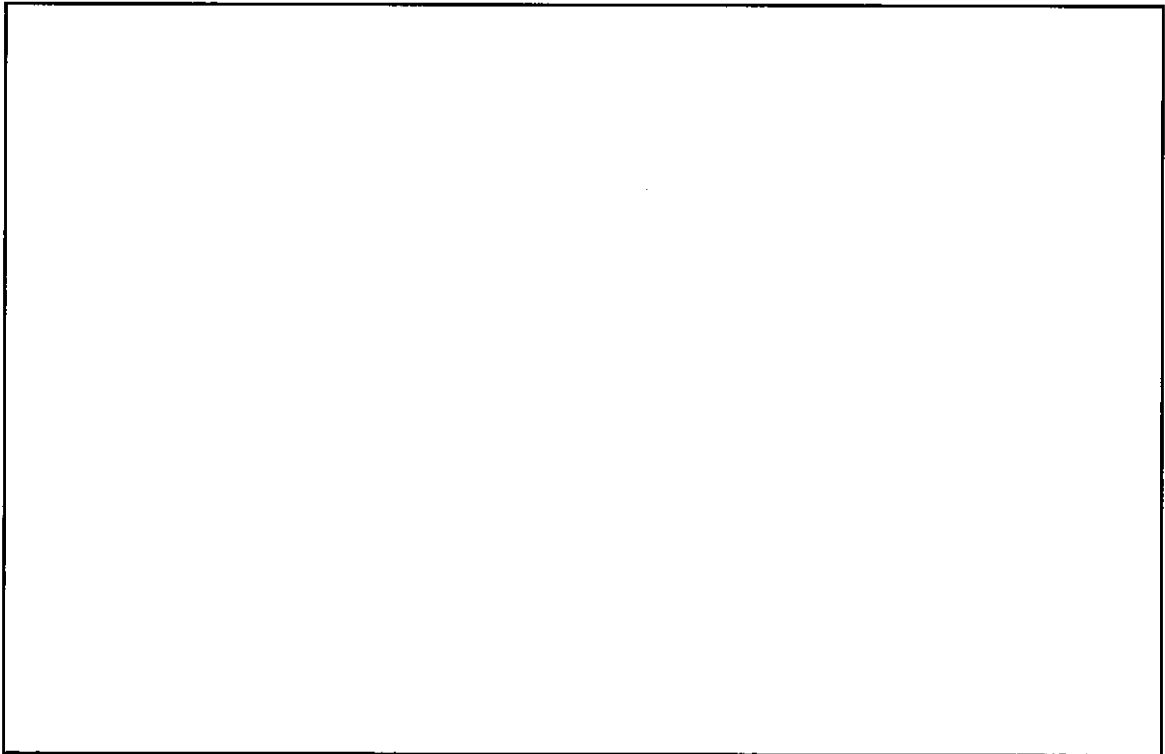


図 5 通常輸送時側面表面（水平方向）

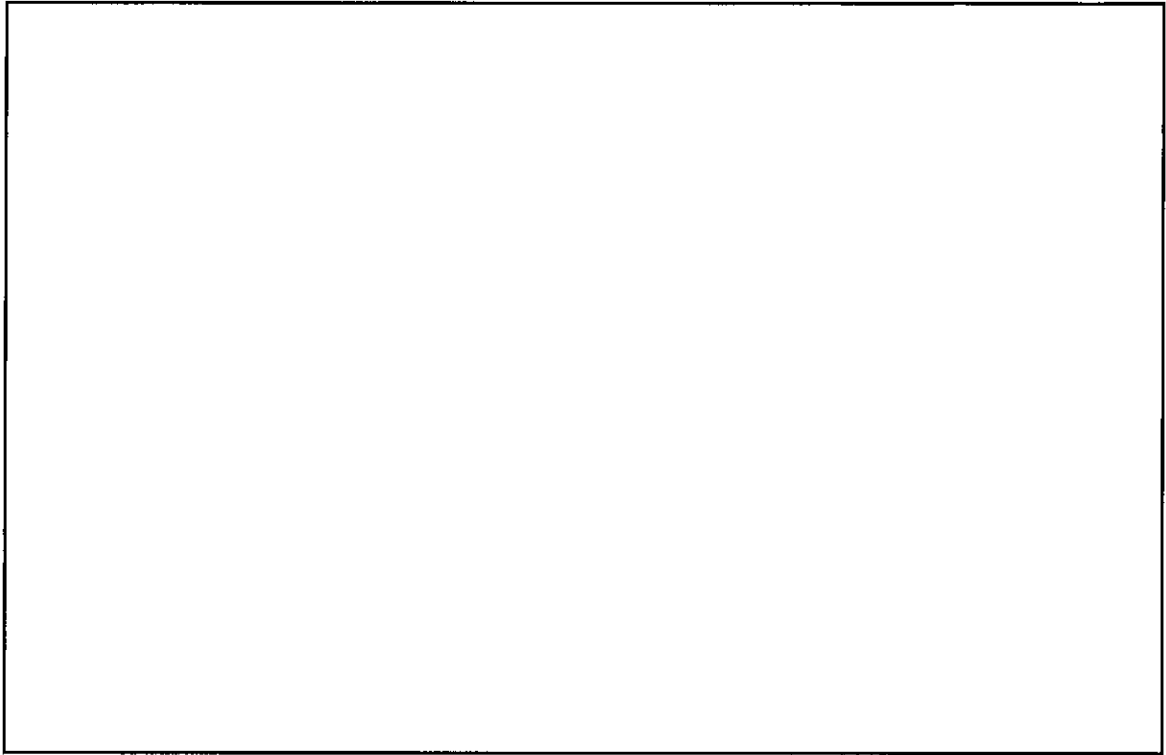


図 6 通常輸送時側面表面（垂直方向）

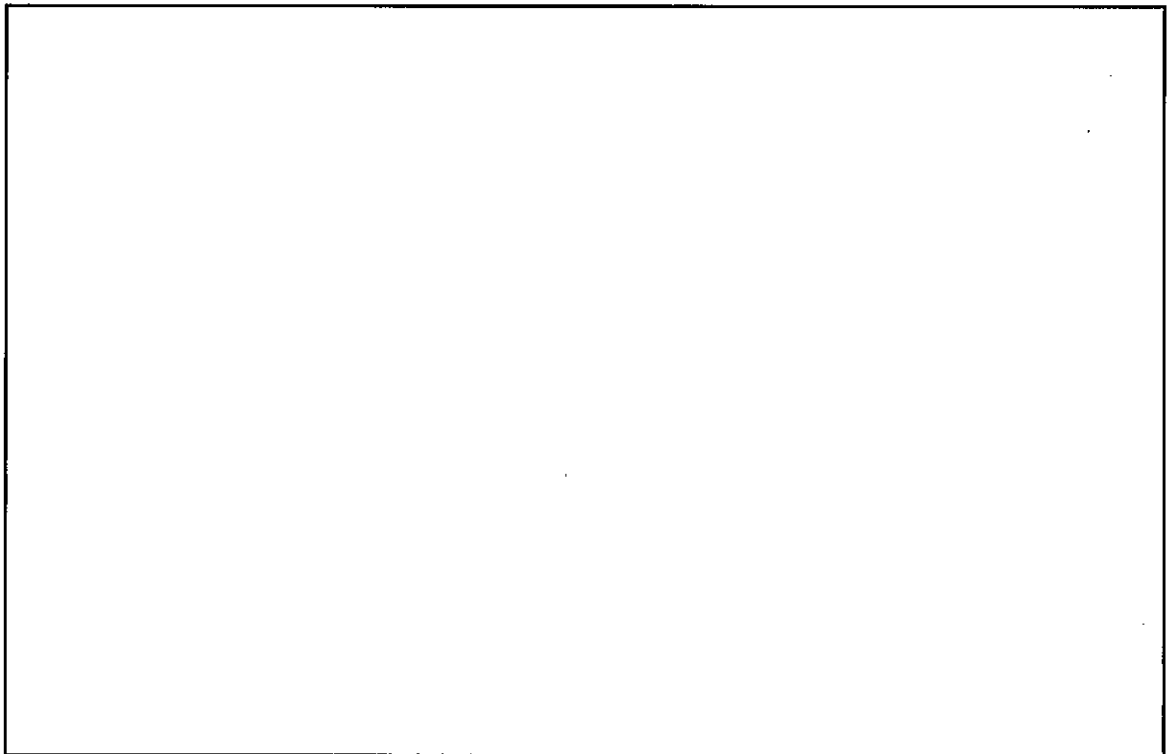


図 7 一般の試験条件下時側面表面（水平方向）



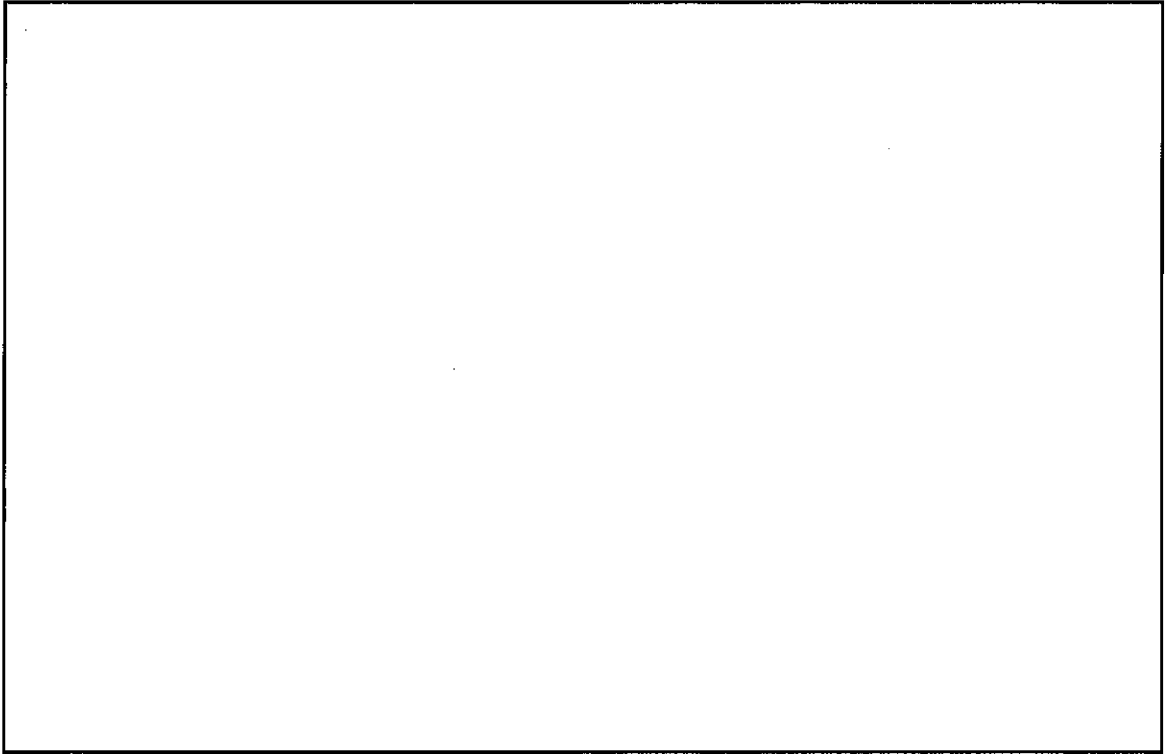


図 8 一般の試験条件下時側面表面（垂直方向）

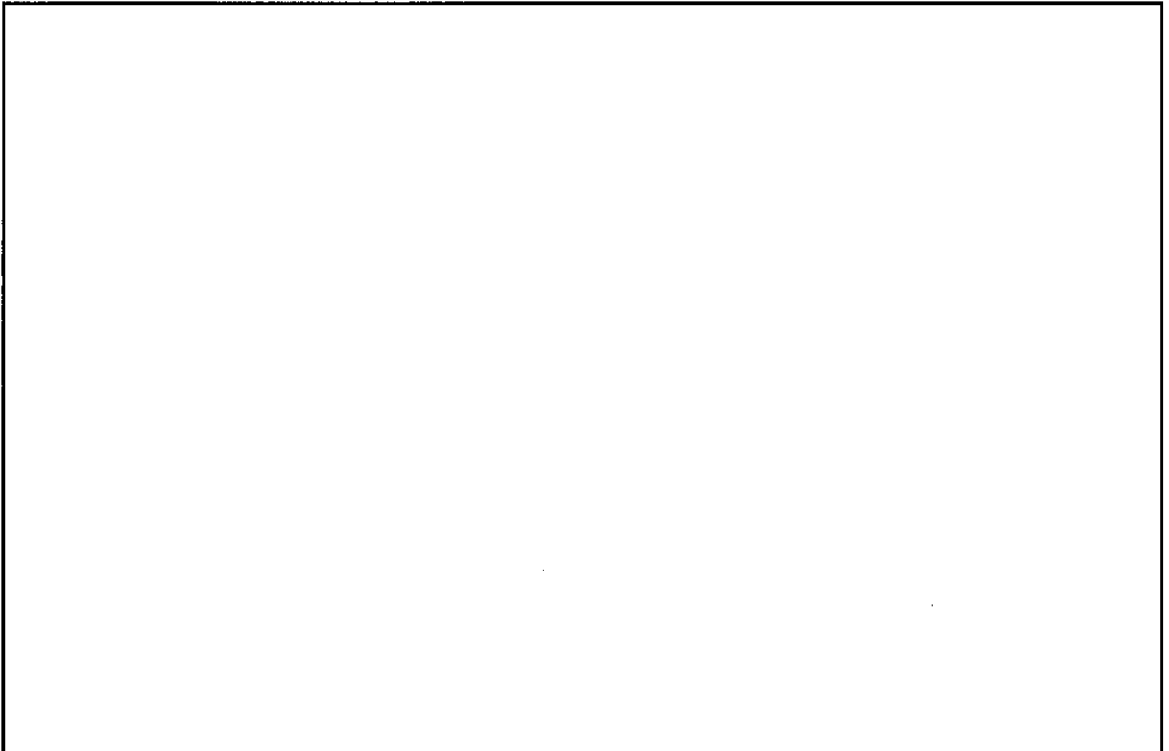


図 9 通常輸送時底面表面

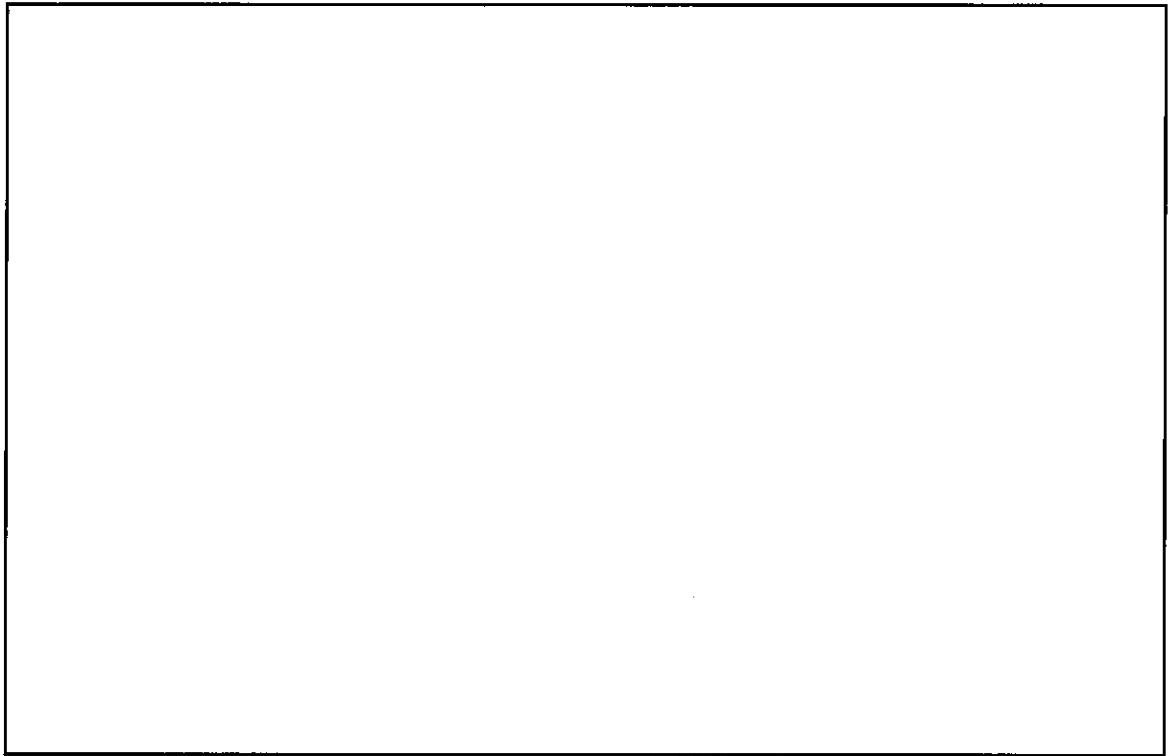


図 10 一般の試験条件下時底面表面

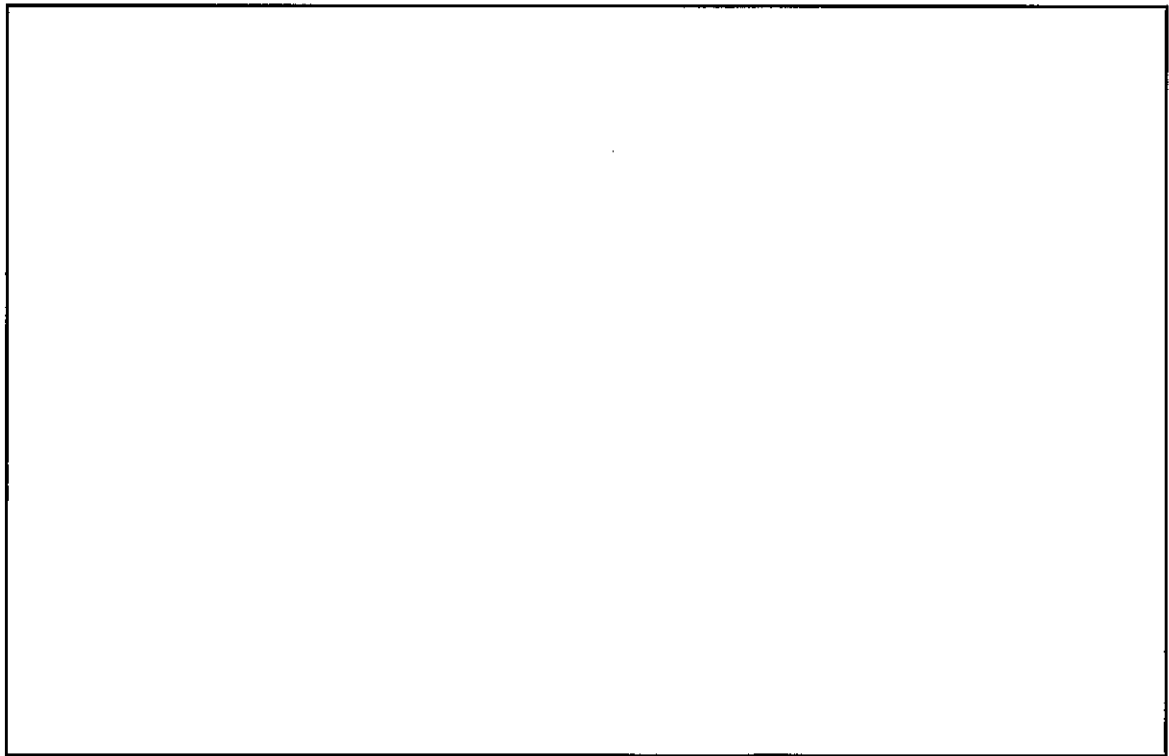


図 11 通常輸送時上面 1 m

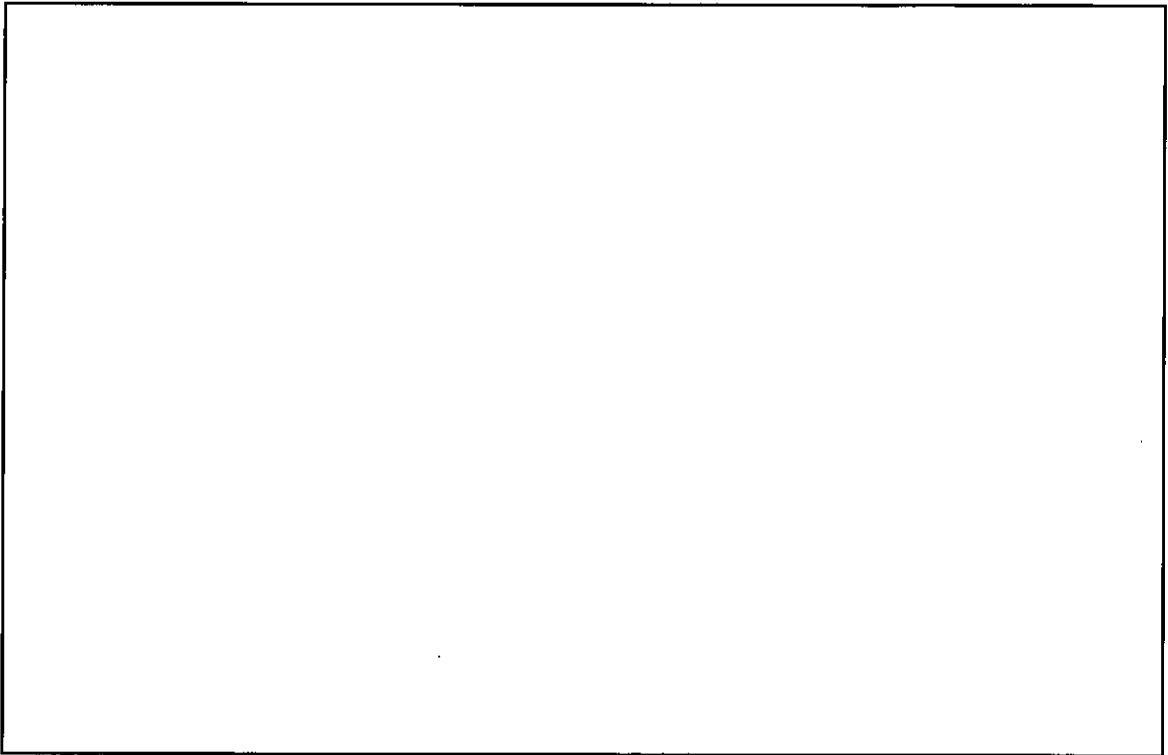


图 12 通常輸送時側面 1 m

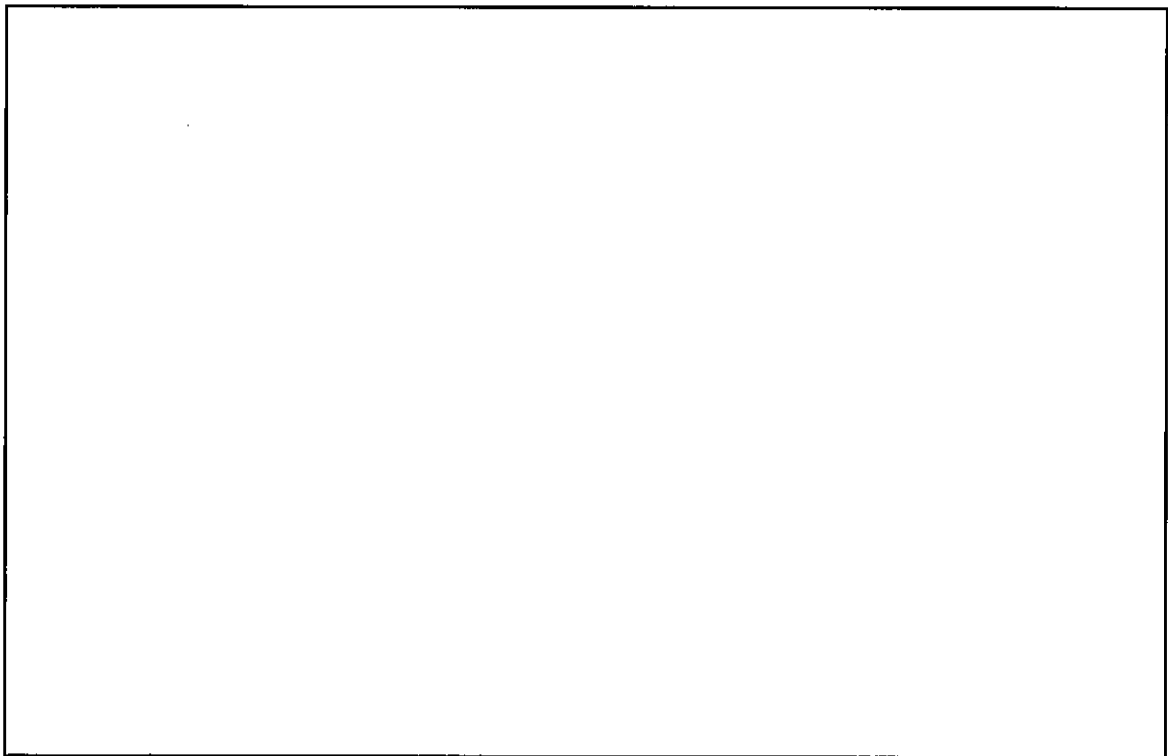


图 13 通常輸送時底面 1 m

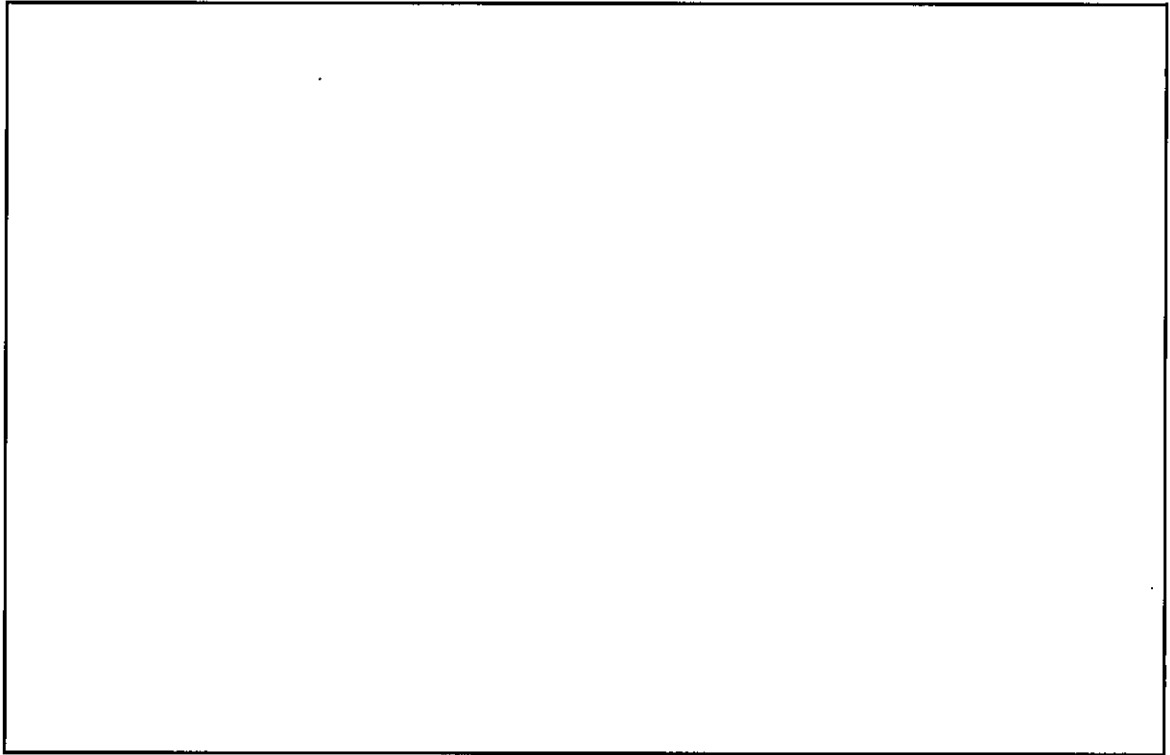


図 14 通常輸送時底面表面 (焼結体)

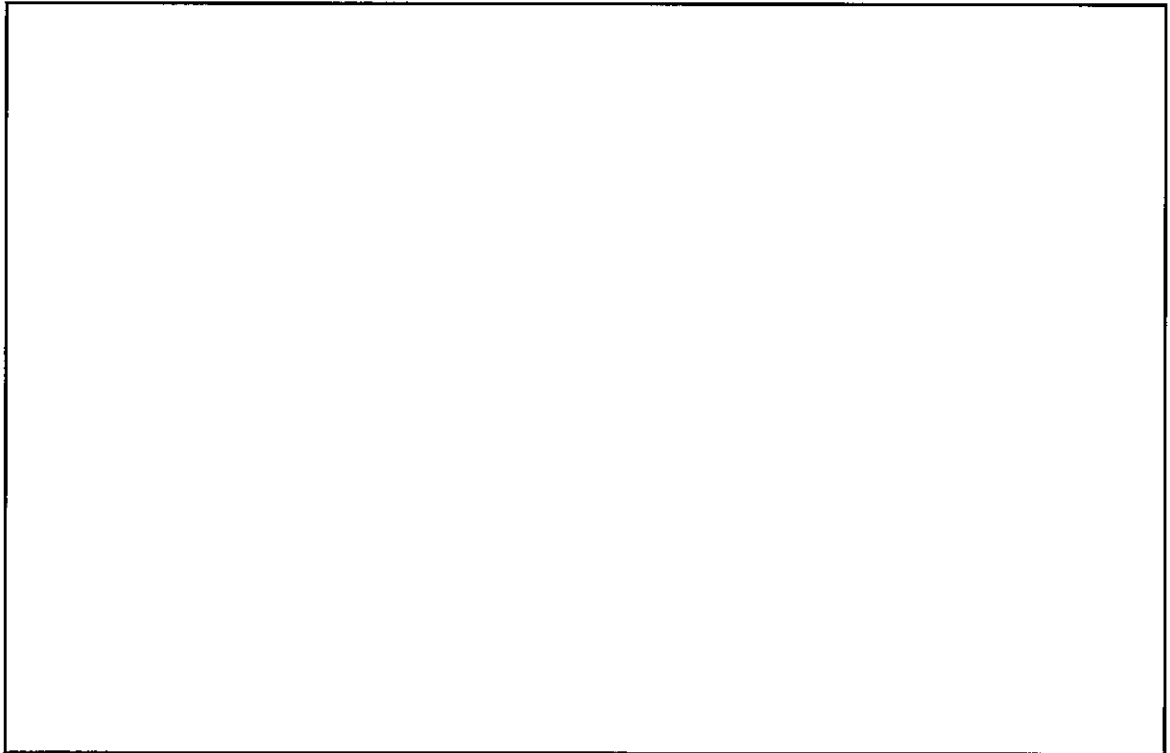


図 15 通常輸送時底面 1 m (焼結体)

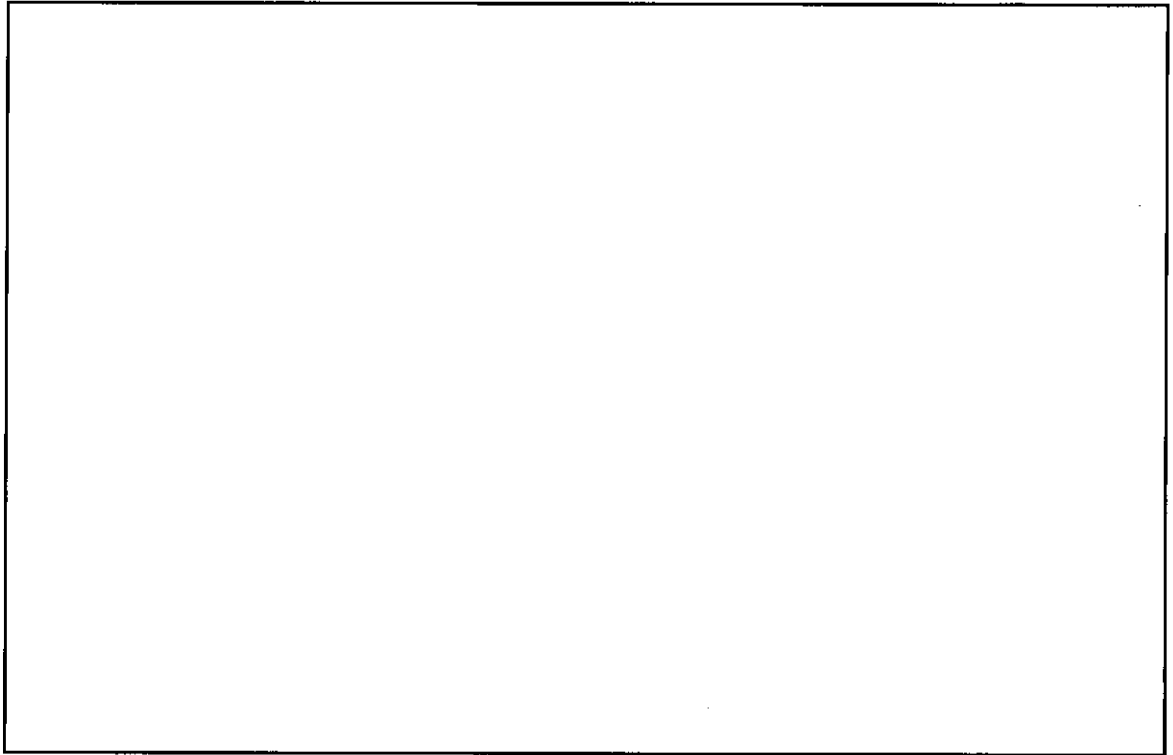


図 16 一般の試験条件時底面表面（焼結体）

(ロ)E 臨界解析

E.1 ケース 1(粉末収納缶を使用する場合)

E.1.1 概要

本輸送物は、として、通常輸送時はもちろんのこと一般及び特別の試験条件下においても臨界に達することがないように設計されている。

臨界解析では、以下のいずれの条件においても臨界に達しないことを評価する。

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

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

E.1.2 解析対象

E.1.2.1 収納物

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

	添加物	化学式
A		
B		
C		
D		
E		
F		

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

本輸送物には個の容器があり、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<sub>2</sub> 収納量の上限を(ロ)E-第 1 表に示す。なお、UO<sub>2</sub> 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 <sup>234</sup>U が含まれているが、解析においては安全側に全て <sup>238</sup>U として計算した。

#### E.1.1.2.2 輸送容器

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

#### E.1.1.2.3 中性子吸収材

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

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

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

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g 以下の場合)

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg-UO <sub>2</sub> )	
	粉末	焼結体及び スクラップ
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>

\* ポリエチレン製袋及び添加物の重量は含まれない

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

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g を超えて  g 以下の場合)

濃縮度 (重量%)	収納量の上限 (kg-UO <sub>2</sub> )	
	粉末	焼結体及び スクラップ
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/> 以下	<input type="text"/>	<input type="text"/>

\* ポリエチレン製袋及び添加物の重量は含まれない



### E.1.3 モデル仕様

#### E.1.3.1 解析モデル

##### (1) 考慮した他の解析結果

- ① 一般の試験条件下においては、輸送物の変形は軽微なものにとどまっており、臨界解析モデルとしては損傷がないものとして取り扱うことができる。そのため、輸送物を孤立系の条件に置く場合と一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合は共通の評価となる。
- ② 特別の試験条件下においては、落下試験及び耐火試験で得られた以下の結果を考慮している。なお、9m 落下については、コーナー落下による変形よりも側面落下による変形の方が実効増倍係数に与える影響が大きいため、各変形量は側面落下試験による結果を用いた。
  - ・ 水平方向の内容器間距離は、通常時に  cm であったものが側面への落下試験により  cm に減少する。
  - ・ 同様に、側面落下により落下方向の全幅は通常時に比較して  cm 減少する。
  - ・ また、底面落下による変形量は  cm である。
  - ・ ターゲットへの高さ 1 m 落下による損傷範囲は直径  cm で、その深さは、耐火試験を考慮して内容器外表面まで達するものとしている。
  - ・ 耐火試験により、外蓋中のアルミニウム合金ディスクより上部のフェノリックフォームが炭化する。
  - ・ その他の面は表面から平均  cm、最大  cm にわたって炭化している。
  - ・ 内容器は変形、破損せず、粉末収納缶の破損もない。

##### (2) 輸送物の条件

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

(ロ)E-第2表 臨界解析条件

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

### (3) 収納物の条件

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

### (4) 形状モデル

#### ① 一般の試験条件下に置いた輸送物

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

#### ② 特別の試験条件下に置いた輸送物

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

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

という理由で安全側の仮定となっている。

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

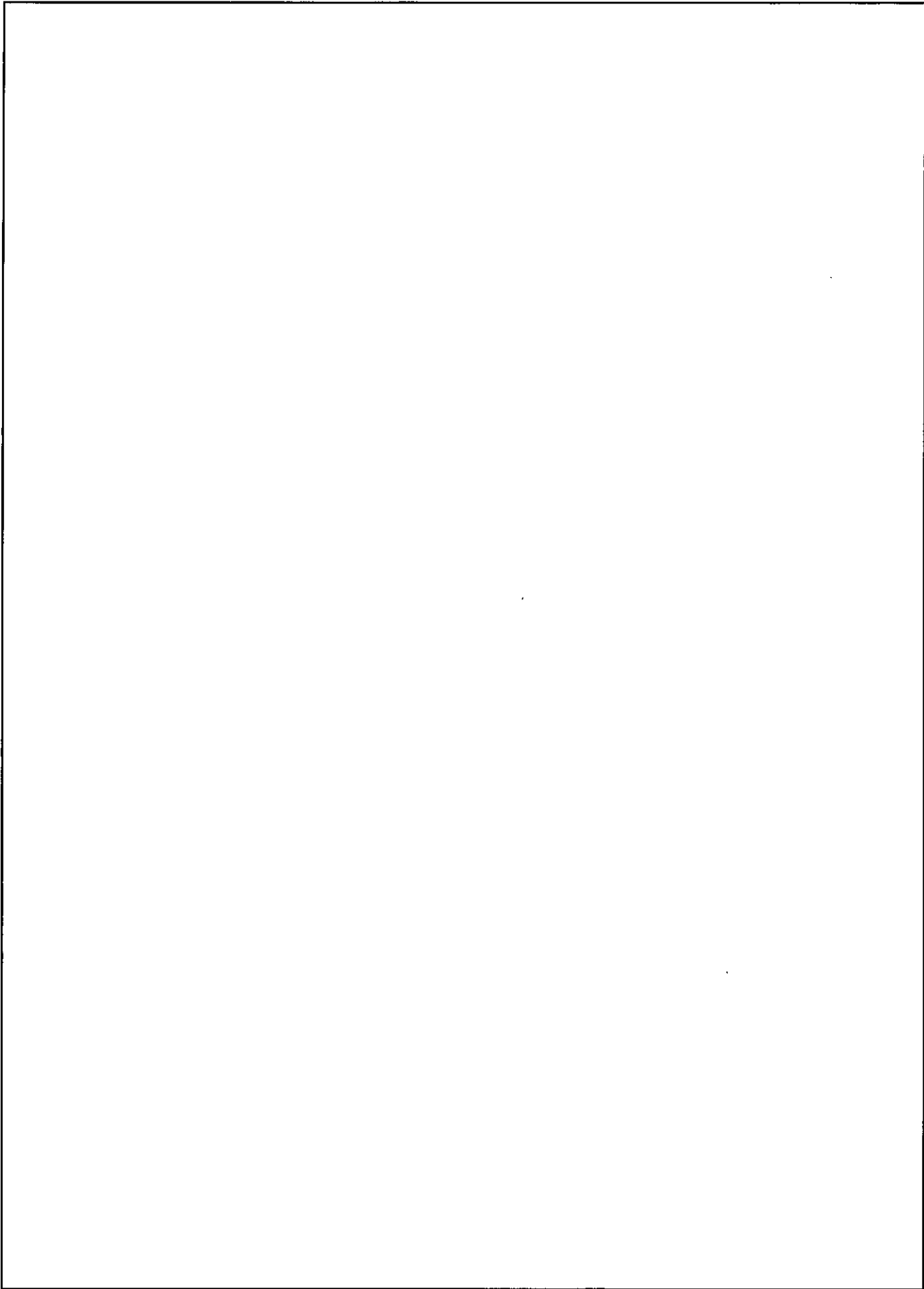
#### E.1.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

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

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

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

(ロ)E-7



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

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

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

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



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

(ロ)E-第3表 計算に使用した各物質の原子個数密度

--

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



## E.1.4 未臨界評価

### E.1.4.1 計算条件

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

また、一般の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の5倍以上（個）置く場合よりも、特別の試験条件下に置いた輸送物を輸送制限個数の2倍以上（個）置くとした場合の方が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（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表のとおり変化させて解析を行い、その影響について考慮している。

収納物が粉末の場合、燃料領域高さを考慮した結果についてサーベイ計算を行う。

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

### E.1.4.3 計算方法

本計算に使用したコードはKENO-V.aである。

KENO-V.aは、米国オークリッジ国立研究所で開発された多群モンテカルロコードであり、複雑な3次元幾何形状を正確に扱える利点を持ち、体系の中性子増倍係数の計算を行う臨界計算コードである。

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

E.1.4.4 計算結果

以上の条件で行った計算結果を(ロ)E-第5表に示す。

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

(ロ)E-第5表 [1/2] 実効増倍係数の計算結果 (ケース1)

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  以下の場合)

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

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

(ロ)E-第5表 [2/2] 実効増倍係数の計算結果 (ケース1)

(ポリエチレン製袋及び添加物  が  g を超えて  g 以下の場合)

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

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

## E.2 ケース 2(長尺粉末収納缶を使用する場合)

### E.2.1 概要

本輸送物は、 通常輸送時はもちろんのこと一般及び特別の試験条件下においても臨界に達することがないように設計されている。

臨界解析では、以下のいずれの条件においても臨界に達しないことを評価する。

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

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

### E.2.2 解析対象

#### E.2.2.1 収納物

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

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

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

#### E.2.2.2 輸送容器

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

#### E.2.2.3 中性子吸収材

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

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

(ロ)E-第6表 臨界解析における  $UO_2$  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、 $UO_2$  を収納する内容器は )

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

\*ポリエチレン製容器及び添加物の重量は含まれない



## E.2.3 モデル仕様

### E.2.3.1 解析モデル

#### (1) 考慮した他の解析結果

「(ロ)E.1.3.1(1)」に同じ。

#### (2) 輸送物の条件

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

(ロ)E-第7表 臨界解析条件

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

#### (3) 収納物の条件

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

#### (4) 形状モデル

##### ① 一般の試験条件下に置いた輸送物

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

##### ② 特別の試験条件下に置いた輸送物

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

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

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

その他の条件は「(ロ)E.1.3.1(4)」と同じである。

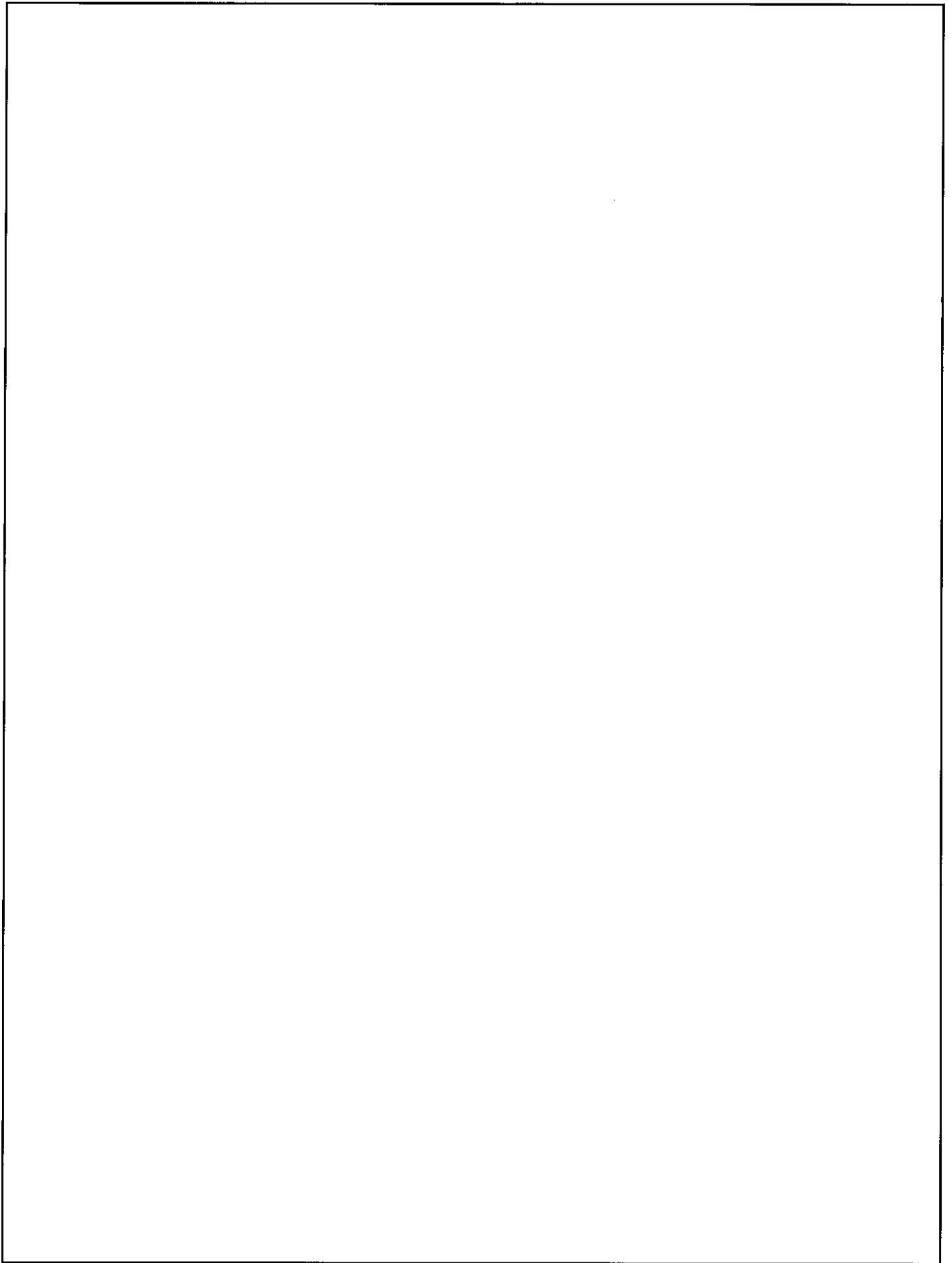
#### E.2.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

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

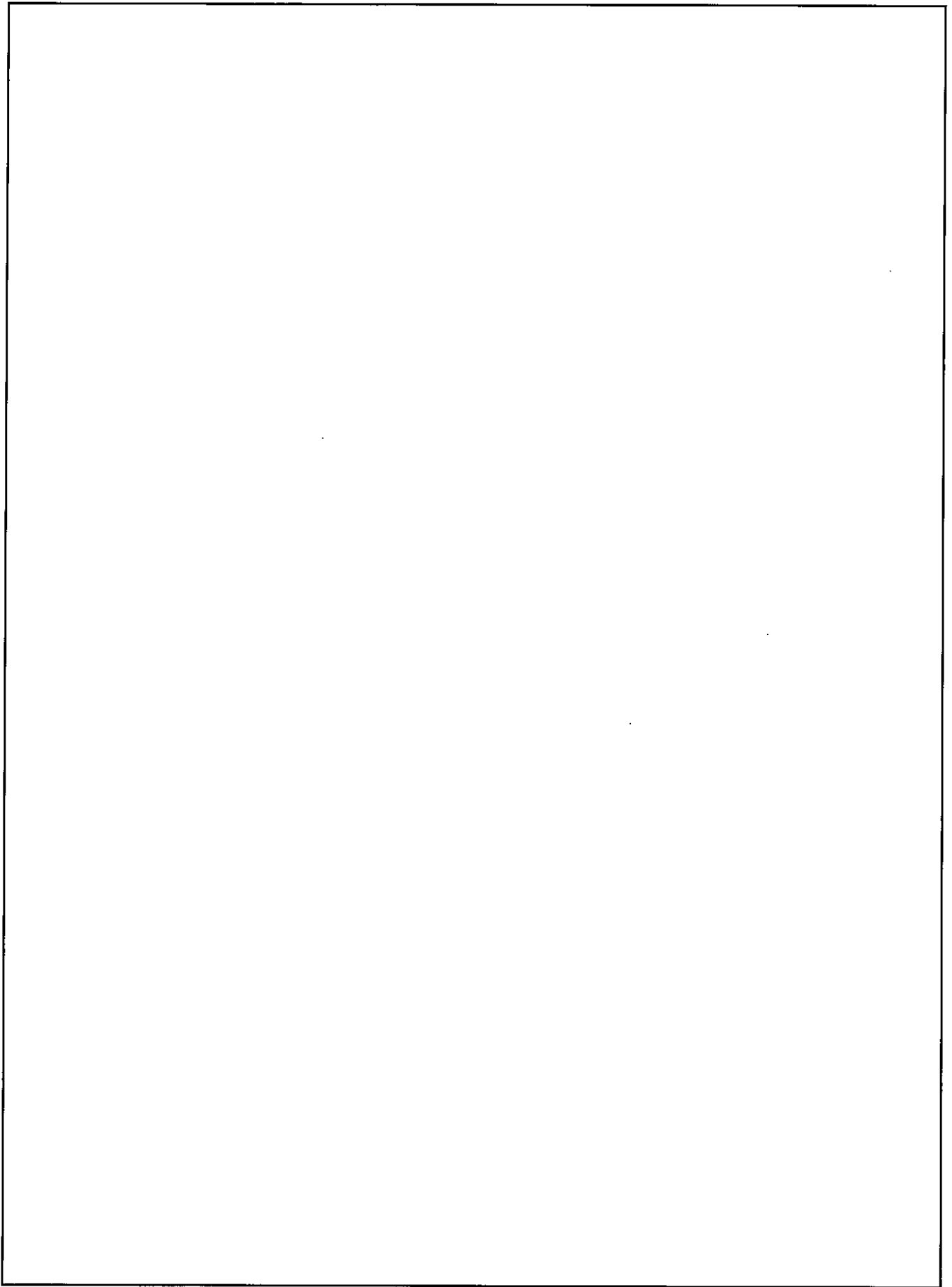
ここで、内容器内の減速材の材質を水よりも水素密度の高いポリエチレンとするという安全側の仮定を適用した。

その他の条件は「(ロ)E.1.3.2」と同じである。

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

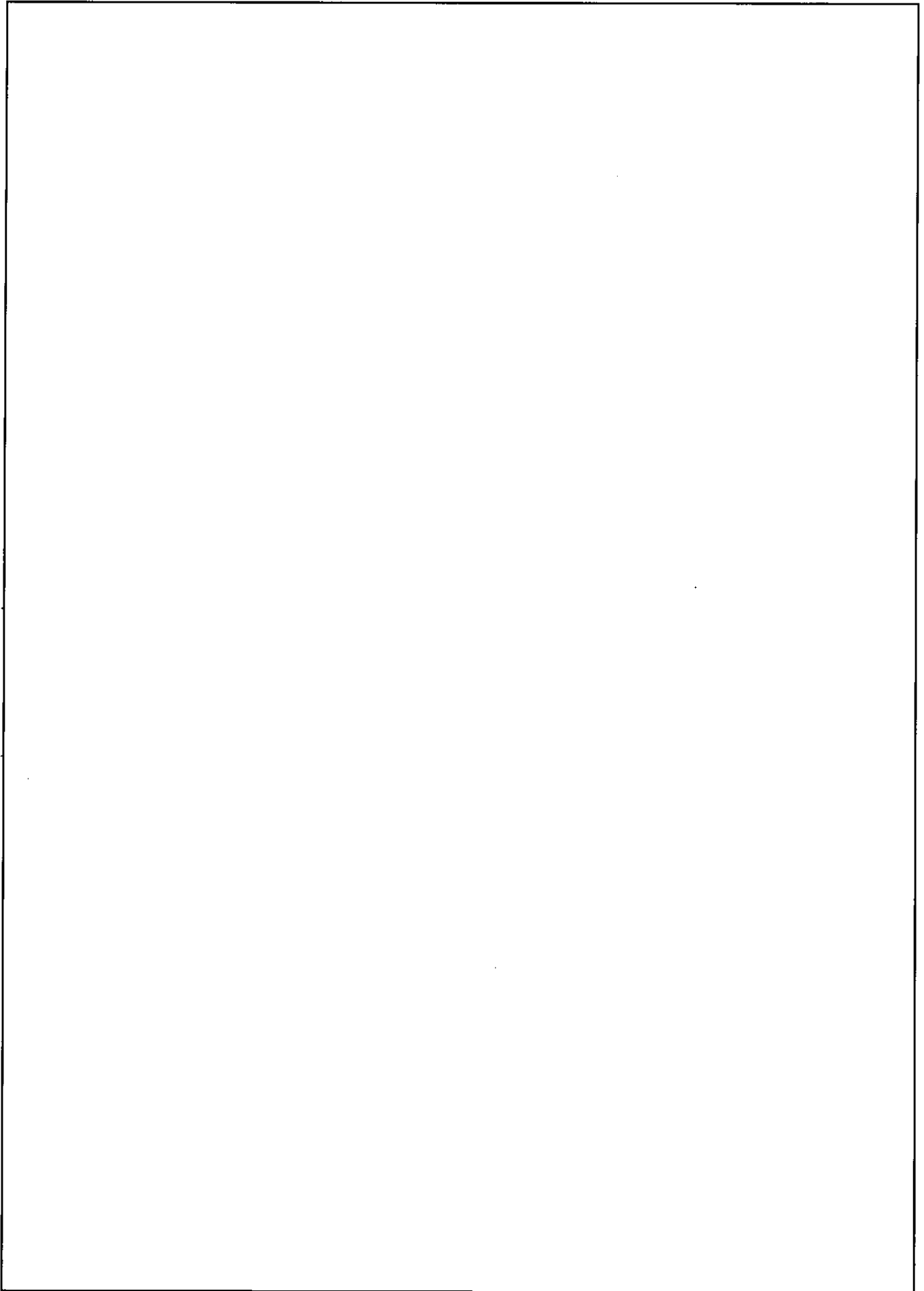


(ロ)E-第3図 [2/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(全体・上部)

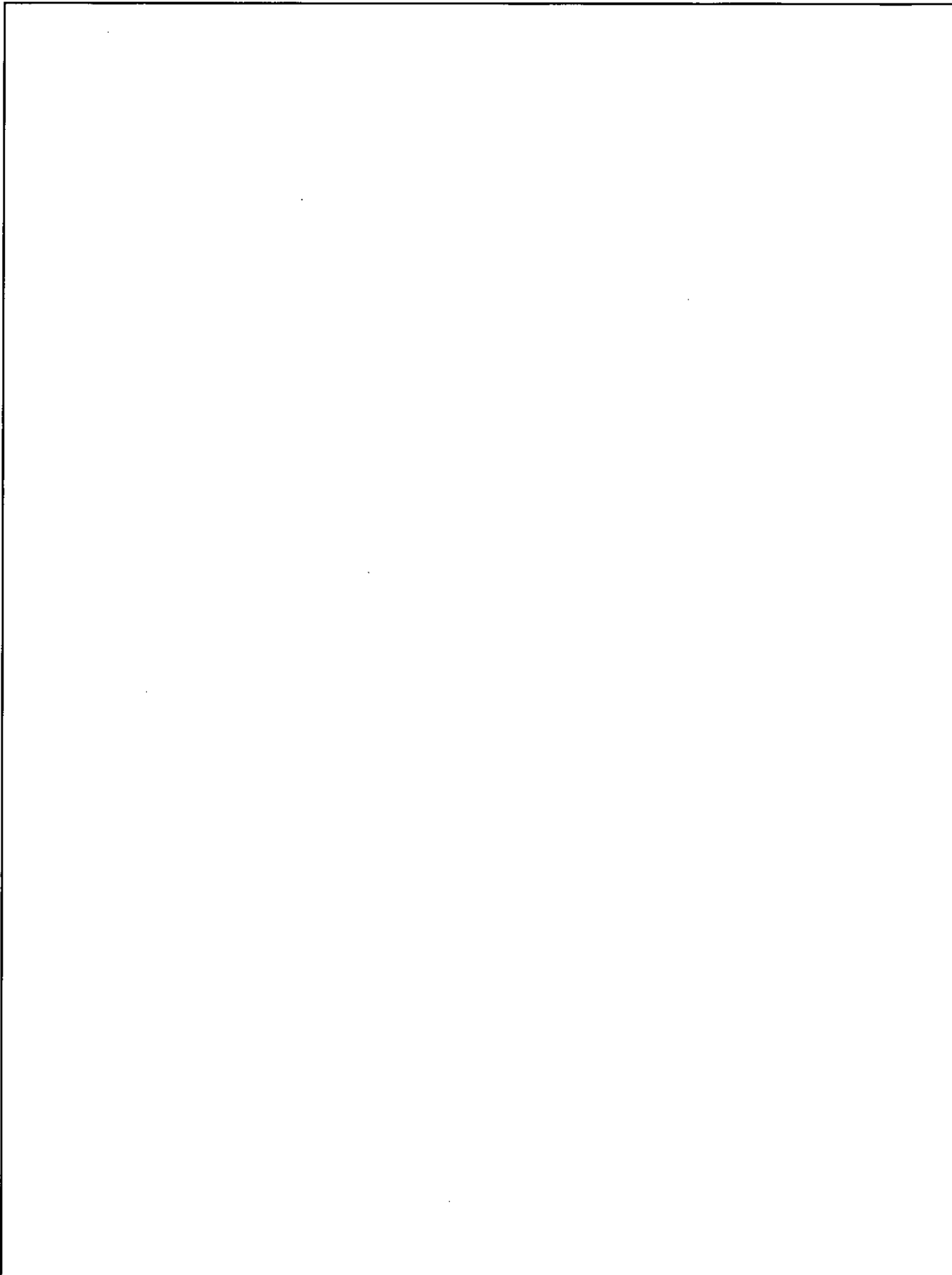


(ロ)E-第3図 [3/3] 特別の試験条件下に置いた輸送物の形状モデル(内容器周辺部)

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



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



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



(ロ)E-第8表 計算に使用した燃料領域の原子個数密度

材質	核種	原子個数密度 (atoms/barn·cm)



## E.2.4 未臨界評価

### E.2.4.1 計算条件

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

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

### E.2.4.2 輸送物への水の浸入等

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

### E.2.4.3 計算方法

計算方法は「(ロ)E.1.4.3」と同じである。

### E.2.4.4 計算結果

以上の条件で行った計算結果を(ロ)E-第 10 表に示す。

(ロ)E-第10表 実効増倍係数の計算結果 (ケース2)

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

(注1) 上段は平均値。下段はモンテカルロ計算における  
統計上の標準偏差 $\sigma$ の3倍を加えた値。

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

### E.3 ベンチマーク試験

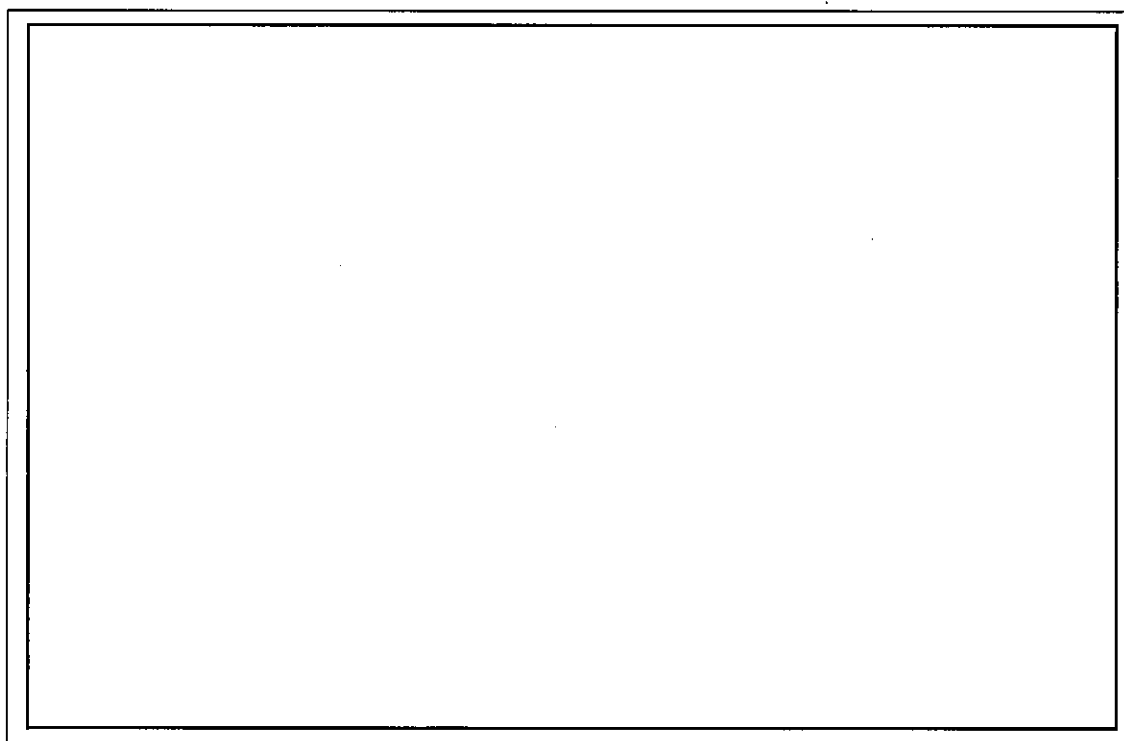
OECD/NEA の国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト (ICSBEP) では、評価済み臨界ベンチマーク実験ハンドブック (ICSBEP ハンドブック) を発行している。

ICSBEP ハンドブックでは、各種パラメータによって臨界実験が分類されて掲載されている。そこで、本輸送物の臨界評価に関連する分類 (LEU-COM-THERM: 低濃縮-化合物-熱中性子スペクトル) から  ケースのベンチマーク試験を抽出し、本輸送物の臨界評価で使用した計算方法と同じ計算方法を用いて実験解析を行なった。計算結果を(ロ)E - 第 5 図に示す。また、(ロ)E - 第 5 図に示した  ケースの計算結果に対する統計処理結果を(ロ)E - 第 11 表に示す。

(ロ)E - 第 11 表より、本輸送物の臨界評価で使用した計算方法は、中性子増倍率を十分な精度で評価できることが分かる。

(ロ)E - 第 11 表 ベンチマーク実験解析結果のまとめ

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



(ロ)E - 第 5 図 ベンチマーク実験解析結果

E.4 結果の要約及びその評価

TNF-XI 型輸送物の臨界解析を実施した。

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

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

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

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

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

(ロ)E 付属資料 1

サーベイ計算の結果

1. 空間部水密度の変化による反応度の変化

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

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

2. フェノリックフォーム中の水分濃度変化による反応度の変化

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

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

3. 炭化したフェノリックフォームの組成の変化による反応度の変化

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

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

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

#### 4. 燃料領域高さの変化による反応度の変化

燃料領域高さの変化による反応度の変化を確認するため、輸送容器中に濃縮度 $\square$ %、内容器当たり $\square$ 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( $\square$ 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( $\square$ 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 $\square$ 、内容器当たり $\square$ kgの $UO_2$ 粉末が装荷されている場合の一般及び特別の試験条件下に輸送物を置いた場合による反応度の比較を行う。また、反応度の比較を行う際には、反応度が最大となる燃料領域高さにおける反応度を比較する。なお、条件の違いによる反応度の差異を明確にするため、統計誤差を小さくすることを目的に、ヒストリ数は「E.1.4.4 計算結果」に示す未臨界評価の $\square$ 倍としている(統計誤差は $\square$ 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 %、内容器当たり kg の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の燃料領域直径変化による反応度の変化を 図 7 に示す。

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

7. 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域の偏心による反応度の変化

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

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

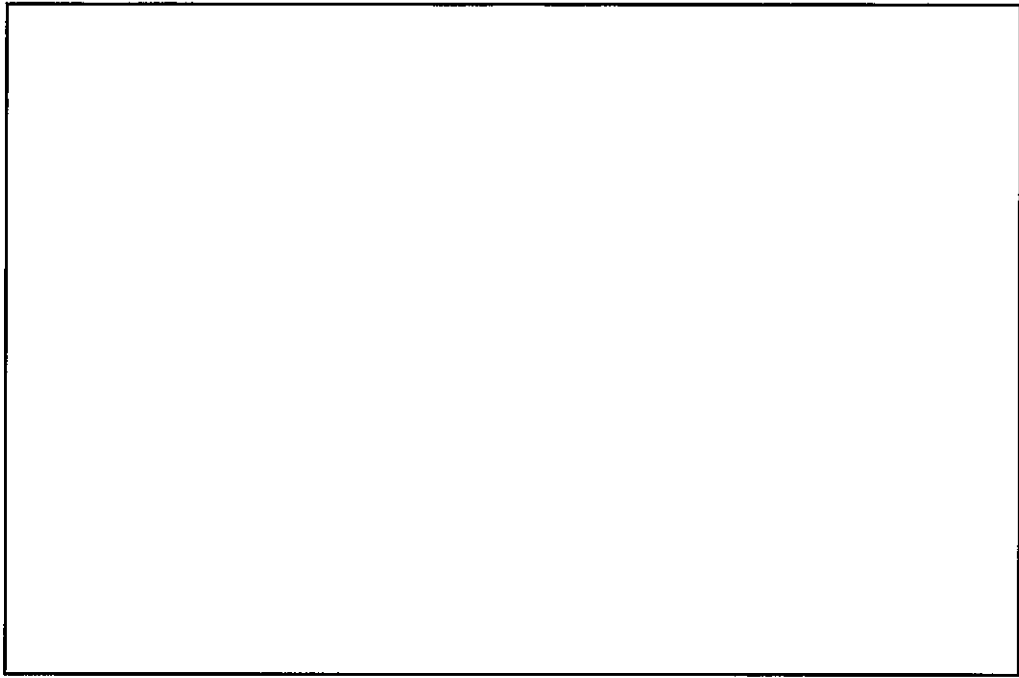


図 1 内容器内部の水密度変化に対する反応度変化

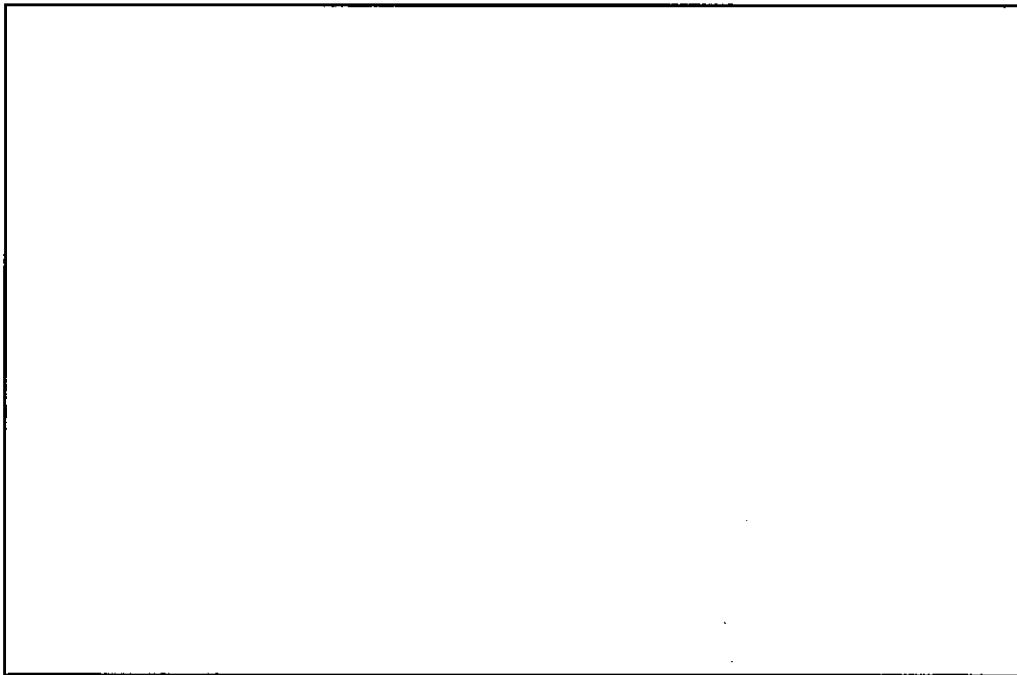


図 2 外蓋部の水密度変化に対する反応度変化

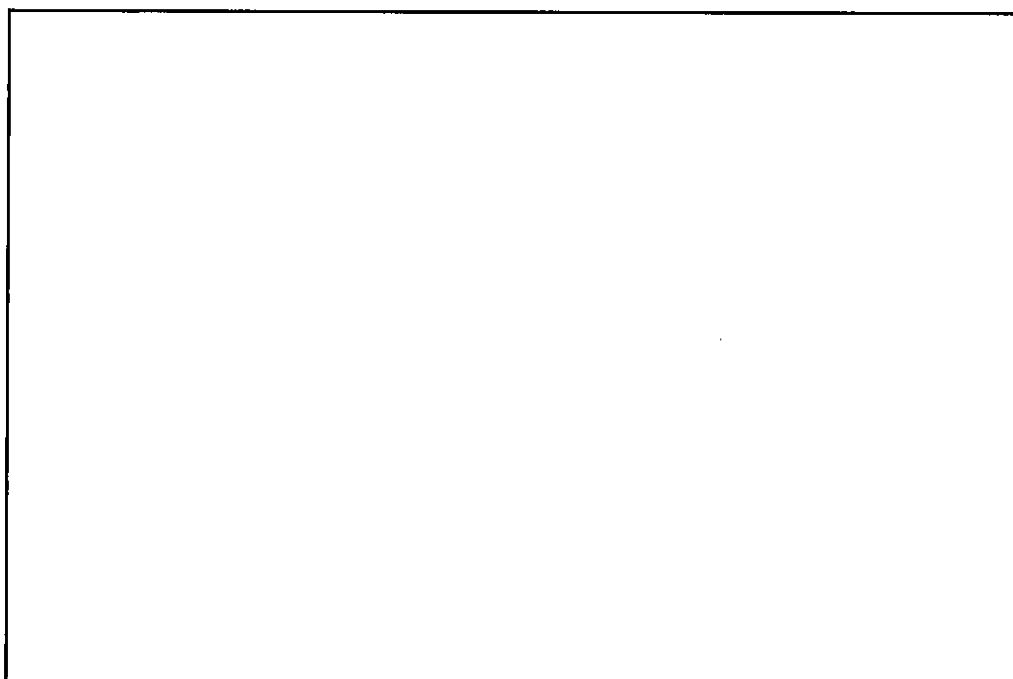


図3 フェノリックフォーム中の水密度変化に対する反応度変化

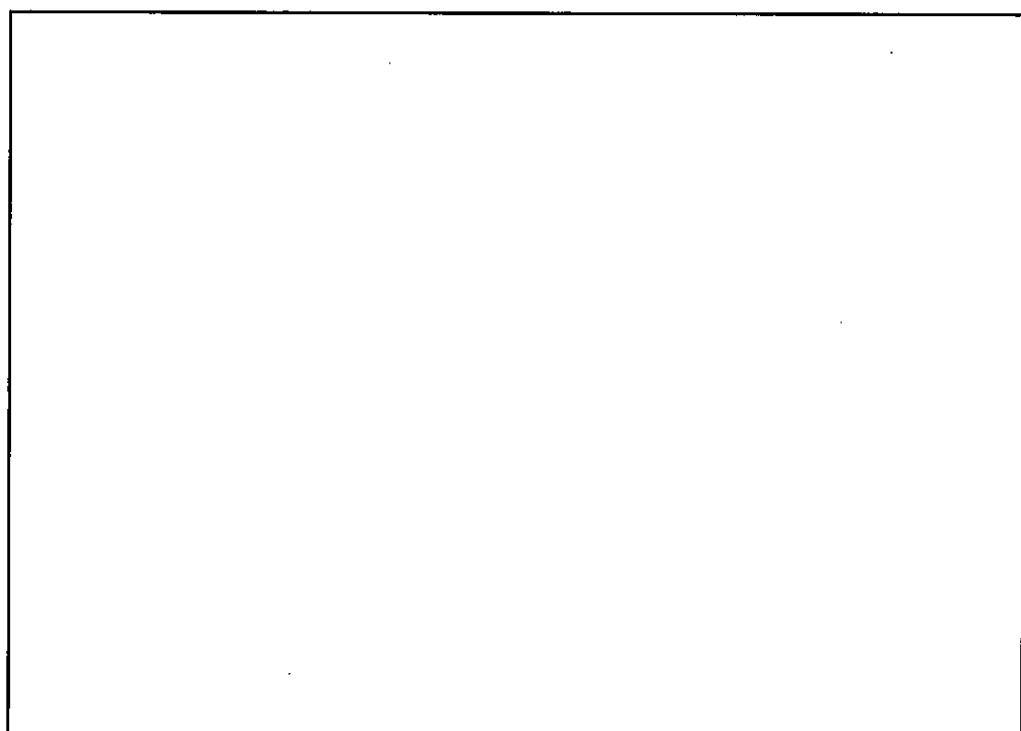


図4 炭化したフェノリックフォームの組成の変化による反応度の変化

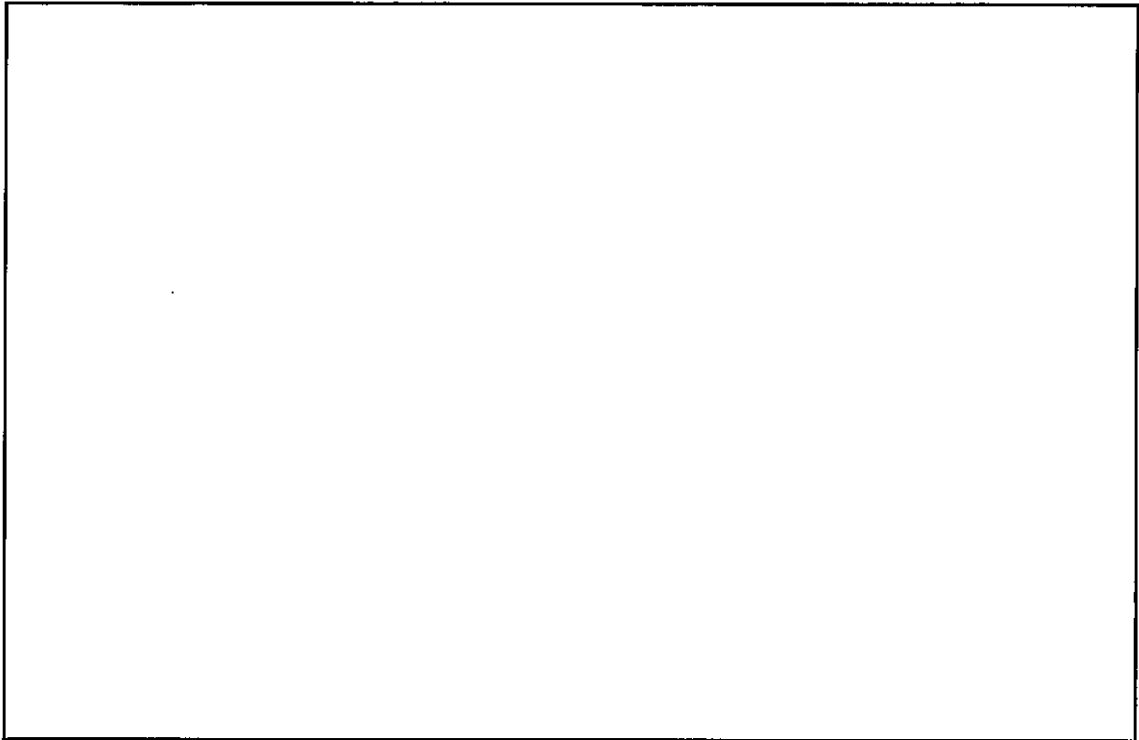


図 5 燃料領域高さの変化による反応度の変化

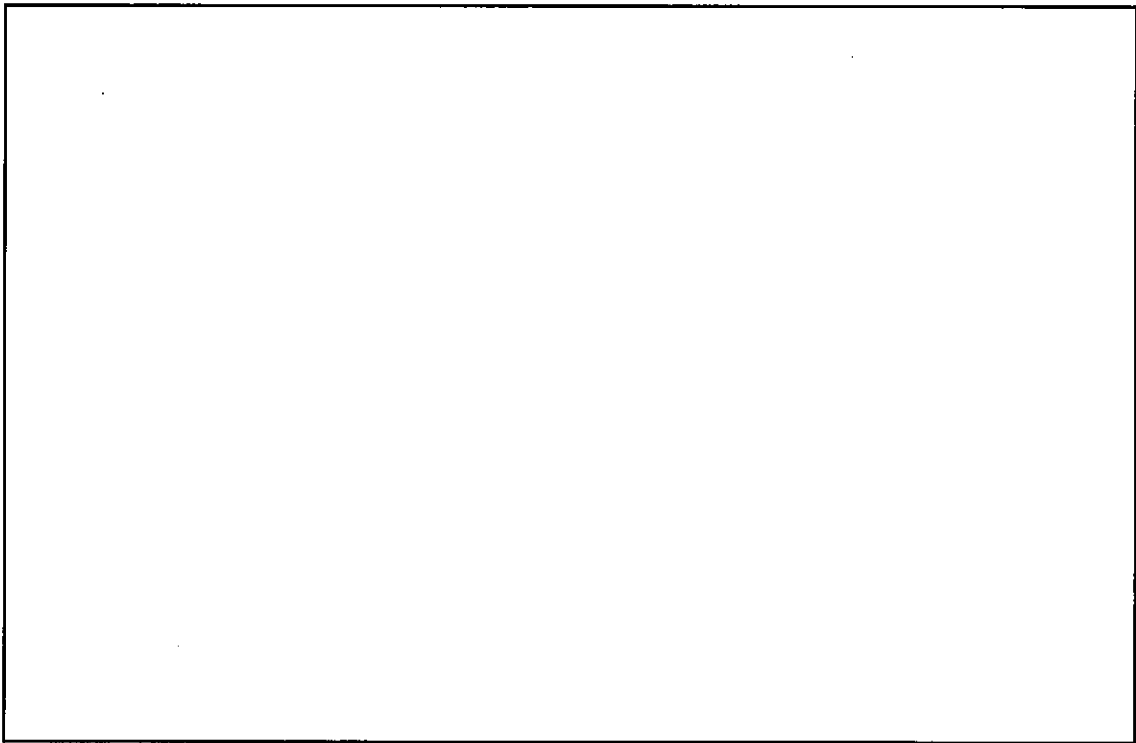


図 6 一般の試験条件下に輸送物を置いた場合と特別の試験条件下に輸送物を置いた場合  
における計算結果の比較

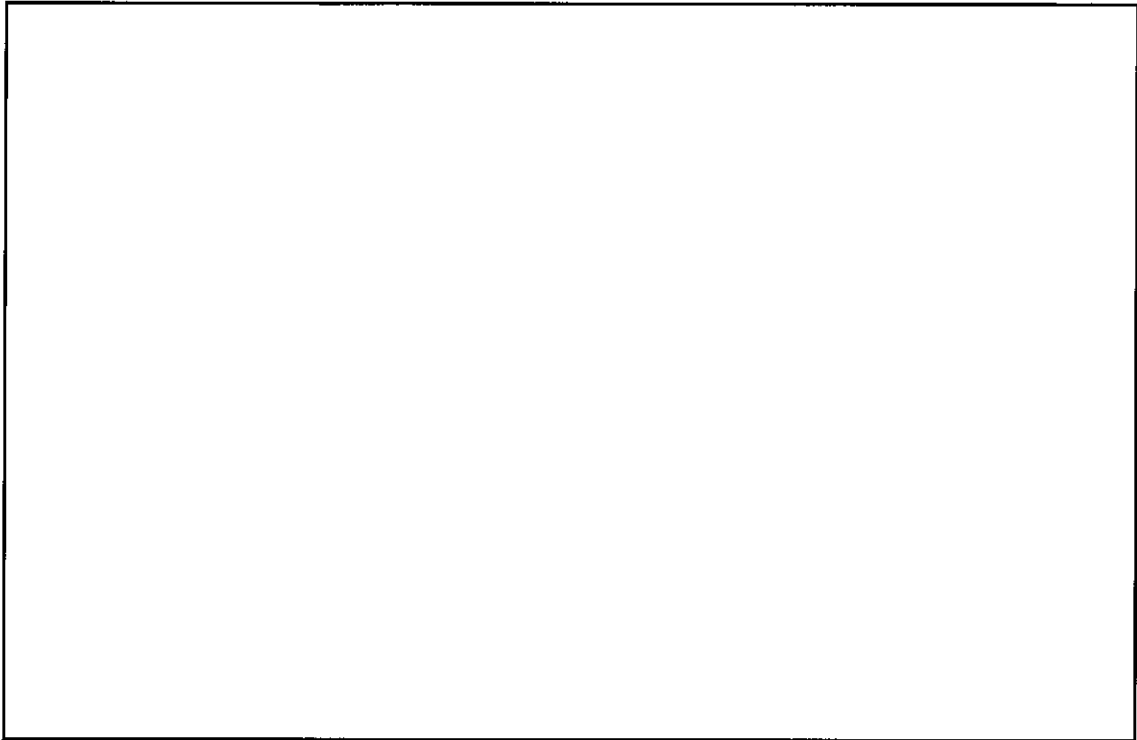


図 7 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直径変化による反応度の変化

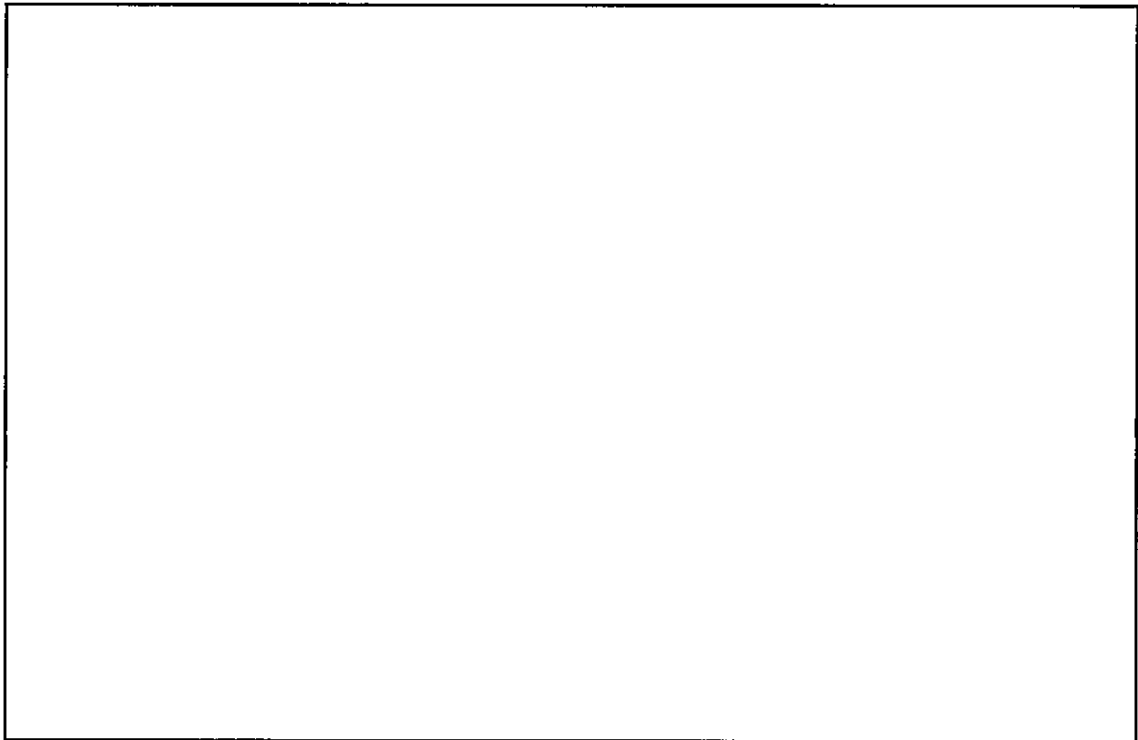


図 8 長尺粉末収納缶を使用する場合の燃料領域直の偏心による反応度の変化

ケース 2 における均質体系の評価に対する非均質体系の影響度

1. 収納物の非均質性

ペレットやスクラップなど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 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、「臨界安全ハンドブック第2版」図3.7では直径が□mmまでの結果しか示されていないため、直径が□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□%の場合、「臨界安全ハンドブック第2版」図3.7から、球の直径が□mmまでは、非均質効果は単調に増加しているが、球の直径が□mm以上においても、非均質効果は単調に増加するわけではなく、球の直径が□mmにおいて、非均質効果は最大となり、その値は約□%Δk/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、□が確認できる。

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

<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(%Δk/k)は、以下の式により算出される。

非均質効果(%Δk/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

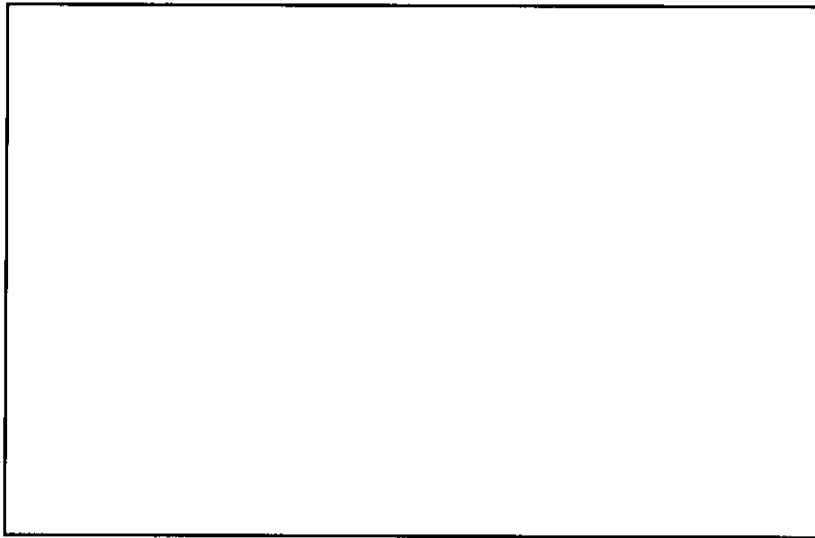


図1 「臨界安全ハンドブック第2版」図3.7の再現計算

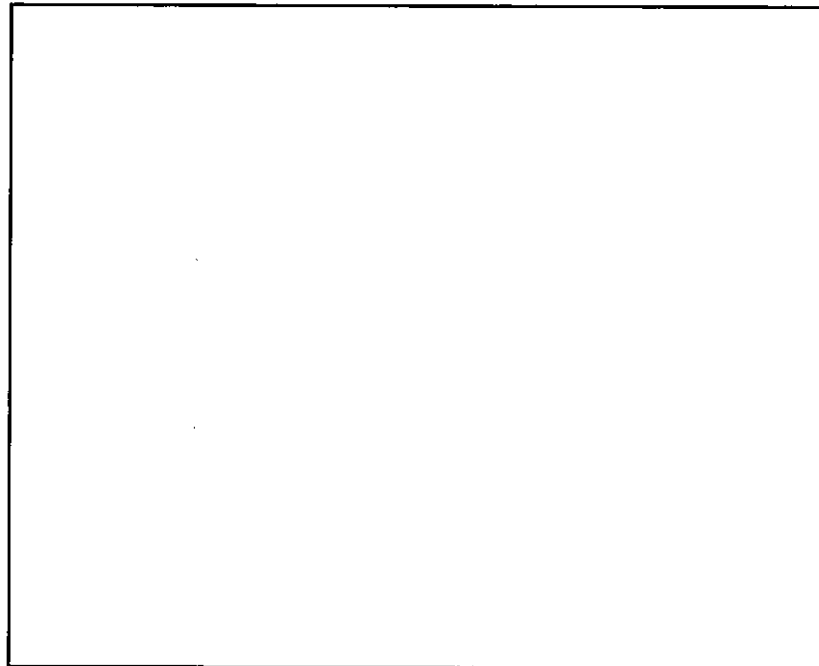


図2 無限体系と有限体系における非均質効果の比較



(ロ)F 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
第三条 第一項 第二号	第四条 及び 別表第一	設計変更において、追加した収納物（ケース 2）は、既認可の収納物（ケース 1）と同様に□%以下の濃縮ウランであり、「特別形核燃料物質等以外のもの」に該当することから、A <sub>2</sub> 値は無制限である。 以上のことから、当該輸送物が技術基準における A 型輸送物に該当することに変更はない。	(イ)－A(1)
第四条 第一号		設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送物総重量、容器の構造に変更はない。 したがって、既認可と同じく、輸送物総重量は□kg 以下であり、容器底部にはフォークリフトパスを設けることで、フォークリフトやクレーン等機械的手段により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パ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。 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。	(イ)－C(1) (イ)－C(10)(a) (イ)－C(5)(b)③
第二号		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。そのため、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、技術基準が適合することに変更はない。 ・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□℃、内容器の最高温度は□℃である。 ・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および収納物である粉末収納缶および長尺粉末収納缶が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□℃程度であること、内容器と収納物の温度差は最大でも□℃程度であることから、熱膨張差による収納物と内容器の干渉はなく、輸送容器各部に発生する熱応力も無視しうる。 ・梱包時温度を 0℃、内容器温度を□℃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□kPa 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□℃まで温度変化したことによる最大内外圧差は□kPa 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。	(ロ)－B.4.2 (ロ)－B.4.3  (ロ)－A.5.1.2 (ロ)－B.4.2  (ロ)－A.4.6  (ロ)－A.5.1.3

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>・固有振動数解析の結果、本輸送物の固有振動数は□Hzである。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域は最大でも□Hz程度であり大きな開きがあること及び運搬中に輸送物の発生する加速度は最大でも□G程度であり、励振力の応答増幅の影響を考慮しても、亀裂、破損を生じるおそれはない。</p>	(ロ)－A.4.7
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変更はない。</p>	(イ)－C(5)(b)① (イ)－C(9)
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を生じるおそれのないことに変更はない。</p> <p>設計変更において、収納物である長尺収納缶は既認可における粉末缶と同様に、内容器と十分なギャップが空いている。また、容器の構造材と同じくステンレス鋼製であり、熱膨張によって内容器側面および内蓋と接触することはない。そのため、危険な物理的作用が生じるおそれはない。</p> <p>また、収納物である長尺収納缶は既認可における粉末缶と同様に、ステンレス鋼であり、化学的に安定した材料であるため、輸送容器との間に腐食等、危険な化学的反応が生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合する。</p>	(ロ)－A.5.1.2  (ロ)－A.4.1
第五号		<p>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。</p>	(イ)－C(11)
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（α線を放出する核種：0.4Bq/cm<sup>2</sup>、α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>	(ハ)－A.1(2)
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>	(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
第五号 第二号		<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、輸送物の外寸法は、次のとおり 10 cm 以上である。(単位：mm)</p> <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 5px auto;"></div> <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>	(イ)－C(5)(b)①
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変更はない。</p>	(ロ)－A.4.3 (ハ)－A.1(2)
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、既認可と同じく構成部品に使用する材料(ステンレス鋼、EPDM、発泡ポリウレタン等)は、運搬中に予想される温度範囲(-40℃から □℃)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していることに変更はない。</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、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 □kPa 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変更はない。</p>	(ロ)－A.4.6
第六号		<p>設計変更において追加した収納物(ケース 2)は、液体状の核燃料物質等ではない。</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
第七号		<p>設計変更において、輸送容器の構造・材質に変更はない。また、設計変更によって追加した収納物（ケース2）の最大ウラン酸化物量は <math>\square</math> kg である。既認可では最大 <math>\square</math> kg であることから、線源強度が最大となる収納物条件に影響はない。さらに、遮蔽解析においては、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、粉末缶の形状の違いは影響しない。そのため、設計変更によって追加した収納物に対する評価結果は既認可の結果に包含される。</p> <p>既認可では <math>\square</math> kg のウラン酸化物を各内容器に配置し、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件を考慮した上で 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 <math>\square</math> mSv/h 以下と 2 mSv/h を超えない結果が得られている。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することについて、設計変更に伴う影響はない。</p>	(ロ)-D.1 (ロ)-D.2.1(2)
第八号		<p>外運搬規則第5条第7号で述べた通り、設計変更にて追加した収納物のウラン酸化物の量は既認可で解析条件とした量に包含されること及び輸送容器の材質、構造に変更がないことから、設計変更にて追加した収納物に対する評価結果は既認可の結果に包含される。</p> <p>既認可では <math>\square</math> kg のウラン酸化物を各内容器に配置し、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件を考慮した上で、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 <math>\square</math> <math>\mu</math>Sv/h 以下と 100 <math>\mu</math>Sv/h を超えない結果が得られている。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することについて、設計変更に伴う影響はない。</p>	(ロ)-D.1

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
第九号 (イ)	第十三条 及び 別記第三	<p>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。</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>別記第三の第一条 (イ)</u></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に変更はない。</p> <p>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>以上のことから放射性物質の漏えいがないことに変更はない。</p>	(ロ)－A.5.2
		<p><u>別記第三の第一条 (ロ) (1)</u></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。</p> <p>したがって、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>以上のことから放射性物質の漏えいがないことに変更はない。</p>	(ロ)－A.5.3
		<p><u>別記第三の第一条 (ロ) (2)</u></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。</p> <p>したがって、本輸送物の材料、重量は本告示の項目に該当しないことに変更はない。</p>	(イ)－C
<p><u>別記第三の第一条 (ロ) (3)</u></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。</p> <p>したがって、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ったため、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>以上のことから放射性物質の漏えいがないことに変更はない。</p>	(ロ)－A.5.4		

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
		<p>別記第三の第一条(ロ)(4)</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に変更はない。</p> <p>したがって、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>以上のことから原型容器に対する貫通試験の結果輸送容器に大きな損傷は見られず、輸送容器に破損、亀裂が生じないため放射性物質の漏えいがないことに変更はない。</p>	(ロ)-A.5.5
(ロ)	第十三条及び別記第三	<p>外運搬規則第5条第7号で述べた通り、設計変更にて追加した収納物のウラン酸化物の量は既認可で解析条件とした量に包含されること及び輸送容器の材質、構造、最大重量に変更がないことから、設計変更にて追加した収納物に対する評価結果は既認可の結果に包含される。</p> <p>既認可では、<input type="text"/>kgのウラン酸化物が各々の内容器内に存在し、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件及び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<input type="text"/>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<input type="text"/>mSv/hとなり2mSv/hを超えず、線量当量率の増加は約<input type="text"/>%であることから著しい増加はない結果が得られている。</p> <p>以上のことから、本輸送物が規則に定める技術上の基準に適合していることについて、設計変更に伴う影響はない。</p>	(ロ)-D.1 (ロ)-D.3.1.2
第十一条	第二十三条	<p>設計変更において、追加した収納物(ケース2)は、既認可の収納物(ケース1)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、本輸送物は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

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
第一号 (イ)	第二十四条 及び 別記第十一	<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>別記第三の第一条 (イ)</u></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に変更はない。</p> <p>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が生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから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が生じないことに変更はない。</p> <p><u>別記第三の第一条 (ロ) (1)</u></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。</p> <p>原型容器に対する落下高さ <input type="text"/> m 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が生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから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が生じないことに変更はない。</p> <p><u>別記第三の第一条 (ロ) (3)</u></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。</p> <p>したがって、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ったことから、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が生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから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が生じないことに変更はない。</p> <p><u>別記第三の第一条 (ロ) (4)</u></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に変更はない。</p> <p>したがって、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が生じるおそれはない。</p> <p>以上のことから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が生じないことに変更はない。</p>	(ロ)-A.9.1.4

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
(ロ)	第二十四条及び別記第十一	<p>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。</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>別記第三の第一条 (イ)</u> 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>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、内容物のガスケットが密封性を維持し、内容物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外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p> <p>以上のことから外接する直方体の各辺は10cm以上であることに変更はない。</p> <p><u>別記第三の第一条 (ロ) (1)</u> 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。</p> <p>原型容器に対する落下高さ□m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>以上のことから外接する直方体の各辺は10cm以上であることに変更はない。</p> <p><u>別記第三の第一条 (ロ) (3)</u> 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。</p> <p>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ることから、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>以上のことから外接する直方体の各辺は10cm以上であることに変更はない。</p> <p><u>別記第三の第一条 (ロ) (4)</u> 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、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>以上のことから外接する直方体の各辺は10cm以上であることに変更はない。</p>	(ロ)－A.9.1.4
第二号		既認可の収納物（ケース1）に加え、設計変更において追加した収納物（ケース2）においても、下記（イ）から（ホ）に掲げる項目の通り、臨界に達しないことから、規則に定める技術上の基準に適合する。	(ロ)－E.1.4.4 (ロ)－E.2.4.4



外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
(イ)	第二十五条	<p>既認可の収納物（ケース 1）については、孤立系の条件の下に置くよりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合及び核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p> <p>また、設計変更において追加した収納物（ケース 2）においても、孤立系の条件よりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p>	(ロ)－E.1.4.4 (ロ)－E.2.4.4
(ロ)	第二十四条 第二十五条 及び 別記第十一	<p>既認可の収納物（ケース 1）については、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを孤立系の条件の下に置くよりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合及び核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p> <p>また、設計変更において追加した収納物（ケース 2）においても、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを孤立系の条件の下に置くよりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p>	(ロ)－E.1.4.4 (ロ)－E.2.4.4
(ハ)	第二十五条 第二十六条 及び 別記第十二	<p>設計変更において追加した収納物（ケース 2）を収納した場合においても、既認可の収納物（ケース 1）を収納する場合と比較して、輸送容器の構造に変更はなく、総重量は少なくなる。そのため、ケース 2 における核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いた場合の輸送物の変形量、炭化量は、保守的にケース 1 と同じに設定している。</p> <p>ケース 1 については、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを孤立系の条件で解析するよりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合及び核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p> <p>ケース 2 においても、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを孤立系の条件で解析するよりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p>	(ロ)－E.1.4.4 (ロ)－E.2.4.4

外運搬規則の項目	外運搬告示の項目	説明	申請書記載対応項目
(二)	第二十四条 第二十七条 及び 別記第十一	<p>既認可の収納物（ケース1）については、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを配列系の条件の下に置くよりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p> <p>また、設計変更において追加した収納物（ケース2）において、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを配列系の条件で解析するよりも臨界評価上厳しい評価条件として、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の条件に置く場合について、KENO-V.a コードで解析を実施した結果未臨界であることから、臨界に達しない。</p>	(ロ)－E.1.4.4 (ロ)－E.2.4.4
(ホ)	第二十六条 第二十七条 及び 別記第十二	<p>外運搬規則第十一条第二号（ハ）で述べたように、設計変更において追加した収納物を収納する場合（ケース2）における核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置いた場合の輸送物の変形量、炭化量は、保守的に既認可の収納物を収納する場合（ケース1）と同じに設定している。</p> <p>ケース1について、核分裂性輸送物に係る特別の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、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 <input type="text"/> 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)の条件をすべ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および内容物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 <input type="text"/> 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>	(ロ)－E.1.4.4 (ロ)－E.2.4.4
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ける説明で述べたように、<math>-40 \sim \square</math>℃の温度範囲において、き裂、破損等を生じない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物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) 粉末缶収納

粉末収納缶使用時（ケース1）の場合と長尺粉末収納缶使用時（ケース2）の場合、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、ポリエチレン製袋も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[ ]収納する。なお、輸送時は、ウラン酸化物の有無に関わらず[ ]粉末収納缶を収納する。

##### ケース2

ウラン酸化物をポリエチレン製も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、も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[ ]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。[ ]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1 m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。

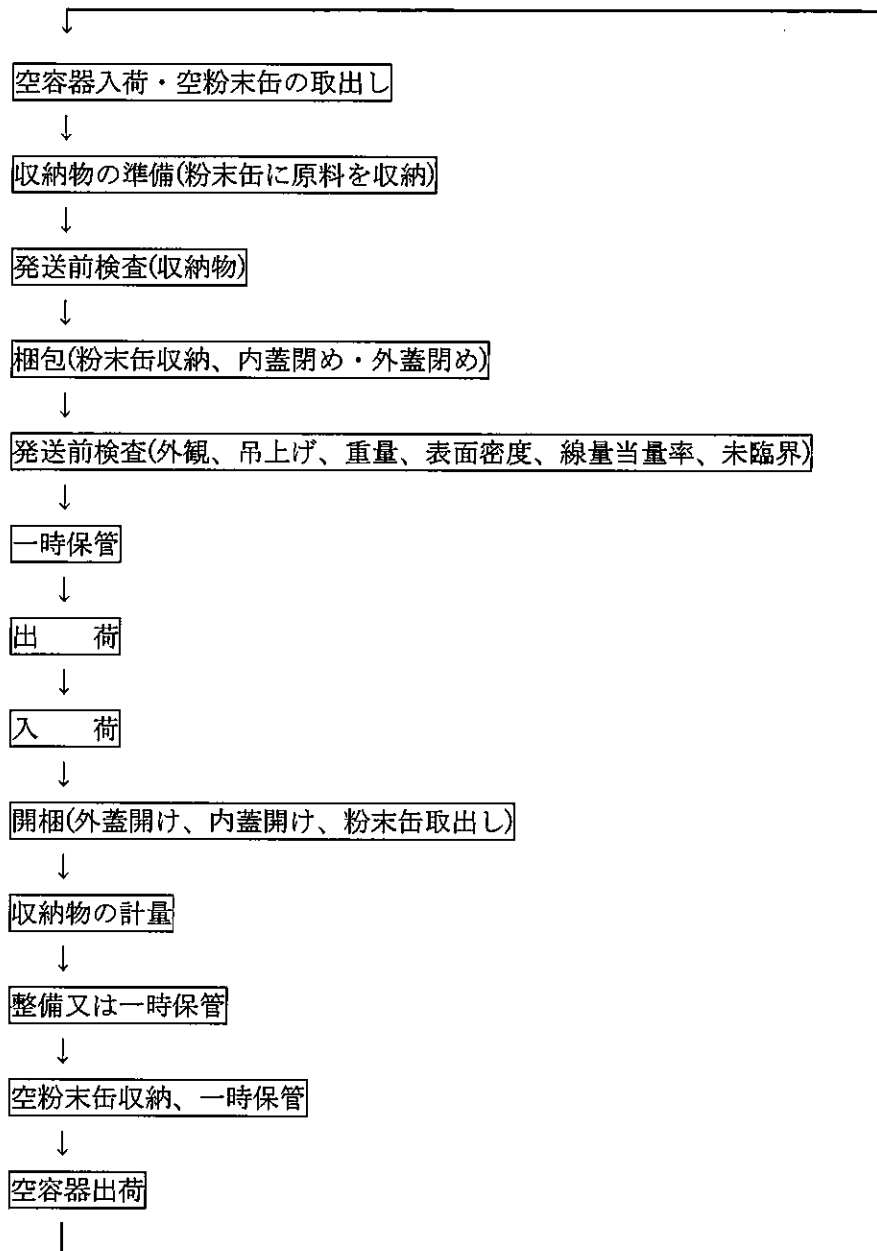
(3) 輸送物の取扱い

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 表に示す輸送物発送前検査を実施する。

(ハ)A-第1表 輸送物発送前検査(ケース1)

検査項目	検査方法	合格基準
収納物検査	基準を満足していることを、検査記録、測定記録、証明書*、現物確認等の適切な方法によって確認する。	1. 種類：ウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ） 2. 濃縮度 <input type="checkbox"/> %以下 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) $^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$ $^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$ $^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$ $^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$ 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 4. 収納量：(ハ)A-第3表を満たしていること。 5. 放射能量： <input type="checkbox"/> GBq 以下 6. 外観： (1)粉末収納缶：異常がないこと。 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 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)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。
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 <input type="checkbox"/> 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 $\mu\text{Sv/h}$ 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。	1. 種類：ウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ） 2. 濃縮度：□%以下 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) $^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$ $^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$ $^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$ $^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$ 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 4. 収納量：(ハ)A-第4表を満たしていること。 5. 放射能量：□GBq以下 6. 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。
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 □ 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 $\mu\text{Sv/h}$ 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。



#### 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3表 各内容器当たりの装荷制限(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

(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

\*輸送物当たりの最大重量は、それぞれ  倍した値である。焼結体収納時の制限は、ステンレス鋼製の波板等の重量として  kg を考慮している。

\*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		
B		
C		
D		
E		
F		

(ハ)A-第4表 各内容器当たりの装荷制限(ケース2)

装荷制限条件(kg)			
ウラン酸化物量 (濃縮度 <input type="text"/> %以下)	添加物、緩衝材合計	袋、瓶合計	合計

\* 収納物を装荷する  装荷する。

\* 添加物 (A~F) は以下の通りである。

	添加物	化学式
A		
B		
C		
D		
E		
F		

#### (ハ)－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－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－第2表に示す。

外蓋回り止めデバイスや内容器のガスケット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。

#### 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

内容器フランジ並びにガスケットについて、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。

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	内容器フランジ並びにガスケット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 3 年 1 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)ー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、核燃料輸送物設計変更承認申請書（熊原第20-005号）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「輸送容器の製作に係る品質マネジメント指針について」（平成20年6月20日付け平成20・06・10原院第1号）に準拠した品質マネジメントシステムを当社熊取事業所に確立し、文書化し、実施し、かつ、維持する。

#### A.1 品質マニュアル

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

#### A.2 文書管理

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

#### A.3 品質記録の管理

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

## (イ)ーB 申請者の責任

### B.1 品質マネジメントシステムにおけるトップマネジメント

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

### B.2 管理責任者

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

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

### B.3 品質保証部

品質保証部長は、下記の責任及び権限を有する。

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

### B.4 燃料製造部

燃料製造部長は、次の責任及び権限を有する。

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

### B.5 燃料サイクル技術部

燃料サイクル技術部長は、次の責任及び権限を有する。

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

B.6 炉心・安全技術部

炉心・安全技術部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 輸送容器の臨界・遮蔽解析

B.7 環境安全部

環境安全部長は、次の責任及び権限を有する。

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

B.8 設備管理部

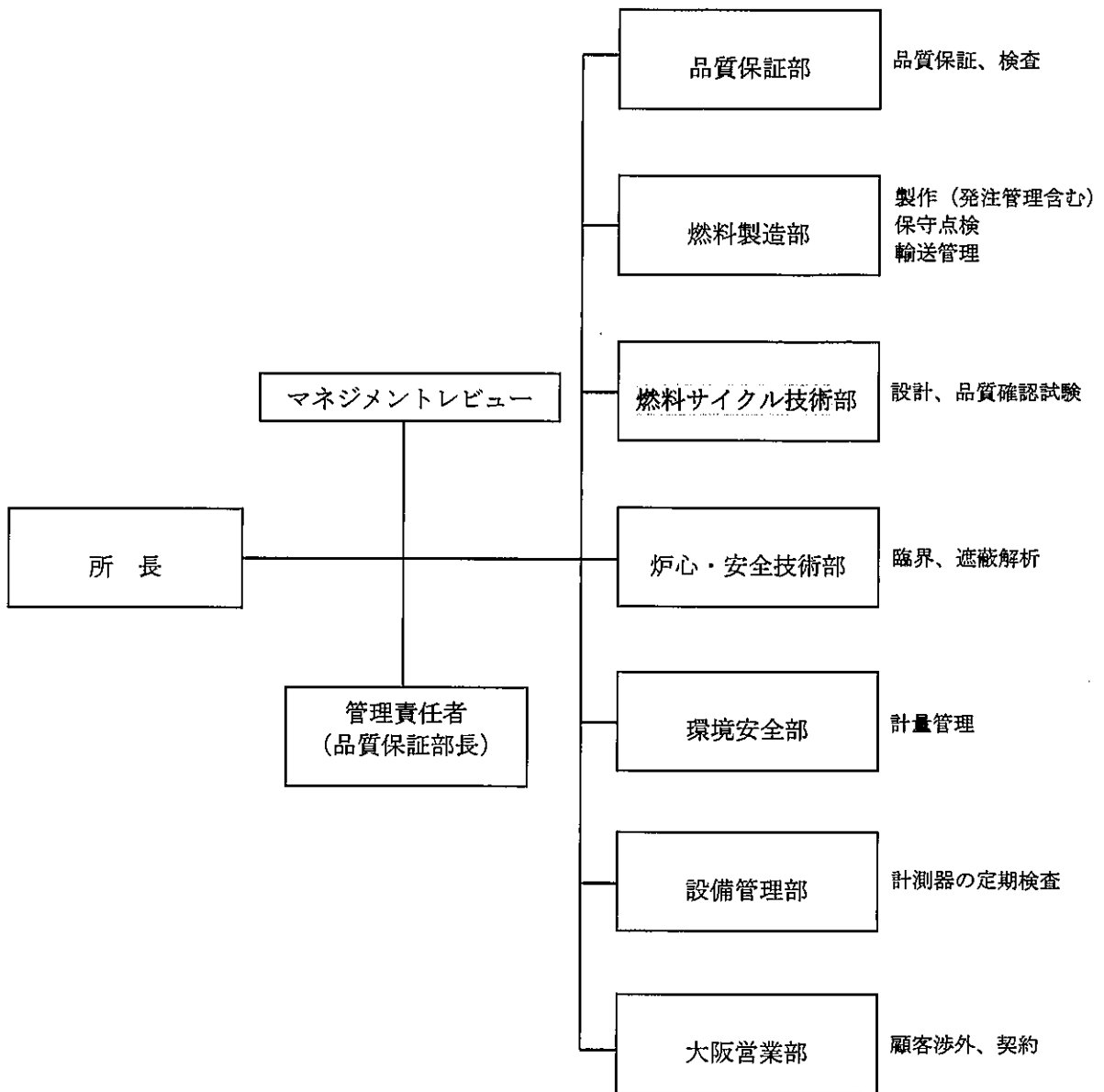
設備管理部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 計測器の定期検査

B.9 大阪営業部

大阪営業部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 顧客への渉外、契約の実施



(イ) B-第1図 原子燃料工業（株）熊取事業所 輸送容器の設計及び製作に係る組織

(イ)－C 教育・訓練

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

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

#### (イ)－D 設計管理

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

##### D.1 設計管理

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

##### D.2 設計検証

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

##### D.3 設計変更

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

##### D.4 設計委託先の評価

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

## (イ)－E 輸送容器の製造発注

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

### E.1 容器製造者の評価

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

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

### E.2 容器製造者への品質マネジメントシステムの要求事項

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

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

さらに、次の事項についても具体的に発注仕様書に明記する。

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

取決めを明確にし、緊密な連携を図るための措置を講じること。

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

ただし、容器製造者の供給者が、次の場合は、この限りではない。

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

### E.3 輸送容器の製造の検証

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

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



## (イ)‑F 取扱い及び保守

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

### F.1 取扱い

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

- ・“梱包作業手順”
- ・“受入作業手順”
- ・“納入作業手順”

### F.2 発送前検査

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

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

### F.3 保管及び保守点検

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

### F.4 定期自主検査

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

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

#### F.5 取扱い及び保守の委託

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

## (イ)ーG 測定、分析及び改善

### G.1 内部品質監査

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

### G.2 不適合品の管理

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

### G.3 是正処置及び予防処置

#### (1) 是正処置

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

#### (2) 予防処置

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