

核燃料輸送物設計承認申請書

令03原機(P技)009
令和3年11月9日

原子力規制委員会 殿

住所 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1
氏名 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
理事長 児玉敏雄 (公印省略)

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、下記のとおり申請します。

記

1. 核燃料輸送物の名称
TOSS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

外径 :

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) 核燃料輸送物の外観 : 添付図のとおり

(5) 輸送容器の主要材料

外容器

内殻、外殻 :

緩衝体 :

一次密封容器 :

二次密封容器 :

3. 核燃料輸送物の種類

B U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

添付表のとおり

収納物の重量については、以下

5. 輸送制限個数

制限なし

6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

- 4 0℃～3 8℃

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、密封容器に収納され収納位置が維持されるようになっている。

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

密封装置の健全性により、密封装置内に水が浸入しない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

密封装置は一次密封容器及び二次密封容器から構成されている。一次密封容器及び二次密封容器の蓋部には、があるが、の及びで密封されている。

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

該当しない

11. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

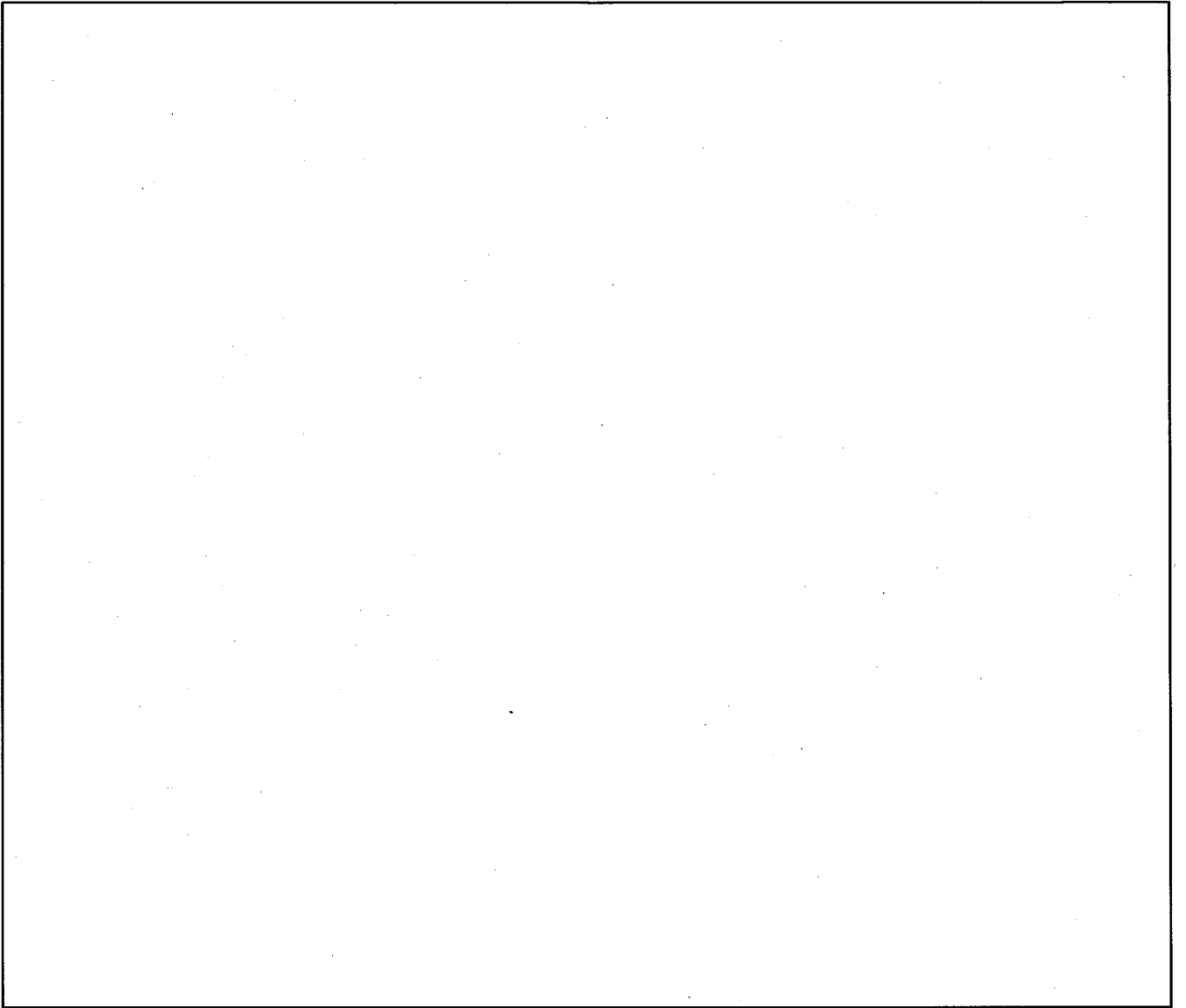
本輸送容器の保守及び定期自主検査並びに本核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書別紙に記載した方法により実施している。

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、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書別紙に記載した方法により実施している。

13. その他特記事項

該当しない



添付図 T O S S型核燃料輸送物外観図

添付表 収納する核燃料物質等の種類、性状重量及び放射能の量

項 目	収 納 物
(イ) 種 類	プルトニウム試料、ウラン試料、 ウラン・プルトニウム混合試料
(ロ) 性 状*1	[] []
(ハ) 重 量*2	
・ウラン	最大 []
ウラン同位体装荷量	
U 233	最大 []
U 234	最大 []
U 235	最大 []
U 236	最大 []
U 238	最大 []
・プルトニウム	最大 []
プルトニウム同位体装荷量	
Pu238	最大 []
Pu239	最大 []
Pu240	最大 []
Pu241	最大 []
Pu242	最大 []
Pu244	最大 []
Am241	最大 []
(ニ) 放射能の量	
・総量	最大 []
・主要な核種	
Pu238	最大 []
Pu241	最大 []
Am241	最大 []
(ホ) 発 熱 量	最大 []
(ヘ) 組 成	
・核分裂性プルトニウム富化度	最大 []
・プルトニウム富化度	最大 []
・ウラン濃縮度	最大 []
(ト) 燃 焼 度	該当せず
(チ) 冷却日数	該当せず

*1) [] は混載しない。なお、 [] とする。

*2) ウラン・プルトニウム混合試料に関しては、ウランの重量及びプルトニウムの重量は、ウランについては最大 [] g、プルトニウムについては最大 [] g とし、ウラン及びプルトニウムの合計量は最大 [] g とする。この場合においても、各々の同位体装荷量は本表のそれぞれの同位体の最大重量を超えないものとする。また、ウラン試料、プルトニウム試料及びウラン・プルトニウム混合試料のうち、いずれか2つ又は全部を混載する場合も同様とする。

別紙

本TOS S型核燃料輸送物の「別紙記載事項」を以下に示す。

- 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 別記-1
- 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 別記-2

T O S S 型核燃料輸送物設計承認申請書
(別紙記載事項)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

目 次

イ章 核燃料輸送物の説明	-----	(イ)	—	1
A. 目的及び条件	-----	(イ)	—	1
B. 核燃料輸送物の種類	-----	(イ)	—	3
C. 輸送容器	-----	(イ)	—	3
D. 輸送容器の収納物	-----	(イ)	—	21
ロ章 核燃料輸送物の安全解析	-----	(ロ)	—	1
A. 構造解析	-----	(ロ)	- A -	1
A.1 構造設計	-----	(ロ)	- A -	1
A.1.1 概要	-----	(ロ)	- A -	1
A.1.2 設計基準	-----	(ロ)	- A -	1
A.2 重量及び重心	-----	(ロ)	- A -	11
A.3 材料の機械的性質	-----	(ロ)	- A -	13
A.4 核燃料輸送物の要件	-----	(ロ)	- A -	14
A.4.1 化学的及び電気的反応	-----	(ロ)	- A -	14
A.4.2 低温強度	-----	(ロ)	- A -	17
A.4.3 密封装置	-----	(ロ)	- A -	17
A.4.4 吊上装置	-----	(ロ)	- A -	18
A.4.5 固縛装置	-----	(ロ)	- A -	32
A.4.6 圧力	-----	(ロ)	- A -	42
A.4.7 振動	-----	(ロ)	- A -	42
A.5 一般の試験条件	-----	(ロ)	- A -	43
A.5.1 熱的試験	-----	(ロ)	- A -	43
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	-----	(ロ)	- A -	43
A.5.1.2 熱膨張	-----	(ロ)	- A -	43
A.5.1.3 応力計算	-----	(ロ)	- A -	45

A. 5. 1. 4	許容応力との比較	(口) - A - 52
A. 5. 2	水噴霧	(口) - A - 55
A. 5. 3	自由落下	(口) - A - 55
A. 5. 4	積み重ね試験	(口) - A - 77
A. 5. 5	貫通	(口) - A - 79
A. 5. 6	角又は縁落下	(口) - A - 83
A. 5. 7	結果の要約と評価	(口) - A - 83
A. 6	特別の試験条件	(口) - A - 84
A. 6. 1	強度試験・落下試験Ⅲ (9 m圧潰試験時)	(口) - A - 84
A. 6. 1. 1	垂直落下	(口) - A - 104
A. 6. 1. 2	水平落下	(口) - A - 112
A. 6. 1. 3	コーナ落下	(口) - A - 118
A. 6. 1. 4	傾斜落下	(口) - A - 121
A. 6. 1. 5	結果の要約	(口) - A - 121
A. 6. 2	強度試験・落下試験Ⅱ (1 m貫通落下時)	(口) - A - 122
A. 6. 2. 1	結果の要約	(口) - A - 129
A. 6. 3	熱的試験	(口) - A - 131
A. 6. 3. 1	温度及び圧力の要約	(口) - A - 131
A. 6. 3. 2	熱膨張	(口) - A - 131
A. 6. 3. 3	内圧に対する応力計算	(口) - A - 133
A. 6. 3. 4	許容応力との比較	(口) - A - 140
A. 6. 4	浸漬	(口) - A - 145
A. 6. 5	結果の要約と評価	(口) - A - 149
A. 7	強化浸漬試験	(口) - A - 150
A. 8	放射性収納物	(口) - A - 151
A. 9	核分裂性輸送物	(口) - A - 152
A. 9. 1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(口) - A - 152
A. 9. 2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(口) - A - 157
A. 10	参考文献	(口) - A - 166

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 - 12
B.3 構成要素の仕様	(口)	- B - 12
B.4 一般の試験条件	(口)	- B - 14
B.4.1 熱解析モデル	(口)	- B - 14
B.4.1.1 解析モデル	(口)	- B - 14
B.4.1.2 試験モデル	(口)	- B - 25
B.4.2 最高温度	(口)	- B - 25
B.4.3 最低温度	(口)	- B - 26
B.4.4 最大内圧	(口)	- B - 26
B.4.5 最大熱応力	(口)	- B - 28
B.4.6 結果の要約と評価	(口)	- B - 28
B.5 特別の試験条件	(口)	- B - 30
B.5.1 熱解析モデル	(口)	- B - 30
B.5.1.1 解析モデル	(口)	- B - 30
B.5.1.2 試験モデル	(口)	- B - 42
B.5.2 核燃料輸送物の評価条件	(口)	- B - 42
B.5.3 核燃料輸送物温度	(口)	- B - 43
B.5.4 最大内圧	(口)	- B - 43
B.5.5 最大熱応力	(口)	- B - 45
B.5.6 結果の要約と評価	(口)	- B - 45
B.6 附属書類	(口)	- B - 47
B.6.1 反応熱	(口)	- B - 47
B.6.2 <input type="checkbox"/> プルトニウム <input type="checkbox"/> の放射線分解 による生成ガス	(口)	- B - 50
B.7 参考文献	(口)	- B - 54
C. 密封解析	(口)	- C - 1
C.1 概要	(口)	- C - 1
C.2 密封装置	(口)	- C - 2

C.2.1	密封装置	-----	(口)	-C-2
C.2.2	密封装置の貫通部	-----	(口)	-C-2
C.2.3	密封装置ガスケット及び溶接部	-----	(口)	-C-5
C.2.4	蓋	-----	(口)	-C-5
C.3	一般の試験条件	-----	(口)	-C-7
C.3.1	放射性物質の漏えい	-----	(口)	-C-7
C.3.2	密封装置の加圧	-----	(口)	-C-19
C.3.3	冷却材汚染	-----	(口)	-C-19
C.3.4	冷却材損失	-----	(口)	-C-19
C.4	特別の試験条件	-----	(口)	-C-19
C.4.1	核分裂生成ガス	-----	(口)	-C-19
C.4.2	放射性物質の漏えい	-----	(口)	-C-19
C.5	結果の要約と評価	-----	(口)	-C-22
C.6	附属書類	-----	(口)	-C-23
C.6.1	オーリングの密着幅の検討	-----	(口)	-C-23
C.6.2	気体の漏えい率と漏えい孔の直径との関係	-----	(口)	-C-27
C.6.3	細孔に詰められた水の表面張力	-----	(口)	-C-29
C.7	参考文献	-----	(口)	-C-30
D.	遮蔽解析	-----	(口)	-D-1
D.1	概 要	-----	(口)	-D-1
D.2	線源仕様	-----	(口)	-D-3
D.2.1	ガンマ線源	-----	(口)	-D-4
D.2.2	中性子源	-----	(口)	-D-6
D.3	モデル仕様	-----	(口)	-D-6
D.3.1	解析モデル	-----	(口)	-D-6
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	-----	(口)	-D-8
D.4	遮蔽評価	-----	(口)	-D-12
D.5	結果の要約と評価	-----	(口)	-D-15
D.6	参考文献	-----	(口)	-D-16

E. 臨界解析	(口) - E - 1
E.1 概 要	(口) - E - 1
E.2 解析対象	(口) - E - 2
E.2.1 収納物	(口) - E - 2
E.2.2 輸送容器	(口) - E - 3
E.2.3 中性子吸収材	(口) - E - 4
E.3 モデル仕様	(口) - E - 4
E.3.1 解析モデル	(口) - E - 4
E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度	(口) - E - 9
E.4 未臨界評価	(口) - E - 9
E.4.1 計算条件	(口) - E - 9
E.4.2 核燃料輸送物への水の浸入等	(口) - E - 10
E.4.3 計算方法	(口) - E - 10
E.4.4 計算結果	(口) - E - 11
E.5 ベンチマーク試験	(口) - E - 13
E.6 結果の要約と評価	(口) - E - 18
E.7 参考文献	(口) - E - 19
F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮	(口) - F - 1
F.1 考慮すべき経年変化要因	(口) - 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	(口) - F - 1
F.3 安全解析における経年変化の考慮内容	(口) - F - 3
F.4 参考文献	(口) - F - 4
G. 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価	(口) - G - 1
H. 原型容器試験報告書	(口) - H - 1
ハ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法	(ハ) - A - 1
A. 核燃料輸送物の取扱い方法	(ハ) - A - 1

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

目 次

イ章

(イ) - 第 1	図	T O S S 型輸送物全体図 -----	(イ) —	13
(イ) - 第 2	図	T O S S 型輸送物断面図 -----	(イ) —	14
(イ) - 第 3	図	T O S S 型輸送物組立手順 -----	(イ) —	15
(イ) - 第 4	図	外 容 器 -----	(イ) —	16
(イ) - 第 5	図	二次密封容器 -----	(イ) —	17
(イ) - 第 6	図	一次密封容器 -----	(イ) —	18
(イ) - 第 7	図	ヘリウムリークテスト孔 (注入孔) <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 50px; height: 15px; vertical-align: middle;"></div> 詳細 -----	(イ) —	19
(イ) - 第 8	図	輸送荷姿 -----	(イ) —	20
(イ) - 第 9	図	収納形態(1) -----	(イ) —	25
(イ) - 第 10	図	収納形態(2) -----	(イ) —	26
(イ) - 第 11	図	収納形態(3) -----	(イ) —	27
(イ) - 第 12	図	収納形態(4) -----	(イ) —	28
(イ) - 第 13	図	収納形態(5) -----	(イ) —	29
(イ) - 第 14	図	収納形態(6) -----	(イ) —	30
(イ) - 第 15	図	収納形態(7) -----	(イ) —	31
(イ) - 第 16	図	収納形態(8) -----	(イ) —	32
(イ) - 第 17	図	収納形態(9) -----	(イ) —	33

ロ章

(ロ) - 第 A. 1	図	核燃料輸送物の重心位置 -----	(ロ) - A -	12
(ロ) - 第 A. 2	図	核燃料輸送物吊上状況 (その 1) -----	(ロ) - A -	19
(ロ) - 第 A. 3	図	核燃料輸送物吊上状況 (その 2) -----	(ロ) - A -	20
(ロ) - 第 A. 4	図	吊金具の荷重状態と断面形状 -----	(ロ) - A -	22
(ロ) - 第 A. 5	図	吊金具取付部断面図 -----	(ロ) - A -	23
(ロ) - 第 A. 6	図	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px; vertical-align: middle;"></div> -----	(ロ) - A -	25
(ロ) - 第 A. 7	図	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px; vertical-align: middle;"></div> 溶接部 -----	(ロ) - A -	25

(ロ) - 第 A. 8 図	輸送架台の底板	(ロ) - A - 28
(ロ) - 第 A. 9 図	<input type="checkbox"/> による持上げ	(ロ) - A - 29
(ロ) - 第 A. 10 図	積載要領	(ロ) - A - 33
(ロ) - 第 A. 11 図	締付用具強度計算モデル	(ロ) - A - 34
(ロ) - 第 A. 12 図	<input type="checkbox"/> 荷重状況	(ロ) - A - 36
(ロ) - 第 A. 13 図	核燃料輸送物固定	(ロ) - A - 38
(ロ) - 第 A. 14 図	蓋荷重状態	(ロ) - A - 39
(ロ) - 第 A. 15 図	容器蓋板の応力評価位置	(ロ) - A - 47
(ロ) - 第 A. 16 図	容器底板の応力評価位置	(ロ) - A - 49
(ロ) - 第 A. 17 図	蓋ボルト荷重状態	(ロ) - A - 49
(ロ) - 第 A. 18 図	O-リング部たわみ解析モデル	(ロ) - A - 51
(ロ) - 第 A. 19 図	落下解析モデル	(ロ) - A - 56
(ロ) - 第 A. 20 図	垂直落下解析モデル	(ロ) - A - 61
(ロ) - 第 A. 21 図	<input type="checkbox"/> 1 の変形形状	(ロ) - A - 61
(ロ) - 第 A. 22 図	頭部垂直落下時緩衝体の変形量及び 容器の最大加速度倍率と吸収エネルギー	(ロ) - A - 64
(ロ) - 第 A. 23 図	水平落下の解析モデル	(ロ) - A - 65
(ロ) - 第 A. 24 図	コーナール部の変形形状	(ロ) - A - 66
(ロ) - 第 A. 25 図	面積 A _(x) 及び B _(x)	(ロ) - A - 68
(ロ) - 第 A. 26 図	水平落下時緩衝体の変形量及び 容器の最大加速度倍率と吸収エネルギー	(ロ) - A - 69
(ロ) - 第 A. 27 図	コーナ落下解析モデル	(ロ) - A - 70
(ロ) - 第 A. 28 図	コーナ部解析モデル	(ロ) - A - 71
(ロ) - 第 A. 29 図	コーナ部の変形状態	(ロ) - A - 71
(ロ) - 第 A. 30 図	<input type="checkbox"/> の変形モデル	(ロ) - A - 74
(ロ) - 第 A. 31 図	コーナ落下時緩衝体の変形量及び 容器の最大加速度倍率と吸収エネルギー	(ロ) - A - 75
(ロ) - 第 A. 32 図	圧縮変形モデル	(ロ) - A - 78
(ロ) - 第 A. 33 図	貫通棒落下時緩衝体変形形状	(ロ) - A - 79
(ロ) - 第 A. 34 図	貫通棒落下解析モデル	(ロ) - A - 80
(ロ) - 第 A. 35 図	貫通試験における変形量, 角度 θ 及び 吸収エネルギー	(ロ) - A - 82

(口) - 第 A. 36 図	落下解析モデル -----	(口) - A - 86
(口) - 第 A. 37 図	垂直落下の状況 -----	(口) - A - 93
(口) - 第 A. 38 図	垂直落下時緩衝体の変形量及び 容器の最大加速度倍率と吸収エネルギー ----	(口) - A - 94
(口) - 第 A. 39 図	水平落下の状況 -----	(口) - A - 95
(口) - 第 A. 40 図	水平落下時緩衝体の変形量及び 容器の最大加速度倍率と吸収エネルギー ----	(口) - A - 96
(口) - 第 A. 41 図	コーナ落下の状況 -----	(口) - A - 97
(口) - 第 A. 42 図	コーナ落下時緩衝体の変形量及び 容器の最大加速度倍率と吸収エネルギー ----	(口) - A - 98
(口) - 第 A. 43 図	垂直落下後の変形状況 -----	(口) - A - 101
(口) - 第 A. 44 図	水平落下後の変形状況 -----	(口) - A - 102
(口) - 第 A. 45 図	コーナ落下後の変形状況 -----	(口) - A - 103
(口) - 第 A. 46 図	二次密封容器の蓋板の計算モデル -----	(口) - A - 104
(口) - 第 A. 47 図	二次密封容器の胴板の計算モデル -----	(口) - A - 105
(口) - 第 A. 48 図	二次密封容器底の“つば”部の計算モデル ----	(口) - A - 106
(口) - 第 A. 49 図	一次密封容器の蓋部の計算モデル -----	(口) - A - 107
(口) - 第 A. 50 図	オーリング部たわみ解析モデル -----	(口) - A - 110
(口) - 第 A. 51 図	二次密封容器胴の計算モデル -----	(口) - A - 112
(口) - 第 A. 52 図	一次密封容器胴の計算モデル -----	(口) - A - 113
(口) - 第 A. 53 図	一次密封容器の固定ボルトに対する 回転モーメント -----	(口) - A - 114
(口) - 第 A. 54 図	一次密封容器の固定ボルト計算モデル -----	(口) - A - 115
(口) - 第 A. 55 図	落下試験Ⅱの変形 -----	(口) - A - 122
(口) - 第 A. 56 図	落下試験Ⅱにおける最大変形量 δ 及び角 θ ----	(口) - A - 126
(口) - 第 A. 57 図	落下試験Ⅱにおける最大変形量 δ 及び角 θ (衝撃力が <input type="text"/> の <input type="text"/> に対して傾斜して 作用する場合：コーナ落下) -----	(口) - A - 127
(口) - 第 A. 58 図	蓋解析モデル -----	(口) - A - 135
(口) - 第 A. 59 図	二次密封容器蓋板強度解析モデル -----	(口) - A - 145
(口) - 第 A. 60 図	二次密封容器底板強度解析モデル -----	(口) - A - 148
(口) - 第 A. 61 図	落下姿勢と試験の手順 -----	(口) - A - 154

(口) - 第 A. 62 図	特別の試験条件下に係る 垂直落下後の変形状況	-----	(口) - A - 159
(口) - 第 A. 63 図	特別の試験条件下に係る 水平落下後の変形状況	-----	(口) - A - 160
(口) - 第 A. 64 図	特別の試験条件下に係る コーナ落下後の変形状況	-----	(口) - A - 161
(口) - 第 B. 1 図	輸送物温度の主要な計算点	-----	(口) - B - 8
(口) - 第 B. 2 (a) 図	特別の試験条件下の主要部の温度変化	-----	(口) - B - 9
(口) - 第 B. 2 (b) 図	特別の試験条件下の主要部の温度変化	-----	(口) - B - 10
(口) - 第 B. 2 (c) 図	特別の試験条件下の主要部の温度変化	-----	(口) - B - 11
(口) - 第 B. 3 図	一般の試験条件下・熱解析モデル	-----	(口) - B - 15
(口) - 第 B. 4 図	一般の試験条件下・熱解析のノード分割	-----	(口) - B - 16
(口) - 第 B. 5 図	特別の試験条件下・熱解析モデル	-----	(口) - B - 31
(口) - 第 B. 6 図	特別の試験条件下・熱解析のノード分割	-----	(口) - B - 32
(口) - 第 C. 1 図	一次密封容器密封境界	-----	(口) - C - 3
(口) - 第 C. 2 図	二次密封容器密封境界	-----	(口) - C - 4
(口) - 第 C. 3 図	液体漏えいのモデル図	-----	(口) - C - 9
(口) - 第 C. 4 図	Battelle 研究所の PuO ₂ <input type="checkbox"/> 漏えい実験モデル	-----	(口) - C - 13
(口) - 第 C. 5 図	漏えい率解析フロー	-----	(口) - C - 15
(口) - 第 C. 6 図	O-リングの変形	-----	(口) - C - 23
(口) - 第 C. 7 図	O-リング荷重状態 (その 1)	-----	(口) - C - 23
(口) - 第 C. 8 図	O-リング荷重状態 (その 2)	-----	(口) - C - 25
(口) - 第 C. 9 図	細孔内の水	-----	(口) - C - 29
(口) - 第 D. 1 図	核燃料輸送物の遮蔽構造	-----	(口) - D - 2
(口) - 第 D. 1 - 1 図	側部モデルの線源領域の考え方	-----	(口) - D - 7
(口) - 第 D. 2 図	通常輸送時の計算モデル	-----	(口) - D - 9
(口) - 第 D. 3 図	一般の試験条件下の計算モデル	-----	(口) - D - 10
(口) - 第 D. 4 図	特別の試験条件下の計算モデル	-----	(口) - D - 11

(口) - 第 E. 1 図	通常輸送時・孤立系の解析モデル -----	(口) - E-5
(口) - 第 E. 2 図	一般の試験条件下・孤立系の解析モデル -----	(口) - E-5-1
(口) - 第 E. 3 図	一般の試験条件下・配列系の解析モデル -----	(口) - E-6
(口) - 第 E. 4 図	特別の試験条件下・孤立系の解析モデル -----	(口) - E-7
(口) - 第 E. 5 図	特別の試験条件下・配列系の解析モデル -----	(口) - E-8
(口) - 第 E. 6 図	一般の試験条件下・配列系の実効増倍係数 ---	(口) - E-12
(口) - 第 E. 7 図	特別の試験条件下・配列系の実効増倍係数 ---	(口) - E-12-1
(口) - 第 E. 8 図	臨界実験装置内における F T R 燃料要素の 寸法形状 -----	(口) - E-14
(口) - 第 E. 9 図	ケース 1 の解析モデル -----	(口) - E-15
(口) - 第 E. 10 図	ケース 2 の解析モデル -----	(口) - E-15
(口) - 第 E. 11 図	ケース 3 の解析モデル -----	(口) - E-16
(口) - 第 H. 1 図	原型容器 -----	(口) - H-2
(口) - 第 H. 2 図	密封容器模擬重量体 -----	(口) - H-3
(口) - 第 H. 3 図	落下試験設備 -----	(口) - H-4
(口) - 第 H. 4 図	落下試験台 -----	(口) - H-5
(口) - 第 H. 5 図	縦置き状態の加速度計とひずみ計の 取付位置 -----	(口) - H-7
(口) - 第 H. 6 図	横置き状態の加速度計とひずみ計の 取付位置 -----	(口) - H-8
(口) - 第 H. 7 図	縦置き状態の変形状況 -----	(口) - H-11
(口) - 第 H. 8 図	横置き状態の変形状況 -----	(口) - H-12

表 目 次

イ章

(イ) - 第 1 表	輸送容器材質・寸法一覧表 -----	(イ) - 9
(イ) - 第 2 表	核燃料輸送物重量 -----	(イ) - 12
(イ) - 第 3 表	輸送容器に収納される核燃料物質の仕様 -----	(イ) - 22
(イ) - 第 4 表	試料容器概略仕様 -----	(イ) - 23
(イ) - 第 5 表	輸送容器の収納物条件 -----	(イ) - 24

ロ章

(ロ) - 第 A. 1 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 -----	(ロ) - A - 4
(ロ) - 第 A. 2 表	核燃料輸送物の重量 -----	(ロ) - A - 11
(ロ) - 第 A. 3 表	構造材の機械的性質 -----	(ロ) - A - 13
(ロ) - 第 A. 4 表	□ の圧潰応力 (圧潰の始まる時) -----	(ロ) - A - 13
(ロ) - 第 A. 5 表	□ の圧潰応力 (歪 50% までの積分平均) ---	(ロ) - A - 14
(ロ) - 第 A. 6 表	接触する異種材料の一覧表 -----	(ロ) - A - 16
(ロ) - 第 A. 7 表	吊上用具 (その 1) (本核燃料輸送物のみ吊り上げる場合) -----	(ロ) - A - 18
(ロ) - 第 A. 8 表	吊上用具 (その 2) (核燃料輸送物を収納した輸送架台を吊り上げる場合) -----	(ロ) - A - 18
(ロ) - 第 A. 9 表	吊上用具 (その 3) (核燃料輸送物を収納した輸送架台を □) -----	(ロ) - A - 18
(ロ) - 第 A. 10 表	吊上装置解析結果 (その 1) (本核燃料輸送物のみ吊り上げる場合) -----	(ロ) - A - 30
(ロ) - 第 A. 11 表	吊上装置解析結果 (その 2) (核燃料輸送物を収納した輸送架台を吊り上げる場合) -----	(ロ) - A - 31
(ロ) - 第 A. 12 表	吊上装置解析結果 (その 3) (核燃料輸送物を収納した輸送架台を □) -----	(ロ) - A - 31
(ロ) - 第 A. 13 表	固縛用具 -----	(ロ) - A - 32
(ロ) - 第 A. 14 表	固縛装置解析結果 -----	(ロ) - A - 41
(ロ) - 第 A. 15 表	一般の試験条件下における最大内圧と 最高温度の要約 -----	(ロ) - A - 43

(口) - 第 A. 16 表	一次及び二次密封容器円筒胴部の応力	-----	(口) - A - 45
(口) - 第 A. 17 表	一次及び二次密封容器の蓋板の応力	-----	(口) - A - 46
(口) - 第 A. 18 表	一次及び二次密封容器底板中心の応力	-----	(口) - A - 47
(口) - 第 A. 19 表	一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度	-----	(口) - A - 50
(口) - 第 A. 20 表	一次及び二次密封容器の O - リングの密封性	---	(口) - A - 51
(口) - 第 A. 21 表	許容応力との比較	-----	(口) - A - 53
(口) - 第 A. 22 表	1. 2 m 自由落下の解析結果	-----	(口) - A - 76
(口) - 第 A. 23 表	1. 2 m 落下における外 <input type="text"/> の変形に 対する余裕率	-----	(口) - A - 76
(口) - 第 A. 24 表	1. 2 m 落下における内 <input type="text"/> の変形に 対する余裕率	-----	(口) - A - 77
(口) - 第 A. 25 表	落下試験Ⅲの衝撃解析結果	-----	(口) - A - 99
(口) - 第 A. 26 表	落下試験Ⅲにおける外 <input type="text"/> の変形に 対する余裕率	-----	(口) - A - 99
(口) - 第 A. 27 表	落下試験Ⅲにおける内 <input type="text"/> の変形に 対する余裕率	-----	(口) - A - 100
(口) - 第 A. 28 表	一次及び二次密封容器の O - リングの密封性	---	(口) - A - 111
(口) - 第 A. 29 表	落下試験Ⅲ・垂直落下時に密封容器に生ずる 応力の要約	-----	(口) - A - 111
(口) - 第 A. 30 表	落下試験Ⅲ・水平落下時に密封容器に生ずる 応力の要約	-----	(口) - A - 118
(口) - 第 A. 31 表	落下試験Ⅲ・コーナ落下時に密封容器に生ずる 応力の要約	-----	(口) - A - 120
(口) - 第 A. 32 表	落下試験Ⅱの解析結果	-----	(口) - A - 128
(口) - 第 A. 33 表	落下試験Ⅱの衝撃解析結果	-----	(口) - A - 129
(口) - 第 A. 34 表	落下試験Ⅱにおける外 <input type="text"/> の変形 に対する余裕率	-----	(口) - A - 129
(口) - 第 A. 35 表	落下試験Ⅱにおける <input type="text"/> 部に対する <input type="text"/> の変形量	-----	(口) - A - 130
(口) - 第 A. 36 表	特別の試験条件下における圧力及び 最高温度の要約	-----	(口) - A - 131
(口) - 第 A. 37 表	一次及び二次密封容器円筒胴部の応力	-----	(口) - A - 134
(口) - 第 A. 38 表	一次及び二次密封容器の蓋板の応力	-----	(口) - A - 135
(口) - 第 A. 39 表	一次及び二次密封容器の底板中心の応力	-----	(口) - A - 136

(口) - 第 A. 40 表	一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度	-----	(口) - A - 137
(口) - 第 A. 41 表	一次及び二次密封容器の O-リングの密封性	-----	(口) - A - 138
(口) - 第 A. 42 表	許容応力との比較	-----	(口) - A - 141
(口) - 第 A. 43 表		-----	欠番
(口) - 第 A. 44 表	一般の試験条件下に係る自由落下における 衝撃加速度倍率及び変形量解析結果	-----	(口) - A - 155
(口) - 第 A. 45 表	一般の試験条件下に係る自由落下における 外 <input type="text"/> の変形に対する余裕率	-----	(口) - A - 155
(口) - 第 A. 46 表	一般の試験条件下に係る自由落下における 内 <input type="text"/> の変形に対する余裕率	-----	(口) - A - 155
(口) - 第 A. 47 表		-----	欠番
(口) - 第 A. 48 表	特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにおける 衝撃加速度倍率及び変形量解析結果	-----	(口) - A - 162
(口) - 第 A. 49 表	特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにおける 外 <input type="text"/> の変形に対する余裕率	-----	(口) - A - 162
(口) - 第 A. 50 表	特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにおける 内 <input type="text"/> の変形に対する余裕率	-----	(口) - A - 162
(口) - 第 A. 51 表	特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにより 密封容器に生ずる応力の要約	-----	(口) - A - 163
(口) - 第 A. 52 表	特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲ及びⅡによる 外 <input type="text"/> の変形に対する余裕率	-----	(口) - A - 163
(口) - 第 A. 53 表	核燃料輸送物各部の温度分布	-----	(口) - A - 164
(口) - 第 B. 1 表	一般の試験条件における熱解析条件	-----	(口) - B - 4
(口) - 第 B. 2 表	特別の試験条件における熱解析条件	-----	(口) - B - 4
(口) - 第 B. 3 表	熱解析の方法	-----	(口) - B - 5
(口) - 第 B. 4 表	一般の試験条件における主要な点の温度	-----	(口) - B - 6
(口) - 第 B. 5 表	特別の試験条件における主要な点の温度	-----	(口) - B - 7
(口) - 第 B. 6 表	一般及び特別の試験条件における最高圧力	-----	(口) - B - 7
(口) - 第 B. 7 表	構成材料の熱的性質	-----	(口) - B - 13
(口) - 第 B. 8 表	太陽熱放射による伝熱量	-----	(口) - B - 14
(口) - 第 B. 9 表	発熱領域の熱的性質	-----	(口) - B - 25
(口) - 第 B. 10 表	太陽熱放射による伝熱量	-----	(口) - B - 33

(口) - 第 B. 11 表	核燃料輸送物上面及び底面の自然対流熱伝達率	(口) - B - 37
(口) - 第 B. 12 表	核燃料輸送物側面の自然対流熱伝達率	(口) - B - 38
(口) - 第 B. 13 表	放射線分解に関する 放射線同位体のパラメータ	(口) - B - 51
(口) - 第 C. 1 表	本体フランジ及びヘリウム注入 孔パッキング仕様	(口) - C - 6
(口) - 第 C. 2 表	収納物の放射性核種とその放射エネルギー等	(口) - C - 8
(口) - 第 C. 3 表	一般の試験条件下の漏えい計算結果 (□の場合)	(口) - C - 12
(口) - 第 C. 4 表	HeガスとPuO ₂ の変換係数	(口) - C - 14
(口) - 第 C. 5 表	一般の試験条件下の漏えい計算結果 (□の場合)	(口) - C - 18
(口) - 第 C. 6 表	特別の試験条件下の漏えい計算結果 (□の場合)	(口) - C - 21
(口) - 第 C. 7 表	特別の試験条件下の漏えい計算結果 (□の場合)	(口) - C - 21
(口) - 第 C. 8 表	密封解析の結果の要約	(口) - C - 22
(口) - 第 C. 9 表	Oリングサイズと密着幅との関係	(口) - C - 26
(口) - 第 D. 1 表	核燃料輸送物各部の最大線量当量率	(口) - D - 3
(口) - 第 D. 2 表	収納条件 (最大条件)	(口) - D - 4
(口) - 第 D. 3 表	ガンマ線源強度	(口) - D - 5
(口) - 第 D. 4 表	中性子源強度	(口) - D - 6
(口) - 第 D. 5 表	各物質の原子個数密度及び体積比	(口) - D - 8
(口) - 第 D. 6 表	中性子エネルギー群構成と線量当量率 変換係数	(口) - D - 13
(口) - 第 D. 7 表	ガンマ線エネルギー群構成と線量当量率 変換係数	(口) - D - 14
(口) - 第 E. 1 表	臨界解析条件及び結果	(口) - E - 1
(口) - 第 E. 2 表	収納物仕様	(口) - E - 3
(口) - 第 E. 3 表	各物質の原子個数密度及び体積比	(口) - E - 9
(口) - 第 E. 4 表	臨界解析の結果	(口) - E - 11
(口) - 第 E. 5 表	F T R 燃料要素の仕様	(口) - E - 13

(ロ) - 第 E. 6 表	各材質の原子個数密度	-----	(ロ) - E - 17
(ロ) - 第 E. 7 表	解析モデルの計算条件	-----	(ロ) - E - 17
(ロ) - 第 E. 8 表	ベンチマーク試験結果	-----	(ロ) - E - 18

(ロ) - 第 H. 1 表	供試体の変形量	-----	(ロ) - H - 9
(ロ) - 第 H. 2 表	加速度最大値及びひずみ	-----	(ロ) - H - 13

ハ章

(ハ) - 第 A. 1 表	核燃料輸送物発送前検査要領	-----	(ハ) - A - 4
(ハ) - 第 B. 1 表	定期自主検査要領	-----	(ハ) - B - 3

写真目次

口章

写真 (口) - 第H. 1	縦置き状態 (垂直) - 1	-----	(口) - H-14
写真 (口) - 第H. 2	縦置き状態 (垂直) - 2	-----	(口) - H-15
写真 (口) - 第H. 3	縦置き状態 (垂直) - 3	-----	(口) - H-15
写真 (口) - 第H. 4	横置き状態 (水平) - 1	-----	(口) - H-16
写真 (口) - 第H. 5	横置き状態 (水平) - 2	-----	(口) - H-16
写真 (口) - 第H. 6	横置き状態 (水平) - 3	-----	(口) - H-17
写真 (口) - 第H. 7	横置き状態 (水平) - 4	-----	(口) - H-17
写真 (口) - 第H. 8	横置き状態 (水平) - 5	-----	(口) - H-18

イ章 核燃料輸送物の説明

A. 目的及び条件

(1) 使用目的

本輸送容器は、国内外の原子力施設との核燃料物質に関する共同分析を行うために、核燃料物質標準試料、分析試料等を輸送することを目的としたものである。

(2) 輸送容器の型名

T O S S 型

(3) 使用予定年数

製造後 6 0 年

(4) 輸送容器の使用予定回数

製造後 3 5 回

(5) 核燃料輸送物の型式

B U 型核分裂性輸送物

(6) 輸送制限個数

任 意

(7) 輸送指数

0. 5 6

(8) 臨界安全指数

0

(9) 核燃料輸送物の最大重量

(10) 輸送容器の外寸法

外 径 約

高 さ 約

(11) 輸送容器の最大重量

(12) 輸送容器の主要材料

外容器

内殻, 外殻:

緩衝体：

一次密封容器：

二次密封容器：

(13) 核燃料輸送物に収納される核燃料物質の仕様

(イ) 種類

プルトニウム試料，ウラン試料，ウラン・プルトニウム混合試料

(ロ) 重量

ウラン重量 最大

(ウラン-235重量 最大)

プルトニウム重量 最大

(プルトニウム-fissile重量 最大)

(ハ) プルトニウム富化度及びウラン濃縮度

プルトニウム富化度 最大

ウラン濃縮度 最大

(ニ) 燃焼度

該当せず

(ホ) 冷却日数

該当せず

(ヘ) 放射能の量

最大

(ト) 発熱量

最大

(14) 輸送形態

(a) 輸送方法

海上輸送は貨物船により，陸上輸送は貨物自動車により行われる。

(b) 積載方法

輸送容器はにより緊縛固定される。

(15) 冷却方式

冷却装置は設けていない。

B. 核燃料輸送物の種類

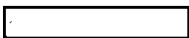
BU型核分裂性輸送物

C. 輸送容器

(1) 設計の概要

本輸送容器（以下「容器」という。）は、容器表面での線量当量率及び収納物による発熱は小さいので、特別な遮蔽体及び内部発熱の除去を行う装置は有していない。

容器は外容器、二次密封容器及び一次密封容器から構成されている。(イ) - 第1図及び(イ) - 第2図に核燃料輸送物の全体図と断面図を示す。外に、付属機器として、輸送用架台がある。

容器の組立手順（(イ) - 第3図参照）は次のとおりである。外容器の内部に挿入された二次密封容器に一次密封容器を上部より挿入し、二次密封容器の下部のフランジ上に一次密封容器をボルト締めする。この状態で収納缶（収納缶に納められた試料、及びバーミキュライト^{注1)}を含む）を緩衝材MGフェルト^{注2)}と共に一次密封容器内に入れる。

次に一次密封容器蓋、二次密封容器蓋の順序で蓋をして、各々の蓋をボルト締めした後、外容器の一部である内側緩衝体、外容器蓋の順に蓋をする。

外容器蓋をボルト締めした後、輸送用架台に積載する。

外容器は、(イ) - 第4図に示すように容器本体、蓋及び内側緩衝体から構成され、特別の試験条件下における落下衝撃及び耐火試験時の入熱から内部に収納した密封容器等を保護する容器である。

二次密封容器は、(イ) - 第5図に示すように容器本体及び蓋板で構成され、次で述べる一次密封容器と同様の密封性能を有している。

一次密封容器は、(イ) - 第6図に示すように容器本体及び蓋板で構成され、特別の試験条件下においても放射性物質の外部への漏えいを防止する容器である。

輸送用架台は本核燃料輸送物を縦置きにし、輸送するための架台である。本核燃料輸送物の輸送荷姿図を(イ) - 第8図に示す。

注1) バーミキュライトは天然蛭石を焼成して造粒したものであり、化学組成と
かさ密度は下記のとおりである。

バーミキュライトの化学組成

化 合 物	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Ig, Loss *
重量含有率 (%)	21.17	35.76	19.13	11.44	1.58	4.56	6.36

* 950℃30分における減量分 (主として水)

かさ密度 : 0.145 g/cm³

注2) MGフェルトは精製された石綿の一種であり、化学組成とかさ密度は下記のとおりである。

MGフェルトの化学組成

化 合 物	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	残り
重量含有率 (%)	43.77	27.01	15.52	5.87	4.74	1.09	2.0

かさ密度 : 0.07 g/cm³

(2) 構造

(a) 外容器((イ)－第4図参照)

外容器 () は容器本体、蓋及び内側緩衝体から構成される。

容器本体は緩衝体である 厚さの を 厚さの 製の内殻及び外殻で被覆したものである。この本体内部に二次密封容器を取り囲むように 厚さの内側緩衝体 () が挿入される。蓋は容器本体と同様 厚さの を 厚さの で被覆したものであり、容器本体にボルト締めされる。

・ 容器本体 ((イ)－第4図参照)

容器本体は内殻、外殻、緩衝体及び吊金具から構成される。

外殻 [] : [] の外側には [] [] : [] が2箇所設けられている。また、外殻上端には [] [] : [] が溶接されている。

吊金具 [] : [] は本核燃料輸送物を垂直に吊り上げるための金具であり、外殻上部の周囲に [] 設けられている。

内殻 [] : [] は緩衝体 [] : [] を介して外殻に溶接固定されている。 [] [] : [] 。

・ 蓋((イ)－第4図参照)

蓋は内殻、外殻及び緩衝体から構成される。外殻 [] : [] の上面中央には蓋を吊り上げるための吊ボルト用 [] が設けられており、側面下部で、ボルト [] : [] により容器本体に取り付けられる。

内殻 [] : [] は緩衝体 [厚さ [] : []] を介して外殻内側に溶接固定される。溶接部近傍には緩衝体保護のため、緩衝体にアルミ箔を張り付けている。

・ 内側緩衝体((イ)－第4図参照)

内側緩衝体〔 : 〕は底部、
胴部及び蓋部から成り、いずれも厚さはである。

緩衝体の機能は、容器本体、蓋においても同様であるが、断熱材としても兼用し、密封容器を衝撃及び熱から保護することである。

(b) 二次密封容器((イ) - 第5図参照)

二次密封容器〔〕は容器本体及び蓋板より構成される。

本容器は外容器緩衝体の中央に収納され、内部に一次密封容器を固定、収納する構造になっている。

・ 容器本体((イ) - 第5図参照)

容器本体はフランジ部と底部との溶接構造である。

フランジ部〔 :
〕は上部に蓋板固定用のフランジを有し、内部には一次密封容器固定用のフランジを有する。また、上部フランジには
 : 〕が設けられる。底部〔
 : 〕はフランジ部下端に溶接固定される。底部下端には頭部下向きの落下試験時における二次密封容器の飛出し防止用のつばが設けてある。また、底部の内底部には緩衝材〔 : 〕が設けられる。なお、フランジ部には蓋板の位置決め用のガイドピン〔 :
〕が2箇所に取り付けられている。

・ 蓋板((イ) - 第5図及び(イ) - 第7図参照)

蓋板〔 : 〕には中央部

((イ) - 第7図参照)が設けられ、に位置する部分には
を確認するための
が設けられている。

蓋板は容器本体にボルト〔 : 〕により固定される。

(c) 一次密封容器((イ) - 第 6 図参照)

一次密封容器 [] は容器本体及び蓋板より構成される。

本容器は二次密封容器内部にボルト [] : [] により固定され、本容器内部には収納物を緩衝材 [] : M Gフェルト] と共に収納する構造となっている。

・ 容器本体((イ) - 第 6 図参照)

容器本体はフランジ部と底部との溶接構造である。

フランジ部 [] : [] [] は上部に蓋板固定用のフランジを有し、本フランジには [] [] : [] が設けられる。

底部 [] : [] [] はフランジ部下端に溶接固定される。また、フランジ部には蓋板の位置決め用のガイドピン [] : [] が 2 箇所に取り付けられている。

・ 蓋 板((イ) - 第 6 図及び (イ) - 第 7 図参照)

蓋板 [] : [] には中央部に [] ((イ) - 第 7 図参照) が設けられ、 [] [] が設けられている。

蓋板は容器本体にボルト [] : [] により固定される。

(d) 輸送用架台・付属機器((イ) - 第 8 図参照)

輸送用架台は輸送架台、輸送物固定蓋及び [] により構成される。

付属機器としては [] がある。 [] は架台を荷台に締め付け、固定する機器である。

(3) 材 質

(イ) - 第1表に本容器の材質を示す。

(4) 寸 法

(イ) - 第1表に本容器の寸法を示す。

(イ) - 第1表 輸送容器材質・寸法一覧表 (その1)

参照図及び品番	品名	材質	寸法 (mm)
(イ) - 第4図	外容器		
	容器本体		
	101	容器殻	
	102	吊金具	
	103		
	104	□ボルト	
	105	□ナット	
	106	ワッシャー	
	107	緩衝体	
	108	内側緩衝体	
	109	蓋 蓋殻	
	110	ブッシュ	
111	□ボルト		
112	緩衝体		

(イ) - 第 1 表 輸送容器材質・寸法一覧表 (その 2)

参照図及び品番	品 名	材 質	寸 法 (mm)
(イ) - 第 5 図	二次密封容器		
	容器本体		
(201)	容器フランジ部		
(202)	容器底部		
(206)			
(207)			
(53)	緩衝体		
(203)	蓋 板		
(204)	□ ボルト		
(205)	ワッシャー		
(61)			
(62)			
(208)	ガイドピン		

(イ) - 第1表 輸送容器材質・寸法一覧表 (その3)

参照図及び品番	品名	材質	寸法 (mm)
(イ) - 第6図	一次密封容器		
	容器本体		
	301	容器フランジ部	
	302	容器底部	
	304	ボルト	
	307		
	308		
	51		
	303	蓋板	
	305	ボルト	
	306	ワッシャー	
	61		
	62		
	309	ガイドピン	

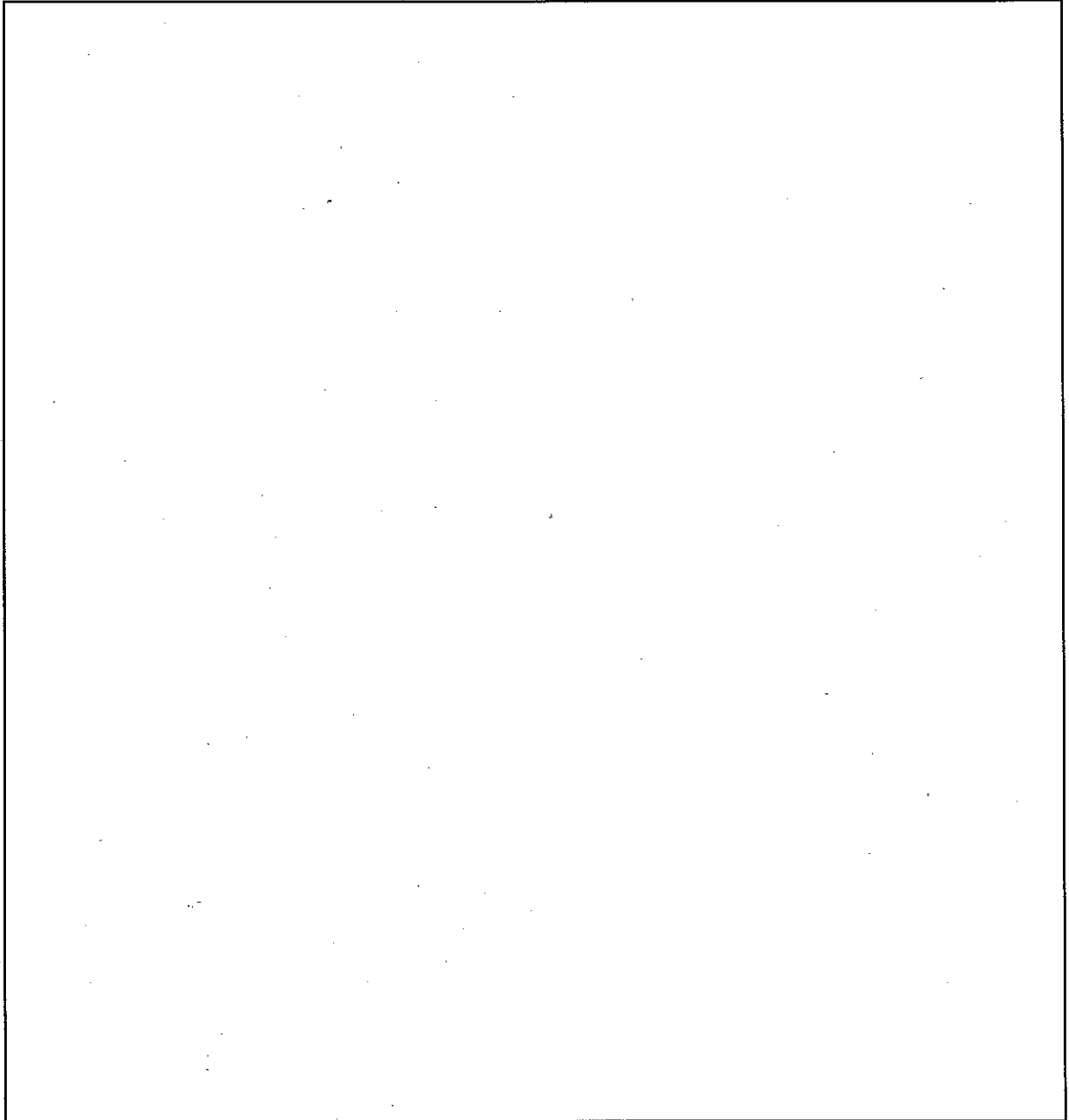
(5) 重 量

(イ) - 第2表に本核燃料輸送物の各部重量を示す。

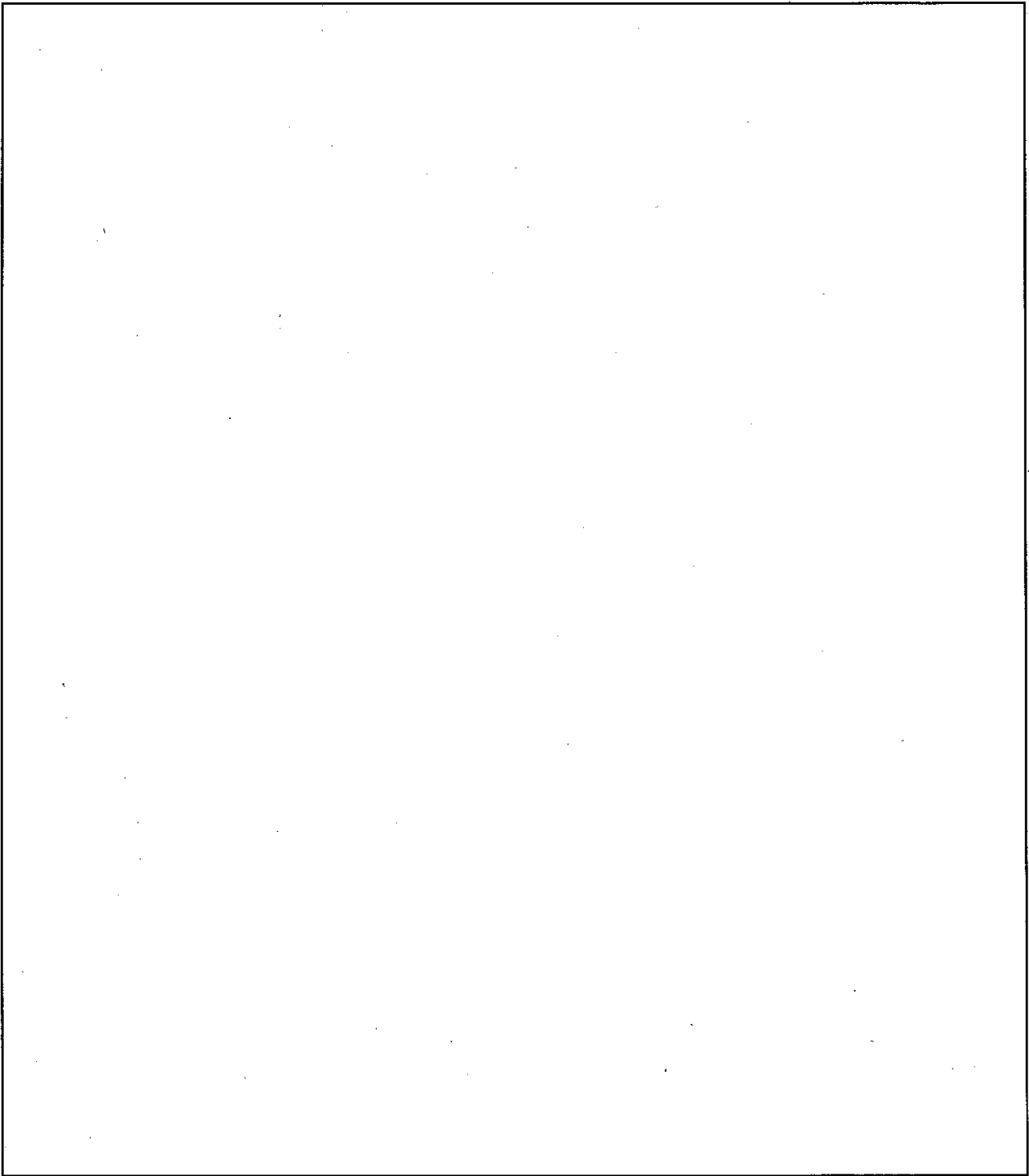
(イ) - 第2表 核燃料輸送物重量

[単 位 : kg]

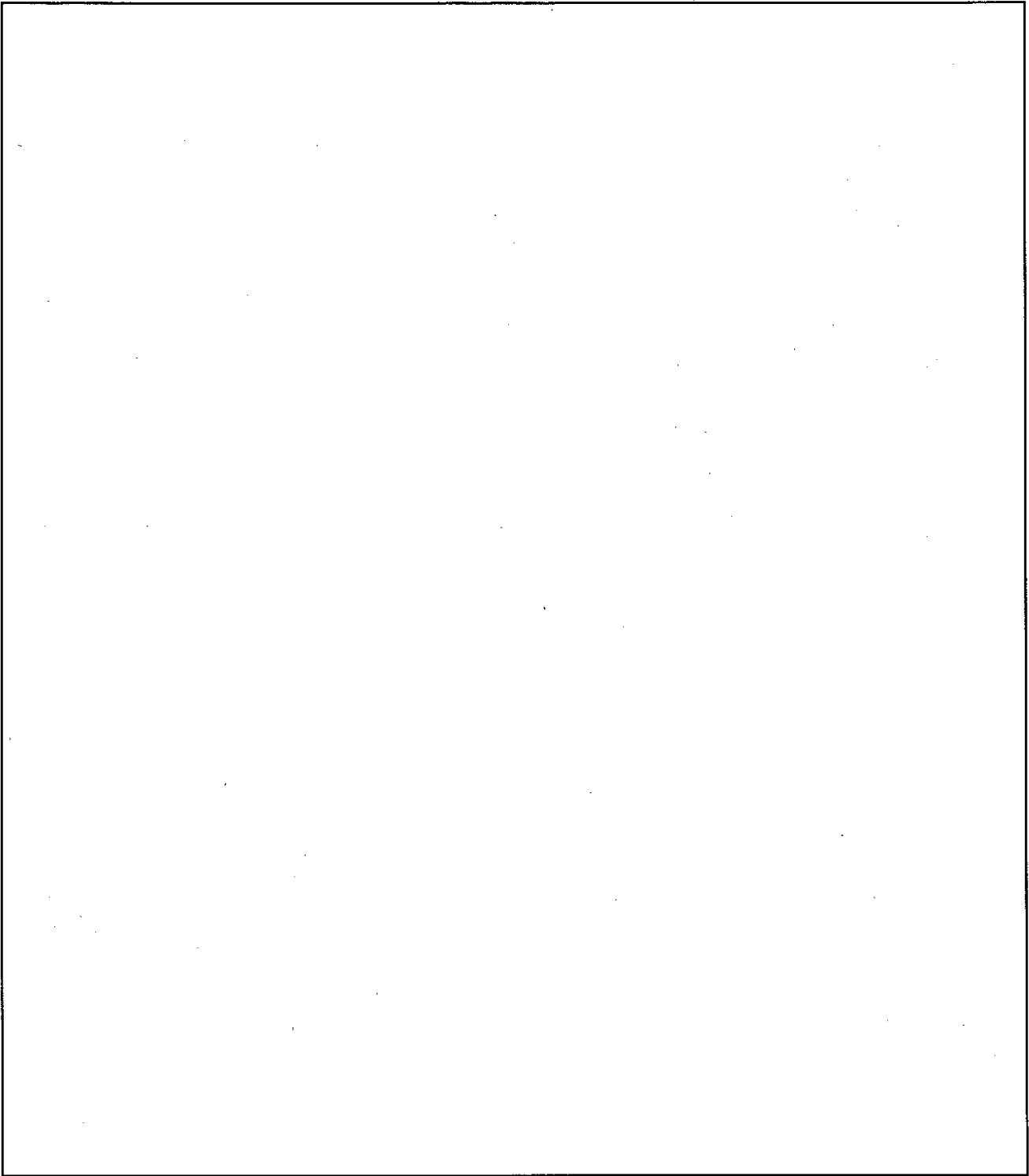
名 称	最 大 重 量
(1) 外 容 器	<input type="text"/>
(2) 二次密封容器	<input type="text"/>
(3) 一次密封容器	<input type="text"/>
(4) 収 納 物	<input type="text"/>
(5) 輸送容器総重量 〔(1) + (2) + (3)〕	<input type="text"/>
(6) 核燃料輸送物総重量 〔(1) + (2) + (3) + (4)〕	<input type="text"/>



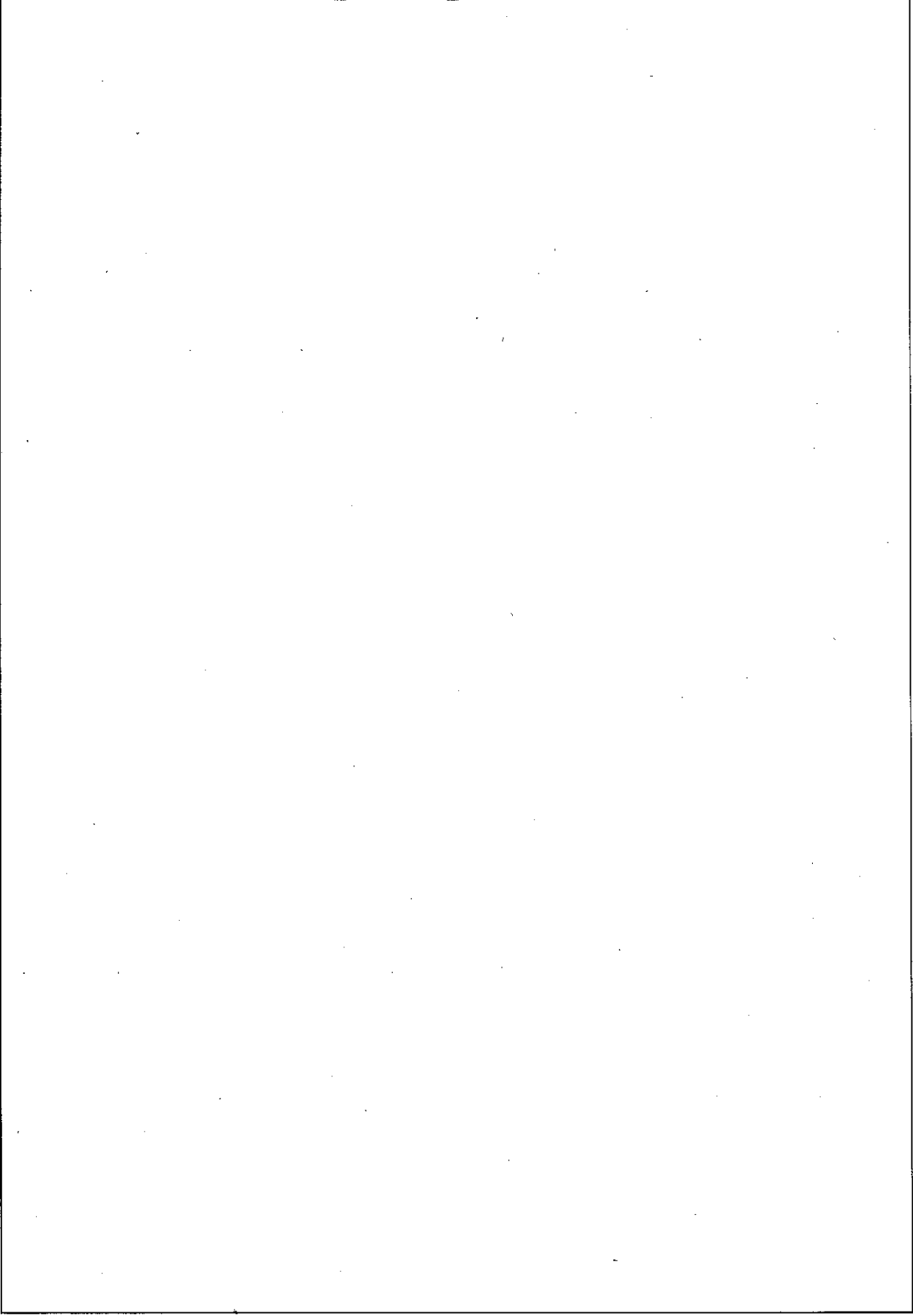
(イ) - 第1図 T O S S型核燃料輸送物全体図



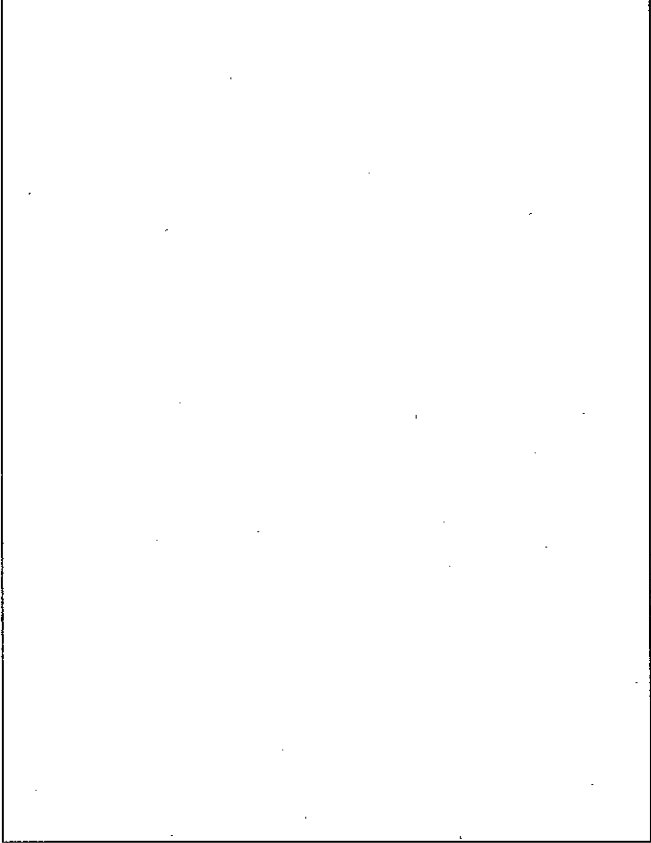
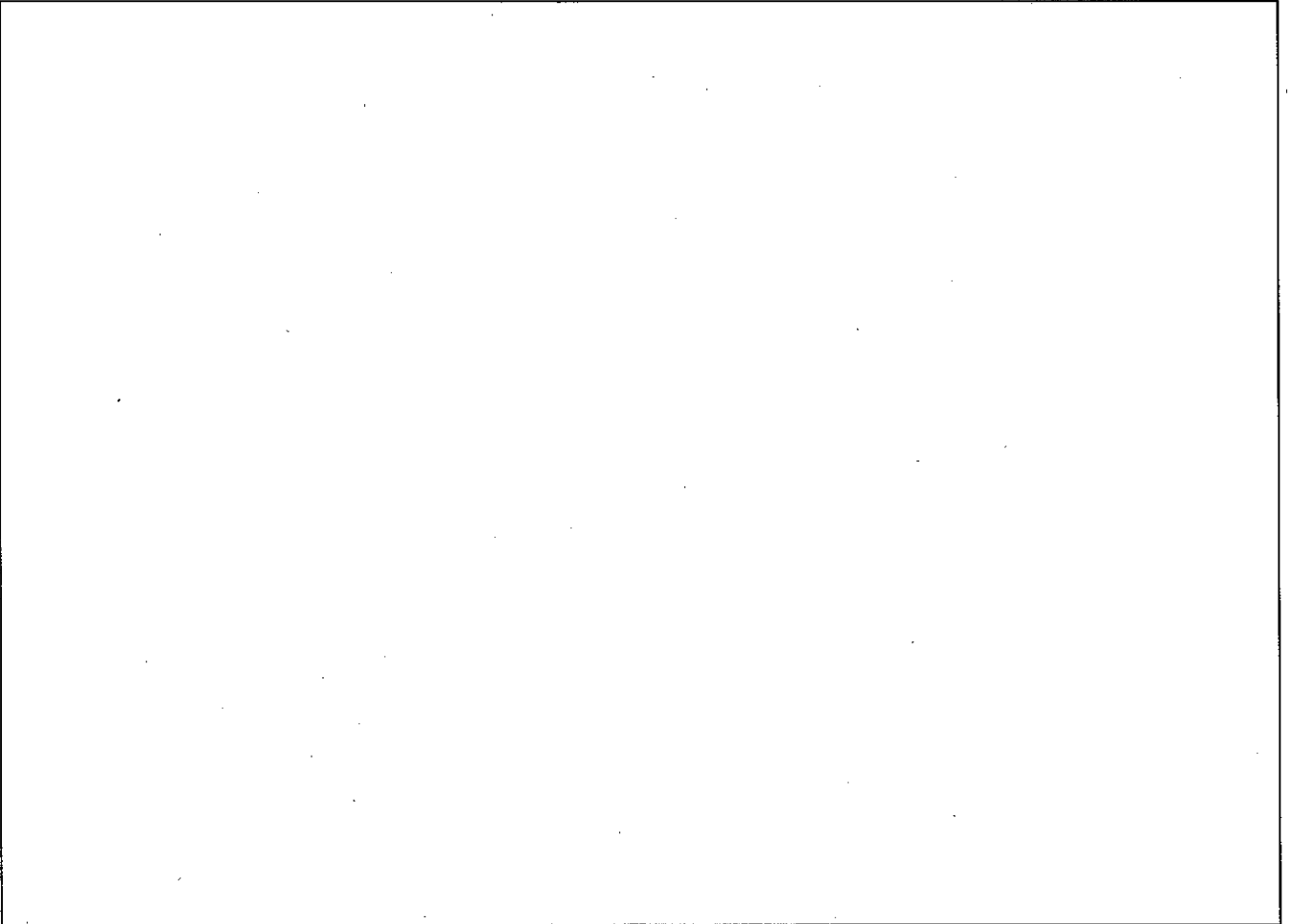
(イ) - 第 2 図 T O S S 型核燃料輸送物断面図



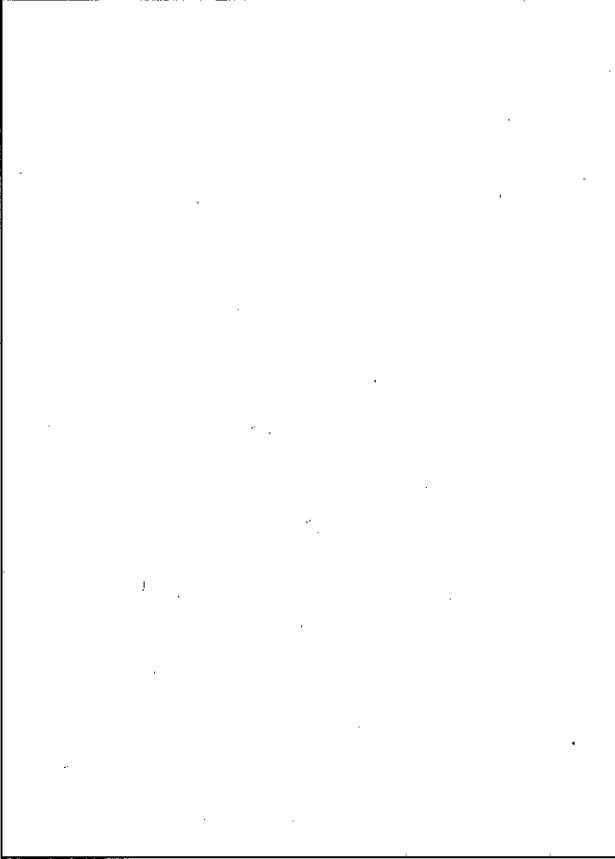
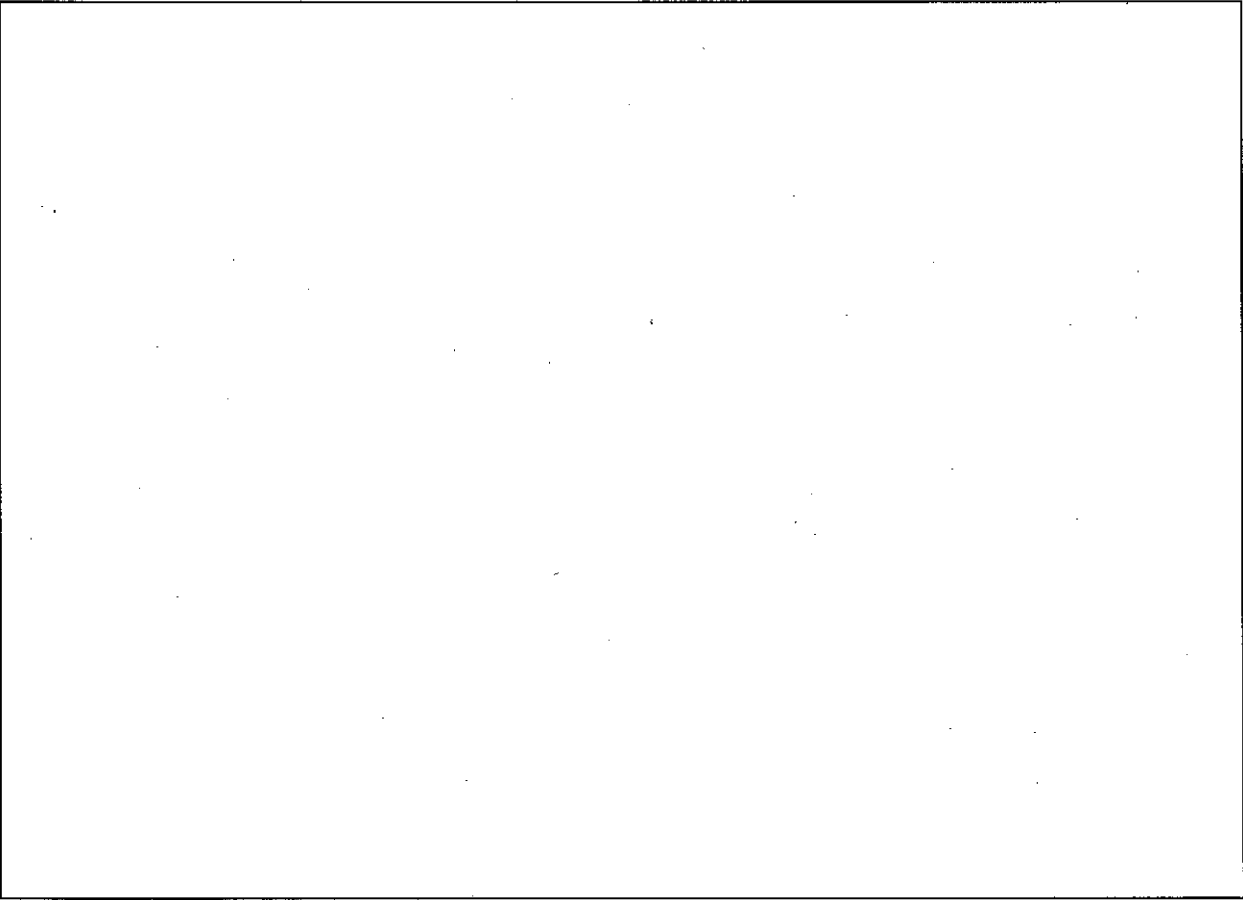
(イ) - 第3図 TOS S型核燃料輸送物組立手順



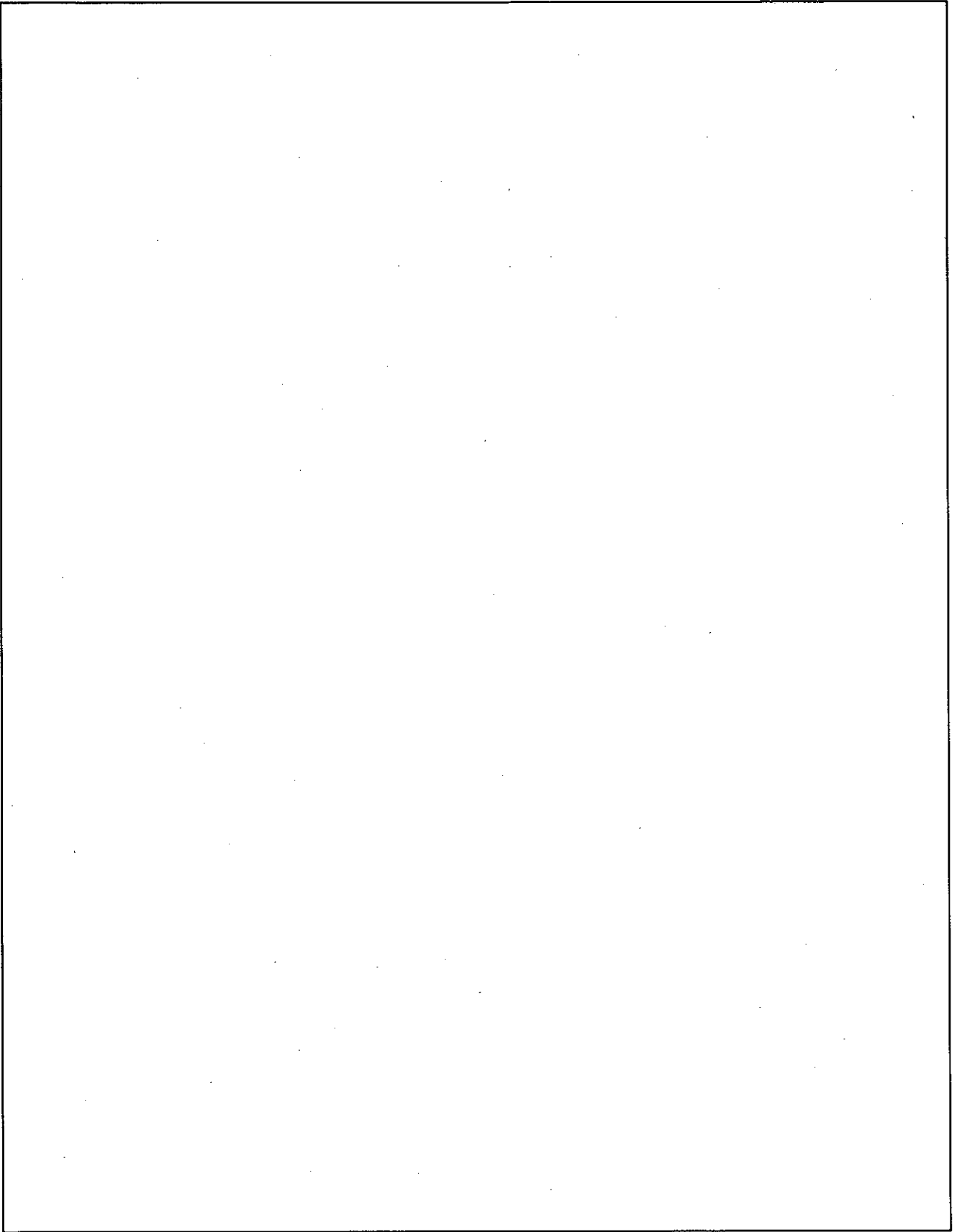
(イ) 第4図 外容器



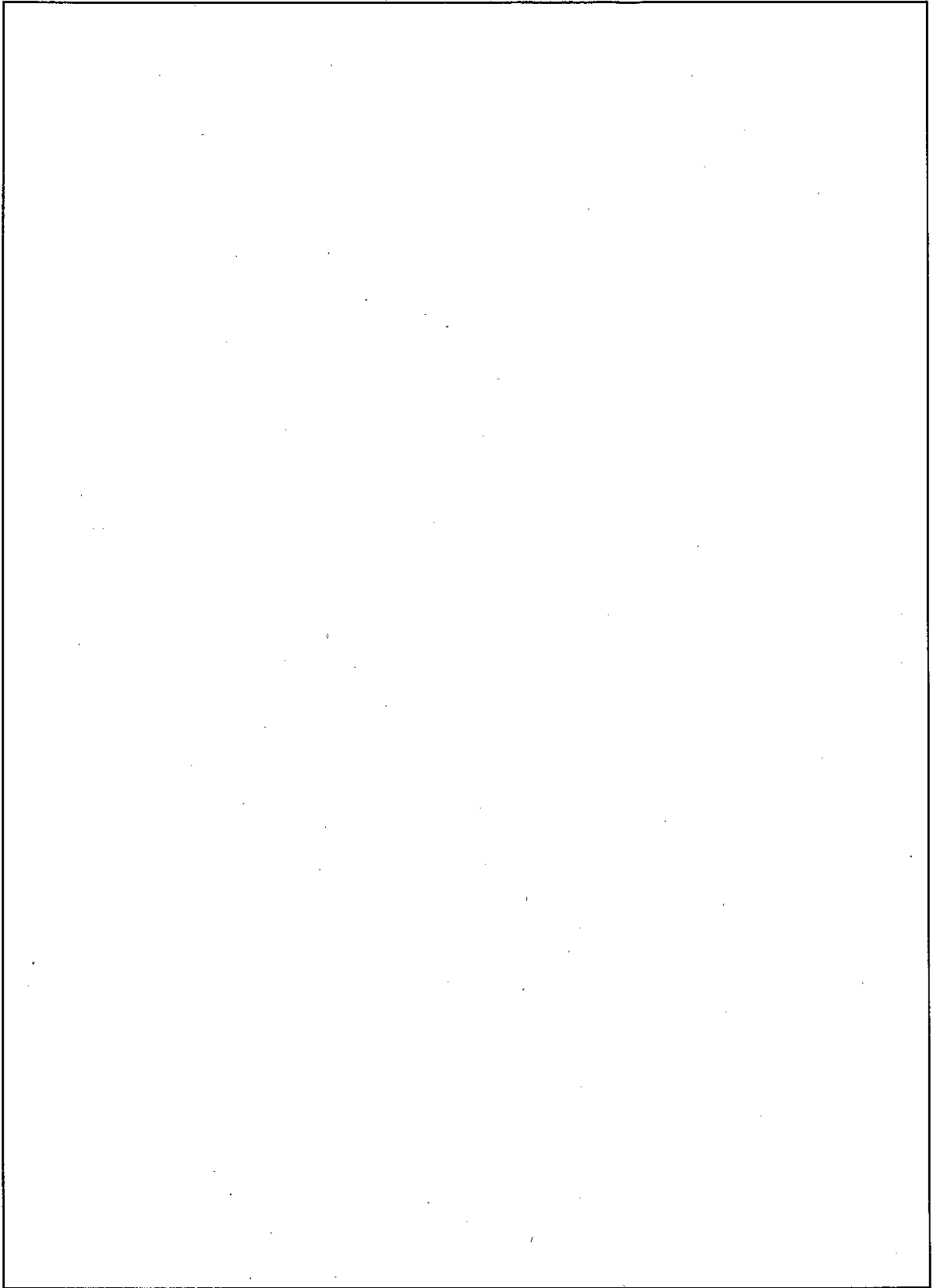
(イ) 第一回 二次密封装置



(イ) 第6図 一次密封容器



(イ) - 第7図 ヘリウムリークテスト孔 (注入孔) 詳細



(イ) - 第 8 図 輸送荷姿

D. 輸送容器の収納物

本容器に収納される核燃料物質は (イ)-第3表に示す収納物である。性状の異なる収納物は同一の輸送容器には収納しない。

本輸送容器の収納物は収納缶、吸収材、 又は
、放射性物質の試料容器及び試料から構成される。

試料の形状及び性状により、試料容器の形状及び収納形態は異なり、(イ)-第9図～(イ)-第17図に示すようになる。試料容器はいずれも に封入され、収納形態(5)、(8)及び(9)を除き、 は茶筒形の (
 : 寸法は試料容器の形状により異なる) 内に収納され、収納形態(5)、(8)及び(9)については、 は茶筒形の (: 寸法は試料容器の形状により異なる) 内に収納される。 及び は吸収材 [パーミキュライト : C.(1)項参照] で囲まれ、これらは収納缶 [
 :] 内に収納される。吸収材は試料容器の破損等による漏えい放射性物質を吸収するためのものである。各試料容器の概略仕様を (イ)-第4表に示す。

核燃料物質は (イ)-第3表に示す収納条件を満足する範囲で、(イ)-第9図～(イ)-第17図に示すような収納形態で収納する。

収納物の最大放射能の量及び最大発熱量を (イ)-第5表に示す。

(イ) - 第3表 輸送容器に収納される核燃料物質の仕様

項 目	収 納 物
(イ) 種 類	プルトニウム試料, ウラン試料, ウラン・プルトニウム混合試料
(ロ) 性 状*1	[] []
(ハ) 重 量*2	最大 []
・ウラン	最大 []
ウラン同位体装荷量	最大 []
U 233	最大 []
U 234	最大 []
U 235	最大 []
U 236	最大 []
U 238	最大 []
・プルトニウム	最大 []
プルトニウム同位体装荷量	最大 []
P u 238	最大 []
P u 239	最大 []
P u 240	最大 []
P u 241	最大 []
P u 242	最大 []
P u 244	最大 []
A m 241	最大 []
(ニ) 放射能の量	最大 []
・総量	最大 []
・主要な核種	最大 []
P u 238	最大 []
P u 241	最大 []
A m 241	最大 []
(ホ) 発 熱 量	最大 []
(ヘ) 組 成	最大 []
・核分裂性プルトニウム富化度	最大 []
・プルトニウム富化度	最大 []
・ウラン濃縮度	最大 []
(ト) 燃 焼 度	該当せず
(チ) 冷却日数	該当せず

*1) [] は混載しない。なお, [] とする。

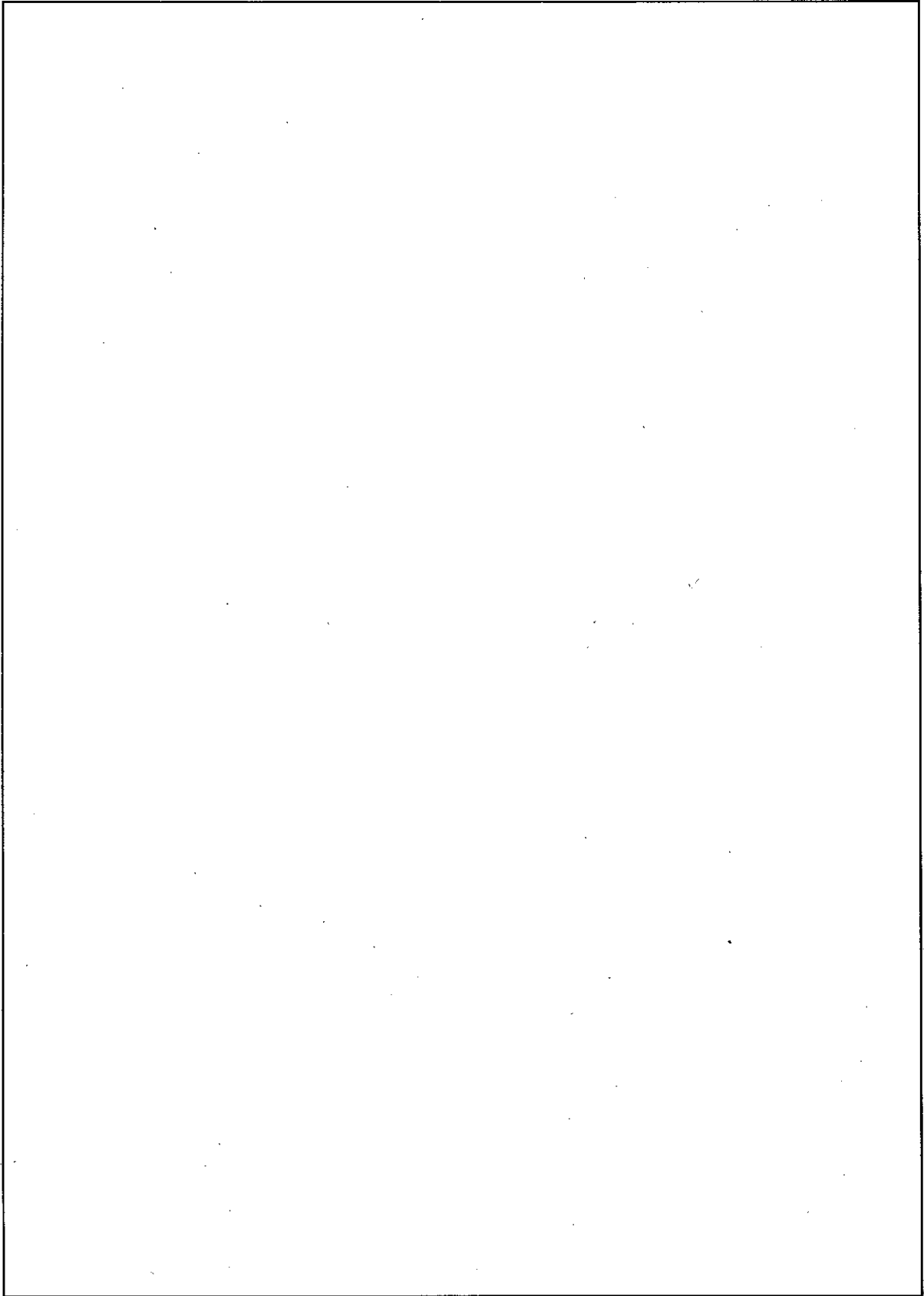
*2) ウラン・プルトニウム混合試料に関しては, ウランの重量及びプルトニウムの重量は, ウランについては最大 [] g, プルトニウムについては最大 [] g とし, ウラン及びプルトニウムの合計量は最大 [] g とする。この場合においても, 各々の同位体装荷量は本表のそれぞれの同位体の最大重量を超えないものとする。また, ウラン試料, プルトニウム試料及びウラン・プルトニウム混合試料のうち, いずれか2つ又は全部を混載する場合も同様とする。

(イ) - 第4表 試料容器概略仕様

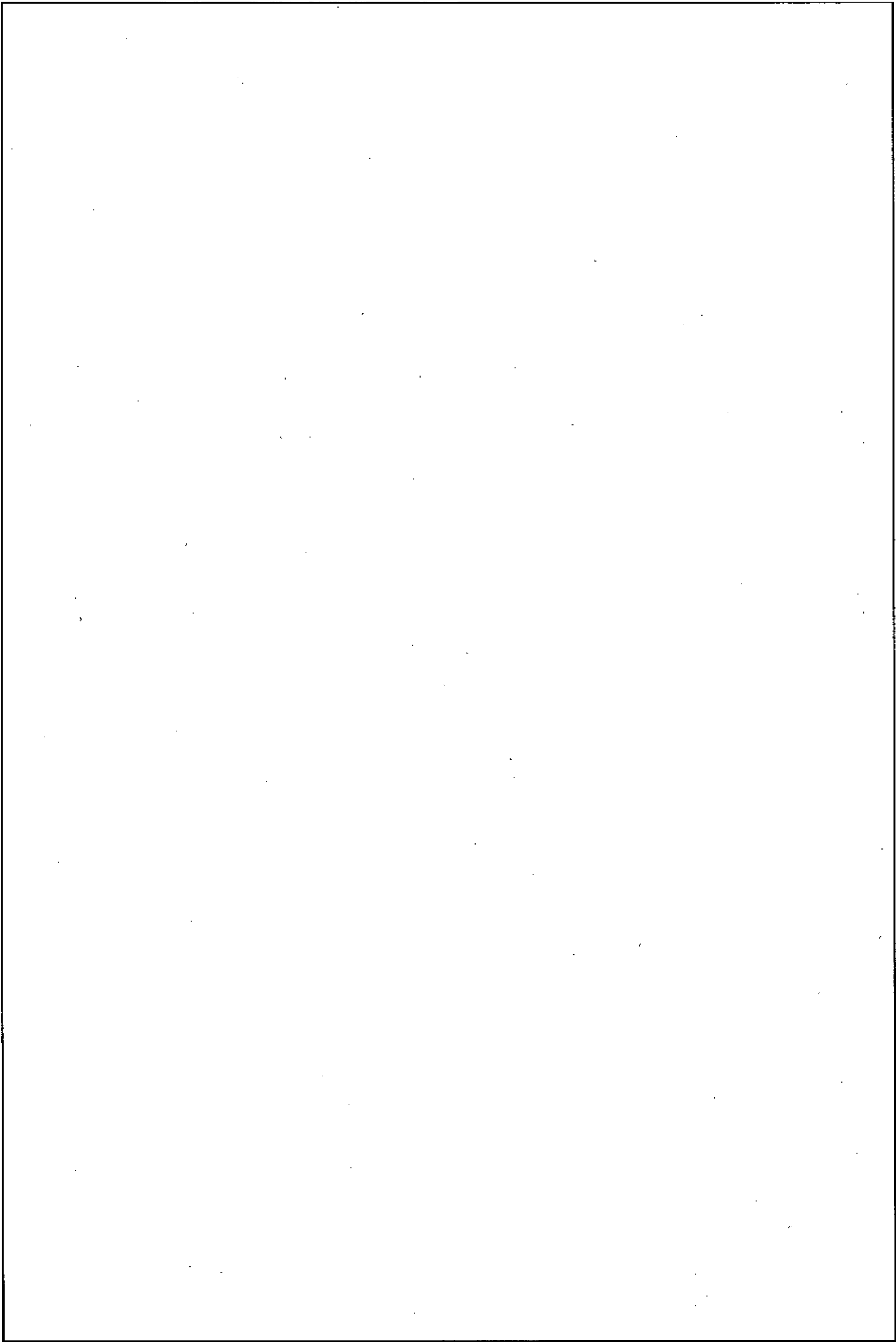
試料性状	品名	材質	形状 (公称) (mm)			参照図及び 収納形態	
			外径	全長	厚さ		
□	□	□	□	□	□	(イ)-第9図	(1)
	□	□	□	□	□	(イ)-第10図	(2)
□	□	□	□	□	□	(イ)-第11図	(3)
□	□	□	□	□	□	(イ)-第12図	(4)
		□	□	□	□		
	□	□	□	□	□	(イ)-第13図	(5)
		□	□	□	□		
		□	□	□	□		
□	□	□	□	□	□	(イ)-第14図	(6)
		□	□	□	□		
	□	□	□	□	□	(イ)-第15図	(7)
		□	□	□	□		
□	□	□	□	□	□	(イ)-第16図	(8)
		□	□	□	□		
		□	□	□	□		
		□	□	□	□		
	□	□	□	□	□	(イ)-第17図	(9)
		□	□	□	□		
		□	□	□	□		
		□	□	□	□		

(イ) - 第5表 輸送容器の収納物条件

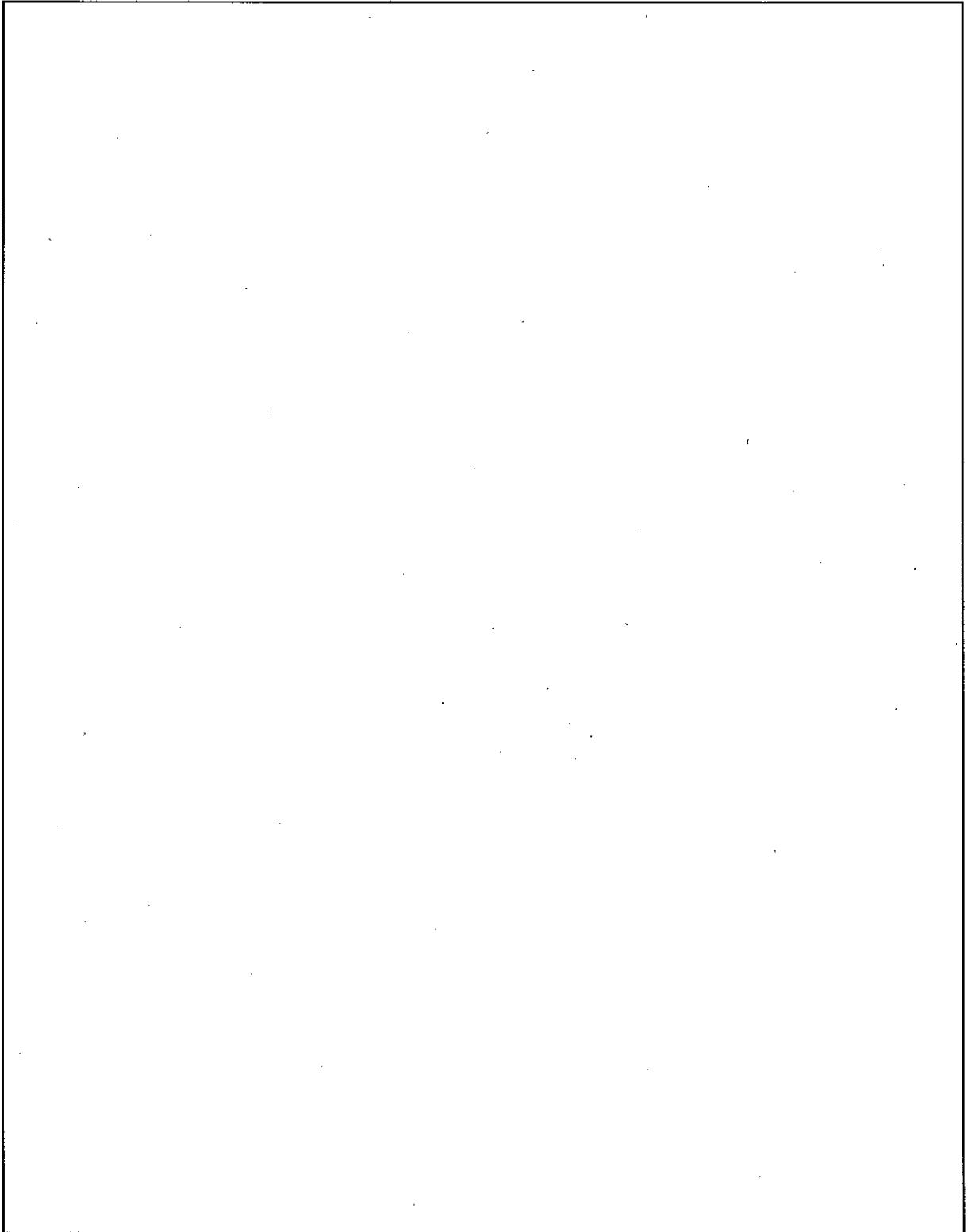
	収 納 物
最大放射能の量	<input type="text"/>
最大発熱量	<input type="text"/>



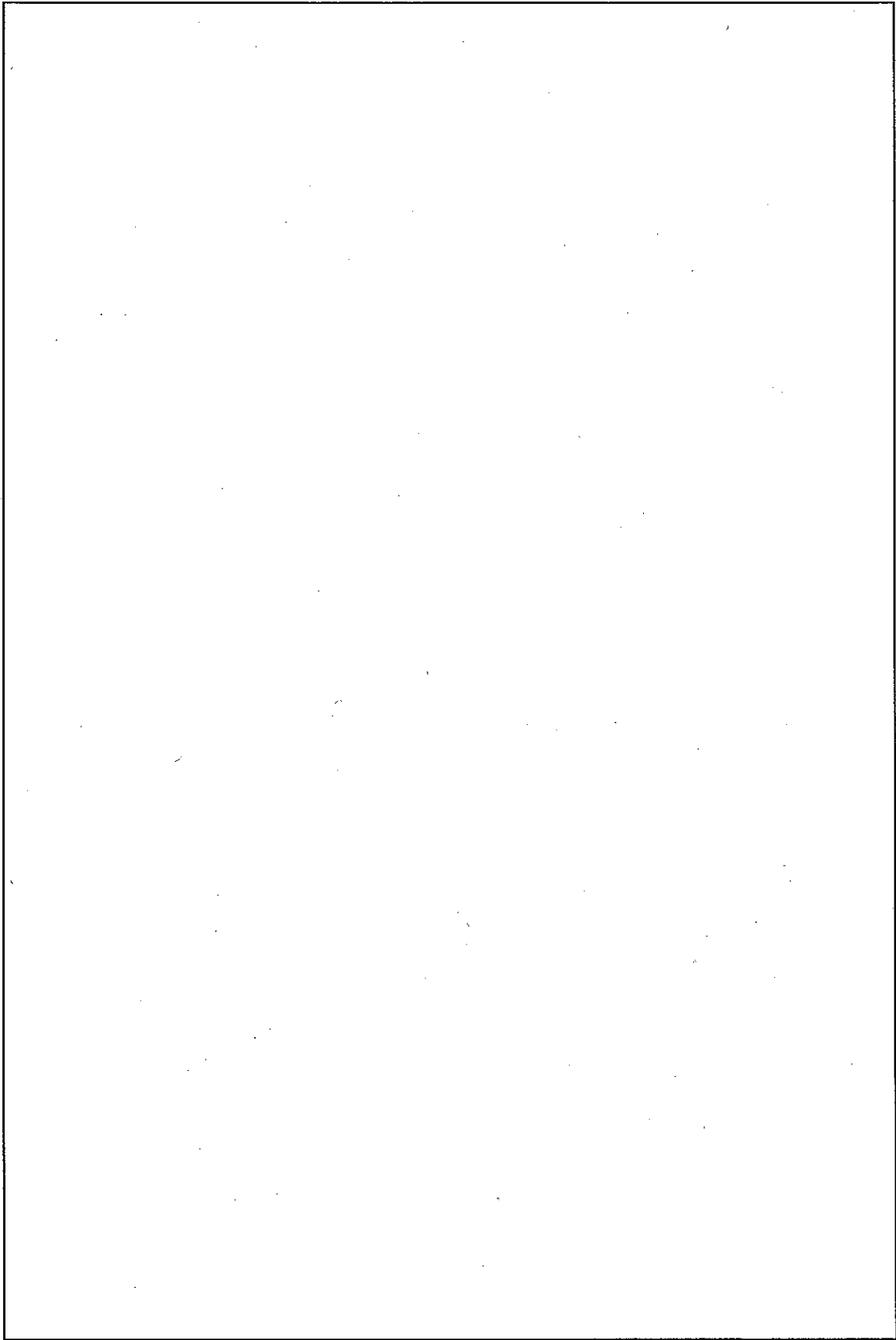
(イ) - 第 9 図 収納形態 (1)



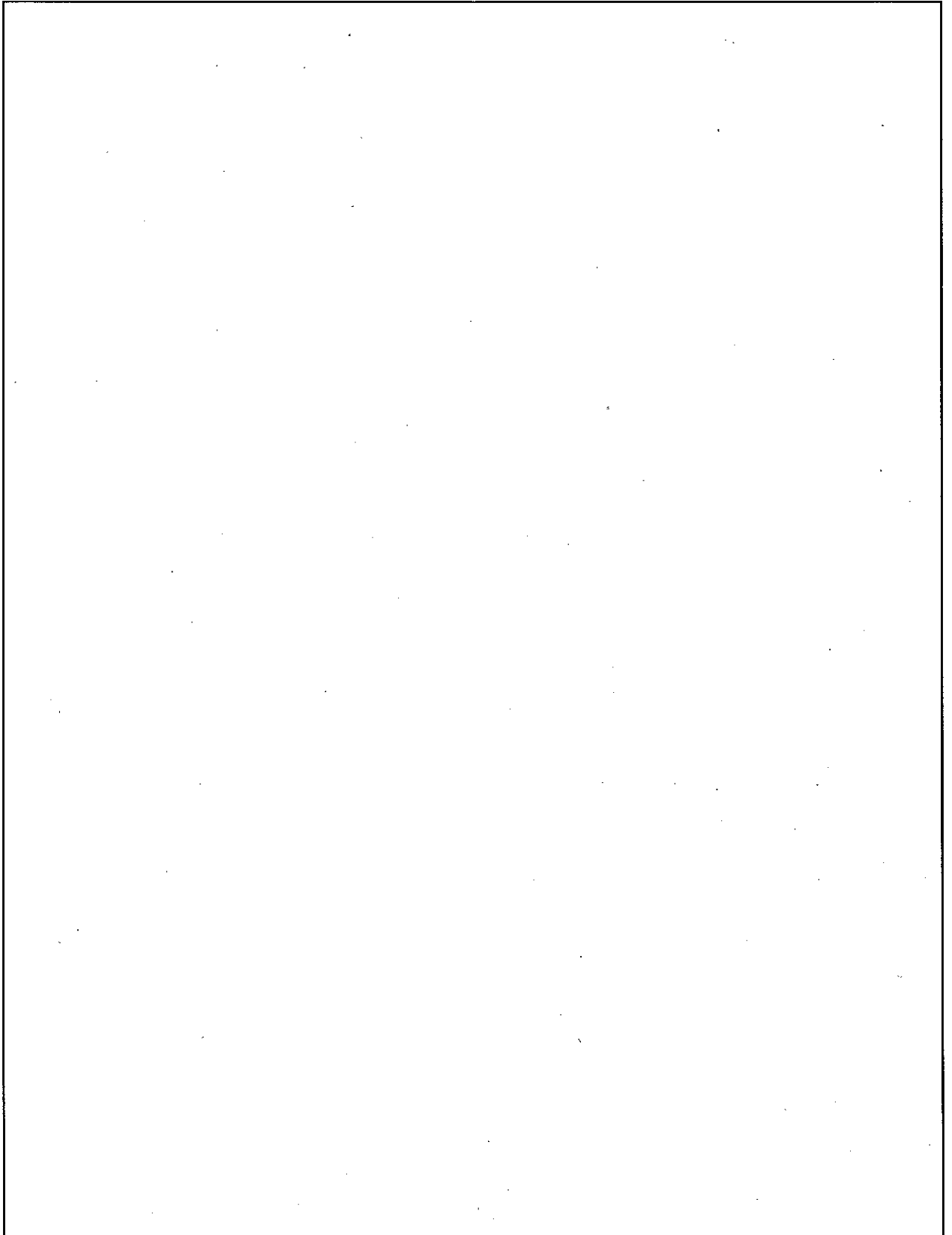
(イ) - 第10図 収納形態(2)



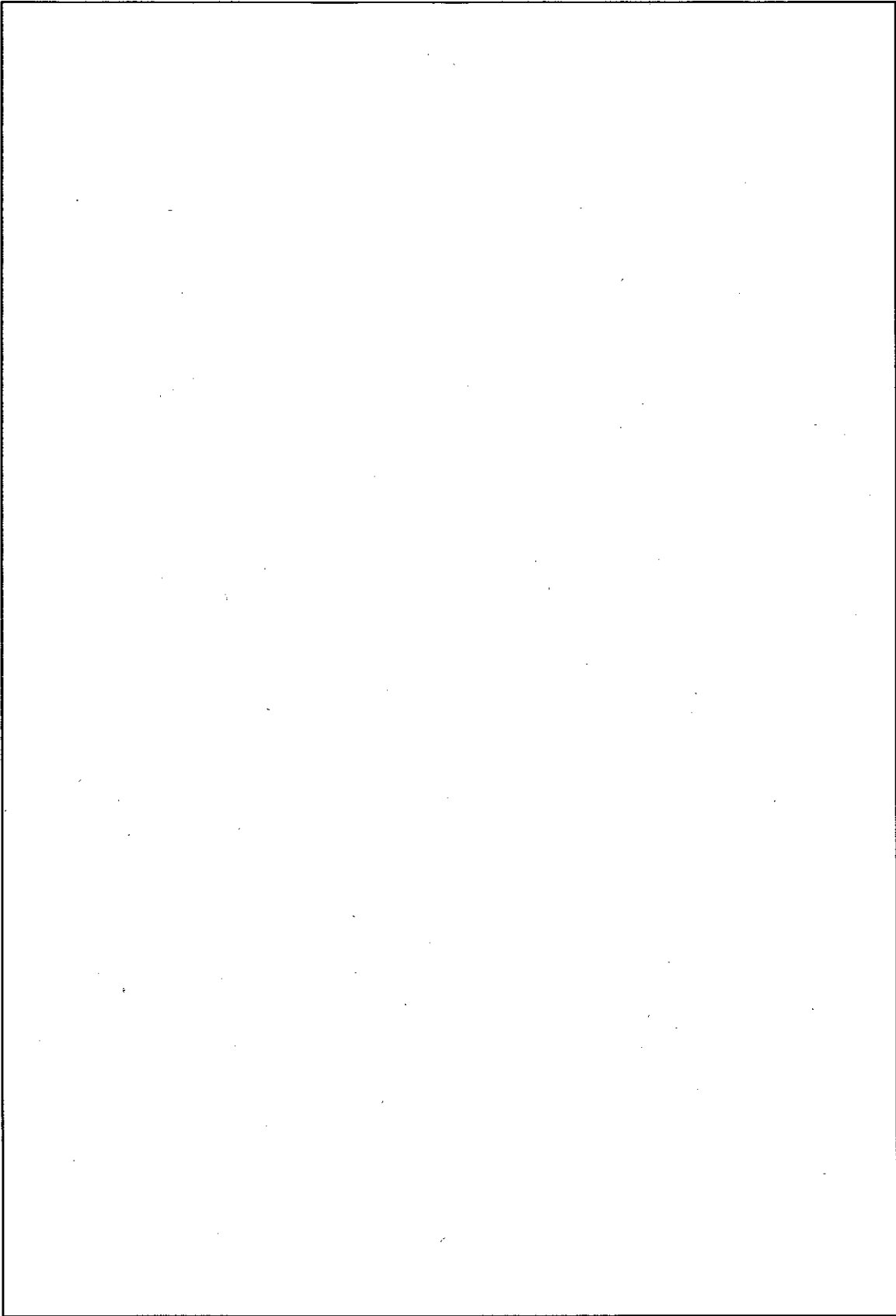
(イ) - 第11図 収納形態(3)



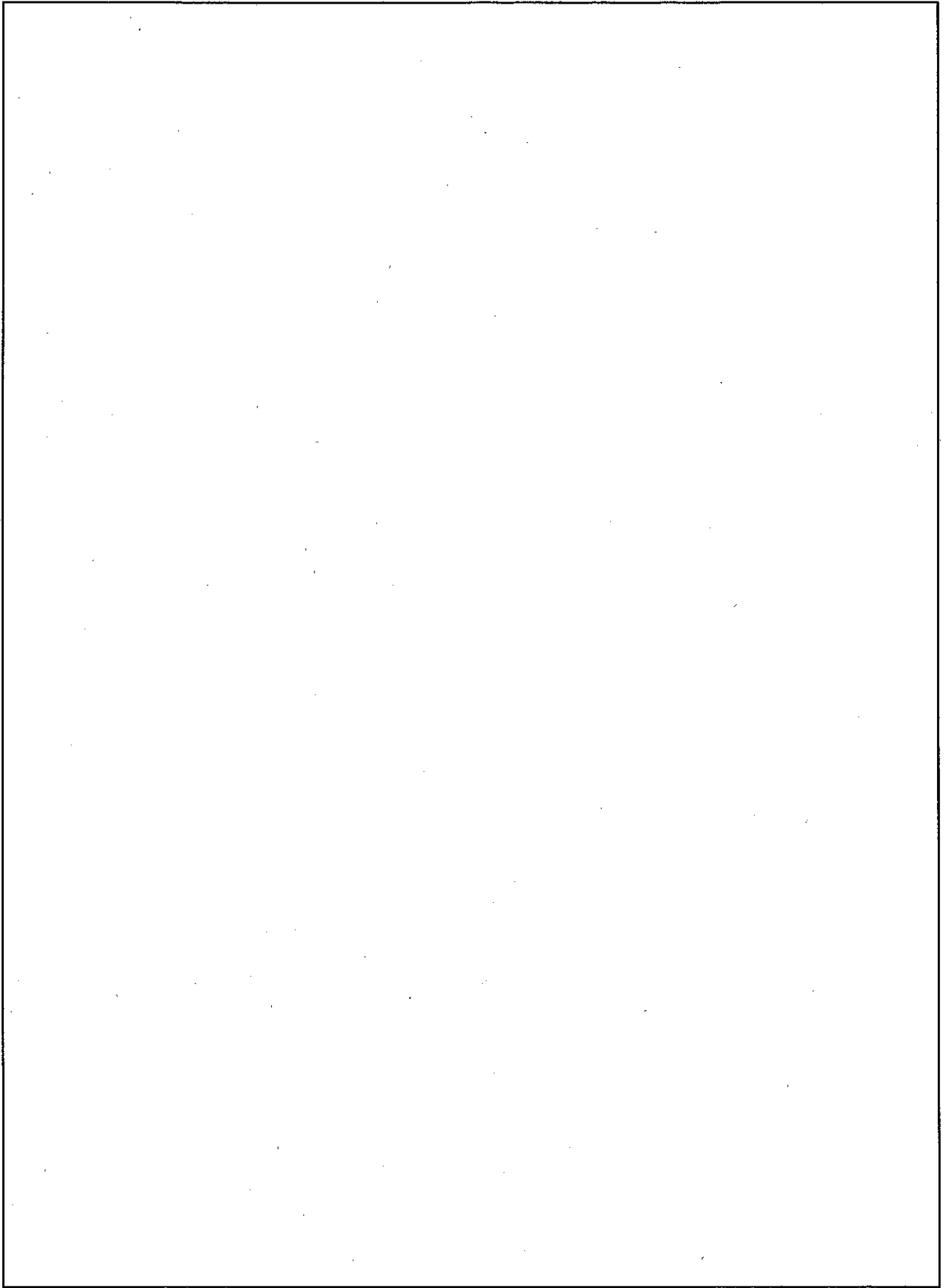
(イ) - 第12図 収納形態(4)



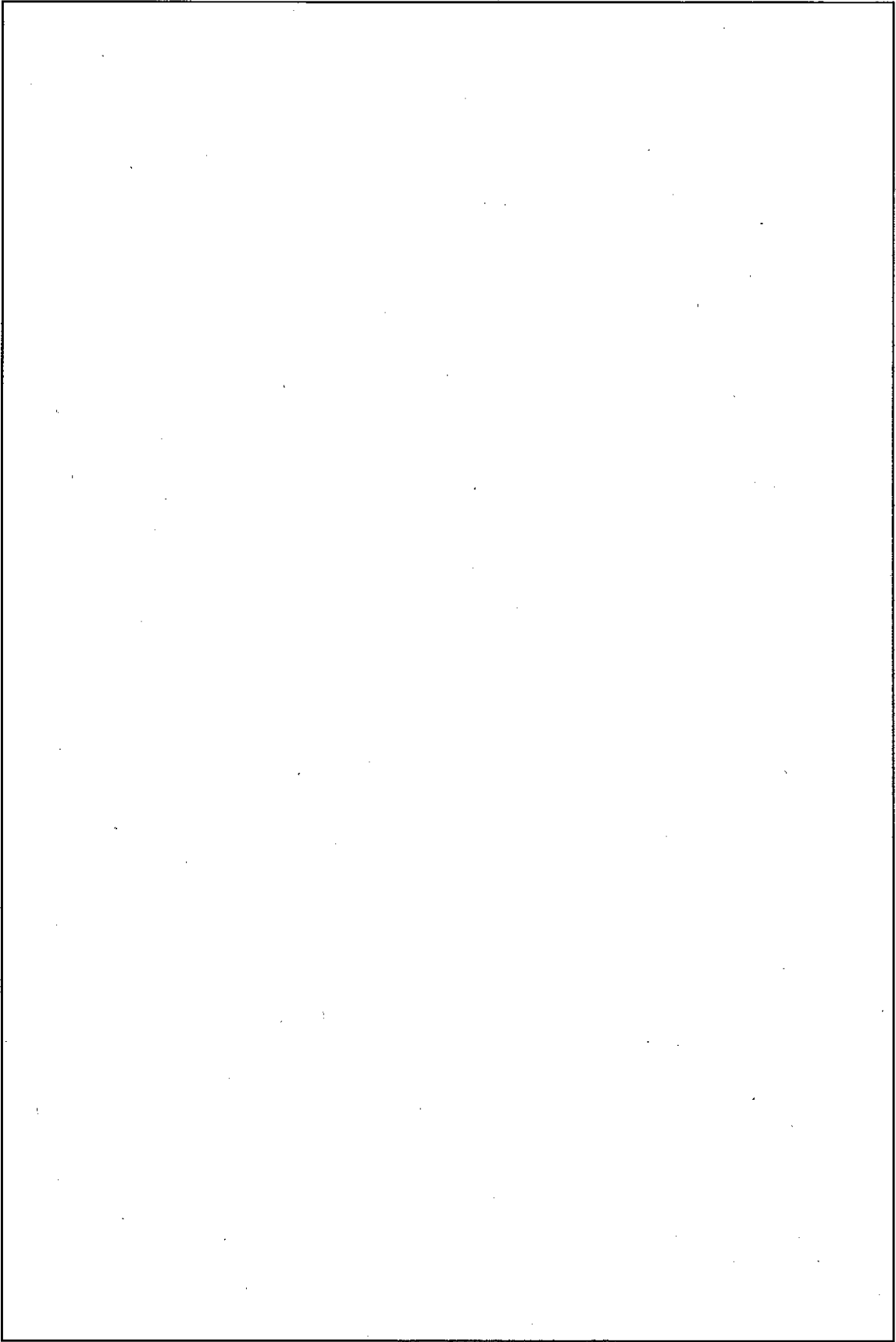
(イ) - 第13図 収納形態(5)



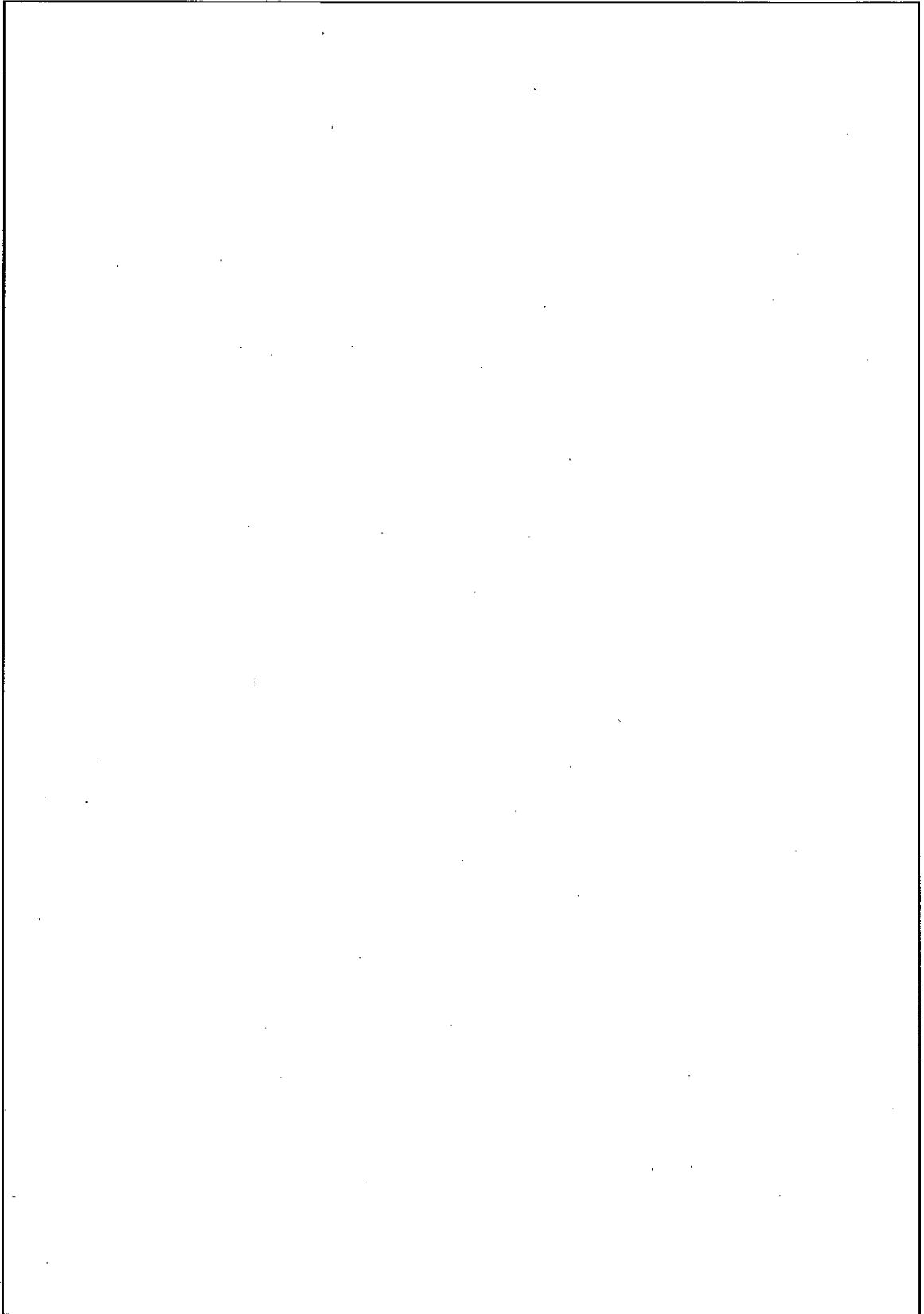
(イ) - 第14図 収納形態(6)



(イ) - 第15図 収納形態(7)



(イ) - 第16図 収納形態(8)



(イ) - 第17図 収納形態 (9)

ロ 章 核燃料輸送物の安全解析

本核燃料輸送物に係る安全解析及び評価は、核燃料輸送物が「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、本章において「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（平成 2 年科学技術庁告示第 5 号）」（以下、本章において「外運搬告示」という。）に基づき、BU型核分裂性輸送物としての技術上の基準に適合することを示すために行う。

本核燃料輸送物に係る各解析は次のように実施している。

(A) 構造解析

通常輸送時における化学的及び電氣的反応、低温強度、吊上装置、固縛装置、圧力及び振動による核燃料輸送物の健全性を解析等により評価する。

一般の試験条件下における熱的試験、水噴霧、自由落下、積み重ね試験及び貫通による核燃料輸送物の健全性を解析により評価する。

特別の試験条件下における強度試験・落下試験Ⅲ、落下試験Ⅱ、熱的試験及び浸漬試験による核燃料輸送物の健全性を解析等により評価する。

また、本核燃料輸送物は核分裂性輸送物であるので、臨界解析に用いる一般の試験条件下及び特別の試験条件下における核燃料輸送物の解析モデルの検討も行っている。

(B) 熱解析

一般の試験条件下における定常状態の核燃料輸送物各部の温度を解析により評価する。特別の試験条件下における耐火試験は熱による緩衝体の炭化量を考慮して解析により評価する。

(C) 密封解析

一次密封容器から漏えいがあるとして解析により評価する。放射性収納物質が粉末である場合及び溶液である場合について漏えい基準値に対する比較検討を行う。

(D) 遮蔽解析

通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における最大線量当量率を解析により評価する。一般の試験条件は構造解析による変形を、特別の試験条

件は構造解析及び熱解析による変形をそれぞれ考慮している。

(E) 臨界解析

本核燃料輸送物は、核分裂性輸送物であるので、輸送中、孤立系並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下における孤立系及び配列系の核燃料輸送物の実効増倍係数を解析により評価する。

(F) 核燃料輸送物の経年変化の考慮

本核燃料輸送物について、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の要因における経年変化の考慮の必要性を評価する。

A. 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

本輸送容器は、(イ) - 第1図及び(イ) - 第2図に示すように収納物を収納する一次密封容器と二次密封容器及びこれらの密封容器を落下試験時の衝撃及び耐火試験時の入熱から保護するための[]から成る他容器とで構成される。

本解析は、本核燃料輸送物が通常輸送時と一般の試験条件下及び特別の試験条件下に置かれた場合においても、外運搬規則及び外運搬告示に示されている条件を満足することを示すために行うものである。

A.1.2 設計基準

本核燃料輸送物は、以下に述べる設計の条件に基づき、設計されている。

A.1.2.1 設計の条件

設計の条件として以下の諸条件を考慮した。

(I) 通常輸送時

- 1) 輸送容器の材質及び収納物相互間で化学的及び電氣的に作用し合わないことを原則とする。
- 2) 密封装置（一次密封容器及び二次密封容器）は、外容器から独立した締め付け金具で密封することができるものとし、さらに、密封装置の強度は保たれ、密封容器の性能は維持されるものとする。
 - (a) 収納物の崩壊熱により生じる熱膨張に対し、密封装置の強度は保たれ、密封装置の性能が維持されるものとする。
 - (b) 周囲の気圧が60kPa abs.まで低下しても、その強度と密封性能は維持されるものとする。
- 3) 密封装置は不用意に開けられない構造とする。
- 4) 核燃料輸送物の吊上装置は、吊上荷重の3倍の荷重を受けた場合にも、強度を保つものとする。
- 5) 輸送容器を構成する材料は、輸送中に予想される38℃～-40℃の周囲の温度変化に対し、その材料の特性が維持されるものとする。

- 6) 核燃料輸送物は輸送中に受ける2 Gの加速度と振動に対し、その構造上の健全性を維持するものとする。

(II) 一般の試験条件

- 1) 水噴霧試験において外容器への水の浸入がないものとする。
- 2) 1.2 mの高さからの落下試験に対して、本核燃料輸送物は核燃料輸送物としての健全性を維持し、本来の輸送の目的を遂行できるものとする。
- 3) 核燃料輸送物の重量の5倍の荷重による積み重ね試験に対し、本核燃料輸送物の強度と健全性が維持されるものとする。
- 4) 直径32mmで先端が半球形の重さ6 kgの棒の1 mの高さからの本核燃料輸送物への貫通棒落下試験に対し、外板の貫通は生ずることなく、その変形は密封容器に損傷を与える範囲に到達することなく、核燃料輸送物の健全性が維持されるものとする。
- 5) 上記1)～4)までの条件を満たした後に、周囲温度が38℃～-40℃の環境に1週間放置された場合に、本核燃料輸送物の健全性が維持されるものとする。

(III) 特別の試験条件

- 1) 9 mの高さからの圧潰試験に対し、本核燃料輸送物が特別の試験条件下での法規上の要求事項を満足するものとする。
- 2) 1 mの高さからの貫通棒への落下に対し、外容器の外板には貫通が生ずることはない。その変形は密封容器に損傷を与える範囲まで到達することなく、密封容器の健全性が維持されるものとする。
- 3) 耐火試験、すなわち、800℃の環境に30分間置く試験において本核燃料輸送物はその熱的影響に耐え、密封性能を維持するものとする。
- 4) 15mの深さの水中への浸漬試験において本核燃料輸送物の密封装置の強度は保たれ、その密封性能は維持されるものとする。
- 5) 上記1)～4)の条件を満足した後に、周囲温度が38℃～-40℃の環境に1週間放置された場合でも本核燃料輸送物の強度は保たれ、密封性能は維持されるものとする。

A.1.2.2 設計の基準

構造設計における設計の基準を以下のように定める。

- 1) 吊上用具及び固縛装置に対しては、使用材料の降伏応力を基準とする。引張及び圧縮応力については降伏応力 S_y を許容応力とし、剪断応力については $0.6 S_y$ を許容応力とする。
- 2) 緩衝体の変形許容値としては変形が密封容器に到達することなく、十分な変形代が残っており、密封容器に緩衝体により定められた以上の衝撃力が働かないような変形量とする。
- 3) 密封容器に対する一次応力の評価としては、最大剪断応力説に基づき、応力強さと材料の許容応力を比較するものとする。許容応力 S_m は材料の降伏応力を S_y とすると、

$$S_m = \frac{2}{3} S_y \quad \text{である。}$$

- 4) 密封容器に対する二次応力（熱応力、局所応力等）の評価としては、一次及び二次応力の総和としての応力強さの許容値は S_m とする。
- 5) 密封容器の円筒胴に対する外圧の設計基準としては、ASME Section III NB 3133^[1]により求められる円筒胴の座屈に対する許容外圧とする。

設計条件及び解析方法のまとめを（ロ）－第A.1表に示す。

解析の結果の設計基準に対する評価を行うため、次の式で計算される余裕率 MS となる値を用いる。

$$MS = \frac{\text{設計基準値}}{\text{解析値}} - 1$$

したがって、余裕率が正であれば、評価している対象は健全である。

(ロ) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (1/7)

条件	解析項目及びその詳細	参照図	設計			条件			解析方法		備考
			材質	温度(°C)	種類	設計	負荷係数	要素	適用数式又は要素	解析基準	
通常	[化学的及び電気的反応] 輸送容器 [低温強度] 輸送容器 [密封装置] 一次及び二次密封	(イ) - 第1図 (イ) - 第2図		常温	食腐性 材	- - - -	硝酸, 水分 低温脆性 材料特性	硝酸と収納物の化学反応 低温脆性の有無 特性の変化の有無	許容温度・圧力内	B.4.4, B.5.4 参照	
輸送時	[吊上装置] 吊金具 吊金具取付部 輸送架台の底板	(ロ) - 第A.2図 (ロ) - 第A.4図 (ロ) - 第A.3図 (ロ) - 第A.5図 (ロ) - 第A.6図 (ロ) - 第A.7図 (ロ) - 第A.8図		常温	核燃料輸送物質量 核燃料輸送物質量 + 架台質量 架台質量	安全係数 3 3 3 3 3 3 3 3	引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断	$T = f \cdot X \cdot W$ $\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau^2}$ $\tau = P / (2A)$ $T = f \cdot X \cdot W / n$ $T = f \cdot X \cdot W / n$ $\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau^2}$ $\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau^2}$ $\sigma = M / Z$ $\sigma = M / Z$	$0.6 S_y$ $0.6 S_y$ S_y	X: 安全係数 f: 荷重係数 T: 最大荷重 W: 曲げモーメント M: 断面係数 Z: 断面係数 P: 荷重 A: 断面積 n: 合成応力 σ: 曲げ応力 σ _a : 曲げ応力 τ: 剪断応力 σ _b : 引張応力	
	[固縛装置]	(ロ) - 第A.9図 (ロ) - 第A.11図 (ロ) - 第A.6図		常温	核燃料輸送物質量 + 架台質量	加速度 2 2 2 2	引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断 引曲げ + 剪断	$T = T_o + T_A$ $T = T_o + T_A$ $\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 4\tau^2}$ $\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 4\tau^2}$	$0.6 S_y$	T: 引張力 T _o : 初期締付力 T _A : 合成応力 σ: 合成応力 σ _a : 引張応力 σ _b : 曲げ応力 τ: 剪断応力	

(ロ) - 第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (2/7)

条件	解析項目及びその詳細	参照図	設計			条件			解析方法		備考
			材質	温度(°C)	種類	設計負荷	要素	適用数式又は要素	解析基準		
										種類	
通常輸送時	架台固定ボルト	(ロ) - 第 A.9 図	□	常温	核燃料輸送物質量 + 架台質量	2	合成応力 引張 + 剪断	$\sigma = K_c W_o / (nA)$	0.6 Sy	σ : 応力 a: 半径 K _c : 加速度 W _o : 核燃料輸送物質量 n: ボルトの本数 A: ボルトの断面積 Z: 断面係数	
	□	(ロ) - 第 A.13 図	"	"	核燃料輸送物質量	2	"	$\sigma = K_c W_o a / (4 \cdot Z)$	"	"	
	輸送物固定ボルト	(ロ) - 第 A.12 図	"	"	核燃料輸送物重量	2	"	$\sigma = k_c W_o / (nA)$	Sy	"	
	[圧力]				-		大気圧力変化	A.4.6 参照			
	[振動]						輸送による振動	A.4.7 参照			
一般の試験条件	[熱膨張] ボルト		□		熱膨張	-	熱応力	$\sigma_{th} = \Delta t \cdot \alpha \cdot E$	Sm	σ_{th} : 熱応力 Δt : 最高温度上昇 α : 線膨張係数の差 E: ボルトの純弾性係数	
	[応力計算] 円筒軸方向		□		内圧	-	膜応力	$\sigma_r = \frac{pR}{2h}$	Sm	σ_r : 軸方向応力 σ_θ : 周方向応力 p: 内圧 R: 円筒胴の平均半径 h: 円筒胴の肉厚 a: ボルト中心円の半径	
	周方向		"		"	-	膜応力	$\sigma_\theta = \frac{pR}{h}$	"	"	
	蓋円筒胴		"		"	-	曲げ応力	$\sigma_\theta = \pm \beta_{13} \frac{pa^2}{h^2}$	"	"	
	底半径方向		"		"	-	"	$\sigma_r = \pm \frac{3(3+\nu)pa^2}{8h^2}$	"	σ_r : 半径方向応力 σ_θ : 円周方向応力 ν : ポアソン比 p: 内圧 h: 板厚 a: 内径	
	円周方向		"		"	-	"	$\sigma_\theta = \pm \frac{3(3+\nu)pa^2}{8h^2}$	"	"	

(ロ) - 第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (3/7)

条件	解析項目及びその詳細	参照図	設計		条件		解析方法		備考			
			材質	温度(°C)	種類	設計負荷	要素	適用数式又は要素		解析基準		
											荷	素
	蓋ボルト O-リングの密封性	(v) - 第 A.16 図 (p) - 第 A.17 図	□ □	□ □	内圧 "	-	-	引張応力 変形量	$\sigma_t = \frac{F}{A}$ $\omega = \frac{Pa^4}{64D} \left\{ 1 - \frac{r^4}{a^4} + \frac{r^2 b^2}{a^2} \right\}$ $8(A+1) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \frac{a}{r}$ $4 \left(B - 2 \frac{b^2 r^2}{a^2} \right) \ln \frac{a}{r}$	Sm O-リングのつぶし代	σ_t : 引張応力 F: 内圧による力 A: ボルトの断面積 ω : たわみ量 P: 内圧 D: 曲げ剛性 b: 円板の内半径 r: たわみ計算位置の半径 a: ボルト中心円の半径	
一般の試験条件	[水噴霧] [自由落下] [垂直落下] [水平落下] [角落下]		□ □	常温 常温	水噴霧 1.2m落下			水の浸入の有無 変形量	A.5.2 参照 A.5.3 参照	無		
	[積み重ね試験] [貫通]	(v) - 第 A.31 図 (p) - 第 A.32 図 (v) - 第 A.33 図	□ □ □	常温 常温	圧縮荷重 圧縮荷重 落下エネルギー	-	-	変形量 変形量 変形量の伸び	A.5.4 参照 A.5.5 参照	弾性係数領域内	□鋼の許容伸び率	

(ロ) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (4/7)

条件	解析項目及びその詳細	参照図	設計		条件		解析方法		備考	
			材質	温度(°C)	種類	設計負荷	要素	通用数式又は要素		解析基準
特別の試験条件	[落下試験Ⅲ] 1) 垂直落下容器			常温	9mからの落下エネルギー	変形量	変形量の解析		σ_{max} : 周方向応力 a: 円板の半径 h: 円板の厚さ P: 円板に作用する圧力	
	一次密封容器板蓋	(p) - 第A.48図		"	落下による最大加速度	曲げ応力	$\sigma_{max} = \pm \beta_{14} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$	Sm	σ_t : 引張応力 F_b : ボルトに作用する荷重	
	蓋締付ボルト			"	"	引張応力	$\sigma_t = \frac{F_b}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot 8}$	"	d: ボルトの谷径 ω : たわみ量	
	固定ボルト			"	"	"	$\sigma_t = \frac{F_b}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot 8}$	"	P: 作用荷重 D: 曲げ剛性	
	O-リングの密封性	(p) - 第A.49図		"	"	たわみ量	$\omega = \frac{Pa^4}{64D} \left\{ 1 - \frac{r^4}{a^4} + 8(A+1) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \frac{b^2}{a^2} + 4 \left(B - 2 \frac{b^2 r^2}{a^2 a^2} \right) \ln \frac{a}{r} \right\}$	O-リングのつぶし代	b: 円板の内半径 a: ボルト中心円の半径 r: たわみ計算位置の半径	
	二次密封容器板蓋	(p) - 第A.45図		"	"	曲げ応力	$\sigma_{max} = \pm \beta_{14} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$	Sm	σ_{max} : 周方向応力 a: 円板の半径 h: 円板の厚さ P: 円板に作用する圧力	
	胴板	(p) - 第A.46図		"	"	引張応力	$\sigma_t = \frac{F_A}{A_2}$	"	σ_t : 引張応力 F_A : 胴板に働く力 A_2 : 断面積	
	底板“つば”	(p) - 第A.47図		"	"	合成応力	$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	"	σ_{total} : 合成応力 σ_b : 曲げ応力 τ : 剪断応力	
	O-リングの密封性	(p) - 第A.49図		"	"	たわみ量	$\omega = \frac{Pa^4}{64D} \left\{ 1 - \frac{r^4}{a^4} + 8(A+1) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \frac{b^2}{a^2} + 4 \left(B - 2 \frac{b^2 r^2}{a^2 a^2} \right) \ln \frac{a}{r} \right\}$	O-リングのつぶし代	ω : たわみ量 P: 作用荷重 D: 曲げ剛性 b: 円板の内半径 a: ボルト中心円の半径 r: たわみ計算位置の半径	

(ロ) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (5/7)

条件	解析項目及びその詳細	参照図	設計		条件		解析方法		備考	
			材質	温度(°C)	種類	設計負荷	要素	適用数式又は要素		解析基準
特別の試験条件	2) 水平落下外容器			常温	9mからの落下エネルギー最大	変形量	変形量の解析			
	一次密封容器胴板	(r) - 第A.51図		"	9m落下の最大加速度	曲げによる膜応力	$\sigma_b = \frac{M_a}{Z}$	Sm	σ_b : 曲げ応力 M_a : 曲げモーメント Z : 断面係数	
	固定ボルト	(r) - 第A.52図 (r) - 第A.53図		"	"	合成応力	$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2}$	"	σ_{total} : 合成応力 σ_t : 引張応力 τ : 剪断応力	
	二次密封容器胴板	(r) - 第A.50図		"	"	曲げによる膜応力	$\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z}$	"	σ_b : 曲げ応力 M_{max} : 曲げモーメント Z : 断面係数	
	3) コーナ一次密封容器蓋			"	"	曲げ応力	垂直及び水平落下の項を参照	"		
	蓋締付ボルト			"	"	引張応力				
	固定ボルト			"	"	合成膜応力				
	胴板			"	"					
	4) 傾斜落下									垂直及び水平落下の結果を引用する。

(ロ) - 第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (6/7)

条件	解析項目及びその詳細	参照図	設計条件			解析方法		備考	
			材質	温度(°C)	種類	設計負荷	適用数式又は要素		解析基準
特別の試験条件	〔落下試験II〕 垂直, 水平, コナの落下 容器 一次密封容器 二次密封容器 〔熱的試験〕 1) 熱膨張部	(p) - 第A.54図	常	常	1 mからの落下 下エネルギー 落下の最大 加速	変形量	変形量の解析 落下試験IIの結果を 引用する。	解析法はA.6.2を参照 σ: 熱応力 α: 線膨張係数 E: 縦弾性係数 T ₁ : 二次密封容器下端 の温度 T ₂ : 二次密封容器上端 の温度 r: 平均半径 t: 肉厚 ℓ: 長さ ν: ポアソン比 σ: 熱応力 α _{sus} : 線膨張 係数 α _B : 線膨張係数 Δt: 温度差 σ _φ : 軸方向応力 σ _θ : 周方向応力 P: 内圧 R: 円筒の平均半径 a: 半径 h: 板厚 σ _{max} : 最大応力 ν: ポアソン比 F: ボルトに働く力 A: ボルトの断面積 ω: たわみ量 P: 内圧 D: 板の曲げ剛性 b: 内圧の作用面の 半径 a: ボルト中心円の半径 r: たわみ計算位置の 半径 ν: ポアソン比	
			温	温	熱膨張	熱応力	$\alpha = \frac{4\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{\alpha E (T_2 - T_1)}{(1 - \nu^2)^{3/4}}$ $\sigma = \frac{\sqrt{r t}}{\ell} \cdot \sigma$		S m
			膨	膨	熱膨張	熱応力	$\sigma = (\alpha_{sus} - \alpha_B) \Delta t E$		S m
			張	張	熱膨張	熱応力			S m
	2) 応力計算 筒軸方向 周方向 蓋板 底板 蓋ボルト O-リングの 密封性	(p) - 第A.57図	内	内	内	膜応力	$\sigma_\phi = \frac{PR}{2h}$ $\sigma_\theta = \frac{PR}{h}$ $\sigma_{max} = \beta_{13} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$ $\sigma = \frac{3(3 + \nu) P \cdot a^2}{8h^2}$ $\sigma_t = \frac{F}{A}$ $\omega = \frac{Pa^4}{64D} \left\{ 1 - \frac{r^4}{a^4} + \frac{r^2}{a^2} \right\}$ $8(A+1) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \frac{b^2}{a^2} +$ $4 \left(B - 2 \frac{b^2 r^2}{a^2 a^2} \right) \ln \frac{a}{r}$	S m	
			圧	圧	圧	膜応力		"	
			圧	圧	圧	膜応力		"	
			引張	引張	引張	曲げ応力		"	
			たわみ	たわみ	たわみ	引張応力		"	
			量	量	量	たわみ量		"	

(ロ)一第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (7/7)

条件	解析項目及びその詳細	参照図	設計		条件		解析方法		備考
			材質	温度(°C)	種類	設計負荷	適用数式又は要素	解析基準	
特別の試験条件	[浸漬] 二次密封容器 蓋	(ロ)一第A.58図	□	常	外	圧	曲げ応力	$\sigma_{max} = \pm \beta_{13} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$	σ_{max} : 最大応力 P: 外圧 a: 蓋ボルト中心円の半径 h: 板厚 t: 円筒胴の板厚 α : 腐れ代 D ₀ : 円筒胴の外径 B: 材料とパラメーターで決まる係数 C: 継手係数 σ_b : 曲げ応力 P: 外圧 a: 胴部の内半径 r: 応力計算位置の半径
	胴	(ロ)一第A.59図	"	"	"	"	圧屈強度	$P = \frac{BC(t-\alpha)}{D_0}$	Sm 最大使用圧力
	底	(ロ)一第A.59図	"	"	"	"	曲げ応力	$\sigma_t = \frac{3Pa^3}{8h^2} \left\{ (1+\nu) \frac{r^2}{a^2} - (3+\nu) \right\}$	

A.2 重量及び重心

A.2.1 重量

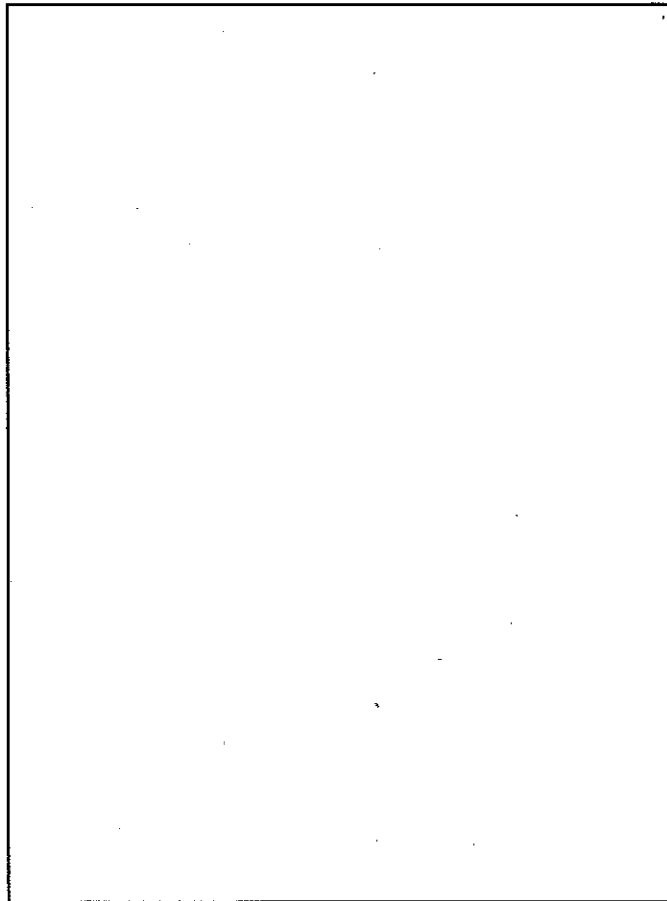
本核燃料輸送物の各部の重量を (ロ) - 第A.2表に示す。

(ロ) - 第A.2表 核燃料輸送物の重量

核燃料輸送物各部の名称	最大重量(kg)
一次密封容器 本体容器 本体蓋 ボルト等の付属品類	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> </div>
二次密封容器 本体容器 本体蓋 ボルト等の付属品類	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> </div>
外容器蓋 <input type="text"/> 及びボルト <input type="text"/>	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> </div>
外容器本体 <input type="text"/> 及びボルト <input type="text"/>	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> </div>
内 <input type="text"/>	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> </div>
輸送容器最大総重量	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> </div>
収納物最大重量	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> </div>
核燃料輸送物最大総重量	<div style="text-align: right;"> <input type="text"/> </div>

A.2.2 重 心

本核燃料輸送物は、軸対称構造物であり (口) - 第A.1図 に示すように重心は容器の軸上で核燃料輸送物底面より mm の位置にある。



(口) - 第A.1図 核燃料輸送物の重心位置

A.3 材料の機械的性質

外容器構造材に使用する
 及びボルト材料として使用する の常温及び200℃にお
 ける機械的性質を、また、固縛装置に使用する の常温における機
 械的性質を (ロ) - 第A.3表に示す。なお、現在の適切な出典に基づく値を () 内に
 示す。本核燃料輸送物の主要部材等の機械的性質に、これら現在の適切な出典に基づく
 値を用いた場合においても、解析結果に与える影響は軽微であり、安全性に問題がない
 ことを確認した。

(ロ) - 第A.3表 構造材の機械的性質^[2]

材 質		降 伏 応 力 (M Pa)	引 張 強 さ (M Pa)	縦 弾 性 係 数 (M Pa)	線 膨 張 係 数 (1/℃)
<input type="text"/>	-30~40℃	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
	100℃	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<input type="text"/>	200℃	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<input type="text"/>	-30~40℃	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
	100℃	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
	200℃	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
<input type="text"/>		<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>

*1: 25℃における値。
 *2: 20℃における値。

緩衝材に使用する の圧潰応力を (ロ) - 第A.4表及び (ロ) - 第A.5表に示
 す。(ロ) - 第A.4表の値は の圧潰の始まるときの応力である。(ロ) - 第A.5
 表の値は の歪みの50%までの圧潰応力を積分平均したものである。

(ロ) - 第A.4表 の圧潰応力 (圧潰の始まるとき)

荷重方向	圧潰応力 (MPa)
<input type="text"/> に平行	<input type="text"/> 注)
<input type="text"/> に垂直	<input type="text"/> 注)

注) 比重0.15の を用いて静的
 圧縮試験^[3]を行った結果である。

(ロ) - 第A.5表 [] の圧潰応力 (歪50%までの積分平均)

荷重方向	圧潰応力 (MPa)
[] に平行	[] 注)
[] に垂直	[] 注)

注) [] の比重 [] のものを静的圧縮試験⁽³⁾で歪50%まで圧縮して求めた歪v.s 応力線図より圧潰応力を歪にて積分し50%歪までの平均値として求めた値である。

A.4 核燃料輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電気的反応

輸送容器と収納物間で接触する異種材料の一覧を (ロ) - 第A.6表に示す。 []

[] と [] , [] , ネオプレンゴム, [] , MGフェルト及び [] との接触においては化学的及び電気的反応は起きない。

MGフェルトと [] との接触においても化学的及び電気的反応は起きない。

バーミキュライトと [] , [] 及び [] との接触においても化学的及び電気的反応は起きない。

[] と [] , [] , [] , []

及びスポンジとの接触においても化学的及び電気的反応は起きない。

[] とプルトニウム [] , ウラン [] , ウラン・プルトニウム [] , ウラン酸化物, ウラン・プルトニウム混合酸化物, ウラン [] , プルトニウム [] , ヘリウムガス及びスポンジとの接触においても化学的及び電気的反応は起きない。

したがって, [] の破損を想定しない場合には核燃料輸送物に用いた異種材料の化学的及び電気的反応は生じない。

一方, [] の破損を想定した場合には試料中の [] と収納物材料間の化学反応が想定される。ただし, [] は [] に対し不動態化酸化被膜を形成し, [] に対し安定となる。以下に想定される [] と収納物材料との反応について述べる。

□はパーミキュライトに含まれる酸化マグネシウムや酸化カルシウムと下式のような反応が生じて□となる。この反応においては□は発生しない。

□

□

一方、□は収納缶の材料である□と反応を起こし、□を発生する。この反応を次に示す。

□

この反応にあずかる□の量を最大に見積もると□である。

□

□

である。

□


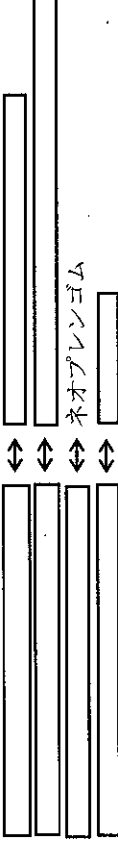
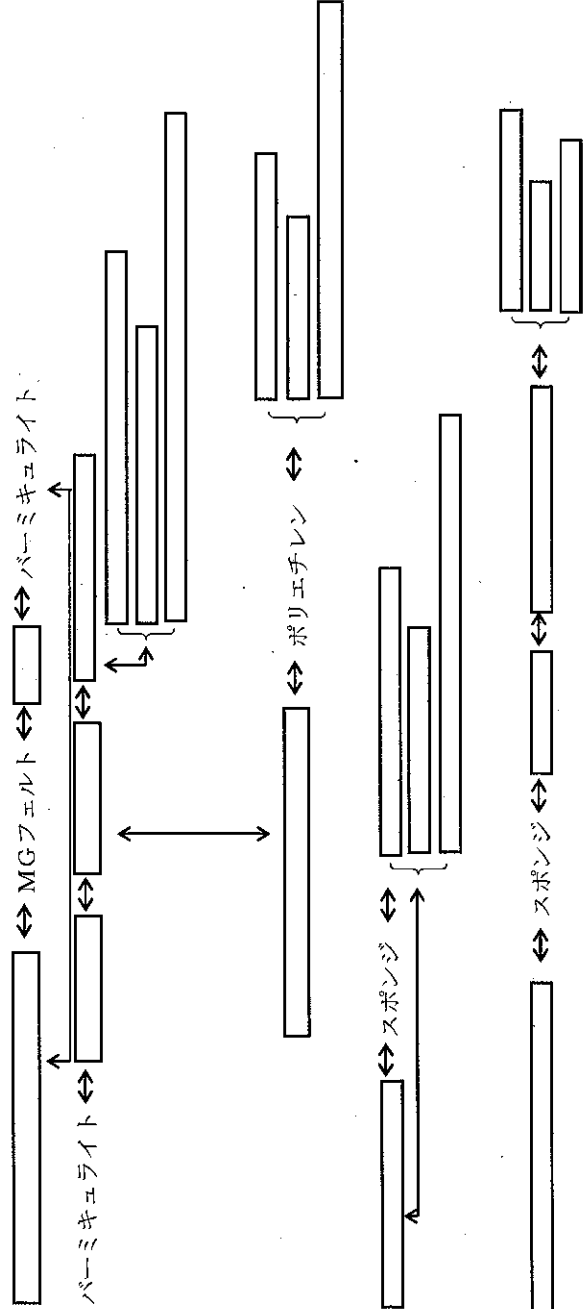
□

□

□

なお、□との反応による反応熱、圧力についてはロ章B.4.4、ロ章B.5.4及びロ章B.6で検討した。結論として、これらの反応により発生する□の最大量及び最大反応熱を考慮しても許容温度、圧力を超えることはない。

(ロ)一第A. 6表 接触する異種材料の一覧表

	異種材料	雰囲気
外容器 ⇕ 二次密封容器		空気
二次密封容器 ⇕ 一次密封容器	 <p style="text-align: center;">ネオプレンゴム</p>	ヘリウムガス + 空気
一次密封容器 ⇕ 収納物		ヘリウムガス + 空気

(注) [] の破損を仮定する場合は [] とここに示す材料とが接触する。

A.4.2 低温強度

[]
[] であり、 -40°C の低温において低温脆性破壊を起こさない。
い。

一次及び二次密封容器の本体、蓋板、[]
[]
[] であり、 -40°C において低温脆性破壊を起こさない。また、蓋ボルトも []
[] であり、 -40°C の低温において低温脆性破壊を起こすことはない。

Oリングの使用可能温度範囲は、[]
[] の場合で、[]、[] の場合で []
[] $^{\circ}\text{C}$ であり、いずれも -40°C の低温において十分使用に耐える。

除湿された [] の含有水の凍結による体積増加はごくわずかであるので、 []
[] の圧縮、内部空隙により吸収できる。

収納物内の水が凍結することによる体積増加（約9%）があっても、収納物内の空気容積には十分な余裕があるため圧力上昇は無視できる。また、一次密封容器内に収納されている水が凍結した場合も、凍結による膨張によって蓋が押し広げられることはないので、Oリング等に影響を及ぼすことはない。

以上のことから、一次密封容器の強度、Oリングの密封性、[] は -40°C の温度条件下でも健全であるので、密封性は確保できる。

A.4.3 密封装置

本核燃料輸送物の密封装置は一次密封容器と二次密封容器とから成る。この密封容器は（イ）-第1図及び（イ）-第2図に示すように外容器の一部である内側緩衝体で完全に覆われ、その外を外容器本体と外容器蓋で覆われている。外容器蓋は [] 本のボルトで外容器に締め付けられる構造となっている。なお、このボルト []
[]
[] ことで蓋が開けられたことが判明するようになっている。

A.4.4 吊上装置

本核燃料輸送物は、(ロ) - 第A.3図に示す輸送架台に収納して輸送される。したがって、吊上装置については、(1)本核燃料輸送物のみ吊り上げる場合、(2)本核燃料輸送物を収納した輸送架台を吊り上げる場合及び(3)本核燃料輸送物を収納した輸送架台を [] 場合において、(ロ) - 第A.7表、(ロ) - 第A.8表、(ロ) - 第A.9表、に示す吊上用具の強度について検討する。

(1) 本核燃料輸送物のみ吊り上げる場合

本核燃料輸送物のみ吊り上げる場合には、(ロ) - 第A.2図に示すように、[] [] は [] 以下において、[] 吊金具の強度について述べる。

(ロ) - 第A.7表 吊上用具 (その1)
(本核燃料輸送物のみ吊り上げる場合)

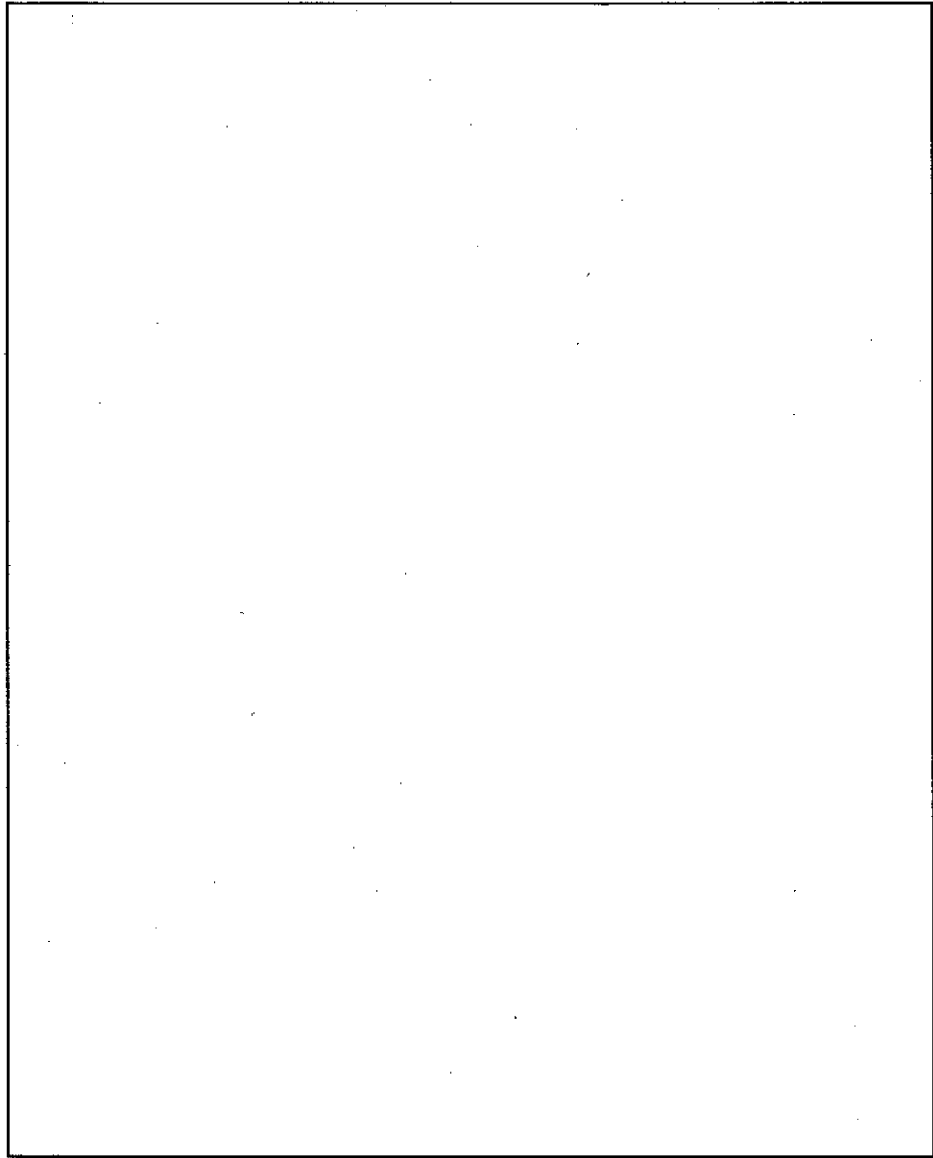
番号	名 称	規格又は材料	備 考
①	[]	[]	[]
②	[]	[]	

(ロ) - 第A.8表 吊上用具 (その2)
(核燃料輸送物を収納した輸送架台を吊り上げる場合)

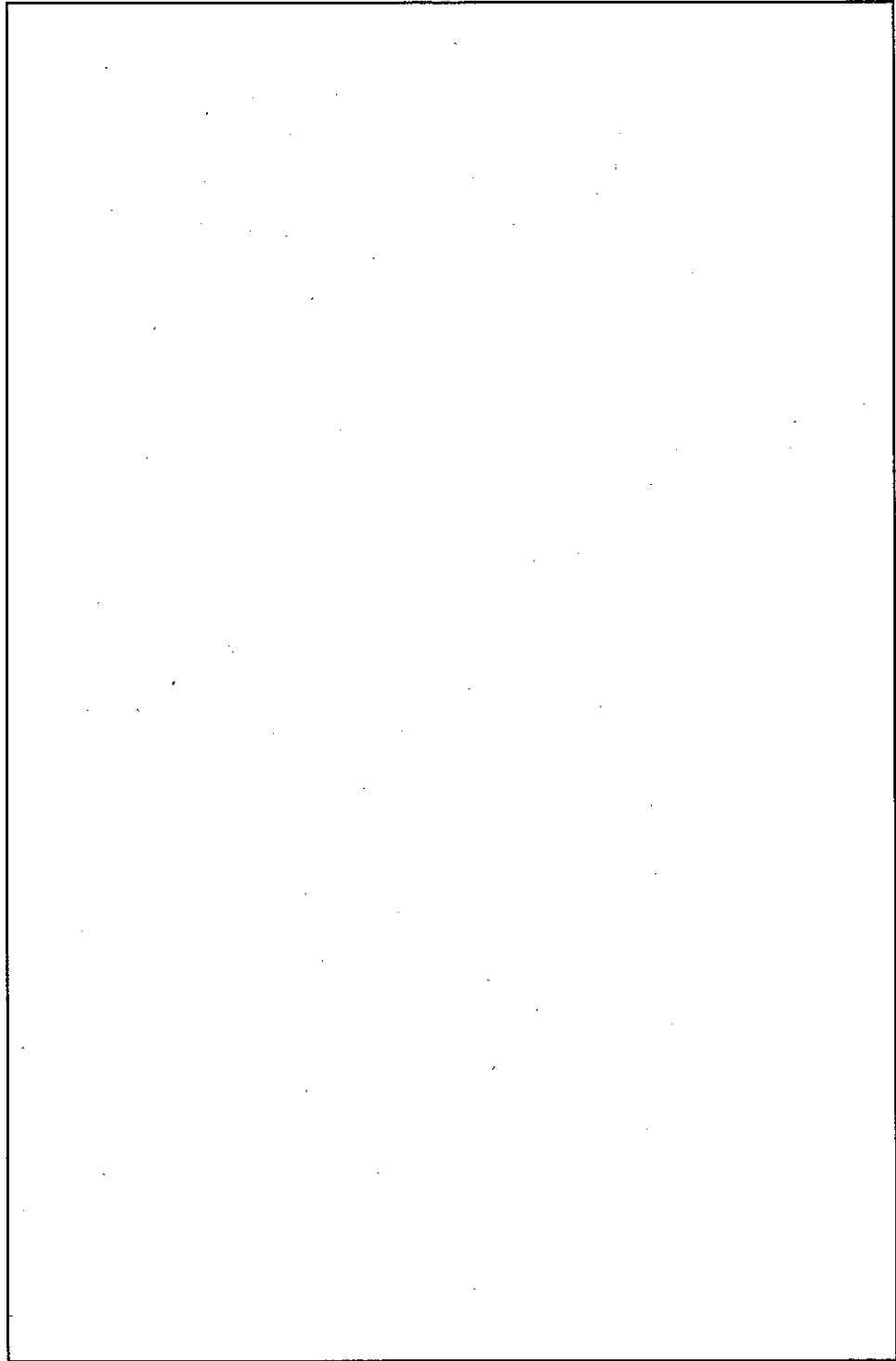
番号	名 称	規格又は材料	備 考
①	[]	[]	[]
②	[]	[]	[]
③	[]	[]	[]
④	輸 送 架 台	[]	[] []

(ロ) - 第A.9表 吊上用具 (その3)
(核燃料輸送物を収納した輸送架台を [])

名 称	規格又は材料	備 考
輸 送 架 台	[]	[] []



(ロ) ー第A.2図 核燃料輸送物吊上状況 (その1)



(口) - 第 A.3 図 核燃料輸送物吊上状況 (その 2)

① [] の強度

[]

使用し、(ロ) - 第A.2図の状況で核燃料輸送物を吊り上げる。このとき []

[] に発生する張力Tは、

$$T = f_{90} \cdot X \cdot W_0 \cdot g \quad (g : \text{重力加速度} = 9.807)$$

で求められる。ここにおいて、

f_{90} : つり索の角度による荷重係数 90° のとき = 0.707

X : [] 安全係数 = []

W_0 : 核燃料輸送物の最大質量 = []

であるので、張力Tは、

$$T = 0.707 \times [] \times [] \times 9.807 = [] \text{ N}$$

となる。[] の許容荷重は、[] であるので、余裕率は

$$MS = []$$

となり正であるので、[] は破断することなく強度を保つ。

② [] の強度

(ロ) - 第A.2図に示すように、[] に [] が掛けられる。このとき、[] の張力によって吊金具には、曲げ応力と剪断応力が発生する。

[] 1個当たりの荷重Pは、

$$P = \frac{X \cdot W_0 \cdot g}{n}$$

で求められる。ここにおいて

X : 安全係数 = []

W_0 : 核燃料輸送物の最大質量 []

n : 吊金具の []

であるので、[] 1個当たりの荷重Pは、

$$P = []$$

吊金具は、(ロ) - 第A.4図に示すように、中央に集中荷重Pがかかる両端固定ばりと考えられる。

最大曲げモーメントMによる最大曲げ応力 σ_a は、

$$\sigma_a = \frac{M}{Z} \text{で求められる。}^{[4]}$$

ここにおいて、

$$M = \frac{P L}{8}$$

$$Z = \frac{b h^2}{6}$$

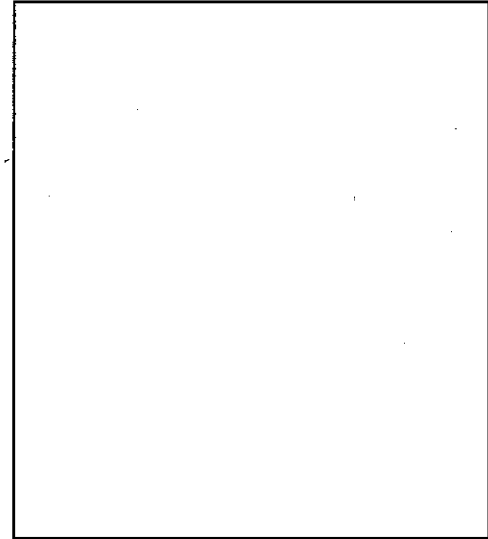
であるので σ_a は次式のとおりとなる。

$$\sigma_a = \frac{3 P L}{4 b h^2}$$

今、

$$P = \boxed{}, \quad L = \boxed{}$$

$$b = \boxed{}, \quad h = \boxed{}$$



(ロ) - 第A.4図 吊金具の荷重状態と

断面形状

であるので、曲げ応力 σ_a は次のように求まる。

$$\sigma_a = \boxed{} = 28.9 \text{ (MPa)}$$

また、荷重Pの作用する点での剪断応力を τ とすると、 τ は次のように求まる。

$$\tau = \frac{P}{2A}$$

ここで、Aは吊金具の断面積で、 $A = b \cdot h$ である。したがって、

$$A = \boxed{}$$

$$\tau = \boxed{} = 9.64 \text{ (MPa) である。}$$

ここで、合成応力 σ は、 $\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau^2}$ で求められる。よって、吊金具に生ずる曲げ応力と剪断応力の合成応力 σ は、

$$\sigma = \sqrt{28.9^2 + 4 \times 9.64^2} = 34.7 \text{ (MPa)}$$

となる。

許容応力は、母材 $\boxed{}$ の降伏応力 $\boxed{}$ の60%の $\boxed{}$ で

ある。よって、余裕率は、

$$MS = \boxed{}$$

となり、正であるので、 $\boxed{}$ は破断することなく強度を保つ。

③ 吊金具取付部

吊金具と外容器胴との取付部には、 $\boxed{}$ の張力Pによって剪断応力が生ずる。

吊金具取付部の断面は、(ロ)
第A.5図のA-A断面に示す斜線を施した部分であり、この面積をAとすると、

$$A = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{である。}$$

したがって、ここでの剪断応力 τ は、

$$\tau = \frac{P}{2A} = \boxed{} \\ = 4.62 \text{ (MPa)}$$

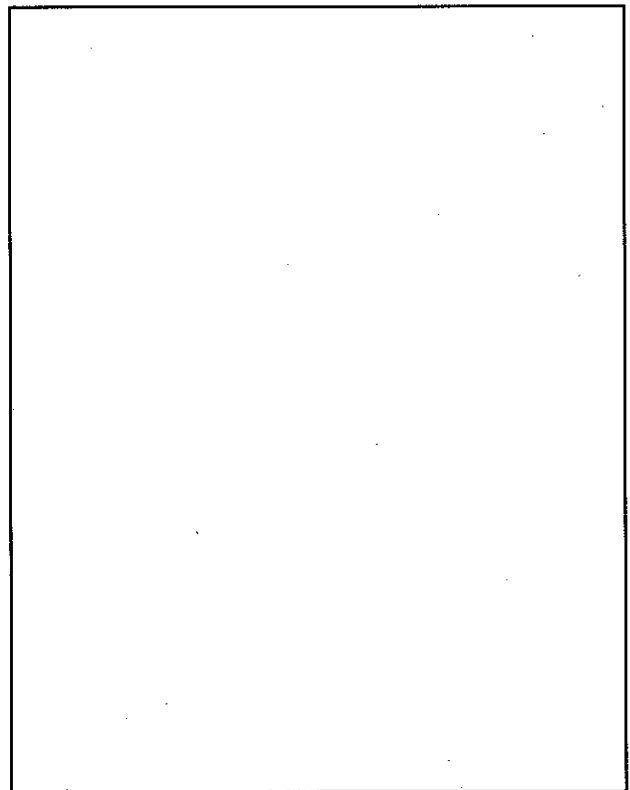
である。

吊金具取付部の許容応力は、母材 $\boxed{}$ の降伏応力 $\boxed{}$ の60%で $\boxed{}$ である。

よって、余裕率MSは

$$MS = \boxed{} = 25.8$$

となり、正であるので、吊金具取付部は破断することなく強度を保つ。



(ロ) - 第A.5図 吊金具取付部断面図

(2) 核燃料輸送物を収納した輸送架台を吊り上げる場合

核燃料輸送物を収納した輸送架台は(ロ) - 第A.3図に示すように、を
たすき掛けにし、に掛けて吊り上げる。は輸送架台に溶
接したに取り付けてある。以下において、、、及び
輸送架台の強度について述べる。

① の強度

は

を使用し、(ロ) - A.3図の状態で輸送架台を吊り上げる。このとき、

発生する張力Tは、

$$T = \frac{1}{n} \cdot f_{60} \cdot X \cdot W \cdot g$$

で求められる。ここにおいて、

n :

f_{60} : つり索の角度による荷重係数 60° のとき = 0.577

X : 安全係数 =

W :

であるので、張力Tは、

$$T = \text{} = \text{} \text{ (N)}$$

となる。の許容荷重は、であるので余裕率は、

$$MS = \text{}$$

となり、正であるので、は破断することなく強度を保つ。

② の強度

は、を使用す

る。の張力によりには引張荷重が生ずるが、の

許容荷重はであるので、余裕率は、

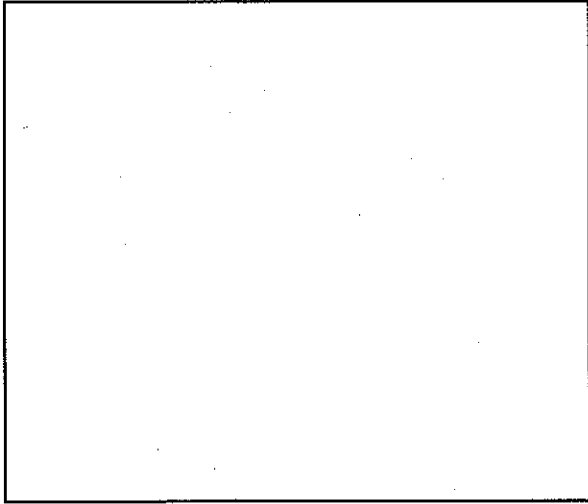
$$MS = \text{}$$

となり、正であるので、は破断することなく強度を保つ。

③

は輸送架台に溶接されたに取り付けてある。したがって、
には、の張力Tによりを介して曲げ応力、圧縮応力及び
剪断応力の合成応力が発生する。

張力T、の関
係を(口) - 第A.6図に、の形
状及び溶接方法を(口) - 第A.7図
に示す。(口) - 第A.6図において
、張力Tは、曲げ荷重 $P_1(T \cdot \cos 30^\circ)$
($T \cdot \sin 30^\circ$)の圧縮荷重 $P_2(T \cdot \sin 30^\circ)$
の合成
力と考えられる。ここで圧縮荷重 P_2
については無視できる。曲げ荷重 P_1
により溶接部に発生する曲げ応力 σ_b
は、



(口) - 第A.6図

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot T \cdot \cos 30^\circ \cdot L}{h \cdot \ell^2}$$

また、曲げ荷重 P_1 による剪断応力 τ
は、

$$\tau = \frac{T \cdot \cos 30^\circ}{2 \cdot h \cdot \ell}$$

で求められる⁽⁴⁾。さらに、合成応力 σ は、 $\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$ で求められる。これに前
式を代入すると、次式のとおりとなる。

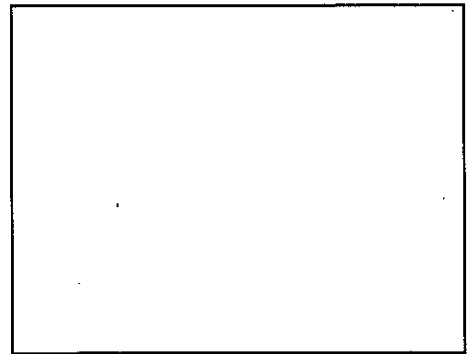
$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\left(\frac{3 \cdot T \cdot \cos 30^\circ \cdot L}{h \cdot \ell^2}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{T \cdot \cos 30^\circ}{2 \cdot h \cdot \ell}\right)^2} \\ &= \frac{T \cdot \cos 30^\circ}{h \cdot \ell} \cdot \sqrt{\left(\frac{3 \cdot L}{\ell}\right)^2 + 4} \end{aligned}$$

ここで、 $T =$

$L =$

$h =$

$\ell =$



(口) - 第A.7図 溶接部

H : 板厚 =

$$\sigma_a =$$

$$= 2.99 \text{ (MP a)}$$

さらに、合成応力 σ は $\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau^2}$ で求められる。これに前式の数値を代入すると、

$$\sigma = \sqrt{2.99^2 + 4 \times 6.91^2}$$

$$= \text{ (MP a)}$$

となる。 の降伏応力は母材 の降伏応力 の 60% で
 である。よって余裕率は、

$$MS =$$

となり、正であるので、 は降伏することなく強度を保つ。

⑤ 輸送架台の強度

核燃料輸送物の重量は、(ロ) - 第 A. 8 図に示すように、 を介して、4
箇所に分散し、底板にかかる。底板は両端固定ばりと考え、分散した荷重が各々の
りに集中荷重としてかかるとすると、このとき、底板に発生する曲げ応力 σ は、

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

で求められる。ここに、最大曲げモーメント M は、

$$M = 2 \cdot P \frac{a^2 \cdot b^2}{L^3}$$

であり、この時の曲げ荷重 P は、

$$P = \frac{X \cdot W_0 \cdot g}{4}$$

である。また、断面係数 Z は、

$$Z = \frac{d \cdot t^2}{6}$$

である。これらを上式に代入すると、

$$\sigma = 2 \cdot \frac{X \cdot W_0 \cdot g}{4} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{L^3} \cdot \frac{6}{t^2}$$

$$= \frac{3 \cdot X \cdot W_0 \cdot g \cdot a^2 \cdot b^2}{L^3 \cdot d \cdot t^2}$$

となる。ここにおいて、

X : 安全係数 =

W₀ : 核燃料輸送物の質量

=

a :

b :

L :

d :

t :

であるので、曲げ応力σは、

$$\sigma = \text{$$

$$= \text{$$

となる。底板の材質は、で

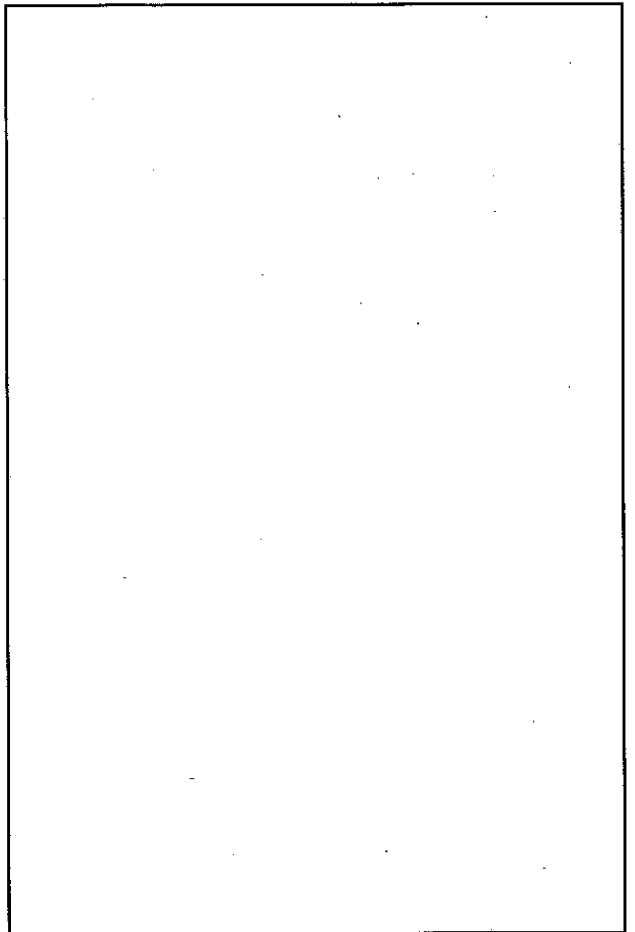
あり、降伏応力はで

であるので、余裕率は、

$$MS = \text{$$

となり、正であるので、輸送架台の底板は降伏することなく強度を保つ。

輸送架台を吊り上げた場合、底板以外の輸送架台各部に、応力の発生があるが、これらは底板に発生する応力に比べて小さいので、ここではそれらの解析は省略する。



(ロ) - 第A.8図 輸送架台の底板

(3) 核燃料輸送物を収納した輸送架台を で持ち上げる場合

を使用して、核燃料輸送物を収納した輸送架台を持ち上げる場合は、(ロ) - 第A.9図に示すように、核燃料輸送物の重量は、 と底板を介して直接 にかかる。しかし、輸送架台の重量は、2枚の底板の両端部にかかるとする。このとき、底板は片持ばりと考え、底板に発生する曲げ応力 σ は、

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

で求められる。ここで、最大曲げモーメントは、

$$M = P \cdot L$$

であり、このときの曲げ荷重 P は、

$$P = \frac{X \cdot W_F \cdot g}{4}$$

である。また、断面係数 Z は、

$$Z = \frac{d \cdot t^2}{6}$$

である。

$$\sigma = \frac{X \cdot W_F \cdot g}{4} \cdot L \cdot \frac{6}{d \cdot t^2} = \frac{3 \cdot X \cdot W_F \cdot g \cdot L}{2 \cdot d \cdot t^2}$$

となる。ここにおいて、

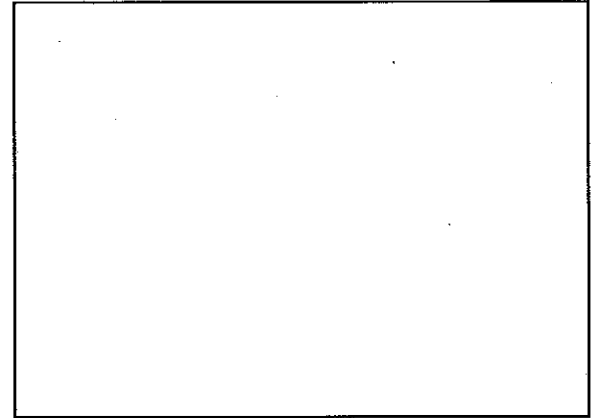
X : 安全係数 =

W_F :

L :

d :

t :



(ロ) - 第A.9図 による

持上げ

であるので、曲げ応力 σ は、

$$\sigma = \boxed{} = \boxed{}$$

となる。底板の降伏応力は $\boxed{}$ であるので、余裕率は、

$$MS = \boxed{}$$

となり、正であるので、輸送架台の底板は降伏することなく強度を保つ。

このとき、底板以外の輸送架台の各部に発生する応力は底板に発生する応力に比べて十分に小さいので、ここではこれらの解析は省略する。

(4) 計算結果の評価

計算結果のまとめとその評価を(ロ) - 第A.10表、(ロ) - 第A.11表及び(ロ) - 第A.12表に示す。 $\boxed{}$ 、 $\boxed{}$ の許容値は、 $\boxed{}$ 、 $\boxed{}$ によりそれぞれ定めた。 $\boxed{}$ 、 $\boxed{}$ の降伏応力は、 $\boxed{}$ 、 $\boxed{}$ によりそれぞれ定めた。(ロ) - 第A.10表、(ロ) - 第A.11表及び(ロ) - 第A.12表に示すように、吊上装置の使用用具に発生する荷重及び応力は、それぞれの許容値より小さく、基準を満足する。

(ロ) - 第A.10表 吊上装置解析結果(その1)
(本核燃料輸送物のみ吊り上げる場合)

解析箇所	分類	計算値	許容値	余裕率
$\boxed{}$	引張荷重 T	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$
吊金具	曲げ+剪断 σ	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$
吊金具取付部	剪断応力 τ	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$

(ロ) 一第A.11表 吊上装置解析結果(その2)

(核燃料輸送物を収納した輸送架台を吊り上げる場合)

解析箇所	分類	計算値	許容値	余裕率
<input type="text"/>	引張荷重 T	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	引張荷重 T	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	曲げ+剪断 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	剪断+引張 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
輸送架台の底板	曲げ応力 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ) 一第A.12表 吊上装置解析結果(その3)

(核燃料輸送物を収納した輸送架台を)

解析箇所	分類	計算値	許容値	余裕率
輸送架台の底板	曲げ応力 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

A.4.5 固縛装置

本項では、(ロ) - 第A.10図に示すように、核燃料輸送物を収納した輸送架台をトラックに積載する際の固縛装置の用具について検討する。固縛装置に用いる用具を(ロ) - 第A.13表に示す。

輸送架台は、架台固定ボルトにより荷台に固定されるとともに、を用いて転倒を防止する。

以下において、(1)荷重条件、(2)水平方向に加速度を受けた場合、(3)鉛直方向に加速度を受けた場合について述べ、(4)最後に評価を行う。

(1) 荷重条件

解析においては、以下の荷重条件について検討する。

水平方向加速度（進行方向に平行）：2

水平方向加速度（進行方向に垂直）：2

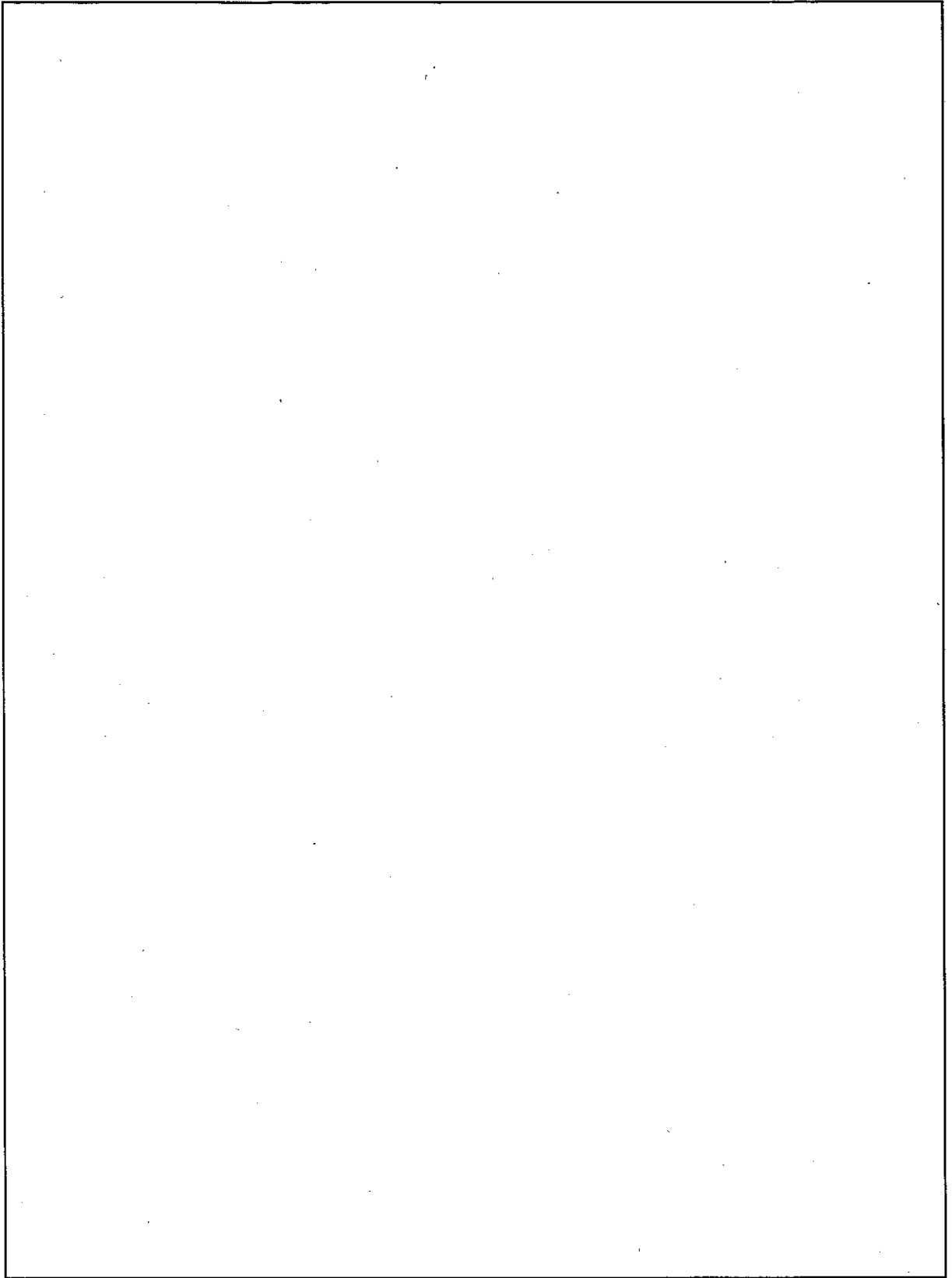
鉛直方向加速度：2（重力加速度は含まず。評価では下方向加速度の場合3Gを用いる）

(2) 水平方向に加速度を受けた場合

水平方向に加速度を受けた場合には、で締められたが転倒を防止する。核燃料輸送物を収納した輸送架台と、核燃料輸送物の全重量が核燃料輸送物の重心にかかるとして、(ロ) - 第A.11図に強度計算モデル及び使用記号の説明を示す。この場合、進行方向に平行な加速度を受けた場合と、進行方向に垂直な加速度を受けた場合とでは同じ条件となるので、以下進行方向に平行な加速度を受けた場合のみ検討する。

(ロ) - 第A.13表 固縛用具

番号	名称	規格又は材料	備考
①	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
②	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
③	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
④	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
⑤	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
⑥	輸送架台	<input type="text"/>	<input type="text"/>
⑦	架台固定ボルト	<input type="text"/>	
⑧	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
⑨	輸送物固定ボルト	<input type="text"/>	



(口) - 第A.10図 積載要領

① の強度

(ロ) - 第A.11 図においてA軸回りのモーメントの釣り合いから、

1 本当りの張力 T_A を求める。モーメントの釣り合い式は、

$$h_1 K_A W - \ell_1 W = 2h_2 T_A \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 + 2T_A \cdot 2\ell_1 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_2$$

である。ここにおいて K_A は進行方向の加速度である。その他の記号については

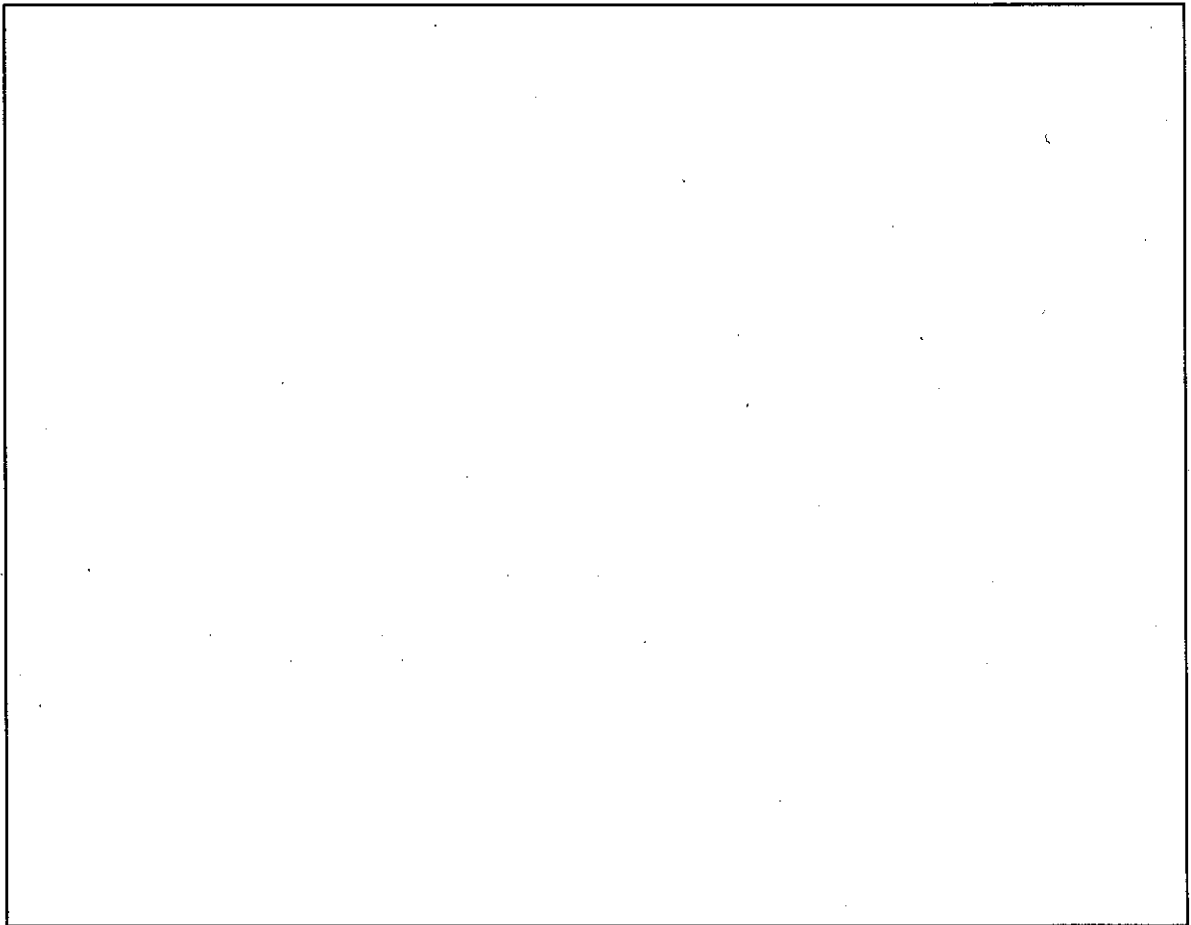
(ロ) - A.11 図を参照されたい。上式より の張力 T_A は、

$$T_A = \frac{W(h_1 K_A - \ell_1) \cdot g}{2 \cos \theta_2 (h_2 \cos \theta_1 + 2 \ell_1 \sin \theta_1)}$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。



(ロ) - 第A.11 図 縮付用具強度計算モデル

水平方向に加速度を受けた場合に、に発生する最大張力Tは、
の初期締付力T₀をとすると、

$$T = T_0 + T_A$$

$$= \text{$$

となる。の引張りに対する許容荷重は、であるので、余裕率は、

$$MS = \text{$$

となり、正であるのでは破断することなく強度を保つ。

② 強度

は吊上装置のを兼用する。また、荷台には輸送荷台のものと同じものをトラックシャーシに固定したに取り付けてある。の張力が
にかかる。の許容荷重はであるので、余裕率は、

$$MS = \text{$$

となり、正であるので、は破断することなく強度を保つ。

③

は吊上装置で使したと同じものである。したがって、には、吊上装置同様に張力Tによって、を介し(ロ) - 第A.12図に示すように曲げ応力、剪断応力及び引張応力の合成応力が発生する。

に発生する曲げ応力 σ_b 、剪断応力 τ 及び引張応力 σ_a は、次式で求められる。(4)

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot T \cdot \cos \theta \cdot L}{h \cdot \ell^2}$$

$$\tau = \frac{T \cdot \cos \theta}{2 \cdot h \cdot \ell}$$

$$\sigma_a = \frac{T \cdot \sin \theta}{2 \cdot h \cdot \ell}$$

さらに、合成応力 σ は、

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 4\tau^2}$$

で求められる。(4) これに前式を代入すると、

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{T \cdot \sin \theta}{2 \cdot h \cdot \ell} + \frac{3 \cdot T \cdot \cos \theta \cdot L}{h \cdot \ell^2}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{T \cdot \cos \theta}{2 \cdot h \cdot \ell}\right)^2}$$

$$= \frac{T}{h \cdot \ell} \times \sqrt{\left(\frac{\sin \theta}{2} + \frac{3 \cdot \cos \theta \cdot L}{\ell}\right)^2 + \cos^2 \theta}$$

となる。ここにおいて、

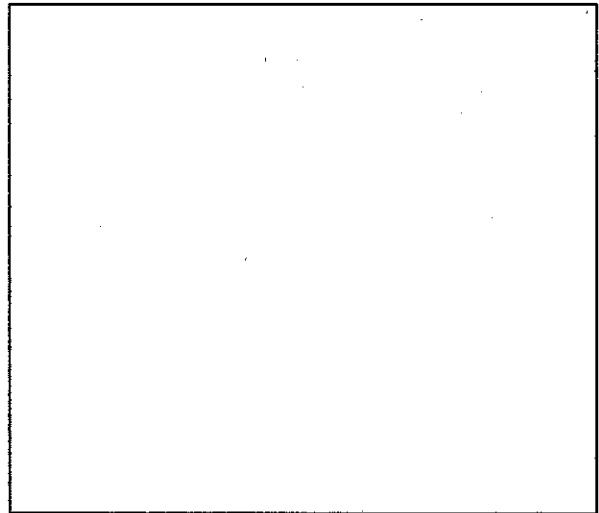
T =

L =

h =

ℓ =

θ =



である。よって合成応力σは、

(ロ) - 第A.12図 荷重状況

σ =

=

となる。

溶接部の許容応力は母材 の降伏応力 の60%で、

である。よって余裕率は、

MS =

となり、正であるので、 は破断することなく強度を保つ。

④ の強度

には、張力Tによって剪断応力及び引張応力の合成応力が発生する。

に発生する剪断応力τは次式により求める。

$$\tau = \frac{T}{t \cdot H}$$

ここにおいて、T : の張力 =

t : 剪断を受ける断面の長さ =

H : 板厚 =

次式により求められる。

$$M = \frac{P \cdot \ell}{n}$$

さらに、ボルトに発生する曲げ応力 σ は、

$$\sigma = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3}$$

で求められる。これに前式を代入すると、

$$\sigma = \frac{32 \cdot \ell \cdot W_0 \cdot g \cdot (h_1 \cdot K_A - r)}{\pi \cdot d^3 \cdot n \cdot h_2}$$

となる。ここにおいて、

ℓ :

W_0 :

h_1 :

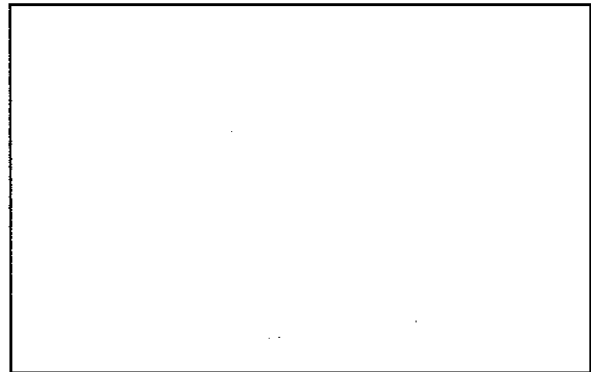
h_2 :

K_A : 2

r :

n :

d :



(口) - 第 A. 13 図 核燃料輸送物固定

であるので、ボルトに発生する曲げ応力 σ は、

$$\sigma = \frac{\text{[]}}{\text{[]}}$$

となる。ボルトの材質は で、降伏応力は であるので、

余裕率は、

$$MS = \frac{\text{[]}}{\text{[]}}$$

となり、正であるので、輸送物固定ボルトは破断することなく強度を保つ。

(3) 鉛直方向に加速度を受けた場合

① 架台固定ボルトの強度

鉛直方向に加速度を受けた場合、架台固定ボルトに核燃料輸送物及び輸送架台の慣性力がかかり、引張応力が発生する。引張応力 σ は、

$$\sigma = \frac{K_c \cdot W \cdot g}{n \cdot A}$$

で求められる。ここにおいて、

K_c : 鉛直方向加速度 = 2

W :

n :

A :

であるので、ボルトに発生する引張応力 σ は

$$\sigma = \text{$$

となる。ボルトの材質は であり、降伏応力 であるので、

余裕率は、

$$MS = \text{$$

となり、正であるので、架台固定ボルトは破断することなく、強度を保つ。

② の強度

核燃料輸送物の鉛直方向の慣性力は、 を介して 4 箇所分散し、
 に曲げ応力を発生させる。このとき、 は (ロ) - 第 A.14 図に示
すような集中荷重を受ける両端固定ばりと考えられ、曲げモーメント M 、慣性力 P 及
び曲げ応力 σ は次式より求められる。

$$M = P \cdot a$$

$$P = \frac{K_c \cdot W_0 \cdot g}{4}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

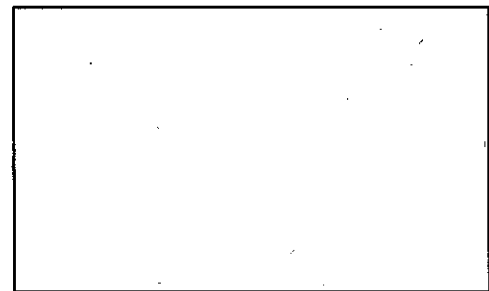
これらの式を整理すると、

$$\sigma = \frac{K_c \cdot W_0 \cdot g \cdot a}{4 \cdot Z}$$

となる。ここにおいて、

K_c : 2

W_0 :



(ロ) - 第 A.14 図 蓋荷重状態

a :

L :

Z :

であるから、に発生する曲げ応力 σ は、

$$\sigma = \text{$$

となる。の材質はであり、降伏応力はであ

るので余裕率は、

$$MS = \text{$$

となり、正であるので、は破断することなく強度を保つ。

③ 輸送物固定ボルトの強度

核燃料輸送物の鉛直方向の慣性力は、を介して、輸送物固定ボルトに引張力として作用する。このときの引張応力 σ は、

$$\sigma = \frac{K_c \cdot W_0 \cdot g}{n \cdot A}$$

で求められる。ここにおいて、

K_c : 2

W_0 :

n :

A :

であるから、輸送物固定ボルトに発生する引張応力 σ は、

$$\sigma = \text{$$

となる。ボルトの材質はであり、降伏応力であるので、

余裕率は、

$$MS = \text{$$

となり、正であるので、輸送固定ボルトは破断することなく強度を保つ。

(4) 計算結果の評価

計算結果のまとめとその評価を(ロ) - 第A.14表に示す。の許容値は、より定めた。の許容値はより定めた。の降伏応力はにより定めた。

(ロ) - 第A.14表に示すように固縛装置の使用用具に発生する荷重及び応力は、それぞれ許容値より小さく基準を満足する。

(ロ) - 第A.14表 固縛装置解析結果

解 析 箇 所	分 類 類	計 算 値	許 容 値	余 裕 率
水平方向				
<input type="text"/>	引 張 荷 重 T	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	引 張 荷 重 T	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	曲 げ + 剪 断 + 引 張 り σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	剪 断 + 引 張 り σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
輸送物固定ボルト	曲 げ 応 力 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
鉛直方向				
架台固定ボルト	引 張 応 力 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	曲 げ 応 力 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
輸送物固定ボルト	引 張 応 力 σ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

A.4.6 圧 力

本容器の周囲気圧が60 k Pa abs. まで降下したとしても口章A.5.1.3応力計算では、外部が真空であると想定したものであるから、ここでの応力は口章A.5.1.3での最大応力を超えることはなく、60 k Pa abs. の外圧下でも一次密封容器及び二次密封容器は強度及び密封性を保つ。

A.4.7 振 動

口章A.4.5の固縛装置の項で述べたように、核燃料輸送物は[]を介して輸送架台に締め付けられ、その輸送架台は[]
[]構造となっている。また、核燃料輸送物の構造としては一次密封容器は二次密封容器に[]、さらに、二次密封容器は[]
[]ので、輸送中輸送架台から伝達される低サイクルの振動に対し共振を生ずることはない。

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件後、一週間放置した場合の密封容器の最高到達温度とその温度における最大内圧を (ロ) - 第 A.15 表に示す。

(ロ) - 第 A.15 表 一般の試験条件下における最大内圧と最高温度の要約

部 位	圧力 (k Pa abs.)	温 度 (°C)
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/> *
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/> *

* 反応熱による温度上昇を考慮した温度である。

上記の圧力及び温度は、以下の熱膨張及び応力の解析の評価に用いる。

A.5.1.2 熱膨張

ここでは一次密封容器及び二次密封容器に生ずる温度差による熱応力を検討する。これらの容器の材質は同じであり、温度差は であり、熱応力はほとんどない。また、本体フランジ部と蓋ボルトでは材質が異なるため、熱膨張差が生じるが、以下にこの熱応力が問題にならないことを示す。

(ロ) - 第 A.3 表より、本体とボルト材の線膨張係数の差は であり、蓋ボルトは熱膨張によって引張荷重を受ける。このときのボルトの熱応力は次式で与えられる。

$$\sigma_{th} = \Delta t \cdot \alpha' \cdot E \quad (\text{ボルトとフランジ部の温度差は } 0 \text{ とする})$$

σ_{th} : 熱応力

Δt : ボルトの最高温度 - 常温

ここで、ボルトの最高温度を , 常温を 20°C とすると、

$$\Delta t = \text{$$

α' : 線膨張係数の差 =

E : ボルト の縦弾性係数 =

((ロ) - 第 A.3 表より)

よって、

$$\sigma_{th} = \boxed{\hspace{4cm}}$$
$$= \boxed{\hspace{2cm}}$$

このボルト材の降伏応力は $S_y = \boxed{\hspace{2cm}}$ ((ロ) - 第A.3表より) であるから、許容応力 $S_m = (2/3) S_y = \boxed{\hspace{2cm}}$ に対して、 $\sigma_{th} = \boxed{\hspace{2cm}}$ にすぎない。したがって、蓋ボルトは、一般の試験条件下の熱応力に対して変形することなく強度を保つ。

A.5.1.3 応力計算

ここでは、一般の試験条件における本容器各部の応力計算を行う。荷重条件として、温度分布、内圧が考えられるが、温度分布により発生する熱応力は口章 A.5.1.2において検討する。本項では、容器に働く圧力としては真空雰囲気を想定し、絶対内圧に対する下記の項目について検討し、一次、二次密封容器の強度及び密封性が保たれることを示す。

- ① 一次及び二次密封容器本体、蓋並びに底部の強度
- ② 一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度
- ③ 一次及び二次密封容器Oリングの密封性

(1) 一次及び二次密封容器本体、蓋並びに底部の強度

内圧に対して、一次及び二次密封容器の円筒胴の肉厚部、盖板中心並びに底板中心の部分の応力を計算する。

(i) 一次及び二次密封容器の円筒胴の強度

容器円筒胴の内圧に対する応力は、次式で与えられる。⁽⁴⁾

$$\text{軸方向応力 } \sigma_z = \frac{p}{2h} \cdot R$$

$$\text{周方向応力 } \sigma_\theta = \frac{p}{h} \cdot R$$

ここで、p：内圧（一次容器：□ k Pa abs.，二次容器：□ k Pa abs.）

R：円筒胴の平均半径（一次：□ mm，二次：□ mm）

h：円筒胴の肉厚（一次，二次共に□ mm）

それぞれの応力を計算，(ロ)－第A.16表に示し、応力強さと許容応力^{注)}を比較する。

注) 本項では、内圧のみによる応力を評価するので許容応力をS_mとする。

(ロ)－第A.16表 一次及び二次密封容器円筒胴部の応力

	軸方向応力 σ _z (MPa)	周方向応力 σ _θ (MPa)	注) 応力強さ S (MPa)	許容応力 S _m (MPa)	余裕率 MS
一次密封容器	□	□	□	□	□
二次密封容器	□	□	□	□	□

注) 応力強さとは、3方向主応力の最大値－最小値であるが、ここでは、板厚方向応力σ_zが0で最小であるので、応力強さは、周方向応力σ_θと等しい。

(ii) 一次及び二次密封容器の蓋板の応力

蓋板の内圧に対する応力は、円輪板における外周単純支持、等分布荷重によるものとして求め、次式で与えられる。

周方向応力

$$(\sigma_{\theta})_{r=b} = \sigma_{\max} = \pm \beta_{13} \frac{p \cdot a^2}{h^2}$$

ただし、

$$\frac{b}{a} = 0.087 \text{ (一次) に対し,}$$

$$\beta_{13} = 2.4$$

$$\frac{b}{a} = 0.058 \text{ (二次) に対し,}$$

$$\beta_{13} = 2.42$$

ここで、

p : 内 圧 (一次 : k Pa abs., 二次 : k Pa abs.)

a : ボルト中心円の半径 (一次 : mm, 二次 : mm)

h : 板 厚 (安全側をとるための板中心部の最小板厚、

一次、二次共に mm)

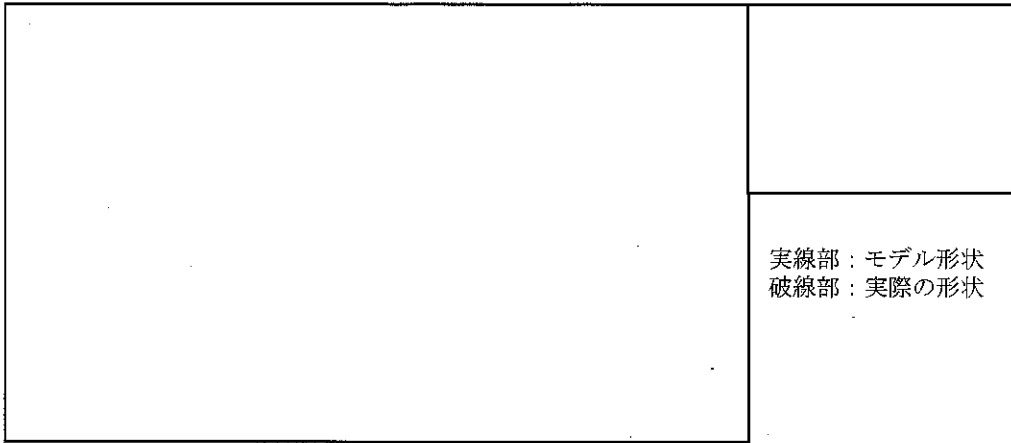
b : 円輪の内半径 (一次、二次共に mm)

それぞれの応力を計算し、(ロ) - 第 A.17 表に示し、応力強さと許容応力を比較する。

(ロ) - 第 A.17 表 一次及び二次密封容器の蓋板の応力

	半径方向応力 σ_r (MPa)	周方向応力 σ_{θ} (MPa)	応力強さ S (MPa)	許容応力 S_m (MPa)	余裕率 MS
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注) (ロ) - 第 A.15 図に応力評価位置を示す。



実線部：モデル形状
破線部：実際の形状

(ロ) - 第A.15図 容器蓋板の応力評価位置

(iii) 一次及び二次密封容器の底板中心の応力

底板中心の内圧に対する応力は、円板における外周単純支持、等分布荷重によるものとして求められ、次式で与えられる。⁽⁴⁾

$$\text{半径方向応力 } \sigma_r = \frac{3(3+\nu)pa^2}{8h^2}$$

$$\text{円周方向応力 } \sigma_\theta = \frac{3(3+\nu)pa^2}{8h^2}$$

ここで、

p：内圧（一次： kPa abs.，二次： kPa abs.）

a：容器円筒の内半径（一次： mm，二次： mm）

h：板厚（一次 mm，二次 mm）

ν：ポアソン比（=)

それぞれの応力を計算し、(ロ) - 第A.18表に示し、応力強さと許容応力を比較する。

(ロ) - 第A.18表 一次及び二次密封容器底板中心の応力

	半径方向応力 σ_r (MPa)	周方向応力 σ_θ (MPa)	応力強さ S (MPa)	許容応力 S_m (MPa)	余裕率 MS
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注) 容器底板の応力評価位置は (ロ) - 第A.16図に示されている。

以上, (i), (ii), (iii) で得られた結果から, 余裕率はすべて正であるので, 一次及び二次密封容器の円筒胴, 蓋板及び底板は破断することなく強度を保つ。

(2) 一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度

一次及び二次密封容器蓋ボルトには, 内圧により引張応力が生じる。内圧は, 内側O-リング面までに作用するとして, その荷重がボルトに引張力として作用するとした。(ロ)-第A.17図)

このとき, ボルトに生じる引張応力 σ_t は次式によって与えられる。

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

ただし,

$$F : \text{内圧により蓋板にかかる力} = \frac{\pi}{4} D^2 p \text{ (N)}$$

D : 内側O-リングの中心径 (mm)

p : 内 圧 (kPa)

$$A : \text{ボルトの断面積} = \frac{\pi}{4} d^2 n \text{ (mm}^2\text{)}$$

d : ボルトの谷径 (mm)

n : ボルトの本数

ここで, これらの諸元において, 一次及び二次密封容器の区別をつけるために, 記号にそれぞれ1, 2の添字を付ける。

$$D_1 = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$D_2 = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$p_1 = \boxed{} \text{ (kPa)}$$

$$p_2 = \boxed{} \text{ (kPa)}$$

$$d_1 = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$d_2 = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$n_1 = \boxed{}$$

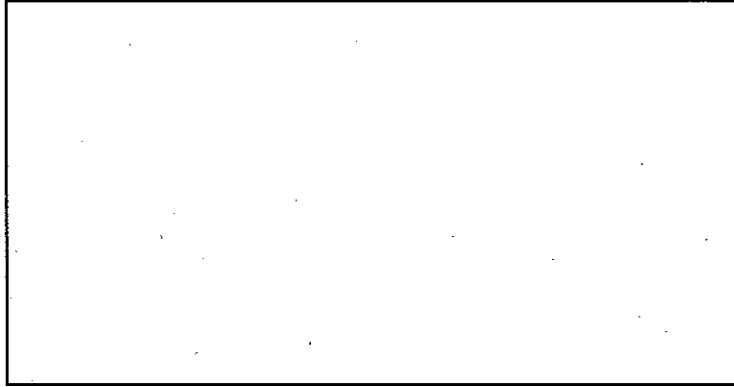
$$n_2 = \boxed{}$$

許容応力は, 口章A.1.2.2設計の基準に従って, S_y

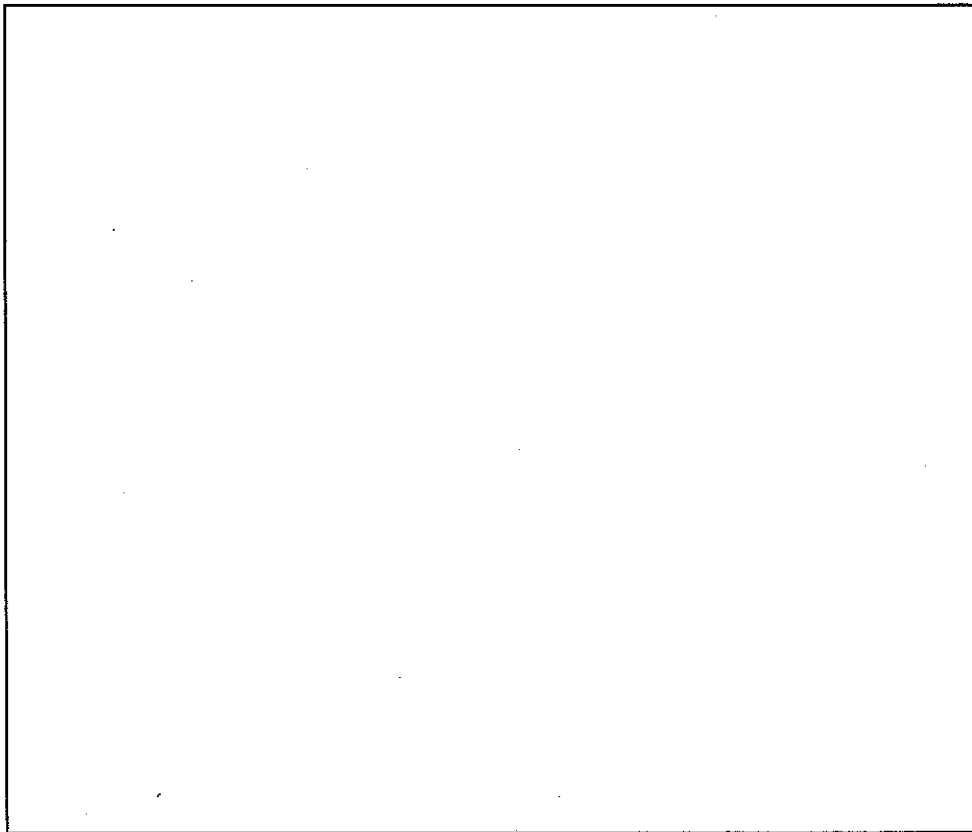
から, 次のように求められる。

$$S_m = \boxed{}$$

許容応力と計算結果との比較を(ロ)-第A.19表に示す。



(ロ) - 第A.16図 容器底板の応力評価位置



(ロ) - 第A.17図 蓋ボルト荷重状態

(ロ) - 第 A.19 表 一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度

	ボルトの 種 別	引張応力 σ_t (MPa)	許容応力 S_m (MPa)	余裕率 M S
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

したがって、余裕率は共に正であるので、一次及び二次密封容器蓋ボルトは、内圧による引張りに対して破断することなく強度を保つ。

(3) 一次及び二次密封容器 O-リングの密封性

一次及び二次密封容器蓋板に内圧が作用した場合の O-リングの密封性を内側 O-リング面における蓋板のたわみにより検討する。荷重状態は A.5.1.3(1),

(ii) 一次及び二次密封容器の蓋板の応力と同様とする。

解析モデルを (ロ) - 第 A.18 図に示す。

O-リング位置における蓋板たわみ ω (mm) は次式により与えられる。⁽⁴⁾

$$\omega = \frac{Pa^4}{64D} \left\{ 1 - \frac{r^4}{a^4} + 8(A+1) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \frac{b^2}{a^2} + 4 \left(B - 2 \frac{b^2}{a^2} \frac{r^2}{a^2} \right) \ln \frac{a}{r} \right\}$$

ただし,

$$A = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} - \frac{1}{4(1+\nu)} \left\{ (1+3\nu) + (3+\nu) \frac{a^2}{b^2} \right\}$$

$$B = \frac{1}{1-\nu} \left\{ 4(1+\nu) \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} - (3+\nu) \right\} \frac{b^2}{a^2}$$

P : 内 圧 (kPa)

$$D : \text{板の曲げ剛性} = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

b : 円輪板の内半径 (mm)

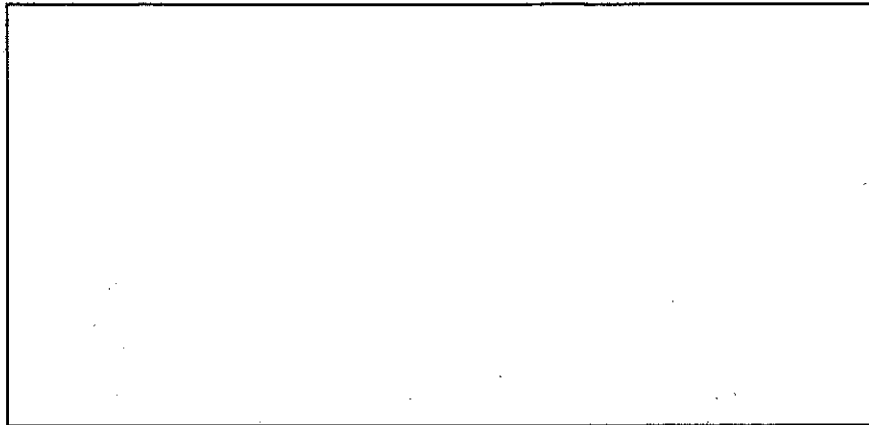
a : ボルト中心円の半径 (mm)

r : たわみ計算位置の半径 (mm)

ν : ポアソン比 =

E : 蓋板の縦弾性係数 =

h : 板厚



(ロ) - 第A.18図 O-リング部たわみ解析モデル

ここで、2つの密封容器におけるこれらの値は、

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \square \text{ (kPa)} & p_2 &= \square \text{ (kPa)} \\
 b_1 &= \square \text{ (mm)} & b_2 &= \square \text{ (mm)} \\
 a_1 &= \square \text{ (mm)} & a_2 &= \square \text{ (mm)} \\
 h_1 &= h_2 = \square \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

である。また、ここではO-リングの位置におけるたわみを求めるので、

$$r_1 = \square \text{ (mm)} \quad r_2 = \square \text{ (mm)}$$

である。

それぞれのたわみ ω_1 と ω_2 を計算し、(ロ) - 第A.20表に示し、蓋板のたわみとO-リングのつぶし代とを比較する。

(ロ) - 第A.20表 一次及び二次密封容器のO-リングの密封性

	たわみ ω (mm)	O-リングの 太さ (mm)	本体O-リング 溝の深さ (mm)	O-リングの つぶし代 (mm)
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ) - 第A.20表より分かるように、O-リングのつぶし代は蓋板のたわみと比較して十分な余裕がある。したがって、内圧に対して一次及び二次密封容器のO-リングの密封性は確保される。

以上の(1), (2), (3)の解析により, 一般の試験条件下の内圧に対して一次及び二次密封容器については,

- 1) 本体円筒胴部, 蓋板及び底板は, 内圧により変形することはない。
- 2) 容器蓋ボルトは, 内圧による引張りに対して破損することはない。
- 3) 内圧による蓋板のたわみによりOリングの密封性が損なわれることはない。

したがって, 一次及び二次密封容器は, 一般の試験条件下の内圧に対して強度及び密封性を損なうことはない。

A.5.1.4 許容応力との比較

(ロ) 第A.21表から明らかなように熱応力及び内圧により生じる応力は, 許容応力に比べて小さいので, 一次及び二次密封容器は, 一般の試験条件下の熱応力及び内圧の組合せに対しても変形することなく強度を保つ。したがって, 密封性も保たれ, 容器の健全性は確保できる。

以上のことから, 一般の試験条件下の熱膨張及び内圧に対して, 一次及び二次密封容器は,

- 1) 熱膨張に対して強度及び密封性を保つ。
- 2) 内圧に対して強度及び密封性を保つ。
- 3) 熱膨張と内圧の組合せ荷重に対して強度及び密封性を保つ。

したがって, 一次及び二次密封容器は, 一般の試験条件下において破損することなく密封性を保持する。

条件	解析項目	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等	備考
通	化学的及び電氣的反応					
	化学的反應	反応の有無	無	無	<input type="text"/>	
	電氣的反應	反応の有無	無	無	<input type="text"/>	
常	低温強度					
	輸送容器 <input type="text"/>	最低使用温度	-40℃	-40℃で性能を保つ	<input type="text"/>	
	ボルト <input type="text"/>	最低使用温度	-40℃	-40℃で性能を保つ	<input type="text"/>	
輸送時	オーリング <input type="text"/>	最低使用温度	-40℃	-40℃で性能を保つ	<input type="text"/>	
	密封装置 一次及び二次密封容器	誤操作による開放	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
	吊上装置 <input type="text"/>	引張荷重	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
輸送時	吊金具	0.6 Sy	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	吊金具取付部	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	引張荷重	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	引張荷重	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	0.6 Sy	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	輸送架台の強度	Sy	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
輸送時	固縛装置 (水平方向) <input type="text"/>	引張荷重	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	0.6 Sy	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	輸送物固定ボルト	Sy	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	(鉛直方向) 架台固定ボルト	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	輸送物固定ボルト	〃	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

条件	解析項目	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等	備考
通常輸送時	圧力	一次及び二次密封容器の強度は熱的試験の応力計算において、より安全側の評価を行っている。				
	振動 核燃料輸送物及び輸送架台	共振	無	無	<input type="text"/>	
一般試験条件	熱的試験 熱膨張 ボルトの熱応力	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	応力計算 一次密封容器	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	0-リングの密封性	0-リングのつぶし代	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	二次密封容器	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	Sm	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	0-リングの密封性	0-リングのつぶし代	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

A.5.2 水噴霧

本核燃料輸送物の外表面は滑らかな円筒形状であり、縦置きで輸送するので水はたまることはない。また、表面は [] であり、吸水性はなく、水切りは良い。外容器は容器本体側部で蓋板と [] する構造となっているので、水は浸入しにくい構造である。

A.5.3 自由落下

本核燃料輸送物の最大重量は [] であり、外運搬規則及び外運搬告示による一般の試験条件における自由落下高さは 1.2 m となる。本項では 1.2 m の高さからの本核燃料輸送物の自由落下衝撃解析を行い、緩衝体の変形量と密封容器の受ける加速度倍率を求める。落下解析は垂直、水平及びコーナでの 3 姿勢について行う。

解析に当たっては、落下エネルギーは外容器の [] の塑性変形エネルギーと緩衝体である [] の塑性変形エネルギーに変換するものと仮定する。本核燃料輸送物は一次密封容器と二次密封容器を外容器が取り囲む構造となっているが、衝撃解析においては外容器重量と密封容器合計重量の二質点から成り、各質点がある緩衝体で結合されており、第一質点と衝撃台の間にも緩衝体があるような二質点系にモデル化し衝撃解析を行う。

落下エネルギーを吸収する緩衝体としては、外容器の殻を構成する [] と緩衝材である [] である。 [] の変形応力としては [] の降伏応力 ($\sigma_y = []$ MPa) を採用する。 [] の圧潰強さとしては、比重 [] のものの静的圧潰試験で得られた平均値を用いる。 [] に直角な方向の圧潰強さを σ_{1c} 、 [] に平行な方向の圧潰強さを σ_{2c} として次の値を採用した。

$$\sigma_{1c} = []$$

$$\sigma_{2c} = []$$

採用した [] の圧潰強さは圧潰の始まるときの応力であるが、本 1.2 m の落下衝撃における変形は十分小さいことから、これらの圧潰強さを用いることは妥当である。

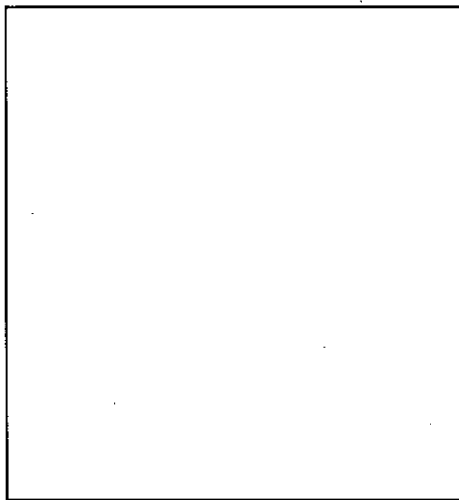
落下衝撃による緩衝体の変形による吸収エネルギー： E_a (N・mm) は核燃料輸送物の全質量： $W = []$ より次のように求められる。

$$E_a = W \cdot H \cdot g = \boxed{} = \boxed{}$$

ここにH：落下高さ（mm）である。

この吸収エネルギー E_a に対する核燃料輸送物の受ける最大加速度と変形量を求める。

本解析は、核燃料輸送物の密封容器と外容器をそれぞれ一つの質点からなるものと仮定し、(ロ) - 第A.19 図に示すような緩衝体と質点から構成される二質点系の落下衝撃解析を行うものである。



図の中の記号は次の意味を持つ。

W_1 : 外容器重量 (外容器 + $\boxed{}$)

W_2 : 密封容器重量 (一次密封容器 + 二次密封容器 + 収納物)

B_1 : 外容器内設の外側の緩衝体部分

B_2 : 外容器内設と密封容器の間の緩衝体部分

V_1 : 外容器の速度

V_2 : 密封容器の速度

F_1 : 緩衝体 B_1 の変形抵抗

F_2 : 緩衝体 B_2 の変形抵抗

(ロ) - 第A.19 図 落下解析モデル

加速度と力の関係より次式が成立する。

$$\frac{W_2}{g} \cdot \alpha_2 = F_2$$

$$\frac{W_1}{g} \cdot \alpha_1 + F_2 = F_1$$

今、 $\frac{(W_1 + W_2)}{g} \cdot \alpha_0 = F_1$ なる加速度 α_0 を定義する。すなわち、 α_0 は W_1 と

W_2 が剛体で結合されたと仮定した場合の加速度である。

(i) $\frac{W_2}{g} \cdot \alpha_0 < F_2$ の場合 (α_0 を代入して; $\frac{W_2}{W_1 + W_2} < \frac{F_2}{F_1}$ の場合)

緩衝体 B_2 は変形を生ぜず, 落下エネルギーはすべて緩衝体 B_1 の塑性変形エネルギーに変換されていく。したがって, この条件が満足される範囲においては, α_1 , α_2 は等しくなり, 次式で与えられる。

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{F_1 \cdot g}{W_1 + W_2}$$

(ii) $\frac{W_2}{g} \alpha_0 \geq F_2$ の場合 (α_0 を代入して; $\frac{W_2}{W_1 + W_2} \geq \frac{F_2}{F_1}$ の場合)

緩衝体 B_1 と B_2 は同時に変形を生じ, 落下エネルギーは緩衝体 B_1 と B_2 の塑性変形エネルギーに変換されていく。したがって, α_1 , α_2 は加速度と力の関係から次式で与えられる。

$$\alpha_1 = \frac{(F_1 - F_2) \cdot g}{W_1}$$

$$\alpha_2 = \frac{F_2 \cdot g}{W_2}$$

衝突の瞬間の輸送容器の落下速度を V_0 とすると,

$$V_0 = \sqrt{2 g H}$$

である。ここに, H : 自由落下高さである。

今, B_1, B_2 の変形抵抗 F_1, F_2 が B_1, B_2 の変形量 δ_{1x}, δ_{2x} の関数として次式のように表されたとする。

$$F_1 = f_1(\delta_{1x})$$

$$F_2 = f_2(\delta_{2x})$$

まず, F_1, F_2, W_1, W_2 の関係が (i) の条件を満足する (この場合は緩衝体 B_1 のみ変形する) 間は, 次なる関係式が成立する。

今, B_1 の変形が δ_{1x} より $(\delta_{1x} + \Delta \delta_{1x})$ に変化する間の経過時間と速度の変化をそれぞれ $\Delta t, \Delta V_1, \Delta V_2$ とすると,

$$\Delta \delta_{1x} = V_1 \cdot \Delta t - \frac{\alpha_1}{2} \cdot \Delta t^2$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = -\alpha_1 \cdot \Delta t$$

ここに,

$$\alpha_1 = \frac{f_1(\delta_{1x})}{W_1 + W_2} \cdot g$$

次に、 F_1, F_2, W_1, W_2 の関係が (ii) の条件を満足する間は、次なる関係式が成立する。緩衝体 B_1 の変形が δ_{1x} より $(\delta_{1x} + \Delta \delta_{1x})$ に変化し、緩衝体 B_2 の変形が δ_{2x} より $(\delta_{2x} + \Delta \delta_{2x})$ に変化する間、経過時間と速度の変化をそれぞれ $\Delta t, \Delta V_1, \Delta V_2$ とすると

$$\Delta \delta_{1x} = V_1 \cdot \Delta t - \frac{\alpha_1}{2} \cdot \Delta t^2$$

$$\Delta V_1 = -\alpha_1 \cdot \Delta t$$

$$\Delta V_2 = -\alpha_2 \cdot \Delta t$$

$$\Delta \delta_{2x} = (V_2 - V_1) \Delta t$$

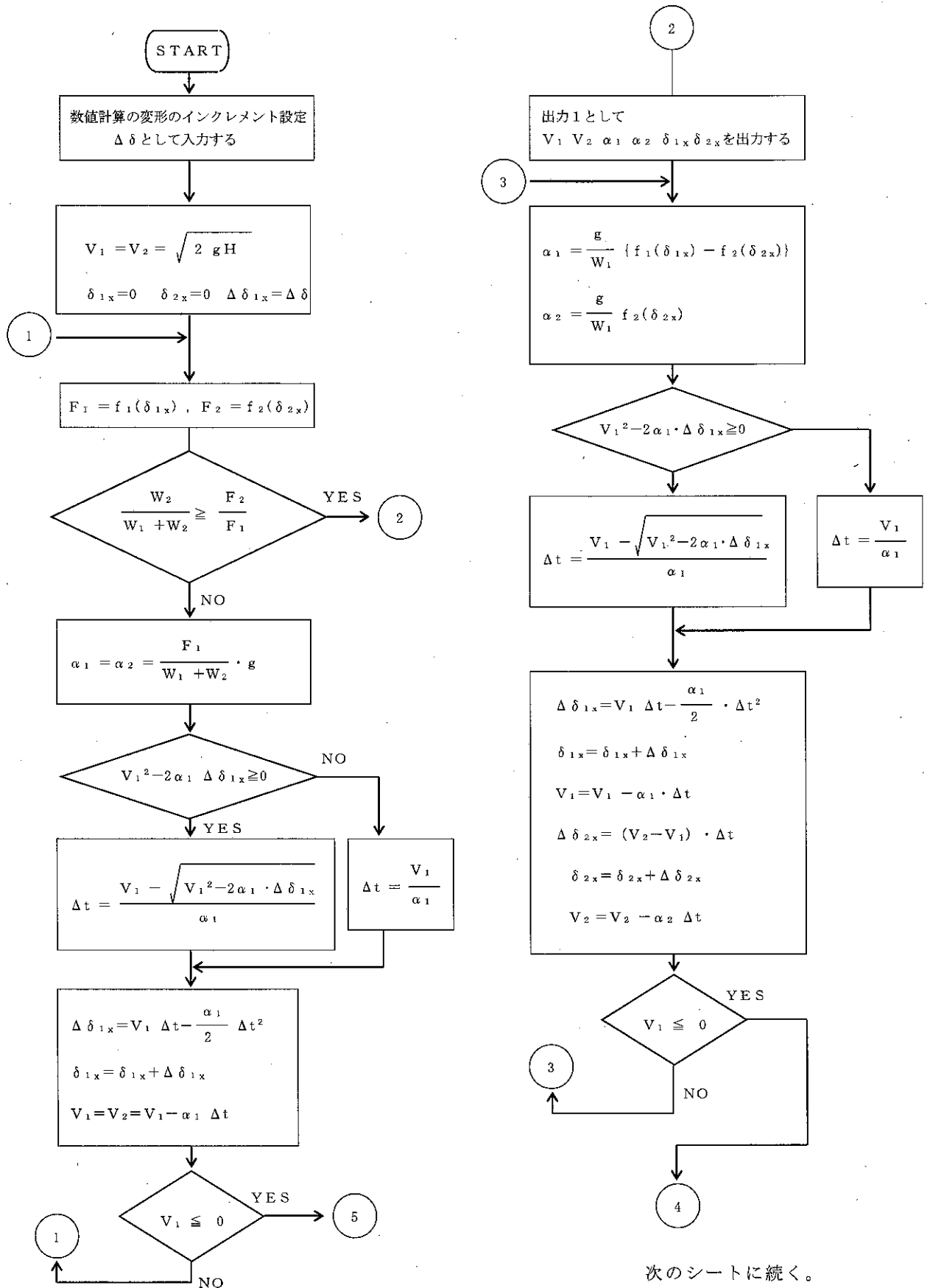
ここで,

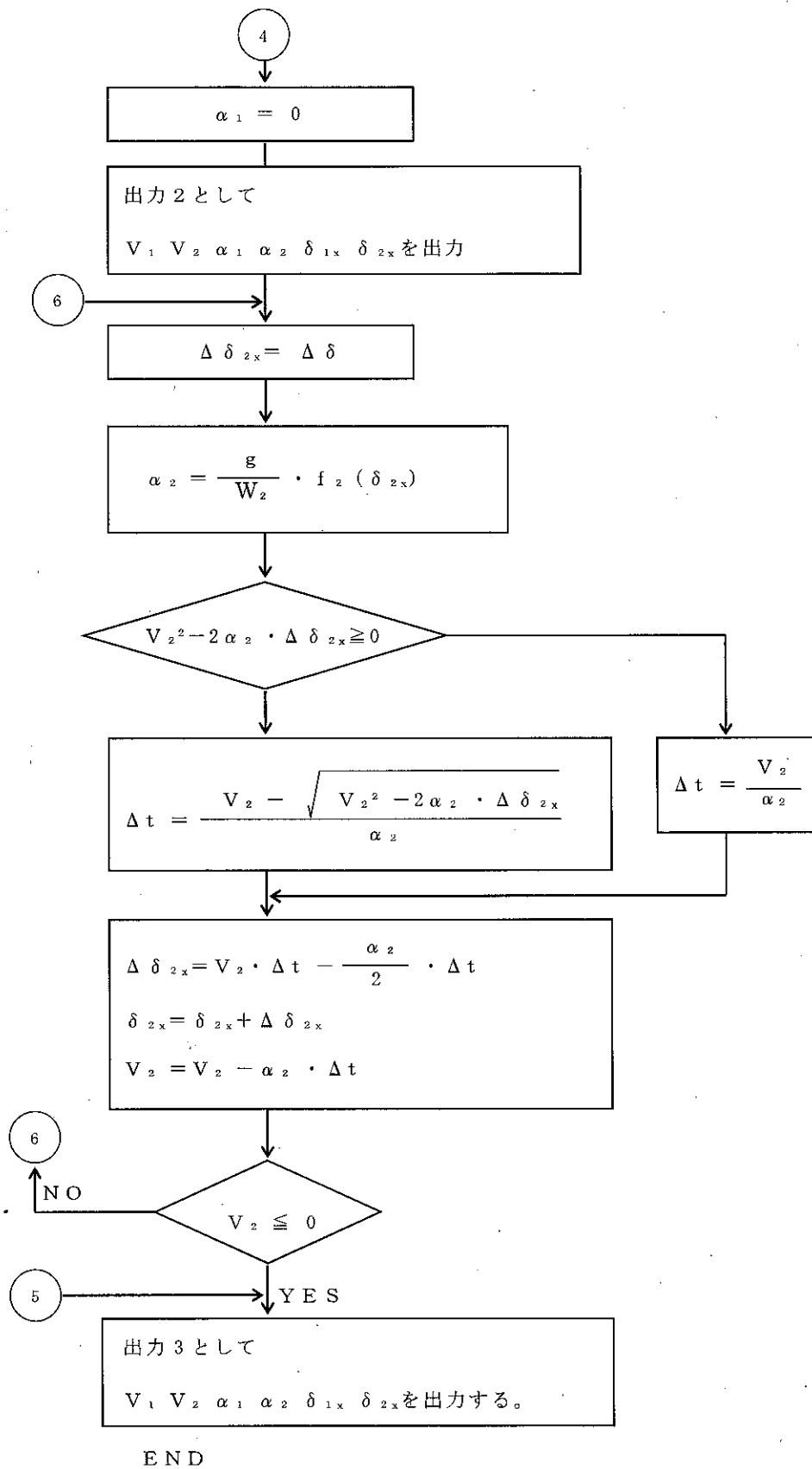
$$\alpha_1 = \frac{\{f_1(\delta_{1x}) - f_2(\delta_{2x})\} \cdot g}{W_1}$$

$$\alpha_2 = \frac{f_2(\delta_{2x}) \cdot g}{W_2}$$

以上の関係式を用いて V_1 及び V_2 の初期値を V_0 とし、 δ_{1x}, δ_{2x} の初期値を 0 とし、 $\Delta \delta_{1x}, \Delta \delta_{2x}$ に関し数値積分を行って、 $V_1 = 0$ 及び $V_2 = 0$ となる直前の $\alpha_1, \alpha_2, \delta_{1x}, \delta_{2x}$ を求めれば、落下エネルギーがすべて緩衝体に塑性歪エネルギーとして変換されたときの落下体の受ける最大加速度と緩衝体の受ける最大変形量を与える。

次に計算のフローを示す。

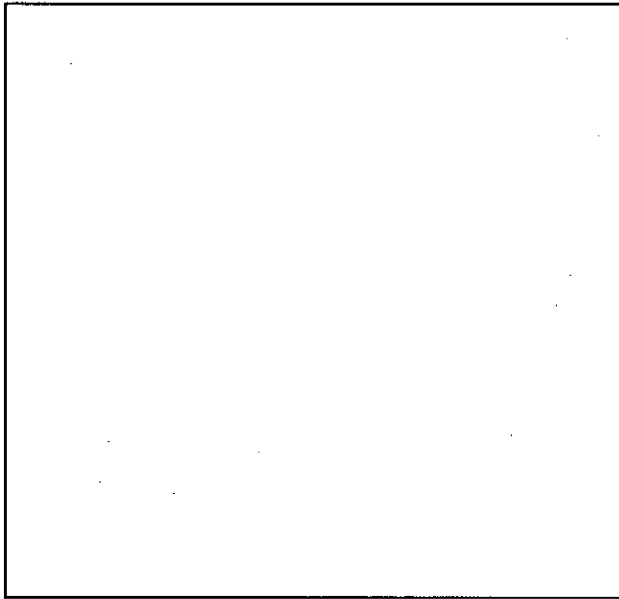




A.5.3.1 垂直落下

垂直落下としては、頭部を下方に向けた落下姿勢が密封容器の密封境界である所の蓋板部により厳しい影響を及ぼすので頭部が下になる姿勢で解析を行った。

解析モデルを (ロ) - 第A.20 図に示す。



図において緩衝体 B₂ として働くものは [] である。二次密封容器の底部には“つば”が出ており、この“つば”を介し二次密封容器の廻りの [] に力が伝えられるので、 [] の受圧面は直径 D₁ の円の面積となる。

[] は垂直方向に直角であるから F₂ は次式により求まる。

$$F_2 = \frac{\pi}{4} D_1^2 \cdot \sigma_{1c}$$

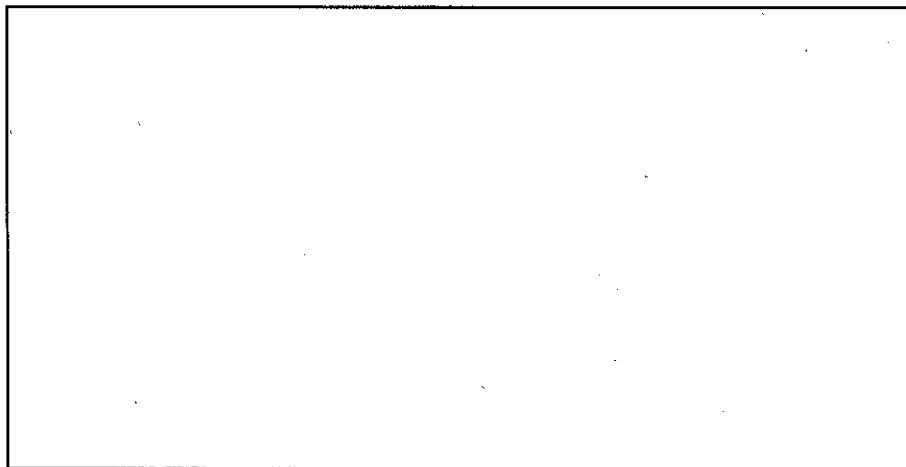
(ロ) - 第A.20 図 垂直落下解析モデル

緩衝体 B₁ として働くのは [] と厚さ t [] の [] である。

今、この部分の変形抵抗力 F₁ を求めるのに変形量 δ_{1x} となった場合の []

[] と [] の受けた塑性変形エネルギーを求める。(ロ) - 第A.21 図

に [] の部分の変形形状を示す。



(ロ) - 第A.21 図 [] 1 の変形形状

① $\delta_{1x} < r$ の場合

$$r_x = R + r(\sin\theta - 1) \quad ; \quad \text{ただし,} \quad \theta = \cos^{-1}\left(\frac{r - \delta_{1x}}{r}\right)$$

の受圧面を $A_{(x)}$, の変形前の面積を $B_{(x)}$ とする
と,

$$A_{(x)} = \pi r_x^2$$

$$B_{(x)} = \pi (R - r)^2 + \int_0^\theta 2\pi r_{xx} \cdot r \cdot d\theta_x$$

$$\text{ただし,} \quad r_{xx} = R + r(\sin\theta_x - 1), \quad \theta_x = \cos^{-1}\left(\frac{r - \delta_{1xx}}{r}\right)$$

$$\text{すなわち,} \quad \delta_{1xx} = r(1 - \cos\theta_x)$$

上式を微分して,

$$d\delta_{1xx} = r \sin\theta_x \cdot d\theta_x$$

$$\therefore r \cdot d\theta_x = \frac{d\delta_{1xx}}{\sin\theta_x}$$

この式を用いて $B_{(x)}$ を変形すると, 次のとおりとなる。

$$B_{(x)} = \pi (R - r)^2 + \int_0^{\delta_{1x}} 2\pi r_{xx} \cdot \frac{d\delta_{1xx}}{\sin\theta_x}$$

の変形エネルギーを U_{\square} とすると,

$$U_{\square} = (B_{(x)} - A_{(x)}) \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y$$

の変形抵抗力を f_{\square} , の変形抵抗力 f_{\square} とすると,

$$\begin{aligned} f_{\square} &= \frac{\partial U_{\square}}{\partial \delta_{1x}} = - \left(\frac{\partial B_{(x)}}{\partial \delta_{1x}} - \frac{\partial A_{(x)}}{\partial \delta_{1x}} \right) \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y \\ &= 2\pi r_x \cdot \frac{1 - \cos\theta}{\sin\theta} \cdot \sigma_y \cdot t_{\square} \end{aligned}$$

$$f_{\square} = \pi r_x^2 \cdot \sigma_{1c}$$

したがって、変形抵抗力 F_1 は f_{\square} と f_{\square} の合計として求められ、次のとおりとなる。

$$F_1 = f_{\square} + f_{\square}$$

$$= 2\pi r_x \cdot \frac{1 - \cos\theta}{\sin\theta} \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y + \pi r_x^2 \cdot \sigma_{1c}$$

ここで、

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{r - \delta_{1x}}{r} \right)$$

$$r_x = R + r (\sin\theta - 1)$$

② $\delta_{1x} \geq r$ の場合

$$f_{\square} = 2\pi R \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y$$

$$f_{\square} = \pi R^2 \cdot \sigma_{1c}$$

したがって、変形抵抗力 F_1 は次のとおりとなる。

$$F_1 = f_{\square} + f_{\square}$$

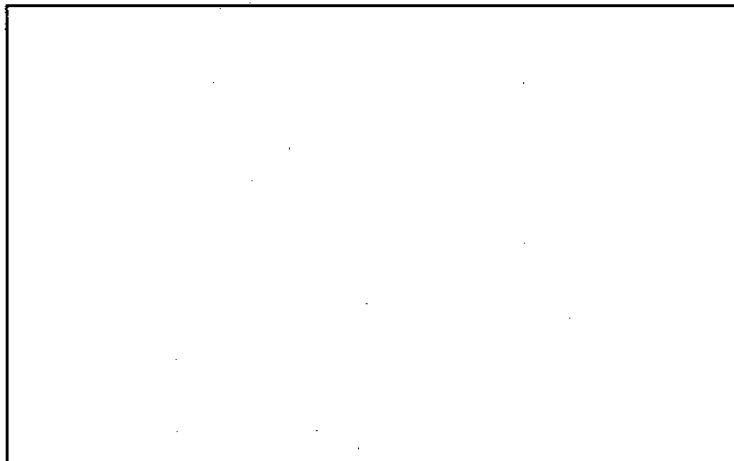
$$= 2\pi R \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y + \pi R^2 \cdot \sigma_{1c}$$

このようにして求められた緩衝体の変形抵抗 F_1, F_2 の式と下記の値を用いて、口章 A.5.3 に示される数値計算を行う。

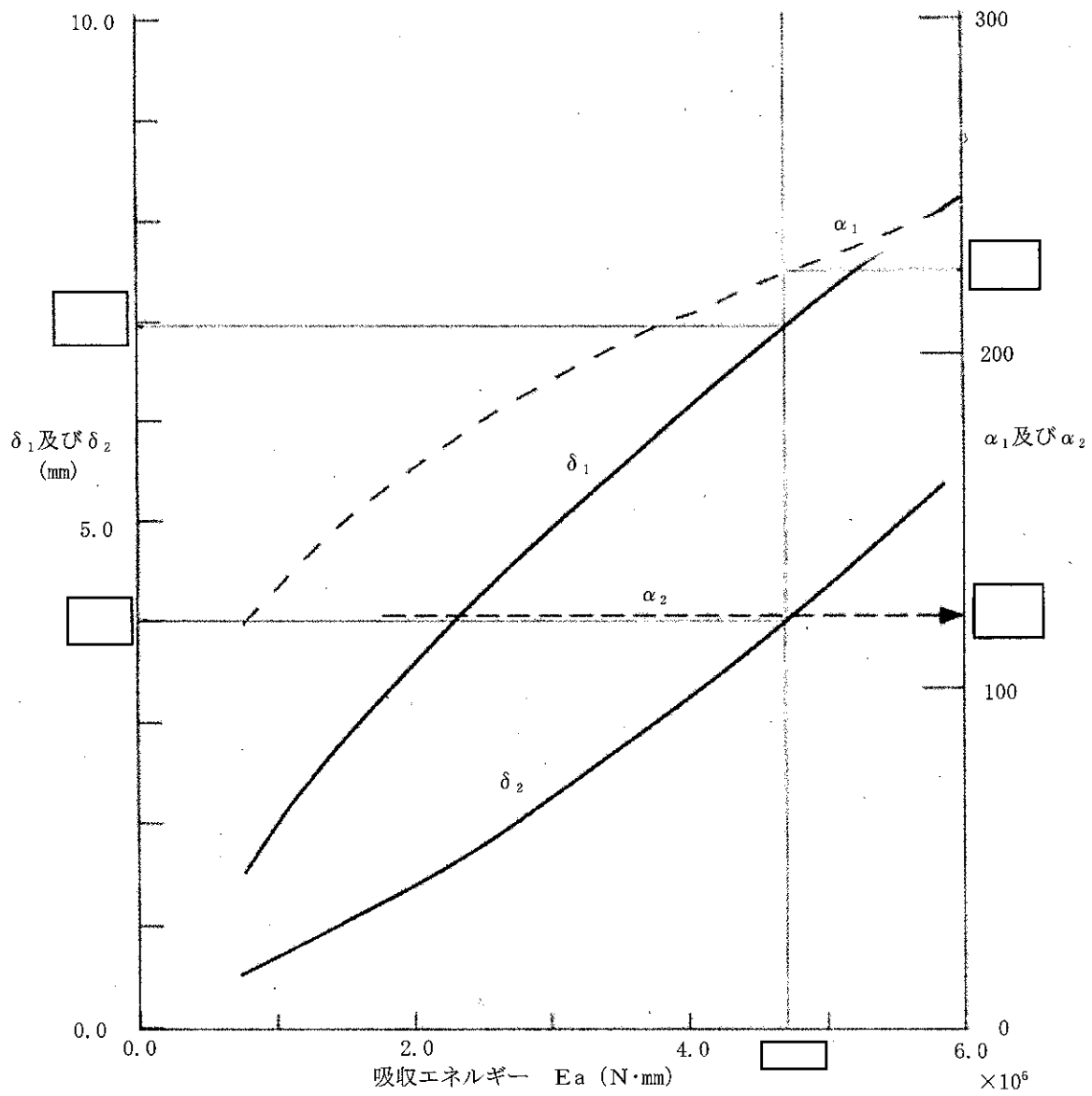
外容器の重量	:	W_1	=	<input type="text"/>
密封容器の重量	:	W_2	=	<input type="text"/>
<input type="text"/> の径	:	D_1	=	<input type="text"/>
<input type="text"/> の厚さ	:	t_{\square}	=	<input type="text"/>
外容器の半径	:	R	=	<input type="text"/>
外容器のコーナール	:	r	=	<input type="text"/>

解析の結果を吸収エネルギー E_a に対する加速度倍率及び変形量として (ロ) - 第 A.22 図に示す。図中の 1.2 m からの落下に相当する吸収エネルギー $E_a = 4.62 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$ に対する値が本解析の解である。

変形量 δ_1 及び δ_2 は下図に示すとおり。



α_1 ; 外容器最大加速度倍率
 α_2 ; 密封容器最大加速度倍率

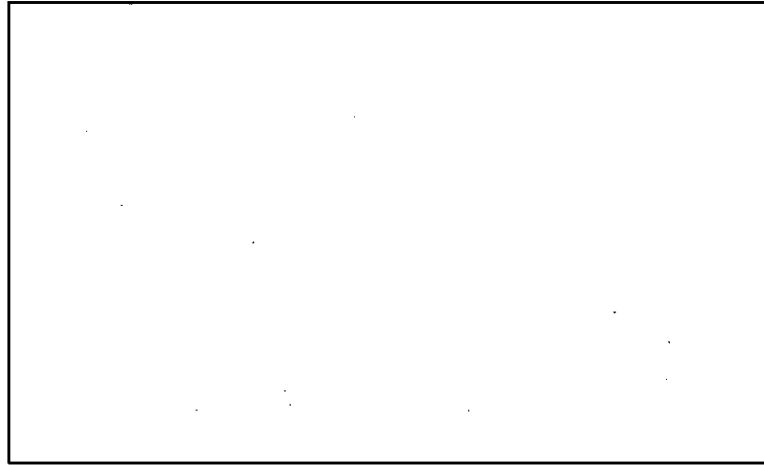


(ロ) - 第A.22図 頭部垂直落下時緩衝体の変形量及び容器の

最大加速度倍率と吸収エネルギー

A.5.3.2 水平落下

解析モデルを (ロ) - 第A.23 図に示す。図において緩衝体B₂ として働くものは である。



(ロ) - 第A.23 図 水平落下の解析モデル

の圧潰強さを σ_3 とし、密封容器の投影面積を A_3 とすると、緩衝体B₂ として変形抵抗力 F_2 は次のように与えられる。

$$F_2 = A_3 \cdot \sigma_3$$

緩衝体B₁ として働くものは と と である。コーナアールの付いた部分を除いた部分の変形抵抗を f_1 とすると、

$$f_1 = a_x \{ (\ell_{b1} - 2r) \sigma_1 + \ell_{b2} \cdot \sigma_2 \} + \frac{4 \delta_x}{a_x} (\ell_{b1} + \ell_{b2} - 2r) \sigma_y \cdot t_{\square}$$

ここで、

ℓ_{\square} : の合計幅

ℓ_{\square} : の幅

r : コーナアール

t_{\square} : の厚さ

σ_1 : の圧潰強さ

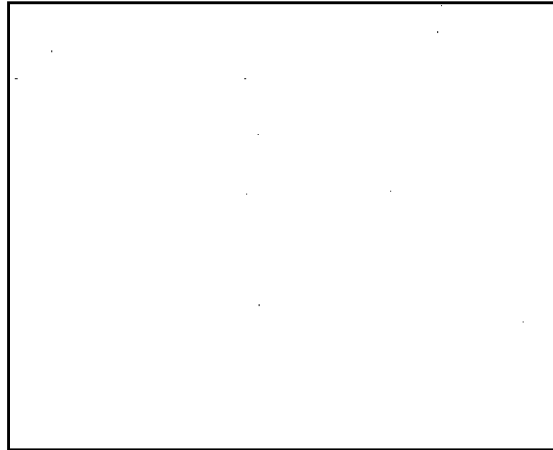
σ_2 : の圧潰強さ

a_x : δ_x 変形したときの半径Rの円の弦の長さで、次の式で与えられる。

$$a_x = 2 \sqrt{2 R \delta_x - \delta_x^2}$$

R : 外容器の半径である。

コーナールの付いた部分の変形抵抗を f_2 とする。 (ロ) - 第 A.24 図にコーナール部の変形形状を示す。



(ロ) - 第 A.24 図 コーナール部の変形形状

図において変形 δ_x の時のコーナ部での の受圧面積 $A_{(x)}$ とし、変形前の の面積 $B_{(x)}$ とする。 の塑性変形エネルギー U_{\square} は次のように表される。

$$U_{\square} = (B_{(x)} - A_{(x)}) \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y$$

の変形抵抗力を f_{\square} とし、 $D_{(x)} = B_{(x)} - A_{(x)}$ とすると、

$$f_{\square} = \frac{\partial D_{(x)}}{\partial \delta_x} \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y$$

差分で表すと、

$$f_{\square} = \frac{D(\delta_x + \Delta \delta_x) - D(\delta_x)}{\Delta \delta_x} \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y$$

の変形抵抗力を f_{2b} とすると、

$$f_{\square} = A(\delta_x) \cdot \sigma_1$$

今、 f_2 は次式のように表される。

$$f_2 = 2 \cdot (f_{\square} + f_{\square})$$

上式で 2 を乗じてあるのはコーナ部の両側を考慮したためである。

また、変形抵抗力 F_1 は f_1 と f_2 の和として表される。

$$F_1 = f_1 + f_2$$

$R = \square$, $r = \square$ としたときの $0 \leq \delta_x \leq \square$ の範囲の $A_{(x)}$, $B_{(x)}$ の

値を (ロ) - 第A.25 図に示す。

このように求められた緩衝体の変形抵抗 F_1, F_2 に (ロ) - 第A.23 図に与えられる $A_{(x)}, B_{(x)}$ を適用し、下記の値でロ章A.5.3 に示すフローで数値計算を行う。

外容器の重量 : $W_1 =$

密封容器の重量 : $W_2 =$

外容器半径 : $R =$

外容器コーナアール : $r =$

厚さ : $t =$

の幅 : $l_{b1} =$

の有効幅 : $l_{b2} =$

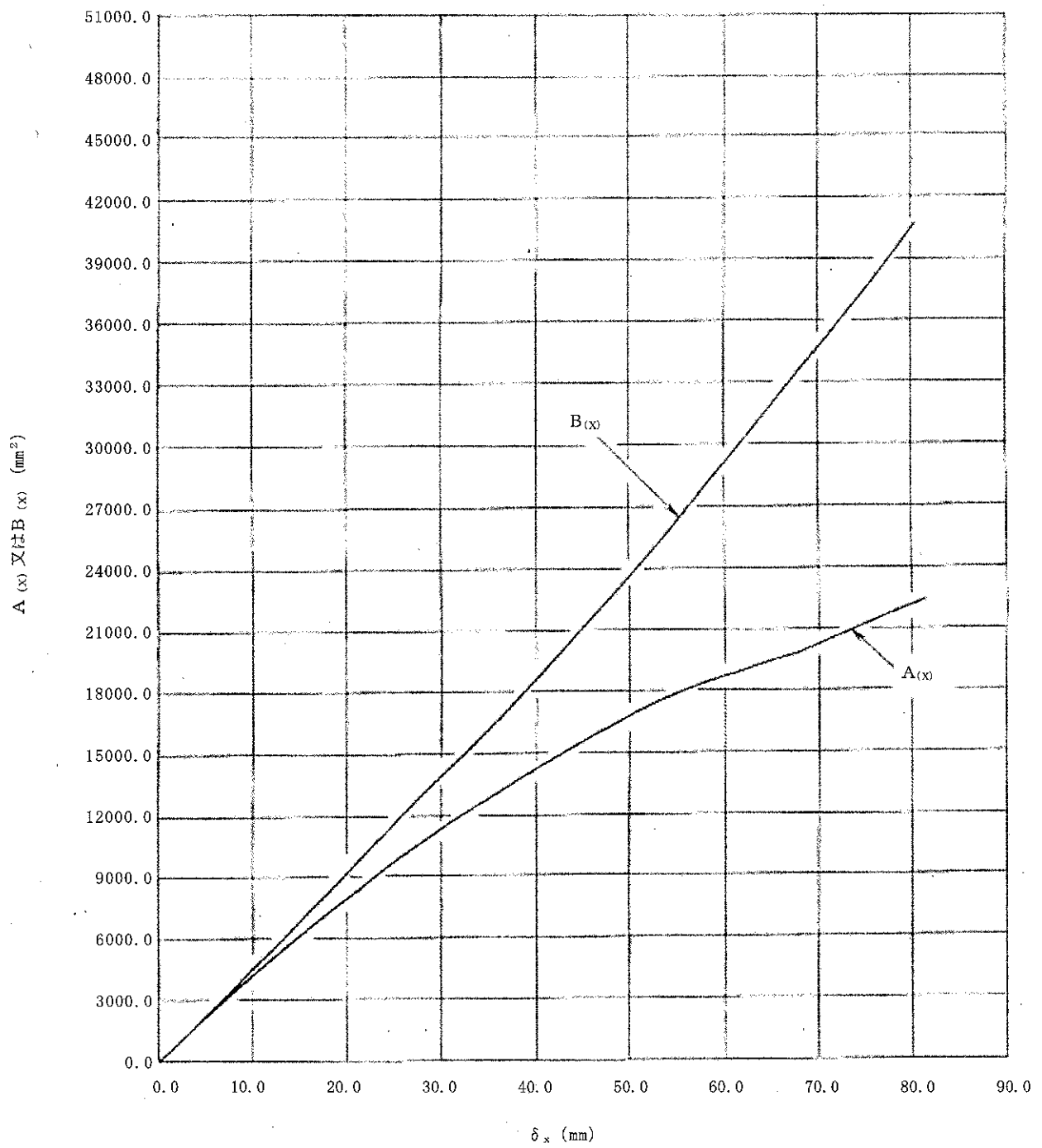
の受圧面 : $A_3 =$

A_3 は 2 次密封容器の投影面積で次のように求められる。

$A_3 =$ フランジ部の投影面積 + 胴部の投影面積 + 胴部ツバの投影面積

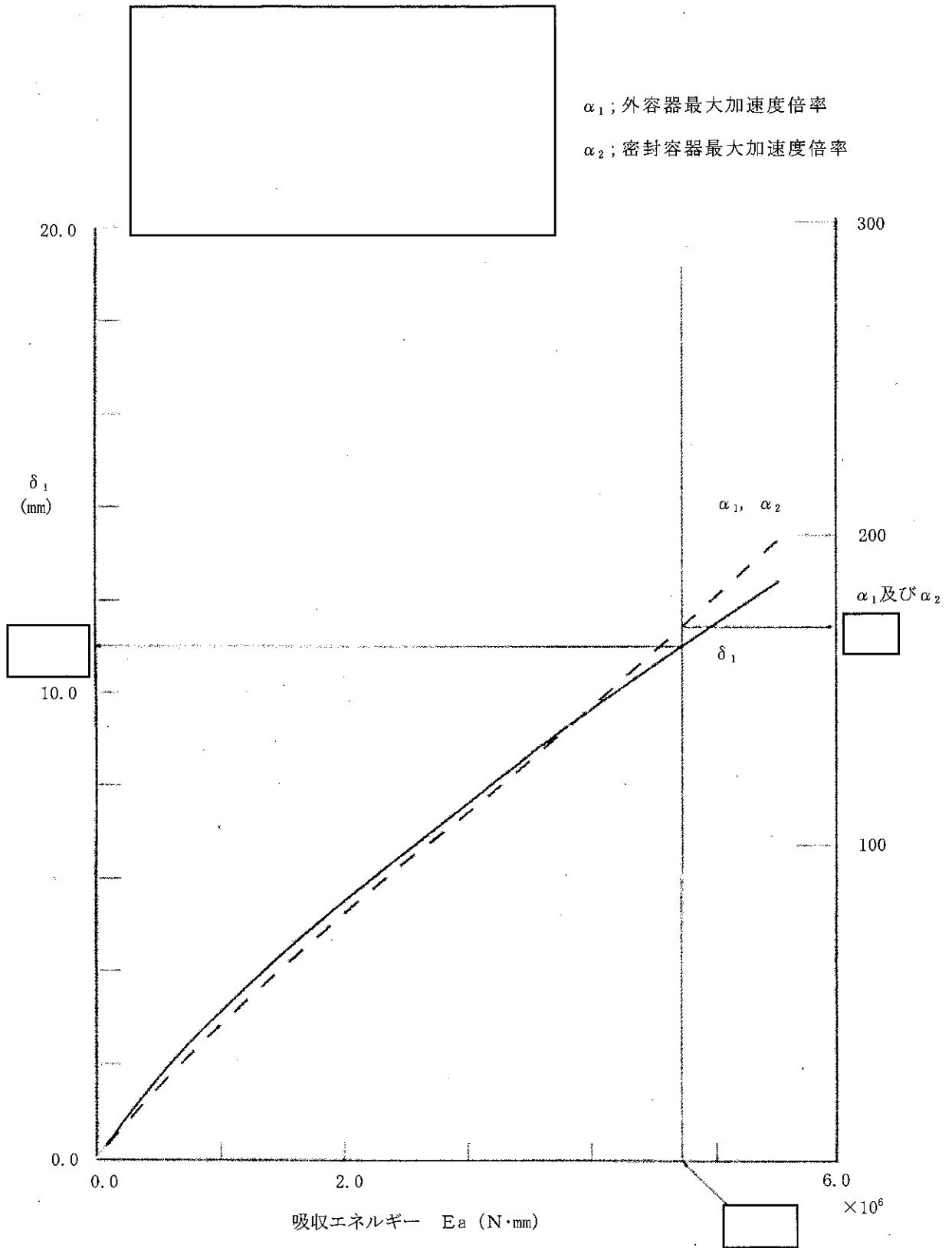
$$= \square \times \square + \square \times \square + \square \times \square = \square$$

解析の結果を同様に (ロ) - 第A.26 図に示す。



(口) - 第A.25図 面積A(x)及びB(x)

変形量 δ_1 及び δ_2 は下図に示すとおり。

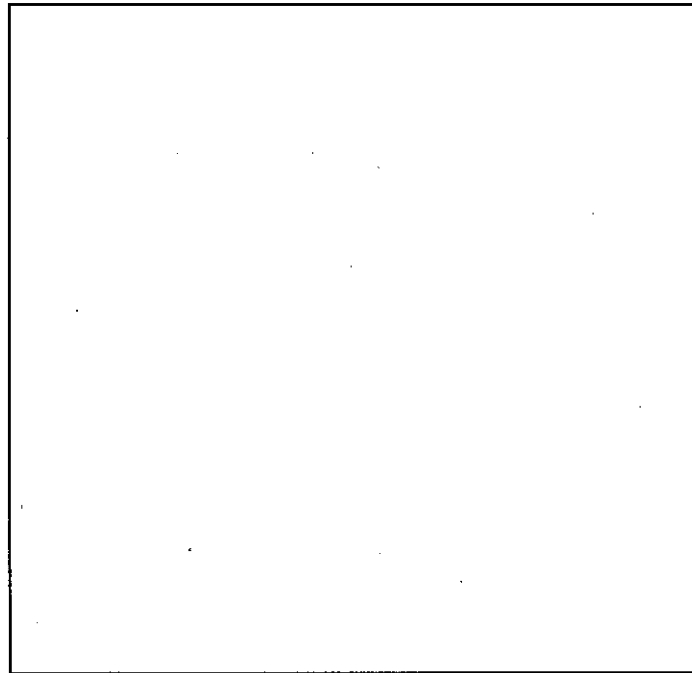


(ロ) 一第A.26図 水平落下時緩衝体の変形量及び容器の最大加速度倍率と

吸収エネルギー

A.5.3.3 コーナ落下

コーナ落下においては、頭部を下方に向けた落下姿勢が密封容器の密封境界である所の盖板部により厳しい影響を及ぼすので、頭部が下になる姿勢で解析を行った。解析モデルを(ロ) - 第A.27 図に示す。図において緩衝体B₂として働くものは である。



(ロ) - 第A.27 図 コーナ落下解析モデル

と の鉛直方向の圧潰強さを σ_{\square} 、 σ_{\square} とし、 の圧潰受圧面積を A_{\square} 、 の圧潰受圧面積を A_{\square} とすると、 F_2 は次式で求められる。

$$F_2 = \sigma_{\square} \cdot A_{\square} + \sigma_{\square} \cdot A_{\square}$$

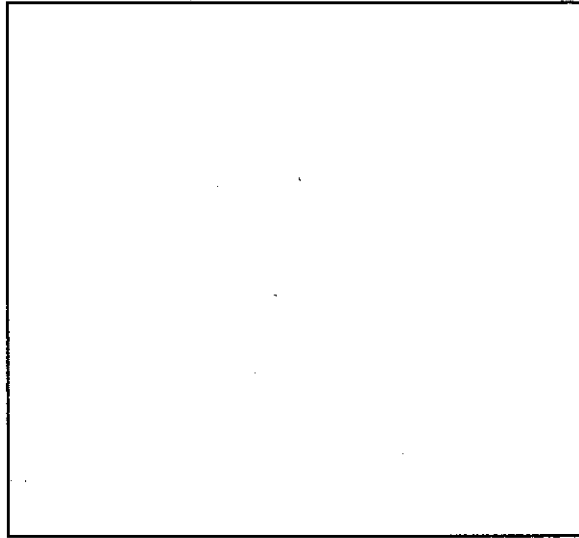
ここで、

$$A_{\square} = \frac{\pi}{4} D_2^2 \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

$$A_{\square} = D_1 \cdot l \times \cos \theta$$

すなわち、鉛直方向の投影面積である。

緩衝体B₁として働くものは と である。コーナール部は簡易計算を行うため(ロ) - 第A.28 図のモデル化を行う。



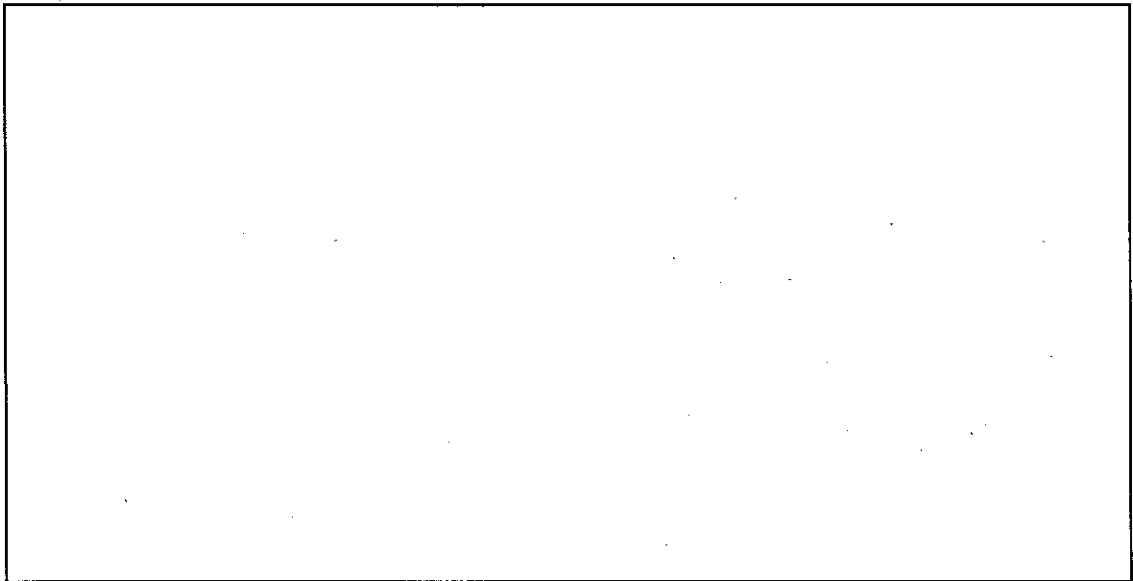
(ロ) - 第A.28 図 コーナ部解析モデル

図において、

$$a = r \cdot \sqrt{\frac{2(1 - \pi/4)}{\tan \theta}}$$

すなわち、図のようにコーナ部を面取り形状にモデル化するが、その断面積は元のとおり保存する。

このようにモデル化したコーナ部が δ_x 変形した状態を (ロ) - 第A.29 図 に示す。



(ロ) - 第A.29 図 コーナ部の変形状態

□ 1 の圧潰面積 $A_{(x)}$ は図に示されるような面積 $ABCGD$ であり、次の式で表される。

$$A_{(x)} = \left(\sqrt{(R - a \tan \theta)^2 - (R - a \tan \theta - e)^2} + \sqrt{R^2 - (R - e)^2} \right) \cdot \frac{a}{2 \cos \theta} + \frac{R^2}{\sin \theta} \left(\theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right)$$

ここで、

$$e = \frac{\delta_x}{\cos \theta}, \quad c = \frac{2\delta_x}{\sin 2\theta}, \quad \theta_0 = \cos^{-1} \left(\frac{a_1 - c}{a_1} \right)$$

$$a_1 = \frac{R}{\sin \theta}$$

□ 1 の変形抵抗力を f_{1b} とすると、

$$f_{1b} = A_{(x)} \cdot \sigma_{\square}$$

弦 AB の長さを \overline{AB} とし弧 CGD の長さを \widehat{CGD} とすると $\Delta \delta_x$ に変形するときの □ の変形エネルギーの増分 ΔU_{\square} とすると、 ΔU_{\square} は次式で与えられる。

$$\Delta U_{\text{sus}} \approx \left\{ \overline{AB} \cdot \left(\frac{1 - \sin \theta}{\cos \theta} \right) + \widehat{CGD} \cdot \left(\frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} \right) \right\} \times \Delta \delta_x \cdot t_{\square} \cdot \sigma_y$$

□ の変形抵抗力を f_{\square} とすると、

$$f_{\text{sus}} = \frac{\Delta U_{\square}}{\Delta \delta_x}$$

したがって、

$$f_{\text{sus}} = \left\{ \overline{AB} \cdot \left(\frac{1 - \sin \theta}{\cos \theta} \right) + \widehat{CGD} \cdot \left(\frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} \right) \right\} \times t_{\square} \cdot \sigma_y$$

ここで、 \overline{AB} 、 \widehat{CGD} は次のように与えられる。

$$\overline{AB} = \sqrt{(R - a \cdot \tan \theta)^2 - (R - a \cdot \tan \theta - e)^2}$$

$$CGD \cong \frac{\delta x}{\cos \theta} \cdot \frac{\theta_0}{\sin \theta_0}$$

したがって、緩衝体 B_1 としての変形抵抗力 F_1 は次のようになる。

$$F_1 = f_{1b} + f \quad \square$$

このように求められた緩衝体の変形抵抗力 F_1 , F_2 及び下記の値を用いて

A. 5.3.1 に示される数値計算を行う。

外容器の重量 : $W_1 = \square$

密封容器の重量 : $W_2 = \square$

外容器の半径 : $R = \square$

外容器コーナール : $r = \square$

二次密封容器の長さ : $\ell = \square$

二次密封容器胴径 : $D_1 = \square$

二次密封容器フランジ径 : $D_2 = \square$

傾き角 : $\theta = \square = \square$

\square はその機械的性質を \square により異にする異方性物質である。

(ロ) - 第 A.30 図の \square 変形モデルにおいて \square 角度 θ をなす方向の圧潰強さを σ_θ とすると、 σ_θ は次式で与えられる。

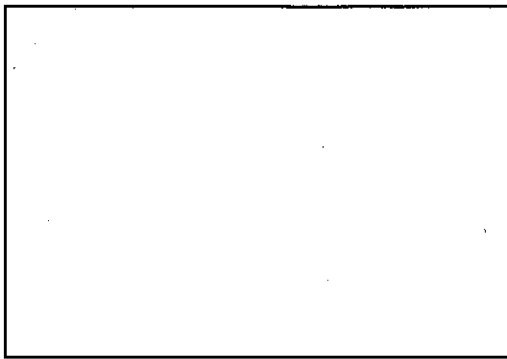
$$\sigma_\theta = \sigma_{1c} \cdot \sin^2 \theta + \sigma_{2c} \cdot \cos^2 \theta$$

θ : \square と圧潰の方向のなす角

σ_{1c} : \square 方向の圧潰強さ

σ_{2c} : \square 方向の圧潰強さ

なお、上の関係式は次の仮定により求められた。(ロ) - 第 A.30 図において ΔA の微小面積が角度 θ の方向に $\delta \theta$ 圧潰したとすると、変形エネルギーは $\Delta A \cdot \sigma_\theta \cdot \delta$ である。



$$\sigma_{1c} \cdot \sin^2 \theta + \sigma_{2c} \cdot \cos^2 \theta$$

ただし,

θ : と圧潰の方向のなす角

σ_{1c} : 方向の圧潰強さ

σ_{2c} : 方向の圧潰強さ

(口) - 第A.30 図 の変形モデル

一方, 方向についての変形エネルギーは,

$$\text{変位 } \delta_1 = \delta \theta \cdot \sin \theta$$

$$\text{受圧面 } \Delta A_1 = \Delta A \cdot \sin \theta$$

であるから,

$$\Delta A_1 \cdot \sigma_{1c} \cdot \delta_1 = \Delta A \cdot \sigma_{1c} \cdot \delta \theta \cdot \sin^2 \theta$$

同様に 方向の変形エネルギーは,

$$\Delta A_2 \cdot \sigma_{2c} \cdot \delta_2 = \Delta A \cdot \sigma_{2c} \cdot \delta \theta \cdot \cos^2 \theta$$

このエネルギーの和は θ 方向の変形エネルギーに等しい。

したがって,

$$\Delta A \cdot \sigma_{\theta c} \cdot \delta \theta = \Delta A \cdot \sigma_{1c} \cdot \delta \theta \cdot \sin^2 \theta + \Delta A \cdot \sigma_{2c} \cdot \delta \theta \cdot \cos^2 \theta$$

ゆえに,

$$\sigma_{\theta c} = \sigma_{1c} \cdot \sin^2 \theta + \sigma_{2c} \cdot \cos^2 \theta$$

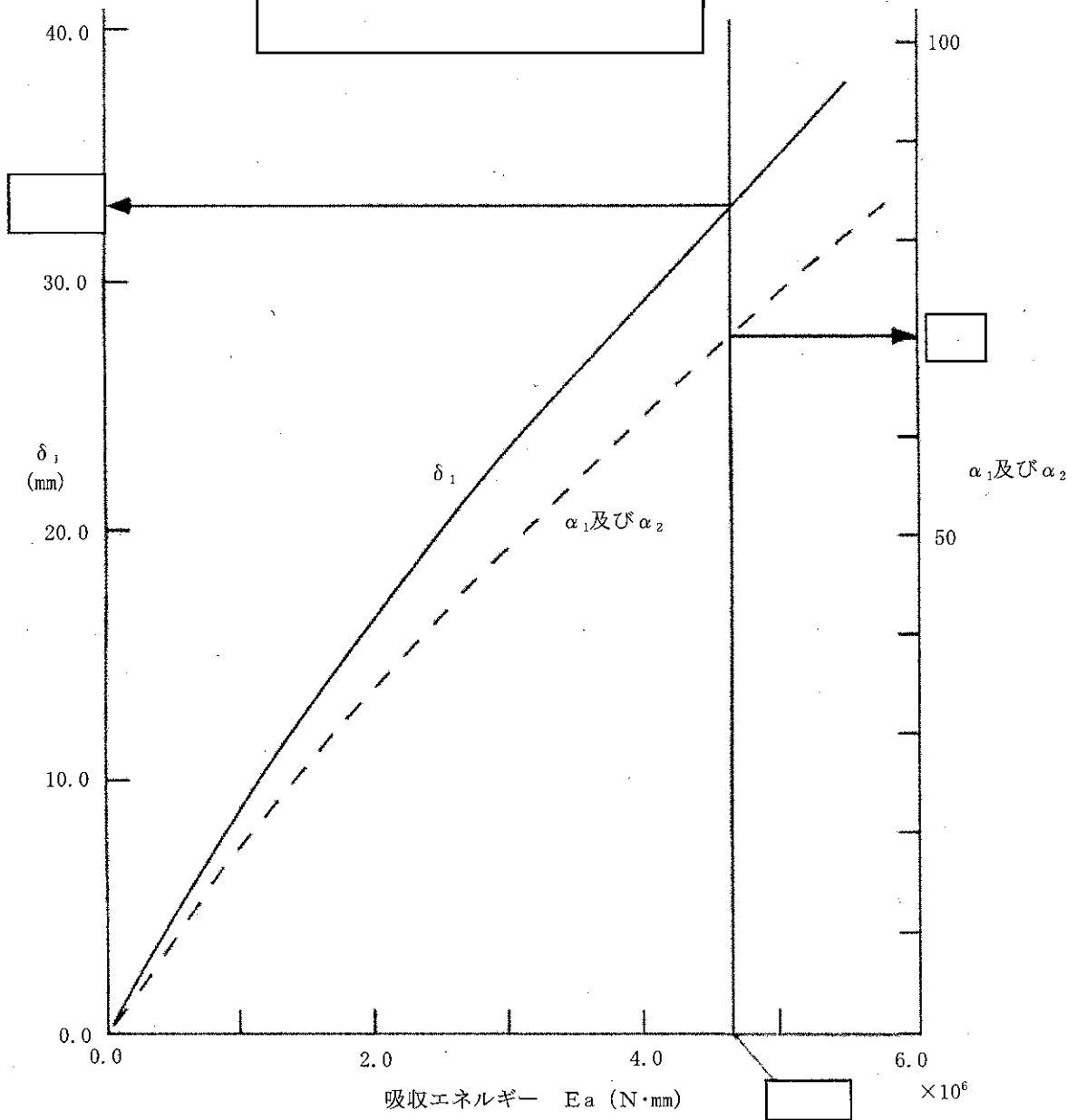
以上の仮定において の でのすべりは生じないものとした。

この仮定は は 内に充満された状態で変形するので, すべりは生じにくく妥当な仮定である。解析において と傾いた方向の圧潰強さは, 本関係式で求めたものを採用する。

解析の結果を同様に (口) - 第A.31 図に示す。なお, 図中内の の変形 δ_2 が示されていないのは, δ_2 が であるからである。

変形量 δ_1 は
右図に示すとおり。

α_1 ; 外容器最大加速度倍率
 α_2 ; 密封容器最大加速度倍率



(ロ) - 第A. 31図 コーナ落下時緩衝体の変形量及び容器の

最大加速度倍率と吸収エネルギー

A.5.3.4 落下解析のまとめ

一般の試験条件の自由落下に対する核燃料輸送物の最大衝撃加速度倍率と最大変形量を(口) - 第A.22表にまとめる。

(口) - 第A.22表 1.2 m自由落下の解析結果

	外容器の受ける 最大加速度倍率 α_1 (-)	密封容器の受ける 最大加速度倍率 α_2 (-)	外容器の外側 変形量 δ_1 (mm)	内[]の 変形量 δ_2 (mm)
垂直落下	[]	[]	[]	[]
水平落下	[]	[]	[]	[]
コーナ落下	[]	[]	[]	[]

変形の許容量は次式で求められる値とする。

$$\delta_a = L \times (1 - \rho_o)$$

ただし、

L : 落下方向に備えられた緩衝体としての[]の寸法

ρ_o : []の密度 (g/cm³)

である。

上式は[]の繊維素の真比重を1.0であると仮定して、[]中の空間が圧潰により0となった時点で[]の本来備えた緩衝体の特性を失うものとする仮定に基づいている。

次に、[]の密度 $\rho_o =$ []とした場合の変形の許容量 δ_a に対する各落下姿勢での変形量の余裕率を(口) - 第A.23表及び(口) - 第A.24表に示す。

(口) - 第A.23表 1.2 m落下における外[]の変形に対する余裕率

落下 姿勢	落下方向の []寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_a (mm)	変形量 δ_1 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下	[]	[]	[]	[]
水平落下	[]	[]	[]	[]
コーナ落下	[]	[]	[]	[]

(ロ) - 第 A.24 表 1.2 m 落下における内 [] の変形に対する余裕率

落下姿勢	落下方向の [] 寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_1 (mm)	変形量 δ_2 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下	[]	[]	[]	[]
水平落下	[]	[]	[]	-
コーナ落下	[]	[]	[]	-

これらの表により明らかなように、変形に対する余裕率は十分にあり、本 1.2 m の落下試験では衝撃エネルギーは [] の設計範囲で十分に吸収される。なお、本解析の結果、密封容器の受ける加速度倍率は、特別の試験条件である落下試験Ⅲ（圧潰試験）において密封容器の受ける加速度倍率より小さく、また、落下試験Ⅲ（圧潰試験）において密封容器の健全性が示されているので、本試験条件においてもその健全性は確保される。

A.5.4 積み重ね試験

核燃料輸送物の投影面積として軸に平行な方向と軸に鉛直な方向との 2 つがある。軸に平行な方向に投影面積を A_1 、軸に垂直な方向の投影面積を A_2 とすると

$$A_1 = []$$

$$A_2 = []$$

$A_2 > A_1$ であり、基準圧力 13 kPa により決まる基準荷重は [] [] である。一方、核燃料輸送物の最大重量は、 [] である。

したがって、5 倍の自重で決まる基準荷重は [] $\times 9.807 \times 5 =$ [] であるので、5 倍の自重で決まる荷重の方が大きくなり、圧縮荷重として [] [] を採用する。

1. 核燃料輸送物の軸に平行な方向の圧縮

コーナのアール部の存在を考慮に入れ、の受圧面積 A_b は、

$$A_b = \text{$$

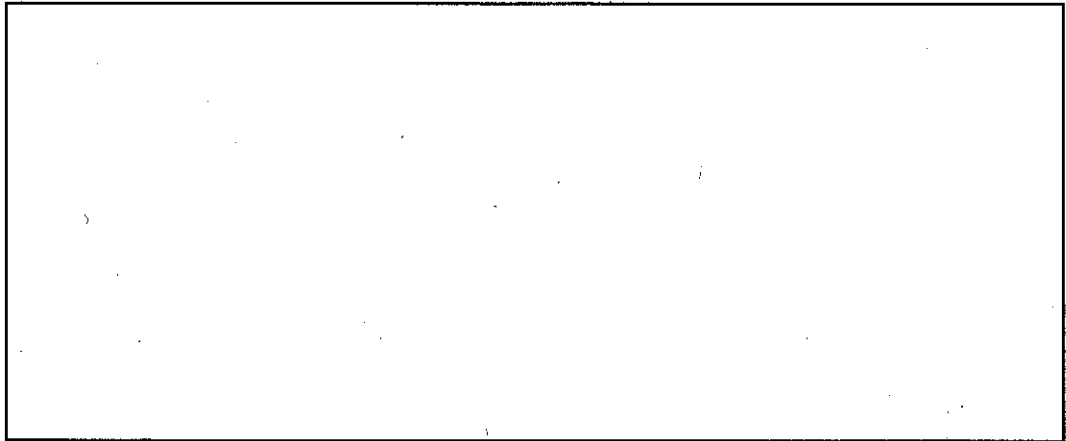
であり、の圧潰強さ $\sigma_{1c} = \text{$ MPaとすると、の圧潰の始まる荷重 F_{1b} は下記のとおりとなる。

$$F_{1b} = A_b \times \sigma_{1c} = \text{$$

圧縮荷重はこの値に比較して十分小さく、したがって、は塑性変形を起こさず、弾性変形範囲内にあり、核燃料輸送物は健全性を保持する。

2. 核燃料輸送物の軸に直角な方向の圧縮

この圧縮に対しては(ロ)－第A.32図に示すようにに δ なる圧縮変形が生じたとする。



(ロ)－第A.32図 圧縮変形モデル

この場合のの圧縮力 F_{2b} とすると、 F_{2b} は次式で与えられる。

$$F_{2b} = a \times (\sigma_1 \cdot l_{b1} + \sigma_2 \cdot l_{b2})$$

ここで、 a : δ 変形したときの弦の長さ (mm)

l_{b1} : 1の有効幅 (mm)

l_{b2} : 2の有効幅 (mm)

σ_1 : 1の圧潰強さ (MPa)

σ_2 : 2の圧潰強さ (MPa)

次に、次式に下記の値を代入すると、

$$l_{b1} = \boxed{}$$

$$l_{b2} = \boxed{}$$

$$\sigma_1 = \boxed{}$$

$$\sigma_2 = \boxed{}$$

$$F_{2b} = \boxed{}$$

$$a = \frac{F_{2b}}{(\sigma_1 \cdot l_{b1} + \sigma_2 \cdot l_{b2})} = \boxed{} = \boxed{}$$

一方、 $a = 2\sqrt{2R\delta - \delta^2}$ であり、また、 $R = \boxed{}$ であるので、

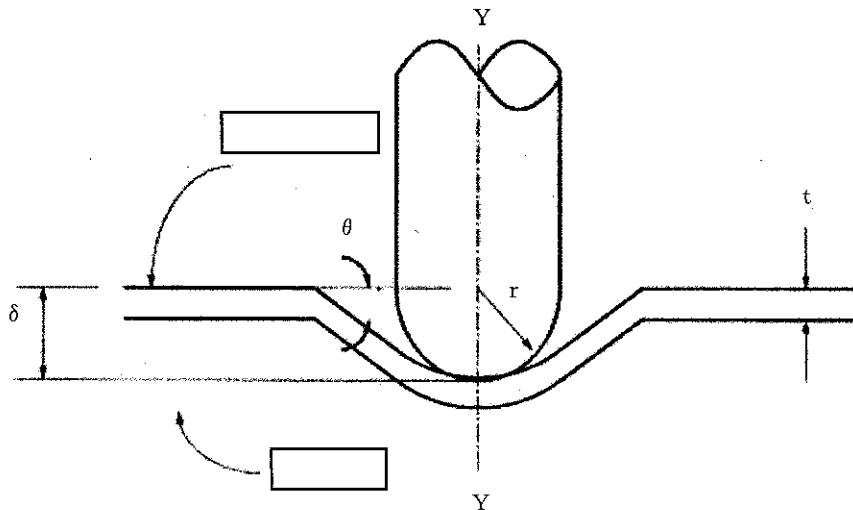
$$\delta = \boxed{}$$

となる。すなわち、外容器変形は極く小さく核燃料輸送物は健全である。

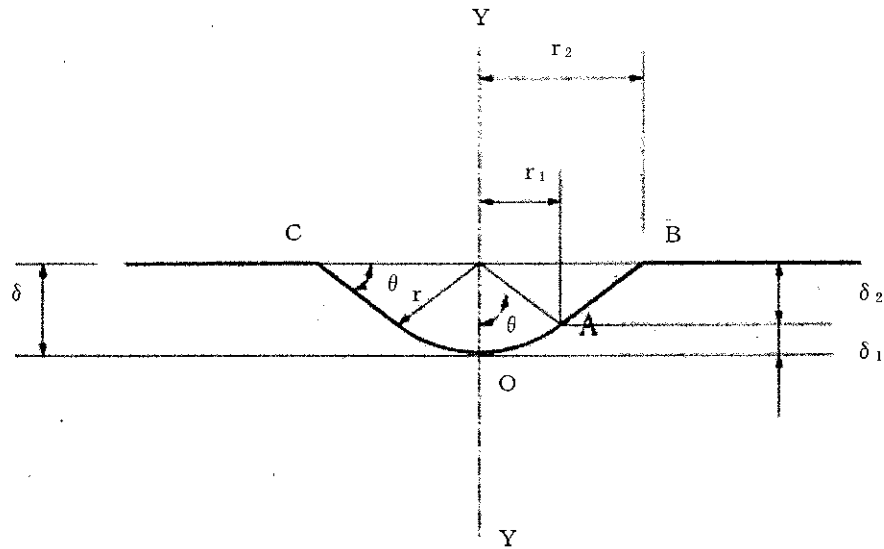
A.5.5 貫 通

本項において、重量 6 kg、直径 32mm で先端が半球形の軟鋼丸棒が 1 m の高さから落下した場合に核燃料輸送物が受ける影響を検討する。

解析に当たっては、棒の落下エネルギーは外容器の $\boxed{}$ と $\boxed{}$ の塑性変形エネルギーとしてすべて吸収されるものと仮定し、落下後の変形形状は (ロ) - 第 A.33 図のようになるものと仮定する。また、塑性変形エネルギーは角度 θ に関し極小値をとるものとする。



(ロ) - 第 A.33 図 貫通棒落下時緩衝体変形形状



(ロ) - 第A.34図 貫通棒落下解析モデル

(ロ) - 第A.32図に示される形状を (ロ) - 第A.34図に示すようにモデル化すると、

$$r_1 = r \sin \theta$$

$$r_2 = r \sin \theta + \{\delta - r(1 - \cos \theta)\} / \tan \theta$$

$$\delta_1 = r(1 - \cos \theta)$$

となる。また、曲線OABのYY軸に関する回転でできる面積 A_{OAB} とすると、

A_{OAB} は次式で与えられる。

$$A_{OAB} = 2\pi r^2(1 - \cos \theta) + \frac{\pi}{\cos \theta} (r_2^2 - r_1^2)$$

したがって、の塑性変形エネルギーを U_{input} とすると、 U_{input} は次式で与えられる。

$$U_{\text{input}} = (A_{OAB} - \pi r_2^2) \cdot t \cdot \sigma_y$$

ただし、 t : の厚さ

σ_y : の降伏応力

次に、曲線OABのYY軸に関する回転面と平面BCからできる体積を V_b とすると、これは次式で与えられる。

$$V_b = \pi \left\{ \left[r_1^2 \delta_2 + \frac{r_1 \delta_2^2}{\tan \theta} + \frac{\delta_2^3}{3 \tan^2 \theta} \right] + \frac{r^3}{3} (2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta) \right\}$$

また、の塑性変形エネルギーを U_b とすれば、 U_b は次式により求まる。

$$U_b = V_b \cdot \sigma_b$$

ただし、 σ_b ：の圧潰強さ

貫通棒の落下エネルギーを E_1 とすると、 $E_1 = U_{\text{input}} + U_b$ の条件で θ に関し極小の $U_{\text{input}} + U_b$ を与える δ 及びそのときの θ の値が求める解である。

次に、 $E_1 = 6 \times 1,000 \times 9.807 = 58,800 \text{ N} \cdot \text{mm}$ とその近傍について、下記の値を用いて数値計算を行うと、 δ と θ は(ロ) - 第A.35図より求められ、 $\delta = \text{input}$ 、 $\theta = \text{input}$ となる。

$$r = \text{input}$$

$$t = \text{input}$$

$$\sigma_a = \text{input}$$

$$\sigma_b = \text{input}$$

<貫通試験に対するの強度>

棒の貫通が生ずるか否かについては、変形後のの伸び率を求め、それとの破断時の伸び率を比較することにより評価できる。

$\delta = \text{input}$ 、 $\theta = \text{input}$ のときの面積 A_{OAB} を計算すると、

$$A_{OAB} = \text{input}$$

変形前の面積 A は、

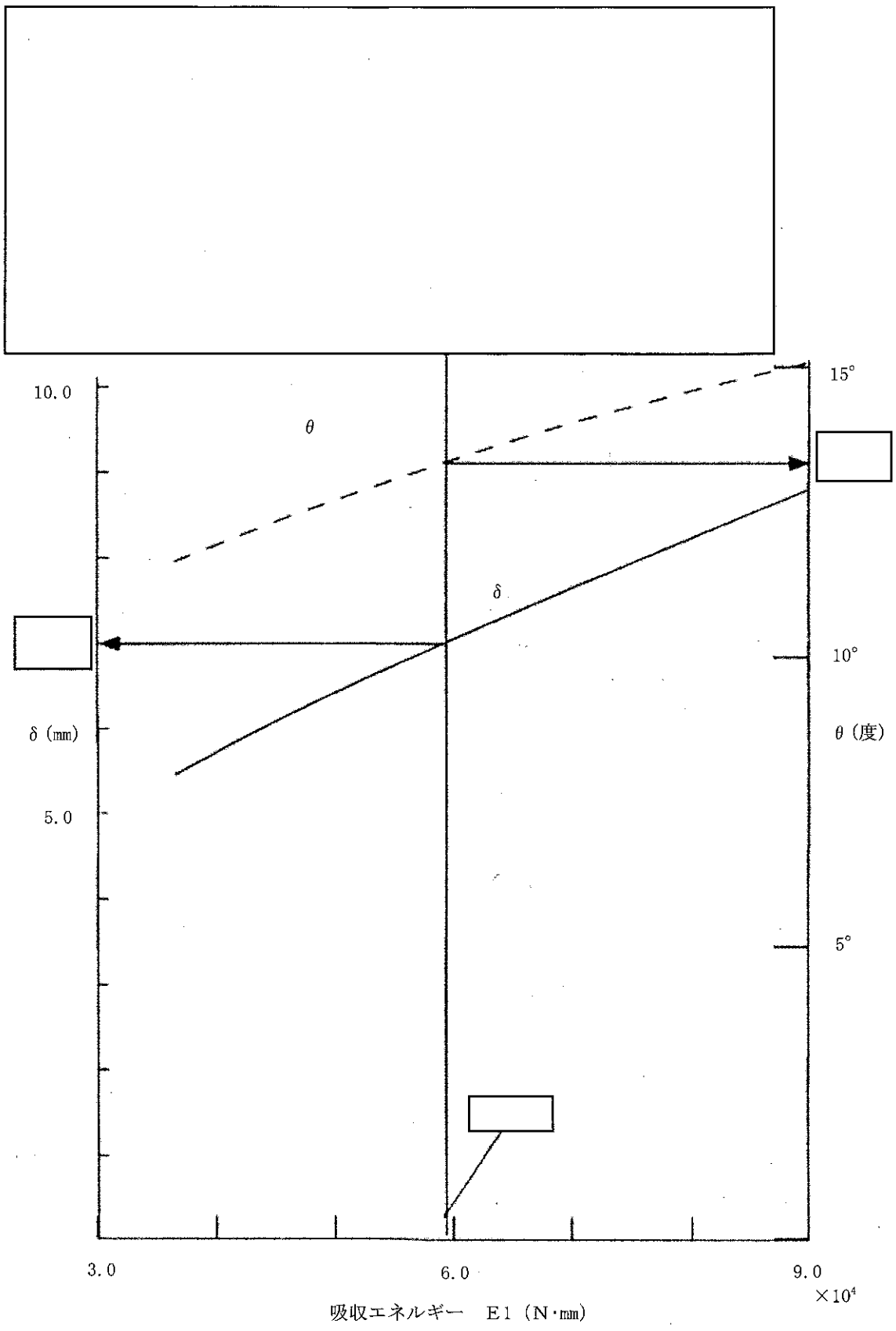
$$A = \text{input}$$

伸び率を η (%) とすると、

$$\eta = \frac{A_{OAB} - A}{A} \times 100 = \text{input}$$

の破断時の伸び率は約であるから、伸び率には十分な余裕があり、

には貫通は生じない。



(口) - 第A. 35図 貫通試験における変形量, 角度 θ 及び吸収エネルギー

A.5.6 角又は縁落下

該当せず。

A.5.7 結果の要約と評価

一般の試験条件下における本核燃料輸送物の強度は口章A.5.1項から口章A.5.5項で説明したように、各試験条件下において保たれる。ここでは、各試験条件についての結果の概要を述べる。

(1) 熱的試験

本項では、温度及び圧力の要約において、一般の試験条件下での一次密封容器及び二次密封容器の温度分布と計算に用いる最大内圧を示している。

熱膨張においては、一次密封容器及び二次密封容器に生ずる温度差による熱応力の評価を行い、密封装置が健全であることを示している。

また、応力計算においては、密封装置が真空雰囲気を想定し、絶対内圧を受けた場合の評価を行い、密封装置が健全であることを示している。

(2) 水噴霧

本項では、水の吹き付け試験により、核燃料輸送物外表面から密封装置内部への水の浸入がないことを示している。

(3) 自由落下

本項では、1.2 mの高さからの自由落下について、解析を実施している。落下解析は垂直、水平及びコーナでの姿勢について実施している。解析の結果は(ロ) - 第A.22表、第A.23表及び第A.24表に示すように、変形は密封装置まで達することはない。

(4) 積み重ね試験

本項では、核燃料輸送物の軸に平行な方向の圧縮と、軸に直角な方向の圧縮を解析している。解析の結果、は塑性変形を起こさず、弾性変形範囲内にあり、核燃料輸送物は健全性を保持する。

(5) 貫通

本項では、貫通による外容器の変形が密封装置に達しないことと、外容器の
が破断せず、には貫通が生じないことを示している。

A.6 特別の試験条件

本項では特別の試験条件において、核燃料輸送物がその所定の機能を果し、構造的に健全であることを示す。

本核燃料輸送物の最大重量は□以下（最大□）で、比重□以下（核燃料輸送物の比重：約□）、かつ、収納する核燃料物質は非特別形であり、収納する核燃料物質の放射エネルギーが□値を超えるため、外運搬規則及び外運搬告示による特別の試験条件下における落下試験については、静置した核燃料輸送物の上に、9 m高さから軟鋼板（寸法：縦1 m×横1 m、重量500 kg）を水平に落下させる落下試験Ⅲ（9 m圧潰試験）について評価する。

したがって、特別の試験条件とは下記の項目である。

- 1) 落下試験
 - (a) 落下試験Ⅲ（9 m圧潰試験）
 - (b) 落下試験Ⅱ（1 m貫通落下）
- 2) 耐火試験（800℃環境に30分間置く）
- 3) 浸漬試験（深さ15mの水中に8時間浸漬）
- 4) 1)～3)の条件下に置いた後、周囲温度が38℃から-40℃の環境に一週間放置する。

落下試験は最大の損傷を与える順序として1) (a)の落下試験Ⅲの後に1) (b)の落下試験Ⅱを行うものとする。

1)の落下試験については、落下衝撃解析を行い、本輸送容器の健全性を示す。

2)の耐火試験についても、1)の落下試験の条件下に置かれた核燃料輸送物に関する熱解析を行い、本輸送容器の健全性を示す。

3)の浸漬試験においては、2)の耐火試験を行った核燃料輸送物に対して147 k Paの水圧下で浸漬試験を行い、本輸送容器の健全性を示す。

A.6.1 強度試験・落下試験Ⅲ（9 m圧潰試験時）

本落下試験Ⅲに対し、落下衝撃解析を行うことにより核燃料輸送物の健全性を示す。

(a) 落下試験Ⅲの解析

本解析では核燃料輸送物を剛体の落下台に設置し、9 mの高さから500 kgの軟鋼

板を落下させたとき、緩衝体の最大変形量と輸送容器の受ける最大加速度を求め、緩衝体に対しては求められた変形量に対し十分な余裕が残っていること、また、求められた最大加速度に対しては、一次密封容器と二次密封容器が強度上の健全性を維持することを示す。

解析手法は、基本的に口章A.5.3項の1.2 m自由落下の解析と同様であるが、本圧潰解析においては密封容器、外容器及び軟鋼板をそれぞれ一つの質点として、三質点系にモデル化した衝撃解析を行う。落下エネルギーの吸収体として働くものは外容器の殻を構成する [] と緩衝体である [] である。

[] の変形応力としては [] の降伏応力としての $\sigma_y = []$ を用いる。[] の圧潰強さとしては、比重 [] のものの静的圧潰試験において得られた [] 歪までの積分平均としての値を用いる。

[] に垂直な方向の圧潰強さを σ_{1c} 、[] に平行な方向の圧潰強さを σ_{2c} とすると、これらは下記の値となる。

$$\sigma_{1c} = 0.98 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{2c} = 9.8 \text{ (MPa)}$$

本9 m圧潰試験においては [] の変形量は大きくなるので [] 歪までの積分平均を用いることにより、変形量及び加速度を適切に計算することを目的とした。

落下衝撃による緩衝体の変形による吸収エネルギー E_a (N・mm) は、落下する軟鋼板質量が $W = 500$ (kg) であるから下記のように求まる。

$$E_a = W \cdot H \cdot g = 500 \times 9,000 \times 9.807 = 4.41 \times 10^7 \text{ (N・mm)}$$

ここに、H : 落下高さ (mm)

上記の吸収エネルギーに対する最大加速度と変形量を求める。

本解析は、核燃料輸送物の密封容器、外容器及び軟鋼板をそれぞれ一つの質点から成るものと仮定し、(口) - 第A.36 図に示すような緩衝体と質点から構成される三質点系の落下衝撃解析を行うものである。

速度と力の関係より次式が成立する。(符号は下向きをプラスとする。)

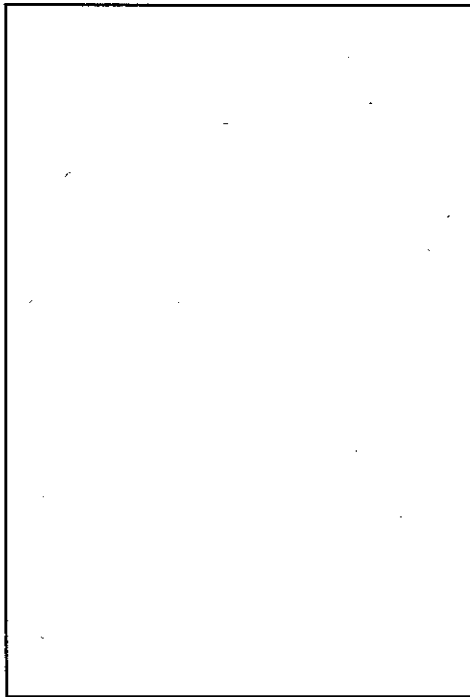
$$\frac{W_3}{g} \cdot \alpha_3 = F_3$$

$$\frac{W_2}{g} \cdot \alpha_2 = F_2$$

$$\frac{W_1}{g} \cdot \alpha_1 + F_2 + F_3 = F_1$$

今、 $\frac{(W_1 + W_2)}{g} \cdot \alpha_0 = |F_3 - F_1|$ なる加速度 α_0 を定義する。

すなわち、 α_0 は W_1 と W_2 が剛体で結合されたと仮定した場合の加速度である。



図の中の記号は次の意味を持つ。

W_1 : 外容器重量 (外容器 +)

W_2 : 密封容器重量 (一次密封容器
+ 二次密封容器 + 収納物)

W_3 : 軟鋼板重量

B_1 : 外容器内殻の外側の緩衝体部分

B_2 : 外容器内殻と密封容器の間の緩衝体部分

V_1 : 外容器の速度

V_2 : 密封容器の速度

V_3 : 軟鋼板の速度

F_1 : 下部緩衝体 B_1 の変形抵抗

F_2 : 上部及び下部緩衝体 B_2 の変形抵抗

F_3 : 上部緩衝体 B_1 の変形抵抗

(ロ) - 第 A. 36 図 落下解析モデル

(i) $\frac{W_2}{g} \alpha_0 < F_2$ の場合 (α_0 を代入して $\frac{W_2}{W_1 + W_2} < \frac{F_2}{|F_3 - F_1|}$ の場合)

緩衝体 B_2 は変形を生じず、落下エネルギーは、上部及び下部緩衝体 B_1 の塑性変形エネルギーに変換されていく。したがって、この条件が満足される範囲においては、 α_1 、 α_2 は等しくなり、次式で与えられる。

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{(F_3 - F_1) \cdot g}{W_1 + W_2}$$

(ii) $\frac{W_2}{g} \alpha_0 \geq F_2$ の場合 (α_0 を代入して; $\frac{W_2}{W_1 + W_2} \geq \frac{F_2}{|F_3 - F_1|}$ の場合)

緩衝体 B_1 と B_2 は同時に変形を生じ、落下エネルギーは緩衝体 B_1 と B_2 の塑性変形エネルギーに変換されていく。したがって、 α_1 、 α_2 、 α_3 は加速度と力の関係から次式で与えられる。

$$\alpha_1 = \frac{(F_1 - F_2 - F_3) \cdot g}{W_1}$$

$$\alpha_2 = \frac{F_2 \cdot g}{W_2}$$

$$\alpha_3 = \frac{F_3 \cdot g}{W_2}$$

衝突の瞬間の鋼板の落下速度を V_0 とすると

$$V_0 = \sqrt{2gH}$$

である。ここで、 H : 落下高さ (mm) である。

今、 B_1 、 B_2 の変形抵抗 F_1 、 F_2 が B_1 、 B_2 の変形量 δ_{1x} 、 δ_{2x} 、 δ_{3x} の関数として次式のように表されたとする。

$$F_1 = f_1(\delta_{1x})$$

$$F_2 = f_2(\delta_{2x})$$

$$F_3 = f_3(\delta_{3x})$$

まず、 F_1 、 F_2 、 F_3 、 W_1 、 W_2 、 W_3 の関係が (i) の条件を満足する (この場合は緩衝体 B_1 のみ変形する) 間は、次なる関係式が成立する。

今、下部 B_1 の変形が δ_{1x} より $(\delta_{1x} + \Delta \delta_{1x})$ 、上部 B_1 の変形が δ_{3x} から $(\delta_{3x} + \Delta \delta_{3x})$ に変化する間の経過時間と速度の変化をそれぞれ Δt 、 ΔV_1 、 ΔV_2 、 ΔV_3 とすると、

$$\Delta \delta_{1x} = V_1 \cdot \Delta t + \frac{\alpha_1}{2} \cdot \Delta t^2$$

$$\Delta \delta_{3x} = (V_3 - V_1) \Delta t$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \alpha_1 \cdot \Delta t$$

$$\Delta V_3 = \alpha_3 \cdot \Delta t$$

ここで、

$$\alpha_1 = \frac{f_3(\delta_{3x}) - f_1(\delta_{1x})}{W_1 + W_2} \quad g$$

$$\alpha_3 = - \frac{f_3(\delta_{3x})}{W_3} \quad g$$

次に、 F_1 、 F_2 、 F_3 、 W_1 、 W_2 、 W_3 の関係が (ii) の条件を満足する間は、次なる関係式が成立する。それぞれの緩衝体の変形が δ より $(\delta + \Delta \delta)$ に変化する間の経過時間と速度の変化をそれぞれ Δt 、 ΔV とすると、

$$\Delta \delta_{1x} = V_1 \cdot \Delta t + \frac{\alpha_1}{2} \cdot \Delta t^2$$

$$\Delta \delta_{2x} = (V_2 - V_1) \Delta t$$

$$\Delta \delta_{3x} = (V_3 - V_1) \Delta t$$

$$\Delta V_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t$$

$$\Delta V_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t$$

$$\Delta V_3 = \alpha_3 \cdot \Delta t$$

ここで、

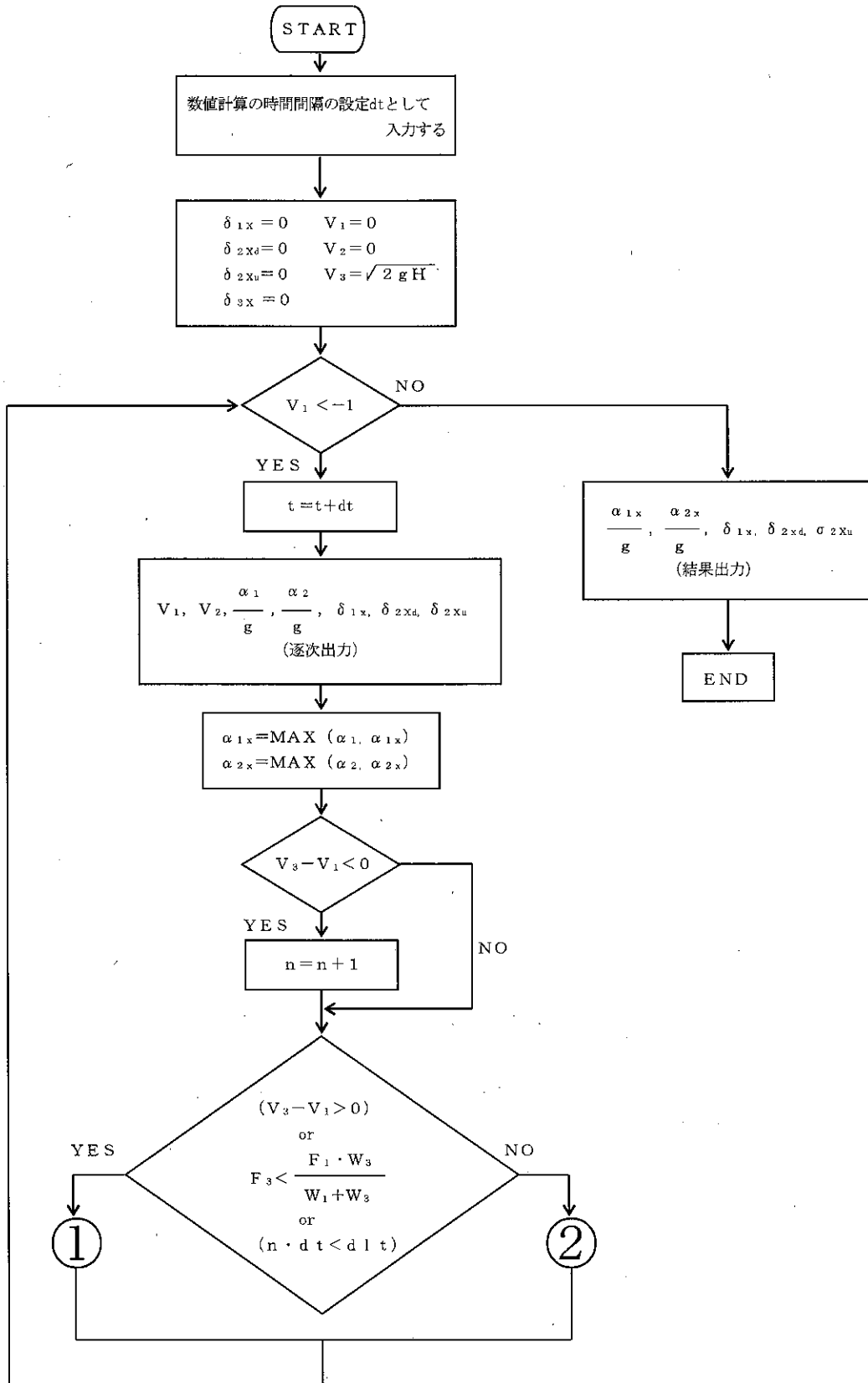
$$\alpha_1 = \frac{\{f_3(\delta_{3x}) - f_2(\delta_{2x}) - f_1(\delta_{1x})\} \cdot g}{W_1}$$

$$\alpha_2 = - \frac{f_2(\delta_{2x}) \cdot g}{W_2}$$

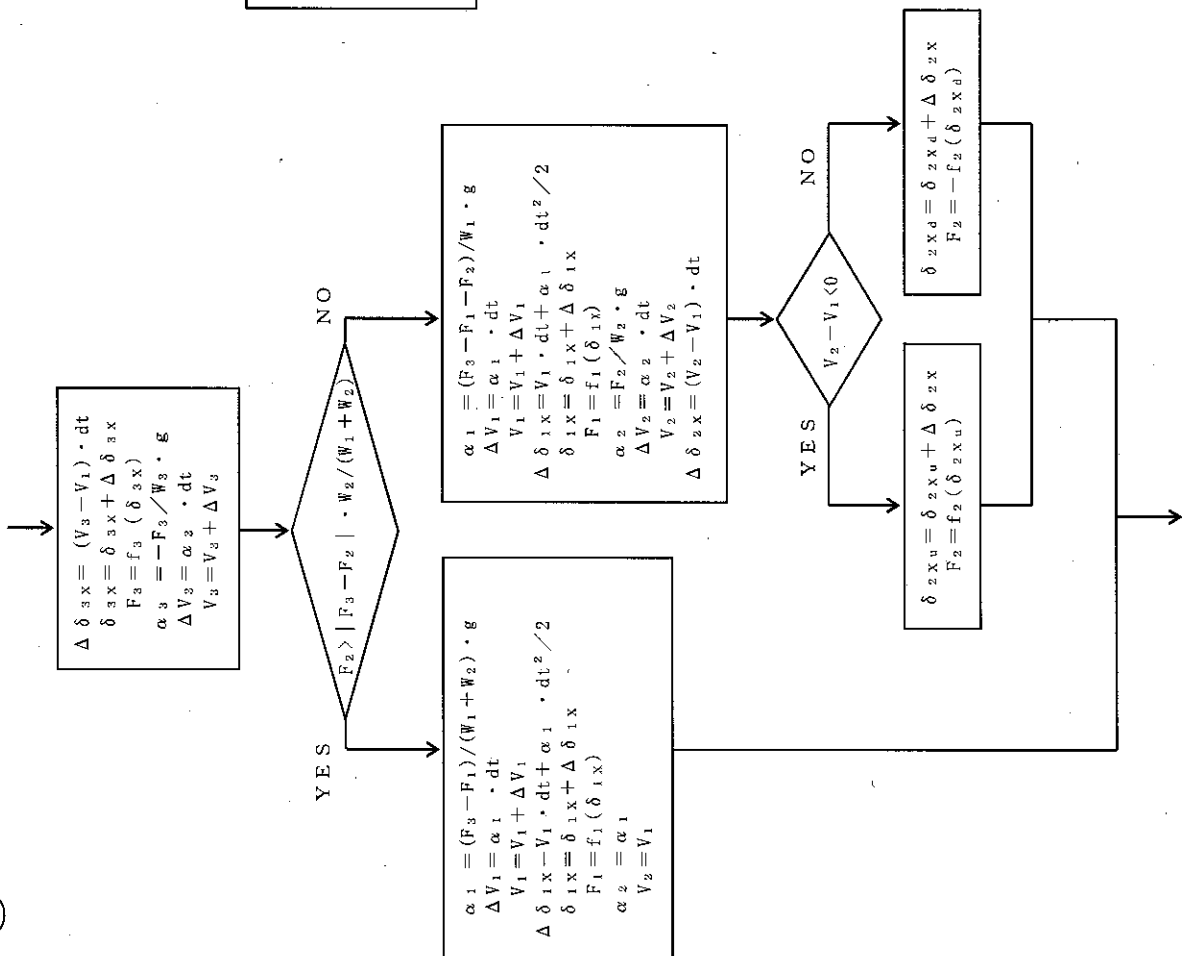
$$\alpha_3 = - \frac{f_3(\delta_{3x}) \cdot g}{W_3}$$

以上の関係式を用いて、 Δt をパラメーターに取り数値計算を行う。なお、計算の際は変形抵抗力 F_2 として上向きのもので下向きのもので現れ、対応する変形量 δ_{2x} を δ_{2xu} 、 δ_{2xd} と添字を変えて区別するが、上下が同時に変形しないため、双方共、上の計算に適用できる。その際の条件として、 V_1 及び V_2 の初期値を 0、 V_3 の初期値を V_0 とし、 δ_{1x} 、 δ_{2xd} 、 δ_{2xu} 、 δ_{3x} の初期値を 0 とし、 $V_3 < V_1$ かつ、 $V_1 = 0$ となる直前の α_1 、 α_2 、 δ_{1x} 、 δ_{2x} を求めれば、軟鋼板の落下エネルギーが緩衝体に塑性歪エネルギーとして変換されたときの容器の受ける最大加速度と緩衝体の受ける最大変形量を与える。今回の計算では鋼板のはねかえる現象を考慮して、 $V_3 < V_1$ の状態においてもしばらくの間鋼板が容器に力を及ぼし続けるモデルを採用した。ロ章 G. 原型容器試験報告書の 6. 試験結果に見られるように、軟鋼板、容器共にリバウンドして再衝突していることから、2次衝撃を考慮に入れ、軟鋼板がリバウンドした後、もう一度 1.2 m の高さから軟鋼板が落下するとして 2 次以上の衝撃の影響を取り入れている。

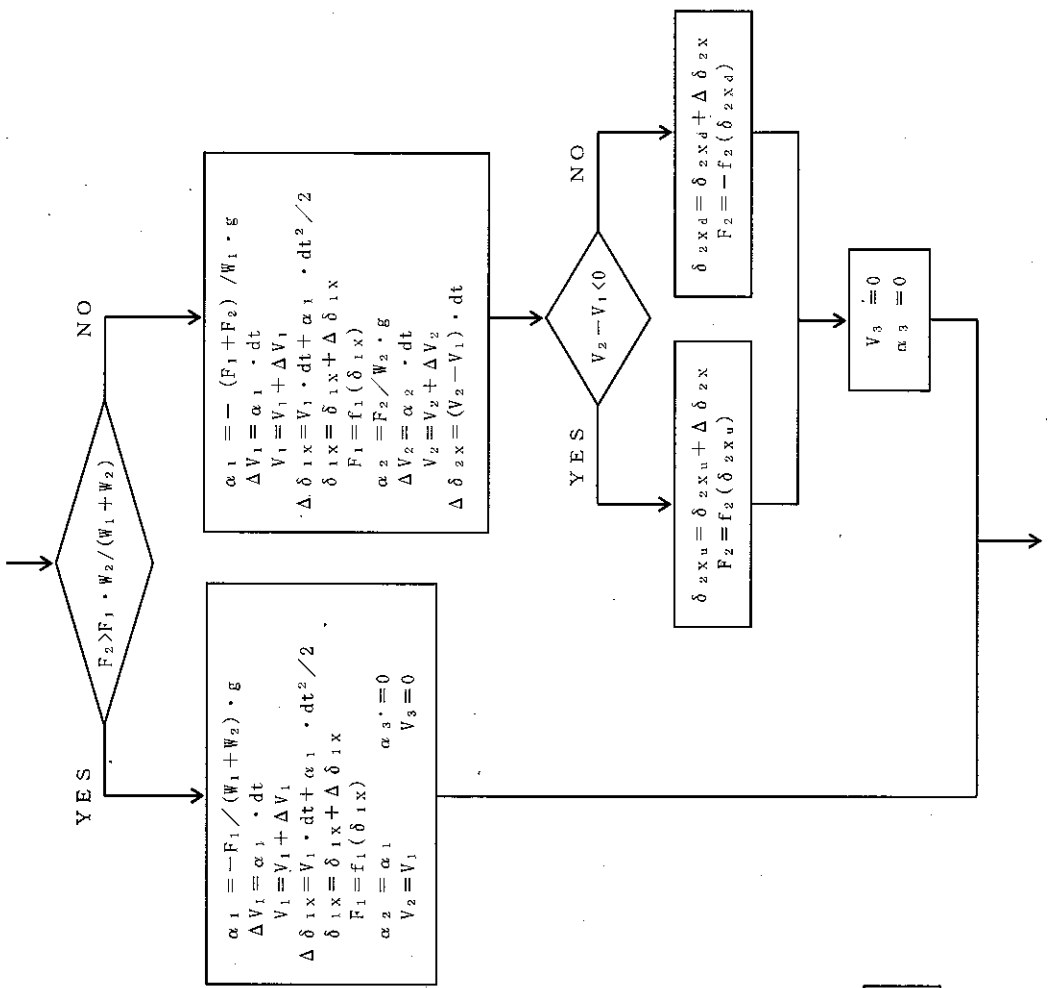
次に計算のフローを示す。



①



②



1. 垂直落下

垂直落下においては、頭部を上方向に向けた姿勢に対し解析を行う。

垂直落下の状況を (ロ) - 第A.37 図に示す。

解析の結果を吸収エネルギー E 。に対する加速度倍率及び変形量として (ロ) - 第A.38 図に示す。落下エネルギーの吸収は核燃料輸送物の衝突側と設置側でそれぞれ行うものとする。

解析手法は、ロ章A.5.3.1 垂直落下と同様に行う。

2. 水平落下

水平落下の状況を (ロ) - 第A.39 図に示す。

水平落下の解析の結果を吸収エネルギー E 。に対する加速度倍率及び変形量として (ロ) - 第A.40 図に示す。落下エネルギーの吸収は核燃料輸送物の衝突側と設置側でそれぞれ行うものとする。

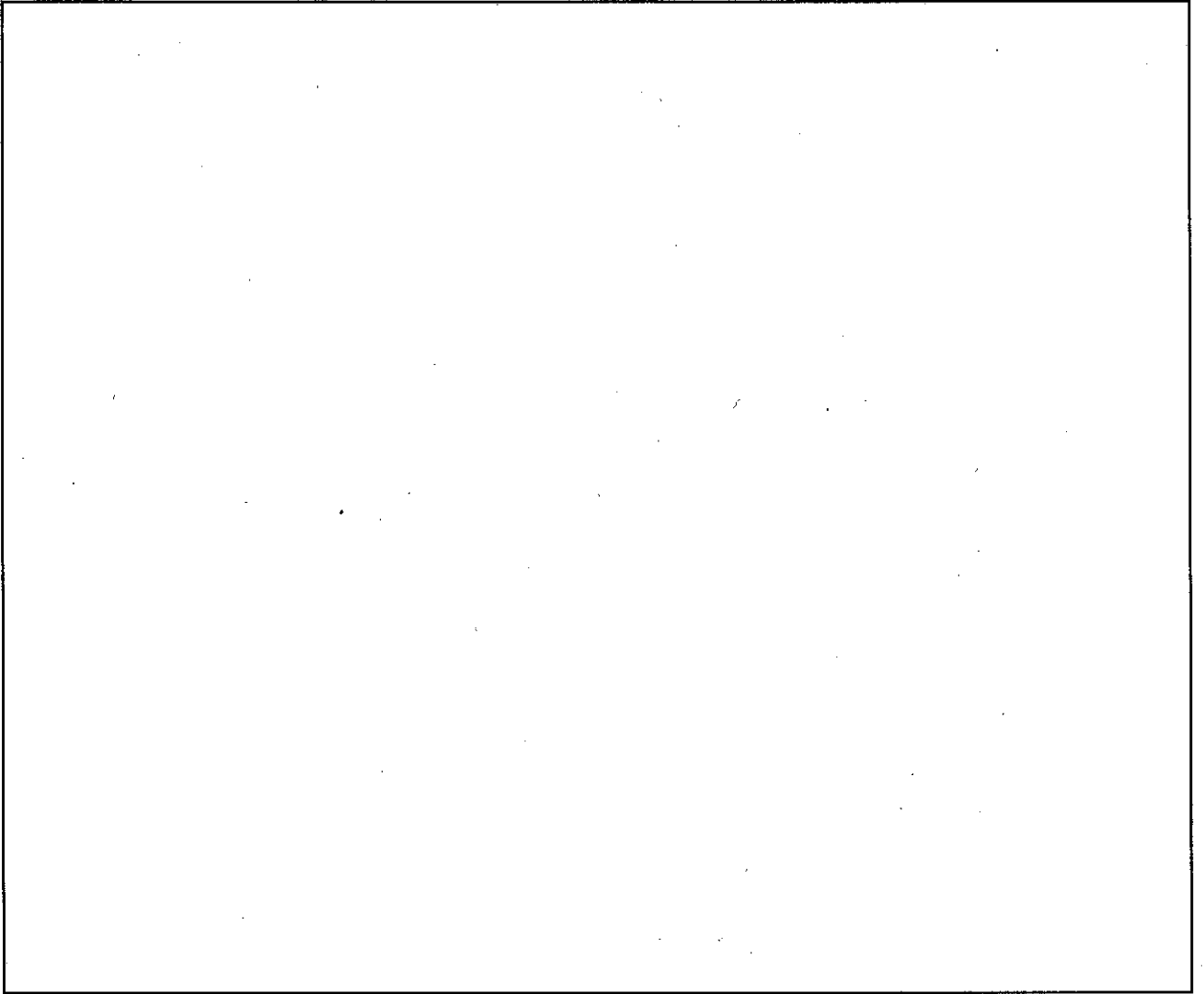
解析手法は、ロ章A.5.3.2 水平落下と同様に行う。

3. コーナ落下

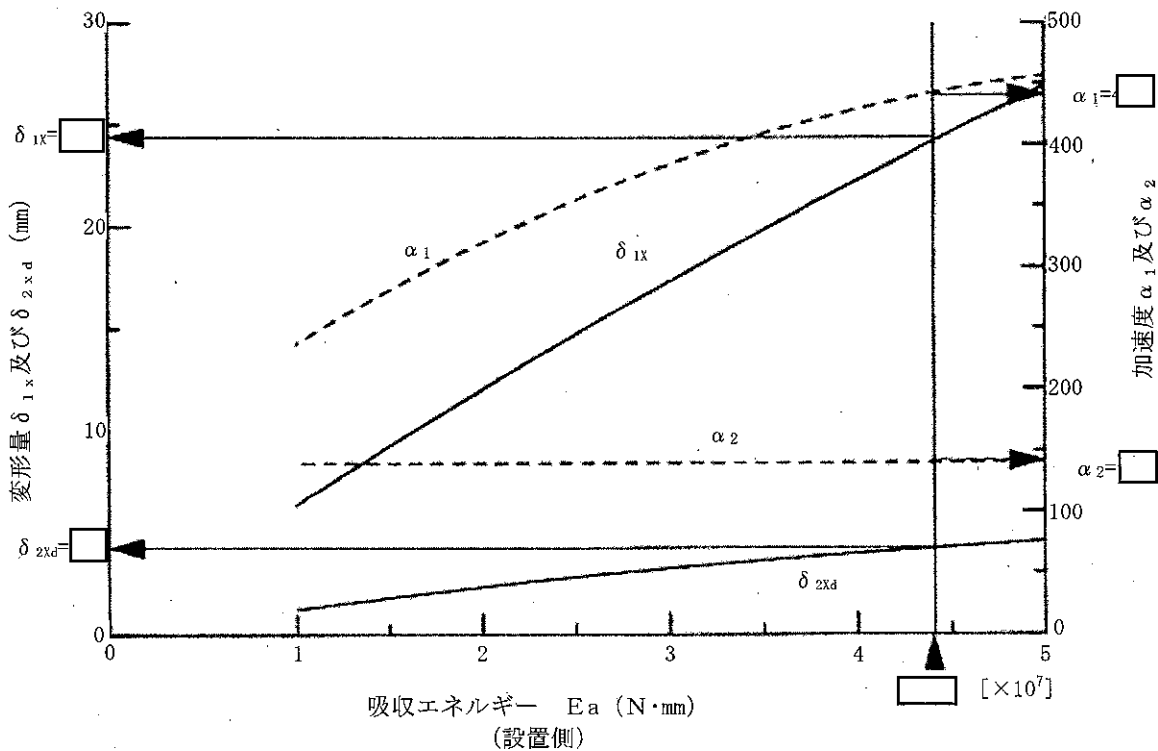
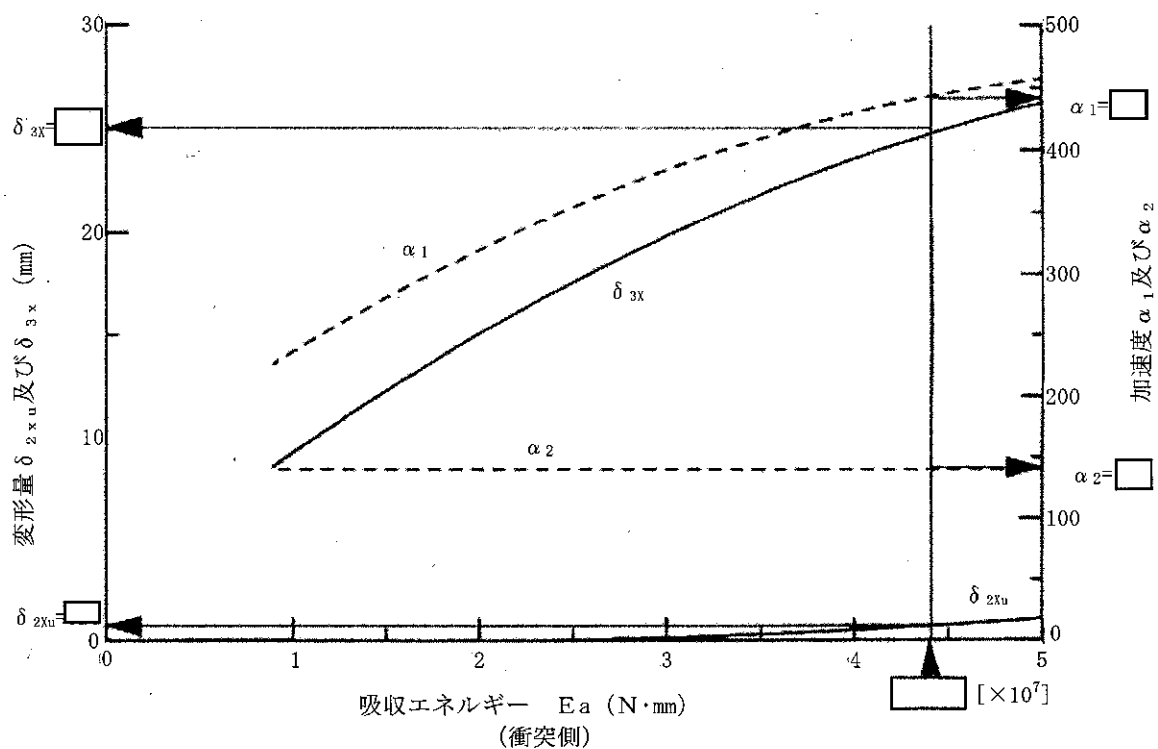
コーナ落下の状況を (ロ) - 第A.41 図に示す。

コーナ落下の解析の結果を吸収エネルギー E 。に対する加速度倍率及び変形量として (ロ) - 第A.42 図に示す。落下エネルギーの吸収は核燃料輸送物の衝突側と設置側でそれぞれ行うものとする。

解析手法は、ロ章A.5.3.3 コーナ落下と同様に行う。

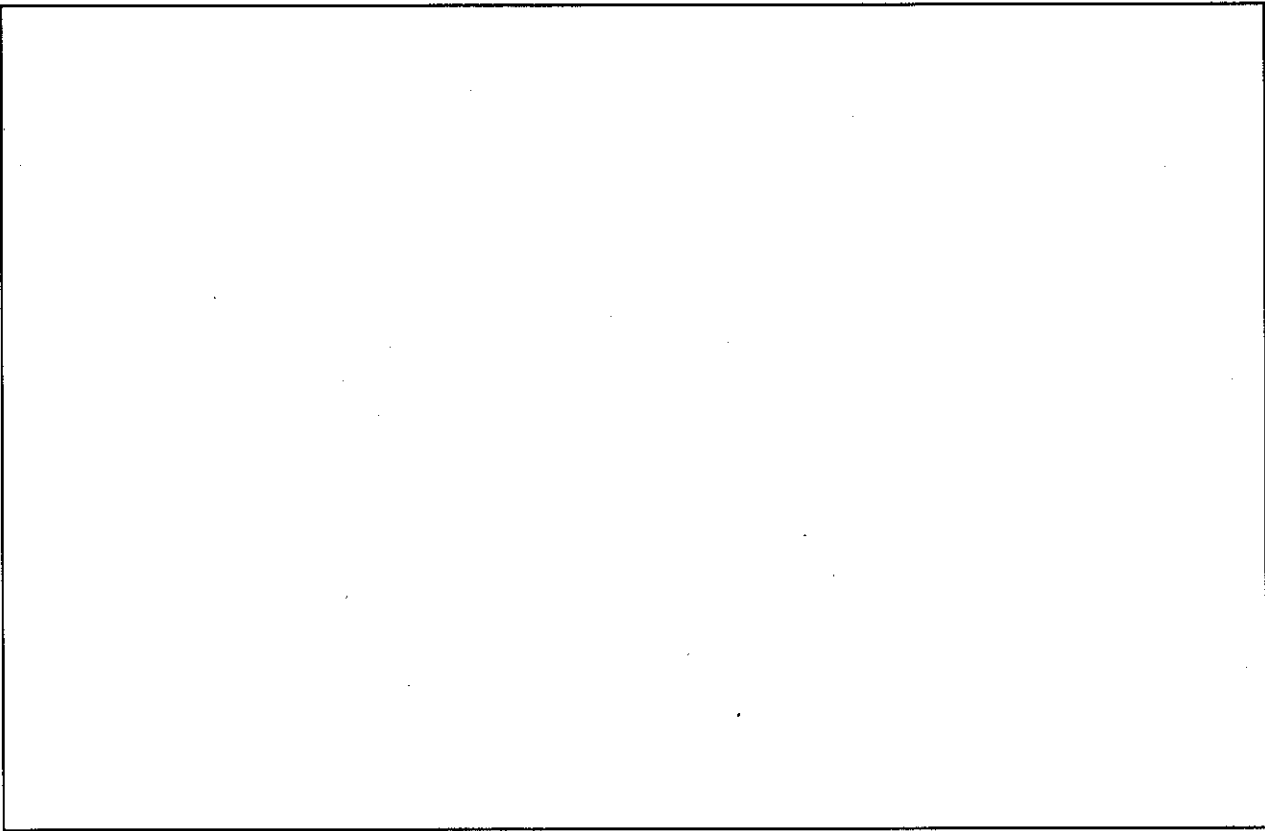


(ロ) - 第A.37図 垂直落下の状況

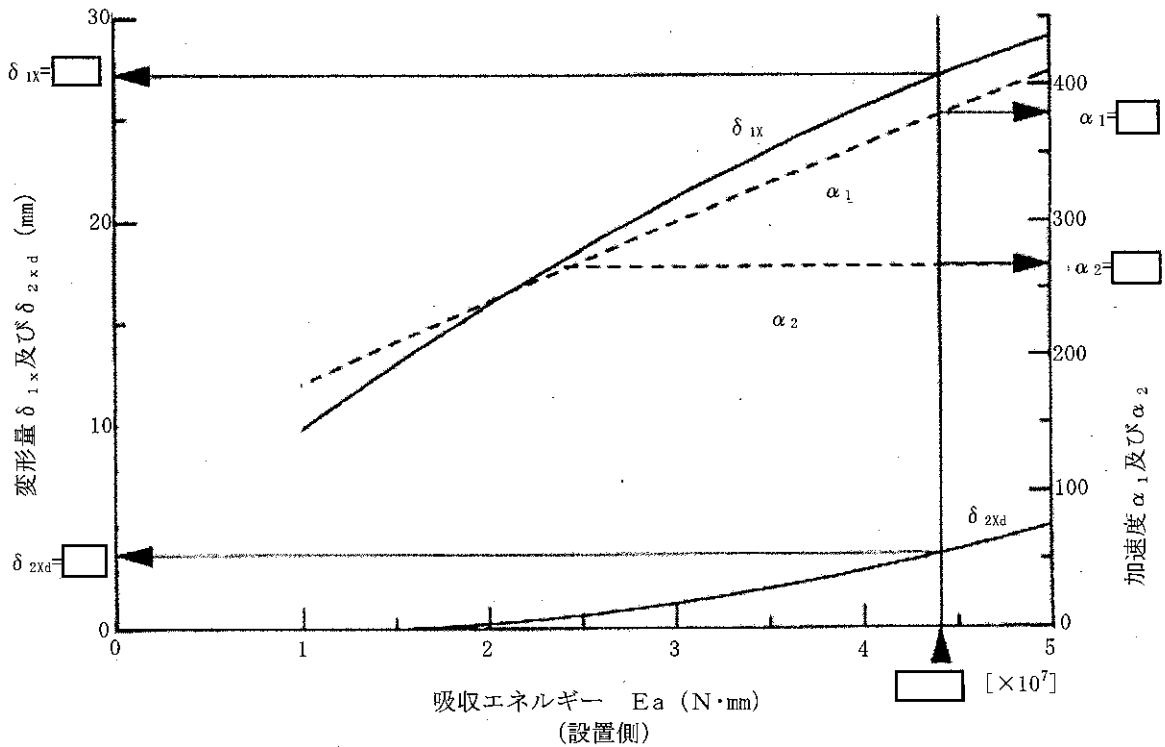
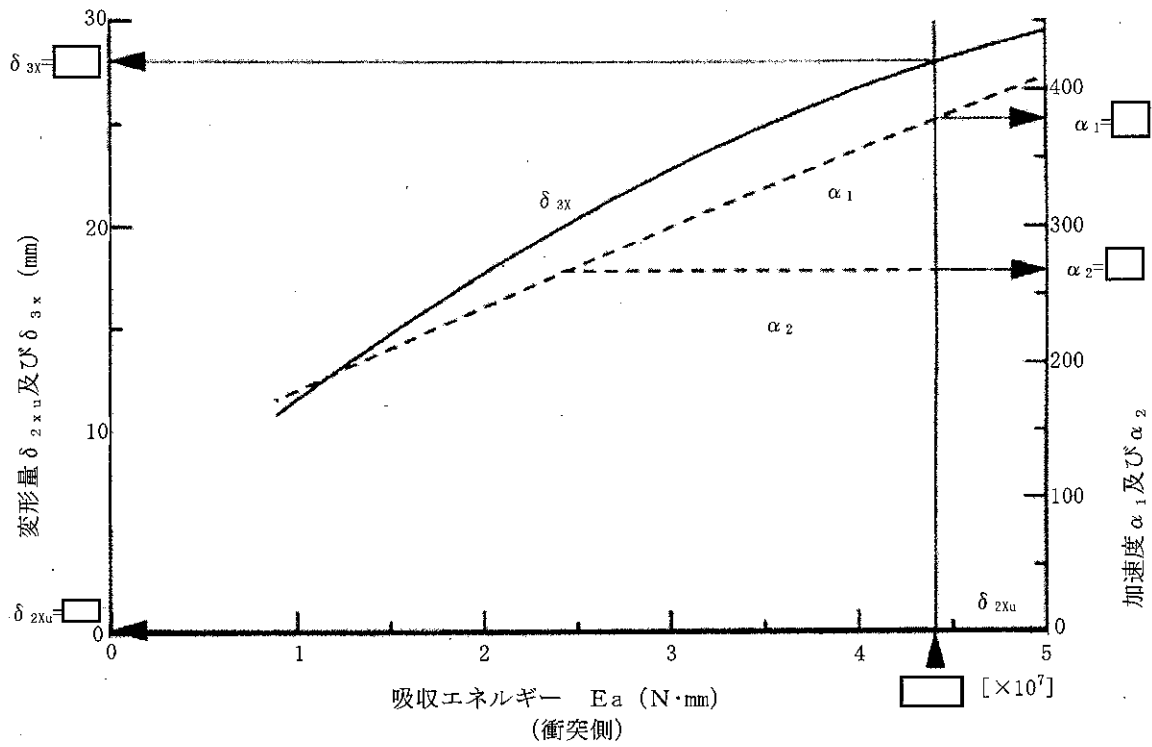


(ロ) - 第A. 38図 垂直落下時緩衝体の変形量及び容器の

最大加速度倍率と吸収エネルギー

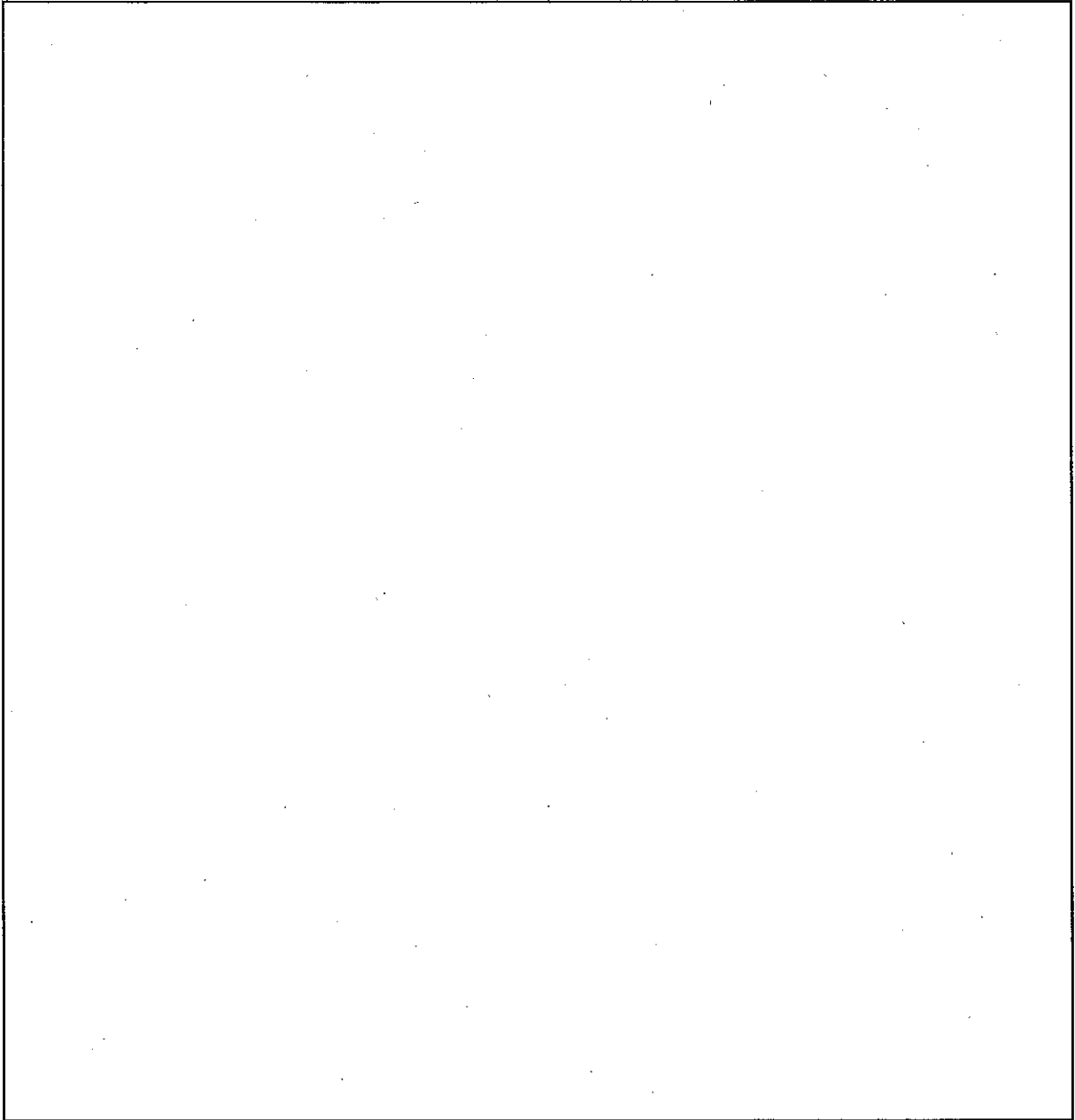


(ロ) - 第A.39図 水平落下の状況

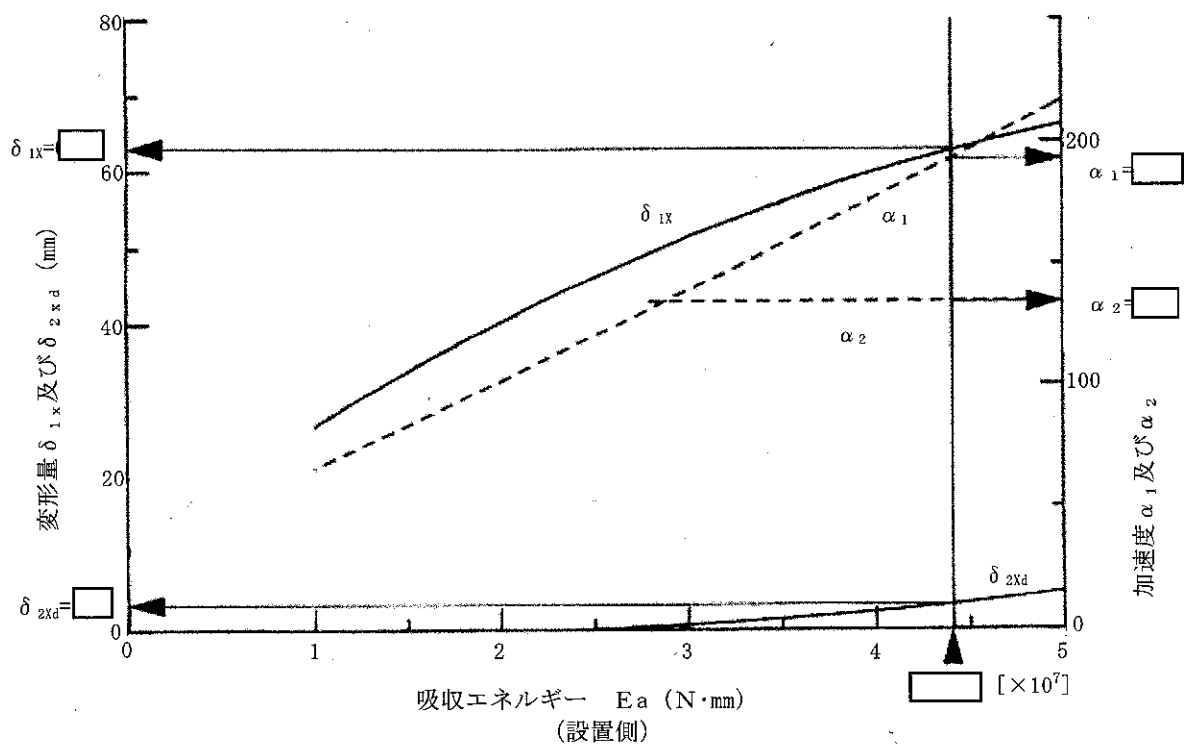
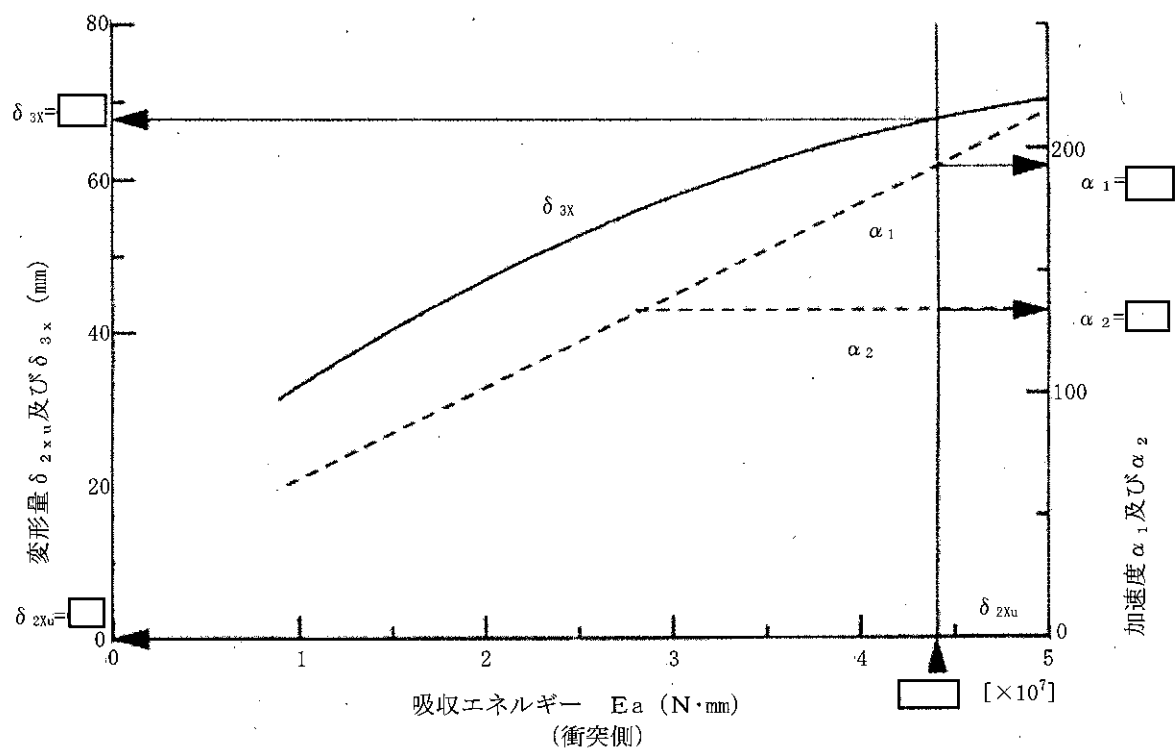


(ロ) - 第A. 40図 水平落下時緩衝体の変形量及び容器の

最大加速度倍率と吸収エネルギー



(口) - 第A.41図 コーナ落下の状況



(口) - 第A. 42図 コーナ落下時緩衝体の変形量及び容器の

最大加速度倍率と吸収エネルギー

4. 落下試験Ⅲの衝撃解析の結果

落下試験Ⅲに対する核燃料輸送物の最大変形量と最大衝撃加速度を(□) - 第A.25表にまとめた。

外□及び内□の変形に対する余裕率は(□) - 第A.26表及び(□) - 第A.27表に示す。また、落下後の核燃料輸送物の変形状況を垂直落下の場合を(□) - 第A.43図に、水平落下の場合を(□) - 第A.44図に、コーナ落下の場合を(□) - 第A.45図にそれぞれ示す。

(□) - 第A.25表 落下試験Ⅲの衝撃解析結果

落下姿勢		外容器の受ける 最大加速度倍率 α_1 (-)	密封容器の受ける 最大加速度倍率 α_2 (-)	外容器の外側 変形量 δ_1 (mm)	内□の 変形量 δ_2 (mm)
垂直落下	頭部 (衝突側)	□	□	□	□
	底部 (設置側)			□	□
水平落下	側部 (衝突側)	□	□	□	□
	側部 (設置側)			□	□
コーナ落下	頭部 (衝突側)	□	□	□	□
	底部 (設置側)			□	□

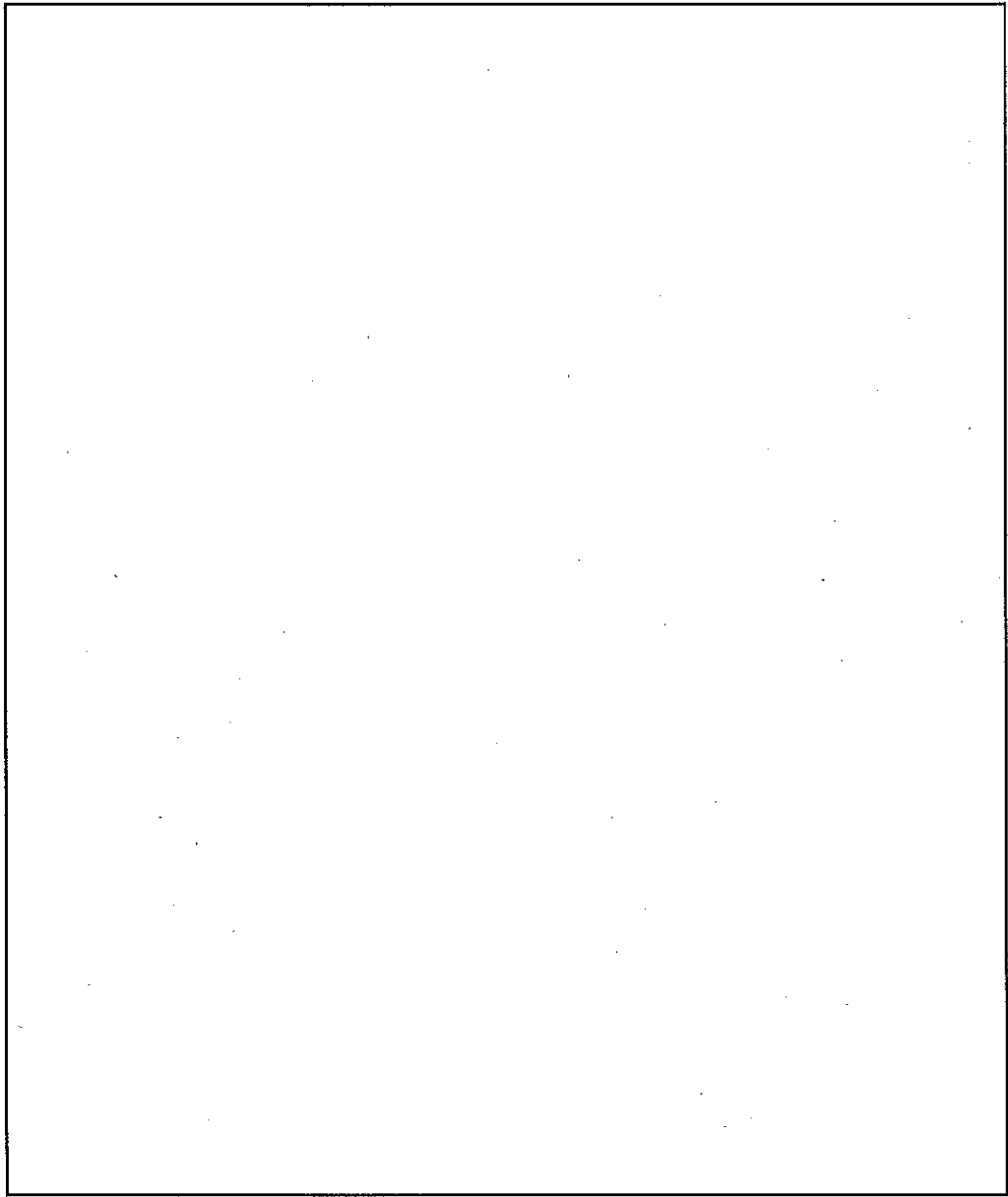
(□) - 第A.26表 落下試験Ⅲにおける外□の変形に対する余裕率

落下姿勢		落下方向の□ □寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_a (mm)	変形量 δ_1 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下	頭部(衝突側)	□	□	□	□
	底部(設置側)			□	□
水平落下	側部(衝突側)	□	□	□	□
	側部(設置側)			□	□
コーナ落下	頭部(衝突側)	□	□	□	□
	底部(設置側)			□	□

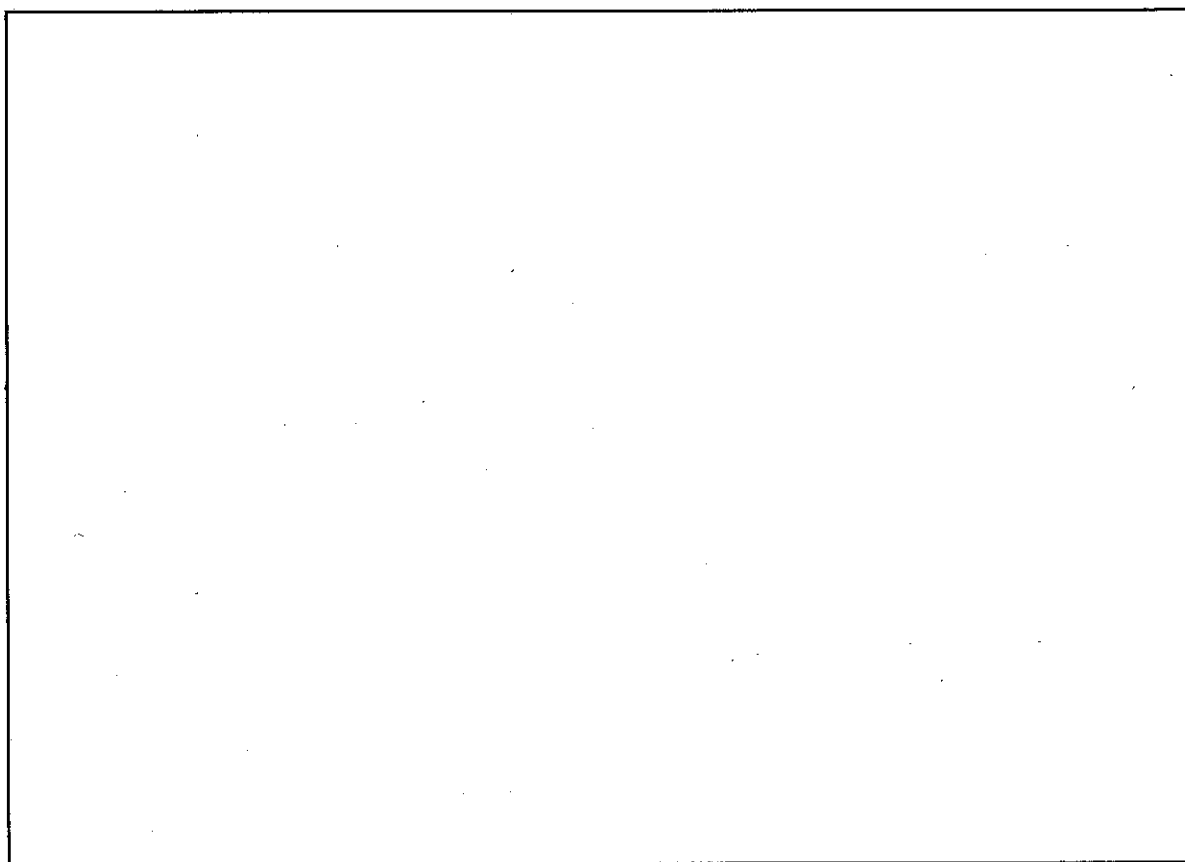
(ロ) - 第A.27表 落下試験Ⅲにおける内 の変形に対する余裕率

落下姿勢		落下方向の <input type="text"/> 寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_0 (mm)	変形量 δ_2 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下	頭部(衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部(設置側)			<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	側部(衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
	側部(設置側)			<input type="text"/>	<input type="text"/>
コナ落下	頭部(衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
	底部(設置側)			<input type="text"/>	<input type="text"/>

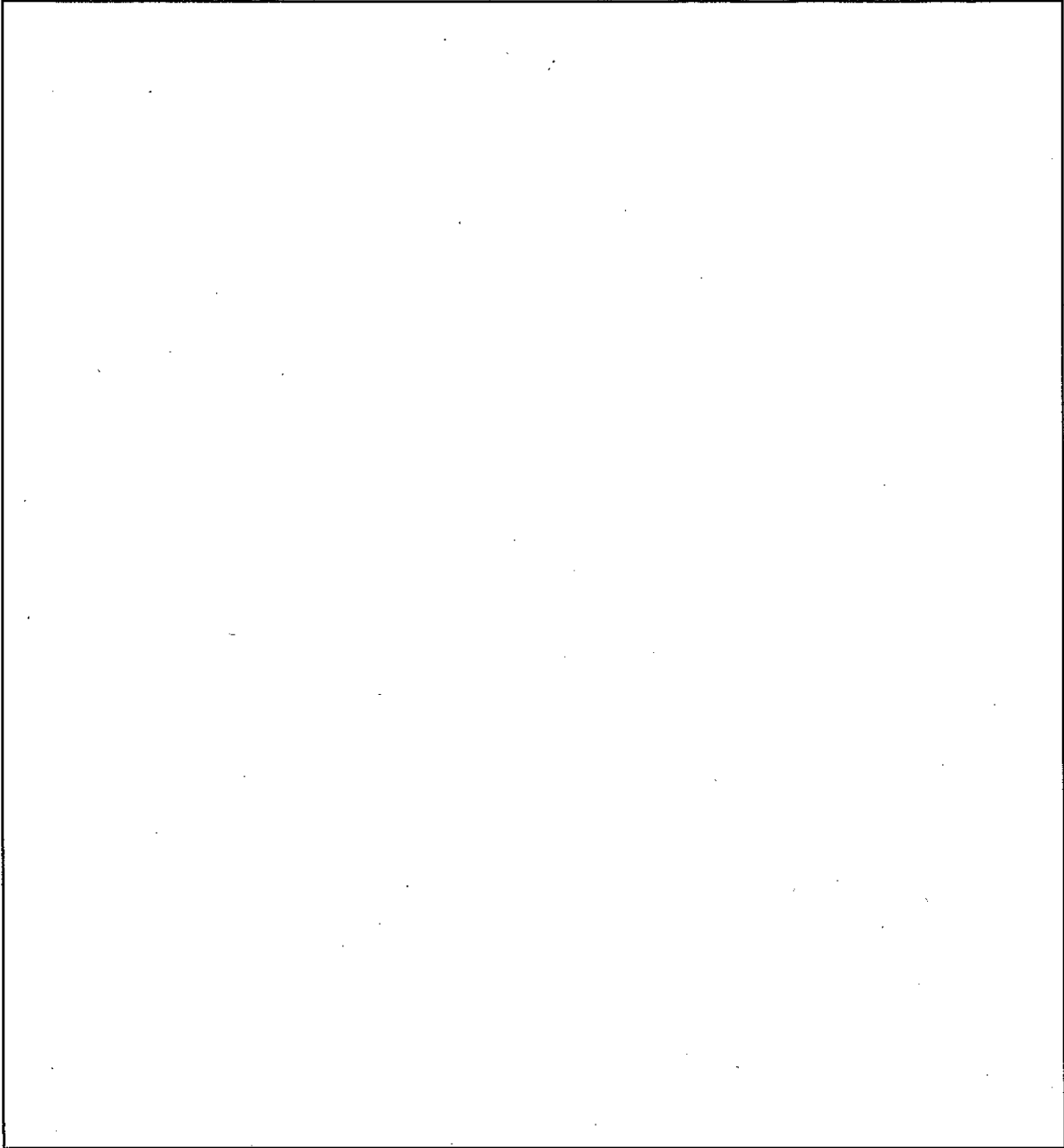
(ロ) - 第A.26表及び (ロ) - 第A.27表から明らかなようにいずれの場合においても、変形の余裕率は正であり、解析形状に取り入れた各緩衝体は衝撃変形後もその緩衝体としての機能を維持しており、本解析に仮定した諸条件は変形停止まで保持され、本解析の結果が妥当に採用できることを示している。



(ロ) - 第A.43図 垂直落下後の変形状況



(ロ) - 第A.44図 水平落下後の変形状況



(口) - 第A.45図 コーナ落下後の変形状況

A.6.1.1 垂直落下

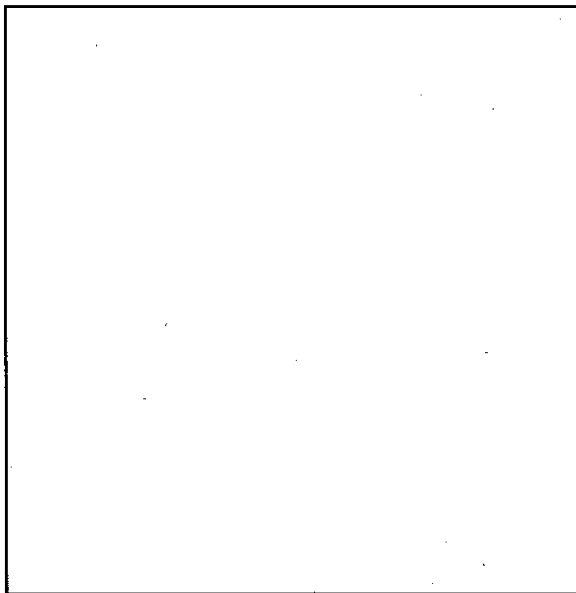
本項では落下試験Ⅲの垂直落下時の衝撃力に対する下記の項目について検討し、一次密封容器と二次密封容器が強度上の健全性を維持することを示す。

- (1) 二次密封容器の蓋板に生ずる応力
- (2) 二次密封容器の胴板に生ずる応力
- (3) 二次密封容器の“つば”部に生ずる応力
- (4) 一次密封容器の蓋板に生ずる応力
- (5) 一次密封容器のフランジ締付ボルトに生ずる応力
- (6) 一次密封容器の二次密封容器への固定ボルトに生ずる応力
- (7) 一次及び二次密封容器のOリングの密封性

1. 二次密封容器の蓋板に生ずる応力

重量 である密封容器（一次密封容器＋二次密封容器＋収納物）が衝撃加速度倍率 $G = \text{}$ を直径 なる の受圧面より受けるので、蓋板に働く面圧を P (MPa) とすると、

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



(ロ) - 第A.46図にこの蓋板の計算モデルを示す。厚さ h の径 $2a$ で $2b$ の孔があいた円盤に圧力 P の働いている状態である。周囲は固定条件とする。

h

ここで、

$$2a = \text{} \text{ (mm)}$$

$$2b = \text{} \text{ (mm)}$$

$$h = \text{} \text{ (mm)}$$

(最小板厚とする)

(ロ) - 第A.46図
二次密封容器の蓋板の計算モデル

とすると $\frac{b}{a} = \text{} < \text{}$ であるから、応力は孔の周囲で最大となり、その応力は周方向応力であり次のように与えられる⁽⁴⁾。

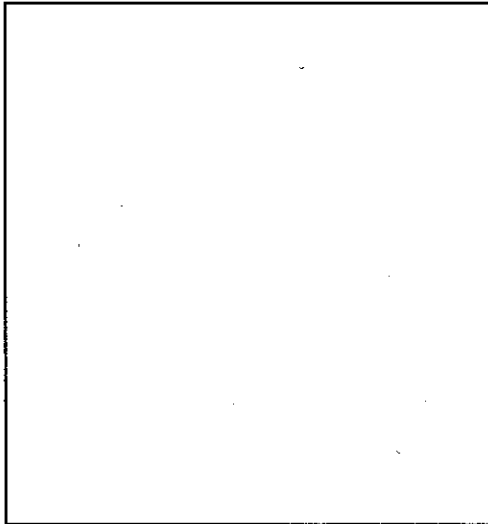
$$\sigma_{max} = (\sigma_{\theta})_{r=b} = \pm \beta_{14} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$$

ここで、 $\beta_{14} = 0.9$ であり、

$$\sigma_{max} = \pm 0.9 \times \frac{\square \times \square^2}{\square^2} = \square \text{ (MPa)}$$

2. 二次密封容器胴板に生ずる応力

垂直落下衝撃時に二次密封容器は “つば” 部分からも垂直方向の衝撃力を受ける。したがって、二次密封容器の胴板には垂直方向に次に述べるような荷重が働く。



(ロ) - 第A.47図
二次密封容器の胴板の計算モデル

(ロ) - 第A.47図においてAの箇所に働く垂直方向の力を F_A とすると、二次密封容器以内の全体の質量が衝撃加速度倍率 $G = \square$ を受けることにより発生する力は、 F_A と径 D_1 の面積にかかる圧力 P との和と釣り合う。

したがって、

$$\square = F_A + P \cdot \frac{\pi}{4} D_1^2$$

である。

$$D_1 = \square \text{ であるから}$$

$$F_A = \square$$

$$= \square$$

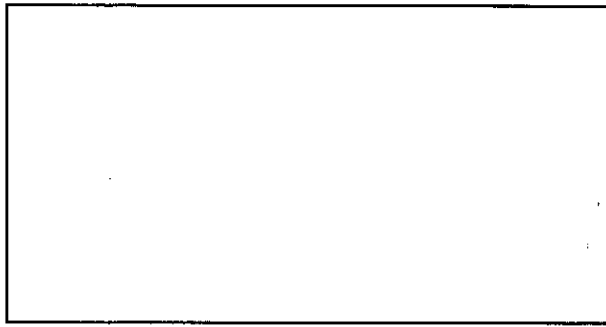
Aにおける二次密封容器の胴板の断面積を A_2 とすると、

$$A_2 = \square = \square$$

したがって、Aにおける引張応力 σ_{ℓ} は次の値となる。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_A}{A_2} = \square = \square$$

3. 二次密封容器の“つば”部に生ずる応力



この“つば”部には (ロ) - 第 A. 48 図に示すように F_A が作用する。したがって，“つば”の根元で曲げモーメント M_b が作用する。 M_b を単位胴長幅当たりの曲げモーメントとすると、

(ロ) - 第 A. 48 図 二次密封容器底の“つば”部の計算モデル

$$M_b = \frac{(r_2 - r_1)}{8\pi r_1} \cdot F_A \cdot \{1\} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$

ここで、 $r_2 = \square$ (mm), $r_1 = \square$ (mm) であるから、

$$M_b = \square = \square$$

$t = \square$ として、単位周長幅当たり ($b = \square$) の M_b に対する断面係数を Z とすると、

$$Z = \frac{bt^2}{6} = \frac{\square}{6} = \square$$

である。したがって、曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z} = \square = \square$$

となる。

一方、この箇所での F_A による剪断応力は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F_A}{2\pi r_1 t} = \square = \square$$

したがって、合成応力 σ_{total} は次のようになる。

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} = \sqrt{\square + 4 \times \square} = \square$$

4. 一次密封容器の蓋板に生ずる応力

蓋板の周囲固定境界は にあり、収納物の最大重量を とし、蓋は落下衝撃の加速度により次に述べるような等分布面圧を受ける周囲固定の円板と等価と考え応力を計算する。

ここで、記号を次のように定義する。

D_p : (=)

t_w : 蓋板の厚さ (= / 最大の厚さ : 重量を計算するため)

h : 蓋板の厚さ (= / 最小の厚さ : 応力を計算するため)

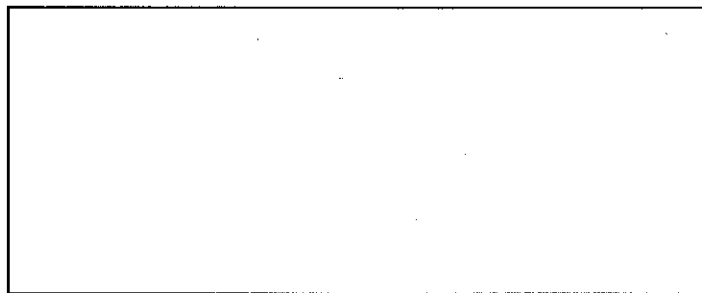
P : 等分布面圧 (MPa)

W_f : 直径 D_p 、厚さ t の の質量 (kg)

$$\left(\begin{array}{l} W_f = \text{} \\ = \text{} \\ P = \text{} = \text{} \end{array} \right)$$

である。

ゆえに、円盤の荷重状態は(ロ)－第A.49図のようになる。ここで、



$2a = \text{} \text{ (mm)}$

$2b = \text{} \text{ (mm)}$

$h = \text{} \text{ (mm)}$

であり、

(ロ)－第A.49図 一次密封容器の蓋部の計算モデル

$\frac{b}{a} = \text{} < \text{}$ であるから、応力は孔の周囲で最大となり、その応力は周方向応力であり、次のように与えられる⁽⁴⁾。

$$\sigma_{max} = (\sigma_{\theta})_{r=b} = \pm \beta_{14} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$$

ここで、 $\beta_{14}=0.88$ であり

$$\sigma_{max} = \boxed{} = \boxed{}$$

である。

5. 一次密封容器の蓋部締付ボルトに生ずる応力

このボルトに働く力は収納物の最大重量 $\boxed{}$ kgと蓋の重量とこれらボルトの重量の合計重量に落下衝撃の最大加速度倍率 $G = \boxed{}$ が働いたときの力である。

各部品の重量は次のとおりである。

$$\text{蓋板の重量} = \boxed{} \text{ (kg)}$$

$$\text{ボルトの合計重量} = \boxed{} \text{ (kg)}$$

ボルトに働く合計重量を W_{total} とすると、

$$W_{total} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (kg)}$$

ボルトに働く荷重 F_b (N) は次のように与えられる。

$$F_b = \boxed{} = \boxed{}$$

ボルトは $\boxed{}$ あり、その谷径は $\boxed{}$ であるから、ボルトに生ずる引張応力 σ_l は次のようになる。

$$\sigma_l = \frac{F_b}{\frac{\pi}{4} \times d^2 \times 8} = \boxed{} = \boxed{}$$

6. 一次密封容器の二次密封容器への固定ボルトに生ずる応力

一次密封容器の重量は収納物の $\boxed{}$ kgを含めて $\boxed{}$ kgである。したがって、衝撃加速度倍率 $G = \boxed{}$ に対して締付ボルトに働く力を F_b とすると、

$$F_b = \boxed{} = \boxed{}$$

ボルトサイズは $\boxed{}$ であるから、上記と同様にボルトに生ずる引張応力 σ_l は次のようになる。

$$\sigma l = \frac{F_b}{\frac{\pi}{4} \times d^2 \times 8} = \frac{\boxed{}}{\frac{\pi}{4} \times \boxed{}^2 \times \boxed{}} = \boxed{}$$

7. 一次及び二次密封容器O-リングの密封性

一次及び二次密封容器蓋板に内圧と落下する衝撃力が同時に作用した場合のO-リングの密封性を内側O-リング面における蓋板のたわみにより検討する。

荷重状態は口章A.5.1.3(1) (ii) 一次及び二次密封容器の蓋板の応力と同様とする。

解析モデルを(口)-第A.50図に示す。

O-リング位置における蓋板たわみ ω (mm) は次式により与えられる。(4)

$$\omega = \frac{Pa^4}{64D} \left\{ 1 - \frac{r^4}{a^4} + 8(A+1) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \frac{b^2}{a^2} + 4 \left(B - 2 \frac{b^2}{a^2} \frac{r^2}{a^2} \right) \ln \frac{a}{r} \right\}$$

ただし,

$$A = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} - \frac{1}{4(1+\nu)} \left\{ (1+3\nu) + (3+\nu) \frac{a^2}{b^2} \right\}$$

$$B = \frac{1}{1-\nu} \left\{ 4(1+\nu) \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} - (3+\nu) \right\} \frac{b^2}{a^2}$$

P : 作用荷重 (MPa)

D : 板の曲げ剛性 = $\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ (N・mm)

b : 円輪板の内半径 (mm)

a : ボルト中心円の半径 (mm)

r : たわみ計算位置の半径 (mm)

ν : ポアソン比 =

E : 蓋板の縦弾性係数 =

h : 板厚 (mm)

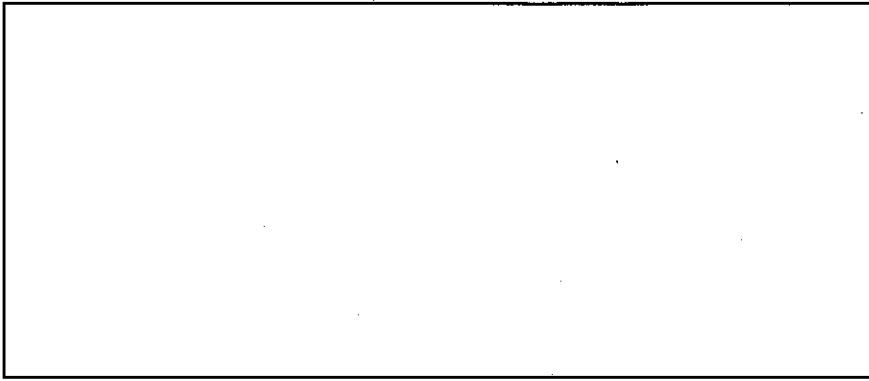
ここで, 2つの密封容器におけるこれらの値は,

$$r_1 = \text{} \quad r_2 = \text{}$$

$$b_1 = \text{} \quad b_2 = \text{}$$

$$a_1 = \text{} \quad a_2 = \text{}$$

$$h_1 = h_2 = \text{}$$



破線部：実際の形状

実線部：モデル形状

(ロ) - 第A.50図 O-リング部たわみ解析モデル

である。また、一次密封容器の蓋に作用する荷重 P_1 及び二次密封容器の蓋に作用する荷重 P_2 は次のとおりである。

$$P_1 = P_a + P_b$$

$$= \boxed{} + \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (MPa)}$$

P_a : 内圧により蓋に作用する圧力 ($\boxed{}$ 口章B.5.4参照)

P_b : 収納物 ($\boxed{}$) の衝撃力により蓋に作用する圧力

$$P_b = \frac{W \cdot G \cdot g}{\pi \times l_1^2}$$

$$= \frac{\boxed{} \times 9.807 \times \boxed{}}{\pi \times \boxed{}^2} = \boxed{}$$

l_1 : 一次密封容器の内半径 $\boxed{}$

$$P_2 = P_c + P_d$$

$$= \boxed{} + \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

P_c : 内圧により蓋に作用する圧力 ($\boxed{}$ 口章B.5.4参照)

P_d : 収納物 ($\boxed{}$) + 一次密封容器 ($\boxed{}$) 衝撃力により蓋に作用する圧力

$$P_b = \frac{W \cdot G \cdot g}{\pi \times l_2^2}$$

$$= \frac{(\boxed{} + \boxed{}) \times 9.807 \times \boxed{}}{\pi \times \boxed{}^2} = \boxed{}$$

l_2 : 二次密封容器の内半径 $\boxed{}$

それぞれのたわみ ω_1 と ω_2 を計算し、(ロ)－第A.28表に示し、蓋板のたわみとOリングのつぶし代とを比較する。

(ロ)－第A.28表 一次及び二次密封容器のOリングの密封性

	たわみ ω (mm)	Oリングの 太さ (mm)	本体Oリング 溝の深さ (mm)	Oリングの つぶし代 (mm)
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ)－第A.28表より分かるように、Oリングのつぶし代は蓋板のたわみと比較して十分な余裕がある。したがって、内圧と落下による衝撃が同時に作用した場合に対して一次及び二次密封容器のOリングの密封性は確保される。

9 m垂直落下衝撃時に一次密封容器及び二次密封容器に生ずる応力と許容応力に対する余裕率を(ロ)－第A.29表にまとめる。

(ロ)－第A.29表 落下試験Ⅲ・垂直落下時に密封容器に生ずる応力の要約

	応力の検討箇所	材質	許容応力 S_m (MPa)	計算応力 σ (MPa)	余裕率 MS (-)
一次密封容器	蓋板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	蓋締付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	容器の固定ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	蓋板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部の”つば”の根元	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

上表からも明らかなように余裕率はすべて正の値であり、密封容器の強度上の健全性が維持されることが示されている。

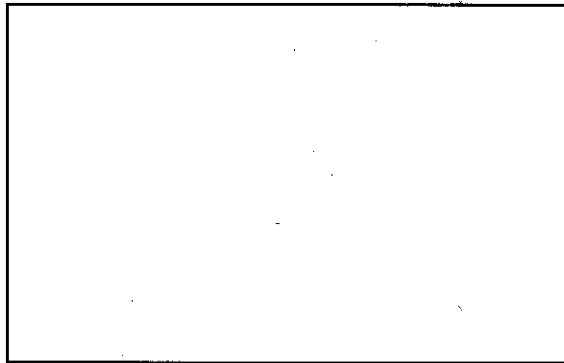
A.6.1.2 水平落下

本項では落下試験Ⅲの水平落下時の衝撃力に対する下記の項目について検討し、一次密封容器と二次密封容器が強度上の健全性を維持することを示す。

- (1) 二次密封容器の胴板に生ずる応力
- (2) 一次密封容器の胴板に生ずる応力
- (3) 一次密封容器の二次密封容器への固定ボルトに生ずる応力

1. 二次密封容器の胴板に生ずる応力

水平落下における本密封容器の衝撃力は、この容器の長手方向に均一に働く力である。しかし、本容器の重量は比較的容器の両端に集中している。したがって、この計算モデルは安全側に仮定して、等分布荷重を受けた円筒の梁が両端で支持されたものとする。



(ロ) - 第A.51図
二次密封容器胴の計算モデル

(ロ) - 第A.51図において、

$$L = \boxed{}$$

$$D_o = \boxed{}$$

$$D_i = \boxed{}$$

$$t = \boxed{}$$

である。

密封容器の総重量は $\boxed{}$

で、水平落下における最大衝撃加速度倍率

は $G = \boxed{}$ であるから、

$$W = \frac{\boxed{} \times \boxed{} \times 9.807}{L} = \frac{\boxed{} \times \boxed{} \times 9.807}{\boxed{}}$$

$$= \boxed{}$$

最大曲げモーメント M_{max} は次のように与えられる。

$$M_{max} = \frac{WL^2}{8} = \frac{\boxed{} \times \boxed{}^2}{8} = \boxed{}$$

円筒胴の断面係数を Z とすると、

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} = \frac{\pi}{32} \times \frac{\boxed{}^4 - \boxed{}^4}{\boxed{}}$$

$$= \boxed{} \quad (\text{m}^3)$$

となり、したがって、曲げ応力 σ_b は次のとおりとなる。

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{\boxed{}}{\boxed{}} = \boxed{}$$

2. 一次密封容器の胴板に生ずる応力

一次密封容器は落下の衝撃力によって(ロ)－第A.52図に示すようにフランジのネック部分に最大曲げモーメントが生ずる。

ここで、

W_1 : フランジネック部より右側の部分の質量
(収納物を含む。)

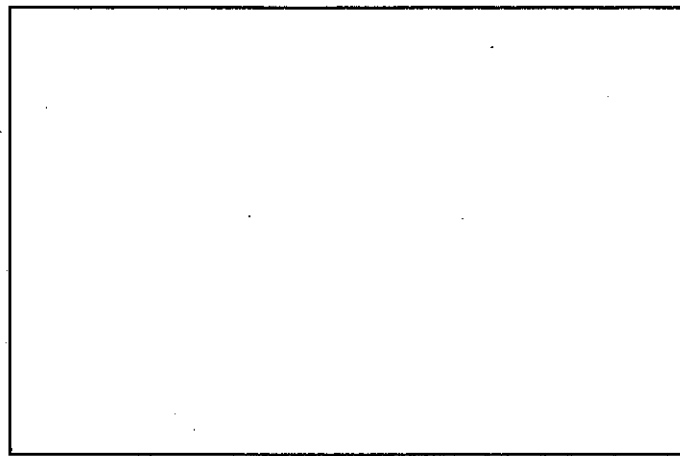
$$= \boxed{}$$

l_1 : 質量 W_1 の重心の位置

$$= \boxed{}$$

G : 最大衝撃加速度倍率

$$= \boxed{}$$



(ロ)－第A.52図 一次密封容器胴の計算モデル

である。

曲げモーメント M_a は次のように与えられる。

$$M_a = W_1 \cdot G \cdot l_1 \cdot g = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \times 9.807$$

$$= \boxed{}$$

胴の断面係数 Z は次のように与えられる。

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o}$$

ここで、 $d_o = \boxed{}$ 、 $d_i = \boxed{}$ であるから、

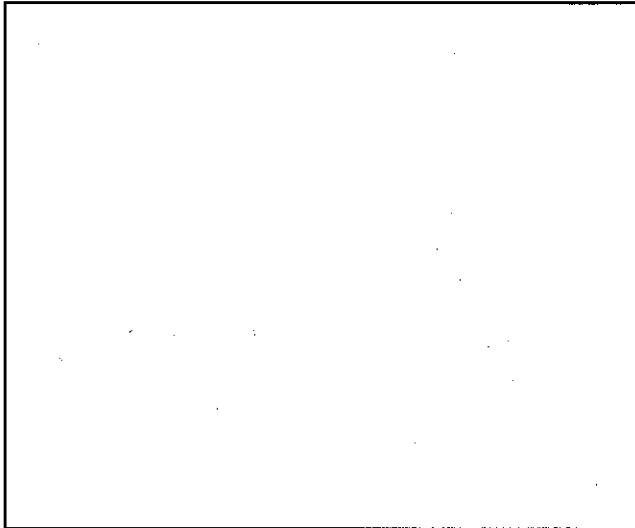
$$Z = \frac{\pi}{32} \times \frac{\boxed{}^4 - \boxed{}^4}{\boxed{}} = \boxed{}$$

となり、したがって、曲げ応力 σ_b は次のようになる。

$$\sigma_b = \frac{M_a}{Z} = \frac{\boxed{}}{\boxed{}} = \boxed{}$$

3. 一次密封容器の二次密封容器への固定ボルトに生ずる応力

(ロ) ー第A.53図に示すように二次密封容器の取付面YYにおいて衝撃力より回転モーメント M_b が発生する。この回転モーメント M_b が締付ボルトの生ずる引張応力と釣り合う。



ここで、

W_2 : 一次密封容器の質量
(収納物を含む)

l_2 : YYよりの重心の位置

G : 最大衝撃加速度倍率
とすると回転モーメント M_b は、

$$M_b = W_2 \cdot G \cdot l_2 \cdot g$$

で与えられる。

(ロ) ー第A.53図 一次密封容器の固定ボルトに対する回転モーメント

ここで、 $W_2 = \square$ (kg) , $l_2 = \square$ (mm) , $G = \square$ であるので、

$$M_b = \square = \square$$

次に、この回転モーメントに釣り合うボルトの引張荷重を求める。

(ロ) ー第A.54図に固定ボルトの計算モデルを示す。図中ハッチングを施した面積Aの部分は、 \square の降伏応力 σ_y まで降伏し、ボルトに発生する引張力と釣り合う。ボルトに発生する引張力は、点Qにおいて最大となり、その引張力を F_{max} とする。

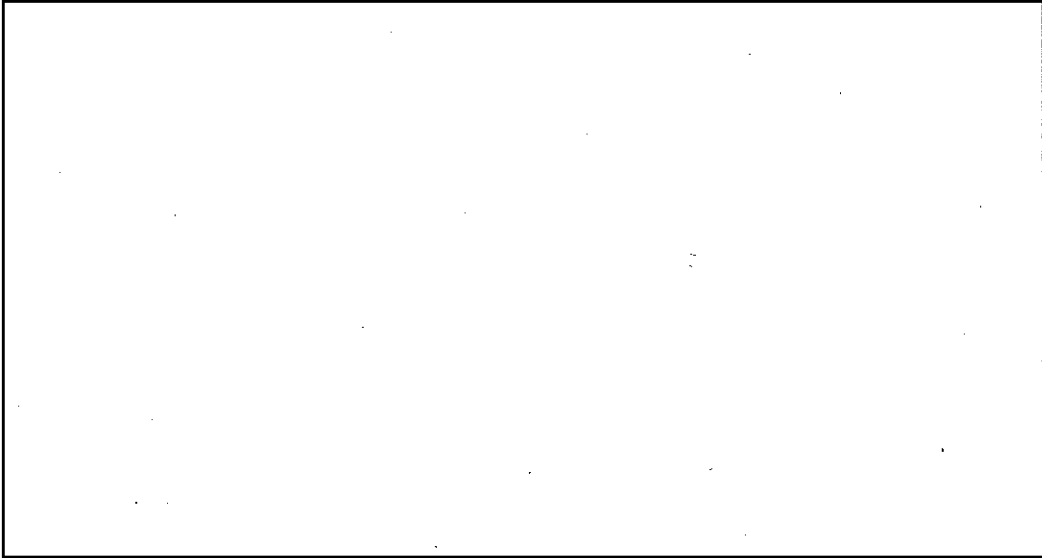
各ボルトに発生する引張力は直線X'X'までの垂線の長さに比例する。

したがって、全ボルトの引張力の合計を F_t とすると、 F_t は次のように表される。

$$F_t = F_{max} \cdot \left[\frac{(C + \frac{d}{2}) + 2 \times \{ (C + \frac{d}{2} \cos 45^\circ) + C + (C - \frac{d}{2} \cos 45^\circ) \} + (C - \frac{d}{2})}{C + \frac{d}{2}} \right]$$

整理すると、

$$F_t = F_{max} \cdot \left(\frac{8C}{C + \frac{d}{2}} \right)$$



(ロ) - 第A.54図 一次密封容器の固定ボルト計算モデル

面積Aに発生する圧縮力を F_c とすると、 F_c は次式で与えられる。

$$F_c = A \cdot \sigma_y$$

ただし、Aは次の式で与えられる。

$$A = \left\{ \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \theta - \frac{C \cdot D \cdot \sin \theta}{2} \right\}$$

$$\text{ただし、} \theta = \cos^{-1} \left(-\frac{2C}{D} \right) \quad (\theta \text{ はラジアンを用いる})$$

ここで、 $F_t = F_c$ であるから、

$$F_{max} = \left(\frac{C + \frac{d}{2}}{8C} \right) \cdot F_c$$

となる。

全ボルトの引張力による直線 $X'X'$ に関する回転モーメントを M_1 とすると、 M_1 は次の式で表わされる。

$$M_1 = F_{\max} \cdot \left[\frac{\left(C + \frac{d}{2}\right)^2 + 2 \times \left\{ \left(C + \frac{d}{2} \cos 45^\circ\right)^2 + C^2 + \left(C - \frac{d}{2} \cos 45^\circ\right)^2 \right\} + \left(C - \frac{d}{2}\right)^2}{C + \frac{d}{2}} \right]$$

整理すると、

$$M_1 = F_{\max} \cdot \left(\frac{8C^2 + d^2}{C + \frac{d}{2}} \right)$$

となる。

次に圧縮力 F による直線 $X'X'$ に関する回転モーメントを M_2 とし、面積 A の分割円の図心より直線 $X'X'$ への垂線の長さを e とすると、 M_2 は次式にて与えられる。

$$M_2 = \sigma_y \cdot A \cdot e$$

ここで、 e は、

$$e = \frac{D^3 \sin^3 \theta}{12A} - C$$

である。

合計の回転モーメントを M_{total} とすると、

$$M_{\text{total}} = M_1 + M_2$$

であり、この M_{total} なる回転モーメントが M_b と釣り合う。

上述の一連の式を C の値に関し繰り返し計算を行い、 $M_{\text{total}} = M_b$ となるころの F_{\max} を求める。

今、 D 、 d 、 σ_y は下記の値である。

$$D = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$d = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$\sigma_y = \boxed{} \text{ (MPa)}$$

ここで、仮に $C = \boxed{} \text{ mm}$ とすると、

$$A = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$F_c = \sigma_y \cdot A = \boxed{}$$

$$F_{max} = \left(\frac{C + \frac{d}{2}}{8C} \right) \cdot F_c = \boxed{}$$

$$e = \boxed{} \text{ (mm)}$$

であるので、

$$M_1 = F_{max} \cdot \left(\frac{8C^2 + d^2}{C + \frac{d}{2}} \right) = \boxed{}$$

$$M_2 = \sigma_y \cdot A \cdot e = \boxed{}$$

となる。

したがって、 $M_b \doteq M_{total}$ であり、 $F_{max} = \boxed{}$ は解である。

このボルトのサイズは $\boxed{}\phi$ の $\boxed{}$ であり、その谷径 d は $\boxed{}$ であるから、ボルトに働く引張応力は次のようになる。

$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \boxed{} = \boxed{}$$

ボルトに生ずる剪断応力に関しては、ボルトの数は全部で $\boxed{}$ あるが、安全側に仮定してその半分の $\boxed{}$ のみが剪断荷重を受けるものとして計算する。この衝撃加速度による剪断力を Q とすると、

$$Q = W_2 \cdot g \cdot G = \boxed{} = \boxed{}$$

である。したがって、ボルトに生ずる剪断応力 τ は次のとおりとなる。

$$\tau = \frac{Q}{4Am} = \boxed{} = \boxed{}$$

(但し Am ：ボルトの最小断面積)

この剪断応力は先に計算した引張応力の生じたのと同じボルトに生ずると仮定すると、その合成応力は次のようになる。

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2} = \sqrt{\boxed{} + \boxed{}} = \boxed{}$$

本項で検討した9m水平落下衝撃時に一次密封容器及び二次密封容器に生ずる応力と許容応力に対する余裕率を $\boxed{}$ - 第A.30表にまとめる。

(ロ) - 第 A.30 表 落下試験Ⅲ・水平落下時に密封容器に生ずる応力の要約

	応力の検討箇所	材 質	許 容 応 力 σ_0 (MPa)	計 算 応 力 σ (MPa)	余 裕 率 MS (-)
一次密封容器	容 器 の 胴 板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	容 器 の 固 定 ボ ル ト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	容 器 の 胴 板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

上表からも明らかなように、余裕率はすべて正の値であり、密封容器の強度上の健全性が維持される。

A.6.1.3 コーナ落下

落下試験Ⅲのコーナ落下時の衝撃力に対し、一次密封容器と二次密封容器が強度上の健全性を維持することを示す。

落下衝撃の解析によれば、コーナ落下での密封容器の受ける垂直方向の衝撃加速度倍率は $G = \text{$ である。コーナ部と核燃料輸送物重心とを結ぶ直線と輸送容器の軸とは $\text{$ 傾いていることから、軸方向成分と半径方向成分の加速度倍率に分けて考えると次のようになる。

軸方向加速度倍率 α_a 、半径方向加速度倍率 α_r とすると、

$$\alpha_a = \text{$$

$$\alpha_r = \text{$$

したがって、本落下姿勢において生ずる応力は、先に計算して得られた垂直落下及び水平落下に対する応力に対し、そのときの最大加速度倍率に対する α_a と α_r のそれぞれの値の比を乗じて得られる。

実際はこの二方向の加速度倍率は同時に働くのであるから、次に述べる箇所については、このようにして得られた応力は重なり合う。

一次密封容器の固定ボルトに生ずる応力は次に示すように重なり合う。

α_a によるこのボルトに生ずる引張応力を σ_{t1} とすると、

$$\sigma_{t_1} = \frac{\alpha_a}{140} \times 33.5 = \boxed{} = \boxed{}$$

α_r によるこのボルトに生ずる引張応力 σ_{t_2} 、剪断応力 τ_2 とすると、

$$\sigma_{t_2} = \frac{\alpha_r}{267} \times 45.8 = \boxed{} = \boxed{}$$

$$\tau_2 = \frac{\alpha_r}{267} \times 128 = \boxed{} = \boxed{}$$

これらの応力は重なり合い、次のようになる。

$$\text{引張応力； } \sigma_t = \sigma_{t_1} + \sigma_{t_2} = \boxed{} = \boxed{}$$

$$\text{剪断応力； } \tau = \tau_2 = \boxed{}$$

したがって、合成応力 σ_{total} は次のとおりとなる。

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2} = \sqrt{\boxed{}} = \boxed{}$$

他の応力は重なり合わないから (ロ) - 第 A. 29 表及び (ロ) - 第 A. 30 表に要約した応力にそれぞれの加速度倍率の比を乗じ、大きい方の値をとると (ロ) - 第 A. 31 表に示すように本コーナ落下の際に生ずる応力となる。この表からも明らかのように余裕率はすべて正の値であり、コーナ落下においても密封容器の強度上の健全性が維持される。

(ロ) - 第A.31表 落下試験Ⅲ・コーナ落下時に密封容器に生ずる応力の要約

	応力の検討箇所	材 質	許 容 応 力 σ_a (MPa)	計 算 応 力 σ (MPa)	余 裕 率 MS (-)
一 次 密 封 容 器	蓋 板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	蓋 締 付 ボ ル ト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	容 器 の 固 定 ボ ル ト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	容 器 の 胴 板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二 次 密 封 容 器	蓋 板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	容 器 の 胴 板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底 部 の “ つ ば ” の 根 元	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

A.6.1.4 傾斜落下

核燃料輸送物の縦横比は□と□に近く、したがって、傾斜落下の衝撃力により核燃料輸送物に働く曲げモーメントは小さい。ゆえに、落下試験Ⅲにおける垂直、水平及びコーナ落下の検討で本傾斜落下を十分にカバーしているものと考えられる。

したがって、傾斜落下においても、一次密封容器及び二次密封容器の強度上の健全性は維持される。

A.6.1.5 結果の要約

落下試験Ⅲに対する核燃料輸送物の最大変形量と、最大衝撃加速度倍率の解析結果は(ロ)―第A.25表に示されている。この結果より外□及び内□□の変形の余裕率はいずれも正であり、変形は二次密封容器に達することはない。

また、各落下方向の衝撃力に対する一次密封容器及び二次密封容器は強度上の健全性を維持することが確認されている。

A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m貫通落下時）

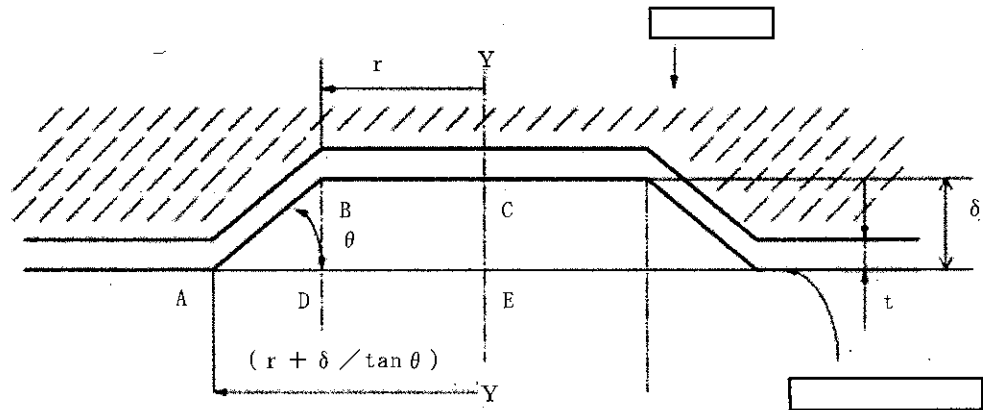
本項において、落下試験Ⅱの条件に対し解析を行うことにより核燃料輸送物の健全性が維持されることを示す。

落下試験Ⅱに対する解析としては、落下の衝撃が [] に対して直角の方向に作用する垂直及び水平落下の場合についてと、 [] に対して傾斜して作用するコーナ落下の場合について二通りを行い、最大変形量と、最大加速度倍率を求めた。

落下試験Ⅱは、核燃料輸送物を1 mの高さから直径150 mmの軟鋼棒へ落下させる試験であるが、本項では落下試験Ⅱを行っても外容器の外殻である [] の [] [] には貫通が生ずることなく、また、外容器の変形は密封容器に損傷を与える範囲に到達しないこと、及び衝撃の最大加速度倍率は密封容器の密封性能に影響を及ぼさないことを示す。

(1) 解析方法

解析に当たって、核燃料輸送物の得た落下エネルギーはすべて外容器の [] [] と [] の塑性変形エネルギーに変換するものと仮定し、また、落下台に衝突後 [] 及び [] は (ロ) - 第A.55図に示すように変形するものと仮定する。



(ロ) - 第A.55図 落下試験Ⅱの変形

すなわち、落下エネルギーは (ロ) - 第A.55図のように変形するエネルギーに等しいとする。また、この変形エネルギーは θ に関し極小値をとるものとする。

まず、の得た変形エネルギー； U_{\square} を求める。図において線分 \overline{AB} 及び線分 \overline{AD} が YY 軸に関し回転できる面積を $A_{\overline{AB}}$ 及び $A_{\overline{AD}}$ とすると、それらは各々次式にて与えられる。

$$A_{\overline{AB}} = \frac{\pi}{\cos \theta} \left\{ \left(r + \frac{\delta}{\tan \theta} \right)^2 - r^2 \right\}$$

$$A_{\overline{AD}} = \pi \left\{ \left(r + \frac{\delta}{\tan \theta} \right)^2 - r^2 \right\}$$

の変形は面積 $A_{\overline{AD}}$ であったものが面積 $A_{\overline{AB}}$ に拡張されたと考えられるから、の降伏応力を δ_y とすると U_{\square} は次式のとおりとなる。

$$U_{\square} = (A_{\overline{AB}} - A_{\overline{AD}}) \cdot t \cdot \sigma_y$$

$$\therefore U_{\square} = \pi \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \cdot \left\{ \left(r + \frac{\delta}{\tan \theta} \right)^2 - r^2 \right\} \cdot t \cdot \sigma_y$$

次に、の変形エネルギー； U_{\square} を求める。(ロ) - 第A.54図において台形 $EABC$ の YY 軸に関する回転体積 V_{\square} とすると、

$$V_{\square} = \pi \cdot \left(r^2 \delta + \frac{r \delta^2}{\tan \theta} + \frac{\delta^3}{2 \tan^2 \theta} \right)$$

となり、また、の圧潰応力 σ_{\square} とすると U_{\square} は次式で与えられる。

$$U_{\square} = V_{\square} \times \sigma_{\square} = \pi \cdot \left(r^2 \delta + \frac{r \delta^2}{\tan \theta} + \frac{\delta^3}{2 \tan^2 \theta} \right) \cdot \sigma_{\square}$$

全変形エネルギーを U_{total} とすると、 U_{total} 、 U_{\square} 、 U_{\square} の関係は次式のとおりとなる。

$$U_{total} = U_{\square} + U_{\square}$$

落下エネルギーを E_{drop} とすると、

$$E_{drop} = W \cdot H \cdot g$$

ここで、

W : 核燃料輸送物質量

H : 落下高さ

$U_{total} = E_{drop}$ の条件で、ある変位 δ に対し U_{total} が極小となる σ と δ が解である。

また、最大加速度倍率は次のように求まる。今、核燃料輸送物が落下台に衝突し停止する直前に落下台より受ける抵抗力 F_R は次式により求められる。

$$F_R = \left(\frac{\partial U_{total}}{\partial \delta} \right) U_{total} = E_{drop}$$

$U_{total} = E_{drop}$ のとき $\delta = \delta_1$ とし、また、 $U_{total} = E_{drop} + \Delta E_{drop}$ のとき $\delta = \delta_2$ とすると、上式は次式と同等である。

$$F_R = \frac{\Delta E_{drop}}{\delta_2 - \delta_1}$$

最大加速度倍率を α_{max} とすると、 α_{max} は F_R により次式で与えられる。

$$\alpha_{max} = \frac{F_R}{W \cdot \theta}$$

(2) 核燃料輸送物の最大変形量と最大加速度倍率の計算

i) 衝撃力が に直角に作用する場合 (垂直, 水平)

本件の場合の計算データを次に示す。

落下高さ : $H = 1,000$ mm

核燃料輸送物質量 : $W =$

貫通台の半径 : $R = 75$ mm

の厚さ : $t =$

の降伏応力 : $\sigma_y =$

の圧潰応力 : $\sigma_b =$

$$\therefore E_{drop} = \text{} = \text{}$$

したがって、 $E_{drop} =$ とその近傍の落下エネルギーに対し θ

及び δ を求め、 E_{drop} の値に対しプロットすると (ロ) - 第 A. 56 図のようになる。

次に、求められた変形量より加速度倍率を求める。

$E_{drop} = \text{[]}$ のとき $\delta_1 = \text{[]}$ であり、また、

ΔE_{drop} を E_{drop} の 5% とすると、

$E_{drop} + \Delta E_{drop} = \text{[]}$

となり、そのとき $\delta_2 = \text{[]}$ である。

$$\therefore F_R = \frac{\Delta E_{drop}}{\delta_2 - \delta_1} = \text{[]} = \text{[]}$$

$$\alpha_{max} = \frac{F_R}{W \cdot g} = \text{[]} = \text{[]}$$

ii) 衝撃力が [] に対し傾斜して作用する場合 (コーナ)

計算データとしては [] の圧潰応力 σ_{\square} の値が次のように変わるのみで他のデータは i) の場合と同じである。

[] の圧潰応力 : $\sigma_{\square} = \text{[]}$

この値は [] に対し角度 θ ($= \text{[]}$) 傾いた方向の圧潰応力である。すなわち、

$$\sigma_{\square} = \sigma_{c1} \sin^2 \theta + \sigma_{c2} \cos^2 \theta = \text{[]}$$

したがって、 $E_{drop} = \text{[]}$ とその近傍の落下エネルギーに対し θ 及び δ を求め、 E_{drop} の値に対しプロットすると (ロ) - 第 A. 57 図のようになる。次に、求められた変形量より加速度倍率を求める。

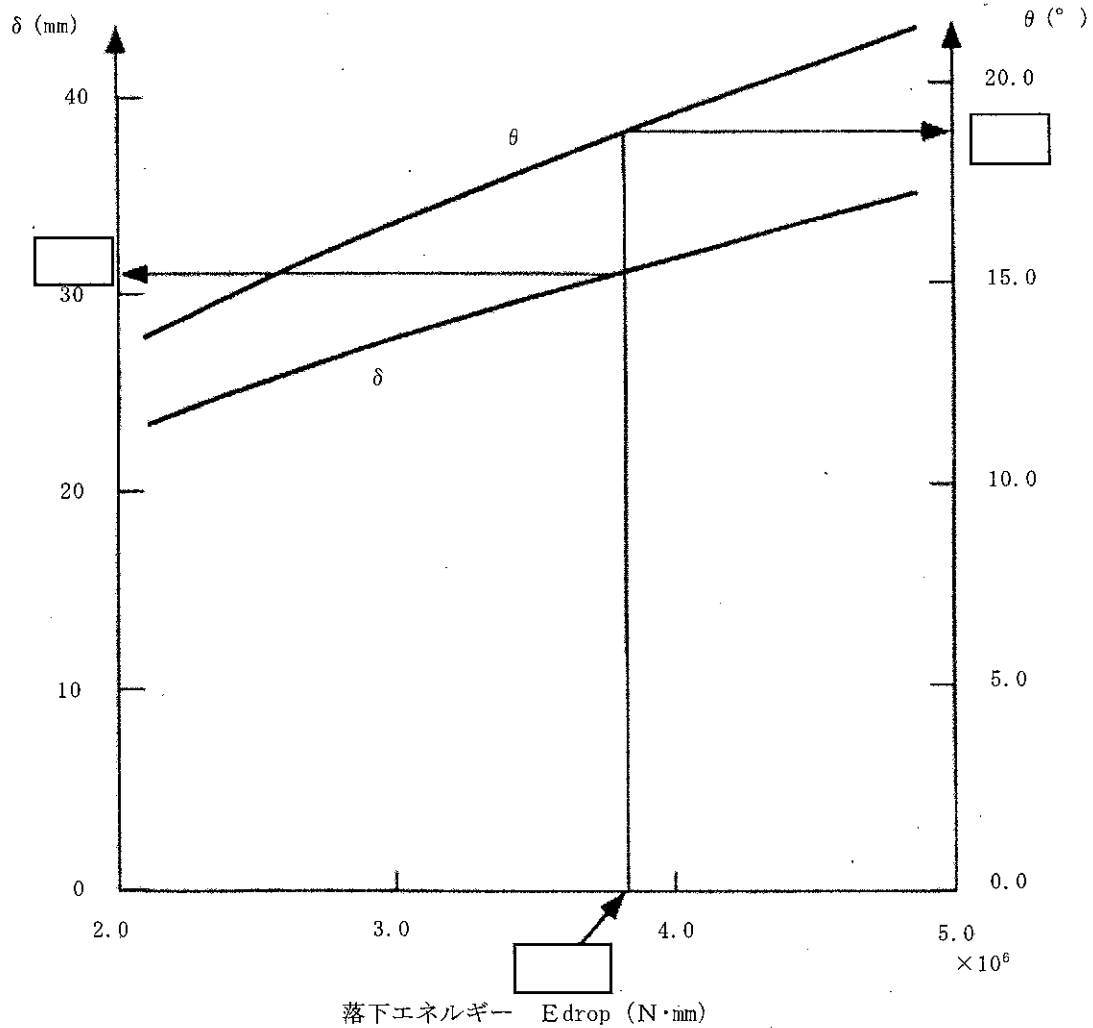
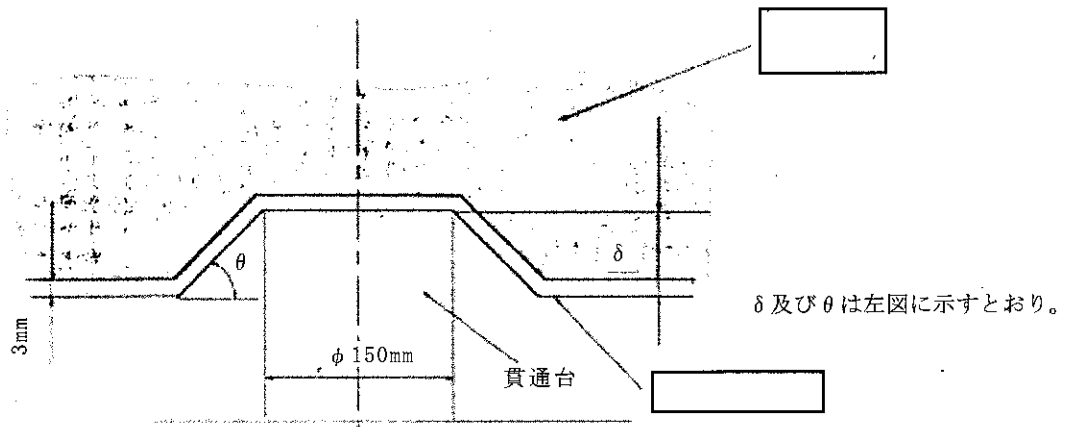
$E_{drop} = \text{[]}$ のとき $\delta_1 = \text{[]}$ であり、また、

$E_{drop} + \Delta E_{drop} = \text{[]}$ のとき $\delta_2 = \text{[]}$ である

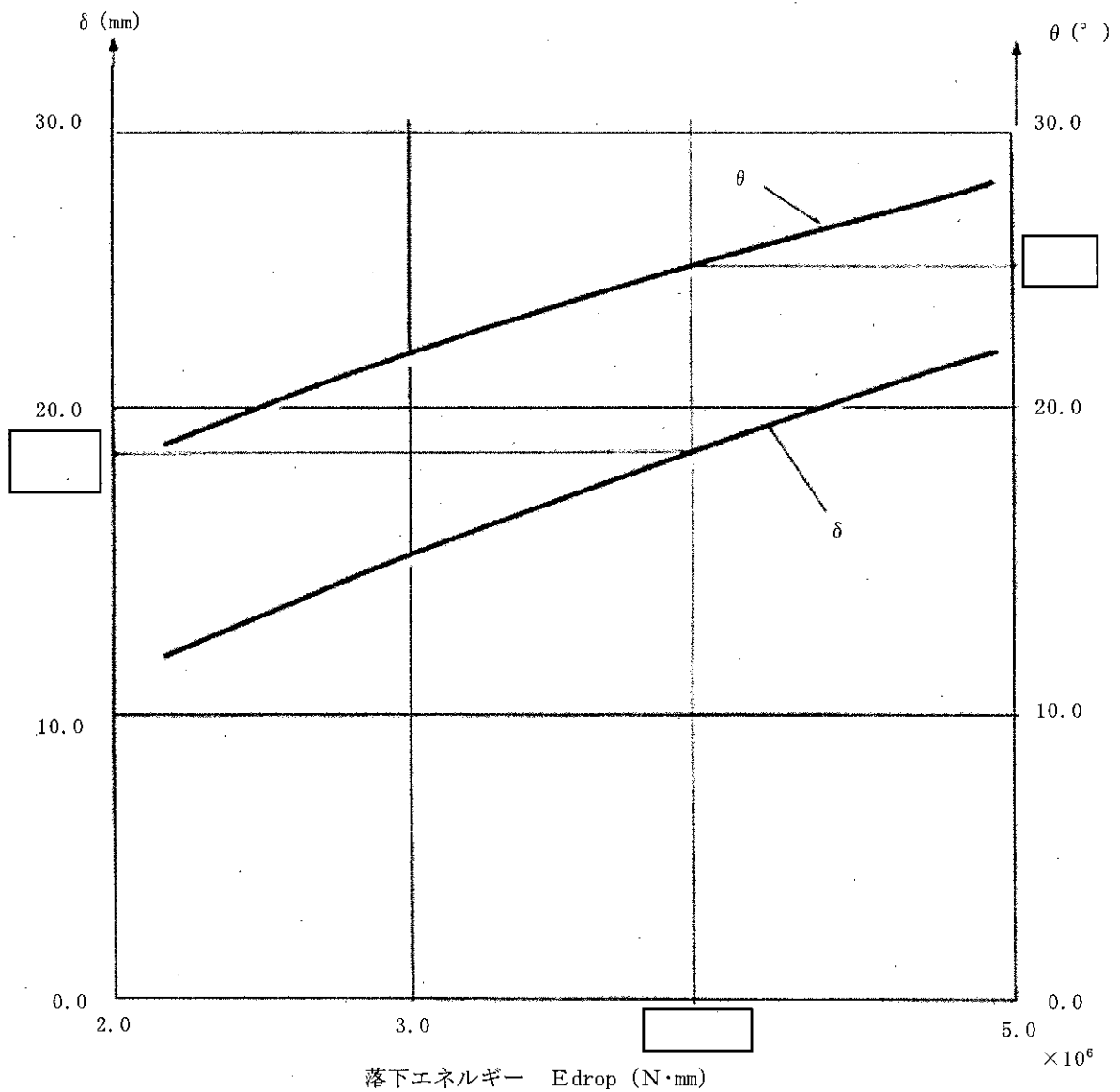
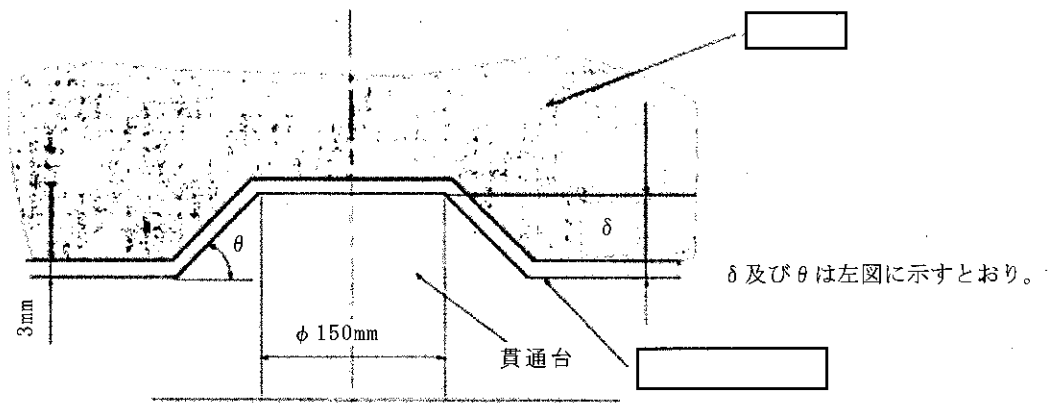
ので、 F_R 、 α_{max} は次のとおりとなる。

$$F_R = \frac{\Delta E_{drop}}{\delta_2 - \delta_1} = \text{[]} = \text{[]}$$

$$\alpha_{max} = \frac{F_R}{W \cdot g} = \text{[]} = \text{[]}$$



(口) - 第A.56図 落下試験Ⅱにおける最大変形量 δ 及び角 θ



(ロ) - 第A.57図 落下試験Ⅱにおける最大変形量 δ 及び角 θ

(衝撃力が [] の [] に対して傾斜して作用する場合：コーナ落下)

(3) 解析結果

(ロ) - 第A.32表に落下試験Ⅱの解析結果をまとめる。

(ロ) - 第A.32表 落下試験Ⅱの解析結果

落下姿勢	最大変形量			最大加速度 倍率 α_{max}
	変形傾き角 θ (度)	変形量 δ (mm)	<input type="text"/> の伸び率 η (%)	
垂直落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注) の変形による伸び率 η (%) は次のようにして求めた。

伸び率 η (%) は次の式で与えられる。

$$\eta = \frac{A_{AB} - A_{A'B'}}{A_{A'B'}} \times 100 (\%)$$

$$= \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \times 100 (\%)$$

(ロ) - 第A.32表に示されるように、密封容器の受ける最大加速度倍率は $G =$ であり、この値は落下試験Ⅲにおける垂直落下姿勢の場合の $G =$ より小さい。したがって、密封容器の構造上の健全性は落下試験Ⅲの条件に対する評価でカバーすることができ、結果として密封容器の密封性は維持される。また、落下試験Ⅱにおける の伸び率は最大で であり、これは の破断するときの伸び率 を下回る値であり、 に破断が生ずることなく貫通は生じない。

A.6.2.1 結果の要約

落下試験Ⅱに対する解析の結果を(ロ)－第A.33表及び(ロ)－第A.34表にまとめる。解析の結果より分かるように、変形は密封容器に到達せず、密封容器は損傷を受けない。

衝撃加速度においては、いずれも落下試験Ⅲにおける衝撃加速度倍率より小さい。

したがって、本落下試験に対する密封容器の強度上の健全性の確認は落下試験Ⅲに対する検討で補うことができ、結果としてその健全性は維持される。

(ロ)－第A.33表 落下試験Ⅱの衝撃解析結果

落下姿勢	衝撃加速度倍率	最大変形量 (mm)	落下試験Ⅲの衝撃加速度倍率
垂直落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ)－第A.34表 落下試験Ⅱにおける外の変形に対する余裕率

落下姿勢	外 <input type="text"/> の許容変形量 (mm) 注)	落下試験Ⅱの変形量 (mm)	変形に対する余裕率
垂直落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注) 落下試験Ⅲによる変形量を差し引いた許容変形量。

吊金具位置への貫通落下に対しては、次の理由から貫通は生じないものと考えられる。

- 1) 吊金具部の外容器の外殻部は厚さの
, 厚さの及び厚さ, 幅のから成り、他の部分より強度が高い。

2) 吊金具部への落下は偏心衝突であるため、落下によるエネルギーの一部が核燃料輸送物の回転エネルギーに変換されることにより、重心部分に対する落下に比べて貫通のために働くエネルギーはその分だけ小さくなる。

次に、吊金具位置で落下試験Ⅱを行った場合について、の変形量の検討を行う。吊金具部のの変形量を(ロ) - 第A.35表に示す。本表における外側の許容変形量の算出には吊金具の深さを考慮した。

(ロ) - 第A.35表 落下試験Ⅱにおける吊金具部に対するの変形量

	落下試験Ⅲ の外容器の 変形量(mm)	落下試験Ⅱ の外容器の 変形量(mm)	落下試験Ⅲ とⅡの合計の 変形量(mm)	外 <input type="text"/> ^{注)} 材の許容変 形量(mm)	変形に対す る余裕率
解析結果 (水平落下)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注) の許容変形量は吊金具の深さを考慮して、次のように求める。

許容変形量 =

A.6.3 熱的試験

A.6.3.1 温度及び圧力の要約

特別の試験条件下における核燃料輸送物各部の圧力及び最高温度の要約を (ロ) ー第A.36表に示す。(ロ章第B.5参照)

(ロ) ー第A.36表 特別の試験条件下における圧力及び最高温度の要約

部 位	圧力 (kPa abs.)	温 度 (°C)
一次密封容器	□	□
二次密封容器	□	□

上記の圧力及び温度は、以下の熱膨張及び応力の解析の評価に用いる。

A.6.3.2 熱 膨 張

本容器の特別の試験条件下における容器の温度分布は、(ロ) ー第B.5表に示すとおりである。一次及び二次密封容器は □ であるため、胴部の半径方向の温度差は無視できる。したがって、半径方向の温度差による熱応力も無視できる。また、軸方向の温度差については、二次密封容器の方が一次密封容器より大きい。したがって、軸方向の温度差による熱応力については、二次密封容器について検討する。

二次密封容器はその周囲を緩衝材である □ により覆われているが、二次密封容器は □ であり、 □ と比べてその強度ははるかに大きい。したがって、二次密封容器の周囲は拘束されていないものとする。

軸方向の温度差により円筒に生じる熱応力 σ は次式により与えられる⁽⁴⁾。

$$\sigma = \frac{\sqrt[4]{3}}{4} \times \frac{\alpha E (T_2 - T_1)}{(1 - \nu^2)^{3/4}} \times \frac{\sqrt{r t}}{l}$$

ここで、

α : 線膨張係数 (= □ 1/°C)
(安全側に □ °Cの値とする。)

E : 縦弾性係数 (= □ MPa)
(安全側に常温の値とする。)

T_2 : 二次密封容器上端の温度 (= °C)

(安全に特別の試験条件における二次密封容器の最高温度
(胴部) とする。)

T_1 : 二次密封容器下端の温度 (= °C)

(安全側に常温とする。)

r : 容器円筒胴部の平均半径 (= mm)

t : 容器円筒胴部の肉厚 (= mm)

ℓ : 二次密封容器の長さ (= mm)

ν : ポアソン比 (=)

したがって、数値を代入すると、

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

となる。

°Cでの の降伏応力は $S_y = \text{ MPa}$ であるから許容応力
 $S_m = (2/3) S_y = \text{ MPa}$ であり、余裕率 MS は下記のとおりとなる。

$$MS = \frac{\text{}}{\text{}} = \text{$$

ゆえに、二次密封容器は特別の試験条件下における軸方向の温度差により生じる熱応力により破損することなく強度を保つ。また、二次密封容器よりも軸方向の温度差が小さい一次密封容器も同様に熱応力により破損することなく強度を保つ。

一方、一次及び二次密封容器の蓋ボルトに生じる熱応力(引張応力)は次式で与えられる。

$$\sigma = (\alpha_{SUS} - \alpha_B) \times \Delta t \times E$$

ただし、

α_{SUS} : 本体 () の線膨張係数
(= 1/°C ; °C)

α_B : ボルト () の線膨張係数
(= 1/°C ; °C)

Δt : $t_1 - t_0$

ここで、

t_1 : ボルトにおける最高温度 (= °C)

(安全側に特別の試験条件における二次密封容器の最高温度 (胴部) とする)

t_0 : ボルト締付時における温度 (°C とする)

E : ボルト () の縦弾性係数
(= MPa ; 常 温)

Δt は一次密封容器より二次密封容器の方が大きいので、蓋ボルトにかかる熱応力についても二次密封容器の場合を検討すればよい。

したがって、数値を代入すると、 $\sigma =$ MPa となる。

°C での の降伏応力は $S_y =$ MPa であるから許容応力 $S_m = (2/3) S_y =$ MPa であり、余裕率 MS は下記のとおりとなる。

$$MS = \frac{\sigma}{S_m} = \frac{\text{}}{\text{}}$$

よって、一次及び二次密封容器の蓋ボルトは熱応力により破損することなく強度を保つ。

A.6.3.3 内圧に対する応力計算

本項では特別の試験条件下における内圧に対して、本容器各部の応力計算を行う。容器に働く圧力としては、真空雰囲気を選定し、(ロ) - 第 A.36 表に示す内圧が働くものとして、下記の項目について検討し、一次及び二次密封容器の強度及び密封性が保たれることを示す。

- (1) 一次及び二次密封容器本体、蓋並びに底部の強度
 - (2) 一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度
 - (3) 一次及び二次密封容器 O-リングの密封性
- (1) 一次及び二次密封容器本体、蓋並びに底部の強度

内圧に対して、一次及び二次密封容器の円筒胴の肉厚部、蓋板中心並びに底板中心の部分の応力を計算する。

- (i) 一次及び二次密封容器の円筒胴

容器円筒胴の内圧に対する応力は次式で与えられる。

$$\text{軸方向応力 } \sigma_z = \frac{P}{2h} R$$

$$\text{周方向応力 } \sigma_\theta = \frac{P}{h} R$$

ここで、

P : 内 圧 $\left[\begin{array}{l} \text{一次容器 ; } \square \text{ k Pa abs.} \\ \text{二次容器 ; } \square \text{ k Pa abs.} \end{array} \right]$

R : 円筒胴の平均半径 (一次 ; \square mm, 二次 ; \square mm)

h : 円筒胴の肉厚 (一次, 二次いずれも \square mm)

それぞれの応力を計算し、(ロ) - 第 A.37 表に応力強さと許容応力を比較^{注)}して示す。

(ロ) - 第 A.37 表 一次及び二次密封容器円筒胴部の応力

	軸方向応力 σ_z (MPa)	周方向応力 σ_θ (MPa)	応力強さ S (MPa)	許容応力 S_m (MPa)	余裕率 MS
一次密封容器	\square	\square	\square	\square	\square
二次密封容器	\square	\square	\square	\square	\square

注) 本項では、内圧のみによる応力を評価するので、許容応力を S_m とし、 S_m は安全側に \square °C の値 (\square MPa) とする。

(ii) 一次及び二次密封容器の蓋板の応力

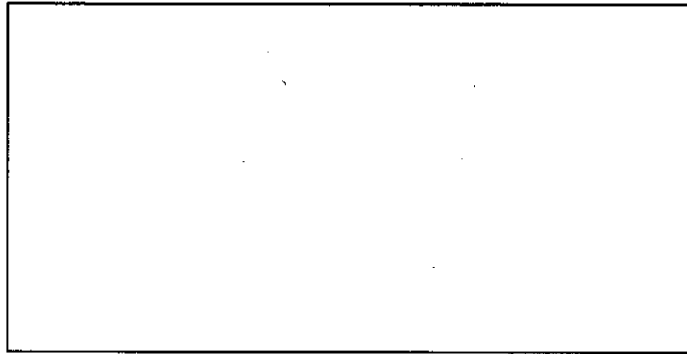
応力解析モデルを (ロ) - 第 A.58 図に示す。最大応力は孔の周辺に生じ次のように与えられる⁽⁴⁾。

$$\sigma_{\max} = (\sigma_\theta)_{r=b} = \pm \beta_{13} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$$

ただし、

$$\square = \square \text{ (一次) に対し, } \beta_{13} = \square$$

$$\square = \square \text{ (二次) に対し, } \beta_{13} = \square$$



(ロ) - 第A.58図 蓋解析モデル

ここで、

P : 内 圧 $\left[\begin{array}{l} \text{一次 ; } \square \text{ k Pa abs.} \\ \text{二次 ; } \square \text{ k Pa abs.} \end{array} \right]$

a : ボルト中心円の半径 (一次 ; \square mm, 二次 ; \square mm)

h : 板 厚 (安全側をとるために、板中心部の最小板厚, 一次
二次いずれも \square mm)

b : 孔の半径 (一次, 二次いずれも \square mm)

それぞれの応力を計算し、(ロ) - 第A.38表に応力強さと許容応力を比較して示す。

(ロ) - 第A.38表 一次及び二次密封容器の蓋板の応力

	半径方向応力 σ_r (MPa)	円周方向応力 σ_θ (MPa)	応 力 強 さ S (MPa)	許 容 応 力 S_m (MPa)	余裕率 MS
一次密封容器	\square	\square	\square	\square	\square
二次密封容器	\square	\square	\square	\square	\square

(iii) 一次及び二次密封容器の底板中心の応力

底板中心の内圧に対する応力は、周辺単純支持の圧力を受ける円板の応力として求めることができる。応力は次式で与えられる⁽⁴⁾。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{3(3+\nu)Pa^2}{8h^2}$$

ここで、

P : 内 圧 $\left[\begin{array}{l} \text{一次 ; } \square \text{ k Pa abs.} \\ \text{二次 ; } \square \text{ k Pa abs.} \end{array} \right]$

a : 容器円筒胴の内半径 (一次 ; mm, 二次 ; mm)

h : 板 厚 (一次 ; mm, 二次 ; mm)

v : ポアソン比 (=)

それぞれの応力を計算し, (ロ) - 第 A. 39 表に応力強さと許容応力を比較して示す。

(ロ) - 第 A. 39 表 一次及び二次密封容器の底板中心の応力

	半径方向応力 σ_r (MPa)	円周方向応力 σ_θ (MPa)	応力強さ S (MPa)	許容応力 S_m (MPa)	余裕率 MS
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

以上, (i), (ii), (iii) で得られた結果から分かるように, 余裕率はすべて正であるので, 一次及び二次密封容器の円筒胴, 蓋板及び底板は破断することなく強度を保つ。

(2) 一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度

一次及び二次密封容器蓋ボルトには, 内圧により引張応力が生じる。内圧により受ける荷重は, ボルト引張力として作用するが, 内圧が内側 O-リング面に作用するものとするときボルトに生じる引張応力 σ_t は次式によって与えられる。

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

ただし,

$$F : \text{内圧により蓋板にかかる力} \left(= \frac{\pi}{4} D^2 P \right)$$

D : 内側 O-リングの中心径 (mm)

P : 内 圧 (MPa)

$$A : \text{ボルトの断面積} \left(= \frac{\pi}{4} d^2 n \right)$$

d : ボルトの谷径 (mm)

n : ボルトの本数

これらの記号に、一次及び二次密封容器の区別をつけるため、それぞれ1,2の添字を付けて、以下にその値を示す。

$$D_1 = \boxed{} \text{ (mm)} \quad D_2 = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$P_1 = \boxed{} \text{ (kPa)} \quad P_2 = \boxed{} \text{ (kPa)}$$

$$d_1 = \boxed{} \text{ (mm)} \quad d_2 = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$n_1 = \boxed{} \quad n_2 = \boxed{}$$

蓋ボルトの材質は $\boxed{}$ であり、 $\boxed{}$ °Cにおける降伏応力は $\boxed{}$ MPaである⁽²⁾。したがって、許容応力は次のようになる。

$$S_m = \frac{2}{3} \times S_y = \boxed{} \text{ MPa}$$

それぞれの応力を計算し、(ロ) - 第A.40表に引張応力と許容応力とを比較して示す。

(ロ) - 第A.40表 一次及び二次密封容器蓋ボルトの強度

	蓋ボルト	引張応力 σ_t (MPa)	許容応力 S_m (MPa)	余裕率 (MS)
一次密封容器	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$
二次密封容器	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$	$\boxed{}$

したがって、余裕率はいずれも正であるので、一次及び二次密封容器蓋ボルトは、内圧による引張に対して破断することなく強度を保つ。

(3) 一次及び二次密封容器Oリングの密封性

一次及び二次密封容器蓋板に内圧が作用した場合のOリングの密封性を、内側Oリング面における蓋板のたわみにより検討する。内圧は内側Oリング面までに作用するとし、その荷重をボルトの中心円で支持するとした。すなわち、解析モデルでは周辺単純支持の圧力を受ける円板のたわみを求める系である。

Oリング位置における蓋板の内圧によるたわみは、次式により与えられる。

$$\omega = \frac{Pa^4}{64D} \left\{ 1 - \frac{r^4}{a^4} + 8(A+1) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \frac{b^2}{a^2} + 4 \left(B - 2 \frac{b^2 r^2}{a^2 a^2} \right) 1 n \frac{a}{r} \right\}$$

$$A = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} - \frac{1}{4(1+\nu)} \left\{ (1+3\nu) + (3+\nu) \frac{a^2}{b^2} \right\}$$

$$B = \frac{1}{1-\nu} \left\{ 4(1+\nu) \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} - (3+\nu) \right\} \frac{b^2}{a^2}$$

ただし、

P : 内 圧 (MPa)

D : 板の曲げ剛性 $\left(= \frac{E h^3}{12 (1-\nu^2)} \right)$

b : 内輪板の内半径 (mm)

a : ボルト中心円の半径 (mm)

r : たわみ計算位置の半径 (mm)

ν : ポアソン比 (=)

E : 蓋板の縦弾性係数 (= MPa)

(安全側に °C の値とする)

h : 板 厚 (mm)

ここで、一次及び二次密封容器におけるこれらの値は次のとおりとなる。

$P_1 =$ (k Pa) $P_2 =$ (k Pa)

$b_1 =$ (mm) $b_2 =$ (mm)

$a_1 =$ (mm) $a_2 =$ (mm)

$h_1 = h_2 =$ (mm)

また、ここではOリング位置における蓋板のたわみを求めるので、r については次の値となる。

$r_1 =$ (mm) $r_2 =$ (mm)

それぞれのたわみ ω_1 、 ω_2 を計算し、(ロ) - 第A.41表に蓋板のたわみとOリングのつぶし代とを比較して示す。

(ロ) - A第.41表 一次及び二次密封容器のOリングの密封性

	たわみ ω (mm)	Oリングの 太さ (mm)	本体Oリング 溝の深さ (mm)	Oリングの つぶし代(mm)
一次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ) ー第 A. 41 表から分かるように、O-リングのつぶし代は蓋板のたわみと比較して十分な余裕があるので、内圧に対して、一次及び二次密封容器の O-リングの密封性は確保される。

以上、(1), (2), (3) の解析により、一次及び二次密封容器は、特別の試験条件下の内圧に対して、

- 1) 本体円筒胴部、底部及び蓋板は内圧により変形することはない。
- 2) 密封容器蓋ボルトは内圧による引張に対して破損することはない。
- 3) 内圧による蓋板のたわみにより O-リングの密封性が損なわれることはない。

したがって、一次及び二次密封容器は、特別の試験条件下の内圧に対して強度及び密封性を損なうことなく健全性を保つ。

A.6.3.4 許容応力との比較

(ロ) - 第A.42 表から分かるように熱応力及び内圧により生じる応力を組み合せた最大応力でも、許容応力 S_m に比べて小さいので、一次及び二次密封容器は、特別の試験条件下の熱応力及び内圧の組合せに対しても変形することなく強度を保つ。したがって、密封性も保たれ、容器の健全性は確保できる。

以上のことから特別の試験条件下の熱膨張及び内圧に対して、一次及び二次密封容器は、

- 1) 熱膨張に対して強度及び密封性を保つ。
- 2) 内圧に対して強度及び密封性を保つ。
- 3) 熱膨張と内圧の組合わせ荷重に対して、強度及び密封性を保つ。

したがって、一次及び二次密封容器は、特別の試験条件により破損することなく密封性を保持する。

条件	解析項目	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等	備考		
一般の試験条件	水噴霧 吸水性	吸水性の有無	無	無	基準に合致			
	水切り	水切りの良否	良	良	基準に合致			
	自由落下 〔垂直落下〕 変形量	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない	
		内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		〔水平落下〕 変形量	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
			内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		—
		〔コーナ落下〕 変形量	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
			内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		—
	積み重ね試験 核燃料輸送物の軸に平行な方向の圧縮	圧潰荷重		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> は塑性変形を起こさない	
		核燃料輸送物の軸に直角な方向の圧縮	外容器変形量 (外 <input type="text"/>)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	外容器変形は極く小さく輸送物は健全である	
	貫通変形量	外容器 (外 <input type="text"/>)		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない	
		外容器の破断	<input type="text"/> の伸び	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	貫通は生じない	

条件	解析項目	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等	備考	
特別の試験	落下試験Ⅲ 〔垂直落下〕 衝突側(頭部) 変形量	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない	
		内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
	設置側(底部) 変形量	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない	
		内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
	〔水平落下〕 衝突側変形量	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない	
		内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—		
		外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
〔コーナ落下〕 衝突側(頭部) 変形量	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない		
	内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—			
	外	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
	内	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
試験条件	〔垂直落下〕 一次密封容器 蓋板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	合成応力	
		蓋締付部	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
		固定ボルト	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
		O-リングの密封性	O-リングのつぶし代	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
	二次密封容器 蓋板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		胴板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
		底の"つば"部	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
		O-リングの密封性	O-リングのつぶし代	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
	〔水平落下〕 一次密封容器 胴板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
		固定ボルト	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>
		二次密封容器 胴板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>

条件	解析項目	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等	備考
特別	[コーナ落下] 一次密封容器 蓋板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	蓋締付ボルト	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	固定ボルト	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	胴板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	二次密封容器 蓋板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	胴板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	底部 "つば" 根元	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
試験	落下試験Ⅱ [垂直落下] 変形量	外 <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない 破断は生じない
	外容器の破断 の伸び	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	[水平落下] 変形量	外 <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない 破断は生じない
	外容器の破断 の伸び	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	[コーナ落下] 変形量	外 <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	変形は密封容器に達しない 破断は生じない
	外容器の破断 の伸び	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
条件	熱的試験 熱膨張 二次密封容器 胴部	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	蓋ボルト	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	応力計算 一次密封容器 円筒胴	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	蓋板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	底板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	蓋ボルト	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	オーリングの 密封性	オーリングの つぶし代	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

条件	解析項目	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率等	備考
特	二次密封容器 円筒胴	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	蓋板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	底板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	蓋ボルト	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	O-リングの 密封性	O-リングの つぶし代	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
別 の 試 験 条 件	浸漬 二次密封容器 蓋板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	本体円筒胴部	最高使用圧力	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	底板	S m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

A.6.4 浸漬

核燃料輸送物が深さ15mの水中に浸漬した場合、核燃料輸送物には、147kPaの外圧が作用する。密封装置である一次密封容器は、同等の密封性能をもつ二次密封容器の内部に収納されているので、二次密封容器の強度が保たれば、一次密封容器に外圧は作用しない。

したがって、ここでは、二次密封容器の強度について検討する。ただし、内部は1気圧とする。解析は下記に示す各部の強度について行う。

- 1) 二次密封容器蓋板の強度
 - 2) 二次密封容器本体円筒胴部の強度
 - 3) 二次密封容器本体底部の強度
- 1) 二次密封容器蓋板の強度

二次密封容器蓋板には外圧により曲げ応力が生じる。

で支持されているが、解析では蓋ボルト部において支持されているものとする。

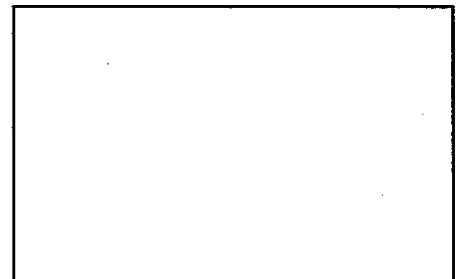
これは曲げ応力を高く評価することになり、安全側となる。解析モデルを(ロ) - 第A.59図に示す。

蓋板に生じる最大応力は、次式により与えられる。

$$\sigma_{max} = (\sigma_{\theta})_{r=b} = \pm \beta_{13} \frac{P \cdot a^2}{h^2}$$

ただし、

$$\beta_{13} = 2.42$$



(ロ) - 第A.59図

二次密封容器蓋板強度解析モデル

- P : 外 圧 (=0.147 MPa)
- a : 蓋ボルトの中心円の半径 (=)
- b : 孔の半径 (=)
- h : 板 厚 (= / 安全側に、蓋板中心部の最小厚)

したがって、 $\sigma_b =$ となる。蓋板の許容応力 S_m は であるから、余裕率 MS は

$$MS = \text{$$

となる。したがって、二次密封容器蓋板は外圧に対して曲がることはなく、強度を保つ。

2) 二次密封容器本体円筒胴部の強度

胴部の強度の検討は、外圧を受ける円筒の座屈強度に対する許容外圧としての最高使用圧力と浸漬試験による圧力とを比較することにより行う。

外圧を受ける円筒胴の最高使用圧力 P は次式で与えられる。^[6]

$$P = \frac{BC(t - \alpha)}{D_o}$$

ここで、

P : 最高使用圧力 (kPa)

B : 材料の種類による係数で、 E 、 ℓ/D_o 、 D_o/t の値により決まる。

C : 継手の係数

t : 円筒胴の板厚 (mm)

D_o : 円筒胴の外径 (mm)

ℓ : 円筒胴の有効長さ (mm)

α : 腐れしろ (mm)

である。

今、各記号は下記の値をもつ。

$C = 1.0$ (継手は突合せ溶接であるから)

$\alpha = 0$ (材質が であるから)

$t =$

$D_o =$

$l = \boxed{}$ (二次密封容器の深さとする)

したがって、

$$l / D_o = \boxed{} = 1.68$$

$$D_o / t = \boxed{} = 49.7$$

となる。材質は $\boxed{}$ であり常温における使用とすると、 $B = \boxed{}$ となる。

したがって、最高使用圧力 P は次の値となる。

$$P = \frac{B C (t - \alpha)}{D_o} = \boxed{} = \boxed{} = \boxed{}$$

1.5 m 水頭下への浸漬による圧力は 147 kPa であるから、余裕率 MS は次のように計算される。

$$MS = \frac{\boxed{}}{147} - 1 = \boxed{}$$

したがって、円筒胴は座屈することなく、外圧に十分耐える。

3) 二次密封容器底部の強度

二次密封容器底板には外圧による曲げ応力を生じる。底板は胴部に溶接されているので、胴部内周で固定されているとする。解析モデルを (ロ) - 第 A.60 図に示す。

底板に生じる曲げ応力 σ_r は次式により与えられる。

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

ただし、

P : 外 圧 (= 0.147 MPa)

a : 胴部の内半径 (= $\boxed{}$ mm)

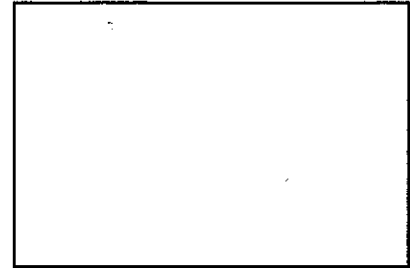
h : 板 厚 (= mm)

v : ポアソン比 (=)

r : 応力計算位置の半径 (ここでは、
周辺固定であるので

r = a = mm のとき曲げ

応力 σ_r が最大となる)



(ロ) - 第 A.60 図

二次密封容器底板強度解析モデル

したがって、最大曲げ応力 σ_{max} は次のよ

うになる。

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= \frac{3 P a^2}{4 h^2} = \text{} \\ &= \text{} \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

許容応力は MPa であるから余裕率 MS は、

$$MS = \text{}$$

である。

したがって、二次密封容器底板は、外圧に対して曲がることはなく強度を保つ。

以上の解析により、核燃料輸送物が深さ 15 m の水中に浸漬した場合の外圧 147 kPa に対して、二次密封容器は強度を有する。また、一次密封容器には外圧が作用せず、強度を保っている。

A.6.5 結果の要約と評価

特別の試験条件下については解析により検討を行った。破損の要約を各試験項目に従って、説明する。

(1) 落下試験Ⅲ（9 m圧潰試験）

垂直、水平、コーナの3姿勢での落下試験Ⅲにおいて、外容器の変形は外 \square
 \square 及び内 \square の許容範囲にとどまり、二次密封容器には達しない。外容器の蓋、締付ボルトのゆるみ、破断はなく、外容器の外殻には割れや亀裂は生じない。

また、各落下姿勢の衝撃加速度倍率に対する一次密封容器及び二次密封容器は強度上の健全性を維持することが確認された。

(2) 落下試験Ⅱ（1 m貫通落下）

落下試験Ⅲの後に実施した垂直、水平、コーナの3姿勢での落下試験Ⅱにおいて、変形は外容器の外側 \square の許容範囲にとどまり、二次密封容器に達することはない。また、外容器外殻に貫通または亀裂等は生じない。

一次密封容器及び二次密封容器の密封性能については、落下試験Ⅱにより発生する衝撃力はいずれも落下試験Ⅲで発生する各落下姿勢の衝撃加速度倍率よりも小さいことから、強度上の健全性を維持することが確認された。

(3) 熱的試験

落下試験Ⅲ及び落下試験Ⅱに引き続いて耐火試験を実施した場合、一次密封容器及び二次密封容器において、温度差により生ずる熱応力及び内圧により発生する応力はいずれも許容応力以下であるので、一次密封容器及び二次密封容器は強度を保つ。

(4) 浸漬試験

15 m水深での浸漬試験を模擬した147 kPaの水圧下での解析の結果、二次密封容器は147 kPaの外圧に耐え、座屈を起こすことはないので、一次密封容器及び二次密封容器への水の浸入はない。

A.7 強化浸漬試験

本核燃料輸送物の最大収納放射能の量は、 A_2 値の十万倍以下であるため、一定量を超える量（ A_2 値の十万倍を超える量）の放射能を有する核燃料物質等が収納されている核燃料輸送物に課せられる強化浸漬試験の適用を受けない。したがって、強化浸漬試験は該当しないので省略する。

A.8 放射性収納物

本核燃料輸送物の放射性収納物はイ章Dで述べたとおりである。

熱、密封及び遮蔽の各解析における一般及び特別の試験条件において試料容器は破損し、放射性物質は試料容器から漏えいするものとして安全側の解析を行っている。

ただし、一次密封容器は一般及び特別の試験条件においても密封性能を保持するので、放射性物質の一次密封容器外への漏えい及び一次密封容器内への水等の浸入はない。

また、臨界解析における核燃料輸送物の評価においても、同様に安全側の解析を行っている。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送容器の収納物に含有される核分裂性物質の量が15gを超えるので、本核燃料輸送物は核分裂性輸送物に該当する。

なお、本核燃料輸送物が -40°C ～ 38°C の周囲温度に置かれた場合でも、口章A.4.2 低温強度及び口章A.5.1熱的試験で示したように、き裂、破損等が生じることはない。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

本核燃料輸送物は核分裂性輸送物に該当するので、外運搬規則及び外運搬告示により以下に示す最も厳しい試験手順に基づき評価を行うものとする。

- ① 水の吹付試験
- ② 自由落下
- ③ 貫通試験
- ④ 積み重ね試験

(1) 水の吹付試験

水の吹付試験に対する評価結果は口章A.5.2 水噴霧で示したとおり容器は水密を保つ構造である。

(2) 自由落下

自由落下を実施した場合の本核燃料輸送物の変形の状態について述べる。自由落下の状況は(ロ)－第A.61図に示すとおりである。

① 垂直落下

垂直落下による変形の解析手法は、口章A.5.3.1垂直落下と同様に行う。

解析の結果、垂直落下による変形は外容器の外[]と内[]の一部に生ずるのみで密封装置（二次密封容器）に達することはない。

② 水平落下

水平落下による変形の解析手法は、口章A.5.3.2水平落下と同様に行う。

解析の結果、水平落下による変形は外容器の外[]の一部に生ずるのみで密封装置（二次密封容器）に達することはない。

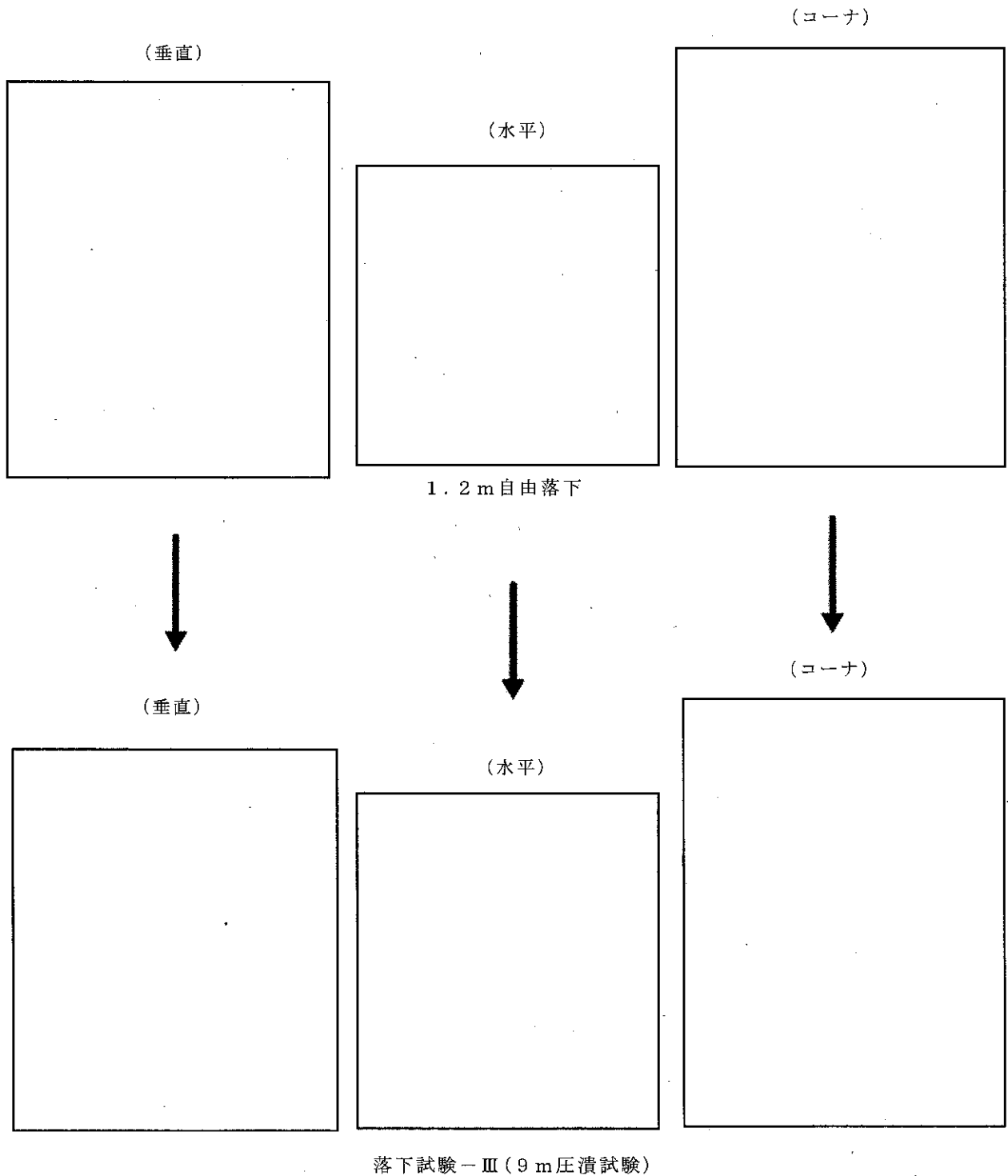
③ コーナ落下及び傾斜落下

コーナ落下及び傾斜落下による変形の評価は、評価上最も厳しくなるコーナ落下について変形量を求める。

解析手法は、口章A.5.3.3コーナ落下と同様に行う。

解析の結果、コーナ落下による変形は外容器の外 \square の一部に生ずるのみで密封装置（二次密封容器）に達することはない。

自由落下に対する核燃料輸送物の最大変形量と最大衝撃加速度倍率を（口）-第A.44表に示す。自由落下における外 \square 及び内 \square の変形に対する余裕率を（口）-第A.45表及び（口）-第A.46表にそれぞれ示す。



(ロ) - 第A.61図 落下姿勢と試験の手順

(ロ) 一第A.44表 一般の試験条件下に係る自由落下における衝撃加速度倍率及び変形量解析結果

落下姿勢	外容器の受ける 最大加速度倍率 α_1 (-)	密封容器の受ける 最大加速度倍率 α_2 (-)	外容器の外側 変形量 δ_1 (mm)	内 <input type="text"/> の 変形量 δ_2 (mm)
垂直落下*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

*1 : 頭部下向き及び底部下向き

(ロ) 一第A.45表 一般の試験条件下に係る自由落下における外 の変形に対する余裕率

落下姿勢	落下方向の <input type="text"/> <input type="text"/> 寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_s (mm)	変形量 δ_1 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

*1 : 頭部下向き及び底部下向き

(ロ) 一第A.46表 一般の試験条件下に係る自由落下における内 の変形に対する余裕率

落下姿勢	落下方向の <input type="text"/> <input type="text"/> 寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_s (mm)	変形量 δ_2 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
コーナ落下*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—

*1 : 頭部下向き及び底部下向き

(3) 貫通試験

貫通試験の評価はロ章A.5.5 貫通で示したとおり外容器が深さ mm 変形するが、自由落下により変形した後の外容器の外 の厚さに比べて小さいので、変形は密封装置 (二次密封容器) まで達しない。

(4) 積み重ね試験

積み重ね試験の評価結果は口章A.5.4 積み重ね試験で示したとおり、外容器に用いている [] は、核燃料輸送物の軸に平行な荷重では塑性変形を起こさず、弾性変形範囲内にあり、また、核燃料輸送物の軸に直角な荷重では変形はごく小さく ([]、核燃料輸送物は健全性を保持する。よって、貫通試験の後で積み重ね試験を実施しても外容器の変形はごく小さく、核燃料輸送物は健全性を保持する。

(5) 評価結果

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下で最も厳しい試験手順で評価を行ったが、変形は外容器の外 [] と内 [] の一部に生じるのみで、密封装置（二次密封容器及び一次密封容器）は健全であった。よって、臨界解析に影響する形状変化の評価は次のとおりとなる。

水の吹付試験により核燃料輸送物内への浸水は生ぜず、また、自由落下の結果より、外容器に変形（口）－第A.44表参照）が生ずるが、密封装置の形状が変化することはなく、その密封性は保たれる。

核燃料輸送物の構造部に生じるくぼみは貫通試験による外容器のくぼみであり、深さ [] mmのくぼみは直径が最大で [] mmとなり、一辺10cmの立方体より大きくなることはない。また、輸送容器の外形寸法は直径 [] cm、高さ [] cmであるが、一般の試験条件下における落下等により核燃料輸送物の構造部に生じる変形は最大 [] でわずかであり、変形後の構造部の寸法は外接する直方体の各辺が10cm未満となることはない。さらに、貫通試験の後で積み重ね試験を実施しても、外容器の変形はごく小さい。

これらの損傷状態のうち、自由落下のコーナ落下で生じる変形及び貫通試験で生じるくぼみは、局所的であるとともに、核燃料輸送物相互間の距離を有意に近付けるものではない。したがって、臨界解析における一般の試験条件下の核燃料輸送物の評価モデルでは、自由落下の垂直落下と水平落下により生じる外容器の変形を考慮する。外容器の寸法変化としては、上部及び底部については、それぞれ垂直落下による最大変形量（外 [] : [] mm、内 [] : [] mm）以上を減少させ、側部については、水平落下による最大変形量（外 [] : [] mm内 [] : [] mm）以上を減少させることとする。

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

本核燃料輸送物は核分裂性輸送物に該当するので、外運搬規則及び外運搬告示により以下に示す最も厳しい試験手順に基づき評価を行うものとする。

- ① 水の吹付試験
- ② 自由落下
- ③ 貫通試験
- ④ 積み重ね試験
- ⑤ 強度試験・落下試験Ⅲ
- ⑥ 強度試験・落下試験Ⅱ
- ⑦ 耐火試験
- ⑧ 浸漬試験（深さ0.9 mで8時間）

このうち、①～④は前項の一般の試験条件下において評価したので、ここでは省略し、④に引き続いて、⑤以降の評価を実施した場合を以下に示す。臨界解析を実施する場合には、上に示した場合の試験手順が最も厳しい条件となる。

(1) 強度試験・落下試験Ⅲ

自由落下により変形した本核燃料輸送物に、引き続き落下試験Ⅲを実施した場合の変形の状態について述べる。自由落下に引き続いて実施する落下試験Ⅲの状況は（ロ）－第A.61図に示すとおりである。

解析では、落下試験Ⅲによる変形が密封装置（二次密封容器）に達するか否かを評価するとともに、密封容器の受ける最大加速度倍率による衝撃力で、密封装置各部位に発生する応力と許容応力を比較し、強度上の健全性が維持されるか否かを評価する。

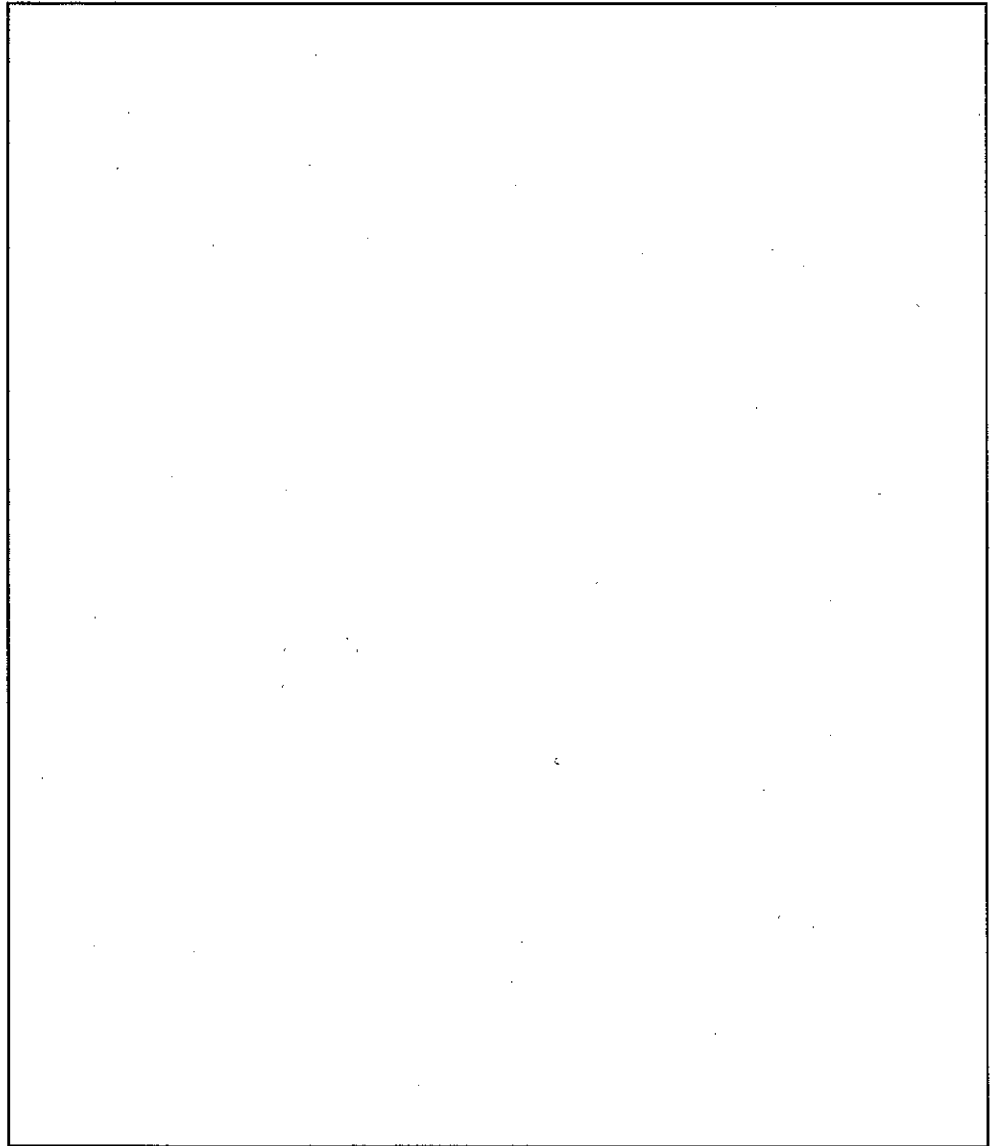
解析手法は、ロ章A.6.1落下試験Ⅲと同様に行う。

- ① 落下試験Ⅲによる核燃料輸送物の変形状況を（ロ）－第A.62図、（ロ）－第A.63図及び（ロ）－第A.64図に示す。
- ② 落下試験Ⅲに対する核燃料輸送物の最大変形量と最大衝撃加速度倍率を（ロ）－第A.48表に示す。
- ③ また、落下試験Ⅲにおける外 \square 及び内 \square の変形に対する余裕率を（ロ）－第A.49表及び（ロ）－第A.50表に、密封容器に生ずる応力の要約を（ロ）－第A.51表にそれぞれ示す。

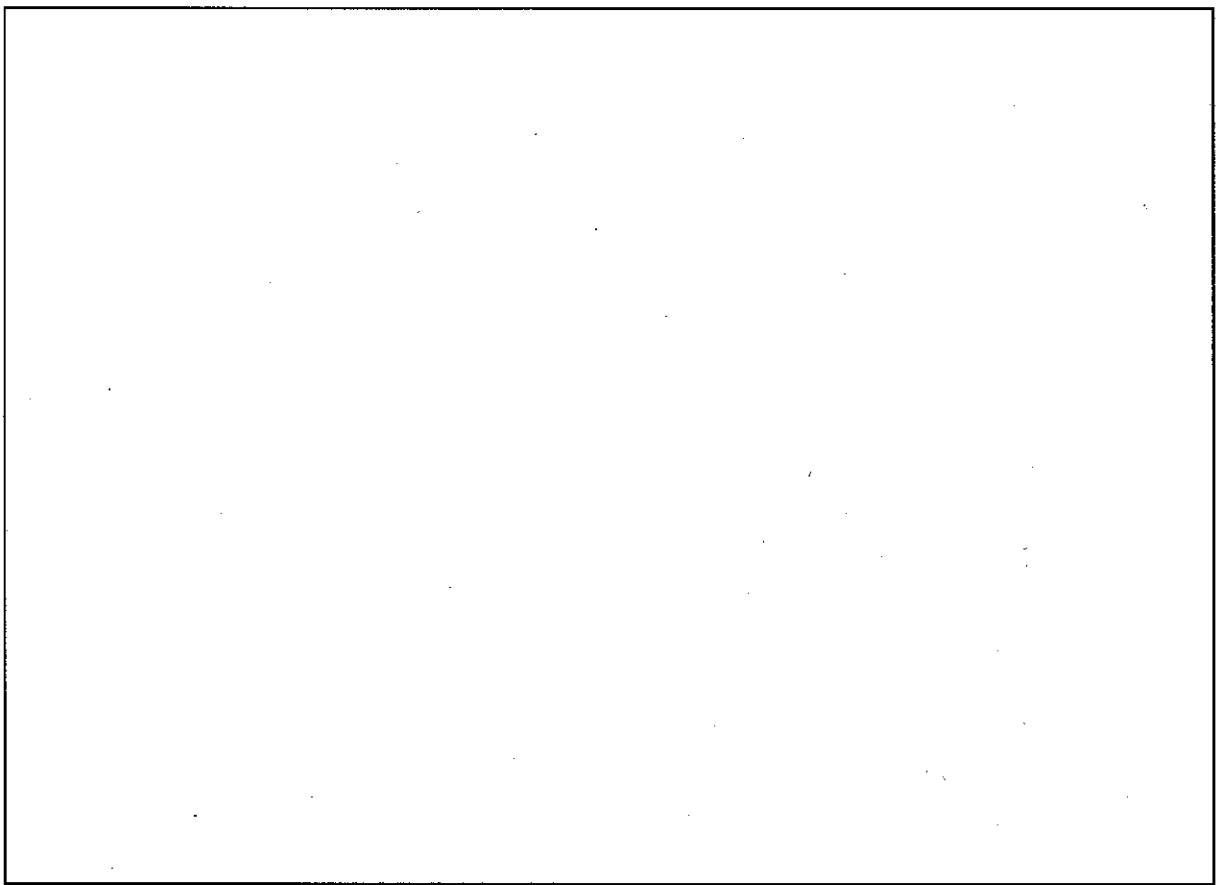
- ④ 以上の結果より、各落下姿勢における変形は外容器の外 と内 の一部に生ずるのみで密装置（二次密封容器）に達することはない、また、密装置各部位に発生する応力は許容応力を超えることはない。

(2) 強度試験・落下試験Ⅱ

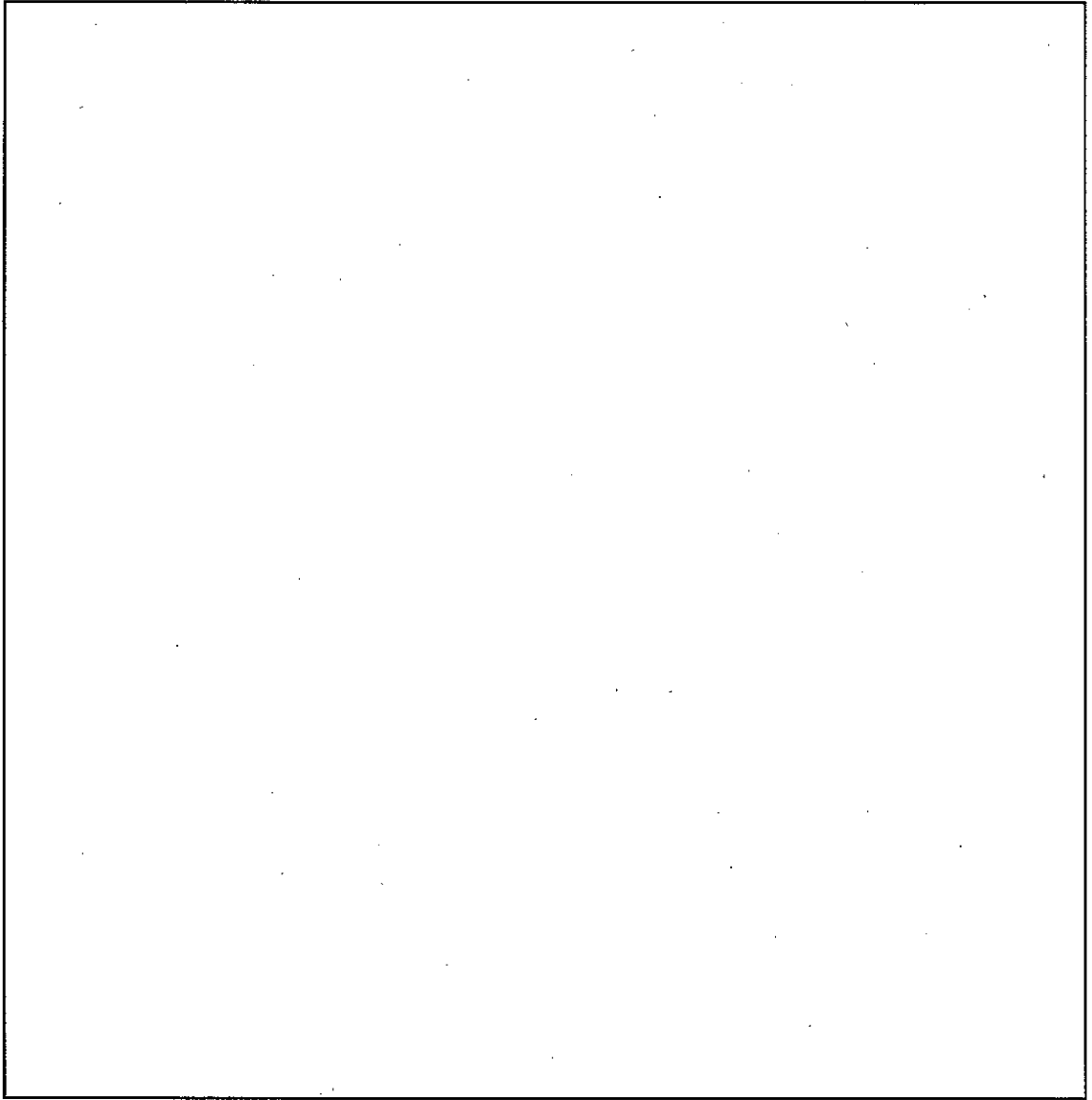
落下試験Ⅲにより変形した本核燃料輸送物に、引き続いて落下試験Ⅱを実施した場合の変形について述べる。各落下による変形量を(ロ)－第A.52表に示す。(ロ)－第A.52表で明らかのように、各落下における変形の余裕率は正であり、変形量は密装置に達しない。



(口) - 第A.62図 特別の試験条件下に係る垂直落下後の変形状況



(ロ) - 第A.63図 特別の試験条件下に係る水平落下後の変形状況



(ロ) - 第A.64図 特別の試験条件下に係るコーナ落下後の変形状況

(ロ) - 第 A. 48 表 特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにおける衝撃加速度倍率及び変形量解析結果

落下姿勢		外容器の受ける 最大加速度倍率 α_1 (-)	密封容器の受ける 最大加速度倍率 α_2 (-)	外容器の外側 変形量 δ_1 (mm)	内 <input type="text"/> の 変形量 δ_2 (mm)
垂直落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ) - 第 A. 49 表 特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにおける外 の変形に対する余裕率

落下姿勢		落下方向の <input type="text"/> <input type="text"/> 寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_a (mm)	変形量 δ_1 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ) - 第 A. 50 表 特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにおける内 の変形に対する余裕率

落下姿勢		落下方向の <input type="text"/> <input type="text"/> 寸法 L (mm)	変形の許容量 δ_a (mm)	変形量 δ_2 (mm)	変形の余裕率 MS (-)
垂直落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
水平落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コーナ落下	頭部 (衝突側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	底部 (設置側)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ) - 第 A. 51 表 特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲにより密封容器に生ずる応力の要約

応力の検討箇所		材質	落下姿勢	許容応力 σ_a (MPa)	計算応力 σ (MPa)	余裕率 MS (-)
一次密封容器	蓋板	□	垂直落下	□	□	□
			コーナ落下	□	□	□
	蓋締付ボルト	□	垂直落下	□	□	□
			コーナ落下	□	□	□
	容器の固定ボルト	□	垂直落下	□	□	□
			水平落下	□	□	□
コーナ落下			□	□	□	
容器の胴板	□	水平落下	□	□	□	
		コーナ落下	□	□	□	
二次密封容器	蓋板	□	垂直落下	□	□	□
			コーナ落下	□	□	□
	容器の胴板	□	垂直落下	□	□	□
			水平落下	□	□	□
			コーナ落下	□	□	□
	底部の"つば"の根元	□	垂直落下	□	□	□
コーナ落下			□	□	□	

(ロ) - 第 A. 52 表 特別の試験条件下に係る落下試験Ⅲ及びⅡによる
外 □ の変形に対する余裕率

落下姿勢		落下方向 の □ 寸法 L (mm)	変形の許 容量 δ_a (mm)	落下試験 Ⅲによる変 形量 δ_1 (mm)	落下試験 Ⅱによる変 形量 δ_2 (mm)	合計の変 形量 δ (mm)	変形の余 裕率 MS (-)
垂直落下	頭部 (衝突側)	□	□	□	□	□	□
	底部 (設置側)			□	□	□	□
水平落下	頭部 (衝突側)	□	□	□	□	□	□
	底部 (設置側)			□	□	□	□
コーナ落下	頭部 (衝突側)	□	□	□	□	□	□
	底部 (設置側)			□	□	□	□

(3) 耐火試験

落下試験Ⅱに引き続いて耐火試験を実施する場合の計算モデルは口章B.5特別の試験条件で示す計算モデルと同様に、耐火試験による炭化量を考慮している。熱的試験の結果として核燃料輸送物各部の最高到達温度を(ロ)ー第A.53表に示す。この結果より、一次密封容器及び二次密封容器内部の温度差による圧力の増加により密封容器の各部に発生する応力はいずれも許容応力以下であり、密封容器は破損することなく、その密封性能は損なわれない。また、一次密封容器及び二次密封容器の最高温度において使用しているOリング等は性能が損なわれない。

(ロ)ー第A.53表 核燃料輸送物各部の温度分布

温度評価位置		最高温度(℃)	最高温度の発生時刻
収納物中央		<input type="text"/>	<input type="text"/>
一次密封容器	蓋部	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	フランジ部	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴部	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器	蓋部	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	フランジ部	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴部	<input type="text"/>	<input type="text"/>
外容器	蓋外表面	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	角部外表面	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴部外表面	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(4) 浸漬試験

耐火試験に引き続いて実施する浸漬試験は、本項では深さ0.9mで8時間と定められている。しかし、口章A.6.4浸漬試験では、特別の試験条件下の強度試験及び耐火試験に引き続いて15mの水頭下に核燃料輸送物が没した場合における二次密封容器の強度を検討し、二次密封容器が健全で密封性が保持され、収納物の損失がないことを示している。

よって、耐火試験に引き続いて深さ0.9mで8時間の浸漬試験を実施しても二次密封容器が密封性を失うことはなく、収納物が損失することもない。

(5) 評価結果

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件で最も厳しい試験手順で評価を行ったが、変形は外容器に生じるのみで、密封容器（一次及び二次密封容器）は健全であった。よって、臨界解析に影響する形状変化と解析モデルへの反映は次のとおりとなる。

強度試験・落下試験Ⅲ及び落下試験Ⅱにより、外容器に変形（(ロ)－第A.48表及び(ロ)－第A.52表参照）が生じるが、密封容器の形状が変化することはなく、その密封性は保たれる。

耐火試験により、外容器の[]に炭化が生ずるが、密封容器のOリング等は性能が損なわれることはなく、その密封性は保たれ、収納物が損失することもない。

これらの損傷状態のうち、落下試験Ⅲのコーナ落下で生じる変形及び落下試験Ⅱで生じる変形は局所的であるとともに、核燃料輸送物相互間の距離を有意に近づけるものではない。

したがって、臨界解析における特別の試験条件下の核燃料輸送物の評価モデルでは、落下試験Ⅲの垂直落下及び水平落下による外容器の変形及び耐火試験による[]の炭化を考慮する。外容器の寸法変化としては、上部及び底部については、落下試験Ⅲの垂直落下の最大変形量（外[]：[] mm，内[]：[] mm）以上を減少させ、側部については、水平落下の最大変形量（外[]：[] mm，内[]：[] mm）以上を減少させることとする。耐火試験により炭化する[]は、焼失を想定するとともに、浸漬試験による[]への水の浸透を考慮し、臨界性に最適となる含水率を考慮する。また、密封容器は健全であり密封性が損なわれることはないので、水の浸入は起きないものとする。

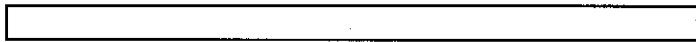
A.10 参考文献

[1] ASME Section III NB-3133, アメリカ機械学会

[2] 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」, 通商産業省告示第501号 (昭和55年)

なお, () 内の数値は, 「発電用原子力設備規格 材料規格 (2013年追補)」, 日本機械学会による。

[3]



[4] 「機械工学便覧」, 日本機械学会編 (1968)

[5] 「圧力容器」, 共立出版(株)編 (1961年6月)

B. 熱解析

B.1 概要

B.1.1 熱設計

本核燃料輸送物は、(イ) - 第1図及び(イ) - 第2図に示すように、収納物を収納し密封装置としての機能をもつ一次及び二次密封容器、それらを落下試験時の衝撃及び耐火試験時の熱より保護する外容器から成っている。

収納物より発生する熱は、収納缶と一次密封容器との間のヘリウムガス層の熱伝導、収納缶上下部と一次密封容器間のMGフェルトの熱伝導及び収納缶外面と一次密封容器内面との放射熱伝達によって一次密封容器に伝えられる。一次密封容器に伝えられた熱は、二次密封容器との間のヘリウムガス層の熱伝導と対流熱伝達、一次密封容器外面と二次密封容器内面との放射熱伝達、一次密封容器底部と二次密封容器間の□の熱伝導及び一次密封容器フランジ部の二次密封容器との接触部の熱伝導により二次密封容器に伝えられる。二次密封容器に伝えられた熱は、□の熱伝導により外容器の内殻鋼板に伝えられる。

内殻鋼板に伝えられた熱は、外殻鋼板との間の□の熱伝導及び蓋側鋼板の熱伝導により外殻鋼板に伝えられ、さらに、外殻鋼板の表面から空気自然対流及び放射により大気中に放射される。

火災事故に際しては、外容器の□が断熱材として働き、熱の流入を防ぐことができる。

B.1.2 熱解析

本熱解析は、外運搬規則及び外運搬告示に規定された一般の試験条件下及び特別の試験条件下における核燃料輸送物の熱的特性を調べるために行うものである。

一般の試験条件下における熱的条件は以下のとおりである。

- (1) 核燃料輸送物は38℃の大気中に一週間放置される。ただし、最高温度評価条件では太陽熱の放射を受けるものとし、日陰条件では太陽熱の放射を受けないものとする。
- (2) 核燃料輸送物は-40℃の大気中に一週間放置される。ただし、太陽熱の放射を受けないものとする。
- (3) 核燃料輸送物表面の温度は、日陰において50℃を超えないこと。

特別の試験条件における熱的条件は以下のとおりである。

- (1) 核燃料輸送物は温度800℃の環境に30分間放置される。ただし、太陽熱の放射を受けるものとする。
- (2) (1)の条件に置いた後、
 - (a) 核燃料輸送物は38℃の大気中に一週間放置される。ただし、太陽熱の放射を受けるものとする。
 - (b) 核燃料輸送物は-40℃の大気中に一週間放置される。ただし、太陽熱の放射を受けないものとする。

B.1.3 最大発熱量

収納物の各核種の最大重量を収納した場合の最大発熱量は□であるが、熱解析では安全側に□とした。

B.1.4 熱解析の条件と方法

一般の試験条件における熱解析条件を(ロ) - 第B.1表に、特別の試験条件における熱解析条件を(ロ) - 第B.2表に示す。また、熱解析の方法を(ロ) - 第B.3表に示す。

核燃料輸送物の形状については、一般の試験条件においては、外容器を構成する□の断熱性を考慮し、温度を高め評価するため、安全側の仮定としてロ章A. 構造解析に示す変形はないものとした。一方、特別の試験条件においては、原型容器を用いて行われた耐火試験の□の□を用いた。

なお、最高温度については、試料容器の破損を仮定し、□ウランの酸化反応熱による温度上昇(ロ章B.6.1参照)を加算して評価した。

B.1.5 結果の要約

B.1.2熱解析に示した条件下での核燃料輸送物各部の温度及び一次、二次密封容器に発生する内圧について以下に述べる。

(1) 温 度

本核燃料輸送物の温度の主要な計算点を(ロ)－第B.1図に示し、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における主要部の温度をそれぞれ(ロ)－第B.4表、(ロ)－第B.5表に示す。特別の試験条件下においては最高温度と火災発生後の時間を示す。また、特別の試験条件下の主要部の温度変化を(ロ)－第B.2図に示す。

一般の試験条件の日陰条件における核燃料輸送物表面の最高温度は□□℃であり、基準値50℃(日陰の場合)を超えることはない。

一方、密封容器の最高温度は一般の試験条件下においては□□℃、特別の試験条件においては□□℃であり、いずれもOリングの使用温度範囲にあり、密封性は保たれる。

(2) 圧 力

一般の試験条件及び特別の試験条件における一次及び二次密封容器に発生する最高圧力を(ロ)－第B.6表に示す。

最高圧力は特別の試験条件において生じ、一次密封容器で□□ kPa abs.、二次密封容器で□□ kPa abs.である。

以上の温度及び圧力により密封容器に生ずる応力は許容応力以下であり、密封容器の健全性は保たれる。

(ロ) - 第 B.1表 一般の試験条件における熱解析条件

状 態		最高温度評価条件	日陰条件
内 部 発 熱		<input type="text"/>	<input type="text"/>
環 境	周 围 温 度	38℃	38℃
	太 陽 熱 放 射	有	無
	周 围 放 射 率	1	1
容 器 表 面 吸 収 率		0.37	0.37
容 器 表 面 伝 達 形 式		自然対流, 放射	自然対流, 放射
反 応 熱		<input type="text"/>	<input type="text"/>

(ロ) - 第 B.2表 特別の試験条件における熱解析条件

状 態		火災前	火災中	火災後
内 部 発 熱		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
環 境	周 围 温 度	38℃	800℃/30分	38℃
	太 陽 熱 放 射	有	有	有
	周 围 放 射 率	1	0.9	1
容 器 表 面 吸 収 率		0.37 ¹⁾	0.8 ²⁾	0.55 ³⁾
容 器 表 面 伝 達 形 式		自然対流, 放射	自然対流, 放射	自然対流, 放射
反 応 熱		<input type="text"/>		

- 1) 火災にさらされる前の の表面吸収率
- 2) 火災にさらされている鋼板の表面吸収率
- 3) 火災にさらされた後の酸化した鋼板の表面吸収率

(ロ) - 第B.3表 熱解析の方法

項	目	方 法
発 熱 量	収 納 物 仕 様	(イ) 章 D 参照
	最 大 発 熱 量	<input type="text"/>
計 算 モ デ ル	輸 送 容 器	軸対称全体系熱伝達モデル
	収 納 物	均質化近似
計 算 方 法	核燃料輸送物 温度分布計算	差分法に基づく3次元定常及び非定常温度分布 計算プログラムTRUMP

(ロ) - 第B.4表 一般の試験条件における主要な点の温度

[単位:℃]

位 置		※ 符 号	最高温度評価条件	日 陰 条 件
収 納 物 中 央		A	<input type="text"/>	—
一 次 密 封 容 器	蓋 部	B	<input type="text"/>	—
	フランジ部 (O-リング部)	C	<input type="text"/>	—
	胴 部	D	<input type="text"/>	—
二 次 密 封 容 器	蓋 部	E	<input type="text"/>	—
	フランジ部 (O-リング部)	F	<input type="text"/>	—
	胴 部	G	<input type="text"/>	—
外 容 器	蓋・内殻	H	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴・内殻	I	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	蓋・外表面	J	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	角部外表面	K	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴部外表面	L	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※ 符号の示す位置については(ロ) - 第B.1図参照

(ロ) - 第 B.5 表 特別の試験条件における主要な点の温度

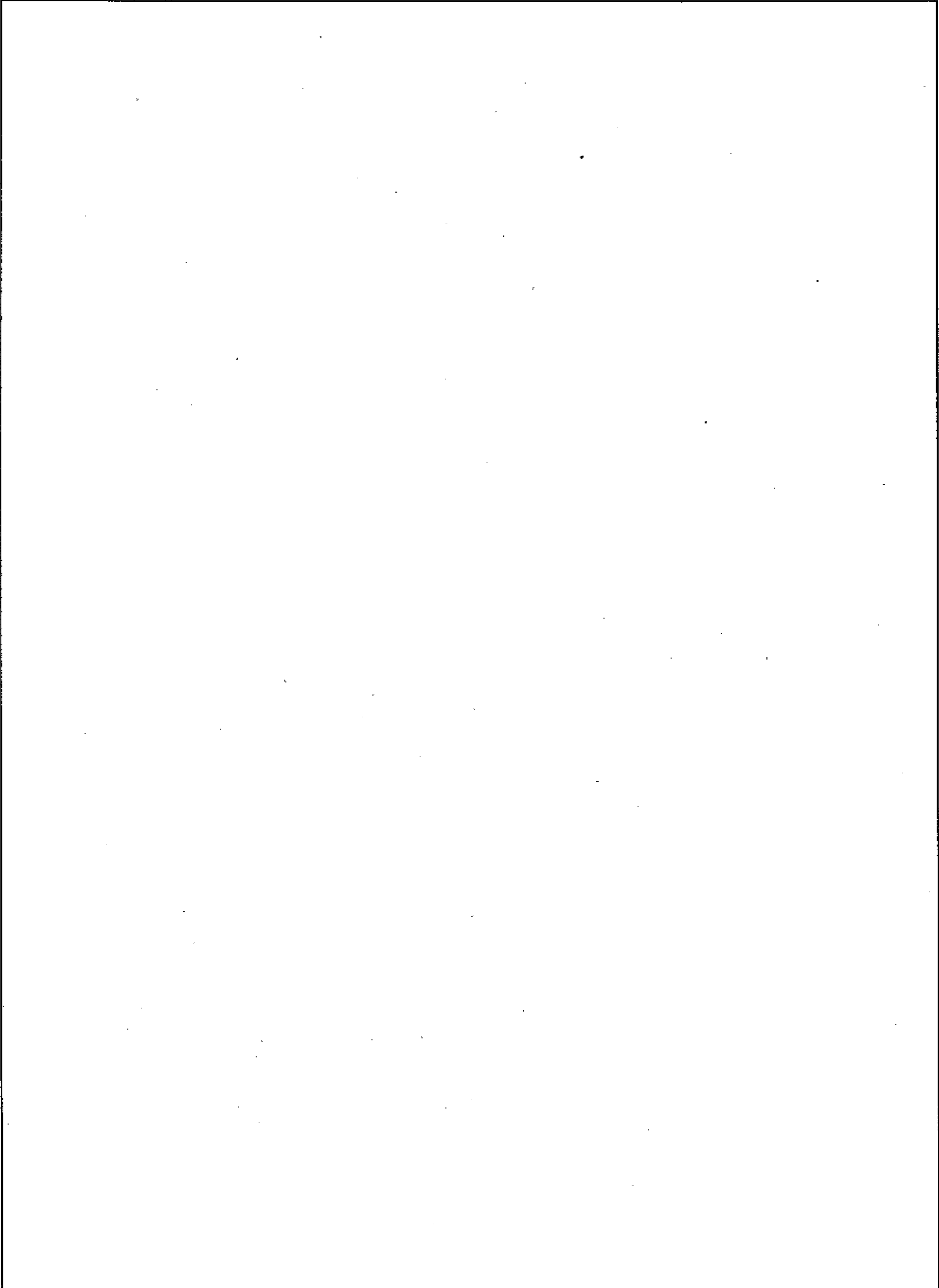
位 置		※ 符 号	最高温度 (°C)	最高温度の発生時間 (h)
収 納 物 中 央		A	<input type="text"/>	<input type="text"/>
一 次 密 封 容 器	蓋 部	B	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	フランジ部 (O-リング部)	C	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴 部	D	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二 次 密 封 容 器	蓋 部	E	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	フランジ部 (O-リング部)	F	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴 部	G	<input type="text"/>	<input type="text"/>
外 容 器	蓋・外表面	J	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	角部外表面	K	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	胴部外表面	L	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※ 符号の示す位置については (ロ) - 第 B.1 図参照

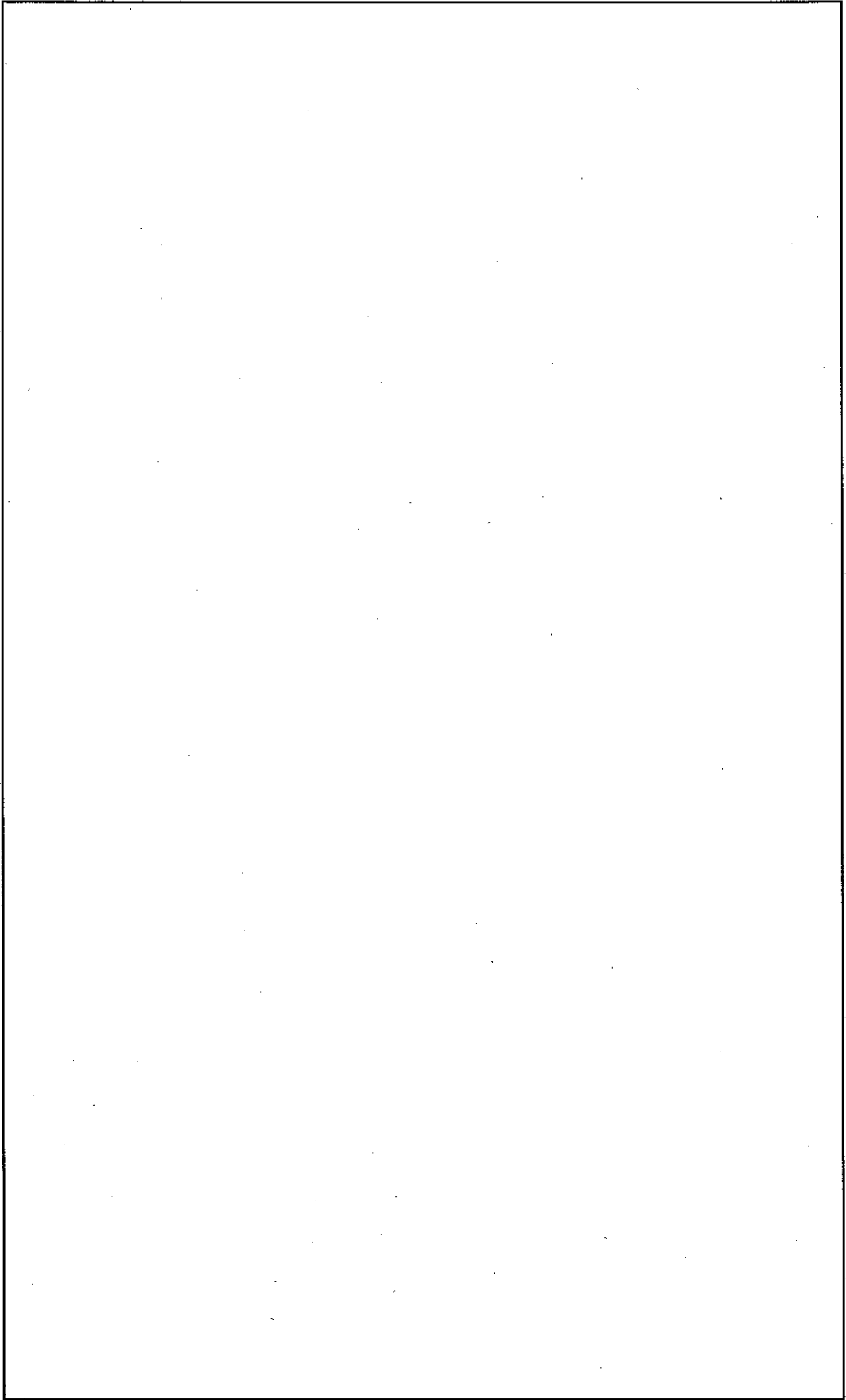
(ロ) - 第 B.6 表 一般及び特別の試験条件における最高圧力

[単位 : kPa abs.]

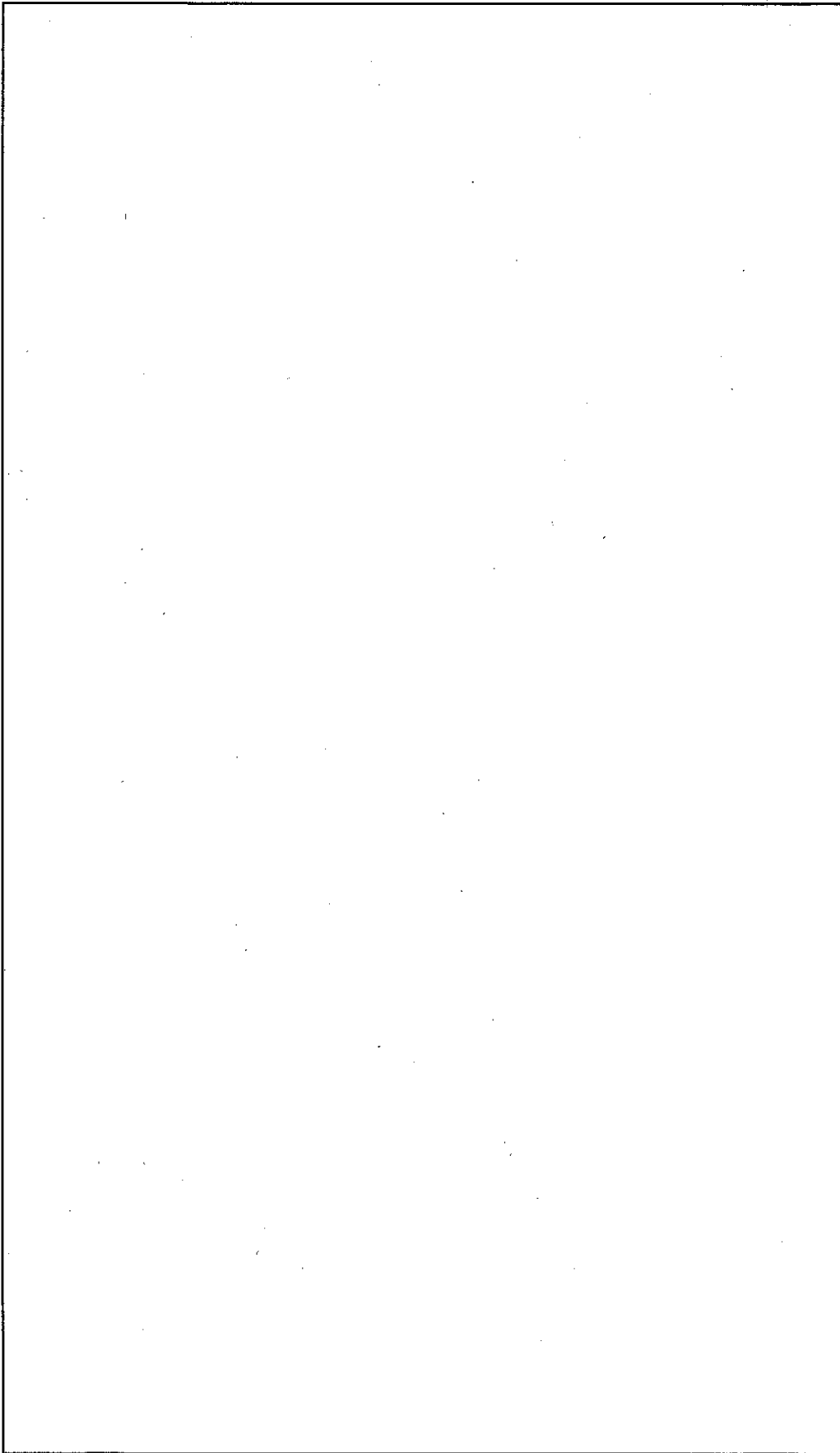
部位 \ 条件	一 般 の 試 験 条 件	特 別 の 試 験 条 件
一 次 密 封 容 器	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二 次 密 封 容 器	<input type="text"/>	<input type="text"/>



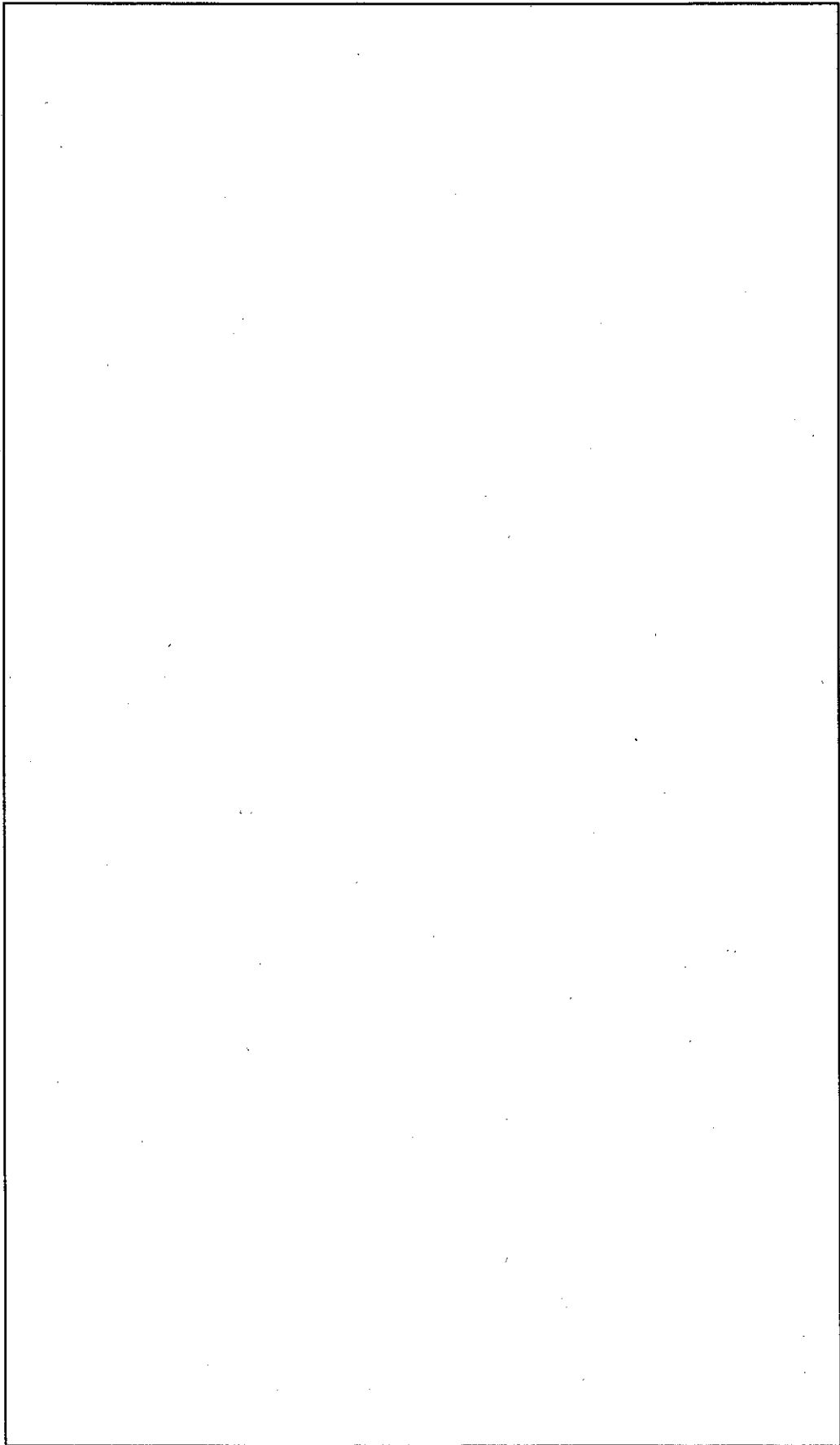
(ロ) - 第B.1図 核燃料輸送物温度の主要な計算点



(ロ) - 第B.2 (a) 図 特別の試験条件下の主要部の温度変化



(ロ) 一第B.2 (b) 図 特別の試験条件下の主要部の温度変化



(ロ) 一第B.2.(c) 図 特別の試験条件下の主要部の温度変化

B.2 材料の熱的性質

本輸送容器の構成材料はイ章C.(3)に示すとおりである。これらの材料のうち熱解析で用いた材料の熱的性質を(ロ) - 第B.7表に示す。

B.3 構成要素の仕様

熱解析をする上で関連する構成要素の仕様を以下に述べる。

(1) 一次密封容器及び二次密封容器





一次密封容器及び二次密封容器の最大使用圧力は、各々 kPa abs., kPa abs. である。その設計圧力は、 kPa abs., kPa abs. である。

(2) O-リング

一次密封容器及び二次密封容器に使用するO-リングは であり、使用可能温度範囲は各々 である。これらの密封容器の使用温度範囲は であり、O-リングは十分使用に耐える。

なお、本核燃料輸送物輸送時の密封性は O-リングにより保持される。 O-リングは、蓋板中央部のヘリウムリークテスト孔の O-リングに対するリークテスト時にのみ機能するものである。

(ロ) - 第B.7表 構成材料の熱的性質

材 料 名	温 度 (°C)	熱伝導率 (W/m・°C)	密 度 (kg/m ³)	比 熱 (J/kg・°C)
[1] ヘリウム	0	0.143	0.179	3.12×10 ³
	40	0.157	0.179	3.12×10 ³
	100	0.174	0.179	3.12×10 ³
	200	0.211	0.179	3.12×10 ³
	400	0.273	0.179	3.12×10 ³
	600	0.328	0.179	3.12×10 ³
	800	0.377	0.179	3.12×10 ³
[1]  	0	14.3	7.92×10 ³	4.44×10 ²
	40	14.9	7.90×10 ³	4.65×10 ²
	100	15.6	7.88×10 ³	4.86×10 ²
	200	17.0	7.84×10 ³	5.19×10 ²
	400	19.5	7.75×10 ³	5.61×10 ²
	600	22.3	7.66×10 ³	5.95×10 ²
	800	24.9	7.56×10 ³	6.36×10 ²
[2], [3] 	0	4.91×10 ⁻²	1.50×10 ²	1.11×10 ³
	40	7.19×10 ⁻²	1.50×10 ²	1.31×10 ³
	100	10.61×10 ⁻²	1.50×10 ²	1.60×10 ³
	200	16.31×10 ⁻²	1.50×10 ²	2.09×10 ³
	800	16.31×10 ⁻²	1.50×10 ²	2.09×10 ³
[4] 	—	0.21	1.23×10 ³	1.67×10 ³

B.4 一般の試験条件

B.4.1 熱解析モデル

一般の試験条件下における本核燃料輸送物の熱解析は、差分法に基づく3次元定常及び非定常熱伝達計算プログラムTRUMP⁽¹⁾を用いて行ったものである。

B.4.1.1 解析モデル

核燃料輸送物の姿勢については縦置き時の状態についてモデル化した。これは縦置き時の方が横置き時より太陽熱放射量が大きく熱的に厳しくなることによる。

核燃料輸送物形状については、ロ章A.5で示したように一般の試験条件下における自由落下試験により外容器に若干の変形を生ずるが、ここでは外容器の変形を無視してモデル化する。これは、外容器を構成する[]は熱伝導率が小さく、収納物から発生する熱の放散を妨げるために安全側の仮定である。収納物は一次密封容器内に均一に分布するものとしてモデル化する。

解析モデルは、(ロ)－第B.3図に示すように軸対称全体系モデルとする。計算プログラムTRUMPによる解析に用いたノード分割図を(ロ)－第B.4図に示す。

(1) 解析条件

一般の試験条件下における解析は、(ロ)－第B.1表について行った。

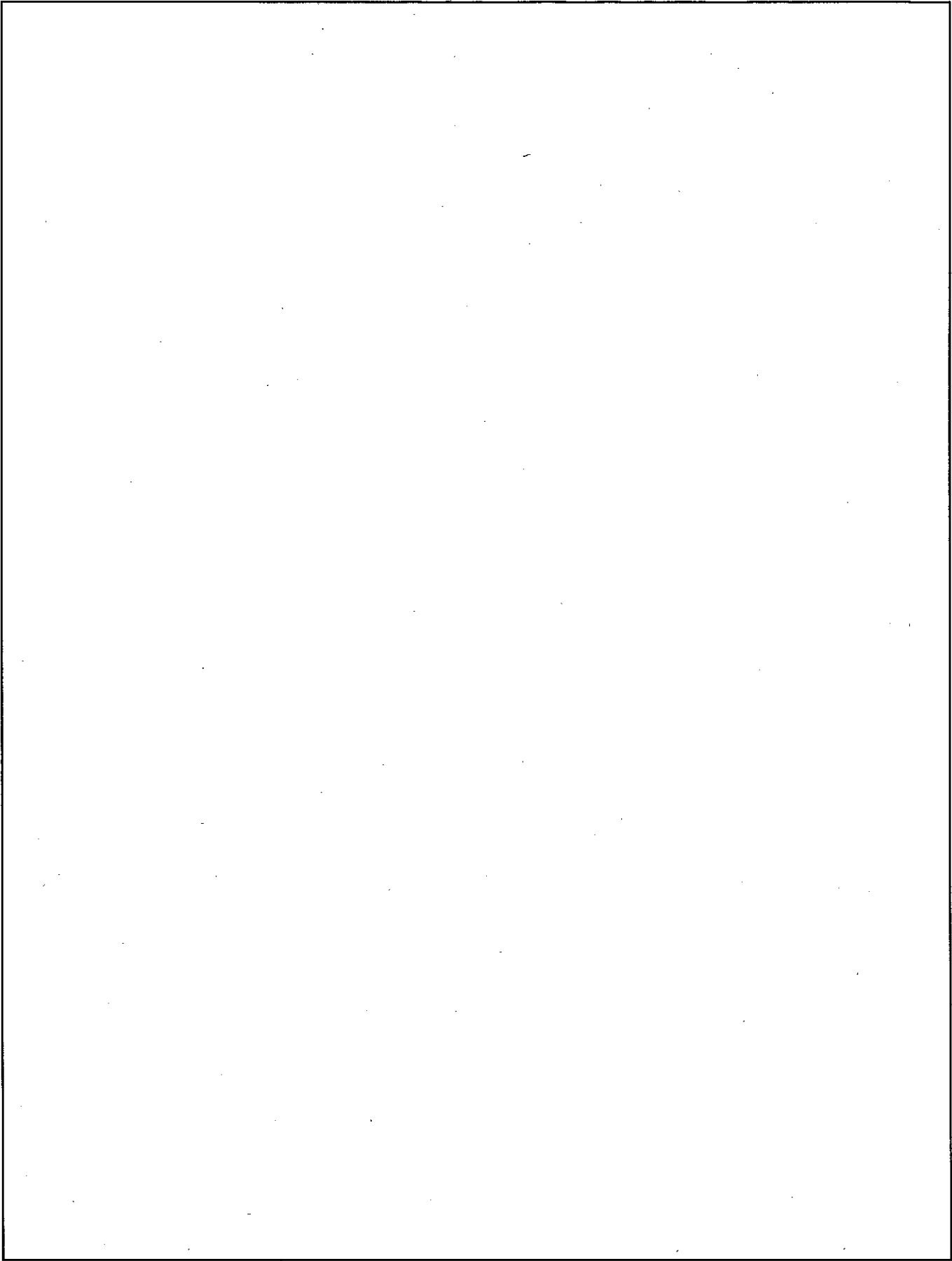
また、太陽熱放射による伝熱量を(ロ)－第B.8表に示す。

(ロ)－第B.8表 太陽熱放射による伝熱量

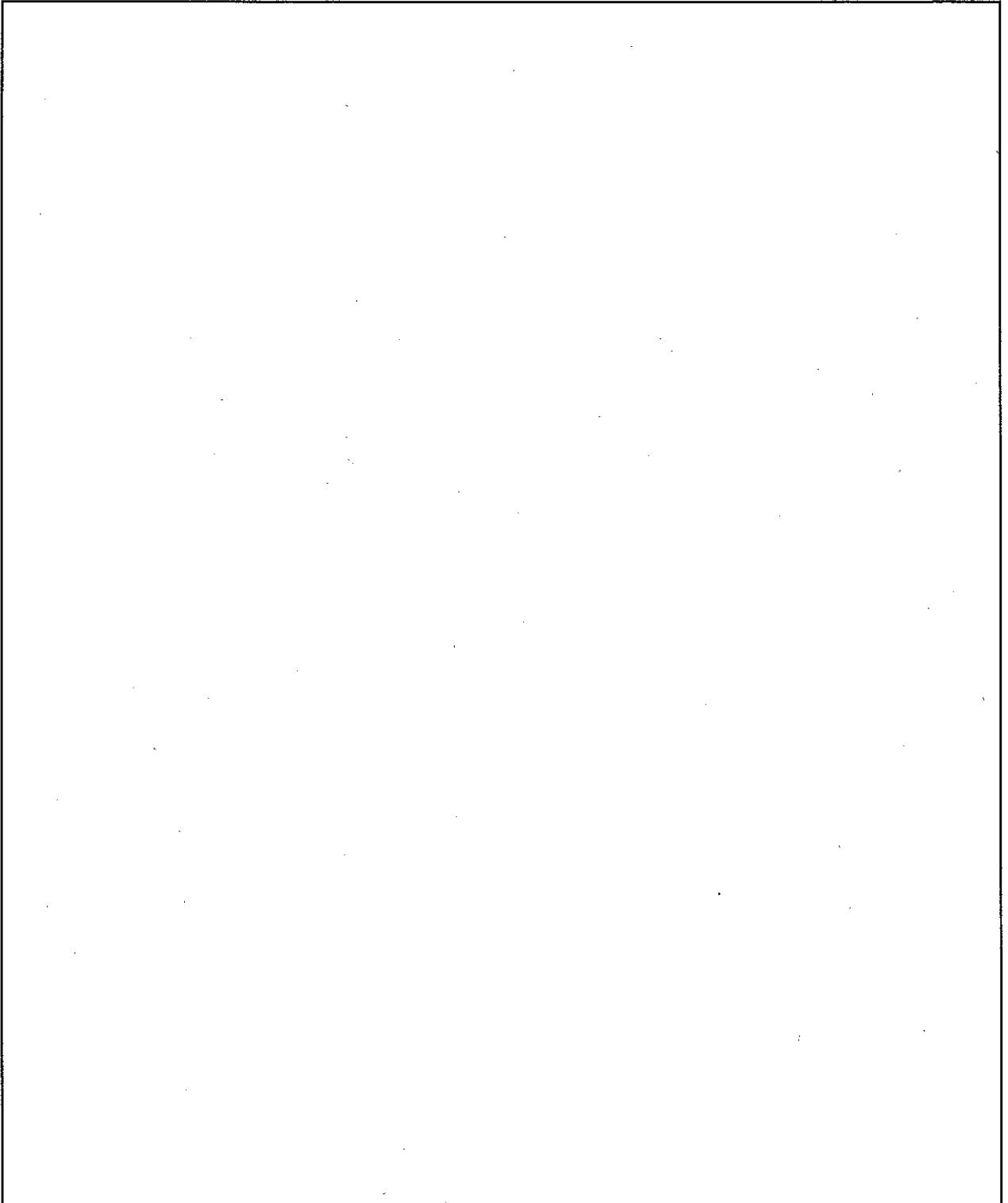
[単位：W/m²]

表面の形状及び位置の区分	伝熱量
水平に輸送される平面	
上向きの平面	800
下向きの平面	0
垂直に輸送される表面及び 水平に輸送されない下向きの表面	400*

* 垂直に輸送される円筒表面は200W/m²が適用となるが、安全側の評価とするため、400W/m²とする。



(ロ) - 第B.3図 一般の試験条件下・熱解析モデル



(口) - 第B. 4図 一般の試験条件下・熱解析のノード分割

(2) 外部境界条件

核燃料輸送物表面と周囲の伝熱としては空気の自然対流による熱伝達と放射を考慮する。

(a) 放射伝熱

1) 放射係数

核燃料輸送物表面の放射係数 σ は次式により求められる。

$$\sigma = \sigma_D \times \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

ここで、

ε_1 : 周囲放射率

ε_2 : 容器表面吸収率

σ_D : ステファン・ボルツマン定数

$$(\text{=} 5.68 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)$$

である。一般の試験条件では、

$$\varepsilon_1 = 1$$

$$\varepsilon_2 = 0.37$$

とするので、

$$\sigma = 2.102 \times 10^{-8} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}^4)$$

である。

2) 太陽熱放射伝熱量

核燃料輸送物表面が受ける太陽熱放射伝熱量 H (W/m^2)は次式により求められる。なお、1日の日照時間は12hとする。

$$H = Q \cdot a \cdot \varepsilon$$

ここで、

Q : 太陽熱放射伝熱量 (W/m^2) [(口) - 第B.8表参照]

a : 太陽熱放射を受ける表面積の割合

ε : 容器表面吸収率 [(口) - 第B.1表参照]

① 核燃料輸送物上面

核燃料輸送物上面は輸送中水平になる上向きの平面であり、太陽熱放射を全体にわたって受ける。したがって、

$$Q = 800 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$a = 1.0$$

$$\varepsilon = 0.37$$

$$H = 800 \times 1.0 \times 0.37 = 296 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

② 核燃料輸送物側面

核燃料輸送物側面は垂直に輸送される表面の曲面であるため側面の半分は日陰となるが、太陽熱放射は核燃料輸送物側表面全体にわたって受けるものとする。したがって、

$$Q = 400 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$a = 1.0$$

$$\varepsilon = 0.37$$

$$H = 400 \times 1.0 \times 0.37 = 148 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

③ 核燃料輸送物底面

核燃料輸送物底面は輸送中水平になる下向きの平面であり、太陽熱放射は受けない。

(b) 対流伝熱

1) 核燃料輸送物上面

核燃料輸送物上面の自然対流熱伝達率は次式^[6]により求められる。

$$\begin{aligned} h &= K_1 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4} \\ &= K_1 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot Pr \right)^{1/4} \end{aligned}$$

ここで、

h : 熱伝達率 (W/m²°C)

λ : 熱伝導率 (W/m°C)

Gr : グラスホフ数 $\left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \right)$

Pr : プラントル数 (=0.71/空気 20~60°C)

β : 体膨張率 (1/°C)

ν : 動粘性係数 (m²/sec)

ℓ : 代表長さ (= m)

g : 重力加速度 (=9.8 m/sec²)

Δt : 温度差 (°C)

$$K_1 = \left\{ \frac{2Pr}{5(1+2\sqrt{Pr}+2Pr)} \right\}^{1/4} = 0.513$$

である。

空気温度を40°Cとすれば、

$$\lambda = 0.0272 \quad (\text{W/m}^\circ\text{C})$$

$$\beta = 1 / (273 + 40) = 3.19 \times 10^{-3} \quad (1/^\circ\text{C})$$

$$\nu = 1.75 \times 10^{-5} \quad (\text{m}^2/\text{sec})$$

各値を上式に代入すると、

$$h = 0.513 \times \frac{0.0272}{\square} \times \left\{ \frac{9.8 \times 3.19 \times 10^{-3} \times \square^3}{(1.75 \times 10^{-5})^2} \times 0.71 \right\}^{1/4} \cdot \Delta t^{1/4}$$

$$= \square \cdot \Delta t^{1/4} \quad (\text{W/m}^2\text{C})$$

2) 核燃料輸送物底面

核燃料輸送物底面の自然対流熱伝達率は次式⁽⁶⁾により求められる。

$$h = 0.6 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/5}$$

$$= 0.6 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot \text{Pr} \right)^{1/5}$$

ここで1)と同様に

h : 熱伝達率 (W/m²C)

λ : 熱伝導率 (=0.0272 W/mC)

Gr : グラスホフ数 $\left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \right)$

Pr : プラントル数 (=0.71)

β : 体膨張率 (=3.19 × 10⁻³ 1/C)

ν : 動粘性係数 (=1.75 × 10⁻⁵ m²/sec)

ℓ : 代表長さ (=□ m)

g : 重力加速度 (=9.8 m/sec²)

Δt : 温度差 (C)

各値を上式に代入すると

$$h = 0.6 \times \frac{0.0272}{\square} \times \left\{ \frac{9.8 \times 3.19 \times 10^{-3} \times \square^3}{(1.75 \times 10^{-5})^2} \times 0.71 \right\}^{1/5} \cdot \Delta t^{1/5}$$

$$= \square \cdot \Delta t^{1/5} \quad (\text{W/m}^2\text{C})$$

3) 核燃料輸送物側面

核燃料輸送物側面の自然対流熱伝達率は次式^[6]により求められる。

$$h = K_1 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$$

$$= K_1 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^3} \cdot Pr \right)^{1/4}$$

ここで、1)と同様に、

h : 熱伝達率 (W/m²°C)

λ : 熱伝導率 (=0.0272 W/m°C)

Gr : グラスホフ数 $\left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \right)$

Pr : プラントル数 (=0.71)

β : 体膨張率 (=3.19 × 10⁻³ 1/°C)

ν : 動粘性係数 (=1.75 × 10⁻⁵ m²/sec)

ℓ : 伝熱面高さ (= m)

g : 重力加速度 (=9.8 m/sec²)

Δt : 温度差 (°C)

$$K_1 = \left\{ \frac{2Pr}{5(1+2\sqrt{Pr}+2Pr)} \right\}^{1/4} = 0.513$$

各値を上式に代入すると、

$$h = 0.513 \times \frac{0.0272}{\text{}} \times \left\{ \frac{9.8 \times 3.19 \times 10^{-3} \times \text{}^3}{(1.75 \times 10^{-5})^2} \times 0.71 \right\}^{1/4} \cdot \Delta t^{1/4}$$

$$= \text{} \cdot \Delta t^{1/4} \text{ (W/m}^2\text{°C)}$$

(3) 容器内の熱伝達

容器内では収納物から発生する熱は、熱伝導と放射により熱伝達されるものとする。なお、一次密封容器と二次密封容器の胴部間と蓋部間のヘリウム層を介した自然対流熱伝達は(b)項に示すように無視してよい。

(a) 放射伝熱

一次密封容器と二次密封容器間の放射係数 σ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$) は次式により求められる。

$$\sigma = \sigma_D \times \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

ここで、

ε_1 : 一次密封容器表面放射率

ε_2 : 二次密封容器表面放射率

σ_D : ステファン・ボルツマン定数

$$(\text{=} 5.68 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4)$$

一般の試験条件では、 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.37$ であるので、

$$\sigma = 1.289 \times 10^{-8} \text{ (W}/\text{m}^2\text{K}^4)$$

(b) 自然対流熱伝達の検討

1) 胴部

密閉流体層内垂直層のヌセルト数 Nu は次式により求められる。

$$Nu = 1 \quad (Ra < 10^3)$$

$$Nu = 0.28 Ra^{1/4} \cdot (L/D)^{-1/4} \quad (10^3 < Ra < 10^7)$$

ここで、

$$Ra : \text{レイレイ数} \quad \left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{a \nu} \right)$$

g : 重力加速度 ($= 9.8 \text{ m}/\text{sec}^2$)

β : 体膨張率 ($1/^\circ\text{C}$)

Δt : 2面間の温度差 (°C)

D : 流体層の厚さ (= m)

a : 温度伝導率 (m^2/sec)

ν : 動粘性係数 (m^2/sec)

L : 垂直接流体層の高さ (m)

ヘリウムの温度を40°Cとすれば,

$$a = 1.68 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^2/\text{sec})$$

$$\nu = 1.15 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^2/\text{sec})$$

$$\beta = 1 / (273 + 40) = 3.19 \times 10^{-3} \quad (1/^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{9.8 \times 3.19 \times 10^{-3} \times \text{}^3}{1.68 \times 10^{-4} \times 1.15 \times 10^{-4}} \cdot \Delta t \\ &= \text{} \cdot \Delta t \end{aligned}$$

今, $\Delta t < 2$ (°C) であるから ((口) - 第B.4表参照),

$$Ra < 10^3$$

したがって,

$$Nu = 1$$

であるが, λ 及び λ_0 を次のものであるとすると,

λ : 流体の熱伝導率 (W/m°C)

λ_0 : 流体層のみかけ熱伝導率 (W/m°C)

ヌセルト数 Nu は以下のようなになる。

$$Nu = \frac{\lambda_0}{\lambda} = 1$$

したがって, $\lambda_0 = \lambda$ となり, 自然対流による熱伝達は無視してよい。

2) 蓋 部

水平二平面間の密閉流体層のヌセルト数 Nu に対してはレイレイ数 Ra をパラメータとするグラフ⁽⁶⁾が与えられており、 $Ra < 10^3$ の範囲では $Nu = 1$ である。

ここで、1)と同様に、

$$Ra : \text{レイレイ数} \quad \left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{a \nu} \right)$$

$$g : \text{重力加速度} \quad (= 9.8 \text{ m/sec}^2)$$

$$\beta : \text{体膨張率} \quad (= 3.19 \times 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C})$$

$$\Delta t : \text{2面間の温度差} \quad (^\circ\text{C})$$

$$D : \text{流体層の厚さ} \quad (= \boxed{} \text{ m})$$

$$a : \text{温度伝導率} \quad (= 1.68 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec})$$

$$\nu : \text{動粘性係数} \quad (= 1.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec})$$

$$Ra = \boxed{} \cdot \Delta t$$

$\Delta t < 2$ ($^\circ\text{C}$) と考えられるから、

$$Ra < 10^3$$

1)と同様に、

$$Nu = \frac{\lambda_0}{\lambda} = 1$$

したがって、 $\lambda_0 = \lambda$ となり、自然対流による熱伝達は無視してよい。

(4) 収納物の均質化近似

一次密封容器内は均質な発熱領域であると近似し、収納物、パーミキュライト、MGフェルト及び [] が均一に混合されているものとする。発熱領域の熱的性質を (ロ) - 第B.9表に示す。

(ロ) - 第B.9表 発熱領域の熱的性質

構成材料	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	比熱 (J/kg℃)	熱伝導率 (W/m℃)	平均密度 (kg/m ³)	平均比熱 (J/kg℃)	平均熱伝導率 (W/m℃)
[]フェルトニウム	[]	[]	[]	[]	2.39×10 ²	1.33×10 ³	11.6
パーミキュライト	0.574	1.4 ×10 ²	8.37 ×10 ²	0.07			
M G フェルト	0.485	2.5 ×10 ²	8.37 ×10 ²	0.05			
[]	[]	[]	[]	[]			

B.4.1.2 試験モデル

該当せず。

B.4.2 最高温度

ロ章B.4.1で述べた解析モデル及び条件に基づいて求めた核燃料輸送物各部の最高温度について以下に説明する。

一般の試験条件下においては、核燃料輸送物は38℃の周囲温度で太陽熱放射を受ける環境に放置されたときに最高温度に達する。このときの核燃料輸送物の主要部の最高温度を (ロ) - 第B.4表に示す。

核燃料輸送物表面の最高温度は太陽熱放射の条件下においても外容器蓋部で []℃である。一次及び二次密封容器の最高温度は []℃であり、Oリングの最高使用温度 [] を超えることはなく、Oリングは密封性を維持する。

また、一般の試験条件下の日陰においては、外容器胴部で []℃であり、基準値の50℃ (日陰の場合) を超えることはなく基準値を満足している。

B.4.3 最低温度

一般の試験条件下において、核燃料輸送物は -40°C の周囲温度で太陽熱放射を受けない環境に放置されたときに最低温度となる。

本核燃料輸送物の収納物の発熱量は \square 以下であり極めて小さいので、この発熱量を無視し、輸送容器と収納物の温度は -40°C であるとして評価する。

本核燃料輸送物の主要材質である \square は -40°C においても十分な強度を有し低温脆性破壊が生ずることはない。また、 \square オーリング及び \square \square オーリングの使用可能な温度範囲は、それぞれ \square \square であり、 -40°C においてもオーリングの健全性は保たれる。

収納物としては \square の場合があり、この場合は -40°C では \square が、 \square \square でも、この体積膨張は一次密封容器内の自由空間で十分吸収される。

したがって、本核燃料輸送物は -40°C においても各部材が脆化あるいは劣化することとはなく、機械的健全性が保たれる。

B.4.4 最大内圧

一般の試験条件下において最大内圧が生じるのは、最高温度評価条件下である。圧力を高める要因として温度上昇があるが、一次密封容器内の圧力についてはその他の要因として試料容器が破損した場合の飽和水蒸気圧及びロ章A.4.1項で述べた \square と収納缶との化学反応によって生ずる \square とロ章B.6.2項で述べる放射線分解生成ガスによる圧力を考慮する。

一次密封容器内のヘリウムの圧力 P_1 は次式により求められる。

$$P_1 = \frac{273 + t_1}{273 + t_s} \cdot P_s$$

P_s : ヘリウム注入圧力 (常温) (= 101 kPa)

t_s : 常温 (= 20 $^{\circ}\text{C}$)

t_1 : 一般の試験条件における密封容器の温度 (= \square $^{\circ}\text{C}$)

したがって、

$$P_1 = \frac{273 + \boxed{}}{273 + 20} \times 101 = \boxed{} \text{ (kPa abs.)}$$

次に、飽和水蒸気圧 P_w は $\boxed{}$ °C で、

$$P_w = \boxed{} \text{ (kPa abs.)}$$

次に、 $\boxed{}$ 及び放射線分解ガスによる圧力 P_g は次式により求められる。

$$P_g = \frac{22.4}{V_1} \cdot M_g \cdot \frac{273 + t_1}{273}$$

V_1 : 一次密封容器内の有効体積 (= $\boxed{}$)

M_g : $\boxed{}$ と放射線分解ガスの最大モル数

$$\left[\begin{array}{l} = \boxed{} \text{ とする (A.4.1, B.6.2項より)} \\ \boxed{} + \text{(放射線分解ガス)} \\ = \boxed{} \end{array} \right]$$

したがって、

$$P_g = \frac{22.4}{\boxed{}} \times \boxed{} \times \frac{273 + \boxed{}}{273} = \boxed{} \text{ (kg/cm}^2 \text{ abs.)}$$
$$= \boxed{} \text{ (kPa abs.)}$$

以上から、一次密封容器最大内圧 P'_1 は、

$$P'_1 = P_1 + P_w + P_g$$
$$= \boxed{} + \boxed{} + \boxed{}$$
$$= \boxed{} \text{ (kPa abs.)}$$

次に、二次密封容器内に一次密封容器内の気体が漏えいした場合の最大内圧を求める。

二次密封容器の最高温度は °C であるから、二次密封容器内のヘリウムによる圧力 P_2 は、

$$P_2 = \frac{273 + \text{}}{273 + 20} \times 101 = \text{} \quad (\text{kPa abs.})$$

一次密封容器内の気体が漏えいしたとすると、二次密封容器内の圧力 P'_2 は次式により求められる。

$$P'_2 = \frac{P'_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

V_1 : 一次密封容器内の有効体積 (=)

V_2 : 二次密封容器内の有効体積 (=)

したがって、

$$P'_2 = \frac{\text{} \times \text{} + \text{} \times \text{}}{\text{} + \text{}} = \text{} \quad (\text{kPa abs.})$$

ロ章 A.5.1.3 応力計算の項において、上記圧力に対する応力を評価している。いずれも十分に許容応力内にある。

B.4.5 最大熱応力

一般の試験条件下において、本核燃料輸送物に生ずる熱応力については、ロ章 A.5.1.2 熱膨張の項で述べたように無視できる。

B.4.6 結果の要約と評価

輸送中に予想される周囲温度として、最高 38 °C、最低 -40 °C を想定した。また、最高温度評価には太陽熱放射を考慮した。

一般の試験条件下（日陰条件）において、核燃料輸送物表面の温度は °C であり、基準値の 50 °C（日陰の場合）を超えることはない。

また、最高温度評価条件下において、一次密封容器及び二次密封容器の最高温度は [] °C であり、 [] O-リングの使用温度範囲内 ([]) にあり、また、 [] のヘリウム注入孔の漏えい検出時に用いる [] O-リングの使用温度範囲内 ([]) にもある。したがって、O-リングの健全性は保たれ、密封性は維持される。

また、このときの最大圧力は [] kPa abs. であり、これにより生ずる応力は許容応力以下である。さらに、一次密封容器及び二次密封容器の温度は、全域にわたってほぼ一定であり、熱応力はほとんど生じない。

-40°C の環境においては、核燃料輸送物全体が -40°C になるとして評価した。この場合にも [] 及び [] に低温脆化は生じない。

以上より、本核燃料輸送物は一般の試験条件下において熱的健全性及び強度を保つ。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

特別の試験条件における本核燃料輸送物の熱解析は、差分法に基づく3次元定常及び非定常熱伝達計算プログラムTRUMPを用いて行った。

B.5.1.1 解析モデル

核燃料輸送物の姿勢については横置き時の状態についてモデル化する。これは横置き時の方が縦置き時より、火災雰囲気からの入熱量が大きく熱的に厳しくなることによる。

核燃料輸送物形状については、原型容器を用いて行われた耐火試験^[7]による□□の□□(半径方向で最大□□mm, 頭部方向で最大□□mm, 底部方向で最大□□mm)を考慮して、外容器外殻から内殻までの□□と、外殻及び外容器蓋をすべて無視し、さらに、外容器内殻の表面より半径方向で□□mm, 頭部方向で□□mm, 底部方向で□□mm減ずるものとしてモデル化する。収納物は一次密封容器内に均一に分布するものとしてモデル化する。

解析モデルは(ロ) - 第B.5図に示すような軸対称全体系モデルを用いる。計算プログラムTRUMPによる解析に用いたノード分割図を(ロ) - 第B.6図に示す。

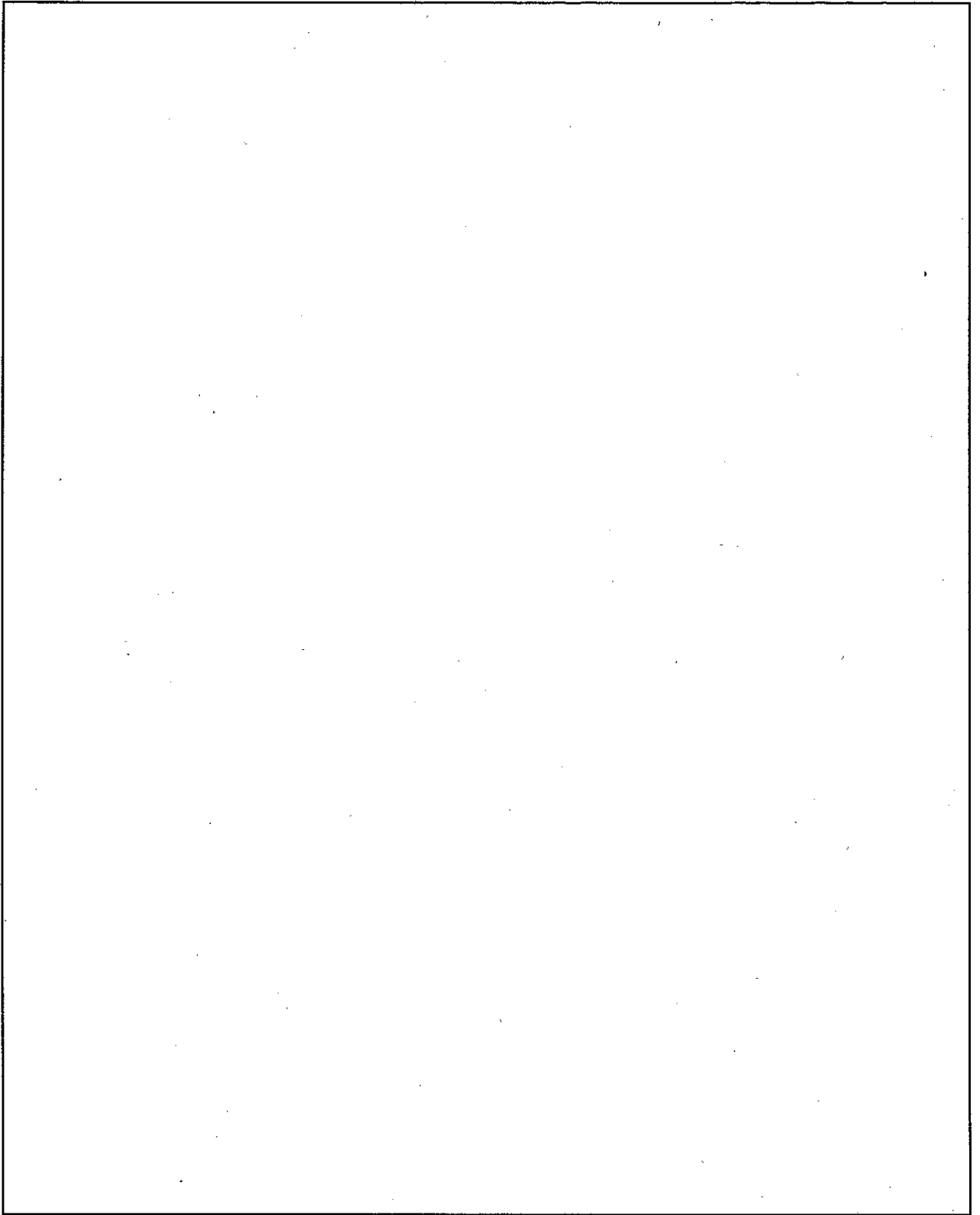
なお、二次密封容器フランジ外周部の□□への入熱のほとんどは□□に平行となるため、この部分の□□の熱伝導率は、安全側に通常の値(□□□□に直角に入熱する場合の値)の2.5倍^[2]とする。

(1) 解析条件

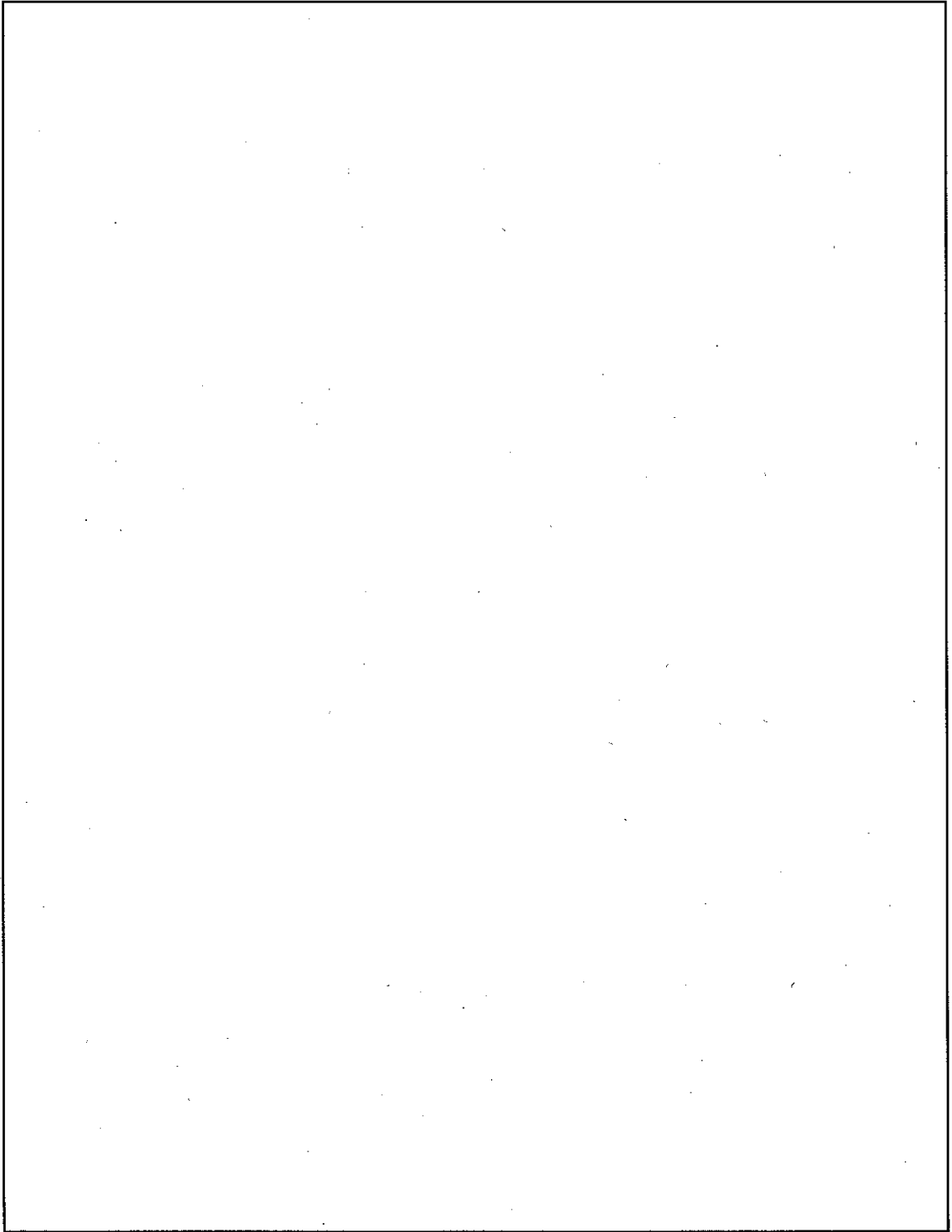
特別の試験条件における解析は、以下に述べる3種の熱負荷条件が順に起こるものとして行う。

a) 火災前

内部発熱	□□
周囲温度	38℃
太陽熱放射	あり



(ロ) - 第B.5図 特別の試験条件下・熱解析モデル



(ロ) - 第B.6図 特別の試験条件下・熱解析のノード分割

b) 火災中

内部発熱
 周囲温度 800℃ (30分間)
 太陽熱放射 あり

c) 火災後

内部発熱
 周囲温度 38℃
 太陽熱放射 あり

火災前、火災中及び火災後における太陽熱放射による伝熱量を (ロ) - 第B.10表に示す。

(ロ) - 第B.10表 太陽熱放射による伝熱量

[単位: W/m²・12h]

表面の形状及び位置の区分	伝熱量
垂直に輸送される表面及び 水平に輸送されない下向きの表面 (容器上下面)	200
その他の表面 (容器側面)	400*

* 横置き状態の円筒表面のうち下半分については、「水平に輸送されない下向きの表面」として200W/m²が適用となるが、安全側の評価とするため、すべて400W/m²とする。

(2) 外部境界条件

核燃料輸送物表面と周囲の伝熱としては空気の自然対流による熱伝達と放射を考慮する。

(a) 放射伝熱

1) 放射係数

核燃料輸送物表面の放射係数σはロ章B.4.1.1と同様、次式により求められる。

$$\sigma = \sigma_D \times \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1}$$

ここで、

ε₁ : 周囲放射率

ε₂ : 容器表面吸収率

σ_D : ステファン・ボルツマン定数

$$(\text{= } 5.68 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)$$

上式を用いて以下に3種の条件について放射係数を求める。

① 火災前

$$\varepsilon_1 = 1.0$$

$$\varepsilon_2 = 0.37$$

であるから、

$$\sigma = 2.102 \times 10^{-8} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}^4)$$

② 火災中

$$\varepsilon_1 = 0.9$$

$$\varepsilon_2 = 0.8$$

であるから、

$$\sigma = 4.173 \times 10^{-8} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}^4)$$

③ 火災後

$$\varepsilon_1 = 1.0$$

$$\varepsilon_2 = 0.55$$

であるから、

$$\sigma = 3.124 \times 10^{-8} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}^4)$$

2) 太陽熱放射伝熱量

火災前及び火災後に核燃料輸送物表面が受ける太陽熱放射伝熱量Hは、(口)章B.4.1.1と同様、次式により求められる。

$$H = Q \cdot a \cdot \varepsilon$$

ここで、

Q : 太陽熱放射伝熱量 (W/m²) [(口) - 第B.10表参照]

a : 太陽熱放射を受ける表面積の割合

ε : 容器表面吸収率 [(口) - 第B.2表参照]

① 核燃料輸送物上面及び底面

$$Q = 200 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$a = 1.0$$

$$\varepsilon = 0.37 \text{ (火災前)}$$

$$0.73 \text{ (火災中)}$$

$$0.55 \text{ (火災後)}$$

したがって,

$$\text{火災前: } H = 200 \times 1.0 \times 0.37 = 74 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{火災中: } H = 200 \times 1.0 \times 0.73 = 146 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{火災後: } H = 200 \times 1.0 \times 0.55 = 110 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

② 核燃料輸送物側面

$$Q = 400 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$a = 1.0$$

$$\varepsilon = 0.37 \text{ (火災前)}$$

$$0.73 \text{ (火災中)}$$

$$0.55 \text{ (火災後)}$$

したがって,

$$\text{火災前: } H = 400 \times 1.0 \times 0.37 = 148 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{火災中: } H = 400 \times 1.0 \times 0.73 = 292 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$\text{火災後: } H = 400 \times 1.0 \times 0.55 = 220 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

(b) 対流伝熱

1) 核燃料輸送物上面及び底面

核燃料輸送物上面及び底面の自然対流熱伝達率は次式により求められる。

$$\begin{aligned} h &= K_1 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4} \\ &= K_1 \cdot \frac{\lambda}{\ell} \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot Pr \right)^{1/4} \end{aligned}$$

h : 熱伝達率 (W/m²°C)

λ : 熱伝導率 (W/m°C)

Gr : グラスホフ数 $\left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \right)$

Pr : プラントル数

β : 体膨張率 (1/°C)

ν : 動粘性係数 (m²/sec)

ℓ : 伝熱面の高さ (= m)

g : 重力加速度 (= 9.8 m/sec²)

Δt : 温度差 (°C)

$$K_1 = \left\{ \frac{2Pr}{5(1 + 2\sqrt{Pr} + 2Pr)} \right\}^{1/4}$$

空気温度を100°Cとすると,

$$\lambda = 0.0316 \quad (\text{W/m}^\circ\text{C})$$

$$\beta = 2.68 \times 10^{-3} \quad (1/^\circ\text{C})$$

$$\nu = 2.39 \times 10^{-5} \quad (\text{m}^2/\text{sec})$$

$$Pr = 0.70$$

$$K_1 = 0.512$$

よって,

$$\begin{aligned} h &= 0.512 \times \frac{0.0316}{\text{}} \times \left\{ \frac{9.8 \times 2.68 \times 10^{-3} \times \text{}^3}{(2.39 \times 10^{-5})^2} \times 0.70 \right\}^{1/4} \cdot \Delta t^{1/4} \\ &= \text{} \cdot \Delta t^{1/4} \quad (\text{W/m}^2^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

同様に38 (°C) から800 (°C) までの温度範囲について求めた熱伝達率を (ロ) - 第B.11表に示す。

(ロ) - 第B.11表 核燃料輸送物上面及び底面の自然対流熱伝達率

温度 (°C)	熱伝達率 (W/m ² °C)
38	<input type="text"/> · Δt ^{1/4}
100	<input type="text"/> · Δt ^{1/4}
200	<input type="text"/> · Δt ^{1/4}
400	<input type="text"/> · Δt ^{1/4}
600	<input type="text"/> · Δt ^{1/4}
800	<input type="text"/> · Δt ^{1/4}

2) 核燃料輸送物側面

核燃料輸送物側面の自然対流熱伝達率は次式により求められる。

$$\begin{aligned}
 h &= 0.53 \frac{\lambda}{d} \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4} \\
 &= 0.53 \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot d^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot Pr \right)^{1/4}
 \end{aligned}$$

h : 熱伝達率 (W/m²°C)

λ : 熱伝導率 (W/m°C)

d : 管外径 (= m)

Gr : グラスホフ数 $\left(= \frac{g \cdot \beta \cdot d^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \right)$

Pr : プラントル数

β : 体膨張率 (1/°C)

ν : 動粘性係数 (m²/sec)

g : 重力加速度 (=9.8 m/sec²)

Δt : 温度差 (°C)

空気温度を100°Cとすると、

$$\lambda = 0.0316 \text{ (W/m°C)}$$

$$\beta = 2.68 \times 10^{-3} \quad (1/^\circ\text{C})$$

$$\nu = 2.39 \times 10^{-5} \quad (\text{m}^2/\text{sec}^2)$$

$$\text{Pr} = 0.70$$

よって,

$$h = 0.53 \times \frac{0.0316}{\square} \times \left\{ \frac{9.8 \times 2.68 \times 10^{-3} \times \square^3}{(2.39 \times 10^{-5})^2} \times 0.70 \right\}^{1/4} \cdot \Delta t^{1/4}$$

$$= \square \cdot \Delta t^{1/4} \quad (\text{W}/\text{m}^2\text{C})$$

同様に 38 (°C) から 800 (°C) までの温度範囲について求めた熱伝達率を (ロ) - 第 B.12 表 に示す。

(ロ) - 第 B.12 表 核燃料輸送物側面の自然対流熱伝達率

温 度 (°C)	熱 伝 達 率 (W/m ² C)
38	$\square \cdot \Delta t^{1/4}$
100	$\square \cdot \Delta t^{1/4}$
200	$\square \cdot \Delta t^{1/4}$
400	$\square \cdot \Delta t^{1/4}$
600	$\square \cdot \Delta t^{1/4}$
800	$\square \cdot \Delta t^{1/4}$

(3) 容器内の熱伝達

一般の試験条件と同様, 熱伝導と放射による熱伝達とする。一次密封容器と二次密封容器の胴部間と蓋部間のヘリウム層を介した自然対流熱伝達は (b) 項に示す。

(a) 放射伝熱

一般の試験条件と同様,

$$\sigma = 1.289 \times 10^{-8} \quad (\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4)$$

となる (ロ章 B.4.1 参照)。

(b) 自然対流熱伝達の検討

1) 胴 部

密封流体層内水平同心円筒間の自然対流熱伝達を示すヌセルト数 Nu は次式により求められる。

$$Nu = 1 \quad (Ra < 10^3)$$

$$Nu = 0.20 \left(\frac{\sqrt{r_2 / r_1}}{r_2 / r_1 - 1} \log_e \frac{r_2}{r_1} \right)^{3/4} \cdot Ra^{1/4}$$

$$(Ra > 7.1 \times 10^3)$$

ここに,

$$Ra : \text{レイレイ数} \left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{a \nu} \right)$$

g : 重力加速度 ($= 9.8 \text{ m/sec}^2$)

β : 体膨張率 ($1/^\circ\text{C}$)

Δt : 2面間の温度差 ($^\circ\text{C}$)

D : 流体層の厚さ ($= \square \text{ m}$)

a : 温度伝導率 (m^2/sec)

ν : 動粘性係数 (m^2/sec)

r_1 : 内円筒の外半径 ($= \square \text{ m}$)

r_2 : 外円筒の内半径 ($= \square \text{ m}$)

① ヘリウムの温度を 40°C とすれば,

$$a = 1.68 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^2/\text{sec})$$

$$\nu = 1.15 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^2/\text{sec})$$

$$\beta = 3.19 \times 10^{-3} \quad (1/^\circ\text{C})$$

$$Ra = \frac{9.8 \times 3.19 \times 10^{-3} \times \square^3}{1.68 \times 10^{-4} \times 1.15 \times 10^{-4}} \cdot \Delta t$$
$$= \square \cdot \Delta t$$

$\Delta t < 2$ (°C) と考えられるから ((口) - 第B.2(a)図参照),

$$Ra < 10^3$$

したがって, $Nu = 1$ となる。

② 同様にしてヘリウムの温度を100°Cとすれば,

$$Ra = \boxed{} \cdot \Delta t$$

火災発生後 Δt は $\boxed{}^\circ\text{C} \sim \boxed{}^\circ\text{C}$ に達するものと仮定し, 安全側に Δt
= $\boxed{}^\circ\text{C}$ を採用し

$$Ra = \boxed{}$$

よって,

$$Nu = 0.20 \times \left(\frac{\sqrt{\boxed{}}}{\boxed{} - 1} \times \ln \frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right)^{3/4} \times \boxed{}$$
$$= \boxed{}$$

今, λ 及び λ_0 を下記のものとする

λ : 流体の熱伝導率 (W/m°C)

λ_0 : 流体層のみかけ熱伝導率 (W/m°C)

ヌセルト数 Nu と λ , λ_0 の関係は次のとおりとなる。

$$Nu = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

したがって,

火災前 (40°C に対応) は $\lambda_0 = \lambda$ とし,

火災発生後 (100°C に対応) は $\lambda_0 = \boxed{} \cdot \lambda$ とする。

2) 蓋 部

垂直な平行二面間の密閉流体層内の自然対流熱伝達を示すヌセルト数 Nu は次式^[6]により求められる。

$$Nu = 1 \quad (Ra < 10^3)$$

$$Nu = 0.28 \cdot Ra^{1/4} \cdot (L/D)^{-1/4} \quad (10^3 < Ra < 10^7)$$

$$Ra : \text{レイレイ数} \left(= \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{a \nu} \right)$$

g : 重力加速度 ($=9.8 \text{ m/sec}^2$)

β : 体膨張率 ($1/^\circ\text{C}$)

Δt : 2面間の温度差 ($^\circ\text{C}$)

D : 流体層の厚さ ($= \square \text{ m}$)

a : 温度伝導率 (m^2/sec)

ν : 動粘性係数 (m^2/sec)

L : 垂流流体層の高さ ($= \square \text{ m}$)

1)と同様にレイレイ数を求める。

① ヘリウム温度 $40 \text{ (}^\circ\text{C)}$ のとき,

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{9.8 \times 3.19 \times 10^{-3} \times \square^3}{1.68 \times 10^{-4} \times 1.15 \times 10^{-4}} \cdot \Delta t \\ &= \square \cdot \Delta t \end{aligned}$$

$\Delta t < 2 \text{ (}^\circ\text{C)}$ と考えられるから, $Ra = \square < 10^3$ となり,

$$Nu = 1$$

② ヘリウム温度 $100 \text{ (}^\circ\text{C)}$ のとき,

$$Ra = \square \cdot \Delta t$$

火災発生後 Δt は \square °C ~ \square °C に達するものと仮定し、安全側に Δt
= \square °C を採用し、

$$R_a = \square$$

したがって、

$$Nu = 0.28 \times (\square)^{1/4} \times (\square / \square)^{-1/4} = \square$$

よって、いずれの場合も、

$$Nu = \frac{\lambda_e}{\lambda} = 1 \quad (\text{すなわち } \lambda_e = \lambda)$$

となり、自然対流による熱伝達は無視してよい。

(4) 収納物の均質化近似

一次密封容器内は均質な発熱領域であると近似し、収納物、パーミキュライト、MGフェルト及び収納缶が均一に混合されているものとする。これは熱源と密封容器との距離を現実より近付け、密封容器により高い温度を与えるため安全側の仮定である。発熱領域の熱的性質を(ロ) - 第B.9表に示す。

B.5.1.2 試験モデル

該当せず

B.5.2 核燃料輸送物の評価条件

落下試験によって核燃料輸送物は変形するが、その変形より原型容器試験・耐火試験による緩衝体の炭化量が上回っている。

したがって、核燃料輸送物形状については原型容器試験・耐火試験によって得られた炭化量を考慮し、核燃料輸送物の半径方向で \square mm、頭部方向で \square mm、底部方向で \square mm を減じたものとした。

B.5.3 核燃料輸送物温度

ロ章B.5.1.1及びロ章B.5.1.2に記載した解析モデル及び解析条件に基づき、計算プログラムTRUMPを用いて解析したところ、次の結果が得られた。

火災事故発生後の核燃料輸送物各部の温度変化は(ロ)－第B.2(a)図、(ロ)－第B.2(b)図及び(ロ)－第B.2(c)図に示すとおりである。これら各部について、最高温度と火災事故発生からの時間の関係は(ロ)－第B.5表に示すとおりである。

特別の試験条件下における核燃料輸送物の最高温度は、火災事故発生後□時間経過したとき外表面角部に起こり、□℃である。

二次密封容器の最高温度は、火災事故発生後□時間経過したときフランジ部に起こり、□℃であり、二次密封容器のOリングの最高温度は□℃を超えることはない。また、一次密封容器の最高温度は火災事故発生後□時間経過したとき胴部に起こり、□℃であり、一次密封容器のOリングの最高温度は□℃を超えることはない。したがって、いずれもOリングの最高使用温度□℃を超えることはなく、Oリングの密封性は保たれる。

収納物の最高温度は、火災事故発生後□時間後に発生し、□℃である。

B.5.4 最大内圧

特別の試験条件において最大内圧が生ずるのは、一次密封容器及び二次密封容器が最高温度に達するときである。このときのヘリウムガスの温度上昇に伴う圧力増加の外に、さらに、試料容器が破損するものとして、飽和水蒸気及びロ章A.4.1項で述べた化学反応によって生ずる□とロ章B.6.2項で述べる放射線分解生成ガスとによる圧力も考慮する。

一次密封容器内のヘリウムの圧力 P_1 は次式により求められる。

$$P_1 = \frac{273 + t_1}{273 + t_s} \cdot P_s$$

P_s : ヘリウム注入圧力 (= 101 kPa : 常温時)

t_s : (= 20 °C : 常温)

t_1 : (= °C : 特別の試験条件における密封容器の最高温度)

したがって,

$$P_1 = \frac{273 + \text{}}{273 + 20} \times 101 = \text{} \quad (\text{kPa abs.})$$

次に, 飽和水蒸気圧 P_w は °C で以下の値となる。

$$P_w = \text{} \quad (\text{kPa abs.})$$

また, 及び放射線分解ガスによる圧力 P_g は次式により求められる。

$$P_g = \frac{22.4}{V_1} \cdot M_g \cdot \frac{273 + t_1}{273}$$

V_1 : 一次密封容器内の有効体積 (= ℓ)

M_g : 及び放射線分解ガスの最大モル数
(= , 口章 B. 4. 4 参照)

したがって,

$$P_g = \frac{22.4}{\text{}} \times \text{} \times \frac{273 + \text{}}{273} = \text{} \quad (\text{kg/cm}^2 \text{abs.})$$
$$= \text{} \quad (\text{kPa abs.})$$

以上から, 一次密封容器最大内圧 P'_1 は,

$$P'_1 = P_1 + P_w + P_g$$
$$= \text{} + \text{} + \text{}$$
$$= \text{} \quad (\text{kPa abs.})$$

次に, 二次密封容器内の最大内圧を求める。この場合, 一次密封容器の気体が漏えいしたものとして (実際には漏えいしない。) 圧力を求める。

圧力 P_2 は、

$$P_2 = \frac{273 + \square}{273 + 20} \times 101 = \square \text{ (kPa abs.)}$$

一次密封容器内の気体が漏えいしたとすると、二次密封容器内の圧力 P'_2 は次式により求められる。

$$P'_2 = \frac{P'_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

V_1 : 一次密封容器内の有効体積 (= \square)

V_2 : 二次密封容器内の有効体積 (= \square)

したがって、

$$P'_2 = \frac{\square \times \square + \square \times \square}{\square + \square} = \square \text{ (kPa abs.)}$$

ロ章 A. 6. 3. 3 応力計算の項において、上記圧力から生ずる応力を評価しており、いずれも許容応力内にある。

B. 5. 5 最大熱応力

特別の試験条件下において、一次密封容器及び二次密封容器に生ずる熱応力についてはロ章 A. 6. 3. 2 熱膨張の項で解析しており、一次密封容器及び二次密封容器が健全であることが示されている。

B. 5. 6 結果の要約と評価

特別の試験条件下における核燃料輸送物の性能評価は、内部発熱量を \square とし周囲温度 800°C 、30分間の火災事故に遭遇するとして行った。この場合の核燃料輸送物各部の温度変化は(ロ) - 第 B. 2 (a) 図、(ロ) - 第 B. 2 (b) 図及び (ロ) - 第 B. 2 (c) 図に示すとおりである。各部の最高温度と火災開始からの時間をまとめたのが(ロ) - 第 B. 5 表である。

密封容器の最高温度は [] °C であり、 [] Oリングの使用温度範囲内 ([]) にあり、また、密封容器の [] のヘリウム注入孔の漏えい検出時に用いる [] Oリングの使用温度範囲内 ([]) にもある。したがって、Oリングは健全に保たれ密封性は維持される。

一次密封容器及び二次密封容器の最大内圧は (ロ) - 第 B.6 表に示すように各々 [] kPa abs. 及び [] kPa abs. である。特別の試験条件下の構造解析においては、本解析結果により得られた温度及び圧力を用いて密封容器各部に生ずる応力を評価し、密封容器が十分な強度を有し、その密封性能が維持されることが示されている。

以上より、本核燃料輸送物は特別の試験条件下において熱的健全性及び強度を保つ。

B.6 附属書類

B.6.1 反応熱

本輸送容器の収納物を試料の性状別に分類すると次の試料①～試料⑤のようになる。

試料①	<input type="text"/>
	<input type="text"/>
試料②	<input type="text"/>
	<input type="text"/>
試料③	<input type="text"/>
	<input type="text"/>
試料④	<input type="text"/>
	<input type="text"/>
試料⑤	<input type="text"/>

上記に示す試料①～試料⑤は同時に収納しないことを条件としており、それぞれ

等の試料容器に収納されている。

万一、この試料容器が破損した場合を想定しても、試料②、試料③及び試料④と接触材料の間で発熱反応を生じることはない。

しかし、口章A.4.1項で述べたように、を収納する場合には、その試料容器であるの破損を仮定するとと収納物材料との反応が想定される。また、を収納する場合には、の酸化反応が想定される。本項ではこれらの反応により生ずる最大反応熱を求め、これによる密封容器及び核燃料輸送物全体の温度上昇を求める。

(1) との反応熱

の破損を仮定した場合、の回りに吸収材として充填されているバーミキュライトの反応が考えられる。

とバーミキュライト中のと反応する場合、との反応熱の方がとの反応熱より大きいのですべてとして反応熱を求める。

を生ずる標準生成エンタルピー ΔH_f は次のよう

に与えられる。⁽⁸⁾

_____を生ずる場合 $\Delta H f_1 =$ _____

反応する _____ の量は最大に見積もって _____

_____ である。この _____ のモル数は次式により求められる。

_____ との反応で _____ が反応する。したがって、 _____ と反応したとすると、その反応熱 H_1 とすると次式により求められる。

$$H_1 = (-\Delta H f_1) \times \frac{\text{_____}}{2} = \text{_____} \times \frac{\text{_____}}{2}$$

$$= \text{_____} = \text{_____}$$

(2) _____ の酸化反応熱

_____ を収納した _____ の破損を仮定した場合、 _____ の酸化による反応が生じる。

_____ を生成する時の標準エンタルピー $\Delta H f_2$ は次のように与えられる。⁽⁹⁾

_____ を生ずる場合 $\Delta H f_2 =$ _____

_____ であるが、ここでは安全側に _____ _____ として含め、 _____ として計算する。

_____ は次のように計算される。

$$\text{_____} : M u = \frac{\text{_____}}{\text{_____}} = \text{_____}$$

したがって、これと反応して生成する反応熱を H_2 とすると次式により求められる。

$$H_2 = (-\Delta H f_2) \times \text{_____}$$

$$= \text{_____} \times \text{_____}$$

$$= \text{_____} = \text{_____}$$

(3) 反応熱による核燃料輸送物の温度上昇

輸送容器では、を一緒に収納することはないので、ここでは反応熱が高いの酸化による温度上昇を評価する。

① 密封容器の最高温度上昇

(2)の反応熱がすべて密封容器のみの温度上昇に寄与するものとする、密封容器の温度上昇 ΔT_1 は次式により求められる。

$$\Delta T_1 = \frac{H_2}{W_1 \cdot C_1}$$

W_1 : 密封容器総重量 (=)

C_1 : 密封容器材料の平均比熱 (=)

$$= \frac{154.2}{\text{} \times \text{}} = \text{}$$

② 核燃料輸送物全体の温度上昇

(2)の反応熱がすべて核燃料輸送物全体のみの温度上昇に寄与するものとする、核燃料輸送物全体の温度上昇 ΔT_2 は次式により求められる。

$$\Delta T_2 = \frac{H_2}{W_2 \cdot C_2}$$

W_2 : 核燃料輸送物総重量 (=)

C_2 : 核燃料輸送物材料の平均比熱 (>)

$$= \frac{154.2}{\text{} \times \text{}} < 3.3 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

以上により、最高温度評価時において反応熱を考慮し、密封容器温度には9.1 $^\circ\text{C}$ を加算し、外容器温度には3.3 $^\circ\text{C}$ を加算して評価するものとする。

B.6.2 プルトニウム の放射線分解による生成ガス

プルトニウム は、主としてプルトニウム同位体の により放射線分解を起し 等の分解ガスを発生する。この分解ガスの発生量は次のように求められる。

放射線分解ガスの発生率は次式^[9]により求められる。

$$\gamma_{gT} = \sum_{i=1}^m \left[\frac{G_i}{100N} \sum \frac{g_j}{M_j} \cdot \frac{0.693}{t_{1/2j}} \cdot E_j \right] \quad (\text{mol/日}) \quad \text{----- (a)}$$

ここで、

- γ_{gT} : 全放射線分解ガスの発生率 (mol/日)
- G_i : 放射線分解ガス i に対する G 値 (分子数 / 100 eV)
- N : アボガドロ数 (分子数 / mol)
- g_j : 放射性同位体元素 j の量 (g)
- M_j : 放射性同位体元素 j の原子量 (g)
- $t_{1/2j}$: 放射性同位体元素 j の半減期 (日)
- E_j : 放射性同位体元素 j により放出される α 線のエネルギー (eV)

上の (a) 式をすべて生成ガスの G_i に関しての総和をとり、書き換えると次式のようになる。

$$\gamma_{gT} = 6.93 \times 10^{-3} \cdot G_T \cdot \left(\sum_{j=1} \frac{E_j}{M_j \cdot t_{1/2j}} \cdot g_j \right) \quad \text{----- (b)}$$

ガスの発生率が最大となるのは上式において小かっこの中の総和が最大となるときであるので、ガス発生率が最大となるようなプルトニウム同位体の収納条件を求める。なお、プルトニウム同位体に伴われる も α 崩壊を起こすので同様に考慮する。

プルトニウム同位体 の最大収納量は下記に示すとおりである。なお、プルトニウム同位体の全収納量は 以下である。

同位体	最大収納量
^{238}Pu	<input type="text"/>
^{239}Pu	<input type="text"/>
^{240}Pu	<input type="text"/>
^{241}Pu	<input type="text"/>
^{242}Pu	<input type="text"/>
^{244}Pu	<input type="text"/>
^{241}Am	<input type="text"/>

以上の条件で(b)式のガス発生率が最大となる同位体組成は次のようになる。

(b)式の小さくこの中の総和を最大にするのは、 g_j の乗数項である $E_j/M_j \cdot t^{1/2_j}$ の大きい順に上記のプルトニウム同位体の最大収納量を同位体の含有量とし、その合計量がgになったときのプルトニウム同位体の組成である。この場合 ^{241}Am の量はプルトニウム同位体組成に独立であるとする。jを ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu 、 ^{242}Pu 、 ^{244}Pu 、 ^{241}Am に対し、それぞれj=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7とし、 M_j 、 E_j 、 $t^{1/2_j}$ 及び $E_j/M_j \cdot t^{1/2_j}$ を(ロ) - B.13表に示す。

(ロ) - 第B.13表 放射線分解に関する放射線同位体のパラメータ

同位体	j	原子量 M_j	α 崩壊による放出* エネルギー E_j (eV)	半減期* $t^{1/2_j}$ (日)	$E_j/M_j \cdot t^{1/2_j}$
^{238}Pu	1	238	5.50×10^6	3.205×10^4	7.210×10^{-1}
^{239}Pu	2	239	5.16×10^6	8.802×10^6	2.453×10^{-3}
^{240}Pu	3	240	5.17×10^6	2.400×10^6	8.976×10^{-3}
^{241}Pu	4	241	≈ 0 (β 崩壊である)	5.526×10^3	0
^{242}Pu	5	242	4.90×10^6	1.373×10^8	1.475×10^{-4}
^{244}Pu	6	244	4.59×10^6	2.959×10^{10}	6.357×10^{-7}
^{241}Am	7	241	5.55×10^6	1.582×10^5	1.456×10^{-1}

* 本表の値は参考文献^[10]により求めた。

(ロ) - 第B.13表よりプルトニウム同位体は次の組成のとき、最大の放射分解ガスの発生率を生ずる。

[]
 []
 []

したがって、プルトニウム同位体と [] の組成は下記のようになる。

[]
 []
 []
 []
 []
 []
 []

この同位体組成の [] プルトニウム [] からの放射線分解により生成するガスの発生率は(b)式に以上の値を代入し次のように表される。

$$\gamma_{gT} = [] \cdot G_T \cdot []$$

$$= 9.48 \times 10^{-3} \cdot G_T \quad (\text{mol/日})$$

G_T の値は [] 濃度に依存し、参考文献(10)に与えられている各 [] 濃度に対して与えられている G_T の値を内挿により [] 濃度 7.0 mol に対し求めた下記の値を適用する。
 [] 濃度 7.0 mol を条件とした理由は、 [] 濃度が低くなるに従い G_T の値は大きくなる傾向にあり、また、7.0 mol は本収納物の [] 濃度の下限値である。

$$G_T = 0.044 \quad (\text{mol}/100\text{eV})$$

次に、 [] を注入し密封した後、開封されるまでの最大放置期間を D (日) とすると放射線分解ガスの発生量は次式で与えられる。

$$M_{gT} = \gamma_{gT} \cdot D \quad [\text{mol}] \quad \text{-----}(c)$$

最大放置期間を 12 か月とし、 M_{gT} を求めると次のようになる。

$$M_{gT} = 9.48 \times 10^{-3} \times 0.044 \times 365.26 = 0.152 \quad (\text{mol})$$

したがって、放射線分解により発生する全ガス量は 0.152 mol である。

本項の検討において採用した最大放置期間12か月は輸送及びその準備に要する日数に十分なる余裕を持った期間である。

ここで求められた放射線分解による生成ガスの量は、化学反応により生成するガスの量と共に口章B.4.4及び口章B.5.4において密封容器内の最大内圧を決定するために用いられる。



B.7 参考文献

- [1] 森島淳好他, 「第1集 核燃料設計に必要な物性値及び計算図表 (改訂第2版)」, JAERI-M-4881, (1972年7月)
- [2] 「木材工業ハンドブック・新版」, 林業試験場編, (1973年1月)
- [3] BALTEK CORP. (N. J. USA) データ
- [4] 「ゴム工業便覧」, 日本ゴム協会編, (1959年)
- [5] Edwards A.L. "TRUMP: A Computer Program for Transient and Steady State Temperature Distributions in Multidimensional Systems", UCRL-14754, Rev. 1, (May 1968)
- [6] 「伝熱工学資料・改訂第3版」, 日本機械学会, (1975年2月)
- [7] 「TOSS型核燃料輸送物設計承認書」, 設計承認番号J/93/B(U)F, (平成3年7月3日)
- [8] 「化学便覧 基礎編Ⅱ」, 日本化学会編, (昭和52年10月)
- [9]
- [10] "Table of Isotopes" Seventh Edition by Lederer & Shirley

C. 密封解析

C.1 概 要

本核燃料輸送物の密封装置は(ロ)-第C.1図及び(ロ)-第C.2図に示すように一次密封容器及び二次密封容器と称する2つの密封容器から成る。

放射性物質である試料は形状及び性状により種々の試料容器に収納され、
の収納缶に収納される。この収納缶は一次密封容器に収納され、さらに一次密封容器と同等の密封性能を持つ二次密封容器内に収納される。

一般及び特別の試験条件下における放射性物質の漏えいについては、一次密封容器の密封性能だけで基準を満足することを示す。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

本核燃料輸送物の密封装置は一次密封容器及び二次密封容器と称する2つの密封容器から成る。(ロ)-第C.1図及び(ロ)-第C.2図にその密封境界を示す。一次密封容器は二次密封容器内に収納されることにより2重の密封構造を構成しており、それぞれの密封性能はヘリウム漏えい率で $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$)以下である。これは製作時の気密漏えい検査により確認される。なお、本核燃料輸送物の収納物は[]の収納缶に収納された状態で一次密封容器内に収納される。

C.2.2 密封装置の貫通部

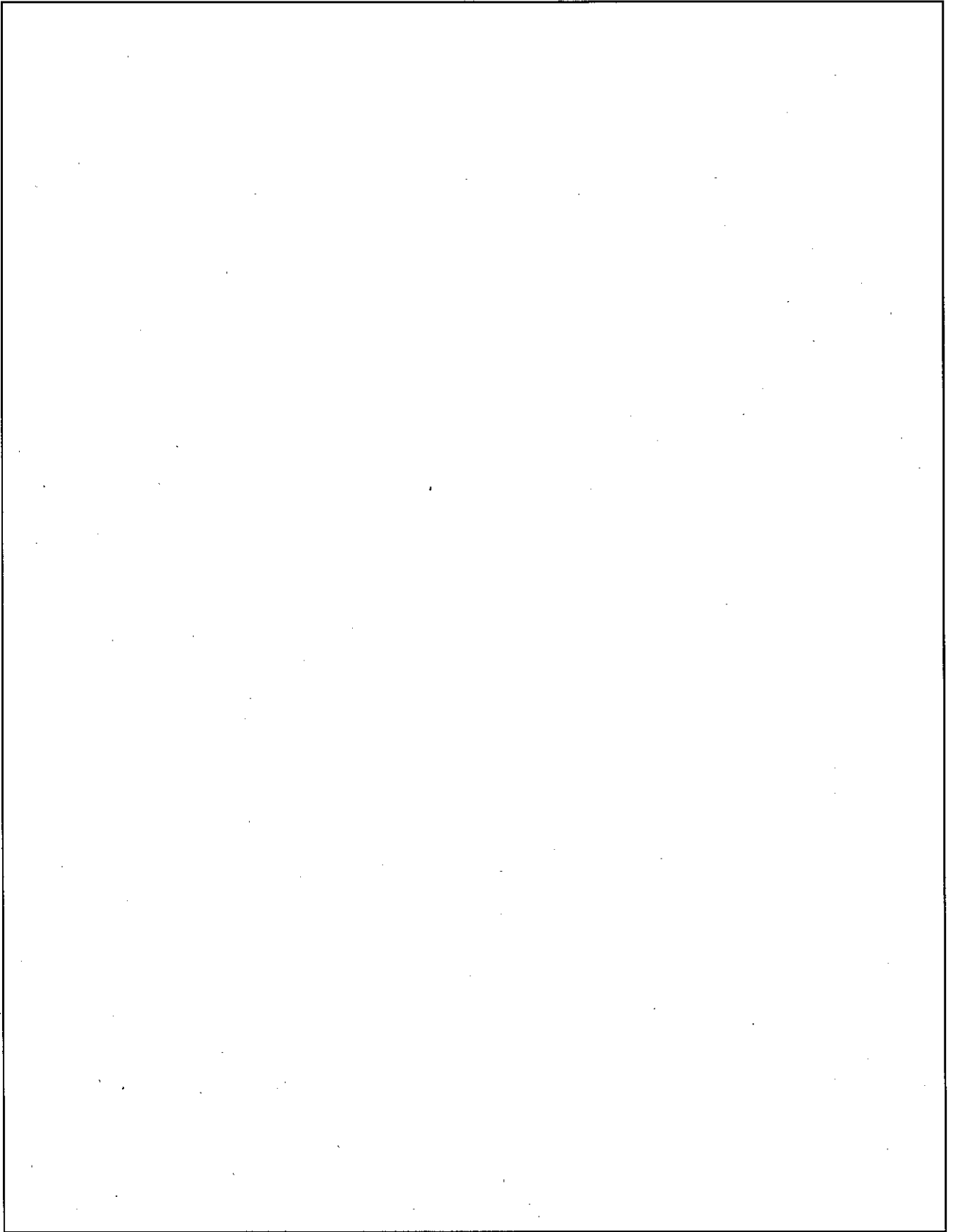
(1) 一次密封容器

一次密封容器蓋部には一次密封容器の密封性能を確認するための[]のヘリウムリークテスト孔(注入孔)が[]に設けられ、また、[]のヘリウムリークテスト孔(測定孔)が設けられている。ヘリウムガス注入孔は[]で密封され、ヘリウムガス測定孔は[]で閉栓される。

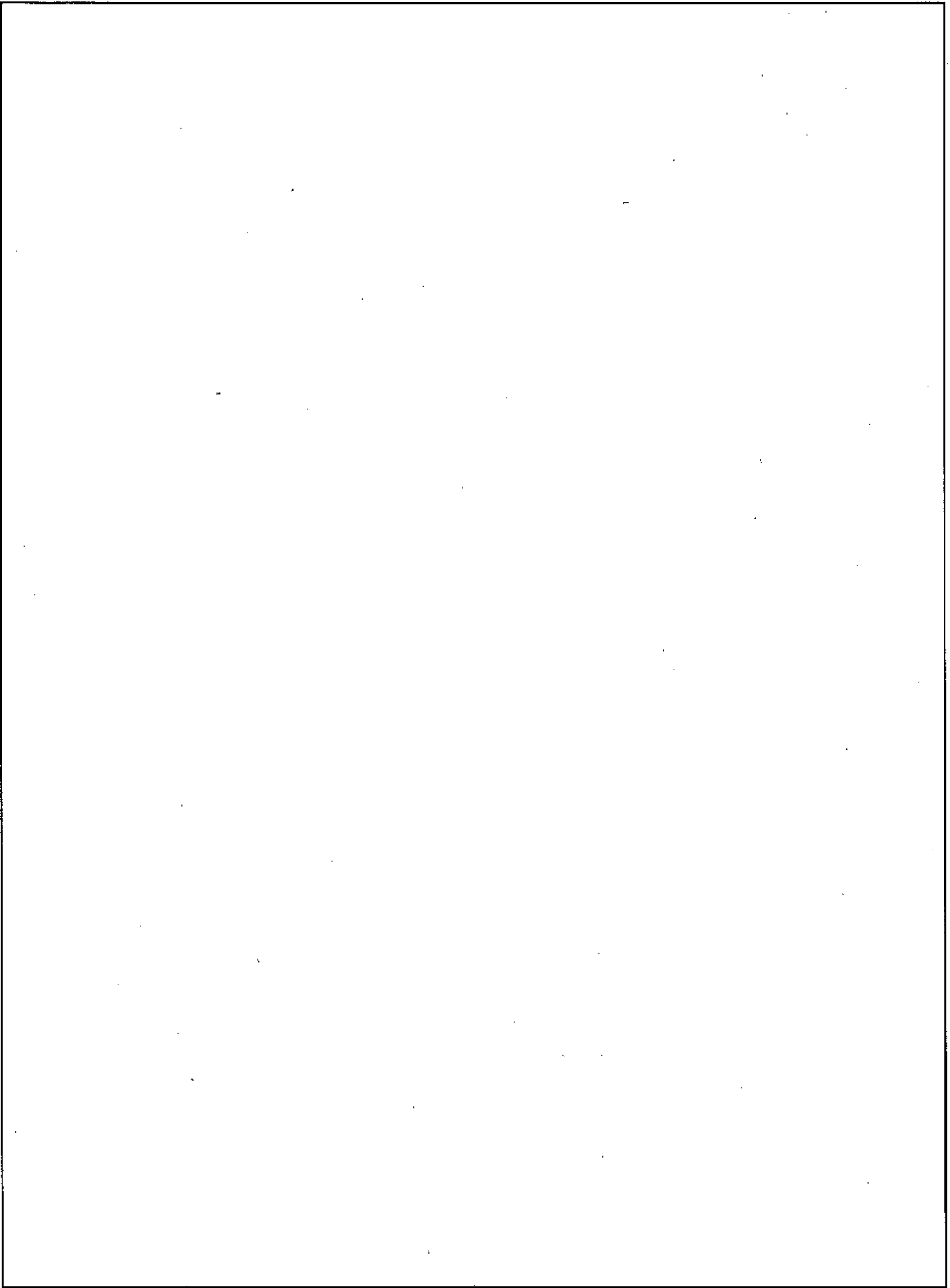
(2) 二次密封容器

二次密封容器は、一次密封容器と同様に[]構造を有している。

二次密封容器の密封性能を確認するために[]mmのヘリウムリークテスト孔(注入孔)があり、一方[]には、[]mmのヘリウムリークテスト孔(測定孔)が[]に位置する。ヘリウムガス注入孔は[]で密封され、ヘリウムガス測定孔は[]で閉栓される。



(口) - 第C.1図 一次密封容器密封境界



(口) - 第C.2図 二次密封容器密封境界

C.2.3 密封装置ガスケット及び溶接部

(1) ガスケット

本核燃料輸送物の密封装置である一次密封容器及び二次密封容器本体フランジ部のパッキングとしてはいずれもOリングを用いており、ヘリウム漏えい試験を容易に行うために□Oリング構造を採用している。また、ヘリウム注入孔のパッキングは□Oリング構造であり、(ロ)-第C.1表にそれぞれのパッキングの仕様を示す。

(2) 溶接部

一次密封容器の溶接継手は□である。二次密封容器の溶接継手も□である。

これらの溶接部はガスタングステンアーク溶接法により施工され、製作後に行う放射線透過検査及び液体浸透探傷検査によりその健全性が確認される。

C.2.4 蓋

(1) 一次密封容器蓋

一次密封容器の蓋は□で作られ、その厚みは□mmである。蓋は□□で本体フランジに取り付けられる。ボルトの材質□である。

(2) 二次密封容器蓋

二次密封容器の蓋は□で作られ、その厚みは□mmである。蓋は□□で本体フランジに取り付けられる。ボルトの材質□である。

(ロ) - 第C.1表 本体フランジ及びヘリウム注入孔パッキング仕様

	一次ラ ン ジ 器 部	二次ラ ン ジ 器 部	一次密 封 器 部	二次密 封 器 部	一次密 封 器 部	二次密 封 器 部
1. O-リング材質	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
2. O-リング寸法 O-リング径 (外径) O-リング太さ, 肉厚 (t)	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
3. O-リング溝寸法 溝 径 (外径) 溝 幅 溝 深 さ	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
4. 締付ボルト 寸 法 本 数 材 質	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>

C.3 一般の試験条件

ロ章Aの構造解析及びロ章Bの熱解析において示されたように、一般の試験条件下において本核燃料輸送物の密封装置の密封性能を損なう塑性変形及び内圧の上昇は起らない。したがって、一般の試験条件下においては、密封装置である一次密封容器及び二次密封容器は健全性を保持する ($1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$) 以下)。

C.3.1 放射性物質の漏えい

(1) 漏えいの評価基準

本輸送容器に収納される放射性物質は、収納物としての各種ウラン試料、プルトニウム試料及びウラン・プルトニウム混合試料 である。

本密封解析においては、放射性物質が である場合及び である場合について最大となる放射性物質漏えい量を計算し、許容基準値に対する比較検討を行う。

密封容器の密封設計基準値はヘリウム漏えい率で $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$) であり、これを漏えいの評価基準値とする。

解析上の密封装置は一次密封容器のみとし、以下において一次密封容器からの放射性物質の漏えい率が基準値以下であることを示す。

(2) 収納物の放射性核種と放射エネルギー

本密封解析では、イ章で述べたウラン同位体及びプルトニウム同位体の最大収納量が収納されたものとして漏えいの検討を行う。

(ロ) 一第C.2表に収納物として含まれている放射性核種とその放射エネルギー及び外運搬告示別表第一に示された特別形核燃料物質等以外の核燃料物質等である場合の数量の限度 (A_2 値) を示す。

(ロ) - 第 C.2 表 収納物の放射性核種とその放射能量等

核種	最大同位体重量 (g)	比放射能 (TBq/g 同位体)	放射能量 (TBq)	特定限度 (A ₂ 値) (注) (TBq)
U-233	<input type="text"/>	3.58×10^{-4}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-234	<input type="text"/>	2.31×10^{-4}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-235	<input type="text"/>	8.00×10^{-8}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-236	<input type="text"/>	2.39×10^{-6}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-238	<input type="text"/>	1.24×10^{-8}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-238	<input type="text"/>	6.34×10^{-1}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-239	<input type="text"/>	2.30×10^{-3}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-240	<input type="text"/>	8.43×10^{-3}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-241	<input type="text"/>	3.81	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-242	<input type="text"/>	1.41×10^{-4}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-244	<input type="text"/>	6.57×10^{-7}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Am-241	<input type="text"/>	1.27×10^{-1}	<input type="text"/>	<input type="text"/>
合計	—	—	<input type="text"/>	—

(注) U-233, U-234及びU-236については、外運搬告示別表第一に規定されたA₂値のうち安全側である(S)値を適用する。

(3) 漏えいの解析手順

本密封容器の密封設計基準は、ヘリウムの漏えい率 $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$) であり、放射性物質の漏えい量の評価においては、収納物が の場合と の場合について計算する。

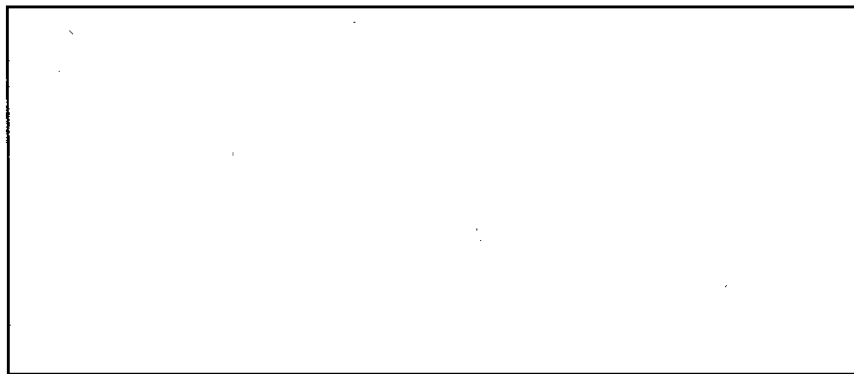
以下に と の場合についてそれぞれの解析手順を記述する。

(i) 収納物質が の場合の解析手順

ヘリウム漏えい率 $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$) を与える漏えい孔の径は口章C.6.2項で計算されたように である。したがって、ここでは密封容器に1箇所 の細孔が開いているものとする。

放射性物質は と共に まで出てくるが、 に打ち勝つだけの内圧がないため が一次密封容器の外側に向かって流出することはない(口章C.6.3項参照)。しかし、一次密封容器の外側に達した , して一次密封容器の外へ漏えいしていく。

解析に当たっては、放射性物質はすべて しているものとして安全側に解析する。漏えいのモデル図を (ロ) - 第C.3図に示す。



(ロ) - 第C.3図 漏えいのモデル図

手 順①

□の蒸発量（1 cm²の□より毎秒何 g の□するか）S（g/cm²・sec）

〔このSとして1 gの□が1 cm²の表面より1時間で□場合の値をとる。^注〕

$$\begin{aligned} \square &= \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ cm}^2 \times 3600 \text{ sec}} \\ &= 2.8 \times 10^{-4} \quad (\text{g/cm}^2 \cdot \text{sec}) \end{aligned}$$

手 順②

□の□から□：S'

$$\begin{aligned} S' &= S \times A \quad (\text{径} \square \text{ cm の表面積}) / \square \text{ の分子量} \\ &= 2.8 \times 10^{-4} \times \pi \times (\square \text{ cm} / 2)^2 / \square \\ &= \square \end{aligned}$$

手 順③

□1 molに対する放射性核種による放射エネルギー：C_o

$$C_o = \frac{\text{放射性核種のもつ放射エネルギーの合計 (TBq)}}{\square \text{ の mol 数}}$$

$$= \square$$

$$= 2.7 \quad (\text{TBq/mol})$$

注) この蒸発量は深さ1 cmの□が1時間で□ことに相当している。

実際上一次密封容器は二次密封容器内に収納されているため、ある量の

□が□と二次密封容器内の空気は□で飽和し、このような量で□を続けることはなく、解析は安全側の結果を与える。

手 順④

径 cm の のに伴い一次密封容器外へ飛散する放射性核種の総放射エネルギー：C (TBq/sec)

表面より とともに放射性核種が一次密封容器の外に漏えいしていくものとする。したがって、 の量と漏えいしていく放射性核種の放射エネルギーとの比は、一次密封容器内の と収納されている放射性核種の放射エネルギーとの比と等しい。

$$\begin{aligned} C &= S' \times C_0 \\ &= \text{} \times 2.7 \\ &= \text{} \\ &= \text{} \end{aligned}$$

手 順⑤

放射性核種ごとの漏えい率：A_a (TBq/h) : a は核種を区分する。

全放射エネルギーに対する各核種の放射エネルギーの割合を Q_a とすると、核種ごとの放射エネルギー漏えい率 A_a は

$$A_a = C \times Q_a \text{ (TBq/h)}$$

手 順⑥

各核種の放射エネルギー漏えい率 [A_a] と許容漏えい率 [B_a = A₂ × 10⁻⁶ TBq/h] とを比較する。

以上⑤～⑥の結果を (ロ) - 第 C.3 表 に示す。

(ロ) - 第 C.3 表 に示すように、放射性物質 (の場合) の漏えい率と基準値との比は 1.25 × 10⁻² であり、1 より小さい。

したがって、密封装置からの放射性物質の 1 時間当たりの漏えい量は基準値よりも小さい。

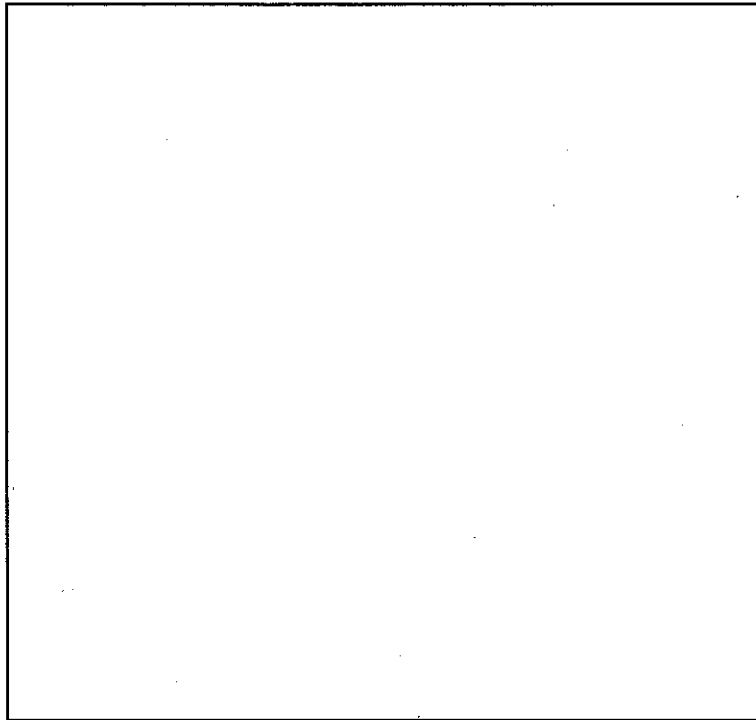
(ロ) 一第C.3表 一般の試験条件下の漏えい計算結果 (□の場合)

核種	最大収納量 (g)	比放射能 (TBq/g)	放射能 (TBq)	放射能の割合 Q_a	Aa 放射能漏えい量 (TBq/h)	Ba 漏えい基準値 (TBq/h)	Aa/Ba
U-233	□	3.58×10^{-4}	□	□	□	□	□
U-234	□	2.31×10^{-4}	□	□	□	□	□
U-235	□	8.00×10^{-8}	□	□	□	□	□
U-236	□	2.39×10^{-6}	□	□	□	□	□
U-238	□	1.24×10^{-8}	□	□	□	□	□
Pu-238	□	6.34×10^{-1}	□	□	□	□	□
Pu-239	□	2.30×10^{-3}	□	□	□	□	□
Pu-240	□	8.43×10^{-3}	□	□	□	□	□
Pu-241	□	3.81	□	□	□	□	□
Pu-242	□	1.41×10^{-4}	□	□	□	□	□
Pu-244	□	6.57×10^{-7}	□	□	□	□	□
Am-241	□	1.27×10^{-1}	□	□	□	□	□
合計	□	□	□	□	□	□	1.25×10^{-2}

ii) 収納物質が□の場合の解析手順

収納物が□である場合は、密封境界の漏えい孔より□として漏れ出る。ここではヘリウム漏えい率 $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$) に相当する漏えい孔からのウラン・プルトニウムの□の漏えい量を求める。この漏えい率をBattelle研究所の実験データ(変換係数He/PuO₂)を用いて解析する。

まず、Battelle研究所で行われたPuO₂□漏えい実験(レポート; PNL-2260-1~-11)について簡単にふれておく。実験の概要をモデル図として(ロ)-第C.4図に示す。



(ロ)-第C.4図 Battelle研究所のPuO₂□漏えい実験モデル

入口と出口((ロ)-第C.3図中(A)及び(B))を持つ□の容器内にPuO₂□を入れ、(A)よりHeガスを注入し、(B)からリークチューブ内へガスを引く。リークチューブ内にはオリフィス(孔径□, 厚さ□)が置かれており、オリフィスの孔を通過したガスと□がサンプル

リング装置に導かれ、HeガスとPuO₂の量が測定される。それに基づき変換係数He/PuO₂を算出している。種々のHeガス圧力下において得られた結果を(ロ) - 第C.4表に示す。

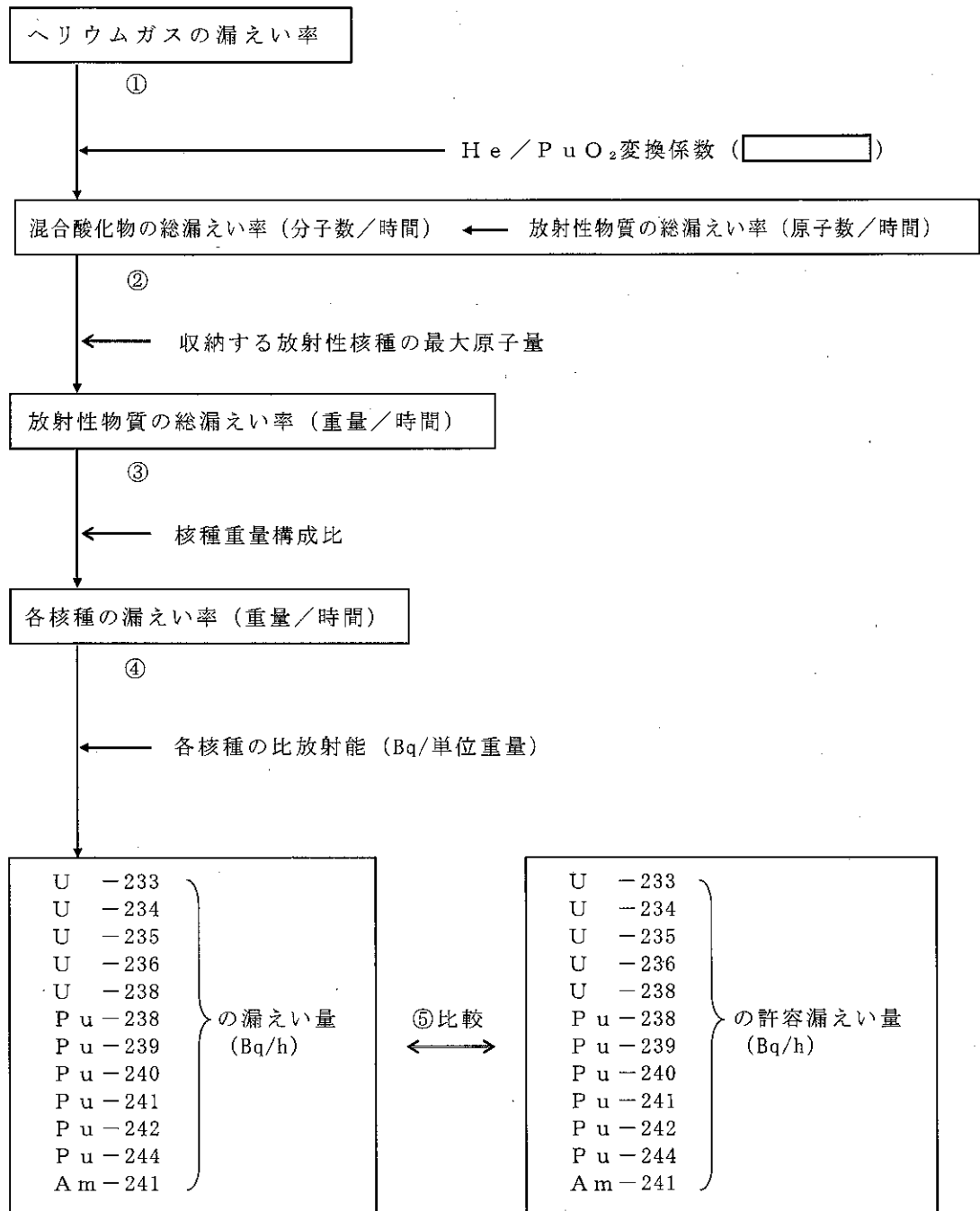
(ロ) - 第C.4表 HeガスとPuO₂の変換係数

オリフィス径 (μm)	Heガスの圧力 (psig)	He/PuO ₂ 変換係数
5	(大気圧)	<input type="text"/>
5	440 (\approx 3 MPa)	<input type="text"/>
5	920 (\approx 6 MPa)	<input type="text"/>
10	(大気圧)	<input type="text"/>
10	440	<input type="text"/>
10	920	<input type="text"/>
20	(大気圧)	<input type="text"/>
20	440	<input type="text"/>
20	920	<input type="text"/>

次に、オリフィスの孔径がより小さい場合は、^{注)}が孔を閉塞するために漏えいが生じにくくなり、変換係数He/PuO₂の値は大きくなる。変換係数He/PuO₂の具体的な値としては、(ロ) - 第C.4表に示された最小値を用いる。この仮定は相当漏えい孔の径がより小さいことから妥当な仮定である。

以下では変換係数He/PuO₂(=)を用い放射性物質の漏えい率を(ロ) - 第C.5図に示す手順で計算する。

注) Battelle研究所での実験で使用された二酸化プルトニウムの平均粒径は
であり、本核燃料輸送物に収納される二酸化プルトニウム、ウラン・プルトニウム混合酸化物の平均粒径と同程度である。



注) ①～⑤の箇所については以下に説明する。

(□) - 第 C.5 図 漏えい率解析フロー

手 順①

$1 \times 10^{-7} \text{ atm}\cdot\text{cc}/\text{sec}$ の漏えい率でヘリウムガスが漏えいする場合、そのヘリウム原子数は、

$$\frac{1 \times 10^{-7} (\text{atm}\cdot\text{cc}/\text{sec}) \times 6.0 \times 10^{23}}{22.4 \times 10^3 (\text{atm}\cdot\text{cc})} = 2.7 \times 10^{12} (\text{個}/\text{sec})$$

である。

ヘリウムガスの漏えい率から、変換係数He/混合酸化物=を用いて、混合酸化物の漏えい率を求める。すなわち、漏えいする混合酸化物の分子数は、

$$\begin{aligned} & (\text{漏えいするヘリウムガス原子数}) \times \frac{1}{\frac{(\text{ヘリウム原子数})}{(\text{混合酸化物分子数})}} \\ &= 2.7 \times 10^{12} \times \frac{1}{\text{}} \\ &= \text{} (\text{個}/\text{sec}) \end{aligned}$$

となる。

手 順②

放射性物質の総原子数に平均原子量を乗じて、放射性物質の総重量漏えい率〔X〕を求める。すなわち、

$$\begin{aligned} X &= (\text{漏えいする放射性物質の総原子数}) \times \frac{(\text{放射性物質の平均原子量})}{(\text{アボガドロ数})} \\ &= \text{} \times \frac{\text{}^{(\text{注})}}{6.0 \times 10^{23}} \\ &= \text{} \\ &= \text{} \end{aligned}$$

(注) ここでは平均原子量として、安全側に最大原子量を採用した。

手 順③

放射性物質の総重量漏えい率〔X〕に核種 a の重量構成比〔x a〕^(注)を乗じて、核種 a の重量漏えい率〔X a〕を求める。すなわち、

$$X a = X \cdot x a$$

手 順④

重量漏えい率〔X a〕に比放射能〔P a〕を乗じて、放射能漏えい率〔A a〕を求める。すなわち、

$$A a = X a \cdot P a$$

手 順⑤

各核種の放射能漏えい率〔A a〕と、許容漏えい率〔B a = A₂ × 10⁻⁶ TBq/h〕とを比較する。

以上、③～⑤の結果を(ロ) - 第C.5表に示す。

(ロ) - 第C.5表に示すように放射性物質(□状態の場合)の漏えい量と基準値との比は 2.06×10^{-2} であり1より小さい。

したがって、密封装置からの放射性物質の1時間当たりの漏えい量は基準値より小さい。

(注) 重量構成比は放射性物質の最大収納量に対する各核種の最大収納量の比とする。

この比の総和は1.0を超え、安全側の仮定となる。

(ロ) ー 第 C. 5 表 ー 一般の試験条件下の漏えい計算結果 (の場合)

核種	最大収納量 (g)	x _a 重量構成比 (%)	X _a 漏えい量 (g/h)	P _a 放射能 比 (TBq/g)	A _a 放射能漏えい量 (TBq/h)	B _a 漏えい基準値 (TBq/h)	A _a /B _a
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
合計							2.06 × 10 ⁻²

C.3.2 密封装置の加圧

密封容器の加圧は次の原因により生ずる。

- (1) 密封容器内のガスの温度上昇による膨張
- (2) 密封容器内の収納物間で起る化学反応による生成ガス及び プルトニウム の α 崩壊による放射線分解生成ガス

(1)項の温度上昇による膨張と(2)項の分解生成ガスとにより生ずる内圧を用いて密封容器の耐圧強度解析を行った結果、密封容器の構造上の健全性は維持されていることが確認されている。

C.3.3 冷却材汚染

冷却材は本輸送容器に使用していないため該当しない。

C.3.4 冷却材損失

冷却材は本輸送容器に使用していないため該当しない。

C.4 特別の試験条件

ロ章Aの構造解析及びロ章Bの熱解析において示されたように、本輸送容器の密封装置は、特別の試験条件下においても緩衝材及び外容器の衝撃吸収及び断熱効果により、その健全性を損なうことはない。したがって、特別の試験条件下において、本輸送容器の密封装置である一次密封容器及び二次密封容器は密封設計基準値である $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$) (ヘリウムガス) 以上の密封性能を有する。

C.4.1 核分裂生成ガス

収納物中には核分裂生成ガスは含まれない。

C.4.2 放射性物質の漏えい

ロ章C.3.1の解析手法を用いて外運搬規則及び外運搬告示に示された特別の試験条件下における漏えい基準を本核燃料輸送物が満足することを示す。

解析は一般の試験条件と同様に、放射性収納物が である場合と である場

合について最大となる放射性物質漏えい量を計算し、許容基準値に対する比較検討を行う。なお、特別の試験条件下の放射性物質の漏えいの基準値は一週間についてのものであるから、放射性物質の漏えい量は一週間に対するものを計算する。

収納物が□として計算した漏えい量の計算結果を(ロ)－第C.6表に示す。

また、収納物が□として計算した結果を(ロ)－第C.7表に示す。

(ロ)－第C.6表及び(ロ)－第C.7表に示すように、放射性物質の漏えい量と基準値との比は、□の場合 2.11×10^{-6} 、□の場合 3.46×10^{-6} であり、いずれの場合も1より小さい。

したがって、密封装置からの放射性物質の1週間当たりの漏えい量は基準値よりも小さい。

(ロ) - 第 C.6表 特別の試験条件下の漏えい計算結果 (□の場合)

核種	漏えい基準値(TBq/week) (*)	放射能漏えい量 (TBq/week)	基準値との比
U-233	□	□	□
U-234	□	□	□
U-235	□	□	□
U-236	□	□	□
U-238	□	□	□
Pu-238	□	□	□
Pu-239	□	□	□
Pu-240	□	□	□
Pu-241	□	□	□
Pu-242	□	□	□
Pu-244	□	□	□
Am-241	□	□	□
合計	□	□	2.11×10^{-6}

(ロ) - 第 C.7表 特別の試験条件下の漏えい計算結果 (□の場合)

核種	漏えい基準値(TBq/week) (*)	放射能漏えい量 (TBq/week)	基準値との比
U-233	□	□	□
U-234	□	□	□
U-235	□	□	□
U-236	□	□	□
U-238	□	□	□
Pu-238	□	□	□
Pu-239	□	□	□
Pu-240	□	□	□
Pu-241	□	□	□
Pu-242	□	□	□
Pu-244	□	□	□
Am-241	□	□	□
合計	□	□	3.46×10^{-6}

* : (ロ) - 第 C.2表に示した特定限度 (A₂ 値) である。

C.5 結果の要約と評価

一般の試験条件下及び特別の試験条件下における密封解析の結果の要約を

(ロ) - 第C.8表に示す。この表より、収納物の形態が , いずれの場合も放射性物質の漏えい量は基準値を満足する。

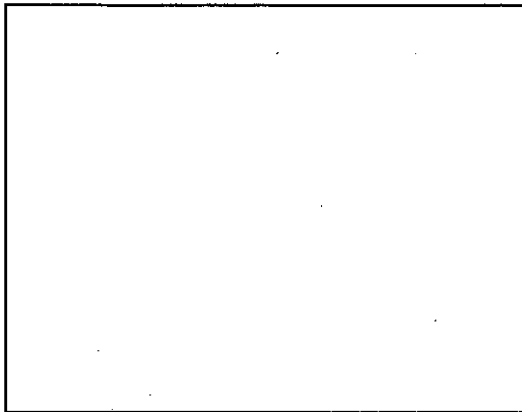
(ロ) - 第C.8表 密封解析の結果の要約

条 件	収納物の形態	基準値との比
一般の試験条件下	<input type="checkbox"/>	1.25×10^{-2}
	<input type="checkbox"/>	2.06×10^{-2}
特別の試験条件下	<input type="checkbox"/>	2.11×10^{-6}
	<input type="checkbox"/>	3.46×10^{-6}

C.6 附属書類

C.6.1 Oリングの密着幅の検討

本項において、ヘリウム漏えい率よりOリングシール部からの漏えい通路を推定するための漏えい通路の長さとしてのOリングの密着部分の幅を求める。Oリング



(ロ) - 第C.6図 Oリングの変形

は溝に装荷され所定の溝の深さで締め付けられると(ロ) - C.6図のような変形し、上下の接触点で降伏を起こし、環状の密着部分を形成し、密封を達成する。

図中 d : 変形前のOリングの外径

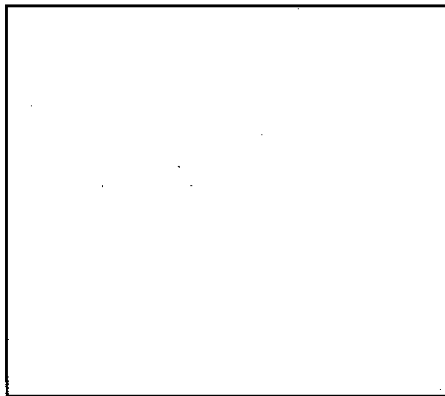
t : Oリングの厚さ

a : Oリングの密着幅

h : 溝の深さ

である。

今、Oリングの変形は管の偏平化に等しいと仮定し、管の偏平化変形として取り扱うために円環の曲げ変形の式を適用する。



(ロ) - 第C.7図
Oリング荷重状態(その1)

今、対象としているOリングの寸法からは円環の厚さは半径に比して小さくなるから、モーメントと変形は次のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M &\doteq \frac{W \cdot R}{2} \left(\cos \theta - \frac{2}{\pi} \right) \\ D_x &\doteq \frac{W \cdot R^3}{E^* I} \left(\frac{2}{\pi} - \frac{1}{2} \right) \\ D_y &\doteq \frac{W \cdot R^3}{E^* I} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots (1)$$

ここで、

R : 円環の平均半径

I : 円環の曲げに対する断面二次モーメント

E* : 板に対する接線縦弾性係数で次のように表される。

$$E^* = E / (1 - \nu^2)$$

E : 材料の縦弾性係数

ν : 材料のポアソン比

W : 荷重

M : 角 θ の所での曲げモーメント

D_x : 水平方向の直径の変形による増分

D_y : 垂直方向の直径の変形による増分

$$R = (d - t) / 2$$

$$I = \frac{1}{12} b \cdot t^3 = \frac{t^3}{12} \quad (b \text{ を } \text{O-リングの単位周長にとる})$$

今、(1)式において、モーメントMが最大となるのは $\theta = \pi/2$ の箇所である。このモーメントにより材料が降伏を開始する荷重は次のように求められる。O-リングの単位周長当たりを考慮する。

$$\frac{M}{Z} = \sigma_y \quad (Z = \frac{t^2}{6}, \sigma_y : \boxed{} \text{ の降伏応力})$$

よって、

$$\frac{\sigma_y \cdot t^2}{6} = M = \left| \frac{W \cdot R}{2} \left(\cos \frac{\pi}{2} - \frac{2}{\pi} \right) \right|$$

$$\therefore W = \frac{\pi \sigma_y t^2}{6R}$$

ここで、

$$d = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$t = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$E = \boxed{} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\nu = \boxed{}$$

$$\sigma_y = 21.0 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$I = \frac{t^3}{12} = \frac{\boxed{}^3}{12} = \boxed{} \text{ (mm}^4\text{)}$$

であるので、

$$R = (d - t) / 2 = (\boxed{} - \boxed{}) / 2 = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$W = \frac{\pi \sigma_y t^2}{6R} = \frac{\pi \times 21 \times \square^2}{6 \times \square} = \square \text{ (kg)}$$

この荷重Wを用いて変形量 D_y を求める。

$$E^* = E / (1 - \nu^2) = \square / (1 - \square^2) = 2.165 \times 10^4 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

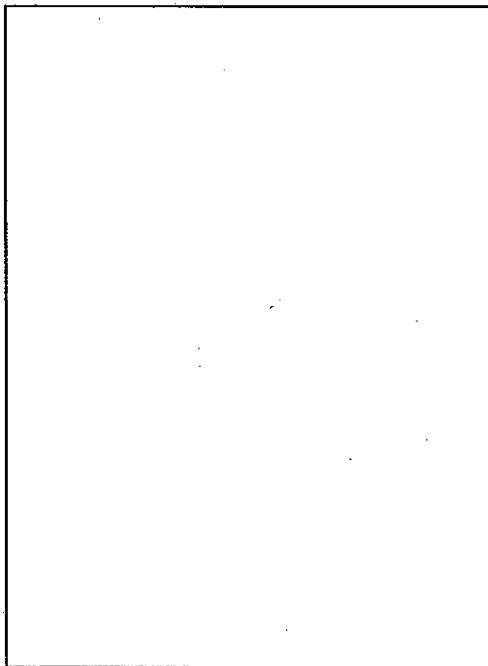
であるから、

$$\begin{aligned} D_y &\cong \frac{W \cdot R^3}{E^* I} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \\ &= - \frac{\square \times \square^3}{2.165 \times 10^4 \times \square} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \\ &= 3.30 \times 10^{-3} \text{ (mm)} \end{aligned}$$

したがって、 $d - h = \square - \square = \square \text{ (mm)} > D_y$ であるから、Oリングは使用時には弾性限界を超え、塑性変形を起こしている。

今、Oリングが曲げに対し塑性変形を起こし、曲げ応力が σ_y になった場合の変形荷重Wを求める。

Oリングの断面の1/4を考慮するとモーメントと荷重は(ロ) - 第C.8図のようになる。



モーメントの平衡から次の式を得る。

$$2M_{\max} = \frac{W}{2} R$$

$$\therefore W = \frac{4M_{\max}}{R}$$

M_{\max} を与える曲げ応力分布は(ロ) - 第C.8図のようになるから M_{\max} は次式で与えられる。

$$M_{\max} = 2 \int_1^{\frac{t}{2}} \sigma_y \cdot x \cdot dx = \frac{\sigma_y t^2}{4}$$

したがって、 M_{\max} を代入するとWは次式となる。

$$W = \frac{\sigma_y t^2}{R}$$

(ロ) - 第C.8図
Oリング荷重状態 (その2)

数値を代入すると、

$$W = \frac{\sigma_y t^2}{R} = \frac{21.0 \times \square^2}{\square} = \square \text{ (kg)}$$

幅 a で長さ 1 mm の面積に W の荷重が働くから、

$$1 \times a \times \sigma_y = W$$

$$a = \frac{W}{\sigma_y} = \frac{\square}{21.0} = \square \text{ (mm)}$$

したがって、O-リングの降伏幅は \square mm である。

O-リングのサイズが $d = \square$ (mm), $t = \square$ (mm) の場合には、

$$R = (d - t) / 2 = (\square - \square) / 2 = \square \text{ (mm)}$$

$$W = \frac{\sigma_y t^2}{R} = \frac{21 \times \square^2}{\square} = \square \text{ (kg)}$$

$$a = \frac{W}{\sigma_y} = \frac{\square}{21.0} = \square \text{ (mm)}$$

$d = \square$ (mm), $t = \square$ (mm) の場合には、

$$R = (\square - \square) / 2 = \square \text{ (mm)}$$

$$W = \frac{\sigma_y t^2}{R} = \frac{21 \times \square^2}{\square} = \square \text{ (kg)}$$

$$a = \frac{W}{\sigma_y} = \frac{\square}{21.0} = \square \text{ (mm)}$$

次に、O-リングサイズと密着幅 a を (ロ) - 第 C.9 表 にまとめる。

(ロ) - 第 C.9 表 O-リングサイズと密着幅との関係

O-リングの使用箇所	O-リング外径 d (mm)	O-リング厚さ t (mm)	密着幅 a (mm)
一次密封容器のフランジ部	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
二次密封容器のフランジ部	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ヘリウムガス注入孔部	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

C.6.2 気体の漏えい率と漏えい孔の直径との関係

① 漏えい孔径の算出

気体漏えい率と漏えい孔の直径の関係式はANSI N14.5^[1]より次式で表される。

$$L = (F_c + F_m) (P_u - P_d) \text{ ----- (1)}$$

$$F_c = 2.49 \times 10^6 \frac{D^4}{a \cdot \mu} \text{ ----- (2)}$$

$$F_m = 3.81 \times 10^3 \frac{D^3 \sqrt{\frac{T}{M}}}{a \cdot P_a} \text{ ----- (3)}$$

ここで、気密漏えい試験条件は次のとおりとなる。

L : 漏えい試験時の気体漏えい率 (cc/sec)

$$L = \frac{Q}{P_a} = \frac{1 \times 10^{-7} \text{ atm} \cdot \text{cc/sec}}{0.5 \text{ atm}} \\ = 2 \times 10^{-7} \text{ (cm}^3/\text{sec)}$$

Q : 密封装置のHe漏えい率 (1×10⁻⁷ atm·cc/sec)

P_u : 密封装置の内圧 (1.0 atm abs.)

P_d : 密封装置の外圧 (0.0 atm abs.)

P_a : 平均圧力 (0.5 atm abs.)

$$P_a = \frac{P_u + P_d}{2}$$

D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい孔の長さ (cm; 口章C.6.1項より)

μ : Heの粘性係数 (1.775×10⁻² cP; He at 1atm; 0°C)

T : 漏えい気体の温度 (273 K)

M : Heの分子量 (4.0 gmol)

(2)式にa 及び μ の値を代入すると,

$$F_c = \boxed{} \cdot D^4$$

(3)式にT, M, a 及びPa の値を代入すると,

$$F_m = \boxed{} \cdot D^3$$

よって, (1)式に F_c , F_m 及びLの値を代入すると,

$$2 \times 10^{-7} = (\boxed{} \cdot D^4 + \boxed{} \cdot D^3) \times (1.0 - 0.0)$$

となる。

上式より漏えい孔径 (D) を求めると,

$$D = \boxed{} \text{ (cm)}$$

となる。

C.7 参考文献

- [1] American National Standards Institute(ANSI), Standard for Radioactive Materials-
Leakage Test on Packages for Shipment, ANSI N14.5 (1987)

D. 遮蔽解析

D.1 概 要

本核燃料輸送物が外運搬規則及び外運搬告示に示す基準の最大線量当量率を満足していることを以下の解析により示す。

本収納物は、イ章Dで述べたようにプルトニウム及びウランの各種試料である。収納物は(ロ)－第D.1図に示すように[]内に収納され、さらに、密封容器は外容器を構成する[]に収納されている。

ガンマ線に対する特別な遮蔽材は設けていないが、一次密封容器及び二次密封容器の[]が十分な遮蔽効果を有している。中性子遮蔽についても水などの特別な中性子遮蔽材は設けていないが、外容器の[]及び密封容器の[]等により十分に遮蔽される。ただし、特別の試験条件下では[]は無視して計算を行っている。

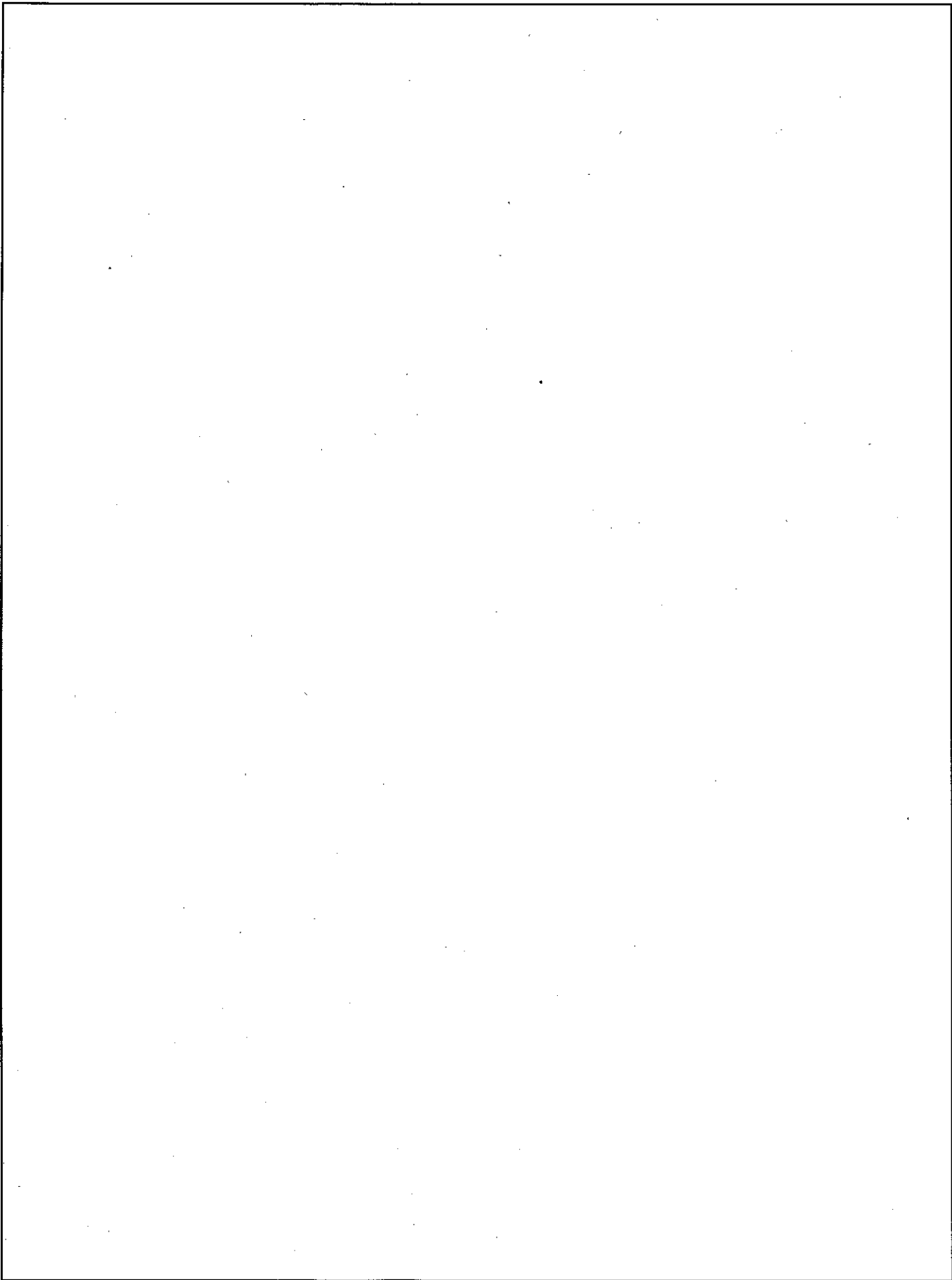
ガンマ線及び中性子の遮蔽計算には二次元輸送コードDOT3.5^[1]を用いた。

また、本輸送容器に収納される核燃料物質はイ章Dで述べた条件に従って収納されるが、遮蔽解析における線源条件としては、安全側の仮定として収納物のウラン及びプルトニウムの各同位体の最大収納量をすべて収納した場合を想定する。この場合の収納物各同位体の重量及び放射エネルギーを(ロ)－第D.2表に収納条件として示す。

核燃料輸送物形状については、通常輸送時では外容器には変形が生じないものとし、一般及び特別の試験条件下ではロ章A構造解析で得られた外容器の最大変形を考慮した。また、一次密封容器内の線源領域については、収納物の破損又は偏りを考慮し、通常輸送時、一般及び特別の試験条件のすべてにおいて、それぞれ線源が上部、中央部、底部に偏ったものとした。

以上の条件を基に計算した本核燃料輸送物の最大線量当量率を(ロ)－第D.1表に示す。

(ロ)－第D.1表の結果より核燃料輸送物の遮蔽評価は、核燃料輸送物の側部及び上部、底部のいずれにおいても外運搬規則及び外運搬告示に定められた基準値を満足している。



(口) - 第D.1図 核燃料輸送物の遮蔽構造

(ロ) - 第D.1表 核燃料輸送物各部の最大線量当量率

[単位: mSv/h]

条件	線質	核燃料輸送物表面			核燃料輸送物表面より 1 m		
		側部	上部	底部	側部	上部	底部
通常輸送時	ガンマ線	2.1×10^{-2}	7.1×10^{-4}	1.7×10^{-3}	1.9×10^{-3}	9.6×10^{-5}	1.8×10^{-4}
	中性子	4.2×10^{-2}	4.7×10^{-3}	7.1×10^{-3}	3.7×10^{-3}	4.9×10^{-4}	6.6×10^{-4}
	合計値	6.3×10^{-2}	5.5×10^{-3}	8.8×10^{-3}	5.6×10^{-3}	5.9×10^{-4}	8.4×10^{-4}
	基準値	2			0.1		
一般の試験条件	ガンマ線	2.2×10^{-2}	7.5×10^{-4}	1.8×10^{-3}			
	中性子	4.5×10^{-2}	5.0×10^{-3}	7.5×10^{-3}			
	合計値	6.7×10^{-2}	5.8×10^{-3}	9.3×10^{-3}			
	基準値	2			—		
特別の試験条件	ガンマ線				2.5×10^{-3}	1.1×10^{-4}	2.2×10^{-4}
	中性子				5.1×10^{-3}	7.8×10^{-4}	1.1×10^{-3}
	合計値				7.6×10^{-3}	8.9×10^{-4}	1.4×10^{-3}
	基準値	—			10		

D.2 線源仕様

遮蔽解析の線源を求めるために使用した放射性物質収納条件を(ロ) - 第D.2表に示す。この収納条件は、本輸送容器の収納物であるウラン及びプルトニウムの各同位体の最大収納量の合計 で評価した。

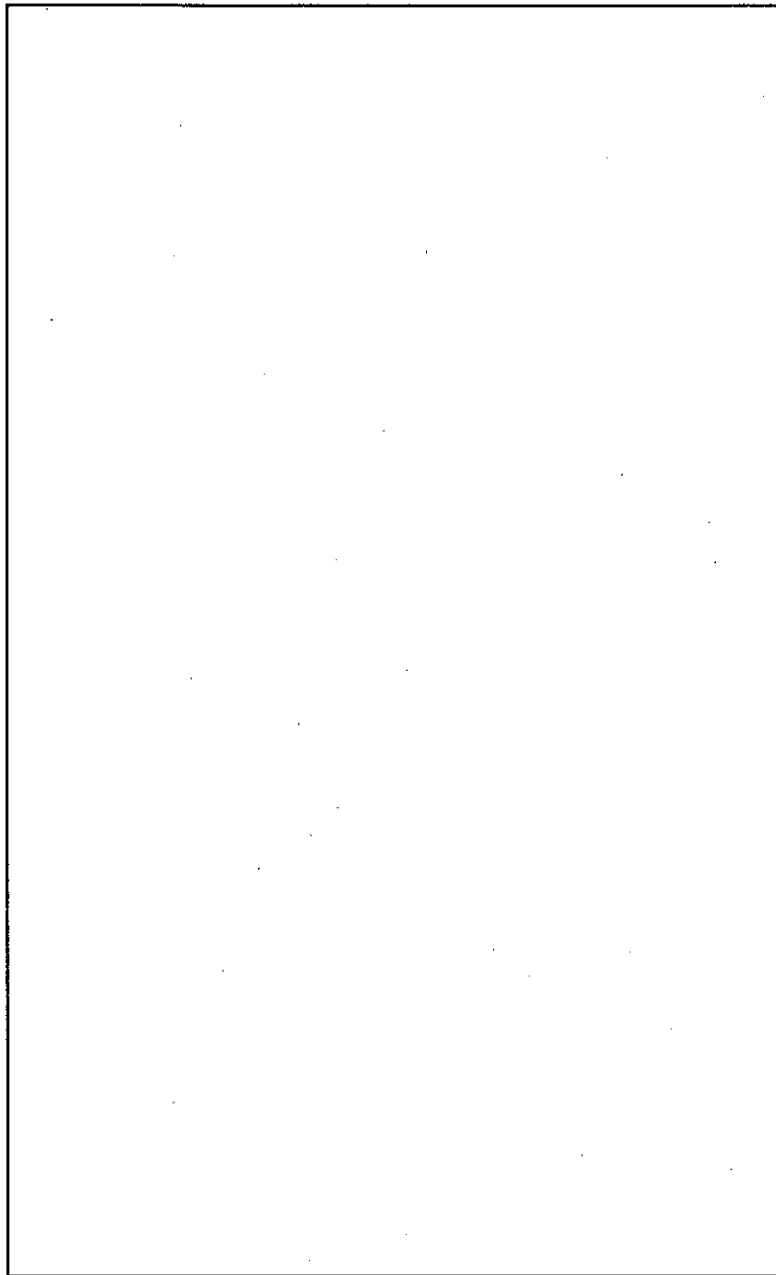
(ロ) - 第D.2表 収納条件 (最大条件)

核 種	重 量 (g)	放 射 能 (TBq)	
U-233	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
U-234	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
U-235	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
U-236	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
U-238	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Pu-238	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Pu-239	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Pu-240	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Pu-241	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Pu-242	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Pu-244	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Am-241	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
合 計	<input type="text"/>	<input type="text"/>	\div <input type="text"/>

D.2.1 ガンマ線源

ガンマ線源強度の計算にはORIGENコード^[2]を用いた。ORIGENコードにより得られたガンマ線源強度をPSL-40ライブラリ^[3]のエネルギー群構成で表し、(ロ) - 第D.3表に示す。

(ロ) - 第D.3表 ガンマ線源強度



D.2.2 中性子源

中性子源強度の計算にはORIGENコードを用いた。ORIGENコードにより得られた中性子源はプルトニウム及びウランの同位体元素によるものである。

収納物から放出される中性子は、 が α 崩壊して発生する (α , n) 反応と、 で発生するものの2種類ある。これらの中性子源強度の合計を (ロ) - 第D.4表に示すように合計 n/secである。

核燃料輸送物の実効増倍係数Keffを考慮すると、実効増倍係数は 0.109であり、中性子源強度は次式で求められる。

$$S_2 = \frac{S_1}{1 - K_{eff}}$$

ここで、

S_1 : 1次中性子源強度 (n/sec)

S_2 : 2次中性子源強度 (n/sec)

(ロ) - 第D.4表 中性子源強度

中性子が発生する反応	中性子源強度 (neutrons/sec)
(α , n) 反応	<input type="text"/>
自発核分裂反応	<input type="text"/>
合計	<input type="text"/>
実効増倍係数を考慮した合計	<input type="text"/>

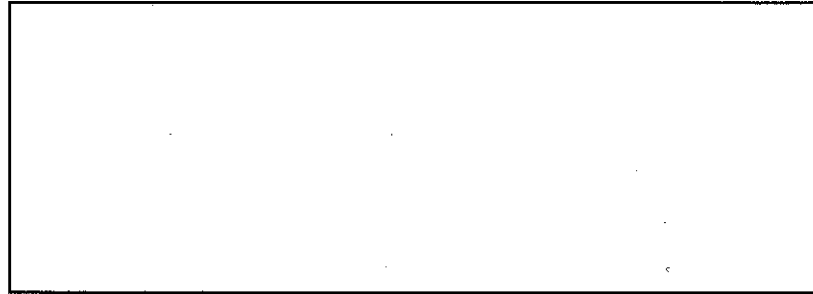
D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

本輸送容器の外容器の は2重殻構造となっているため、外殻と内殻の厚さをそれぞれモデル化する。また、計算はいずれも容器の最小肉厚を用いて行なう。

輸送容器の形状は一般及び特別の試験条件下では、口章A構造解析の落下試験による最大変形を考慮してモデル化した。また、一次密封容器に収納される放射性物質の線源領域については、通常輸送時、一般及び特別の試験条件下において安全側に収納物の偏りを仮定した。上部及び底部モデルについては収納物(□)が収納缶の上端及び底端にそれぞれ偏ったものとし、側部モデルについては収納物(□)が収納缶側壁の1箇所に偏ったものとした。なお、側部モデル線源領域については、二次元評価モデル作成上、収納物が収納缶側壁に偏ったときの線源厚及び線源密度を担保し、収納缶側壁の全周にドーナツ状に存在するものとしてモデル化した。

側部モデルの線源領域の考え方を(ロ)－第D.1-1図に示す。



(ロ)－第D.1-1図 側部モデルの線源領域の考え方

(1) 通常輸送時

輸送容器には変形がないものとして(ロ)－第D.2図に示すモデルとした。一次密封容器内の線源領域については放射性物質の偏りを仮定し、上部、側部及び底部に集まったものとした。

(2) 一般の試験条件

輸送容器は口章A.5.3 自由落下に示す最大変形を考慮し、外容器の側部を□mm、上部及び底部をそれぞれ□mm減ずるものとし、(ロ)－第D.3図に示すモデルとした。また、一次密封容器内の線源領域については(1)通常輸送時と同様とした。

(3) 特別の試験条件

輸送容器については口章A.6.1 落下試験Ⅲに示す最大変形を考慮し、外容器の側部を□mm、上部及び底部をそれぞれ□mm減じた上、外容器の□については□を考慮し、すべてないものとし、(ロ)－第D.4図に示すモデルとした。また、一次密封容器内の線源領域については、(1)通常輸送時、(2)一般の試験条件と同様とした。

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

通常輸送時及び各試験条件下における遮蔽計算に用いた物質の原子個数密度及び各物質の体積比を(ロ)-第D.5表に示す。

また、の密度はg/cm³であり、その組成は以下のとおりである。

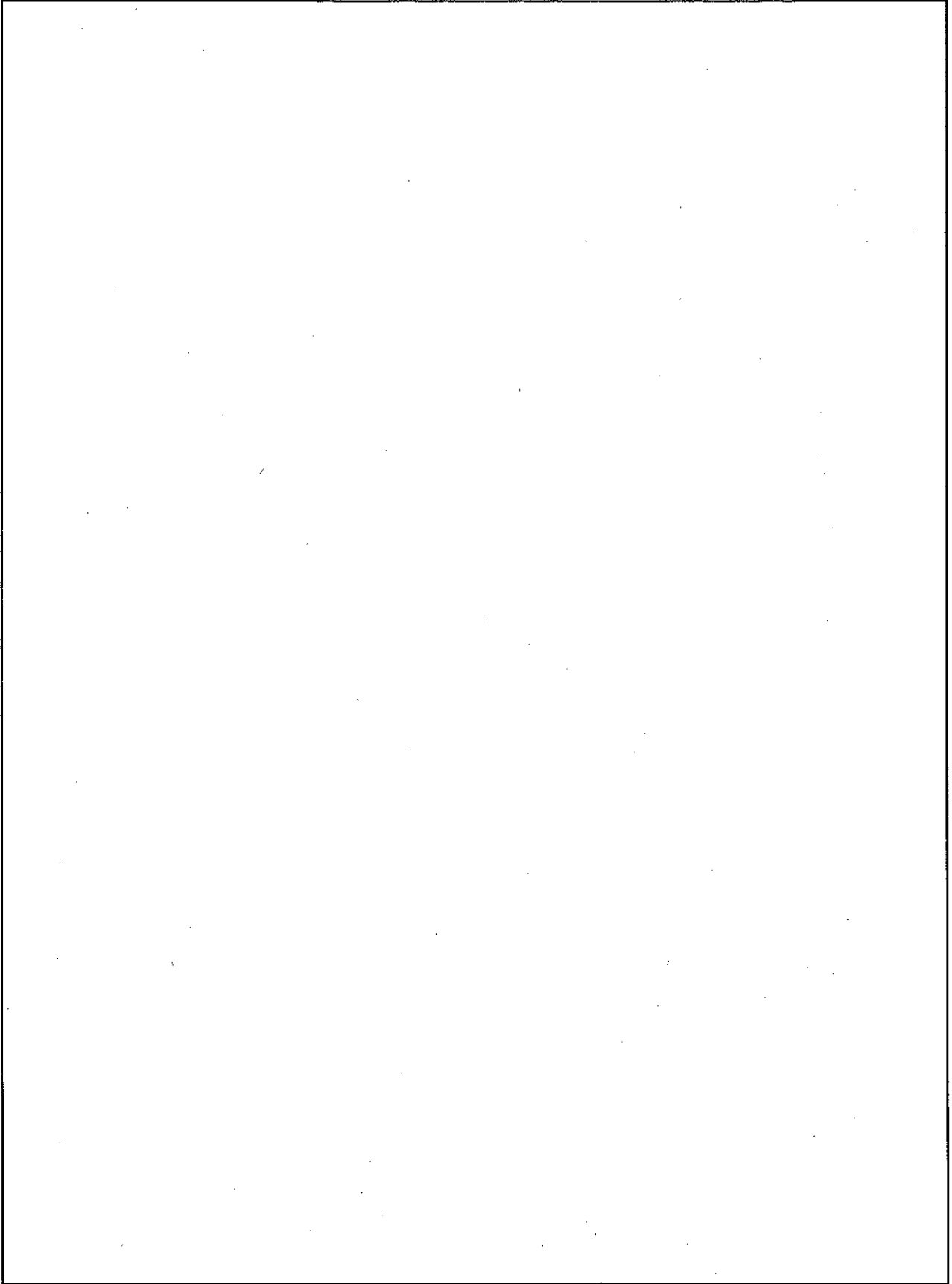
H : w/o
 C : w/o
 O : w/o

(ロ) - 第D.5表 各物質の原子個数密度及び体積比

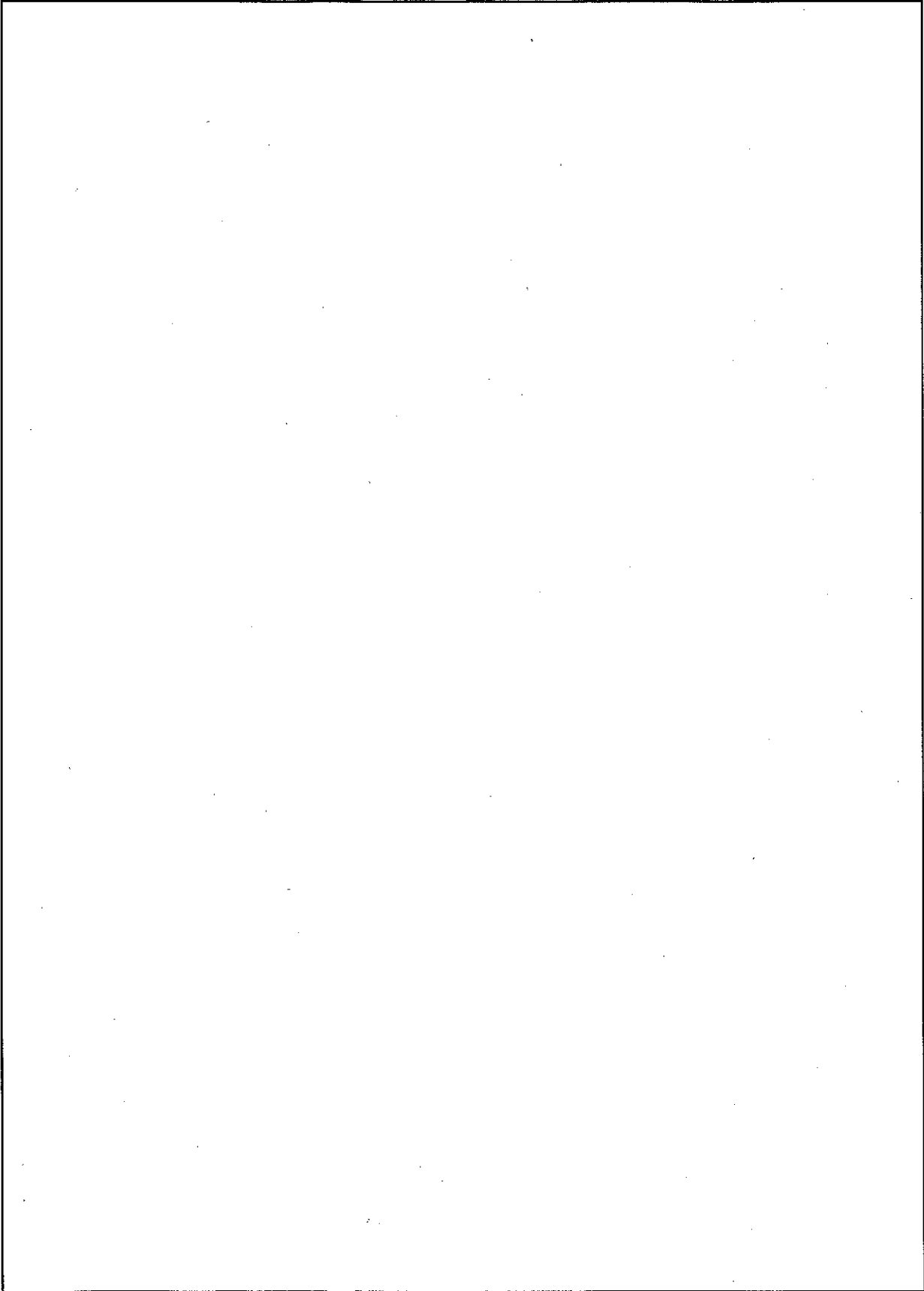
(単位 : $\times 10^{24}$ atom/cm³)

領域 核種		線源領域	<input type="text"/>	<input type="text"/>	空 気
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
原子 個 数 密 度	H			<input type="text"/>	3.91 $\times 10^{-5}$ 1.05 $\times 10^{-5}$
	C			<input type="text"/>	
	N				
	O	<input type="text"/>		<input type="text"/>	
	Cr		<input type="text"/>		
	Fe		<input type="text"/>		
	Ni		<input type="text"/>		
	U-233	<input type="text"/>			
	U-234	<input type="text"/>			
	U-235	<input type="text"/>			
	U-236	<input type="text"/>			
	U-238	<input type="text"/>			
	Pu-238	<input type="text"/>			
	Pu-239	<input type="text"/>			
	Pu-240	<input type="text"/>			
	Pu-241	<input type="text"/>			
	Pu-242	<input type="text"/>			
Pu-244	<input type="text"/>				
Am-241	<input type="text"/>				
体積 比	通常輸送時	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	5.54%
	一般の試験条件	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	6.00%
	特別の試験条件	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	94.02%

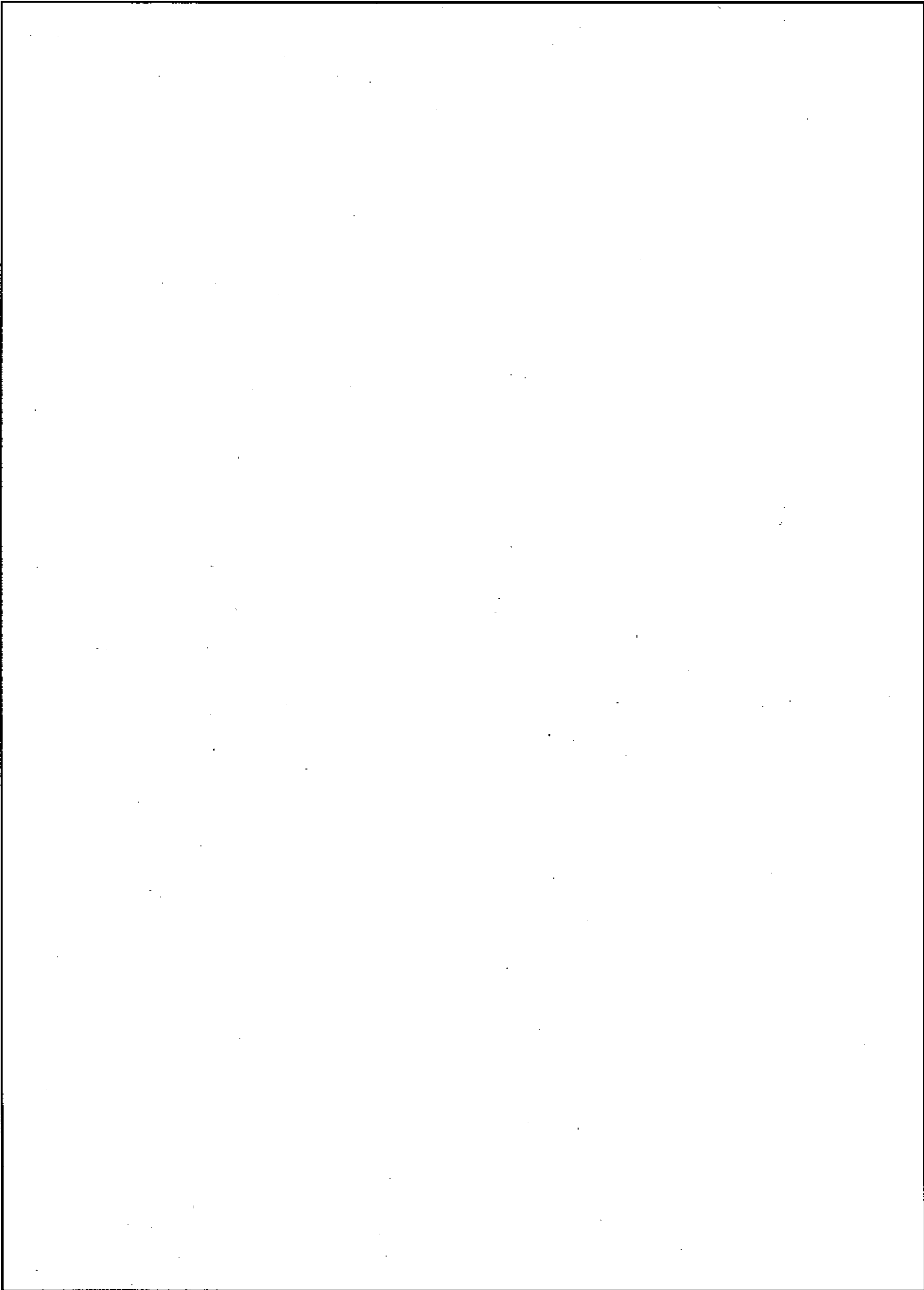
- 注) *1 : ライブラリに含まれていなので、U-235 に含める。
 *2 : ライブラリに含まれていなので、U-238 に含める。
 *3 : ライブラリに含まれていなので、Pu-242 に含める。
 *4 : ライブラリに含まれていなので、Pu-241 に含める。



(ロ) - 第D. 2図 通常輸送時の計算モデル



(ロ) - 第D. 3図 一般の試験条件下の計算モデル



(ロ) - 第D. 4図 特別の試験条件下の計算モデル

D.4 遮蔽評価

中性子及びガンマ線の遮蔽計算には二次元輸送コードDOT3.5を用いた。DOT3.5コードは中性子及びガンマ線の方向依存性を S_n 近似により、散乱の角度依存性を P_l 近似によりそれぞれ扱っている。本解析では遮蔽計算で十分な精度が得られるとされている P_3 、 S_{16} 近似を用いた。

中性子及びガンマ線の断面積には、PSL-40ライブラリのデータを使用した。本ライブラリは、動力炉・核燃料開発事業団において新燃料輸送容器の遮蔽計算用に作成されたもので、すでに多くの使用実績を持っている。このデータのエネルギー群数は中性子が22、ガンマ線が18、計40群である。

また、線量当量率変換係数はICRPの勧告値に基づいている。中性子のエネルギー群構成及び線量当量率変換係数を(ロ)－第D.6表に示し、ガンマ線のエネルギー群構成及び線量当量率変換係数を(ロ)－第D.7表に示す。

(ロ) - 第D.6表 中性子エネルギー群構成と線量当量率変換係数

エネルギー群数	エネルギー範囲 (MeV)	線量当量率変換係数 (mSv/h)/(neutrons/cm ² ·sec)
1	$1.492 \times 10^1 \sim 1.000 \times 10^1$	1.743×10^{-3}
2	$1.000 \times 10^1 \sim 6.703 \times 10^0$	1.478×10^{-3}
3	$6.703 \times 10^0 \sim 4.966 \times 10^0$	1.442×10^{-3}
4	$4.966 \times 10^0 \sim 4.066 \times 10^0$	1.464×10^{-3}
5	$4.066 \times 10^0 \sim 3.012 \times 10^0$	1.475×10^{-3}
6	$3.012 \times 10^0 \sim 2.466 \times 10^0$	1.490×10^{-3}
7	$2.466 \times 10^0 \sim 1.827 \times 10^0$	1.508×10^{-3}
8	$1.827 \times 10^0 \sim 1.353 \times 10^0$	1.533×10^{-3}
9	$1.353 \times 10^0 \sim 9.072 \times 10^{-1}$	1.525×10^{-3}
10	$9.072 \times 10^{-1} \sim 6.081 \times 10^{-1}$	1.370×10^{-3}
11	$6.081 \times 10^{-1} \sim 4.076 \times 10^{-1}$	1.157×10^{-3}
12	$4.076 \times 10^{-1} \sim 1.111 \times 10^{-1}$	6.443×10^{-4}
13	$1.111 \times 10^{-1} \sim 1.503 \times 10^{-2}$	1.181×10^{-4}
14	$1.503 \times 10^{-2} \sim 3.355 \times 10^{-3}$	3.225×10^{-5}
15	$3.355 \times 10^{-3} \sim 5.830 \times 10^{-4}$	2.797×10^{-5}
16	$5.830 \times 10^{-4} \sim 1.013 \times 10^{-4}$	3.156×10^{-5}
17	$1.013 \times 10^{-4} \sim 2.902 \times 10^{-5}$	3.543×10^{-5}
18	$2.902 \times 10^{-5} \sim 1.068 \times 10^{-5}$	3.860×10^{-5}
19	$1.068 \times 10^{-5} \sim 3.059 \times 10^{-6}$	4.272×10^{-5}
20	$3.059 \times 10^{-6} \sim 1.125 \times 10^{-6}$	4.663×10^{-5}
21	$1.125 \times 10^{-6} \sim 4.140 \times 10^{-7}$	4.857×10^{-5}
22	$4.140 \times 10^{-7} \sim 1.000 \times 10^{-8}$	3.675×10^{-5}

出典) ICRP Pub.74 表A.42

(ロ) - 第D.7表 ガンマ線エネルギー群構成と線量当量率変換係数

エネルギー群数	エネルギー範囲 (MeV)	線量当量率変換係数 (mSv/h)/(photons/cm ² ·sec)
1	10.00 ~ 6.813	7.958×10^{-5}
2	6.813 ~ 4.642	6.053×10^{-5}
3	4.642 ~ 3.162	4.690×10^{-5}
4	3.162 ~ 2.154	3.665×10^{-5}
5	2.154 ~ 1.468	2.836×10^{-5}
6	1.468 ~ 1.000	2.139×10^{-5}
7	1.000 ~ 0.6813	1.616×10^{-5}
8	0.6813 ~ 0.4642	1.171×10^{-5}
9	0.4642 ~ 0.3162	8.223×10^{-6}
10	0.3162 ~ 0.2154	5.646×10^{-6}
11	0.2154 ~ 0.1468	3.823×10^{-6}
12	0.1468 ~ 0.1000	2.593×10^{-6}
13	0.1000 ~ 0.06813	1.936×10^{-6}
14	0.06813 ~ 0.04642	1.873×10^{-6}
15	0.04642 ~ 0.03162	2.387×10^{-6}
16	0.03162 ~ 0.02154	3.330×10^{-6}
17	0.02154 ~ 0.01468	3.586×10^{-6}
18	0.01468 ~ 0.01000	1.754×10^{-6}

出典) ICRP Pub. 74 表A. 21

D.5 結果の要約と評価

以上により線量当量率を計算した結果は (ロ)-第D.1表に示したとおりである。

この表より通常輸送時における核燃料輸送物表面及び表面から1 mの地点での最大線量当量率はそれぞれ 6.3×10^{-2} mSv/h, 5.6×10^{-3} mSv/h以下であり, 基準値(それぞれ2 mSv/h, 0.1 mSv/h)を満足する。

一般の試験条件下では核燃料輸送物表面の最大線量当量率は 6.7×10^{-2} mSv/h以下であり, 基準値(2 mSv/h)を満足する。

特別の試験条件下における核燃料輸送物表面から1 m離れた地点での最大線量当量率は 7.6×10^{-3} mSv/h以下であり, 基準値(10 mSv/h)を満足する。

また, 核燃料輸送物表面における通常輸送時に対する一般の試験条件下の最大線量当量率の増加率は15.4%であり, 著しい増加はない。

D.6 参考文献

- [1] RSIC Computer Code Collection , "DOT3.5 Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code, 2" CCC-276 (1977)
- [2] M. J. Bell ; ORIGEN-The ORNL Isotope Generation and Depletion Code, ORNL-4628, (1973)
- [3] 湯本他, 「プルトニウム燃料遮蔽計算用中性子・ガンマ線結合40群断面積セットPSL-40ライブラリの開発」, (1979年7月)

E. 臨界解析

E.1 概 要

本核燃料輸送物は、収納物中に含まれる核分裂性物質の量が15gを超えるため、核分裂性輸送物に該当する。本核燃料輸送物の臨界解析の条件と結果を(ロ)－第E.1表に示す。

(ロ)－第E.1表 臨界解析条件及び結果

解 析 条 件	輸送制限個数		任 意		
	密封装置への水の浸入		なし		
	収納物の配列		任 意 (均質化燃料)		
	中性子吸収材・毒物		本容器では中性子吸収を目的とした物質は用いていない。		
水	孤立系の場合	核燃料輸送物の周囲に20cmの厚さの水が存在する。			
	配列系の場合	核燃料輸送物は無限個存在するとし、核燃料輸送物の相互間の空気については、空気中の水分の変化を考慮している。また、 は空気と置き換え、空気中の水分の変化を考慮している。空気中の水分変化は、水密度をパラメータとし、最も厳しい条件で評価する。			
解 析 結 果*			通常輸送時	一般の試験条件下	特別の試験条件下
	実効増倍係数 (孤立系核燃料輸送物)		0.109	0.111	0.123
	実効増倍係数 (配列系核燃料輸送物)		—	0.121	0.367

* 解析結果は、増倍係数 (keff) とモンテカルロ計算に伴う標準偏差 (σ) の3倍の和 ($keff + 3\sigma$) を計算結果とする。

本核燃料輸送物は通常輸送時、一般及び特別の試験条件下においても、構造解析、熱解析の結果より一次及び二次密封容器の密封性は保持されるため、これらの密封容器の内部に水が浸入することはない。

通常輸送時の解析モデルは輸送に供されるべく設計されたままの状態とした。また、核燃料輸送物の解析モデルは、一般の試験条件下の解析モデルについてはロ章 A.9.1 核分裂輸送物に係る一般の試験条件下における核燃料輸送物の落下試験による外容器の変形を考慮することとし、特別の試験条件下における核燃料輸送物の

解析モデルについてはロ章A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における核燃料輸送物の落下試験による外容器の変形及び火災試験による [] の焼失を考慮したものとした。これらの核燃料輸送物について孤立系の場合は核燃料輸送物の周囲に厚さ20 cmの水が存在するものとして評価し、配列系の場合には、核燃料輸送物の外境界面をすべて鏡面反射として核燃料輸送物が無限個存在するものとした。

また、本核燃料輸送物の収納物は、イ章で述べたように各種ウラン試料、プルトニウム試料、ウラン・プルトニウム混合試料 [] [] であり、本解析においてはこれらを臨界解析上、最も厳しくなるような割合により解析を行った。

使用した解析コードは多群モンテカルロ法臨界解析コードKENO-IV^[1]である。また、核定数データとしては本コードに内蔵されているKnight-modified Hansen-Roach核データセット^[2]を主とする中性子16群の核断面積ライブラリを用いた。

孤立系核燃料輸送物の解析結果は実効増倍係数に3倍の標準偏差を考慮した場合の通常輸送時で0.109、一般の試験条件下の核燃料輸送物で0.111であり、特別の試験条件下の核燃料輸送物で0.123である。

配列系核燃料輸送物の解析結果は実効増倍係数に3倍の標準偏差を考慮した場合、一般の試験条件下の核燃料輸送物で0.121であり、特別の試験条件下の核燃料輸送物で0.367である。

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

本核燃料輸送物の収納条件はイ章Dに示すとおり、最大収納量はウラン・プルトニウム混合試料 [] gを収納したときである。本解析では臨界解析上、最も厳しくなる収納物量とするため、最大収納量 [] gのすべてをウラン及びプルトニウムの核分裂性核種とした。さらに、 [] を想定して、これら核分裂性核種は [] ものとし、それが [] に集まったものとした。

本解析に用いた収納物仕様を (ロ)-第E.2表に示す。

(ロ) - 第E.2表 収 納 物 仕 様

核 種	Pu, U同位体 の最大収納量	解析に用いた 収納量
U-233	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-234	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-235	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-236	<input type="text"/>	<input type="text"/>
U-238	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-238	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-239	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-240	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-241	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-242	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-244	<input type="text"/>	<input type="text"/>

E.2.2 輸送容器

(1) 通常輸送時の輸送容器

通常輸送時の輸送容器は、通常輸送時における振動等による破損、変形はない。また、低温環境下(-40℃)における構成部品材料の性能も保持される。したがって、構造材については、輸送に供するべく設計されたままの状態としている。

(2) 一般の試験条件下の輸送容器

一般の試験条件下における輸送容器では、落下試験による外容器の変形について考慮している。上部、底部についてはそれぞれ垂直落下による最大変形量を考慮し、側部については水平落下による最大変形量を考慮した外半径としている。

(3) 特別の試験条件下の輸送容器

特別の試験条件下における輸送容器では、落下試験等による外容器への変形、さらに耐火試験による の焼失を考慮している。上部、底部についてはそれぞれ垂直落下による最大変形量を考慮し、側部については水平落下による最大変形量を考慮した外半径としている。

E.2.3 中性子吸収材

本輸送容器では中性子吸収を目的とした物質は用いていない。

E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

収納物は、 し、
 に集まったものとした。

(1) 通常輸送時の核燃料輸送物

通常輸送時の解析モデルは輸送容器を構成する各構成材については設計どおりの寸法及び配置を担保している。

した。モデルは三次元有限円柱とした。

孤立系の場合にはその核燃料輸送物の周囲に20 cm厚の水が存在するとしている。解析モデルを(ロ) - 第E.1図に示す。

(2) 一般の試験条件下の輸送物

一般の試験条件下の核燃料輸送物の解析モデルはロ章A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件による変形量を考慮する。上部及び底部については、それぞれ垂直落下による最大変形量 () を通常輸送時核燃料輸送物解析モデルの 及び の厚さから減じた厚さで中心に寄せ、密封容器の外側に配置する。側部については水平落下による最大変形量 () を 及び の厚さから減じて中心に寄せた外半径で密封容器の外側に配置した。

孤立系の場合には、その核燃料輸送物の周囲に20 cm厚さの水が存在するとしている。解析モデルを(ロ) - 第E.2図に示す。

配列系の場合には核燃料輸送物のすべての外境界面を完全鏡面反射とし、無限個の核燃料輸送物が存在しているとしている。また、核燃料輸送物相互間の隙間については、空気中の水分の変化を考慮(水密度は0%~100%)した。解析モデルを(ロ) - 第E.3図に示す。

(3) 特別の試験条件下の核燃料輸送物

特別の試験条件下の核燃料輸送物の解析モデルは口章 A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件による変形等を考慮する。上部及び底部については、それぞれ垂直落下による最大変形量 () を通常輸送時核燃料輸送物解析モデルの () の厚さから減じた厚さで中心に寄せ、密封容器の外側に配置する。側部については水平落下による最大変形量 () を () の厚さから減じて中心に寄せた外半径で密封容器の外側に配置した。また、外容器内にある () については火災試験による焼失を想定して、その存在を無視して空気に置き換え、落下試験Ⅱによる変形は局所的であるため無視した。

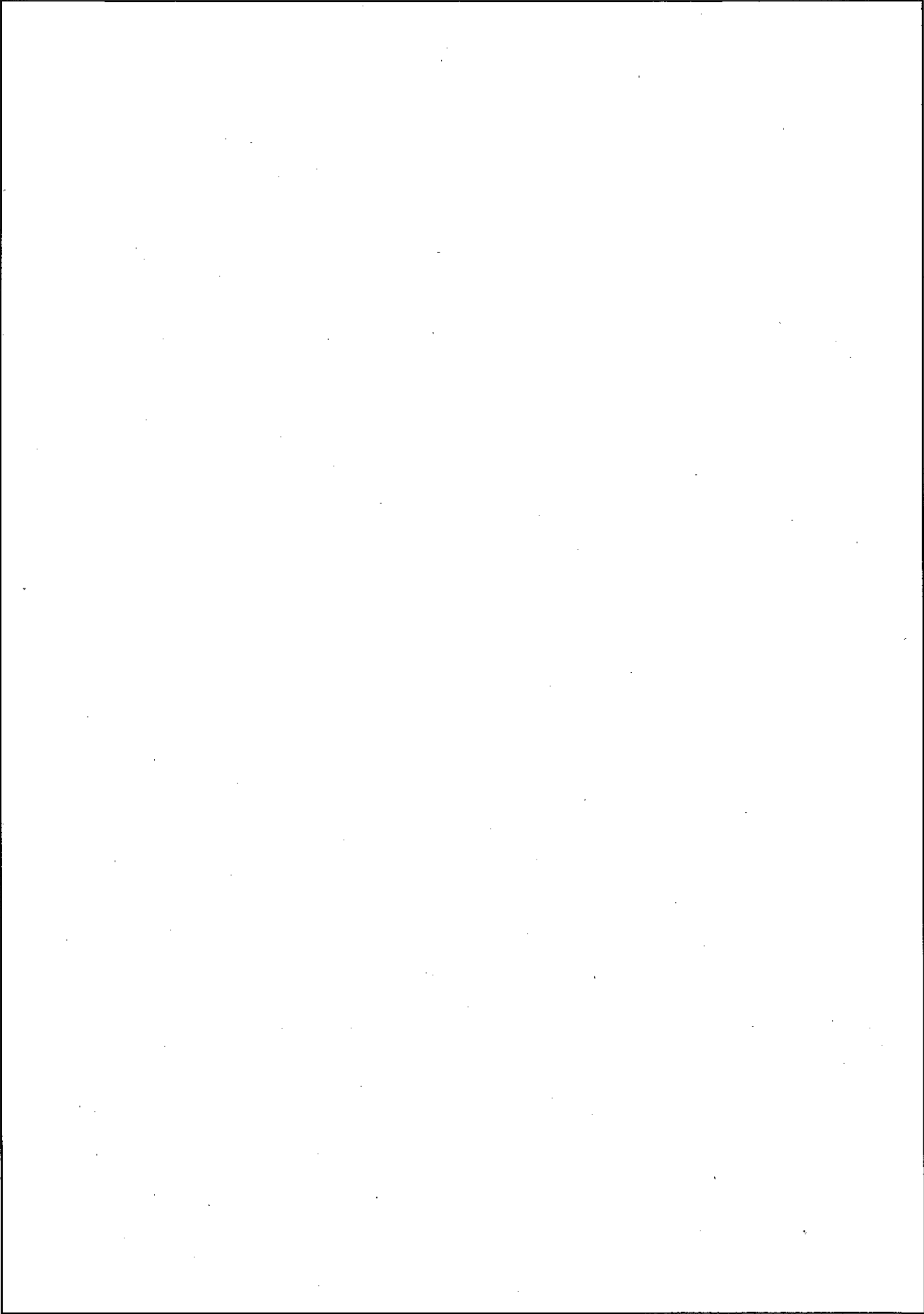
孤立系の場合には、その核燃料輸送物の周囲に 20 cm 厚さの水が存在するとしている。解析モデルを (口) - 第 E.4 図に示す。

配列系の場合には核燃料輸送物のすべての外境界面を完全鏡面反射とし、無限個の核燃料輸送物が存在しているとしている。また、核燃料輸送物相互間の隙間及び () 部の空気については、空気中の水分の変化を考慮 (水密度は 0% ~ 100%) した。解析モデルを (口) - 第 E.5 図に示す。

(ロ) 一第E.1図 通常輸送時・孤立系の解析モデル

(ロ) - 第E.2図 一般の試験条件下・孤立系の解析モデル

(ロ) - E - 5 - 1



(ロ) - 第E. 3図 一般の試験条件下・配列系の解析モデル

(ロ) 一第E.4図 特別の試験条件下・孤立系の解析モデル

(ロ)-E-7

(ロ) - 第E.5図 特別の試験条件下・配列系の解析モデル

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本解析に使用した各物質の原子個数密度及び体積比は、(ロ)-第E.3表に示すとおりである。

(ロ) - 第E.3表 各物質の原子個数密度及び体積比

(単位: 10^{24} atom/cc)

	材料				水	ボイド
	元素					
原子 個 数 密 度	H		—		6.685×10^{-2}	—
	C	—	—		—	—
	N	—	—	—	—	—
	O		—		3.346×10^{-2}	—
	Cr	—		—	—	—
	Fe	—		—	—	—
	Ni	—		—	—	—
	U-233		—	—	—	—
	Pu-239		—	—	—	—
	Pu-241		—	—	—	—
体 積 比	通常輸送時				—	
	一般の試験条件				—	
	特別の試験条件			—	87.11%	

E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

(1) 収納物

本核燃料輸送物に収納される収納物は前述のとおり各種ウラン試料、プルトニウム試料及びウラン・プルトニウム混合試料であり、これらの形態は [] [] である。

解析ではこれら収納物について、臨界解析上、厳しくなるように核分裂性物質の量を定めている。

よって、解析に用いている燃料装荷量は安全側のものである。

(2) 輸送容器

① 通常輸送時の輸送容器

通常輸送時の輸送容器は、通常輸送時における振動等による破損、変形はない。

また、低温環境下における構成部品材料の性能も保持される。したがって、構造材については、輸送に供するべく設計されたままの状態としている。

② 一般の試験条件下の輸送容器

一般の試験条件下の輸送容器では落下試験等による外容器への変形を上部、底部については垂直落下による最大変形量を考慮し、側部については水平落下による最大変形量を考慮した外半径としている。

③ 特別の試験条件下の輸送容器

特別の試験条件下の輸送容器では、落下試験等による外容器への変形及び火災試験による の焼失を考慮している。上部、底部については垂直落下による最大変形量を考慮し、側部については水平落下による最大変形量を考慮した外半径としている。

(3) 中性子吸収材

本輸送容器では中性子吸収を目的とした物質は用いていない。

E.4.2 核燃料輸送物への水の浸入等

本輸送容器は通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において密封装置である一次密封容器及び二次密封容器は健全であり、その密封性は保たれる。よって、密封装置内に水が浸入しないものとして解析を行っている。

E.4.3 計算方法

本核燃料輸送物の実効増倍係数の算出には、多群モンテカルロ法に基づくKENO-IVコードを用いて行った。また、核断面積としてはKENO-IVコードに内蔵されているKnight-modified Hansen-Roachの核断面積データセットを主とする16群の核断面積ライブラリを使用した。

E.4.4 計算結果

通常輸送時の孤立系，一般の試験条件下での孤立系と配列系及び特別の試験条件下での孤立系と配列系における実効増倍係数を(ロ)－第E.4表に示す。

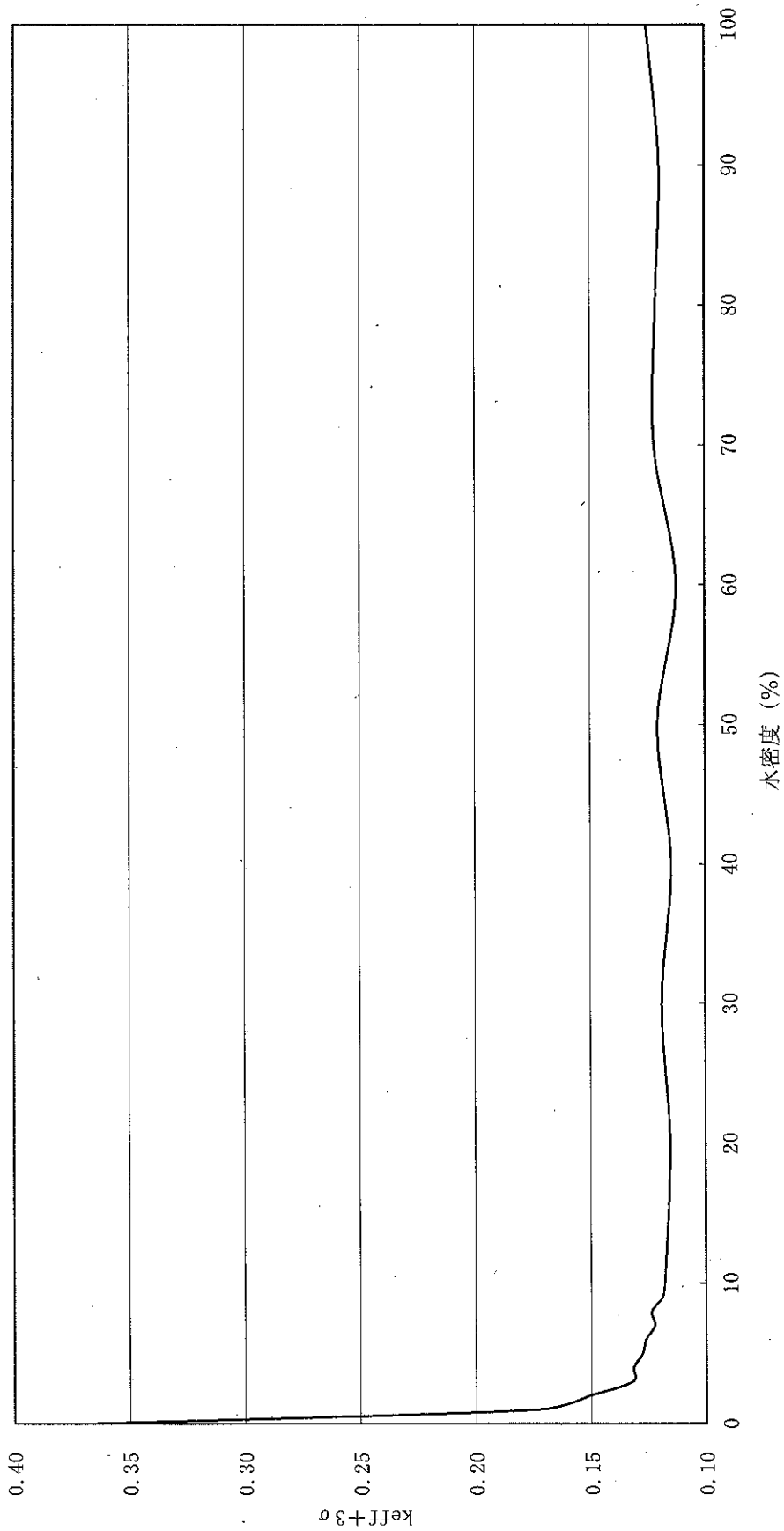
通常輸送時の孤立系においては，核燃料輸送物の周囲に20cm厚さの水が存在するとした。また，一般の試験条件下での核燃料輸送物の孤立系においては，核燃料輸送物の周囲には20cmの水が存在するとし，特別の試験条件下での核燃料輸送物の孤立系においては，核燃料輸送物の周囲には20cmの水が存在するとともに，容器内の□を水に置き換えた。

一般の試験条件下での核燃料輸送物の配列系においては，周囲の水密度をパラメータとし $k_{eff} + 3\sigma$ の値が最大のものを実効増倍係数としている。水密度をパラメータとした場合の実効増倍係数の計算結果を(ロ)－第E.6図に示す。なお，一般の試験条件下での核燃料輸送物の配列系においては，水密度が6%の場合で実効増倍係数が最大となる。

特別の試験条件下での核燃料輸送物の配列系においては，緩衝材である□を空気に置き換え，空気中の水分の変化を考慮して解析を実施している。水分の変化については，水密度をパラメータとして $k_{eff} + 3\sigma$ の値が最大のものを実効増倍係数としている。その結果を(ロ)－第E.7図に示す。なお，特別の試験条件下での核燃料輸送物の配列系においては，水密度が0%の場合で実効増倍係数が最大となる。

(ロ)－第E.4表 臨界解析の結果

		通常輸送時	一般の試験条件下	特別の試験条件下
孤立系	実効増倍係数 (k_{eff})	0.103	0.105	0.114
	標準偏差 (σ)	0.002	0.002	0.003
	$k_{eff} + 3\sigma$	0.109	0.111	0.123
配列系	実効増倍係数 (k_{eff})	-	0.115	0.358
	標準偏差 (σ)	-	0.002	0.003
	$k_{eff} + 3\sigma$	-	0.121	0.367



(口) - 第E.7図 特別の試験条件下・配列系の実効増倍係数

E.5 ベンチマーク試験

(1) ベンチマーク試験

本解析で用いたKENO-IVコード及び群定数（断面積）Hansen-Roach16群ライブラリによるベンチマーク計算を行った。

ベンチマーク計算には、米国ORNL (Oak Ridge National Laboratory) と日本原子力研究所で行われた臨界実験の報告書^[5]を基とした。

報告書の中から、FTR (Fast Test Reactor) 燃料要素を用いた臨界実験のうち3ケースについて計算を行った。

(2) ベンチマーク試験の詳細

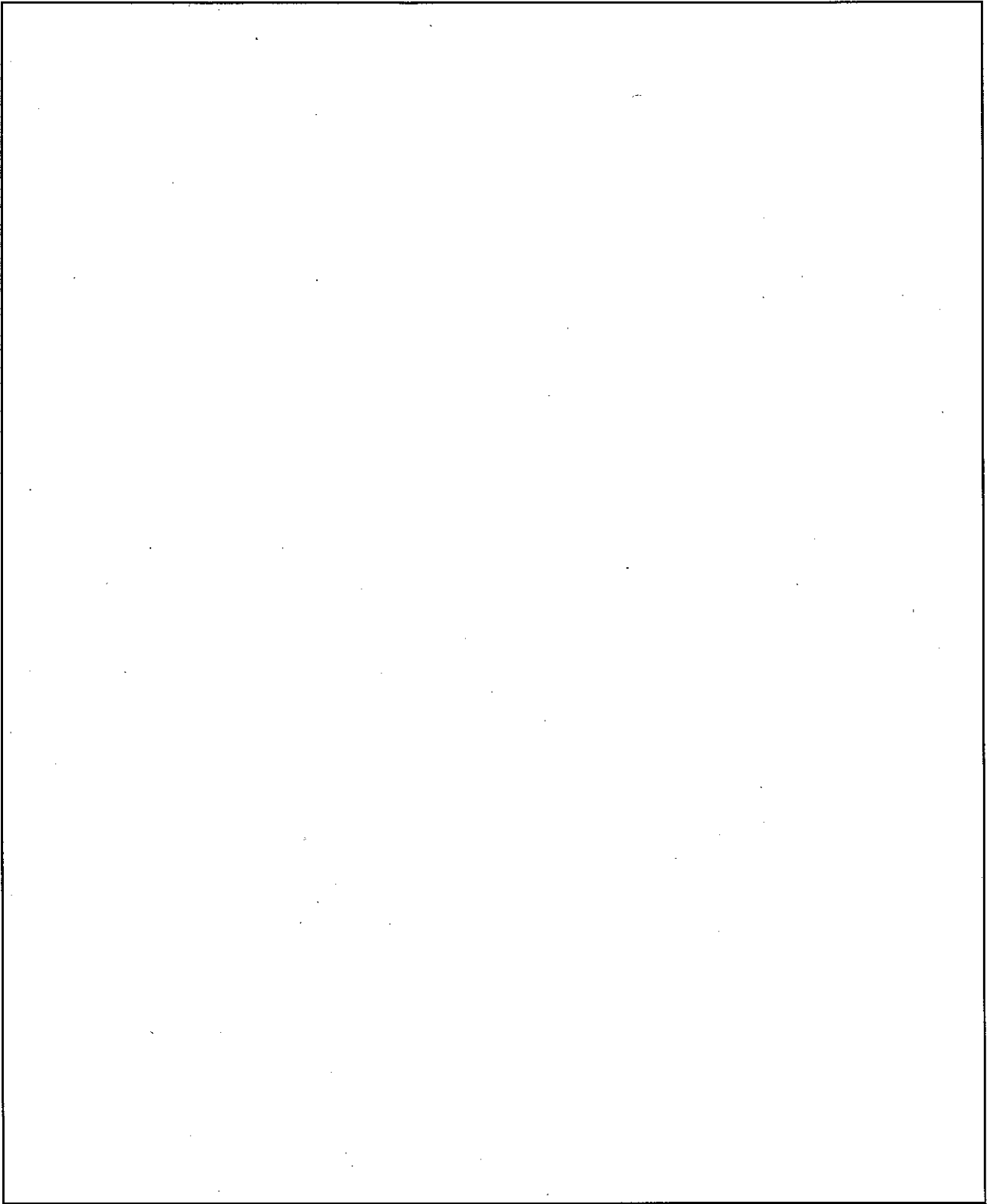
臨界実験では、FTR燃料要素を実験装置内で所定のピッチで格子に組み、水位を変えて臨界調整を行った。

FTR燃料要素の仕様を、(ロ) - 第E.5表及び(ロ) - 第E.8図に示す。実験にはタイプ-1及びタイプ-2のプルトニウム富化度の違う2種類の燃料要素を用いている。

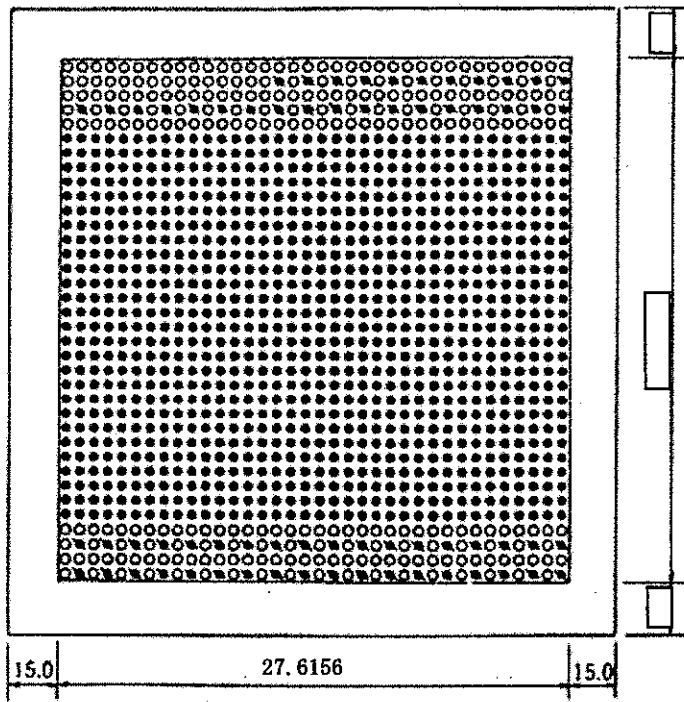
この燃料要素は、数種類の所定のピッチで格子に組み実験が行われた。解析では、このうち3ケースについて選り実施した。解析モデルを、(ロ) - 第E.9図から(ロ) - 第E.11図に示す。解析モデルは燃料要素と水反射体からなっている。各領域の各材質の原子個数密度を(ロ) - 第E.6表に示す。また、各解析モデルの計算条件を(ロ) - 第E.7表に示す。

(ロ) - 第E.5表 FTR燃料要素の仕様

項目	タイプ-1	タイプ-2
プルトニウム富化度(wt%)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ウラン濃縮度	<input type="text"/>	<input type="text"/>
プルトニウム組成(wt%)		
Pu-238	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-239	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-240	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-241	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pu-242	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ペレット密度(g/cm ³)	<input type="text"/>	<input type="text"/>



(口) - 第E.8図 臨界実験装置内におけるFTR燃料要素の寸法形状



ピッチ : (cm)

● :

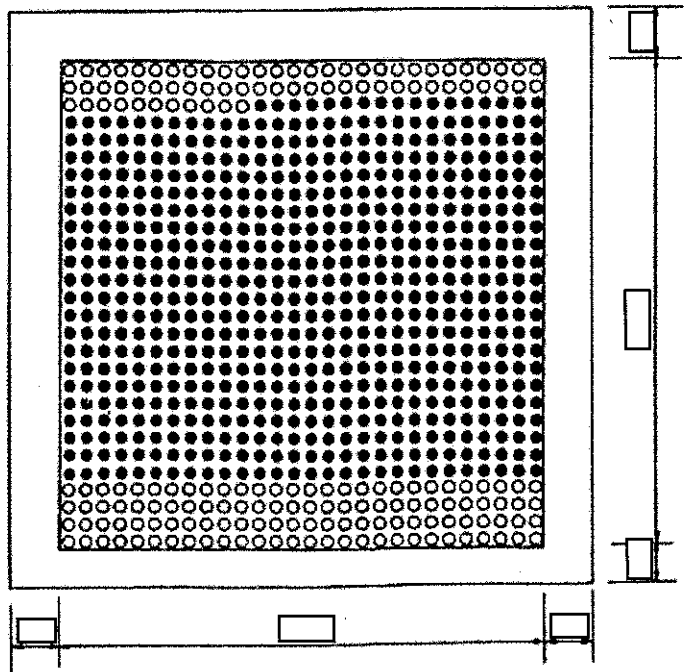
● :

○ :

□ :

(単位 : cm)

(ロ) - 第 E.9 図 ケース 1 の解析モデル



ピッチ : (cm)

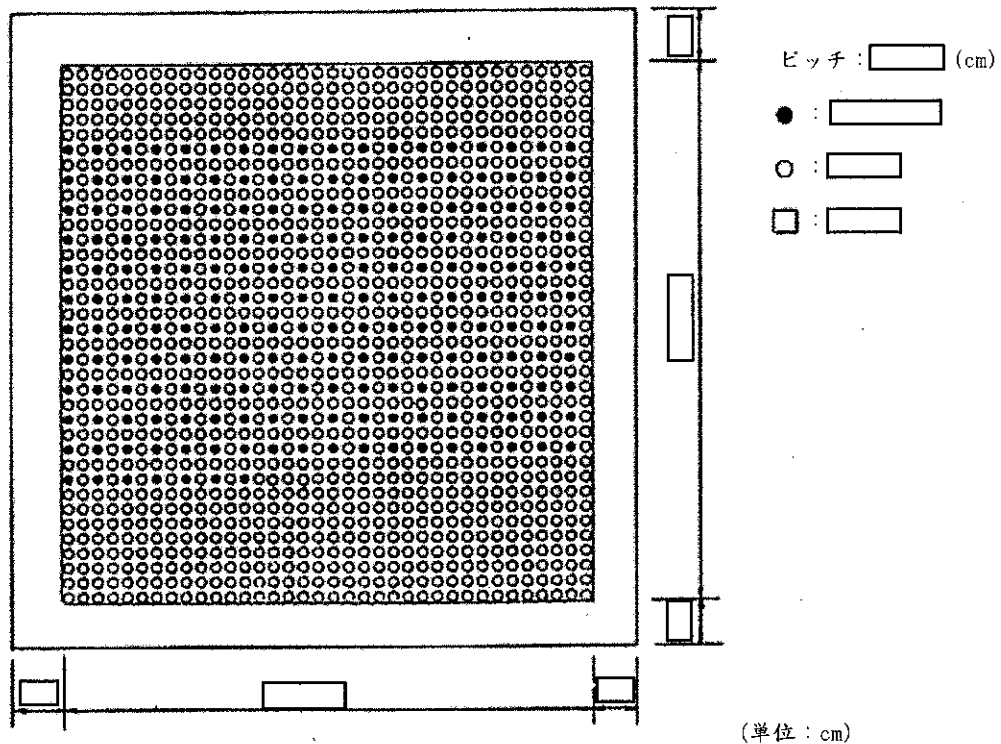
● :

○ :

□ :

(単位 : cm)

(ロ) - 第 E.10 図 ケース 2 の解析モデル



(ロ) - 第 E.11 図 ケース 3 の解析モデル

(3) ベンチマーク試験の結果

ベンチマーク試験の計算結果を(ロ) - 第E.8表に示す。

このベンチマーク試験に対する解析方法と、同様の手法で計算して得られた本核燃料輸送物に対する実効増倍係数も安全側の評価となっていると考えられる。

以上より、臨界解析に用いたKENO-IVコード及び群定数(断面積)Hansen-Roach16群ライブラリを用いることは妥当であると考えられる。

(ロ) - 第E.8表 ベンチマーク試験結果

	ベンチマーク計算			臨界実験結果		
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース1	ケース2	ケース3
実効増倍係数 (k_{eff})	1.012	1.005	1.008	1.017	1.016	1.014
標準偏差 (σ)	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.005
$k_{eff} + 3\sigma$	1.024	1.017	1.023	1.032	1.028	1.029

E.6 結果の要約と評価

本核燃料輸送物の臨界解析は、通常輸送時の孤立系、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における核燃料輸送物の孤立系及び配列系について実施している。

通常輸送時では輸送に供されるべく設計されたままの状態を解析モデルとしている。

また、一般の試験条件下の核燃料輸送物では落下試験による外容器の変形を考慮し、特別の試験条件下の核燃料輸送物では落下試験による外容器の変形を考慮するとともに、火災試験等による の損失を考慮している。

通常輸送時の孤立系、一般の試験条件下及び特別の試験条件下の核燃料輸送物の孤立系では、核燃料輸送物の周囲に20cmの厚さの水が存在するとし、一般の試験条件下及び特別の試験条件下の核燃料輸送物の配列系では、核燃料輸送物の外表面をすべて鏡面反射として核燃料輸送物が無限個存在するとしている。

解析の結果は、(ロ)-第E.4表に示すとおりであり、核燃料輸送物はいかなる状態においても臨界に達することはない。

E.8 参考文献

- [1] Petrie L.M. and Cross N.F. : "KENO-IV-An Improved Monte Carlo Criticality Program"
ORNL-4398, (Nov. 1975)
- [2] Hansen G.E. and Roach W.H. : "Six and Sixteen Group Cross for Fast and Intermediate
Assemblies", LAMS-2543 (Dec, 1961)

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

本核燃料輸送物について、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の要因については、以下のとおりである。

本核燃料輸送物の使用期間中において想定される経年変化の要因としては、輸送容器の保管及び使用中における温度変化、収納物からの放射線、腐食等の化学的変化が考えられる。そこで、これらの経年変化が想定される要因に対する本核燃料輸送物の主要部材に関する経年変化の考慮について以下に示す。

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

本核燃料輸送物の主要部材は、口章 A.3 材料の機械的性質に示すとおりである。これらの材料のうち経年変化を考慮する部材は、 及び である。

これら部材の安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価について、以下に示す。

なお、Oリング及び収納物の経年変化について、Oリングは気密漏えい検査等の定期自主検査における保守管理で保証し、収納物は輸送毎に準備するため、経年変化を考慮する必要はない。

(1) 熱的評価

1)

密封容器、外容器構造材に使用する 及びボルト材として使用する について、使用期間中の最高温度は、口章 B.4.2 で述べたとおり、一般の試験条件下の日陰において外容器胴部外表面で °C であり、外容器胴・内殻で °C である。本核燃料輸送物の使用予定回数は年間 1 回程度であり、それ以外の期間において本輸送容器は、施設内にて保管管理している。以上のことから、使用期間中の温度変化では、 の機能の低下はおきないため、経年変化を考慮する必要はない。

2)

緩衝材に使用する について、使用期間中の最高温度は、口章 B.4.2 で述べた一般の試験条件下の日陰における外容器胴・内殻の温度 (°C) 程

度であると考えられる。本核燃料輸送物の使用予定回数は年間 1 回程度であり、それ以外の期間において本輸送容器は、施設内にて保管管理している。以上のことから、使用期間中の温度変化では、の機能の低下はおきないため、経年変化を考慮する必要はない。

(2) 放射線評価

1)

密封容器、外容器構造材に使用する 及びボルト材として使用する について、収納する核燃料物質の重量は、最大 g (
,) であることから、使用期間中の中性子照射量は、1 次密封容器で、中性子照射の影響がないものと考えられている照射量 (10^{15} n/cm²) ^[1] と比べて非常に低い照射量 (n/cm² オーダー程度) である。本核燃料輸送物の使用予定回数は年間 1 回程度であり、それ以外の期間において本輸送容器は、施設内にて保管管理している。以上のことから、使用期間中の放射線では、の機能の低下はおきないため、経年変化を考慮する必要はない。

2)

緩衝材に使用する について、収納物からの距離が近い内側緩衝体の使用期間中の中性子照射量は、前述した の使用期間中の中性子照射量 (n/cm² オーダー程度) 以下であると考えられ、中性子照射の影響がないものと考えられている照射量 (n/cm²) ^[2] と比べてわずかである。また、 γ 線の線量は、内側緩衝体で、照射の影響がないものと考えられている γ 線の線量 (Gy) ^[3] と比べて非常に低い線量 (Gy オーダー程度) である。以上のことから、使用期間中の放射線では、の機能の低下はおきないため、経年変化を考慮する必要はない。

(3) 腐食評価

1)

密封容器、外容器構造材に使用する 及びボルト材として使用する について、大気中での均一腐食深さは、 便覧^[4]によれば年間 以下であり、使用期間中の環境下 (大気中) での腐食深さは最大で と推定され、構造強度への影響はないため、経年変化を考慮する必要は

ない。

2)

緩衝材に使用する について、外側緩衝体は、 により被覆された構造であり、使用期間中の使用状況であれば、腐食等の化学的影響は受けないため、経年変化を考慮する必要はない。内側緩衝体は、外観検査等の定期自主検査における保守管理で保証するため、経年変化を考慮する必要はない。

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

本核燃料輸送物に係る主要部材について、安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価を行った。その結果、本核燃料輸送物について、安全解析における経年変化を考慮する必要はない。

F.4 参考文献

- [1] 電力中央研究所報告「使用済燃料輸送・貯蔵キャスク構造材料の照射脆化に関する調査
(平成15年2月)」
- [2] JAERI-M 9412「原子力産業に要求される高分子材料」栗山 将(1981年3月)
- [3] 「材料」第16巻 第169号,「木材の化学加工」後藤 輝男
- [4]

--

G. 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

(その1)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対応項目	備 考
第3条第1項				
第1号	第3条	本核燃料輸送物はBU型輸送物であるので該当しない。		
第2号	第4条	本核燃料輸送物はBU型輸送物であるので該当しない。		
第3号	第4条及び 別表第一	本核燃料輸送物の収納物は各種試料であり、特別形以外の核燃料物質であり、放射能の量は最大 <input type="text"/> である。したがって、原子力規制委員会の定める量 A_2 を超える。よって、本核燃料輸送物はBU型輸送物に該当する。	(イ) A (イ) D	
第3条第2項	第5条	本核燃料輸送物はBU型輸送物であるので該当しない。		
第3項		<p>本核燃料輸送物はBU型輸送物であるので第7条に定める技術基準の適用を受ける。</p> <p>また、第7条技術上の基準の適合性評価に当たり経年変化の考慮が求められることから、以下に示すように評価した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本核燃料輸送物の使用予定年数及び使用予定回数に基づき、経年変化を評価する。 2. 収納物は、当該輸送日数で経年変化が起こらないことから、核燃料輸送物の主要部材について考慮する。 3. 経年変化の要因として、熱、放射線照射及び化学的变化とする。 4. 熱の影響は、使用期間中の最高温度は、 	(イ) A	

(その2)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対応項目	備 考
第4条 第5条 第6条 第7条第1号		<p>外容器胴部外表面で [] °C、外容器胴・内殻で [] °Cであり、 [] 及び [] の機能の低下は起きない。</p> <p>5. 放射線照射の影響は、使用期間中に収納物からの放射線を受けるとしても、材料強度に影響が現れる照射量 [] n/cm₂ を十分に下回る。</p> <p>6. 化学的变化は、 [] は使用期間中の環境下(大気中)での腐食深さは最大で [] と推定され構造強度への影響はなく、 [] の外部緩衝体は [] により被覆され使用期間中は腐食等の化学的影響は受けない。内側緩衝体の [] は、外観検査等の定期自主検査における保守管理で保証する。</p> <p>以上より、核燃料輸送物は経年変化による影響はない。</p> <p>本核燃料輸送物はBU型輸送物であるので該当しない。</p> <p>本核燃料輸送物はBU型輸送物であるので該当しない。</p> <p>本核燃料輸送物はBU型輸送物であるので該当しない。</p> <p>本核燃料輸送物の取扱いは、以下に示すように容易、かつ、健全に取り扱えるように設計されている。</p>		第5条第1号 第4条第1号

(その3)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対 応 項 目	備 考
		<p>1. 本核燃料輸送物（最大重量は□である）の取扱いは、輸送容器外容器上部側面に取り付けた吊金具を用い、クレーン等を利用して容易、かつ、安全に行える。また、輸送中は専用の締付装置を用いて専用積載車両上に強固に固定される。</p> <p>2. 輸送容器の外容器上部の吊金具は、核燃料輸送物最大重量の3倍の負荷荷重に耐えられるように設計されているので、急激な吊上げに十分耐えられる。また、吊金具と吊上用具との締結は、操作時に容易に外れない構造である。</p> <p>3. 輸送中に使用する締付装置は核燃料輸送物の安全性を損なうものではなく、核燃料輸送物の専用積載車両への固定時の設計は、進行方向2G、横方向2G、垂直方向2Gの加速度に対して耐えられるようになされている。</p> <p>外容器蓋締付ボルト、一次密封容器蓋締付ボルト、二次密封容器蓋締付ボルト等のボルトは、輸送時の振動によって緩まないようにトルク管理で強固に締め付けられている。</p> <p>本輸送容器は以下に示すように、輸送中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により亀裂、破損等の生じるおそれがないよう</p>	<p>(イ) C</p> <p>(ロ) A. 4. 4</p> <p>(ロ) A. 4. 5</p> <p>(ロ) A. 4. 7</p>	<p>第4条第2号</p>

(その4)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対 応 項 目	備 考
第7条第1号		<p>に設計されている。</p> <p>1. 本輸送容器は外容器（外殻及び内殻 []，緩衝材 []）二次密封 容器（ [] ），一次密封容器（ [] ） から成っており，十分な構造強度，熱的 特性，密封性能等を有している。</p> <p>2. 一次密封容器，二次密封容器及び外容器 の蓋はトルク管理で蓋締付ボルトにより 強固に締め付けられており，輸送中に内 圧や振動によって開くことはない。</p> <p>3. 収納物の最大発熱は [] であり，輸送 中の収納物の最高温度は [] である。 この温度で収納物の物理的性質が変わる ことはなく，また，発熱による圧力上昇 は [] であり，この圧力で一次密 封容器の密封性が損なわれることはない。</p> <p>4. 一次密封容器及び二次密封容器に生ずる 温度差による熱応力は，これらの容器の 温度差が [] であり，熱応力は発生 しない。また，蓋ボルトは熱膨張により 引張荷重を受けるが，熱応力に対して変 形することなく強度を保つ。よって熱膨 張により密封性が損なわれることはない。</p> <p>5. 一次密封容器及び二次密封容器の本体， 蓋，ボルトは [] であり， -40℃において十分な強度を有する。一</p>	<p>(ロ)-C</p> <p>(ニ) A</p> <p>(イ) D (ロ) A. 5. 1. 1 (ロ) A. 5. 1. 3</p> <p>(ロ) A. 5. 1. 2</p> <p>(ロ) A. 4. 2</p>	

(その5)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対 応 項 目	備 考
		<p>次密封容器及び二次密封容器シール部の Oリングは [] で、 -40℃は使用温度範囲内である。</p> <p>外容器の鋼材は-40℃において脆性破壊 は発生しない。</p> <p>緩衝材中には自由水はなく、氷結により 膨張することはない。 [] は除 湿して充填している。また、各部材の最 高温度は [] 以下であるので、各部材 は十分な強度を保っている。ゆえに、輸 送中に予想される温度変化（-40℃～ 38℃）や太陽熱放射に対して各部材が変 化することはない。</p> <p>6. 本核燃料輸送物の固有振動数と輸送中に 予想される最大周波数とは差があり輸 送中に共振することはない。</p> <p>本核燃料輸送物の外観形状は円筒状で、表 面に不要な突起物が無く、かつ、表面の汚 染の除去が容易な構造である。</p> <p>本核燃料輸送物に用いる材料において、輸 送容器相互間及び輸送容器と収納物の間に あっては接触する異種材により、本核燃料 輸送物の使用条件下において物理的、化学 的反応を生じることはない。</p> <p>本核燃料輸送物には弁が取り付けられてい ないので該当しない。</p>	<p>(ロ) A. 4. 7</p> <p>(イ) C</p> <p>(ロ) A. 4. 1</p>	<p>第4条第3号</p> <p>第4条第4号</p> <p>第4条第5号</p>

(その6)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対応項目	備 考
第7条第1号	第9条	<p>本核燃料輸送物の表面の放射性物質の密度は、発送前検査において以下に記述する値以下であることが確認される。</p> <p>α線を放出する放射性物質 0.4 Bq/cm²</p> <p>α線を放出しない放射性物質 4 Bq/cm²</p> <p>本核燃料輸送物は、収納物装荷時に発送前検査が行われるので、核燃料輸送物の安全性を損なうおそれのあるものが収納されることはない。また、核燃料輸送物の使用に必要な書類・工具以外のものを同時に輸送することはない。</p> <p>本核燃料輸送物の外寸法は、外径 <input type="text"/> × 長さ <input type="text"/> の円筒形容器であるので一辺の長さは10cm以上である。</p> <p>外容器蓋のボルトの <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>本核燃料輸送物を-40℃から38℃までの周囲の温度の範囲に置いても、き裂、破損等が生じるおそれはない。</p> <p>周囲圧が60kPa まで降下しても内容器各部分は強度を保ち、破損することはない。</p>	<p>(ニ) A. 2</p> <p>(ニ) A. 2</p> <p>(イ) C</p> <p>(ロ) A. 4. 3</p> <p>(ロ) A. 9</p> <p>(ロ) D. 1</p>	<p>第4条第8号</p> <p>第4条第10号</p> <p>第5条第2号</p> <p>第5条第3号</p> <p>第5条第4号</p> <p>第5条第5号</p> <p>第5条第7号</p>
	第8条	本核燃料輸送物表面の最大線量当量率	(ロ) D. 1	第5条第7号

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対 応 項 目	備 考
	別記第3 第1号ロ(3)	<p>平面である落下試験台上に落下すると して解析し、密封容器の健全性を示し ている。</p> <p>積み重ね試験</p> <p>自重の5倍に相当する荷重は約 <input type="text"/> <input type="text"/>Nである。鉛直投影面積に13kPa を乗じて得た値に相当する荷重は <input type="text"/> <input type="text"/>Nである。ゆえに安全側の解析と なる前者の荷重で解析し、本核燃料輸 送物の健全性を示している。</p>	(ロ) A. 5. 4.	
	別記第3 第1号ロ(4)	<p>貫通試験</p> <p>重量が6 kg、直径が3.2cmの先端が半球 形の軟鋼棒を1 mの高さから本核燃料 輸送物の外殻へ落下させたとして解析 している。衝撃荷重は核燃料輸送物が 受け持つものとして解析し、本核燃料 輸送物の外殻に貫通が生じないことを 示している。</p>	(ロ) A. 5. 5	
	第8条	<p>前記イ、ロの条件下に置いた後、屋外の温 度が38℃から-40℃までの環境においても、 核燃料輸送物が技術基準を満足することを 解析によって示している。</p> <p>本核燃料輸送物表面の最大線量当量率は 6.7×10^{-2} mSv/h であり、外運搬規則に定 める技術基準(著しく増加せず、2mSv/h を 超えないこと)を満足している。</p>	(ロ) B. 4. 3 (ロ) D. 1	第5条第10号ロ

(その9)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対 応 項 目	備 考
第7条第3号	第15条	<p>本核燃料輸送物が本条件下に置かれた場合、密封性が低下することはない。また、放射性物の1時間当たりの漏えい率は A_2 値 $\times 10^{-6}$ に対して各核種のこの合計が 2.06×10^{-2} 以下であるので、外運搬規則及び外運搬告示に定める技術基準を満足している。</p>	(ロ) C. 3. 1	第6条第2号ロ
		<p>本核燃料輸送物が最大崩壊熱 <input type="text"/> の収納物を収納して本条件下（日陰条件）に置かれた場合、核燃料輸送物の表面温度の最高は <input type="text"/> であり、外運搬規則に定める技術基準（日陰において50℃を超えないこと）を満足している。</p>	(ロ) B. 1	第6条第2号ハ
	第9条	<p>本核燃料輸送物は発送前検査により表面の放射性物質の密度が基準値を超えないことを確認する。さらに、本核燃料輸送物は本条件下に置かれてもその密封性は保持される。したがって、表面の放射性物質の密度は外運搬規則及び外運搬告示に定める基準を満足している。</p>	(ニ) A. 2	第6条第2号ニ
	第20条 別記第8 第1号イ	<p>BU型輸送物に係る特別の試験条件 落下試験Ⅲ 核燃料輸送物が最大損傷を受けるよう垂直、水平、コーナ方向に剛体平面上に設置し、9mの高さから重量500kgの軟鋼板を落下させるとして解析し、密封容器の健全性が保たれることを示し</p>	(ロ) A. 6 (ロ) A. 6. 1	

(その10)

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対 応 項 目	備 考
	別記第8 第1号ロ	<p>ている。</p> <p>落下試験Ⅱ</p> <p>落下試験Ⅲに引き続き、垂直に固定した直径15cm、長さ20cmの軟鋼丸棒（衝撃面は滑らかな水平面）に本核燃料輸送物を1mの高さから落下させるとして解析し、本核燃料輸送物の外殻に貫通が生じないことを示している。</p>	(ロ) A. 6. 2	
	別記第8 第2号イ及び ロ	<p>耐火試験</p> <p>落下試験等に引き続き耐火試験を行うとして解析している。このとき核燃料輸送物は0.9の熱放射率をもつ800℃の熱放射環境に30分さらされているものとし、輸送容器表面の吸収率を0.8として解析している。また、火災中は太陽熱放射を受けるものとして、周囲から核燃料輸送物への熱伝達は放射と共に対流も考慮し、加熱後は、核燃料輸送物は38℃の環境温度中で自然冷却するものとし、内部温度がすべて下がり始めるまで評価し、密封容器の健全性が保たれることを示している。</p>	(ロ) B. 5	
	別記第8 第3号	<p>浸漬試験</p> <p>耐火試験に引き続き浸漬試験を行うとして解析している。本核燃料輸送物は147kPaの水圧下に置かれたとして密封</p>	(ロ) A. 6. 4	

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対応項目	備 考
	第8条	性が損なわれないことを解析している。 本核燃料輸送物表面から1 m離れた位置における最大線量当量率は 7.6×10^{-3} mSv/h であり、外運搬規則に定める技術基準(10mSv/hを超えないこと)を満足している。	(ロ) D.1	第6条第3号イ
	第17条	本核燃料輸送物が最大の放射能の量を示す収納物を収納して本条件下に置かれた場合に、各種落下試験による衝撃力、耐火試験による最大内圧、熱応力の負荷に対して内容器は健全であるので、密封性は損なわれない。 この場合の1週間当たりの放射性物質の漏えい率は A_2 値に対して各核種のこの合計が 3.46×10^{-6} 以下であり、外運搬規則及び外運搬告示に定める技術基準を満足する。	(ロ) C.4.2	第6条第3号ロ
第7条第4号		本核燃料輸送物を -40°C から 38°C までの周囲の温度の範囲においても、き裂、破損等が生じるおそれはない。		
第7条第5号		本核燃料輸送物は、内部気体ろ過のためのフィルタ又は核燃料物質等の冷却のための機械的冷却装置を必要としない自然対流方式である。		
第7条第6号		本核燃料輸送物の最大使用圧力は <input type="text"/> <input type="text"/> であり、火災時においても約 <input type="text"/> <input type="text"/> であるので、外運搬規則に定める技術基準(700kPaGを超えないこと)を満足する。		

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対応項目	備 考
第8条		本核燃料輸送物はB U型輸送物であるので該当しない。		
第9条		本核燃料輸送物はB U型輸送物であるので該当しない。		
第10条		本核燃料輸送物はB U型輸送物であるので該当しない。		
第11条		経年変化の考慮について、第3条第3項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、経年変化の要因として熱、放射線照射及び化学的变化を考慮し、使用予定年数、使用予定回数に対する影響評価を行った結果、核燃料輸送物に経年変化の影響はない。		
	第23条	核分裂性物質に係る核燃料輸送物の一般の試験条件及び特別の試験条件における技術上の基準は次のとおりである。	(ロ) A. 9	
	第24条	一般の試験条件	(ロ) A. 9. 1	
	別記第11	次に示す試験を連続して行う。		
	第1号	① 水の吹付試験		
	第2号	② 自由落下試験		
	第3号	③ 積み重ね試験		
	第3号	④ 貫通試験		
	第26条	特別の試験条件	(ロ) A. 9. 2	
	別記第12	次に示す試験を連続して行う。		
	第1号イ	① 水の吹付試験		
	第1号イ	② 自由落下試験		
	第1号イ	③ 積み重ね試験		

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対応項目	備 考
	第1号イ	④ 貫通試験		
第11条第1号イ	第1号ロ(1)	⑤ 落下試験-Ⅲ		
第11条第1号ロ	第1号ロ(2)	⑥ 落下試験-Ⅱ		
第11条第2号イ	第1号ハ	⑦ 耐火試験		
第11条第2号ロ	第1号ニ	⑧ 深さ0.9mで8時間の浸漬試験	(ロ) A.9.1	
第11条第2号イ		貫通試験により外容器にくぼみが生じるが、 容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含する ようなくぼみが生じることはない。	(ロ) A.9.1	
第11条第2号ロ		落下等により構造部に变形が生じるが、変 形後の構造部の寸法は外接する直方体の各 辺が10cm未満となることはない。	(ロ) A.9.1	
第11条第2号ハ		本核燃料輸送物一個を周囲が20cm厚さの水 による完全反射の状態に置いても核燃料輸 送物の実効増倍係数は0.109である。よっ て、孤立系において核燃料輸送物は臨界に達 することはない。	(ロ) E.1	
		原子力規制委員会の定める核分裂性輸送物 に係る一般の試験条件を受けた核燃料輸送 物一個を周囲が20cm厚さの水による完全反 射の状態に置いても核燃料輸送物の実効増 倍係数は0.111である。よって、孤立系にお いて核燃料輸送物は臨界に達することはない。		
		原子力規制委員会の定める核分裂性輸送物 に係る特別の試験条件を受けた核燃料輸送 物一個を周囲が20cm厚さの水による完全反		

外運搬規則の 項目	外運搬告示の 項目	説 明	申請書記載 対 応 項 目	備 考
第11条第2号ニ		<p>射の状態に置いても核燃料輸送物の実効増倍係数は0.123である。よって、孤立系において核燃料輸送物は臨界に達することはない。</p> <p>原子力規制委員会の定める核分裂性輸送物に係る一般の試験条件を受けた本核燃料輸送物を任意の配列で、無限個の核燃料輸送物が存在するとした場合の実効増倍係数は0.121である。よって、配列系において核燃料輸送物は臨界に達することはない。</p>		
第11条第2号ホ		<p>特別の試験条件下に置いた核燃料輸送物を任意の配列で、無限個の核燃料輸送物が存在するとした場合の実効増倍係数は0.367である。よって、配列系において核燃料輸送物は臨界に達することはない。</p>		
第11条第3号		<p>本核燃料輸送物を-40℃から38℃までの周囲の温度の範囲においても、き裂、破損等が生じるおそれはない。</p>	(ロ) A.9	

H. 原型容器試験報告書

H.1 概要

500 kgの軟鋼板を9 mの高さから原型容器上に水平に落下させる落下試験Ⅲを、実施した。本試験では、原型容器2基を用いて縦置き状態及び横置き状態の2姿勢について行った。

落下試験時において、核燃料輸送物の変形量、衝撃加速度倍率、ひずみ及び軟鋼板の落下速度を計測し、落下試験後には供試体の変形状態を調べた。

H.2 原型容器と実機容器の相違点

試験に供した原型容器のうち収納物、一次及び二次密封容器を除く外容器については実機容器と同じ寸法・材質で製作されている。本試験では、軟鋼板によって生ずる核燃料輸送物の変形モード及びその変形量の確認に主眼を置いたものであり、したがって、一次密封容器及び収納物については考慮せず、ほぼ実機の外形状を模擬して製作した二次密封容器（炭素鋼製）の模擬重量体を組み込んでいる。

原型容器の構造・寸法を(口)－第H.1図、密封容器模擬重量体を(口)－第H.2図に示す。

H.3 試験内容

落下試験Ⅲとして、重量500 kg、縦×横の長さが1 mの軟鋼板を静置した核燃料輸送物上に水平に落下させる圧潰試験を実施した。

本試験では、核燃料輸送物を縦置き状態（垂直姿勢）及び横置き状態（水平姿勢）の2姿勢について行った。

H.4 試験装置

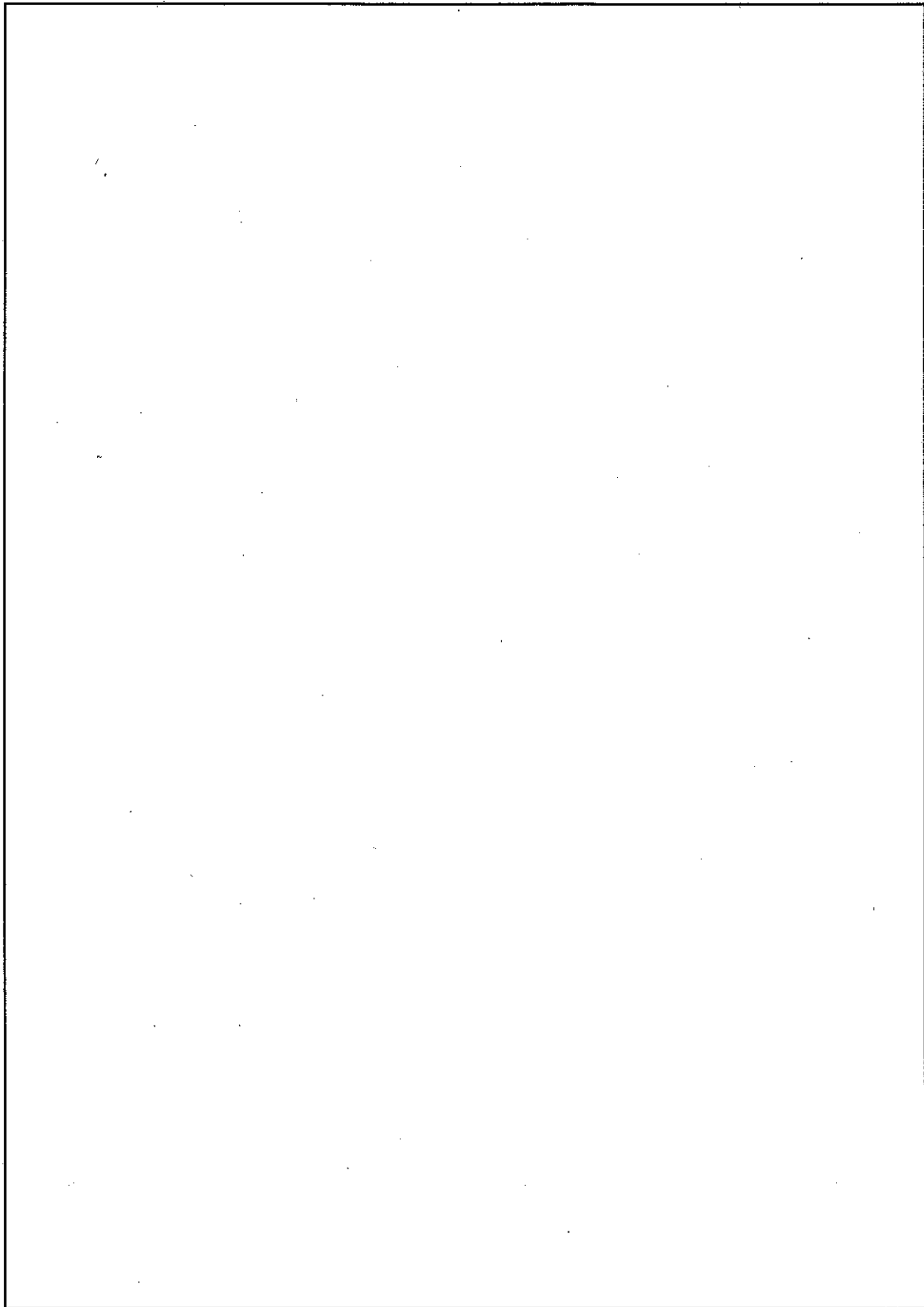
落下試験に用いた試験装置を以下に示す。

(1) 落下試験設備

落下試験設備を、(口)－第H.3図に示す。

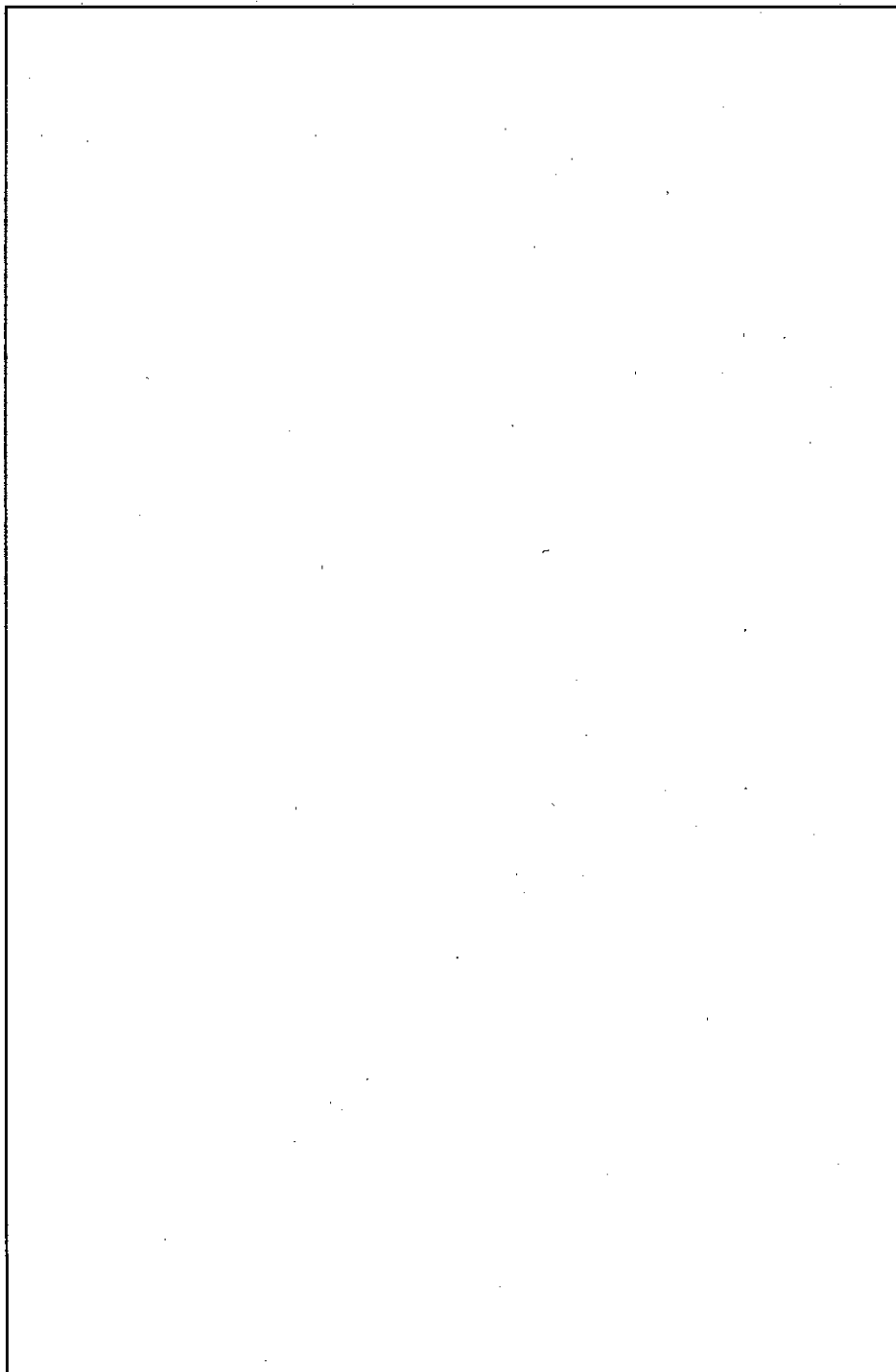
(2) 落下試験台

落下試験台を(口)－第H.4図に示す。



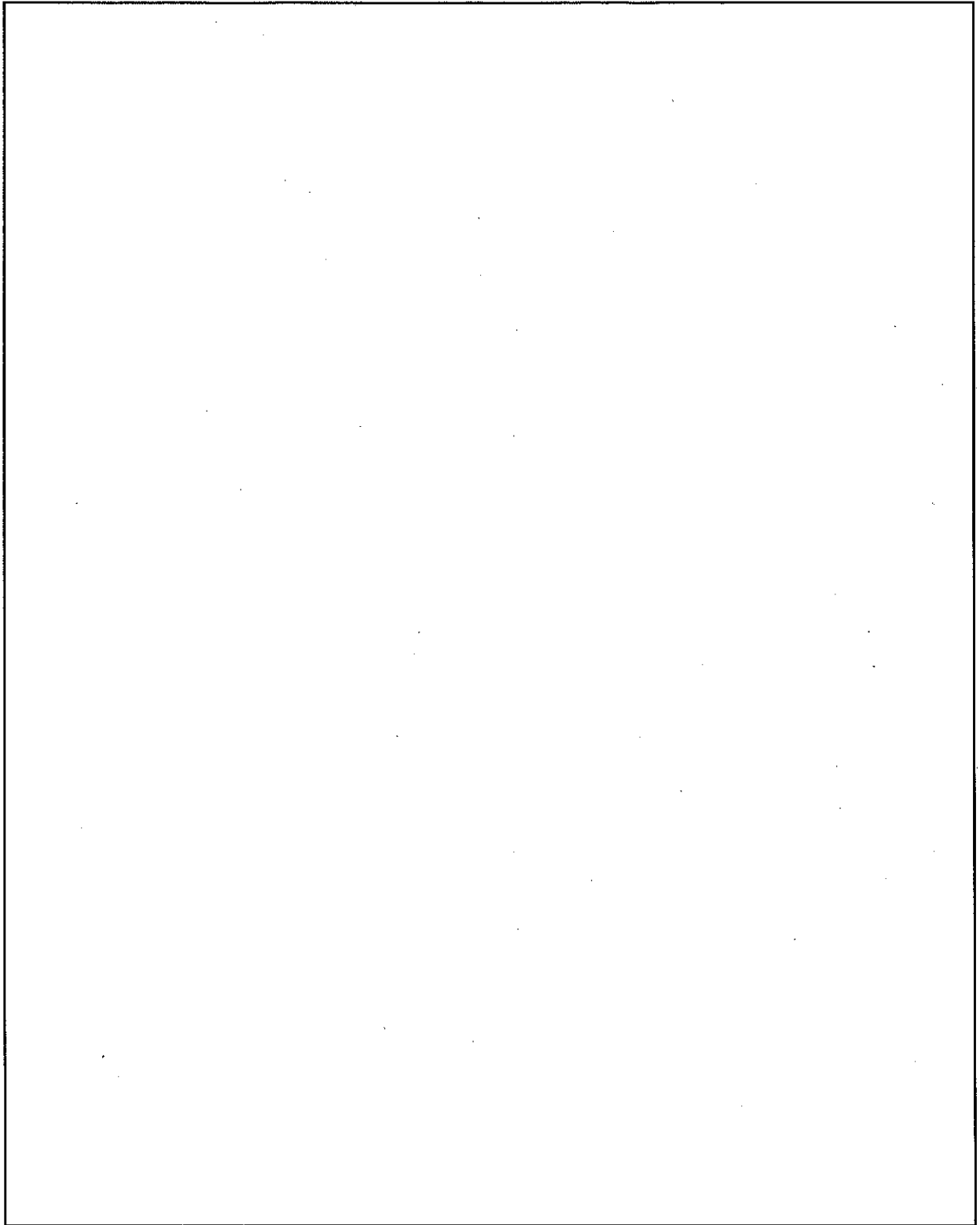
[単位 : mm]

(口) - 第H.1図 原型容器



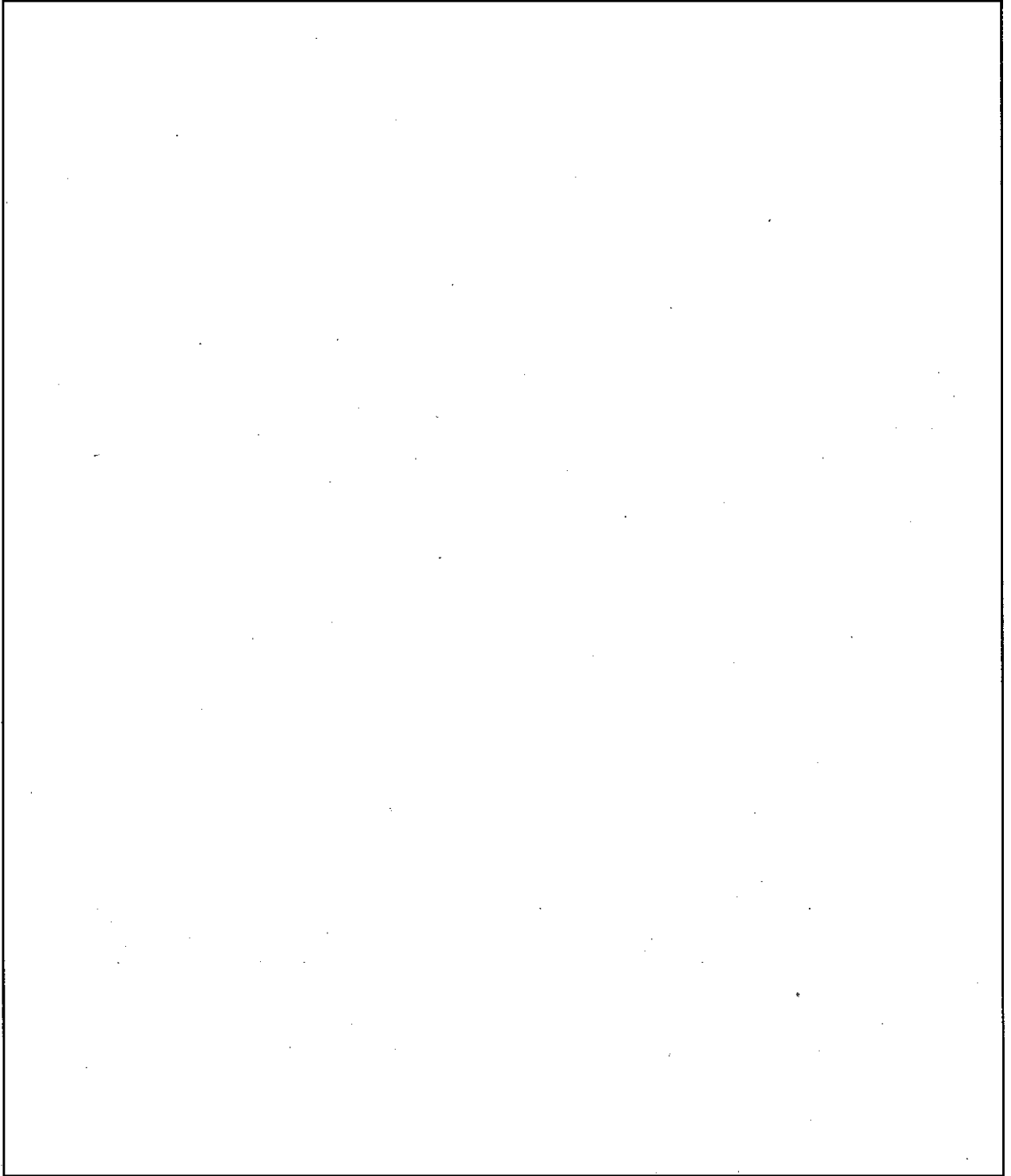
[单位：mm]

(口) - 第H.2图 密封容器模拟重量体



[単位：mm]

(口) - 第H.3図 落下試験設備



[単位：mm]

(口) - 第H.4図 落下試験台

H.5 試験方法

落下試験は、軟鋼板を供試体より9 mの高さに吊り上げ、電磁石により保持させ、軟鋼板の姿勢が安定した時点で電磁石の電源を切ることにより軟鋼板を供試体上に落下させて行った。

試験時には、外容器及び密封容器に生ずる加速度倍率並びに密封容器の蓋部に挿入した のひずみを計測した。加速度倍率及びひずみ計の計測位置を縦置き及び横置き状態は (口) - 第H.5図及び (口) - 第H.6図に示す。

また、軟鋼板が原型容器に衝突する直前の高さに設置した光電管 (2箇所) より軟鋼板の衝突速度を確認した。

H.6 試験結果

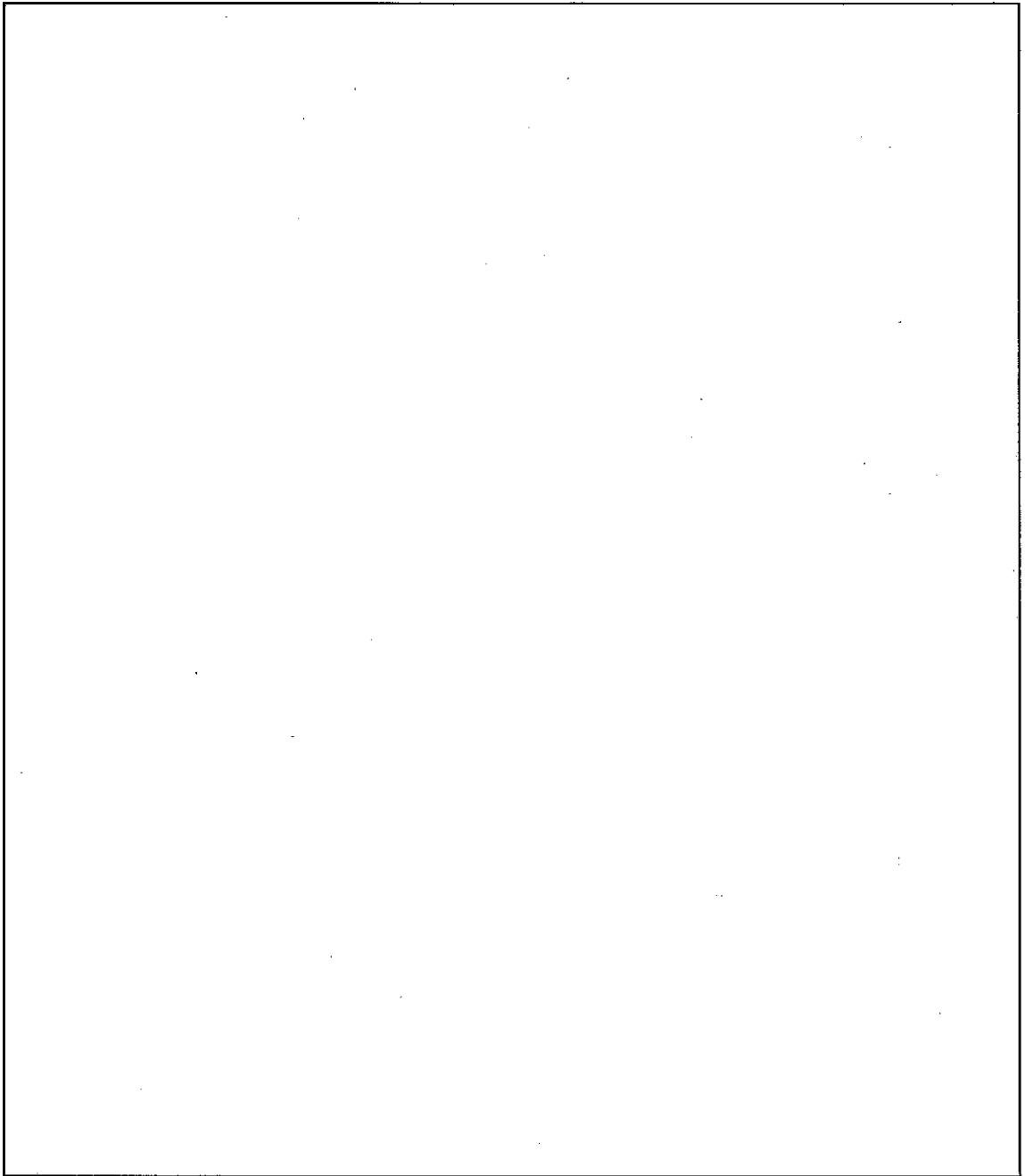
軟鋼板は、ほぼ水平状態で原型容器に衝突した。軟鋼板の衝突時に軟鋼板、原型容器ともリバウンドして、それぞれ最大約 、約 浮き上がり、再衝突後、原型容器は設置位置からズレた位置に静止し (転倒等はなし)、軟鋼板は供試体の近くでの落下試験台上に落下した。

軟鋼板の原型容器衝突時の落下速度は、縦置き状態のとき で、横置き状態のとき であった。これは所要衝突速度

g : 重力加速度 (m/sec^2)

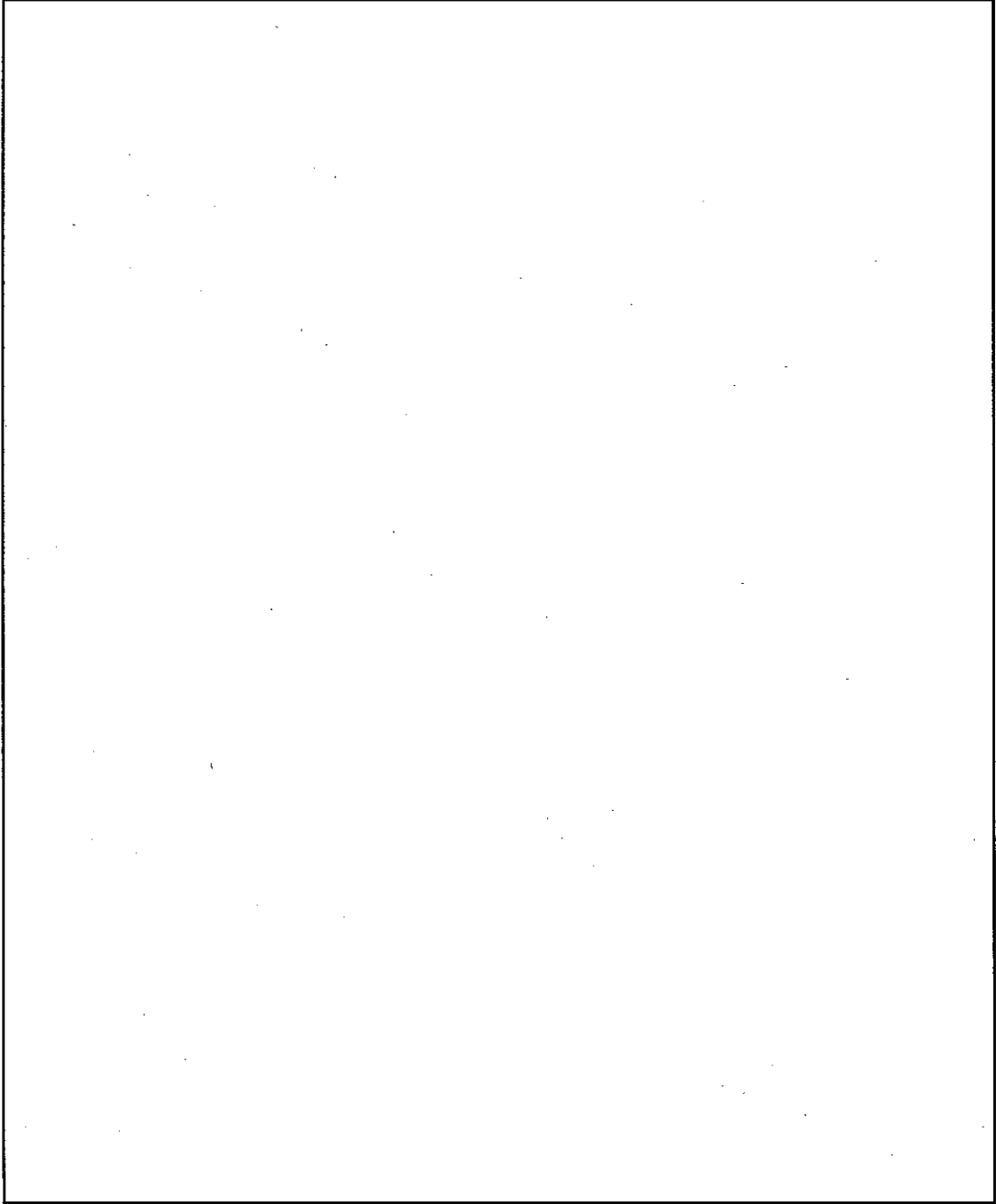
h : 落下高さ (m)

を満足している。



[単位：mm]

(ロ) - 第H.5図 縦置き状態の加速度計とひずみ計の取付位置



〔単位：mm〕

(ロ) - 第H.6図 横置き状態の加速度計とひずみ計の取付位置

H.6.1 変形量

外容器の変形状態は、原型容器縦置き状態の場合も原型容器横置き状態の場合も、軟鋼板衝突側と落下試験台設置側がほぼ同様の変形状態となった。また、外容器外板に亀裂等は発生しなかった。

供試体の変形量を(ロ) - 第H.1表に示す。また、縦置き及び横置き状態の変形状態を(ロ) - 第H.7図及び(ロ) - 第H.8図にそれぞれ示す。

(ロ) - 第H.1表 供試体の変形量

供試体	変形部位		変形量
縦置き状態	蓋部 (軟鋼板衝突側)		<input type="text"/>
	底部 (落下試験台側)		<input type="text"/>
横置き状態	0° 方向側面 (軟鋼板衝突側)	蓋部	<input type="text"/>
		底部	<input type="text"/>
	180° 方向側面 (落下試験台側)	蓋部	<input type="text"/>
		底部	<input type="text"/>
	直径の変形量 (軸方向分布)		

H.6.2 衝撃加速度倍率及びひずみ

加速度の現象波形の出力に当たってのローパスフィルタの条件は、「IAEA安全指針「IAEA放射性物質安全輸送規則(1985年版)に対する助言文書」第VI章試験手順適合の実証 A-601.13.」に従って設定した。

この文書より、小型核燃料輸送物についてのカットオフ周波数は、

$$(100/m)^{1/3} \times 100\text{Hz} \sim (100/m)^{1/3} \times 200\text{Hz} \quad (m: \text{重量 [Mg]})$$

となっており、今回の供試体であるTOS S型核燃料輸送物 () について上式を用いると、

$$(100/\text{})^{1/3} \times 100\text{Hz} \sim (100/\text{})^{1/3} \times 200\text{Hz} = \text{}$$

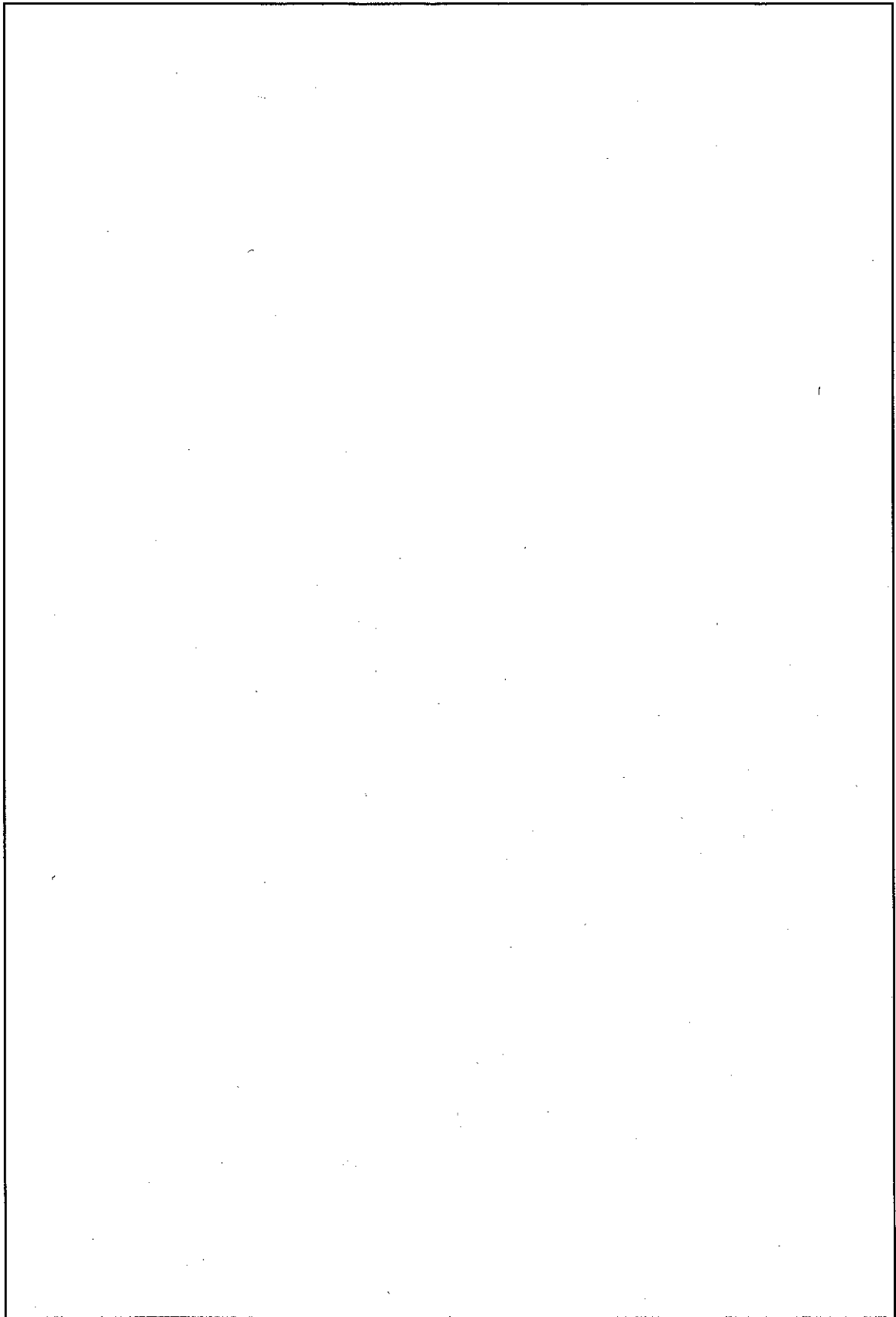
となる。このようなことから、本試験における現象波形の出力時のローパスフィルタ条件は、①Free (ローパスフィルタを通さない)、②1kHz、③800Hz、④600Hz

の4条件で行った。

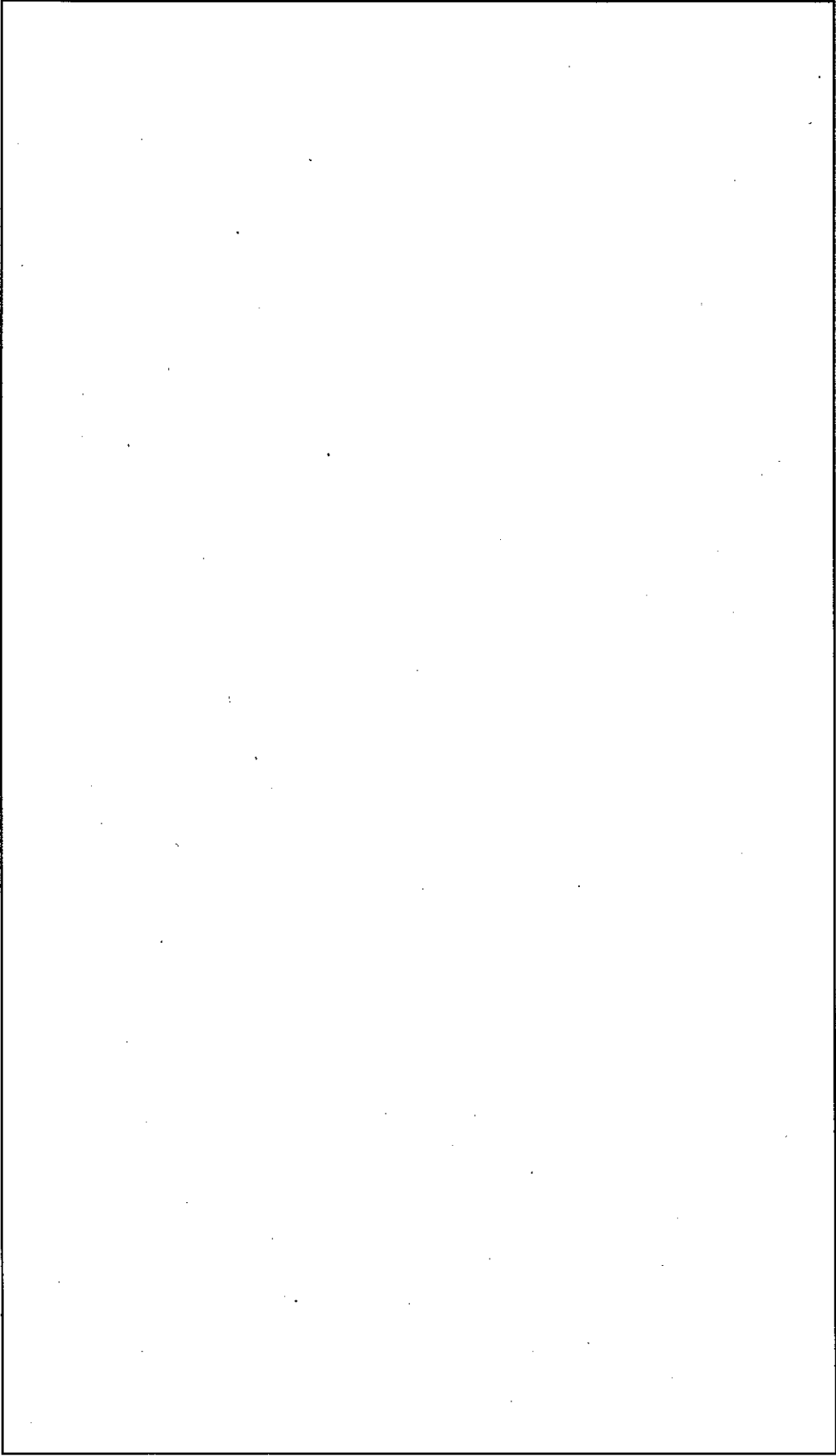
現象波形から観測された最大値をローパスフィルタ条件ごとに (ロ) - 第H.2表 に示す。

H.6.3 落下試験の写真

落下試験の写真を、写真 (ロ) - H.1から写真 (ロ) - H.10に示す。



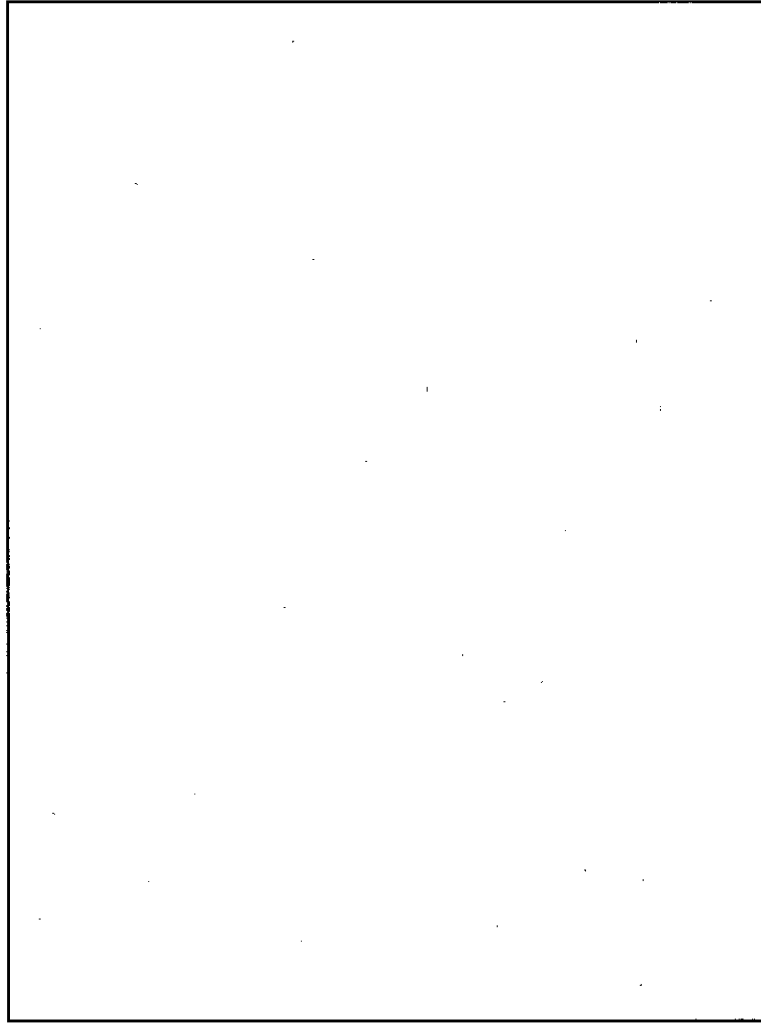
(ロ) - 第H.7図 縦置き状態の変形状況



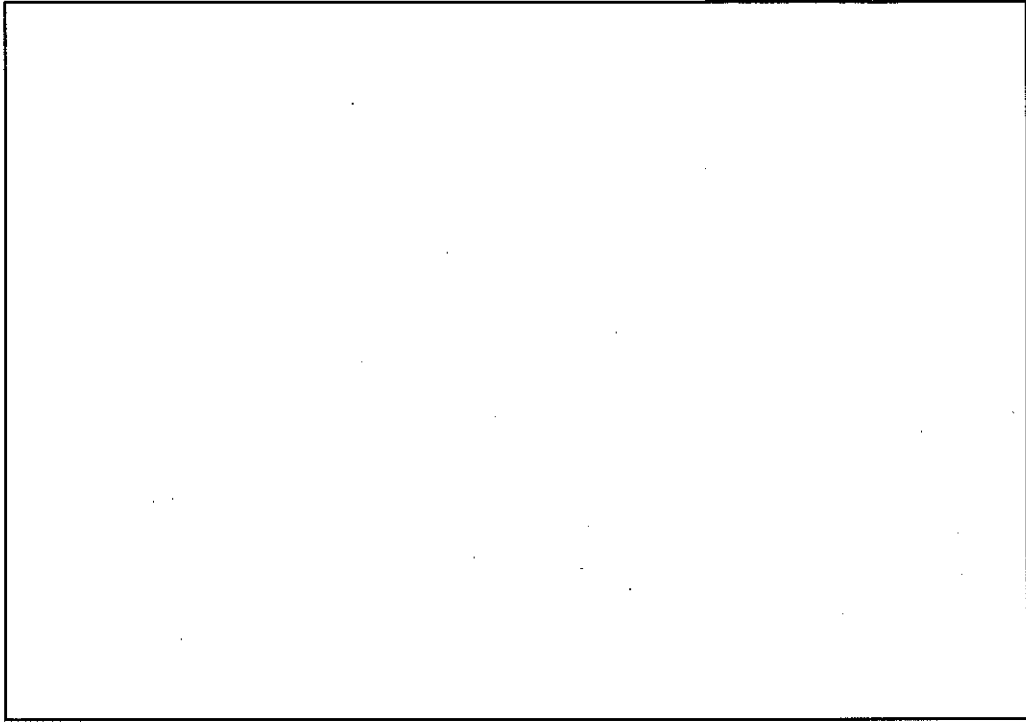
(ロ) 一第H.8図 横置き状態の変形状況

(ロ) 一第H.2表 加速度最大値及びびびり

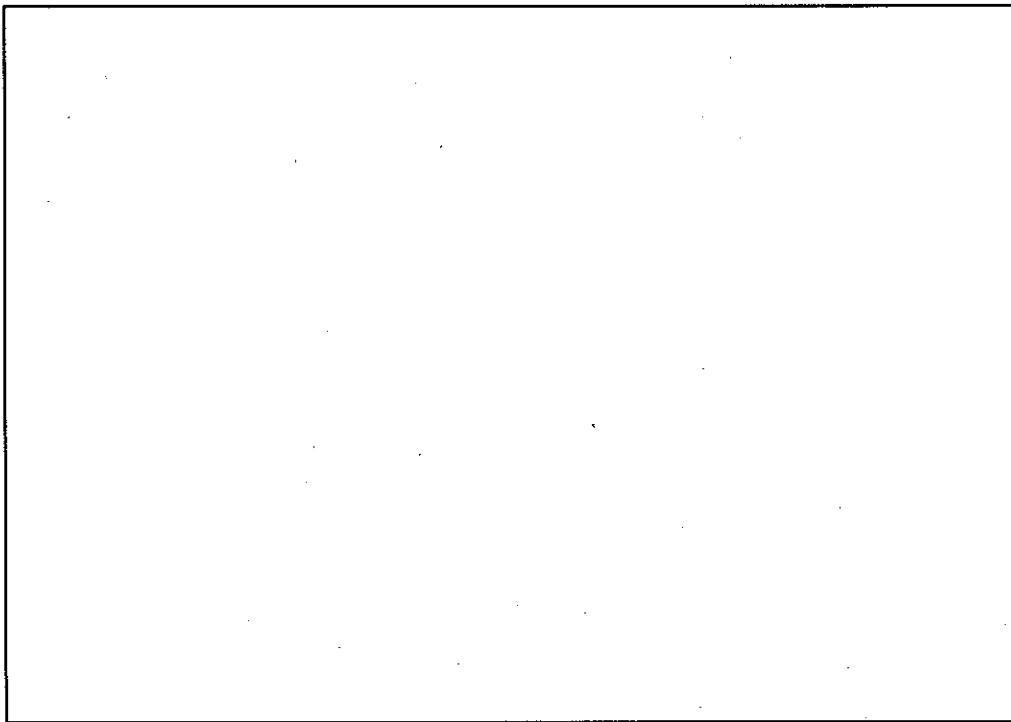
状態	区分	記号	測定箇所	ローパスフィルター条件			
				Free	1kHz	800Hz	600Hz
縦置き	加速度	B1	外容器外面0°方向	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
		B2	外容器外面180°方向	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
		B3	模擬重量体内側0°方向	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
		B4	模擬重量体内側180°方向	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
横置き	びびり	SBX	模擬重量体蓋内側0-180°方向	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt
		SBY	模擬重量体蓋内側90-270°方向	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt
縦置き	加速度	A1	外容器端面中央蓋側	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
		A2	外容器端面中央底側	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
		A3	模擬重量体内側0°方向	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
		A4	模擬重量体内側180°方向	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G	<input type="text"/> G
横置き	びびり	SAX	模擬重量体蓋内側0-180°方向	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt
		SAY	模擬重量体蓋内側90-270°方向	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt	<input type="text"/> μSt



写真（口）-H.1 縦置き状態（垂直）-1



写真（口） - H.2 縦置き状態（垂直） - 2



写真（口） - H.3 縦置き状態（垂直） - 3

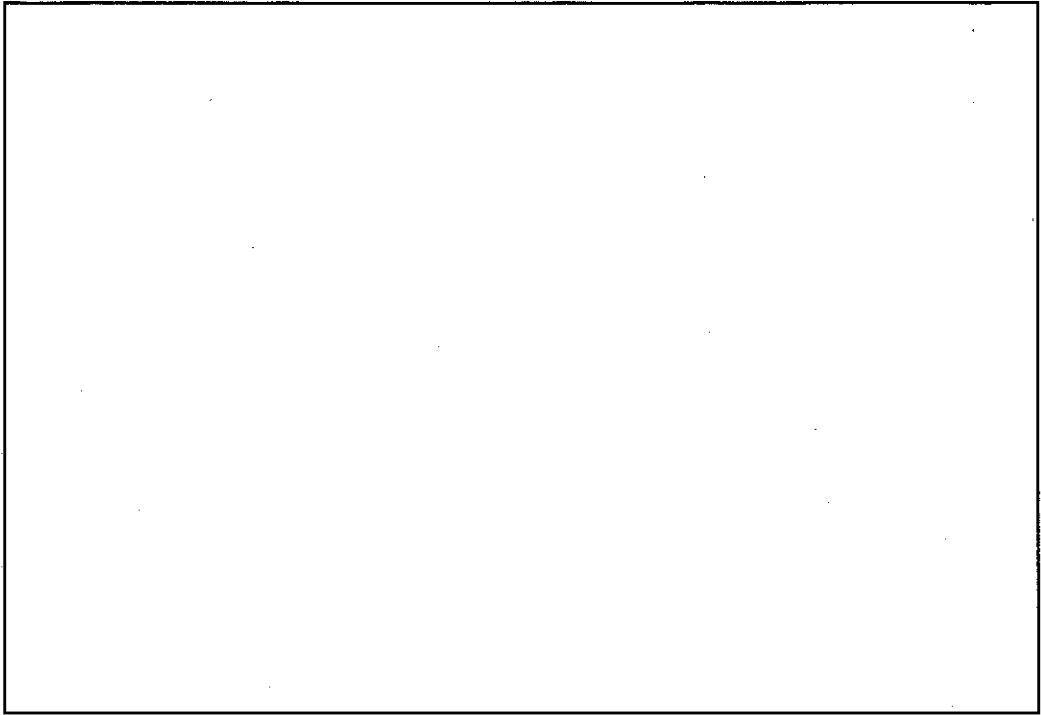


写真 (口) - H.4 横置き状態 (水平) -1

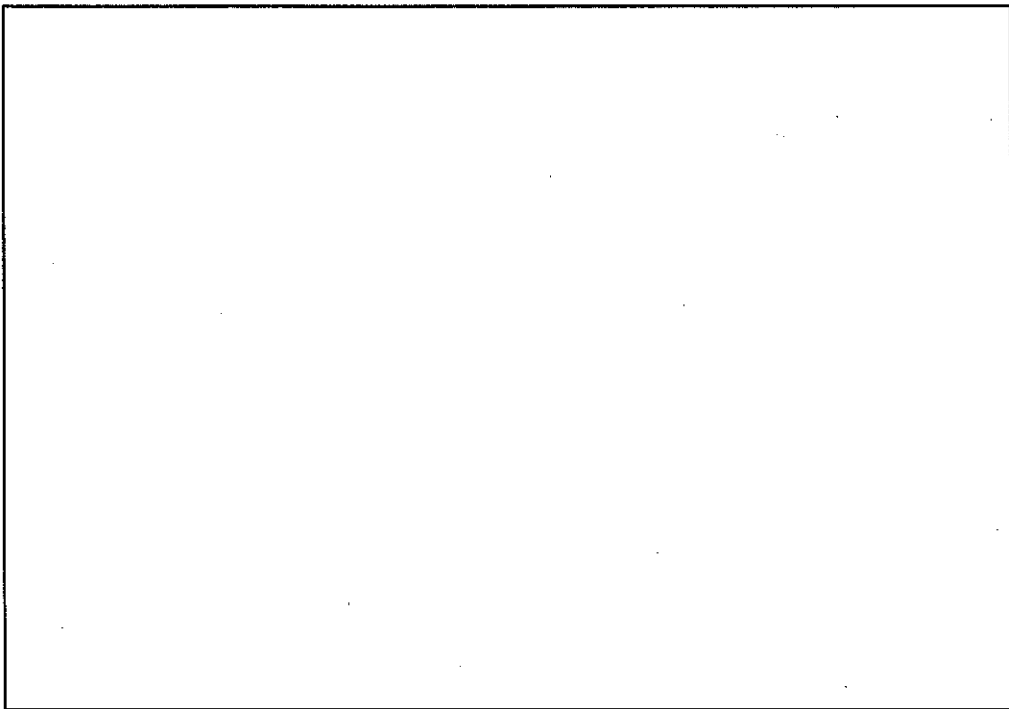


写真 (口) - H.5 横置き状態 (水平) -2

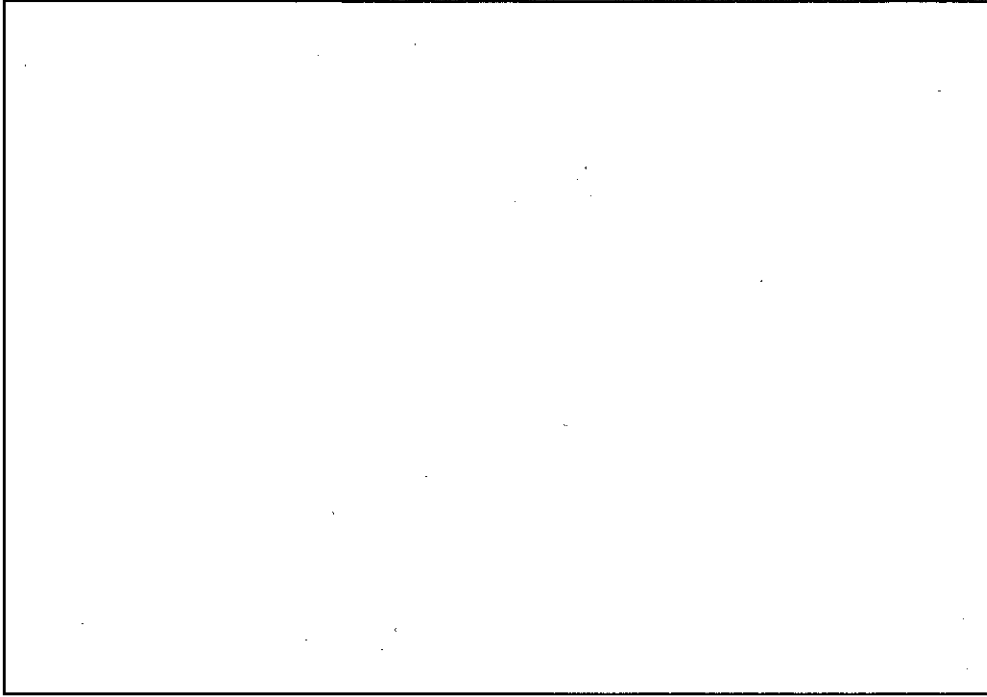


写真 (口) - H.6 横置き状態 (水平) -3

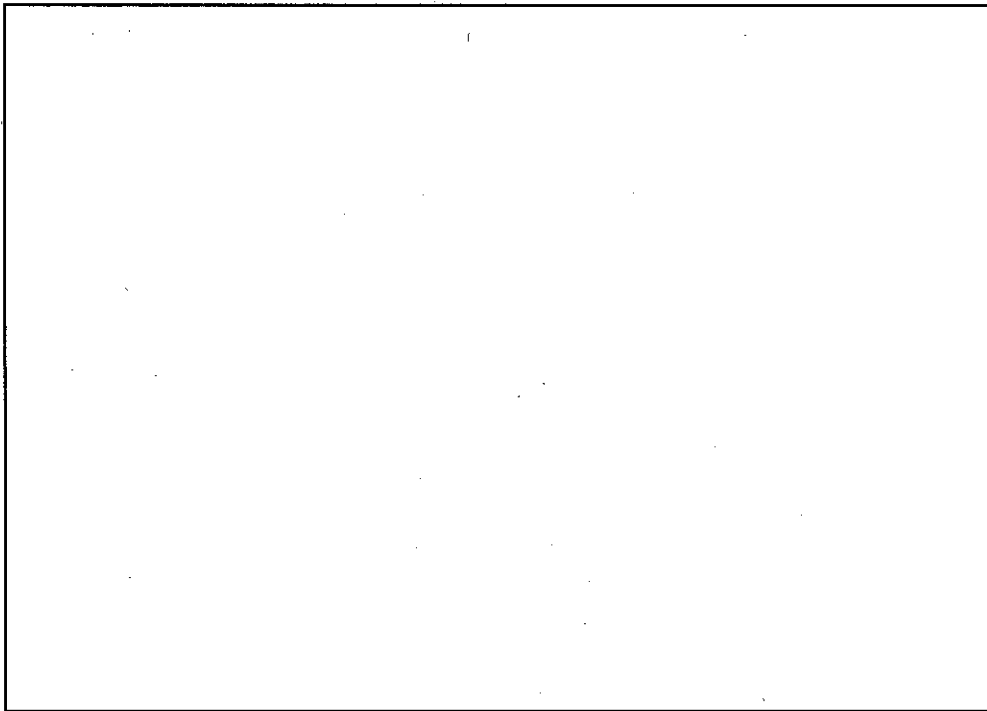


写真 (口) - H.7 横置き状態 (水平) -4

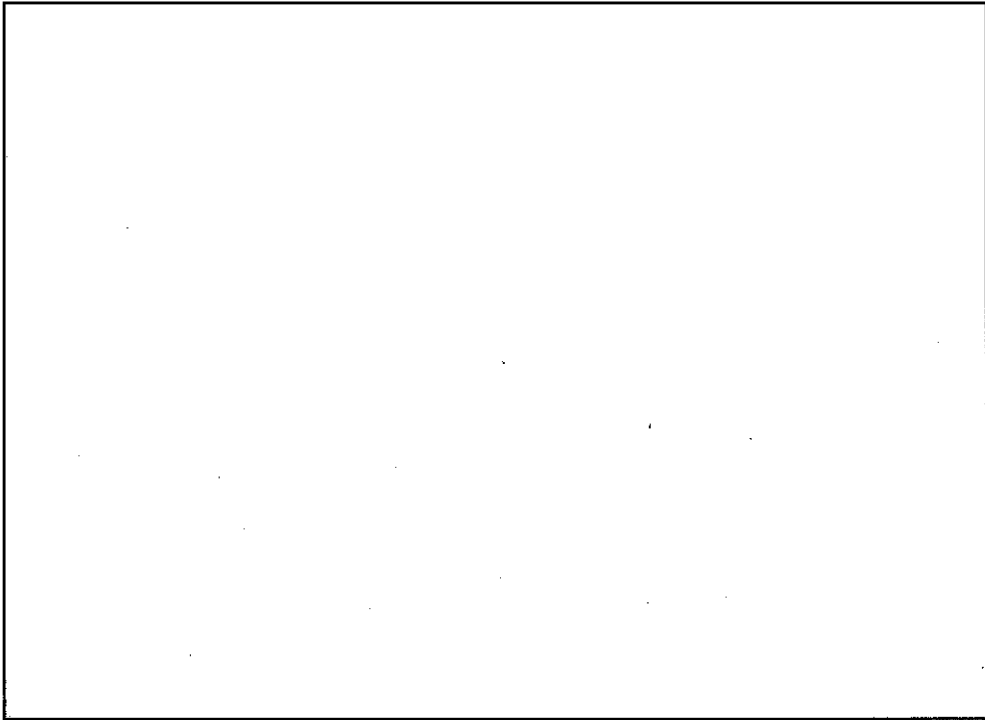


写真 (口) - H.8 横置き状態 (水平) - 5

ハ 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

A. 核燃料輸送物の取扱い方法

A.1 装荷方法

収納物の装荷方法は次のとおりである。

(1) 収納物装荷のための準備

- 101 目視により外容器の損傷の有無を確認する。
- 102
- 103
- 104 目視により二次密封容器蓋部の損傷の有無を確認する。
- 105
- 106
- 107 目視により一次密封容器蓋部の損傷の有無を確認する。
- 108
- 109
- 110 , MGフェルト, パーミキュライト及び 等を準備する。

(2) 収納物の装荷

- 201 等をパーミキュライトと共に収納缶に納め, 収納缶の封をする。
- 202
- 203
- 204
- 205
- 206 二次密封容器のヘリウムリークテスト孔（注入孔）より気密漏えい検査を行う。
- 207
- 208

(3) 輸送容器の搬出

- 301 輸送容器表面及び表面より1 mの点の線量当量率検査を実施する。
- 302 輸送容器表面の表面密度検査を実施する。
- 303 輸送容器と架台をトラックに乗せ、架台をトラックに固縛する。
- 304 トラックにホロをかぶせて搬出する。

A.2 核燃料輸送物の発送前検査

核燃料輸送物を発送するごとに、事前に(ハ) - 第A.1表に示す発送前検査を行うものとする。

A.3 取出し方法

収納物の取出し方法は次のとおりである。

(1) 収納物取出しのための準備と取り出し

- 401 輸送容器と架台をトラックから降す。
- 402 目視により外容器の損傷の有無を確認する。
- 403
- 404
- 405 目視にて二次密封容器蓋部の損傷の有無を確認する。
- 406
- 407
- 408 目視により一次密封容器蓋部の損傷の有無を確認する。
- 409
- 410
- 411

(2) 空容器の回送

- 501
- 502
- 503
- 504
- 505 輸送容器表面の表面密度検査を実施する。
- 506 輸送容器と架台をトラックに乗せ、架台をトラックに固縛する。

A.4 空容器の準備

空容器（収納物を収納しない容器）の準備は、次の手順に準じて行う。

- (1) 容器表面の最大線量当量率が $5 \mu\text{Sv}$
- (2) /h以下であることを確認する。
- (2)
- (3) 一次密封容器内部表面の放射性物質の濃度を測定し、 β 、 γ 放出核種は 400 Bq/cm^2 以下、 α 放出核種 40 Bq/cm^2 以下であることを確認する。

(ハ) - 第A.1表 核燃料輸送物発送前検査要領

(1/2)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
外観検査	核燃料輸送物	収納物を収納した状態で、核燃料輸送物の外観を目視により検査する。	輸送上有害な傷、割れ、変形等がないこと。
吊上検査	核燃料輸送物吊具	核燃料輸送物の吊上げ前及び吊上げ後、吊具の外観を目視により検査する。	吊具等に有害な変形のないこと。
重量検査	核燃料輸送物	核燃料輸送物の総重量を検査する。(空容器重量は完成時検査の値を用い、この値と収納物重量を和することにより総重量とする。)	□以下であること。
表面密度検査	核燃料輸送物表面	スミヤ法により核燃料輸送物表面の放射性物質の密度を測定する。	α 線を放出する核種は 0.4 Bq/cm^2 以下、 α 線を放出しない核種は 4Bq/cm^2 以下であること。
線量当量率検査	核燃料輸送物	収納物を収納した状態で、核燃料輸送物の表面及び表面より1m離れた位置におけるガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで検査する。	外表面の最大線量当量率は 2 mSv/h 以下、外表面より1m離れた位置の最大線量当量率は 0.1 mSv/h 以下を満足していること。
収納物検査	収納物	① 収納物の外観、員数等を検査する。 ② 収納物の収納条件(重量、発熱量等)を書類により検査する。	① 設計条件を満足し、かつ、外観に異常がないこと。 ② 設計条件を満足していること。
気密漏えい検査	一次密封容器	ヘリウムリーク試験により漏えい率を検査する。	漏えい率が $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ($1 \times 10^{-7} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{sec}$)以下であること。

(ハ) - 第 A.1 表 核燃料輸送物発送前検査要領

(2/2)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
未臨界検査	容器	一次及び二次密封容器の形状を目視により検査する。	有害な変形等のないこと。
温度測定検査	省略*	—	—
圧力測定検査	省略**	—	—

* 本収納物は、核燃料物質標準試料、分析試料等であり発熱量が少なく、特別の熱除去システムを備えていないので、本検査を省略する。

** 外観検査で異常がなければ耐圧強度を有する構造であるので、本検査を省略する。

B. 保守条件

輸送時及び収納物の装荷時における核燃料輸送物の取扱いについては、核燃料輸送物の吊上用具の外、クレーン等の作業機器に異常がないことを確認するとともに、十分な配慮と計画の下に慎重に取り扱い、安全対策に万全を期する。

また、輸送容器の性能を長期にわたって保証するため、定期自主検査（1年に1回以上あるいは年間の使用回数が10回を超える場合は、使用回数10毎に1回以上）を実施する。

B.1 外観検査

（ハ）－第B.1表に示す要領により定期自主検査を行う。

B.2 耐圧検査

耐圧検査の対象は、内容器である。しかし、内容器は、構造上及び使用上において耐圧性能に影響を与えるような傷や割れが生じる可能性はないと考えられ、外観検査で異常がなければ耐圧強度を有する構造であるので、耐圧検査は省略する。

B.3 気密漏えい検査

（ハ）－第B.1表に示す要領により定期自主検査を行う。

B.4 遮蔽検査

（ハ）－第B.1表に示す要領により定期自主検査を行う。

B.5 未臨界検査

（ハ）－第B.1表に示す要領により定期自主検査を行う。

B.6 熱検査

（ハ）－第B.1表に示す要領により定期自主検査を行う。

B.7 吊上検査

外観検査で吊具に異常がなければ、本検査を省略する。

B.8 作動確認検査

本容器は作動部を装備していないので該当せず。

B.9 補助系の保守

本容器は補助系を装備していないので、該当せず。

B.10 密閉装置の弁、ガスケット等の保守

シール及びボルトは、年1回の定期自主検査において、発見された消耗部品又は損傷箇所の交換、あるいは修理を行う。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器は、その健全性を維持するために選定された保管場所に保管する。

B.12 記録の保管

輸送容器の定期自主検査の結果及び部品の取り換え状況は、輸送容器の承認期間中はこれを保管する。

B.13 その他

特になし

(ハ) - 第 B. 1 表 定期自主検査要領

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
外観検査	外容器, 一次密封容器, 二次密封容器	外観を目視により検査する。	有害な傷, 割れ, 変形等 のないこと。
気密漏えい検査	一次密封容器及び二次密 封容器のOリング部及 びヘリウムリークテスト 孔プラグ	ヘリウムリーク試験により漏 えい率を検査する。方法は 真空法又は加圧法とする。	漏えい率が $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot$ m^3/sec ($1 \times 10^{-7} \text{atm} \cdot$ cc/sec) 以下であるこ と。
遮蔽検査	外容器, 一次密封容器, 二次密封容器	外観を目視により検査する。	有害な傷, 割れ, 変形等 のないこと。
未臨界検査	一次密封容器, 二次密封 容器	外観を目視により検査する。	有害な傷, 割れ, 変形等 のないこと。
熱検査	外容器, 一次密封容器, 二次密封容器	外観を目視により検査する。	有害な傷, 割れ, 変形等 のないこと。

ニ章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

該当なし

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

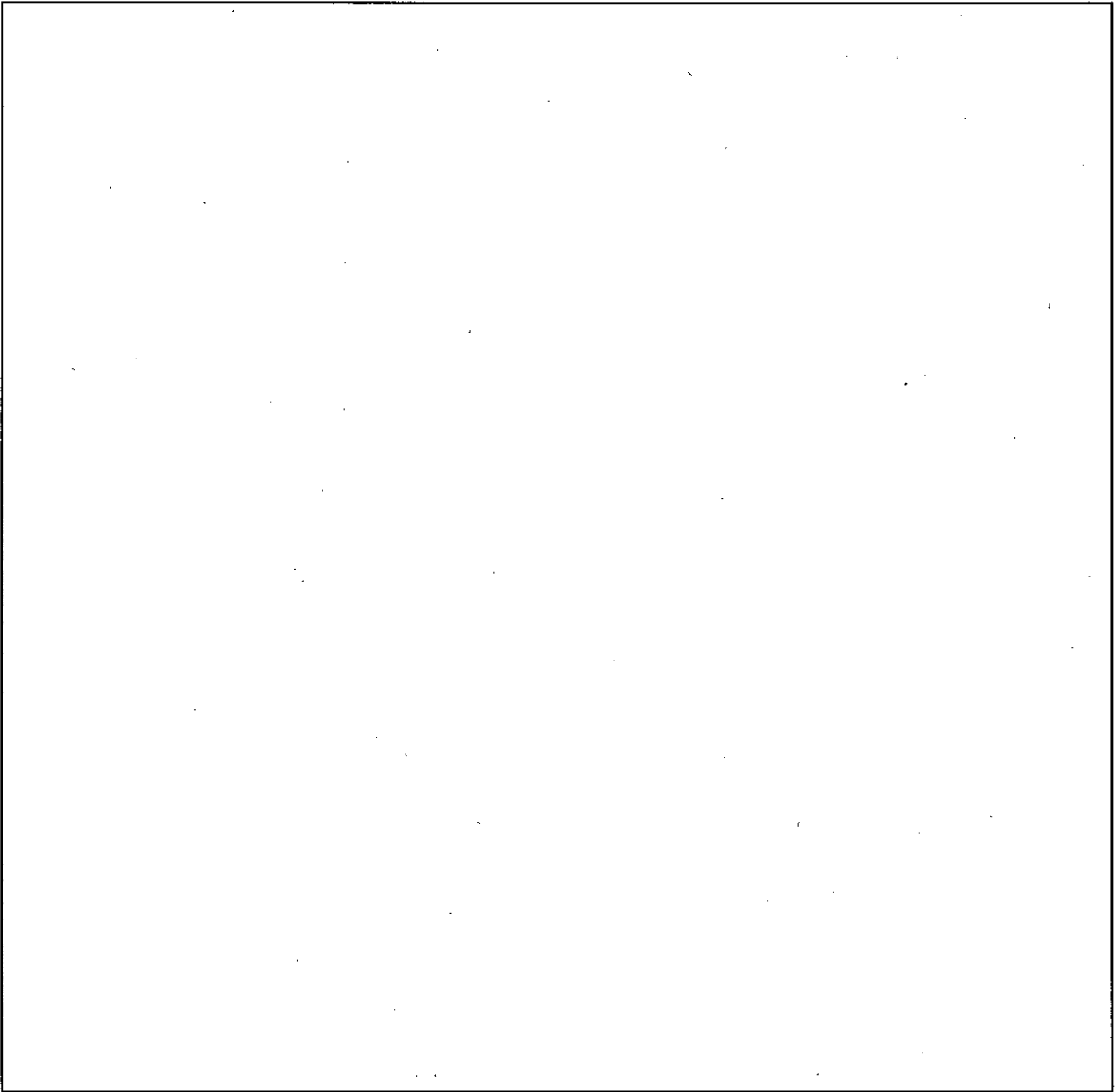
A. 輸送容器の製作法

A.1 概 要

本輸送容器は、一次密封容器、二次密封容器、外容器及び試料容器から構成される〔(参) - 第A.1図参照〕。輸送容器は(参) - 第A.2図に示す手順及び方法により製作される。

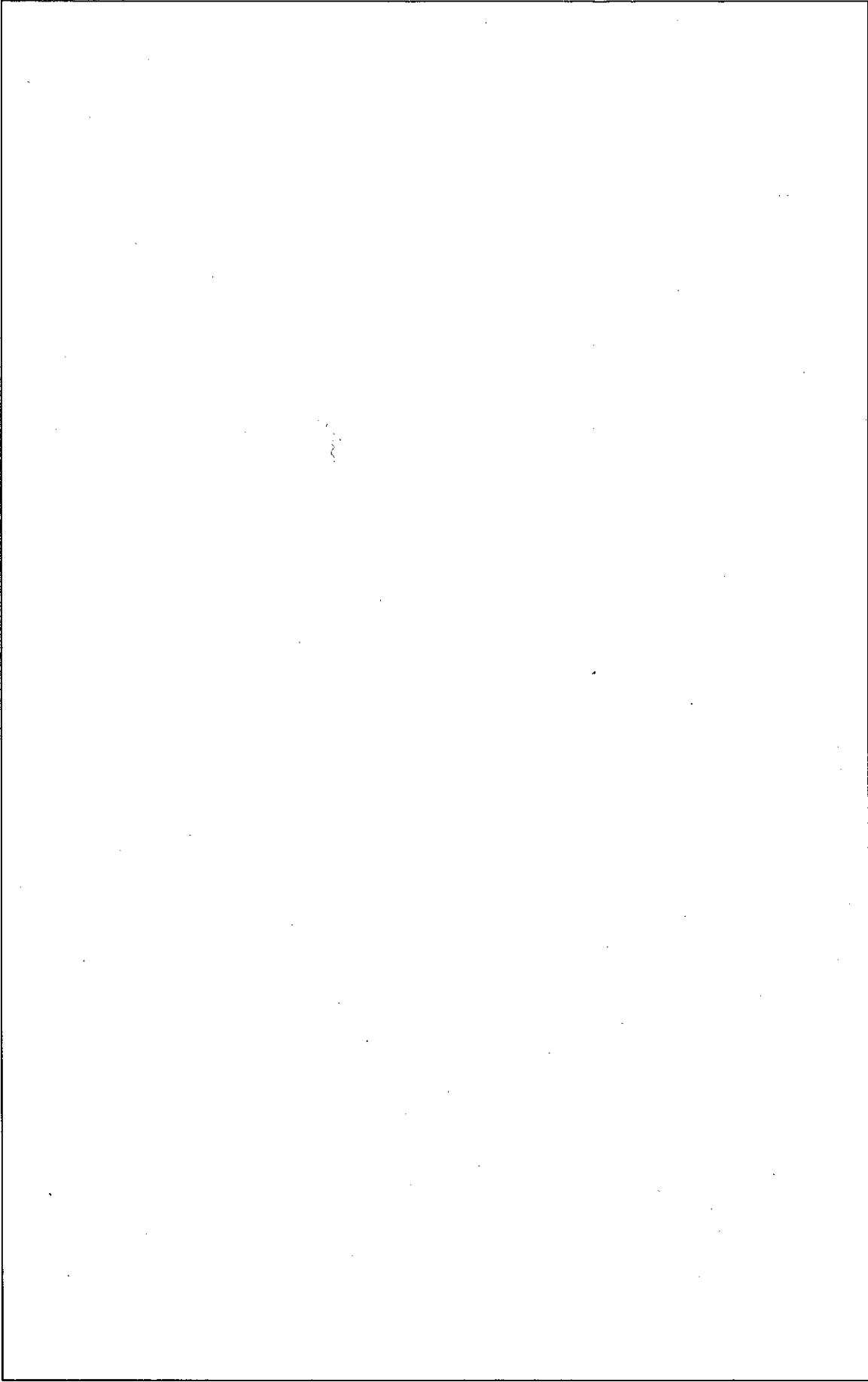
なお、本項に用いる略記号は下記のとおりである。

略記号	説 明	備 考
材	材 料 検 査	
DT	寸 法 検 査	
PT	液体浸透探傷検査	
RT	放射線透過検査	
He	気密漏えい検査	
TA	耐 圧 検 査	
H	取 扱 検 査	
S	作 動 確 認 検 査	
L	吊 上 荷 重 検 査	
W	重 量 検 査	
VT	目 視 検 査	

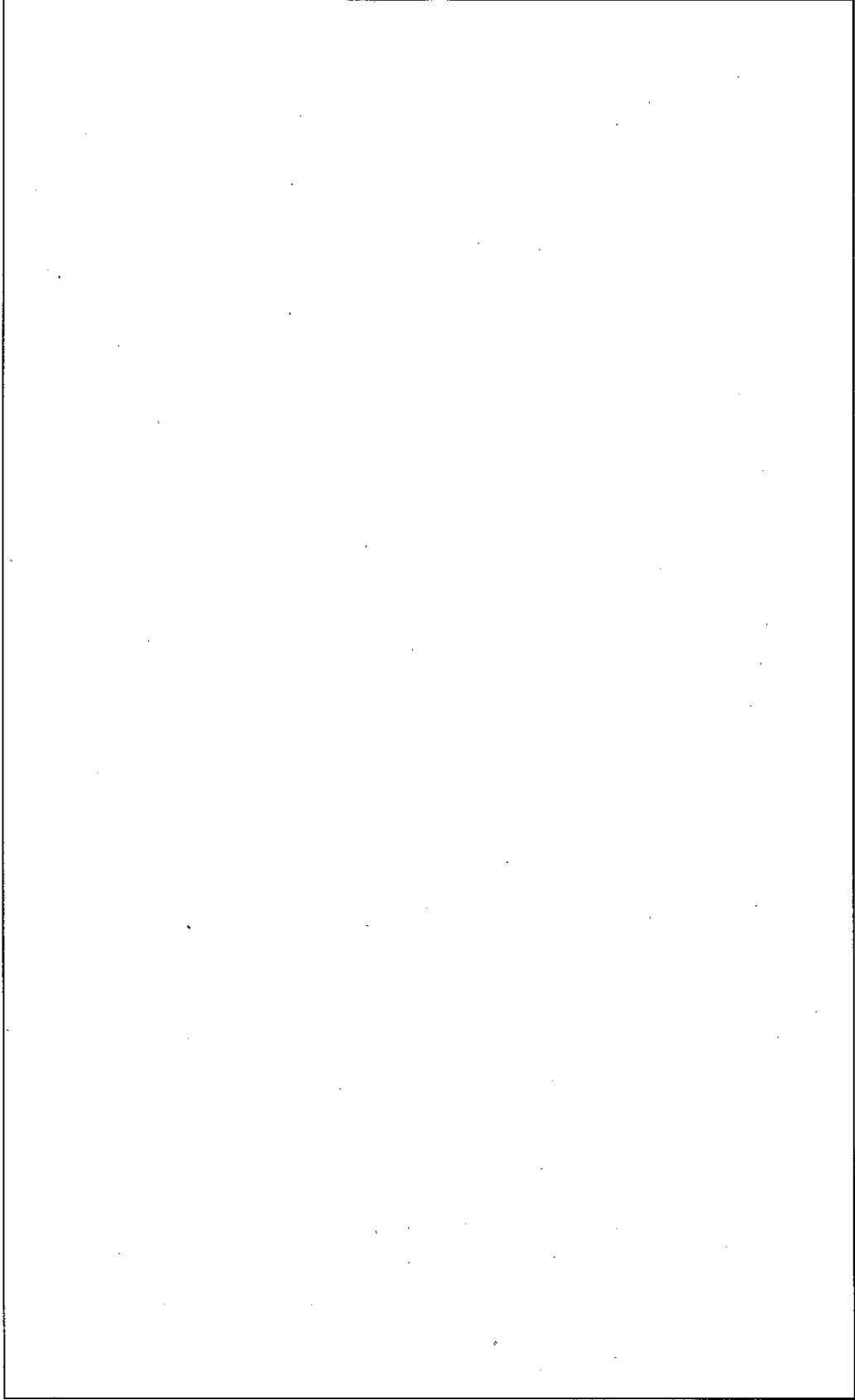


[単位：mm]

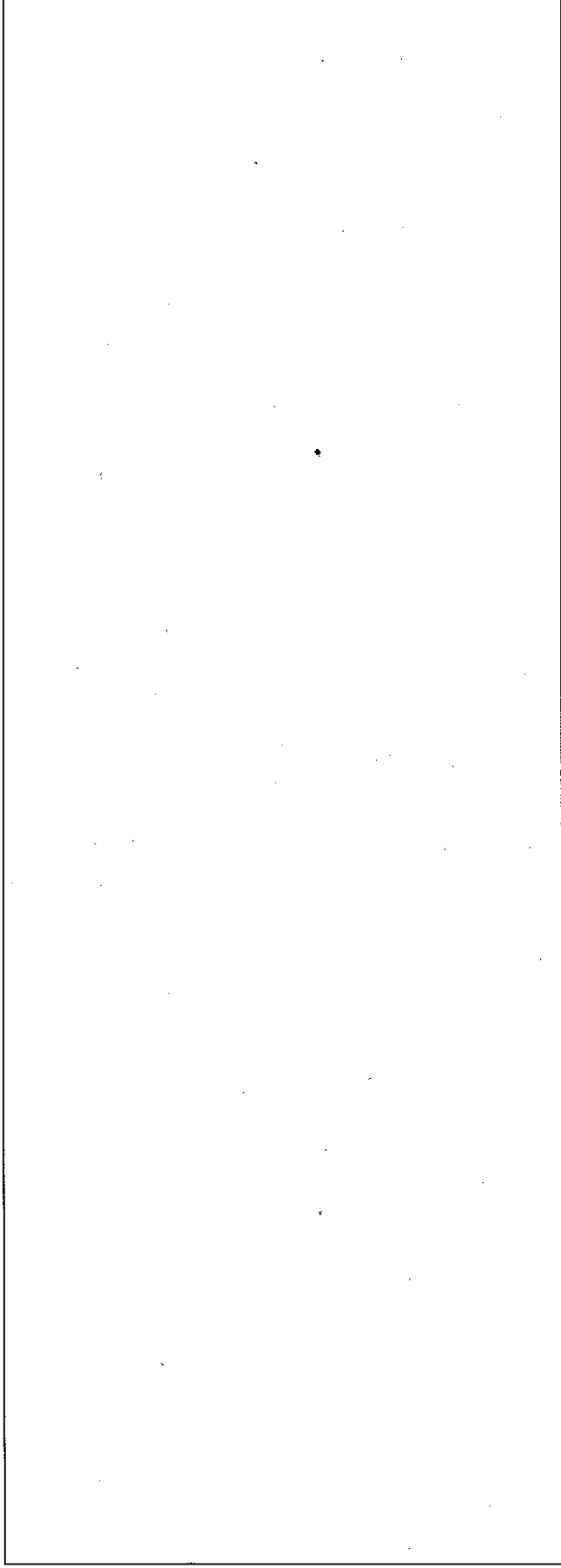
(参) - 第A. 1 図 輸送容器総組立図



(参) 一第A. 2图 输送机製作手順图 (1/3)



(参) - 第A. 2图 输送机器製作手順图 (2 / 3)



(参) - 第A. 2图 輸送容器製作手順图 (3 / 3)

A.1.1 一次密封容器の製作法

一次密封容器は、(参) - 第A.3図に示す構造をしており、容器本体及び蓋板から構成されている。蓋板には が付属している。
以下に製作手順を述べる。

(1) 容器本体

(1-1) 容器フランジ部

1) 材料受取検査

粗加工済の鍛鋼品 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。

(1-2) 容器底部

1) 材料受取検査


粗加工済の鍛鋼品 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。

(1-3) 容器本体の組立て

1) 容器フランジ部と底部の組立溶接

開先合せ及び仮付を行った後、開先検査を行い、合格後溶接する。



2) 放射線透過検査

 により溶接の健全性を確認する。

3) 最終機械加工

溶接による変形を除去するために、溶接後に容器本体外面とフランジシール部の最終機械加工を行う。

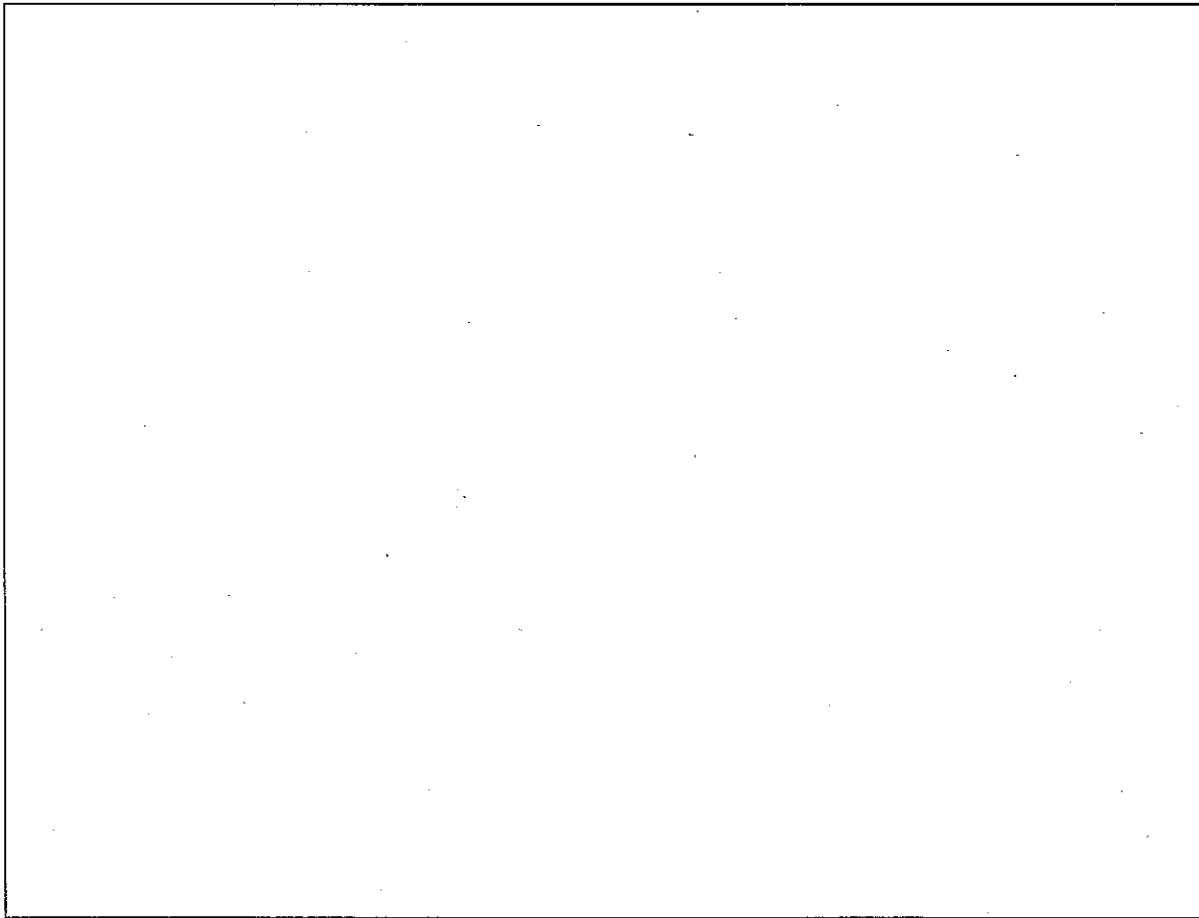
4) 液体浸透探傷検査 及び寸法検査

 により溶接の健全性を確認した後、 により寸法が公差内に入っていることを確認する。

(2) 蓋板

1) 材料受取検査

粗加工済の鍛鋼品 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。



309	ガイドピン		2	
51			1式	
52			1	
51			1式	
308	O-リング		1	
307	O-リング		1	
306	ワッシャー			
305	ボルト			
304	ボルト			
303	蓋板		1	
302	底板		1	
301	フランジ部		1	
部品番号	品名	材料	数量	備考

図面本体

(参) 第一A. 3 図 一次密封容器

2) 最終機械加工

最終機械加工を行う。

3) 寸法検査



により寸法が公差内に入っていることを確認する。

(3) 一次密封容器の組立て

1) 組立て

容器本体フランジに Oリングを取り付け、蓋ボルトにより固定する。蓋の
 を取り付ける。

2) 耐圧検査



及び気密漏えい検査



一次密封容器単独にて 及び を行い、強度上問題がないこと及びシール部、溶接部より漏えいがないことを確認する。

A.1.2 二次密封容器の製作法

二次密封容器は、(参) 一第A.4図に示す構造をしており、容器本体及び蓋板から構成されている。蓋板には が付属している。以下に製作手順を述べる。

(1) 容器本体

(1-1) 容器フランジ部

1) 材料受取検査

粗加工済の鍛鋼品 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。

(1-2) 容器底部

1) 材料受取検査

粗加工済の鍛鋼品 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。

(1-3) 容器本体の組立て


1) 容器フランジ部と底部の組立溶接


開先合せ及び仮付けを行った後、開先検査を行い、合格後溶接する。

208	ガイドピン		2		
53	接衝材		1		
62			1		
61			1式		
207	O-リング		1		
206	O-リング		1		
205	ワッシャー				
204	ナット				
203	蓋板		1		
202	取部		1		
201	フランジ部		1		
部品番号	品名	材料	数量	単位	備考

空取本体


(参) - 第A. 4 図 二次密封容器



2) 放射線透過検査 

 により溶接の健全性を確保する。

3) 最終機械加工


溶接による変形を除去するために、溶接後に容器本体外面とフランジシール部の最終機械加工を行う。

4) 液体浸透探傷検査  及び寸法検査 

 により溶接の健全性を確認した後、 により寸法が公差内に入っていることを確認する。


(2) 蓋 板

1) 材料受取検査

粗加工済の鍛鋼品 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。

2) 最終機械加工

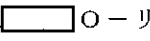
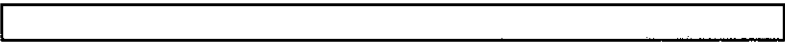
最終機械加工を行う。


3) 寸法検査 



 により寸法検査が公差内に入っていることを確認する。


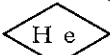
(3) 二次密封容器の組立て

1) 組立て

容器本体フランジに  オーリングを取り付け、蓋ボルトにより固定する。蓋の 

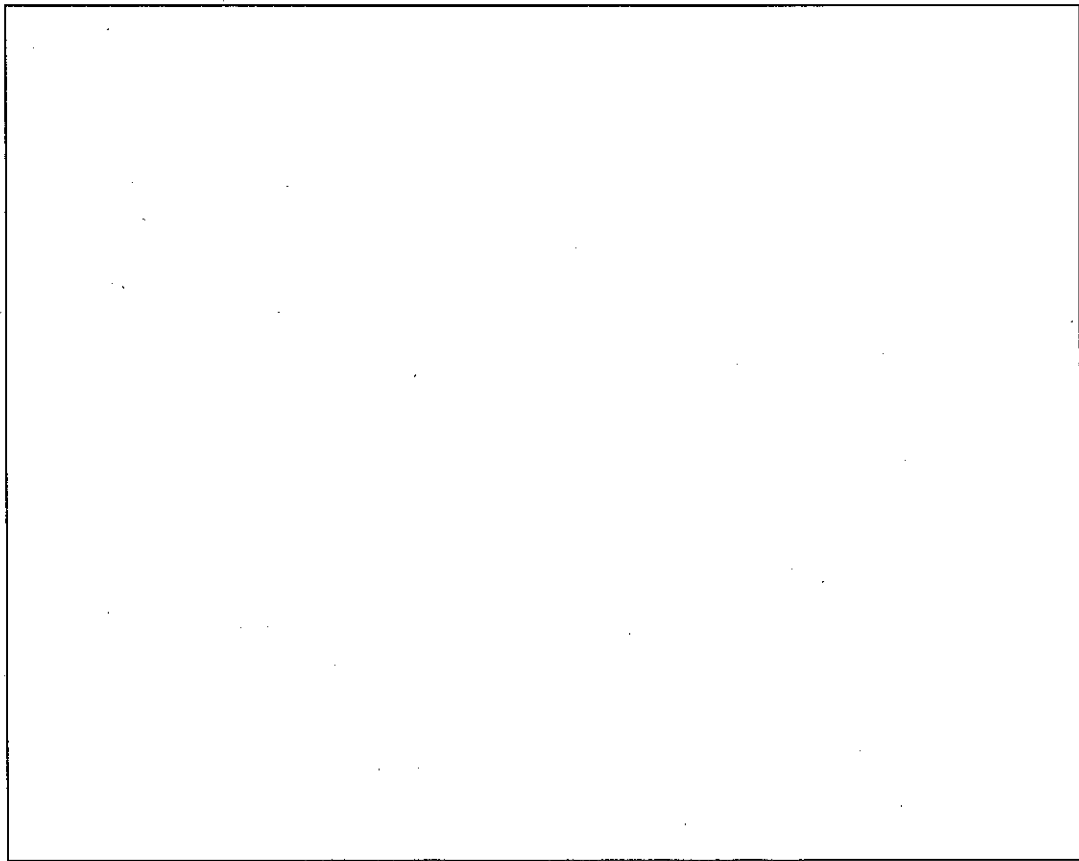
 を取り付ける。

2) 耐圧検査  及び気密漏えい検査 

二次密封容器単独で  及び  を行い、強度上問題がないこと及びシール部、溶接部より漏えいがないことを確認する。

A.1.3 外容器の製作法

外容器は (参) - 第 A.5 図 に示す構造をしており、容器本体、緩衝材及び蓋板から構成されている。容器本体外部胴には吊金具が付属している。以下に製作手順を述べる。



部品番号	品名	材	対	数量	単位	備考
112	緩衝体				1式	
111	ボルト				1	
110	ワッシャー				1	
109	蓋板(内装及び外装)				1式	
108	内筒緩衝体				1式	
107	緩衝体				1	
106	ワッシャー					
105	ナット					
104	ボルト					
103	補強リング				1式	
102	吊金具				1	
101	容器殻(内装及び外装)				1式	

緩衝体
容器殻

(参) 一第A. 5 図 外容器

(1) 外容器本体

(1-1) 容器外殻

1) 材料受取検査



鋼板 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。



2) 部材加工

鋼板の切断、開先加工及び曲げ加工を行う。

3) 容器外殻の組立溶接

容器外殻胴の長手溶接を行う。その後、胴上部に蓋板取付座を、胴中央部に と吊金具を、胴下部に底板を溶接する。溶接に先だって開先検査を行い、合格後溶接する。

4) 液体浸透探傷検査  及び寸法検査 

 により溶接の健全性を確認した後、 により寸法が公差内に入っていることを確認する。

(1-2) 容器内殻

1) 材料受取検査



鋼板 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。



2) 部材加工

鋼板の切断、開先加工及び曲げ加工を行う。

3) 容器内殻の組立溶接

容器内殻胴の長手溶接を行う。その後、底板を溶接する。溶接に先だって開先検査を行い、合格後溶接する。

4) 液体浸透探傷検査  及び寸法検査 

 により溶接の健全性を確認した後、 により寸法が公差内に入っていることを確認する。

(1-3) 緩衝材

1) 材料受取検査

緩衝材 () の材料確認を行い、材質、仕様に誤りのないことを確認する。

2) 緩衝材の加工

ブロックごとに成型加工し、寸法、方向に誤りのないことを確認する。

(1-4) 外容器本体蓋板

1) 材料受取検査



鋼板 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。



(1-5) 外容器本体の組立て

1) 緩衝材の組込み

容器外殻と容器内殻との間に、ブロックごとに成型された緩衝材を組み込む。

緩衝材の組込みは容器の下部から上部へ順次行う。また、容器本体蓋板を溶接する。

4) 液体浸透探傷検査  及び寸法検査 

 により溶接の健全性を確認した後、 により寸法が公差内に入っていることを確認する。

(2) 外容器蓋

(2-1) 蓋板

1) 材料受取検査

鋼板 () の材料確認を行い、材質、寸法、仕様に誤りのないことを確認する。



2) 部材加工

鋼板の切断、開先加工、曲げ加工及びボルト穴加工を行う。

3) 蓋外殻の組立溶接

蓋外殻の長手溶接及び上板の溶接を行う。溶接に先だって開先検査を行い、合格後溶接する。

4) 液体浸透探傷検査  及び寸法検査 

 により溶接の健全性を確認した後、 により寸法が公差内に入っていることを確認する。

(2-2) 緩衝材

1) 材料受取検査

緩衝材 () の材料確認を行い、材質、仕様に誤りのないことを確認する。



2) 緩衝材の加工



ブロックごとに成型加工し、寸法、 方向に誤りのないことを確認する。

(2-3) 外容器蓋の組立て

1) 緩衝材の組込み

蓋外殻に成型された緩衝材を組み込み、蓋の底板を溶接する。

2) 液体浸透探傷検査  及び寸法検査 

 により溶接の健全性を確認した後、 により寸法が公差内に入っていることを確認する。

(3) 外容器の組立て

外容器蓋はボルトにて外容器本体に固定する。

A.1.4 輸送容器の組立て

(1) 一次密封容器の組立て

一次密封容器内に緩衝材 (MGフェルト) を挿入し、一次密封容器が支障なく組み立てられることを確認する。

(2) 二次密封容器と一次密封容器の組立て

二次密封容器内に緩衝材 () を挿入した後、一次密封容器を固定ボルトにより固定し、二次密封容器が支障なく組み立てられることを確認する。

(3) 外容器と二次密封容器の組立て

二次密封容器の外面に緩衝材 () を組み込み、外容器内に二次密封容器を緩衝材と共に挿入する。その後、外容器蓋を組み込み、ボルトで固定する。

A.2 材料の説明

輸送容器に使用する材料の適用規格を (参) - 第A.1表 に示す。

(参) - 第A.1表 材 料 適 用 規 格

使用部分	材 質	適 用 規 格	材料区分	備 考
1. 一次密封容器				
容器フランジ部	[]	[]	鍛造材	
容器底板	〃	〃	〃	
蓋 板	〃	〃	〃	
固定用ボルト	[]	[]	棒 材	[]ボルト
蓋 ボ ル ト	〃	〃	〃	[]ボルト
ワ ッ シ ャ ー	[]	[]	板 材	
〇 リ ン グ	[]	メーカー標準		[]
[]	[]	[]	鍛造材	
緩 衝 材	[]	メーカー標準		
2. 二次密封容器				
容器フランジ部	[]	[]	鍛造材	
容器底板	〃	〃	〃	
蓋 板	〃	〃	〃	
蓋 ボ ル ト	[]	[]	棒 材	[]ボルト
ワ ッ シ ャ ー	[]	[]	〃	
〇 リ ン グ	[]	メーカー標準		
[]	[]	[]	鍛造材	
緩 衝 材	[]	メーカー標準		
3. 外 容 器				
本体容器殻	[]	[]	板 材	
蓋 殻	〃	〃	〃	
吊 金 具	〃	〃	〃	
[]	〃	〃	〃	
蓋ボルト・ナット	〃	[]	棒 材	
メ ッ シ ュ	〃	〃	〃	
緩 衝 材	[]	メーカー標準		

A.2.1 板材料

(1) [] ([])

外容器の容器本体、蓋、[]及び吊金具等には[]
[]による[] ([])を使用する。機械強度及び化学成分を
(参) - 第A.2表に示す。本表に示す機械的特性値は、設計上要求される機械的
強度条件を満足する。

本材料は[]であり、使用条件下における材料の腐
蝕の問題はない。また、切断、開先加工、溶接等に対しても材料の特性を失わず
に加工することが可能である。

A.2.2 管材類

管材類は本輸送容器の製作に用いていないため該当しない。

A.2.3 鍛造品、ボルト・ナット類

(1) [] 鍛鋼品 ([])

[]
[]を使用す
る。機械的強度及び化学成分を(参) - 第A.2表に示す。本表に示す機械的特性
値は、設計上要求される機械的強度条件を満足する。

本材料は[]であり、使用条件下における材料の腐
蝕の問題はない。また、機械加工、溶接等に対しても材料の特性を失わずに加工
することが可能である。

(2) []

[]
[]である。機械的強度及び化学成分
を(参) - 第A.2表に示す。本表に示す機械的特性値は設計上要求される機械的
強度条件を満足する。

(参) - 第A. 2表 材料特性

区分	適用規格	材質	引張強さ (MPa)	降伏点又は 耐力 (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	硬 さ	縦 圧 縮 強 さ (MPa)	比 重	含 水 率 (wt.%)	化 学 成 分 (wt.%)						備 考
											C max	Mn max	P max	S max	Si max	Cr	
一 般 使 用 材 料																	板 材
溶接 材料			550 ※ 以上		35 ※ 以上												鍛造材
特 殊 材 料																	棒 材
	メーカー標準																

注：※印部の数値は、ASME Code, Sect. II, Part C, SFA-5.9 Appendix : Guide to AWS Classification of Corrosion Resisting Chromium and Chromium-Nickel Steel Bare and Composite Metal Cored and Standardized Arc Welding Electrodes and Welding Rods*による。

A.2.4 溶接用電極・棒・線類

本輸送容器の溶接に使用する電極は、J I S Z 3233 T I G 溶接用タングステン電極棒 2%トリエテッドタングステン電極棒 (Y W T h - 2) である。化学成分を (参) - 第 A.3 表に示す。

(参) - 第 A.3 表 タングステン電極棒の化学成分 (T I G 溶接用)

W	97.75% 以上
ThO ₂	1.7% ~ 2.2%
その他	0.05% 以下

1~2%の酸化トリウムを含むタングステン電極棒は、純タングステン電極棒に比べて電子放射流が著しく優れており、電極温度が低くてすむので電極棒の電流量が大きくなり良好な溶接性を示す。

溶接棒は [] 及びワイヤ ([]) を使用する。
棒及びワイヤの化学成分を (参) - 第 A.2 表に示す。

A.2.5 特殊材料

本輸送容器に使用する特殊材料は以下である。これらの材料仕様はメーカー標準とする。

(1) 緩衝材

a. []

b. []

c. MGフェルト

[] の仕様を (参) - 第 A.2 表に示す。本表に示す特性値は、設計上要求される仕様を満足する。また本材料は成形、加工に対して材料の特性を失うことはない。

A.2.6 ミルシート

ミルシートの記載事項は、原則として下記のとおりである。

- (1) 製造者名又は略号
- (2) ミルシートの発行日
- (3) ミルシート番号
- (4) 仕様又は適用規格
- (5) 材料の種類又は略号
- (6) チャージ番号又はロット
- (7) 寸法、重量
- (8) 化学分析表
- (9) 機械試験結果
- (10) 必要に応じて熱処理条件
- (11) その他要求された事項

ミルシートは適用規格を満足し、材料と照合した上で各項目に相異がなければ材料と共に合格とされる。

A.2.7 材料の欠陥部の修理

各材料の製造過程及び加工中に発生した板傷等の小欠陥は、グラインダにて滑らかに仕上げ、目視検査により検査する。補修後の板厚が規格板厚に足りない場合には、溶接にて肉盛補修し、グラインダにより平面に仕上げた後、液体浸透探傷検査により検査する。

A.2.8 材料の切断

材料の切断及び開先加工は、、等の又は、、、機械加工等の機械的手法により行う。による場合は切断後、機械加工等の機械的手段により切断端面の仕上げ加工を実施する。

A.2.9 材料の成型

板材の曲げ加工は、冷間にてベンディングローラーを使用して行う。

A.3 溶 接

A.3.1 溶接方法及び材料

本輸送容器の溶接は、材料の種類で区別すると、で
あり、溶接法はすべてTIG溶接である。以下に使用する溶接施工法について説明する。

- (1) 施工厚さ10mm以下のTIG溶接による片目溶接で裏波ビードを形成させる
溶接（以下「裏波溶接」と称す）に用いる材料及び条件を（参）-第A.4表に
示す。

（参）-第A.4表 のTIG溶接による裏波溶接の材料及び条件

項 目	溶 接 条 件
溶 接 棒	<input type="text"/>
電 極 棒	タングステン YWTh-2 (JIS Z 3233)
溶 接 棒 径 (mm)	1.6
溶 接 電 流 (A)	60 ~ 160 (直流)
アーク電圧 (V)	8 ~ 15
シールドガス	アルゴンガス
シールドガス流量 (l/min)	15 ~ 25
ウェルト・インサート・裏当て金	使用せず
予熱・後熱	行わない
層間温度	200℃ 以下
溶接姿勢	下向き又は横向き
応力除去	行わない

- (2) 施工厚さ10mm以下のTIG溶接による裏波溶接以外の溶接に用いる材料及び条件を(参)-第A.5表に示す。

(参)-第A.5表 のTIG溶接による裏波溶接以外の溶接材料及び条件

項 目	溶 接 条 件
溶 接 棒	
電 極 棒	タングステン YWTh-2 (JIS Z 3233)
溶 接 棒 径 (mm)	1.6
溶 接 電 流 (A)	60 ~ 140 (直流)
アーク電圧 (V)	8 ~ 10
シールドガス	アルゴンガス
シールドガス流量 (ℓ/min)	15 ~ 25
ウェルト・インサート・裏当て金	使用する場合と同条件
予熱・後熱	行わない
層間温度	200℃以下
溶接姿勢	下向き又は横向き
応力除去	行わない

A.3.2 溶接機の管理及び作業員資格

(1) 溶接機の管理

溶接機は、毎年1回以上定期的に点検する。点検は、点検表に基づいて実施し、その主な点検項目は次のとおりである。

- 絶縁抵抗値
- タップ切替装置の接点、動作の状態
- アースの接触、断線
- キャブタイヤケーブルの破損の状態
- ホルダの具合
- ケーブルコネクタの具合
- 接地クランプの破損などの状態

- 電流計の較正
- その他

定期点検以外に、溶接機に不具合が生じたり、長期にわたって工場外で使用した後などにも定期点検に準じて点検を行う。

点検時には、電気回路なども塵埃を除去する。

点検後は、溶接機点検表に記録して保管する。

(2) 作業員の資格

輸送容器の密封域の溶接については、ASME Sec. IX又は同等の規格に従って実施した溶接士技量認定試験に合格した溶接士のみが従事する。

溶接士技量認定試験は、次に掲げる事項についてそれぞれの事項の組合せが異なるごとに実施する。

- 溶接方法
- 試験材及び溶接姿勢
- 溶接棒

判定基準は、ASME Sec. IX又は同等の規格に定める規定による。

A.3.3 溶接の主要事項に関する説明

(1) 溶接開先形状

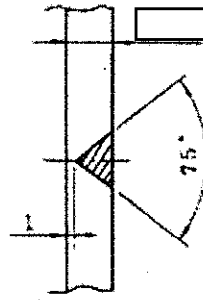
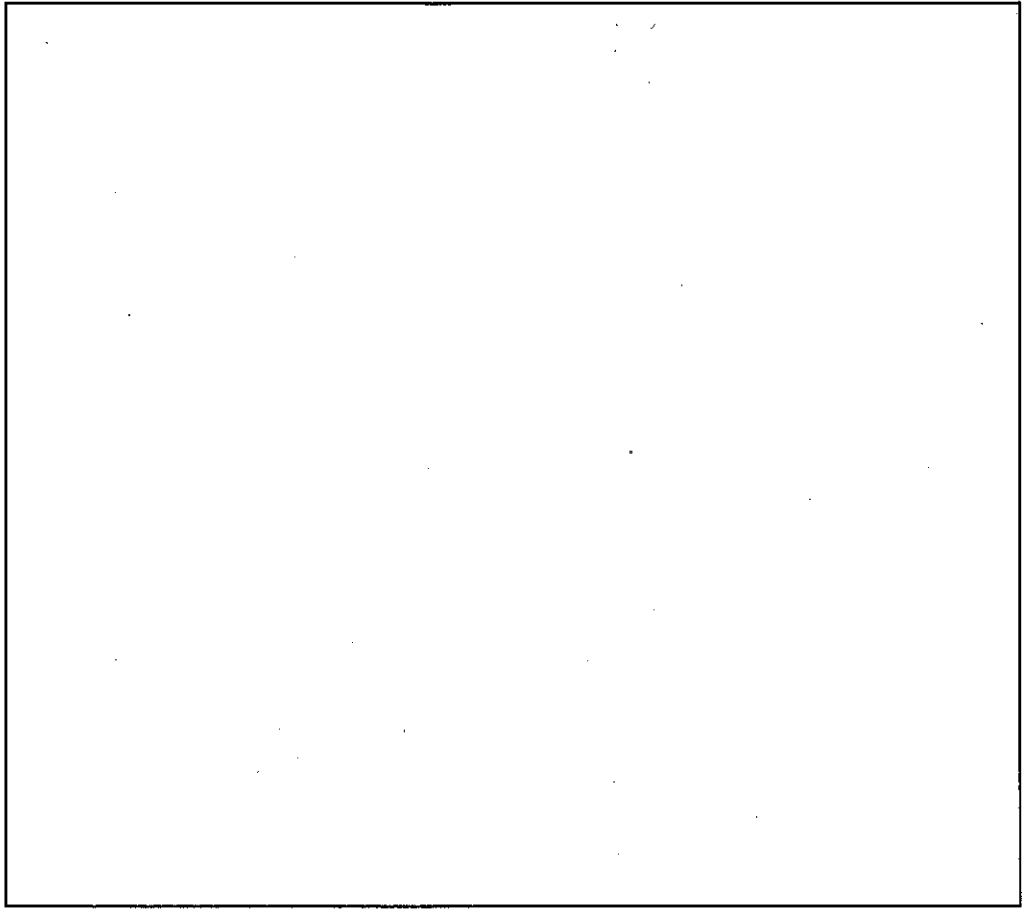
一次密封容器、二次密封容器及び外容器の溶接開先形状を、(参) - 第A.6図、(参) - 第A.7図に示す。

(2) 溶接部の洗浄

溶接完了後、溶接部はワイヤブラシ等で表面を清掃した後、脱脂、洗浄して汚れ・異物等を除去する。脱脂液としては、非イオン系界面活性剤・工業用アルコール・アセトン等を使用する。脱脂後は水道水で洗浄する。

(3) 溶接部の仕上げ

一般に溶接部は非破壊検査が可能な程度に仕上げる。ただし、他の部品との取り合いがあるなど特に仕上げが要求される場合は、その要求に応じて 仕上げ・ 仕上げ・機械加工仕上げ等を実施する。

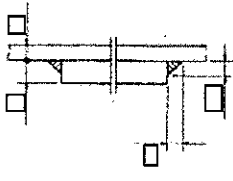


継手番号 W-34, 35

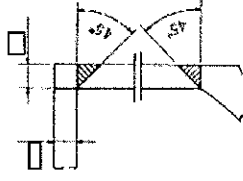
溶接法 : GTAW

(参) - 第 A. 6 図

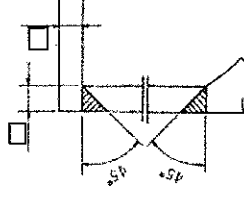
開先形状図



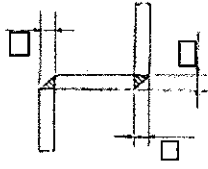
継手番号 W-21~27



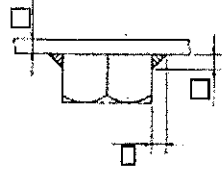
継手番号 W-28, 30



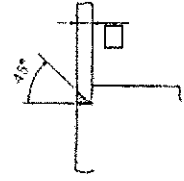
継手番号 W-29, 31



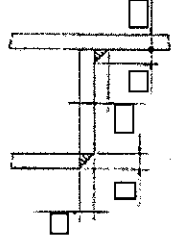
継手番号 W-20, 21



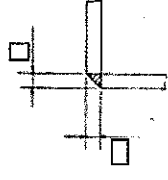
継手番号 W-22
(点線部)



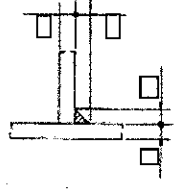
継手番号 W-23



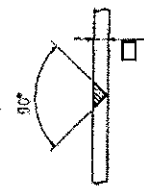
継手番号 W-12, 13



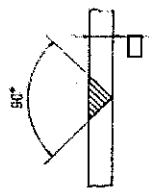
継手番号 W-14~16



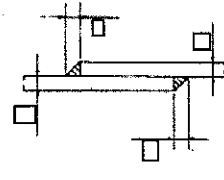
継手番号 W-19



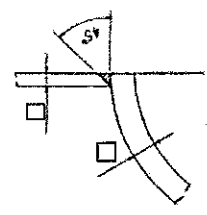
継手番号 W-1~5



継手番号 W-6, 7



継手番号 W-8, 9, 17, 18



継手番号 W-10, W-11

(参) 一第A. 7 図 外蓋器接続用先形状図

A.3.4 溶接欠陥の修理

検査の結果、割れ、ピンホール、ブローホール、スラグの巻き込み等の欠陥が発見された溶接部は ・機械加工等の機械的方法によるか、又は により欠陥部を除去し、溶接補修する。輸送容器密封域の補修溶接は技量認定された溶接士により実施する。補修後は再検査を実施し、合否を確認する。

A.3.5 溶接後の熱処理

本容器製作工程には溶接部の熱処理工程はないため該当しない。

A.3.6 特殊溶接

本容器製作工程には特殊溶接の施工はないため該当しない。

A.3.7 溶接の品質保証計画・その他

溶接施工法、溶接士の資格、溶接用材料の管理などは品質保証を確立するため、製造者で社内基準を設け、これを履行する。

製作設計において、主要な溶接継手には溶接継手番号をつけ、製作図面に示す。溶接施工の文書の上での管理は、すべてこの溶接継手番号で行う。溶接継手番号の取り方等については基準を設け、作業員にもよく理解できるシステムを確立する。

輸送容器密封域の溶接は、ASME Sec. IX又は同等の規格に従って実施した溶接施工法試験に合格した施工法で、かつ、溶接士技量認定試験に合格した溶接士により実施する。

以下、溶接施行法について説明する。

溶接施行法試験は、次に掲げる事項について、それぞれの事項の組合せが異なるごとに実施される。

- 溶接方法の種類
- 母材の種類
- 溶接棒の種類

- 溶着金属の種類
- 予熱の有無
- 応力除去の有無
- シールドガスの種類
- 溶加材又はウェルドインサートの有無
- 母材の厚さの区分

以上の区分から溶接施行法を決定し、確認の試験を行う。機械試験（継手引張試験・曲げ試験）の方法は、ASME Sec. IXに規定されている方法又は同等の方法による。また、必要に応じて、試験材のミルシート、試験片の試験結果の写真、溶接部のマイクロ写真、ミクロ写真、溶接部硬度試験記録、放射線透過写真などを用意する。

以上の手順を経た溶接施行法を本輸送容器に適用する。

また、主な溶接部に対しては、溶接施工要領書を作成し、先の溶接施行法との照合を明らかにするとともに、溶接方法、施工厚さの範囲、母材の材質、溶接棒の銘柄などを記載し、溶接条件、開先形状を明記する。作業員に対しては、溶接施工要領書を基に作成した溶接指示書を発行し、溶接後は施工記録を残すシステムとする。

溶接用の材料の取扱いは、それぞれ取扱い規定を設ける。母材については、受入れ検査を実施し、鋼種、欠陥の有無などを確認し、適切な保管方法、材料の払出し、加工方法なども各々確認する。

溶接棒も取扱い規定を設ける。溶接棒の保管については、銘柄、棒径ごとに区分し、誤って用途の異なる溶接棒が払い出されることを防止する。

溶接機についても保管基準を設け、定期点検の義務付け、方法などを規定する。

溶接部の検査は、それぞれ製作図又は検査要領書に示し、判定基準も併せて明らかにする。

A.4 シャーペイ体の製作法

該当せず

A.5 弁等の付属機器の製作法

○リング等付属機器は市販のメーカ標準品を購入する。

A.6 組立等その他の製作法

A.6.1 組立て

[Redacted content]

A.6.2 加工

材料の削り出し、研磨、仕上げ等の加工について述べる。機械加工においては、加工する目的によって機種を選ぶ。

○ 旋盤

中丸削り、中ぐり、突切り、正面削り、ねじ切りなどの加工に用いる。

○ ボール盤

用途によりラジアルボール盤、卓上ボール盤を使用する。主に穴あけ加工に用いる。

○ 平削り盤（フレーナーマシン）

一般には平削り加工に用いる。

○ フライス盤（ミーリングマシン）

一般には平面削り・溝切りなどの加工に用いる。

○ 形削り盤

一般には面の小さい平削り加工に用いる。

B. 試験・検査方法等

輸送容器の製作中及び製作完了後、ロ章「輸送物の安全設計」に述べられた各解析に対応する設計条件を満たすように製造されていることを確認するために、(参) - 第 B.1表に記述する試験・検査を実施する。また、輸送容器製作時及び完成時検査要領を(参) - 第 B.2表に、輸送容器の最初の使用前検査要領を(参) - 第 B.3表に示す。

B.1 材料検査

材料については、受取検査時にはミルシートにより J I S 規格に示す所定の性能を満足していることを確認する。主要部材料は、(参) - 第 B.4表に示す各試験検査を行う。

B.2 寸法検査

寸法検査は完成品となった時点で、巻尺、ノギス、マイクロメーター、その他計測器具を用いて行う。輸送容器の本体主要部の寸法については、各製作図に示された公差内であることを確認する。図示なき場合は下記無記号寸法公差表によって判定する。

製 缶 無 記 号 公 差 (単位 : mm)		
呼 び 寸 法 の 区 分		寸 法 差
0 以 上	250 以 下	± 2
250 を 超 え	500 以 下	± 3
500 を 超 え	1000 以 下	± 4
1000 を 超 え	2000 以 下	± 5
2000 を 超 え	4000 以 下	± 6
4000 を 超 え	8000 以 下	± 7
8000 を 超 え	16000 以 下	± 8

削 り 加 工 無 記 号 公 差 (単位 : mm)		
呼 び 寸 法 の 区 分		寸 法 差
1 以 上	4 以 下	± 0.1
4 を 超 え	16 以 下	± 0.2
16 を 超 え	63 以 下	± 0.3
63 を 超 え	250 以 下	± 0.5
250 を 超 え	500 以 下	± 0.65
500 を 超 え	1000 以 下	± 0.8
1000 を 超 え	2000 以 下	± 1.2
2000 を 超 え	4000 以 下	± 2.0
4000 を 超 え		± 3.0

B.3 溶接検査

輸送容器製作中、溶接の健全性を確認するため溶接検査を行う。検査要領及び判定基準を次に示す。

B.3.1 開先検査

- (1) 開先の形状は図示どおり加工され、開先及びその付近には塗料、油分、錆などのないことを確認し、溶接部を仮付した後開先寸法を確認する。
- (2) 開先寸法の許容値（仮付状態において）
 - a) 開先角度 ; $\pm 5^\circ$
 - b) ルート間隔 ; $\pm 1 \text{ mm}$
 - c) 板の食い違い ; 下表の各値を満足すること

板厚 (mm)	周継手食い違い (mm)
t	$1/5 t$ 以下

t : 継手の板厚

(板厚の異なる場合は薄い方)

B.3.2 溶接及び溶接外観検査

- (1) 溶接前に溶接条件、溶接棒の種類、溶接士の資格を確認する。
- (2) 溶接完了後、目視により外観検査を行い、割れ、アンダーカット、オーバーラップ等の有害な欠陥がないことを確認する。

割れ	アンダーカット	オーバーラップ
ないこと	深さ0.5 mm以下	0.5 mm以下

- (3) 放射線透過検査を施工する突合せ溶接部の余盛高さは下記のとおりとする。

板厚 (mm)	余盛高さ (mm)
25.4 以下	2.4 以下
25.4 ~ 50.8 以下	3.2 以下

B.3.3 液体浸透探傷検査 (PT)

(1) 液体浸透探傷検査は(参)－第B.5表に指示する箇所に適用し、JIS Z 2343に従って実施する。

(2) 判定基準は次のとおり。

線状欠陥指示模様のないこと。円状欠陥がJIS Z 2343の1種2級以上であること。

B.3.4 放射線透過検査 (RT)

(1) 放射線透過検査は、一次密封容器及び二次密封容器の突合せ溶接部についてのみJIS Z 3106に従って実施する。

(2) 判定基準は次のとおり。

JIS Z 3106 の判定基準の第1種、4種の欠陥が1級以上、第2種の欠陥が1級以上、第3種の欠陥がないこと。

B.4 外観検査

一次密封容器、二次密封容器及び外容器について目視により下記項目の検査を行う。

- (1) 形状が図示どおりであることを確認する。
- (2) 外観上の傷、切削部の返り等、不手際な部分のないこと。
- (3) 仕上面の状態が図面指示どおりであることを確認する。
- (4) 腐食等のないこと。

B.5 耐圧検査

一次密封容器及び二次密封容器完成後、下記の要領にて耐圧検査を行い、漏れ及び異常変形のないことを確認する。

- (1) 耐圧試験圧力 ; 一次密封容器
二次密封容器
- (2) 保持時間 ; 0.5時間以上
- (3) 加圧媒体 ; 窒素ガス

B.6 気密漏えい検査

完成後、各容器単独にて を行う。

試験手順は、

により漏えい率を測定する。判定基準は漏えい率が 1×10^{-8} Pa・m³/sec (1×10^{-7} atm・cc/sec) 以下であること。

B.7 シャへい性能検査

特別なシャへい材を用いていないため、本項は該当しない。

B.8 シャへい寸法検査

参考B.2の寸法検査に合格していることを確認する。

B.9 伝熱検査

特別な熱除去装置を用いていないため、本項は該当しない。

B.10 吊上荷重試験

輸送容器本体吊具について荷重検査を行い、輸送容器通常輸送時の吊上げ重量の2倍以上の荷重に耐えうることを確認する。荷重は吊具に2倍以上の荷重がかかるようにダミーウエイトを用いる。試験後、吊具溶接部近傍を外観検査にてチェックし、異常のないことを確認する。

B.11 重量検査

輸送容器全体の重量が 以下であること及び各機器の重量が設計条件を満足することを確認する。

B.12 未臨界検査

参考B.2の寸法検査に合格していることを確認する。

B.13 作動確認検査

該 当 せ ず

B.14 取扱検査

輸送容器の吊上げ、外容器、一次密封容器及び二次密封容器の各部蓋の取扱いが支障なく行えることを確認する。

(参) - 第B.1表 試験検査項目一覧表

項目		機器名			一次密封容器			二次密封容器			外 容 器		
		実施 区分	立会 区分	備 考	実施 区分	立会 区分	備 考	実施 区分	立会 区分	備 考			
構 造	① 化学組成	○		ミルシート照合	○		ミルシート照合	○		ミルシート照合			
	材 機械的性質	○		ミルシート照合	○		ミルシート照合	○		ミルシート照合			
	料 外観寸法検査	○		—	○		—	○		—			
	検 U T	○		フランジに適用	○		フランジに適用			—			
	査 密度含水率検査			—			—	○					
	②寸法外観検査	○		製品完成時	○		製品完成時	○		製品完成時			
	③耐圧試験	○		製品完成時	○		製品完成時			—			
	④気密漏えい検査	○		製品完成時	○		製品完成時			—			
	⑤吊上荷重検査			—			—	○		製品完成時			
	⑥重量検査	○		製品完成時	○		製品完成時	○		製品完成時			
⑦作動確認検査			—			—			—				
⑧取扱検査	○		製品完成時	○		製品完成時	○		製品完成時				
中性子 吸 収	①未臨界検査			—			—			—			
熱	①伝熱検査			—	—		—	—		—			
しゃへい	①しゃへい性能検査			—			—			—			
	②しゃへい寸法検査			—			—			—			
密 封 接 合 査	開先検査	○		密封域溶接部	○		密封域溶接部			—			
	①溶接部 P T	○		全溶接線	○		全溶接線	○		全溶接線			
	溶接部 R T	○		—	○		—			—			
	漏えい検査	○		密封域溶接部	○		密封域溶接部			—			
	外観検査	○		全溶接線	○		全溶接線	○		全溶接線			
	溶接施工法検査	○		試験実施記録提出	○		試験実施記録提出			—			
	溶接士技量試験	○		試験実施記録提出	○		試験実施記録提出			—			

(参) - 第B.2表 輸送容器製作時及び完成時検査要領

(1/3)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
材料検査	一次密封容器, 二次密封容器, 外容器の材料	鋼材はミルシートにて, 鋼材以外()等)については書類にて確認する。 鋼材を含むメーカー標準については材料証明書にて確認する。	鋼材についてはJIS規格を満足していること。 また, 鋼材以外については設計条件を満足していること。
寸法検査	一次密封容器, 二次密封容器, 外容器の主要寸法(外径, 内径, 板厚, 長さ等)	製作中の中間検査, 製作完了時の最終検査で主要寸法を計測器(ノギス, 巻尺等)を用いて検査する。	所定の公差内にあること。
溶接検査	一次密封容器, 二次密封容器, 外容器の主要溶接部	① 開先寸法検査 開先形状, ルート間隔, 板厚の食い違いの3点について確認する。 ② 溶接外観検査 溶接部の外観を目視にて検査する。 ③ 液体浸透探傷検査 JIS Z 2343 に従って検査を行う。 ④ 放射線透過検査 一次密封容器及び二次密封容器の突合せ溶接部について()に従って実施する。	① 所定の公差内にあること。 ② 割れ, アンダカットオーバーラップ等の有害な欠陥のないこと。 ③ 線状欠陥指示模様のないこと。円状欠陥が JIS Z 2343 の1種2級以上であること。 ④ ()の第1種, 4種の欠陥が1級以上, 第2種の欠陥が1級以上, 第3種の欠陥がないこと。
外観検査	一次密封容器, 二次密封容器, 外容器	製作中の中間検査, 製作完了時の最終検査において外観を目視にて検査する。	① 形状が図示どおりであること。 ② 有害な変形及び傷, 返り等の不手際な部分のないこと。 ③ 仕上面の状態が図面指示どおりであること。 ④ 腐食等のないこと。

(参) - 第 B.2 表 輸送容器製作時及び完成時検査要領

(2/3)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
耐圧検査	一次密封容器, 二次密封容器	窒素ガスにて容器内圧を所定の圧力以上に加圧し, 30分以上放置した後, 容器の変形がないこと及びソーブバブルテストにより漏れがないことを確認する。	容器の変形がないこと。 漏れによる発泡がないこと。
気密漏えい検査	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	ヘリウムガスによる気密漏えい検査を行う。検査方法は真空法又は加圧法とする。	漏えい率が 1×10^{-8} Pa・m ³ /sec (1×10^{-7} atm・cc/sec) 以下であること。
しゃへい性能検査	省略	—	—
しゃへい寸法検査	一次密封容器, 二次密封容器, 外容器	寸法検査にて代用する。	所定の寸法公差内にあること。
伝熱検査	省略	—	—
吊上荷重検査	外容器の吊具	吊具に吊上げ荷重の2倍以上の荷重を付加し, 荷重付加後, 吊具溶接部近傍を目視にて異常の有無を検査する。	変形, 溶接部の割れ等の異常がないこと。
重量検査	完成容器	一次密封容器, 二次密封容器, 外容器の完成品を個々に実測する。	設計条件を満足していること。
未臨界検査	一次密封容器, 二次密封容器	寸法検査にて代用する。	所定の寸法公差内にあること。

(参) - 第 B.2 表 輸送容器製作時及び完成時検査要領

(3/3)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
作動確認検査	対象品なし	—	—
取扱検査	完成容器 一次密封容器, 二次密封容器, 各盖板	輸送容器の吊上げ, 一次密封容器, 二次密封容器, 外容器の各蓋の吊上げ及び組み込みを行う。	取扱いが支障なく行なえること。
<input type="checkbox"/> 充填検査	外容器	製作中, <input type="checkbox"/> の充填後に目視により <input type="checkbox"/> が規定どおり充填されていることを確認する。	設計条件を満足していること。

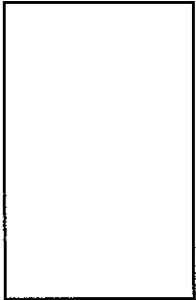
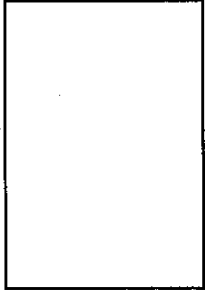
(参) - 第 B.3 表 輸送容器の最初の使用前検査要領

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
外観検査	外容器, 一次密封容器, 二次密封容器	外観を目視で検査する。	有害な傷, 割れ, 変形等がないこと。
気密漏えい検査	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	ヘリウムリーク試験により漏えい率を検査する。方法は真空法又は加圧法とする。	漏えい率が 1×10^{-8} Pa \cdot m ³ /sec (1×10^{-7} atm \cdot cc/sec) 以下であること。
作動確認検査	対象部品なし	—	—

(参) - 第B.4表 材料試驗檢查項目一覽表

使 用 材 料	試 驗 檢 查 項 目									
	化 学 分 析	引 張 試 驗	硬 度 試 驗	外 觀 寸 法 檢 查	含 水 率 計 測	密 度 計 測	压 縮 試 驗	木 目 方 向 確 認	超 音 波 探 傷 試 驗	結 晶 粒 試 驗
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-left: 100px;"></div>	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-left: 100px;"></div>	○	○	○	○	-	-	-	-	○	○
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px;"></div>	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px;"></div>	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px;"></div>	-	-	-	-	○	○	○	○	-	-

(参) -表B. 5 溶接検査一覧表

部 品 名	継 手 部	検 査 時 期	検 査 項 目			
			液 体 浸 透 探 傷 試 験	放 射 線 透 過 試 験	開 先 検 査	溶 接 外 観 検 査
A) 一次密封容器 	容器フランジ部と容器底蓋部 との溶接部	開先加工後	○	—	—	○
		仮付溶接後	—	—	○	○
		溶接完了後	○	○	—	○
B) 二次密封容器 	容器フランジ部と容器底蓋部 との溶接部	開先加工後	○	—	—	○
		仮付溶接後	—	—	○	○
		溶接完了後	○	○	—	○
C) 外 容 器	すべての溶接部	溶接完了後	○	—	—	○

T O S S 型核燃料輸送物
品質マネジメントの基本方針

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

品質マネジメントの基本方針

申請者による核燃料輸送物の設計、製作、取扱い及び保守（以下「輸送容器の設計、製作等」という。）に係る全般的な品質管理の基本方針を記述する。

なお、本品質マネジメントシステムは、JIS Q 9001:2008（ISO 9001:2008）に基づき；国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の核燃料サイクル工学研究所が行う品質保証活動に係る要求事項を定めたものである。

A. 品質マネジメントシステム

A.1 一般要求事項

核燃料サイクル工学研究所所長（以下「所長」という。）は、法令要求事項、組織外及び組織内からの要求事項への適合を保証するため、輸送容器の設計、製作等に係る品質マネジメントシステムを確立し、文書化し、実施し、維持する。また、その品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。

所長は、プルトニウム燃料技術開発センター長（以下「プルセンター長」という。）に次の事項を実施させる。

- a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセス及びそれらの組織への適用を明確にする。
- b) これらのプロセスの順序及び相互関係を明確にする。
- c) これらのプロセスの運用及び管理のいずれもが効果的であることを確実にするために必要な判断基準及び方法を文書において明確にする。
- d) これらのプロセスの運用及び監視の支援をするために必要な資源及び情報を利用できることを確実にする。
- e) これらのプロセスを監視し、適用可能な場合には測定し、分析を実施する。
- f) これらのプロセスについて、計画どおりの結果を得るため、かつ、継続的改善を達成するために必要な処置をとる。

A.2 品質保証計画

所長は、次の事項を含む「輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る品質保証計画書」を策定し、維持する。

- a) 品質マネジメントシステムの適用範囲
- b) 品質マネジメントシステムについて確立された文書化された手順
- c) 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

A. 3 品質方針

所長は、次の事項に適合した品質方針を定める。

- a) 組織の目的に対して適切であること。
- b) 要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの有効性の継続的な改善に対するコミットメントを含むこと。
- c) 品質目標の設定及びレビューのための枠組みを与えること。
- d) 組織全体に伝達され、理解されること。
- e) 適切性の持続のためにレビューされること。

A. 4 品質目標

- (1) 所長は、品質方針を踏まえ、品質目標を策定する。
- (2) プルセンター長は、所長が定めた品質目標を達成するために、品質目標を定め、品質目標を達成するための要求事項を策定し、文書化する。
- (3) 品質目標の策定に当たっては、次の事項に留意する。
 - a) 品質方針との整合がとれていること。
 - b) 品質目標には、要求事項を満たすために必要なものを含める。
 - c) 達成度が判定可能な目標であること。

A. 5 文書管理

所長及びプルセンター長は、品質保証活動に必要な文書管理のための文書及び記録の管理に係る要領を定める。

A. 6 品質記録の管理

所長及びプルセンター長は、品質保証活動に必要な記録の管理のための文書及び記録の管理に係る要領を定める。

B. 申請者の責任

B.1 経営者のコミットメント

所長は、品質マネジメントシステムの構築及び実施並びにその有効性を継続的に改善することに対するコミットメントの証拠を次の事項によって示す。

- a) 要求事項を満たすことの重要性を組織内に周知する。
- b) 品質方針を設定する。
- c) 品質目標を策定するとともに、プルセンター長に品質目標を策定させる。
- d) マネジメントレビューを実施する。
- e) 必要な資源を提供する。

B.2 品質方針

輸送容器の設計、製作等に関し、以下の方針で品質マネジメントシステムの下に活動を展開する。

- (1) 安全確保を最優先とする。
- (2) 法令及びルール（自ら決めたことや社会との約束）を守る。
- (3) 情報共有及び相互理解に、不断に取り組む。
- (4) 品質目標とその活動を定期的にレビューし、継続的な改善を徹底する。

B.3 品質目標

輸送容器の設計、製作等に関し、品質方針を踏まえ、以下の品質目標の下に活動を展開する。

- (1) 法令等の改正内容を、品質保証活動に必要とされる文書へ確実に反映する。
- (2) コミュニケーションを通じた現場の課題等の情報共有と相互理解を推進するための活動を行う。また、MO等を通じた仲間を尊重して風通しの良い作業環境を向上するための活動を行う。
- (3) 活動を定期的にレビューし、必要な改善を行う。

B.4 組織

品質マネジメントシステム遂行に係る申請者の品質マネジメント体制図を(別記-2)-第B.1図に示す。

(1) 核燃料サイクル工学研究所長

所長は、輸送容器の設計、製作等に係る業務を総括する。

(2) 品質保証管理責任者

品質保証管理責任者は、所長から指名され、輸送容器の設計、製作等の品質保証活動に関する管理責任者としての業務を行う。

(3) 主任監査員

主任監査員は、所長から指名され、与えられている他の責任と関わりなく、内部監査を実施する。

(4) 保安管理部長

保安管理部長は、施設安全課長を指揮し、輸送容器の設計、製作等に係る業務における所長及び品質保証管理責任者の品質保証活動に関する調整業務等を統括する。

(5) 保安管理部施設安全課長

保安管理部施設安全課長は、輸送容器の設計、製作等に係る業務における所長及び品質保証管理責任者の品質保証活動の調整に係る業務を行う。

(6) プルトニウム燃料技術開発センター長

プルセンター長は、プルトニウム燃料技術開発センター（以下「プルセンター」という。）が行う輸送容器の設計、製作等に係る業務を統括する。

(7) プルセンター品質管理責任者

プルセンター品質管理責任者は、プルセンター長から指名され、プルセンターの輸送容器の設計、製作等の品質保証に関する管理責任者としての業務を行う。

(8) プルセンター技術部長

プルセンター技術部長は、技術部内の輸送容器の設計、製作等に係る業務を統括する。

(9) プルセンター技術部核物質管理課長

プルセンター技術部核物質管理課長は、輸送容器の設計、製作等に係る業務を行う。

(10) プルセンター品質保証課長

プルセンター品質保証課長は、輸送容器の設計、製作等に係る業務におけるプルセンターの品質保証活動の調整に係る業務を行う。

(11) 核燃料サイクル工学研究所品質保証委員会

核燃料サイクル工学研究所品質保証委員会は、所長の諮問を受け、輸送容器の設計、製作等に係る業務の品質保証活動に関する重要事項を審議検討する。

(12) 核燃料サイクル工学研究所安全専門委員会

核燃料サイクル工学研究所安全専門委員会は、所長の諮問を受け、輸送容器の安全に関して、審議検討する。

(13) プルトニウム燃料技術開発センター安全専門委員会

プルトニウム燃料技術開発センター安全専門委員会は、プルセンター長の諮問を受け、輸送容器の安全に関して、審議検討する。

B.5 管理責任者

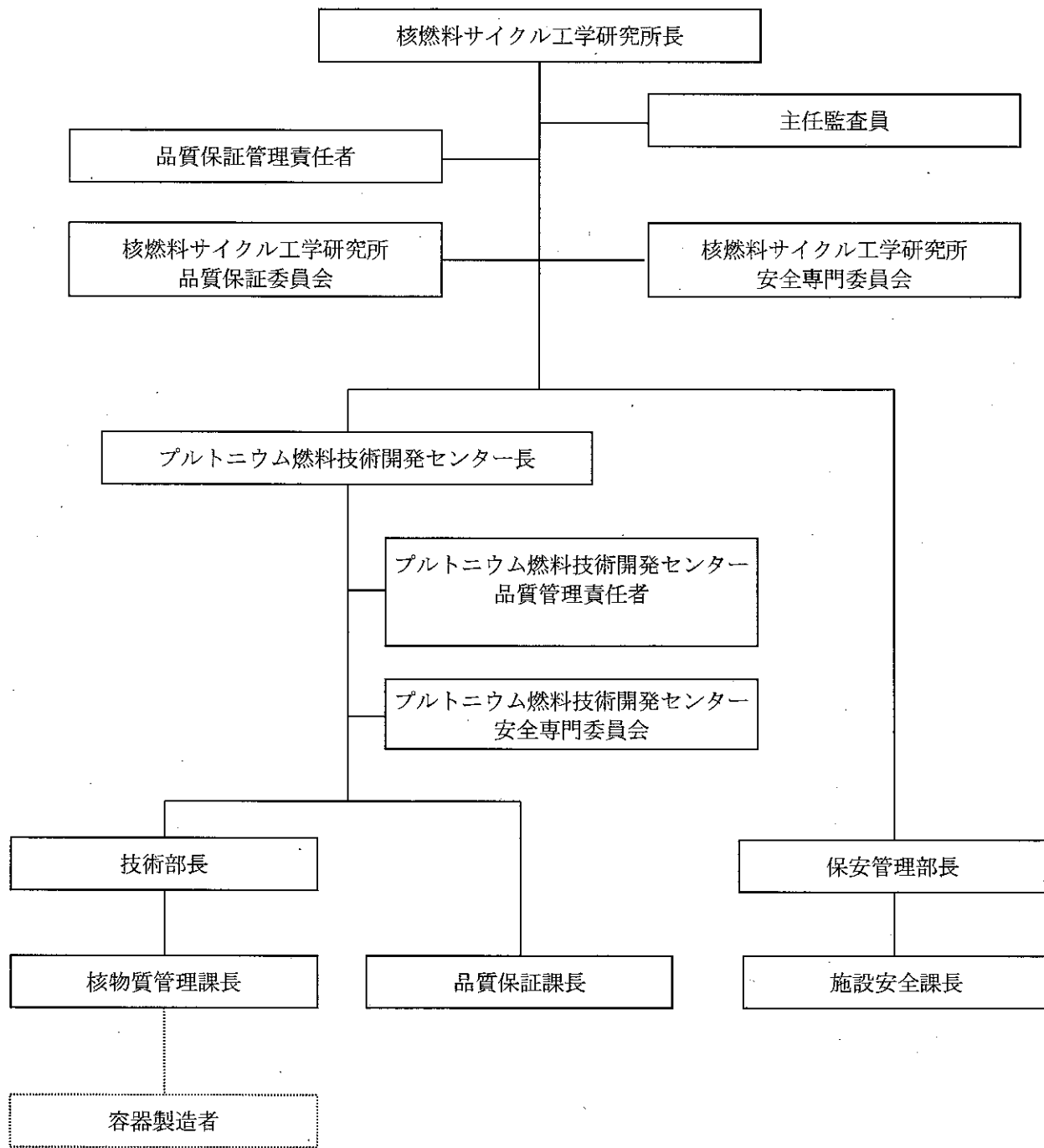
(1) 所長は、品質保証に係る業務の管理責任者として、「品質保証管理責任者」を指名する。

(2) 品質保証管理責任者は、与えられている他の責任と係わりなく、次に示す責任及び権限を持つ。

a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にすること。

b) 品質マネジメントシステムの成果を含む実施状況及び改善の必要性の有無について所長へ報告すること。

c) 従事する者に対して、要求事項に対する認識を高めることを確実にすること。



(別記-2) - 第B.1図 品質マネジメント体制図

C. 教育・訓練

C.1 一般

所長は、輸送容器に係る安全の達成に影響がある業務に従事する者について、適切な教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠とした力量を有する者をあてる。

C.2 力量、教育・訓練及び認識

プルセンター長は、教育・訓練の管理に係る要領に従い、核物質管理課長に次の事項を実施させる。

- a) 輸送容器に係る安全の達成に影響がある業務に従事する者に必要な力量を明確にする。
- b) 必要な力量をもてるように、教育・訓練を行うか、又は他の処置を実施する。
- c) 教育・訓練又は他の処置の有効性を評価する。
- d) 従事する者が、自らの活動のもつ意味及び重要性を認識し、品質目標の達成に向けて自らがどのように貢献できるか認識させる。
- e) 教育、訓練に係る実施結果及び評価結果は、品質記録として管理する。

D. 設計管理

核物質管理課長は、輸送容器の設計・開発の要求事項を満足するために、設計管理に係る要領に従い、輸送容器の設計・開発管理を行う。

D. 1 設計・開発の計画

- (1) 輸送容器の設計・開発の計画を策定し、管理する。
- (2) 効果的なコミュニケーション及び責任の明確な割当てを確実にするため、設計・開発に関与する関係者間のインターフェースを運営管理する。
- (3) 設計・開発の進行に応じて、策定した計画を適切に更新する。

D. 2 設計・開発へのインプット

- (1) 要求事項に関連するインプットを明確にし、記録を維持する。
- (2) 要求事項に関連するインプットについて、その適切性をレビューする。その要求事項は、漏れなく、曖昧でなく、かつ、相反することがないようにする。

D. 3 設計・開発からのアウトプット

設計・開発からのアウトプットは、設計・開発へのインプットと対比した検証を行うのに適した形式とし、リリース（次工程への引渡し）の前に承認を行う。

D. 4 設計・開発のレビュー

- (1) 設計・開発の適切な段階において、次の事項を目的として、計画されたとおりに体系的なレビューを行う。
 - a) 設計・開発の成果が、要求事項を満たせるかどうかを評価する。
 - b) 問題を明確にし、必要な処置を提案する。
- (2) レビューの参加者に、レビューの対象となっている設計・開発段階に関連する部署を代表する者を含める。

D. 5 設計・開発の検証

- (1) 設計・開発からのアウトプットが、設計・開発へのインプットで与えられている要求事項を満たしていることを確実にするために、計画されたとおりに検証を実施する。

- (2) この検証は、設計・開発に直接関与していない者が実施する。

D. 6 設計・開発の妥当性確認

- (1) 結果として得られる輸送容器が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たしていることを確実にするために、設計計画書に従って、設計・開発の妥当性確認を実施する。
- (2) 適切な段階において、必要に応じて以下に示す委員会等で審議を受ける。
- ・核燃料サイクル工学研究所安全専門委員会及びその専門部会
 - ・プルトニウム燃料技術開発センター安全専門委員会及びその専門部会

D. 7 設計・開発の変更管理

- (1) 設計・開発の変更内容を明確にし、記録を維持する。
- (2) 変更に対して、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行い、その変更を実施する前に承認する。このレビューには、その変更が、輸送容器を構成する要素及び関連する輸送容器に及ぼす影響の評価を含める。

E. 輸送容器の製造発注

核物質管理課長は、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、調達管理に係る要領に従い、以下の内容を実施する。

E.1 輸送容器製造者の評価

発注先の選定に当たっては、選定、評価及び再評価の基準を定め、発注先の納入実績等に基づいて技術的能力や品質保証体制を評価又は再評価する。輸送容器製造者の能力の評価・選定に当たっては、必要に応じ、次の事項を考慮する。

- a) 輸送容器の製作に関する技術及び従事する者並びに製作設備
- b) 輸送容器製造者の品質方針、品質管理計画及びそれらの実施状況
- c) 輸送容器又は類似のものに関する供給実績
- d) 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
- e) 試作品、サンプル等の評価

E.2 輸送容器製造者への品質マネジメントシステム要求事項

輸送容器製造者に対して、適切な品質を確保させるため、核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続ガイド「別添 輸送容器の製作の方法に関するマネジメント指針」に規定されている「Ⅲ. 容器製造者による品質マネジメントの内容」に適合する品質管理が行われていることを確認する。

E.3 輸送容器の製作に係る検査及び品質監査による検証

輸送容器製造者に対して、規定した要求事項を満たしていることを確実にするために、「輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る品質保証計画書」に基づいて、輸送容器の製作時検査及び品質監査を実施する。

F. 取扱い, 保守

核物質管理課長は, TOSS 型核燃料輸送物設計承認申請書 (別紙記載事項) ハ章に示す核燃料輸送物の発送前検査, 輸送容器の保守に関する作業マニュアルを策定し, 実施する。

G. 測定、分析及び改善

G. 1 内部品質監査

所長は、主任監査員を指名し、内部監査組織を設置し、品質マネジメントシステムの要求事項が満たされているか、効果的に実施され維持されているか否かを明確にするために、内部監査を年一回及び必要に応じて実施させる。

G. 2 不適合の管理

プルセンター長は、不適合管理に係る要領に基づき不適合の管理を実施するとともに、発生した不適合について処置する。

G. 3 是正処置及び予防処置

(1) 是正処置

プルセンター長は、是正処置に係る要領に基づき、速やかに不適合の原因を究明し、再発防止を含めた是正処置を実施する。

(2) 予防処置

プルセンター長は、予防処置に係る要領に基づき、活動の実施によって得られた知見及び他の施設等から得られた知見の活用を含め、起こり得る不適合が発生することを防止するため、予防処置を実施する。