

核燃料輸送物設計変更承認申請書

熊原第 22-032 号
令和 5 年 01 月 16 日

原子力規制委員会 殿

住所 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央四丁目 33 番 5 号
氏名 原子燃料工業株式会社
代表取締役社長 伊藤 義章

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(平成 2 年科学技術庁告示第 5 号)第 41 条第 1 項の規定により、下記の通り申請します。

記

1. 核燃料輸送物の名称

NT-XII 型

2. 既に交付された核燃料輸送物設計承認番号

J/2007/AF-96 (Rev.1)

3. 変更内容

- ・平成 25 年 5 月 30 日付原管廃発 1305292 号(平成 26 年 1 月 24 日付原管廃発 14012210 号をもって記載事項変更、平成 30 年 5 月 25 日付原規規発第 1805255 号をもって期間更新)により承認を受けた核燃料輸送物設計変更承認申請書(以下「既承認申請書」という。)の記載事項について別記の通り変更する。
- ・既承認申請書について、以下の変更を行う。
 - ・ 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(以下、「外運搬規則」という。)及び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「外運搬告示」という。)の改正を踏まえて、使用予定期間中の経年変化の評価を行った。その結果を(ロ)章 F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」(追加)及び(ロ)章 G「外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価」(従前の(ロ)章 F)に記載する。また、経年変化の評価に関連して、(ロ)章 A「構造解析」に吊り上げおよび内圧による疲労評価を追加する。
 - ・ (ハ)章「品質マネジメントの基本方針に係る説明」を削除し、「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」を(ハ)章に、「安全設計及び安全輸送に関する特記事項」を(ニ)章に変更する。
 - ・ (ハ)章「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」において、(ロ)章 F の追加に伴い収納物検査にて収納物の使用期間確認に係る検査基準を追加する。
- ・「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」を追加する。
- ・その他記載の見直しを行う。

4. 変更理由

- ・外運搬規則及び外運搬告示が改正されたため。
- ・記載を適正化するため。

別紙

- 1 輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書
- 2 輸送容器に係る品質管理の方法等(設計に係るものに限る。)に関する説明書

以上

1.核燃料輸送物の名称

NT-XII 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：
幅：
高さ：

(2)輸送容器の重量

以下

(3)核燃料輸送物の総重量

以下

(4)輸送容器の主要材料

表 1 の通り

(5)輸送容器の概略を示す図

図 1 の通り

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 5 年 1 月 16 日付熊原第 22-032 号）に係る別紙 1 の図(イ)－1 から図(イ)－4 までに示されている。

3.核燃料輸送物の種類

A 型核分裂性輸送物

4.収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

表 2 の通り

5.輸送制限個数

(1)輸送制限個数 :
(2)配列方法 :
(3)臨界安全指数 :

6.運搬中に予想される周囲の温度の範囲

-40℃から 38℃まで

7. 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のため、特別の試験条件においた場合においても局所的な損傷を抑え、収納物を所定の位置にとどめることができる堅牢な構造としている。

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

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

9. 収納物の密封性に関する事項

輸送容器に密封装置はなく、密封境界は燃料棒被覆管が担保する。

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

該当しない。

11. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

輸送容器の保守及び定期自主検査並びに核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 5 年 1 月 16 日付熊原第 22-032 号）に係る別紙のとおり。

12. 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する事項

輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、本核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 5 年 1 月 16 日付熊原第 22-032 号）に係る別紙のとおり。

13. その他特記事項

(1) 使用予定年数

80 年

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

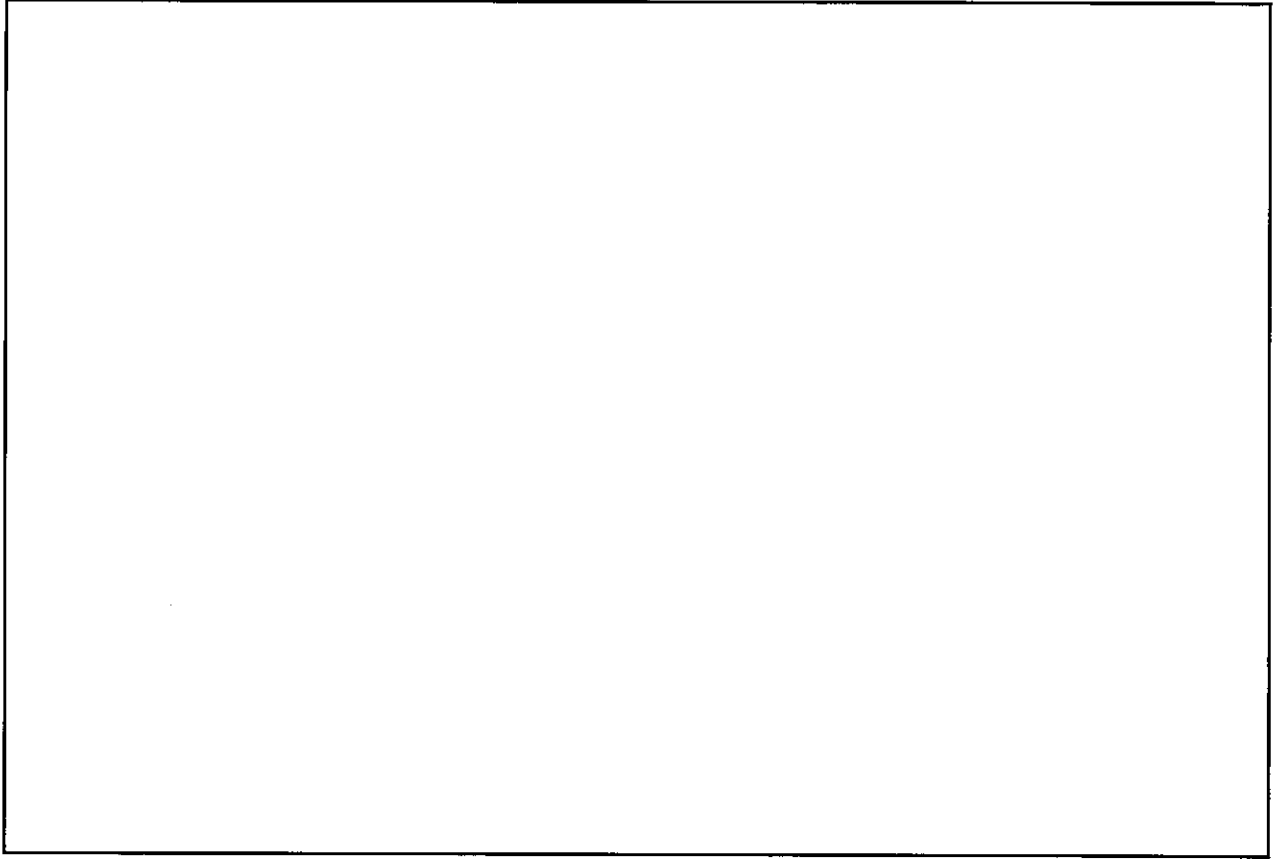


图 1 NT-XII 型输送物外觀图

表 1 輸送容器の主要材料

容 器 部 位	材 質
保護容器	ステンレス鋼
燃料容器	ステンレス鋼
緩衝材	アルミハニカム及びポリエチレン発泡体
パッキン、当て板	ネオプレンゴム
スキッド	木材
ボルト、ナット類	ステンレス鋼及び合金鋼
断熱材	セラミックファイバー

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

収納物	9×9B 型燃料集合体	
種類	新燃料集合体 (二酸化ウラン)	
性状	固体(二酸化ウラン焼結体及びガドリニア入り二酸化ウラン焼結体)	
重量		
放射能の量		
濃縮度	5.0%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	≤0.0001 μg/gU
	²³⁴ U	≤10×10 ³ μg/g ²³⁵ U
	²³⁶ U	≤250 μg/gU
	⁹⁹ Tc	≤0.01 μg/gU
	ただし、 ²³⁶ U≤125 μg/gU の場合は、 ²³² U 及び ⁹⁹ Tc は適用外	

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

NT-XII 型 輸送物安全解析書

令和 5 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)-11
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ)A-1
(ロ)-A 構造解析	(ロ)A-1
A.1 構造設計	(ロ)A-1
A.1.1 概 要	(ロ)A-1
A.1.2 設計基準	(ロ)A-2
A.2 重量及び重心	(ロ)A-9
A.3 材料の機械的性質	(ロ)A-11
A.4 輸送物の要件	(ロ)A-12
A.4.1 化学的及び電気的反応	(ロ)A-12
A.4.2 低温強度	(ロ)A-12
A.4.3 密封装置	(ロ)A-13
A.4.4 吊上装置	(ロ)A-14
A.4.5 固縛装置	(ロ)A-41
A.4.6 圧 力	(ロ)A-42
A.4.7 振 動	(ロ)A-43
A.5 一般の試験条件	(ロ)A-45
A.5.1 熱的試験	(ロ)A-45
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ)A-45
A.5.1.2 熱膨張	(ロ)A-45
A.5.1.3 応力計算	(ロ)A-46
A.5.1.4 許容応力との比較	(ロ)A-50
A.5.1.5 繰り返し応力の評価	(ロ)A-51
A.5.2 水噴霧	(ロ)A-53
A.5.3 自由落下	(ロ)A-54
(a) 解析モデル	(ロ)A-54
(b) 原型試験	(ロ)A-54
(c) モデル試験	(ロ)A-54
A.5.4 積み重ね試験	(ロ)A-58
A.5.5 貫 通	(ロ)A-59
A.5.6 角又は縁落下	(ロ)A-60

A.5.7 結果の要約及びその評価	(口)A-60
A.6 特別の試験条件	(口)A-61
A.7 強化浸漬試験	(口)A-61
A.8 放射性収納物	(口)A-62
A.9 核分裂性輸送物	(口)A-63
A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(口)A-63
A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(口)A-65
A.10 構造解析まとめ	(口)A-75
附属資料(口)-A.1 参考文献一覧表	
附属資料(口)-A.2 NT-XII型輸送容器試験報告書	
附属資料(口)-A.3 NT-XII型輸送容器予備試験報告書	
附属資料(口)-A.4 使用材料の低温における性質	
(口)-B 熱解析	(口)B-1
B.1 概 要	(口)B-1
B.2 材料の熱的性質	(口)B-2
B.3 構成要素の仕様	(口)B-2
B.4 一般の試験条件	(口)B-4
B.4.1 熱解析モデル	(口)B-4
B.4.1.1 解析モデル	(口)B-4
B.4.1.2 試験モデル	(口)B-5
B.4.2 最高温度	(口)B-5
B.4.3 最低温度	(口)B-7
B.4.4 最大内圧	(口)B-8
B.4.5 最大熱応力	(口)B-8
B.4.6 結果の要約及びその評価	(口)B-9
B.5 特別の試験条件	(口)B-10
B.5.1 熱解析モデル	(口)B-10
B.5.1.1 解析モデル	(口)B-10
B.5.1.2 試験モデル	(口)B-10
B.5.2 輸送物の評価条件	(口)B-10
B.5.3 輸送物温度	(口)B-11
B.5.4 最大内圧	(口)B-12
B.5.5 最大熱応力	(口)B-15
B.5.6 結果の要約及びその評価	(口)B-16
附属資料(口)-B.1 参考文献一覧表	
(口)-C 密封解析	(口)C-1
C.1 概 要	(口)C-1
C.2 密封装置	(口)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-2
C.3.1	放射性物質の漏えい	(ロ)C-2
C.3.2	密封装置の加圧	(ロ)C-2
C.3.3	冷却材汚染	(ロ)C-2
C.3.4	冷却材損失	(ロ)C-2
C.4	特別の試験条件	(ロ)C-3
C.4.1	核分裂生成ガス	(ロ)C-3
C.4.2	放射性物質の漏えい	(ロ)C-3
C.5	結果の要約及びその評価	(ロ)C-3
(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-6
D.3.1	解析モデル	(ロ)D-6
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)D-6
D.4	遮蔽評価	(ロ)D-7
D.5	結果の要約及びその結果	(ロ)D-7
附属資料(ロ)-D.1 QADコードによる輸送物表面及び輸送物表面から1m離れた位置における 線量当量率解析結果		
附属資料 (ロ)-D.2 QAD-CGGP2Rコードの概要		
附属資料 (ロ)-D.3 参考文献一覧表		
(ロ)-E	臨界解析	(ロ)E-1
E.1	概要	(ロ)E-1
E.2	解析対象	(ロ)E-1
E.2.1	収納物	(ロ)E-1
E.2.2	輸送容器	(ロ)E-1
E.2.3	中性子吸収材	(ロ)E-2
E.3	モデル仕様	(ロ)E-3
E.3.1	解析モデル	(ロ)E-3
E.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)E-8
E.4	未臨界評価	(ロ)E-9
E.4.1	計算条件	(ロ)E-9

E.4.2 輸送物への水の浸入等	(ロ)E-9
E.4.3 計算方法	(ロ)E-9
E.4.4 計算結果	(ロ)E-10
E.5 ベンチマーク	(ロ)E-13
E.6 結果の要約及びその評価	(ロ)E-14
附属資料(ロ)-E.1 輸送容器の配列サーベイ	
附属資料(ロ)-E.2 参考文献	
(ロ)-F 核燃料輸送物の経年変化の考慮	(ロ)F-1
F.1 考慮すべき経年劣化要因	(ロ)F-1
F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価	(ロ)F-2
F.3 安全解析における経年変化の考慮内容	(ロ)F-8
(ロ)-G 規則及び告示に対する適合性の評価	(ロ)G-1
(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
(ハ)-A 輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
A.1 装荷方法	(ハ)-1
A.2 輸送物の発送前検査	(ハ)-3
A.3 取出し方法	(ハ)-4
A.4 空容器の準備	(ハ)-4
(ハ)-B 保守条件	(ハ)-5
B.1 外観検査	(ハ)-5
B.2 耐圧検査	(ハ)-5
B.3 気密漏えい検査	(ハ)-5
B.4 遮蔽検査	(ハ)-5
B.5 未臨界検査	(ハ)-5
B.6 熱検査	(ハ)-5
B.7 吊上検査	(ハ)-5
B.8 作動確認検査	(ハ)-5
B.9 補助系の保守	(ハ)-5
B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ハ)-5
B.11 輸送容器の保管	(ハ)-6
B.12 記録の保管	(ハ)-6
B.13 その他	(ハ)-6
(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) 輸送物の使用目的

沸騰水型軽水炉(BWR)用燃料集合体の国内輸送及び国際輸送に使用することを目的とする。

(2) 輸送物の型名 NT-XII 型

(3) 輸送物の種類 A 型核分裂性輸送物

(4) 輸送物の制限個数

(5) 輸送制限配列

(6) 輸送指数

(7) 臨界安全指数

--

(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

輸送物の総重量

--

(2) 構造材料

主要構造材料は次の通りである。

保護容器、燃料容器	ステンレス鋼
緩衝材	アルミハニカム及びポリエチレン発泡体
パッキング、当て板	ネオプレンゴム
ボルト・ナット類	ステンレス鋼及び合金鋼
断熱材	セラミックファイバー

なお、これらの構造材料の構成部品との対応を表(イ)-1に示す。

(3) 中性子吸収材

該当なし

(4) 中性子減速材

該当なし

(5) 遮蔽材

該当なし

(6)主要部分の寸法及び構造

(a) 概要

輸送容器は、沸騰水型軽水炉(BWR)用燃料集合体を収納する燃料容器と、緩衝材を介して燃料容器の外側を覆う保護容器から成る。

燃料集合体は、薄板 2 重構造となっている燃料容器内にポリエチレン発泡体製の緩衝材を介して収納される。燃料容器上面及び頭部面にはパッキングを介して、上蓋及び頭蓋がボルト及びナットにより固定され、燃料容器が構成される。燃料容器の側面には燃料容器吊り上げ用のシャックル、吊り手及び起立用フックが設けられている。

燃料容器には、2 体の燃料集合体が平行に配置して収納されている。

保護容器には緩衝材を介して、燃料容器が所定位置に収納されている。保護容器本体と上蓋はボルト及びナットにより固定され保護容器が構成される。

保護容器下面には、ずれ防止用の木製のスキッドが取付られている。

(b) 構造

①保護容器

(i) 保護容器本体

保護容器本体(図(イ)-1(2))は、厚さ□□□□のステンレス鋼板(SUS304)(以降鋼板と記す。)をコの字型に曲げ加工を行い、その長手方向両側に厚さ □□□□ 鋼板を溶接した構造である。開かれた側の周辺には、上記鋼板を折り曲げて形成されたフランジが設けられている。このフランジ面にはパッキング(図(イ)-1(3))が貼り付けられており、後述の上蓋とボルト及びナット(図(イ)-1(4))により締め付け固定される際に接する面となっている。

保護容器内面には、補強用のリップ溝形鋼が溶接されている。さらに下面のリップ溝形鋼(図(イ)-1(9))には、木製のスキッド(図(イ)-1(10))がボルト及びナット(図(イ)-1(16))により取り付けられている。

また、保護容器本体底面部にはフォークリフトによる作業時のすべり防止のためのネオプレンゴム製の保護板(図(イ)-1(12))が貼り付けられている。

(ii) 保護容器上蓋

保護容器上蓋(図(イ)-1(1))は、保護容器本体とほぼ同様な構造であり厚さ□□□□の鋼板をコの字型に曲げ加工を行い、その長手方向両側に厚さ□□□□の鋼板を溶接した構造である。開口側外周には、鋼板を折り曲げて形成されたフランジが設けられている。このフランジ面は、前述の保護容器下部のフランジ面に合わせられ、ボルト及びナット(図(イ)-1(4))により締め付け固定される。

保護容器上蓋のフランジ上面には、縦方向の補強用にリップ溝形鋼(図(イ)-1(8))が取り付けられている。

(iii) 緩衝材(I)

保護容器内面には、アルミ薄板をハニカム状に成型したアルミハニカム製の緩衝材が貼り付けられている。なお、アルミハニカムの両面にはアルミニウム板を接着している。この緩衝材(I)(図(イ)-1(5))は燃料容器に対する外部からの衝撃を吸収する目的のものである。

(iv) 緩衝材(II)

上記の緩衝材(I)の内側には、燃料容器を囲む状態でポリエチレン発泡体製の緩衝材が設けられている。この緩衝材(II)(図(イ)-1(6))は、保護容器の前面及び長手方向6ヶ所に配されており、燃料容器を保護容器内の所定位置に保持し、表面を保護する役目を有している。

(v) パッキング

パッキング(図(イ)-1(3))は保護容器本体の開口面外周のフランジ部に貼り付けられており、雨水等の浸入防止及び上蓋取付時の衝撃吸収を目的としている。材質はネオプレンゴムである。

(vi) ボルト、ナット、座金

ボルト、ナット及び座金(図(イ)-1(4))から構成され、材質はステンレス鋼又はクロムモリブデン鋼であり、の JIS 規格既製品を使用し、保護容器本体と上蓋を連結固定するために用いる。このボルト、ナットによる締め付けは、ボルトを上蓋に設けられたフランジ部の穴を通し、保護容器フランジ面容器内側に固定されたナット回転防止及び脱落防止具のナットに対して締め付けることによる。

② 燃料容器

(i) 燃料容器本体

燃料容器本体(図(イ)-2(2))は、厚さ の鋼板をコの字型に折り曲げ、その長手方向片側に鋼板を溶接した外装板と、直径 、ピッチ で穿孔した厚さ の鋼板をコの字型に折り曲げた2枚の内壁を、長手方向に伸びた5本のスペーサ(図(イ)-2(15))を介して溶接した2重構造容器である。外装板と内壁の間には、断熱材(図(イ)-2(17))としてセラミックファイバーを充填している。燃料容器本体の上面側及び長手方向片側の開口面には、フランジが設けられており、このフランジ面と、上蓋及び頭蓋の接する面の間にパッキング(図(イ)-2(4))を介し、ボルト及びナット(図(イ)-2(5))により締め付け固定される。

燃料容器本体の左右側面及び頭部側開口側面には、ボルトによる締め付けのための締付金具(図(イ)-2(6)、(8))が溶接により取り付けられている。

さらに長手方向側面には、対の燃料容器水平吊り上げ用のシャックル(図(イ)-2(9))が の間隔で設けられている。

また、蓋に の間隔で取り付けられている 対の吊り手(図(イ)-2(10))は、燃料容器上蓋(図(イ)-2(1))を水平に吊るために設けられている。さらに、頭蓋側には燃料容器を起立させるための起立用フック(図(イ)-2(11))が 対設けられている。

(ii) 上蓋(図(イ)-2(1))

上蓋は、厚さ [] の鋼板をコの字型に折り曲げ、その長手方向両側に鋼板を溶接した外装板に燃料容器と同様に直径 []、ピッチ [] で穿孔した厚さ [] の内壁を長手方向に伸びた2本のスペーサ(図(イ)-2(12))を介して溶接した構造である。

上蓋の左右側面には、燃料容器と対応する締付金具位置において同様な締付金具(図(イ)-2(7))を設けている。また上蓋の吊り上げ専用の吊手を [] 所設けている。

(iii) 頭蓋(図(イ)-2(3))

頭蓋は厚さ [] の鋼板を折り曲げ成型及び溶接した外装板に、緩衝材としてアルミハニカム及びポリエチレン発泡体、当て板としてネオプレンゴムを取り付けた構造である。

(iv) 緩衝材(Ⅱ)(図(イ)-2(16))

燃料容器及び上蓋の内側には内壁と同様に穿孔したポリエチレン発泡体が全面に貼り付けられており、収納する燃料集合体の4側面を囲む状態で内装されている。また燃料集合体の軸方向の緩衝のため、燃料容器の長手方向片端の閉じた面及び頭蓋にもポリエチレン発泡体が貼り付けられている。

(v) パッキング(図(イ)-2(4))

ネオプレンゴム製の半円形断面を有するパッキングが、雨水等の侵入防止及び上蓋取付時の緩衝を目的として、上蓋下面外周部及び燃料容器の長手方向開口側面のフランジに貼り付けられている。

(vi) ボルト、ナット、座金(図(イ)-2(5))

ボルト、ナット及び座金から構成され、材質はボルト及び座金がステンレス鋼、ナットがクロムモリブデン鋼であり、[] の JIS 規格既製品を使用し、燃料容器と上蓋及び頭蓋を連結固定するために用いる。

このボルト、ナットによる締め付けは、上蓋及び頭蓋のそれぞれに溶接により取り付けられている締付金具(図(イ)-2(7))にボルトを通し、燃料容器の締付金具にさらに溶接固定されたナット回転防止及び脱落防止具のナットを締め付けることによって行う。

③ ポリエチレン袋

燃料集合体を燃料容器内に収納する際、燃料集合体表面の汚れを防ぐため [] 厚さのポリエチレン袋を燃料集合体にかぶせて使用する。

④ []

燃料集合体輸送中の [] を [] [] する可能性がある。

⑤ タイプレート受座

燃料集合体輸送中の下部タイプレート保持のため、ボックス型のタイプレート受座に下部タイプレートを収納する。

(7) 溶接方法

本輸送容器の溶接は

(8) 熱除去の方法

該当なし

(9) 冷却材の種類及び量

該当なし

(10) 弁及び試料採取口等の開口部及び配管

該当なし

(11) 内部及び外部の突出物

① 保護容器

保護容器内側の突出物は側面及び底面に溶接された補強用の溝形鋼以外にはない。保護容器外側への突出物は、保護容器下部に取り付けられているすべり止め用のスキッドである。それ以外に突出物はない。

② 燃料容器

燃料容器内側の突出物はない。燃料容器外側への突出物は、燃料容器吊り上げ用のシャックル、燃料容器起立用フック、上蓋吊り上げ用の吊り手及びボルト、ナットによる締め付けのための締付金具である。それ以外に突出物はない。

(12) 吊上装置

輸送容器の吊上装置は、燃料容器には、水平吊上げ用として燃料容器側面に取り付けられた□対のシャックルであり、垂直吊上げ用として頭蓋側に取り付けられた起立用フックがある。また、保護容器には、上蓋単体吊り上げ用として上蓋に取付けられたフックがある。

(13) 固縛装置

本輸送容器には固縛装置は設けられていない。運搬する際には車輛や運搬用コンテナにワイヤーや専用の固縛部材等を用いて固縛される。

(14) 圧力逃がし弁

輸送物の密封境界は燃料棒が該当するが、燃料棒には圧力逃がし弁に相当するものはない。

(15) ガasket

保護容器及び燃料容器にはパッキングが設けられており、雨水や埃等の浸入を防止するような密閉構造としている。

(16) 密封境界

本輸送容器の密封境界は燃料被覆管が該当する。ジルカロイ-2 又はジルコニウム内貼りジルカロイ-2 管の両端にジルカロイ-2 製端栓を接合し溶接密封することで、密封境界を形成する。

(17) 浸水の領域

臨界解析において、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において密封境界である燃料棒周囲まで水が侵入するものとして評価している。

(18) 密封装置

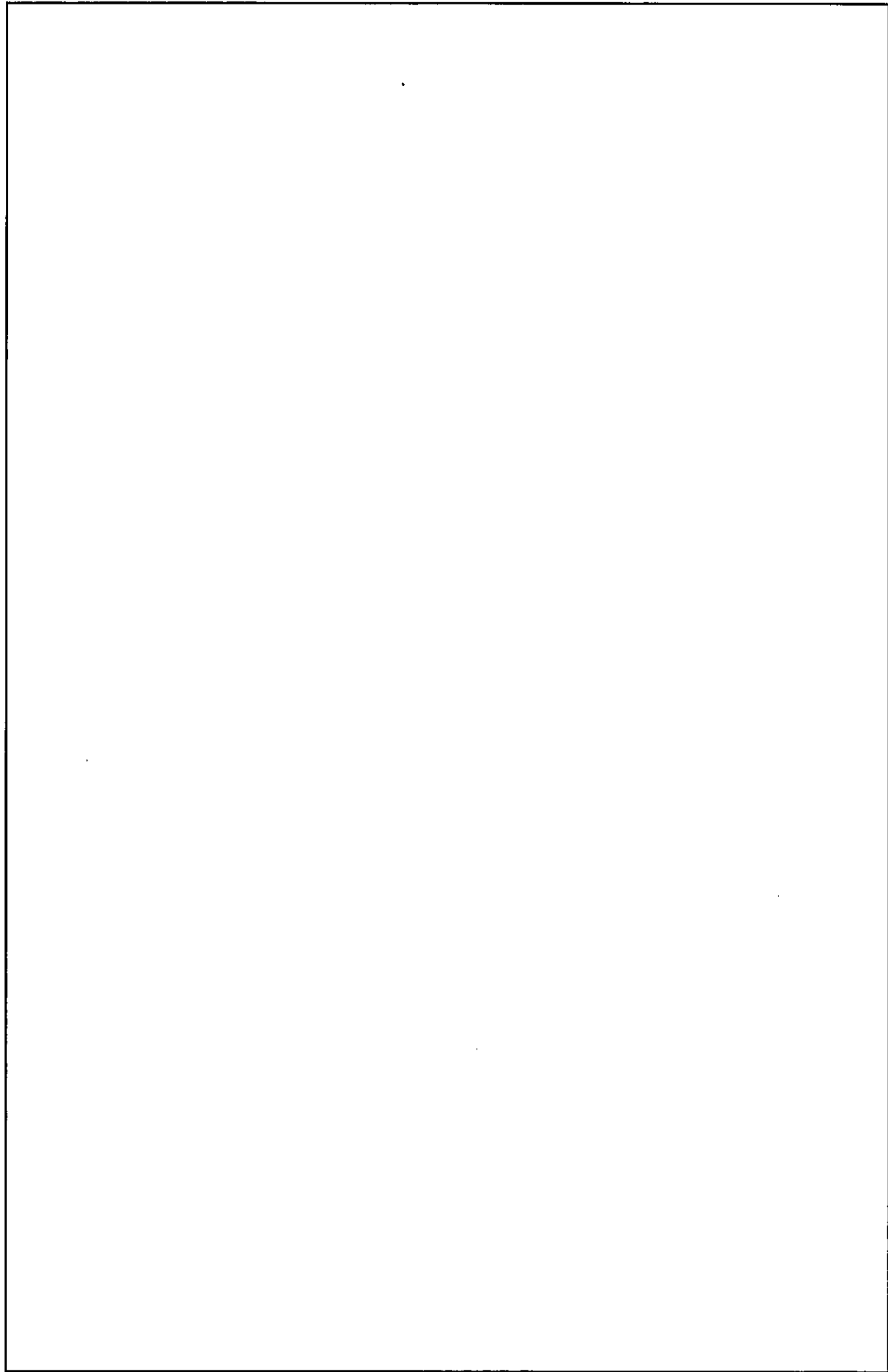
輸送物の密封境界としては、燃料被覆管が該当し、本輸送容器には該当する装置はない。ただし、保護容器及び燃料容器はパッキングを介してボルトで締め付けることにより、雨、埃等の侵入を防いでいる。

表(イ)-1 主要構成材料

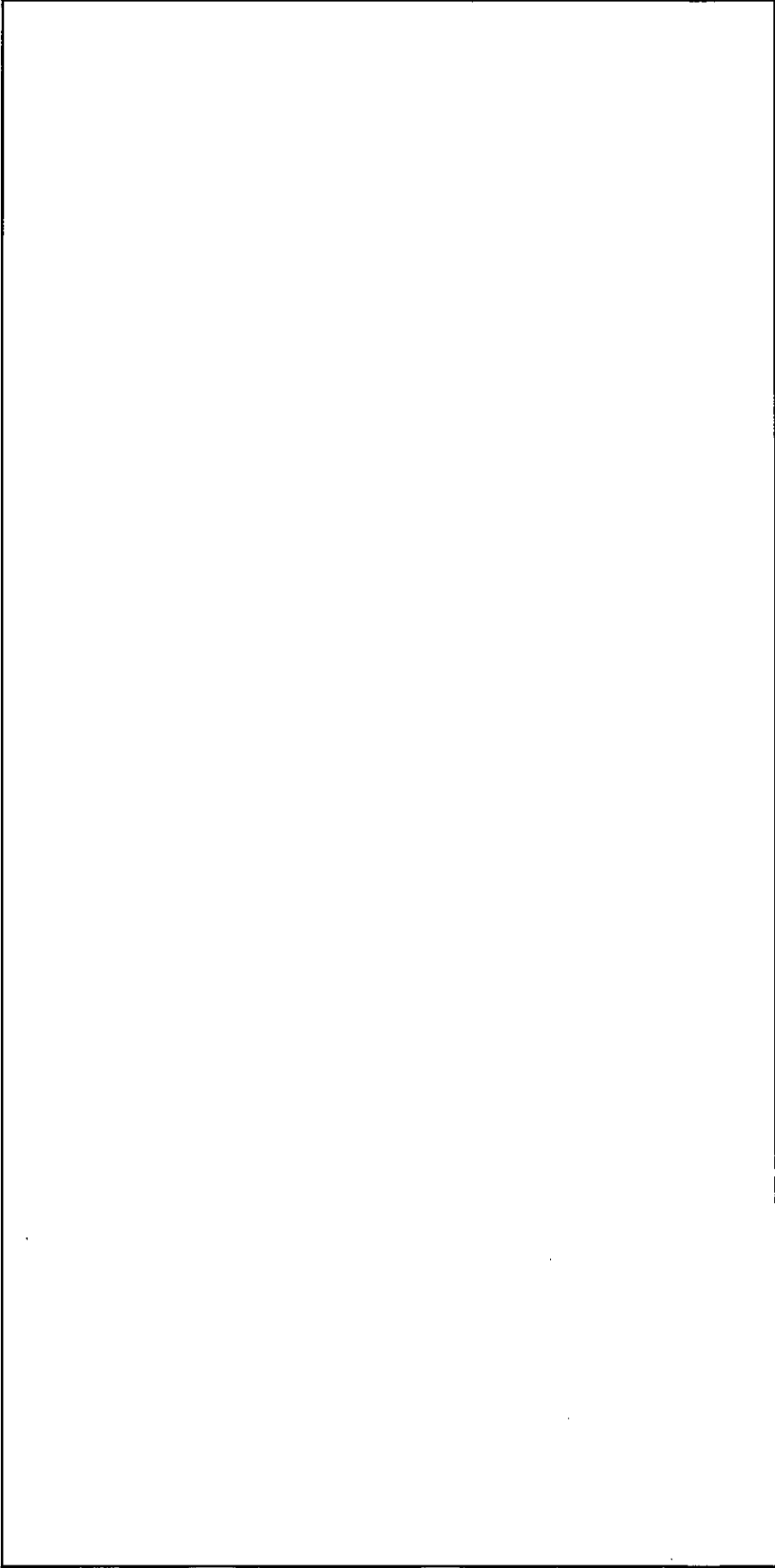
区分	主要構成部品名	主要構成部品			主要部品				
		番号	主要材質	寸法(mm)	個数	主要部品名	番号	主要材質	数
保護容器	保護容器本体	図(イ)-1 (2)	SUS304			リップ溝形鋼 スキッド 六角穴付ボルト 保護板	図(イ)-1 (9) (10) (16) (12)	SUS304 米松 SCM435 ネオプレンゴム	
	保護容器上蓋	図(イ)-1 (1)	SUS304			リップ溝形鋼 上蓋用フック 位置決めピン 角あて	図(イ)-1 (8) (7) (13) (14)	SUS304 SUS304 SUS304 SUS304	
	緩衝材(I)	図(イ)-1 (5)	アルミ箔						
	緩衝材(II)	図(イ)-1 (6)	ポリエチレン 発泡体						
	パッキング	図(イ)-1 (3)	ネオプレン ゴム						
	ボルト、ナット、 座金	図(イ)-1 (4)	SUS304J3 SCM-435						

表(イ)-1 主要構成材料(つづき)

区分	主要構成部品名	主要構成部品			主要部品				
		番号	主要材質	寸法(mm)	個数	主要部品名	番号	主要材質	個数
燃料容器	燃料容器本体	図(イ)-2 (2)	SUS304			内壁	図(イ)-2 (14)	SUS304	
						燃料容器スペーサ	(15)	SUS304	
	燃料容器上蓋	図(イ)-2 (1)	SUS304		シヤックル	(9)	SUS304		
					締付金具	(8)	SUS304		
					断熱材	(17)	セラミックファイバー		
	燃料容器頭蓋	図(イ)-2 (3)	SUS304		内壁	図(イ)-2 (13)	SUS304		
					燃料容器スペーサ	(12)	SUS304		
					吊り手	(10)	SUS304		
					締付金具	(7)	SUS304		
					断熱材	(18)	セラミックファイバー		
	燃料容器頭蓋				締付金具		SUS304		
	緩衝材(Ⅱ)	図(イ)-2 (16)	ポリエチレン 発泡体		頭蓋緩衝材(Ⅰ)		アルミニウム		
					頭蓋緩衝材(Ⅱ)		ポリエチレン発 泡体		
	パッキング	図(イ)-2 (4)	ネオプレン ゴム		当て板		ネオプレンゴム		
	ボルト、ナット、 座金	図(イ)-2 (5)	SUS304J3 SCM435						
断熱材	図(イ)-2 (17)	セラミックファイ バー							



図(イ)-1 NT-XII 型輸送物



図(イ)-2 NT-XII 型燃料容器図

(イ)・D 輸送容器の収納物

(1) 概要

本輸送容器に収納する核燃料物質は最大 (燃料集合体 2 体分) の焼結研磨された未照射の二酸化ウラン焼結体 (UO₂ 焼結体) 及びガドリニア入り二酸化ウラン焼結体である。この核燃料物質の最大濃縮度は 5% であり、収納される状態としては、二酸化ウラン焼結体をジルカロイ-2 製被覆管に装入し、この両端を溶接して密封した燃料棒とし、この燃料棒を燃料集合体構成部材を用いて、9×9 の正方格子配列の燃料集合体に組立てたものである。燃料集合体の形状を図(イ)・3 に示す。

(2) 主要な核種及び放射性物質の量

- (a) 主要な核種:
- (b) 重量: 以下 (燃料集合体 2 体分)
- (c) 放射能の量: 以下 (燃料集合体 2 体分)
- (d) 濃縮度: 5% 以下

(3) 物理的形状

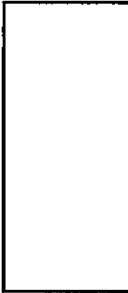
焼結研磨された二酸化ウラン焼結体 (UO₂ 焼結体) 及びガドリニア入り二酸化ウラン焼結体をジルカロイ-2 製被覆管に装入し、両端を溶接して密封した燃料棒を、燃料集合体構成部材を用いて 9×9 の正方格子配列の燃料集合体に組立てたものが収納物となる。

燃料集合体の構造は図(イ)・3 に示すように燃料棒、上下タイプレート、スペーサ等から構成されている。燃料棒は図(イ)・4 に示す構造であり、輸送物の密封境界としての性能を備える。スペーサは燃料集合体の軸方向に 個配列され、燃料棒を弾性的に懸架している。上下タイプレートは、燃料棒をその両端で固定している。

(3)-1 収納物の構成要素

収納物である燃料集合体 1 体の主要な構成要素の数量は表(イ)・2 のとおりである。なお、燃料集合体の種類は、燃料棒 本の 9×9B 型である。





表(イ)-2 燃料集合体主要構成要素の数量

項目	9×9B 型
燃料棒	 本 本 個 個 個 個 個
ウォータチャンネル	
上部タイプレート	
下部タイプレート	
スペーサ	
ロッドスプリング	
ロックナット	

(3)-2 収納物の主要寸法等

収納物である燃料集合体及び燃料棒の主要寸法等は表(イ)-3のとおりである。

表(イ)-3 燃料集合体及び燃料棒の主要寸法等

項目	9×9B 型
(燃料棒)	
二酸化ウラン焼結体 直径	9.4 mm
被覆管 内径	 mm
肉厚	 mm
外径	 mm
有効長	3.8m
全長	4m
ピッチ	14.3~14.5mm
初期加圧量	 MPa
燃料集合体全長	4.5m

(3)-3 収納物の構成材料

収納物である燃料集合体の構成材料は次のとおりである。

焼結体	二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウラン
プレナムスプリング	ステンレス鋼()
被覆管	ジルカロイ-2 又はジルコニウム内貼りジルカロイ-2
端栓	ジルカロイ-2
ロッドスプリング	インコネル X-750
ウォーターチャンネル	ジルカロイ-2 及び 4
スペーサ	ジルカロイ-2 及び 4 及びインコネル X-750 または 718
上下タイプレート	ステンレス鋼()

(3)-4 収納物の重量

収納物である燃料集合体及びその構成材料の最大重量は表(イ)-4 のとおりである。

表(イ)-4 燃料集合体及び構成材料の最大重量

項目	9×9B 型
二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウラン焼結体	kg/燃料棒
燃料棒	kg/燃料棒
UO ₂ 重量	kg/燃料集合体
U 重量	kg/燃料集合体
燃料集合体重量	kg/燃料集合体

(3)-5 耐熱性

燃料集合体の構成材料のうち核燃料物質である二酸化ウラン(濃縮度 5%)を密封する被覆管の耐熱性について説明する。

ジルカロイ-2 及びジルコニウムの融点は約 1850℃である。ジルカロイ-2 及びジルコニウム内貼りジルカロイ-2 の機械的強度は温度上昇とともに低下する。

(4) 化学的性質

UO₂ 焼結体は化学的に安定な物質である。収納物を構成する他の部材との化学反応性はなく、また電位差も発生しない

また、UO₂ 焼結体は被覆管内に密封されているが、被覆管材料のジルカロイ-2 の耐食性は、軽水炉での使用条件である約 300℃の冷却材中で使用されるものであり、通常輸送時には酸化腐食の問題はない。また他の材料についても同様である。

(5) 収納物の主要材料密度

収納物の主要材料の密度は次のとおりである。

二酸化ウラン及びガドリニア入り二酸化ウラン焼結体	<input type="text"/> g/cm ³ (理論密度の <input type="text"/> %)
ジルカロイ-2, 4 及びジルコニウム	6.6 g/cm ³
インコネル X-750 及び 718	8.3 g/cm ³
ステンレス鋼(<input type="text"/>)	7.9 g/cm ³

(6) 収納物の密封性

焼結体は、二酸化ウラン粉末をプレス成型後焼結してセラミックとした固体で、粉末のように飛散することはない。燃料棒内に溶接により封じ込めることで密封性を担保している。

(7) 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。

(8) 密封容器の最大圧力

本輸送容器は密封容器ではない。密封境界である燃料棒のヘリウム充填圧力は燃料棒設計の初期加圧量の公差を考慮した場合においても常温において、 MPa を超えることはない。

(9) 装荷制限

i) 濃縮度

5%以下

ii) 最大収納量

燃料集合体 2 体

iii) 濃縮ウランの種類

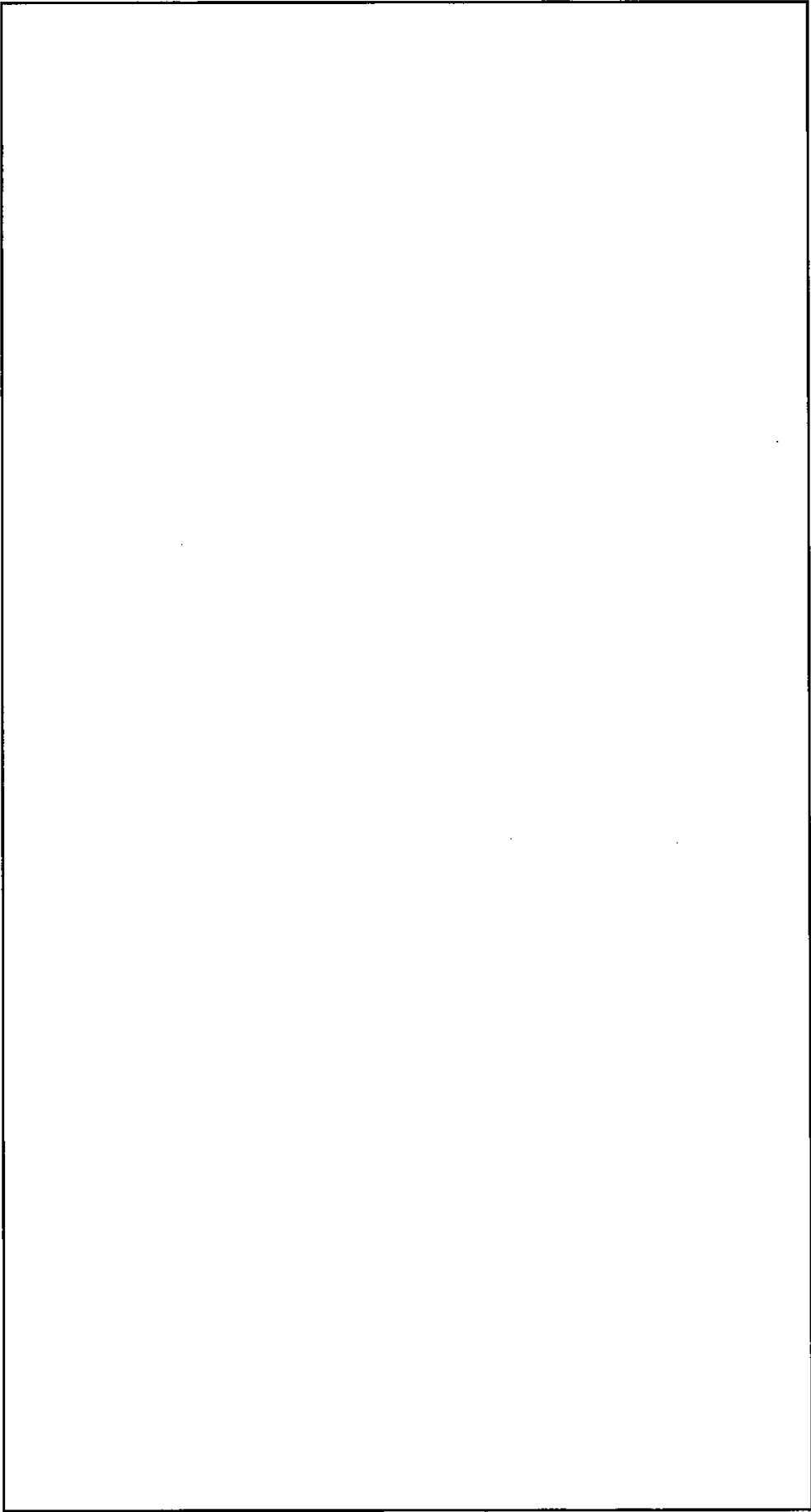
$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$

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

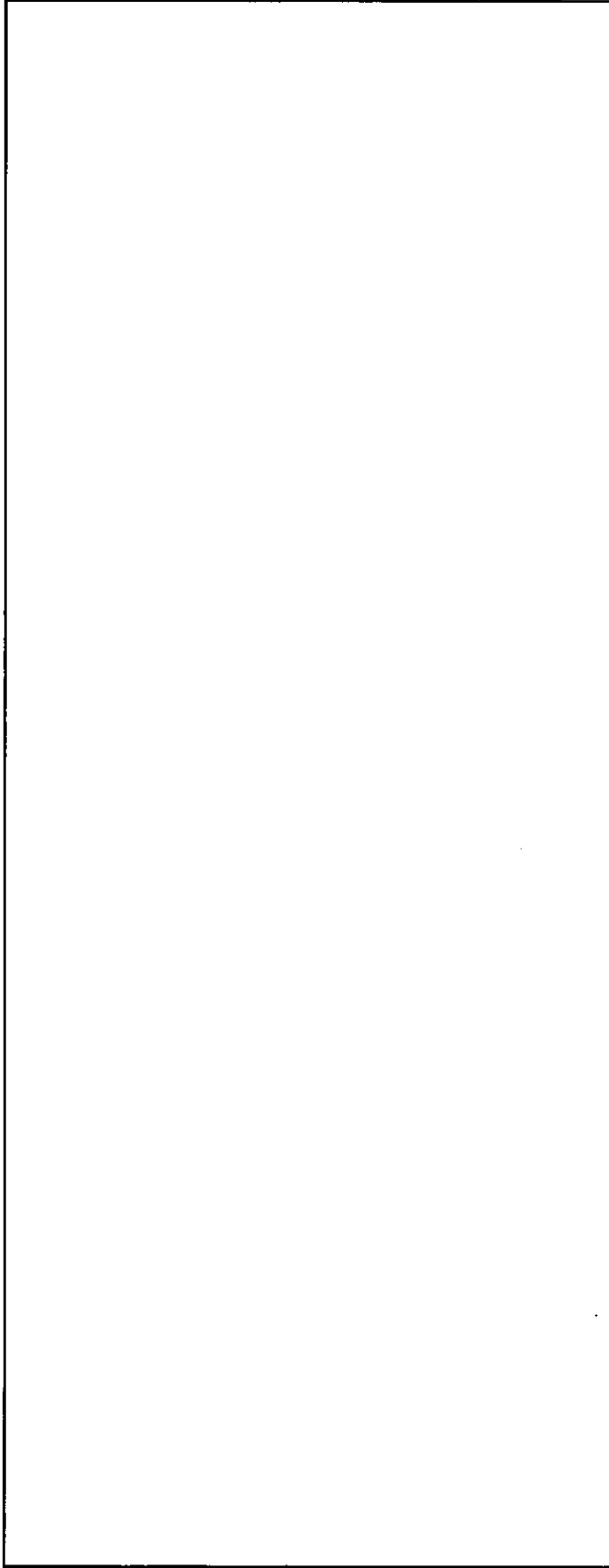
$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$

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

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



図(イ)-3 BWR 燃料集合体断面図



図(イ)-4 BWR 燃料棒図

(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「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（平成 2 年科学技術庁告示第 5 号）」（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)ー A 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

本輸送容器は 2 体の新燃料集合体を輸送するためのものである。輸送容器は燃料容器を保護容器に収納する構造であり、燃料容器と保護容器間には緩衝材が充填されている。

保護容器は直方体で上蓋と本体に分かれ、フランジ面をボルトで締結する。保護容器はステンレス板及び補強用の軽溝形鋼を溶接して作られており、水分の浸入を抑制するために、フランジ面にパッキングを使用している。保護容器は本体底面に吊り具を回し掛けクレーン等によって吊り上げられる構造になっており、本体底面及びリップ溝形鋼は輸送物総重量に耐える構造となっている。また、保護容器上蓋には保護容器上蓋の重量に相応した上蓋吊り上げ用のフックが取り付けられている。保護容器の下部にはフォークリフト操作時の輸送容器保護の為、ネオプレンゴムの保護板が取付けられている。保護容器の表面は雨水がたまりにくい構造であり、外表面の突出物は必要最小限にとどめられている。

燃料容器は、外装板及び内壁から成る二重構造の直方体形であり、燃料容器本体、上蓋及び頭蓋の 3 部分から構成されている。これらの 3 部分は締付金具を介してボルト及びナットにより締結連結されている。燃料容器はステンレス板、スペーサから溶接により作られており、また上述の部分のフランジ面にはパッキングが設けられており、水分の浸入を抑制している。外装板及び内壁の間には断熱材が装荷されている。

燃料容器上蓋の側面には、上蓋吊り上げ用の吊り手が取り付けられている。燃料容器側面は、燃料容器吊り上げ用のシャックルが取り付けられており、燃料集合体を収納した燃料容器の総重量に耐える構造となっている。

A.1.2 設計基準

本解析では、規則及び告示に従って表(ロ)A-1 に示す項目及び条件について構造解析を行う。解析結果は安全率を用いて整理し、安全率が1以上になることを確認する。

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

表(ロ)A-1には、解析項目毎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、解析方法では本文中で適用した式や手法について、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、SUS304については、引張応力に対して降伏応力を、またせん断応力に対してはせん断ひずみエネルギー説より降伏応力の0.6倍を使用する。さらに溶接部については、引張応力に対しては降伏応力の0.61倍、せん断応力に対しては降伏応力の0.366倍(0.6×0.61)を使用する。また、シャックルについてはJIS規格で定められた使用荷重を使用する。

ジルカロイ-2については、引張応力に対して降伏応力を使用し、被覆管部と溶接部で共通値とする。

表(ロ)A-1 構造解析設計基準 (1/6)

区分	解析項目	条件							備考	
		参照図	材質	温度	種類	設計負荷		解析方法		
						要素	負荷率	要素		適用数式または要素	解析基準
通常輸送条件	1. 化学的及び電氣的反応 (1) 化学的反應 (2) 電氣的反應	— —	— —	]-40°C ~67°C	腐食 "	— —	反応性 電位差	反応性の有無 異種材質間の電位差の有無	反応無 電位無	
	2. 低温強度 (1) 保護容器、燃料容器	図(イ)-1	SUS304	-40°C	最低温度	—	低温強度	性能低下の有無 (低温脆性)	性能低下無	
	(2) 保護容器 ボルト 燃料容器	図(イ)-1	"	"	"	—	"	"	"	
	(3) 緩衝材	図(イ)-1	7H2H2Cカ	"	"	—	"	"	"	
	3. 密封装置	—	—	—	—	—	—	—	—	該当せず

表(口)A-1 構造解析設計基準 (2/6)

区分	解析項目	条件						備考		
		参照図	材質	温度	種類	設計負荷			解析方法	
						要素	負荷率		適用数式または要素	解析基準
通常輸送条件	4. 吊上装置 (1) 保護容器本体	図(イ)-1(2)	SUS304	20℃	輸送物重量		引張応力			
	(2) 保護容器リップ溝形鋼溶接部	図(イ)-1(9)	"	"	"		せん断応力			
	(3) 保護容器上蓋用フック	図(イ)-1(7)	"	"	保護容器上蓋重量		引張応力			
	(4) 保護容器上蓋用フック溶接部	図(イ)-1(7)	"	"	"		せん断応力			
	(5) 燃料容器シャックル	図(イ)-2(9)	"	"	燃料容器、収納物重量		使用荷重			
	(6) 燃料容器シャックルピトン取付枠	図(イ)-2(9)	"	"	燃料容器、収納物重量		引張応力			

表(ロ)A-1 構造解析設計基準 (3/6)

区分	解析項目	参照図	材質	温度	条件			備考		
					種類	設計負荷	要素	解析方法		
								負荷率	適用数式または要素	解析基準
通常輸送条件	(7) 燃料容器シャックルピオン取付枠溶接部	図(イ)-2 (9)	SUS304	20°C	燃料容器、収納物重量		せん断応力			
	(8) 燃料容器シャックルピオン取付枠基板溶接部	図(イ)-2 (9)	"	"	"		引張応力			
	(9) 燃料容器上蓋吊り手	図(イ)-2 (10)	"	"	燃料容器上蓋重量		"			
	(10) 上蓋吊り手取付枠	図(イ)-2 (10)	"	"	"		"			
	(11) 上蓋吊り手取付枠溶接部	図(イ)-2 (10)	"	"	"		せん断応力			
	(12) 上蓋吊り手取付枠基板溶接部	図(イ)-2 (10)	"	"	"		引張応力			
	(13) 起立用フック	図(イ)-2 (11)	"	"	燃料容器(上蓋・取頭蓋は除く)、収納物重量		"			
	(14) 起立用フック溶接部	図(イ)-2 (11)	"	"	"		せん断応力			

表(ロ)A-1 構造解析設計基準 (4/6)

区分	解析項目	条件								備考	
		参照図	材質	温度	種類	設計負荷		解析方法			
						要素	負荷率	適用数式または要素	解析基準		
通常輸送条件	5. 固縛装置	—									該当せず
	6. 圧力 (1) 外圧低下による燃料棒円周方向応力 (2) 外圧低下による燃料棒軸方向応力	—	ジカロイ-2	67°C	燃料棒内外圧差			引張応力			
		—	"	"	"			"			
	7. 振動 (1) 保護容器連結部 (2) 燃料容器連結部	—	SUS304J3	20°C	振動			せん断応力			
		—	SUS304J3	20°C	振動			せん断応力			

表(ロ)A-1 構造解析設計基準 (5/6)

区分	解析項目	参照図	材質	温度	条件			備考	
					種類	設計負荷	要素	解析方法	
								負荷率	適用数式または要素	解析基準
1. 熱的試験 (1) 燃料容器 (2) 燃料容器ボトム (3) 燃料棒周方向応力 (4) 燃料棒軸方向応力 2. 水噴霧 3. 自由落下 (1) 水平落下 (2) 垂直落下 (3) コーナ-落下		図(ロ)A-16	SUS304	67°C	"	"	"	"	
		図(ロ)A-18	SUS304J3	"	"	"	"	"	
		—	ジニロイ-2	"	"	"	"	"	
		—	ジニロイ-2	"	"	"	"	"	
		附属資料(ロ)-A.2		20°C	水噴霧			水分浸入	
		図(ロ)A-20(a)	SUS304	20°C	水平に1.2mより落下			変形	
		図(ロ)A-20(b)	SUS304	"	垂直に1.2mより落下			"	
		図(ロ)A-20(c)	SUS304	"	重心を真上にし1.2mより落下			"	

表(ロ)A-1 構造解析設計基準 (6/6)

区分	解析項目	参照図	材質	温度	条件			備考		
					種類	設計負荷	要素	解析方法		
								負荷率	適用数式または要素	解析基準
一般の試験条件	4. 積み重ね (1) 保護容器	図(ロ)A-22	SUS304	20℃	輸送容器自重の5倍の圧縮荷重	—	変形	—	—	
		図(ロ)A-23	SUS304	20℃	丸棒を1m高さから落下					容器貫通
	特別の試験条件	1. 落下試験 I (1) 保護容器	図(ロ)A-24	SUS304	20℃	9mより落下	変形	—	—	—
			図(ロ)A-26	SUS304	20℃	1mより落下	変形	—	—	—
		3. 熱的試験 (1) 収納物	附属資料 (ロ)-A.2	ジルロイ-2	800℃	30分間保持	—	—	—	—
4. 浸漬試験 (1) 燃料棒の破損	—	ジルロイ-2	20℃	深さ 0.9mの水中に8時間浸漬	水の侵入	—	—	—		

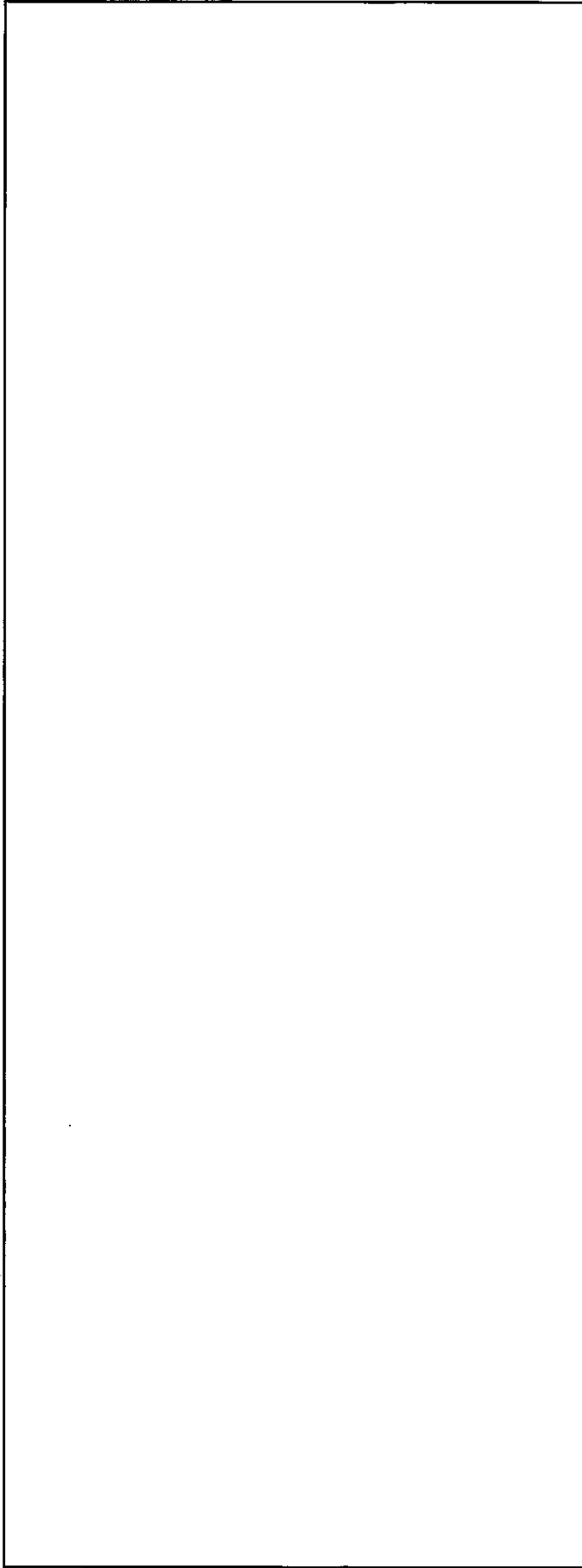
A.2 重量及び重心

輸送物及びその主な構成物の最大重量を表(口)A-2に示す。輸送物の重心位置は図(口)A-1に示すとおりである。

表(口)A-2 輸送物の最大重量

(単位: kg)

燃料集合体	
燃料容器	
(内訳) 本体	
上蓋	
頭蓋	
保護容器	
(内訳) 本体	
上蓋	
輸送物最大総重量	



图(口)A-1 NTFXII 型输送机重心位置

A.3 材料の機械的性質

輸送容器を構成する主要部品材料の機械的性質を表(ロ)A-3に示す。なお、六角ボルトで使用している SUS304J3 については、構造解析においては保守的に SUS304 の降伏応力を用いて基準値を設定する。

表(ロ)A-3 主要部品材料の機械的性質

部品名	材料	降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	備考
保護容器本体 燃料容器本体 シャックル 吊り手	SUS304	205 以上(20℃) 183 以上(75℃)	520 以上(20℃)	溶接効率 0.61*2
六角ボルト	SUS304J3	450 以上(20℃)	700 以上(20℃)	
六角ナット	SCM435	—	1050~1170*1	
被覆管	Zry-2	241 以上(67℃)	413 以上(20℃)	被覆管部、 溶接部共通

(備考) *1)保証荷重応力：JIS B1052 において「ナットが破壊したり、ねじ山がせん断することなく、この応力が生じる荷重に耐えなければならない」と規定されている応力。

*2)「溶接・接合便覧 (第2版)」より

出典：

JIS ハンドブック 1 鉄鋼
JIS ハンドブック 2 非鉄
JIS ハンドブック 3 ねじ
いずれも日本規格協会



また、使用する緩衝材 (アルミハニカム) の主要機械的特性を表(ロ)A-4に示す。

表(ロ)A-4 緩衝材の主要機械的性質

材料	機械的性質	備考
アルミハニカム		

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器及び輸送容器と収納物の間で接触する異種材料の一覧を表(ロ)A-5に示す。

常温において輸送容器に使用される材料の組合せで顕著な化学的または異種材料の接触による電氣的反応を生じることはない。

表(ロ)A-5 輸送容器と収納物の接触する異種材料

材料名	場所
ジルカロイ-2 － ポリエチレン	燃料集合体と梱包の袋及び波板スペーサ
ステンレス鋼 － ポリエチレン	同 上
ポリエチレン発泡体 － アルミハニカム	緩衝材(Ⅱ)と緩衝材(Ⅰ)
ポリエチレン発泡体 － ネオプレンゴム	頭蓋緩衝材(Ⅱ)と当て板
ポリエチレン発泡体 － ステンレス鋼	緩衝材(Ⅱ)と燃料容器 緩衝材(Ⅱ)と保護容器
アルミハニカム － ステンレス鋼	頭蓋緩衝材(Ⅰ)と燃料容器 緩衝材(Ⅰ)と保護容器
アルミハニカム － ネオプレンゴム	頭蓋緩衝材(Ⅰ)と当て板
ステンレス鋼 － ネオプレンゴム	容器フランジとパッキング 保護容器と保護板
クロムモリブデン鋼 － ステンレス鋼	容器締付金具、フランジ、ボルト、座金とナット
ステンレス鋼 － 木 材	保護容器とスキッド 燃料容器と下部タイプレート受座
ポリエチレン － 木 材	下部タイプレートと受座
ネオプレンゴム － 木 材	当て板と下部タイプレート受座
クロムモリブデン鋼 － 木 材	ボルト、座金、ナットとスキッド

A.4.2 低温強度

輸送容器に使用されている主要な材料は、SUS304 及びアルミニウム合金で、これらは－40℃の環境においても十分に耐え、機能を損なうことはない。(附属資料(ロ)A-4参照)
また、輸送容器及び収納物には液体は使用されておらず凍結することはない。

A.4.3 密封装置

輸送物の密封境界としては、収納物である燃料棒が該当するので本輸送容器には特に密封装置を設けていない。

収納物である燃料棒は、核燃料物質をジルカロイ-2 製被覆管に挿入し、両端を密封溶接したものである。

ちなみに、輸送容器は、フランジ部をボルトで締結しているので誤操作等により開かれることはない。保護容器、燃料容器の各フランジ部におけるボルトの形状、数量、締付トルクは表(ロ)A-6のとおりであり、これらは、それぞれワッシャーを介して、適切なトルクで締め付けられるので輸送中ゆるむことはない。

表(ロ)A-6 輸送容器のボルトについて

容器区分	ボルト形状	数量 (本)	締付トルク (N・m)
保護容器			
燃料容器			

A.4.4 吊上装置

本輸送容器の吊上装置は、保護容器については本体下面のリップ溝形鋼（図(イ)-1(9)）及び上部外装板側面上の上蓋用フック（図(イ)-1(7)）であり、燃料容器についてはシャックル（図(イ)-2(9)）、起立用フック（図(イ)-1(11)）および吊り手（図(イ)-2(10)）である。

保護容器下面のリップ溝形鋼（図(イ)-1(9)）はステンレス製で保護容器下部外装板に溶接で固定されている。保護容器上部外装板側面上の上蓋用フック（図(イ)-1(7)）はステンレス製で吊り手を掛けることができるよう加工されており、保護容器上部外装板側面に溶接で固定されている。

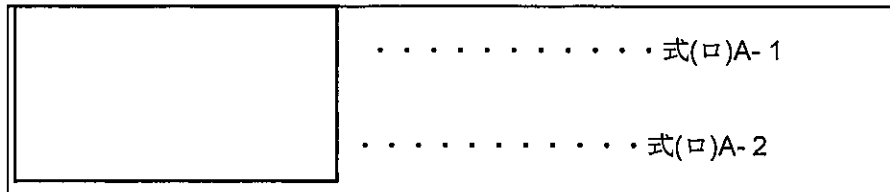
燃料容器については燃料容器吊り上げ用の、ステンレス製のバウシャックル（図(イ)-2(9)）、起立用フック（図(イ)-2(11)）及び上蓋吊り上げ専用の吊り手（図(イ)-2(10)）が、各々燃料容器及び上蓋の側面に溶接により取り付けられている。

吊上装置は、輸送物の吊り上げ及び燃料容器の急激な吊り上げ対しても耐えるよう総重量の3倍の荷重がかかった時でも充分安全な構造となっている。

A.4.4.1 保護容器の吊上用具

(1) 保護容器

吊り上げ作業は図(ロ)A-2に示すようにスリング2本を保護容器下面に溶接されたリップ溝形鋼の両つま側に掛けて行う。この時、図(ロ)A-3(1)に示すモデル化により、保護容器の底面及び側面に生じる応力は次式で表される。



- σ_1 : 保護容器底面に生じる応力 (N)
- σ_2 : 保護容器側面に生じる応力 (N)
- W : 輸送物の最大総重量 (kg)
- G : 重力加速度 (m/s^2)
- θ : スリングと鉛直線のなす角 (長手方向) ($^\circ$)
- ϕ : スリングと鉛直線のなす角 (巾方向) ($^\circ$)
- A_1 : 底面において荷重を受ける最小面積 (mm^2)

$$A_1 = b \times w$$

b : 容器と接するスリング幅

w : 保護容器幅

- A_2 : 側面において荷重を受ける最小面積 (mm^2)

$$A_2 = b \times h / \cos\theta$$

h : 保護容器高さ

計算に用いた条件及び計算結果を表(ロ)A-7に示す。

スリング長さ 以上 ($\theta =$ 、 $\phi =$ 以下) とする。また、スリングの幅は mm 以上のもので吊り上げを実施するが、計算上は容器と接するスリング幅を保守的に mm とする。

表(ロ)A-7 保護容器に生じる応力

記号	保護容器	備考
W		
θ		
ϕ		
b		
w		
h		
σ_1		保護容器底面に生じる応力
σ_2		保護容器側面に生じる応力

保護容器の材質は であり、圧縮応力となるので降伏応力 MPa が基準値となる。計算結果は、底面で MPa、側面で MPa となり基準値を下まわっているため、保護容器が変形することはない。

(2) リップ溝型鋼溶接部

吊り上げ作業は、図(ロ)A-2 に示すようにスリング 2 本を保護容器下面に溶接されたリップ溝型鋼の両つま側に掛けて行う。この時、リップ溝形鋼溶接部に生じる応力は図(ロ)A-3(2)に示すモデル化により次式で表される。

	.....式(ロ)A-3
	.....式(ロ)A-4

リップ溝形鋼溶接部に生じる応力には引張応力 σ とせん断応力 τ が作用するが、この場合の応力評価としては最大せん断応力説を採用し、最大せん断応力 τ_{max} はモールの応力円より次式で表される。

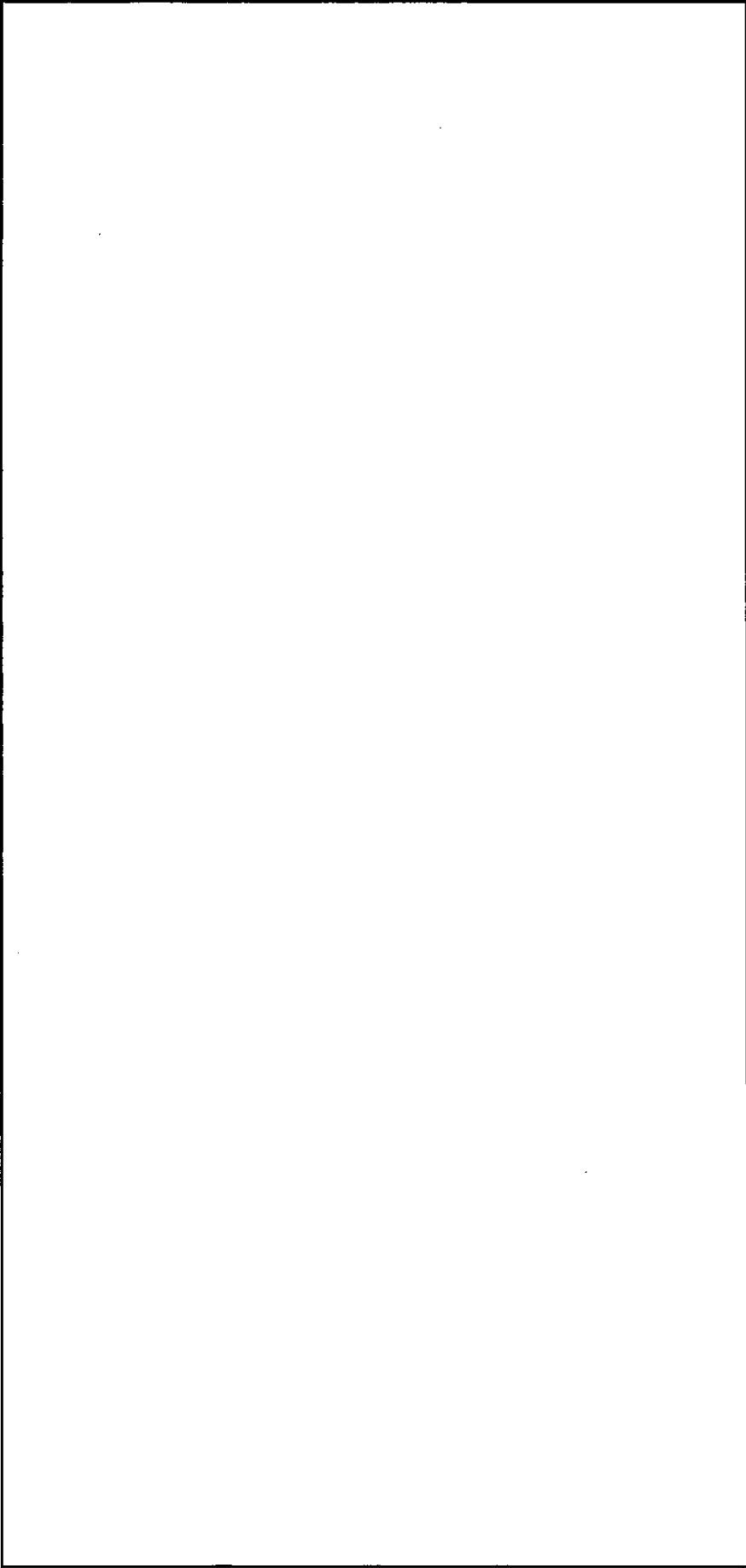
$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad \dots\dots\dots \text{式(ロ)A-5}$

表(ロ)A-8 保護容器リップ溝型鋼溶接部に生じる応力

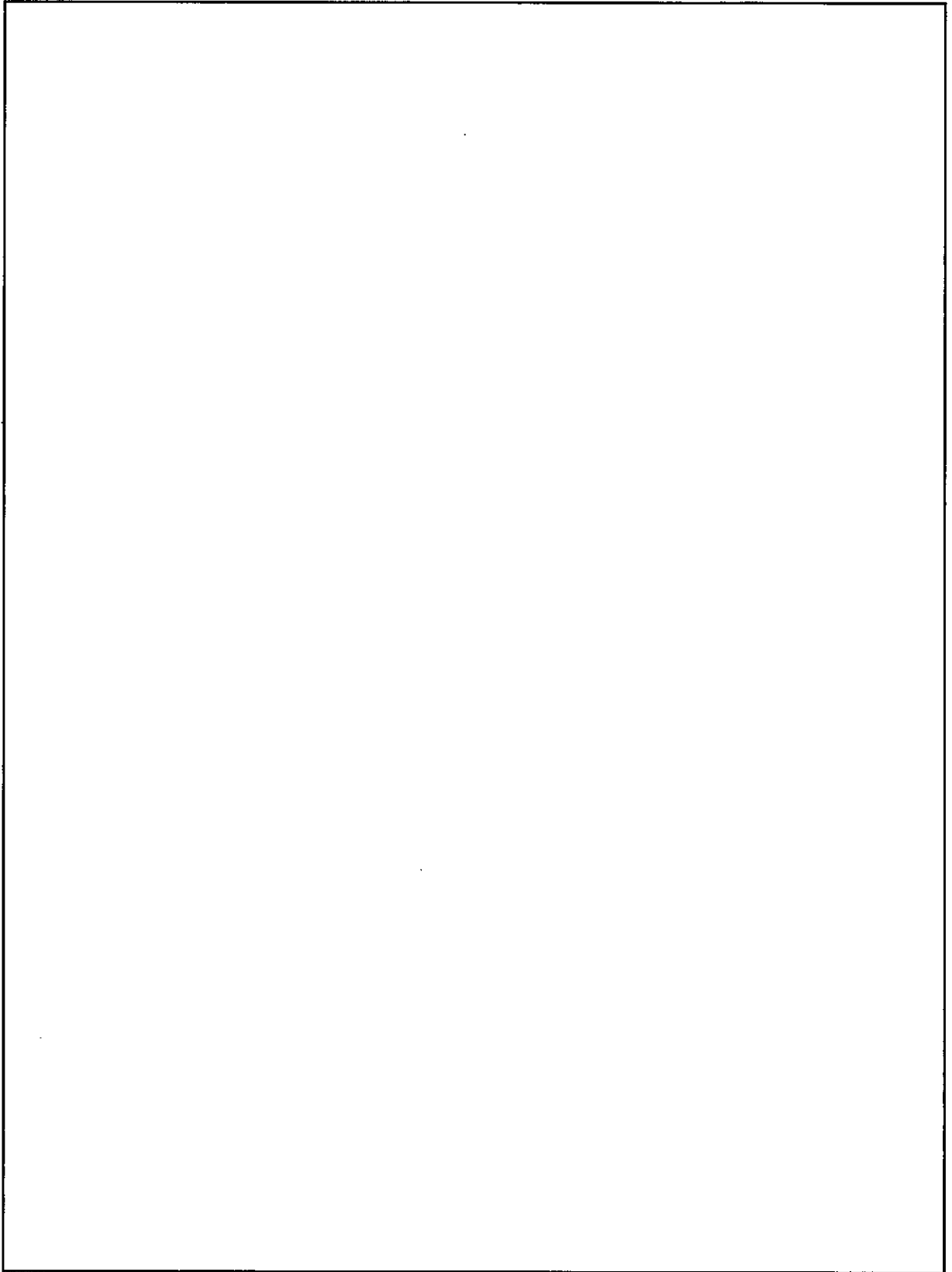
記号	保護容器	備考
P		
h		
l_1		
l_2		
σ		リップ溝形鋼溶接部に生じる引張応力
τ	リップ溝形鋼溶接部に生じるせん断応力	
τ_{max}	最大せん断応力	

W： 輸送物の最大総重量(kg)
 G： 重力加速度(m/s²)
 θ ： スリングと鉛直線のなす角(長手方向)(°)

リップ溝型鋼の材質は SUS304 であり、せん断応力に対する許容量は MPa(=) である。計算結果は MPa であり、基準値を下まわっているため、リップ溝型鋼溶接部が破断することはない。



図(ロ)A-2 保護容器 吊り上げ作業図

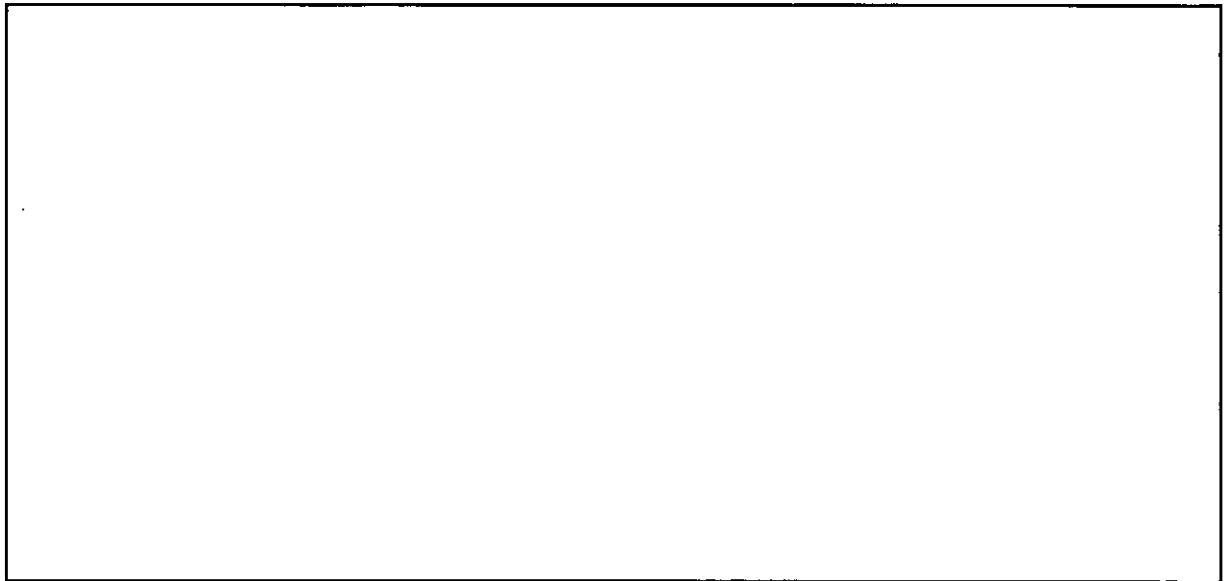


図(ロ)A-3 保護容器本体およびリップ溝型鋼溶接部の強度計算モデル

(3) 保護容器上蓋用フックに生じる応力

保護容器上蓋の吊り上げ作業は図(ロ)A-5に示すように、上蓋の4箇所に設けた上蓋用フック(図(イ)-1(7))に吊り具を掛けて行う。このとき上蓋用フックに生じる応力を図(ロ)A-4の解析モデルにもとづき、三次元の有限要素法解析により求めた。

解析には汎用有限要素法解析コード「ANSYS」を用いた。このコードは燃料設計の許認可解析において、形状が複雑な燃料棒端栓溶接部の応力評価に使用されており、その実績から十分信頼のおけるものである。

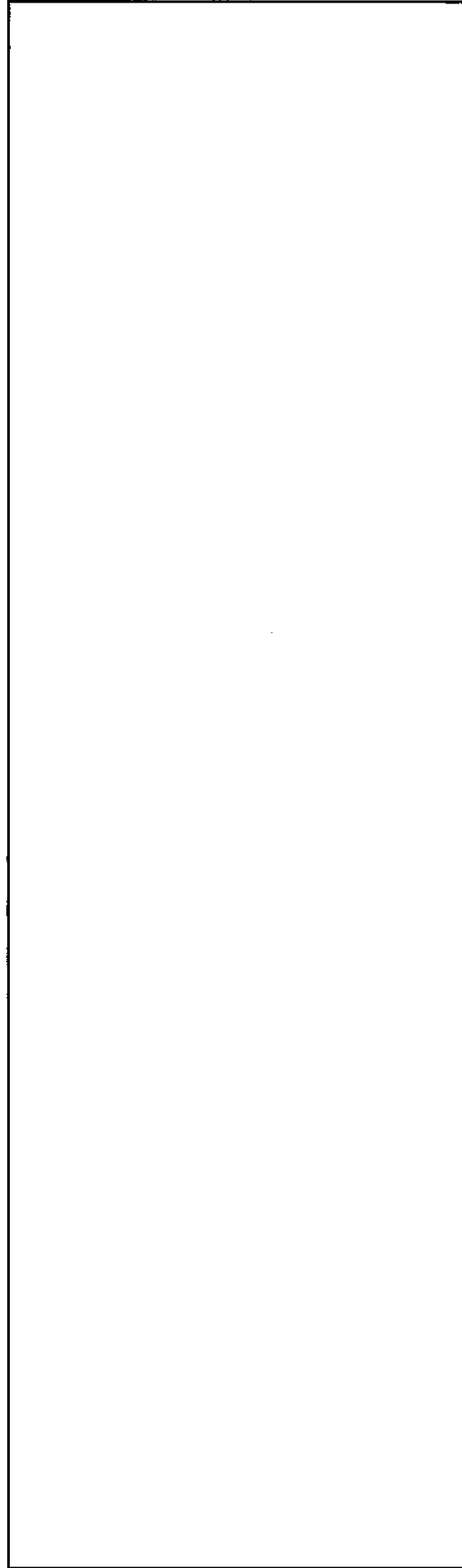


図(ロ)A-4 保護容器上蓋用フックの応力解析モデル

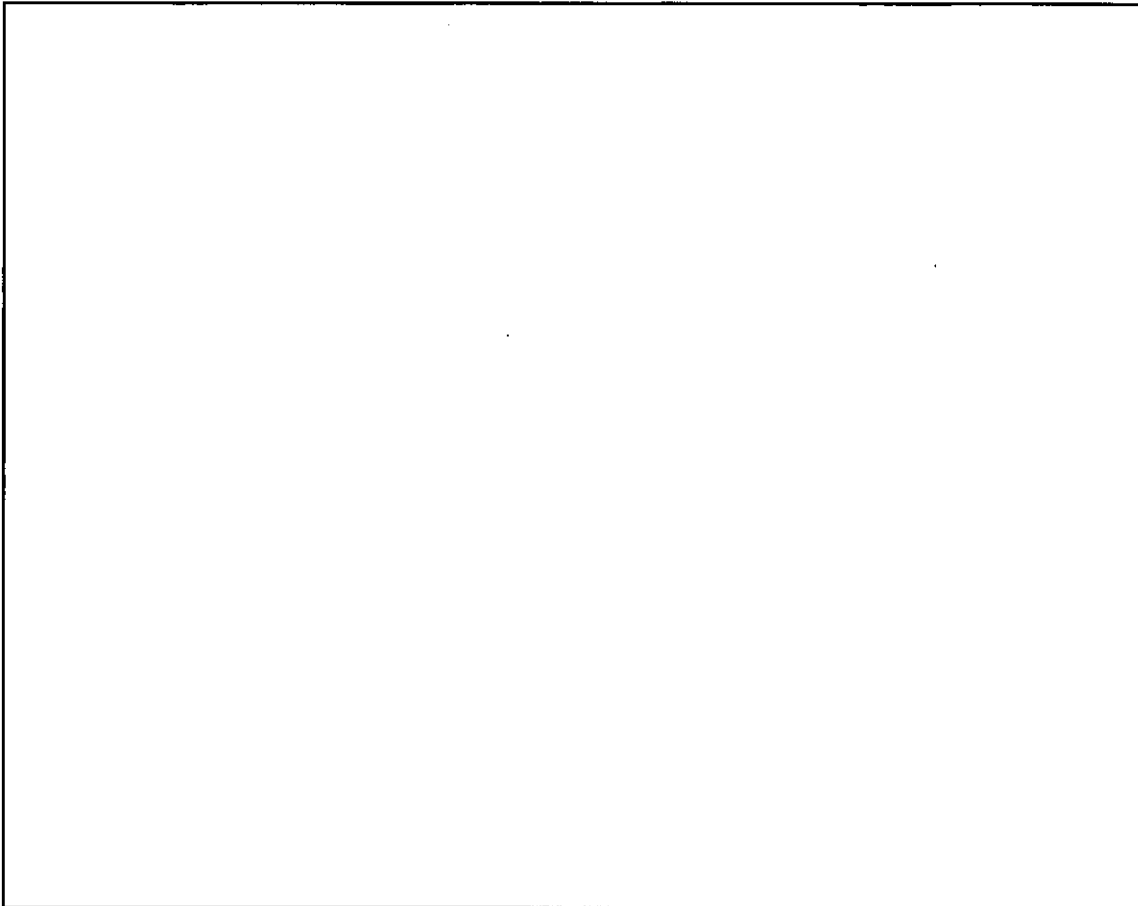
表(ロ)A-9 保護容器上蓋用フック応力解析入力条件

記号	数 値	備 考
W		
F_x		
F_y		
F_z		
θ		
ϕ		

保護容器上蓋用フックの材質は SUS304 であり、引張応力となるので降伏応力 MPa が基準値となる。解析結果はミゼスの相当応力が最大で MPa となり(図(ロ)A-6 参照)、基準値を下まわっているため、保護容器上蓋用フックが破断することはない。



図(ロ)A-5 保護容器上蓋 吊り上げ作業図



図(ロ)A-6 保護容器上蓋用フックの有限要素法解析結果

(4)保護容器上蓋用フック溶接部

保護容器上蓋用フックには側面と上面に溶接部がある。これらの溶接部に加わる荷重は溶接線に対して傾斜していることから、応力の計算に当たってはこの荷重を水平線分(x)、垂直成分(y)、前後方向成分(z)に分け、応力を計算する。計算は図(口)A-7に示すモデルのもとで以下の式により計算される。

前後方向成分の荷重による応力は

$\tau_z =$	<input type="text"/>式(口)A-6
$\sigma_z =$	<input type="text"/>式(口)A-7

垂直方向成分の荷重による応力は

$\tau_y =$	<input type="text"/>式(口)A-8
$\sigma_y =$	<input type="text"/>式(口)A-9

水平方向成分の荷重による応力は

$\sigma_x =$	<input type="text"/>式(口)A-10
--------------	----------------------	---------------

ただし、合成応力 $\sigma = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ 、 $\tau = \tau_y + \tau_z$

保護容器上蓋用フック溶接部にはせん断応力と曲げ応力が作用するが、この場合の応力評価としては最大せん断応力説を採用し、最大せん断応力 τ_{max} はモールの応力円より次式で表される。

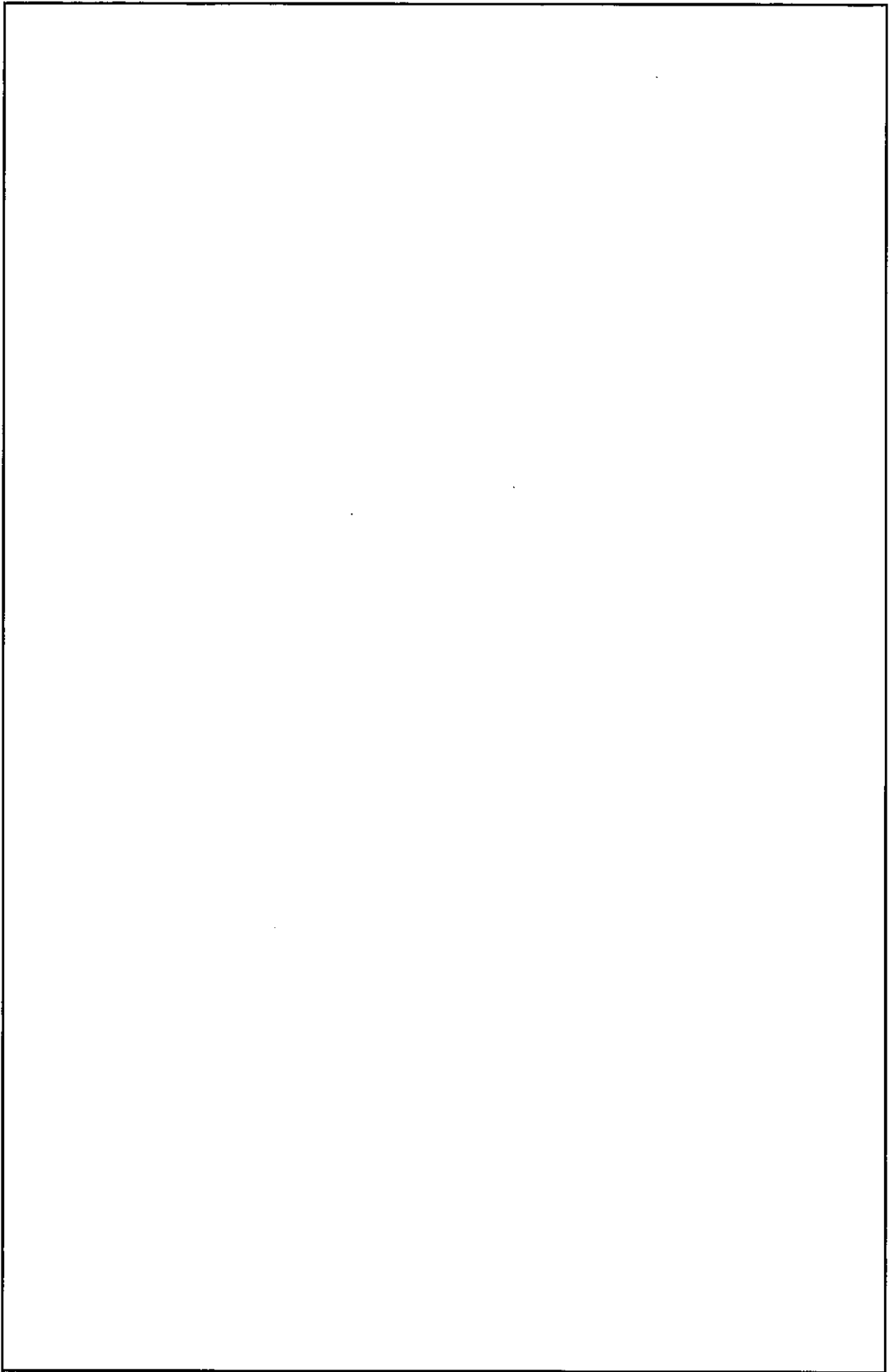
$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$式(口)A-11
--	---------------

計算に用いた条件及び計算結果を表(口)A-10に示す。

保護容器上蓋用フックの材質は SUS304 であり、溶接部のせん断応力に対する基準値は MPa(=)である。 τ_{max} は MPa と基準値を下まわっているため、保護容器上蓋用フック溶接部が破断することはない。

表(ロ)A-10 保護容器上蓋用フック溶接部の応力

記号	基板溶接部	備考	
F_y F_z F_x θ ϕ L h l_1 l_2 b			
σ_x σ_y σ_z σ			
τ_y τ_z τ			
τ_{max}			



図(ロ)A-7 保護容器上蓋用フック溶接部のモデル化

A.4.4.2 燃料容器の吊上用具

燃料容器の吊り上げは、容器上蓋のみを吊り上げる場合、燃料容器（燃料集合体を含む）全体を吊り上げる場合及び、上蓋及び頭蓋を取り除いた状態で燃料集合体を含む燃料容器を縦型で吊り上げる 3 姿勢がある。これらの 3 姿勢の吊り上げ作業の状態を図(ロ)A-8(A),(B),(C)に示す。

これらの 3 姿勢のそれぞれの場合についての吊上用具の強度を計算する。

(1) 燃料容器の水平吊り上げ時

図(ロ)A-8(A)に示すように、燃料容器側壁に設けたシャックル（図(イ)-2(9)）に 4 本のワイヤーを懸けて吊り上げられる。この場合のシャックルの強度、シャックルピン取付枠及びその固定溶接部の強度を計算する。

i) シャックル強度

使用するシャックルの規格、使用荷重、シャックルの数量は表(ロ)A-11 のとおりである。

表(ロ)A-11 シャックル諸元

	燃料容器
シャックル規格 使用荷重 使用数量	

JIS B-2801 による。

吊り上げ作業は図(ロ)A-8(A)に示すように を用いて行う。この時シャックルに加わる荷重は、次式で表される。

$$S = \text{} \dots\dots\dots \text{式(ロ)A-12}$$

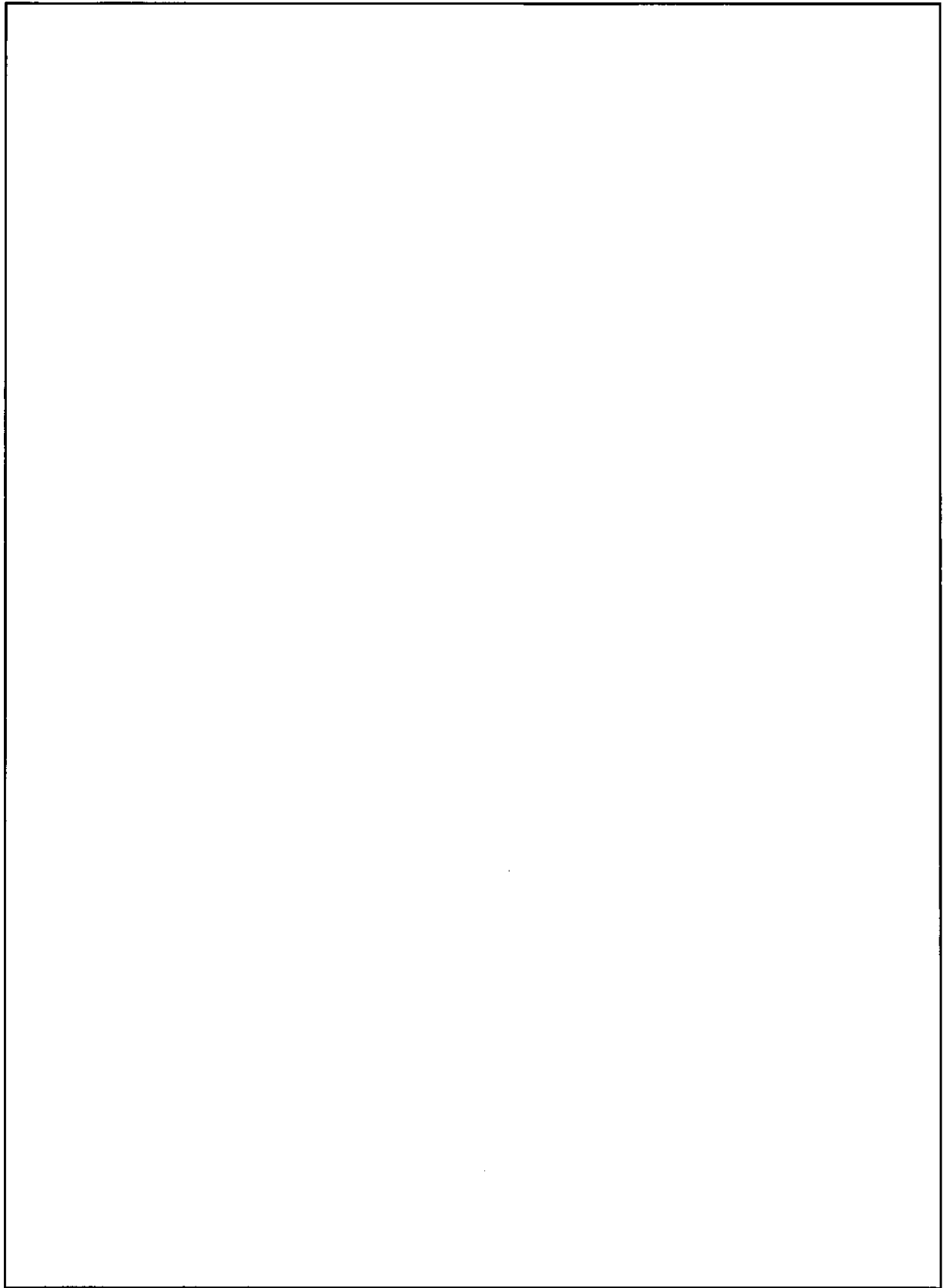
計算に用いた条件及び計算結果を表(ロ)A-12 に示す。

なお、実際の吊り上げ作業は $\theta = \text{$ $\phi = \text{$ 以下で実施することとしており表(ロ)A-12 の θ 、 ϕ の値は安全側の仮定である。

表(ロ)A-12 シャックルにかかる荷重

記号	燃料容器シャックル部	備考
W	<input type="text"/>	燃料容器荷重
θ		ワイヤー角（長手方向）
ϕ		ワイヤー角（幅方向）
S		シャックルにかかる荷重

シャックルの使用荷重は N である。シャックルにかかる最大荷重は であり、使用荷重を下まわっているため、シャックルが破断することはない。



図(口)A-8 燃料容器上蓋 吊り上げ作業図

ii) シャックルピン取付枠の強度

シャックルピンに加わる荷重は 2 個の取付枠で受けることから図(ロ)A-9 に示すようなモデルを仮定できる。

このモデルに基づきシャックルピンの取付枠に生じる応力は、次式で表される。

$\sigma =$	<input style="width: 90%;" type="text"/>式(ロ)A-13
------------	--	---------------

ここで、

σ : 引張応力 (MPa)

F: 1つのシャックルピン取付枠に垂直に働く荷重(N)、

--

A: 引張応力を受けるシャックルピン取付枠の最小断面積 (mm²) [(D-d)×b×2]

α_k : 形状係数 * [L/D、d/D の値から係数を求める。]

(* 附属資料(ロ)-A.1(1)参照)

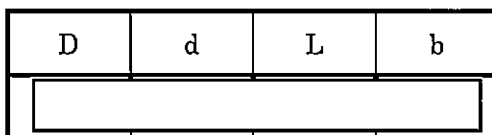
但し、

D: シャックル取付部の長さ (mm)

d: シャックルピンの穴径 (mm)

L: シャックル取付部上端からシャックルピン用穴芯までの長さ (mm)

b: シャックル取付部の板厚 (mm)



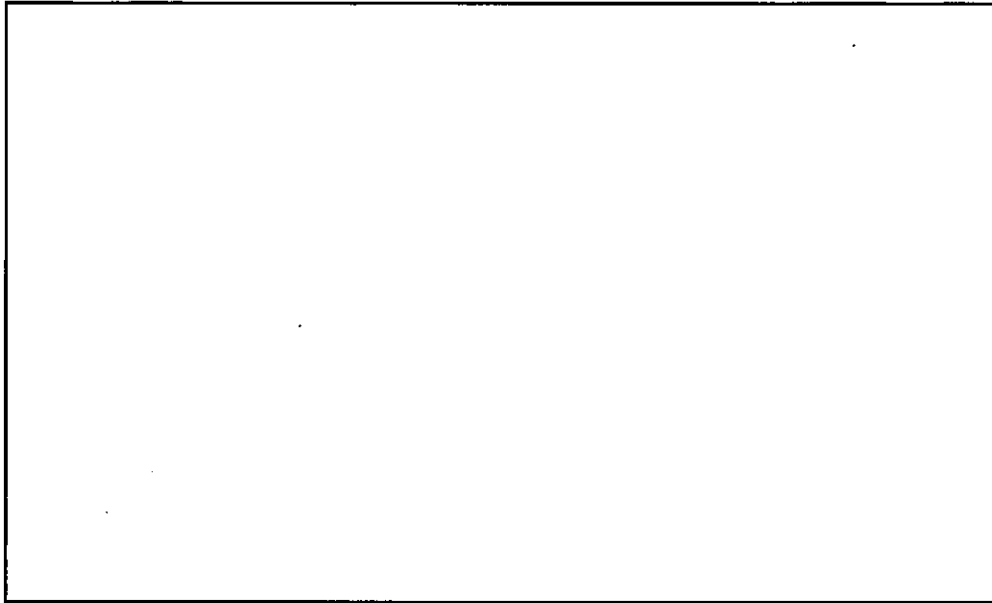
(単位: mm)

計算に用いた条件及び計算結果を表(ロ)A-13 に示す。

表(ロ)A-13 シャックルピン取付枠に生じる応力

記号	シャックル取付枠部	備考
F		
A		
α_k		
σ		

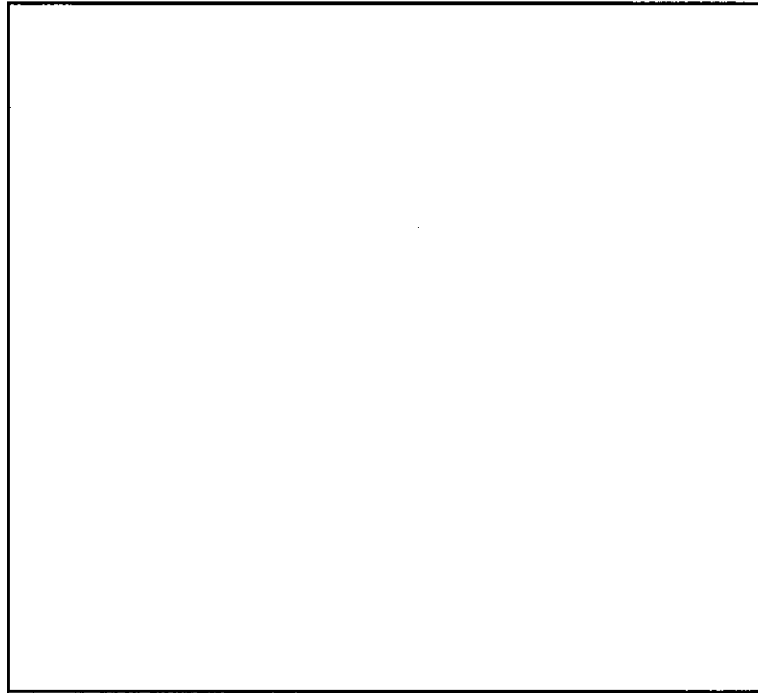
取付枠の材質は SUS304 であり、上記の応力は引張応力となるので降伏応力 MPa が基準値となる。計算結果は取付応力 MPa であり、基準値を下まわっており取付枠が破断することはない。



図(ロ)A-9 シャックルピン取付枠のモデル化

iii) シャックルピン取付枠溶接固定部の応力

シャックルピンの取付枠は図(ロ)A- 10 に示すように基板にまず、すみ肉溶接され、この基板がさらに、燃料容器側板にすみ肉溶接により固定されている。これらの溶接部に加わる荷重は溶接線に傾斜していることから、応力の計算に当たっては、この荷重を水平成分と垂直成分に分け、取付枠溶接部及び基板溶接部について各々の応力を計算する。



図(ロ)A- 10 シャックルピン取付枠と荷重の方向

iii)-1 シャックルピン取付枠溶接固定部の応力

取付枠溶接部の応力計算は図(ロ)A-11に示すモデルのもとで次式により計算される。
(附属資料(ロ)・A.1 (2)参照)

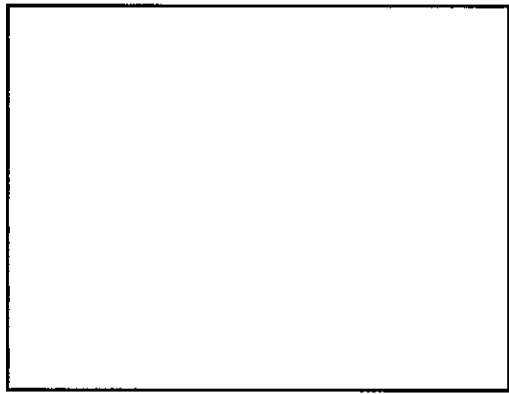
荷重 F_1 により取付枠溶接部に生じる応力は

$\sigma_{b_1} =$		..... 式(ロ)A-14
$\tau_1 =$		..... 式(ロ)A-15

荷重 F_2 により取付枠溶接部に生じる応力は

$\sigma_{b_2} =$		..... 式(ロ)A-16
$\tau_2 =$		..... 式(ロ)A-17

となる。ここで取付枠の合成曲げ応力を $\sigma_{bA} = \sigma_{b_1} + \sigma_{b_2}$ 、合成せん断応力を $\tau = \tau_1 + \tau_2$ とする。



図(ロ)A-11 取付枠溶接のモデル

式(ロ)A-14～式(ロ)A-17によりシャックルピン取付枠溶接部には、せん断応力と曲げ応力が作用するが、この場合の応力評価としては最大せん断応力説を採用し、最大せん断応力 τ_{max} はモールの応力円より次式で表される。

$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{bA})^2 + 4\tau^2}$ 式(ロ)A-18
---	----------------

計算の条件及び計算結果を表(ロ)A-14に示す。

表(ロ)A-14 シャックルピン取付枠溶接部の応力

(図(ロ)A-11 参照)

記号	取付枠溶接部	備考
F		
F ₁		
F ₂		
θ		
L		
h		
ℓ		
b		
σ_B		
τ		
τ_{max}		

シャックルピン取付枠の材質は SUS304 である。溶接部のせん断応力に対する基準値は MPa (=) である。計算値は MPa であり、基準値を下まわっていることから、取付枠溶接部が破断することはない。

iii)-2 基板溶接部

基板溶接部の応力計算は図(ロ)A-12 に示すモデルのもとで次式により計算される。
(附属資料(ロ)-A.1 (2)参照)

モーメント M_1 により、基板溶接部の生じる応力は

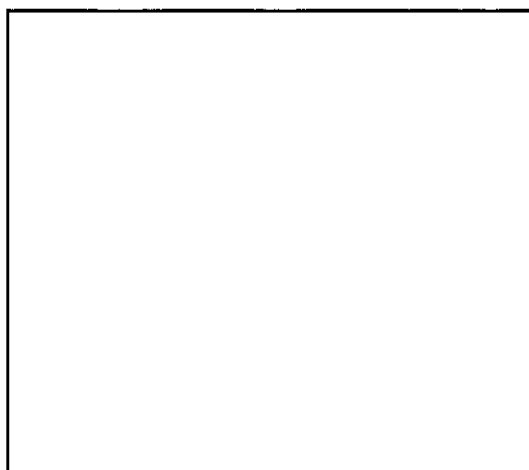
$\sigma_3 =$	<input type="text"/>式(ロ)A-19
--------------	----------------------	---------------

モーメント M_2 により、基板溶接部の生じる応力は

$\sigma_4 =$	<input type="text"/>式(ロ)A-20
--------------	----------------------	---------------

となる。

ここで、 $\sigma_B = \sigma_3 + \sigma_4$ とすると、 σ_B が基板溶接部の曲げ引張り応力となる。



図(ロ)A-12 基板溶接部のモデル

計算の条件及び計算結果を表(ロ)A-15に示す。

表(ロ)A-15 基板溶接部の応力

記号	基板溶接部	備考
F		
F ₁		
F ₂		
θ		
M ₁		
M ₂		
h ₀		
b ₀		
ℓ ₀		
σ _{b3}		
σ _{b4}		
σ _{bB}		

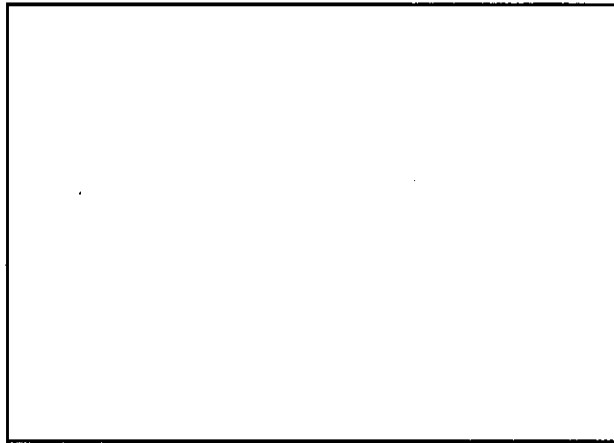
シャックルピン取付枠の材質は SUS304 であり、基板の溶接部の応力は引張応力である。この応力の基準値は MPa (=) である。計算値は MPa であり基準値を下まわっているため、基板の溶接部が破断することはない。

(2) 上蓋の吊り上げ時

図(ロ)A-8(B)に示すように上蓋側壁に設けた吊り手(図(イ)-2(10))に4本のワイヤーを懸けて吊り上げられる。この場合の吊り手の強度及び吊り手取付枠及びその固定溶接部の強度を計算する。

i) 吊り手の強度

吊り手は図(ロ)A-13に示すように鋼材丸棒を半円弧状に曲げて、その両側を取り付けた構造である。



図(ロ)A-13 吊り手の構造

吊り手に加わる荷重 S は、図(ロ)A-8(B)の状態の吊り下げであるから、式(ロ)A-1を用いて計算でき、

$$W = \text{[]} \quad (\text{上蓋の重量})$$

$$\theta = \text{[]} \quad (\text{ワイヤー (長手方向)})$$

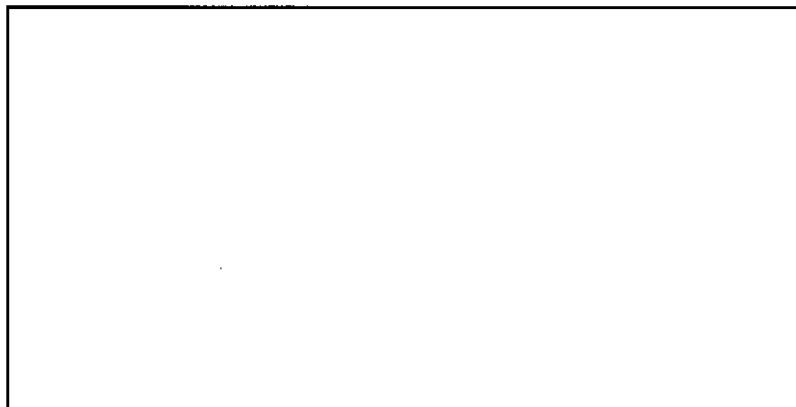
$$\phi = \text{[]} \quad (\text{ワイヤー (幅方向)})$$

より、

$$S = \text{[]}$$

となる。

また、吊り手の強度は、図(ロ)A-14のモデルにより計算することができる。



図(ロ)A-14 吊り手の応力計算モデル

図(ロ)A-14 のモデルにおいて

- P_1 : A 点における垂直反力
- P_2 : B 点における水平反力
- H : A 点における水平抗力
- R : 吊手の円弧部半径
- l : 支持点から円弧部までの距離

とすると、

$$P_1 = P_2 = \frac{1}{2} S \cos \theta$$

$$H = S \sin \theta$$

円弧 CD 部で、角度 α における曲げモーメント M は次式で与えられる。

$M =$ <input style="width: 250px; height: 30px;" type="text"/> 式(ロ)A-21

ここで、

$$l = \text{ mm}$$

$$R = \text{ mm}$$

$$\theta = \text{$$

とすると、最大曲げモーメント M_{\max} は $\alpha = \text{$ において生じ、

$$M_{\max} = \text{ N \cdot mm}$$

となる。

吊り手には、上記の曲げモーメントによる曲げ応力に直応力が加わり、最大応力は次式で与えられる。

$\sigma =$ <input style="width: 70px; height: 30px;" type="text"/> 式(ロ)A-22

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

S : 荷重 (N)

A : 吊り手の断面積 (mm²)

D : 吊り手の径 (mm)

I : 吊り手の断面 2 次モーメント (mm⁴)

である。

計算に用いた条件及び計算結果を表(ロ)A-16 に示す。

表(ロ)A-16 上蓋用吊り手の応力

記号	上蓋用吊り具	備考
S A D I		
σ		

吊り手の材質は SUS304 であり、この応力は引張応力であるので降伏応力 MPa が基準値となる。計算結果は MPa であり、基準値を下まわっているため、吊り手が変形することはない。

ii) 吊り手取付枠の強度

吊り手取付枠の構造は、図(ロ)A-9 に示す燃料容器のシャックル取付枠と同様であり吊り手取付枠の応力は図(ロ)A-9 に示すモデル及び式(ロ)A-13 を用いて計算できる。

計算に用いた条件及び計算結果を表(ロ)A-17 に示す。

表(ロ)A-17 吊り手取付枠の応力

記号	基板溶接部	備考
D d L b F A α_k		
σ		

吊り手取付枠の材質は SUS304 であり、上記応力は引張応力となるので降伏応力 MPa が基準値となる。計算結果は MPa であり、基準値を下まわっているため、吊り手取付枠が破断することはない。

iii) 吊り手取付枠溶接固定部の応力

吊り手取付枠の溶接固定部の構造は、シャックルピンの取付枠の溶接固定部と同様である。従って、応力の計算は図(ロ)A-10～図(ロ)A-12のモデル及び式(ロ)A-14～式(ロ)A-20式を用いて計算することができる。

計算に用いた条件及び計算結果を表(ロ)A-18に示す。

表(ロ)A-18 吊り手取付枠溶接固定部の応力

記号	基板溶接部	備考
F		
F ₁		
F ₂		
θ		
L		
h		
ℓ		
b		
M ₁		
M ₂		
h ₀		
b ₀		
ℓ ₀		
σ _{bA}		
τ		
σ _{b3}		
σ _{b4}		
τ _{max}		
σ _{bB}		

取付枠溶接部のせん断応力に対する基準値は MPa (=) である。τ_{max} は式(ロ)A-7より MPa であるから基準値を下まわっている。また基板の溶接部の応力は曲げ引張り応力であり、この応力の基準値は MPa (=) である。基盤溶接部の応力は MPa であるから基準値を下まわっている。

以上の解析結果により、吊り手取付枠固定溶接部が破断することはない。

(3) 燃料容器の縦型吊り上げ時

燃料集合体を燃料容器に収納する際及び取り出す際には、燃料容器から上蓋(図(イ)-2(1))及び頭蓋(図(イ)-2(3))を除去した状態で、燃料集合体を収納した燃料容器が縦型に吊り上げられる。この作業の姿勢は図(ロ)A-8(C)に示すとおりである。

この作業は燃料容器側面に設けた起立用フック(図(イ)-2(11))に2本のワイヤーを懸け、ワイヤーが鉛直に向いた姿勢で行われる。この場合の起立用フックの強度、起立用フック固定溶接部の強度について各々計算する。

i) 起立用フックの強度

起立用フックの構造は燃料容器吊り上げ用シャックル(図(イ)-2(9))のシャックルピン取付枠と同じであり、応力は図(ロ)A-9に示すモデル及び式(ロ)A-13を用いて計算される。計算に用いた条件及び計算結果を表(ロ)A-19に示す。

表(ロ)A-19 起立用フックの応力

記号	起立用フック	備考
D		
d		
L		
b		
F		
A		
α_k		
σ		

取付枠の材質はSUS304であり、上記応力は引張応力であるので降伏応力 MPa が基準値となる。計算結果は MPa であり、基準値を下まわっており、起立用フックが破断することはない。

ii) 起立用フックの溶接固定部の応力

起立用フックの溶接固定部の応力計算は、次式により実施される。

$\sigma_b =$	<input style="width: 90%;" type="text"/>式(ロ)A-23
$\tau =$	<input style="width: 60%;" type="text"/>式(ロ)A-24

起立用フック溶接部には、せん断応力と曲げ応力が作用するが、この場合の応力評価としては最大せん断応力説を採用し、最大せん断応力 τ_{max} はモールの応力円より次式で求められる。

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_b^2 + 4\tau^2)}$$

式(ロ)A-25

計算の条件及び計算結果を表(ロ)A-20に示す。

表(ロ)A-20 起立用フックの溶接固定部の応力

記号	起立用フック 溶接部	備考
F	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	
h		
l ₁		
l ₂		
L		
σ _b		
τ		
τ _{max}		

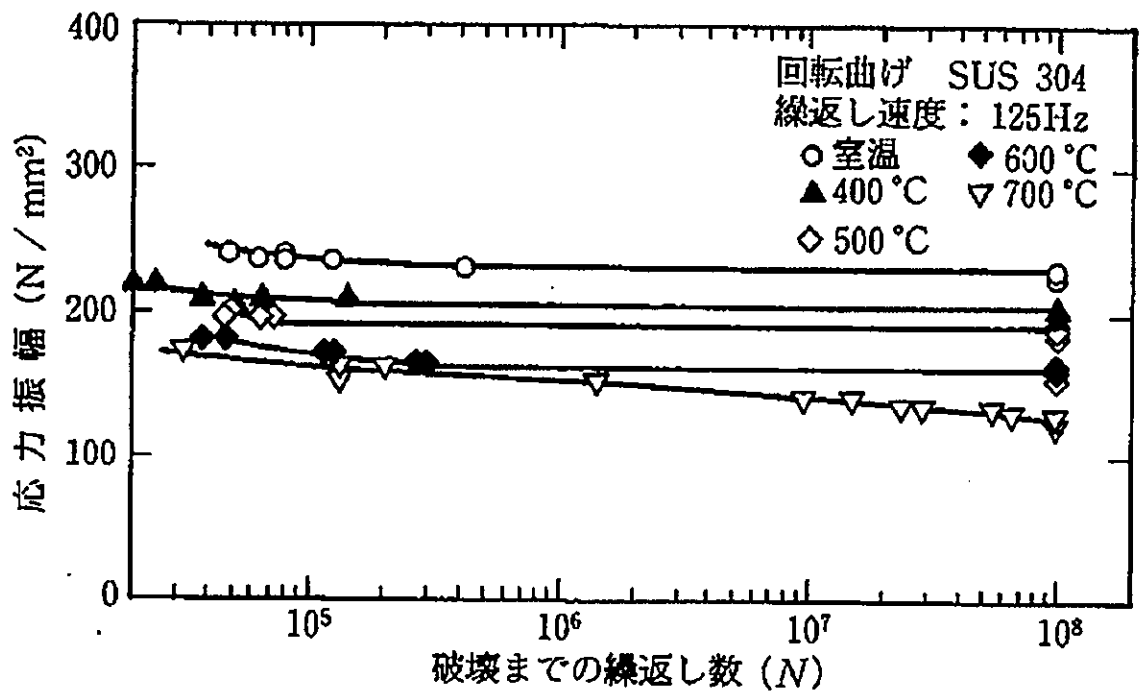
起立用フック溶接部のせん断応力に対する基準値は MPa (=) である。
 計算結果より τ_{max} は MPa であり、基準値を下まわっている。以上の解析結果より、
 起立用フック溶接固定部が破断することはない。

A.4.4.3 吊り上げによる繰返し応力の評価

A.4.4.1~A.4.4.2 にてステンレス鋼製の吊り部に及ぼす応力を評価した結果、応力は最大 MPa であり、応力振幅は MPa である。本輸送容器の使用予定期間は 80 年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計 400 回である。また、輸送容器の吊り上げ予定回数は輸送 1 回あたり 10 回、輸送とは別に年間 20 回であり、使用期間を通しての吊り上げ予定回数は計 5,600 回 ($=400 \times 10 + 80 \times 20$) である。繰返し応力評価においては、使用予定より保守的な条件として、使用期間を通じた輸送回数を予定の 2 倍 ($400 \times 2 = 800$ 回)、輸送以外の年間吊り上げ回数を予定の 2 倍 ($20 \times 2 = 40$ 回) と想定し、計 11,200 回 ($= 800 \times 10 + 80 \times 40$) の応力発生を考慮する。

図(ロ)A-15 のステンレス鋼の疲労曲線によると、少なくとも 100 MPa 以下の応力振幅では室温から 700°C の環境下において 10^7 回以上繰返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。

以上のことから、吊り上げによる繰返し応力によって疲労破壊が生じることはない。



図(口)A-15 ステンレス鋼疲労曲線

(出典) ステンレス鋼便覧—第3版—ステンレス協会(1995年1月)

A.4.5 固縛装置

運搬するには車輛や運搬用コンテナにワイヤーや専用の固縛部材等を用いて固縛される。
このため、本輸送容器に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 60kPa まで低下した場合の密封境界である燃料棒の健全性について評価する。燃料棒の密封は屋内で実施されることから初期条件を 0℃とし、評価時の温度は(ロ)B 項に示す解析結果より一般の試験条件下における燃料棒の最高温度 ℃とする。0℃で梱包し、燃料棒温度が ℃まで達した際の燃料棒内圧を求めると絶対圧 MPa となる（「B.4.4 最大内圧」参照）。周囲の圧力が絶対圧で 60kPa まで低下すると、燃料棒内圧との差圧である MPa のゲージ圧が被覆管に作用することになる。

(1) 最大内外圧力差により燃料棒に発生する円周方向応力

薄肉円筒に内外圧差が作用した時の円周方向応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{P \cdot r}{t} \quad \dots\dots\dots \text{式(ロ)A-26}$$

ここで、

- σ : 内外圧力差により燃料棒に作用する円周方向応力 (MPa)
- P : 燃料棒に作用する内外圧力差 MPa
- r : 燃料棒内半径 mm
- t : 燃料棒肉厚 mm

この結果より、σ=MPa

燃料棒の被覆管材質はジルカロイ-2 であり、引張応力となるので基準値は降伏応力 MPa である。したがって、計算結果は、円周方向応力が最大でも MPa となり、基準値を下まわっているため、強度上問題はない。

(2)気圧低下により、燃料棒に発生する軸方向応力

燃料棒に内外圧差が作用した時、直管部に発生する軸方向応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{di^2}{do^2 - di^2} P \quad \dots\dots\dots \text{式(ロ)A-27}$$

ここで

- σ : 内外圧力差により燃料棒に作用する円周方向応力 MPa
- P : 燃料棒に作用する内外圧力差 MPa
- do : 燃料棒外径 mm
- di : 燃料棒内径 mm

以上の結果より、σ=MPa

燃料棒の被覆管材質はジルカロイ-2 であり、引張応力となるので基準値は降伏応力 MPa である。したがって、計算結果は、引張応力が最大でも MPa となり基準値の降伏応力を下まわっているため、強度上問題ない。

A.4.7 振動

輸送物のトラック輸送試験の結果、輸送物のトラック荷台上での共振はなく、また発生する最大加速度は、保護容器において上下方向で□G、水平方向で□G程度であった。

表(□)A-21に本項での解析項目、基準を示す。

表(□)A-21 解析一覧表

該当場所	解析項目	解析基準	備考
保護容器	保護容器ボルト	0.6 σ_y	
燃料容器	燃料容器ボルト	0.6 σ_y	

トラック荷台上での輸送容器は、前後方向に木製の移動止め、上下方向に締付け装置で固定されている。

本項では、安全側に仮定して水平方向に最大加速度□Gが作用し、保護容器上部と保護容器本体および燃料容器本体と上蓋が水平方向にずれた場合を想定してボルトに発生するせん断力を計算する。ボルトに発生するせん断力を次式で計算する。

$$\tau = \square \dots \text{式(□)A-28}$$

保護容器のボルトの場合は、

τ : ボルトにかかるせん断応力

W : 輸送物総重量 □kg

G : 重力加速度 9.80665m/s²

α : 最大加速度 □G

N : ボルトの本数 □本

A : ボルトの断面積 □mm²

以上の結果より $\tau = \square$ MPa

保護容器のボルトの材質は SUS304J3 であり、せん断荷重を受けるため基準値は□MPaである。計算の結果はせん断応力が□MPaであり、基準値を下まわっているため強度上問題ない。

次に燃料容器のボルトの場合は、

τ : ボルトにかかるせん断応力

W : 燃料容器総重量 □kg

G : 重力加速度 9.80665m/s²

α : 最大加速度 □G

N : ボルトの本数 □本

A : ボルトの断面積 □mm²

以上の結果より $\tau = \square$ MPa

燃料容器のボルトの材質は SUS304J3 であり、せん断荷重を受けるため基準値は□MPa である。計算の結果はせん断応力が□MPa であり、基準値を下まわっているため強度上問題ない。

通常輸送条件における各部の発生応力と、解析基準値（その部品を構成している材料の許容応力）を比較し、安全率を算出した結果を表(□)A-25 中の「通常輸送条件」に示す。

いずれの解析結果も安全率は 1 を上回っており、解析基準を満足している。

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

一般の熱的試験条件下での輸送物の熱的な機械的健全性を表(ロ)A-22に示す解析項目について評価する。なお、保護容器については、密封されていないため内外圧差は発生しない。

表(ロ)A-22 解析一覧表

該当場所	解析項目	解析基準
燃料容器	(1) 燃料容器	σ_y
	(2) 燃料容器ボルト	σ_y
燃料棒	(1) 燃料棒	σ_y
	(2) 燃料棒溶接部	σ_y

なお、熱的試験は(ロ)–B項で評価する。

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

(ロ)–B.4.2 最高温度で評価した燃料容器及び燃料棒の最高温度は、 \square °Cである。また、この時の最大内外圧力差は、(ロ)–B.4.4 最大内圧の評価より、燃料容器については \square MPa、燃料棒については \square MPaとなる。以下にこの温度及び圧力条件における輸送物各部の収納物の健全性を保守的に評価する。

A.5.1.2 熱膨張

輸送物の温度上昇は小さく、また構造材が金属で熱伝導が良いので、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。

異種材料による熱膨張差については、保護容器と燃料容器についてはいずれもステンレス鋼から成るため発生しない。燃料容器と燃料集合体については、燃料容器内面に貼り付けたポリエチレン発泡体によって熱膨張差が吸収されるため、応力は発生しない。

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

(1) 最大内外圧力差により燃料容器に発生する応力

内外圧差により燃料容器に発生する応力としては、応力値が最大となるように、面積が最も広い板面について評価する。

最大内外圧力差により燃料容器に発生する応力は、4 辺固定の板に最大内外圧差が作用するモデル (図(□)A-16) により計算する。最大応力は板面の中央部で発生するが、この応力は次式で与えられる。

$\sigma =$	<input type="text"/>式(□)A-29
------------	----------------------	---------------

ここで

β : 燃料容器外装板のうち、補強板またはスペーサで支持されている最も広い領域の長辺 b と短辺 a の比から定まる定数

$a =$

$b =$

$\therefore b/a =$

図(□)A-17 より、 $b/a > 2.5$ であるから $\beta = 0.5$

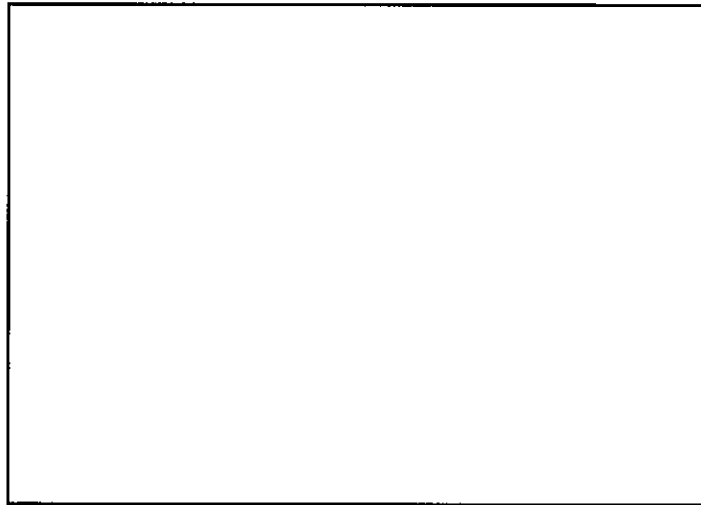
t : 燃料容器外装板肉厚 mm

W : 最大内外圧差 MPa

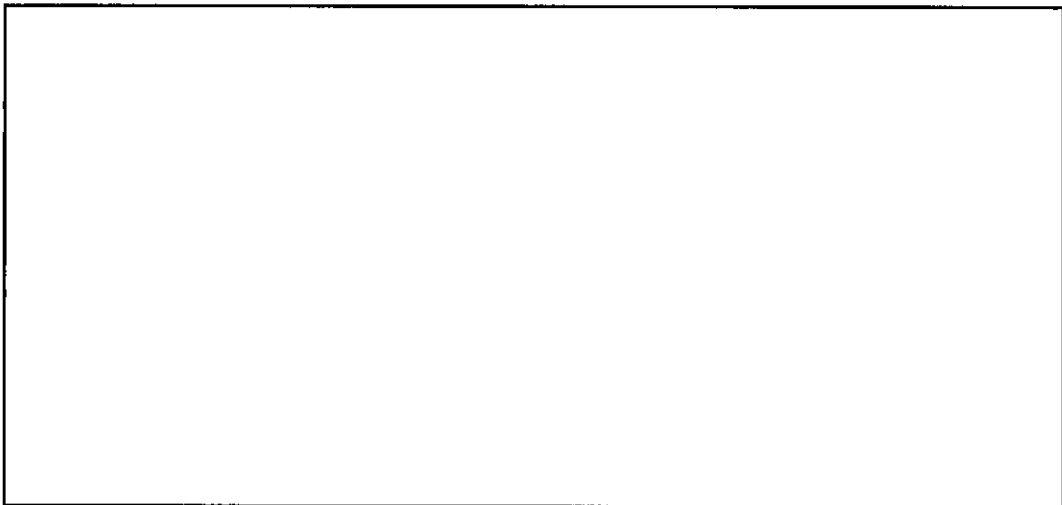
よって

$\sigma_{\max} =$ MPa

燃料容器の材質は SUS304 であり、引張応力となるので基準値は降伏応力 MPa(75°C) である。計算結果は MPa であり、基準値を下まわっているため強度上問題ない。



図(ロ)A-16 燃料容器外装板に作用する応力モデル



図(ロ)A-17 4辺固定長方形平板の応力係数B値

(2) 最大内外圧差により燃料容器ボルト発生する応力

内外圧差により燃料容器の締め付けボルトに作用する応力を評価する。

最大内外圧差によって燃料容器の締め付けボルトに作用する応力は図(□)A- 18 に示すモデルに基づき、次式で表される。

$\sigma =$ <input type="text"/>式(□)A- 30
---------------------------------	----------------

ここで、

F : 最大内外圧差により燃料容器に作用する荷重

$$F = \text{}$$

W : 最大内外圧差 MPa

a : 燃料容器上面の短辺の長さ mm

b : 燃料容器上面の長辺の長さ mm

$$\text{従って } F = \text{} \text{ N}$$

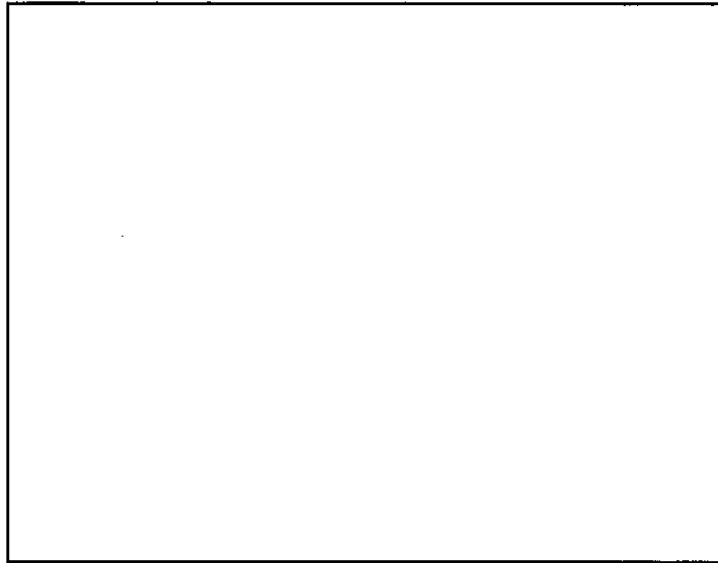
σ_B : ボルトの締め付けにより予めボルトに作用している引張応力 ($\sigma_B = \text{}$ MPa)

N : ボルトの本数 本

A_b : ボルトの断面積 (mm²; JIS B 1054 の有効断面積。)

以上の結果より $\sigma = \text{}$ MPa と計算された。

燃料容器ボルトの材質は SUS304J3 であり、引張応力となるので基準値は降伏応力 MPa(75℃)である。計算結果は MPa であり、基準値を下まわっているため強度上問題ない。



図(ロ)A-18 内圧により燃料容器ボルトに作用する応力モデル

(3) 最大内外圧力差により燃料棒に発生する円周方向応力

内外圧差により燃料棒に作用する円周方向応力を評価する。

最大内外圧差により燃料棒に作用する円周方向応力は、通常輸送時の評価((口)A-4.6(1))と同様に、薄肉円筒に内外圧差が作用した時の円周方向応力として、式(口)A-26を用いて計算される。

計算に用いる条件は以下のとおり。

P : 燃料棒に作用する最大内外圧差 MPa

r : 燃料棒内半径 mm

t : 燃料棒肉厚 mm

燃料棒の被覆管材料はジルカロイ-2であり、引張応力となるので基準値は表(口)A-3より降伏応力MPaである。計算結果は円周方向応力が最大でもMPaとなり、基準値を下まわっているため強度上問題ない。

(4) 最大内外圧力差により燃料棒に発生する軸方向応力

内外圧差により燃料棒直管部に作用する軸方向応力を評価する。

最大内外圧差により燃料棒に作用する軸方向応力は、通常輸送時の評価((口)A-4.6(2))と同様に、式(口)A-27を用いて計算される。

計算に用いる条件は以下のとおり。

P : 最大内外圧差 MPa

d_o : 燃料棒外径 mm

d_i : 燃料棒内径 mm

軸方向応力は引張応力であり、基準値は表(口)A-3より降伏応力MPaである。計算結果は応力が最大でもMPaとなり、基準値を下まわっているため強度上問題ない。

A.5.1.4 許容応力との比較

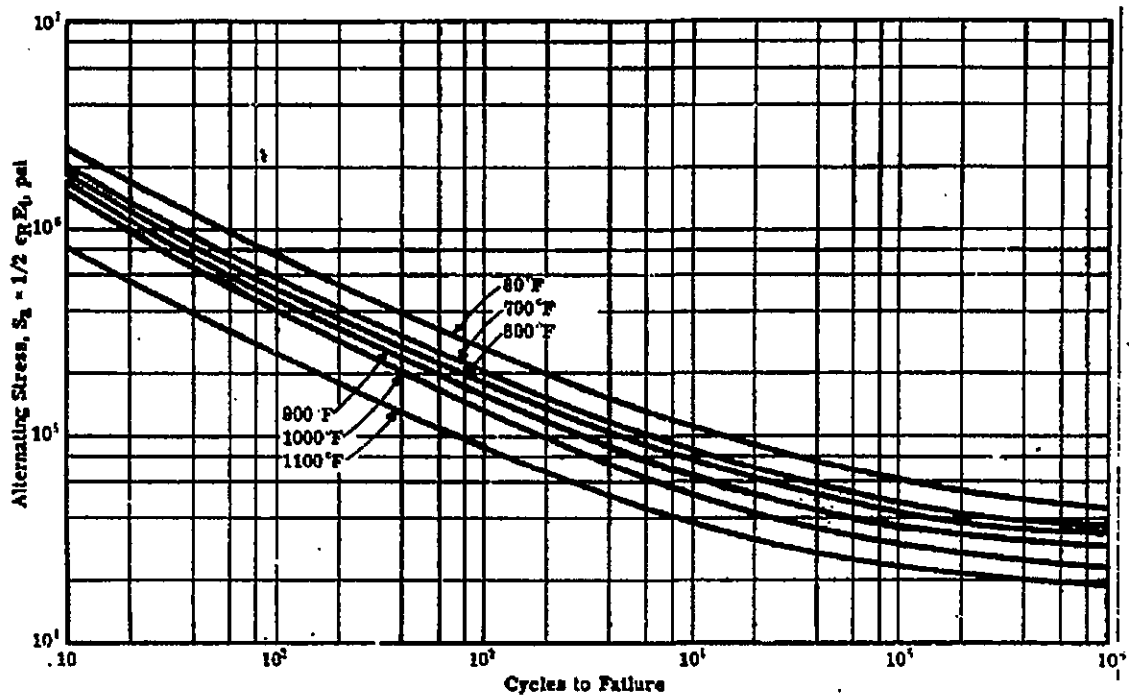
一般の試験条件の下で、各部に発生する熱応力、あるいは内外圧差により生じる応力の解析基準値と解析値を比較し、安全率を算出した結果を表(口)A-25中の「一般の試験条件」の欄に示す。

いずれの解析結果も安全率が1よりも大きく、解析基準値を満たしており安全である。

A.5.1.5 繰り返し応力の評価

A.5.1.3(1),(2)にて燃料容器および燃料容器ボルトに及ぼす応力を評価した結果、応力は最大 MPa であり、応力振幅は MPa である。本輸送容器の使用予定期間は 80 年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計 400 回である。使用予定より保守的な条件として 80 年間毎日 1 日 1 回の輸送を想定すると、 $80 \times 365 = 29,200$ 回発生する。しかしながら、図(ロ)A-15 のステンレス鋼の疲労曲線によると、少なくとも 100MPa 以下の応力振幅では室温から 700°C の環境下において 10^7 回以上繰り返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。

A.5.1.3(2)にてクロムモリブデン鋼製のナットに及ぼす応力を評価した結果、応力は最大 MPa であり、応力振幅は $53.5 \div 2$ より MPa である。ステンレス鋼と同様に応力が 29,200 回発生すると考慮する。図(ロ)A-19 のクロムモリブデン鋼の疲労曲線によると、少なくとも 206MPa (3.0×10^4 psi) 以下の応力振幅では室温から 371°C (700° F) の環境下において 10^6 回以上繰り返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。



図(ロ)A-19 クロムモリブデン鋼疲労曲線

(出典) 多目的高温ガス実験炉用 2 1/4 Cr-Mo 鋼の機械的性質に関するデータの調査 (1978 年 11 月)
 奥 達雄、菊山 紀彦、深谷 清、古平 恒夫著

A.5.2 水噴霧

本輸送容器は耐食性の高いステンレス鋼製板で覆われ、接合部は連続溶接されているため、水噴霧による外表面材料劣化は生じない。

原型容器により水噴霧試験を実施したところ、保護容器内部へのわずかな水の侵入がみられただけであり、燃料容器への水の浸入はなかった（附属資料(ロ)－A.2 参照）。したがって、水噴霧によって輸送物材料劣化及び浸水による重量増加は生じない。

なお、臨界解析においては燃料容器への水の浸入を考慮している。

A.5.3 自由落下

(a) 解析モデル

落下試験を実施しており、解析は実施していない。

(b) 原型試験

本輸送物は、総重量が 5,000kg 以下であるので、告示別記第三第一号ロ(1)に基づき、落下距離 1.2m の自由落下を条件とする原型容器試験を実施し、輸送容器の強度を評価する。

原型容器は、実際の輸送容器と同一の構成及び寸法であり、輸送容器内には収納物を模擬するものとして、核燃料物質である二酸化ウラン焼結体を同一密度の W-Cu 焼結体に置き換えた点のを除き、全て実際の燃料集合体と同一部品を用いて組み立てた模擬燃料集合体 1 体、ならびに燃料集合体の重量のみを模擬した重量模擬体 1 体を収納し、本試験を実施した。

図(ロ)A-20 に本項で実施した自由落下試験方法を示し、以下に落下姿勢ごとの試験結果概要を述べる。なお、試験結果の詳細については附属資料(ロ)-A.2 に示した。

(1) 水平落下

保護容器の落下方向（輸送容器の幅方向）の変形は、部分的に最大□の縮みが認められたが、全長の寸法変化は認められなかった。また、輸送物の外観上の異常は認められなかった。この水平落下による容積減少率は約0.7%であった。

(2) 垂直落下

長さ方向の寸法変化は□未満であり、容積減少率は約□以下であった。
またフランジ部の変形及びボルトの破損がなかった。

(3) コーナー落下

図(ロ)A-21 に示すように落下点コーナー部で局所的な変形が生じ、保護容器の長さ方向に最大□、高さ方向で最大□の圧縮変形を起こしたが、その変形の大部分は落下コーナー部のリップ溝形鋼と容器表面板で生じており、輸送容器本体の形状はほぼ原型を保つことが確認された。このコーナー落下による容積減少率は約□であった。

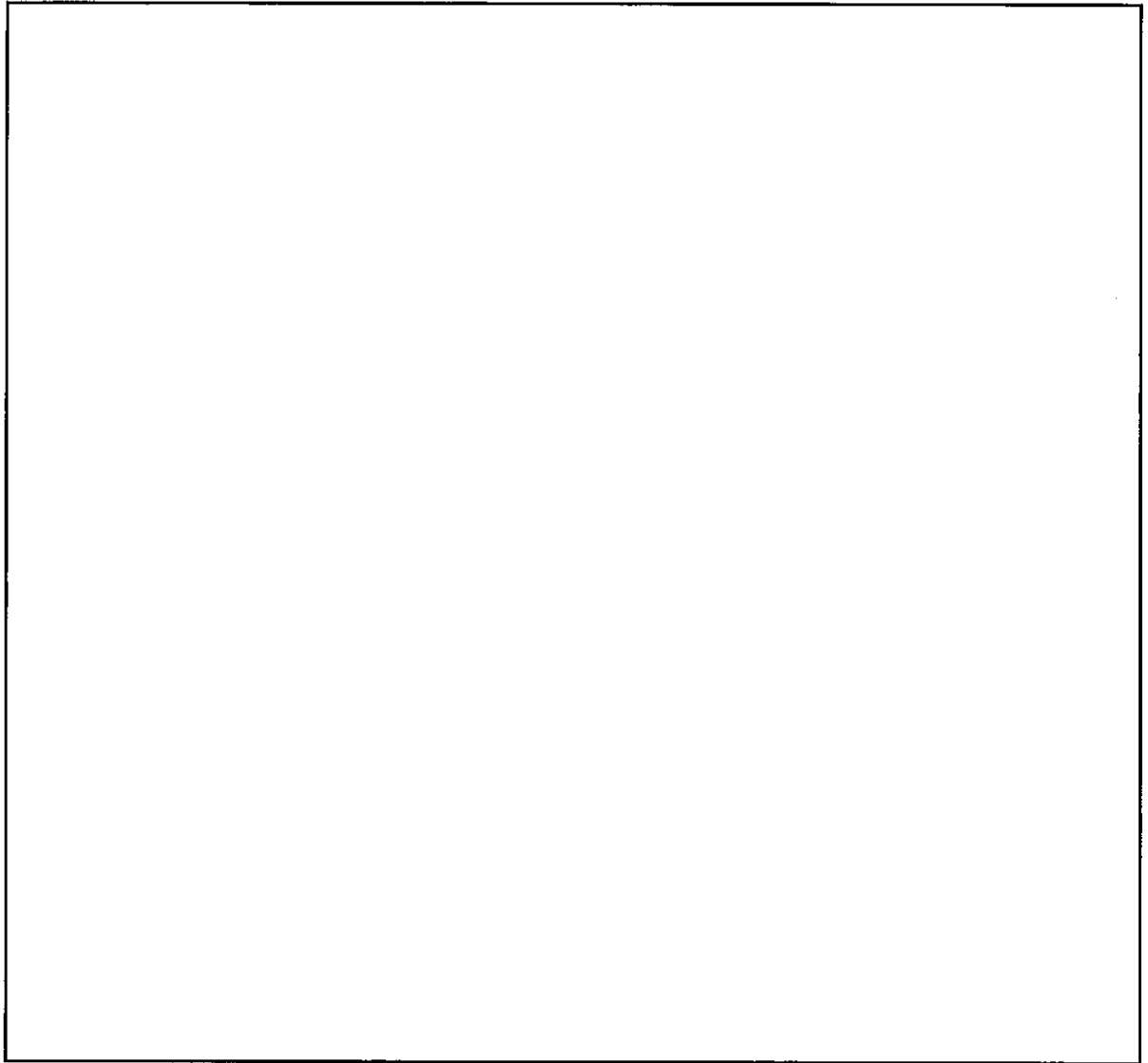
また、収納物の散逸が生じるような燃料容器の破損はなかった。

以上の試験結果をまとめると、1.2mの高さからの水平落下、垂直落下、コーナー落下を続けて実施したが、容積減少量は最大でも輸送容器内容積の□程度である。

また、収納物の散逸が生じるような燃料容器の破損はなかった。

(c) モデル試験

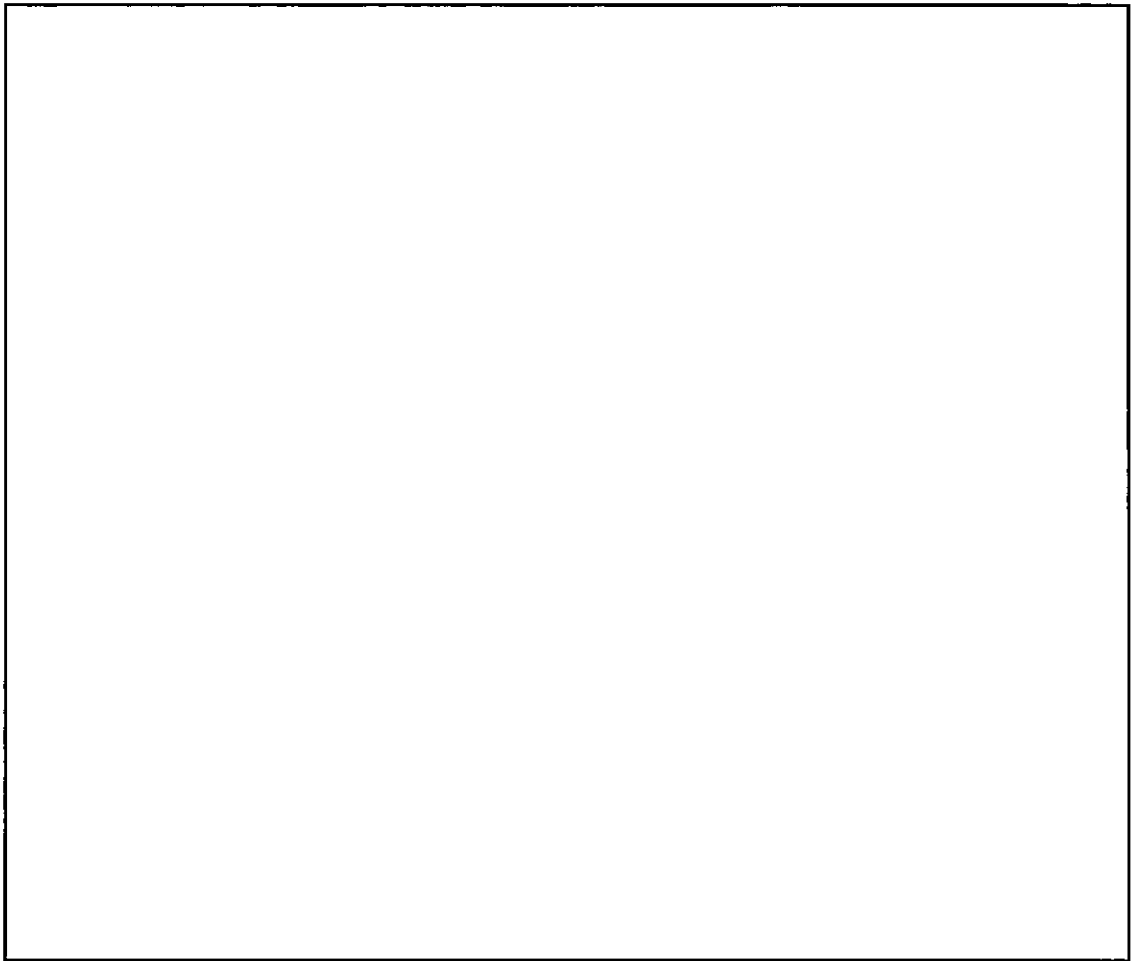
実寸大の原型容器を使用して自由落下試験を実施しており、モデル試験は実施していない。



(a) 1.2m水平落下

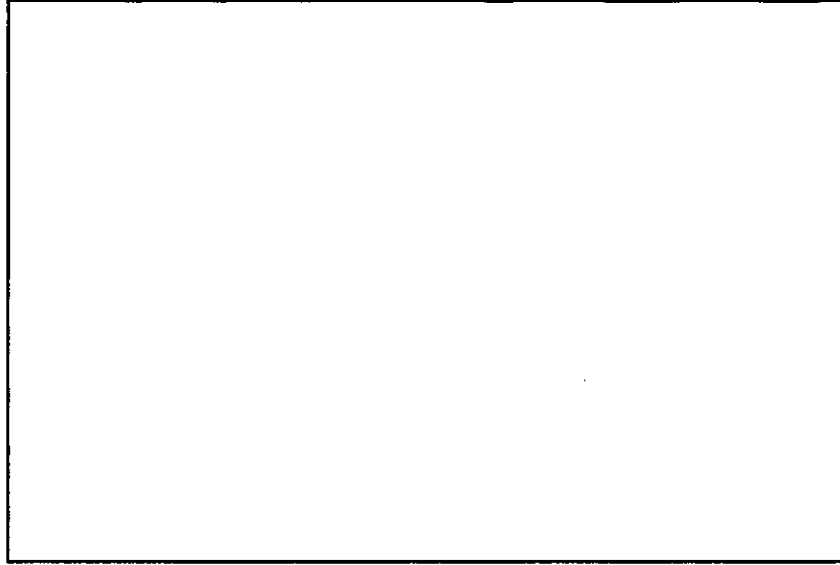
(b) 1.2m垂直落下

図(ロ)A-20 自由落下試験の試験方法



(c)1.2mコーナー落下

図(口)A-20 自由試験の試験方法 (つづき)



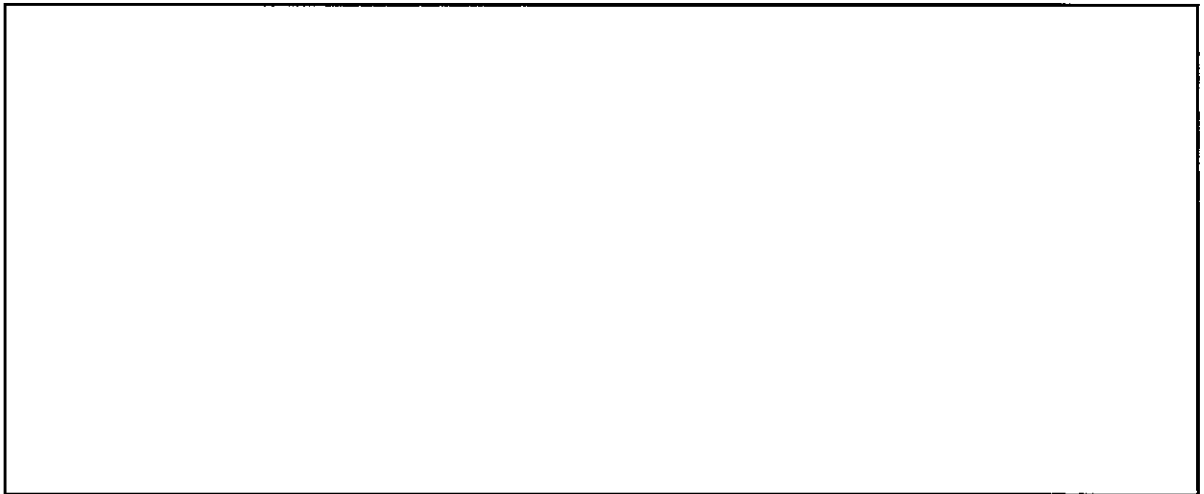
図(ロ)A-21 1.2mコーナー落下による保護容器落下面の変形状態

A.5.4 積み重ね試験

告示別記第三第一号ロ(3)で要求されている積み重ね試験については、原型容器試験を実施した。本試験では輸送物の自重()Nの5倍の荷重()Nの方が、輸送物の鉛直投影面積に13kPaを乗じた荷重()Nより大きいため、輸送容器の自重の5倍の荷重を輸送物の底面及びその対面に均一に加える試験を24時間実施し、輸送容器の圧縮強度を評価した。

その結果、輸送容器の圧縮方向について外見上の変形及び有意な寸法変化は認められず、強度上特に問題のないことが確認された。

なお、図(ロ)A-22に本項で実施した積み重ね試験方法を示し、試験の詳細については附属資料(ロ)-A.2に示す。



図(ロ)A-22 積み重ね試験状態

A.5.5 貫通

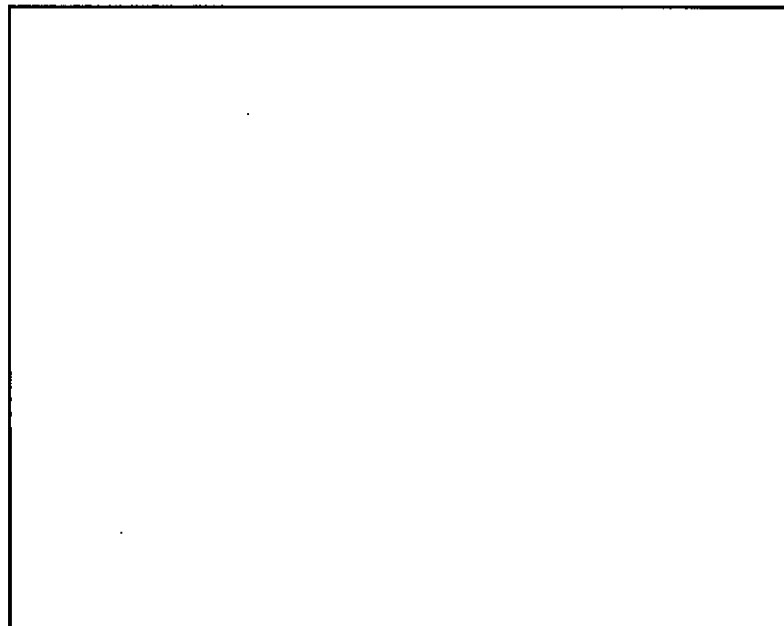
告示別記第三第一号ロ(4)で要求されている貫通試験については、原型容器試験を実施し、貫通のないことを確認した。また、実測結果をもとに、輸送容器のへこみ体積を解析により求めた。本試験では、軟鋼(SS400)の丸棒(φ32×960mm、重さ6kg)を原型容器の保護容器上面より1mの高さから落下させ、輸送容器の壁面の強度を評価した。

この結果、丸棒は保護容器の側板を貫通することなく、また壁面に生じる最大へこみ量は [] 程度であった。へこみ体積は、安全側に評価するため、丸棒と同じ直径3.2cmで深さ [] の円柱形状のへこみとみなして下記のように求めた。

$$V = [] = [] \text{ cm}^3$$

従って、へこみの体積は [] cm^3 以下であり、一辺10cmの立方体を包含することはない。

なお、図(ロ)A-23に本項で実施した貫通試験方法を示し、試験結果の詳細については附属資料(ロ)-A.2に示す。



図(ロ)A-23 貫通試験方法

A.5.6 角又は縁落下

告示別記第三第一号ロ(2)で要求されている角又は縁落下については、本輸送物はファイバー板製又は木製ではなく、かつ総重量1,500kgであるため該当しない。

A.5.7 結果の要約及びその評価

原型容器を用いて実施した一般の試験条件の順序は、以下のとおりである。

- (1)水噴霧試験
- (2)1.2m水平落下試験
- (3)1.2m垂直落下試験
- (4)1.2mコーナー落下試験
- (5)積み重ね試験
- (6)貫通試験

上記の試験終了毎に輸送容器の検査を行った。検査の結果は以下のとおりである。

(a)水噴霧試験

水噴霧後の輸送容器を検査した結果、燃料容器内への水の浸入はなかった。

(b)落下試験

各落下試験後の検査の結果、輸送容器に局所的な変形が生じるものの、輸送容器本体の形状はほぼ原型を保つことが確認された。また、収納物の散逸が生じるような燃料容器の破損もないことが確認された。

寸法収縮については、長さ方向が最大□□□、高さ方向が最大□□□、幅方向が最大□□□であることが確認された。

従って、遮蔽解析においてはこれらの変形を考慮した解析を実施している。

以上の結果、各落下姿勢に対する減容率をまとめると以下のとおりである。

- | | | |
|-----------|---|-----|
| ① 水平落下時 | : | □□□ |
| ② 垂直落下時 | : | □□□ |
| ③ コーナー落下時 | : | □□□ |

(c)積み重ね試験

積み重ね試験による保護容器の有意な変形は認められなかった。

(d)貫通試験

保護容器上蓋の鋼板は貫通することはなかった。また、へこみ量は最大で□□□であった。

A.6 特別の試験条件

本輸送物は核燃料物質の収納量がA2値以下となるA型輸送物であるため、B型輸送物としての特別の試験条件は該当しない。核分裂性物質(ウラン235)を15グラム以上収納するため、核分裂性輸送物として要求される特別の試験条件に該当するが、これについては「A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件」で述べる。

A.7 強化浸漬試験

本輸送容器で輸送される収納物は、A₂値の十万倍を超える放射能を有する核燃料輸送物ではないので該当しない。

A.8 放射性収納物

A.8.1 収納物の仕様

放射性収納物の構造を図(イ)-3及び図(イ)-4に示す。

放射性物質は両端を密封したジルカロイ-2製又はジルコニウム内貼りジルカロイ-2製の被覆管に収納されている。

燃料棒の主要諸元は次のとおりである。

項 目	諸 元	
①ペレット 直 径	9.4mm	
②被覆管	内 径	□ mm
	肉 厚	□ mm
	外 径	□ mm
	材 質	ジルカロイ-2 又は ジルコニウム内貼りジルカロイ-2
③燃料棒	有効長	約 3.8m
	全 長	約 4m
	加圧量	□ MPa

A.8.2 一般の試験条件における放射性収納物の挙動

一般の試験条件として、熱的試験、水噴霧、自由落下、積み重ね試験及び貫通試験の各試験条件に対して評価をした結果、容器には局所的な変形が生じるが収納物である燃料集合体には変形等の影響は見られず、放射性収納物である燃料棒の密封境界が破損することはない。

A.8.3 特別の試験条件における放射性収納物の挙動

特別の試験条件下として、一般の試験条件に続いて、9m 落下試験、1m 鋼棒上落下試験、耐火試験の各試験条件においた評価をした結果、密封境界である燃料棒について、放射性収納物である燃料棒の密封境界が破損することはない。

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 グラム以上収納して輸送するため、核分裂性輸送物として、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たものである。

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

「A.5.2 水噴霧」に示すように、本輸送物には材料劣化はない。臨界解析においては孤立系、配列系に関係なく、すべての評価体系において保守的に輸送容器内への水の浸水を考慮しているが、密封境界である燃料棒内への浸水は考慮していない。

A.9.1.2 自由落下

「A.5.3 自由落下」に示すように、自由落下では、保護容器に局所的な変形を及ぼすが燃料棒の密封性は維持される。また、保護容器の局所的変形は臨界評価において影響を及ぼさない。

A.9.1.3 積み重ね試験

「A.5.4 積み重ね試験」に示すように、積み重ねによって、保護容器に有意な変化は認められず、燃料棒の密封性は維持される。よって、積み重ね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 貫通試験

「A.5.5 貫通」に示すように、6kg 丸棒自由落下では、保護容器の外板を貫通せず、1 辺 10cm の立方体を包含するようなくぼみは生じないことが確認された。外容器外容器に局所的な変形を及ぼすが燃料棒の密封性は維持される。よって、貫通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.9.1.5 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と臨界解析への影響を表(ロ)A-23に示す。一般の試験条件下では、輸送物構造部に 1 辺 10cm の立方体を包含するようなくぼみは生じないこと及び輸送容器に外接する直方体の各辺の長さは 10cm 以上であることが確かめられた。また、臨界解析条件としては、輸送容器内への浸水を考慮する。

表(ロ)A-23 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	臨界解析への影響	備考
水噴霧	損傷なし	浸水を考慮	—
1.2 m 落下		変形を考慮	コーナー落下姿勢
積み重ね	損傷なし	影響なし	—
6 kg 棒貫通	外表面に若干のくぼみ	影響なし	—

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

告示別記第十二によれば、核分裂性輸送物の原型試験では一般の試験条件に置いたものを、

①落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ、熱的試験に置き、0.9m の水中に 8 時間浸漬

②15m の水中に 8 時間浸漬

のいずれかのうち、最大の破損を受ける条件の下に置かなければならない。

本輸送物は核燃料物質の密封境界が燃料集合体である。燃料集合体は約 8MPa の高温高压水中で使用することを前提として設計されており、15m の水中に浸漬することによる水圧（約 0.15MPa）では最大の破損を起こさない。

従って、落下試験Ⅰ、Ⅱによる機械的破損、熱的試験による熱的影響を輸送物に与えることの方が密封境界の破損に影響が大きいと判断し、①の試験を実施する。

A.9.2.1 強度試験・落下試験Ⅰ（9m 落下時）

本輸送物は総重量1500kgであり、告示別記第十二第一号口に記された500kg以下の軽量輸送物に該当しない。従って、本輸送物では強度試験・落下試験Ⅰとして9m落下を実施した。

強度試験・落下試験Ⅰは、輸送物が最大破損を受けるように9mの高さより落下させ、この時の輸送容器の変形と収納物の受ける影響について評価する。予備試験にて決定した落下姿勢、すなわち輸送物重心が真上となるコーナー落下について原型容器による落下試験を実施し、輸送物の強度を評価した。

重量及び外形寸法を模擬するものとして、実際の燃料集合体と重量、寸法、構成部品を同じとした（但し核燃料物質である二酸化ウラン焼結体はW-Cu焼結体で置き換えた）模擬燃料集合体及び燃料集合体の重量のみを模擬した重量模擬体各1体を収納した原型容器のコーナー落下試験を実施した。なお、原型容器は実際の輸送容器と同一の構造及び寸法である。図(ロ)A-24に本項で実施した落下試験方法を示し、A.9.2.1.1以降に試験結果の概要を述べる。

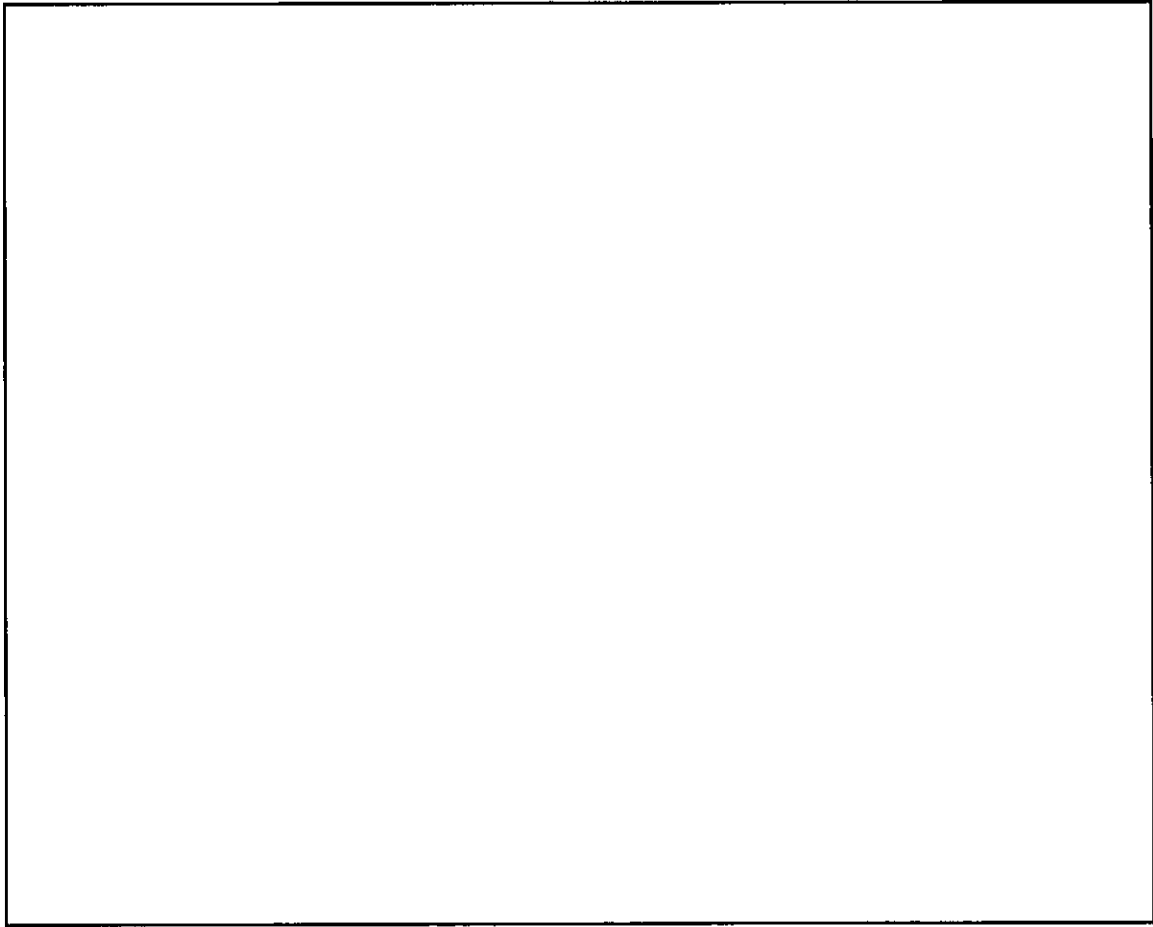
なお、試験結果の詳細については附属資料(ロ)-A.2に示した。

A.9.2.1.1 垂直落下

予備試験を行い、垂直落下姿勢における変形量としては、最大減少量として□□□□、フランジ部の最大開口量として□□□□であった。

A.9.2.1.2 水平落下

予備試験を行い、水平落下姿勢（側面下向き）における変形量としては、最大減少量として□□□□、フランジ部の最大開口量として□□□□であった。



9mコーナー落下

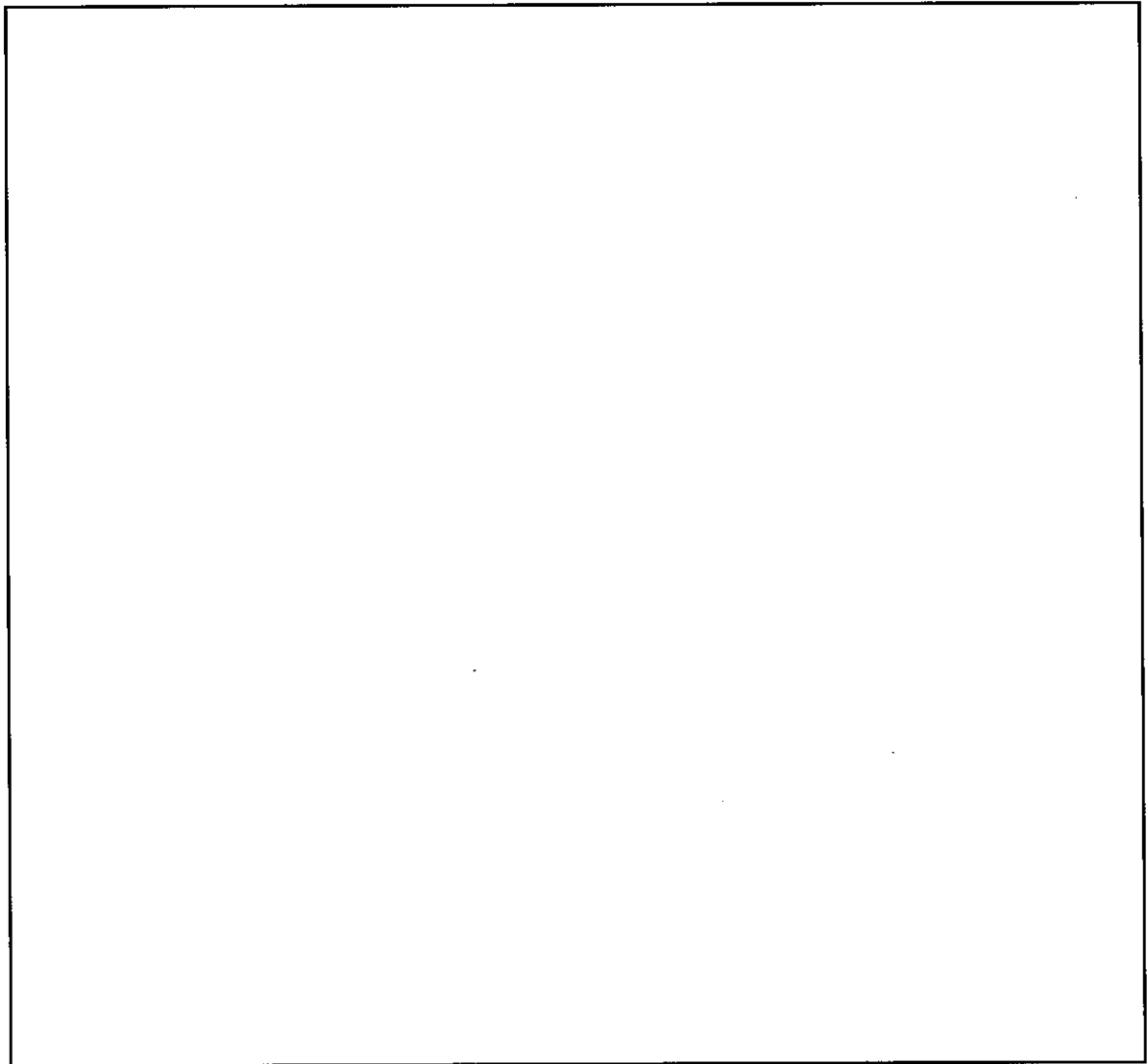
図(ロ)A-24 落下試験 I の試験方法

A.9.2.1.3 コーナー落下

原型容器試験における落下姿勢は、予備試験（附属資料(口)－A.3）の結果に基づき、上蓋側コーナーを落下側とする姿勢とした。

試験の結果、原型容器の変形は落下側のリップ溝型鋼の変形が主であり、保護容器全体としては落下方向に□の縮み変形を生じた。

図(口)A-25に落下側の変形状態を示す。



図(口)A-25 9mコーナー落下による保護容器落下点部分の変形状態

A.9.2.1.4 傾斜落下

傾斜落下の際に生じる落下のエネルギーは、輸送物の変形と回転で消費される。

A.9.2.1.3項で実施したコーナー落下においては、落下エネルギーがほとんど輸送物の変形に消費されるため、傾斜落下が輸送物に与える影響はコーナー落下の項で述べた以上になることはない。

従って、傾斜落下はコーナー落下により評価できる。

A.9.2.1.5 落下試験 I の結果の要約

落下試験Iの結果は次のようにまとめることができる。

- ・保護容器の長さ方向の変形は、の縮みが生じる。
- ・保護容器の高さ方向の変形は、の縮みが生じる。
- ・保護容器の幅方向の変形は、の縮みが生じる。
- ・燃料容器の長さ方向の変形は、の縮みが生じる。
- ・燃料容器の高さ方向の変形は、の縮みが生じる。
- ・燃料容器の幅方向の変形は、の縮みが生じる。
- ・模擬燃料棒が最下部のスパンにおいて最大へ曲がっているのが認められた。
- ・試験前後で燃料棒のヘリウムリーク試験を実施した結果、ヘリウムのリークはなく燃料棒の密封性に問題のないことを確認した。

以上の結果に基づき、臨界解析ではこれらの変形を考慮した解析を実施している。

A.9.2.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1m 落下時）

直径 150mmで長さ500mm以上で、縁の丸みは半径5mm以下の軟鋼丸棒(以下「ターゲット」と呼ぶ)の上端面へ、輸送物が最大破損を受けるような姿勢で高さ1mより落下した場合における輸送物の強度を評価する。

最大破損を受ける落下姿勢を決めるため、予備試験（附属資料(ロ)－A.3）において水平落下側面下向き、同上蓋下向き、垂直落下上部側下向きの3姿勢について1mターゲット落下を実施し、保護容器のターゲットによる変形深さが最も大きかった「水平落下側面下向き」を本試験で実施した。

落下試験Ⅱの試験状態を図(ロ)A-26に示す。

試験の結果、ターゲット衝突位置で最大□□□□のへこみを生じたが、貫通は生じなかった。

図(ロ)A-27に変形の状態を示す。

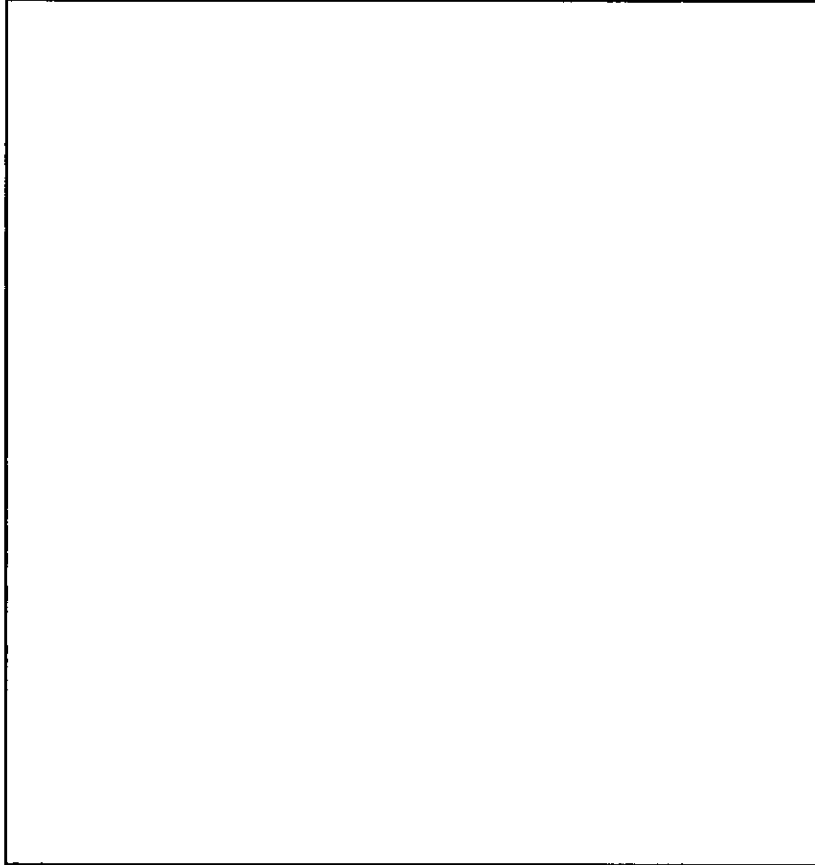
また、試験結果の詳細については附属資料（ロ）－A.2に示す。

A.9.2.2.1 結果の要約

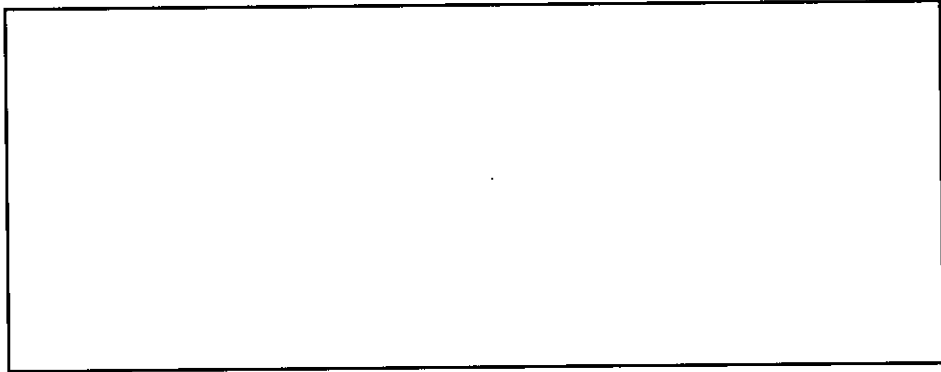
落下試験Ⅱの結果は次のようにまとめることができる。

- ・保護容器平板の変形はターゲットと衝突した側面に最大□□□□のへこみが生じた。
- ・貫通はない。
- ・フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。

以上の結果に基づき、臨界解析ではこれらの変形を考慮した解析を実施している。



図(口)A-26 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）の試験状態



図(口)A-27 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m落下時）により変形した断面の様子

A.9.2.3 熱的試験

強度試験を行った容器を引続き耐火試験に供するものとして評価した。評価の結果燃料棒にかかる応力は基準値以下であり、健全性は保たれる。この熱的試験の評価は「(ロ)-B.5 特別の試験条件」で行う。

A.9.2.3.1 温度及び圧力の要約

熱的試験における測定データは附属資料(ロ)-A.2に示す。

保護容器外面は最高□□°C、燃料容器内面は□□°C、燃料棒表面温度は□□°Cであった。

この結果に、一般の試験条件での最高温度解析結果と常温との温度差を加えると、(ロ)-B.5.3輸送物温度に示すように、燃料棒表面温度は□□°Cである。

A.9.2.3.2 熱膨張

熱膨張により発生する応力は、(ロ)-B.5.5最大熱応力で述べるように、部材間に温度差がないため、臨界評価上問題となるような変形は生じない。

熱的試験後の保護容器及び燃料容器には、ともに大きな形状変化はなかった。また、ボルトの外れもなかった。

A.9.2.3.3 許容応力との比較

燃料棒表面温度□□°Cによる内圧増加によって発生する円周方向応力は最大でも□□MPaであり、基準値□□MPaに比較して小さく、解析基準を満足しており安全である。

燃料体の表面は変色は見られたものの、燃料棒の密封性は損なわれず、放射性物質の損失または散逸はなかった。(附属資料(ロ)-A.2参照)

A.9.2.4 浸漬

臨界安全解析は輸送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0.9mの水頭下の浸漬試験は実施していない。

なお、密封境界である燃料棒は原子炉内の高温高压条件である被覆管温度約290°C、約8MPaの外圧に耐えるように設計されており、深さ0.9m (1×10⁻²MPa)の水頭下に8時間以上浸漬しても破損することはない。

A.9.2.5 特別の試験条件まとめ

強度試験・落下試験I、II及び耐火試験を通じて、輸送容器には次のような変形が生じる。

(1) 保護容器

- ・保護容器の変形は、落下試験Iで最大となり、長さ方向の縮みは最大[]であった。この収縮長さ([])に保護容器端面の断面積を乗じ、変形前の保護容器体積との比を計算すると、長さ方向の収縮による減容率は、[]%であった。また、保護容器の高さ及び幅は最大[]減少した。
- ・保護容器平板面の変形は、落下試験IIで最大となり、1スパンの縦梁の間に最大[]のへこみが生じた。へこみによる保護容器の減容率は、保守的に考え、1スパンの縦梁外間隔[]分の面全面が[]収縮したと考えると[]%であった。
- ・保護容器のパッキングは、全て燃焼した。また、保護容器内の緩衝材は燃焼した。

(2) 燃料容器

- ・燃料容器長さ方向の変形は、最大[]の縮みが認められた。この長さ方向収縮に燃料容器端面の断面積を乗じ、変形前の燃料容器体積との比を計算すると、長さ方向に収縮した分の減容率は、[]であった。
- ・燃料容器高さ方向の変形は、最大[]の縮みが認められた。この高さ方向収縮に燃料容器の水平投影断面積を乗じ、変形前の燃料容器体積との比を計算すると、高さ方向に収縮した分の減容率は、[]%であった。
- ・燃料容器幅方向の変形は、最大[]の縮みが認められた。この幅方向収縮に燃料容器長手方向側面の断面積を乗じ、変形前の燃料容器体積との比を計算すると、幅方向に収縮した分の減容率は、[]%であった。
- ・燃料容器のパッキングは、全て燃焼した。また、燃料容器内の緩衝材の一部は燃焼していた。

(3) 収納物（模擬燃料集合体）

- ・収納物である模擬燃料集合体は、最下部の第1スパンにおいて最大[]内側へ曲がっていたが、燃料集合体の原型は維持されていた。
- ・燃料体の表面は黒く変色していたが、燃料棒の密封性は損なわれず、放射性物質の損失または散逸はない。

一般の試験条件および特別の試験条件の下で一連の試験を実施し、最終的にヘリウムリーク試験を実施し、密封性の維持に対して問題はないことを確認した。以上のことから、本輸送容器は自由落下、貫通試験、及び耐火試験（(ロ)B.5に後述）の累積損傷に十分に耐え、規則の要求を十分に満たしている。

核分裂性輸送物に関わる特別の試験条件下における本輸送物の状態と臨界解析への影響を表(ロ)A-24に示す。特別の試験条件下の臨界解析条件としては、輸送物内の浸水及び外寸の一律変形を考慮する。

表(ロ)A-24 特別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	臨界解析への影響	備考
落下試験 I	保護容器の外形寸法が減少 長さ：最大 <input type="text"/> 高さ：最大 <input type="text"/> 幅：最大 <input type="text"/>	保護容器の外形寸法の減少を考慮 長さ：最大 <input type="text"/> 高さ：最大 <input type="text"/> 幅：最大 <input type="text"/>	—
	燃料容器の外形寸法が減少 長さ：最大 <input type="text"/> 高さ：最大 <input type="text"/> 幅：最大 <input type="text"/>	燃料容器の外形寸法の減少を考慮 長さ：最大 <input type="text"/> 高さ：最大 <input type="text"/> 幅：最大 <input type="text"/>	—
	収納物に変形	保守的に無視	—
落下試験 II	局所的な変形 内容器及び収納物への影響は無い。	影響なし	—
耐火試験	臨界評価に与える変化はない	影響なし	—
浸漬試験	—	浸水を考慮	—

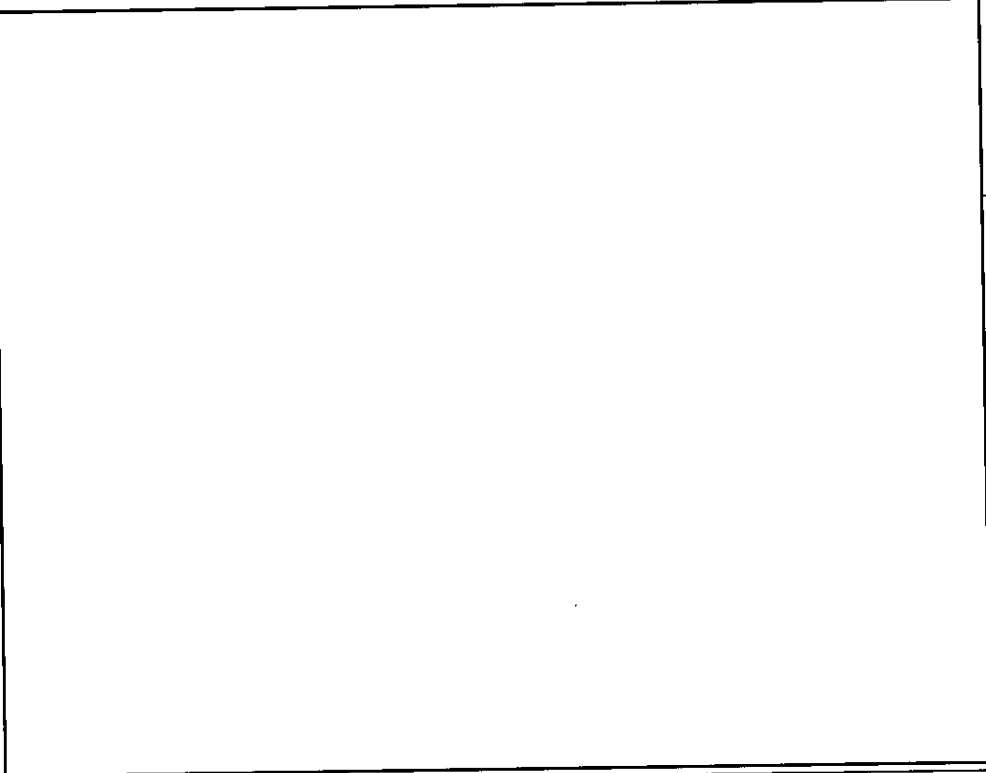
A.10 構造解析まとめ

通常輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件における構造解析を実施した結果、各評価項目において要件を満足するものである。また、各条件において輸送物に生じる影響については、他の解析において保守的に考慮する。解析結果のまとめを表(口)A-25に示す。

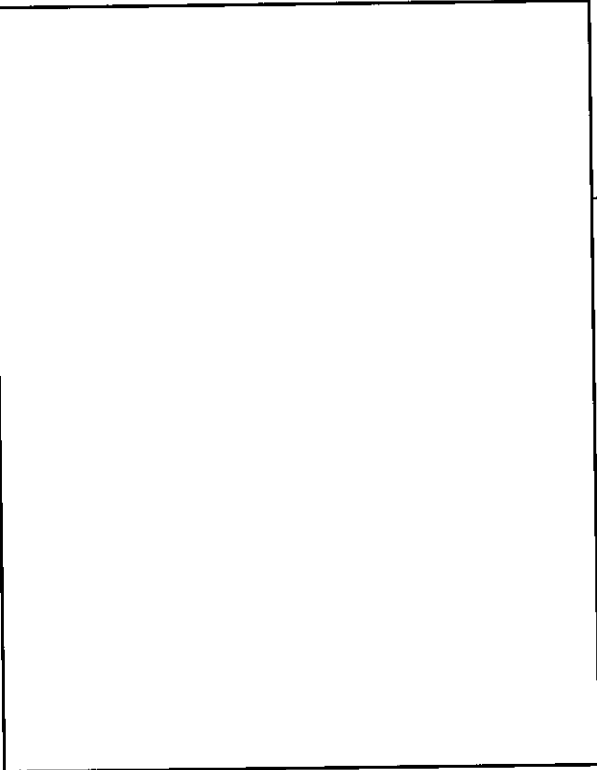
表(ロ)A-25 構造解析結果 (1/5)

条件	項目	設計要素	解析基準	結果	安全率	備考	
通常輸送条件	1.化学的及び電気的反応 (1) 化学的反応	化学反応性	反応性の有無	無	—		
	(2) 電気的反応	電位差	異種金属間の電位差の有無	無	—		
	2.低温強度 (1) 保護容器、燃料容器	低温強度	性能低下の有無	無	—		
	(2) 保護容器 ボルト 燃料容器	低温強度	性能低下の有無	無	—		
	(3) 緩衝材	性能低下	性能低下の有無	無	—		
	3.密封装置 (1) 燃料棒	密封機能	密封機能低下の有無	無	—		
	4.吊上装置 (1) 保護容器本体 ・底面 ・側面	引張応力 引張応力					
	(2) 保護容器リップ溝 型鋼溶接部	せん断応力					
	(3) 保護容器上蓋用 フック	引張応力					

表(ロ)A-25 構造解析結果 (2/5)

条件	項目	設計要素	解析基準	結果	安全率	備考
通常輸送条件	(4) 保護容器上蓋用フック溶接部	せん断応力				
	(5) 燃料容器シヤックル	使用荷重				
	(6) 燃料容器シヤックルピン取付枠	引張応力				
	(7) 燃料容器シヤックルピン取付枠溶接部	せん断応力				
	(8) 燃料容器上蓋吊り手取付枠	引張応力				
	(9) 上蓋吊り手取付枠	引張応力				
	(10) 上蓋吊り手取付枠溶接部	せん断応力				
		引張応力				
		引張応力				
		引張応力				

表(ロ)A-25 構造解析結果 (3/5)

条件	項目	設計要素	解析基準	結果	安全率	備考
通常輸送条件	(11) 起立用フック	引張応力				
	(12) 起立用フック取付部	せん断応力				
	5.圧力					
	(1) 燃料棒					
	燃料棒円周方向応力	引張応力				
	燃料棒軸方向応力	引張応力				
6.振動		せん断応力				
	(1) 保護容器ボルト	せん断応力				
	(2) 燃料容器ボルト	せん断応力				

表(ロ)A-25 構造解析結果 (4/5)

条件	項目	設計要素	解析基準	結果	安全率	備考
一般の試験条件	1.熱応力	引張応力	[]	[]	[]	[]
	(1) 燃料容器	引張応力				
	(2) 燃料容器ボルト	引張応力				
	(3) 燃料棒円周方向応力	引張応力				
	(4) 燃料棒軸方向応力	引張応力	無	[]	[]	原型試験による
	2.水噴霧	水分浸入の有無				
	(1) 燃料棒	水分浸入の有無				
	3.自由落下	変形	[]	[]	[]	"
	(1) 1.2m水平落下	変形				
	(2) 1.2m垂直落下	変形				
(3) 1.2mコーナー落下	変形	無	[]	[]	"	
4.積み重ね試験	座屈等の変形の有無	無	1 辺 10cm の立方体の包含	無	[]	"
5.貫通	くぼみの体積	くぼみの体積	1 辺 10cm の立方体の包含	[]	基準を満足	"
(1)保護容器						

表(ロ)A-25 構造解析結果 (5/5)

条件	項目	設計要素	解析基準	結果	安全率	備考
特別の試験条件	1.強度試験・落下試験 I (9m 落下時) (1)コーナー落下	密封性の維持	—	健全	臨界に影響無し	原型試験による
	(2) 傾斜落下	密封性の維持	—	コーナ落下よりも破損が大きくなることはない	臨界に影響無し	”
	2.強度試験・落下試験 II (1m 落下時) (1) 落下	密封性の維持	—	健全	臨界に影響無し	”
	3.熱的試験	密封性の維持	—	健全	臨界に影響なし	”
	4.浸漬 (1) 燃料棒の破損	無	—	燃料棒設計条件が試験条件より厳しい	臨界に影響なし	設計評価

参考文献一覧表

- (1) 強度設計データブック(修正版) 掌華房
強度設計データブック編集委員会
- (2) 機械工学便覧(改訂第6版)
日本機械学会編
- (3) ステンレス鋼便覧(第3版)
ステンレス協会編
- (4) 防振ゴムの標準化のための研究
日本ゴム協会(昭和33年)
- (5) 設計便覧

附属資料(口)-A.2

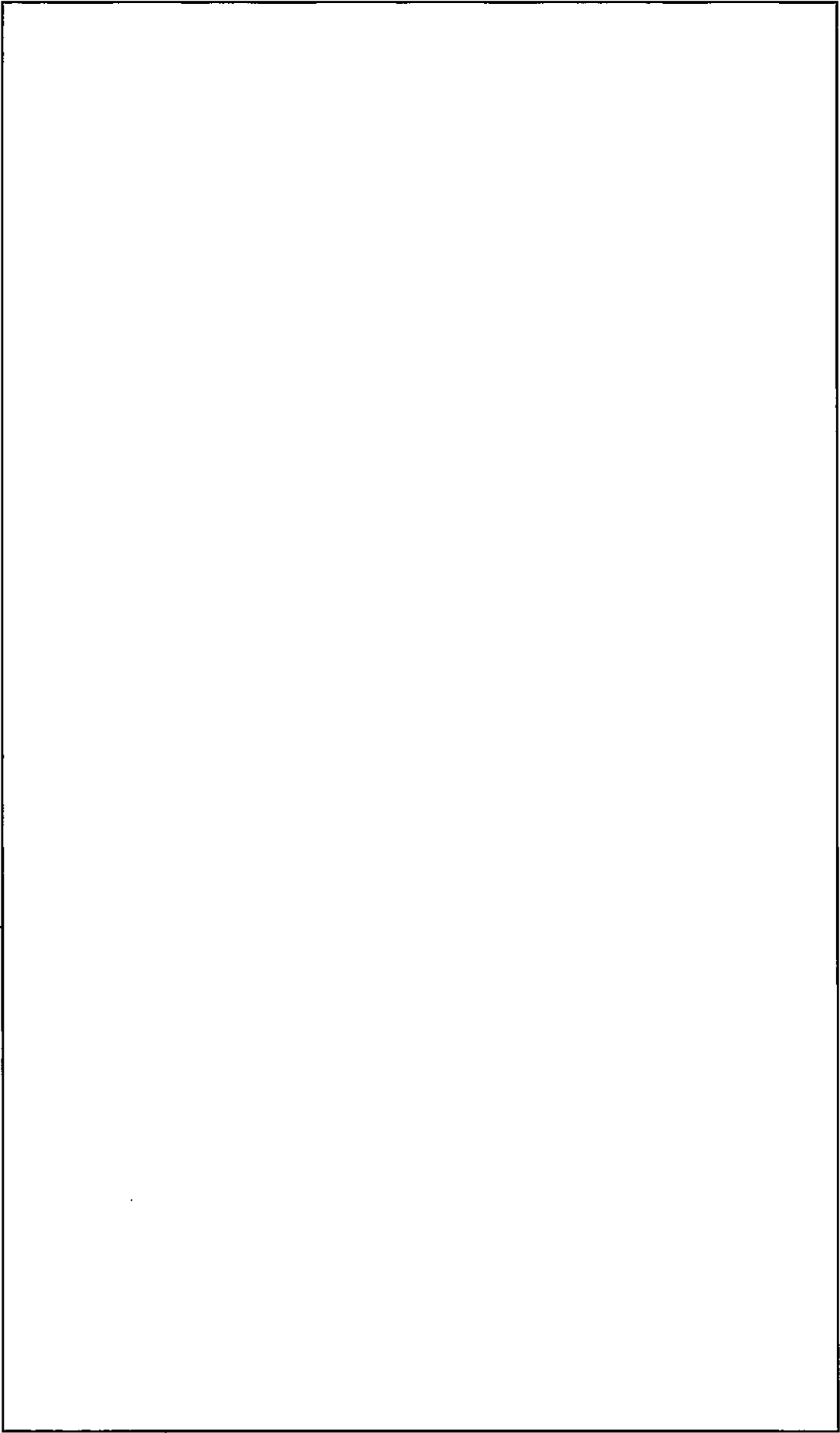
NT-XII 型輸送容器試験報告書

1.はじめに

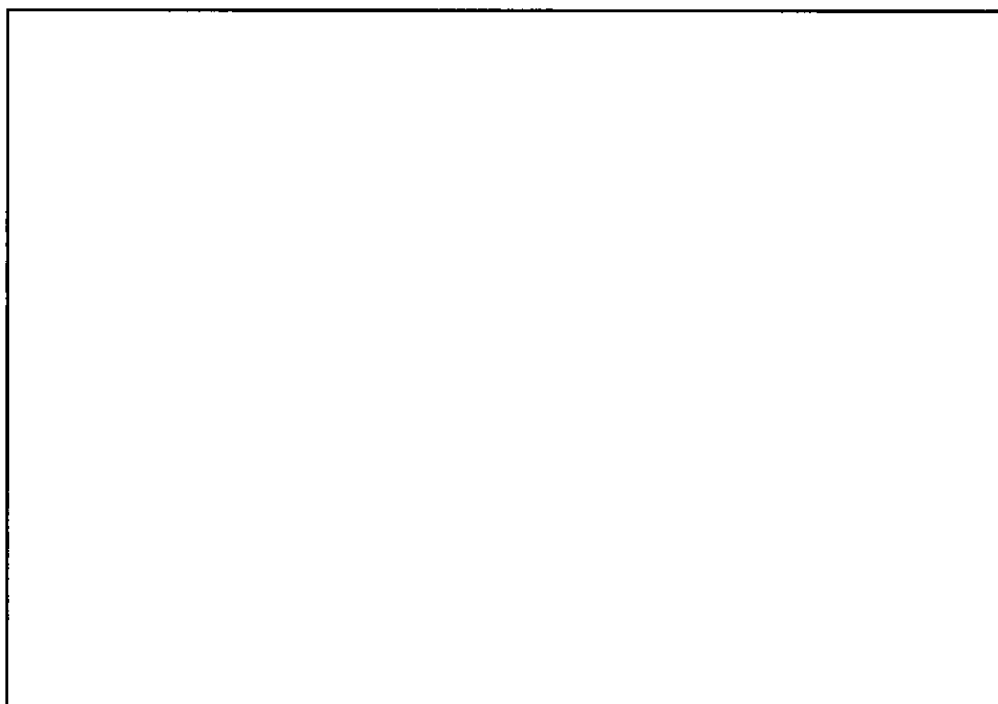
NT-XII 型輸送容器の原型容器を用いて一般の試験および特別の試験を実施した。本報告書は、試験状況及び試験後の容器の検査結果をまとめたものである。

2.原型容器の概要図および外観図

原型容器の概要図及び外観図を図(ロ)A 附 2-1及び図(ロ)A 附 2-2に示す。



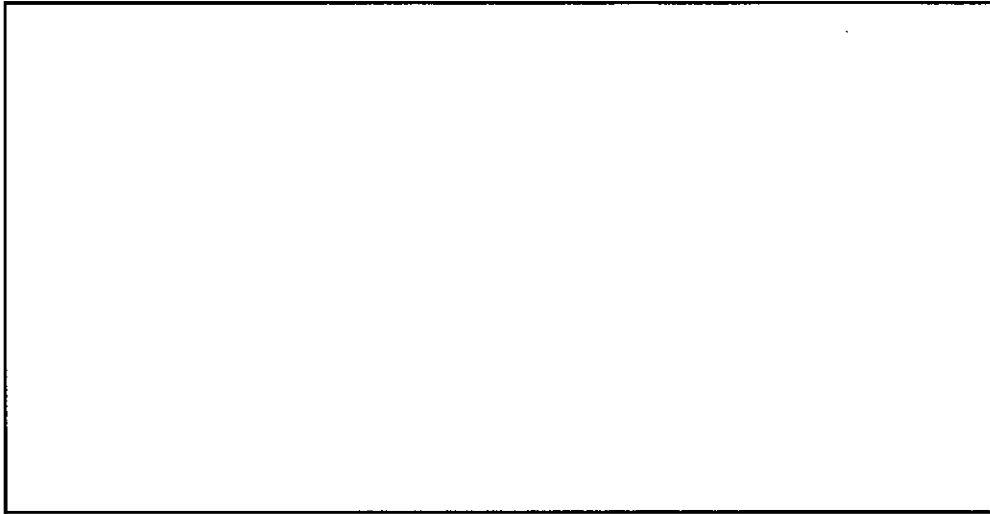
图(口)A 附 2-1 (1)NT·XII 型输送机



図(口)A 附 2- 1(2) 原型容器 (保護容器) の外観



图(口)A 附 2- 2 NT-XII 型燃料容器



図(ロ)A 附 2- 2(2) 原型容器 (燃料容器) の外観

3.0 試験

3.1 実施場所と実施時期

試験は、表(ロ)A 附 2-1 に示す実施場所及び実施日に行った。

表(ロ)A 附 2-1 試験実施場所及び実施日

試験項目	実施場所	実施日
水噴霧試験		平成 13 年 9 月 12 日
落下試験・積み重ね試験 貫通試験・落下試験 I、II		平成 13 年 9 月 17 日～19 日
熱的試験		平成 13 年 9 月 25 日

3.2 試験体

本試験に用いた輸送物は、次の点を除いて実際に燃料集合体を輸送する場合と同じである。

3.2.1 収納物の相違点

原型容器には、模擬燃料集合体 (図(ロ)A 附 2-3) と模擬重量体 (図(ロ)A 附 2-4) を組み合わせて収納した。なお、模擬燃料集合体には、UO₂ペレットの代わりに重量を模擬した W-Cu ペレットを用いている点を除き、材質・寸法等は実際の燃料集合体と同じである。

3.2.2 最終仕様輸送容器との相違

- 1) 加速度計及び熱電対の配線を取り出すため、保護容器本体の側面に直径約 10cm の孔を開けた。
- 2) 保護容器上蓋用フック補強板が取り付けられていない。

3.3 試験用機材

(1) 原型容器

原型容器 : 1 基

(2) 収納物

模擬燃料集合体 : 1 体、 模擬重量物 : 1 体

(3) 落下試験台

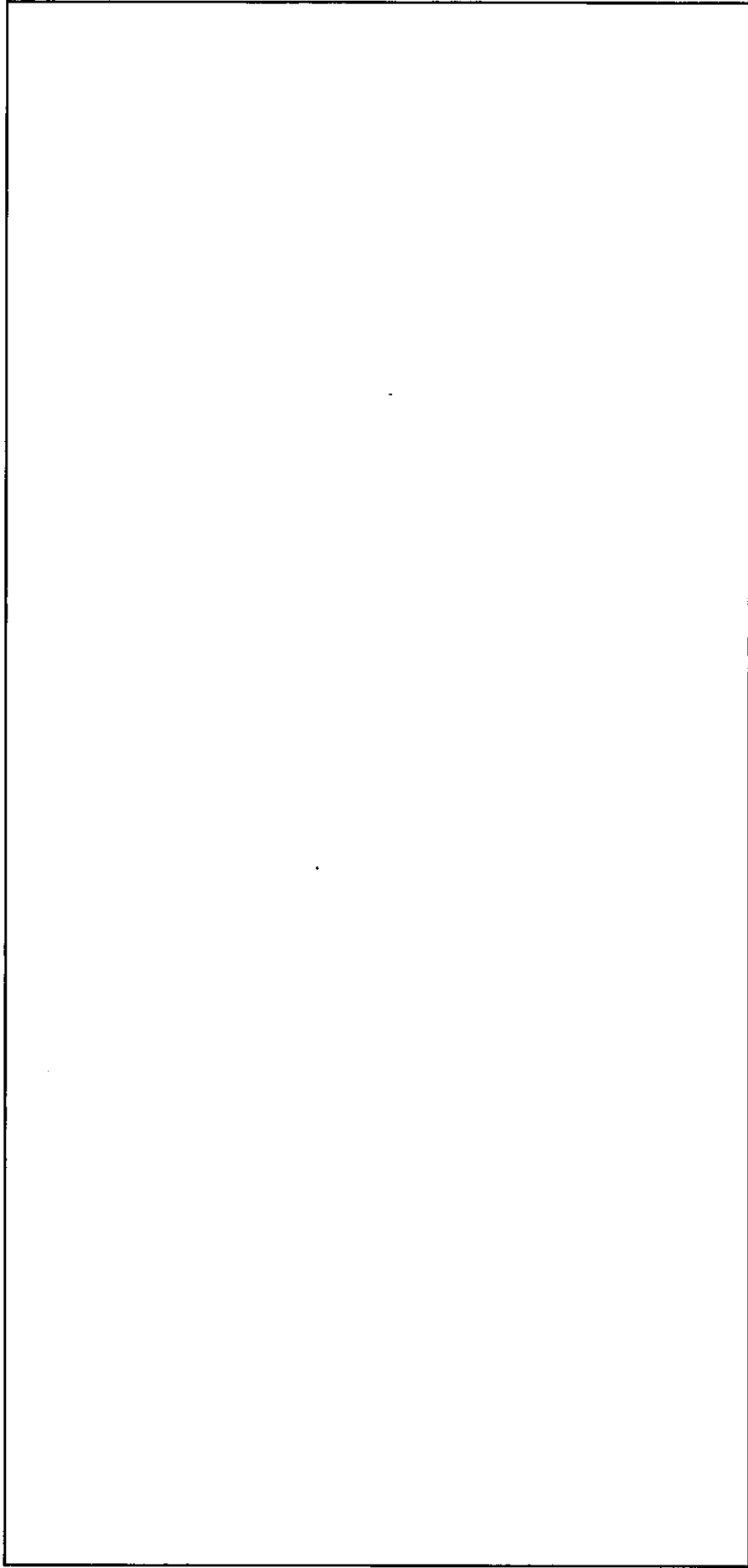
□の試験台を使用した。仕様を添付 1 に示す。

(4) クレーン

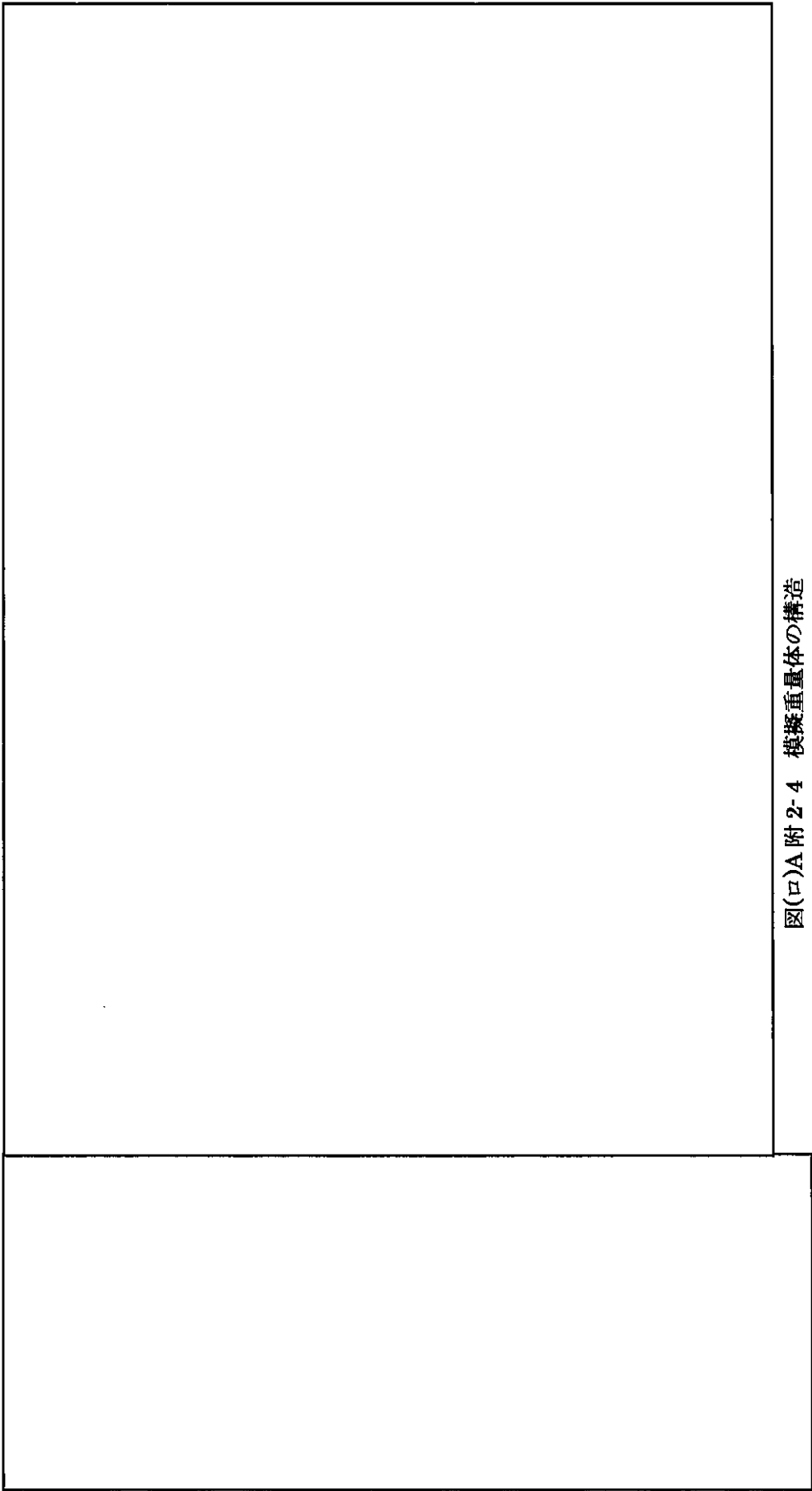
50 トンクレーン車を使用した。

(5) 切り離し用吊り具

□の容量 15 トンの吊り具を使用した。



図(口)A 附 2-3 模擬燃料集合体



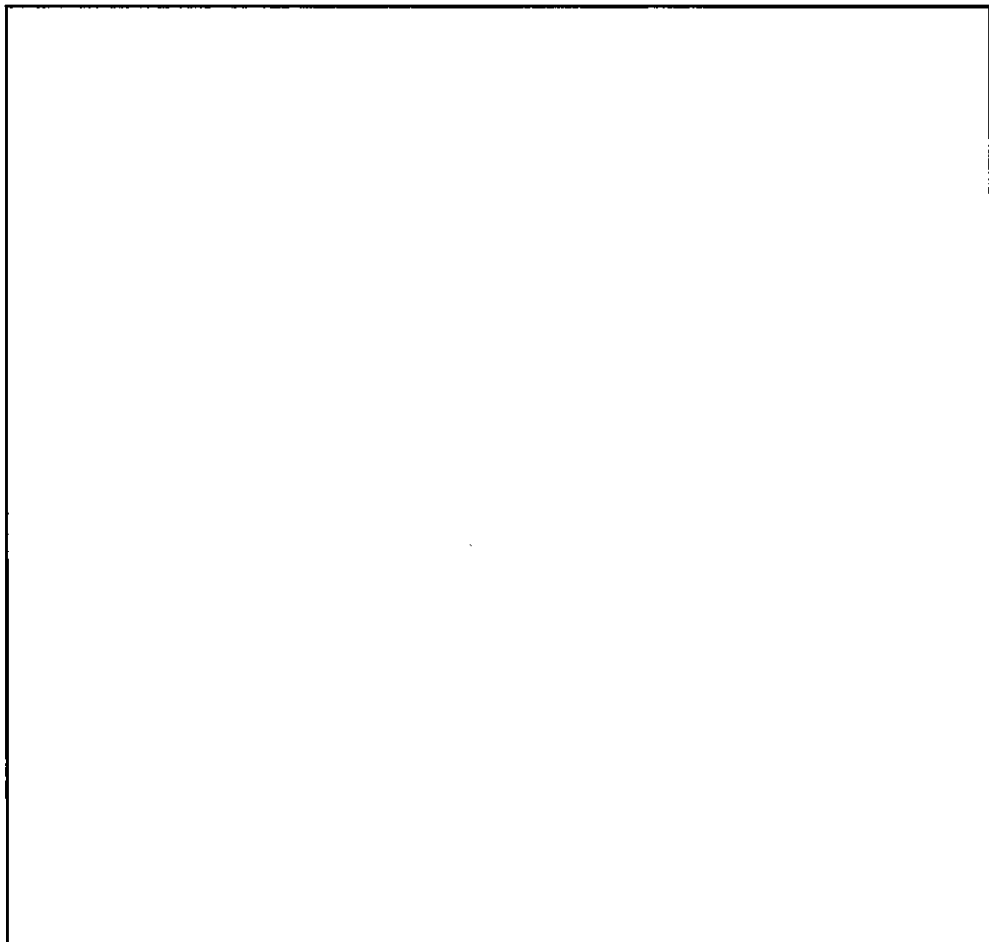
図(ロ)A 附 2-4 模擬重量体の構造

(6) 加速度計

を使用した。測定加速度、測定位置及び測定方向を表(口)A 附 2-2 に示す。また、取付位置を図(口)A 附 2-5 に示す。

表(口)A 附 2-2 測定加速度、測定位置及び測定方向

No	測定加速度	測定位置	測定方向
①	保護容器	燃料体下部側	長手方向、幅方向、高さ方向
②	燃料容器	燃料体下部側	長手方向、幅方向、高さ方向
③	模擬燃料集合体	燃料体下部側	長手方向、幅方向、高さ方向



図(口)A 附 2-5 加速度測定位置

(7) 熱処理炉

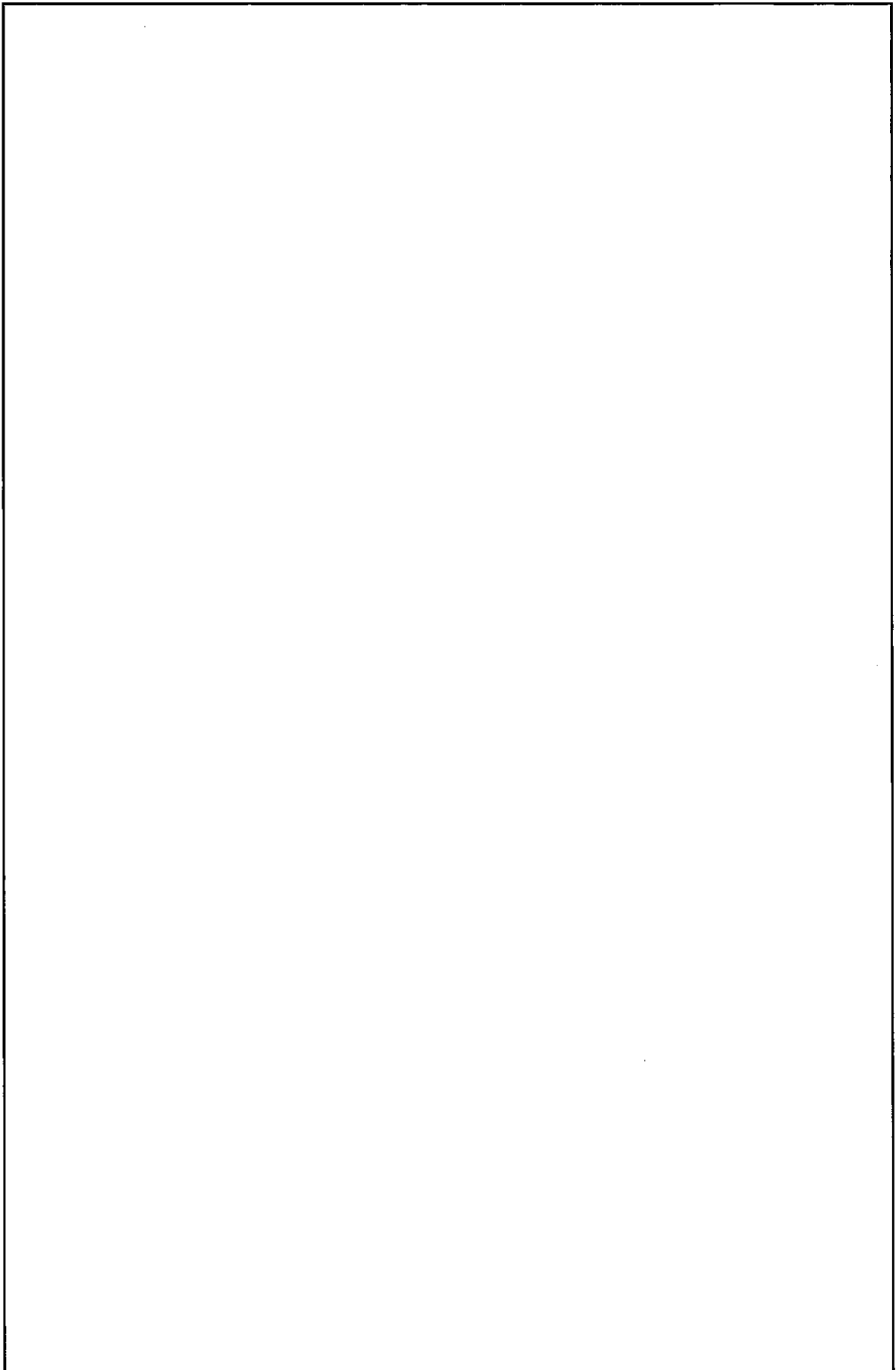
を使用した。仕様を添付 2 に示す。

(8) 熱電対

を使用した。熱電対により測定した温度を表(口)A 附 2-3 に示す。また、取付位置を図(口)A 附 2-6 に示す。

表(口)A 附 2-3 熱電対取付位置

No	測定温度	測定位置
①	炉内雰囲気	燃料体下部側
②	炉内雰囲気	燃料体中央
③	保護容器外面	燃料体下部側
④	保護容器外面	燃料体中央
⑤	保護容器内雰囲気	燃料体下部側
⑥	保護容器内雰囲気	燃料体中央
⑦	保護容器内雰囲気	燃料体上部側
⑧	燃料容器内面	燃料体下部側
⑨	燃料容器内面	燃料体中央
⑩	燃料容器内面	燃料体上部側
⑪	燃料棒	燃料体下部側
⑫	燃料棒	燃料体中央
⑬	燃料棒	燃料体上部側



図(口)A 附 2-6 熱電対取付位置

3.4 試験項目及び試験順序

試験は、表(ロ)A 附 2-4 に示す順序で行った。

表(ロ)A 附 2-4 試験項目及び順序

分類	試験項目	実施日	試験順序
一般の試験	水噴霧試験	平成 13 年 9 月 12 日	1
	落下試験 (1.2m 水平・側面下向き)	平成 13 年 9 月 17 日	2
	落下試験 (1.2m 垂直)	平成 13 年 9 月 17 日	3
	落下試験 (1.2m コーナー 上蓋側下向き)	平成 13 年 9 月 18 日	4
	積み重ね試験	平成 13 年 9 月 18~19 日	5
	貫通試験	平成 13 年 9 月 19 日	6
特別の試験	落下試験 I (9m コーナー 上蓋側下向き)	平成 13 年 9 月 19 日	7
	落下試験 II (1m ターゲット 水平・側面下向き)	平成 13 年 9 月 19 日	8
	熱的試験	平成 13 年 9 月 25 日	9

4. 試験方法

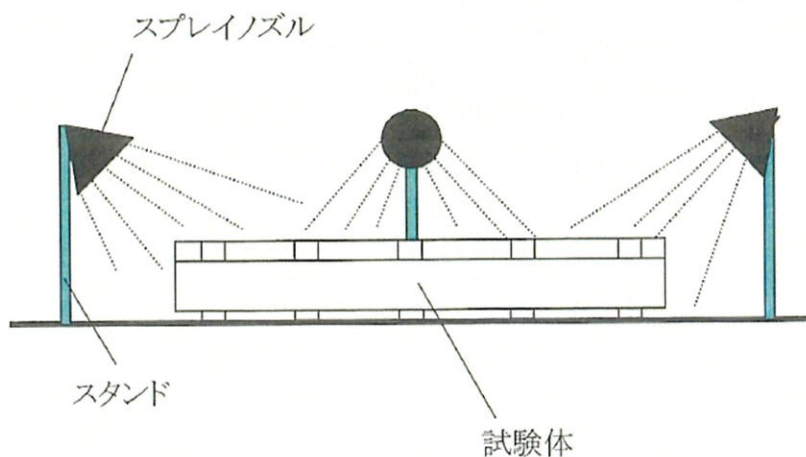
4.1 一般の試験

4.1.1 水噴霧試験

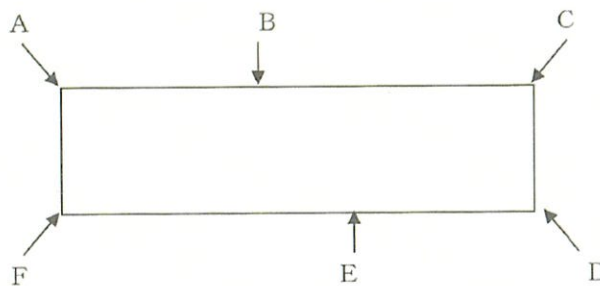
水噴霧試験は、水平から45°の角度で50mm/時の雨量に相当する水量を1時間にわたり、試験体に最も厳しい方向から吹き付けることを条件とした。

試験方法は、図(ロ)A 附 2-7に示すとおりであり、試験体を囲む6箇所配置したスプレインズルを介して、試験体の上面・フランジ面及びコーナー部に向けて放水した。

水量は、水噴霧試験の前後で各3回、スプレインズルを通して放水される水を目盛りの付いたプラスチックの容器で受け、30秒間の水量を測定した。その測定値を表(ロ)A 附 2-5に示す。



(a)水噴霧試験状況

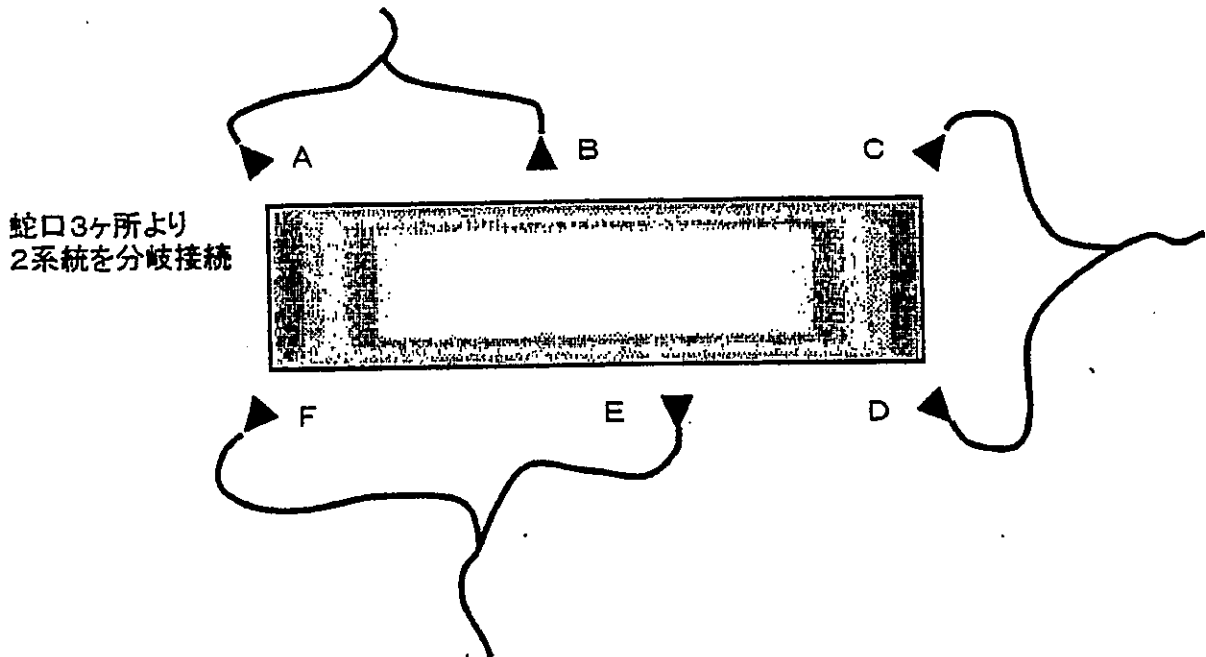


(b) スプレインズル位置

図(ロ)A 附 2-7 水噴霧試験

表(口)A 附 2-5 水量測定結果

	A		B		C		D		E		F	
	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値
試験前 (cc/30sec)	1150	1167	1100	1117	1100	1117	1000	983	950	950	1000	1017
	1200		1150		1150		950		950		1000	
	1150		1100		1100		1000		950		1050	
試験後 (cc/30sec)	1200	1167	1100	1100	1100	1100	1000	1000	900	883	1000	1000
	1150		1100		1100		1000		850		1000	
	1150		1100		1100		1000		900		1000	
平均水量 (cc/30sec)	1167		1108		1108		992		917		1008	
受水面積 (cm ²)	20372		20372		20372		20372		20372		20372	
水量 (mm/時)	68.7		65.3		65.3		58.4		54.0		59.4	
平均水量 (mm/時)	61.8											



4.1.2 落下試験

落下試験は、水噴霧試験に引き続いて、落下高さ 1.2m で水平落下、垂直落下及びコーナー落下の順に各 1 回実施した。

試験は、50 トンクレーンで落下吊り具を介して容器の最下部が試験台より 1.2m の高さまで吊り上げる。切り離し治具のスイッチを切り、容器を試験台の中央部に落下させた。

(1) 1.2m 水平落下

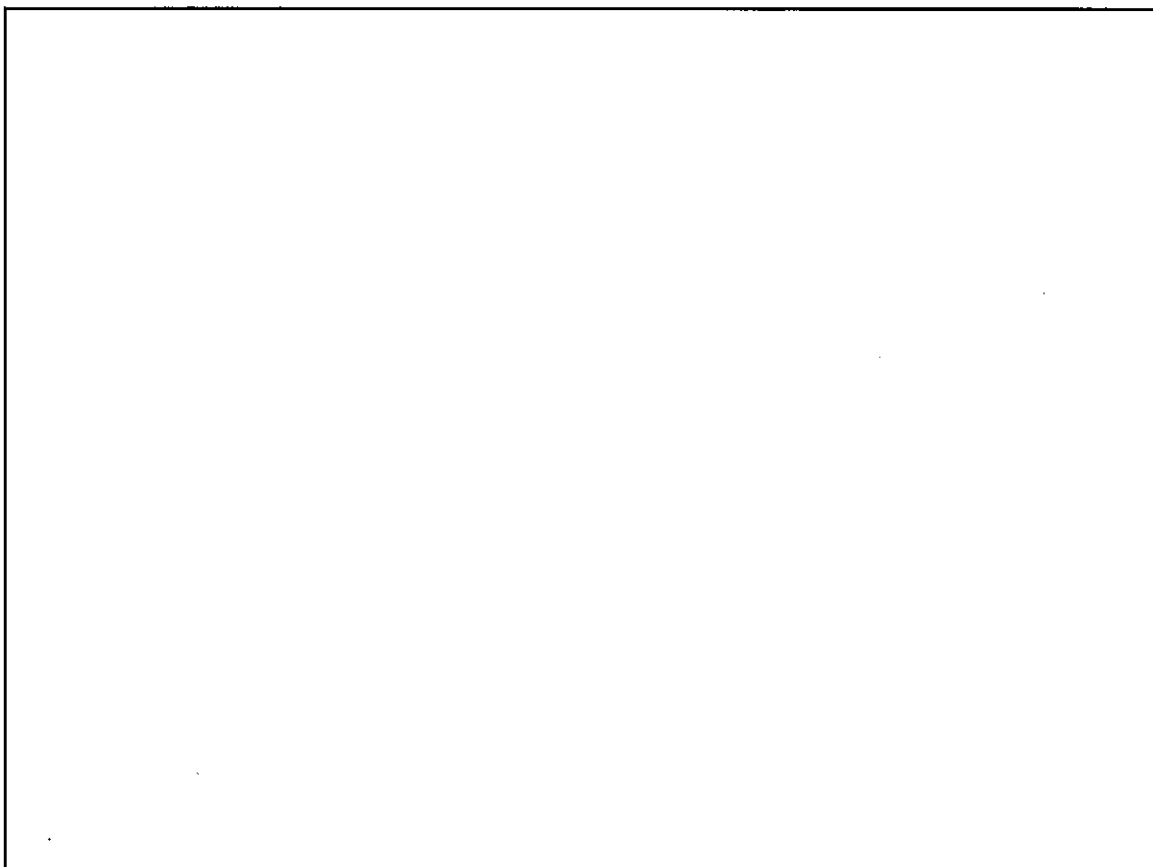
図(ロ)A 附 2- 8 に示すように、容器を水平に吊り上げ側面を下向きとして落下させた。

(2) 1.2m 垂直落下

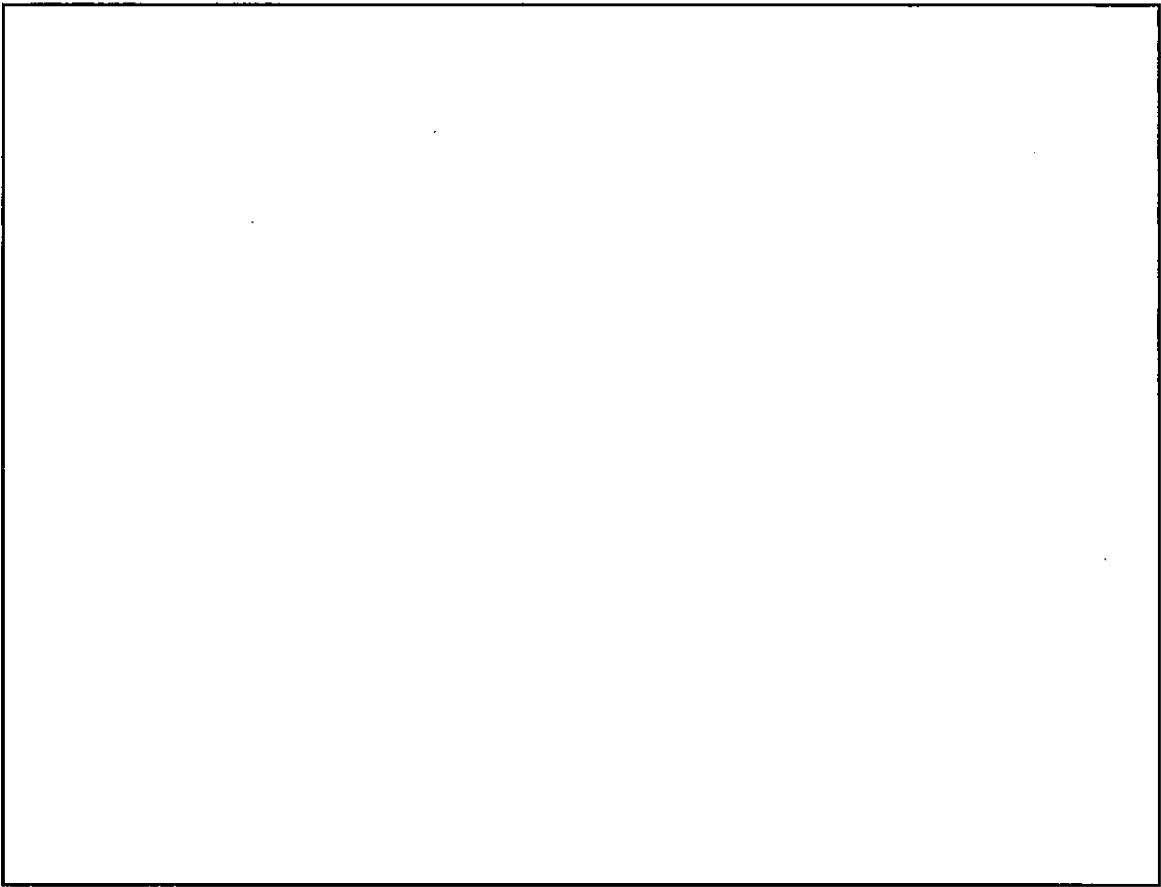
図(ロ)A 附 2- 9 に示すように、容器を垂直に吊り上げ模擬燃料体の下部側を下向きとして落下させた。

(3) 1.2m コーナー落下

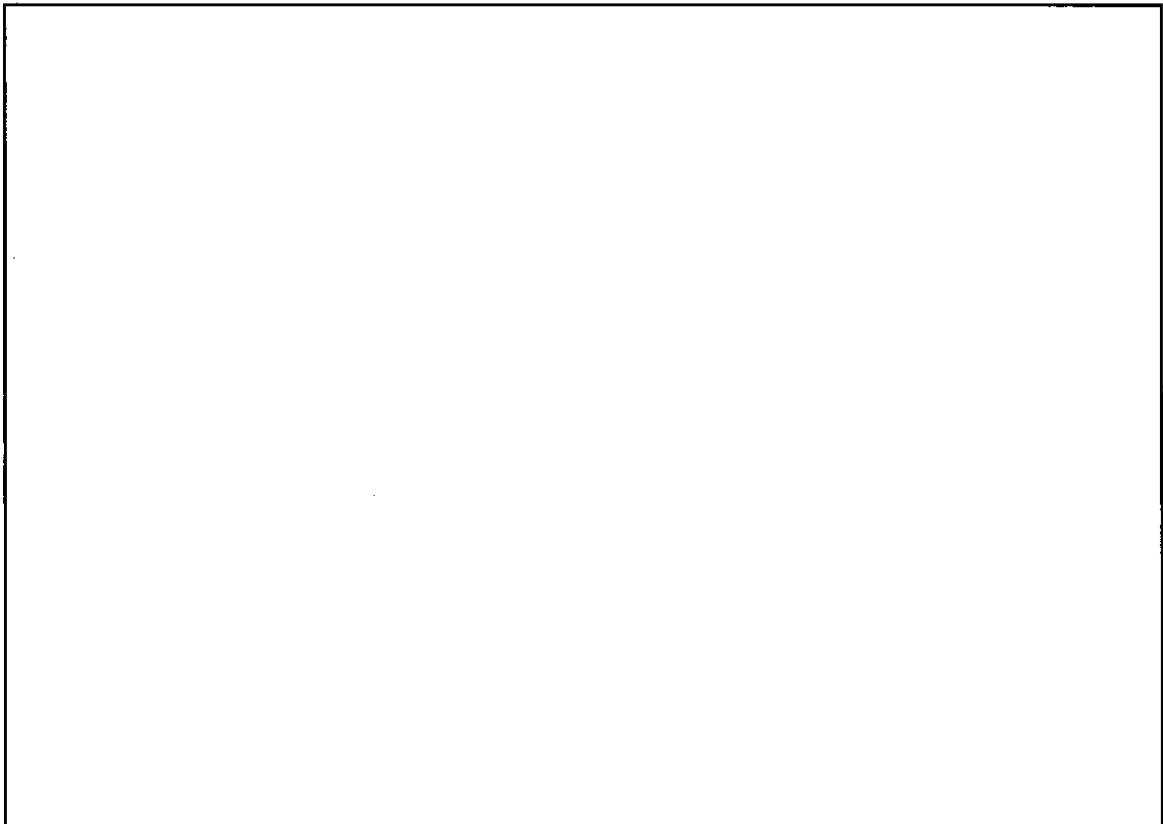
図(ロ)A 附 2- 10 に示すように、容器の上蓋側コーナー（模擬燃料体下部側）を下向きとして落下させた。



図(ロ)A 附 2- 8 1.2m 水平落下



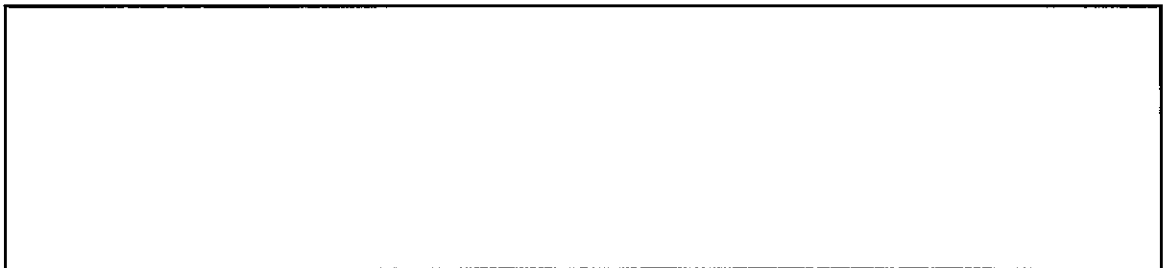
図(口)A 附 2-9 1.2m 垂直落下



図(口)A 附 2-10 1.2m コーナー落下

4.1.3 積み重ね試験

積み重ね試験は、試験体自重（最大□ kg）の5倍の重り（□ kg）を、図(ロ)A 附 2-11に示すように試験体の上面に載せ、試験体の底面およびその対面に均一に圧縮荷重が加わるようにして、24時間放置した。



図(ロ)A 附 2-11 積み重ね試験状態

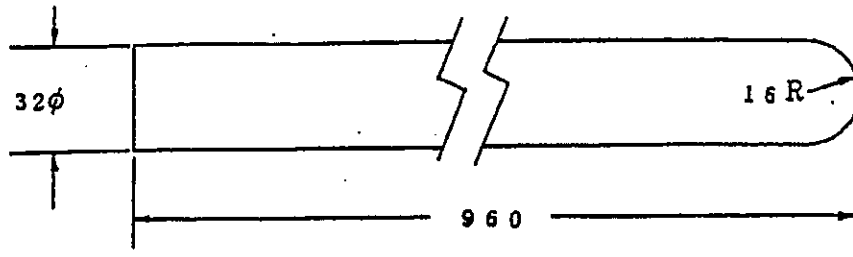
4.1.4 貫通試験

貫通試験は、落下試験台の上に置いた試験体の表面と貫通用丸棒最下部までの距離が 1m になるよう貫通用丸棒を吊り、貫通用丸棒の丸みを下に向けて保護容器上蓋の鋼板中央部に落下させた。

保護容器上蓋の板厚は□ mm であり、保護容器本体の□ mm より薄いため、落下位置を上蓋とした。

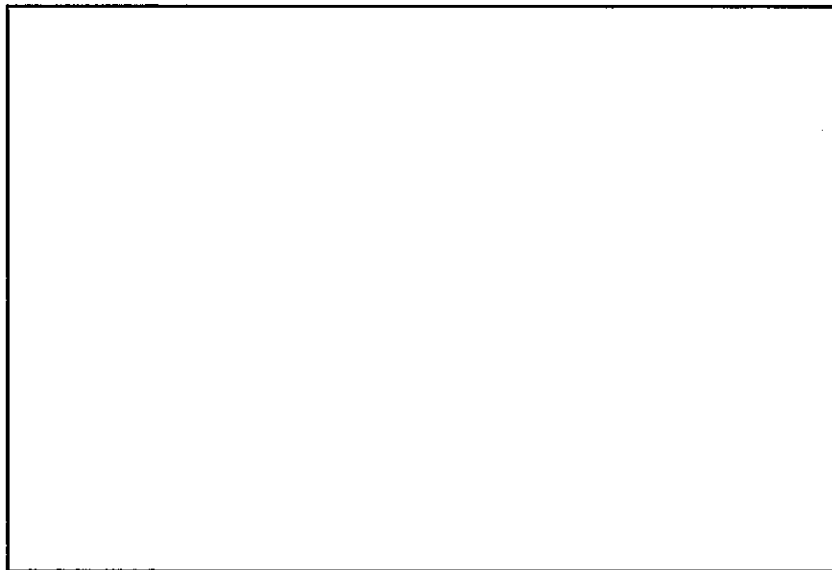
貫通用丸棒の仕様、貫通試験状態及び貫通試験落下位置を図(ロ)A 附 2-12に示す。

単位：mm

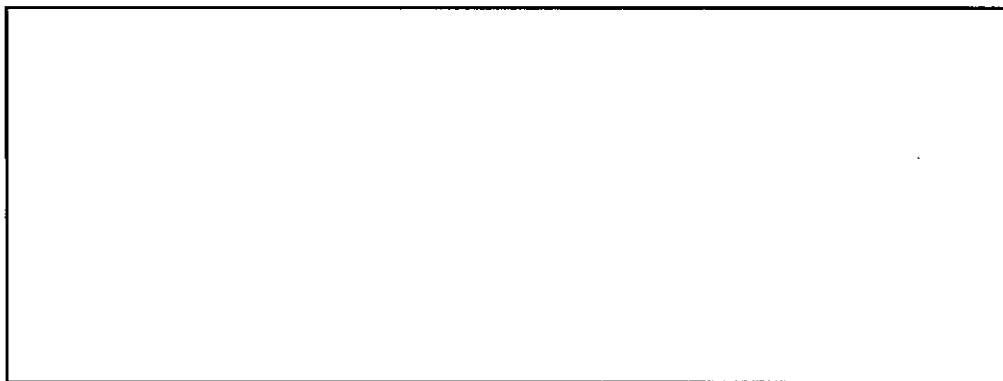


材質 SS400 φ32×960mm 6kg

(1)貫通用丸棒



(2)貫通試験状態



(3)貫通試験落下位置

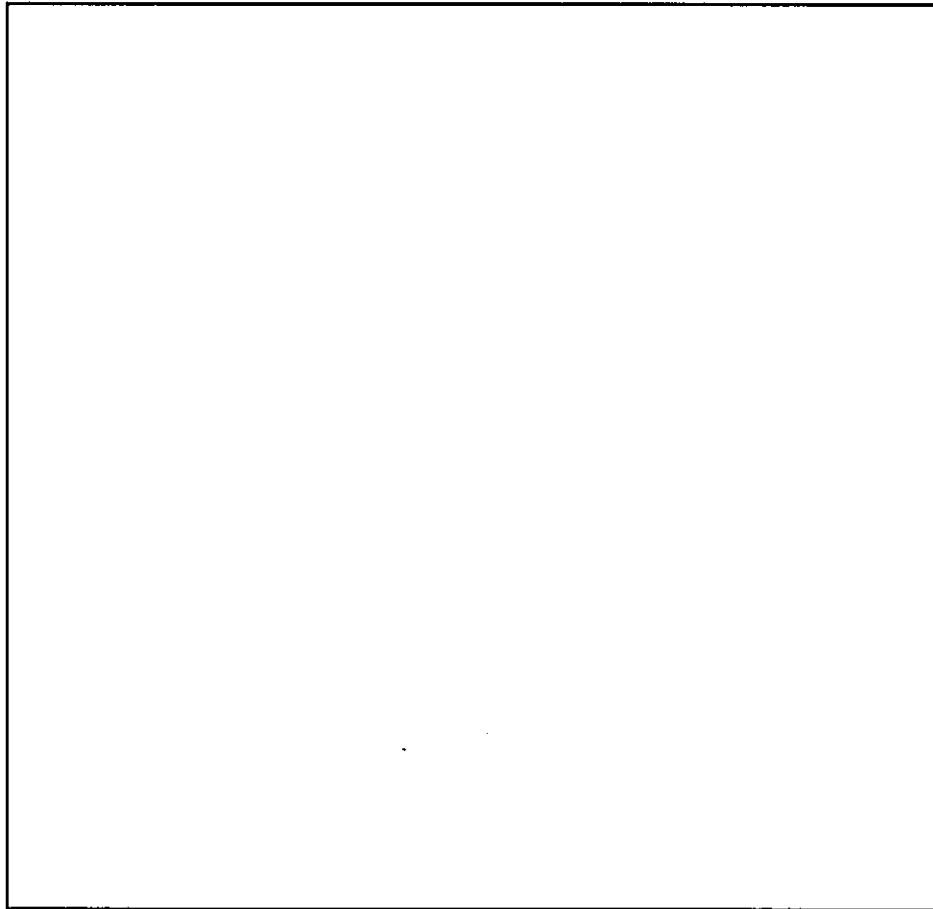
図(口)A 附 2-12 貫通試験方法

4.2 特別の試験

一般の試験に使用した原型容器を引き続き特別の試験に供した。

4.2.1 落下試験 I

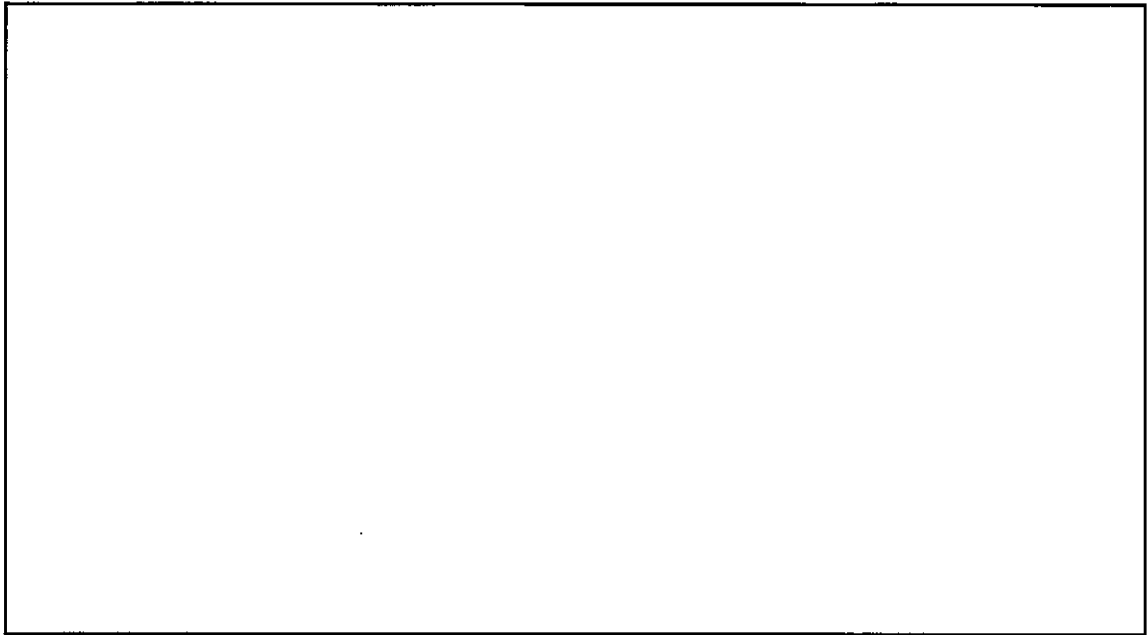
図(ロ)A 附 2-13に示すように、容器の上蓋側コーナー（模擬燃料体下部側）を下向きとして 9m の高さから落下させた。落下させた上蓋側コーナーは、1.2m コーナー落下と同一箇所である。



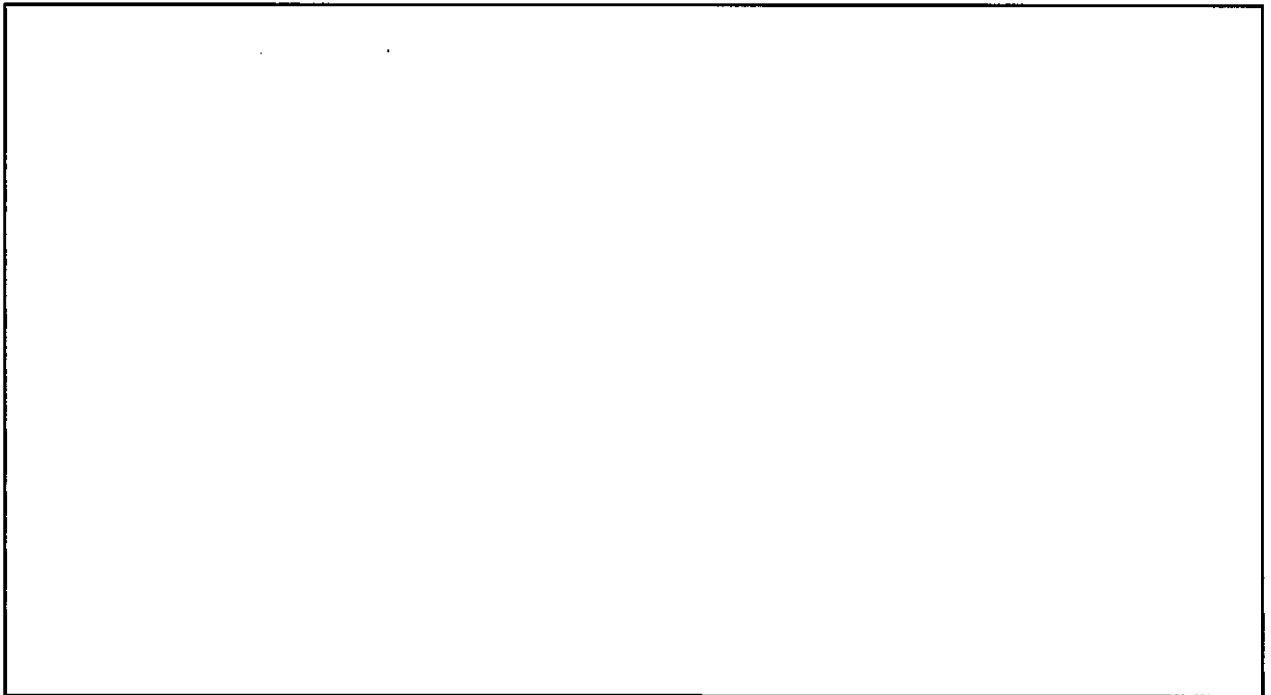
図(ロ)A 附 2-13 9m コーナー落下 上蓋側コーナー下向き

4.2.2 落下試験 II

図(ロ)A 附 2-15に示すように、容器を水平に吊り上げ側面を下向きとして、落下試験台中央に設置したターゲット（図(ロ)A 附 2-14 参照）が長手方向ハリを避けて当たるように 1m の高さから落下させた。



図(ロ)A 附 2- 14 ターゲット (軟鉄丸棒)



図(ロ)A 附 2- 15 1m ターゲット落下試験状態

4.2.3 熱的試験

試験は、炉内に空台車を入れた状態で 820℃まで予熱し、台車を一旦取り出し予熱した台車に容器を載せ炉内に入れて急速昇温した。容器は、800℃以上の雰囲気内に 30 分保持された後取り出された。

5.試験結果

5.1 一般の試験

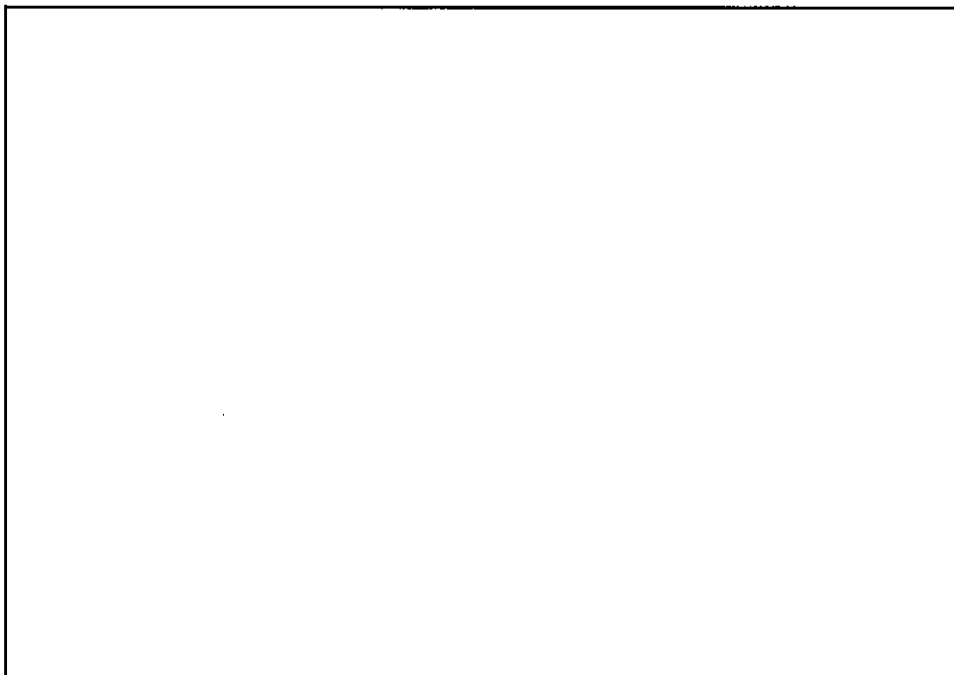
5.1.1 水噴霧試験

水噴霧試験の状況を写真(口)A 附 2- 1 に示す。試験後、保護容器の上蓋を開け、内部の状況を観察した。(写真(口)A 附 2- 2 参照)

(1) 保護容器本体と上蓋を固定するボルト部から一部保護容器内部へのわずかな水の浸入が見られたが、燃料容器への水の浸入はなかった。



写真(口)A 附 2- 1 水噴霧試験の状況



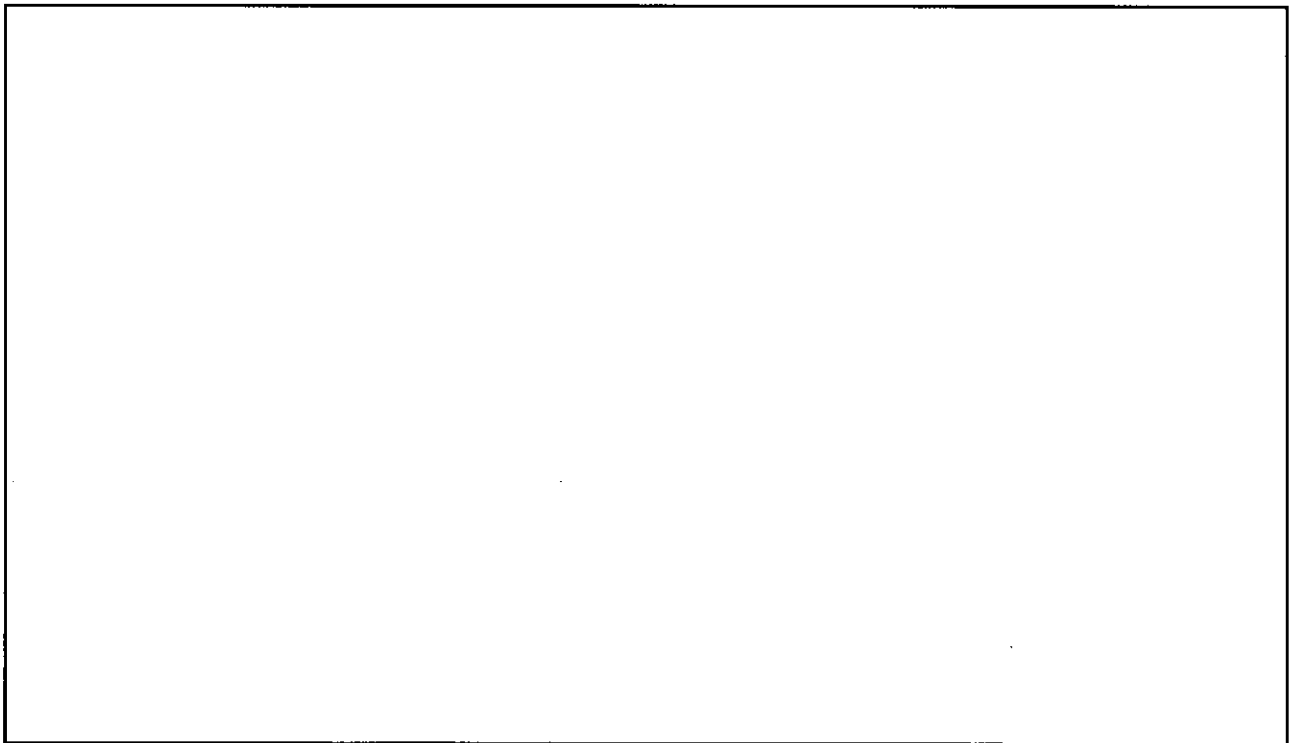
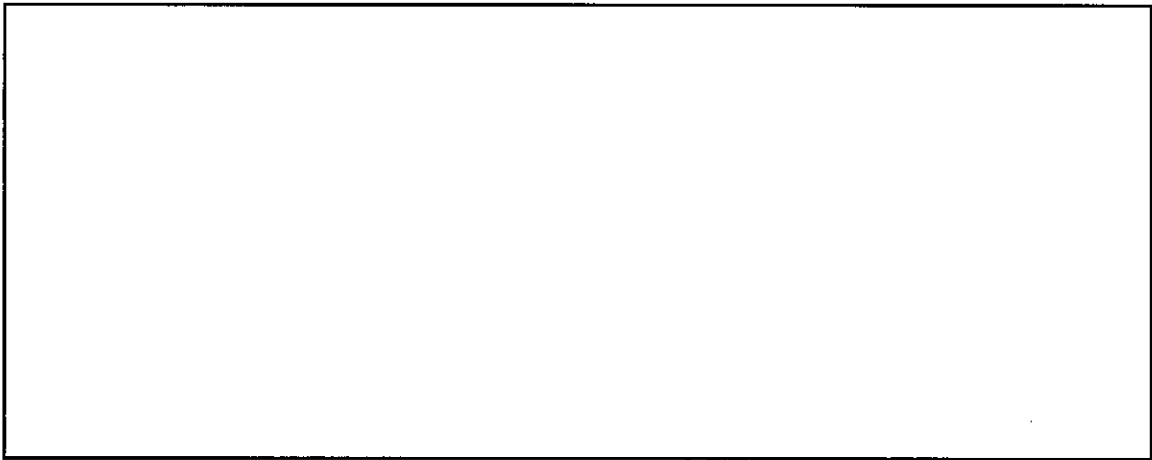
写真(口)A 附 2- 2 水噴霧試験後の保護容器上蓋を取り除いた内部の状況

5.1.2 落下試験

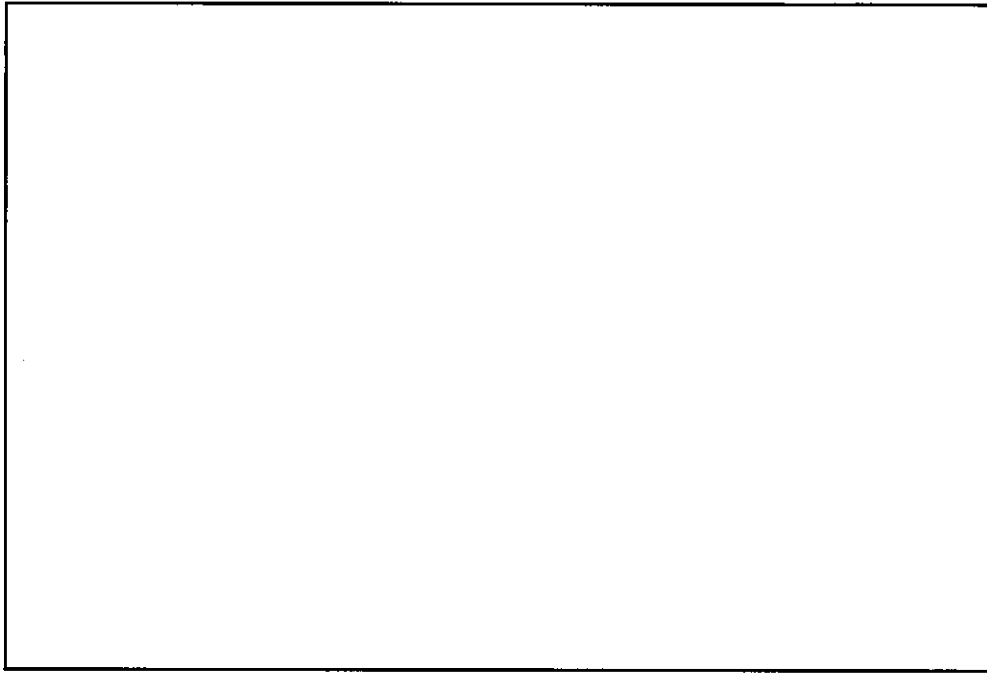
5.1.2.1 1.2m 水平落下試験（側面下向き）

1.2m 水平落下試験状況を写真(口)A 附 2- 3 に、落下試験後の保護容器外観を写真(口)A 附 2- 4 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(口)A 附 2- 16 に示す。

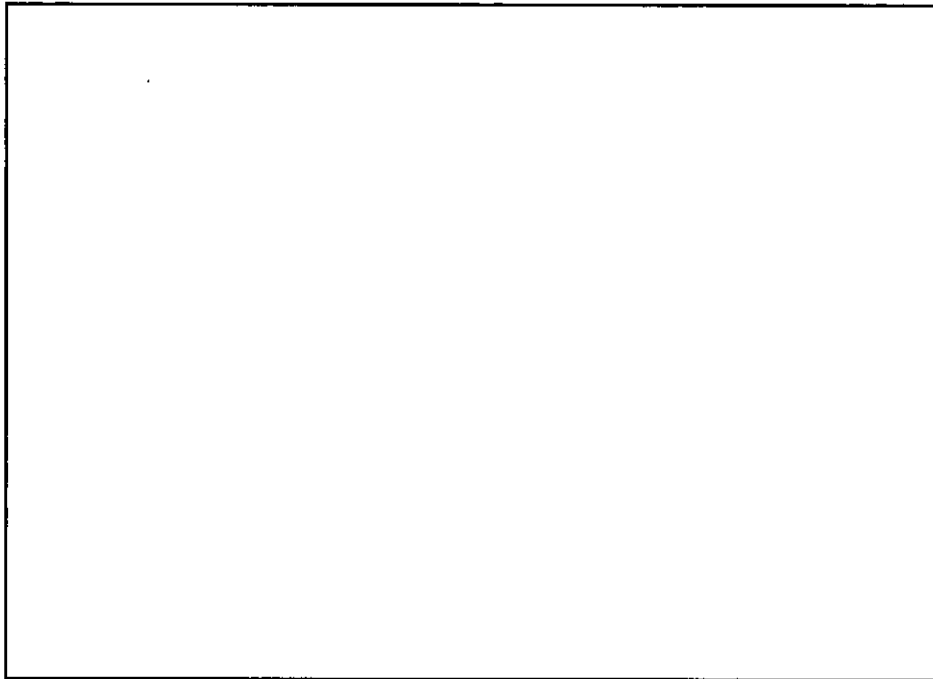
- (a) 保護容器の幅寸法は最大 減少したが、高さ及び全長の有意な寸法変化は無かった。
- (b) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。



図(口)A 附 2- 16 1.2m 水平落下（側面下向き）後の保護容器の変形量



写真(口)A 附 2-3 1.2m 水平落下試験状況

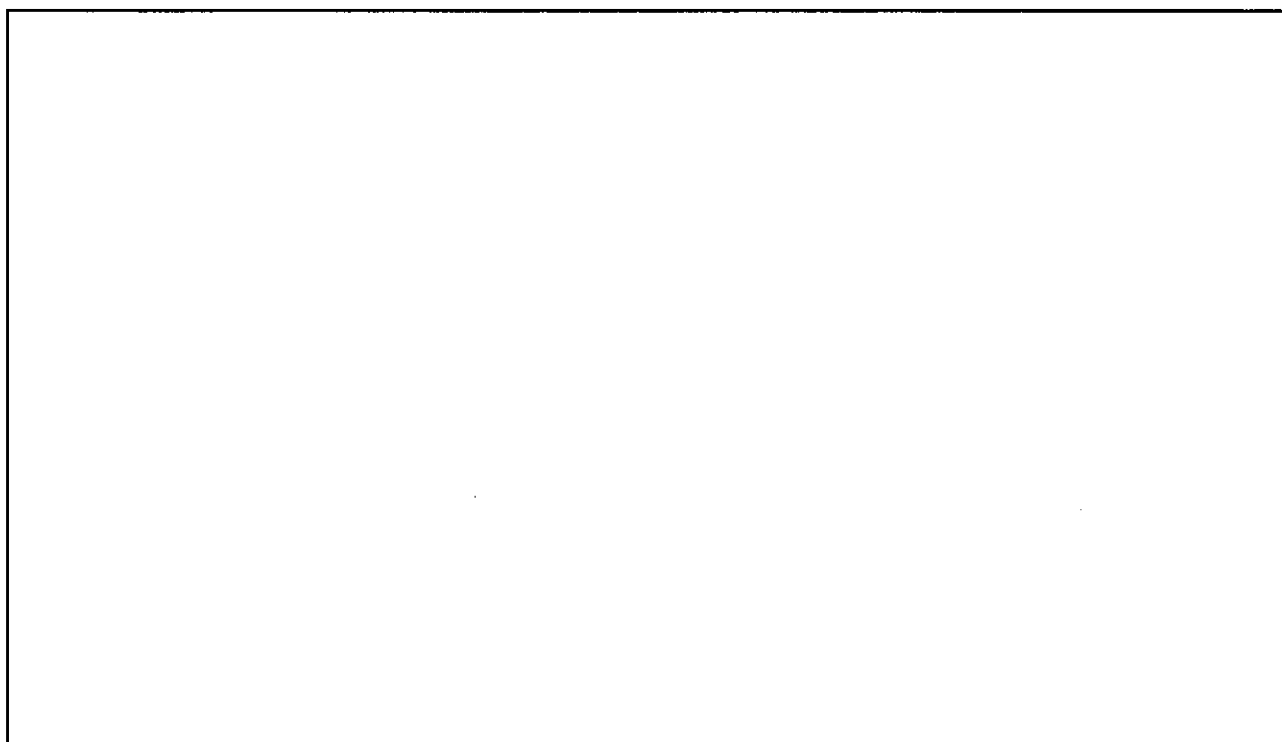
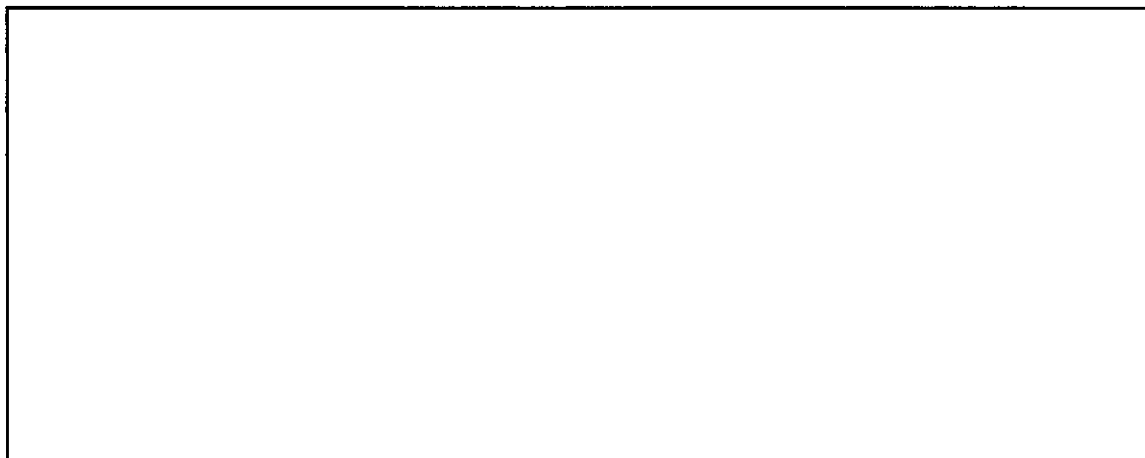


写真(口)A 附 2-4 1.2m 水平落下試験後の保護容器外観

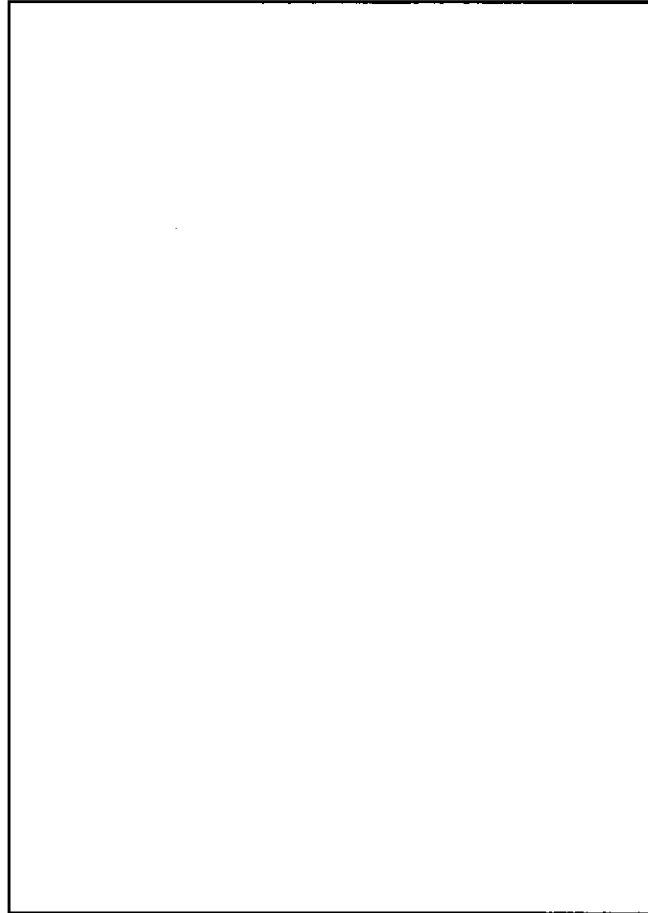
5.1.2.2 1.2m 垂直落下試験

1.2m 垂直落下試験状況を写真(口)A 附 2-5 に、落下試験後の保護容器外観を写真(口)A 附 2-6～写真(口)A 附 2-8 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(口)A 附 2-17 に示す。

- (a) 保護容器の高さ、幅及び全長の有意な寸法変化は無かった。
- (b) フランジ部の有意な変形およびボルトの破損はなかった。



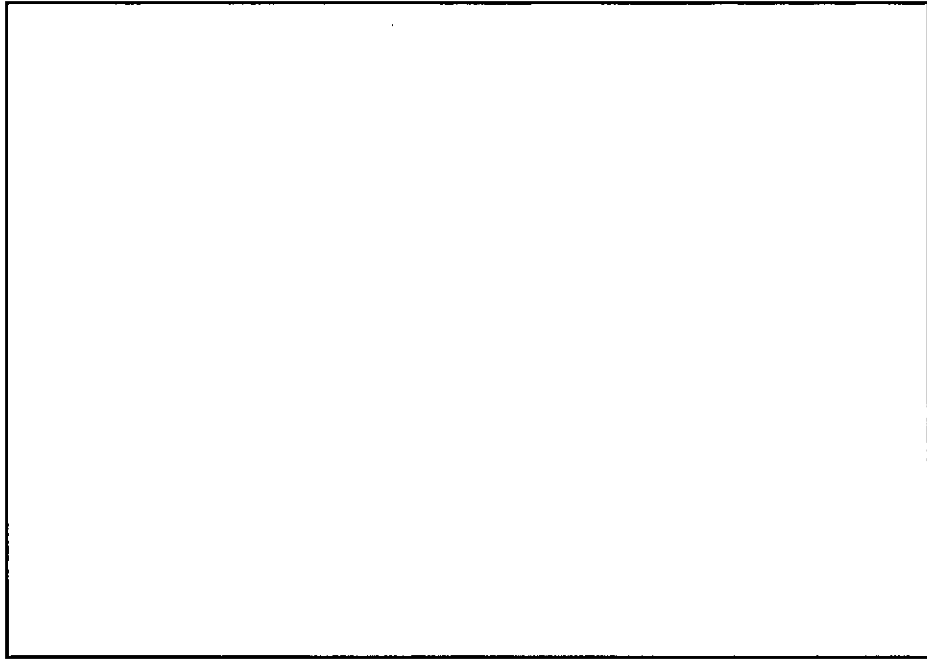
図(口)A 附 2-17 1.2m 垂直落下後の保護容器の変形量



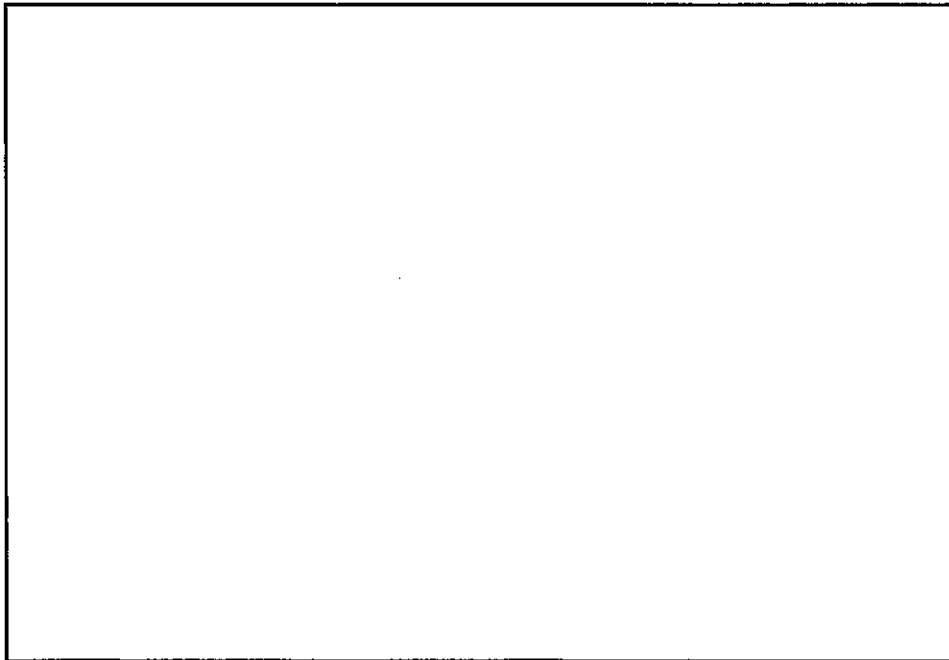
写真(口)A 附 2-5 1.2m 垂直落下試験状況



写真(口)A 附 2-6 1.2m 垂直落下試験後の保護容器外観(1)



写真(口)A 附 2-7 1.2m 垂直落下試験後の保護容器外観(2)

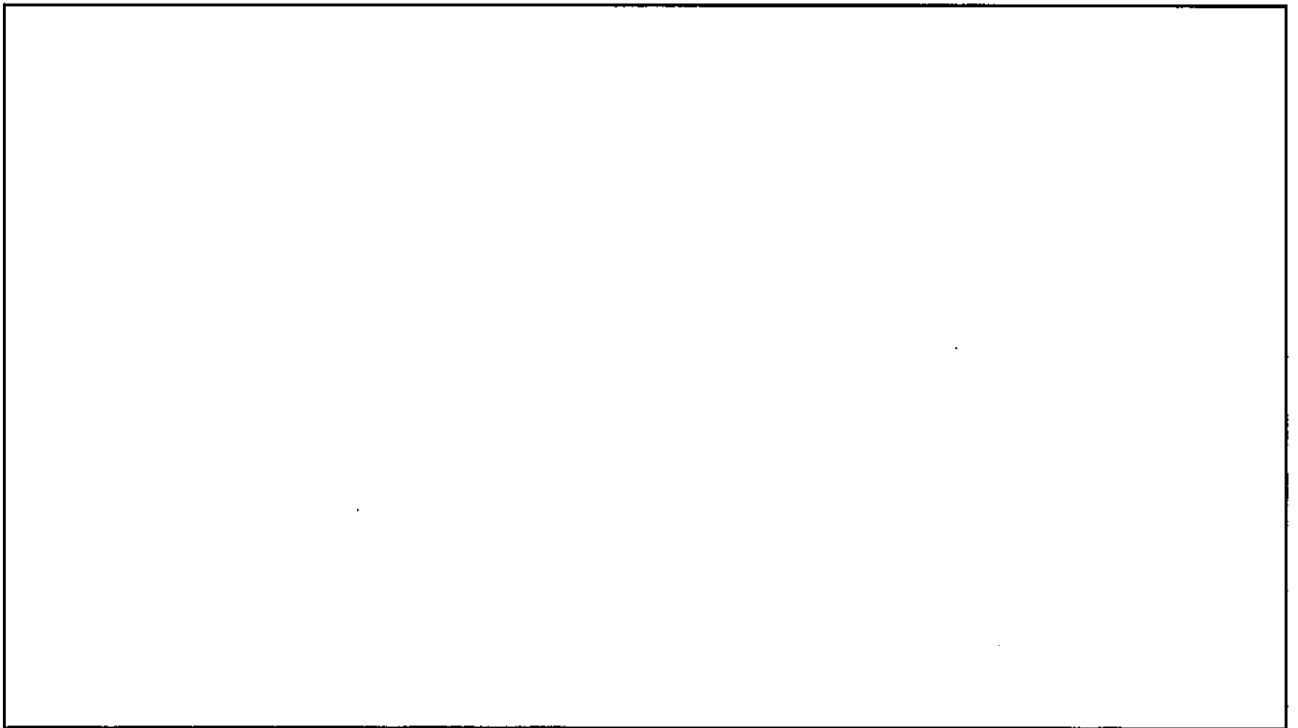
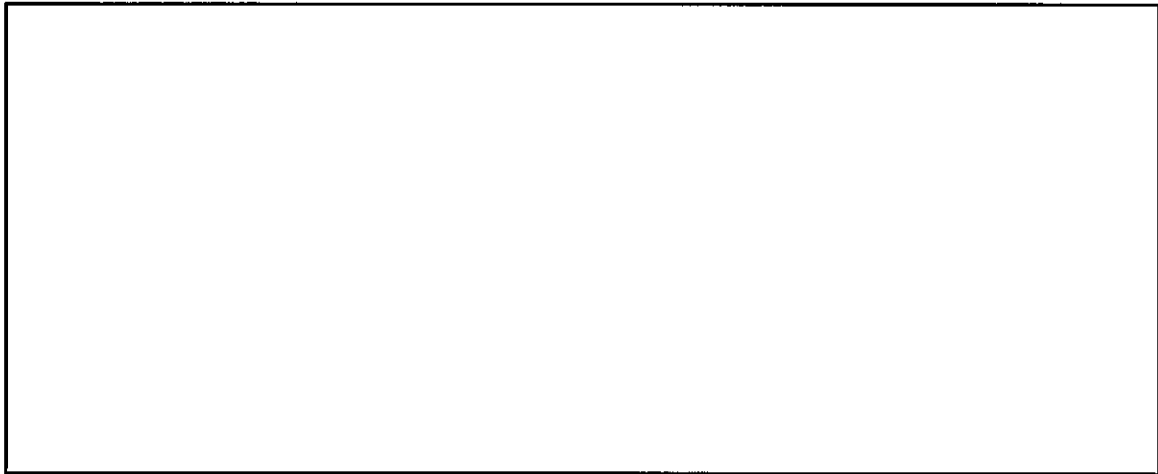


写真(口)A 附 2-8 1.2m 垂直落下試験後の保護容器外観(3)

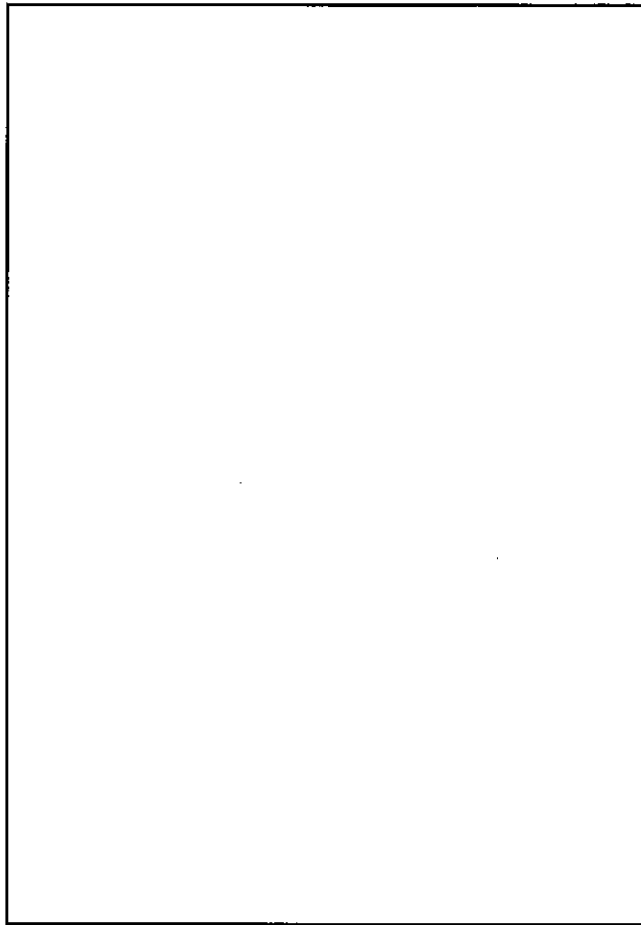
5.1.2.3 1.2m コーナー落下試験

1.2m コーナー落下試験状況を写真(ロ)A附2-9に、落下試験後の保護容器外観を写真(ロ)A附2-10～写真(ロ)A附2-12に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(ロ)A附2-18に示す。

- (a) 保護容器の全長は、最大 減少した。また、容器本体高さが最大 減少した。幅寸法の有意な変化はなかった。
- (b) コーナー部近傍のフランジが最大 変形したが、開口は生じなかった。また、ボルトの破損はなかった。



図(ロ)A附2-18 1.2m コーナー落下後の保護容器の変形量



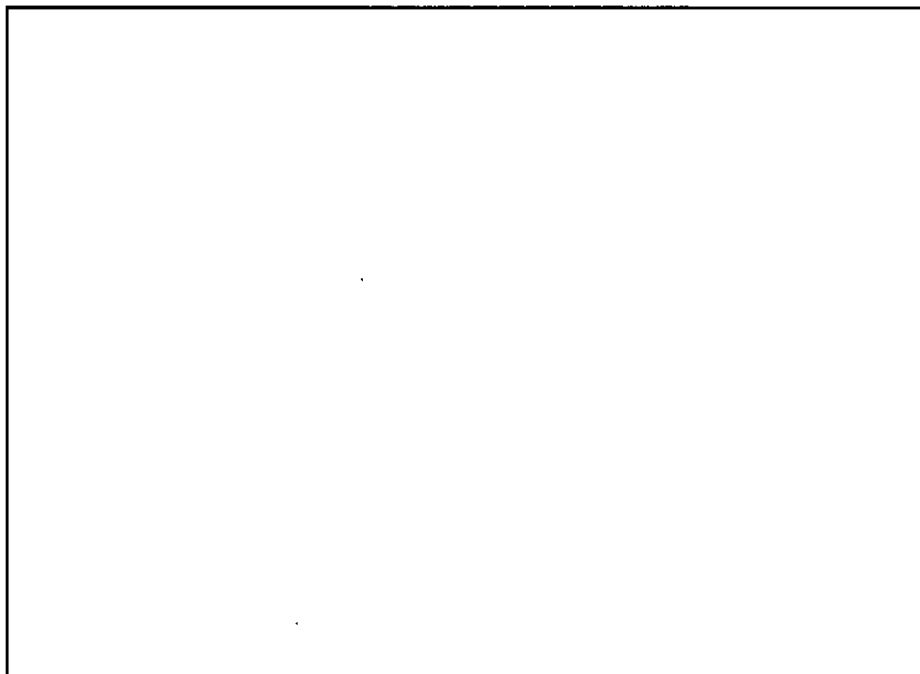
写真(口)A 附 2- 9 1.2m コーナー落下試験状況



写真(口)A 附 2- 10 1.2m コーナー落下試験後の保護容器外観(1)



写真(口)A 附 2- 11 1.2m コーナー落下試験後の保護容器外観(2)

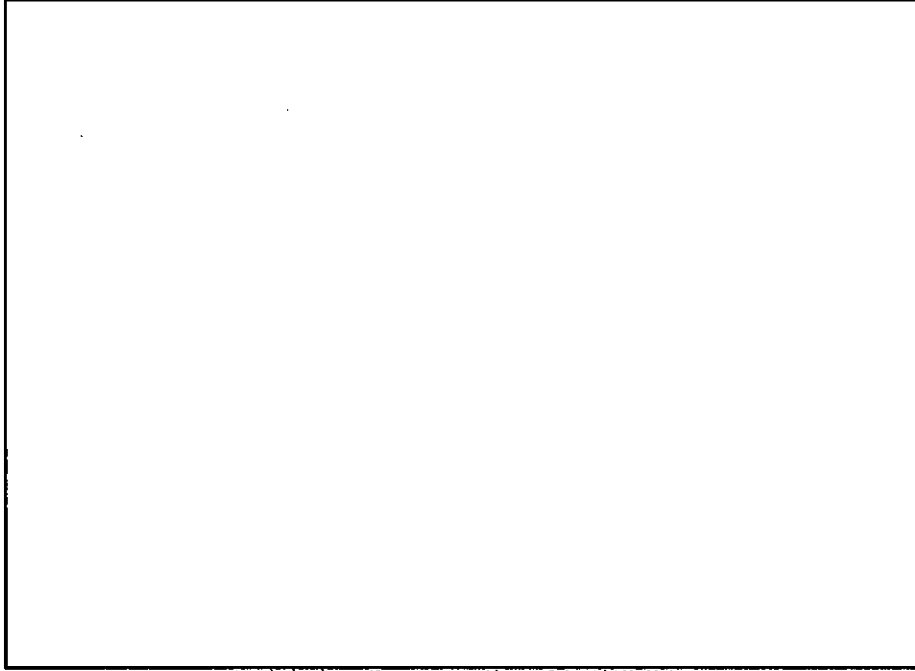


写真(口)A 附 2- 12 1.2m コーナー落下試験後の保護容器外観(3)

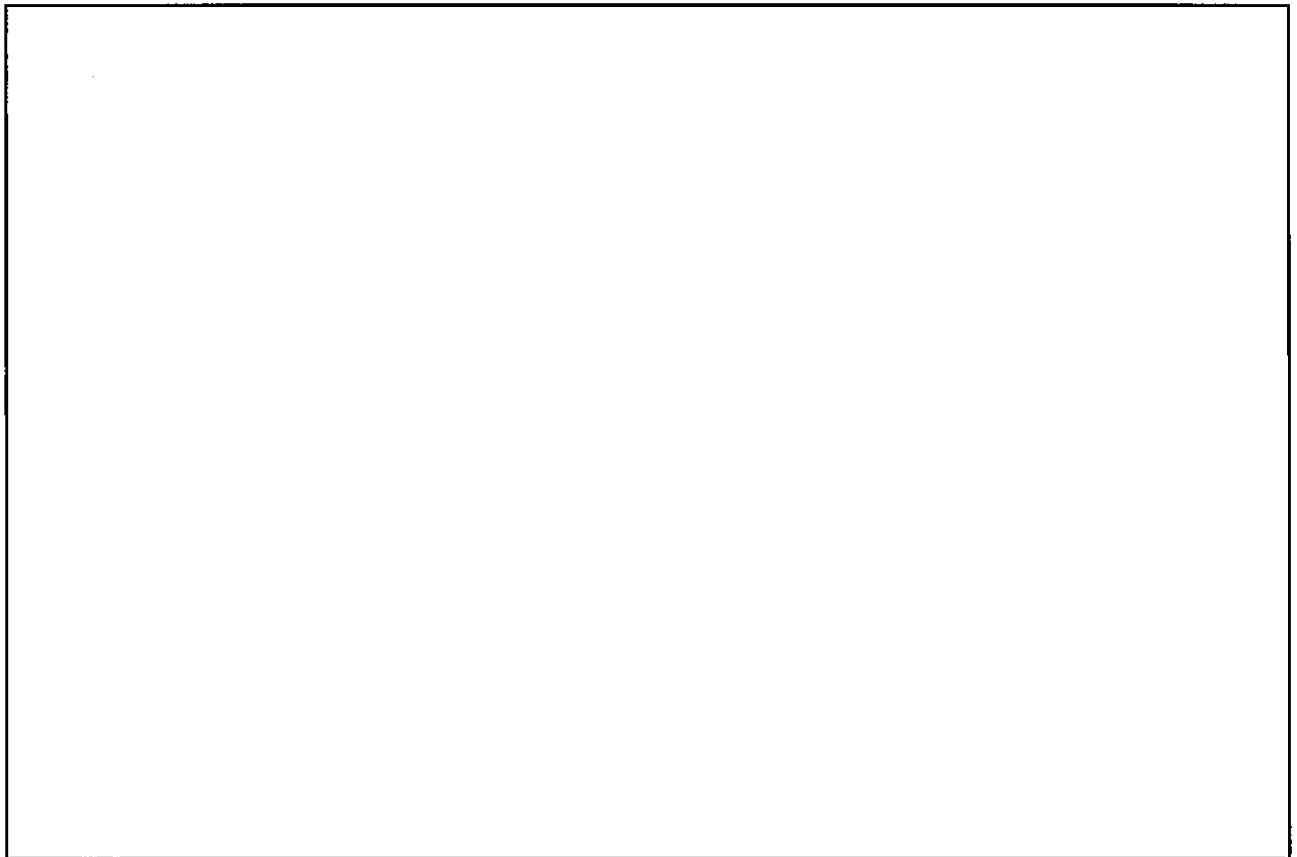
5.1.3 積み重ね試験

積み重ね試験状況を写真(口)A 附 2-13 に示す。また、試験後の保護容器寸法変形量を図(口)A 附 2-19 に示す。

- (a) 積み重ね試験による保護容器の有意な変形は認められなかった。



写真(口)A 附 2-13 積み重ね試験状況

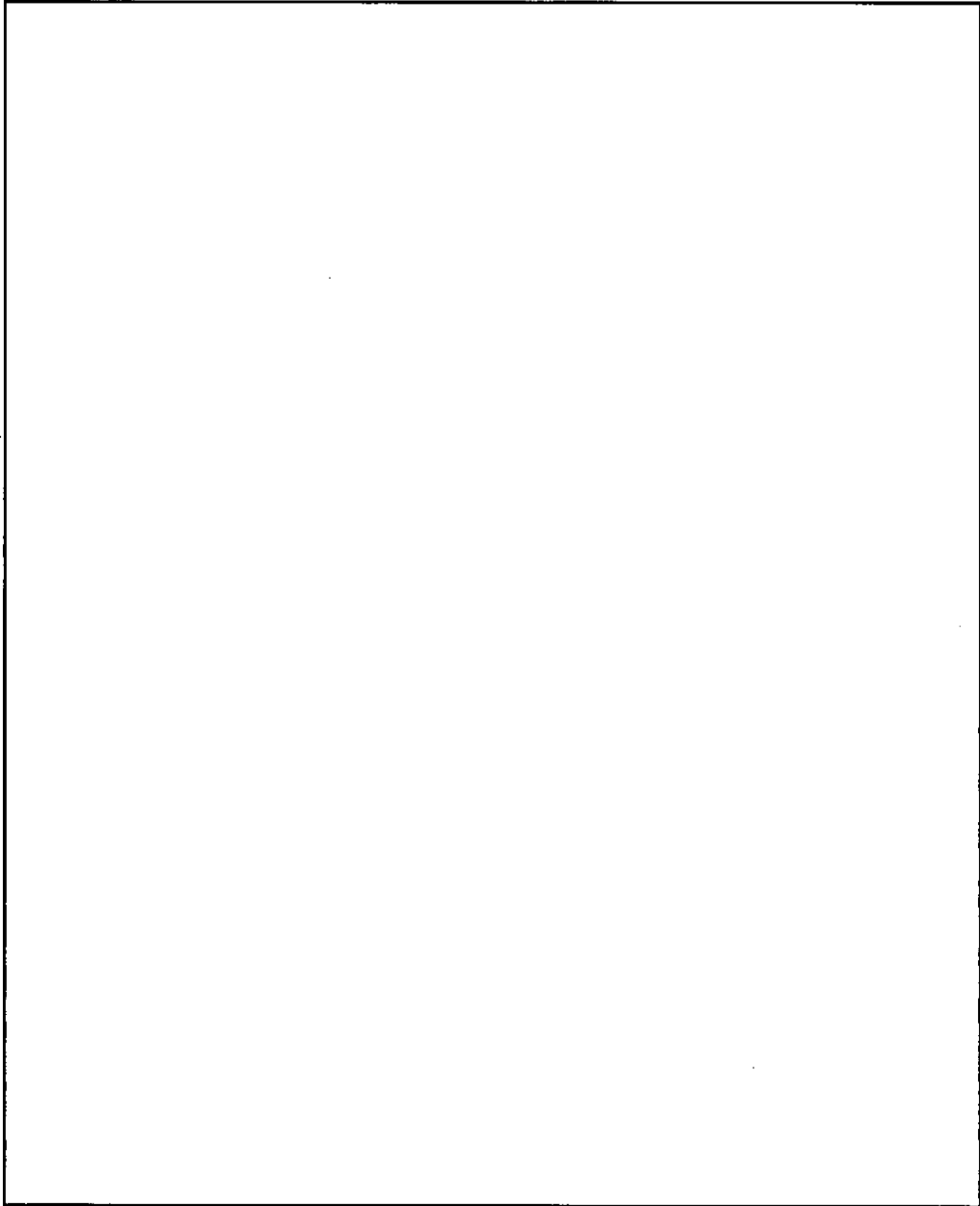


図(口)A 附 2-19 積み重ね試験落下後の保護容器の変形量

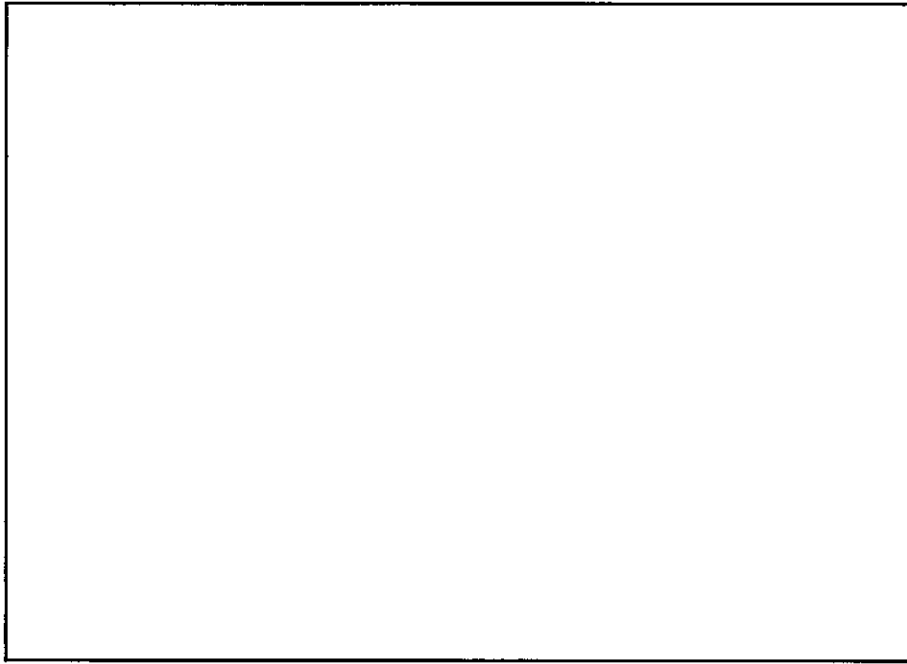
5.1.4 貫通試験

貫通試験状況を写真(口)A 附 2- 14 に、試験後の保護容器外観を写真(口)A 附 2- 15 に示す。
また、試験後の保護容器寸法変形量を図(口)A 附 2- 20 に示す。

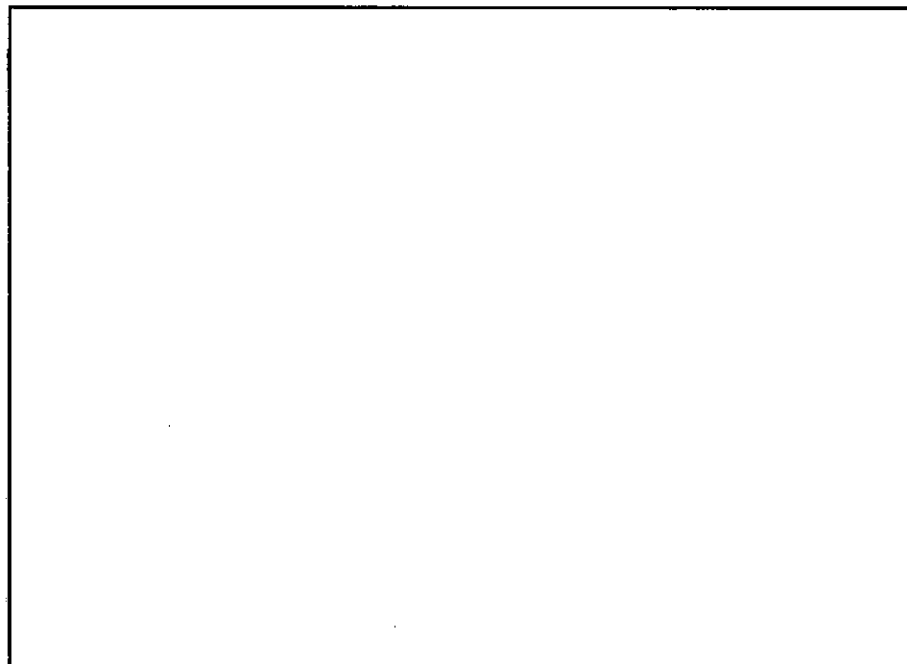
- (a) 保護容器上蓋の鋼板は、貫通することはなかった。
- (b) へこみ量は、であった。



図(口)A 附 2- 20 貫通試験落下後の保護容器の変形量



写真(口)A 附 2- 14 貫通試験状況



写真(口)A 附 2- 15 貫通試験後の保護容器外観

5.2 特別の試験

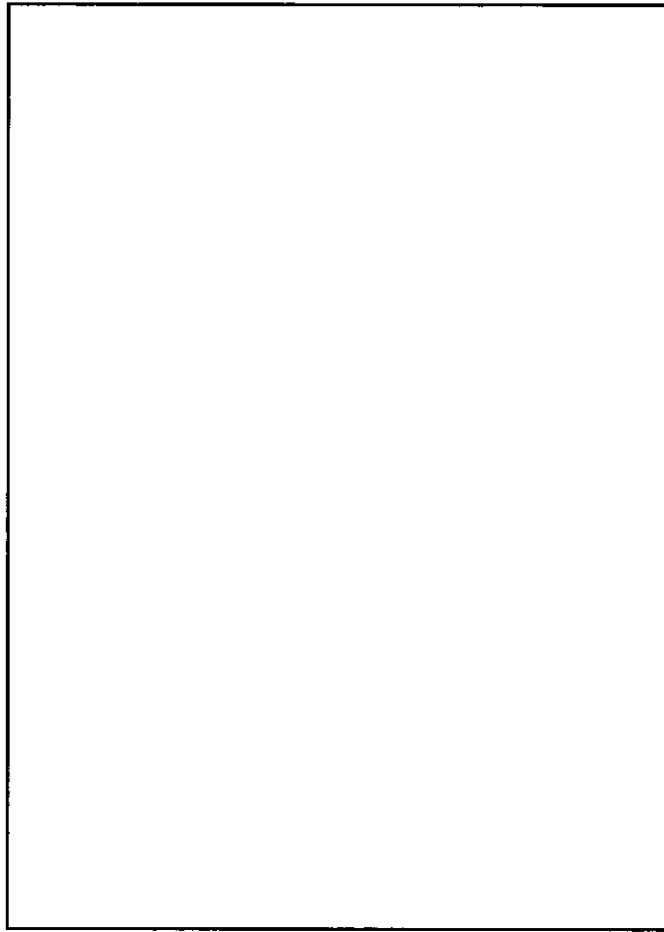
5.2.1 落下試験 I

9m コーナー落下試験状況を写真(ロ)A 附 2-16 に、落下試験後の保護容器外観を写真(ロ)A 附 2-17～写真(ロ)A 附 2-19 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(ロ)A 附 2-21 に示す。

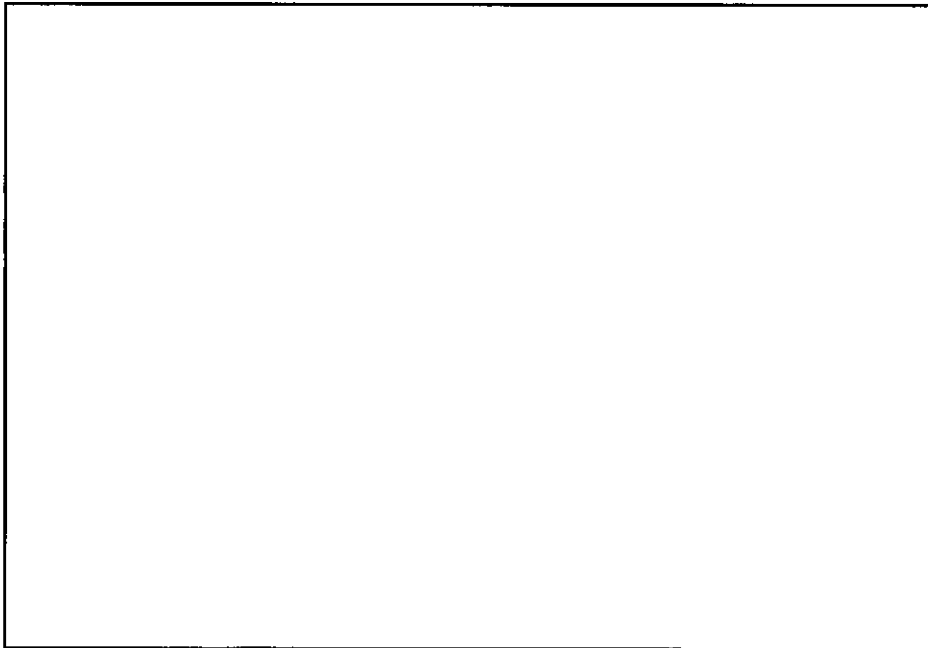
- (a) 保護容器の全長は、 減少した。
- (b) 保護容器の高さは、幅は 減少した。
- (c) フランジ部は変形し、の開口部を生じたが、ボルトの破損はなかった。



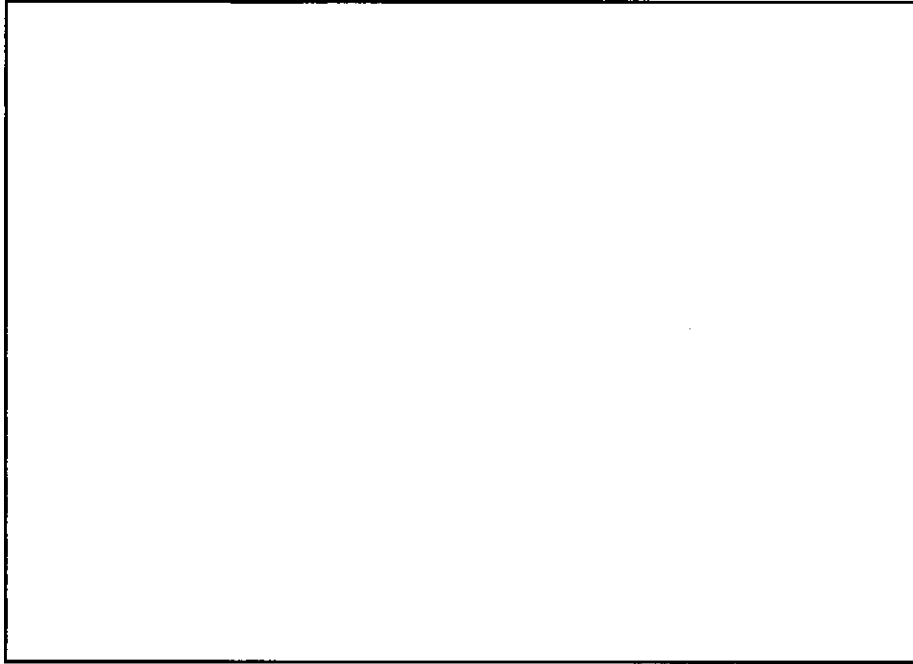
図(ロ)A 附 2-21 9m コーナー落下後の保護容器の変形量



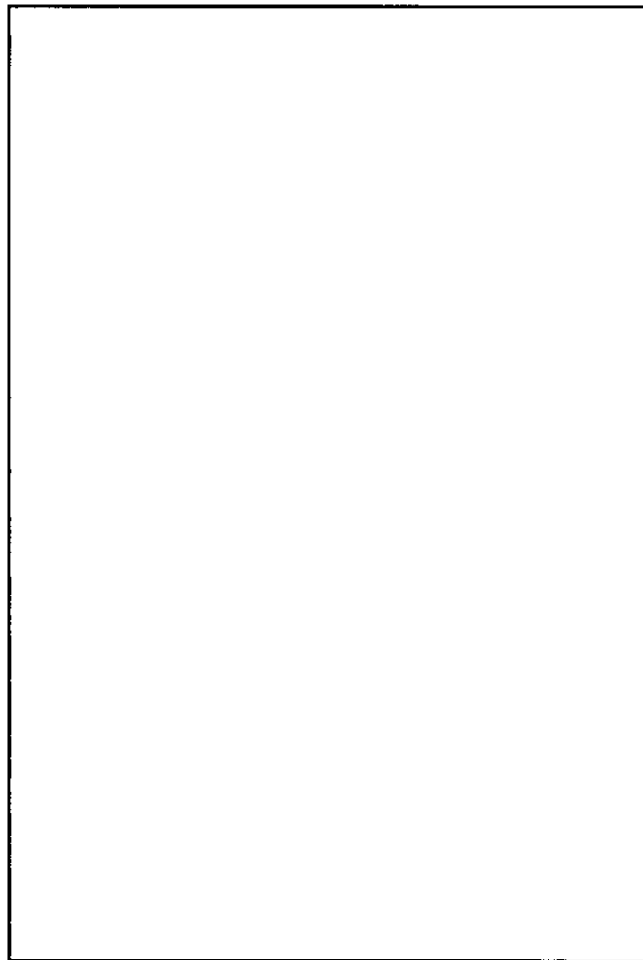
写真(口)A 附 2- 16 9m コーナー落下試験状況



写真(口)A 附 2- 17 9m コーナー落下試験後の保護容器外観(1)



写真(ロ)A 附 2- 18 9m コーナー落下試験後の保護容器外観(2)

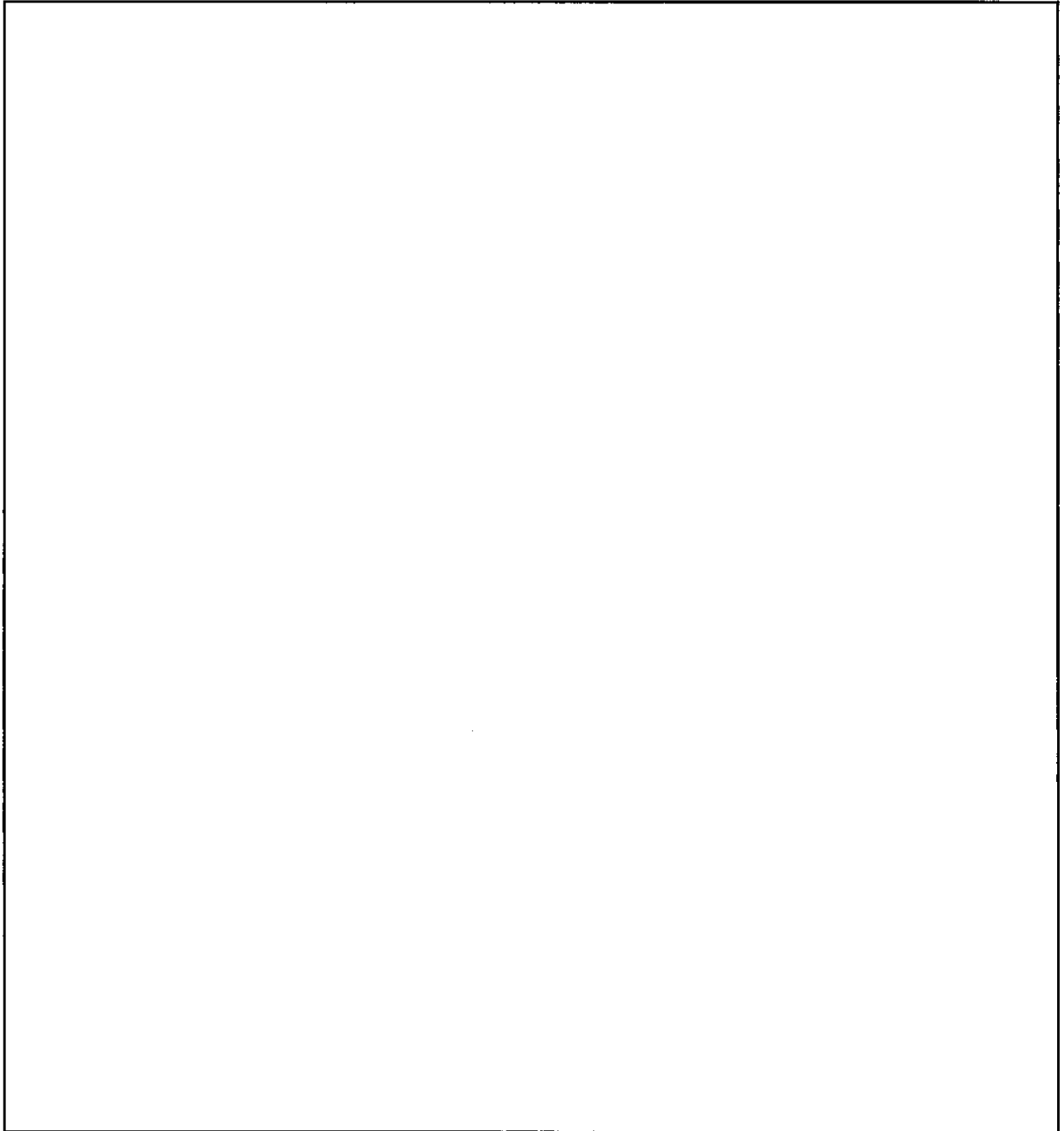


写真(ロ)A 附 2- 19 9m コーナー落下試験後の保護容器外観(3)

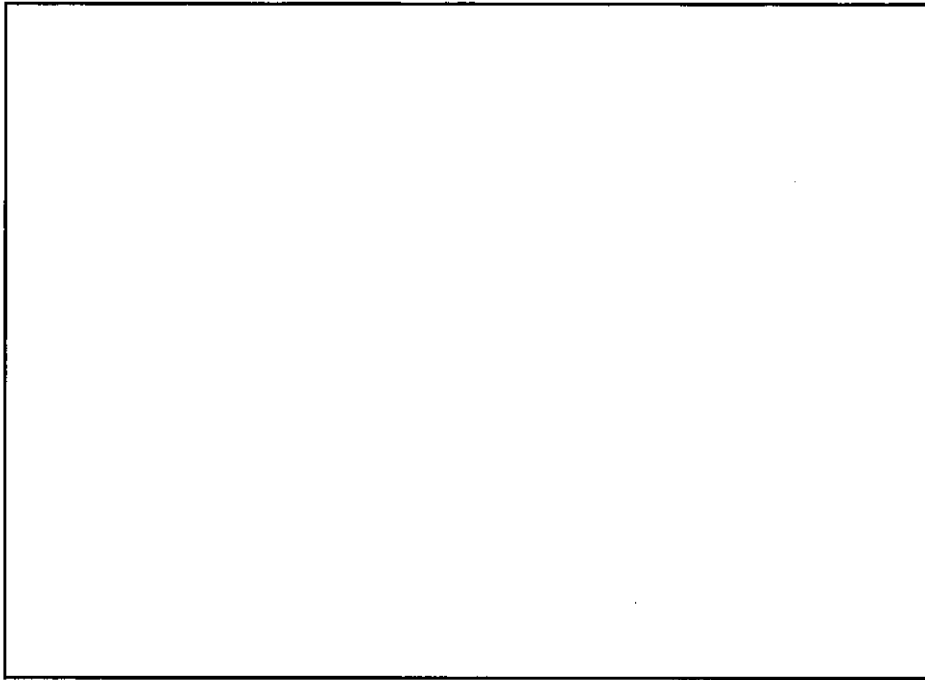
5.2.2 落下試験Ⅱ

1m 水平ターゲット落下試験状況を写真(ロ)A 附 2-20 に、落下試験後の保護容器外観を写真(ロ)A 附 2-21～写真(ロ)A 附 2-23 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(ロ)A 附 2-22 に示す。

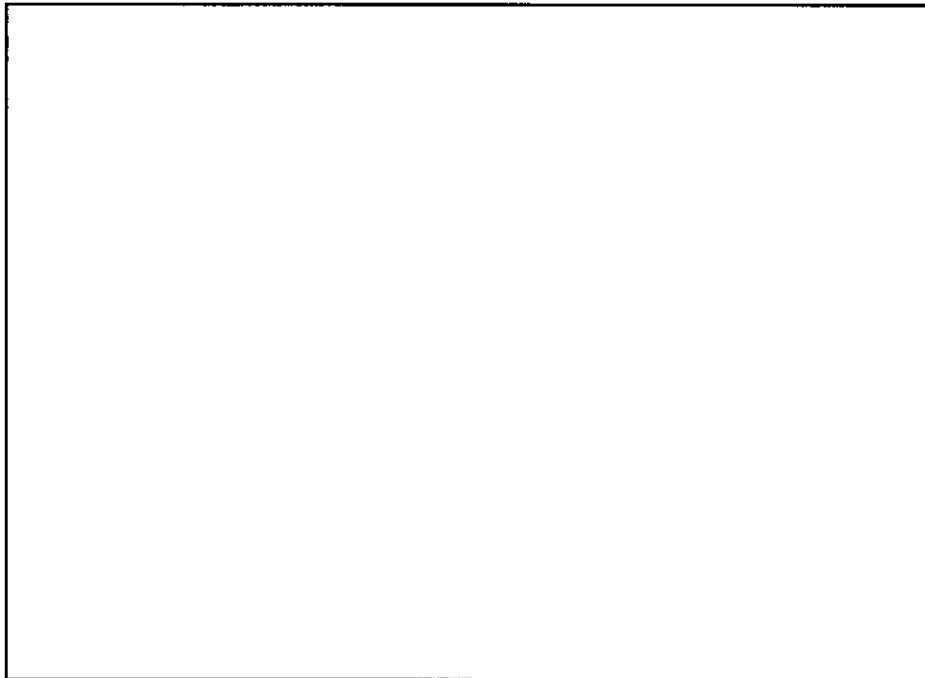
- (a) ターゲットによる保護容器の変形の深さは、であった。
- (b) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。



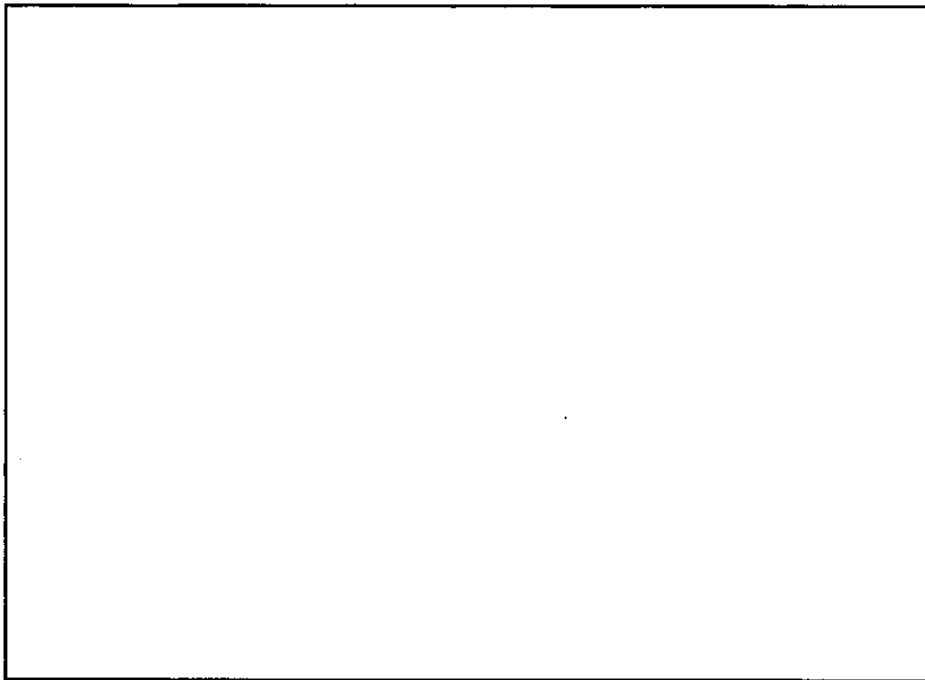
図(ロ)A 附 2-22 1m 水平ターゲット落下後の保護容器の変形深さ



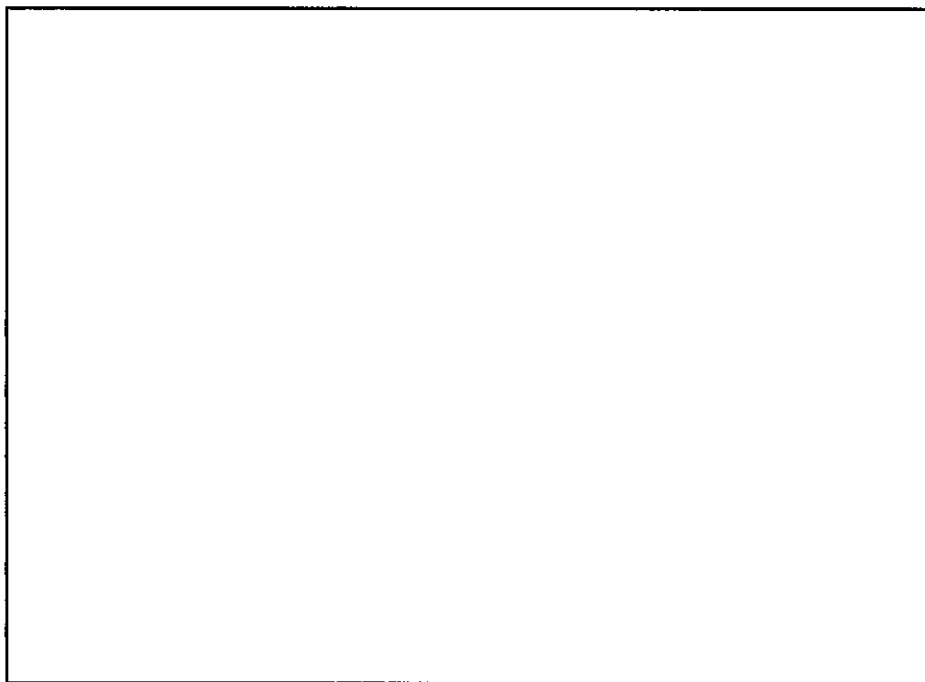
写真(ロ)A 附 2- 20 1m 水平ターゲット落下試験状況



写真(ロ)A 附 2- 21 1m 水平ターゲット落下試験後の保護容器外観(1)



写真(ロ)A 附 2-22 1m 水平ターゲット落下試験後の保護容器外観(2)



写真(ロ)A 附 2-23 1m 水平ターゲット落下試験後の保護容器外観(3)

5.2.3 熱的試験

(1) 熱電対による温度測定

輸送容器と収納物に熱電対を取付け、熱的試験中の温度変化を測定した。また、炉内の雰囲気温度についても熱電対で測定した。測定は、10秒毎に実施した。代表箇所の温度変化を以下の図に示す。

図(ロ)A 附 2- 23 熱的試験中の温度変化 (炉内雰囲気)

図(ロ)A 附 2- 24 熱的試験中の温度変化 (保護容器外面)

図(ロ)A 附 2- 25 熱的試験中の温度変化 (保護容器内雰囲気)

図(ロ)A 附 2- 26 熱的試験中の温度変化 (燃料容器内面)

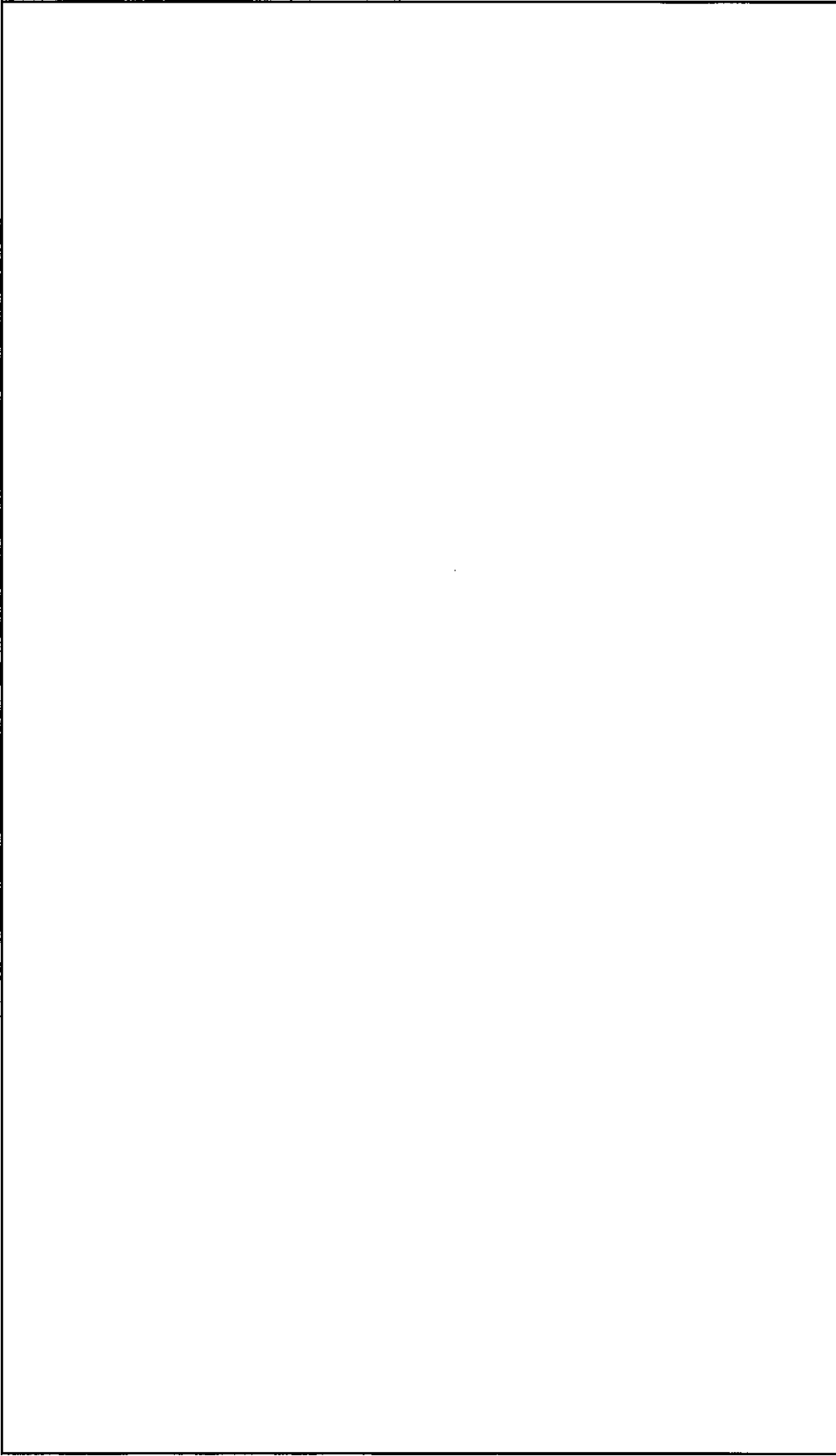
図(ロ)A 附 2- 27 熱的試験中の温度変化 (燃料棒表面)

また、各測定個所の最高温度を表(ロ)A 附 2- 6に示す。これより、最高温度は保護容器外面が ℃、燃料容器内面が ℃、燃料体表面が ℃であった。

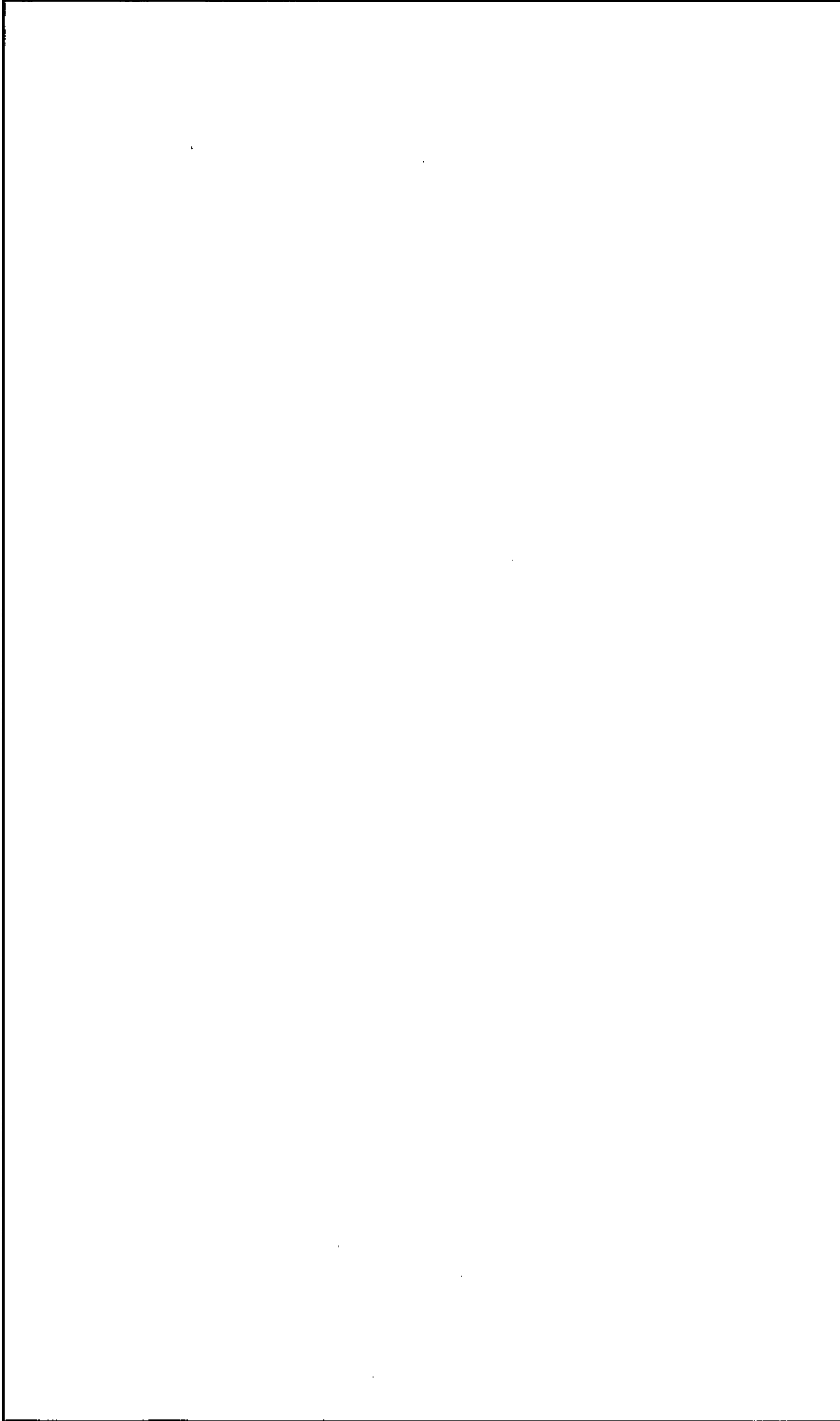
(2) 試験後の容器状況

熱的試験後の容器の内部状況を写真(ロ)A 附 2- 24～写真(ロ)A 附 2- 27に示す。

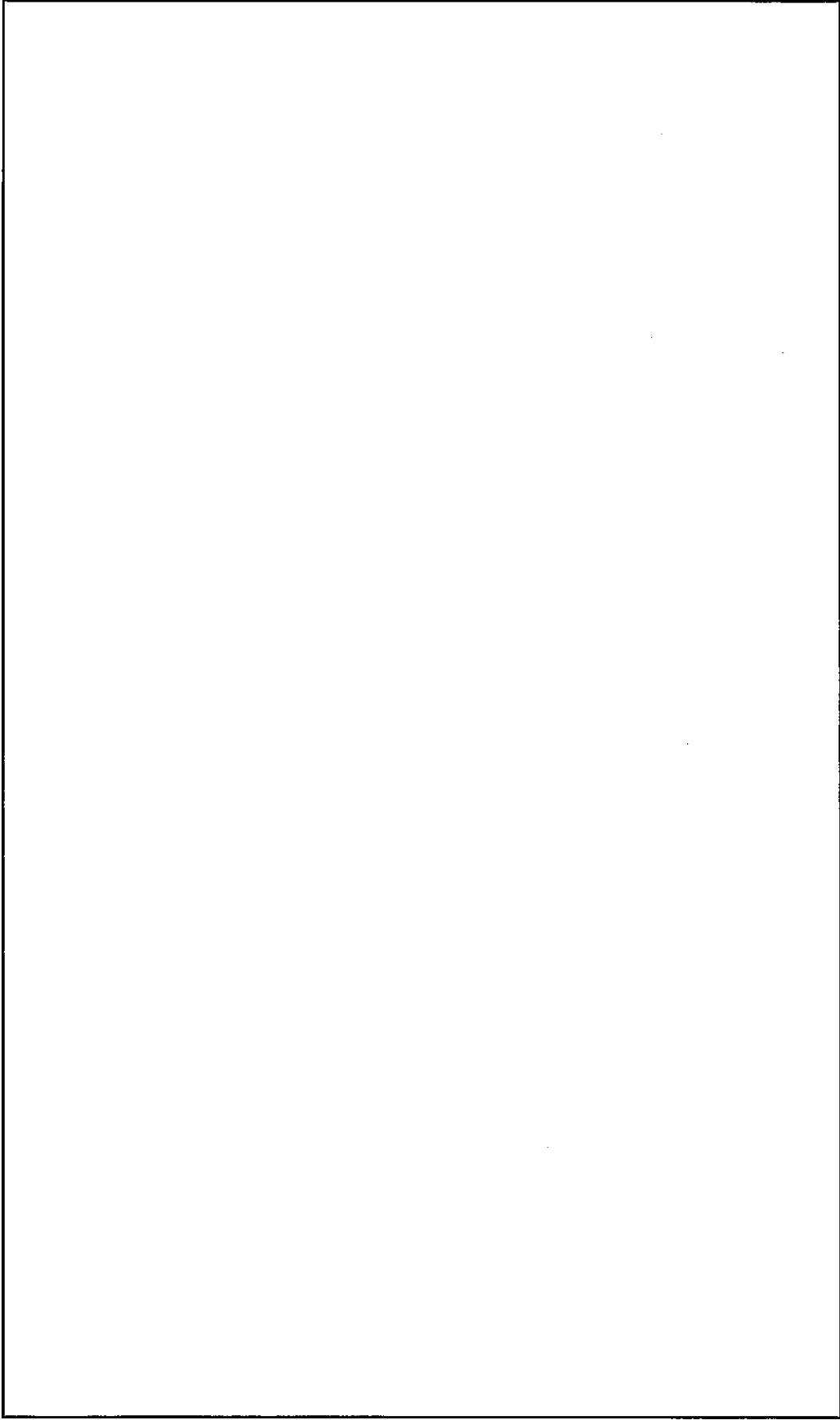
- (a) 保護容器及び燃料容器のボルトは外れていなかった。
- (b) 保護容器のパッキングは、全て燃焼した。また、保護容器内の緩衝材は燃焼していた。
- (c) 保護容器外面に取り付けられていたスキッドや保護板は燃焼していた。
- (d) 燃料容器のパッキングは、全て燃焼した。また、燃料容器内の緩衝材の一部は燃焼していた。
- (e) 燃料体の表面は、黒く変色していた。



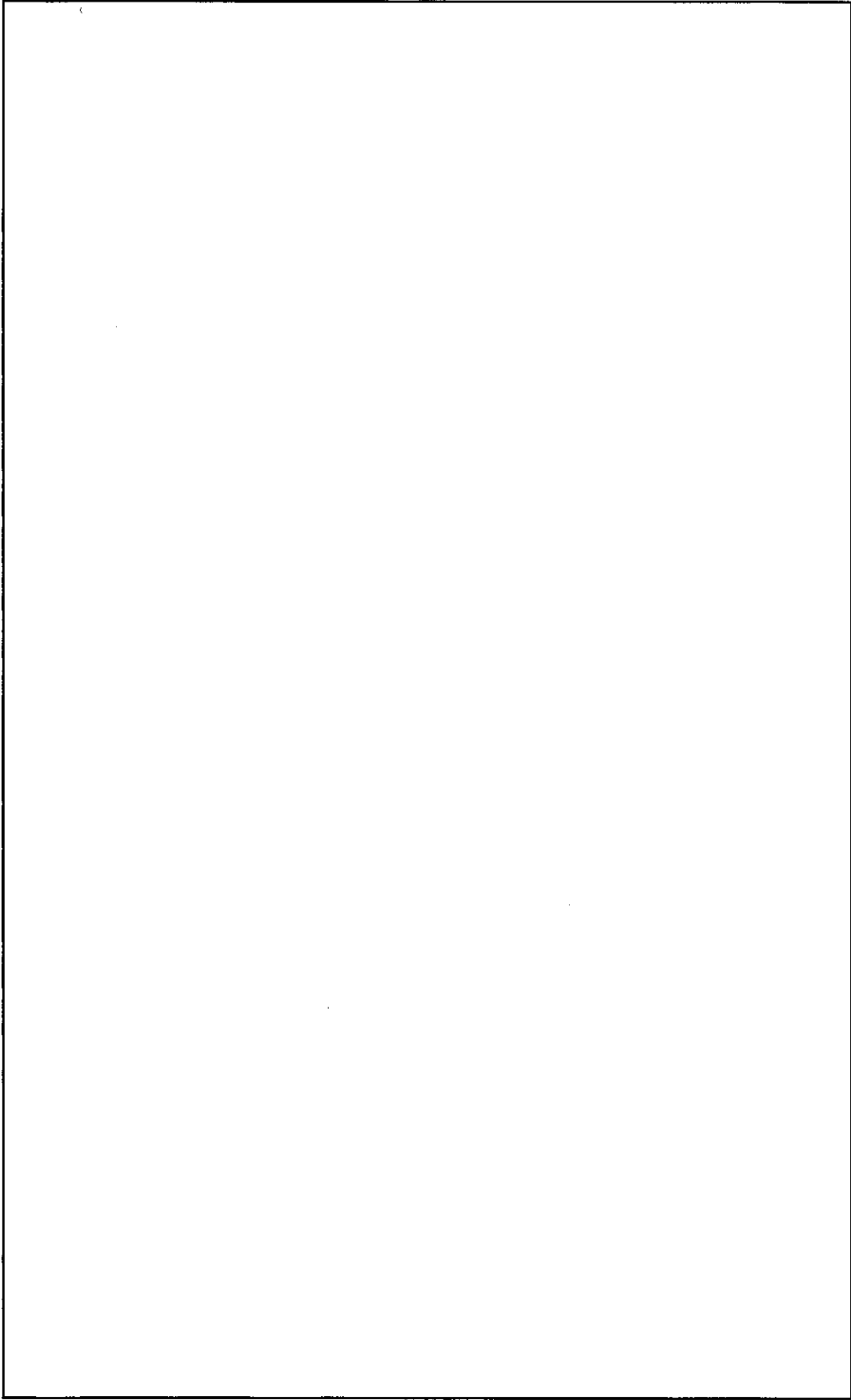
図(ロ)A 附 2- 23 熱的試験中の温度変化 (炉内雰囲気)



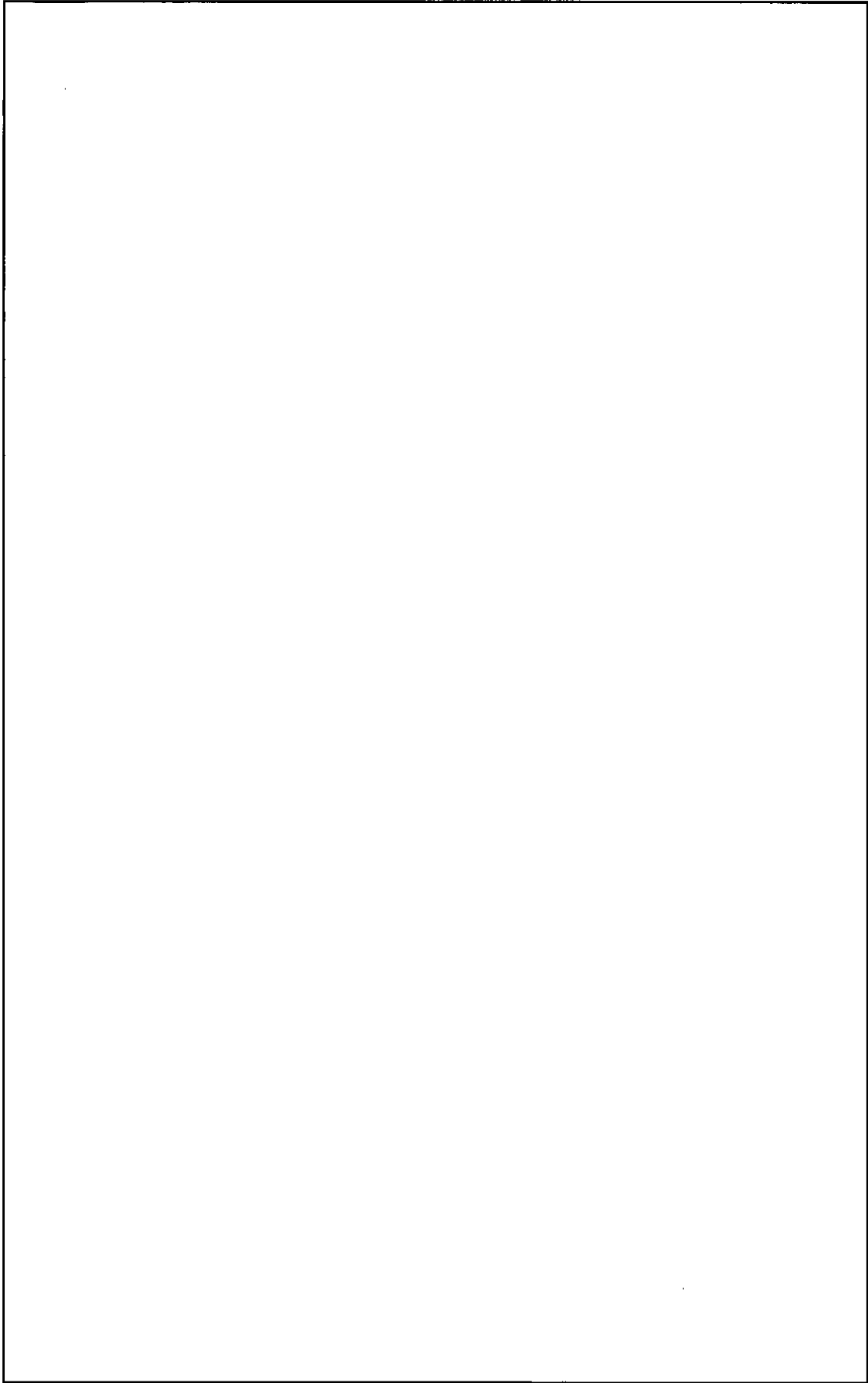
図(ロ)A 附 2-24 熱的試験中の温度変化 (保護容器外面)



図(ロ)A 附 2- 25 熱的試験中の温度変化 (保護容器内雰囲気)



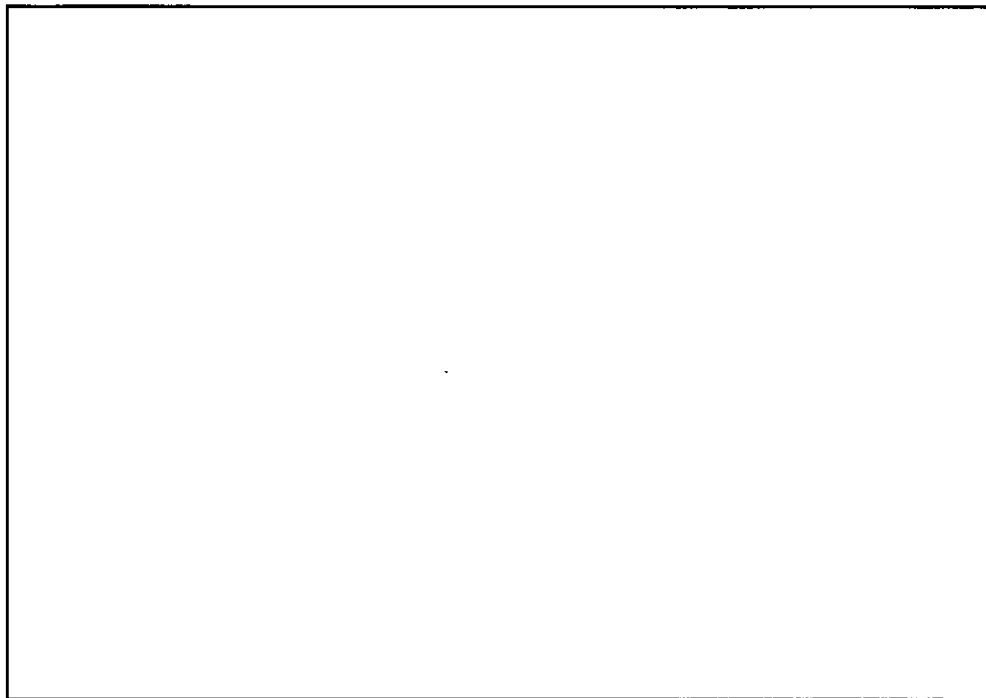
図(ロ)A 附 2-26 熱的試験中の温度変化 (燃料容器内面)



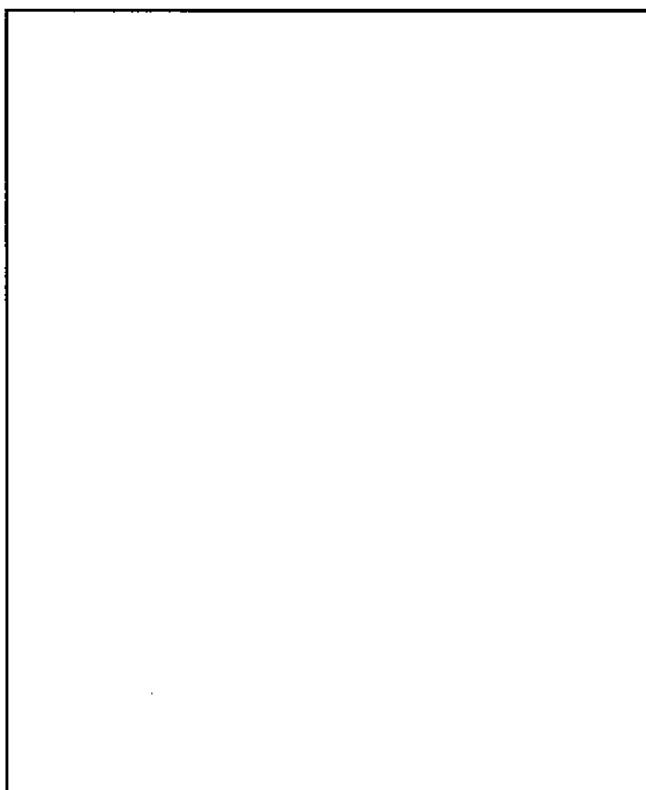
図(口)A 附 2- 27 熱的試験中の温度変化 (燃料棒表面)

表(口)A 附 2-6 各測定個所における最高温度

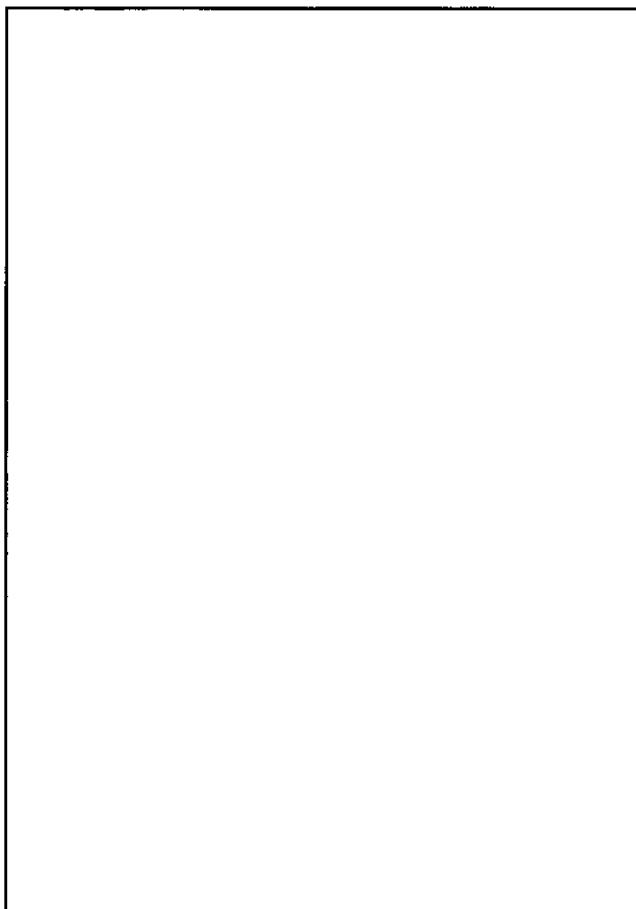
No	測定温度	測定位置	最高温度 (℃)	試験開始後時間
1	炉内雰囲気	燃料体下部側		
2	炉内雰囲気	燃料体中央		
3	保護容器外面	燃料体下部側		
4	保護容器外面	燃料体中央		
5	保護容器内雰囲気	燃料体下部側		
6	保護容器内雰囲気	燃料体中央		
7	保護容器内雰囲気	燃料体上部側		
8	燃料容器内面	燃料体下部側		
9	燃料容器内面	燃料体中央		
10	燃料容器内面	燃料体上部側		
11	燃料棒	燃料体下部側		
12	燃料棒	燃料体中央		
13	燃料棒	燃料体上部側		



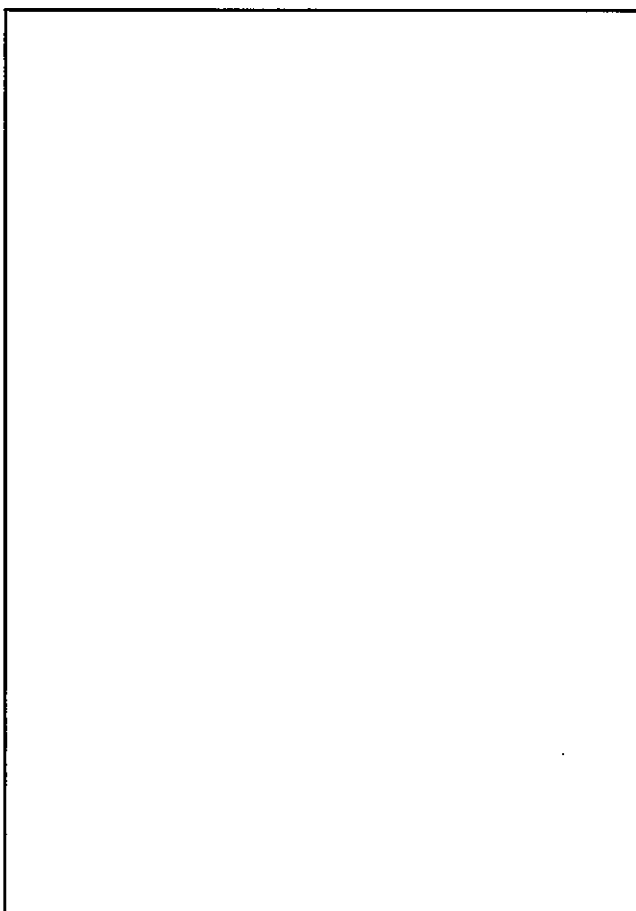
写真(口)A 附 2- 24 熱的試験後の保護容器外観



写真(口)A 附 2- 25 熱的試験後の保護容器内部状況



写真(口)A 附 2- 26 熱的試験後の燃料容器内部状況 (燃料体上部側)

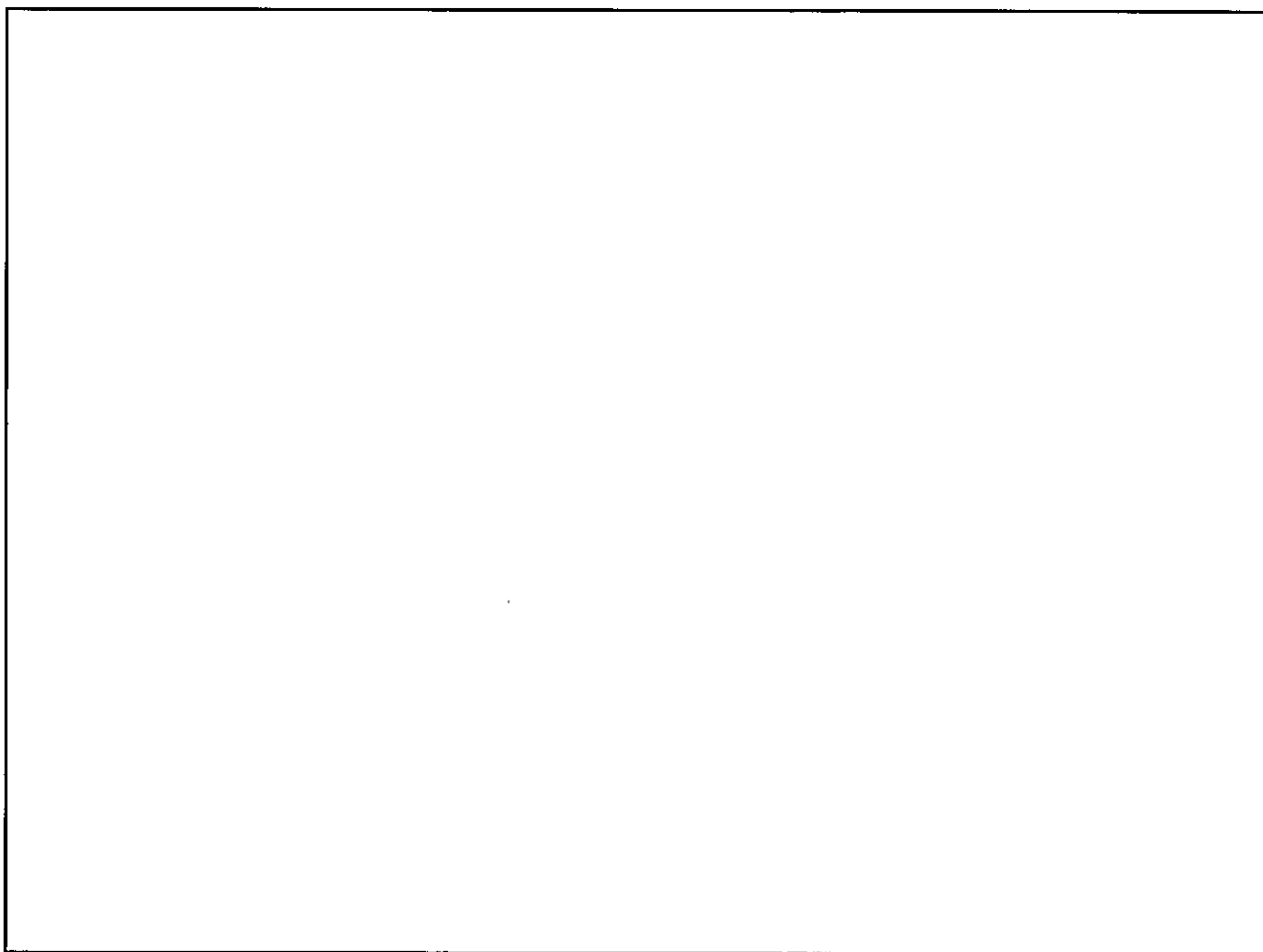


写真(口)A 附 2- 27 熱的試験後の燃料容器内部状況 (燃料体下部側)

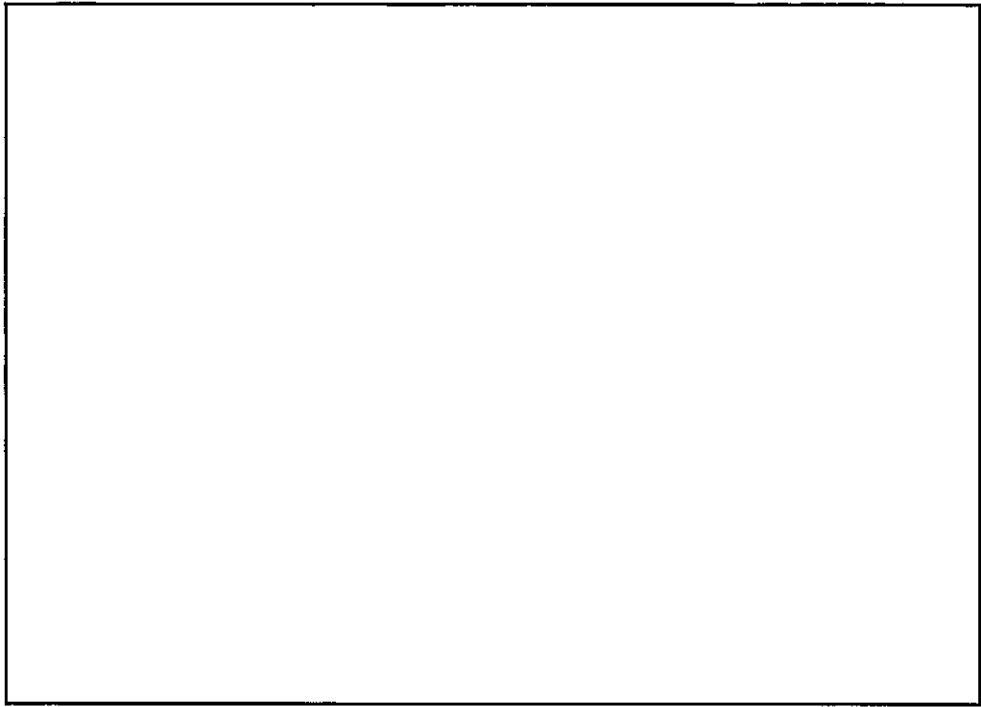
5.3 燃料容器の状況

試験後の燃料容器外観を写真(口)A 附 2- 28、写真(口)A 附 2- 29 に示す。また、試験後の燃料容器寸法変形量を図(口)A 附 2- 28 に示す。

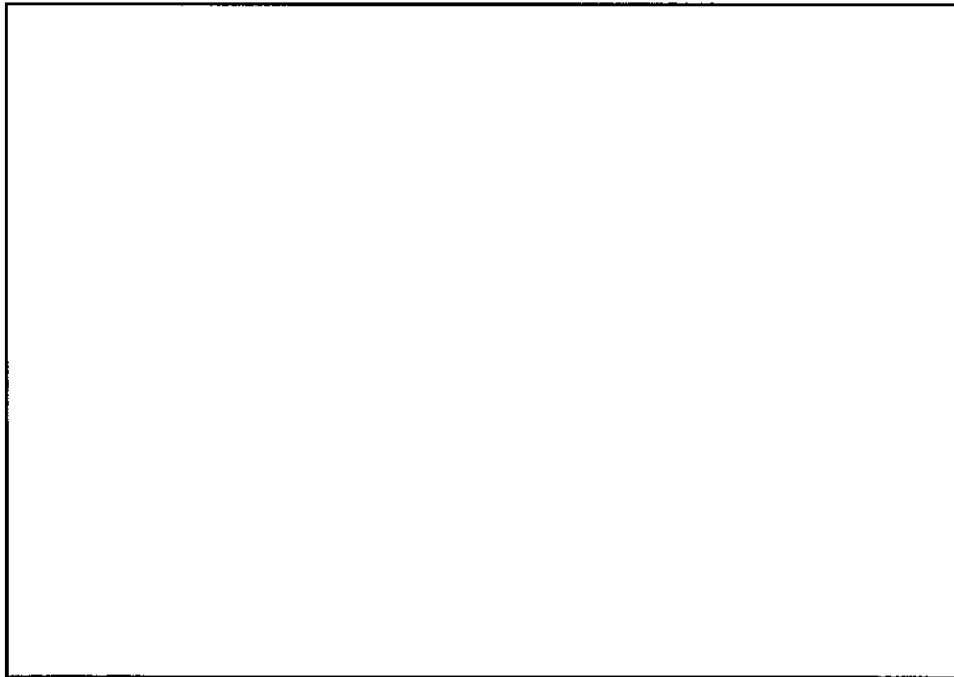
- (a) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。
- (b) 燃料容器の全長寸法が 減少し、幅寸法が 減少した。
- (c) 燃料容器の高さ寸法の変化はなかった。
- (d) 端部に の局所変形（へこみ）が生じた。



図(口)A 附 2- 28 試験後の燃料容器の変形量



写真(口)A 附 2- 28 試験後の燃料内容器状況 (下部側端部)



写真(口)A 附 2- 29 試験後の燃料内容器状況 (側面)

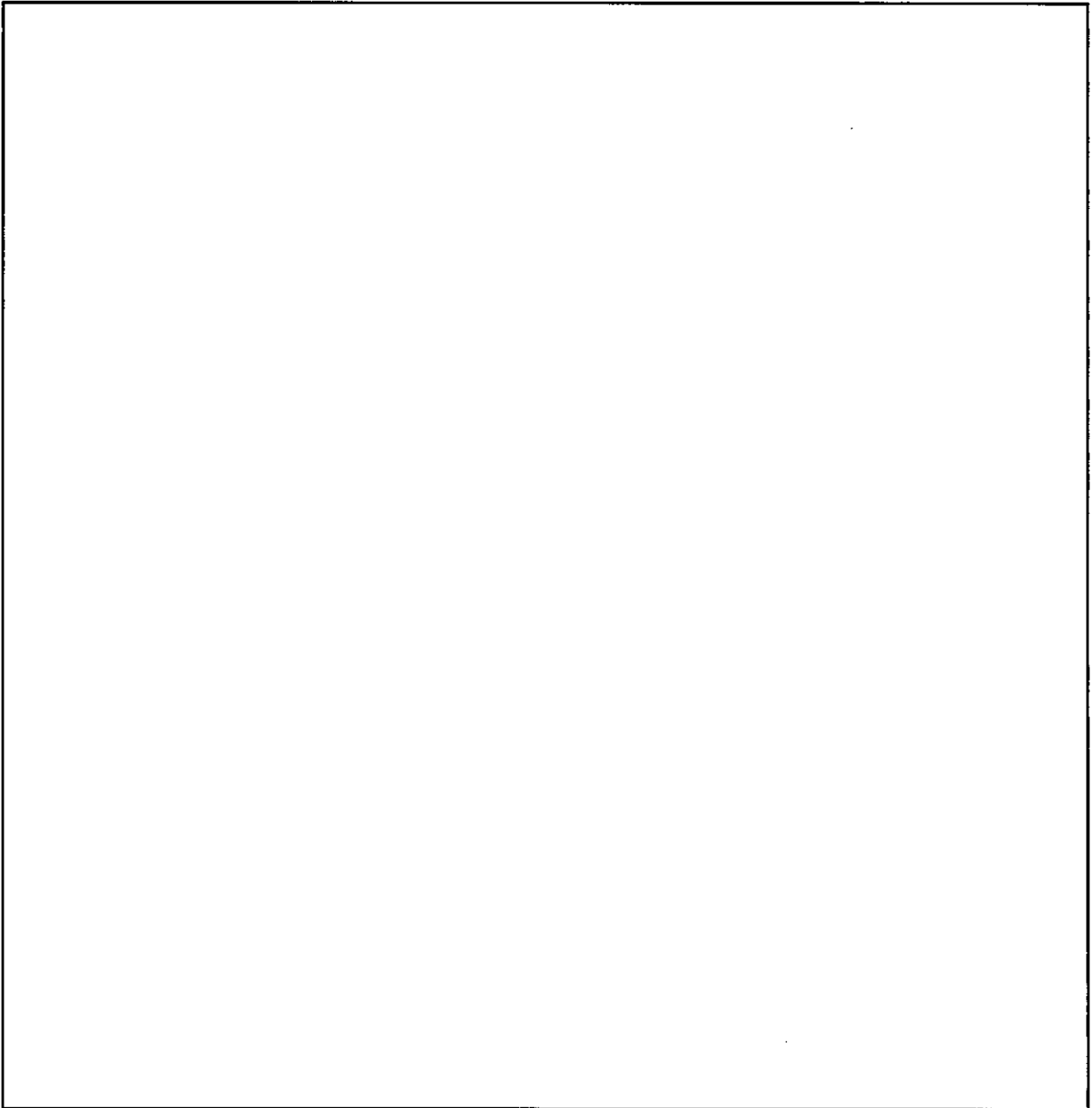
5.4 燃料の状況

試験後の燃料外観を写真(ロ)A 附 2- 30、写真(ロ)A 附 2- 31 に示す。また、試験後の燃料棒の曲がり変形量を図(ロ)A 附 2- 29 に示す。

(a) 模擬燃料棒が



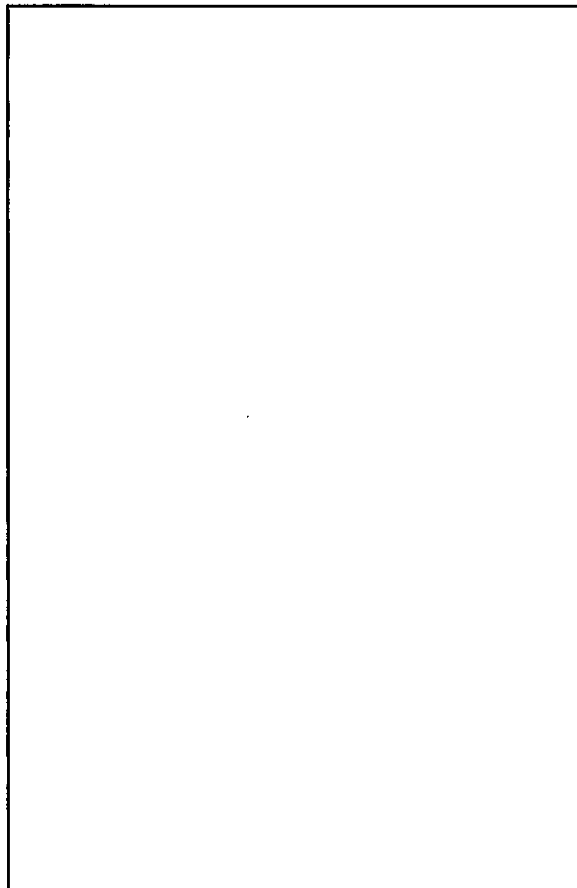
(b) 試験前後で燃料棒のヘリウムリーク試験を実施した結果、ヘリウムのリークはなく燃料棒の密封性に問題のないことを確認した。



図(ロ)A 附 2- 29 試験後の燃料棒の曲がり変形量 (最下部スパン)



写真(ロ)A 附 2- 30 試験後の模擬燃料体の状況



写真(ロ)A 附 2- 31 試験後の模擬燃料体の状況 (最下部スパン)

5.5 落下試験における最大衝撃加速度

各種落下試験において測定された輸送容器各部の最大衝撃加速度を、表(ロ)A 附 2-7 に示す。

表(ロ)A 附 2-7 落下試験における最大衝撃加速度

試験項目	測定個所		
	保護容器	燃料容器	模擬燃料棒
一般の試験条件 1.2m 水平落下 1.2m 垂直落下 1.2m コーナー落下	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		
特別の試験条件 落下試験 I 9m コーナー落下 落下試験 II 1m ターゲット落下			

(単位：G)

6. まとめ

一般の試験及び特別の試験を実施し、以下の項目を確認した。

- (a) 燃料棒の密封性能は確保された。
- (b) 試験により保護容器は、 した。
- (c) 試験により燃料容器は、 減少した。
- (d) 試験により燃料棒は、 。
- (e) 熱的試験により燃料棒の表面温度は、 になった。

以上

落下試験台の説明資料

1. 落下試験台

(1) 所有者

株式会社

住所 :

--

(2) 落下試験台の概要

基準 (1973年安全輸送規則)		当該落下試験台
IAEA (708)	試験台は平らな面であって、供試物の衝突の際の変位又は、変形に対する抵抗の増加により供試物の破損を著しく増大するものでないこと。	
ADVISERY (701)	(1) 供試物の 10 倍以上の質量のコンクリートブロックの上に鋼板を置いたもの。	
	(2) 鋼板は 1.25cm 以上の厚さであること。	
	(3) コンクリートに密着するように、ウェットフローであること。	
	(4) ターゲットはどこ側においても、供試物より 500mm 以上あること。	

--

熱的試験炉の説明資料

(1) 所有者

株式会社

住所 :

(2) 熱的試験炉の概要

1) 概略仕様

型式

炉内寸法

有効寸法

処理能力

最高温度

使用燃料

2) 空台車挿入状態で 800℃までの昇温時間

温度公差

3)

附属資料(口)－A.3

NT-XII 型輸送容器予備試験報告書

1. はじめに

NT-XII 型輸送容器の落下試験時の落下姿勢を検討するため予備試験を実施した。また、本予備試験結果を基に若干の設計改良を加え、NT-XII 型輸送容器の最終仕様としている。

本報告書は、予備落下試験について試験状況及び試験後の容器の検査結果をまとめたものである。

2. 試験

2.1 実施場所と実施時期

実施場所

実施時期

平成 13 年 3 月 19 日～21 日

2.2 試験体

本予備落下試験に用いた輸送物は、次の点を除いて実際に燃料集合体を輸送する場合と同じである

(1) 収納物の相違点

試験容器には、模擬重量体 (図(ロ)A 附 3-1 及び図(ロ)A 附 3-2) を組み合わせて収納した。

(2) 最終仕様輸送容器との相違

- 1) 保護容器のボルト本数は、である。
- 2) 保護容器のフランジ部厚さは、上蓋が、本体がである。
- 3) 保護容器の上蓋側コーナーに取り付けられる緩衝材がない。
- 4) 燃料容器内に断熱材が装荷されていない。
- 5) 計測器の配線を取り出すため、保護容器本体の側面に直径約 10cm の孔を開けた。
- 6) 保護容器下面に保護板が貼付されていない。
- 7) 保護容器上蓋用フック補強板が取り付けられていない。

2.3 試験用機材

(1) 原型容器

予備試験用原型容器 : 1 基

(2) 収納物

模擬重量物 : 2 体

(3) 落下試験台

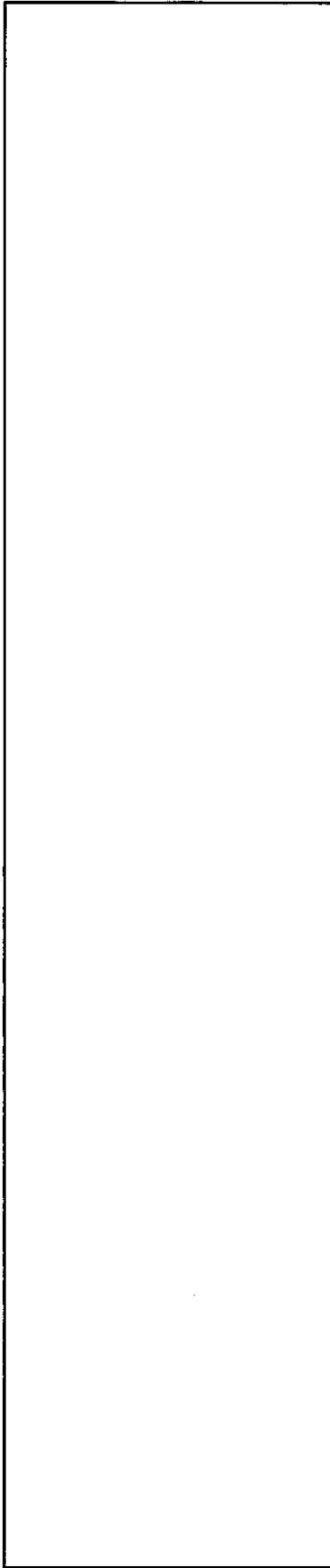
の試験台を使用した。仕様を添付 1 に示す。

(4) クレーン

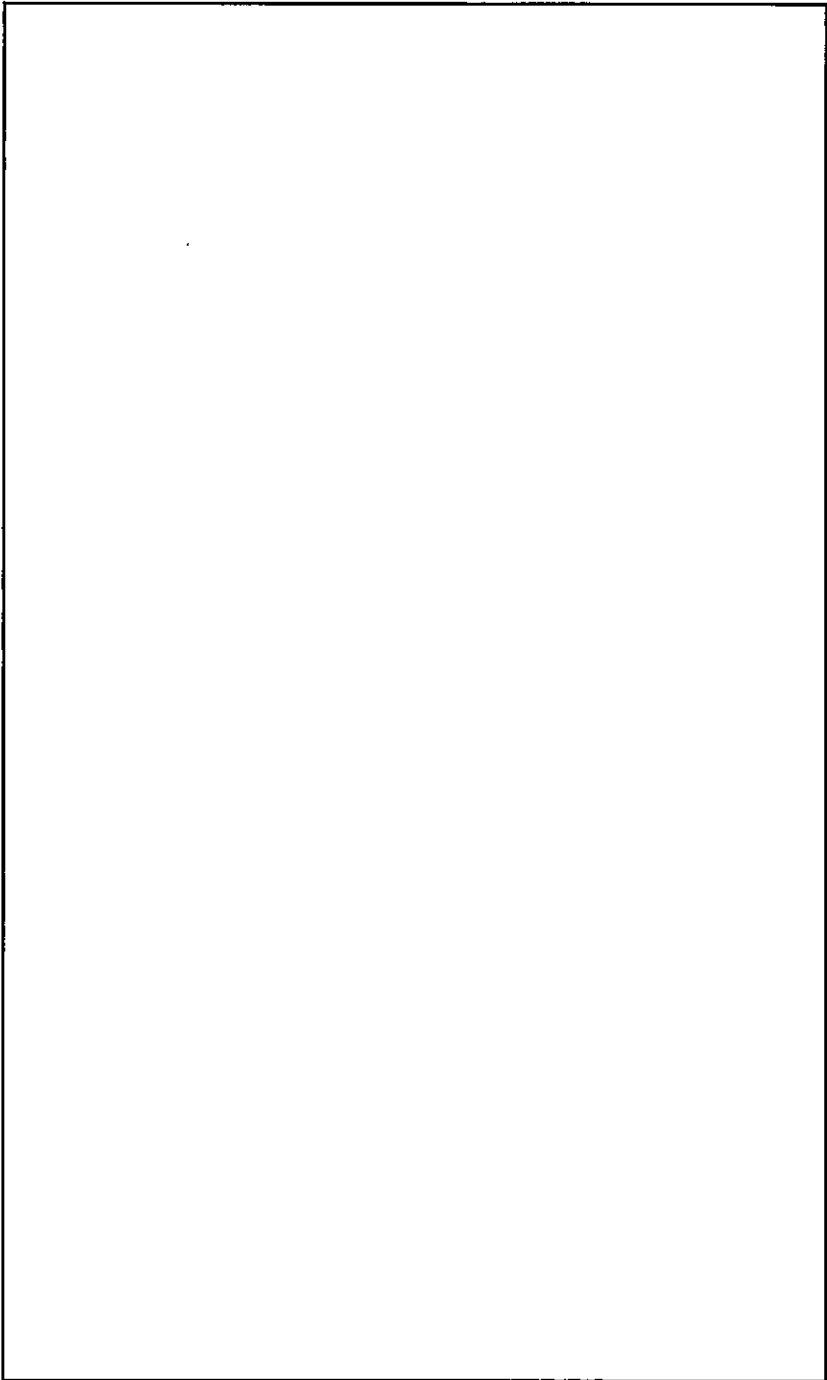
35 トンクレーン車を使用した。

(5) 切り離し用吊り具

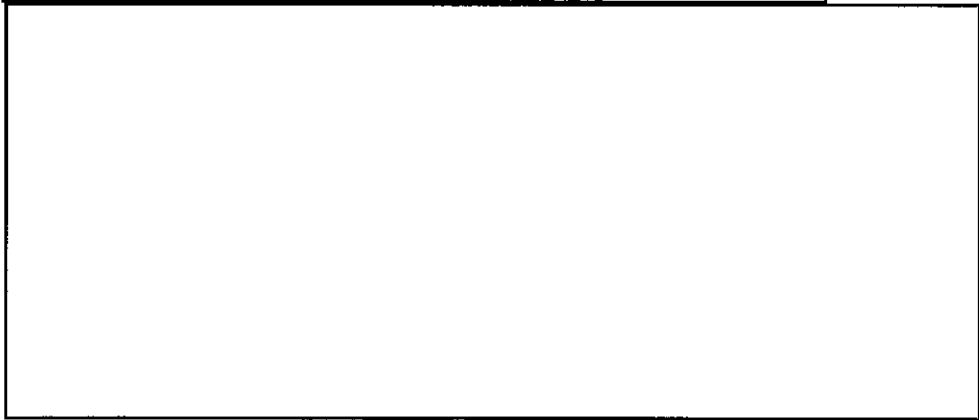
の容量 15 トンの吊り具を使用した。



図(□)A 附 3-1 模擬重量体(1)



図(口)A 附 3-2 模擬重量体(2)



2.4 試験方法

試験は以下に示すように実施した。容器を吊り上げる際にはシャックル及びワイヤを使用した。容器落下後に吊り上げ器具等が容器上に落下しないように綱を付ける等考慮した。

(1) 落下試験(I) 9m 水平落下 スキッド下向き

図(ロ)A 附 3- 3に示すように、容器を水平に吊り上げ保護容器下面のスキッドを下向きとして落下させた。

(2) 落下試験(I) 9m 水平落下 側面下向き

図(ロ)A 附 3- 4に示すように、容器を水平に吊り上げ保護容器側面を下向きとして落下させた。

(3) 落下試験(I) 9m 垂直落下 上部側下向き

図(ロ)A 附 3- 5に示すように、容器を垂直に吊り上げ模擬重量物の上部側を下向きとして落下させた。

(4) 落下試験(I) 9m コーナー落下 上蓋側下向き

図(ロ)A 附 3- 6に示すように、容器の上蓋側コーナー（模擬重量物下部側）を下向きとして落下させた。

(5) 落下試験(I) 9m コーナー落下 本体側下向き

図(ロ)A 附 3- 7に示すように、容器の本体側コーナー（模擬重量物下部側）を下向きとして落下させた。

(6) 落下試験(II) 1m 水平ターゲット落下 側面下向き

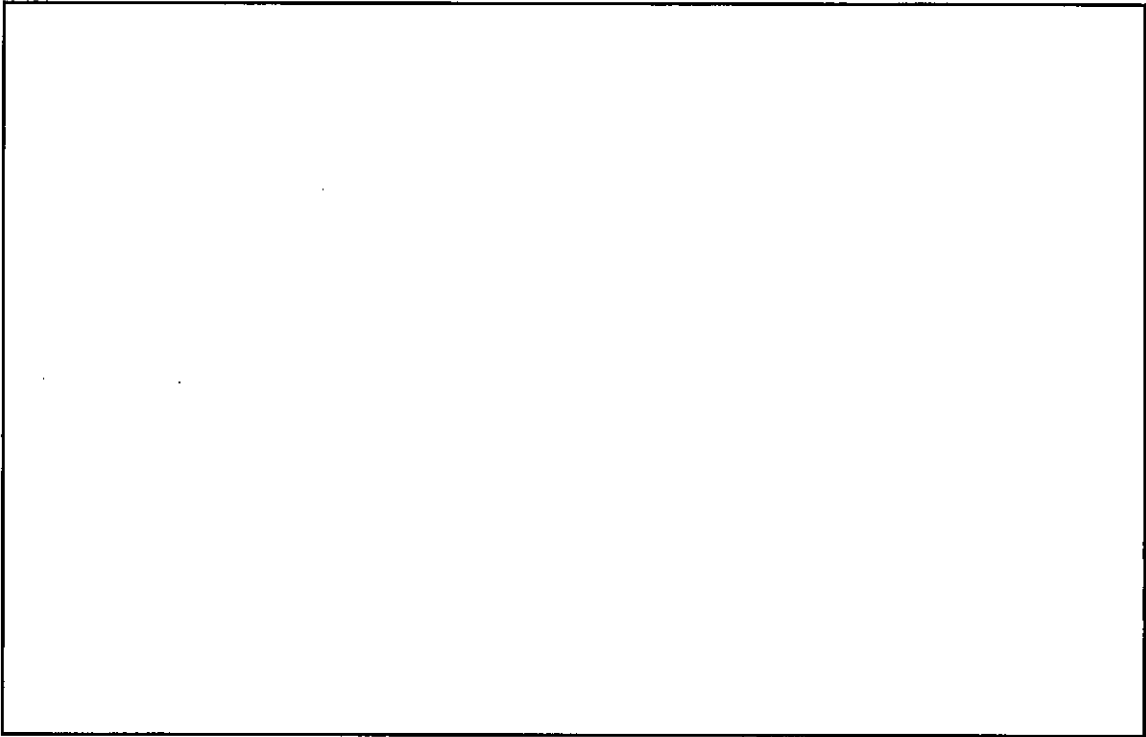
図(ロ)A 附 3- 8に示すように、容器を水平に吊り上げ保護容器側面を下向きとして、貫通治具が長手方向ハリを避けて当たるように落下させた。

(7) 落下試験(II) 1m 水平ターゲット落下 上蓋下向き

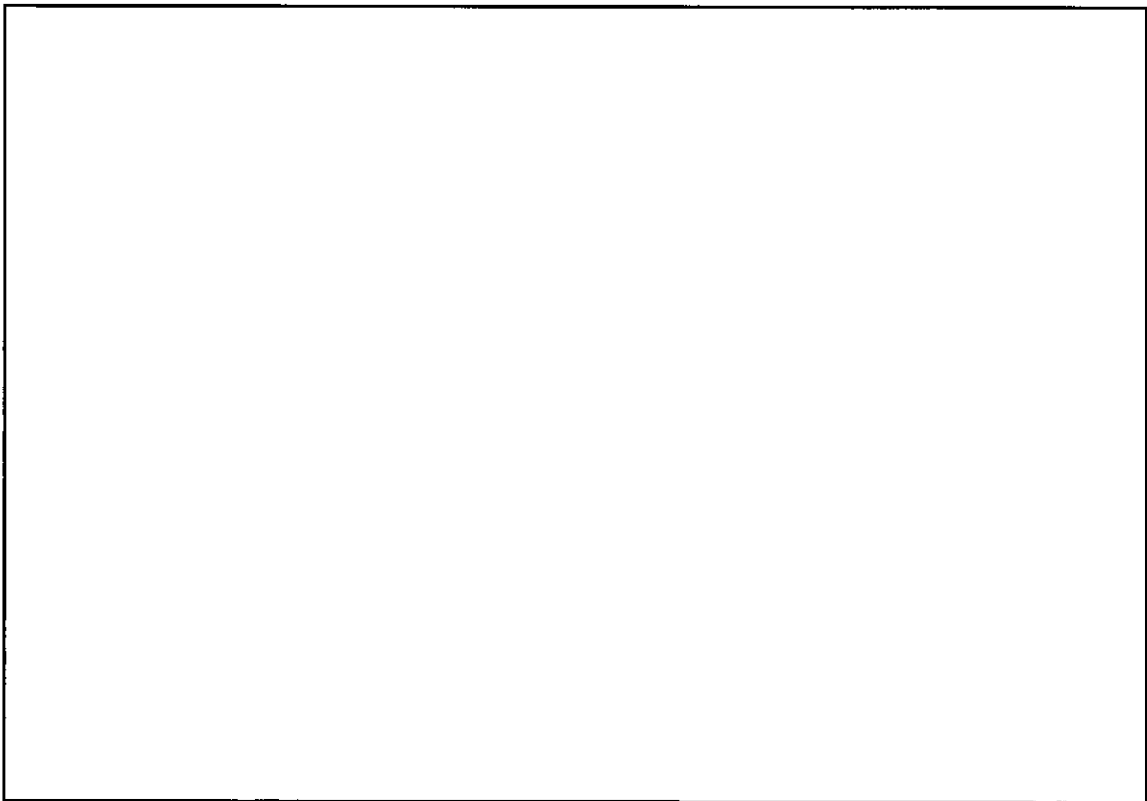
図(ロ)A 附 3- 9に示すように、容器を水平に吊り上げ上蓋を下向きとして、貫通治具が長手方向ハリの間に当たるように落下させた。

(8) 落下試験(II) 1m 垂直ターゲット落下 上部側下向き

図(ロ)A 附 3- 10に示すように、容器を垂直に吊り上げ模擬重量物の上部側を下向きとして、貫通治具がハリを避けて当たるように落下させた。

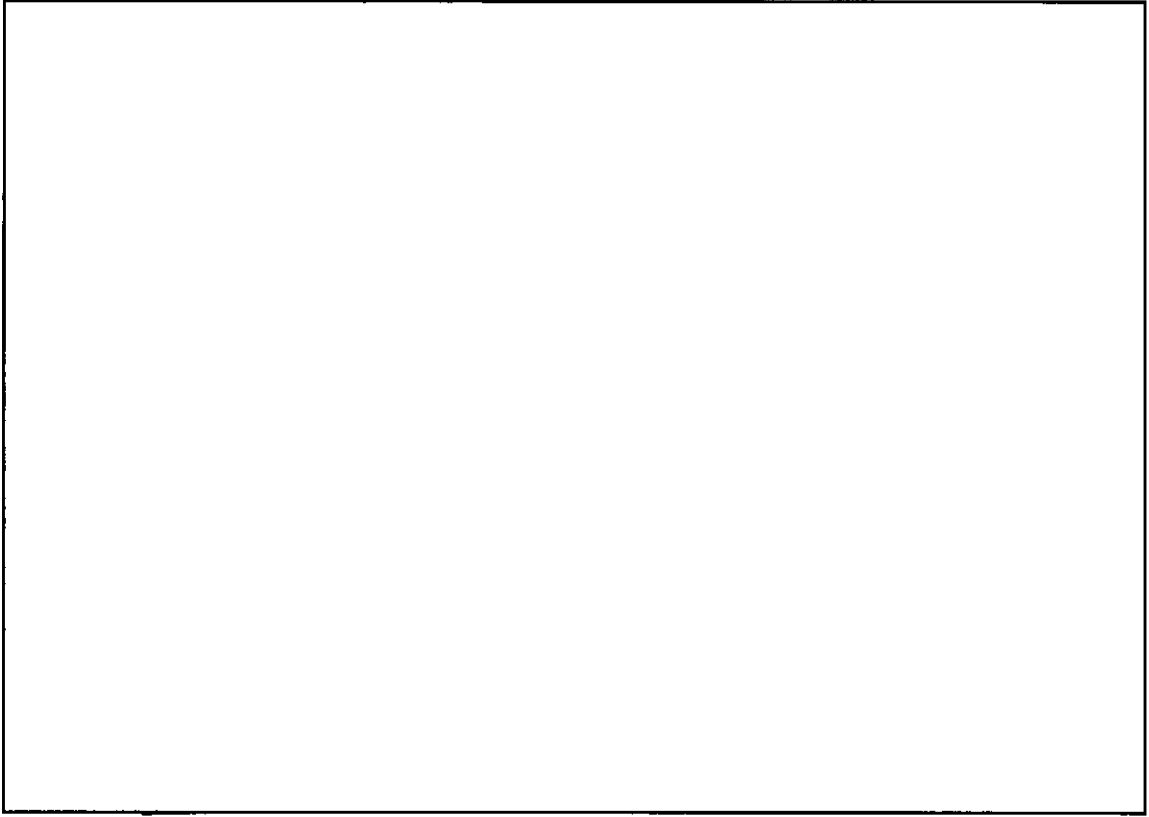


図(口)A 附 3-3 落下試験(I) 9m 水平落下 スキッド下向き

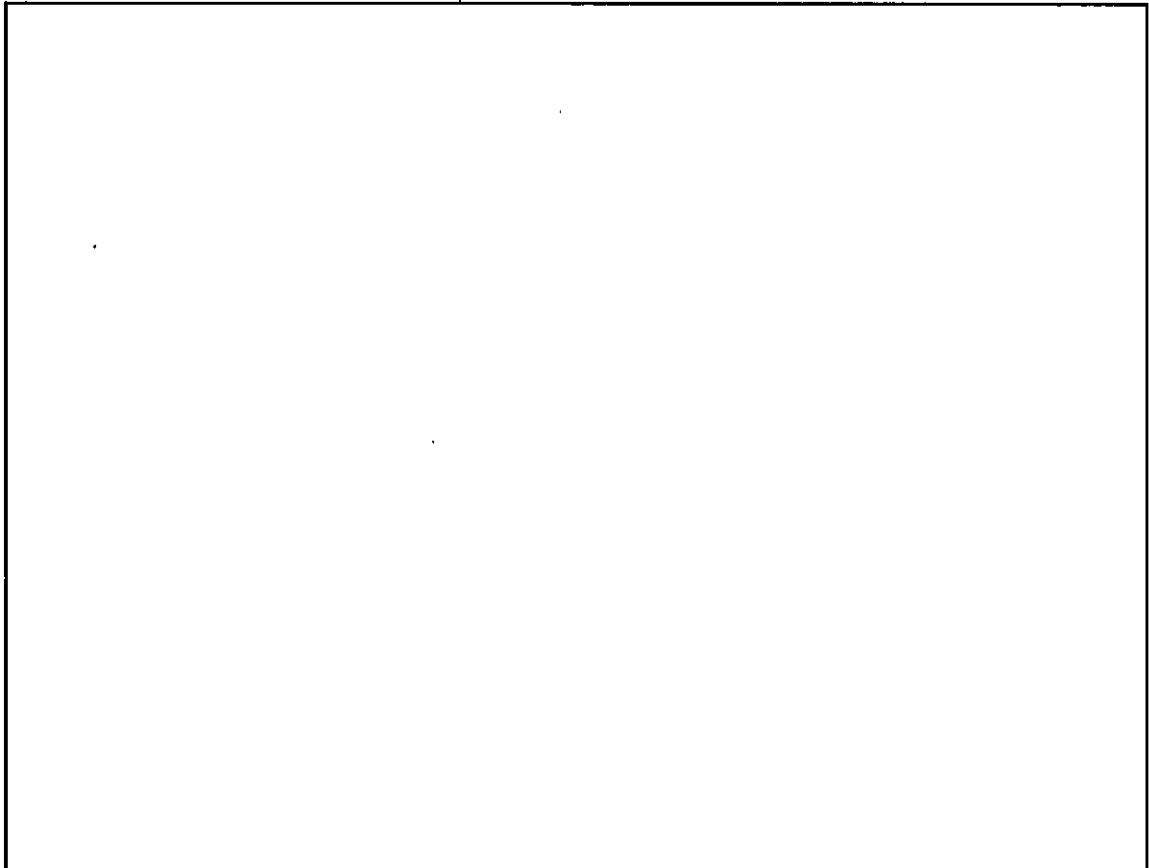


図(口)A 附 3-4 落下試験(I) 9m 水平落下 側面下向き

附(口)A.3-6

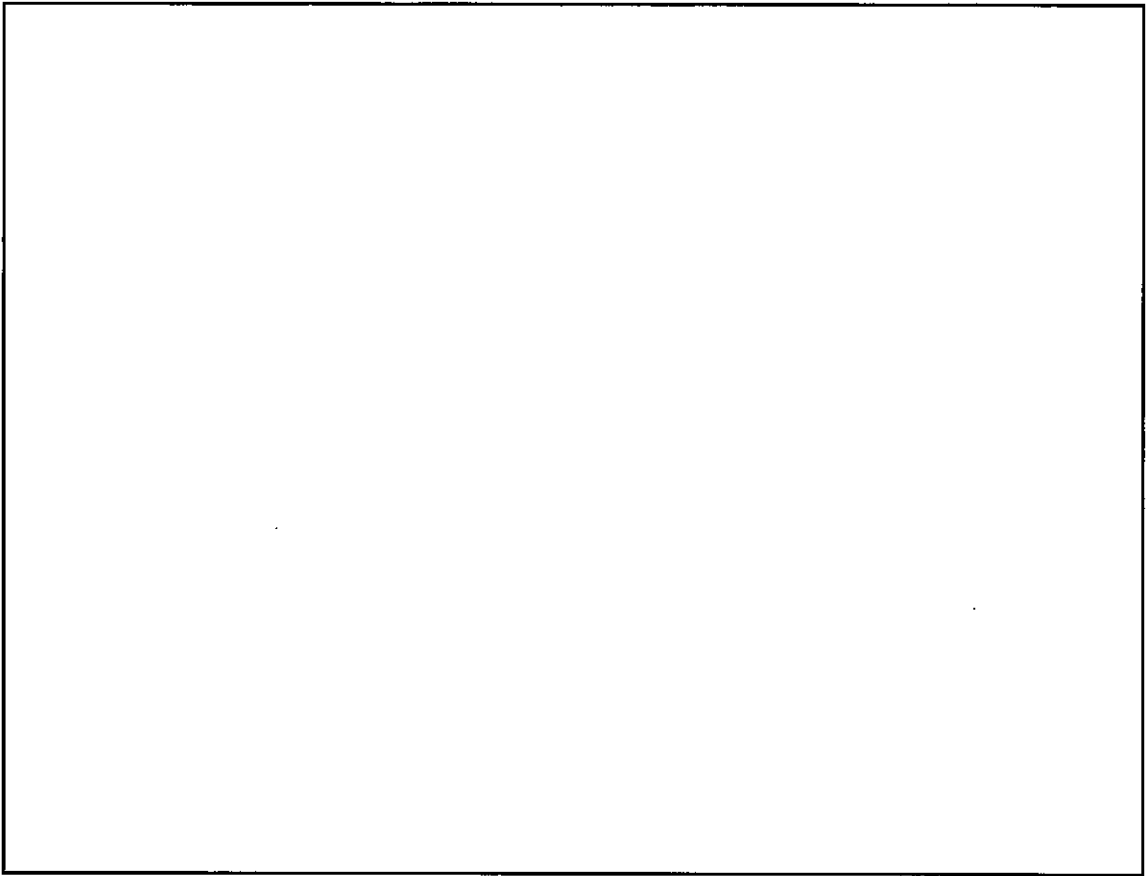


図(口)A 附 3-5 落下試験(I) 9m 垂直落下 上部側下向き

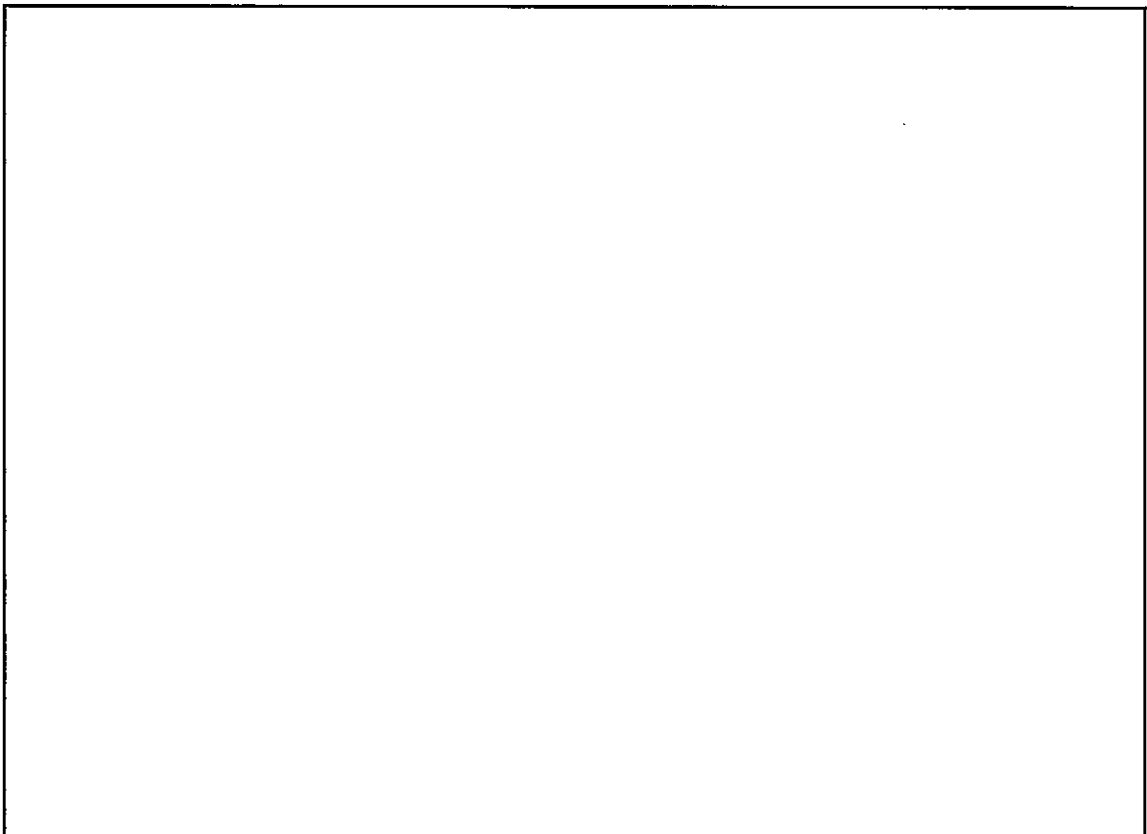


図(口)A 附 3-6 落下試験(I) 9m コーナー落下 上蓋側下向き

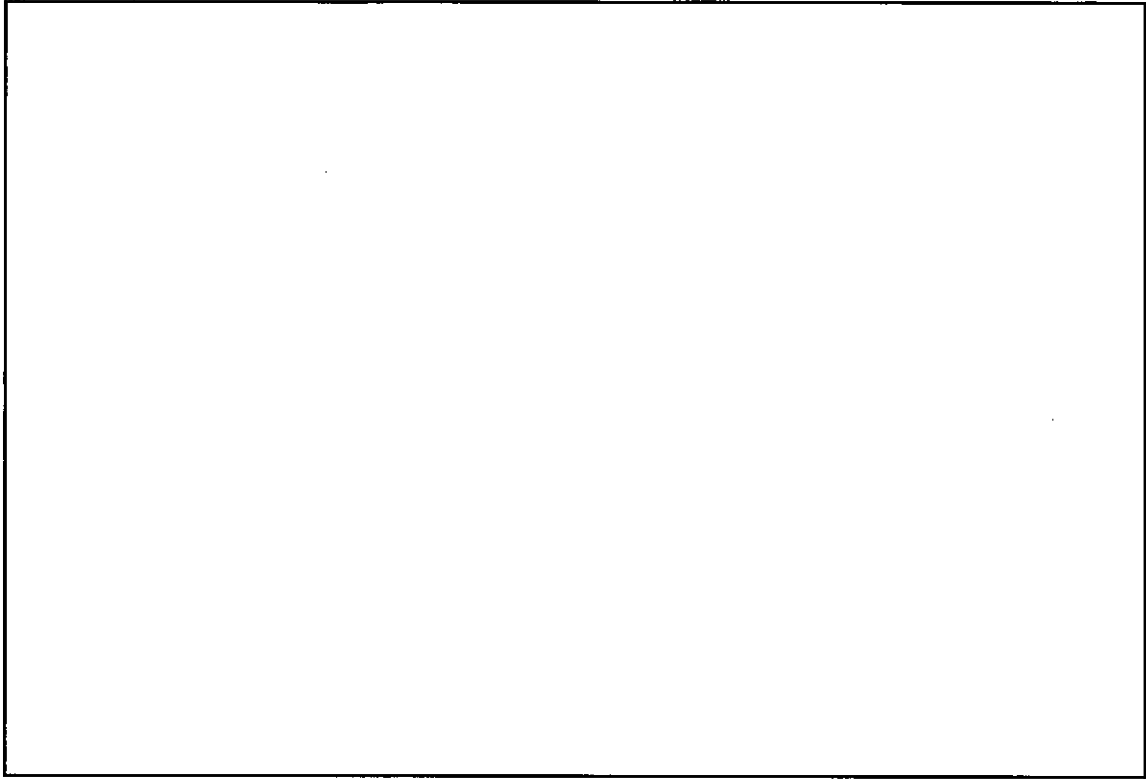
附(口)A.3-7



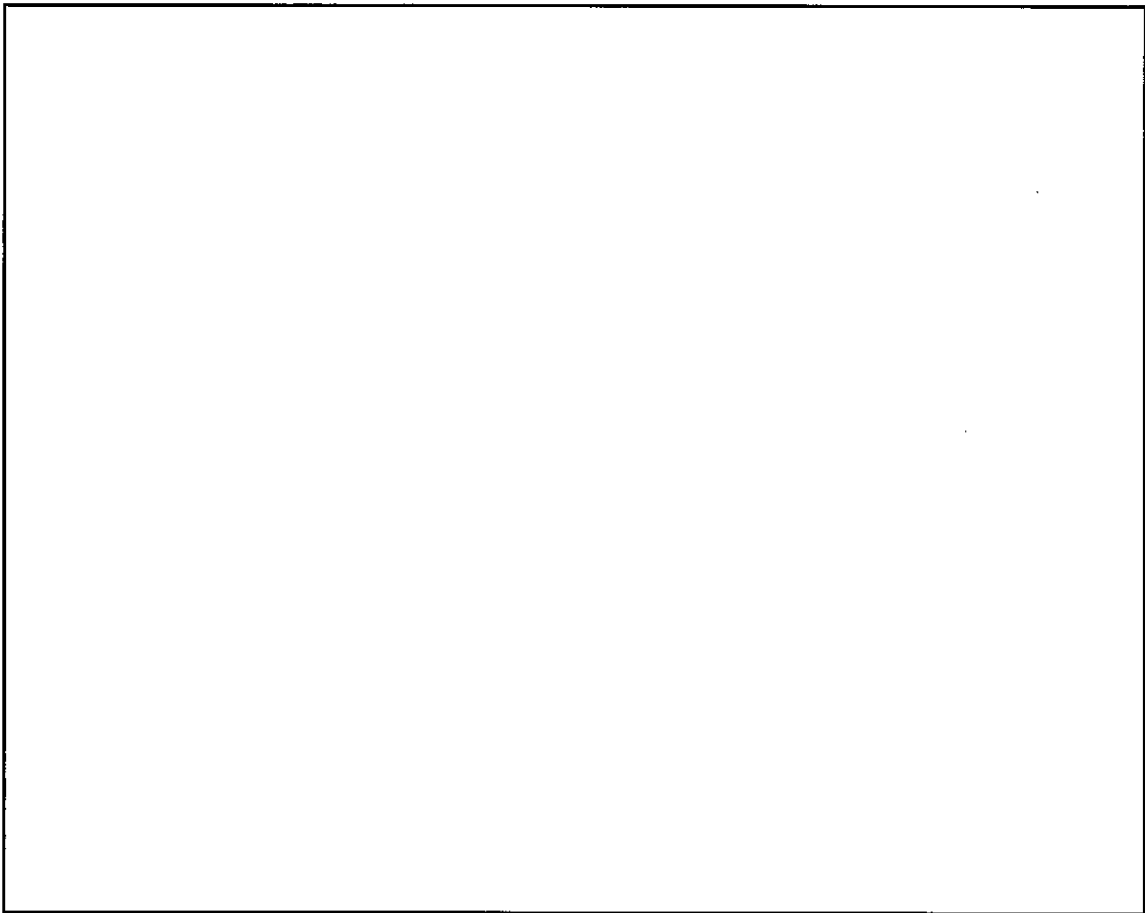
図(ロ)A 附 3-7 落下試験(I) 9m コーナー落下 本体側下向き



図(ロ)A 附 3-8 落下試験(II) 1m 水平ターゲット落下 側面下向き



図(ロ)A 附 3-9 落下試験(Ⅱ) 1m 水平ターゲット落下 上蓋下向き



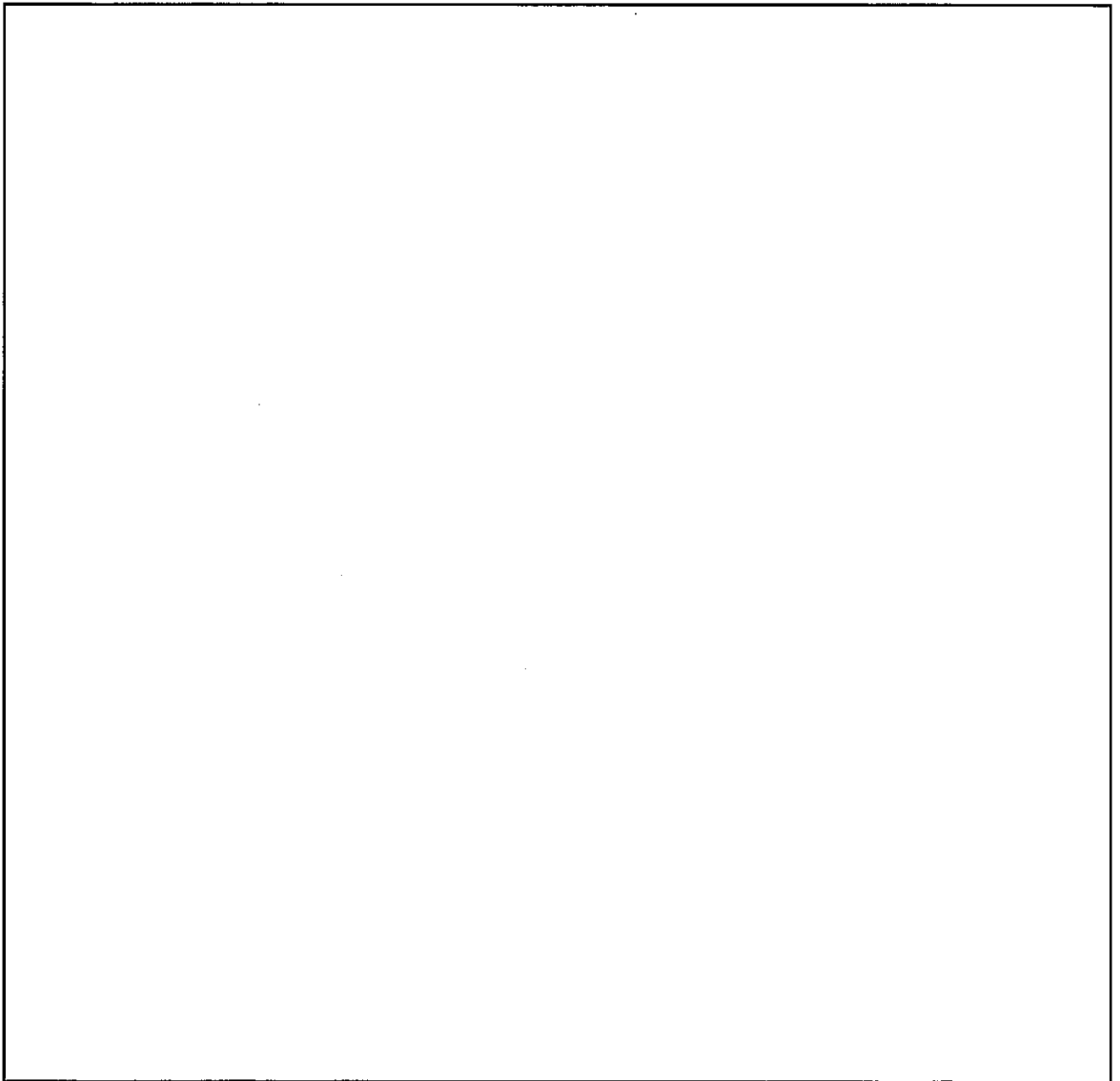
図(ロ)A 附 3-10 落下試験(Ⅱ) 1m 垂直ターゲット落下 上部側下向き

3. 試験結果

(1) 落下試験(I) 9m 水平落下 スキッド下向き

落下試験前後の容器外観を写真(ロ)A 附 3-1、写真(ロ)A 附 3-2 に示す。また、落下後の保護容器変形量を図(ロ)A 附 3-11 に示す。

- (a) スキッドを取り付けているリップ鋼が変形し、スキッドも一部破損した。
- (b) これにより容器高さは、した。容器本体の変形は、高さがし、幅がした程度であった。
- (c) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。



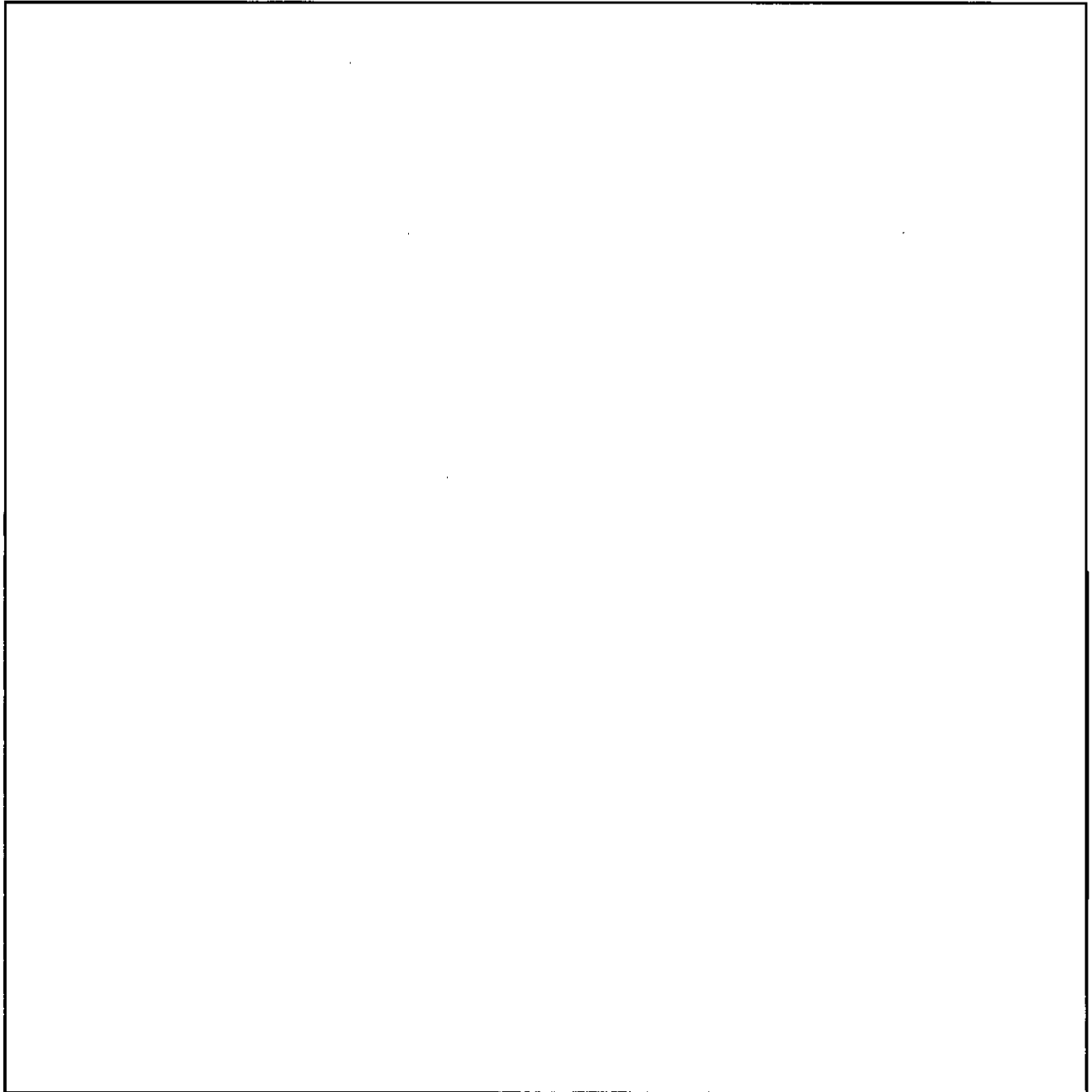
図(ロ)A 附 3-11 9m 水平落下 (スキッド下向き) 後の保護容器の変形量

(2) 落下試験(I) 9m 水平落下 側面下向き

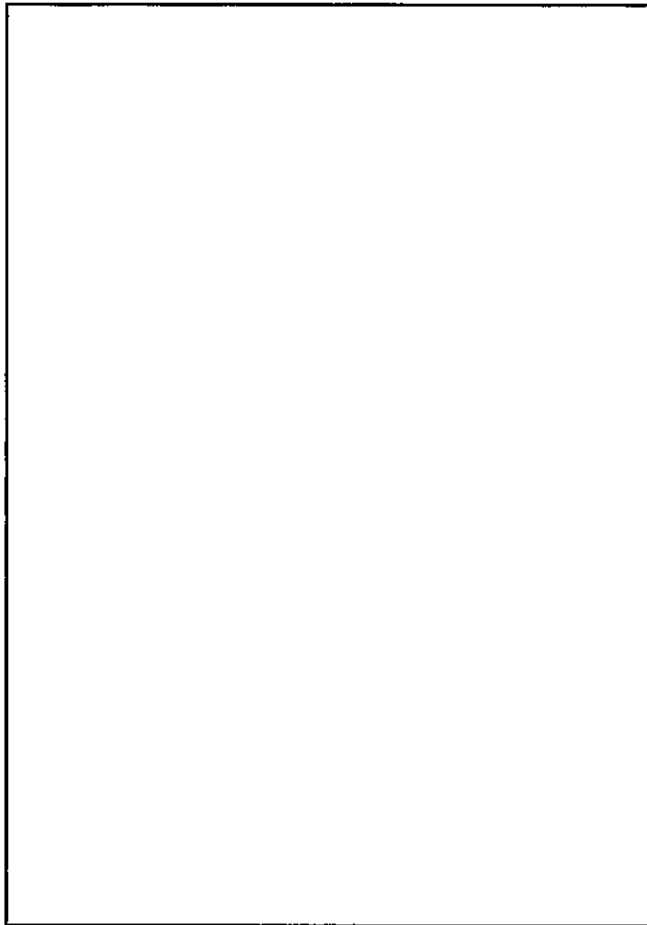
落下試験前後の容器外観を写真(口)A 附 3-3、写真(口)A 附 3-4 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(口)A 附 3-12 に示す。

(a) 容器の幅寸法は、 減少したが、全長の寸法変化は無かった。

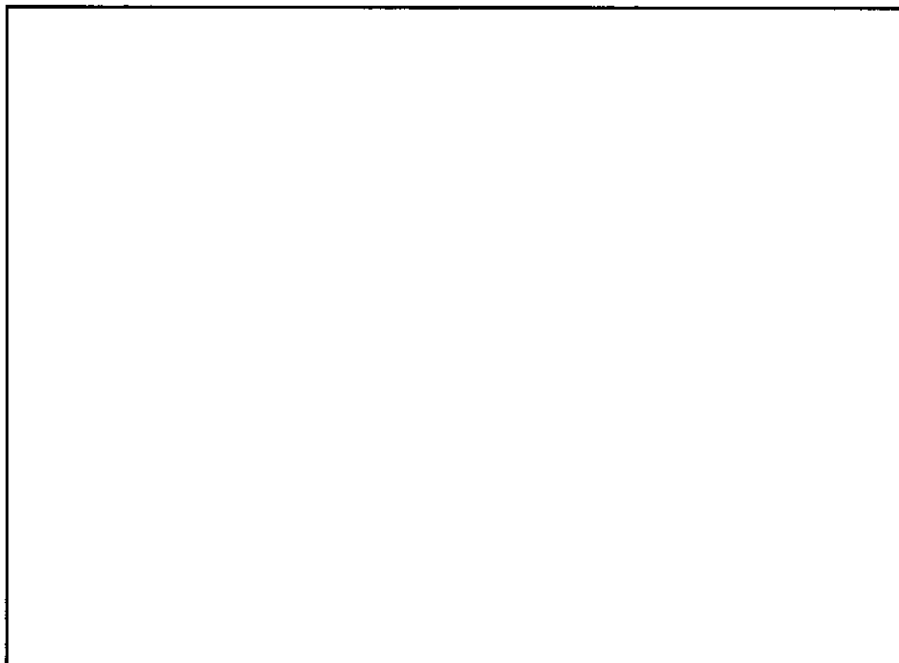
(b) つま部のフランジが変形し、 の開口が生じた。しかし、ボルトの破損はなかった。



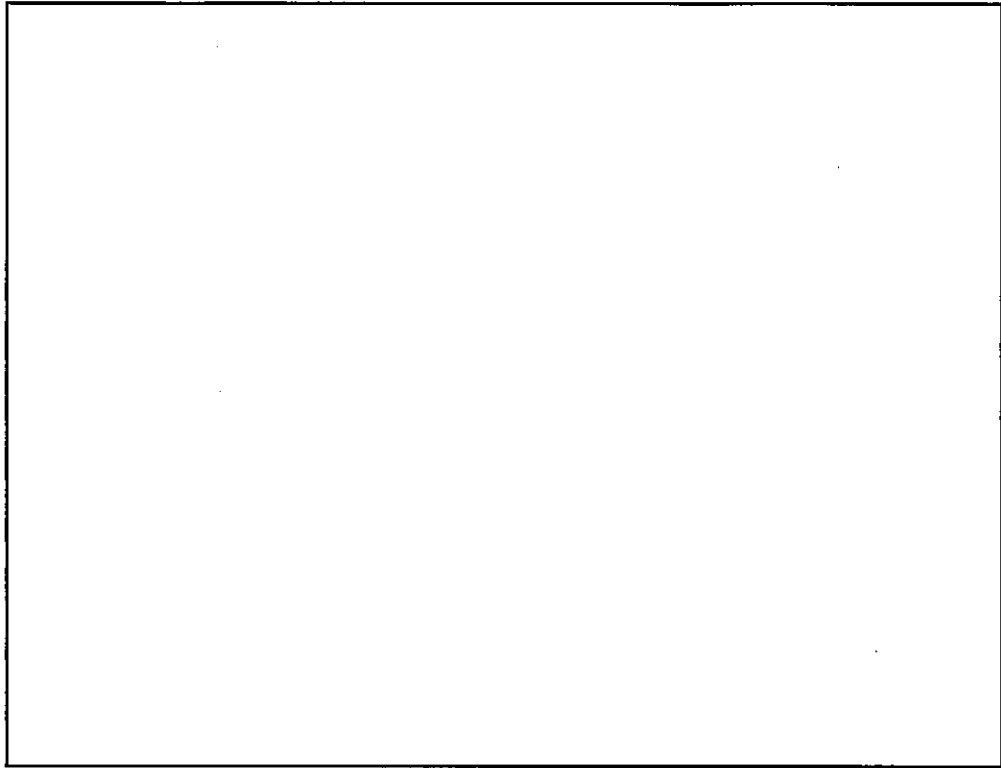
図(口)A 附 3-12 9m 水平落下 (側面下向き) 後の保護容器の変形量



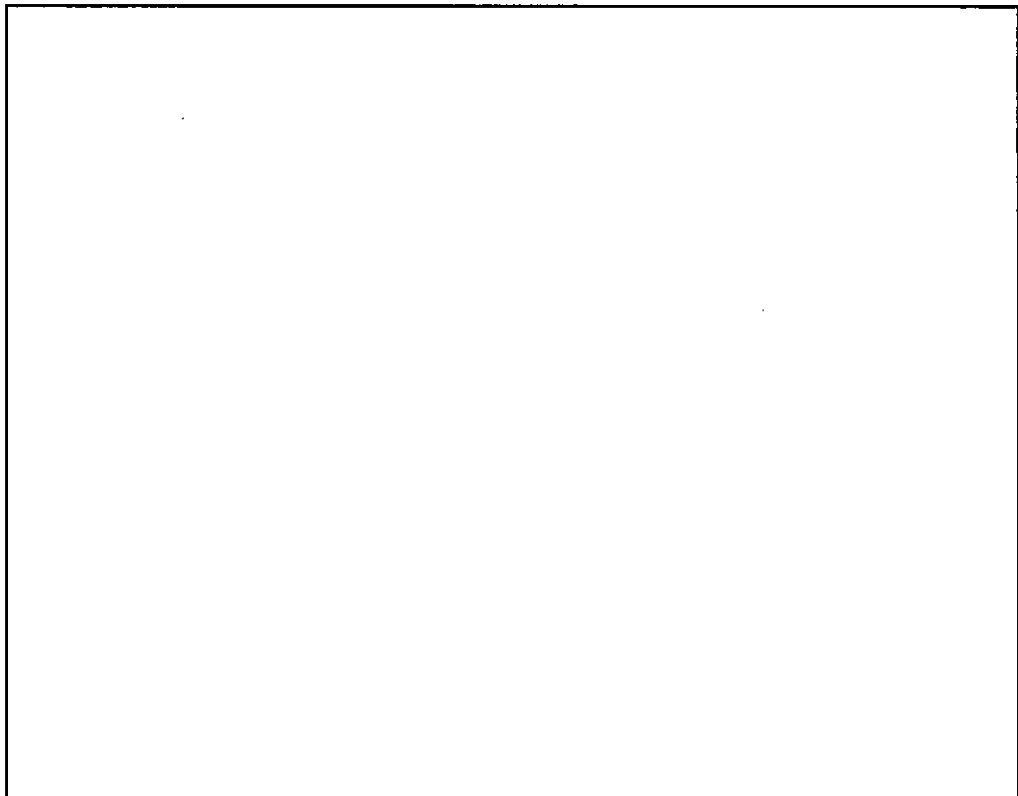
写真(ロ)A 附 3- 1 9m 水平落下 (スキッド下向き) 試験状況



写真(ロ)A 附 3- 2 9m 水平落下 (スキッド下向き) 試験後の保護容器外観



写真(ロ)A 附 3-3 9m 水平落下 (スキッド下向き) 試験状況

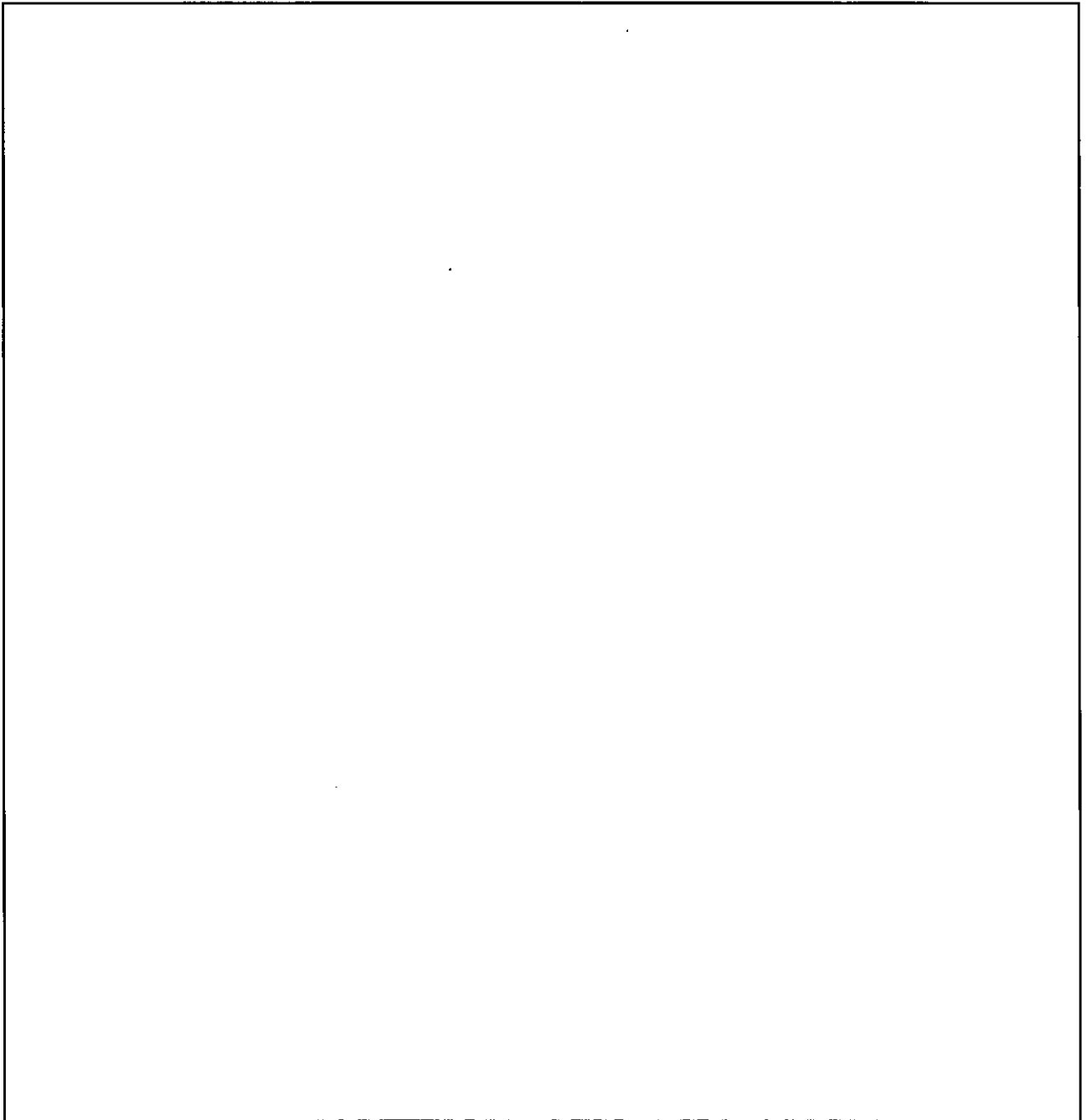


写真(ロ)A 附 3-4 9m 水平落下 (スキッド下向き) 試験後の保護容器外観

(3) 落下試験(I) 9m 垂直落下 上部側下向き

落下試験前後の容器外観を写真(口)A 附 3-5、写真(口)A 附 3-6 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(口)A 附 3-13 に示す。

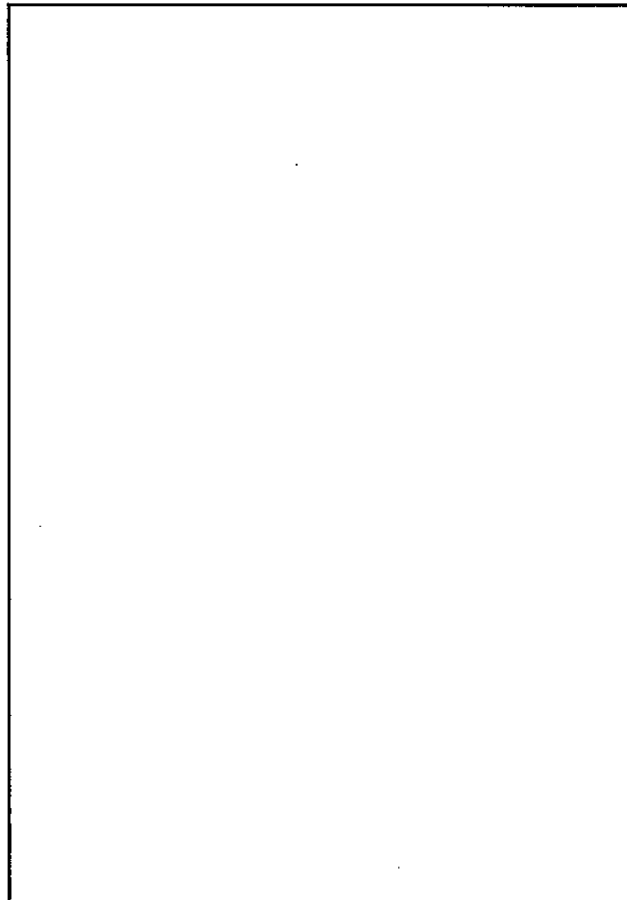
- (a) 容器の全長は、 減少した。幅および高さ寸法の大きな変化はなかった。
- (b) つま部近傍のフランジが変形し、 の開口が生じた。しかし、ボルトの破損はなかった。



図(口)A 附 3-13 9m 垂直落下 (上部側下向き) 後の保護容器の変形量



写真(口)A 附 3- 5 9m 垂直落下 (上部側下向き) 試験状況

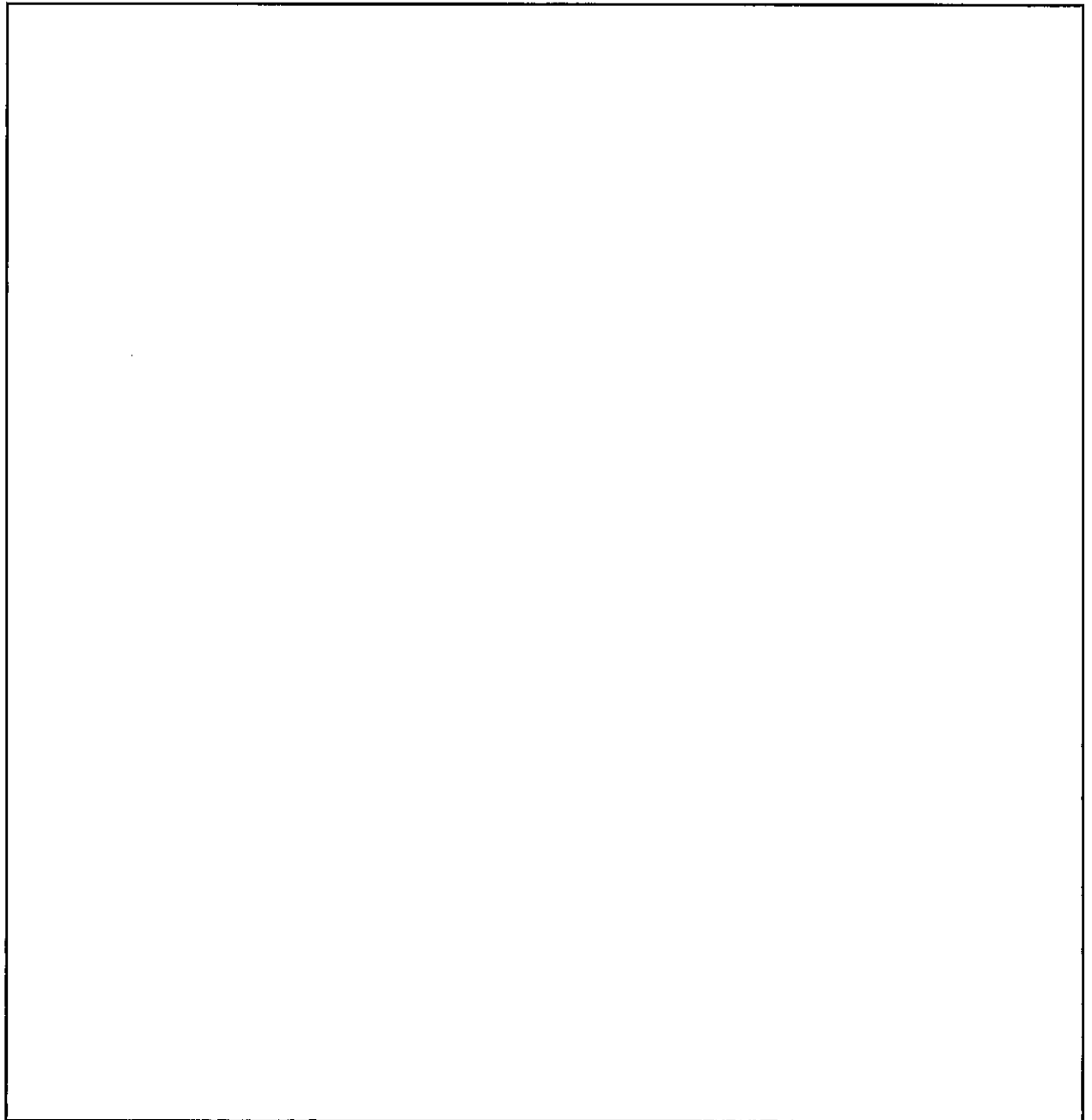


写真(口)A 附 3- 6 9m 垂直落下 (上部側下向き) 試験後の保護容器外観

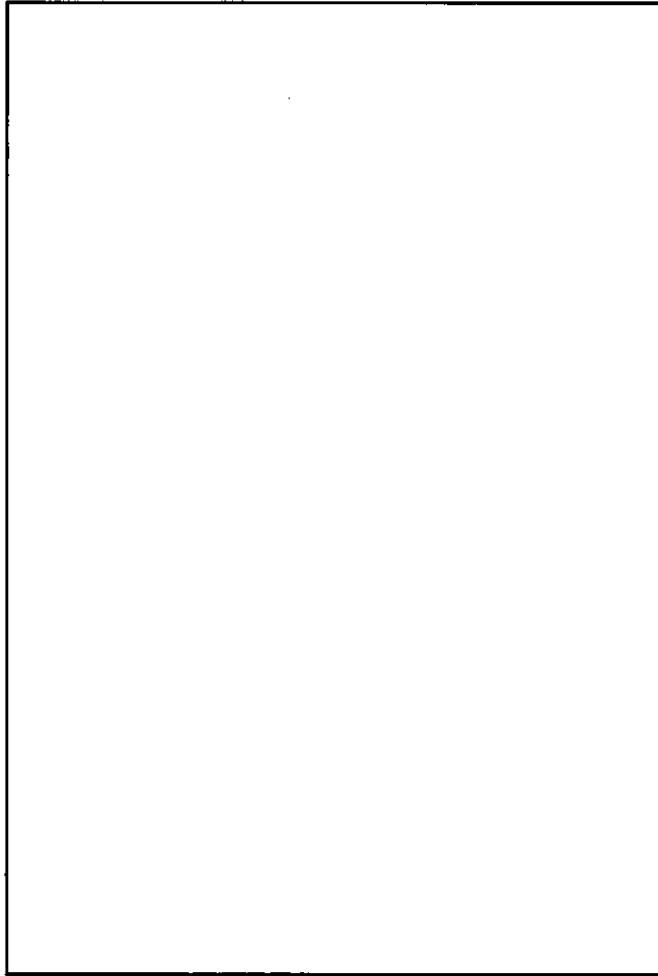
(4) 落下試験(I) 9m コーナー落下 上蓋側下向き

落下試験前後の容器外観を写真(ロ)A 附 3-7、写真(ロ)A 附 3-8 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(ロ)A 附 3-14 に示す。

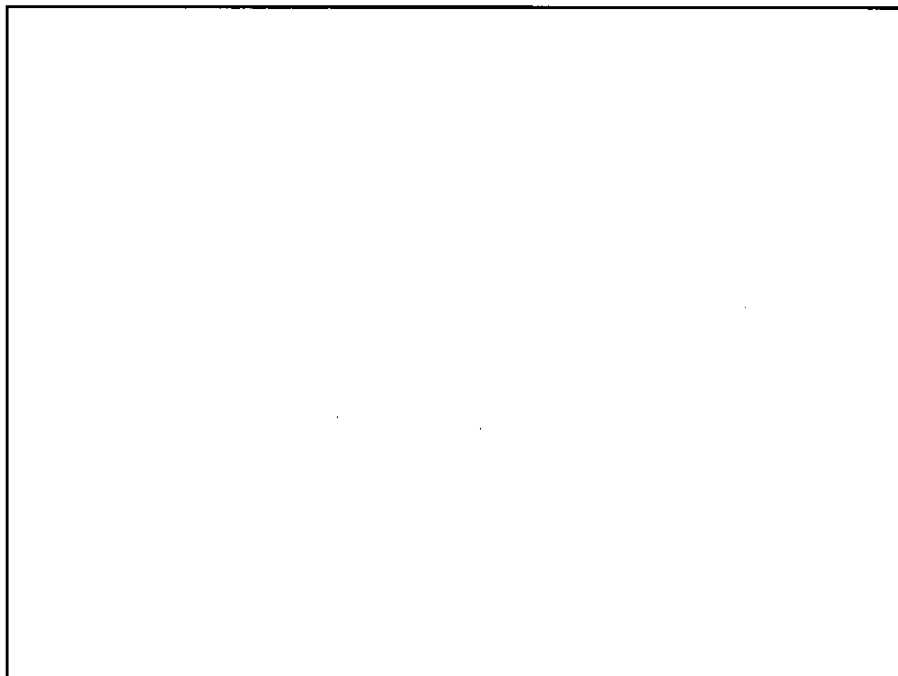
- (a) 容器の全長は、 減少した。幅および高さ寸法の大きな変化はなかった。
- (b) つま部近傍のフランジが変形し、側面側で の開口が生じた。しかし、ボルトの破損はなかった。



図(ロ)A 附 3-14 9m コーナー落下（上蓋側下向き）後の保護容器の変形量



写真(ロ)A 附 3- 7 9m コーナー落下（上蓋側下向き）試験状況

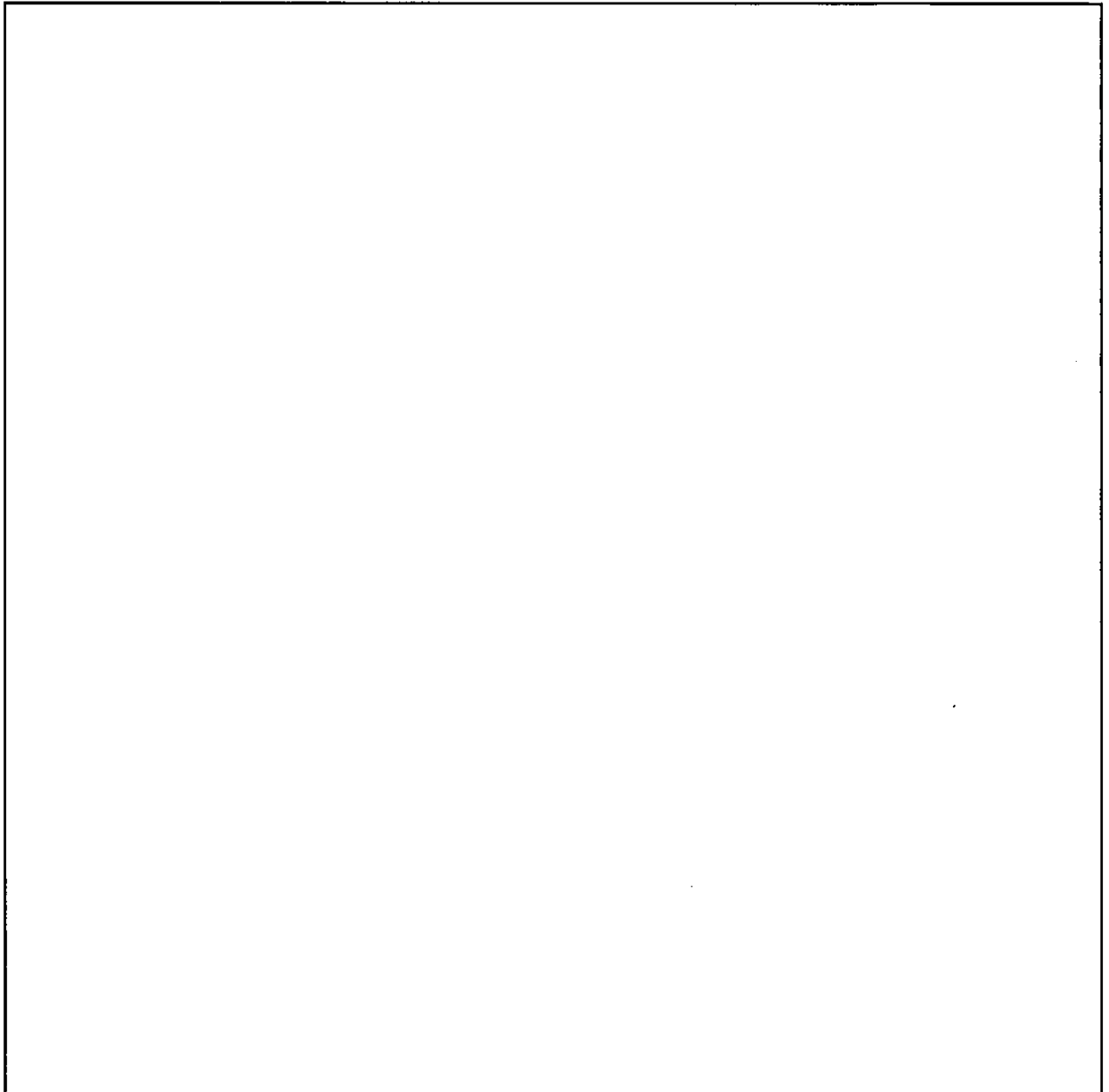


写真(ロ)A 附 3- 8 9m コーナー落下（上蓋側下向き）試験後の保護容器外観

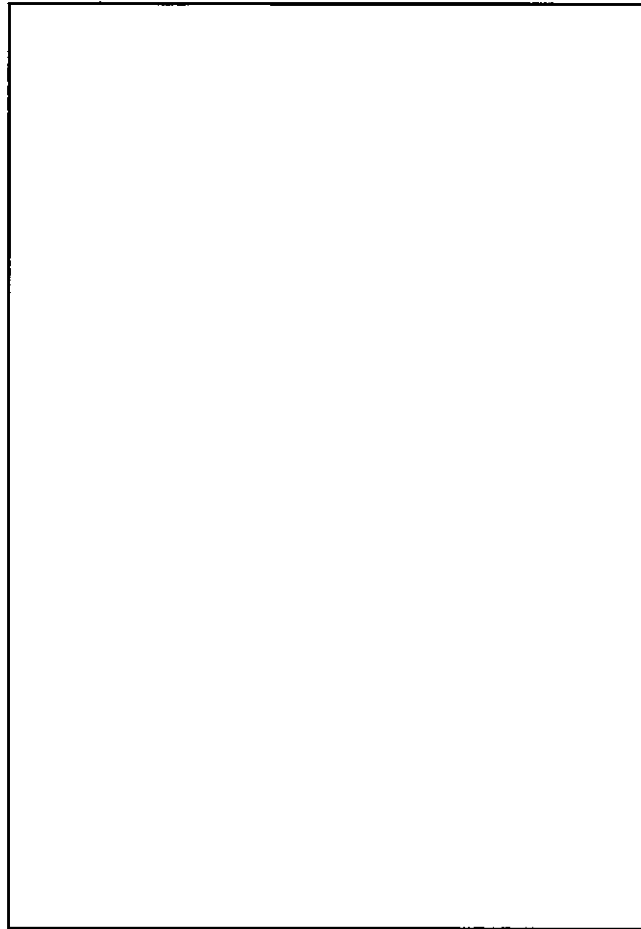
(5) 落下試験(I) 9m コーナー落下 本体側下向き

落下試験前後の容器外観を写真(口)A 附 3- 9、写真(口)A 附 3- 10 に示す。また、落下後の保護容器寸法変形量を図(口)A 附 3- 15 に示す。

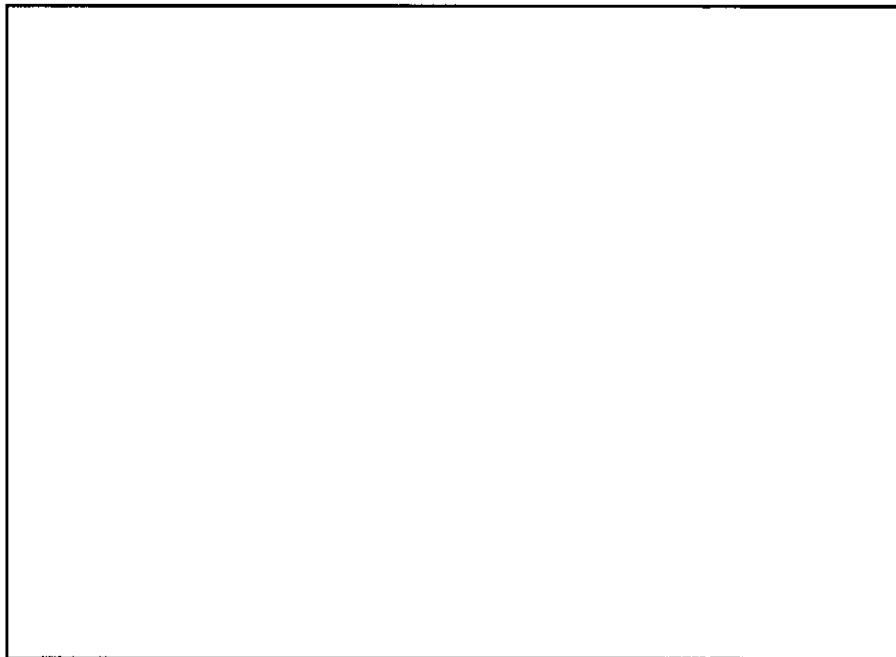
- (a) 容器の全長は、減少した。
- (b) つま部近傍の側面に高さ の局所的な膨らみが生じた。
- (c) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。



図(口)A 附 3- 15 9m コーナー落下 (収納容器側下向き) 後の保護容器の変形量



写真(ロ)A 附 3-9 9m コーナー落下 (本体側下向き) 試験状況

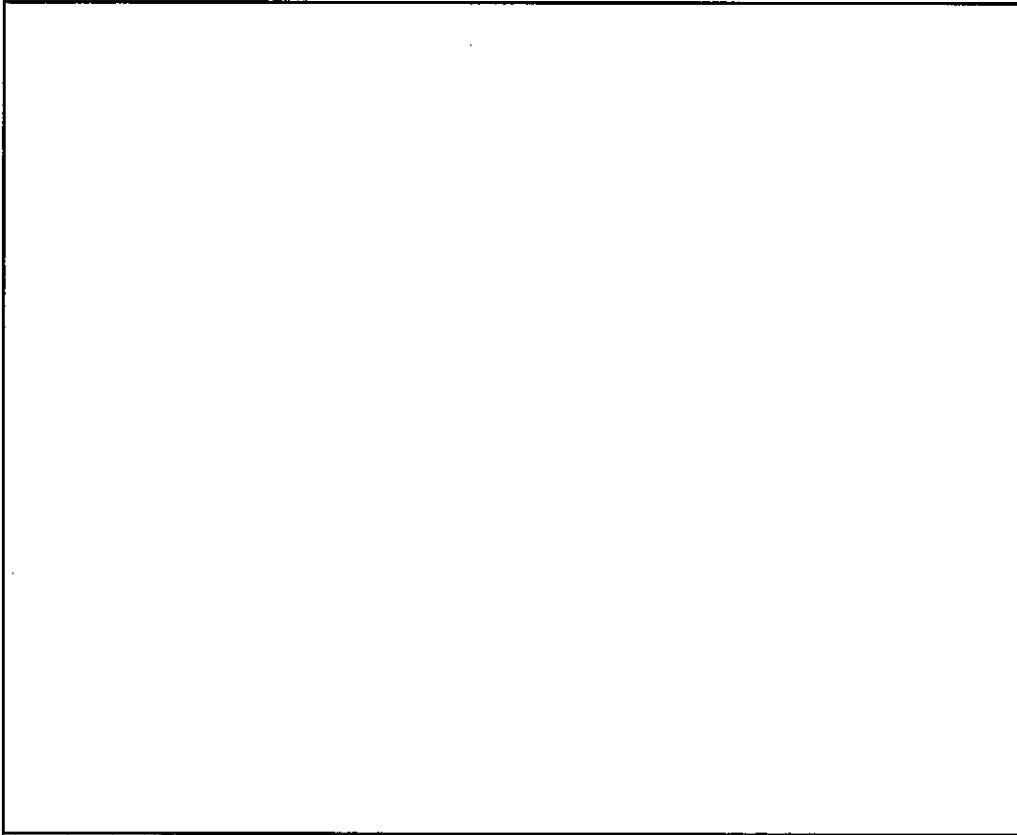


写真(ロ)A 附 3-10 9m コーナー落下 (本体側下向き) 試験後の保護容器外観

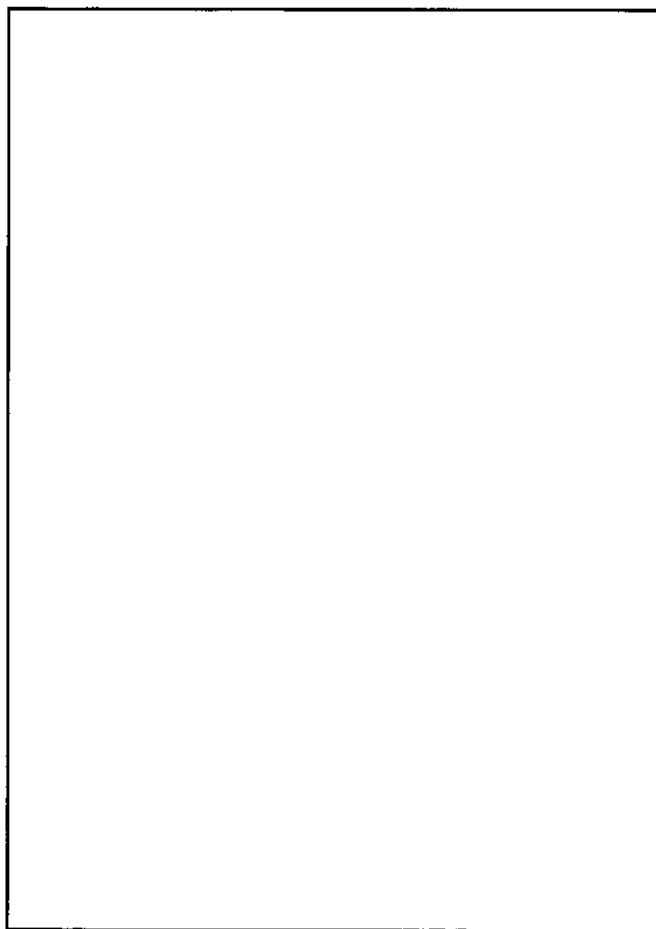
(6) 落下試験(Ⅱ) 1m 水平ターゲット落下 側面下向き

落下試験前後の容器外観を写真(ロ)A 附 3- 11、写真(ロ)A 附 3- 12に示す。また、落下後の保護容器の変形深さを図(ロ)A 附 3- 16 に示す。

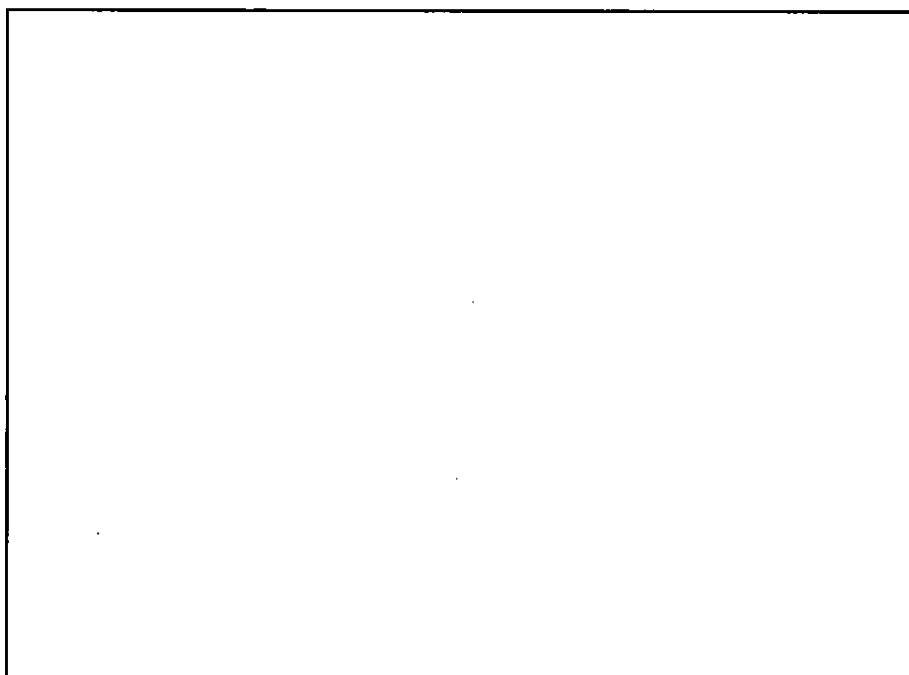
- (a) ターゲットによる変形の深さは、であった。
- (b) 底面に最大高さ の局所的な膨らみが生じた。
- (c) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。



図(ロ)A 附 3- 16 1m 水平ターゲット落下 (側面下向き) 後の保護容器の変形深さ



写真(ロ)A 附 3- 11 1m 水平ターゲット落下（側面下向き）試験状況



写真(ロ)A 附 3- 12 1m 水平ターゲット落下（側面下向き）試験後の保護容器外観

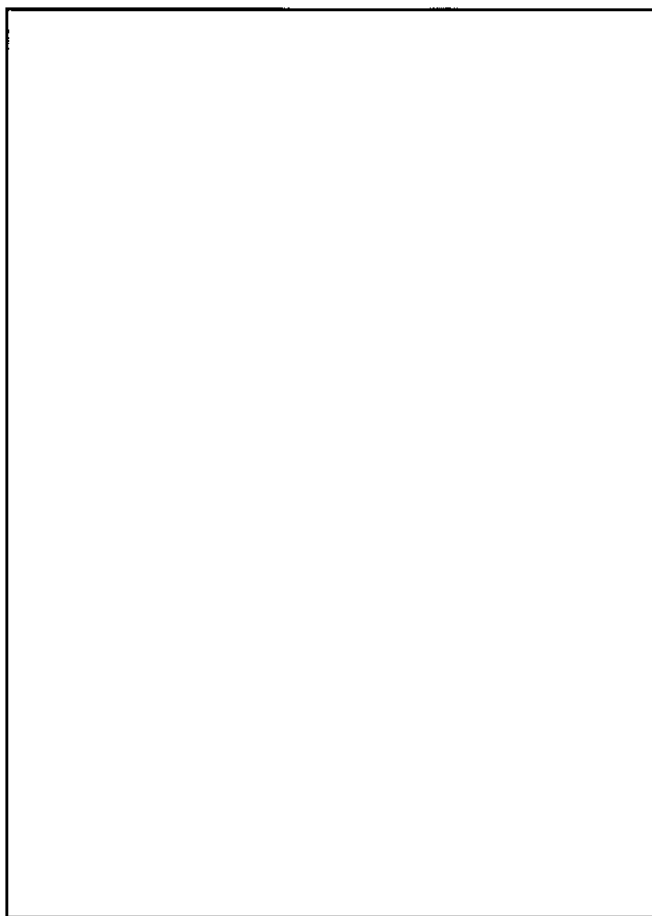
(7) 落下試験(Ⅱ) 1m 水平ターゲット落下 上蓋下向き

落下試験前後の容器外観を写真(ロ)A 附 3- 13、写真(ロ)A 附 3- 14 に示す。また、落下後の保護容器の変形深さを図(ロ)A 附 3- 17 に示す。

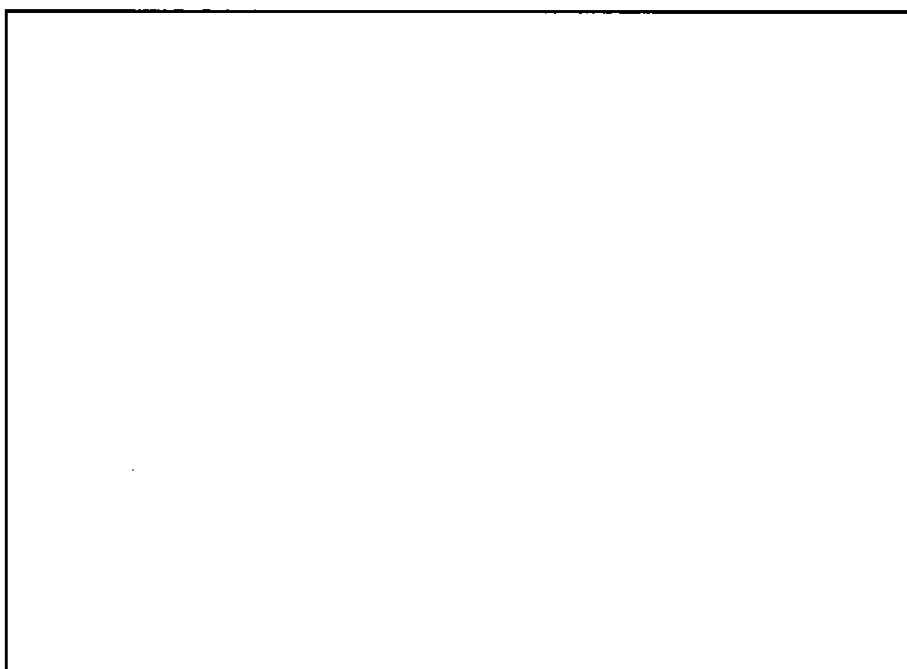
- (a) ターゲットによる変形の深さは、であった。
(b) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。



図(ロ)A 附 3- 17 1m 水平ターゲット落下 (上蓋下向き) 後の保護容器の変形深さ



写真(ロ)A 附 3- 13 1m 水平ターゲット落下（上蓋下向き）試験状況

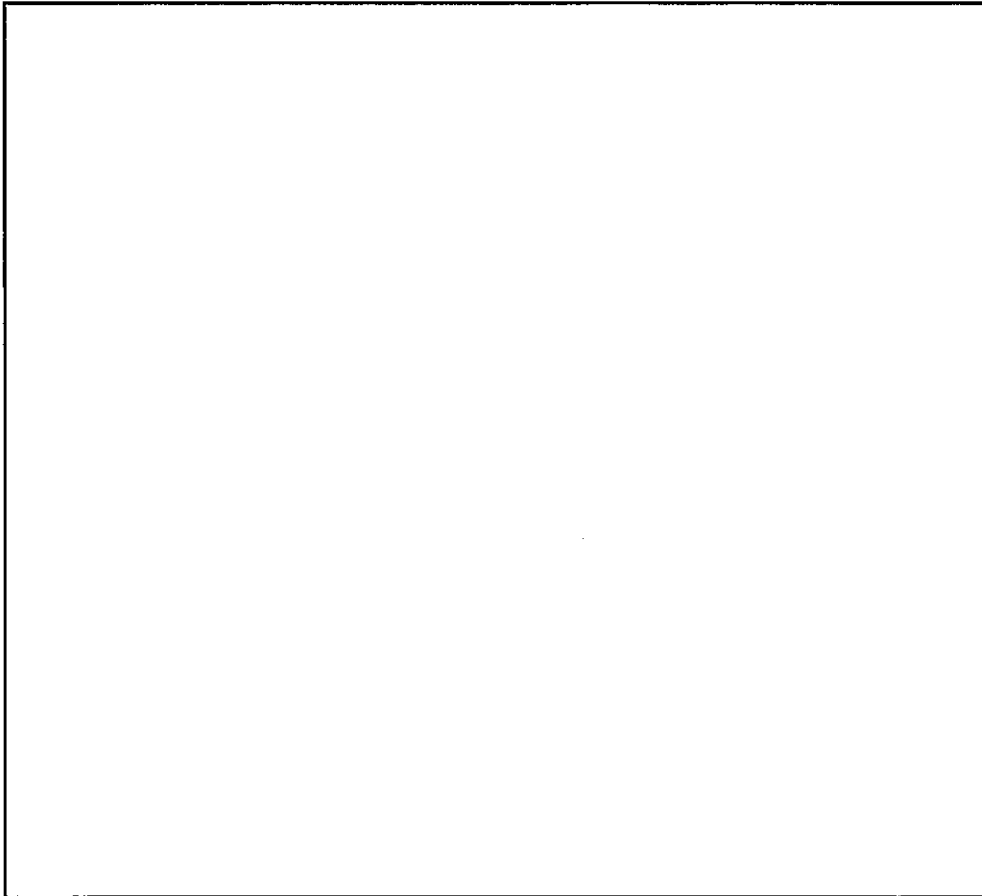


写真(ロ)A 附 3- 14 1m 水平ターゲット落下（上蓋下向き）試験後の保護容器外観

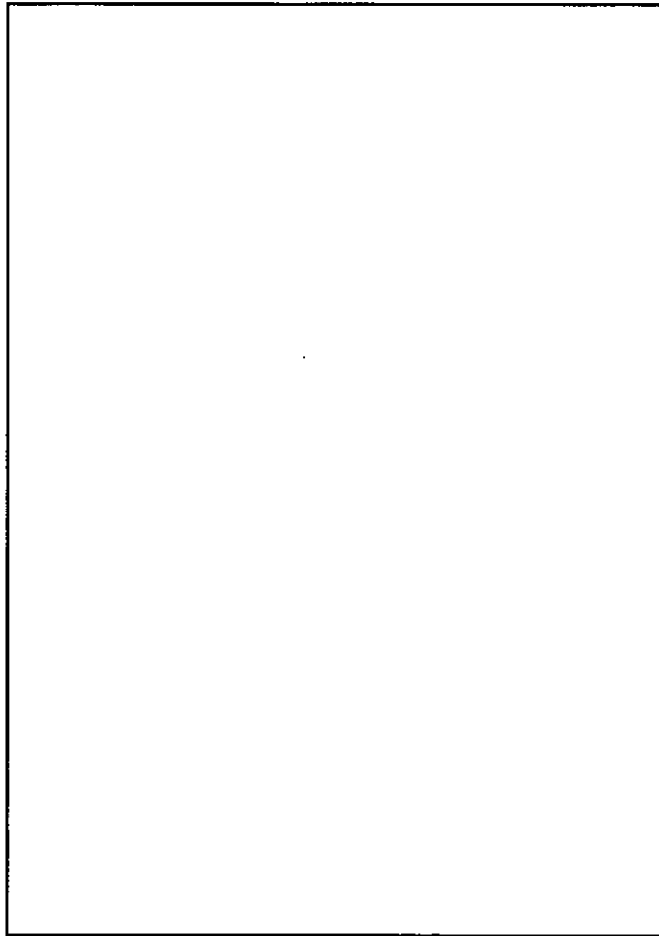
(8) 落下試験(Ⅱ) 1m 垂直ターゲット落下 上部側下向き

落下試験前後の容器外観を写真(ロ)A 附 3- 15、写真(ロ)A 附 3- 16 に示す。また、落下後の保護容器の変形深さを図(ロ)A 附 3- 18 に示す。

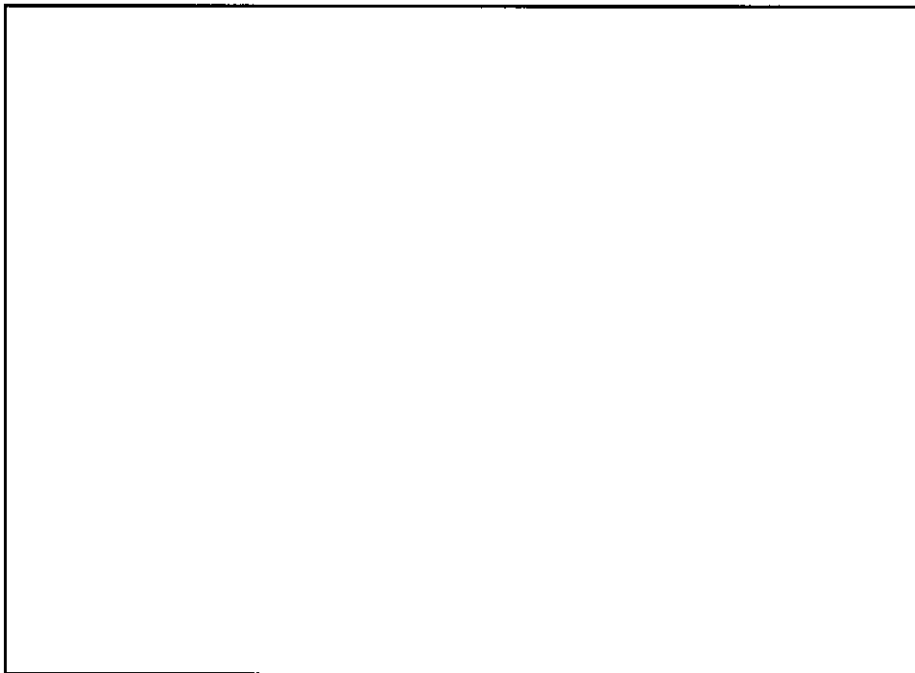
- (a) ターゲットによる変形の深さは、であった。
- (b) フランジ部の変形およびボルトの破損はなかった。



図(ロ)A 附 3- 18 1m 垂直ターゲット落下 (上部側下向き) 後の保護容器の変形深さ



写真(ロ)A 附 3- 15 1m 垂直ターゲット落下（上部側下向き）試験状況



写真(ロ)A 附 3- 16 1m 垂直ターゲット落下（上部側下向き）試験後の保護容器外観

5. 落下姿勢の検討

5.1 落下試験(I)

落下姿勢毎の容器寸法の減少量及びフランジ部開口量を表(ロ)A 附 3-1 に示す。

容器寸法の減少量は、「9m コーナー落下 本体側下向き」が [] と最も大きい。しかしフランジ部が開いていると、落下試験に引き続き実施する熱的試験において開口部から炎が入り、内容物が燃焼し温度が上昇することが予想される。フランジ部開口量は「9m コーナー落下 上蓋側下向き」が [] と最も大きいことから、落下試験(I)の落下姿勢は「9m コーナー落下 上蓋側下向き」とする。

表(ロ)A 附 3-1 落下姿勢毎の容器寸法の減少量及びフランジ部開口量

落下姿勢	最大減少量 (mm)	フランジ部 最大開口量 (mm)
9m 水平落下 スキッド下向き	[]	[]
9m 水平落下 側面下向き		
9m 垂直落下 上部側下向き		
9m コーナー落下 上蓋側下向き		
9m コーナー落下 本体側下向き		

5.2 落下試験(II)

落下姿勢毎のターゲットによる変形の最大深さ及びフランジ部開口量を表(ロ)A 附 3-2 に示す。

ターゲットによる変形の最大深さは、「1m 水平ターゲット落下 側面下向き」が [] と最も大きい。これより、落下試験(II)の落下姿勢は「1m 水平ターゲット落下 側面下向き」とする。

表(ロ)A 附 3-2 落下姿勢毎の容器寸法の減少量及びフランジ部開口量

落下姿勢	ターゲットによる 変形の最大深さ (mm)	フランジ部 最大開口量 (mm)
1m 水平ターゲット落下 側面下向き	[]	[]
1m 水平ターゲット落下 上蓋下向き		
1m 垂直ターゲット落下 上部側下向き		

落下試験台の説明資料

1. 落下試験台

(1) 所有者

株式会社

住所 :

--

(2) 落下試験台の概要

基準 (1973 年安全輸送規則)		当該落下試験台
IAEA (708)	試験台は平らな面であって、供試物の衝突の際の変位又は、変形に対する抵抗の増加により供試物の破損を著しく増大するものでないこと。	
ADVISERY (701)	(1)供試物の 10 倍以上の質量のコンクリートブロックの上に鋼板を置いたもの。	
	(2)鋼板は 1.25cm 以上の厚さであること。	
	(3)コンクリートに密着するように、ウェットフローであること。	
	(4)ターゲットはどこの側においても、供試物より 500mm 以上あること。	

--

附属資料(ロ)-A.4

使用材料の低温における性質

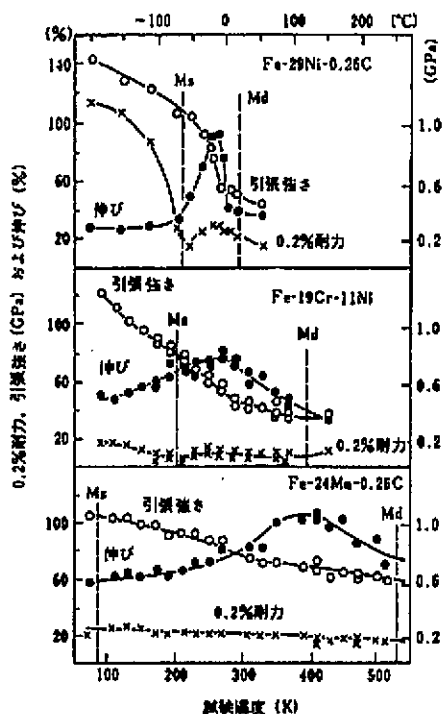
1. 概要

輸送容器に使用している部品材料の低温における性質を検討する。検討した材料は、SUS304 及びアルミハニカム(アルミニウム)である。

2. 金属材料の低温での性質

(1) SUS304

典型的な 3 種類のオーステナイト鋼の引張性質と試験温度の関係を図(ロ)A 附 4-1 に示す。
-40℃までの温度範囲内では、機械強度は問題ない。



図(ロ)A 附 4-1 典型的な 3 種類のオーステナイト鋼の引張性質と試験温度の関係

(出典:附属資料(ロ)-A.4(3))

また、SUS304 の低温衝撃値は、-40℃程度では劣化を示さない。表(ロ)A 附 4-1 に低温衝撃値のデータを示す。

表(ロ)A 附 4-1 300 系ステンレス鋼(溶体化)の低温衝撃値

鋼種 AISI	シャルピーVノッチ衝撃値 (ft-lb)				
	+32°F (0°C)	-4°F (-20°C)	-40°F (-40°C)	-112°F (-81°C)	-300°F (-186°C)
302	119*	-	-	-	117*
304	-	157	143	124	-
321	182	181	178	169	-
347	120	122	120	123	104*

* アイゾット値

(出典:附属資料(ロ)-A.4(3))

(2) アルミハニカム

アルミハニカムを構成するアルミニウム、およびその合金の一般的な特徴として、低温におけるぜい性破壊やじん性低下がなく、温度の低下とともに強度、伸びともに上昇する。(出典:附属資料(ロ)－A.4(2))

低温におけるアルミニウム合金の機械的性質を表(ロ)A附4-2に示す。-40℃までの温度範囲内では、機械強度は問題ない。

表(ロ)A附4-2 低温におけるアルミニウム合金の機械的性質

合金	温度 (℃)	引張強さ (kgf/mm ²)	耐力 (kgf/mm ²)	伸び (%)
1100 硬質	20	16.4	13.8	16.0
	-80	17.3	15.0	18.6
2024-T4	20	47.5	31.8	15.0
	-80	49.0	32.5	16.0
7075-T6	20	58.6	51.4	11.0
	-80	65.7	57.1	12.0

(出典:附属資料(ロ)－A.4(1))

3. 結論

輸送容器の主要部に使用されている材料は、-40℃においても著しい性能上の低下を引き起こすことはない。

附属資料 (ロ)－A.4

参考文献一覧表

- (1) 強度設計データブック(修正版)
強度設計データブック編集委員会
- (2) 機械工学便覧 (改定第6版)
日本機械学会編
- (3) ステンレス鋼便覧
ステンレス協会編

(ロ) - B 熱解析

B.1 概要

B.1.1 輸送物の熱設計

本輸送容器は、沸騰水型軽水炉(BWR)用燃料集合体を収納する燃料容器と、緩衝材を介して燃料容器の外側を覆う保護容器から成る。

燃料容器は薄板 2 重構造となっており、外装板と内壁の間には、断熱材としてセラミックファイバーを充填し、収納物を収納する内容器への熱の伝達を防ぐ構造となっている。

本輸送物の熱設計上の特徴を以下に示す。

- ・ 収納物は未照射ウラン新燃料集合体であり、崩壊熱は 以下と無視できるほど小さい。
- ・ 収納物の崩壊熱がほとんどないため、特別な補助冷却システム等は有していない。

B.1.2 輸送物の熱解析

本解析では、本輸送物が規則及び告示に規定される A 型核分裂性輸送物に係る技術上の基準に適合することを示す。

(a) 一般の試験条件

本輸送物は A 型輸送物であるため、B 型輸送物の一般の試験条件下で要求される条件「38℃で太陽放射を 12 時間ごとに受ける環境下に 1 週間置く」は該当しない。しかし、核分裂性輸送物であるため、特別の試験条件下における耐火試験前に要求される同様の条件「38℃で太陽放射を 12 時間ごとに受ける環境下に温度が一定になるまで置く」に該当することから、環境温度 38℃、太陽放射下で輸送物表面温度が一定になるまで置くとした条件で評価を行う。

(b) 特別の試験条件

- イ. 38℃で太陽放射を 12 時間ごとに受ける環境下に温度が一定になるまで置いた後、0.9 の周囲放射率を持つ 800 °C の熱放射環境に 30 分間さらされる。この場合、試験中も輸送物は太陽放射を受ける。この際設計上最大となる内部発熱を考慮する。
- ロ. 試験後の輸送物は、38℃の大気中において 12 時間ごとに太陽放射を受ける。この際、設計上最大となる内部発熱を考慮し、人為的な冷却は行わない。

B.2 材料の熱的性質

輸送容器及び燃料集合体の主要材料の熱的性質を表(ロ)B-1に示す。

B.3 構成要素の仕様

本輸送容器は燃料集合体を収納する燃料容器と、燃料容器を緩衝材を用いて保護する保護容器からなる。燃料容器は、材質がステンレス鋼(SUS304)であり、燃料集合体を中央で支持する緩衝材を内蔵している。また、断熱材としてセラミックファイバーを充填している。

保護容器は、材質がステンレス鋼(SUS304)であり、燃料容器を所定の位置に弾性的に支持するアルミニウム及びポリエチレン発泡体製緩衝材を内蔵している。

燃料は二酸化ウランであり、ジルカロイ-2又はジルコニウム内貼りジルカロイ-2製の被覆管に収納されて燃料棒とされている。燃料棒は正方形配列に束ねられ、スペーサにより支えられている。なお、輸送中の振動等による燃料棒間ギャップの変動防止のため、ポリエチレン製の波板が燃料棒間に挿入される場合がある。

保護容器上蓋と本体とのフランジ面の間にネオプレンゴム製のパッキングを使用し、保護容器内部への雨水の浸入を防止している。

表(ロ)B-1 輸送容器構成材料の熱的性質

材 料 構 成 部	温 度 (°C)	密 度 (kg/m ³)	比 熱 (kcal/kg·°C)	熱 伝 導 度 (kcal/m·hr·°C)
ステンレス鋼 (SUS304) (保護容器、燃料容器、リッブ溝形鋼等)	25	7.83×10 ³	0.115	14.0
ジルカロイ-2、ジルコニウム内貼りジルカロイ-2 (被覆管) 融点 1850°C	400	6.55×10 ³	0.078	37.0
ポリエチレン発泡体 着火温度 303°C (緩衝材、梱包材)	25	38	0.53	0.043
ネオプレンゴム 着火温度 405°C (ネオプレンゴム、保護板)	30	1.25×10 ³	0.520	0.306
ポリエチレン 着火温度 303°C (梱包材)	25	0.96×10 ³	0.55	0.293
セラミックファイバー (断熱材) 常用最高使用温度 1260°C	600	96 又は 100	0.24	0.183

B.4 一般の試験条件

本輸送物は A 型核分裂性輸送物であるため、B 型輸送物に要求される一般の試験条件下の熱的試験は該当しない。ただし、核分裂性輸送物に要求される特別の試験条件下の耐火試験に供する前の条件として、環境温度 38℃、太陽ふく射下で輸送物表面温度が一定になるまで置くことが求められるため、本項では環境温度 38℃、太陽ふく射下で輸送物表面温度が一定になるまで置くとした条件で評価を行う。

B.4.1 熱解析モデル

B.4.1.1 解析モデル

(1) 最高温度解析条件

一般の試験条件下における輸送物の最高温度は、輸送容器表面における伝熱方程式を解いて求める。

一般の試験条件下での落下試験及び貫通試験後の容器は、損傷することなく、若干のへこみのため、仕様より表面積が減少しているが、太陽からの輻射伝熱量は、表面積が大きい程大となるので、表面積の大きい仕様寸法を用いた方が温度の高い解析結果を得る。従って本解析では、輸送物の寸法を長さ として取扱う。

解析条件を表(ロ)B- 2 に示す。

表(ロ)B- 2 解析条件

項目	解析条件
環境温度	38℃
伝熱量 水平かつ上向きの面 垂直の面	800W/m ² 200W/m ²

最高温度解析条件として、環境温度を 38℃とし、太陽からの伝熱量は別記第四第一号に示す表から、水平に輸送される平面で 800W/m²、水平に輸送されない平面で 200W/m²とする。

最高温度到達時には輸送物各部の温度は、一定となり、太陽からの輻射伝熱量が輸送物表面からの放出熱量に等しい平衡状態になるものとして、輸送物の最高温度を求める。

(2) 最低温度解析条件

環境温度を -40℃とする。

(3) 最大内圧解析条件

容器内の全容積が理想気体で満たされているものとし、最高温度を保護容器表面温度と等しいとしてボイルーシャルルの法則から最大内圧を求める。

B.4.1.2 試験モデル

試験モデルは使用しない。

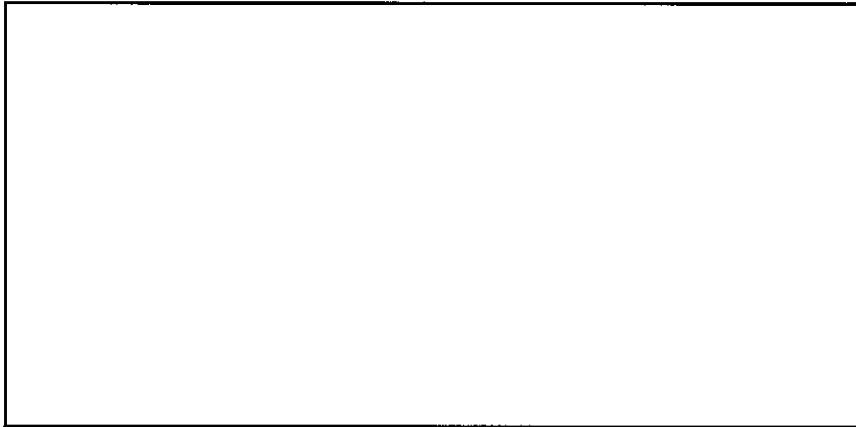
B.4.2 最高温度

(1) 解析項目

一般の試験条件下での太陽輻射による輸送容器表面での最高温度を解析する。

(2) 解析条件

計算条件は以下の通りである。



(3) 解析方法

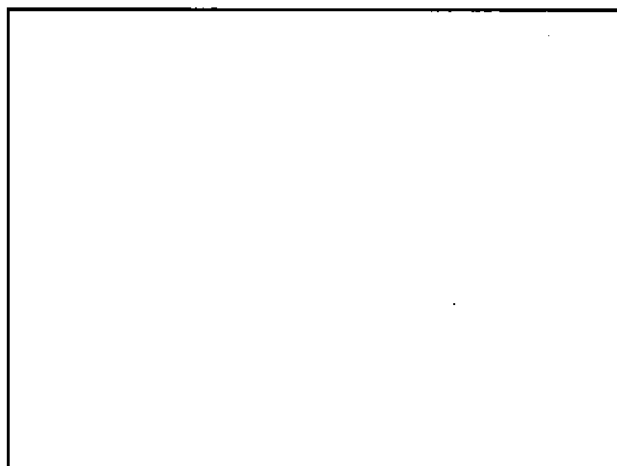
輸送容器表面での最高温度は、輸送物の温度が平衡状態に達していると仮定すれば次式で表される。

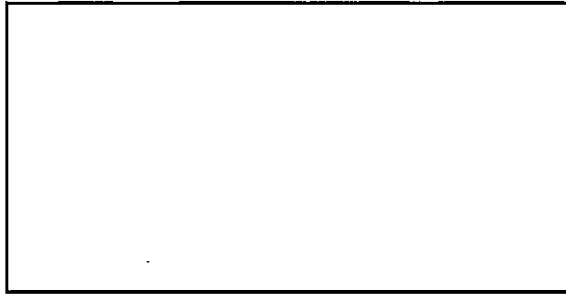


(1)

(2)

ここで、

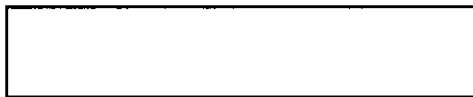




全太陽放射熱量 Q は次式より得られる。

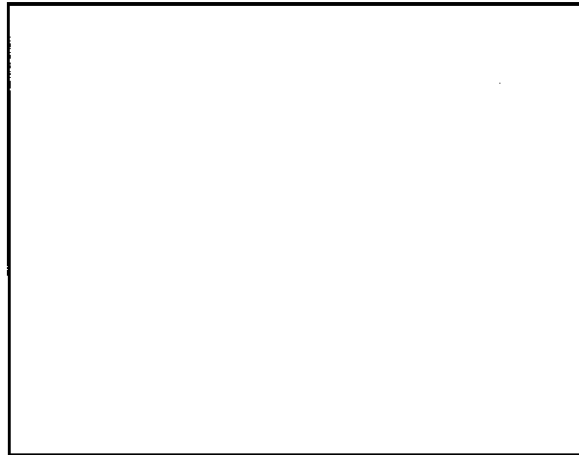


自然対流熱伝達係数 h_c は次式で与えられる（出典；附属資料(ロ)–B.1(1)）



(3)

ここで、



である。

輻射伝熱係数 h_r は、次式で与えられる。



(4)

ここで、



式(1)～(4)から T_s を求めると、

$$T_s = \square \text{ } ^\circ\text{C}$$

輸送容器の主要構造材であるステンレス鋼、アルミニウム合金は \square °Cになっても劣化は生じず、使用されている材質が機能を損なうことはない。

B.4.3 最低温度

輸送物内収納物からの崩壊熱は無視できるほど小さいため、周囲温度を -40°C とした場合、輸送物の最低温度は周囲温度に等しく -40°C である。(ロ)A.4.2で述べたように、主要構造材であるステンレス鋼、アルミニウム合金は -40°C となっても、脆性破壊やじん性低下がなく、使用されている材質が機能を損なうことはない。

B.4.4 最大内圧

一般の試験条件下において、燃料容器及び燃料棒の最高温度は□℃である。また、収納物の梱包は屋内で実施されることから、初期温度条件を保守的に最低温度の0℃とする。

温度上昇による燃料容器及び燃料棒の内圧を次式で計算する。なお、保護容器については、密封されていないため内外圧差は発生しない。

初期条件における燃料容器の内圧は0.101MPaであり、また燃料棒の内圧は□MPaである。(イ)章-D(8))

$$P = P_s + \frac{T + 273}{T_s + 273}$$

ここで

P	:	最大内圧	
P_s	:	初期内圧	0.101 MPa (燃料容器) □ MPa (燃料棒)
T	:	最高温度	□℃ ((ロ) -B.4.2 参照)
T_s	:	初期温度	0℃

上式を用いて最大内圧を計算すると燃料容器では□MPaとなり、燃料棒では□MPaとなる。

燃料容器の応力解析には、最大内圧が□MPaと、外圧が0.101MPaを用い、最大内外圧力差□MPaを用いる。そして、燃料棒の応力解析にあたっては、燃料棒の最大内圧が□MPaとなり、外圧が大気圧と同じ時に最大内圧差が発生するので0.101MPaを用いて、最大内外圧力差は□MPaとなる。

B.4.5 最大熱応力

太陽輻射により使用材料各部に温度差が生じるが、構造材が金属で薄板であり熱伝導率が良いため、輸送容器各部の温度差は小さく、温度勾配による熱応力は使用材料の降伏応力と比較して小さく機械的健全性は十分である。

B.4.6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下での熱的解析結果を表(ロ)B-3に纏める。

表(ロ)B-3 一般の試験条件下の熱的解析結果

項目	結果
最高温度	保護容器表面で最高 <input type="text"/> °C 主要構造材であるステンレス鋼、アルミニウム合金に劣化は生じない。
最低温度	使用時最低温度 -40°C 主要構造材であるステンレス鋼、アルミニウム合金に脆性破壊やじん性低下は生じない。
最大内圧	燃料容器 内・外圧差 <input type="text"/> MPa 燃料棒 内・外圧差 <input type="text"/> MPa
最大熱応力	構造材が金属で薄板であり熱伝導率が良いため、温度差による熱応力は使用材料の降伏応力に比較して小さく機械的健全性は十分である。

B.5 特別の試験条件

輸送物が規則及び告示に示される特別の試験条件下において表(ロ)B-4に示す解析基準を満足することを確認する。

表(ロ)B-4 解析一覧表

該当場所	解析項目	解析基準	備考
燃料棒	(1)燃料棒最高温度	1850℃	融点
	(2)燃料棒円周方向応力	60MPa*	耐力

(*出典；附属資料(ロ)－B.1(2))

特別の試験条件では、水平に置いた輸送容器の周囲を800℃の火炎で30分間覆われた状態を想定し、輸送容器温度分布の時間変化を考慮して密封境界としての燃料棒温度を評価する。評価基準は、熱的な評価としては燃料棒の被覆管の融点を、また機械的な評価としては燃料棒の被覆管の耐力とした。

B.5.1 熱解析モデル

B.5.1.1 解析モデル

該当しない。

B.5.1.2 試験モデル

特別の試験条件下における熱的試験は強度試験・落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱに引き続いて実施された。一連の試験に供された原型容器には模擬燃料集合体1体と重量模擬物1体が燃料容器に収納されている。温度の測定には熱電対を使用した。熱電対取付位置を附属資料(ロ)－A.2の表(ロ)A附2-3に示す。

熱的試験条件としては、800℃以上の環境(雰囲気)に、30分以上容器を置くために加熱炉を使用した。(附属資料(ロ)－A.2 3.3参照)

試験時における容器の温度変化と最高到達温度を測定し、耐火試験後に容器及び収納物の損傷状況を検査した。

B.5.2 輸送物の評価条件

熱的試験に供した容器は、附属資料(ロ)－A.3において述べているように、強度試験・落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱにおいて熱的試験で最も過酷となるようにコーナー及びターゲット落下を実施している。

また、温度測定用の熱電対を取り付けた容器を、あらかじめ加熱した炉に挿入し、加熱炉内雰囲気温度が800℃以上の状態で30分間の耐火試験を実施した。(附属資料(ロ)－A.2の図(ロ)A附2-23参照) 容器の温度は加熱炉に挿入する前は□℃であったが、B.5.3輸送物の温度では、耐火試験後の冷却時について一般の試験条件の太陽熱輻射による温度差□℃を考慮する。

B.5.3 輸送物温度

本試験では、耐火試験に用いた加熱炉内を昇温させた後、供試体である容器を加熱炉内に挿入して加熱炉内を 800℃以上となるように制御して、30 分間保持した。燃料棒被覆管温度の時間変化を図(ロ)B-1に示す。

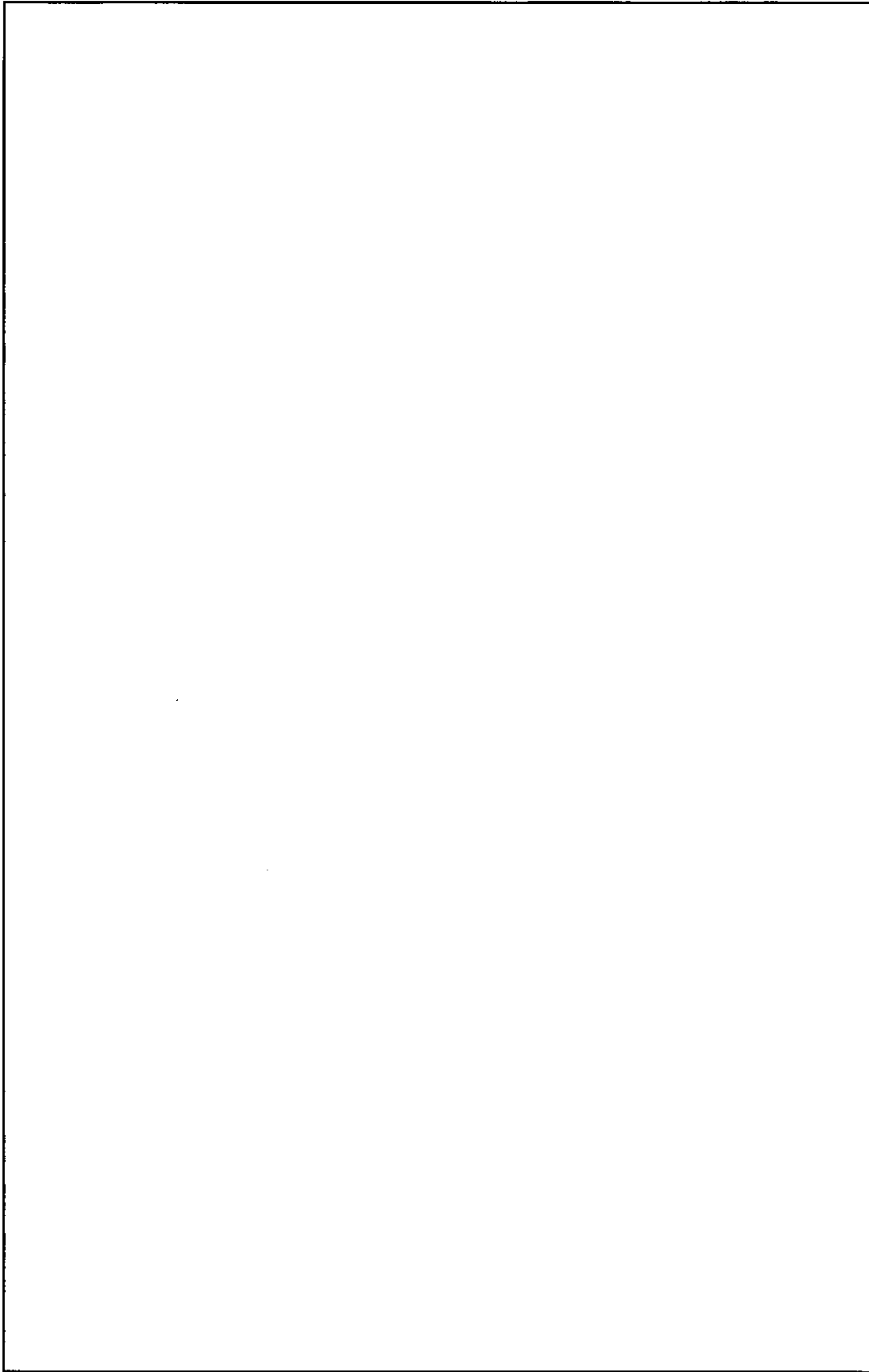
加熱炉内温度は、雰囲気測定用熱電対を使用した。また、容器の各部の温度測定は熱電対を使用した。

耐火試験後の容器の内部状況は以下の通りであった。

- ・保護容器のパッキングは、全て燃焼した。また、保護容器内の緩衝材は燃焼した。
- ・燃料容器のパッキングは、全て燃焼した。また、燃料容器内の緩衝材の一部は燃焼していた。
- ・燃料体の表面は黒く変色していた。

熱電対による温度測定の結果としては、各々の最高温度は保護容器表面で ℃、燃料容器内面で ℃、収納物である燃料棒被覆管表面で ℃となった。このように収納物温度が上昇したのは、燃料容器内でポリエチレン発泡体の一部が燃焼したためである。

温度評価では、一般の試験条件で求めた最高温度 ℃で加熱炉内に挿入されたとして評価する。本耐火試験実施直前の容器の温度は、℃である。容器の温度を安全側に ℃とした場合には、一般の試験条件で求めた ℃との温度差は ℃となる。冷却時に太陽輻射を受けるものとして、一般の試験条件下での温度差 ℃を加算して各部の最高温度を求める。この結果保護容器表面で ℃、燃料容器内面で ℃、収納物である燃料棒被覆管表面で ℃となる。



図(ロ)B-1 NT-XII型輸送容器熱的試験による燃料棒温度の時間変化

B.5.4 最大内圧

(1) 計算条件

熱的試験条件下ではパッキングが焼損するため輸送容器内の内圧の増加はなくなる。したがって問題となるのは燃料棒内圧である。ここでは「(ロ)-B.5.3 輸送物温度」で示したように、燃料棒最高温度を °C として評価する。また、燃料棒密封温度は保守的に -40 °C とする。

主要な計算条件は次のとおりである。

- a) 燃料棒の内圧増加は温度上昇及び焼結体-被覆管空間体積変化に依存する。
- b) 被覆管の肉厚は直径に比較して非常に小さく 以下であるため、半径方向応力 σ_r の効果は小さく無視し得る程度である。従って薄肉円筒の関係により燃料棒円周方向応力 σ_θ を求め、この σ_θ が降伏応力 σ_y を超えると被覆管は完全塑性体として変形すると仮定する。
- c) 燃料棒の He ガスによる初期封入圧力は、 MPa とする。

以下に、燃料棒の温度上昇と焼結体-被覆管の空間体積変化による内圧増加より、燃料棒に作用する円周方向応力を計算して、機械的健全性を評価する。

(2) 燃料棒円周方向応力

被覆管の内圧を次式で計算する。

$$P = \frac{P_0 V_0}{V} \cdot \frac{(T+273)}{(T_0+273)} \quad (1)$$

ここで

P : 最高温度での被覆管の内圧

P_0 : 初期内圧 Pa

V_0 : 初期ペレット-被覆管初期空間体積

V : 温度上昇後のペレット-被覆管初期空間体積

T_0 : 燃料棒密封時の温度 -40 °C

T : 燃料棒最高温度 °C

初期の焼結体-被覆管空間体積は被覆管内体積から焼結体体積を差し引くと求まるので、以下の式で表される。

$$V_0 = \frac{\pi}{4} (D_c^2 \cdot L_c - D_p^2 \cdot L_p) \quad (2)$$

ここで

D_c : 被覆管内径 m

L_c : 被覆管有効長 m

D_p : 焼結体外径 9.4×10^{-3} m

L_p : 燃料棒有効長 3.708 m

これらを(2)式に代入すると燃料棒の初期空間体積 V_0 は、

$$V_0 = \text{} \text{ m}^3$$

また、°Cに温度が上昇した場合の空間体積 V も(2)式と同様に

$$V = \frac{\pi}{4} \{ D_c^2(\Delta T) \cdot L_c(\Delta T) - D_p^2(\Delta T) \cdot L_p(\Delta T) \} \quad (3)$$

$D_c(\Delta T)$: 温度上昇後の被覆管内径

$L_c(\Delta T)$: 温度上昇後の被覆管有効長

$D_p(\Delta T)$: 温度上昇後の焼結体外径

$L_p(\Delta T)$: 温度上昇後の焼結体有効長

これらの温度上昇後の寸法は以下のようにして求まる。

$$\left. \begin{aligned} D_c(\Delta T) &= D_c(1 + \alpha_{cd}) \\ L_c(\Delta T) &= L_c(1 + \alpha_{ca}) \\ D_p(\Delta T) &= D_p(1 + \alpha_p) \\ L_p(\Delta T) &= L_p(1 + \alpha_p) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで α_{cd} 、 α_{ca} 、 α_p はそれぞれ被覆管の径方向熱膨張率、被覆管の軸方向熱膨張率、ペレットの熱膨張率であり MATPRO の式より以下のように表せる(出典; 附属資料(ロ)・B.1(4))。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{cd} &= -2.373 \times 10^{-4} + 6.721 \times 10^{-6} \times T \quad \text{°C}^{-1} \\ \alpha_{ca} &= -2.506 \times 10^{-5} + 4.441 \times 10^{-6} \times T \quad \text{°C}^{-1} \\ \alpha_p &= -4.972 \times 10^{-4} + 7.107 \times 10^{-6} \times T \\ &\quad + 2.581 \times 10^{-9} \times T^2 + 1.140 \times 10^{-13} \times T^3 \quad \text{°C}^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(5)式より 553°Cにおけるそれぞれの寸法は、

$$\begin{aligned} D_c(\Delta T) &= \\ L_c(\Delta T) &= \\ D_p(\Delta T) &= \\ L_p(\Delta T) &= \end{aligned}$$

これら熱膨張率の寸法を(3)式に代入して□°Cにおける空間体積を求めると、

$$V = \square \text{ m}^3$$

以上より求めた V_o 、 V を(1)式に代入すると □°Cにおける燃料棒内圧は

$$P = \square \text{ Pa}$$

となる。

ここで大気圧が 1 気圧 ($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$) とすると、被覆管の内外差圧は、□ Pa となる。

(3) 被覆管の応力

内圧が掛かった場合の被覆管円周方向応力は、薄肉円筒の式より以下のように表される。

$$\sigma_\theta = \frac{PD_c(\Delta T)}{2t}$$

ここで

σ_θ : 周方向応力

P : 内外差圧 □ Pa

$D_c(\Delta T)$: 被覆管内径 □ m

t : 被覆管肉厚 □ m

これらを代入すると

$$\sigma_\theta = \square \text{ MPa}$$

となる。これら求めた円周方向応力は、□°Cにおける被覆管耐力 60MPa (出典; 附属資料 (ロ) B.1(2)) と比較して小さく、燃料棒被覆管の健全性は保たれる。

また、燃料棒の健全性は 650°Cの温度まで保たれることが実験 (出典; 資料 (ロ) B.1(3)) により確認されている。

B.5.5 最大熱応力

輸送容器全体が 800°Cまで加熱されても、各容器の板厚は □mm 程度と薄く、板材も金属であるため、部材内に有意な温度差は生じない。したがって問題となるような熱応力は発生しない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件（落下試験Ⅰ及びⅡ）により輸送容器が変形し、また、耐火試験によりパッキングが焼損して輸送容器の気密性が損なわれるが、保護容器及び燃料容器の材質であるステンレス鋼（SUS304）の融点は1400℃以上であり、保護容器表面温度の□℃において原型が損なわれることはない。

収納物である燃料棒の被覆管材料であるジルカロイ-2の融点は1850℃であり、□℃程度では酸化も少なく、またこの温度による内圧増加によって発生する円周方向応力は最大でも□MPaであり被覆管の□℃における耐力60MPaに比較して小さいため、燃料棒の密封性は維持される。したがって(ロ)・E章の臨界解析では燃料棒内への水の浸入はないものとして評価した。

なお、輸送容器の総合的評価を表(ロ)B-5に示す。

表(口)B-5 熱解析結果

条件	項目	解析基準	解析基準値	解析結果	評価
一般の試験条件	1.最高温度 1)輸送容器	保護容器表面温度	—	<input type="text"/> °C	健全
	2.燃料容器 1)輸送容器	最低使用温度	—	-40°C	健全
	3.最大内外圧差 1)輸送容器	燃料容器	—	<input type="text"/> MPa	—
		2)燃料棒	燃料棒	—	<input type="text"/> MPa
特別の試験条件	1.最高温度 被覆管	被覆管温度	1850°C	<input type="text"/> °C	燃料棒の 密封性は 維持
	2.最大内圧 燃料棒	被覆管円周方向応力	60MPa	<input type="text"/> MPa	

附属資料

附属資料(ロ)・B.1

参考文献一覧表

- (1) (社)日本原子力学会標準 「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準」
- (2) 森島淳好他、JAERI-M 4881 第1集 燃料設計に必要な物性値及び計算図表(改訂第2版)
- (3) 原子燃料工業社内レポート「NT-IV型輸送容器の耐火試験」
- (4) MATPRO-VERSION 9 A HAND BOOK OF LIGHT WATER REACTOR FUEL ROD BEHAVIOR, TREE- NUREG-1005

(ロ)－C 密封解析

C.1 概要

本輸送物の密封境界は、燃料棒である。従って、解析は燃料棒の密封性について評価する。

(1) 一般の試験条件

本輸送物は A 型輸送物であるため、規則第五条第九号イに基づき一般の試験条件下において、放射性物質の漏出が無いことを説明する。

(2) 特別の試験条件

本輸送物は B 型輸送物に該当しないため、特別の試験条件下における密封性は要求されないが、特別の試験条件下において密封境界である燃料棒内に放射性物質が封じ込められることを説明する。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

密封境界である燃料棒は、その内部が常温において最大 MPa に加圧されており、かつ、原子炉内の高温高压条件下（被覆管温度約 290℃、約 8MPa の外圧）で長期間使用されても密封性を維持するように設計されている。また、「輸送中に予想される温度変化」による最大内圧は、燃料棒については、「(ロ)・B.4.4 最大内圧」で述べたように、輸送中の輸送物最高温度が ℃ となると、内外圧力差は MPa となる。この場合、燃料棒に発生する応力は「(ロ)・A.5.1.3 応力計算」で述べたように、最大 MPa となるが、この応力は(ロ)－A－第 3 表に示すジルカロイ－2 の降伏応力 241MPa に比べて十分に小さく、燃料棒の密封性は保持される。

C.2.2 密封装置の貫通部

燃料棒は圧延工程によって製造されるジルカロイ－2 又はジルコニウム内貼りジルカロイ－2 管に二酸化ウラン焼結体を装荷し、ヘリウムガスによって加圧し、両端を端栓で密封溶接した構造であり、貫通部はない。

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

燃料棒は、前述したように燃料棒両端を端栓で溶接密封しており、ガスケットに該当するものはない。

また、溶接部については、すべての燃料棒についてリークテストを行い、その密封性を確認している。

C.2.4 蓋

密封境界である燃料棒には、蓋に該当するものはない。

C.3 一般の試験条件

「A.5.7 結果の要約及びその評価」に示したように、一般の試験条件について評価した結果、以下に示すように燃料棒の密封性は維持されるため、放射性物質の漏出はない。

(1) 水噴霧

燃料棒は、リークテストによりその密封性が確認されているので、水の吹付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、燃料棒の密封性は維持される。(「(ロ)-A.5.3 自由落下」参照)

(3) 積み重ね

積み重ね試験による輸送物の変形は、輸送容器の弾性変形域に留まり収納物の変形はなく、燃料棒の密封性は維持される。(「(ロ)-A.5.4 積み重ね試験」参照)

(4) 貫通

貫通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、燃料棒の密封性は維持される。(「(ロ)-A.5.5 貫通」参照)

C.3.1 放射性物質の漏えい

燃料棒の密封性は、一般の試験条件下においても維持されるので、放射性物質の漏えいはない。

C.3.2 密封装置の加圧

燃料棒は、その内部がヘリウムガスで常温において最大約 MPa に加圧されている。また、封入された放射性物質は、未照射の二酸化ウランペレット又はガドリニア入り二酸化ウランペレットであるため、核分裂生成ガスは発生しない。したがって、その内圧の変化は、温度変化による。この温度変化による内圧上昇によっても燃料棒の密封性が損なわれないことを確認している。(「(ロ)-C.2.1 密封装置」参照)

C.3.3 冷却材汚染

冷却材は使用していないので該当しない。

C.3.4 冷却材損失

冷却材は使用していないので該当しない。

C.4 特別の試験条件

本輸送物は A 型核分裂輸送物であり、特別の試験条件下における密封性は要求されないが、特別の試験条件下において、放射性物質は漏出することなく、燃料棒内に保持される。以下に特別の試験条件化における結果を要約する。

「A.9.2.5 特別の試験条件まとめ」で示したように、特別の試験条件下における一連の試験（落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ、熱的試験）を原型容器で実施したところ、保護容器及び燃料容器には若干の変形が見られたが、収納物である燃料集合体は健全性が維持されていた。また、一連の試験終了後、燃料集合体のヘリウムリーク試験を実施し、漏えいがないことを確認した。

「B.5.6 結果の要約及びその評価」で示したように、熱的試験で実測した最高温度に基づき解析評価で密封境界に破損がないことを確認した。

なお、浸漬試験は実施していないが、燃料棒は原子炉内の高温高圧条件（被覆管温度約 290℃、約 8MPa の外圧）に耐えられるように設計されており、深さ 0.9m の水頭下（外圧 0.01MPa）に 8 時間以上浸漬しても破損することはないと評価される。

C.4.1 核分裂生成ガス

収納物は未照射のウラン酸化物（ペレット）又はガドリニア入りウラン酸化物（ペレット）であり、核分裂生成ガスの発生はない。

C.4.2 放射性物質の漏えい

特別の試験条件後においても放射性物質は燃料棒内に封じ込められる。

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、密封境界である燃料棒の密封境界の健全性が維持されることを確認した。

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、密封境界である燃料棒は健全であり、漏えいがないことが確認できた。

このことから、臨界解析では燃料棒内には浸水しないものとして解析を行う。

(ロ)D 遮蔽解析

D.1 概要

本輸送容器の収納物は、濃縮度5%以下の濃縮ウランを使用した未照射のBWR用燃料集合体であり、その線源強度は低いため、本輸送物に特別の遮蔽装置は設けていない。線源となる濃縮ウランに初期組成として含まれる核種は ^{232}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 及び ^{99}Tc の6核種とした。輸送物からの線量は、これらの核種とその娘核種が α 崩壊または β 崩壊する際に放出するガンマ線によるものである。

遮蔽評価にあたって、線源強度はORIGEN-2を用いて、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QAD-CGGP2R (附属資料 (ロ)D.2) を用いて評価した。

評価条件の概要を下記に示す。

- (1)本輸送容器への収納物は、未照射のBWR用燃料集合体2体であり、含まれる放射性物質は、濃縮度5%、ウラン量は燃料集合体2体で最大[]である。
- (2) QAD-CGGP2Rコードの評価条件としては、燃料集合体2体が線源となるものとした。
- (3)1つの保護容器には1つの燃料容器が収納され、1つの燃料容器には2体の燃料集合体が収納される。
- (4)一般の試験条件下においては保護容器表面が、高さ方向に[]、幅方向に[]、長さ方向に[]縮小したものとして、線源の接近を考慮した。
- (5)線源部の組成は UO_2 のみで構成されるものとし、被覆管等の部材は保守的に存在しないものとした。また、燃料容器及び保護容器はステンレス板のみで構成されるものし、その他の構造材は保守的に存在しないものとした。

以上のような解析条件のもとで得られた計算結果を表(ロ)D-1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[]mSv/h であり、また表面から1mの位置における最大線量当量率は[] $\mu\text{Sv/h}$ であるため、基準の線量当量率 (表面で2mSv/h 以下、表面から1mの位置で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、輸送物表面の最大線量当量率は[]mSv/h であり、基準の線量当量率 (表面で2mSv/h 以下) を満足している。なお、一般の試験条件下における線量当量率の増加割合は約[]%である。

表(ロ)D-1 輸送物の最大線量当量率

	輸送物表面	表面から 1 m の点
	底面	底面
通常輸送時	<input type="text"/> mSv/h	<input type="text"/> μ Sv/h
基準	≤ 2 mSv/h	≤ 100 μ Sv/h
一般の試験条件下	<input type="text"/> mSv/h	—————
基準	≤ 2 mSv/h	—————

D.2 線源仕様

本収納物の最大収納量は、二酸化ウランで燃料集合体2体収納時の□である。

D.2.1 ガンマ線源

線源となる収納物は燃料集合体2体であり、濃縮度5%のウランが□含まれている。収納物に初期組成として含まれる放射性核種は、ウラン同位体である ^{232}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 及び ^{99}Tc である。線源仕様の詳細を以下に示す。

(1) 収納物に含まれる放射性物質

本収納物では、放射性物質として ^{232}U 、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 及び ^{99}Tc の合計6核種を考慮した。組成は ^{232}U 1.0×10^{-8} wt%、 ^{234}U 5.0×10^{-2} wt%、 ^{235}U 5.0 wt%、 ^{236}U 2.5×10^{-2} wt%、 ^{99}Tc 1.0×10^{-6} wt%、残りはすべて ^{238}U とした。

(2) 線源強度

「D.2.1(1)」に示した放射性物質について、ORIGEN-2コードを用いて、娘核種の生成を考慮し放射平衡に到達する冷却期間を10年間としたときのガンマ線源スペクトル及び放射エネルギーを求めた。表(ロ)D-2にガンマ線源スペクトルの計算結果を、表(ロ)D-3に放射エネルギーの計算結果を示す。

D.2.2 中性子源

本輸送容器への収納物は、未照射の燃料集合体であるので、中性子源としては考慮しない。

表(ロ)D-3 放射エネルギーの計算結果 ()あたり

核種	ORIGEN-2コードに基づく放射エネルギー(Bq)	
232U		
234U		
235U		
236U		
238U		
99Tc		
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

計算体系の概念図を図(ロ)D- 1に示す。通常の輸送条件における解析モデル図を図(ロ)D- 2に示す。

燃料集合体2体を収納する空間の中央部を線源部に設定し、これを囲む形で燃料容器及び保護容器を配置した。線源部の組成は UO_2 のみで構成されるものとし、被覆管等の部材は無視した。また、燃料容器及び保護容器は厚さ□のステンレス板のみで構成されるものし、その他の構造材は無視した。

D.3.1.2 一般の試験条件

一般の試験条件下における解析モデル図を図(ロ)D- 3に示す。

一般の試験条件下においては、「(ロ)A.5.7 結果の要約及びその評価」に記述したように、保護容器が最大高さ方向に□、幅方向に□、長さ方向に□縮小した。

遮蔽解析においては、保護容器の寸法を高さ方向に□、幅方向に□、長さ方向に□縮小し、保護容器と燃料容器間の間隔を縮小し、線源の接近を考慮した。

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

解析モデルにおける領域は、線源及び輸送容器に分けられる。各領域の密度、組成、原子個数密度及び体積比を表(ロ)D- 4に示す。

線源及び輸送容器本体以外の領域はすべて空気として計算した。

表(ロ)D- 4 各領域の密度、組成、原子個数密度

領域	密度(g/cm ³)	組成	原子個数密度 (atoms/barn · cm)
線源 (ウラン酸化物)	□	U	□
		O	
輸送容器本体 (ステンレス鋼)	□	Fe	
		Cr	
		Ni	
		S	
		P	
		Mn	
		Si	
		C	

D.4 遮蔽評価

図(ロ)D-2及び図(ロ)D-3に示した遮蔽解析モデルについて、QAD-CGGP2R(附属資料(ロ)-D.2)を用いて遮蔽評価を行った。

ガンマ線のエネルギー群分けについては、ORIGEN-2のエネルギー群構造と同じとした。本遮蔽評価でのビルドアップ係数は、鉄のビルドアップ係数を使用した。

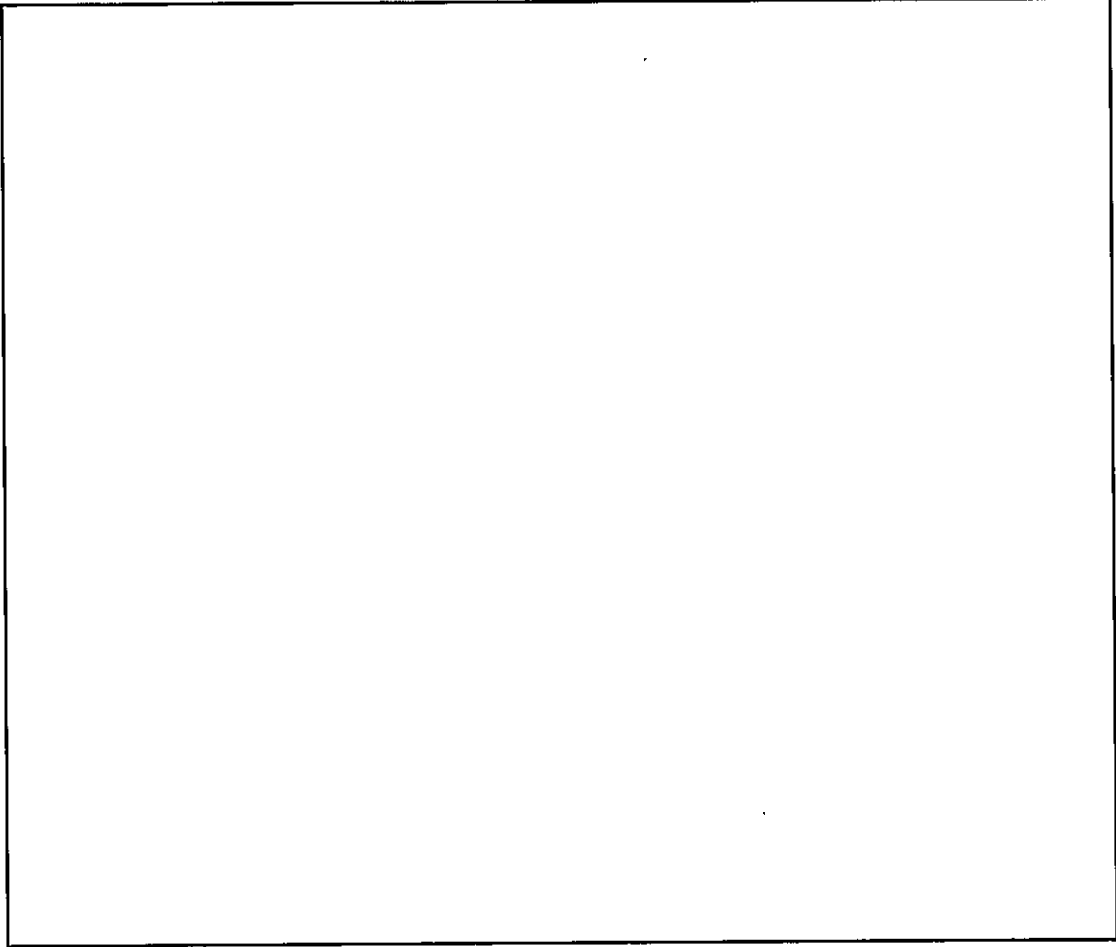
遮蔽評価では、通常輸送時及び一般の試験条件下それぞれについて、輸送物表面及び輸送物表面から1mの点において最大値を示す評価点を探索し、最大線量当量率を評価した(附属資料(ロ)-D.1参照)。

評価結果は表(ロ)D-1の通りである。評価結果の最大値はいずれも輸送容器底面で与えられた。このように、通常の輸送条件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離れた位置における最大線量当量率は、いずれも基準値未満である。また通常の輸送条件に対する一般の試験条件下における線量当量率の増加割合は9%程度でありわずかである。

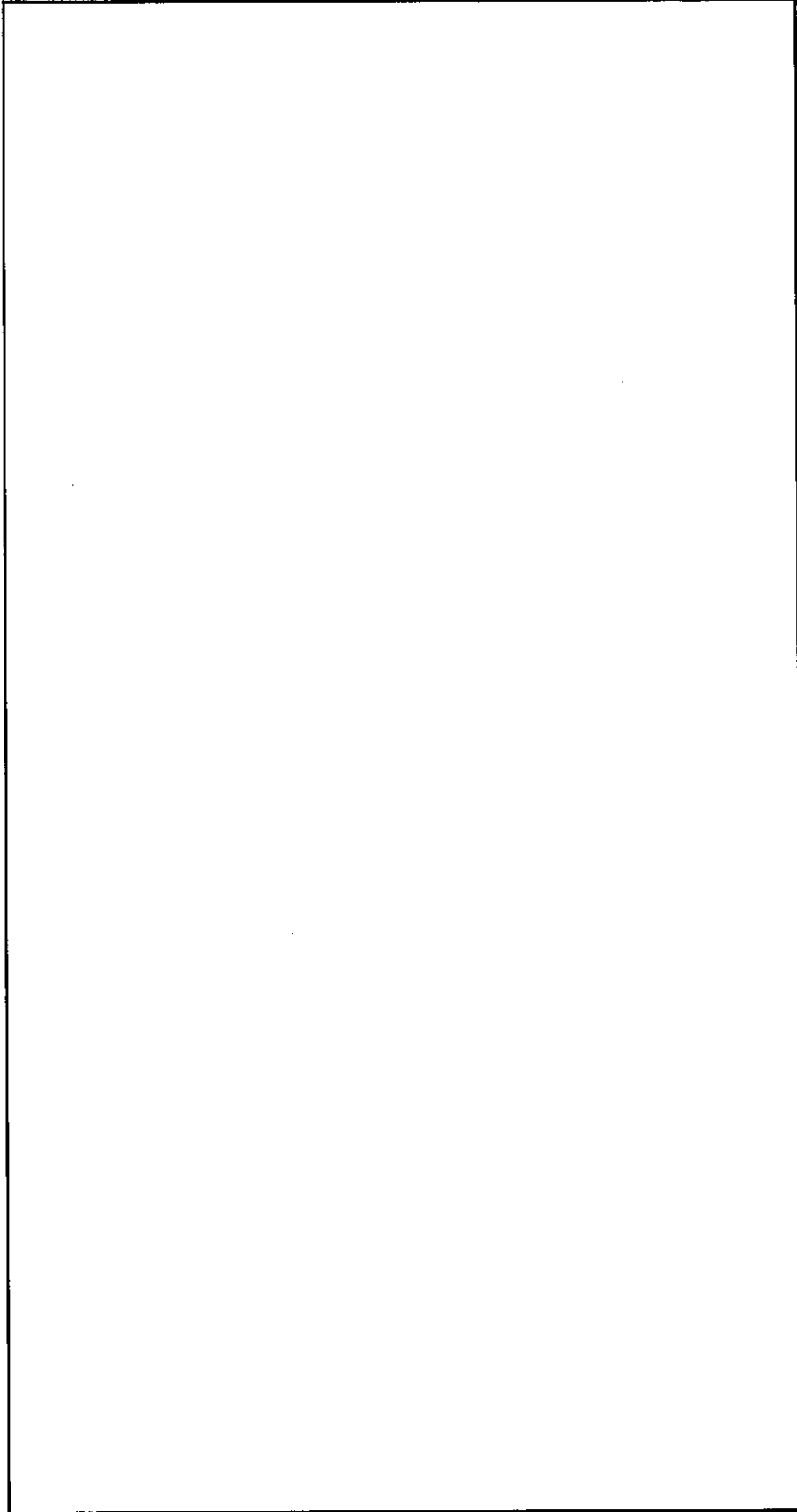
D.5 結果の要約及びその評価

本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。

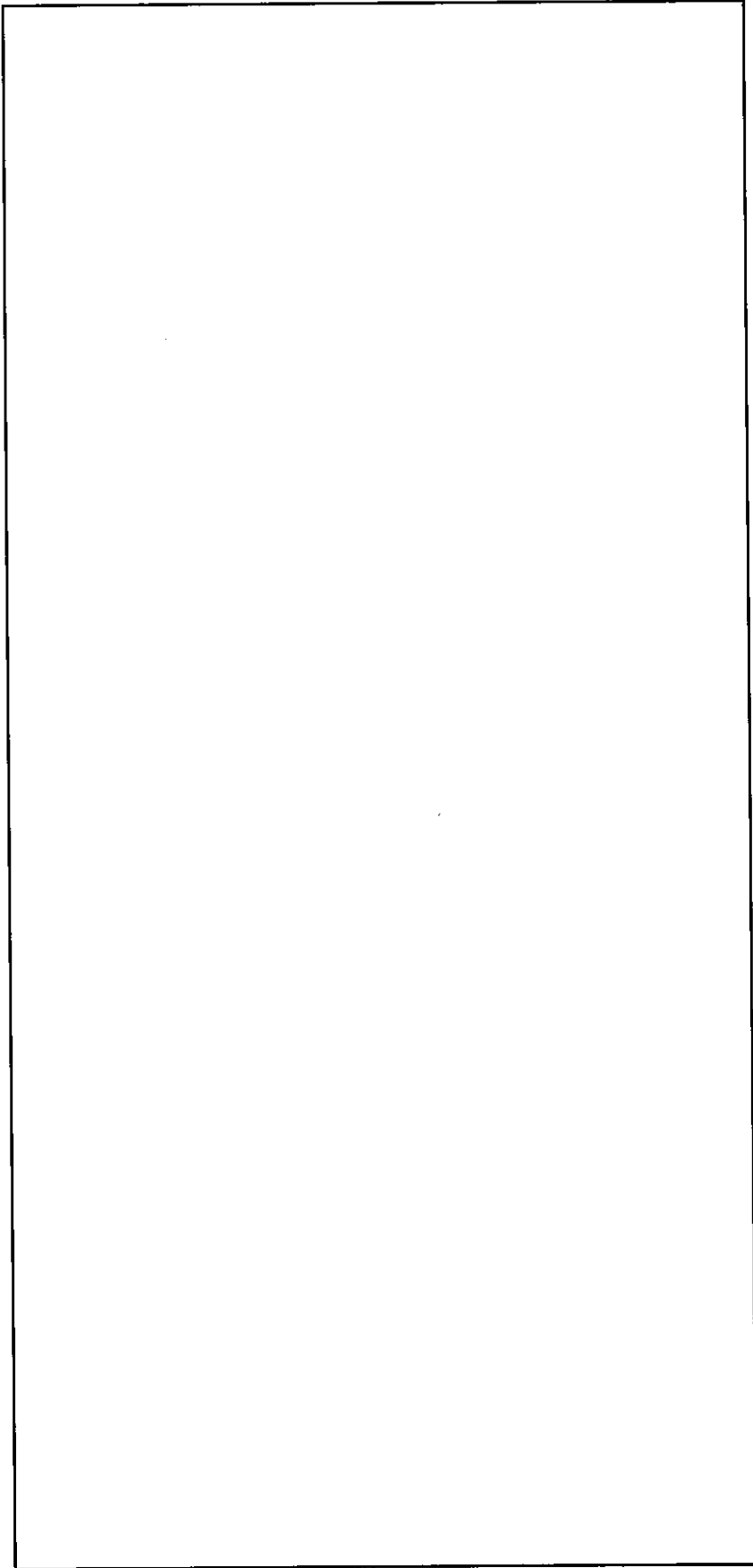
表(ロ)D-1に示すように、BWR燃料集合体2体を収納した場合の輸送物は、通常輸送時及び一般の試験条件下における線量当量率は規則に定められている値を超えることはなく、また一般の条件下において著しい線量の増加は認められず、安全性に問題はない。



図(口)D・1 計算体系概念図



図(ロ)D-2 通常輸送条件の解析モデル図



図(ロ)D-3 一般の試験条件下の解肝モデル図

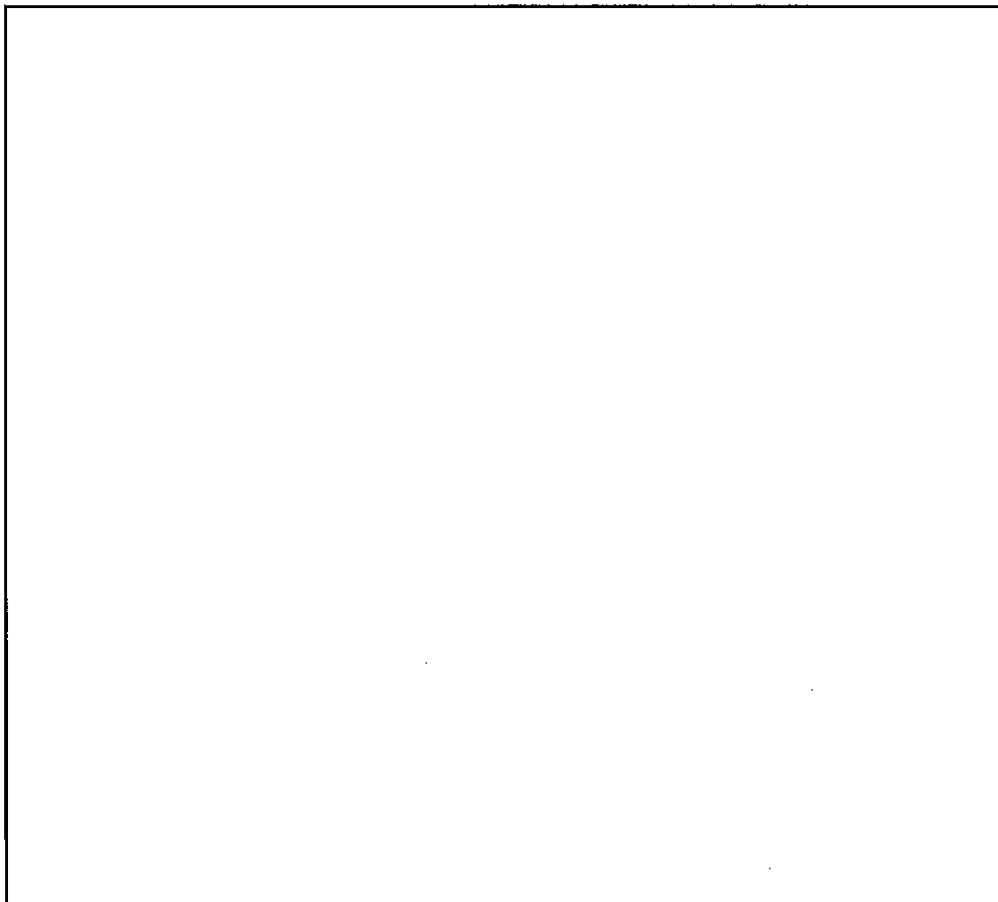
附属資料

- 1) (ロ)-D.1 QADコードによる輸送物表面及び輸送物表面から1m離れた位置における線量当量率解析結果
- 2) (ロ)-D.2 QAD・CGGP2Rコードの概要
- 3) (ロ)-D.3 参考文献一覧表

附属資料(ロ)－D.1 QADコードによる輸送物表面及び輸送物表面から1m離れた位置における線量当量率解析結果

(単位：mSv/hr)

	評価位置	通常の輸送条件	一般の試験条件下
輸送物表面			
輸送物表面から1m離れた位置			



1.概要

QAD-CGGP2R は、米国ロスアラモス国立研究所 LANL (Los Alamos National Laboratory) で開発された 3次元点減衰核積分法計算コード QAD-CG を、日本原子力研究所が改良したコード QAD-CGGP2 をもとに、実効線量を計算できるようさらに改良したコードである。この実効線量は、平成 12 年 10 月 23 日に公布された ICRP1990 年勧告の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正により、平成 13 年 4 月 1 日以降遮蔽計算で評価すべき線量となった。

QAD の解法は、一般に点減衰核法と呼ばれるもので体積線源を幾つかの微小体積に分割し、これから計算点までのガンマ線の減衰を物質による指数減衰及び距離の逆二乗減衰により計算する。直接線以外の散乱線の寄与は、ビルドアップ係数により近似される。線源全体から計算点における寄与(線束、線量率等)は、各微小体積の合計により求めるものである。

2.特長

点減衰核法では、散乱線はビルドアップ係数を用いて考慮されるが、エネルギースペクトル変化及びガンマ線の角度分布は考慮できない。QAD-CGGP2R は 3次元形状の入力が比較的容易であること、ビルドアップ係数計算方法が幾何学的級数方程式(G-P法)を用いていること、及び ICRP Publication 74 に準拠した線量率が計算できることが主な特長である。

QAD-CGGP2R では線源及び遮蔽体形状として 3次元の取扱いが可能で、線源形状は円筒形、直方体及び球の 3種類、遮蔽体は直方体、球、円柱、楕円柱、円すい台、楕円体、くさび形、箱及び任意の六面体の、9種類の立体の組み合わせで表現することが可能である。

入力データは、線源のエネルギー・形状・強度・分割数、体系形状・領域の指定、物質の密度、ビルドアップ係数の選択及び計算点の位置よりなる。出力情報は、入力データ及び各計算点での線束と空気カーマ率もしくは実効線量・1cm線量当量である。

計算に必要な質量吸収係数、照射線量ビルドアップ係数及び ICRP Publication 74 及び ICRP Publication 51 に対応した線量率算出時に必要な実効換算係数はコードに内蔵されている。

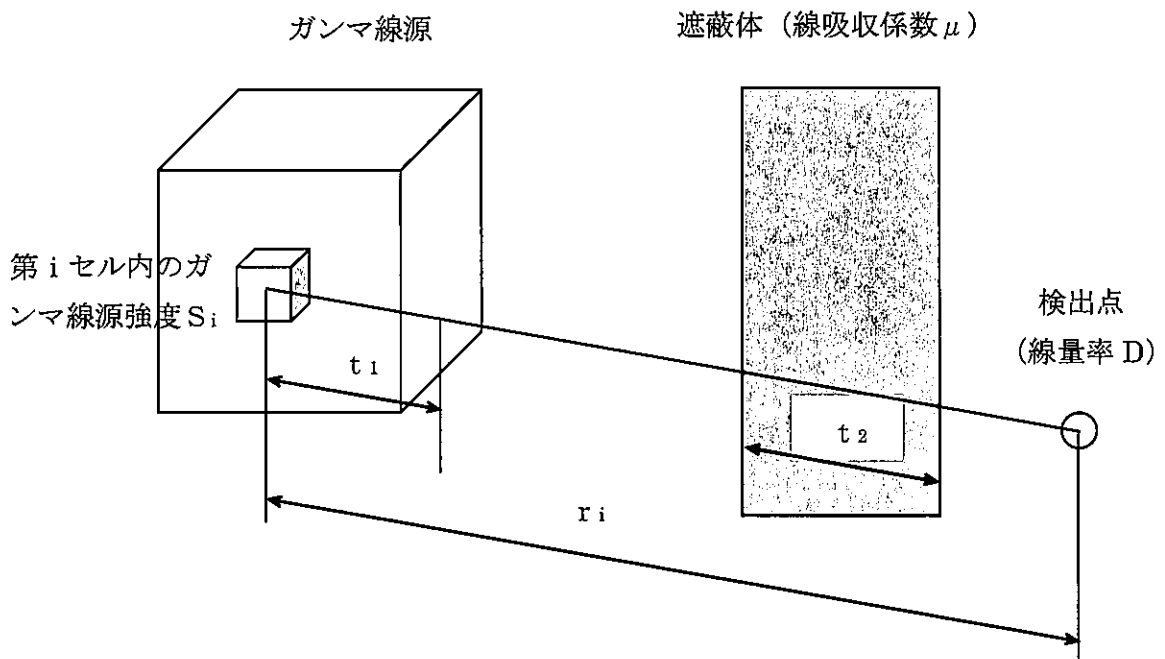
3.計算方法

点減衰核法は有限な広がりをもつ体積線源を体積要素（以下、線源要素と呼ぶ）に分割し、その各々を点状線源とみなして空間積分により計算点での寄与を求めるものである。以下に、計算点における線量当量率（D）の算出式を示す。

$$D = \sum_j K_j \sum_i \frac{B(\sum_k \mu_{jk} \cdot t_k, E_j) \cdot f_x(\sum_k \mu_{jk} \cdot t_k, E_j) \cdot S_{0ij} \cdot \exp(-\sum_k \mu_{jk} \cdot t_k)}{4\pi r_i^2}$$

ここで

- i : 線源の各線源要素に対する添字
- j : 線源のエネルギーに対する添字
- k : 空間を分割した後の各領域に対する添字
- K_j : エネルギーjに対する吸収線量率変換係数 (Gy/hr) / (photons/cm²/sec)
- B : 照射線量ビルドアップ係数
- f_x : 実効換算係数
- S_{0ij} : 線源要素iにおけるエネルギーjに対する線源強度 (photons/sec)
- μ_{jk} : エネルギーjにおける領域kに対する線吸収係数 (cm⁻¹)
- E_j : j番目のガンマ線入射エネルギー (MeV)
- t_k : 空間内の領域kに対するガンマ線の通過距離 (cm)
- r_i : 線源要素iから計算点までの距離 (cm)



参 考 文 献 一 覽 表

1) E. Solomito and J. Stockton, "Modifications of the Point-Kernel Code QAD-P5A: Conversion to the IBM-360 Computer and Incorporation of Additional Geometry Routines", ORNL-4181, July 1968.

V. R. Cain, "Bechtel Computer Code-NE007, A User's Manual For QAD-CG, The Combinatorial Geometry Version of the QAD-P5A Point-Kernel Shielding Code", July 1977.

2) A. G. Croff, "A User's Manual For the ORIGEN2 Computer Code", ORNL/TM-7175, July 1980.

(ロ)E 臨界解析

E.1 概要

本輸送物は、輸送制限個数を [] として、通常輸送時はもちろんのこと一般およ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、特別の試験条件下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コードを用いた解析を行い、未臨界であることを確認する。

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

本輸送物の収納物は、濃縮度5wt%以下のBWR未照射燃料集合体である。

一般の試験条件下および特別の試験条件下で得られる収納物の性質の変化等は特になく、また、一般の試験条件下における形状の変化は軽微であり、特別の試験条件下で得られる形状の変化に包絡される。特別の試験条件下で得られる収納物の変化については、以下のとおりである。

- ・ 収納物である模擬燃料集合体は、 []
[]。
- ・ 燃料体の表面は黒く変色したものの、収納物である燃料棒の密封性は損なわれず、放射性物質の損失または散逸はない。

E.2.2 輸送容器

輸送容器は図(イ)-1に示すように直方体形状で、燃料容器とこれを保護する保護容器から構成される。燃料容器は薄板2重構造となっており、燃料集合体2体がポリエチレン発泡体製の緩衝材を介して収納される。保護容器には、緩衝材（アルミハニカム及びポリエチレン発泡体）を介して、燃料容器が所定位置に収納されている。保護容器本体と上蓋はボルト及びナットにより締め付けられて固定され保護容器が構成される。

一般の試験条件下で得られる輸送容器の性質の変化等は特になく、また、一般の試験条件下における形状の変化は軽微であり、特別の試験条件下で得られる形状の変化に包絡される。特別の試験条件下で得られる輸送容器の変化については、以下のとおりである。

(1) 保護容器

- ・落下試験Ⅰの結果、
 - 長さ方向に、の縮みが生じた。
 - 高さ方向に、の縮みが生じた。
 - 幅方向に、の縮みが生じた。
- ・落下試験Ⅱの結果、保護容器平板面の変形は、1スパンの縦梁の間にのへこみが生じた。
- ・保護容器のパッキングは、全て燃焼した。また、保護容器内の緩衝材は燃焼した。

(2) 燃料容器

- ・落下試験Ⅰの結果、
 - ・燃料容器の長さ方向の変形は、の縮みが生じる。
 - ・燃料容器の高さ方向の変形は、の縮みが生じる。
 - ・燃料容器の幅方向の変形は、の縮みが生じる。
- ・落下試験Ⅱの結果、燃料容器に影響はなかった。
- ・燃料容器のパッキングは、全て燃焼した。また、燃料容器内の緩衝材の一部は燃焼していた。

E.2.3 中性子吸収材

中性子吸収材等は用いていない。なお、二酸化ウラン焼結体中に含まれる中性子吸収物質となるガドリニアについては、反応度を低くする方向に作用する。よって、より厳しい条件として、ガドリニアは計算では考慮していない。

E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

(1) 孤立系

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

(2) 配列系

本輸送物の輸送制限個数は [] であり、輸送制限配列は [] である。

また、一般の試験条件下と特別の輸送条件下を比較すると、特別の試験条件の方が保護容器の縮みがより大きくなるため、収納物（燃料集合体）どうしの間隔が短くなり、一般の試験条件下よりも中性子増倍率が大きくなる。解析モデルとして特別の試験条件下における損傷状態を考慮したモデルを解析対象とした。

特別の試験条件下に置いた輸送物のモデル化は以下のとおりである（図(ロ)E- 1、図(ロ)E- 2参照）。

・ 保護容器

- 落下試験 I の結果から、横幅及び高さ方向を []、長さを [] とした。
- 保護容器を構成する SUS304 の厚さは、実物のノミナル値は本体が []、上蓋が [] であるのに対して、モデル化では保守的に本体、上蓋の両方を上蓋の [] の公差下限より薄くした [] とした。
- 保護容器内部のリップ溝形鋼や、保護容器外部のスキッドは保守的に考慮せず、隣り合う容器の保護容器外板同士や保護容器外板と燃料容器の外板が密着でき、核的相互作用が高まるモデルとした。
- 保護容器内の緩衝材が燃焼したことを考慮し、保護容器内で燃料容器が自由に移動できるものとして、中性子増倍率が最も大きくなる配列をサーベイした（附属資料(ロ)E.1参照）

・ 燃料容器

- 落下試験 I の結果から、横幅及び高さ方向に []（落下試験 I における高さ方向の実際の縮みは、 [] であるが、安全側に横幅と同様とした。）長さ方向に [] とした。
- 燃料容器の外板及び内壁を構成する SUS304 の厚さは、実物のノミナル値が本体、上蓋、頭蓋のすべてで [] であるのに対して、モデル化では保守的に外板は保護容器と同じ [] とし、内板は穿孔が施されていることをその体積に合わせて厚さに反映させ [] とした。
- 燃料容器内壁と収納物（燃料集合体）との隙間の緩衝材（ポリエチレン発泡体：燃料

一体当たり[]については、モデル化では燃料有効長 (371cm) の長さに均一に分布するものとした。

- 燃料容器内の緩衝材が燃焼したことを考慮し、燃料容器内で集合体が自由に移動できるものとして、中性子増倍率が最も大きくなる配列をサーベイした (附属資料(ロ)E.1参照)

- ・ 収納物 (燃料集合体)

- 燃料容器には2体の燃料集合体を収納する。燃料集合体の仕様は表(ロ)E-1に示すように濃縮度上限5wt%、ペレット密度は理論密度比の上限[]と、中性子増倍率が最も高くなる値に設定した。

- 収納される燃料集合体は、ポリエチレン袋に収納したり、燃料棒間隔保持のためのポリエチレン製の波板スペーサが取り付けられることがある。モデル化では、保守的にこれらのスペーサが熔融して燃料棒に付着するものと仮定し、これらのポリエチレンが個々の燃料棒に均等に、燃料有効長にわたって均質に巻き付くこととした。

- 落下試験 I の結果から、模擬燃料集合体は、最下部の第1スパンにおいて []

[]

[]モデル化では燃料集合体に変形はないものとして解析を行った。

- ・ 浸水

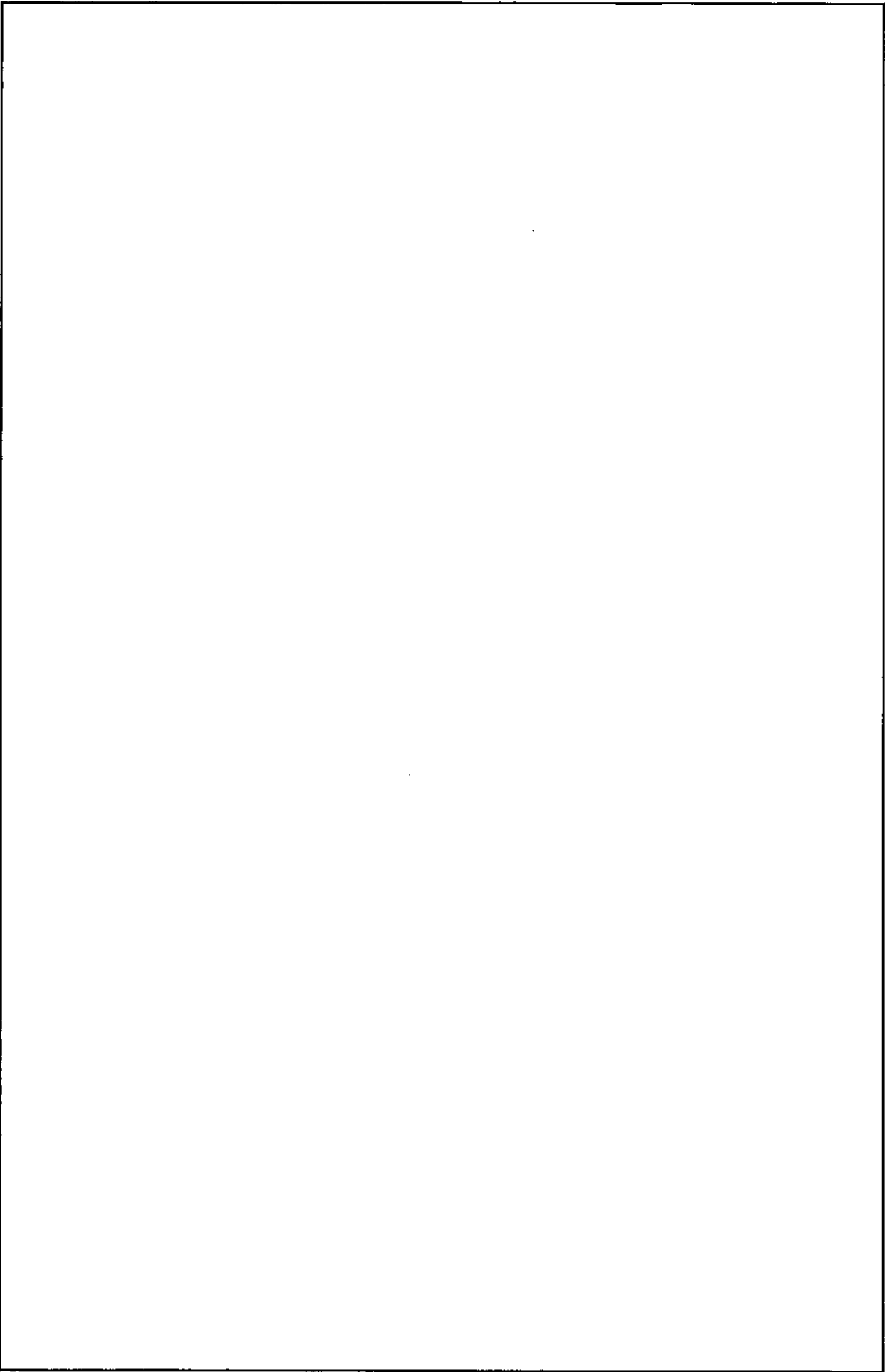
- 保護容器内部、燃料容器と燃料容器内壁との間隙、輸送容器内、集合体の燃料棒間は浸水を考慮し、水密度は、 $0.0001\sim 1.0\text{g/cm}^3$ と変化させてサーベイした。なお、本来、燃料容器内の緩衝材に占有された空間に水は入り込めないが、ここでは、緩衝材が存在する空間にも水が入り込むものと仮定した。

- ・ 配列

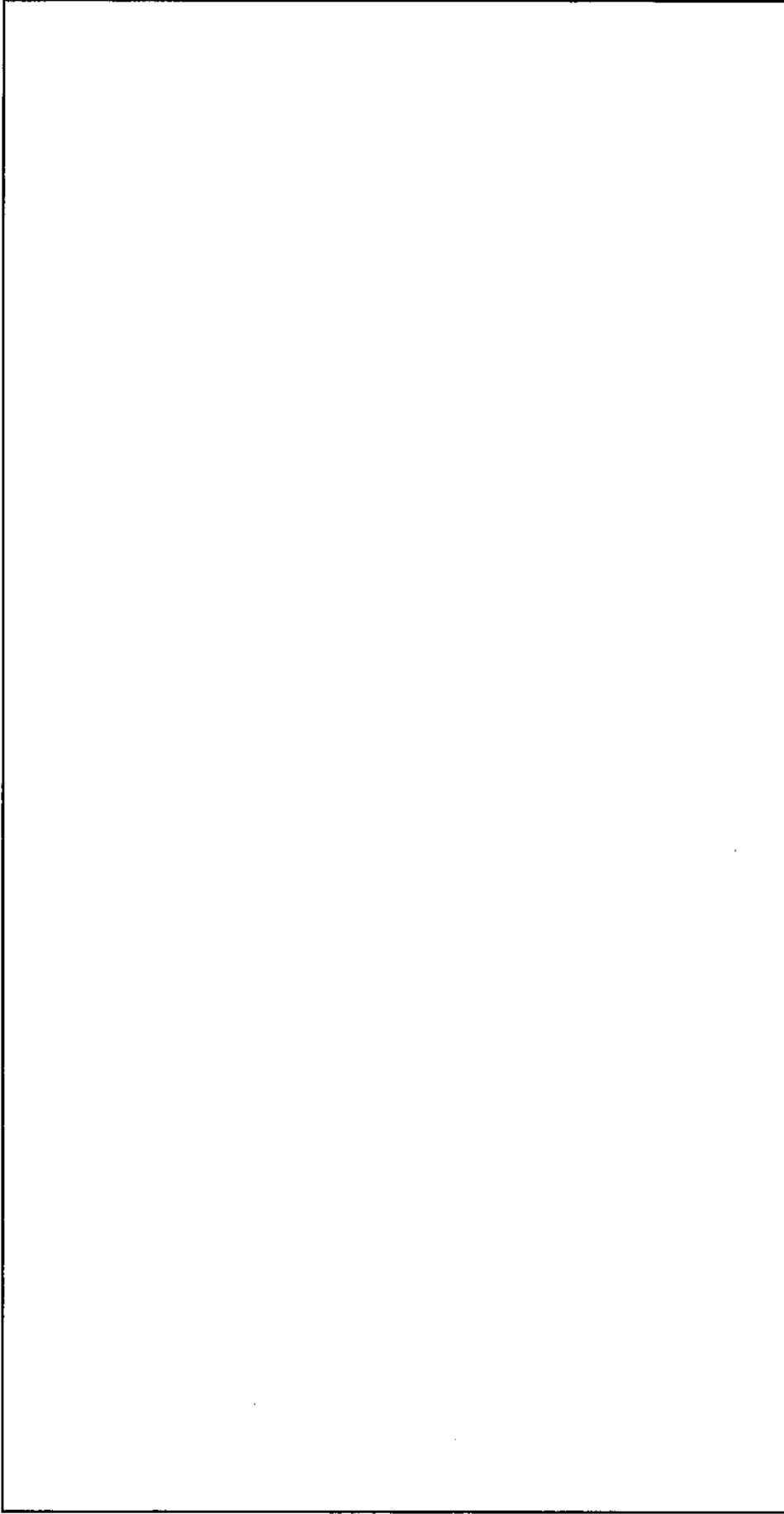
- 輸送容器の配列は []とした。なお、この配列の外側には30.5cm厚の水反射体を仮定した。

表(ロ)E-1 臨界解析における燃料集合体の主要諸元

項 目	9×9B型燃料
燃料組成	濃縮度5.0%UO ₂
燃料直径	9.4mm
燃料密度	□TD
燃料有効長	371cm
被覆管組成	ジルコイ-2
被覆管肉厚	□mm
被覆管外径	□mm
燃料棒本数	72本
燃料棒配列	9×9正方格子
U量	□
燃料棒ピッチ	14.5mm



図(ロ)E-1 特別の試験条件下における配列系の形状モデル(輸送容器)

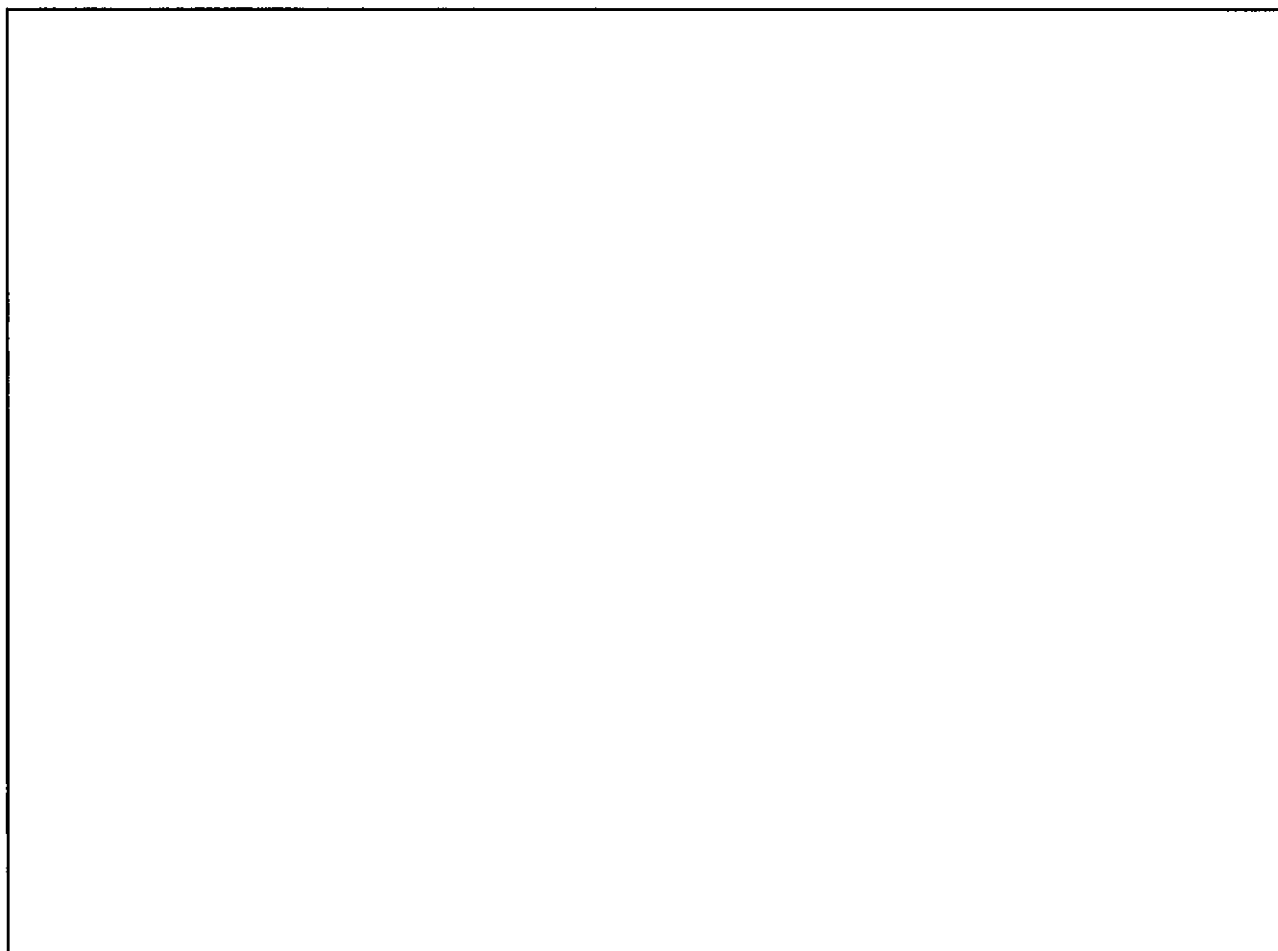


図(ロ)E-2 特別の試験条件下における配列系の形状モデル (燃料集合体)

E.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表(□)E-2に示す。

表(□)E-2 計算に使用した各領域の原子個数密度 (atoms/barn-cm)



E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

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

- ・ 保護容器、燃料容器の肉厚を実体より薄く設定した。
- ・ 保護容器内部の緩衝材及びリップ溝形鋼や、保護容器外部のスキッドを考慮せず、隣り合う容器の保護容器外板同士や保護容器外板と燃料容器の外板が密着でき、核的相互作用が高まるモデルとした。
- ・ 燃料容器内で集合体が自由に移動できるモデルとした。
- ・ ポリエチレン袋や燃料棒間隔保持のためのポリエチレン製の波板スペーサが溶融して燃料棒に付着するものと保守的な仮定を起し、これらのポリエチレンが個々の燃料棒に均等に、燃料有効長にわたって均質に巻き付くこととした。
- ・ 燃料容器内の緩衝材に占有された空間に水は入り込めないが、ここでは、緩衝材が存在する空間にも水が入り込むものと仮定した。

以上のようなモデル化は、輸送物の増倍率を安全側に評価できるものである。

E.4.2 輸送物への水の浸入等

一般の試験条件下及び特別な試験条件下において密封境界である燃料棒周囲まで水が浸入するものと仮定した。すなわち保護容器内部、燃料容器と燃料容器内壁との間隙、輸送容器内、集合体の燃料棒間への浸水を考慮して最適減速条件で解析を行った。

E.4.3 計算方法

本計算に使用した計算コードは、KENO-V.aである。(附属資料(ロ)－E.2参照)

KENO-V.aはSCALEシステム(A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analysis for Licensing Evaluation)とよばれるコードシステムの一部である。このコードシステムは、原子炉施設や原子燃料輸送容器等の許認可評価のための解析手法を標準化するために、米国原子力規制委員会(NRC)が立案し、その支援の下、米国オークリッジ国立研究所(ORNL)により開発されたシステムである。このうちKENO-V.aは臨界安全解析を行うために準備された多群モンテカルロコードであり、複雑な体系の中性子増倍率の計算を行う臨界計算コードである。

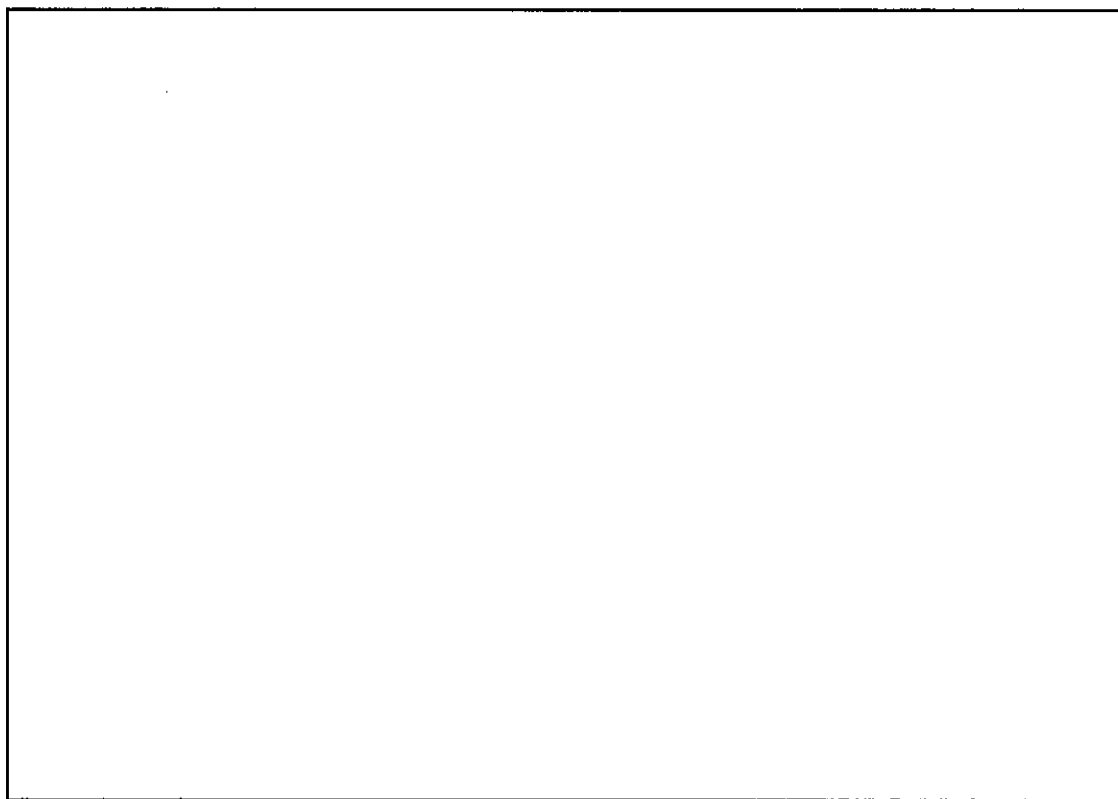
E.4.4 計算結果

特別の試験条件下における配列系において、最も中性子増倍率 ($K_{eff}+3\sigma$) が大きくなる配列を図(口)E-3に示す。また、この配列における水密度サーベイの結果を図(口)E-4に示す。中性子増倍率($K_{eff}+3\sigma$)は水密度が[]のとき最大となり、その値は表(口)E-3に示すとおり[]となった。

表(口)E-3 中性子増倍率の計算結果

試験条件	中性子増倍率
特別の試験条件下における配列系	[]

* $K_{eff}+3\sigma$



図(ロ)E-3 収納物の移動を仮定した損傷状態の解析モデル (中性子増倍率が最大となる配列)

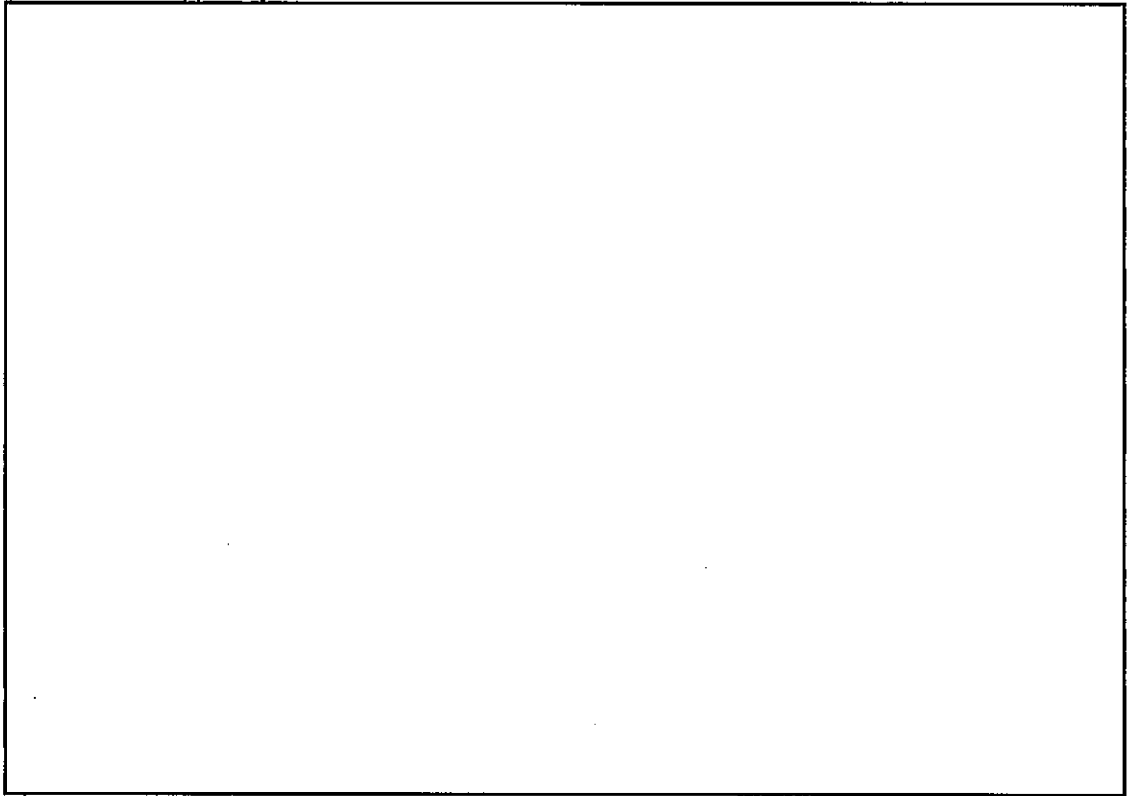
図(ロ)E-4 水密度変化に伴う中性子増倍率

E.5 ベンチマーク試験

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

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。計算結果を図(ロ)E-5に示す。また、図(ロ)E-5に示した ケースの計算結果に対する統計処理結果を表(ロ)E-4に示す。

表(ロ)E-4より、本輸送物の臨界評価で使用した計算方法は、中性子増倍率を十分な精度で評価できることが分かる。



図(ロ)E-5 ベンチマーク実験解析結果

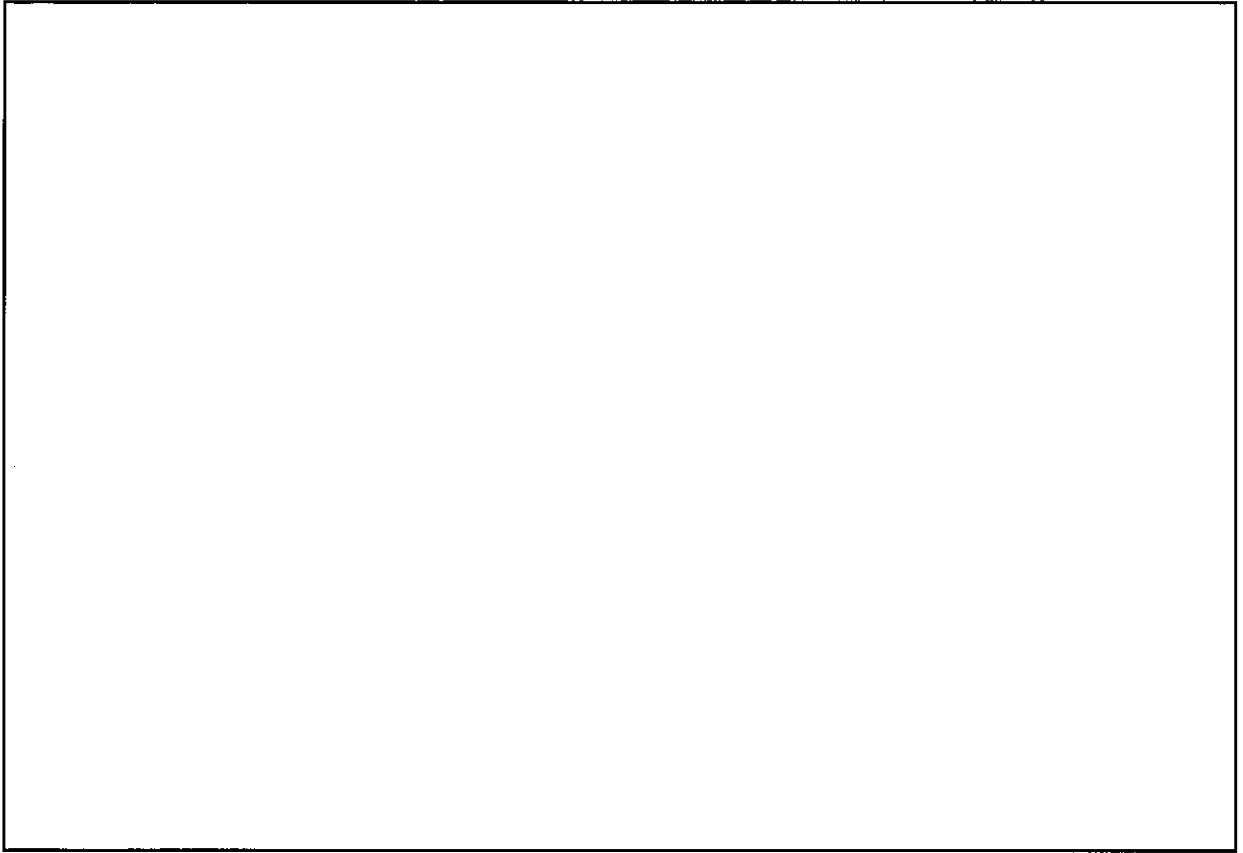
表(ロ)E-4 ベンチマーク実験解析結果のまとめ

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

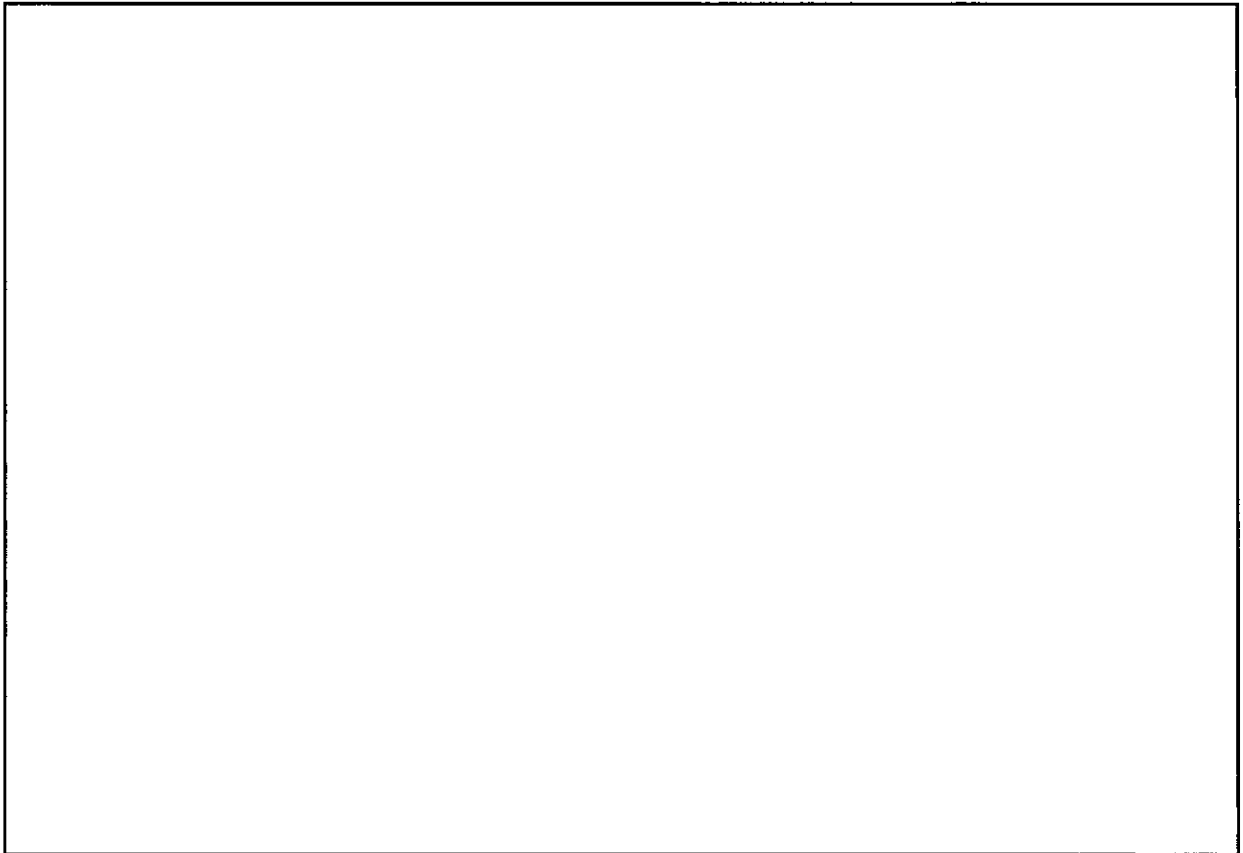
E.6 結果の要約及びその評価

NT-XII型輸送物の臨界解析を実施した。この結果、表(ロ)E-3に示すように、統計上の偏差を考慮した中性子実効増倍率の最大値は□となり臨界となった。この値は0.95未満であり、臨界安全上問題ないことを確認した。

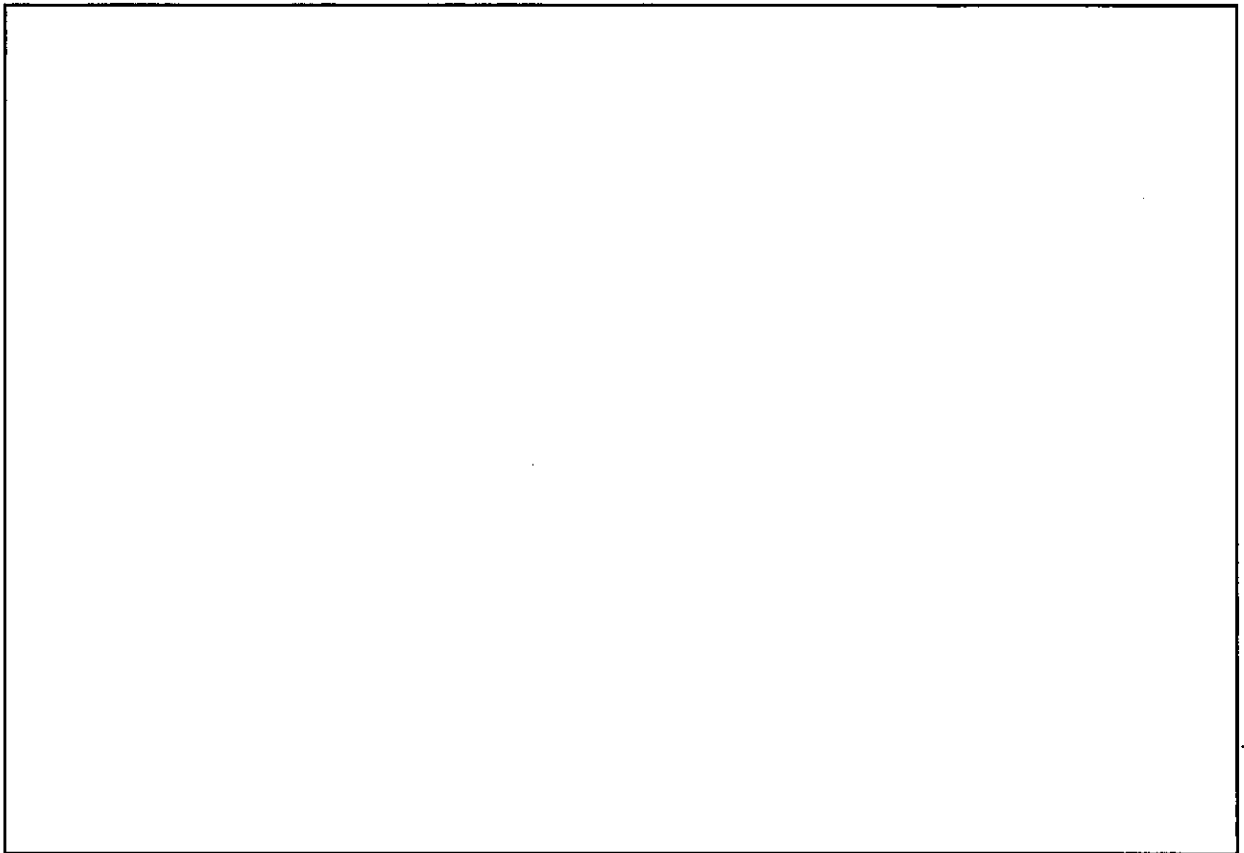
輸送容器の配列サーベイ



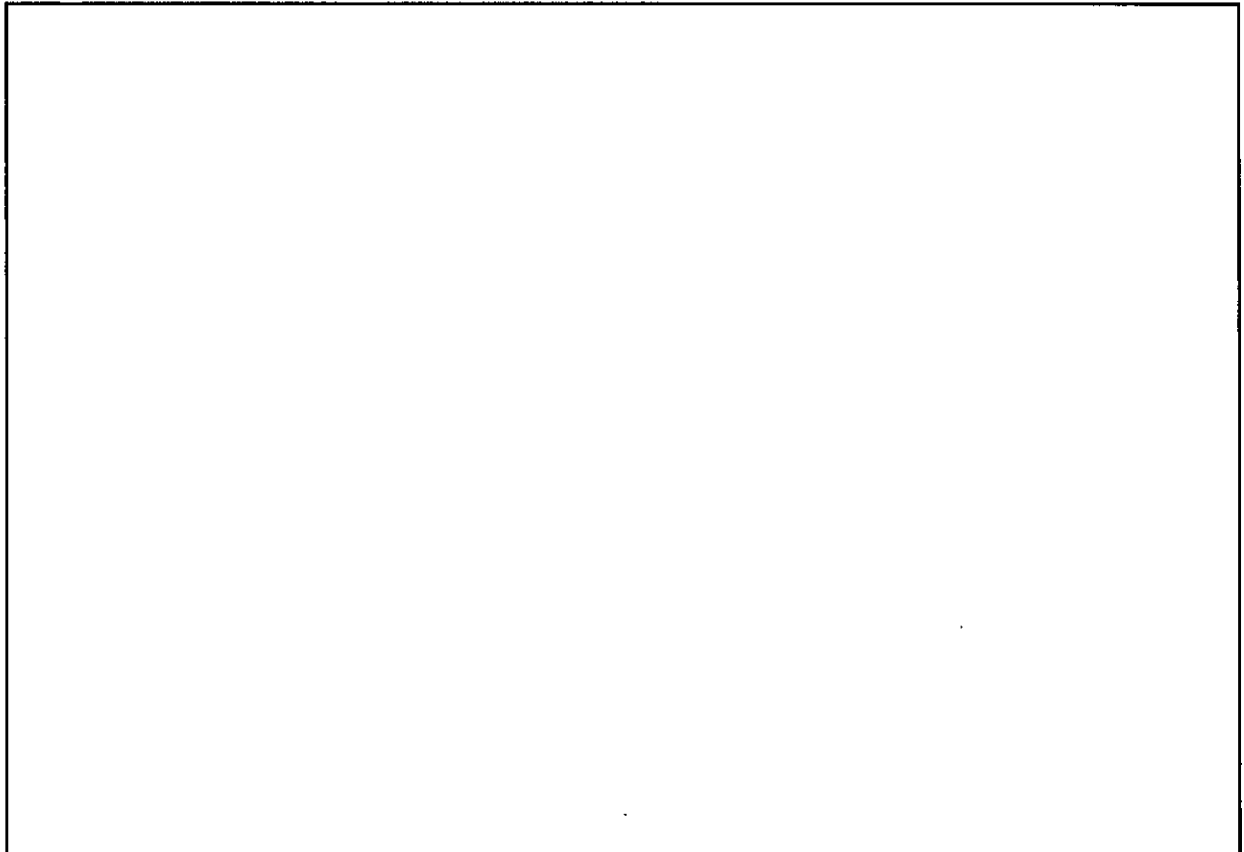
図(ロ)E 附 1-1 輸送容器配列サーベイ 1



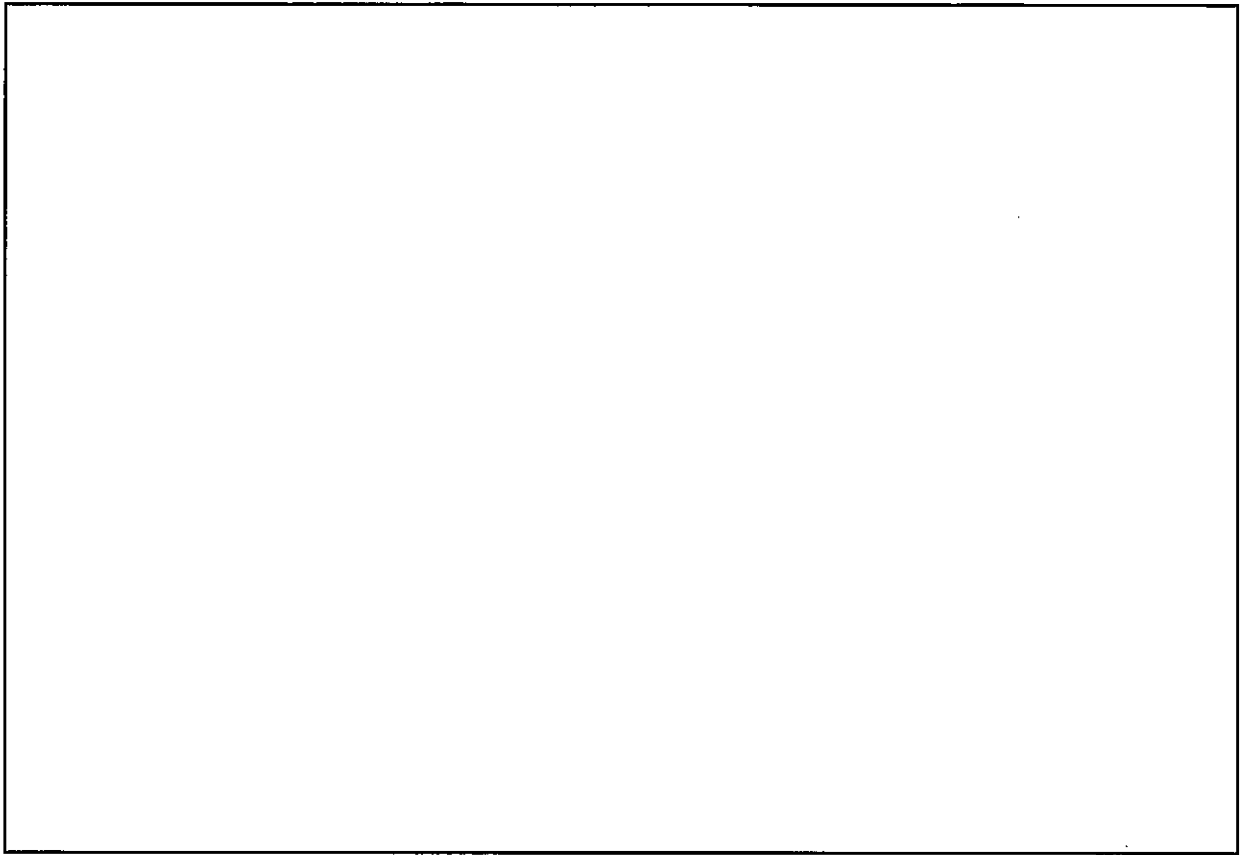
図(ロ)E 附 1-2 輸送容器配列サーベイ 2



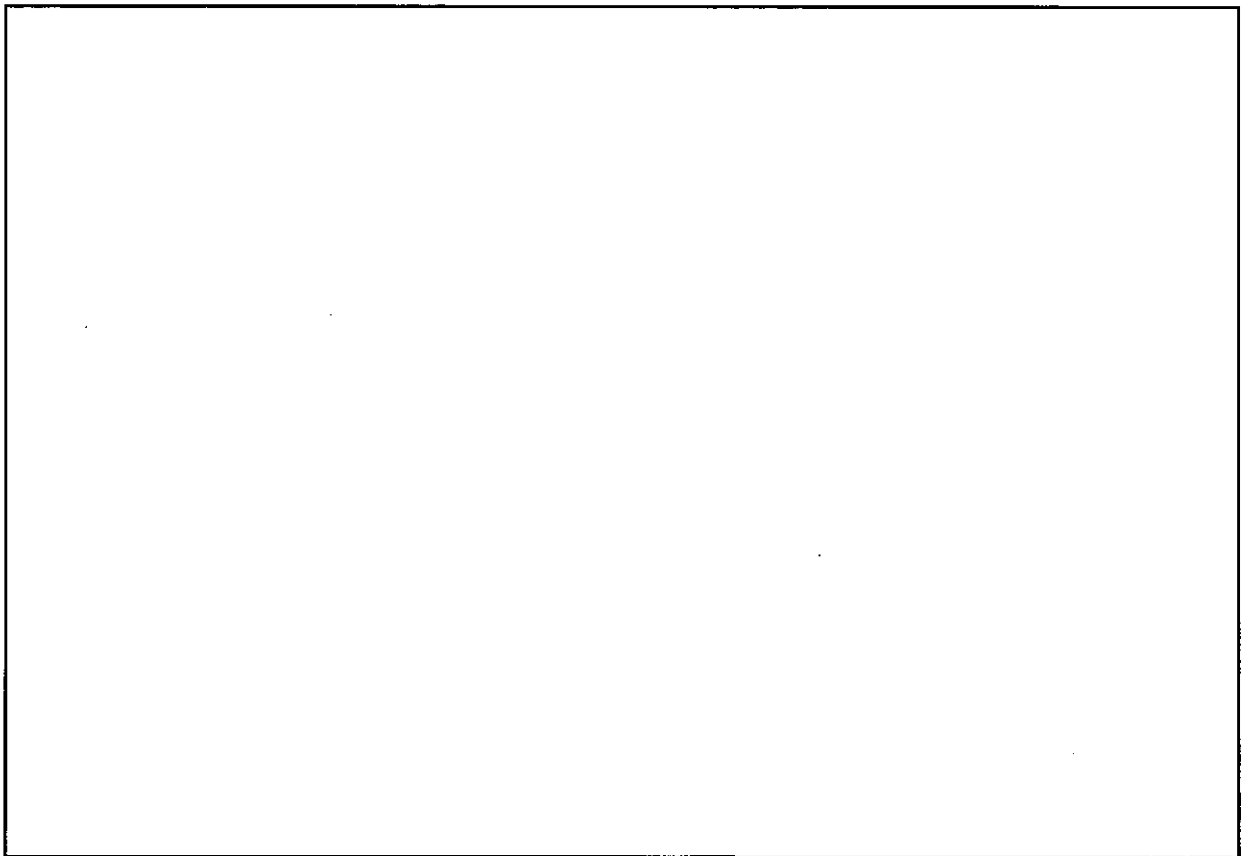
図(ロ)E 附 1-3 輸送容器配列サーベイ 3



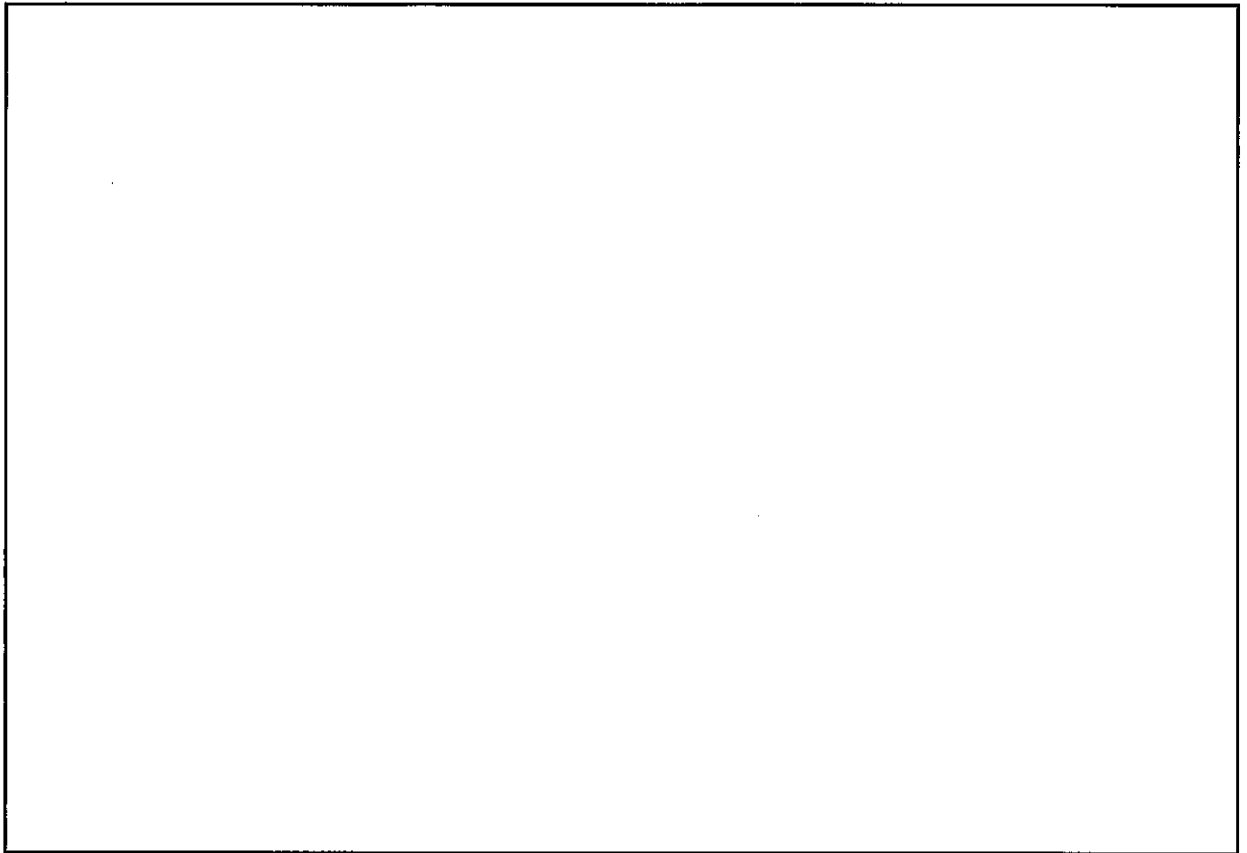
図(ロ)E 附 1-4 輸送容器配列サーベイ 4



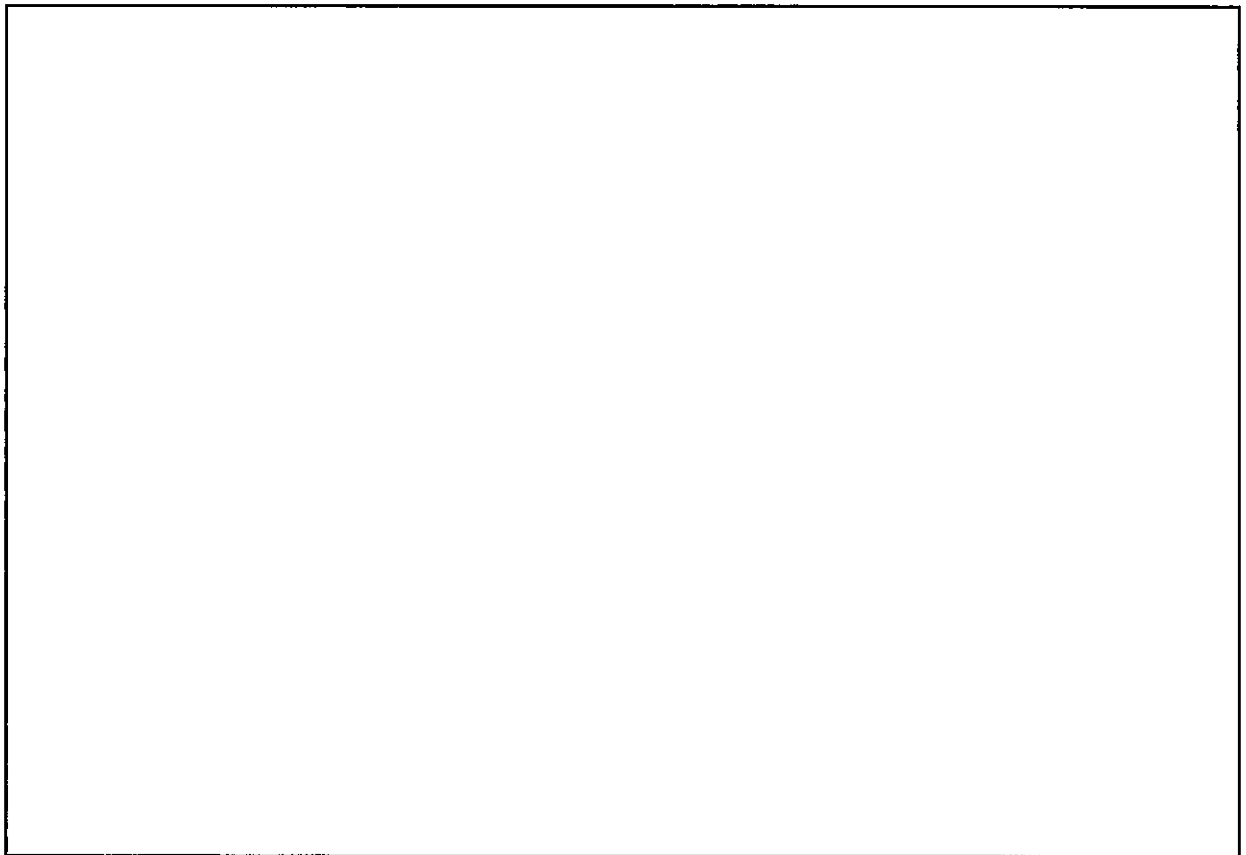
図(ロ)E 附 1-5 輸送容器配列サーベイ 5



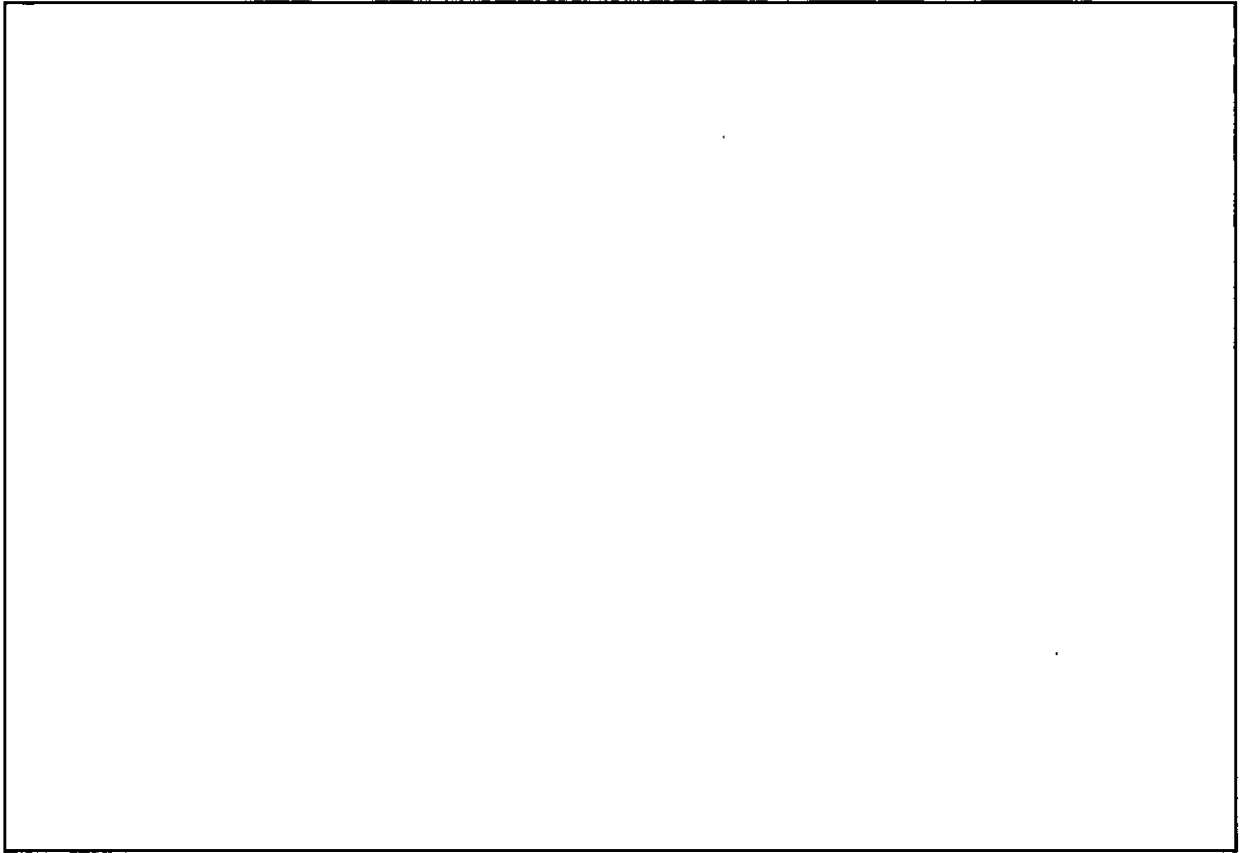
図(ロ)E 附 1-6 輸送容器配列サーベイ 6



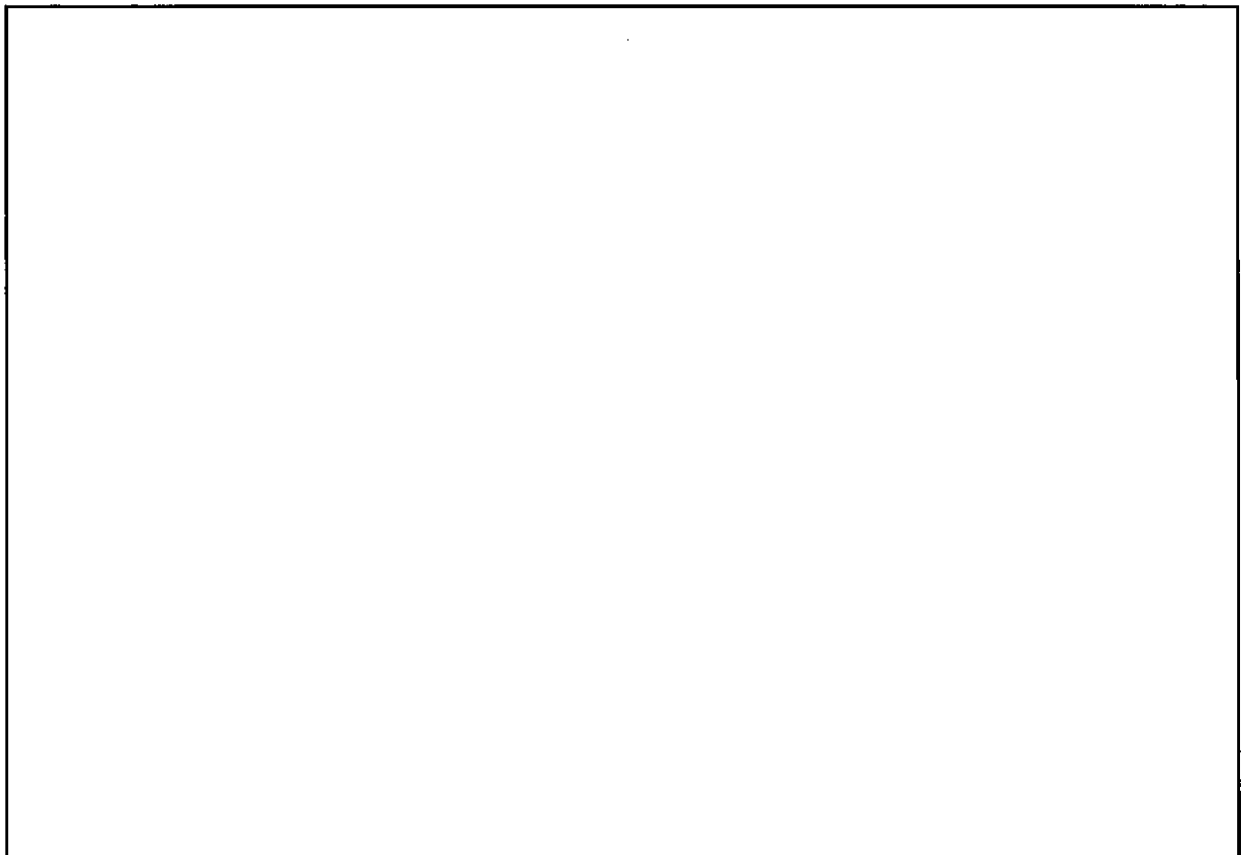
図(ロ)E 附 1-7 輸送容器配列サーベイ 7



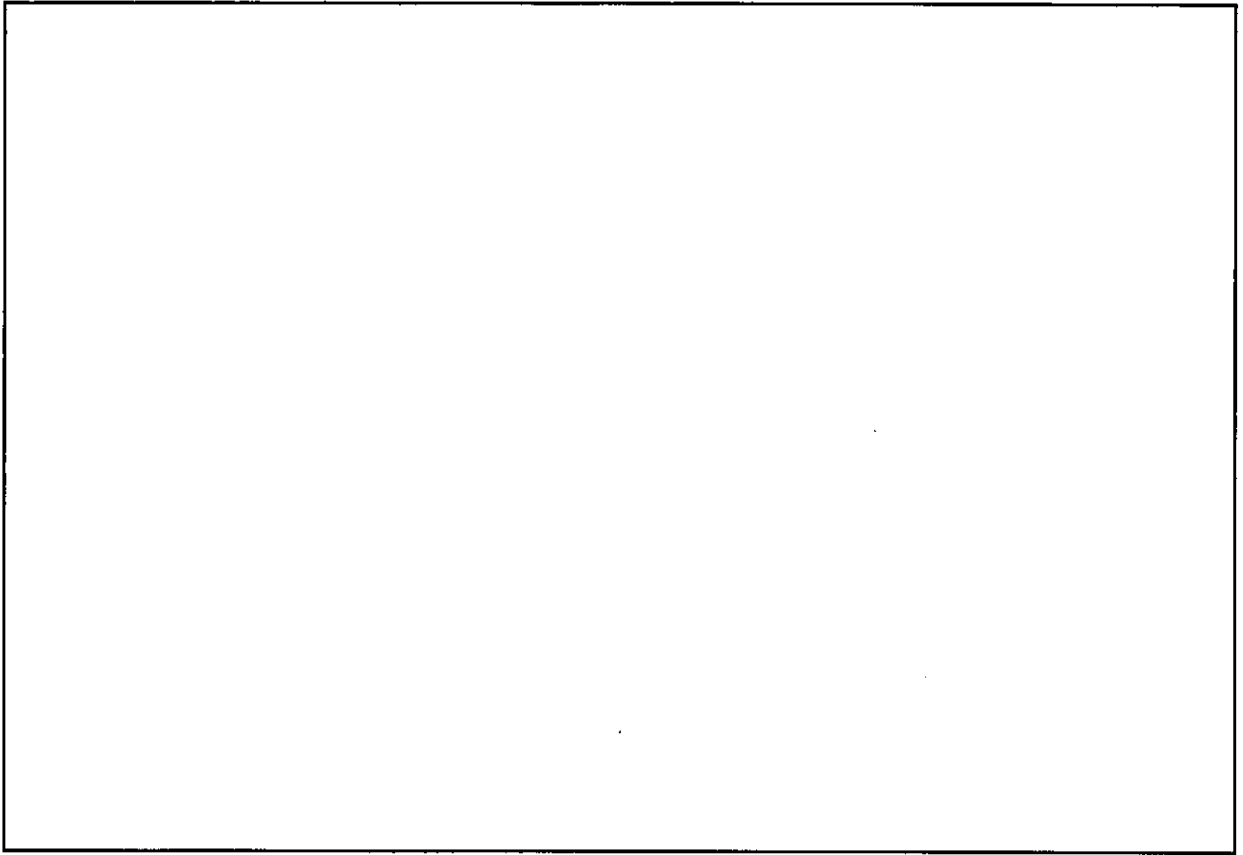
図(ロ)E 附 1-8 輸送容器配列サーベイ 8



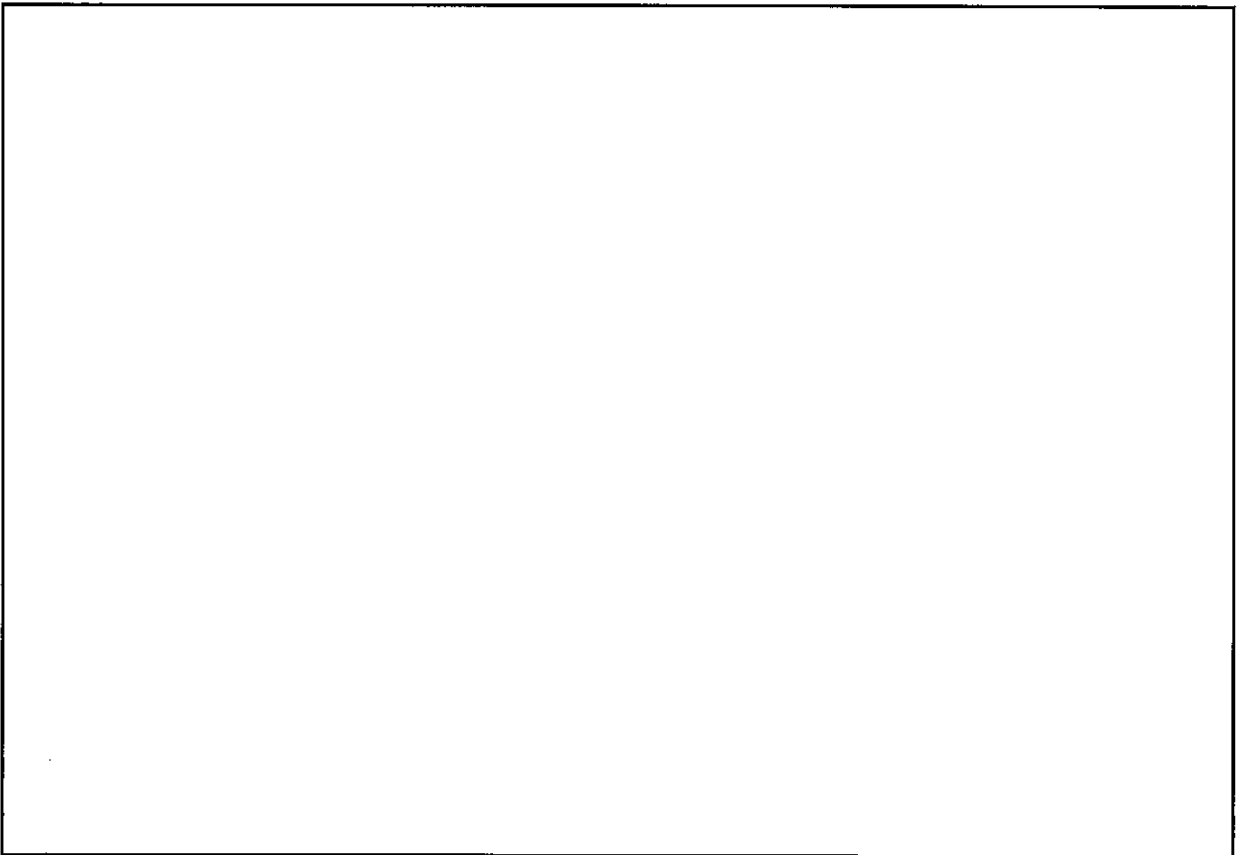
図(ロ)E 附 1-9 輸送容器配列サーベイ 9



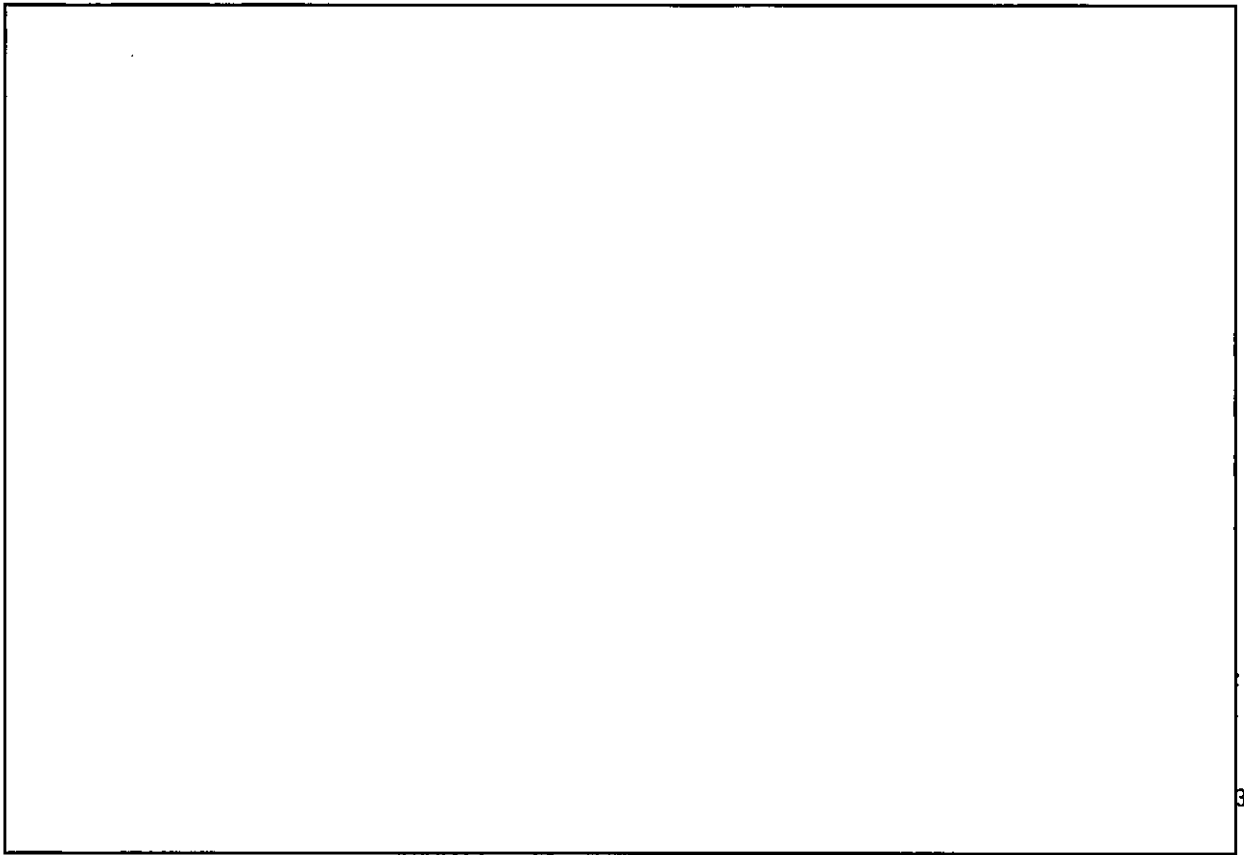
図(ロ)E 附 1-10 輸送容器配列サーベイ 10



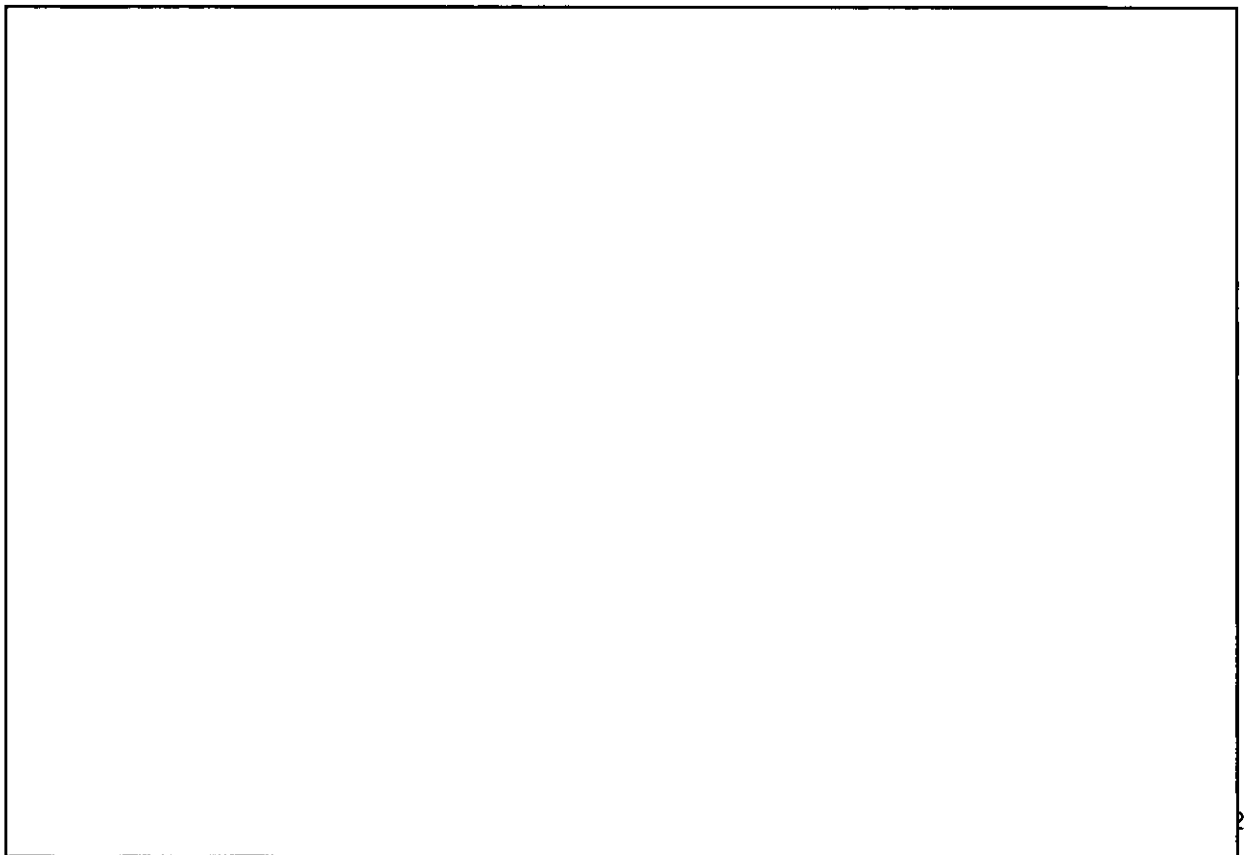
図(ロ)E 附 1- 11 輸送容器配列サーベイ 11



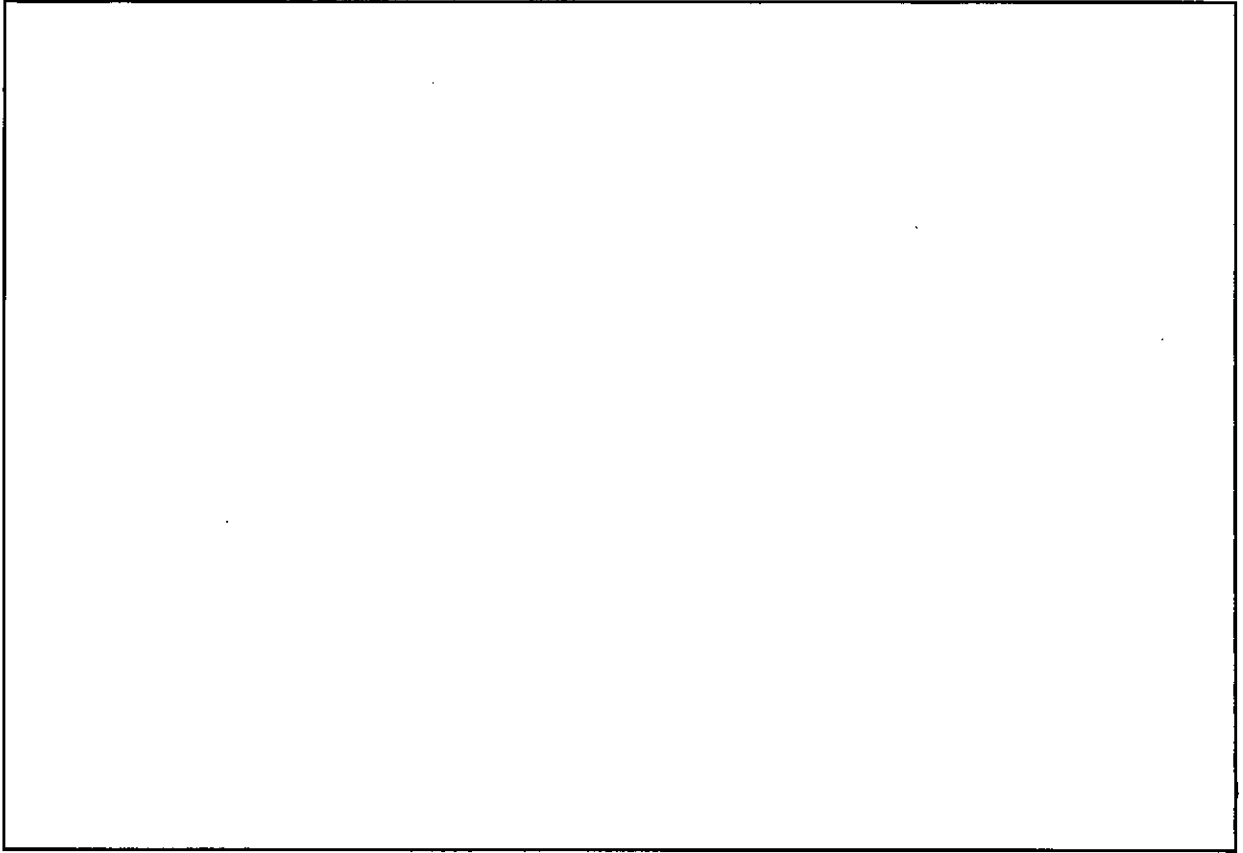
図(ロ)E 附 1- 12 輸送容器配列サーベイ 12



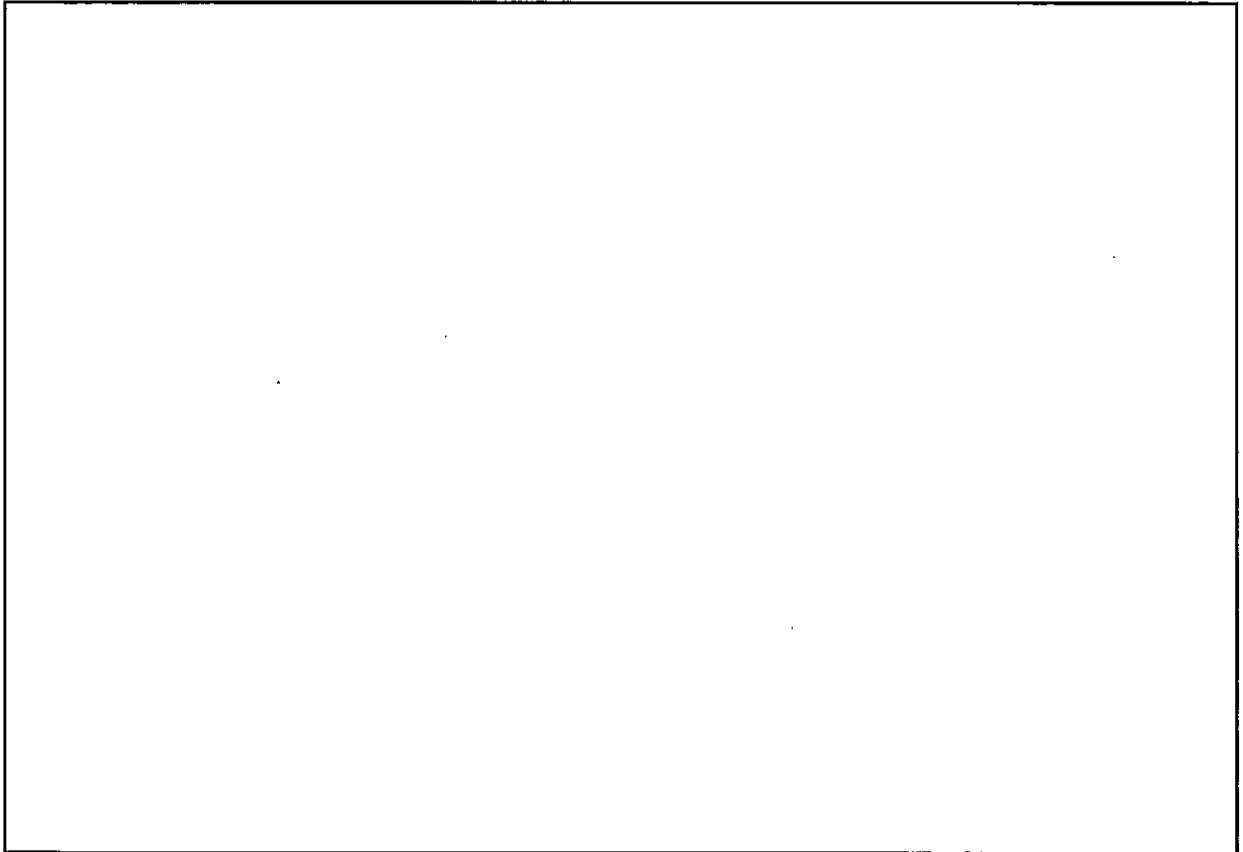
図(ロ)E 附 1- 13 輸送容器配列サーベイ 13



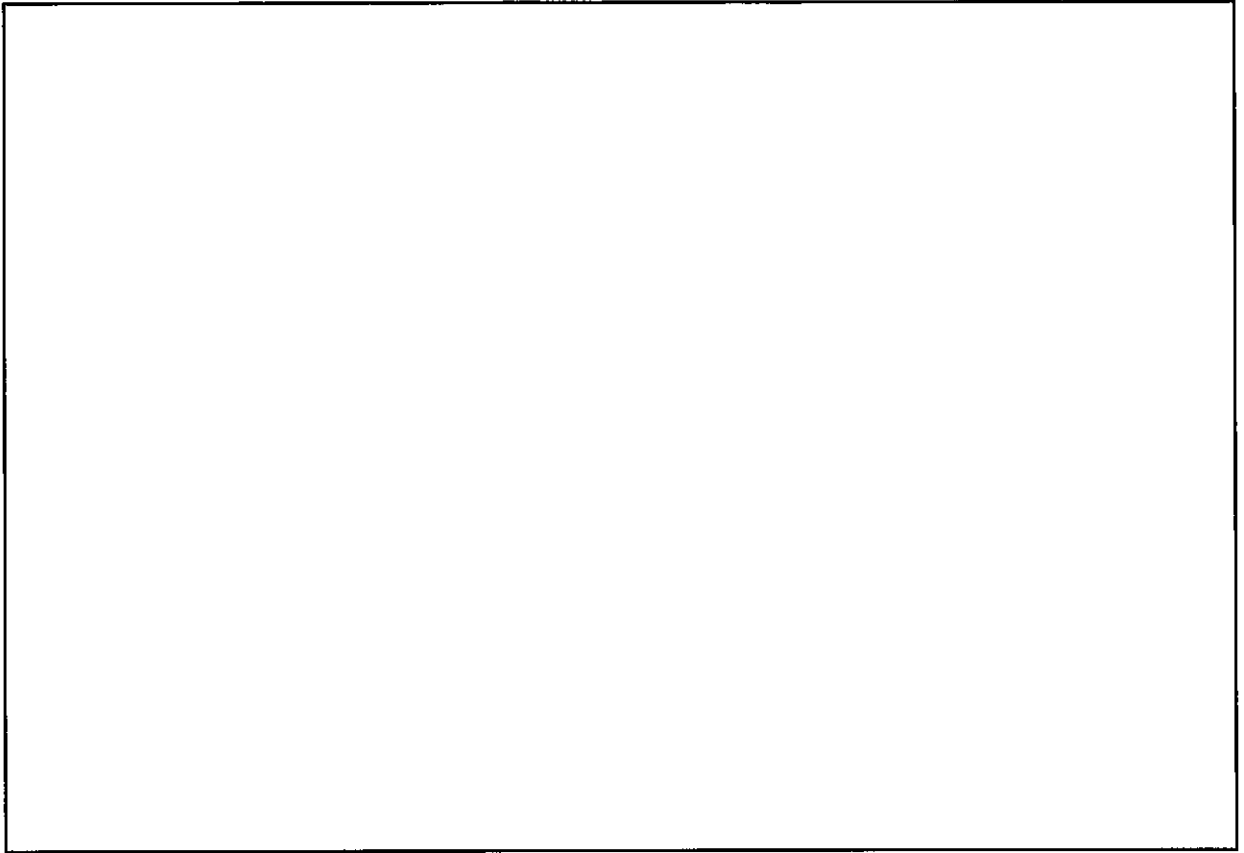
図(ロ)E 附 1- 14 輸送容器配列サーベイ 14



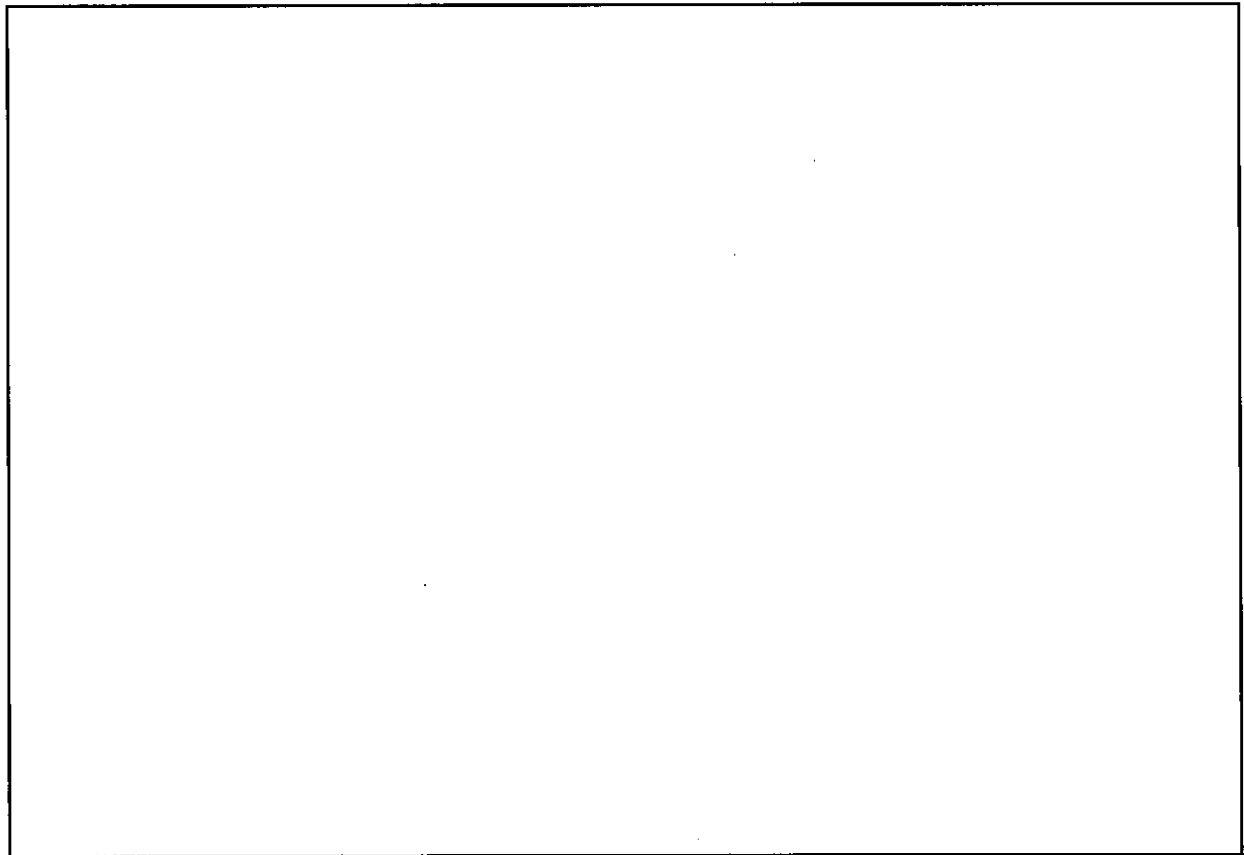
図(ロ)E 附 1- 15 輸送容器配列サーベイ 15



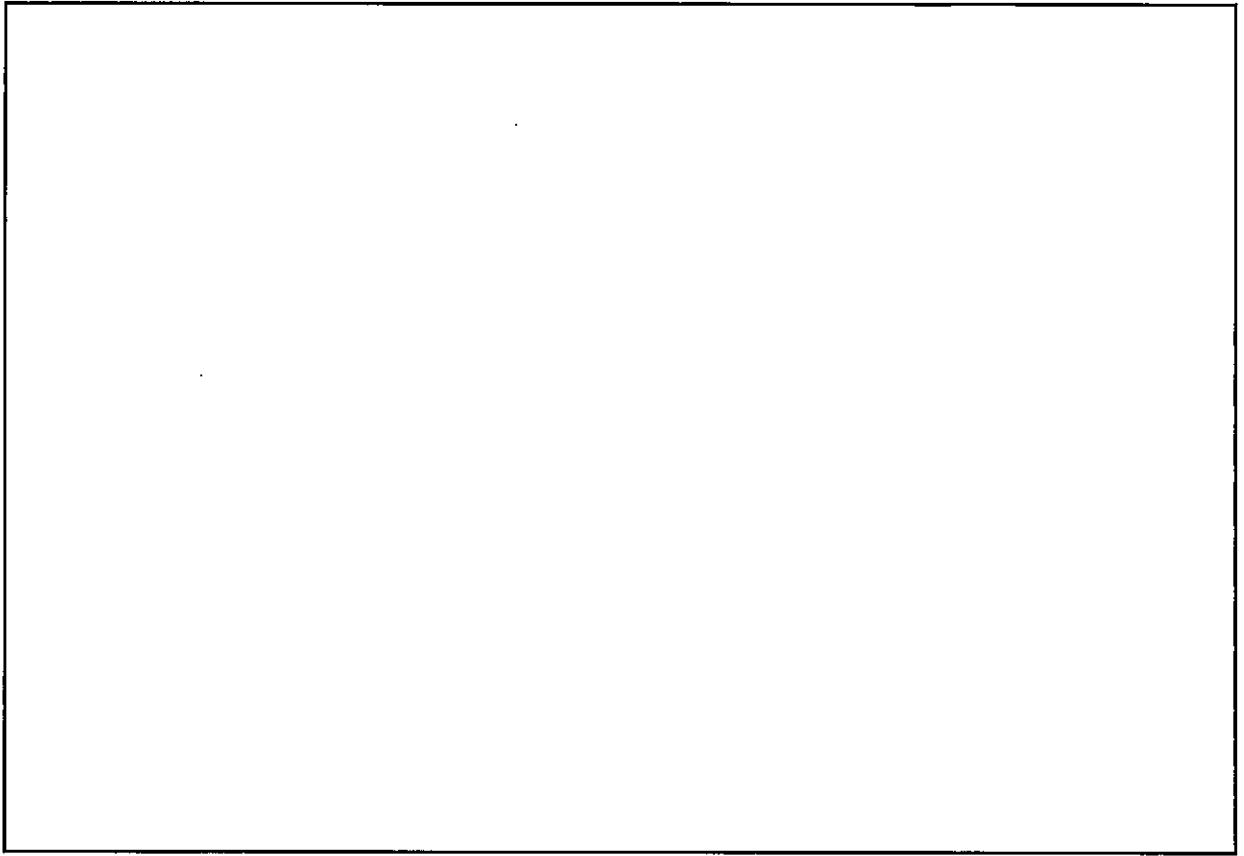
図(ロ)E 附 1- 16 輸送容器配列サーベイ 16



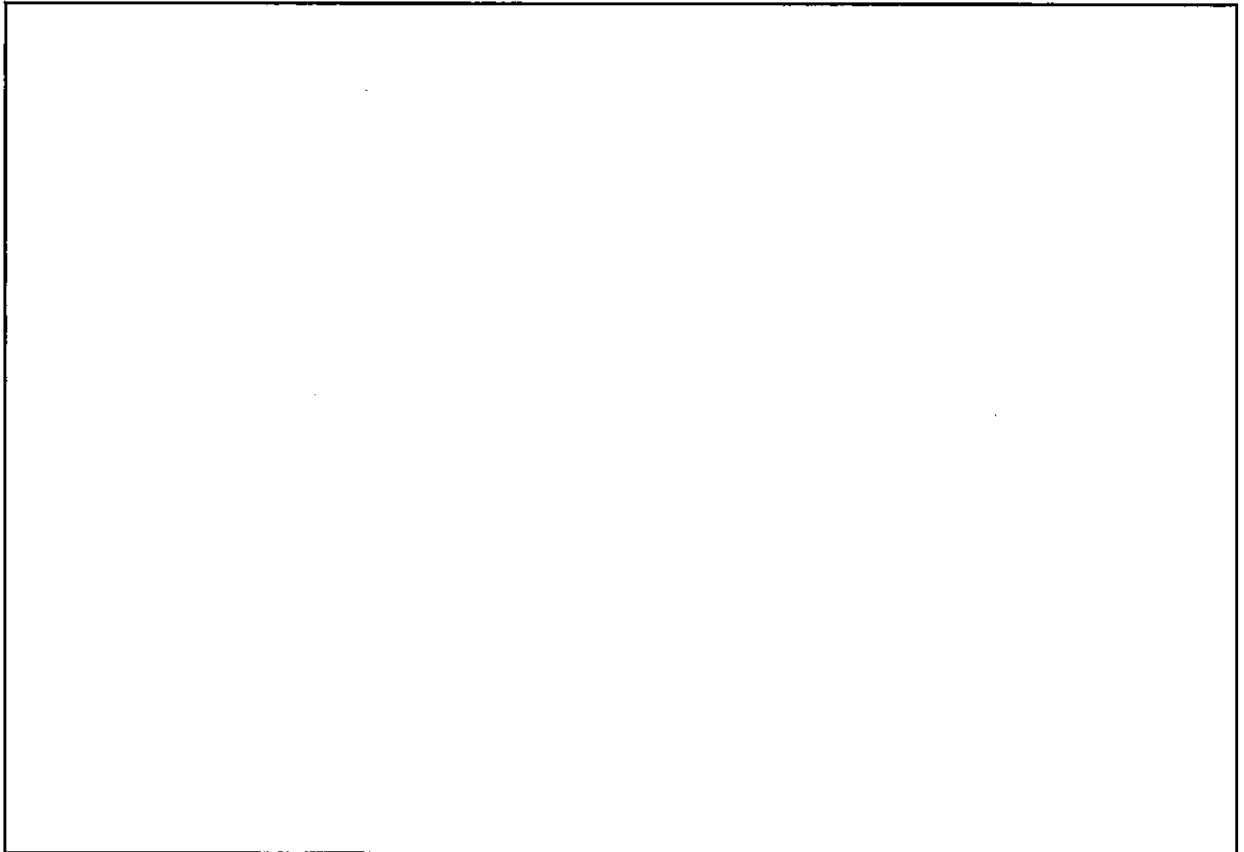
図(ロ)E 附 1- 17 輸送容器配列サーベイ 17



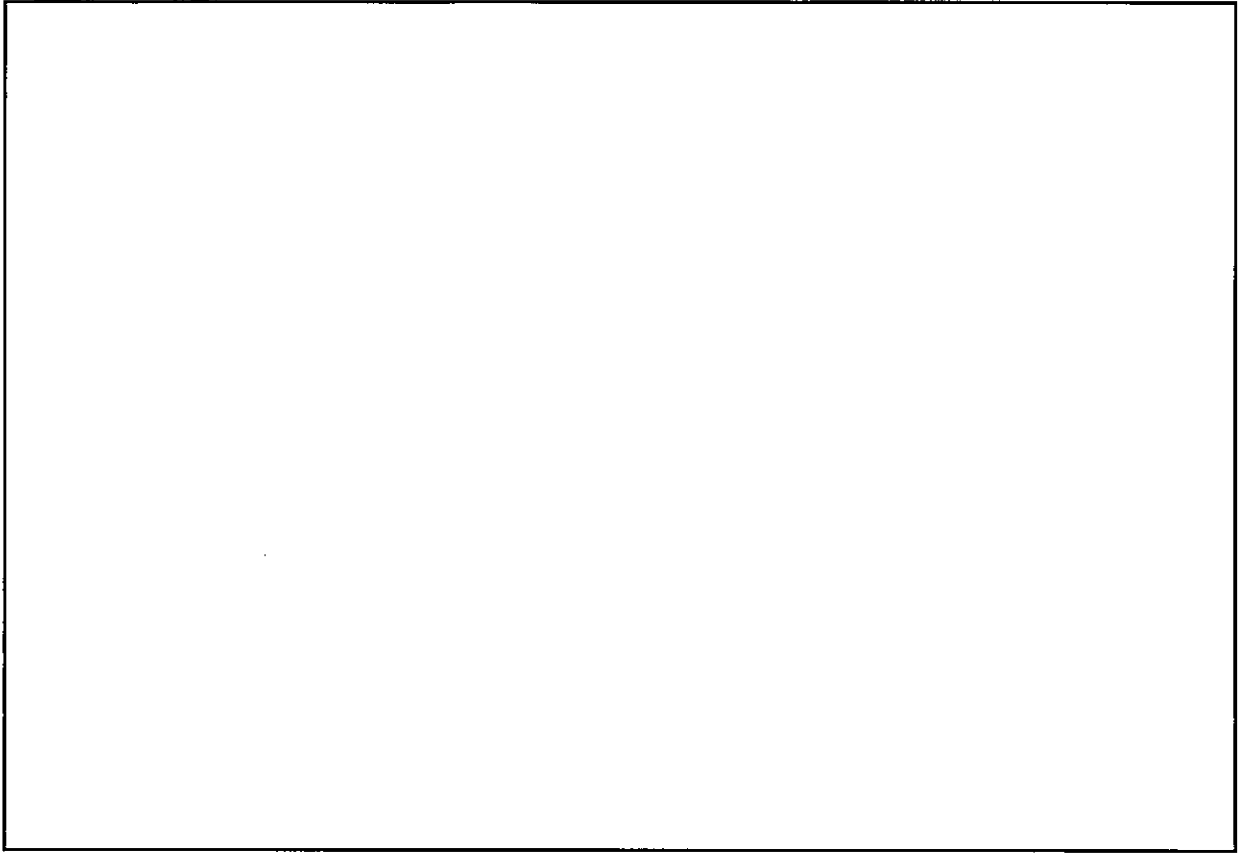
図(ロ)E 附 1- 18 輸送容器配列サーベイ 18



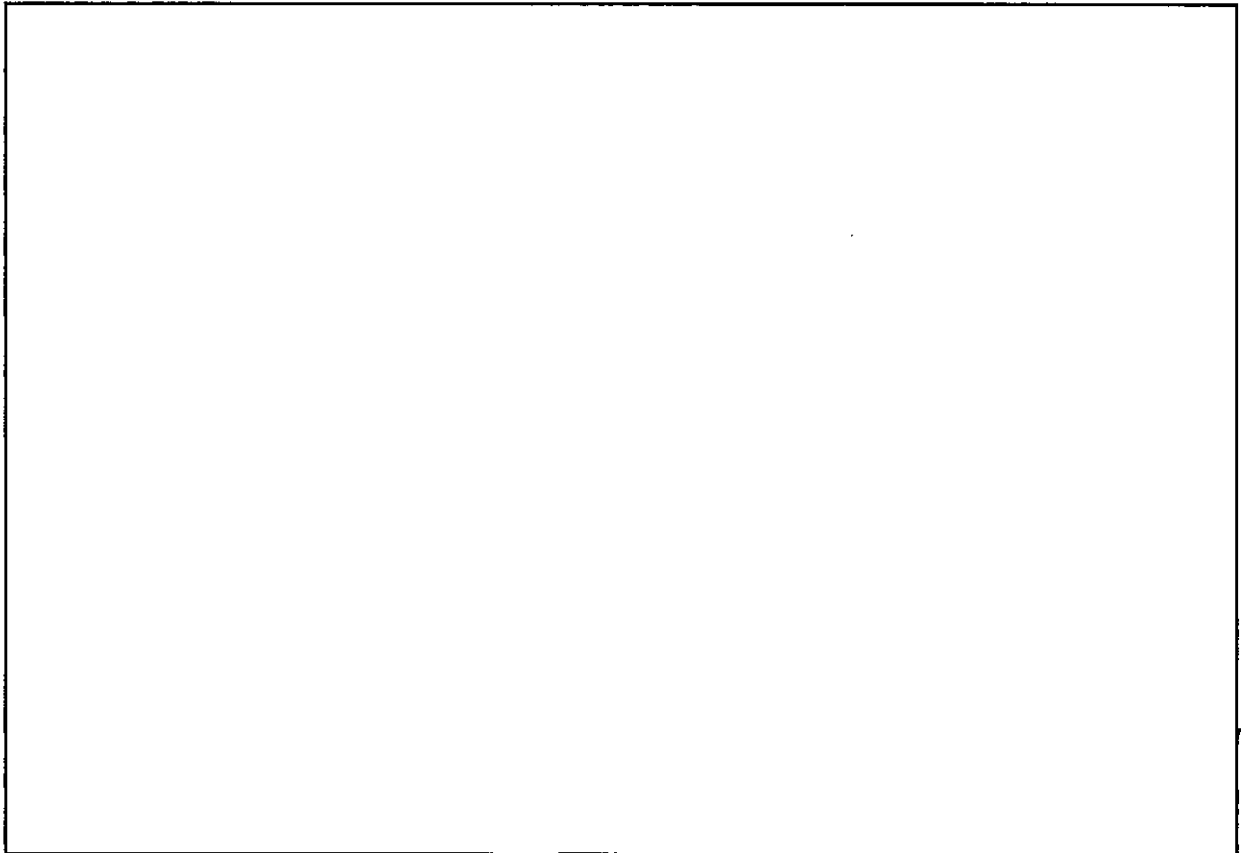
図(ロ)E 附 1- 19 輸送容器配列サーベイ 19



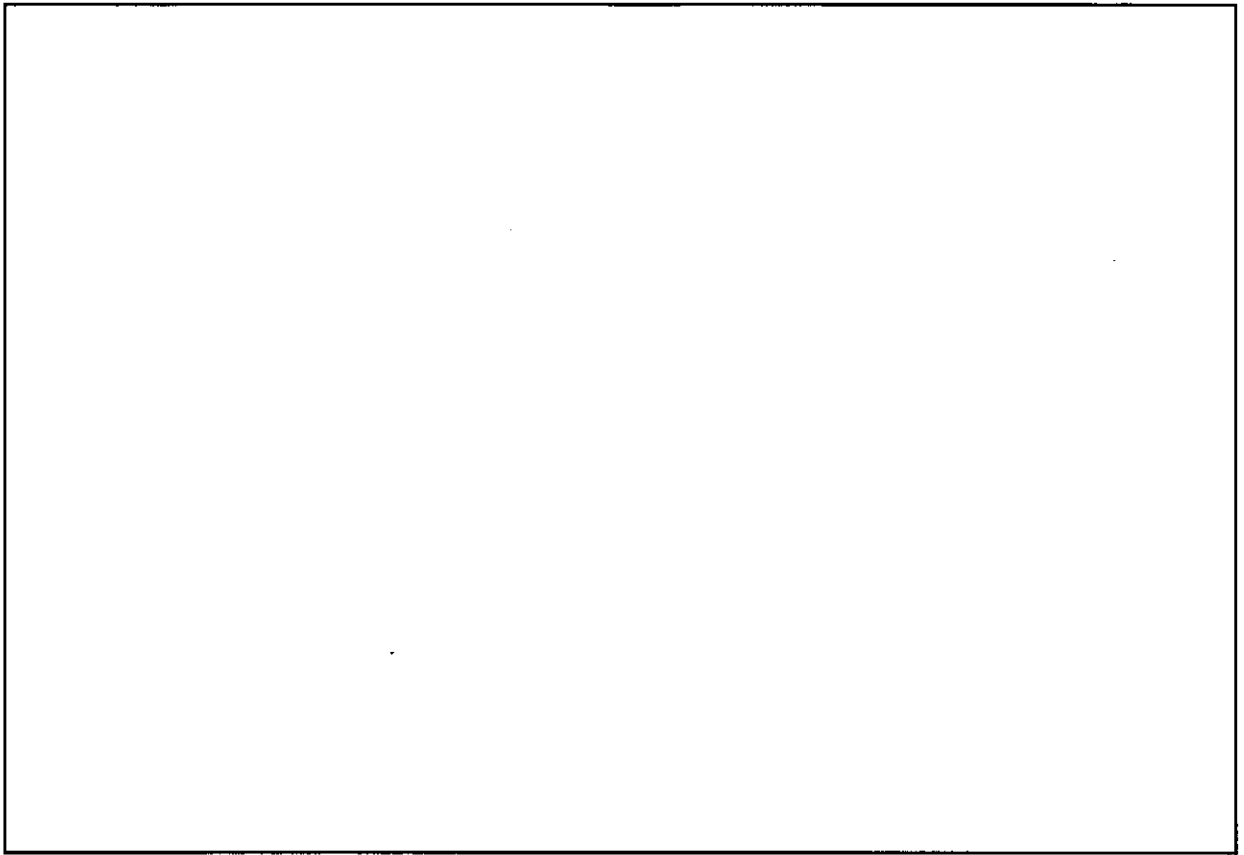
図(ロ)E 附 1- 20 輸送容器配列サーベイ 20



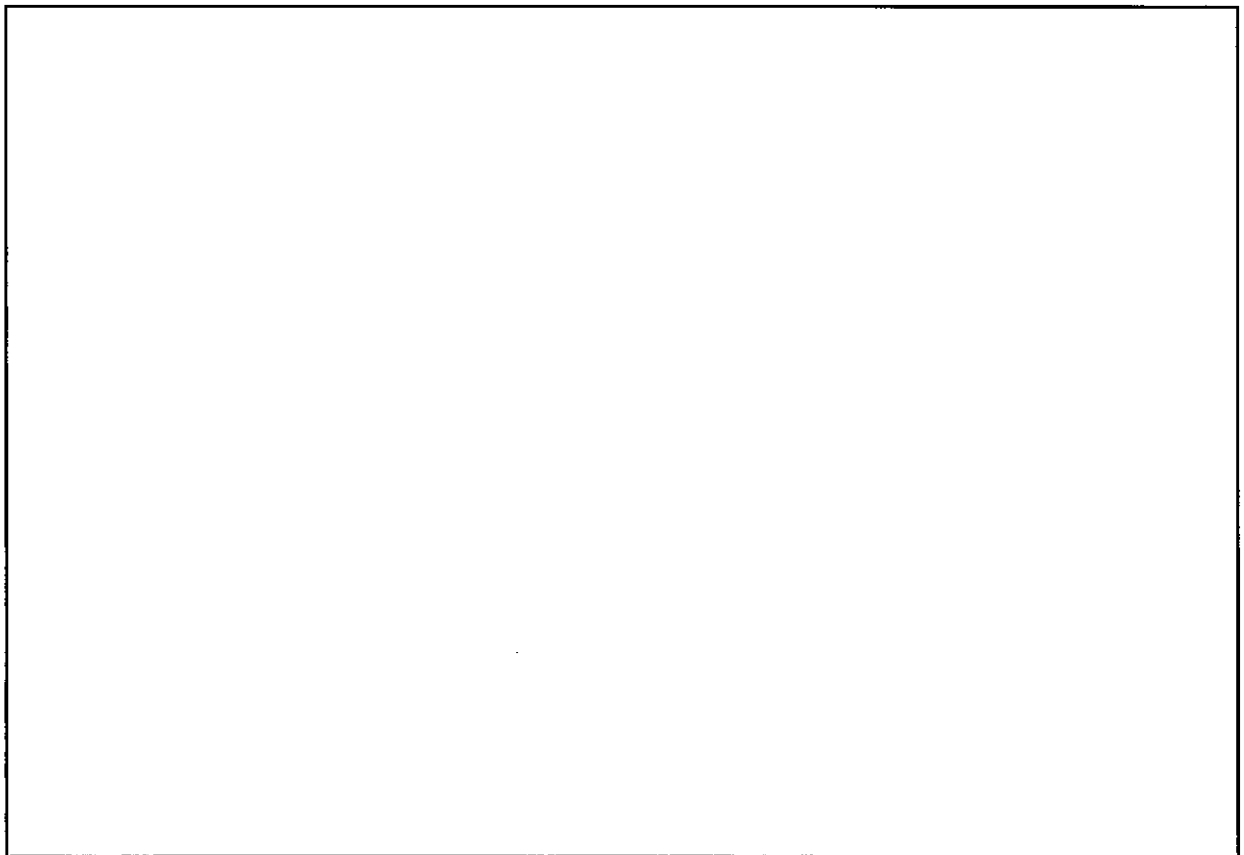
図(ロ)E 附 1- 21 輸送容器配列サーベイ 21



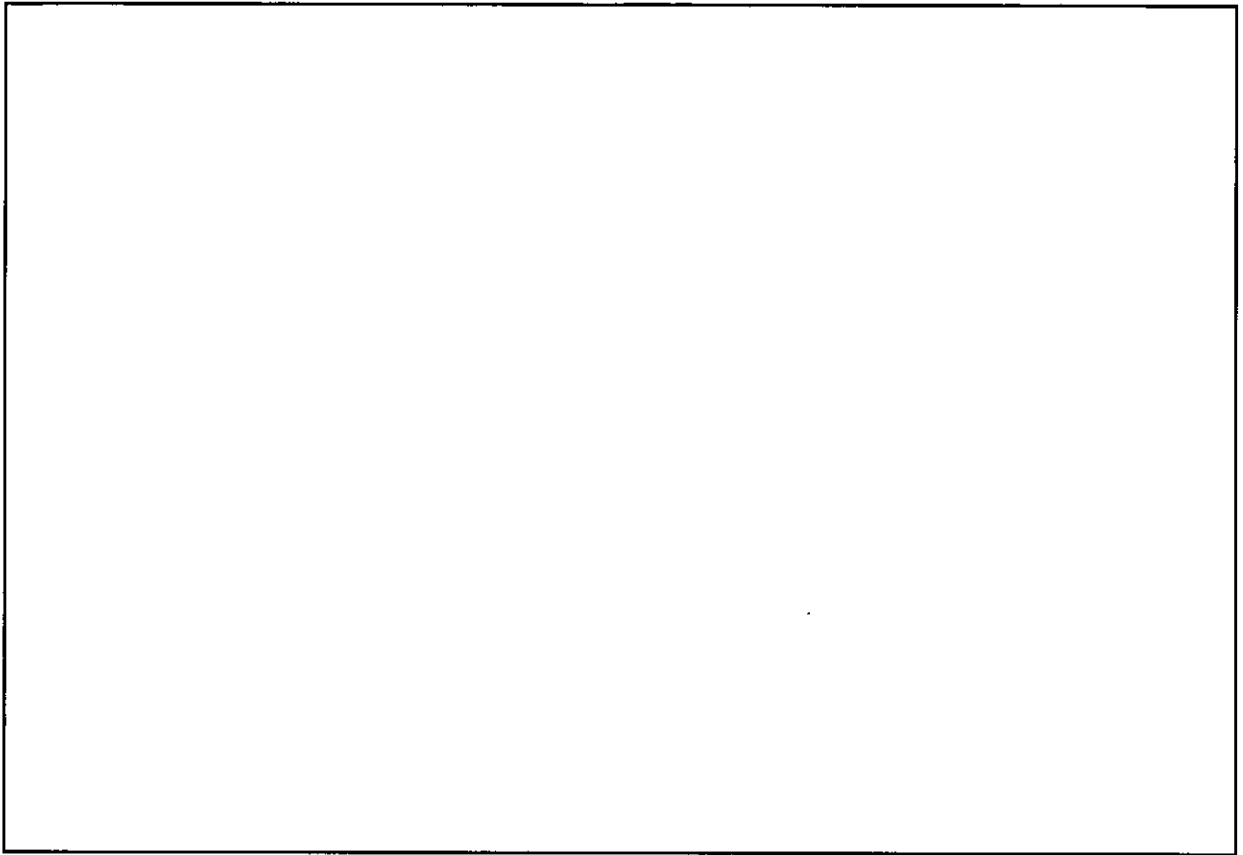
図(ロ)E 附 1- 22 輸送容器配列サーベイ 22



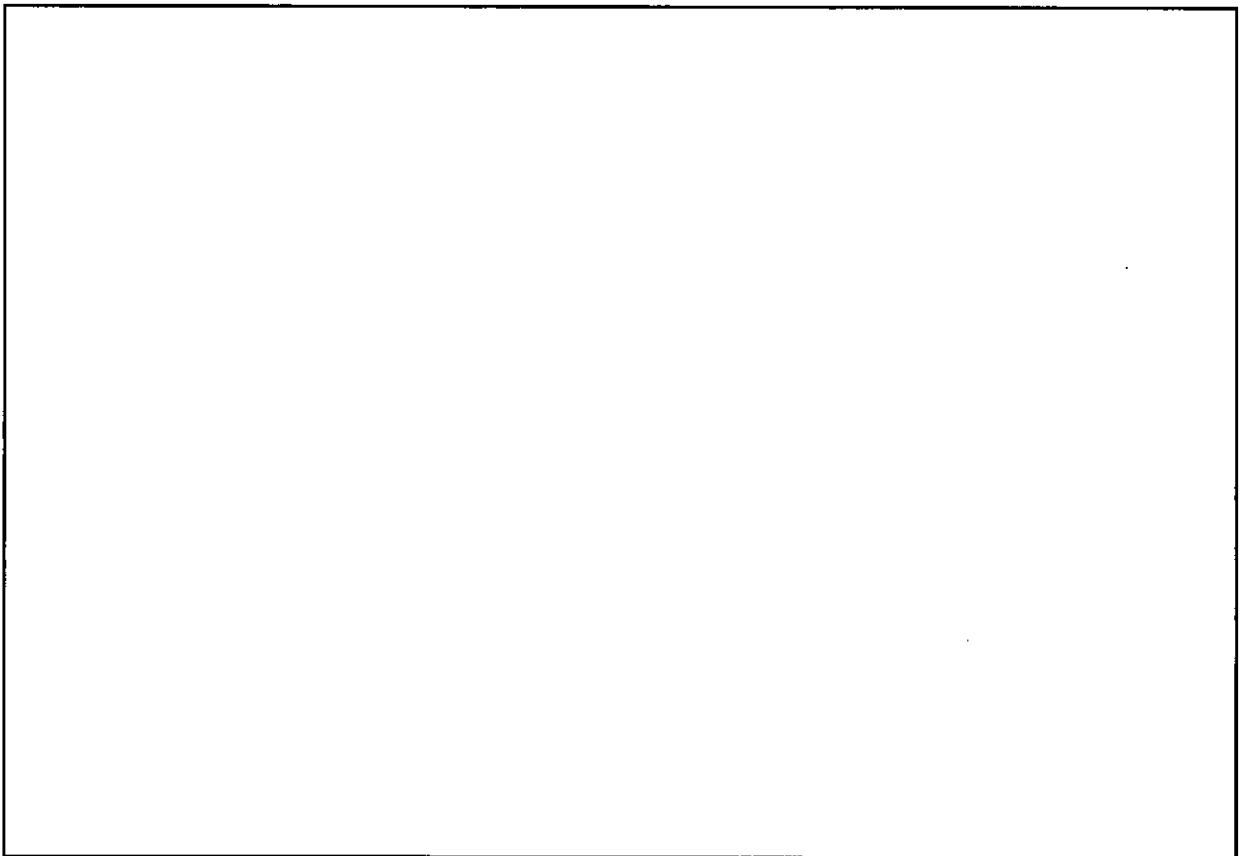
図(ロ)E 附 1- 23 輸送容器配列サーベイ 23



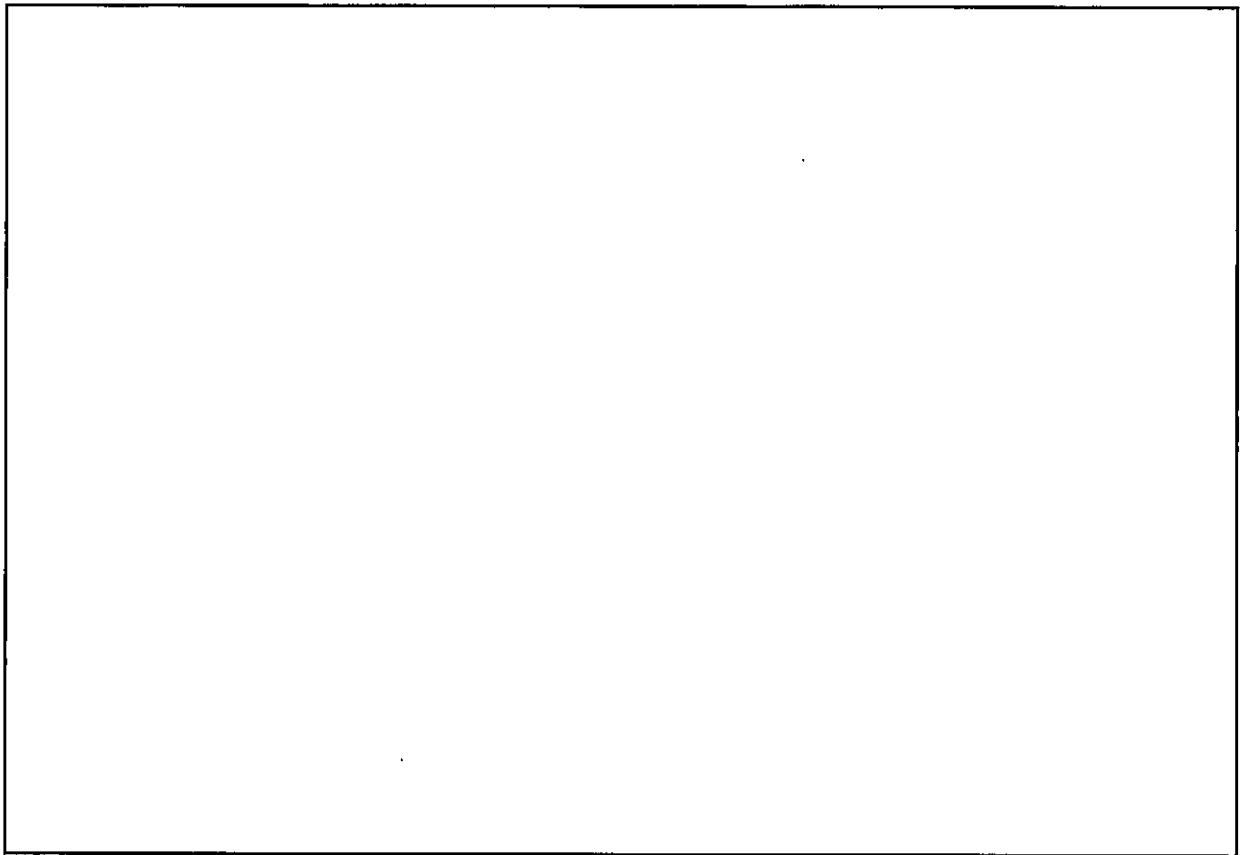
図(ロ)E 附 1- 24 輸送容器配列サーベイ 24



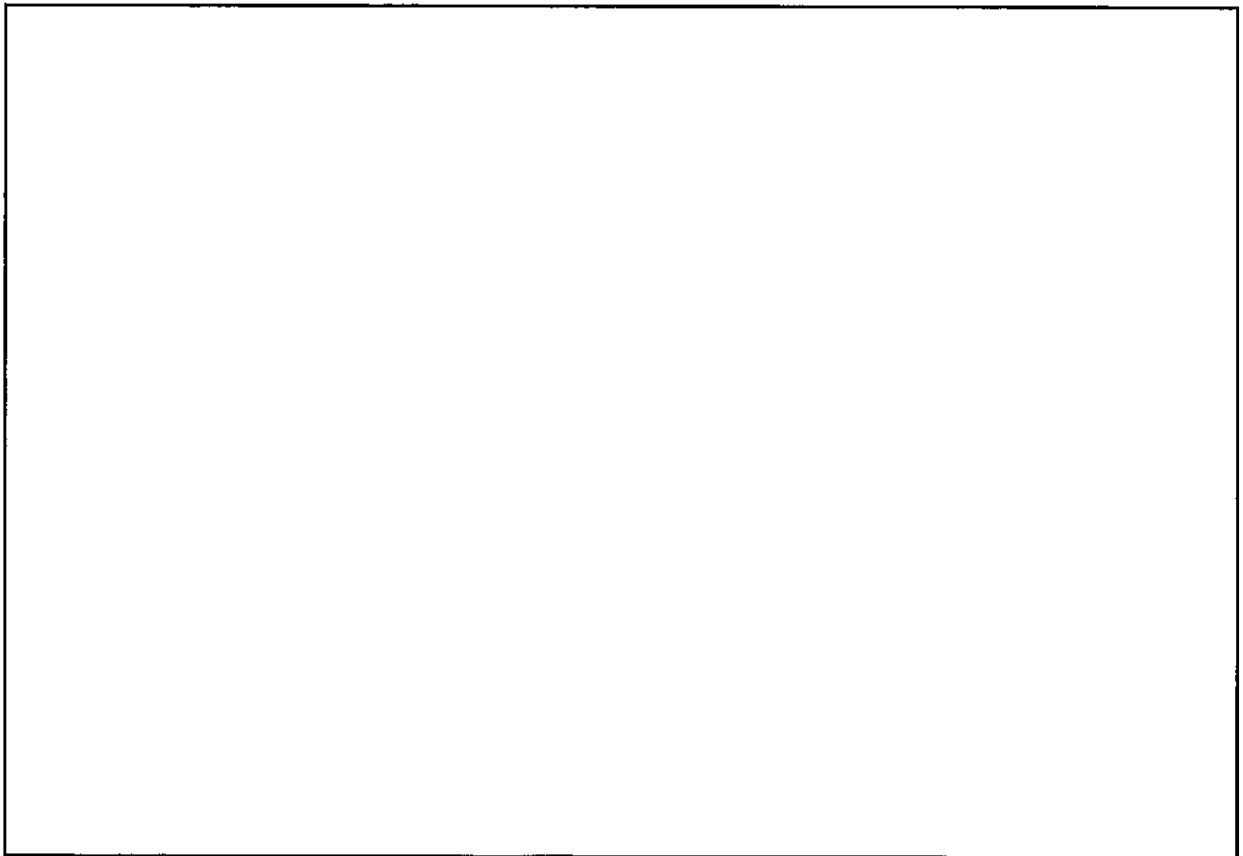
図(ロ)E 附 1- 25 輸送容器配列サーベイ 25



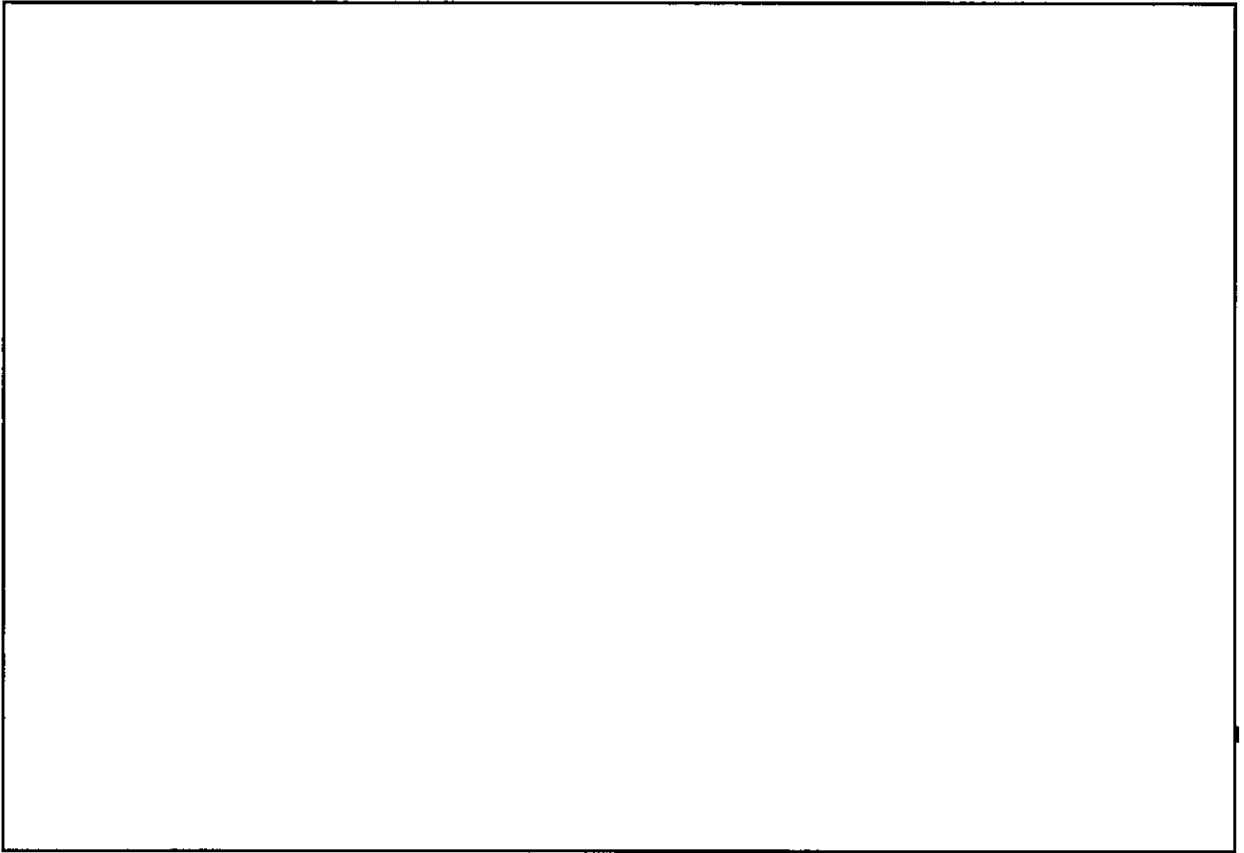
図(ロ)E 附 1- 26 輸送容器配列サーベイ 26



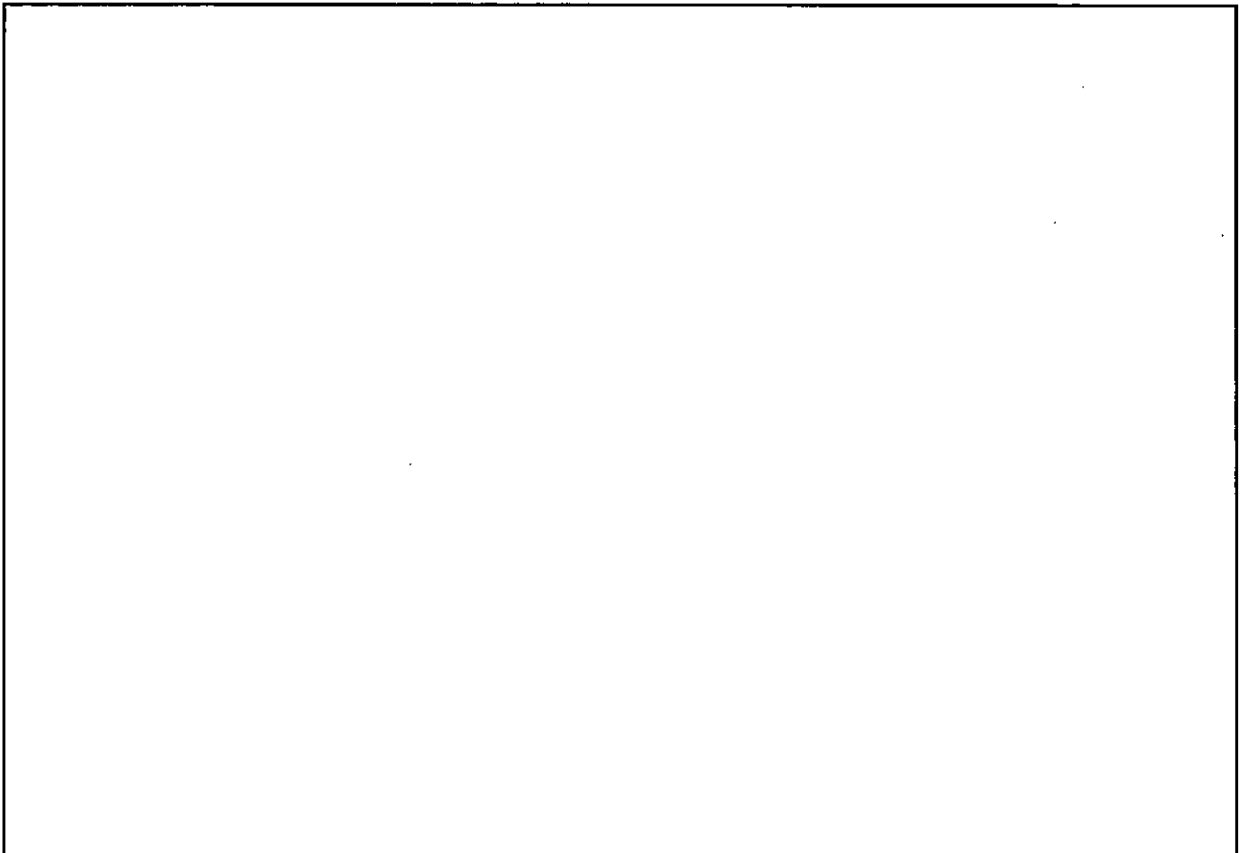
図(ロ)E 附 1- 27 輸送容器配列サーベイ 27



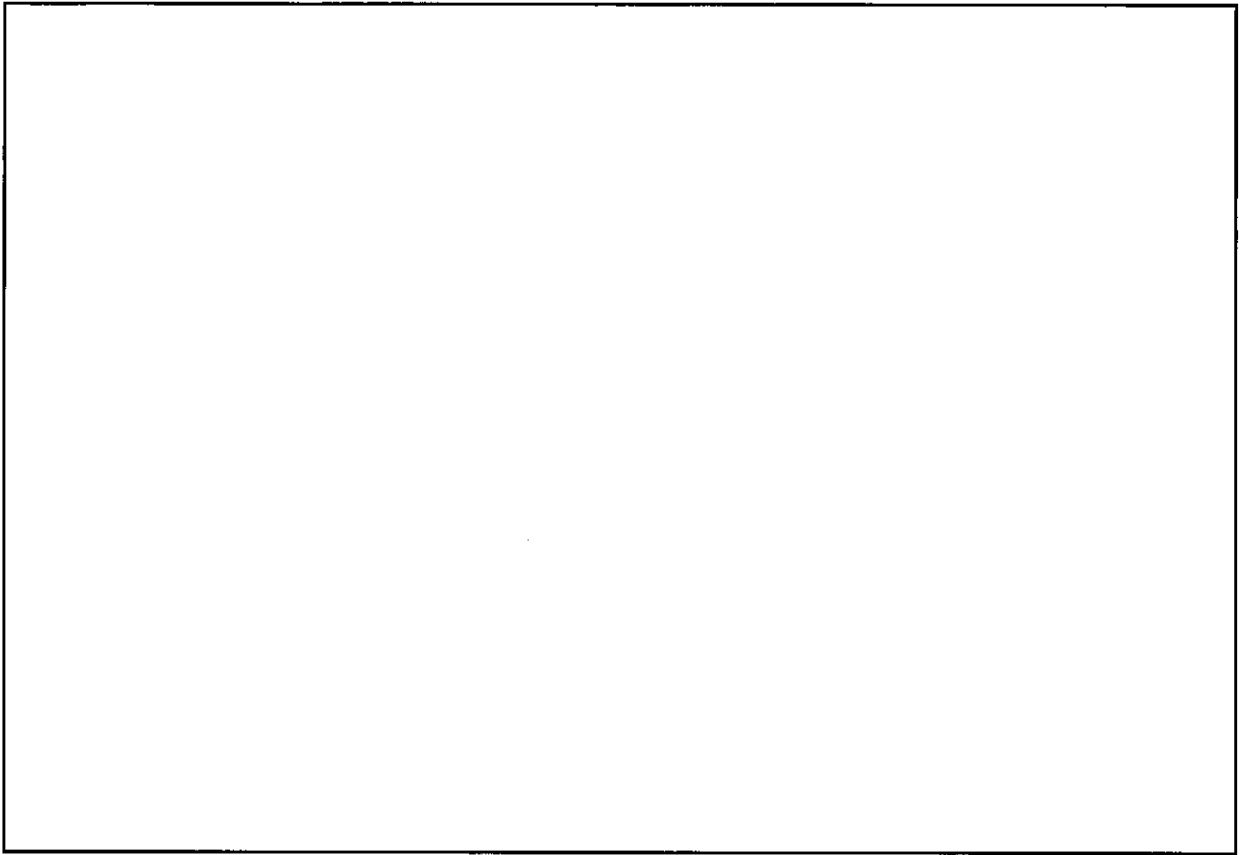
図(ロ)E 附 1- 28 輸送容器配列サーベイ 28
(中性子増倍率が最大となる配列)



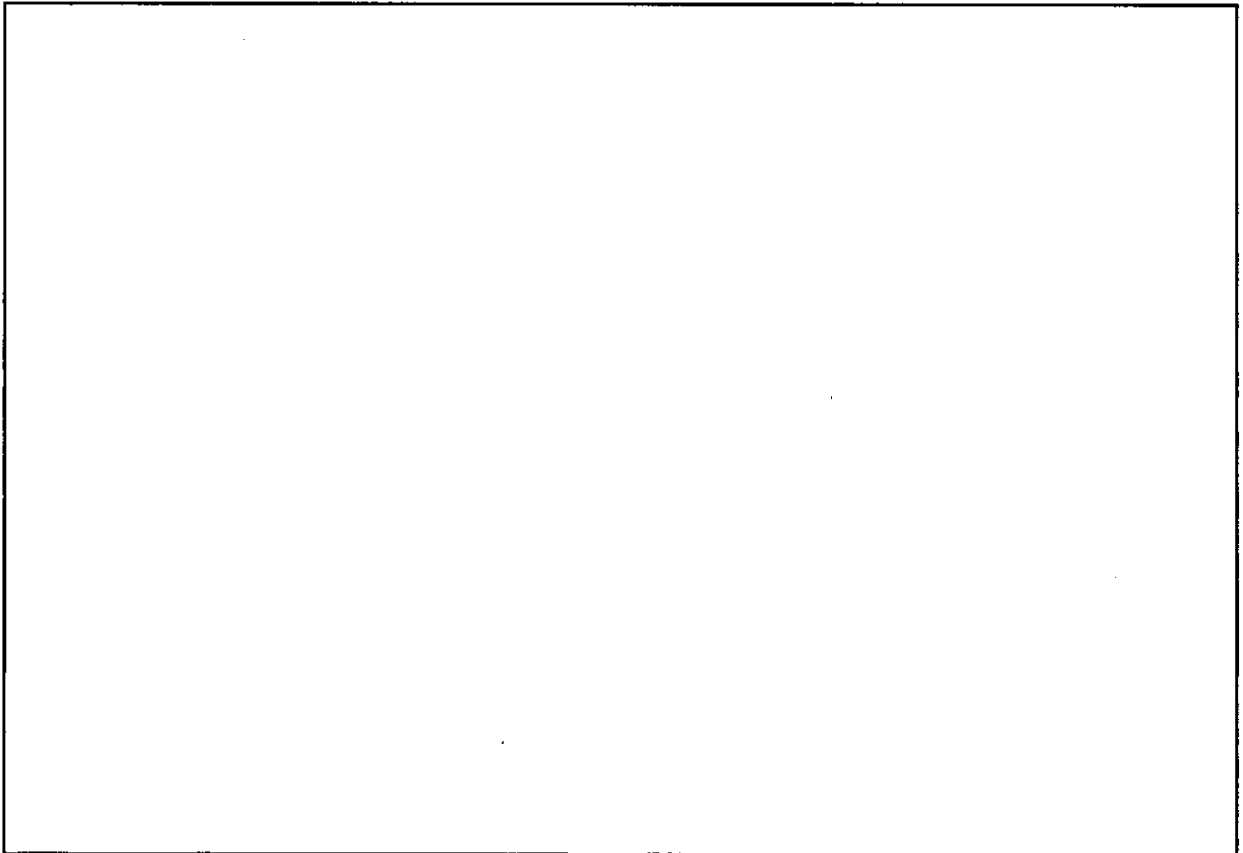
図(ロ)E 附 1- 29 輸送容器配列サーベイ 29



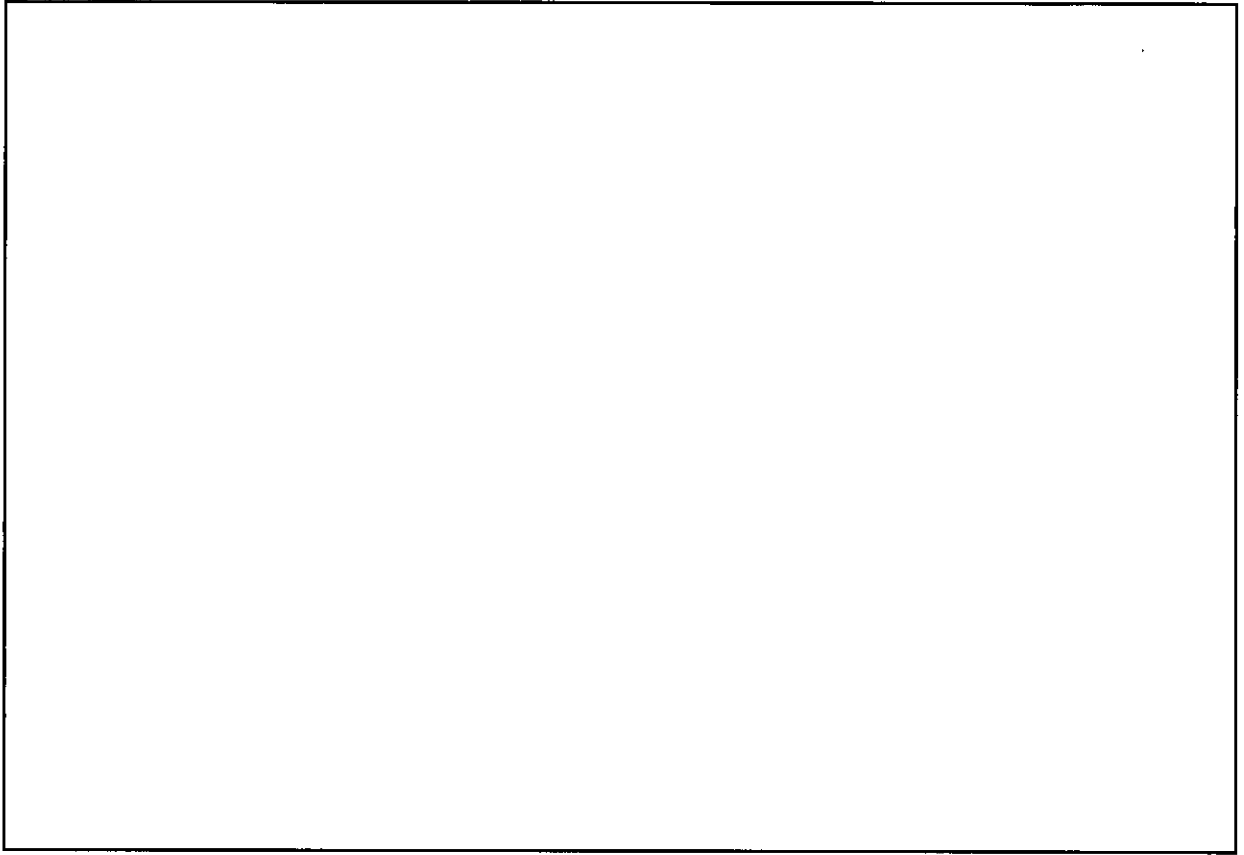
図(ロ)E 附 1- 30 輸送容器配列サーベイ 30



図(ロ)E 附 1- 31 輸送容器配列サーベイ 31



図(ロ)E 附 1- 32 輸送容器配列サーベイ 32



図(ロ)E 附 1-33 輸送容器配列サーベイ 33

附属資料(口)－E.2

参考文献

“KENO-V.a : An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping
(ORNL, August, 1990) Draft”

(ロ)F 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F.1 考慮すべき経年変化要因

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

本輸送容器及び繰り返し使用する収納物の使用予定期間は80年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計400回、また1回の輸送期間は通常最長2ヶ月を想定している。また、輸送容器の吊り上げ予定回数は輸送1回あたり10回、輸送とは別に年間20回であり、使用期間を通しての吊り上げ予定回数は計5,600回(=400×10+80×20)である。

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

熱、放射線、化学変化の評価においては、使用予定より保守的な条件として輸送容器及び繰り返し使用する収納物について、80年の連続使用を考慮する。また、疲労の評価においては、使用期間を通じた輸送回数を予定の2倍(400×2=800回)、輸送以外の年間吊り上げ回数を予定の2倍(20×2=40回)と想定し、計11,200回(=800×10+80×40)の応力発生を考慮する。また、内圧による応力は、使用予定より保守的な条件として80年間毎日1日1回の輸送を実施すると想定し、80×365=29,200回発生すると考慮する。

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

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

輸送容器の構成部品	材料
保護容器、輸送容器構造材、ボルト	ステンレス鋼
ナット	クロムモリブデン鋼
緩衝材(アルミハニカム)	アルミニウム合金
断熱材	セラミックファイバー
緩衝材(ポリエチレン発泡体)	ポリエチレン

ネオプレンゴムは保護容器及び燃料容器のパッキングとして使用しているが、本容器の密封境界は被覆管であり、安全機能を担う構成部品に該当しない。そのため、経年変化は考慮しない。

また、各燃料棒間隙に挿入することがあるポリエチレン製の波板スペーサも繰り返し使用する収納物に該当するため、経年変化を考慮する。

以上を纏めると、輸送容器において経年変化を考慮する材料は下記の5つである。

- ・ステンレス鋼
- ・クロムモリブデン鋼
- ・アルミニウム合金
- ・セラミックファイバー
- ・ポリエチレン

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

(1)ステンレス鋼

ステンレス鋼の経年変化の考慮について、表(ロ)F-1に示す。

表(ロ)F-1 ステンレス鋼の経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
ステンレス鋼	熱	使用期間中に想定されるステンレス鋼の温度範囲である-40℃から□℃ ((ロ)B.4.6 参照) までを考慮する。クリープの影響を受ける温度はステンレス鋼の融点 (1300℃以上) の三分之一である 433℃であり、運搬中に予想される最高温度(□℃)と比較して十分に高いことから、仮にステンレス鋼を使用期間中、継続して上記温度環境下に置いた場合でも、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	80年の使用期間において、BWR 燃料集合体 2 体 (濃縮度 5%、ウラン量は 2 体で□) を収納するものとして条件を定める。80年の使用期間における中性子の累積照射量は□□ n/cm ² 以下であり、ステンレス鋼の材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10 ¹⁶ n/cm ² と比較して十分に小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	化学	ステンレス鋼は材料の表面に不動態膜を形成することから腐食は発生しにくい。また、定期自主検査の外観検査で腐食が確認された場合には補修する。なお、ステンレス鋼のうち、ボルトについては補修又は交換する。さらに、発送前検査で外観に異常がないことを確認している。このため、使用期間内に腐食等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	疲労	輸送容器構造材において、温度変化による内外圧力差及び吊り上げにより繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。温度変化による内外圧差により内容器に発生する応力の繰り返し回数を、F.1 で示したように想定して疲労を評価し、疲労破壊が発生しないことを確認している ((ロ)A.4.4.3、(ロ)A.5.1.5 参照)。	無し

(2)クロムモリブデン鋼

クロムモリブデン鋼の経年変化の考慮について、表(ロ)F-2に示す。

表(ロ)F-2 クロムモリブデン鋼の経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
クロムモリブデン鋼	熱	使用期間中に想定されるクロムモリブデン鋼の温度範囲である -40°C から $\square^{\circ}\text{C}$ ((ロ)B.4.6 参照) までを考慮する。クリープの影響を受ける温度はクロムモリブデン鋼の融点 (900°C 以上) の三分の一である 300°C であり、運搬中に予想される最高温度 ($\square^{\circ}\text{C}$) と比較して十分に高いことから、仮にクロムモリブデン鋼を使用期間中、継続して上記温度環境下に置いた場合でも、使用期間に想定される温度範囲においては組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	80年の使用期間において、BWR 燃料集合体 2 体 (濃縮度 5%、ウラン量は 2 体で \square) を収納するものとして条件を定める。使用期間における中性子の累積照射量は \square n/cm^2 以下であり、クロムモリブデン鋼の材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{18} n/cm^2 と比較して十分に小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない ²⁾ 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	化学	クロムモリブデン鋼は防錆処置としてメッキが施されていることから腐食は発生しにくい。また、定期自主検査の外観検査で腐食が確認された場合には補修又は交換する。さらに、発送前検査で外観に異常がないことを確認している。このため、使用期間内に腐食等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	疲労	クロムモリブデン鋼において、温度変化による内外圧力差により繰り返し応力が発生するため経年変化についての考慮が必要となる。温度変化による内外圧差により内容器に発生する応力の繰り返し回数を、F.1 で示したように想定して疲労を評価し、疲労破壊が発生しないことを確認している ((ロ)A.4.4.3、(ロ)A.5.1.5 参照)。	無し

(3)アルミニウム合金

アルミニウム合金の経年変化の考慮について、表(ロ)F-3に示す。

表(ロ)F-3 アルミニウム合金の経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
アルミニウム合金	熱	使用期間中に想定されるアルミニウム合金の温度範囲である -40°C から $\square^{\circ}\text{C}$ ((ロ) B.4.6 参照) までを考慮する。使用期間中に想定される温度範囲は、アルミニウム合金の強度が低下する温度(150°C 以上)と比較し十分に低く、仮にアルミニウム合金を使用期間中、継続して上記温度環境下に置いた場合でも、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	80年の使用期間において、BWR燃料集合体2体(濃縮度5%、ウラン量は2体で \square)を収納するものとして条件を定める。使用期間における中性子の累積照射量は 2×10^{10} n/cm ² 以下であり、アルミニウム合金の材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{21} n/cm ² と比較して十分小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない ³⁾ 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	化学	アルミニウム合金は材料の表面に酸化皮膜を形成することから腐食は発生しにくい。またアルミニウム合金は輸送容器内部に使用され、輸送中日光や雨に直接さらされることはないため、腐食等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	疲労	アルミニウム合金には、内外圧差や吊り上げに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し

(4)セラミックファイバー

セラミックファイバーはアルミナ(AlO_2)とシリカ(SiO_2)を主成分とした無機繊維である。セラミックファイバーの経年変化の考慮について、表(ロ)F-4に示す。

表(ロ)F-4 セラミックファイバーの経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
セラミックファイバー	熱	使用期間中に想定されるセラミックファイバーの温度範囲である -40°C から $\square^{\circ}\text{C}$ ((ロ) B.4.6 参照) までを考慮する。セラミックファイバーの加熱収縮の原因となる結晶析出が発生する温度は $950^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ であり ⁴⁾ 、運搬中に予想される最高温度($\square^{\circ}\text{C}$)と比較し十分に高いことから、セラミックファイバーを上記温度下に置いた場合でも組織変化等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	80年の使用期間において、BWR 燃料集合体2体(濃縮度5%、ウラン量は2体で \square)を収納するものとして条件を定める。セラミックファイバーの主成分であるアルミナ(AlO_2)とシリカ(SiO_2)について経年変化の影響を確認する。使用期間における中性子の累積照射量は $\square\text{n/cm}^2$ 以下であり、アルミナ及びシリカの結晶構造に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{17}n/cm^2 と比較して十分に小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない ⁵⁾ 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	化学	セラミックファイバーは無機繊維であり耐食性の高い材料であるため腐食は発生しにくい。またセラミックファイバーは輸送容器内部に使用され、輸送中日光や雨に直接さらされることはないため、腐食等の経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	疲労	セラミックファイバーには、内外圧差や吊り上げに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し

(5)ポリエチレン

ポリエチレンの経年変化の考慮について、表(ロ)F-5に示す。

表(ロ)F-5 ポリエチレンの経年変化の考慮

材料	経年変化要因	経年変化の評価	経年変化の有無
ポリエチレン	熱	使用期間中に想定されるポリエチレンの温度範囲である -40°C から $\square^{\circ}\text{C}$ ((ロ)B.4.6参照)までを考慮する。ポリエチレンの使用可能温度は 80°C であり、使用期間に想定される温度と比較し十分に高いことから、ポリエチレンを組織変化等の経年変化の影響は受けない ⁶⁾ 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	放射線	80年の使用期間において、BWR燃料集合体2体(濃縮度5%、ウラン量は2体で \square)を収納するものとして条件を定める。使用期間における中性子の累積照射量は \square n/cm^2 以下であり、ポリエチレンの材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 10^{15}n/cm^2 と比較して十分小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない ⁷⁾ 。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	化学	ポリエチレンは輸送容器内部で使用され、輸送中日光や雨に直接さらされることはないため、腐食等の経年変化の影響は受けない。また、容器に使用されているポリエチレンは定期自主検査及び発送前検査の外観検査、波板スペーサは発送前検査の外観検査において確認が可能であり、有害な傷、割れ等の異常が確認された場合は交換する。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し
	疲労	ポリエチレンには、内外圧差や吊り上げに起因する応力が生じないため、疲労による経年変化は発生しない。以上のことから、経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。	無し

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

前節に示した通り、本輸送物に係る安全機能を担う構成部品を対象に、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。

その結果、アルミニウム合金、セラミックファイバー及びポリエチレンに対しては、使用期間中の経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要がなく、ステンレス鋼及びクロムモリブデン鋼に対しては熱、放射線、化学における経年変化要因においては、使用期間中の経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要がないことを確認した。

ステンレス鋼については内外圧力差および吊り上げ、クロムモリブデン鋼については内外圧力差によって繰り返し応力が発生するため、疲労による経年変化を考慮する必要がある。使用期間中に想定される最も厳しい応力条件かつ保守的な繰り返し回数を考慮した上で内外圧差による疲労を評価したところ、使用期間において疲労破壊は発生せず、輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はないことを確認した。

参考文献

- (1)R. K. Nanstad K. Farrell, D. N. Braski, and W. R. Corwin “Accelerated Neutron Embrittlement of Ferritic Steels at Low Fluence: Flux and Spectrum Effects” (1988)
- (2)奥 達雄、菊山 紀彦、深谷 清、古平 恒夫著「多目的高温ガス実験炉用 2 1/4 Cr-Mo 鋼の機械的性質に関するデータの調査」(1978 年 11 月)
- (3)David J. Alexander “Material for Neutron Sources: Cryogenic and Irradiation Effects” (1990)
- (4)山下 光雄、若松 盈「高温断熱材としてのアルミナ繊維」(1983 年)
- (5)福谷 耕司、寺沢 倫孝、小沢 国夫「セラミック絶縁材料の放射線効果に関するデータ収集(新データの追加および評価による改正版)」(1987 年 12 月 25 日)
- (6)大澤 善次郎「高分子劣化・長寿命化ハンドブック」(2011 年 7 月 25 日)
- (7)日本原子力研究所「原子力産業に要求される高分子材料」(1981 年 3 月)

(ロ)G 規則及び告示に対する適合性の評価

輸送物の設計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。

規則の項目	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	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物に収納される放射性物質は「特別形核燃料物質等以外のもの」に該当することから、A_2値は無制限である。</p> <p>以上のことから、当該輸送物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。</p>	(イ)－A (イ)－B (イ)－D
第三条 第三項		<p>本輸送容器の使用予定期間は 80 年であり、使用期間を通しての輸送予定回数は計 400 回、1 回の輸送期間は通常最長 2 ヶ月を想定している。輸送物の安全機能を担う構成部品と繰り返し使用する収納物の材料(ステンレス鋼、クロムモリブデン鋼、アルミニウム合金、セラミックファイバー、ポリエチレン)を対象に、技術上の基準に適合性を確認する上で考慮が必要となる経年変化に係り、その影響について評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・80年間連続して構成部品等が使用中に想定される最高温度であるとした保守側の条件の下で、組織変化、クリープ、割れ、熱分解は発生しないことから、熱による経年変化の影響は受けない。 ・最大収納量の濃縮度 5% を含む BWR 燃料集合体 2 体を容器内に収納した場合における放射線の累積照射量は、主要材料に影響の与える照射量と比較して十分に小さいことから、放射線による経年変化の影響は受けない。 ・ステンレス鋼については材料の表面に不動態膜を形成し、アルミニウム合金は表面に酸化皮膜を形成する。クロムモリブデン鋼にはメッキが施されていることから腐食は発生しにくい。定期自主検査の外観検査でステンレス鋼、クロムモリブデン鋼に腐食が確認された場合は補修又は交換する。さらに発送前検査で外観に異常がないことを確認している。セラミックファイバーは無機繊維であることから腐食は発生しにくい。アルミニウム合金、セラミックファイバー及びポリエチレンは輸送容器内部で使用するため、日光や雨に直接さらされることはないことから、経年変化の考慮は必要なく、化学変化による経年変化の影響は受けない。 ・輸送容器構造材及びボルトに用いているステンレス鋼とナットに使用されるクロムモリブデン鋼について、繰り返し応力が発生することから経年変化の考慮が必要となる。使用予定より保守的な条件として、使用期間中に内外圧差の応力が 29,200 回、吊り上げによる応力が 11,200 回発生するとし、想定される最大応力から求めた許容繰り返し回数と比較した。その結果、使用期間中に想定される応力の繰り返し回数は十分に小さく疲労による経年変化は生じない。アルミニウム合金、セラミックファイバー及びポリエチレンについては内外圧力差や吊り上げに起因する応力は生じないことから、疲労による経年変化の影響は受けない。 <p>以上のことから規則に定める技術基準の適合に影響しない。</p>	(ロ)－F
第四条 第一号		<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、輸送物総重量は <input type="text"/> kg 以下であり、本輸送容器の保護容器および燃料容器には吊部を設けており、クレーンやチェーンブロック等により容易かつ安全に吊上げることができる。また、フォークリフトやパレットトラック等の運搬機器で保護容器底面を支持して容易かつ安全に運搬することができる。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(イ)－C

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第四条 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・輸送時の周囲温度は-40°C～38°Cである。輸送容器の最低温度は周囲温度と同じ-40°C、最高温度は太陽熱放射の影響を考慮した熱解析結果から$\square^{\circ}\text{C}$である。 ・運搬中に予想される周囲温度の変化によって、輸送物の温度上昇は小さく、また構造材が金属で熱伝導が良いので、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。 ・梱包時温度を0°C、燃料棒温度を$\square^{\circ}\text{C}$とし、周囲の圧力が絶対圧で60kPaまで低下した場合の燃料棒の最大内外圧差は$\square\text{MPa}$であるが、被覆管に発生する応力は基準値より小さいことから、亀裂、破損等は生じない。また、梱包時温度0°Cから容器温度$\square^{\circ}\text{C}$まで温度変化したことによる燃料容器の最大内外圧力差は$\square\text{MPa}$、燃料棒の内外圧差は$\square\text{MPa}$であるが、燃料容器及び被覆管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。 ・輸送中は運搬中、車両等に固定され、輸送物の最大重量及び運搬中に予想される加速度を考慮しても、保護容器ボルトに発生する応力は基準値より小さいことから輸送物の健全性は確保される。 	(ロ)－B.4.2 (ロ)－B.4.3 (ロ)－A.5.1.2 (ロ)－A.4.6 (ロ)－B.4.2 (ロ)－A.5.1.3 (ロ)－A.4.7
第四条 第三号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材質、構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、以下に示すように不要な突出物はない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・保護容器内側の突出物は側面及び底面に溶接された溝形鋼があるが、これは補強のために必要である。 ・保護容器外側への突出物は保護容器下部に取り付けられているすべり止め用のスキッドがあるが、輸送容器を設置する上で必要である。 ・燃料容器外側への突出物は、燃料容器吊り上げ用のシャックル、燃料容器起立用フック、上蓋吊り上げ用の吊り手及びボルト、ナットによる締め付けのための締付金具があるが、いずれも取扱い上必要なものである。 <p>また、既認可と同じく、輸送物表面はステンレス鋼製板で構成さ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(11) (イ)－C(6)

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第四条 第四号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材質、構造に変更はなく、輸送容器の構成部品は化学的に安定した材料を使用していることから、材料相互の接触による危険な物理的作用又は化学反応が生じるおそれのないことに変更はない。</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、保護容器と燃料容器についてはいずれもステンレス鋼から成るため熱膨張差は発生せず、燃料容器と燃料集合体については、燃料容器内面に貼り付けた緩衝材によって熱膨張差が吸収されるため、応力は発生しない。そのため、危険な物理的作用が生じるおそれのないことに変更はない。</p> <p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。したがって、既認可と同じく、輸送容器および燃料集合体で使用されているステンレス鋼、アルミニウム合金、ジルカロイ-2、ポリエチレン等は化学的に安定した材料であるため、危険な化学的反応が生じるおそれのないことに変更はない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)－A.4.1 (ロ)－A.5.1.2 (ロ)－A.4.1
第四条 第五号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物には弁やバルブ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(10)
第四条 第八号	第九条	<p>設計変更において、既認可と同じく、表面密度限度を確認することとを定めている。収納物の表面の放射性物質の密度は任意の場所をとっても告示第九条で定められた表面密度限度（α線を放出する核種：0.4Bq/cm²、α線を放出しない核種：4Bq/cm²）を超えないことを確認することにしている。</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>	(ハ)－A.2
第四条 第十号		<p>設計変更においては、既認可と同じく、核燃料物質等の使用等に必要物品以外のものを収納していないことを確認の上で輸送を行う。</p> <p>以上のことから、当該輸送物は規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ハ)－A.2
第五条 第二号		<p>設計変更においては、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物の外寸法は、次のとおり10cm以上である。</p> <p>(長さ) 約 <input type="text"/> × (幅) 約 <input type="text"/> × (高さ) 約 <input type="text"/></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(6)
第五条 第三号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造及び封印の運用方法に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物の保護容器及び燃料容器の蓋はボルトにより締付けており、ボルトを外すにはレンチ等の工具が必要となり、更に保護容器及び燃料容器の上蓋を外すには揚重機が必要となるため、誤操作により開かれる恐れはない。また、保護容器本体に蓋を取付けた後に本体と蓋を通した封印を施すことにより、開封された場合に開封されたことが明らかになるようになっている。</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>	(ロ)－A.4.3 (ハ)－A.1

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第五条 第四号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料に変更はない。本輸送物における運転中に予想される温度範囲は-40°C～$\square^{\circ}\text{C}$であり、構成部品に使用する材料（ステンレス鋼、アルミニウム合金）は、運搬中に予想される温度範囲（-40°Cから$\square^{\circ}\text{C}$）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。そのため、既認可と同じく亀裂・破損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上の基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)－B.4.6 (ロ)－A.4.2 附属資料(ロ)－A.4
第五条 第五号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる燃料集合体の材料、構造に変更はない。</p> <p>周囲の圧力が絶対圧で 60kPa まで低下した場合の被覆管の最大内外圧差は \squareMPa であるが、被覆管に発生する応力は基準値より小さいことから、被覆管に亀裂、破損等は生じない。そのため、既認可と同じく、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
第五条 第六号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送容器には液体状の核燃料物質等を収納しないため、技術基準に該当しない。</p>	(イ)－D
第五条 第七号		<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、及び収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、最も線源強度が高くなる条件として、燃料集合体 2 体を収納し、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件を考慮し、被覆管を存在しないものとするなど保守的な仮定を設定した上で、QAD－CGGP2R コードによる遮蔽解析を実施したところ、輸送物表面の線量当量率は \squaremSv/h 以下であり、2 mSv/h を超えることはない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)－D.1 (ロ)－D.2.1
第五条 第八号		<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、及び収納物に変更はない。</p> <p>最も線源強度が高くなる条件として、燃料集合体 2 体を収納し、線源強度が最も高くなるウラン同位体条件を考慮し、被覆管を存在しないものとするなど保守的な仮定を設定した上で、QAD－CGGP2R コードによる遮蔽解析を実施したところ、輸送物表面から 1m 離れた位置における線量当量率は $\square$$\mu$Sv/h 以下であり、100$\mu$Sv/h を超えることはない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)－D.1

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目
	第二十三条	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、本輸送物は、15g以上のウラン235を輸送することから、本輸送物が技術基準における核分裂性輸送物に該当することに変更はない。</p>	(イ)-D
<p>第十一条 第一号 (イ)</p>	<p>第二十四条 及び 別記第十一</p>	<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の構造、総重量に変更はない。したがって、既認可と同じく、下記に示す通り外運搬告示第二十四条に掲げる条件下に置いた場合でも、容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみは生じない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p> <p><u>別記第三の第一号(イ)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、水噴霧による輸送物内外の材料劣化は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも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るおそれはない。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(1)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対する落下高さ1.2mの自由落下試験において、輸送容器の変形は局所的であり1辺10cmの立方体を包含するようなくぼみは生じなかった。そのため、本条件下に置いた場合でも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るおそれはない。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(3)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、総重量の5倍に相当する荷重条件でも輸送容器に変形は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも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るおそれはない。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(4)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対して6kg丸棒を1m高さから落下させる貫通試験を実施した結果、輸送容器に大きな損傷は見られず、健全性を保っていた。そのため、本条件下に置いた場合でも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るおそれはない。</p>	<p>(ロ)-A.5.2</p> <p>(ロ)-A.5.3</p> <p>(ロ)-A.5.4</p> <p>(ロ)-A.5.5</p>

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目
第十一条 第一号 (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>別記第三の第一号(イ)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、水噴霧による輸送物内外の材料劣化は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(1)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対する落下高さ1.2mの自由落下試験において、輸送容器の変形は局所的であった。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(3)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、総重量の5倍に相当する荷重条件でも輸送容器に変形は生じない。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p> <p><u>別記第三の第一号(ロ)(4)</u> 第五条第九号(イ)において説明の通り、原型容器に対して6kg丸棒を1m高さから落下させる貫通試験を実施した結果、輸送容器に大きな損傷は見られず、健全性を保っていた。そのため、本条件下に置いた場合でも外接する直方体の各辺は10cm以上である。</p>	 (ロ)-A.5.2 (ロ)-A.5.3 (ロ)-A.5.4 (ロ)-A.5.5
第十一条 第二号 (イ)～(ホ)	第二十四条 第二十五条 第二十六条 第二十七条 別記第十一 及び 別記第十二	<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、及び収納物に変更はない。</p> <p>したがって、既認可と同じく、下記に示す通り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>配列系の評価において内容器への水の侵入を考慮していることから、孤立系の評価は配列系の評価に包絡される。</p> <p>配列系の評価は、輸送制限個数は\squareであり、輸送制限配列は\squareとし、燃料集合体同士の\square間隔が短くなり、臨界評価上厳しくなる特別の試験条件下に置いた場合を解析対象とした。</p> <p>特別の試験条件下に置いた輸送物のモデル化においては、保護容器、燃料容器の外板肉厚を実体より薄く設定し、内部の緩衝材及びリッブ溝形鋼や保護容器外部のスキッドを考慮せず、燃料容器内で集合体を自由に移動できるモデルとする等、保守的な設定とした。</p> <p>特別の試験条件下に置いた輸送物について、配列系の条件として解析モデルの外部境界を30.5cm厚の水反射体とし、KENO-Vaコード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特別の試験条件下に置いた輸送物についての\square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.3 (ロ)-E.4
第十一条 第三号		<p>設計変更において、適合性判断を行う条件となる輸送容器の材料に変更はない。</p> <p>したがって、外運搬規則第五条第四号における説明で述べた通り、$-40\sim\square$Cの温度範囲において、既認可と同じくき裂、破損等を生じないことに変更はない。</p> <p>以上のことから、当該輸送物が規則に定める技術基準に適合することに変更はない。</p>	(ロ)-A.4.2 (ロ)-B.4.6

(ハ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

(ハ)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。

A.1 装荷方法

A.1.1 燃料装荷

燃料集合体の装荷は下記の手順に従って実施する。

- (1) 燃料容器のボルト、ナットをはずして、上蓋及び頭蓋を取り除き燃料容器本体のみを縦置きにして架台に確実に固定し、燃料集合体を収納できる状態であることを確認する。
- (2) 燃料取扱具をクレーンフックに取り付け、燃料集合体上部を連結して燃料集合体を保管ラック等から移動させる。
- (3) 燃料集合体をポリエチレン袋に入れる。
- (4) 燃料集合体を燃料容器本体側に移動し所定の位置に燃料集合体を収納する。所定位置にセットされた後、仮止め用ピンを用いて、燃料集合体が倒れないように仮止めする。
- (5) 燃料取扱具を燃料集合体から取り外す。
- (6) (2)~(5)を再度繰り返して、2体の燃料集合体を燃料容器本体内に収納する。
- (7) 燃料集合体を収納した燃料容器本体を水平に倒す。
- (8) 燃料集合体の仮止め用ピンを外す。
- (9) 頭蓋をセットし、のボルトにより頭蓋を取り付け連結する。
- (10) 上蓋をセットし、のボルトにより、上蓋を取り付け連結する。この際、上蓋と燃料容器の各々の締め金具が接触するまでナットを締め付ける。締付はトルクレンチを用いて行い、その時の締付トルクをN・mとする。
- (11) 燃料容器の吊り金具を燃料容器の吊り上げ用シャックルに取り付ける。
- (12) 燃料集合体を収納した燃料容器をシャックルを使用して水平に吊り上げ、保護容器本体の上に移動して、徐々に下げ保護容器内に収納する。
- (13) 保護容器上蓋をフックを使用して吊り上げ、保護容器本体上に移動して、位置関係を確認した後、徐々に下げて蓋をする。
- (14) 保護容器フランジ面でパッキングを介してボルトとナットで締め付ける。締め付けはトルクレンチを用いて行い、その時の締付トルクをN・mとする。
- (15) 保護容器の長さ方向前後で封印して、収納を完了する。
- (16) 出荷に先立ち線量当量率測定及び表面放射性物質密度測定を行い、規定値以下であることを確認する。線量率測定には輸送容器表面線量当量率と容器表面から1m離れた位置の線量当量率を測定する。

A.1.2 輸送物の取扱い

輸送容器に、燃料集合体を装荷した後の、輸送物の取扱いは、フォークリフトまたはクレーンにより移動する。

フォークリフトによる輸送物の取り扱いは、フォークリフトの爪が保護容器の中心付近底部に貼付した保護板(図(イ)-1(12))の部分に来るように支持、積載する。

クレーンによる輸送物の取扱いは、両端を2本の保護容器スキッド(図(イ)-1(10))の外側に2本のスリングをかけ、2対のスリングの吊り輪を一つのクレーンフックにかける。

A.2 輸送物の発送前検査

輸送物を発送の都度、表(ハ)- 1 に示す輸送物発送前検査を実施する。

表(ハ)- 1 輸送物発送前検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	燃料容器及び保護容器の外観を目視により検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないこと。
吊上げ検査	輸送物を吊り上げた後の状態において輸送物外観を検査する。	保護容器下面のリップ溝形鋼及びその溶接部に亀裂、異常な変形等有害な欠陥がないこと。
重量検査	輸送物の総重量を計算により求める。	重量が <input type="text"/> kg 以下であること。
表面密度検査	スマヤ法等により輸送物の表面密度を検査する。	α 線を放出する核種: 0.4 Bq/cm ² 以下 α 線を放出しない核種: 4 Bq/cm ² 以下
線量当量率検査	輸送物表面及び表面から 1m 離れた位置での線量当量率をサーベイメータ等で検査する。	1. 表面で 2mSv/h 以下であること。 2. 表面から 1m 離れた位置で 100 μ Sv/h 以下であること。
未臨界検査	保護容器及び燃料容器の外観を目視により検査する。	1. 燃料容器が所定の位置に装着されていること。 2. 形状に異常な変形等有害な欠陥がないこと。
収納物検査	種類、濃縮度、収納量等及び外観を検査する。	1. 種類: 燃料集合体 (BWR 型) 2. 濃縮ウランの種類 $^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$ $^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$ $^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$ $^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$ 但し、 $^{236}\text{U} \leq 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外。 3. 濃縮度: 5% 以下 4. 収納量: ウラン量 <input type="text"/> kg 以下 (燃料集合体 2 体) 5. 放射能量: <input type="text"/> Bq 以下 (燃料集合体 2 体) 6. 外 観: 異常のないこと。 7. 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。

A.3 取出し方法

燃料集合体の輸送容器からの取出しは、燃料取扱区域内で行い、責任者立会の下に燃料装荷の逆の手順に従って実施する。

A.4 空容器の準備

- (1)空容器の保管は上蓋をし、保管期間中の内部への埃等の浸入を防止する。
- (2)基本的に屋内保管を原則とし、やむを得ず屋外保管する場合でも、風雨や埃等に曝されないようシート等で処置する。
- (3)容器は使用后、直ちに内外面の放射線レベルの確認を行い、必要に応じ除染等の処置を行い、保管期間中及び再使用に当たっての不注意な汚染の拡大を未然に防止する。

(ハ)-B 保守条件

定期自主検査を原則 1 年に 1 回以上(年間の使用回数が 10 回を超えるものにあつては、使用回数が 10 回毎に 1 回以上)行う。定期自主検査要領を表(ハ)- 2 に示す。

B.1 外観検査

燃料容器と保護容器の内外面等に有害な傷、割れ等のないこと及び形状等に異常のないことを目視により検査する。異常があれば、修理を行い再検査する。

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燃料容器と保護容器の形状等に有害な変形、破損のないことを目視により検査する。異常があれば、修理を行い再検査する。

B.6 熱検査

該当なし。

B.7 吊上検査

燃料容器及び保護容器の吊部に、有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないことを目視により検査する。

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 密封容器の弁、ガスケット等の保守

パッキングに異常な変形、割れ等のないことを目視により検査する。また、異常があれば、交換し再検査する。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器の保管は原則屋内で行う。

B.12 記録の保管

定期自主検査記録の保管は東海事業所 燃料製造部長が行う。

B.13 その他

特になし。

表(ハ)-2 輸送容器定期自主検査要領

項目	検査方法	合格基準	
B.1	外観検査	燃料容器及び保護容器の外観を目視により検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないこと。
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燃料容器、保護容器を目視により検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないこと。
B.6	熱検査	該当なし。	
B.7	吊上検査	燃料容器及び保護容器の吊部を目視により検査する。	有害な傷、割れ等がなく、形状に異常な欠陥がないこと。
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	密封容器の弁、ガスケット等の保守	燃料容器及び保護容器のパッキング外観を目視により検査する。	有害な傷、割れ等がないこと。

(二)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

特になし

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 5 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)-A 品質マネジメントシステム

申請者である原子燃料工業株式会社（以下、当社と云う。）は、核燃料輸送物設計承認申請書（令和 5 年 1 月 16 日付熊原第 22-032 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、以下のとおり品質マネジメントシステムを当社内に確立し、文書化し、実施し、かつ、維持する。

A.1 品質マニュアル

品質マネジメントシステムにおけるトップマネジメントは社長より権限移譲を受け、熊取事業所長、東海事業所長及びエンジニアリング事業部長の 3 事業部門長が共同で担う。（以下、トップマネジメントと云う。）トップマネジメントは品質マネジメントシステムの適用範囲、品質マネジメントシステムについて確立され文書化された手順及び品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述を含む品質マニュアルを作成、維持させる。なお、品質マネジメントシステム業務を規定する品質管理計画はこの品質マニュアルとその下位規定により構築される。

A.2 文書管理

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

A.3 品質記録の管理

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

(イ)－B 申請者の責任

B.1 品質マネジメントシステムにおけるトップマネジメント

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

B.2 管理責任者

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

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

B.3 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
- (6) 計測器の定期検査

B.4 東海事業所燃料製造部（以下、東海燃料製造部と云う。）

東海燃料製造部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 輸送容器の製作、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) 核燃料輸送物の輸送の管理
- (7) 輸送容器の定期自主検査及び発送前検査の実施
- (8) 核燃料物質の計量管理に関する計画立案及び実施
- (9) 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.5 エンジニアリング事業部燃料サイクル技術部（以下、燃料サイクル技術部と云う。）

燃料サイクル技術部長は、次の責任及び権限を有する。

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

B.6 エンジニアリング事業部炉心・安全技術部（以下、炉心・安全技術部と云う。）

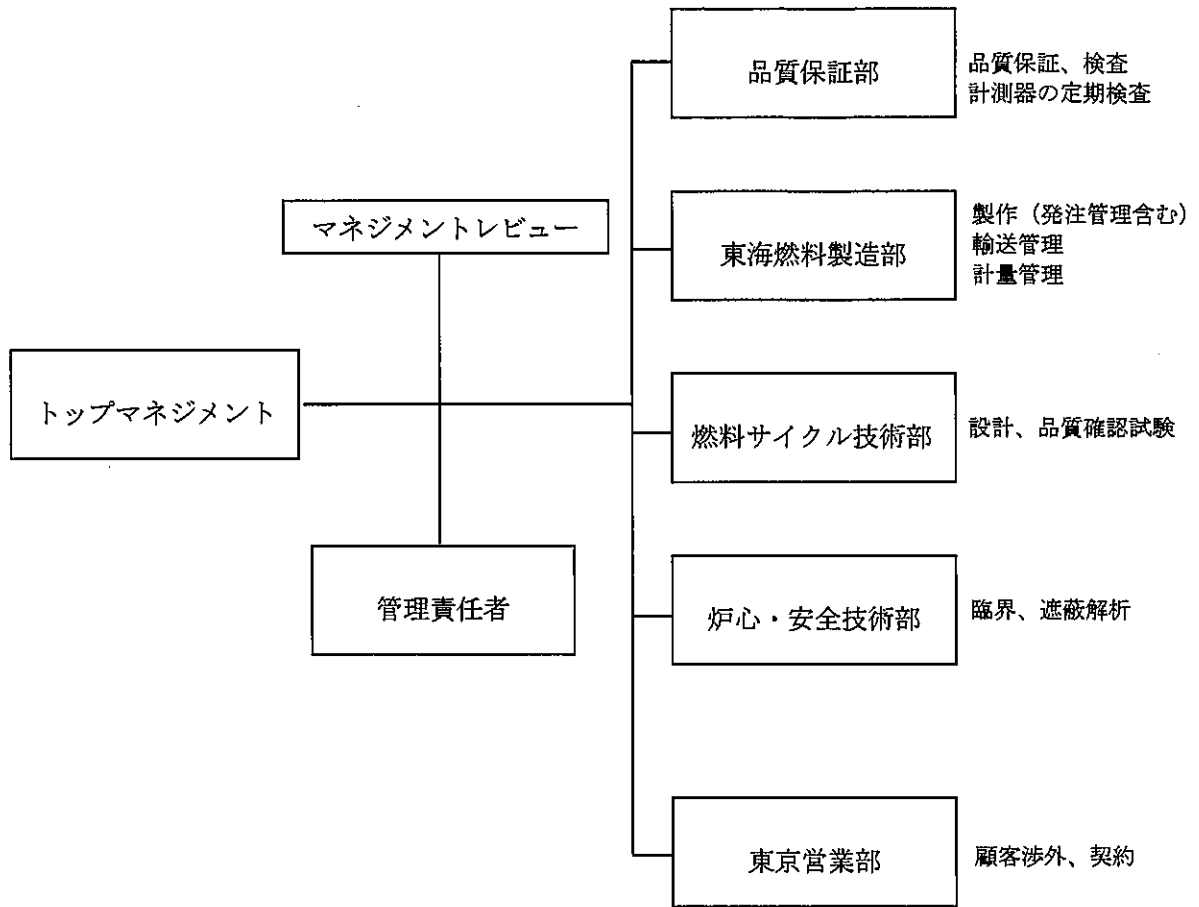
炉心・安全技術部長は、次の責任及び権限を有する。

- (1) 輸送容器の臨界・遮蔽解析

B.7 東京営業部

東京営業部長は、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）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、東海燃料製造部長、燃料サイクル技術部長、炉心・安全技術部長は輸送容器の設計及び製作に関連する教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠として力量がある要員を従事させる。そのために以下の事項を実施する。

- (1) 輸送容器の設計及び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及び炉心・安全技術部長は、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又は炉心・安全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

東海燃料製造部長は、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

東海燃料製造部長は、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に措置すること。
- 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、東海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、東海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、東海燃料製造部長は、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) 東海燃料製造部長は、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

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

F.1 取扱い

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

- ・“梱包作業手順”
- ・“受入作業手順”
- ・“納入作業手順”

F.2 発送前検査

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

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

F.3 保管及び保守点検

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

F.4 定期自主検査

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

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

F.5 取扱い及び保守の委託

F.1 項～F.4 項の取扱い及び保守に関しては、他社に委託する場合がある。東海燃料製造部長はそれら委託先に対して、取扱い及び保守に必要な要求仕様を明確にするとともに、委託先で実施された取扱い及び保守に関する記録を確認し、維持する。

(イ)－G 測定、分析及び改善

G.1 内部品質監査

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

G.2 不適合品の管理

東海燃料製造部長は、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。