

核燃料輸送物設計承認申請書

令04原機(環材)021
令和4年7月13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 小口 正範
(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

JMS-87Y-18.5T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	約 1.9 m
	高 さ	約 2.0 m

(2) 輸送容器の重量 18.11t以下

(3) 核燃料輸送物の総重量 18.44t以下

(4) 輸送容器の概略を示す図

添付図のとおり。

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書(令和4年7月13

日付け令04原機(環材)021)に係る別紙の(イ)―第C.1図から(イ)―第C.16図に示されている。

(5) 輸送容器の主要材料

イ 容器本体及び蓋	ステンレス鋼
ロ バスケット	ステンレス鋼、 <input type="text"/>
ハ 緩衝体	ステンレス鋼、 <input type="text"/>

3. 核燃料輸送物の種類

BU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。

5. 輸送制限個数

- (1) 輸送制限個数：制限なし
- (2) 配列方法：任意
- (3) 臨界安全指数：0

6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

−40℃から38℃まで

7. 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のため、収納物はバスケットに収納され、所定の間隔、位置が保たれるようになっている。また、未臨界維持のため中性子吸収材としてがバスケットに取り付けられている。

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

臨界計算は、密封境界である輸送容器内部への水の浸水を考慮し、実施している。

9. 収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封境界は、容器本体・蓋、、ベントプラグ及びドレン弁で構成され、容器本体・蓋、容器本体・ベントプラグ、容器本体・ドレン弁の接触部は、Oリングで密封される。

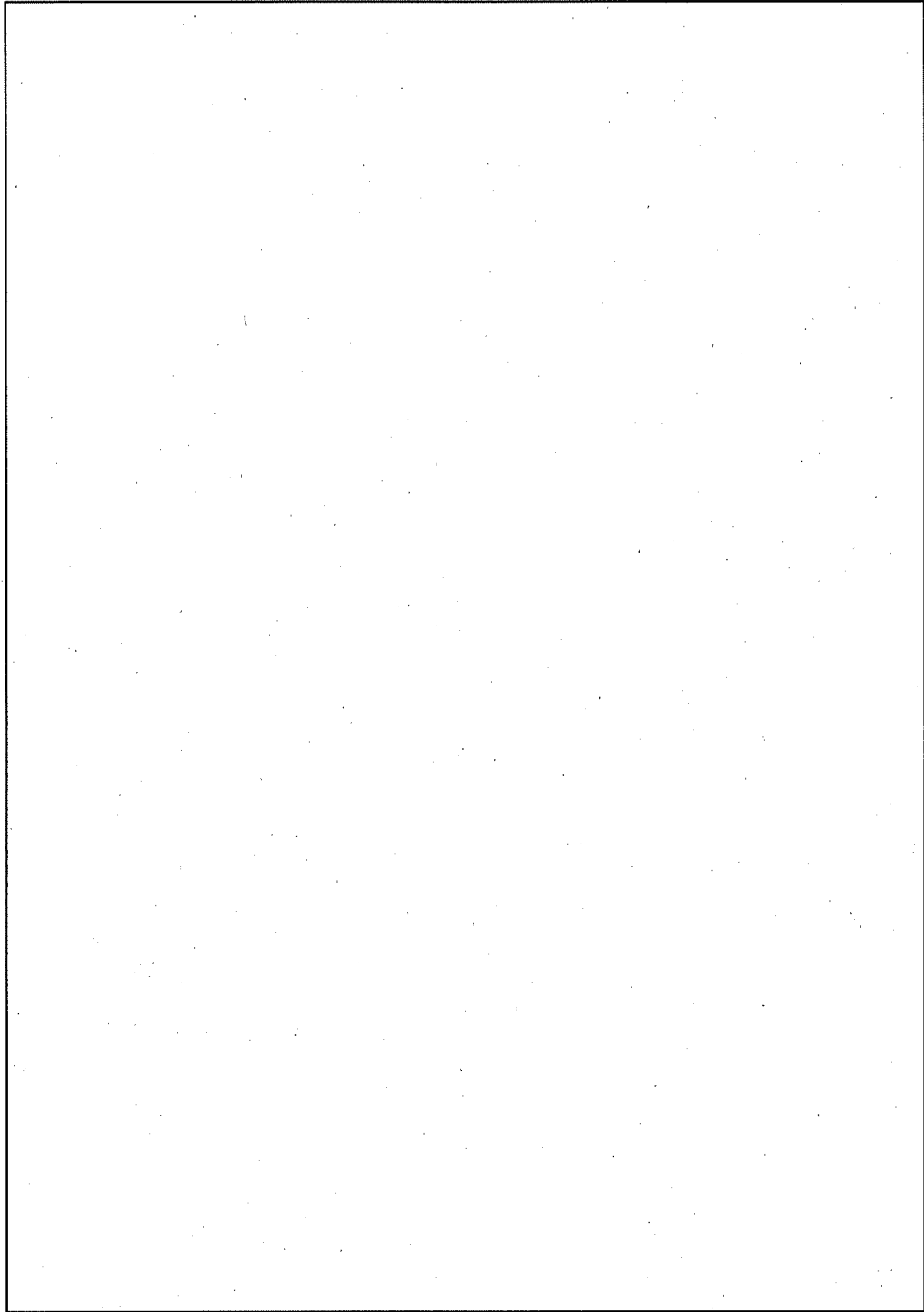
10. BM型輸送物にあつては、BU型輸送物の設計基準のうち適合しない基準についての説明

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(令和4年7月13日付け令04原機(環材)021)に係る別紙に記載したとおり。

- 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(令和4年7月13日付け令04原機(環材)021)に係る別紙に記載したとおり。
- 1 3. その他特記事項
本輸送容器は、製造してから現在までに33年が経過している輸送容器であり、今後7年の使用を予定しているため、総使用予定年数を40年としている。



添付図 JMS-87Y-18. 5T型核燃料輸送物外觀図

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	種類	
	中濃縮ウラン燃料 (MEU)	低濃縮ウラン燃料 (LEU)
JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (LEU)	JMTR燃料フォロワ (LEU)
原子炉形式	J M T R 板状燃料	J M T R 板状燃料
全装荷数 (体/基)	計30 以下	計30 以下
初期値		
^{235}U 濃縮度 (wt%)		
^{235}U 含有量 (g/体)		
U-含有量 (g/体)		
燃焼度 (%)		
冷却日数 (日)		
性状	固体	固体
放射能の量 (TBq/30体)	主要な核種	
材質	燃料芯材	ウランシリコンアルミニウム分散型合金
	被覆材、側板	アルミニウム合金
発熱量 (kW/30体)	1.98	2.80 2.40 1.88 1.61

・一つの輸送容器への核燃料物質の収納方法は、1種類の燃料による単独装荷、若しくは複数の種類による混合装荷とする。
 ・収納物表面から 1m 離れた位置での空気吸収線量率は 1Gy/h 以上

別紙

本JMS-87Y-18.5T型核燃料輸送物の「別紙記載事項」を以下に示す。

別紙記載事項 別記-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

- (イ) 章 核燃料輸送物の説明
- (ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析
- (ハ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法
- (ニ) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

別紙記載事項 別記-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

JMS-87Y-18.5T型

核燃料輸送物設計承認申請書

(別紙記載事項)

令和4年7月

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) -A-1
(イ) -A. 目的及び条件	(イ) -A-1
(イ) -B. 輸送物の種類	(イ) -B-1
(イ) -C. 輸送容器	(イ) -C-1
(イ) -D. 輸送容器の収納物	(イ) -D-1
(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-2
A.2 重量及び重心	(ロ) -A-41
A.3 材料の機械的性質	(ロ) -A-44
A.4 輸送物の要件	(ロ) -A-52
A.4.1 化学的及び電気的反応	(ロ) -A-52
A.4.2 低温強度	(ロ) -A-53
A.4.3 密封装置	(ロ) -A-62
A.4.4 吊上装置	(ロ) -A-64
A.4.4.1 概 要	(ロ) -A-64
A.4.4.2 荷重条件	(ロ) -A-64
A.4.4.3 応力計算	(ロ) -A-66
A.4.4.3.1 本体吊上金具	(ロ) -A-66
A.4.4.3.2 蓋吊上金具	(ロ) -A-72
A.4.4.3.3 吊上装置 (ステンレス鋼) の疲労	(ロ) -A-77
A.4.5 固縛装置	(ロ) -A-78
A.4.5.1 概 要	(ロ) -A-78
A.4.5.2 解析条件	(ロ) -A-78
A.4.5.3 応力計算	(ロ) -A-81
A.4.5.3.1 固縛金具	(ロ) -A-81
A.4.5.3.2 下部緩衝体内胴	(ロ) -A-86
A.4.6 圧 力	(ロ) -A-88
A.4.7 振 動	(ロ) -A-97
A.5 一般の試験条件	(ロ) -A-100

A. 5. 1	熱的試験	(口)	-A-101
A. 5. 1. 1	温度及び圧力の要約	(口)	-A-101
A. 5. 1. 2	熱膨張	(口)	-A-106
A. 5. 1. 3	応力計算	(口)	-A-126
A. 5. 1. 4	許容応力との比較	(口)	-A-126
A. 5. 2	水噴霧	(口)	-A-130
A. 5. 3	自由落下	(口)	-A-131
A. 5. 4	積み重ね試験	(口)	-A-134
A. 5. 5	貫通	(口)	-A-139
A. 5. 6	角又は縁落下	(口)	-A-140
A. 5. 7	結果の要約と評価	(口)	-A-140
A. 6	特別の試験条件	(口)	-A-141
A. 6. 1	強度試験・落下試験Ⅰ(9m落下時)	(口)	-A-142
A. 6. 1. 1	垂直落下	(口)	-A-148
A. 6. 1. 2	水平落下	(口)	-A-190
A. 6. 1. 3	コーナー落下	(口)	-A-245
A. 6. 1. 4	傾斜落下	(口)	-A-264
A. 6. 1. 5	結果の要約	(口)	-A-272
A. 6. 2	強度試験・落下試験Ⅱ(1m落下時)	(口)	-A-273
A. 6. 2. 1	結果の要約	(口)	-A-296
A. 6. 3	熱的試験	(口)	-A-301
A. 6. 3. 1	温度及び圧力の要約	(口)	-A-302
A. 6. 3. 2	熱膨張	(口)	-A-310
A. 6. 3. 3	許容応力との比較	(口)	-A-335
A. 6. 4	浸漬	(口)	-A-343
A. 6. 5	結果の要約と評価	(口)	-A-358
A. 7	特別形核燃料物質	(口)	-A-360
A. 8	放射性収納物	(口)	-A-360
A. 9	核分裂性輸送物	(口)	-A-361
A. 9. 1	一般の試験条件	(口)	-A-361
A. 9. 2	特別の試験条件	(口)	-A-364
A. 9. 2. 1	一般の試験条件	(口)	-A-364
A. 9. 2. 2	特別の試験条件	(口)	-A-365
A. 9. 2. 3	結果の要約	(口)	-A-372
A. 9. 2. 4	強度試験・落下試験Ⅱ(1m落下時)	(口)	-A-373

A. 9. 2. 5	火災試験	(口)	-A-377
A. 9. 2. 6	浸漬	(口)	-A-380
A. 9. 2. 7	結果の要約と評価	(口)	-A-380
A. 10	付属書類	(口)	-A-381
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-9
B. 3	構成要素の仕様	(口)	-B-12
B. 4	一般の試験条件	(口)	-B-13
B. 4. 1	熱解析モデル	(口)	-B-13
B. 4. 1. 1	解析モデル	(口)	-B-13
B. 4. 1. 2	試験モデル	(口)	-B-29
B. 4. 2	最高温度	(口)	-B-30
B. 4. 3	最低温度	(口)	-B-40
B. 4. 4	最大内圧	(口)	-B-41
B. 4. 5	最大熱応力	(口)	-B-42
B. 4. 6	結果の要約と評価	(口)	-B-43
B. 5	特別の試験条件	(口)	-B-46
B. 5. 1	熱解析モデル	(口)	-B-46
B. 5. 1. 1	解析モデル	(口)	-B-46
B. 5. 1. 2	試験モデル	(口)	-B-55
B. 5. 2	輸送物の評価条件	(口)	-B-55
B. 5. 3	輸送物温度	(口)	-B-57
B. 5. 4	最大内圧	(口)	-B-57
B. 5. 5	最大熱応力	(口)	-B-58
B. 5. 6	結果の要約と評価	(口)	-B-65
B. 6	付属書類	(口)	-B-68
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-10
C. 2. 3	密封装置のガスケット及び溶接部	(口)	-C-12
C. 2. 4	蓋	(口)	-C-14
C. 3	一般の試験条件	(口)	-C-15

C. 3. 1	放射性物質の漏えい	(口)	-C-16
C. 3. 2	密封装置の加圧	(口)	-C-18
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-20
C. 4. 1	核分裂生成ガス	(口)	-C-21
C. 4. 2	放射性物質の漏えい	(口)	-C-22
C. 5	結果の要約と評価	(口)	-C-24
C. 6	付属書類	(口)	-C-25
D.	遮蔽解析	(口)	-D-1
D. 1	概要	(口)	-D-1
D. 2	線源仕様	(口)	-D-2
D. 2. 1	ガンマ線源	(口)	-D-2
D. 2. 2	中性子源	(口)	-D-6
D. 3	モデル仕様	(口)	-D-10
D. 3. 1	解析モデル	(口)	-D-10
D. 3. 2	解析モデル各領域における原子個数密度	(口)	-D-16
D. 4	遮蔽評価	(口)	-D-20
D. 5	結果の要約と評価	(口)	-D-29
D. 6	付属書類	(口)	-D-32
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-4
E. 2. 3	中性子吸収材等	(口)	-E-5
E. 3	モデル仕様	(口)	-E-7
E. 3. 1	解析モデル	(口)	-E-7
E. 3. 2	解析モデル各領域における原子個数密度	(口)	-E-15
E. 4	未臨界評価	(口)	-E-19
E. 4. 1	計算条件	(口)	-E-19
E. 4. 2	輸送物への水の浸入等	(口)	-E-20
E. 4. 3	計算方法	(口)	-E-20
E. 4. 4	計算結果	(口)	-E-21
E. 5	結果の要約と評価	(口)	-E-22

E.6	付属書類	(口)	-E-23
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-2
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	(口)	-F-10
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.	原型容器試験結果報告書	(口)	-H-1
H.1	概要	(口)	-H-1
H.2	試験項目	(口)	-H-1
H.3	試験実施期間と場所	(口)	-H-4
H.4	試験方法	(口)	-H-5
H.4.1	試験体	(口)	-H-5
H.4.2	試験設備	(口)	-H-16
H.4.3	測定方法	(口)	-H-24
H.5	試験結果	(口)	-H-34
H.5.1	落下試験Ⅰの結果	(口)	-H-34
H.5.2	落下試験Ⅱの結果	(口)	-H-39
H.5.3	耐火試験の結果	(口)	-H-41
H.5.4	試験の写真記録	(口)	-H-44
H.5.5	形状模擬燃料の目視検査	(口)	-H-44
H.6	評価	(口)	-H-47
H.6.1	落下試験Ⅰの結果と解析値	(口)	-H-47
H.6.2	落下試験Ⅱの結果と解析値	(口)	-H-49
H.6.3	耐火試験の結果と解析値	(口)	-H-49
(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.	輸送物の取扱方法	(ハ)	-A-1
A.1	装荷方法	(ハ)	-A-1
A.2	輸送物発送前検査	(ハ)	-A-3
A.3	取出し方法	(ハ)	-A-6
A.4	空容器の準備	(ハ)	-A-7
B.	保守条件	(ハ)	-B-1
B.1	外観及び耐圧検査	(ハ)	-B-1
B.1.1	外観検査	(ハ)	-B-1
B.1.2	耐圧検査	(ハ)	-B-1

B.2	気密漏えい検査	(ハ)	-B-1
B.3	補助系の保守	(ハ)	-B-1
B.4	密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ハ)	-B-1
B.5	遮蔽検査	(ハ)	-B-1
B.6	未臨界検査	(ハ)	-B-2
B.7	熱検査	(ハ)	-B-2
B.8	その他	(ハ)	-B-2
(二)	章 安全設計、安全輸送に関する特記事項	(二)	-1

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

図 リ ス ト

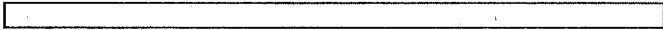
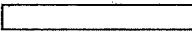

(イ) ー第 C.1 図	輸送容器全体図	(イ) ーC-4
(イ) ー第 C.2 図	輸送物の輸送状態図	(イ) ーC-5
(イ) ー第 C.3 図	輸送容器（上部、下部緩衝体を除く）の密封境界	(イ) ーC-6
(イ) ー第 C.4 図	容器本体断面図	(イ) ーC-7
(イ) ー第 C.5 図	吊上金具	(イ) ーC-8
(イ) ー第 C.6 図	固縛金具	(イ) ーC-9
(イ) ー第 C.7 図	ベントプラグ	(イ) ーC-10
(イ) ー第 C.8 図	ドレン弁	(イ) ーC-11
(イ) ー第 C.9 図	蓋	(イ) ーC-13
(イ) ー第 C.10 図	封印金具	(イ) ーC-14
(イ) ー第 C.11 図	蓋吊上金具	(イ) ーC-15
(イ) ー第 C.12 図	バスケット鳥瞰図	(イ) ーC-17
(イ) ー第 C.13 図	バスケット構造図	(イ) ーC-18
(イ) ー第 C.14 図	スペーサ	(イ) ーC-19
(イ) ー第 C.15 図	上部緩衝体	(イ) ーC-21
(イ) ー第 C.16 図	下部緩衝体	(イ) ーC-22
(イ) ー第 D.1 図	JMTR 標準燃料要素	(イ) ーD-4
(イ) ー第 D.2 図	JMTR 燃料フォロワ	(イ) ーD-5
(ロ) ー第 A.1 図	輸送物の重心位置	(ロ) ーA-43
(ロ) ー第 A.2 図	□の変形応力図	(ロ) ーA-47
(ロ) ー第 A.3 図	SUS□及び SUS□の機械的性質の温度依存性	(ロ) ーA-48
(ロ) ー第 A.4 図	SUS□の機械的性質の温度依存性	(ロ) ーA-49
(ロ) ー第 A.5 図	□引張強さの温度依存性	(ロ) ーA-50
(ロ) ー第 A.6 図	□引張強さの温度依存性	(ロ) ーA-51
(ロ) ー第 A.7 図	容器本体・蓋の温度分布	(ロ) ーA-56
(ロ) ー第 A.8 図	枠組の温度分布（バスケット）	(ロ) ーA-57
(ロ) ー第 A.9 図	容器本体・蓋に発生する熱応力分布（応力強さ）	(ロ) ーA-58
(ロ) ー第 A.10 図	枠組に発生する熱応力分布（応力強さ）（バスケット）	(ロ) ーA-59
(ロ) ー第 A.11 図	輸送容器の密封境界	(ロ) ーA-63
(ロ) ー第 A.12 図	吊上装置	(ロ) ーA-65
(ロ) ー第 A.13 図	本体吊上金具	(ロ) ーA-71
(ロ) ー第 A.14 図	蓋吊上金具	(ロ) ーA-76

(ロ) 一第 A. 15 図	固縛装置	(ロ) - A - 79
(ロ) 一第 A. 16 図	固縛金具	(ロ) - A - 85
(ロ) 一第 A. 17 図	下部緩衝体内胴とその解析モデル	(ロ) - A - 87
(ロ) 一第 A. 18 図	容器本体胴部の解析モデル	(ロ) - A - 89
(ロ) 一第 A. 19 図	蓋の解析モデル	(ロ) - A - 91
(ロ) 一第 A. 20 図	底の解析モデル	(ロ) - A - 93
(ロ) 一第 A. 21 図	輸送物の解析モデル	(ロ) - A - 99
(ロ) 一第 A. 22 図	容器本体・蓋の温度分布	(ロ) - A - 102
(ロ) 一第 A. 23 図	蓋締付用ボルトの温度分布	(ロ) - A - 103
(ロ) 一第 A. 24 図	仕切板・区切板の温度分布	(ロ) - A - 104
(ロ) 一第 A. 25 図	枠組の温度分布	(ロ) - A - 105
(ロ) 一第 A. 26 図	容器本体・蓋の解析モデル	(ロ) - A - 109
(ロ) 一第 A. 27 図	蓋締付用ボルトの解析モデル	(ロ) - A - 110
(ロ) 一第 A. 28 図	熱膨張による容器本体・蓋の変形図	(ロ) - A - 111
(ロ) 一第 A. 29 図	容器本体・蓋に発生する熱応力分布 (応力強さ)	(ロ) - A - 112
(ロ) 一第 A. 30 図	蓋締付用ボルトに発生する熱応力分布 (引張応力)	(ロ) - A - 113
(ロ) 一第 A. 31 図	仕切板・区切板の解析モデル	(ロ) - A - 115
(ロ) 一第 A. 32 図	枠組の解析モデル	(ロ) - A - 116
(ロ) 一第 A. 33 図	熱膨張による仕切板・区切板と容器本体・蓋の軸方向の隙間	(ロ) - A - 118
(ロ) 一第 A. 34 図	仕切板・区切板に発生する熱応力分布 (応力強さ)	(ロ) - A - 120
(ロ) 一第 A. 35 図	断面 A-A における枠組の変形図	(ロ) - A - 122
(ロ) 一第 A. 36 図	枠組に発生する熱応力分布 (応力強さ)	(ロ) - A - 124
(ロ) 一第 A. 37 図	自由落下図 (その 1)	(ロ) - A - 132
(ロ) 一第 A. 38 図	自由落下図 (その 2)	(ロ) - A - 133
(ロ) 一第 A. 39 図	輸送物に圧縮荷重が加わった場合の強度評価モデル	(ロ) - A - 136
(ロ) 一第 A. 40 図	圧縮による蓋の解析モデル	(ロ) - A - 137
(ロ) 一第 A. 41 図	垂直落下の状態図	(ロ) - A - 152
(ロ) 一第 A. 42 図	垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係	(ロ) - A - 153
(ロ) 一第 A. 43 図	垂直落下における容器本体胴部の解析モデル	(ロ) - A - 156
(ロ) 一第 A. 44 図	蓋部リング詳細図	(ロ) - A - 160
(ロ) 一第 A. 45 図	蓋の解析モデル	(ロ) - A - 161
(ロ) 一第 A. 46 図	蓋部に発生する応力強さ	(ロ) - A - 162
(ロ) 一第 A. 47 図	蓋部リング変位図	(ロ) - A - 164
(ロ) 一第 A. 48 図	蓋締付用ボルトの解析モデル	(ロ) - A - 167
(ロ) 一第 A. 49 図	蓋締付用ボルトに発生する引張応力	(ロ) - A - 168

(口) 一第 A. 50 図	バスケット	(口) 一A-171
(口) 一第 A. 51 図	枠組の解析モデル	(口) 一A-172
(口) 一第 A. 52 図	仕切板・区切板の解析モデル	(口) 一A-175
(口) 一第 A. 53 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU)	(口) 一A-179
(口) 一第 A. 54 図	JMTR 燃料フォロワ (LEU)	(口) 一A-183
(口) 一第 A. 55 図	ドレン弁及びベントプラグの垂直落下状態図	(口) 一A-188
(口) 一第 A. 56 図	水平落下の状態図	(口) 一A-196
(口) 一第 A. 57 図	水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係 (その 1) (固縛金具取付方向からの落下)	(口) 一A-197
(口) 一第 A. 58 図	水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係 (その 2) (固縛金具取付方向以外からの落下)	(口) 一A-198
(口) 一第 A. 59 図	固縛金具の変形図	(口) 一A-199
(口) 一第 A. 60 図	両端単純支持された容器本体胴部の解析モデル	(口) 一A-203
(口) 一第 A. 61 図	バスケット	(口) 一A-207
(口) 一第 A. 62 図	0° 方向水平落下時における仕切板・区切板の解析モデル	(口) 一A-208
(口) 一第 A. 63 図	0° 方向水平落下時における仕切板 ・区切板に発生する応力強さ	(口) 一A-209
(口) 一第 A. 64 図	36° 方向水平落下時における仕切板 ・区切板の解析モデル	(口) 一A-213
(口) 一第 A. 65 図	36° 方向水平落下時における仕切板 ・区切板に発生する応力強さ	(口) 一A-214
(口) 一第 A. 66 図	90° 方向水平落下時における仕切板 ・区切板の解析モデル	(口) 一A-217
(口) 一第 A. 67 図	90° 方向水平落下時における仕切板 ・区切板に発生する応力強さ	(口) 一A-218
(口) 一第 A. 68 図	0° 方向水平落下時における枠組の解析モデル	(口) 一A-222
(口) 一第 A. 69 図	枠組に発生する応力強さ	(口) 一A-223
(口) 一第 A. 70 図	90° 方向水平落下時における枠組の解析モデル	(口) 一A-226
(口) 一第 A. 71 図	枠組に発生する応力強さ	(口) 一A-227
(口) 一第 A. 72 図	側板の解析モデル (JMTR 標準燃料要素 (LEU))	(口) 一A-230
(口) 一第 A. 73 図	燃料板の解析モデル (JMTR 標準燃料要素 (LEU))	(口) 一A-233
(口) 一第 A. 74 図	側板の解析モデル (JMTR 燃料フォロワ (LEU))	(口) 一A-236
(口) 一第 A. 75 図	燃料板の解析モデル (JMTR 燃料フォロワ (LEU))	(口) 一A-239
(口) 一第 A. 76 図	ドレン弁及びベントプラグの水平落下状態図	(口) 一A-242
(口) 一第 A. 77 図	コーナー落下の状態図	(口) 一A-249

(ロ) 一第 A. 78 図	コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー 及び衝撃力の関係 (落下角度 <input type="text"/> の場合)	(ロ) 一 A - 250
(ロ) 一第 A. 79 図	蓋締付用ボルトの解析モデル	(ロ) 一 A - 258
(ロ) 一第 A. 80 図	ドレン弁のコーナー落下状態図	(ロ) 一 A - 261
(ロ) 一第 A. 81 図	ペントプラグのコーナー落下状態図	(ロ) 一 A - 263
(ロ) 一第 A. 82 図	傾斜落下モデル	(ロ) 一 A - 267
(ロ) 一第 A. 83 図	上部傾斜落下の状態図	(ロ) 一 A - 269
(ロ) 一第 A. 84 図	下部傾斜落下の状態図	(ロ) 一 A - 270
(ロ) 一第 A. 85 図	垂直落下の状態図	(ロ) 一 A - 274
(ロ) 一第 A. 86 図	輸送容器外表面が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデル	(ロ) 一 A - 277
(ロ) 一第 A. 87 図	蓋が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデル	(ロ) 一 A - 280
(ロ) 一第 A. 88 図	落下試験 I 及び落下試験 II における緩衝体の変形量	(ロ) 一 A - 283
(ロ) 一第 A. 89 図	容器本体胴部が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデル	(ロ) 一 A - 288
(ロ) 一第 A. 90 図	水平落下の状態図 (緩衝体が軟鋼棒に落下する場合)	(ロ) 一 A - 292
(ロ) 一第 A. 91 図	コーナー落下の状態図 (緩衝体が軟鋼棒にコーナー落下する場合)	(ロ) 一 A - 294
(ロ) 一第 A. 92 図	緩衝体の変形図 (垂直落下)	(ロ) 一 A - 298
(ロ) 一第 A. 93 図	緩衝体の変形図 (水平落下)	(ロ) 一 A - 299
(ロ) 一第 A. 94 図	緩衝体の変形図 (コーナー落下)	(ロ) 一 A - 300
(ロ) 一第 A. 95 図	容器本体・蓋の温度分布 (その 1)	(ロ) 一 A - 304
(ロ) 一第 A. 96 図	容器本体・蓋の温度分布 (その 2)	(ロ) 一 A - 305
(ロ) 一第 A. 97 図	蓋締付用ボルトの温度分布 (その 1)	(ロ) 一 A - 306
(ロ) 一第 A. 98 図	蓋締付用ボルトの温度分布 (その 2)	(ロ) 一 A - 307
(ロ) 一第 A. 99 図	仕切板・区切板の温度分布	(ロ) 一 A - 308
(ロ) 一第 A. 100 図	枠組の温度分布	(ロ) 一 A - 309
(ロ) 一第 A. 101 図	容器本体・蓋の解析モデル	(ロ) 一 A - 314
(ロ) 一第 A. 102 図	蓋締付用ボルトの解析モデル	(ロ) 一 A - 315
(ロ) 一第 A. 103 図	熱膨張による容器本体・蓋の変形図	(ロ) 一 A - 316
(ロ) 一第 A. 104 図	容器本体・蓋に発生する熱応力分布 (応力強さ)	(ロ) 一 A - 317
(ロ) 一第 A. 105 図	蓋締付用ボルトに発生する熱応力分布 (引張応力)	(ロ) 一 A - 318
(ロ) 一第 A. 106 図	蓋部 O リング	(ロ) 一 A - 319
(ロ) 一第 A. 107 図	仕切板・区切板の解析モデル	(ロ) 一 A - 321
(ロ) 一第 A. 108 図	枠組の解析モデル	(ロ) 一 A - 322
(ロ) 一第 A. 109 図	熱膨張による仕切板・区切板と容器本体・ 蓋の軸方向の隙間	(ロ) 一 A - 325

(ロ) 一第 A. 110 図	仕切板・区切板に発生する 熱応力分布 (応力強さ)	(ロ) -A-326
(ロ) 一第 A. 111 図	断面 A-A における熱膨張による枠組の変形図	(ロ) -A-329
(ロ) 一第 A. 112 図	解析モデル	(ロ) -A-330
(ロ) 一第 A. 113 図	容器本体・蓋の温度分布 (その 1)	(ロ) -A-331
(ロ) 一第 A. 113 図	枠組温度分布 (その 2)	(ロ) -A-332
(ロ) 一第 A. 114 図	枠組に発生する応力分布 (応力強さ)	(ロ) -A-333
(ロ) 一第 A. 115 図	輸送容器の密封境界	(ロ) -A-344
(ロ) 一第 A. 116 図	容器本体胴部の解析モデル	(ロ) -A-346
(ロ) 一第 A. 117 図	蓋の解析モデル	(ロ) -A-348
(ロ) 一第 A. 118 図	底の解析モデル	(ロ) -A-350
(ロ) 一第 A. 119 図	ベントプラグの解析モデル	(ロ) -A-354
(ロ) 一第 A. 120 図	ドレン弁の解析モデル	(ロ) -A-357
(ロ) 一第 A. 121 図	自由落下 (0.3m)	(ロ) -A-363
(ロ) 一第 A. 122 図	自由落下 (0.3m+9m)	(ロ) -A-367
(ロ) 一第 A. 123 図	落下試験 I、II 後の緩衝体変形量 (垂直落下)	(ロ) -A-374
(ロ) 一第 A. 124 図	落下試験 I、II 後の緩衝体変形量 (水平落下)	(ロ) -A-375
(ロ) 一第 A. 125 図	落下試験 I、II 後の緩衝体変形量 (コーナー落下)	(ロ) -A-376
(ロ) 一第 A. 126 図	特別の試験条件下の本体温度解析モデル (軸対称、特別の試験条件)	(ロ) -A-378
(ロ) 一第 A. 127 図	解析フロー	(ロ) -A-387
(ロ) 一第 A. 128 図	容器本体・蓋の解析モデル	(ロ) -A-388
(ロ) 一第 A. 129 図	応力-ひずみ曲線	(ロ) -A-394
(ロ) 一第 A. 130 図	仕切板・区切板の解析モデル	(ロ) -A-398
(ロ) 一第 A. 131 図	枠組の解析モデル	(ロ) -A-402
(ロ) 一第 A. 132 図	蓋の解析モデル	(ロ) -A-410
(ロ) 一第 A. 133 図	仕切板・区切板の解析モデル	(ロ) -A-414
(ロ) 一第 A. 134 図	緩衝体の形状	(ロ) -A-415
(ロ) 一第 A. 135 図	垂直落下時の緩衝体の解析モデル	(ロ) -A-416
(ロ) 一第 A. 136 図	水平落下時の緩衝体の解析モデル	(ロ) -A-419
(ロ) 一第 A. 137 図	傾斜落下時の緩衝体の解析モデル	(ロ) -A-422
(ロ) 一第 A. 138 図	SHOCK-2 のプログラム構成	(ロ) -A-423
(ロ) 一第 A. 139 図	フィンの解析モデル	(ロ) -A-425
(ロ) 一第 A. 140 図	Davis の実験における試験片	(ロ) -A-425
(ロ) 一第 A. 141 図	計算フローチャート	(ロ) -A-426

(ロ) 一第 A. 142 図	変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 0^\circ$ の場合)	.....	(ロ) -A-427
(ロ) 一第 A. 143 図	変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 10^\circ$ の場合)	.....	(ロ) -A-427
(ロ) 一第 A. 144 図	変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 20^\circ$ の場合)	.....	(ロ) -A-428
(ロ) 一第 A. 145 図	変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 30^\circ$ の場合)	.....	(ロ) -A-428
(ロ) 一第 A. 146 図	計算モデル	.....	(ロ) -A-431
(ロ) 一第 A. 147 図	設計疲れ線図		
		.....	(ロ) -A-436
(ロ) 一第 A. 148 図	設計疲れ線図	.....	(ロ) -A-436
(ロ) 一第 A. 149 図	固縛装置	.....	(ロ) -A-439
(ロ) 一第 A. 150 図	固縛棒工具挿入部	.....	(ロ) -A-452
(ロ) 一第 A. 151 図	運搬台位置決め具	.....	(ロ) -A-454
(ロ) 一第 A. 152 図	固縛装置	.....	(ロ) -A-459
(ロ) 一第 A. 153 図	運搬台固縛ボルト位置図	.....	(ロ) -A-460
(ロ) 一第 A. 154 図	 の設計疲労線図	.....	(ロ) -A-461
(ロ) 一第 A. 155 図	運搬台吊上金具	.....	(ロ) -A-464
(ロ) 一第 A. 156 図	運搬台	.....	(ロ) -A-466
(ロ) 一第 A. 157 図	運搬台の解析モデル	.....	(ロ) -A-467
(ロ) 一第 A. 158 図	負荷荷重	.....	(ロ) -A-469
(ロ) 一第 A. 159 図	蓋締付用ボルトに発生する荷重	.....	(ロ) -A-472
(ロ) 一第 B. 1 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、通常輸送時)	.....	(ロ) -B-18
(ロ) 一第 B. 2 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (断面図、通常輸送時)	.....	(ロ) -B-19
(ロ) 一第 B. 3 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (軸方向断面図、通常輸送時)	.....	(ロ) -B-20
(ロ) 一第 B. 4 図	JMTR 燃料フォロー (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、通常輸送時)	.....	(ロ) -B-21
(ロ) 一第 B. 5 図	JMTR 燃料フォロー (LEU) のバスケット内温度解析モデル (断面図、通常輸送時)	.....	(ロ) -B-22
(ロ) 一第 B. 6 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、一般の試験条件)	.....	(ロ) -B-26
(ロ) 一第 B. 7 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (断面図、一般の試験条件)	.....	(ロ) -B-27
(ロ) 一第 B. 8 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (軸方向断面図、一般の試験条件)	.....	(ロ) -B-28

(ロ) ー第 B. 9 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物の日陰における 温度評価結果 (軸方向断面、通常輸送時) ……………	(ロ) ーB-32
(ロ) ー第 B. 10 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物の日陰における 温度評価結果 (径方向 A-B 断面、通常輸送時) ……………	(ロ) ーB-33
(ロ) ー第 B. 11 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合の日陰における 温度分布 (径方向) (通常輸送時) ……………	(ロ) ーB-34
(ロ) ー第 B. 12 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物の日陰における 温度評価結果 (軸方向断面、一般の試験条件) ……………	(ロ) ーB-37
(ロ) ー第 B. 13 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物の日陰における 温度評価結果 (径方向 A-B 断面、一般の試験条件) ……………	(ロ) ーB-38
(ロ) ー第 B. 14 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合の日陰における 温度分布 (径方向) (一般の試験条件) ……………	(ロ) ーB-39
(ロ) ー第 B. 15 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、特別の試験条件) ……………	(ロ) ーB-50
(ロ) ー第 B. 16 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (断面図、特別の試験条件) ……………	(ロ) ーB-51
(ロ) ー第 B. 17 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (軸方向断面、特別の試験条件) ……………	(ロ) ーB-52
(ロ) ー第 B. 18 図	JMTR 燃料フォロワ (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、特別の試験条件) ……………	(ロ) ーB-53
(ロ) ー第 B. 19 図	JMTR 燃料フォロワ (LEU) のバスケット内温度解析モデル (断面図、特別の試験条件) ……………	(ロ) ーB-54
(ロ) ー第 B. 20 図	落下試験 I、II による緩衝体の変形 ……………	(ロ) ーB-56
(ロ) ー第 B. 21 図	経時温度変化を示した位置 (○印) ……………	(ロ) ーB-59
(ロ) ー第 B. 22 図	特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 標準燃料要素 (LEU) 1/2) ……………	(ロ) ーB-60
(ロ) ー第 B. 23 図	特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 標準燃料要素 (LEU) 2/2) ……………	(ロ) ーB-61
(ロ) ー第 B. 24 図	特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 燃料フォロワ (LEU) 1/2) ……………	(ロ) ーB-62
(ロ) ー第 B. 25 図	特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 燃料フォロワ (LEU) 2/2) ……………	(ロ) ーB-63
(ロ) ー第 B. 26 図	TRUMP 概略処理フロー (その 1) ……………	(ロ) ーB-72
(ロ) ー第 B. 26 図	TRUMP 概略処理フロー (その 2) ……………	(ロ) ーB-73
(ロ) ー第 B. 27 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) をバスケットに収納した状態図 ……………	(ロ) ーB-75

(口) 一第 B. 28 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) における伝熱方向	(口) -B-78
(口) 一第 B. 29 図	形態係数を 1 とした輸送容器表面の詳細 (通常輸送時)	(口) -B-90
(口) 一第 B. 30 図	フィン及び容器本体外面近似モデル	(口) -B-92
(口) 一第 B. 31 図	相対する二平行面	(口) -B-92
(口) 一第 B. 32 図	直交する二平面	(口) -B-95
(口) 一第 B. 33 図	相離れた直交二平面	(口) -B-95
(口) 一第 B. 34 図	フィンと容器本体との詳細図	(口) -B-96
(口) 一第 B. 35 図	フィンと周囲空気面との詳細図	(口) -B-100
(口) 一第 B. 36 図	蓋外面と近接防止枠 (穴あき板) の近似モデル	(口) -B-105
(口) 一第 B. 37 図	相対する二平行円板	(口) -B-106
(口) 一第 B. 38 図	形態係数を 1 とした輸送容器表面の詳細 (一般の試験条件)	(口) -B-112
(口) 一第 B. 39 図	形態係数を 1 とした輸送容器表面の詳細 (特別の試験条件)	(口) -B-120
(口) 一第 B. 40 図	金具温度解析モデル	(口) -B-127
(口) 一第 C. 1 図	輸送容器の密封境界	(口) -C-3
(口) 一第 C. 2 図	蓋と容器本体接合部	(口) -C-4
(口) 一第 C. 3 図	ベントプラグ	(口) -C-5
(口) 一第 C. 4 図	ドレン弁	(口) -C-6
(口) 一第 C. 5 図	気密漏えい検査状態図	(口) -C-27
(口) 一第 D. 1 図	ガンマ線遮蔽解析 (上下部モデル)	(口) -D-11
(口) 一第 D. 2 図	ガンマ線遮蔽解析 (側部モデル)	(口) -D-12
(口) 一第 D. 3 図	バスケット (上下部モデル)	(口) -D-13
(口) 一第 D. 4 図	バスケット (側部モデル)	(口) -D-13
(口) 一第 D. 5 図	中性子遮蔽解析モデル	(口) -D-15
(口) 一第 D. 6 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時のガンマ線による 線量当量率分布 (燃焼度 <input type="checkbox"/> : 上下部モデル)	(口) -D-24
(口) 一第 D. 7 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時のガンマ線による 線量当量率分布 (燃焼度 <input type="checkbox"/> : 側部モデル)	(口) -D-25
(口) 一第 D. 8 図	JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時の中性子源による 線量当量率	(口) -D-28
(口) 一第 D. 9 図	放射能強度	(口) -D-36
(口) 一第 D. 10 図	発熱量	(口) -D-37
(口) 一第 D. 11 図	ガンマ線源強度	(口) -D-38
(口) 一第 D. 12 図	中性子源強度	(口) -D-39

(ロ) 一第 D. 13 図	ガンマ線ストリーミングが問題となる箇所	(ロ) -D-41
(ロ) 一第 D. 14 図	ドレン貫通孔ガンマ線ストリーミング解析モデル	(ロ) -D-43
(ロ) 一第 D. 15 図	容器本体と蓋との隙間	(ロ) -D-46
(ロ) 一第 D. 16 図	漏えいする 3 過程	(ロ) -D-46
(ロ) 一第 D. 17 図	ベント貫通孔の形状	(ロ) -D-49
(ロ) 一第 D. 18 図	ベント貫通孔ガンマ線ストリーミング解析モデル	(ロ) -D-49
(ロ) 一第 D. 19 図	ORIGEN コード概略計算フロー	(ロ) -D-53
(ロ) 一第 D. 20 図	ANISN コード概略計算フロー	(ロ) -D-55
(ロ) 一第 E. 1 図	臨界解析モデル (軸方向)	(ロ) -E-10
(ロ) 一第 E. 2 図	臨界解析モデル (燃料収納部断面)	(ロ) -E-11
(ロ) 一第 E. 3 図	燃料芯材領域モデル	(ロ) -E-12
(ロ) 一第 E. 4 図	損傷孤立系の臨界解析モデル (軸方向)	(ロ) -E-13
(ロ) 一第 E. 5 図	損傷配列系の臨界解析モデル (軸方向)	(ロ) -E-14
(ロ) 一第 E. 6 図	輸送容器断面形状図	(ロ) -E-22
(ロ) 一第 E. 7 図	燃料装荷時臨界解析モデル (軸方向)	(ロ) -E-25
(ロ) 一第 E. 8 図	燃料芯材領域モデル	(ロ) -E-27
(ロ) 一第 E. 9 図	臨界解析モデル (軸方向)	(ロ) -E-28
(ロ) 一第 E. 10 図	臨界解析モデル (燃料収納部断面)	(ロ) -E-29
(ロ) 一第 E. 11 図	水密度をパラメータとした場合の K_{eff}	(ロ) -E-30
(ロ) 一第 E. 12 図	燃料芯材領域モデル	(ロ) -E-32
(ロ) 一第 E. 13 図	通常輸送時の孤立系臨界解析モデル (軸方向)	(ロ) -E-33
(ロ) 一第 E. 14 図	通常輸送時の配列系臨界解析モデル (軸方向)	(ロ) -E-34
(ロ) 一第 E. 15 図	臨界解析モデル (燃料収納部断面)	(ロ) -E-35
(ロ) 一第 E. 16 図	TCA 臨界実験体系	(ロ) -E-41
(ロ) 一第 E. 17 図	SPERT-D 燃料	(ロ) -E-42
(ロ) 一第 E. 17 図	SPERT-D 燃料 (続き)	(ロ) -E-43
(ロ) 一第 E. 18 図	炉心配置図	(ロ) -E-44
(ロ) 一第 E. 19 図	燃料要素	(ロ) -E-45
(ロ) 一第 E. 20 図	炉心配置図	(ロ) -E-46
(ロ) 一第 H. 1 図	試験体構造図	(ロ) -H-9
(ロ) 一第 H. 2 図	落下試験体	(ロ) -H-10
(ロ) 一第 H. 3 図	標準型形状模擬燃料	(ロ) -H-11
(ロ) 一第 H. 4 図	フォロワ型形状模擬燃料	(ロ) -H-12
(ロ) 一第 H. 5 図	模擬燃料 A	(ロ) -H-13
(ロ) 一第 H. 6 図	模擬燃料 B	(ロ) -H-13

(ロ) 一第 H.7 図	耐火試験体	(ロ) -H-14
(ロ) 一第 H.8 図	ヒーター	(ロ) -H-15
(ロ) 一第 H.9 図	試験台	(ロ) -H-18
(ロ) 一第 H.10 図	移動式クレーン	(ロ) -H-19
(ロ) 一第 H.11 図	落下装置	(ロ) -H-20
(ロ) 一第 H.12 図	標的	(ロ) -H-21
(ロ) 一第 H.13 図	耐火試験装置	(ロ) -H-22
(ロ) 一第 H.14 図	耐火試験用架台	(ロ) -H-23
(ロ) 一第 H.15 図	試験フロー	(ロ) -H-26
(ロ) 一第 H.16 図	落下試験における計測のブロックダイアグラム	(ロ) -H-28
(ロ) 一第 H.17 図	落下試験Ⅱの試験体位置	(ロ) -H-29
(ロ) 一第 H.18 図	炉内温度	(ロ) -H-32
(ロ) 一第 H.19 図	耐火試験における計測のブロックダイアグラム	(ロ) -H-33
(ロ) 一第 H.20 図	落下試験Ⅰの減速度波形	(ロ) -H-36
(ロ) 一第 H.21 図	落下試験Ⅰのひずみ波形	(ロ) -H-37
(ロ) 一第 H.22 図	落下試験Ⅰによる概略変形状態	(ロ) -H-38
(ロ) 一第 H.23 図	落下試験Ⅱによる概略変形状態	(ロ) -H-40
(ロ) 一第 H.24 図	耐火試験の温度変化	(ロ) -H-42
(参) 一第 A.1 図	製作の全体工程	(参) -A-2
(参) 一第 A.2 図	製作工程	(参) -A-3
(参) 一第 A.3 図	容器本体溶接線配置	(参) -A-15
(参) 一第 A.4 図	バスケット溶接線配置	(参) -A-16
(参) 一第 B.1 図	輸送容器	(参) -B-5
(参) 一第 B.2 図	容器本体	(参) -B-6
(参) 一第 B.3 図	バスケット	(参) -B-7
(参) 一第 B.4 図	緩衝体	(参) -B-8
(参) 一第 C.1 図	輸送容器の製作スケジュール	(参) -C-2
(参) 一第 D.1 図	品質保証組織	(参) -D-1

表 リ ス ト

(イ) 一第 A.1 表	収納する核燃料物質の仕様	(イ) - A-3
(イ) 一第 C.1 表	輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 1)	(イ) - C-23
(イ) 一第 C.1 表	輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 2)	(イ) - C-24
(イ) 一第 C.1 表	輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 3)	(イ) - C-25
(イ) 一第 C.1 表	輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 4)	(イ) - C-26
(イ) 一第 C.1 表	輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 5)	(イ) - C-27
(イ) 一第 D.1 表	燃料要素等の仕様	(イ) - D-1
(イ) 一第 D.2 表	主要な放射性核種と放射エネルギー	(イ) - D-3
(ロ) 一第 1 表	一般及び特別の試験条件	(ロ) - 3
(ロ) 一第 A.1 表	構造解析に用いる設計基準 (1/2)	(ロ) - A-3
(ロ) 一第 A.1 表	構造解析に用いる設計基準 (2/2)	(ロ) - A-4
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (1/36)	(ロ) - A-5
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (2/36)	(ロ) - A-6
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (3/36)	(ロ) - A-7
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (4/36)	(ロ) - A-8
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (5/36)	(ロ) - A-9
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (6/36)	(ロ) - A-10
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (7/36)	(ロ) - A-11
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (8/36)	(ロ) - A-12
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (9/36)	(ロ) - A-13
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (10/36)	(ロ) - A-14
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (11/36)	(ロ) - A-15
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (12/36)	(ロ) - A-16
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (13/36)	(ロ) - A-17
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (14/36)	(ロ) - A-18
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (15/36)	(ロ) - A-19
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (16/36)	(ロ) - A-20
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (17/36)	(ロ) - A-21
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (18/36)	(ロ) - A-22
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (19/36)	(ロ) - A-23
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (20/36)	(ロ) - A-24
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (21/36)	(ロ) - A-25
(ロ) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (22/36)	(ロ) - A-26

(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (23/36)	(口) -A-27
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (24/36)	(口) -A-28
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (25/36)	(口) -A-29
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (26/36)	(口) -A-30
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (27/36)	(口) -A-31
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (28/36)	(口) -A-32
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (29/36)	(口) -A-33
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (30/36)	(口) -A-34
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (31/36)	(口) -A-35
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (32/36)	(口) -A-36
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (33/36)	(口) -A-37
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (34/36)	(口) -A-38
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (35/36)	(口) -A-39
(口) 一第 A.2 表	解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (36/36)	(口) -A-40
(口) 一第 A.3 表	輸送物の重量 (その 1)	(口) -A-41
(口) 一第 A.3 表	輸送物の重量 (その 2)	(口) -A-42
(口) 一第 A.4 表	主要材料の機械的性質 (常温) (その 1)	(口) -A-45
(口) 一第 A.4 表	主要材料の機械的性質 (常温) (その 2)	(口) -A-46
(口) 一第 A.5 表	接触する異種材料の一覧表	(口) -A-52
(口) 一第 A.6 表	標準使用温度範囲の最低使用温度	(口) -A-54
(口) 一第 A.7 表	-40°C の周囲温度条件下における圧力及び温度の要約	(口) -A-55
(口) 一第 A.8 表	設計負荷荷重	(口) -A-64
(口) 一第 A.9 表	一般の試験条件下における圧力及び温度の要約	(口) -A-101
(口) 一第 A.10 表	一般の試験条件下における燃料装荷前 及び燃料装荷後 (定常時) の隙間	(口) -A-125
(口) 一第 A.11 表	許容応力との比較 (1/3)	(口) -A-127
(口) 一第 A.11 表	許容応力との比較 (2/3)	(口) -A-128
(口) 一第 A.11 表	許容応力との比較 (3/3)	(口) -A-129
(口) 一第 A.12 表	自由落下 (0.3m) 計算結果	(口) -A-132
(口) 一第 A.13 表	落下試験 I の落下姿勢 (その 1)	(口) -A-145
(口) 一第 A.13 表	落下試験 I の落下姿勢 (その 2)	(口) -A-146
(口) 一第 A.14 表	蓋締付用ボルトの断面二次モーメント	(口) -A-259
(口) 一第 A.15 表	傾斜落下時の変形量	(口) -A-271
(口) 一第 A.16 表	傾斜落下時の減速度	(口) -A-271
(口) 一第 A.17 表	落下試験 I の最大減速度及び変形量	(口) -A-272

(口) 一第 A. 18 表	落下試験 I 及び落下試験 II による緩衝体の変形量	(口) -A-297
(口) 一第 A. 19 表	落下試験 I 及び落下試験 II の減速度の比較	(口) -A-297
(口) 一第 A. 20 表	特別の試験条件下における圧力及び温度の要約 (その 1)	(口) -A-303
(口) 一第 A. 21 表	特別の試験条件下における圧力及び温度の要約 (その 2)	(口) -A-303
(口) 一第 A. 22 表	特別の試験条件下における燃料装荷前 及び燃料装荷後 (定常時) の隙間	(口) -A-334
(口) 一第 A. 23 表	許容応力との比較 (1/7)	(口) -A-336
(口) 一第 A. 23 表	許容応力との比較 (2/7)	(口) -A-337
(口) 一第 A. 23 表	許容応力との比較 (3/7)	(口) -A-338
(口) 一第 A. 23 表	許容応力との比較 (4/7)	(口) -A-339
(口) 一第 A. 23 表	許容応力との比較 (5/7)	(口) -A-340
(口) 一第 A. 23 表	許容応力との比較 (6/7)	(口) -A-341
(口) 一第 A. 23 表	許容応力との比較 (7/7)	(口) -A-342
(口) 一第 A. 24 表	自由落下 (0.3m) 計算結果	(口) -A-361
(口) 一第 A. 25 表	自由落下 (0.3m+9m) 計算結果	(口) -A-366
(口) 一第 A. 26 表	許容応力との比較 (1/4)	(口) -A-368
(口) 一第 A. 26 表	許容応力との比較 (2/4)	(口) -A-369
(口) 一第 A. 26 表	許容応力との比較 (3/4)	(口) -A-370
(口) 一第 A. 26 表	許容応力との比較 (4/4)	(口) -A-371
(口) 一第 A. 27 表	落下試験 I 及び落下試験 II における緩衝体の変形	(口) -A-373
(口) 一第 A. 28 表	落下試験による緩衝体の変形量	(口) -A-377
(口) 一第 A. 29 表	特別の試験条件下の最高温度	(口) -A-379
(口) 一第 A. 30 表	蓋締付用ボルト及び蓋締付用ボルト穴	(口) -A-383
(口) 一第 A. 31 表	ピーク応力の評価	(口) -A-435
(口) 一第 A. 32 表	固縛装置の主要材料、機械的性質	(口) -A-437
(口) 一第 A. 33 表	梁の断面形状	(口) -A-468
(口) 一第 A. 34 表	負荷荷重	(口) -A-469
(口) 一第 B. 1 表	解析に用いた収納物の最大崩壊熱	(口) -B-4
(口) 一第 B. 2 表	熱解析の条件 (JMTR 標準燃料要素 (LEU))	(口) -B-5
(口) 一第 B. 3 表	熱解析の条件 (JMTR 燃料フォロー (LEU) 及び収納物より 崩壊熱が小さい燃料要素)	(口) -B-6
(口) 一第 B. 4 表	熱解析の方法 (その 1)	(口) -B-7
(口) 一第 B. 4 表	熱解析の方法 (その 2)	(口) -B-8
(口) 一第 B. 5 表	ステンレス鋼の熱的性質	(口) -B-9
(口) 一第 B. 6 表	アルミニウム合金の熱的性質	(口) -B-9

(口) 一第 B. 7 表	中性子吸収材の熱的性質	(口) 一B-10
(口) 一第 B. 8 表	 の熱的性質	(口) 一B-10
(口) 一第 B. 9 表	空気の熱的性質	(口) 一B-11
(口) 一第 B. 10 表	弁類の仕様	(口) 一B-12
(口) 一第 B. 11 表	可融栓の仕様	(口) 一B-12
(口) 一第 B. 12 表	解析条件 (通常輸送時)	(口) 一B-16
(口) 一第 B. 13 表	太陽輻射熱による伝熱量	(口) 一B-16
(口) 一第 B. 14 表	解析条件 (一般の試験条件)	(口) 一B-25
(口) 一第 B. 15 表	通常輸送時の温度評価結果	(口) 一B-31
(口) 一第 B. 16 表	一般の試験条件下の温度評価結果	(口) 一B-36
(口) 一第 B. 17 表	一般の試験条件下の最大内圧	(口) 一B-44
(口) 一第 B. 18 表	一般の試験条件における輸送物の総合的評価	(口) 一B-45
(口) 一第 B. 19 表	解析条件 (特別の試験条件)	(口) 一B-49
(口) 一第 B. 20 表	落下試験による緩衝体の変形量	(口) 一B-55
(口) 一第 B. 21 表	特別の試験条件の温度評価結果	(口) 一B-64
(口) 一第 B. 22 表	特別の試験条件下の最大内圧	(口) 一B-66
(口) 一第 B. 23 表	特別の試験条件における輸送物の総合的評価	(口) 一B-67
(口) 一第 B. 24 表	バスケット内部の隙間	(口) 一B-81
(口) 一第 B. 25 表	容器本体と緩衝体との隙間	(口) 一B-83
(口) 一第 B. 26 表	垂直平板における熱伝達係数	(口) 一B-88
(口) 一第 B. 27 表	上向き熱面における熱伝達係数	(口) 一B-88
(口) 一第 B. 28 表	下向き熱面における熱伝達係数	(口) 一B-88
(口) 一第 B. 29 表	水平円筒における熱伝達係数	(口) 一B-110
(口) 一第 B. 30 表	垂直平板における熱伝達係数	(口) 一B-110
(口) 一第 B. 31 表	水平円筒における熱伝達係数	(口) 一B-118
(口) 一第 B. 32 表	垂直平板における熱伝達係数	(口) 一B-118
(口) 一第 B. 33 表	固縛金具及び蓋吊上金具温度	(口) 一B-126
(口) 一第 C. 1 表	密封装置の最高圧力及びガスケット部の温度	(口) 一C-9
(口) 一第 C. 2 表	貫通部の仕様	(口) 一C-11
(口) 一第 C. 3 表	ガスケットの仕様	(口) 一C-13
(口) 一第 C. 4 表	一般の試験条件下の放射性物質の漏えい量	(口) 一C-17
(口) 一第 C. 5 表	特別の試験条件下の放射性物質の漏えい量	(口) 一C-23
(口) 一第 C. 6 表	核分裂生成ガスの放射能	(口) 一C-29
(口) 一第 D. 1 表	遮蔽解析に用いた収納物の仕様	(口) 一D-3
(口) 一第 D. 2 表	ガンマ線源強度	(口) 一D-4

(ロ) 一第 D. 3 表	JMTR 標準燃料要素 (LEU) の主要核種の放射能強度 (燃料要素 1 体当たり)	(ロ) -D-5
(ロ) 一第 D. 4 表	中性子源強度	(ロ) -D-7
(ロ) 一第 D. 5 表	自発核分裂による中性子源となる主要核種からの中性子発生数	(ロ) -D-8
(ロ) 一第 D. 6 表	中性子源スペクトル	(ロ) -D-9
(ロ) 一第 D. 7 表	ガンマ線遮蔽解析に用いた上下部モデル及び側部モデルの 線源領域の体積比	(ロ) -D-17
(ロ) 一第 D. 8 表	ガンマ線遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度	(ロ) -D-17
(ロ) 一第 D. 9 表	中性子遮蔽解析に用いた線源領域の体積比	(ロ) -D-18
(ロ) 一第 D. 10 表	中性子遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度	(ロ) -D-18
(ロ) 一第 D. 11 表	遮蔽解析で用いた物質の密度	(ロ) -D-19
(ロ) 一第 D. 12 表	ガンマ線エネルギー群構造及び ガンマ線源スペクトル (その 1)	(ロ) -D-21
(ロ) 一第 D. 12 表	ガンマ線エネルギー群構造及び ガンマ線源スペクトル (その 2)	(ロ) -D-22
(ロ) 一第 D. 13 表	ガンマ線の線量当量率変換係数	(ロ) -D-23
(ロ) 一第 D. 14 表	中性子の線量当量率変換係数	(ロ) -D-27
(ロ) 一第 D. 15 表	輸送物の線量当量率の要約 (その 1)	(ロ) -D-30
(ロ) 一第 D. 15 表	輸送物の線量当量率の要約 (その 2)	(ロ) -D-31
(ロ) 一第 D. 16 表	燃料要素仕様	(ロ) -D-34
(ロ) 一第 D. 17 表	燃焼計算条件	(ロ) -D-34
(ロ) 一第 D. 18 表	輸送容器各点での線量当量率	(ロ) -D-40
(ロ) 一第 E. 1 表	臨界解析に用いた収納物の仕様	(ロ) -E-3
(ロ) 一第 E. 2 表	容器本体表面から緩衝体表面までの距離	(ロ) -E-4
(ロ) 一第 E. 3 表	各領域の原子個数密度	(ロ) -E-16
(ロ) 一第 E. 4 表	各領域の密度	(ロ) -E-17
(ロ) 一第 E. 5 表	各領域の原子個数密度	(ロ) -E-18
(ロ) 一第 E. 6 表	各領域の密度	(ロ) -E-18
(ロ) 一第 E. 7 表	冠水時臨界計算結果	(ロ) -E-21
(ロ) 一第 E. 8 表	計算結果 (燃料装荷時)	(ロ) -E-24
(ロ) 一第 E. 9 表	通常輸送時の実効増倍係数	(ロ) -E-31
(ロ) 一第 E. 10 表	ベンチマーク臨界実験解析結果	(ロ) -E-40
(ロ) 一第 F. 1 表	使用を予定する期間中に想定される使用状況	(ロ) -F-1
(ロ) 一第 F. 2 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (1/7)	(ロ) -F-3

(ロ)	一第 F.2 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(2/7)	.....	(ロ)	-F-4
(ロ)	一第 F.2 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(3/7)	.....	(ロ)	-F-5
(ロ)	一第 F.2 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(4/7)	.....	(ロ)	-F-6
(ロ)	一第 F.2 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(5/7)	.....	(ロ)	-F-7
(ロ)	一第 F.2 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(6/7)	.....	(ロ)	-F-8
(ロ)	一第 F.2 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(7/7)	.....	(ロ)	-F-9
(ロ)	一第 G.1 表	規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価	.....	(ロ)	-G-2
(ロ)	一第 H.1 表	試験順序と条件	.....	(ロ)	-H-2
(ロ)	一第 H.2 表	落下試験 I (9m)における減速度と変形量の解析値	.....	(ロ)	-H-3
(ロ)	一第 H.3 表	落下試験 II (1m)における減速度と変形量の解析値	.....	(ロ)	-H-3
(ロ)	一第 H.4 表	試験体と実機の相違	.....	(ロ)	-H-5
(ロ)	一第 H.5 表	落下試験用検出器	.....	(ロ)	-H-27
(ロ)	一第 H.6 表	熱電対仕様	.....	(ロ)	-H-30
(ロ)	一第 H.7 表	最大減速度	.....	(ロ)	-H-34
(ロ)	一第 H.8 表	最大ひずみ	.....	(ロ)	-H-35
(ロ)	一第 H.9 表	最大変形量	.....	(ロ)	-H-35
(ロ)	一第 H.10 表	落下試験 II の最大減速度と最大ひずみ	.....	(ロ)	-H-39
(ロ)	一第 H.11 表	最高温度と時間	.....	(ロ)	-H-41
(ロ)	一第 H.12 表	耐火試験状態	.....	(ロ)	-H-43
(ロ)	一第 H.13 表	減速度の比較	.....	(ロ)	-H-47
(ロ)	一第 H.14 表	発生応力の比較	.....	(ロ)	-H-48
(ロ)	一第 H.15 表	緩衝体及びフィンの変形量の比較	.....	(ロ)	-H-48
(ロ)	一第 H.16 表	上部緩衝体変形量の比較	.....	(ロ)	-H-49
(ロ)	一第 H.17 表	各部の温度の比較	.....	(ロ)	-H-49
(ロ)	一第 H.18 表	通常輸送時における輸送物各部の温度の比較	.....	(ロ)	-H-50
(ロ)	一第 H.19 表	一般の試験条件下における各部の温度の比較	.....	(ロ)	-H-51
(ハ)	一第 A.1 表	輸送物発送前検査要領 (その 1)	.....	(ハ)	-A-4
(ハ)	一第 A.1 表	輸送物発送前検査要領 (その 2)	.....	(ハ)	-A-5
(ハ)	一第 B.1 表	定期自主検査一覧 (その 1)	.....	(ハ)	-B-3
(ハ)	一第 B.1 表	定期自主検査一覧 (その 2)	.....	(ハ)	-B-4
(参)	一第 A.1 表	主要材料適用規格	.....	(参)	-A-5
(参)	一第 A.2 表	主要材料特性表	.....	(参)	-A-6
(参)	一第 A.3 表	特殊材料	.....	(参)	-A-8
(参)	一第 A.4 表	溶接施行法一覧表	.....	(参)	-A-10
(参)	一第 A.5 表	溶接開先図 (その 1)	.....	(参)	-A-12

(参) 一第 A.5 表	溶接開先図 (その 2)	.....	(参) 一 A-13
(参) 一第 A.5 表	溶接開先図 (その 3)	.....	(参) 一 A-14
(参) 一第 B.1 表	輸送容器製作時及び完成時検査要領 (その 1)	.....	(参) 一 B-2
(参) 一第 B.1 表	輸送容器製作時及び完成時検査要領 (その 2)	.....	(参) 一 B-3
(参) 一第 B.1 表	輸送容器製作時及び完成時検査要領 (その 3)	.....	(参) 一 B-4

(イ) 章 核燃料輸送物の説明

(イ) 章 核燃料輸送物の説明

(イ) - A. 目的及び条件

1. 使用目的

本輸送物は、試験・研究炉の使用済燃料を再処理等のため、国外の再処理工場等へ輸送することを目的とするものである。

2. 輸送容器の型名 JMS-87Y-18.5T型

3. 輸送物の種類 BU型核分裂性輸送物

4. 輸送制限個数 制限なし

5. 輸送制限配列 任意

6. 臨界安全指数 0

7. 輸送指数 8.3以下

8. 輸送物の総重量 18440 kg以下 (18.44t)

9. 輸送容器の外寸法 外 径 : 約 1.9m

高 さ : 約 2.0m

10. 輸送容器の重量 18110 kg以下 (18.11t)

11. 輸送容器の主要材質

(1) 容器本体 ステンレス鋼

(2) 蓋 ステンレス鋼

(3) バスケット ステンレス鋼、

(4) 緩衝体 ステンレス鋼、

12. 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様

核燃料物質の仕様を (イ) - 第 A.1 表 に示す。

13. 輸送形態

(1) 輸送方式

海上輸送は専用船等により、陸上輸送は貨物自動車又は鉄道によりいずれも専用積載で行われる。

(2) 積載方式

輸送容器は専用の固縛用具により固縛固定される。

14. 冷却方式

自然空気冷却

15. 使用予定年数

(1) 使用予定年数 : 40年

(2) 年間の運搬に使用される回数 : 1回以下

(3) 1回の運搬に要する日数：365日以下

(イ) ー第 A.1 表 収納する核燃料物質の仕様

項目	種類	
	中濃縮ウラン燃料 (MEU)	低濃縮ウラン燃料 (LEU)
JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (LEU)	JMTR燃料フォロウ (LEU)
原子炉形式	J M T R	J M T R
形状	板状燃料	板状燃料
全装荷数 (体/基)	計30 以下	計30 以下
初期値		
^{235}U 濃縮度 (wt%)		
^{235}U 含有量 (g/体)		
U-含有量 (g/体)		
燃焼度 (%)		
冷却日数 (日)		
性状	固体	固体
放射能の量 (TBq/30体)	主要な核種	
燃料芯材	ウランアルミニウム分散型合金	ウランシリコンアルミニウム分散型合金
被覆材、側板	アルミニウム合金	アルミニウム合金
発熱量 (kW/30体)	1.98	2.80
		2.40
		1.88
		1.61

・一つの輸送容器への核燃料物質の収納方法は、1種類の燃料による単独装荷、若しくは複数の種類による混合装荷とする。
 ・収納物表面から 1m 離れた位置での空気吸収線量は 1Gy/h 以上

(イ) - B. 輸送物の種類

1. 輸送物の型別としての要件

本輸送物は、収納される核燃料物質が板状のウラン燃料であり、放射エネルギーが A_2 値を超えるので、BU型輸送物の要件に該当する。

2. 核分裂性輸送物としての要件

本輸送物は、濃縮度が % の燃料を収納し、 ^{235}U を 15g 以上収納するので、核分裂性輸送物の要件に該当する。

したがって、本輸送物は「BU型核分裂性輸送物」である。

(イ) - C. 輸送容器

1. 設計の概要

輸送容器全体図を (イ) - 第 C.1 図に示す。

輸送容器は乾式の輸送容器であり容器本体(胴及び底)・蓋、バスケット、上部緩衝体及び下部緩衝体等から構成される。蓋は、の蓋締付用ボルト()により容器本体に取り付けられる。また、バスケットは、蓋取り外し後容器本体上部から出し入れされる。

容器本体には、容器本体上部に空気抜き用のベントプラグ、容器本体下部には水抜き用のドレン弁が設けられている。蓋と容器本体の接合部にはOリングが二重に取り付けられている。また、容器本体の上部及び下部には、落下衝撃の緩和のため緩衝体を取り付けられている。

輸送物の輸送状態図を (イ) - 第 C.2 図に示す。

輸送容器は輸送中、運搬台上に縦置き状態に保持され固縛棒4本により固定される。

各燃料は、容器本体内に収納されたバスケットの燃料挿入孔に挿入される。燃料は、縦置き状態に保持された容器本体上部から出し入れが行われる。

容器本体の取扱いは、容器本体上部に取り付けられた吊上金具を使用して行われる。

緩衝体は、上部緩衝体及び下部緩衝体から成り、(イ) - 第 C.1 図に示すように、容器本体に各々の緩衝体取付ボルト()により取り付けられる。緩衝体は、落下時に輸送容器及び収納物へ働く衝撃力を緩和する役目を有している。

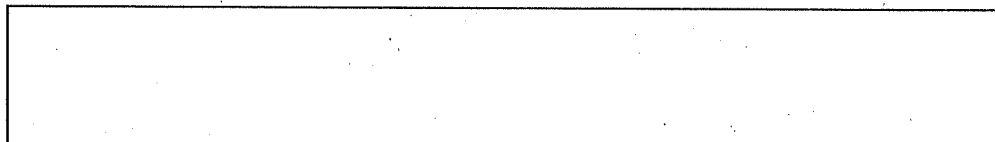
輸送容器の胴外表面には、収納している燃料より発生する崩壊熱の除去を容易にするためフィンが取り付けられている。

輸送容器の密封境界を (イ) - 第 C.3 図に示す。

輸送容器の密封境界は、容器本体・蓋、、ベントプラグ及びドレン弁により構成される。

輸送容器の主な遮蔽材は、容器本体・蓋及びバスケットを構成するステンレス鋼であり、それらは主にガンマ線遮蔽体として使用されている。輸送容器は、収納物から中性子の発生が少ないので中性子線のための特別な遮蔽体を設けていないが、ガンマ線遮蔽体はその役目を兼ねている。

輸送物の未臨界維持のため、中性子吸収材としてがバスケットに取り付けられている。



2. 構造

輸送容器は (イ) 一第 C.1 図に示すように、容器本体・蓋、バスケット、上部緩衝体、下部緩衝体等により構成される。付属機器として、固縛装置(運搬台を含む。)がある。

輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法を (イ) 一第 C.1 表に示す。

2.1 容器本体

容器本体断面を (イ) 一第 C.4 図に示す。

容器本体の主要構成は、胴、底、フィン、吊上金具、固縛金具、ベントプラグ及びドレン弁である。

胴は、内径 []、肉厚 []、胴内部の高さ [] (バスケット収納部の高さ []) の円筒形状であり底 (肉厚 []) とは、一体構造で作られている。

フィンには、長さの異なる 2 種類のものがあり、容器本体胴外表面にピッチ約 4 度間隔で溶接で取り付けられている。フィンの枚数は、板厚 []、高さ []、長さ [] のものが 70 枚、板厚 []、高さ []、長さ [] のものが 20 枚である。

固縛金具近傍のフィンは、固縛時に固縛装置の固縛棒と干渉しないようにフィンの長さを短くしてある。また、容器本体が一般の試験条件、特別の試験条件で横置き状態になったとしても、収納している燃料から発生する崩壊熱の除去を容易にするためフィンには切欠を設けている。

吊上金具を (イ) 一第 C.5 図に示す。

吊上金具は、容器本体胴外表面上部に溶接により [] 取り付けられており輸送物及び輸送容器の取扱いに用いられる。

固縛金具を (イ) 一第 C.6 図に示す。

固縛金具は、容器本体胴外表面に溶接により 4 個取り付けられており輸送物を固縛棒を介して運搬台に固縛するために用いられる。

ベントプラグを (イ) 一第 C.7 図に示す。

ベントプラグは、輸送容器への燃料装荷又は取り出し時の空気抜き等に使用される。

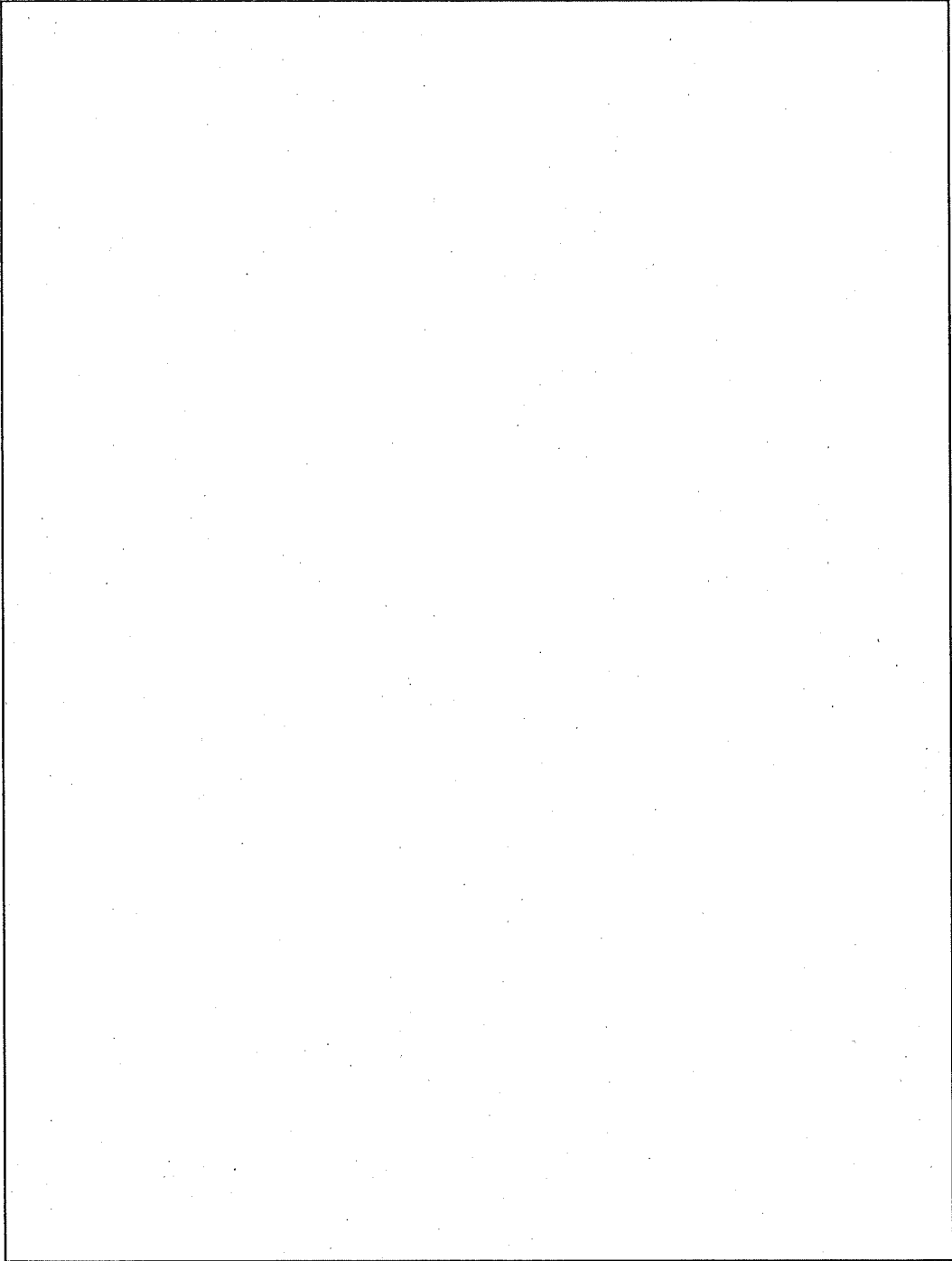
ベントプラグは、容器本体にねじ込み式 ([]) となっており、Oリングで容器本体とベントプラグ間の密封性が保たれる構造となっている。密封性を確認するための気密漏えい試験孔が、ベントプラグ本体に二重に設けられたOリングの間にあり、付属している [] 試験圧力を加えられるようになっている。また、 [] を設けている。さらに、 [] ことがないように、外側に [] により取り付けられている。

ドレン弁を (イ) ー第 C.8 図に示す。

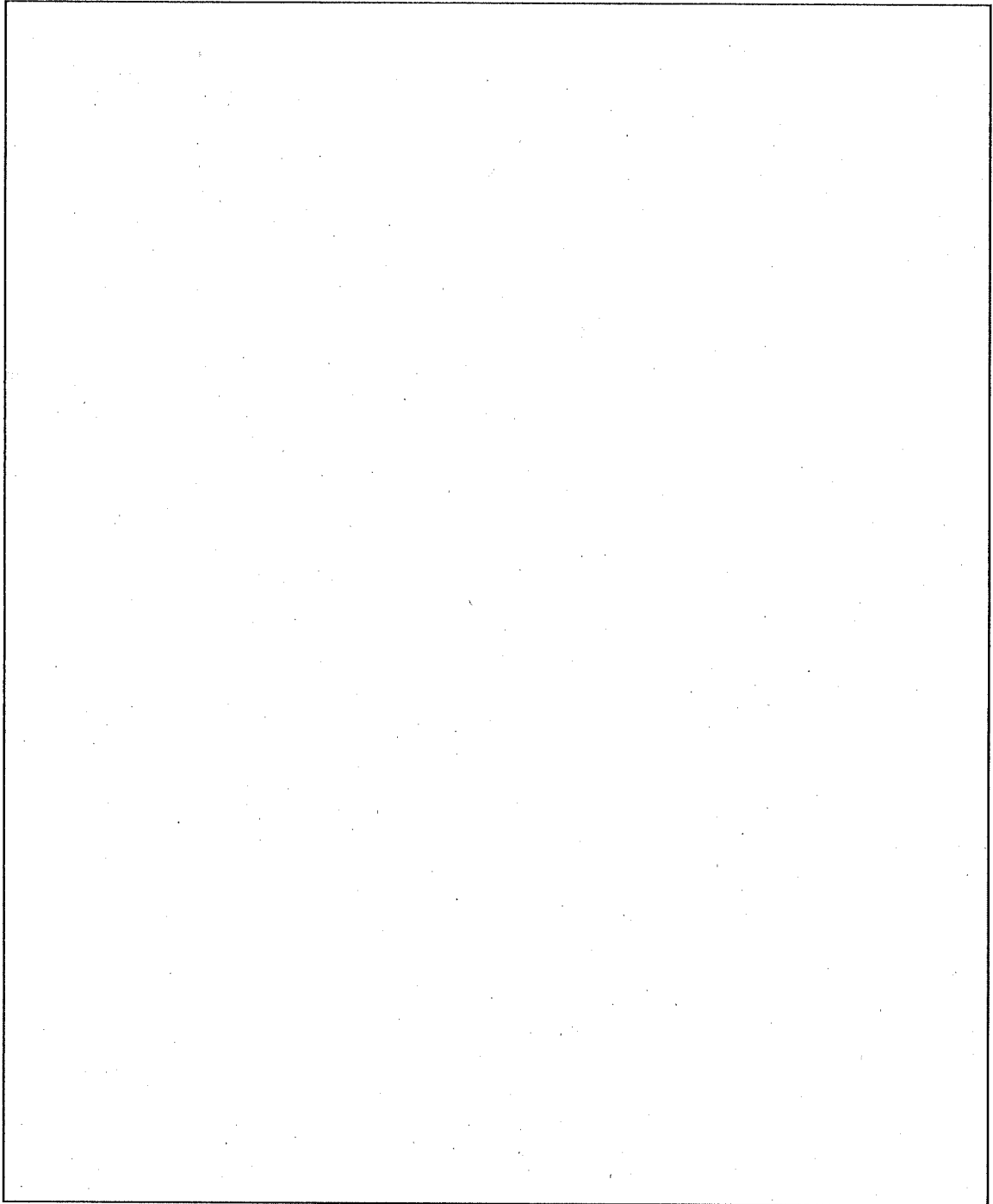
ドレン弁は、輸送容器への燃料装荷又は取り出し時の水抜き等を使用される。

弁本体は、外径約 []、高さ [] である。弁本体は組込み式になっており、容器本体に [] のドレン弁締付ボルト ([]) で固定され、シートガスケットとオリングで容器本体とドレン弁の間の密封性が保たれる構造になっている。また、密封性を確認するため気密漏えい試験孔がオリングの間にあり、付属している気密漏えい試験孔プラグを取り外して試験圧力を加えられるようになっている。

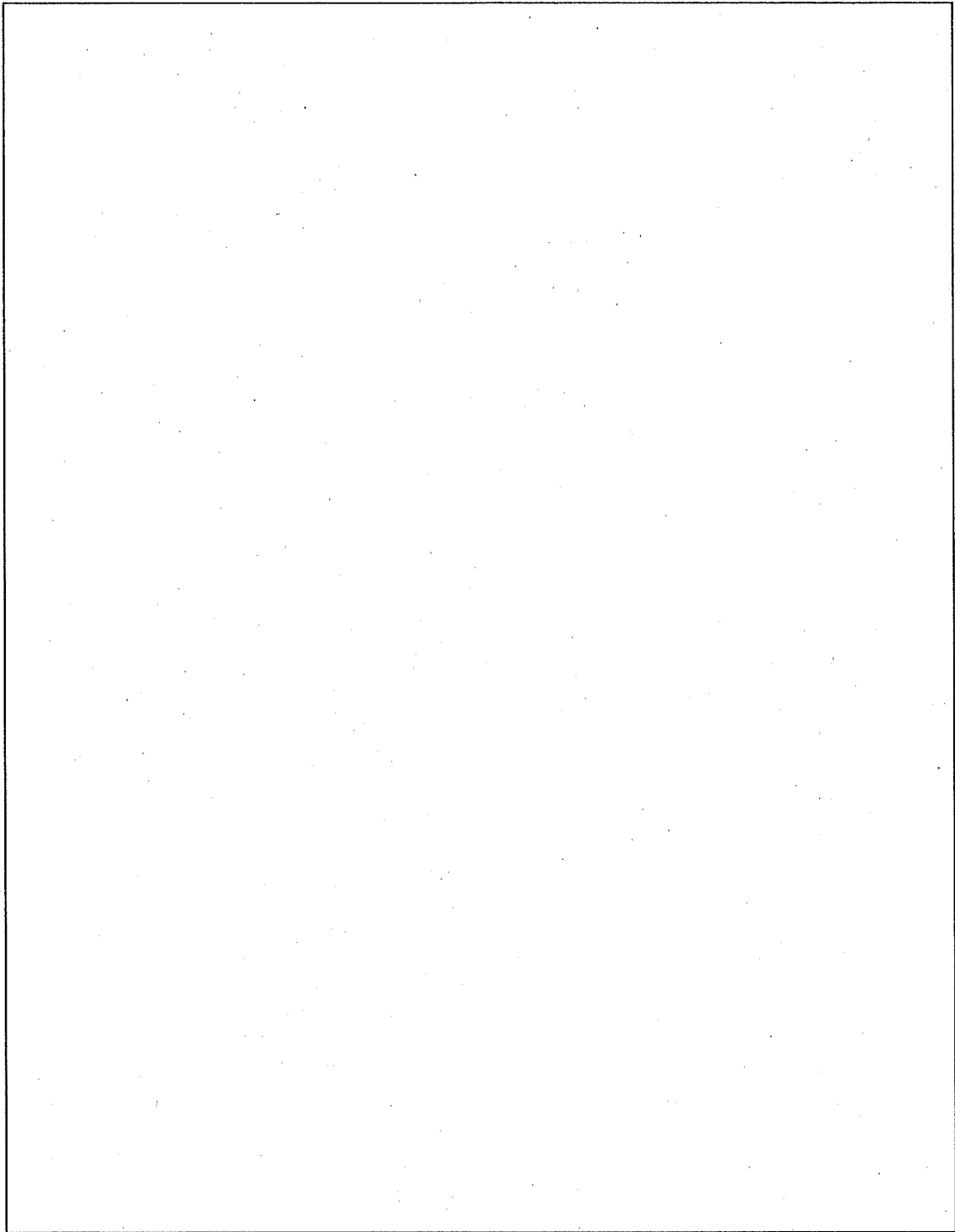
ドレン弁は、 [] 構造になっており、 [] [] バルブヘッドが開くことによって、ドレン貫通孔を介して内部と外部が通じる。この部分の密封性の確認は、 [] []、試験圧力を加えることによって行うことができる。また、 [] []、外側には [] [] により取り付けられている。



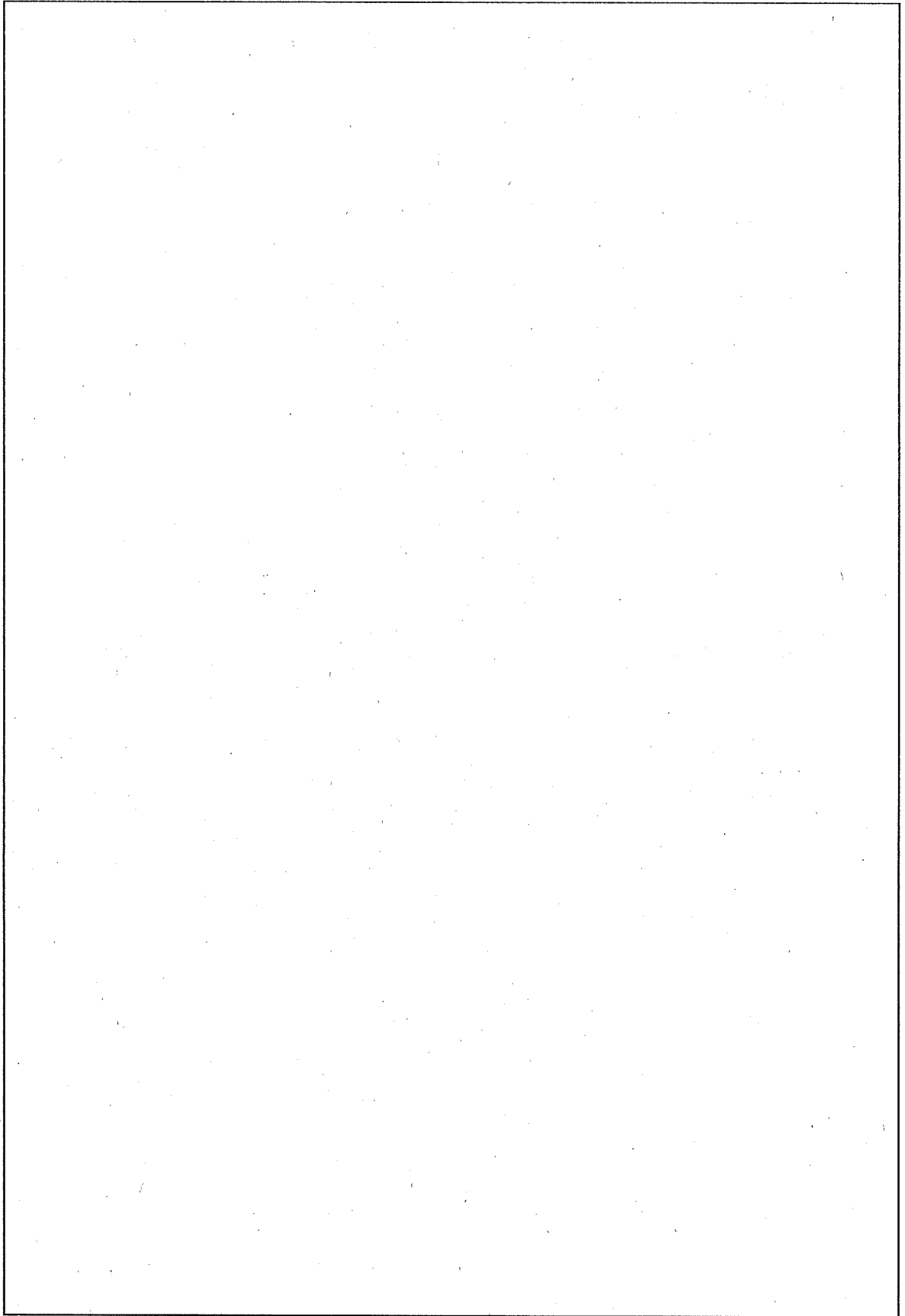
(イ) - 第C.1図 輸送容器全体図



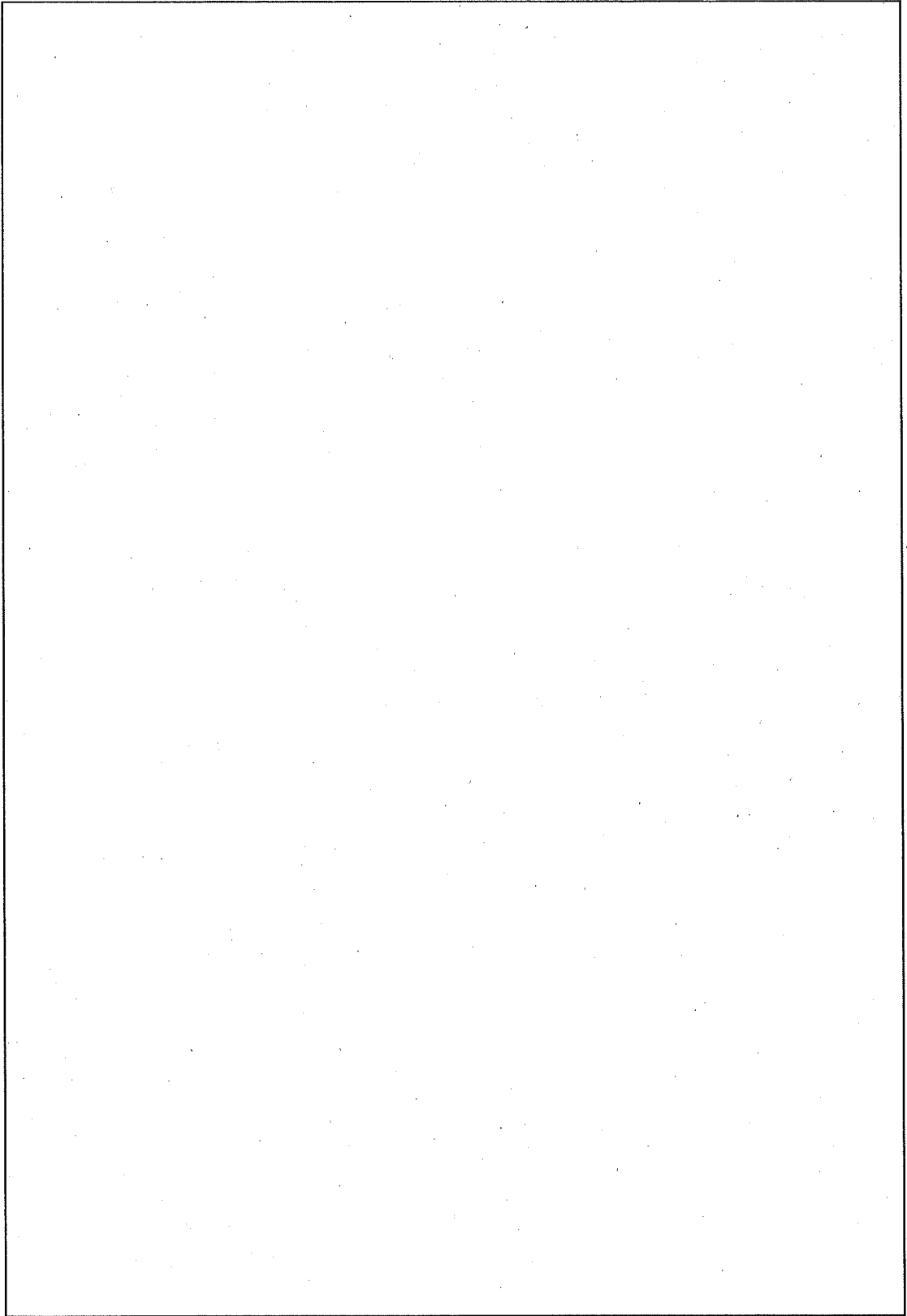
(イ) ー第C.2図 輸送物の輸送状態図



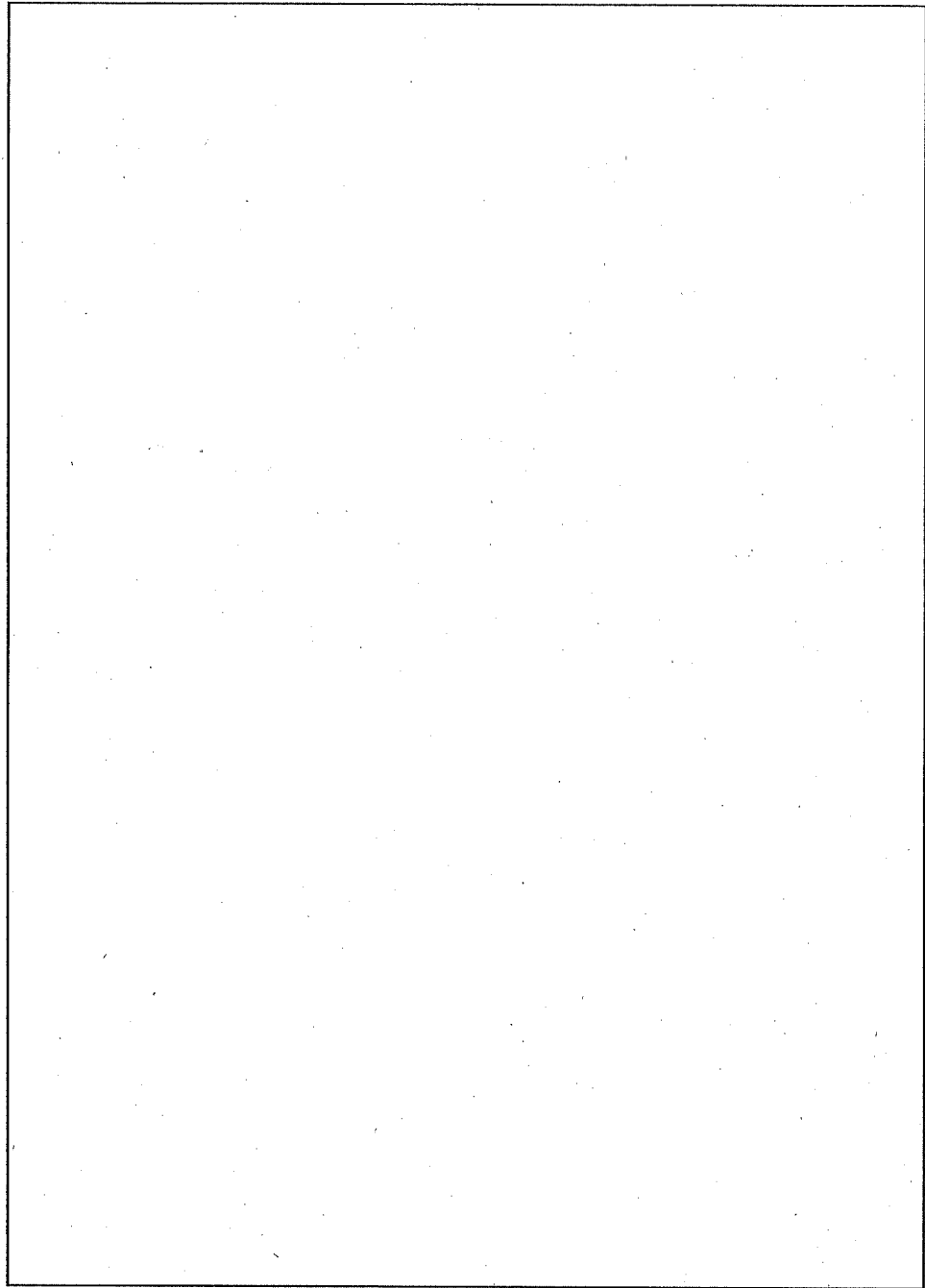
(イ) - 第 C.3 図 輸送容器(上部、下部緩衝体を除く)の密封境界



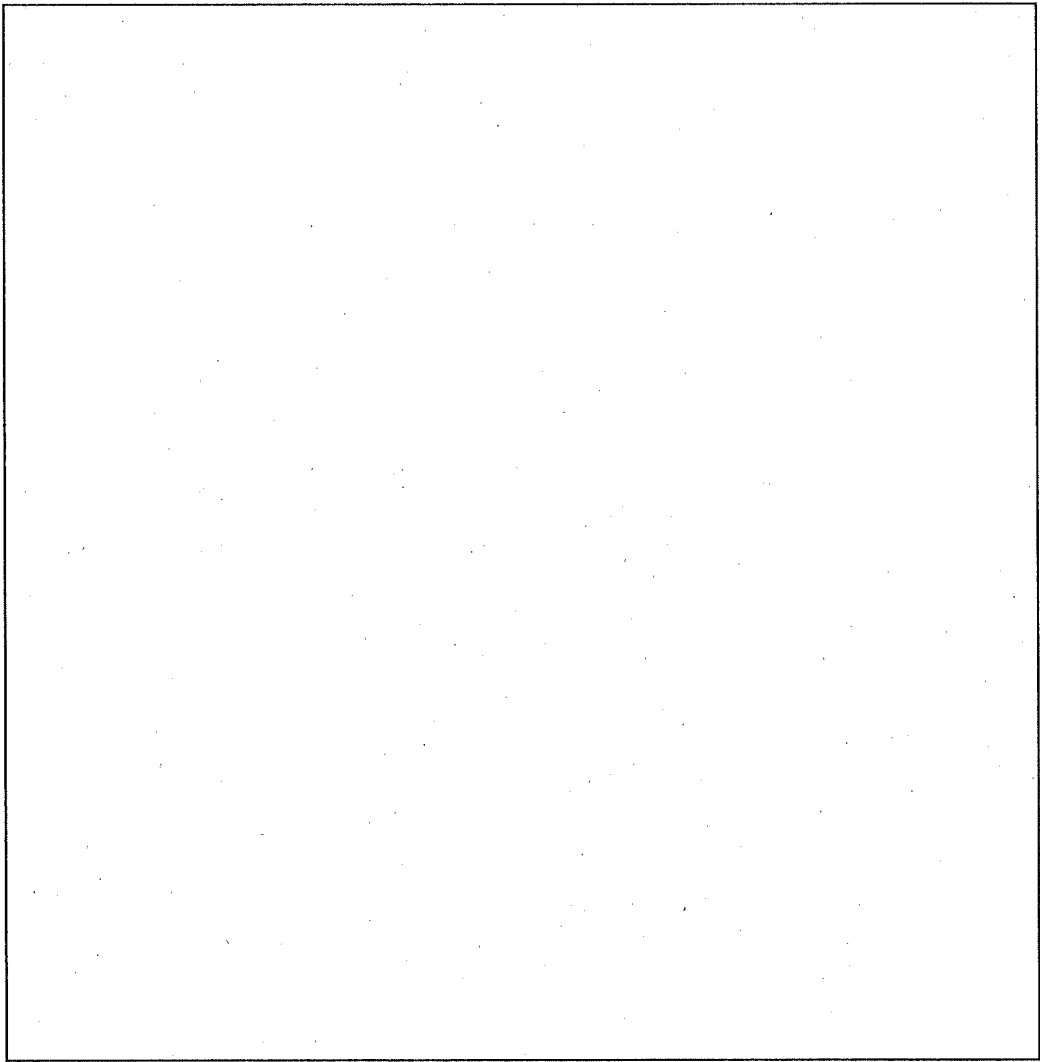
(イ) - 第 C.4 図 容器本体断面図



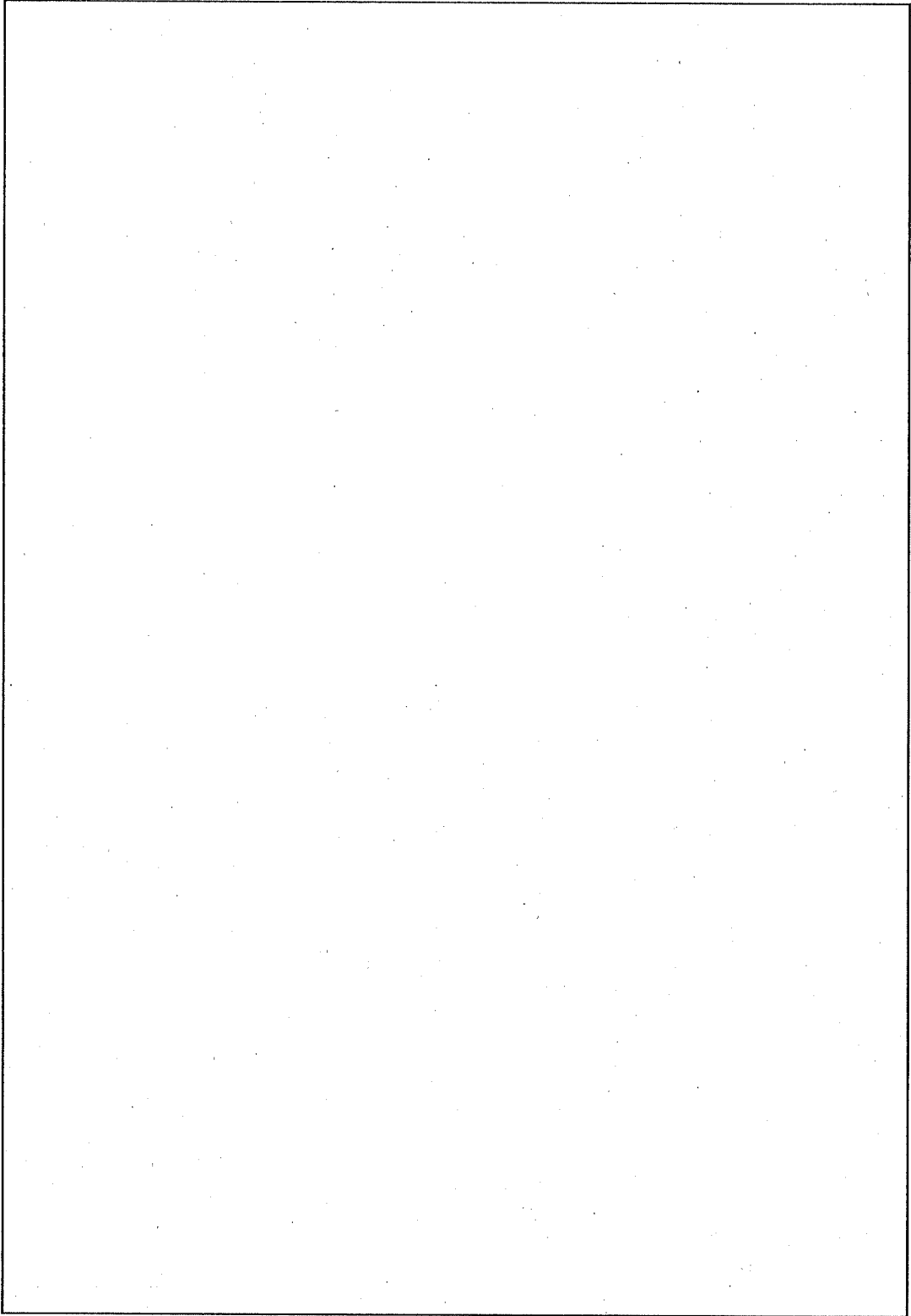
(イ) - 第C.5図 吊上金具



(イ) - 第 C.6 図 固縛金具



(イ) 一第 C.7 図 ベントプラグ



(イ) - 第C.8 図 ドレン弁

2.2 蓋

蓋を (イ) - 第 C. 9 図 に示す。

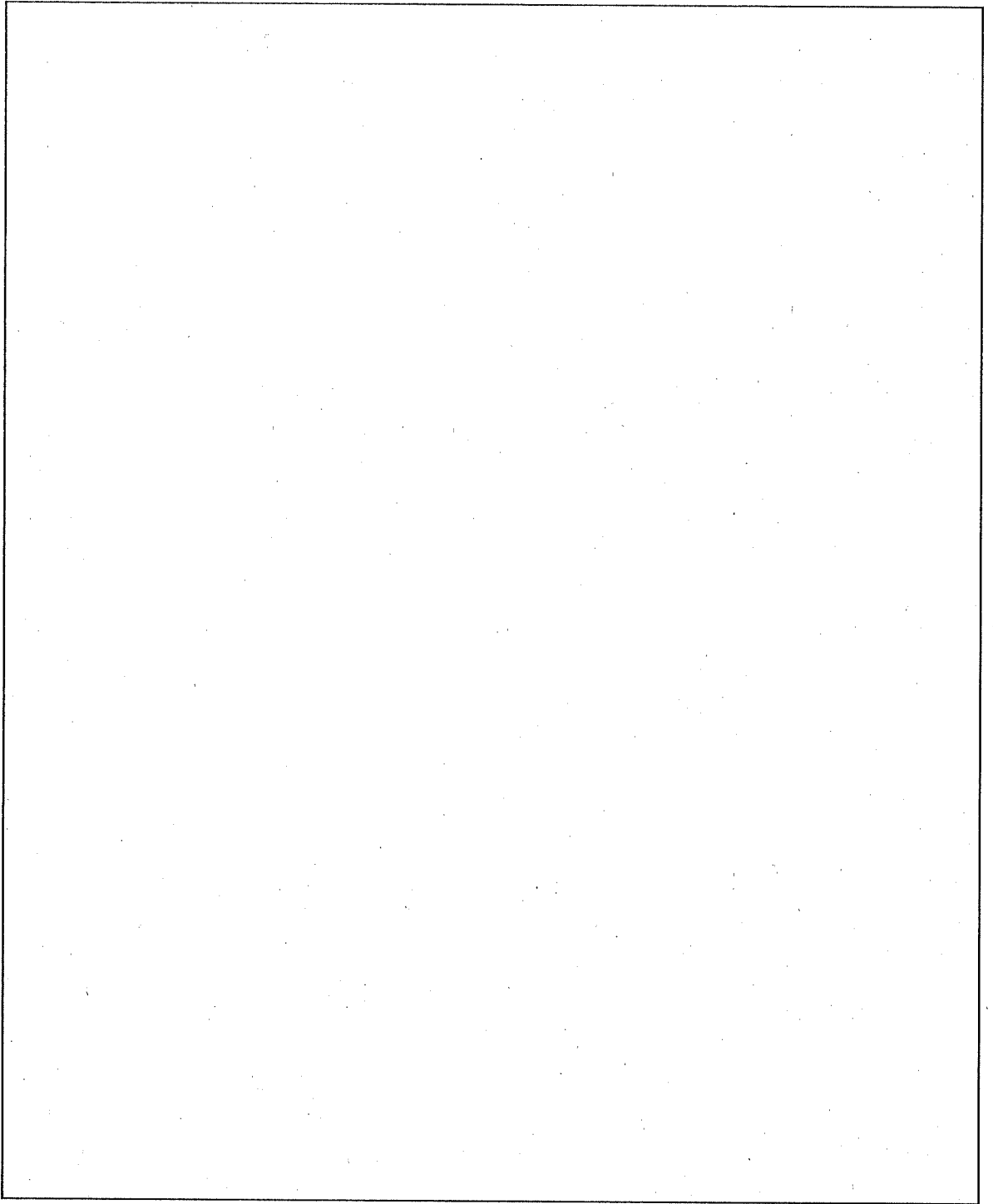
蓋 (板厚) は、 の蓋締付用ボルト により容器本体に取り付けられる。

封印金具を (イ) - 第 C. 10 図 に示す。

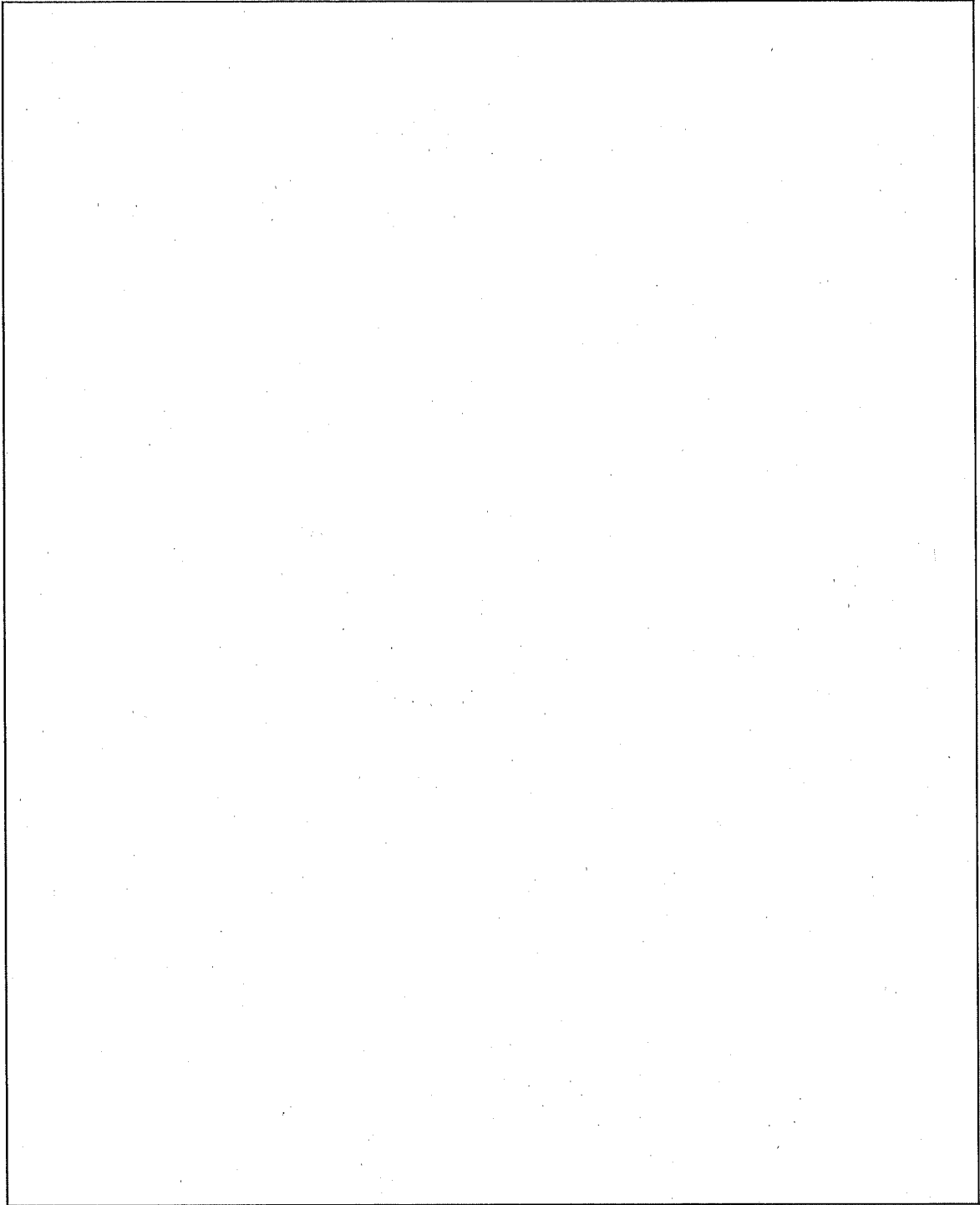
蓋と容器本体との接合部における密封性は、蓋に取り付けられている二重 O リングの により保たれる。この密封性を確認するため、二重 O リングの間に気密漏えい試験孔があり閉止プラグを取り外して試験圧力を加えられるようになっている。

また、容器本体上部の吊上金具を蓋取付時の位置決め具として使用するために、蓋には、 の溝が設けてある。蓋上面には、 の蓋吊上金具が溶接されている。

蓋吊上金具を (イ) - 第 C. 11 図 に示す。

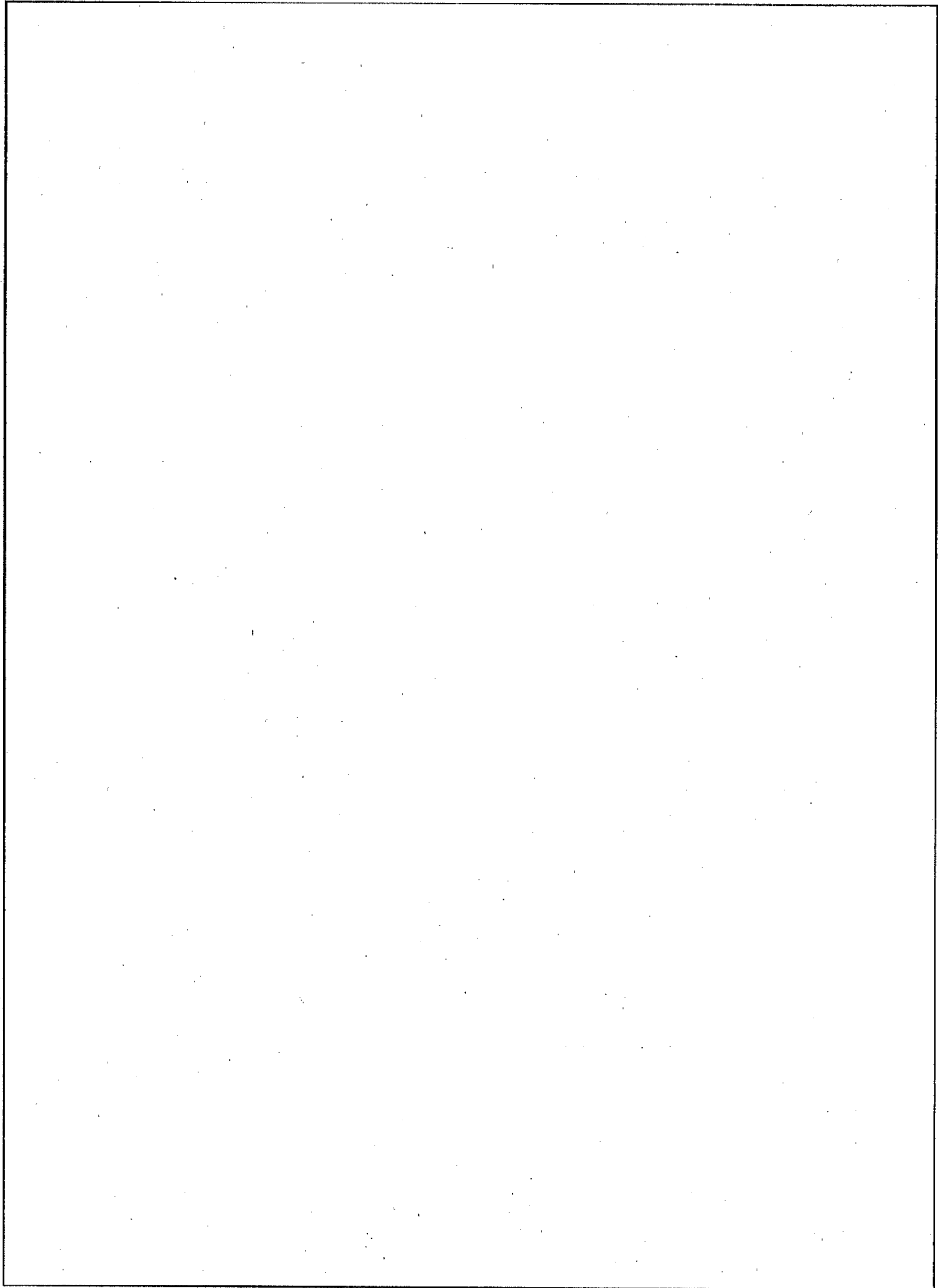


(イ) - 第 C.9 図 蓋



(イ) - 第 C.10 図 封印金具

(イ) - C-14



(イ) - 第 C. 11 図 蓋吊上金具

(イ) - C - 15

2.3 バスケット

輸送容器に装荷する収納物は、後述するように JMTR 標準燃料要素（以下「標準燃料要素」という。）、JMTR 燃料フォロワ（以下「燃料フォロワ」という。）である。

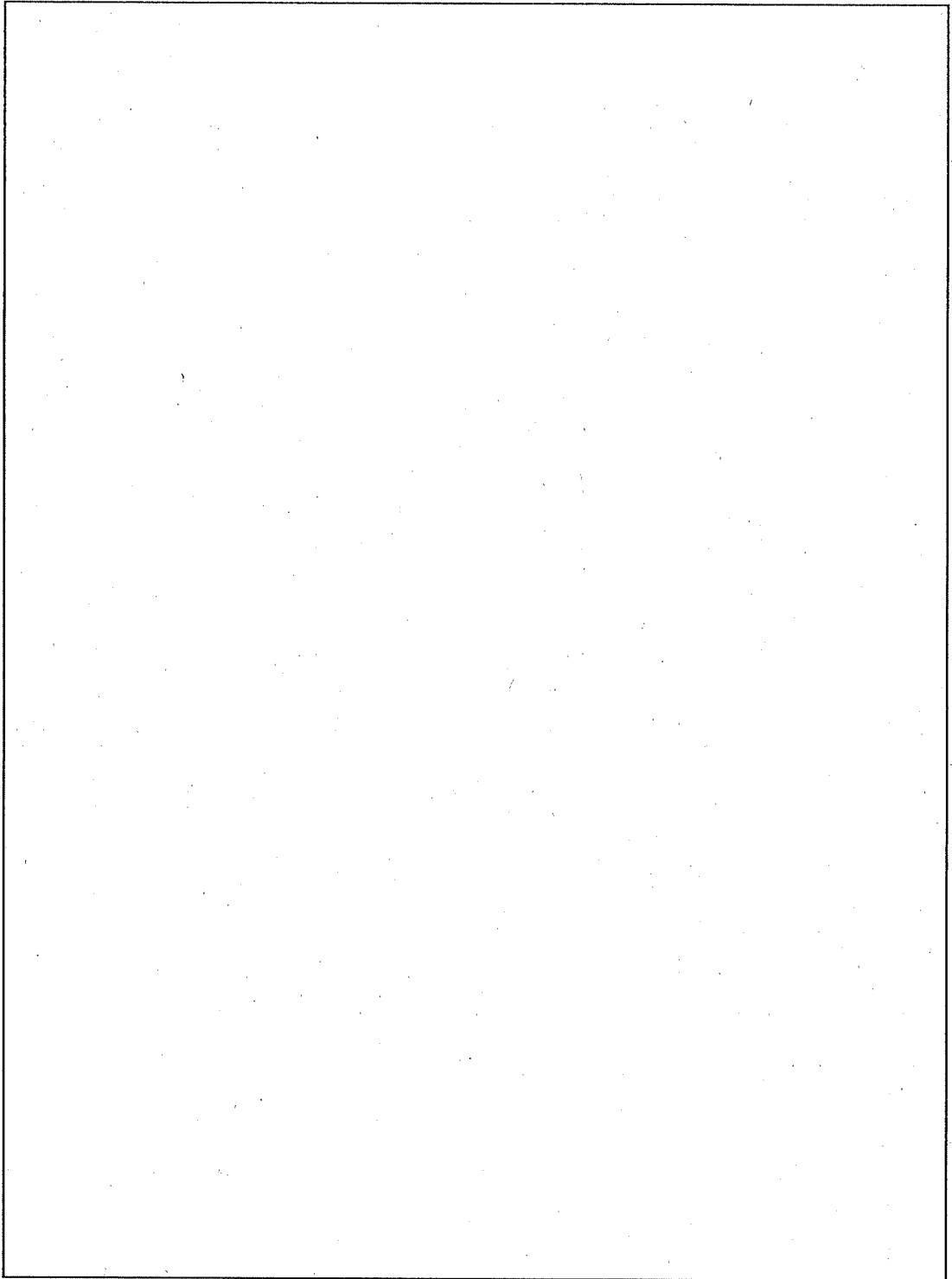
バスケットの鳥瞰図を（イ）－第 C.12 図に、また、バスケットの構造図を（イ）－第 C.13 図に示す。

バスケットは、標準燃料要素及び燃料フォロワ（以下「燃料要素」という。）を容器本体内の所定の位置に収納するためのもので、輸送中、燃料を分散あるいは集合させず、未臨界状態を保持するように設計されている。

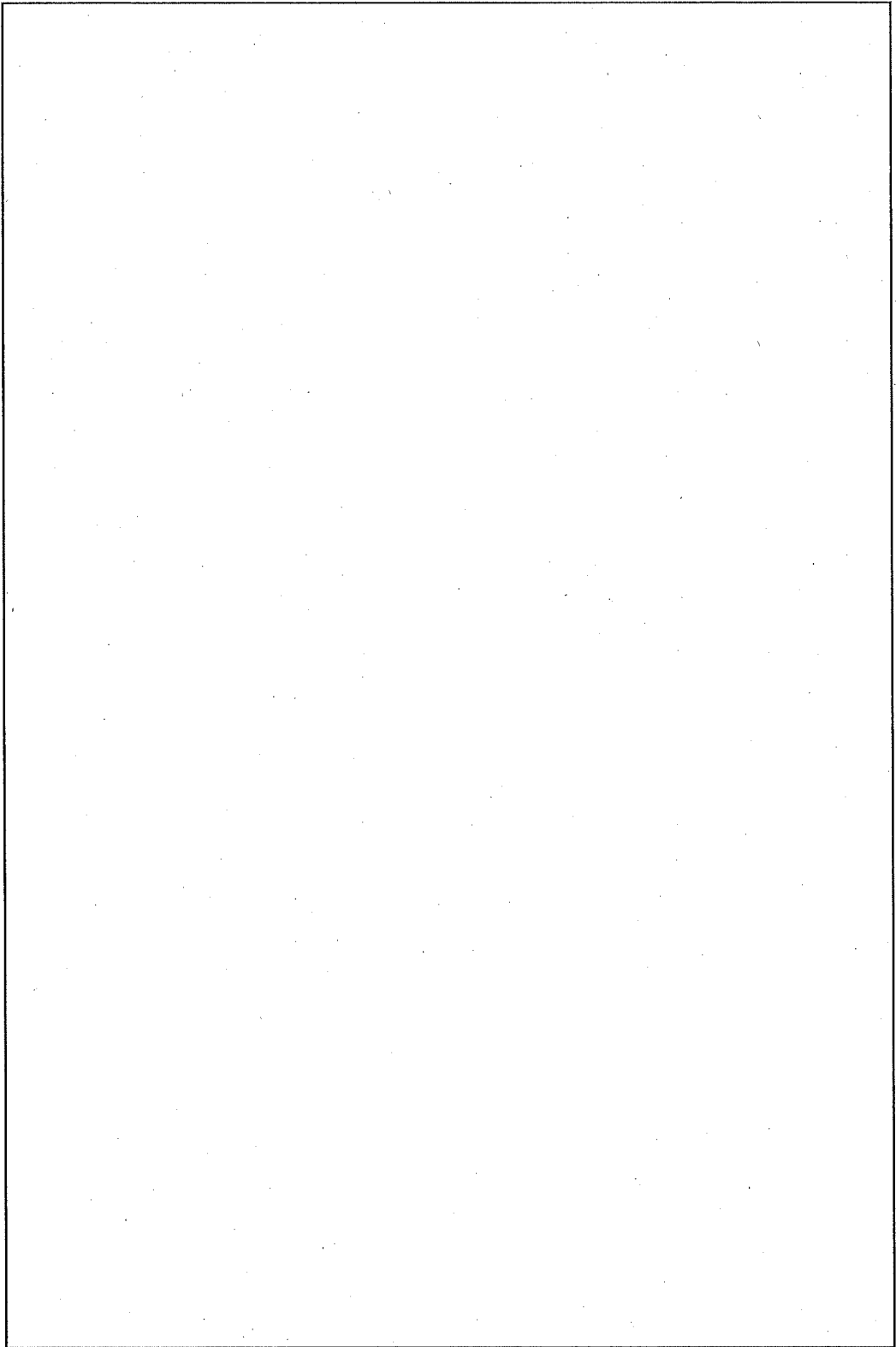
バスケットは、中性子吸収材 \square を囲むステンレス鋼板製の仕切板とステンレス鋼のみから成る区切板とで格子状に区切られた 30 本の燃料挿入孔を、ステンレス鋼製のバスケット枠組（以下「枠組」という。）で保持する構造になっている。この枠組は、遮蔽材としての効果も兼ねている。バスケットの下部には、水抜きを容易にするため下部切欠を設けている。バスケット吊り上げ時には、 \square のアイボルト(\square)を用いて吊り上げ、常時はアイボルトを取り外した状態で容器本体に収納している。バスケットの組立ては、溶接又はボルトで行っている。バスケットには、未臨界を確認するときに中性子源を挿入して使用する中性子源挿入孔を 1 箇所設けている。また、バスケットの上面には、収納した燃料要素の番地決めができるように番地用刻印がある。

燃料フォロワを収納するときは、断面寸法が標準燃料要素に比べて小さいため、バスケットの燃料挿入孔にアルミニウム合金製のスペーサを入れて使用する構造となっている。

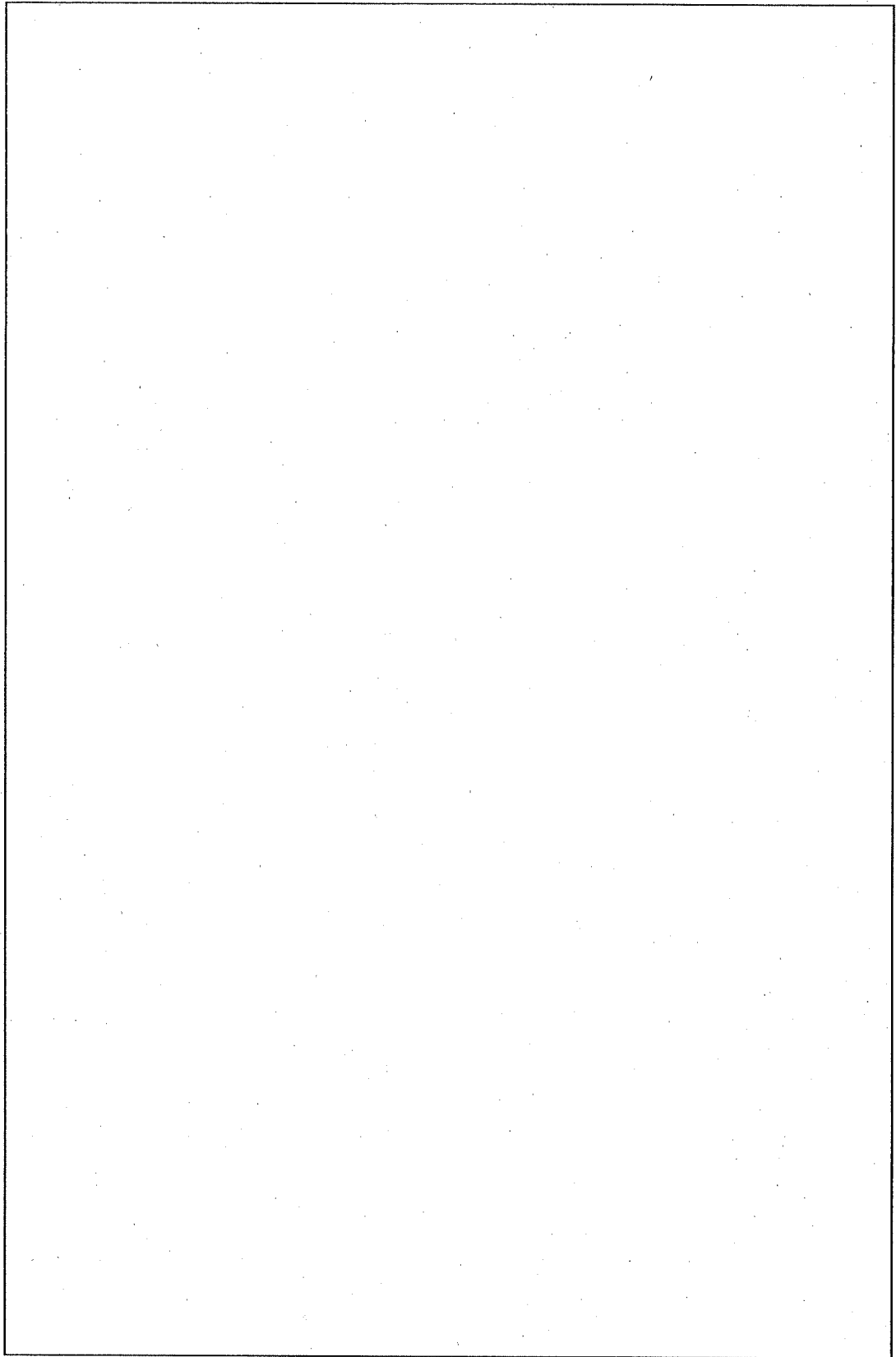
スペーサを（イ）－第 C.14 図に示す。スペーサ上部には、スペーサを取り扱うための上部切欠を設けている。また、スペーサ下部には、水抜きを容易にするための下部切欠を設けている。



(イ) - 第 C.12 図 バスケット 鳥瞰図



(イ) - 第C.13図 バスケット 構造図



(イ) - 第 C. 14 図 スペーサ

2.4 上部緩衝体及び下部緩衝体

緩衝体は、上部緩衝体及び下部緩衝体から成る。

上部緩衝体を(イ) - 第 C. 15 図に、下部緩衝体を(イ) - 第 C. 16 図に示す。これらの緩衝体は、輸送容器の蓋及び容器本体下部に、各々□の緩衝体取付ボルト(□)により固定され落下時における輸送容器に対する緩衝の役目を有する。また、緩衝体は、□
□を覆っており、特別の試験条件下において、これらの貫通部への種々の影響(落下試験時及び耐火試験時)を緩和する働きを有している。

特別の試験条件の落下試験 I (9m 垂直落下) 時の衝撃受圧面積を小さくするため、上部緩衝体及び下部緩衝体の中央部を中空にし、輸送容器及び収納物に働く最大減速度を低く抑える構造となっている。

上部緩衝体及び下部緩衝体の外形は同一寸法(外径 1875mm、高さ□)であり、ステンレス鋼製の表面被覆部及び□の緩衝部から成る。

上部緩衝体及び下部緩衝体の表面被覆部には、特別の試験条件(耐火試験時)において□より発生するガスを逃がし、緩衝体内の過大な圧力上昇を防ぐ役割をする可融栓(最大径□、長さ□、材質-□)が各々□取り付けられている。

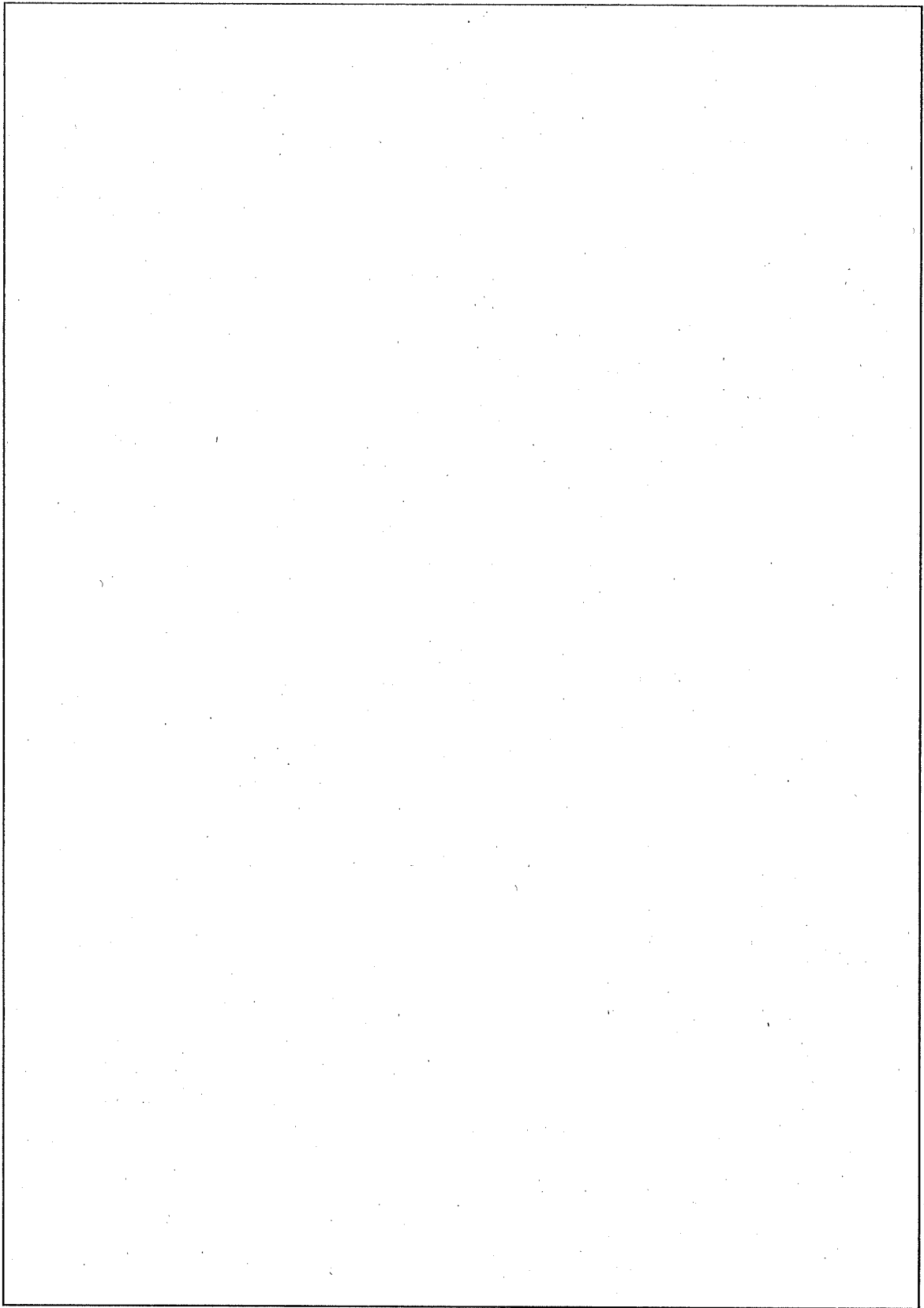
上部緩衝体には、緩衝体を吊り上げるために、緩衝体の中空部にある□の緩衝体吊上金具に直径□の孔を設けてある。□
□

下部緩衝体の吊り上げは、容器本体に緩衝体を固定するための緩衝体取付ボルト孔□
□を利用して吊り上げる。

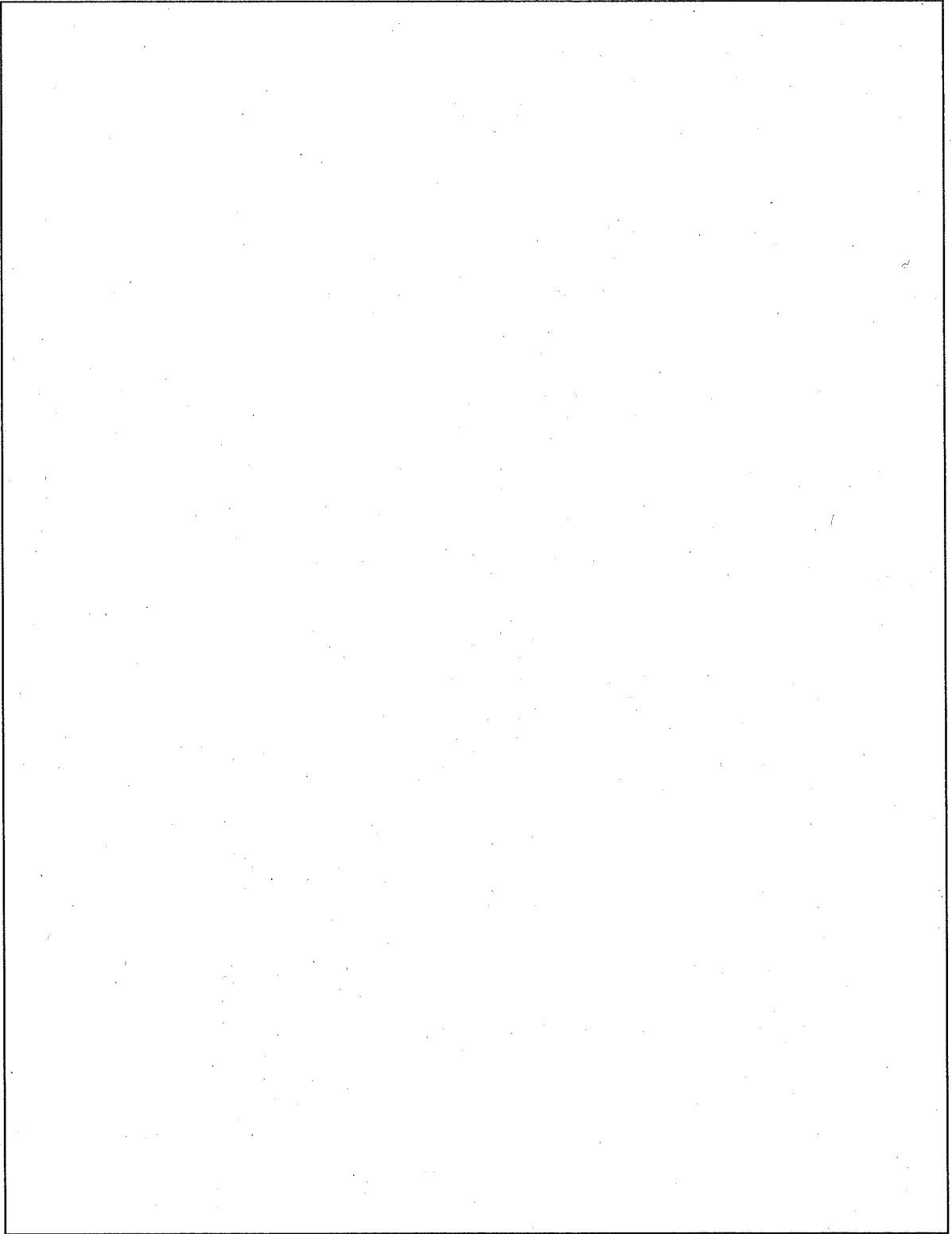
緩衝部は、□が充填されている。□は、ブロック化し、緩衝作用が最も効果的になるような積層方向をもつように充填されている。

上部緩衝体及び下部緩衝体には、人が容器本体外表面に直接触れないようにするための近接防止枠を設けている。

さらに、下部緩衝体には、収納している燃料要素から発生する崩壊熱の除去を容易にするため下部フィンが 16 枚取り付けられている。



(イ) - 第 C. 15 図 上部緩衝体



(イ) - 第 C.16 図 下部緩衝体

(イ) - 第 C.1 表 輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 1)

構成要素	主な使用材料	設計重量	外寸法 (単位: mm)
容器本体 胴及び底 フィン 吊上金具 固縛金具	ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>) ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>) ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>) ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>)		
ベントプラグ ベントプラグ本体 ベントプラグOリング ベントプラグ保護蓋 保護蓋締付ボルト	ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>) <input type="text"/> ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>) ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>)		
ドレン弁 弁本体 バルブヘッド及び ベローズ Oリング シートガスケット	ステンレス鋼 ステンレス鋼 <input type="text"/> <input type="text"/>		

(イ) ー第 C.1 表 輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 2)

構成要素	主な使用材料	設計重量	外寸法 (単位: mm)
プラグ類 気密漏えい試験孔プラグ ドレン弁接続プラグ ドレン弁締付ボルト ドレン弁保護蓋 ドレン弁保護蓋締付ボルト	ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/>		
蓋 蓋板 蓋部オリング 蓋吊上金具	ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/>		
蓋締付用ボルト 上部緩衝体	ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/>		
表面被覆材 近接防止枠 可融栓 上部緩衝体取付ボルト 緩衝材	ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="checkbox"/> 木材 <input type="checkbox"/>		








(イ) ー第 C.1 表 輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その3)

構成要素	主な使用材料	設計重量	外寸法 (単位: mm)
下部緩衝体 表面被覆材 近接防止枠 可融栓 下部緩衝体取付ボルト フィン 緩衝材	ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/> <input type="text"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/> 木材 <input type="text"/>		
バスケット 枠組 中性子吸収材 仕切板 区切板	ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/> <input type="text"/> (<input type="text"/> アルミニウム合金) ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/> ステンレス鋼 (SUS) <input type="text"/>		

(イ) ー第 C.1 表 輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その 4)

構 成 要 素	主 な 使 用 材 料	設 計 重 量	外 寸 法 (単 位 : mm)
収納物(最大重量) (1) 中濃縮ウラン燃料 1) JMTR標準燃料要素 (2) 低濃縮ウラン燃料 1) JMTR標準燃料要素 2) JMTR燃料フォロワ + スペーサ	ウランアルミニウム分散型合金 ウランシリコンアルミニウム分散型合金 ウランシリコンアルミニウム分散型合金 アルミニウム合金()		

(イ) ー第C.1表 輸送物構成要素の使用材料、重量、寸法 (その5)

構成要素	主な使用材料	設計重量	外寸法 (単位: mm)
輸送物最大総重量		18440 kg	
固縛装置 固縛棒 フォーク (容器本体側) フォーク (運搬台側) 運搬台 運搬台位置決め具 運搬台固縛金具 運搬台吊上金具 運搬台枠部及び上板	ステンレス鋼 (SUS)  ステンレス鋼 (SUS)  ステンレス鋼 (SUS)  ステンレス鋼 (SUS)  炭素鋼  炭素鋼  炭素鋼 	1960 kg 内訳 80 kg 150 kg 100 kg } 1630 kg	
輸送時総重量		20400 kg	

(イ) - D. 輸送容器の収納物

D. 輸送容器の収納物

輸送容器の収納物は、JMTR で使用した中濃縮ウラン燃料 (MEU) 及び低濃縮ウラン燃料 (LEU) である。

燃料要素には、標準燃料要素と燃料フォロワとがある (ただし、中濃縮ウラン燃料 (MEU) は標準燃料要素のみ)。燃料芯材は、中濃縮ウラン燃料 (MEU) ではウランアルミニウム分散型合金であり、低濃縮ウラン燃料 (LEU) では、ウランシリコンアルミニウム分散型合金である。

輸送容器の収納物は、濃縮度及び燃料芯材が同一の標準燃料要素の単独装荷、濃縮度及び燃料芯材が同一の燃料フォロワの単独装荷、濃縮度及び燃料芯材が同一の標準燃料要素及び燃料フォロワの混合装荷、中濃縮ウラン燃料 (MEU) と低濃縮ウラン燃料 (LEU) の混合装荷のいずれかでの収納となる。

燃料板は、燃料芯材をアルミニウム合金のフレーム及びカバー (被覆材) によりサンドイッチ成型して圧延し、所定の厚さに仕上げてから、燃料芯材位置が所定の寸法範囲になるように X 線透視によって長さ方向及び巾方向の切断位置を決めて切断し、所定寸法の燃料板とする。

燃料部は、側板又は取付板となるアルミニウム合金板に燃料板の厚さに相当する溝を組み立てる燃料板の数だけ切り、この溝に燃料板を差し込んで機械的に固定 (ロールスエージ) される。

燃料要素等は、燃料部に所定の部品を溶接等で取り付けて組み立てる。

輸送容器の収納物である燃料要素等の仕様を (イ) - 第 D.1 表に示す。

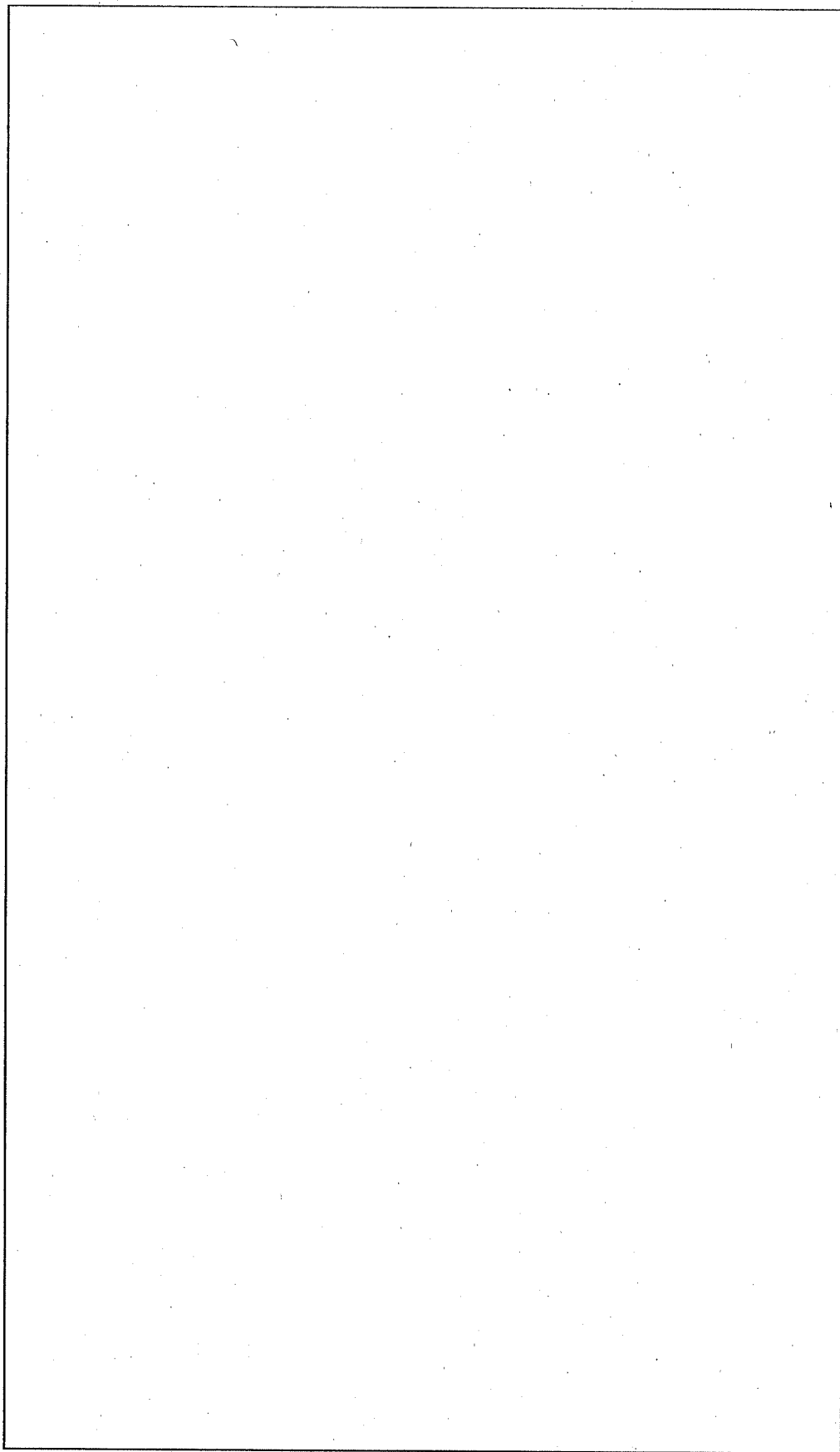
なお、燃料要素等は、再処理等並びに輸送コストの低減を主たる目的として燃料板の長手方向の中心が、収納する燃料部の中心位置に来るように、水中で燃料切断機を使用して、(イ) - 第 D.1 表中の収納時の寸法とするため上部及び下部を切断する。この燃料切断作業は輸送容器への収納作業開始前に完了している。切断後の燃料は専用の取扱具を用いて 1 体ずつ輸送容器のバスケット内に装荷される。

また、輸送物は、発送前にベントプラグ及びドレン弁を閉じ熱平衡に達した後、一旦開いて内部圧力を放射線管理区域内に解放する。その後、再びベントプラグ及びドレン弁を閉じる。

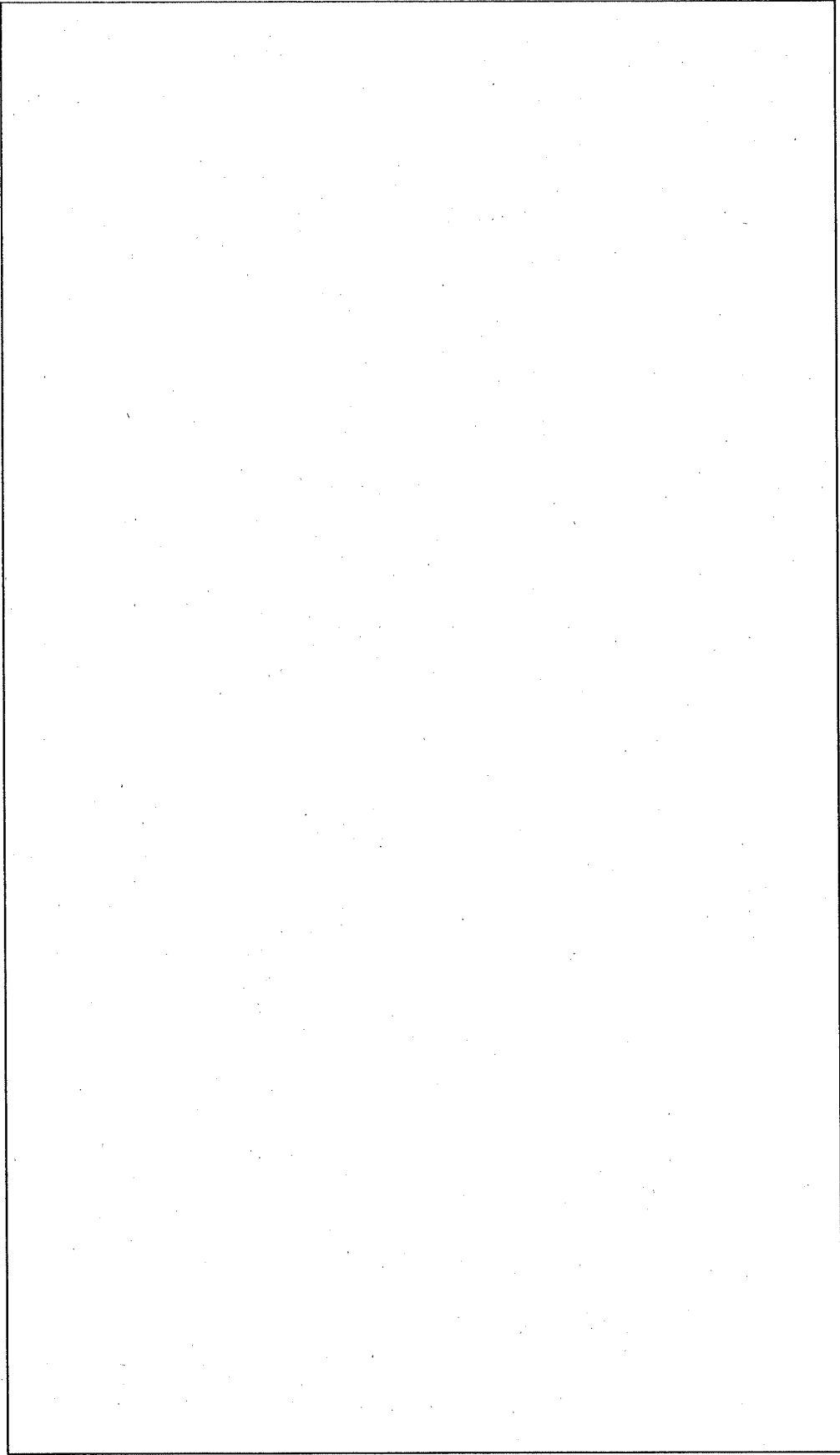
(イ) - 第 D.1 表中の JMTR で使用した燃料のなかで最大放射能を有する燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) の主要な放射性核種と放射エネルギーを (イ) - 第 D.2 表に示す。

(イ) - 第 D.1 表 燃料要素等の仕様

項目	種類	
	中濃縮ウラン燃料 (MEU)	低濃縮ウラン燃料 (LEU)
原 子 炉	JMTR	JMTR燃料フォロウ (LEU)
形 式	JMTR 板状燃料	JMTR 板状燃料
初期値		
^{235}U 濃縮度 (wt%)		
^{235}U 含有量 (g/体)		
U-含有量 (g/体)		
燃 焼 度 (%)		
冷却日数 (日)		
発熱量 (kW/30体)		
性 状	固 体	固 体
放射能		
総量 (TBq/30体)		
主要な核種 (TBq/30体)		
材 質	ウランアルミニウム分散型合金	ウランシリコンアルミニウム分散型合金
燃料芯材	アルミニウム合金	アルミニウム合金
被覆材、側板		
収納時の寸法		
幅×高さ×長さ (mm)		
参 照 図	(イ) - 第D.1図	(イ) - 第D.1図
収納時の重量 (kg/体)		
	(イ) - 第D.2図	



(イ) - 第 D.1 図 JMTTR 標準燃料要素



(イ) - 第 D. 2 図 IMTR 燃料アオロフ

(ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析

(ロ) 章 核燃料輸送物の安全解析

輸送物に関する安全解析は、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」(総理府令)(以下「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」(科学技術庁告示)(以下「告示」という。)に基づいてBU型核分裂性輸送物としての技術上の基準に適合していることを示す。

解析の概要を次に示す。また (ロ) 一第1表に一般及び特別の試験条件を示す。

1. 構造解析

構造解析の評価は、解析に基づき、法規で定める各試験条件において輸送物が十分な構造強度、熱的及び密封性等の性能を有することを確認するとともに熱及び遮蔽解析の評価を行うために必要な一般及び特別の試験条件における輸送物の状態及び健全性の評価、確認をしている。

また、輸送物はBU型核分裂性輸送物であるため、未臨界評価のために核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件における輸送物の健全性についても評価、確認をしている。

なお、特別の試験条件の落下試験Ⅰ及びⅡについては原型試験として本輸送容器の1/1のスケールモデルを使用して一連の試験を実施し、減速度、ひずみ、変形量等の測定を行い解析値と比較検討することにより評価法(計算手法、コード等)の妥当性を確認するとともに、気密漏えい検査により試験体の密封上の健全性についても確認している。

2. 熱解析

熱解析の評価は、構造解析の結果を反映して解析にて評価している。通常の輸送、一般及び特別の試験条件における輸送物各部の温度及び圧力を評価し、構造、密封、遮蔽及び臨界解析の評価を行うための条件を求めている。

また、輸送中、人が容易に近づくことができる輸送物の表面温度基準(85℃)に適合することについても評価及び確認している。

なお、特別の試験条件の耐火試験について本輸送容器の1/1のスケールモデル使用した原型試験として落下試験Ⅰ及びⅡの一連の試験を実施後に耐火試験を実施し、各部の温度の測定を行い解析値と比較検討することにより評価法(計算手法、コード等)の妥当性を確認するとともに、気密漏えい検査により試験体の密封上の健全性についても確認している。

3. 密封解析

密封解析では、前述の構造解析、熱解析の結果である諸条件と発送前検査における気密漏えい検査基準に基づいて、一般及び特別の試験条件における放射性物質の漏えい率を評価し、基準値を満足することの評価及び確認をしている。

4. 遮蔽解析

遮蔽解析では、前述の構造解析、熱解析の結果である諸条件に基づいて、通常の輸送、一般及び特別の試験条件における輸送物表面あるいは表面から 1m 離れた位置での線量当量率を評価し、基準を満足することの評価及び確認をしている。

5. 臨界解析

臨界解析では、核分裂性物質に係る核燃料輸送物の基準について評価を行い、ベンチマーク計算を行ったモンテカルロ法を用いた臨界解析計算手法により本輸送物が非損傷孤立系、損傷孤立系、非損傷配列系及び損傷配列系のいずれの場合においても臨界に達しないことの評価及び確認をしている。

6. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

核燃料輸送物に対する経年変化について考慮し、輸送物の主要材料が経年変化によって上記の解析に影響を与えないことを示している。

7. 規則及び告示に対する適合性の評価

以上の結果及び（イ）章の核燃料輸送物の説明を総合して、本輸送物の設計が規則及び告示に定める技術基準に適合していることの確認をしている。

以下、（ロ）章 A～G に各解析、評価の詳細を示す。

(ロ) - 第1表 一般及び特別の試験条件

	一般の試験条件	特別の試験条件
B U 型 輸 送 物	①熱的試験 太陽輻射熱 38℃で1週間放置 ②水吹きつけ 50mm/hの水吹きつけ(1時間) ③自由落下 0.3m自由落下 ④積み重ね試験 輸送物の5倍の荷重を24時間付加 ⑤貫通 重量6kgの軟鋼棒を1mの高さから落下	①落下試験 I 9m落下 ②落下試験 II 軟鋼棒に1mの高さから落下 ③耐火試験 800℃で30分間(太陽輻射熱負荷しつつ) ④浸漬試験 15m水中(8時間)
核 分 裂 性 輸 送 物	①水吹きつけ 50mm/hの水吹きつけ(1時間) ②自由落下 0.3m自由落下 ③積み重ね試験 輸送物の5倍の荷重を24時間付加 ④貫通 重量6kgの軟鋼棒を1mの高さから落下	①一般の試験条件より ②落下試験 I 9m落下 ③落下試験 II 軟鋼棒に1mの高さから落下 ④耐火試験 800℃で30分間(太陽輻射熱負荷しつつ) ⑤浸漬試験 0.9m水中(8時間)

A. 構造解析

A. 構造解析

本章では、輸送容器の構造強度について解析し、輸送容器が規則のBU型核分裂性輸送物に関する技術上の基準（以下「技術基準」という。）の要求を満足することを示す。

さらに、輸送容器の重要な構成要素であるバスケット及び吊上金具についても解析を行い、必要な強度を有することを確認する。

A.1 構造設計

A.1.1 概要

輸送容器は（イ）－第 C.1 図に示すような円筒形状の容器本体、蓋、上部緩衝体、下部緩衝体等により構成されている。上部緩衝体は蓋に、下部緩衝体は容器本体にそれぞれボルトで取り付けられており、緩衝体は [] をステンレス鋼板で被覆した構造で、落下時の衝撃を緩和する役目を有する。蓋は容器本体に [] のボルトで締め付けている。

容器本体と蓋の接合面には二重に [] のOリングを取り付け、容器本体内の密封性を保持できる構造となっている。ベントプラグは容器本体の上部コーナ一部、ドレン弁は容器本体の下部コーナ一部にそれぞれ設け、各々保護蓋を覆わせて、さらに上部緩衝体又は下部緩衝体で覆い落下事故等で破損が生じないように考慮されている。

容器本体の胴外周表面には、熱放散の機能を有するフィンが取り付けられている。容器本体（胴肉厚 []、底板肉厚 []）及び蓋（板厚 []）は、それぞれステンレス鋼製で、遮蔽、耐圧、耐振動、耐熱及び落下等の諸条件でも十分耐える強度を有する。

バスケットは、（イ）－第 C.12 図及び（イ）－第 C.13 図に示すような構造で、一般の試験条件下及び特別の試験条件下で変形がなく、かつ、熱膨張及び熱応力に耐え得る構造を有している。

輸送容器の吊り上げ及び吊り下げは、容器本体側面に専用の吊上金具を設けて安全に取り扱える構造になっている。また、輸送容器は専用の締め付け装置を用いて車両又は船舶に固縛装置で強固に積み付け、輸送時における加速度及び減速度にも耐えるようになっている。

輸送物の構造解析は、数値解析によって行い、さらに原型容器試験により、数値解析の妥当性を確認している。

A.1.2 設計基準

輸送容器の設計基準は、告示に従うとともに、「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年12月28日付け。通商産業省告示501号）（以下「通商産業省告示」という。）及びASME SecIII、Sub Sec NBの技術基準を準用し、各試験条件ごとに設計基準値を設ける。なお、設計基準及び機械的性質について、発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版）を用いて評価した場合においても、解析結果へ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。

(1) 設計基準

構造解析に用いる設計基準を（ロ）－第A.1表に示す。

設計基準値は、各試験条件ごとに（ロ）章A.3材料の機械的性質及び（ロ）章B、熱解析に示す温度に従い決定する。

なお、密封装置のボルトに対しては降伏応力を設計基準値とする。吊上装置は、降伏応力を設計基準値とする。貫通試験時の衝突部近傍については、耐貫通強度を設計基準値とする。

また、溶接部の溶接効率については、通商産業省告示を準用して70%とする。

その他、特別の仕様のあるものについては、その解析の都度説明する。

以下、本項で用いる設計基準値の記号の内容は次のとおりである。

Sm : 設計応力強さ

Sy : 降伏応力

Su : 引張強さ

(2) 余裕率

解析結果に対する定量的な設計基準値のあるものについては、次に示す余裕率(MS)を用いて評価する。

なお、余裕率が正であれば、解析上問題はない。

$$\text{余裕率(MS)} = \frac{\text{設計基準値}}{\text{解析結果}} - 1$$

余裕率を用いられないものについては、該当箇所に、その基準値等を記述する。

以上述べた設計基準に従い解析項目、構造設計の条件及び解析方法等をまとめたものを（ロ）－第A.2表に示す。

(ロ) - 第 A.1 表 構造解析に用いる設計基準(1/2)

要件	条件	解析項目	応力分類		1次応力強さ	1+2 次応力強さ	
			評価位置				
B U 型 輸 送 物 の 要 件	通常 の 輸 送 条 件	熱膨張・熱応力	容器本体・蓋		—	3Sm	
			バスケット		—	3Sm	
		吊上装置	本体吊上金具		Sy	—	
			蓋吊上金具				
		固縛装置	固縛金具		Sy	—	
			下部緩衝体内胴				
		圧力	容器本体・蓋		Sy	—	
	振動	輸送物		輸送中の振動に耐えられること			
	一般 の 試 験 条 件	熱的試験	容器本体・蓋		—	3Sm	
			蓋締付用ボルト		—	Sy	
			バスケット		—	3Sm	
		水噴霧	輸送物		水の吹きつけに耐えうること		
		自由落下 (0.3m)	輸送容器		(落下試験 I の解析結果から健全性を評価)		
			収納物				
		積み重ね試験	容器本体・蓋		Sy	—	
	貫通	容器本体・蓋		耐貫通強度			
	特別 の 試 験 条 件	落下試験 I	容器本体・蓋		Su	—	
			蓋締付用ボルト		Sy	—	
			バスケット		Su	—	
			燃料		Su	—	
		落下試験 II	容器本体 (衝突近傍)		耐貫通強度		
			容器本体 (上記以外)		Su	—	
		熱的試験	容器本体・蓋		—	3Sm	
			蓋締付用ボルト		—	Sy	
バスケット			—	3Sm			
浸漬		容器本体・蓋		Sy	—		

(ロ) - 第 A.1 表 構造解析に用いる設計基準(2/2)

要件	条件	解析項目	応力分類		1次応力強さ	1+2 次応力強さ
			評価位置			
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	水噴霧	輸送物		水の吹きつけに耐えうること	
		自由落下 (0.3m)	輸送容器		(落下試験 I の解析結果から健全性を評価)	
			収納物			
		積み重ね試験	容器本体・蓋		Sy	—
	貫通	容器本体・蓋		耐貫通強度		
	特別の試験条件	落下試験 I	容器本体・蓋		Su	—
			蓋締付用ボルト		Sy	—
			バスケット		Su	—
			燃料		Su	—
		落下試験 II	容器本体 (衝突近傍)		耐貫通強度	
			容器本体 (上記以外)		Su	—
		熱的試験	容器本体・蓋		—	3Sm
			蓋締付用ボルト		—	Sy
	バスケット		—	3Sm		
	浸漬	容器本体・蓋		Sy	—	

(ロ) - 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (2 / 36)

要件	条件	解析項目	参照図	材質	設計		条件		解析方法		備考
					温度	種類	設計	種類	適用数式又は要素	設計基準	
		<u>熱膨張、熱応力</u> 容器本体・蓋	(ロ) - 第A.7図	SUS <input type="text"/>	<input type="text"/> °C	初期締付力 + 温度勾配 + 内 圧	1	熱応力	ANSYS	3Sm	S _m : 設計応力強さ
		バスケット	(ロ) - 第A.8図	SUS <input type="text"/>	<input type="text"/> °C	温度勾配 温度勾配	1 1	熱膨張 熱応力	ANSYS ANSYS	隙 間 3Sm	
	通常の輸送条件	<u>3. 密封装置</u> 蓋	(ロ) - 第A.11図	SUS <input type="text"/> SUS <input type="text"/>	-	誤操作による開放	-	誤操作の可 否	緩衝体に覆われている場 合の開封の可否	否	
		ドレン弁及び ベントプラグ	(ロ) - 第A.11図	ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/> 相当)	-	誤操作による開放	-	誤操作の可 否			
		Oリング	(ロ) - 第A.11図	<input type="text"/>	-	誤操作による開放	-	誤操作の可 否			
	BU型輸送物										

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (3/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	設計種類	設計基準		通用数式又は要素	
		4. 吊上装置	(ロ) 一 第A.12図							
		本体吊上金具	(ロ) 一 第A.13図							
		溶接部	(ロ) 一 第A.13図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	容器本体 バスケット 蓋及び収納物重量	3	応力強さ	$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$ $\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$ $\tau = \frac{W}{A}$	S : 応力強さ σ_b : 曲げ応力 M : 曲げモーメント y : 中立軸からの距離 I : 溶接部断面二次モーメント τ : せん断応力 W : 荷重 A : 溶接部断面積
		穴部	(ロ) 一 第A.13図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	容器本体 バスケット 蓋及び収納物重量	3	応力強さ	$S = 2 \tau$ $\tau = \frac{T}{2A}$	S : 応力強さ τ : せん断応力 T : 張力 A : 断面積
										通常の輸送条件
										BU型輸送物

(口) 一第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (4/36)

要件	条件	解析項目	設計		条件		解析方法		備考	
			参照図	材質	温度	種類	設計	適用数式又は要素		設計基準
		蓋吊上金具	(口) 一 第A.12図	SUS	□℃	蓋重量	種類	設計	S : 応力強さ σ_t : 引張応力 W : 荷重 h_1, h_2 : 溶接部の脚長 ℓ : 溶接部の長さ σ_b : 曲げ応力 P : 荷重 L : モーメント腕長 τ : せん断応力	
		溶接部	(口) 一 第A.14図			3	負荷係数	$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$ $\sigma_t = \frac{W}{(h_1 + h_2) \cdot \ell}$ $\sigma_b = \frac{3P \cdot L}{h_1 \cdot \ell^2}$ $\tau = \frac{P}{2h_1 \cdot \ell}$		0.7Sy
	通常 of 輸送条件	穴部	(口) 一 第A.14図	SUS	□℃	蓋重量			Sy	S : 応力強さ τ : せん断応力 T : 張力 A : 断面積
	B U 型輸送物									

(ロ) ー 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (5/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			解析方法		備考										
			参照図	材質	温度	設計種類	設計基準		適用数式又は要素									
5. 固縛装置 固縛金具 溶接部	通常の輸送条件	(ロ) ー 第A.15図	SUS	□℃	加速度 { 進行方向 10G 横方向 5G 上下方向 2G	1	応力強さ	設計基準 0.7Sy	$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$ $\sigma_t = \frac{P \cdot \cos \theta}{A}$ $\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$ $\tau = \frac{P \cdot \sin \theta}{A}$	S : 応力強さ σ_t : 引張応力 P : 張力 θ : 固縛角度 A : 溶接部断面積 σ_b : 曲げ応力 M : 曲げモーメント y : 中立軸からの距離 I : 溶接部断面二次モーメント τ : せん断応力								
											(ロ) ー 第A.16図	SUS	□℃	1	応力強さ	Sy	$S = 2 \tau$ $\tau = \frac{W}{A}$	S : 応力強さ τ : せん断応力 P : 張力 A : 断面積

(ロ) ー第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (6/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			設計方法		備考			
			参照図	材質	温度	種類	設計基準		適用数式又は要素		
		6. 圧力									
		容器本体胴部	(ロ) ー 第A.18図	SUS	□℃	圧力	応力強さ	1	応力強さ $S = 2\tau$ $\tau = \frac{P \cdot a^2 \cdot b^2}{(b^2 - a^2) \cdot r^2}$	Sy	S: 応力強さ τ: せん断応力 P: 内圧 a: 容器本体胴部の内半径 b: 容器本体胴部の外半径 r: 半径 (計算位置)
	通常の輸送条件	蓋	(ロ) ー 第A.19図	SUS	□℃	圧力	応力強さ	1	$S = |\sigma_r - \sigma_z|$	Sy	S: 応力強さ σ _r : 径方向応力 σ _z : 軸方向応力
		底	(ロ) ー 第A.20図	SUS	□℃	圧力	応力強さ	1	$S = |\sigma_r - \sigma_z|$	Sy	S: 応力強さ σ _r : 径方向応力 σ _z : 軸方向応力
		蓋締付用ボルト	ー	SUS	□℃	圧力	応力強さ	1	$S = \sigma_1 + \sigma_2$ $\sigma_1 = \frac{F}{A}$ $\sigma_2 = \frac{F}{A}$	Sy	S: 応力強さ σ ₁ : 引張応力 F: 荷重 A: 断面積 σ ₂ : 引張応力 F: 初期締付力 A: 断面積
		密封	ー	ー	ー	圧力	ー	ー	気密漏えい検査	無	ー

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (7/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計種類	設計負荷	適用数式又は要素	設計基準	
	通常の輸送条件	7. 振動	(ロ) 一第A.21図	SUS	□℃	共振	固有振動	$f_n = \frac{k_1}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W \cdot \ell^4}}$	共振域	f _n :固有振動数 K ₁ :振動モードが1の時の定数 E:縦弾性係数 I:断面二次モーメント g:重力加速度 W:輸送物の重量 ℓ:輸送物の全長
	B U 型輸送物	輸送物								

(ロ) ー 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (8 / 36)

要件	条件	解析項目	設計				条件		解析方法		備考
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷	設計要素	適用数式又は要素	設計基準	
		1. 熱的試験									
		1) 熱膨張、熱応力 容器本体・蓋	(ロ) ー 第A.26図	SUS	□℃	初期縮付力 + 温度勾配 + 内 圧	1	熱応力	ANSYS	3Sm	
		蓋縮付用ボルト	(ロ) ー 第A.27図	SUS	□℃	初期縮付力 + 温度勾配 + 内 圧	1	熱応力	$S = \sigma_1 + \sigma_2$ $\sigma_1 = \frac{F}{A}$	Sy	S : 応力強さ σ_1 : 初期縮付力による引張応力 F : 初期縮付力 A : 断面積 σ_2 : 熱膨張による引張応力
		バスケット									
		軸方向 (仕切板・区切板)	(ロ) ー 第A.31図	SUS	□℃	温度勾配 温度勾配	1 1	熱膨張 熱応力	ANSYS ANSYS	隙 間 3Sm	
		径方向 (枠組)	(ロ) ー 第A.32図	SUS	□℃	温度勾配 温度勾配	1 1	熱膨張 熱応力	ANSYS ANSYS	隙 間 3Sm	
		一般の輸送条件									
		BU型輸送物									

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (9/36)

要件	条件	解析項目	設計条件				解析方法		備考	
			参照図	材質	温度	設計種類	設計基準	適用数式又は要素		
		2. 水噴霧	-	SUS <input type="checkbox"/>	常温	水噴射	1	吸収による脆化 水溜り 腐食	無 良 無	
		3. 自由落下 垂直 水平 コーナー								
	一般の輸送条件	4. 積み重ね試験 容器本体胴部	(ロ) 一 第A.39図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	自重の6倍	6	応力強さ	Sy	S : 応力強さ σ _c : 圧縮応力 W : 圧縮荷重 A : 圧縮面積

落下試験 I の解析結果により評価する。

$$S = \sigma_c$$

$$\sigma_c = \frac{W}{A}$$

(ロ) ー第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (10/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考
			参照図	材質	温度	種類	設計	適用数式又は要素	設計基準	
		蓋	(ロ) ー 第 A.40 図	SUS <input type="text"/>	<input type="text"/> °C	自重の6倍	6	応力強さ	$S = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2}$ $P = \frac{W}{A}$ $S = \sqrt{\frac{3P \cdot a^2}{8h^2} (3 + \nu)}$	Sy S : 応力強さ σ_x : 径方向応力 σ_z : 軸方向応力 P : 等分布荷重 W : 荷重 A : 支持面積 a : 蓋の支持半径 ν : ポアソン比 h : 厚さ
		5. 貫通	ー	SUS <input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	貫通	$t = \sqrt{\frac{E_k}{C_1 \cdot C_2 \cdot \pi \cdot d \cdot \sigma}}$	t : 最小貫通厚み t _{min} : 最小緩衝体 表面被覆材 厚み E _k : 落下エネルギー C ₁ : 絞り比に関する 係数 C ₂ : 係数 d : 軟鋼棒の直径 σ : 引張応力
		6. 角又は縁落								本項は該当しない。

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (11/36)

要件	条件	解析項目	設計条件				解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	設計種類	荷負係数	荷要素		適用数式又は要素	設計基準
		1. 落下試験I 1) 垂直落下 容器本体胴部	(ロ) 一 第A.43図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su	S: 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F: 胴に働く慣性力 A: 断面積
	特別の輸送条件	蓋	(ロ) 一 第A.45図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	Su	
		蓋部オリング	(ロ) 一 第A.47図	□	□℃	落下エネルギー	1	伸び	ANSYS	δa	δa : つぶれ代
		蓋締付用ボルト	(ロ) 一 第A.48図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_1 + \sigma_2$ $\sigma_1 = \frac{F}{A}$ σ_2 : ANSYSの結果から引用	Sy	S: 応力強さ σ_1 : 初期締付力による引張応力 F: 初期締付力 A: 断面積 σ_2 : 落下時に生じる引張応力

(ロ) ー 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (12/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	種類	設計	負荷	適用数式又は要素		設計基準	
		バスケット	(ロ) ー 第A.51図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	S = σ_c $\sigma_c = \frac{F_1}{A_1}$	Su	S : 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F ₁ : 枠組の重量による慣性力 A ₁ : 枠組の受圧面積	
		仕切板・区切板	(ロ) ー 第A.52図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	S = σ_c $\sigma_c = \frac{F_2}{A_2}$	0.7Su	S : 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F ₂ : 仕切板・区切板の重量による慣性力 A ₂ : 仕切板・区切板の受圧面積	
要件												特別の輸送条件
												B U 型輸送物

(ロ) - 第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (13/36)

要件	条件	解析項目	設計				条件		解析方法		備考
			参照図	材質	温度	種類	設計種類	設計要素	適用数式又は要素	設計基準	
		収納物(JMTR) 標準燃料要素 側板	(ロ) - 第A.53図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su	S : 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F : 慣性力 A : 受圧面積
		燃料板	(ロ) - 第A.53図	<input type="text"/>	-	落下エネルギー	1	脱落	$F = 9.8W \cdot Gv$	Fa	Fa : 結合強度 F : 慣性力 W : 重量 Gv : 垂直落下時の 最大減速度
		燃料プオロフ 側板	(ロ) - 第A.54図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su	S : 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F : 慣性力 A : 受圧面積
		燃料板	(ロ) - 第A.54図	<input type="text"/>	-	落下エネルギー	1	脱落	$F = 9.8W \cdot Gv$	Fa	Fa : 結合強度 F : 慣性力 W : 重量 Gv : 垂直落下時の 最大減速度

特別の輸送条件

B U 型輸送物

(ロ) ー 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (14/36)

要件	条件	解析項目	参照図	設計条件		解析方法		備考			
				材質	温度	設計種類	負荷係数		荷要素	適用数式又は要素	設計基準
B U 型 輸 送 物	特別の輸送条件	ドレン弁	(ロ) ー 第A.55図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2\tau$ $\tau = \frac{F}{A}$	Sy	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : せん断力 A : 断面積
		ベントプラグ	(ロ) ー 第A.55図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2\tau$ $\tau = \frac{F}{A}$	Sy	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : せん断力 A : 断面積

(ロ) ー 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (15/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	種類	設計種類	負荷係数	要素		適用数式又は要素	設計基準
		2) 水平落下 容器本体胴部	(ロ) ー 第A.60図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$ $\sigma_b = \frac{M_{max} \cdot e}{I}$ $\tau = \frac{F}{A}$	Su	S : 応力強さ σ _b : 曲げ応力 τ : せん断応力 M _{max} : 最大曲げモーメント I : 断面二次モーメント e : 中立軸から端面までの長さ F : 慣性力 A : 断面積	
	特別の輸送条件	バスケット 仕切板・区切板	(ロ) ー 第A.61図									
		0° 方向水平落下	(ロ) ー 第A.62図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su		
		36° 方向水平落下	(ロ) ー 第A.64図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su		
		90° 方向水平落下	(ロ) ー 第A.66図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su		
		枠組										
		0° 方向水平落下	(ロ) ー 第A.68図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su		
		90° 方向水平落下	(ロ) ー 第A.70図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su		

(ロ) ー第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (16/36)

要件	条件	解析項目	設計		条件		解析方法		備考	
			参照図	材質	温度	設計種類	設計負荷	適用数式又は要素		設計基準
		収納物(JMTR) 標準燃料要素 側板	(ロ) ー 第A.72図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	I	応力強さ	S = σ_c $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su S : 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F : 慣性力 A : 受圧面積
		燃料板	(ロ) ー 第A.73図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	I	応力強さ	S = σ_b $\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$	Su S : 応力強さ σ_b : 曲げ応力 M : 最大曲げモーメント e : 中立軸から端面までの距離 I : 断面二次モーメント
		燃料フォロワ 側板	(ロ) ー 第A.74図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	I	応力強さ	S = σ_c $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su S : 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F : 慣性力 A : 受圧面積
		燃料板	(ロ) ー 第A.75図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	I	応力強さ	S = σ_b $\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$	Su S : 応力強さ M : 最大曲げモーメント σ_b : 曲げ応力 e : 中立軸から端面までの距離 I : 断面二次モーメント

特別の輸送条件

BU型輸送物

(ロ) - 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (I7/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	設計種類	設計荷		適用数式又は要素	設計基準
BU型輸送物	特別の輸送条件	ドレン弁及びベントプラグ ドレン弁締付ボルト	(ロ) - 第A.76図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2\tau$ $\tau =$ $1.814D(d + 0.2165P - D) \left(\frac{L}{P} - 0.5 \right)$	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : 引張力 D : めねじの内径 d : 呼び径 P : ネジピッチ L : 有効ネジ長さ
		ベントプラグめねじ部	(ロ) - 第A.76図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2\tau$ $\tau =$ $1.814D(d + 0.2165P - D) \left(\frac{L}{P} - 0.5 \right)$	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : 引張力 D : めねじの内径 d : 呼び径 P : ネジピッチ L : 有効ネジ長さ

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (18/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考
			参照図	材質	温度	種類	設計	負荷	適用数式又は要素		設計基準
		3) コーナ落下蓋縮付用ボルト	(ロ) 一 第A.79図	SUS	□C	落下エネルギー	I	応力強さ	Sy	S: 応力強さ σ ₁ : 初期縮付力による引張応力 σ ₂ : コーナ落下時の引張応力 σ ₃ : 圧力による引張応力 F ₁ : 初期縮付力 A: 断面積 M: 慣性力によるモーメント C: 最も離れたボルトまでの距離 I: 断面二次モーメント F ₂ : 圧力による荷重
		ドレン弁縮付ボルト	(ロ) 一 第A.80図	SUS	—	落下エネルギー	I	垂直落下、水平落下との比較により評価する。		
		ベントプラグ	(ロ) 一 第A.81図	SUS	—	落下エネルギー	I	垂直落下、水平落下との比較により評価する。		

特別の輸送条件

BU型輸送物

(ロ) - 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (19/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			解析方法		備考	
			参照図	材質	温度	設計種類	設計基準		適用数式又は要素
		4) 傾斜落下	(ロ) - 第 A.82 図	SUS <input type="checkbox"/>	—	落下エネルギー	1	垂直落下、水平落下、コーナー落下との比較により評価する。	
	特別の輸送条件								
	B U 型輸送物								

(ロ) - 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (21/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考	
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷	適用式又は要素	設計基準		
		3. 熱的試験									
		1) 熱膨張、熱応力 容器本体・蓋	(ロ) - 第A.101図	SUS	□°C	初期締付力 + 温度勾配 + 内圧	1	熱応力	ANSYS	3Sm	
		蓋締付用ボルト	(ロ) - 第A.102図	SUS	□°C	初期締付力 + 温度勾配 + 内圧	1	熱応力	$S = \sigma_1 + \sigma_2$ $\sigma_1 = \frac{F}{A}$	Sy	S : 応力強さ σ_1 : 初期締付力による引張応力 σ_2 : 熱膨張による引張応力 F : 初期締付力 A : 断面積
		蓋部オリング	(ロ) - 第A.106図	□	□°C	温度勾配	1	伸び	ANSYS	δa	δa : つぶれ代
		バスケット 軸方向 (仕切板・区切板)	(ロ) - 第A.107図	SUS	□°C	温度勾配	1	熱膨張	ANSYS	隙	
		径方向 (枠組)	(ロ) - 第A.108図	SUS	□°C	温度勾配	1	熱膨張	ANSYS	3Sm	
						温度勾配	1	熱膨張	ANSYS	隙	
						温度勾配	1	熱膨張	ANSYS	3Sm	

特別の輸送条件
BU型輸送物

(ロ) 一第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (23/36)

要件	条件	解析項目	設計				条件		解析方法		備考	
			参照図	材質	温度	種類	設計種類	設計要素	適用数式又は要素	設計基準		
												負荷	要素
		1. 水噴霧	—	SUS	常温	水噴射	1	吸収による脆化 水溜り 腐食	吸収性 水切り 材質	無 良 無		
		2. 自由落下 垂直 水平 コーナー										落下試験 I の解析結果により評価する。

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (24/36)

要件	条件	解析項目	設計条件				解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷係数	荷要素		適用数式又は要素	設計基準
		3. 積み重ね試験 容器本体胴部	(ロ) 一 第A.39図	SUS	□℃	自重の6倍	6	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{W}{A}$	Sy	S : 応力強さ σ _c : 圧縮応力 W : 圧縮荷重 A : 圧縮面積
		蓋	(ロ) 一 第A.40図	SUS	□℃	自重の6倍	6	応力強さ	$S = |\sigma_r - \sigma_z|$ $P = \frac{W}{A}$ $S = \left| -\frac{3P \cdot a^2}{8h^2} (3 + \nu) \right|$	Sy	S : 応力強さ σ _r : 径方向応力 σ _z : 軸方向応力 P : 等分布荷重 W : 荷重 A : 支持面積 a : 蓋の支持半径 ν : ポアソン比 h : 厚さ
		4. 貫通	—	SUS	□℃	落下エネルギー	1	貫通	$t = \sqrt{\frac{E_k}{C_1 \cdot C_2 \cdot \pi \cdot d \cdot \sigma}}$	t < t _{Min}	t : 最小貫通厚み t _{Min} : 最小緩衝体 表面被覆材厚み E _k : 落下エネルギー C ₁ : 絞り比に関する係数 C ₂ : 係数 d : 軟鋼棒の直径 σ : 引張応力

一般の試験条件
核分裂性輸送物

(ロ) ー 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (25/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計種類	設計負荷	適用数式又は要素	設計基準	
		1. 落下試験 I								
		1) 垂直落下 容器本体胴部	(ロ) ー 第 A.43 図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su S : 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F : 胴に働く慣性力 A : 断面積
		蓋	(ロ) ー 第 A.45 図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	Su
		蓋部オリング	(ロ) ー 第 A.47 図	□	□℃	落下エネルギー	1	伸び	ANSYS	δa
		蓋締付用ボルト	(ロ) ー 第 A.48 図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_1 + \sigma_2$ $\sigma_1 = \frac{F}{A}$ σ_2 : ANSYSの結果から引用	Sy S : 応力強さ σ_1 : 初期締付力による引張応力 F : 初期締付力 A : 断面積 σ_2 : 落下時に生じる引張応力

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (27/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計種類	設計負荷	適用数式又は要素	設計基準	
		収納物(JMTR) 標準燃料要素 側板	(ロ) 一 第A.53図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	S: 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F: 慣性力 A: 受圧面積
		燃料板	(ロ) 一 第A.53図	<input type="text"/>	—	落下エネルギー	1	脱落	$F = 9.8W \cdot Gv$	Fa: 結合強度 F: 慣性力 W: 重量 Gv: 垂直落下時の 最大減速度
		燃料フオロド 側板	(ロ) 一 第A.54図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	S: 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F: 慣性力 A: 受圧面積
		燃料板	(ロ) 一 第A.54図	<input type="text"/>	—	落下エネルギー	1	脱落	$F = 9.8W \cdot Gv$	Fa: 結合強度 F: 慣性力 W: 重量 Gv: 垂直落下時の 最大減速度

(ロ) ー 第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (28/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	設計種類	設計要素		適用数式又は要素	設計基準
核分裂性輸送物	特別の試験条件	ドレン弁	(ロ) ー 第A.55図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2\tau$ $\tau = \frac{F}{A}$ Sy	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : せん断力 A : 断面積
		ベントプラグ	(ロ) ー 第A.55図	SUS	□℃	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2\tau$ $\tau = \frac{F}{A}$ Sy	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : せん断力 A : 断面積

(ロ) 一第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (29/36)

要件	条件	解析項目	参照図	設計			条件		解析方法		備考
				材質	温度	種類	設計	負荷	適用数式又は要素	設計基準	
		2) 水平落下 容器本体胴部	(ロ) 一 第A.60図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$	Su	S : 応力強さ σ_b : 曲げ応力 τ : せん断応力 M_{max} : 最大曲げ モーメント I : 断面二次 モーメント e : 中立軸から端面 までの長さ F : 慣性力 A : 断面積
	特別の試験条件	バスケット	(ロ) 一 第A.61図						$\sigma_b = \frac{M_{max} \cdot e}{I}$		
	核分裂性輸送物	仕切板・区切板							$\tau = \frac{F}{A}$		
		0° 方向水平落下	(ロ) 一 第A.62図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su	
		36° 方向水平落下	(ロ) 一 第A.64図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su	
		90° 方向水平落下	(ロ) 一 第A.66図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su	
		枠組									
		0° 方向	(ロ) 一 第A.68図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su	
		90° 方向水平落下	(ロ) 一 第A.70図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	ANSYS	0.7Su	

(ロ) ー第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (30/36)

要件	条件	解析項目	設計条件		解析方法		備考				
			参照図	材質	温度	設計種類		設計基準	適用数式又は要素		
核分裂性輸送物 特別の試験条件		収納物(JMTR) 標準燃料要素 側板	(ロ) ー 第A.72図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su	S: 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F: 慣性力 A: 受圧面積
		燃料板	(ロ) ー 第A.73図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_b$ $\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$	Su	S: 応力強さ σ_b : 曲げ応力 M: 最大曲げモーメント e: 中立軸から端面までの距離 I: 断面二次モーメント
		燃料フロロワ 側板	(ロ) ー 第A.74図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_c$ $\sigma_c = \frac{F}{A}$	Su	S: 応力強さ σ_c : 圧縮応力 F: 慣性力 A: 受圧面積
		燃料板	(ロ) ー 第A.75図	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_b$ $\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$	Su	S: 応力強さ M: 最大曲げモーメント σ_b : 曲げ応力 e: 中立軸から端面までの距離 I: 断面二次モーメント

(ロ) 一第A.2表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (31/36)

要件	条件	解析項目	設計条件		解析方法		備考			
			参照図	材質	温度	設計種類		設計基準		
核分裂性輸送物	特別の試験条件	ドレン弁及びベントプラグ ドレン弁締付ボルト	(ロ) 一 第A.76図	SUS	□℃	落下エネルギー 1	応力強さ 1	適用数式又は要素 $S = 2\tau$ $\tau =$ $1.814D(d+0.2165P-D) \left(\frac{L}{P} - 0.5 \right)$	設計基準 Sy	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : 引張力 D : めねじの内径 d : めねじ径 P : ネジピッチ L : 有効ネジ長さ
		ベントプラグねじ部	(ロ) 一 第A.76図	SUS	□℃	落下エネルギー 1	応力強さ 1	適用数式又は要素 $S = 2\tau$ $\tau =$ $1.814D(d+0.2165P-D) \left(\frac{L}{P} - 0.5 \right)$	設計基準 Sy	S : 応力強さ τ : せん断応力 F : 引張力 D : めねじの内径 d : めねじ径 P : ネジピッチ L : 有効ネジ長さ

(ロ) ー第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (32/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考						
			参照図	材質	温度	種類	設計	負荷	通用数式又は要素		設計基準					
核分裂性輸送物 特別の試験条件		3) コーナ-落下 蓋締付用ボルト	(ロ) ー 第A.79図	SUS	□°C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ $\sigma_1 = \frac{F_1}{A}$ $\sigma_2 = \frac{M \cdot C}{I}$ $\sigma_3 = \frac{F_2}{A}$	Sy S : 応力強さ σ ₁ :初期締付力による引張応力 F ₁ :初期締付力 A :断面積 σ ₂ :コーナ-落下時の引張応力 M :慣性力によるモーメント I :断面二次モーメント C :最も離れたボルトまでの距離 σ ₃ :圧力による引張応力 F ₂ :圧力による荷重						
											(ロ) ー 第A.80図	SUS	-	落下エネルギー	1	垂直落下、水平落下との比較により評価する。

(口) - 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (33/36)

要件	条件	解析項目	参照図	設計条件			解析方法		備考	
				材質	温度	設計種類	負荷係数	荷要素		適用数式又は要素	設計基準
		2. 落下試験 II								
		1) 垂直落下 蓋	(口) - 第 A.87 図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = |\sigma_r - \sigma_z|$ Su	S : 応力強さ σ_r : 径方向応力 σ_z : 軸方向応力
		2) 水平落下 容器本体胴部	(口) - 第 A.89 図	SUS <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> °C	落下エネルギー	1	応力強さ	$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$ $\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$ $\tau = \frac{F}{A}$ Su	S : 応力強さ σ_b : 曲げ応力 M : 曲げモーメント I : 断面二次 モーメント e : 中立軸から端面 までの距離 F : 慣性力 A : 断面積 τ : せん断応力
		3) コーナ一落下	(口) - 第 A.91 図	SUS <input type="checkbox"/>	-	落下エネルギー	1		落下試験 I との比較に より評価する。	

(ロ) 一第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (34/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			解析方法		備考		
			参照図	材質	温度	種類	設計基準		適用数式又は要素	
		4) 傾斜落下	—	SUS <input type="checkbox"/>	—	落下エネルギー	負荷係数	1	コーナー落下との比較により評価する。	

特別の試験条件

核分裂性輸送物

(ロ) - 第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (35/36)

要件	条件	解析項目	設計			条件		解析方法		備考	
			参照図	材質	温度	種類	設計基準	適用数式又は要素			
		3. 熱的試験									
		1) 熱膨張、熱応力 容器本体・蓋	(ロ) - 第A.101図	SUS	□°C	初期縮付力 + 温度勾配 + 内圧	1	熱応力	ANSYS	3Sm	
		蓋締付用ボルト	(ロ) - 第A.102図	SUS	□°C	初期縮付力 + 温度勾配 + 内圧	1	熱応力	$S = \sigma_1 + \sigma_2$ $\sigma_1 = \frac{F}{A}$	Sy	S: 応力強さ σ_1 : 初期縮付力による引張応力 σ_2 : 熱膨張による引張応力 F: 初期縮付力 A: 断面積
		蓋部Oリング	(ロ) - 第A.106図		□°C	温度勾配	1	伸び	ANSYS	δa	δa : つぶれ代
		バスケット 軸方向 (仕切板・区切板)	(ロ) - 第A.107図	SUS	□°C	温度勾配	1	熱膨張	ANSYS	隙間	
		径方向 (枠組)	(ロ) - 第A.108図	SUS	□°C	温度勾配	1	熱応力	ANSYS	3Sm	
						温度勾配	1	熱膨張	ANSYS	隙間	
						温度勾配	1	熱応力	ANSYS	3Sm	

(ロ) ー第 A.2 表 解析項目、構造設計の条件及び解析方法 (36/36)

要件	条件	解析項目	設計条件			解析方法		備考				
			参照図	材質	温度	種類	設計負荷		適用数式又は要素	設計基準		
		4. 浸漬										
		1) 水深 0.9m										
		容器本体胴部	(ロ) ー 第A.116図	SUS	℃	外 圧	1	応力強さ	$S = |\sigma_t - \sigma_r|$	Sy	S : 応力強さ σ_t :周方向応力 σ_r :径方向応力	
		蓋	(ロ) ー 第A.117図	SUS	℃	外 圧	1	応力強さ	$S = |\sigma_r - \sigma_z|$	Sy	S : 応力強さ σ_r :径方向応力 σ_z :軸方向応力	
		底	(ロ) ー 第A.118図	SUS	℃	外 圧	1	応力強さ	$S = |\sigma_r - \sigma_z|$	Sy	S : 応力強さ σ_r :径方向応力 σ_z :軸方向応力	
		蓋締付用ボルト		SUS	℃	初期締付力 + 外圧	1	応力強さ	$S = |\sigma_1 - \sigma_p|$	Sy	S : 応力強さ σ_1 :初期締付応力 σ_p :外圧による応力	
		ベントプラグ	(ロ) ー 第A.119図	SUS	℃	外 圧	1	応力強さ	$S = |\sigma_r - \sigma_z|$	Sy	S : 応力強さ σ_r :径方向応力 σ_z :軸方向応力	
		ドレン弁	(ロ) ー 第A.120図	ステンレス鋼 (SUS相当)	℃	外 圧	1	応力強さ	$S = |\sigma_t - \sigma_z|$	Sy	S : 応力強さ σ_t :周方向応力 σ_z :軸方向応力	

A.2 重量及び重心

輸送物の重量を(口)－第A.3表に示す。なお、落下試験の解析において、最大変形量を求める場合は、輸送物の最大重量18440kg、また、最大減速度を求める場合には、輸送物の重量[]とし最大減速度が大きくなるように安全側となる値を用いる。

また、燃料を収納した場合の輸送物の重心位置を(口)－第A.1図に示す。

(口)－第A.3表 輸送物の重量(その1)

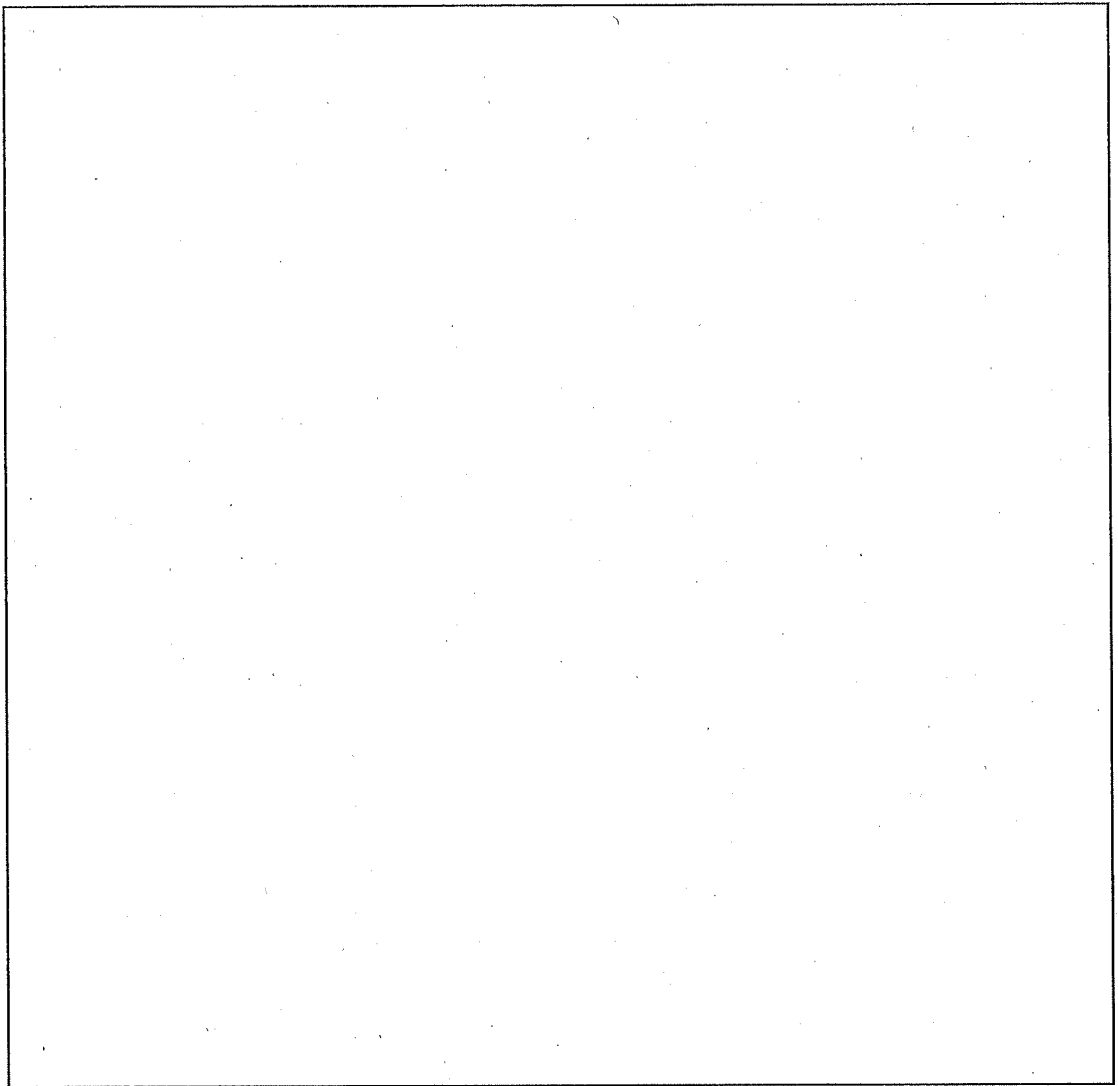
項目	重量 (kg)
①輸送容器本体	18110
<①内訳>	<内訳>
容器本体	
蓋	
蓋締付用ボルト	
上部緩衝体及び下部緩衝体	
バスケット	
②収納物(30体:最大)※1	
輸送物(①②)合計(最大)	18440
③固縛装置	1960
輸送時(①②③)合計(最大)	20400

※1: JMTR 燃料フォロワ(LEU)にスペーサ重量を加算した値であり、収納物の中で最大の重量となる。

(口) - 第 A.3 表 輸送物の重量 (その 2)

原子炉	J M T R		
	MEU燃料	LEU燃料	
収納物	標準燃料要素	標準燃料要素	燃料フォロー
30体の重量 (kg)			

※1: 燃料フォロー重量 、スペーサ重量 の合計



(口) - 第 A.1 図 輸送物の重心位置

A.3 材料の機械的性質

輸送容器に用いられる主要材料の機械的性質を (口) - 第 A.4 表 に示す。また、上部緩衝体及び下部緩衝体に使用する の変形応力図を (口) - 第 A.2 図 に示す。

各材料の機械的性質の温度依存性を (口) - 第 A.3 図 ~ (口) - 第 A.6 図 に示す。

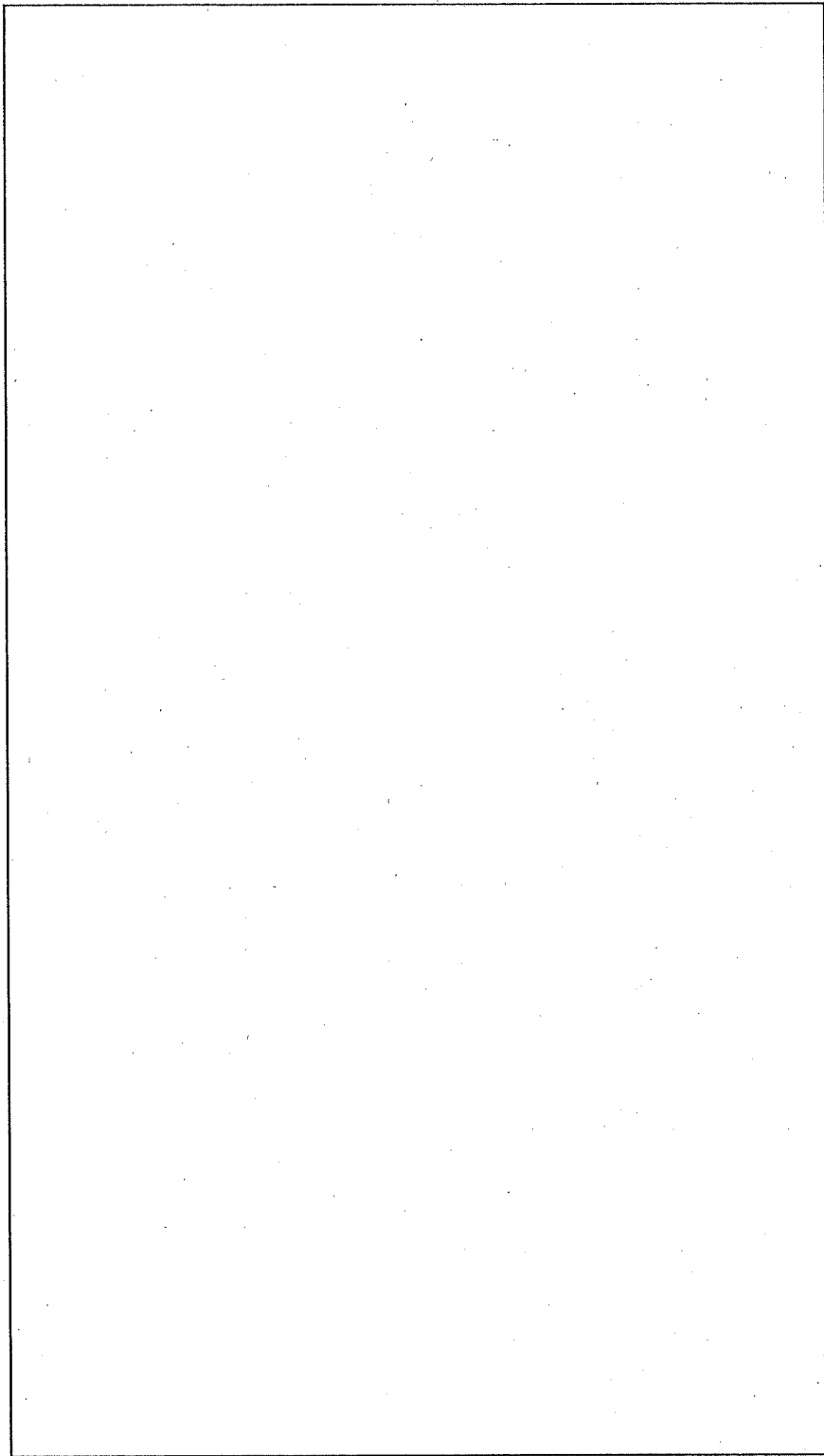
これらの値は、日本産業規格 (JIS) 、独規格 (DIN) 、米規格 (ASTM) 、通商産業省告示等に基づいている。

(ロ) 一第 A.4 表 主要材料の機械的性質 (常温) (その 1)

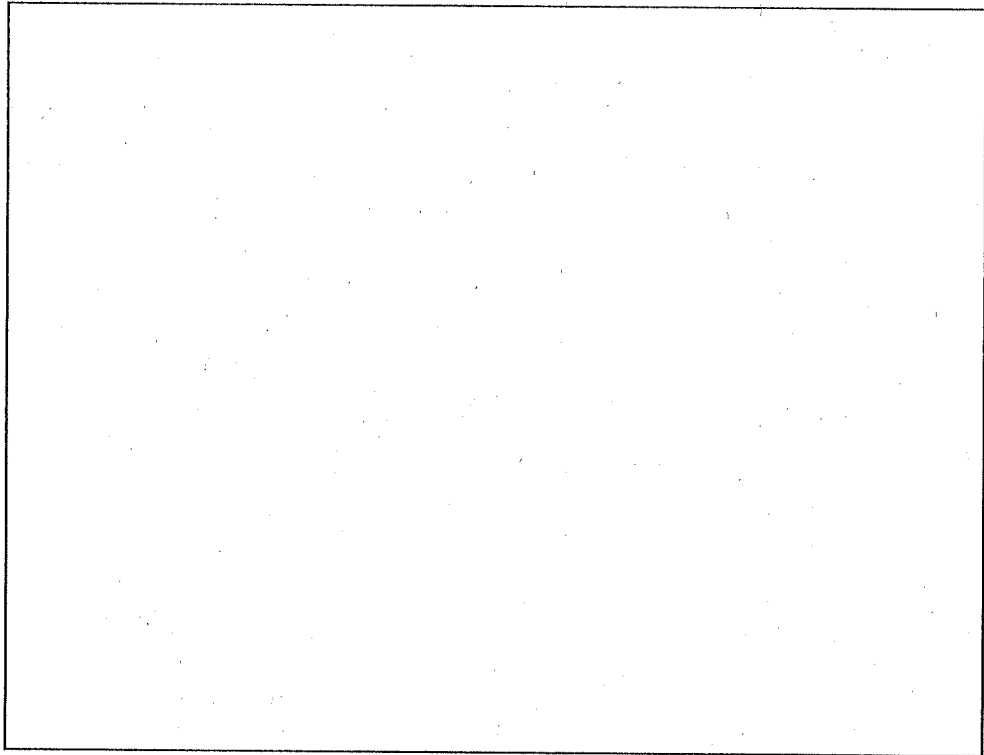
構成要素	材 質	縦弾性係数 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	線膨張係数 (mm/mm°C)	備 考					
容器本体、蓋、 固縛金具	蓋吊上金具、 本体吊上金具 フィン										
							充填材				
緩衝体											
							被覆材				
バスケット											
							可融栓				
							枠 組				
蓋締付用ボルト											
							仕切板 区切板				

(ロ) - 第 A. 4 表 主要材料の機械的性質 (常温) (その 2)

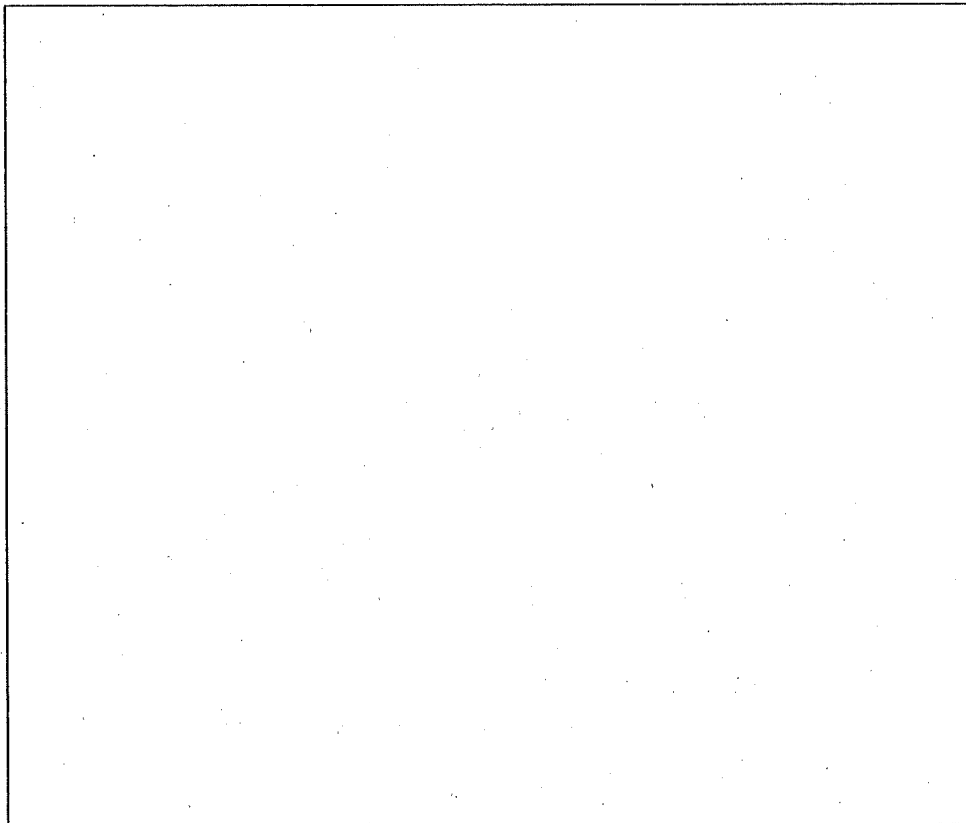
構成要素	材 質	縦弾性係数 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	備 考
JMTR MEU燃料	被覆材				
	側 板				
JMTR LEU燃料 (その1)	被覆材				
	側 板				
JMTR LEU燃料 (その2)	被覆材				
	側 板				
JMTR LEU燃料	燃料板				



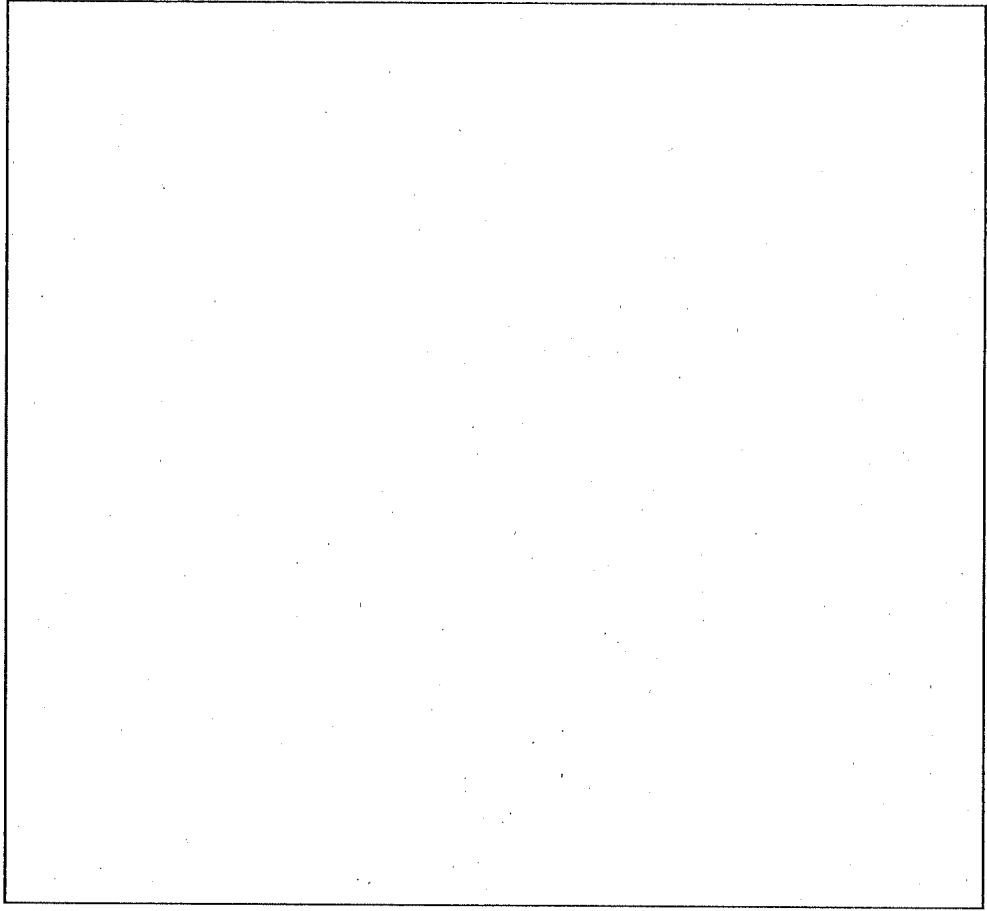
(口) - 第 A. 2 図 の変形応力図⁽²⁾



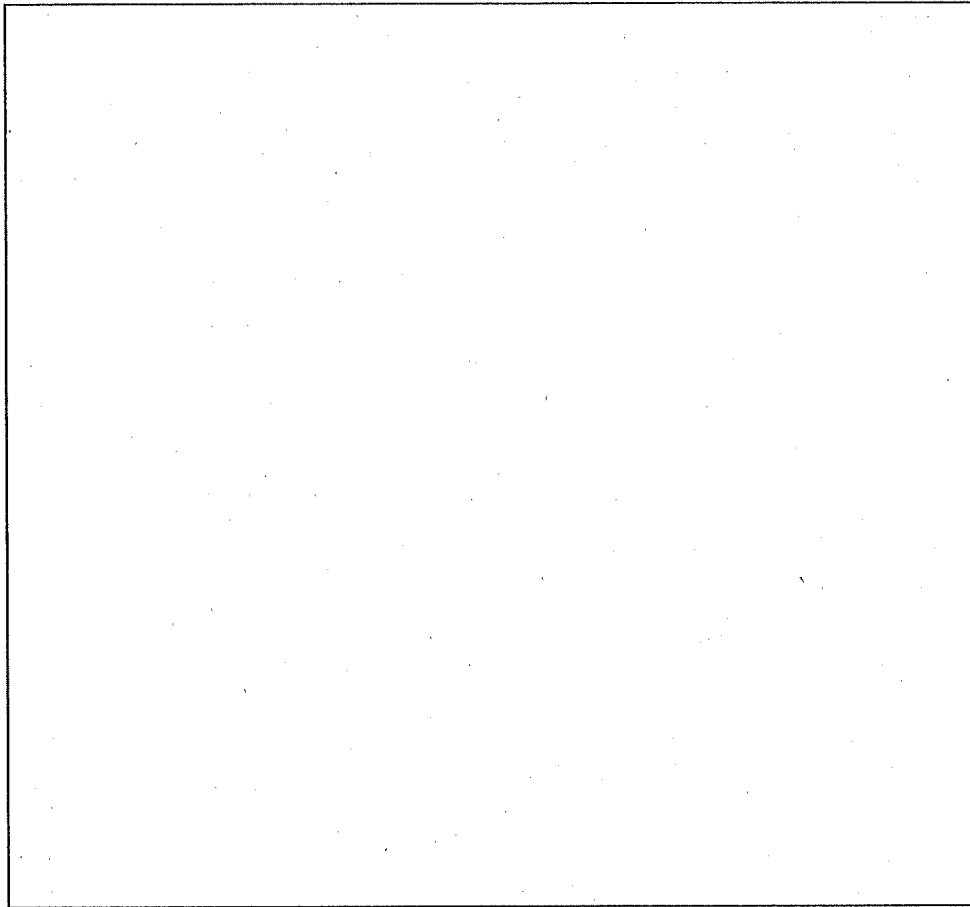
(口) - 第 A.3 図 SUS 及び SUS の機械的性質の温度依存性 ⁽³⁾



(口) - 第 A. 4 図 SUS□の機械的性質の温度依存性⁽⁴⁾



(口) - 第 A.5 図 引張強さの温度依存性⁽⁵⁾



(口) - 第 A.6 図 引張強さの温度依存性⁽⁶⁾

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器内で接触する異種材料の一覧を (ロ) - 第 A.5 表に示す。

(ロ) - 第 A.5 表 接触する異種材料の一覧表

接 触 材 料	使 用 構 造 部
ステンレス鋼 - <input type="text"/>	シール部 - ガスケット
ステンレス鋼 - アルミニウム合金	仕切板・区切板 - スペーサ
	仕切板・区切板 - 燃料
	仕切板 - 中性子吸収材被覆材
	枠組 - スペーサ
	枠組 - 燃料
	容器本体底 - 燃料
	蓋 - 燃料
アルミニウム合金	中性子吸収材被覆材
<input type="text"/>	- 中性子吸収材
ステンレス鋼 <input type="text"/>	仕切板 - 中性子吸収材
<input type="text"/> - ステンレス鋼	可融栓 - 取付金具
<input type="text"/> - <input type="text"/>	可融栓 - 緩衝材
ステンレス鋼 - <input type="text"/>	緩衝体表面被覆材 - 緩衝材

表中のこれら接触材料は、水中又は空気中において、単独あるいは共存しても一般の試験条件下及び特別の試験条件下において電氣的及び化学的に反応することはない。

A.4.2 低温強度

輸送物が -40°C の環境下に放置されても、健全性は維持されることを示す。

輸送容器は水密構造のため、一般の試験条件下の水の吹き付け試験によって容器内部に浸水することはない。また、輸送物は「乾式」タイプの輸送容器である。

輸送容器の各部材に使用する材料の標準使用温度範囲の最低使用温度を(ロ)－第 A.6 表に示す。

輸送容器の強度部材であるステンレス鋼(SUS□)は、□までの使用に耐え低温脆性を生じない。緩衝体を使用されている□は、 -40°C においてその特性を保持する。密封境界に使用されているOリング(□)の標準使用温度範囲の最低使用温度は□である。したがって、 -40°C においてガスケット類の性能は維持される。

収納物である燃料に使用しているアルミニウム合金は、低温下において鉄系材料と異なり低温脆性がない特長があるので -40°C において被覆材の性能は維持される。

蓋締付用ボルトの材料であるステンレス鋼(SUS□)は、(ロ)－第 A.6 表に示すように -40°C においても十分な靱性を有する。

(ロ) - 第 A.6 表 標準使用温度範囲の最低使用温度

部材	標準使用温度範囲の 最低使用温度 (°C)
ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>)	
ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>)	
ステンレス鋼 (SUS <input type="text"/>)	
<input type="text"/>	
<input type="text"/>	
アルミニウム合金	
可融栓 (<input type="text"/>)	

1. 熱膨張及び熱応力

−40℃の周囲温度条件においてバスケットは、容器本体・蓋に拘束されないことを径方向について示す。軸方向については、A.5.1.2 一般の試験条件における熱膨張の場合の方が容器本体とバスケットの隙間が小さくなるため、本解析では省略する。評価温度は、周囲温度が 38℃ (B. 熱解析で示す環境温度) から−40℃ (B. 熱解析で示す環境温度) に変化したものとし、一般の試験条件下での温度から 78℃を引いた値を用いる。

−40℃の周囲温度条件下における圧力及び温度の要約を (口) −第 A.7 表に示す。

最大内圧は、安全側に として解析する。

容器本体・蓋の温度分布を (口) −第 A.7 図に、枠組の温度分布を (口) −第 A.8 図に示す。解析モデルは、容器本体・蓋については A.5.1.2 の 1 と、バスケット枠組については A.5.1.2 の 2 と同様とする。

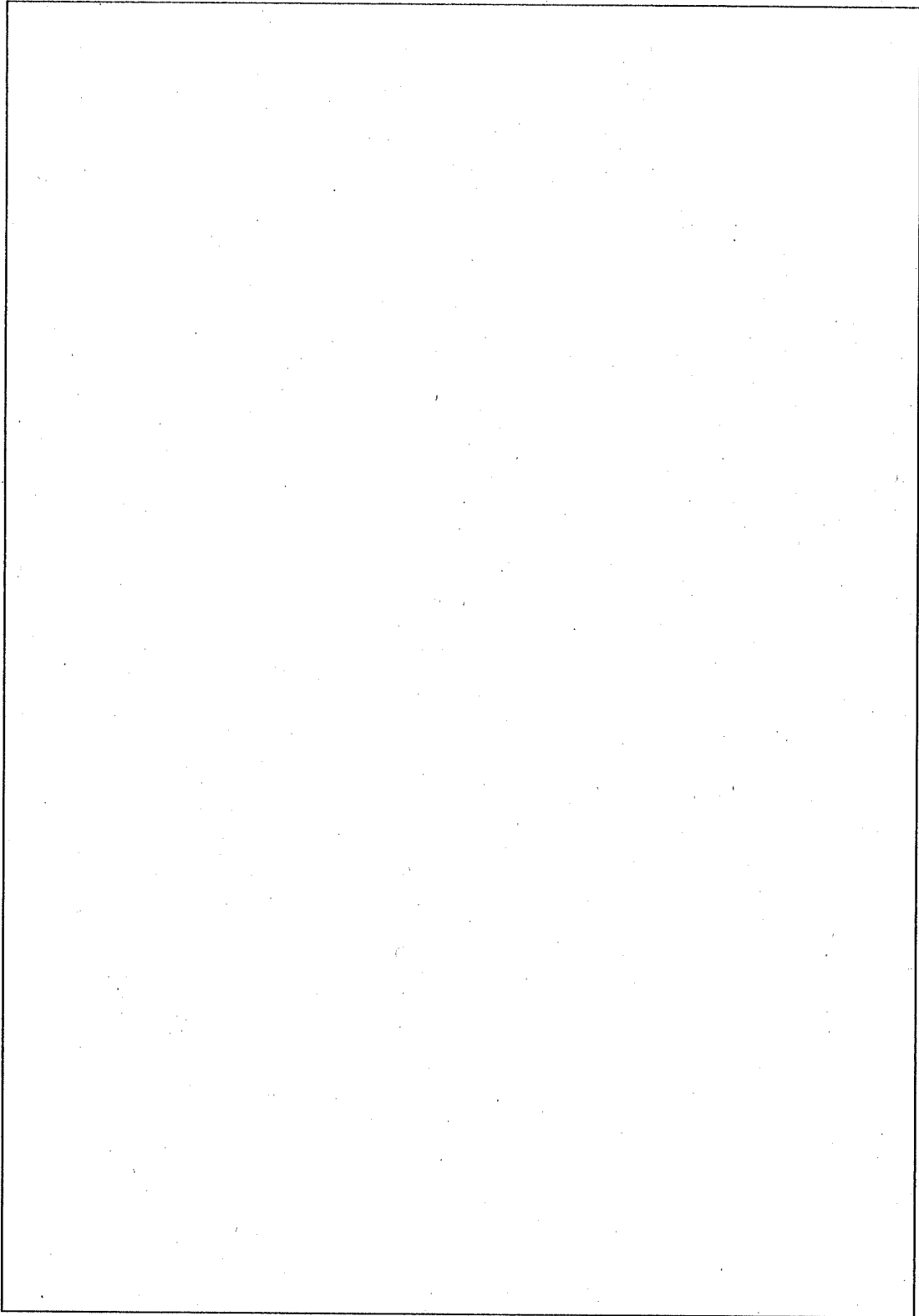
熱応力の解析結果を (口) −第 A.9 図、(口) −第 A.10 図に示す。

(口) −第 A.7 表 −40℃の周囲温度条件下における圧力及び温度の要約
(JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時)

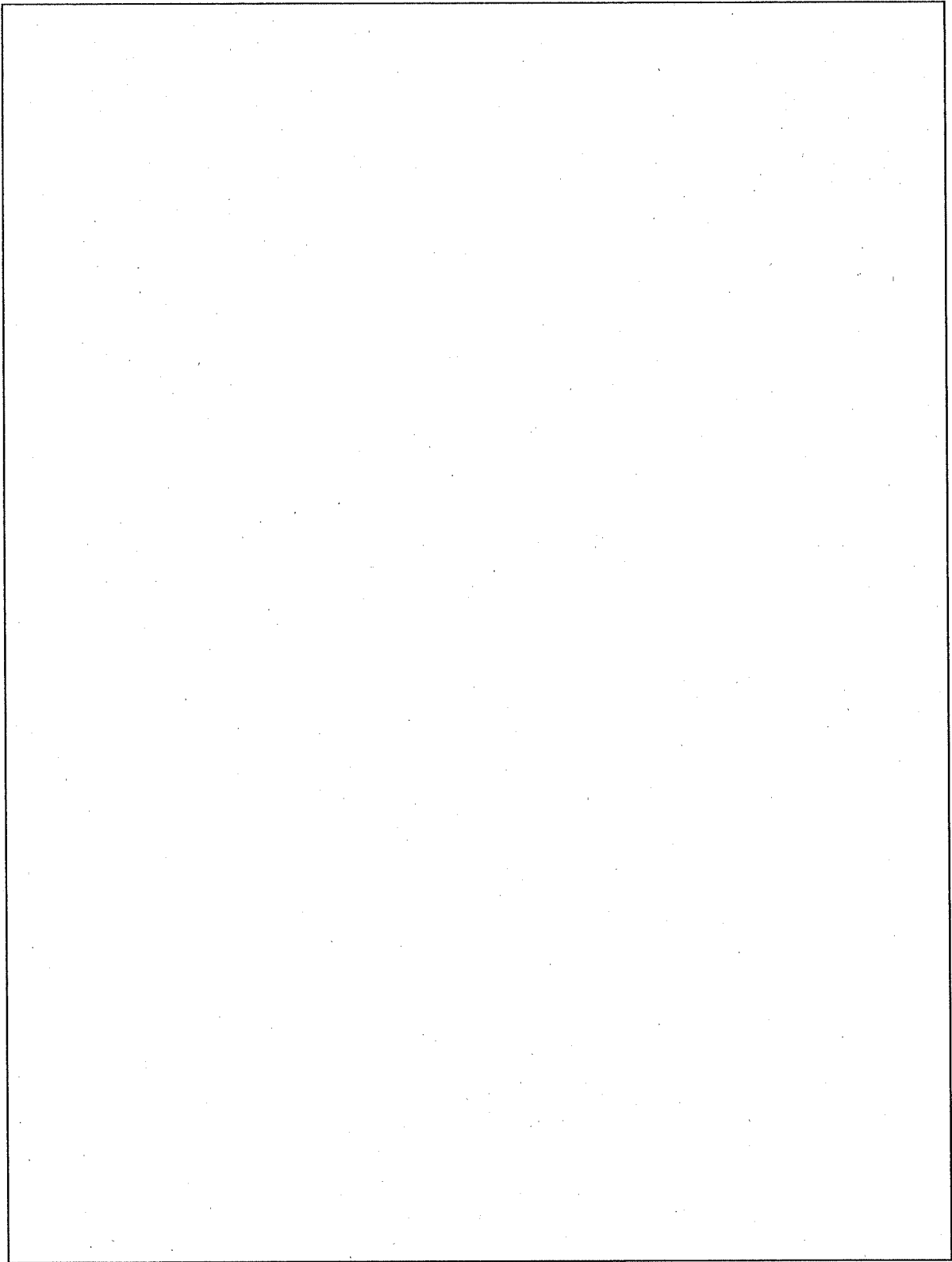
容器本体・蓋 最高温度 (℃)	枠組 最高温度 (℃)	最大内圧 (kPa)

注) 温度は、小数点以下切上げとする。

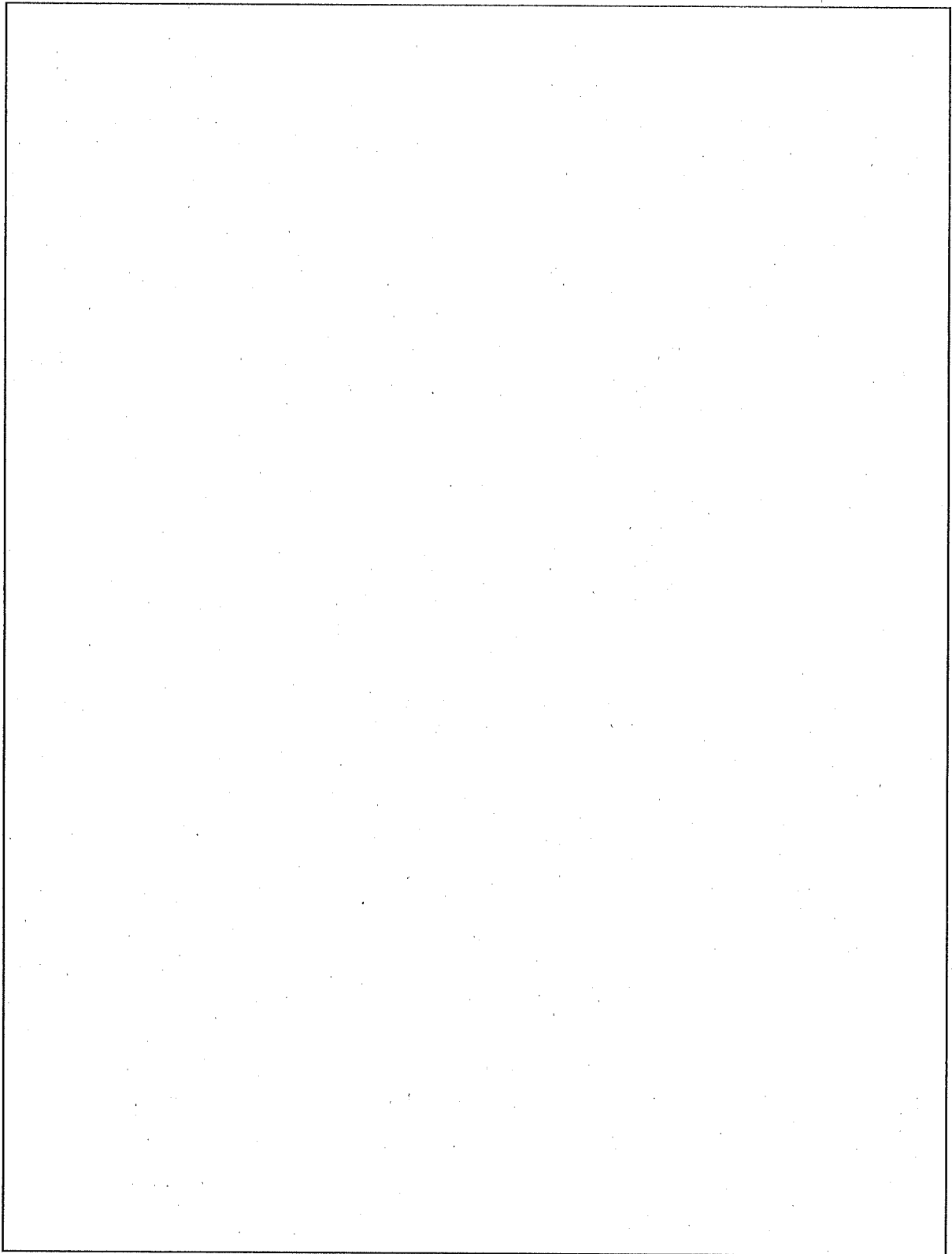
解析方法は、A.5.1.2 熱膨張と同様に構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。



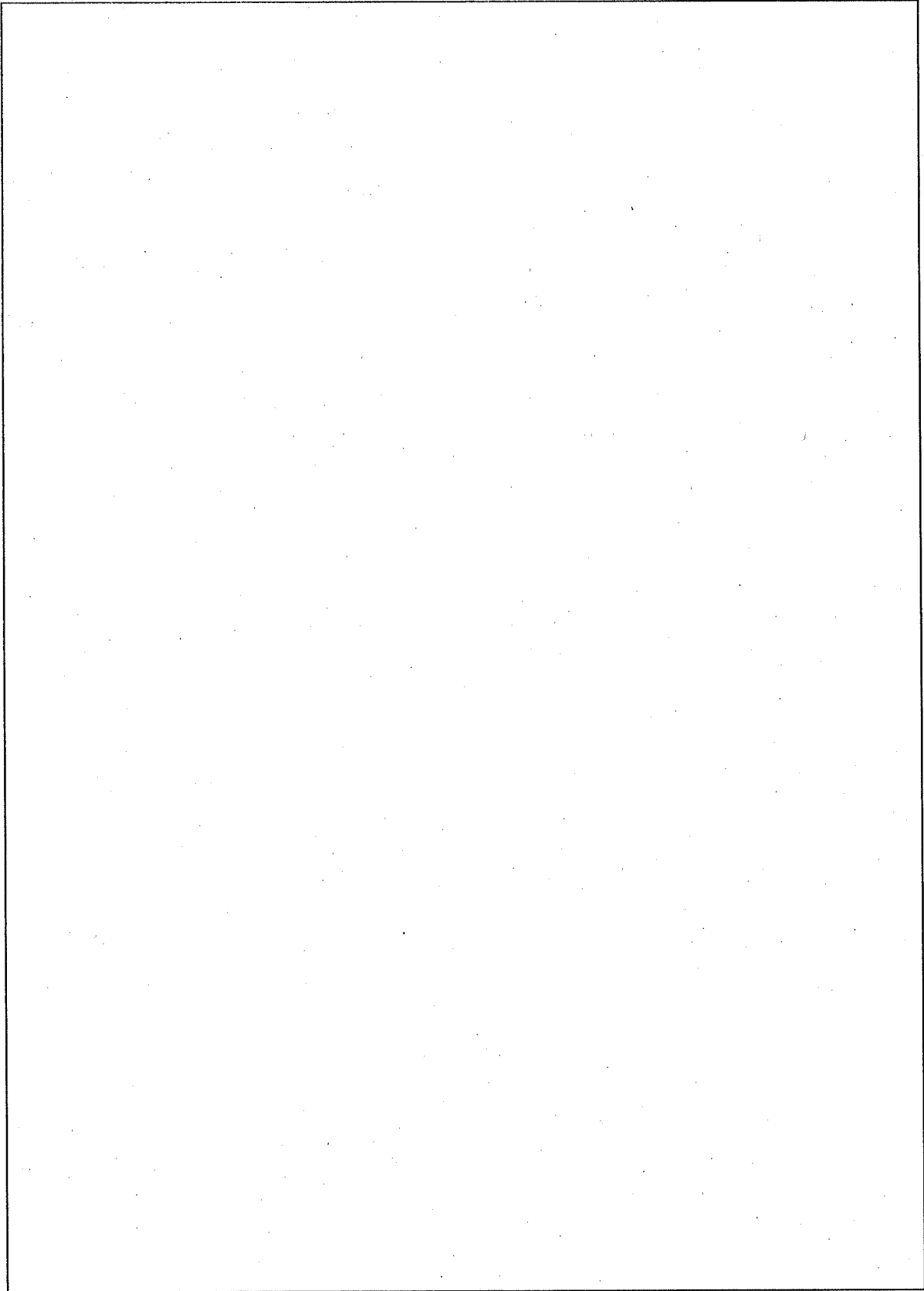
(口) - 第 A.7 図 容器本体・蓋の温度分布



(口) - 第 A.8 図 枠組の温度分布



(口) - 第 A.9 図 容器本体・蓋に発生する熱応力分布(応力強さ)



(口) - 第 A. 10 図 枠組に発生する熱応力分布 (応力強さ)

1.1 容器本体・蓋

(口) 一第 A.9 図から容器本体・蓋に発生する応力強さ (S) は、 $S = \square$ となる。

容器本体・蓋に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における一般の試験条件下の容器本体・蓋の解析結果の最高温度 \square ((口) 一第 B.16 表参照) から周囲温度変化 (38°C から -40°C) の差 78°C を引いた値 \square を容器本体・蓋の温度と考え、安全側に \square としたときの容器本体・蓋の部材 (SUS \square) の設計応力強さ S_m \square の 3 倍 (3 S_m) を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1$$

$$= \square$$

$$= \square$$

となる。したがって、容器本体・蓋は健全である。

1.2 バスケットの熱膨張及び熱応力

仕切板・区切板と枠組は、ボルトにより取り付けられ、軸方向は長穴になっており仕切板・区切板と枠組は、個々に熱膨張をする。

また、径方向は仕切板・区切板と枠組の間には隙間を設けており、仕切板・区切板の熱膨張が枠組に伝わらない構造となっている。

軸方向については、A.5.1.2 一般の試験条件における熱膨張の場合の方が隙間が小さくなるため本解析では省略し、径方向における熱膨張により枠組と容器本体の拘束の有無及び熱応力を評価する。

(1) 熱膨張

解析結果から、容器本体の径方向の熱膨張後の寸法(R_1)は、 $R_1 = \boxed{}$ である。

また、枠組の熱膨張後の寸法(r_1)は、 $r_1 = \boxed{}$ である。

容器本体とバスケットの隙間(δ_2)は、次式で表される。

$$\begin{aligned}\delta_2 &= R_1 - r_1 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{}\end{aligned}$$

したがって、バスケットは容器本体で拘束されない。

(2) 熱応力

(ロ) 一第 A.10 図から枠組に発生する最大の応力強さ(S)は $S = \boxed{}$ となる。

枠組に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ) 章 B. 熱解析における一般の試験条件下の枠組の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) 一第 B.16 表参照) から周囲温度変化 (38°C から -40°C) の差 78°C を引いた値 $\boxed{}$ を枠組の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときの枠組の部材 (SUS $\boxed{}$) の設計応力強さ $S_m \boxed{}$ の 3 倍 (3 S_m) を用いる。

余裕率 MS は

$$\begin{aligned}MS &= \frac{3S_m}{S} - 1 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{}\end{aligned}$$

となる。したがって、枠組は健全である。

A. 4.3 密封装置

輸送容器の密封境界を(口) - 第 A.11 図に示す。密封境界は、容器本体・蓋、ベントプラグ及びドレン弁からなっている。

容器本体と蓋の接合面(シール)には [] 蓋部 Oリングが取り付けられ、蓋を [] の蓋締付用ボルトで締め付けることによってシールされている。蓋締付用ボルトは輸送時の振動等により緩まないように [] のトルクで締め付けている。

ベントプラグは、Oリングによりシールされ、さらに Oリングを備えた保護蓋によって保護されている。

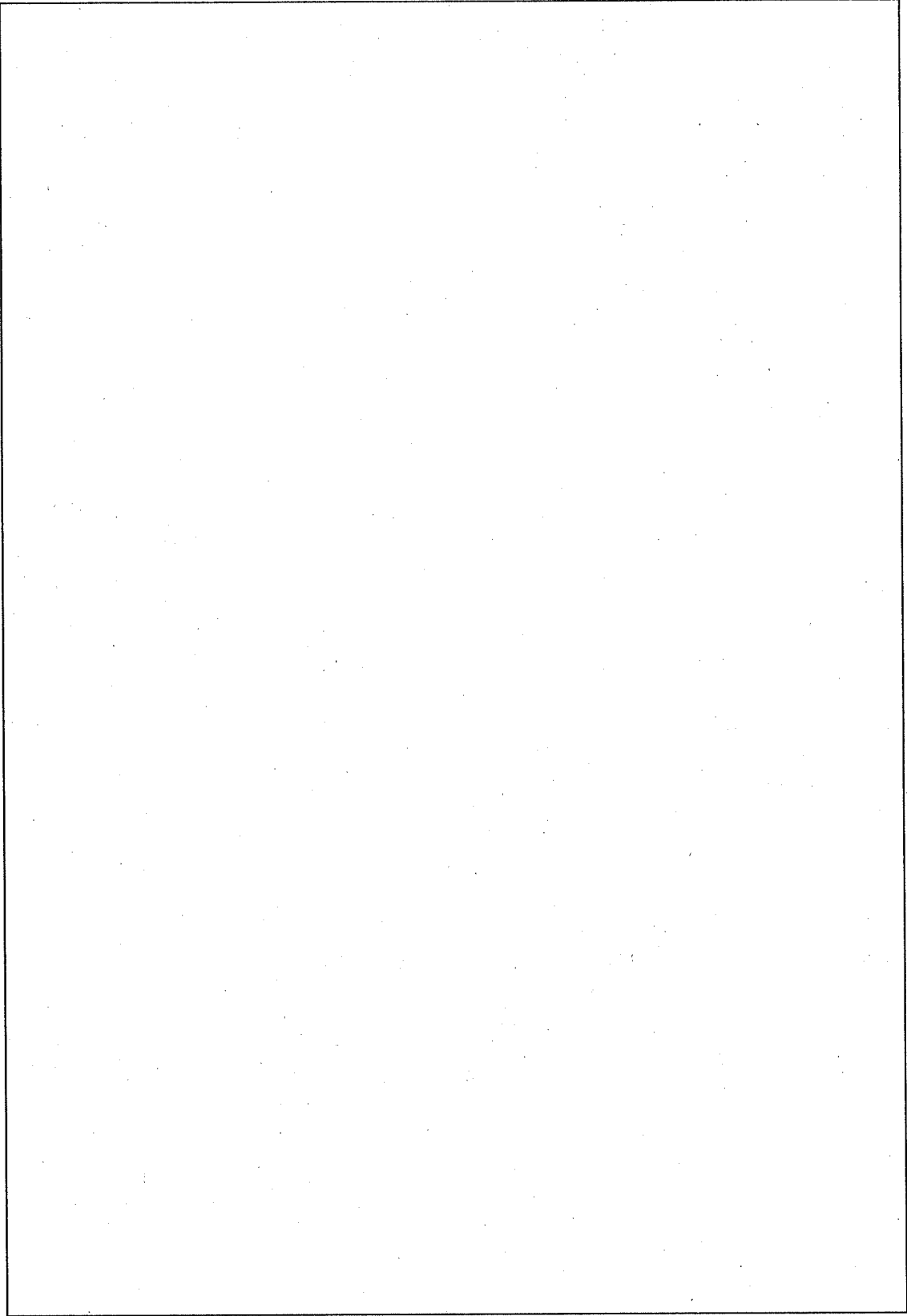
また、ドレン弁は、Oリング及びシートガスケットによりシールされ、さらに平ガスケットを備えた保護蓋により保護されている。

これらは、 []

[] になっている。

さらに []

[] が行われる。



(口) - 第 A.11 図 輸送容器の密封境界

A.4.4 吊上装置

A.4.4.1 概要

輸送容器の吊上装置を(ロ)－第 A.12 図に示す。吊上装置は、本体吊上金具及び蓋吊上金具から構成されている。

蓋吊上金具は、収納物等を輸送容器に出し入れするために蓋を開閉するとき時及び蓋のみの吊り上げに使用するものである。

これらの吊上装置を用いて輸送物を取り扱うとき、吊上金具の各部に発生する応力を求め、設計基準との比較を行い吊上装置が健全であることを示す。

A.4.4.2 荷重条件

設計負荷荷重は、吊上げ重量の3倍とする。

設計負荷荷重を(ロ)－第 A.8 表に示す。

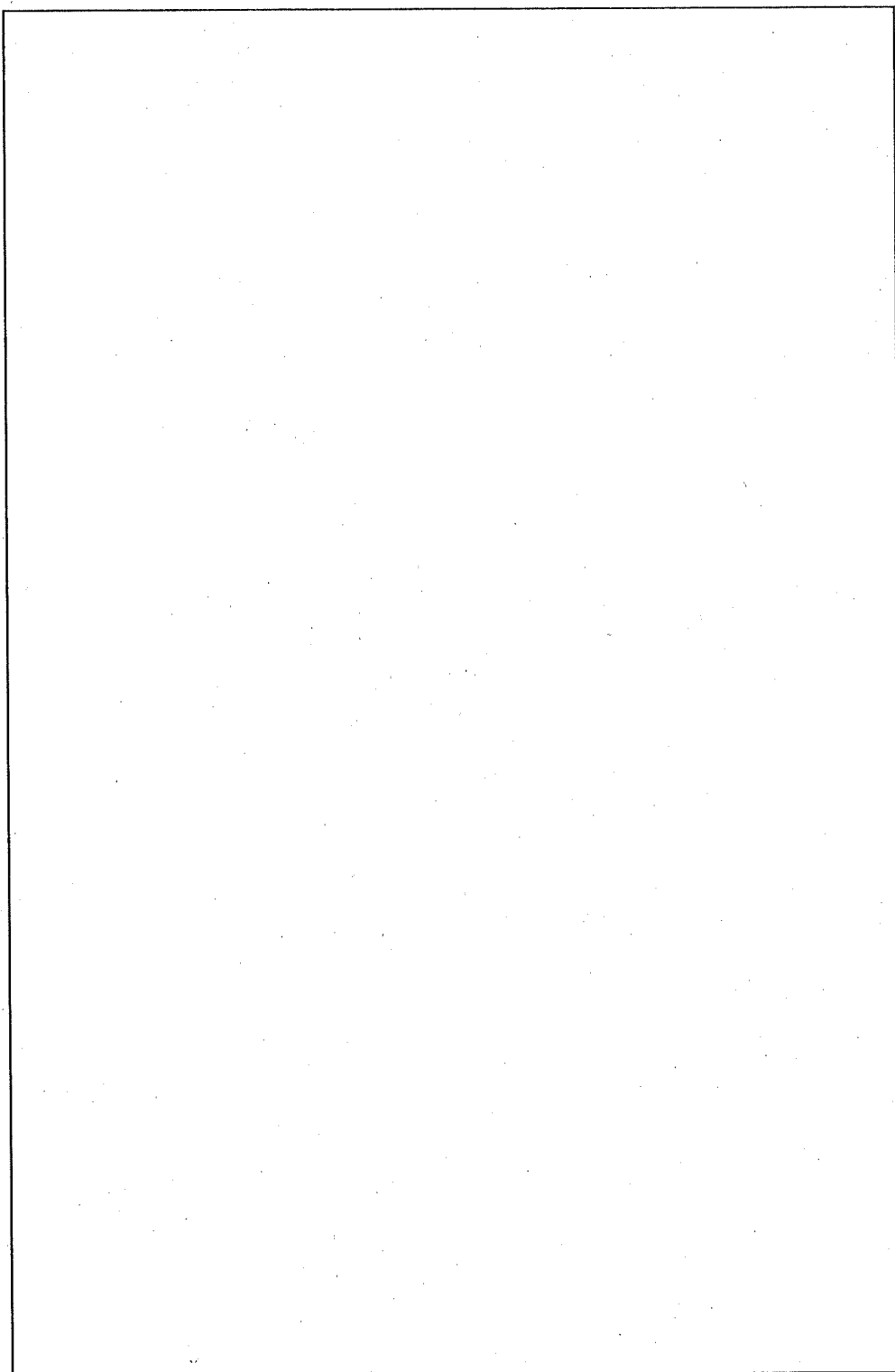
(ロ)－第 A.8 表 設計負荷荷重

項目	吊上げ重量 (kg)	負荷係数	設計負荷荷重 (N)
本体吊上金具 (容器本体、バスケット、蓋、蓋締付用ボルト、収納物)	<input type="text"/>	3	<input type="text"/>
蓋吊上金具	<input type="text"/>	3	<input type="text"/>

吊上装置に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の吊上金具取付位置の容器本体外表面の解析結果の最高温度 ((ロ)－第 B.9 図参照) を吊上装置の温度と考え、安全側に としたときの吊上装置 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

このことは、ステンレス鋼が A.3 材料の機械的性質の項で述べたように温度が上昇するとともに強度が小さくなるため、高い温度での強度を基準値として用いることは安全側の評価を与えることになる。

また、溶接部については、応力強さに対して、設計基準値の70%を溶接効率として考慮に入れ解析する。



(口) - 第 A.12 図 吊上装置

A. 4. 4. 3 応力計算

A. 4. 4. 3. 1 本体吊上金具

容器本体を(口) - 第 A. 12 図に示すように吊り上げ、設計負荷荷重が加わったときに、吊上金具各部に発生する応力について解析する。

(1) 溶接部

溶接部に発生する応力強さ(S)を求める。本体吊上金具の形状を(口) - 第 A. 13 図に示す。

溶接部に発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$$

ここで、

M : 曲げモーメント

$$M = W \cdot \ell$$

W : 吊上金具 1 個当たりの負荷荷重

$$W = \frac{W_0}{n}$$

W₀ : 設計負荷荷重((口) - 第 A. 8 表参照)

n : 本体吊上金具の数

$$W = \frac{\text{}}{\text{}}$$

ℓ : 曲げモーメントアーム

$$M = \text{}$$
$$= \text{}$$

y : 部材の中立軸から端面までの距離

$$y = \frac{h}{2}$$

h : 溶接部の長さ

$$y = \frac{\text{}}{2}$$
$$= \text{}$$

I : 溶接部の断面二次モーメント

$$I = \frac{2b_1 \cdot h^3}{12}$$

b₁: 溶接部の脚長

$$I =$$

$$=$$

$$\sigma_b =$$

$$=$$

また、せん断応力 (τ) は、次式で表される。

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

ここで、

A : 溶接部の断面積

$$A = 2b_1 \cdot h$$

$$=$$

$$=$$

$$\tau =$$

$$=$$

吊上金具の溶接部に発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$=$$

$$=$$

吊上金具溶接部の設計基準値は、降伏応力 S_y に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、吊上金具の溶接部は健全である。

(2) 本体吊上金具穴部

本体吊上金具穴部に発生する応力強さ(S)を求める。本体吊上金具穴部に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

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

ここで、

T : 吊上金具穴部に働く張力

$$T = \frac{W}{\cos \frac{\theta}{2}}$$

W : 吊上金具 1 個当たりの負荷荷重

$$W = \frac{W_0}{n}$$

W₀ : 設計負荷荷重

n : 本体吊上金具の数

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

θ : 吊り上げ角度 []
(吊り上げ角度は、[]で使用するものとする。)

$$T = \frac{\text{[]}}{\cos \frac{\text{[]}}{2}}$$

A : 穴部の部材断面積

$$A = a \cdot b$$

a : せん断を受ける部分の長さ(最小長さ) []

b : 吊上金具の板厚 []

$$A = \text{[]} \cdot \text{[]}$$

$$\tau = \frac{\text{[]}}{2 \cdot \text{[]}}$$

吊上金具穴部に発生する応力強さ(S)は、

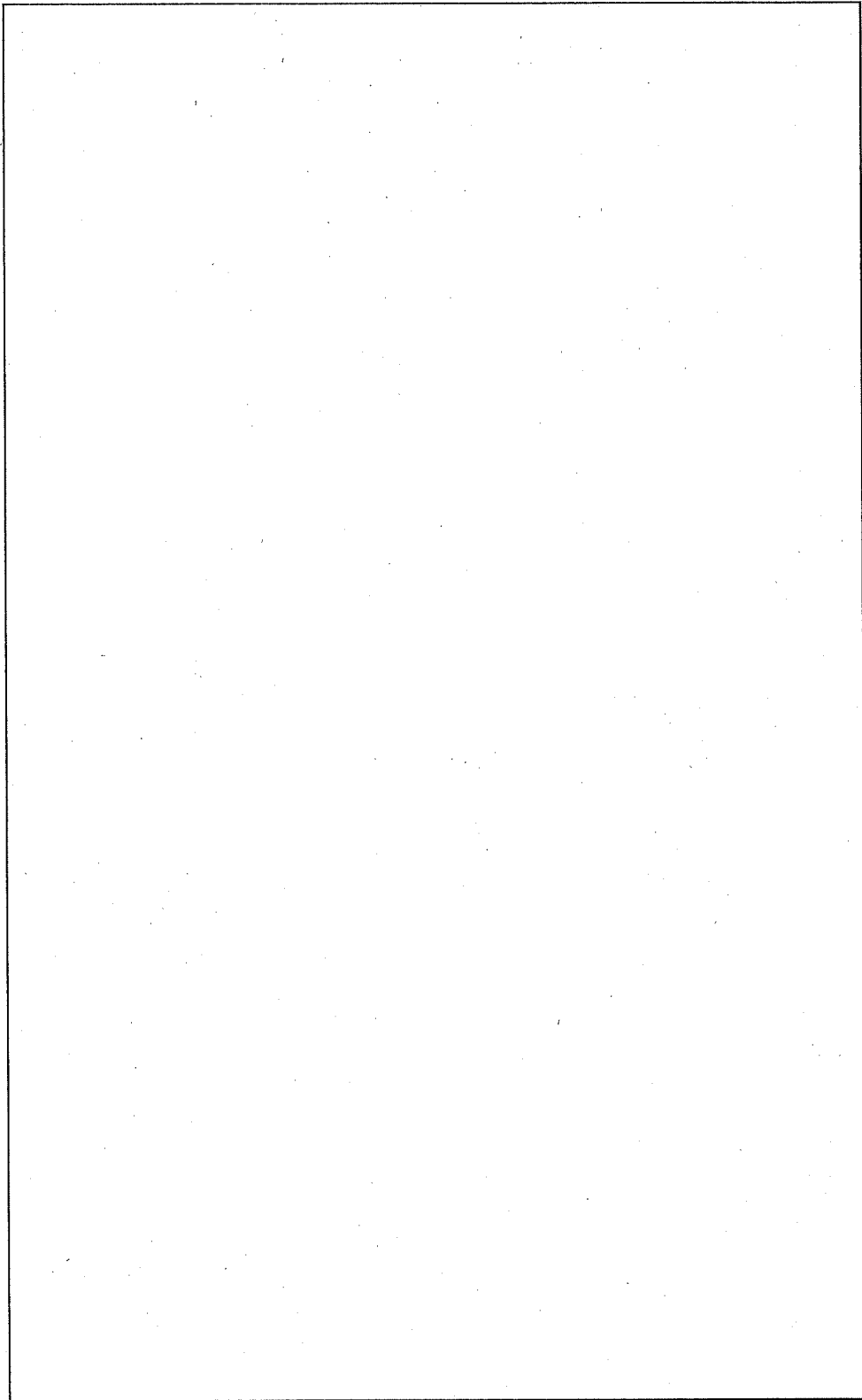
$$S = 2\tau$$
$$= \boxed{}$$
$$= \boxed{}$$

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

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

となる。したがって、本体吊上金具穴部は健全である。



(口) - 第 A.13 図 本体吊上金具

A.4.4.3.2 蓋吊上金具

輸送容器の蓋吊上金具を(口) - 第 A.14 図に示す。

する。設計負荷荷重は、蓋の吊上げ重量の 3 倍の荷重が働くものとする。

(1) 溶接部

(口) - 第 A.14 図に蓋吊上金具の形状を示す。

溶接部に発生する引張応力 (σ_t) は、次式で表される。

$$\sigma_t = \frac{W}{(h_1 + h_2) \cdot \ell}$$

ここで、

W : 吊上金具 1 個当たりの負荷荷重

$$W = \frac{W_o}{n}$$

W_o : 設計負荷荷重 ((口) - 第 A.8 表参照)

n : 蓋吊上金具の数

$$W = \frac{\text{}}{\text{}}$$

h₁, h₂ : 溶接部の脚長

ℓ : 溶接部の長さ

$$\sigma_t = \frac{\text{}}{\text{} \cdot \text{}}$$

溶接部に発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{3P \cdot L}{h_1 \times \ell^2} \quad (7)$$

ここで、

P : 荷重

$$P = W \cdot \tan \frac{\theta}{2}$$

θ : 吊り上げ角度

(吊り上げ角度は、で使用するものとする。)

W : 吊上金具 1 個当たりの負荷荷重

$$P = \text{$$

$$= \text{$$

L : モーメント腕長さ

h_1 : 溶接部の脚長

ℓ : 溶接部の長さ

したがって、

$$\sigma_b = \text{$$

$$= \text{$$

溶接部に発生するせん断応力 (τ) は、次式で表される。

$$\tau = \frac{P}{2h_1 \cdot \ell}$$

ここで、

P : 荷重

$$P = W \cdot \tan \frac{\theta}{2}$$

$$= \text{$$

h_1 : 溶接部の脚長

ℓ : 溶接部の長さ

$$\tau = \text{$$

$$= \text{$$

(2) 蓋吊上金具穴部

蓋吊上金具穴部に発生するせん断応力 (τ) は、次式で表される。

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

ここで、

T : 蓋吊上金具穴部に働く張力

$$T = \frac{W}{\cos \frac{\theta}{2}}$$

W : 蓋吊上金具 1 個当たりの負荷荷重

θ : 吊り上げ角度

(吊り上げ角度は で使用するものとする。)

$$T = \text{$$

$$= \text{$$

A : 穴部の部材断面積

$$A = a \cdot b$$

a : せん断を受ける部分の最小長さ

b : 蓋吊上金具の板厚

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\tau = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、蓋吊上金具穴部に発生する応力強さ(S) は

$$S = 2\tau$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

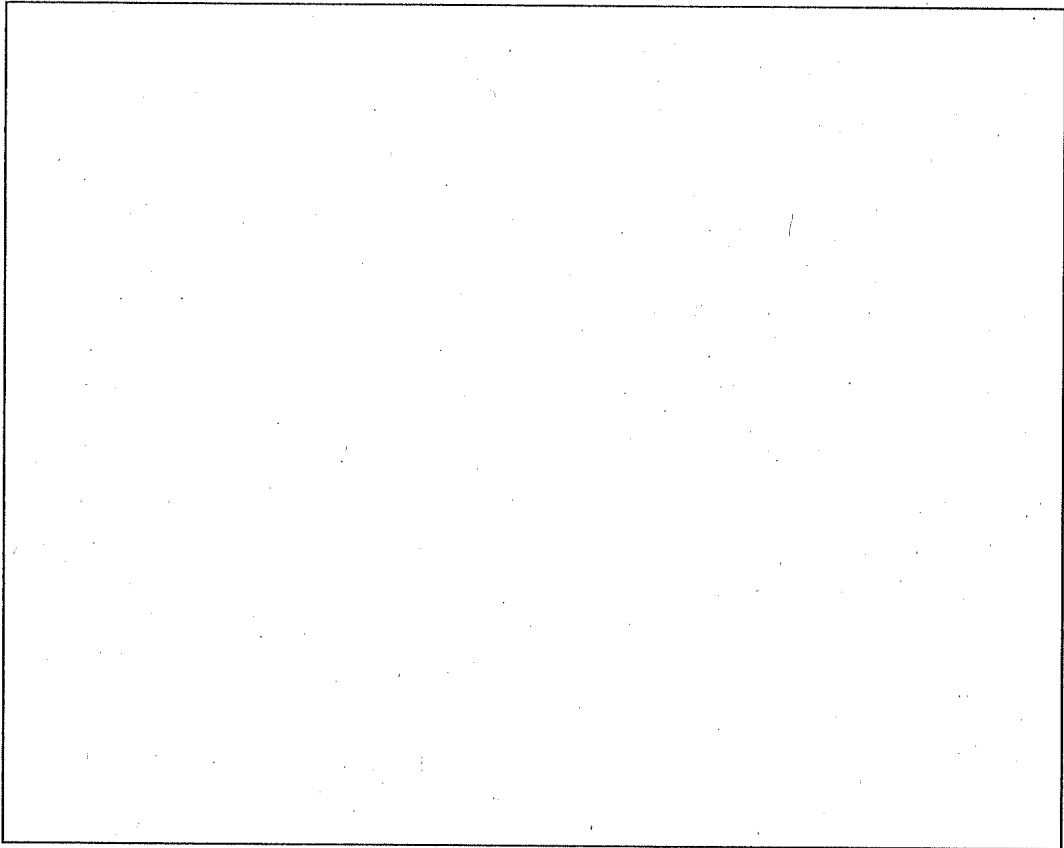
余裕率 MS は

$$Ms = \frac{Sy}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、蓋吊上金具穴部は健全である。



(口) - 第 A.14 図 蓋吊上金具

A.4.4.3.3 吊上装置（ステンレス鋼）の疲労

吊上装置（ステンレス鋼）の疲労として、使用年数を40年、使用回数として年1回、1回の輸送当たりの取扱回数を100回とした場合、吊り上げ繰り返し回数は4000回となる。A.4.4.3 応力計算の評価における最大応力は、本体吊上金具で []、蓋吊上金具で [] で、その繰り返し応力は、本体吊上金具で []、蓋吊上金具で [] となるが、これは（ロ）－第A.147図に示す設計疲れ線図の4000回での繰り返しピーク応力強さ [] よりも低く、許容繰り返し回数は、使用予定期間中の繰り返し回数よりも多くなる。

A. 4. 5 固縛装置

A. 4. 5. 1 概要

輸送物は、(ロ)一第 A. 15 図に示すように輸送容器の固縛金具を固縛棒で専用の運搬台に固定する構造である。また、水平方向の移動は、下部緩衝体内胴を運搬台位置決め具で固定する構造である。

したがって、輸送物における固縛装置は、固縛金具と下部緩衝体内胴である。輸送中の輸送物に働く加速度を設定し、固縛装置各部に発生する応力の計算を行う。その計算結果より発生する応力が設計基準を超えないことを確認し、輸送中に固縛装置が性能を有することを示す。輸送物を車両あるいは船舶に固定する固縛装置（固縛棒及び運搬台）の締め付けに係る強度解析及び輸送容器を運搬台にセットして、運搬台ごと吊り上げる場合の強度解析を付属書類 A. 10. 6 に示す。

A. 4. 5. 2 解析条件

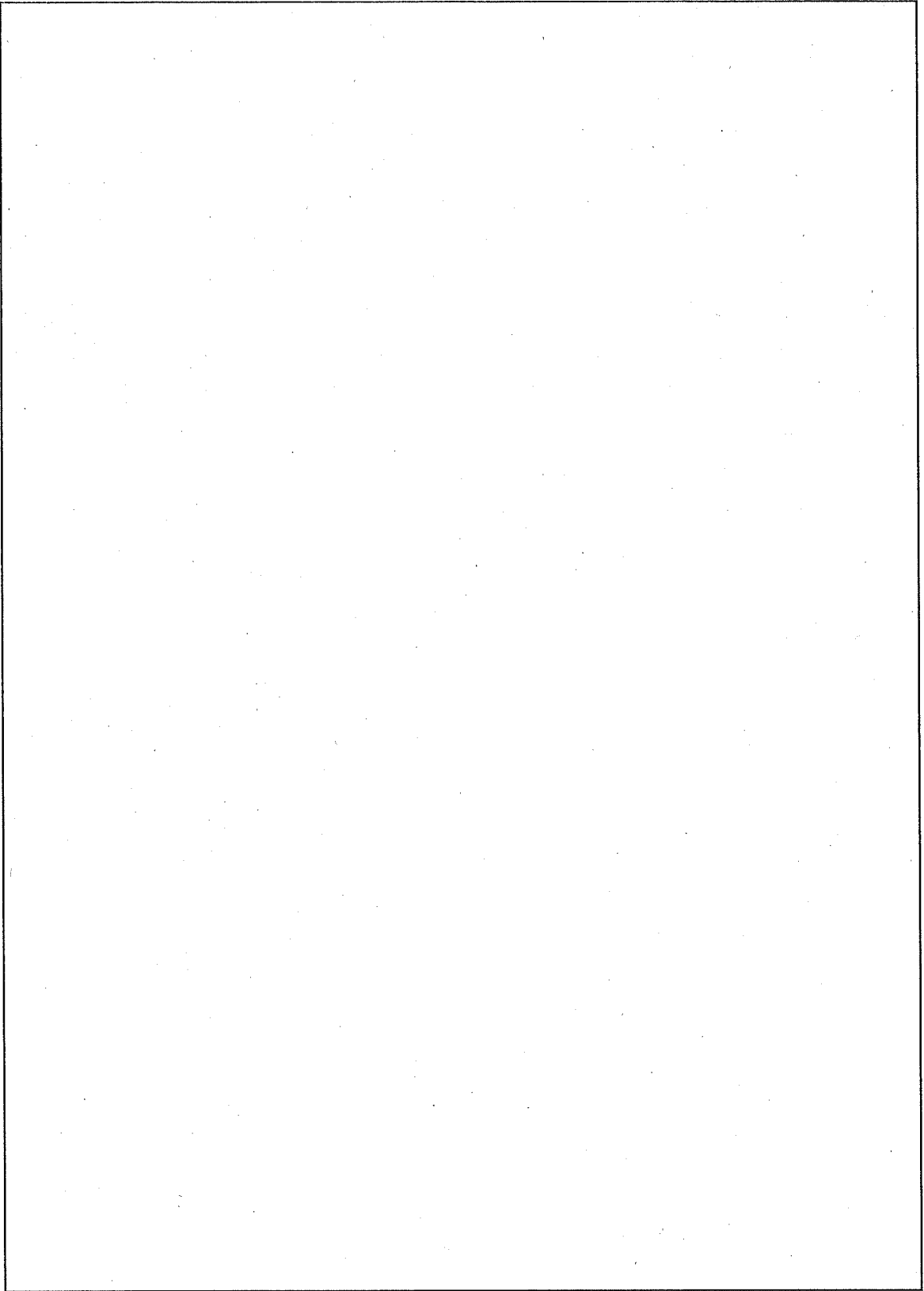
専用の運搬台に積載された輸送物に、輸送中に作用する加速度⁽³³⁾を次のように設定する。

- | | |
|-------------|------|
| (a) 進行方向加速度 | 10 G |
| (b) 横方向加速度 | 5 G |
| (c) 上下方向加速度 | 2 G |

これらの加速度が輸送物重心に同時に働くと仮定し、固縛装置各部に発生する応力を計算する。

固縛装置に発生する応力に対する設計基準値は、(ロ)章 B. 熱解析に記載されている通常輸送時の固縛金具取付位置における容器本体外表面の解析結果の最高温度 \square ((ロ)一第 B. 9 図参照) を固縛金具の温度と考え、安全側に \square としたときの固縛金具部材 \square の降伏応力 S_y \square を用いる。

また、溶接部については、応力強さに対して設計基準値の 70% を溶接効率として考慮に入れて解析する。(ロ)一第 A. 15 図中に示すように、各方向に働く加速度は、進行方向を αX 、横方向を αY 及び上下方向を αZ とする。



(口) - 第 A. 15 図 固縛装置

(口) 一第 A. 15 図の輸送容器固縛金具に生じる引張力(P) は、次式⁽¹⁸⁾で表される。

$$P = \frac{W}{4} \left\{ \frac{(\alpha Z - 1) \alpha + 2\alpha X \cdot h}{c \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi + \alpha \cdot \sin \theta} + \frac{(\alpha Z - 1) b + 2\alpha Y \cdot h}{c \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi + b \cdot \sin \theta} \right\}$$

W : 輸送物重量 18440 kg (= 1.81 × 10⁵ N)

αZ : 上下方向加速度 2 G

αX : 進行方向加速度 10 G

αY : 横方向加速度 5 G

a : 位置決め具の直径 (= b)

h : 重心の高さ

c : 固縛金具の高さ

φ : 固縛棒の角度

θ : 固縛棒の角度

P =

= N

また、緩衝体内胴に発生する反力のうち、進行方向の反力の成分(F_x)は、

$$F_x = W \cdot \alpha X - \frac{W}{2} \cdot \frac{(\alpha Z - 1) a + 2\alpha X \cdot h}{c \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi + a \cdot \sin \theta} \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi$$

=

=

横方向の反力成分(F_y)は

$$F_y = W \cdot \alpha Y - \frac{W}{2} \cdot \frac{(\alpha Z - 1) b + 2\alpha Y \cdot h}{c \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi + b \cdot \sin \theta} \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi$$

=

=

進行方向と横方向の加速度が同時に働いた場合は、

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

A. 4. 5. 3 応力計算

輸送物重心に前述の加速度が働いた場合の固縛装置に生じる反力が、輸送容器の固縛金具、下部緩衝体内胴に働いたとき、それぞれに発生する応力を求め健全であることを示す。

A. 4. 5. 3. 1 固縛金具

(口) - 第 A. 16 図に固縛金具を示す。固縛金具と容器本体の溶接部と固縛金具穴部に発生する応力を求める。

(1) 固縛金具と容器本体の溶接部

(ロ) - 第 A. 16 図に固縛金具の形状を示す。

溶接部に発生する引張応力 (σ_t) は、次式で表される。

$$\sigma_t = \frac{P \cdot \cos \theta}{A}$$

ここで、

P : 固縛金具に働く引張力

(A. 4. 5. 2 解析条件参照)

θ : 固縛角度 ((ロ) - 第 A. 15 図参照)

A : 溶接部の断面積

$$A = 2a \cdot b$$

a : 溶接部の最小長さ

b : 溶接部の幅

$$A = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

$$\sigma_t = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

溶接部に発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$$

ここで、

M : 曲げモーメント

$$M = P \cdot \sin \theta \cdot \ell_1$$

ℓ_1 : モーメントアーム

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

$$= \text{[]}$$

y : 溶接部の中立軸から端面までの距離

I : 断面二次モーメント

$$I = \frac{2a^3 \cdot b}{12}$$

a : 溶接部の最小長さ

b : 溶接部の幅

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

$$= \text{[]} \text{ mm}^4$$

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

$$= \text{[]}$$

溶接部に発生するせん断応力 (τ) は、次式で表される。

$$\tau = \frac{P \cdot \sin \theta}{A}$$

$$= \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

したがって、固縛金具の溶接部に発生する応力強さ(S) は、次式で表される。

$$S = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

S =

=

固縛金具溶接部の設計基準値は、降伏応力 Sy に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7Sy}{S} - 1$$

=

=

である。したがって、固縛金具溶接部は健全である。

(2) 固縛金具の穴部

固縛金具の穴部に発生するせん断応力 (τ) は、次式で表される。

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

P : 固縛棒に働く引張力

A : せん断部の断面積

$$A = \ell \cdot t$$

ℓ : せん断部の最小長さ

t : せん断部の厚さ

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\tau = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、固縛金具の穴部に発生する応力強さ(S)は

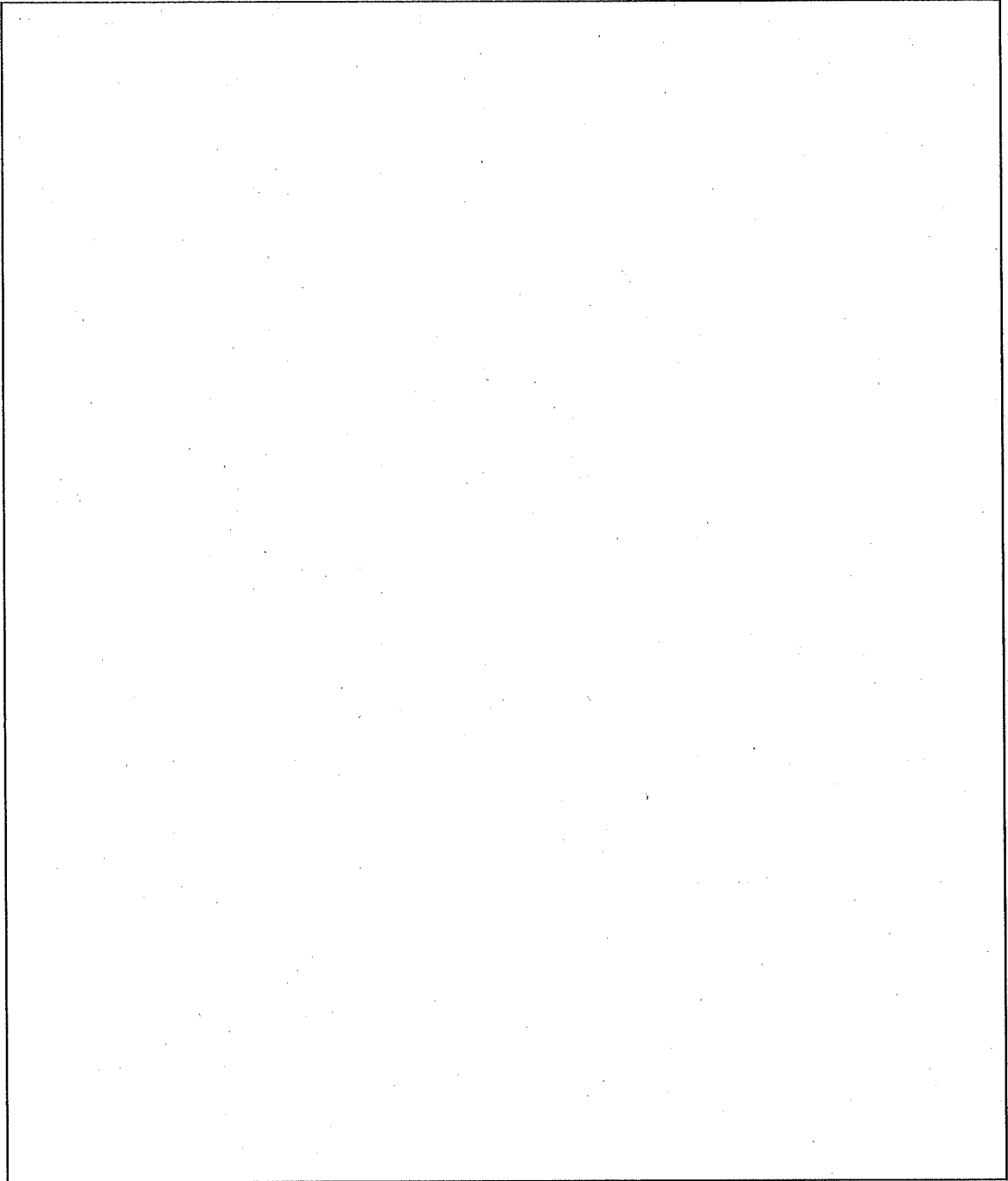
$$S = 2\tau$$
$$= \boxed{}$$
$$= \boxed{}$$

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

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

となる。したがって、固縛金具の穴部は健全である。



(口) - 第 A. 16 図 固縛金具

A. 4. 5. 3. 2 下部緩衝体内胴

A. 4. 5. 2 解析条件で求めた下部緩衝体内胴に働く荷重(F=)により、下部緩衝体内胴溶接部に発生するせん断応力 (τ)は、次式で表される。

下部緩衝体内胴とその解析モデルを(口) - 第 A. 17 図に示す。

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

ここで、

F : せん断力

A : 溶接部の断面積

$$A = \pi \cdot d \cdot t$$

d : 下部緩衝体内胴内径

t : 下部緩衝体内胴の最小板厚

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\tau = \text{$$

$$= \text{$$

下部緩衝体内胴に発生する応力強さ(S) は、次式で表される。

$$S = 2\tau$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

下部緩衝体内胴の設計基準値は、降伏応力 S_y に溶接効率 70% を乗じた値を使用する。

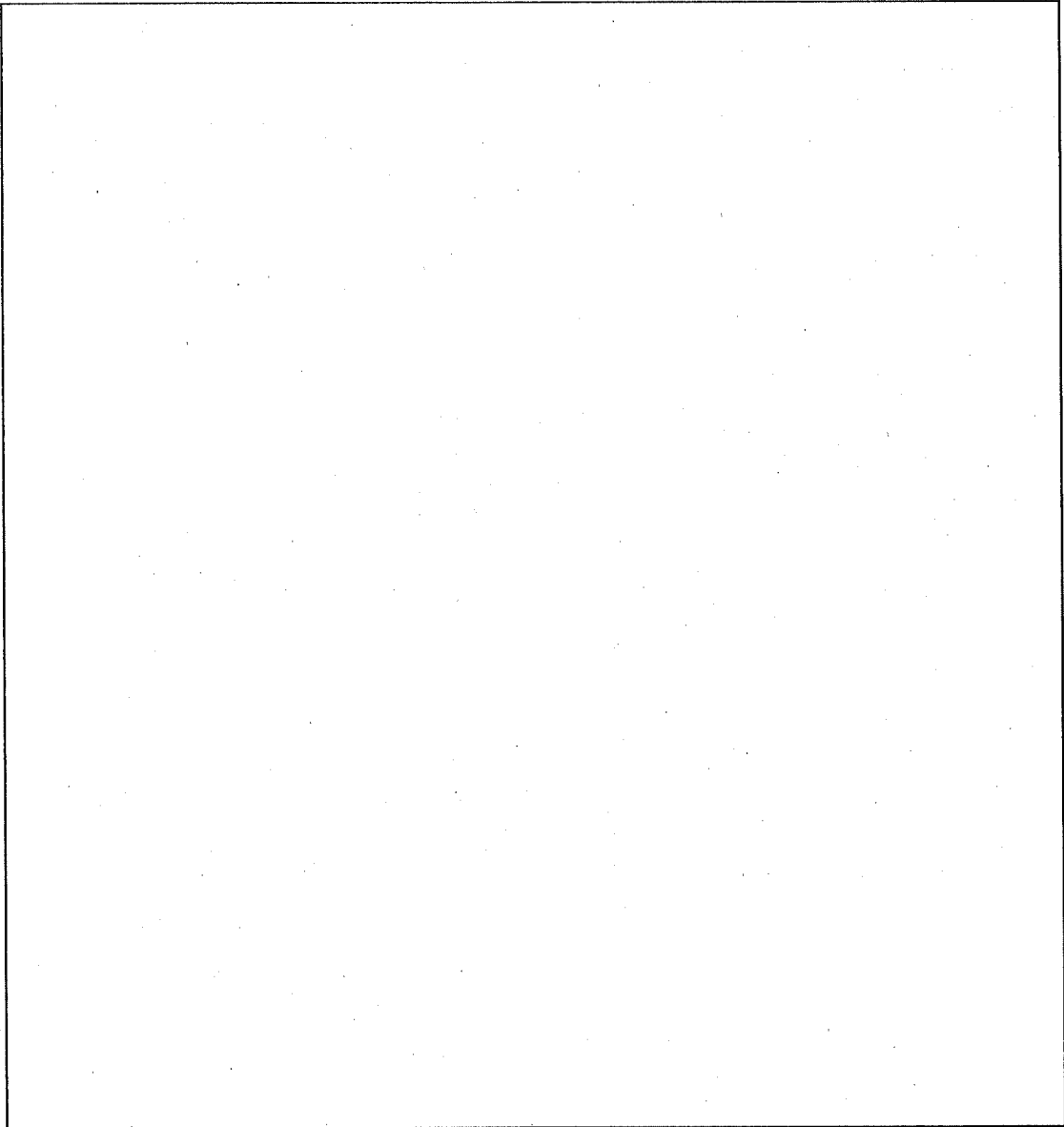
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、下部緩衝体内胴溶接部は健全である。



(ロ) - 第 A.17 図 下部緩衝体内胴とその解析モデル

A.4.6 圧力

輸送容器の外気圧が 60kPa に減少した場合、容器本体・蓋が健全であり密封が保持されることを解析する。

このときの容器本体・蓋に働く内圧(P)は、次式で表される。

$$P = P_1 + P_2 - P_3$$

ここで、

P₁ : 一般の試験条件下における容器本体・蓋の内圧

((ロ) 章 B.4.4 最大内圧 参照)

P₂ : 減少前の外気圧 101 kPa・abs

P₃ : 減少後の外気圧 60 kPa・abs

$$P = \text{$$

$$= \text{$$

となる。安全側に とする。

1. 容器本体胴部

容器本体胴部の解析モデルを (ロ) - 第 A.18 図 に示す。

内圧 が容器本体胴部に働く場合、容器本体胴部に働くせん断応力 (τ) は、次式で表される。

$$\tau = \frac{P \cdot a^2 \cdot b^2}{(b^2 - a^2) \cdot r^2} \quad (20)$$

r = a のとき τ_{max} より

$$\tau = \frac{P \cdot b^2}{b^2 - a^2}$$

ここで、

P : 内圧

a : 容器本体胴部の内半径

b : 容器本体胴部の外半径

$$\tau = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、容器本体胴部に発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = 2 \tau$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

容器本体胴部に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における一般の試験条件下の容器本体胴部の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) - 第 B. 16 表参照) を容器本体胴部の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときの容器本体胴部の部材 (SUS $\boxed{}$) の降伏応力 S_y $\boxed{}$ を用いる。

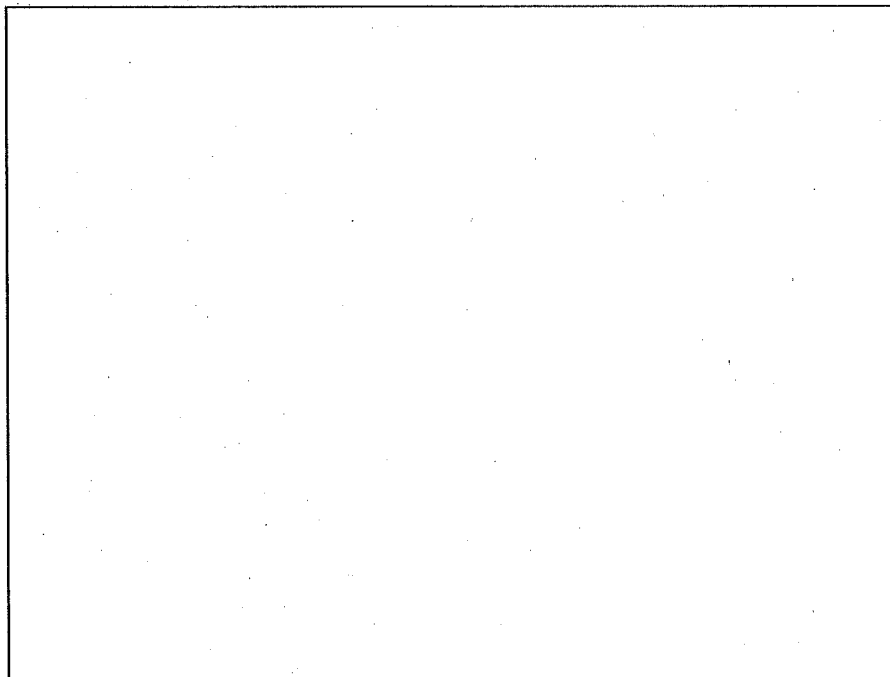
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、容器本体胴部は健全である。



(ロ) - 第 A. 18 図 容器本体胴部の解析モデル

2. 蓋

蓋は、外周単純支持等分布荷重の円板とする。蓋の解析モデルを(口) - 第 A.19 図に示す。応力強さ(S) の最大が発生するのは、蓋 で、その値は、次式で表される。

$$S = | \sigma_r - \sigma_z |$$

$$r = \text{} \text{ のとき、} S \text{ は最大となるので } \sigma_z = \text{}$$

$$S = \left| - \frac{3P \cdot a^2}{8h^2} (3 + \nu) \right| \quad (21)$$

として計算する。

ここで、

P : 圧力

a : 蓋の半径

ν : ポアソン比

r : 半 径

h : 厚 さ

S =

=

蓋に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における一般の試験条件下の蓋の解析結果の最高温度 ((口) - 第 B.16 表参照) を蓋の温度と考え、安全側に としたときの蓋の部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

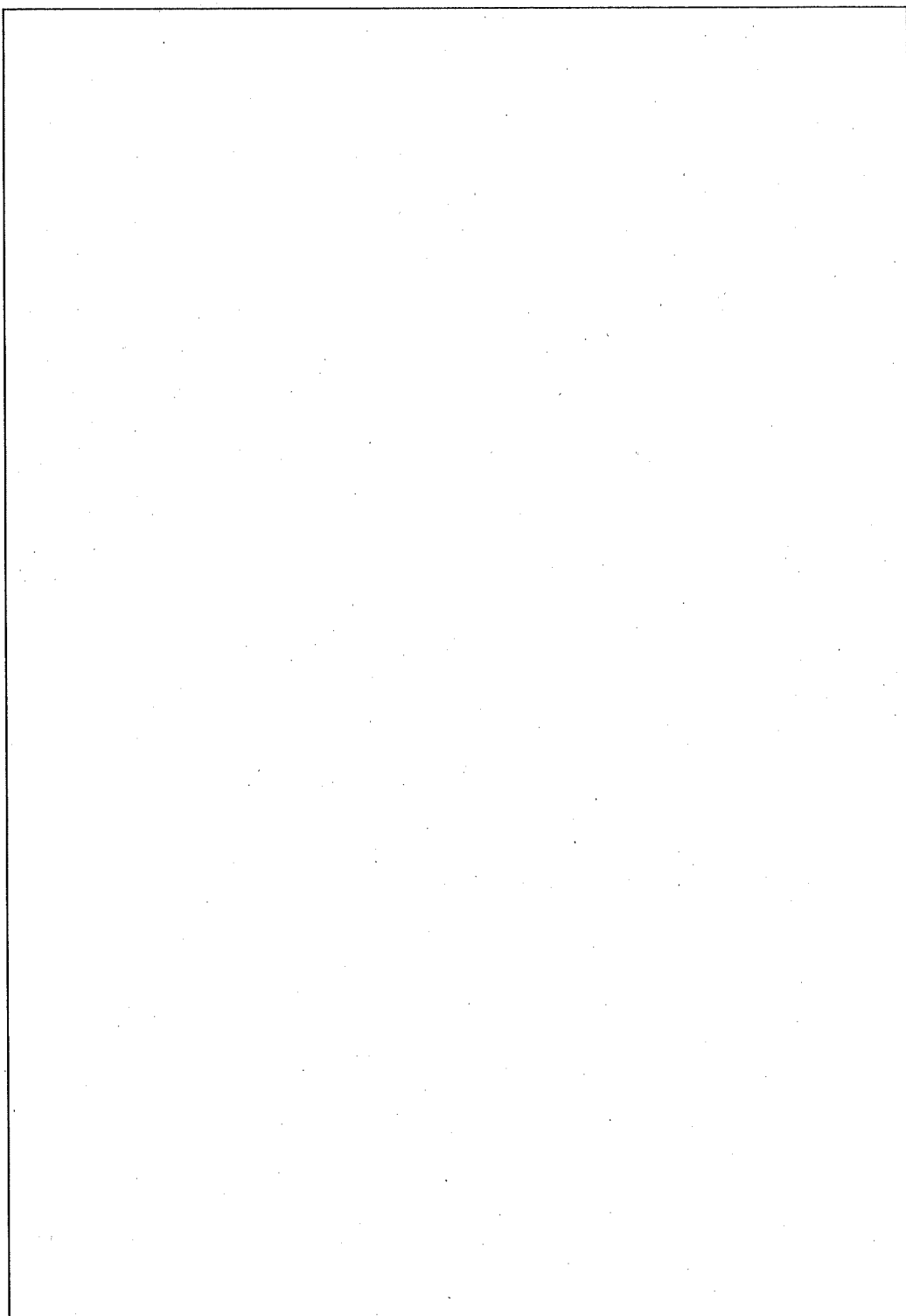
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \text{}$$

$$= \text{}$$

となる。したがって、蓋は健全である。



(ロ) - 第 A. 19 図 蓋の解析モデル

3. 底

底は、外周固定等分布荷重の円板とする。底の解析モデルを(口) - 第 A. 20 図に示す。

応力強さ(S) の最大値が発生するのは、でその値は次式で表される。

$$S = | \sigma_r - \sigma_z |$$

$$r = \text{} \text{ のとき、} S \text{ は最大となるので、} \sigma_z = \text{}$$

$$S = \left| - \frac{3P \cdot a^2}{8h^2} \{ (1+\nu) - (3+\nu) \} \right| \quad (21)$$

として計算する。

ここで、

- P : 圧力
- a : 底の半径
- ν : ポアソン比
- r : 半径
- h : 底の厚さ

$$S = \text{$$

$$= \text{$$

底に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における一般の試験条件下の底の解析結果の最高温度((口) - 第 B. 16 表参照) を底の温度と考え、安全側にとしたときの底の部材(SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

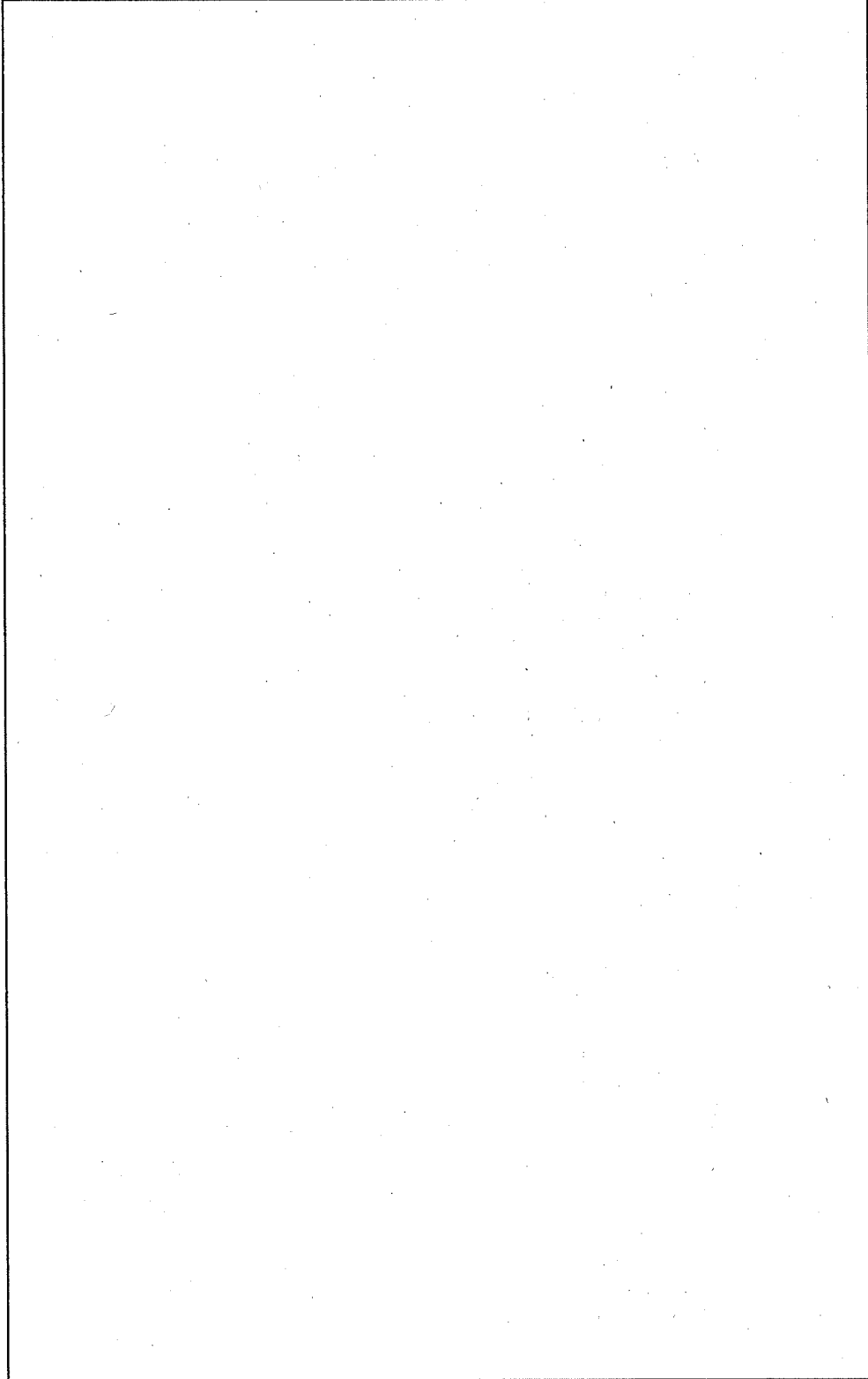
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、底は健全である。



(ロ) - 第 A. 20 図 底の解析モデル

4. 蓋締付用ボルト

圧力による蓋締付用ボルト 1 本あたりに発生する引張応力 (σ_1) は、次式で表される。

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

ここで、

F : 蓋締付用ボルト 1 本あたりに発生する荷重

$$F = \frac{P \cdot \pi \cdot D^2}{4n}$$

P : 圧力

D : 蓋部 O リング 内側の径

n : 蓋締付用ボルトの本数

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

$$= \text{[]}$$

A : 蓋締付用ボルト 1 本の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

d : 蓋締付用ボルト の谷径

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

$$= \text{[]}$$

$$\sigma_1 = \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

また、蓋締付用ボルトに発生する初期締付力による引張応力 (σ_2) は、次式で表される。

$$\sigma_2 = \frac{F}{A}$$

ここで、

F : 初期締付力 (付属書類 A. 10. 7 参照) N

A : 蓋締付用ボルト 1 本の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

d : 蓋締付用ボルト の谷径

5. 密封

(ロ) 章 C.6.1に記載されているように、容器本体・蓋は内圧 で気密漏えい検査を行い、密封性が維持されることが確認されている。したがって、容器本体・蓋の密封性は維持される。また、原型容器試験で気密漏えい検査を行い密封性が維持されることが確認されている。

A.4.7 振 動

1. 概要

輸送物を一端ヒンジ他端自由のはりとして考え固有振動数を計算し、輸送中に積載車両から伝達される振動数域と比較し、輸送物と積載車両が共振しないことを示す。

2. 計算

輸送物の解析モデルを (口) - 第 A.21 図に示す。

輸送物を一端ヒンジ、他端自由のはりと考え、固有振動数 (f_n) は、次式で表される。

$$f_n = \frac{K_1}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W \cdot l^4}} \quad (22)$$

ここで、

K_1 : 振動モードが 1 のときの定数

E : (口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体の解析結果の最高温度 (口) - 第 B.15 表参照) を輸送物の温度と考え、安全側に としたときの容器本体の部材 (SUS) の縦弾性係数

I : 断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)$$

d_o : 容器本体の外径

d_i : 容器本体の内径

$$I = \text{$$

$$= \text{$$

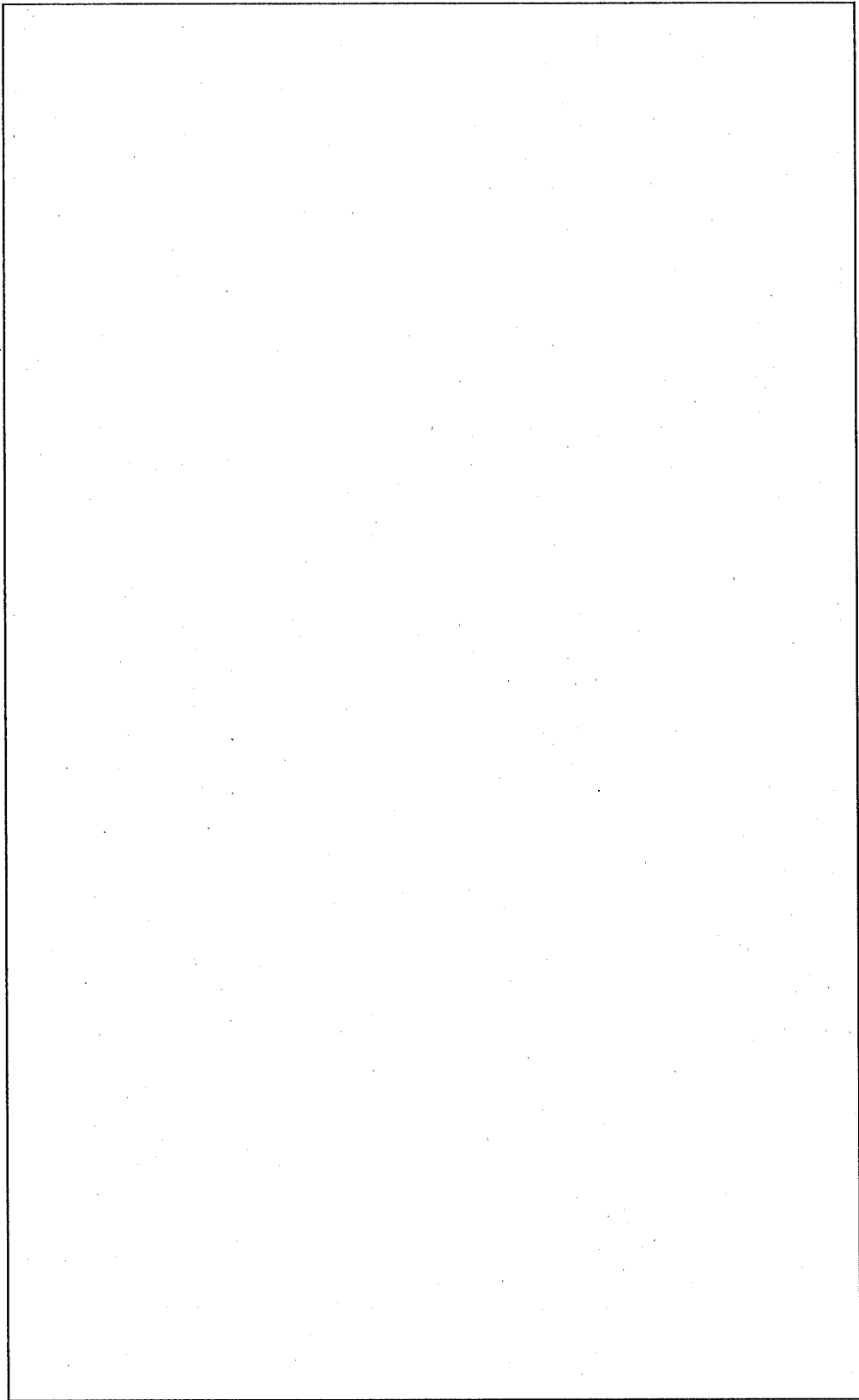
l : 輸送物の全長 1988 mm

W : 単位長さ当たりの重量

$$W = \frac{9.8 \cdot W_o}{l}$$

W_o : 輸送物の重量 18440 kg

$$W = \frac{9.8 \times 18440}{1988}$$



(ロ) - 第 A. 21 図 輸送物の解析モデル

A.5 一般の試験条件

輸送物は、BU型輸送物である。したがって、基準に定められた一般の試験条件は次のとおりである。

- (i) 周囲温度が 38℃から-40℃までの環境に一週間放置
- (ii) 水の吹き付け試験
 - (ii) の試験に引き続いて次の条件の下に置く。
- (iii) 自由落下試験
- (iv) 積み重ね圧縮試験
- (v) 貫通試験

本項においては、上述の試験条件下での輸送物へ与える影響について解析し、その解析結果が一般の試験条件の設計基準を満足することを示す。

A.5.1 熱的試験

輸送物の一般の試験条件下における熱解析の結果は、(ロ)章 B.4 に示すように以下のように要約される。

- 1) 最高温度及び最大内圧は、崩壊熱の最大の JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合で太陽の輻射熱を考慮し(日向)、周囲温度 38°C の横置き状態の場合である。
- 2) 最大熱応力は、日向においた環境下において最大崩壊熱を発生する JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合で容器本体・蓋の内外両面の温度差の最大となる横置き状態である。

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件下の圧力及び温度は、(ロ)章 B.4 一般の試験条件(太陽の輻射熱を考慮し、JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納し横置き状態の場合)に示され、それらの要約を(ロ)一第 A.9 表に示す。

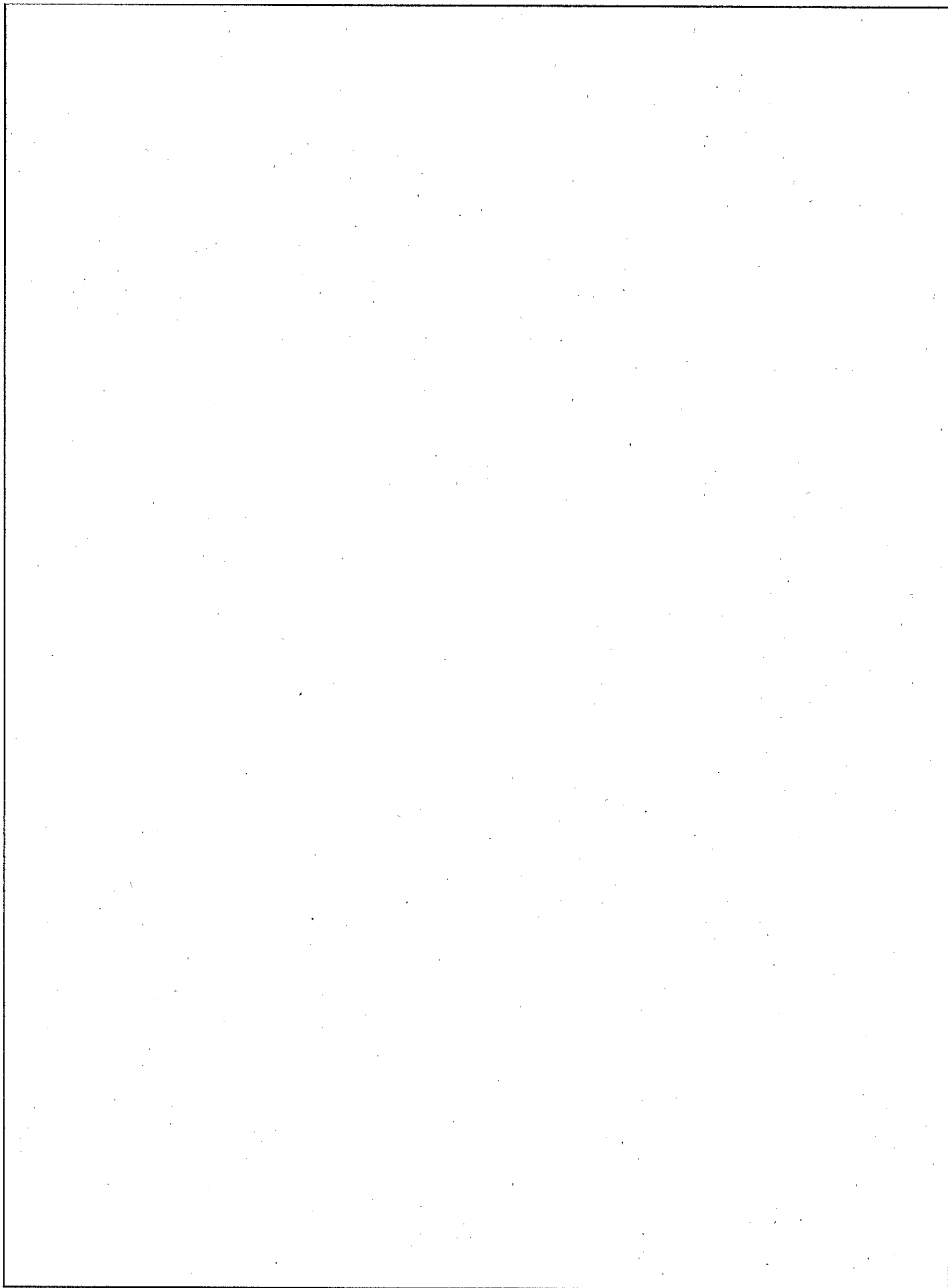
容器本体・蓋の温度分布を(ロ)一第 A.22 図に、蓋締付用ボルトの温度分布を(ロ)一第 A.23 図に、仕切板・区切板の温度分布を(ロ)一第 A.24 図に、枠組の温度分布を(ロ)一第 A.25 図に示す。なお、(ロ)一第 A.22 図に示す容器本体・蓋の温度分布は、各燃料を収納した場合の中で最大の温度勾配 (JMTR 標準燃料要素 (LEU)) を示すものである。

(ロ)一第 A.9 表 一般の試験条件下における圧力及び温度の要約

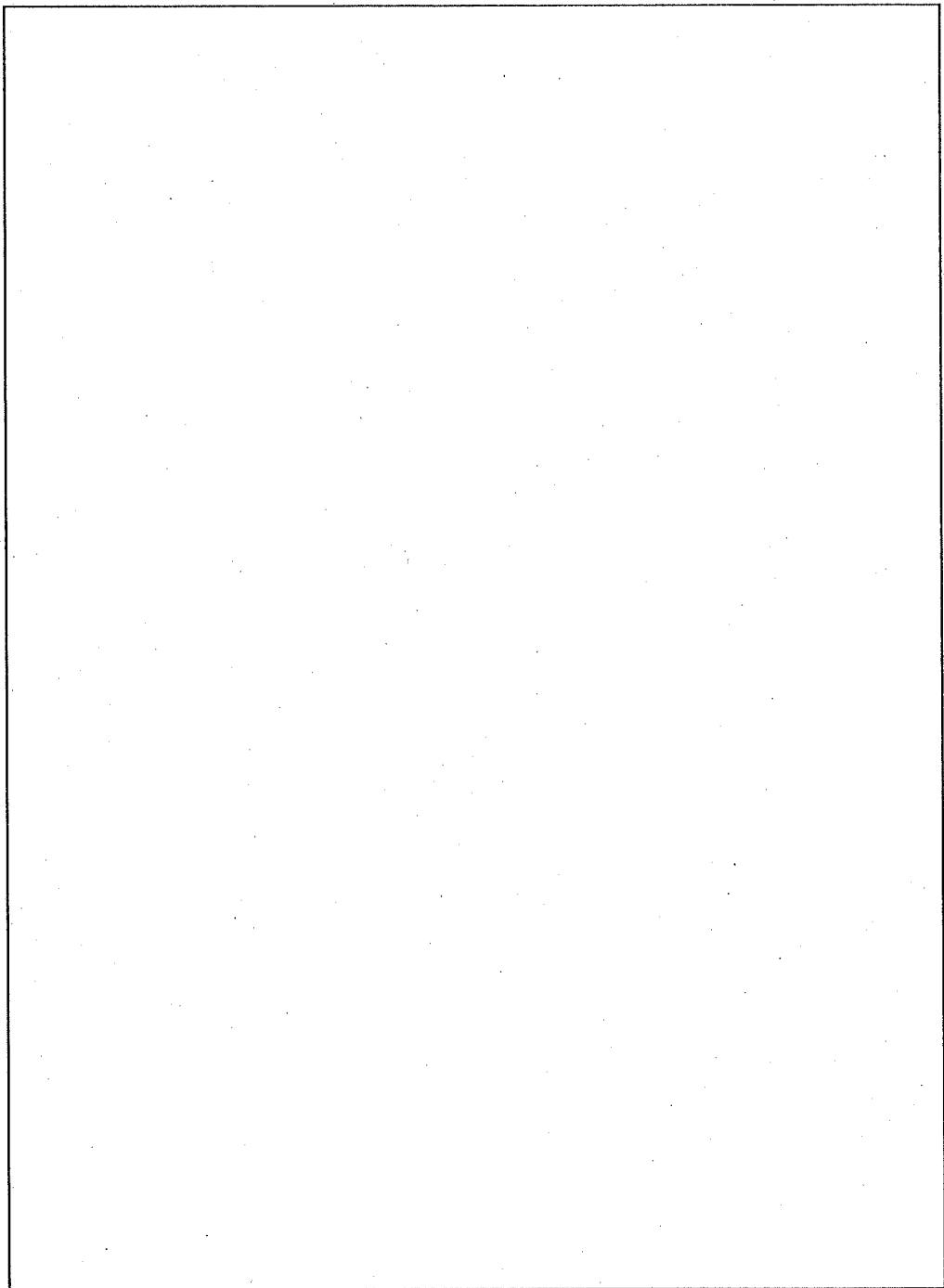
(JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時、日向、横置き)

容器本体・蓋 最高温度 (°C)	バスケット最高温度 (°C)		最大圧力 (kPa)
	仕切板・区切板	枠組	

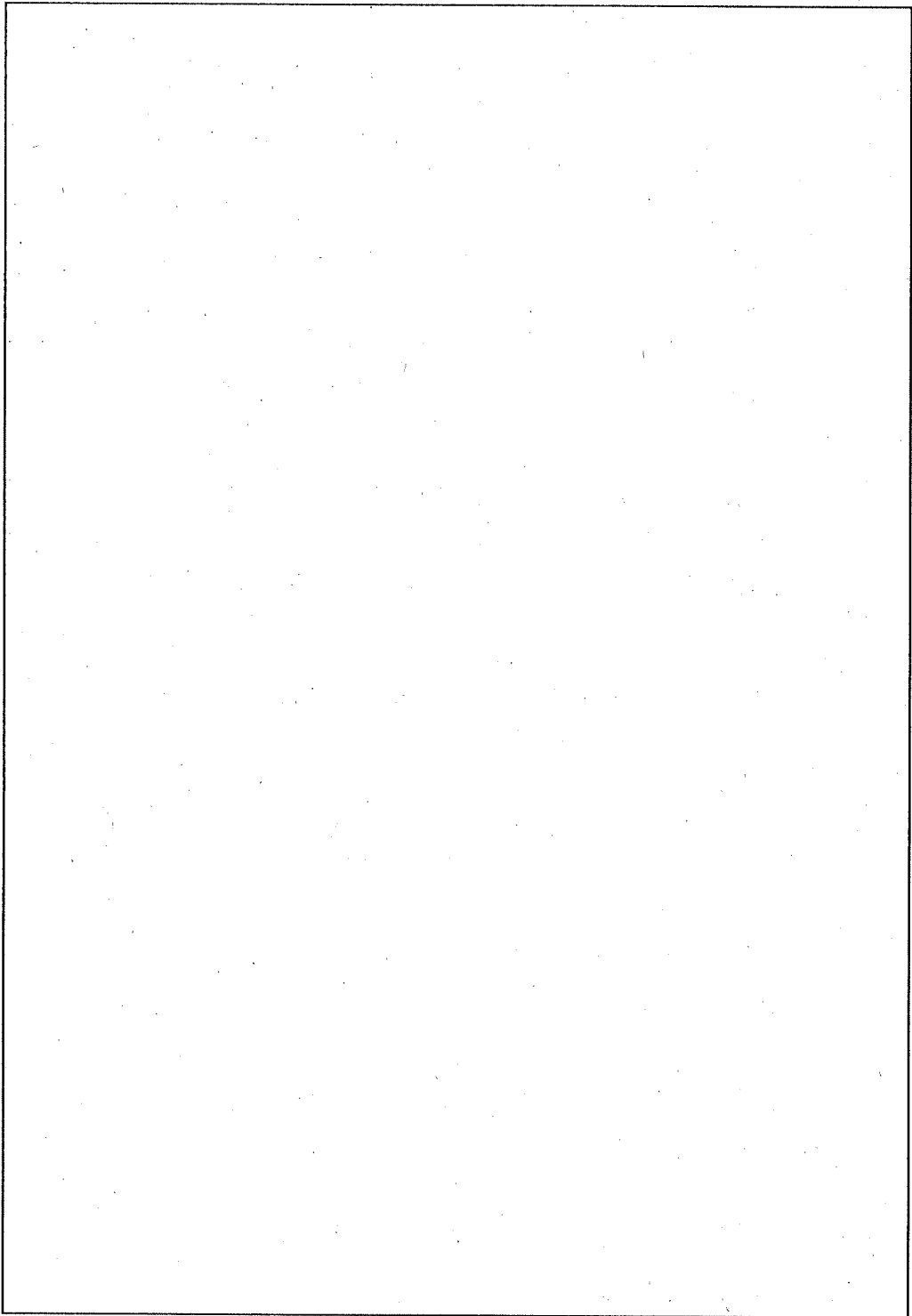
注) 温度は、小数点以下切上げとする。



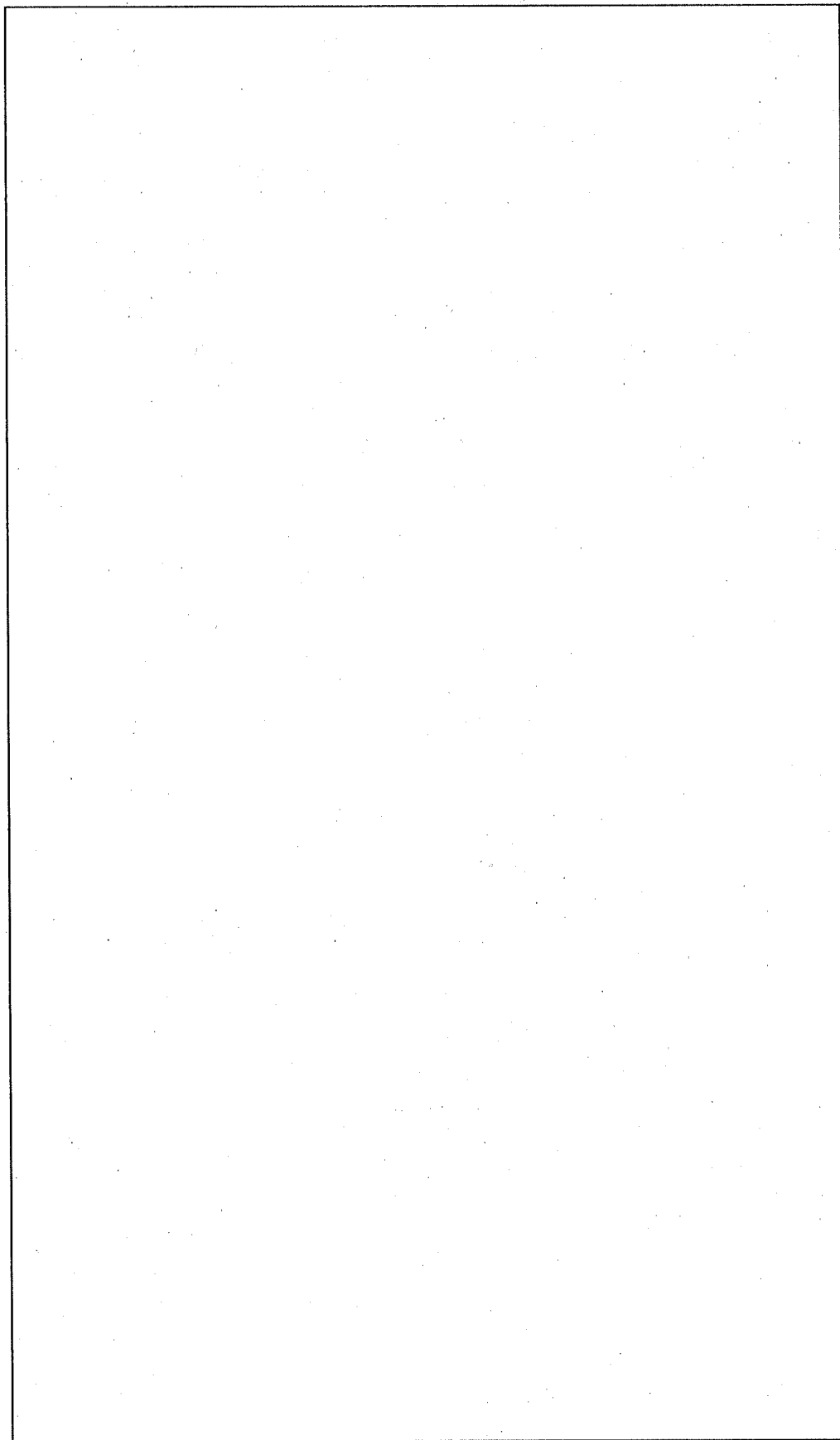
(口) 一第 A. 22 図 容器本体・蓋の温度分布



(口) - 第 A. 23 図 蓋締付用ボルトの温度分布



(口) - 第 A. 24 図 仕切板・区切板の温度分布



(口) - 第 A. 25 図 枠組の温度分布

A. 5. 1. 2 熱膨張

輸送物が横置き状態で日向の 38℃の周囲温度条件において、容器本体・蓋の熱膨張とバスケットの熱膨張により隙間が最小になり、かつ、熱応力が最大になる場合 (JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時) について評価する。

1. 容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトの熱膨張及び熱応力

容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトの熱膨張及び熱応力についての解析は、(口) 章 B. 熱解析によって求められた温度分布及び圧力を使用し、容器本体・蓋の健全性について構造解析汎用計算コード ANSYS (付属書類 A. 10. 1 参照) を用いて解析する。

容器本体・蓋の解析モデルを (口) - 第 A. 26 図に、蓋締付用ボルトの解析モデルを (口) - 第 A. 27 図に示す。

解析条件を以下に示す。

(1) 解析モデル

- 1) 容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトを 4 節点四辺形軸対称要素により分割する。
(付属書類 A. 10. 1 参照)
- 2) 容器本体外表面に取り付けられているフィン、吊上金具及び固縛金具等は容器本体を拘束しないので省略するものとする。
- 3) 蓋締付用ボルト穴及び蓋締付用ボルトは、それぞれ断面積及びボルト径を考慮し、等価な剛性をもつものとする。(付属書類 A. 10. 1 参照)

(2) 負荷条件

- 1) 蓋締付用ボルトの初期締付力を考慮する。(付属書類 A. 10. 7 参照)
- 2) 内圧は、(口) 章 B. 熱解析において求められた一般の試験条件下の最大内圧 及び特別の試験条件下の最大内圧 より安全側となる とした値を用いる。(JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時)

(3) 温度条件

- 1) 温度分布は、温度勾配の最大のものを用いる。
(横置き状態、日向、JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時)

(4) 解析方法

- 1) 容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトの解析方法は、弾性解析を行う。
熱膨張及び熱応力の解析結果を (口) - 第 A. 28 図～ (口) - 第 A. 30 図に示す。

1.1 容器本体・蓋

(ロ) 一第 A.29 図から容器本体・蓋に発生する最大の応力強さ(S)は、 $S = \square$
 \square となる。

容器本体・蓋に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B.熱解析
 における一般の試験条件下の容器本体・蓋の解析結果の最高温度 \square ((ロ) 一
 第 B.16 表参照) を容器本体・蓋の温度と考え、安全側に \square としたときの容器
 本体・蓋の部材(SUS \square)の設計応力強さ $S_m \square$ の 3 倍(3 S_m) を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1$$

$$= \square$$

$$= \square$$

となる。したがって、容器本体・蓋は健全である。

1.2 蓋締付用ボルト

蓋締付用ボルトに発生する初期締付力による引張応力 (σ_1)は、次式で表され
 る。

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

ここで、

F : 初期締付力(付属書類 A.10.7 参照) \square

A : 蓋締付用ボルト \square 1本の断面積

$$A = \frac{\pi}{4}d^2$$

d : 蓋締付用ボルト \square の谷径 \square

$$A = \square$$

$$= \square$$

$$\sigma_1 = \square$$

$$= \square$$

となる。

また、蓋締付用ボルトに発生する熱応力と内圧による最大の引張応力 (σ_2) は (ロ) 一第 A.30 図により $\sigma_2 = \boxed{}$ となる。

したがって、蓋締付用ボルトに発生する応力強さ (S) は、次式で表される。

$$\begin{aligned} S &= \sigma_1 + \sigma_2 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

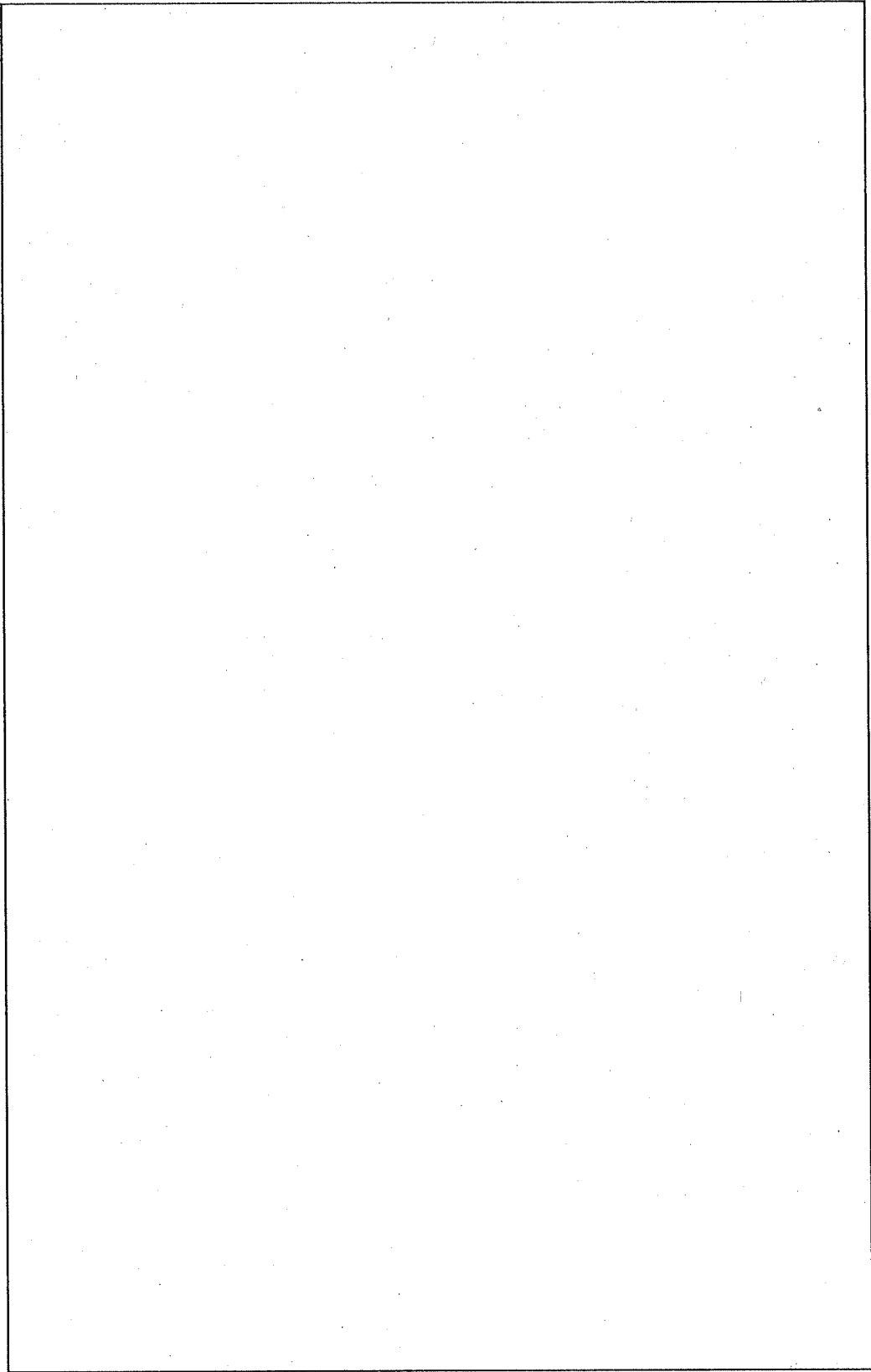
となる。

蓋締付用ボルトに発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ) 章 B. 熱解析における一般の試験条件下の蓋締付用ボルトの解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) 一第 A.23 図参照) を蓋締付用ボルトの温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときの蓋締付用ボルトの部材 (SUS $\boxed{}$) の降伏応力 $S_y \boxed{}$ を用いる。

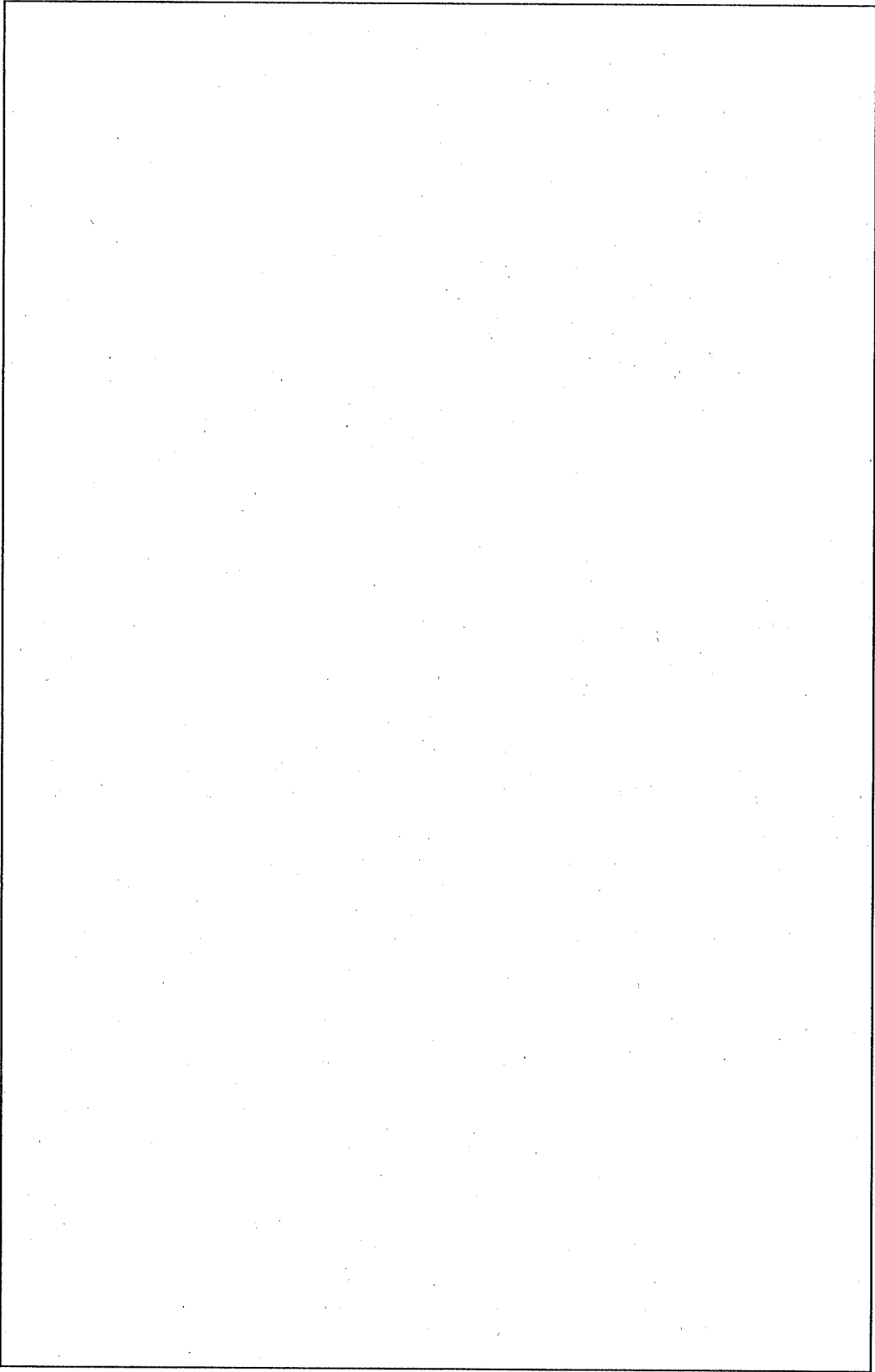
余裕率 MS は

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

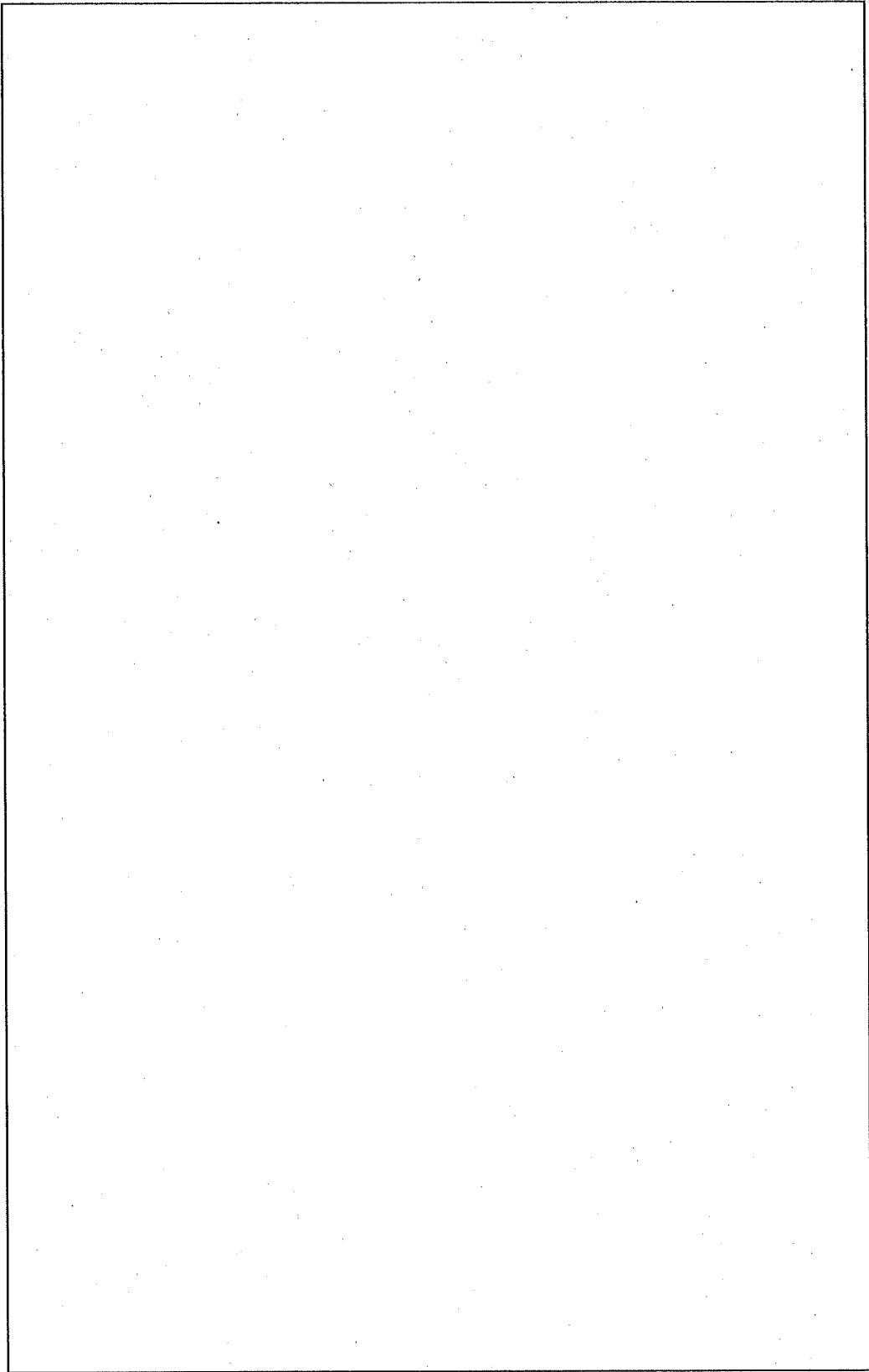
となる。したがって、蓋締付用ボルトは健全である。



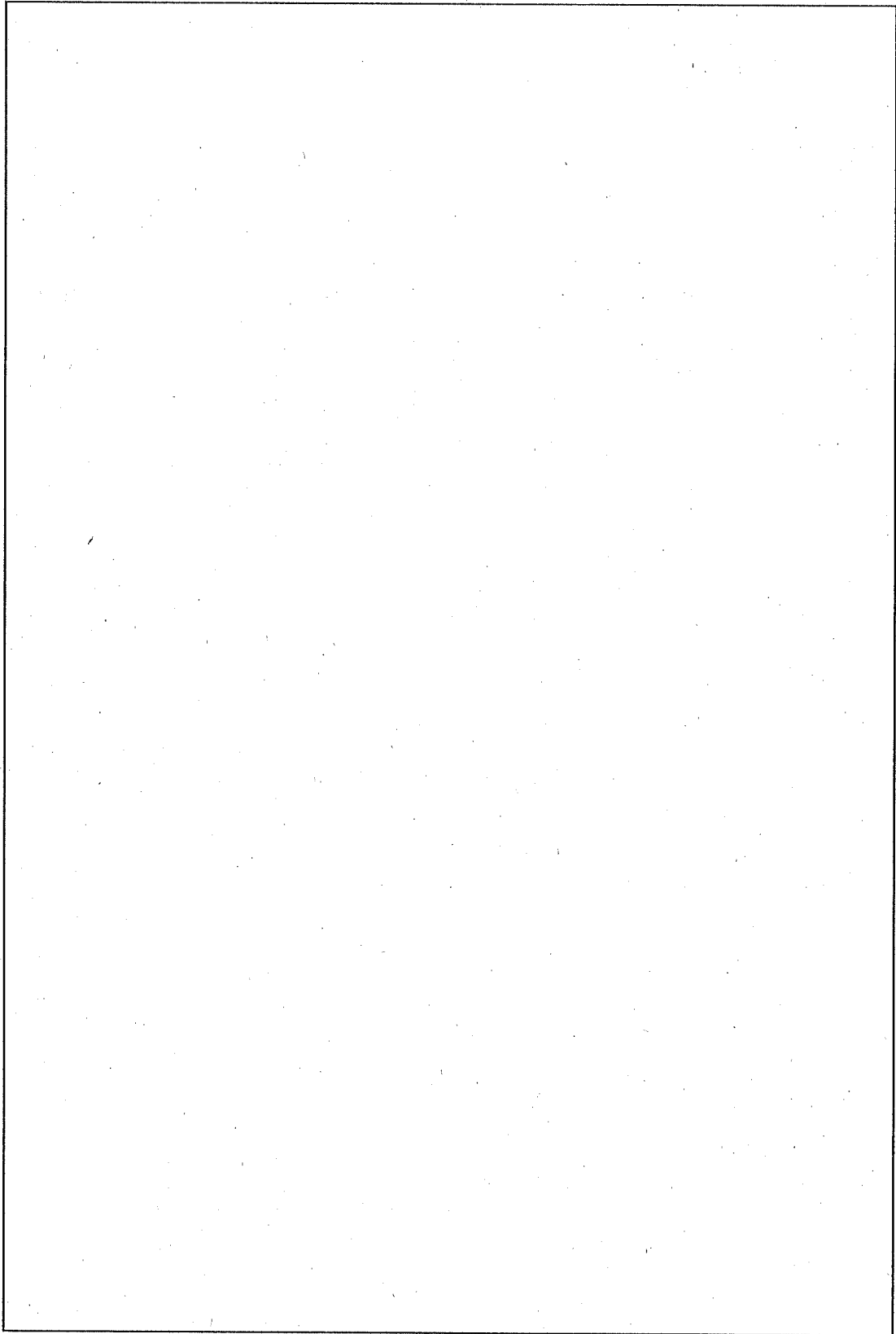
(ロ) - 第 A. 26 図 容器本体・蓋の解析モデル



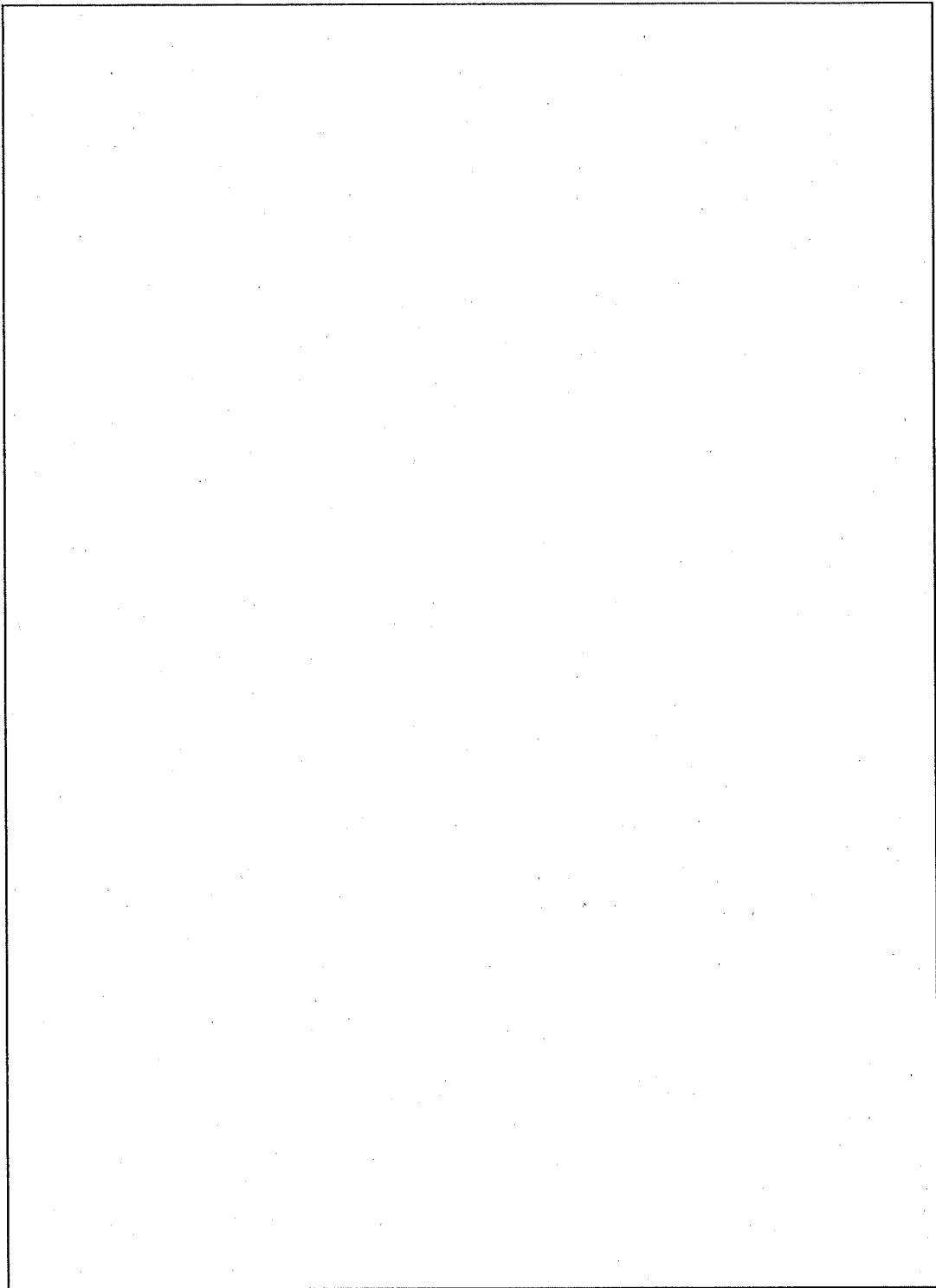
(ロ) - 第 A. 27 図 蓋締付用ボルトの解析モデル



(口) - 第 A. 28 図 熱膨張による容器本体・蓋の変形図



(口) 一第 A. 29 図 容器本体・蓋に発生する熱応力分布 (応力強さ)



(口) - 第 A. 30 図 蓋締付用ボルトに発生する熱応力分布 (引張応力)

2. バスケットの熱膨張及び熱応力

バスケットの熱膨張及び熱応力についての解析は、(ロ)章B.熱解析によって求められた温度分布を使用し、バスケットの健全性について構造解析汎用計算コード ANSYS (付属書類 A.10.1 参照) を用いて解析する。

仕切板・区切板の解析モデルを(ロ)－第A.31図に、枠組の解析モデルを(ロ)－第A.32図に示す。

解析条件を以下に示す。

(1) 解析モデル

- 1) 仕切板・区切板を4節点矩形シェル要素、枠組を4節点四辺形平面応力要素を用いて分割する。(付属書類 A.10.1 参照)

(2) 拘束条件

- 1) 仕切板・区切板と枠組はボルトにて取り付けられ、軸方向には、お互い拘束しない構造となっている。
- 2) 仕切板・区切板と枠組はボルトにて取り付けられ、軸方向は、長穴になっており仕切板・区切板と枠組は、個々に熱膨張をする。また、径方向は、仕切板・区切板と枠組の間には、隙間を設けており、仕切板・区切板の熱膨張が枠組に伝わらない構造となっている。

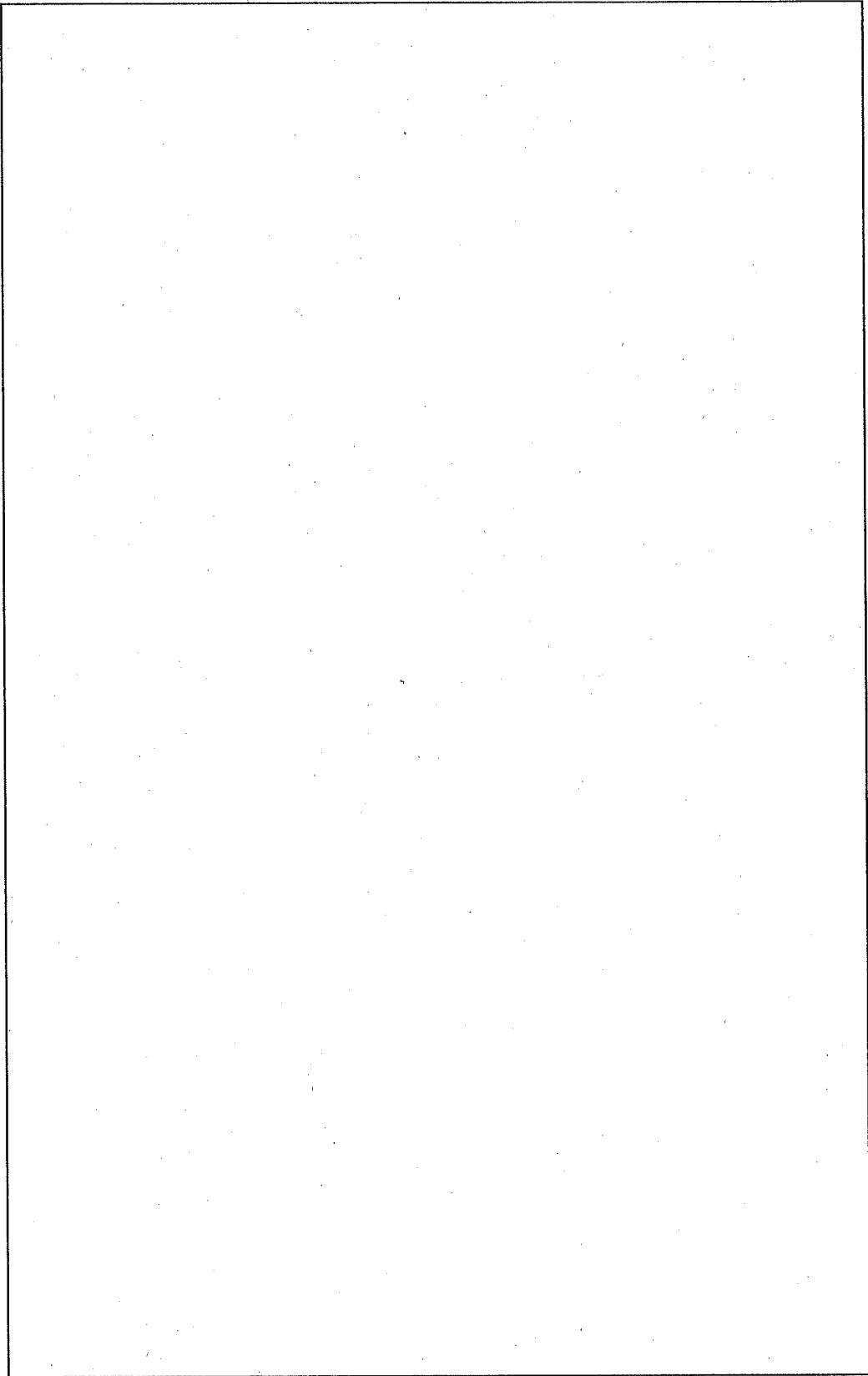
したがって、軸方向の熱膨張は、仕切板・区切板の方が枠組より大きいため、仕切板・区切板で解析する。また、径方向の熱膨張は、枠組で解析する。

(3) 温度条件

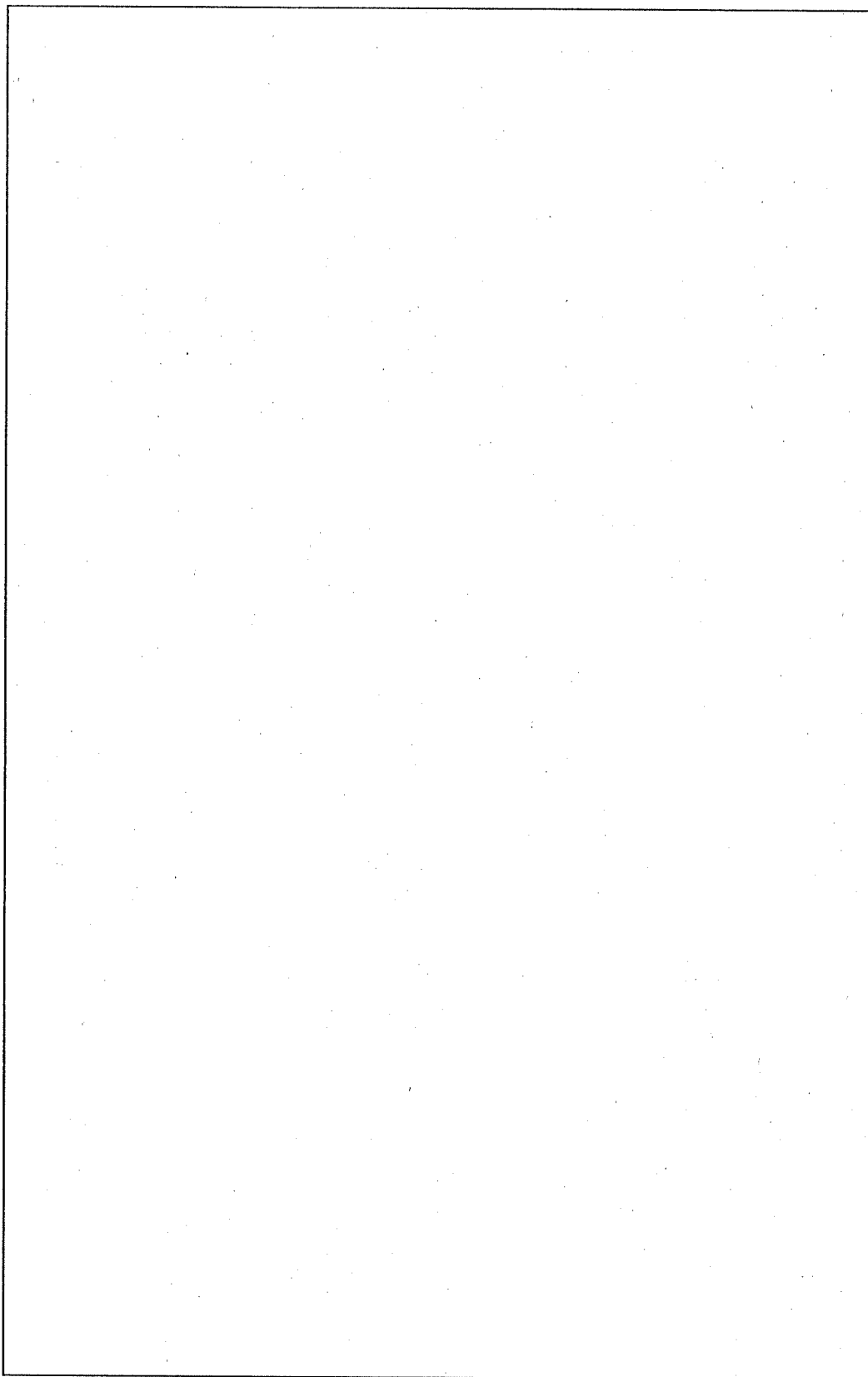
- 1) 温度分布は、温度勾配の最大のものを用いる。
(横置き状態、日向、JMTR 標準燃料要素(LEU)収納時)

(4) 解析方法

- 1) 仕切板・区切板の解析方法は、弾性解析を行う。
- 2) 枠組の解析方法は、弾塑性解析を行う。



(ロ) - 第 A. 31 図 仕切板・区切板の解析モデル



(ロ) - 第 A. 32 図 枠組の解析モデル

2.1 軸方向

熱膨張により仕切板・区切板と容器本体・蓋の拘束の有無及び熱応力について解析する。

(1) 熱膨張

軸方向の熱膨張は、仕切板・区切板の方が枠組より大きいため、仕切板・区切板で解析する。

構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析した結果、仕切板・区切板の軸方向の熱膨張後の寸法 (l_1) は、である。

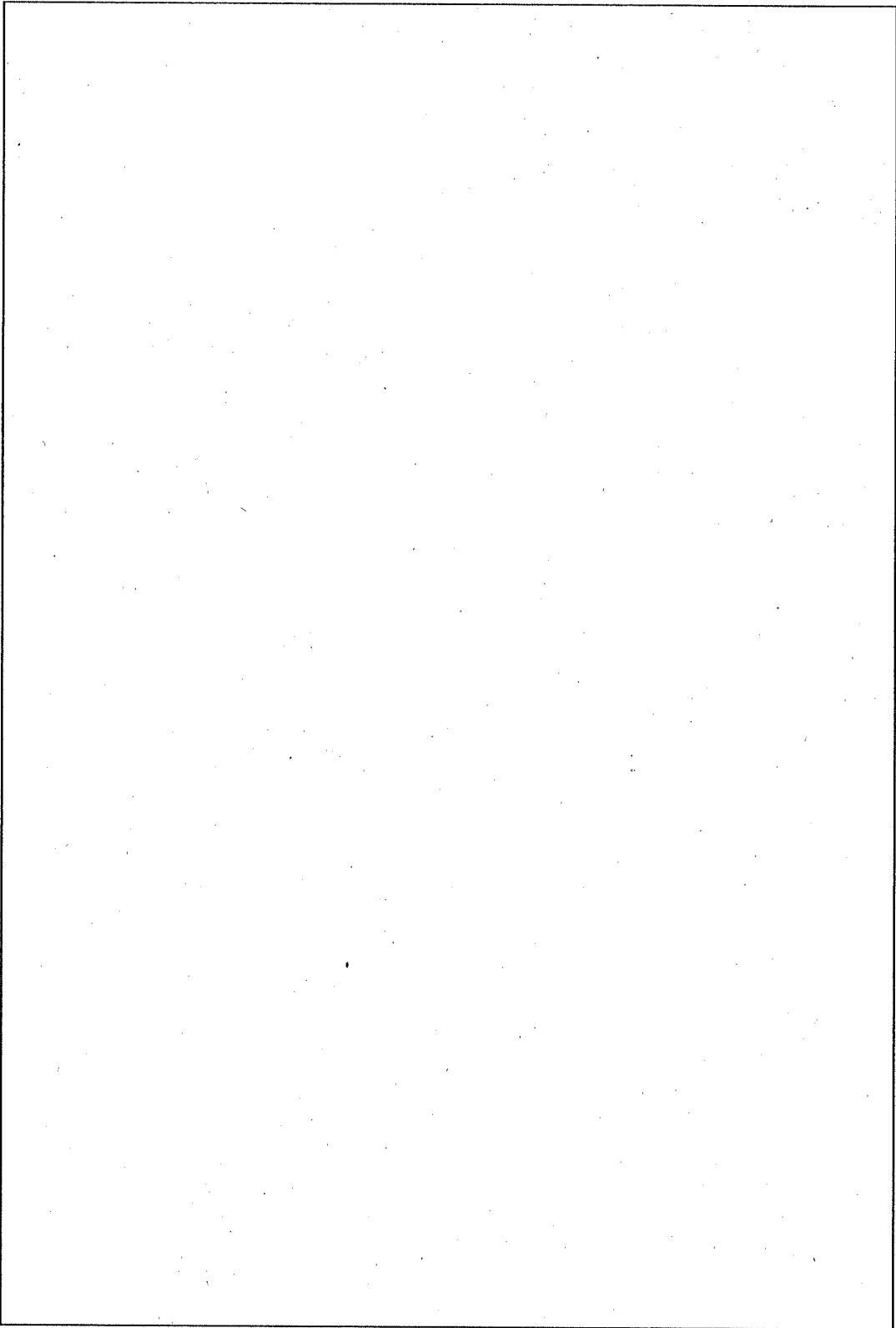
また、容器本体・蓋の軸方向の熱膨張後の寸法 (L_1) は、(ロ) - 第 A. 33 図 に示す解析結果から である。

熱膨張による仕切板・区切板と容器本体・蓋の軸方向の隙間 (δ_1) は、次式で表される。

$$\begin{aligned}\delta_1 &= L_1 - l_1 \\ &= \text{} \\ &= \text{}\end{aligned}$$

(ロ) - 第 A. 33 図にその結果を示す。

したがって、バスケットは容器本体・蓋で拘束されない。



(口) - 第 A. 33 図 熱膨張による仕切板・区切板と容器本体・蓋の軸方向の隙間

(2) 熱応力

仕切板・区切板に発生する熱応力分布を (ロ) - 第 A. 34 図に示す。

(ロ) - 第 A. 34 図から仕切板・区切板に発生する最大の応力強さ (S) は、 $S =$
[] となる。

仕切板・区切板に発生する熱応力に対する設計基準値としては、(ロ) 章 B. 熱解析における一般の試験条件下の仕切板・区切板の解析結果の最高温度 [] ((ロ) - 第 B. 16 表参照) を仕切板・区切板の温度と考え、安全側に [] としたときの仕切板・区切板の部材 [] の設計応力強さ S_m [] の 3 倍 ($3S_m$) を用いる。

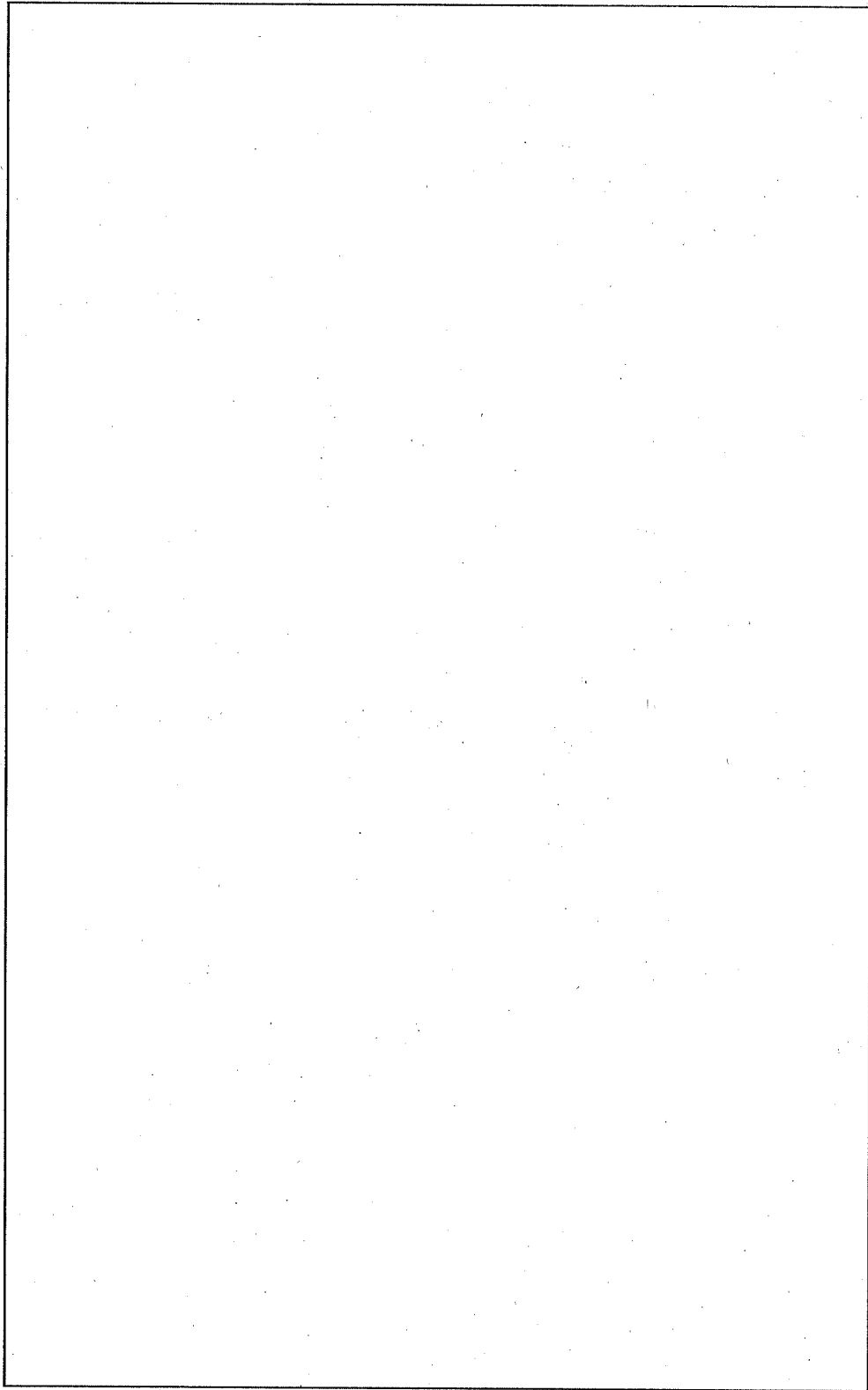
余裕率 MS は

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1$$

$$= []$$

$$= []$$

となる。したがって、仕切板・区切板は健全である。



(口) - 第 A. 34 図 仕切板・区切板に発生する熱応力分布 (応力強さ)

2.2 径方向

熱膨張により枠組は容器本体に拘束されないことを解析し、そのときの熱応力を評価する。

(1) 熱膨張

熱膨張による枠組の変形図を(口) - 第 A. 35 図に示す。

解析結果(口) - 第 A. 28 図) から容器本体の径方向の熱膨張後の寸法(R_1)は、

$R_1 =$ である。

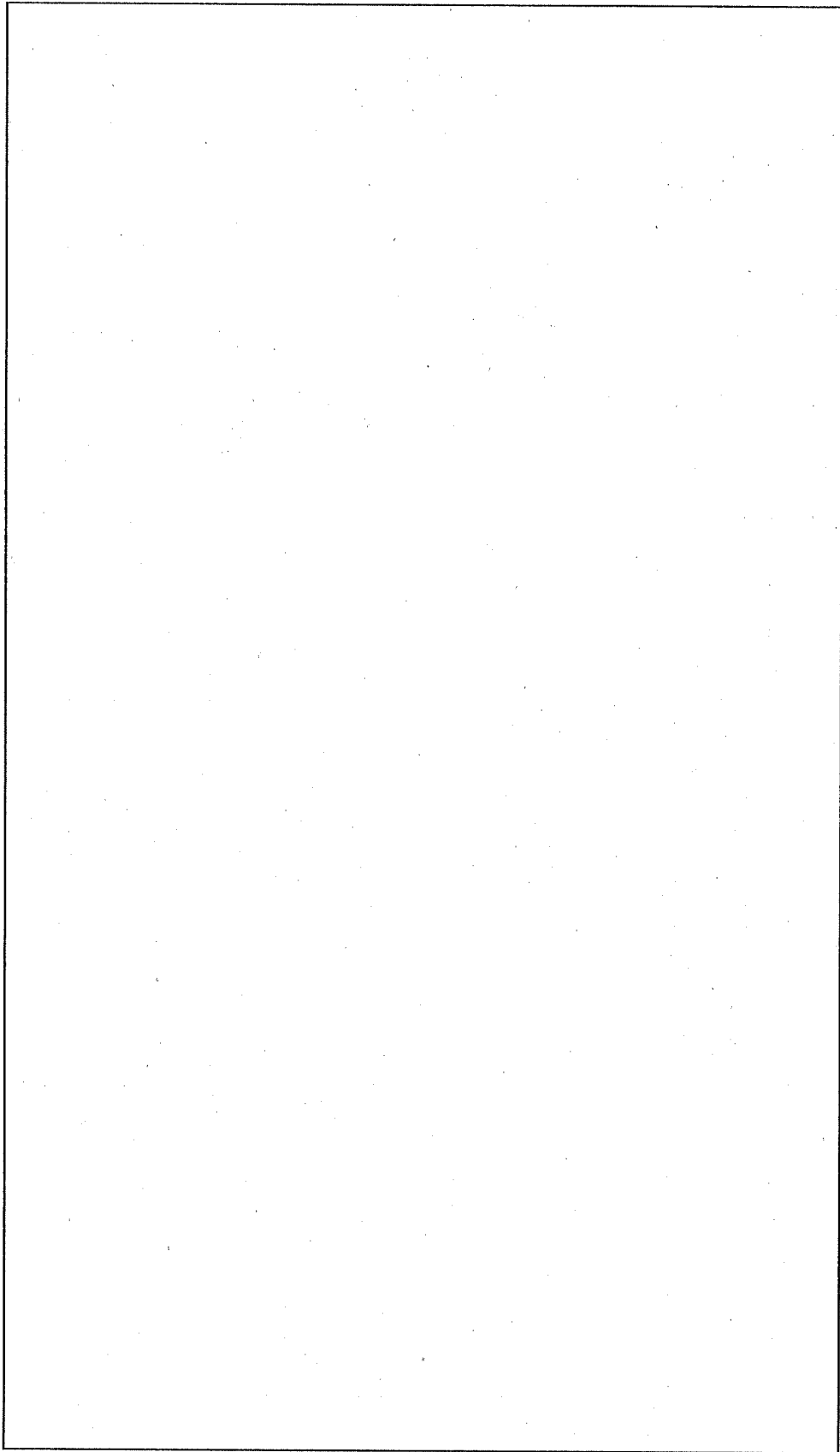
また、(口) - 第 A. 35 図から枠組の径方向の熱膨張後の寸法(r_1)は、 $r_1 =$

である。

容器本体とバスケットの隙間 (δ_2) は、次式で表される。

$$\begin{aligned}\delta_2 &= R_1 - r_1 \\ &= \text{} \\ &= \text{}\end{aligned}$$

したがって、バスケットは、容器本体で拘束されない。



(口) - 第 A. 35 図 断面 A-A における枠組の変形図

(2) 熱応力

枠組に発生する熱応力分布を (ロ) - 第 A. 36 図に示す。

(ロ) - 第 A. 36 図から枠組に発生する最大の応力強さ (S) は、 $S = \boxed{\quad}$ となる。

枠組に発生する熱応力に対する設計基準値としては、(ロ) 章 B. 熱解析における一般の試験条件下の枠組の解析結果の最高温度 $\boxed{\quad}$ ((ロ) - 第 B. 16 表参照) を枠組の温度と考え、安全側に $\boxed{\quad}$ としたときの枠組の部材 (SUS $\boxed{\quad}$) の設計応力強さ $S_m \boxed{\quad}$ の 3 倍 (3 S_m) を用いる。

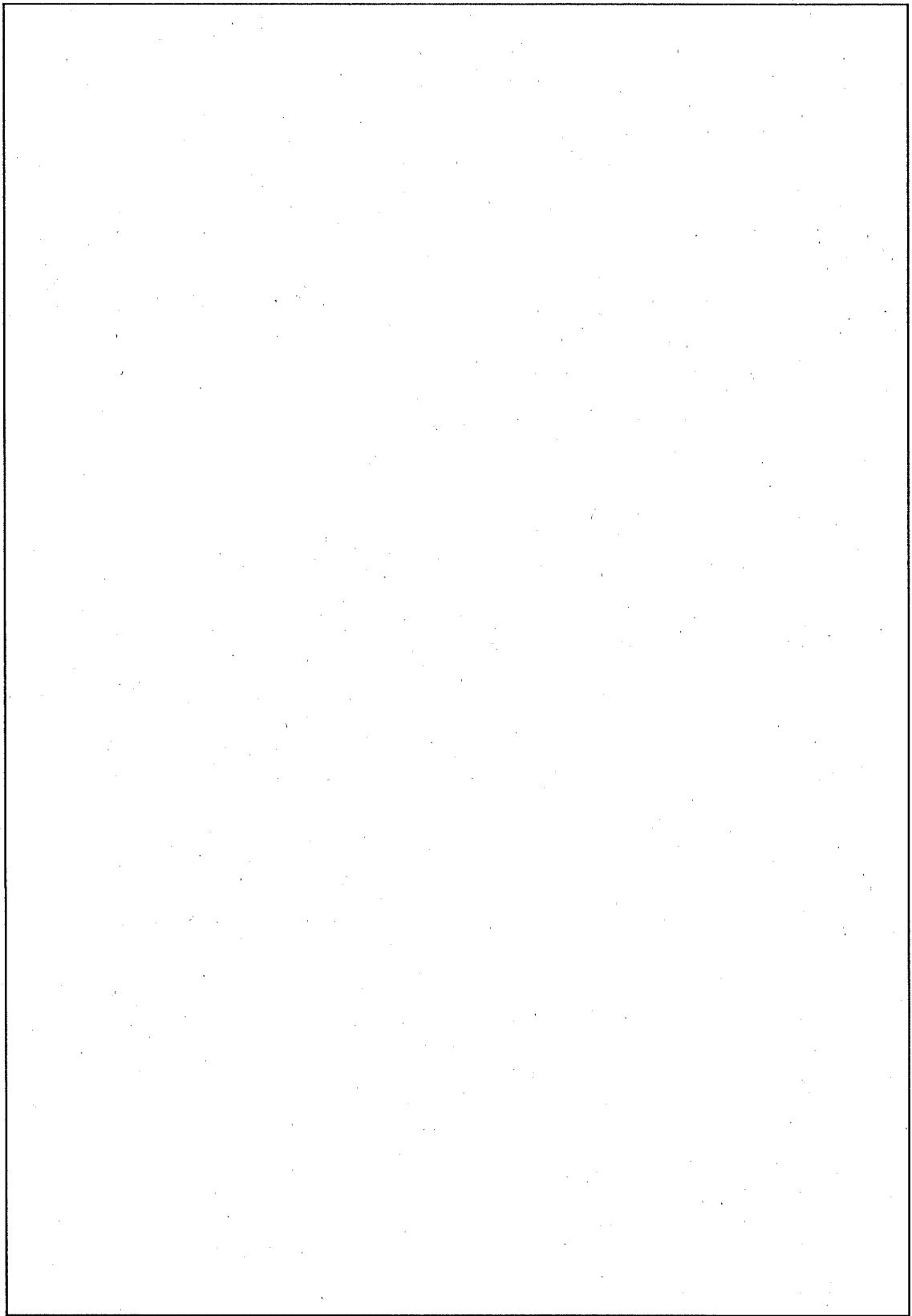
余裕率 MS は

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1$$

$$= \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad}$$

となる。したがって、枠組は健全である。



(口) - 第 A. 36 図 枠組に発生する熱応力分布 (応力強さ)

3. 隙間

一般の試験条件下における燃料装荷前及び燃料装荷後(定常時)の隙間を(口)一第A.10表に示す。

(口)一第A.10表 一般の試験条件下における燃料装荷前及び
燃料装荷後(定常時)の隙間

(単位：mm)

方向	燃料装荷前			燃料装荷後(定常時)		
	容器本体・ 蓋	バスケット	隙間	容器本体・ 蓋	バスケット	隙間
軸方向						
径方向 (半径)						

A. 5. 1. 3 応力計算

容器本体・蓋において A. 5. 1. 2 熱膨張で述べたように温度勾配による熱応力は小さく、熱負荷及び圧力の上昇も少ない。

A. 4. 4 吊上装置において外力に対する評価は、解析しているので本項では省略する。(口) 章 B. 4. 4 最大内圧から一般の試験条件下において容器本体に働く圧力は、である。A. 4. 6 圧力においてで解析を行って容器本体・蓋の健全性及び密封が維持できることが確認されている。したがって、本項では容器本体・蓋に働く圧力が A. 4. 6 圧力で解析されている圧力より低いので省略する。

また、バスケットは、密封容器でないため内圧に対する応力計算は行わない。

A. 5. 1. 4 許容応力との比較

A. 4 から A. 5. 1. 3 に解析した結果と、A. 1. 2 に示した設計基準との比較を (口) ー 第 A. 11 表 に示す。

本表により、各解析結果は設計基準を満足している。

(ロ) - 第 A.11 表 許容応力との比較 (2/3)

条 件	解 析 項 目	設 計 基 準	設 計 基 準 値 (N/mm ²)	解 析 結 果 (N/mm ²)	余 裕 率 (MS)	備 考
通常 の 輸 送 条 件	A.4.5 固縛装置					
	固縛金具					
	(1)固縛金具と容器 本体の溶接部	0.7Sy				
	(2)固縛金具の穴部	Sy				
	下部緩衝体内胴	0.7Sy				
	A.4.6 圧 力					
	1. 容器本体胴部	Sy				
	2. 蓋	Sy				
	3. 底	Sy				
	4. 蓋締付用ボルト	Sy				
	A.4.7 振 動					
	輸送物	輸送時の振動 数域	350 Hz		共振 しない	

(ロ) - 第 A.11 表 許容応力との比較 (3/3)

条 件	解 析 項 目	設 計 基 準	設 計 基 準 値 (N/mm ²)	解 析 結 果 (N/mm ²)	余 裕 率 (MS)	備 考
一 般 の 試 験 条 件	A.5 一般の試験条件					
	A.5.1 熱的試験					
	1. 熱応力					
	容器本体・蓋	3Sm				
	蓋締付用ボルト	Sy				
	バスケット					
	仕切板・区切板	3Sm				
枠組	3Sm					

A. 5. 2 水噴霧

輸送物は、ステンレス鋼を使用しているため耐食性は十分であり、特別の試験条件である浸漬試験においても密封性が維持されているので、水噴霧により密封性が損なわれることはない。

また、輸送容器の外表面は、滑らかに仕上げられており、かつ、水の溜まらない構造となっているため水切りがよい。

A. 5.3 自由落下

輸送物は、輸送容器の上下端に緩衝体を取り付けた構造であり、落下時の落下エネルギーは、全てこの緩衝体及び容器本体に取り付けられたフィンの変形によって吸収される設計となっている。

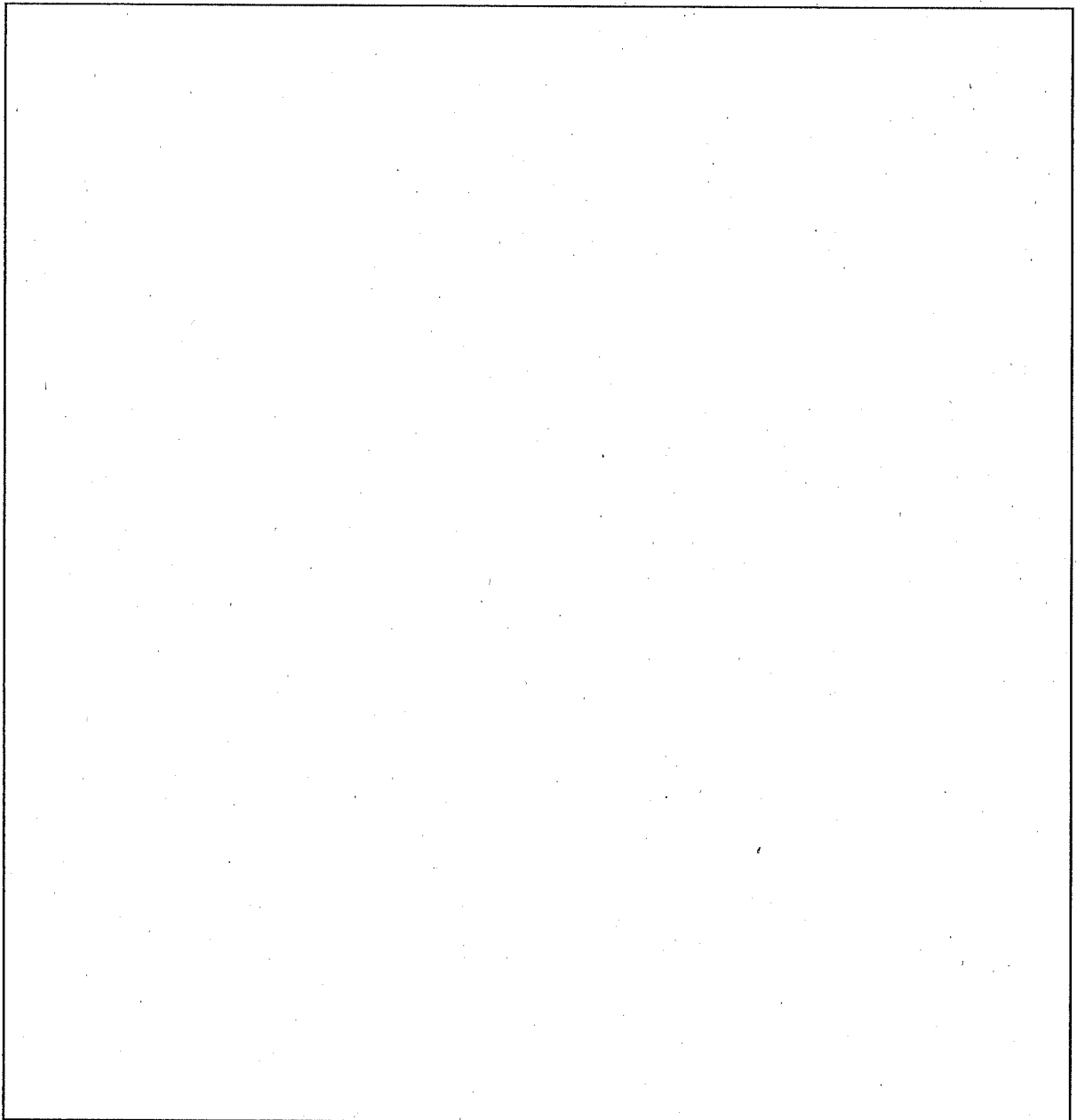
輸送物の重量は(口) - 第 A. 3 表に示すように 18440kg (最大重量) である。技術基準に定める自由落下の高さは、重量が 15000kg を超えるものについて 0.3m である。輸送物は、A. 6.1 で記述するように落下試験 I (特別の試験条件) の 9m の高さからの落下においても健全性が保たれており、落下高さ 0.3m の試験においても輸送物の健全性は十分保証される。

(口) 章 B. 熱解析において輸送物の 0.3m からの自由落下による輸送物の変形が考慮されるため、ここで緩衝体の変形量を評価しておく。

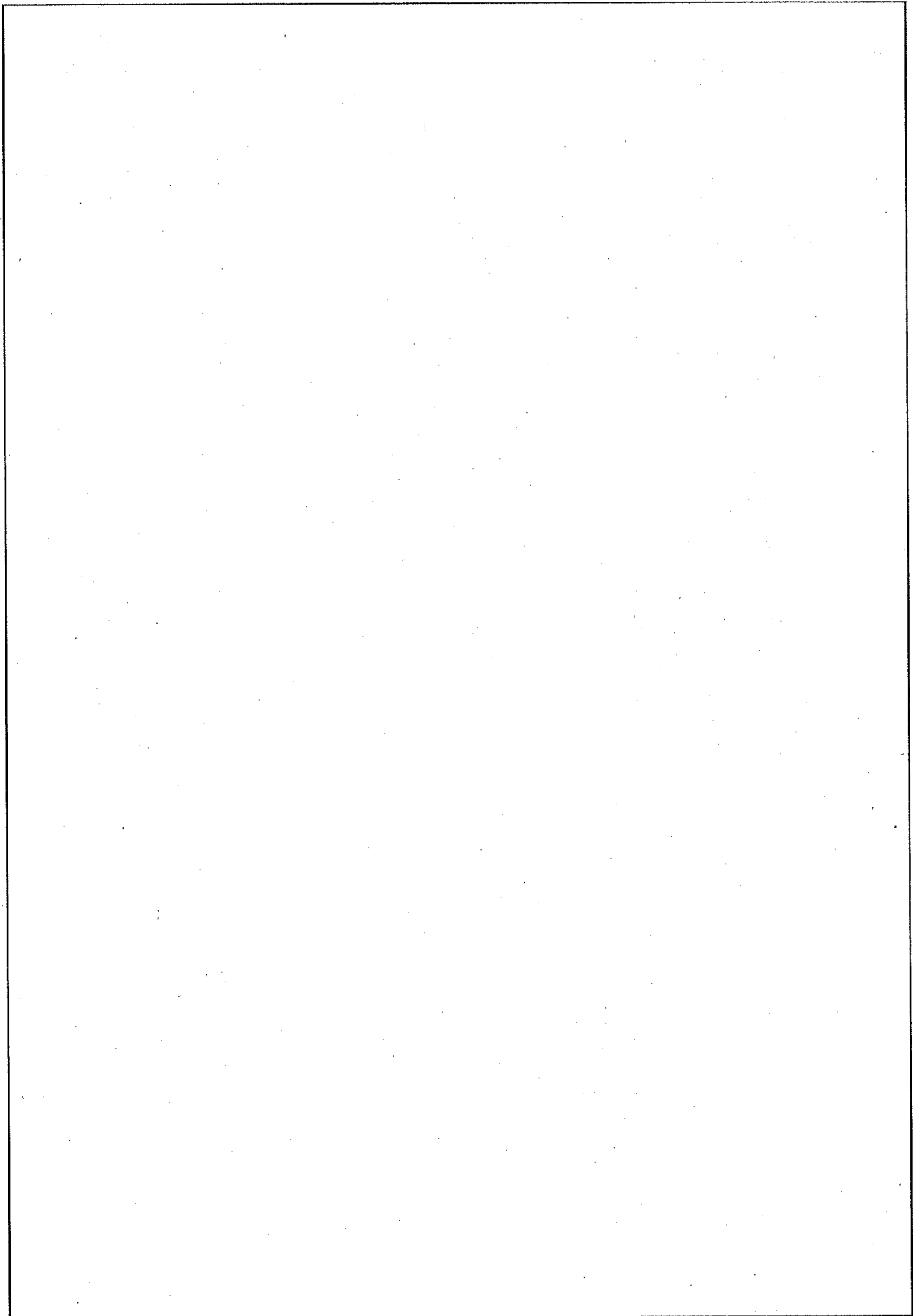
A. 6.1 特別の試験条件の落下解析に用いた計算コード SHOCK-2(付属書類 A. 10.2 参照)を用いて落下高さ 0.3m、落下姿勢状態(垂直落下、水平落下、コーナー落下)における緩衝体の変形量を計算する。その結果を(口) - 第 A. 12 表に示す。また、自由落下図を(口) - 第 A. 37 図、(口) - 第 A. 38 図に示す。なお、SHOCK-2 の計算条件等は、落下高さ 9m からの自由落下と落下高さを除いて同一のため詳細は、A. 6.1 項で述べる。

(口) - 第 A. 12 表 自由落下(0.3m)計算結果

項 目	エネルギー(N・mm)	変形量(mm)
垂直落下	5.43×10^7	
水平落下	5.43×10^7	
コーナー落下	5.43×10^7	



(口) - 第 A. 37 図 自由落下図 (その 1)



(口) 一第 A. 38 図 自由落下図 (その 2)

A. 5. 4 積み重ね試験

技術基準にしたがって、次の2つの条件について負荷荷重を比較する。

1. 供試物の自重の5倍に相当する荷重
2. 供試物の鉛直投影面積に13kPaを乗じた数に相当する荷重

1. の場合について計算すると次のとおりである。

輸送物の最大重量は、18440kgであるので（自重の5倍）+自重＝（自重の6倍）に相当する荷重は、

$$18440 \times 6 \times 9.8 = 1.09 \times 10^6 \text{ N}$$

である。

2. の場合について計算すると次のとおりである。

輸送物は、縦置き状態で輸送される。輸送物の最大外形寸法は、緩衝体の外形寸法1875mmであるので鉛直投影面積及び13kPaから荷重は、

$$\frac{\pi}{4} \times 1875^2 \times 1.30 \times 10^{-2} = 3.59 \times 10^4 \text{ N}$$

したがって、ここでは、上記荷重の大きい方、1. の場合の荷重を輸送容器（緩衝体を除く）に24時間加わった場合について、以下に示す各部の強度を評価する。（輸送物に圧縮荷重が加わった場合の強度評価モデルを（ロ）－第A. 39図に示す。）

- ① 圧縮による容器本体胴部の強度
- ② 圧縮による蓋の強度

なお、応力強さに対する設計基準値としては、（ロ）章B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部及び蓋の解析結果の最高温度□及び□（（ロ）－第B. 15表参照）容器本体胴部及び蓋の温度と考え、安全側に各々□及び□とし、そのときの容器本体胴部及び蓋□の降伏応力を用いる。

(1) 圧縮による容器本体胴部の強度

容器本体胴部の圧縮応力 (σ_c) は、次式で表される。

$$\sigma_c = \frac{W}{A}$$

ここで、

W : 圧縮荷重 (自重の 6 倍) 1.09×10^6 N

A : 圧縮面積

$$A = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2)$$

d_o : 容器本体胴部の外径

d_i : 容器本体胴部の内径

$$A =$$

$$=$$

$$\sigma_c =$$

$$=$$

したがって、応力強さ (S) は、次式で表される。

$$S = \sigma_c$$

$$=$$

容器本体胴部に発生する応力に対する設計基準値は の降伏応力 S_y

を用いる。

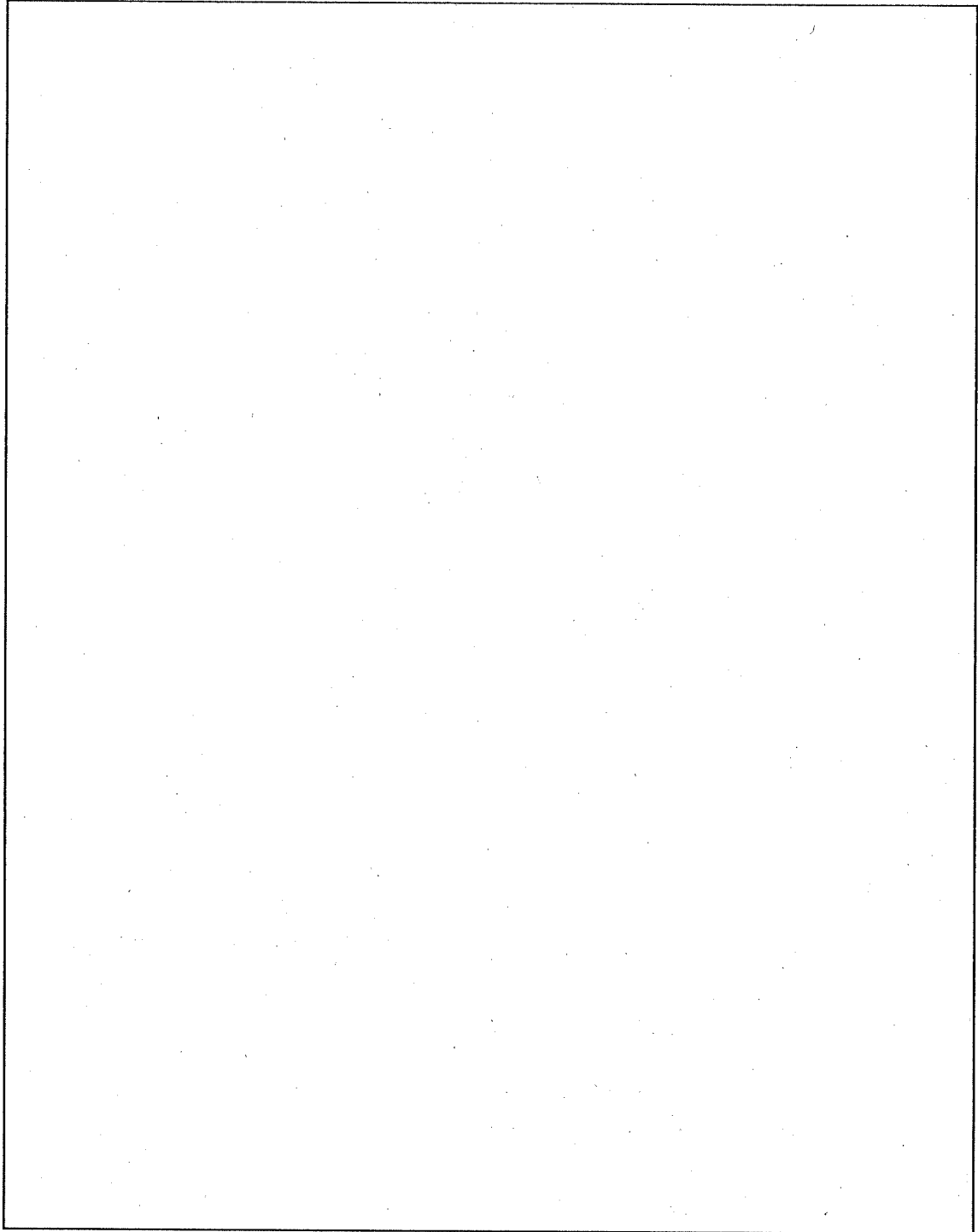
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$=$$

$$=$$

となる。したがって、容器本体胴部は、輸送物の 6 倍の荷重を受けても健全である。



(ロ) - 第 A. 39 図 輸送物に圧縮荷重が加わった場合の強度評価モデル

(2) 圧縮による蓋の強度

蓋解析モデルは、外周単純支持の円板に等分布荷重が作用するモデルとなる。
等分布荷重(P) は、次式で表される。

$$P = \frac{W}{A}$$

ここで、

W : 荷重

1.09×10^6 N

A : 支持面積

$$A = \boxed{}$$

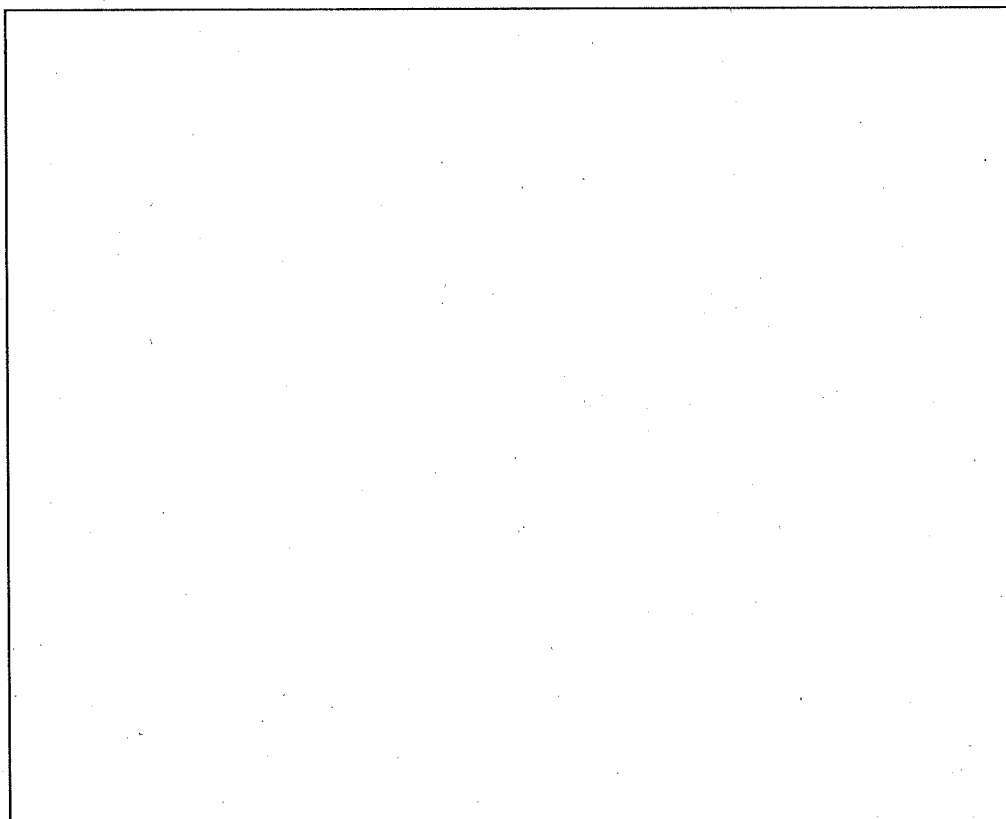
$$= \boxed{}$$

$$P = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

圧縮による蓋の解析モデルを (ロ) - 第 A. 40 図 に示す。



(ロ) - 第 A. 40 図 圧縮による蓋の解析モデル

応力強さ(S) の最大が発生するのは蓋 で、その値は次式で表される。

$$S = | \sigma_r - \sigma_z |$$

$r = \text{$ のとき、S は最大となるので、 $\sigma_z = \text{$

$$S = \left| - \frac{3P \cdot a^2}{8h^2} (3 + \nu) \right| \quad (21)$$

として計算する。

ここで、

P : 等分布荷重

a : 蓋の支持半径

ν : ポアソン比

h : 厚さ

$$S = \text{$$

$$= \text{$$

蓋に発生する応力に対する設計基準値は、 の降伏応力 S_y を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、蓋は、輸送物の 6 倍の荷重を受けても健全である。

A.5.5 貫通

重量 6kg、直径 3.2cm の軟鋼棒が 1m の高さから輸送物へ落下するとして輸送容器への影響を検討する。輸送容器外面で最も薄い部材は緩衝体表面被覆材であるのでこの部分へ落下しても貫通しないことを以下に示す。

6kg の軟鋼棒が 1m の高さから落下したときの落下エネルギー (E_k) は次式で表される。

$$E_k = 9.8W \cdot H$$

ここで、

W : 棒の重量 6 kg

H : 落下高さ 1000 mm

$$\begin{aligned} E_k &= 9.8 \times 6 \times 1000 \\ &= 5.88 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

軟鋼棒が緩衝体表面被覆材を貫通するエネルギー (E) は次式で表される。

$$E = C_1 \cdot C_2 \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot \sigma \cdot h \quad (16)$$

ここで、

d : 軟鋼棒の直径 32 mm

t : 緩衝体表面被覆材の貫通厚さ

σ : 緩衝体表面被覆材の引張強さ

h : 変形厚さ (h=t とする)

C_1 : 絞り比に関する係数

C_2 : 係数

$E_k = E$ のとき軟鋼棒が緩衝体表面被覆材を貫通する。

したがって、このときの緩衝体表面被覆材の貫通厚さ (t) は次式で表される。

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{\frac{E_k}{C_1 \cdot C_2 \cdot \pi \cdot d \cdot \sigma}} \\ &= \text{} \\ &= \text{} \end{aligned}$$

したがって、緩衝体表面被覆材は あれば貫通することはない。緩衝体表面被覆材の厚みは最小 であるので 6kg の軟鋼棒を 1m の高さから落下させても貫通することはない。

フィンの最小板厚は□であり、緩衝体表面被覆材最小厚み□より厚いので、6kgの軟鋼棒を1mの高さから落下させても貫通されず、多くても□のフィンが変形するだけである。

また、ドレン弁及びベントプラグは、上部緩衝体又は下部緩衝体で、輸送中覆われているので軟鋼棒の落下により破損することはない。

A. 5. 6 角又は縁落下

輸送物の最大重量は、18440kgであるから、本項は該当しない。

A. 5. 7 結果の要約と評価

一般の試験条件下における輸送物の要約を各試験項目ごとに記述する。

(1) 0.3m 落下

A. 5. 3 項より、輸送物は、A. 6. 1 で記述するように特別の試験条件の落下試験 I (9m 落下) においても健全性が保たれているので、0.3m 落下の試験においても健全性は十分保証されている。

(2) その他の要約

自由落下のほか、圧力、振動、水噴霧、積み重ね試験及び貫通に対する解析において、輸送物は健全性を保ち、その密封性は維持される。

A.6 特別の試験条件

輸送物は、BU型輸送物である。したがって、特別の試験条件は、次のとおりである。

- (1) 強度試験
 - 1) 落下試験Ⅰ (9m 自由落下試験)
 - 2) 落下試験Ⅱ (1m 貫通試験)
- (2) 熱的試験
- (3) 浸漬試験

特別の試験条件下における試験は、強度試験、熱的試験、浸漬試験の順番で行う。また、強度試験の順序については、この試験に引き続いて行う熱的試験時に輸送物が最大の破損を生じるように、その順序を決定する必要がある。強度試験によって変形が生じる部分は、緩衝体及びフィンであり、落下試験Ⅰに引き続いて落下試験Ⅱを実施した場合、一様な変形に局所的な変形が累積する。一方その逆の順序で実施した場合は、落下試験Ⅱによって生じた局所的な変形が落下試験Ⅰの一様な変形で累積せず、埋没することが起こる。したがって、強度試験に引き続き行われる耐火試験時では密封境界部の近くまで大きく変形が達する場合を採用し、落下試験Ⅰに引き続いて落下試験Ⅱを実施する場合について行う。

なお、応力強さに対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の解析結果の最高温度を考慮した材料の設計基準値を使用する。

A. 6.1 強度試験・落下試験 I (9m 落下時)

輸送物を 9m の高さから落下させた場合に輸送物が受ける変形等の評価を行う。考えられる各種の落下姿勢及び得られた結果の要約を (ロ) - 第 A. 13 表 に示す。

(a) 解析モデル

落下試験時に生じる応力等を、解析によって示す。

1) 解析条件

1. 落下試験時の輸送物のもつ落下エネルギーは、緩衝体の変形又は緩衝体及びフィンの変形により全てが吸収される。
2. 最大変形量を求める場合は、輸送物の重量を最大重量 18440kg、最大減速度を求める場合には、輸送物の重量を とし、最大減速度が大きくなるように安全側の値を用いる。
3. 輸送物には、緩衝体及びフィンの変形による減速度が働くものとする。

2) 解析方法

緩衝体及びフィンの変形量及び最大減速度の算出は、付属書類 A. 10. 2 で説明する計算コード SHOCK-2 及び付属書類 A. 10. 3 で説明する計算コード FIN-200 で計算し求める。

計算コード SHOCK-2 は、輸送物の落下エネルギーに等しくなるまで緩衝材である が変形するものとし、 の変形量と最大減速度を求める計算コードである。

また、計算コード FIN-200 は、緩衝体より内側にあるフィンまで緩衝体の変形が達し、さらに落下エネルギーを吸収するため変形が進む場合、フィンの変形量と最大減速度を求める計算コードである。

計算コードの基本的な解析方法を以下に示す。

落下エネルギー(E_K) は、次式で表される。

$$E_K = 9.8 W \cdot H$$

ここで、

W : 輸送物重量

H : 落下高さ

吸収エネルギー(E_{Ab}) は、次式で表される。

$$E_{Ab} = E_{SA} + E_{FIN}$$

ここで、

E_{SA} : 緩衝体による吸収エネルギー

$$E_{SA} = \int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon$$

δ : 緩衝体の変形量

ε : 緩衝体の変形率 (ひずみ)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h}$$

h : 緩衝体の初期高さ

$A(\varepsilon)$: 緩衝材の変形部の断面積

$F(\varepsilon)$: の変形応力図 ((口) - 第 A.2 図参照) より
求まる衝撃力

E_{FIN} : フィンによる吸収エネルギー

$$E_{FIN} = \int_{\delta'}^{\delta - \delta'} A'(\varepsilon') \cdot F'(\varepsilon') \cdot d\varepsilon'$$

δ' : 緩衝体外端よりフィン外端までの緩衝体の変形量

$A'(\varepsilon')$: フィンの変形部の断面積

$F'(\varepsilon')$: フィンの変形率-応力曲線

ε' : フィンの変形率

$$\varepsilon' = \frac{\delta - \delta'}{h'}$$

h' : フィンの初期高さ

落下エネルギー (E_k) の全てが、緩衝体及びフィンの変形で吸収される場合は落下エネルギー (E_k) と吸収エネルギー (E_{Ab}) が等しくなる。

$$E_k = E_{Ab}$$

$$W \cdot H = E_{SA} + E_{FIN}$$

$$W \cdot H = \int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon + \int_{\delta'}^{\delta - \delta'} A'(\varepsilon') \cdot F'(\varepsilon') \cdot d\varepsilon'$$

上式を用いて緩衝体の変形量 (δ) を求める。

また、最大減速度 (G) は、次式で表される。

$$G = \frac{F_{SA} + F_{FIN} + F_{SP}}{9.8 \quad W_a}$$

F_{SA} : 緩衝体の衝撃力

$$F_{SA} = A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon)$$

F_{FIN} : フィンの衝撃力

$$F_{FIN} = A'(\varepsilon') \cdot F'(\varepsilon')$$

F_{SP} : 表面被覆材の抵抗力

W_a : 輸送物の重量

上式を用いて最大減速度 (G) を求める。

以上から、緩衝体及びフィンの変形量及び最大減速度が求められる。

(ロ) - 第 A.13 表 落下試験 I の落下姿勢 (その 1)

落下姿勢		略 図	状 況	衝突後の状況の評価
垂 直 落 下	上 部 垂 直 落 下		緩衝体が 試験台に 衝突する。	上部緩衝体は、変形するが、容器本体まで達しない。
	下 部 垂 直 落 下		緩衝体が 試験台に 衝突する。	上部垂直落下と同様であるので解析しない。
水 平 落 下			緩衝体が 試験台に 衝突する。	緩衝体及びフィンの一部が変形するが、容器本体まで達しない。
コ ー ナ ー 落 下	上 部 コ ー ナ ー 落 下			緩衝体が 試験台に 衝突する。	上部緩衝体は、変形するが、容器本体まで達しない。

(ロ) ー第 A.13 表 落下試験 I の落下姿勢 (その 2)

落下姿勢		略 図	状 況	衝突後の状況の評価
コ ー ナ ー 落 下	下 部 コ ー ナ ー 落 下		緩衝体が 試験台に 衝突する。	下部緩衝体は、変形するが、容器本体まで達しない。
傾 斜 落 下	上 部 傾 斜 落 下 下 部 傾 斜 落 下		緩衝体が 試験台に 衝突する。	傾斜角度 15°、30°、60°及び 75°の各落下角度状態においても、緩衝体は、変形するが容器本体まで達しない。

(b) 原型容器試験

輸送物の特別の試験条件のうち安全性に及ぼす影響が大きいと考えられる落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ及び耐火試験について輸送容器の1/1スケールモデルを使用し、一連の試験を実施し、減速度、ひずみ、変形量等の測定を行い解析値と比較検討することにより評価法の妥当性を確認するとともに、気密漏えい検査により試験体の密封上の健全性を確認した。

原型容器試験の結果については、(ロ)章 H. 原型容器試験結果報告書にて記述する。

(c) モデル試験

原型容器試験を行っているのでモデル試験は採用しない。

A.6.1.1 垂直落下

9m 垂直落下時の緩衝体の変形による最大減速度に対して、容器本体・蓋、ドレン弁及びベントプラグが健全であり、密封性が維持されることを示す。また、バスケット及び収納物である燃料が健全であることを示す。

垂直落下には、上部垂直落下と下部垂直落下の場合がある。

解析は、計算コード SHOCK-2 で数値計算を行う。

(1) 上部垂直落下

1) 緩衝体の解析条件

垂直落下の状態図を (口) - 第 A.41 図に示す。緩衝体は、(口) - 第 A.41 図に示すように、輸送容器に取り付けられる部分 (太線の部分) は、板厚 [] 前後のステンレス鋼板で堅固に組合わされており、緩衝材である [] の落下時の圧縮変形に対して拘束している。したがって、計算コード SHOCK-2 における緩衝材の形状係数は $K_1 = []$ とする。

また、(口) - 第 A.41 図の太線以外の部分は、板厚 [] のステンレス鋼板により被覆されており、圧縮変形に対して緩衝材の拘束は垂直落下の場合十分でない。したがって、計算コード SHOCK-2 における緩衝材の形状係数は $K_2 = []$ とする。(形状係数とは、例えば形状係数 [] ということは、この部分では、圧縮変形によるエネルギー吸収が [] と考えるということを示すもので実験等の結果から決定した値である。)

計算コード SHOCK-2 で求められた垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係を (口) - 第 A.42 図に示す。

2) 変形量の算出

緩衝体の変形量 (δ) は、以下のようにして求める。

$$E_{SA} = E_K$$

E_{SA} : 緩衝体による吸収エネルギー

$$E_{SA} = \int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon$$

δ : 緩衝体の変形量

ε : 緩衝体の変形率 (ひずみ)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h}$$

h : 緩衝体の初期高さ

A(ε) : 緩衝材の変形部の断面積

F(ε) : の変形応力図 ((口) - 第 A. 2 図参照)

より求まる衝撃力

E_k : 落下エネルギー

$$E_k = 9.8 \cdot W \cdot H$$

W : 輸送物重量 18440 kg

H : 落下高さ 9000 mm

$$E_k = 9.8 \times 18440 \times 9000$$

$$= 1.63 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore \int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon = 1.63 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

(口) - 第 A. 42 図から緩衝体の変形量はとなる。

緩衝体の軸方向の許容厚さは (口) - 第 A. 41 図からである。

また、試験台から蓋吊上金具までの距離はであるので、緩衝体が変形しても、蓋吊上金具には達しない。

したがって、緩衝体の変形量が許容厚さを超えないことより容器本体・蓋に変形が及ぶことはない。

3) 最大減速度の算出

最大減速度(G_v)は、次式で表される。

$$G_v = \frac{F_{SA} + F_{SP}}{9.8 \quad W_a}$$

F_{SA} : 緩衝体の衝撃力

$$F_{SA} = A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon)$$

(口) — 第 A. 42 図から

F_{SP} : 表面被覆材の抵抗力

$$F_{SP} = F_1 + F_2$$

F_1 : 緩衝体中央部側壁ステンレス鋼板の抵抗力

$$F_1 = \frac{\sigma_{mc1} \cdot \pi \cdot d_{o1}^2}{4}$$

σ_{mc1} : みかけの圧縮変形応力

$$\sigma_{mc1} = \text{[]} Sy \left(\frac{t_1}{d_{i1}} \right)^2 \quad (2.4)$$

Sy : 緩衝体中央部側壁ステンレス鋼板(SUS[])の常温
における降伏応力

t_1 : 緩衝体中央部側壁ステンレス鋼板の最大板厚

d_{i1} : 緩衝体中央部側壁ステンレス鋼板の内径

$$\sigma_{mc1} =$$

$$=$$

d_{o1} : 緩衝体中央部側壁ステンレス鋼板の外径

$$F_1 =$$

$$=$$

F_2 : 緩衝体表面被覆材の抵抗力

$$F_2 = \frac{\sigma_{mc2} \cdot \pi \cdot d_{o2}^2}{4}$$

σ_{mc2} : みかけの圧縮変形応力

$$\sigma_{mc2} = \boxed{} Sy \left(\frac{t_2}{d_{i2}} \right)^2 \quad (24)$$

t_2 : 緩衝体表面被覆材の最大板厚

d_{i2} : 緩衝体表面被覆材の内径

$\sigma_{mc2} =$

$=$

d_{o2} : 緩衝体表面被覆材の外径

1875 mm

$F_2 =$

$=$

$F_{SP} =$

$=$

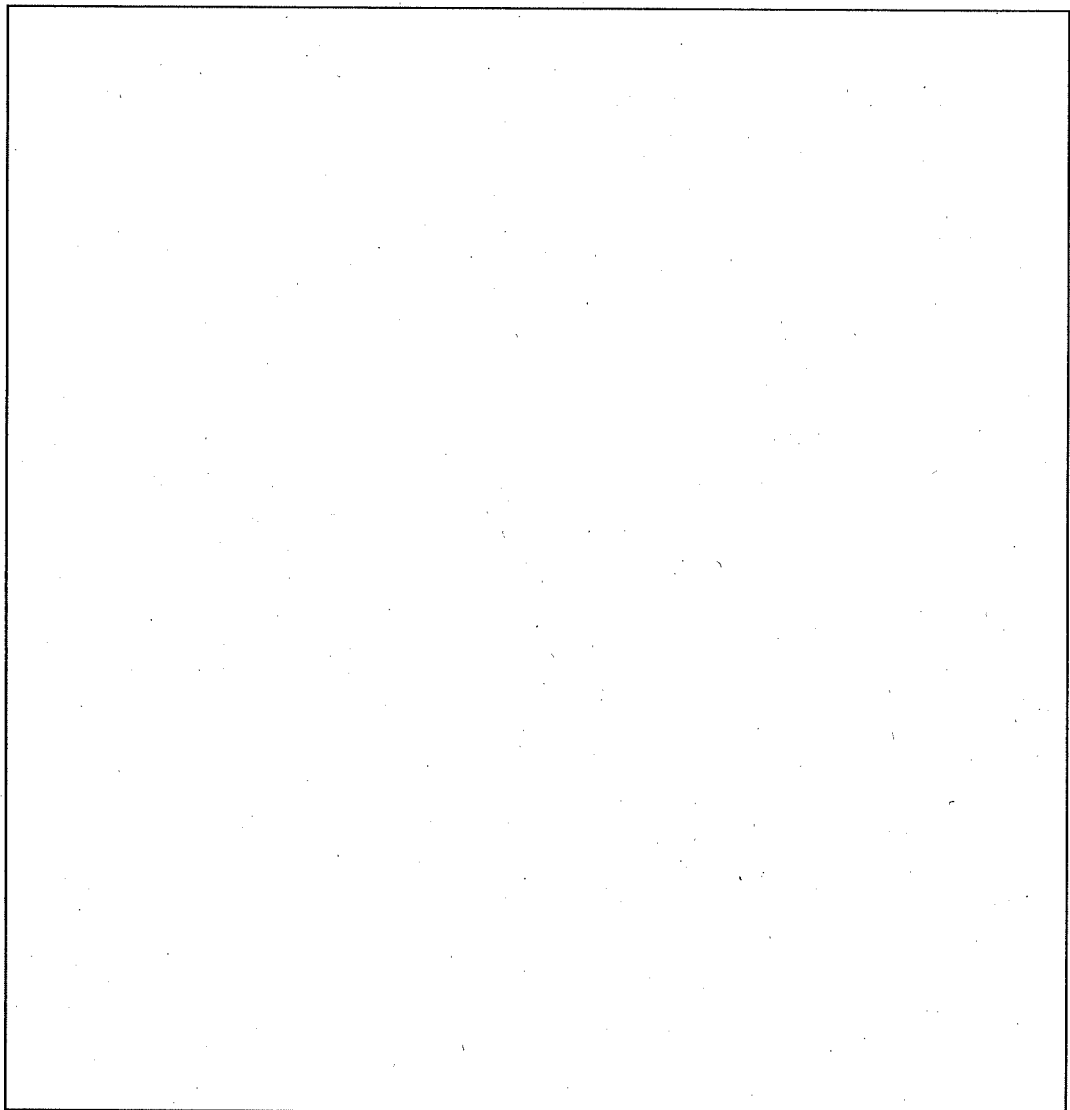
W_a : 輸送物の重量

$G_v =$

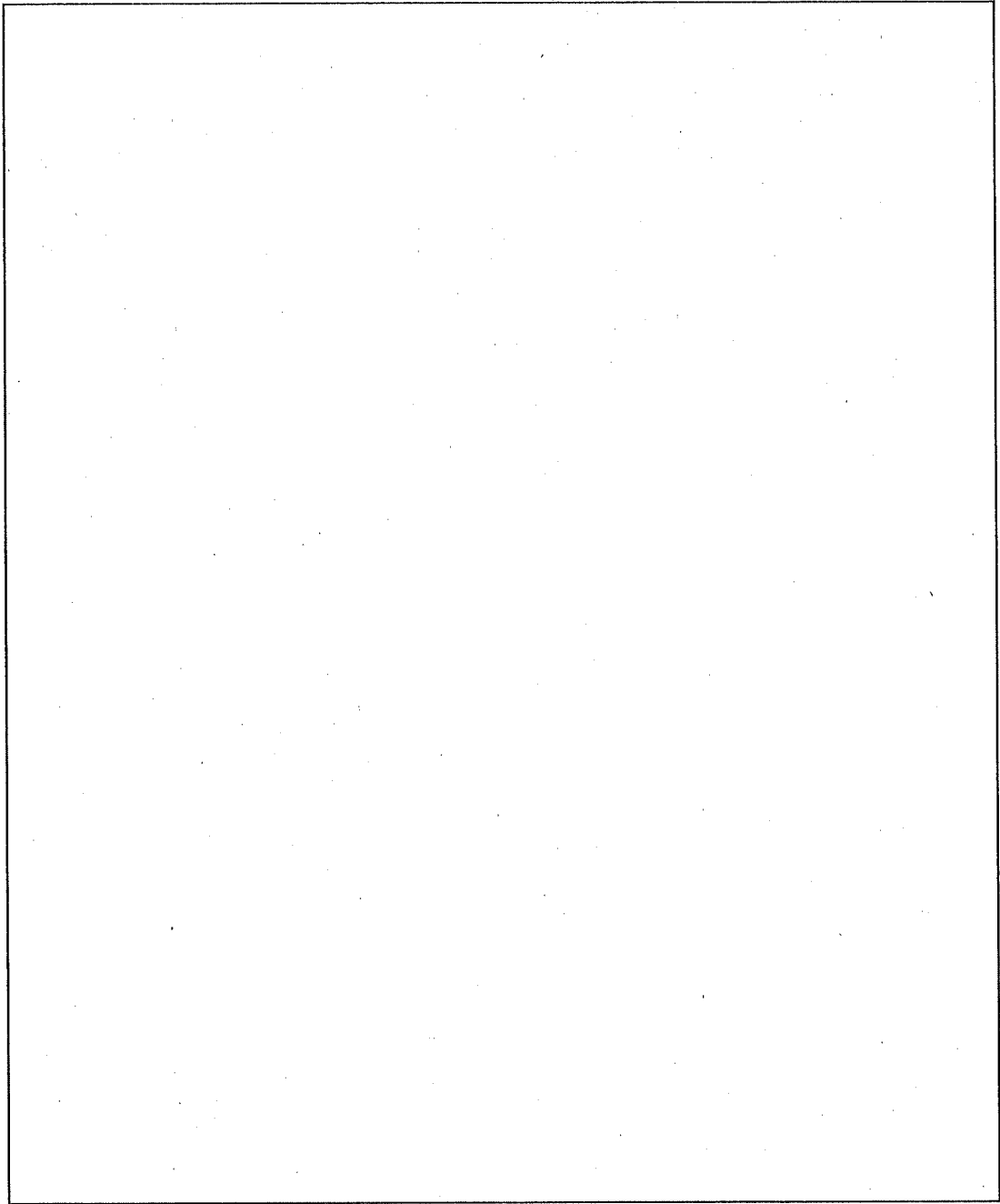
$=$

以下に、最大減速度 が輸送容器及び収納物に生じた場合において輸送容器及び収納物が健全であることを示す。

形状	(口) - 第A. 41図参照
<input type="text"/> の	(口) - 第A. 2図参照
変形応力図	
形状係数	$K_1 =$ <input type="text"/> , $K_2 =$ <input type="text"/>
落下エネルギー	$E = 1.63 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$



(口) - 第 A. 41 図 垂直落下の状態図



(ロ) 一第 A. 42 図 垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係

(各部の評価)

垂直落下時における各部の強度を解析する。

以下に解析項目を示す。

1. 容器本体胴部
2. 蓋
3. 蓋締付用ボルト
4. バスケット
5. 収納物
6. ドレン弁及びベントプラグ

1. 容器本体胴部

垂直落下の場合、容器本体胴部には、最大減速度によって圧縮応力が発生する。
ここでは、安全側に輸送物重量による慣性力が全て容器本体胴部に働くとして、発生する圧縮応力を求め、容器本体胴部が圧縮荷重に対して健全であることを示す。
また、垂直落下における容器本体胴部モデルを (口) - 第 A. 43 図に示す。

容器本体胴部に働く慣性力 (F) は、次式で表される。

$$F = 9.8 W \cdot G_v$$

ここで、

W : 輸送物重量 18440 kg

G_v : 最大減速度

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

$$= \text{[]}$$

となる。

この慣性力が容器本体胴部に働くものとする。

容器本体胴部に発生する圧縮応力 (σ_c) は、次式で表される。

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

ここで、

A : 容器本体胴部の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$$

d₁ : 容器本体胴部の外径

d₂ : 容器本体胴部の内径

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

$$= \text{[]}$$

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

$$= \text{[]}$$

したがって、応力強さ (S) は、次式で表される。

$$S = \sigma_c$$

$$= \text{[]}$$

容器本体胴部に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部の解析結果の最高温度 ((ロ) - 第 B. 15 表参照) を容器本体胴部の温度と考え、安全側に としたときの容器本体胴部の部材 (SUS) の引張強さ S_u を用いる。

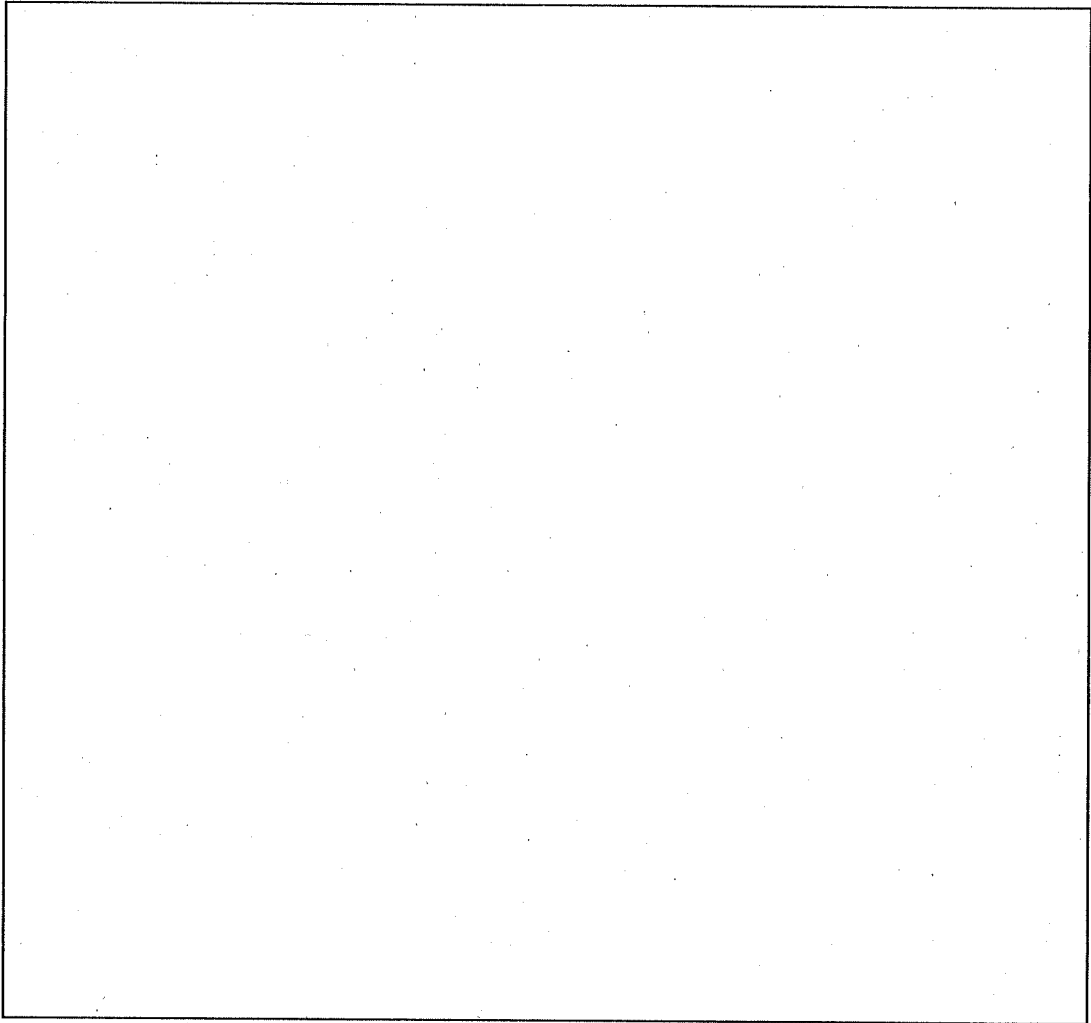
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_u}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、容器本体胴部は健全である。



(ロ) - 第 A. 43 図 垂直落下における容器本体胴部の解析モデル

2. 蓋

垂直落下時において、蓋には容器本体、バスケット、収納物の重量による慣性力及び内圧が作用する。このときの蓋に生じる応力及びたわみ量を求め、蓋が健全であり、密封性を維持することを示す。

解析は、構造解析汎用計算コード ANSYS (付属書類 A. 10.1 参照) を用いて行う。蓋部 Oリング詳細図を (口) - 第 A. 44 図に、蓋の解析モデルを (口) - 第 A. 45 図に示す。

2.1 蓋に生じる応力

蓋に生じる応力は、単位面積当たりの容器本体の重量による慣性力 (P_1)、単位面積当たりのバスケット及び収納物の重量による慣性力 (P_2) 及び内圧 (P_3) が蓋に働くものとして構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

(1) 慣性力及び内圧

1) 蓋に働く単位面積当たりの容器本体の重量による慣性力

蓋に働く単位面積当たりの容器本体の重量による慣性力 (P_1) は、次式で表される。

$$P_1 = \frac{9.8 (W_1 + W_2) \cdot G_v}{A_1}$$

ここで、

W_1 :	容器本体の重量	<input type="text"/>
W_2 :	下部緩衝体の重量	<input type="text"/>
G_v :	垂直落下時の最大減速度	<input type="text"/>
A_1 :	蓋の受圧面積	((口) - 第 A. 44 図参照)

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2 - D_3^2 + D_4^2 - D_5^2 + D_6^2 - D_7^2 + D_8^2 - D_9^2 \cdot n)$$

D_1 :	蓋の外径	<input type="text"/>
D_2 :	蓋コーン部外径	<input type="text"/>
D_3 :	蓋部 Oリング外側溝外径	<input type="text"/>
D_4 :	蓋部 Oリング外側溝内径	<input type="text"/>
D_5 :	蓋部 Oリング内側溝外径	<input type="text"/>
D_6 :	蓋部 Oリング内側溝内径	<input type="text"/>

D_7 : リークテスト溝外径
 D_8 : リークテスト溝内径
 D_9 : 蓋締付用ボルトの穴径
 n : 蓋締付用ボルトの本数

$$A_1 = \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

$$P_1 = \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

となる。

- 2) 蓋に働く単位面積当たりのバスケット及び収納物の重量による慣性力
 蓋に働く単位面積当たりのバスケット及び収納物の重量による慣性力 (P_2) は、
 次式で表される。

$$P_2 = \frac{9.8 (W_2 + W_3) \cdot G_v}{A_2}$$

ここで、

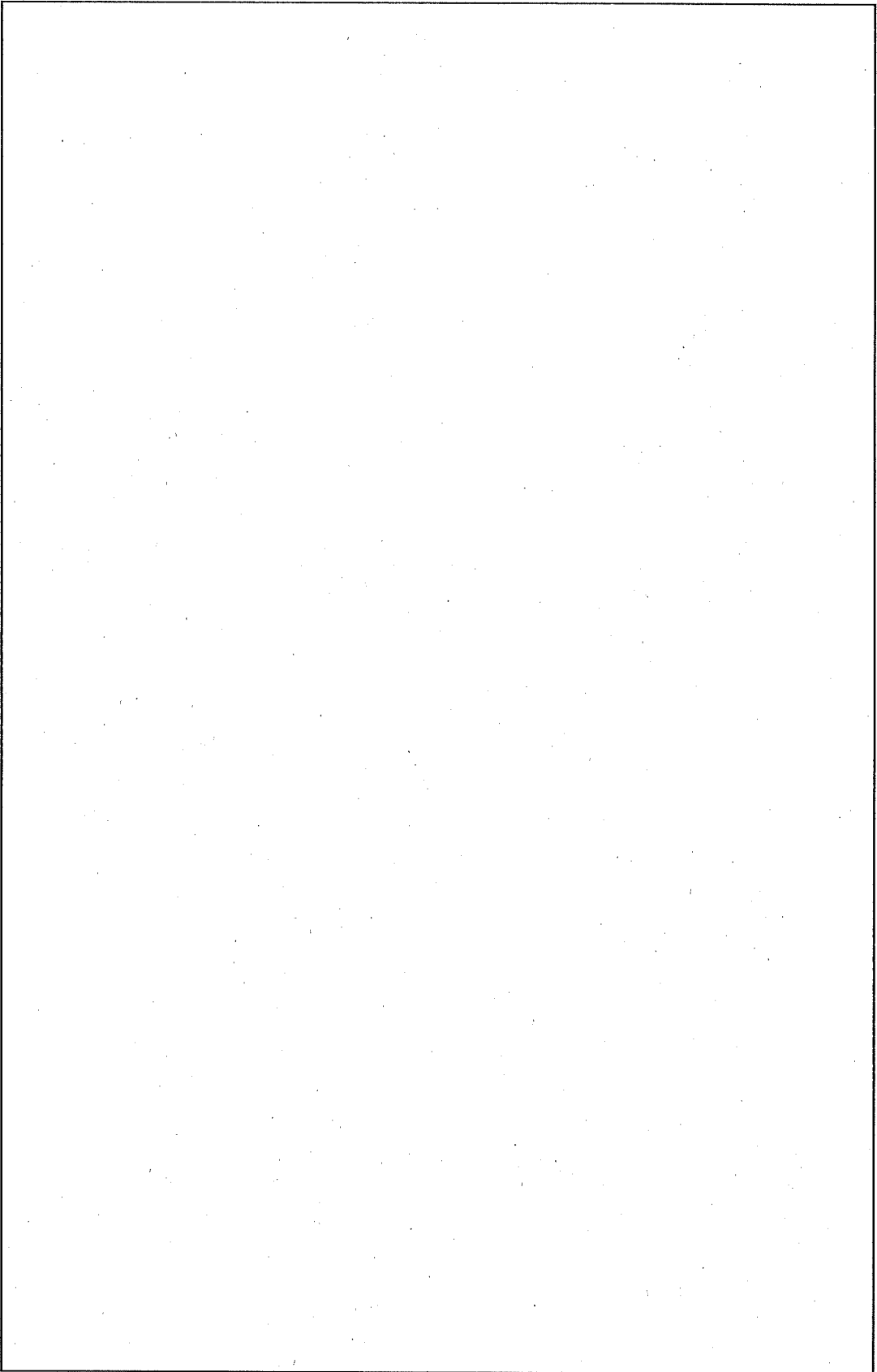
W_2 : バスケットの重量
 W_3 : 収納物の重量
 G_v : 垂直落下時の最大減速度
 A_2 : 蓋の受圧面積 ((口) - 第 A. 44 図参照)

$$A_2 = \frac{\pi}{4} D_{10}^2$$

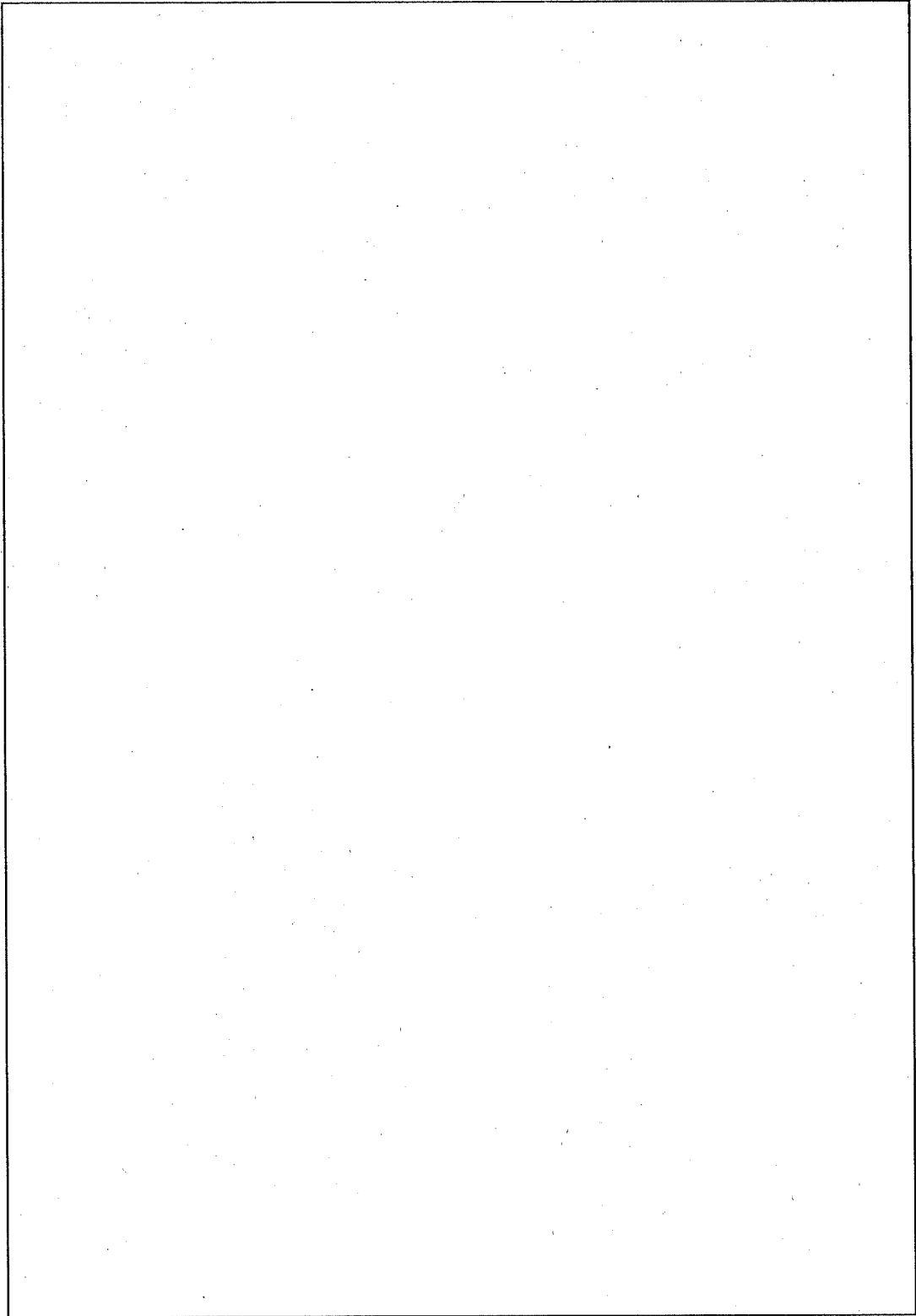
D_{10} : バスケットの外径

$$A_2 = \text{[]}$$

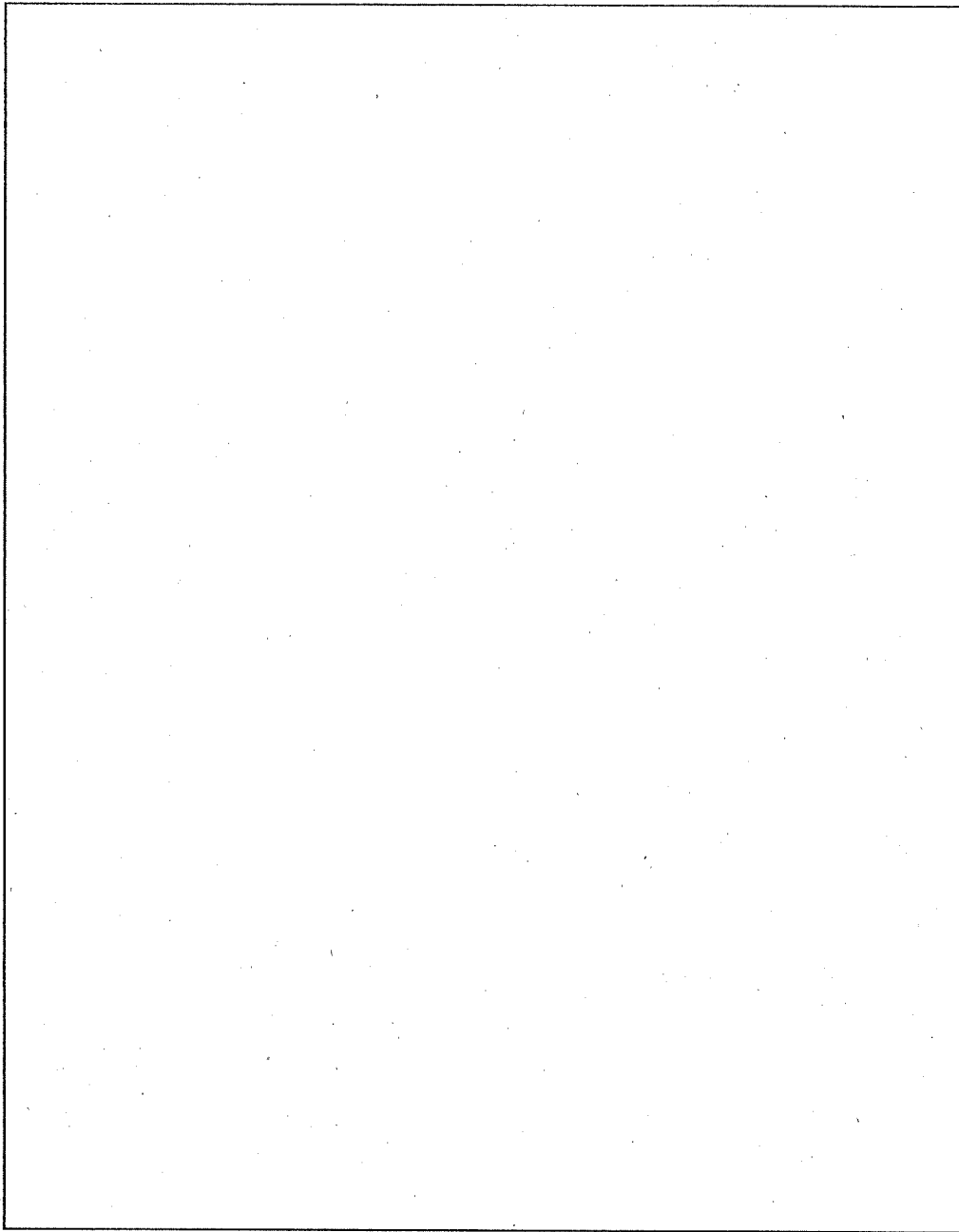
$$= \text{[]}$$



(口) - 第 A. 44 図 蓋部 O リング 詳細図



(ロ) - 第 A. 45 図 蓋の解析モデル



(口) - 第 A. 46 図 蓋部に発生する応力強さ

2.2 蓋の密封

蓋部リング変位図を (口) ー第 A. 47 図に示す。

蓋部リングの最大変位 (δ) は、(口) ー第 A. 47 図から $\delta = \boxed{}$ となる。

蓋部リングのつぶれ代 (δ_a) は、 $\delta_a = \boxed{}$ である。

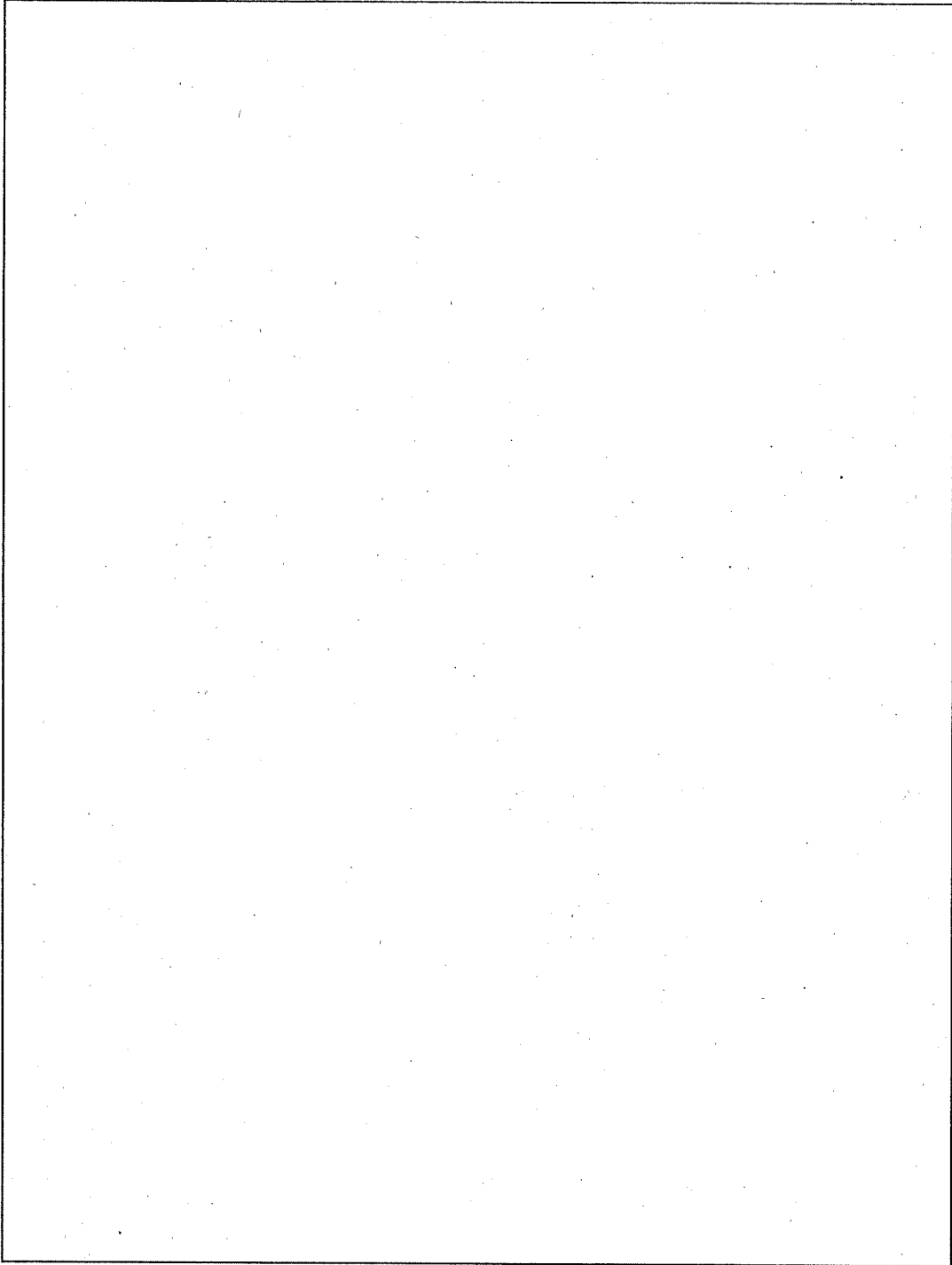
余裕率 MS は

$$MS = \frac{\delta_a}{\delta} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、蓋と容器本体間の密封性は維持できる。



(口) - 第 A. 47 図 蓋部 O リング変位図

3. 蓋締付用ボルト

蓋締付用ボルトの解析モデルを (口) - 第 A. 48 図に示す。

解析は、構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

蓋締付用ボルトに発生する初期締付力による引張応力 (σ_1) は、次式で表される。

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

ここで、

F : 初期締付力 (付属書類 A. 10.7 参照)

A : 蓋締付用ボルト 1 本の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

d : 蓋締付用ボルト の谷径

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_1 = \text{$$

$$= \text{$$

また、蓋締付用ボルトに発生する引張応力を (口) - 第 A. 49 図に示す。(口) - 第 A. 49 図から最大引張応力 (σ_2) は、 $\sigma_2 = \text{$ となる。

したがって、蓋締付用ボルトに発生する応力強さ (S) は、次式で表される。

$$S = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。

蓋締付用ボルトに発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の蓋締付用ボルトの解析結果の最高温度 ((口) - 第 B. 15 表参照) を蓋締付用ボルトの温度と考え、安全側に としたときの蓋締付用ボルトの部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

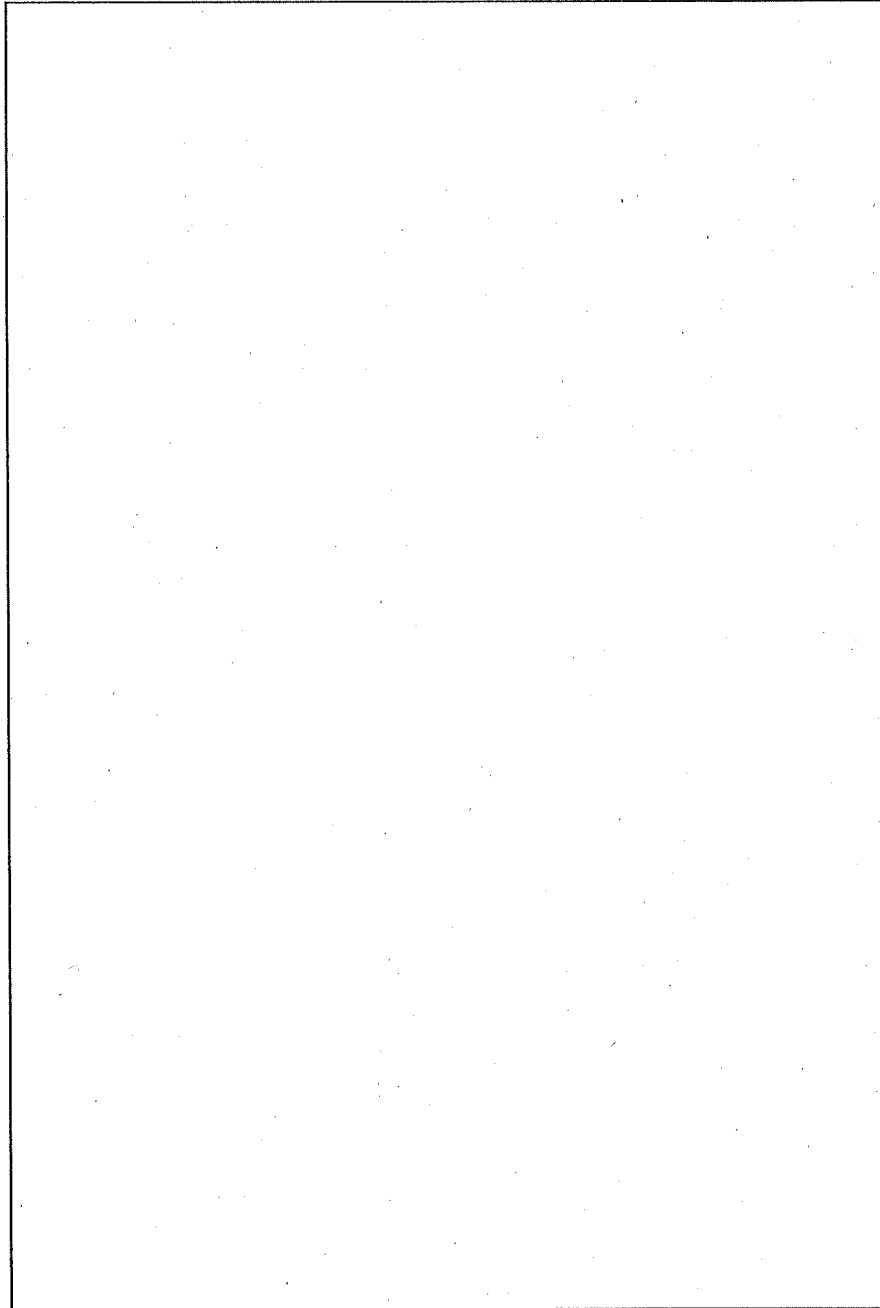
余裕率 MS は

$$MS = \frac{Su}{S} - 1$$

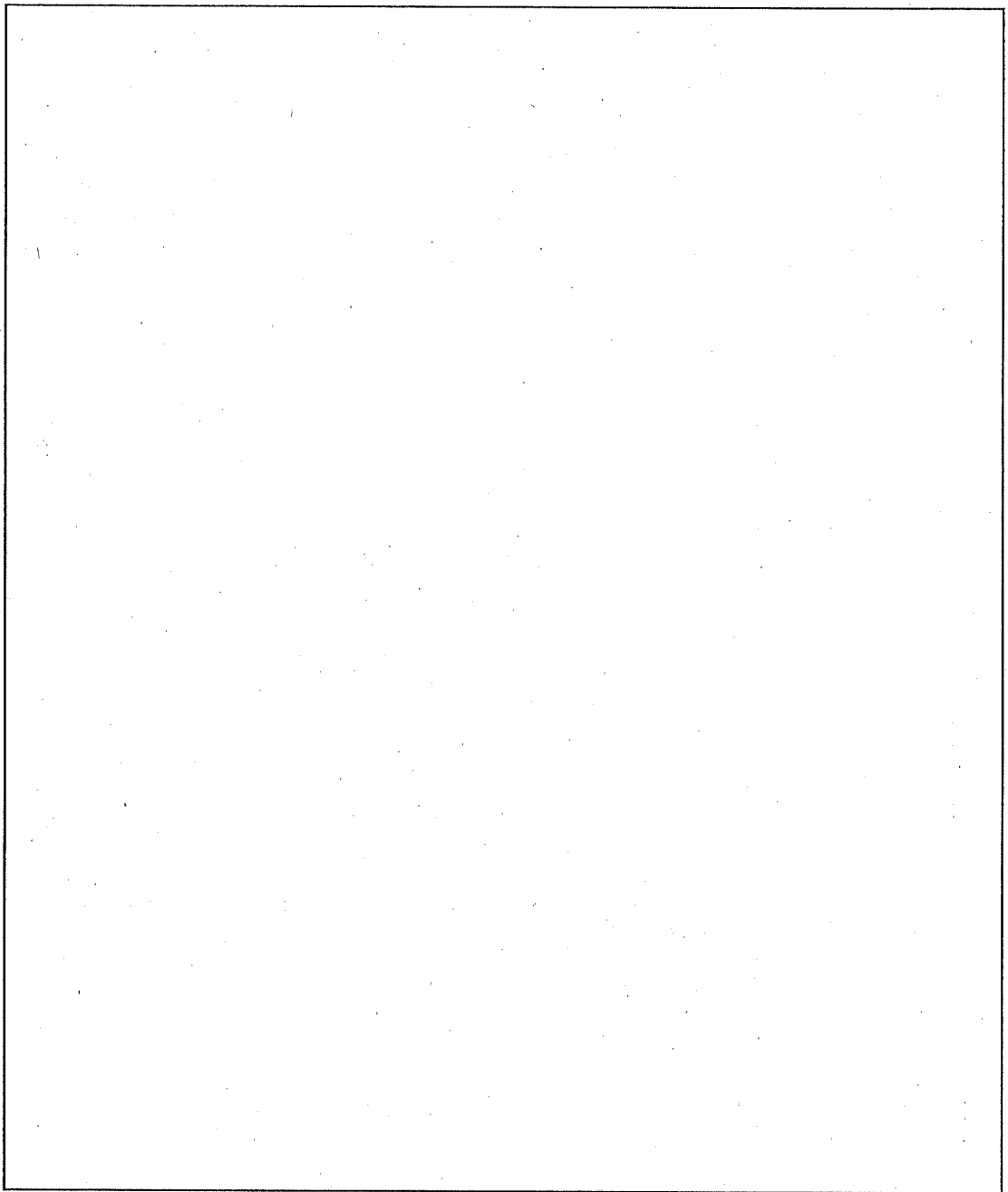
$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、蓋締付用ボルトは健全である。



(ロ) - 第 A. 48 図 蓋締付用ボルトの解析モデル



(口) - 第 A. 49 図 蓋締付用ボルトに発生する引張応力

4. バスケット

バスケットを (口) - 第 A. 50 図に示す。

杵組と仕切板・区切板は、取付ボルト で取り付けられている。したがって、
杵組と仕切板・区切板を個々に解析する。

4.1 杵組

杵組の解析モデルを (口) - 第 A. 51 図に示す。

垂直落下時における杵組に発生する圧縮応力 (σ_c) は、次式で表される。

$$\sigma_c = \frac{F_1}{A_1}$$

ここで、

F_1 : 杵組の重量による慣性力

$$F_1 = 9.8 W_4 \cdot G_v$$

W_4 : 杵組の重量

G_v : 垂直落下時の最大減速度

$$F_1 = \text{$$

$$= \text{$$

A_1 : 杵組の受圧面積 ((口) - 第 A. 51 図参照)

$$A_1 = \pi r^2 - 4 \left(a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2 + a_3 \cdot b_3 + a_4 \cdot b_4 \right) - \frac{\pi}{4} d_1^2$$

$$- \frac{\pi}{4} h \cdot d_2^2$$

r : バスケットの半径

a_1 : バスケット切欠部(1)の幅

a_2 : バスケット切欠部(2)の幅

a_3 : バスケット切欠部(3)の幅

a_4 : バスケット切欠部(4)の幅

b_1 : バスケット切欠部(1)の長さ

b_2 : バスケット切欠部(2)の長さ

b_3 : バスケット切欠部(3)の長さ

b_4 : バスケット切欠部(4)の長さ

d_1 : 中性子源挿入孔の径

d_2 : アイボルトタップ穴の径

n : アイボルトタップ穴の数

$$A_1 = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_c = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、応力強さ(S) は

$$S = \sigma_c$$
$$= \text{$$

枠組に発生する応力に対する設計基準値としては、(口)章 B.熱解析における通常輸送時の枠組の解析結果の最高温度((口) - 第 B.15 表参照) を枠組の温度と考え、安全側にとしたときの枠組の部材(SUS)の引張強さ Suに溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

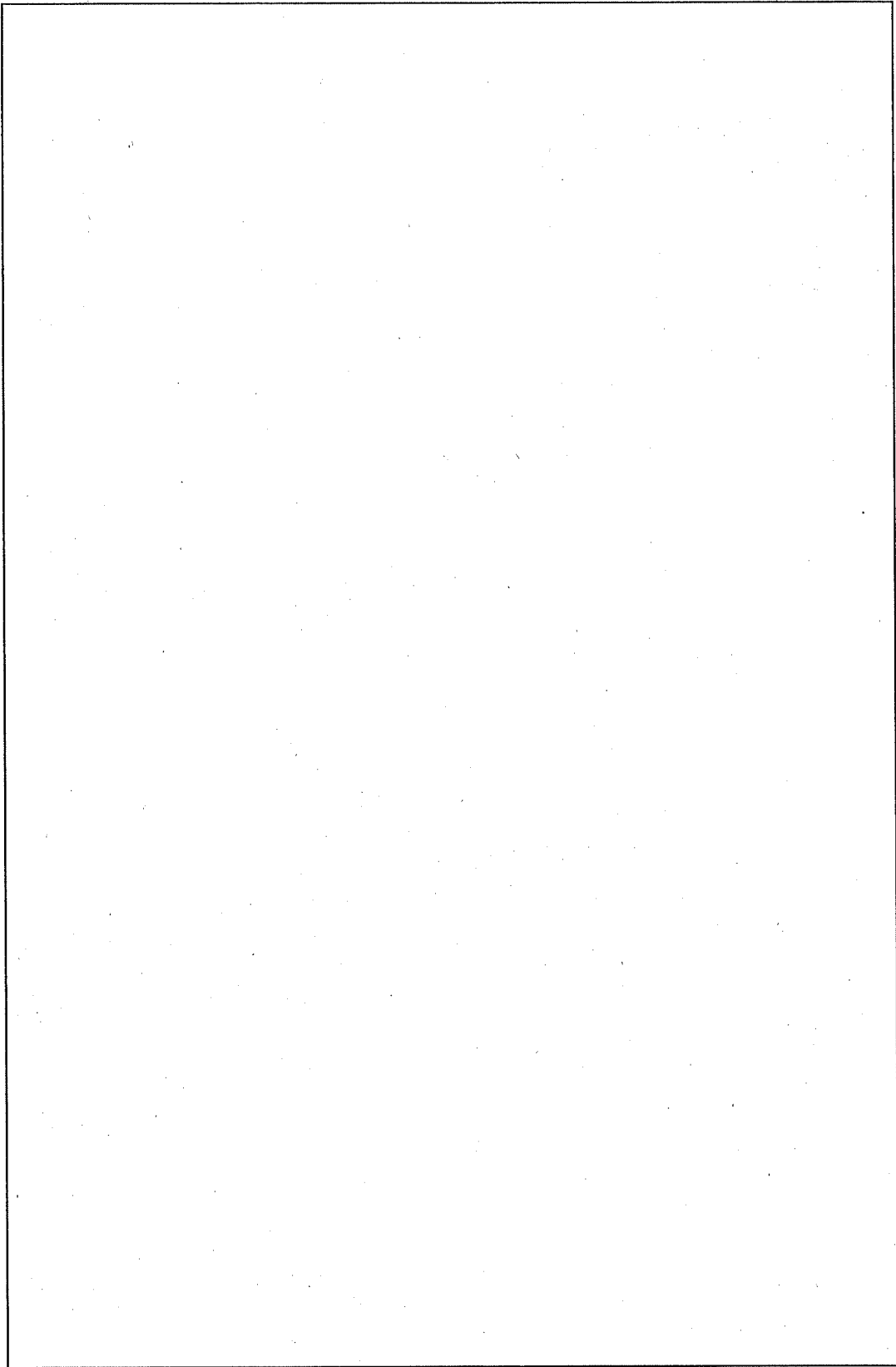
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7Su}{S} - 1$$

$$= \text{$$

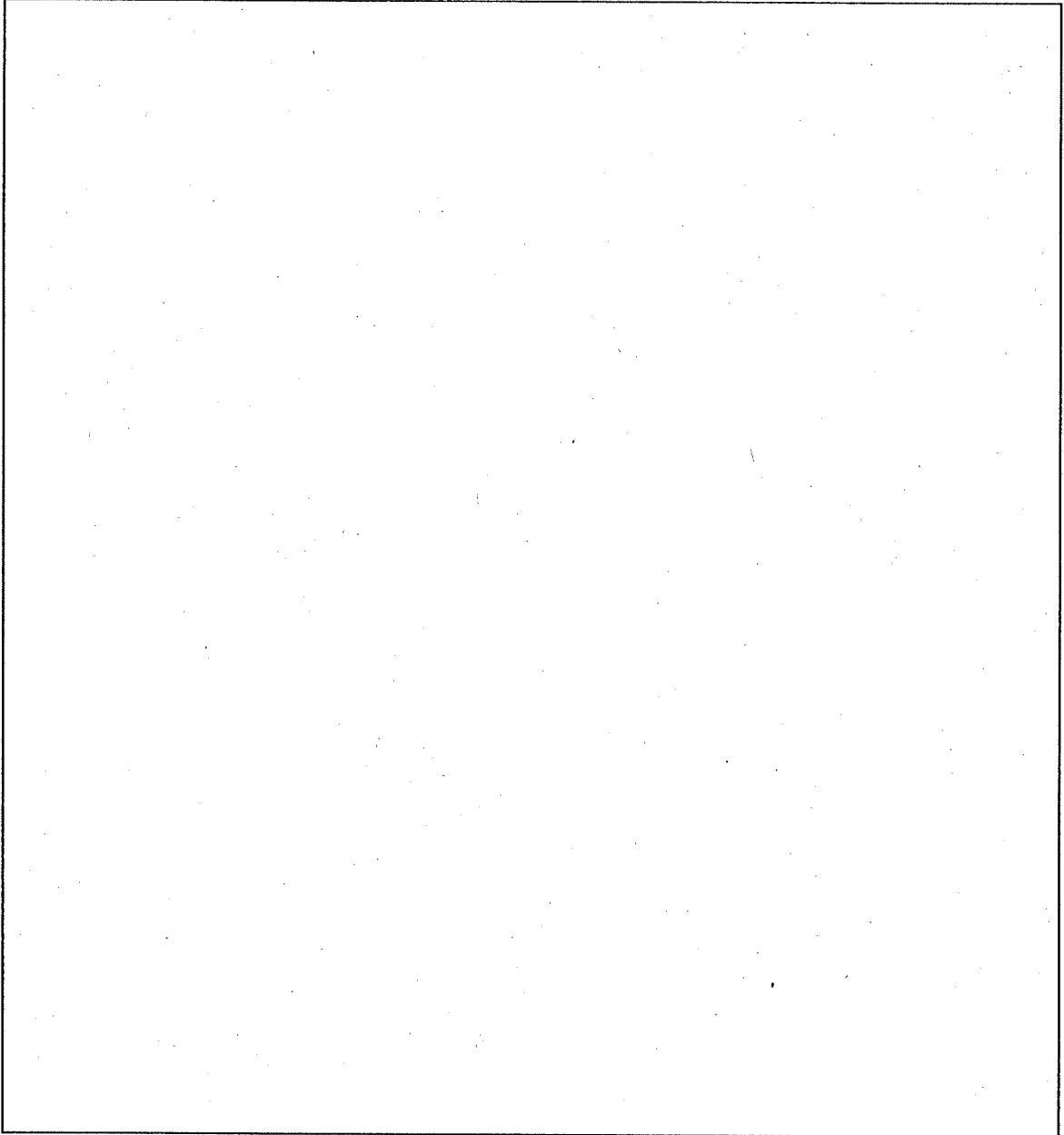
$$= \text{$$

となる。したがって、枠組は健全である。



(口) - 第 A. 50 図 バスケット

(口) - A - 171



(ロ) ー第 A. 51 図 枠組の解析モデル

4.2 仕切板・区切板

仕切板・区切板の解析モデルを(口) - 第 A. 52 図に示す。

垂直落下時における仕切板・区切板に発生する圧縮応力 (σ_c) は、次式で表される。

$$\sigma_c = \frac{F_2}{A_2}$$

ここで、

F_2 : 仕切板・区切板の重量による慣性力

$$F_2 = 9.8 W_5 \cdot G_v$$

W_5 : 仕切板・区切板の重量

G_v : 垂直落下時の最大減速度

$$F_2 =$$

$$=$$

A_2 : 仕切板・区切板の受圧面積 ((口) - 第 A. 52 図参照)

$$A_2 = 4(t_1 \cdot \ell_1 + 2t_2 \cdot \ell_1 + t_2 \cdot \ell_2 + t_3 \cdot \ell_2 + 2t_4 \cdot a_1 + 4t_2 \cdot a_1 + t_5 \cdot a_1 + t_1 \cdot a_2)$$

t_1 : 仕切板(1)の板厚、区切板(1)の板厚

t_2 : 仕切板(2)の板厚、区切板(2)の板厚

t_3 : 仕切板(3)の板厚

t_4 : 区切板の板厚の半分

t_5 : 区切板(3)の板厚

ℓ_1 : 仕切板(1)の長さ

ℓ_2 : 仕切板(2)、(3)の長さ

a_1 : 区切板(2)、(3)の長さ

a_2 : 区切板(1)の長さ

$$A_2 =$$

$$=$$

$$\sigma_c =$$

$$=$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = \sigma_c$$
$$= \boxed{}$$

仕切板・区切板に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の仕切板・区切板(バスケット中心軸付近)の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) 一第 B. 15 表参照)を仕切板・区切板の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときの仕切板・区切板の部材 $\boxed{}$ の引張強さ Su $\boxed{}$ に溶接効率 70%を乗じた値を用いる。

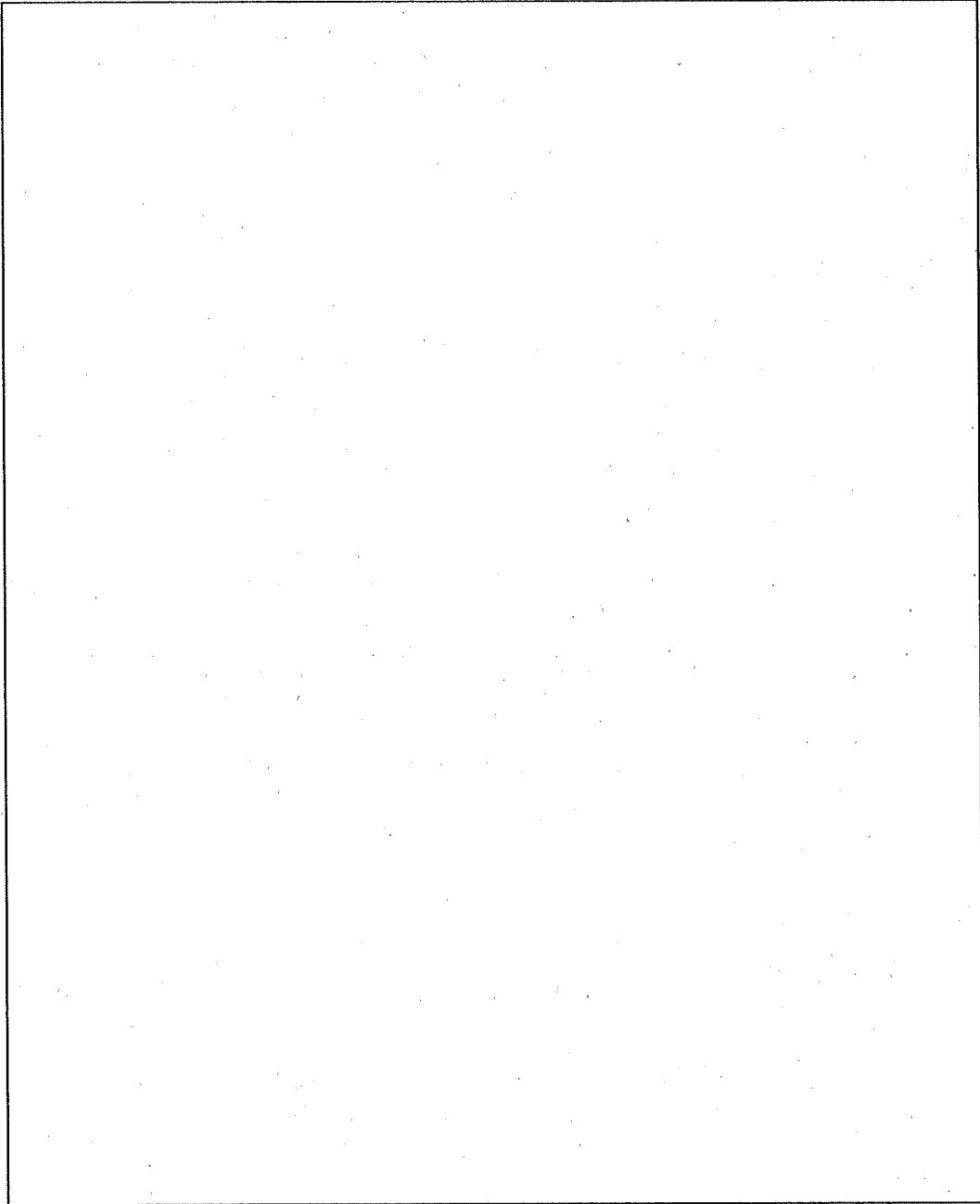
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7Su}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、仕切板・区切板は健全である。



(ロ) - 第 A. 52 図 仕切板・区切板の解析モデル

5. 収納物

収納物には、JMTR 標準燃料要素、JMTR 燃料フォロワがあり、これらについて解析を行う。

JMTR 標準燃料要素 (LEU) を (口) - 第 A. 53 図、JMTR 燃料フォロワ (LEU) を (口) - 第 A. 54 図に示す。

5.1 収納物 (JMTR)

5.1.1 標準燃料要素

垂直落下時において、標準燃料要素には、標準燃料要素の慣性力による圧縮応力が生じる。このとき、側板が健全であること、燃料板が脱落しないことを示す。

標準燃料要素は、形状・寸法が同一なので重量が最大である JMTR 標準燃料要素 (LEU) について解析する。

(1) 側板

側板に生じる圧縮応力 (σ_c) は、次式で表される。

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

ここで、

F : JMTR 標準燃料要素 (LEU) の自重による慣性力

$$F = 9.8 W \cdot G_v$$

W : JMTR 標準燃料要素 (LEU) の重量

G_v : 垂直落下時の最大減速度

$$F = \text{$$

$$= \text{$$

A : 側板の受圧面積 ((口) - 第 A. 53 図参照)

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_c = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、応力強さ (S) は

$$S = \sigma_c$$

=

側板に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B.熱解析における通常輸送時における燃料の解析結果の最高温度((ロ) - 第 B. 15 表参照)を側板の温度と考え、安全側にとしたときの側板の部材の引張強さ S_u を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_u}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、側板は健全である。

(2) 燃料板の脱落

燃料板は、2枚の側板にロールスウェージ法によって取り付けられている。この燃料板に働く慣性力(F)は、次式で表される。

$$F = 9.8 W \cdot G_y$$

ここで、

W : JMTR 標準燃料要素 (LEU) の重量

G_y : 垂直落下時の最大減速度

$$F =$$

$$=$$

となる。

燃料板がロールスウェージ法によって取り付けられている結合強度(F_a)は、次式で表される。

$$F_a = n \cdot L \cdot q$$

ここで、

n : 燃料板枚数

L : 取り付けられている長さ

q : 燃料製作仕様による単位長さ当たりの結合強度

$$F_a =$$

$$=$$

となる。

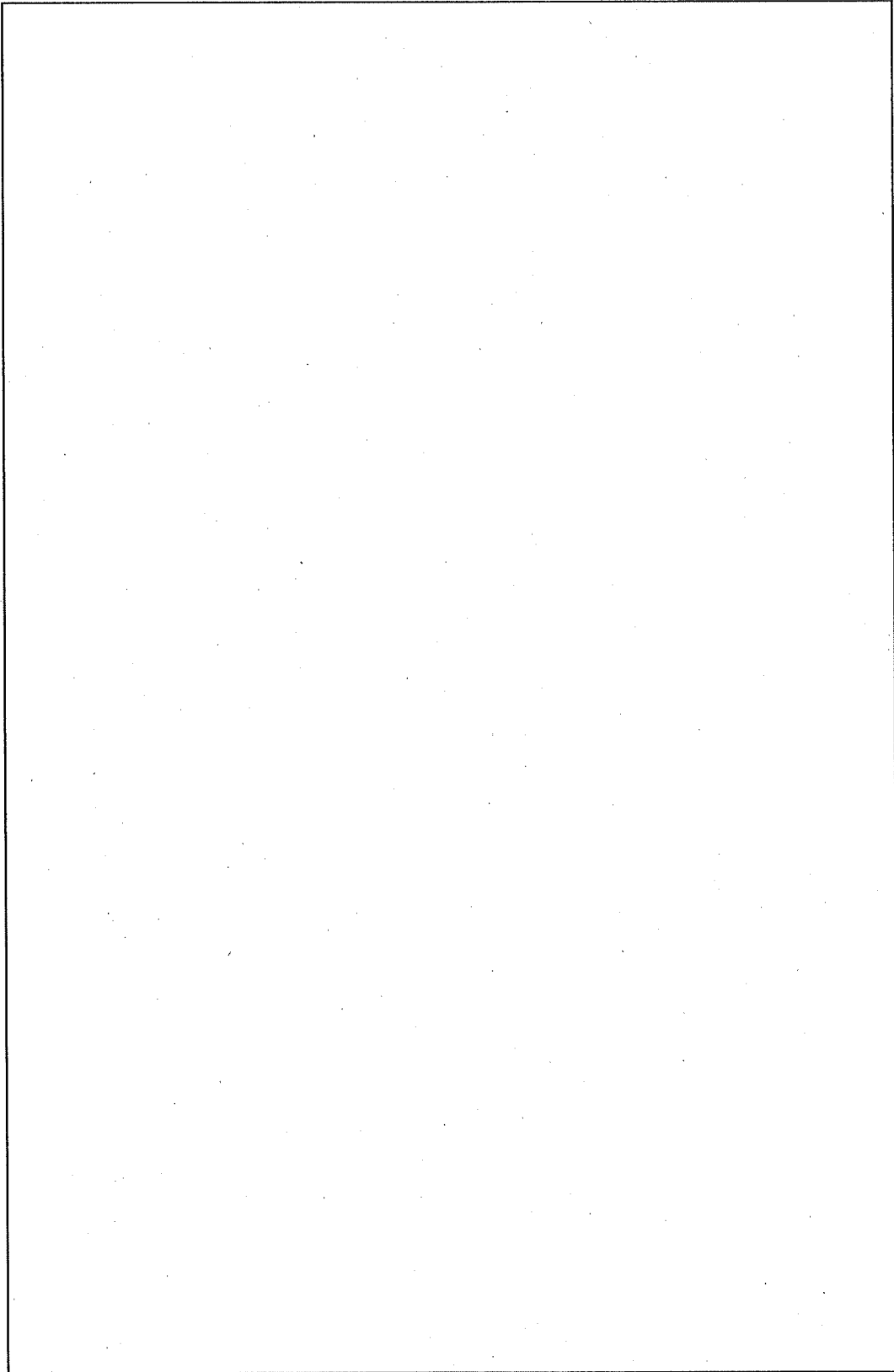
余裕率 MS は

$$MS = \frac{F_a}{F} - 1$$

$$=$$

$$=$$

となる。したがって、燃料板は脱落しない。



(口) - 第 A. 53 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU)

5.1.2 燃料フォロワ

標準燃料要素と同様、燃料フォロワの衝撃力による圧縮応力を求め、側板が健全であること、燃料板が脱落しないことを示す。燃料フォロワは、形状・寸法が同一なので重量が最大である JMTR 燃料フォロワ (LEU) について解析する。

(1) 側板

側板に生じる圧縮応力(σ_c)は、次式で表される。

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

ここで、

F : JMTR 燃料フォロワ (LEU) の自重による慣性力

$$F = 9.8 W \cdot G_v$$

W : JMTR 燃料フォロワ (LEU) の重量

G_v : 垂直落下時の最大減速度

$$F =$$

$$=$$

A : 側板の受圧面積 ((口) - 第 A. 54 図参照)

$$A =$$

$$=$$

$$\sigma_c =$$

$$=$$

したがって、応力強さ(S) は

$$S = \sigma_c$$

$$=$$

となる。

側板に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の燃料の解析結果の最高温度 [] ((ロ) - 第 B. 15 表参照) を側板の温度と考え、安全側に [] としたときの側板の部材 [] の引張強さ S_u [] を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_u}{S} - 1$$

$$= []$$

$$= []$$

となる。したがって、側板は健全である。

(2) 燃料板の脱落

燃料板は、2枚の側板にロールスウェージ法によって取り付けられている。この燃料板に働く慣性力(F)は、次式で表される。

$$F = 9.8 W \cdot G_v$$

ここで、

W : JMTR 燃料フォロワ (LEU) の重量

G_v : 垂直落下時の最大減速度

$$F =$$

$$=$$

となる。

燃料板がロールスウェージ法によって取り付けられている結合強度(F_a)は、次式で表される。

$$F_a = n \cdot L \cdot q$$

ここで、

n : 燃料板の枚数

L : 取り付けられている長さ

q : 燃料製作仕様による単位長さ当たりの結合強度

$$F_a =$$

$$=$$

となる。

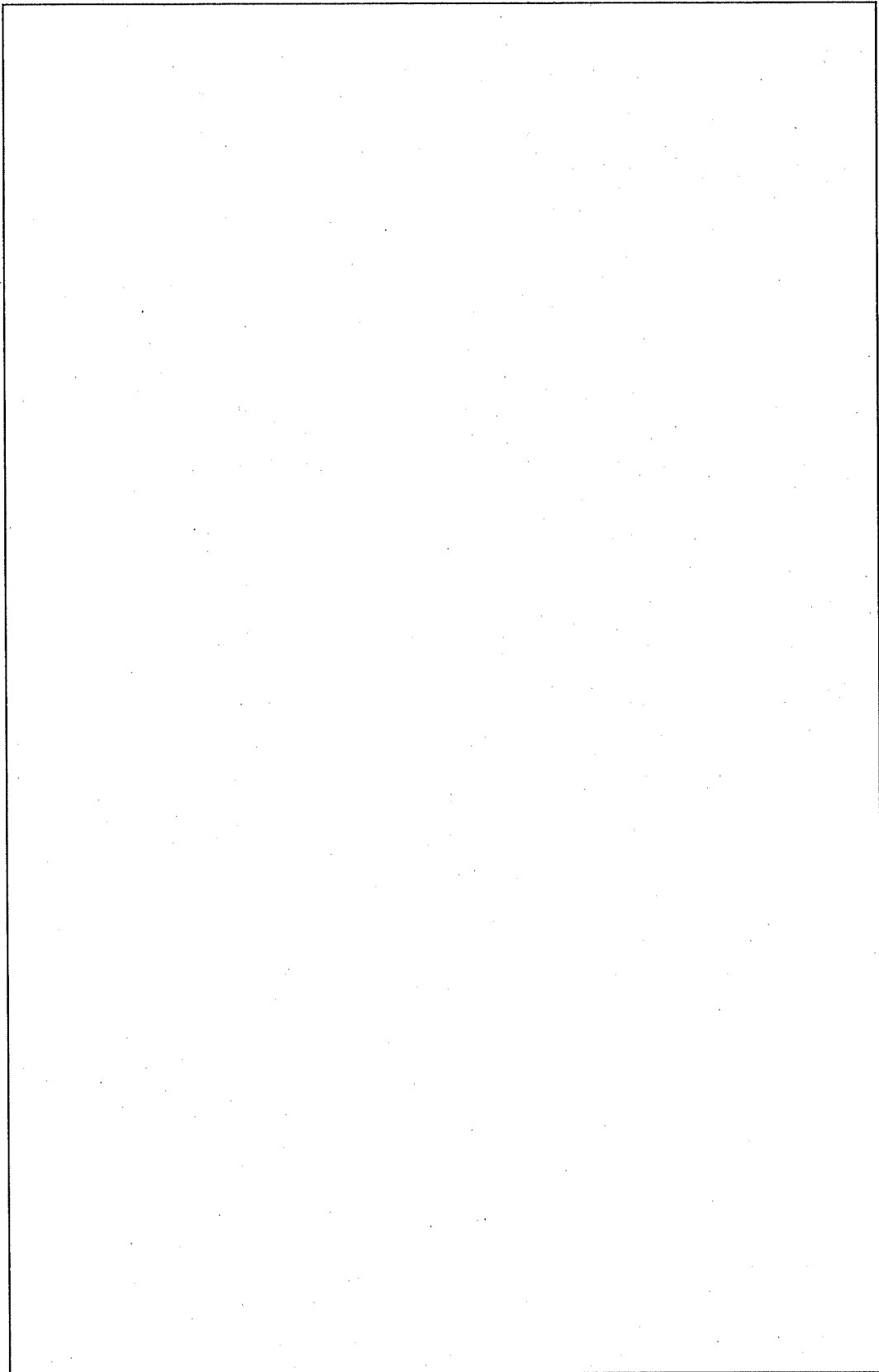
余裕率 MS は

$$MS = \frac{F_a}{F} - 1$$

$$=$$

$$=$$

となる。したがって、燃料板は脱落しない。



(ロ) - 第 A. 54 図 JMTR 燃料フォロー (LEU)

6. ドレン弁及びベントプラグ

垂直落下時の最大減速度がドレン弁及びベントプラグに働いた場合について解析する。また、ドレン弁及びベントプラグの垂直落下状態図を (口) - 第 A. 55 図に示す。

(口) - 第 A. 55 図に示すようにドレン弁及びベントプラグは、落下方向に対して各々軸が傾いた位置に取り付けられているので、ドレン弁締付ボルト及びベントプラグねじ部には各々 (口) - 第 A. 55 図に示す軸方向の減速度 (F_A) 径方向の減速度 (F_B) が働く。

軸方向の減速度 (F_A) は、ドレン弁締付ボルト及びベントプラグねじ部にせん断力として働く。この減速度は、水平落下の場合の方が大きいので、本項では省略する。

なお、径方向の減速度 (F_B) は、(口) - 第 A. 55 図からドレン弁挿入部の隙間 がドレン弁締付ボルトとドレン弁締付ボルト穴部の隙間 より小さいため、弁本体部に働く。これにより弁本体部に発生するせん断応力を解析する。また、ベントプラグの挿入部の隙間がベントプラグねじ部の隙間より小さいためベントプラグ挿入部に径方向の減速度 (F_B) が働く。これによりベントプラグ挿入部に発生するせん断応力を解析する。

6.1 ドレン弁

ドレン弁本体部に発生するせん断応力 (τ) は次式で表される。

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

ここで、

F : ドレン弁本体部に働くせん断力

$$F = 9.8W \cdot G_v \cdot \cos \alpha$$

W : ドレン弁の重量

G_v : 垂直落下時の最大減速度

α : ドレン弁の傾き角度

$$F = \text{}$$
$$= \text{}$$

A : ドレン弁本体部の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2)$$

D_1 : ドレン弁本体部の直径

D_2 : ドレン弁本体の空洞部の直径

6.2 ベントプラグ

ベントプラグ挿入部に発生するせん断応力(τ)は次式で表される。

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

ここで、

F : ベントプラグ挿入部に働くせん断力

$$F = 9.8W \cdot G_v \cdot \cos \alpha$$

W : ベントプラグ本体の重量

G_v : 垂直落下時の最大減速度

α : ベントプラグの傾き角度

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

$$= \text{[]}$$

A : ベントプラグ挿入部の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2)$$

D_1 : ベントプラグ挿入部の最短直径

D_2 : ベントプラグの空洞部の直径

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

$$= \text{[]}$$

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

$$= \text{[]}$$

したがって、ベントプラグに発生する応力強さ(S) は次式で表される。

$$S = 2 \cdot \tau$$

$$= \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

ベントプラグに発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時のベントプラグの熱解析結果の最高温度[](ロ) - 第 B. 15 表参照)をベントプラグの温度と考え、安全側に[]としたときのベントプラグ挿入部の部材[]の降伏応力 S_y []を用いる。

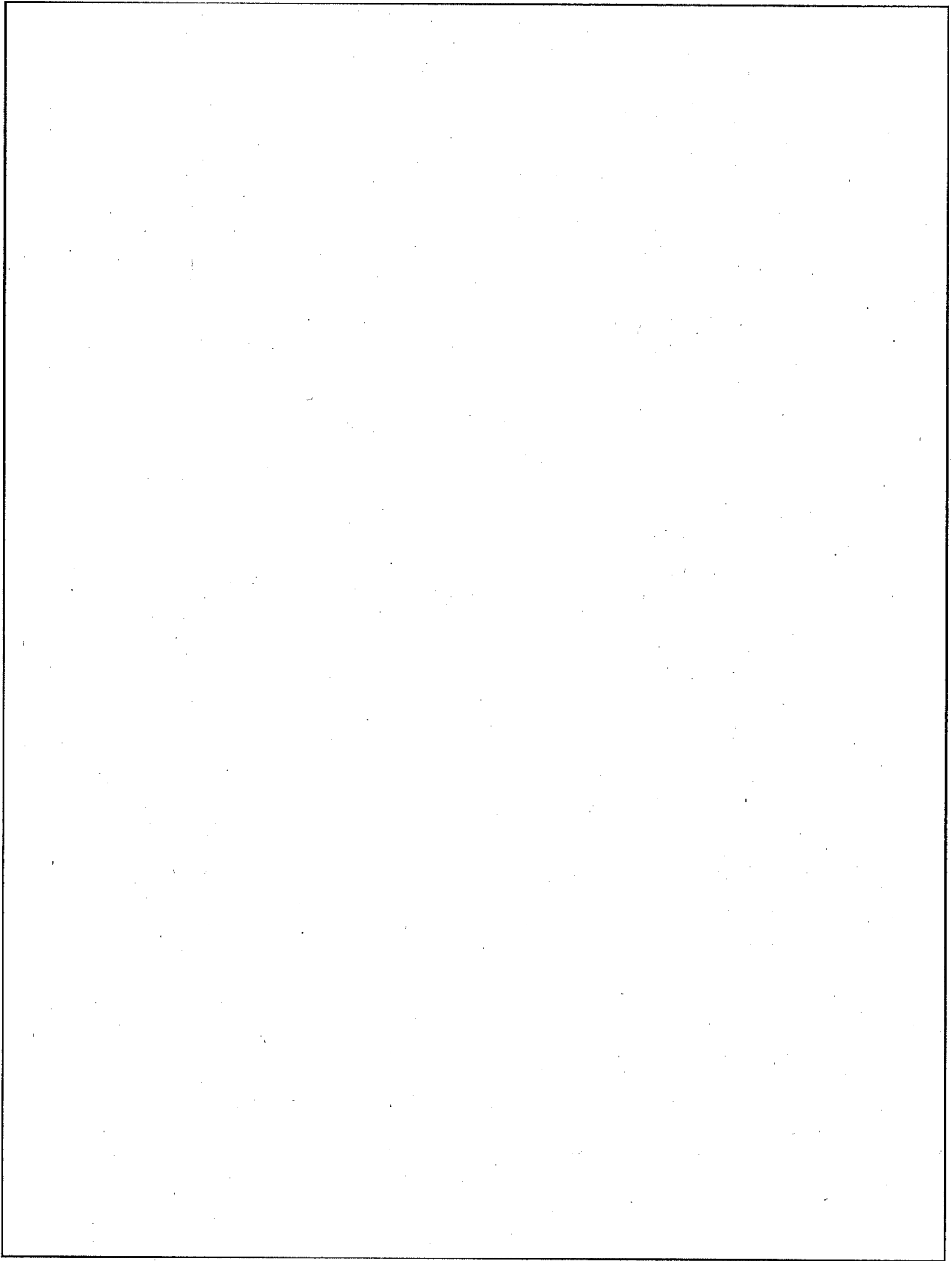
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがってベントプラグ挿入部は、健全である。ベントプラグねじ部は軸方向の減速度が垂直落下よりも大きい水平落下で健全であるので垂直落下においても健全である。よって、密封性に影響を与えない。



(口) - 第 A. 55 図 ドレン弁及びベントプラグの垂直落下状態図

(2) 下部垂直落下

上部緩衝体と下部緩衝体は同一寸法形状のものであるので下部垂直落下の緩衝体の変形量、最大減速度は、上部垂直落下と同一である。即ち、下部垂直落下でも上部垂直落下と同じ最大減速度が輸送容器及び収納物に働くことになる。

下部垂直落下時に、スペーサに生じる応力強さ(S)は、となる。余裕率 MS は、 $MS = \frac{S}{\text{$ となりスペーサは健全である。

したがって、輸送容器、収納物ともに上部垂直落下の解析において輸送容器及び収納物は健全性が保たれているので、下部垂直落下の場合も健全である。

A.6.1.2 水平落下

9m 水平落下時の緩衝体及びフィンの変形による最大減速度に対して、容器本体・蓋、ドレン弁、ベントプラグ及びバスケットが健全であり密封性が維持されることを示す。また、収納物である燃料が健全であることを示す。

変形及び最大減速度の解析は、緩衝体については計算コード SHOCK-2 で数値計算を行い、フィンについては、計算コード FIN-200 で数値計算を行う。

水平落下の状態図を (ロ) - 第 A.56 図に示す。

(1) 緩衝体の解析条件

緩衝体の輸送容器に取り付けられる部分（太線の部分）は、(ロ) - 第 A.56 図に示すように、板厚 [] 前後のステンレス鋼板で堅固に組合わされており、水平落下では、緩衝材の [] が円筒状であること及び実験等の経験から落下時の圧縮変形に対して拘束しているとする。したがって、計算コード SHOCK-2 におけるこの部分の緩衝体の形状係数は $K_1=K_2=[]$ とする。ただし、(ロ) - 第 A.56 図に示すように緩衝体の中空部を超える部分は圧縮変形に対し緩衝材の拘束は十分ではない。したがって、計算コード SHOCK-2 におけるこの部分の緩衝材の形状係数は $K_3=[]$ とする。

(形状係数とは例えば、形状係数が [] ということは、この部分では、圧縮変形によるエネルギー吸収が [] であることを示すもので実験等の結果から決定した値である。)

計算コード SHOCK-2 及び FIN-200 で緩衝体及びフィンの変形量及び最大減速度を算出する。

水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係を (ロ) - 第 A.57 図及び (ロ) - 第 A.58 図に示す。

(2) 変形量の算出

緩衝体の変形量(δ)は、以下のようにして求める。

$$E_{SA} + E_{FIN} = E_K \text{ ----- (1)}$$

E_{SA} : 緩衝体による吸収エネルギー

$$E_{SA} = \int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon$$

δ : 緩衝体の変形量

ε : 緩衝体の変形率 (ひずみ)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h}$$

h : 緩衝体の初期高さ

$A(\varepsilon)$: 緩衝材の変形部の断面積

$F(\varepsilon)$: の変形応力図(口) - 第 A.2 図参照)より求まる衝撃力

E_{FIN} : フィンによる吸収エネルギー

$$E_{FIN} = \int_{\delta'}^{\delta - \delta'} A'(\varepsilon') \cdot F'(\varepsilon') \cdot d\varepsilon'$$

δ' : 緩衝体外端よりフィン外端までの緩衝体の変形量

$A'(\varepsilon')$: フィンの変形部の断面積

$F'(\varepsilon')$: フィンの変形率-応力曲線

ε' : フィンの変形率

$$\varepsilon' = \frac{\delta - \delta'}{h'}$$

h' : フィンの初期高さ

E_K : 落下エネルギー

$$E_K = 9.8 \cdot W \cdot H$$

W : 輸送物重量

18440 kg

H : 落下高さ

9000 mm

$$E_K = 9.8 \times 18440 \times 9000$$

$$= 1.63 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

であるので、(1)式に代入すると

$$\int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon + \int_{\delta'}^{\delta - \delta'} A'(\varepsilon') \cdot F'(\varepsilon') \cdot d\varepsilon' = 1.63 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

となる。

変形量が最大となる落下方向である[]からの落下の解析結果を
(ロ) 一第 A. 57 図に示す。

(ロ) 一第 A. 57 図から[]から落下した場合の緩衝体の変形量は
[]となる。このときフィンの変形量は[]である。

変形するフィンの枚数は、[]であり、フィンの総枚数(90 枚)の[]である。

また、その他の方向からの落下の解析結果を(ロ) 一第 A. 58 図に示す。[]
[]からの落下による緩衝体の変形量は、[]ためその
分の[]だけ大きくなる。

ここでは、安全側に、変形量は[]とそれ以外の方向からの落下を同
一とし、変形量の大きい[]の落下とする。

緩衝体の半径方向の許容厚さは(ロ) 一第 A. 56 図から[]である。したがっ
て、緩衝体の変形量が許容厚さを超えないことから容器本体・蓋に変形が及ぶことは
ない。

フィンの高さは[]あるため[]変形しても問題はない。

(3) 最大減速度の算出

1) 方向からの落下

最大減速度 (G_{HI}) は、次式で表わされる。

$$G_{HI} = \frac{F_{SA} + F_{FIN} + F_{SP} + F_I}{9.8W_a}$$

ここで、

F_{SA} : 緩衝体の衝撃力

$$F_{SA} = A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon)$$

F_{FIN} : フィンの衝撃力

$$F_{FIN} = A'(\varepsilon') \cdot F'(\varepsilon')$$

((口) - 第 A. 57 図の衝撃力は $F_{SA} + F_{FIN}$ の値を示す。)

F_{SP} : 表面被覆材の抵抗力

$$F_{SP} = S_y \cdot n \cdot t \cdot \ell$$

S_y : 表面被覆材側板 の常温における降伏応力

n : 表面被覆材側板の枚数

t : 表面被覆材側板の最大板厚

ℓ : 変形部最大長さ ((口) - 第 A. 56 図参照)

$$F_{SP} = \text{$$

$$= \text{$$

F_I : 固縛金具の抵抗力

$$F_I = S_u \cdot A$$

S_u : 固縛金具 (SUS の における引張強さ

A : 固縛金具底面積

(固縛金具の変形図を (口) - 第 A. 59 図に示す。)

$$A = t \cdot \ell$$

t : 固縛金具の最大板厚

ℓ : 変形部の最大長さ

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

2) 方向以外からの落下

最大減速度 (G_{H2}) は、次式で表わされる。

$$G_{H2} = \frac{F_{SA} + F_{FIN} + F_{SP}}{9.8 W_a}$$

ここで、

F_{SA} : 緩衝体の衝撃力

$$F_{SA} = A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon)$$

F_{FIN} : フィンの衝撃力

$$F_{FIN} = A'(\varepsilon') \cdot F(\varepsilon')$$

((ロ) - 第 A. 58 図の衝撃力は $F_{SA} + F_{FIN}$ の値を示す。)

F_{SP} : 表面被覆材の抵抗力

((1) からの落下参照)

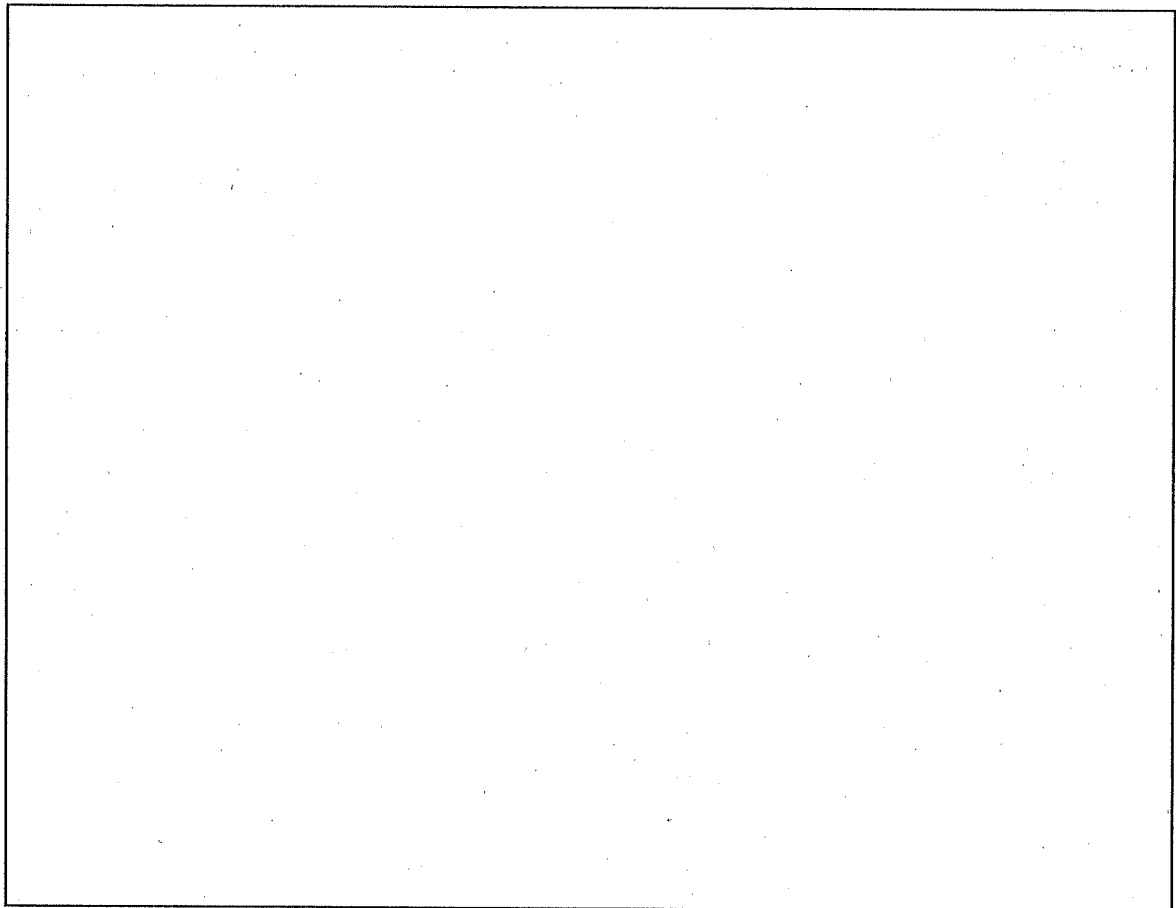
W_a : 輸送物の重量

$$G_{H2} = \frac{\text{}}{\text{}}$$

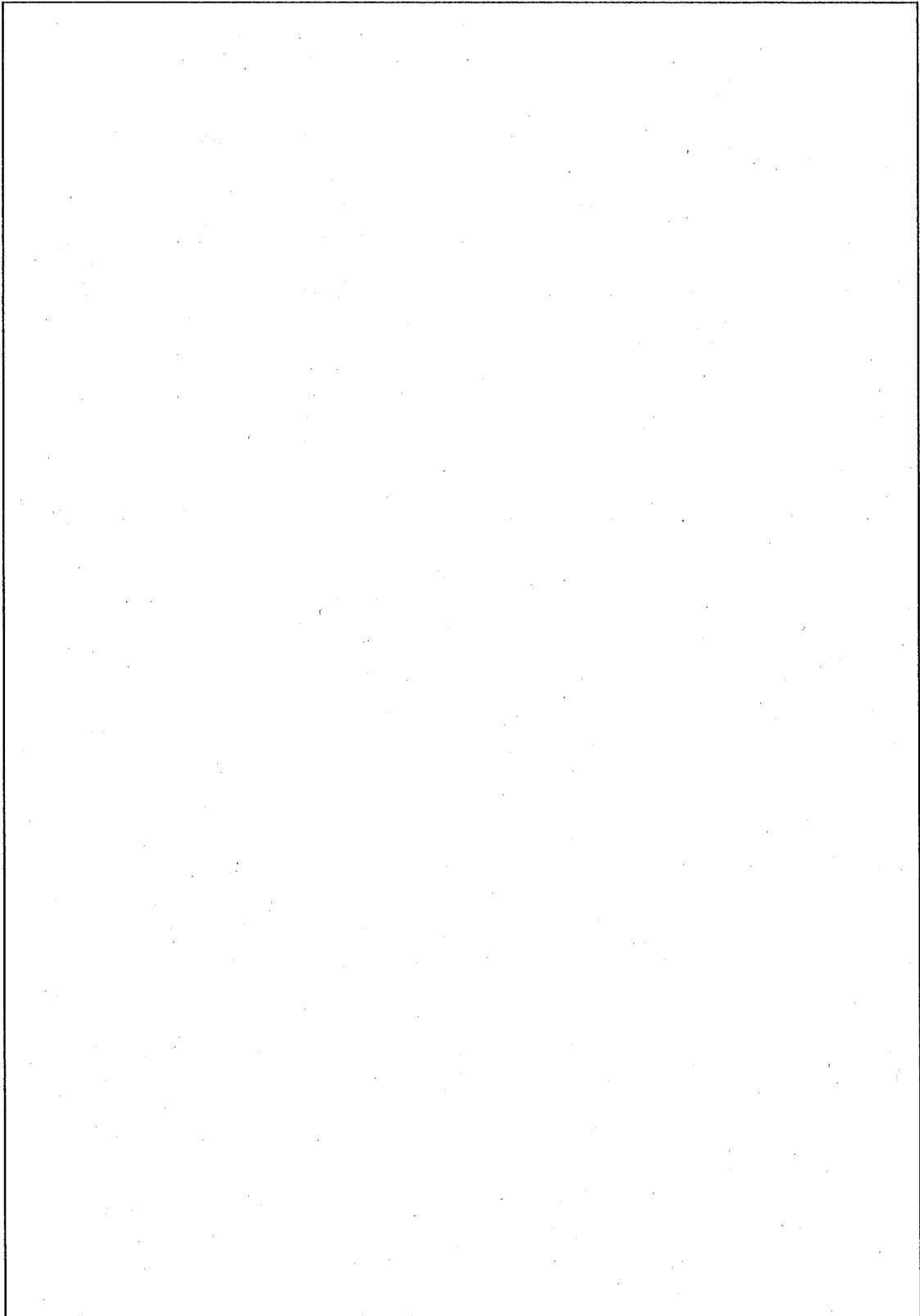
となる。

したがって、からの落下では最大減速度が、それ以外の方向からの落下では最大減速度が、輸送容器及び収納物に生じた場合に輸送容器及び収納物が健全であることを次に示す。

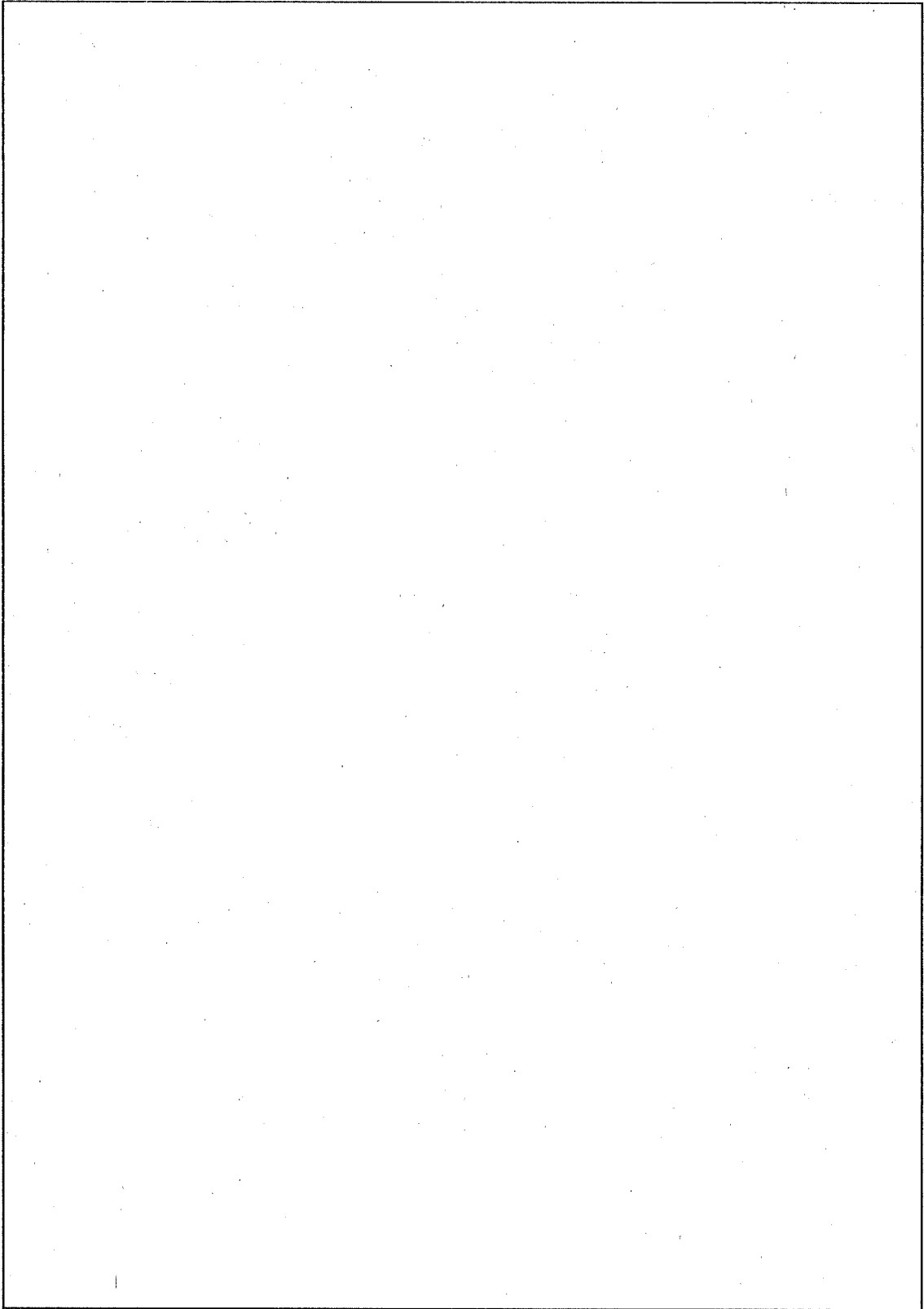
形状	(口) - 第A. 56図参照
<input type="text"/> の	
変形応力図	(口) - 第A. 2図参照
形状係数	$K_1 =$ <input type="text"/>
	$K_2 =$ <input type="text"/>
	$K_3 =$ <input type="text"/>
落下エネルギー	$E = 1.63 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$



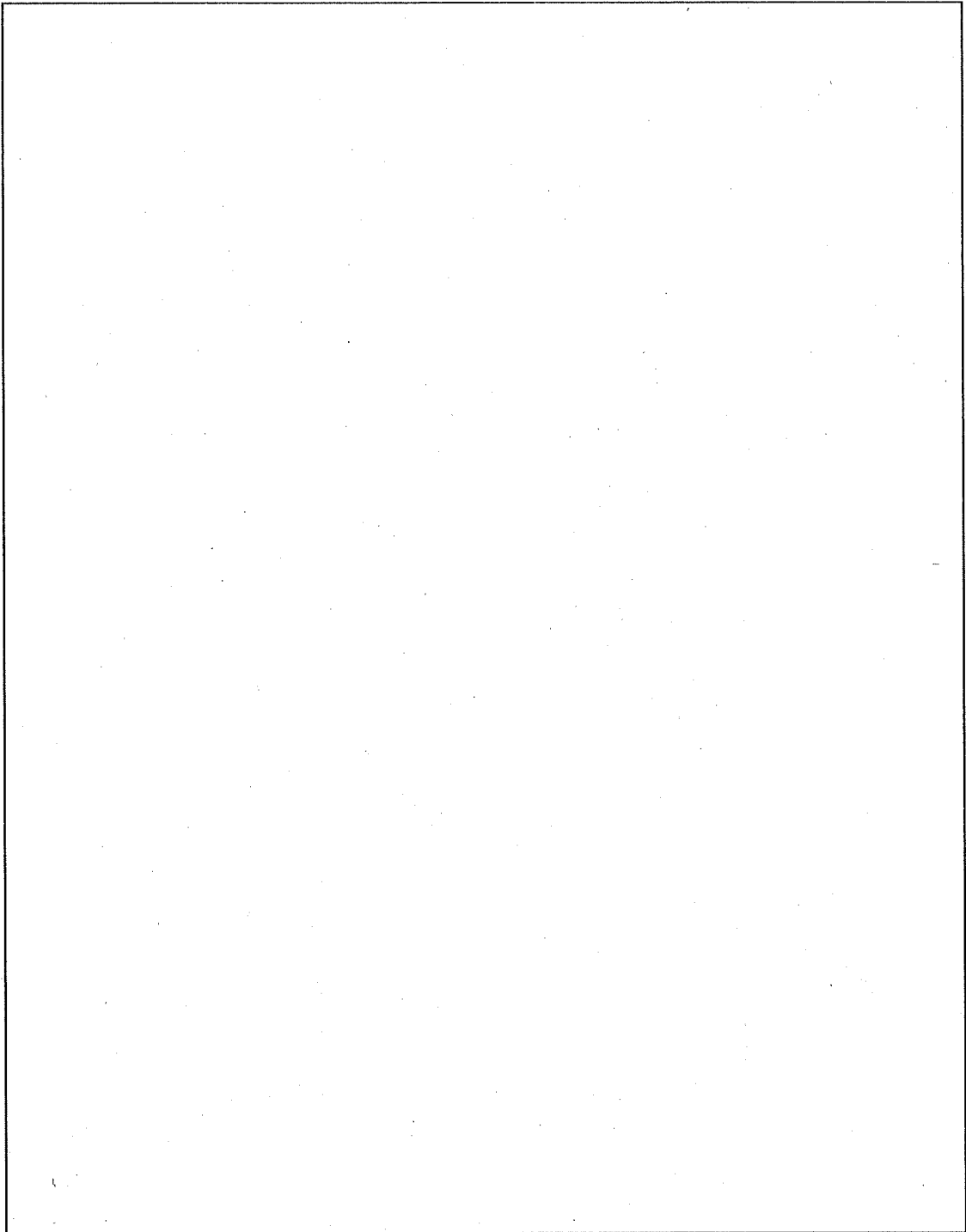
(口) - 第 A. 56 図 水平落下の状態図



(口) 一第 A. 57 図 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係 (その 1)



(口) - 第 A. 58 図 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係 (その 2)



(口) - 第 A. 59 図 固縛金具の変形図

(各部の評価)

水平落下時における各部の強度を解析する。

以下に、解析項目を示す。

1. 容器本体胴部
2. バスケット
3. 収納物
4. ドレン弁及びベントプラグ

1. 容器本体胴部

水平落下した場合、容器本体胴部には衝撃による慣性力が働く。解析上安全側となる輸送物総重量による慣性力が働くとして容器本体に生じる応力を解析し、容器本体の健全性を示す。

水平落下した場合、輸送容器は、(口) - 第 A. 60 図に示すように上部緩衝体及び下部緩衝体で支持されたはりとして慣性力による等分布荷重が働くと考ええる。

容器本体胴部に生じる最大曲げ応力(σ_b)は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M_{\max} \cdot e}{I}$$

ここで、

M_{\max} : 最大曲げモーメント

$$M_{\max} = \frac{1}{8} F \cdot L \quad (\text{容器本体胴中央部に生じる。})$$

F : 輸送容器に働く慣性力

$$F = 9.8 W \cdot G_{H1}$$

W : 輸送物重量 18440 kg

G_{H1} : 最大減速度

(最大減速度は、の落下と

の落下があるが、最大減速度の高い

の落下の値を用いる。)

L : 容器本体胴部の長さ

(安全側に輸送容器の長さを容器本体胴部の長さとする。)

I : 容器本体胴部断面二次モーメント

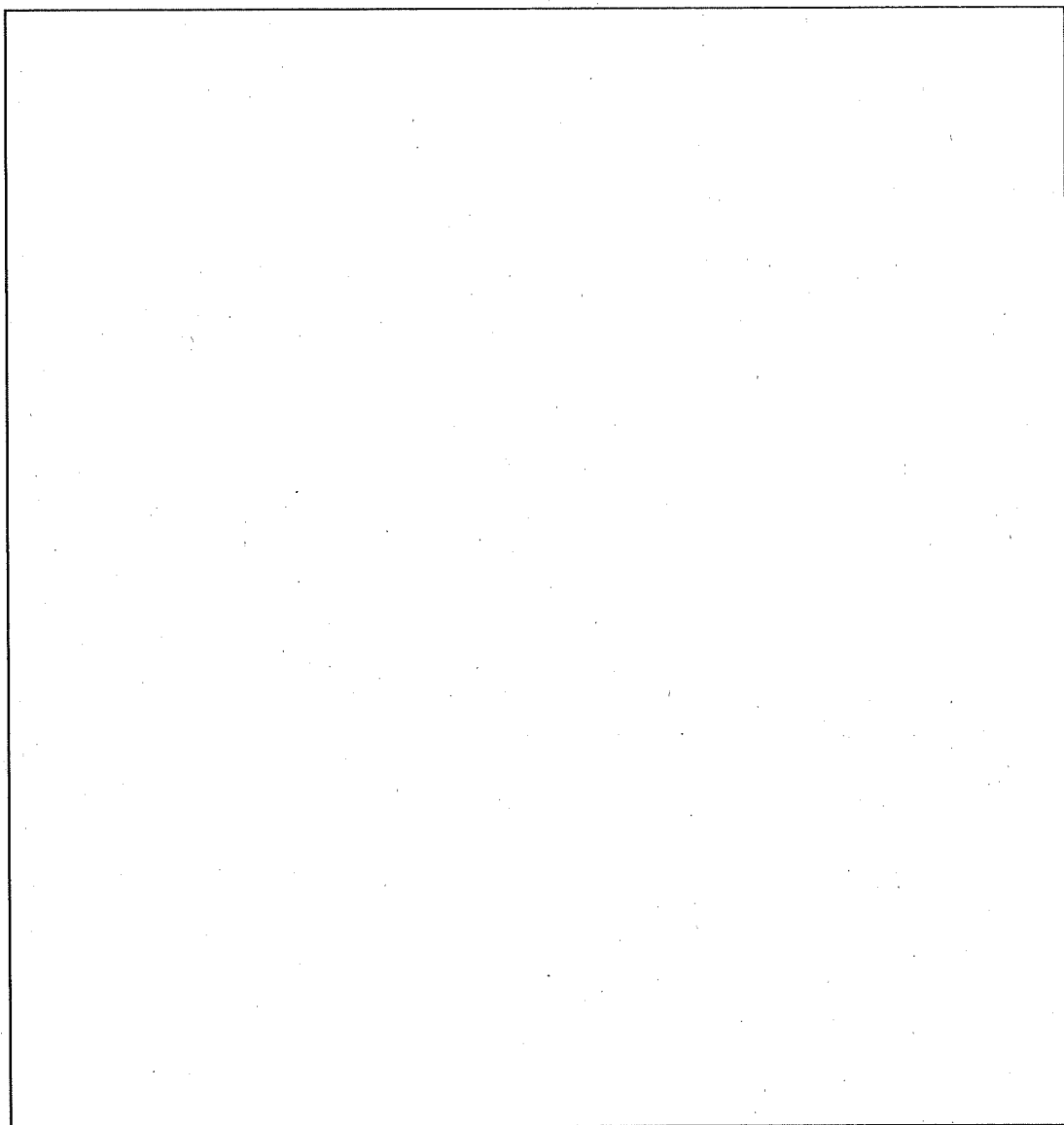
$$I = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$$

D_o : 容器本体胴部の外径

D_i : 容器本体胴部の内径

e : 中立軸から最端部までの長さ

$$e = \frac{D_o}{2}$$



(ロ) - 第 A. 60 図 両端単純支持された容器本体胴部の解析モデル

2. バスケット

バスケットを(口) - 第 A. 61 図 に示す。

水平落下時において、バスケットには、収納物及び中性子吸収材の慣性力による曲げ応力が生じる。(口) - 第 A. 61 図に示すように水平落下角度が 0° 方向、36° 方向 、90° 方向の場合について、バスケットに発生する応力を求め、バスケットが健全であることを示す。

解析は、構造解析汎用計算コード ANSYS(付属書類 A. 10.1 参照)を用いて、仕切板・区切板及び枠組に分け解析する。なお、仕切板・区切板は、三次元はり要素を用い、枠組は 4 節点四辺形平面応力要素を用いる。

2.1 仕切板・区切板に生じる応力

仕切板・区切板は、0° 方向、36° 方向 、90° 方向の場合について発生する応力強さを求め、仕切板・区切板が健全であることを示す。

なお、仕切板・区切板の自重 を考慮して解析を行う。

2.1.1 0° 方向水平落下((口) - 第 A. 61 図参照)

0° 方向水平落下時における仕切板・区切板の解析モデルを(口) - 第 A. 62 図に示す。単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力(Q₁)、単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力(Q₂)が仕切板・区切板に働くものとして構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

(1) 慣性力

1) 仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力

仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力(Q₁)は、次式で表 される。

$$Q_1 = \frac{9.8 W_1 \cdot Gh_2}{l_1}$$

ここで、

W₁ : 収納物の重量

$$W_1 = W_2 + W_3$$

W₂ : JMTR 燃料フォロワ (LEU) の重量

W₃ : スペーサの重量

$$W_1 =$$

$$=$$

l_1 : 仕切板の間隔 ((ロ) - 第 A. 62 図参照)

G_{H2} : 0° 方向水平落下時の最大減速度

$$Q_1 = \text{$$

$$= \text{$$

となる。

- 2) 仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力
仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力 (Q_2) は、
次式で表される。

$$Q_2 = \frac{9.8 W_4 \cdot G_{H2}}{l_2}$$

W_4 : 中性子吸収材の重量

(中性子吸収材は幅の異なるものが2種類あるが重量の重いものを用
いる。)

l_2 : 中性子吸収材の厚さ

G_{H2} : 0° 方向水平落下時の最大減速度

$$Q_2 = \text{$$

$$= \text{$$

となる。

(2) 発生応力

構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析を行った結果である仕切板・区切板に発生する応力強さを (口) - 第 A. 63 図に示す。(口) - 第 A. 63 図から仕切板・区切板の溶接部に発生する最大の応力強さ (S) は $S = \boxed{\quad}$ となる。

仕切板・区切板に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の仕切板・区切板の解析結果の最高温度 $\boxed{\quad}$ ((口) - 第 B. 15 表参照) を、仕切板・区切板の温度と考え、安全側に $\boxed{\quad}$ としたときの仕切板・区切板の部材 $\boxed{\quad}$ の引張強さ $S_u \boxed{\quad}$ に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

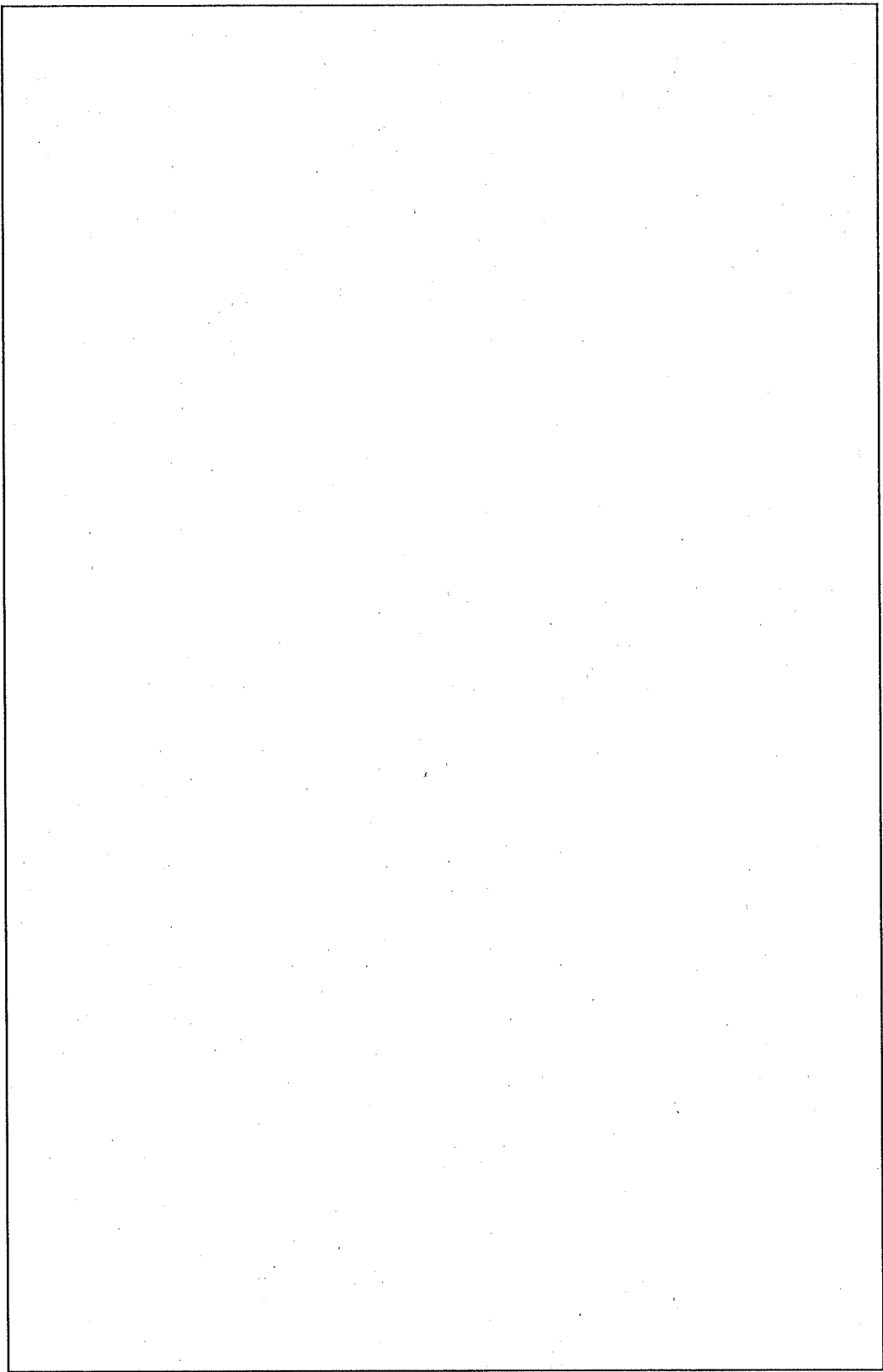
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_u}{S} - 1$$

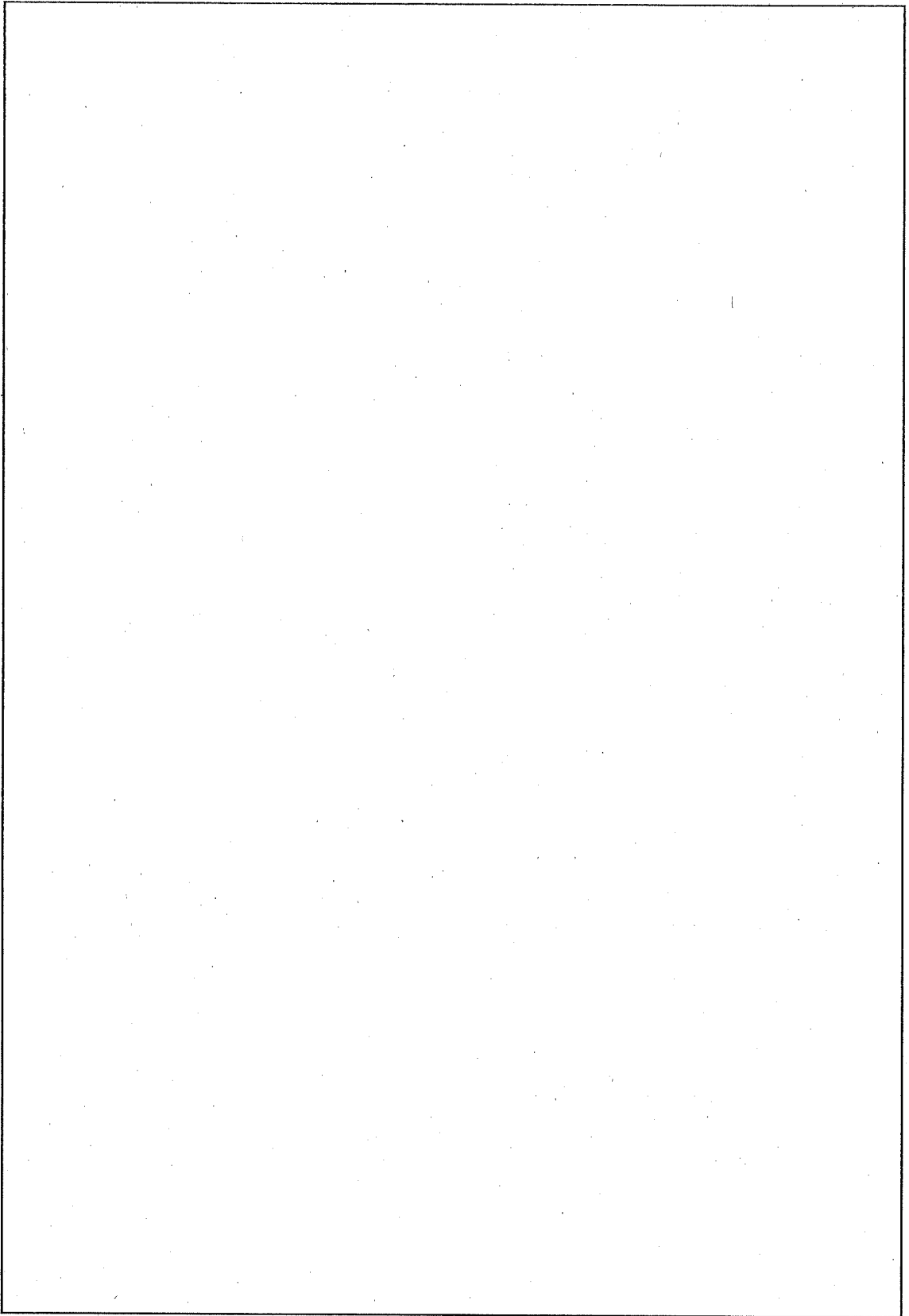
$$= \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad}$$

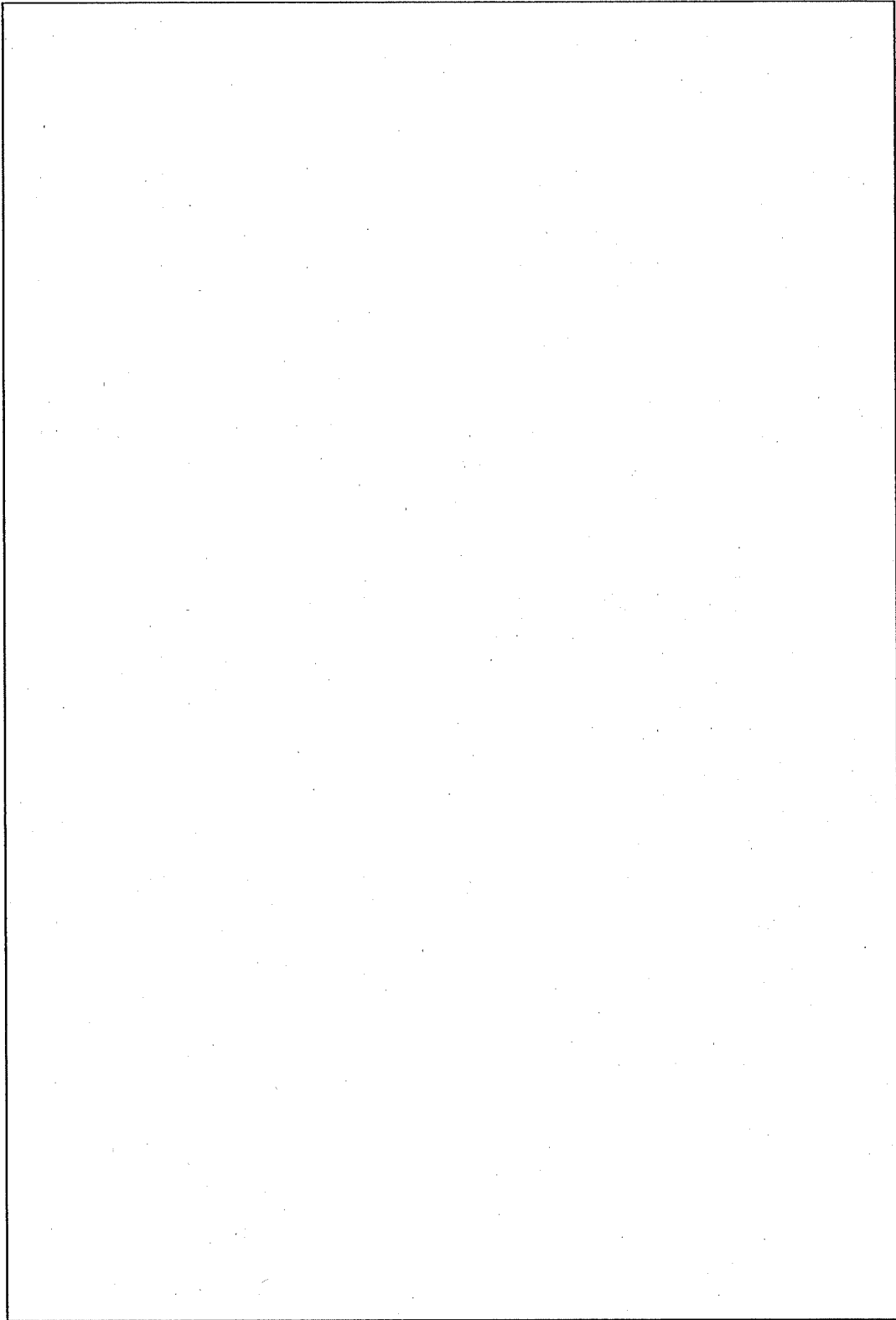
となる。したがって、仕切板・区切板は健全である。



(ロ) - 第 A. 61 図 バスケット



(口) - 第 A.62 図 0° 方向水平落下時における仕切板・区切板の解析モデル



(口) - 第 A. 63 図 0° 方向水平落下時における仕切板・区切板に発生する応力強さ

2.1.2 36° 方向 水平落下 ((口) - 第 A. 61 図参照)

36° 方向水平落下時における仕切板・区切板の解析モデルを (口) - 第 A. 64 図に示す。

単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力(Q₃)を0°方向の分力(Q_{3V})と90°方向の分力(Q_{3H})に分け、それぞれの値を求める。また、単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力(Q₄)も同様、0°方向の分力(Q_{4V})と90°方向の分力(Q_{4H})に分けそれぞれの値を求める。

以上のようにして求めた慣性力の分力が仕切板・区切板に働くものとして、構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

(1) 慣性力

- 1) 仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力の分力0°方向の分力(Q_{3V})は、次式で表される。

$$Q_{3V} = Q_3 \cdot \cos \theta$$

ここで、

Q₃: 単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力

$$Q_3 = \frac{9.8 W_1 \cdot G_{H1}}{\ell_1}$$

W₁: 収納物 (JMTR 燃料フォロワ (LEU) + スペーサ) の重量

ℓ₁: 仕切板・区切板の間隔

G_{H1}: 36° 方向水平落下時の最大減速度

$$Q_3 = \text{$$

$$= \text{$$

θ: 水平落下の落下角度

$$Q_{3V} = \text{$$

$$= \text{$$

また、90° 方向の分力(Q_{3H})は、次式で表される。

$$Q_{3H} = Q_3 \cdot \sin \theta$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。

2) 仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力の分力 0° 方向の分力 (Q_{4V}) は、次式で表わされる。

$$Q_{4V} = Q_4 \cdot \cos \theta$$

ここで、

Q_4 : 単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力

$$Q_4 = \frac{9.8 \cdot W_2 \cdot G_{HI}}{l_2}$$

W_2 : 中性子吸収材の重量

(中性子吸収材は幅の異なるものが2種類あるが重量の重いものを用いる。)

l_2 : 中性子吸収材の厚さ

G_{HI} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

$$Q_4 = \text{$$

$$= \text{$$

$$Q_{4V} = \text{$$

$$= \text{$$

また、 90° 方向の分力 (Q_{4H}) は、次式で表される。

$$Q_{4H} = Q_4 \cdot \sin \theta \cdot \frac{l_2}{l_4}$$

l_4 : 中性子吸収材の幅

$$Q_{4H} = \text{$$

$$= \text{$$

となる。

(2) 発生応力

構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析を行った結果である仕切板・区切板に発生する応力強さを (口) ー第 A. 65 図に示す。(口) ー第 A. 65 図より仕切板・区切板の溶接部に発生する最大の応力強さ (S) は $S = \boxed{\quad}$ となる。

なお、応力強さの最大は $\boxed{\quad}$ で溶接部以外の部分に発生しているが、評価は安全側に溶接部で行う。

仕切板・区切板に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の仕切板・区切板の解析結果の最高温度 $\boxed{\quad}$ (口) ー第 B. 15 表参照) を仕切板・区切板の温度と考え、安全側に $\boxed{\quad}$ としたときの仕切板・区切板の部材 $\boxed{\quad}$ の引張強さ $S_u \boxed{\quad}$ に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

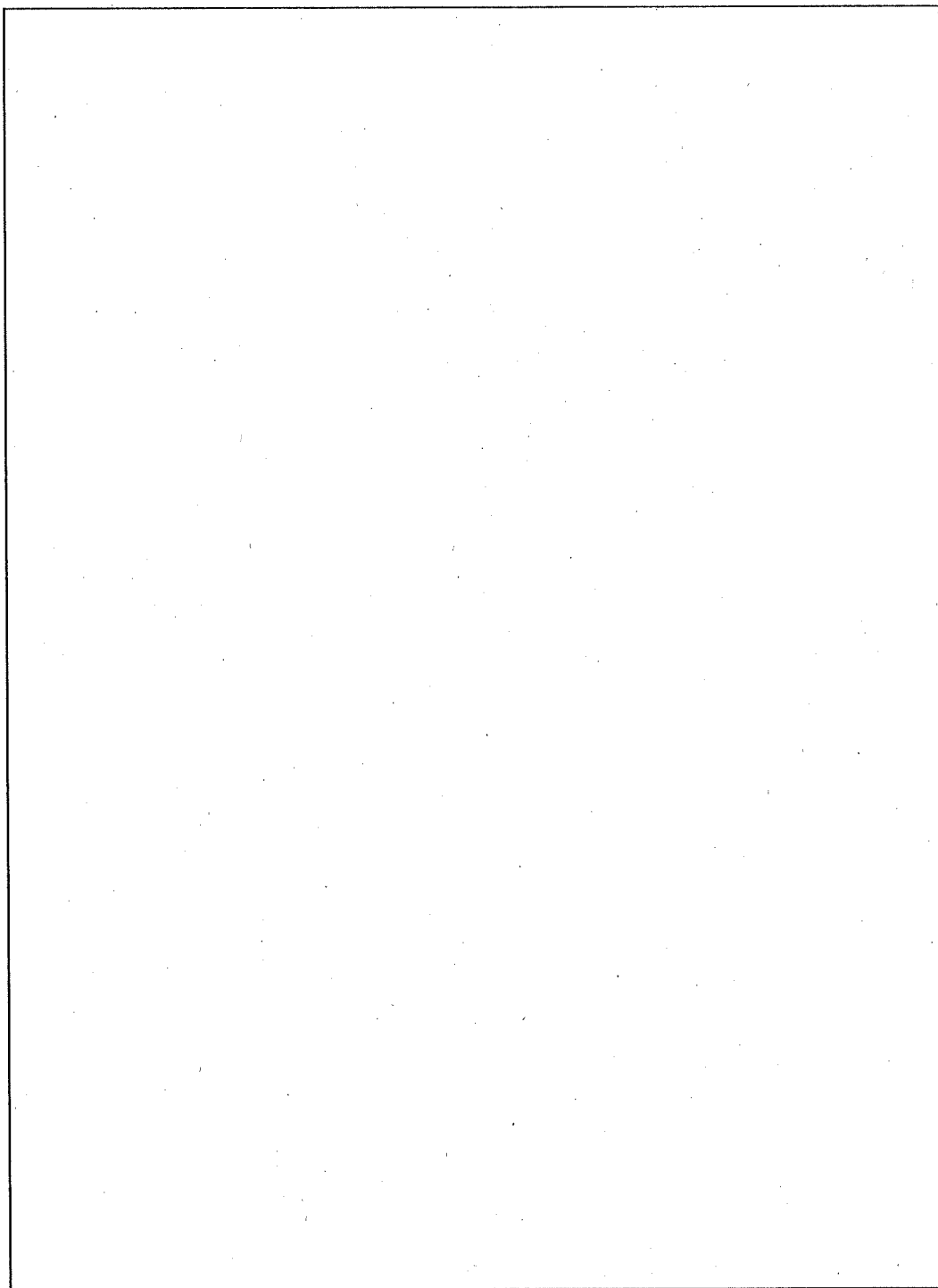
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_u}{S} - 1$$

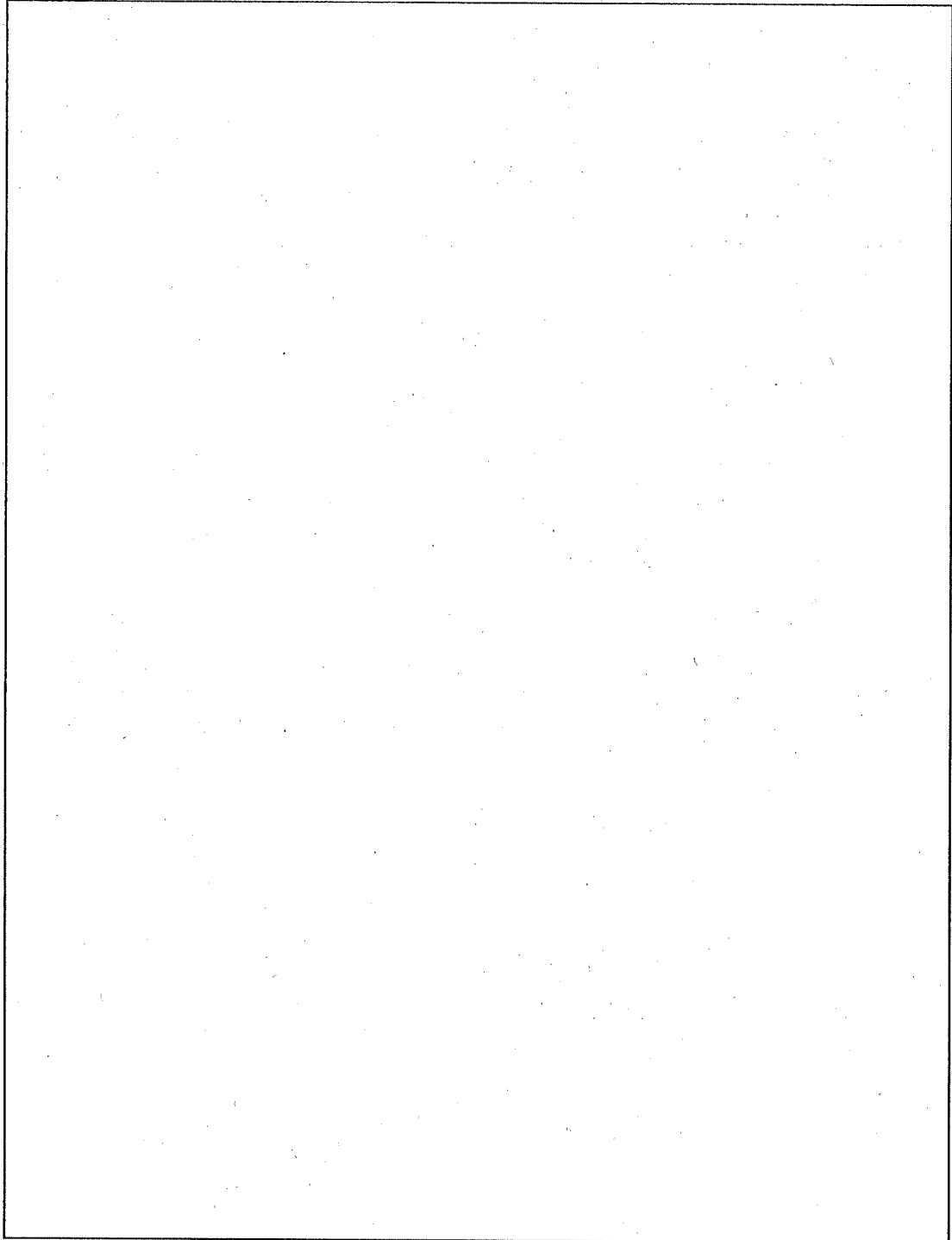
$$= \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad}$$

となる。したがって、仕切板・区切板は健全である。



(ロ) ー第 A. 64 図 36° 方向水平落下時における仕切板・区切板の解析モデル



(口) - 第 A. 65 図 36° 方向水平落下時における仕切板・区切板に発生する応力強さ

2.1.3 90° 方向水平落下（（ロ）—第 A.61 図参照）

90° 方向水平落下時における仕切板・区切板の解析モデルを（ロ）—第 A.66 図に示す。

単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力(Q₅)、単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力(Q₆)が仕切板・区切板に働くものとして構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

(1) 慣性力

1) 仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力

仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの収納物の重量による慣性力(Q₅)は、次式で表される。

$$Q_5 = \frac{9.8 W_1 \cdot G_{H2}}{\ell_3}$$

ここで、

W₁ : 収納物(JMTR 燃料フォロワ(LEU)+スペーサ)の重量

ℓ₃ : 区切板の間隔

G_{H2} : 90° 方向水平落下時の最大減速度

Q₅ =

=

となる。

2) 仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力

仕切板・区切板に働く単位長さ当たりの中性子吸収材の重量による慣性力(Q₆)は、次式で表される。

$$Q_6 = \frac{9.8 W_4 \cdot G_H}{\ell_4}$$

ここで、

W₄ : 中性子吸収材の重量

(中性子吸収材は幅の異なるものが2種類あるが重量の重いものを用いる。)

ℓ_4 : 中性子吸収材の幅

(中性子吸収材は幅の異なるものが2種類あるが幅の短いものを用いる。)

G_H : 90° 方向水平落下時の最大減速度

$$Q_6 = \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

となる。

(2) 発生応力

構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析を行った結果である仕切板・区切板に発生する応力強さを (口) - 第 A. 67 図に示す。(口) - 第 A. 67 図より仕切板・区切板の溶接部に発生する最大の応力強さ(S)は $S = \text{[]}$ となる。なお、応力強さの最大は [] で溶接部以外の部分に発生しているが、評価は安全側に溶接部で行う。

仕切板・区切板に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の仕切板・区切板の解析結果の最高温度 [] (口) - 第 B. 15 表参照) を仕切板・区切板の温度と考え、安全側に [] としたときの仕切板・区切板の部材 (SUS []) の引張強さ $S_u \text{ []}$ に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

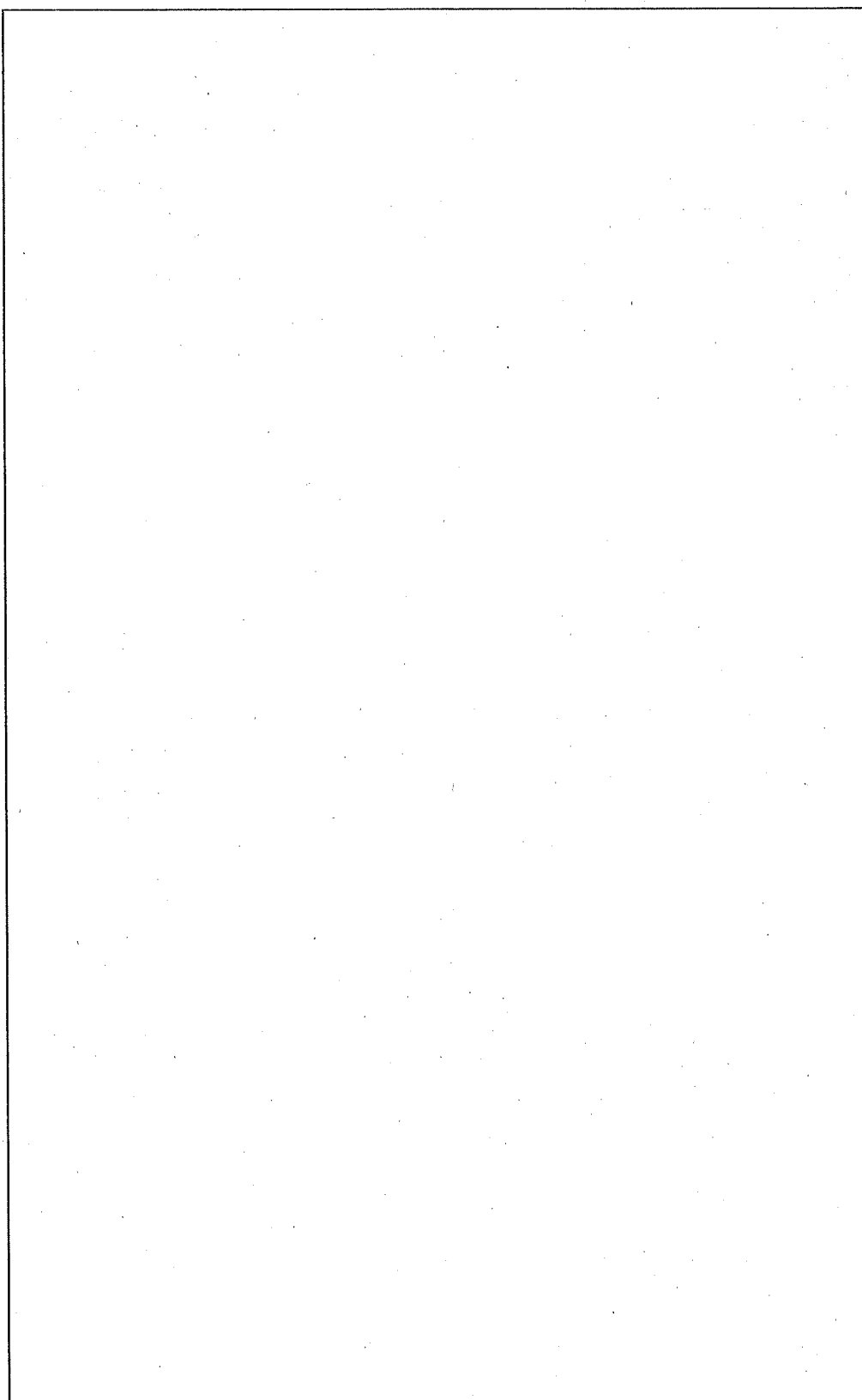
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_u}{S} - 1$$

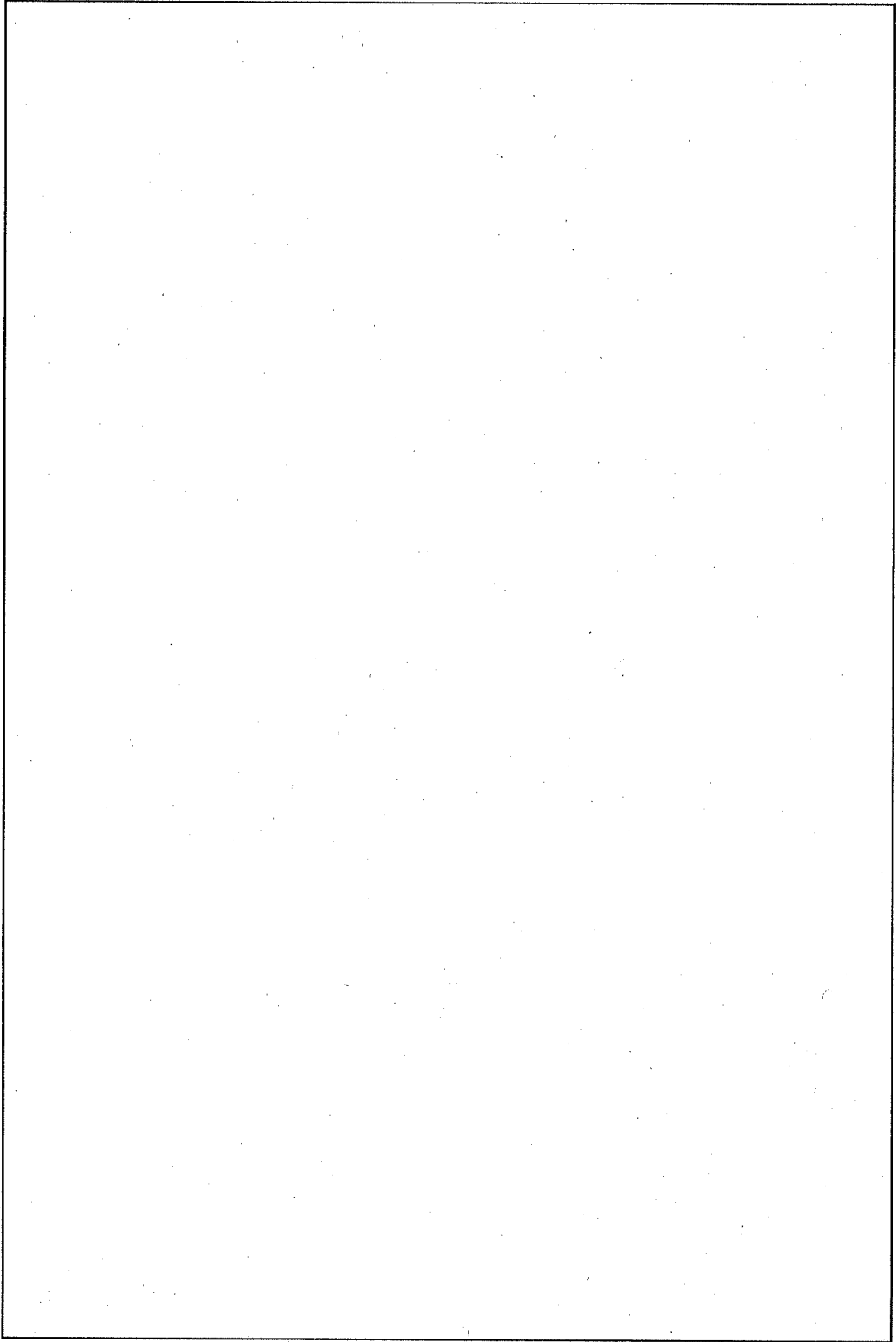
$$= \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

となる。したがって、仕切板・区切板は健全である。



(口) - 第 A. 66 図 90° 方向水平落下時における仕切板・区切板の解析モデル



(口) 一第 A. 67 図 90° 方向水平落下時における仕切板・区切板に発生する応力強さ

2.2 枠組に生じる応力

枠組の 0° 方向、90° 方向の場合について発生する応力強さを求め、枠組が健全であることを示す。最大減速度は最大となる 36° 方向 水平落下時の値を用いる。なお、枠組の自重 を考慮して解析を行う。

2.2.1 0° 方向水平落下 ((口) - 第 A.61 図参照)

0° 方向水平落下時における枠組の解析モデルを (口) - 第 A.68 図に示す。

単位面積当たりのバスケット内部の重量による慣性力 (P_1)、単位面積当たりの収納物の重量による慣性力 (P_2) が枠組に働くものとして、構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

(1) 慣性力

1) 枠組に働く単位面積当たりのバスケット内部の重量による慣性力

枠組に働く単位面積当たりのバスケット内部の重量による慣性力 (P_1) は、次式で表される。

$$P_1 = \frac{9.8 W_1 \cdot G_{H1}}{(\ell_1 + \ell_2) \cdot \ell}$$

ここで、

W_1 : バスケット内部の重量

$$W_1 = \frac{1}{2} W_2 + n_1 \cdot W_3$$

W_2 : 仕切板・区切板の重量

n_1 : 収納物の数 ((口) - 第 A.68 図参照)

W_3 : 収納物の重量

$$W_1 =$$

$$=$$

ℓ_1 : 枠組の受圧幅 (1) ((口) - 第 A.68 図参照)

ℓ_2 : 枠組の受圧幅 (2) ((口) - 第 A.68 図参照)

ℓ : 枠組の長さ ((口) - 第 A.61 図参照)

G_{H1} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

$$P_1 = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

2) 枠組に働く単位面積当たりの収納物の重量による慣性力

枠組に働く単位面積当たりの収納物の重量による慣性力 (P_2) は、次式で表される。

$$P_2 = \frac{9.8 W_3 \cdot G_{H1}}{l_3 \cdot l_4}$$

ここで、

W_3 : 収納物 (JMTR 燃料フォロワ (LEU) + スペーサ) の重量

l_3 : スペーサの幅 ((口) - 第 A. 68 図参照)

l_4 : スペーサの長さ

G_{H1} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

$$P_2 = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

(2) 発生応力

構造解析汎用計算コードANSYSを用いて解析を行った結果である枠組に発生する応力強さを(口) - 第 A. 69 図に示す。(口) - 第 A. 69 図から枠組に発生する最大の応力強さ(S) は $S = \boxed{\quad}$ となる。

枠組に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の枠組の解析結果の最高温度 $\boxed{\quad}$ (口) - 第 B. 15 表参照) を枠組の温度と考え、安全側に $\boxed{\quad}$ としたときの枠組の部材 (SUS $\boxed{\quad}$) の引張強さ $S_u \boxed{\quad}$ に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

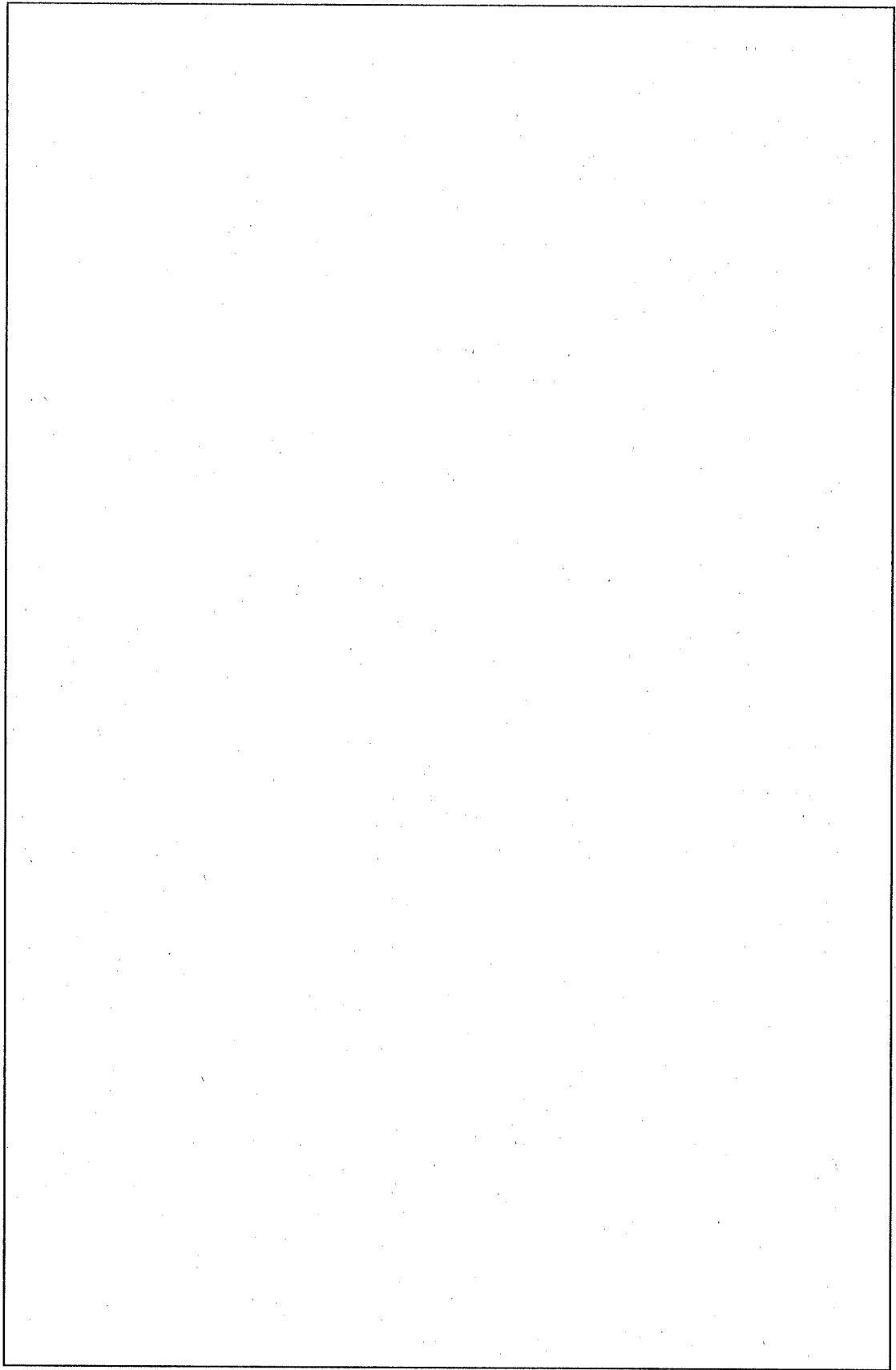
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_u}{S} - 1$$

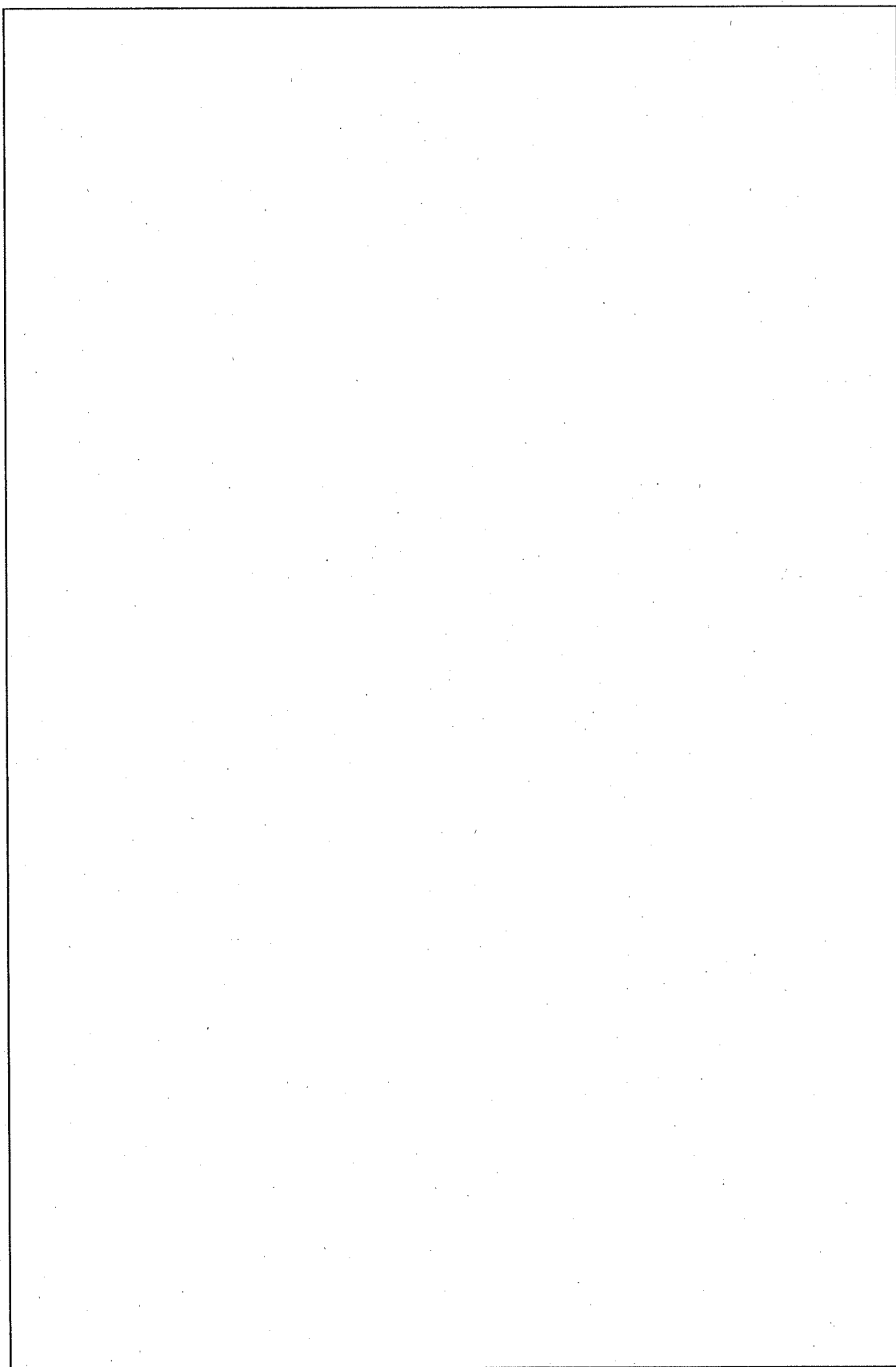
$$= \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad}$$

となる。したがって、枠組は健全である。



(ロ) - 第 A. 68 図 0° 方向水平落下時における枠組の解析モデル



(口) - 第 A. 69 図 枠組に発生する応力強さ

2.2.2 90° 方向水平落下（（口）－第 A. 61 図参照）

90° 方向水平落下時における枠組の解析モデルを（口）－第 A. 70 図に示す。

単位面積当たりのバスケット内部の重量による慣性力 (P_3)、単位面積当たりの収納物の重量による慣性力 (P_2) が枠組に働くものとして、構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

(1) 慣性力

1) 枠組に働く単位面積当たりのバスケット内部の重量による慣性力

枠組に働く単位面積当たりのバスケット内部の重量による慣性力 (P_3) は、次式で表される。

$$P_3 = \frac{9.8 W_4 \cdot G_{H1}}{(\ell_5 + \ell_6) \cdot \ell}$$

ここで、

W_4 : バスケット内部の重量

$$W_4 = \frac{1}{2} W_2 + n_2 \cdot W_3$$

W_2 : 仕切板・区切板の重量

n_2 : 収納物の数（（口）－第 A. 70 図参照）

W_3 : 収納物の重量

$W_4 =$

$=$

ℓ_5 : 枠組の受圧幅 (3)（（口）－第 A. 70 図参照）

ℓ_6 : 枠組の受圧幅 (4)（（口）－第 A. 70 図参照）

ℓ : 枠組の長さ（（口）－第 A. 61 図参照）

G_{H1} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

$P_3 =$

$=$

となる。

2) 枠組に働く単位面積当たりの収納物の重量による慣性力

枠組に働く単位面積当たりの収納物の重量による慣性力(P_2)は 2.2.1(1)の
2)0° 方向水平落下と同様 $P_2 = \boxed{\quad}$ である。

(2) 発生応力

構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析を行った結果の枠組に発生する応力強さを (ロ) - 第 A.71 図に示す。(ロ) - 第 A.71 図から枠組に発生する応力強さ (S) は、 $\boxed{\quad}$ となる。

枠組に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ) 章 B. 熱解析における通常輸送時の枠組の解析結果の最高温度 $\boxed{\quad}$ ((ロ) - 第 B.15 表参照) を枠組の温度と考え、安全側に $\boxed{\quad}$ としたときの枠組の部材 $\boxed{\quad}$ の引張強さ S_u $\boxed{\quad}$ に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

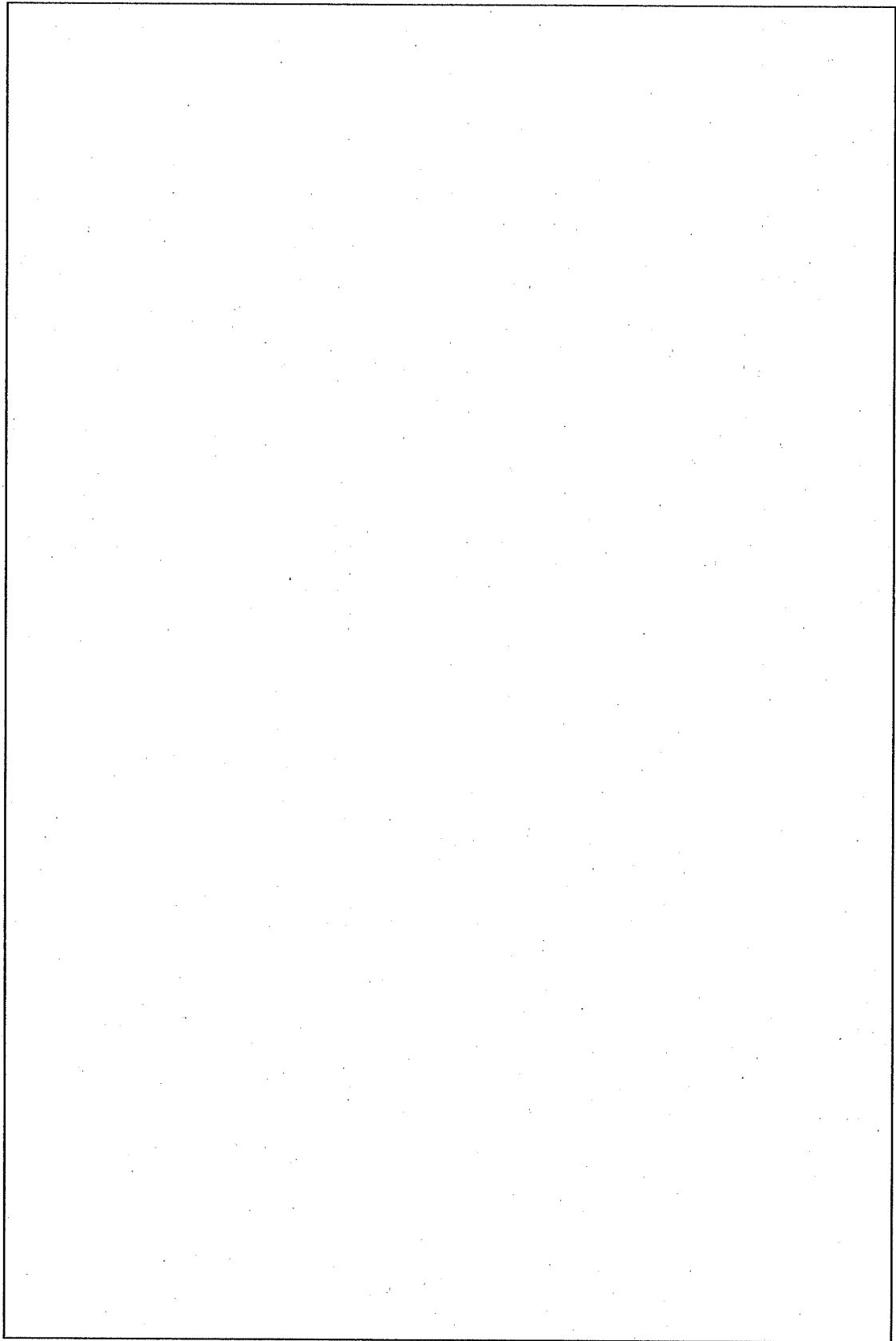
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_u}{S} - 1$$

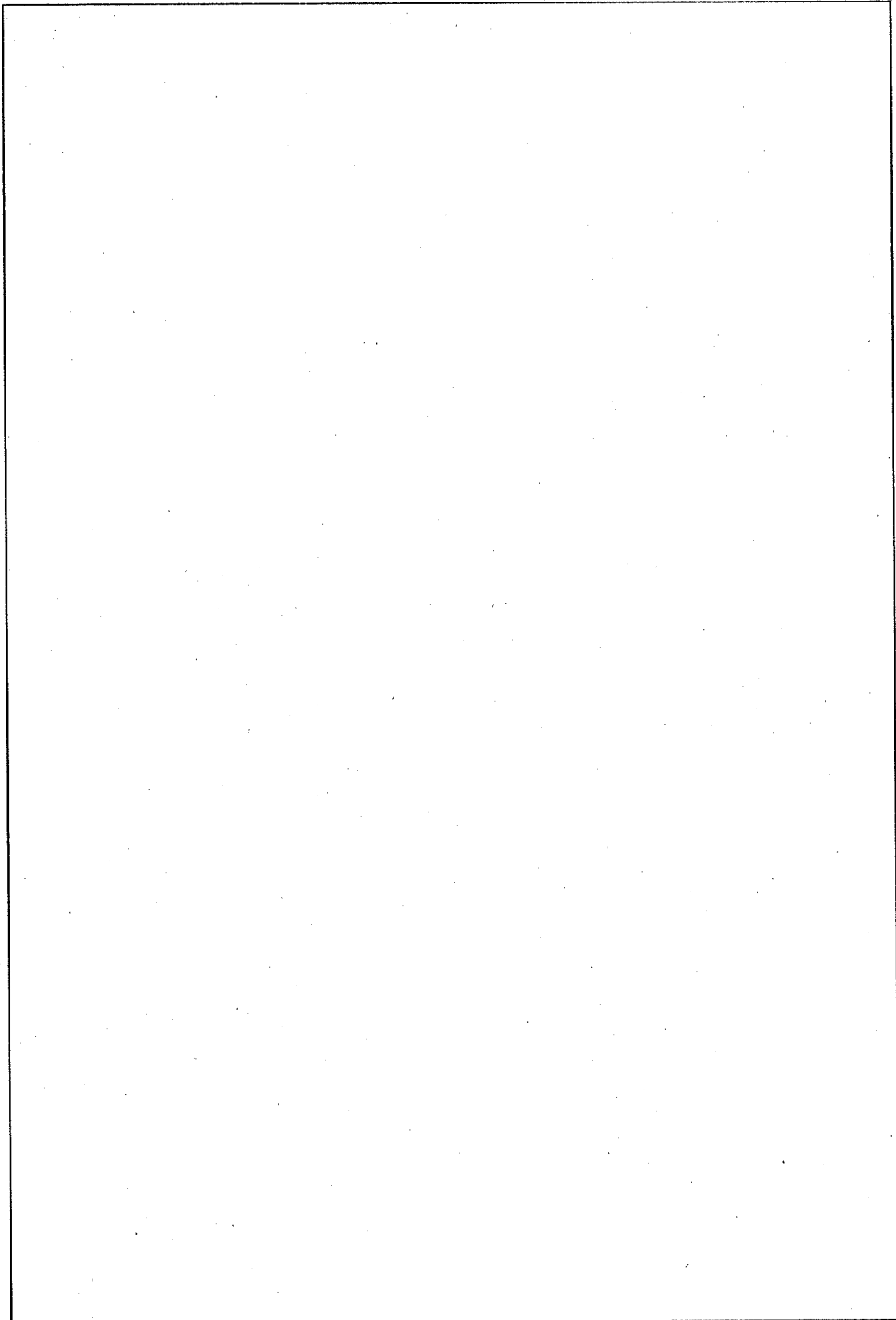
$$MS = \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad}$$

となる。したがって、枠組は健全である。



(口) - 第 A.70 図 90° 方向水平落下時における枠組の解析モデル



(口) - 第 A. 71 図 枠組に発生する応力強さ

3. 収納物

収納物には、JMTR 標準燃料要素、JMTR 燃料フォローがある。

水平落下時において、収納物の重量による慣性力によって収納物が破損しないことを JMTR 標準燃料要素、JMTR 燃料フォローについて解析を行う。

3.1 収納物 (JMTR)

3.1.1 標準燃料要素

水平落下時において、収納物には、収納物の重量による慣性力により側板に圧縮応力が生じ、また燃料板には曲げ応力が生じる。水平落下角度は、最大の応力が生じる 方向とする。また、最大減速度は最大となる 36° 方向 水平落下時の値を用いる。

(1) 側板

側板に最大の応力が生じる落下方向で解析する。側板の解析モデルを (口) - 第 A.72 図に示す。

側板に生じる圧縮応力 (σ_c) は、次式で表される。

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

ここで、 F : JMTR 標準燃料要素 (LEU) の自重による慣性力

$$F = 9.8 W \cdot G_{H1}$$

W : JMTR 標準燃料要素 (LEU) の重量

G_{H1} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

$$F = \text{$$

$$= \text{$$

A : 側板の受圧面積

$$A = 2a \cdot l$$

a : 側板の厚さ

l : 側板の長さ

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_c = \text{$$

$$= \boxed{}$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = \sigma_c$$

$$= \boxed{}$$

となる。

側板に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の収納物の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) - 第 B. 15 表参照)を側板の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときの側板の部材 $\boxed{}$ の引張強さ S_u $\boxed{}$ を用いる。

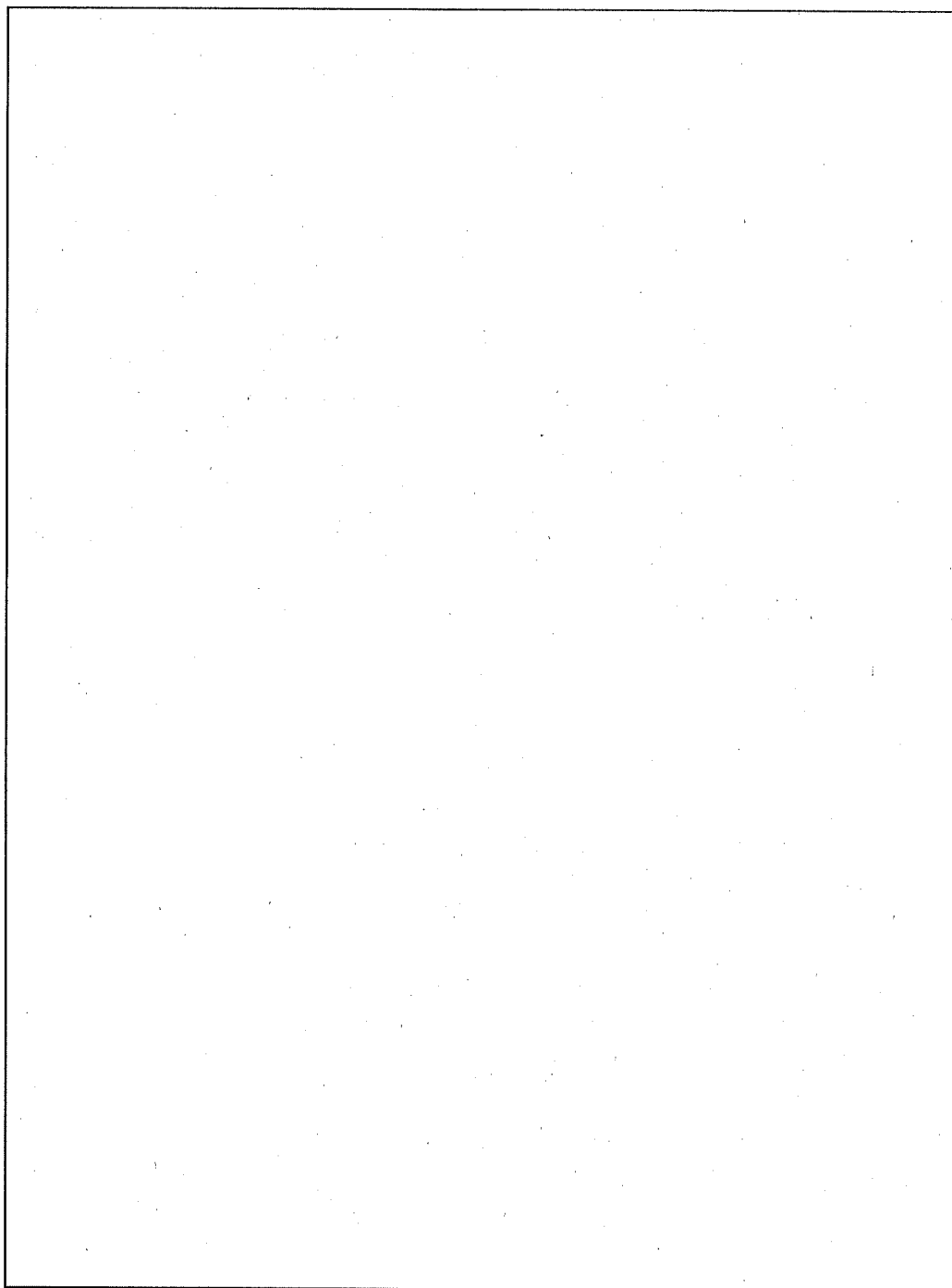
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_u}{S} - 1$$

$$MS = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、側板は健全である。



(ロ) - 第 A. 72 図 側板の解析モデル

(2) 燃料板

燃料板の解析モデルを (口) - 第 A. 73 図に示す。

燃料板を、両端固定の等分布荷重のはりと考えると、燃料板に発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$$

ここで、

M : 燃料板に生じる曲げモーメント

$$M = \frac{P \cdot b^2}{12}$$

P : 燃料板に生じる等分布荷重

$$P = \frac{9.8 W \cdot G_{H1}}{b}$$

W : JMTR 標準燃料要素 (LEU) の燃料板 1 枚の重量

G_{H1} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

b : 固定間距離

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

$$= \text{[]}$$

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

$$= \text{[]}$$

I : 燃料板の断面二次モーメント

燃料板の断面二次モーメントを求める場合、燃料芯材は無いものとし燃料板の断面を中空状の板と仮定する。

$$I = \frac{\ell \left(a^3 - t^3 \right)}{12}$$

ここで、

a : 燃料板 1 枚の板厚

t : 燃料芯材の厚み

ℓ : 燃料板の長さ

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

$$= \text{[]}$$

e : 中立軸から端面までの距離

$$e = \frac{a}{2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

$$\sigma_b = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = \sigma_b$$

$$= \boxed{}$$

となる。

燃料板に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の収納物の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) - 第 B. 15 表参照)を燃料板の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ とする。また、燃料板の部材は、複数のアルミニウム合金で構成されているが $\boxed{}$ とし、引張強さ $\boxed{}$ を用いる。

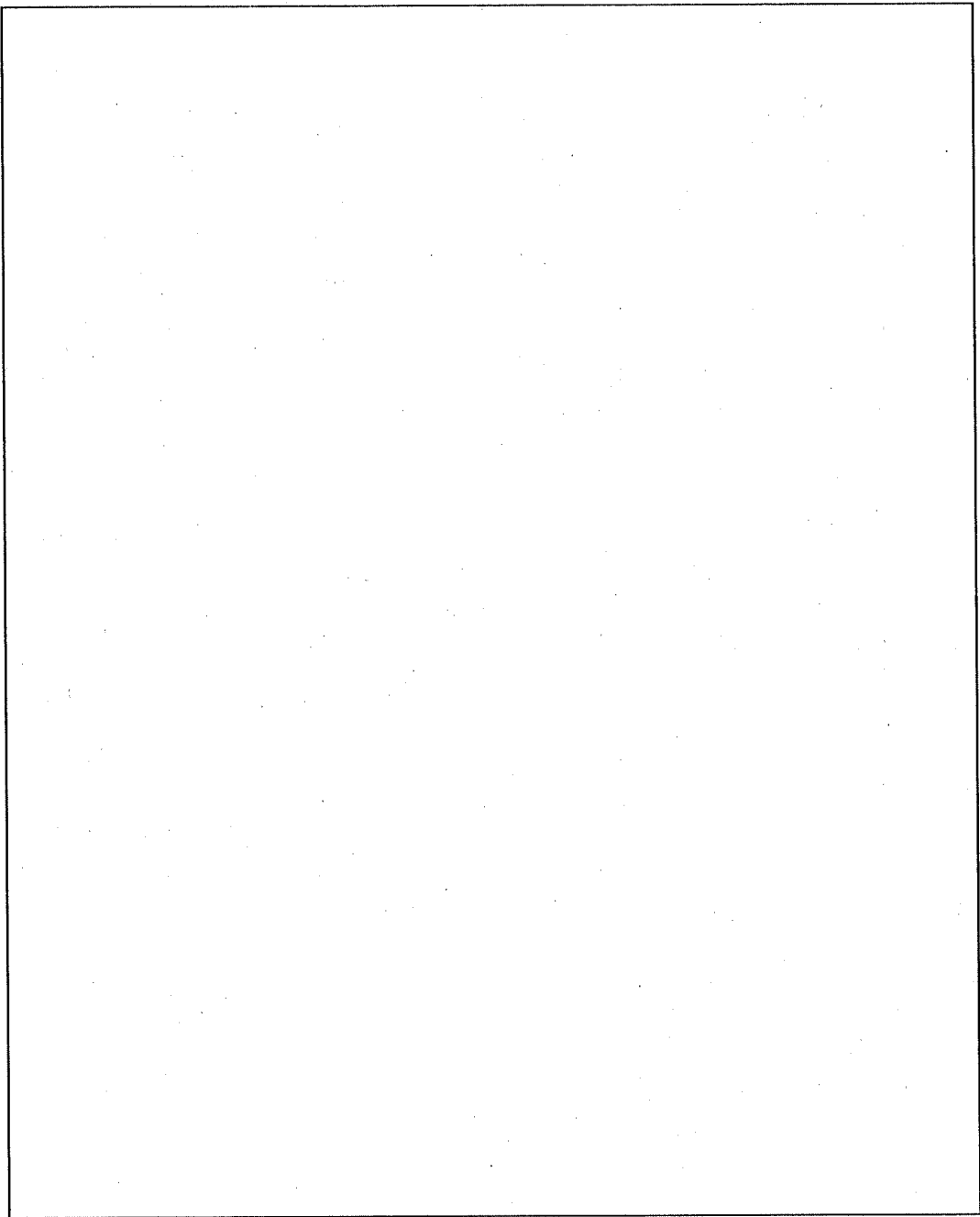
余裕率 MS は

$$MS = \frac{Su}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、燃料板は健全である。



(ロ) - 第 A. 73 図 燃料板の解析モデル

3.1.2 燃料フォロワ

水平落下において、収納物には、収納物の重量による慣性力により側板に圧縮応力が生じ、また燃料板には曲げ応力が生じる。水平落下角度は、最大の応力の生じる 方向とする。また、最大減速度は最大となる 36° 方向 水平落下時を用いる。燃料フォロワは、形状・寸法が同一なので重量が最大である JMTR 燃料フォロワ (LEU) について解析する。

(1) 側板

側板に最大応力が生ずる落下方向で解析する。側板の解析モデルを (ロ) ー第 A.74 図に示す。

側板に生じる圧縮応力 (σ_c) は、次式で表される。

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

ここで、

F : JMTR 燃料フォロワ (LEU) の自重による慣性力

$$F = 9.8 W \cdot G_{H1}$$

W : JMTR 燃料フォロワ (LEU) の重量

G_{H1} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

$$F = \text{$$

$$= \text{$$

A : 側板の受圧面積

$$A = 2a \cdot \ell$$

a : 側板の幅

ℓ : 側板の長さ

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_c = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、応力強さ (S) は

$$S = \sigma_c$$

$$= \text{$$

となる。

側板に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章B.熱解析における通常輸送時の燃料の解析結果の最高温度[]((ロ) - 第B.15表参照)を側板の温度と考え、安全側に[]としたときの側板の部材[]の引張強さ S_u []を用いる。

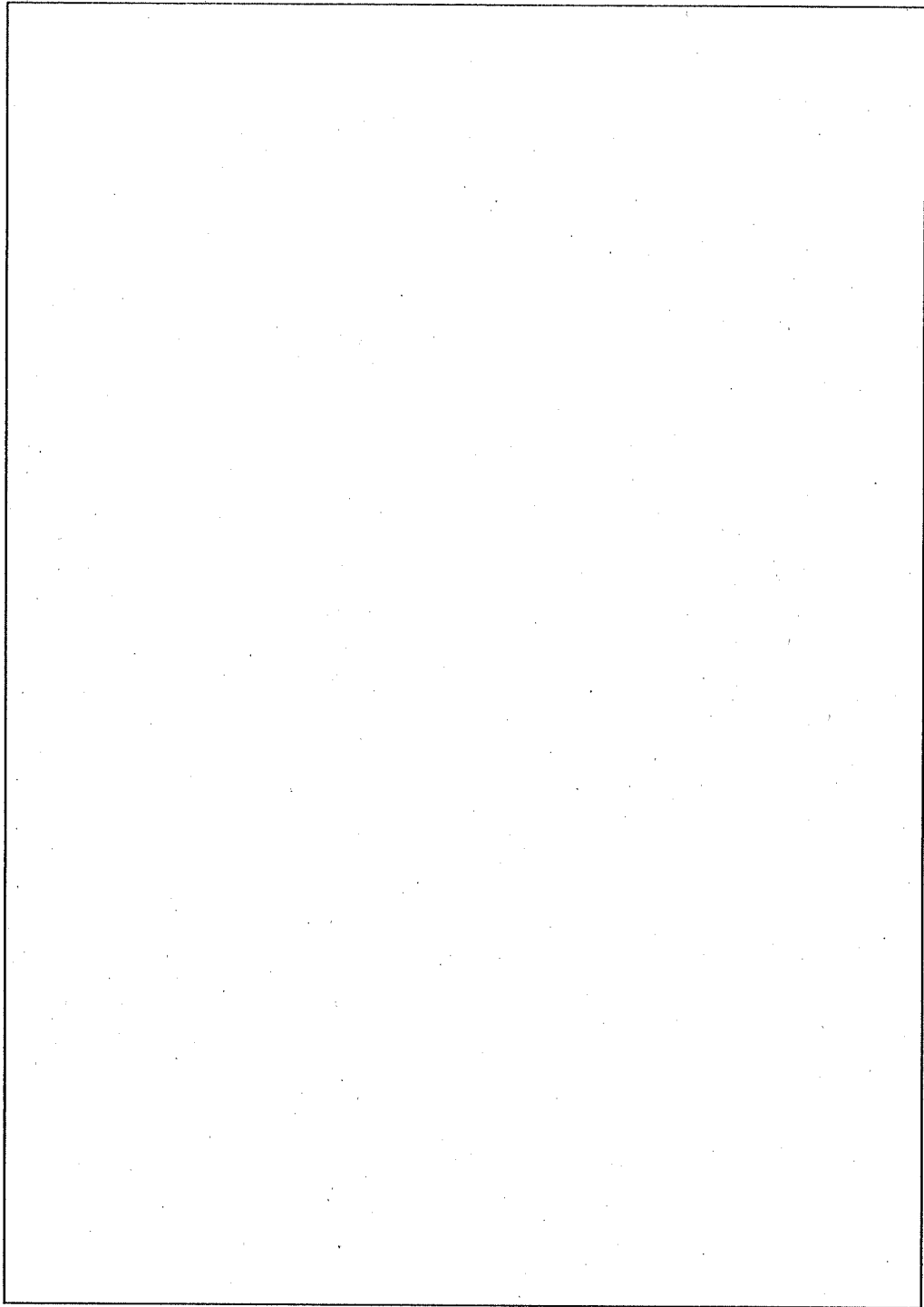
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_u}{S} - 1$$

$$= []$$

$$= []$$

となる。したがって、側板は健全である。



(ロ) - 第 A. 74 図 側板の解析モデル

(2) 燃料板

燃料板の解析モデルを (ロ) - 第 A.75 図に示す。

燃料板を、両端固定の等分布荷重のはりと考えると、燃料板に発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$$

ここで、

M : 燃料板に生じる曲げモーメント

$$M = \frac{P \cdot b^2}{12}$$

P : 燃料板に生じる等分布荷重

$$P = \frac{9.8 W \cdot G_{H1}}{b}$$

W : JMTR 燃料フォロワ (LEU) の燃料板 1 枚の重量

G_{H1} : 36° 方向水平落下時の最大減速度

b : 固定間距離

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

$$= \text{[]}$$

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

$$= \text{[]}$$

I : 燃料板の断面二次モーメント

燃料板の断面二次モーメントを求める場合、燃料芯材は無いものとし燃料板の断面を中空状の板と仮定する。

$$I = \frac{\ell \left(a^3 - t^3 \right)}{12}$$

ここで、

a : 燃料板 1 枚の板厚

t : 燃料芯材の厚み

ℓ : 燃料板の長さ

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

$$= \text{[]}$$

e : 中立軸から端面までの距離

$$e = \frac{a}{2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

$$\sigma_b = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = \sigma_b$$

$$= \boxed{}$$

燃料板に発生する応力に対する設計基準値としては、(口)章 B. 熱解析における通常輸送時の燃料の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((口) - 第 B. 15 表参照)を燃料板の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ とする。また、燃料板の部材は、複数のアルミニウム合金で構成されているが $\boxed{}$ とし、引張強さ Su $\boxed{}$ を用いる。

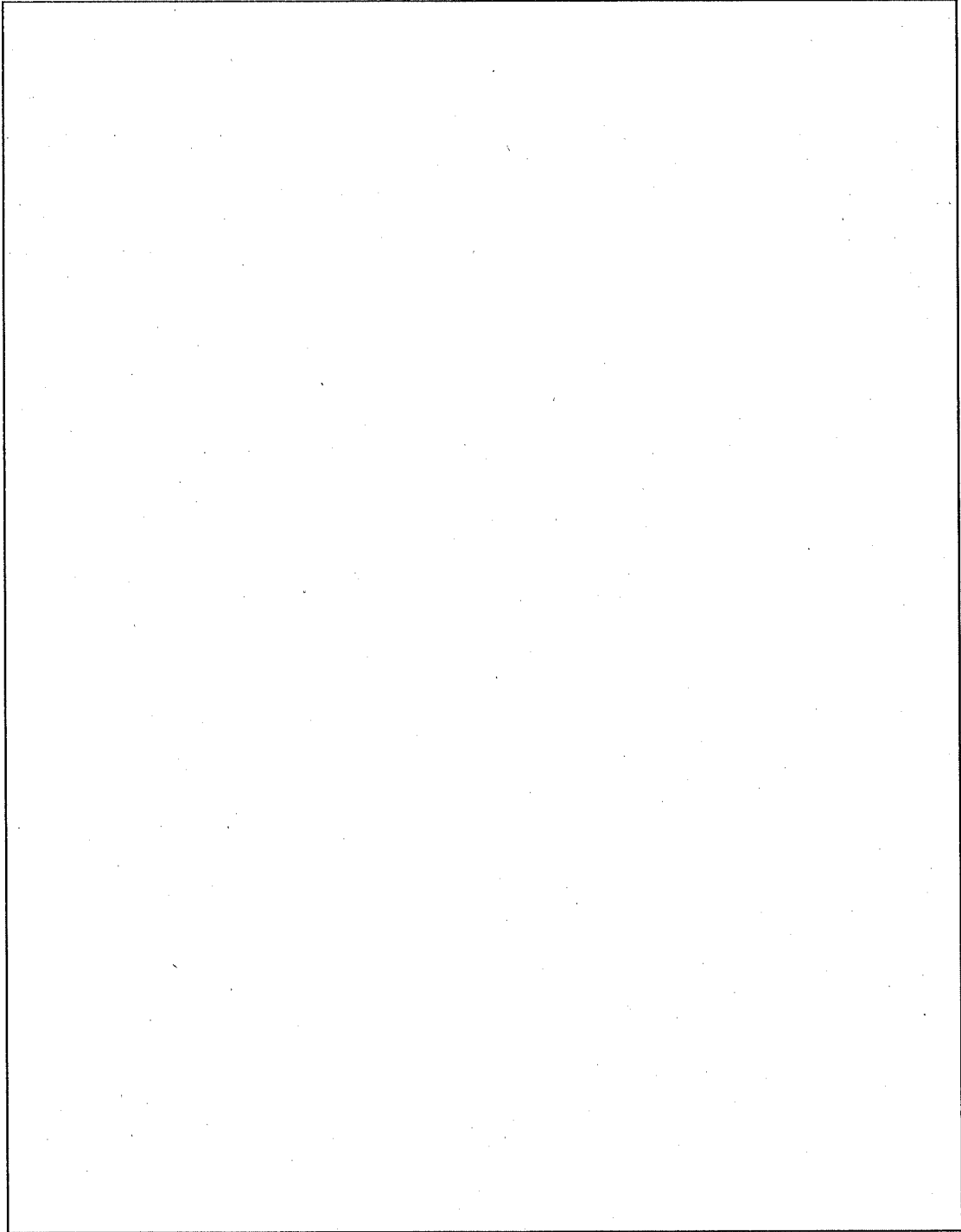
余裕率 MS は

$$MS = \frac{Su}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、燃料板は健全である。



(ロ) - 第 A.75 図 燃料板の解析モデル

4. ドレン弁及びベントプラグ

ドレン弁及びベントプラグは、(イ) 一第 C. 4 図に示すように容器本体に埋め込まれ、専用の保護蓋で覆われ、その上から緩衝体で覆われているため、水平落下時において、直接落下面に接することはない。

ドレン弁締付ボルト及びベントプラグねじ部には水平落下時の最大減速度が働く。ここでは、ドレン弁締付ボルト及びベントプラグねじ部が、水平落下時の慣性力に対して健全であることを示す。なお、ドレン弁本体及びベントプラグ挿入部に働く減速度については、最大となる 36° 方向 水平落下時の値を用いる。

(1) ドレン弁締付ボルト

ドレン弁及びベントプラグの水平落下状態図を (ロ) 一第 A. 76 図に示す。

ドレン弁締付ボルトに生じるせん断応力(τ)は、次式で表される。

$$\tau = \frac{F}{1.814D (d+0.2165p-D) \left(\frac{L}{p} - 0.5 \right)} \quad (25)$$

ここで、

F : ドレン弁締付ボルト 1 本に働く引張応力

$$F = \frac{9.8 W \cdot G_H \cdot \cos \alpha}{n}$$

W : ドレン弁の重量

G_H : 36° 方向水平落下時の最大減速度

α : ドレン弁の傾き角度

((ロ) 一第 A. 76 図参照)

n : ドレン弁締付ボルトの本数

F =

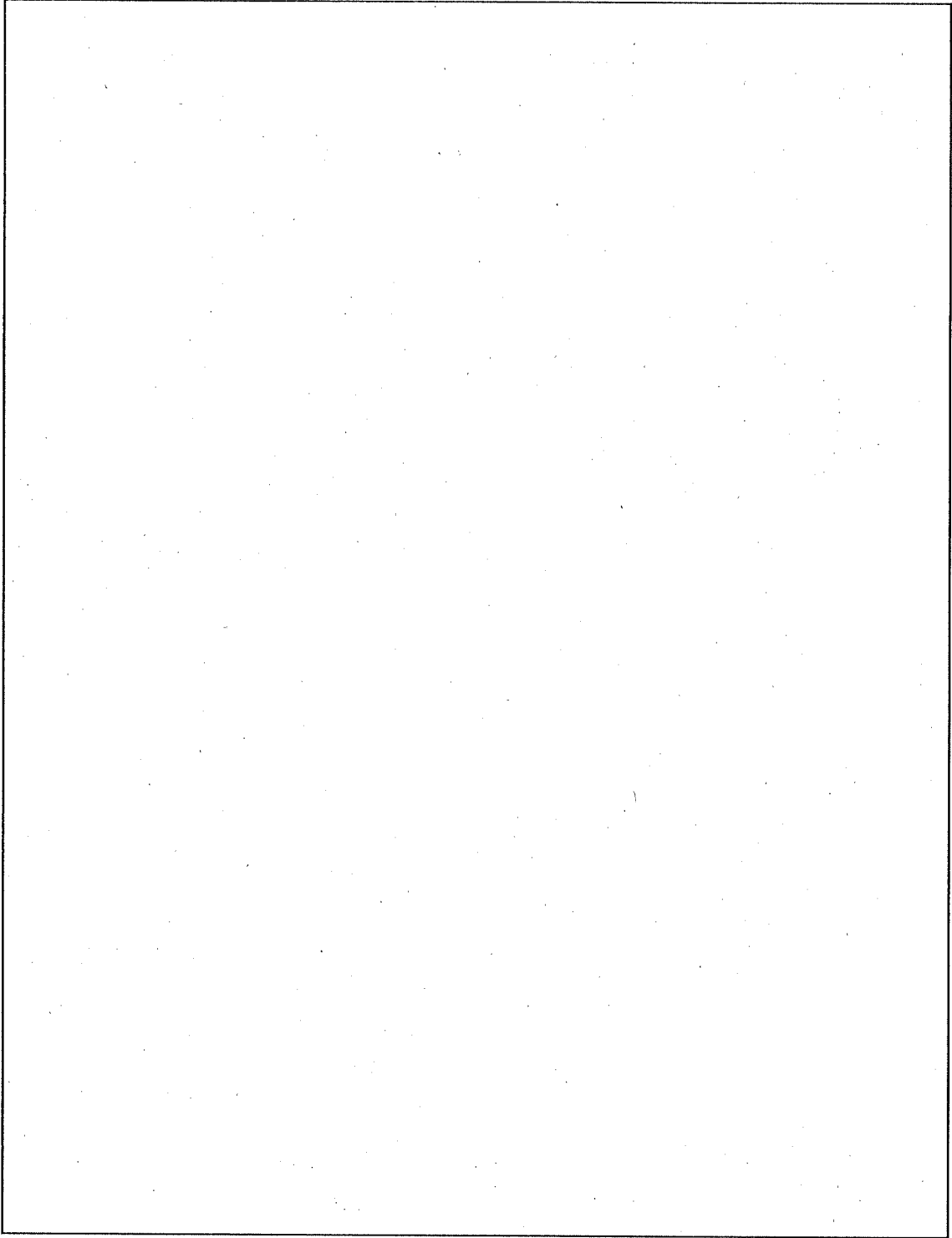
=

D : めねじの内径

d : ドレン弁締付ボルト の呼び径

p : ねじのピッチ

L : 有効ねじ最小長さ



(ロ) - 第 A. 76 図 ドレン弁及びベントプラグの水平落下状態図

(2) ベントプラグねじ部

ベントプラグねじ部に生じるせん断応力(τ)は、次式で表される。

$$\tau = \frac{F}{1.814D (d + 0.2165p - D) \left(\frac{L}{p} - 0.5 \right)}$$

ここで、

F : ベントプラグねじ部に働く引張力

$$F = 9.8 \cdot W \cdot G_H \cdot \cos \beta$$

W : ベントプラグ本体の重量

G_H : 36° 方向水平落下時の最大減速度

β : ベントプラグの傾き角度

((ロ) - 第 A. 76 図参照)

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

$$= \text{[]}$$

D : めねじの内径

d : ベントプラグねじ部 [] の呼び径

p : ねじのピッチ

L : 有効ねじ最小長さ

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

$$= \text{[]}$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = 2\tau$$

$$= \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

となる。

ベントプラグねじ部に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章B.熱解析における通常輸送時のベントプラグ付近の解析結果の最高温度 \square ((ロ)一第B.15表参照)をベントプラグねじ部の温度と考え、安全側に \square としたときのベントプラグの部材 \square の降伏応力 S_y \square を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \square$$

$$= \square$$

となる。したがって、ベントプラグねじ部は健全である。また、ベントプラグ挿入部は径方向の減速度が水平落下よりも大きい垂直落下で健全であるので水平落下においても健全である。よって密封性は維持される。

A.6.1.3 コーナー落下

コーナー落下は、輸送物の重心が落下点の垂線上に位置するように輸送容器が傾斜落下した場合である。

9mのコーナー落下時の緩衝体の変形による最大減速度に対して容器本体・蓋、ドレン弁及びベントプラグが健全であり、密封性が維持されることを示す。

コーナー落下には、上部コーナー落下と下部コーナー落下の場合がある。上部コーナー落下と下部コーナー落下は、解析上、落下角度 がほぼ同じと考えられる。

輸送物の上部には、蓋締付用ボルトで蓋部Oリングをつぶすことにより密封性を保つ必要のある容器本体開孔部がある。

蓋締付用ボルトに引張力が働く上部コーナー落下の場合について解析し、下部コーナー落下は省略する。

解析は、計算コード SHOCK-2 で数値計算を行う。

コーナー落下の状態図を (ロ) - 第 A.77 図に示す。

(1) 緩衝体の解析条件

緩衝体の輸送容器に取り付けられる部分(太線の部分)は、(ロ) - 第 A.77 図に示すように、板厚 前後のステンレス鋼板で堅固に組合されており、緩衝材である の落下時の圧縮変形に対して拘束しているとする。したがって、計算コード SHOCK-2 におけるこの部分の緩衝材の形状係数は $K_2=K_3=$ とする。

また、(ロ) - 第 A.77 図の太線以外の部分は、板厚 のステンレス鋼板により被覆されており、圧縮変形に対して緩衝材の拘束は十分ではない。したがって、計算コード SHOCK-2 におけるこの部分の緩衝材の形状係数は $K_1=K_4=$ とする。

(形状係数とは、例えば、形状係数が ということはこの部分では圧縮変形によるエネルギー吸収が であるということを示すもので実験等の結果から決定した値である。)

計算コード SHOCK-2 で緩衝体の変形量及び最大減速度を算出する。

コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係を (ロ) - 第 A.78 図に示す。

(2) 変形量の算出

緩衝体の変形量 (δ) は、以下のようにして求める。

$$E_{SA} = E_K$$

ここで、

E_{SA} : 緩衝体による吸収エネルギー

$$E_{SA} = \int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon$$

ε : 緩衝体の変形率 (ひずみ)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h}$$

h : 緩衝体の初期高さ

δ : 緩衝体の変形量

$A(\varepsilon)$: 緩衝材の変形部の断面積

$F(\varepsilon)$: の変形応力図 ((口) - 第 A. 2 図参照) より求める衝撃力

E_K : 落下エネルギー

$$E_K = 9.8 W \cdot H$$

W : 輸送物重量

18440 kg

H : 落下高さ

9000 mm

$$E_K = 9.8 \times 18440 \times 9000$$

$$= 1.63 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore \int_0^{\delta} A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon) \cdot d\varepsilon = 1.63 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係

を (口) - 第 A. 78 図に示す。

(口) - 第 A. 78 図から緩衝体の変形量は となる。

緩衝体のコーナー部の許容厚さは (口) - 第 A. 77 図から である。

したがって、緩衝体の変形量が許容厚さを超えないことより容器本体・蓋に変形が及ぶことはない。

(3) 最大減速度の算出

最大減速度 (G_c) は、次式で表される。

$$G_c = \frac{F_{SA} + F_{SP}}{9.8W_a}$$

ここで、

F_{SA} : 緩衝体の衝撃力

$$F_{SA} = A(\varepsilon) \cdot F(\varepsilon)$$

(口) - 第 A. 78 図から

F_{SP} : 表面被覆材の抵抗力

$$F_{SP} = F_3 + F_4$$

F_3 : 緩衝体表面被覆材の抵抗力

$$F_3 = \frac{F_2 \cdot \theta}{360}$$

F_2 : 垂直落下時の緩衝体表面被覆材の抵抗力

(口) 章 A. 6. 1. 1 垂直落下参照

θ : つぶれ角度 (口) - 第 A. 77 図参照

$$F_3 =$$

$$=$$

F_4 : 被覆材側板の抵抗力

$$F_4 = S_y \cdot t_1 \cdot l$$

S_y : 被覆材側板 (SUS) の常温における降伏応力

t_1 : 被覆材側板の最大板厚

(口) - 第 A. 77 図参照

l : 変形部最大長さ

(口) - 第 A. 77 図参照

$$F_4 =$$

$$=$$

$$F_{SP} =$$

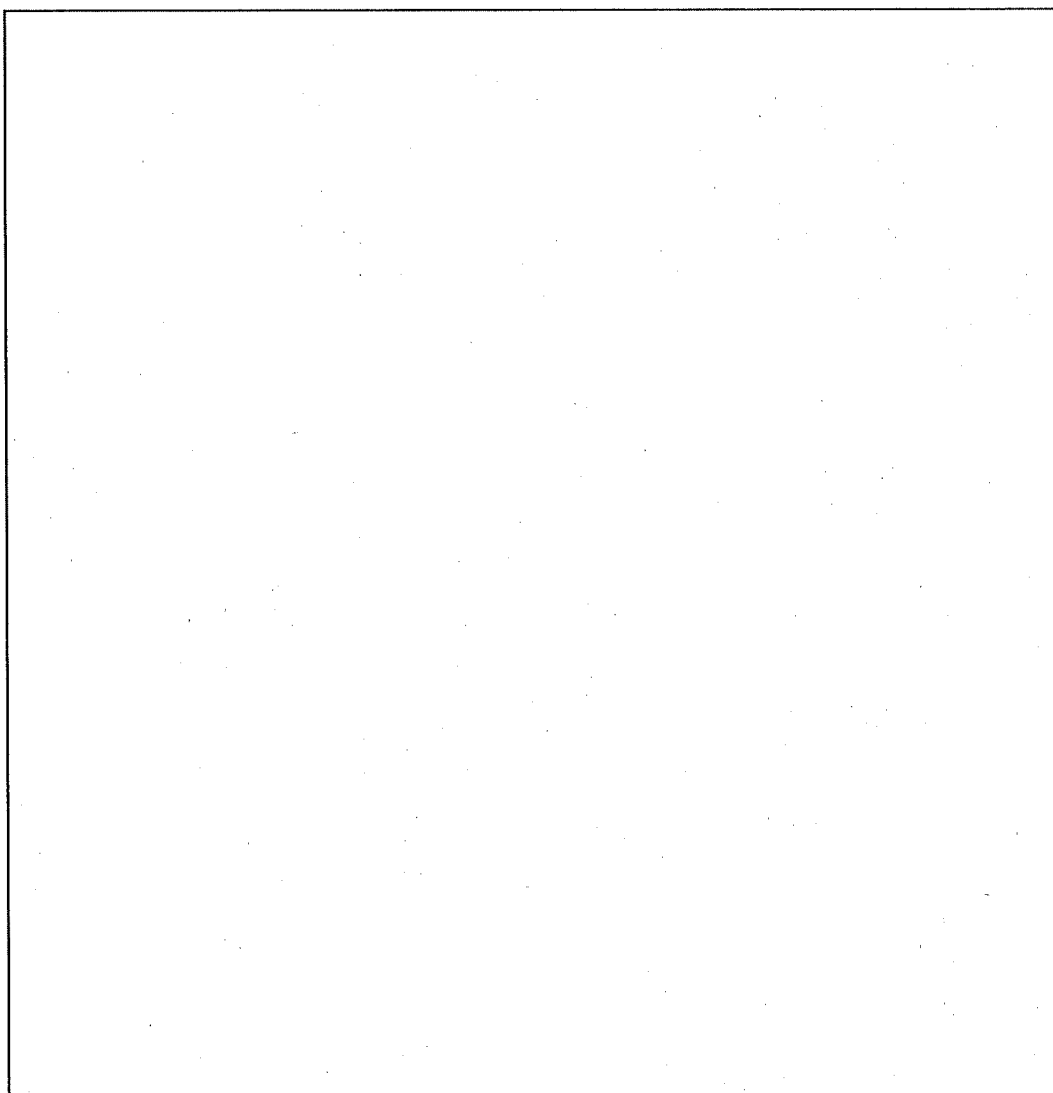
$$=$$

W_a : 輸送物の重量

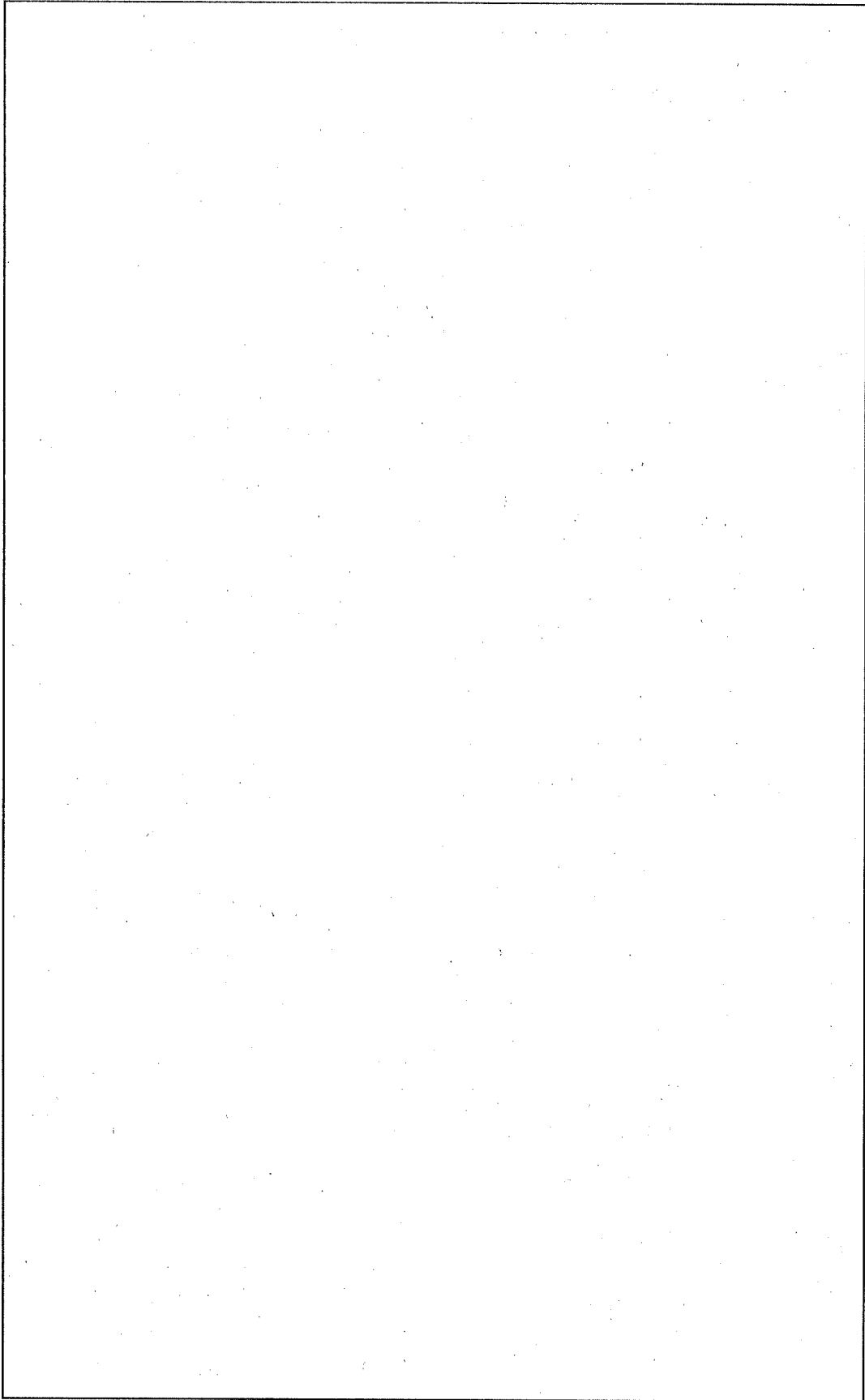
$$G_c = \boxed{} \\ = \boxed{}$$

最大減速度 $\boxed{}$ が輸送容器に生じた場合において、輸送容器の各部材が健全であることを解析する。

形状	(口) - 第A.77図参照
<input type="text"/> の	(口) - 第A.2図参照
変形応力図	
形状係数	$K_1 =$ <input type="text"/> $K_4 =$ <input type="text"/> $K_2 =$ <input type="text"/> $K_3 =$ <input type="text"/>
落下エネルギー	$E = 1.63 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}$



(口) - 第 A.77 図 コーナー落下の状態図



(口) - 第 A. 78 図 コーナ-落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力の関係

(4) 各部の評価

コーナー落下時の衝撃減速度 (G_c) を輸送容器軸方向成分と半径方向成分に分けると、次のようになる。

1) 上部コーナー落下の場合

軸方向成分 (G_{cv})

$$G_{cv} = G_c \cdot \cos \alpha$$

α : 傾き角度

G_c : コーナー落下時の最大減速度

$$G_{cv} = \text{$$

$$= \text{$$

半径方向成分 (G_{ch})

$$G_{ch} = G_c \cdot \sin \alpha$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

2) 下部コーナー落下の場合

軸方向成分 (G_{cv})

$$G_{cv} = G_c \cdot \cos \beta$$

β : 傾き角度

$$G_{cv} = \text{$$

$$= \text{$$

半径方向成分 (G_{ch})

$$G_{ch} = G_c \cdot \sin \beta$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

1)、2)において、コーナー落下時の軸方向成分 (G_{cv}) は垂直落下時の最大減速度 (G_v) より小さい。したがって、垂直落下時の減速度において容器本体・蓋及び収納物は健全であるのでコーナー落下時の軸方向成分 (G_{cv}) が働いたとしても容器本体・蓋及び収納物は健全である。

同様に、コーナー落下時の半径方向成分(G_{CH})は水平落下時の最大減速度(G_H)より小さい。したがって、コーナー落下時の軸方向成分(G_{CV})が働いたとしても容器本体・蓋及び収納物は健全である。

しかし、最大減速度によって蓋締付用ボルトに曲げモーメントが生じ、またドレン弁及びベントプラグには、引張力が働くため本項ではこれらの強度を解析する。以下に、解析項目を示す。

1. 蓋締付用ボルト
2. ドレン弁及びベントプラグ

1. 蓋締付用ボルト

コーナー落下時において、蓋締付用ボルトには、蓋、バスケット及び収納物による慣性力が生じる。安全側に緩衝体端板により蓋が拘束を受けないものとする。蓋締付用ボルトの解析モデルを(口) - 第 A. 79 図に示す。

最大減速度 が作用した場合、(口) - 第 A. 79 図における A-A 軸を支点として蓋締付用ボルトには慣性力によるモーメントが働く。

この慣性力によるモーメント (M) は、次式で表される。

$$M = 9.8 \cdot (W_1 + W_2 + W_3) \cdot G_c \cdot l \cdot \cos \alpha$$

ここで、

W_1 : 蓋の重量

W_2 : バスケットの重量

W_3 : 収納物の重量

G_c : 最大減速度

l : モーメントアーム

α : 落下角度

M =

=

また、(口) - 第 A. 79 図において A-A 軸における断面二次モーメント (I) は、次式で表される。

$$I = \sum_{i=1}^n (h_i \cdot A + I_c)$$

h_i : それぞれのボルトのモーメントアーム

$$h_i = L_0 + R(1 - \cos \theta_i)$$

L_0 : A-A 軸からボルトの中心を通る円までの距離

R : ボルトの中心を通る円の半径

θ_i : i 本目のボルトの位置を示す角度

A : ボルトの断面積

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

d : ボルト の谷径

A =

=

I_c : それぞれのボルトの中心軸についての断面二次モーメント

$$I_c = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

以上について数値計算すると((口) - 第 A. 14 表参照)

$$I = \boxed{}$$

となる。

蓋締付用ボルトに発生する引張応力(σ_2)は、A-A軸から最も離れたボルトに発生し、次式で表される。

$$\sigma_2 = \frac{M \cdot C}{I}$$

ここで、

M : 慣性力によるモーメント

C : A-A 軸から最も離れたボルトまでの距離

I : A-A 軸における断面二次モーメント

$$\sigma_2 = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

蓋締付用ボルトに発生する初期締付力による引張応力 (σ_1) は、次式で表される。

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

ここで、

F_1 : 初期締付力 (付属書類 A. 10.7 参照)

A_1 : 蓋締付用ボルト 1 本の断面積

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d^2$$

d : 蓋締付用ボルト の谷径

$$A_1 = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_1 = \text{$$

$$= \text{$$

輸送容器内圧により蓋締付用ボルトに発生する引張応力 (σ_3) は、次式で表される。

$$\sigma_3 = \frac{F_2}{A}$$

ここで、

F_2 : 圧力による蓋締付用ボルト 1 本目に発生する荷重

$$F_2 = \frac{P \cdot \pi \cdot D^2}{4n}$$

P : 内 圧 ((口) 章 A. 4.6 参照)

D : 蓋部 Oリング内側の径

n : 蓋締付用ボルトの本数

$$F_2 = \text{$$

$$= \text{$$

A : 蓋締付用ボルト 1 本の断面積

$$\sigma_3 = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、蓋締付用ボルトに発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

蓋締付用ボルトに発生する応力に対する設計基準値としては、(口)章 B. 熱解析における通常輸送時の蓋締付用ボルトの解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((口) - 第 B. 15 表参照) を蓋締付用ボルトの温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときの蓋締付用ボルトの部材 $\boxed{}$ の降伏応力 S_y $\boxed{}$ を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、蓋締付用ボルトは健全である。

次にコーナー落下時において、密封性が維持できることを示す。

蓋、バスケット及び収納物の慣性力による蓋締付用ボルトのひずみ (ε) は、次式で表される。

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

ここで、

σ : 蓋締付用ボルトに生じる引張応力

E : 蓋締付用ボルト (SUS) の における縦弾性係数

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \text{} \\ &= \text{} \end{aligned}$$

また、蓋締付用ボルトの伸び (Δl) は、次式で表される。

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l$$

ε : 慣性力によるひずみ

l : 蓋締付用ボルトの対象長さ

$$\begin{aligned} \Delta l &= \text{} \\ &= \text{} \end{aligned}$$

蓋部Oリングのつぶれ代 (δa) は、 $\delta a = \text{}$ である。

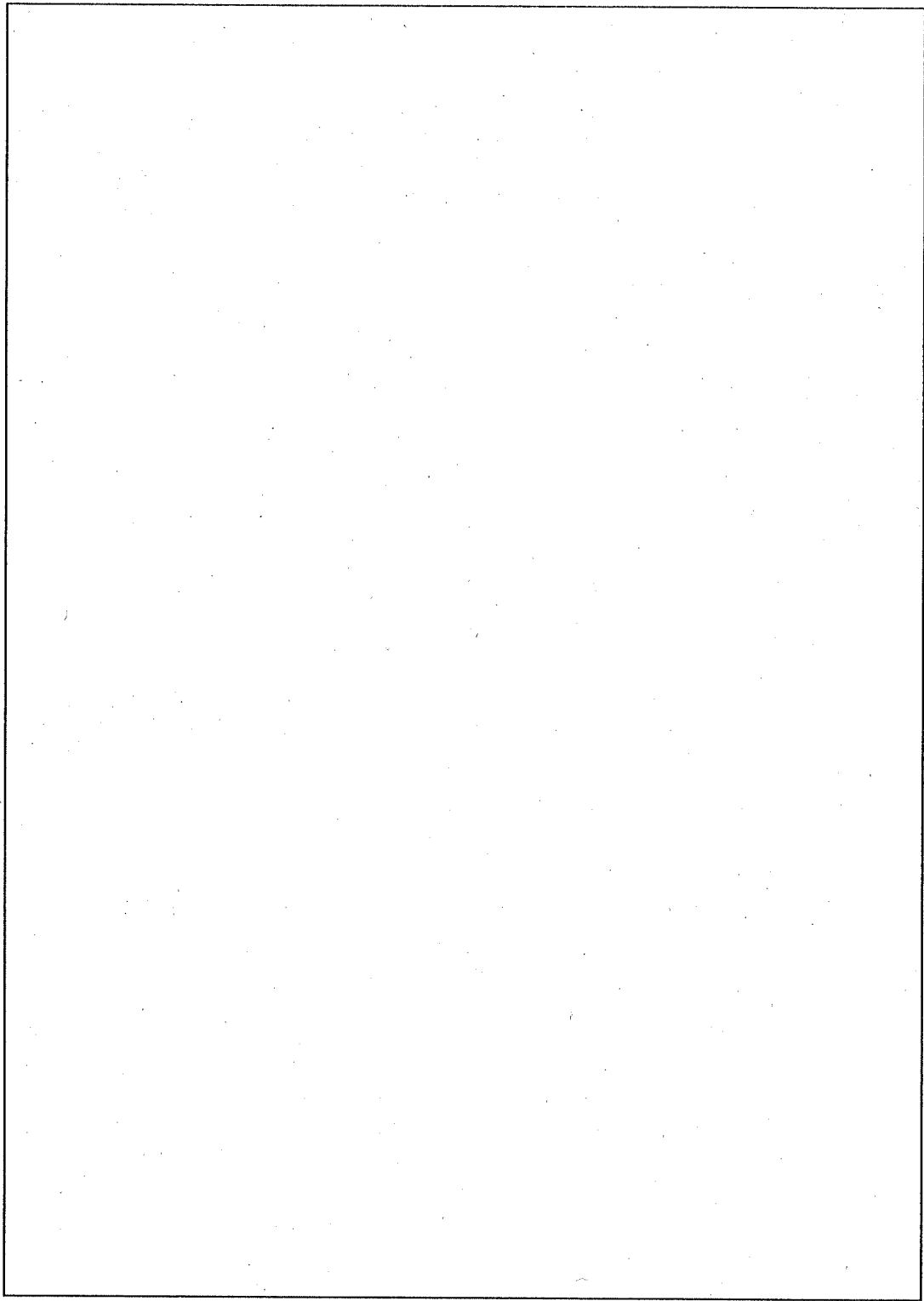
余裕率 MS は

$$MS = \frac{\delta a}{\Delta l} - 1$$

$$= \text{}$$

$$= \text{}$$

となる。したがって、密封性は維持される。



(ロ) - 第 A. 79 図 蓋締付用ボルトの解析モデル

(口) 一第 A. 14 表 蓋締付用ボルトの断面二次モーメント

i ボルト 番号	h _i (mm)	I _i (mm ⁴)	i ボルト 番号	h _i (mm)	I _i (mm ⁴)
				$I = \sum_{i=1}^{\square} I_i$	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>

2. ドレン弁及びベントプラグ

1) ドレン弁締付ボルト

ドレン弁のコーナー落下状態図を (口) - 第 A. 80 図に示す。

ドレン弁締付ボルトには、ドレン弁の慣性力により軸方向の減速度 (F_A)、半径方向の減速度 (F_B) が働く。

コーナー落下時において、軸方向の減速度 (F_A) は、次式で表される。

$$F_A = G_C \cdot \cos(90^\circ - \theta - \alpha)$$

G_C : コーナー落下時の最大減速度

θ : 落下角度

α : ドレン弁の傾き角度 ((口) - 第 A. 76 図参照)

$$F_A = \text{}$$
$$= \text{}$$

半径方向の減速度 (F_B) は、次式で表される。

$$F_B = G_C \cdot \sin(90^\circ - \theta - \alpha)$$

G_C : コーナー落下時の最大減速度

θ : 落下角度

α : ドレン弁の傾き角度 ((口) - 第 A. 76 図参照)

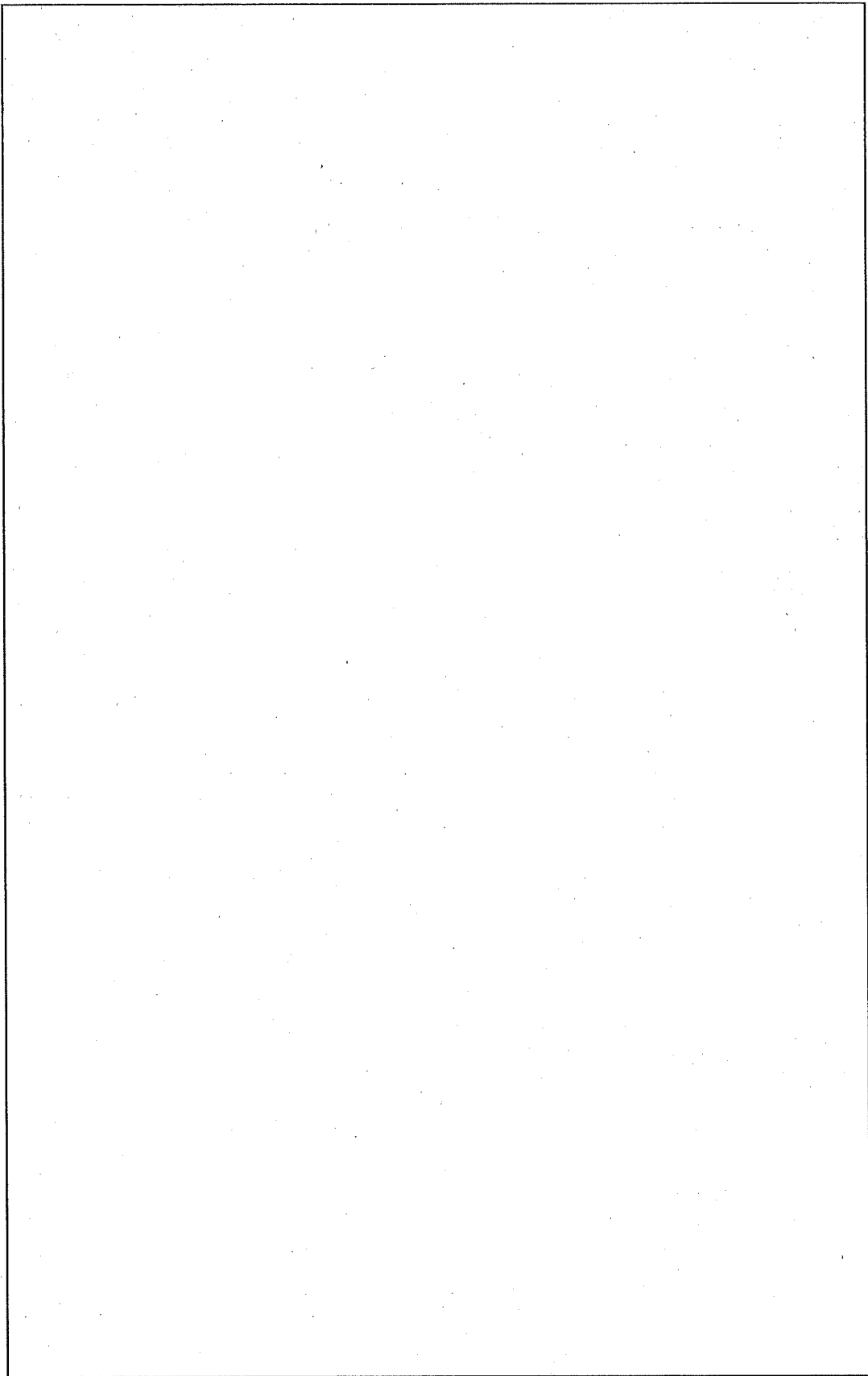
$$F_B = \text{}$$
$$= \text{}$$

コーナー落下時における軸方向の減速度 (F_A) は、水平落下時におけるドレン弁の軸方向の最大減速度 ((口) - 第 A. 76 図参照) より小さい。

したがって、水平落下時において、ドレン弁締付ボルトは健全であるので、コーナー落下時においてもドレン弁締付ボルトは健全である。

半径方向の減速度 (F_B) は、(口) - 第 A. 80 図からドレン弁とドレン弁挿入部の隙間 がドレン弁締付ボルトとドレン弁締付ボルト穴部の隙間 より小さいため、ドレン弁本体部に働く。この減速度は垂直落下時における半径方向の最大減速度 ((口) - 第 A. 55 図参照) より小さい。

したがって、垂直落下時においてドレン弁本体部は健全であるので、コーナー落下時においてもドレン弁本体部は健全である。よって密封性は維持される。



(口) - 第 A. 80 図 ドレン弁のコーナー落下状態図

2) ベントプラグ

ベントプラグのコーナー落下状態図を (ロ) - 第 A. 81 図に示す。

ベントプラグには、ベントプラグの慣性力により軸方向の減速度 (F_A)、半径方向の減速度 (F_B) が働く。

コーナー落下時において、軸方向の減速度 (F_A) は、次式で表される。

$$F_A = G_c \cdot \cos(90^\circ - \theta - \beta)$$

G_c : コーナー落下時の最大減速度

θ : 落下角度

β : ベントプラグの傾き角度 ((ロ) - 第 A. 81 図参照)

$$F_A = \text{$$

$$= \text{$$

半径方向の減速度 (F_B) は、次式で表される。

$$F_B = G_c \cdot \sin(90^\circ - \theta - \beta)$$

G_c : コーナー落下時の最大減速度

θ : 落下角度

β : ベントプラグの傾き角度 ((ロ) - 第 A. 81 図参照)

$$F_B = \text{$$

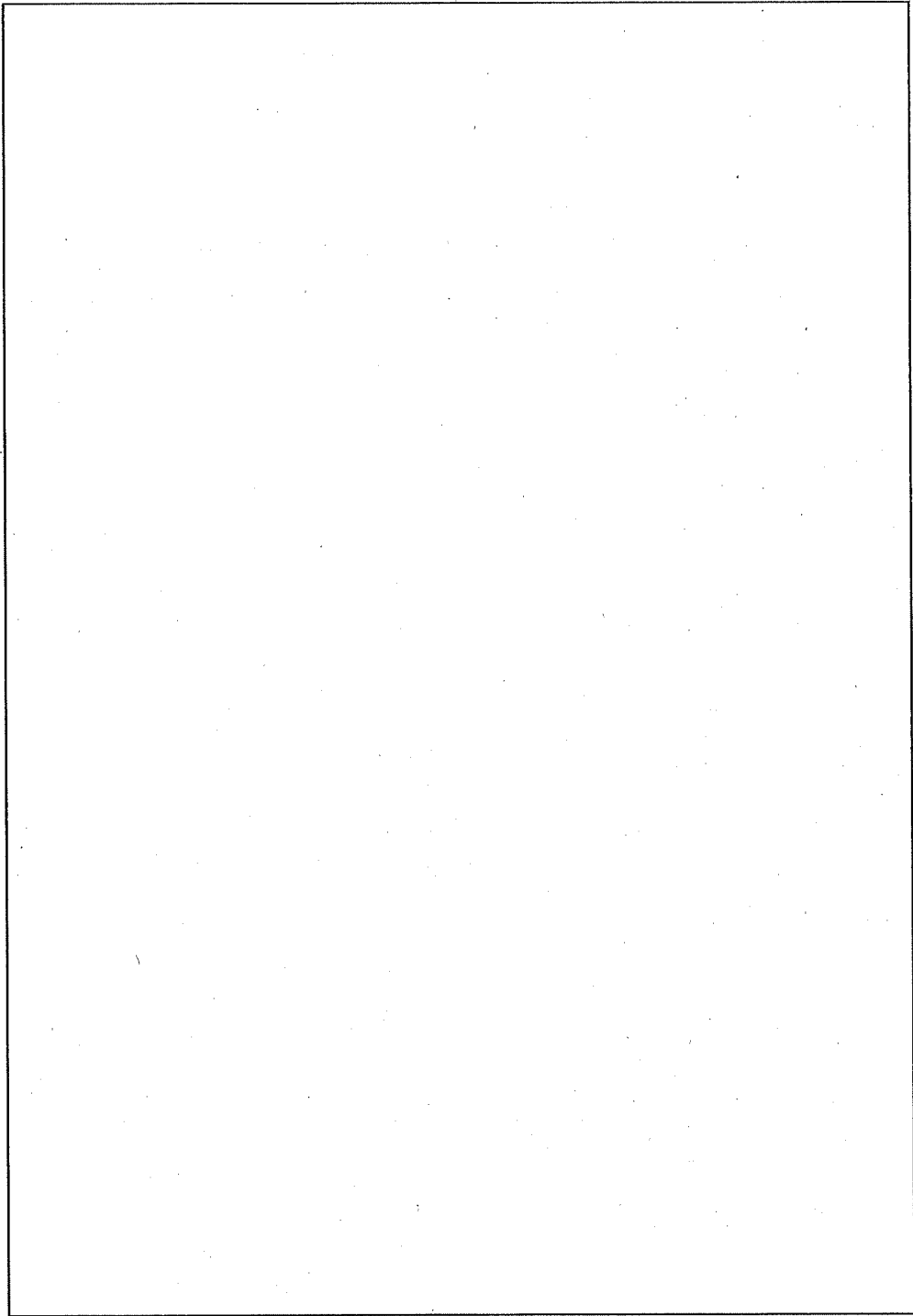
$$= \text{$$

コーナー落下時における軸方向の減速度 (F_A) は、水平落下時における軸方向の最大減速度 ((ロ) - 第 A. 76 図参照) より小さい。

したがって、水平落下時において、ベントプラグは健全であるのでコーナー落下時においてもベントプラグは健全である。

半径方向の減速度 (F_B) は、(ロ) - 第 A. 81 図からベントプラグの挿入部の隙間がベントプラグ本体ねじ部の隙間より小さいため、ベントプラグ挿入部に働く。この減速度は垂直落下時における半径方向の最大減速度 ((ロ) - 第 A. 55 図参照) より小さい。

したがって、垂直落下時においてベントプラグ挿入部は健全であるので、コーナー落下時においてもベントプラグ挿入部は健全である。よって密封性は維持される。



(ロ) ー第 A.81 図 ベントプラグのコーナー落下状態図

A.6.1.4 傾斜落下

9mの傾斜落下時(落下方向がコーナー落下と垂直落下との間及びコーナー落下と水平落下との間の場合)の緩衝体の変形による最大減速度に対して、容器本体・蓋、ドレン弁及びベントプラグが健全であり、密封性が維持されることを示す。また、バスケット及び収納物である燃料が健全であることを示す。

傾斜落下モデルを(口)－第A.82図に、また、上部傾斜落下の状態図を(口)－第A.83図に、下部傾斜落下の状態図を(口)－第A.84図に示す。

(1) 緩衝体の解析条件

コーナー落下と同一条件とし、計算コードSHOCK-2で緩衝体の変形量及び最大減速度を算出する。

計算コードSHOCK-2で求めた計算結果である傾斜落下時の変形量を(口)－第A.15表に示す。

(2) 変形量の算出

傾斜落下は(口)－第A.82図に示すようにCG-A線が鉛直線と角度 α をなして輸送物が落下した場合、落下エネルギーは運動エネルギーに変わり、A点での変形エネルギーと輸送物の回転エネルギーに分離され、回転エネルギーは他端の緩衝体で吸収される。

落下エネルギー(E_k)を運動エネルギーに置き換えて解析すると

$$E_k = 9.8 W \cdot H$$

ここで、

W : 輸送物重量

H : 落下高さ

$$E_k = \frac{1}{2} M \cdot V^2$$

ここで、

M : 輸送物の質量

V : 接地直前の速度

となる。

輸送物を剛体と仮定すると、A 支点での角運動方程式より

$$I \cdot \omega = M \cdot V \cdot e$$

ここで、

I : A 点での輸送物の断面二次モーメント

$$I = I_0 + M \cdot \ell^2$$

I_0 : CG 点での輸送物の断面二次モーメント

$$I_0 = M \left(\frac{3R^2 + L^2}{12} \right) \quad (27)$$

M : 輸送物の質量

$$M = \frac{W}{g}$$

W : 輸送物の重量

18440 kg

g : 重力加速度

$9.80 \times 10^3 \text{ mm/s}^2$

$$M = \frac{18440}{9.80 \times 10^3}$$

$$= 1.88 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{mm}$$

ℓ : CG-A 間の距離

R : 緩衝体半径

L : 輸送物の全長

1988 mm

$$I_0 =$$

$$=$$

ω : 接地後の輸送物の回転角速度

V : 接地直前の速度

e : CG 点と垂直線の距離

$$e = \ell \cdot \sin \alpha$$

α : CG-A 線と垂直線のなす角度

回転エネルギー (E_R) について整理する。

$$E_R = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \omega^2$$

$$= E_K \left(\frac{\sin^2 \alpha}{1 + \frac{I_0}{M \cdot \ell^2}} \right)$$

したがって、A点に加わる衝撃エネルギー(E_s)は

$$\begin{aligned} E_s &= E_k - E_R \\ &= E_k \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha}{1 + \frac{I_0}{M\ell^2}} \right) \\ &= E_k \left(\frac{\cos^2(\theta - \beta) + \frac{I_0}{M\ell^2}}{1 + \frac{I_0}{M\ell^2}} \right) \end{aligned}$$

ここで、

θ : 輸送物中心軸(傾斜角度)と垂直線のなす角度

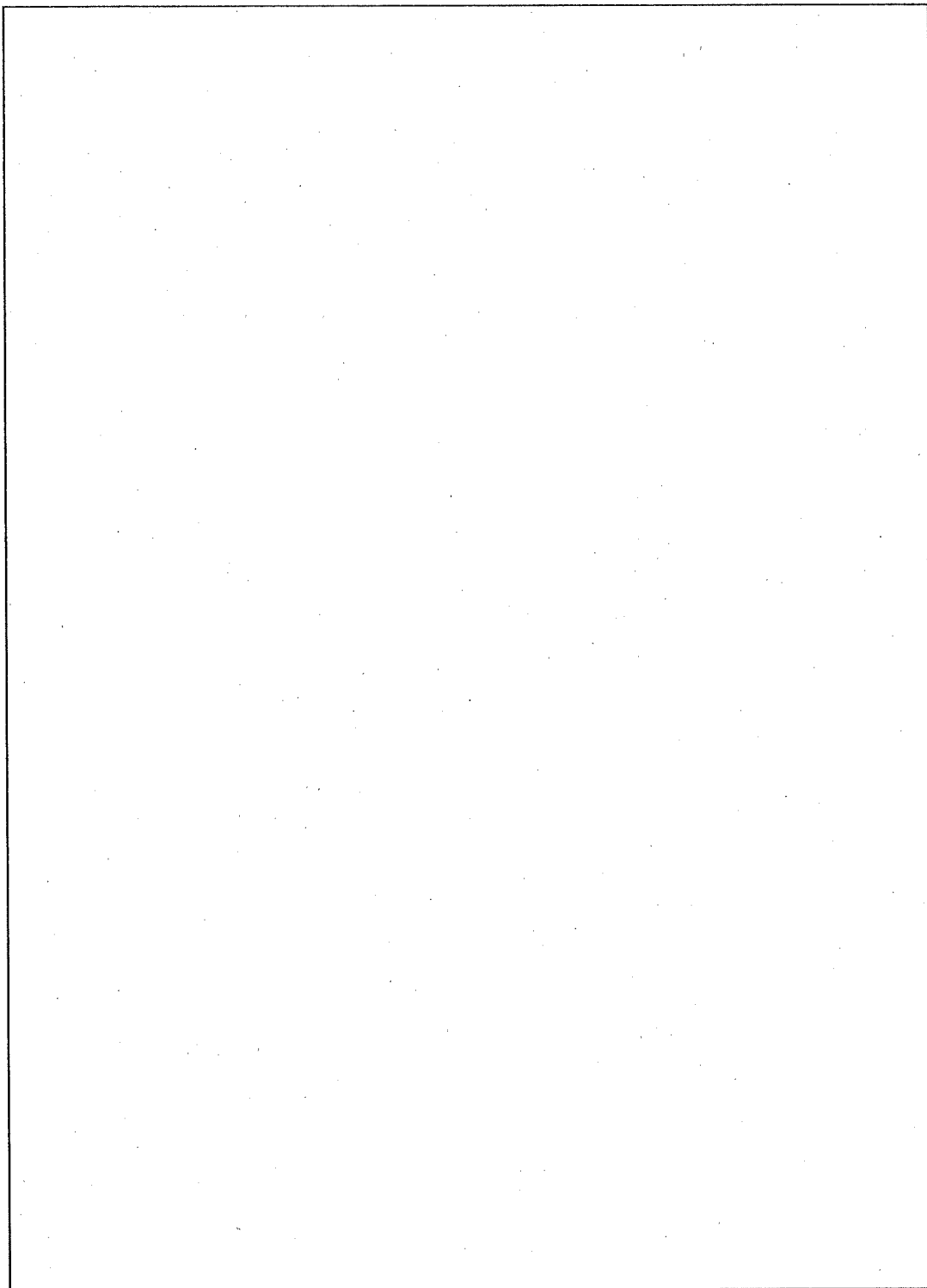
β : 輸送物中心軸とCG-A線のなす角度

となる。

この衝撃エネルギー(E_s)を各々の落下角度について求める。

傾斜角度(θ)を 15° 、 30° 、 60° 及び 75° とし、このときの衝撃エネルギー(E_s)を緩衝体が吸収するものとしてコーナー落下と同様にして緩衝体の変形量を求める。

(ロ) 一第 A.15 表の計算結果に示すように緩衝体の変形量が許容厚さを超えないことより、容器本体・蓋に変形が及ぶことはない。



(ロ) ー第 A. 82 図 傾斜落下モデル

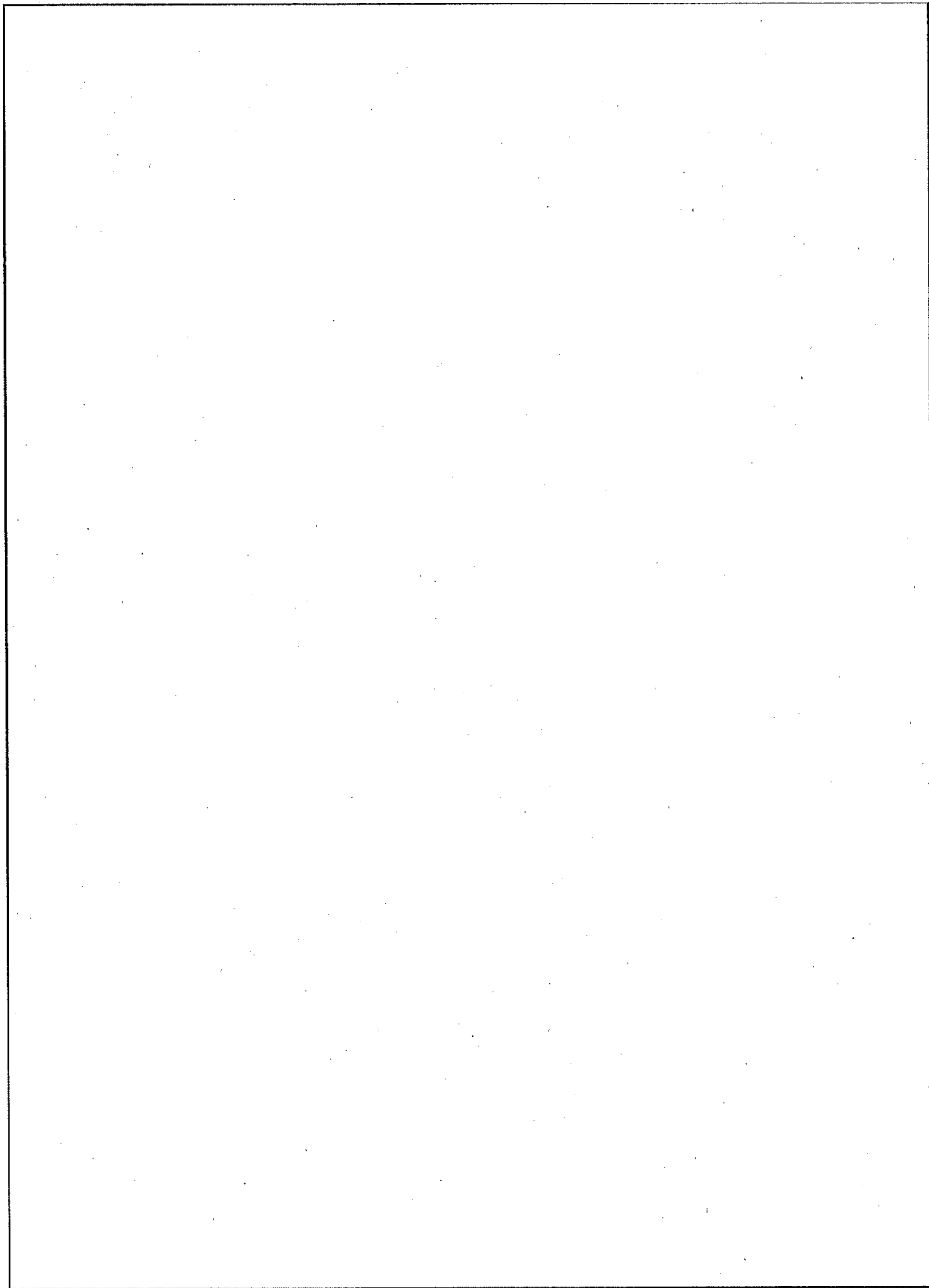
(3) 最大減速度の算出

コーナー落下時と同様にして傾斜落下時の最大減速度を求める。

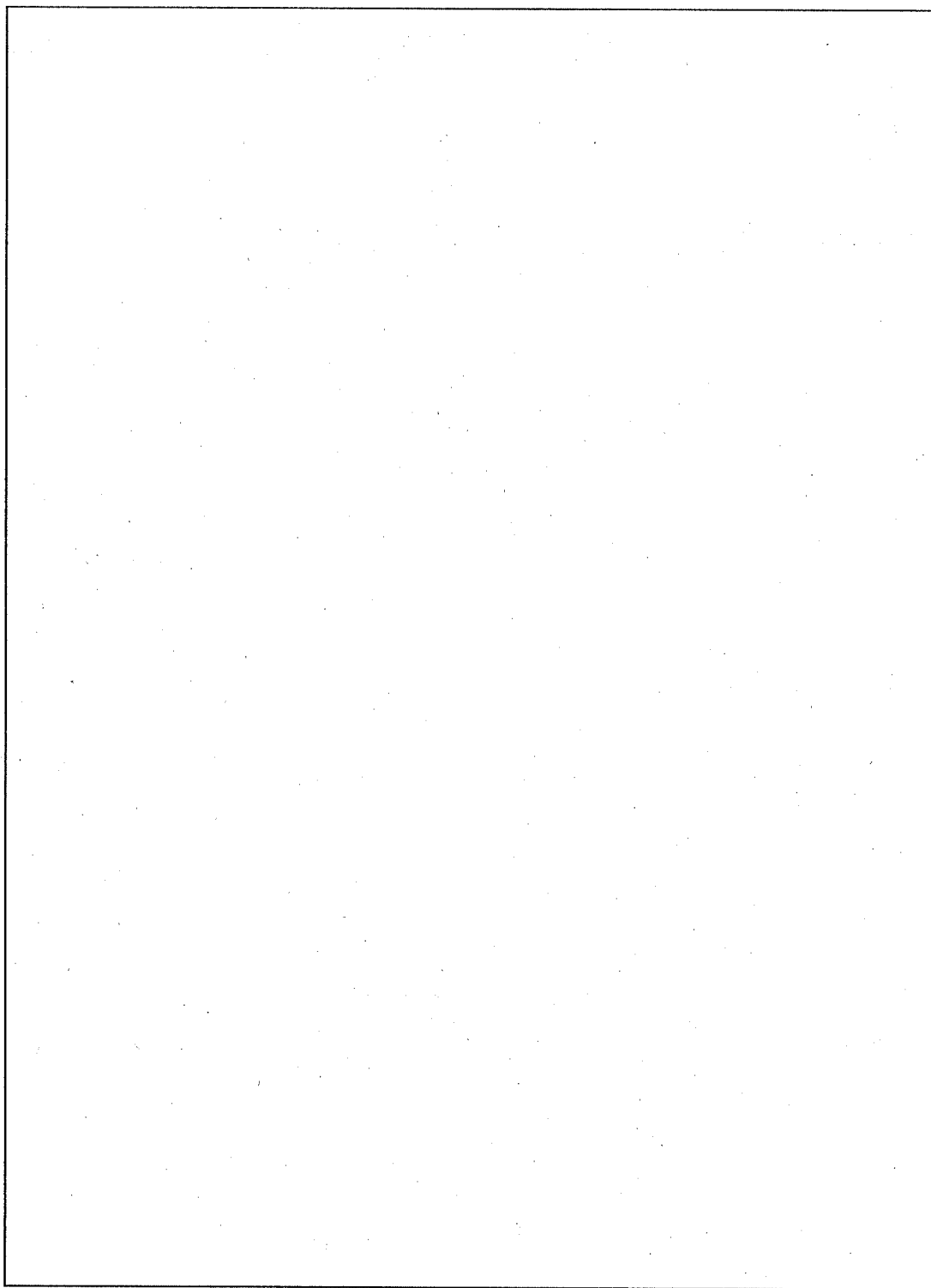
計算結果である傾斜落下時の減速度を (ロ) - 第 A. 16 表に示す。

(4) 各部の解析

計算結果 (ロ) - 第 A. 16 表から傾斜落下時の輸送容器軸方向及び水平方向(輸送容器半径方向)の減速度の成分は、垂直落下時及び水平落下時の最大減速度より小さい。したがって、垂直落下時及び水平落下時において、容器本体・蓋、バスケット、収納物等は健全であるので、傾斜落下時においても健全である。



(口) - 第 A. 83 図 上部傾斜落下の状態図



(口) 一第 A. 84 図 下部傾斜落下の状態図

(ロ) - 第 A. 15 表 傾斜落下時の変形量

落下角度 (°)	緩衝体吸収エネルギー (N・mm)	変形量 (mm)	許容厚さ (mm)
15			
30			
60			
75			

(ロ) - 第 A. 16 表 傾斜落下時の減速度

落下角度 (°)	最大減速度 (G)	輸送容器軸 方向減速度 (G)	水平方向(輸送容器 半径方向)減速度 (G)
15			
30			
60			
75			

注) 落下試験 I の輸送容器の軸方向及び半径方向の最大減速度は、垂直落下及び水平落下時での減速度であり、その値は垂直落下時 、水平落下時
、 である。

A.6.1.5 結果の要約

- 解析では、輸送容器の落下試験台が十分な剛性をもつと仮定し、落下エネルギーは輸送容器に取り付けられている緩衝体及び一部フィンの変形のみによって吸収されるとして計算し、その計算結果である落下試験 I の最大減速度及び変形量を (ロ) 一第 A.17 表に示す。

(ロ) 一第 A.17 表 落下試験 I の最大減速度及び変形量

落下方向	最大減速度(G)	緩衝体変形量(mm)	許容厚さ (mm)
垂直落下			
水平落下			
コーナー落下			
15° 傾斜落下			
30° 傾斜落下			
60° 傾斜落下			
75° 傾斜落下			

- 輸送容器の容器本体・蓋は (ロ) 一第 A.17 表に示す最大減速度に対し十分な強度を有し、また、落下エネルギーは、緩衝体及び一部フィンの変形によって吸収されるので容器本体・蓋の変形は生じない。したがって、遮蔽性能は損なわれない。
- ドレン弁及びベントプラグは、(ロ) 一第 A.17 表に示す最大減速度によって生じる発生応力に対し十分な強度を有する。したがって密封性は維持される。
- 蓋締付用ボルトは (ロ) 一第 A.17 表に示す最大減速度によって生じる発生応力に対し十分な強度を有する。また、蓋の変位は密封部端で最大となり [] である。この値は、蓋部 Oリングのつぶれ代 [] に比べて小さい値であり、密封性は維持される。
- バスケットは、(ロ) 一第 A.17 表に示す最大減速度に対して十分な強度を有するため、中性子増倍率を有意に増加させる様な変化はない。
- 収納物は、(ロ) 一第 A.17 表に示す最大減速度に対し、十分な強度を有する。

なお、JMTR 標準燃料要素 (LEU) 及び JMTR 燃料フォロー (LEU) には、バーナブルポイズンとしてカドミウムワイヤーが側板に取り付けられているが、側板及びロールスウェージ部の強度には影響しない。

A. 6. 2 強度試験・落下試験Ⅱ（1 m 落下時）

本項では、落下試験Ⅰに引き続き落下試験Ⅱが行われるものとして解析を行う。すなわち、A. 6. 1 強度試験・落下試験Ⅰ（9 m 自由落下）による緩衝体の変形の上に落下試験Ⅱによる緩衝体の変形が重畳する場合は、耐火試験（熱的試験）において密封境界のガスケット取付部の温度が上昇し最大破損を生じると考えられるからである。

落下試験Ⅰでは剛平面への落下のため各落下姿勢とも容器本体・蓋にまで変形が達していない。

落下試験Ⅱは直径 150mm、高さ 200mm の軟鋼棒上への落下である。ここでは、緩衝体以外の部分の容器本体・蓋と軟鋼棒との直撃時においても容器本体・蓋は健全であることを示す。

上部緩衝体のリブ部が軟鋼棒に落下する場合における減速度は、輸送容器外表面が軟鋼棒に落下する場合と比較して小さい。

上部緩衝体のリブ部が軟鋼棒に落下する場合における変形量は、上部緩衝体のリブ部以外が軟鋼棒に落下する場合と比較して小さい。

したがって、最大減速度は輸送容器外表面が軟鋼棒に落下する場合とし、変形量は、上部緩衝体のリブ部以外が軟鋼棒に落下する場合とする。

1. 垂直落下

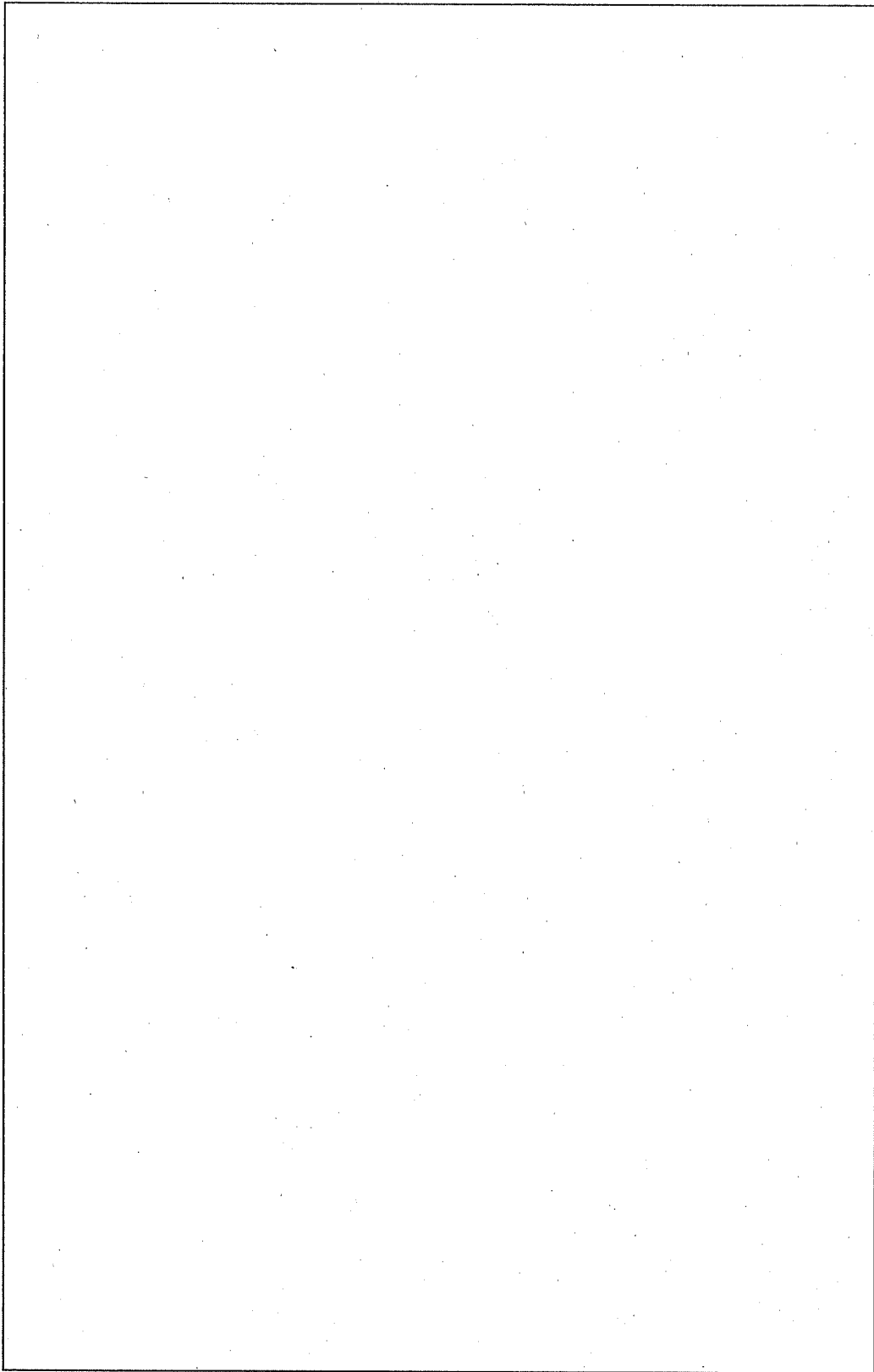
垂直落下の状態図を（ロ）－第 A. 85 図に示す。

（ロ）－第 A. 85 図に示すように、垂直落下では、輸送容器外表面（蓋又は底）又は緩衝体が軟鋼棒に落下する場合は考えられる。

したがって、次の部位について解析を行う。容器本体・蓋が貫通されないこと、緩衝体の軟鋼棒による変形が容器本体・蓋に達しないことを示す。

評価は、輸送容器外表面については、最大応力の生じる蓋中央部が軟鋼棒に落下する場合、緩衝体については、変形が最大となる緩衝体内側が軟鋼棒に落下する偏心落下の場合とする。

なお、応力強さに対する設計基準値としては（ロ）章 B. 熱解析における通常輸送時の解析結果の最高温度を考慮した材料の許容応力値を使用する。



(口) - 第 A. 85 図 垂直落下の状態図

(1) 輸送容器外表面が軟鋼棒に直撃する場合

衝撃減速度が最大となるのは、蓋又は底が軟鋼棒に直撃する場合であるため蓋又は底が軟鋼棒に直撃する場合について評価する。

輸送容器外表面が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデルを (ロ) - 第 A. 86 図に示す。

輸送容器外表面が軟鋼棒を直撃するときに (ロ) - 第 A. 87 図に示す斜線部に大きなせん断応力が発生する。この斜線部がせん断応力で降伏するときの荷重 (F_s) は、トレスカの降伏条件⁽²⁸⁾を用いることによって次式で表される。

$$F_s = \frac{A \cdot S_y}{2}$$

ここで、

A : せん断断面積

$$A = \pi d \cdot l$$

d : 軟鋼棒の直径

150 mm

l : せん断長さ

S_y : (ロ) 章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部外表面の解析結果の温度 ((ロ) - 第 B. 15 表参照) を容器本体胴部外表面

の温度と考え、安全側に としたときの容器本体胴部の部材

(SUS) の降伏応力

$$F_s = \text{$$
$$= \text{$$

一方、直径 $150 \pm 5 \text{mm}$ ⁽²⁹⁾ ($d_{\max} = 155 \text{mm}$) の軟鋼棒の耐荷重 (F_B) は、次式で表される。

$$F_B = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot S_u$$

ここで、

S_u : 軟鋼棒の常温の引張強さ

したがって、

$$F_B = \text{$$
$$= \text{$$

となる。

したがって、 $F_s > F_B$

となるので、輸送容器外表面が損傷する前に軟鋼棒は圧潰することになる。

落下試験Ⅱにおいて輸送容器の健全性が損なわれることはない。

つぎに、輸送容器の受ける最大減速度(G)は、次式で表される。

$$G = \frac{F_B}{9.8W_a}$$

ここで、

W_a : 輸送物の重量

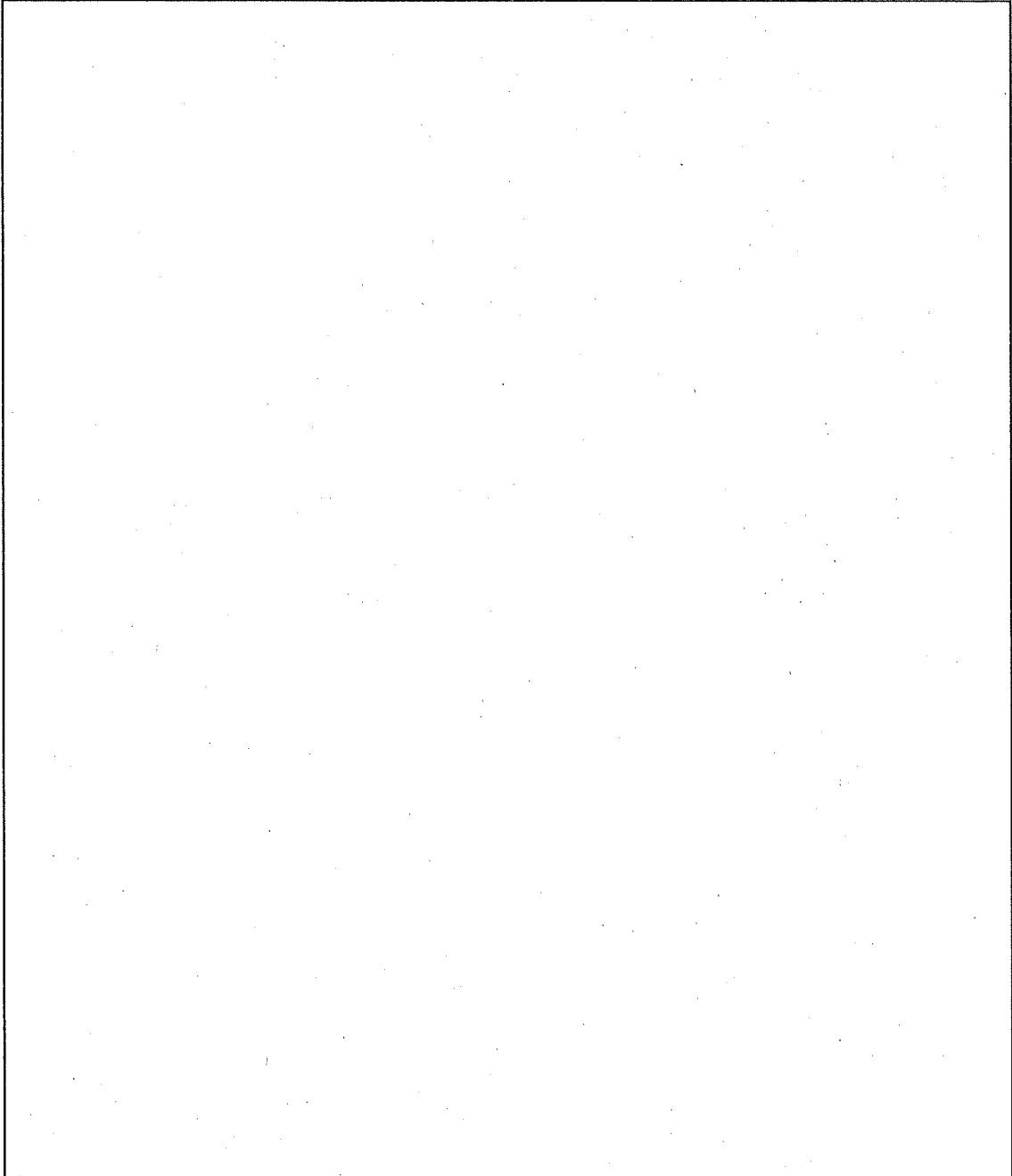
$$G = \text{[]}$$
$$= \text{[]}$$

となる。

したがって、この最大減速度が輸送物に作用した場合の健全性について以下に示す。落下試験Ⅱの垂直落下時における最大減速度[]は、落下試験Ⅰの垂直落下時における最大減速度[]より小さい。

したがって、落下試験Ⅰの垂直落下時において、容器本体・バスケット及び収納物等は健全であるので落下試験Ⅱの垂直落下においても健全である。

本項では、蓋の荷重条件が、落下試験Ⅰの垂直落下((ロ) - 第 A. 45 図参照) と落下試験Ⅱの垂直落下((ロ) - 第 A. 87 図参照) では異なるので、蓋についてのみ評価を行う。



(ロ) ー第 A. 86 図 輸送容器外表面が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデル

1) 蓋

蓋は、外周単純支持の円板とする。蓋が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデルを(口) - 第 A. 87 図に示す。応力強さ(S) の最大が発生するのは、でその値は、次式で表される。

$$S = | \sigma_r - \sigma_z |$$

$r = \text{$ のとき S は最大となるので、 $\sigma_z = \text{$

$$S = \left| \frac{3p \cdot b^2}{8h^2} \left\{ 4 (1+\nu) \cdot \ln \frac{a}{b} + 4 - (1-\nu) \frac{b^2}{a^2} - (3+\nu) \frac{r^2}{b^2} \right\} \right| \quad (30)$$

として計算する。

ここで、

p : 等分布荷重

$$p = \frac{9.8 W \cdot G}{\pi b^2}$$

W : 輸送物重量

18440 kg

G : 最大減速度

b : 軟鋼棒の半径

h : 板厚

ν : ポアソン比

a : 蓋の支持半径

r : 半径

S =

=

蓋に発生する応力に対する設計基準値としては、(口)章 B.熱解析における通常輸送時の蓋の解析結果の最高温度 [] ((口) - 第 B.15 表参照) を蓋の温度と考え、安全側に [] としたときの蓋の部材 (SUS []) の引張強さ S_u [] を用いる。

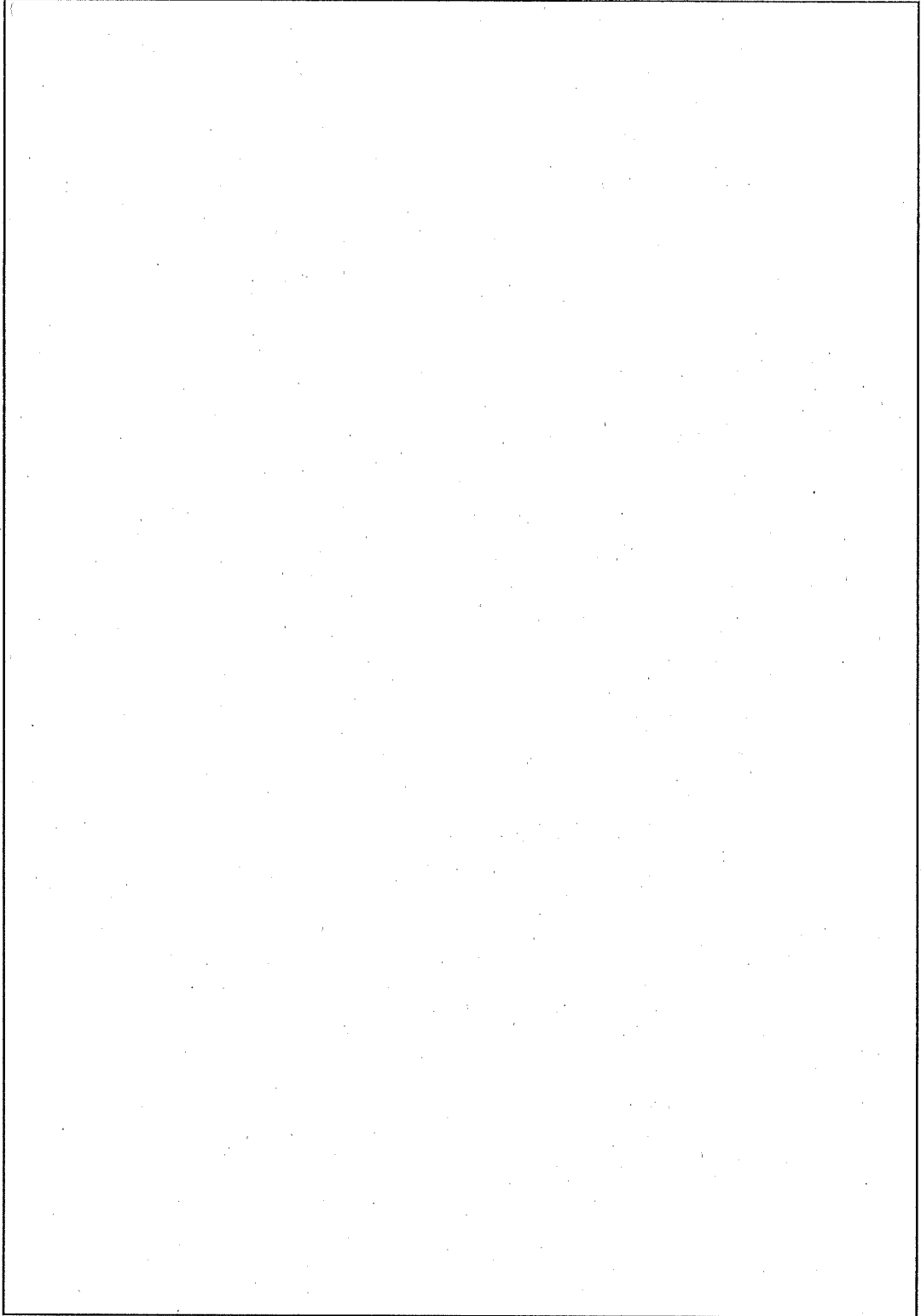
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_u}{S} - 1$$

$$= []$$

$$= []$$

したがって、蓋は落下試験 II においても健全である。



(ロ) - 第 A. 87 図 蓋が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデル

(2) 緩衝体が軟鋼棒に直撃する場合（偏心落下）

“(1) 輸送容器外表面が軟鋼棒に直撃する場合”において、蓋は、貫通されないことを示した。したがって、落下試験Ⅱによって最大破損を生じさせる条件は、その後引き続き行われる耐火試験（熱的試験）で最大の破損を生じさせるような緩衝体の変形である。

輸送物の貫通孔部にはOリングが使用されており、緩衝体の熱伝導率は、金属に比べ小さいことを考慮すればOリングの使用されている場所近傍が軟鋼棒に衝突することが、Oリング近傍の温度を耐火試験時に上昇させることになる。

(ロ) ー第 A. 85 図に示すように、落下状態は、偏心衝突になる。そのときの衝撃エネルギー (E_s) は、次式で表される。

$$E_s = 9.8 W' \cdot H$$

W' : 換算衝撃重量（偏心衝突の場合、作用する重量は、輸送物重量の一部が寄与する。この重量を換算衝撃重量と称する。）

H : 落下高さ 1000 mm

換算衝撃重量 W' は次式で求める。

$$W' = \frac{W}{1 + \left(\rho^2/K^2\right)} \quad (31)$$

ここで、

W' : 換算衝撃重量

ρ : 輸送物重心から衝突点までの距離 □

K : 輸送物重心まわりの回転半径

$$K = \sqrt{\frac{d^2}{16} + \frac{\ell^2}{12}} \quad (32)$$

d : 容器本体の外径 □

ℓ : 容器本体・蓋の長さ □

$$K = \square$$

$$= \square$$

$$W' = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、衝撃エネルギー (Es) は、

$$Es = 9.8 W' \cdot H$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

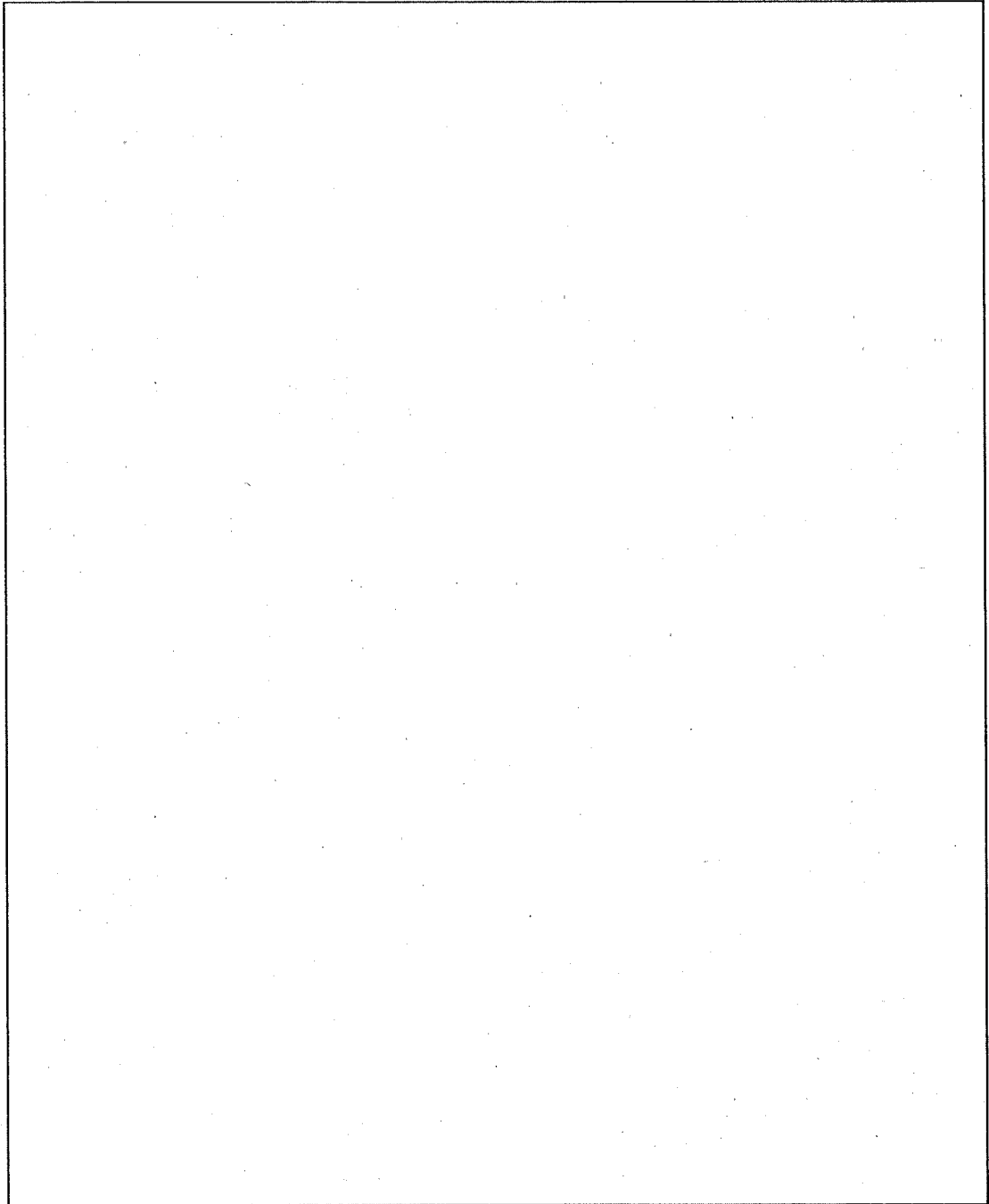
となる。

衝撃エネルギー (Es) に $\boxed{}$ を代入して、計算コード SHOCK-2 で数値計算すると、緩衝体の変形量は $\boxed{}$ となる。

落下試験 I $\boxed{}$ と落下試験 II $\boxed{}$ が重複すると $\boxed{}$ の変形量になるが、(ロ) ー第 A.88 図に示すように、容器本体・蓋まで達することはない。

また、落下試験 II は、落下高さが落下試験 I の 9m と比べて 1m と低く、かつ、軟鋼棒による部分変形のため、落下試験 I に比べてその最大減速度は小さくなる。

したがって、容器本体・蓋、バスケット、収納物等は、落下試験 I で健全であるので、落下試験 II においても同様にその健全性は保たれる。



(口) 一第 A. 88 図 落下試験 I 及び落下試験 II における緩衝体の変形量

2. 水平落下

水平落下の際、軟鋼棒と衝突する部分としては、容器本体胴部及びその両端に取り付けられている上部緩衝体及び下部緩衝体が考えられる。

最大応力は、容器本体胴部の中央部すなわち重心位置が軟鋼棒と直接衝突した場合に、容器本体胴部に発生する。したがって、水平落下では容器本体胴部の中央部が軟鋼棒に落下した場合について解析する。さらに緩衝体が軟鋼棒へ落下した場合の緩衝体の変形量についても求める。

(1) 容器本体胴部が軟鋼棒に直撃する場合

容器本体胴部には、フィンが多数枚付いている[]ため、直径 150mm の軟鋼棒は、フィンが健全ならば、直接容器本体胴部に直撃することはない。

落下試験 I によりフィンが損傷を既に受けている場合を想定する。したがって、フィンの効果は無視することから、1. 垂直落下の“(1) 輸送容器外表面が軟鋼棒に直撃する場合”の計算手法と同一となる。

容器本体胴部の肉厚（せん断長さ）[]を代入し、せん断応力で降伏するときの荷重(F_s) を求めると、 $F_s = []$ となる。

したがって、

$$F_s > F_B []$$

となるので、容器本体胴部が損傷する前に軟鋼棒は圧潰することになり、落下試験 II において輸送物の健全性が損なわれることはない。

また、最大減速度(G) は、垂直落下時と同一となるので[]である。

次に、この最大減速度が輸送物に作用した場合の健全性について以下に示す。

落下試験 II の水平落下時における最大減速度[]は、落下試験 I の水平落下時における最大減速度[]又は[]より小さい。

また、落下試験 I の水平落下時において、蓋、バスケット及び収納物等は健全であるので落下試験 II の水平落下においても健全である。

本項では、容器本体胴部の荷重条件が、落下試験 I の水平落下((ロ) - 第 A. 56 図) と落下試験 II の水平落下((ロ) - 第 A. 89 図) では異なるので容器本体胴部についてのみ評価を行う。

1) 容器本体胴部

容器本体胴部は、片端固定のはりとする。容器本体胴部が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデルを(口) - 第 A. 89 図に示す。

容器本体胴部に発生する曲げ応力(σ_b)は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot e}{I}$$

ここで、

M : 落下試験 II によって容器本体胴部に生じる曲げモーメント

$$M = \frac{W \cdot \ell}{2}$$

W : 荷重

$$W = \frac{9.8W_0 \cdot G}{2}$$

W_0 : 輸送物の最大重量

18440 kg

G : 最大減速度

ℓ : はりの長さ

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

$$= \text{[]}$$

I : 容器本体胴部の断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4)$$

d_1 : 容器本体胴部の内径((口) - 第 A. 43 図参照)

d_2 : 容器本体胴部の外径((口) - 第 A. 43 図参照)

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

$$= \text{[]}$$

e : 中立軸からの最大距離

$$e = \frac{d_2}{2}$$

$$= \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

$$\sigma_b = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

また、慣性力によって生じるせん断応力(τ)は、次式で表される。

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

ここで、

F : 容器本体胴部に働く衝撃力

$$F = 9.8 W_0 \cdot G$$

A : 容器本体胴部の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$$

$$\tau = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = 2 \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

容器本体胴部に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) - 第 B. 15 表参照) を容器本体胴部の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときの容器本体胴部の部材(SUS $\boxed{}$)の引張強さ Su $\boxed{}$ を用いる。

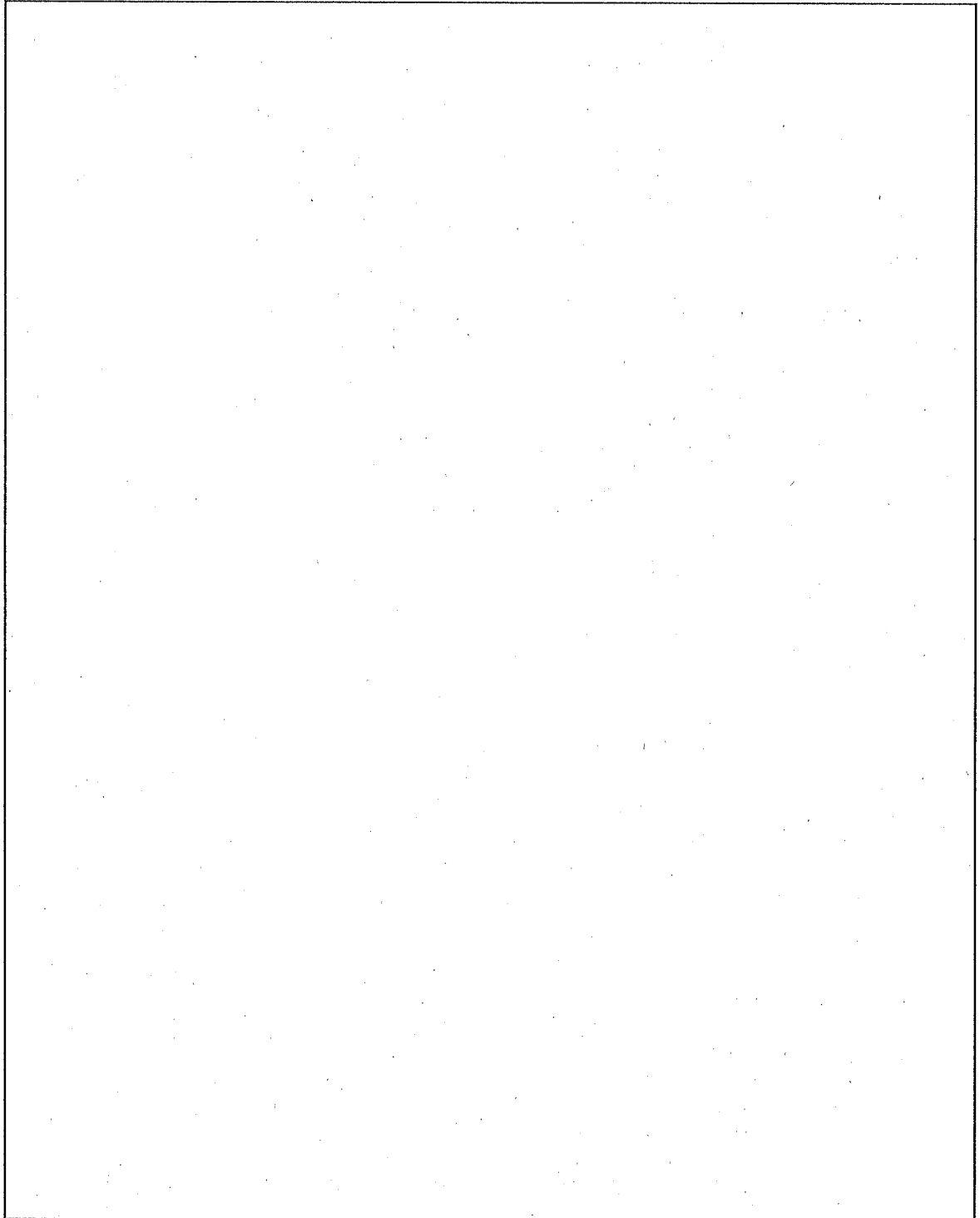
余裕率 MS は

$$MS = \frac{Su}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、容器本体胴部は落下試験Ⅱにおいても健全である。



(ロ) - 第 A. 89 図 容器本体胴部が軟鋼棒を直撃する場合の解析モデル

(2) 緩衝体が軟鋼棒に落下する場合（偏心落下）

水平落下の状態図を（ロ）－第 A. 90 図に示す。

輸送物が水平落下により軟鋼棒に衝突する場合、（ロ）－第 A. 90 図に示すように衝突点は輸送物の重心から外れ、いわゆる偏心衝突となる。この場合衝突点に加わる重量は、輸送物重量の一部が寄与することになる（以下、この重量を「換算衝撃重量」という。）。

換算衝撃重量は、衝撃点が重心に近い程大きい。したがって、（ロ）－第 A. 90 図に示すようにドレン弁保護蓋付近を衝撃点とするよりは、ベントプラグ保護蓋付近を衝撃点とする方が緩衝体の変形量は大きくなる。

“(1)容器本体胴部が軟鋼棒に直撃する場合”において、容器本体胴部は貫通されなことを示した。したがって、落下試験Ⅱによって最大破損を生じさせる条件は、その後引き続き行われる耐火試験（熱的試験）で最大の破損を生じさせるような緩衝体の変形である。

輸送物の貫通孔部にはオリングが使用されており、緩衝体の熱伝導率は、金属に比べ小さいことを考慮すればオリングの使用されている場所近傍が軟鋼棒に衝突することが、オリング近傍の温度を耐火試験時に上昇させることになる。

したがって、ベントプラグ保護蓋付近を衝撃点とした水平落下時における緩衝体の変形量を求める。

衝撃時に衝撃点に作用する衝撃エネルギーは、換算衝撃重量によるものであり、輸送物のもつ落下エネルギーのうち残りのエネルギーは、輸送物の回転エネルギーに費やされる。したがって、落下エネルギー(E_k) は、次式で表される。

$$E_k = E_s + E_r$$

ここで、

E_k : 輸送物の落下エネルギー

E_s : 衝撃エネルギー

E_r : 回転エネルギー

輸送物の落下エネルギー(E_k) 及び衝撃エネルギー(E_s) は、次式で表される。

$$E_k = 9.8 W \cdot H$$

$$E_s = 9.8 W' \cdot H$$

ここで、

W : 輸送物重量 18440 kg

H : 落下高さ 1000 mm

W' : 換算衝撃重量

$$W' = \frac{W}{1 + \left(\frac{\rho^2}{K^2}\right)} \quad (31)$$

ρ : 輸送物重心から衝撃点までの距離

K : 輸送物重心まわりの回転半径

$$K = \sqrt{\frac{d^2}{16} + \frac{\ell^2}{12}} \quad (32)$$

d : 容器本体の外径

ℓ : 容器本体・蓋の長さ

$$K = \text{$$

$$= \text{$$

$$W' = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、衝撃エネルギー(E_s) は、

$$E_s = 9.8 W' \cdot H$$

ここで、

H : 落下高さ 1000 mm

$$E_s = \text{$$

$$= \text{$$

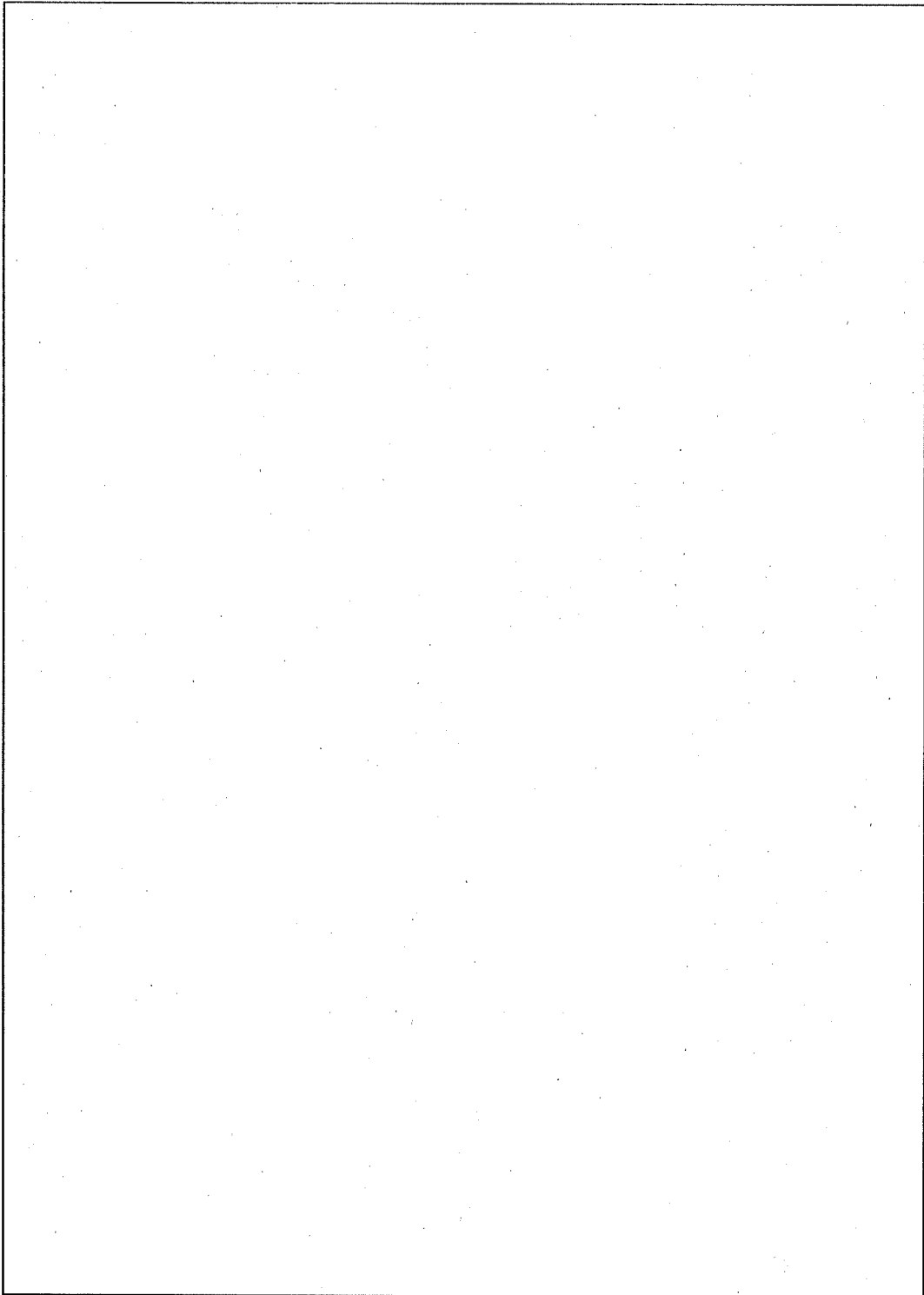
となる。

衝撃エネルギー $E_s =$ を代入して、計算コード SHOCK-2 で数値計算すると、緩衝体の変形量は となる。

落下試験 I と落下試験 II の変形が重複すると の変形量になるが、(口) - 第 A. 90 図に示すように、容器本体・蓋まで達することはない。

また、落下試験 II は、落下高さが落下試験 I の 9m と比べて 1m と低く、かつ、軟鋼棒による部分変形のため、落下試験 I に比べてその最大減速度は小さくなる。

したがって、容器本体・蓋、バスケット、収納物等は、落下試験 I で健全であるので、落下試験 II においても同様にその健全性は保たれる。



(口) - 第 A. 90 図 水平落下の状態図

3. コーナー落下

コーナー落下の落下角度(上部コーナー落下では 下部コーナー落下では
 で軟鋼棒上に落下試験を行った場合の緩衝体の変形量を求め、その変形が輸送容器外
表面まで達しないことを示す。

コーナー落下の状態図を (ロ) - 第 A. 91 図 に示す。

コーナー落下は、心突落下であるので、回転エネルギーによる転移は生じず、緩衝体
の変形により全ての落下エネルギー (E_k) は吸収される。

したがって、衝撃エネルギー (E_s) は、落下エネルギー (E_k) と等しくなる。

$$E_s = E_k = 9.8 W \cdot H$$

W : 輸送物の重量 18440 kg

H : 落下高さ 1000 mm

$$E_s = 9.8 \times 18440 \times 1000$$

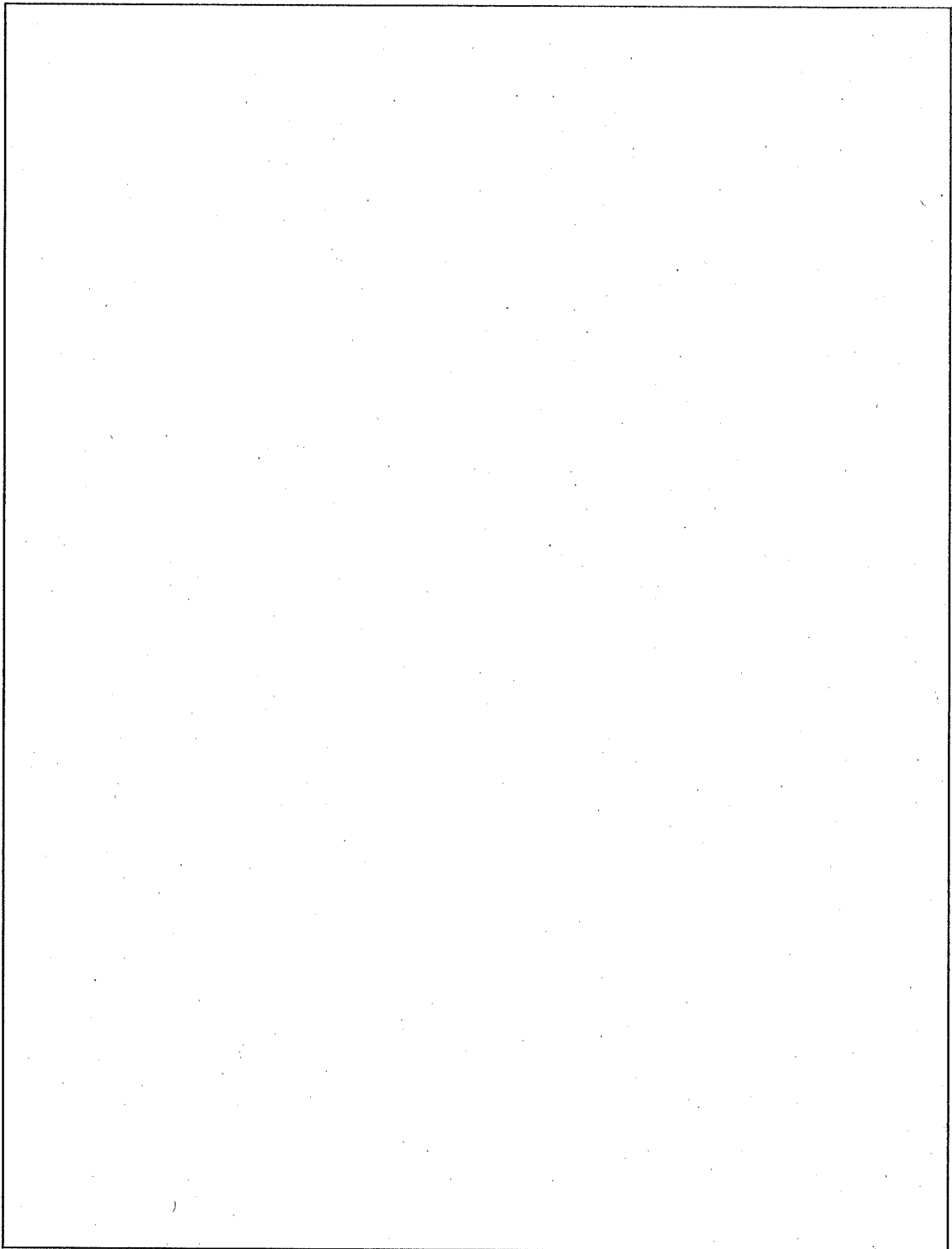
$$= 1.81 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

衝撃エネルギー (E_s) は、 $1.81 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$ を代入して、計算コード SHOCK-2 で数値計
算すると、緩衝体の変形量は となる。

落下試験 I と落下試験 II とが重複した場合、 の変形量になるが
(ロ) - 第 A. 91 図 に示すように、容器本体・蓋まで達することはない。

また、落下試験 II は、落下高さが落下試験 I の 9m と比べて 1m と低く、落下試験 I に
比べてその最大減速度は小さくなる。

したがって、容器本体・蓋、バスケット、収納物等は、落下試験 I で健全であることを
示したので、落下試験 II においても同様その健全性は保たれる。



(口) - 第 A. 91 図 コーナー落下の状態図

4. 傾斜落下

傾斜落下(落下方向がコーナー落下と垂直落下との間及びコーナー落下と水平落下との間の場合)について解析を行う。

傾斜落下の中で落下エネルギーの全てを緩衝体で吸収する場合はコーナー落下である。

その他の傾斜落下の場合は、輸送物が軟鋼棒に直撃するときに、輸送物に回転が生じるので落下エネルギーから回転エネルギーを引いたものが緩衝体が吸収する吸収エネルギーとなり、容器本体・蓋に生じる最大減速度は、コーナー落下時に比較して小さくなる。

したがって、容器本体・蓋、バスケット、収納物等は、コーナー落下時において健全であることを示したので、傾斜落下時においても同様その健全性は保たれる。

A.6.2.1 結果の要約

容器本体胴部肉厚は□□□、また、底及び蓋の肉厚は□□□で設計されており、落下試験Ⅱの軟鋼棒によって貫通されないことを示した。

緩衝体を被覆している鋼板（表面被覆材）は□□□の板厚のため、軟鋼棒により貫通を受けるものとして解析を行った。落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱによる緩衝体の変形量を（ロ）－第A.18表に、また緩衝体の変形図を（ロ）－第A.92図～（ロ）－第A.94図に示す。すなわち、落下試験Ⅰに落下試験Ⅱを重畳した値となるが、この値を当初の緩衝体厚さから除いた値も（ロ）－第A.18表に示す。

したがって、落下試験Ⅱに引き続き行われる耐火試験（熱的試験）において最大の破損を与える部位は、蓋の密封境界を形成しているOリング近傍の温度を上昇させる形態と考えられる。

また、本解析では、落下高さが落下試験Ⅰの9mと比べて1mと低く、かつ、直径150mmの軟鋼棒による部分変形のため、落下試験Ⅱの各落下姿勢での最大減速度はいずれも小さくなる。

落下試験Ⅱでの解析及び落下試験Ⅰでの容器本体・蓋及びバスケット等の解析により、落下試験Ⅱにおいても輸送容器は健全である。

落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱの減速度の比較を（ロ）－第A.19表に示す。

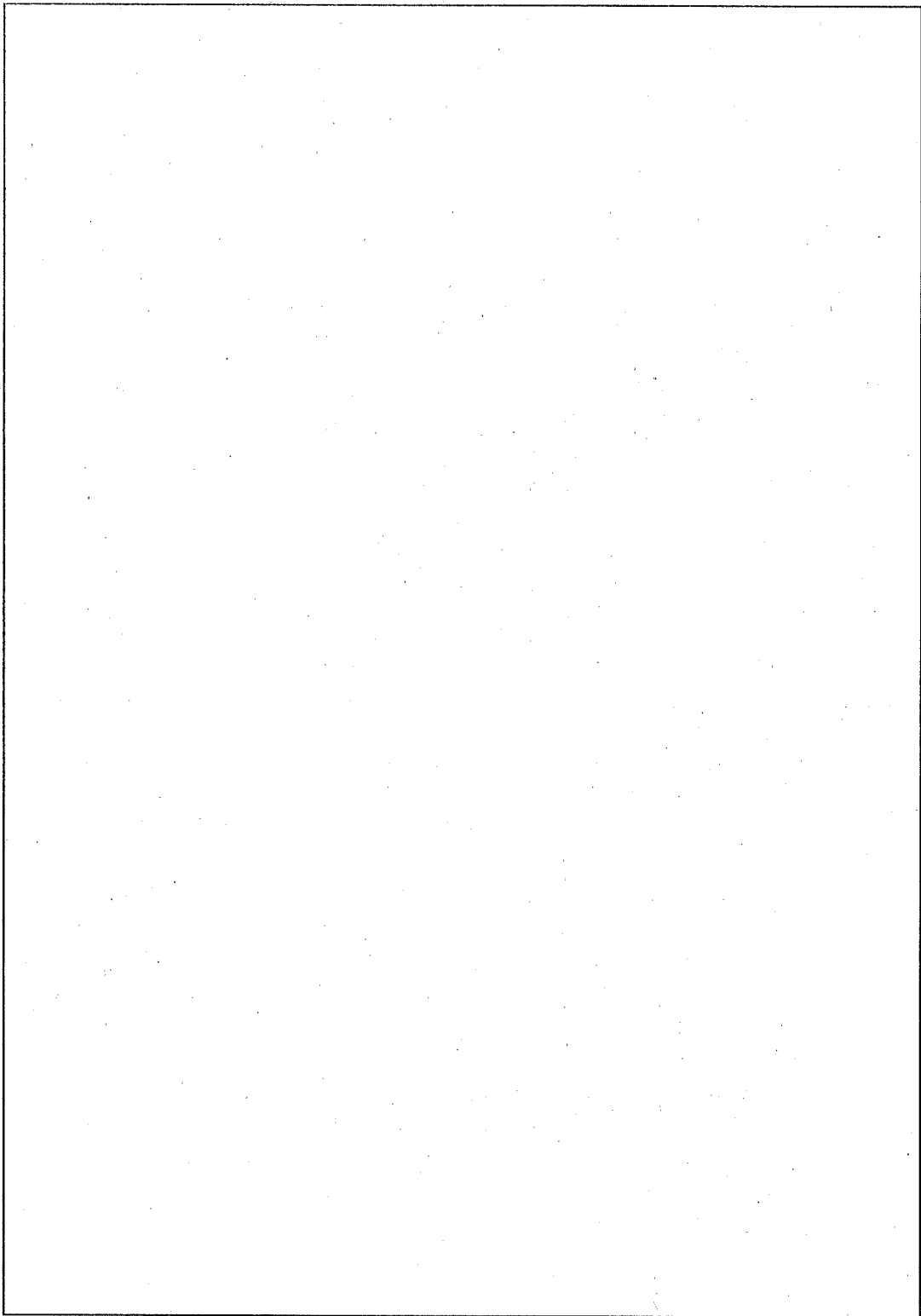
(ロ) - 第 A. 18 表 落下試験 I 及び落下試験 II による緩衝体の変形量

落下姿勢	緩衝体の厚さ (mm)	落下試験 I 及び II による変形量の合計 (mm)	変形後の緩衝体 の残り厚さ (mm)
垂直落下			
水平落下			
コーナー落下			

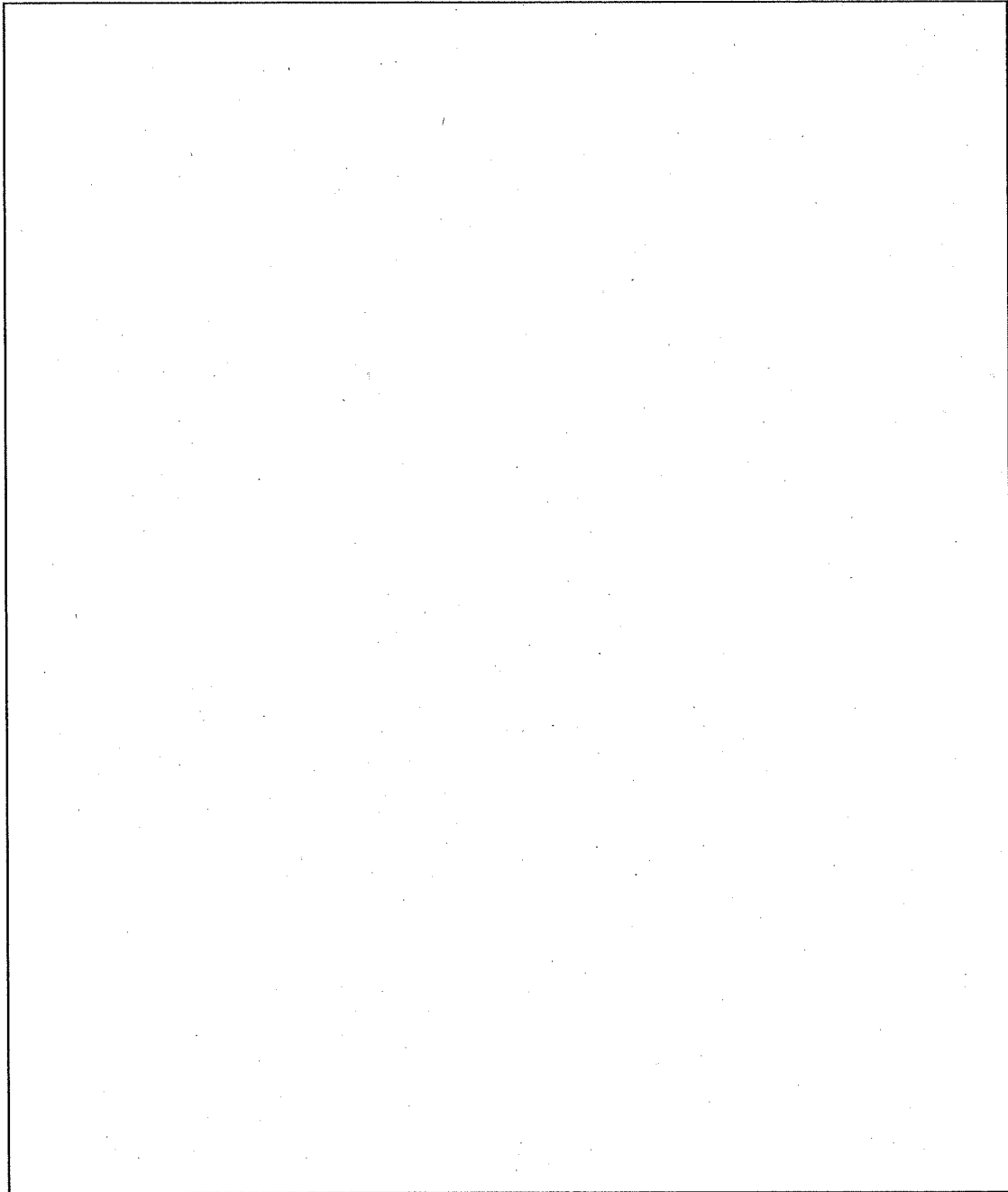
(ロ) - 第 A. 19 表 落下試験 I 及び落下試験 II の減速度の比較

落下姿勢	減 速 度 (G)	
	落 下 試 験 I	落 下 試 験 II
垂 直 落 下		
水 平 落 下		
コ ー ナ ー 落 下		

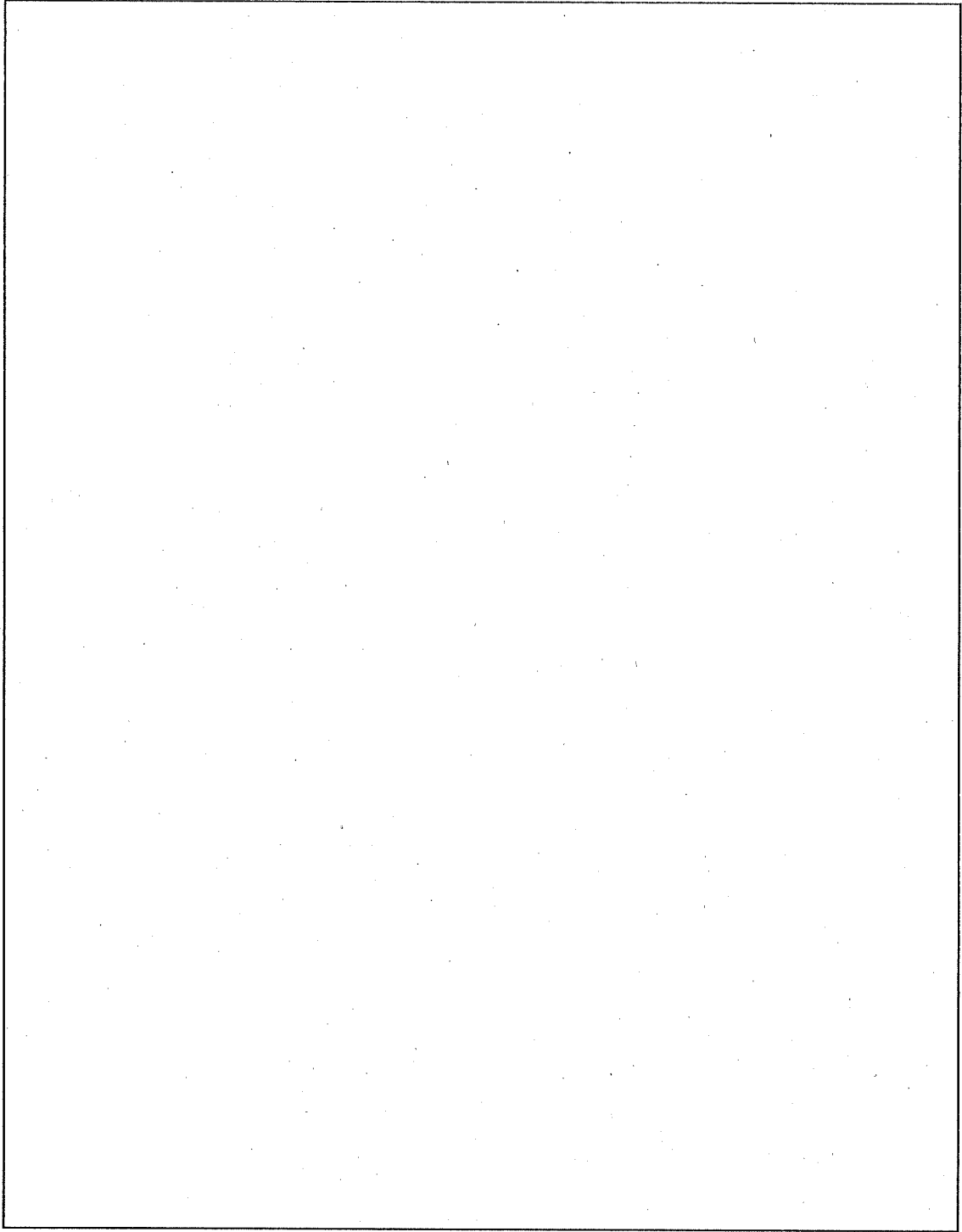
* : 計算コード SHOCK-2 を用いて計算を行った。



(口) - 第 A. 92 図 緩衝体の変形図 (垂直落下)



(口) - 第 A. 93 図 緩衝体の変形図 (水平落下)



(口) - 第 A. 94 図 緩衝体の変形図 (コーナー落下)

A.6.3 熱的試験

熱膨張で問題となる場合は、バスケットの熱膨張が最大となる JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時で、かつ、火災発生 [] ((ロ) 章 B.5.5 参照) の輸送容器が横置き状態の場合である。

熱応力で最大となる場合は、容器本体・蓋内外の温度差が最大となる収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の収納時*で、かつ、火災発生 [] ((ロ) 章 B.5.5 参照) の輸送容器が横置き状態の場合である。

バスケットの接触応力を求める場合は、容器本体は、収納物より崩壊熱が小さい燃料要素収納時で、かつ、火災発生 [] の輸送容器が横置き状態で太陽輻射熱を受けるものとし、バスケットについては、JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時で、かつ、火災発生後の容器本体・蓋の内面最高温度を境界条件として計算したバスケット最高温度とする。

容器本体・蓋の最大内圧は (ロ) 章 B.5.4 最大内圧に [] と記述されているが安全側に [] として解析する。

上部緩衝体及び下部緩衝体の表面被覆材には、各々 [] の可融栓を取り付けている。この可融栓は [] であり、融点は [] である。

特別の試験条件下では、 [] の高温となるため可融栓は溶け、緩衝体の [] [] から発生するガス等による緩衝体内の圧力上昇を防ぐ構造となっているため、緩衝体の耐圧は、問題とならない。

*:ここでは、過去に収納物として評価をしている JRR-3 アルミナイドフォロワ型燃料要素を収納した場合を想定する。運搬予定の無い燃料要素ではあるが、収納物より崩壊熱が小さいため、評価上、保守的となる。

A. 6. 3. 1 温度及び圧力の要約

特別の試験条件下の温度及び圧力の要約は、(口) 章 B. 5 特別の試験条件において記述している温度を用いる。収納物より崩壊熱が小さい燃料要素収納時で、かつ、火災発生 の横置き状態における温度及び圧力の要約を (口) ー第 A. 20 表に示す。

JMTR 標準燃料要素 (LEU) の収納時で、かつ、火災発生 の横置き状態における温度及び圧力の要約を (口) ー第 A. 21 表に示す。

容器本体・蓋の温度分布を (口) ー第 A. 95 図、(口) ー第 A. 96 図に、蓋締付用ボルトの温度分布を (口) ー第 A. 97 図、(口) ー第 A. 98 図に、仕切板・区切板の温度分布を (口) ー第 A. 99 図に、枠組の温度分布を (口) ー第 A. 100 図に示す。

これらの温度及び圧力を用い、容器本体・蓋の健全性について構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

(ロ) - 第 A. 20 表 特別の試験条件下における圧力及び温度の要約 (その 1)

(収納物より崩壊熱が小さい燃料要素収納時、火災発生 、横置き)

容器本体 蓋最高温度 (°C)	最大内圧 (kPa)
<input type="text"/>	

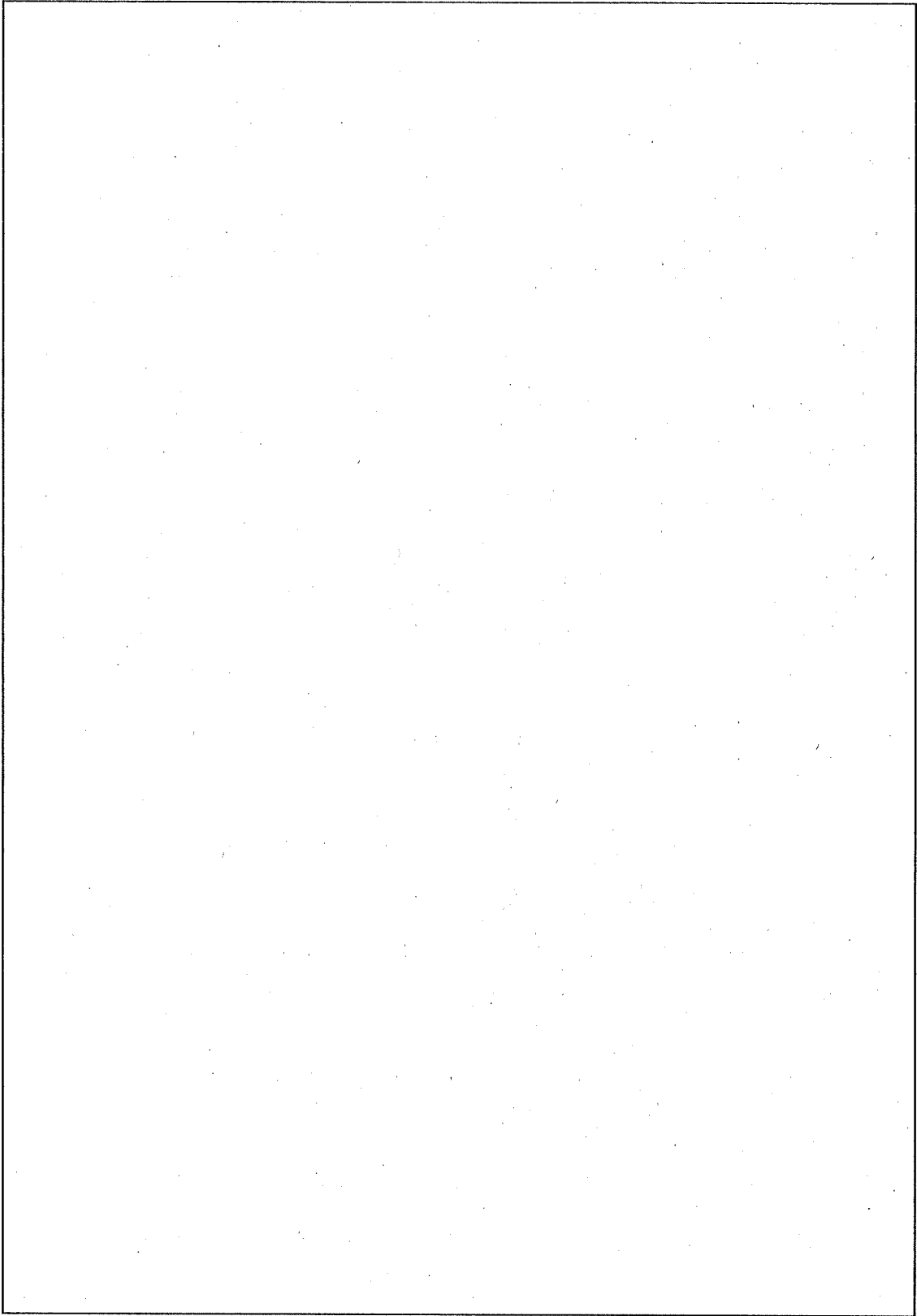
注) 温度は、小数点以下切上げとする。

(ロ) - 第 A. 21 表 特別の試験条件下における圧力及び温度の要約 (その 2)

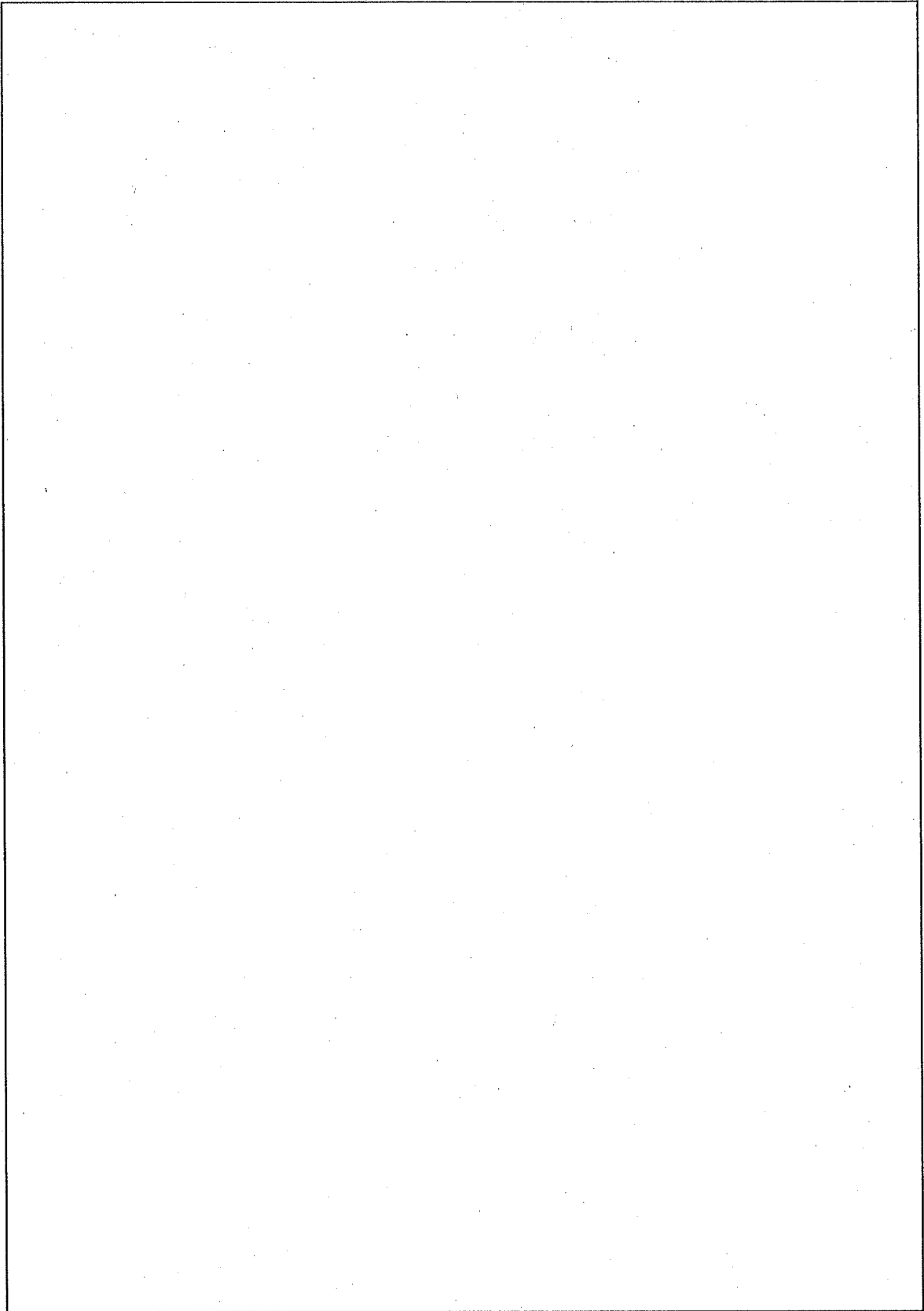
(JMTR 標準燃料要素 (LEU)) 収納時、火災発生 、横置き)

容器本体 蓋最高温度 (°C)	バスケット最高温度 (°C)		最大内圧 (kPa)
	仕切板 区切版	枠 組	
<input type="text"/>			

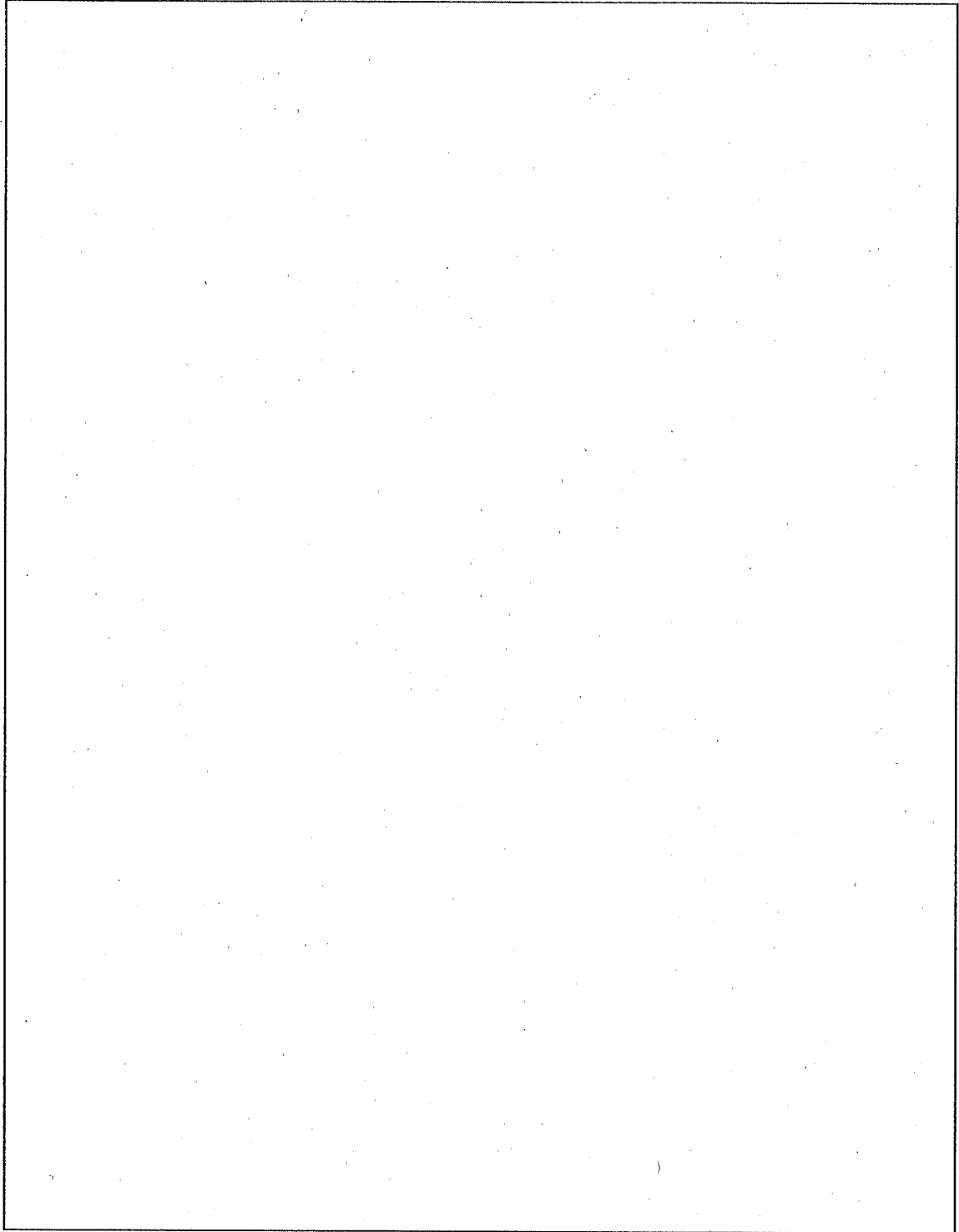
注) 温度は、小数点以下切上げとする。



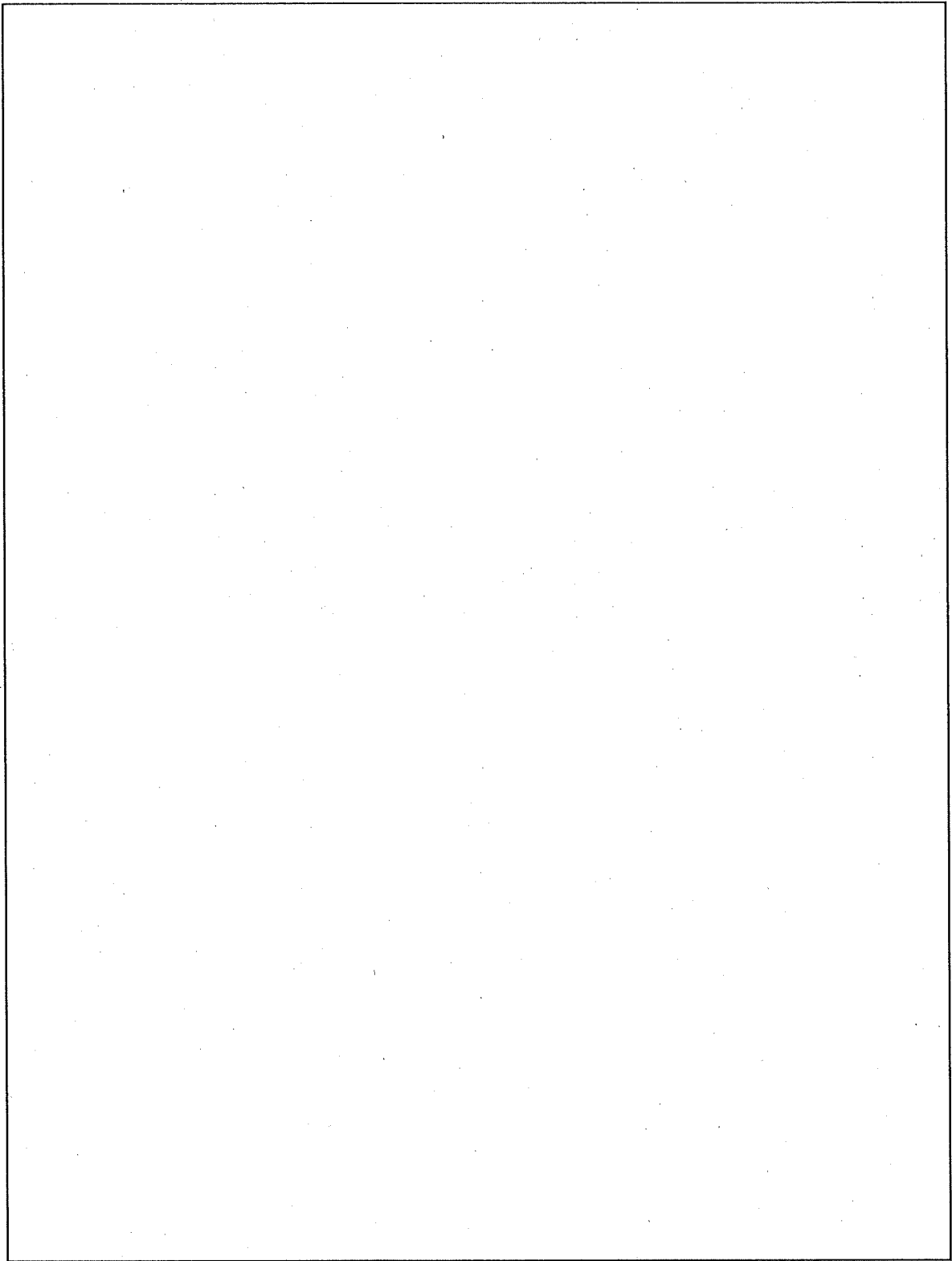
(ロ) - 第 A. 95 図 容器本体・蓋の温度分布 (その 1)



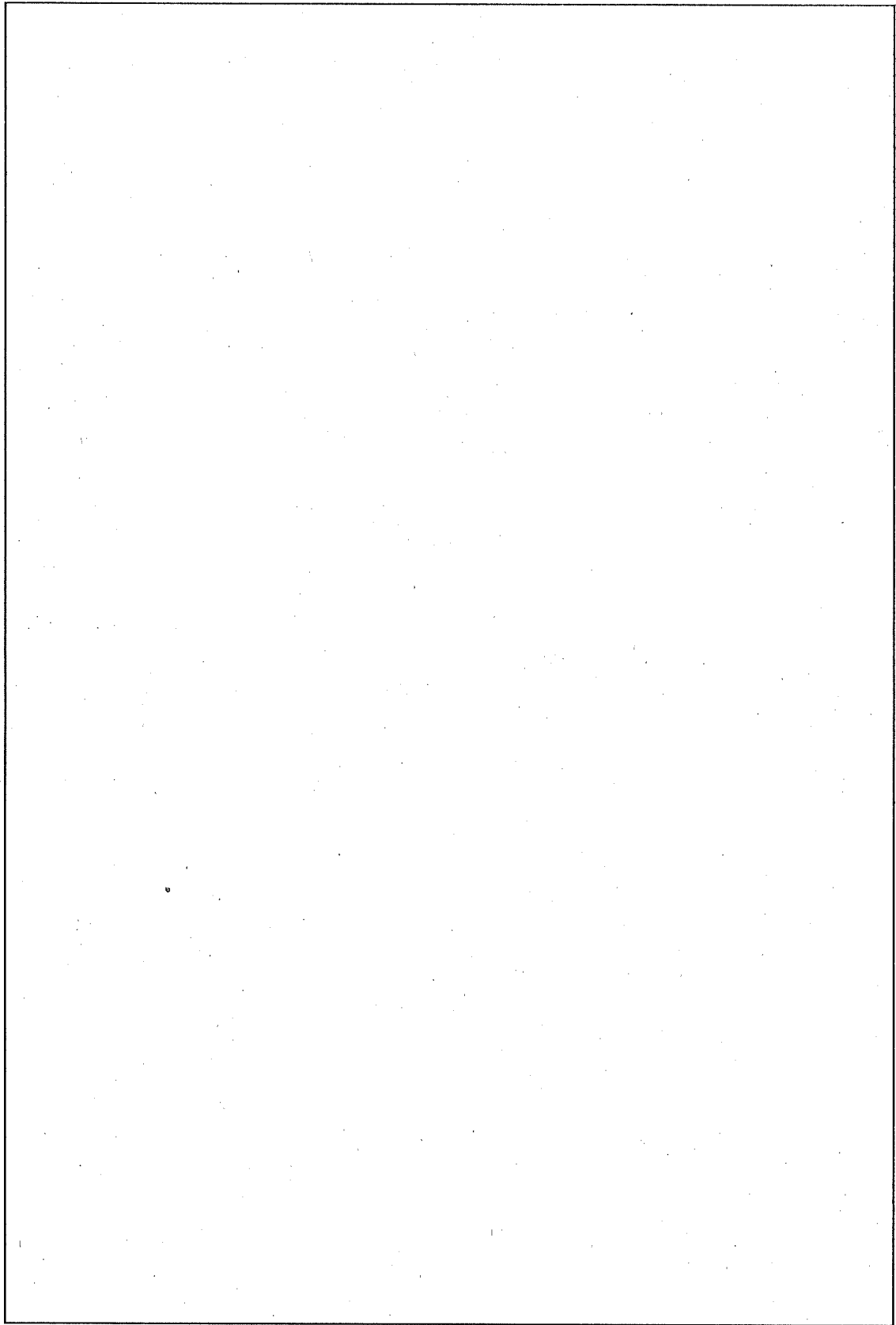
(口) 一第 A.96 図 容器本体・蓋の温度分布 (その 2)



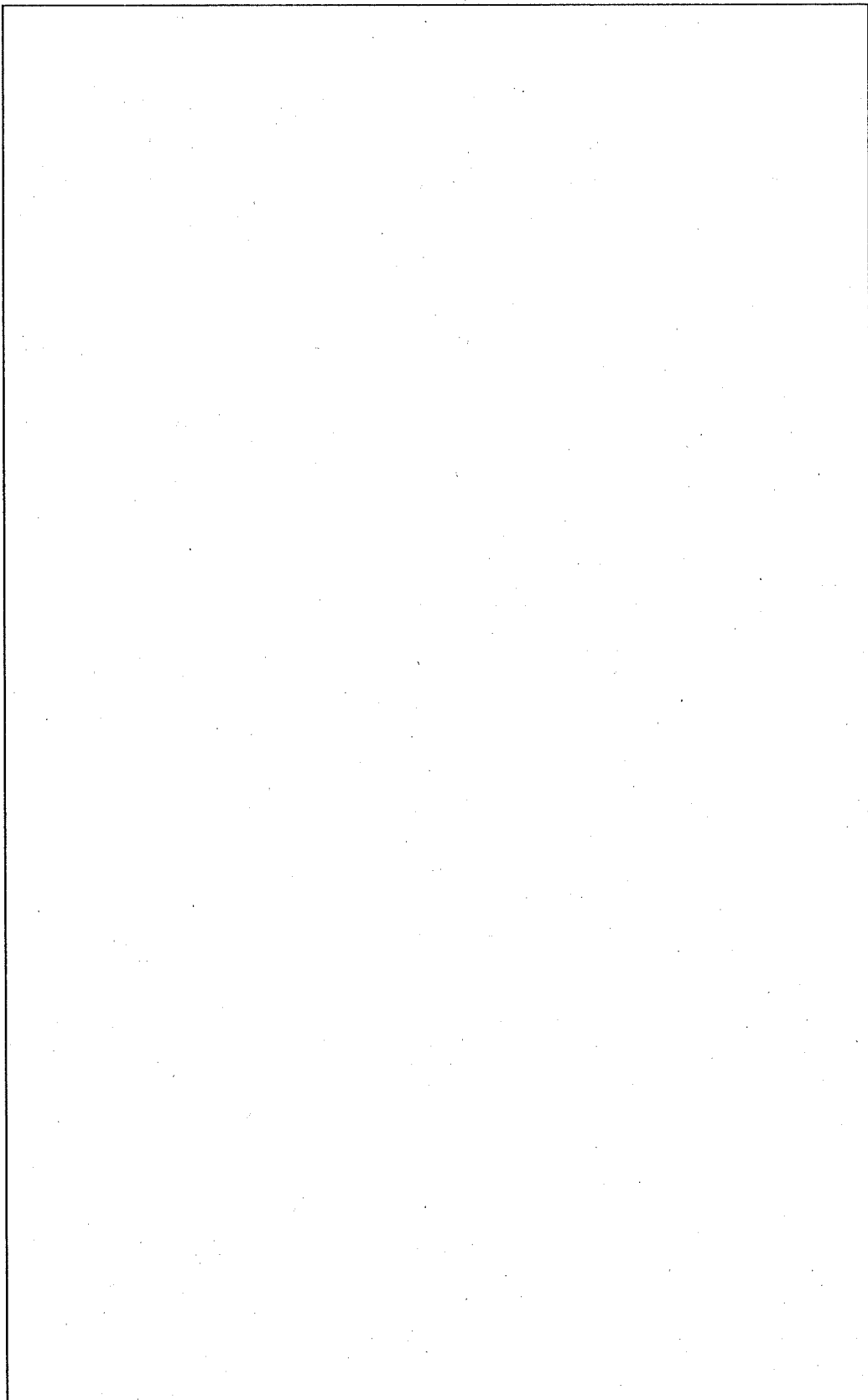
(ロ) - 第 A. 97 図 蓋締付用ボルトの温度分布 (その 1)



(口) - 第 A. 98 図 蓋締付用ボルトの温度分布 (その 2)



(口) - 第 A. 99 図 仕切板・区切板の温度分布



(口) - 第 A.100 図 枠組の温度分布

A.6.3.2 熱膨張

熱膨張については、容器本体・蓋とバスケットの隙間が最小になり（(ロ)章 B. 熱解析における JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時、火災発生 横置き状態）、バスケットの熱膨張が最大になる（(ロ)章 B. 熱解析における JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時、火災発生後の容器本体・蓋の内面最高温度を境界条件として計算したバスケット最高温度）場合について解析する。

熱応力については、容器本体・蓋内外の温度差が最大となる場合（(ロ)章 B. 熱解析における収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の収納時、火災発生 横置き状態）について解析する。

1. 容器本体・蓋及び蓋締付用ボルト

1.1 容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトの熱膨張及び熱応力

容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトの熱膨張及び熱応力についての解析は、(ロ)章 B. 熱解析によって求められた温度分布及び圧力を使用し、容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトの健全性について構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

容器本体・蓋の解析モデルを (ロ) ー第 A.101 図、蓋締付用ボルトの解析モデルを (ロ) ー第 A.102 図に示す。

また、解析条件を以下に示す。

- (1) 容器本体・蓋及び蓋締付用ボルトを 4 節点四辺形軸対称要素を用いて分割したものとす。
- (2) 容器本体外表面に付属品として取り付けられているフィン、吊上金具及び固縛金具等は、容器本体を拘束しないので無視するものとす。
- (3) 蓋締付用ボルト穴及び蓋締付用ボルトは、それぞれ断面積及びボルト径を考慮し、等価な剛性を持つものとす。
- (4) 蓋締付用ボルトの初期締付力を考慮する。
- (5) 内圧は、最大内圧 を用いる。
- (6) 温度分布は、容器本体・蓋とバスケットの隙間が最小になる場合と、容器本体・蓋内の温度差が最大になる場合について解析する。

熱膨張及び熱応力の解析結果である変形図及び熱応力分布を (ロ) ー第 A.103 図～(ロ) ー第 A.105 図に示す。

(ロ) 一第 A. 104 図から容器本体・蓋に発生する応力強さ(S)は、となる。

容器本体・蓋に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における特別の試験条件下の容器本体・蓋の解析結果の最高温度 (ロ)一第 B. 21 表参照)を容器本体・蓋の温度と考え、安全側にとしたときの容器本体・蓋の部材(SUS)の設計応力強さ S_m の3倍(3Sm)を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、容器本体・蓋は健全である。

蓋締付用ボルトに発生する初期締付力による引張応力 (σ_1)は、次式で表される。

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

ここで、

F : 初期締付力 (付属書類 A. 10.7 参照)

A : 蓋締付用ボルト 1本の断面積

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

d : 蓋締付用ボルト の谷径

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_1 = \text{$$

$$= \text{$$

また、蓋締付用ボルトに発生する熱応力による引張応力(σ_2)は(口) - 第 A. 105 図より $\sigma_2 = \square$ となる。

したがって、蓋締付用ボルトに発生する応力強さ(S)は、次式で表され、

$$\begin{aligned} S &= \sigma_1 + \sigma_2 \\ &= \square \\ &= \square \end{aligned}$$

となる。

蓋締付用ボルトに発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における特別の試験条件下の蓋締付用ボルトの解析結果の最高温度 \square (口) - 第 B. 21 表参照) を蓋締付用ボルトの温度と考え、安全側に \square としたときの蓋締付用ボルトの部材 (SUS \square) の降伏応力 $S_y \square$ を用いる。

余裕率 MS は

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \square \\ &= \square \end{aligned}$$

となる。したがって、蓋締付用ボルトは健全である。

1.2 密封性

特別の試験条件において、蓋と容器本体間の蓋部Oリングの密封性について示す。

蓋部Oリングを(口) — 第 A. 106 図に示す。

蓋の節点番号と容器本体の節点番号及び蓋部Oリング内側の位置より、蓋と容器本体の変位(δ)は、 $\delta =$ となる。

蓋部Oリング内側のつぶれ代(δ_a)は $\delta_a =$ である。

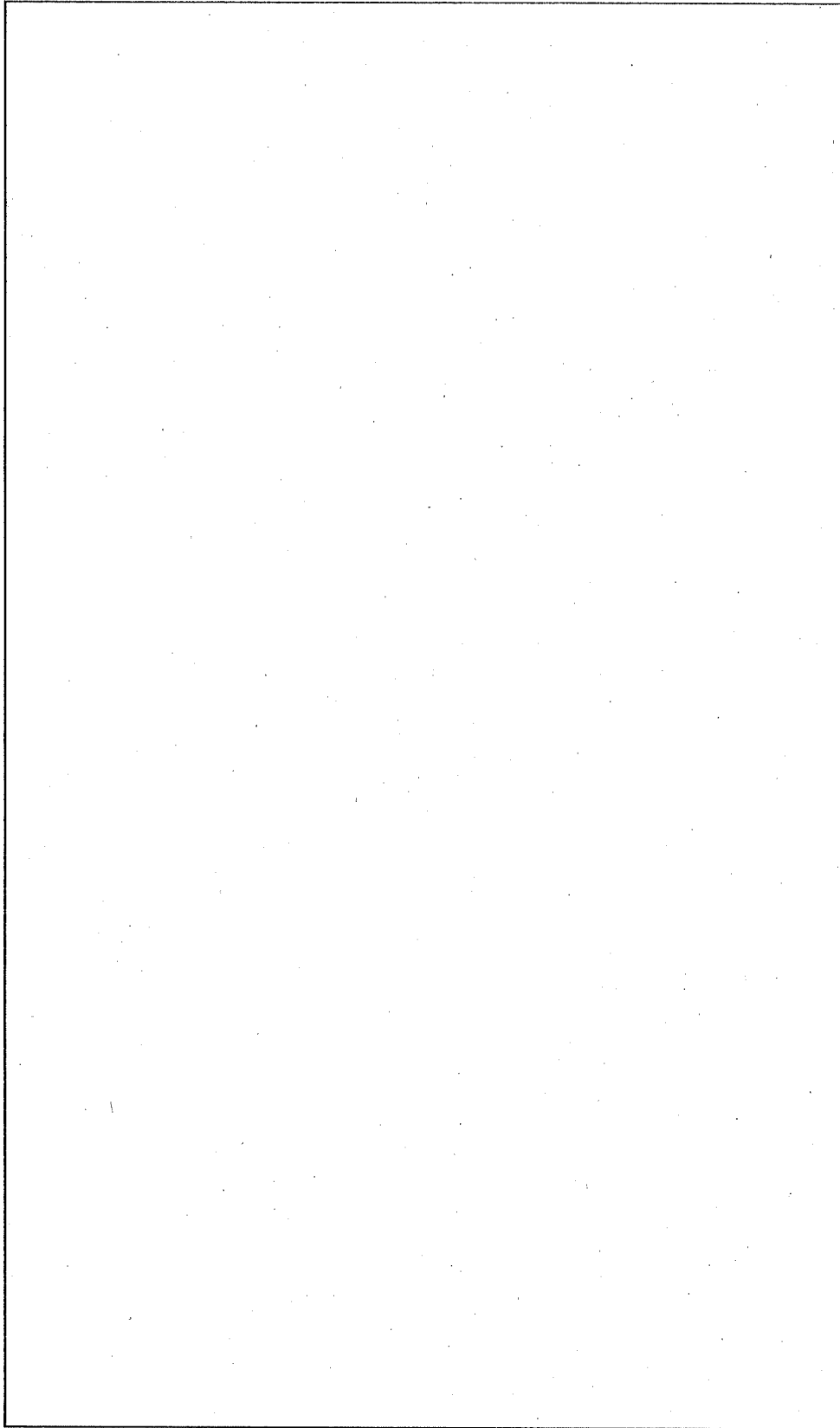
余裕率 MS は

$$MS = \frac{\delta_a}{\delta} - 1$$

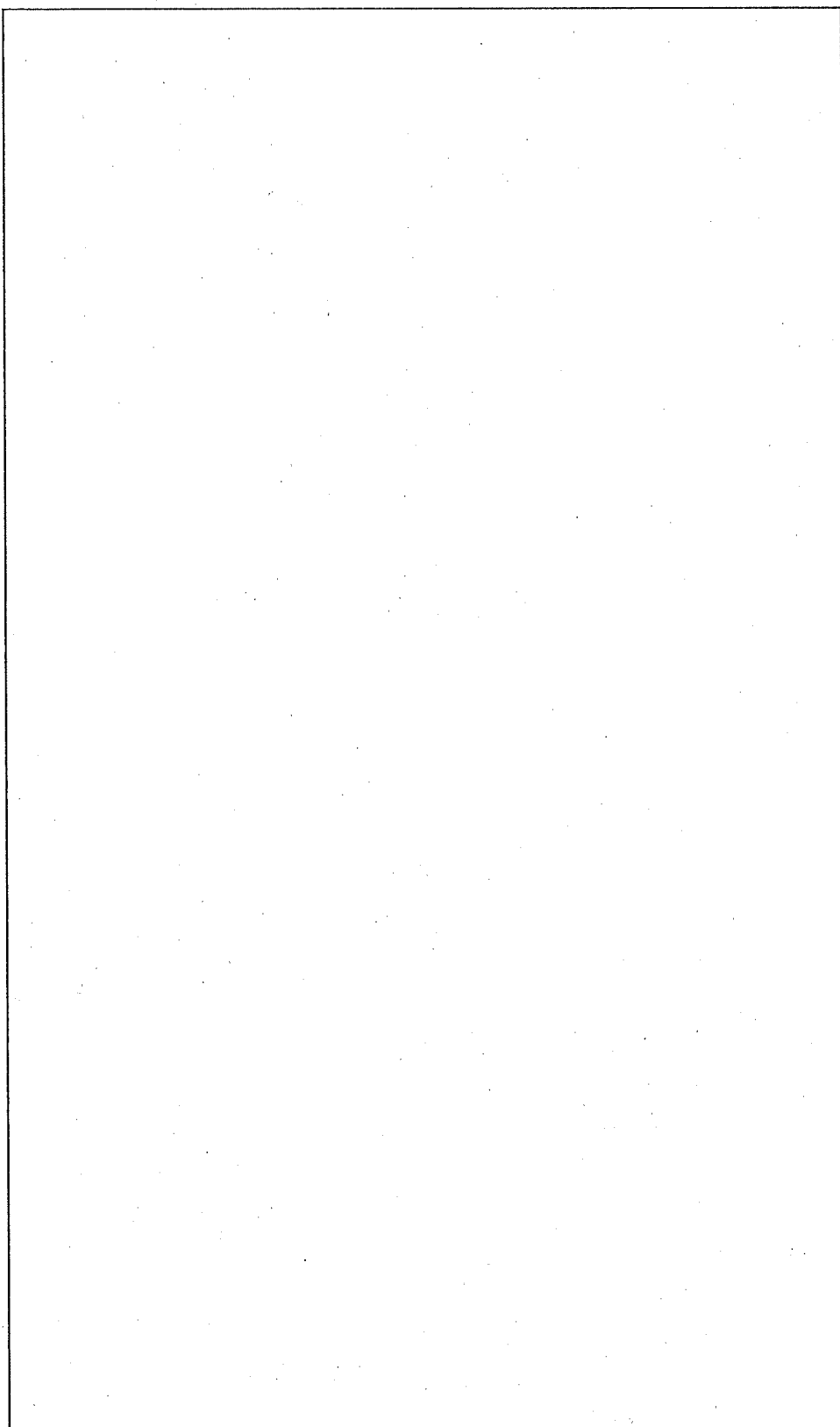
$$=$$

$$=$$

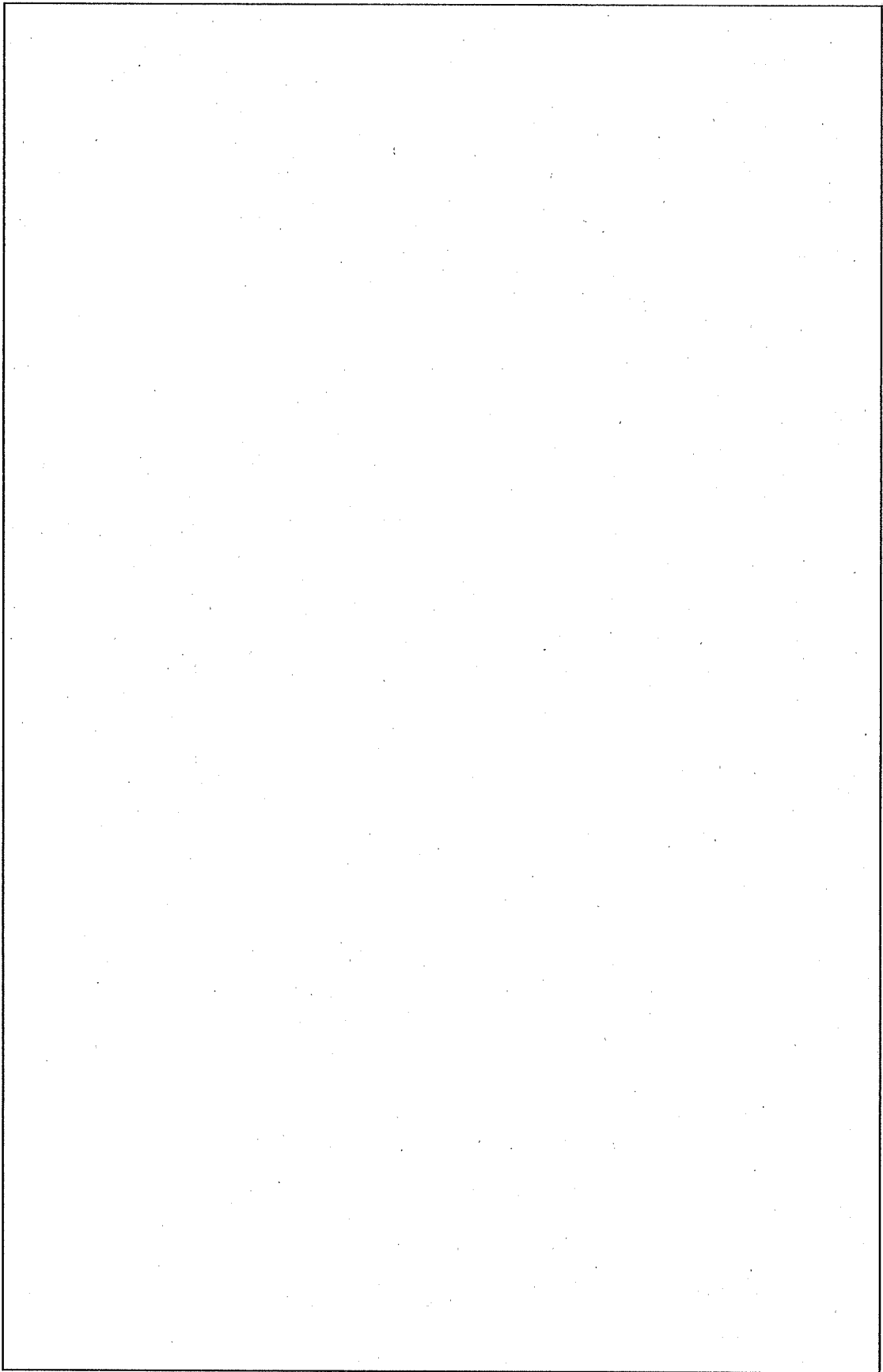
となる。したがって、輸送容器の密封性は維持される。



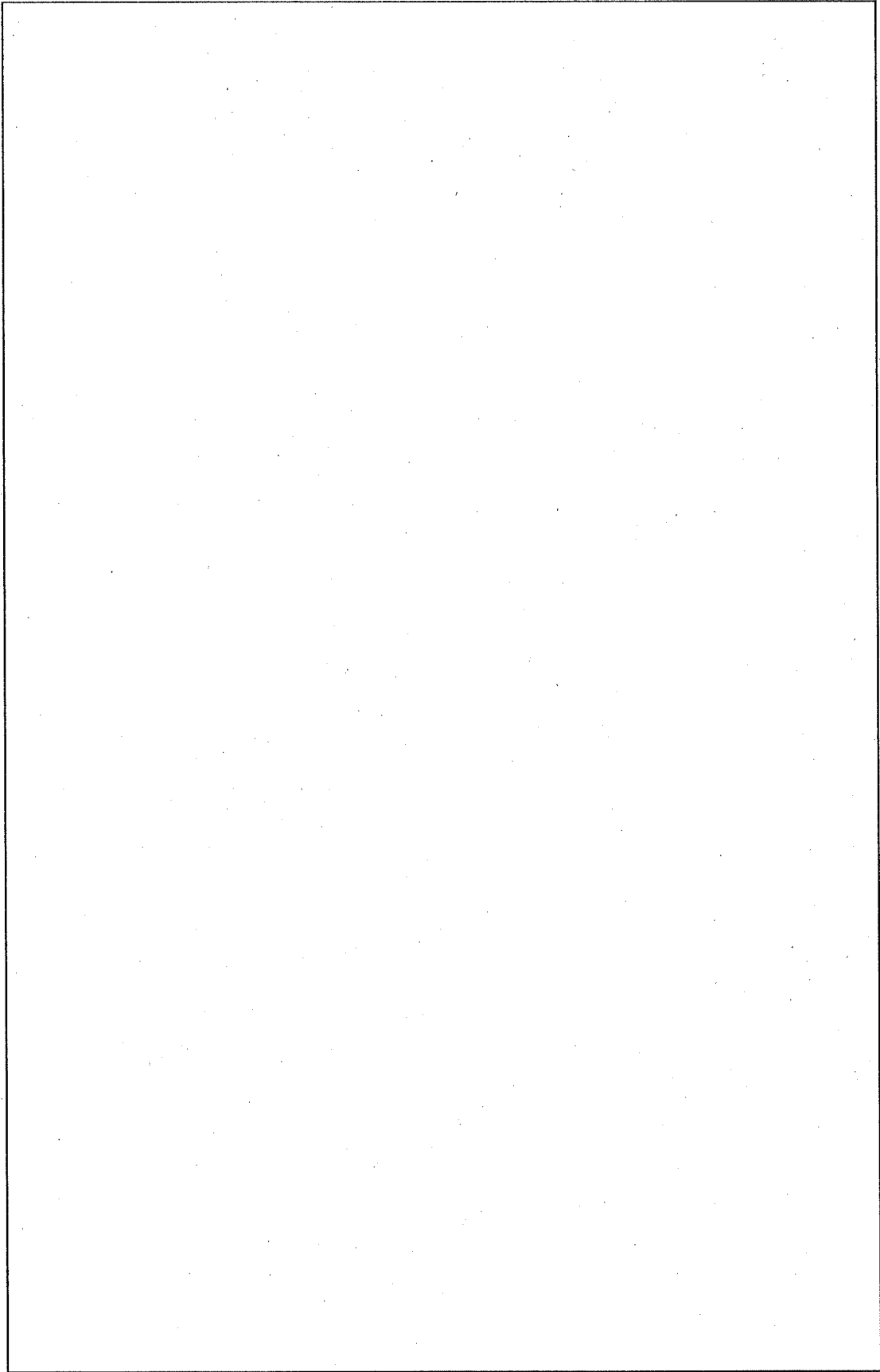
(ロ) - 第 A.101 図 容器本体・蓋の解析モデル



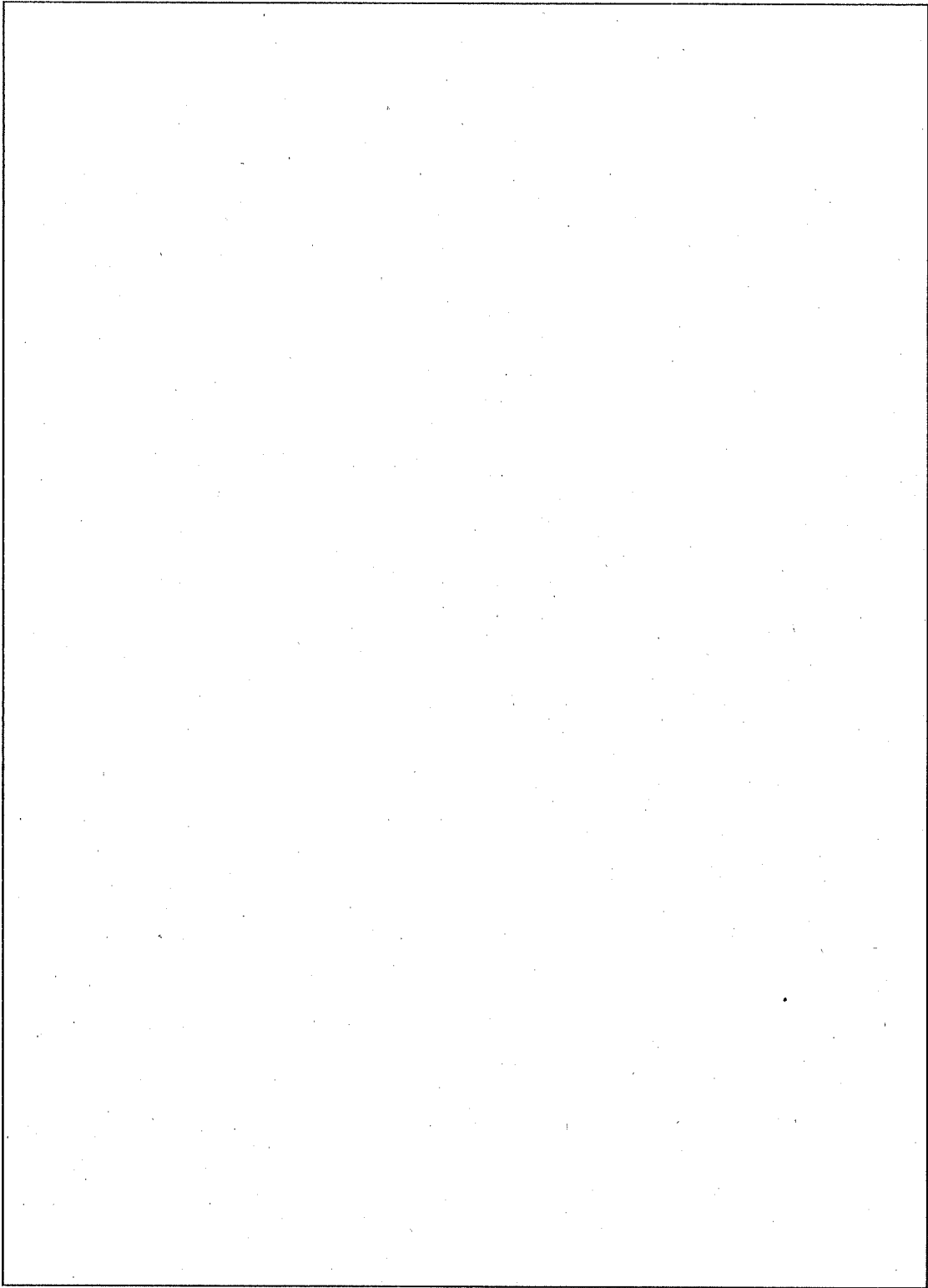
(ロ) - 第 A. 102 図 蓋締付用ボルトの解析モデル



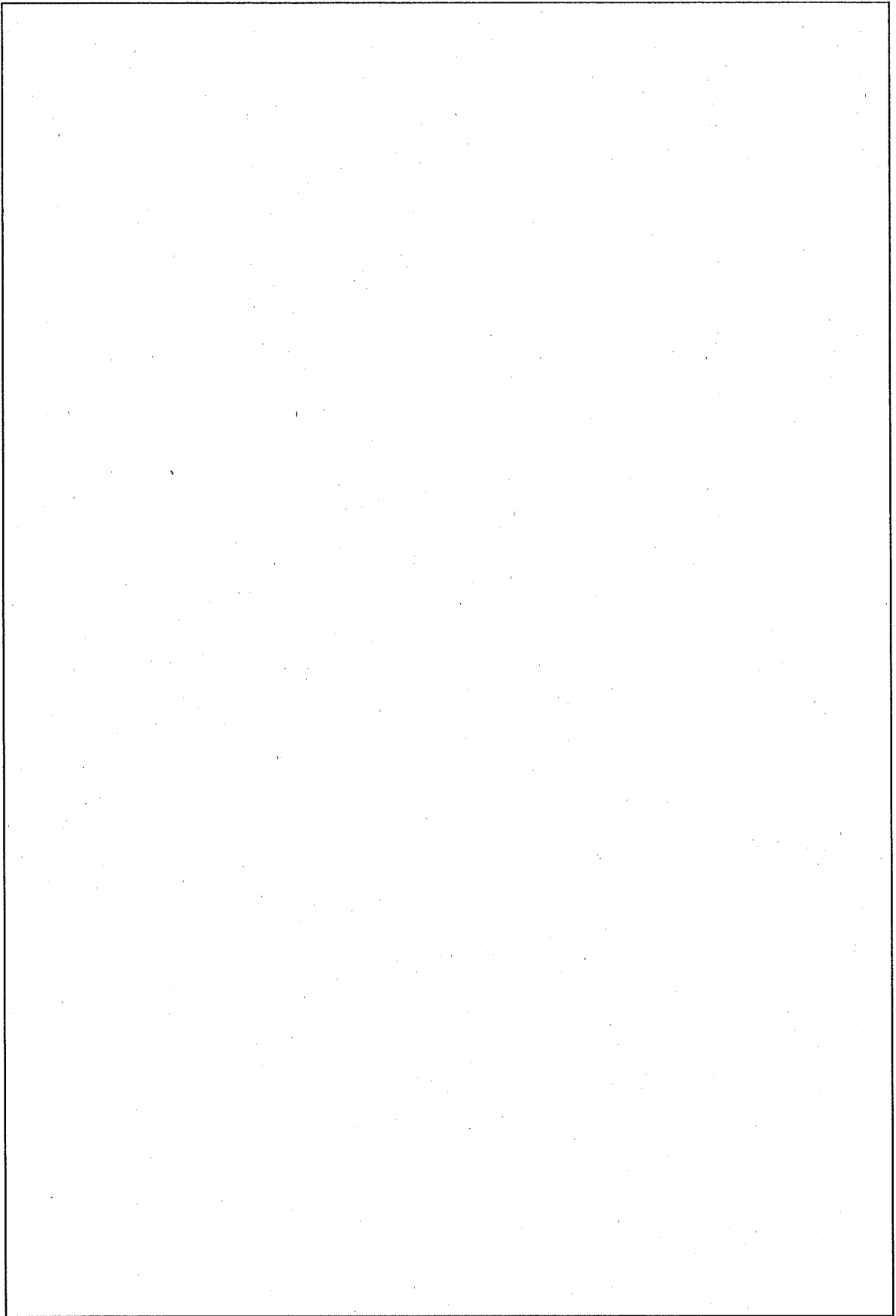
(口) - 第 A. 103 図 熱膨張による容器本体・蓋の変形図



(口) - 第 A. 104 図 容器本体・蓋に発生する熱応力分布 (応力強さ)



(口) - 第 A.105 図 蓋締付用ボルトに発生する熱応力分布 (引張応力)



(口) - 第 A.106 図 蓋部 Oリング

(口) - A-319

2. バスケット

容器本体とバスケットが干渉するためバスケットについて解析する。

バスケットの熱膨張及び熱応力についての解析は、(ロ)章 B. 熱解析によって求められた温度分布を使用し、バスケットの健全性について構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析する。

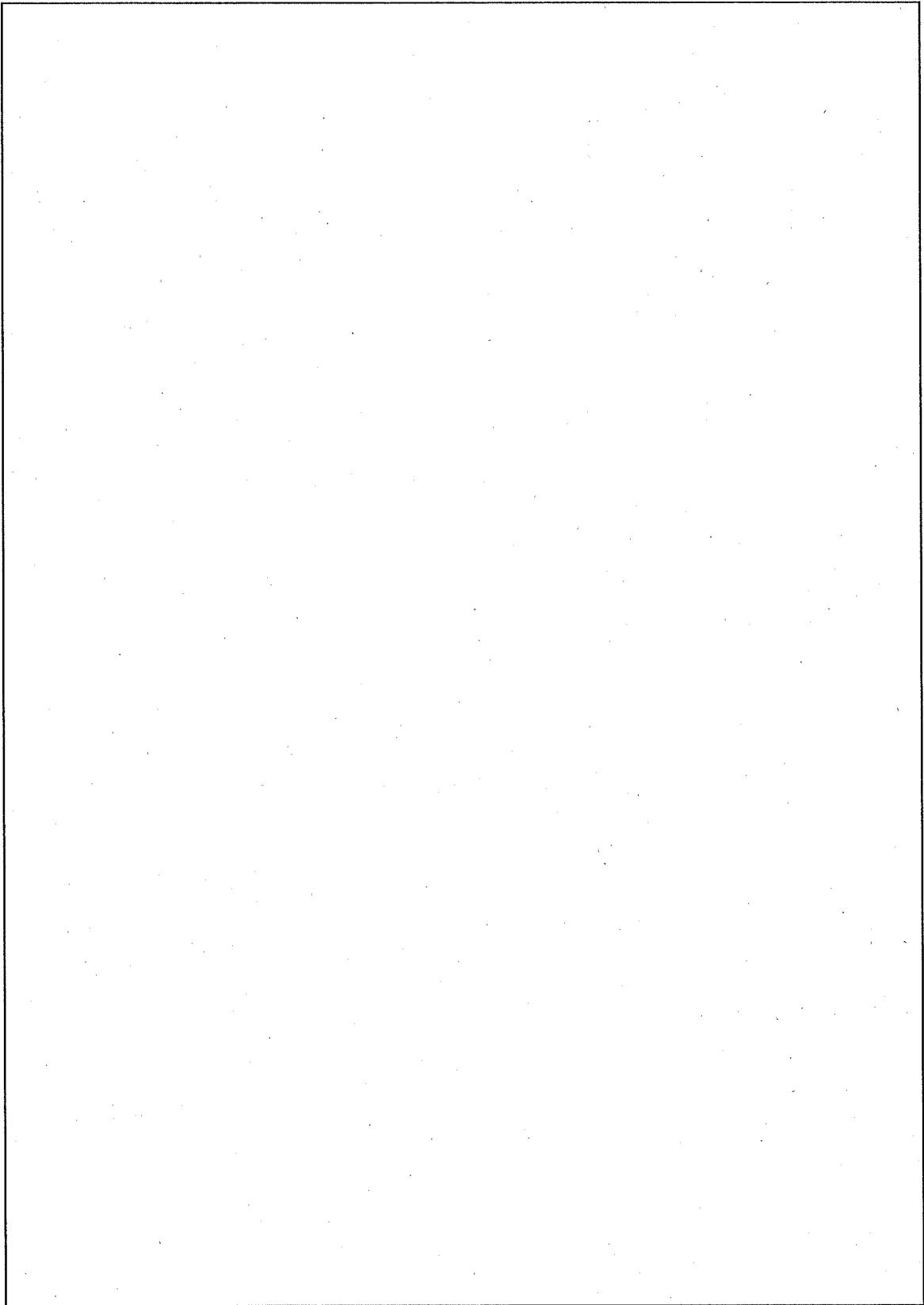
軸方向として仕切板・区切板の解析モデルを (ロ) - 第 A. 107 図に、径方向として枠組の解析モデルを (ロ) - 第 A. 108 図に示す。

解析条件を以下に示す。

- (1) 仕切板・区切板を 4 節点矩形シェル要素、枠組を 4 節点四辺平面応力要素を用いて分割する。(付属書類 A. 10.1 参照)
- (2) 温度分布は、温度勾配の大きいものを用いる。
- (3) 仕切板・区切板と枠組はボルトにて取り付けられ、軸方向は、長穴になっており仕切板・区切板と枠組は、互いに拘束されず個々に熱膨張をする。また、径方向は、仕切板・区切板と枠組の間には隙間を設けており、仕切板・区切板の熱膨張が枠組に伝わらない構造となっている。

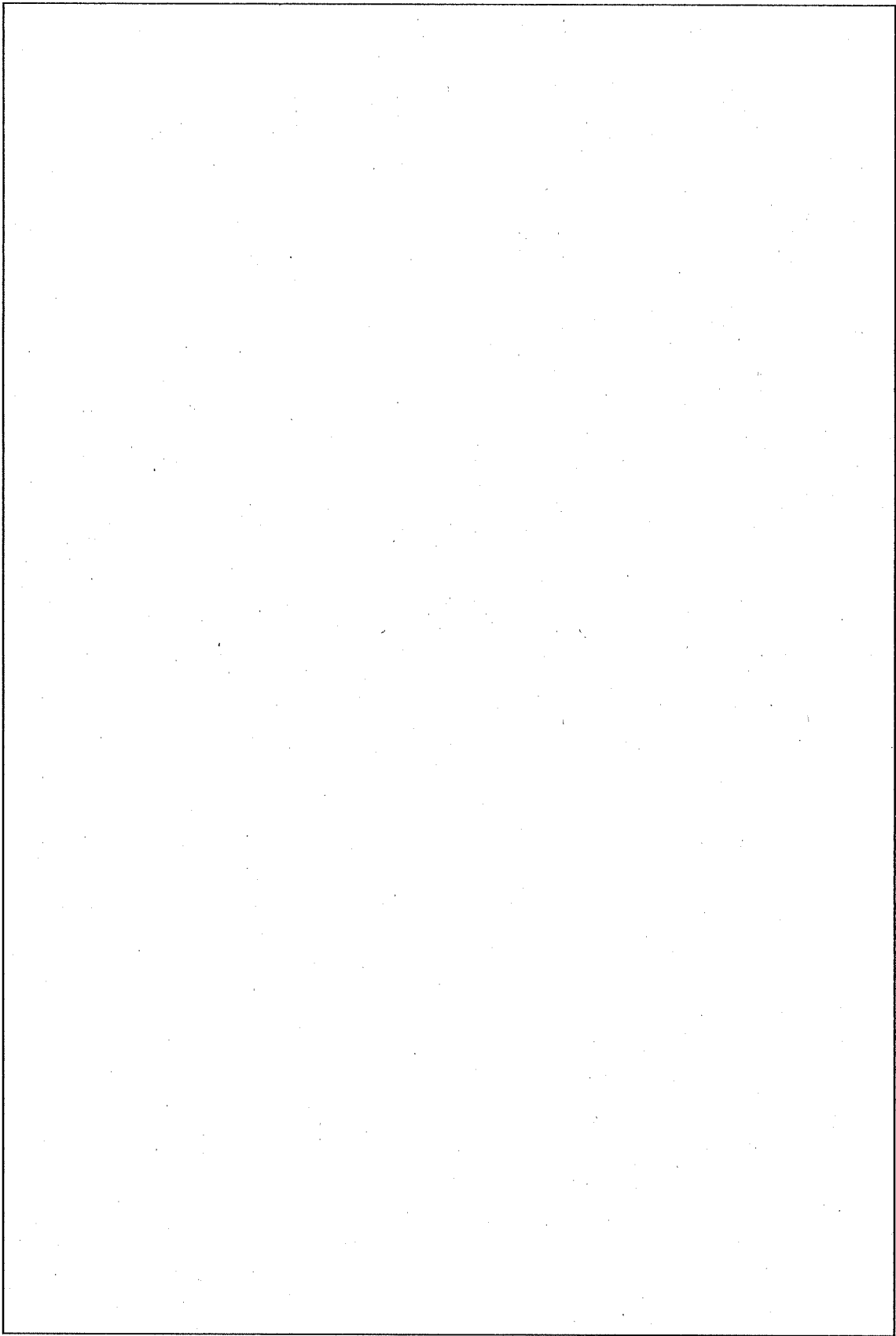
したがって、軸方向の熱膨張は、仕切板・区切板の方が枠組より大きいため仕切板・区切板で解析する。また、径方向の熱膨張は、枠組で解析する。

- (4) 枠組は、弾塑性解析を行う。



(ロ) - 第 A.107 図 仕切板・区切板の解析モデル

(ロ) - A-321



(ロ) - 第 A. 108 図 枠組の解析モデル

2.1 軸方向

熱膨張により、バスケットが容器本体・蓋で拘束されないことを解析し、そのときの熱応力を評価する。

(1) 熱膨張

軸方向の熱膨張は、仕切板・区切板の方が枠組より大きいいため、仕切板・区切板で解析する。

構造解析汎用計算コード ANSYS を用いて解析した結果、仕切板・区切板の軸方向の熱膨張後の寸法 (l_1) は

$$l_1 = \boxed{}$$

である。

また、容器本体・蓋の軸方向の熱膨張後の寸法 (L_1) は解析結果 ((口) - 第 A. 109 図 参照) から

$$L_1 = \boxed{}$$

である。

熱膨張による仕切板・区切板と容器本体・蓋との軸方向の隙間 (δ_1) は次式で表される。

$$\begin{aligned} \delta_1 &= L_1 - l_1 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

したがって、バスケットは容器本体・蓋で拘束されることはない。

熱膨張による仕切板・区切板と容器本体・蓋の軸方向の隙間を (口) - 第 A. 109 図に示す。

(2) 熱応力

仕切板・区切板に発生する熱応力分布を(口) - 第 A. 110 図に示す。

(口) - 第 A. 110 図から仕切板・区切板に発生する最大の応力強さ(S)は、
となる。

仕切板・区切板に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における特別の試験条件下の仕切板・区切板の解析結果の最高温度
(口) - 第 B. 21 表参照)を仕切板・区切板の温度と考え、安全側に
としたときの仕切板・区切板の部材(SUS)の設計応力強さ S_m
の 3 倍(3 S_m)を用いる。

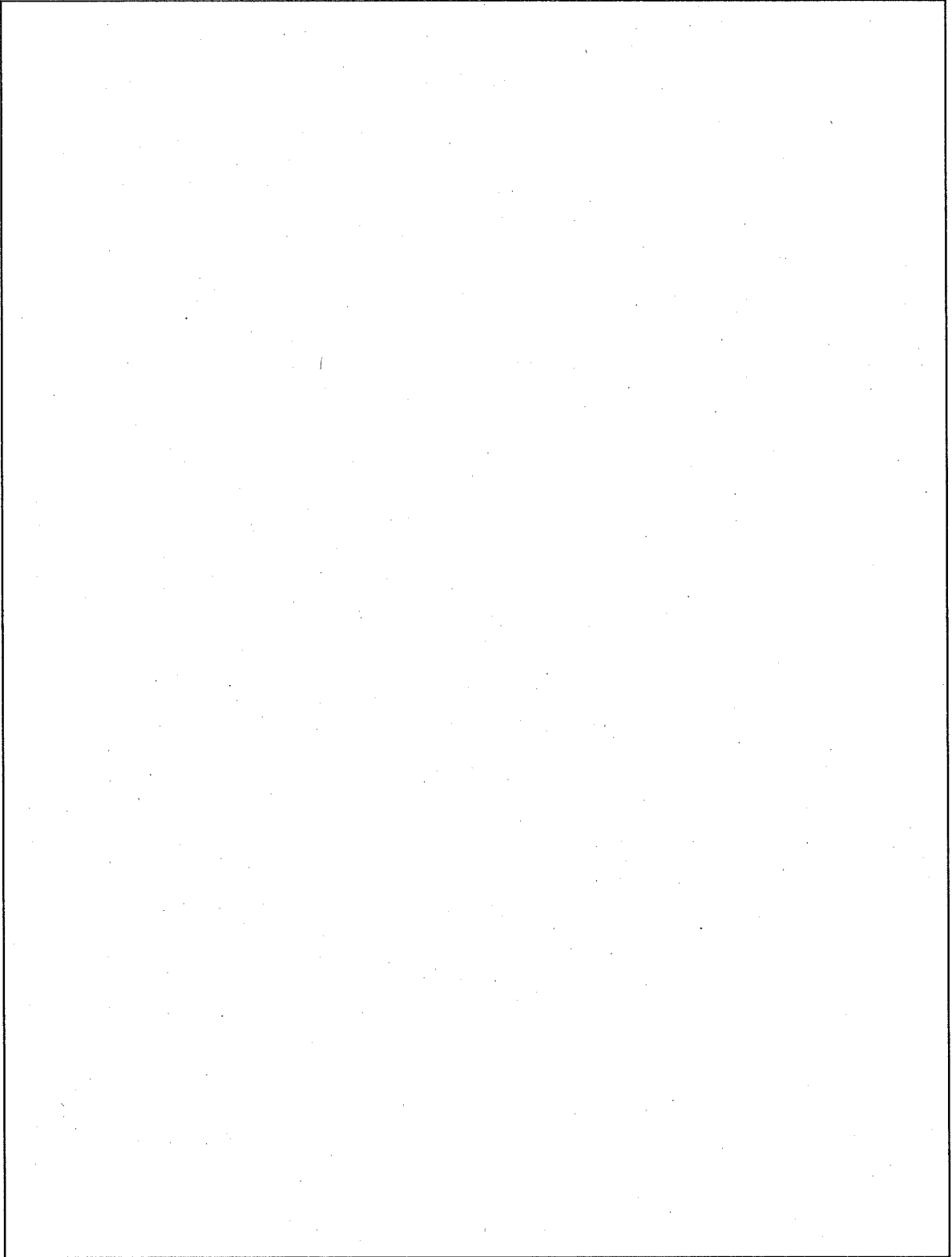
余裕率 MS は

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1$$

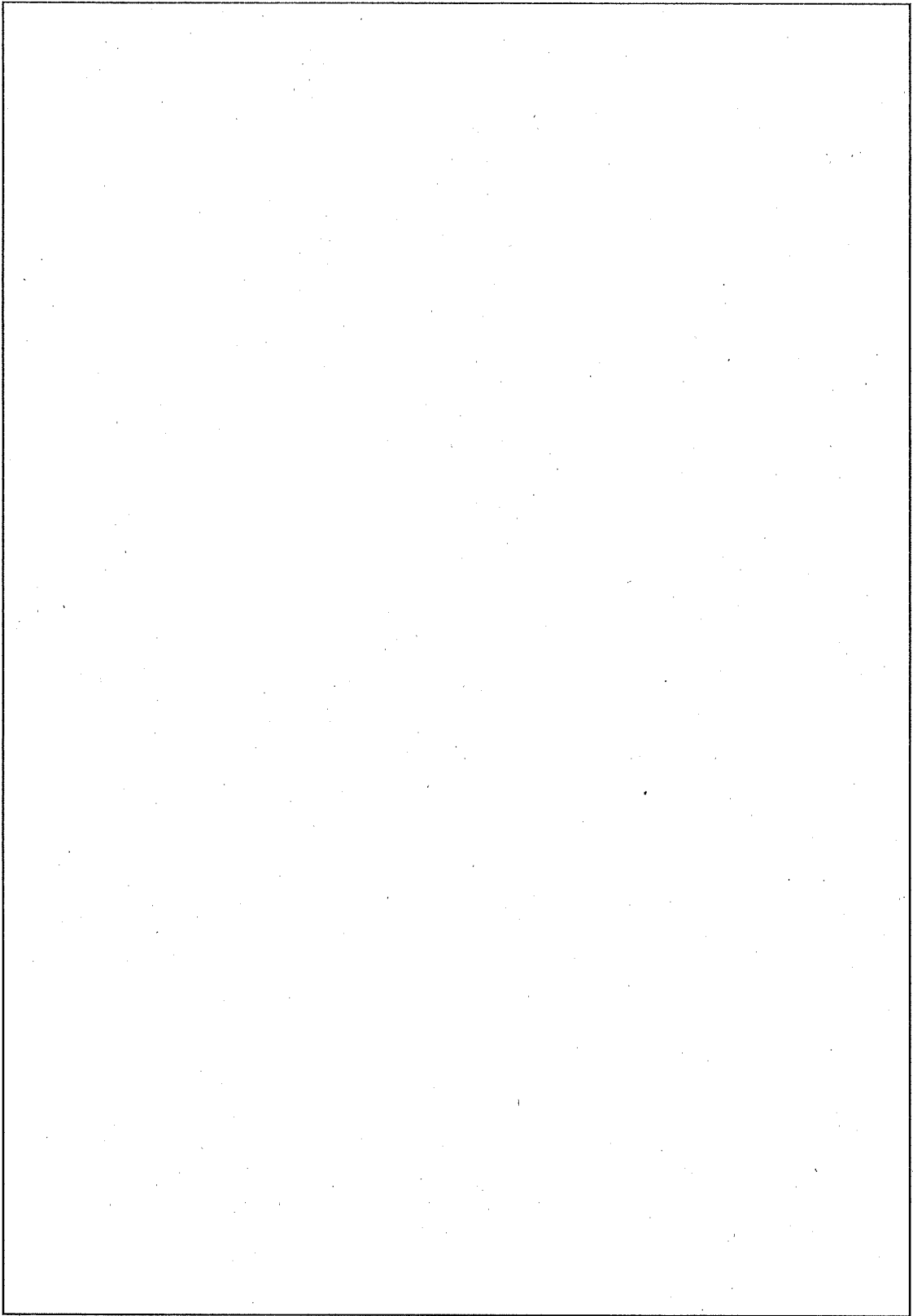
$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、仕切板・区切板は健全である。



(口) 一第 A. 109 図 熱膨張による仕切板・区切板と容器本体・蓋の軸方向の隙間



(口) - 第 A. 110 図 仕切板・区切板に発生する熱応力分布 (応力強さ)

2.2 径方向

容器本体とバスケットが干渉するためバスケットについて解析する。

熱膨張により枠組は容器本体に拘束されることを解析し、そのときの発生応力を評価する。

(1) 熱膨張

熱膨張による枠組の変形図を(口) - 第 A. 111 図に示す。

(口) - 第 A. 103 図から容器本体の径方向の熱膨張後の寸法(R_1)は、

$$R_1 = \boxed{} \text{ である。}$$

(口) - 第 A. 111 図から枠組の径方向の熱膨張後の寸法(r_1)は、

$$r_1 = \boxed{} \text{ である。}$$

容器本体とバスケット(J)の隙間(δ_2)は、次式で表される。

$$\delta_2 = R_1 - r_1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、バスケットは容器本体で拘束される。

(2) 発生応力

耐火試験後、枠組と容器本体は温度差が大となり両者は接触する。よって枠組の熱応力解析は次の様な軸断面モデルで行う。

解析モデルを (ロ) - 第 A. 112 図に、温度分布を (ロ) - 第 A. 113 図に示す。

解析においては、枠組の拘束力が最大となるように、容器本体の径方向の温度が最小となる温度分布を使用する。発生応力は、熱応力と熱膨張によるバスケットと容器内胴との接触による接触応力との和である。

したがって、枠組の解析には熱応力と接触応力とを考慮する。

枠組に発生する応力分布を (ロ) - 第 A. 114 図に示す。

(ロ) - 第 A. 114 図から枠組に発生する最大の応力強さ (S) は、

枠組に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ) 章 B. 熱解析における特別の試験条件下の枠組の解析結果の最高温度 ((ロ) - 第 B. 21 表参照) を枠組の温度と考え、安全側に としたときの枠組の部材 (SUS) の設計応力強さ S_m の 3 倍 (3S_m) を用いる。

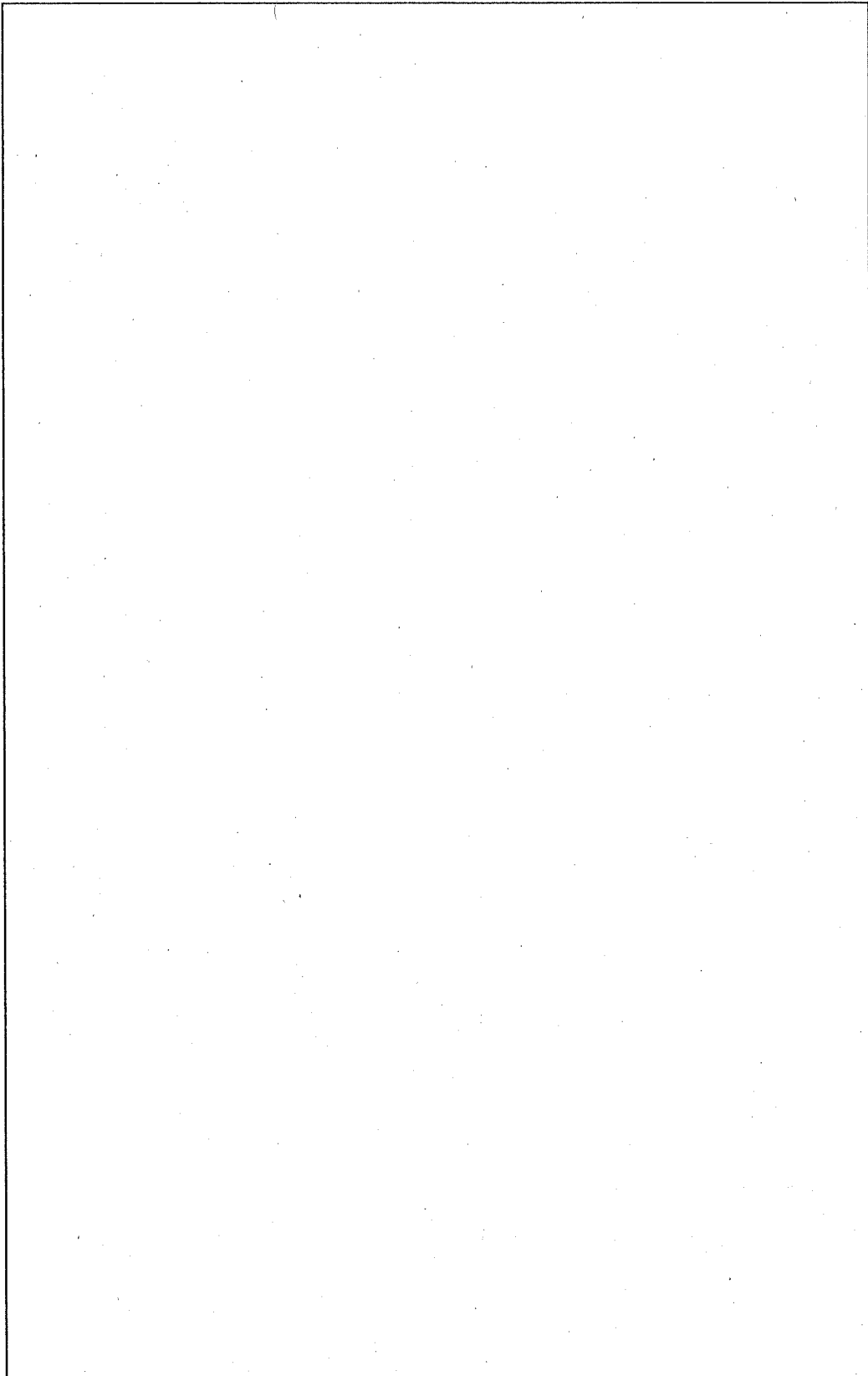
余裕率 MS は

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1$$

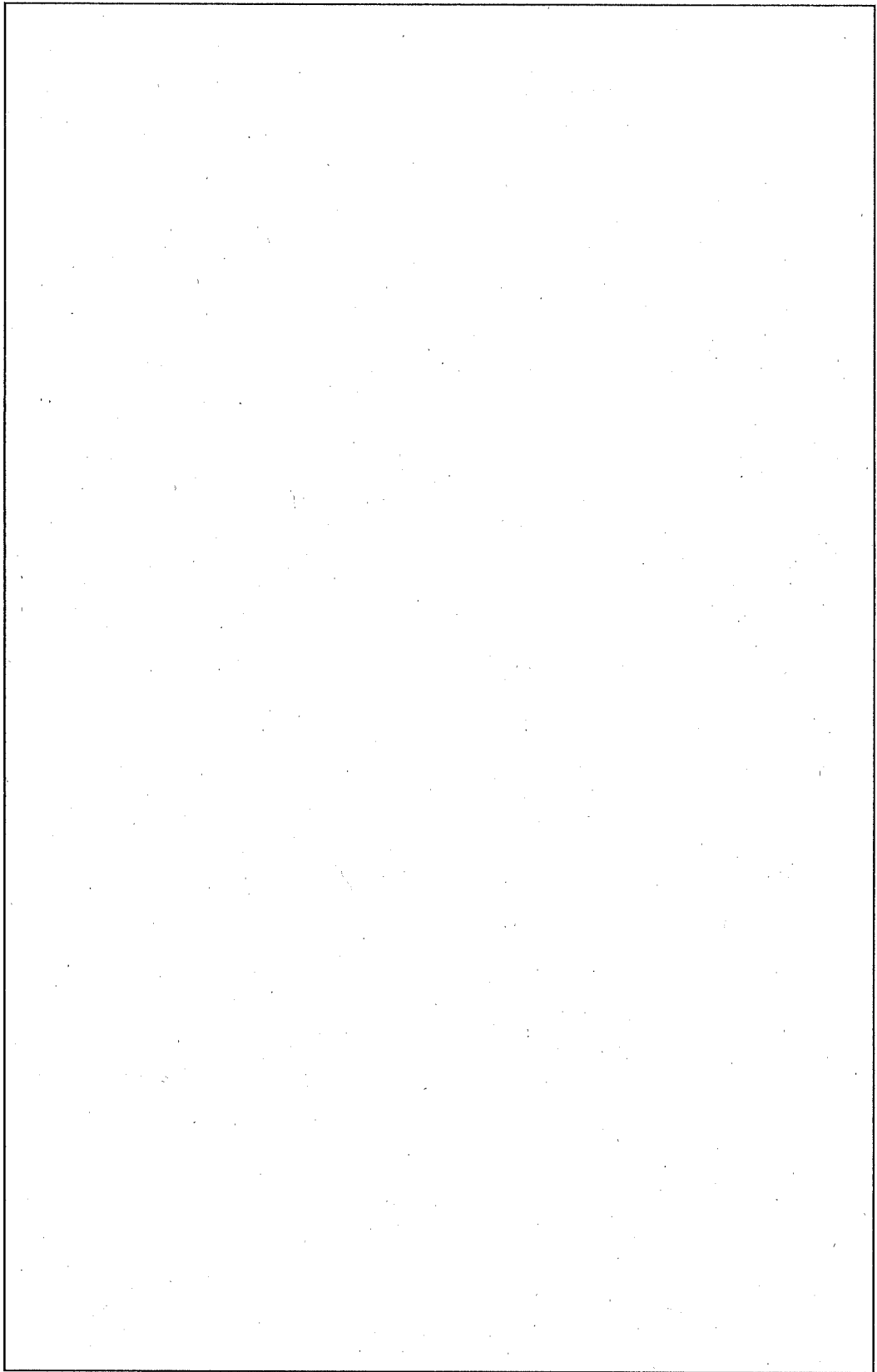
$$= \text{$$

$$= \text{$$

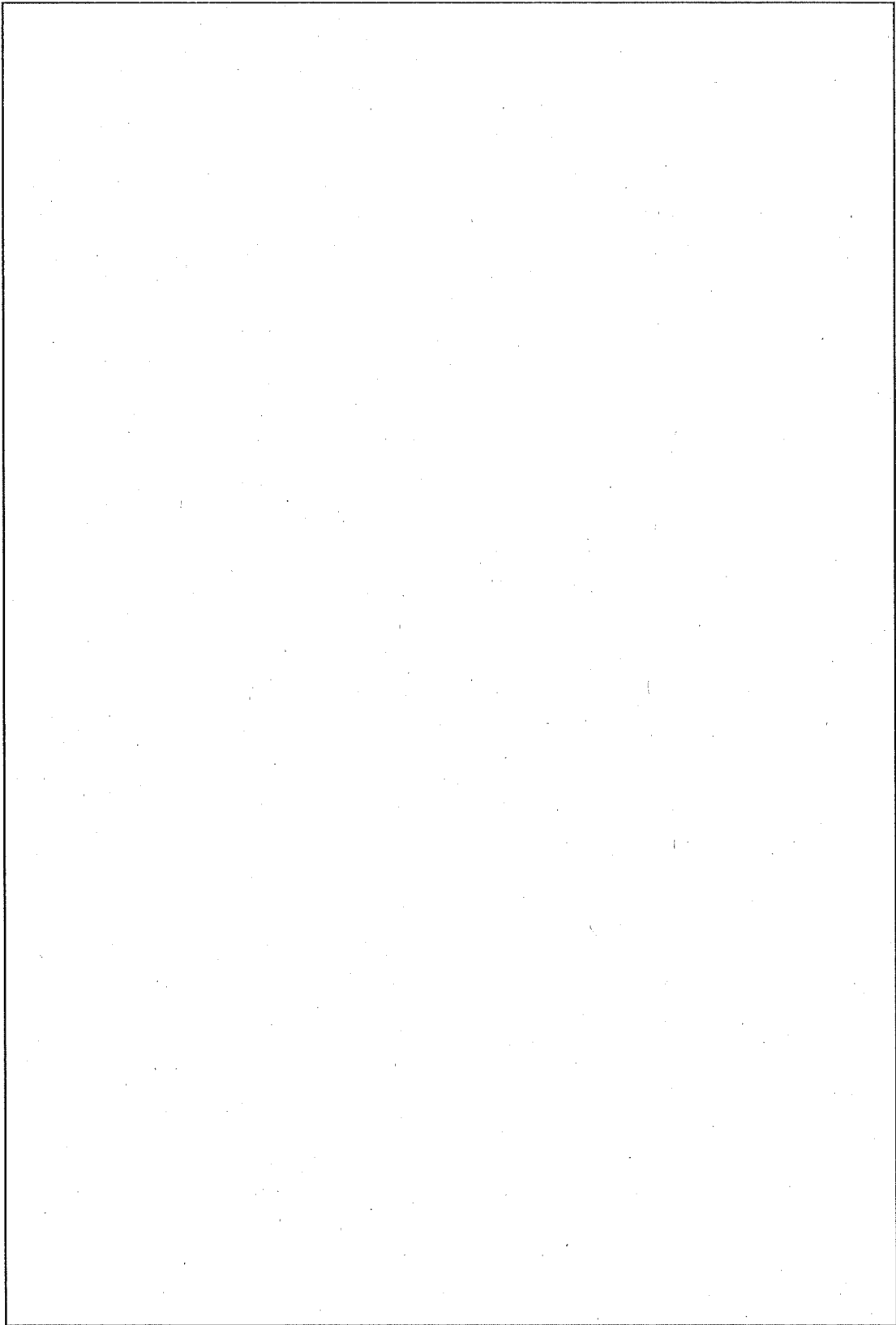
となる。したがって、枠組は健全である。



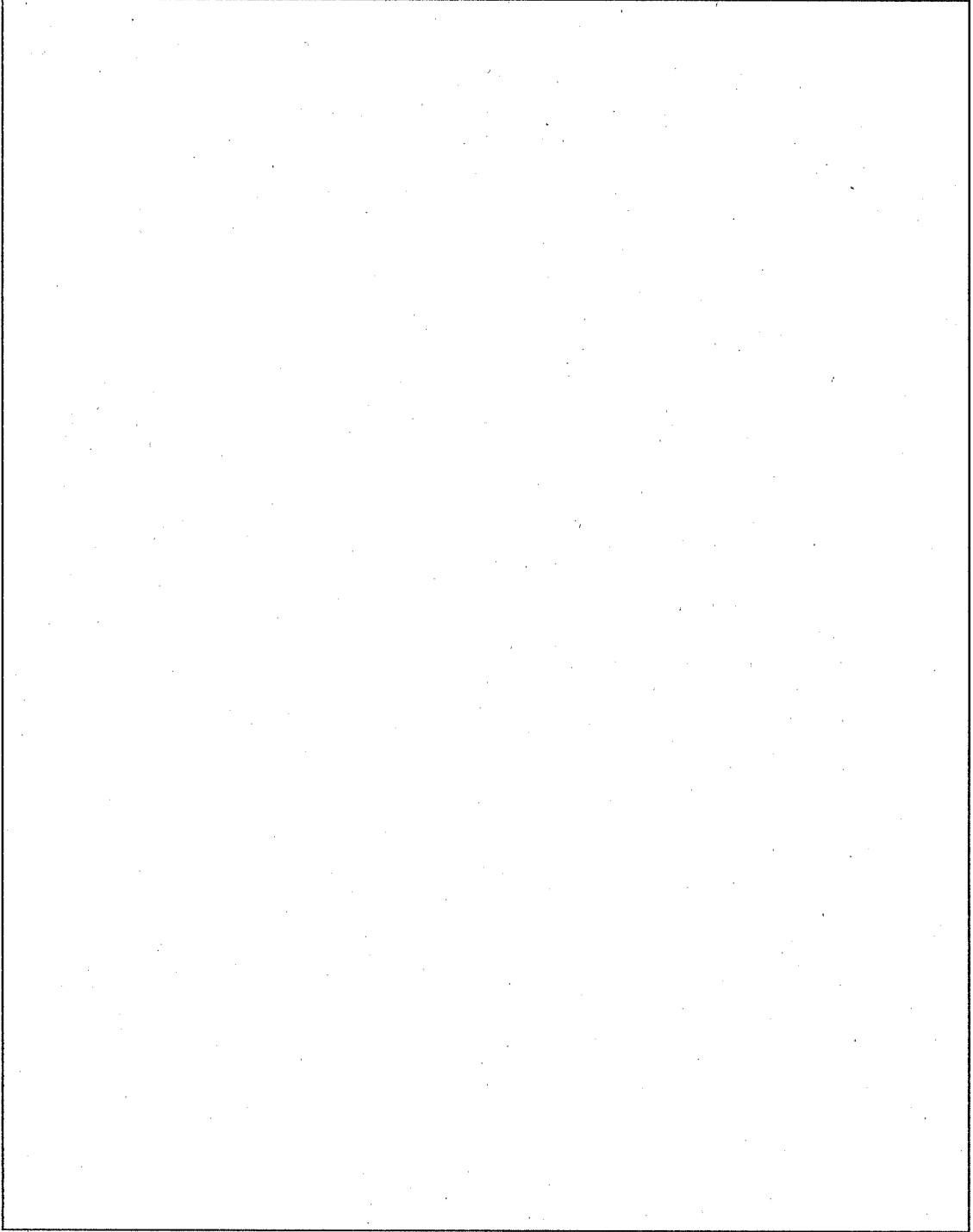
(口) - 第 A. 111 図 断面 A-A における熱膨張による枠組の変形図



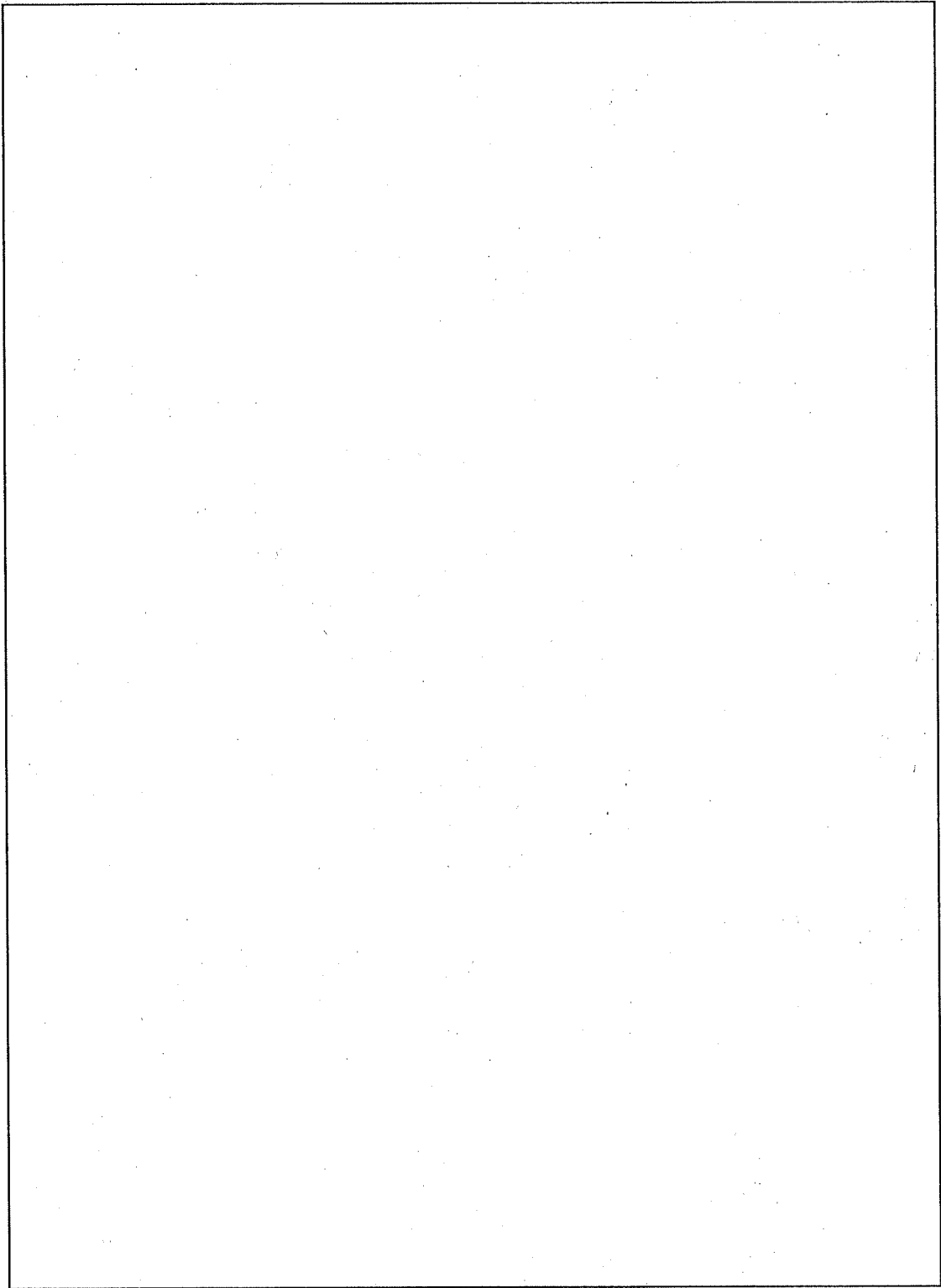
(ロ) - 第 A. 112 図 解析モデル



(口) - 第 A. 113 図 容器本体・蓋の温度分布 (その 1)



(ロ) - 第 A.113 図 枠組温度分布 (その 2)



(口) - 第 A. 114 図 枠組に発生する応力分布 (応力強さ)

3. 隙 間

バスケットの隙間を求める場合、容器本体は、収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の収納時で、かつ、火災発生[]の輸送容器が横置き状態とし、バスケットについては、JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時で、かつ、火災発生後の容器本体・蓋の内面最高温度を境界条件として計算したバスケット最高温度とする。

特別の試験条件下における燃料装荷前及び燃料装荷後(定常時)の隙間を (ロ) ー第 A.22 表に示す。

(ロ) ー第 A.22 表 特別の試験条件下における燃料装荷前
及び燃料装荷後(定常時)の隙間

(単位: mm)

位置 方向	燃 料 装 荷 前			燃 料 装 荷 後 (定常時)		
	容器本体・ 蓋	バスケット	隙 間	容器本体・ 蓋	バスケット	隙 間
軸方向						
径方向 (半 径)						

A. 6. 3. 3 許容応力との比較

1. 発生応力と許容応力との比較を (口) - 第 A. 23 表に示す。

本項で用いる設計基準の記号は、次のとおりである。

Sm : 設計応力強さ

Sy : 降伏応力

Su : 引張強さ

2. 輸送物は、耐火試験の後、 -40°C の環境下におかれたとしても、ステンレス鋼を使用している蓋締付用ボルト (SUS) の耐火試験時の最高温度は ((口) - 第 B. 21 表参照) であり、構造材の熱処理温度を十分下回っているので構造材の機械的性質の低下はない。

したがって、A. 4. 2 低温強度で記述したように、輸送物の健全性は損なわれない。

(ロ) - 第 A.23 表 許容応力との比較 (1/7)

条 件	解 析 項 目	設 計 基 準	設 計 基 準 値 (N/mm ²)	解 析 結 果 (N/mm ²)	余 裕 率 (MS)	備 考
一 般 の 試 験 条 件	A.5.2 水噴霧	表面は滑らかに仕上げられており水の溜まらない構造となっているため水切りがよい。 また、ステンレス鋼を使用しているため耐食性は十分であり、特別の試験条件である浸漬試験においても密封性が維持されているので水噴霧により密封性が損なわれることはない。				
	A.5.3 自由落下	特別の試験条件（落下試験 I）において、より厳しい条件で解析しているので本条件下において強度を有する。				
	A.5.4 積み重ね試験 容器本体胴部 蓋	Sy				
		Sy				
	A.5.5 貫 通	緩衝体表面 被覆材の 最小厚み			貫通 しない	

(ロ) - 第 A.23 表 許容応力との比較 (2/7)

条 件	解 析 項 目	設 計 基 準	設 計 基 準 値 (N/mm ²)	解 析 結 果 (N/mm ²)	余 裕 率 (MS)	備 考
特 別 の 試 験 条 件	A.6 特別の試験条件					
	A.6.1					
	強度試験落下試験 I (9m落下時)					
	A.6.1.1 垂直落下					
	1. 容器本体胴部	Su				
	2. 蓋					
	2.1 蓋	Su				
	2.2 蓋部Oリング	δ a				
	3. 蓋締付用ボルト	Sy				
	4. バスケット					
	4.1 枠組	0.7Su				
	4.2 仕切板・区切 板	0.7Su				
	5. 収納物					
	5.1 収納物 (JMTR・JRR-3*)					
	5.1.1 標準燃料要素					
	(1) JMTR					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Fa				
	(2) JRR-3*					
	1) 側板	Su				
2) 燃料板	Fa					

*: 収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の収納時

(ロ) - 第 A. 23 表 許容応力との比較 (3/7)

条 件	解 析 項 目	設 計 基 準	設 計 基 準 値 (N/mm ²)	解 析 結 果 (N/mm ²)	余 裕 率 (MS)	備 考
特 別 の 試 験 条 件	5.1.2 燃料フォロワ					
	(1) JMTR					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Fa				
	(2) JRR-3*					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Fa				

*: 収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の収納時

(ロ) - 第 A.23 表 許容応力との比較 (4/7)

条件	解析項目	設計基準	設計基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (MS)	備考
特 別 の 試 験 条 件	6. ドレン弁及び ベントプラグ					
	6.1 ドレン弁	Sy				
	6.2 ベントプラグ	Sy				
	A.6.1.2 水平落下					
	1. 容器本体胴部	Su				
	2. バスケット					
	2.1 仕切板・区切板					
	2.1.1					
	0° 方向水平落下	0.7Su				
	2.1.2					
	36° 方向水平落下	0.7Su				
	2.1.3					
	90° 方向水平落下	0.7Su				
	2.2 枠組					
	2.2.1					
	0° 方向水平落下	0.7Su				
2.2.2						
90° 方向水平落下	0.7Su					
3. 収納物						
3.1 収納物 (JMTR・JRR-3*)						
3.1.1 標準燃料要素						
(1) JMTR						
1) 側板	Su					
2) 燃料板	Su					

*: 収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の収納時

(ロ) - 第 A. 23 表 許容応力との比較 (5/7)

条 件	解 析 項 目	設 計 基 準	設 計 基 準 値 (N/mm ²)	解 析 結 果 (N/mm ²)	余 裕 率 (MS)	備 考
特 別 の 試 験 条 件	(2) JRR-3*					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Su				
	3. 1. 2 燃料フォロー					
	(1) JMTR					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Su				
	(2) JRR-3*					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Su				
	4. ドレン弁及び ベントプラグ					
	(1) ドレン弁 締付ボルト	Sy				
	(2) ベントプラグ ねじ部	Sy				

*: 収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の収納時

(ロ) - 第 A. 23 表 許容応力との比較 (6/7)

条件	解析項目	設計基準	設計基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (MS)	備考
特別の試験条件	A. 6. 1. 3 コーナー落下					
	1. 蓋締付用ボルト	Sy				
	蓋部Oリング	δ a				
	2. ドレン弁及び ベントプラグ	特別の試験条件(落下試験 I)の垂直落下、水平落下において、より厳しい条件で解析しているため本条件において強度を有する。				
	A. 6. i. 4 傾斜落下	特別の試験条件(落下試験 I)の垂直落下、水平落下、コーナー落下において、より厳しい条件で解析しているため本条件において強度を有する。				
試験条件	A. 6. 2 強度試験落下試験 II (1m落下時)					
	1. 垂直落下					
	1) 蓋	Su				
	2. 水平落下					
	1) 容器本体胴部	Su				

(ロ) - 第 A.23 表 許容応力との比較 (7/7)

条 件	解 析 項 目	設 計 基 準	設 計 基 準 値 (N/mm ²)	解 析 結 果 (N/mm ²)	余 裕 率 (MS)	備 考
特 別 の 試 験 条 件	A.6.3 熱的試験					
	1. 熱応力					
	容器本体・蓋	3Sm				
	蓋締付用ボルト	Sy				
	バスケット					
	仕切板・区切板	3Sm				
	枠組	3Sm				
	蓋部Oリング	δ a				

A.6.4 浸漬

輸送容器が 15m の水深下(150kPa の外圧に相当)に 8 時間置かれた場合、密封性が維持されることを示す。

蓋、ベントプラグ及びドレン弁に使用している Oリングは、製で内外圧に対しても同等の密封性が確保できる断面形状である。

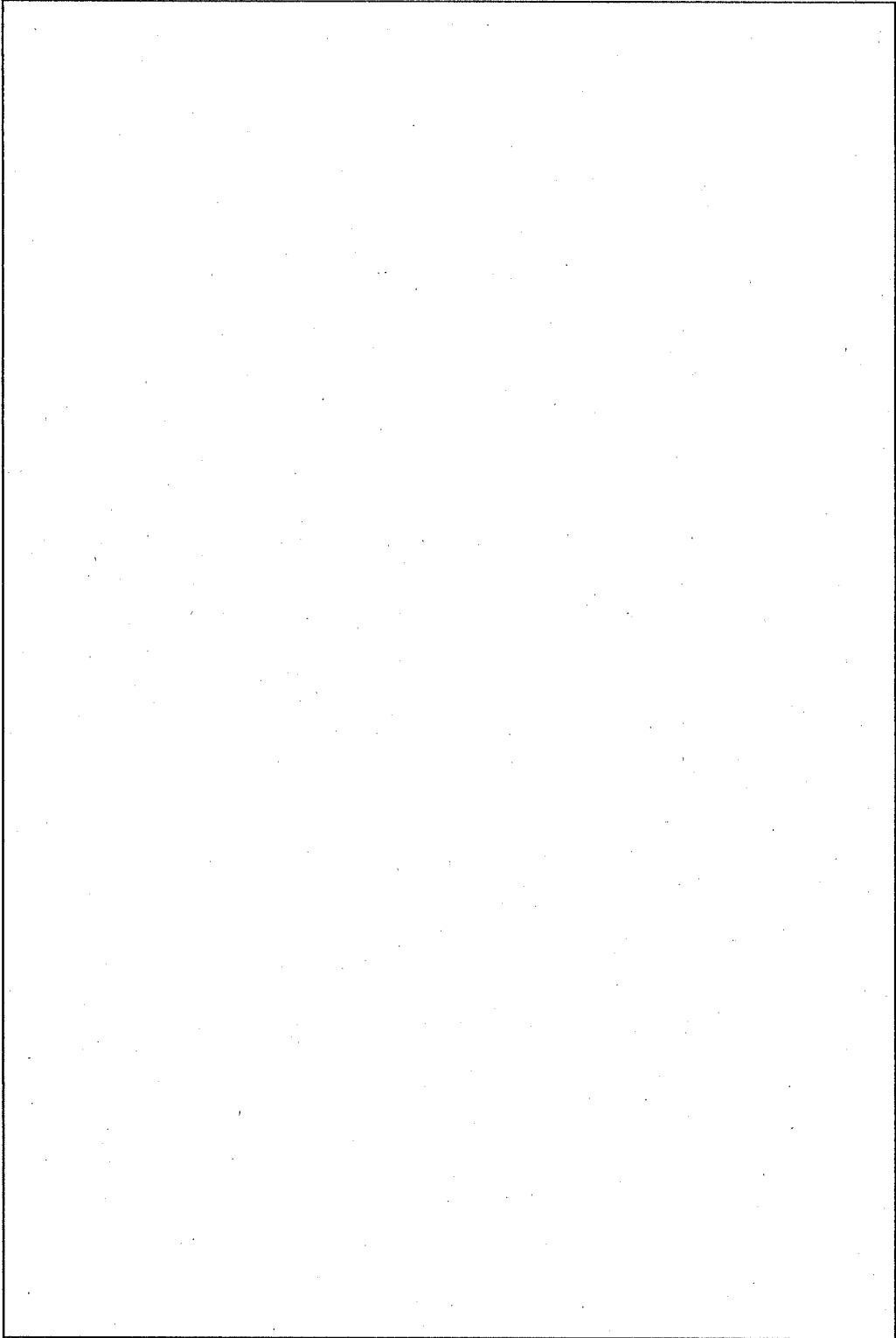
完成時、輸送容器は、1MPa 以上の圧力で水圧試験を行い、輸送物の発送前には、密封境界部について以上の圧力で気密漏えい検査を行い、密封性を確認する。したがって、150kPa の外圧にも十分耐え、密封性は維持される。

輸送容器の密封境界を (口) - 第 A.115 図に示す。密封装置は、蓋・容器本体、ベントプラグ及びドレン弁である。各主要部品が水深 15m 相当の外圧 150kPa を受けた場合の応力を計算し、その値が材料の降伏応力以下であることを示す。

以下に解析項目を示す。

1. 容器本体胴部
2. 蓋
3. 底
4. 蓋締付用ボルト
5. ベントプラグ
6. ドレン弁

なお、輸送容器に装荷する収納物の放射能は A2 値の 10 万倍を超えることはないため、200m 浸漬試験は該当しない。



(口) - 第 A. 115 図 輸送容器の密封境界

1. 容器本体胴部

外圧を受ける容器本体胴部の解析モデルを(口) - 第 A. 116 図に示す。内圧を安全側に無視すると、応力強さ(S) が最大となるのは で、それは次式で表される。

$$S = |2\tau|$$

$$= |\sigma_t - \sigma_r|$$

$r = \text{}$ のとき S は最大となるので、 $\sigma_r = \text{}$

$$S = \left| \frac{2(P_1 - P_2)b^2}{b^2 - a^2} \right| \quad (20) \text{ として計算する}$$

ここで、

τ : 主せん断応力

P_1 : 内圧 0 kPa

P_2 : 外圧 150 kPa (=0.15N/mm²)

a : 容器本体半径

b : 容器本体外半径

r : 半径

$$S = \text{$$

$$= \text{$$

容器本体胴部に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部の解析結果の最高温度 ((口) - 第 B. 15 表参照) を容器本体胴部の温度と考え、安全側に としたときの容器本体胴部の部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

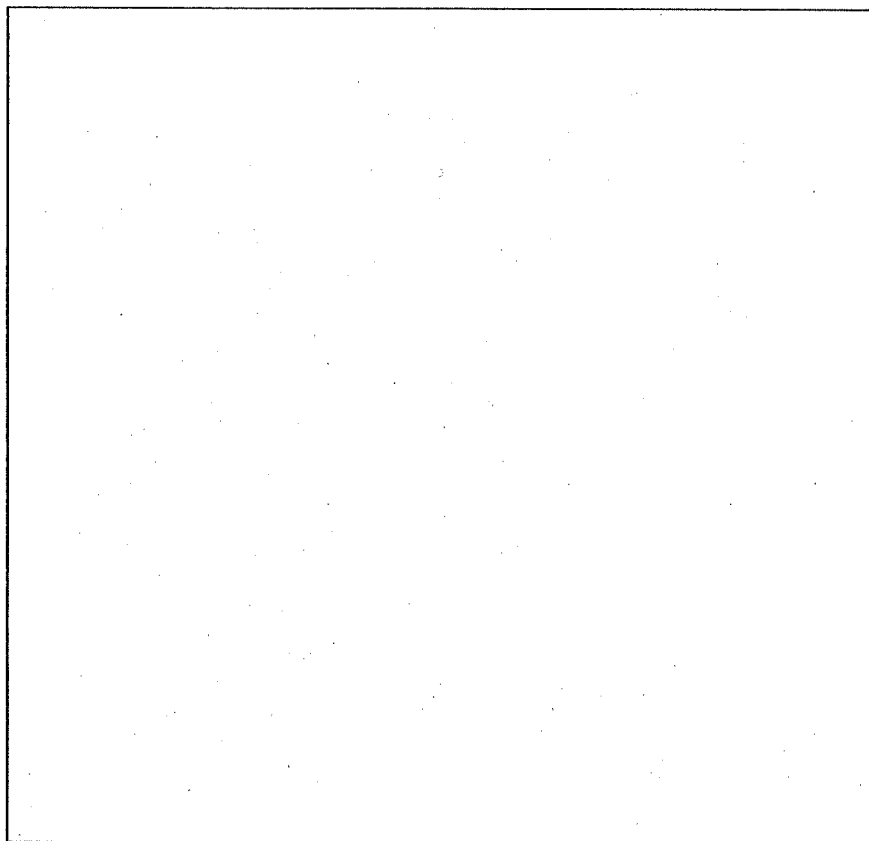
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、容器本体胴部は健全である。



(ロ) - 第 A. 116 図 容器本体胴部の解析モデル

2. 蓋

蓋は、外周単純支持の円板とする。蓋の解析モデルを(ロ)－第A.117図に示す。応力強さ(S)の最大が発生するのは[]で、その値は次式で表される。

$$S = | \sigma_r - \sigma_z |$$

$$r = [] \text{ のとき } S \text{ は最大となるので、} \sigma_z = []$$

$$S = \left| - \frac{3P \cdot a^2}{8h^2} (3+\nu) \right|^{(21)} \text{ として計算する。}$$

ここで、

P : 圧力 150 kPa (=0.15N/mm²)

a : 蓋の半径 []

ν : ポアソン比 []

r : 半径 []

h : 厚さ []

$$S = []$$

$$= []$$

蓋に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B.熱解析における通常輸送時の蓋の解析結果の最高温度[]((ロ)－第B.15表参照)を蓋の温度と考え、安全側に[]としたときの蓋の部材(SUS[])の降伏応力 S_y []を用いる。

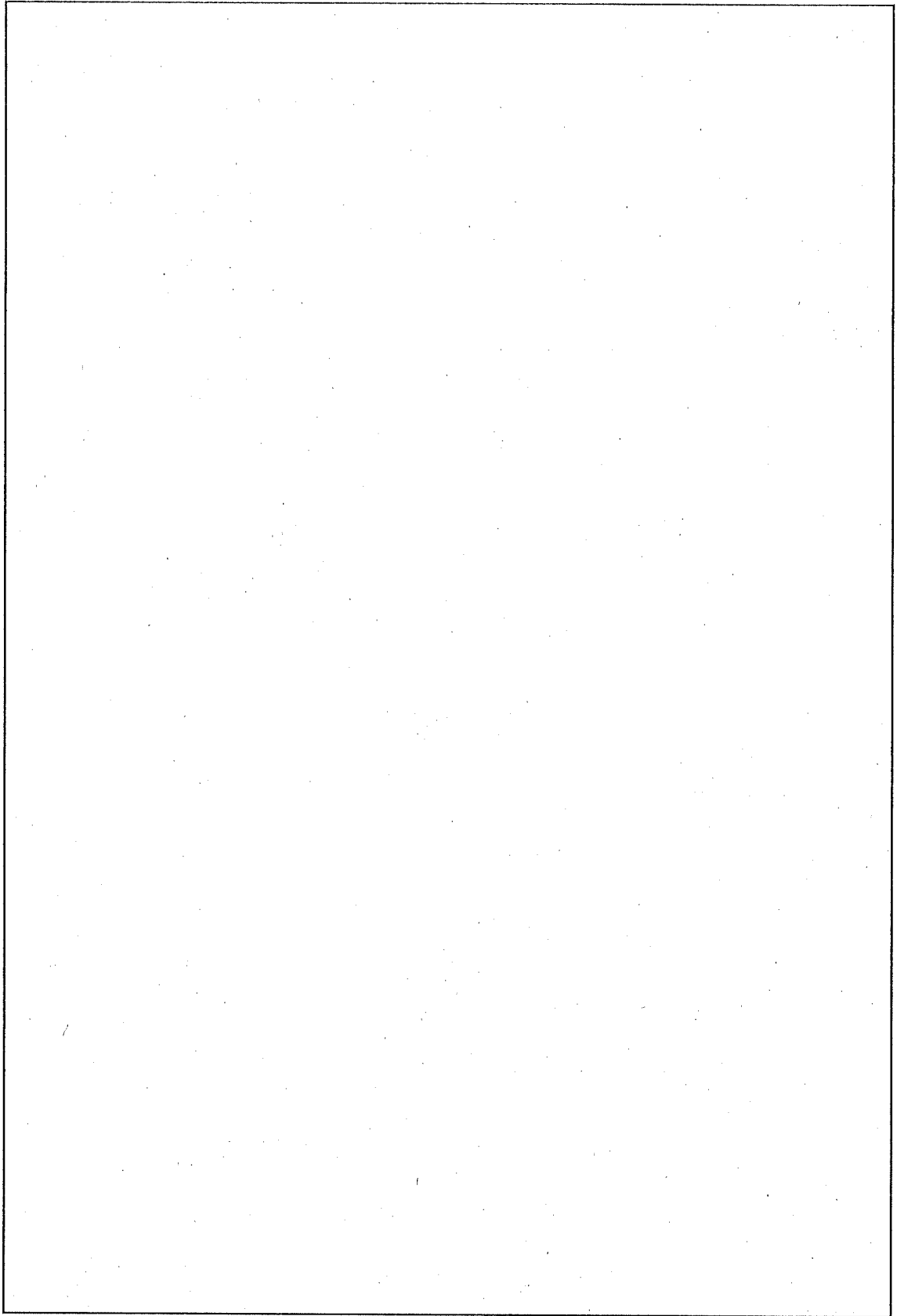
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= []$$

$$= []$$

となる。したがって、蓋は健全である。



(ロ) - 第 A. 117 図 蓋の解析モデル

3. 底

底は、外周固定の円板とする。底の解析モデルを(口) - 第 A. 118 図に示す。応力強さ (S) の最大値が発生するのは、でその値は次式で表される。

$$S = | \sigma_r - \sigma_z |$$

$$r = \text{} \text{ のとき } S \text{ は最大となるので、 } \sigma_z = \text{}$$

$$S = \left| - \frac{3P \cdot a^2}{8h^2} \{ (1+\nu) - (3+\nu) \} \right| \text{ (21) として計算する。}$$

ここで、

P : 圧力 150 kPa (=0.15N/mm²)

a : 底の半径

ν : ポアソン比

r : 半径

h : 底の厚さ

$$S = \text{$$

$$= \text{$$

底に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴内面 (下面) の解析結果の最高温度 ((口) - 第 B. 15 表参照) を底の温度と考え、安全側に としたときの底の部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

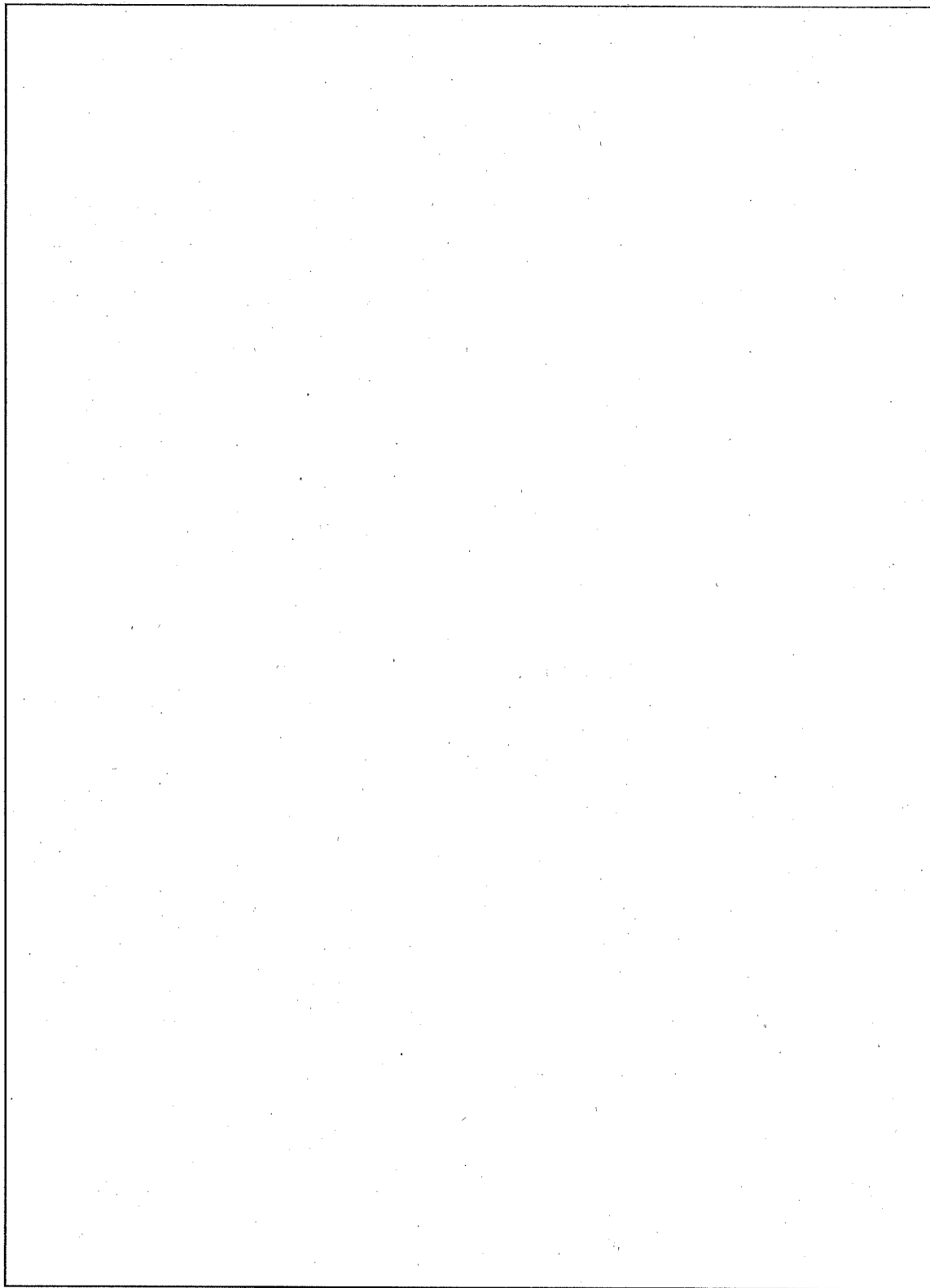
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、底は健全である。



(ロ) - 第 A. 118 図 底の解析モデル

4. 蓋締付用ボルト

外圧が働いた場合、蓋締付用ボルトに発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = |\sigma_1 - \sigma_P|$$

ここで、

σ_1 : 初期締付力による応力

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

F : 初期締付力 (付属書類 A.10.7 参照)

A : 蓋締付用ボルト 1本の断面積

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

d : 蓋締付用ボルト の谷径

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\sigma_1 = \text{$$

$$= \text{$$

σ_P : 外圧による応力

150 kPa (=0.15N/mm²)

$$S = \text{$$

$$= \text{$$

蓋締付用ボルトに発生する応力に対する設計基準値としては、(口)章 B.熱解析における通常輸送時の蓋締付用ボルトの解析結果の最高温度 ((口) - 第 B.15.表参照) を蓋締付用ボルトの温度と考え、安全側に としたときの蓋締付用ボルトの部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{Sy}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、蓋締付用ボルトは健全である。

5. ベントプラグ

ベントプラグの解析モデルを(口) - 第 A.119 図に示す。2. と同様に外周単純支持の円板とする。最大の応力強さ(S)は[]に発生し、その値は次式で表される。

$$S = | \sigma_r - \sigma_z |$$

$$r = [] \text{ のとき } S \text{ は最大となるので、 } \sigma_z = []$$

$$S = \left| - \frac{3P \cdot a^2}{8h^2} (3 + \nu) \right| \text{ (21) として計算する。}$$

ここで、

P : 圧力	150 kPa (=0.15N/mm ²)
a : 半径	[]
ν : ポアソン比	[]
r : 半径	[]
h : 最小厚さ	[]

$$S = []$$

$$= []$$

ベントプラグに発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時のベントプラグの解析結果の最高温度[]((口) - 第 B.15 表参照) をベントプラグの温度と考え、安全側に[]としたときのベントプラグの部材(SUS[])の降伏応力 S_y []を用いる。

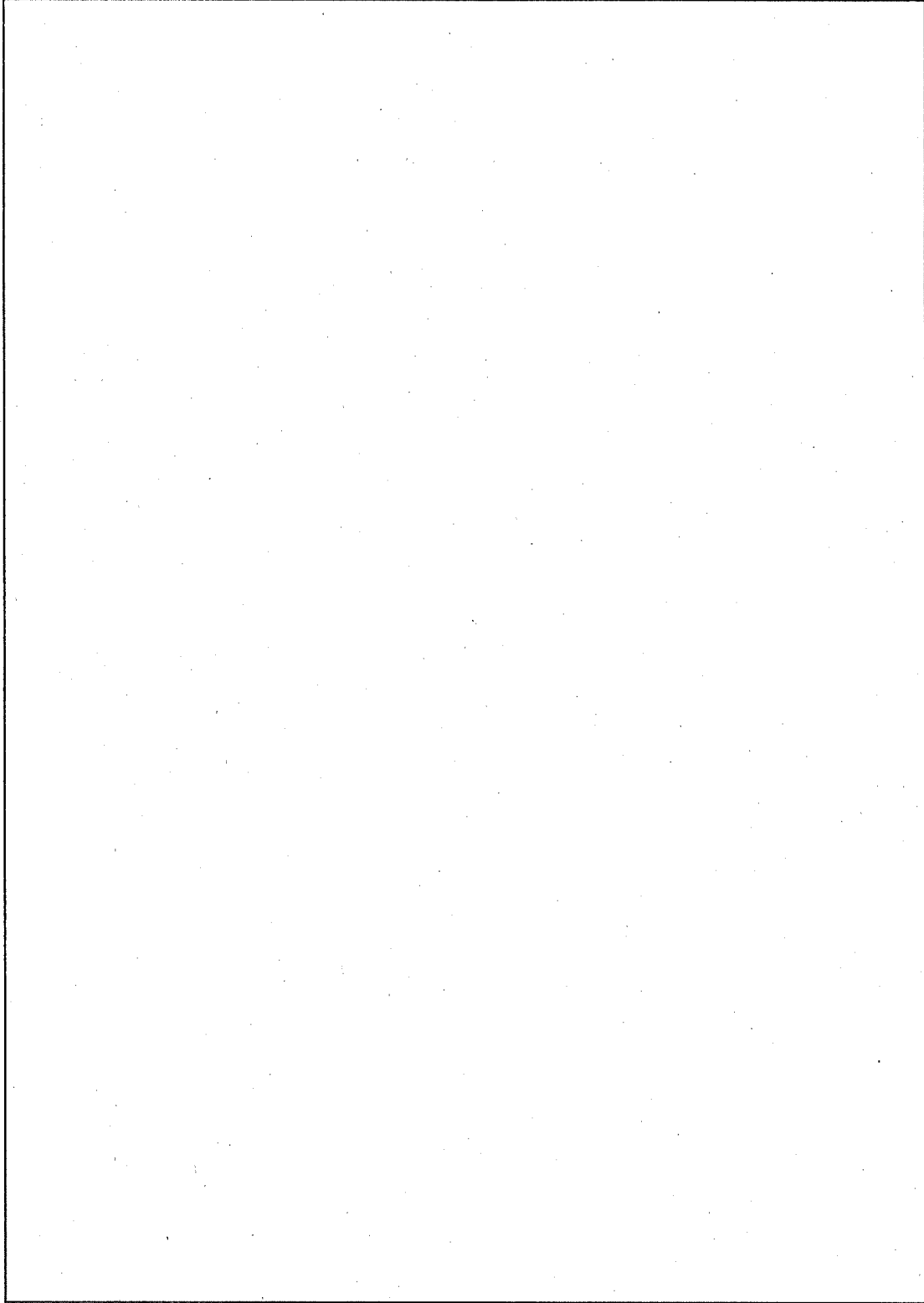
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= []$$

$$= []$$

となる。したがって、ベントプラグは健全である。



(ロ) - 第 A. 119 図 ベントプラグの解析モデル

6. ドレン弁

ドレン弁の耐圧強度で最も弱い部分は、バルブヘッド座である。ドレン弁の解析モデルを(口) - 第 A.120 図に示す。最大応力の発生する位置は、 で、応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = |\sigma_r - \sigma_z|$$

$$r = \text{$$

$$S = \left| \frac{3P \cdot a^2}{8h^2} \left\{ (1+3\nu) \frac{b^2}{a^2} + 4(1+\nu) \cdot \left(A + \ell n \frac{a}{b} \right) \frac{b^2}{a^2} + (1-\nu) \left(\frac{2b^2}{a^2} + B \frac{a^2}{b^2} \right) \right\} \right| \quad (34)$$

ここで、

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

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

として計算する。

ここで、

P : 圧力	150 kPa (=0.15N/mm ²)
a : 外半径	<input type="text"/>
b : 内半径	<input type="text"/>
ν : ポアソン比	<input type="text"/>
h : バルブヘッド座の板厚	<input type="text"/>
r : 半径	<input type="text"/>

$$A = \text{$$

$$\text{$$

$$= \text{$$

$$B = \text{$$

$$= \text{$$

S =

=

ドレン弁に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B.熱解析における通常輸送時のドレン弁の解析結果の最高温度 ((ロ) - 第 B.15 表参照) をドレン弁の温度と考え、安全側に としたときのドレン弁の部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

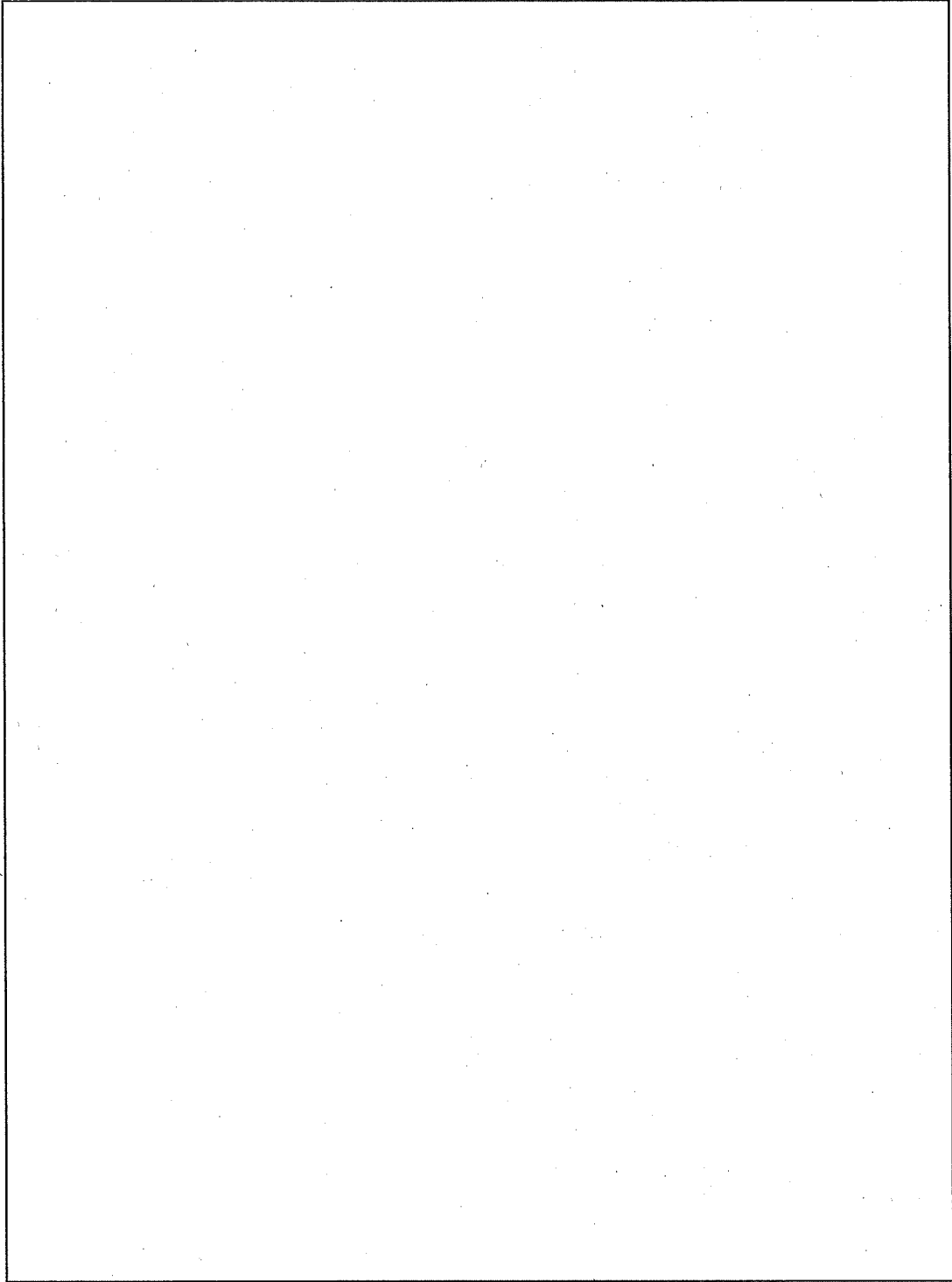
余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

=

=

となる。したがって、ドレン弁は健全である。



(ロ) - 第 A. 120 図 ドレン弁の解析モデル

A. 6.5 結果の要約と評価

特別の試験について解析により検討を行った。その要約と評価を各試験項目に従って行う。

1. 落下試験Ⅰ（9m 落下）

- (1) 各落下姿勢における緩衝体の変形量を求めた結果、いずれの場合も許容厚さ以下であり容器本体・蓋まで変形は達しない。
- (2) 緩衝体の変形から求めた最大減速度を用いて応力解析を下記について行った結果、各部材は健全で、密封性は維持できる。
 - ① 垂直落下
容器本体胴部・蓋、蓋締付用ボルト、バスケット、収納物、ドレン弁及びベントプラグ
 - ② 水平落下
容器本体胴部、バスケット、収納物、ドレン弁及びベントプラグ
 - ③ コーナー落下
蓋締付用ボルト、ドレン弁及びベントプラグ
- (3) 上部垂直落下時において密封境界部の変位量が最大となる。その変位量が蓋部のリングのつぶれ代以下であるので密封性は維持できる。
- (4) 上部コーナー落下時において蓋締付用ボルトに生じる応力が最大になる。発生応力が許容応力以下なので蓋締付用ボルトは健全である。

2. 落下試験Ⅱ（1m 落下）

- (1) 落下試験Ⅰ（9m 落下）で生じた緩衝体の変形量に落下試験Ⅱ（1m 落下）で生じる緩衝体の変形量が加算された場合でも、変形量は緩衝体の厚さ以下であり、容器本体・蓋まで変形は達しない。
- (2) 緩衝体の変形から求めた最大減速度を用いて応力解析を下記について行った結果、各部材は健全で、密封性は維持できる。
 - ① 垂直落下
蓋
 - ② 水平落下
容器本体胴部

3. 熱的試験

- (1) 熱応力に対して容器本体・蓋、バスケット、蓋締付用ボルトについて応力解析を行った結果、各部材は健全である。
- (2) 熱膨張によって、容器本体とバスケットは接触するが、そのときに生じる応力は、設計基準値以下なので、各部材は健全である。
- (3) 密封境界の変位量が蓋部Oリングのつぶれ代以下なので密封性は維持できる。

4. 浸漬

輸送容器が15mの水深下(150kPaの外圧)に8時間置かれた場合、密封性は維持される。

A.7 特別形核燃料物質

輸送物は特別形核燃料物質ではないので該当しない。

A.8 放射性収納物

輸送容器の放射性物質である収納物は下記の3種類である。

(1) 中濃縮ウラン燃料 (MEU 燃料)

① JMTR 標準燃料要素

(2) 低濃縮ウラン燃料 (LEU 燃料)

② JMTR 標準燃料要素

③ JMTR 燃料フォロワ

上記燃料において、公称濃縮度及び核燃料物質の種類の等しい JMTR 標準燃料要素と JMTR 燃料フォロワを同一輸送容器に収納することがある。また、JMTR で使用した中濃縮ウラン燃料 (MEU) と低濃縮ウラン燃料 (LEU) は混合装荷を行うことがある。これらの燃料は上下端を切断され にされた後、バスケットに収納される。

燃料の外表面のアルミニウム合金は、酸化被覆により覆われており、水中、乾燥状態において安定している。したがって、輸送中の乾燥状態においても腐食による破損は生じない。

照射による材料の機械的特性には影響は少なく解析上問題とはならない。

特別の試験条件下において、燃料は、(ロ) 章 A.6.5 結果の要約と評価に記載されているように破損することはない。また熱的試験においても (ロ) 章 B.5.6 結果の要約と評価に記載されているように破損、溶解することはない。

したがって、輸送物の収納物は、一般の試験条件下及び特別の試験条件下においても健全である。

A.9 核分裂性輸送物

A.4.2 及び A.6.3.3 項に示されるように -40°C から 38°C までの周囲の温度において、亀裂、破損等が生じるおそれはない。

規則及び告示で定められている試験条件下に、輸送物が置かれた場合の臨界に係る形状の変化について記述する。

A.9.1 一般の試験条件

(1) 水噴霧試験

A.5.2 項で記述したように、輸送容器は、表面は滑らかに仕上げられたステンレス鋼で製作されているため、水切りも良く、吸水性はない。よって、水噴霧試験を受けても形状の変形等は生じない。

(2) 自由落下試験

0.3m の高さからの自由落下試験を行った場合、その変形量 ($h_{0.3}$) 及び衝撃減速度 ($G_{0.3}$) を A.6.1 項で記述した方法で求めた結果を (口) - 第 A.24 表、(口) - 第 A.121 図に示す。衝撃減速度は A.6.1 項での強度解析を行った値以下であり、容器本体及び収納物の形状の変化はないので、本項での強度評価は省略する。

(口) - 第 A.24 表 自由落下 (0.3m) 計算結果

項 目	変形量 (mm)	衝撃減速度 (G)
垂 直 落 下		
水 平 落 下		
コ ー ナ ー 落 下		

(3) 積み重ね試験

A.5.4 項で記述したように、輸送容器は積み重ね試験を行っても容器本体が変形することはない。

(4) 貫通試験

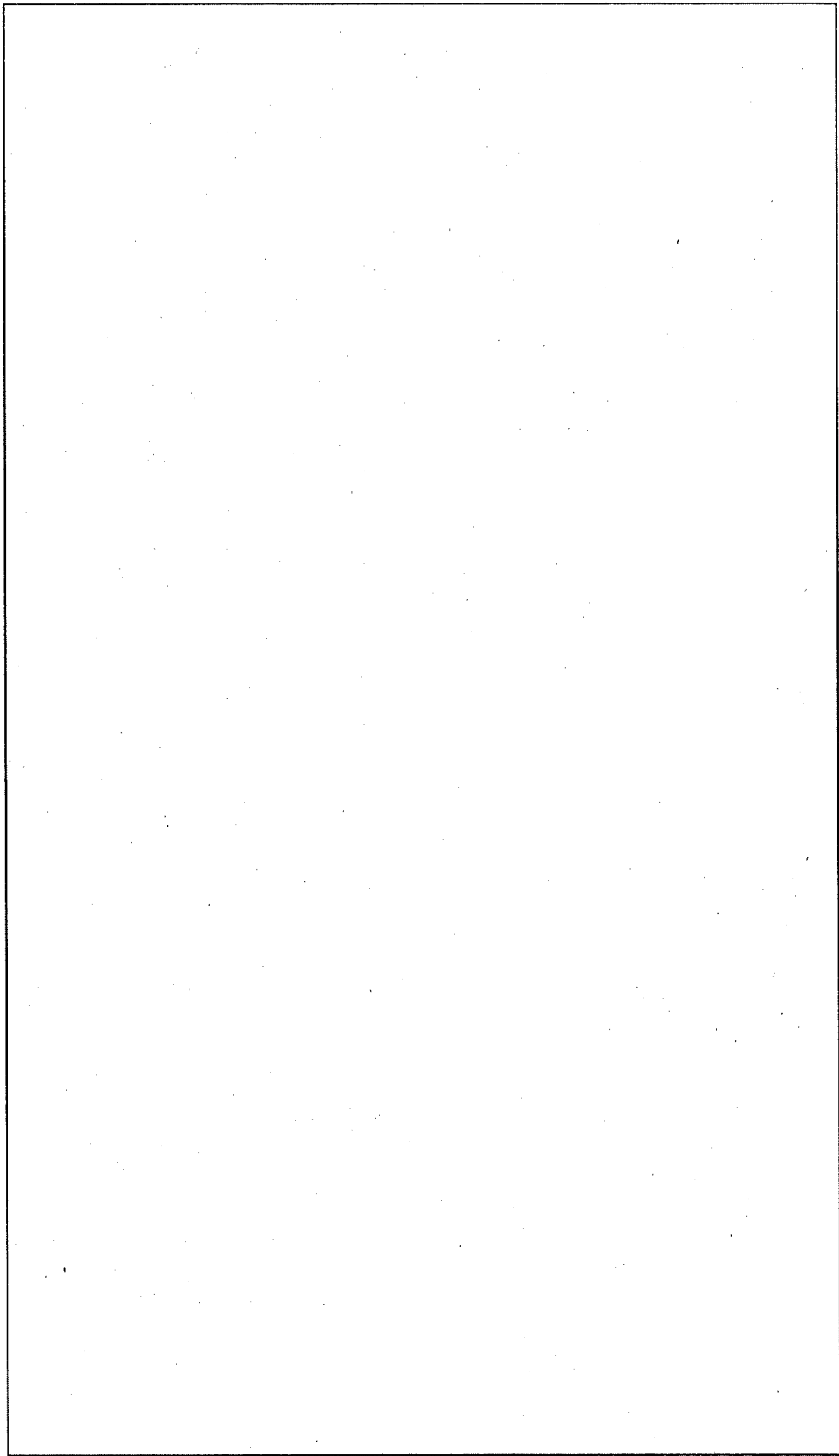
A.5.5 項で記述したように、貫通試験を行うと容器本体外胴に の凹部が生じるが、凹部は局部的であるため、臨界を検討する形状の変化はない。

(5) 結果の要約と評価

(1) 水噴霧試験、(2) 自由落下試験、(3) 積み重ね試験、(4) 貫通試験を行っても、以下に示すとおり、規則第 11 条第 1 号で定める事項は満足し、臨界解析に係る評価体系は維持される。

1) 同号イについては、構造部に一辺が 10cm の立方体を包含するような凹みは生じない。

2) 同号ロについては、輸送物は高さ約 2.0m、外径約 1.9m の円筒状であり、試験後の変形量は最大 であることから、外接する直方体の各辺が 10cm 未満となることはない。



(口) - 第 A. 121 図 自由落下 (0.3m)

A. 9. 2 特別の試験条件

法規には、次の二つの一連の試験のうち厳しい方を順次行うよう規定されている。

ケース(1)

一般の試験条件 (A. 9. 1) + 9m 自由落下試験 + 落下試験 II
+ 熱試験 + 0. 9m 浸漬試験

ケース(2)

一般の試験条件 (A. 9. 1) + 15m 浸漬試験

上記2ケースの内、臨界体系への影響が大きい9m落下試験を含むケース(1)で、臨界形状への影響について評価する。

A. 9. 2. 1 一般の試験条件

形状の変化が大きい、即ち変形量が最大になるよう試験条件を定め、変形量を求めるものとする。

(1) 水噴霧試験

A. 5. 2 項で記述したように、輸送容器は、表面は滑らかに仕上げられたステンレス鋼で製作されているため、水切りも良く、吸水性はない。よって、水噴霧試験を受けても形状の変化等は生じない。

(2) 自由落下試験

0. 3m 自由落下時の緩衝体の変形量 ($h_{0.3}$) は、A. 9. 1(2)項を参照して、

1) 垂直落下時	変形量	<input type="text"/>
2) 水平落下時	変形量	<input type="text"/>
3) コーナー落下時	変形量	<input type="text"/>

である。

(3) 積み重ね試験

A. 5. 4 項で記述したように、輸送容器は積み重ね試験を行っても容器本体が変形することはない。

(4) 貫通試験

A. 5. 5 項で記述したように、貫通試験を行うと容器本体外胴に の凹部が生じるが、凹部は局部的であるため、臨界を検討する形状は変化しない。

A. 9. 2. 2 特別の試験条件

一般の試験条件の自由落下(0.3m自由落下)の後、次の落下姿勢での9m自由落下による輸送物の評価を行う。

- (1) 垂直落下
- (2) 水平落下
- (3) コーナー落下

(1) 垂直落下

一般の試験条件の自由落下(0.3m垂直落下)の後に引き続き、9m垂直落下試験を行った場合、A. 6. 1. 1 項と同様な方法で求めた落下試験時の変形量($h_{0.3+9.0}$)と衝撃減速度($G_{0.3+9.0}$)を(口) - 第 A. 25 表、(口) - 第 A. 122 図に示す。また、密封装置である容器本体と収納物について、落下したときに生じた衝撃減速度を受けた場合について、A. 6. 1. 1 項と同様な方法で解析を行った結果を(口) - 第 A. 26 表に示す。

(2) 水平落下

一般の試験条件の自由落下(0.3m水平落下)の後に引き続き、9m水平落下試験を行った場合、A. 6. 1. 2 項と同様な方法で求めた落下試験時の変形量($h_{0.3+9.0}$)と衝撃減速度($G_{0.3+9.0}$)を(口) - 第 A. 25 表、(口) - 第 A. 122 図に示す。また、密封装置である容器本体と収納物について、落下した時に生じた衝撃減速度を受けた場合について、A. 6. 1. 2 項と同様な方法で解析を行った結果を(口) - 第 A. 26 表に示す。

(3) コーナー落下

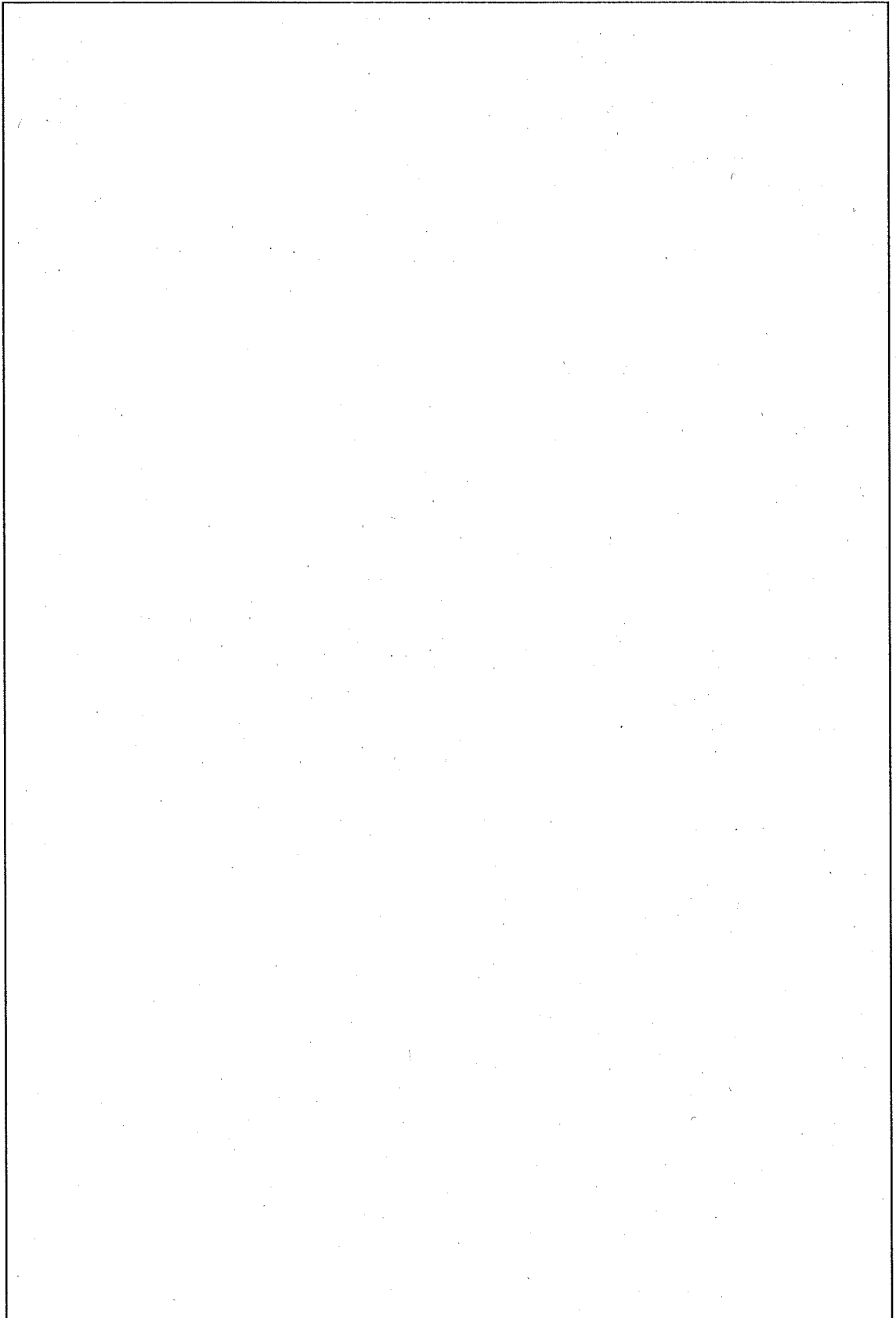
一般の試験条件の自由落下(0.3m コーナー落下)の後に引き続き、9m 落下試験を行った場合、A. 6. 1. 3 項と同様な方法で求めた落下試験時の変形量($h_{0.3+9.0}$)と衝撃減速度($G_{0.3+9.0}$)を(口) - 第 A. 25 表、(口) - 第 A. 122 図に示す。また、密封装置である容器本体と収納物について、コーナー落下姿勢で落下した場合に生じた衝撃減速度を受けた場合について、A. 6. 1. 3 項と同様な方法で解析を行った結果を(口) - 第 A. 26 表に示す。

(口) - 第 A. 25 表 自由落下 (0.3m+9m) 計算結果

項 目	変形量 (mm)	衝撃減速度 (G)
垂 直 落 下		
水 平 落 下		
コ ー ナ ー 落 下		

(4) 傾斜落下

9m の高さからの傾斜落下時、輸送物の重心は鉛直線上より左右いずれかにずれた位置にくるので、衝突接点を支点にして輸送物を回転させる力が働く。したがって、落下衝撃時に発生する衝撃力は、輸送物の重心を通る鉛直線上の落下であるコーナー落下より軽減することになるので強度評価は省略する。



(口) - 第 A. 122 図 自由落下 (0.3m + 9m)

(口) - A - 367

(ロ) - 第 A. 26 表 許容応力との比較 (1/4)

条件	解析項目	設計基準	設計基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (MS)	備考
特別の試験条件	落下試験 I 垂直落下					Su:引張強さ Sy:降伏応力 Fa:座屈荷重 δ a:つぶれ代
	1. 緩衝体	(許容変形量)				
	2. 容器本体胴部	Su				
	3. 蓋					
	3.1 蓋	Su				
	3.2 蓋部Oリング	δ a				
	4. 蓋締付用ボルト	Sy				
	5. バスケット					
	5.1 枠組	0.7Su				
	5.2 仕切板・区切板	0.7Su				
	6 収納物					
	6.1 収納物 (JMTR)					
	6.1.1 標準燃料要素					
	(1) JMTR					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Fa				
6.1.2 燃料フロロ ワ						
(1) JMTR						
1) 側板	Su					
2) 燃料板	Fa					

(ロ) - 第 A. 26 表 許容応力との比較 (2/4)

条件	解析項目	設計基準	設計基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (MS)	備考
特別 の 試験 条件	7. ドレン弁及び ベントプラグ					Su: 引張強さ Sy: 降伏応力
	7.1 ドレン弁	Sy				
	7.2 ベントプラグ	Sy				
	水平落下					
	1. 緩衝体	(許容変形量)				
	2. 容器本体胴部	Su				
	3. バスケット					
	3.1 仕切板・区切板					
	3.1.1					
	0° 方向水平落下	0.7Su				
	3.1.2					
	36° 方向水平落下	0.7Su				
	3.1.3					
	90° 方向水平落下	0.7Su				
3.2 枠組						
3.2.1						
0° 方向水平落下	0.7Su					
3.2.2						
90° 方向水平落下	0.7Su					

(ロ) ー第 A. 26 表 許容応力との比較 (3/4)

条件	解析項目	設計基準	設計基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (MS)	備考
特別 の 試 験 条 件	4. 収納物					Su:引張強さ
	4.1 収納物 (JMTR)					
	4.1.1 標準燃料要素					
	(1) JMTR					
	1) 側板	Su				
	2) 燃料板	Su				
	4.1.2 燃料フォロ ワ					
	(1) JMTR					
1) 側板	Su					
2) 燃料板	Su					

(ロ) - 第 A. 26 表 許容応力との比較 (4/4)

条件	解析項目	設計基準	設計基準値 (N/mm ²)	解析結果 (N/mm ²)	余裕率 (MS)	備考
特別 の 試験 条件	5. ドレン弁及びベントプラグ (1) ドレン弁締付ボルト (2) ベントプラグねじ部	Sy Sy				Su:引張強さ Sy:降伏応力 δa:つぶれ代 Sm:設計応力強さ
	コーナー落下 1. 緩衝体 2. 蓋締付用ボルト蓋部Oリング	(許容変形量) Sy δa				
	3. ドレン弁及びベントプラグ		垂直落下、水平落下において、より厳しい条件で解析しているため本条件において強度を有する。			
	傾斜落下		垂直落下、水平落下、コーナー落下において、より厳しい条件で解析しているため本条件において強度を有する。			
	落下試験II 垂直落下 1. 蓋	Su				
	水平落下 1. 容器本体胴部	Su				
	熱的試験 熱応力 1. 容器本体・蓋	3Sm Sy				
	2. 蓋締付用ボルト 3. バスケット (1)仕切板・区切板 (2)枠組	3Sm 3Sm				
	4. 蓋部Oリング	δa				

A.9.2.3 結果の要約

(a) 垂直落下

垂直落下の場合、緩衝体の総変形量は□であり、緩衝体の補強板に変形が及ぶまでに□あり、変形は緩衝体のみで、容器本体まで達することはない。

このとき、容器本体及び収納物は強度を保ち、臨界解析に係る評価体系は維持される。

(b) 水平落下

水平落下の場合、緩衝体、フィン及び固縛金具の総変形量は□であり、容器本体に変形が及ぶまでに□あり、変形は緩衝体と外部のフィン及び固縛金具のみで、容器本体まで達することはない。このとき、容器本体及び収納物は強度を保ち、臨界解析に係る評価体系は維持される。

(c) コーナー落下

コーナー落下の場合、緩衝体の総変形量は□であり緩衝材の残量は□であるから、変形は緩衝体のみで、容器本体まで達することはない。

このとき、容器本体及び収納物は強度を保ち、臨界解析に係る評価体系は維持される。

以上からいかなる落下姿勢においても緩衝体は変形するが、変形が容器本体に及ぶことはなく、また、容器本体及び収納物は強度を保つので、臨界解析に係る評価体系は維持される。

A. 9. 2. 4 強度試験・落下試験Ⅱ (1m 落下時)

落下試験は、輸送物が最大破損するように直径 150mm の軟鋼棒上に 1m の高さから落下させる試験である。

本項で検討する落下姿勢は次の 3 姿勢とする。

- 1) 垂直落下
- 2) 水平落下
- 3) コーナー落下

(1) 解析方法及び結果

解析方法は、A. 6. 2 と同様の手法により求めた。

核分裂性輸送物に生じる衝撃減速度及び輸送物の変形量の解析結果を(口)一第 A. 27 表に示す。

(口)一第 A. 27 表、(口)一第 A. 123 図～第 A. 125 図に示すように、各評価位置の落下試験Ⅱにおける緩衝体の変形は、解析基準値内であり、貫通は生じず、このときの変形は内容器本体まで達することはない。

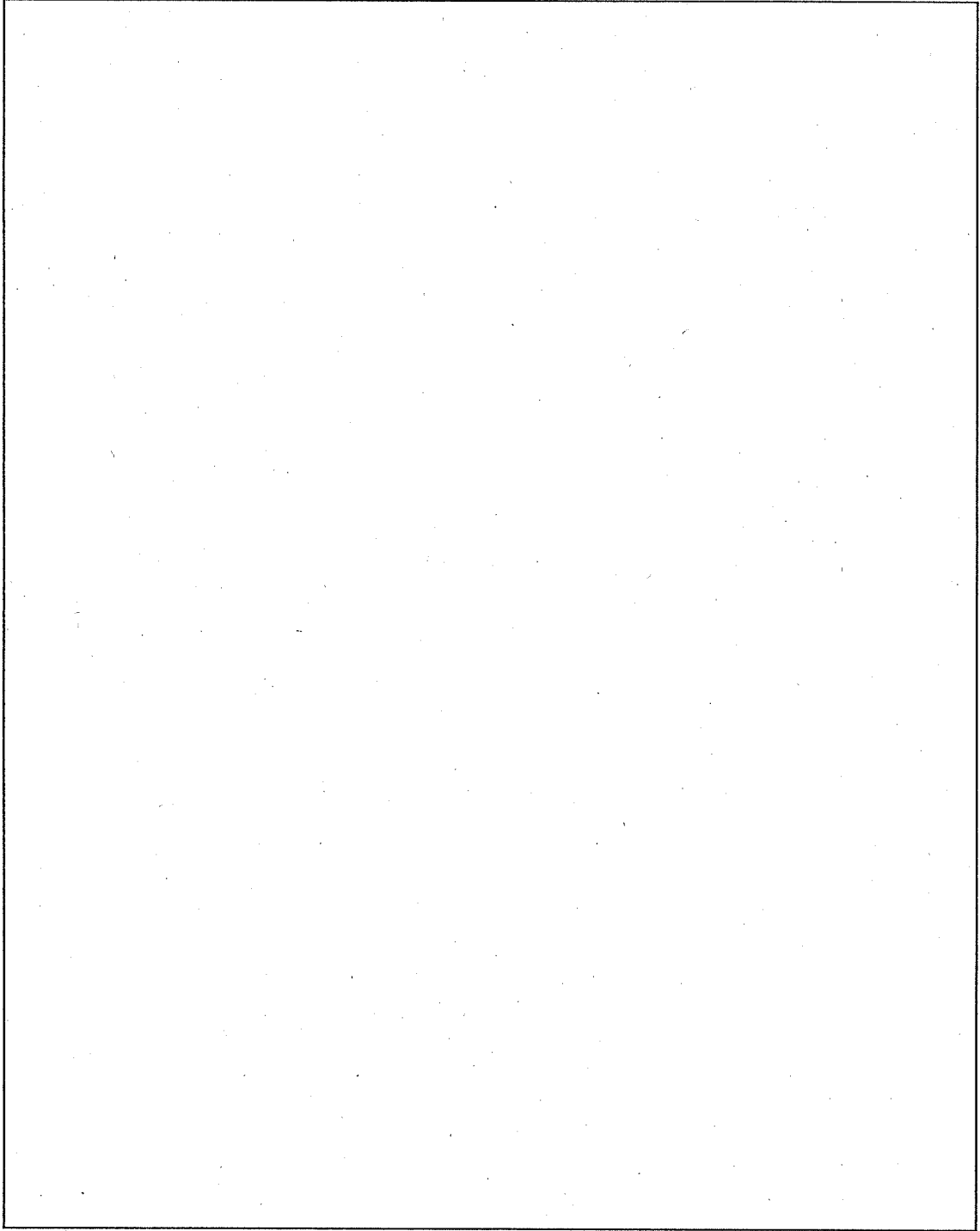
また、落下試験Ⅱで生じる減速度は落下試験Ⅰにおける減速度より小さい。

(口)一第 A. 26 表に示す落下試験Ⅰの許容応力との比較から落下試験Ⅱにおいても同様に、容器本体及び収納物が損傷することはない。

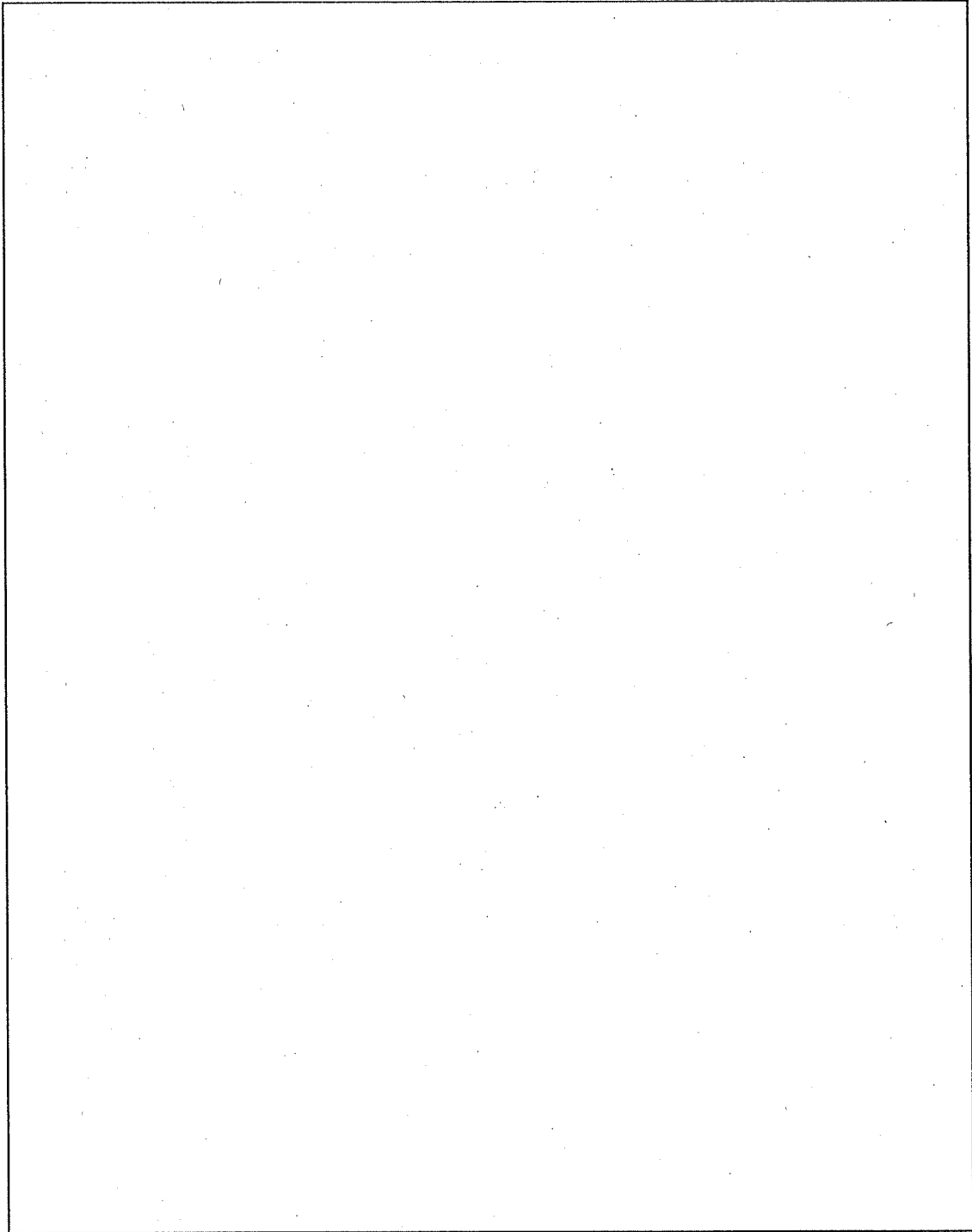
(口)一第 A. 27 表 落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱにおける緩衝体の変形

	緩衝体の厚さ (mm)	落下試験Ⅰ及びⅡによる変形量 (mm)	最大衝撃減速度 (G)	変形後の緩衝体の残り厚さ (mm)
垂直落下				
水平落下				
コーナー落下				

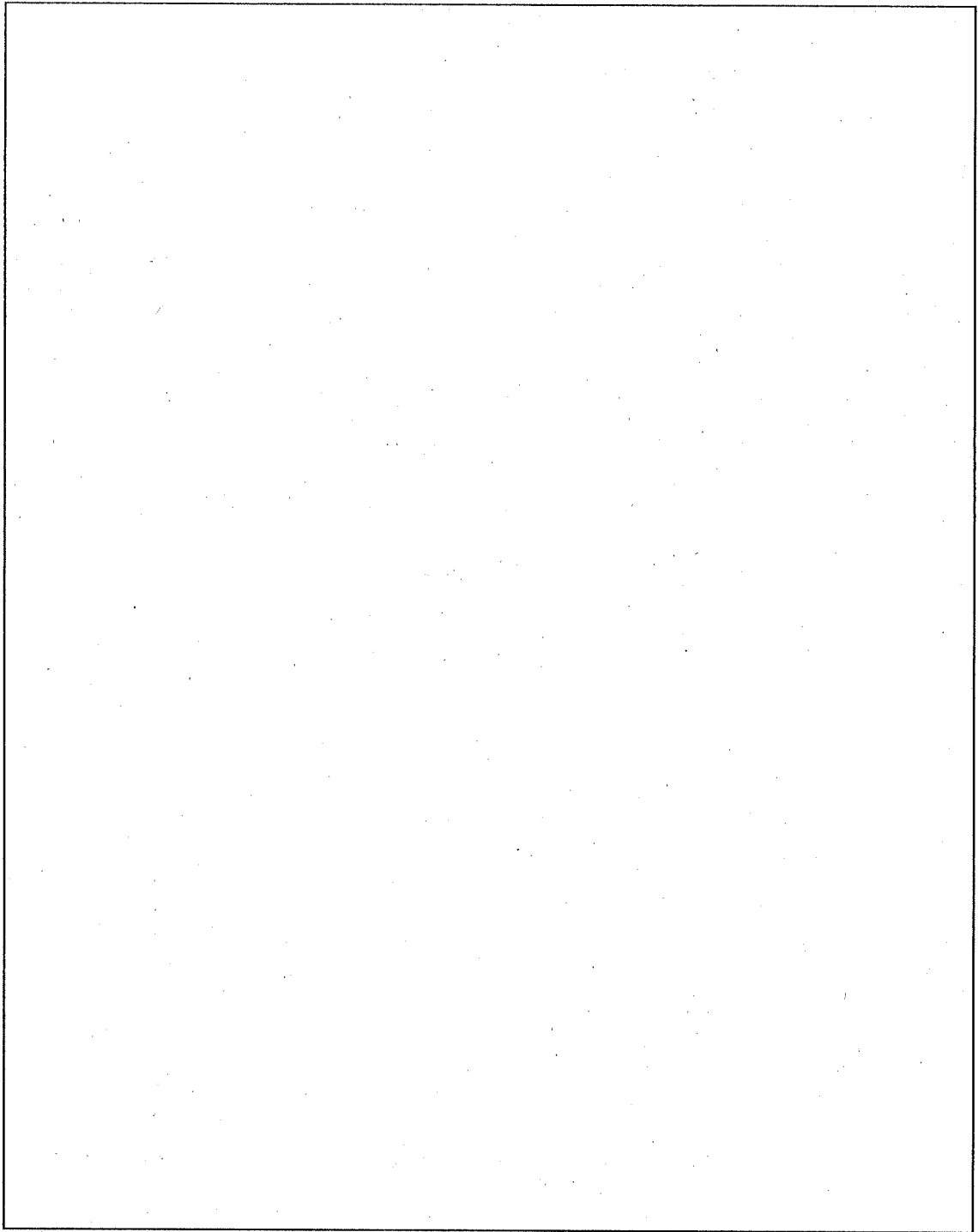
* : 落下試験Ⅱを行った場合の値



(口) - 第 A.123 図 落下試験 I、II 後の緩衝体変形量 (垂直落下)



(口) - 第 A. 124 図 落下試験 I、II 後の緩衝体変形量 (水平落下)



(口) - 第 A. 125 図 落下試験 I、II 後の緩衝体変形量 (コーナー落下)

A. 9. 2. 5 火災試験

緩衝体の落下試験による変形は、(ロ) 一第 A. 28 表に示すとおりである。ここでは (ロ) 章 B. 5 特別の試験条件と同様に垂直落下、水平落下及びコーナー落下による変形を重畳し、この変形を円周方向に均一に受けたものとし、さらにこの変形を上、下部緩衝体の両者に受けるものとする。

(ロ) 一第 A. 28 表 落下試験による緩衝体の変形量

(単位:mm)

	一般の試験条件及び 特別の試験条件の変形量	モデル採用値
垂 直 落 下		
水 平 落 下		
コ ー ナ ー 落 下		

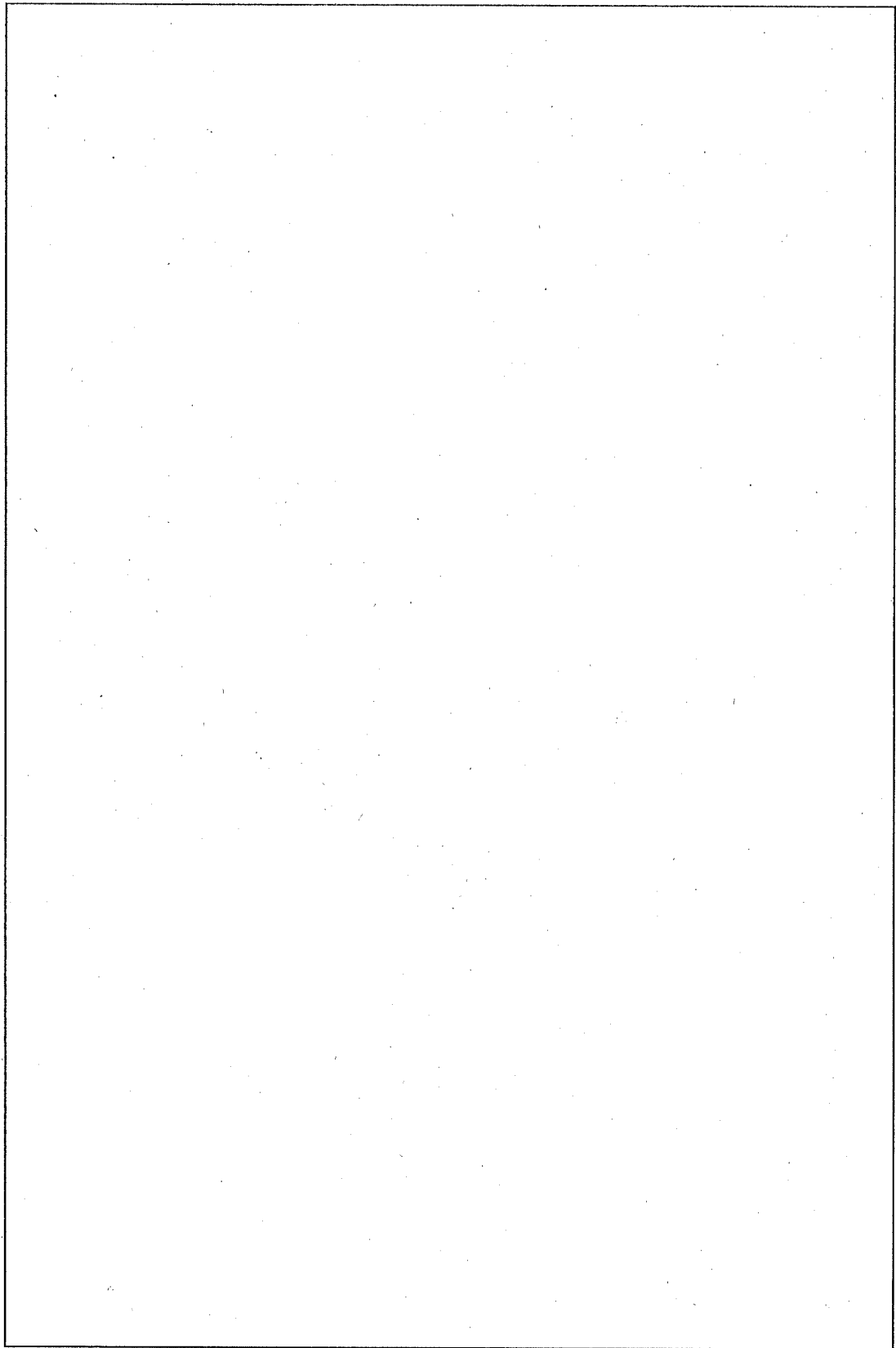
解析する輸送容器の収納物としては、(ロ) 章 B. 熱解析の最高温度評価で最も高温な温度分布が得られた JMTR 標準燃料要素 (LEU) を用いる。

(ロ) 一第 A. 126 図に示す容器本体温度解析モデルを用いて、(ロ) 章 B. 5 特別の試験条件と同様な方法で各部の最高温度になる時間とその温度を求めてそれを (ロ) 一第 A. 29 表に示す。

圧力は、 であり設計圧力 である。

熱応力についても (ロ) 一第 A. 26 表に示すとおり設計基準値以下である。

したがって、容器本体は、強度を保ち臨界解析に係る評価体系は維持される。



(ロ) ー第 A.126 図 特別の試験条件下の本体温度解析モデル

(口) - 第 A. 29 表 特別の試験条件下の最高温度

場 所	温 度 [°C]	火 災 発 生 後 か ら の 時 間 [h]
燃料		
バスケット外面		
蓋内面		
胴内面 (側面)		
胴内面 (下面)		
胴外面 (側面)		
蓋部 Oリング		
蓋締付用ボルト		
ベントプラグ		
ドレン弁		
フィン先端		
蓋外面		
胴外面 (底面)		

A.9.2.6 浸漬

特別の試験（落下試験Ⅰ、Ⅱ及び耐火）後、水深0.9m(9kPa)の浸漬状態に容器本体がおかれた場合でも、容器本体は、A.6.4項に示すように水深15m(150kPa)において耐えられるよう設計されているので、容器本体は強度を保ち、臨界解析に係る評価体系は維持される。

A.9.2.7 結果の要約と評価

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における輸送物の破損の要約を各試験項目ごとに記述する。

(1) 落下試験Ⅰ(9m落下時)

A.9.2.2項より、落下時の緩衝体の総変形量は、 (垂直落下)～ (コーナー落下)となりその変形はいずれの落下姿勢においても容器本体に達しない。衝撃減速度は、 となり、このとき、容器本体及び収納物に発生する応力は解析基準値以下であり、臨界解析に係る評価体系は維持される。

(2) 落下試験Ⅱ(1m落下時)

A.9.2.4項より、落下時の緩衝体の変形量は、 となりその変形は容器本体に達しない。最大衝撃減速度は、 であり、このとき、容器本体及び収納物に発生する応力は解析基準値以下であり、臨界解析に係る評価体系は維持される。

(3) 火災試験(800℃、30分間)

(ロ) 章 B.5.6 結果の要約と評価より、容器本体内の圧力が上昇したとしてもその圧力 は設計圧力 以下であり、容器本体は強度を保ち臨界解析に係る評価体系は維持される。

(4) 浸漬(9kPa 8時間)

A.9.2.6項より、水深0.9mの浸漬状態におかれても容器本体は強度を保ち、臨界解析に係る評価体系は維持される。

A.10 付属書類

- A.10. 1 構造解析汎用計算コード ANSYS…………… (口) -A-382
- A.10. 2 SHOCK-2 計算コード…………… (口) -A-415
- A.10. 3 FIN-200 計算コード…………… (口) -A-424
- A.10. 4 落下試験Ⅱでの緩衝体部のエネルギー吸収…………… (口) -A-432
- A.10. 5 繰り返しピーク応力強さ…………… (口) -A-433
- A.10. 6 固縛装置の強度解析…………… (口) -A-437
- A.10. 7 締付力 (蓋締付用ボルト)…………… (口) -A-471
- A.10. 8 参考文献…………… (口) -A-473

A. 10.1 構造解析汎用計算コード ANSYS

1. 概要

ANSYS とは Engineering Analysis System の略であり、工学の多くの分野における問題を有限要素法を用いて解析するために、Swanson Analysis System 社において開発された構造解析汎用計算コードである。

このコードの解析能力は、構造解析（微小変形又は大変形の下での弾性、塑性、クリープ、スウェリング等の材料特性を考慮した構造の静的及び動的解析）及び伝熱解析（熱伝導、熱伝達及び放射を考慮した定常及び非定常解析）であり、これらは一次元、二次元、軸対称、平面問題を含んでいる。

2. 解析モデル

2-1 4 節点四辺形軸対称要素（弾性解析）

[(ロ) 章 A. 4. 2, A. 5. 1. 2 参照]

解析フローを (ロ) ー第 A. 127 図に、容器本体・蓋の解析モデルを (ロ) ー第 A. 128 図に示す。容器本体・蓋は、4 節点四辺形軸対称要素として弾性解析とする。

解析フローの説明を下記に示す。

(1) 入力

入力には構成データと荷重データがある。

構成データを下記に示す。

- a. 節点の座標
- b. 節点番号
- c. 要素を構成する節点番号
- d. 初期温度 (20℃)

e. 縦弾性係数

蓋締付用ボルト及び蓋締付用ボルト穴は、それぞれ断面積及びボルト径を考慮し、縦弾性係数を変えることにより等価な剛性をもつものとする。

蓋締付用ボルト及び蓋締付用ボルト穴を (ロ) - 第 A. 30 表に示す。

(ロ) - 第 A. 30 表 蓋締付用ボルト及び蓋締付用ボルト穴

①	容器本体・蓋の材質 SUS <input type="text"/> の縦弾性係数 (E ₁)	[蓋締付用ボルト穴]
②	②～④の縦弾性係数 (E _i) は $E_i = \frac{A_t - N \cdot A_b}{A_t} E_1$ A _t : ボルト穴がないときの断面積 A _b : ボルト穴の断面積 N: ボルトの本数 ゆえに ②の縦弾性係数 E ₂ = <input type="text"/> E ₁ ③の縦弾性係数 E ₃ = <input type="text"/> E ₁ ④の縦弾性係数 E ₄ = <input type="text"/> E ₁	<div style="border: 1px solid black; height: 280px;"></div>
⑤	⑤～⑦の縦弾性係数 (E _j) は $E_i = \frac{N \cdot A_c}{A_d} E_0$ E ₀ : 蓋締付用ボルトの材質 SUS <input type="text"/> の縦弾性係数 A _c : ボルトの断面積 A _d : ボルトのない時の断面積 ゆえに ⑤の縦弾性係数 E ₅ = <input type="text"/> E ₀ ⑥の縦弾性係数 E ₆ = <input type="text"/> E ₀ ⑦の縦弾性係数 E ₇ = <input type="text"/> E ₀	[蓋締付用ボルト] <div style="border: 1px solid black; height: 280px;"></div>

f. 線膨張係数

g. 密度

荷重データを下記に示す。

a. 拘束節点

b. 各要素の温度

c. 各要素の面への荷重

(2) 指標の作成

全体の剛性マトリックス $[K]$ 、節点荷重ベクトル $\{f\}$ 、節点変位ベクトル $\{\delta\}$ 成分がどのような順序に並んでいるかを示すために、各成分の対応する自由度番号を入れておく。この自由度番号より拘束自由度番号を取り除いてつめたものを指標という。

$$\{f\} = [K] \cdot \{\delta\}$$

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & \\ & & & & \\ & & K & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

拘束自由度番号を削除し、つめる。

$$\{f_A\} = [K_{AA}] \cdot \{\delta_A\}$$

u_n : x 方向の変位

v_n : y 方向の変位

δ_A : 未知節点変位

(2)-1 要素の剛性マトリックス $[K]_m$ を計算

$$[K]_m = \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] dv$$

V : 要素の体積

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\}$$

$\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル

$\{U\}$: 要素を構成する節点変位

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル

$[B]^T$: $[B]$ の逆マトリックス

(2)-2 全体の剛性マトリックス $[K]$ を計算

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K]_m$$

N : 要素の数

(2)-3 拘束自由度番号を削除し $[K_{AA}]$ 、 $\{f_A\}$ を作成

$[K_{AA}]$: $[K]$ より拘束自由度番号を削除したマトリックス

$\{f_A\}$: $\{f\}$ より拘束自由度番号を削除したベクトル

(3) 節点変位 $\{\delta_A\}$ を計算

$$\{\delta_A\} = [K_{AA}]^{-1} \cdot \{f_A\}$$

$\{f_A\}$: 拘束自由度番号を削除した節点荷重ベクトル

$[K_{AA}]^{-1}$: 拘束自由度番号を削除した全体の剛性マトリックスの
逆マトリックス

(4) 要素のひずみ $\{\varepsilon\}$ 、要素の応力 $\{\sigma\}$ を計算

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}_m$$

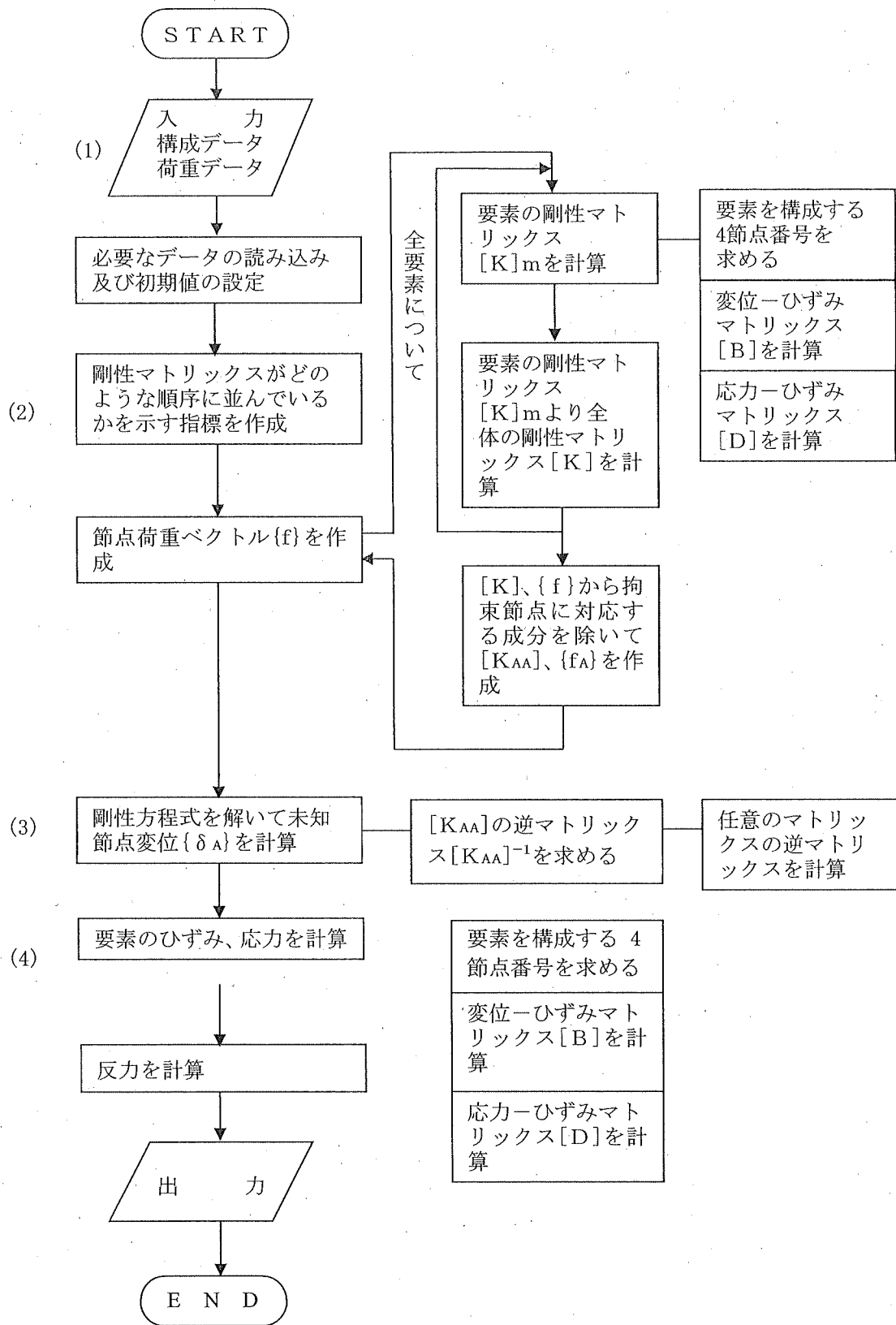
$\{\delta\}_m$: 要素の変位

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

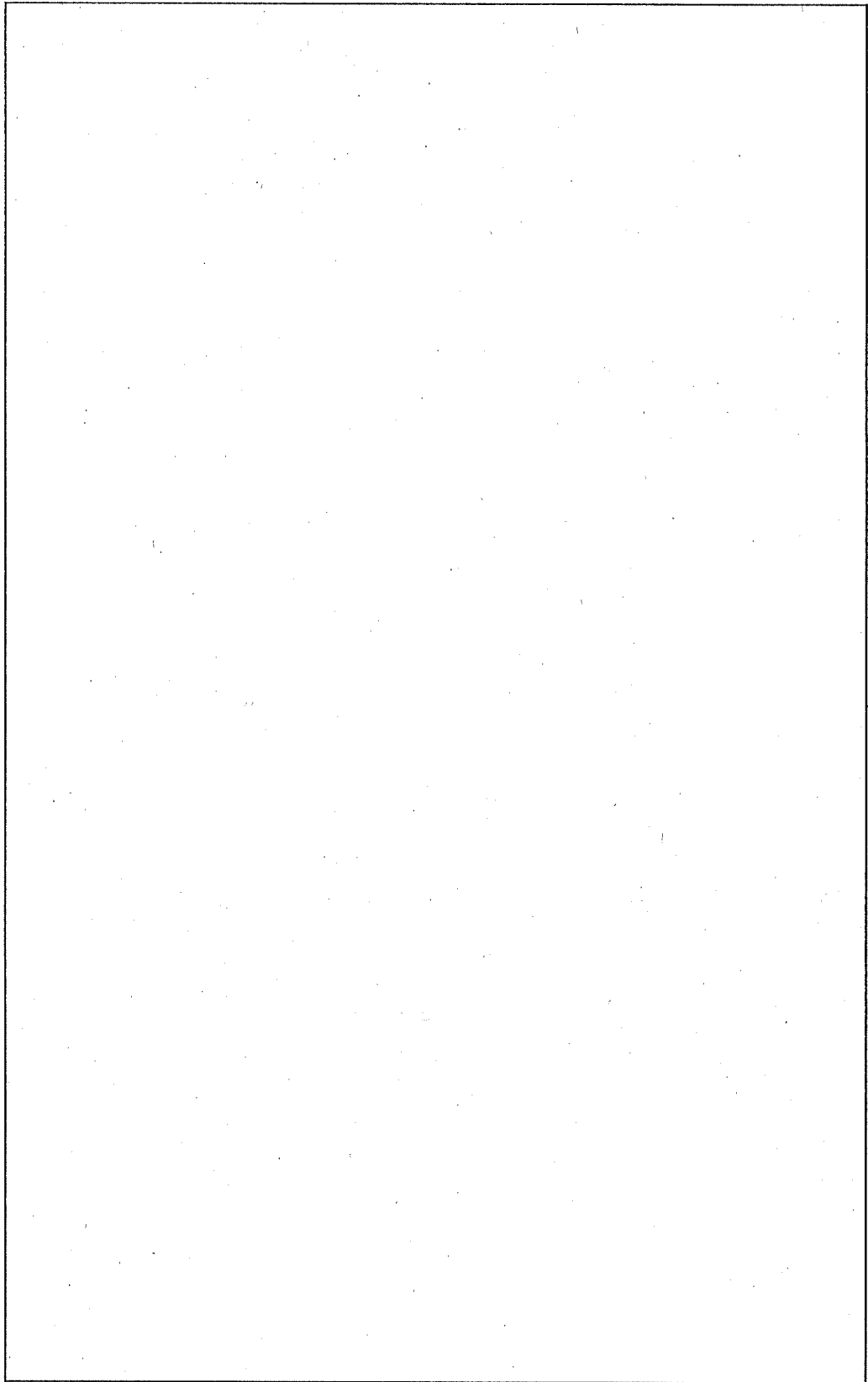
$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$\{\varepsilon\}$: 要素のひずみ



(ロ) - 第 A. 127 図 解析フロー



(ロ) - 第 A.128 図 容器本体・蓋の解析モデル

2-2 4 節点四辺形軸対称要素 (弾塑性解析)

[(ロ) 章 A. 5. 1. 2, A. 6. 3. 2, A. 6. 3. 2 参照]

解析フローを (ロ) - 第 A. 127 図に、容器本体・蓋の解析モデルを (ロ) - 第 A. 128 図に示す。容器本体は、4 節点四辺形軸対称要素として弾塑性解析をする。

解析フローの説明を下記に示す。

(1) 入 力

入力には構成データと荷重データがある。

構成データを下記に示す。

- a. 節点の座標
- b. 節点番号
- c. 要素を構成する節点番号
- d. 初期温度 (20°C)
- e. 縦弾性係数 (2-1 の(1)の e. 参照)
- f. 線膨張係数
- g. 密度
- h. 応力-ひずみ曲線 ((ロ) - 第 A. 129 図参照)

荷重データを下記に示す。

- a. 拘束節点
- b. 各要素の温度
- c. 各要素の面への荷重

(2) 指標の作成

全体の剛性マトリックス $[K]$ 、節点荷重ベクトル $\{f\}$ 、節点変位ベクトル $\{\delta\}$ 成分がどのような順序に並んでいるかを示すために、各成分に対応する自由度番号を入れておく。この自由度番号より拘束自由度番号を取り除いたものを指標という。

$$\{f\} = [K] \cdot \{\delta\}$$

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & \\ & & & & \\ & & K & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

拘束自由度番号を削除し、つめる。

$$\{f_A\} = [K_{AA}] \cdot \{\delta_A\}$$

u_n : x 方向の変位

v_n : y 方向の変位

δ_A : 未知節点変位

(2)-1 要素の剛性マトリックス $[K]_m$ を計算

$$[K]_m = \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] dv$$

V : 要素の体積

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\}$$

$\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル

$\{U\}$: 要素を構成する節点変位

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル

$[B]^T$: $[B]$ の逆マトリックス

(2)-2 全体の剛性マトリックス [K] を計算

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K]_m$$

N : 要素の数

(2)-3 拘束自由度番号を削除し [K_{AA}]、{f_A} を作成

[K_{AA}] : [K] より拘束自由度番号を削除したマトリックス

{f_A} : {f} より拘束自由度番号を削除したベクトル

(3) 節点変位 {δ_A} を計算

$$\{\delta_A\} = [K_{AA}]^{-1} \cdot \{f_A\}$$

{f_A} : 拘束自由度番号を削除した節点荷重ベクトル

[K_{AA}]⁻¹ : 拘束自由度番号を削除した全体の剛性マトリックスの逆マトリックス

(4) 要素のひずみ {ε}、要素の応力 {σ} を計算

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}_m$$

{δ}_m : 要素の変位

[B] : 変位-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot (\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_{th}\})$$

[D] : 応力-ひずみマトリックス

$$[D] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_x} & -\frac{\nu_{zx}}{E_x} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{zy}}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_z} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} \end{bmatrix}$$

対称性を考慮すると

$$\frac{\nu_{yx}}{E_x} = \frac{\nu_{xy}}{E_y}$$

$$\frac{\nu_{zx}}{E_x} = \frac{\nu_{xz}}{E_z}$$

$$\frac{\nu_{zy}}{E_y} = \frac{\nu_{yz}}{E_z}$$

より上式は、

$$[D] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & -\frac{\nu_{xz}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_z} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} \end{bmatrix}$$

となる。

ここで、

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{E_x \cdot E_y}{E_x + E_y + 2 \nu_{xy} \cdot E_x}$$

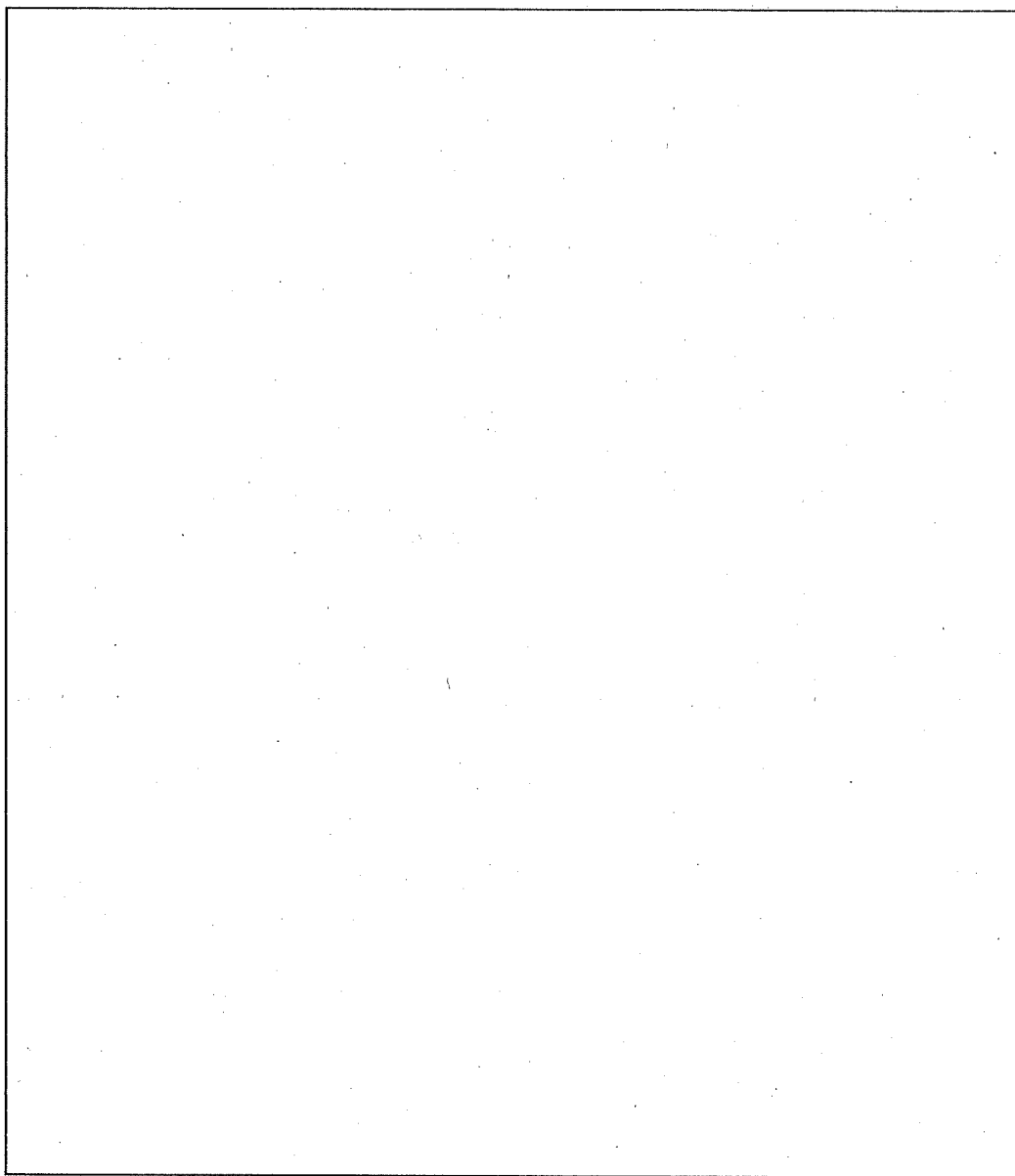
$$\frac{1}{G_{yz}} = \frac{E_y \cdot E_z}{E_y + E_z + 2 \nu_{yz} \cdot E_y}$$

$$\frac{1}{G_{xz}} = \frac{E_x \cdot E_z}{E_x + E_z + 2 \nu_{xz} \cdot E_x}$$

$\{\varepsilon_{th}\}$: 熱ひずみベクトル

$$\{\varepsilon_{th}\} = \begin{bmatrix} \alpha_x \cdot \Delta T \\ \alpha_y \cdot \Delta T \\ \alpha_z \cdot \Delta T \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

となる。



(口) - 第 A. 129 図 応力-ひずみ曲線

2-3 4節点矩形シェル要素（弾性解析） [（ロ）章 A.6.3.2 参照]

解析フローを（ロ）－第A.127図に、仕切板・区切板の解析モデルを（ロ）－第A.130図に示す。仕切板・区切板は、4節点矩形シェル要素として弾性解析する。

解析フローの説明を下記に示す。

(1) 入力

入力には構成データと荷重データがある。

構成データを下記に示す。

- a. 節点の座標
- b. 節点番号
- c. 要素を構成する節点番号
- d. 初期温度（20℃）
- e. 縦弾性係数
- f. 線膨張係数
- g. 密度

荷重データを下記に示す。

- a. 拘束節点
- b. 各要素の温度

(2) 指標の作成

全体の剛性マトリックス [K]、節点荷重ベクトル {f}、節点変位ベクトル {δ} 成分がどのような順序に並んでいるかを示すために、各成分に対応する自由度番号を入れておく。この自由度番号より拘束自由度番号を取り除いたものを指標という。

$$\{f\} = [K] \cdot \{\delta\}$$
$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix}$$

拘束自由度番号を削除し、つめる。

$$\{f_A\} = [k_{AA}] \cdot \{\delta_A\}$$

u_n : x 方向の変位

v_n : y 方向の変位

δ_A : 未知節点変位

(2)-1 要素の剛性マトリックス $[K]_m$ を計算

$$[K]_m = \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] dv$$

V : 要素の体積

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\}$$

$\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル

$\{U\}$: 要素を構成する節点変位

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル

$[B]^T$: $[B]$ の逆マトリックス

(2)-2 全体の剛性マトリックス $[K]$ を計算

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K]_m$$

N : 要素の数

(2)-3 拘束自由度番号を削除し $[K_{AA}]$ 、 $\{f_A\}$ を作成

$[K_{AA}]$: $[K]$ より拘束自由度番号を削除したマトリックス

$\{f_A\}$: $\{f\}$ より拘束自由度番号を削除したベクトル

(3) 節点変位 $\{\delta_A\}$ を計算

$$\{\delta_A\} = [K_{AA}]^{-1} \cdot \{f_A\}$$

$\{f_A\}$: 拘束自由度番号を削除した節点荷重ベクトル

$[K_{AA}]^{-1}$: 拘束自由度番号を削除した全体の剛性マトリックスの
逆マトリックス

(4) 要素のひずみ $\{\varepsilon\}$ 、要素の応力 $\{\sigma\}$ を計算

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}_m$$

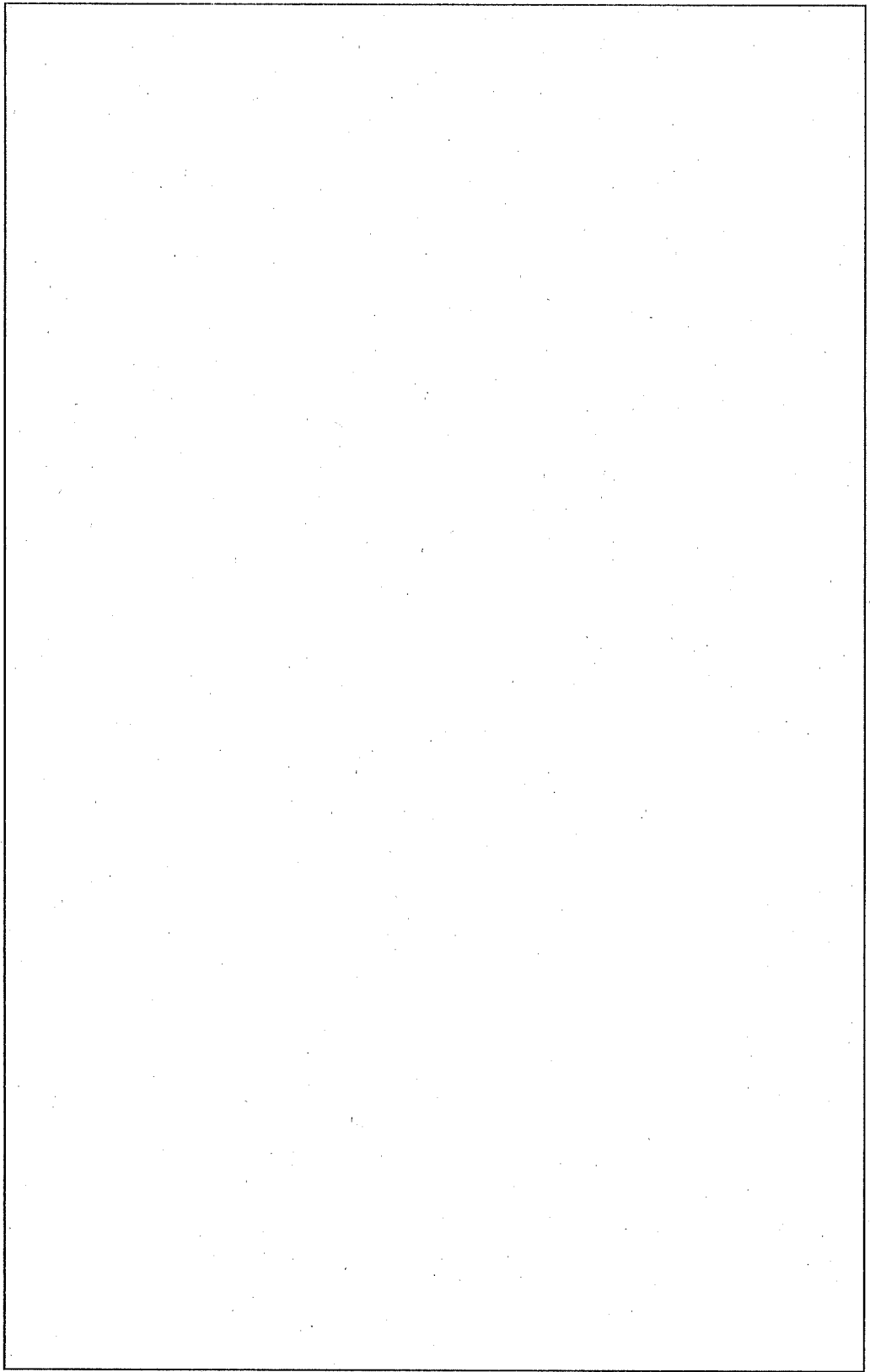
$\{\delta\}_m$: 要素の変位

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$\{\varepsilon\}$: 要素のひずみ



(ロ) - 第 A. 130 図 仕切板・区切板の解析モデル

2-4 4 節点四辺形平面応力要素（弾性解析）

[（ロ）章 A. 5. 1. 2-2. 1, A. 6. 1. 2-2. 1. 2, A. 6. 1. 2-2. 2. 2 参照]

解析フローを（ロ）－第 A. 127 図に、枠組の解析モデルを（ロ）－第 A. 131 図に示す。枠組は、4 節点四辺形平面応力要素として弾性解析する。

解析フローの説明を下記に示す。

(1) 入力

入力には構成データと荷重データがある。

構成データを下記に示す。

- a. 節点の座標
- b. 節点番号
- c. 要素を構成する節点番号
- d. 初期温度（20℃）
- e. 縦弾性係数
- f. 線膨張係数
- g. 密度

荷重データを下記に示す。

- a. 拘束節点
- b. 各要素の温度

(2) 指標の作成

全体の剛性マトリックス $[K]$ 、節点荷重ベクトル $\{f\}$ 、節点変位ベクトル $\{\delta\}$ 成分がどのような順序に並んでいるかを示すために、各成分の対応する自由度番号を入れておく。この自由度番号より拘束自由度番号を取り除いたものを指標という。

$$\{f\} = [K] \cdot \{\delta\}$$

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

拘束自由度番号を削除し、つめる。

$$\{f_A\} = [K_{AA}] \cdot \{\delta_A\}$$

u_n : x 方向の変位

v_n : y 方向の変位

δ_A : 未知節点変位

(2)-1 要素の剛性マトリックス $[K]_m$ を計算

$$[K]_m = \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] dv$$

V : 要素の体積

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\}$$

$\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル

$\{U\}$: 要素を構成する節点変位

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル

$[B]^T$: $[B]$ の逆マトリックス

(2)-2 全体の剛性マトリックス $[K]$ を計算

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K]_m$$

N : 要素の数

(2)-3 拘束自由度番号を削除し $[K_{AA}]$ 、 $\{f_A\}$ を作成

$[K_{AA}]$: $[K]$ より拘束自由度番号を削除したマトリックス

$\{f_A\}$: $\{f\}$ より拘束自由度番号を削除したベクトル

(3) 節点変位 $\{\delta_A\}$ を計算

$$\{\delta_A\} = [K_{AA}]^{-1} \cdot \{f_A\}$$

$\{f_A\}$: 拘束自由度番号を削除した節点荷重ベクトル

$[K_{AA}]^{-1}$: 拘束自由度番号を削除した全体の剛性マトリックスの逆マトリックス

(4) 要素のひずみ $\{\varepsilon\}$ 、要素の応力 $\{\sigma\}$ を計算

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}_m$$

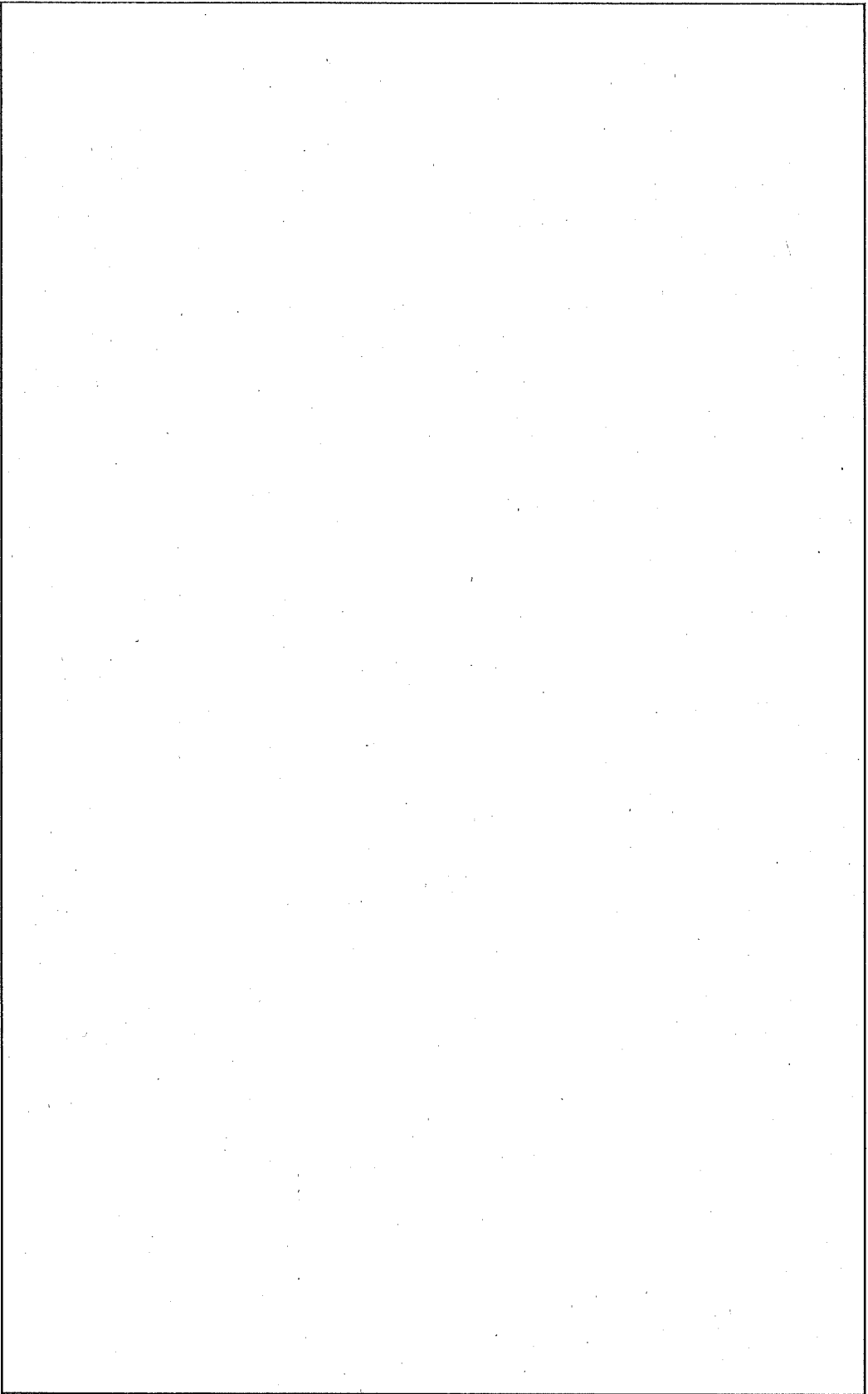
$\{\delta\}_m$: 要素の変位

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$\{\varepsilon\}$: 要素のひずみ



(ロ) - 第 A. 131 図 枠組の解析モデル

2-5 4節点四辺形平面応力要素（弾塑性解析）〔（ロ）章 A.6.3.2 参照〕

解析フローを（ロ）－第 A.127 図に、枠組の解析モデルを（ロ）－第 A.131 図に示す。

枠組は、4 節点四辺形対称要素として弾塑性解析をする。

解析フローの説明を下記に示す。

(1) 入力

入力には構成データと荷重データがある。

構成データを下記に示す。

- a. 節点の座標
- b. 節点番号
- c. 要素を構成する節点番号
- d. 初期温度（20℃）
- e. 縦弾性係数
- f. 線膨張係数
- g. 密度
- h. 応力－ひずみ曲線（（ロ）－第 A.129 図参照）

荷重データを下記に示す。

- a. 拘束節点
- b. 各要素の温度

(2) 指標の作成

全体の剛性マトリックス [K]、節点荷重ベクトル {f}、節点変位ベクトル {δ} 成分がどのような順序に並んでいるかを示すために、各成分に対応する自由度番号を入れておく。この自由度番号より拘束自由度番号を取り除いたものを指標という。

$$\begin{Bmatrix} f \\ \vdots \\ f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ \vdots \end{Bmatrix} = [K] \cdot \begin{Bmatrix} \delta \\ \vdots \\ u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

拘束自由度番号を削除し、つめる。

$$\{f_A\} = [K_{AA}] \cdot \{\delta_A\}$$

u_n : x 方向の変位

v_n : y 方向の変位

δ_A : 未知節点変位

(2)-1 要素の剛性マトリックス $[K]_m$ を計算

$$[K]_m = \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] dv$$

V : 要素の体積

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\}$$

$\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル

$\{U\}$: 要素を構成する節点変位

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル

$[B]^T$: $[B]$ の逆マトリックス

(2)-2 全体の剛性マトリックス $[K]$ を計算

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K]_m$$

N : 要素の数

(2)-3 拘束自由度番号を削除し $[K_{AA}]$ 、 $\{f_A\}$ を作成

$[K_{AA}]$: $[K]$ より拘束自由度番号を削除したマトリックス

$\{f_A\}$: $\{f\}$ より拘束自由度番号を削除したベクトル

(3) 節点変位 $\{\delta_A\}$ を計算

$$\{\delta_A\} = [K_{AA}]^{-1} \cdot \{f_A\}$$

$\{f_A\}$: 拘束自由度番号を削除した節点荷重ベクトル

$[K_{AA}]^{-1}$: 拘束自由度番号を削除した全体の剛性マトリックスの
逆マトリックス

(4) 要素のひずみ $\{\varepsilon\}$ 、要素の応力 $\{\sigma\}$ を計算

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}_m$$

$\{\delta\}_m$: 要素の変位

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot (\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_{th}\})$$

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$[D] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_x} & -\frac{\nu_{zx}}{E_x} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{zy}}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_z} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} \end{bmatrix}$$

対称性を考慮すると、

$$\frac{\nu_{yx}}{E_x} = \frac{\nu_{xy}}{E_y}$$

$$\frac{\nu_{zx}}{E_x} = \frac{\nu_{xz}}{E_z}$$

$$\frac{\nu_{zy}}{E_y} = \frac{\nu_{yz}}{E_z}$$

より上式は、

$$[D] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & -\frac{\nu_{xz}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_z} & -\frac{\nu_{yz}}{E_z} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} \end{bmatrix}$$

となる。

ここで、

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{E_x \cdot E_y}{E_x + E_y + 2 \nu_{xy} \cdot E_x}$$

$$\frac{1}{G_{yz}} = \frac{E_y \cdot E_z}{E_y + E_z + 2 \nu_{yz} \cdot E_y}$$

$$\frac{1}{G_{xz}} = \frac{E_x \cdot E_z}{E_x + E_z + 2 \nu_{xz} \cdot E_x}$$

{ ϵ_{th} } : 熱ひずみベクトル

$$\{\epsilon_{th}\} = \begin{bmatrix} \alpha_x \cdot \Delta T \\ \alpha_y \cdot \Delta T \\ \alpha_z \cdot \Delta T \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

となる。

2-6 4 節点四辺形軸対称要素 (弾性解析) [(ロ) 章 A. 6. 1. 1 参照]

解析フローを (ロ) - 第 A. 127 図に、蓋の解析モデルを (ロ) - 第 A. 132 図に示す。蓋は、4 節点四辺形軸対称要素として弾性解析する。

解析フローの説明を下記に示す。

(1) 入力

入力には構成データと荷重データがある。

構成データを下記に示す。

- a. 節点の座標
- b. 節点番号
- c. 要素を構成する節点番号
- d. 初期温度
- e. 縦弾性係数
- f. 線膨張係数
- g. 密度

荷重データを下記に示す。

- a. 拘束節点
- b. 各要素の温度
- c. 各要素の面への荷重

(2) 指標の作成

全体の剛性マトリックス $[K]$ 、節点荷重ベクトル $\{f\}$ 、節点変位ベクトル $\{\delta\}$ 成分がどのような順序に並んでいるかを示すために、各成分に対応する自由度番号を入れておく。この自由度番号より拘束自由度番号を取り除いたものを指標という。

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ \vdots \end{Bmatrix} = [K] \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

拘束自由度番号を削除し、つめる。

$$\{f_A\} = [K_{AA}] \cdot \{\delta_A\}$$

u_n : x方向の変位

v_n : y方向の変位

δ_A : 未知節点変位

(2)-1 要素の剛性マトリックス $[K]_m$ を計算

$$[K]_m = \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] dv$$

V : 要素の体積

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\}$$

$\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル

$\{U\}$: 要素を構成する節点変位

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル

$[B]^T$: $[B]$ の逆マトリックス

(2)-2 全体の剛性マトリックス $[K]$ を計算

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K]_m$$

N : 要素の数

(2)-3 拘束自由度番号を削除し $[K_{AA}]$ 、 $\{f_A\}$ を作成

$[K_{AA}]$: $[K]$ より拘束自由度番号を削除したマトリックス

$\{f_A\}$: $\{f\}$ より拘束自由度番号を削除したベクトル

(3) 節点変位 $\{\delta_A\}$ を計算

$$\{\delta_A\} = [K_{AA}]^{-1} \cdot \{f_A\}$$

$\{f_A\}$: 拘束自由度番号を削除した節点荷重ベクトル

$[K_{AA}]^{-1}$: 拘束自由度番号を削除した全体の剛性マトリックスの逆マトリックス

(4) 要素のひずみ $\{\varepsilon\}$ 、要素の応力 $\{\sigma\}$ を計算

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}_m$$

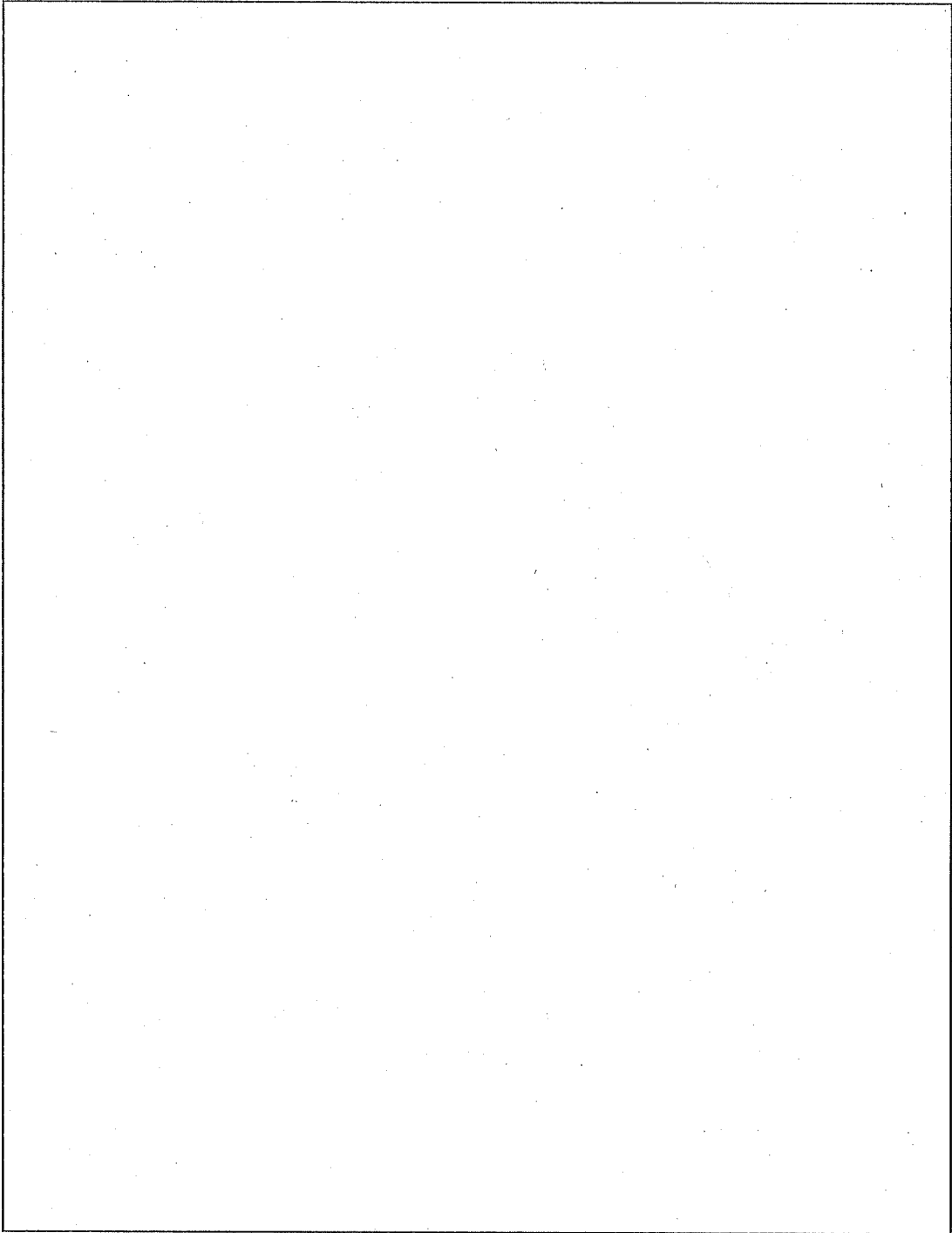
$\{\delta\}_m$: 要素の変位

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$\{\varepsilon\}$: 要素のひずみ



(ロ) - 第 A. 132 図 蓋の解析モデル

2-7 三次元はり要素（弾性解析） [（口）章 A. 6. 1. 2 参照]

解析フローを（口）－第 A. 127 図に、仕切板・区切板の解析モデルを（口）－第 A. 133 図に示す。仕切板・区切板は三次元はり要素として弾性解析する。

解析フローの説明を下記に示す。

(1) 入力

入力には構成データと荷重データがある。

構成データを下記に示す。

- a. 節点の座標
- b. 節点番号
- c. 要素を構成する節点番号
- d. 初期温度（仕切板・区切板 、運搬台 ）
- e. 縦弾性係数
- f. 線膨張係数
- g. 密度

荷重データを下記に示す。

- a. 拘束節点
- b. 各要素の温度
- c. 各要素の面への荷重

(2) 指標の作成

全体の剛性マトリックス $[K]$ 、節点荷重ベクトル $\{f\}$ 、節点変位ベクトル $\{\delta\}$ 成分がどのような順序に並んでいるかを示すために、各成分に対応する自由度番号を入れておく。この自由度番号より拘束自由度番号を取り除いたものを指標という。

$$\{f\} = [K] \cdot \{\delta\}$$
$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} K \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

拘束自由度番号を削除し、つめる。

$$\{f_A\} = [K_{AA}] \cdot \{\delta_A\}$$

u_n : x方向の変位

v_n : y方向の変位

δ_A : 未知節点変位

(2)-1 要素の剛性マトリックス $[K]_m$ を計算

$$[K]_m = \int_V [B]^T \cdot [D] \cdot [B] dv$$

V : 要素の体積

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{U\}$$

$\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル

$\{U\}$: 要素を構成する節点変位

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$\{\sigma\}$: 応力ベクトル

$[B]^T$: $[B]$ の逆マトリックス

(2)-2 全体の剛性マトリックス $[K]$ を計算

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K]_m$$

N : 要素の数

(2)-3 拘束自由度番号を削除し $[K_{AA}]$ 、 $\{f_A\}$ を作成

$[K_{AA}]$: $[K]$ より拘束自由度番号を削除したマトリックス

$\{f_A\}$: $\{f\}$ より拘束自由度番号を削除したベクトル

(3) 節点変位 $\{\delta_A\}$ を計算

$$\{\delta_A\} = [K_{AA}]^{-1} \cdot \{f_A\}$$

$\{f_A\}$: 拘束自由度番号を削除した節点荷重ベクトル

$[K_{AA}]^{-1}$: 拘束自由度番号を削除した全体の剛性マトリックスの逆マトリックス

(4) 要素のひずみ $\{\varepsilon\}$ 、要素の応力 $\{\sigma\}$ を計算

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{\delta\}_m$$

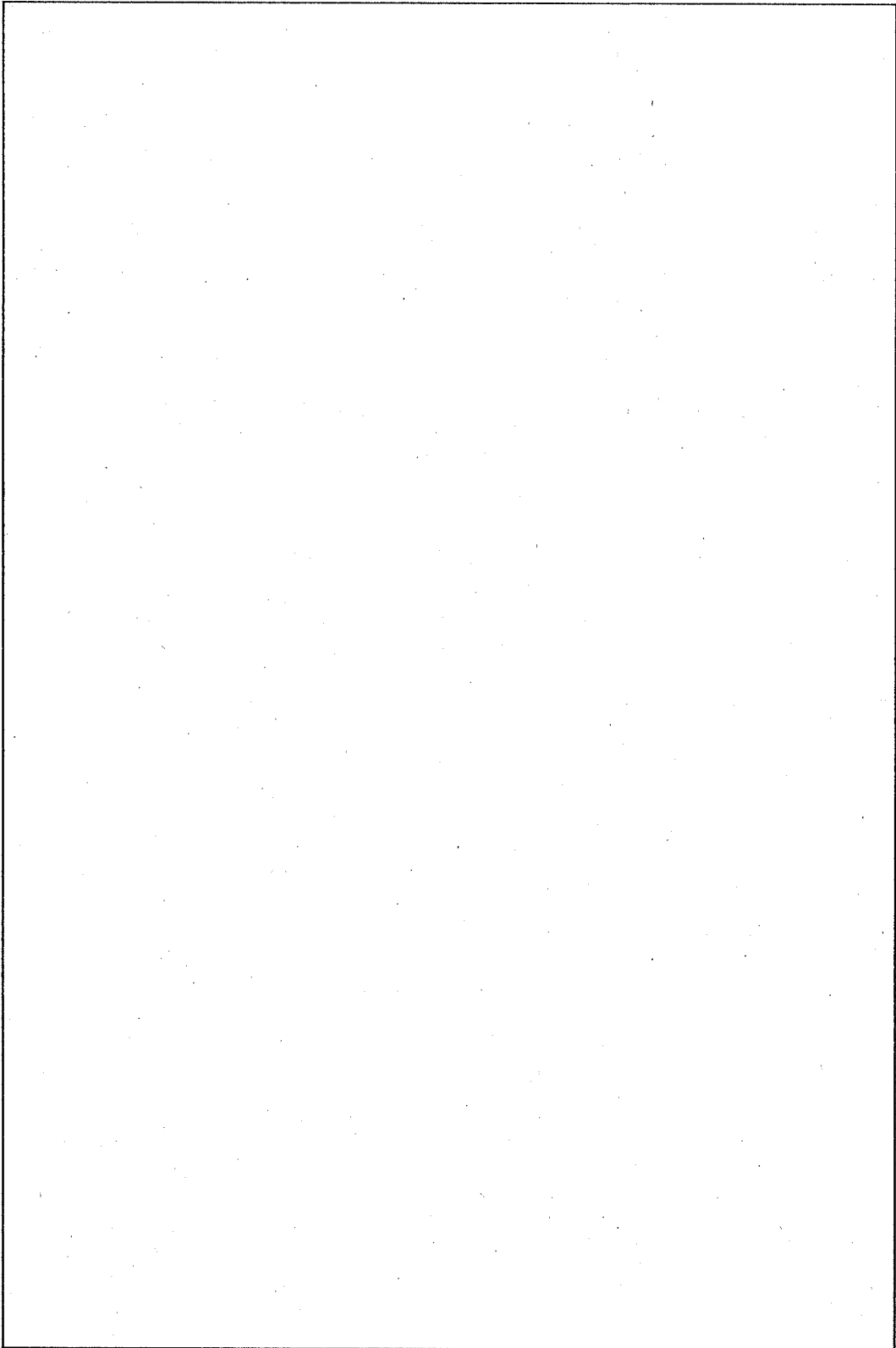
$\{\delta\}_m$: 要素の変位

$[B]$: 変位-ひずみマトリックス

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

$[D]$: 応力-ひずみマトリックス

$\{\varepsilon\}$: 要素のひずみ



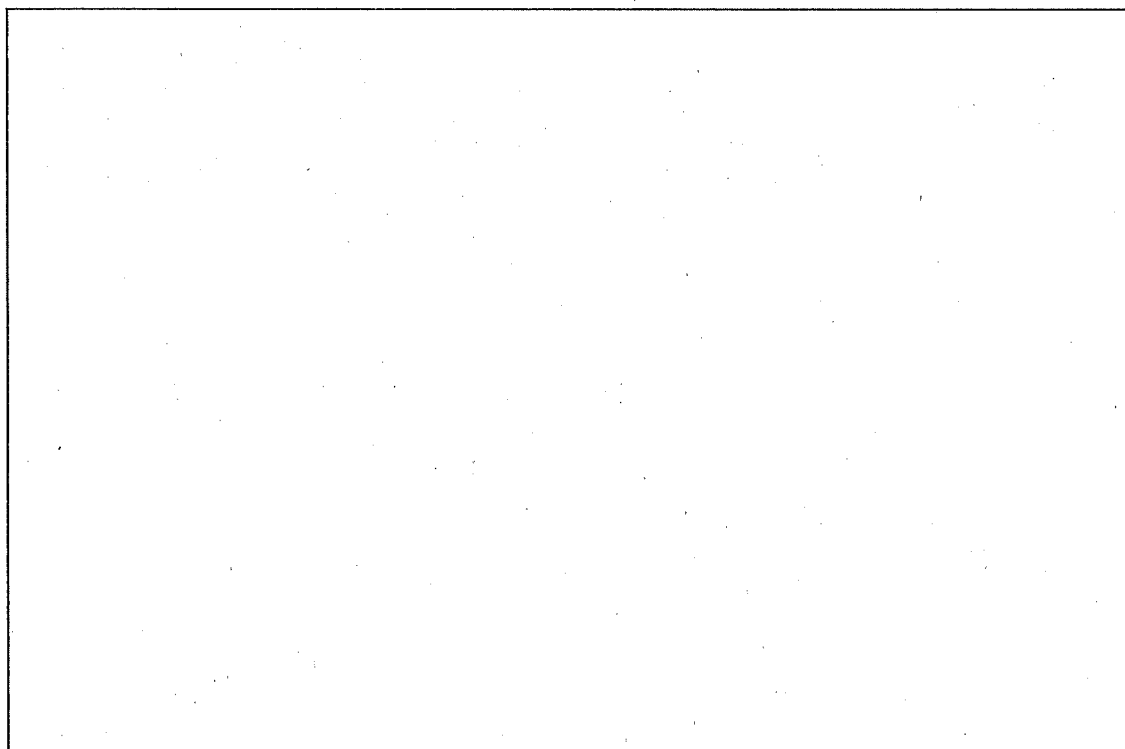
(ロ) - 第 A. 133 図 仕切板・区切板の解析モデル

A. 10.2 SHOCK-2 計算コード

1. 概要

輸送物の落下解析において、緩衝体の変形解析に用いた計算コード SHOCK-2 の緩衝体の形状モデルを (口) - 第 A. 134 図に示す。SHOCK-2 は、木材あるいはその合板製緩衝体を装着した輸送物の緩衝体の変形量と輸送物に生じる最大減速度を計算するものである。

すなわち、輸送物の落下エネルギーに等しくなるまで緩衝材が変形するものとし、その変形量を求める。この際、木材の機械的な性質(応力-ひずみ関係)は木目に平行な部分と直角な部分では異なるため、その応力を入力して収束計算を行うことができる。以下に、各落下姿勢での解析手法を示す。



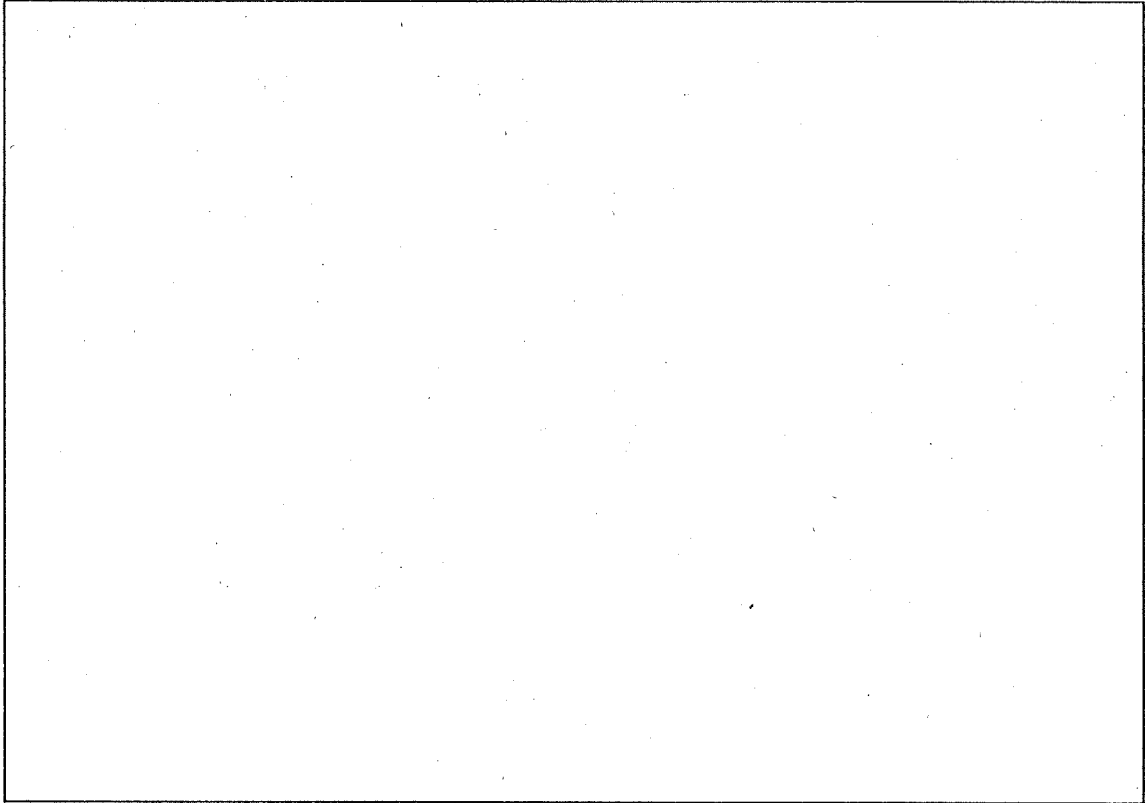
A, B ; 木目の方向が異なる領域

(口) - 第 A. 134 図 緩衝体の形状

2. 各落下姿勢における解析モデル

(1) 垂直落下

垂直落下時の緩衝体の解析モデルを (ロ) - 第 A. 135 図に示す。



(ロ) - 第 A. 135 図 垂直落下時の緩衝体の解析モデル

領域 D_{1-A} における変形抵抗力 P_{1-A} は

$$P_{1-A} = \pi \sigma_A \left(\frac{Z}{Z_{AB}} \right) \left(R_2^2 - R_1^2 \right)$$

σ_A : 領域 A における材料の動的変形応力

Z_{AB} : 領域 D_1 における Z 方向の長さ Z_2

Z : 変形量

領域 D_{1-B} における変形抵抗力 P_{1-B} は

$$P_{1-B} = \pi \sigma_B \left(\frac{Z}{Z_{AB}} \right) \left(R_3^2 - R_2^2 \right)$$

σ_B : 領域 A における材料の動的変形応力

同様に、領域 D_{2-A} 、 D_{2-B} について変形抵抗力は

$$P_{2-A} = \pi \sigma_A \left(\frac{\Delta Z_A}{Z_A} \right) (R_4^2 - R_3^2)$$

$$P_{2-B} = \pi \sigma_B \left(\frac{\Delta Z_B}{Z_B} \right) (R_4^2 - R_3^2)$$

ΔZ_A : 領域 D_{2-A} における変形量

Z_A : 領域 D_{2-A} の Z 方向の長さ $Z_4 - Z_3$

ΔZ_B : 領域 D_{2-B} における変形量

Z_B : 領域 D_{2-B} の Z 方向の長さ Z_3

$$\sigma_A \left(\frac{\Delta Z_A}{Z_A} \right) = \sigma_B \left(\frac{\Delta Z_B}{Z_B} \right)$$

$$\Delta Z_A + \Delta Z_B = Z$$

を満足するよう、収束計算を行い、 P_{2-A} 、 P_{2-B} を決定する。

次に、領域 D_3 については、上端面の拘束に関する補正係数 K (1.0 ~ 0.0) を考慮する。

$$K \cdot P_{3-A} = K \pi \sigma_A \left(\frac{\Delta Z_A}{Z_A} \right) (R_5^2 - R_4^2)$$

$$K \cdot P_{3-B} = K \pi \sigma_B \left(\frac{\Delta Z_B}{Z_B} \right) (R_5^2 - R_4^2)$$

ΔZ_A : 領域 D_{3-A} における変形量

Z_A : 領域 D_{3-A} の Z 方向の長さ $Z_4 - Z_3$

ΔZ_B : 領域 D_{3-B} における変形量

Z_B : 領域 D_{3-B} の Z 方向の長さ Z_3

したがって、衝撃面における全変形抵抗力 P は

$$P = P_{1-A} + P_{1-B} + P_{2-A} + K \cdot P_{3-A}$$

となる。また吸収エネルギー E は、

$$E = \int_0^Z (P_{1-A} + P_{1-B} + P_{2-A} + K \cdot P_{3-A}) dz$$

吸収エネルギー E が、落下エネルギー ($E = W \cdot H$ W : 輸送物重量、 H : 落下高さ) に等しくなるまで積分し、緩衝体の変形量 Z を求める。

最大減速度 α は

$$\alpha = \frac{P}{W}$$

として求める。

(2) 水平落下

水平落下時の緩衝体の解析モデルを(口) - 第 A. 136 図に示す。

領域 A、B と $L_1 (L_1')$ 、 $L_2 (L_2')$ 、 $L_3 (L_3')$ 、 $L_4 (L_4')$ に分ける。

さらに、端面拘束条件の相違により細分割する。

今、領域 L_2 について考える。径方向 R_1 までの部分で材料領域 A の部分の領域を L_2-A-1 、B の部分を L_2-B-1 、さらに R_2 までの部分で、材料領域 A の部を L_2-A-2 、B の部分を L_2-B-2 、 R_2 以上の部分の領域を L_2-B-3 と領域分割する。

領域 L_2-A-1 、 L_2-B-1 の範囲で、微小部分 dx についての変形抵抗力 (dP_1) は

$$dP_1 = \sigma_A(\varepsilon) dx \cdot l_2 = \sigma_B(\varepsilon) dx \cdot l_2$$

l_2 : 領域 L_2 の Z 方向の長さ Z_2-Z_1

同様に、 L_2-A-2 、 L_2-B-2 について

$$dP_2 = K \cdot \sigma_A(\varepsilon) dx \cdot l_2 = K \cdot \sigma_B(\varepsilon) dx \cdot l_2$$

K : 端面拘束の補正係数

同様に、 L_2-B-3

$$dP_3 = K \cdot \sigma_B(\varepsilon) dx \cdot l_2$$

領域 L_2 の各領域による変形抵抗力 (P_2) と吸収エネルギー (E_2) は、次式で表される。

$$P_2 = 2 \left[\int_0^{R_1} \sigma_B(\varepsilon) dx + \int_{R_1}^{R_2} K \cdot \sigma_B(\varepsilon) dx + \int_{R_2}^{R_3} K \cdot \sigma_B(\varepsilon) dx \right] \cdot l_2$$

$$E_2 = 2 \left[\int_0^{R_1} \int_0^y \{\sigma_B(\varepsilon)\} dy \cdot dx + \int_{R_1}^{R_2} \int_0^y \{K \cdot \sigma_B(\varepsilon)\} dy \cdot dx + \int_{R_2}^{R_3} \int_0^y \{K \cdot \sigma_A(\varepsilon)\} dy \cdot dx \right] \cdot l_2$$

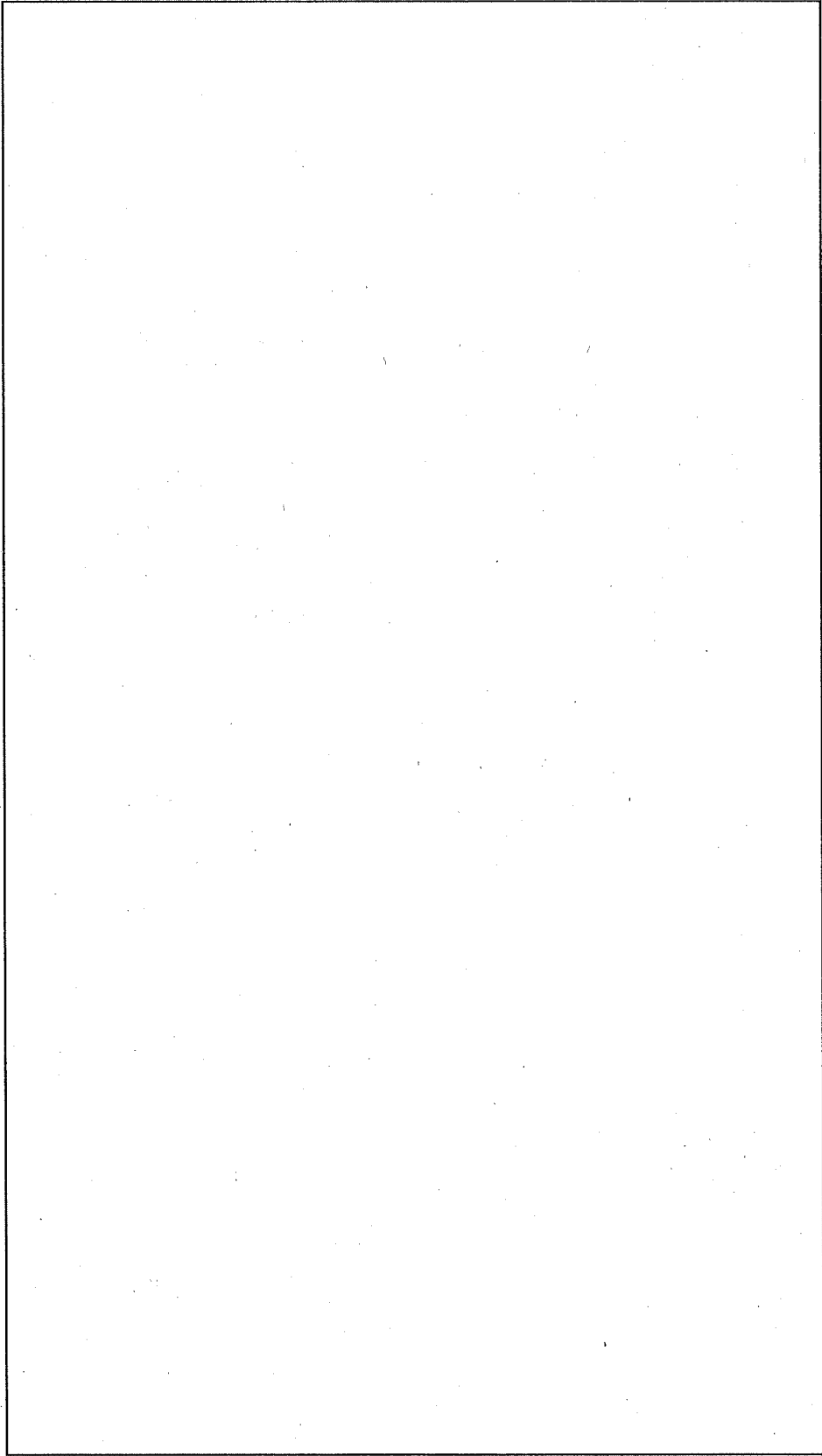
y : 各領域の x 方向のある点における変形量

他の幾何学的領域 L_1 、 L_2 、 L_3 についても同様に、変形抵抗力と吸収エネルギーを求め、それぞれ P_i 、 E_i とすると衝撃面における全変形抵抗力 (P) と吸収エネルギー (E) は、次式で表される。

$$P = \sum P_i$$

$$E = \sum E_i$$

吸収エネルギー (E) が、落下エネルギーに等しくなるまで積分する。



(口) ー第 A.136 図 水平落下時の緩衝体の解析モデル

(3) 傾斜落下

傾斜落下時の緩衝体の解析モデルを(ロ) - 第 A. 137 図に示す。

落下角度 θ を求めると、衝撃面は

$$Z = ax + b \quad (a = \tan \theta)$$

で表され、この面に垂線を立て、その垂線の方程式は

$$Z = a'x + b' \quad \left(a' = - \frac{1}{\tan \theta} \right)$$

で表される。

この垂線の周りに $\Delta \ell \times \Delta \ell = \Delta S$ の断面積をもつ、微小角柱を考える。

領域分割はこの垂線と各境界を表わす境界方程式との交点が、同一境界面上にあるとき、一つの領域を決定し、他の境界に移るともう一つの領域を決定するというようにしてなされる。

また、それらの境界はそれぞれ、端面拘束の相違による補正係数 K を有しており、各微小角柱の断面の変形抵抗力に K を乗じるようになっている。また、微小角柱が材料領域 A 、 B で構成されているとき、前項垂直落下の項で述べた収束計算を行って、断面の変形抵抗力を決定する。

$$dP_i = \sigma(\epsilon) dS$$

全変形抵抗力 (P) は

$$P = \iint_S \sigma(\epsilon) ds$$

吸収エネルギー (E) は

$$E = \iiint_V \sigma(\epsilon) dv$$

v : 変形体積を表す積分領域

吸収エネルギーが、落下エネルギーに等しくなるまで積分する。

3. 材料特性

この計算コードは材料特性 (応力-ひずみ関係) の異なる材料を組み合わせた緩衝材について計算することができる。

例えば、木材、あるいはその合板のように材料異方性のある材料を組み合わせた場合、その二方向の材料特性 (応力-ひずみ関係) を入力しておけば、衝撃方向 (落下角度)

がその材料特性の方向と角度 θ ($0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$) をなす場合、衝撃方向の応力-ひずみ

関係は、次式のように計算される。

$$\sigma = \sigma_v \cdot \cos^2 \theta + \sigma_H \cdot \sin^2 \theta$$

あるいは

$$\sigma = \sigma_v \cdot \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) + \sigma_H \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)$$

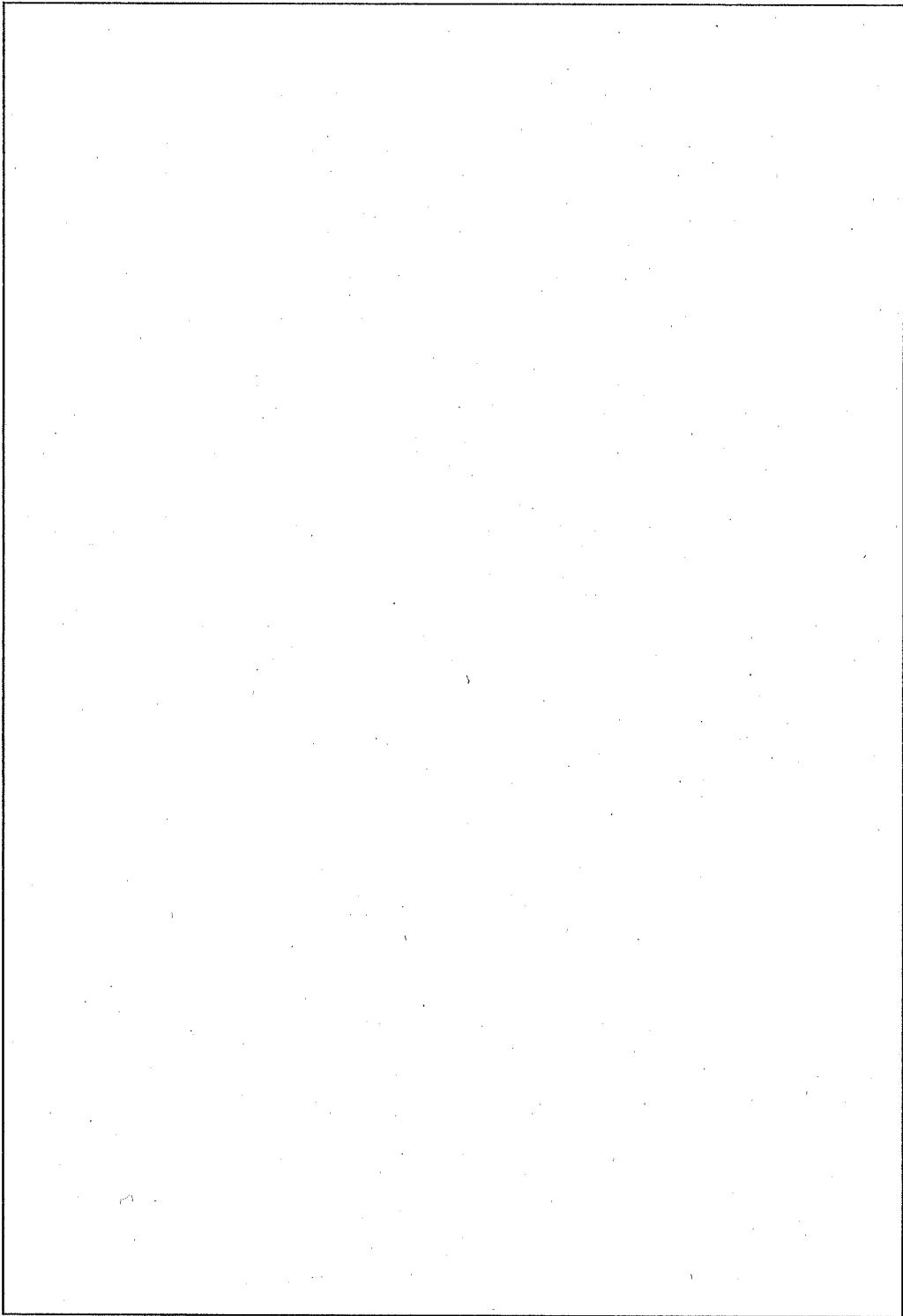
σ_v : 木目が落下方向に対して直角

σ_H : 木目が落下方向に対して平行

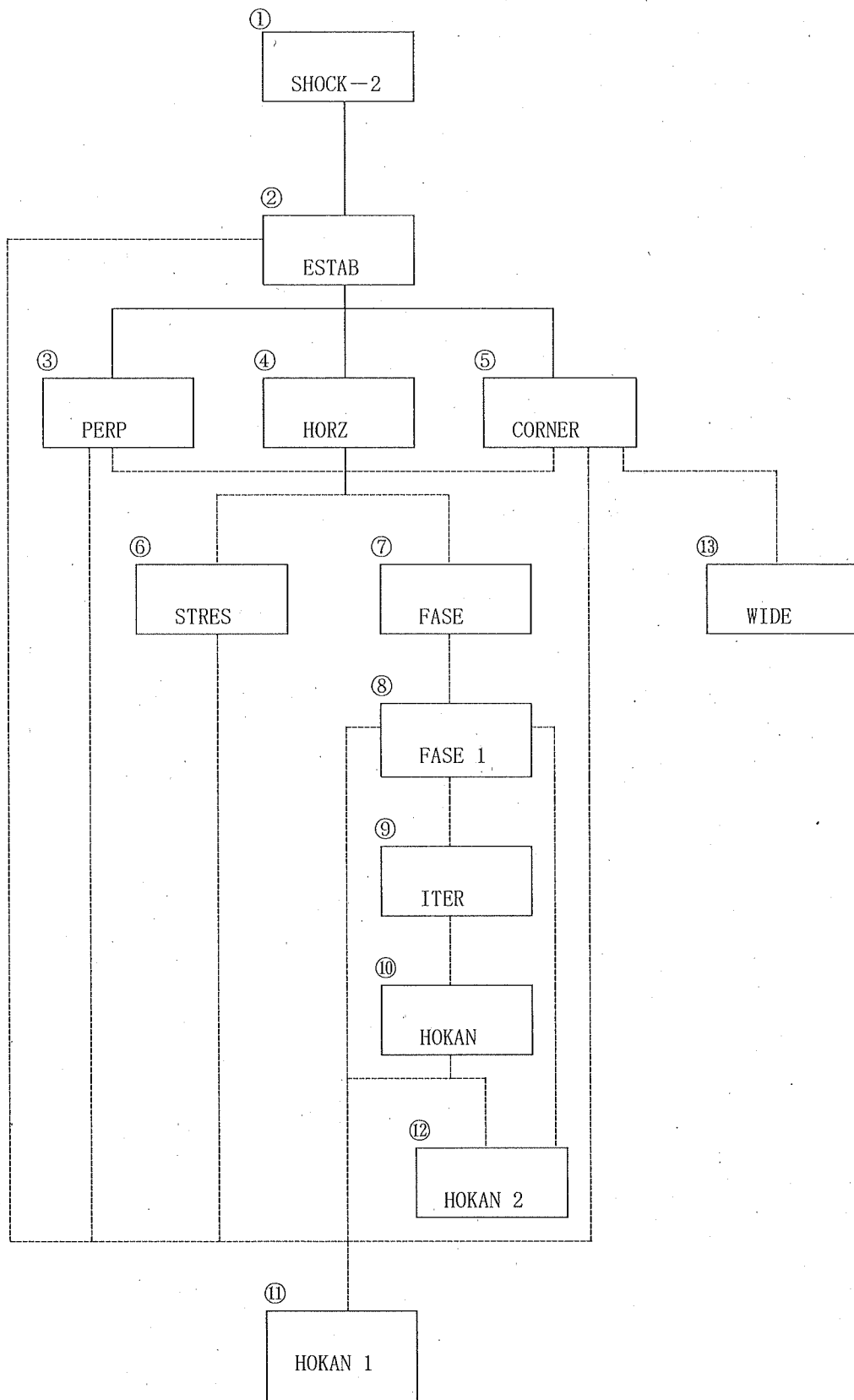
4. SHOCK-2 フローチャート

SHOCK-2 のプログラム構成を (ロ) - 第 A.138 図に示す。

- | | |
|-----------|-----------------------------|
| ① SHOCK-2 | メインプログラム(インプットデータ読込) |
| ② ESTAB | $\varepsilon - \sigma$ データ |
| ③ PERP | 垂直落下計算ルーチン |
| ④ HORZ | 水平落下計算ルーチン |
| ⑤ CORNER | 傾斜落下計算ルーチン |
| ⑥ STRES | 一相における応力計算 |
| ⑦ FASE | 二相における応力計算 (メインコントロールルーチン) |
| ⑧ FASE1 | 二相における応力計算 (σ 範囲計算) |
| ⑨ ITER | 二相における応力計算 (σ 収束計算) |
| ⑩ HOKAN | 線形補間ルーチン (メインコントロール) |
| ⑪ HOKAN 1 | 線形補間ルーチン (小さい順のデータ補間) |
| ⑫ HOKAN 2 | 線形補間ルーチン (大きい順のデータ補間) |
| ⑬ WIDE | 二点間の距離 |



(ロ) - 第 A. 137 図 傾斜落下時の緩衝体の解析モデル



(ロ) - 第 A. 138 図 SHOCK-2 のプログラム構成

A. 10.3 FIN-200 計算コード

1. 概要

フィンの解析モデルを (ロ) 一第 A. 139 図 に示す。

輸送物の落下解析において輸送容器フィンの変形解析に用いた計算コード FIN-200 は、(ロ) 一第 A. 139 図 に示す形状の容器本体に設けた鋼製フィンの変形量と輸送物に生じる最大減速度とを計算するものである。

2. 解析手法

計算コードにおいては、フィンの曲げ変形のみにより輸送容器の落下エネルギーを吸収するものとする。F. C. Davis⁽³⁶⁾ は、種々の傾きに取り付けられた長方形板（フィン）にハンマーを落下させ、その曲げ変形時の衝撃力、吸収エネルギーを実験により求めている。

<Davis の実験について>

(1) 実験の概要

Davis の実験における試験片を (ロ) 一第 A. 140 図 に示す。また、計算フローチャートを (ロ) 一第 A. 141 図 に示す。

Davis は、輸送容器のフィンに関する落下エネルギーの吸収を求めるために、(ロ) 一第 A. 140 図 に示すパラメータを変えた長方形板にハンマーを落下させ試験片台に取り付けてあるロードセルからその曲げ変形時の衝撃力の時間的変化を求めた。

そして長方形板の変形量と吸収エネルギー、衝撃力の関係を (ロ) 一第 A. 141 図 に示す計算フローチャートに従ってまとめた。

(2) 実験の結果

衝撃荷重による曲げモーメントが塑性曲げに比例するものとし、構造材を弾完全塑性体であると考えれば

$$F \cdot \delta \cong S_y \left(\frac{b \cdot T^2}{4} \right)$$

ここで、

F : 衝撃力

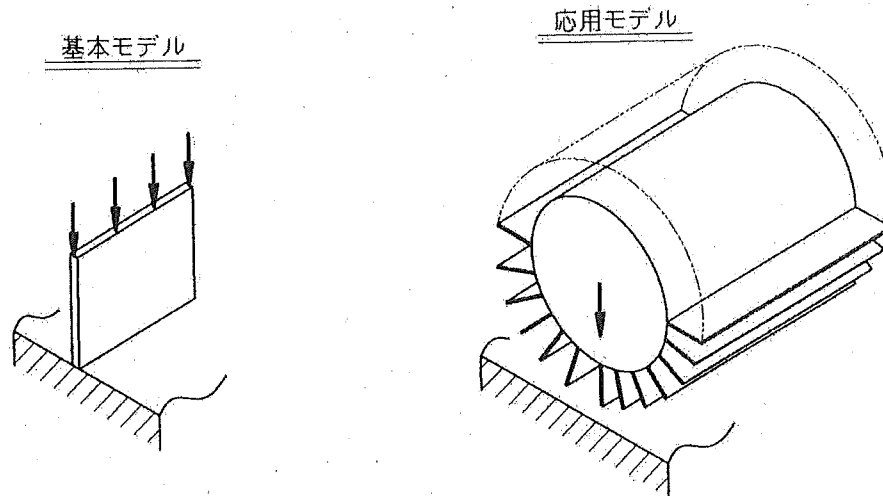
δ : 変形量

S_y : 鋼材の降伏応力

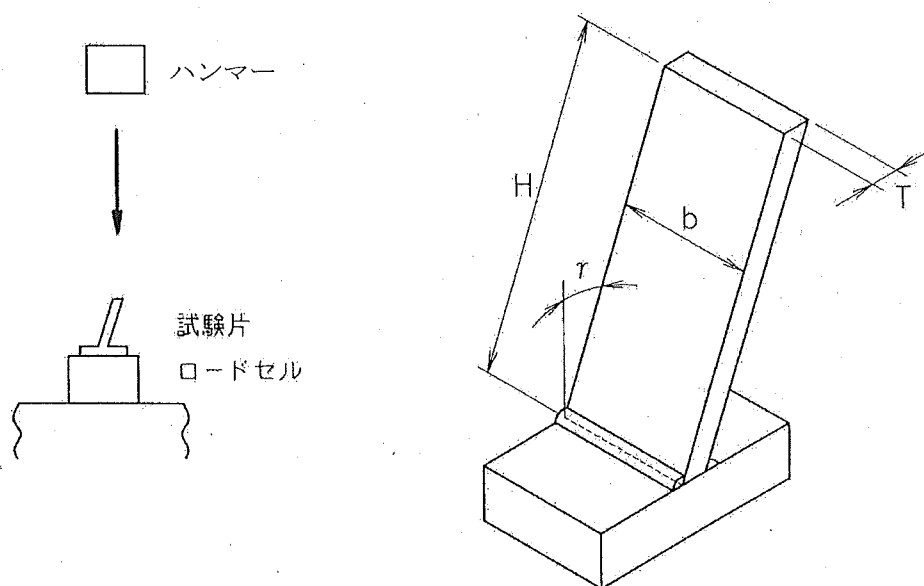
b : 板幅

T : 板厚

変形量と吸収エネルギーの関係を (ロ) 一第 A. 142 図 ~ (ロ) 一第 A. 145 図 に示す。



(口) 一第 A. 139 図 フィンの解析モデル



注 1) 試験片の材質 : 軟鋼 $S_y=207 \text{ N/mm}^2$ (30000 lb/in²)

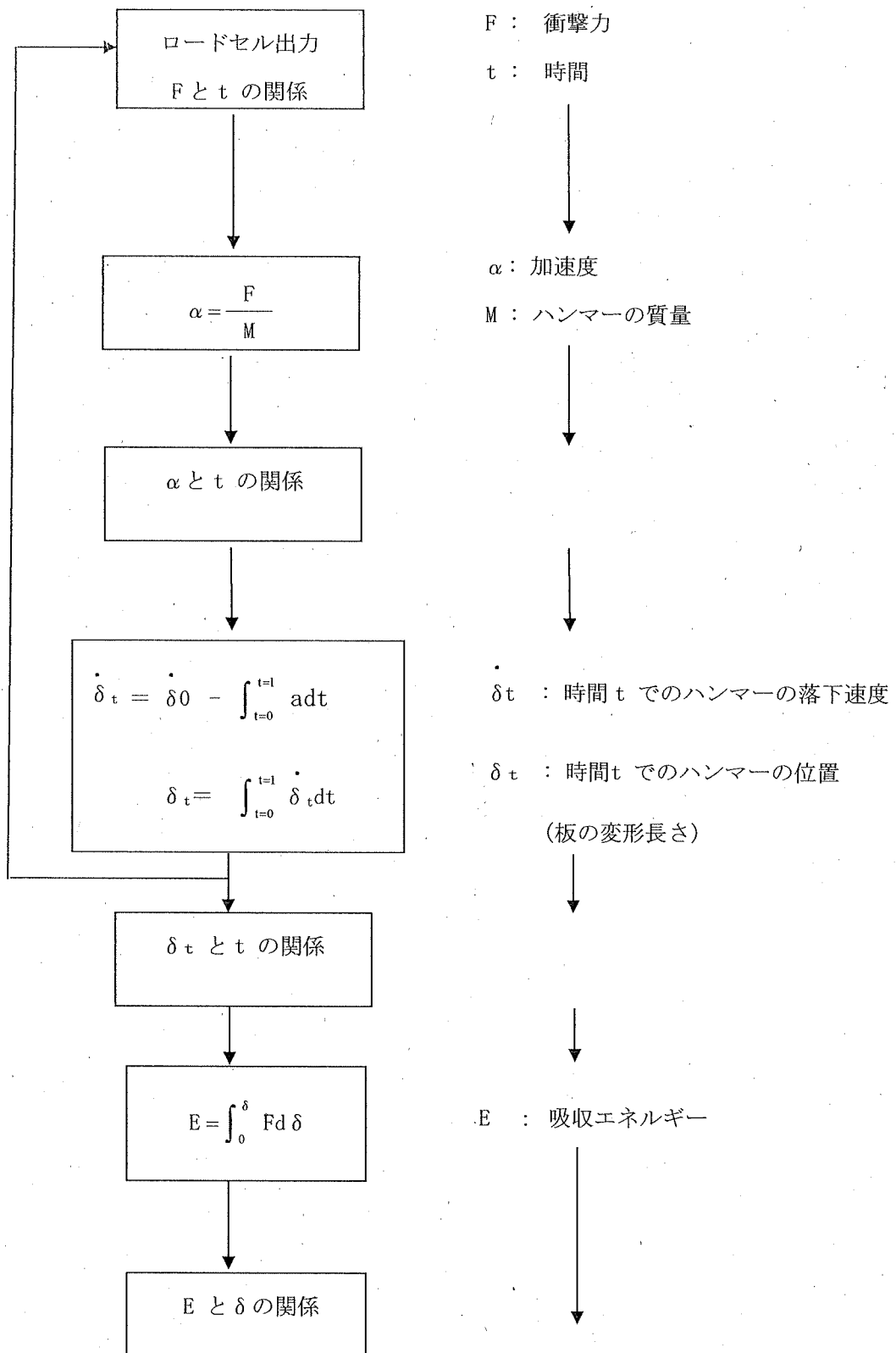
注 2) 試験片の形状

$H=88.9 \sim 254\text{mm}$, $T=6.35 \sim 19.05\text{mm}$, $\gamma=0^\circ \sim 40^\circ$, $b=50.8 \text{ mm}$

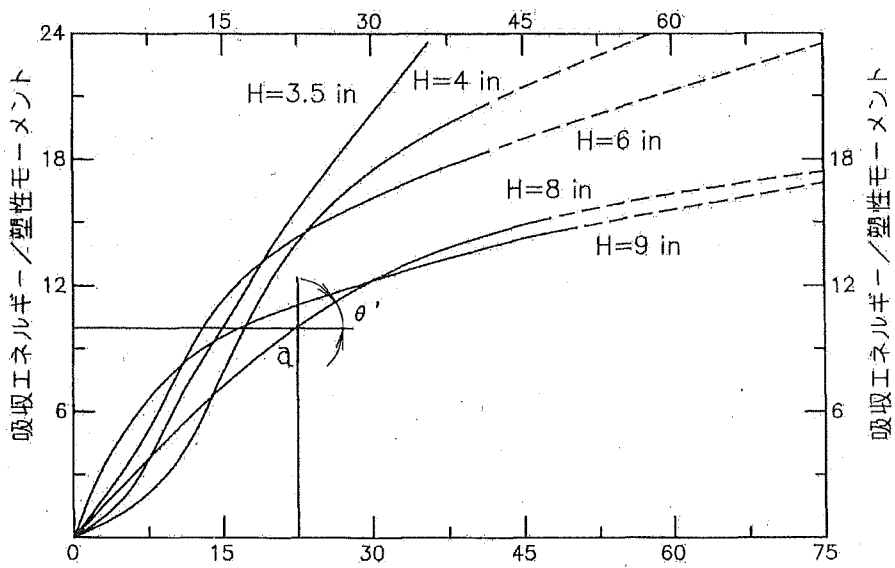
(3.5 in \sim 10in) (0.25 in \sim 0.75in)

(2 in)

(口) 一第 A. 140 図 Davis の実験における試験片



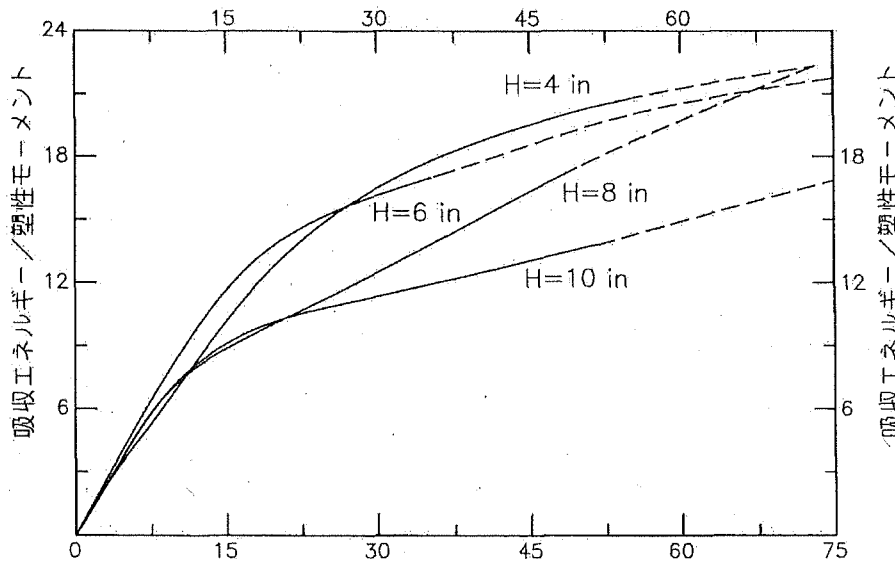
(ロ) - 第 A. 141 図 計算フローチャート



(変形量/初期の高さ) $\times 100$ (%)

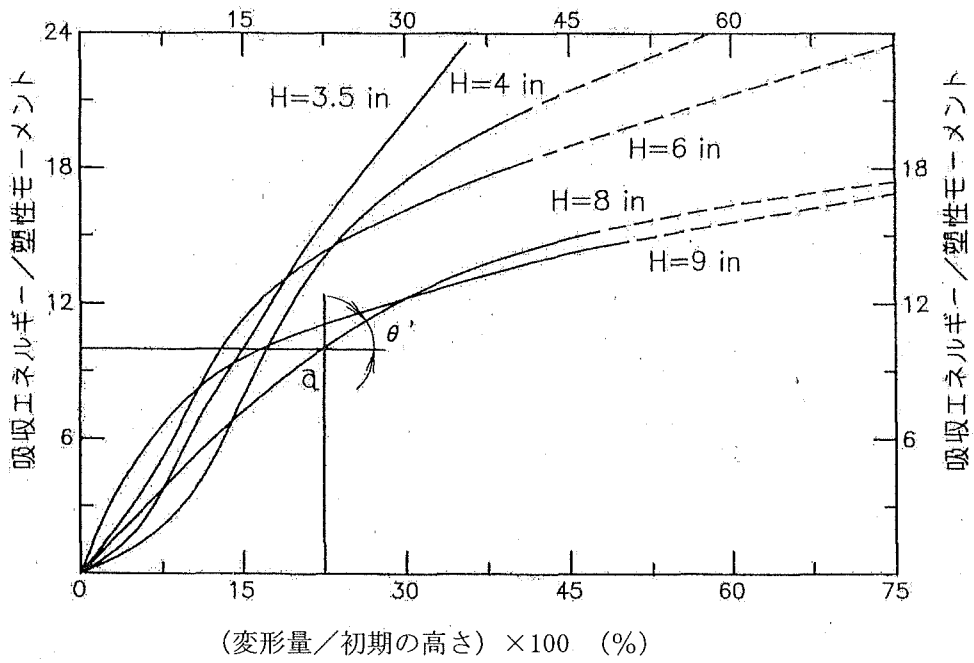
※ 塑性モーメント : M_p $M_p = S_y \cdot bT^2 / 4$

(ロ) - 第 A. 142 図 変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 0^\circ$ の場合)

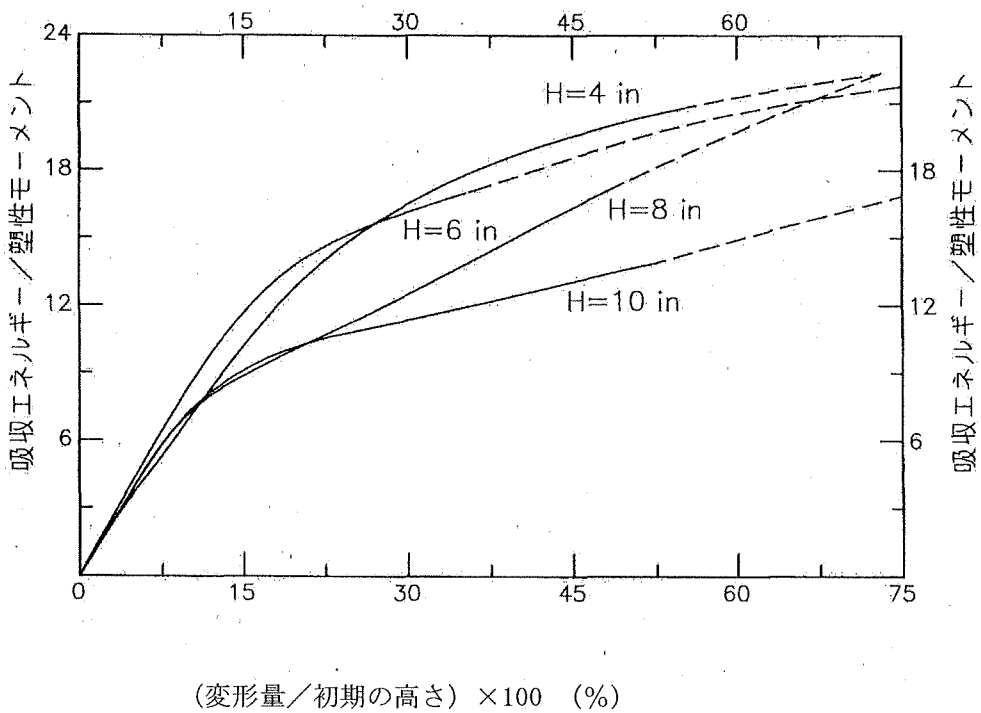


(変形量/初期の高さ) $\times 100$ (%)

(ロ) - 第 A. 143 図 変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 10^\circ$ の場合)



(口) - 第 A. 144 図 変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 20^\circ$ の場合)



(口) - 第 A. 145 図 変形量と吸収エネルギーの関係 ($\gamma = 30^\circ$ の場合)

3. 計算手法

計算モデルを (ロ) - 第 A. 146 図 に示す。

(ロ) - 第 A. 146 図 の計算モデルに基づき計算コードの計算手法について以下に示す。

- ① フィンの外半径 R_o 、フィンの初期高さ H 、フィンの長さ L 、フィンの取付角度 ϕ 、変形計算ステップ δ_o の指定及び鋼材の降伏応力を入力。
- ② 0° 方向における変形量を δ_o としたときの変形角度 θ を求める。

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{R_o - \delta_o}{R_o}\right)$$

なお、計算コードでは、 θ は 30° 以下とする。

- ③ 取付角度 ϕ のフィンの変形量 δ を求める。

$$a = R_o - \delta_o$$

$$b = \frac{a}{\cos(\phi)}$$

から

$$\delta = R_o - b$$

- ④ 取付角度 ϕ におけるフィンの変形量 δ に対する吸収エネルギー E を求める。

1) 変形割合 $r = \frac{\delta}{H} \times 100 (\%)$

なお、計算コードでは r は 70% 以下とする。

- 2) 角度 ϕ 、変形割合 r における吸収エネルギー／塑性モーメントの値 ε を、対応する (ロ) - 第 A. 142 図～ (ロ) - 第 A. 145 図より求める。ただし、取付角度が図中にない場合は線形補間により算出する。

- 3) 単位フィン長さ当たりの塑性モーメント M_p は、

$$M_p = S_y \cdot \frac{T^2}{4}$$

ここで、

S_y : 鋼材の降伏応力

T : 板厚

したがって、

$$E = \varepsilon \cdot M_p \cdot L$$

となり、吸収エネルギー E を求める。

⑤ 取付角度 ϕ におけるフィンの変形量 δ に対する衝撃力 F を求める。

吸収エネルギー E 、衝撃力 F 及び変形量 δ の関係は、次式のようになる。

$$E = \int F d\delta$$

したがって、

$$F = \frac{dE}{d\delta}$$

(ロ) 一第 A. 146 図の a 点は、ある変形割合におけるフィンの高さ 8in のときの吸収エネルギー／塑性モーメントの値を求める為の具体例であるが、ある変形割合の a 点における接線の傾きを θ' とすると、 $\tan \theta'$ は、次式のようになる。

$$\begin{aligned}\tan \theta' &= \frac{d(E/Mp)}{d(S/H \times 100)} \times L \\ &= \frac{H}{100Mp} \times \frac{dE}{d\delta} \times L\end{aligned}$$

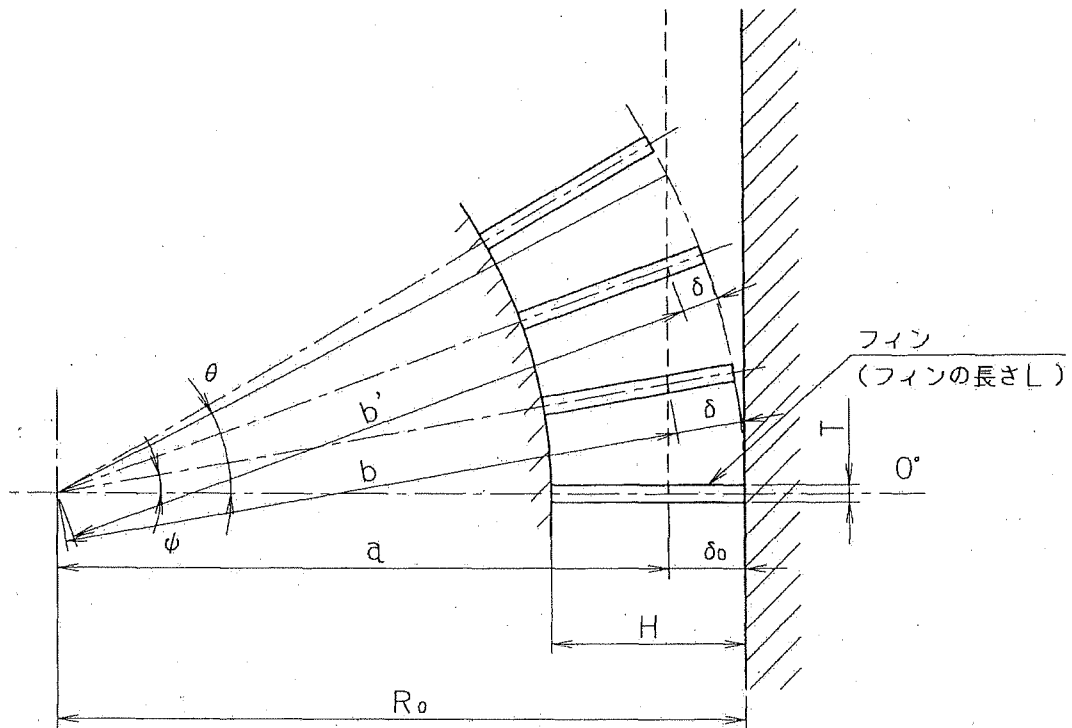
$$\frac{dE}{d\delta} = \frac{100Mp}{H} \times \tan \theta' \times L$$

したがって、

$$F = \frac{100Mp}{H} \times \tan \theta' \times L$$

となり、衝撃力 F が求まる。

⑥ 指定する変形量まで上記過程を繰り返し計算を行う。



R_0 : フィンの外半径

δ_0 : 衝突端での変形量

H : フィンの初期高さ

L : フィンの長さ

ϕ : フィンの取付角度

(ロ) - 第 A. 146 図 計算モデル

A. 10. 4 落下試験Ⅱでの緩衝体部のエネルギー吸収

偏心落下における衝撃エネルギー (E_s) は、緩衝体の表面被覆材の貫通によるエネルギー消費及び緩衝材 の変形によるエネルギー消費により全て吸収される。

$$E_s = E_{SP} + E_{AB}$$

ここで、

E_{SP} : 表面被覆材の貫通によるエネルギー

E_{AB} : 緩衝材 が吸収すべき表面被覆材貫通後の残衝撃エネルギー

1) 表面被覆材の貫通エネルギー (E_{SP})

表面被覆材の貫通エネルギー (E_{SP}) は、次式で表される。

$$E_{SP} = C_1 \cdot C_2 \cdot \pi dt \cdot \sigma \cdot h \quad (37)$$

ここで、

C_1 : 係数

C_2 : 係数

d : 軟鋼棒の直径 150 mm

t : 表面被覆材の最小板厚

σ : 表面被覆材の引張強さ

(SUS)

h : 変形厚 = 10t

$$E_{SP} = \text{$$

$$= \text{$$

2) 緩衝材 が吸収すべき表面被覆材貫通後の残衝撃エネルギー (E_{AB})

$$E_{AB} = E_s - E_{SP}$$

残衝撃エネルギー (E_{AB}) を、落下試験Ⅰの変形後の緩衝体位置より軟鋼棒による のせん断によるエネルギー吸収を安全側に無視し、圧縮変形のみとし、SHOCK-2 計算コード軟鋼棒直接の面積による変形量を数値計算する。

A.10.5 繰り返しピーク応力強さ

輸送回数(繰り返し回数)は、年1回輸送、使用年数40年として輸送回数40回であるが、ここでは許容繰り返し回数を安全側に1000回と考える。

このときの繰り返しピーク応力強さは、通商産業省告示によると、容器本体・蓋及びバスケットの部材 SUS□□及び SUS□□の場合は□□□□である。(口)一第A.147図に示す。)これは使用温度により異なるので、各々の部材の使用温度による許容繰り返しピーク応力強さ(Sa)を次式より求める。

$$S_a = \frac{\square\square\square\square}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}} \times \text{繰り返しピーク応力強さ}^{(38)}$$

(1) 容器本体

使用温度□□での縦弾性係数：□□□□

$$S_a = \square\square\square\square$$

$$= \square\square\square\square$$

(2) 蓋

使用温度□□での縦弾性係数：□□□□

$$S_a = \square\square\square\square$$

$$= \square\square\square\square$$

(3) バスケット

使用温度□□での縦弾性係数：□□□□

$$S_a = \square\square\square\square$$

$$= \square\square\square\square$$

(4) 蓋締付用ボルト

蓋締付用ボルトは SUS であるから、繰り返しピーク応力強さは通商産業省告示によると、 である。((ロ) - 第 A. 148 図に示す。) 使用温度による許容繰り返しピーク応力強さ (Sa) は次のようになる。

$$S_a = \frac{\text{}}{\text{材料の使用温度における縦弾性係数}} \times \text{繰り返しピーク応力強さ}^{(38)}$$

使用温度 での縦弾性係数 :

$$S_a = \text{$$

$$= \text{$$

一次+二次+ピーク応力強さの値は、一般の試験条件下の最大値と特別の試験条件下の最大値を加算したものになる。これらの結果をまとめたものを (ロ) - 第 A. 31 表に示す。

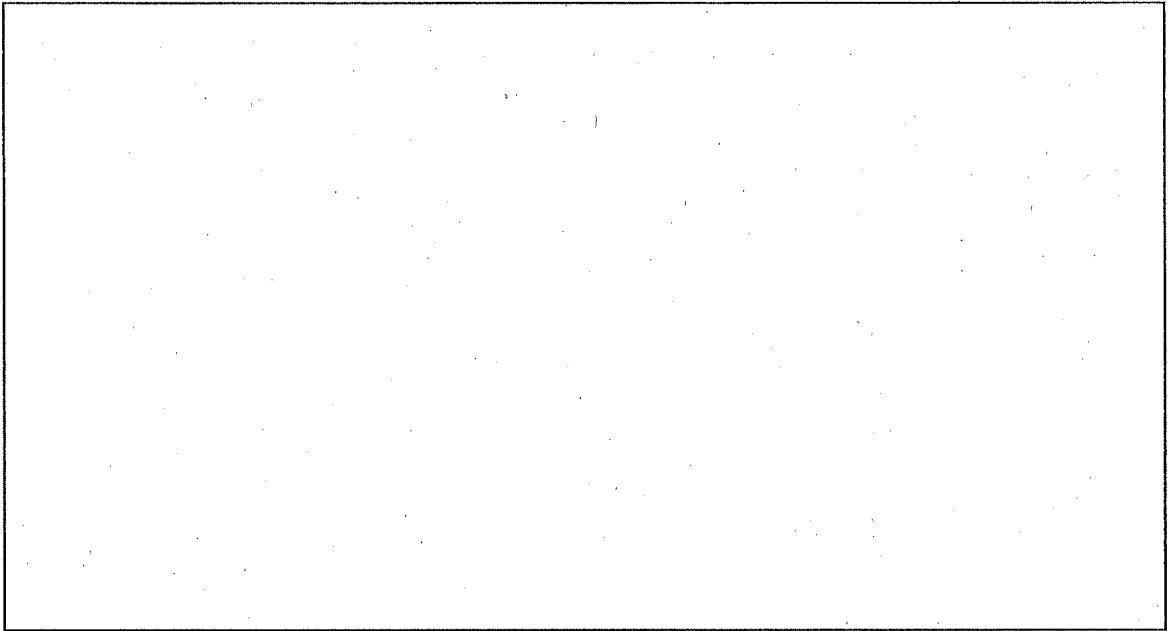
これによると、余裕率が最も小さいものでも、蓋締付用ボルトの である。

したがって、輸送物は繰り返し回数を考慮しても十分な強度を有している。

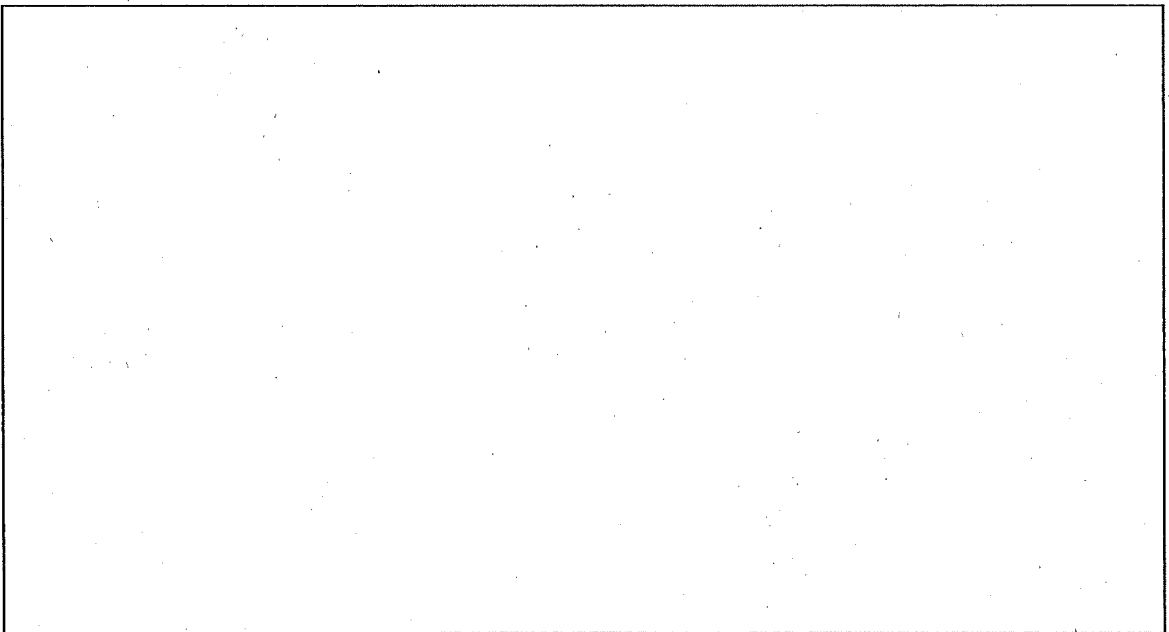
(ロ) - 第 A.31 表 ピーク応力の評価

(単位: N/mm²)

項目 部位	一般の試験条件		特別の試験条件			一次+二次 +ピーク 応力強さ	許容繰り返し ピーク応力強 さ	余 裕 率 (MS)
	熱的試験	熱 応 力	圧 縮	落下試験 I	落下試験 II			
容器本体				垂直落下	水平落下	コーナー 二落下		
蓋								
枠組								
仕切板 区切板								
蓋締付用ボルト								



(口) - 第 A. 147 図 設計疲れ線図 (38)



(口) - 第 A. 148 図 設計疲れ線図 (38)

A. 10. 6 固縛装置の強度解析

1. 概要

固縛装置は、輸送容器の固縛用として使用される。固縛装置に輸送容器を取り付けた状態で吊上げられる場合もある。したがって、固縛装置について、固縛時の強度、吊上げ時の強度について検討する。

2. 固縛時の強度

輸送物の固縛装置は、(ロ) - 第 A. 149 図に示すように

- (1) 固縛棒
- (2) 固縛用ピン
- (3) 運搬台

から構成されている。固縛装置の主要材料とその機械的性質を (ロ) - 第 A. 32 表に示す。

(ロ) - 第 A. 32 表 固縛装置の主要材料、機械的性質

部品名		材料規格	降伏応力		
固縛棒	フォーク部 (容器本体側)				
	棒部				
	フォーク部 (運搬台側)				
(容器本体側) 固縛用ピン (運搬台側)					
運搬台	位置決め具				
	固縛金具 吊上金具				
	枠部及び上板 (吊上金具取付部を含む。)				
運搬台固縛ボルト					

輸送物に作用する加速度としては、USNRC の 10CFR Part 71 より進行方向加速度 10G

、横方向加速度 5G、上下方向加速度 2G が作用するとして解析する。

また、解析結果の評価は、次式で示す余裕率 (MS) によって評価する。

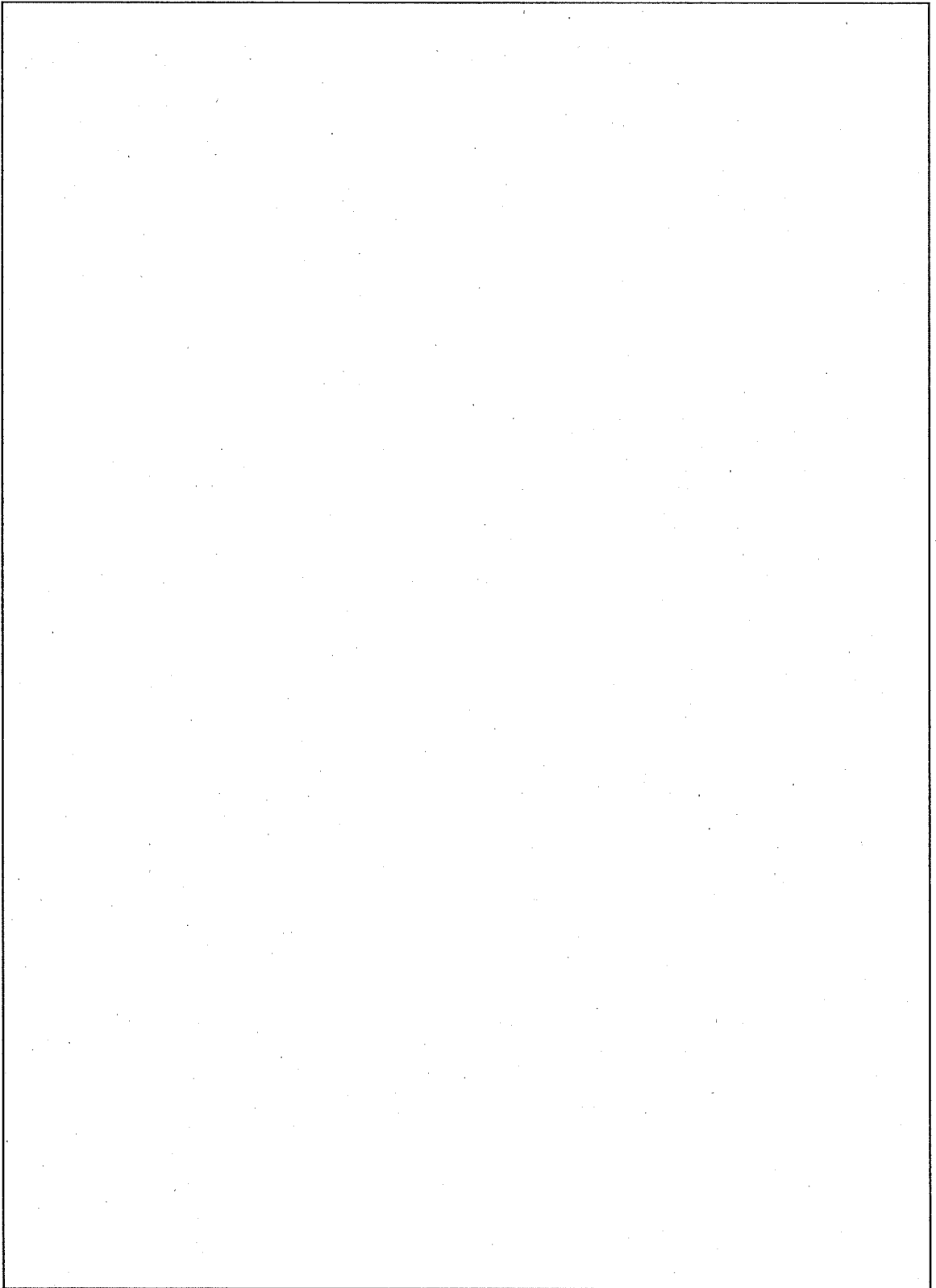
$$\text{余裕率 (MS)} = \frac{\text{設計基準値}}{\text{解析結果}} - 1$$

ただし、設計基準値は、(ロ) 章 B. 熱解析における通常輸送時の各部の解析結果の最高温度より算出した温度における材料の降伏応力を使用するものとする。

3. 固縛部材の強度

輸送容器の固縛装置を（ロ）－第 A. 149 図に示す。

以下に各部材の強度について評価する。



(口) - 第 A. 149 図 固縛装置

(1) フォーク穴部 (容器本体側)

フォーク穴部の形状を(口) - 第 A. 149 図に示す。固縛による引張荷重によるフォーク穴部に発生するせん断応力 (τ) は、次式で表される。

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

P : 固縛による引張荷重 (A. 4. 5. 2 解析条件参照)

A : せん断部の断面積

$$A = a \cdot b$$

a : せん断部の長さ

b : せん断部の厚さ

$$A = \text{}$$
$$= \text{}$$

$$\tau = \text{}$$
$$= \text{}$$

したがって、フォーク穴部に発生する応力強さ (S) は

$$S = 2\tau$$
$$= \text{}$$
$$= \text{}$$

フォーク穴部に発生する応力に対する設計基準値としては、(口) 章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部外表面の解析結果の最高温度 ((口) - 第 B. 9 図参照) をフォーク穴部の温度と考え、安全側に としたときのフォークの部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$
$$= \text{}$$
$$= \text{}$$

となる。したがって、フォーク穴部は健全である。

(2) 固縛用ピン (容器本体側)

固縛用ピン(容器本体側)の形状を(ロ) - 第 A. 149 図に示す。固縛時に引張力が働いたとき、固縛用ピン(容器本体側)に発生する曲げ応力(σ_b)は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$$

ここで、

M : 曲げモーメント

$$M = \frac{P \cdot \ell}{4}$$

P : 固縛による引張荷重(A. 10.6 参照)

ℓ : フォーク間距離

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

$$= \text{[]}$$

y : 中立軸から端面までの距離

I : 断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

d : 固縛用ピン(容器本体側)の直径

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

$$= \text{[]}$$

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

$$= \text{[]}$$

固縛用ピン(容器本体側)に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

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

A : ピンの断面積

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

$$\tau = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、固縛用ピン(容器本体側)に発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = 2\sqrt{\frac{\sigma_b^2}{4} + \tau^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

固縛用ピン(容器本体側)に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部外表面の解析結果の最高温度 $\boxed{}$ ((ロ) - 第 B.9 図参照)を固縛用ピン(容器本体側)の温度と考え、安全側に $\boxed{}$ としたときのフォークの固縛用ピン(容器本体側)の部材(SUS $\boxed{}$)の降伏応力 S_y $\boxed{}$ を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、固縛用ピン(容器本体側)は健全である。

(3) 固縛棒のねじ部

固縛時の引張力で、固縛棒のねじ部に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

$$\tau = \frac{P}{1.814D (d + 0.2165p - D) \left(\frac{L}{p} - 0.5 \right)} \quad (25)$$

ここで、

- P : 固縛時による引張荷重 (A. 10.6 参照)
- D : めねじの内径
- d : 呼び径
- p : ねじピッチ
- L : 有効ねじ長さ (最小)

$$\tau = \text{$$
$$= \text{$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = 2\tau$$
$$= \text{$$
$$= \text{$$

固縛棒のねじ部に発生する応力に対する設計基準値としては、(ロ)章 B. 熱解析における通常輸送時の容器本体胴部外表面の解析結果の最高温度 ((ロ) 一第 B.9 図) を固縛棒ねじ部の温度と考え、安全側に としたときの固縛棒ねじ部の部材 (SUS) の降伏応力 S_y を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$
$$= \text{$$
$$= \text{$$

となる。したがって、固縛棒のねじ部は健全である。

(4) 固縛棒フォーク穴部(運搬台側)

(1)項と同様に、固縛棒フォーク穴部(運搬台側)に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

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

P : 固縛による引張荷重

A : せん断部の断面積

$$A = a \cdot b$$

a : せん断部の長さ

b : せん断部の厚さ

$$A =$$

$$=$$

$$\tau =$$

$$=$$

したがって、応力強さ(S)は

$$S = 2 \tau$$

$$=$$

$$=$$

固縛棒フォーク穴部(運搬台側)に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 の固縛棒フォーク穴部(運搬台側)の部材(SUS)の降伏応力 S_y を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$=$$

$$=$$

となる。したがって、固縛棒フォーク穴部(運搬台側)は健全である。

(5) 固縛用ピン(運搬台側)

(2)項と同様に、固縛用ピン(運搬台側)に発生する曲げ応力 (σ_b)は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$$

M : 曲げモーメント

$$M = \frac{P \cdot \ell}{4}$$

P : 固縛による引張荷重

ℓ : フォーク間距離

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

y : 中立軸から端面までの距離

I : 断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

d : 固縛用ピン(運搬台側)の直径

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

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

固縛用ピン(運搬台側)に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

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

A : ピンの断面積

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

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

$$\tau = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、固縛用ピン(運搬台側)に発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = 2\sqrt{\frac{\sigma_b^2}{4} + \tau^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

固縛用ピン(運転台側)に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 $\boxed{}$ の固縛用ピン(運搬台側)の部材(SUS $\boxed{}$)の降伏応力 $S_y\boxed{}$ を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、固縛用ピン(運搬台側)は健全である。

(6) 運搬台固縛金具穴部

運搬台固縛金具の形状を(ロ) - 第 A. 149 図に示す。運搬台固縛金具穴部に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

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

P : 固縛による引張荷重

A : せん断部の断面積

$$A = a \cdot b$$

a : せん断部の長さ

b : せん断部の最小厚さ

$$A =$$

$$=$$

$$\tau =$$

$$=$$

したがって、応力強さ(S)は、

$$S = 2\tau$$

$$=$$

$$=$$

運搬台固縛金具穴部に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 の運搬台固縛金具穴部の部材(SM) の降伏応力 S_y を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$

$$=$$

$$=$$

となる。したがって、運搬台固縛金具穴部は健全である。

(7) 運搬台固縛金具の溶接部

溶接部に発生する引張応力 (σ_t) は、次式で表される。

$$\sigma_t = \frac{P \cdot \sin \theta}{A}$$

P : 固縛による引張荷重

θ : 固縛棒の角度 ((口) - 第 A. 149 図参照)

A : 溶接部の断面積

$$A = a \cdot b$$

a : 溶接部の長さ

b : 溶接部の幅

$$A =$$

$$=$$

$$\sigma_t =$$

$$=$$

溶接部に発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$$

M : 曲げモーメント

$$M = P \cdot \ell \cdot \cos \theta$$

ℓ : 曲げモーメントアーム

$$M =$$

$$=$$

y : 中立軸から端面までの距離

I : 断面二次モーメント

$$I = \frac{b \cdot a^3}{12}$$

$$=$$

$$=$$

$$\sigma_b = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

溶接部に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

$$\tau = \frac{P \cdot \cos \theta}{A}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

したがって、溶接部に発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = 2\sqrt{\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

運搬台固縛金具の溶接部に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 $\boxed{}$ の運搬台固縛金具の部材(SM $\boxed{}$)の降伏応力 Sy $\boxed{}$ に溶接効率 70%を乗じた値を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7Sy}{S} - 1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。したがって、運搬台固縛金具の溶接部は健全である。

(8) 固縛棒工具挿入部

固縛棒工具挿入部の形状を(口) - 第 A. 150 図に示す。固縛で発生する荷重で工具挿入部に発生する引張応力(σ_t)は、次式で表される。

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

P : 固縛による引張荷重

A : 引張荷重の働く工具挿入部断面積

$$A = \pi r^2 - \{ r(\ell - b) + b \cdot h \} \quad (14)$$

r : 固縛棒の半径

ℓ : 弧の長さ

$$\ell = r \cdot \theta$$

θ : 中心角

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

$$= \text{[]}$$

b : 弦の長さ

$$b = 2r \cdot \sin \frac{\theta}{2}$$

$$= \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

h : 弧の高さ

$$h = r \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

$$= \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

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

$$= \text{[]}$$

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

$$= \text{[]}$$

したがって、工具挿入部に発生する応力強さ(S)は、

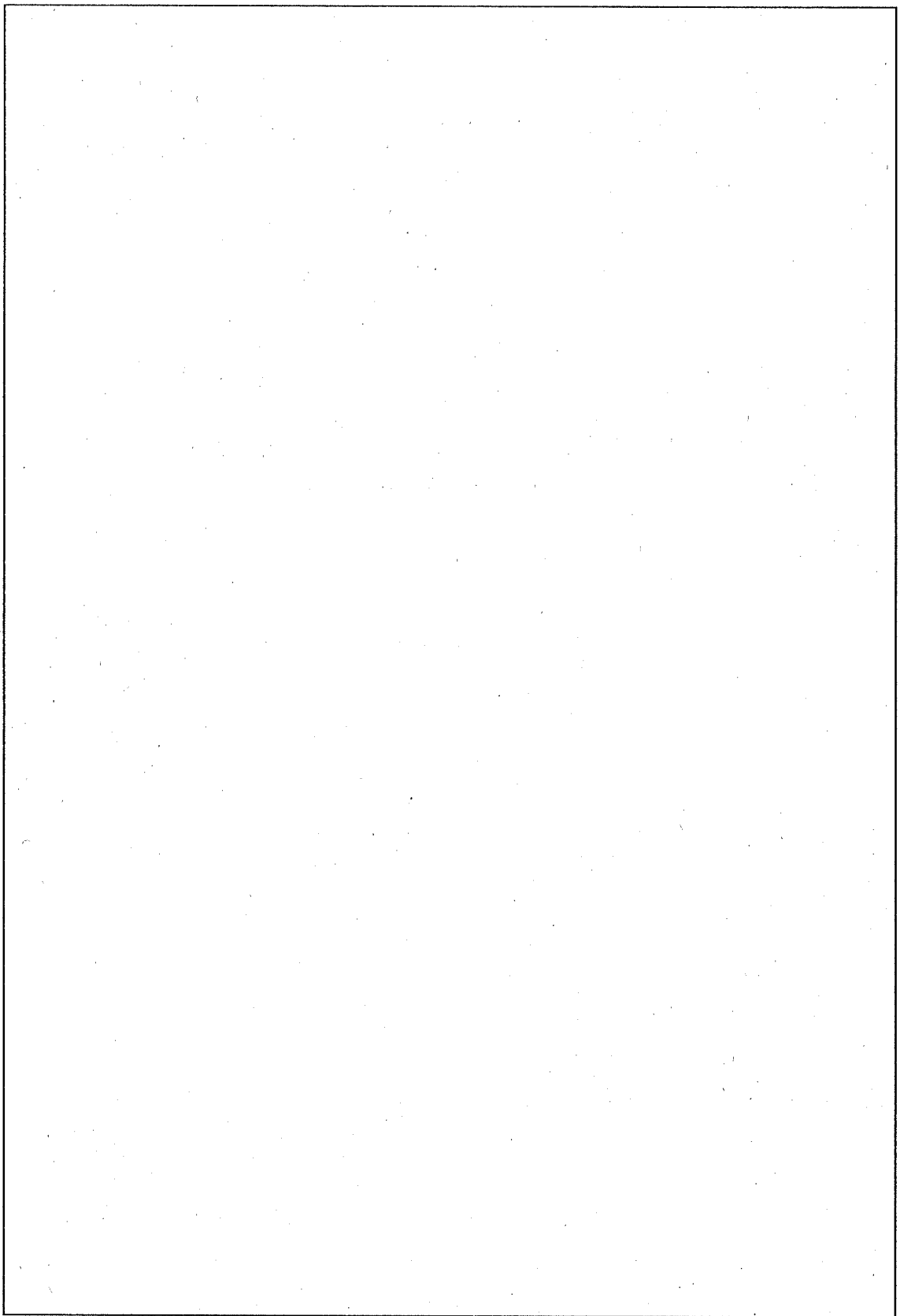
$$S = \sigma_t$$
$$= \boxed{}$$

固縛棒工具挿入部に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 $\boxed{}$ の固縛棒工具挿入部の部材(SUS $\boxed{}$)の降伏応力 S_y $\boxed{}$ を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$
$$= \boxed{}$$
$$= \boxed{}$$

となる。したがって、固縛棒工具挿入部は健全である。



(口) - 第 A. 150 図 固縛棒工具挿入部

(口) - A - 452

(9) 運搬台位置決め具

運搬台位置決め具を (口) - 第 A. 151 図に示す。

運搬具位置決め具の溶接部に発生するせん断応力 (τ) は、次式で表される。

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

F : 運搬台位置決め具に働く荷重 (A. 4. 5. 2 解析条件参照)

A : 運搬台位置決め具溶接部断面積

$$A = \pi d_e \cdot t$$

d_e : 運搬台位置決め具の有効径

t : 溶接部厚さ

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\tau = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、運搬台位置決め具に発生する応力強さ (S) は

$$S = 2\tau$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

運搬台位置決め具の溶接部に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 の運搬台位置決め具の部材 (SUS) の降伏応力 S_y に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

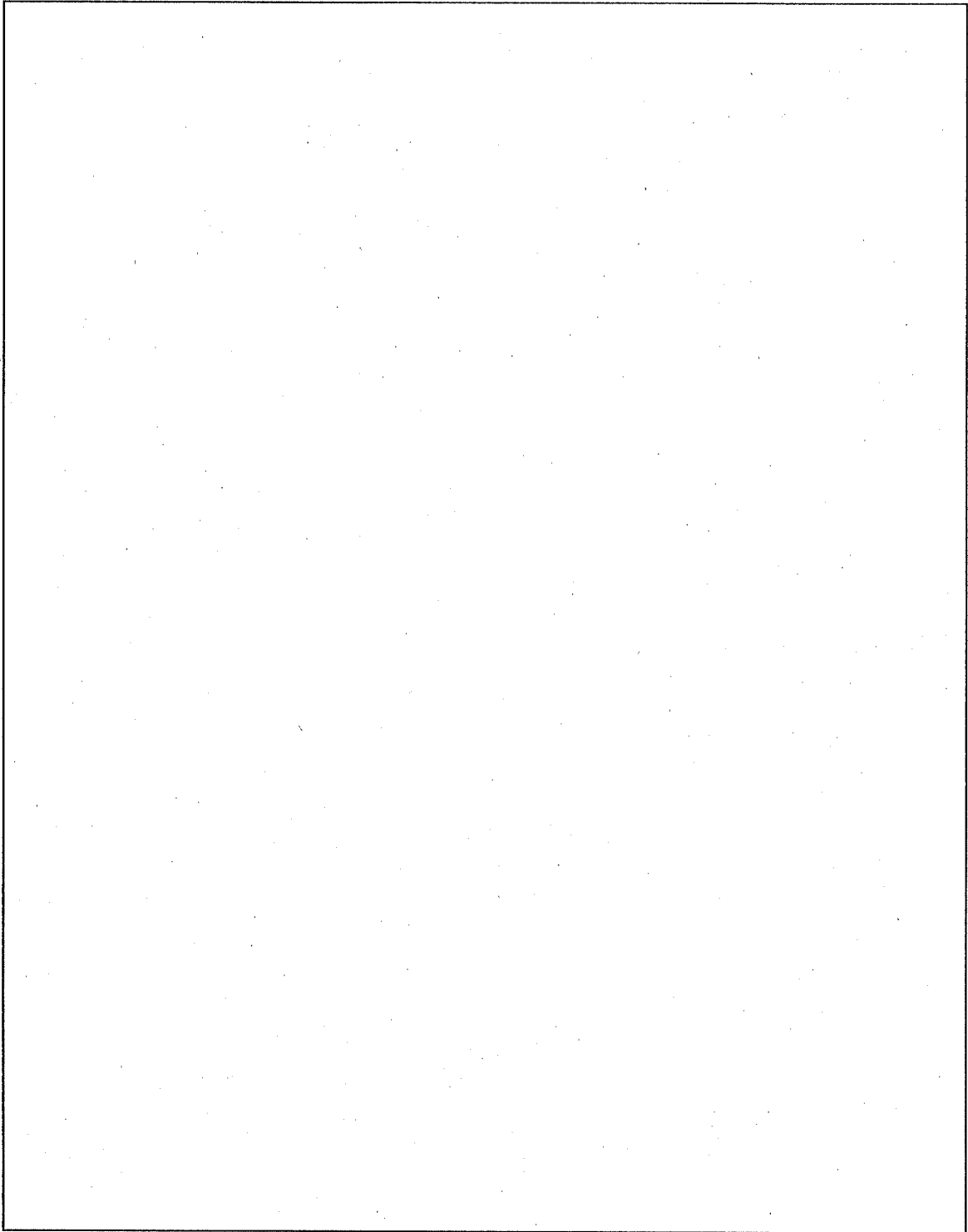
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となる。したがって、運搬台位置決め具の溶接部は健全である。



(口) - 第 A. 151 図 運搬台位置決め具

(10) 運搬台固縛ボルト

進行方向 10G、横方向 5G、上下方向 2G の加速度が各々働いたとき、運搬台固縛ボルトに発生する応力を求める。そして、それぞれの発生応力を加算し、上記 3 方向の加速度が同時に働いたとき、運搬台固縛ボルトに発生する応力を求め運搬台固縛ボルトが健全であることを示す。

1) 進行方向に 10G の加速度が働いた場合

(ロ) ー第 A. 152 図に示すように、運搬台の進行方向の端面(X-X軸)を回転の中心に考えると、運搬台固縛ボルトに働く回転モーメント(M_B)は、次式で表される(運搬台固縛ボルトの位置図を(ロ)ー第 A. 153 図に示す。)

$$M_B + 9.8 W \cdot \ell = 10 \times 9.8 W \cdot h_G$$

M_B について整理すると、

$$M_B = 10 \times 9.8 W \cdot h_G - 9.8 W \cdot \ell$$

M_B : 運搬台固縛ボルトに働く回転モーメント

W : 最大運搬重量 20400 kg

h_G : 輸送物の重心高さ

ℓ : 運搬台の端面から中心までの距離

$$M_B = \text{$$

$$= \text{$$

回転軸(X-X)についての運搬台固縛ボルトの断面二次モーメント(I_B)は、次式で表される。

$$I_B = N_1 \cdot A \sum_{i=1}^{\square} \ell_i^2$$

N_1 : 運搬台固縛ボルトの列数

ℓ_i : 軸から運搬台固縛ボルトまでの距離

A : 運搬台固縛ボルトの断面積

$$A = \frac{\pi d_B^2}{4}$$

d_B : 運搬台固縛ボルトの谷径

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

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

$$= \text{[]}$$

したがって、X-X軸から最端部の運搬台固縛ボルトに発生する引張応力(σ_A)は、次式で表される。

$$\sigma_A = \frac{M_B \cdot \ell_4}{I_B}$$

ℓ₄ : 軸から最端部の運搬台固縛ボルトまでの距離 []

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

$$= \text{[]}$$

また、このとき運搬台固縛ボルトに発生するせん断応力(τ_A)は、次式で表される。

$$\tau_A = \frac{10 \times 9.8 W}{N_2 \cdot A}$$

N₂ : せん断を受けもつ運搬台固縛ボルト数 []

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

$$= \text{[]}$$

2) 横方向に 5G の加速度が働いた場合 ((ロ) - 第 A. 153 図参照)

Y-Y 軸について回転モーメントの場合より、運搬台固縛ボルトに発生する引張力 (F_B) は、次式で表される。

$$F_B = \frac{5 \times 9.8 \cdot W \cdot h_G - 9.8W \cdot l_2'}{N \cdot l_0'}$$

l_2' : 運搬台の端面から運搬台中心までの距離

N : ボルトの本数

l_0' : 運搬台の端面から運搬台固縛ボルトまでの距離

$$F_B =$$

$$=$$

運搬台固縛ボルトに発生する引張応力 (σ_B) は、次式で表される。

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A}$$

$$=$$

$$=$$

また、運搬台固縛ボルトに発生するせん断応力 (τ_B) は、次式で表される。

$$\tau_B = \frac{5 \times 9.8W}{N \cdot A}$$

$$=$$

$$=$$

3) 上下方向に 2G の加速度が働いた場合

自重が働いているため、上下方向に 2G 働いた場合の運搬台固縛ボルトに発生する引張応力(σ)は、次式で表される。

$$\sigma_c = \frac{9.8W}{N \cdot A}$$

N : 運搬台固縛ボルトの数

$$\sigma_c =$$

$$=$$

4) 応力強さ

1)~3)の加速度が同時に働いた場合、運搬台固縛ボルトに発生する応力強さ(S)は、次式で表される。

$$S = 2\sqrt{\left(\frac{\sigma_A + \sigma_B + \sigma_C}{2}\right)^2 + (\tau_A^2 + \tau_B^2)}$$

$$=$$

$$=$$

運搬台固縛ボルトに発生する応力に対する設計基準値としては、常温の運搬台固縛ボルトの部材(SUS)の降伏応力 Syを用いる。

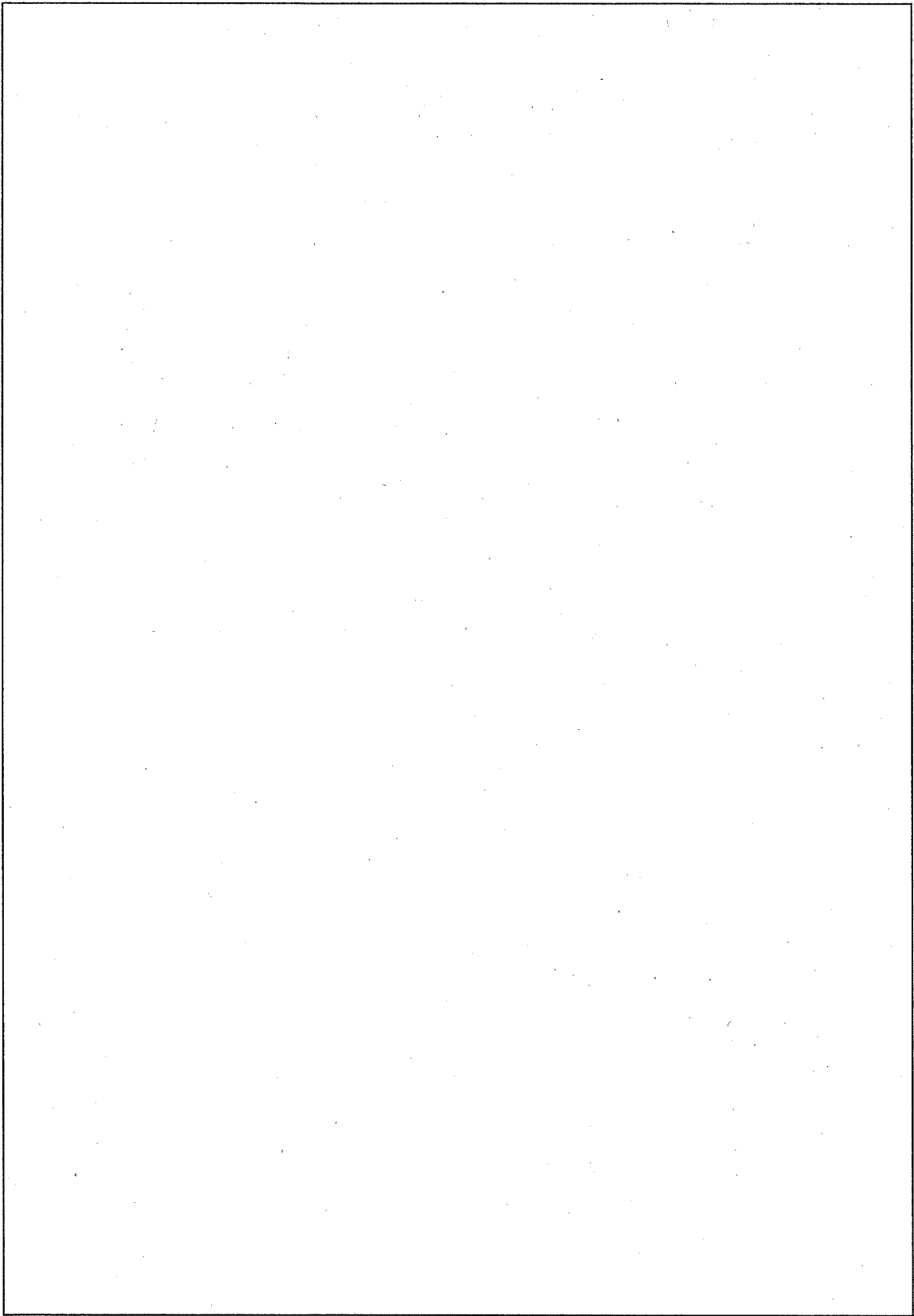
余裕率 MS は

$$MS = \frac{Sy}{S} - 1$$

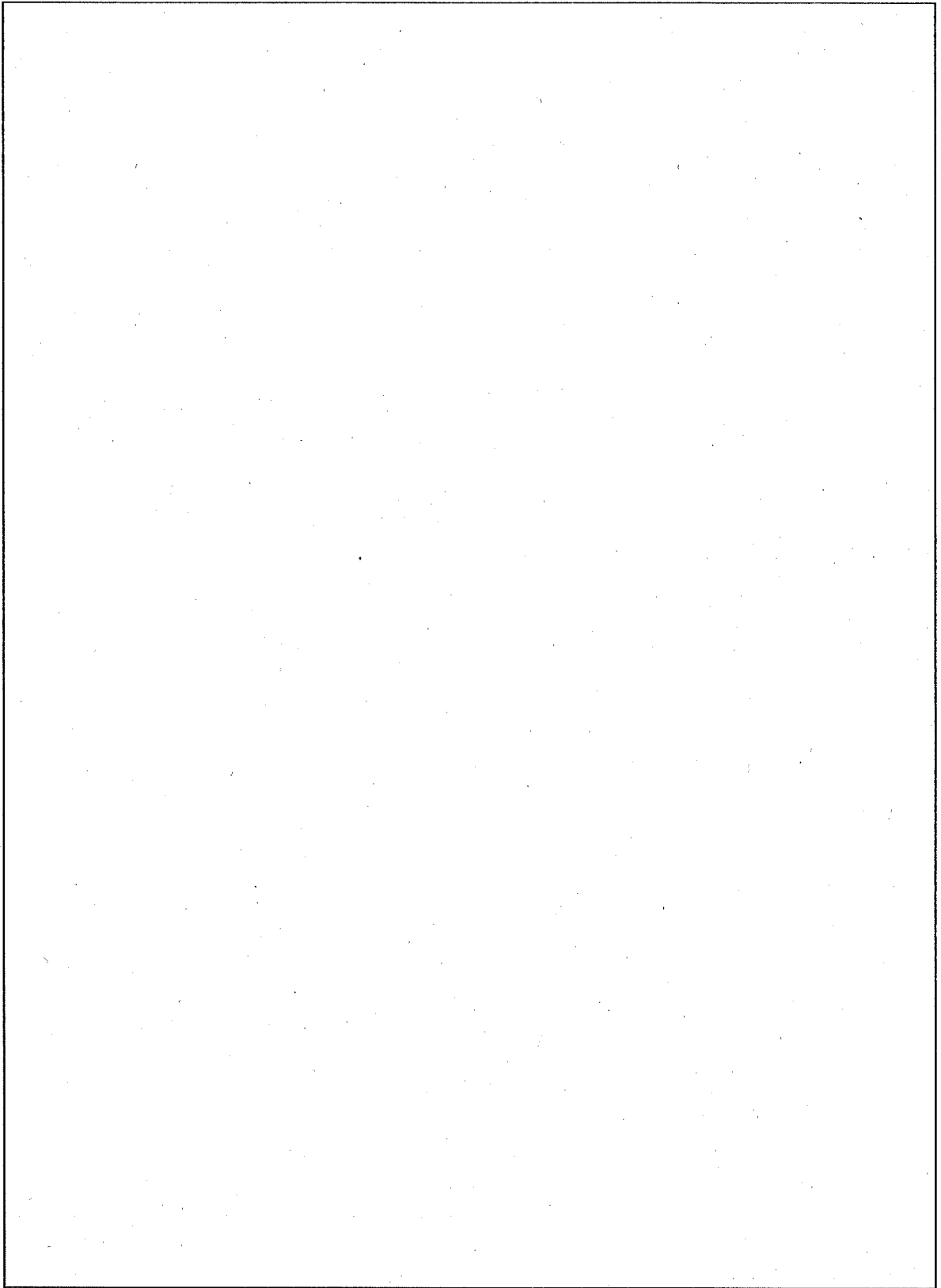
$$=$$

$$=$$

となる。したがって、運搬台固縛ボルトは健全である。



(口) - 第 A. 152 図 固縛装置



(口) - 第 A. 153 図 運搬台固縛ボルト位置図

(11) 固縛装置の疲労

1) 使用回数

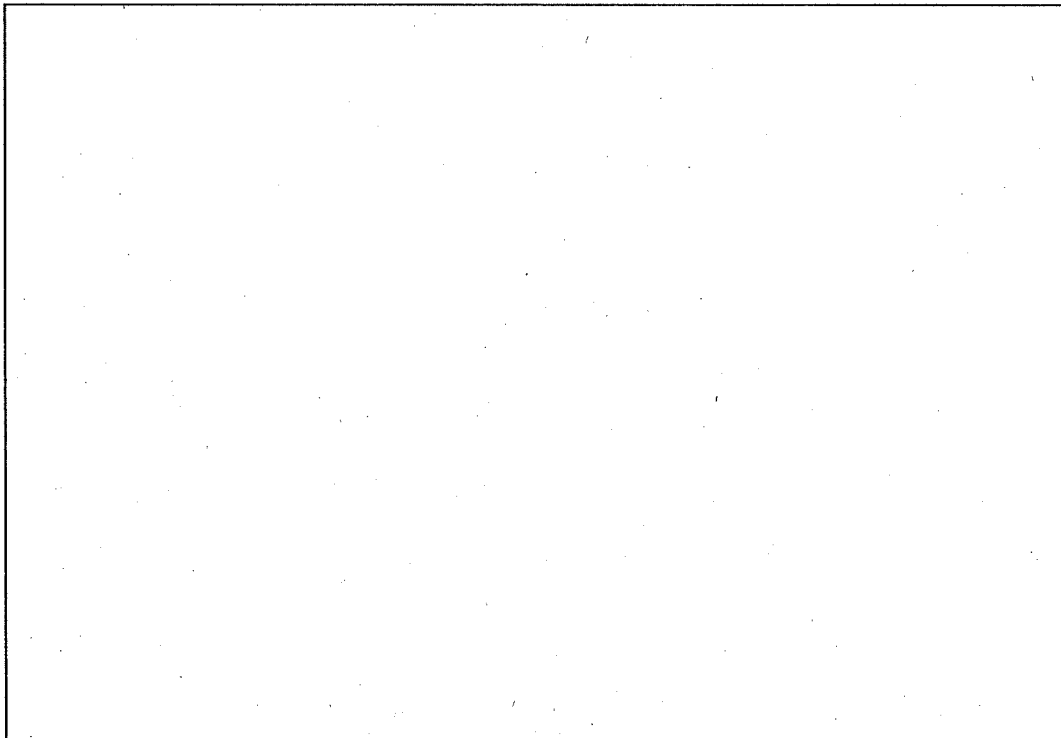
使用年数を40年、使用回数を年1回、1回の運搬当たりの取扱回数を100回とした場合、固縛回数は4000回となる。

2) ステンレス鋼

A. 4.5 固縛装置及び(1)～(10)の強度解析の評価におけるステンレス鋼に生じる最大応力は、(10) 運搬台固縛ボルトで []、その繰返し応力は、[]となるが、これは(ロ) - 第 A. 147 図に示す設計疲れ線図の4000回での繰返しピーク応力強さ [] よりも低く、許容繰返し回数は、使用予定期間中の繰返し回数よりも多くなる。

3) 炭素鋼

A. 4.5 固縛装置及び(1)～(10)の強度解析の評価におけるステンレス鋼に生じる最大応力は、(6) 運搬台固縛金具穴部で []、その繰返し応力は、[]となるが、これは(ロ) - 第 A. 154 図に示す設計疲れ線図の4000回での繰返しピーク応力強さ [] よりも低く、許容繰返し回数は、使用予定期間中の繰返し回数よりも多くなる。



(ロ) - 第 A. 154 図 [] の設計疲労線図⁽⁴⁰⁾

4. 吊上げ時の強度

輸送容器を運搬台にセットして、輸送容器を運搬台を介して吊上げる場合の運搬台吊上金具及び運搬台の強度について検討する。

吊上荷重は、負荷係数を3とし、吊上げ角度は60°以下(この角度以上では、吊上げ用ワイヤ等が緩衝体に接触する。)とする。

(i) 運搬台吊上金具穴部

運搬台吊上金具を(口) - 第A.155図に示す。

運搬台吊上金具穴部に発生するせん断応力(τ)は、次式で表される。

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

F : 1個の運搬台吊上金具に働く吊上荷重

$$F = \frac{3 \times 9.8W}{4} \cdot \frac{1}{\sin \theta}$$

W : 吊上重量

20400 kg

θ : 吊上げ角度

60 °

$$F = \frac{3 \times 9.8 \times 20400}{4} \times \frac{1}{\sin 60^\circ}$$

$$= 1.74 \times 10^5 \text{ N}$$

A : せん断部の断面積

$$A = a \cdot b$$

a : 穴の巾

b : 穴の肉厚

$$A = \text{$$

$$= \text{$$

$$\tau = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、応力強さ(S)は、

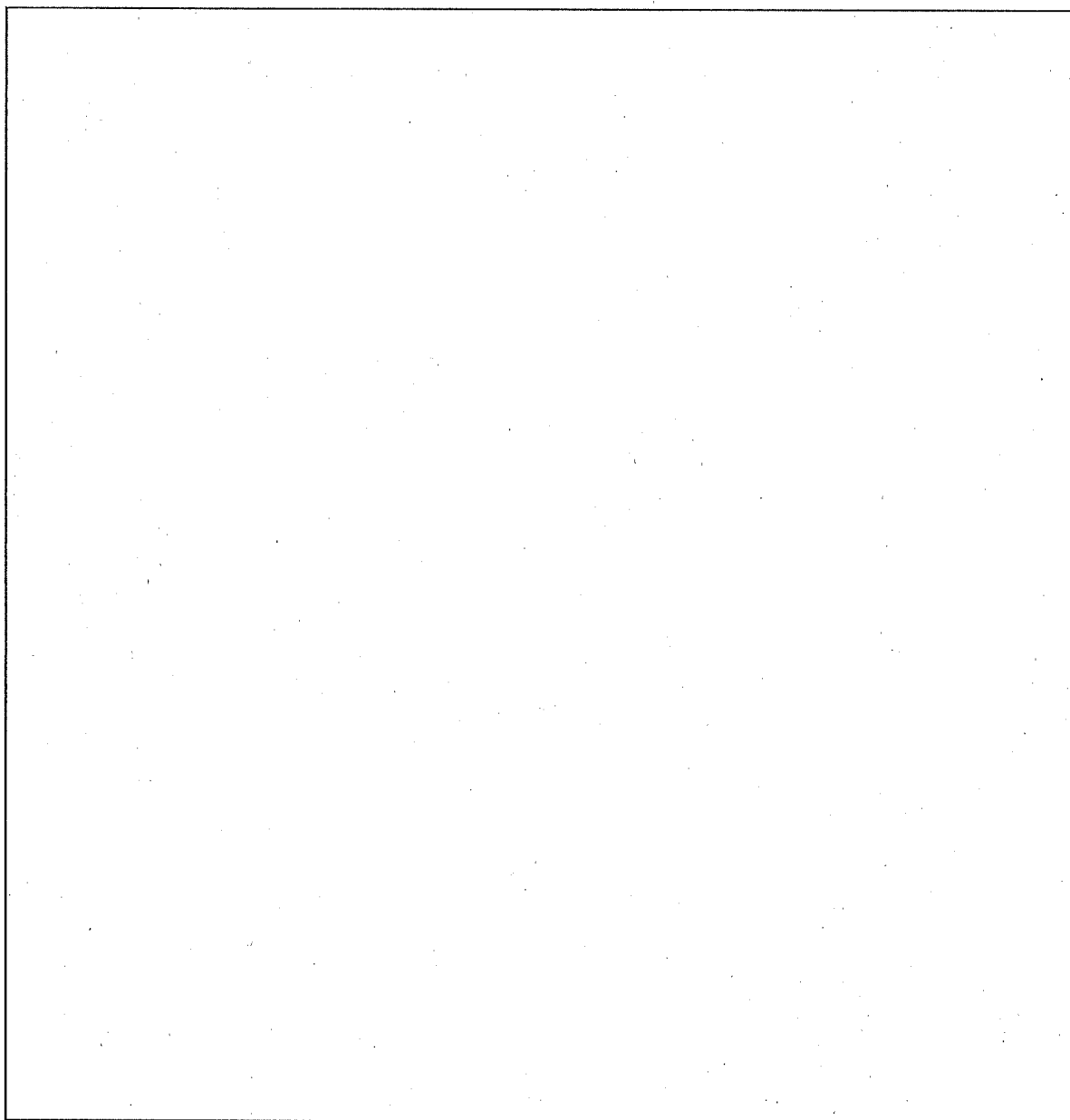
$$S = 2 \tau$$
$$= \boxed{}$$
$$= \boxed{}$$

運搬台吊上金具に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 $\boxed{}$ の運搬台吊上金具の部材(SM $\boxed{}$)の降伏応力 S_y $\boxed{}$ を用いる。

余裕率 MS は

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1$$
$$= \boxed{}$$
$$= \boxed{}$$

となる。したがって、運搬台吊上金具は健全である。



(口) - 第 A. 155 図 運搬台吊上金具

(口) - A-464

(2) 運搬台

運搬台を (口) - 第 A. 156 図に示す。また、運搬台の解析モデルを (口) - 第 A. 157 図に示す。

構造解析汎用計算コード ANSYS で、骨組構造とし材端応力を求め、運搬台が健全であることを示す。

1) 機械的性質

(i) 縦弾性係数

(ii) ポアソン比

2) 梁の断面形状

梁の断面形状を (口) - 第 A. 33 表に示す。

3) 負荷荷重

節点 9、10、13、14、15、16、19、20 を Z 軸方向に固定し

節点 2、6、24、28 に吊上げ角度 60° を考慮して

負荷荷重を (口) - 第 A. 34 表及び (口) - 第 A. 158 図に示す。

4) 材端応力

枠及び吊上金具の各々の最大の発生応力は、枠部では、枠の要素 ⑥、⑨、⑳、㉑ に発生し、応力強さ $S(=\sigma_1 - \sigma_3)$ は、 となる。

また、吊上金具取付部の応力強さは、 $S = \text{$ である。

運搬台に発生する応力に対する設計基準値としては、常温 の運搬台の部材 (SM) の降伏応力 S_y に溶接効率 70% を乗じた値を用いる。

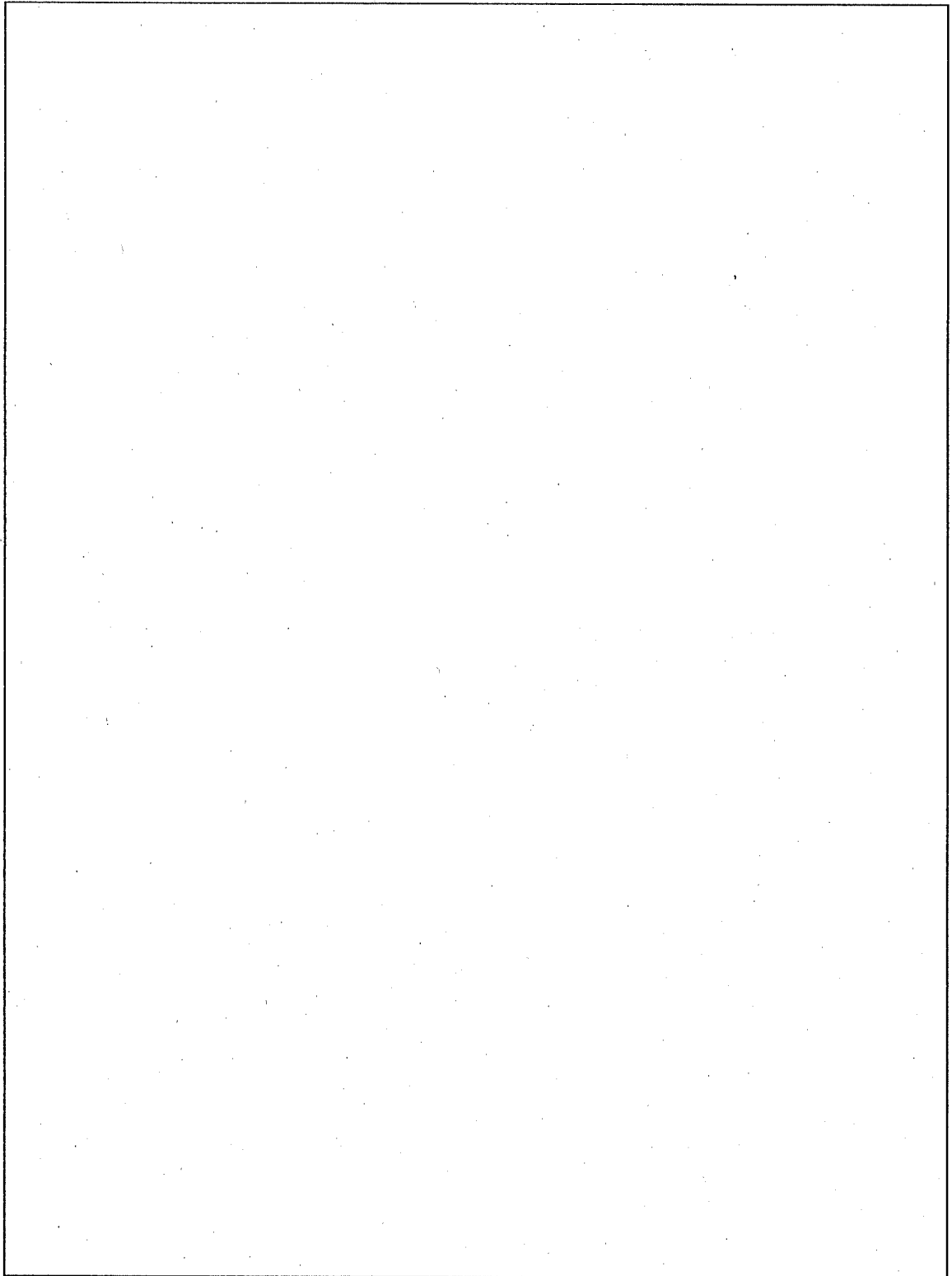
余裕率 MS は

$$MS = \frac{0.7S_y}{S} - 1$$

$$= \text{$$

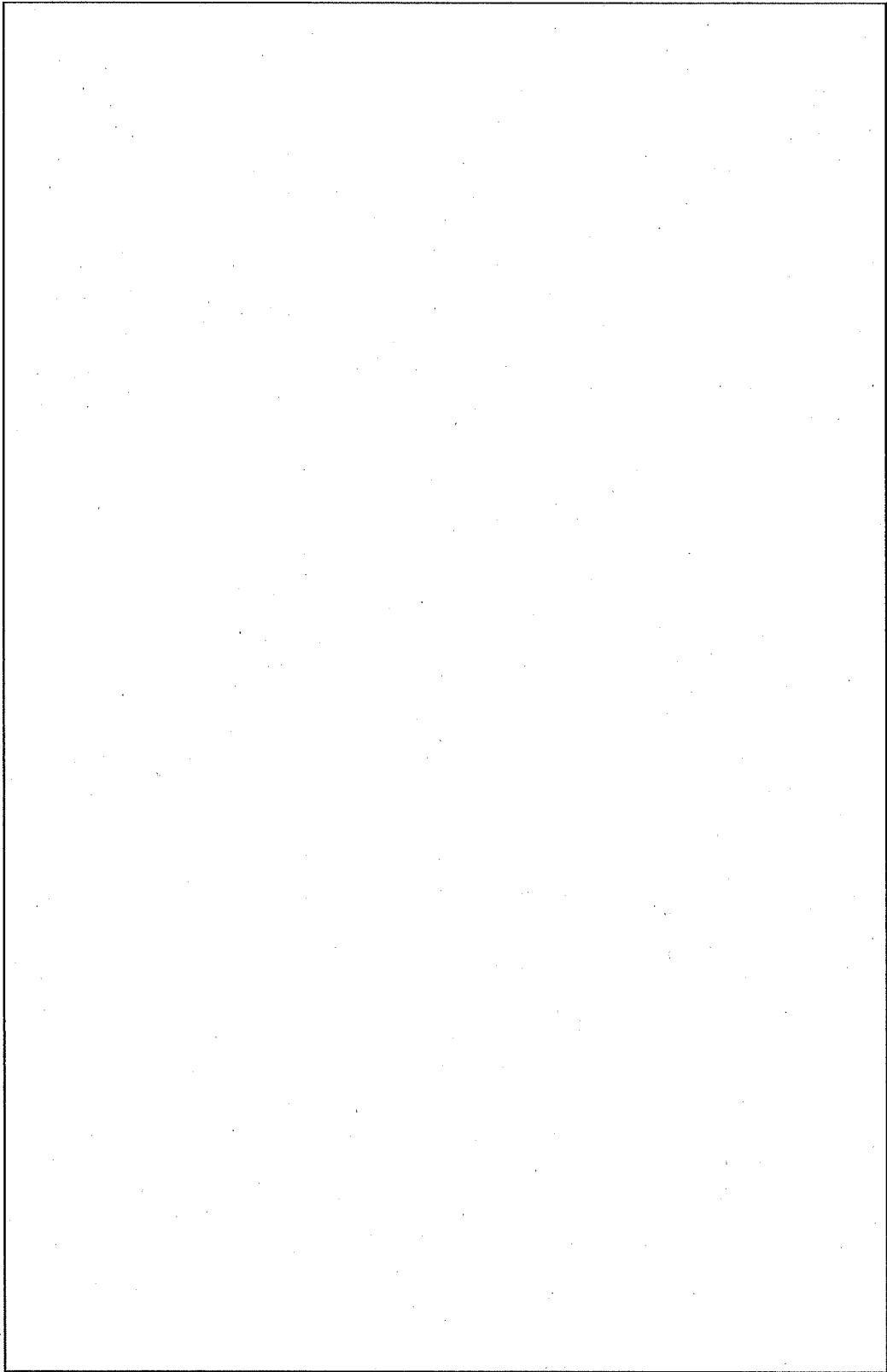
$$= \text{$$

となる。したがって、運搬台は健全である。



(口) 一第 A. 156 図 運搬台

(口) 一 A - 466



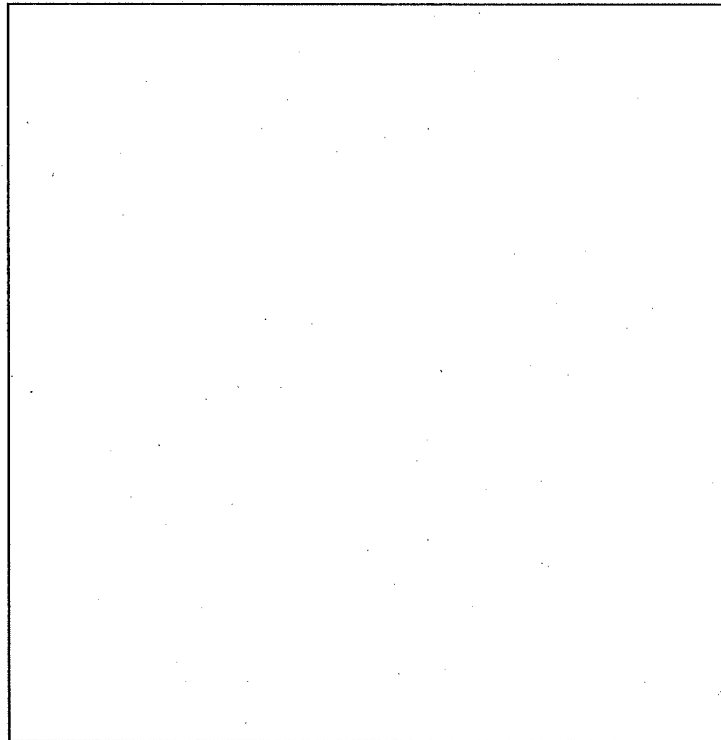
(口) ー第 A. 157 図 運搬台の解析モデル

(口) - 第 A. 33 表 梁の断面形状

	断面形状	断面積	断面二次モーメント	
			Z 軸方向	Y 軸方向
内枠				
外枠				
外枠と内 枠の接合 梁				
吊具金具				

(口) - 第 A. 34 表 負荷荷重

節点	X 方向	Y 方向	Z 方向
2			
6			
4			
28			



(口) - 第 A. 158 図 負荷荷重

(3) 吊上装置(炭素鋼)の疲労

吊上装置(炭素鋼)の疲労として、使用年数を40年、使用回数を年1回、1回の輸送当たりの取扱回数を100回とした場合、吊上げ繰り返し回数は4000回となる。(1)～(2)評価における最大応力は、で、その繰り返し応力は、となるが、これは(ロ)一第A.154図に示す設計疲れ線図の4000回での繰り返しピーク応力強さよりも低く、許容繰り返し回数は、使用予定期間中の繰り返し回数よりも多くなる。

A. 10.7 締付力 (蓋締付用ボルト)

蓋締付用ボルト の初期締付トルクを とすると、締付力(F)は、次式で表される。

$$F = \frac{T}{K \cdot d}$$

T : 初期締付トルク

K : トルク係数

d : 蓋締付用ボルト の呼び径

$$F = \frac{\text{}}{\text{} \cdot \text{}}$$

$$= \text{}$$

となる。

内圧による 1 本の蓋締付用ボルトに発生する力(F₁)は、次式で表される。

蓋締付用ボルトに発生する荷重を (ロ) - 第 A. 159 図に示す。

$$F_1 = \frac{P \cdot \pi \cdot D^2}{4n}$$

P : 内圧 (A. 4. 6 及び A. 5. 1. 3 参照)

D : 蓋部 O リング 内側の径

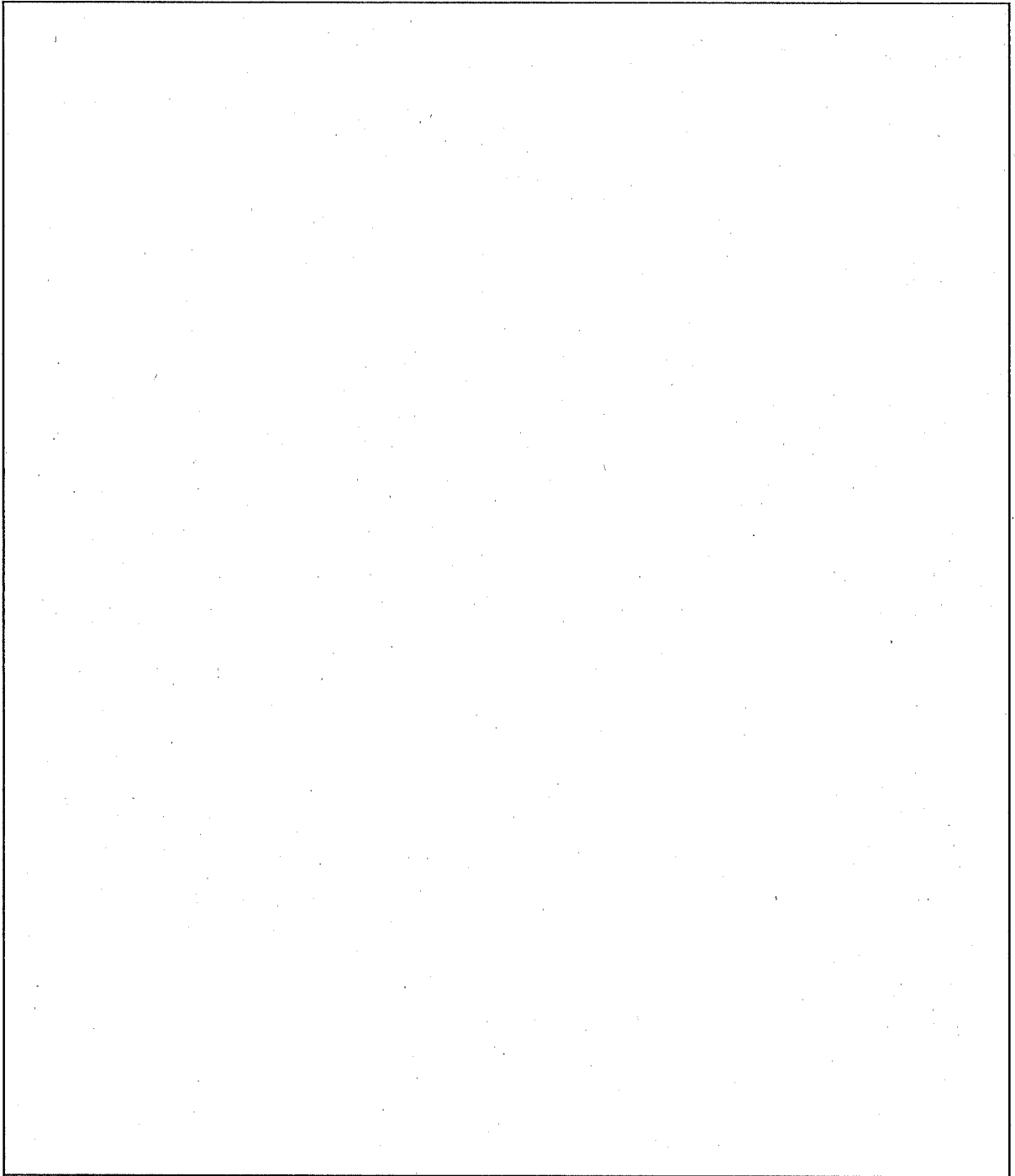
n : 蓋締付用ボルトの本数

$$F_1 = \frac{\text{} \cdot \pi \cdot \text{}^2}{4 \cdot \text{}}$$

$$= \text{}$$

となる。

F > F₁ となることにより、蓋は内圧によって開くことはない。



(口) - 第 A. 159 図 蓋締付用ボルトに発生する荷重

A. 10. 8 参考文献

- (1) 欠番
- (2) 木村化工機柁： “社内試験報告” .
- (3) 通商産業省資源エネルギー庁： “解説 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準” , (株)電力新報社, p. 688, p. 689, p. 722, p. 723, p. 732, p. 733, p. 735, (1994) .
- (4) 通商産業省資源エネルギー庁： “解説 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準” , (株)電力新報社, p. 659, (1986) .
- (5) 軽金属協会： “アルミニウムハンドブック” , 朝倉書店, p. 232.
- (6) 軽金属協会： “アルミニウムハンドブック” , 朝倉書店, p. 233.
- (7) 渡辺正紀： “溶接設計と管理” , オーム社, p. 153.
- (8) 長谷川正義： “ステンレス鋼便覧” , 日刊工業新聞社, p. 188.
- (9) 大同特殊鋼柁： “資料” .
- (10)
- (11) 赤岡 純： “シール技術” , 近代編集社, p. 102.
- (12) 軽金属協会： “アルミニウムハンドブック” , 朝倉書店, p. 245, p. 246.
- (13)
- (14) 日本機械学会編： “機械工学便覧” , 改訂第 6 版, 日本機械学会, 2-23.
- (15) 欠番
- (16) Lionel. S. Marks： “Mechanical Engineers' Handbook” , (FIFTH EDITION), McGraw-Hill Book Company (1951).
- (17) 通商産業省資源エネルギー庁： “解説 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準” , (株)電力新報社, p. 735, (1994) .
- (18) 運輸省自動車局放射性物質自動車運搬技術検討会： “放射性物質の自動車運搬に係る積載方法の安全に関する技術基準の適用指針について” .
- (19) 欠番
- (20) 強度設計データブック編集委員会： “強度設計データブック” , 裳華房, p. 978.
- (21) 日本機械学会編： “機械工学便覧” , 改訂第 6 版, 日本機械学会, 4-70.
- (22) R. J. Roork and W. C. Young: “Formulas for Stress and Strain” , McGraw-Hill Book Company (1975).

- (23) C. F. Magnuson and L. T. Wilson: "Shock and Vibration Environment for Large Shipping Containers Rail Cars and Truck", SAND 76-0427, NUREG766510 July 1977.
- (24) R. J. Burion, E. L. Lusk: "Compact Metallic Impact Limiters for Shipping Containers" CONF-710801, p. 891.
- (25) "機械設計便覧", 丸善, p. 968 ~p. 971.
- (26) 通商産業省資源エネルギー庁: "解説 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準", (株)電力新報社, p. 735, (1994).
- (27) "機械設計便覧", 丸善, p. 71.
- (28) 清水篤磨: "材料力学", 共立出版, p. 193, p. 309.
- (29) IAEA: "放射性物質安全輸送規則 IAEA 安全シリーズ No. 6", p. 159, (1985).
- (30) 日本機械学会編: "機械工学便覧", 改訂第 6 版, 日本機械学会, 4-71.
- (31) 日本機械学会編: "機械工学便覧", 改訂第 6 版, 日本機械学会, 3-41.
- (32) 日本機械学会編: "機械工学便覧", 改訂第 6 版, 日本機械学会, 3-13, 3-15.
- (33) 米国 NRC: "10 CFR Part-71", p. 246.
- (34) 日本機械学会編: "機械工学便覧", 改訂第 6 版, 日本機械学会, 4-73.
- (35) 欠番
- (36) F. C. Davis: "Structural Analysis of Shipping Casks", ORNL TM-1312 Vol. 9, (1971).
- (37) 日本機械学会編: "機械工学便覧", 改訂第 6 版, 日本機械学会, 17-59.
- (38) 通商産業省資源エネルギー庁: "解説 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準", (株)電力新報社, p. 749, p. 751, (1994).
- (39) 欠番
- (40) (一社)日本機械学会、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版) <第 I 編 軽水炉規格> (JSME S NC1-2005 (2007 年追補版含む。))」(2007).

B. 熱 解 析

B. 熱解析

輸送物の熱設計及び解析基準は、規則及び告示による。

B.1 概要

(1) 熱設計

輸送物の熱設計の目的は、輸送容器内部に収納された収納物から発生する崩壊熱の外側への放散及び耐火試験時に輸送容器内部の温度上昇を防止することである。

輸送容器は、「乾式」タイプの輸送容器で、(イ) 一第 C.1 図に示すように容器本体・蓋、バスケット、上部緩衝体及び下部緩衝体から構成されている。

容器本体を (イ) 一第 C.4 図に示す。容器本体は、ステンレス鋼製で、胴外表面(側面)には 90 枚の板状フィンが取り付けられている。容器本体上部、下部には各々ベントプラグ及びドレン弁が設けられている。

収納物には (イ) 章 D. に述べられているように JMTR で使用中濃縮ウラン燃料 (MEU) 及び低濃縮ウラン燃料 (LEU) がある。

JMTR 燃料には、標準燃料要素の他に燃料フォローがある。標準燃料要素はそれ自体、燃料フォローはスペーサとともにバスケットに装荷する。

バスケットに装荷された収納物から生じる崩壊熱は、バスケットを介して輻射と熱伝導により胴内表面及び蓋内表面に伝わり、さらに熱伝導によってフィンを含めた胴外表面、蓋外表面に伝わる。これらの熱の大半は、フィンを含めた胴外表面及び蓋外表面から大気へ自然対流と輻射によって放散される。一方、容器本体及び蓋に伝わった熱の一部は緩衝体に伝わり、緩衝体外表面から自然対流と輻射によって大気へ放散される。

上部緩衝体及び下部緩衝体によって、容器本体の上部、下部に設けられたベントプラグ及びドレン弁並びに蓋部リングは保護されている。上部緩衝体及び下部緩衝体は、緩衝材としての [] 及びその被覆材としてのステンレス鋼から成っている。その被覆鋼板には、耐火試験時緩衝材から発生するガスを逃し、緩衝体内の過大な圧力上昇を防ぐ役割を果たす可融栓 [] が各々の緩衝体に [] ずつ設けられている。

輸送物は (イ) 一第 C.2 図に示すように、運搬台に固縛棒で縦置状態に固定され、通常輸送される。

(2) 熱解析

熱解析は、前述した技術基準に規定された一般の試験条件及び特別の試験条件における輸送物について行う。また、通常の輸送を想定した輸送物（以下「通常輸送時」という。）について行う。

一般の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

- a. 輸送物は、環境温度 38℃において太陽輻射熱を受け、1 週間放置されること。
- b. 輸送物は、環境温度 -40℃の環境下に置くこと。
- c. 容易に人の接近し得る輸送物の表面の温度は、日陰において 85℃を超えないこと。

特別の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

- a. 火災前の輸送物は、38℃の大気中において太陽輻射熱を受け平衡状態にあること。
- b. 輸送物は、雰囲気輻射率が 0.9 である 800℃の火災に 30 分間さらされる。
この場合、輸送物表面の輻射率は 0.8 である。また、太陽輻射熱を受ける。
- c. 火災後の輸送物は、環境温度 38℃において太陽輻射熱を受けること。

通常輸送時の熱的条件は、一般の試験条件(熱的条件)と同一とした。

輸送物は、(ロ)章 A. 構造解析で示したように、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において緩衝体、フィン等に変形を生じる。輸送物の熱的性能は、これらの変形の影響を受けるため、各試験条件における輸送物の変形を以下に述べるように取り扱い、輸送物の熱的評価を行う。なお、通常輸送時の輸送物は、緩衝体及びフィンの変形はなく、縦置状態における輸送物の熱的評価を行う。

一般の試験条件のうち、水の吹きつけ試験及び圧縮試験では輸送物は変形しないが、自由落下試験により緩衝体に最大□の変形を生じる。熱解析では、緩衝体の変形し薄くなった場合、緩衝体による放熱抵抗が小さくなり輸送物の温度が低く評価されるため、緩衝体の変形を無視する方が安全側の評価となる。また、自由落下試験時、緩衝体の変形がフィンまで到達しないためフィンは変形しないが、貫通試験により多くても□のフィンがわずかに変形するだけである。

したがって、フィンの放熱面積は、輸送物の放熱能力の評価上ほとんど変わらないので、一般の試験条件下において輸送物は変形していないものとして熱解析を行う。また、輸送物の姿勢は縦置状態に比べ横転した場合(以下「横置」という。)が、放熱の大半を担うフィン部の対流による放熱量が小さくなると考えられるため、横置状態における輸送物の熱的評価を行う。

特別の試験条件では、800℃30分間の熱的環境において入熱が安全側になるような輸送物の変形を設定する。緩衝体の変形については、次の2点を考慮に入れ、最大変形状態の設定をする。

- a. 緩衝体は、が主構成材であり、熱伝導率が小さいの熱的特性から火災による輸送物内部への入熱を抑制する。したがって、緩衝体の厚さがより薄く、かつ、その領域がより広くなる変形状態の方が輸送物内部への入熱量が多い状態と考えられる。
- b. 緩衝体は、容器本体の蓋、ベントプラグ及びドレン弁を覆っている。これらには、いずれも他の構造物に比べると耐熱温度の低いガスケットを有しており、これらは密封境界の構成部材である。したがって、ガスケットの温度がより高くなる変形状態とする。

フィンは、落下試験 I (水平落下)により 90 枚のうちのフィンが変形する((口)章 A.6.1 参照)。しかし、フィンの変形後の形状及びフィンの飛散はないことから容器本体への入熱量が大きく異なるとは考えられない。したがって、フィンは変形しないものとする。また、の表層は炭化するが安全側に発熱を考慮する。

特別の試験条件の熱解析は、通常輸送時に起きた強度試験に引き続いて耐火試験が行われるとして横置状態にて評価する。熱解析は、差分法に基づく三次元定常、非定常温度分布汎用計算コード TRUMP (以下「熱解析コード TRUMP」という。)(付属書類 B.6.1 参照)により行う。

(3) 最大崩壊熱

輸送容器に収納する使用済燃料は、(イ)章 D. 輸送容器の収納物で示すとおり 5 種類であり、最大 30 体収納する。基本的に濃縮度の異なる燃料を混在させて収納することはないが、JMTR 燃料の中濃縮ウラン燃料(MEU)と低濃縮ウラン燃料(LEU)に限り混合装荷を行う。

収納物の崩壊熱は、(口)章 D.1 及び D.6.4 で示した燃焼計算コード ORIGEN により求める。解析に用いた収納物の最大崩壊熱を(口)一第 B.1 表に示す。収納物としては、(口)一第 B.1 表に記述した以外に同一濃縮度の標準燃料要素と燃料フォロワの混在し

た場合があるが、その場合の30体当たりの崩壊熱は、同じ濃縮度の標準燃料要素30体の崩壊熱を超えることはない。また、JMTRで使用した中濃縮ウラン燃料(MEU)と低濃縮ウラン燃料(LEU)の混合装荷した場合についても低濃縮ウラン燃料(LEU)の標準燃料要素30体の崩壊熱を超えることはない。

したがって、熱解析は最大崩壊熱を有する燃焼度□のJMTR標準燃料要素(LEU)30体を収納した輸送物について行い、バスケット内の燃料装荷状態の異なる燃料フォロワについては、燃料フォロワのなかで最大崩壊熱を有する燃焼度□のJMTR燃料フォロワ(LEU)30体を収納した輸送物及び収納物より崩壊熱が小さい燃料要素30体を想定した場合の輸送物について行う。

(4) 熱解析の条件と方法

熱解析の条件を(口)一第B.2表及び(口)一第B.3表に示す。

熱解析の方法を(口)一第B.4表に示す。

(口)一第B.1表 解析に用いた収納物の最大崩壊熱

収 納 物	1体当たりの崩壊熱	30体当たりの崩壊熱
JMTR標準燃料要素(MEU)	66.0W	1.98kW
JMTR標準燃料要素(LEU) *1	93.3W	2.80kW
JMTR燃料フォロワ(LEU) *1	62.6W	1.88kW
JMTR標準燃料要素(LEU) *2	80.0W	2.40kW
JMTR燃料フォロワ(LEU) *2	53.6W	1.61kW
収納物より崩壊熱が小さい燃料要素	41.0W	1.23kW

*1: 燃焼度□

*2: 燃焼度□

(ロ) 一第B.2表 熱解析の条件 (JMTR標準燃料要素(LEU))

項目	条件	通常輸送時		一般の試験条件		特別の試験条件		
		日陰における 温度評価	最高温度評価	日陰における 温度評価	最高温度評価	火災前	火災時	火災後
崩壊熱	環境条件	2.80kW	38°C	2.80kW	0kW	2.80kW		
		38°C	なし	38°C	-40°C	38°C	800°C 火災 30分間	38°C
太陽輻射熱		なし	あり	なし	なし	あり	あり	
周囲輻射率		1.0		1.0		1.0	0.9 ⁽¹⁰⁾	1.0
容器表面輻射率		0.15		0.15		0.15	0.8 ⁽¹⁰⁾	0.55
輸送物の姿勢		縦置		横置		縦置		横置

(ロ) 一第B.3表 熱解析の条件 (JMTR燃料プロセス(LEU)及び収納物より崩壊熱が小さい燃料要素)

項目	条件	通常輸送時		特別の試験条件		
		最高温度評価	1.88kW	火災前	火災時	火災後
崩壊熱 *1		1.88kW	1.88kW / 1.23kW			
環境条件	周囲温度	38℃	38℃	800℃ 火災30分間	38℃	
	太陽輻射熱	あり	あり	あり	あり	
	周囲輻射率	1.0	1.0	0.9 ⁽¹⁰⁾	1.0	
容器表面輻射率		0.15	0.15	0.8 ⁽¹⁰⁾	0.55	
輸送物の姿勢		縦置	縦置	横置	横置	

*1 JMTR燃料プロセス(LEU)の崩壊熱=1.88kW
 収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の崩壊熱 =1.23kW

(ロ) 一第B.4表 熱解杆の方法 (その1)

項 目	内 容			
燃 料 仕 様	燃 料	JMTR標準燃料 要素(LEU)	JMTR燃料 フオロプ(LEU)	収納物より崩壊熱が 小さい燃料要素
	濃 縮 度 (最大)	wt%		
	平均燃焼度(最大)	% U-235		
	原子炉熱出力	50	50	20
最大崩壊熱	冷 却 日 数	日		
崩壊熱計算コード	30体当たり	2.80	1.88	1.23
熱計算モデル	ORIGEN			
熱計算方法	三次元伝熱モデル			
熱計算方法	熱解杆コード TRUMP			

(ロ) 一第B.4表 熱解析の方法 (その2)

項	目		内 容			計 算
	部	位	燃 料	部 位	計 算	
熱 計 算 方 法	TRUMPで用いた計算	標準燃料要素	燃 料	—	蓋 内 面 バスケット	熱伝導と輻射
		燃料フォロワ	燃 料	—	洞 内 面 蓋 内 面	熱伝導と輻射
			燃 料	—	洞 内 面 蓋 内 面	熱伝導と輻射
		洞 内 面 蓋 内 面	燃 料	—	洞 内 面 蓋 内 面	熱伝導と輻射
			燃 料	—	洞 内 面 蓋 内 面	熱伝導と輻射
		洞 外 面 蓋 外 面	燃 料	—	洞 外 面 蓋 外 面	熱伝導と輻射
			燃 料	—	洞 外 面 蓋 外 面	熱伝導と輻射
		洞 外 面 蓋 外 面	燃 料	—	洞 外 面 蓋 外 面	熱伝導と輻射
			燃 料	—	洞 外 面 蓋 外 面	熱伝導と輻射
		使用物性値	輸送容器内圧	B.2 材料の熱的性質 参照		
$\frac{PV}{T} = \text{一定}$						

B.2 材料の熱的性質

熱解析に用いる各材料等の熱的性質を(ロ)－第B.5表～(ロ)－第B.9表に示す。
 なお、燃料内部の熱伝達は被覆材(アルミニウム合金)で評価している。(付属書類B.6.2.1
 参照)

(ロ)－第B.5表 ステンレス鋼の熱的性質⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

温度 ℃	比熱 kJ/(kg·K) (kcal/(kg·°C))	熱伝導率 W/(m·K) (kcal/(m·h·°C))
-40		
0		
200		
400		
800		

密度：

融点：

輻射率：0.15 (火災にさらされない表面)

0.55 (火災にさらされた後の表面)

(ロ)－第B.6表 アルミニウム合金の熱的性質⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

温度 ℃	比熱 kJ/(kg·K) (kcal/(kg·°C))	熱伝導率 W/(m·K) (kcal/(m·h·°C))
-40		
20		
100		
300		
400		

密度：

融点：

輻射率：0.11

(口) - 第 B. 7 表 中性子吸収材の熱的性質⁽⁷⁾

温度 ℃	密度 kg/m ³	比熱 kJ/(kg·K) (kcal/(kg·°C))	熱伝導率 W/(m·K) (kcal/(m·h·°C))
25			

(口) - 第 B. 8 表 の熱的性質⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

密度	<input type="text"/>
温度 ℃	比熱 kJ/(kg·K) (kcal/(kg·°C))
285 未満	<input type="text"/>
285 以上	
温度 ℃	熱伝導率 W/(m·K) (kcal/(m·h·°C))
20	<input type="text"/>
100	
200	
355	
355 以上	

(ロ) - 第 B.9 表 空気の熱的性質⁽⁴⁾

温度 °C	密度 kg/m ³	比熱 kJ/(kg·K) (kcal/(kg·°C))	熱伝導率 W/(m·K) (kcal/(m·h·°C))	動粘性係数 m ² /s	プラントル数 —
-50	1.533	1.00 (0.240)	0.0200 (0.0172)	0.095×10 ⁻⁴	0.73
0	1.251	1.00 (0.240)	0.0241 (0.0207)	0.138×10 ⁻⁴	0.72
60	1.026	1.01 (0.241)	0.0287 (0.0247)	0.196×10 ⁻⁴	0.71
100	0.916	1.01 (0.242)	0.0316 (0.0272)	0.239×10 ⁻⁴	0.70
200	0.722	1.03 (0.245)	0.0386 (0.0332)	0.358×10 ⁻⁴	0.69
400	0.508	1.07 (0.255)	0.0508 (0.0437)	0.645×10 ⁻⁴	0.69
600	0.391	1.12 (0.267)	0.0613 (0.0527)	0.989×10 ⁻⁴	0.70
800	0.319	1.16 (0.276)	0.0709 (0.0610)	1.370×10 ⁻⁴	0.71

B.3 構成要素の仕様

輸送物に取りつけられている弁及びプラグとしては、ベントプラグ及びドレン弁がある。ガスケット材である[]の標準使用温度範囲は、[]である。

弁類の仕様を(ロ)－第B.10表に示す。また、緩衝体に設けられた可融栓の仕様を(ロ)－第B.11表に示す。

輸送物には、熱絶縁や表面塗装は施されていない。

(ロ)－第B.10表 弁類の仕様

弁等	項目	使用目的	形状	主要材質	密封部材質	閉止プラグ材質	試験温度	試験圧
ベントプラグ		空気抜き	(イ)－第C.7図参照	ステンレス鋼			常温	耐圧試験 1MPa以上水圧
ドレン弁		水抜き	(イ)－第C.8図参照	ステンレス鋼				気密漏えい 検査[] []気圧

(ロ)－第B.11表 可融栓の仕様

材質	融解点 (液相線温度)	形状
		(イ)－第C.15図

B.4 一般の試験条件

輸送物が一般の試験条件下において、技術基準を満足することを以下に示す。

B.4.1 熱解析モデル

輸送容器各部の温度は、解析モデルにより評価している。熱解析は、輸送物をモデル化し、熱解析コード TRUMP を使用して行う。

本項では、通常輸送時及び一般の試験条件において最大崩壊熱を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した輸送物について評価する。また、通常輸送時においてバスケットへの燃料の収納形態の異なる JMTR 燃料フォロー (LEU) 30 体を収納した輸送物についても評価する。

B.4.1.1 解析モデル

1. 通常輸送時

通常の輸送を想定した輸送物温度、すなわち緩衝体及びフィン変形のない縦置の輸送物温度を評価する。

輸送物の冷却方式は、自然冷却方式である。本解析モデルにおける熱の流れは、次のように考える。

JMTR 標準燃料要素収納の場合は、燃料から発生する崩壊熱は輻射と熱伝導によりバスケットに伝わり、JMTR 燃料フォローの場合は、燃料から発生する崩壊熱はスペーサを介して輻射と熱伝導によりバスケットに伝わる。バスケットより外側は、収納物の違いにかかわらず同じである。バスケットから胴内面及び蓋内面へ輻射と熱伝導により伝わり、さらに熱伝導によってフィンを含めた胴外面及び蓋外面に伝わる。これらの熱の大半は、胴外面及び蓋外面から大気へ自然対流と輻射により放散される。一方、容器本体及び蓋に伝わった熱の一部は、緩衝体に伝わり、緩衝体外表面から自然対流と輻射により大気へ放散される。

そこで、本項では次のように分けて記述する。

- (1) 解析条件
- (2) 解析モデル
- (3) 輸送物内部の熱伝達
- (4) 輸送物外部の熱伝達

(1) 解析条件

解析に使用した条件は、次のとおりである。

JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合、崩壊熱は 2.80kW、周囲温度は 38℃、容器表面輻射率は 0.15、周囲輻射率は 1.0 であり、輸送物の姿勢は縦置である。また、太陽輻射熱については考慮しない場合(日陰における温度評価)と考慮する場合(最高温度評価)について行う。

JMTR 燃料フォロワ (LEU) 30 体を収納した場合、JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体よりも崩壊熱が小さいため、輸送物温度が JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した輸送物温度以下であるから、太陽輻射熱を考慮した最高温度評価のみ行う。崩壊熱は 1.88kW であり、その他の条件は JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合と同じである。

解析条件のまとめたものを (ロ) - 第 B.12 表 に示す。

太陽輻射熱による伝熱量については、(ロ) - 第 B.13 表 に示す値を使用する。

(2) 解析モデル

解析モデルの収納物は、JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体及び JMTR 燃料フォロワ (LEU) 30 体である。輸送物の構造は複雑であるから、輸送物全体の温度分布を計算するために、次の 2 つのモデルを用いる。

- a. 容器本体の温度分布を計算するモデル
- b. バスケット内の温度分布を計算するモデル

前者を「本体温度解析モデル」、後者を「バスケット内温度解析モデル」という。はじめに、本体温度解析モデルにて計算を行い、本体温度を求める。次に、本体温度解析モデルで求めた胴内面温度を境界温度として、バスケット内温度解析モデルの計算を行い、バスケット内温度を求める。

1) JMTR 標準燃料要素 (LEU) モデル

a. 本体温度解析モデル

JMTR 標準燃料要素 (LEU) の本体温度解析モデルを (ロ) - 第 B.1 図 に示す。このモデルは、次の理由から軸対称二次元モデルとする。

- ① 後述するバスケット内温度評価の結果、バスケット外面の周方向の温度変化はわずかである。
- ② 輸送容器本体の形状がほぼ軸対称である。

③ 環境条件、熱伝達係数及び形態係数は、周方向に同一である。

なお、輸送物は（イ）一第 C.2 図に示す状態（縦置）で輸送するため、通常輸送時においては容器本体底部及び下部緩衝体底部からの大気への放熱は無いもの（断熱状態）として評価する。この評価は、温度を高める方向であり安全側である。また、発熱部は円筒形状に置き換え、バスケットの中心にあるものとした。

その他、詳細な熱伝達については、本項の(4)及び付属書類 B.6.3 で述べる。

(ロ) - 第 B.12 表 解析条件(通常輸送時)

項 目		JMTR標準燃料要素 (LEU)		JMTR燃料フォロー (LEU)
		日陰における 温度評価	最高温度 評価	最高温度評価
崩壊熱		2.80kW		1.88kW
環境 条件	周囲温度	38℃		38℃
	太陽輻射熱	なし	あり	あり
	周囲輻射率	1.0		1.0
容器表面輻射率		0.15		0.15
輸送物の姿勢		縦 置		縦 置

(ロ) - 第 B.13 表 太陽輻射熱による伝熱量

表面の形状及び位置の区分	幅 射 熱 (W/m ²)
水平に輸送される表面	
下向きの表面	なし
上向きの表面	800
垂直に輸送される表面及び 水平に輸送されない平面	200
その他の表面	400

b. バスケット内温度解析モデル

バスケット内温度解析モデルは、輸送物姿勢(縦置)及びバスケット構造の対称性から中心角 90° の $1/4$ セクターの三次元モデルを採用している。

(ロ) - 第 B.2 図及び (ロ) - 第 B.3 図にバスケット内温度解析モデルの燃料を横切る断面図と軸方向断面図を示す。解析モデルは輸送物縦置状態のため、燃料及びバスケットが胴内面(下面)に接し((ロ) - 第 B.3 図)、燃料が燃料挿入孔の中央にあることを示している((ロ) - 第 B.2 図)。

このモデルでは、本体温度解析モデルで求めた胴内面(蓋内面、胴内面(側面及び底面))温度を境界温度として、燃料及びバスケットの詳細な温度分布を計算する。詳細な熱伝達については、本項の(3)及び付属書類 B.6.2 で述べる。

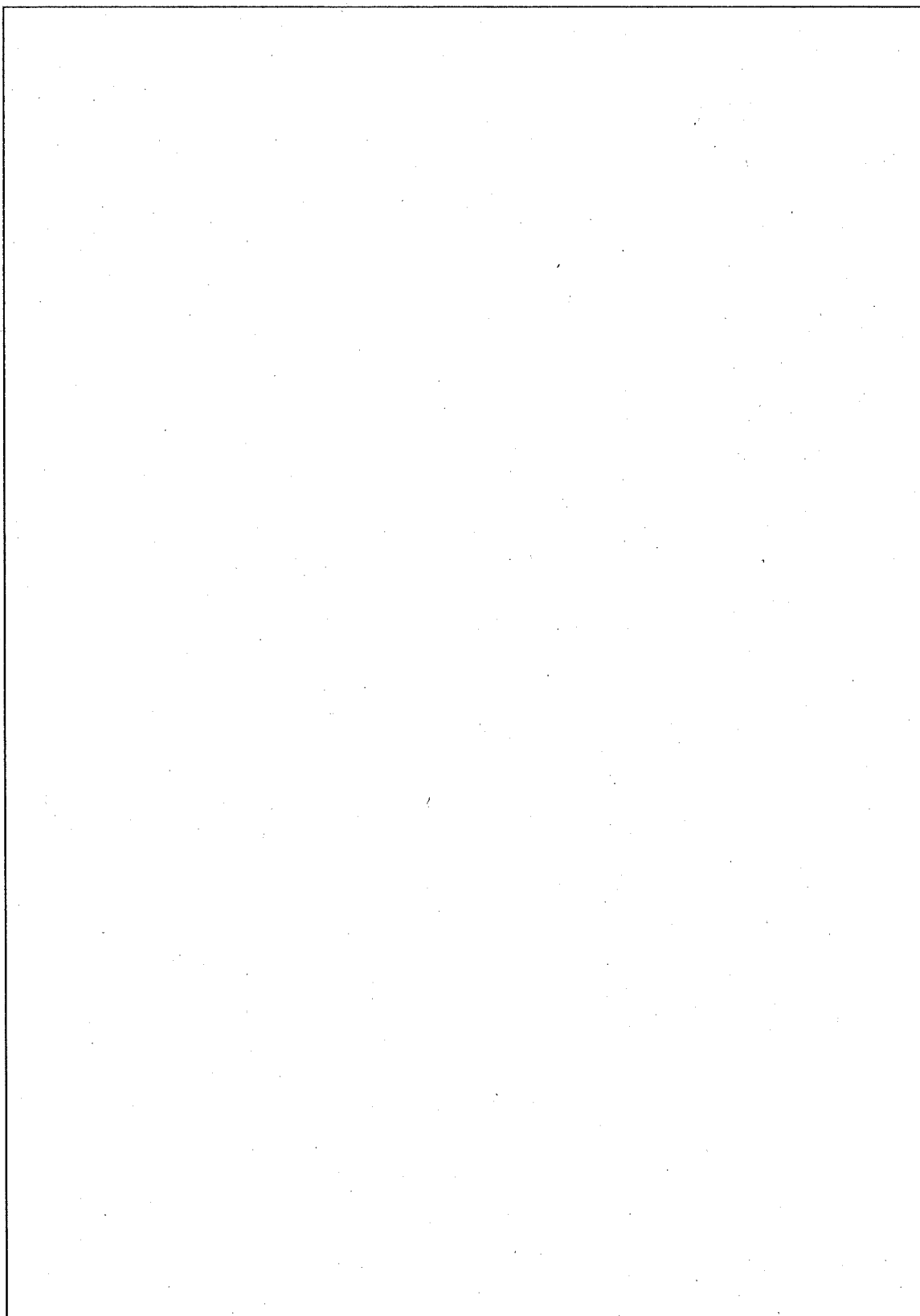
2) JMTR 燃料フォロー (LEU) モデル

このモデルを考える場合、前項のモデルに比べバスケットの燃料挿入孔にアルミニウム合金製のスペーサを使用することを除いて同じである。

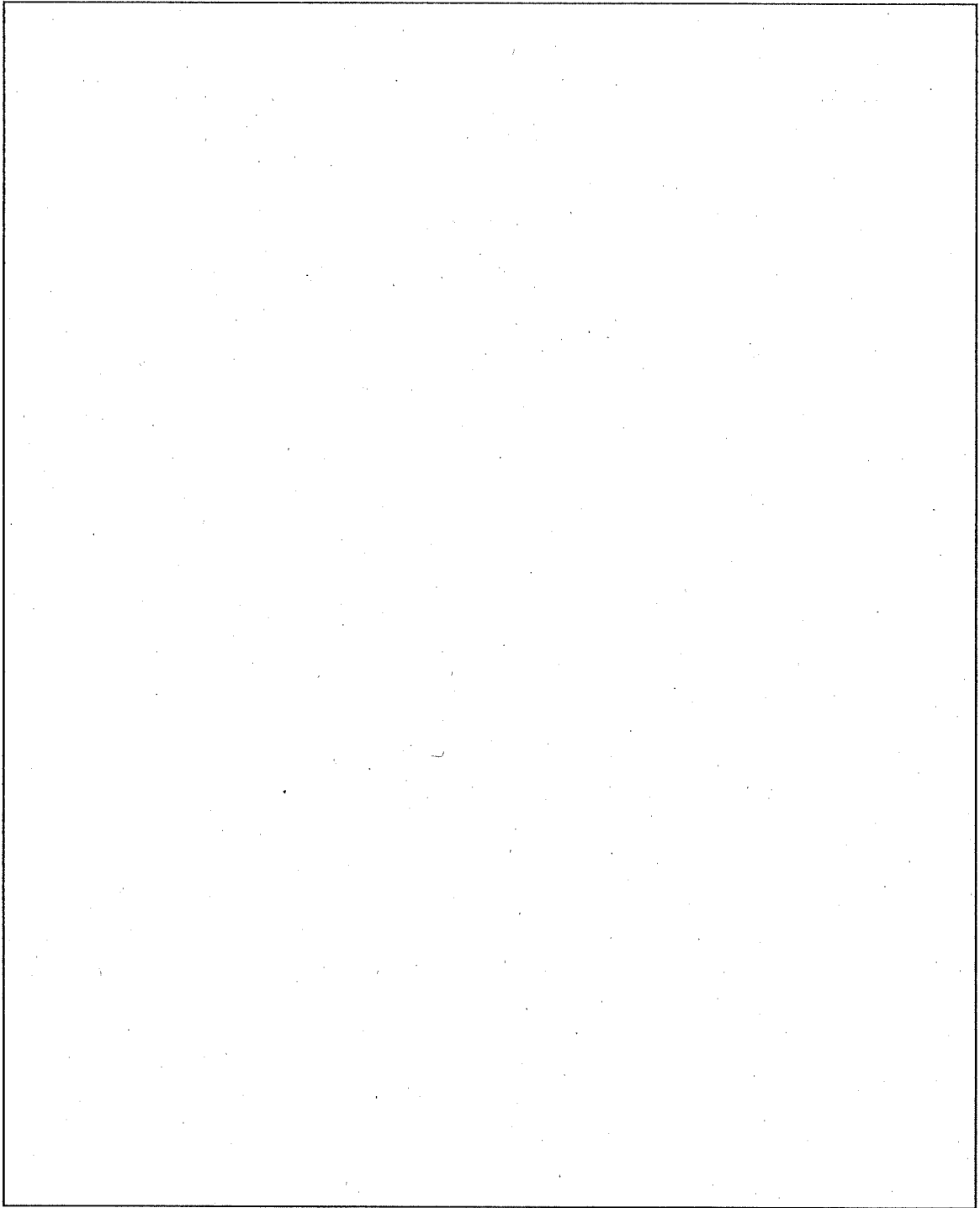
そこで、容器本体については、前項と同様の本体温度解析モデル((ロ) - 第 B.4 図参照)を用いて評価する。

バスケット内温度解析モデルについては、バスケット内の軸方向の熱の流れを考えない (ロ) - 第 B.5 図に示すようなバスケット中央部の断面二次元モデルを用いる。

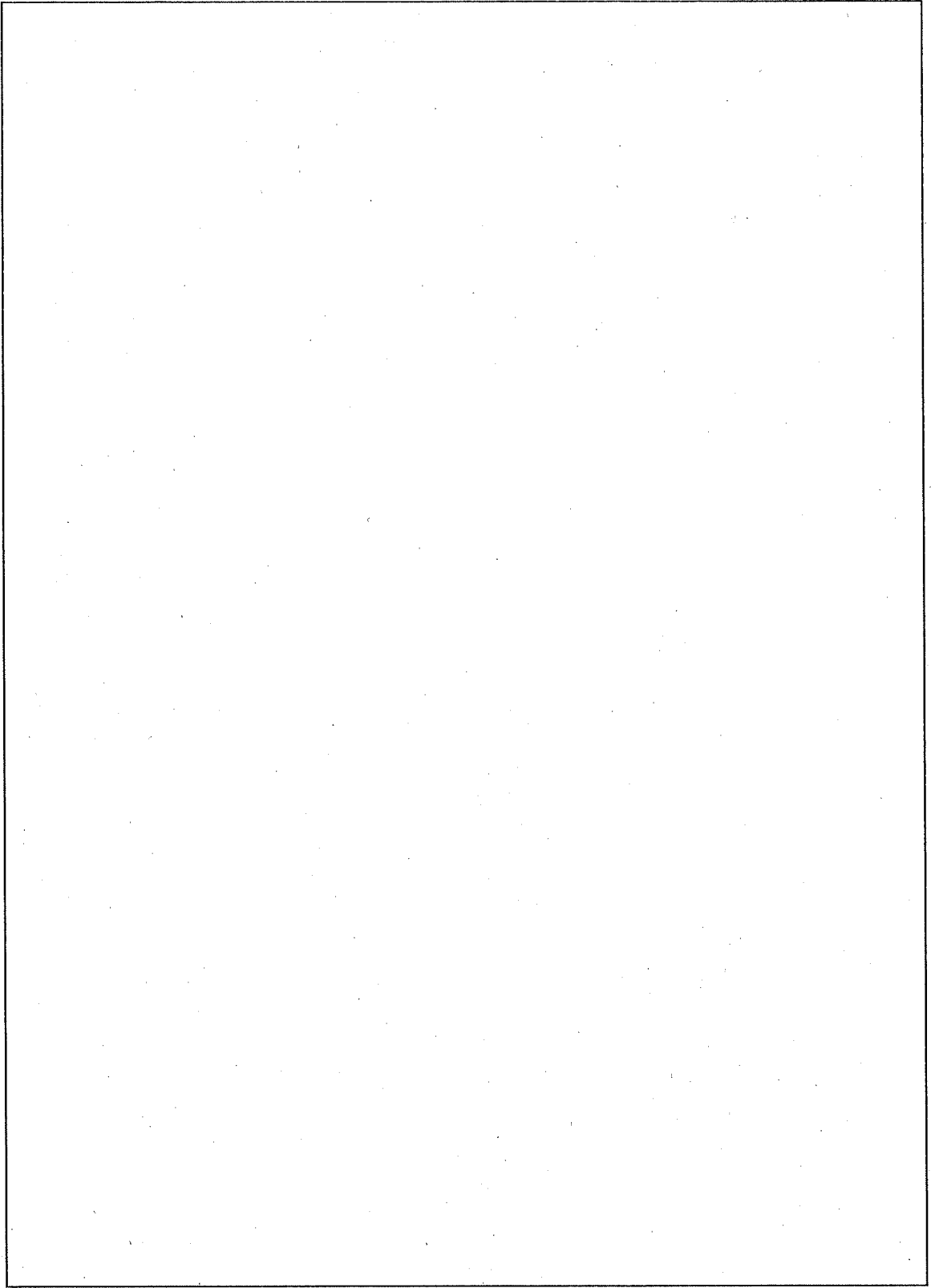
このモデルの境界温度として使用する胴内面温度には、本体温度解析モデルで得られた胴内面の最高温度を使用する。この温度分布の評価は温度を高める方向であり、安全側である。



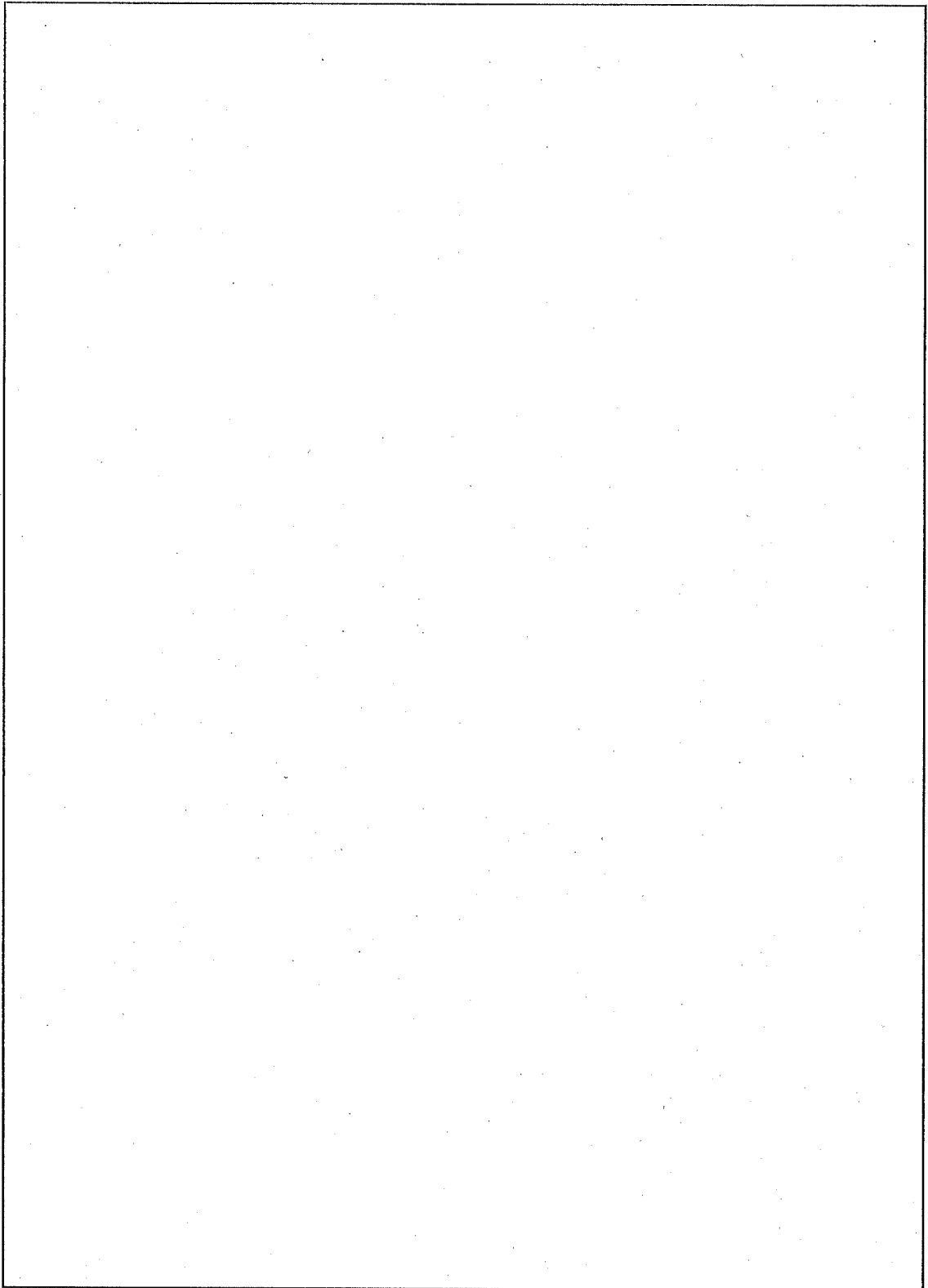
(ロ) ー第 B.1 図 JMR 標準燃料要素 (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、通常輸送時)



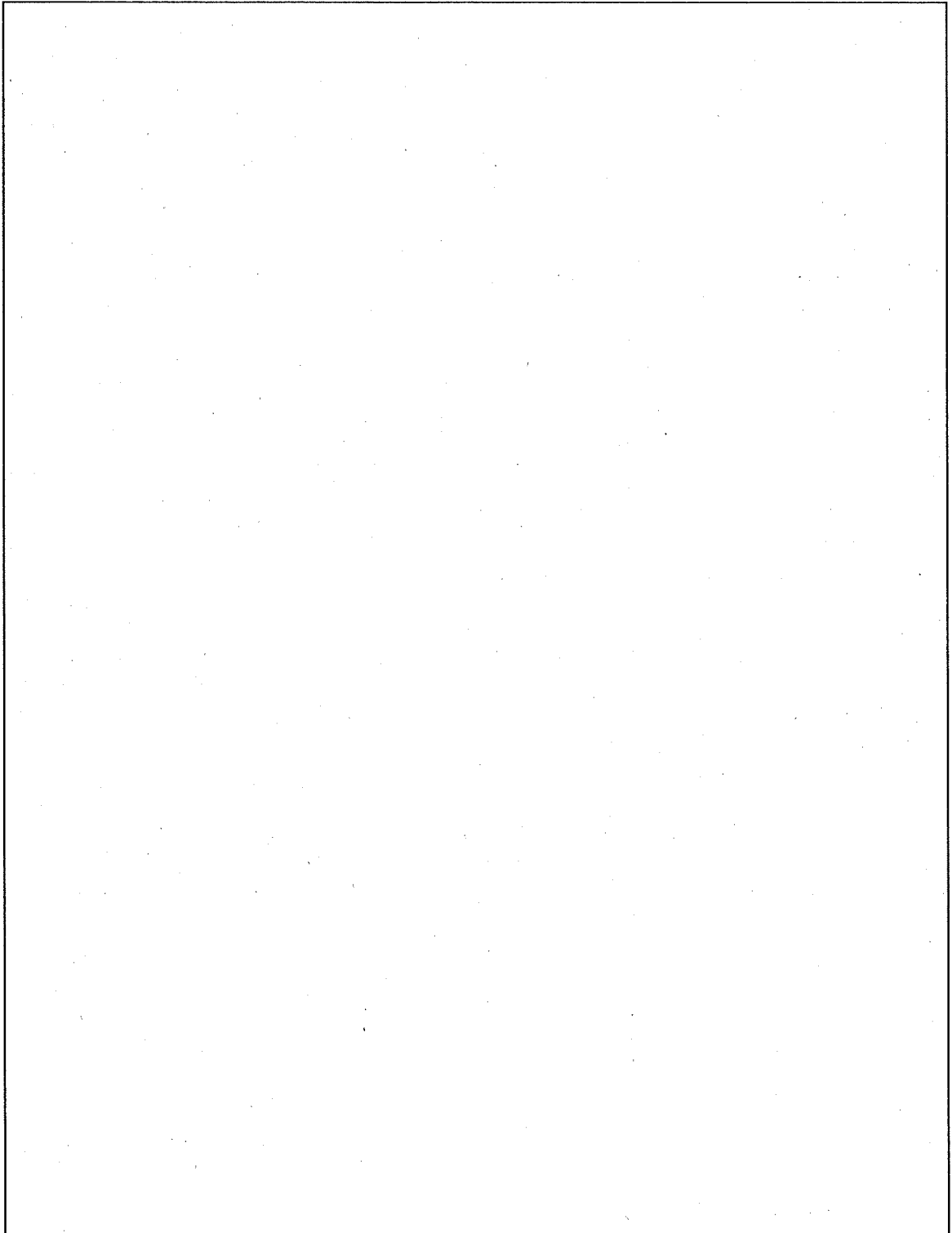
(ロ) - 第 B. 2 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル
(断面図、通常輸送時)



(ロ) - 第 B.3 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル
(軸方向断面図、通常輸送時)



(ロ) - 第 B.4 図 JMTR 燃料フォロワ (LEU) の本体温度解析モデル
(軸対称、通常輸送時)



(ロ) - 第 B. 5 図 JMTR 燃料フォロワ (LEU) のバスケット内温度解析モデル
(断面図、通常輸送時)

(3) 輸送物内部の熱伝達

輸送物内における熱伝達について次に述べる。

固体材料内では、熱伝導による熱伝達を考える。

輸送容器内部の空気層に対しては、各位置において対流と熱伝導のどちらが支配的であるかを検討し、さらに輻射の有効性を考慮して熱伝達の評価を行う。その結果、輸送物内部の空気層の熱伝達は、熱伝導が支配的である。また、輻射による熱伝達を考慮した所は、燃料とバスケット面間、燃料上面と蓋内面間、バスケット上面と蓋内面間、バスケット底面と胴内面(下面)間、バスケット側面と胴内面(側面)間である。JMR 燃料フォロワの場合は、スペーサとバスケット面間についても輻射による熱伝達を考慮している。

なお、輸送物内部熱伝達についての詳細は、付属書類 B.6.2 に記述する。

(4) 輸送物外部の熱伝達

輸送物の外表面における熱伝達について次に述べる。

輸送物周囲の外部環境条件は、(ロ) - 第 B.12 表に示したとおりである。熱伝達としては、周囲空気の対流によるものと大気への輻射による放熱を考える。

対流の熱伝達係数には、各位置に応じた適用式を使用する。すなわち、フィン、胴外面(側面)及び緩衝体(側面)に対しては、垂直平板の自然対流式を、蓋、上部緩衝体(上面)及び下部緩衝体(上面)に対しては上向き熱面の自然対流式を、上部緩衝体(下面)に対しては下向き熱面の自然対流式を用いて評価する。

また、輻射で重要な外面の形態係数は、各位置で実際に即した形状におきかえて算出する。すなわち、フィン部以外の輸送容器外面については、形態係数を 1 とし、フィン部については細長い平板からフィンに囲まれた外側の空気への形態係数を考える。また、フィンについては、端面の形態係数を 1 とし、平板は各位置ごとに高さ方向を三分割し、それぞれに対応する平板から空気への形態係数を考える。蓋部では、蓋外面から外側の空気への輻射及び蓋外面から近接防止枠への輻射を考慮する。

フィンの伝熱面積、形状などは、周方向の存在割合を考慮して、固縛金具によるフィンの欠損も考慮する。

太陽輻射熱については、(ロ) - 第 B.13 表に基づいて輸送容器外面に与えて評価を行う。

なお、外部熱伝達についての詳細は、付属書類 B.6.3 に述べる。

2. 一般の試験条件

一般の試験条件のうち、水の吹き付け試験及び圧縮試験では輸送物は変形しないが、自由落下試験により緩衝体に最大□□の変形を生じる。

熱解析では、緩衝体の変形し薄くなった場合、緩衝体からの放熱が大きくなり輸送物の温度が低く評価されるため、緩衝体の変形を無視する方が安全側の評価となる。また、自由落下試験時、緩衝体の変形がフィンまで到達しないためフィンは変形しない。しかし、貫通試験により多くても□□のフィンがわずかに変形するだけである。((ロ) 章 A.5.5 参照)したがって、フィンの放熱面積は、輸送物の放熱能力の評価上ほとんど変わらないので、一般の試験条件において輸送物は変形していないものとして熱解析を行う。また、輸送物の姿勢は縦置状態に比べ横置状態が放熱の大半を担うフィン部の放熱量が小さくなると考えられるため、横置状態における輸送物の熱的評価を行う。

輸送物の熱の流れは、通常輸送時と同じように考える。なお、ここでは通常輸送時断熱面とした下部緩衝体下面からの対流及び輻射による熱伝達も考える。

そこで、本項では次のように分けて記述する。

- (1) 解析条件
- (2) 解析モデル
- (3) 輸送物内部の熱伝達
- (4) 輸送物外部の熱伝達

(1) 解析条件

解析に使用した条件は、次のとおりである。

JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合、崩壊熱は、2.80kW、周囲温度は 38℃、周囲輻射率は 1.0、容器表面輻射率は 0.15 であり、輸送物の姿勢は横置である。また、太陽輻射熱については考慮しない場合 (日陰における温度評価) と考慮する場合 (最高温度評価) について行う。最低温度評価では、崩壊熱は 0kW とし、さらに -40℃ にて太陽輻射熱は考慮しない。

解析条件をまとめたものを (ロ) - 第 B.14 表 に示す。

太陽輻射熱による伝熱量については、(ロ) - 第 B.13 表 に示す値を使用する。

(2) 解析モデル

JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した輸送物について、通常輸送時と同様に本体温度解析モデル及びバスケット内温度解析モデルを用いて検討する。

a. 本体温度解析モデル

本体温度解析モデルの軸方向断面図を(ロ)－第 B.6 図に示す。本体温度解析モデルは、次の理由から軸対称二次元モデルとする。

- ① 耐火試験(火災前の横置状態)の結果、胴内面及び胴外面の周方向の温度変化が小さい。
- ② 輸送容器本体の形状がほぼ軸対称である。
- ③ 環境条件、熱伝達係数及び形態係数は、周方向に同一である。

その他、詳細な熱伝達については、本項の(4)及び付属書類 B.6.4 で述べる。

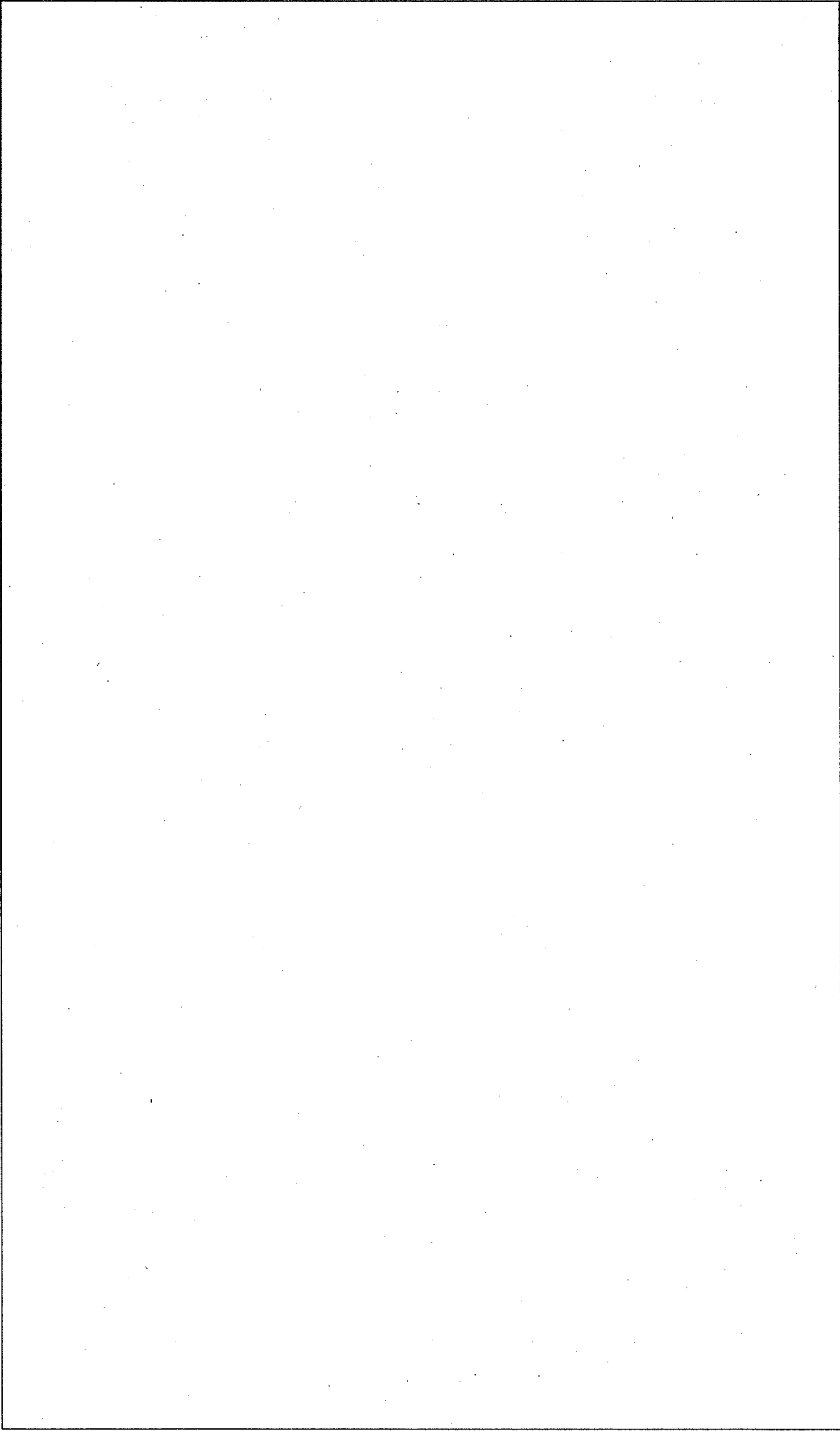
b. バスケット内温度解析モデル

バスケット内温度解析モデルは、輸送物姿勢(横置)及びバスケットの構造の対称性から中心角 180° の 1/2 セクターの三次元モデルを採用している。バスケット内温度解析モデルの燃料を横切る断面図と軸方向断面図を各々(ロ)－第 B.7 図及び(ロ)－第 B.8 図に示す。解析モデルは、輸送物が横置状態のため、バスケット及び燃料が一方へ片寄り((ロ)－第 B.7 図)、バスケット及び燃料が輸送容器の長手方向中央にあることを示している((ロ)－第 B.8 図)。このモデルでは、本体温度解析モデルで求められた胴内面温度を境界温度として、燃料及びバスケットの詳細な温度分布を計算する。

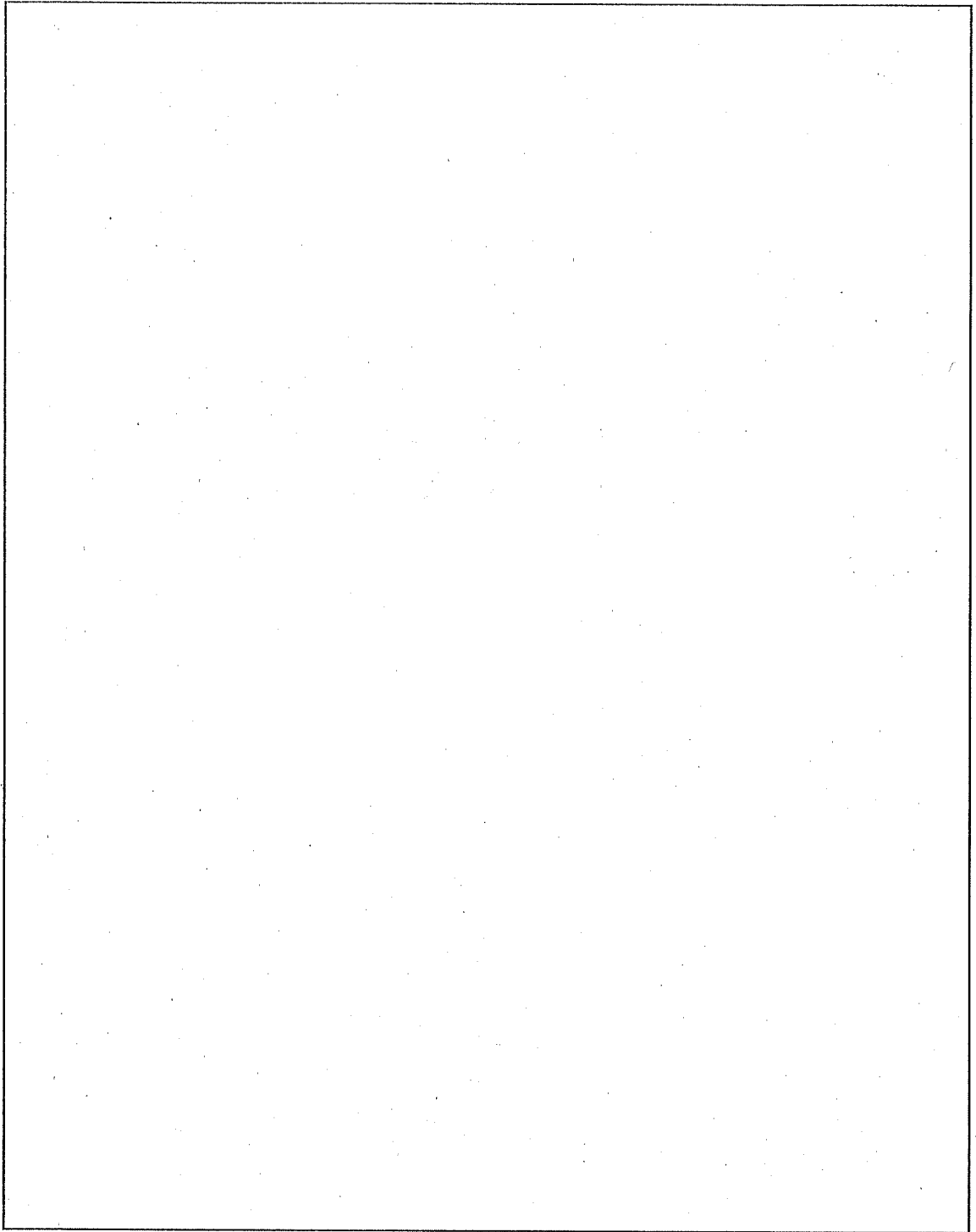
なお、熱伝達についての詳細は付属書類 B.6.2 で述べる。

(ロ)－第 B.14 表 解析条件 (一般の試験条件)

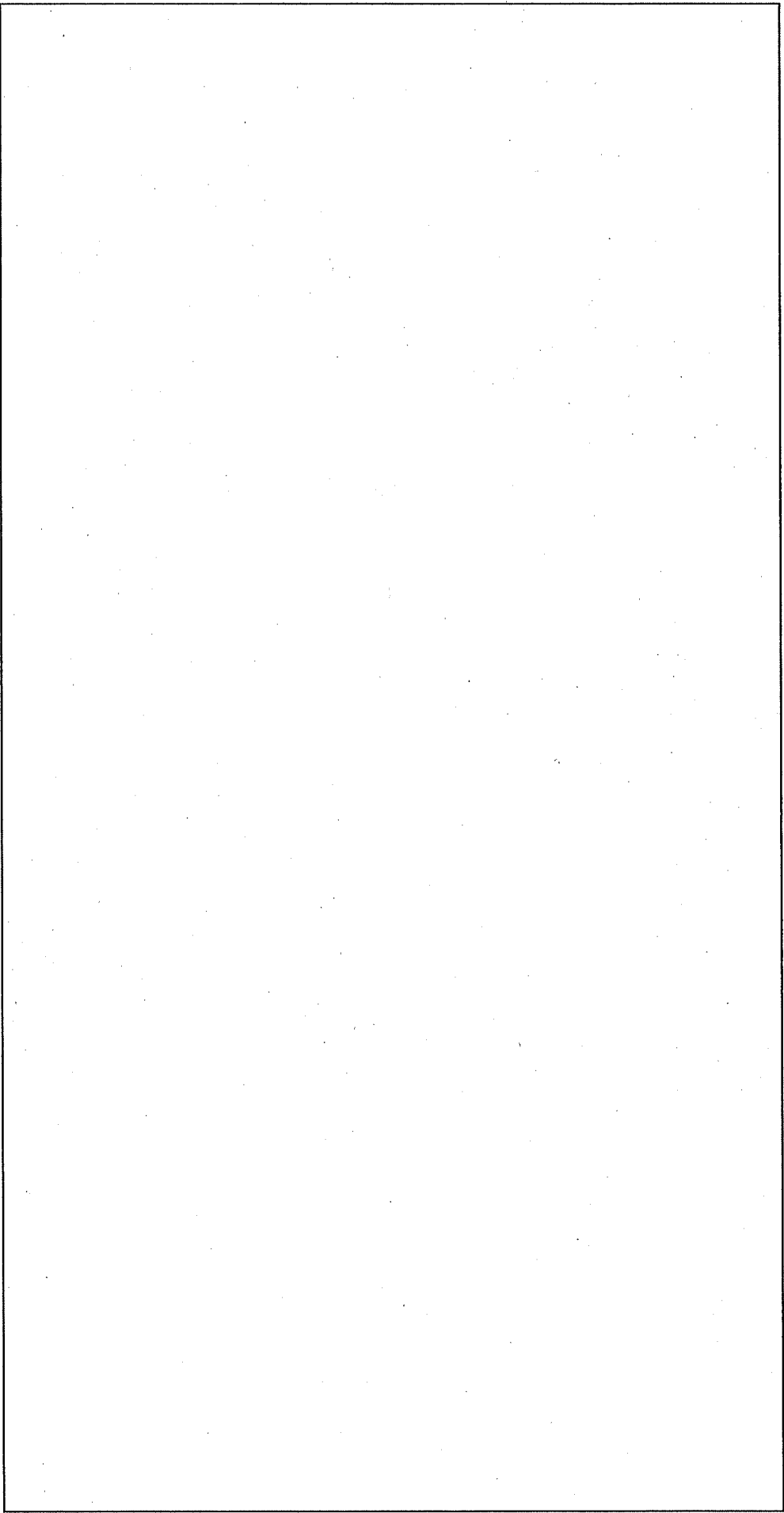
項 目		JMTR標準燃料要素(LEU)		
		日陰における 温度評価	最高温度評価	最低温度評価
崩 壊 熱		2.80kW		0kW
環 境 条 件	周 囲 温 度	38℃		-40℃
	太 陽 輻 射 熱	なし	あり	なし
	周 囲 輻 射 率	1.0		
容 器 表 面 輻 射 率		0.15		
輸 送 物 の 姿 勢		横 置		



(ロ) - 第 B. 6 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、一般の試験条件)



(ロ) ー第 B.7 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル
(断面図、一般の試験条件)



(ロ) - 第 B.8 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (軸方向断面図、一般の試験条件)

(3) 輸送物内部の熱伝達

輸送物は通常輸送時と同じ形態であるため、輸送物内部の熱伝達は通常輸送時と同じように固体材料内は熱伝導、隙間(空気層)は熱伝導と輻射により内部から容器外表面へ伝わる。

なお、輸送物内部熱伝達についての詳細は、付属書類 B. 6. 2 に記述する。

(4) 輸送物外部の熱伝達

輸送物の外表面における熱伝達について次に述べる。

輸送物周囲の外部環境条件は、(ロ) 一第 B. 14 表に示したとおりである。熱伝達としては、周囲空気の対流と熱伝導によるものと大気への輻射による放熱を考える。

対流の熱伝達係数には、各位置に応じた適用式を使用する。すなわち、フィン、緩衝体(側面)及び近接防止枠(側板)に対しては、水平円筒の自然対流式を、蓋、上部緩衝体(上面及び下面)、近接防止枠(穴あき板)、下部緩衝体(上面及び下面)、下部緩衝体底板(下部フィンを含む。)及び胴外面(底面)に対しては、垂直平板の自然対流式を用いて評価する。ただしフィンについては、フィン部の放熱量を小さくするために、その一部は断熱層(空気)の熱伝導を経て大気に放熱するものとする。これは収納物の温度を高める方向であり安全側の評価である。また、輻射で重要な外表面の形態係数は、各位置での形状に置き換えて算出する。

フィンの伝熱面積、形状などは、周方向の存在割合を考慮して、固縛金具によるフィンの欠損も考慮する。

太陽輻射熱については、(ロ) 一第 B. 13 表に基づいて輸送容器外面に与えて評価を行う。

なお、外部熱伝達についての詳細は、付属書類 B. 6. 4 に記述する。

B. 4. 1. 2 試験モデル

解析モデルを採用し、試験モデルは採用していない。

B.4.2 最高温度

B.4.1 に記載した解析モデル及び解析条件に基づいて熱解析コード TRUMP を用いて輸送物の温度分布を求めた日陰における温度評価及び最高温度評価の結果について以下に述べる。なお、金具(固縛金具及び蓋吊上金具)温度については、本体温度解析モデルで得た容器本体温度をもとに熱解析コード TRUMP を用いて金具温度を求める。その詳細については、付属書類 B.6.6 に示す。

1. 通常輸送時

(1) 日陰における温度評価

本評価では、日陰において 38℃の周囲温度に輸送物を縦置状態で熱平衡に達したときの温度分布を求める。

得られた結果を(ロ)－第 B.15 表に示す。このときの輸送物の温度分布を(ロ)－第 B.9 図、(ロ)－第 B.10 図及び(ロ)－第 B.11 図に示す。

この結果、輸送物の容易に人の近づきうる表面の最高温度は、収納物のうち最大の崩壊熱を発生する JMTR 標準燃料要素(LEU)30 体を収納した場合において、上部緩衝体(内側面)の表面で□である。したがって、輸送物の表面温度は、技術基準に定める 38℃の日陰において 85℃を超えることはない。

(2) 最高温度評価

本評価では、38℃の野外において太陽輻射熱を受ける輸送物が、縦置状態で熱平衡に達した場合の温度を求める。

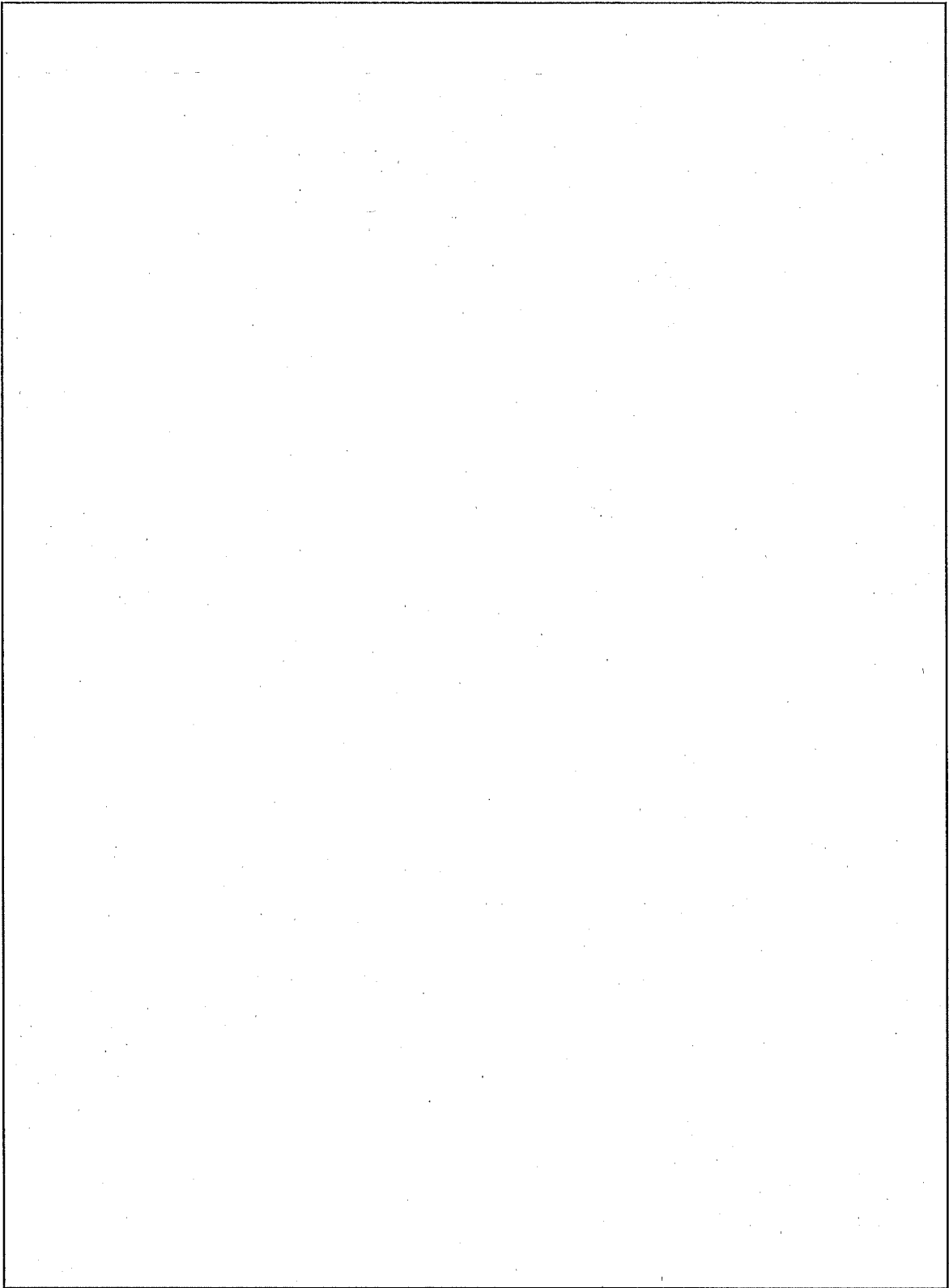
解析により得られた輸送物各部における最高温度を(ロ)－第 B.15 表に示す。

輸送物各部の最高温度は、最大崩壊熱の JMTR 標準燃料要素(LEU)30 体を収納した輸送物において発生し、燃料で□である。これは燃料の許容温度□に比べて十分低い値である。密封境界のガスケットの最高温度は、ドレン弁のガスケットで□である。これはガスケット材である□の標準使用温度範囲の最高使用温度□以下である。

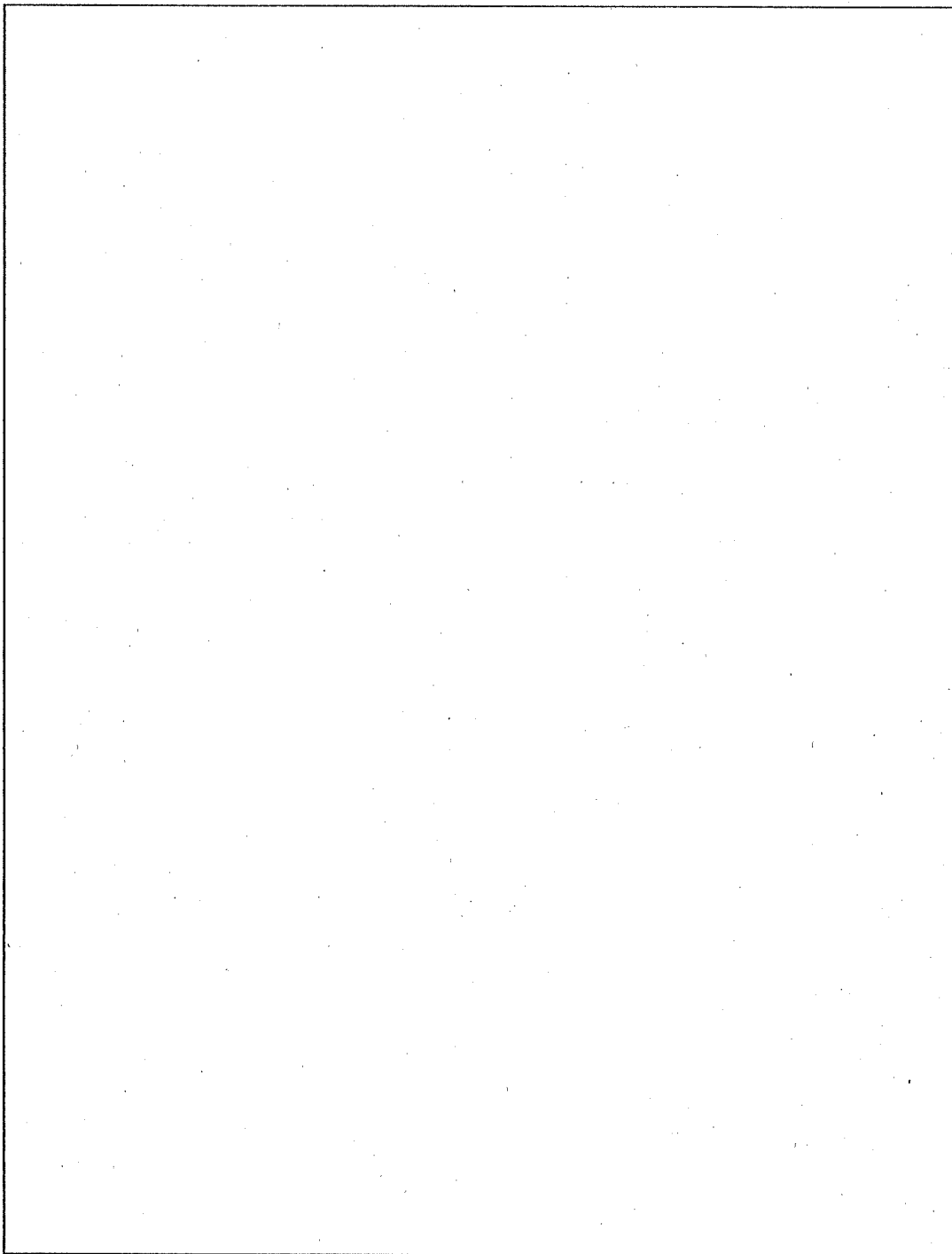
(ロ) - 第 B.15 表 通常輸送時の温度評価結果

燃 料		JMTR標準燃料要素 (LEU)		JMTR燃料フォロー (LEU)
		日陰における温度 (°C)	最高温度 (°C)	最高温度 (°C)
部	位			
輸送容器内部	燃 料			
	バスケット中心軸付近			
	バスケット外面			
	枠 組			
	蓋 内 面			
	胴 内 面 (側面)			
	胴 内 面 (下面)			
	胴 外 面 (側面)			
	蓋 部 O リング			
	蓋 締 付 用 ボ ル ト			
	ベ ン ト プ ラ グ			
	ド レ ン 弁			
輸送容器表面	フ ィ ン 先 端			
	上 部 緩 衝 体 (上 面)			
	上 部 緩 衝 体 (近 接 防 止 枠)*1			
	上 部 緩 衝 体 (外 側 面)			
	上 部 緩 衝 体 (内 側 面)			
	上 部 緩 衝 体 (下 面)			
	固 縛 金 具			
	蓋 吊 上 金 具			
	下 部 緩 衝 体 (上 面)			
	下 部 緩 衝 体 (近 接 防 止 枠)			
下 部 緩 衝 体 (外 側 面)				

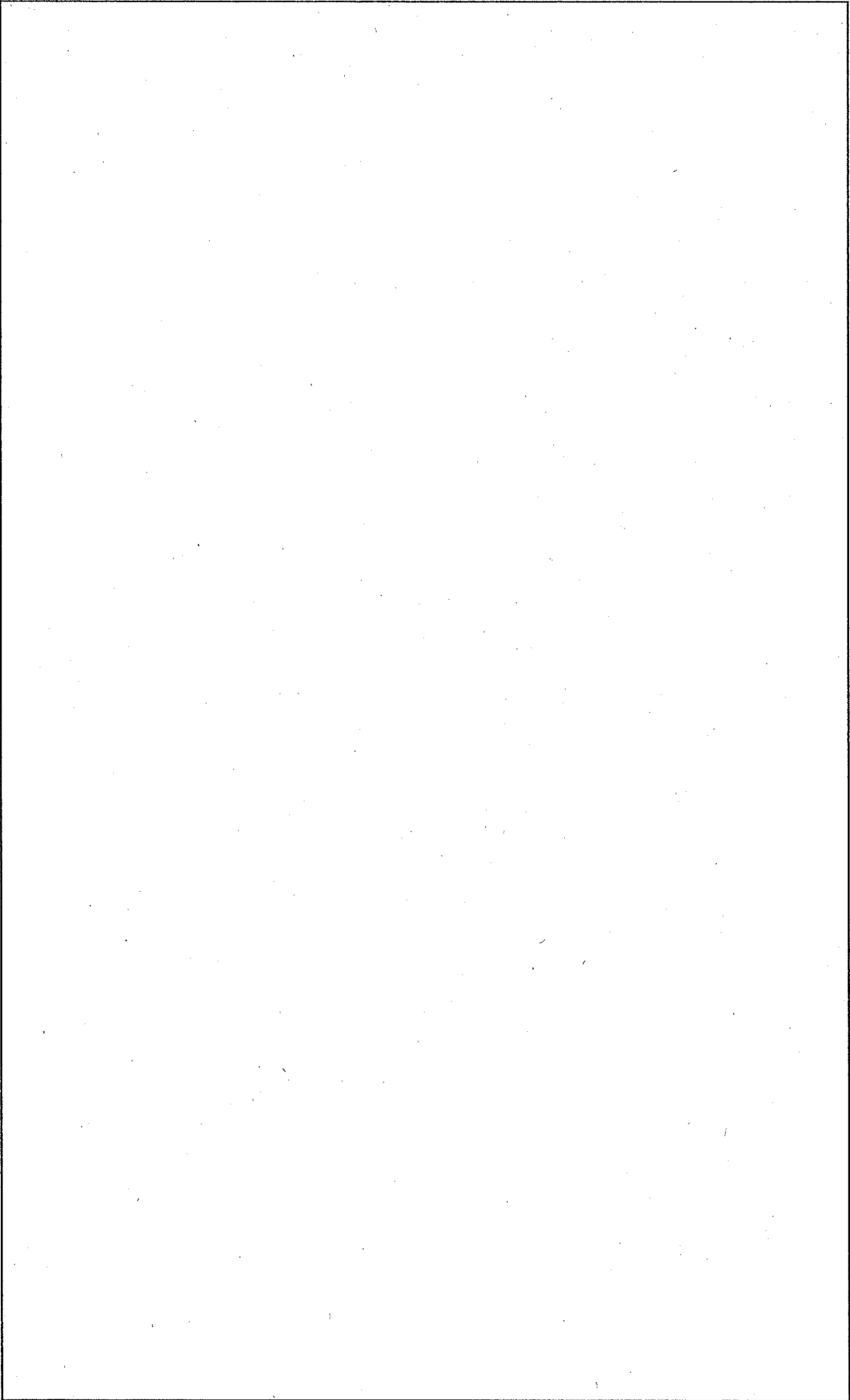
*1: 近接防止枠の温度は、高温側の近接防止枠(穴あき板又は側板)温度を示す。



(口) - 第 B.9 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物の日陰における温度評価結果
(軸方向断面、通常輸送時)



(口) - 第 B. 10 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物の日陰における温度評価結果
(径方向 A-B 断面、通常輸送時)



(口) - 第 B.11 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合の日陰における温度分布 (径方向) (通常輸送時)

2. 一般の試験条件

(1) 日陰における温度評価

本評価では、日陰において 38℃の周囲温度に輸送物を横置状態で熱平衡に達したときの温度分布を求める。

得られた結果を(口)－第 B. 16 表に示す。このときの輸送物の温度分布を(口)－第 B. 12 図、(口)－第 B. 13 図及び(口)－第 B. 14 図に示す。

この結果、輸送物の容易に人の近づきうる表面の最高温度は、収納物のうち最大崩壊熱を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合において固縛金具で□である。したがって、いずれの種類燃料を収納した場合においても、輸送物の表面温度は、技術基準に定める 38℃の日陰において 85℃を超えることはない。

(2) 最高温度評価

本評価では、38℃の大気中において太陽輻射熱を受ける輸送物が、横置状態で熱平衡に達した場合の温度を求める。

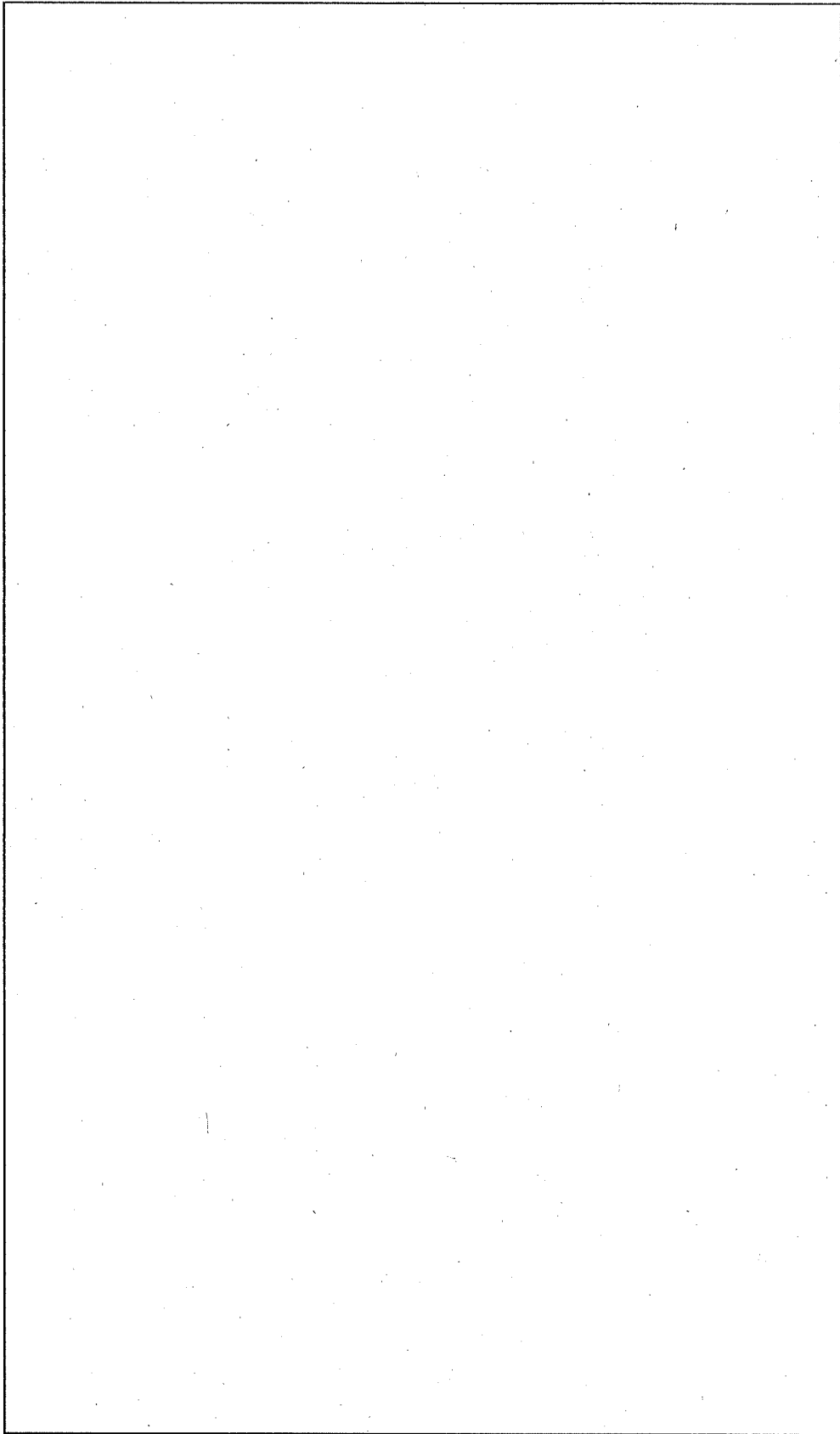
解析により得られた輸送物各部における最高温度を(口)－第 B. 16 表に示す。

輸送物各部の最高温度は、最大崩壊熱を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した輸送物において発生し、燃料で□である。これは、燃料の許容温度□に比べ低い値である。密封境界のガスケットの最高温度は、ベントプラグのガスケットで□である。これはガスケット材である□の標準使用温度範囲の最高使用温度□である。

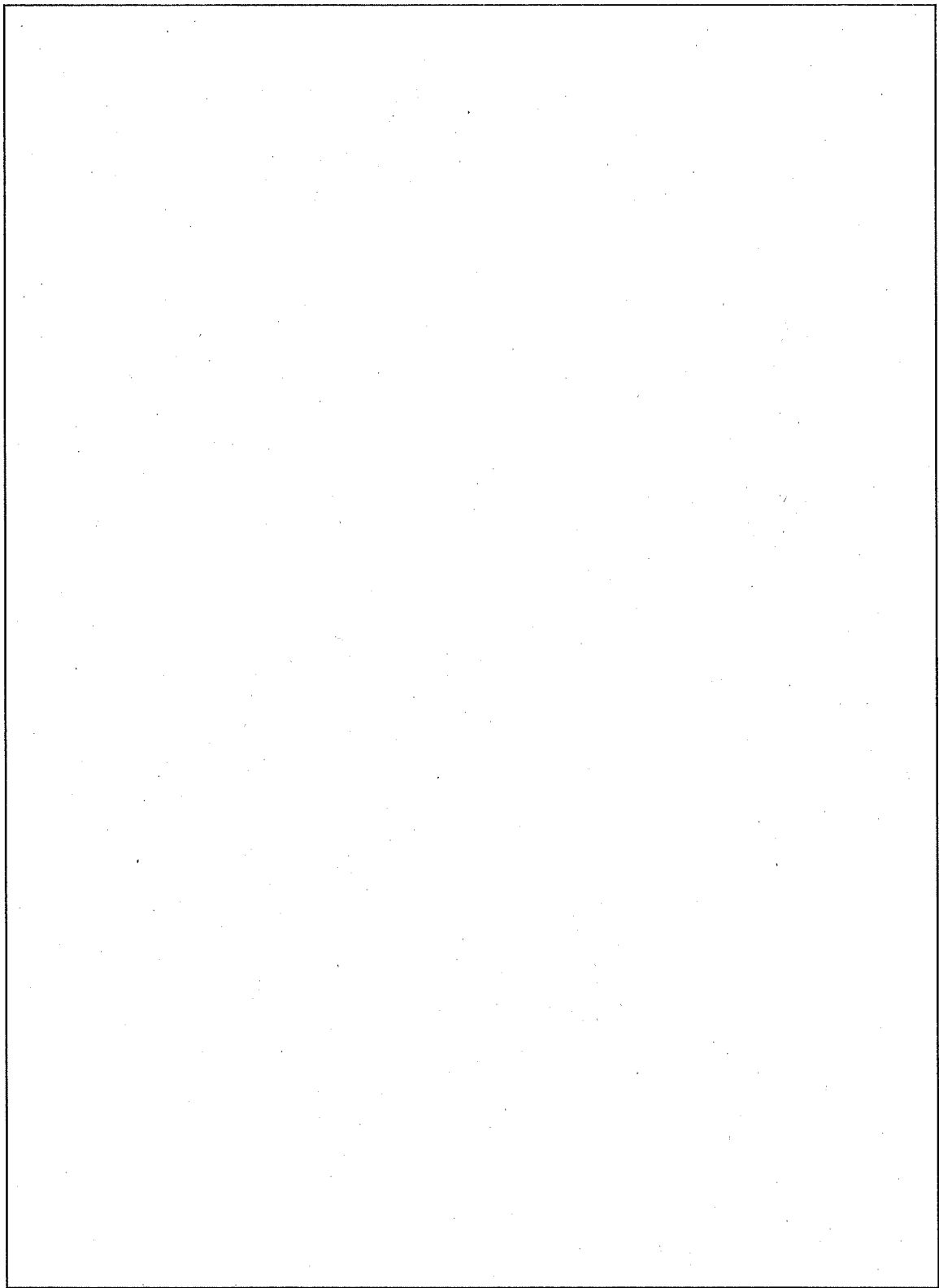
(ロ) - 第 B.16 表 一般の試験条件下の温度評価結果

部 位		燃 料	JMTR標準燃料要素 (LEU)		
			日陰における 温度 (°C)	最高温度 (°C)	最低温度 (°C)
輸送容器内部	燃 料				-40
	バスケット中心軸付近				-40
	バスケット外面				-40
	枠組				-40
	蓋内面				-40
	胴内面 (側面)				-40
	胴内面 (下面)				-40
	胴外面 (側面)				-40
	蓋部 O リング				-40
	蓋締付用ボルト				-40
	ベントプラグ				-40
	ドレン弁				-40
	フイ先				-40
輸送容器表面	上部緩衝体 (上面)				-40
	上部緩衝体 (近接防止枠)*1				-40
	上部緩衝体 (外側面)				-40
	上部緩衝体 (内側面)				-40
	上部緩衝体 (下面)				-40
	固縛金具				-40
	蓋吊上金具				-40
	下部緩衝体 (上面)				-40
	下部緩衝体 (近接防止枠)*1				-40
	下部緩衝体 (外側面)				-40
	下部緩衝体 (内側面)				-40
	下部緩衝体 (下面)				-40

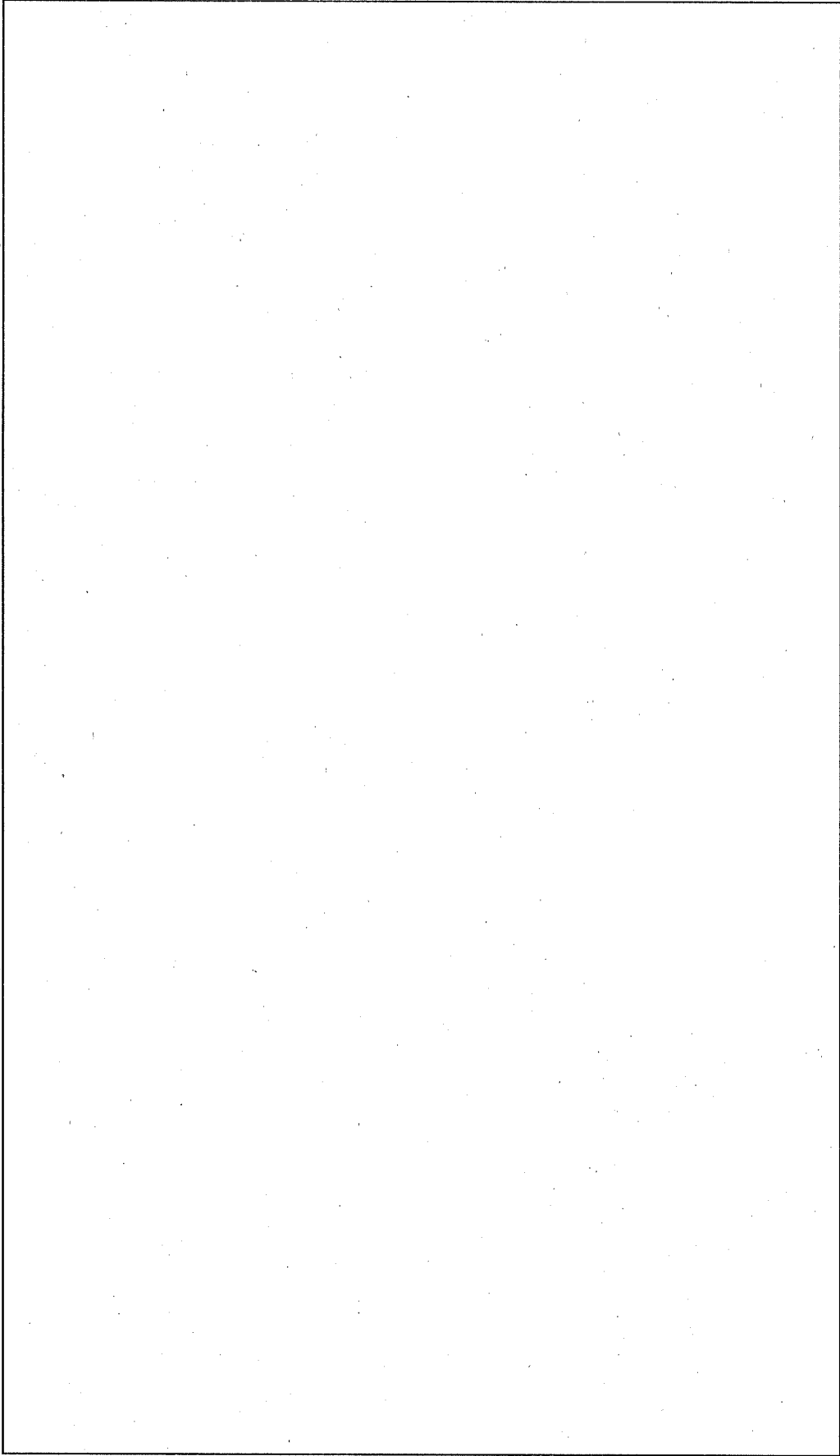
*1: 近接防止枠の温度は、高温側の近接防止枠(穴あき板又は側板)温度を示す。



(口) ー 第 B.12 図 JMTR 標準燃料要素(LEU) を収納した輸送物の日陰における温度評価結果 (軸方向断面、一般の試験条件)



(口) - 第 B. 13 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物の日陰における温度評価結果
(径方向 A-B 断面、一般の試験条件)



(ロ) ー 第 B. 14 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合の日陰における温度分布 (径方向) (一般の試験条件)

B.4.3 最低温度

最低温度の評価は、前述の(ロ)一第B.14表に示した最低温度評価の場合に従って行う。この場合、太陽輻射熱はなく崩壊熱の発生もないとして低温脆性を考える。

したがって、輸送物の温度は、 -40°C である。これは実際には収納物からの発熱があるため、輸送物各部の温度は -40°C より高いものとなり、上記の仮定は安全側といえる。

輸送物で使用している材料が -40°C に耐えることは(ロ)章A.4.2において詳細に記述したとおりであるが、次のように要約される。

- (1) 輸送容器及びバスケットの主要材料であるステンレス鋼は、までの使用に耐え、低温脆性の問題はない。
- (2) 蓋締付用ボルトの材料であるステンレス鋼は、 -40°C では十分な靱性を有している。
- (3) 側板及び燃料被覆材のアルミニウム合金は、までの使用に耐え、低温脆性の問題はない。
- (4) 以上の材料における低温下での引張強さ、降伏応力等の機械的性質の低下はない。
- (5) 密封境界であるガスケットの標準使用温度範囲の最低使用温度は、でであり密封性は保持される。

以上の他に輸送物は乾式であるから冷却水を内封しておらず、凍結により輸送物は破損を受けない。

次に、収納物の崩壊熱を考慮し熱応力等を考える。この場合、周囲温度が 38°C から -40°C に変化したものとして、一般の試験条件下の容器本体温度から 78°C を引いた容器本体温度を用いて熱応力について評価した結果健全であるので問題ない。また、熱膨張については、容器本体とバスケットにおいて、隙間の小さい径方向で隙間はであり、バスケットが拘束されることはない。

(ロ)章A.4.2参照)

したがって、輸送物は -40°C の環境下においても、低温脆性、熱応力、密封性等の問題はない。

B.4.4 最大内圧

輸送物は、収納物の装荷後、熱平衡に達してから密封される。また、輸送物の内部流体は空気のみであるので、最大内圧は輸送物が日陰から太陽輻射熱を受けた場合の内部空気の温度上昇による圧力上昇だけである。

収納物のうち崩壊熱が最大の JMTR 標準燃料要素 (LEU) のとき、温度は最高となるので JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物で評価を行う。

密封時における内部空気の最低温度は、通常輸送時の日陰における温度評価結果の容器内面の最低温度に等しいとして、蓋内面の□である。一方、太陽輻射熱を受けた時における内部空気の最高温度は、一般の試験条件における最高温度評価結果の燃料の最高温度に等しいとして□である(口) — 第 B.16 表参照)。実際の空気温度はこれらの値の間にあり、最大内圧は空気温度が□と仮定した場合より低い値となる。

この場合の最大内圧は、理想気体の状態方程式を適用することにより次のように求める。

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

ここで

P_1 : 密封時の内圧 (大気圧)	101.3	(kPa·abs)
V_1 : 密封時の内部空気容積		(m ³)
T_1 : 密封時の内部空気温度	□	(K)
P_2 : 最高温度評価における内圧		(kPa·abs)
V_2 : 最高温度評価における内部空気容積		(m ³)
T_2 : 最高温度評価における内部空気温度	□	(K)

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1}$$

上式に各々を代入し、 $V_1=V_2$ とすると、最大内圧 P_2 は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \\
 &\approx \boxed{}
 \end{aligned}$$

この圧力は、技術基準に定められた最高使用圧力 700kPa 以下である。

また、仮に最低温度の -40°C から最高温度の $\boxed{}$ とした場合の最大内圧は、 $\boxed{}$ であり、この圧力は、技術基準に定められた最高使用圧力 700kPa 以下である。

B.4.5 最大熱応力

輸送物の最大熱応力は、輸送物各部において内外の両面温度勾配が最大の状態で発生する。

輸送物の熱応力は (ロ) 一第 B.16 表に示した温度分布により (ロ) 章 A.5.1 に記述したごとく以下のように要約される。

輸送物の一般の試験条件下での最大温度勾配及び熱応力は、日向においた環境下で最大崩壊熱を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合の容器本体の内面に生じる。その値は $\boxed{}$ 、設計基準値 $\boxed{}$ である。

蓋締付用ボルトに加わる応力 (初期締付力 + 最大内圧 + 熱応力) は $\boxed{}$ で、設計基準値 $\boxed{}$ であるので密封性が損なわれることはない。

最大熱膨張は、JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合に発生する。軸方向については、バスケットと蓋内面との隙間は $\boxed{}$ である。また、径方向についてはバスケットと胴内面との隙間は $\boxed{}$ となり、熱膨張によってバスケットが拘束されることはない。((ロ) 章 A.5.1.2 参照)

B.4.6 結果の要約と評価

一般の試験条件下で、周囲温度 38℃で崩壊熱 2.80kW の JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した輸送物において、輸送物各部の温度は最高になり、輸送容器内部の圧力も最大になる。

このときの輸送物各部の温度を (口) - 第 B.16 表に、圧力を (口) - 第 B.17 表に示す。輸送物は、次に述べるような熱的性能を有し、技術基準を満足するとともに、構造強度、密封性に対し健全性が維持される。その総合評価を (口) - 第 B.18 表に示す。

1. 日陰における表面温度

日陰における輸送物の人の容易に近づきうる表面の最高温度は、固縛金具に生じ [] である。これは、技術基準に定める 38℃の日陰において 85℃を超えることはない。

2. 最高温度

輸送物各部の最高温度は、燃料において [] である。

この温度は燃料の許容温度 [] に比べて低い温度である。

3. 最大圧力、最大熱応力及び熱膨張

a. 輸送物の最大圧力は、[] である。この圧力は、技術基準に定められた最高使用圧力 700kPa 以下であり、かつ、耐圧試験圧力 (水圧) 1MPa 以上に比べ十分低い値である。また、仮に最低温度の -40℃から最高温度の [] とした場合の最大内圧は、[] であり、技術基準に定められた最高使用圧力及び耐圧試験圧力に比べ十分低い値となる。

b. 最大熱応力は、輸送容器の胴内面に生じ、[] であり、設計基準値 [] である。

c. 最大熱膨張は、バスケットと蓋内面との隙間は []、バスケットと胴内面との隙間は [] である。

以上のように輸送物に働く応力は、設計基準値以下である。また燃料及びバスケットが熱膨張によって拘束されることはない。

4. 最低温度

輸送物の最低温度は -40℃である。これに対し、輸送容器の主要な材料であるステンレス鋼及び燃料被覆材のアルミニウム合金は -40℃まで低温脆性の問題はない。また、蓋締付用ボルトの材料のステンレス鋼についても -40℃では十分な靱性を有している。

5. 密封性

輸送物の密封境界のガスケットの本条件下での温度は、-40℃から [] である。これに対し、ガスケット材である [] の標準使用温度範囲は、[] である。また、本条件下で最大応力の働く状態においても容器本体・蓋部は健全であり、密封性が損なわれることはない。

(口) - 第 B.17 表 一般の試験条件下の最大内圧

収 納 物	圧 力
JMTR標準燃料要素 (LEU)	

(ロ) 一第 B.18 表 一般の試験条件における輸送物の総合的評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
日陰における表面温度			基準値以下
固縛金具			基準値以下
最高温度			基準値以下
燃焼リシケ			基準値以下
最大圧力	700kPa	<input type="text"/>	基準値以下 構造解析に使用
最大熱芯力 胴内面			基準値以下

B.5 特別の試験条件

輸送物が特別の試験条件下において、技術基準を満足することを以下に示す。

B.5.1 熱解析モデル

特別の試験条件下における輸送物の熱的性能の評価は、一般の試験条件下の場合と同様に熱解析コード TRUMP を用いて最大崩壊熱を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した輸送物及び JMTR 燃料フォロワ (LEU) 30 体を収納した輸送物並びに収納物より崩壊熱が小さい燃料要素 30 体を想定した場合の輸送物について、解析モデルにより評価を行う。

解析の妥当性は、1/1 スケールモデルを用いて実施した耐火試験の結果と解析モデルを用いて計算した結果を比較することにより確認している。

特別の試験条件における輸送物の熱解析モデルについて説明する。

B.5.1.1 解析モデル

解析モデルとして本項では、次のように分けて記述する。

- (1) 解析条件
- (2) 解析モデル
- (3) 輸送物内部の熱伝達
- (4) 輸送物外部の熱伝達

なお、落下試験後の輸送物の形状変化については B.5.2 輸送物の評価条件で詳細に述べる。

(1) 解析条件

火災前、火災時及び火災後における解析条件は (ロ) 一第 B.19 表に示すとおりである。特別の試験条件下での熱解析は、通常輸送時に起きた落下試験に引き続いて火災事故条件におかれるものとする。したがって、火災前の輸送物の温度分布は、通常輸送時の温度分布とする。

火災時の熱的条件は、技術基準に定められるように周囲温度 800℃ (30 分)、周囲輻射率は 0.9 とし、容器表面輻射率は 0.8 とする。火災からの伝熱は、輻射と対流とし、太陽輻射熱を受けるものとする。また、緩衝体の表面に近い [] は炭化するが、安全側に評価するために発熱するものとする。発熱層の厚さ及び発熱量は、それぞれ [] 及び 4000kcal/kg とする (付属書類 B.6.5.4 参照)。

火災後の熱的条件は、周囲温度 38℃、容器表面輻射率 0.55、周囲輻射率 1.0 とし、輸送物表面からの熱放散は自然対流と輻射によるものとする。また、太陽輻射熱については(ロ) - 第 B. 13 表に示した伝熱量とする。緩衝体の表面に近い の炭化部の発熱はないものとする。燃料の崩壊熱は(ロ) - 第 B. 19 表に示すとおりである。

(2) 解析モデル

解析モデルとしては、B. 4. 1. 1 と同様に、本体温度解析モデルとバスケット内温度解析モデルを用いる。温度分布及び最大内圧の評価で解析する収納物としては、(ロ) - 第 B. 1 表に示すように崩壊熱が収納物中最大で、一般の試験条件下の最高温度評価において最も高温な温度分布が得られた JMTR 標準燃料要素 (LEU) を用いる。

また、JMTR 燃料フォロワ (LEU) 及び収納物より崩壊熱が小さい燃料要素 30 体を想定した場合の輸送物についても評価する。

1) JMTR 標準燃料要素 (LEU) 解析モデル

本体温度解析モデルを(ロ) - 第 B. 15 図に示す。このモデルは、緩衝体の形状を除いて一般の試験条件のものと同じである。緩衝体の近接防止枠(穴あき板、側板)及び下部フィンは、次の理由により全てを取り除く。

近接防止枠及び下部フィンがなくなることによって容器本体は、火災時には直接火炎に包まれ、火災時・火災後に太陽輻射熱を受けるものとする。したがって、容器本体の温度は高く安全側に評価される。

バスケット内温度解析モデルは、一般の試験条件と同じバスケット内温度解析モデル(ロ) - 第 B. 16 図及び(ロ) - 第 B. 17 図を採用する。

2) JMTR 燃料フォロワ (LEU) 解析モデル及び収納物より崩壊熱が小さい燃料要素解析モデル

JMTR 燃料フォロワ (LEU) 及び収納物より崩壊熱が小さい燃料要素解析モデルは、崩壊熱量を除いて燃料の形状及び外形寸法が同一なので同じ解析モデルを用いる。本体温度解析モデルを(ロ) - 第 B. 18 図に示す。

このモデルは、緩衝体の形状を除いて一般の試験条件のものと同じである。

火災時には直接火炎に包まれ、火災時・火災後に太陽輻射熱を受けるものとする。近接防止枠及び下部フィンについても JMTR 標準燃料要素 (LEU) 用解析モデルと同様、全てを取り除いたモデルとする。

バスケット内温度解析モデルは、JMTR 標準燃料要素 (LEU) と同じ中心角 180° の 1/2 セクターのバスケット内温度解析モデル(ロ) - 第 B. 19 図を採用する。

(3) 輸送物内部の熱伝達

内部熱伝達は、一般の試験条件下と同様に考える。

(4) 輸送物外部の熱伝達

輸送物の外表面における熱伝達について次に述べる。

輸送物周囲の外部環境条件は、(ロ) - 第 B. 19 表に示したとおりである。

輸送物外表面においては、周囲空気の対流によるものと、火炎からの輻射による吸熱及び周囲空気への輻射による放熱を考える。対流の熱伝達係数には、各位置に応じた適用式を使用する。なお、太陽輻射熱、形態係数、伝熱面積、フィンの形状などの取扱いは、一般の試験条件下に示した内容と同一とする。

外部熱伝達についての詳細は、付属書類 B. 6. 5 に記述する。

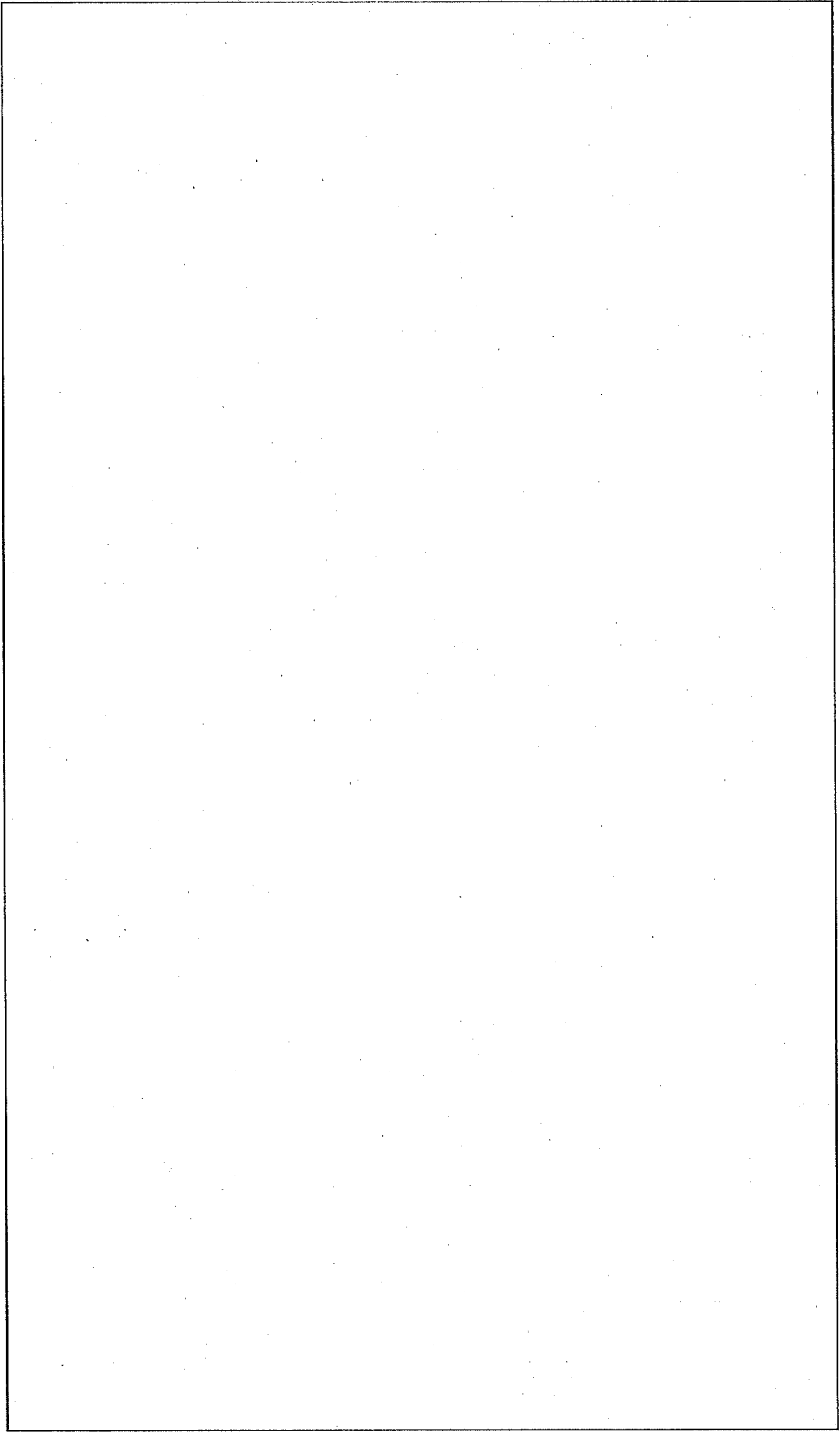
(ロ) - 第 B. 19 表 解析条件(特別の試験条件)

燃 料		JMTR標準燃料要素(LEU)			JMTR燃料フォロワ(LEU) 及び収納物より崩壊熱が小さい燃料要素		
		火災前	火災時	火災後	火災前	火災時	火災後
項 目							
崩 壊 熱 量 *1		2.80kW			1.88kW / 1.23kW *2		
環 境 条 件	周 围 温 度	38℃	800℃ 火災30分	38℃	38℃	800℃ 火災30分	38℃
	太 陽 輻 射 熱	あり	あり	あり	あり	あり	あり
	周 围 輻 射 率	1.0	0.9 ⁽¹⁰⁾	1.0	1.0	0.9 ⁽¹⁰⁾	1.0
容 器 表 面 輻 射 率		0.15	0.8 ⁽¹⁰⁾	0.55	0.15	0.8 ⁽¹⁰⁾	0.55
輸 送 物 の 姿 勢		縦 置	横 置		縦 置	横 置	

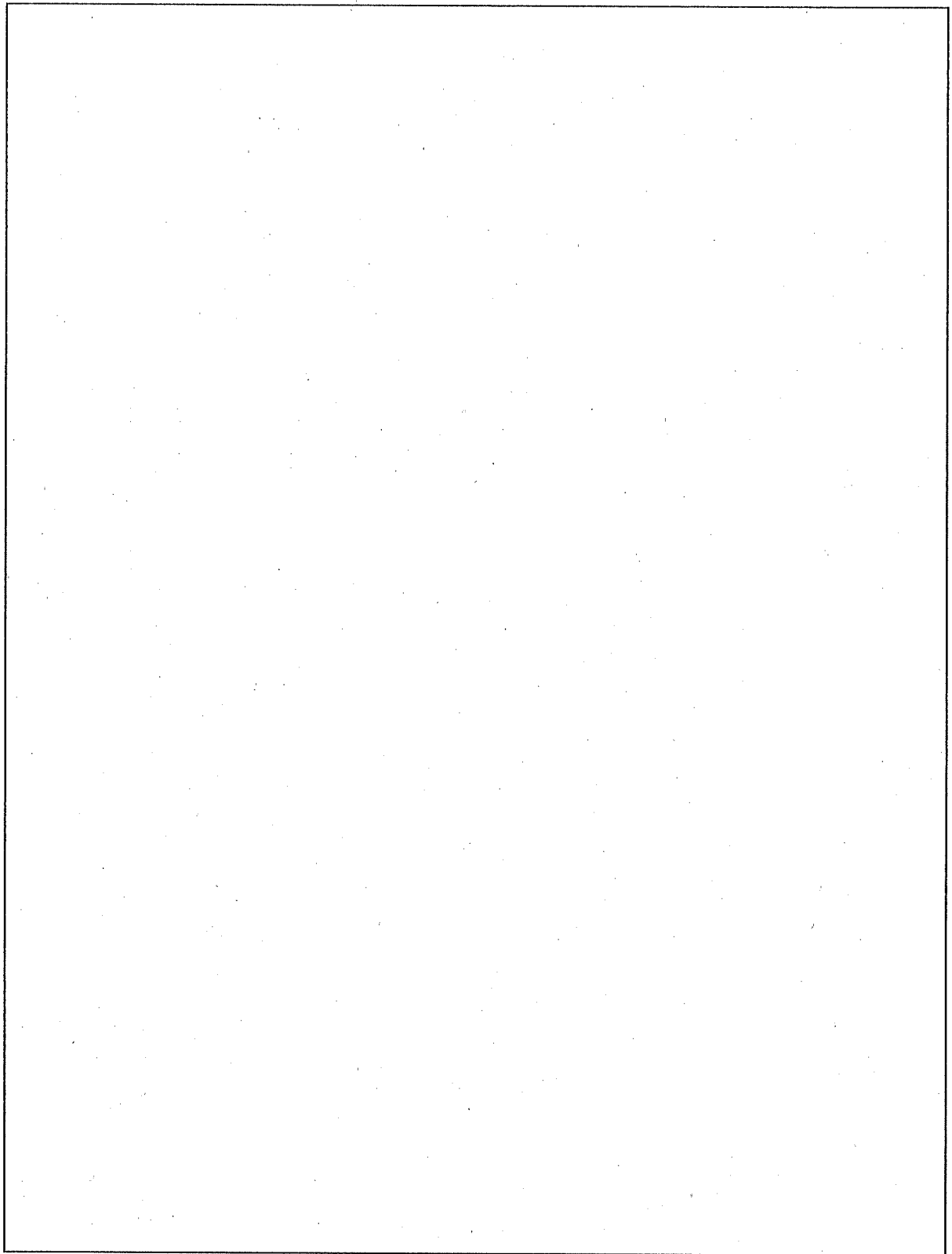
*1: 輸送容器1基当たりの崩壊熱である。

*2: JMTR 燃料フォロワ(LEU) の崩壊熱= 1.88kW

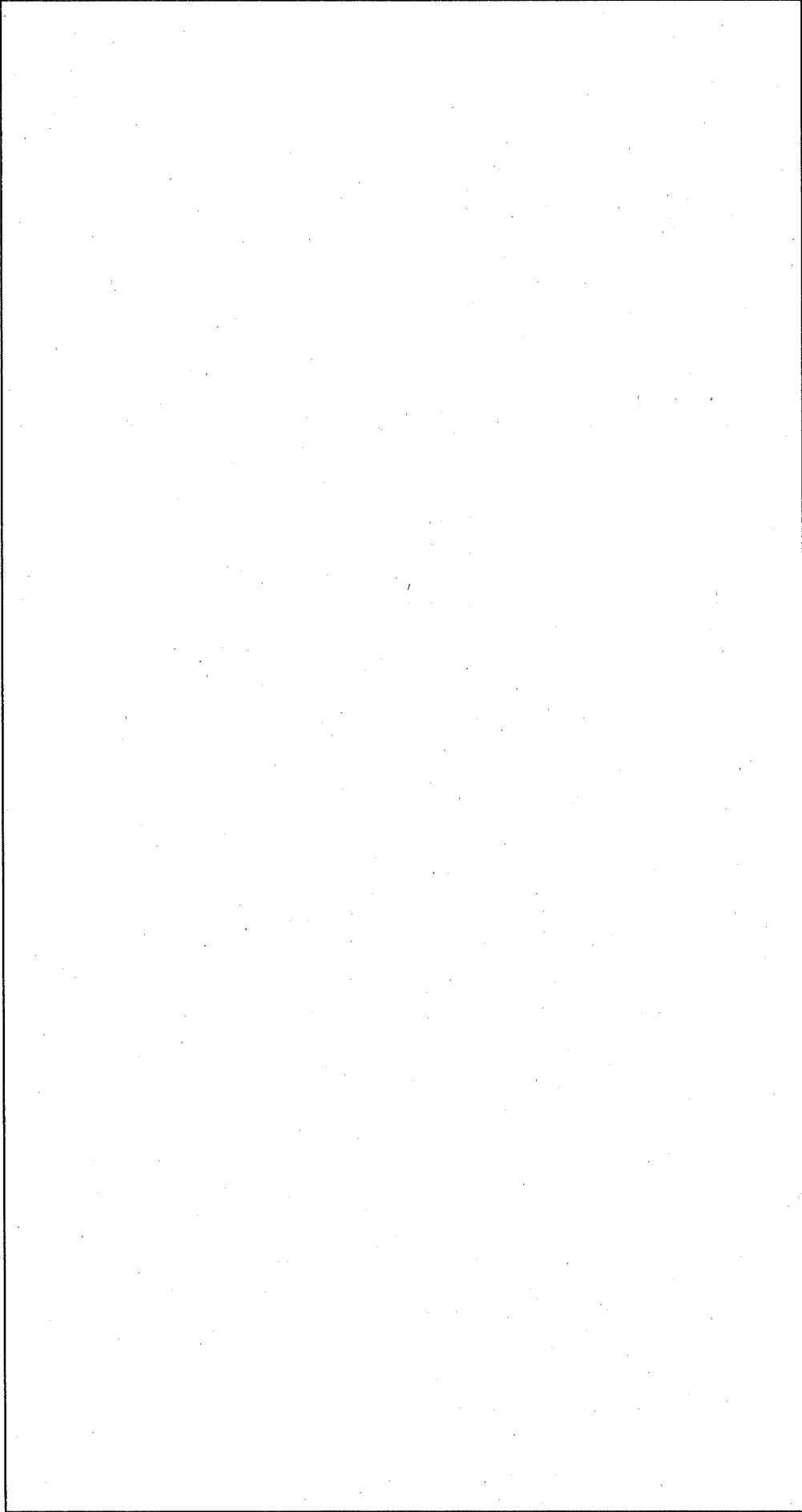
収納物より崩壊熱が小さい燃料要素の崩壊熱= 1.23kW



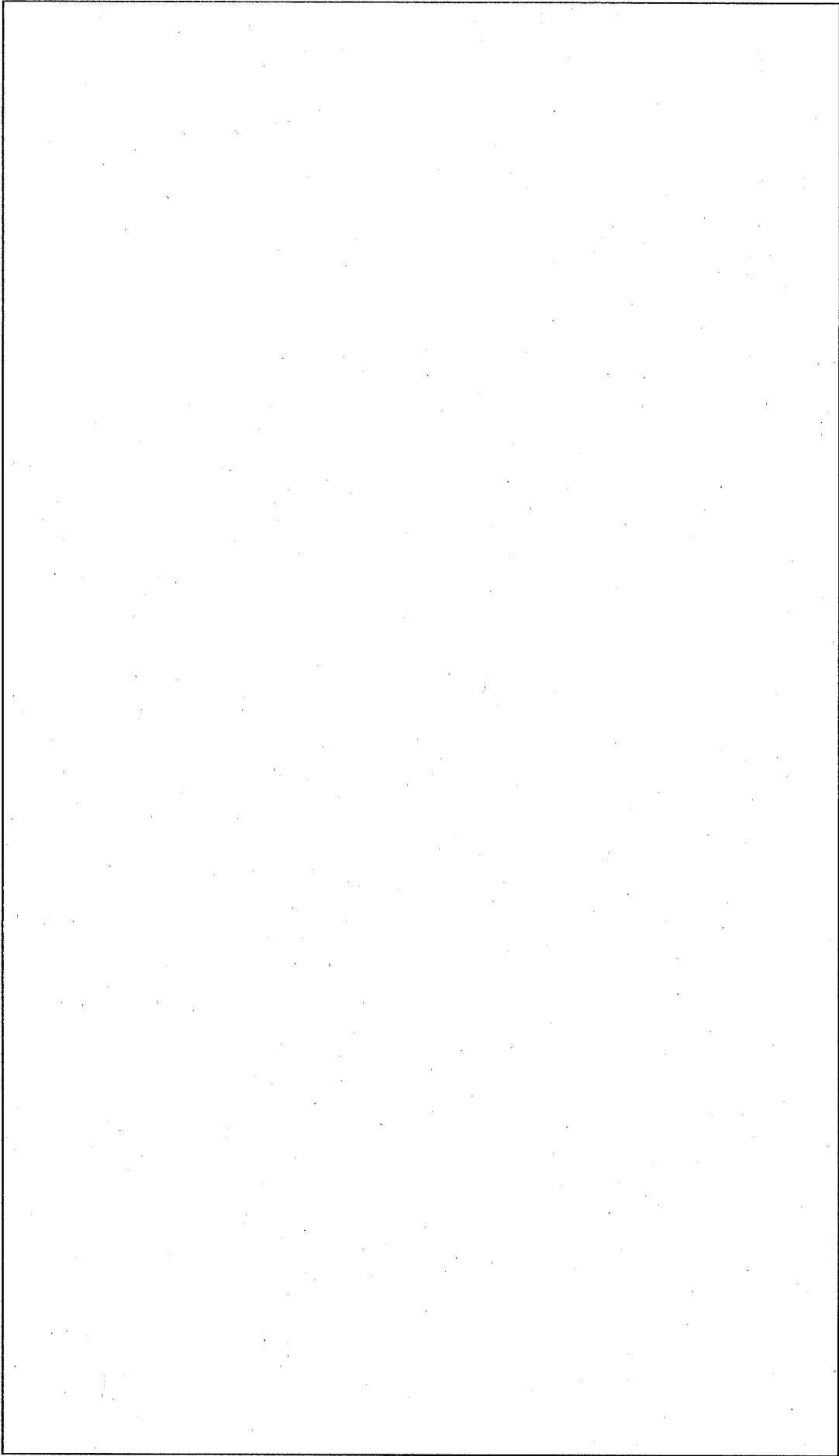
(ロ) 一第 B.15 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、特別の試験条件)



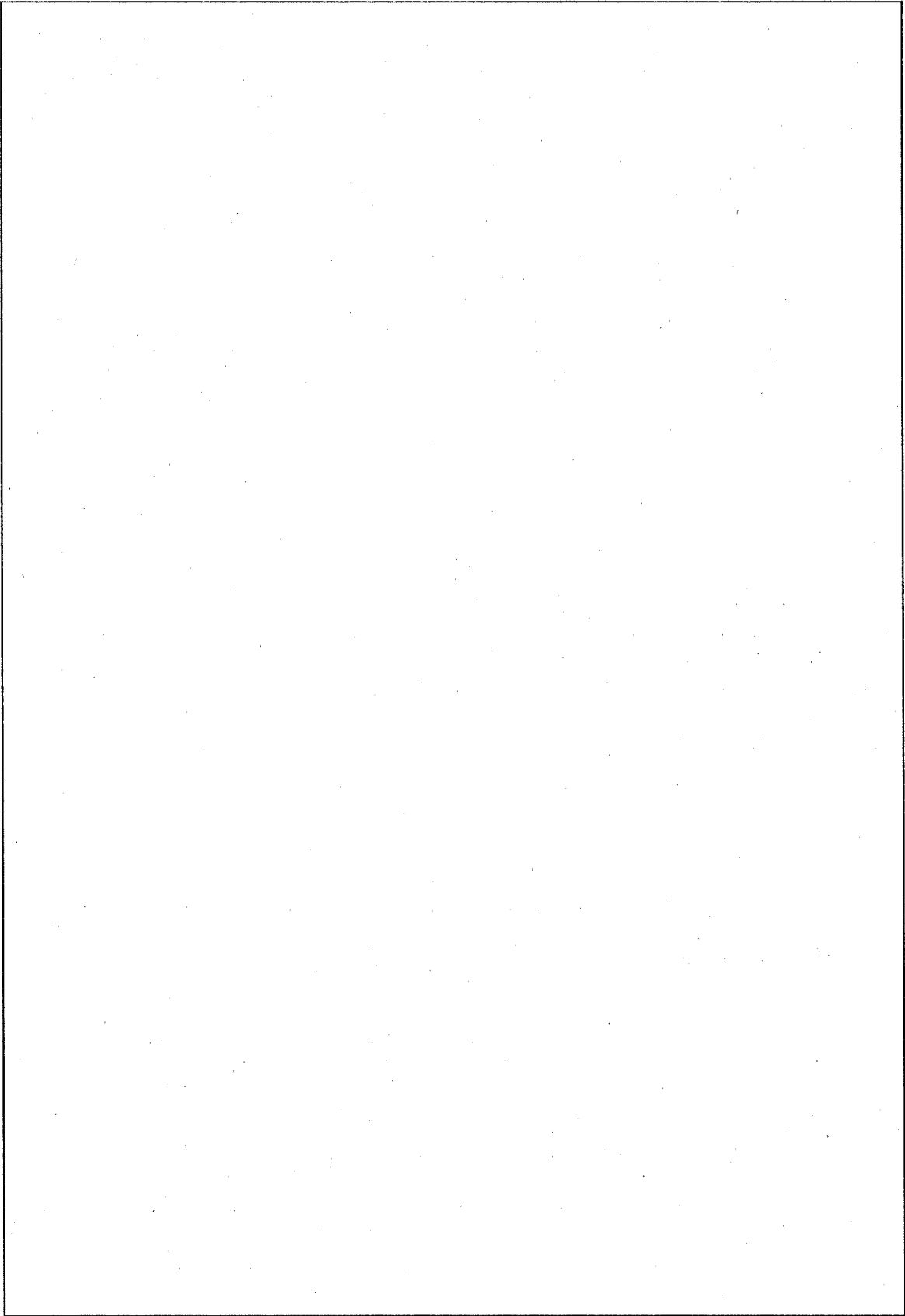
(ロ) - 第 B.16 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル
(断面図、特別の試験条件)



(ロ) ー第 B.17 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) のバスケット内温度解析モデル (軸方向断面、特別の試験条件)



(ロ) ー第B.18図 JMTR 燃料プロセス (LEU) の本体温度解析モデル (軸対称、特別の試験条件)



(ロ) - 第 B. 19 図 JMTR 燃料フォロワ (LEU) のバスケット内温度解析モデル
(断面図、特別の試験条件)

B.5.1.2 試験モデル

試験モデル(1/1 スケールモデル)を用いて、(ロ)章 H. 原型容器試験結果報告書に示すような特別の試験条件の耐火試験を実施している。

B.5.2 輸送物の評価条件

特別の試験条件下での熱解析は、通常輸送時に起きた落下試験に引き続いて耐火試験が行われるとして解析する。

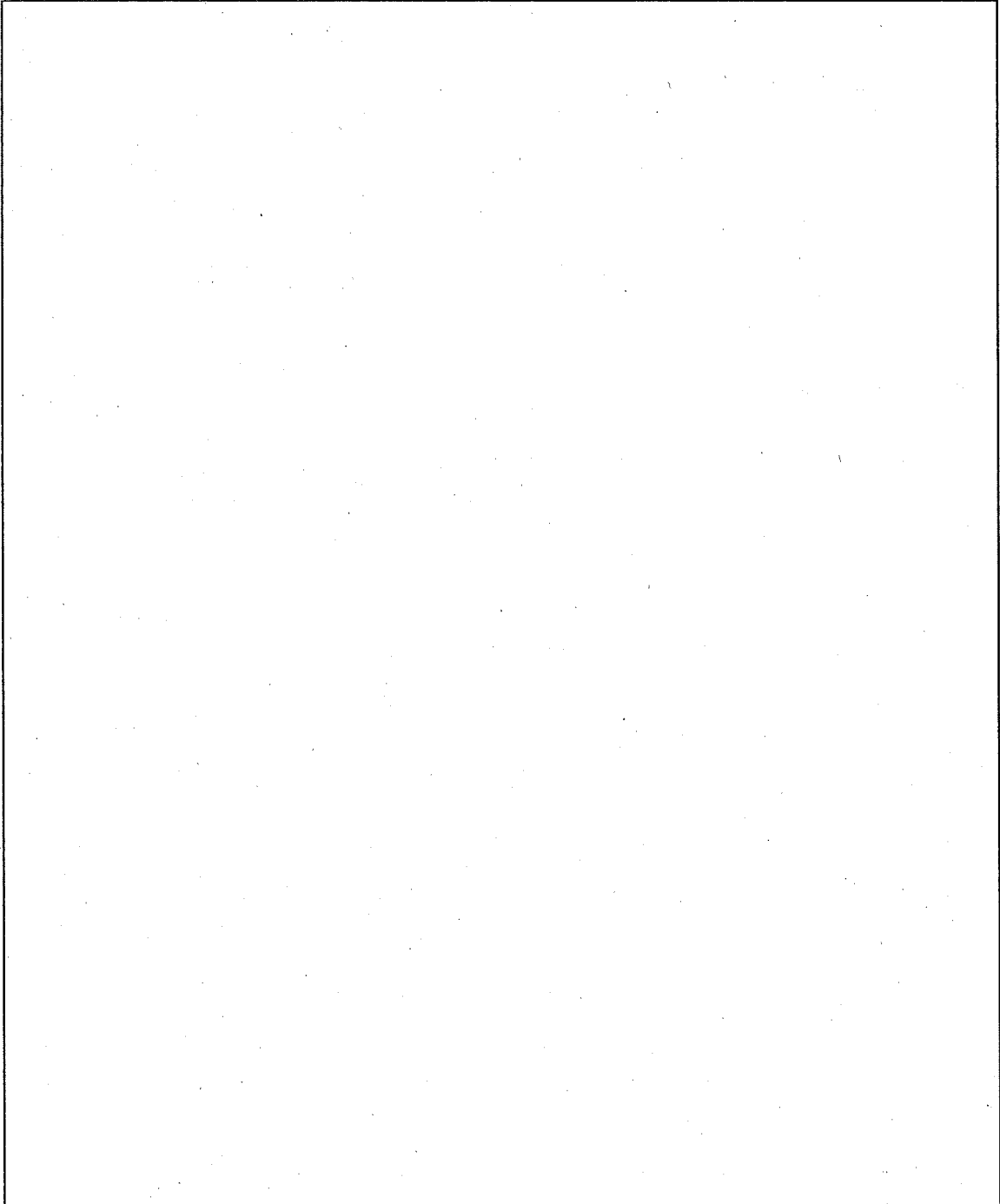
構造解析の結果、緩衝体及びフィンに局所的な変形が生じる。緩衝体の変形量を(ロ)一第 B.20 表に示す。熱解析では、安全側に構造解析の結果の緩衝体の変形量を丸めた値(各々の右欄)を使用する。フィンは、水平落下時に[]のフィンにわたり変形を生じる((ロ)章 A.6.1 参照)。B.1 の(2)で述べたようにフィンの変形後の形状及びフィンの飛散がないため、容器本体への入熱量は大きく異なるとは考えられないので、フィンは変形していないとする。

したがって、輸送物の形状は、フィンは変形せず緩衝体は最大変形を考慮したものとする。緩衝体の変形は、(ロ)一第 B.20 図に示すように、(ロ)章 A.6.2.1 の構造解析結果から 9m の垂直落下、水平落下及びコーナー落下の局所的変形を受け、さらに密封境界を構成するガスケットの最も近い箇所に 1m の垂直落下、水平落下及びコーナー落下による局所的変形を重畳したものとする。さらに解析モデルでは、安全側にこの変形が円周方向に均一に受けたものとし、この変形を上部緩衝体及び下部緩衝体の両者に受けるものとする。

(ロ)一第 B.20 表 落下試験による緩衝体の変形量

(単位：mm)

	落下試験 I		落下試験 II		解析モデル	
	構造解析	熱解析	構造解析	熱解析	構造解析	熱解析
	結果	使用値	結果	使用値	結果	使用値
垂直落下						
水平落下						
コーナー落下						



(口) - 第 B. 20 図 落下試験 I、II による緩衝体の変形

B. 5.3 輸送物温度

B. 5.1 及び B. 5.2 に述べた条件に基づいて、各々の輸送物の温度分布を求める。

(口) - 第 B. 21 図に示した主要部(○印)の経時温度変化は、(口) - 第 B. 22 図 ~ (口) - 第 B. 25 図に示すとおりである。

輸送物各部についての最高到達温度と火災事故発生からの時間をまとめると、(口) - 第 B. 21 表に示すとおりである。輸送物各部の最高温度は、崩壊熱が最大である JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合であり、燃料において []、バスケットでは []、フィン先端では []、容器本体では蓋外面で []、密封境界のガスケットではドレン弁で [] である。なお、緩衝体に取り付けられた可融栓 [] が溶融し木材からの発生ガスが吹きだしていることを耐火試験にて確認しているため、緩衝体内に過大な圧力は生じない。

B. 5.4 最大内圧

最大内圧は、一般の試験条件と同様に考え、次式により求める。

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1}$$

ここで、	P_1 : 密封時の内圧 (大気圧)	101.3 (kPa·abs)
	V_1 : 密封時の内部空気容積	(m ³)
	T_1 : 密封時の内部空気温度	[]
	P_2 : 最高温度評価における内圧	(kPa·abs)
	V_2 : 最高温度評価における内部空気容積	(m ³)
	T_2 : 最高温度評価における内部空気温度	[]

上式に各々を代入し、 $V_1=V_2$ とすると、最大内圧 P_2 は次のようになる。

$$P_2 = []$$

$$= []$$

$$\approx []$$

最大内圧は、JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合に生じ、[] である。

この圧力は、技術基準に定められた最高使用圧力 700kPa 以下であり、かつ、耐圧試験圧力 (水圧) 1MPa 以上に比べ十分低い値である。

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下における輸送物各部の最大熱応力は、輸送物各部において温度勾配が最大の状態において発生する。その状態は、収納物より崩壊熱が小さい燃料要素を収納した場合の火災発生後[]に生じ、そのときの熱応力は、(ロ)章 A.6.3 にて、次のように評価されている。

最大熱応力は、容器本体の胴外面で発生し、[]であり、設計基準値[]以下である。容器本体、蓋接合面に[]の隙間を生じるが、Oリングのつぶれ代[]である。

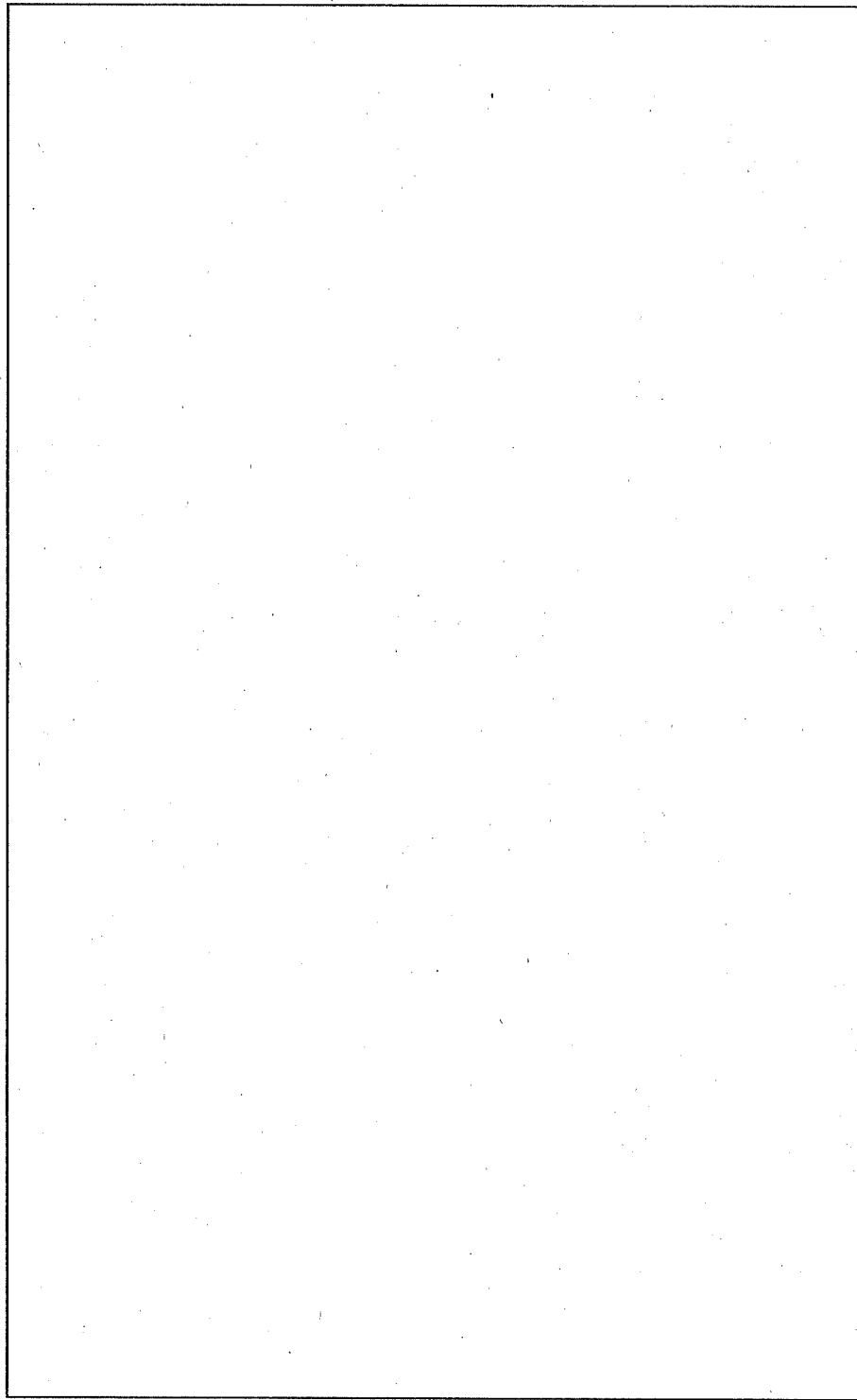
蓋締付用ボルトの応力(初期締付力+最大内圧+熱応力)は、[]であり、設計基準値[]である。

また、バスケットの最大熱応力は、収納物中最高温度を示す JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納したバスケットにおいて[]であり、設計基準値[]である。

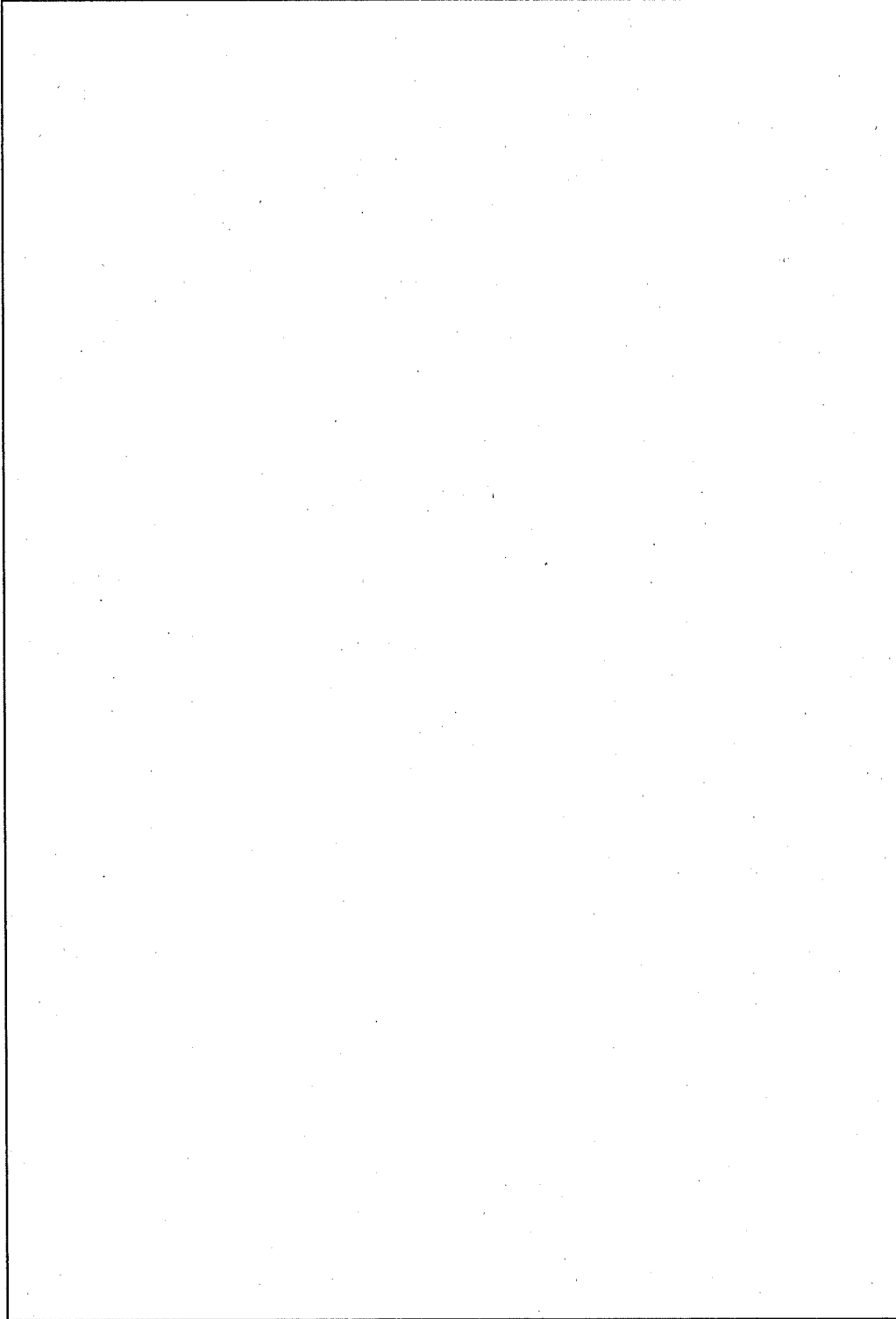
最大熱膨張についてはバスケットが収納物中最高温度となる JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合において、(ロ)章 A.6.3.2 に下記のように記述されている。

枠組温度は、火災開始[]に最高となり、このとき、容器本体の胴内面温度は火災開始後[]に最高温度に達した後降下している。したがって、バスケットと容器本体の胴内面との隙間は、火災開始[]に最小となる。そこで、バスケット温度については、特別の試験条件下における胴内面の最高温度を境界条件として定常計算して求めたバスケット最高温度を用い、一方、容器本体の温度は火災開始[]の胴温度を用いて熱膨張を評価している。その結果、バスケットが容器本体と径方向で[]接触するが、枠組に生じる最大応力は[]であり、設計基準値[]である。なお、このとき、軸方向のバスケットと蓋内面との間には[]の隙間を生じる。

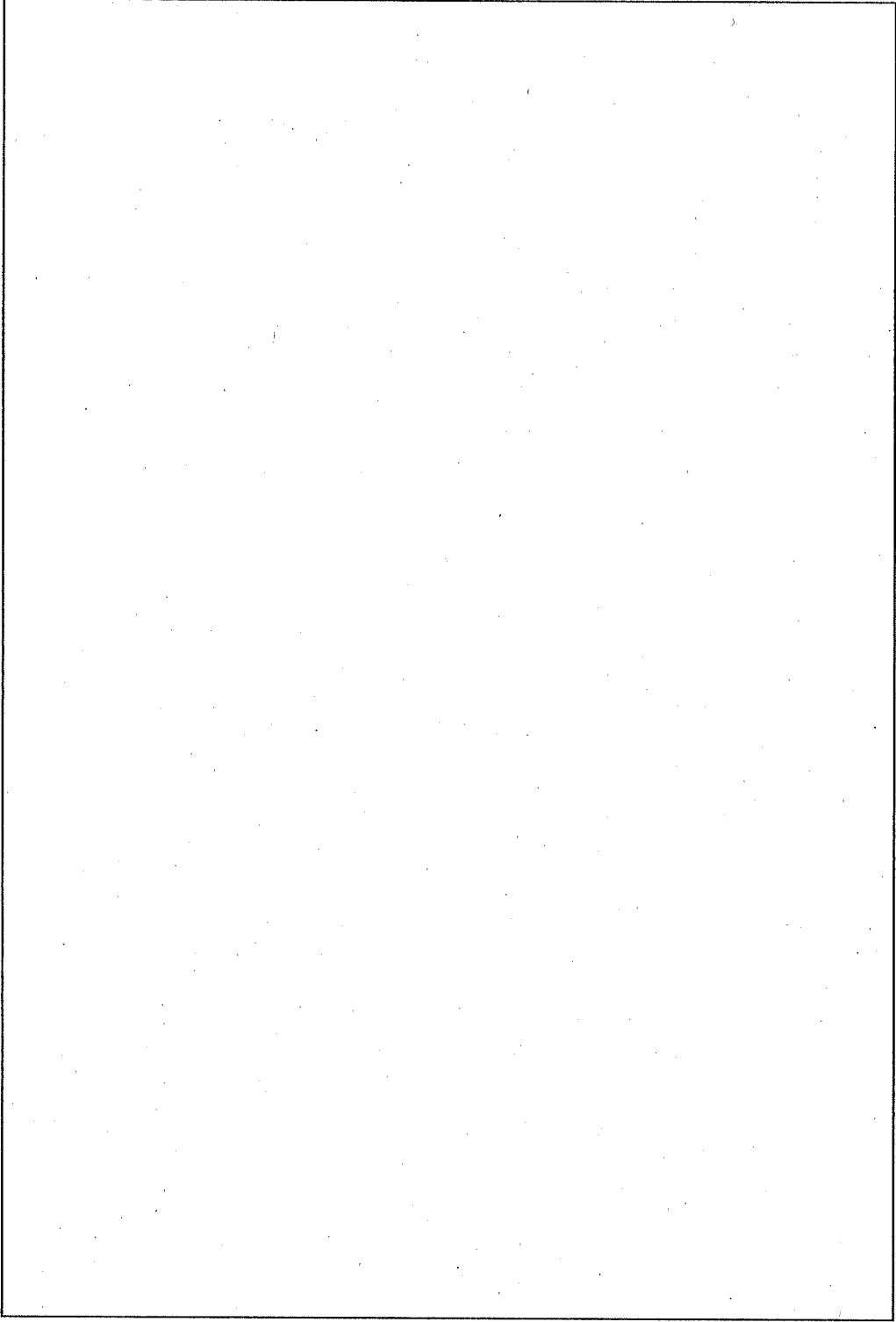
輸送物は火災試験後-40℃の環境下におかれるが、前述の試験によって構造材の機械的性質の低下はない。したがって、B.4.3 で述べたように輸送物の健全性が損なわれることはない。



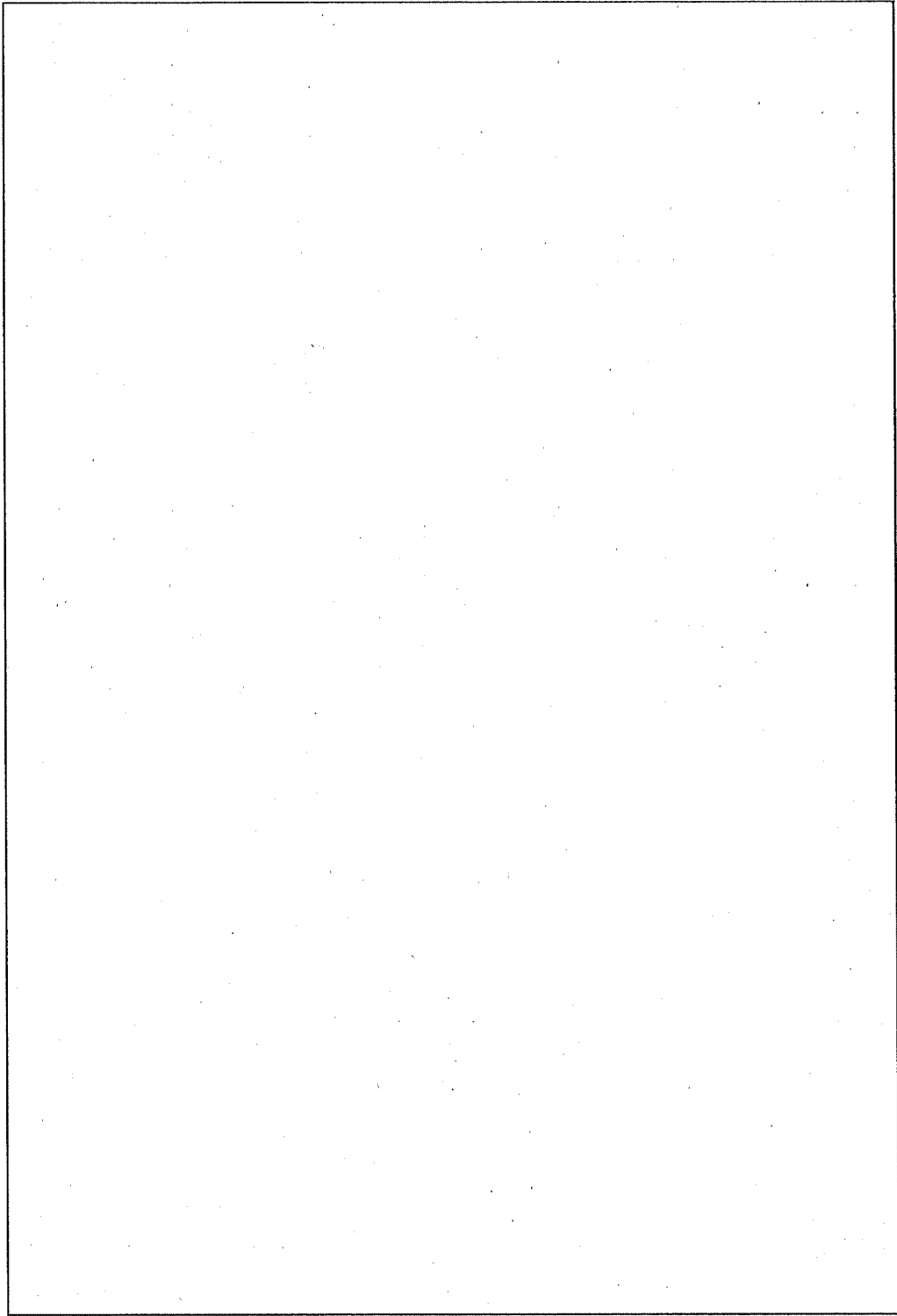
(口) - 第 B.21 図 経時温度変化を示した位置 (○印)



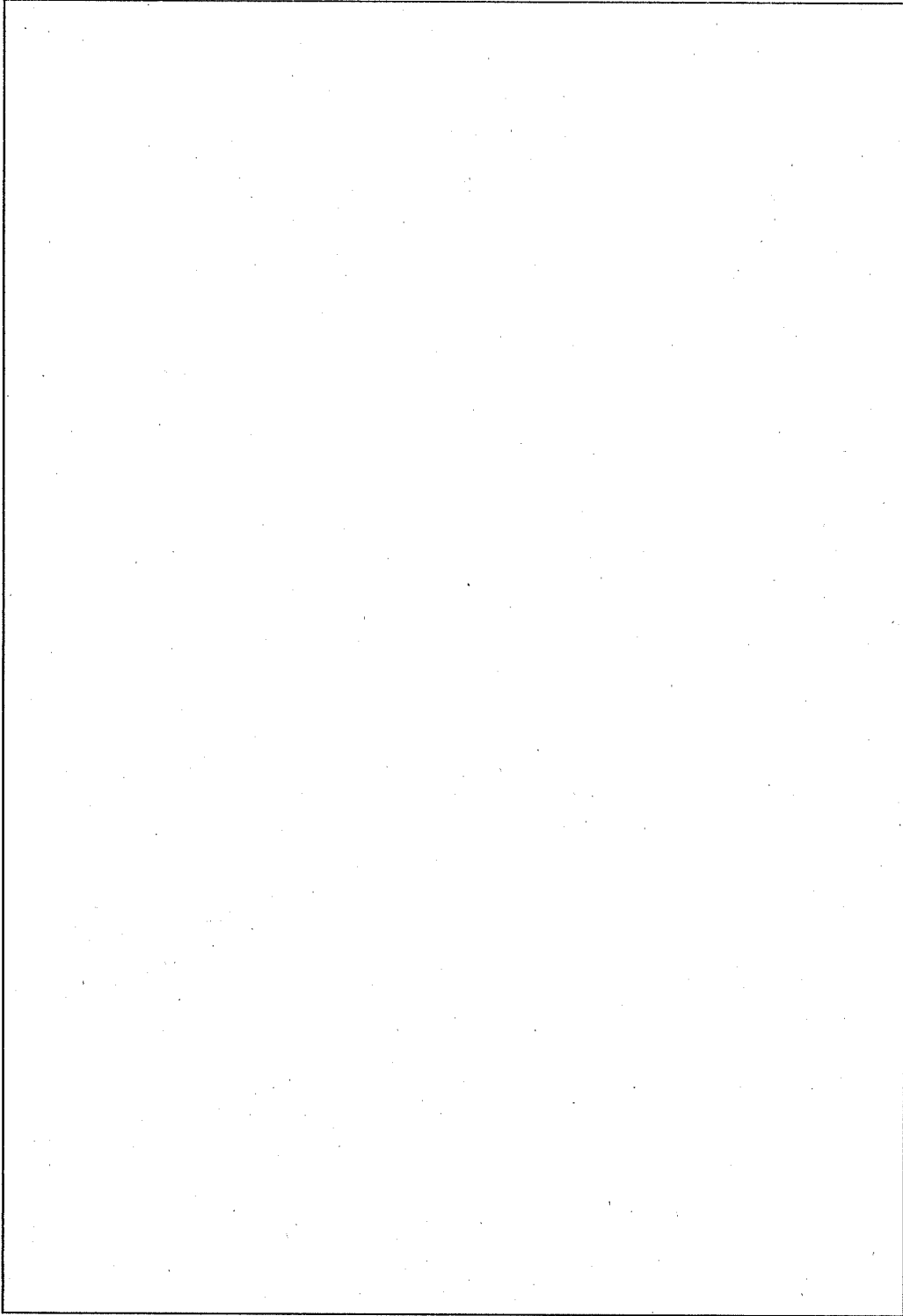
(口) - 第 B. 22 図 特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 標準燃料要素 (LEU) 1/2)



(ロ) ー第 B. 23 図 特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 標準燃料要素 (LEU) 2/2)



(ロ) - 第 B.24 図 特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 燃料フロロワ (LEU) 1/2)



(ロ) - 第 B.25 図 特別の試験条件下における温度変化 (JMTR 燃料フロー (LEU) 2/2)

(ロ) - 第 B. 21 表 特別の試験条件の温度評価結果

部 位	JMTR標準燃料要素 (LEU)		JMTR燃料フロロ (LEU)		収納物より崩壊熱が 小さい燃料要素	
	最高温度 (°C)	経過時間 (h)	最高温度 (°C)	経過時間 (h)	最高温度 (°C)	経過時間 (h)
燃料						
バスケット中心軸付近						
バスケット外面						
枠組						
蓋内面						
胴内面(側面)						
胴内面(下面)						
胴外面(側面)						
蓋部オリング						
蓋締付用ボルト						
ベントプラー						
ドレン弁						
フイン先端						
蓋外面						
胴外面(底面)						

B.5.6 結果の要約と評価

特別の試験条件下では、JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物において、輸送物各部の温度は最高になり、輸送容器内部の圧力も最大になる。このときの輸送物各部の温度を (ロ) - 第 B.21 表に、圧力を (ロ) - 第 B.22 表に示す。

輸送物は、以下に述べるような熱的性能を有し、技術基準を満足するとともに、構造強度、密封性、遮蔽能力に対し、健全性が維持される。その総合的評価を (ロ) - 第 B.23 表に示す。

1. 最高温度

輸送物の特別の試験条件下における各部の温度履歴を (ロ) - 第 B.22 図～ (ロ) - 第 B.25 図に、また、特別の試験条件下における各部の最高温度を (ロ) - 第 B.21 表に示した。

輸送物各部の最高温度は、崩壊熱が最大である JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した場合に発生し、燃料では [] である。この温度は燃料の許容温度 [] に比べ低い値である。また、輸送容器の主要材料であるステンレス鋼では、フィン先端で [] であり、この温度はステンレス鋼の融点 [] に比べ十分低い値である。

密封境界のガスケットの最高温度はドレン弁のガスケットで [] である。これはガスケット材である [] の標準使用温度範囲の最高温度である [] である。

2. 最大圧力、熱膨張及び最大熱応力

a. 輸送物の最大内圧は、JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した状態で生じ、[] である。この圧力は、技術基準に定められた最高使用圧力 700kPa 以下であり、かつ、耐圧試験圧力 (水圧) 1MPa 以上に比べ十分低い値である。

b. 最大熱膨張については、容器本体等の熱容量が大きいため、バスケットの温度が異常に上昇したり、容器本体等が急激に収縮することはない。ここでは、安全側に熱膨張評価を行ってバスケットが容器本体と径方向で [] 接触するが、軸方向では [] の隙間を生じる。このとき、バスケットに生じる応力は、設計基準値以下である。

c. 輸送容器の最大熱応力は、輸送容器の内外両面の温度差の最大となる収納物より崩壊熱が小さい燃料要素を収納した場合に発生し、[] であり、設計基準値 [] である。

3. 最低温度

輸送物は、特別の試験条件下で構造強度試験、熱的試験の後、 -40°C の環境下におかれる。この場合、輸送容器は上記試験によって材料の機械的性質の低下は生じない。したがって、輸送物は -40°C の環境においても十分な靱性を有している。

4. 密封性

輸送物の密封境界におけるガスケットの本条件下での温度は、 -40°C ～である。これに対しガスケット材であるの標準使用温度範囲は、 $^{\circ}\text{C}$ である。また、最大熱応力の働く状態においても容器本体・蓋部の隙間は、であり、Oリングのつぶれ代に比べ十分小さな値である。

したがって、輸送物の密封性は維持される。

(ロ) - 第 B.22 表 特別の試験条件下の最大内圧

収 納 物	圧 力
JMTR標準燃料要素 (LEU)	<input type="text"/>

(ロ) ー第B.23表 特別の試験条件における輸送物の総合的評価

項	目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度	燃料			基準値以下
	オリング			基準値以下
最大圧力		700kPa	<input type="text"/>	基準値以下 構造解析に使用
最大熱応力 胴外面				基準値以下

B.6 付属書類

B.6.1 熱解析コード TRUMP の説明	(口) -B-69
B.6.2 輸送物内部熱伝達についての詳細	(口) -B-74
B.6.3 通常輸送時における輸送物外部熱伝達についての詳細	(口) -B-85
B.6.4 一般の試験条件における輸送物外部熱伝達についての詳細	(口) -B-108
B.6.5 特別の試験条件における輸送物外部熱伝達	(口) -B-116
B.6.6 固縛金具温度評価	(口) -B-126
B.6.7 参考文献	(口) -B-128

B. 6.1 熱解析コード TRUMP の説明

(1) 概要

「TRUMP」は1968年Lawrence Radiation Laboratoryで開発された差分法に基づく温度分布計算汎用コードである。輸送容器の熱解析では、一般及び特別の試験条件下の輸送容器の温度分布計算に本計算コードを用いた。

(2) 機能

TRUMP は、熱生成、化学反応、相変化及び物質移動を伴う熱伝達を取り扱うことができる。

TRUMP は、直角座標、円柱座標、回転体座標あるいは極座標を用いて物体を分割することにより三次元形状の物体を取り扱うことができる。物性値のうち熱伝導率及び比熱は温度または時間の関数として表される。

要素間の熱伝達は、熱伝導、自然対流、強制対流及び輻射による熱伝達を取り扱うことができ、境界条件は、自然対流、強制対流及び輻射による熱伝達を取り扱える。

境界温度は、時間の関数として表される。

初期温度は、空間での位置によって異なってもよい。

TRUMP からの出力としては、各時間ごとの温度分布のほか各要素の熱収支等が得られる。

(3) 計算方法

TRUMP は、空間座標と時間について四個の独立変数及び温度と、二つの反応物濃度という三個の従属変数を持った連立偏微分方程式を解く。

他の従属変数は、相変化の起きた時の相の濃度及び時間、温度空間の位置の関数である方程式のいくつかの係数である。

熱生成及び化学反応を伴う熱伝導及び物質移動の方程式は、通常の三次元の場合は、普通のベクトル演算式を用いて次のように表される。

$$\rho c \frac{DT}{Dt} = \rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot \mathbf{k} \nabla T + G - \rho Q_a \frac{\partial a}{\partial t} - \rho Q_b \frac{\partial b}{\partial t} \quad (1-1)$$

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{\partial a}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla a = -a^{Pa} \exp\left(Z_a - \frac{E_a}{RT}\right) \quad (1-2)$$

$$\frac{Db}{Dt} = \frac{\partial b}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla b = -b^{Pb} \exp\left(Z_b - \frac{E_b}{RT}\right) \quad (1-3)$$

ここで、

T	:	絶対温度	t	:	時間
P	:	密度	c	:	比熱
k	:	熱伝導率	v	:	流速ベクトル
G	:	単位体積当たりの熱生成の割合	a, b	:	反応物の濃度
P _a , P _b	:	反応次数	Q _a , Q _b	:	反応熱
Z _a , Z _b	:	対数衝突頻度	E _a , E _b	:	活性化エネルギー
R	:	気体定数			

同様の方程式が、いろいろな形式の初期値問題や境界問題及び移動問題を記述するのに用いられている。

座標軸 r に垂直な相の界面を持った相変化の熱の効果は、次式のように表現することができる。

$$\rho \Delta H_m \left(\frac{\partial r_m}{\partial t} \right) = k_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial r} \right)_{r_m} - k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial r} \right)_{r_m} \quad (1-4)$$

$$T_1(r_m) = T_2(r_m) = T_m \quad (1-5)$$

ここで、

ΔH_m : 相 1 から相 2 に相変化する時の潜熱

r_m : 相 1 と相 2 の間の界面の(座標軸 r 上の)位置

T_m : 相変化する時の温度

物質 1 と 2 の間の座標軸 r に垂直な界面における熱収支は、次のように表すことができる。

$$k_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial r} \right)_i = h_i (T_{2,i} - T_{1,i}) = k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial r} \right)_i \quad (1-6)$$

$$h_i = h_{i,o} + h_{i,c} [(T_{2,i} - T_{1,i})^2]^{Pi/2} + \sigma F_i (T_{1,i} + T_{2,i}) (T_{1,i}^2 + T_{2,i}^2) \quad (1-7)$$

界面のコンダクタンスの h_i の表現は、接触コンダクタンス、自然及び強制対流並びに輻射の効果を含んだ一般形である。(1-7)式において σ は Stefan-Boltzmann 定数、 F_i は総括輻射伝熱形状係数である。

座標軸 r に垂直な外表面における熱収支は、次式のように表される。

$$k \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_s = U_{s,b} (T_b - T_s) \quad (1-8)$$

ここで T_b は外部温度、 T_s は表面の温度であり、界面のコンダクタンス $U_{s,b}$ は(1-7)式と同様に次式によって計算される。

$$U_{s,b} = h_{s,o} + h_{s,c} [(T_b - T_s)^2]^{Pi/2} + \sigma F_b (T_s + T_b) (T_s^2 + T_b^2) \quad (1-9)$$

以上の方程式を一般の多次元 Euler 空間に拡張して、微小の要素 (element)、すなわち節 (Node) に分割して計算する。

TRUMP で解かれる方程式は、微小時間間隔に対してであり、前述の方程式から、時間微分 $\partial u / \partial t$ に対して、 $(u' - u) / \Delta t$ で置き換えることにより得られたものである。 u' 及び u は、時間間隔 Δt の始まりと終わりにおける値である。

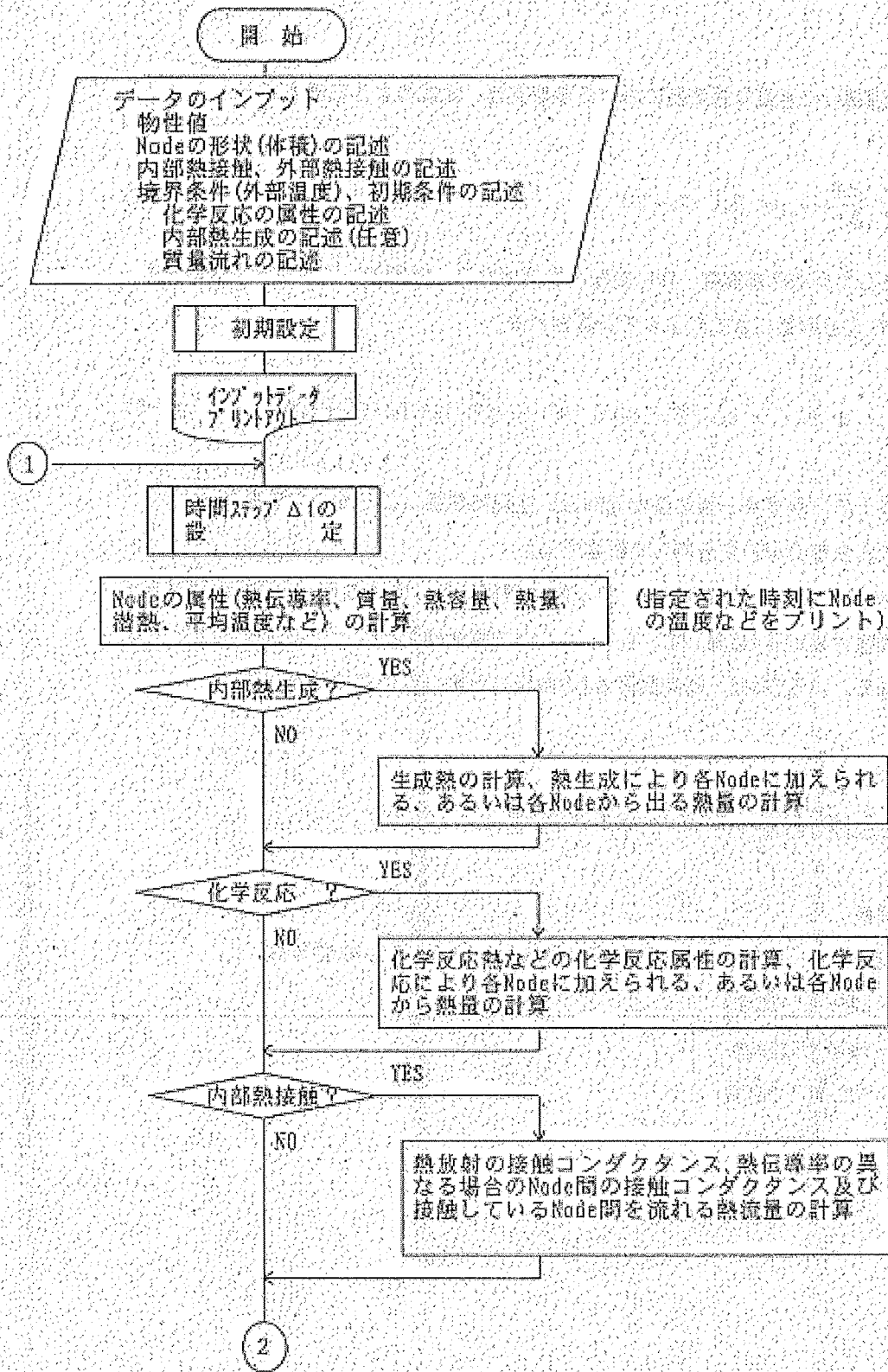
(4) フローチャート

(口) - 第 B-26 図に TRUMP コードのフローチャートを示す。

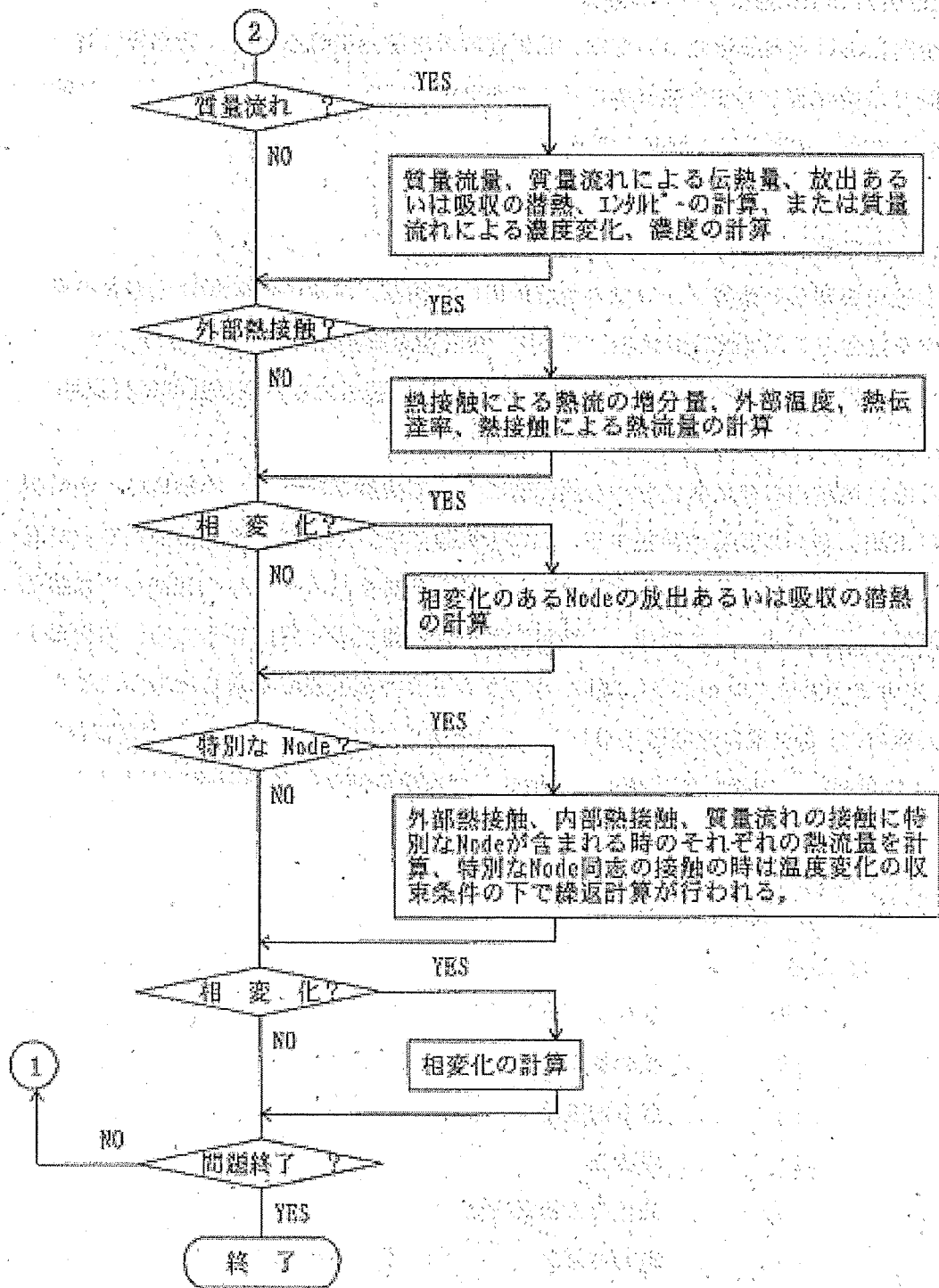
(5) 実績

TRUMP コードの輸送物の熱解析の実績としては次のものがある。

- ・ JFC-75Y-20T 型
- ・ JMTR W5200 型
- ・ JRC-80Y-20T 型



(ロ) - 第 B. 26 図 TRUMP 概略処理フロー (その 1)



(口) - 第 B. 26 図 TRUMP 概略処理フロー (その 2)

B. 6. 2 輸送物内部熱伝達についての詳細

輸送物内における熱伝達については、固体材料内では熱伝導を考え、空気層に対しては各位置での空気層で対流と熱伝導のどちらが支配的であるか検討を加え、さらに輻射の有効性を考慮して熱伝達の評価を行う。

1. 燃料内部の熱伝達

標準燃料要素及び燃料フォロワの角型形状の燃料は、左右の側板間に十数枚の薄い燃料板をはさみこんだ断面形状をしており、熱伝達が周囲に均一でない。そこで、これらの燃料内部の熱伝達の評価を代表して崩壊熱の最も大きい JMTR 標準燃料要素 (LEU) で行う。

はじめに燃料内の空気層における熱伝達について検討を行う。この燃料は、燃料内の燃料板間に薄い空気層が存在する。この空気層において対流と熱伝導のどちらが支配的であるかの検討を行う。通常輸送時における燃料をバスケットに収納した状態を (口) - 第 B. 27 図に示す。この寸法は、燃料温度を安全側に高く評価するため、燃料を小さく、隙間が大きくなるように燃料、バスケットの寸法公差を考慮したものである。この検討は、各位置の空気層に対してレイリー数 Ra を求めることにより判定される。Ra > 10³ の領域では対流が生じ始め、それ以下では熱伝導による熱伝達が行われる。⁽⁴⁾

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

ここで、

- Pr : プラントル数 (-)
- D : 流体層厚さ (m)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- Δt : 温度差 (°C)
- β : 流体の体膨張係数 (1/°C)
- ν : 動粘性係数 (m²/s)

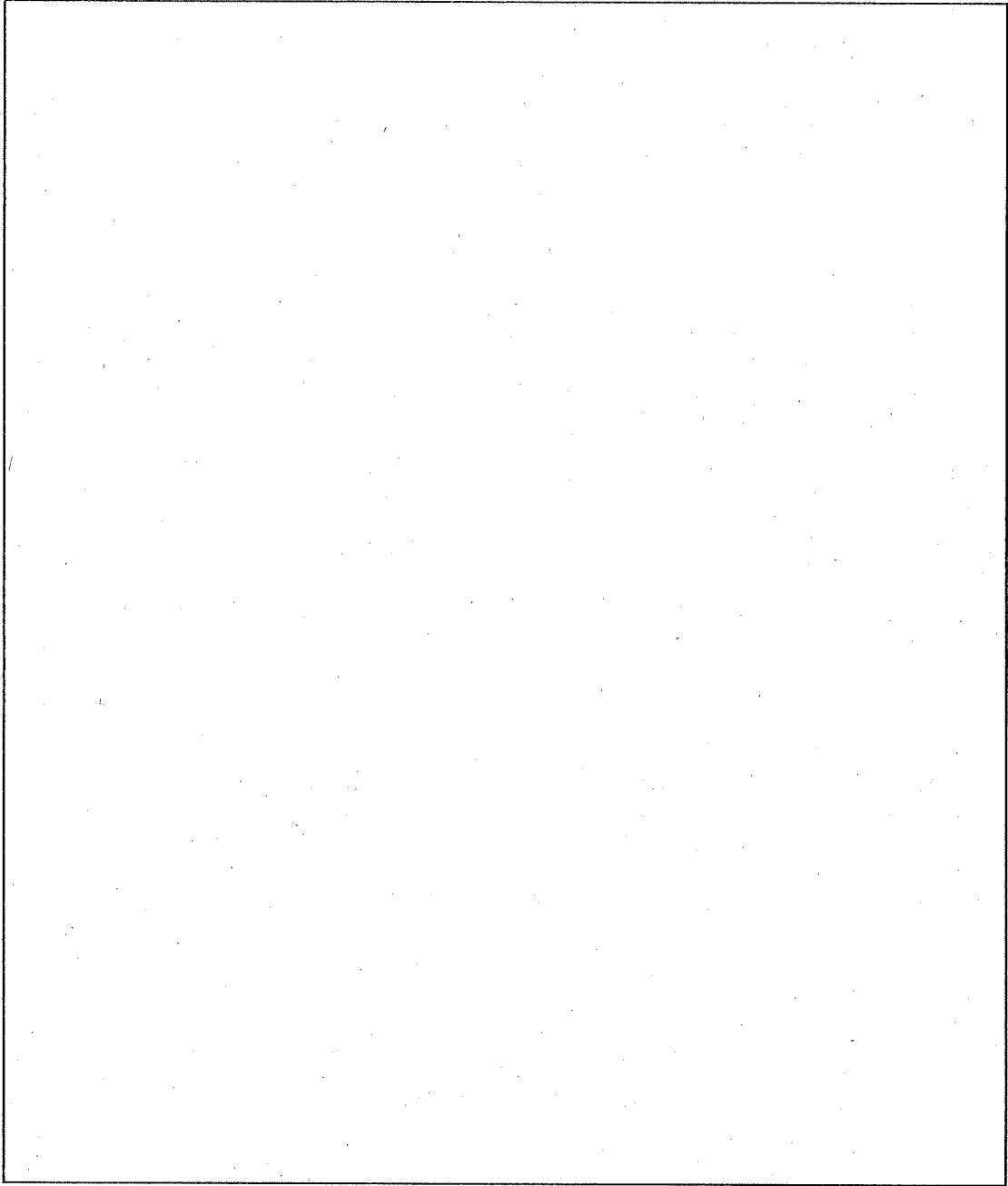
そこで、この空気層におけるレイリー数 Ra は、空気温度を とすると、

$$Pr = \frac{\rho \cdot c_p \cdot \mu}{k} \quad (-)$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (m^2/s)$$

$$g = 9.8 \quad (m/s^2)$$

$$\beta = \frac{1}{\text{input}} \quad (1/°C)$$



(ロ) - 第 B. 27 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) をバスケットに収納した状態図

$$Ra = \boxed{\hspace{10em}}$$

$$\therefore Ra = \boxed{\hspace{10em}}$$

となる。空気層の厚さ $\boxed{\hspace{2em}}$ を代入すると、レイリー数は

$$Ra = \boxed{\hspace{10em}}$$
$$= \boxed{\hspace{2em}}$$

である。

また、温度差(Δt)は、(ロ) - 第 B. 10 図から燃料の最高温度 $\boxed{\hspace{1em}}$ と最低温度 $\boxed{\hspace{1em}}$ °Cの差である $\boxed{\hspace{2em}}$ を代用してもレイリー数 Ra は 10^3 より小さい。

$$Ra = \boxed{\hspace{2em}}$$
$$= \boxed{\hspace{2em}} < 10^3$$

したがって、燃料内における空気層においては、対流より熱伝導が支配的になり、熱伝導による熱伝達が行われる。また、一般の試験条件及び特別の試験条件における燃料内の空気層温度は通常輸送時の温度より高いため空気の熱伝導が支配的となる。他の燃料についても同様に空気層において熱伝導による熱伝達が行われる。

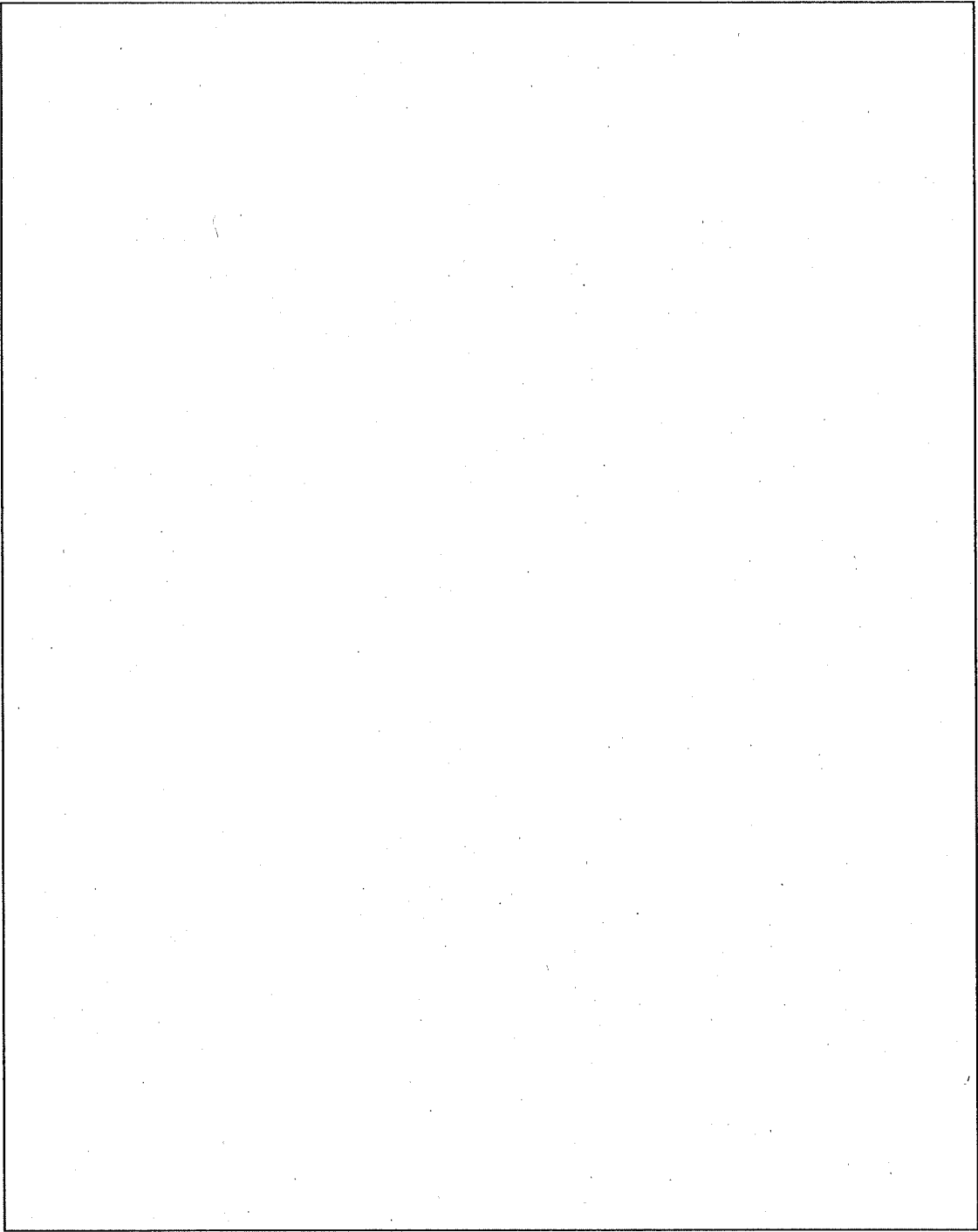
次に、燃料内で発生した崩壊熱が、側板方向からバスケット構造材に伝わりやすいか又は燃料板方向から伝わりやすいかを検討する。ただし、一般の試験条件及び特別の試験条件では燃料の側板とバスケットが接するため燃料側板からの熱伝導が支配的になるため通常輸送時について検討する。通常輸送時の JMTR 標準燃料要素 (LEU) における伝熱方向を (ロ) - 第 B. 28 図に示す。この検討は、中央の燃料板で発生した崩壊熱が、側板方向 (X) と燃料板方向 (Y) に流れる場合の熱抵抗 R を比較することによって行う。

一般に熱伝導が支配的な状態での熱抵抗 R は、次式で与えられる。

$$R = \frac{L}{k \cdot A}$$

ここで、

- R : 熱抵抗 (K/W)
- L : 伝熱距離 (m)
- k : 熱伝導率 (W/(m·K))
- A : 伝熱面積 (m²)



(口) - 第 B. 28 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) における伝熱方向

側板方向 (X) への熱抵抗 R は、

$$R = \frac{L}{k \cdot A}$$

L =

k : におけるアルミニウム合金の熱伝導率
= (W / (m · K))

A : 軸方向 1 mm の伝熱面積
=
= (m²)

R =
= (K / W)

となる。

また、燃料板方向 (Y) への熱抵抗は、燃料板間の空気層では、前述のごとく熱伝導が支配的であり、かつ、空気層の熱抵抗が燃料板のそれに比べて支配的であるので、空気層のみとして求める。熱抵抗 R は、

$$R = \frac{L}{k \cdot A}$$

L =
= (m)

k : における空気の熱伝導率
= (W / (m · K))

A : 軸方向 1mm の伝熱面積
=
= (m²)

R =
= (K / W)

となる。

燃料板方向 (Y) の流れの熱抵抗は、側板方向 (X) の であり、実際の伝熱は側板方向 (X) が支配的であると考え。

以上の結果、角型形状をしている燃料内の熱伝達は、実際には熱は側板からバスケットへ流れるものと、外部燃料板を経由してバスケットへ流れるものがあるが、その割

合を求めることは困難であることなどから、解析では、全て側板からバスケットへ流れると仮定する。すなわち、発熱部を燃料板の燃料芯材を除く燃料被覆材とし、側板間の熱伝導は燃料被覆材のみで行われるとして評価する。これらの仮定は、燃料とバスケットとの伝熱面積を実際より小さくすることになり、燃料温度を高く評価することになるので、安全側である。

2. バスケット内部の熱伝達

燃料以外のバスケット内部に存在する空気層を(ロ)―第 B. 24 表に示す。この空気層について対流と熱伝導のどちらが支配的であるかの検討を前項と同様な手法で行い、該当する熱伝達を使用する。

検討した結果を代表して、通常輸送時における JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物について記述する。空気層としては、燃料とバスケットとの隙間、バスケットと胴内面 (上、下面) との隙間、バスケットと胴内面 (側面) との隙間がある。これらの隙間のうち最大のものは□であるので、レイリー数 Ra は前項で用いた式に空気層の厚さ (D) □の代わりに□を使用する。また、温度差 (Δt) は、(ロ)―第 B. 15 表から□程度である。 Ra を求めると、

$$Ra = \square$$

$$= \square < 10^3$$

この間の伝熱は、熱伝導が支配的である。したがって、バスケット内部に存在する空気層の伝熱は熱伝導が支配的である。

3. バスケット内部の輻射伝熱形状係数

内部熱伝達において、輻射を考慮した部位は次のとおりである。

- | | |
|---------------------|---------------------|
| (1) 燃料とバスケット | [アルミニウム合金面とステンレス鋼面] |
| (2) 燃料上面と蓋内面 | [同 上] |
| (3) バスケット上面と蓋内面 | [ステンレス鋼面とステンレス鋼面] |
| (4) バスケット側面と胴内面(側面) | [同 上] |

(ロ) ー第 B.24 表 バスケット内部の隙間

部 位	隙 間 (mm)	
	通 常 輸 送 時	一 般 の 試 験 条 件 特 別 の 試 験 条 件
燃 料 ーバスケット*1		
燃 料 ースペーサ*2		
ス ペ ー サ ーバスケット*2		
バスケットー蓋内面		
バスケットー胴内面 (下面)		
バスケットー胴内面 (側面)		

装荷時

装荷時

*1 : JMTR 標準燃料要素 (LEU)

*2 : JMTR 燃料フロワ (LEU)

輻射での形状係数は、一般に次式によって求められる。

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{F_{12}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

ここで \mathcal{F}_{12} : 面 1 から面 2 への形状係数

F_{12} : 面 1 から面 2 への形態係数

ε_1 : 面 1 の輻射率

ε_2 : 面 2 の輻射率

形態係数は、各位置において 1 とする。また、各面での輻射率は、(ロ) - 第 B.5 表及び (ロ) - 第 B.6 表に示されているようにステンレス鋼で 0.15、アルミニウム合金で 0.11 である。

したがって、アルミニウム合金面とステンレス鋼面での形状係数は、

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0.11} + \frac{1}{0.15} - 1}$$

$$= 0.068$$

となり、またステンレス鋼面とステンレス鋼面での形状係数は、

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0.15} + \frac{1}{0.15} - 1}$$

$$= 0.081$$

となる。これらの値を TRUMP の入力データとしている。

4. 緩衝体と容器本体との熱伝達

(ロ) - 第 B.25 表に緩衝体と容器本体との隙間を示す。

バスケット内部の熱伝達と同様に、空気層について対流と熱伝導のどちらが支配的であるか検討し、該当する熱伝達を使用する。検討した結果を代表して通常輸送時における JMTR 標準燃料要素 (LEU) を収納した輸送物について記述する。

(ロ) 一第B.25表 容器本体と緩衝体との隙間

部 位	隙 間 (mm)		
	通 常 輸 送 時	一 般 の 試 験 条 件	特 別 の 試 験 条 件
胴外面 (側面) - 上部及び下部緩衝体			
蓋外面 - 上部緩衝体			
胴外面 (下面) - 下部緩衝体			
胴外面 (側面) - 近接防止枠 (側面)			

*1:緩衝体及び蓋外面 (又は胴外面) の表面粗さをそれぞれ [] とすると最大の隙間は、 [] となる。

空気層としては、緩衝体と胴外面(側面)間の隙間、上部緩衝体と蓋外面間の隙間、下部緩衝体と胴外面(下面)間の隙間、緩衝体の近接防止枠(側板)と胴外面(側面)間の隙間及び上部緩衝体フランジの隙間がある。これらの隙間のうち、最大のものは□□□□であり、この間の温度差は(ロ) - 第 B.9 図から□□□□である。B.6.2 の 2 項と同様に、□□□□の空気層の Ra を求めると、

$$\begin{aligned} Ra &= \square\square\square\square \\ &= \square\square\square < 10^3 \end{aligned}$$

この間の伝熱は、熱伝導が支配的である。したがって、緩衝体と容器本体との隙間の伝熱は、熱伝導が支配的である。また、この間は、B.6.2 の 3 項の(3)、(4)と同様の放射による熱伝達が行われるので、ステンレス鋼面とステンレス鋼面での形状係数 $\mathcal{F}_{12}=0.081$ を使用する。

5. 燃料と胴内面(下面)間の熱伝達

通常輸送時、燃料と胴内面(下面)間には、わずかな空気層が存在する。これを以下のように評価する。伝熱面積としては、燃料の側板の断面積のみとする。空気層の厚さとしては、燃料がバスケット内で物理的に可能な範囲で最大に傾斜した場合に生じる隙間を考える。JMTR 標準燃料要素(LEU)の場合、傾斜角は□□□□、空気層厚さは最大で□□□□、平均で□□□□である。したがって、この空気層の厚さは平均の□□□□として扱う。

6. バスケットと胴内面(下面)間の熱伝達

通常輸送時、バスケットと胴内面(下面)間には、わずかな空気層が存在する。これを次のように評価する。この間の伝熱面としては、胴内面(下面)と接する仕切板、枠組の伝熱面を考慮する。空気層の厚みとしては、それぞれの表面仕上げを□□□□とすると最大の空気層厚みは、

$$\square\square\square\square$$

となる。この間の伝熱は、熱伝導により伝達される。

B.6.3 通常輸送時における輸送物外部熱伝達についての詳細

輸送容器外表面と周囲環境との伝熱は、自然対流と輻射により行われる。したがって、以下に自然対流の熱伝達係数と輻射で重要な形状係数について記述する。なお、フィンの伝熱面積としては、フィン自体の切欠部及び固縛金具によるフィンの欠損部の面積を除いた値を使用する。

1. 自然対流の熱伝達係数

自然対流の熱伝達係数は、各位置に応じた適用式を使用する。すなわち、フィン、胴外面(側面)、緩衝体(側面)及び近接防止枠(側板)に対しては、垂直平板の自然対流式⁽¹³⁾を用いる。

$$\begin{cases} \text{Nu} = 0.555 \times \text{Ra}^{1/4} & (10^4 < \text{Ra} < 10^8) \\ \text{Nu} = 0.129 \times \text{Ra}^{1/3} & (10^8 < \text{Ra} < 10^{12}) \end{cases} \quad (3-1)$$

蓋、上部緩衝体(上面)、近接防止枠(穴あき板)及び下部緩衝体(上面)に対しては、上向き熱面の自然対流式⁽¹³⁾を用いる。

$$\begin{cases} \text{Nu} = 0.54 \times \text{Ra}^{1/4} & (10^5 < \text{Ra} < 2 \times 10^7) \\ \text{Nu} = 0.14 \times \text{Ra}^{1/3} & (2 \times 10^7 < \text{Ra} < 3 \times 10^{10}) \end{cases} \quad (3-2)$$

上部緩衝体(下面)に対しては、下向き熱面の自然対流式⁽¹³⁾を用いる。

$$\text{Nu} = 0.27 \times \text{Ra}^{1/4} \quad (3 \times 10^5 < \text{Ra} < 3 \times 10^{10}) \quad (3-3)$$

ここで、

$$\text{Nu} = \frac{H \cdot D}{k} \quad \text{ヌッセルト数} \quad (3-4)$$

$$\text{Ra} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2} \cdot \text{Pr} \quad \text{レイリー数} \quad (3-5)$$

である。また、ここで、

H	: 熱伝達係数	(W/(m ² ·K))
D	: 代表長さ	(m)
g	: 重力加速度	(m/s ²)
k	: 流体の熱伝導率	(W/(m·K))
β	: 流体の体膨張係数	(1/K)
Δt	: 流体との温度差	(K)
Pr	: 流体のプラントル数	(-)
ν	: 流体の動粘度	(m ² /s)

である。

いま、空気の温度を としてレイリー数 Ra を (3-5) 式により求める。

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

$$g = 9.8 \quad (\text{ m/s}^2)$$

β : の空気の体膨張係数

$$= \text{ }$$

$$= \text{ } \quad (\text{ 1/K })$$

ν : の空気の動粘度

$$= \text{ } \quad (\text{ m}^2/\text{s})$$

Pr : の空気のプラントル数

$$= \text{ } \quad (\text{ - })$$

を代入すると、

$$Ra = \text{ }$$

$$Ra = \text{ }$$

となる。

したがって、上式に各位置に応じた代表長さ D を代入し、各位置に用いる自然対流式を判定し、(3-4)式から、各位置での熱伝達係数を求める。

はじめに、フィン、胴外面(側面)、緩衝体(側面)及び近接防止枠(側板)についての熱伝達係数を求める。代表長さ D を とすると、レイリー数 Ra は、

$$Ra = \text{ }$$

$$= \text{ }$$

となる。ゆえにヌッセルト数 Nu は (3-1) 式から

$$Nu = 0.129 \times Ra^{1/3}$$

$$= \text{ }$$

$$= \text{ }$$

となり、したがって熱伝達係数 H は(3-4)式から

$$H = \frac{\text{Nu} \cdot k}{D}$$
$$= \boxed{\hspace{15em}}$$
$$= \boxed{\hspace{10em}} \quad (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$$

ここで、

$$k : \boxed{\hspace{2em}} \text{ の空気の熱伝導率}$$
$$= \boxed{\hspace{2em}} \quad (\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$$

となる。

他の温度についても同様にして求め、(ロ) - 第 B. 26 表に示す。

次に、蓋、上部緩衝体(上面)、近接防止柵(穴あき板)及び下部緩衝体(上面)における熱伝達係数について代表長さ D を $\boxed{\hspace{2em}}$ として(3-2)式から同様にして求め、

(ロ) - 第 B. 27 表に示す。

また、上部緩衝体(下面)についても代表長さ D を $\boxed{\hspace{2em}}$ として(3-3)式から熱伝達係数を同様にして求め、(ロ) - 第 B. 28 表に示す。

(口) - 第 B. 26 表 垂直平板における熱伝達係数

温度 (°C)	熱伝達係数 (W/(m ² ·K))
0	
60	
100	
200	
400	
600	
800	

(口) - 第 B. 27 表 上向き熱面における熱伝達係数

温度 (°C)	熱伝達係数 (W/(m ² ·K))
0	
60	
100	
200	
400	
600	
800	

(口) - 第 B. 28 表 下向き熱面における熱伝達係数

温度 (°C)	熱伝達係数 (W/(m ² ·K))
0	
60	
100	
200	
400	
600	
800	

2. 輻射伝熱形状係数

輻射伝熱形状係数は、一般に次式により求められる。

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{F_{12}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-6)$$

- \mathcal{F}_{12} : 面 1 から面 2 への形状係数
 F_{12} : 面 1 から面 2 への形態係数
 ε_1 : 面 1 の輻射率
 ε_2 : 面 2 の輻射率

以下に本解析で用いる形状係数について詳細を記述する。

輸送容器の形状係数は、各部に応じた形態係数を使用して求めている。

すなわち、次のように分けて記述している。

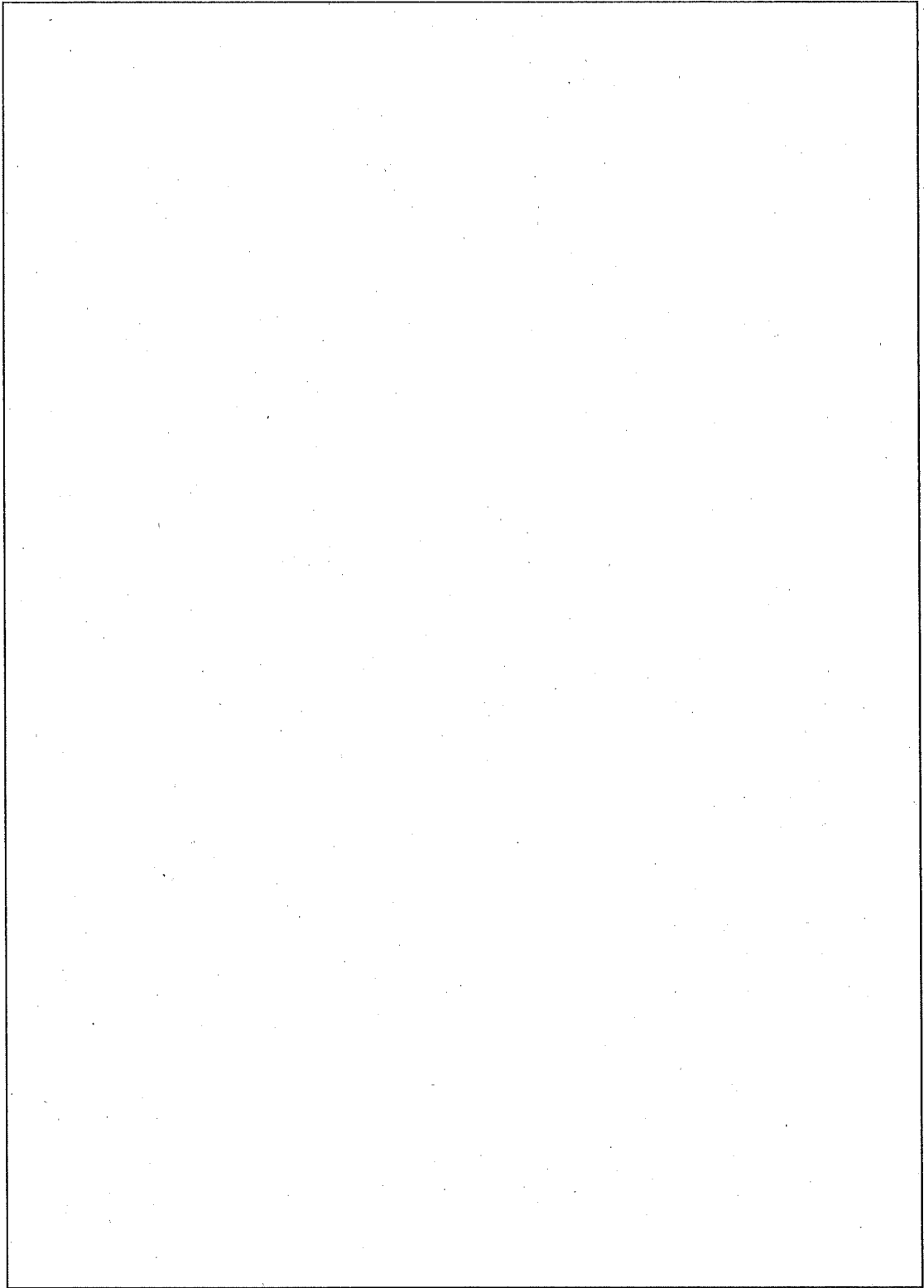
- (1) 形態係数を 1 とした部分
- (2) フィン部
- (3) 蓋部

(1) 形態係数が 1 の部分での形状係数

形態係数を 1 とした部分は、(口) - 第 B. 29 図に示すとおりである。すなわち、上部緩衝体の全表面及び下部緩衝体の表面(上面、側面、近接防止枠側面)並びにフィンの先端の表面の形態係数が 1 である。この形状係数は、(口) - 第 B. 5 表からステンレス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1=0.15$ 、また(口) - 第 B. 12 表から周囲の輻射率 $\varepsilon_2=1.0$ であるから(3-6)式により

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{12} &= \frac{F_{12}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0.15} + \frac{1}{1.0} - 1} \\ &= 0.15 \end{aligned}$$

となる。この値を TRUMP コードの入力データとして使用する。



(口) - 第 B. 29 図 形態係数を 1 とした輸送容器表面の詳細 (通常輸送時)

(2) フィン部の形状係数

フィン部においては、フィン表面とフィンの中の容器本体外面とを“コ”の字型の三平面で近似する。これを(口) - 第 B. 30 図に示す。この形状での形態係数は、以下のように求められ、その値を(3-6)式に代入することにより形状係数を求める。

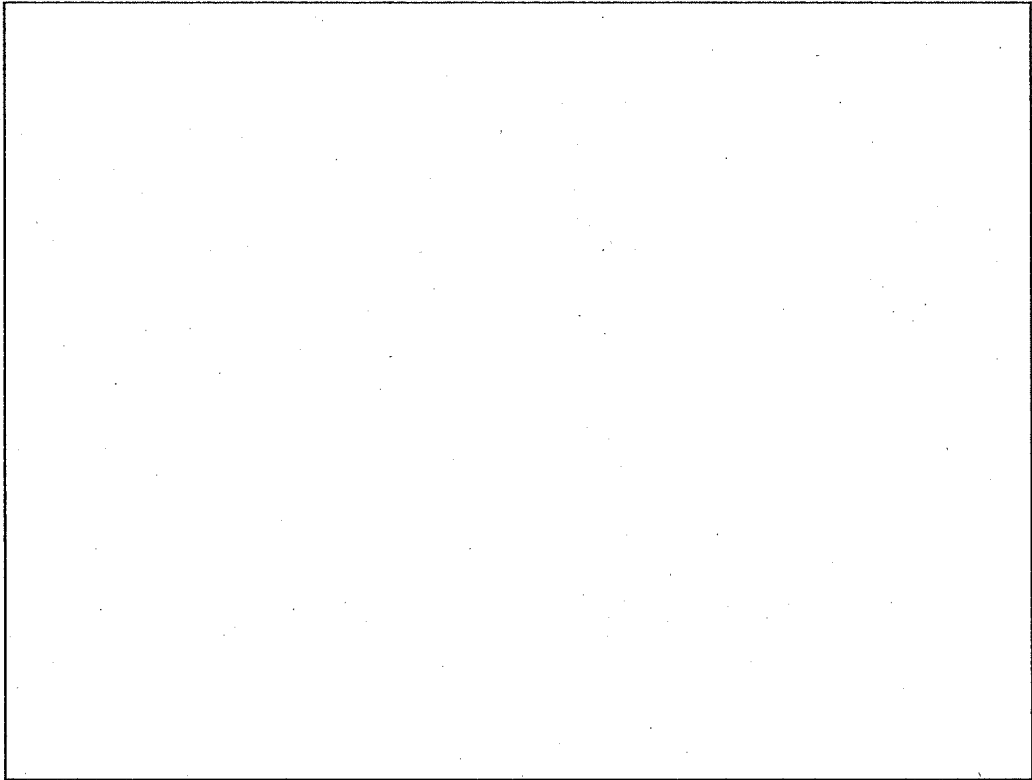
a. フィンに囲まれた容器本体外面から周囲空気面への形状係数

容器本体外面から周囲空気面への形態係数は、相対する二平行平面の値を式(14)から求める。

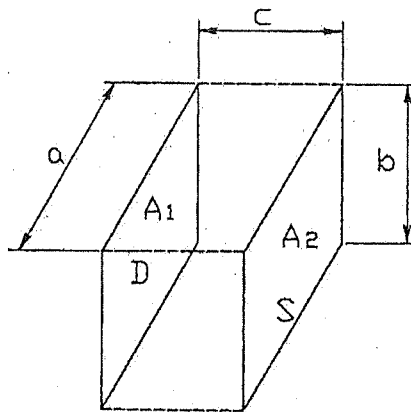
$$F_{12} = \frac{2}{\pi \cdot X \cdot Y} \left\{ \epsilon_n \left[\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} \right]^{1/2} + X\sqrt{1+Y^2} \cdot \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right. \\ \left. + Y\sqrt{1+X^2} \cdot \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} - X \tan^{-1} X - Y \tan^{-1} Y \right\}$$
$$X = \frac{a}{c}$$
$$Y = \frac{b}{c}$$

(3-7)

ここで各記号は、(口) - 第 B. 31 図に示す。



(口) - 第 B. 30 図 フィン及び容器本体外面近似モデル



(口) - 第 B. 31 図 相対する二平行面

ただし、 A_1 はフィンに囲まれた容器本体外面 D であり、 A_2 は周囲空気面 S である。(3-7)式において (口) 一第 B. 30 図から $a = \square$ 、 $b = \square$ 、 $c = \square$ であるから、

$$X = \frac{a}{c} = \square$$

$$Y = \frac{b}{c} = \square$$

となり、これらを上式に代入して求めると、

$$F_{12} = \square$$

となる。

したがって、この面での形状係数 \mathcal{F}_{DS} は (3-6) 式から次のようになる。

$$\mathcal{F}_{DS} = \frac{F_{DS}}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{\square}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (3-8)$$

各面での輻射率は、(口) 一第 B. 5 表からステンレス鋼面で $\epsilon_1 = 0.15$ また、(口) 一第 B. 12 表から周囲空気面で $\epsilon_2 = 1.0$ であるから、形状係数は

$$\mathcal{F}_{DS} = \square$$

$$= \square$$

となる。

b. フィンから容器本体外面への形状係数

フィンから容器本体外面への形態係数は、直交する二平面間の値を求める(3-9)式⁽¹⁴⁾と相離れた直交二平面間の値を求める(3-10)式⁽⁴⁾を用いて求める。

$$\left. \begin{aligned}
 F_{12} &= \frac{1}{\pi \cdot W} \left(W \cdot \tan^{-1} \frac{1}{W} + H \cdot \tan^{-1} \frac{1}{H} - \sqrt{H^2+W^2} \cdot \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{H^2+W^2}} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{4} \varrho_n \left[\left[\frac{(1+W^2)(1+H^2)}{1+W^2+H^2} \right] \left[\frac{W^2(1+W^2+H^2)}{(1+W^2)(W^2+H^2)} \right] W^2 \times \left[\frac{H^2 \cdot (1+H^2+W^2)}{(1+H^2)(H^2+W^2)} \right] H^2 \right] \right) \\
 W &= \frac{\omega}{\varrho} \\
 H &= \frac{H}{\varrho}
 \end{aligned} \right\} \quad (3-9)$$

ここで、各記号は(口) - 第 B. 32 図に示す。

$$F_{34} = \frac{A_1+A_3}{A_3} [F_{(1+3)(2+4)} - F_{(1+3)2}] + \frac{A_1}{A_3} [F_{12} - F_{1(2+4)}] \quad (3-10)$$

ここで、A は各面の面積であり、その他を(口) - 第 B. 33 図に示す。

フィン各面から容器本体外面への形態係数をそれぞれ F_{CD} 、 F_{BD} 、 F_{AD} とする
(口) - 第 B. 34 図参照)。

面 C から容器本体外面 D への形態係数 F_{CD} は、(3-9)式において(口) - 第 B. 30 図から $\omega = \square$ 、 $h = \square$ 、 $\varrho = \square$ であるから、

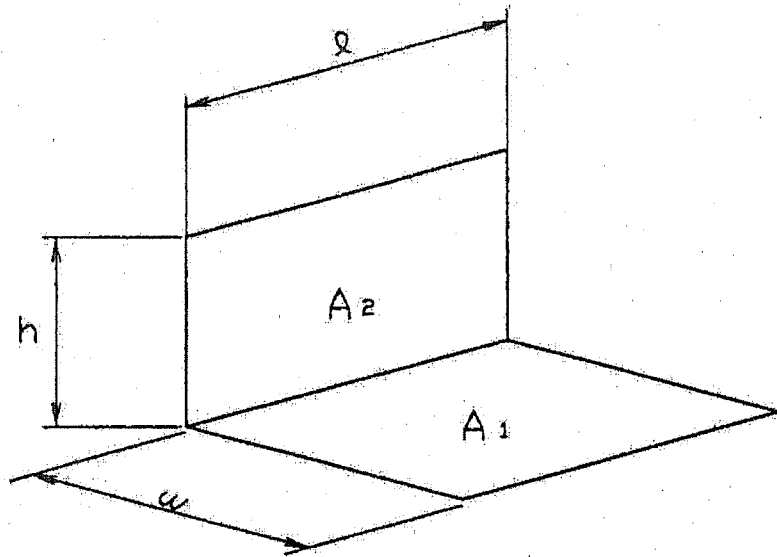
$$W = \frac{\omega}{\varrho} = \square$$

$$H = \frac{h}{\varrho} = \square$$

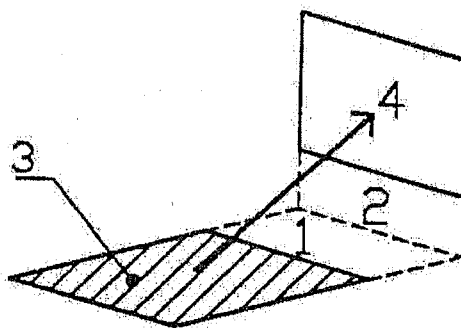
となり、これらを代入して求めると、

$$F_{CD} = \square$$

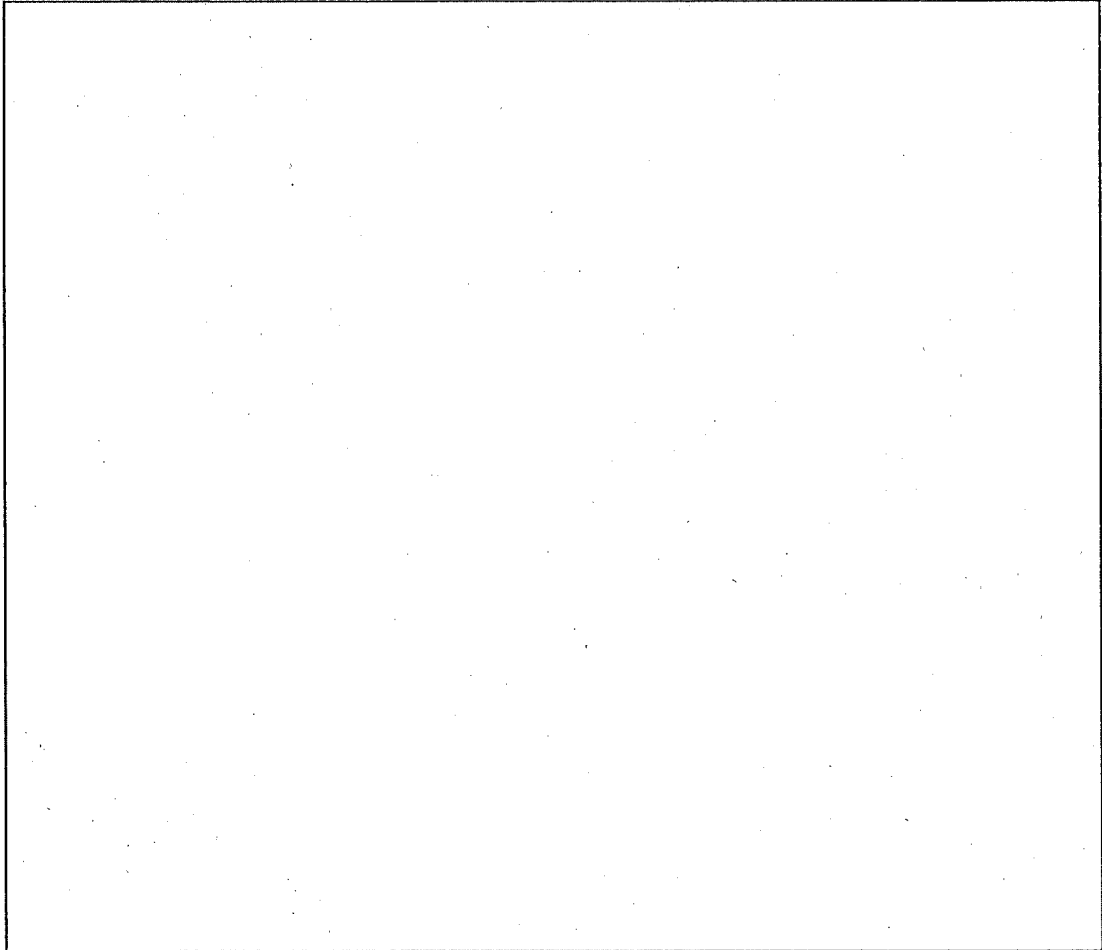
となる。



(口) - 第 B. 32 図 直交する二平面



(口) - 第 B. 33 図 相離れた直交二平面



(ロ) ー第 B. 34 図 フィンと容器本体との詳細図

次に面(B+C)から容器本体外面 D への形態係数 $F_{(B+C)D}$ は、 $\omega = \square$ であるから、同様に(3-9)式により、

$$W = \frac{\omega}{\varrho} = \square$$

$$H = \square$$

となり、これらを代入して求めると、

$$F_{(B+C)D} = \square$$

となる。

また、面(A+B+C)から容器本体外面 D への形態係数 $F_{(A+B+C)D}$ は、 $\omega = \square$ であるから同様に(3-9)式により

$$W = \frac{\omega}{\varrho} = \square$$

$$H = \square$$

となり、これらを代入して求めると、

$$F_{(A+B+C)D} = \square$$

となる。

したがって、面 B 及び面 A から容器本体外面 D への形態係数 F_{BD} 及び F_{AD} は、各面の面積を各々 A_A 、 A_B 、 A_C 及び A_D とすると(3-10)式を以下のように整理して求めることができる。

$$F_{BD} = \frac{A_B + A_C}{A_B} \cdot F_{(B+C)D} - \frac{A_C}{A_B} \cdot F_{CD}$$

$$= \square$$

$$= \square$$

$$F_{AD} = \frac{A_A + A_B + A_C}{A_A} \cdot F_{(A+B+C)D} - \frac{A_B + A_C}{A_A} \cdot F_{(B+C)D}$$

$$= \square$$

$$= \square$$

ゆえに、面 C から容器本体外面 D への形状係数 \mathcal{F}_{CD} は(3-6)式から次のようになる。

$$\mathcal{F}_{CD} = \frac{\square}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-11)$$

面 B から容器本体外面 D への形状係数 \mathcal{F}_{BD} 及び面 A から容器本体外面 D への形状係数 \mathcal{F}_{AD} も同様にして(3-6)式から次のようになる。

$$\mathcal{F}_{BD} = \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-12)$$

$$\mathcal{F}_{AD} = \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-13)$$

(3-11)式～(3-13)式においてフィン、容器本体ともステンレス鋼であるので、(ロ) -B.5 表から輻射率 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.15$ を代入すると、

$$\mathcal{F}_{CD} = \boxed{}$$

$$\mathcal{F}_{BD} = \boxed{}$$

$$\mathcal{F}_{AD} = \boxed{}$$

となる。これらの値を TRUMP コードの入力データとして使用する。

c. フィンから周囲空気面への形状係数

フィンから周囲空気面への形態係数は、フィンから容器本体外面への形態係数を求めるのと同様に(3-9)式と(3-10)式を用いて求める。

フィン各面から周囲空気面 S への形態係数をそれぞれ F_{AS} 、 F_{BS} 及び F_{CS} ((口) - 第 B. 35 図参照)とする。

面 A から周囲空気面 S への形態係数 F_{AS} は、(3-9)式において ((口) - 第 B. 30 図から $\omega = \square$ 、 $h = \square$ 、 $l = \square$ であるから

$$W = \frac{\omega}{l} = \square$$

$$H = \frac{h}{l} = \square$$

となり、これらを代入して求めると、

$$F_{AS} = \square$$

となる。

次に、面 (A+B) から周囲空気面 S への形態係数 $F_{(A+B)S}$ は、 $\omega = \square$ であるから同様に(3-9)式により

$$W = \frac{\omega}{l} = \square$$

$$H = \square$$

となり、これらを代入して求めると、

$$F_{(A+B)S} = \square$$

となる。

また、面 (A+B+C) から周囲空気面 S への形態係数 $F_{(A+B+C)S}$ は、 $\omega = \square$ であるから同様に(3-9)式により

$$W = \frac{\omega}{l} = \square$$

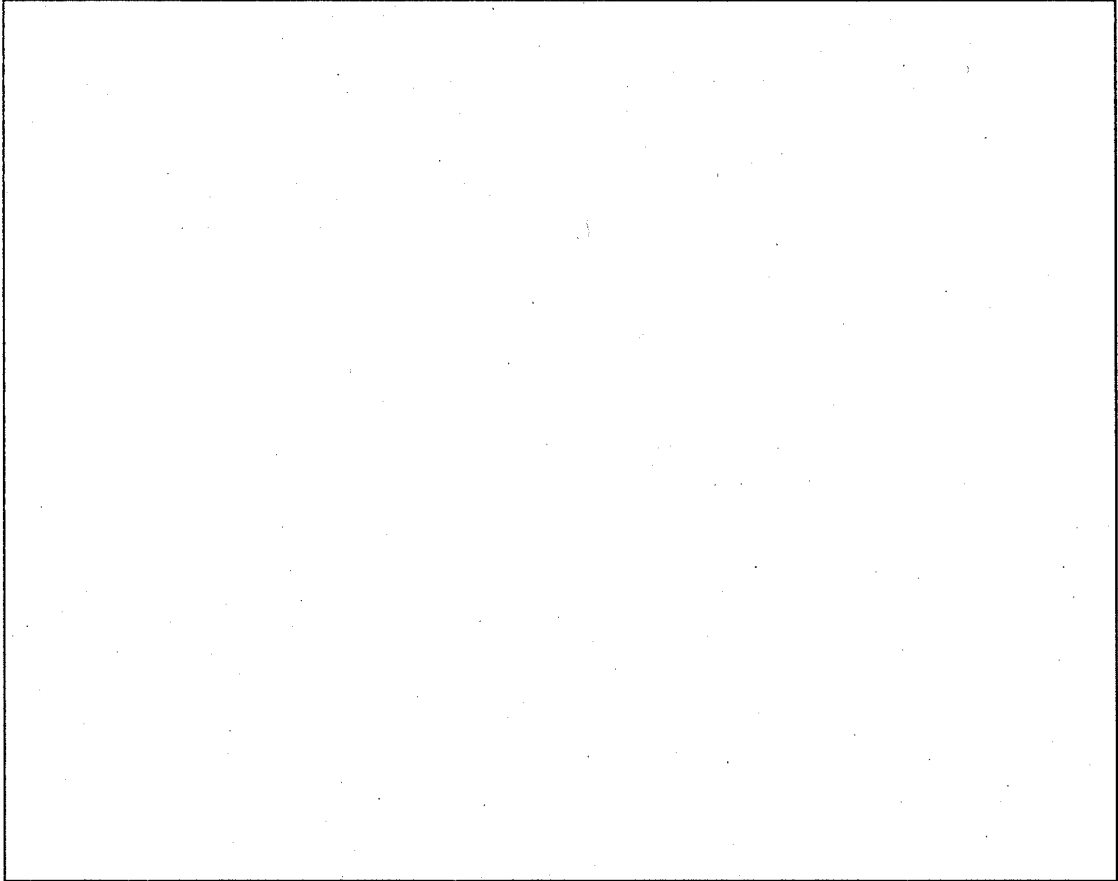
$$H = \square$$

となり、これらを代入して求めると、

$$F_{(A+B+C)S} = \square$$

となる。

したがって、面 B 及び面 C から周囲空気面 S への形態係数 F_{BS} 及び F_{CS} は、各面の面積を各々 A_A 、 A_B 、 A_C 及び A_S とすると(3-10)式を以下のように整理して求めることができる。



(ロ) - 第 B. 35 図 フィンと周囲空気面との詳細図

$$F_{BS} = \frac{A_A + A_B}{A_B} \cdot F_{(A+B)S} - \frac{A_A}{A_B} \cdot F_{AS}$$

$$= \boxed{\phantom{\text{expression}}}$$

$$= \boxed{\phantom{\text{expression}}}$$

$$F_{CS} = \frac{A_A + A_B + A_C}{A_C} \cdot F_{(A+B+C)S} - \frac{A_A + A_B}{A_C} \cdot F_{(A+B)S}$$

$$= \boxed{\phantom{\text{expression}}}$$

$$= \boxed{\phantom{\text{expression}}}$$

ゆえに、面 A から周囲空気面 S への形状係数 \mathcal{F}_{AS} は(3-6)式から次のようになる。

$$\mathcal{F}_{AS} = \frac{\boxed{\phantom{\text{expression}}}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-14)$$

面 B から周囲空気面 S への形状係数 \mathcal{F}_{BS} 及び面 C から周囲空気面 S への形状係数 \mathcal{F}_{CS} も同様にして(3-6)式から次のようになる。

$$\mathcal{F}_{BS} = \frac{\boxed{\phantom{\text{expression}}}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-15)$$

$$\mathcal{F}_{CS} = \frac{\boxed{\phantom{\text{expression}}}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3-16)$$

(3-14)式～(3-16)式において、各面での輻射率は(口)ー第 B. 5 表からステンレス鋼面で $\varepsilon_1 = 0.15$ 、また(口)ー第 B. 12 表から周囲輻射率 $\varepsilon_2 = 1.0$ であるから形状係数は

$$\mathcal{F}_{AS} = \boxed{\phantom{\text{value}}}$$

$$\mathcal{F}_{BS} = \boxed{\phantom{\text{value}}}$$

$$\mathcal{F}_{CS} = \boxed{\phantom{\text{value}}}$$

となる。これらの値を TRUMP コードの入力データとして使用する。

(3) 蓋部

蓋部においては、蓋外面、近接防止枠(穴あき板、開孔率 \square)及び周囲空気面との関係を(口) - 第 B. 36 図に近似する。この形状での形態係数は以下のように求められ、その値を(3-6)式に代入することにより形状係数を求める。

なお、近接防止枠の開孔率 \square とは、面積換算で \square の面積の孔があいていることである。したがって、同図では周囲空気面を円板の \square の面積に等価な円に置き換えている。

a. 蓋外面から周囲空気面への形状係数

蓋外面から周囲空気面への形態係数は、相対する二平行円板の値を求める式⁽¹⁴⁾から求める。

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{12} = \frac{1}{2} \left[X - \sqrt{X^2 - 4 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right] \\ X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} \\ R_1 = \frac{r_1}{h} \\ R_2 = \frac{r_2}{h} \end{array} \right. \quad (3-17)$$

ここで各記号は(口) - 第 B. 37 図に示す。

蓋の近接防止枠の内径 D_1 は \square 、長さ h は \square であるのでその半径 r_1 は

$$r_1 = \frac{D_1}{2} = \square$$

となる。近接防止枠(穴あき板)は開孔率 \square の穴あき板を使用しているので、板の表面積の \square を占める穴(空気面)を(口) - 第 B. 37 図のように円板とするとその半径 r_2 は、次のようになる。

$$A = \pi \cdot r_1^2 \times \square = \pi \cdot r_2^2$$

$$r_2 = \boxed{} \times r_1$$

$$r_2 = \boxed{} \cdot \frac{D_1}{2} = \boxed{}$$

$$R_1 = \frac{r_1}{h} = \boxed{}$$

$$R_2 = \frac{r_2}{h} = \boxed{}$$

$$X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} = \boxed{}$$

となり、

$$F_{12} = \boxed{}$$

となる。

したがって、この面での形状係数 \mathcal{F}_{12} は、(口) - 第 B. 5 表からステンレス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1 = 0.15$ 、また (口) - 第 B. 12 表から周囲輻射率 $\varepsilon_2 = 1.0$ であるから (3-6) 式により、

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{F_{12}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。この値は、TRUMP コードの入力データとしている。

b. 蓋外面から近接防止枠への形状係数

蓋外面から近接防止枠への形態係数 F_{13} は、次式より求め、(3-6) 式に代入して形状係数を求める。

$$F_{13} = F_{1(2+3)} - F_{12}$$

$F_{1(2+3)}$ は、(3-17) 式において、 $r_2 = r_1 = \boxed{}$ の場合の値である。

したがって、

$$R_1 = R_2 = \boxed{}$$

$$X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} = \boxed{}$$

となり

$$F_{1(2+3)} = \boxed{}$$

となる。ゆえに F_{13} は、

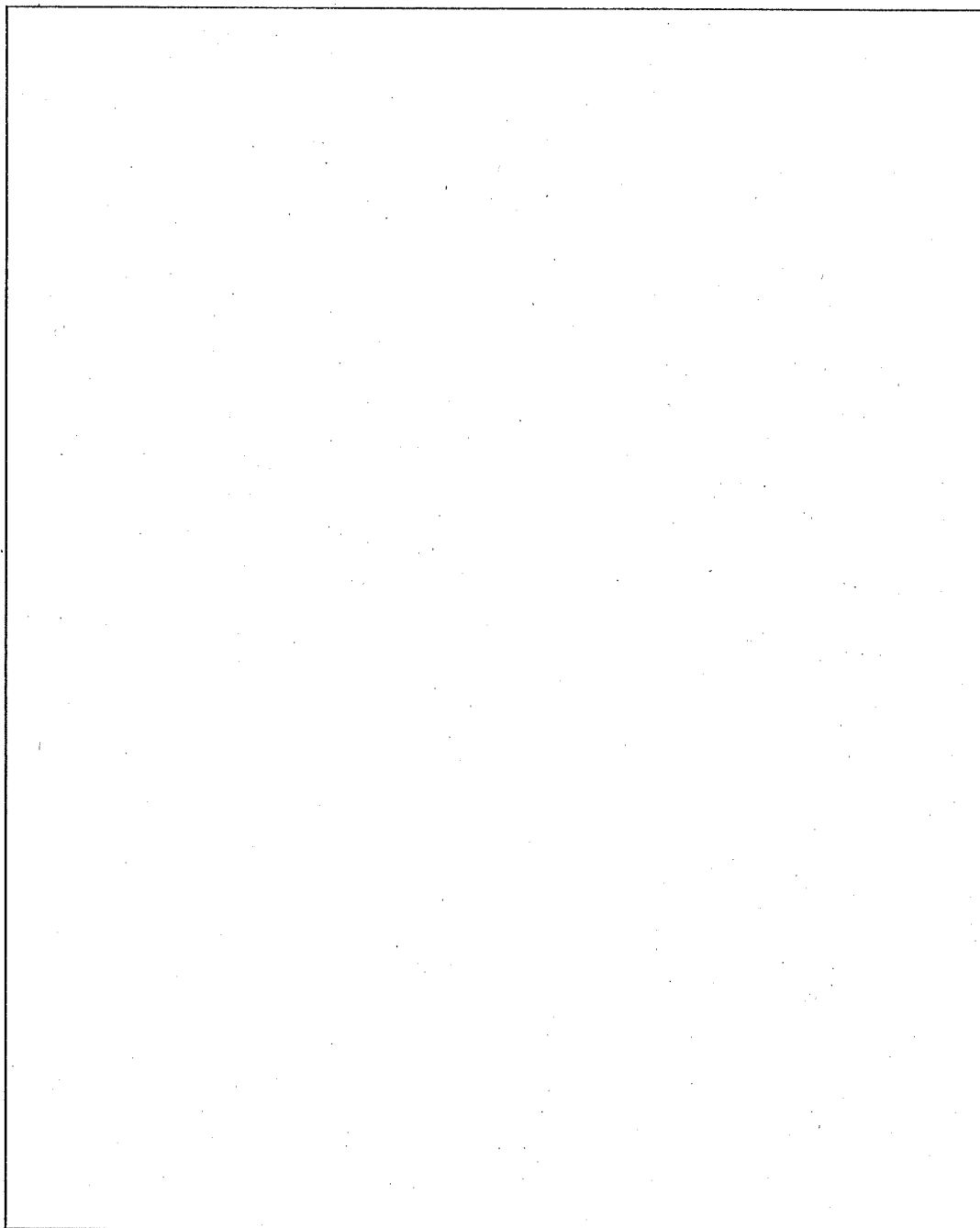
$$F_{13} = \boxed{}$$

となる。

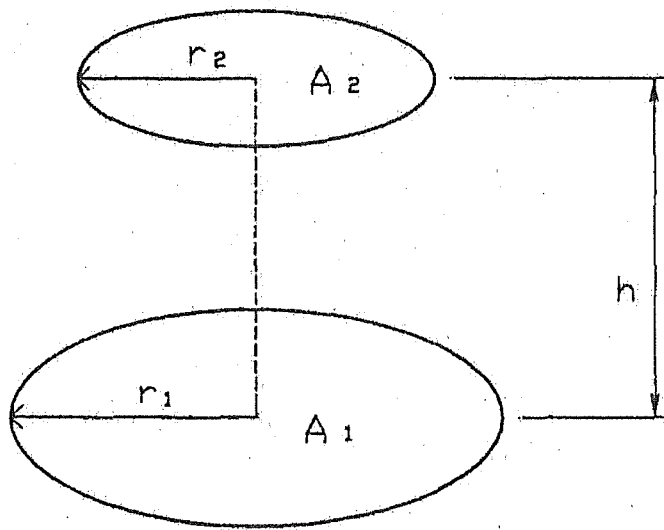
したがって、蓋外面、近接防止枠は、ステンレス鋼であるので (ロ) - 第 B.5 表から輻射率 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.15$ を (3-6) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{13} &= \frac{F_{13}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

となる。この値を TRUMP コードの入力データとして使用する。



(ロ) - 第 B. 36 図 - 蓋外面と近接防止枠(穴あき板)の近似モデル



(口) - 第 B. 37 図 相對する二平行円板

3. 太陽輻射熱

通常輸送時において、太陽輻射熱を受ける輸送容器の外面は、(ロ) - 第 B. 29 図に示しているように、近接防止枠の付いた緩衝体、フィン、胴側面(フィン部)及び蓋である。太陽輻射熱については、(ロ) - 第 B. 12 表、(ロ) - 第 B. 13 表に基づき以下に示すような評価を行い、解析モデルの外面に応じた受熱量 q として与えている。ここでこれらの外面は、熱吸収率 0.15、形態係数は 1.0 である。なお、蓋外面の形態係数は、近接防止枠(穴あき板)を考慮して前項の(3)の a. で求めた形態係数 を使用する。また、太陽光線の当たる面と当たらない面も考慮して 1/2 を乗じる。

(1) 上部緩衝体(近接防止枠を含む。)の上面(水平平面)

$$q = \text{$$

(2) 下部緩衝体の上面、上部緩衝体の下面(水平平面)

$$q = \text{$$

(3) 蓋外面(水平平面)

$$q = \text{$$

(4) 上・下部緩衝体(近接防止枠を含む。)の側面及び胴側面(曲面)

$$q = \text{$$

(5) フィン(水平にならない平面)

$$q = \text{$$

(6) 下部緩衝体の下面(底面)

$$q = \text{$$

これらの値は TRUMP コードの入力データとしている。

B. 6. 4 一般の試験条件における輸送物外部熱伝達についての詳細

輸送容器外面と周囲環境との伝熱は、自然対流と輻射により行われる。したがって、以下に自然対流の熱伝達係数と輻射で重要な形状係数について記述する。

なお、フィンの伝熱面積としては、B. 6. 3 項と同様に切欠部の面積を除いた値を用いる。

1. 自然対流の熱伝達係数

自然対流の熱伝達係数は、各位置に応じた適用式を使用する。すなわち、フィン、緩衝体(側面)及び近接防止柵(側板)に対しては、水平円筒の自然対流式⁽¹⁵⁾を用いる。

$$\begin{cases} \text{Nu} = 0.52 \times \text{Ra}^{1/4} & (10^4 \leq \text{Ra} < 10^8) \\ \text{Nu} = 0.126 \times \text{Ra}^{1/3} & (10^8 \leq \text{Ra}) \end{cases} \quad (4-1)$$

蓋、上部緩衝体(上面及び下面)、近接防止柵(穴あき板)、下部緩衝体(上面及び下面)、下部緩衝体底板(下部フィン含む。)及び胴外面(底面)に対しては、垂直平板の自然対流式⁽¹³⁾を用いる。

$$\begin{cases} \text{Nu} = 0.555 \times \text{Ra}^{1/4} & (10^4 < \text{Ra} < 10^8) \\ \text{Nu} = 0.129 \times \text{Ra}^{1/3} & (10^8 < \text{Ra} < 10^{12}) \end{cases} \quad (4-2)$$

ここで、

$$\text{Nu} = \frac{H \cdot D}{k} \quad \text{ヌッセルト数} \quad (4-3)$$

$$\text{Ra} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2} \cdot \text{Pr} \quad \text{レイリー数} \quad (4-4)$$

である。また、

H	:	熱伝達係数	(W/(m ² ·K))
D	:	代表長さ	(m)
g	:	重力加速度	(m/s ²)
k	:	流体の熱伝導率	(W/(m·K))
β	:	流体の体膨張係数	(1/K)
Δt	:	流体との温度差	(K)
Pr	:	流体のプラントル数	(-)
ν	:	流体の動粘度	(m ² /s)

である。

いま、空気の温度を□としてレイリー数 Ra を(4-4)式により求める。

$$\text{Ra} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2} \cdot \text{Pr}$$

$$g = 9.8 \quad (\text{ m/s}^2)$$

β : の空気の体膨張係数

$$= \text{$$

$$= \text{$$

(1/K)

ν : の空気の動粘度

$$= \text{$$

(m^2/s)

Pr : の空気のプラントル数

$$= \text{$$

(-)

を代入すると、

$$\text{Ra} = \text{$$

$$\text{Ra} = \text{$$

となる。

したがって、上式に各位置に応じた代表長さ D を代入し、各位置に用いる自然対流式を判定し、(4-3)式から各位置での熱伝達係数を求める。

フィン、近接防止枠(側板)及び緩衝体(側面)についての熱伝達係数を求める。

代表長さ D を とすると、レイリー数 Ra は、

$$\text{Ra} = \text{$$

$$= \text{$$

となる。ゆえに、ヌッセルト数 Nu は、(4-1)式から、

$$\text{Nu} = \text{$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

となり、したがって、熱伝達係数 H は、(4-3)式から

$$H = \frac{\text{Nu} \cdot k}{D}$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

ここで、 k : の空気の熱伝導率

$$= \text{$$

($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)

となる。

他の温度についても同様にして求め、(口) - 第 B.29 表に示す。

蓋、上部緩衝体(上面及び下面)、近接防止枠(穴あき板)、下部緩衝体(上面及び下面)、下部緩衝体底板(下部フィン含む。)及び胴外面(底面)における熱伝達係数について、代表長さ D を として同様にして求め、(口) - 第 B. 30 表に示す。以上これらの値を TRUMP コードの入力データとしている。

(口) - 第 B. 29 表 水平円筒における熱伝達係数

温 度 (°C)	熱伝達係数 (W/(m ² ·K))
0	
60	
100	
200	
400	
600	
800	

(口) - 第 B. 30 表 垂直平板における熱伝達係数

温 度 (°C)	熱伝達係数 (W/(m ² ·K))
0	
60	
100	
200	
400	
600	
800	

2. 輻射伝熱形状係数

輻射伝熱形状係数は、B. 6. 3 の 2 項と同様の方法にて求める。次に示す各部に応じた形状係数を求める。

- (1) 形態係数を 1 とした部分
- (2) フィン部
- (3) 蓋部
- (4) 底部

(1) 形態係数が 1 の部分での形状係数

形態係数を 1 とした部分は、(ロ) - 第 B. 38 図に示すとおりである。すなわち、近接防止枠(穴あき板及び側板)の付いた上部緩衝体及び下部緩衝体の全表面及びフィン先端の表面の形態係数が 1 である。この形状係数は、(ロ) - 第 B. 5 表からステンス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1 = 0.15$ 、また (ロ) - 第 B. 3 表から周囲の輻射率を $\varepsilon_2 = 1.0$ であるから(3-6)式により、

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{12} &= \frac{F_{12}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0.15} + \frac{1}{1.0} - 1} \\ &= 0.15 \end{aligned}$$

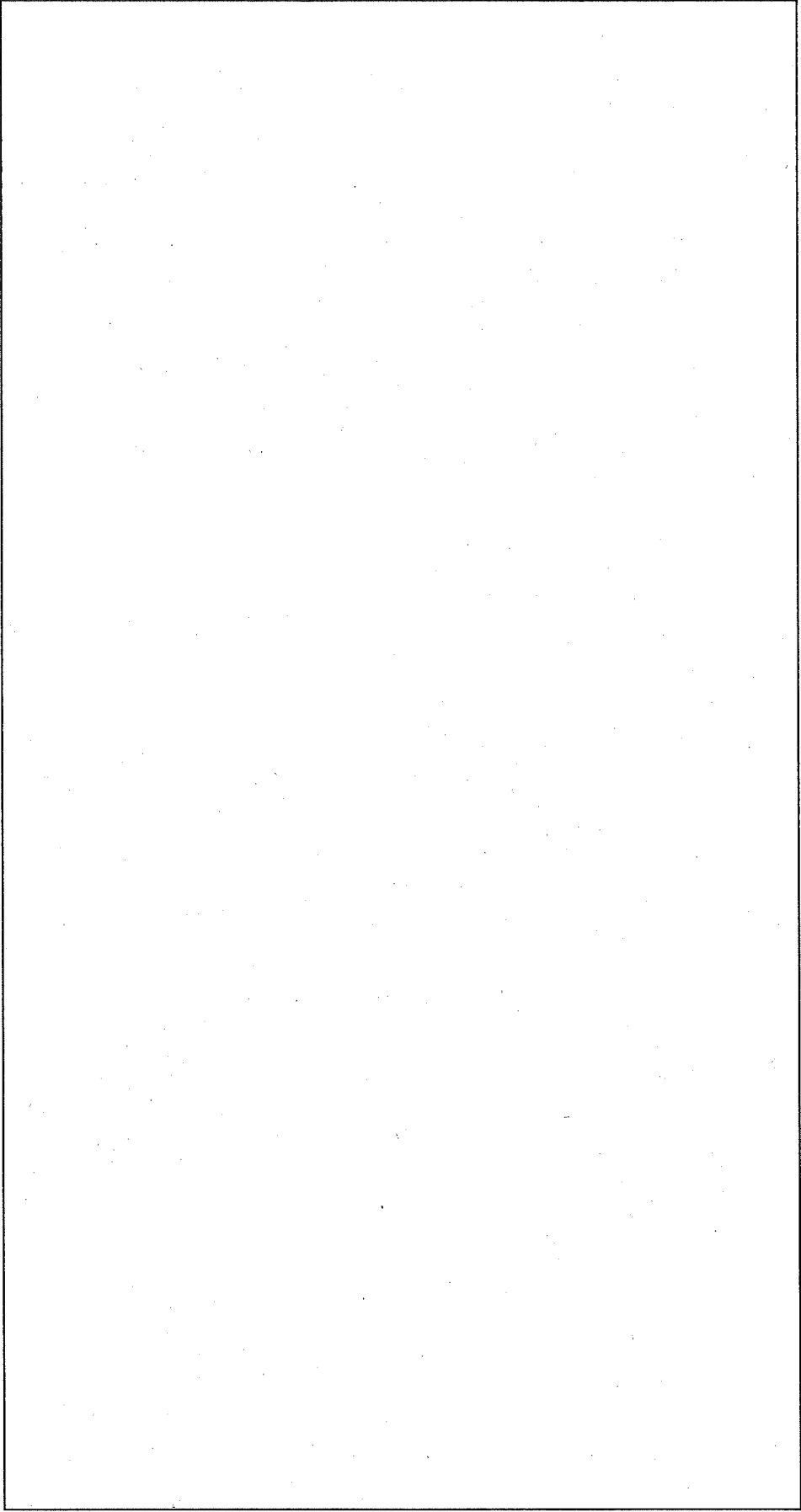
となる。この値を TRUMP コードへの入力データとして使用する。

(2) フィン部の形状係数

フィン部の形状係数は、フィン部形状が通常輸送時と同じであるため、通常輸送時で求めた値を使用する。

(3) 蓋部の形状係数

蓋部の形状係数は、蓋部形状が通常輸送時と同じであるため、通常輸送時で求めた値を使用する。



(口) - 第 B. 38 図 形態係数を 1 とした輸送容器表面の詳細 (一般の試験条件)

(4) 底部の形状係数

底部(口) - 第 B. 38 図参照)においては、B. 6. 3 の 2 項の(3)蓋部の形状係数で記述した方法と同様の方法にて求める。

a. 底部外面(下部緩衝体底板及び輸送容器底部外面)から周囲空気面への形状係数

底部外面から周囲空気面への形態係数は(3-17)式から求める。

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{12} = \frac{1}{2} \left[X - \sqrt{X^2 - 4 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right] \\ X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} \\ R_1 = \frac{r_1}{h} \\ R_2 = \frac{r_2}{h} \end{array} \right. \quad (3-17)$$

底部の近接防止枠の内径 D_1 は 、長さ h は であるので、

$$r_1 = \frac{D_1}{2} = \text{$$

$$r_2 = \frac{\sqrt{\text{} D_1}}{2} = \text{$$

$$R_1 = \frac{r_1}{h} = \text{$$

$$R_2 = \frac{r_2}{h} = \text{$$

$$X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} = \text{$$

となり、

$$F_{12} = \text{$$

となる。

したがって、この面での形状係数 F_{12} は、(口) - 第 B. 5 表からステンレス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1 = 0.15$ 、また、(口) - 第 B. 19 表から周囲輻射率 $\varepsilon_2 = 1.0$ であるから、(3-6)式から、

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{F_{12}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$=$$
$$=$$

となる。この値を TRUMP コードの入力データとしている。

b. 底部外面から近接防止枠への形状係数

底部外面から近接防止枠への形態係数 F_{13} は次式から求め、(3-6)式に代入して形状係数を求める。

$$F_{13} = F_{1(2+3)} - F_{12}$$

$F_{1(2+3)}$ は(3-17)式において $r_2 = r_1 =$ の場合の値である。したがって、

$$R_1 = R_2 =$$

$$X = 1 + \frac{1 + R_2^2}{R_1^2} =$$

となり、

$$F_{1(2+3)} =$$

となる。ゆえに F_{13} は、

$$F_{13} =$$

となる。

したがって、底部外面、近接防止枠はステンレス鋼であるので、(口) - 第 B.5 表から輻射率 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.15$ を(3-6)式に代入すると、

$$\mathcal{F}_{13} = \frac{F_{13}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$=$$
$$=$$

となる。この値を TRUMP コードの入力データとしている。

3. 太陽輻射熱

一般の試験条件において太陽輻射熱を受ける輸送容器の外面は、(ロ) - 第 B. 38 図に示しているように、近接防止枠の付いた緩衝体、フィン、胴側面(フィン部)、蓋外面及び底部外面である。

太陽輻射熱については、(ロ) - 第 B. 13 表、(ロ) - 第 B. 14 表に基づき以下に示すような評価を行い、解析モデルの外面に応じた受熱量 q として与えている。ここでこれらの外面は、熱吸収率 0.15、形態係数は 1.0 である。なお、蓋外面及び底部外面の形態係数は、近接防止枠(穴あき板)を考慮して各々の形態係数 及び を使用する。また、太陽光線の当たる面と当たらない面も考慮して 1/2 を乗じる。

- (1) 近接防止枠(穴あき板)及び緩衝体上面並びに下面(水平にならない平面)

$$q =$$

- (2) 蓋外面(水平にならない平面)

$$q =$$

- (3) 底部外面(水平にならない平面)

$$q =$$

- (4) 近接防止枠側板を含む緩衝体の側面及び胴側面(曲面)

$$q =$$

- (5) フィン(水平にならない平面)

$$q =$$

これらの値は、TRUMP コードの入力データとしている。

B. 6.5 特別の試験条件における輸送物外部熱伝達

輸送容器外面と周囲環境との伝熱は、自然対流と輻射により行われる。したがって、以下に自然対流の熱伝達係数と輻射で重要な形状係数について記述する。なお、フィンの伝熱面積としては、B. 6. 3 と同様に切欠部の面積を除いた値を用いる。

1. 自然対流の熱伝達係数

自然対流の熱伝達係数は、各位置に応じた適用式を使用する。すなわち、フィン、胴外面(側面)及び緩衝体(側面)に対しては、水平円筒の自然対流式⁽¹⁵⁾を用いる。

$$\left[\begin{array}{l} \text{Nu} = 0.52 \times \text{Ra}^{1/4} \quad (10^4 \leq \text{Ra} < 10^8) \\ \text{Nu} = 0.126 \times \text{Ra}^{1/3} \quad (10^8 \leq \text{Ra}) \end{array} \right. \quad (5-1)$$

蓋、上部緩衝体(上面及び下面)、下部緩衝体(上面及び下面)、下部緩衝体底板及び胴外面(底面)に対しては、垂直平板の自然対流式⁽¹³⁾を用いる。

$$\left[\begin{array}{l} \text{Nu} = 0.555 \times \text{Ra}^{1/4} \quad (10^4 < \text{Ra} < 10^8) \\ \text{Nu} = 0.129 \times \text{Ra}^{1/3} \quad (10^8 < \text{Ra} < 10^{12}) \end{array} \right. \quad (5-2)$$

ここで、

$$\text{Nu} = \frac{H \cdot D}{k} \quad \text{ヌッセルト数} \quad (5-3)$$

$$\text{Ra} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2} \cdot \text{Pr} \quad \text{レイリー数} \quad (5-4)$$

である。また、

H	: 熱伝達係数	(W/(m ² ·K))
D	: 代表長さ	(m)
g	: 重力加速度	(m/s ²)
k	: 流体の熱伝導率	(W/(m·K))
β	: 流体の体膨張係数	(1/K)
Δt	: 流体との温度差	(K)
Pr	: 流体のプラントル数	(-)
ν	: 流体の動粘度	(m ² /s)

である。

いま、空気の温度を 800℃としてレイリー数 Ra を(5-4)式から求める。

$$\text{Ra} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2} \cdot \text{Pr}$$

$$g = 9.8 \quad (\text{ m/s}^2)$$

β : 800 °Cの空気の体膨張係数

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{800 + 273} \\ &= 0.00093 \quad (\text{1/K}) \end{aligned}$$

ν : 800 °Cの空気の動粘度

$$= 1.37 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

Pr : 800 °Cの空気のプラントル数

$$= 0.71 \quad (\text{---})$$

を代入すると、

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{9.8 \times 0.00093 \times \Delta t \cdot D^3}{(1.37 \times 10^{-4})^2} \times 0.71 \\ &= 3.45 \times 10^5 \times \Delta t \cdot D^3 \end{aligned}$$

となる。

したがって、上式に各位置に応じた代表長さ D を代入し、各位置に用いる自然対流式を判定し、(5-3)式から各位置での熱伝達係数を求める。

フィン、胴外面(側面)及び緩衝体(側面)についての熱伝達係数を求める。

代表長さ D を とするとレイリー数 Ra は、

$$\begin{aligned} Ra &= \text{} \\ &= \text{} \end{aligned}$$

となる。ゆえにヌッセルト数 Nu は、(5-1)式から

$$\begin{aligned} Nu &= \text{} \\ &= \text{} \\ &= \text{} \end{aligned}$$

となり、したがって、熱伝達係数 H は(5-3)式から

$$\begin{aligned} H &= \frac{Nu \cdot k}{D} \\ &= \text{} \\ &= \text{} \quad (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})) \end{aligned}$$

ここで k : 800 °Cの空気の熱伝導率

$$= 0.0709 \quad (\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$$

となる。

他の温度についても同様にして求め、(ロ) - 第 B. 31 表に示す。蓋、上部緩衝体(上面・下面)、下部緩衝体(上面・下面)、下部緩衝体底板及び胴外面(底面)における熱伝達係数について代表長さ D を として同様に求める。

火災時、火災後でレイリー数 Ra の適用範囲が異なるため、各々の熱伝達係数を (ロ) 一第 B.32 表に示す。これらの値は、TRUMP コードの入力データとしている。

(ロ) 一第 B.31 表 水平円筒における熱伝達係数

温 度 (°C)	熱伝達係数 (W/(m ² ·K))
0	
60	
100	
200	
400	
600	
800	

(ロ) 一第 B.32 表 垂直平板における熱伝達係数

温 度 (°C)	熱 伝 達 係 数 (W/(m ² ·K))	
	火 災 後	火 災 時
0		
60		
100		
200		
400		
600		
800		

2. 輻射伝熱形状係数

輻射伝熱形状係数は、B. 6. 3 の 2 項と同様の方法にて求める。次に示す各部に応じた形状係数を求める。

(1) 形態係数を 1 とした部分

(2) フィン部

(1) 形態係数が 1 の部分での形状係数

形態係数を 1 とした部分は、(口) - 第 B. 39 図に示すとおりである。すなわち、蓋外面、胴外面(側面及び底面)、上部及び下部緩衝体の全表面並びにフィン先端の表面の形態係数が 1 である。この形状係数は、火災時において(口) - 第 B. 19 表からステンレス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1 = 0.8$ 、周囲輻射率 $\varepsilon_2 = 0.9$ であるから、(3-6)式から、

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{12} &= \frac{F_{12}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0.8} + \frac{1}{0.9} - 1} \\ &= 0.735 \end{aligned}$$

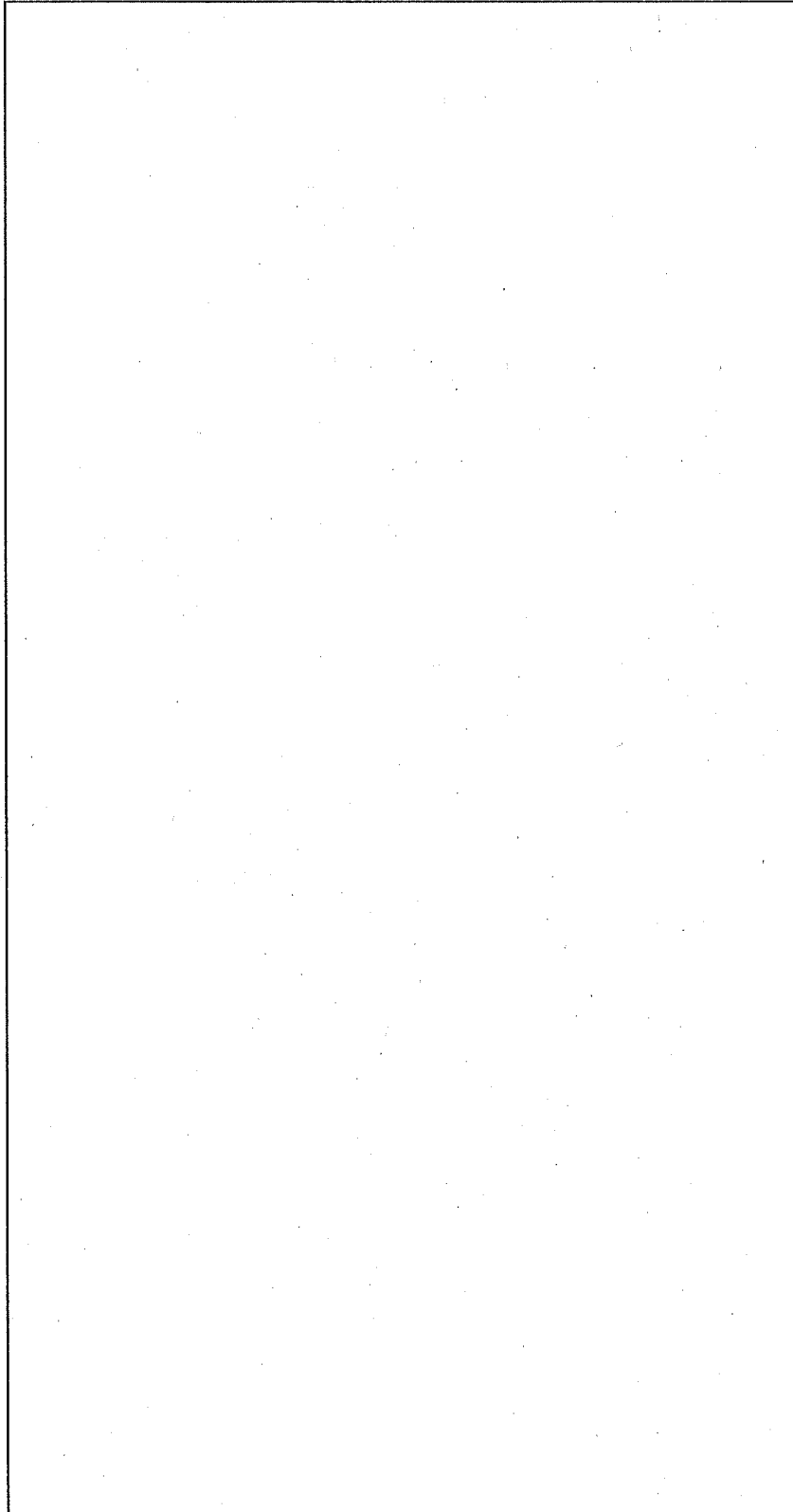
となる。また、火災後において形状係数は、(口) - 第 B. 19 表からステンレス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1 = 0.55$ 、周囲輻射率 $\varepsilon_2 = 1.0$ であるから、同様に

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{12} &= \frac{1}{\frac{1}{0.55} + \frac{1}{1.0} - 1} \\ &= 0.55 \end{aligned}$$

となる。これらの値を TRUMP コードの入力データとしている。

(2) フィン部の形状係数

フィン部形状は(口) - 第 B. 30 図(通常輸送時)に示すとおりであるため、フィン部の形状係数は、このとき求めた形態係数を用いて、各面での火災時、火災後の輻射率を代入して求める。火災時において(口) - 第 B. 19 表からステンレス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1 = 0.8$ 、周囲輻射率 $\varepsilon_2 = 0.9$ である。また、火災後において、同表からステンレス鋼面で輻射率 $\varepsilon_1 = 0.55$ 、周囲輻射率 $\varepsilon_2 = 1.0$ である。



(ロ) ー第 B.39 図 形態係数を 1 とした輸送容器表面の詳細 (特別の試験条件)

a. フィンに囲まれた容器本体外面での形状係数

火災時における形状係数は(3-8)式に $\varepsilon_1=0.8$ 、 $\varepsilon_2=0.9$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{DS} = \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。火災後における形状係数は、(3-8)式に $\varepsilon_1=0.55$ 、 $\varepsilon_2=1.0$ を代入して

$$\mathcal{F}_{DS} = \boxed{}$$

となる。

b. フィンから容器本体外面への形状係数

b.1 面 C から容器本体外面 D への形状係数 \mathcal{F}_{CD}

火災時における形状係数 \mathcal{F}_{CD} は、(3-11)式に $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.8$ を代入して

$$\mathcal{F}_{CD} = \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。火災後における形状係数 \mathcal{F}_{CD} は、(3-11)式に $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.55$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{CD} = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

b.2 面 B から容器本体外面 D への形状係数 \mathcal{F}_{BD}

火災時における形状係数 \mathcal{F}_{BD} は、(3-12)式に $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.8$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{BD} = \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。火災後における形状係数 \mathcal{F}_{BD} は、(3-12)式に $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.55$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{BD} = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

b.3 面 A から容器本体外面 D への形状係数 \mathcal{F}_{AD}

火災時における形状係数 \mathcal{F}_{AD} は、(3-13)式に $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.8$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{AD} = \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。火災後における形状係数 \mathcal{F}_{AD} は、(3-13)式に $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.55$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{AD} = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

以上、これらの値を TRUMP コードの入力データとしている。

c. フィンから周囲空気面への形状係数

c.1 面 A から周囲空気面 S への形状係数 \mathcal{F}_{AS}

火災時における形状係数 \mathcal{F}_{AS} は、(3-14)式に $\varepsilon_1=0.8$ 、 $\varepsilon_2=0.9$ を代入して、

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{AS} &= \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

となる。火災後における形状係数 \mathcal{F}_{AS} は、(3-14)式に $\varepsilon_1=0.55$ 、 $\varepsilon_2=1.0$ を代入して、

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{AS} &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

となる。

c.2 面 B から周囲空気面 S への形状係数 \mathcal{F}_{BS}

火災時における形状係数 \mathcal{F}_{BS} は、(3-15)式に $\varepsilon_1=0.8$ 、 $\varepsilon_2=0.9$ を代入して

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{BS} &= \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

となる。火災後における形状係数 \mathcal{F}_{BS} は、(3-15)式に $\varepsilon_1=0.55$ 、 $\varepsilon_2=1.0$ を代入して、

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{BS} &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

となる。

c.3 Cから周囲空気面Sへの形状係数 \mathcal{F}_{cs}

火災時における形状係数 \mathcal{F}_{cs} は、(3-16)式に $\varepsilon_1=0.8$ 、 $\varepsilon_2=0.9$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{cs} = \frac{\boxed{}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。火災後における形状係数 \mathcal{F}_{cs} は、(3-16)式に $\varepsilon_1=0.55$ 、 $\varepsilon_2=1.0$ を代入して、

$$\mathcal{F}_{cs} = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

となる。

以上、これらの値を TRUMP コードの入力データとしている。

3. 太陽輻射熱

3.1 火災時の太陽輻射熱

特別の試験条件において、太陽輻射熱を受ける輸送容器の外面は、(口) - 第 B.39 図に示しているように、蓋外面、胴外面(底部)、緩衝体、フィン及び胴側面である。

太陽輻射熱については、(口) - 第 B.13 表、(口) - 第 B.19 表に基づき以下に示すような評価を行い、解析モデルの外面に応じた受熱量 q として与えている。ここで、これらの外面の形態係数は 1.0 であり、解析上安全側に外面の熱吸収率を 1.0 とし、太陽光線の当たる面と当たらない面も考慮して 1/2 を乗じる。

(1) 蓋外面、胴外面(底面)及び緩衝体上面並びに下面 (水平にならない平面)

$$q = 200 \times 1.0 \times \frac{1}{2} = 100.0\text{W/m}^2 = 8.6\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$$

(2) 緩衝体側面および胴側面 (曲面)

$$q = 400 \times 1.0 \times \frac{1}{2} = 200.0\text{W/m}^2 = 17.2\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$$

(3) フィン (水平にならない平面)

$$q = 200 \times 1.0 \times \frac{1}{2} = 100.0\text{W/m}^2 = 8.6\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$$

3.2 火災後の太陽輻射熱

火災後の太陽輻射熱を受ける輸送容器の外面は、火災時と同様に（ロ）－第 B. 39 図に示す蓋外面、胴外面（底部）、緩衝体、フィン及び胴側面である。

太陽輻射熱については、（ロ）－第 B. 13 表、（ロ）－第 B. 19 表に基づき以下に示すような評価を行い、解析モデルの外面に応じた受熱量 q として与えている。ここで、これらの外面は、熱吸収率 0.55、形態係数は 1.0 であり、太陽光線の当たる面と当たらない面も考慮して 1/2 を乗じる。

(1) 蓋外面、胴外面（底面）及び緩衝体上面並びに下面（水平にならない平面）

$$q = 200 \times 0.55 \times \frac{1}{2} = 55.0 \text{ W/m}^2 = 4.73 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$$

(2) 緩衝体側面および胴側面（曲面）

$$q = 400 \times 0.55 \times \frac{1}{2} = 110.0 \text{ W/m}^2 = 9.46 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$$

(3) フィン（水平にならない平面）

$$q = 200 \times 0.55 \times \frac{1}{2} = 55.0 \text{ W/m}^2 = 4.73 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$$

これらの値は TRUMP コードの入力データとしている。

4. の炭化厚さ及び発熱量について

の炭化厚さについては、実験データ⁽¹⁶⁾に次のように記述されている。

「緩衝体としての 厚さの鋼板で被覆されていない を 1850 ° F (1010 ° C)、1 時間の耐火試験に供した場合、炭化しない部分の厚さは インチ である。〔炭化部分の厚さ 〕」

これに対して、輸送容器は、上記実験の火災時間の 1/2 (30 分) であり、温度も 800 ° C であるので、炭化厚さを上記実験結果の約 1/2 の とした。

また、炭化部分の発熱量は、木材の発熱量 の最大の とした。この発熱が火災時 30 分間に全て生じると仮定すると、単位体積、単位時間当たりの発熱量 G は、次の値となる。この値を TRUMP コードの入力データとしている。

$$\begin{aligned} G &= \frac{\text{[炭化部分の発熱量]} \times \text{[炭化厚さ]} \times \text{[炭化部分の体積]} \times \text{[炭化部分の密度]}}{\text{[炭化部分の体積]} \times \text{[炭化時間]}} \\ &= \frac{\text{[炭化部分の発熱量]} \times \text{[炭化厚さ]} \times \text{[炭化部分の密度]}}{\text{[炭化時間]}} \\ &= \frac{\text{[炭化部分の発熱量]} \times \text{[炭化厚さ]} \times \text{[炭化部分の密度]}}{\text{[炭化時間]} \times \text{[炭化部分の体積]}} \end{aligned}$$

(cal/(s·cm³))
(W/m³)

B 6.6 固縛金具温度評価

一般の試験条件(日陰における温度評価)において、崩壊熱量が最大の JMTR 標準燃料要素(LEU)を収納した輸送容器の温度(口)－第 B. 15 表、(口)－第 B. 16 表、(口)－第 B. 9 図及び(口)－第 B. 12 図)を用いて、固縛金具及び蓋吊上金具の温度を算出する。

固縛金具及び蓋吊上金具の温度は、熱解析コード TRUMP を用いて(口)－第 B. 40 図に示す金具外表面積が等価な三次元モデルを用いて表面温度を求める。

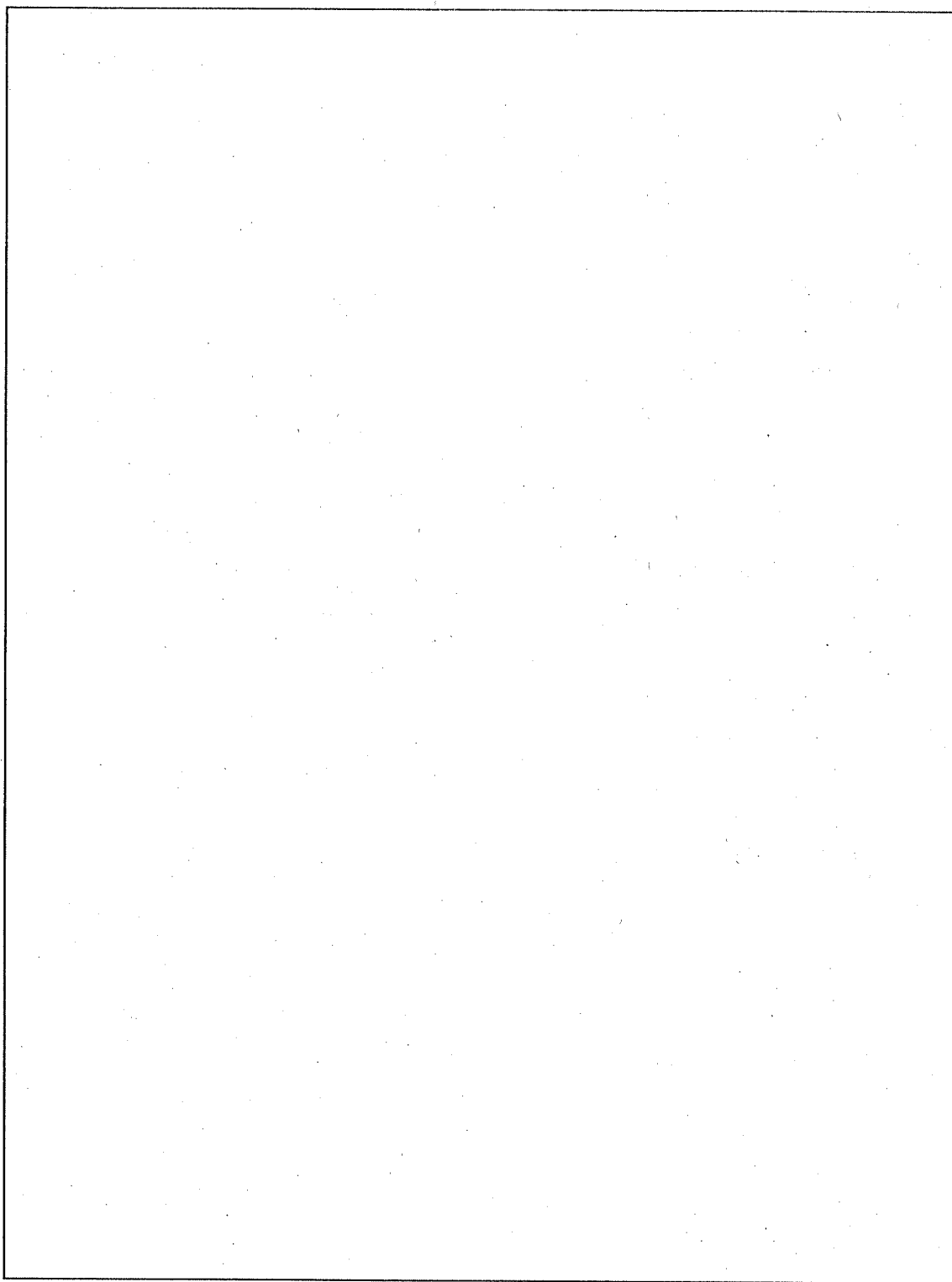
該当部の伝熱は、本体(又は蓋)から熱伝導により金具に伝わった熱が金具外表面から自然対流と輻射によって放熱されるとする。これらの熱伝達係数等は、輸送容器の本体温度解析モデルで用いた該当部の係数(B. 6. 3 及び B. 6. 4 項)を使用する。

通常輸送時における固縛金具の該当本体温度(T_B)は(口)－第 B. 9 図から□、蓋吊上金具の該当本体温度(T_B)は□である。このとき、熱解析コード TRUMP で求めた金具表面温度を(口)－第 B. 33 表に示す。

また、同様に、(口)－第 B. 12 図の金具の該当本体温度を用いて求めた一般の試験条件における金具表面温度を(口)－第 B. 33 表に示す。

(口)－第 B. 33 表 固縛金具及び蓋吊上金具温度

	通常輸送時	一般の試験条件
固縛金具		
蓋吊上金具		



(ロ) 一第 B.40 図 金具温度解析モデル

B.6.7 参考文献

- (1) "Structural Alloys Handbook", Vol.2, p.4-5, Battelles Columbus Laboratories, (1979).
- (2) L. B. Shappert, et al.: "Cask Designers Guide", ORNL-NSIC-68, p.133, (1970).
- (3) J. H. Perry: "Chemical Engineer's Handbook", McGraw-Hill Book Company, Inc., p.10-35, (1956).
- (4) 日本機械学会編: "伝熱工学資料"(第3版), 日本機械学会, p.113, 128, 131, 132, 262, 293, 294, (1975).
- (5) William H. McAdams: "Heat Transmission", McGraw-Hill Book Company, Inc., p.445, 461, 472, 475, (1954).
- (6) "Reactor Handbook" Vol. I, US AEC, p.484, (1960).
- (7) "Brooks & Perkins Inc. 資料", (1983).
- (8) E. R. G. Eckert: "Introduction to the Transfer of Heat and Mass", McGraw-Hill Book Company, Inc., p.270, (1950).
- (9) "木村化工機(構) 資料", (1979).
- (10) "放射性物質等の輸送に関する安全基準", 昭和50年, 原子力委員会.
- (11) 赤岡純編: "シール技術", 近代編集社, p.88-103, (1972).
- (12)
- (13) 化学工学協会編: "化学工学便覧"(第3版), 化学工学協会, 丸善(株), p.243-245, (1975).
- (14) R. Siegel: "Thermal Radiation Heat Transfer", McGraw-Hill Book Company, Inc., p.785-787.
- (15) M. Jakob: "Heat Transfer", John Wiley & Sons Inc., p.525, (1956).
- (16) "Proceedings of the International Symposium for Packaging and Transportation of Radioactive Materials", Sandia Corp. and US AEC, p.141-168, (1965).
- (17) J. M. Beeston, et al.: "Development and Irradiation Performance of Uranium Aluminide Fuels in Test Reactors", Nuclear Technology Vol.49, p.136-149, (1980).

C. 密 封 解 析

C. 密封解析

C.1 概要

本章では、一般の試験条件及び特別の試験条件における輸送容器の密封性について述べる。

輸送容器の密封性に関する部分を密封装置と考える。輸送容器は、それ自体が密封装置を構成し、特別な内容器等を使用していない。密封装置は、蓋内面、容器本体内面、ベント貫通孔、ドレン貫通孔、蓋と容器本体接合部、ベントプラグ及びドレン弁から構成される。密封境界における開口部は、全て二重に取り付けられたガスケットにより密封され、密封境界は、である。

密封装置は、製作完成時及び保守点検時に気密漏えい試験等により漏えい率が判定基準を満足することが確認され、二重ガスケット部は、輸送物の発送前に気密漏えい試験により漏えい率が判定基準を満足することが確認される。

収納物である燃料要素 30 体に発生した核分裂生成ガスのうち 0.1%が、輸送容器内の空気中に均一に分散するものとし、その空気が密封装置から気密漏えい試験の判定基準に相当する漏えい率で漏えいするものとして、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における放射性物質の漏えい率の評価を行う。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

輸送容器の密封装置について、構成、密封機構、材質、圧力、温度、封印及び検査の順に述べる。

1. 構成

輸送容器の蓋及び容器本体はステンレス鋼製の一体型構造であり、輸送容器自体が密封容器を構成しているため、特別な内容器等を使用していない。

輸送容器の密封境界を(ロ)－第C.1図に示す。

密封境界における開口部は、次のとおりである。


① 蓋と容器本体接合部

(密封境界：)

② ベントプラグ

(密封境界：)

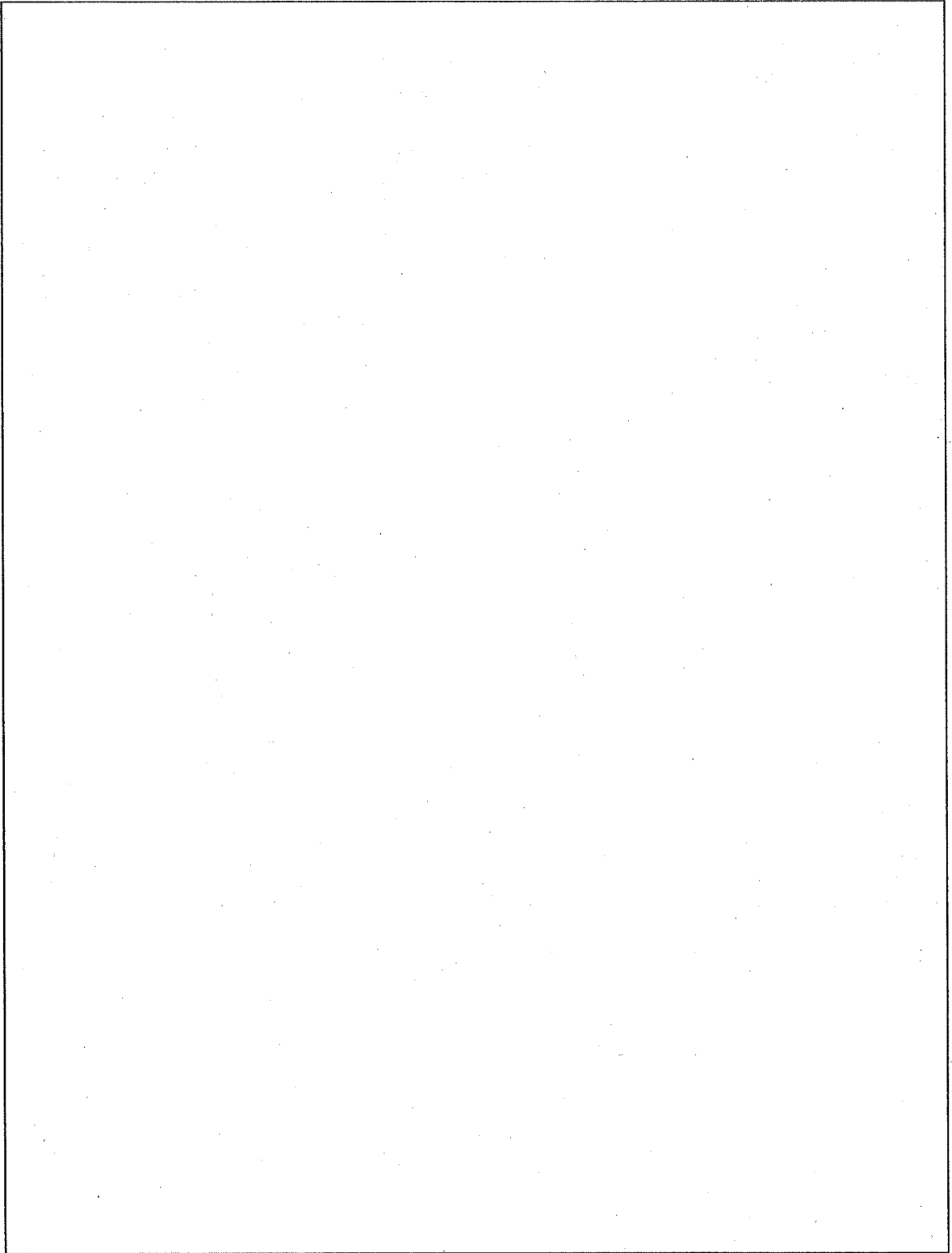
③ ドレン弁

(密封境界：)

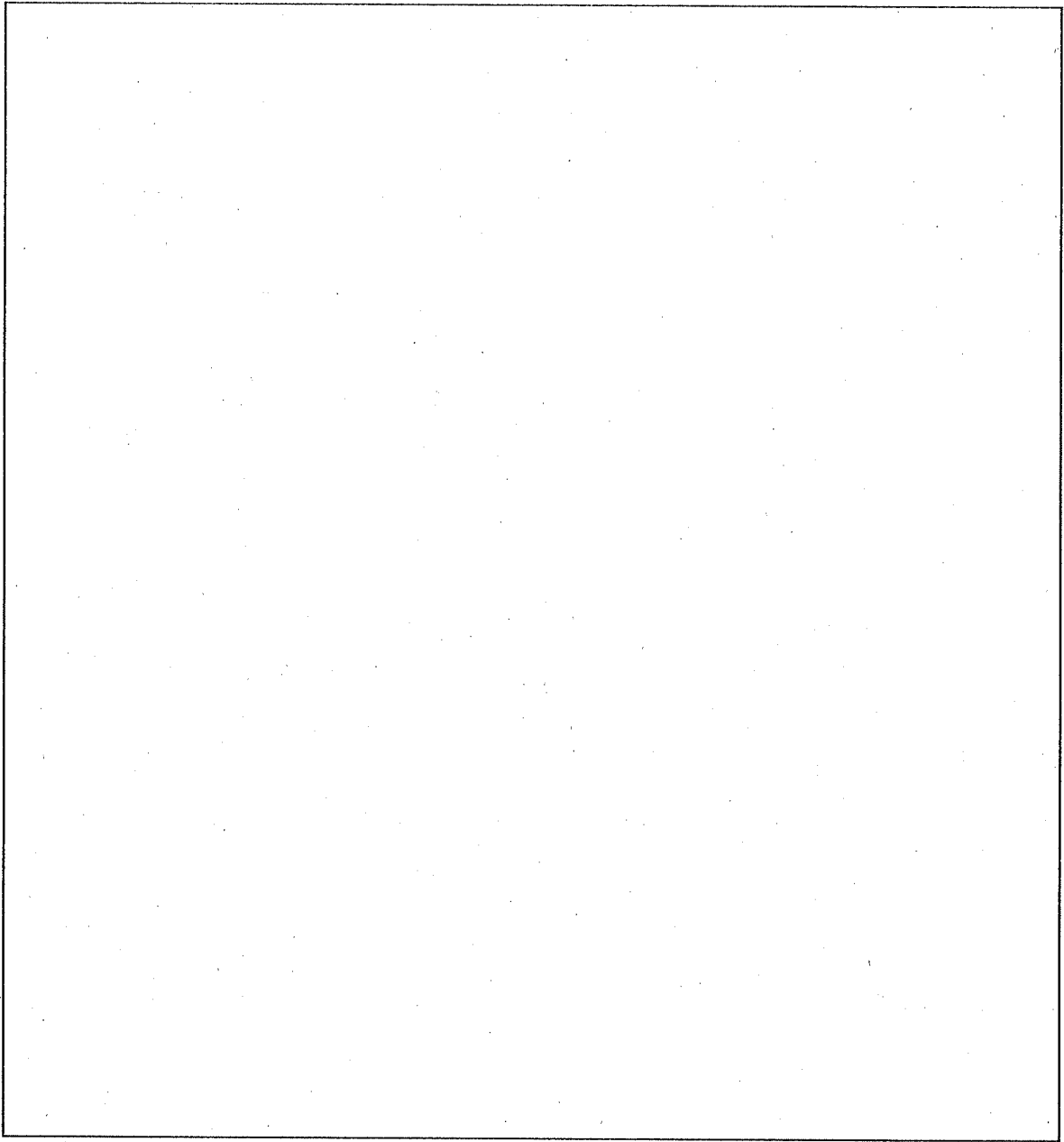
すなわち、密封装置は、蓋内面、容器本体内面、蓋と容器本体接合部、ベント貫通孔、ドレン貫通孔、ベントプラグ及びドレン弁から構成される。

このうち、蓋と容器本体接合部は、二重のOリングと気密漏えい試験孔から成る。気密漏えい試験孔は、Oリングを有する閉止プラグで閉じられる。((ロ)－第C.2図参照) また、ベントプラグはベントプラグ本体、Oリング、気密漏えい試験孔及びベントプラグ用閉止プラグ等から成る。((ロ)－第C.3図参照)

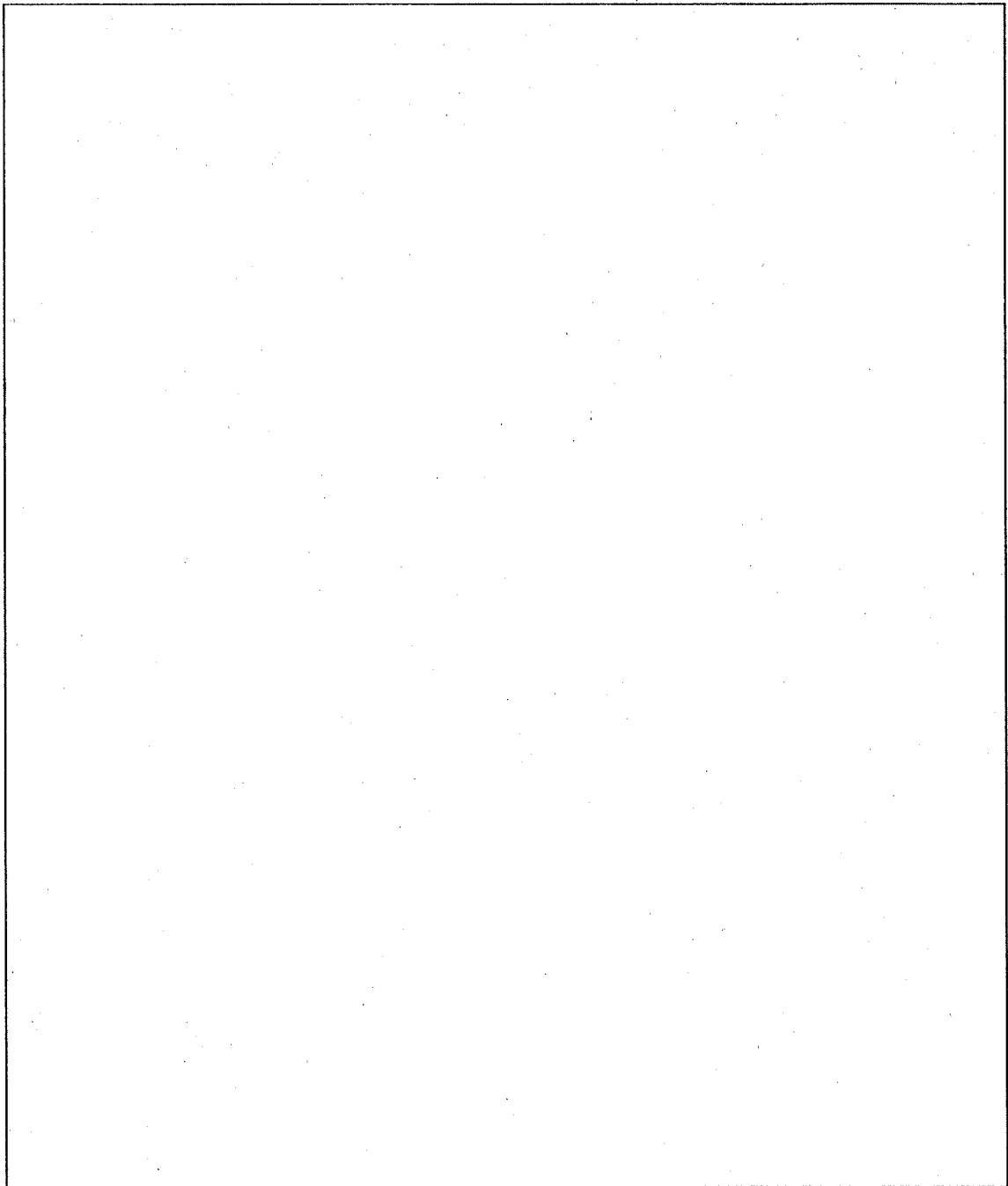
ドレン弁は、バルブ本体、バルブヘッド、バルブステム、ハンドホイール、シートガasket、Oリング、流通孔、ドレン接続プラグ、気密漏えい試験孔及び気密漏えい試験孔用プラグ等から成る。((ロ)－第C.4図参照)



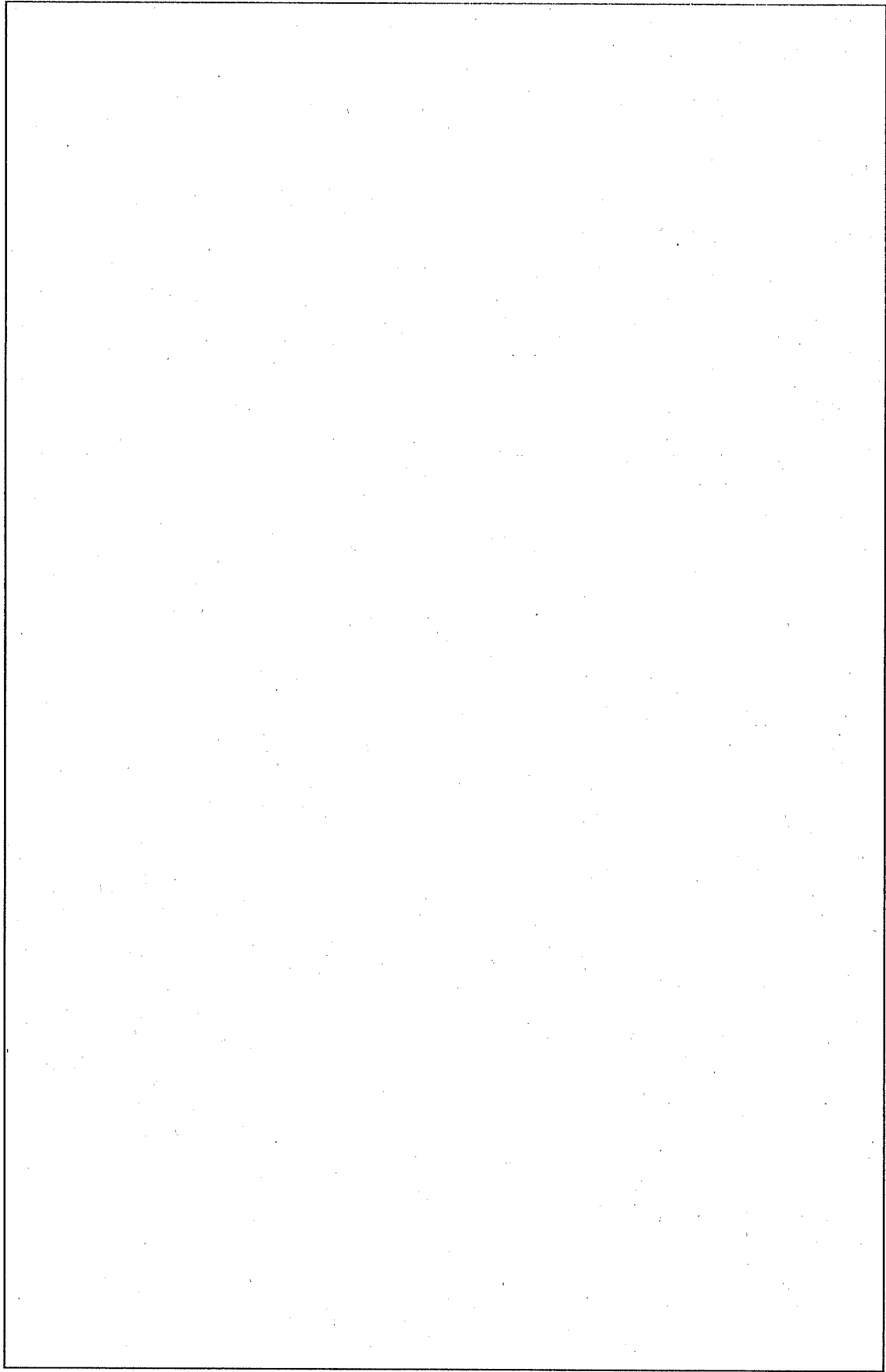
(口) - 第 C.1 図 輸送容器の密封境界



(口) - 第 C.2 図 蓋と容器本体接合部



(ロ) - 第 C.3 図 ベントプラグ



(ロ) - 第 C.4 図 ドレン弁

2. 密封機構

前項で記述した密封境界における開口部の密封方法は、全て二重に取り付けられたガスケットによって閉じるようになっており、密封境界はその[]となっている。

以下にその詳細を述べる。

蓋と容器本体接合部の密封は、蓋に設けた二重のＯリングによって行われ、密封境界は[]である。このＯリングの締め付けは、[]の蓋締付用ボルト[]で行われる。[]Ｏリング間には、この密封部の密封性能を検査するための気密漏えい試験孔が設けられており、出口はＯリングを有する閉止プラグで閉じられる。

(ロ) - 第 C.2 図参照)

ベントプラグはねじ込み式[]で(ロ) - 第 C.3 図に示すように、2本のＯリングを有するベントプラグをベント貫通孔出口にねじ込む構造となっている。

2本のＯリング間には、気密漏えい検査を行うための気密漏えい試験孔が設けられており、出口は[]構造になっている。さらに、輸送時には[]を取り付ける構造になっている。

ドレン弁は、組込み式で容易に交換のできるものである。ドレン弁の容器本体への取付けは、(ロ) - 第 C.4 図に示すように[]のドレン弁締付ボルト[]で行われ、取付部の気密はバルブ本体に設けたシートガスケットとＯリングで保つ。密封境界は、[]である。シートガスケットとＯリングとの間には、取付部の密封性能を検査するための気密漏えい試験孔が設けてある。出口側は[]で閉じられる。

ドレン貫通孔の密封は、[]のＯリングで保ち、この操作は[]
[]で行う。流通孔の出口は、[]で閉じられる。また、[]

[]
[]

3. 材質

密封装置を構成する容器本体・蓋、ドレン弁、ベントプラグ及び蓋締付用ボルト等は、耐食性及び機械的強度のすぐれたステンレス鋼である。熱的、機械的性質は、(ロ)章 A.3 及び A.4.2 に示したとおりである。また、密封境界の開口部のガスケット類は、全て耐熱性及び耐寒性の良い [] の Oリング及びシートガスケットである。

4. 圧力、温度

密封装置の貫通部(ベントプラグ及びドレン弁)は全て、上部緩衝体及び下部緩衝体で覆われており、特別の試験条件の落下試験及び耐火試験後もこれらの貫通部は健全であり、その密封性は維持される。

最高温度を示す最大発熱量を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU : 燃焼度 []) を収納した場合における一般の試験条件下及び特別の試験条件下での密封装置の最高圧力及びガスケット部の最高温度を (ロ) 一第 C.1 表に示す。

密封装置は、この内圧が作用しても健全であり、 [] の Oリング及びシートガスケットの標準使用温度範囲は [] であるため、その性能が低下することはない。

5. 封印

蓋は、 [] の蓋締付用ボルト [] により容器本体に取り付けられる。 []
 [] ようになっている。

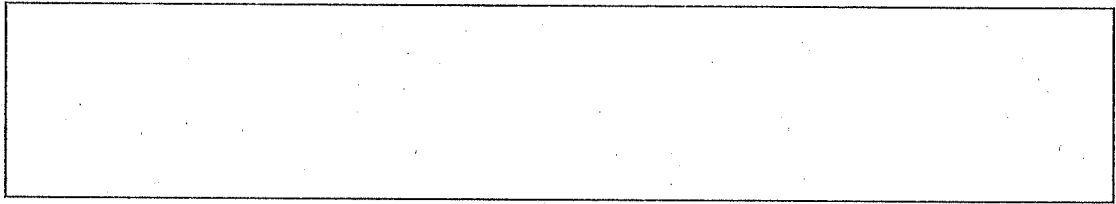
ベントプラグは、容器本体にねじ込む [] 構造となっている。また、ベントプラグが [] さらに、 []
 [] ように、外側に []
 られている。

ドレン弁は、容器本体に [] また、
 [] ことがないように外側には []
 [] により取り付けてある。

[]
 []

(ロ) - 第 C.1 表 密封装置の最高圧力及びガスケット部の温度

試験条件	最高圧力	最低温度	最高温度	備考		
				蓋部Oリング	ベントプラグ	ドレン弁
一般の試験条件		-40°C				
特別の試験条件		-40°C				



6. 検査

輸送容器については、製作完成時に耐圧試験及び気密漏えい検査を、また、燃料装荷後の発送前に気密漏えい検査を行い、放射性物質の漏えい量が技術基準を下回ることを確認する。

詳細は、別記-2 に記述されている。

C.2.2 密封装置の貫通部

密封装置の貫通部について、貫通部、貫通部の機能及び貫通部の仕様を順に述べる。

1. 貫通部

密封装置には、(ロ) - 第 C.1 図に示すように、容器本体にベントプラグ及びドレン弁に通じる貫通孔がある。

2. 貫通部の機能

輸送容器は、冷却水を用いない乾式の輸送容器である。輸送容器への燃料要素の装荷及び取り出し操作は、水中で行われる。このため、ベント貫通孔及びドレン貫通孔は、容器内の排水時に使用される。

ベント貫通孔は 、ドレン貫通孔は

貫通孔は、ガンマ線ストリーミングを考慮し容器外部から容器内部を直視できないようにすることにより、遮蔽性能に影響を及ぼさない構造となっている。((ロ) - 第 C.1 図参照)

3. 貫通部の仕様

貫通部の仕様を(ロ) - 第 C.2 表に要約する。

ガスケット材は、(ロ) 章 C.2.1.3 で述べたように、耐熱性等に問題はない。

(ロ) - 第 C.2 表 貫通部の仕様

名 称	使用目的	形 状	主要材質	密 封 部 材 質	試験 温度	試験圧力
ベント プラグ	空気抜き	(ロ) - 第 C.3 図参照	ステンレ ス鋼		常温	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐圧試験 1MPa以上 水圧 ・ 気密漏えい検査 □以上 気圧
ドレン 弁	水抜き	(ロ) - 第 C.4 図参照	ステンレ ス鋼			

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

以下に密封装置のガスケット及び溶接部について述べる。

1. ガスケット

輸送容器の開口部は、蓋と容器本体接合部、ベントプラグ及びドレン弁である。

これらの開口部の密閉には、以下に示すガスケットを用いることにより一般の試験条件下及び特別の試験条件下における密封性能を満足している。

ガスケットの仕様を (ロ) - 第 C.3 表に示す。

1.1 蓋と容器本体接合部のガスケット

蓋と容器本体接合部は、 Oリングを二重に取り付けることにより密封性能が維持される。これらの Oリングの間には、気密漏えい試験孔が設けられ、製作完成時及び輸送物の発送前に気密漏えい検査を実施し、密封性能が確認できる構造となっている。

蓋と容器本体接合部の形状を (ロ) - 第 C.2 図に示す。

の標準使用温度範囲は、 であり、(ロ) - 第 C.1 表に示したこの位置での Oリングの使用温度は -40°C ~ なので劣化することはない。また、一般の試験条件下及び特別の試験条件下の内圧は各々 である。

放射性物質の漏えい率は、各々の試験条件下で評価しているほか、耐圧試験(水圧) 1MPa 以上及び気密漏えい検査(気圧) で密封性を確認するので問題はない。

1.2 ベントプラグのガスケット

ベントプラグの形状を (ロ) - 第 C.3 図に示す。

ベントプラグはベントプラグ本体をベント貫通孔出口にねじ込む構造となっている。また、ベントプラグ本体部には 2 本の Oリングを取り付けることにより密封性が維持される。これらの Oリングの間には気密漏えい試験孔が設けられ、製作完成時及び発送前に気密漏えい検査を実施し、密封性が確認できる構造となっている。

の標準使用温度範囲は、 であり、(ロ) - 第 C.1 表に示したこの位置での Oリングの使用温度範囲は -40°C ~ なので劣化することはない。また、圧力についても、C.2.3 の 1.1 で述べたように問題はない。

1.3 ドレン弁のガスケット

ドレン弁の形状を（ロ）－第 C.4 図に示す。

ドレン貫通孔から通ずる流通孔の密封性は、の Oリング及びシートガスケット、ステンレス鋼製ベローズ及びOリングを有するドレン接続プラグにより維持される。また、ドレン弁収納部の密封性は、の Oリング及びシートガスケットで維持される。

弁の密封性は、流通孔の出口を利用し、ドレン弁とドレン弁収納部との取付部は、シートガスケットと Oリングとの中間位置にある気密漏えい試験孔を使用して、それぞれ製作完成時及び輸送物の発送前にこの部分の気密漏えい検査を実施し、確認できる。

ガスケットの使用温度は、（ロ）－第 C.1 表に示したように -40°C ～であり、の標準使用温度範囲は、であるから劣化することはない。また、圧力についても C.2.3 の 1.1 で述べたように問題はない。

（ロ）－第 C.3 表 ガスケットの仕様

ガスケット使用部位	Oリング等寸法 線径(mm)×内径(mm)	材質	備考
蓋内側			(ロ)－第 C.2 図
蓋外側			(ロ)－第 C.2 図
ベントプラグ			(ロ)－第 C.3 図
ドレン弁本体側			(ロ)－第 C.4 図
			(ロ)－第 C.4 図
バルブヘッド			(ロ)－第 C.4 図

*: シートガスケット

2. 溶接部

容器本体及び蓋は、鍛造製一体型構造である。したがって、密封性に影響を及ぼす溶接部はない。

C.2.4 蓋

1. 蓋

蓋は、厚さ [] のステンレス鋼鍛造製一体型構造であり、[] の蓋締付用ボルト [] で容器本体へ取り付けられる。蓋締付用ボルトの締付トルクは [] である。

蓋は、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における温度及び圧力に十分耐え得る強度を有し、落下試験においては緩衝体で保護され、かつ、貫通試験に耐え得る十分な強度を有している。

[]

[]

蓋と容器本体間の密封は、[] Oリングにより保たれる。

蓋には、開口部として気密漏えい試験孔がある。気密漏えい試験孔は、[]
[] Oリングを備えた閉止プラグにより閉じられる。

2. ベントプラグ保護蓋及びドレン弁保護蓋

保護蓋は、ベントプラグ用とドレン弁用がある。これらの蓋は、[]
[]、一般の試験条件下及び特別の試験条件下におけるベントプラグ及びドレン弁の保護を目的としている。これらの構造は、内側に [] Oリング、またはシートガスケットを有し、[] のボルトで容器本体に取り付ける構造となっている。

C.3 一般の試験条件

一般の試験条件下における構造解析及び熱解析の結果のうち、輸送容器の密封装置に関する部分を以下に示す。

1. 熱による影響

周囲温度 38℃において、2.8kW の崩壊熱を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体 (この場合が熱的に最も厳しい条件) を装荷し太陽輻射熱を考慮した場合、密封装置の蓋及び貫通部の密封境界を形成しているガスケット部の温度は、(ロ) 第 C.1 表に示すように [] である。ガスケットである [] オリングの標準使用温度範囲の最高使用温度は、[] なので、密封装置の密封性は維持される。

次に、周囲温度 -40℃において、太陽輻射熱を考慮せず、収納物の発熱量を 0W とした熱的条件下では、容器各部の温度は -40℃である。

(ロ) 章 A.4.2 に示すように、低温脆性の問題はない。また、ガスケットである [] [] オリングの標準使用温度範囲の最低使用温度は、[] なので、密封装置の密封性は維持される。

さらに、収納物の発熱による内圧上昇も (ロ) 章 C.2.1 の 4 に示すように [] であり、密封装置の密封性は維持される。

2. 振動、衝撃及び圧縮による影響

輸送物は、(ロ) 章 A.4.7 に示すように、輸送中に生ずる振動により共振することはなく、輸送物は健全であり、その密封性は維持される。

また、自由落下試験において、輸送物を高さ 30cm から自由落下させた場合、(ロ) 章 A.5.3 に示すように、落下エネルギーは上部緩衝体及び下部緩衝体によって緩和され、密封装置は健全であり、その密封性は維持される。

貫通試験で重量 6kg の軟鋼製の棒を高さ 1m から落下させた場合、(ロ) 章 A.5.5 に示すように、密封装置の蓋及び貫通部は全て緩衝体に覆われているため損傷を受けることはなく、その密封性は維持される。

さらに、圧縮試験で輸送物に輸送物の重量の 5 倍に相当する荷重を加えた場合、(ロ) 章 A.5.4 に示すように、容器本体及び蓋等は健全であり、その密封性は維持される。

以上の構造解析及び熱解析の結果から、輸送物は一般の試験条件下においても、密封装置は健全であり、その密封性は維持される。

C.3.1 放射性物質の漏えい

輸送容器の密封装置の漏えい率は、製作完成時の気密漏えい検査により $2.22 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であることが確認される。前述したように一般の試験条件下においても、密封装置は健全であり、この漏えい率を維持している。

燃料要素は、燃料芯材をアルミニウム合金で被覆した板状構造である。この種の燃料要素は、 ^3H ガスを除いて燃料温度 [] での核分裂生成ガスの放出はない。(1)(2)(5)

本項では、C.3.1の1.に示すように、安全側に ^3H ガス以外の核分裂生成ガスも同じ割合の漏れがあると仮定し評価を行う。

解析手順は、以下のとおりである。

1. 輸送容器内部空気の放射能濃度を仮定する。
2. 本条件下における内部空気漏えい率を算出する。
3. これらにより放射性物質の漏えい率が基準値以下であることを確認する。

1. 輸送容器内部空気の放射能濃度

輸送容器内部空気の放射能濃度は、燃焼計算コード ORIGEN を用いて得られた最大の核分裂生成ガスを含有する JMTR 標準燃料要素 (LEU : 燃焼度 []) 30 体について、核分裂生成ガスのうち 0.1% が輸送容器内の空間 [] に漏れ、均一に分布すると仮定した値 [] を用いる。

なお、同種の燃料要素の輸送を行った類似の輸送容器 (JMTR W5200 型) 内の ^3H 濃度 (燃料要素表面に付着した一次冷却水中に微量に含まれる ^3H) について実測しており、その値は最大でも [] である。したがって、本仮定は安全側の評価である。

2. 内部空気漏えい率の算出

密封装置の漏えい率は、 $2.22 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下 (付属書類 C.6.1 参照) であり、一般の試験条件下の内圧 []、温度 [] (燃料要素の温度) の時の空気の漏えい率は次式⁽³⁾で表される。燃料要素の温度は、最高温度を示す最大発熱量を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU : 燃焼度 []) の温度である。

$$L_x = \frac{L_y \cdot \eta_y (P_{ux}^2 - P_{dx}^2)}{\eta_x (P_{uy}^2 - P_{dy}^2)}$$

ここで、

L_x : 一般の試験条件下の漏えい率

L_y : 漏えい検査時の漏えい率 $2.22 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

η_y : 漏えい検査時の空気の粘性⁽⁴⁾ $1.84 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s (at 25}^\circ\text{C)}$

Pux : 一般の試験条件下の高圧側圧力

Pdx : 一般の試験条件下の低圧側圧力 0.60×10^5 Pa·abs

η_x : 一般の試験条件下の空気の粘性⁽⁴⁾

Puy : 漏えい検査時の高圧側圧力

Pdy : 漏えい検査時の低圧側圧力 1.01×10^5 Pa·abs

$L_x =$

$=$

$=$

3. 放射性物質の漏えい率

核分裂生成ガスの輸送容器内の空気中濃度に前項で求めた密封装置からの空気の漏えい率を乗じて、1時間当たりの放射性物質の漏えい量を求め、基準値との比較を(ロ) - 第 C.4 表に示す。

(ロ) - 第 C.4 表に示すとおり、放射性物質の漏えい量は基準値以下である。したがって、輸送物は一般の試験条件下における放射性物質の漏えいに関する技術基準を満足する。

(ロ) - 第 C.4 表 一般の試験条件下の放射性物質の漏えい量

核種	生成量*1 (TBq)	濃度*2 (TBq/(Pa·m ³))	漏えい量 (TBq/h)	基準値 (TBq/h)	基準値との比率	
					計	0.496

*1:表中の JMTR 標準燃料要素 (LEU: 燃焼度) 30 体当たりの核分裂生成ガスの生成量は、燃焼計算コード ORIGEN の計算結果によるものである。

*2:表中の核分裂生成ガスの濃度は、生成量の 0.1% が輸送容器内に均一に分布しているものとし、安全側に大気圧 (1.01×10^5 Pa·abs) 下での放射能濃度を示す。

C.3.2 密封装置の加圧

密封装置を加圧する要因は

1. 冷却材の温度上昇及び放射線分解
2. 構成材料の中性子照射によるガス化
3. 燃料要素から放出される核分裂生成ガス
4. 空気の温度上昇

が考えられる。

以下に上述 4 項目について検討する。

1. 冷却材の温度上昇及び放射線分解

輸送物は水等の特別な冷却材を用いない乾式であることから、これらによる圧力上昇はない。

2. 構成材料の中性子照射によるガス化

輸送物内の中性子の発生量は微量であるから、輸送物の構成材料の中性子照射による放射性ガスの発生は無視できる。

3. 燃料要素から放出される核分裂生成ガス

一般の試験条件下において燃料要素は破損しないので、燃料要素から ^3H ガス以外の核分裂生成ガスが放出されることはない。

4. 空気の温度上昇

輸送物は燃料装荷時に熱平衡到達後密封される。このとき内部気体温度は、最高温度を示す最大崩壊熱を発生する JMTR 標準燃料要素 (LEU: 燃焼度) を収納した場合、 (容器内壁の最低温度とする) である。一般の試験条件下では太陽熱の影響により (燃料要素の最高温度とする) まで加熱される。この温度上昇により、輸送容器の内圧は に上昇する。

以上の 4 項目を総合すると、輸送物内部圧力は、JMTR 標準燃料要素 (LEU: 燃焼度) 30 体を収納した場合に最大で、 である。

密封装置は発送前に圧力 で気密漏えい検査が行われ、密封性が確認される。なお、密封装置は、製作完成時の耐圧試験において水圧 1MPa で試験が行われ、耐圧強度及び密封性が確認される。したがって、一般の試験条件下でも、密封装置の密封性は維持される。

C.3.3 冷却材汚染

以下の理由により該当しない。

輸送容器は前述のとおり冷却水を用いない乾式であるから、冷却材の汚染はない。

C.3.4 冷却材損失

以下の理由により該当しない。

輸送容器は前述のとおり冷却水を用いない乾式であるから、冷却材の損失はない。

C.4 特別の試験条件

B U型輸送物の要件としての特別の試験条件下における構造解析及び熱解析の検討結果のうち、輸送容器の密封装置に関する部分を以下に示す。

1. 落下試験

1.1 垂直落下

垂直落下の場合、密封性の維持の点で蓋締付用ボルトに最も大きな力が加わるのは、上部垂直落下の場合である。この場合、蓋締付用ボルトの伸び等による蓋部Oリングの最大変位は□である。((ロ) 章 A.6.1 参照)

この値は、Oリングのつぶれ代□に比べ十分小さいので、密封性は維持できる。この他、蓋締付用ボルト、蓋及び容器本体に発生する応力は、設計基準値以下であり、密封性を損なうおそれはない。また、垂直落下により燃料要素は破損しない((ロ) 章 A.6.1 参照)ので、燃料要素からの放射性物質の放出はない。

1.2 水平落下

水平落下において、蓋が容器本体に深く挿入されているため、蓋が外へ飛び出すような回転力は、コーナー落下に比べ小さく、コーナー落下で密封性が維持されているので、水平落下でも密封性は維持できる。

この他、輸送容器に発生する応力は、設計基準値以下であり、密封性を損なうおそれはない。また、水平落下により燃料要素は破損しない((ロ) 章 A.6.1 参照)ので、燃料要素からの放射性物質の放出はない。

1.3 コーナー落下

垂直落下と同様に上部コーナー落下させた場合が密封性の維持という点では、下部コーナー落下より厳しい。

この場合、蓋締付用ボルトの伸び等による蓋部Oリングの最大変位は、□である。((ロ) 章 A.6.1 参照)

この値は、Oリングのつぶれ代□に比べ十分小さいので、密封性は維持できる。この他、輸送容器に発生する応力は設計基準値以下であり、密封性を損なうおそれはない。また、コーナー落下においても、燃料要素は破損しないので、燃料要素からの放射性物質の放出はない。

1.4 ベントプラグ、ドレン弁、保護蓋及び蓋部気密漏えい試験孔用閉止プラグ

落下エネルギーは、緩衝体及びフィンで吸収されるので、ベントプラグ、ドレン弁等に影響がおよぶことはない。

2. 耐火試験

2.1 燃料要素温度

耐火試験において、収納物である燃料要素の温度は、最高 \square ((ロ) 章 B.5.3 参照) である。この燃料要素温度は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の試験・研究炉で使用する板状燃料のプリスタ発生温度としている温度 \square に比べ低い値である。したがって、燃料被覆材は健全であり、燃料要素から放射性物質が放出されることはない。

2.2 ガスケット

蓋、ベントプラグ及びドレン弁のガスケットの最高温度は、ドレン弁において生じ、その値は \square ((ロ) 章 B.5.3 参照) である。ガスケットには、 \square Oリング及びシートガスケットを使用しており、その標準使用時の最高温度は \square である。したがって、容器の密封性は維持できる。

C.4.1 核分裂生成ガス

核分裂により生成されたガスは、燃料芯材の中を拡散によって移動する。しかし、燃料芯材は、アルミニウム合金によって被覆されているので、この被覆材が破損しない限り核分裂生成ガスは放出されない。

一般に、燃料被覆材の破損は、落下の衝撃による燃料被覆材の破損、火災時の燃料温度の上昇による燃料被覆材の熔融及び燃料被覆材の腐食による損傷が考えられるが、落下の衝撃による破損及び火災時の熔融については、(ロ) 章 A.6.1 及び (ロ) 章 B.5.3 で示したように破損及び熔融は生じない。また、被覆材は十分な耐食性を有する材料であり、輸送容器が乾式ということから、核分裂生成ガス(^3H ガスを除く)が放出されることはない。

C.4.2 放射性物質の漏えい

特別の試験条件下において密封装置及び燃料要素等は、その密封性を維持する。特別の試験条件下における放射性物質の漏えいは、C.3.1 一般の試験条件下における放射性物質の漏えいと同様な考え方に基づいて検討する。すなわち、密封装置は初期の性能を維持し、その漏えい率は $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下である。特別の試験条件下における密封装置の内圧 []、温度 [] (燃料要素等の温度) の時の空気の漏えい率は次式⁽³⁾で表される。燃料要素等の温度は、最高温度を示す最大発熱量を有する JMTR 標準燃料要素 (LEU : 燃焼度 []) の温度である。

$$L_x = \frac{L_y \cdot \eta_y (P_{ux}^2 - P_{dx}^2)}{\eta_x (P_{uy}^2 - P_{dy}^2)}$$

ここで、

L_x	: 特別の試験条件下の漏えい率	
L_y	: 漏えい検査時の漏えい率	$2.22 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
η_y	: 漏えい検査時の空気の粘性 ⁽⁴⁾	$1.84 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s (at 25}^\circ\text{C)}$
P_{ux}	: 特別の試験条件下の高圧側圧力	[]
P_{dx}	: 特別の試験条件下の低圧側圧力	$0.60 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{abs}$
η_x	: 特別の試験条件下の空気の粘性 ⁽⁴⁾	[]
P_{uy}	: 漏えい検査時の高圧側圧力	[]
P_{dy}	: 漏えい検査時の低圧側圧力	$1.01 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{abs}$

$$L_x = []$$

$$= []$$

$$= []$$

核分裂生成ガスの輸送容器内の空気中濃度に、上記で求めた特別の試験条件下の密封装置からの空気の漏えい率を乗じて、1週間当たりの放射性物質の漏えい量を求め、基準値との比較を (ロ) 一第 C.5 表に示す。

(ロ) 一第 C.5 表に示すとおり、放射性物質の漏えい量は基準値以下である。したがって、輸送物は特別の試験条件下における放射性物質の漏えいに関する技術基準を満足する。

(ロ) - 第 C.5 表 特別の試験条件下の放射性物質の漏えい量

核種	生成量*1 (TBq)	濃度*2 (TBq/(Pa・m ³))	漏えい量 (TBq/week)	基準値 (TBq/week)	基準値との 比率
計					

*1: 表中の JMTR 標準燃料要素 (LEU: 燃焼度) 30 体当たりの核分裂生成ガスの生成量は、燃焼計算コード ORIGEN の計算結果によるものである。

*2: 表中の核分裂生成ガスの濃度は、生成量の 0.1% が輸送容器内に均一に分布しているものとし、安全側に大気圧 ($1.01 \times 10^5 \text{Pa} \cdot \text{abs}$) 下の放射性濃度を示す。

C.5 結果の要約と評価

漏えいに係る放射性物質としては、燃焼計算コード ORIGIN を用いて得られた最大の²³⁵U を含有する JMTR 標準燃料要素 (LEU : 燃焼度 []) 30 体に生成した核分裂生成ガス [] のうち 0.1% が漏れ、輸送容器内の空気中に均一に分散すると仮定する。

この核分裂生成ガスの輸送容器内の空気中濃度に密封装置からの空気の漏えい率を乗じて、一般の試験条件下及び特別の試験条件下の放射性物質の漏えい率評価を行うと、その結果は (ロ) - 第 C.4 表及び (ロ) - 第 C.5 表に示すように放射性物質の漏えい率は、いずれも基準値より小さい。

C.6 付属書類

- C.6.1 発送前気密漏えい検査方法…………… (口) - C-26
- C.6.2 核分裂生成ガスの放射能…………… (口) - C-28
- C.6.3 参考文献…………… (口) - C-30

C.6.1 発送前気密漏えい検査方法

発送前気密漏えい検査は、(ロ) 一第 C.5 図に示すように、蓋と容器本体接合部、ドレン弁及びベントプラグの3箇所に取り付けられたOリング及びシートガスケットに対して圧力降下法により行う。

各部の二重シール部に圧縮気体を用いて に加圧する。そして二重シール部の検査時間での圧力降下を計測して、密封装置の漏えい率が $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であることを確認する。

このときの、密封装置の漏えい率は次式で表される。

$$Q = \frac{V T_0}{H} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right)$$

ここで

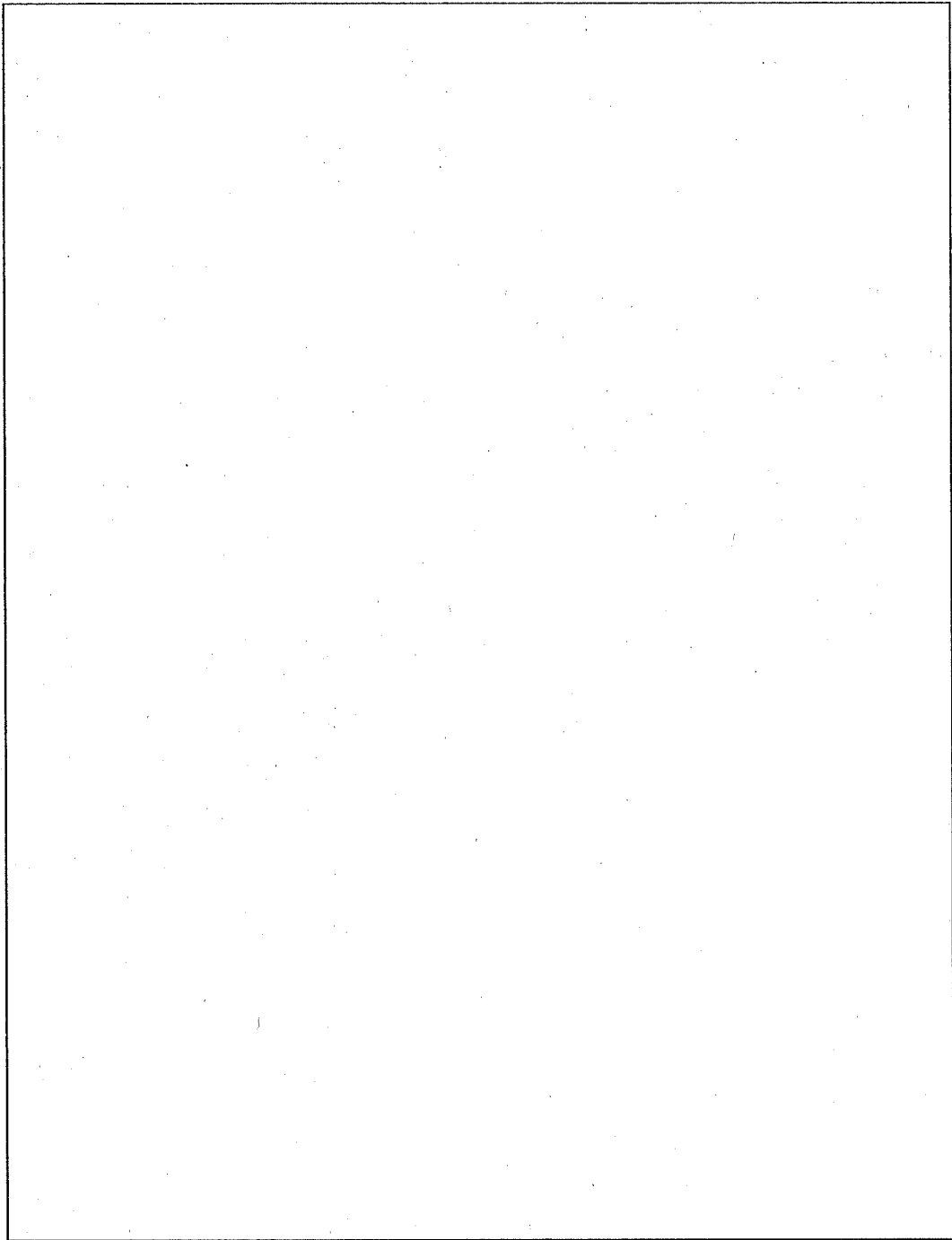
Q	:	気密漏えい検査時の気体漏えい率	Pa · m ³ /s
H	:	検査時間	s
V	:	圧力降下測定部容積	m ³
P ₁	:	検査開始時気体圧力	Pa · abs
P ₂	:	検査終了時気体圧力	Pa · abs
T ₀	:	常温	298 K (25°C)
T ₁ , T ₂	:	試験開始、終了後の温度	K

気密漏えい検査の実施例を以下に示す。

H: 検査時間	1800	s
V: 圧力降下測定部容積	<input type="text"/>	
P ₁ : 検査開始時気体圧力	<input type="text"/>	
P ₂ : 検査終了時気体圧力	<input type="text"/>	
T ₁ : 試験開始温度	298	K (25°C)
T ₂ : 試験終了後の温度	298	K (25°C)

Q =

$$= 2.22 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$$



(口) 一第 C. 5 図 気密漏えい検査状態図

C.6.2 核分裂生成ガスの放射能

収納する燃料要素 30 体に生成する核分裂生成ガスの最大量を燃焼計算コード ORIGIN⁽⁶⁾を用いて計算する。その結果を、(口) - 第 C.6 表に示す。

(ロ) ー第 C.6 表 核分裂生成ガスの放射能 (単位 : TBq)

主要核種	JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (LEU : 燃焼度 <input type="text"/>)	JMTR標準燃料要素 (LEU : 燃焼度 <input type="text"/>)

注) 燃料フロロワについては、²³⁵U 量が JMTR 標準燃料要素より少なく、放射能も少なくなため省略する。

C.6.3 参考文献

- (1) D. Stahl : "Fission Product Release from Non-Molten Fuels", ANL, (1980).
- (2) "IAEA Guide Book", Vol. III APPENDIX J-5, (1984).
- (3) "Safe transport of radioactive materials-Leakage testing on packages", ISO 12807, p. 32, p. 35, (1996).
- (4) 日本機械学会編 : "伝熱工学資料", 改訂第3版, 日本機械学会, p. 307, (1975).
- (5) R. M. Brugger, W. C. Francis : "Metallurgy and Materials Science Branch Annual Report", TID-4500, (1970).
- (6) M. J. Bell : "ORIGEN - The ORNL Isotope Generation and Depletion Code", ORNL - 4628, (1973).

D. 遮 蔽 解 析

D. 遮蔽解析

D.1 概要

輸送物の収納物は、使用済燃料であるため ^{235}U 含有量、原子炉出力、燃焼度、冷却日数等を考慮して、全ての収納物に対してガンマ線源強度及び中性子源強度を燃焼計算コード ORIGEN⁽¹⁾を用いて求める。

ガンマ線遮蔽計算は、二次元輸送計算コード DOT3.5⁽²⁾と解析的手法(貫通孔部のストリーミング計算)を用いて行い、中性子遮蔽計算は、一次元輸送計算コード ANISN⁽³⁾を用いて行う。

ガンマ線の遮蔽解析においては、一般の試験条件下及び特別の試験条件下で緩衝体及びフィンが変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件下及び特別の試験条件下とも容器本体胴部、蓋及び底部の外表面(以下「容器本体表面」という。)を輸送物表面として線量当量率を評価する。

中性子の遮蔽解析においては、線源領域及び輸送容器とも球形状として線量当量率を評価する。

D.2 線源仕様

輸送容器の遮蔽解析に用いた収納物の仕様を (ロ) 一第 D.1 表に示す。この条件に基づいて、収納する燃料のガンマ線及び中性子の線源強度を燃焼計算コード ORIGEN を用いて求める。

JMTR は熱出力 50MW で一定期間運転した後、燃料、照射試料の交換等のため一定期間原子炉を停止した後、再び一定期間運転を行う断続運転方式を採っている。しかし、線源強度計算に際しては、燃焼度が (ロ) 一第 D.1 表に記載されている燃焼度に達するまで連続運転したと仮定して行う。この仮定は、運転途中での冷却期間を考慮しないために、短半減期核種の減衰が少なくなり安全側となる。また、燃焼条件は最も厳しくなるように、燃料 1 体当たりの比出力を高くし、燃焼期間を短くする (D.6.1 項参照)。

輸送容器には、JMTR で使用した中濃縮ウラン燃料 (MEU) 及び低濃縮ウラン燃料 (LEU) の各使用済燃料を収納する。中濃縮ウラン燃料 (MEU) と低濃縮ウラン燃料 (LEU) を混合装荷を行う場合がある。

線量当量率の評価は、燃焼度 及び燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) を各々 30 体収納する場合を対象とする。燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) は、燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) 及び JMTR 燃料フォロー (LEU) を除く全ての収納物の中で、最もガンマ線源強度及び中性子源強度が大きいため解析対象とする。燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) は、燃焼度 の JMTR 燃料フォロー (LEU) のガンマ線源強度及び中性子源強度より大きく、また、燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) と比較した場合、ガンマ線源強度は小さいが、中性子源強度は大きいため解析対象とする。なお、JMTR で使用した中濃縮ウラン燃料 (MEU) と低濃縮ウラン燃料 (LEU) を混合装荷した場合についても JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体の線源強度を超えることはない。

燃料の線源分布は、軸方向についてはピーキングファクター 1.47 のコサイン分布とし、径方向についてはフラット分布とする。

D.2.1 ガンマ線源

ガンマ線源強度は、(ロ) 一第 D.1 表に示す運転日数及び冷却日数等の条件を用いて、燃焼計算コード ORIGEN で計算する。エネルギーの関数として輸送物 1 基当たりのガンマ線源強度を、(ロ) 一第 D.2 表に示す。

収納物の中で、燃焼度 及び燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) の主要核種の放射能強度 (燃料要素 1 体当たり) を (ロ) 一第 D.3 表に示す。

(ロ) - 第 D. 1 表 遮蔽解析に用いた収納物の仕様

項目	種類		
	原子炉	中濃縮ウラン燃料 (MEU)	低濃縮ウラン燃料 (LEU)
	JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (LEU)	
	J M T R		
燃料仕様	燃料型式	板状 (ウランアルミニウム分散型合金)	板状 (ウランシリコンアルミニウム分散型合金)
	²³⁵ U 濃縮度 (%)		
	²³⁵ U 含有量 (g/体)		
	²³⁸ U 含有量 (g/体)		
炉特性	運転出力 (MW)	50	
	炉内装荷燃料体数 (体)	22	22 (24) 5 (5)
	²³⁵ U 量 (g/炉)		
	²³⁸ U 量 (g/炉)		
	²³⁵ U 損耗率 (g/MWD)		
燃焼度 (%)			
運転日数 (日)	50	82 (96)	
冷却日数 (日)			
輸送容器燃料収納本数 (体/基)	30		

注) () の数値は、燃焼度 の場合の仕様を示す。

(ロ) 第D.2表 ガンマ線源強度

エネルギー		燃料		低濃縮ウラン燃料 (LEU)		(単位: photons/s)	
		中濃縮ウラン燃料 (MEU) JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (LEU)	JMTR燃料プオロフ (LEU)		
輸送容器燃料収納本数 (体/基)		30		30		30	
群No.	平均エネルギー (MeV)	エネルギー幅 (MeV)					
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
合計							
		(photons/s)					
		(MeV/s)					

注) () の数値は、燃焼度 の場合の値を示す。

(ロ) - 第 D. 3 表 JMTR 標準燃料要素 (LEU) の主要核種の放射能強度
(燃料要素 1 体当たり)

核 種	放射能強度		核 種	放射能強度	
	(Bq)			(Bq)	
	燃焼度 <input type="text"/>	燃度度 <input type="text"/>		燃焼度 <input type="text"/>	燃焼度 <input type="text"/>
⁸⁹ Sr			^{137m} Ba		
⁹⁰ Sr					
⁹⁰ Y					
⁹¹ Y					
⁹⁵ Zr					
^{95m} Nb					
⁹⁵ Nb					
⁹⁹ Tc					
¹⁰³ Ru					
¹⁰⁶ Ru					
^{103m} Rh					
¹⁰⁶ Rh					
^{110m} Ag					
¹¹⁰ Ag					
^{115m} Cd					
^{119m} Sn					
¹²³ Sn					
¹²⁵ Sb					
^{125m} Te					
^{127m} Te					
¹²⁷ Te					
^{129m} Te					
¹²⁹ Te					
¹³⁴ Cs					
¹³⁷ Cs					
			¹⁴⁴ Ce		
			¹⁴⁴ Pr		
			¹⁴⁷ Pm		
			^{148m} Pm		
			¹⁴⁸ Pm		
			¹⁵¹ Sm		
			¹⁵⁴ Eu		
			¹⁵⁵ Eu		
			¹⁶⁰ Tb		
			²³⁸ Pu		
			²³⁹ Pu		
			²⁴⁰ Pu		
			²⁴¹ Pu		
			²⁴¹ Am		
			²⁴² Cm		
			²⁴⁴ Cm		
			その他		
			³ H		
			⁸⁵ Kr		
			¹²⁹ I		
			¹³¹ I		
			^{131m} Xe		
			²²⁰ Rn		
			合 計		

D. 2. 2 中性子源

中性子を発生する反応は、原子炉内で燃焼中に生成された超ウラン元素の自発核分裂及び燃料中の軽元素との (α, n) 反応である。

自発核分裂により発生する中性子の収率については、ガンマ線源強度と同様に (ロ) 一第 D. 1 表に示す運転日数及び冷却日数等の条件を用いて燃焼計算コード ORIGEN より求めた。また、燃料中の軽元素との (α, n) 反応により発生する中性子収率については、D. 6. 3 項に示す方法により求めた。

中性子源強度は、自発核分裂及び (α, n) 反応により発生した中性子に、未臨界体系における中性子の増倍効果 $(1/(1-k_{\text{eff}}))$ 倍を加味したものとする。ここで使用する実効増倍係数は、(ロ) 章 E. 臨界解析で通常輸送時について 3 次元モンテカルロ法臨界計算コード KENO-V. a で求めた値である。

輸送物 1 基当たりの中性子源強度を (ロ) 一第 D. 4 表に示し、自発核分裂による中性子源となる主要核種からの中性子発生数を (ロ) 一第 D. 5 表に示す。また、中性子スペクトルは、燃料中の主要な軽核種であるアルミニウムとの (α, n) 反応によるものより厳しい核分裂スペクトルを使用し、DLC-23 キャスクライブラリー⁽⁴⁾から引用する。

このスペクトルは、(ロ) 一第 D. 6 表に示すように 22 群のエネルギーに分かれている。

(ロ) 一第 D.4 表 中性子源強度

項目	燃料	
	中濃縮ウラン燃料 (MEU)	低濃縮ウラン燃料 (LEU)
	JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR燃料フォロフ (LEU)
輸送容器燃料 収納本数 (体/基)	30	30
自発核分裂によるもの S_1 (n/s)		
注1) (α, n) 反応によるもの S_2 (n/s)		
注2) 実効増倍係数 k_{eff}	0.096	0.130 (0.130)
評価すべき中性子源 (S_1+S_2) / (1- k_{eff}) (n/s)		0.130 (0.130)

注 () の数値は、燃焼度 の場合の値を示す。

注1) JMTR 標準燃料要素 (LEU) で求めた (α, n) 反応による中性子数である。

注2) 実効増倍係数は、各燃料に対して標準燃料要素 (新燃料) で得られた値 (3σ を考慮) である ((ロ) 章 E. 臨界解析 (ロ) 一第 E.9 表参照) 。

(ロ) 一第 D.5 表 自発核分裂による中性子源となる主要核種からの中性子発生数

(単位 : neutrons/s)

核種	燃料		低濃縮ウラン燃料 (LEU)	
	中濃縮ウラン燃料 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (MEU)	JMTR標準燃料要素 (LEU)	JMTR燃料フォロフ (LEU)
輸送容器燃料 収納本数 (体/基)	30		30	30

注) () の数値は、燃焼度 の場合を示す。

(口) - 第 D. 6 表 中性子源スペクトル

群No.	エネルギー幅 (eV)	注) 線源スペクトル (1/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		

注) 合計が 1.0 になるように規格化してある。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

本解析モデルは通常の輸送条件のものであるが、一般の試験条件下及び特別の試験条件下においても同一である。これは輸送容器のモデルを、輸送容器のフィン、上部緩衝体及び下部緩衝体は全て無いものとし、輸送物表面は、容器本体胴部、底部及び蓋の外表面としているため、一般の試験条件下及び特別の試験条件下においても、遮蔽計算上問題となる輸送物の形状変化がないためである。

ガンマ線ストリーミングについては D.6.2 項に示す。

解析は、D.2 線源仕様で述べたように、燃焼度 及び燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) を、輸送容器 1 基に各々 30 体収納する場合について行う。

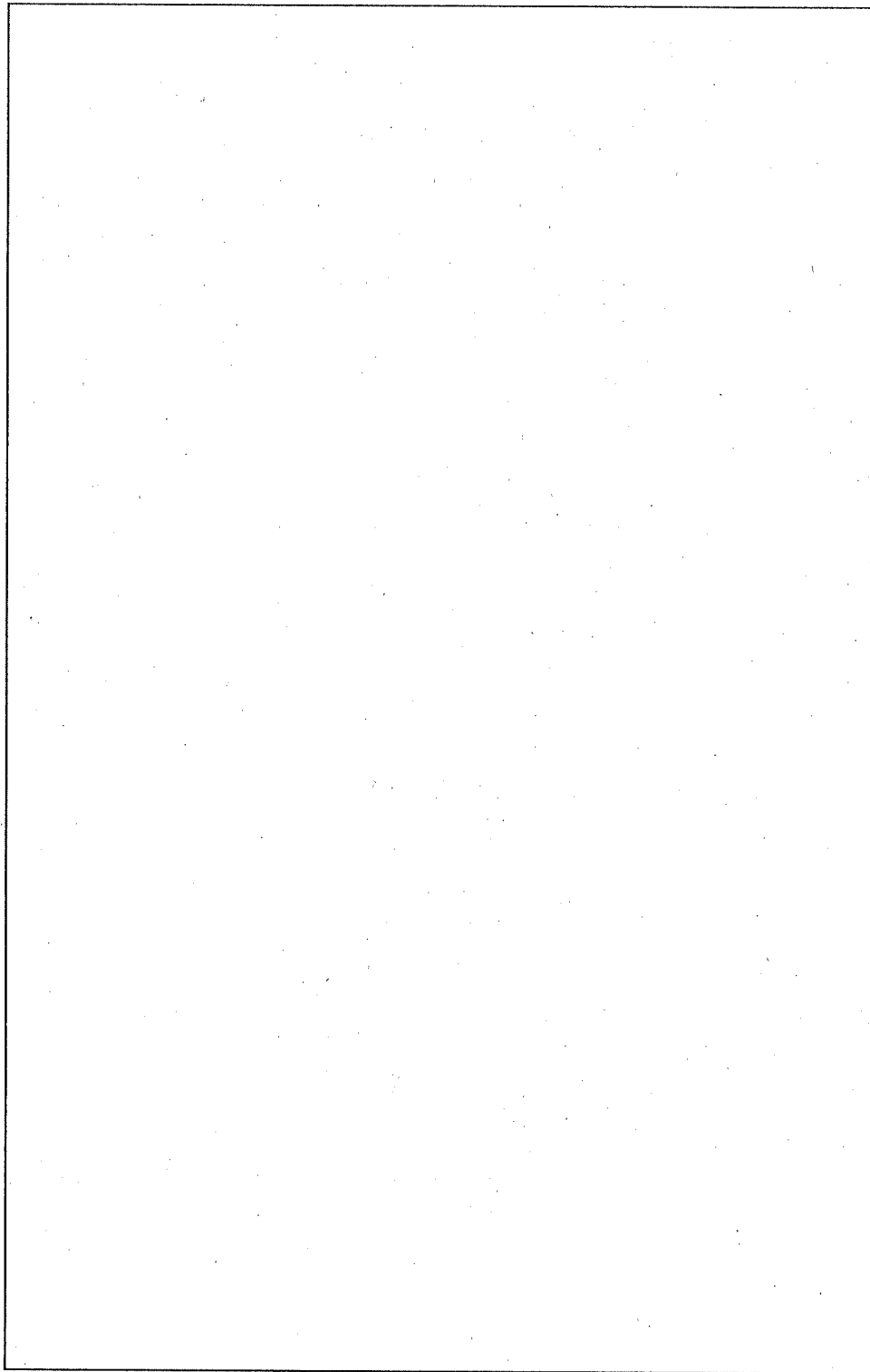
以下、ガンマ線遮蔽解析モデル及び中性子遮蔽解析モデルに分けて述べる。

(1) ガンマ線遮蔽解析モデル

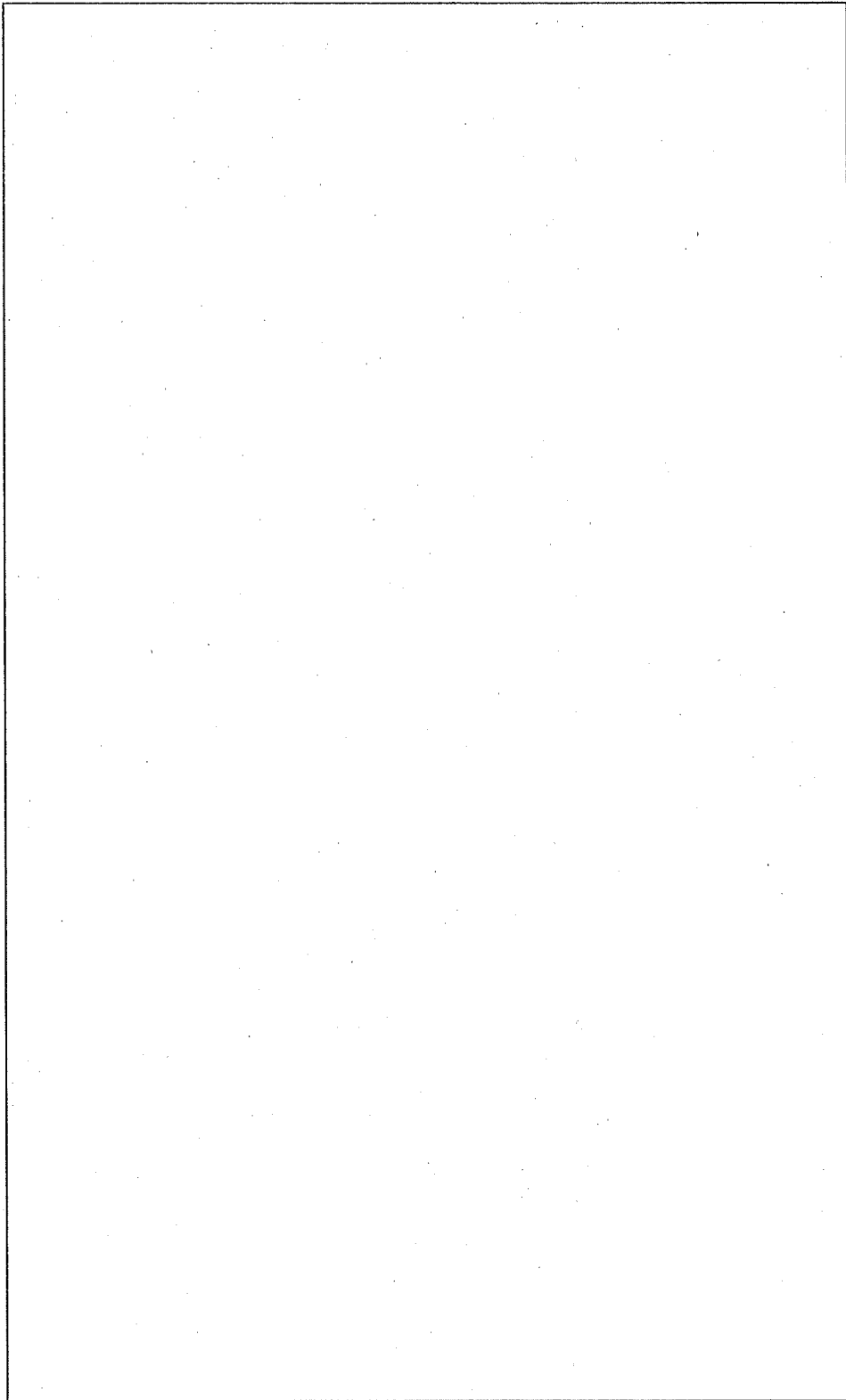
ガンマ線遮蔽解析モデルは、(ロ) 一第 D.1 図に示すように輸送物の上部及び下部方向の線量当量率を求める上下部モデルと、(ロ) 一第 D.2 図に示すように輸送物の側部方向の線量当量率を求める側部モデルから成る。

バスケットのモデル化は、上下部モデル及び側部モデルに対して次のようにして行う。上下部モデルでは、(ロ) 一第 D.3 図に示すようにバスケットの燃料収納領域を等価な断面積を有する円柱形状にモデル化する。また、側部モデルでは、(ロ) 一第 D.4 図に示すようにバスケットの燃料収納領域をバスケット枠組の最小肉厚部まで広げた円柱形状(燃料領域の広がりについては、次元輸送計算コード ANISN によりこのモデルが安全側であることを確認している。)にモデル化する。

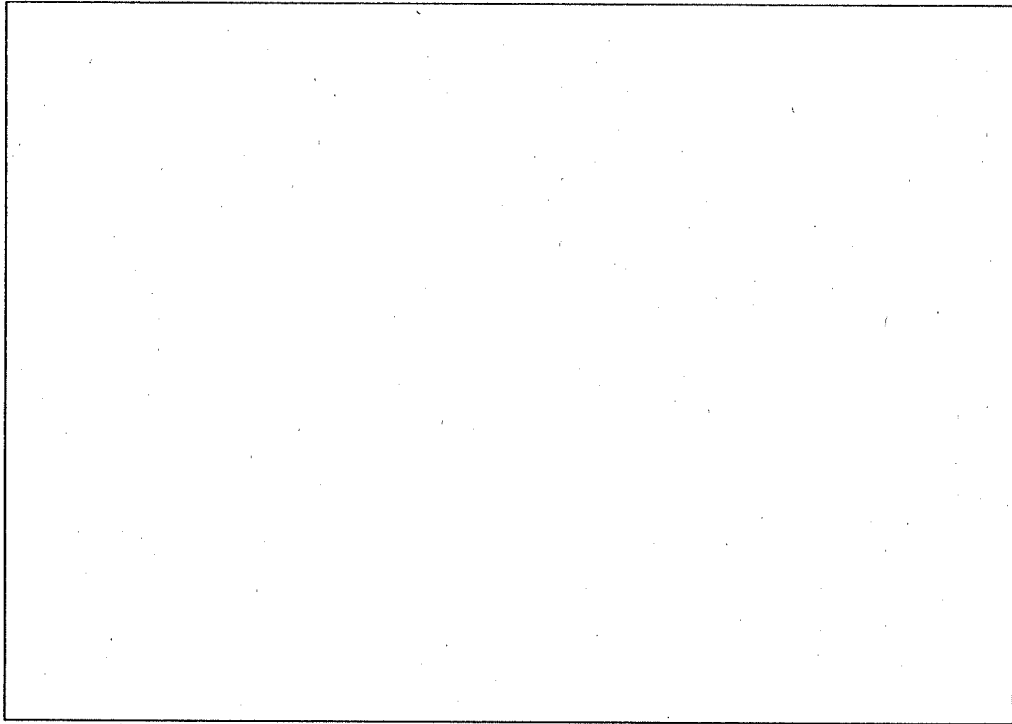
燃料が収納されている領域は、均質化領域としてモデル化する。すなわち、線源領域では、燃料芯材(ウランシリコンアルミニウム分散型合金)、燃料被覆材(アルミニウム合金)、燃料構造材(アルミニウム合金)及びバスケット構造材(ステンレス鋼、区切板及び仕切板を考慮する。)の体積比を求め、その値にそれぞれ各材質の密度を乗じてその和をとることにより均質化領域の密度を求める。容器本体内の空間部及び中性子吸収材は無視し、真空とする。



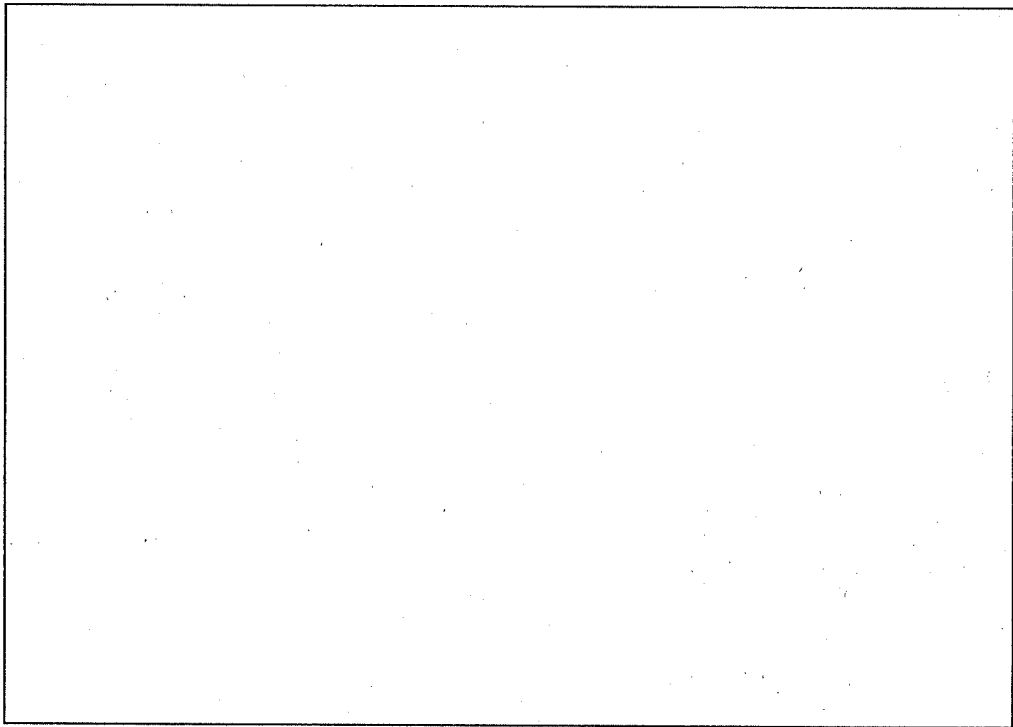
(ロ) - 第 D.1 図 ガンマ線遮蔽解析(上下部モデル)



(ロ) - 第 D. 2 図 ガンマ線遮蔽解析(側部モデル)



(ロ) ー第 D.3 図 バスケット(上下部モデル)



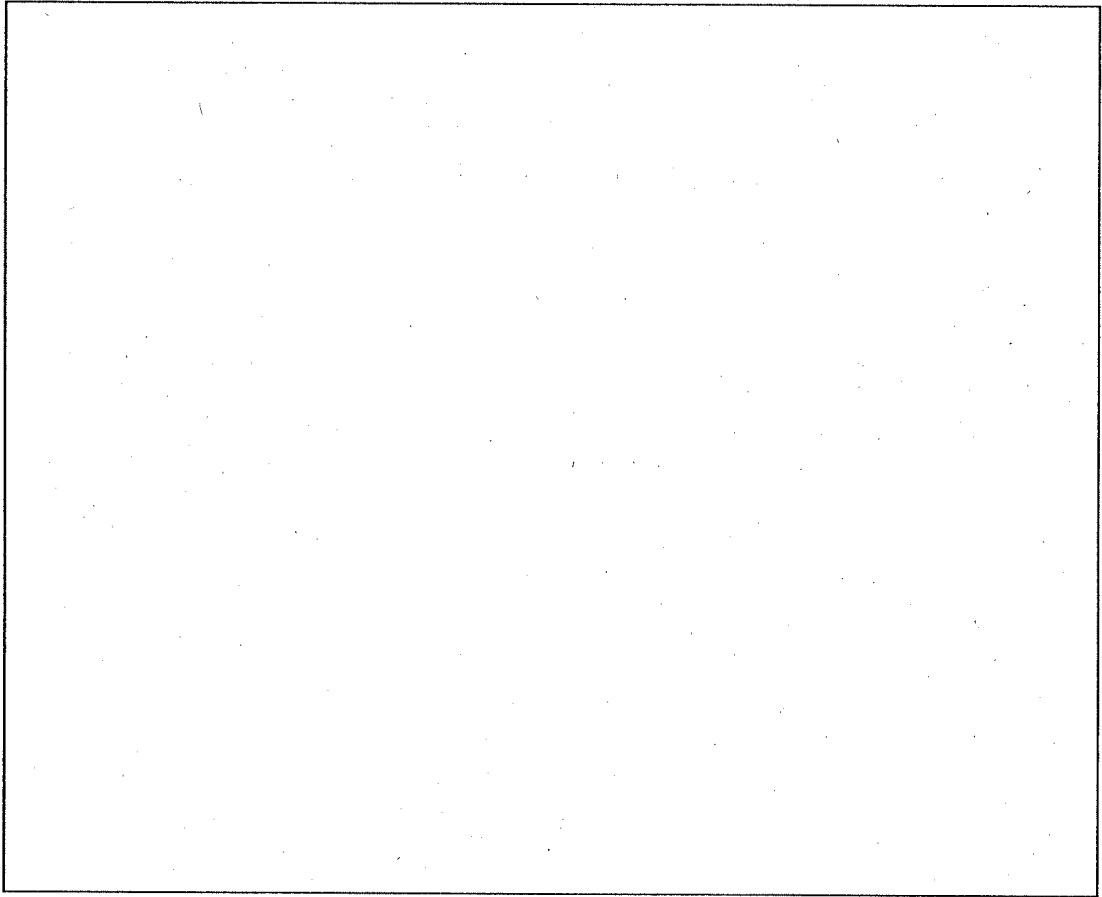
(ロ) ー第 D.4 図 バスケット(側部モデル)

(2) 中性子遮蔽解析モデル

中性子遮蔽解析モデルを(ロ)一第D.5図に示す。

中性子遮蔽解析モデルは、輸送容器の径と高さがほぼ等しいことから、球形状に近似しモデル化を行う。モデル化は、輸送容器の内胴部を体積が等しい球とし、この中を燃料が収納されている線源領域としてモデル化する。線源領域では、燃料芯材(ウランシリコンアルミニウム分散型合金)、燃料被覆材(アルミニウム合金)、燃料構造材(アルミニウム合金)及びバスケット構造材(ステンレス鋼、区切板及び仕切板を考慮する。)の体積比を求め、その値にそれぞれ各材質の密度を乗じてその和をとることにより均質化領域の密度を求める。容器本体内の空間部及び中性子吸収材は無視し、真空とする。

輸送容器の遮蔽厚みは、最も薄い部分を選んでモデル化を行う。



(口) 一第 D. 5 図 中性子遮蔽解析モデル

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

ガンマ線遮蔽解析に用いた上下部モデル及び側部モデルの線源領域の体積比を (ロ) ー第 D.7 表に、ガンマ線遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度を (ロ) ー第 D.8 表に示す。中性子遮蔽解析に用いた線源領域の体積比を (ロ) ー第 D.9 表に、中性子遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度を (ロ) ー第 D.10 表に示す。これらの原子個数密度算出の際に用いた物質の密度を (ロ) ー第 D.11 表に示す。

ステンレス鋼については密度 [] とし [] で構成されているものとする。

これらは、いずれも通常の輸送条件における値であるが、一般の試験条件下及び特別の試験条件下においても、遮蔽計算上問題となる形状変化はないので同一である。また、これらの値は常温における値であるが、主な遮蔽材であるステンレス鋼の場合、0℃～200℃の温度変化に対して密度変化は [] と小さく、重量的にも変化しないので、温度変化の影響は無視する。

*1: 容器本体・蓋及び枠組については、(ハ) 章 B.1 材料検査において密度が

[] であることを確認することとなっている。

(ロ) ー第 D.7 表 ガンマ線遮蔽解析に用いた上下部モデル及び

側部モデルの線源領域の体積比

収 納 物		JMTR標準燃料要素 (LEU)	
解 析 モ デ ル		上 下 部 モ デ ル	側 部 モ デ ル
燃 焼 度			
核種又は元素	²³⁵ U		
	²³⁸ U		
	ケイ素		
	アルミニウム		
	ステンレス鋼		
	空間部 (真空)		

(ロ) ー第 D.8 表 ガンマ線遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度

[JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時]

(単位: $\times 10^{24}$ atoms/cm³)

		上下部モデル	側部モデル
燃 焼 度			
核種又は元素	線源領域		
	ステンレス鋼		

注) 線源領域内の空間部及び中性子吸収材は無視し真空とする。

(ロ) - 第 D. 9 表 中性子遮蔽解析に用いた線源領域の体積比

収 納 物		JMTR標準燃料要素 (LEU)
解 析 モ デ ル		線源領域
燃 焼 度		
核種 又は 物質	²³⁵ U	
	²³⁸ U	
	ケイ素	
	アルミニウム	
	ステンレス鋼	
	空間部 (真空)	

(ロ) - 第 D. 10 表 中性子遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度

[JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時]

(単位 : $\times 10^{24}$ atoms/cm³)

核種 又は 元素	燃 焼 度		燃料芯材部 (線源領域)
核種 又は 元素	線源領域		
	ステンレス鋼		

注) 線源領域内の空間部及び中性子吸収材は無視し真空とする。

(ロ) ー第D.11表 遮蔽解析で用いた物質の密度

物	質	密度 (g/cm ³)
ウラン	(U)	<input type="text"/>
ケイ素	(Si)	2.34 ⁽⁵⁾
アルミニウム	(Al)	2.69 ⁽⁵⁾
ステンレス鋼		

D.4 遮蔽評価

(1) ガンマ線遮蔽解析

ガンマ線遮蔽解析は、(口) 一第 D.1 図及び (口) 一第 D.2 図の解析モデルに対して二次元輸送計算コード DOT3.5 を用いて行う。

断面積は、DLC-23 キャスクライブラリーのガンマ線 18 群を用いる。

燃焼計算コード ORIGEN のエネルギー群構造、DLC-23 キャスクライブラリーのガンマ線 18 群構造を (口) 一第 D.12 表に示す。また、(口) 一第 D.12 表には、各群構造におけるガンマ線源スペクトルを示す。

なお、散乱の取扱いは、 P_3S_8 近似^(注)とする。

線量当量率変換係数は、ICRP Publication 74⁽⁶⁾から引用し、その値を (口) 一第 D.13 表に示す。

これらの結果から、燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU)30 体収納時に最大線量当量率が得られ、輸送容器表面におけるガンマ線の最大線量当量率は、上部 0.623mSv/h、下部 0.644mSv/h、側部 0.988mSv/h であり、表面から 1m の点におけるガンマ線の最大線量当量率は、上部 0.061mSv/h、下部 0.062mSv/h、側部 0.082mSv/h である。

計算結果を (口) 一第 D.6 図及び (口) 一第 D.7 図に示す。

貫通孔部のストリーミングについては、D.6.2 項で述べる。

一般の試験条件下の線量当量率の増加率については、一般の試験条件下で緩衝体及びフィンが変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件下及び特別の試験条件下で容器本体表面を輸送物表面として評価しているため、線量当量率の増加はなく基準を満足している。

注) 粒子の散乱の角度依存性及び単位球表面の分割数 (角度分点) を表す。

(ロ) - 第D.12表 ガンマ線エネルギー群構造及びガンマ線源スペクトル (その1)

[JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時 : 燃焼度

(単位 : photons/s)

エネルギー (MeV)	ORIGEN	割合	DOT3.5 (DLC-23)
合計			

*1: 表中の○印の中の数値は核ライブラリの群数を表す。

(ロ) - 第 D.12 表 ガンマ線エネルギー群構造及びガンマ線源スペクトル (その 2)

[JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時 : 燃焼度

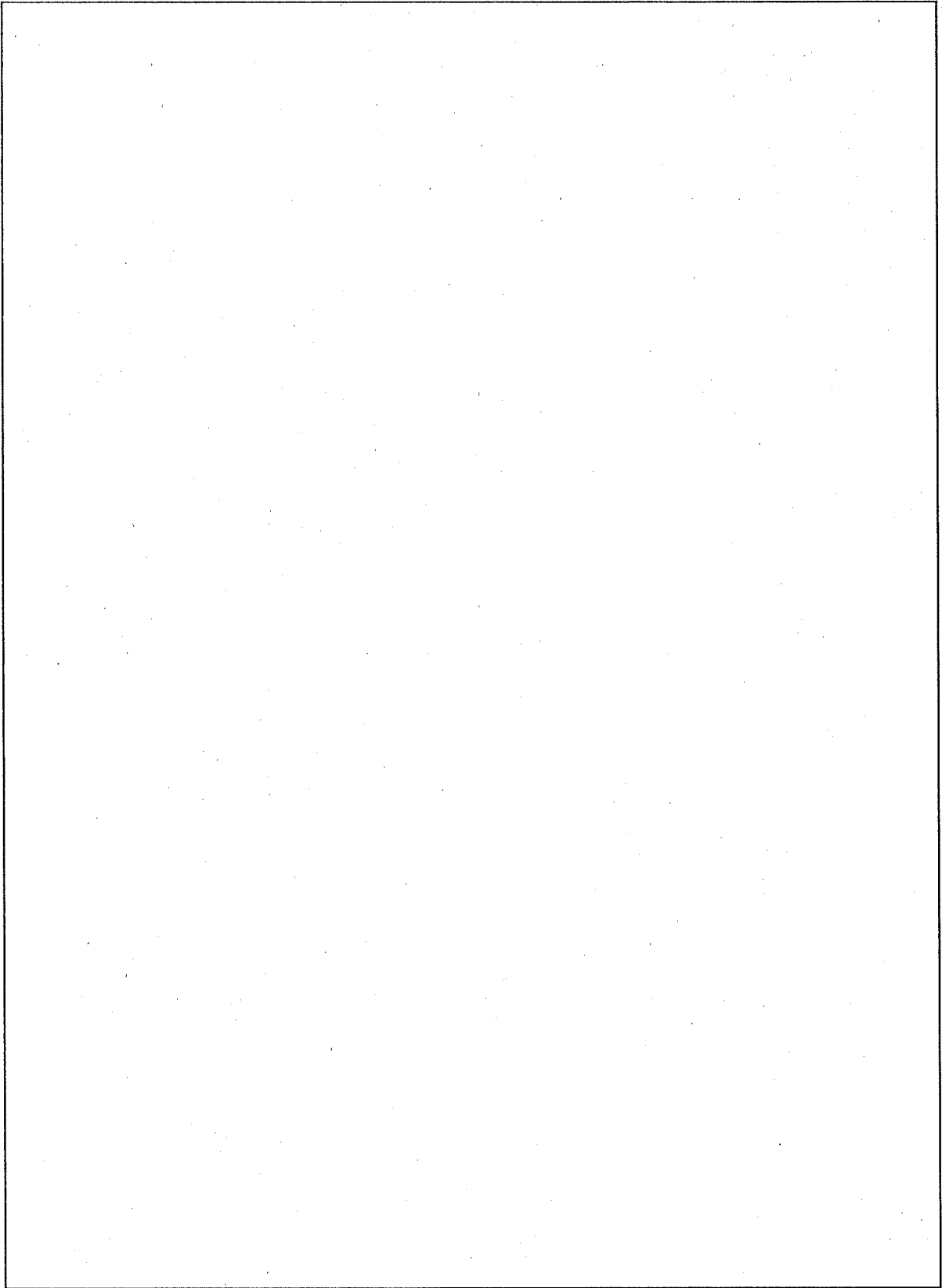
(単位 : photons/s)

エネルギー (MeV)	ORIGEN	割合	DOT3.5 (DLC-23)
合計			

*1: 表中の○印の中の数値は核ライブラリの群数を表す。

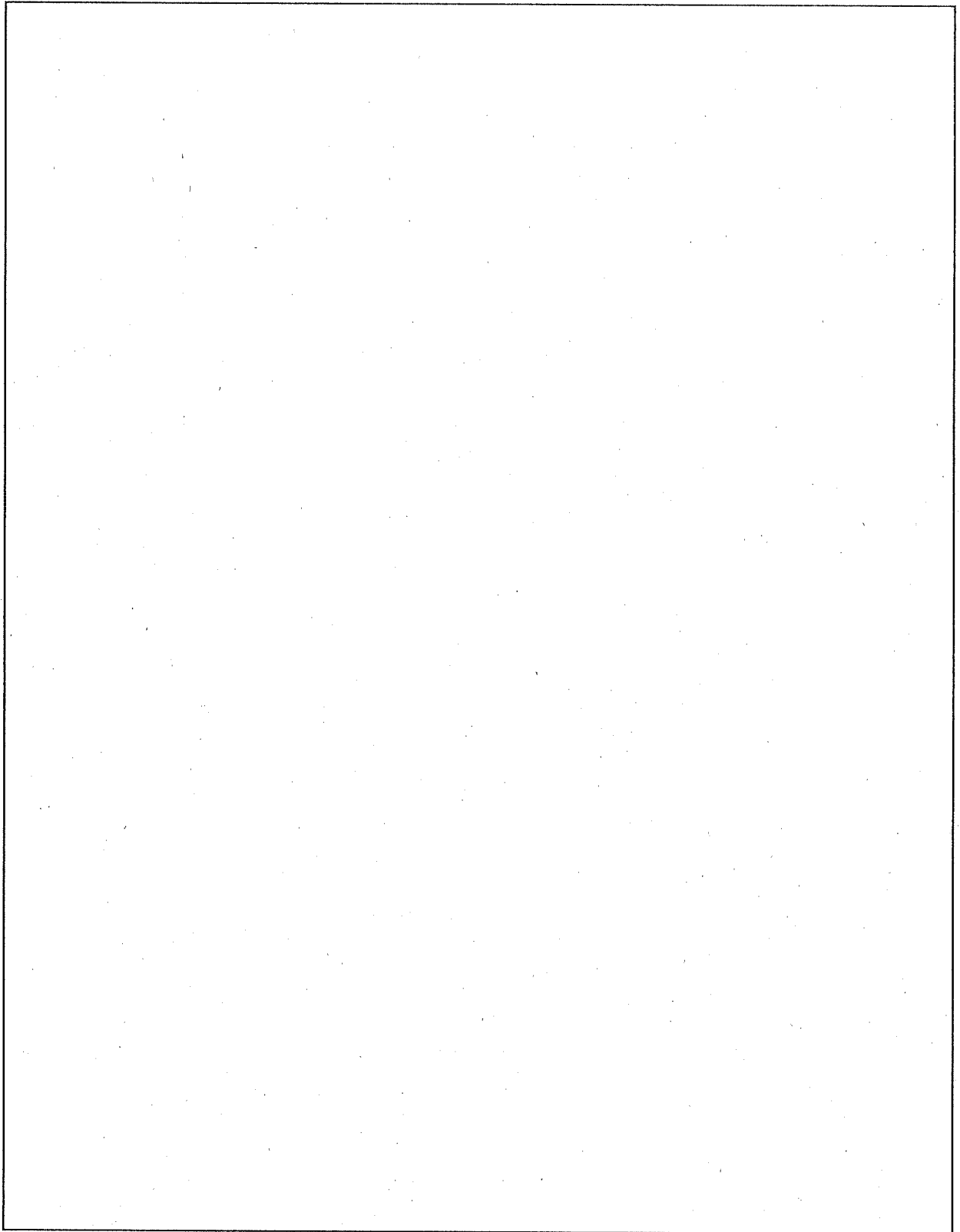
(ロ) - 第 D. 13 表 ガンマ線の線量当量率変換係数

群No.	エネルギー幅 (eV)	線量当量率変換係数 $\frac{\text{mSv/h}}{\text{photons/cm}^2/\text{s}}$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		



(ロ) - 第 D. 6 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時のガンマ線による線量当量率分布

(燃焼度 : 上下部モデル)



(ロ) ー第 D.7 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時のガンマ線による線量当量率分布

(燃焼度 : 側部モデル)

(2) 中性子遮蔽解析

中性子遮蔽解析は、一次元輸送計算コード ANISN を用いて行う。

本解析において、中性子断面積データは、DLC-23 キャスクライブラリーから引用する。また、中性子の線量当量率変換係数は、ICRP Publication 74 から引用する。この中性子の線量当量率変換係数を (ロ) 一第 D.14 表に示す。

なお、中性子散乱は P_3S_8 近似^{注)}とする。

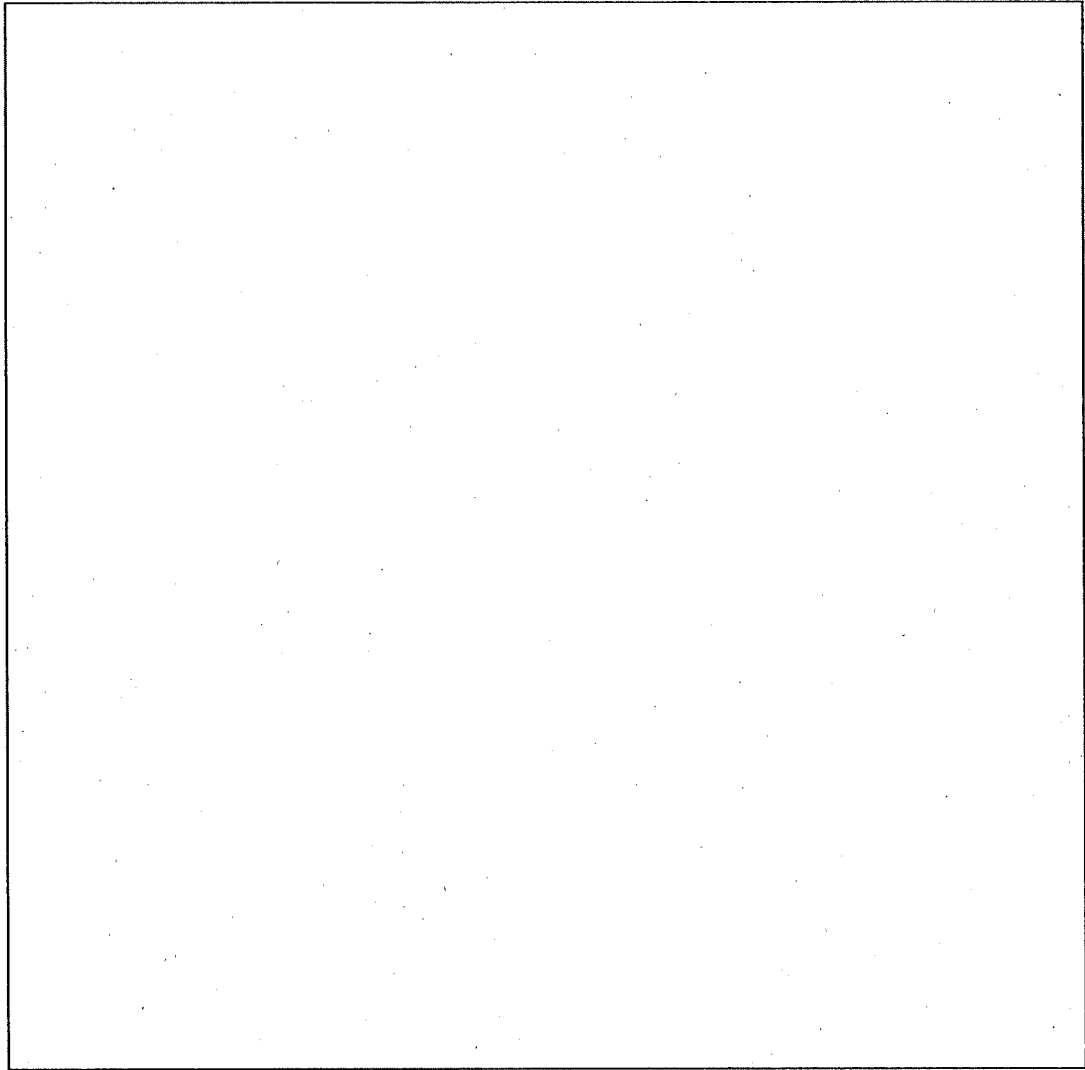
これらの結果から、燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体収納時に最大線量当量率が得られ、輸送容器表面における中性子線の最大線量当量率は 0.021mSv/h、表面から 1m の点における中性子線の最大線量当量率は 0.003mSv/h である。計算結果を (ロ) 一第 D.8 図に示す。この値は、通常の輸送条件における実効増倍係数を考慮したものである。

なお、二次ガンマ線の線量当量率に及ぼす影響は、中性子源がきわめてわずかであり、その効果も非常に小さいので無視する。

注) 粒子の散乱の角度依存性及び単位球表面の分割数 (角度分点) を表す。

(ロ) ー第D.14表 中性子の線量当量率変換係数

群No.	エネルギー幅 (eV)	線量当量率変換係数 $\frac{\text{mSv/h}}{\text{neutron/cm}^2/\text{s}}$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		



(口) 一第 D. 8 図 JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時の中性子源による線量当量率

D.5 結果の要約と評価

輸送物の遮蔽解析で得られた輸送物の線量当量率の要約を(ロ) - 第 D.15 表に示す。輸送物は以下に示すように通常の輸送条件、一般の試験条件下及び特別の試験条件下のいずれにおいても技術基準を満足しており、遮蔽性能上の問題はない。

解析した結果から、ガンマ線量当量率と中性子線量当量率の合計線量当量率は、燃焼度□の JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合に最大となり、通常の輸送条件下での輸送物の表面の線量当量率の最大は 0.998mSv/h であり、また表面から 1m の点での線量当量率の最大は 0.083mSv/h である。それぞれ技術基準の 2mSv/h 以下及び 0.1mSv/h 以下を満足する。

一般の試験条件下での輸送物の表面の線量当量率の最大は 0.998mSv/h であり、技術基準に定める 2mSv/h 以下を満足する。

特別の試験条件下での輸送物の表面から 1m の点での線量当量率の最大は 0.083mSv/h であり、技術基準に定める 10mSv/h 以下を満足する。

また、ガンマ線のストリーミングは全ての収納物の中で最大線量当量率が得られる燃焼度□の JMTR 標準燃料要素 (LEU) について求めた結果、最大値を示すドレン弁保護蓋表面においても、0.030mSv/h である。直接ガンマ線及び中性子の線量当量率の合計値 0.057mSv/h を考慮しても、その位置での線量当量率は 0.087mSv/h であり、遮蔽性能上の問題はない。

(ロ) - 第 D.15 表 輸送物の線量当量率の要約 (その 1)

[JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時 : 燃焼度

[単位 : mSv/h]

評価項目		評価位置	輸送物表面			表面から 1 m の点		
			側部	上部	下部	側部	上部	下部
通常の輸送条件	JMTR標準燃料要素 (LEU) 収納時	ガンマ線	0.988	0.623	0.644	0.082	0.061	0.062
		中性子	0.010	0.010	0.010	0.001	0.001	0.001
		合計	0.998	0.633	0.654	0.083	0.062	0.063
	基準値	2 以下			0.1 以下			
一般の試験条件	JMTR標準燃料要素 (LEU) 収納時	ガンマ線	0.988	0.623	0.644	—		
		中性子	0.010	0.010	0.010			
		合計	0.998	0.633	0.654			
	基準値	2 以下						
特別の試験条件	JMTR標準燃料要素 (LEU) 収納時	ガンマ線	—			0.082	0.061	0.062
		中性子				0.001	0.001	0.001
		合計				0.083	0.062	0.063
	基準値	10以下						
(注) JMTR標準燃料要素 (LEU) 収納時のガンマ線ストリーミングを考慮した場合の最大線量当量率は、次のようになる。ストリーミングによる最大線量当量率は、ドレン孔で生じる。								
ガンマ線ストリーミング			0.030			—		
直接ガンマ線			0.047					
中性子			0.010					
合計			0.087					

(ロ) - 第 D. 15 表 輸送物の線量当量率の要約 (その 2)

[JMTR 標準燃料要素 (LEU) 収納時 : 燃焼度

[単位 : mSv/h]

評価項目		評価位置	輸送物表面			表面から 1 m の点		
			側部	上部	下部	側部	上部	下部
通常の輸送条件	JMTR標準燃料要素 (LEU) 収納時	ガンマ線	0.921	0.583	0.598	0.077	0.057	0.058
		中性子	0.021	0.021	0.021	0.003	0.003	0.003
		合計	0.942	0.604	0.619	0.080	0.060	0.061
	基準値	2 以下			0.1 以下			
一般の試験条件	JMTR標準燃料要素 (LEU) 収納時	ガンマ線	0.921	0.583	0.598			
		中性子	0.021	0.021	0.021			
		合計	0.942	0.604	0.619			
	基準値	2 以下						
特別の試験条件	JMTR標準燃料要素 (LEU) 収納時	ガンマ線				0.077	0.057	0.058
		中性子				0.003	0.003	0.003
		合計				0.080	0.060	0.061
	基準値				10以下			

D.6 付属書類	
D.6.1 燃焼条件に対する検討	(口) -D-33
D.6.2 ガンマ線ストリーミングについて	(口) -D-40
D.6.3 (α, n) 反応による中性子収率について	(口) -D-50
D.6.4 燃焼計算コード ORIGEN の説明	(口) -D-52
D.6.5 一次元輸送計算コード ANISN 及び二次元輸送計算コード DOT3.5 の説明	(口) -D-54
D.6.6 参考文献	(口) -D-56

D.6.1 燃焼条件に対する検討

(1) 概要

輸送容器に収納する燃料の放射能、発熱量及び線源強度が最大となるような燃焼条件を JMTR の燃料を例にして検討する。JMTR には中濃縮ウラン燃料 (MEU) 及び低濃縮ウラン燃料 (LEU) の濃縮度の異なる 2 とおりの燃料が装荷される。

低濃縮ウラン燃料 (LEU) は、JMTR 標準燃料要素と JMTR 燃料フォロワから成る。

ここでは、装荷される燃料よりも、濃縮度が高い、JMTR 標準燃料要素 (HEU) 及び JMTR 燃料フォロワ (HEU) が JMTR に装荷された場合について検討を行う。

(2) 燃焼計算

燃焼計算は、燃焼計算コード ORIGEN を用いて、燃料 1 体当たりの最大燃焼度が となるまで JMTR を連続運転した場合について行う。この仮定は、運転途中での冷却期間を考慮しないために、短半減期核種の減衰が少なくなり安全側となる。

本検討では、JMTR 標準燃料要素 (HEU) 1 体当たりの比出力と燃焼期間とを変化させ放射能、発熱量及び線源強度の計算結果を比較する。

JMTR 標準燃料要素 (HEU) 1 体当たりの最大比出力は、次式で求められる。

$$\text{最大比出力} = \text{JMTR 熱出力} \times \frac{\text{JMTR 標準燃料要素 (HEU) 1 体に含まれる } ^{235}\text{U 量}}{\text{JMTR 装荷燃料に含まれる } ^{235}\text{U 量}}$$

ここで、JMTR 熱出力：50MW

JMTR 装荷燃料

JMTR 標準燃料要素 (HEU)	(²³⁵ U： <input type="text"/>)	22本
JMTR 燃料フォロワ (HEU)	(²³⁵ U： <input type="text"/>)	5本

したがって、JMTR 標準燃料要素 (HEU) 1 体当たりの最大比出力は、

である。

本検討では、JMTR 標準燃料要素 (HEU) 1 体当たりの比出力を 及び の 3 ケースについて燃焼計算を行う。各ケースにおいて、燃焼度を とするの に要する燃焼期間は、次式で求められる。

$$\text{燃焼期間} = \frac{\text{燃焼度 } \text{} \text{に相当する } ^{235}\text{U 量}}{^{235}\text{U 損耗率}}$$

ここで、燃焼度 に相当する ²³⁵U 量

$$\frac{\text{}}{^{235}\text{U 損耗率 } \text{} / \text{MWD}}$$

高濃縮ウラン燃料(HEU)(JMTR 標準燃料要素(HEU)及び JMTR 燃料フォロー(HEU))の燃料要素仕様を(ロ) - 第 D. 16 表に、各ケースの燃焼計算条件を(ロ) - 第 D. 17 表に示す。

(ロ) - 第 D. 16 表 燃料要素仕様

項 目	燃 料	高濃縮ウラン燃料(HEU)	
		JMTR標準燃料要素(HEU)	JMTR燃料フォロー(HEU)
^{235}U 含有量*1 (g/体)			
濃縮度 (%)			
U含有量 (g/体)			
^{238}U 含有量 (g/体)			
燃焼度 (% ^{235}U)			

*1: 上限値を示す。

(ロ) - 第 D. 17 表 燃焼計算条件

項 目	比出力 (MW)	燃焼期間 (日)	冷却日数 (日)
ケース 1			
ケース 2			
ケース 3			

(3) 結果

燃焼計算コード ORIGEN で各ケースについて計算した結果を (ロ) 一第 D. 9 図～
(ロ) 一第 D. 12 図に示す。ガンマ線源強度は、線量当量率への寄与が最も大きな平均エネルギー のものを示す。

a. 放射能

(ロ) 一第 D. 9 図に示すように、比出力が高く燃焼期間の短いものほど大きくなっている。

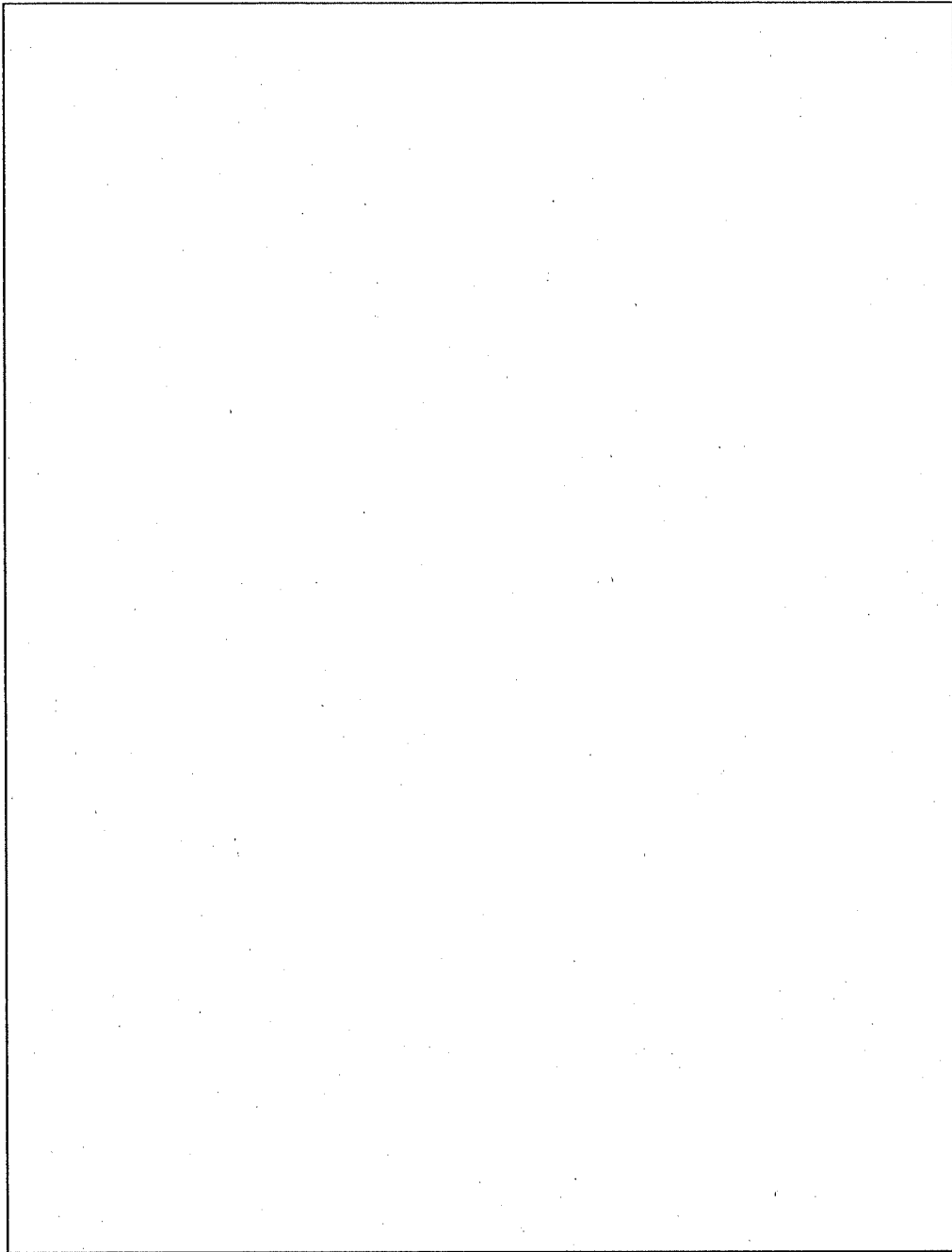
b. 発熱量

(ロ) 一第 D. 10 図に示すように比出力が高く燃焼期間の短いものほど大きくなっている。

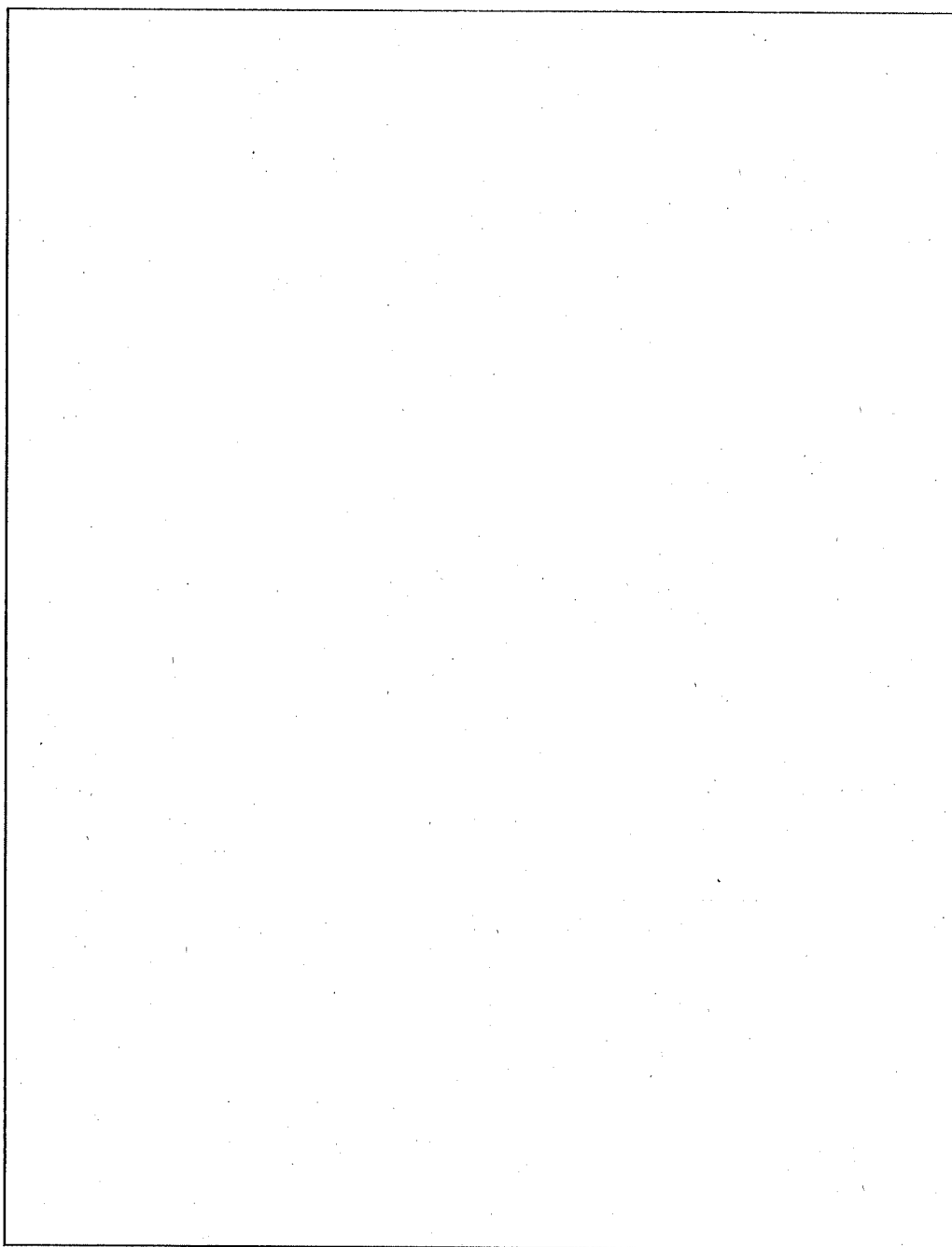
c. 線源強度

線源は、ガンマ線源と中性子源とから成る。ガンマ線源は、(ロ) 一第 D. 11 図に示すように、比出力が高く燃焼期間の短いものほど大きい。中性子源は、(ロ) 一第 D. 12 図に示すように、比出力が高く燃焼期間の短いものほど小さくなっている。しかし、全線量当量率に対する中性子源の寄与は数%以下であるので、線源強度としては比出力が高く燃焼期間の短い方が厳しい条件となる。

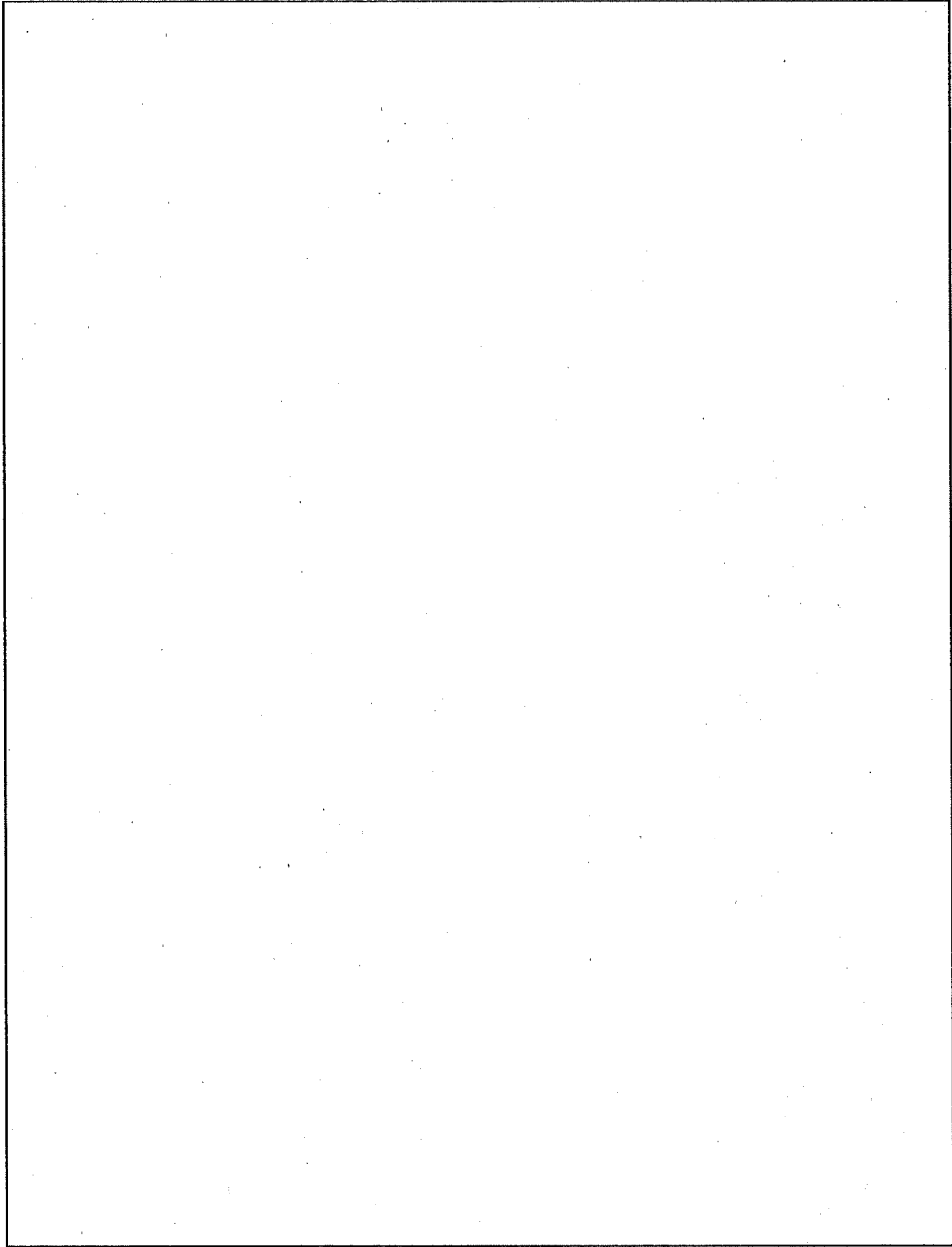
したがって、放射能、発熱量及び線源強度が最大となるような燃焼条件は比出力が高く燃焼期間の短いものである。本解析では各燃料に対してこの条件を満足するように燃焼させ、線源仕様を求める。



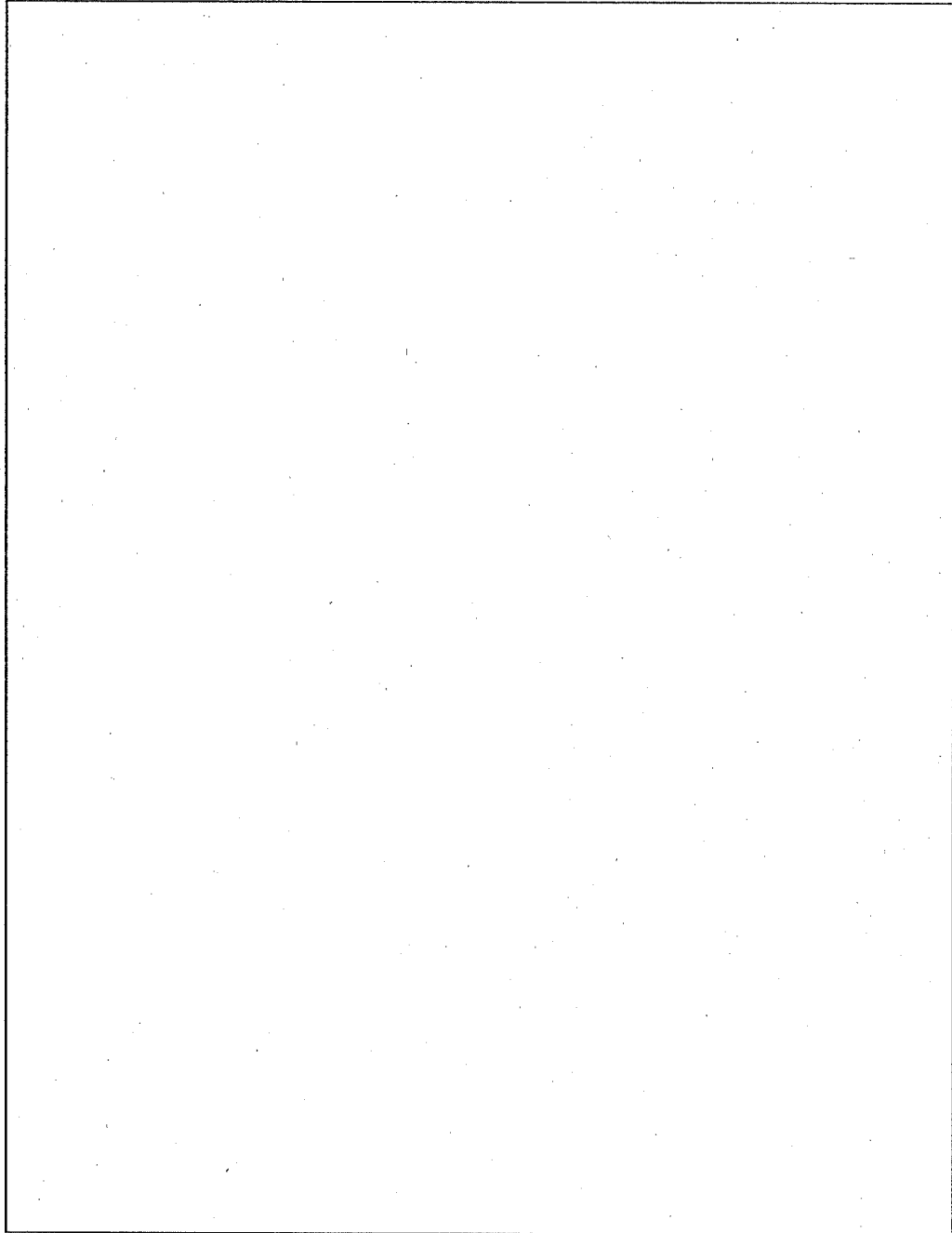
(口) - 第D.9 図 放射能強度



(口) - 第 D. 10 図 発熱量



(口) - 第 D. 11 図 ガンマ線源強度



(口) 一第 D. 12 図 中性子源強度

D.6.2 ガンマ線ストリーミングについて

ガンマ線ストリーミングは、全ての収納物の中で最大線量当量率が得られる燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納する場合について評価する。

1. 検討と結果

ガンマ線ストリーミングが問題となる箇所は、(口) ー第 D.13 図に示すように次の 3 箇所である。

- (1) ドレン貫通孔
- (2) 容器本体と蓋の隙間
- (3) ベント貫通孔

これら 3 箇所での輸送容器表面の線量当量率を求めた結果を、(口) ー第 D.18 表に示す。

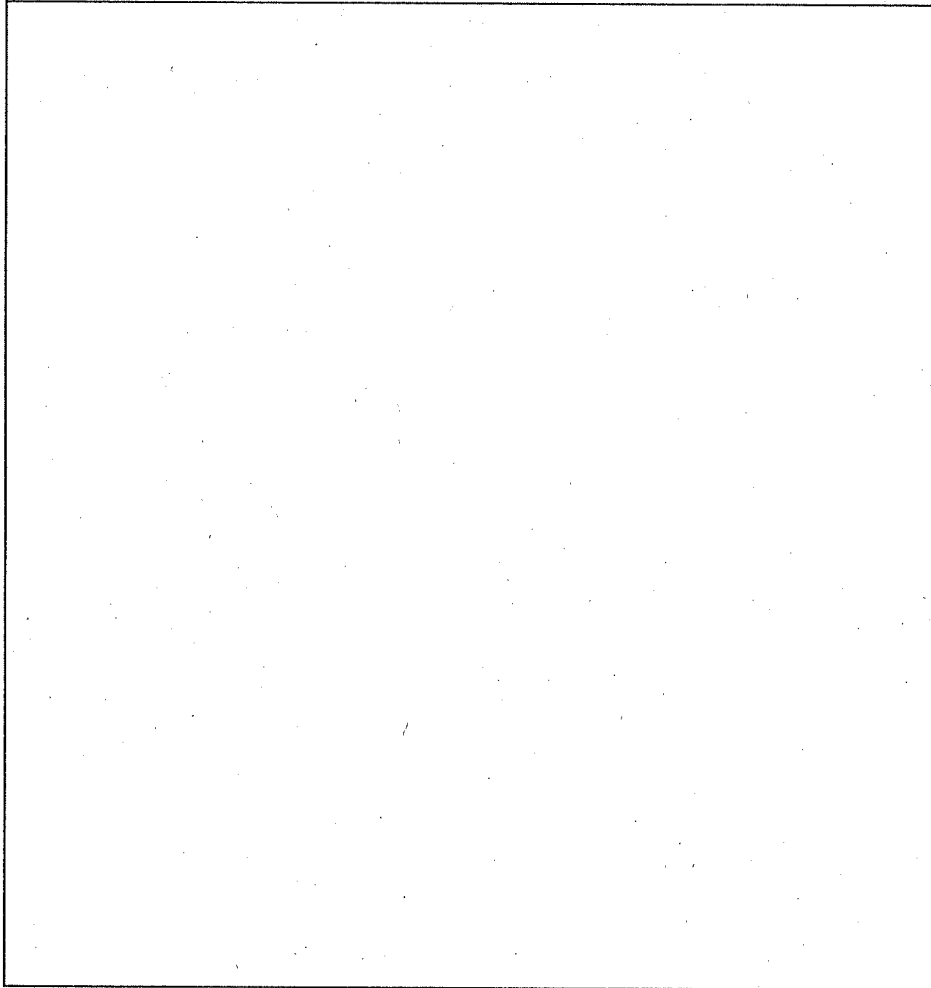
(口) ー第 D.18 表 輸送容器各点での線量当量率

箇所	ガンマ線 表面の線量当量率	
	ガンマ線ストリーミング (mSv/h)	直接ガンマ線 (mSv/h)
(1) ドレン貫通孔	0.030	0.047
(2) 容器本体と蓋の隙間	無視できる	—
(3) ベント貫通孔	0.005	0.062

以上の結果から、貫通孔部のガンマ線ストリーミングが最大となる位置はドレン貫通孔であり、ドレン弁保護蓋表面における線量当量率は、0.030mSv/h である。

この場合、(口) ー第 D.18 表に示す直接ガンマ線の線量当量率 0.047mSv/h を加えても、表面の線量当量率は 0.077mSv/h である。また、中性子線量当量率 0.010mSv/h を考慮した場合でも 0.087mSv/h であり、この値は基準値を満足している。

したがって、貫通孔部のストリーミングの問題はない。



(ロ) ー第D.13図 ガンマ線ストリーミングが問題となる箇所

2. 解析の詳細

2.1 ドレン貫通孔

2.1.1 解析方法

ドレン貫通孔部を(口) - 第 D.14 図に示すようにモデル化し、次の手順で解析を行う。

(1) a 点での線量当量率 D_a は、D.4 遮蔽評価において、ガンマ線による線量当量率分布(上下部モデル)から得られた該当位置での値で代表させる。

(2) b 点での線量当量率 D_b は、a 点から b 点までの面線源の減衰を考慮する。

b 点での線量当量率 D_b は、a 点での線量当量率 D_a を用いて次式で与えられる。

$$D_b = \frac{D_a}{2} \ln \left[1 + \left(\frac{x}{r_1} \right)^2 \right] \quad (7)$$

ここで、

D_a : a 点での線量当量率 1.1×10^6 mSv/h

x : 円管の半径

r_1 : 入口からの距離

$$D_b = \text{$$

$$= \text{$$

(3) d 点での線量当量率 D_d は、b 点から d 点までの面線源の減衰を考慮する。

d 点での線量当量率 D_d は、b 点での線量当量率 D_b を用いて次式で与えられる。

なお、ドレン弁保護蓋による線量当量率の減衰は、安全側に無視する。

$$D_d = \frac{D_b}{2} \ln \left[1 + \left(\frac{x}{r_1} \right)^2 \right] \quad (7)$$

ここで、

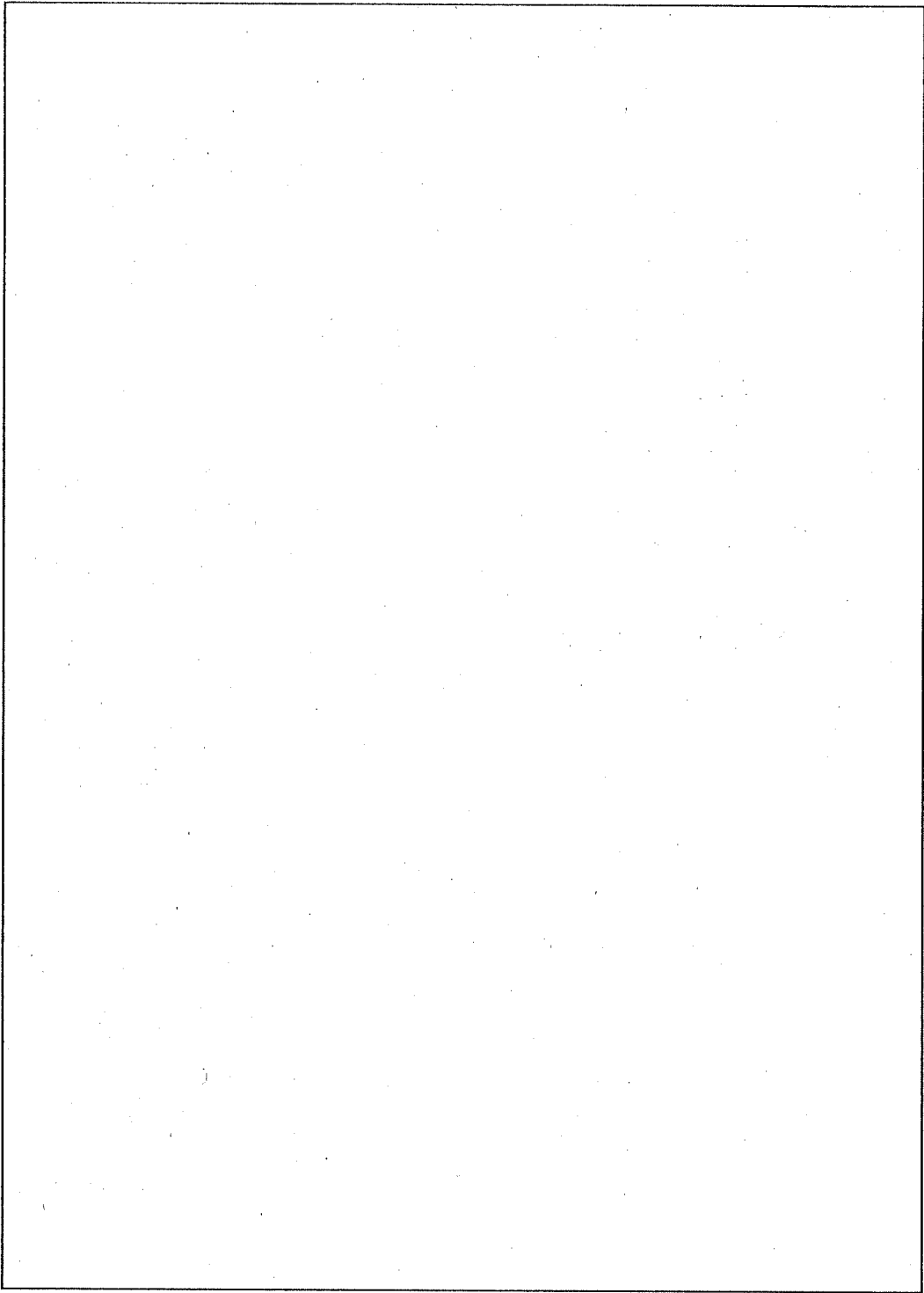
D_b : b 点での線量当量率

x : 円管の半径

r_1 : 入口からの距離

$$D_d = \text{$$

$$= \text{$$



(ロ) ー第 D. 14 図 ドレン貫通孔ガンマ線ストリーミング解析モデル

2.1.2 結果

以上の結果から、ドレン弁保護蓋表面でのストリーミングによる線量当量率は、 0.030mSv/h である。また、D.4 遮蔽評価において、ガンマ線による線量当量率分布（上下部モデル）から得られた当該位置の直接ガンマ線の線量当量率 0.047mSv/h を考慮した場合でも、その場所での線量当量率は 0.077mSv/h であり問題とはならない。

2.2 容器本体と蓋の隙間

容器本体と蓋の隙間の形状を(口)－第 D.15 図に示す。この隙間から漏えいする過程は、(口)－第 D.16 図に示した(A)、(B)、(C)の3ケースに分けられる。以下にこれら3ケースに関し検討する。

2.2.1 解析の詳細

(A)の場合

有効遮蔽厚さが□から□と増加する方向なので問題とはならない。

(B)の場合

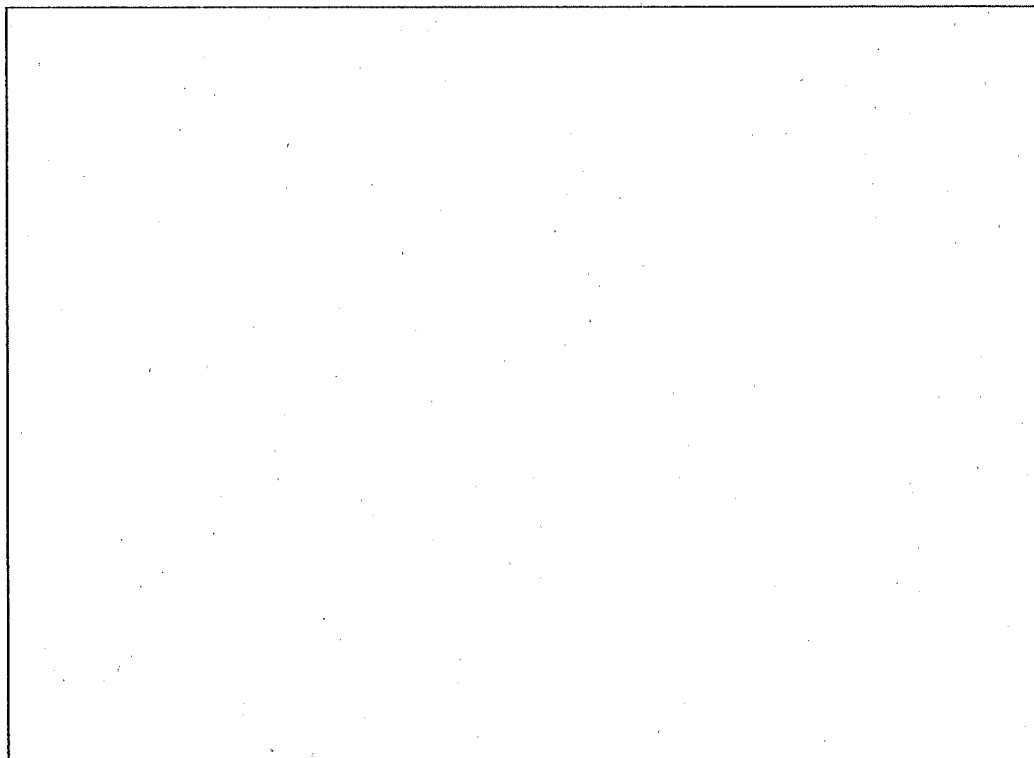
蓋と容器本体との接合部は収納領域の上端にあり、線源領域からは直接に(B)の過程で漏えいすることはないので問題とはならない。

(C)の場合

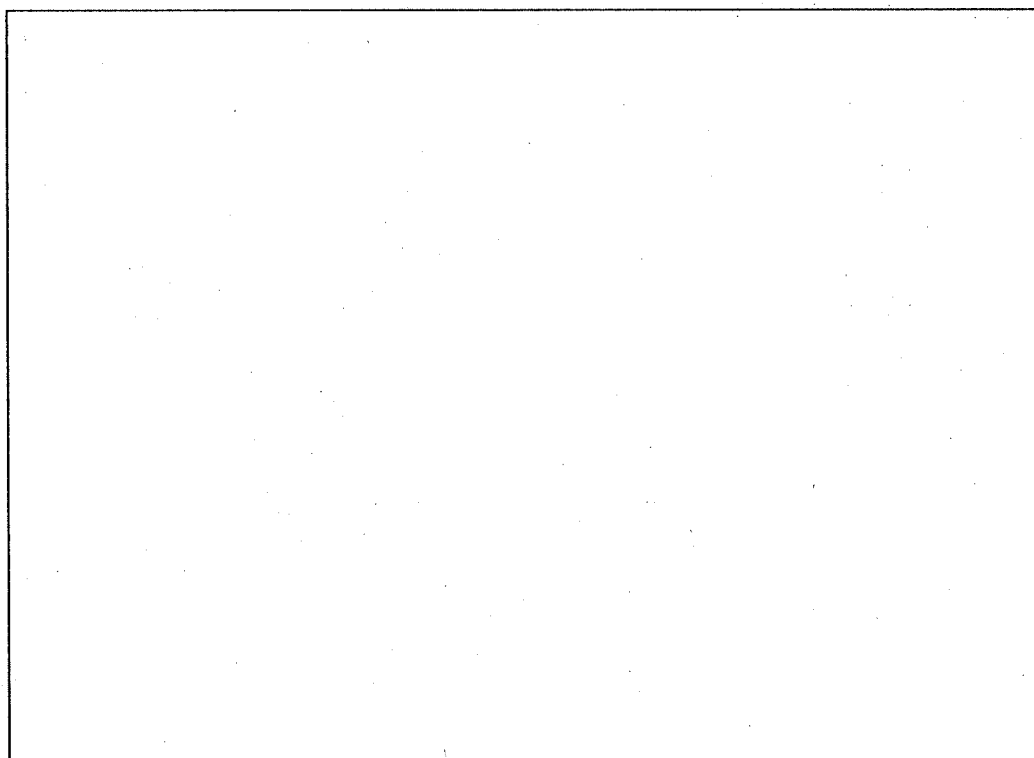
ベント貫通孔における漏えいの方が、(C)の過程で漏えいするよりも厳しい状態があるので、ベント貫通孔の解析を行うことで省略する。

2.2.2 結果

以上の検討から、容器本体と蓋接合面でのガンマ線ストリーミングについては問題とはならない。



(口) - 第 D. 15 図 容器本体と蓋との隙間



(口) - 第 D. 16 図 漏えいする 3 過程

2.3 ベント貫通孔

2.3.1 解析方法

ベント貫通孔の形状は、(ロ) - 第 D.17 図に示すとおりであるが、解析では (ロ) - 第 D.18 図に示すとおりモデル化し、次の手順で解析を行う。

- (1) a 点での線量当量率 D_a は、D.4 遮蔽評価においてガンマ線による線量当量率分布(上部モデル)から得られた当該位置の計算結果の値で代表させる。
- (2) b 点での線量当量率 D_b は、a 点から b 点までの面線源の減衰を考慮する。
b 点での線量当量率 D_b は、a 点での線量当量率 D_a を用いて次式で与えられる。

$$D_b = \frac{D_a W}{2\pi Z} (\theta_1 + \theta_2)^{(7)}$$

ここで、

D_a : a 点での線量当量率 4.8×10^4 mSv/h

W : 直方体スロットの幅

Z : 直方体スロットの長さ

$\theta_1 + \theta_2$: B 点から線源面を見る角度

$$D_b = \text{$$
$$= \text{$$

- (3) d 点での線量当量率 D_d は、b 点から d 点までの面線源の減衰を考慮する。
d 点での線量当量率 D_d は、b 点での線量当量率 D_b を用いて次式で与えられる。
なお、ベントプラグ保護蓋による線量当量率の減衰は、安全側に無視する。

$$D_d = \frac{D_b}{2} \ln \left[1 + \left(\frac{x}{r_1} \right)^2 \right] \quad (7)$$

ここで、

D_b : b 点での線量当量率

x : 円管の半径

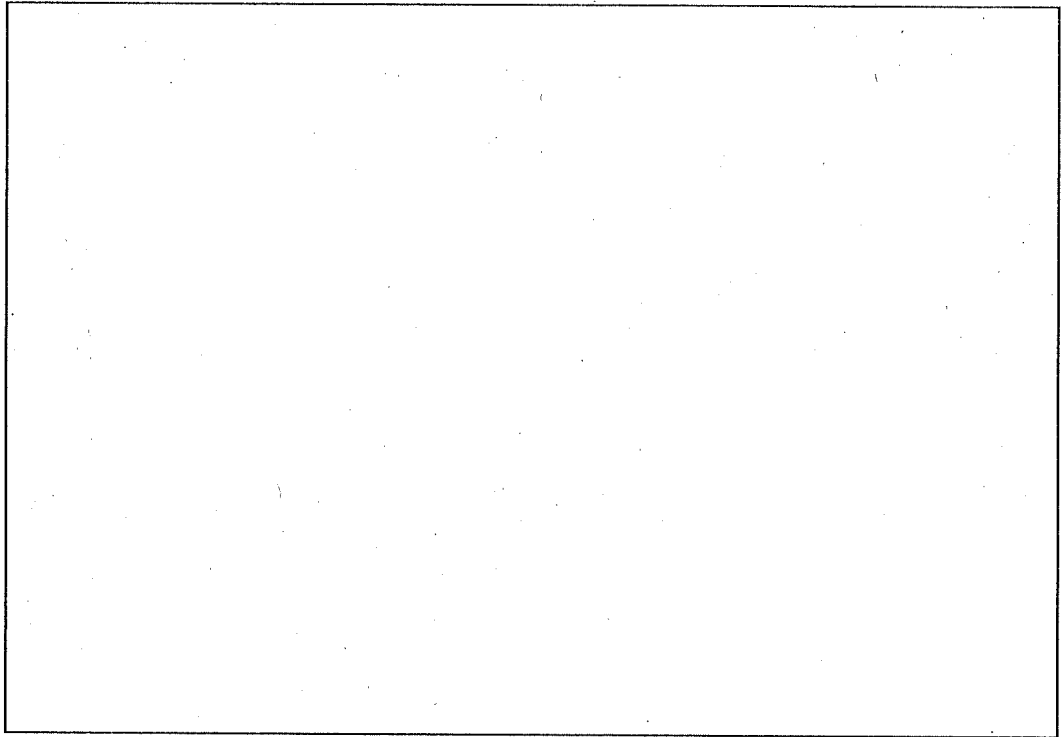
r_1 : 入口からの距離

$$D_d = \boxed{}$$

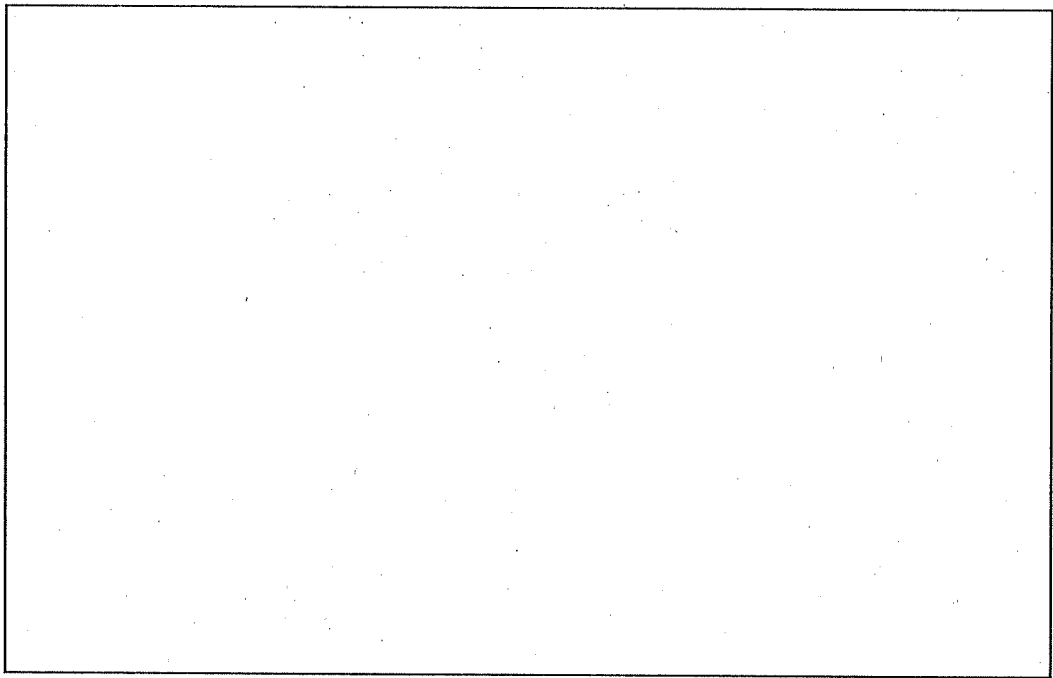
$$= \boxed{}$$

2.3.2 結果

以上の結果から、ベントプラグ保護蓋表面でのガンマ線ストリーミングによる線量当量率は 0.005mSv/h である。また、D.4 遮蔽評価において、ガンマ線による線量当量率分布(上下部モデル)から得られた当該位置の直接ガンマ線 0.062mSv/h を考慮した場合でも、その場所での線量当量率は 0.067mSv/h であり問題とはならない。



(ロ) - 第 D. 17 図 ベント貫通孔の形状



(ロ) - 第 D. 18 図 ベント貫通孔ガンマ線ストリーミング解析モデル

D.6.3 (α, n)反応による中性子収率について

(α, n)反応による中性子収率は、燃焼度 及び燃焼度 の各々の JMTR 標準燃料要素 (LEU) について求める。

これらの燃料中の軽核種であるアルミニウム、シリコンと (α, n) 反応することにより発生する中性子数は、以下の式⁽⁸⁾により求められる。

$$Y_{\text{mix}} = \frac{\sum N_i \cdot C_i \cdot Y_{ni}}{\sum N_i \cdot C_i} \quad (1)$$

ここで、 Y_{mix} : 混合物との (α, n) 反応による中性子収率 (n/α/s)

Y_{ni} : 単体元素 i との (α, n) 反応による中性子収率 (n/α/s)

を考慮する。これら以外の核種からの α 粒子の寄与は無視できる。

元 素	Y_{ni}
アルミニウム	
シリコン	
ウラン	

元 素	Y_{ni}
アルミニウム	
シリコン	
ウラン	

N_i : 単体元素 i の原子個数密度 (1/cm³)

元 素	N_i
アルミニウム	
シリコン	
ウラン	

C_i : 酸素と元素 i との阻止能の比

元 素	C_i
アルミニウム	
シリコン	
ウラン	

各 α 放射体について、これらの値を(1)式に代入すると、各 α 放射体毎の Y_{mix} の値が得られる。

α 放射体	Y_{mix}

ここで、各 α 放射体が1崩壊当たり α 粒子を1個放出するので、各 α 放射体の放射エネルギー (ORIGEN コード結果より) から、JMTR 標準燃料要素1体収納時の中性子発生数は、以下のようなになる。

(燃焼度 の場合)

α 放射体	Q ($Bq=\alpha$)	Y_{mix} ($n/\alpha/s$)	$Q \cdot Y_{mix}$ (n/s)
合 計			<input type="text"/>

したがって、燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体収納時の (α , n) 反応による中性子発生数は、 となる。

(燃焼度 の場合)

α 放射体	Q ($Bq=\alpha$)	Y_{mix} ($n/\alpha/s$)	$Q \cdot Y_{mix}$ (n/s)
合 計			<input type="text"/>

したがって、燃焼度 の JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体収納時の (α , n) 反応による中性子発生数は、 となる。

D.6.4 燃焼計算コード ORIGEN の説明

(1) 概 要

ORIGEN コードは、Oak Ridge National Laboratory で開発された 1 点近似の燃焼計算コードである。

(2) 機 能

本コードは、800 以上の核種についての核データ(崩壊スキーム、中性子吸収断面積、ガンマ線放出率等)をライブラリとして保有する。この核データを用いて、1 階微分方程式の燃焼方程式を解き、ガンマ線のエネルギー分布、中性子強度、崩壊熱等を入力する。

(3) 計算手法

ORIGEN コードでは個々の同位元素の生成量と壊変量を次に示す 1 階微分方程式を解くことにより求める。

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N I_{ij} \lambda_j X_j + \sum_{k=1}^N f_{ik} \sigma_k X_k - (\lambda_i + \Phi \sigma_i) X_i$$

ここで、

X_i : 核種 i の原子数

λ_i : 核種 i の崩壊定数

σ_i : 核種 i の平均中性子吸収断面積

Φ : 平均中性子束

I_{ij} : 核種 j が中性子と反応して核種 i になる割合

f_{ik} : 核種 k から核種 i に崩壊する割合

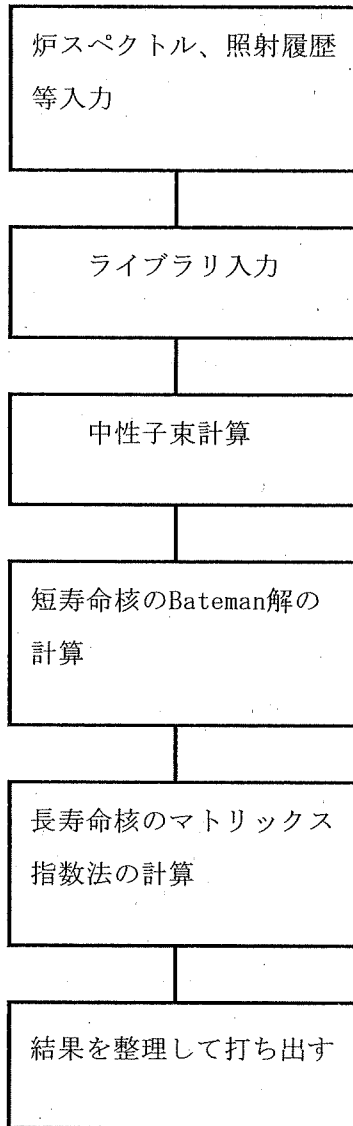
この 1 階連立微分方程式を解くに当たって、長寿命核種に対しては、マトリックス指数法が使われ、短寿命核種に対しては Bateman の式が使われる。

ORIGEN コードの概略計算フローを (ロ) ー第 D.19 図に示す。

(4) 本コードの実用例

本コードを使用済燃料輸送容器の線源評価に用いた実例として次のものがある。

AMCO LMFBR Shipping cask NO.1-(182)-1



(口) - 第 D. 19 図 ORIGEN コード概略計算フロー

D. 6. 5 一次元輸送計算コード ANISN 及び二次元輸送計算コード DOT3. 5 の説明

(1) 概 要

ANISN コードは、Oak Ridge National Laboratory で開発された一次元輸送計算コードである。解法は、角度変数について離散分布の方法を適用するもので、微分方程式の導き方に工夫があり、非等方散乱も扱える。

(2) 機 能

本コードは、一般的にボルツマン輸送方程式で記述される放射線の輸送問題に適用でき、特に中性子の物質透過の際によく用いられる。また、外部線源を持った遮蔽計算だけでなく、臨界計算に用いることもできる。

(3) 計算手法

多群輸送方程式は次のように書かれる。

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot \nabla \phi^g + \sigma_{t^g}(r) \phi^g(r, \Omega) \\ & = \int_{4\pi} d\Omega' \sum_{g'=1}^G \sigma_{s^{g' \rightarrow g}}(\Omega' \rightarrow \Omega) \phi(r, \Omega') + S^g(r, \Omega) \end{aligned}$$

ここで、

Ω	: 角方向を表す単位ベクトル
$\phi^g(r, \Omega)$	: エネルギー-g 群の位置 r、方向 Ω の中性子束
$\sigma_{t^g}(r)$	: エネルギー-g 群の位置 r の全巨視的断面積
$\sigma_{s^{g' \rightarrow g}}(\Omega' \rightarrow \Omega)$	: エネルギー-g' 群より g 群、角度が Ω' から Ω に変化する散乱断面積
$S^g(r, \Omega)$	: エネルギー-g 群で位置 r、方向 Ω の外部中性子源密度

である。ANISN コードでは散乱断面積を Legendre の多項式として表す。

ANISN では上式を角度方向と空間メッシュに切って階差式になおして $\phi^g(r, \Omega)$ 及び高次のモーメント $\phi_{1^g}(r, \Omega)$ を求める。

以上 $\phi^g(r, \Omega)$ は中性子であるとして論じたが、ガンマ線束である場合も全く同様である。

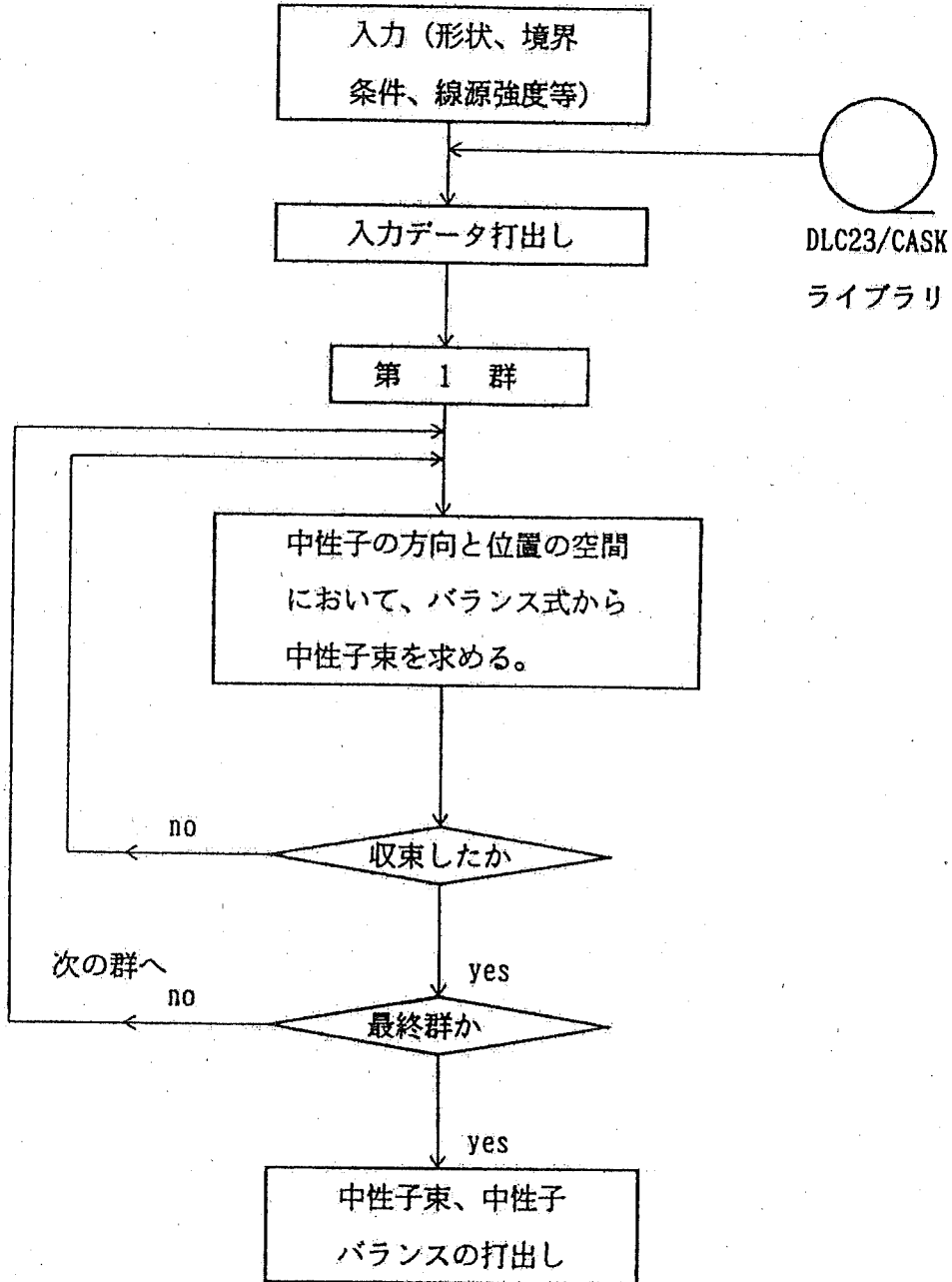
ANISN コードの概略計算フローを (ロ) - 第 D. 20 図 に示す。

DOT3. 5 コードは、二次元ボルツマン輸送方程式を ANISN コードと基本的に同じ解法により数値計算するもので、Oak Ridge National Laboratory で開発された。

(4) 本コードの実用例

本コードを使用済燃料輸送容器の中性子遮蔽解析に用いた実例として次のものがある。

- ・ NLI 10/24
- ・ AMCO LMFBR Shipping cask NO.1-(182)-1



(ロ) - 第 D. 20 図 ANISN コード概略計算フロー

D. 6. 6 参考文献

- (1) M. J. Bell: "ORIGEN - The ORNL Isotope Generation and Depletion Code", ORNL - 4628, (1973).
- (2) "DOT3.5 - Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", (1975).
- (3) W. W. Engle Jr.: "A User's Manual for ANISN a One - Dimensional Discrete Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering", K - 1693, (1967).
- (4) ORNL RSIC: "CASK ; 40 Group Coupled Neutron and Gamma - ray Cross Section Data", DLC - 23, (1973).
- (5) 国立天文台編: "理科年表", 第 71 冊, 丸善株式会社, (1998).
- (6) ICRP: "Data for Use in Protection Against External Radiation", Publication 74.
- (7) Wade E. Selph and H. Clyde Claibome: "Methods for Calculating Effects of Ducts Access Ways and Holes in Radiation Shields, Oak Ridge National Laboratory Report", ORNL - RSIC - 20, (January 1968).
- (8) "(α , n) 反応と自発核分裂による中性子収率を計算するためのデータブック", JAERI 1324, 日本原子力研究所, (1992 年 1 月).

E. 臨 界 解 析

E. 臨界解析

E.1 概要

核分裂性輸送物に係る未臨界性については、(1)非損傷孤立系、(2)損傷孤立系、(3)損傷配列系のいずれの場合においても臨界に達しないことを評価する。

損傷系については、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での輸送物の変形を考慮する。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での変形は緩衝体にとどまり、容器本体の変形はない。本解析では、上記の3つの臨界評価体系のうち、フィン及び上部・下部緩衝体を取り除いて解析が行われる損傷系が厳しい条件となるので損傷孤立系及び損傷配列系について未臨界性をモンテカルロ法を用いた臨界解析により評価する。なお、核燃料物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準は次のとおりである。

- (1) 輸送中
- (2) 孤立系に置くこととした場合
- (3) 核分裂輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを孤立系に置くこととした場合
- (4) 核分裂輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを孤立系の下に置くこととした場合
- (5) 核分裂輸送物に係る一般の試験条件に置いたものを配列系の下で、かつ、輸送物相互間が最大の中性子増倍率となるような状態で、輸送制限個数の5倍置くこととした場合
- (6) 核分裂輸送物に係る特別の試験条件に置いたものを配列系の下で、かつ、輸送物相互間が最大の中性子増倍率となるような状態で、輸送制限個数の2倍置くこととした場合

(1)、(2)については損傷孤立系に包括され、(3)、(4)については、一般の試験条件下及び特別の試験条件下での容器の変形を安全側に設定した損傷孤立系が該当する。

(5)、(6)については、損傷孤立系を無限個配列した損傷配列系が該当する。

輸送物の臨界防止は、主としてバスケットに組み込まれた の中性子吸収効果によるものである。

収納物は、JMTR 燃料である。JMTR 燃料は MEU 燃料及び LEU 燃料であり、LEU 燃料は、標準燃料要素、燃料フォローから成る。MEU 燃料は、標準燃料要素から成る。

輸送容器には、これらの収納物を最大 30 体収納する。MEU 燃料と LEU 燃料について混合装荷を行う場合がある。

未臨界性は、それぞれの燃料に対して核分裂性物質を多く含んでいる標準燃料要素の新燃料が 30 体収納されている場合を解析対象とする。

新燃料により評価することは、新燃料が使用済燃料よりも核分裂性物質を多く含んで

おり、反応度を高くするため安全側となる。収納物のうち JMTR の LEU 燃料には側板に中性子毒物（カドミウム）が装荷されるが、解析上は安全側にこれを無視する。

また、JMTR で使用した MEU 燃料と LEU 燃料の混合装荷時についても評価を行う。

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

輸送容器 1 基には、(イ) 一第 D.1 表に示すように 5 種類の燃料要素が最大 30 体収納される。

輸送容器 1 基当りの ^{235}U 装荷量は、濃縮度 の JMTR 標準燃料要素を 30 体装荷したとき最大となり、その装荷重量は である。燃料要素は、ウランアルミニウム分散型合金 (MEU) 又はウランシリコンアルミニウム分散型合金 (LEU) の燃料芯材をアルミニウム合金で被覆した燃料板で構成されている。これらの燃料要素は、燃料板の長手方向の中心が、収納する燃料部の中心位置に来るように、水中で燃料切断機を使用して上部及び下部を切断して輸送する。

臨界解析に用いた収納物の仕様を (ロ) 一第 E.1 表に示す。解析は、核分裂性物質である ^{235}U 含有量の最大値を用いて行う。

(ロ) 一第 E.1 表 臨界解析に用いた収納物の仕様

解析対象収納物	JMTR標準燃料要素 (MEU)		JMTR標準燃料要素 (LEU)		JMTR標準燃料要素 (MEU+LEU)	
	板状 (ウランアルミニウム 分散型合金)	板状 (ウランシリコンアルミニウム 分散型合金)	板状 (ウランアルミニウム 分散型合金)	板状 (ウランシリコンアルミニウム 分散型合金)	板状 (ウランシリコンアルミニウム 分散型合金)	板状 (ウランシリコンアルミニウム 分散型合金)
²³⁵ U濃縮度 (%)						
標準燃料要素 1体当たりの ²³⁵ Uの量 (g)						
収納本数 (体)	30	30	30	30	合計30	
²³⁵ U装荷量 (g/30体)						
燃焼度 (% ²³⁵ U)						
中性子毒物	無	有 (解析上は無視する。)	無	有 (解析上は無視する。)	有 (解析上は無視する。)	

E.2.2 輸送容器

通常の輸送条件、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での緩衝体の残量を (ロ) - 第 E.2 表 に示す。

この表より明らかなように、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での変形は緩衝体にとどまり、容器本体の変形はない。したがって、損傷系において、輸送容器の緩衝体及びフィンを取り除いた容器本体表面を輸送物表面として評価することは、配列系での輸送容器間の距離を小さくすることからも十分安全側である。

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いても、バスケット及び収納物は、健全性を維持している。

(ロ) - 第 E.2 表 容器本体表面から緩衝体表面までの距離

(単位：mm)

項 目 \ 条 件	通常の輸送条件 (非損傷系)	核分裂性輸送物に係 る一般の試験後	核分裂性輸送物に係 る特別の試験後
緩衝体変形量			
緩衝体残量			

*1：一般の試験及び特別の試験による緩衝体の変形前厚さを示す。

((ロ) - 第 A.124 図参照)

*2：損傷系では、緩衝体残量を 0mm とする。

E.2.3 中性子吸収材等

輸送物は中性子吸収材として、を使用している。A.9 核分裂性輸送物の解析結果から、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いて、中性子吸収材の形状変化はなく臨界解析上の問題はない。

ここでは、仮に 100 年間収納物からの中性子束により が連続的に照射された場合でも、 に含まれる ^{10}B の減少は無視でき、 の効力が失われなことを示す。

^{10}B は、熱中性子を吸収し $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応を生じる。100 年間における 1cm^3 中の中性子吸収反応数 D は、次式で表される。

$$D = \phi \cdot \sigma \cdot N \cdot t$$

ここで、

D : 100 年間において 1cm^3 の中で起こす吸収反応の数

ϕ : 中性子の増倍効果を考慮した中性子束

$$\phi = \phi L \times \frac{1}{(1 - k_{\text{eff}})}$$

ϕL : 収納物からの中性子束^{※1}

k_{eff} : 実効増倍係数^{※2} 0.864

$$\phi = \text{$$

$$= \text{$$

σ : ^{10}B のマイクロ吸収断面積⁽¹⁾

※1 ^{10}B は熱中性子に対して大きな吸収断面積を有するが、ここでは、(口)章 D. 遮蔽解析の線源評価の結果得られた発生中性子数(口) - 第 D.4 表 JMTR 標準燃料要素 (LEU) 燃焼度 参照) が全て反応するものとする。

※2 ここで用いる k_{eff} の値は、JMTR 標準燃料要素 (LEU) の損傷配列系の場合のものである。

N : 1cm³ の中に含まれる ¹⁰B の原子個数密度

$$N = N_0 \cdot \alpha$$

N₀ : B の個数密度

((口) - 第 E. 5 表参照)

α : ¹⁰B の存在比 ⁽¹⁾

$$N = \text{$$

$$= \text{$$

t : 中性子の照射期間 (100 年間)

$$t = 100 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60$$

$$= 3.15 \times 10^9 \text{ (s)}$$

よって、

$$D = \text{$$

$$= \text{$$

したがって、100 年間連続して に中性子が照射されている場合の ¹⁰B の減少割合は、

$$\frac{D}{N} = \text{$$

であるので、¹⁰B の減少は無視でき、 の効力も失われない。

E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

輸送容器には、5種類の燃料要素が収納される。ここでは、 ^{235}U の含有量が多い標準燃料要素を解析対象とする。本解析では、混合装荷時の一例として JMTR で使用した JMTR 標準燃料要素 (MEU) 5 体と JMTR 標準燃料要素 (LEU) 25 体 (計 30 体) を解析対象とする。

未臨界性評価は、以下に示すように非損傷系より厳しい損傷孤立系及び損傷配列系を解析対象とする。

① 孤立系 (損傷系 - 非損傷系)

損傷系周囲の水領域は、非損傷系では緩衝体及びフィンとなる。ここで、水の中性子反射効果及び中性子減速効果は、緩衝体及びフィンのそれよりも大きい。したがって、中性子反射効果及び中性子減速効果の大きい損傷系が厳しい。

② 配列系 (損傷系)

緩衝体及びフィンを無いものとすることにより、隣り合う輸送容器の配列間の距離が小さくなり、中性子相互干渉効果が大きくなるため厳しい。

以下に、解析モデルについて記述する。

形状は、(ロ) - 第 E.1 図に示すように、燃料収納部、空間領域部及びステンレス鋼部の 3 つに分けられる。

なお、燃料収納部の全長は、燃料板の燃料芯材寸法とし、である。

(1) 燃料収納部

燃料収納部は、(ロ) - 第 E.2 図に示すように、燃料芯材領域、燃料構造材領域、空間領域、中性子吸収材領域及びステンレス鋼領域から成る。燃料挿入孔寸法は、安全側に評価するため、公称値と寸法公差 を考慮し とする。

1) 燃料芯材領域

燃料芯材領域は、燃料芯材 (ウランアルミニウム分散型合金)、燃料被覆材 (アルミニウム合金) 及び空間領域 (密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ の水で満されているものとする。) から構成されている。燃料芯材領域のモデルを (ロ) - 第 E.3 図に示す。

2) 燃料構造材領域

JMTR 標準燃料要素の側板をモデル化している。

3) 空間領域

ここで述べる空間領域は、収納物をバスケットに収納した際の収納物とバスケット間の隙間をいう。

この隙間は、密度 1.0g/cm^3 の水で満されているものとする。

4) 中性子吸収材 [] 領域

中性子吸収材は [] の混合物がアルミニウム合金で被覆されており、平均厚さ [] である。本解析モデルでは、中性子吸収材の厚さは、安全側に最小厚さを用いる。

5) ステンレス鋼領域

ステンレス鋼領域は、バスケットの枠組、区切板及び仕切板をモデル化している。

6) 収納物の片寄り

(ロ) 一第 E.2 図に示すように、収納物は中央の方向に片寄っているものとする。これは、臨界寸法を小さく採るので安全側の仮定である。

(2) 空間領域部

空間領域部は、(ロ) 一第 E.1 図に示すように輸送容器内部の燃料収納部を除く上部、下部の領域である。この領域は、バスケット構造材(ステンレス鋼)、中性子吸収材、燃料構造材(アルミニウム合金)及び空間から構成されているが、空間が大半を占めているので、密度 1.0g/cm^3 の水で満されているものとする。

(3) ステンレス鋼部

ステンレス鋼部は、輸送容器をモデル化している。

輸送容器本体の外側には、緩衝体、フィン、固縛金具等がついているが、本解析では、安全側にこれら無いものとして扱う。また、配列系において隣り合う輸送容器間の距離が小さくなるように、容器本体側部の凸部も無いものとして扱う。

したがって、本解析では、輸送容器を(ロ) 一第 E.1 図に示すように [] [] の円柱形状とする。

次に、損傷孤立系及び損傷配列系の解析モデルについて記述する。

① 損傷孤立系の解析モデル

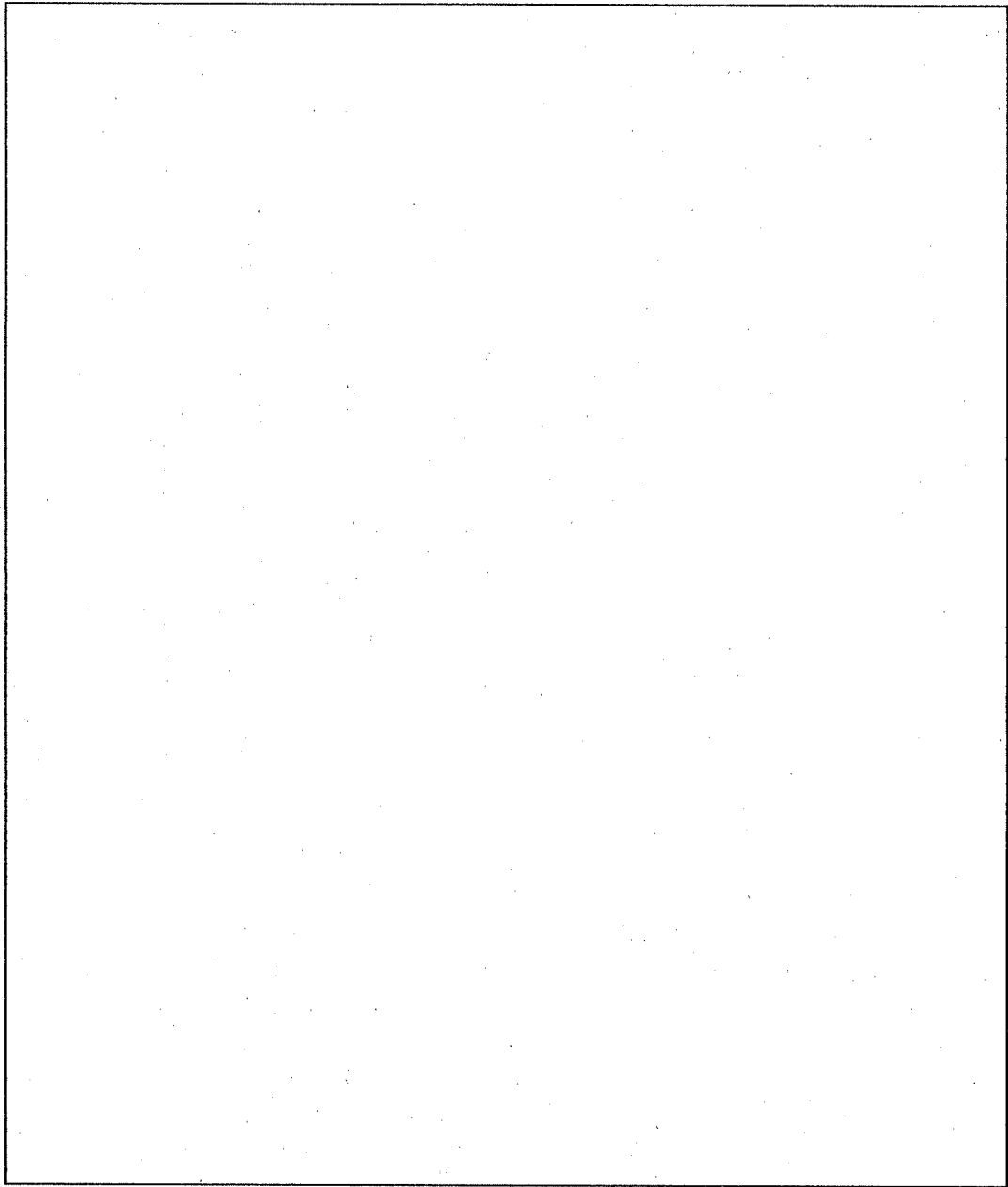
損傷孤立系における JMTR 標準燃料要素の解析モデルを (口) - 第 E. 2 図、(口) - 第 E. 4 図 に示す。

この場合の輸送物は、厚さ 200mm の水反射体に囲まれているものとする。

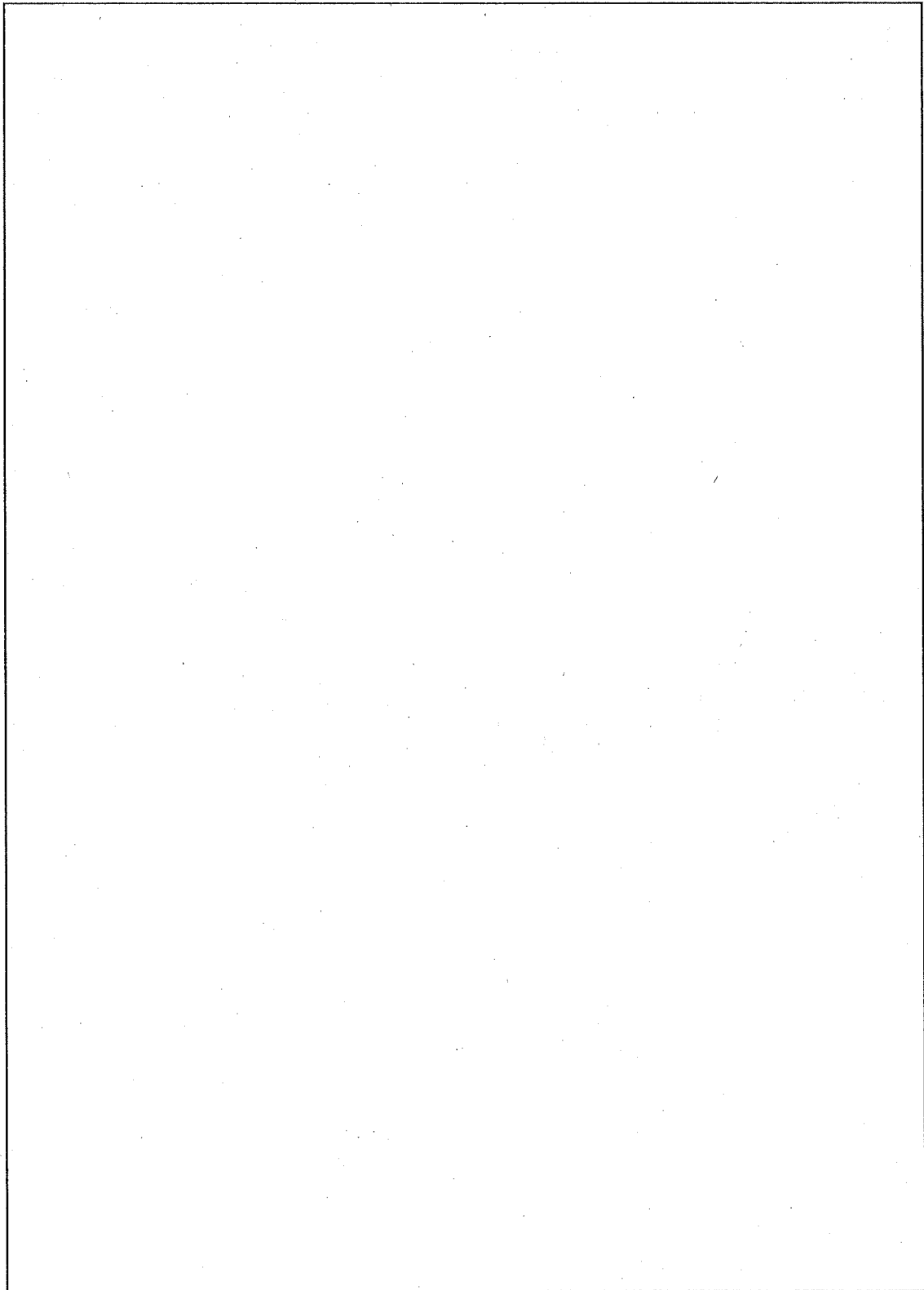
② 損傷配列系の解析モデル

損傷配列系における JMTR 標準燃料要素の解析モデルを (口) - 第 E. 2 図、(口) - 第 E. 5 図 に示す。

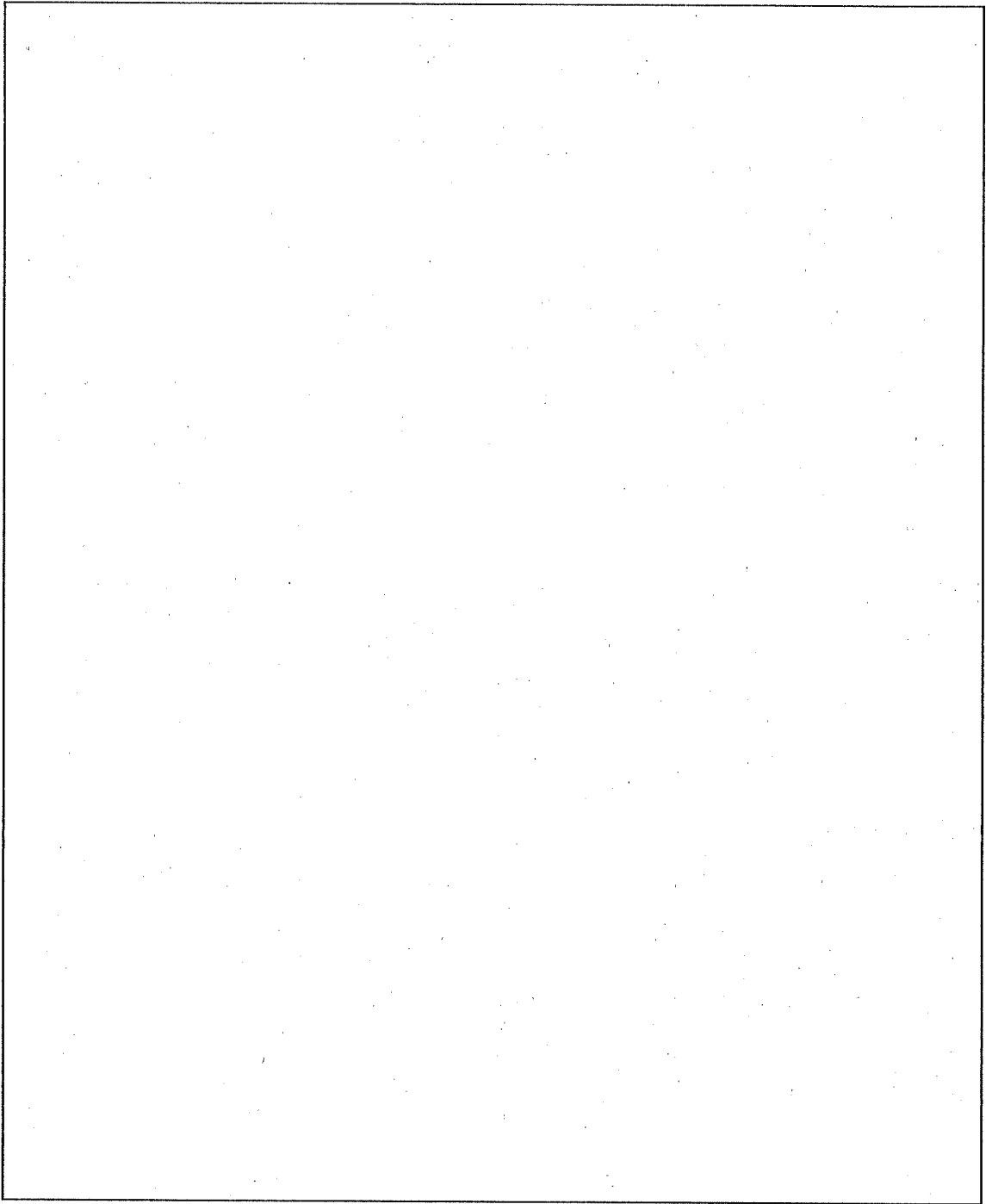
損傷配列系の解析モデルにおいては、各輸送物の相互作用を最大とするために、各輸送物が密接した状態を考える。輸送物の境界条件を完全反射とすれば、正味の中性子の流れがなくなり、輸送物が無限個配列した状態に対応する。



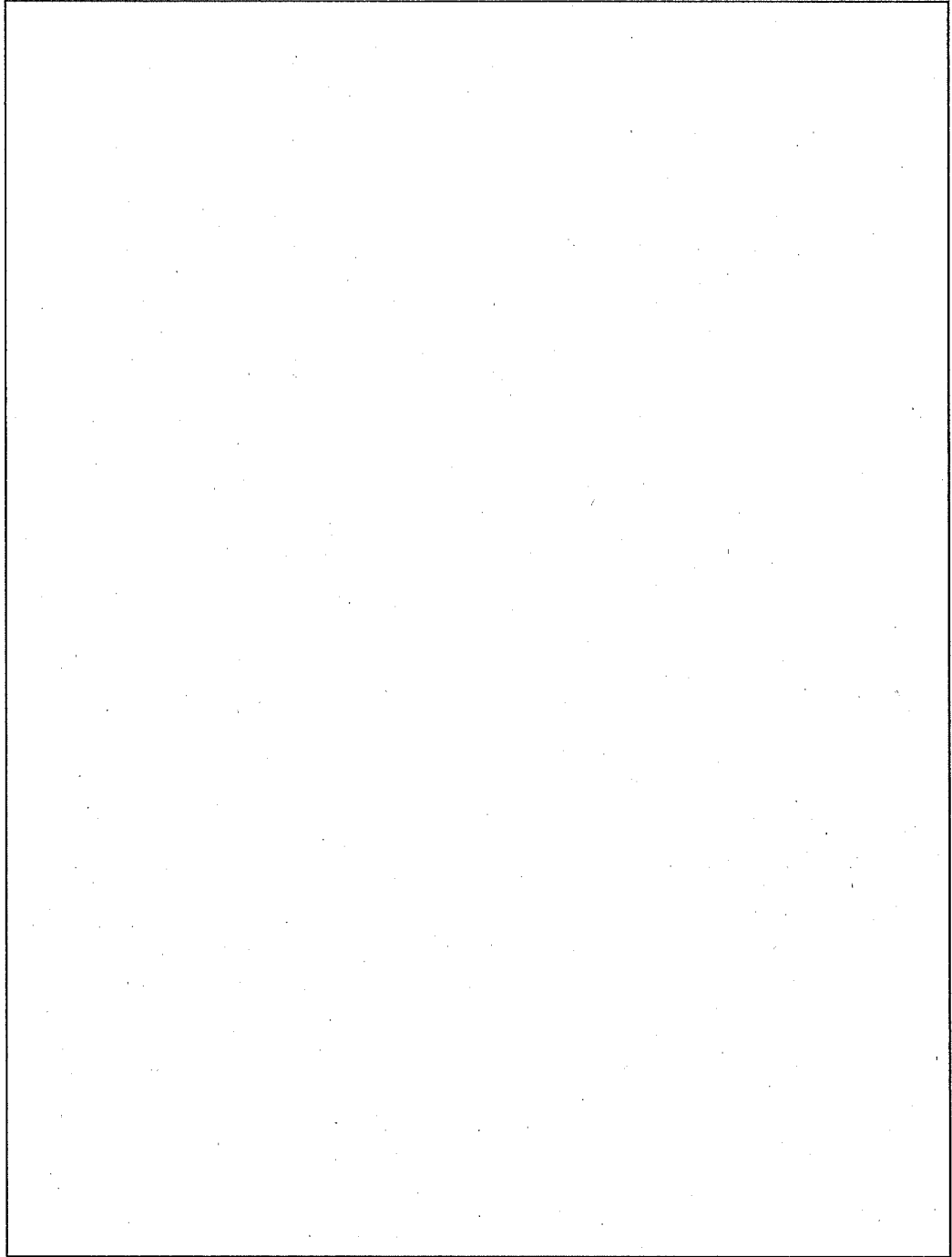
(ロ) ー第 E.1 図 臨界解析モデル (軸方向)



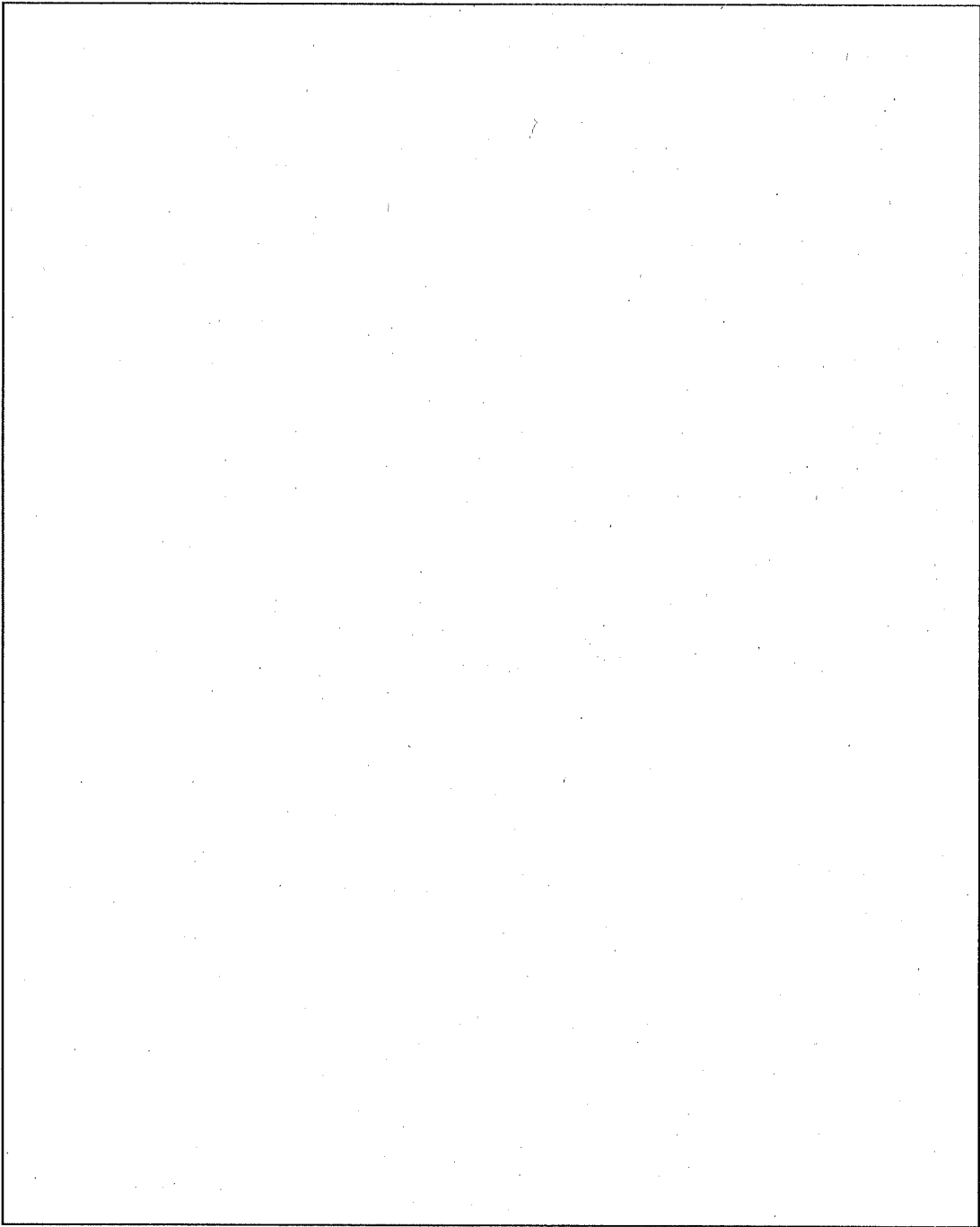
(ロ) - 第 E.2 図 臨界解析モデル (燃料収納部断面)



(ロ) 一第 E.3 図 燃料芯材領域モデル



(ロ) ー第 E. 4 図 損傷孤立系の臨界解析モデル (軸方向)



(ロ) - 第 E. 5 図 損傷配列系の臨界解析モデル (軸方向)

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本解析において、燃料芯材領域の原子個数密度を (口) - 第 E.3 表に、これらの原子個数密度算出の際に用いた密度を (口) - 第 E.4 表に示す。

臨界解析モデルに使用した各領域の原子個数密度を、(口) - 第 E.5 表に、これらの原子個数密度算出の際に用いた密度を、(口) - 第 E.6 表に示す。

本解析で用いた材料の密度は、常温での値である。ただし、水については臨界上最適となる密度 ($\rho = 1.0 \text{g/cm}^3$) 条件を用いる。臨界上最適となる水密度のサーベイ計算結果は、付属書類 E.6.2 に示す。

(口) - 第 E. 3 表 各領域の原子個数密度

(単位: 10^{24} atoms/cm³)

領域名	核種	JMTR 標準燃料要素 (MEU)	JMTR 標準燃料要素 (LEU)
燃料芯材			
燃料被覆材			
空間領域 (水)	H O	6.687×10^{-2} 3.343×10^{-2}	6.687×10^{-2} 3.343×10^{-2}

(口) - 第 E.4 表 各領域の密度

(単位 : g/cm³)

領域名	核種	JMTR 標準燃料要素 (MEU)	JMTR 標準燃料要素 (LEU)
燃料芯材			
燃料被覆材			
空間領域 (水)	-	1.0	1.0

(ロ) - 第 E. 5 表 各領域の原子個数密度

領域名	核種	原子個数密度 (10^{24} atoms/cm ³)
燃料構造材		
ステンレス鋼		
中性子吸収材		
空間部 (水)	H	6.687×10^{-2}
	O	3.343×10^{-2}

(ロ) - 第 E. 6 表 各領域の密度

領域名	密度 (g/cm ³)
燃料構造材 (A1 ⁽²⁾)	
ステンレス鋼 ⁽³⁾	
中性子吸収材 <input type="text"/>	
空間部 (水 ⁽²⁾)	1.0

E.4 未臨界評価

E.4.1 計算条件

(1) 収納物

解析対象である収納物の4種類の燃料要素を、(ロ) - 第E.1表に示す。収納物は使用済燃料であるが、未臨界評価においては、新燃料とみなした。JMTR標準燃料要素(LEU)の側板には、カドミウムの中性子吸収材が装荷されるが、未臨界評価においては無視する。

(2) 輸送容器

臨界解析モデルは、E.3で示したとおりであり、輸送容器本体の外側には、緩衝体、フィン、固縛金具等がついているが、本解析では、安全側にこれらは無いものとして扱う。また、配列系において隣り合う輸送容器間の距離が小さくなるように、容器本体側部の凸部も無いものとして扱い、未臨界評価を行う。

(3) 中性子吸収材

中性子吸収材は、の混合物をアルミニウム合金で被覆したもので平均厚さはであるが、未臨界評価には最小厚さを用いる。

E. 4. 2 輸送物への水の浸入等

輸送物の核的安全性に影響を与えるものについて次の5つが考えられる。

- ・ 輸送物への水の浸入
- ・ 収納物の配列変化
- ・ 輸送物同士の接近
- ・ 水(雪)の浸漬
- ・ 温度変化

輸送物への水の浸入、収納物の配列変化、輸送物同士の接近、水(雪)の浸漬については、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で最適の水減速、輸送容器表面での完全反射を考慮した解析を行っており、その結果核的安全性は保たれる。

温度変化については、減速材となる水密度のサーベイ計算(付属書類 E. 6. 2)の結果から、密度が最大となる4℃のものについて検討しており核的安全性は保たれる。

E. 4. 3 計算方法

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での実効増倍係数 k_{eff} は、実効断面積の計算に多群中性子断面積ライブラリー(MGCL137群)を用いたMAILコードを用い、実効増倍係数の計算に3次元モンテカルロ法臨界解析コードKENO-V.aを用いて求める。

E.4.4 計算結果

未臨界評価は、E.3.1項に示すように非損傷系より厳しい損傷系を解析対象とする。

冠水時の損傷孤立系及び損傷配列系における実効増倍率の計算結果は、(ロ)一第E.7表に示すとおりである。

最大の実効増倍率を示すのは輸送容器1基にJMTR標準燃料要素(LEU)を30体収納した場合の損傷配列系で、その実効増倍率は、 $k_{\text{eff}} \pm \sigma = 0.849 \pm 0.005$ であり、このときの99%信頼区間での実効増倍率は、 $k_{\text{eff}} + 3\sigma = 0.864$ であり、基準値0.95を下回っており未臨界である。

さらに、輸送容器内の水の密度が 1.0g/cm^3 から 0.0g/cm^3 まで変化した場合における実効増倍率への影響を、損傷配列系について評価した結果、最も実効増倍率が大きくなるのは水密度 1.0g/cm^3 のときであり、そのときでも輸送物は未臨界である。

(ロ)一第E.7表 冠水時臨界計算結果

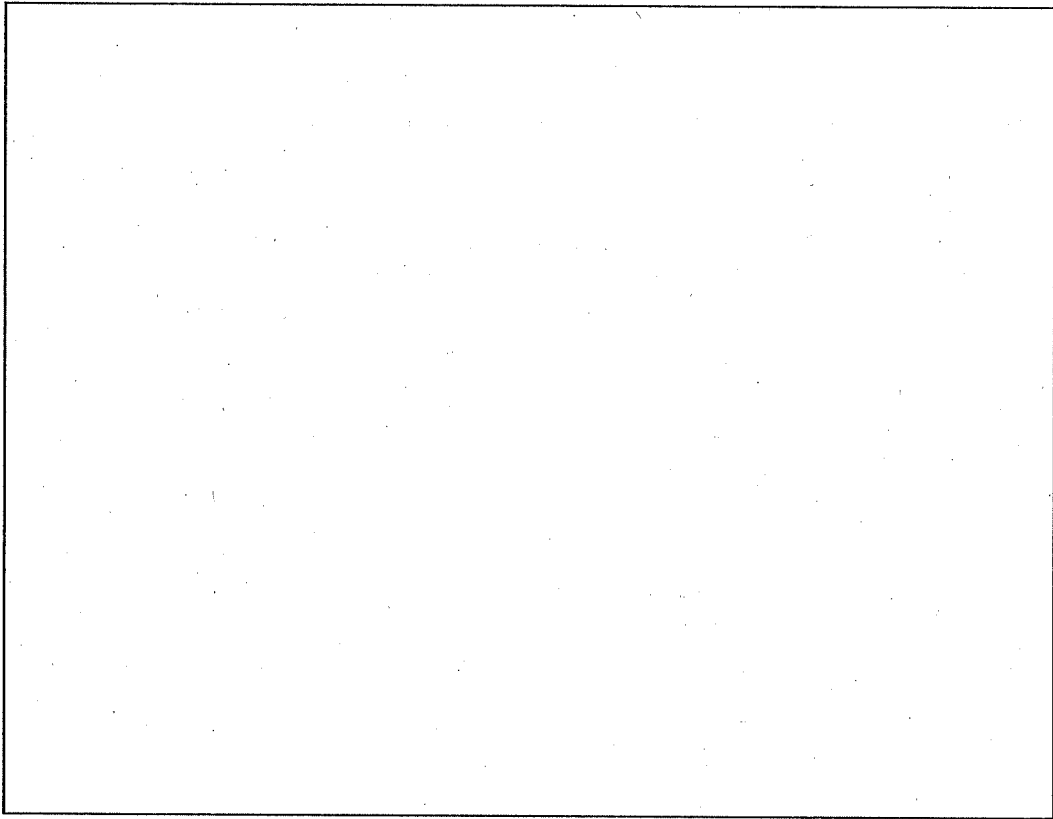
収 納 物	条件	k_{eff}	σ	$k_{\text{eff}} + 3\sigma$
JMTR標準燃料要素 (MEU)	損傷孤立系	0.777	0.005	0.792
	損傷配列系	0.786	0.005	0.801
JMTR標準燃料要素 (LEU)	損傷孤立系	0.843	0.004	0.855
	損傷配列系	0.849	0.005	0.864
JMTR標準燃料要素 (MEU+LEU)*	損傷孤立系	0.831	0.005	0.846
	損傷配列系	0.833	0.005	0.848

*:計算条件:混合装荷の一例としてJMTR標準燃料要素(MEU)5体とJMTR標準燃料要素(LEU)25体(計30体)を収納した場合について行った計算結果

E.5 結果の要約と評価

本解析で最大の実効増倍率を示すのは、(口) - 第 E.7 表に示すとおり輸送容器 1 基に JMTR 標準燃料要素 (LEU) を 30 体収納した場合であり、 $k_{\text{eff}} + 3\sigma = 0.864$ であり未臨界である。

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置くこととした場合、技術基準上、要求されている構造部のくぼみについては、(口) - 第 E.6 図に示すとおり、輸送容器の変形が外側の緩衝体及びフィンのみで生じ、臨界評価体系(損傷状態を考慮した輸送物の表面)である容器本体に変形はないため、影響はない。



(口) - 第 E.6 図 輸送容器断面形状図

E.6 付属書類

E.6.1	燃料装荷時の安全性	(口)	-E-24
E.6.2	臨界上最適となる水密度の検討	(口)	-E-26
E.6.3	通常輸送時の実効増倍係数	(口)	-E-31
E.6.4	KENO-V.a コードの説明	(口)	-E-36
E.6.5	MGCL ライブラリの説明	(口)	-E-37
E.6.6	臨界試験	(口)	-E-38
E.6.7	参考文献	(口)	-E-47

E. 6.1 燃料装荷時の安全性

輸送容器に燃料を装荷する場合には、水中で蓋を外した状態となる。

ここでは、このような状態での核的安全性を評価する。

解析方法は、(口) - 第 E. 2 図、(口) - 第 E. 3 図、(口) - 第 E. 7 図に示す臨界解析モデルで実効増倍係数 k_{eff} を求める。(口) - 第 E. 7 図に示すように、輸送容器周囲の水の層は、200mm の厚みを仮定する。なお、計算に用いた各領域の原子個数密度は、(口) - 第 E. 3 表、(口) - 第 E. 5 表の値と同一である。

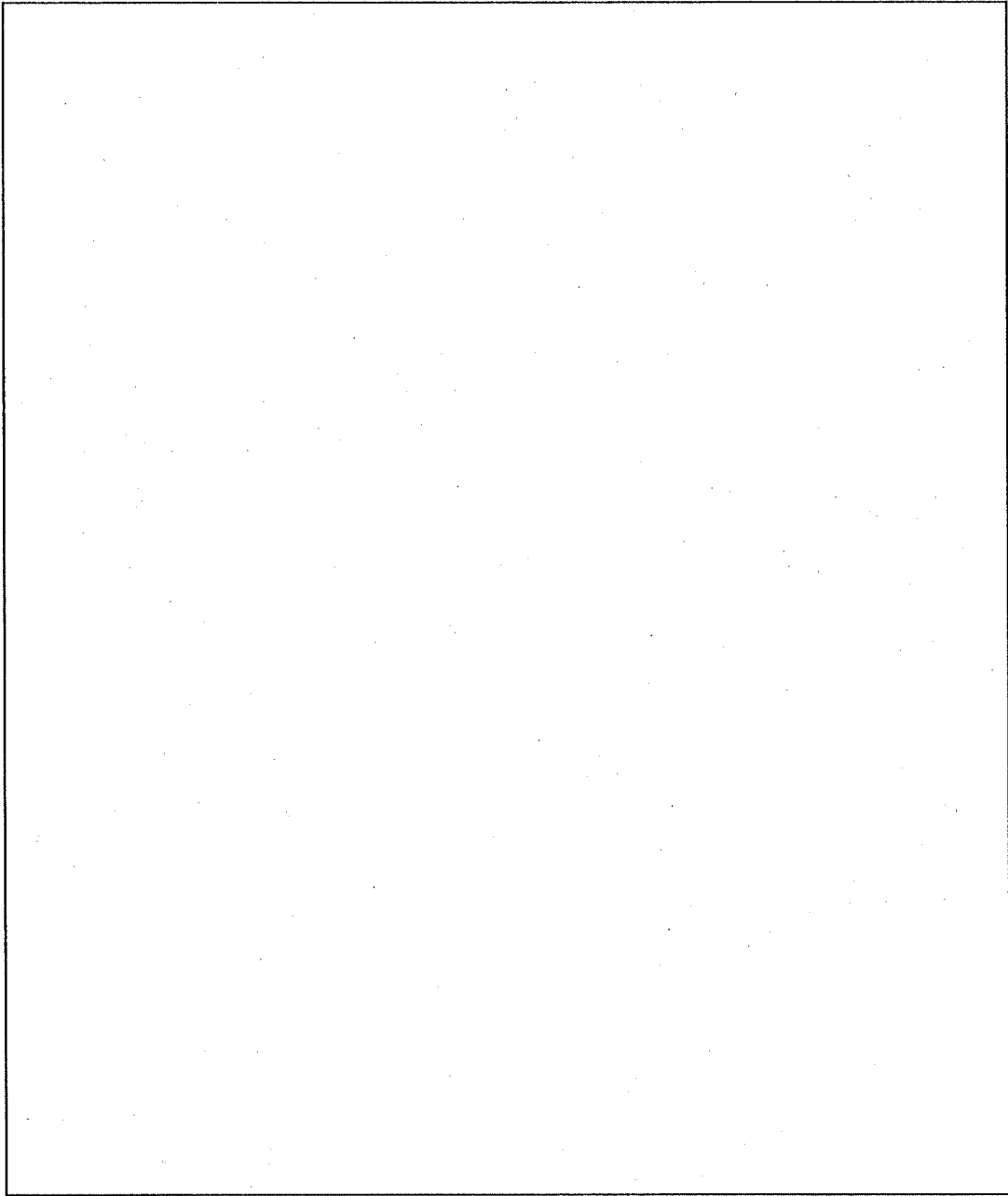
濃縮度の異なる収納物に対して得られた解析結果を (口) - 第 E. 8 表に示す。

この結果、核的安全性は十分に保たれる。

(口) - 第 E. 8 表 計算結果(燃料装荷時)

収納物	k_{eff}	σ	$k_{\text{eff}} + 3\sigma$
JMTR標準燃料要素 (MEU)	0.789	0.004	0.801
JMTR標準燃料要素 (LEU)	0.839	0.004	0.851
JMTR標準燃料要素 (MEU+LEU)*	0.835	0.005	0.850

* 計算条件：混合装荷の一例として JMTR 標準燃料要素 (MEU) 5 体と JMTR 標準燃料要素 (LEU) 25 体 (計 30 体) を収納した場合について行った計算結果



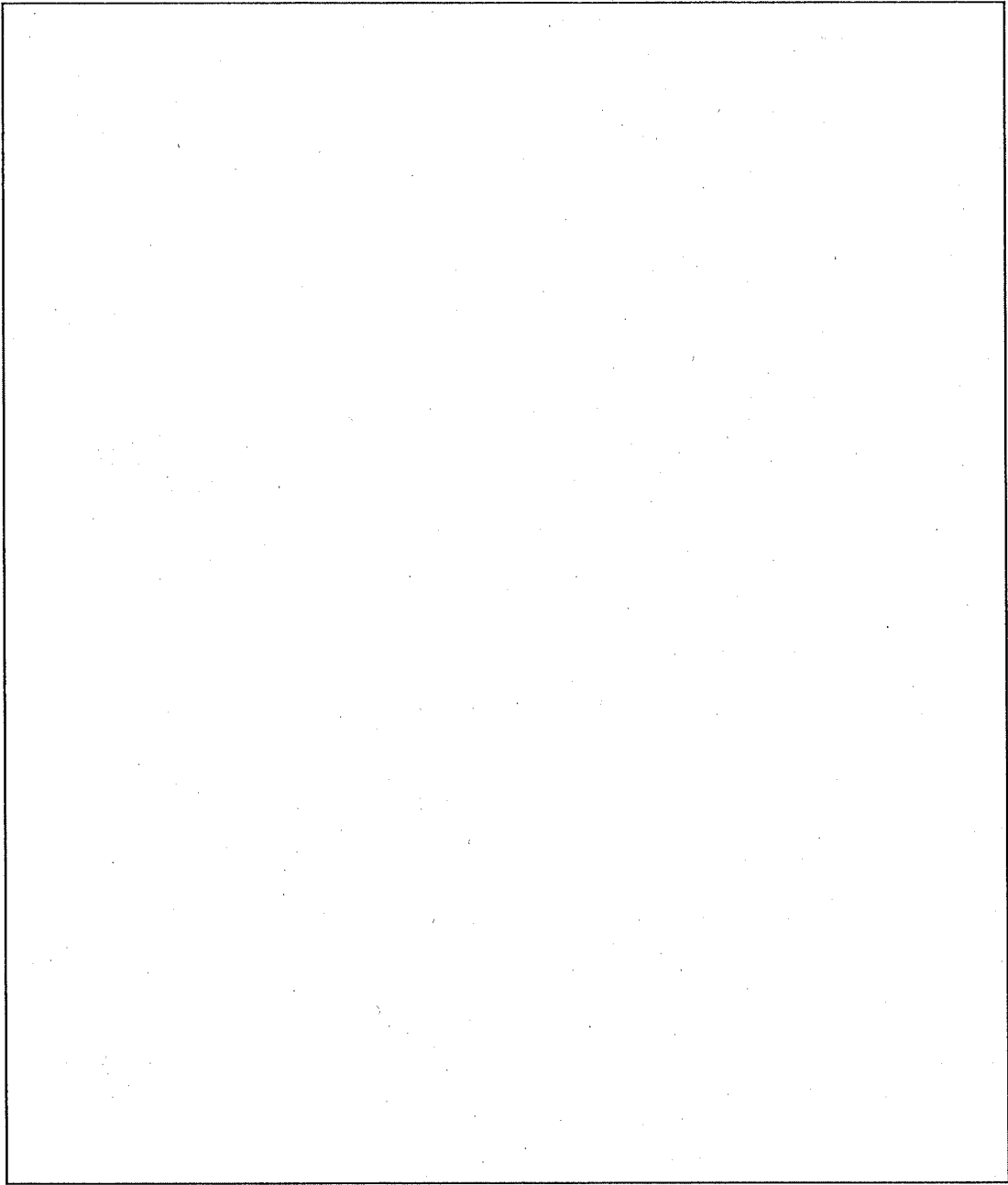
(口) - 第 E.7 図 燃料装荷時臨界解析モデル (軸方向)

E.6.2 臨界上最適となる水密度の検討

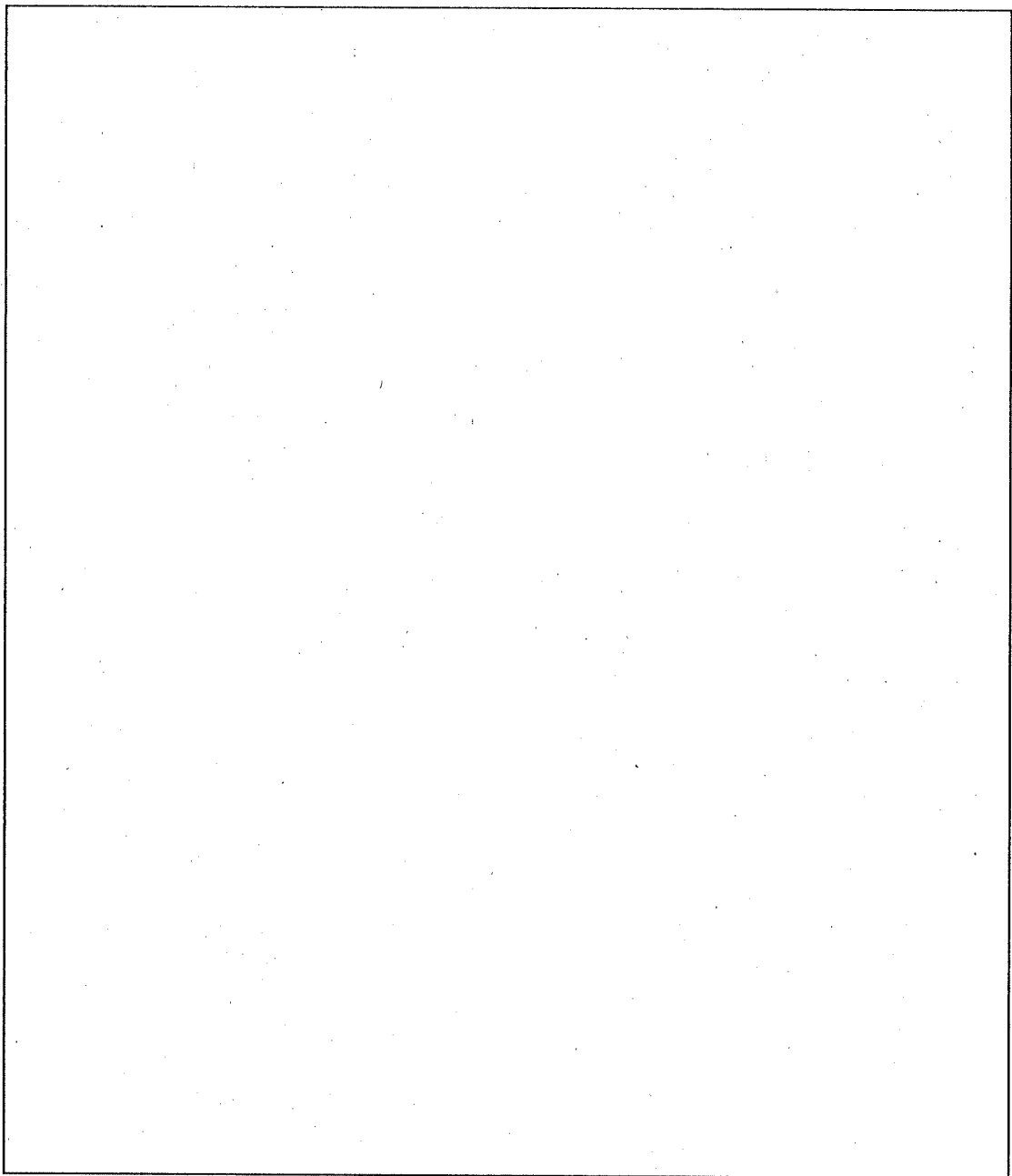
本検討では、輸送物の臨界解析に用いた水密度($\rho = 1.0\text{g/cm}^3$)が、臨界上最適な条件であることを示すため、損傷配列系について水密度をパラメータとして実効増倍係数 k_{eff} を求める。

解析方法は、(口) - 第 E.8 図、(口) - 第 E.9 図、(口) - 第 E.10 図 に示す臨界解析モデルで実効増倍係数 k_{eff} を求める。なお、計算に用いた各領域の原子個数密度は、(口) - 第 E.3 表、(口) - 第 E.5 表 の値と同一である。

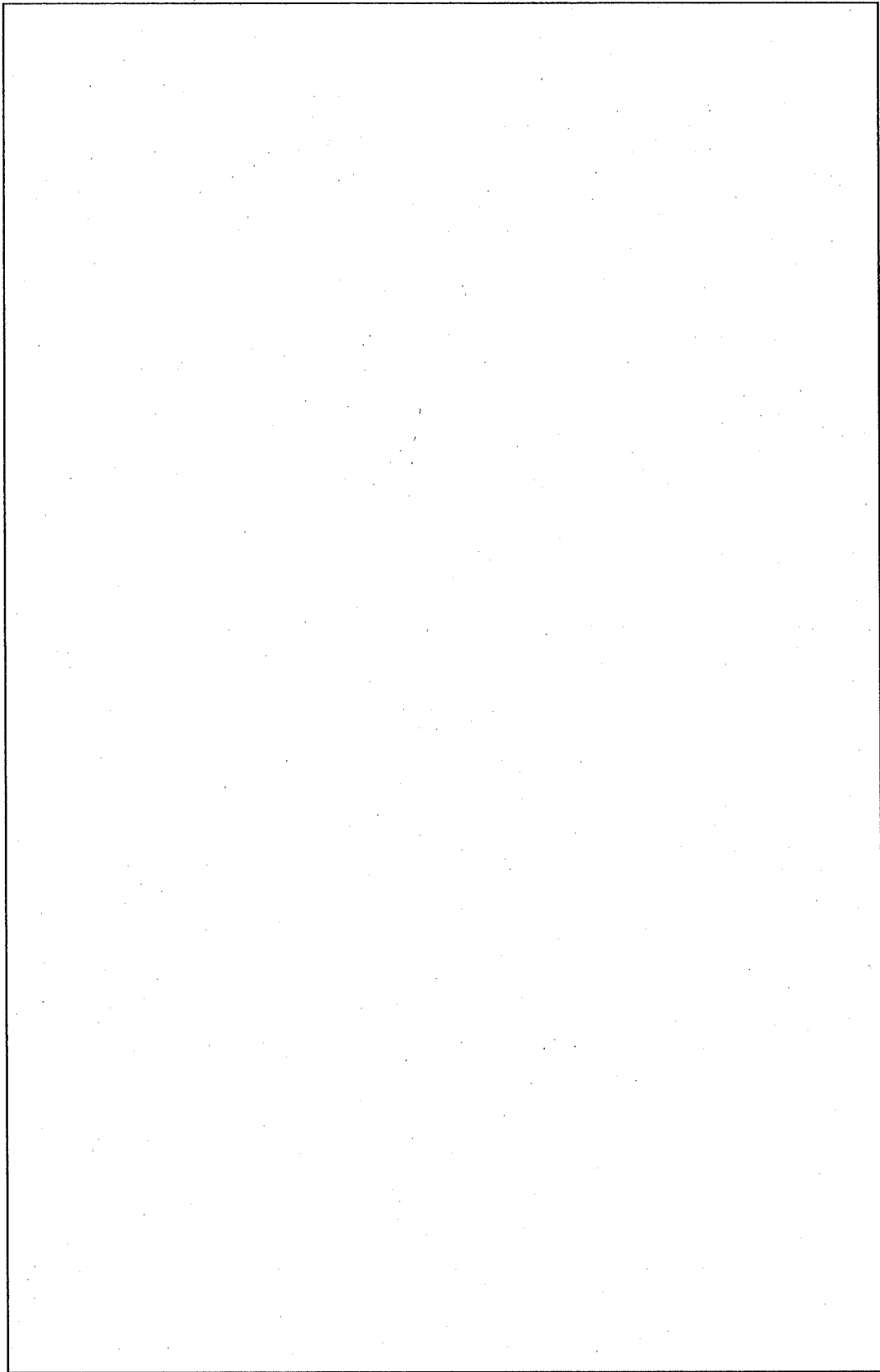
濃縮度の異なる収納物に対して得られた水密度と実効増倍係数 k_{eff} との関係を (口) - 第 E.11 図 に示す。本図から臨界上最適となる水密度は $\rho = 1.0\text{g/cm}^3$ であり、輸送物の臨界解析で用いた水密度($\rho = 1.0\text{g/cm}^3$)は臨界上最適となる条件である。



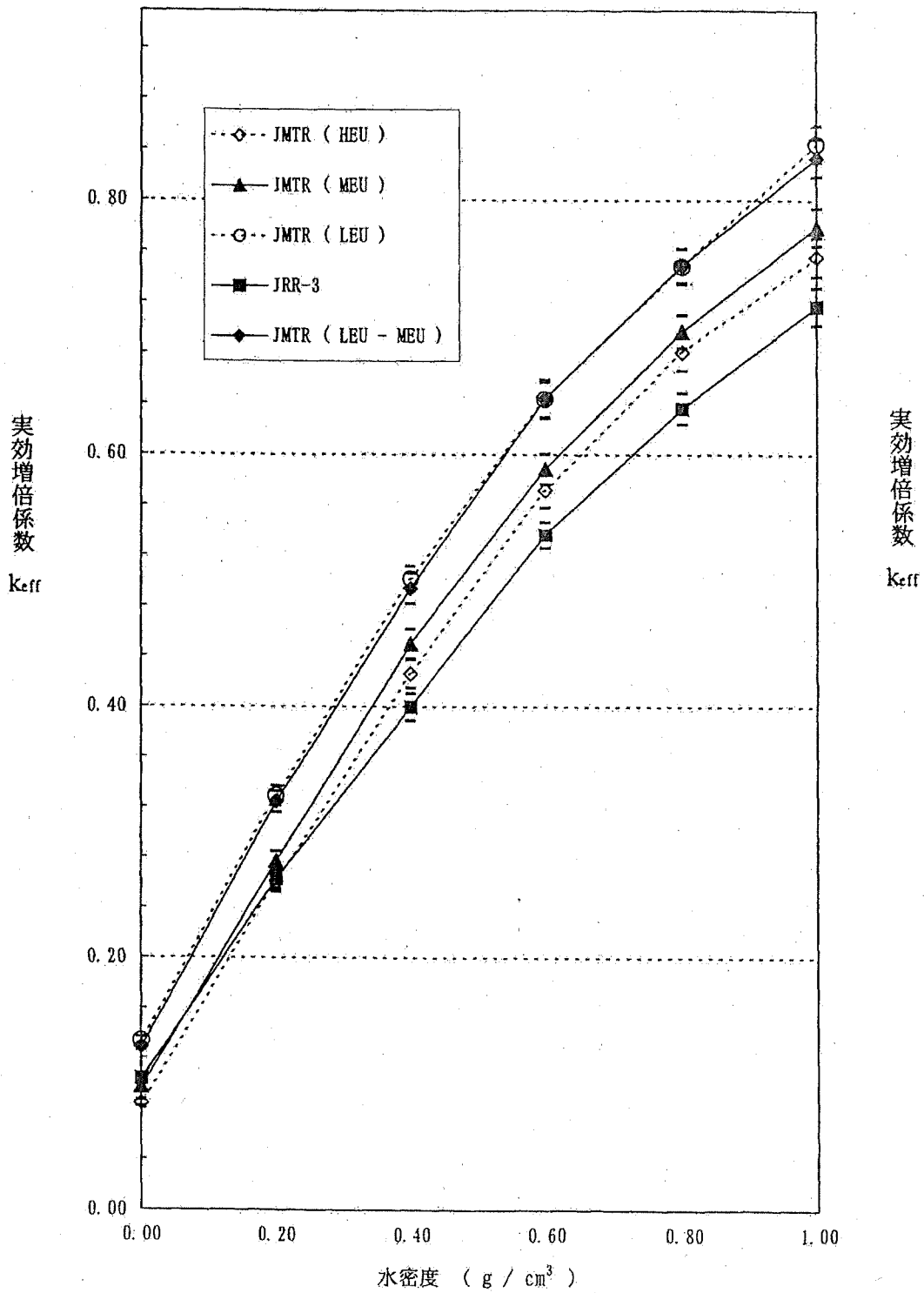
(ロ) - 第 E.8 図 燃料芯材領域モデル



(ロ) - 第 E. 9 図 臨界解析モデル (軸方向)



(ロ) - 第 E. 10 図 臨界解析モデル (燃料収納部断面)



※JMTR(HEU)及び JRR-3 は、参考値として示す。

(口) - 第 E. 11 図 水密度をパラメータとした場合の k_{eff}

E. 6.3 通常輸送時の実効増倍係数

遮蔽計算に用いるため、通常輸送時の実効増倍係数 k_{eff} を求める。

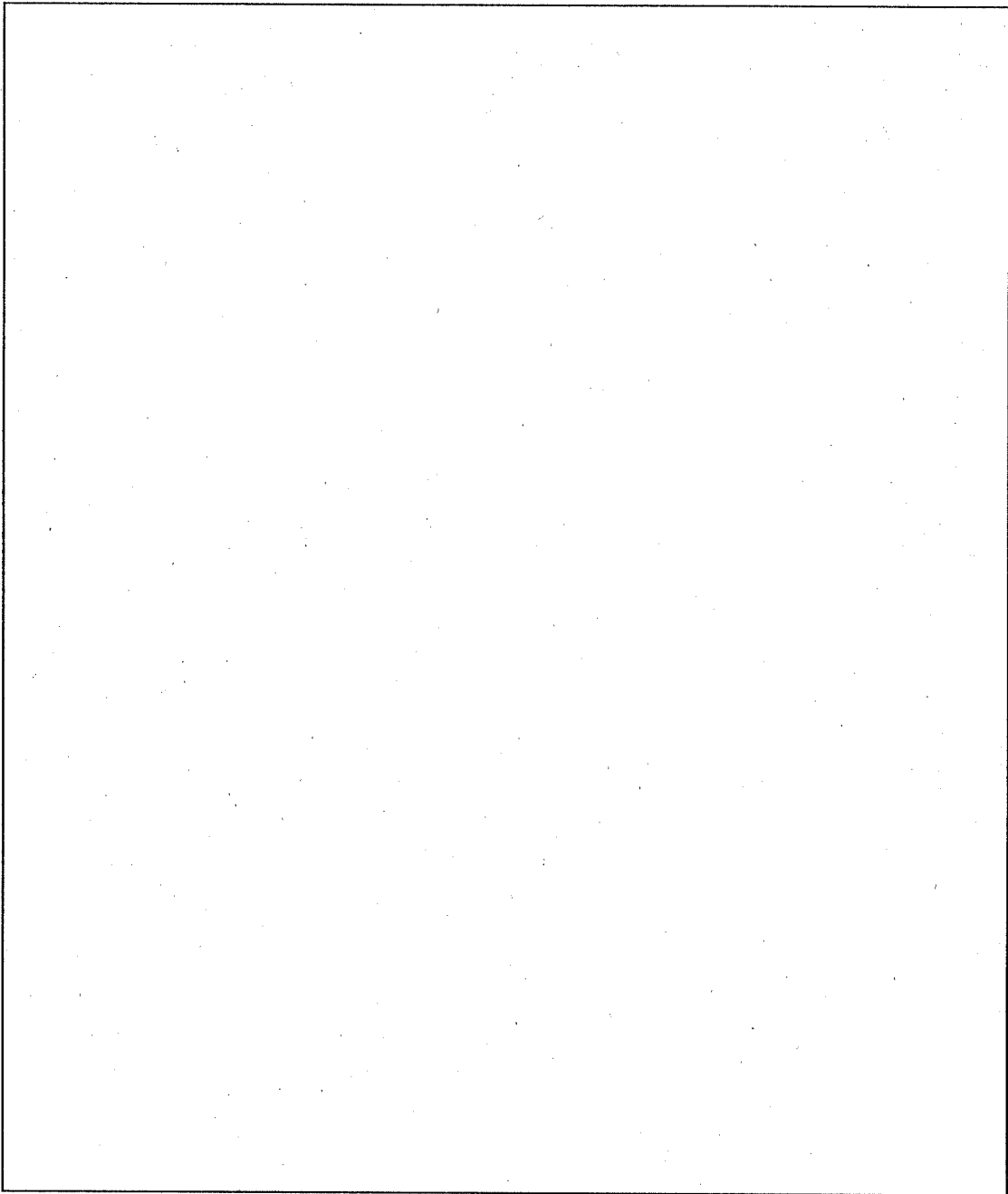
解析方法は、(口) - 第 E. 12 図、(口) - 第 E. 13 図、(口) - 第 E. 14 図及び (口) - 第 E. 15 図に示す臨界解析モデルで実効増倍係数 k_{eff} を求める。なお、計算に用いた各領域の原子個数密度は、空間部(水)を真空とすることを除き (口) - 第 E. 3 表、(口) - 第 E. 5 表の値と同一である。

解析結果を (口) - 第 E. 9 表に示す。

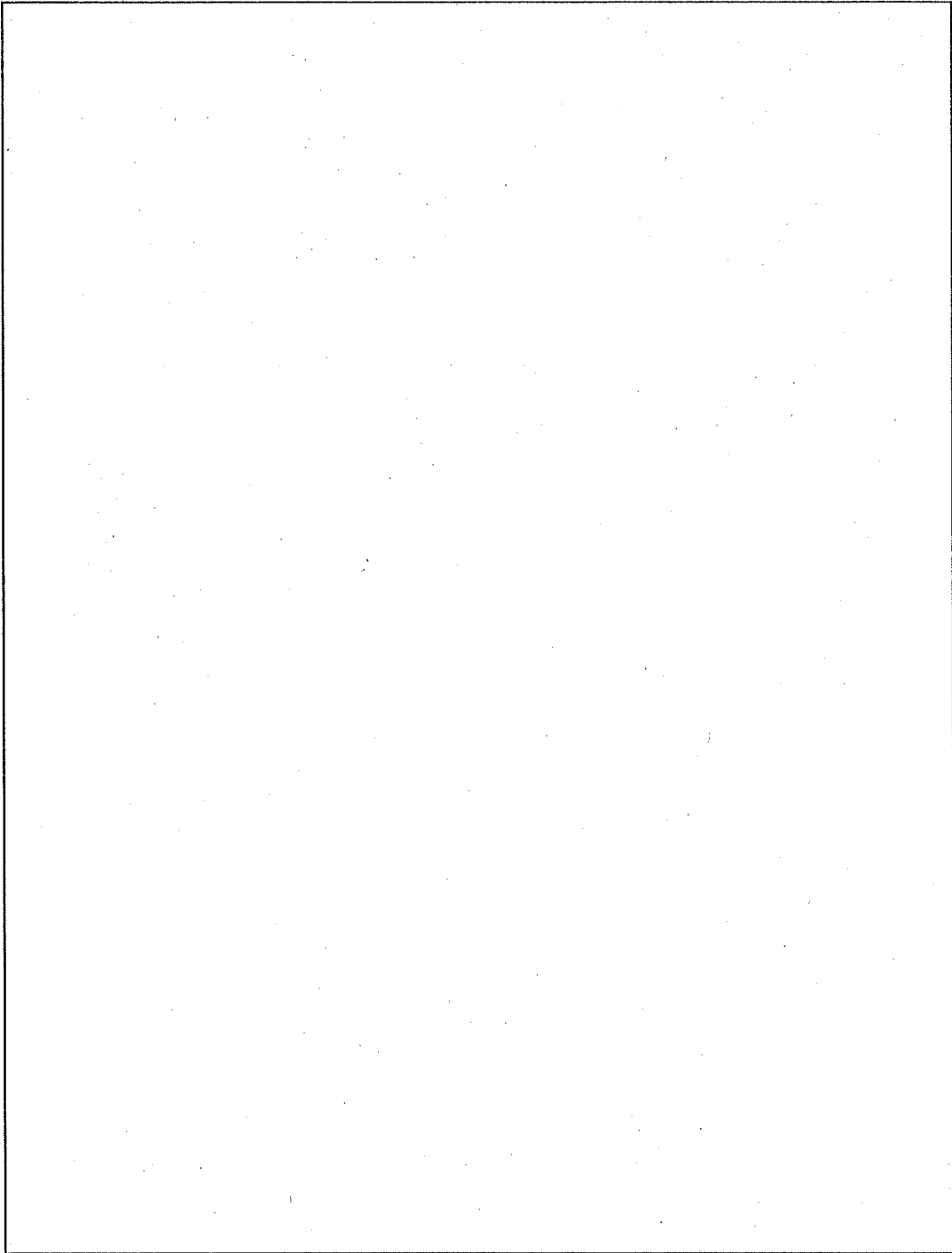
(口) - 第 E. 9 表 通常輸送時の実効増倍係数

収 納 物	条 件	配 列	k_{eff}	σ	$k_{eff} + 3\sigma$
JMTR標準燃料要素 (MEU)	通常輸送時	単一個	0.093	0.001	0.096
		無限個	0.097	0.001	0.100
JMTR標準燃料要素 (LEU)	通常輸送時	単一個	0.127	0.001	0.130
		無限個	0.134	0.001	0.137
JMTR標準燃料要素 (MEU+LEU)*	通常輸送時	単一個	0.124	0.001	0.127
		無限個	0.129	0.001	0.132

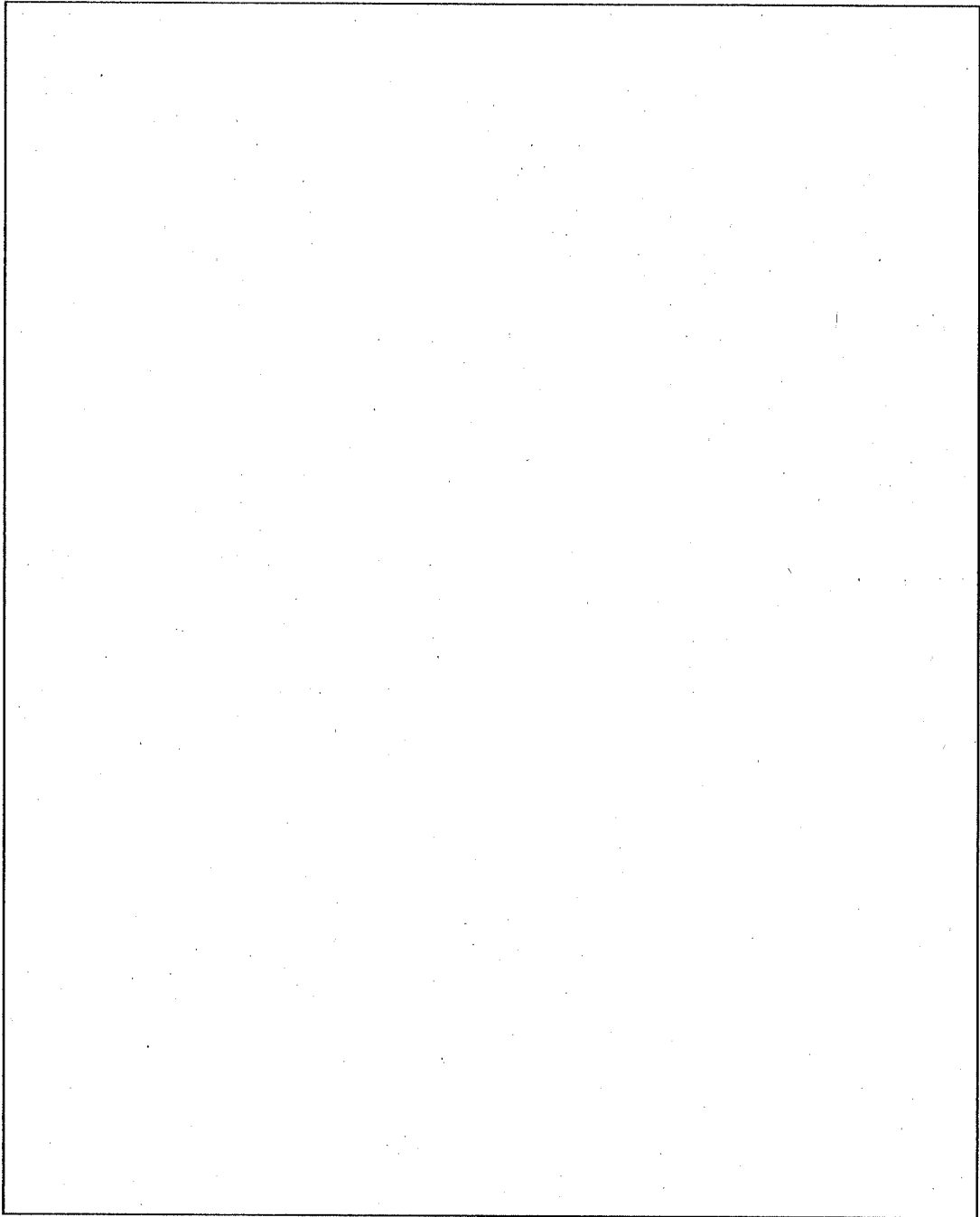
*: 計算条件: 混合装荷の一例として JMTR 標準燃料要素 (MEU) 5 体と JMTR 標準燃料要素 (LEU) 25 体 (計 30 体) を収納した場合について行った計算結果



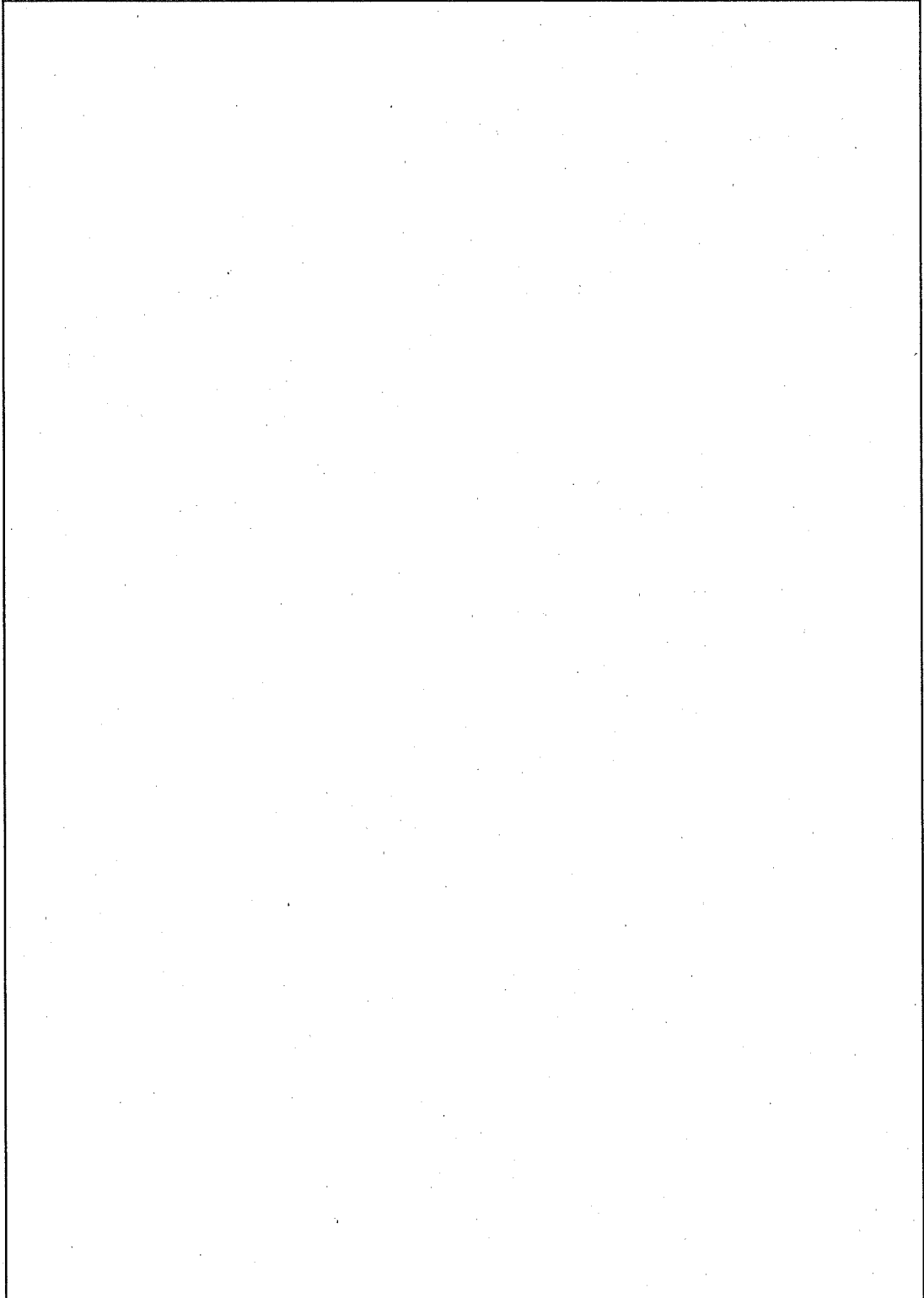
(ロ) - 第 E. 12 図 燃料芯材領域モデル



(ロ) ー第 E. 13 図 通常輸送時の孤立系臨界解析モデル (軸方向)



(ロ) - 第 E. 14 図 通常輸送時の配列系臨界解析モデル (軸方向)



(口) - 第 E. 15 図 臨界解析モデル(燃料収納部断面)

E.6.4 KENO-V.a コードの説明

KENO-V.a⁽⁶⁾は、モンテカルロ臨界計算コード KENO であり、米国 ORNL で開発された。KENO コードは、多群モンテカルロ法に基づき、複雑な体系の中性子増倍率の計算を行うことができる。

KENO では、中性子断面積ライブラリとして、多群形式ルシャンドル展開項(P_L)で表された中性子散乱マトリックスを持つライブラリを用いる。

KENO-V.a よりも古い版の KENO コード(KENO-IV)では、散乱マトリックスの展開次数として1次(P₁)までを取り扱っていたが、KENO-V.a では、任意の次数までを取り扱うことができ(ただし、本申請では1次までを取り扱っている。)、特に中性子散乱の異方性が実効増倍率に大きな影響を与えるような系で精度が向上している。

KENO-V.a における実効増倍率の基本的な計算方法は、KENO-IVコードと同様である。

すなわち、核分裂性物質が存在する領域で発生した核分裂中性子が、媒質中で衝突を起こすうちに、媒質中の吸収断面積に応じて、その重みを減少していくものとして取り扱われる。中性子の追跡は、中性子の重みがある値以下になるか、体系外へ漏えいするまで続けられる。核分裂物質を含む媒質中での衝突では、核分裂の重みが記録され、次の世代での中性子の発生分布に用いられる。1つの世代で複数(通常300個程度)の中性子を発生させ、前世代の核分裂の重みの分布にしたがって中性子を発生させることを繰り返すことにより、実際の核分裂中性子分布に近い分布を得ることができる。系の実効増倍率は、各世代毎に計算される世代毎実効増倍率の平均値として求められる。

$$k_{eff} = \frac{\sum_{j=1}^{NPB} \sum_{i=1}^{NCOLL} W_{t_{ij}} \frac{\nu \Sigma_f}{\Sigma_t}}{\sum_{j=1}^{NPB} W_{t_{0j}}}$$

ここで、

- NPB : 1回の世代で発生する中性子数
- NCOLL : 各中性子の衝突回数
- $W_{t_{ij}}$: 核分裂が起こったときの中性子の持っていた重み
- $W_{t_{0j}}$: 発生中性子が持っていた重み

- ν : 1核分裂当たりの中性子発生数
- Σ_f : 巨視的核分裂断面積
- Σ_t : 巨視的全断面積
- i : 中性子の衝突回数
- j : 1世代中での発生中性子番号

E. 6.5 MGCL ライブラリの説明

MGCL ライブラリは、評価済み核データライブラリ ENDF/B-IV⁽⁵⁾を処理コード MGCL-ACE⁽⁵⁾で処理して国立研究開発法人日本原子力研究開発機構で作成した臨界解析用中性子断面積ライブラリであり、マスターライブラリの中性子エネルギー群数は137群である。

MGCL マスターライブラリは、各核種について、無限希釈断面積、共鳴自己遮蔽因子テーブル及び散乱マトリックスを持っており、散乱マトリックスのルジャンドル展開次数は1次(P₁)である。MGCLは、付属の実効断面積作成コード MAIL⁽⁵⁾によって処理され、材質の密度・組成及び燃料の非均質を考慮した領域毎の巨視的実効断面積に変換されて、臨界解析に用いられる。

E. 6.6 臨界試験

(1) ベンチマーク試験

本解析で用いた MGCL ライブラリと KENO-V. a コードの組合せの計算精度を検証するために、

- (a) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構で行われたアルミニウム被覆の低濃縮 UO_2 燃料棒を軽水中に配列した臨界実験 (TCA 臨界実験)⁽⁷⁾
- (b) ORNL で SPERT-D 燃料 (ウランアルミニウム合金、 ^{235}U 濃縮度) で行われた臨界実験 (国際ベンチマーク試験)⁽⁸⁾
- (c) JRR-4 (濃縮度 , U_3Si_2 、板状燃料) で行われた臨界実験⁽⁹⁾ について解析し、その評価を行った。

(2) ベンチマーク試験の詳細

(a) TCA 臨界実験

対象としたベンチマーク臨界実験は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の軽水臨界実験装置 TCA (Tank-type Critical Assembly) で臨界水位測定実験である。その実験は、燃料の種類、格子パターン、格子ピッチ、配列、中性子吸収材の有無等を変化させて行われた。燃料には UO_2 及び PuO_2 が用いられた。この実験の内の ^{235}U 濃縮度 2.6% の UO_2 燃料棒を軽水中に配列した実験から格子及び配列のピッチの異なる 5 ケースを選び、MGCL ライブラリと KENO-V. a コードの組合せにより解析した。

TCA の臨界実験タンクと UO_2 燃料棒を (ロ) - 第 E. 16 図に示す。

タンク内に UO_2 燃料棒は格子状に配列され、4 種類の格子ピッチ (水と UO_2 の体積比で 1.50、1.83、2.48、3.00) で燃料棒の数を変えて実験が行われた。ここでは、燃料体水体積比が 1.50 から 2 ケース、その他から各ケースずつを選んで、解析した。

(b) 国際ベンチマーク実験

OECD/NEA は、臨界安全解析コードの検証のために 1994 年に ICSBEP (International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project) を計画し、臨界データハンドブック (International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments) が作成された。その中に、米国 ORNL で SPERT-D 燃料 (ウランアルミニウム合金、 ^{235}U 濃縮度 、形状：(ロ) - 第 E. 17 図参照) を用いて燃料貯蔵、輸送、再処理の仕様を決めるために行われた臨界実験 (ケース数 23) が記述されている。これらの中から JRR-4 の体系に近い臨界データを 3 ケースを選び、国際ベンチマーク試験データとし、MGCL ライブラリと KENO-V.a コードの組合せにより解析した。その 3 ケースを下記に示す。

(i) CASE3 (SPART3)

格子の形状： 4×3.09 、臨界燃料本数： 12.36 ± 0.17 、臨界量 (^{235}U)： $3.79 \pm 0.05\text{kg}$ 、格子配列：(ロ) - 第 E. 18 図参照 (図に示す燃料体の数字は燃料板数を示す)

(ii) CASE15 (SPART15)

格子の形状： 16×3 、臨界燃料本数：48、臨界量 (^{235}U)： 19.62kg 、格子配列：(ロ) - 第 E. 18 図参照 (図に示す燃料体の数字は燃料板数を示す)

(iii) CASE23 (SPART23)

格子の形状： 6×5.55 、臨界燃料本数： 33.12 ± 0.10 、臨界量 (^{235}U)： $10.15 \pm 0.03\text{kg}$ 、 ^{235}U 濃度： $3.99\text{g}/\ell$ 、ボロン濃度： $0.871\text{g}/\ell$ 、格子配列：(ロ) - 第 E. 18 図参照 (図に示す燃料体の数字は燃料板数を示す)

(c) JRR-4 臨界試験

JRR-4 は最大出力 3.5MW のスイミングプール型研究用原子炉である。燃料は低濃縮ウランシリコンアルミニウム分散型燃料である。燃料要素は 4×5 の格子に配列され、その周囲に黒鉛反射体 (リドタンク側、大型反射体はアルミニウム反射体)、照射筒、中性子源が配置されている。板状の 5 本の制御棒と後備安全棒は燃料要素間及び燃料要素と反射体間にある。減速材、冷却材は軽水である。

(ロ) - 第 E. 19 図及び (ロ) - 第 E. 20 図 にそれぞれ燃料要素及び炉心配置図を示す。平成 10 年 7 月に最小炉心及び全炉心臨界試験が実施された。

最小炉心では、燃料要素 12 体が十字に配列、その周りに黒鉛反射体が装荷され、制御棒 C1、C2、C3 が全引き抜き、C4 が 369mm、C5 が 292mm 引き抜きされた。

全炉心臨界では、燃料要素が 20 体(5×4)で、C1～C4 が 255mm、C5 が 301mm 引き抜きである。試験中の炉心温度は約 20℃である。これらの最小臨界、全炉心臨界について MGCL ライブラリと KENO-V. a コードの組合せで解析を行った。

(3) ベンチマーク試験結果

本解析で用いた MGCL ライブラリと KENO-V. a コードの組合せによる臨界解析の精度を検証するために、次の体系について解析を行った結果を示す。

(a) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構で行われたアルミニウム被覆の低濃縮 UO₂ 燃料棒を軽水中に配列した臨界実験 (TCA 臨界実験)

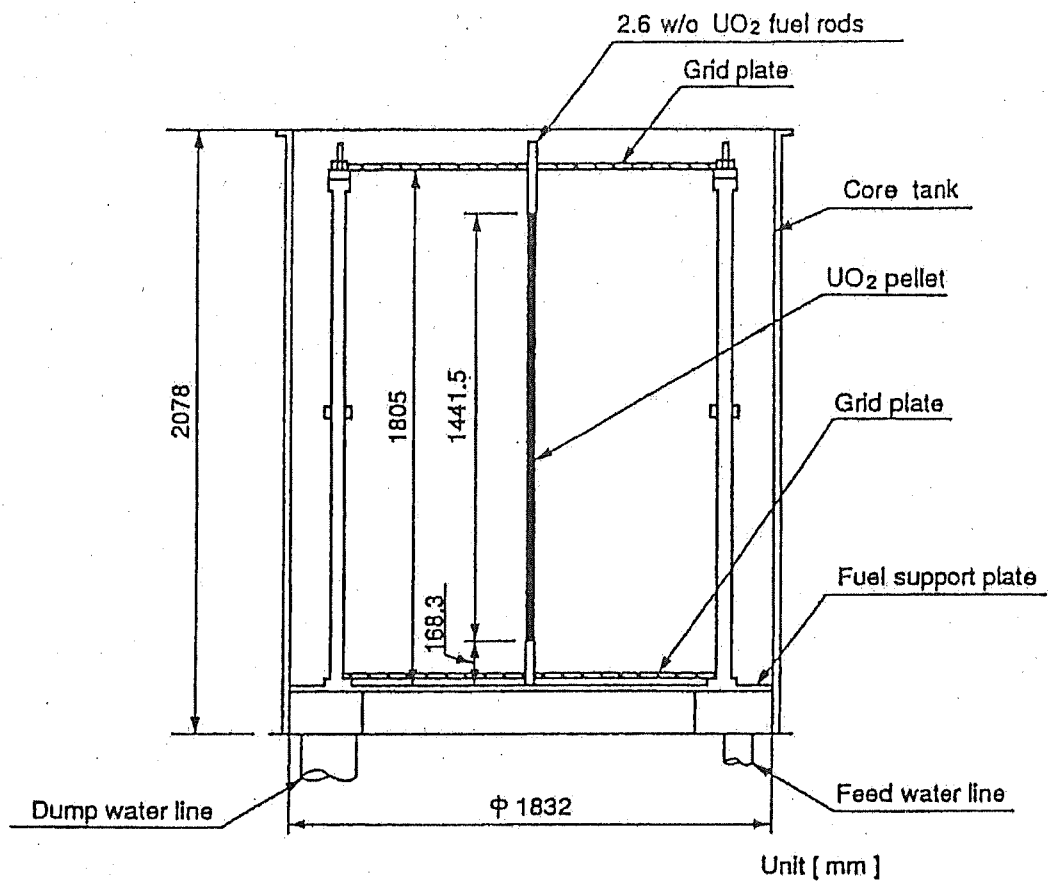
(b) ORNL で SPERT-D 燃料(ウランアルミニウム合金、²³⁵U 濃縮度)で行われた臨界実験 (国際ベンチマーク試験)

(c) JRR-4 (濃縮度 , U₃Si₂、板状燃料)で行われた全炉心及び最小炉心臨界実験

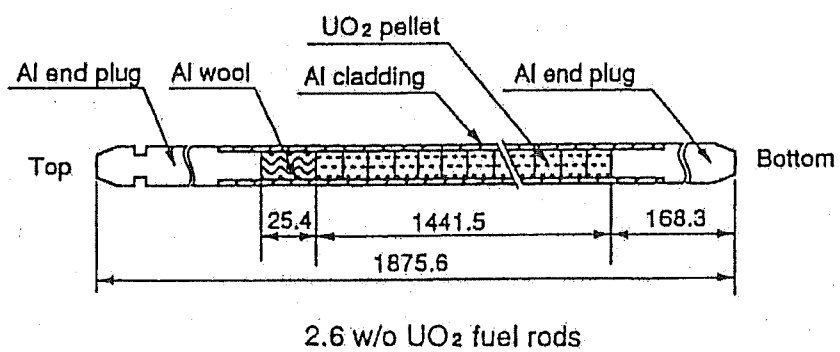
各体系について MGCL と KENO-V. a から実効増倍率を求めると、(ロ) 一第 E. 10 表に示す結果が得られた。これより、本解析に用いた計算方法及び核データは妥当な結果を与えると言える。

(ロ) 一第 E. 10 表 ベンチマーク臨界実験解析結果

試験体系	燃料棒(板) {要素} 配列	k_{eff}	1σ	$k_{eff} + 3\sigma$
TCA臨界実験	17×17-1.83	0.9926	0.0042	1.0052
	21×21-1.83	0.9911	0.0043	1.0040
	20×20-1.50	0.9883	0.0040	1.0003
	18×18-2.48	0.9859	0.0041	0.9982
	17×17-3.00	0.9981	0.0041	1.0104
国際ベンチマーク試験	(88×68+1×2)	0.98896	0.00174	0.99418
	(352×88)	0.98865	0.00141	0.99288
	(132×110+11+12+11+12+12+11)	0.99110	0.00138	0.99524
JRR-4 臨界試験	{2×4+4}	0.98901	0.00138	0.99315
	{4×5}	0.98319	0.00116	0.98667

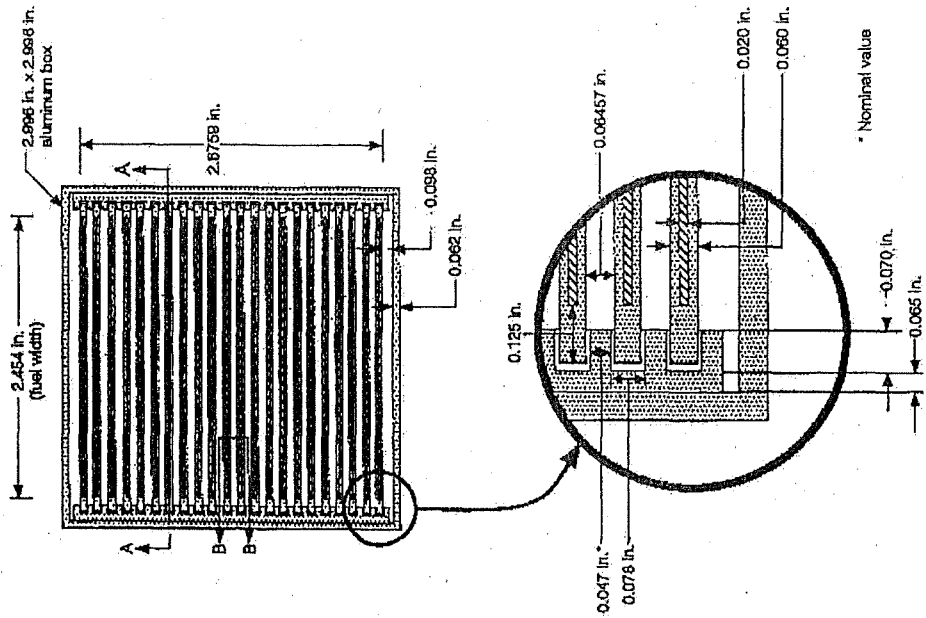
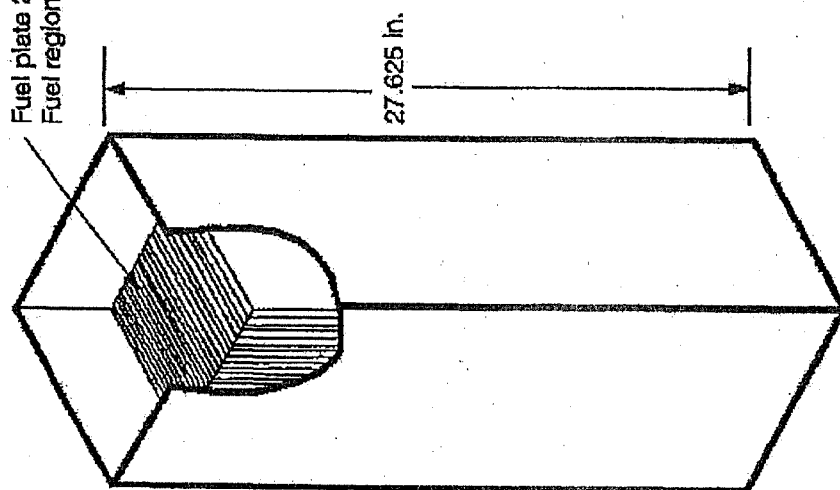


Vertical cross-sectional view of core tank

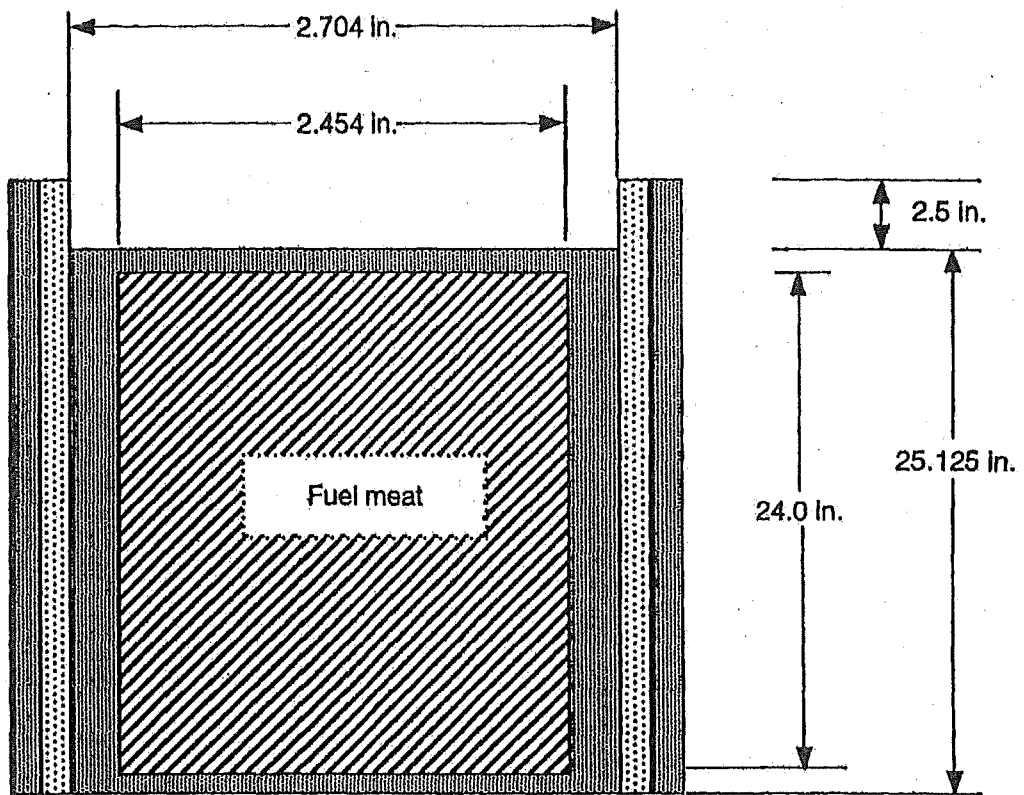


(口) - 第 E. 16 図 TCA 臨界実験体系

Fuel plate 25.125 in. x 2.704 in.
 Fuel region 24 in. x 2.454 in.



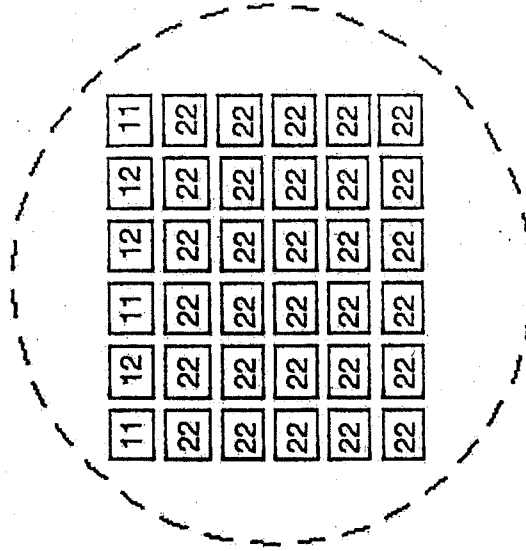
(口) — 第 E. 17 图 SPERT-D 燃料



Section A - A

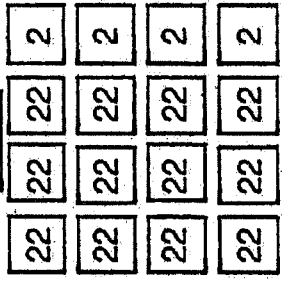
(口) - 第 E. 17 図 SPERT-D 燃料 (続き)

Case 23



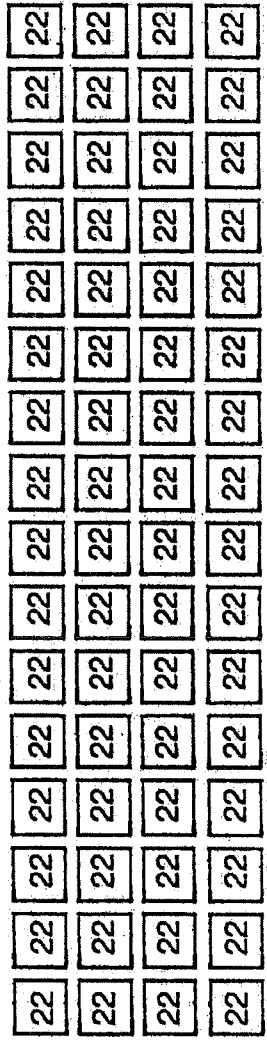
Spacing between elements:
 'x' 1.270 cm
 'y' 1.270 cm

Case 3



Spacing between elements:
 'x' 1.270 cm
 'z' 1.270 cm

Case 15



Spacing between elements:
 'x' 1.2700 cm
 'z' 6.5024 cm

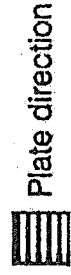
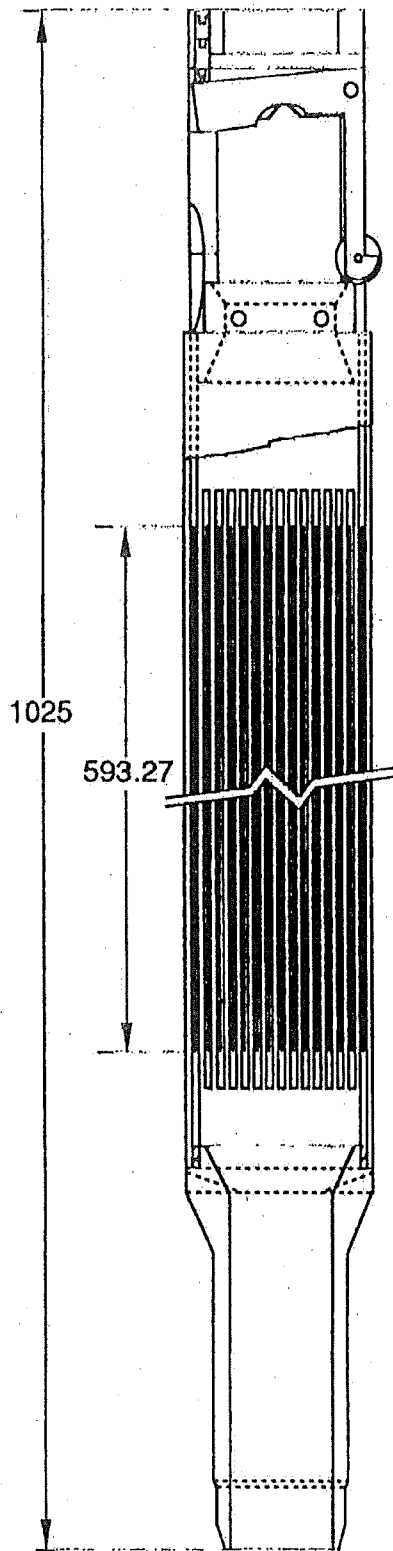


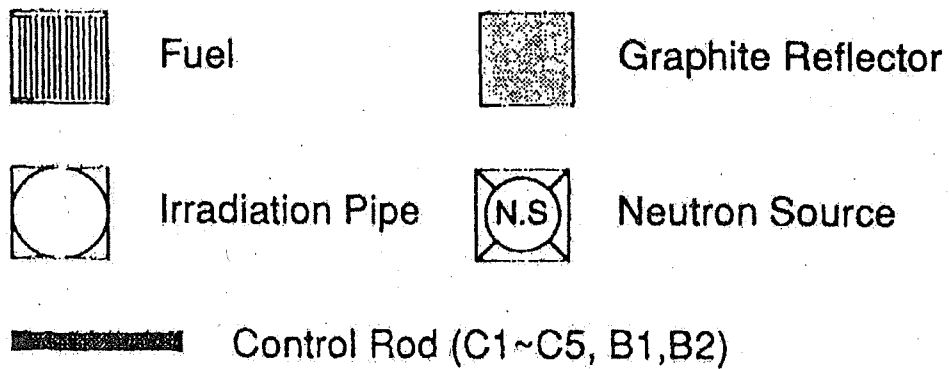
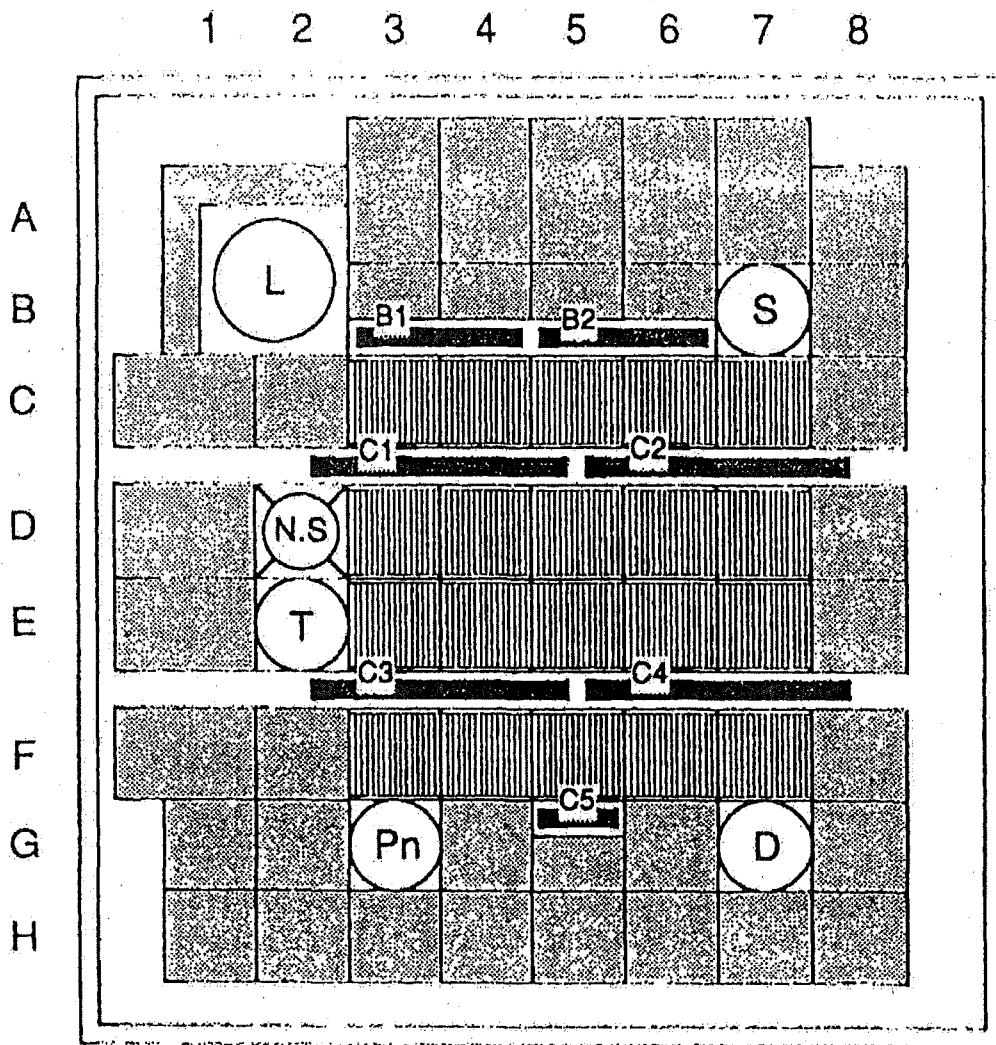
Plate direction



(dimensions in mm)

(口) - 第 E. 19 图 燃料要素

(口) - E-45



(口) - 第 E. 20 图 炉心配置图

E.6.7 参考文献

- (1) 石森富太郎編:” 原子炉工学講座 3 原子炉物理”, 培風館, (1973).
- (2) 国立天文台編:” 理科年表”, 第 71 冊, 丸善株式会社, (1998).
- (3) 日本規格協会編:” JIS ハンドブック 鉄鋼 I”, 日本規格協会, (1997).
- (4) AAR ADVANCED STRUCTURES 社 (旧 Brooks & Perkins Inc.):” 資料” .
- (5) Y. Naito, et al. “MGCL-PROCESSOR : A Computer Code System for Processing Multi-group Constants Library”, JAERI-M9396(1981)
- (6) L. M. Petrie, et al. “KENO-V.a : A Monte Carlo Criticality Program with Super Grouping”, NUREG/CR-0200 Rev. 3 Sec. F-11(1984)
- (7) 小室他「KENO-IVコードベンチマーク計算(10)(軽水型原子炉臨界集合体による臨界実験)」、JAERI-M9147(1980)
- (8) K. Woods, et al. “Critical Experiments of SPERT-D Fuel in Water”, NEA/NSC/DOC(95)03/II Volume III(1998)
- (9) Y.Nakano, et al., “Neutronics Characteristics of JRR-4 Low Enriched Uranium Core”, Proceedings of 21th International of RERTER (1998)

F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

F.1 考慮すべき経年変化要因

本章では、本輸送物について、使用を予定する期間中に想定される使用状況に伴う経年変化について考慮する。使用を予定する期間中に想定される使用状況を(ロ)－第F.1表に示す。

(ロ)－第F.1表 使用を予定する期間中に想定される使用状況

状態	収納物	使用状況
保管中	無	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送容器は、屋内保管とする。 ・当該輸送容器の性能の維持を確認するために、核燃料輸送物設計承認申請書(別記-1)に記載の「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法」に基づく定期自主検査を年1回以上実施する。
運搬開始前	有	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物は、収納物の梱包から運搬実施までの間、施設の管理区域内に3か月程度屋内保管とする。 ・輸送物の発送前には、核燃料輸送物設計承認申請書(別記-1)に基づく発送前検査を実施する。
運搬中	有	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物は、運搬車両又は船舶により運搬される。 ・運搬中に想定される衝撃、振動に対し耐えうるように車両等に固縛し運搬を行う。 ・運搬期間は、2か月程度を予定する。
運搬後	無	<ul style="list-style-type: none"> ・運搬終了後、施設の管理区域内(屋内)にて、輸送容器の健全性確認のための外観検査を実施。 ・輸送容器は、屋内保管とする。

本輸送物を使用する期間としては、製造後から40年として、使用回数としては、年1回、1回の輸送当たり輸送に要する日数を365日として評価を実施する。

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

本輸送物の使用を予定する期間中に想定される使用状況における経年変化の要因としては、容器保管中、運搬開始前及び運搬中における熱、放射線、化学的变化及び疲労が考えられる。そこで、これらの経年変化を生じさせる要因について、本輸送物の構成部品に使用する材料に関して評価を実施することとする。

本輸送物の構成材料は、(イ)章の(イ)一第C.1表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材料を以下に示す。

- ・ステンレス鋼
- ・ (アルミニウム合金)
- ・炭素鋼
- ・木材

なお、Oリング及びシートガスケットは、運搬ごとに交換を行うため、経年変化について考慮しない。

また、収納物については、運搬ごとで変わるため、経年変化について考慮しない。

(ロ)一第F.2表に経年変化の評価について示す。

(ロ) 一第 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(1/7)

構成材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の評価
ステンレス鋼 (SUS□□、 SUS□□)	熱	ステンレス鋼の温度変化については、金属キヤスク構造規格(設計・建設規格(JSME S NSI-2005) ⁽¹⁾ (2007年追補版) ⁽²⁾)において425℃までの設計用強度・物性値が規定されており、当該の温度まではクリープ等の影響を受けない。	一般の試験条件下の太陽輻射熱ありの条件における最高温度は□□(バスケット中心軸付近)であり、本材料では機能の低下は起きないため、熱による経年変化への影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。
	放射線	中性子照射量が 10^{16} n/cm ² 以上となると、材料強度に影響が生じ始める ⁽³⁾ 。	年間1回、1度の運搬に要する期間を365日として、40年間使用する条件下で、構造部品の特定の1cm ² に、集中して中性子が照射されたとしても、その中性子照射量は、□□であるため、放射線照射による経年変化への影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。

(ロ) ー第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(2/7)

構成材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の評価
ステンレス鋼 (SUS□□、 SUS□□)	化学反応	ステンレス鋼は、表層に不動態膜を形成し、腐食しにくい材料である。また、より安全を考慮し、海塩粒子のばく露試験においても有意な腐食は認められない ⁽⁴⁾ 。	ステンレス鋼は腐食しにくい材料であり、運搬中に予想される海塩粒子付着による腐食に対しても、実用上影響はない。また、ステンレス鋼の大気中での腐食深さは、年間1 μ m(0.001mm)以下 ⁽⁶⁾ であり、40年間使用する条件下での環境下(大気中)での腐食深さは最大で0.04mmと推定される。(ロ)章 A.構造解析のうち、A.5.5の貫通における緩衝体表面被覆材(余裕率とした場合：□□)について、腐食による0.04mmの板厚減少が、製造時の最小の厚さ部分□□で起きた場合においても余裕率は□□程度であり、余裕率は正であることから、構造強度への影響はなく、経年変化の影響はない。さらに、万一腐食が生じた場合でも、定期点検、保守作業等により腐食の有無は確認でき、適切に対応する。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。

(ロ) 一第 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(3/7)

構成材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の評価
ステンレス鋼 (SUS <input type="checkbox"/> 、 SUS <input type="checkbox"/>)	疲労	材料の疲労破壊は、負荷応力の繰返しによつて起 ころ ⁽⁶⁾ 。	(1) 吊上装置は、A. 4. 4. 3 で示したとおり、吊り上げ繰り返し回数 (4000 回)は、許容繰り返し回数より十分に低く、疲労による経年変 化の影響を受けない。 (2) 固縛装置は、A. 10. 6 で示したとおり、繰り返し回数(4000 回) は、許容繰り返し回数より十分に低く、疲労による経年変化の影響 を受けない。 (3) 密封装置(容器本体、蓋、蓋締付用ボルト)の疲労については、 A. 10. 5 に示したとおり、使用(運搬)回数を安全側に 1000 回とした 場合でも、許容回数より十分に低く、疲労による経年変化の影響を 受けない。 以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準 に適合していることの確認を行った。

(ロ) 一第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(4/7)

構成材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の評価
<p>□(□)ア ルミニウム合金)</p>	<p>熱</p>	<p>高温下では、クリーブ等による強度の低下がある。</p>	<p>本材料は、構造強度部材でないため、熱による経年変化を考慮する必要はない。以上ことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。</p>
	<p>放射線</p>	<p>中性子照射によりほう素に減損が生じる⁽⁷⁾。</p>	<p>中性子吸収材は、E.2.3で示したとおり、100年間収納物から連続的に中性子による照射を受けた場合でも、¹⁰Bの減少は無視でき、□□の効力も失われないため、放射線照射による経年変化への影響はない。以上ことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。</p>
	<p>化学反応</p>	<p>本材料は、水分との接触により、吸湿、腐食のおそれがある。</p>	<p>本材料はステンレス鋼に覆われた密閉空間にあり、外気と接触することなく腐食等が生じるおそれはないことから、経年変化の影響を受けない。以上ことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。</p>
	<p>疲労</p>	<p>材料の疲労破壊は、負荷応力の繰返しによって起こる⁽⁶⁾。</p>	<p>内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上ことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。</p>

(ロ) 一第 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 (5/7)

構成材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の評価
炭素鋼	熱	炭素鋼の温度変化については、金属キヤスク構造規格（設計・建設規格（JSME S NSI-2005） ⁽¹⁾ （2007年追補版） ⁽²⁾ ）において 350°C までの設計用強度・物性値が規定されており、当該の温度まではクリープ等の影響を受けない。	一般の試験条件下の太陽輻射熱ありの条件における固縛金具の最高温度は [] であり、本材料では機能の低下は起きないため、経年変化の影響は受けない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。
放射線	放射線	中性子照射量が 10^{16} n/cm^2 以上となると、材料強度に影響が生じ始める ⁽⁷⁾ 。	年間 1 回、1 度の運搬に要する期間を 365 日として、40 年間使用する条件下で、構造部品の特定の 1 cm^2 に、集中して中性子が照射されたとしても、その中性子照射量は、[] であるため、放射線照射による経年変化への影響はない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。

(ロ) ー第F.2表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(6/7)

構成材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の評価
炭素鋼(SM□)	化学反応	本材料は大気中で腐食のおそれがある。	炭素鋼の大気中での腐食深さは、年間0.021mm ⁽⁷⁾ であり、40年間使用する条件下での環境下(大気中)での腐食深さは最大で0.84mmと推定される。(ロ)章 A. 構造解析のうち、A.10.6の固縛装置の強度解析における運搬台固縛金具穴部(余裕率:□)について、腐食による0.84mmの板厚減少が起きた場合においても余裕率は□程度であり、余裕率は正であることから、構造強度への影響はなく、経年変化の影響はない。さらに、万一腐食が生じた場合でも、定期点検、保守作業等により腐食の有無は確認でき、適切に対応する。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。
疲労		材料の疲労破壊は、負荷応力の繰返しによって起こる ⁽⁶⁾ 。	(1) 吊上装置は、A.10.6で示したとおり、吊り上げ繰り返し回数(4000回)は、許容繰り返し回数より十分に低く、疲労による経年変化の影響を受けない。 (2) 固縛装置は、A.10.6で示したとおり、繰り返し回数(4000回)は、許容繰り返し回数より十分に低く、疲労による経年変化の影響を受けない。 以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。

(ロ) 一第 F.2 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(7/7)

構成材料	経年変化要因	経年変化の考慮の必要性の検討	経年変化の評価
木材 []	熱	本材料に関する温度変化については、115℃から影響が出る事が確認されているが、その温度以下についての影響については、温度変化についての経年変化は認められない ⁽⁶⁾ 。	一般の試験条件下の太陽輻射熱ありの条件における上部緩衝体(内側面)の最高温度は [] であり、本材料では機能の低下は起きないため、熱による経年変化への影響はない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。
	放射線	中性子照射量が 3MGy までは、顕著な機械的特性変化は認められない ⁽⁶⁾ 。ガンマ線照射量が 0.1MGy までは、顕著な機械的特性変化は認められない ⁽⁶⁾ 。	緩衝材が受ける中性子線は、保守的に見積もっても [] 程度であるため、中性子照射による経年変化への影響はない。また、緩衝材が受けるガンマ線は、 [] 程度であるため、ガンマ線による経年変化への影響もない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。
	化学反応	本材料は、水分との接触により、吸湿、腐食のおそれがある。	本材料はステンレス鋼に覆われており、密閉空間にあることから、吸湿等による分解、腐食の影響は受けない。ステンレス鋼の評価については、上述のとおり、経年変化の影響を受けないことから、本材料も吸湿・腐食のおそれなく、経年変化への影響はない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。
疲労		材料の疲労破壊は、負荷応力の繰返しによって起こる ⁽⁶⁾ 。	内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上のことから、経年変化の影響はないものとして、技術上の基準に適合していることの確認を行った。

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

F.2 に示したとおり、本輸送物に係る構成材料について、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。その結果、使用を予定する期間中に想定される使用状況において経年変化への影響はないことを確認したことから、技術上の基準に適合していることの確認は経年変化の影響はないものとして行った。

参考文献

- (1) (一社) 日本機械学会、「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 (JSME S FA1-2007)」(2007).
- (2) (一社) 日本機械学会、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版) <第I編 軽水炉規格> (JSME S NC1-2005 (2007年追補版含む。))」(2007).
- (3) K. Farrell, et al, "An Evaluation of Low Temperature Radiation Embrittlement Mechanisms in Ferritic Alloys", J. of Nuclear Materials, Vol.210, (1994).
- (4) R. R. Gaugh, "Stress Corrosion Cracking of Precipitation-Hardening Stainless Steels", Materials Performance, Vol.26, No.2, (1987).
- (5) (一社) 日本機械学会、「機械工学便覧 α .基礎編」(2007).
- (6) 日刊工業新聞社、「ステンレス鋼便覧」(1979).
- (7) 輸送物技術顧問会、「使用済燃料中間貯蔵に係る貯蔵後輸送の安全性確保方策について」(2010).
- (8) Gilbert Gedeon, P.E., "Wood as An Engineering Materials: Mechanical Properties of Wood" Course No:S04-019
- (9) 「材料」第16巻 第169号, 「木材の化学加工」後藤 輝男

G. 外運搬規則及び外運搬告示に対する
適合性の評価

G. 外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価

輸送物は、(口) - 第 G.1 表に示すように、規則及び告示に定める技術基準の該当項目に合致している。

(ロ) - 第 G.1 表 規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価

規則の項目	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	本輸送物はBU型輸送物であるので適用を受けない。		
第3条第1項 第2号	第4条	本輸送物はBU型輸送物であるので適用を受けない。		
第3条第1項 第3号	第4条 及び 別表第一	<p>本輸送物に収納される核燃料物質は、特別形核燃料物質等以外のものに該当し、核燃料物質の濃縮度は□以下 wt %のウラン合金である。</p> <p>収納される放射線量は A₂ 値を超えるため、本輸送物はBU型輸送物に該当する。</p>	(イ) - B	
第3条第2項	第5条	本輸送物はBU型輸送物であるので適用を受けない。		
第3条第3項		<p>本輸送物はBU型輸送物であるので、規則第7条に定める技術基準の適用を受ける。</p> <p>また、第7条の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のとおり評価した。</p> <p>1. 輸送物は使用予定年数を製造後から40年、年間の使用回数を1回、1回の運搬あたりに要する日数を365日と設定する。</p> <p>2. 収納物については当該輸送日数では経年変化がないことから、輸送容器構成部品について考慮する。</p> <p>3. 経年変化の要因は、熱、放射線照射、</p>	(イ) - D (ロ) - F	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>化学変化及び繰返し荷重とする。</p> <p>4. 放射線照射の影響については、使用予定期間で収納物から照射を受けるとしても、材料強度に影響が現れる単位面積当たりの照射量を十分に下回る。</p> <p>5. 熱の影響については、ステンレス鋼が受ける最高温度は□であり、ステンレス鋼は、規格等で定められる構造強度基準の範囲内である。炭素鋼が受ける最高温度は□であり、炭素鋼は、規格等で定められる構造強度基準の範囲内である。また、緩衝材は機械的特性変化を生じる温度を下回る。中性子吸収材は、構造強度部材ではないため熱による経年変化はない。</p> <p>6. 化学変化の影響については、ステンレス鋼は不動態膜を表面に形成し腐食は進行しにくいこと、使用予定年数の環境下(大気中)での腐食深さは0.04mm程度であり、板厚の減少による構造強度への影響はないこと、また、外観検査等で状態を確認し、必要に応じ補修する。炭素鋼については使用予定年数の環境下(大気中)での腐食深さは0.84mm程度であり、板厚の減少による構造強度への影響はないこと、また、外観検査等で状態を確認し、必要に応じ補修する。中性子吸収材及び緩衝材はステンレス鋼に</p>		

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>覆われ、密閉空間にあることから吸湿等による分解、腐食等の影響は受けない。</p> <p>7. 繰返し荷重の影響について、圧力や取扱いによる繰返し荷重により発生する応力に基づく許容繰返し回数は想定される繰返し回数を上回る。</p> <p>以上より、輸送物は経年変化の影響はないものとして、BU型輸送物の技術上の基準に適合していることの確認を行った。</p>		
第4条		本輸送物はBU型輸送物であるので適用を受けない。		
第5条		本輸送物はBU型輸送物であるので適用を受けない。		
第6条		本輸送物はBU型輸送物であるので適用を受けない。		
第7条第1号		<p>輸送物は、以下に示すとおり容易、かつ、安全に取り扱うことができる。</p> <p>輸送物は、取扱中の吊上げ吊下ろしが容易にできるよう輸送容器本体及び蓋に吊上金具を有し、吊上金具を吊り具と接続し容易に取り扱うことができる。また、吊上金具は取扱いを考慮して安全係数（負荷係数）を3とし、輸送物の最大重量を考慮した荷重に対して必要な強度を有する設計としており安全に取り扱うことができる。</p>	(ロ) - A. 4. 4	第4条第1号
第7条第1号		輸送物は以下に示すとおり、運搬中に		第4条第2号

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
(つづき)		<p>予想される温度、内圧及び振動等に対して亀裂・破損等を生じるおそれはない。</p> <p>1. 運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は-40°C、また、最高温度は規則第7条第2号に規定される周囲の温度が38°Cで太陽の輻射熱を受ける条件に輸送物を置いた場合であり、最高温度(バスケットにおいて\square)において、輸送容器構成部品は健全性を損なうことはない。</p> <p>2. 運搬中に予想される温度の変化に対して、輸送物を周囲の温度が-40°Cから38°Cまで変化することを想定しても輸送容器構成部品間で有意な熱膨張差及び熱応力は発生しない。</p> <p>3. 運搬中に予想される内圧の変化について、輸送物の最大内圧は\squareである。これを上回る圧力\squareを輸送容器に負荷した条件の下で密封装置の強度及び密封性を評価しており、構造健全性及び密封性が確保されることを確認している。</p> <p>4. 振動等について、輸送物の固有振動数\squareを算定した結果、運搬中に予想される有効な振動数(約350Hz)と大きな開きがあり運搬中に受ける荷重が増幅されることはない。また、運搬中に予想される輸送物への入力荷重は一</p>	<p>(口) - A. 4. 2</p> <p>(口) - A. 5. 1</p> <p>(口) - A. 4. 2</p> <p>(口) - A. 5. 1</p> <p>(口) - A. 4. 6</p> <p>(口) - A. 4. 7</p>	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>般の試験条件における自由落下や積み重ね試験時の荷重に包含されることから、輸送物に亀裂・破損を生じるおそれはない。</p>		
<p>第7条第1号 (つづき)</p>		<p>本輸送物の表面には取扱い等に使用する吊具金具、崩壊熱除去に使用するフィン、固縛用の固縛金具、封印用の封印金具以外の不要な突起物はない。また、本輸送物の表面は滑らかに仕上げられたステンレス鋼であり汚染の除去が容易な構造となっている。</p>	(イ) - C	第4条第3号
<p>第7条第1号 (つづき)</p>		<p>本輸送物の構成部品はステンレス鋼、アルミニウム合金、<input type="text"/>、<input type="text"/>等化学的に安定した材料を使用しており容器を構成する材料相互及び収納物と危険な物理的作用や化学的作用が生じるおそれはない。</p> <p>1. 前述したとおり、運搬中に予想される温度の範囲において有意な熱膨張差等が生じることはなく、熱膨張による相互の干渉もないことから、材料相互及び材料と収納物の間で危険な物理的作用を生じるおそれはない。</p> <p>2. 本輸送物は冷却水を用いないタイプであり、凍結に起因する破損を生じるおそれはない。</p> <p>3. 中性子吸収材 <input type="text"/>、 緩衝材 <input type="text"/></p>	<p>(ロ) - A. 4. 1</p> <p>(ロ) - A. 4. 2</p> <p>(ロ) - A. 5. 1</p> <p>(ロ) - A. 4. 1</p>	第4条第4号

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>□のOリングは金属材料と接触しても化学反応を生じるおそれはない。</p> <p>4. □、□はステンレス鋼に覆われ密閉されていることから、吸湿等による分解、腐食等の影響は受けない。</p>	(ロ)－F. 2	
第7条第1号 (つづき)		<p>本輸送物は、ドレン弁を有しているが、輸送容器本体外径より内側にあり、その表面には保護蓋が取り付けられていること、保護蓋は、緩衝体に覆われることから、誤って操作されることはない。</p>	(ロ)－C. 2. 1 (ロ)－A. 4. 3	第4条第5号
第7条第1号 (つづき)	第9条	<p>本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を確認する。</p> <p>1. アルファ線を放出する放射性物質 0. 4Bq/cm²</p> <p>2. アルファ線を放出しない放射性物質 4Bq/cm²</p>	(ハ)－A. 2	第4条第8号
第7条第1号 (つづき)		<p>輸送容器に燃料装荷する場合には、所定の要領に基づいて行い、しかも、輸送物の発送前検査として収納物検査が行われるので輸送物安全性を損なうおそれのあるものを装荷することはない。</p> <p>本輸送物は、外接する直方体の各辺が下記のとおり10cm以上である。</p> <p>JMS－87Y－18.5T型 高さ 約2,000mm (約200cm)</p>	(ハ)－A. 2 (イ)－A (イ)－C	第4条第10号 第5条第2号

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>外 径 約 1,900mm (約 190cm)</p> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div>	(口) - A. 4. 3	第 5 条 第 3 号
第 7 条 第 1 号 (つづき)		<p>前述したとおり、運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は-40°C、また、最高温度は規則第 7 条第 2 号に規定される周囲の温度が 38°C で太陽熱の放射を受ける条件に輸送物を置いた場合であり、最高温度 (バスケットにおいて <input type="text"/>) において、輸送容器構成部品は健全性を損なうことはない。したがって、-40°C から 70°C の温度の範囲において構成部品に亀裂、破損を生じるおそれはない。</p>	(口) - A. 4. 2 (口) - A. 5. 1	第 5 条 第 4 号
第 7 条 第 1 号 (つづき)		<p>本輸送物が最大内圧 <input type="text"/> を受けた状態において、外圧が 0.06MPa (60kPa) まで低下した場合の内外圧力差は <input type="text"/> であるが、安全側に内外圧力差を <input type="text"/> とした場合で、密封装置の構造健全性及び密封性が確保されることを確認している。したがって、0.06MPa (60kPa) まで外圧が低下した場合においても放射性物質</p>	(口) - A. 4. 6 (口) - B. 4. 4	第 5 条 第 5 号

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		の漏えいはない。		
第7条第1号 (つづき)		本輸送物は、液体の核燃料物質を収納しないことから、本要件の適用は受けない。		第5条第6号
第7条第1号 (つづき)		<p>本輸送物は以下に示す保守的な条件を設定して、DOT3.5 及び ANISN の計算コードを用いて輸送物表面における最大線量当量率を求めている。輸送物の表面における最大線量当量率は JMTR 標準燃料要素 (LEU) 30 体を収納した場合であり 0.998mSv/h となり 2mSv/h を下回る。</p> <p>1. 中性子吸収材等は無視している。</p> <p>2. 緩衝体及び輸送容器本体のフィンが変形することを考慮し、輸送容器胴部、蓋及び底部の外表面を輸送物の表面とみなしている。</p>	(口) - D. 1 (口) - D. 5	第5条第7号
第7条第1号 (つづき)		本輸送物は、表面における最大線量当量率 (第7条第1号) と同様の保守的な条件に基づき表面から 1m 離れた位置における線量当量率を評価している。表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率は、 $83 \mu\text{Sv/h}$ であり $100 \mu\text{Sv/h}$ を下回る。	(口) - D. 1 (口) - D. 5	第5条第8号
第7条第1号 (つづき)		本輸送物に収納される収納物の放射能の量は、 A_2 値の 10 万倍を下回ることから本要件の適用は受けない。	(口) - A. 6. 4	第6条第5号
第7条第2号	第19条	BU型輸送物に係る一般の試験条件		

規則の項目	告示の項目	説 明	申請書記載 対応項目	備 考
	別記第 7			
	別記第 4	a. 熱的試験	(口) - A. 5. 1	
	第 1 号	<p>一般の試験条件において、輸送物を 38℃の雰囲気中で太陽の輻射熱を受ける条件の下に置いた場合について、輸送物の温度を評価した結果、最高温度は、燃料において [] で許容温度 [] 以下であり、密封境界のガスケットでの最高温度は [] であり、許容温度の [] 以下であり、健全性は維持される。また、運搬中に予想される内圧の変化について、輸送物の最大内圧は [] である。これを上回る圧力 [] を輸送容器に負荷した条件の下で密封装置の強度及び密封性を評価しており、構造健全性及び密封性が確保されることを確認している。</p>	(口) - B. 4. 2	
	別記第 4	b. 水噴霧	(口) - A. 5. 2	
	第 2 号	<p>輸送物は、ステンレス鋼が使用されているので耐食性は十分であり、外表面は滑らかに仕上げられており、かつ、水の溜まらない構造となっているため水切りがよく、表面はなめらかなステンレス鋼であり、吸水性はなく、吸水による腐食等が生じるおそれはないことから、密封性及び遮蔽性能に影響する損傷はない。</p>		
	別記第 3			
	第 1 号イ			
	別記第 3	c. 自由落下	(口) - A. 5. 3	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
	第1号口	当該輸送物の最大重量は18440kgであることから、落下高さは0.3mとなる。		
	別記第3	0.3m高さから落下したときの輸送物の状態について、計算コードSHOCK-2を用いて、輸送物に生じる最大減速度（落下エネルギー）及び変形量を評価している。落下姿勢は、垂直、水平及びコーナー落下を対象としている。		
	第1号口(1)	解析の結果、輸送物に最大□の変形が生じるが、構造健全性及び密封性は確保される。	(口)-A.5.4	
	別記第3	d. 積み重ね		
	第1号口(3)	輸送容器の投影面積に13kPa (0.13 kg/cm ²) を負荷する場合と輸送物に自重の5倍荷重を負荷する場合（自重の6倍）を比較すると後者の負荷の方が厳しい条件となることから後者の条件の下で、輸送物の状態について評価している。その結果、輸送物に生じる応力強さは降伏応力以下であり、健全性は確保され、密封性及び遮蔽性能に影響を与える損傷はない。	(口)-A.5.5	第5条第9号
	別記第3	e. 貫通		口
	第1号口(4)	輸送物の外面で最も薄い緩衝材表面被覆材□に、6kgの鋼棒を1m高さから落下させた場合について、鋼棒の持つ落下エネルギーと緩衝材表面被覆材を貫通させるエネルギー		

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		を比較し、後者の値の方が大きいことを確認しており、緩衝材表面被覆材が貫通することはないことから、密封性及び遮蔽性能に影響を与える損傷はない。		
第7条第2号 (つづき)		一般の試験条件に置いた輸送物は、第7条第1号と同様の保守的な条件に基づき表面から1m離れた位置における線量当量率を評価している。表面の最大線量当量率は、0.998mSv/hであり2mSv/hを下回る。	(ロ)-D.5	第6条第2号 イ(第5条第9号ロ)
第7条第2号 (つづき)		一般の試験条件に置いた輸送物は密封装置の構造健全性及び密封性が確保され、収納物の構造健全性も維持される。放射性物質の漏えい量評価においては、発送前検査における気密漏えい検査の合格基準の漏えい量を一般試験での内圧□と燃料要素の最高温度□□を考慮した漏えい率により、収納物が燃焼した際の核分裂生成ガス0.1%(安全側に大気圧での放射能濃度)が容器内部に分散している条件の下で、放射性物質の1時間当たりの漏えい量を評価した結果、放射性物質の漏えい量の基準に対する比率は0.496であり基準を満足する。	(ロ)-C.3	第6条第2号 ロ
第7条第2号 (つづき)	第15条	輸送物は専用積載で運搬する。一般の試験条件に置いた輸送物を38℃の環境	(ロ)-B.4.2	第6条第2号 ハ

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>での日陰に置いた場合においても、人が近づきうる輸送物表面の最高温度は、固縛金具で□となる。したがって、輸送物表面の温度は 85℃を超えることはない。</p>		
<p>第7条第2号 (つづき)</p>	<p>第9条</p>	<p>一般の試験条件に置いた輸送物は、密封装置の構造健全性及び密封性が確保されることから、放射性物質が放出されることはない。また、発送前検査において表面密度が表面密度限度を下回ることを確認することから、表面密度限度を超えることはない。</p>	<p>(口)－A (口)－B (口)－C (ニ)－A.2</p>	<p>第6条第2号 ニ</p>
<p>第7条第3号</p>	<p>第20条 別記第8 別記第5 第1号イ</p>	<p>B U型輸送物に係る特別の試験条件</p> <p>落下試験 I</p> <p>9m 高さから落下させた場合の輸送物の状態について、計算コード SHOCK-2 及び計算コード FIN-200 を用いて、輸送物に生じる減速度及び変形量を評価している。また、得られた最大減速度に基づいて、輸送容器及び収納物の強度を評価している。落下姿勢は、垂直、水平、コーナー及び傾斜落下を対象としている。解析の結果、輸送物に最大□の変形が生じるが変形は緩衝体及び一部のフィンの変形によって吸収されるので、容器本体及び蓋の変形は生じないこと、ドレン弁、ベント</p>	<p>(口)－A.6 (口)－A.6.1</p>	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>プラグ、蓋締付用ボルト及びバスケットは最大減速度によって生じる発生応力に対し十分な強度を有すること、蓋の口開きはOリングのつぶれ代に比べ十分に小さいことから構造健全性及び密封性は確保される。</p>		
<p>第7条第3号 (つづき)</p>	<p>別記第5 第1号ロ</p>	<p>落下試験Ⅱ (1m貫通試験)</p> <p>1m高さから直径150mmの鋼棒上に落下させた場合の輸送物の状態について、鋼棒が輸送物に衝突することで生じる外容器のくぼみ変形量を評価している。評価は、鋼棒が輸送容器外表面に直撃するケース、緩衝体が軟鋼棒に直撃するケースとしている。評価の結果、いずれのケースも容器本体を貫通しないことを確認しており、密封装置の構造健全性及び密封性は確保される。</p>	<p>(ロ) - A. 6. 2</p>	
<p>第7条第3号 (つづき)</p>	<p>別記第5 第2号イ 第2号ロ</p>	<p>熱的試験</p> <p>熱解析コード TRUMP により輸送物各部の温度を評価した結果、燃料、ステンレス鋼及びガスケットの温度は許容温度以下であること、輸送物の最大内圧も技術基準で定められた最高使用圧力の700kPa以下であること、最大熱膨張及び最大熱応力についても設計基準値以下であることから、密封装置の構造健全性及び密封性は確保される。</p>	<p>(ロ) - A. 6. 3 (ロ) - B. 5</p>	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第7条第3号 (つづき)	別記第5 第3号	<p>浸漬試験（水深 15m）</p> <p>15mの水深に置いた輸送物の状態について、密封装置である蓋、容器本体、ベントプラグ及びベント弁に 150kPa の外圧が負荷した場合の構造強度を評価した結果、これらに破損が生じることはないことから構造健全性及び密封性は確保される。</p>	(口) - A. 6. 4	
第7条第3号 (つづき)		<p>特別の試験条件に置いた輸送物は、通常輸送時における最大線量当量率評価（第7条第1号）と同じく、保守的な条件を設定して、DOT3.5 及び ANISN の計算コードを用いて輸送物表面における最大線量当量率を求めている。輸送物の表面から 1m における最大線量当量率は JMTR 標準燃料要素 (LEU) (燃焼度 <input type="text"/>) 30 体を収納した場合であり 0.083mSv/h となり 10mSv/h を下回る。</p> <p>1. 中性子吸収材等は無視している。</p> <p>2. 緩衝体及び輸送容器本体のフィンが変形することを考慮し、輸送容器胴部、蓋及び底部の外表面を輸送物の表面とみなしている。</p>	(口) - D. 5	第6条第3号 イ
第7条第3号 (つづき)	第17条	<p>特別の試験条件に置いた輸送物は密封装置の構造健全性及び密封性が確保され、収納物の構造健全性も維持される。放射性物質の漏えい量評価においては、発送前検査における気密漏えい検査の合格基準の漏えい量を特別試験での</p>	(口) - C. 4	第6条第3号 ロ

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>内圧 [] と燃料要素等の最高温度 [] を考慮した漏えい率により、収納物が燃焼した際の核分裂生成ガス 0.1% (安全側に大気圧での放射能濃度) が容器内部に分散している条件の下で、放射性物質の 1 週間当たりの漏えい量を評価した結果、放射性物質の漏えい量の基準に対する比率は 9.86×10^{-6} であり基準を満足する。</p>		
第 7 条第 4 号		<p>第 7 条第 1 号 (第 4 条第 2 号、第 5 条第 4 号) の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は -40°C、また、最高温度は規則第 7 条第 2 号に規定される周囲の温度が 38°C で太陽熱の放射を受ける条件に輸送物を置いた場合であり、最高温度 (バスケットにおいて []) において、輸送容器構成部品は健全性を損なうことはない。</p>	(口) - A. 4. 2 (口) - A. 5. 1	
第 7 条第 5 号		<p>本輸送物は、冷却装置等を持たない自然冷却方式である。</p>	(口) - B. 1	
第 7 条第 6 号		<p>本輸送物は、運搬中に予想される温度の変化及び内外圧の変化を考慮しても、内外圧差は [] であり、技術基準で定められた最大使用圧力 700kPa を超えない。</p>	(口) - B. 4 (口) - B. 5	
第 8 条		<p>本輸送物は B U 型輸送物であるので適用を受けない。</p>		
第 9 条		<p>本輸送物は B U 型輸送物であるので適用を受けない。</p>		

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第 10 条		本輸送物は B U 型輸送物であるので適用を受けない。		
第 11 条	第 23 条	本輸送物は、 ²³⁵ U の濃縮度が <input type="text"/> <input type="text"/> の燃料を収納し、 ²³⁵ U を 15g 以上収納するので核分裂性輸送物に該当する。	(イ) - B (イ) - D	
第 11 条		輸送物の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係る説明のとおり、経年変化の影響はないことを確認したことから、技術上の基準に適合していることの確認は経年変化の影響はないものとして行った。 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件においた輸送物の状態について、容器本体及び収納物の構造健全性は確保される。 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置くこととした場合、一般の試験条件の履歴を受けたのちに、落下試験、熱的試験、浸漬試験に置いた輸送物の状態について、輸送容器及び緩衝体に変形等は生じるが、輸送容器及び収納物の構造健全性は確保される。	(ロ) - F (ロ) - A. 9	
第 11 条第 1 号	第 24 条 別記第 11 第 1 号 第 2 号	(一般の試験条件) 50mm/h の雨量に相当する水を 1 時間吹き付けた場合の影響を評価しており、形状の変形等生じない。 本輸送物の最大総重量は約 18440kg	(ロ) - A. 9	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		であり、落下高さ 0.3m である。落下時に受ける最大損傷を評価できるように解析している。		
第 11 条第 1 号 (つづき)	第 3 号	<p>輸送物の自重の 6 倍に相当する荷重を付加した方が厳しい条件となるため、この条件における輸送容器胴部の強度を評価している。</p> <p>重量 6kg、直径 3.2cm の軟鋼棒を 1m (100cm) の高さから本輸送物の最も弱い部分に落下させたとしている。</p>	(ロ) - A. 9 (ロ) - A. 9	
第 11 条第 1 号 イ、ロ		<p>輸送物を一般の試験条件の下に置くこととした場合、輸送物に生じる変形は自由落下に伴う最大 の変形に限られる。また、変形の形状はくぼみを生じるような変形ではないことから、1 辺が 10 cm の立方体を包含するようなくぼみは容器の構造部に生じない。</p> <p>一方、輸送物の高さ約 2m (200cm)、外径約 1.9m (190cm) であるから外接する直方体の一辺は 10 cm 以上である。</p>	(ロ) - A. 9 (イ) - C	
第 11 条第 2 号 イ、ロ、ハ、ニ、ホ	第 25 条	<p>第 11 条第 2 号イからホの 5 つの条件を全て包含する保守的な実効増倍率解析モデルとして、緩衝体、フィン、固縛金具等がないものとする事、隣接する輸送物間の相互干渉を強めるため輸送容器の容器本体の凸部を無視すること、損傷孤立系では輸送物が水反射体に囲まれていること、損傷配列系では評価体</p>	(ロ) - E. 3. 1 (ロ) - E. 4. 4 (ロ) - E. 5	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>系中で中性子の漏れがないように完全反射としていること、水密度は臨界上最適である密度 ($\rho = 1.0\text{g/cm}^3$) であることから反応度が最大となる条件により、KENO-V.a コードを用いて全ての収納物に対して実効増倍率を求めた結果、実効増倍率の最大値は約 0.864 となり、収納物とした核燃料物質のいずれを収納した場合においても未臨界性が確保される。</p>		
第 11 条第 3 号		<p>第 7 条第 1 号 (第 4 条第 2 号、第 5 条第 4 号) の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は -40°C、また、最高温度は規則第 7 条第 2 号に規定される周囲の温度が 38°C で太陽の輻射熱を受ける条件に輸送物を置いた場合であり、最高温度 (バスケットにおいて <input type="checkbox"/>) において、輸送容器構成部品は健全性を損なうことはない。</p>	(口) - A. 4. 2 (口) - A. 5. 1	

H. 原型容器試驗結果報告書

H. 原型容器試験結果報告書

H.1 概要

輸送容器の 1/1 スケールモデル(以下「試験体」という。)を 1 基製作し、これを用いて輸送物のための各試験のうち安全性に及ぼす影響が最も大きいと考えられる落下試験 I、II 及び耐火試験について一連の試験を特定の条件で実施した。

その結果得られた加速度、ひずみ、変形及び温度の測定値を解析値と比較検討することにより安全解析に使用した評価の妥当性を確認した。あわせて気密漏えい試験により試験体の密封性能の健全性を確認した。

H.2 試験項目

技術基準に定める各試験のうち輸送物の安全性に最も重要な影響を与える試験は、特別の試験条件における落下試験 I、II 及び耐火試験であるので、本試験においてもこれらの項目を実施した。また、各試験の前後において試験体の密封性能の健全性を確認するために気密漏えい試験を実施した。

1. 試験順序

試験順序と条件を (ロ) 一第 H.1 表 に、これらの設定理由を以下に示す。

落下試験と耐火試験の順序は、技術基準に「落下試験に続いて耐火試験」と定められているのでこれに従った。

落下試験 I と落下試験 II の順序については、技術基準に「耐火試験において最大の破損を受けるような順序」と定められているため、2. 試験条件に示す理由により落下試験 I に続いて落下試験 II という順序にした。

2. 試験条件

- (1) 落下試験 I について、種々の姿勢における発生応力等を解析した結果、(ロ) 一第 H.2 表 に示すように輸送物が 90° 方向から水平落下した時の衝撃力によって生ずる発生応力が輸送物に対して最も厳しいものであると評価された。したがって、落下試験 I は輸送物の 90° 方向から落とす水平落下とした。
- (2) 落下試験 II について、種々の姿勢における減速度と変形量を解析した結果、(ロ) 一第 H.3 表 に示すように減速度は落下試験 I の値を超える事はないことが明らかで

ある。このため次の耐火試験に影響の大きいと考えられる変形を重視して、耐火試験において最大の破損を受けるような姿勢として落下試験Ⅰに重複する変形が生ずるような水平落下とした。

落下試験に伴う輸送容器(主に緩衝体)の変形により耐火試験において最大の破損を受けるのは、密封境界の一つである蓋部Oリング である。

その際、Oリングの破損程度は入熱量に比例すると考えられる。入熱量は落下による緩衝体の変形量が多い部位ほど、また、蓋部Oリングに近い部位ほど大きくなる。したがって、落下試験Ⅰ、Ⅱの順序は、以下に示すように緩衝体の変形量が大きくなるⅠ→Ⅱの順序とした。

緩衝体の変形量 $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ⅰ} \rightarrow \text{Ⅱ} \text{ の場合は } \input{type="text"} \\ \text{Ⅱ} \rightarrow \text{Ⅰ} \text{ の場合は } \input{type="text"} \end{array} \right.$

(ロ) - 第 H.1 表 試験順序と条件

順序	項目	条件
1	落下試験Ⅰ	試験台上面から試験体最下端までの高さは9m 姿勢は試験体の90° 方向を下にした水平落下
2	落下試験Ⅱ	直径15cmの標的上端から試験体最下端までの高さは1m 姿勢は試験体の90° 方向を下にした水平落下 直撃部位は上部緩衝体の蓋部Oリング最寄り部
3	耐火試験	温度800℃の環境に30分間置く。(発熱量；2.80kW) 姿勢は横置き。

(ロ) ー第 H. 2 表 落下試験 I (9m)における減速度と変形量の解析値

姿 勢		減速度 (G)	変形量 (mm)	最大発生応力と部位
垂 直				<input type="text"/> (燃料側板)
水 平	90°			<input type="text"/> (仕切板)
	固縛金具			<input type="text"/> (仕切板)
コーナー				<input type="text"/> (蓋締付用ボルト)

*:溶接部の応力であり、非溶接部においてはこれより大きな応力になる部位(仕切板:(90°)、(固縛金具))があるが、許容応力(溶接部:)、非溶接部:)と対比した場合この応力が最も厳しいといえる。

(ロ) ー第 H. 3 表 落下試験 II (1m)における減速度と変形量の解析値

姿 勢	部 位	減 速 度 (G)	*変 形 量 (mm)
垂 直	緩衝体		
	蓋又は底		
水 平	緩衝体		
	胴 (フィンなし)		
コーナー	緩衝体		

*:落下試験 I による変形部に重畳するような落下試験 II だけの変形量を示す。

H.3 試験実施期間と場所

実施期間

昭和 61 年 12 月 ～ 昭和 62 年 1 月

実施場所

実施機関

H.4 試験方法

各試験の方法について、試験体は、試験設備及び測定方法に区分し以下に示す。

H.4.1 試験体

試験体は落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ及び耐火試験を通じて同じものを使用した。

ただし、落下試験と耐火試験は試験方法等が異なるため、これに起因する試験体付属機器類に関する若干の相違がある。

試験体本体の構造を (口) - 第 H.1 図 に示す。

試験体と輸送容器実機(以下「実機」という。)の相違点の要約を (口) - 第 H.4 表 に示す。

(口) - 第 H.4 表 試験体と実機の相違

試験	相違点の要約
落下試験ⅠⅡ	1) 試験体には計測線等の配線用溝又は穴を設けた。 2) 試験体の緩衝体には取扱い用吊具の取付座を設けた。 3) 試験体には4種類の模擬燃料を装荷した。 4) 試験体には加速度とひずみの検出器を取り付けた。 5) 試験体には落下用吊具を設けた。
耐火試験	1) 試験体には計測線等の配線用溝又は穴を設けた。 2) 試験体の緩衝体には取扱用吊具の取付座を設けた。 3) 試験体には4種類の模擬燃料を装荷した。 4) 試験体には熱電対を取り付けた。 5) 試験体にはヒーターを装荷した。

(口) - 第 H.4 表の詳細について以下に示す。

1. 落下試験Ⅰ又はⅡにおける試験体と実機の相違

落下試験Ⅰと落下試験Ⅱにおける試験体は同一試験体を用いるので以下に示す実機

との相違についても2種類の試験体を区別しないこととする。(ロ) - 第H.2図に落下試験体を示す。

1) 計測線等の配線用溝又は穴

試験における各種データを採取するために、試験体各部に検出器を取り付け、それらの計測線等を試験体から離れた計測機器に接続した。また、検出器の取付部あるいは計測線等の配線空間を確保するために、実機にはない溝又は穴を試験体の各部に設けた。

溝又は穴のうち主要なものを以下に示す。

- a) 蓋中央貫通孔 ;
- b) バスケット外面長手方向溝 ;
- c) 上部緩衝体の蓋接触部角穴 ;
- d) フォロワ型形状模擬燃料板の切欠溝 ;

2) 取扱用吊具の取付座

実機は通常の使用姿勢が縦置きであるため、この試験で設定した横置きにおいて試験体を取り扱うことができる吊具類を備えていない。このため、横置きにおいても試験体を取り扱うことができるボルト締結式の吊具を緩衝体に設けた。

試験中の試験体からは吊具本体を外すのでボルトの取付座(上部緩衝体 ;
、下部緩衝体 ;)だけが試験体の一部として残る。

3) 模擬燃料

前記(イ)章D. 輸送容器の収納物で示したように実機のバスケットには燃料が30体まで装荷される。

落下試験では、これらの燃料を4種類の模擬燃料に変え、合計30体をバスケットに装荷した。4種類の模擬燃料の配置を(ロ) - 第H.2図に、各々の概要を以下に示す。

a) 標準型形状模擬燃料

標準燃料要素の形状を模擬するものとして、(ロ) ー第 H. 3 図に示す標準型形状模擬燃料を 3 体使用した。この形状模擬燃料芯材の材質はアルミニウム合金であり、実燃料のウランアルミニウム合金を模擬していない。

b) フォロワ型形状模擬燃料

前記 a) と同じく、燃料フォロワの形状を模擬するものであり 3 体使用した。構造を (ロ) ー第 H. 4 図に示す。

c) 模擬燃料 A

実機に収納する燃料は 3 種類あり、1 体の重量も [] と幅があるので、この内最も重い燃料の重量と外形寸法を近似したのものとして重量約 [] の模擬燃料 A を 13 体使用した。構造を (ロ) ー第 H. 5 図に示す。

d) 模擬燃料 B

模擬燃料 A と同じく燃料の重量と外形寸法を近似したものであるが、耐火試験のときに挿入するヒーターのための支持管を備えている。重量 [] の模擬燃料 B を 11 体使用した。構造を (ロ) ー第 H. 6 図に示す。

4) 減速度とひずみの検出器

落下試験時に試験体に生じる減速度とひずみを測定するために、検出器とその計測線を取り付けた。加速度検出器は 5 個、ひずみ検出器は 14 個であり、これらの取付位置を (ロ) ー第 H. 2 図に示す。検出器の仕様は後記 H. 4. 3 測定方法に示す。

5) 落下用吊具

前記のように実機は横姿勢で取り扱える構造になっていないので、試験体には横姿勢で吊り上げると同時に後述 H. 4. 2 試験設備に示す落下装置により取り扱うことができる落下用吊具をねじにより取り付けた。落下用吊具の外形を (ロ) ー第 H. 2 図に示す。重量は [] である。

2. 耐火試験における試験体と実機の相違

(ロ) 一第 H. 7 図に耐火試験体を示す。

1) 計測線等の配線用溝又は穴

前記の落下試験の項で記述した。

2) 取扱い用吊具の取付座

前記の落下試験の項で記述した。

3) 模擬燃料

耐火試験においても落下試験と同じく、標準型及びフォロー型形状模擬燃料と模擬燃料 A 及び B の 4 種類の模擬燃料を合計 30 体バスケットに装荷した。

各々の模擬燃料の説明は、前記と同じであるので省略するが、使用数は標準型及びフォロー型形状模擬燃料をそれぞれ 1 体、模擬燃料 A 及び B をそれぞれ 14 体とした。

これらの配置を (ロ) 一第 H. 7 図に示す。

4) 熱電対

耐火試験中の試験体の温度を測定するために、30 体のシース熱電対を試験体に取り付けた。

取付位置を (ロ) 一第 H. 7 図に示す。また、熱電対の仕様を後記 H. 4. 3 測定方法に示す。

5) ヒーター

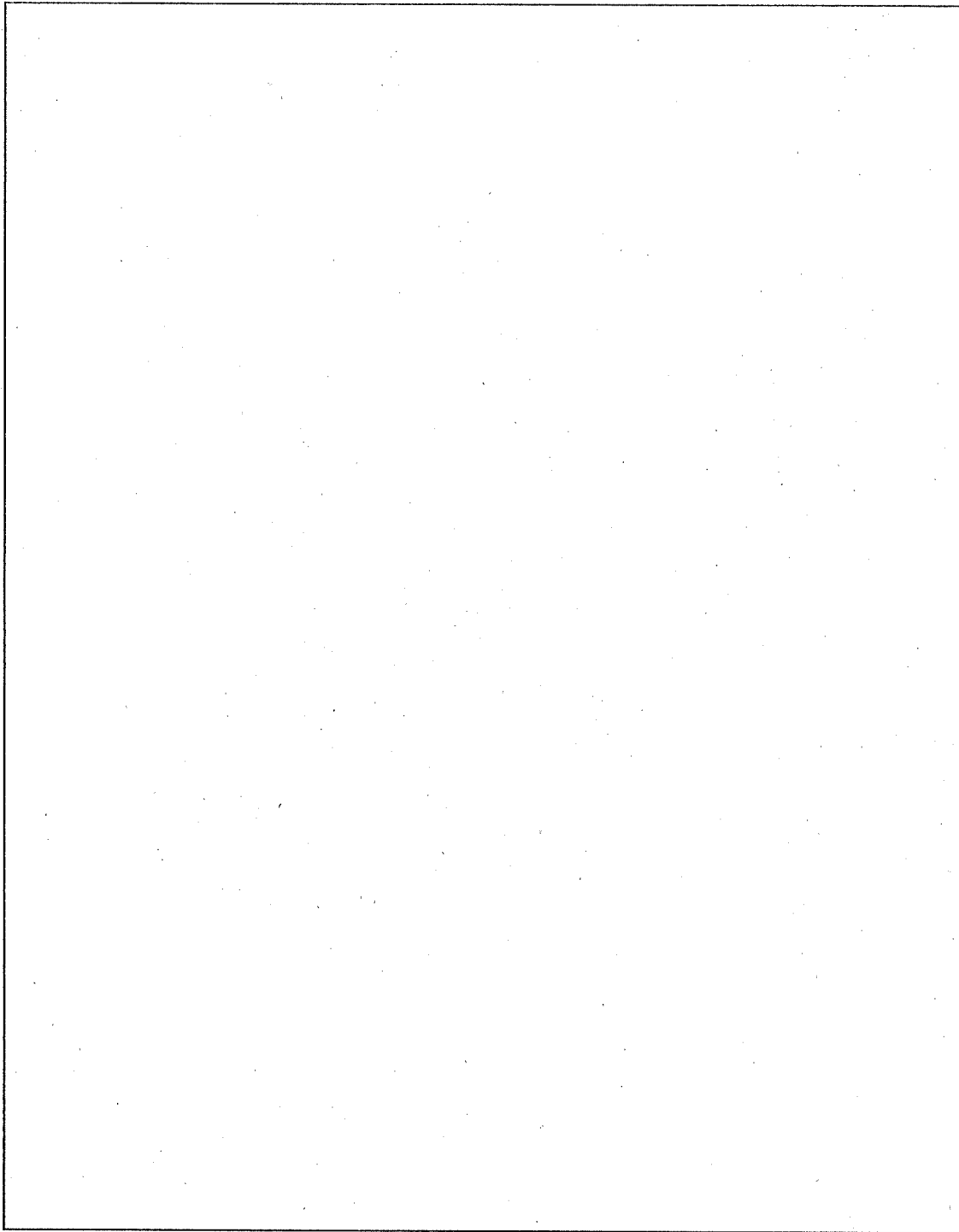
収納物は崩壊熱を発生する。耐火試験においてはこの発熱を模擬するため、バスケット内に配置された 14 体の模擬燃料 B に各々 1 本ずつヒーターを挿入した。

ヒーターの構造を (ロ) 一第 H. 8 図に示す。

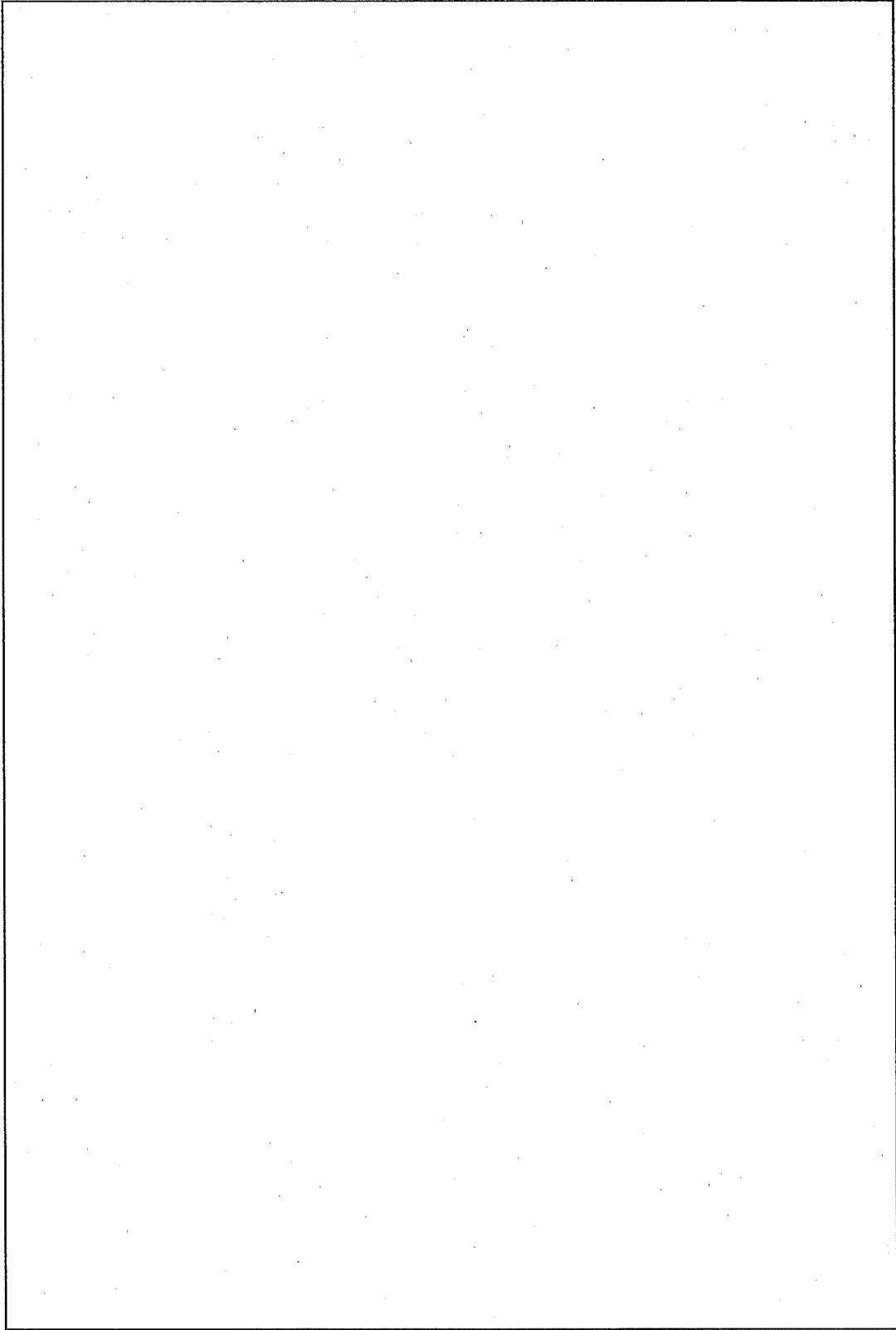
実機に収納する収納物では、最大収納数 (30 体) 当たりの発熱量に 1.3~2.8kW と幅があるため、このうち最も高い熱量である 2.8kW を 14 体のヒーターにより模擬した。

なお、14 体のヒーターは同じ仕様であり、各 1 本当当たりの発熱量が同じになるように配線をした。

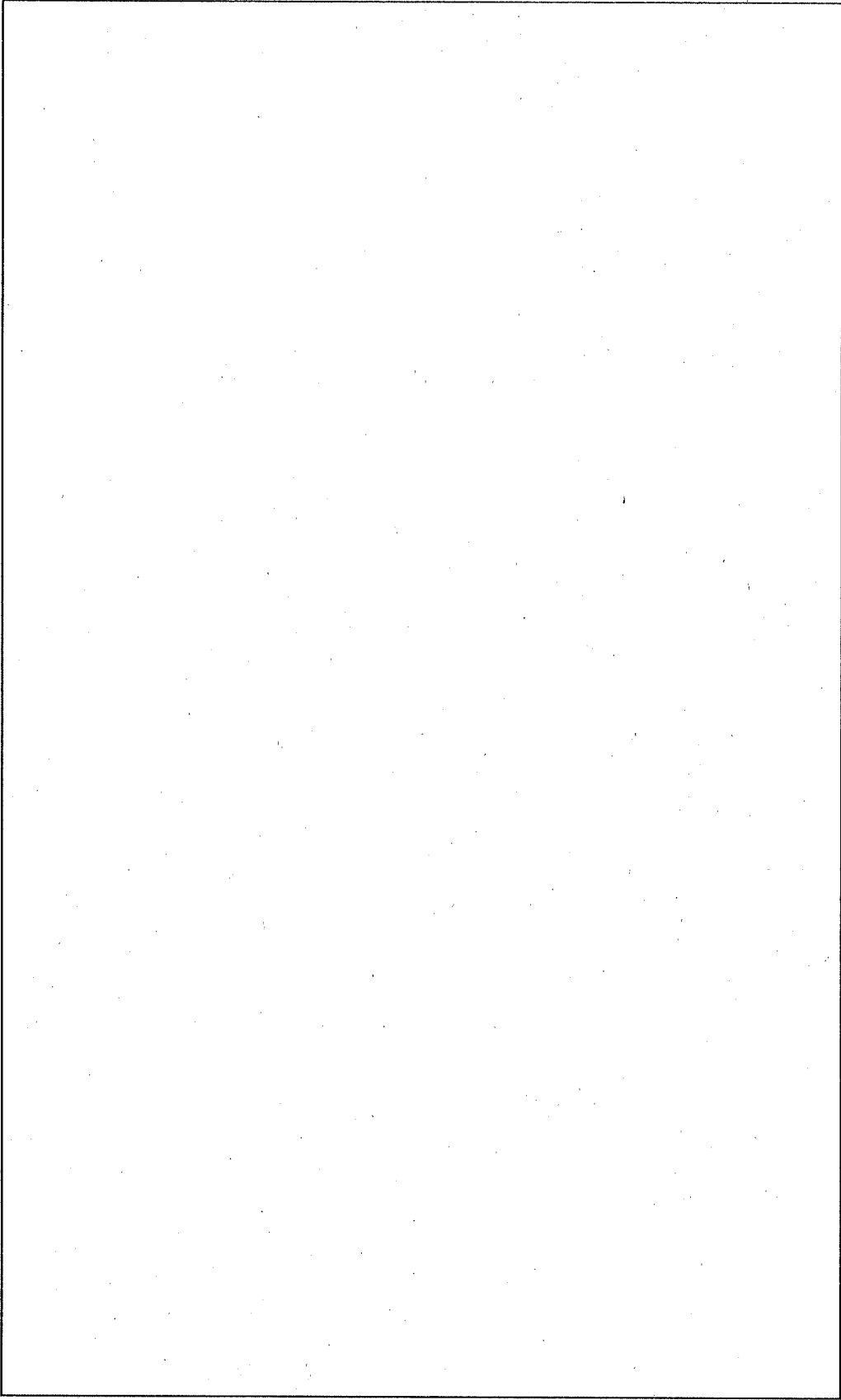
(口) 一第H.1.1図 試験体構造図



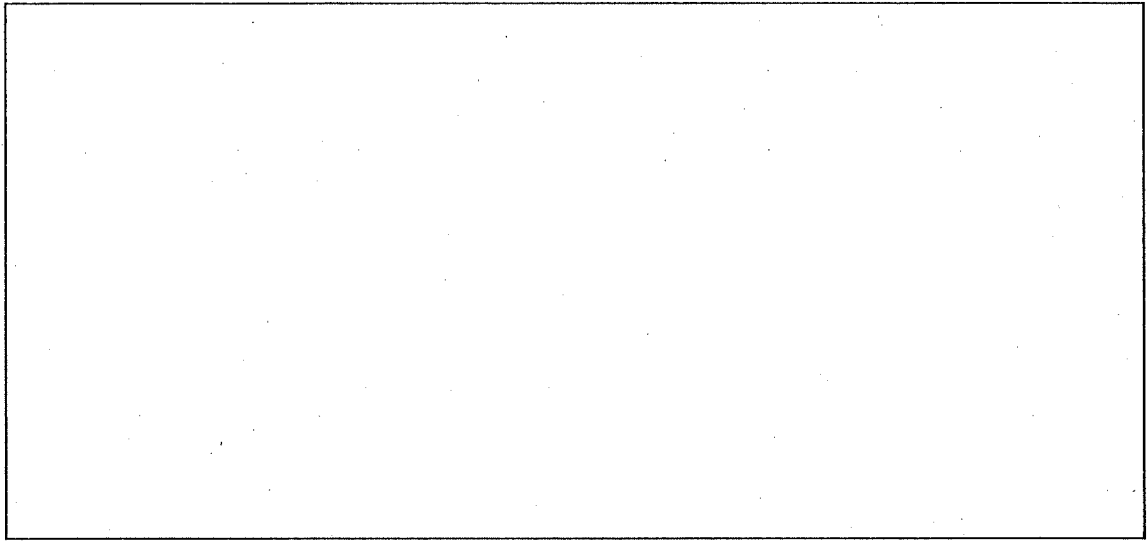
(口) 第H.2 図 落下試験体



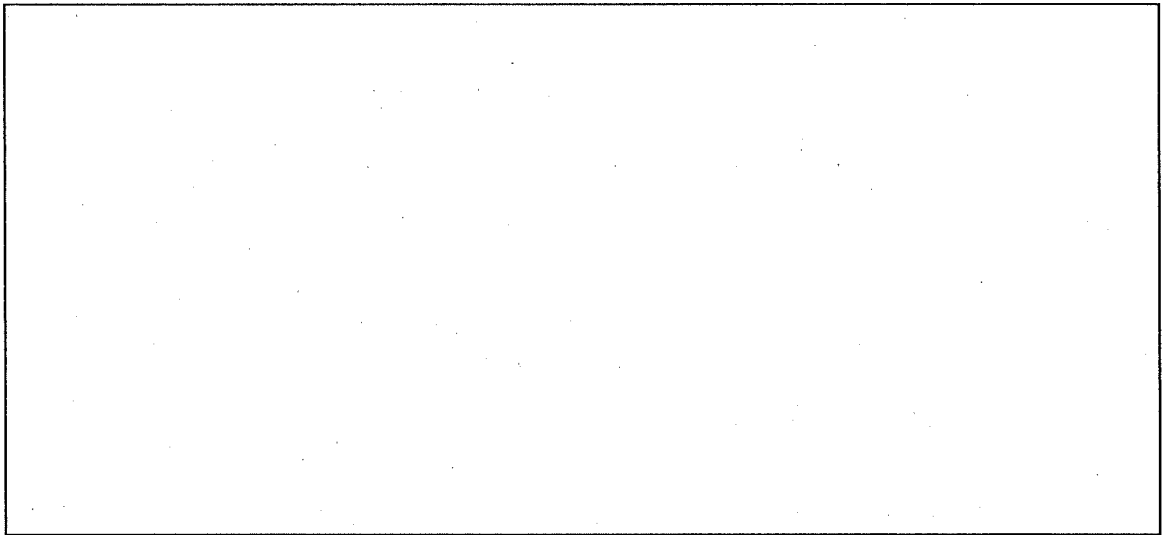
(口) - 第 H.3 図 標準型形状模擬燃料



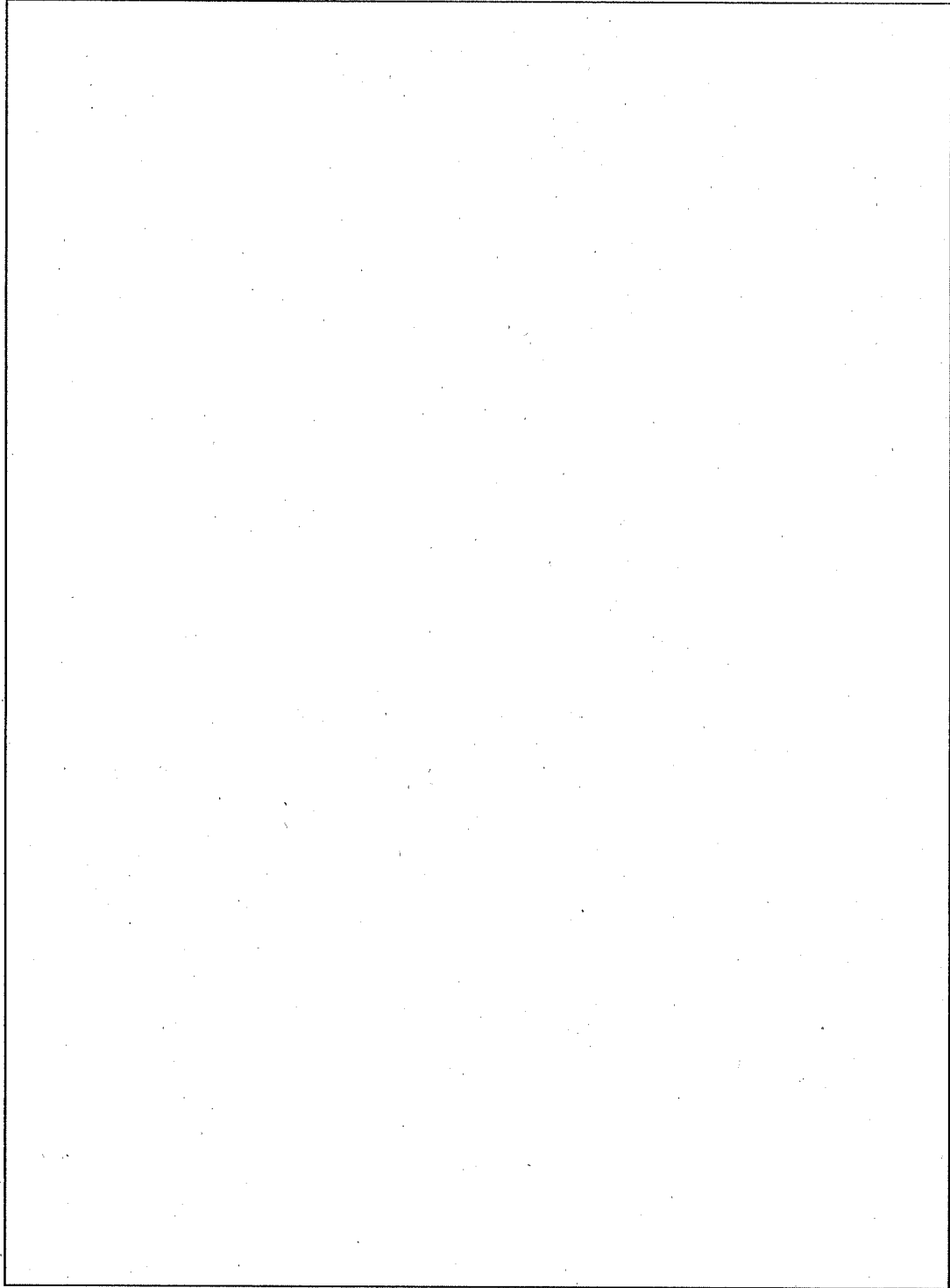
(口) - 第H.4図 フォロワ型形状模擬燃料



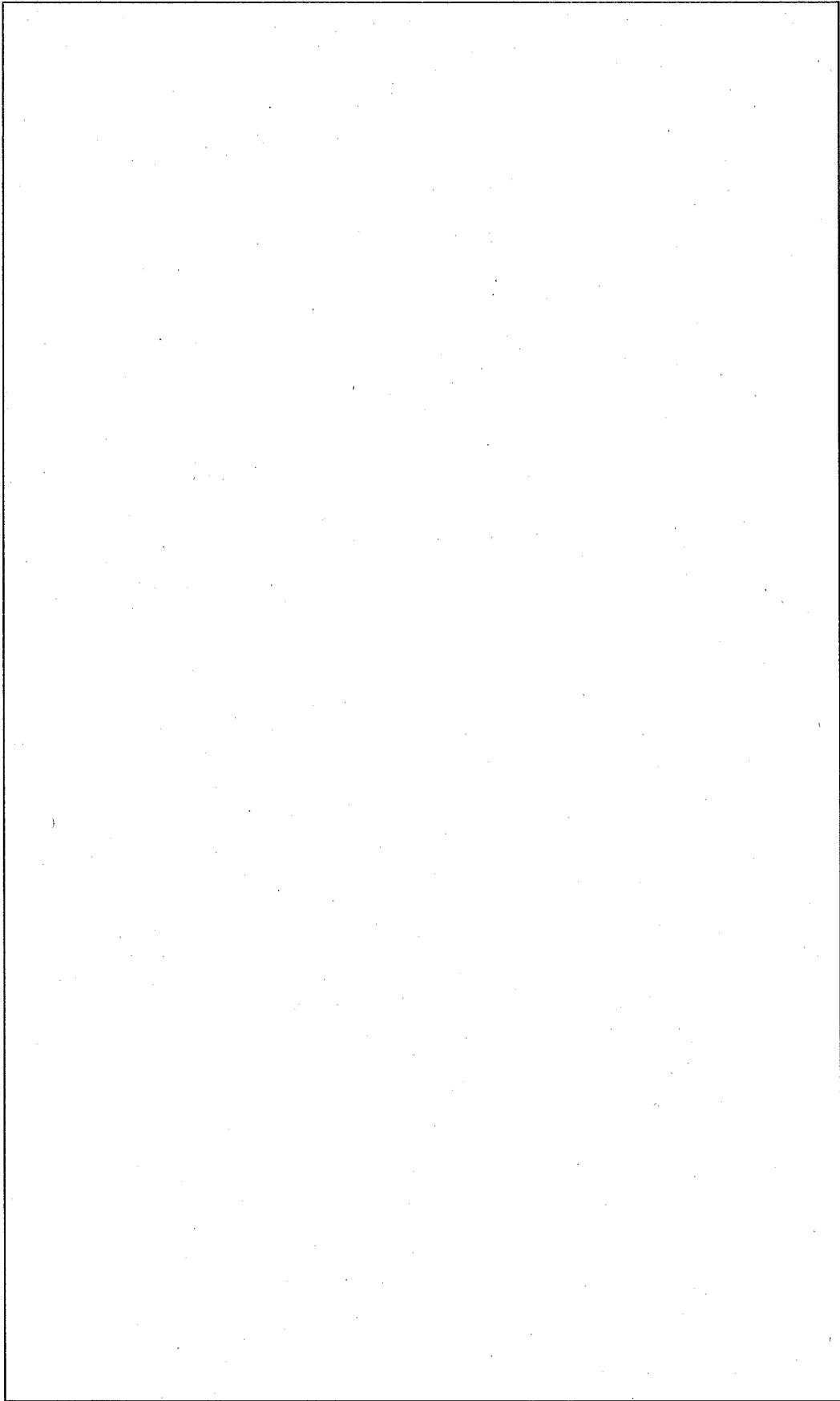
(口) - 第 H.5 図 模擬燃料A



(口) - 第 H.6 図 模擬燃料B



(口) - 第H.7図 耐火試験体



(口) 一第H.8図 ヒータ一

H. 4. 2 試験設備

試験は、に設置された使用済燃料輸送容器信頼性
実証試験設備の一部を使用して実施した。

各試験に使用した設備の仕様を以下に示す。

1. 落下試験 I

落下試験 I に使用した設備は落下衝撃試験装置であり試験台と移動式クレーン等から成
る。

1) 試験台

(口) ー 第 H. 9 図 に構造を示す。

コンクリート基礎 ;

鋼板 ;

2) 移動式クレーン

(口) ー 第 H. 10 図 に構造を示す。

吊上げ重量 ;

揚程 ;

3) 落下装置

(口) ー 第 H. 11 図 に構造を示す。

2. 落下試験 II

落下試験 II に使用した設備は、前記の落下衝撃試験装置と以下の標的である。

1) 標的

直径 15cm×高さ 30cm

試験台上の配置等を (口) ー 第 H. 12 図 に示す。

3. 耐火試験

耐火試験に使用した設備は耐火試験装置と架台である。

1) 耐火試験装置

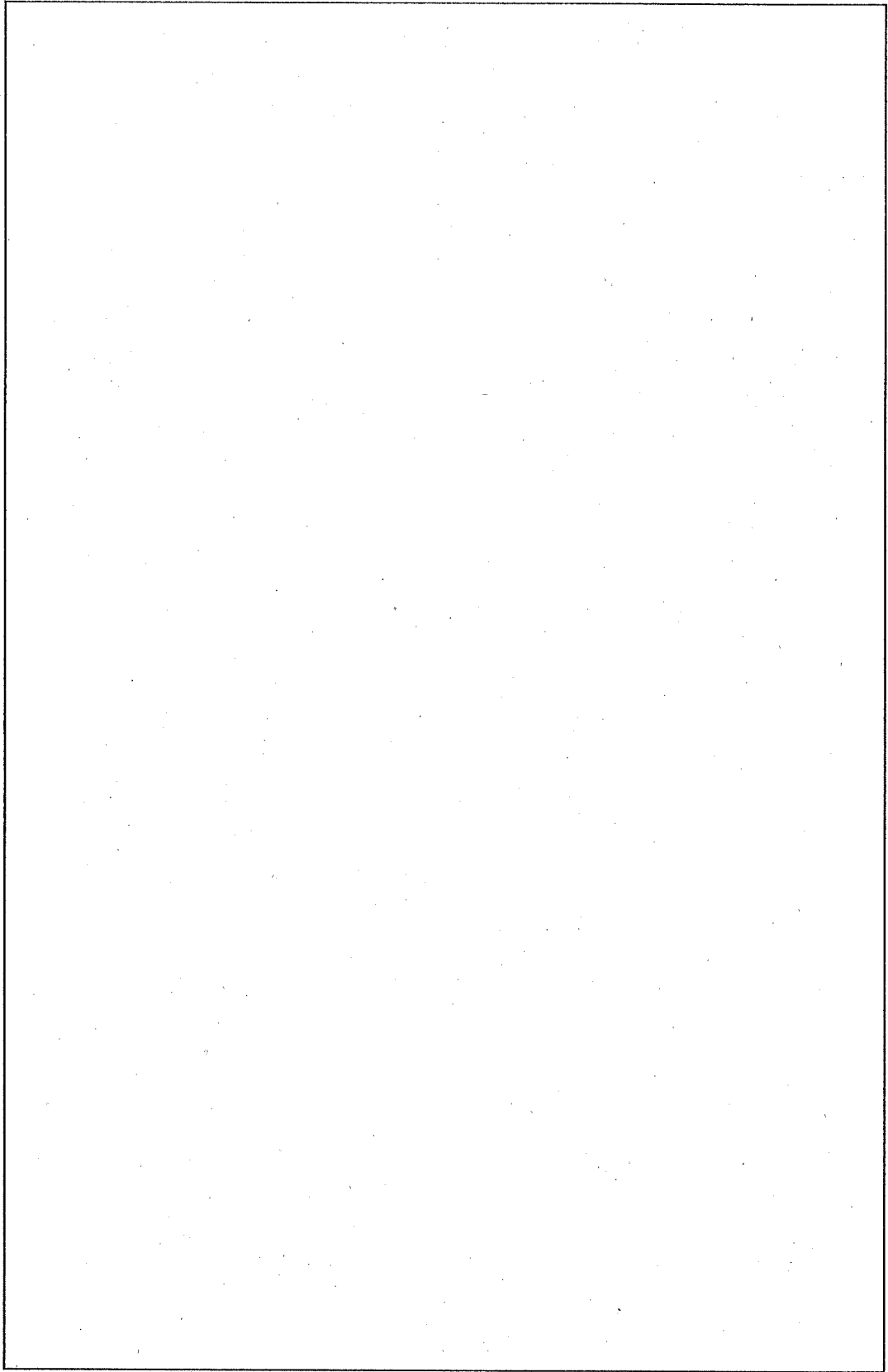
(口) - 第 H. 13 図 に構造を示す。

炉型式 ;

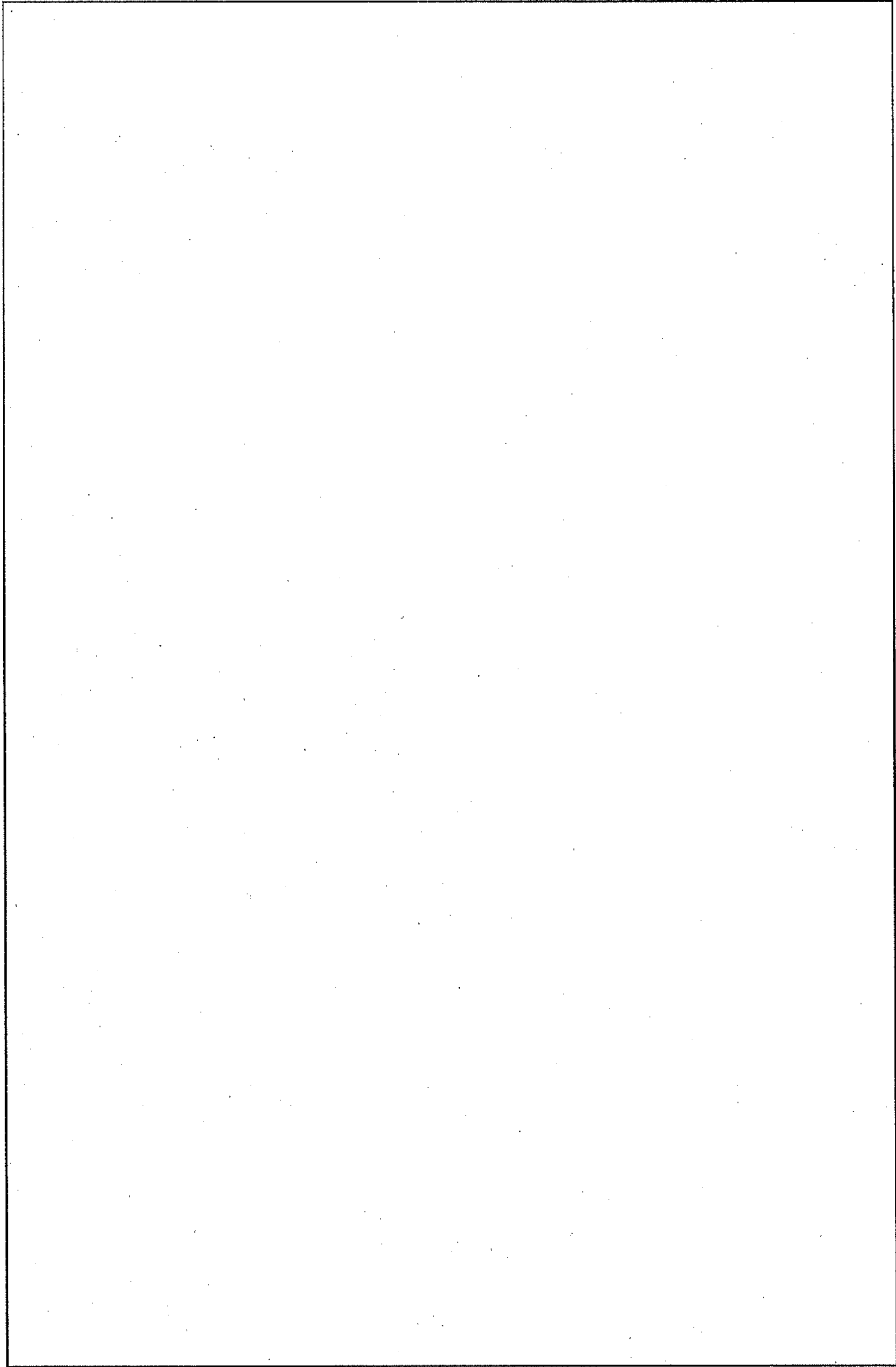
加熱温度 ;

2) 耐火試験用架台

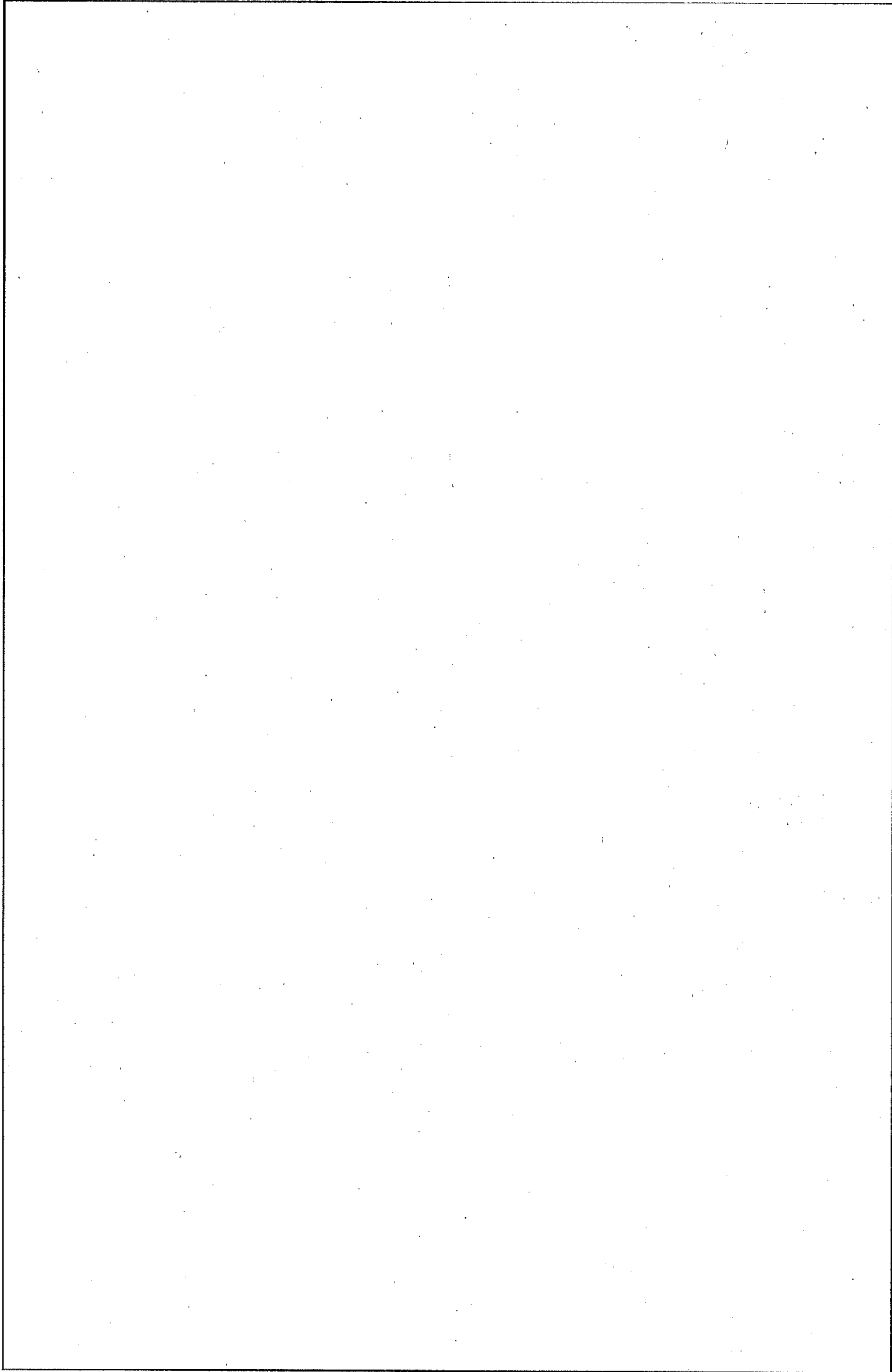
(口) - 第 H. 14 図 に構造を示す。



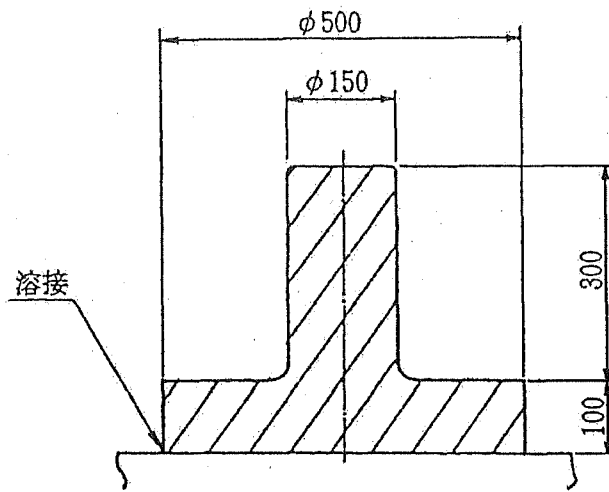
(口) - 第 H.9 図 試験台



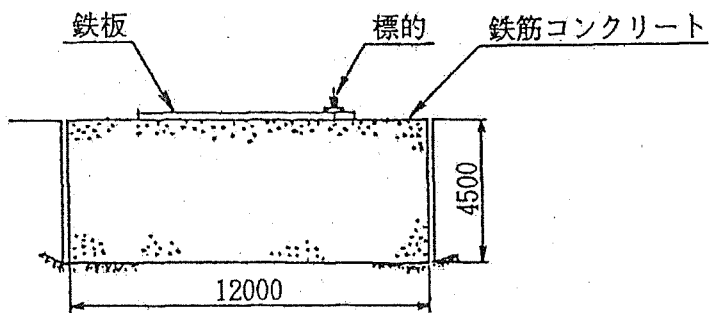
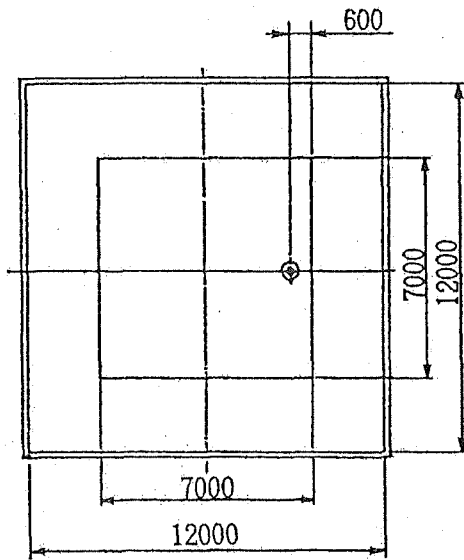
(ロ) ー第H.10図 移動式クレーン



(口) 一第 H.11 図 落下装置



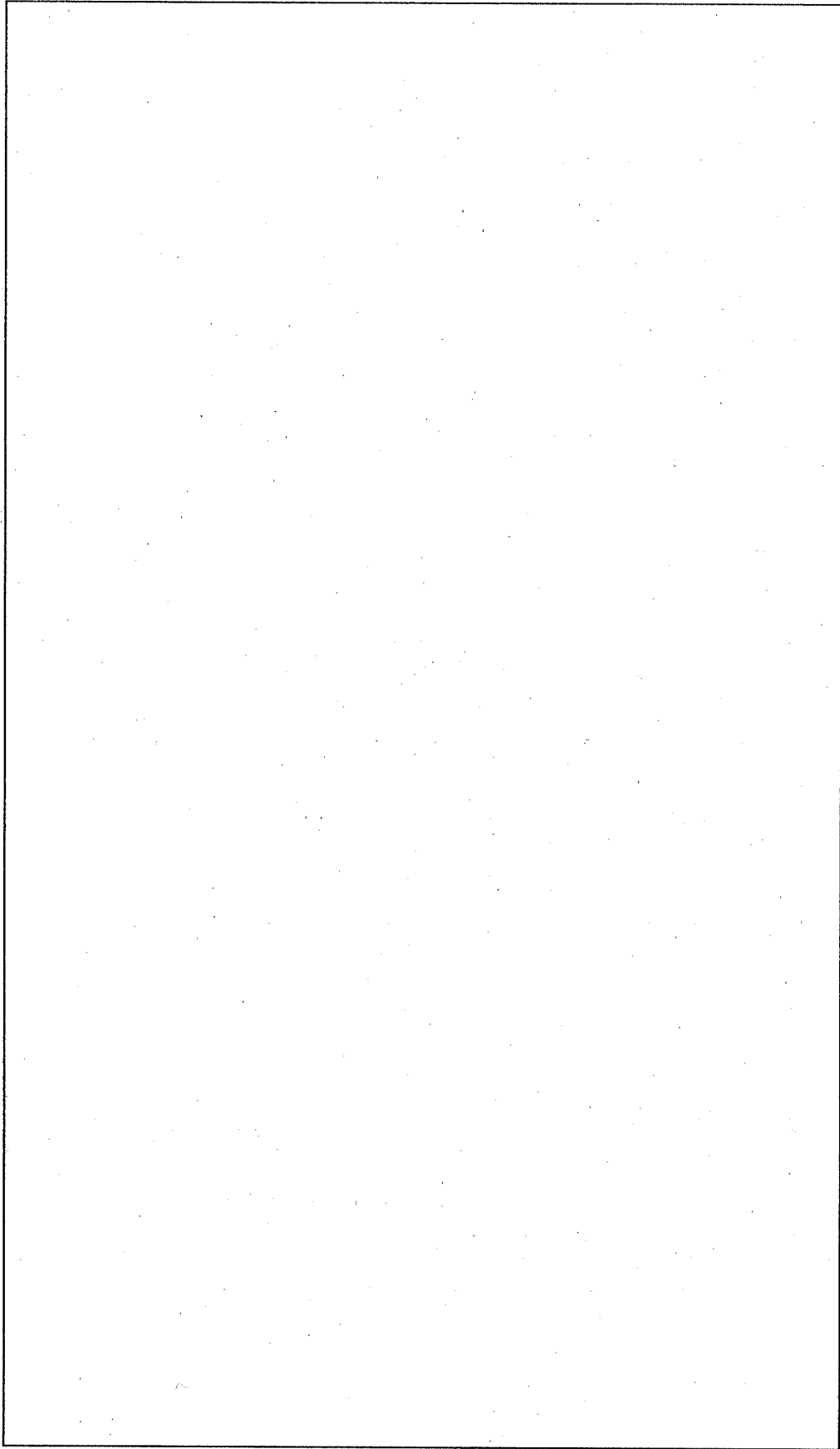
標的の詳細図



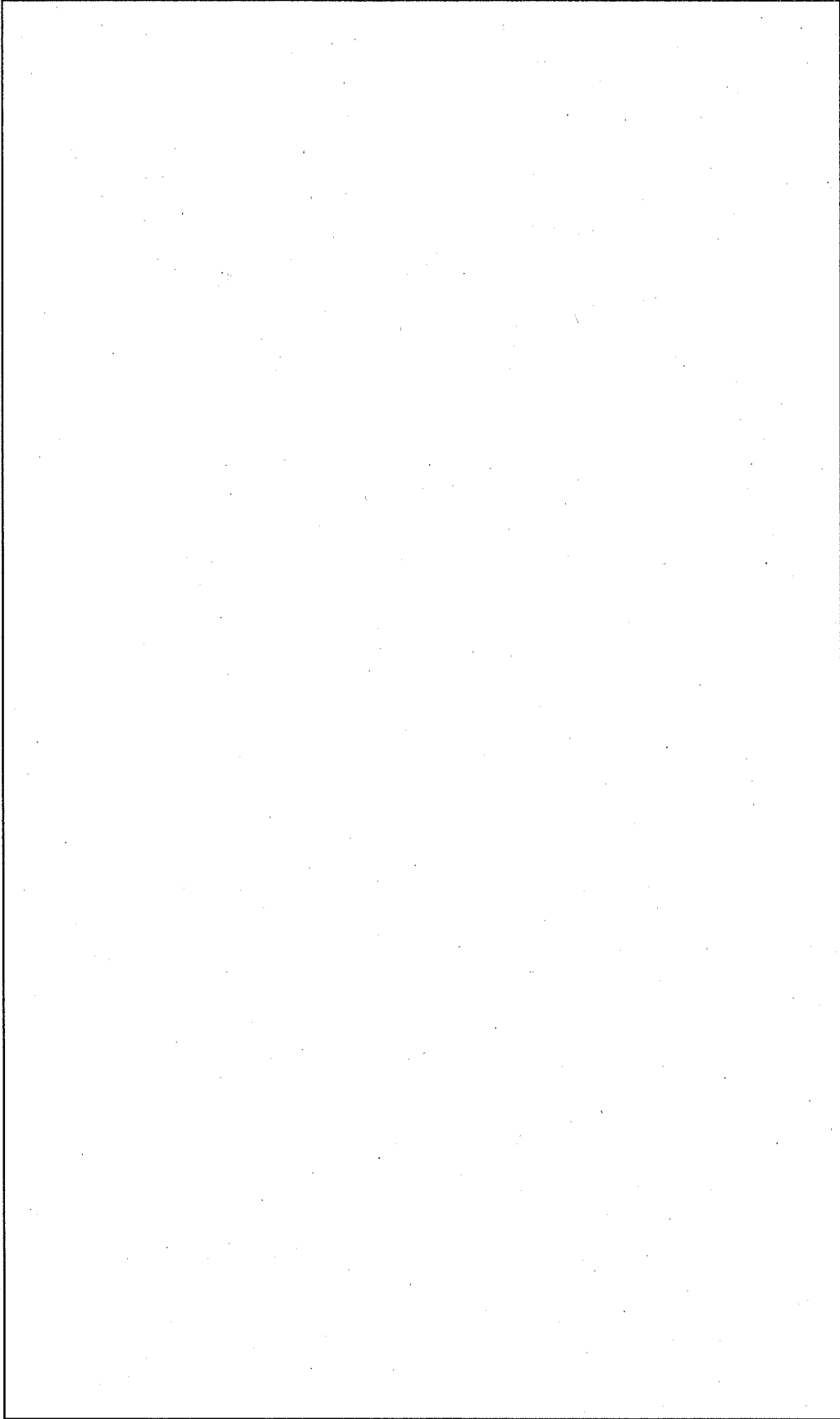
配置図

(単位：mm)

(ロ) - 第 H.12 図 標的



(口) — 第 H. 13 図 耐火試験装置



(口) - 第 H. 14 図 耐火試験用架台

H. 4.3 測定方法

試験項目及び測定ならびに主な試験フローを(ロ)－第 H. 15 図に示す。このうち、落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ、耐火試験及び気密漏えい試験の測定方法等についての要約を以下に示す。

1. 落下試験Ⅰ

落下試験Ⅰの測定方法等について、検出器の取付け、落下高さ等の条件設定及び測定に区分して説明する。

1) 検出器の取付け

検出器は加速度計とひずみゲージを使用した。これらの仕様を(ロ)－第 H. 5 表に示す。ひずみゲージは蓋締付用ボルトに取り付けた C1 型とそれ以外の D16 型の 2 種類である。いずれの検出器も取付けは接着剤により行った。検出器の取付位置は前記の(ロ)－第 H. 2 図に示す。

2) 条件設定

試験条件は「試験体 90° 方向からの 9m 水平落下」であり、このうち 90° 方向からの条件は H. 2. 2 の(1)及び落下用吊具との位置関係から設定される。

検出器を取り付けた試験体を移動式クレーンにより試験台の中央に移動した後、落下用吊具の調整により水平姿勢を設定した。それから真上に吊り上げ、試験台上面から試験体最下端(緩衝体側面 90° 方向)までの高さが 9m であることを実測により確認した。

3) 測定

遠隔操作により落下装置から試験体が落下を始めてから完了するまでの間、減速度とひずみを計測記録した。減速度とひずみの検出器信号は、試験体内部からは蓋中央貫通孔を通して外部に引き出した計測線を介して計測器に取り込み、また試験体外面からは端部へと束ねた計測線を介して計測器に取り込んだ。

計測系のブロックダイアグラムを(ロ)－第 H. 16 図に示す。

2. 落下試験Ⅱ

落下試験Ⅱの測定方法等について検出器の取付け、落下高さ等の条件設定及び測定に区

分して以下に説明する。

1) 検出器の取付け

落下試験Ⅰによる検出器の損傷及び脱落等は認められなかったので、落下試験Ⅰで用いたものをそのまま使用した。

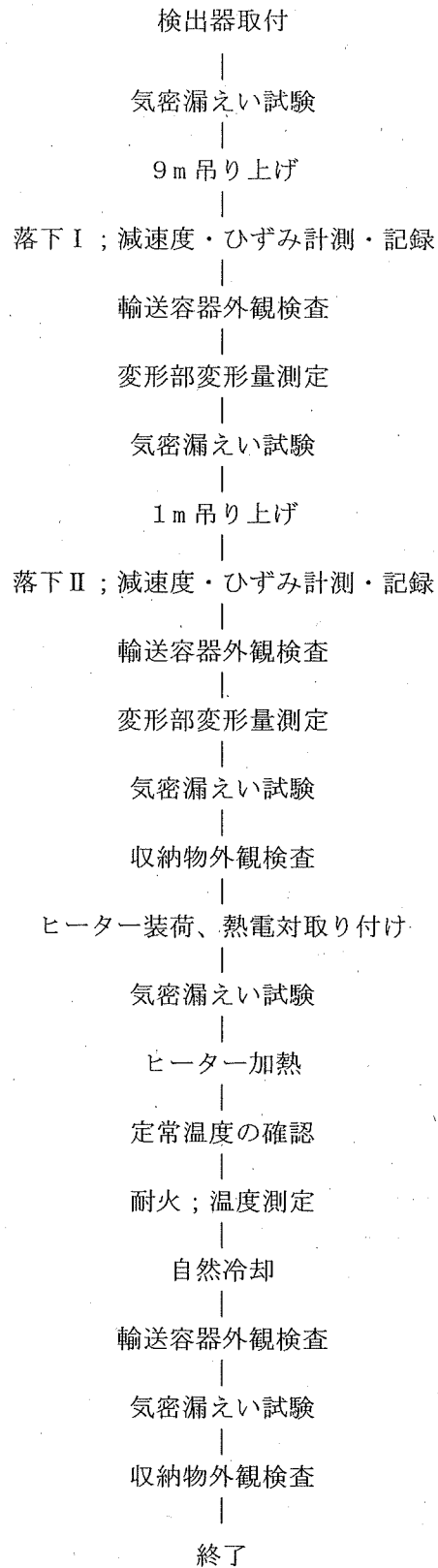
2) 条件設定

試験条件は「上部緩衝体 90° 方向からの 1m 水平落下」であり、このうち 90° 方向からの条件は、H. 2. 2 の(2)及び落下用吊具との位置関係から設定される。

試験体を移動式クレーンにより移動し、標的との位置関係が(ロ)－第 H. 17 図に示すようになるよう実測するとともに落下用吊具の調整により水平姿勢を設定した。

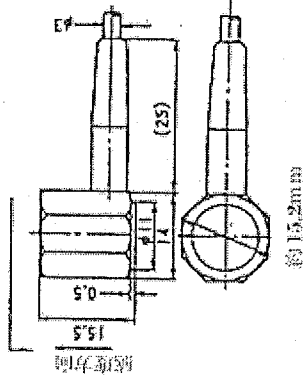

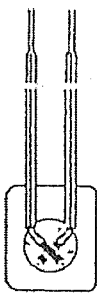
3) 測定

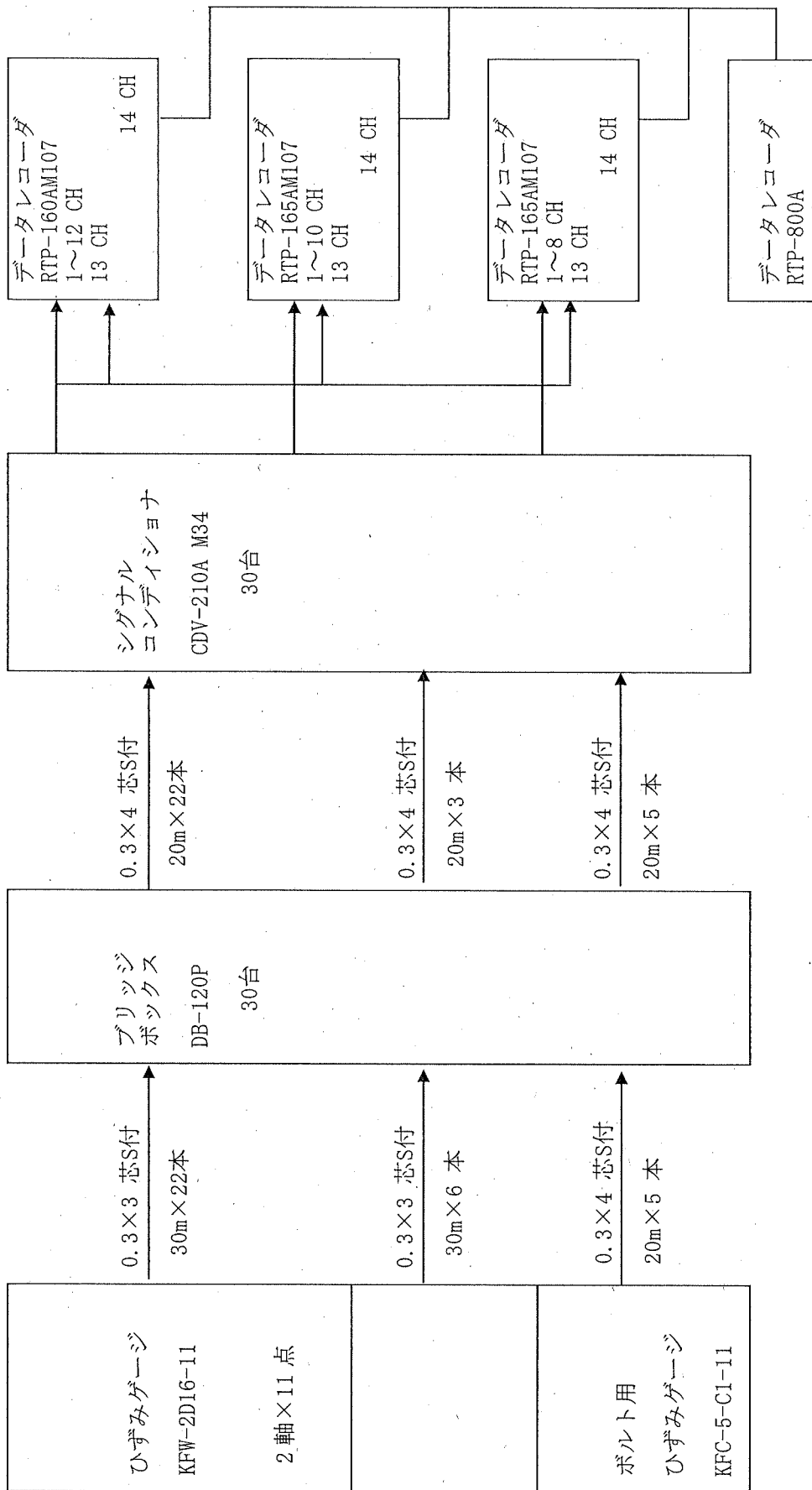
落下試験Ⅰと同様である。



(ロ) - 第 H.15 図 試験フロー

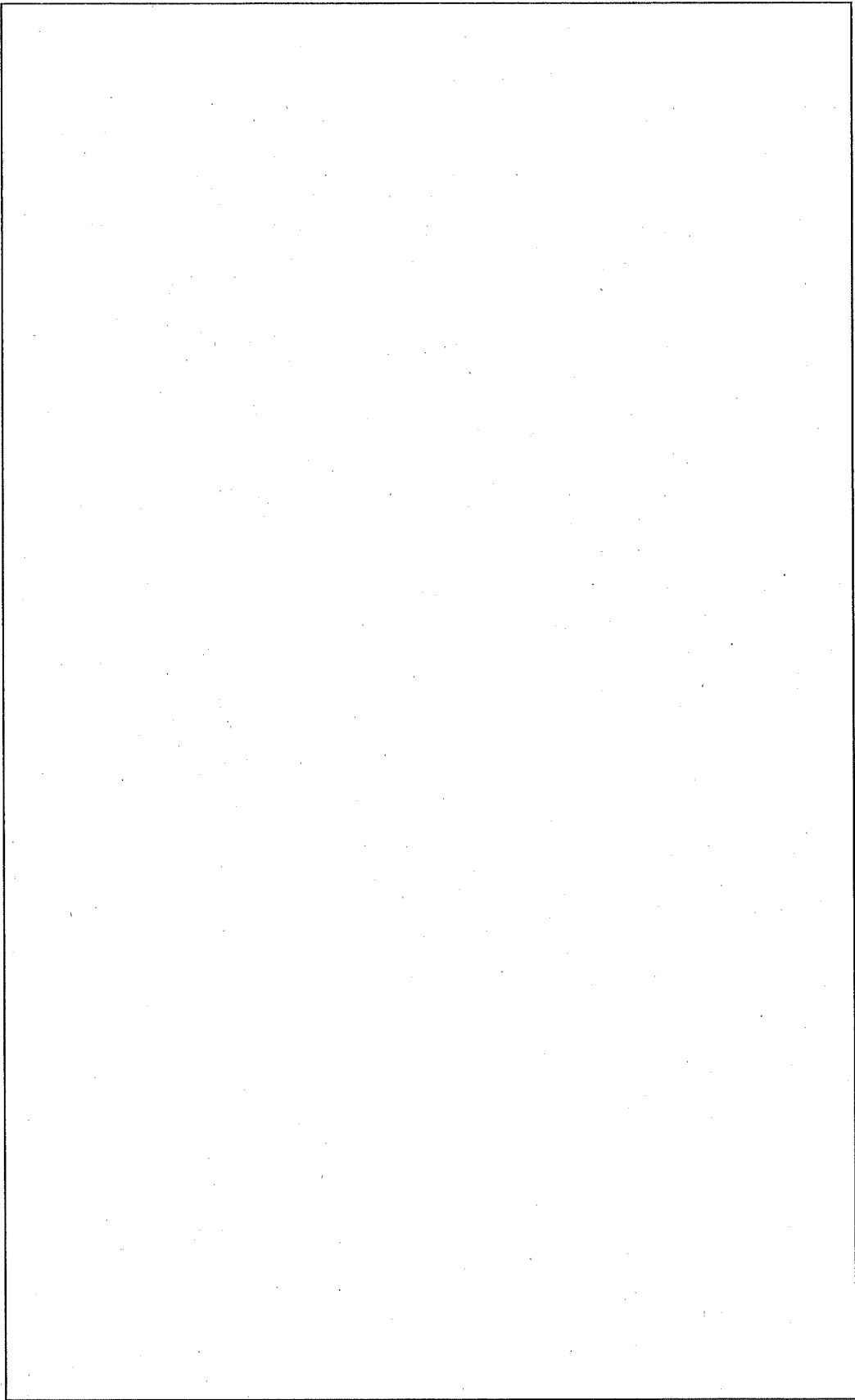
(ロ) 一第H.5表 落下試験用検出器

品名 型式 メーカー	ひずみゲージ式加速度計 AS-500A (株) 共和電業	品名 型式 メーカー	ひずみゲージ KFC-5-CI-11L300 (株) 共和電業	防水型ひずみゲージ KFW-2-DI6-11L100 (株) 共和電業
(仕様) 測定範囲 非直線性 感度(出力) 入出力抵抗 応答周波数 固有周波数 許容温度範囲 許容負荷 許容感度 重量	±500 G 1 %R0 0.5 mV/V 以上 120 Ω 0~3,000 Hz 約4,800 Hz -10~+60 °C 300 % 0.02 G/G 6.5 g	(仕様) 抵抗値 ゲージ率 ゲージ長 ベース寸法 仕様温度範囲 温度補償範囲 ひずみ限界 その他	120 Ω 約 2.1 5 mm 10×3.4 mm -196~+180°C +10~+90°C 2.8 % リード線3m付	120 Ω 約 2.1 2 mm 20×18 mm -10~+90°C +10~+90°C 2.8 % リード線3m付 (防水型)
形状		形状		



IDコード発信用として使用
データの記録は使わない。

(ロ) 一第H.16図 落下試験における計測のブロックダイヤグラム



(口) - 第 H.17 図 落下試験 II の試験体位置

3. 耐火試験

耐火試験の測定方法等について熱電対の取付け、耐火試験装置の温度制御等の条件設定及び測定に区分して以下に示す。

(ア) 熱電対の取付け

温度の検出器としてシース熱電対を使用した。この仕様を(ロ)－第 H.6 表に示す。
Oリング部等、内部温度を測定する箇所は直径 4mm の穴に熱電対を挿入し挿入孔をねじ等で固定し、表面温度を測定する箇所はパット付熱電対を溶接又はビスで固定した。熱電対の取付位置は前記の(ロ)－第 H.7 図に示す。

(ロ)－第 H.6 表 熱電対仕様

形 式	TM・B-KS-32 II /316-15000/DK65-3 (2000)
メーカー名	山里産業株式会社
センサーの種類	熱電対 K(CA)
等 級	JIS 0.75級
シース材質	SUS316
シース外径	φ3.2
シース長さ	15 m
温接点	非接地型
補償導線長さ	2 m

(イ) 条件設定

試験条件は「水平の姿勢(横置)で800℃の環境に30分置く」ことである。このうち姿勢については耐火試験用の架台に試験体を水平に設置することで設定される。熱電対等を取り付けた試験体を移動式クレーンにより、耐火試験装置の台車上中央に設置した架台の上に乗せた後、ヒーター(模擬燃料B)の出力を2.8kWに設定し約5日間放置した。この模擬発熱により試験体温度を上昇させた。その温度上昇は初期に大きく次第に小さくなり、耐火試験直前1時間の輸送容器温度の変化は平均0.3℃になった。なお、放置環境は温度制御をしない屋内でありその環境温度は約5~15℃で変化した。

耐火試験装置の炉は900℃に予熱した状態で扉を開け、台車の移動により試験体を炉内に入れた。このとき炉内温度は急激に低下するため、扉を閉じた後もある時間経過しなければ炉内温度は800℃にならない。したがって、試験時間30分の開始は炉内温度が800℃に到達した時とした。炉内温度の変化と試験時間の関係を(ロ)―第H.18図に示す。

試験時間30分後扉を開け、台車の移動により試験体を炉外に出し、そのまま約4日間放置した。この間、模擬発熱は初期設定のままであり、放置環境も試験前と同じとした。

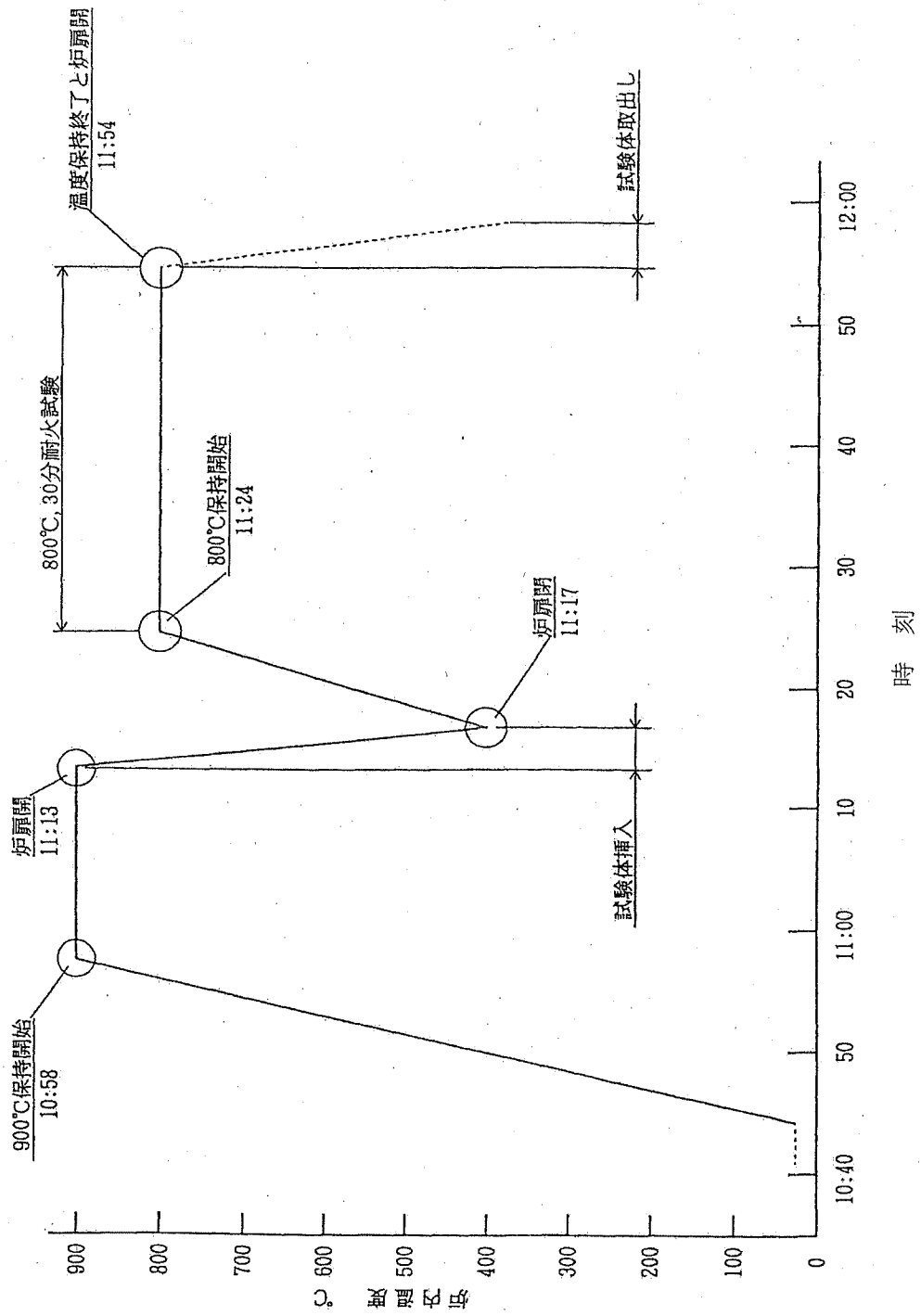
(ウ) 測定

試験体を炉内に入れる前に炉外で5日間放置し、その期間中試験体の温度とヒーター出力を記録した。温度は熱電対の信号を、試験体内部からは蓋中央貫通孔を通し外部に引き出した計測線を介して計測器に取り込み、また試験体外面からは端部へと束ねた計測線を介して炉外の計測器に取り込んだ。ヒーター出力信号は、熱電対と同様に試験体から引き出し炉外の電源に接続されている電気配線から検出し計測器に取り込んだ。計測系のブロックダイアグラムを(ロ)―第H.19図に示す。

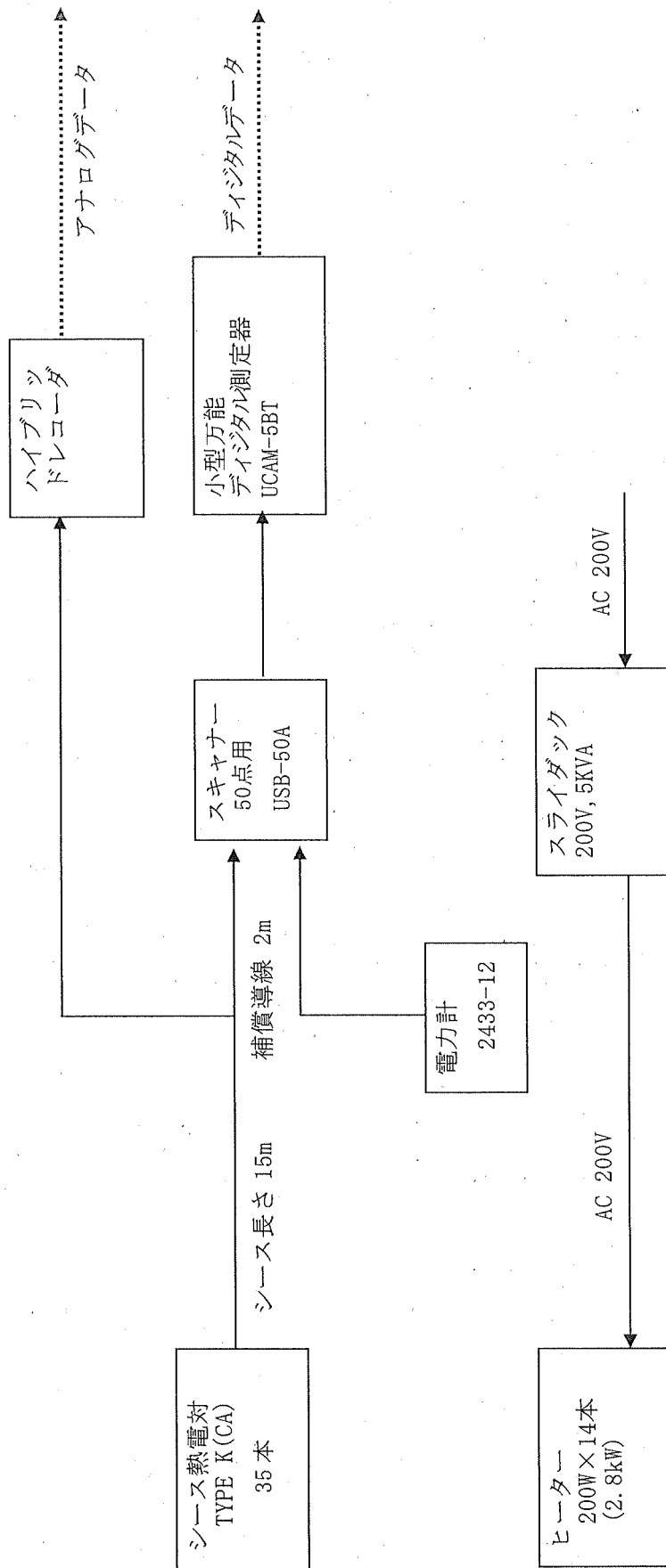
4. 気密漏えい試験

(ロ) 章C. 密封解析に示す許容漏えい量 $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下が維持されていることを確認するため落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱ及び耐火試験の前後に気密漏えい試験を行った。

試験は、真空放置法により蓋部Oリング、ベントプラグ及びドレン弁の3箇所について行った。



(口) - 第 H. 18 図 炉内温度



(ロ) - 第H.19図 耐火試験における計測のブロックダイヤグラム

H.5 試験結果

落下試験 I、II 及び耐火試験の結果についての要点を以下に示す。

H.5.1 落下試験 I の結果

落下試験 I の結果、試験体の密封性は健全であるとともに、安全性を損なうような損傷は生じなかった。

落下試験 I の減速度波形を (口) - 第 H.20 図に、これから読み取った最大減速度を (口) - 第 H.7 表に示す。

なお、(口) - 第 H.20 図の減速度波形は、「弾性応力波に対する高周波成分が輸送容器の強度に及ぼす影響は十分に小さい」*という考え方に基づき の高周波成分を除去したものである。

(口) - 第 H.7 表 最大減速度

部 位	測定点番号	減速度(G)
容器本体	1	
	2	
バスケット	3	
形状模擬燃料	4	
	5	

落下試験 I の主要部ひずみ波形を (口) - 第 H.21 図に、これから読み取った最大ひずみを (口) - 第 H.8 表に示す。なお、高周波成分については減速度と同様に除去した。

*: 「核燃料物質輸送調査専門委員会 構造ワーキンググループ 調査報告書」

(財) 原子力安全研究協会. 昭和 60 年 9 月

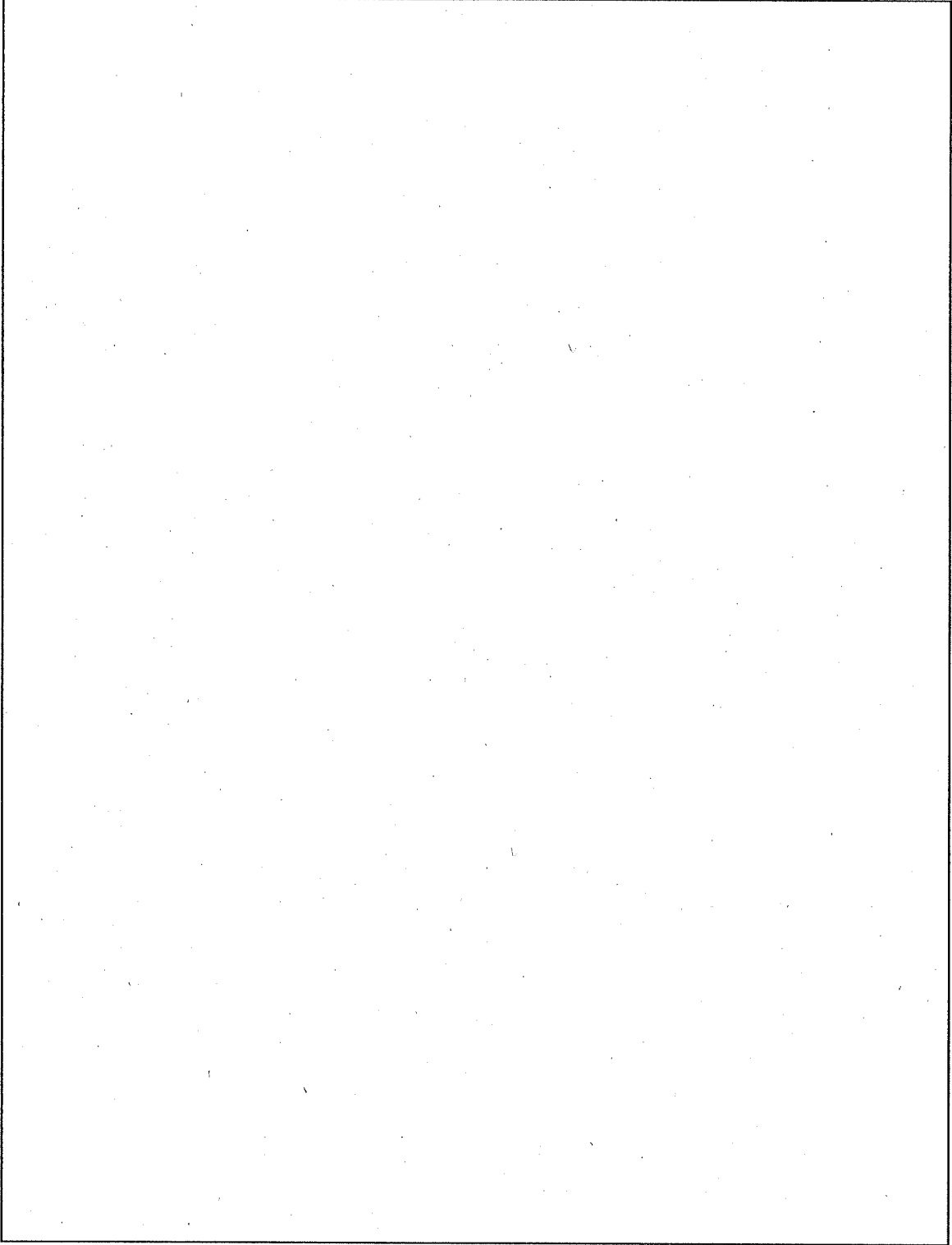
(ロ) - 第 H. 8 表 最大ひずみ

部 位	測定点番号	ひずみ
容器本体	3	
バスケット	8	
蓋締付用ボルト	6	
形状模擬燃料	9	

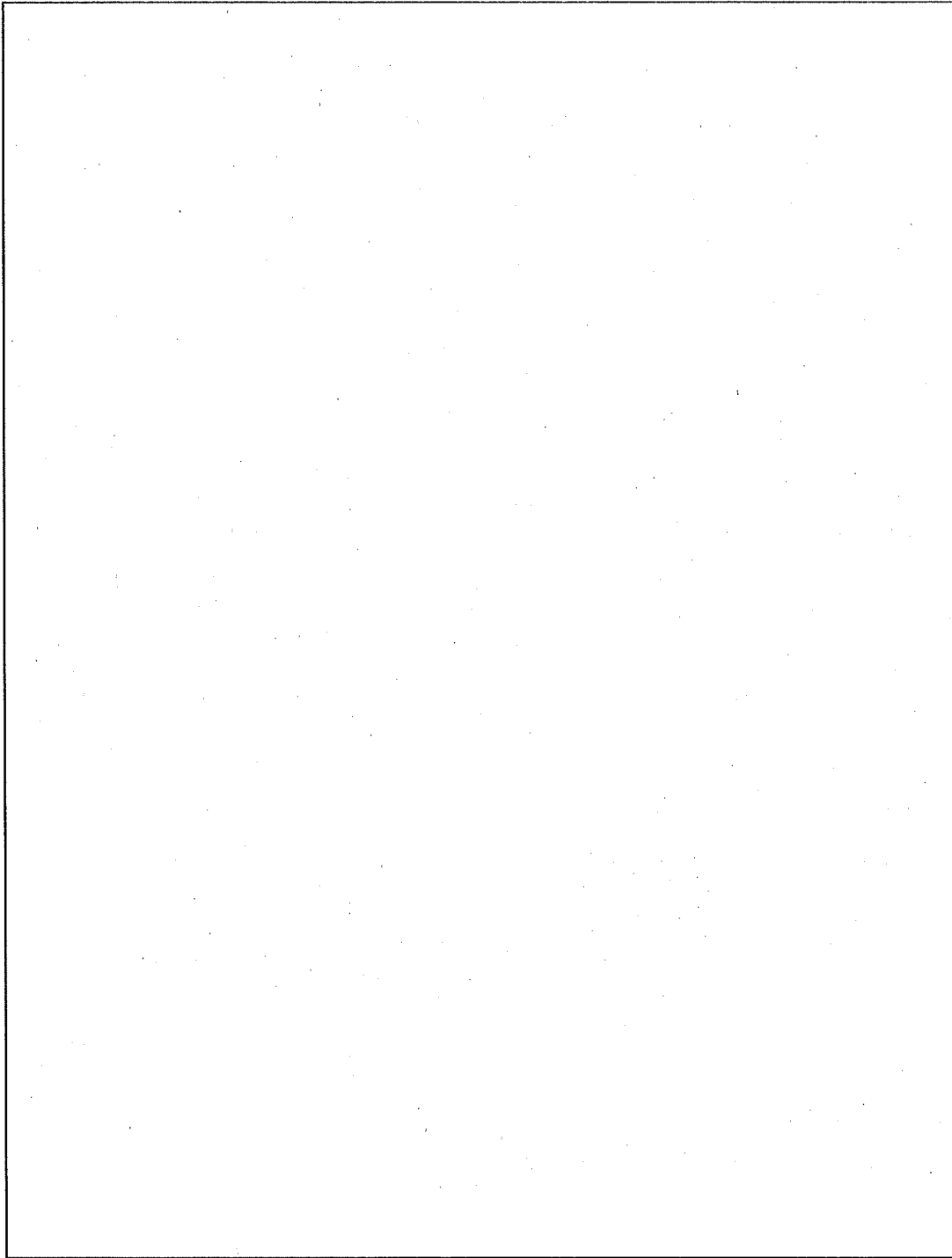
落下試験 I の緩衝体とフィンの最大変形量(潰れ量)を (ロ) - 第 H. 9 表に、概略変形状態を (ロ) - 第 H. 22 図に示す。

(ロ) - 第 H. 9 表 最大変形量

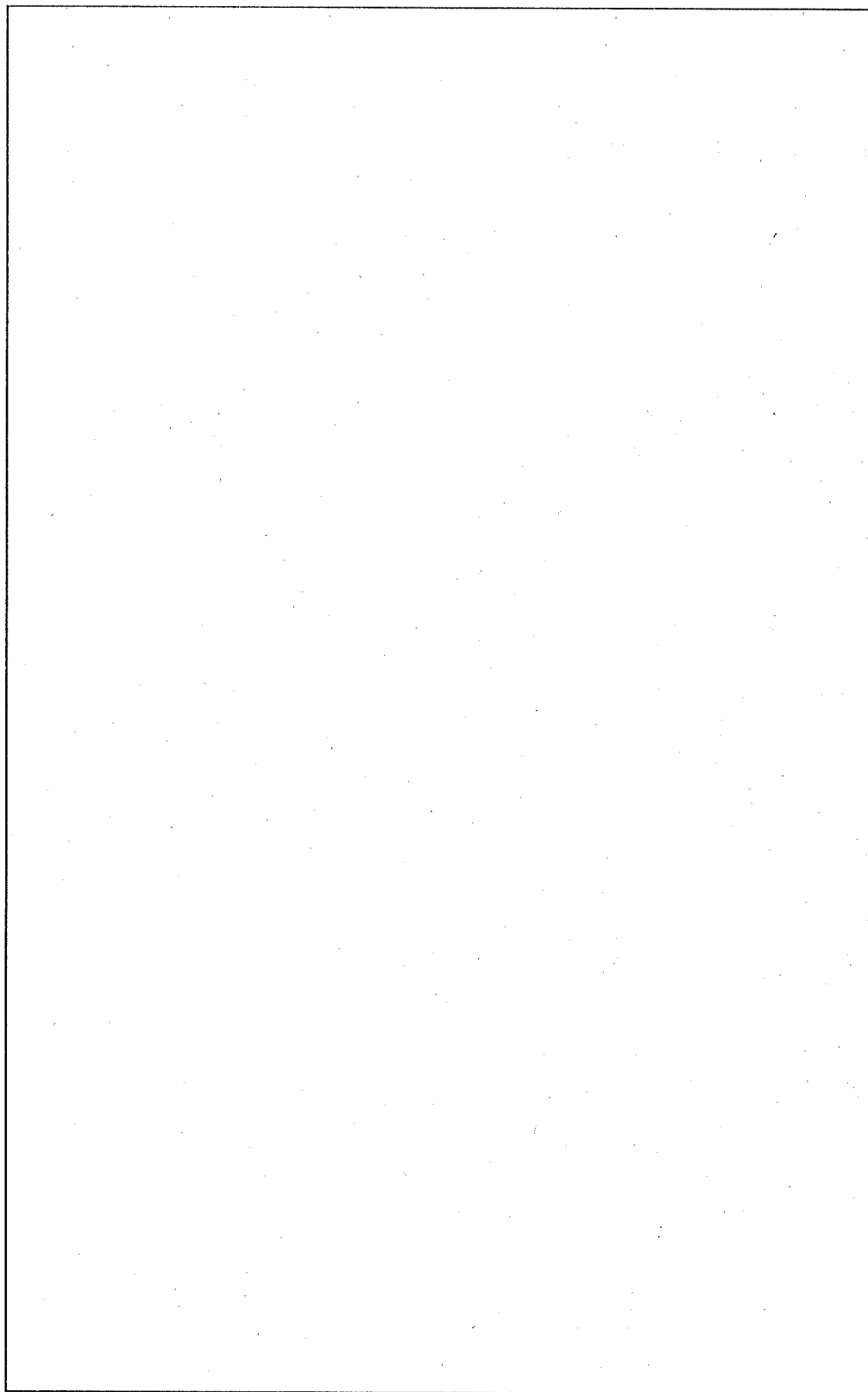
部 位	変形量 (mm)
緩衝体	
フィン	



(口) - 第 H. 20 図 落下試験 I の減速度波形



(口) - 第 H. 21 図 落下試験 I のひずみ波形



(口) - 第 H. 22 図 落下試験 I による概略変形状態

H.5.2 落下試験Ⅱの結果

落下試験Ⅱの結果、試験体の密封性は健全であるとともに安全性を損なうような損傷は生じなかった。

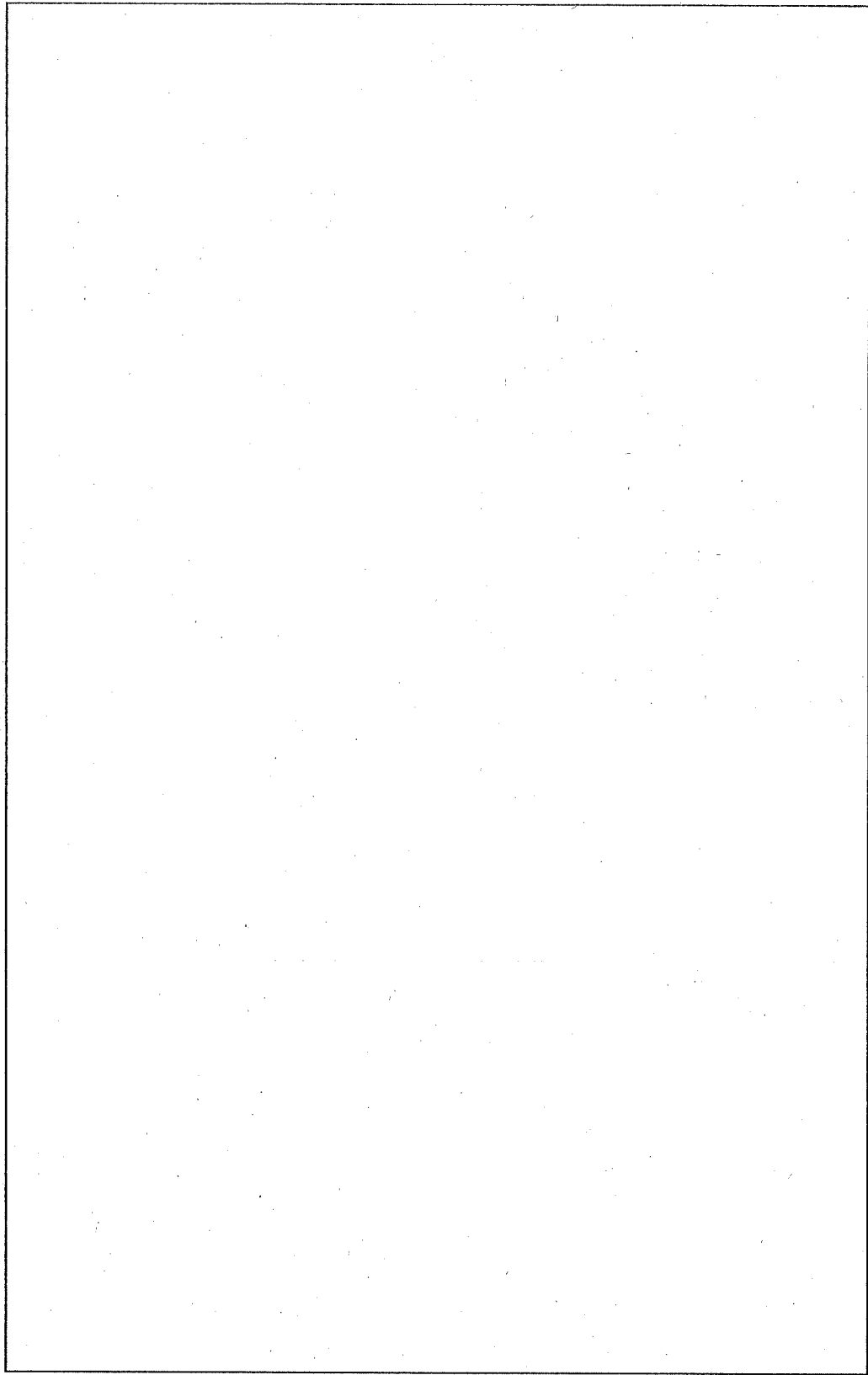
落下試験Ⅱの最大減速度と最大ひずみを(ロ)ー第H.10表に示す。

(ロ)ー第H.10表 落下試験Ⅱの最大減速度と最大ひずみ

部 位	測定点番号	項 目
形状模擬燃料	4	減速度： <input type="text"/>
バスケット	8	ひずみ： <input type="text"/>

落下試験Ⅱの上部緩衝体の最大変形量(潰れ量)はであった。

(ロ)ー第H.23図に示すように、変形部は一部ステンレス鋼製の表面被覆材が破れ内部の木材が露出した。



(口) - 第 H. 23 図 落下試験Ⅱによる概略変形状態

H.5.3 耐火試験の結果

耐火試験の結果、試験体の密封性は健全であるとともに安全を損なうような損傷は生じなかった。

耐火試験における主要部の最高温度と時間を(ロ)一第H.11表に、温度変化を(ロ)一第H.24図に示す。

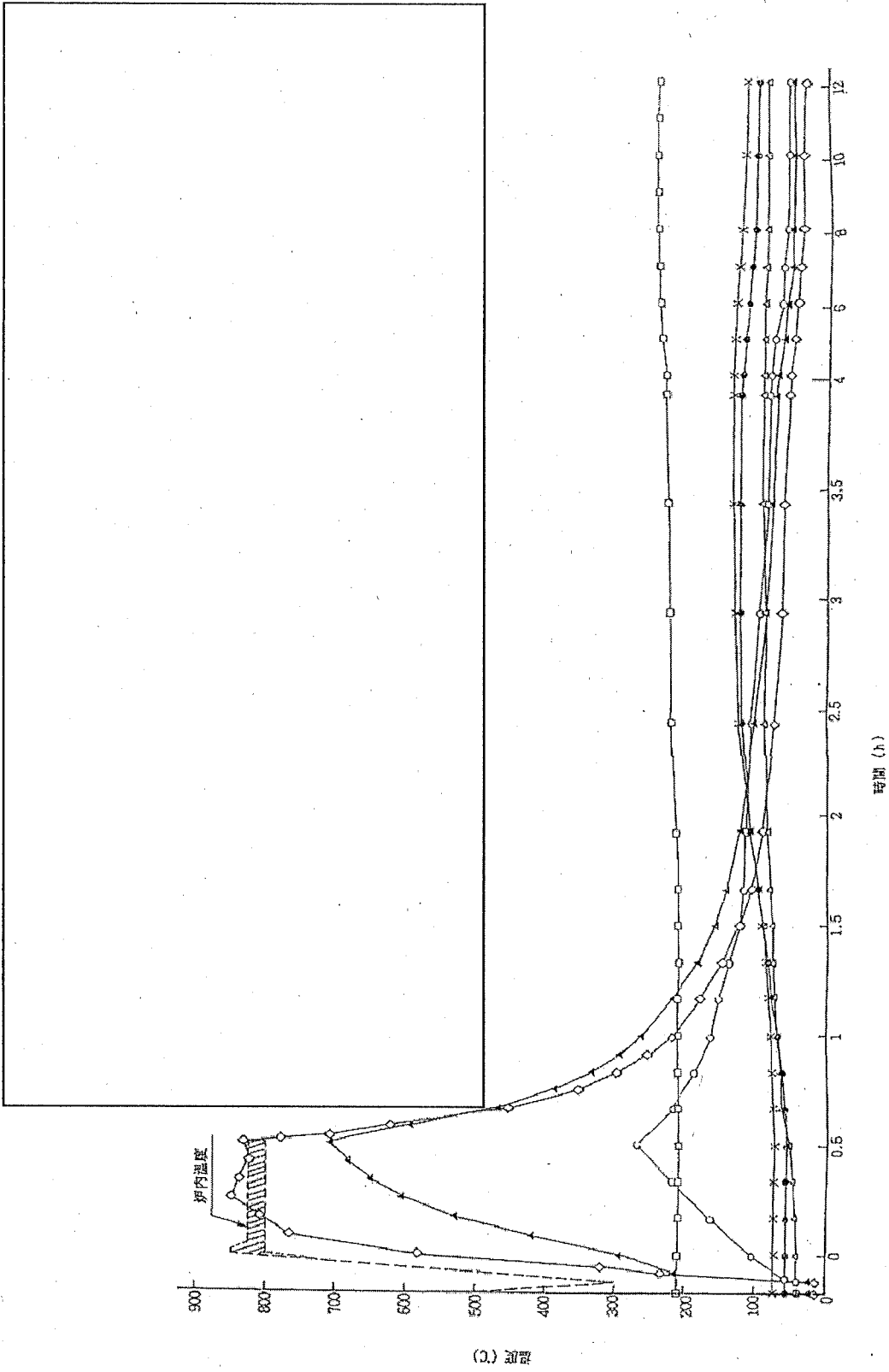
(ロ)一第H.11表 最高温度と時間

部 位	測定点番号	最高温度(°C)	時間(h)*
発熱模擬燃料	2	244	8.6
バスケット	8	134	4.3
容器本体内面	12	124	3.4
蓋部リング	15	92	4.3
容器本体外面	21	272	0.5
フィン	25	708	0.5
緩衝体	30	850	0.25

*:時間は炉内温度が(800°C)に到達した時刻を0としてそれからの経過時間を示す。(ロ)一第H.24図に示す時間も同様である。

耐火試験開始後約10分の時、落下試験Ⅱにより露出した上部緩衝体の[]が燃えて炎が立ち上がった。この炎は、耐火試験時間30分の試験体加熱終了時から急速に鎮静し、耐火試験時間約40分(加熱終了後、約10分)で完全に消滅した。

その後、約4日間自然冷却したが、[]が再燃することはなかった。時刻経過による主要な試験体の状態を(ロ)一第H.12表に示す。



(口) - 第 H. 24 図 耐火試験の温度変化

(ロ) ー第 H.12 表 耐火試験状態

時刻	状態
11:17	炉内に試験体を挿入後、炉扉を閉じる。
11:24	炉内温度が 800℃になる。(耐火試験開始)
11:30 頃	下部緩衝体の表面被覆材亀裂部からの噴出ガスに引火した。
11:35 頃	緩衝体可融栓のすべてが溶融し噴出ガスに引火した。 上部緩衝体の木材露出部に引火した。
11:54	炉扉を開ける。(加熱終了) 上部緩衝体の木材露出部と□方向の可融栓からの炎以外は全て鎮火し、代わりに煙を噴出した。上部緩衝体の木材露出部の炎は緩衝体下部の1/4を覆う程度の大きさであった。
11:56 頃	上部緩衝体□方向の可融栓からの炎は鎮火し、かわりに煙を噴出した。
11:58 頃	上部緩衝体の木材露出部の炎は、加熱終了時の半分程度の大きさになった。
12:02 頃	上部緩衝体の木材露出部から濃い煙が立ち上がり始め、炎の大きさは非常に小さくなった。
12:03 頃	上部緩衝体の木材露出部から煙は減少し、炎も鎮火した。
14:00 頃	上部緩衝体□方向の可融栓から非常に薄い煙が時々噴出したがその他の煙は全く発生しなかった。

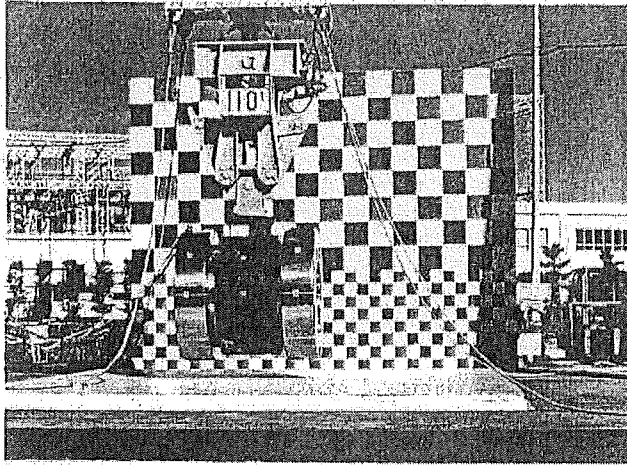
注) 試験中、試験体の設置状態が変化するような耐火試験用架台等の損傷は生じなかった。

H. 5. 4 試験の写真記録

試験順序に従って、試験体の状態を写真-1 から写真-5 に示す。

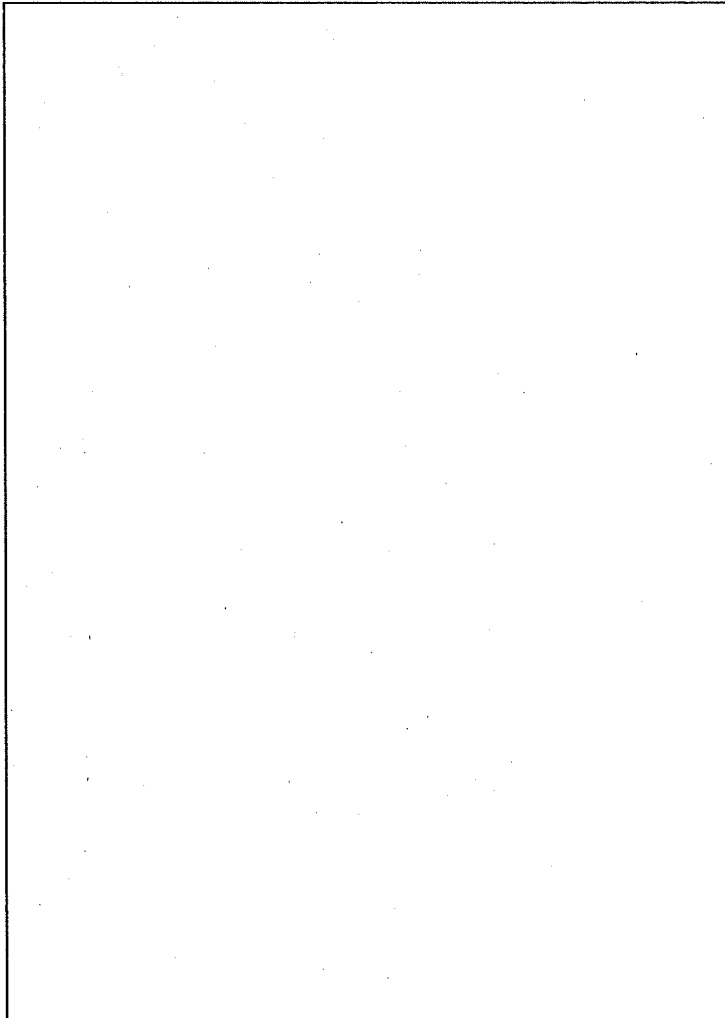
H. 5. 5 形状模擬燃料の目視検査

実際に収納する燃料の形状を模擬した形状模擬燃料について落下試験と耐火試験の後に各々損傷状態を目視検査したが、いずれの場合も目視で確認できるような損傷、形状等は観察されなかった。



写真一 1

落下試験前

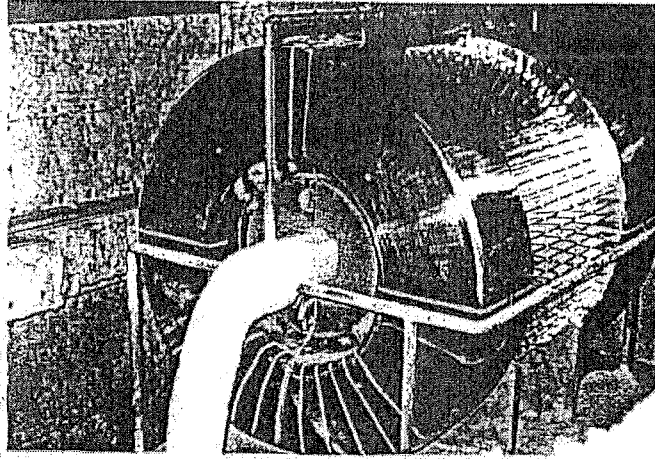


写真一 2

落下試験 I 後

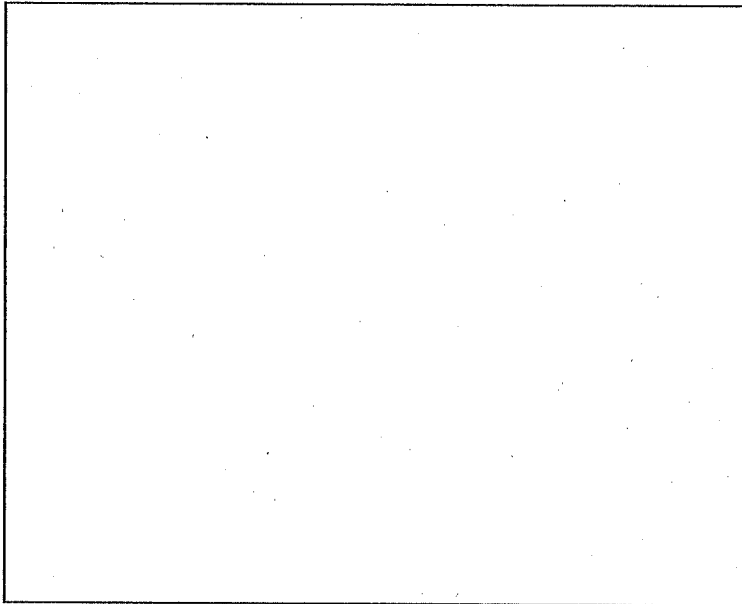
写真一 3

落下試験 II 後



写真一 4

耐火試験前



写真一 5

耐火試験後

(試験時間約 35 分)

H.6 評価

試験結果と解析値を比較した結果、安全解析に使用した評価法のうち以下の項目について妥当であることを確認することができた。

- (1) 落下試験Ⅰにおける輸送物の減速度及び発生応力並びに緩衝体の変形量
- (2) 落下試験Ⅱにおける緩衝体の変形量
- (3) 熱解析及び特別の試験条件における輸送物の温度

各試験項目について、試験結果と解析値の比較を以下に示す。

H.6.1 落下試験Ⅰの結果と解析値

輸送物の減速度について、前記 H.5.1 落下試験Ⅰの結果の抜粋と A.6.1.2 水平落下の解析値の比較を (ロ) - 第 H.13 表 に示す。

(ロ) - 第 H.13 表 減速度の比較

試験結果	解析値

(ロ) - 第 H.13 表から明らかなように、減速度の解析値は試験結果以上であるので、減速度の解析は安全側の評価を与えている。

輸送物の発生応力について、前記 H.5.1 落下試験Ⅰの結果に示したひずみから求めた値と A.6.1.2 水平落下の解析値との比較を (ロ) - 第 H.14 表 に示す。

なお、ひずみから発生応力への換算は下式によった。

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

ここで σ ; 発生応力

E ; 縦弾性係数(常温の値を使用)

ε ; ひずみ

(ロ) ー第 H. 14 表 発生応力の比較

部 位	試 験 結 果		解析値 (N/mm ²)
	ひずみ	発生応力 (N/mm ²)	
容器本体胴部			
仕 切 板			
燃 料 板			

*: 解析値の対象である実際の燃料板はウランアルミニウム合金をアルミニウム合金で被覆したものであるが、試験に使用した形状模擬燃料の燃料板はアルミニウム合金の板であり、重量等が相違するため試験結果と解析値をそのまま比較することは適当でないが、重量の相違を考慮しても解析値は試験結果以上である。

(ロ) ー第 H. 14 表から、主要部の発生応力の解析値は試験結果以上であるので、発生応力の解析は安全側の評価を与えている。

緩衝体の変形量について、前記 H. 5. 1 落下試験 I の結果と A. 6. 1. 2 水平落下の解析値の比較を (ロ) ー第 H. 15 表 に示す。

(ロ) ー第 H. 15 表 緩衝体及びフィンの変形量の比較

部 位	試験結果	解析値
緩衝体		
フィン		

(ロ) ー第 H. 15 表から明らかなように、緩衝体及びフィンの変形量の解析値は試験結果以上であるので、緩衝体変形量の解析は安全側の評価を与えている。

H. 6. 2 落下試験Ⅱの結果と解析値

上部緩衝体の変形量について、前記 H. 5. 2 落下試験Ⅱの結果と (ロ) 章 A. 6. 2 落下試験Ⅱの解析値等の比較を (ロ) 一第 H. 16 表 に示す。

(ロ) 一第 H. 16 表 上部緩衝体変形量の比較

条件	試験結果	解析値
落下試験Ⅱのみ		
落下試験Ⅰ、Ⅱ		

(ロ) 一第 H. 16 表から明らかなように、上部緩衝体変形量の解析値は試験結果以上であるので、上部緩衝体変形量の解析は安全側の評価を与えている。

H. 6. 3 耐火試験の結果と解析値

輸送物の各部の温度について、前記 H. 5. 3 耐火試験の結果と解析値との比較を (ロ) 一第 H. 17 表 に示す。

(ロ) 一第 H. 17 表 各部の温度の比較

部 位	試験結果(℃)	解析値(℃)
燃 料	244	
バスケット	134	
容器本体内面	124	
蓋部Oリング	92	
容器本体外面	272	

(ロ) 一第 H. 17 表から明らかなように、容器本体外面を除く輸送物の各部の温度の解析値は試験結果以上であり、輸送物の安全設計に重要な輸送物内部の各部の温度の解析は安全側の評価を与えている。

容器本体外面の試験結果が解析値より高い値を示した理由として、耐火試験炉(直火加熱方式)による強制対流の影響及び、緩衝体の燃焼による炎の影響が考えられる。

また、参考までに試験体の完成品検査で行われた伝熱試験は通常輸送時(日陰、縦置き)を模擬して行われた。

その伝熱試験結果と解析値の比較を (ロ) 一第 H. 18 表 に示す。

(ロ) 一第 H. 18 表 通常輸送時における輸送物各部の温度の比較

部 位	試験結果 (°C)	解析値 (°C)
燃 料	235	
バスケット外面	119	
容器本体内面	87	
蓋部Oリング	76	
フィン	49	

(ロ) 一第 H. 18 表から明らかなように、通常輸送時(日陰、縦置き)の解析値は試験結果以上であるので、通常輸送時(日陰、縦置き)の解析は安全側の評価を与えている。

次に、耐火試験における火災前の輸送物の平衡温度は一般の試験条件下(日陰、横置き)を模擬している。

その試験結果と解析値の比較を (ロ) 一第 H. 19 表 に示す。

(ロ) ー第 H. 19 表 一般の試験条件下における各部の温度の比較

部 位		試験結果(°C)	解析値(°C)
燃 料		240	
バスケット外面		114	
容器本体内面		87	
蓋部Oリング		71	
フィン	先端	46	
	中間	53	

(ロ) ー第 H. 19 表から明らかなように、一般の試験条件下(日陰、横置き)の解析値は試験結果以上であるので、一般の試験条件(日陰、横置き)の解析は安全側の評価を与えている。

(ハ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の
取扱方法

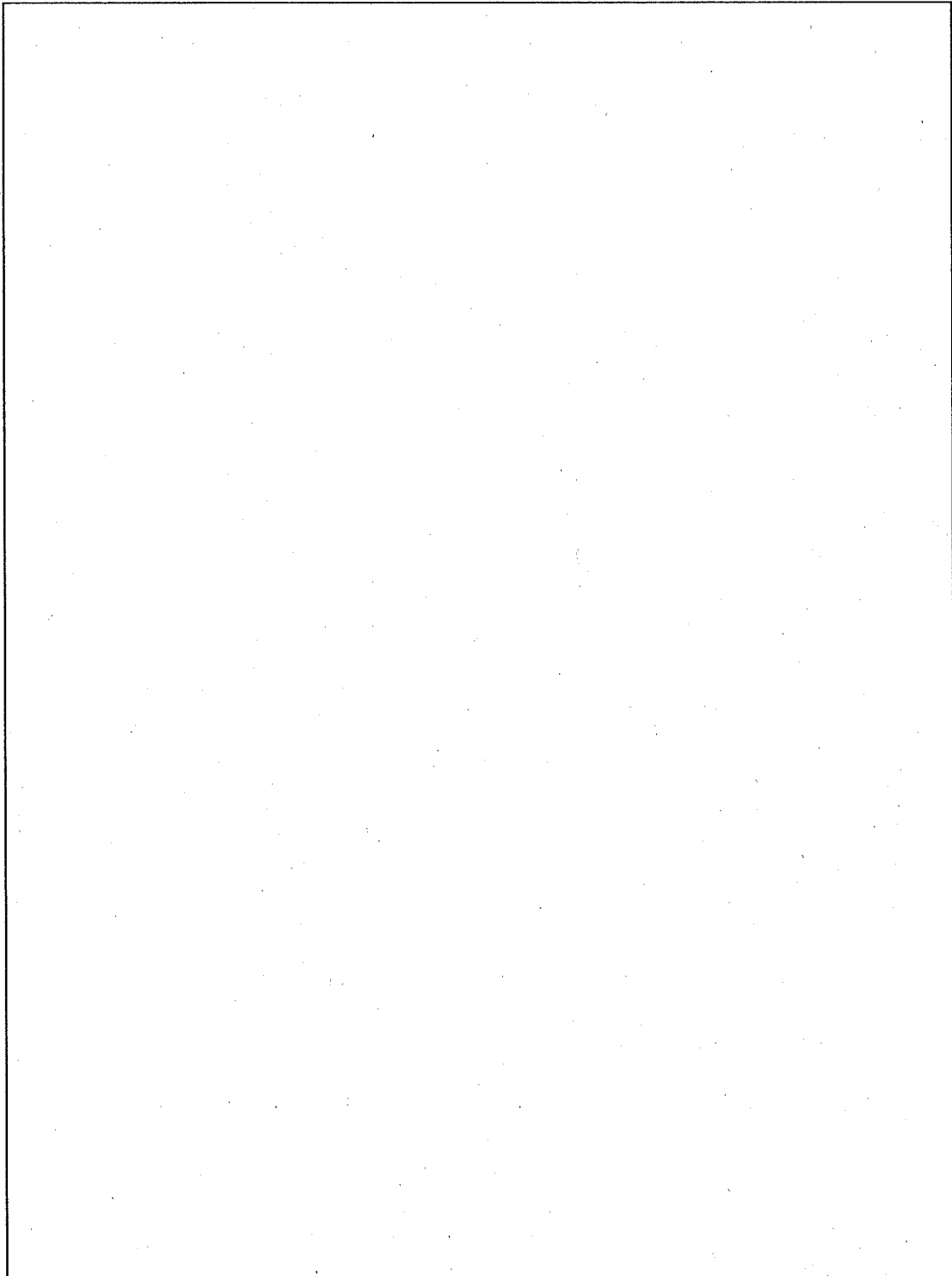
(ハ) 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

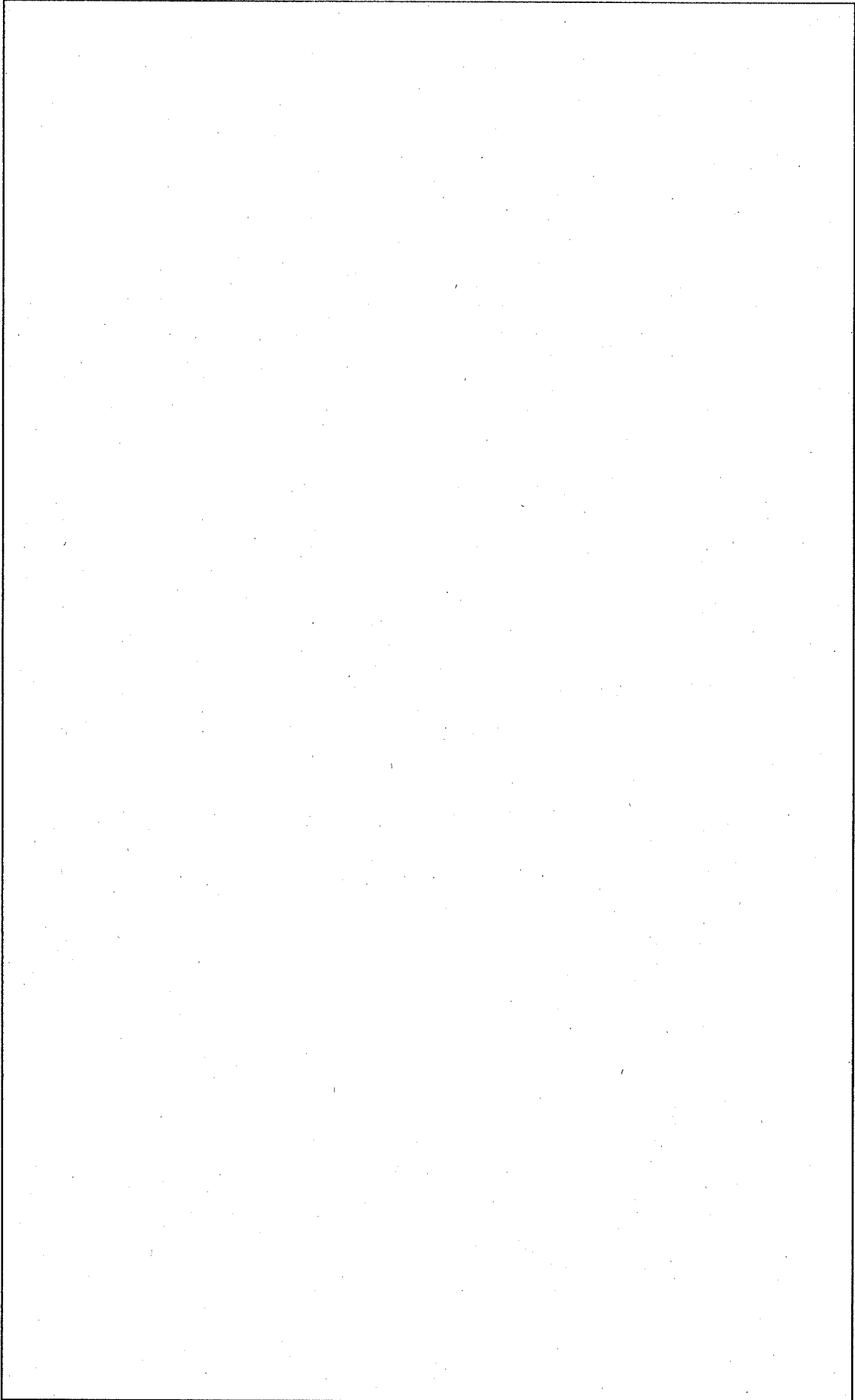
A. 輸送物の取扱方法

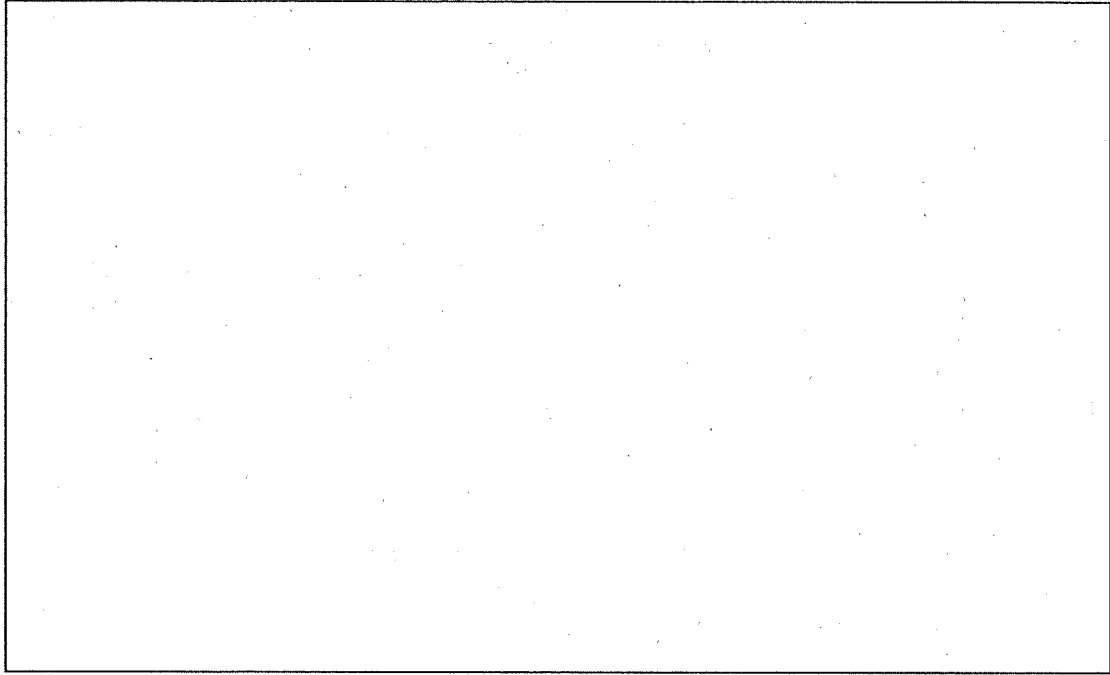
A.1 装荷方法

使用済燃料を輸送容器に装荷する代表的な手順を以下に示す。

なお、本項において「輸送容器本体」とは、上部緩衝体を取り外した状態又は、上部・下部緩衝体をともに取り外した状態の輸送容器を意味するものとする。







A.2 輸送物発送前検査

輸送物を発送するごとに (ハ) ー第 A.1 表に示す発送前検査を実施し、発送前検査基準に適合することを確認する。

(ハ) ー第 A.1 表 輸送物発送前検査要領(その 1)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
外観検査	輸送物	輸送物の外観を目視で検査する。	有害な傷、汚れ、腐食等がなく、全部品が所定の位置に正常な状態で備わっていること。
吊上げ検査	容器本体の吊上金具	吊り上げ前及び吊り上げ後容器本体の吊上金具及びその溶接部の外観を目視で検査する。	変形及びヒビ割れ等の異常がないこと。
重量検査	輸送物	収納物重量と空容器測定値(容器完成時検査の値)を加算することにより検査する。	18440kg以下であること。
表面密度検査	輸送物	スミヤ法により輸送物の表面密度を検査する。	アルファ線を放出しない放射性物質は、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下、アルファ線を放出する放射性物質は、 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下を満足していること。
線量当量率検査	輸送物	燃料を装荷した状態でガンマ線及び中性子線の線量当量率を測定する。	ガンマ線及び中性子線の線量当量率の合計値が表面で $2\text{mSv}/\text{h}$ 以下、表面から 1m 離れた位置で $0.1\text{mSv}/\text{h}$ 以下を満足していること。

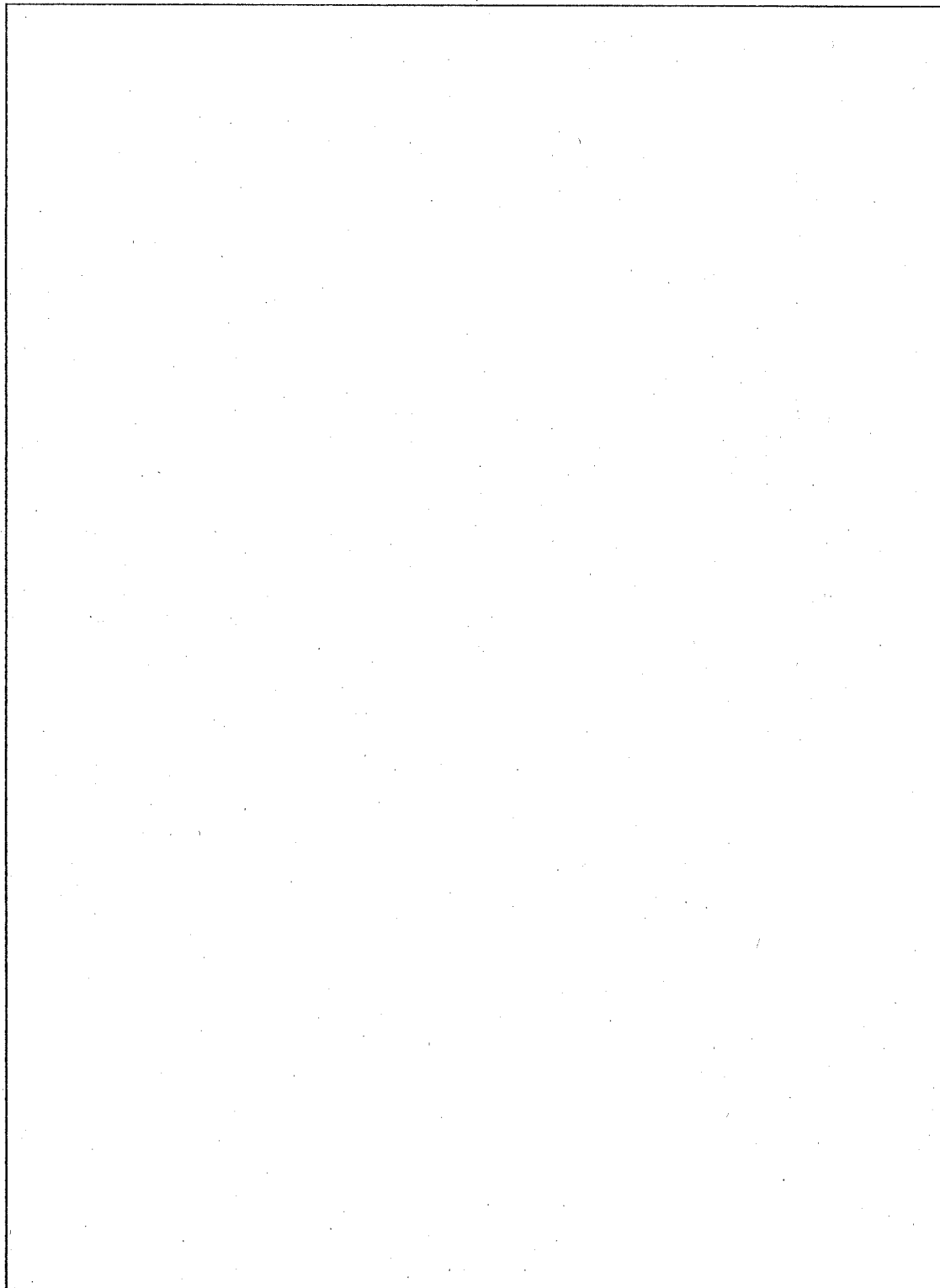
(ハ) - 第 A.1 表 輸送物発送前検査要領(その2)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
未臨界検査	バスケット	燃料装荷前にバスケットの外観を目視で検査する。	有害な変形及び破損がないこと。
収納物検査	収納物	(1) 収納物の外観、数量及び装荷状態を確認する。 (2) 放射能強度、燃焼度、発熱量、冷却日数等について記録を確認する。	(1) 収納状態に異常がないこと。 (2) 設計条件を満足していること。
温度測定検査	輸送物	輸送物表面温度を温度計で検査する。	周囲温度を補正したときに人が近づき得る表面の温度が85℃以下を満足すること。
気密漏えい検査	蓋、ベントプラグ及びドレン弁	圧空 <input type="text"/> を加え圧力降下量により漏えい率を検出する。	合計の漏えい率が設計条件 $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下を満足すること。
圧力検査	ドレン弁	水抜き後、温度平衡に達した後、ドレン弁を開とし、その後閉じる。	ドレン弁が開とされたこと。

A.3 取出し方法

燃料の取出し方法及び安全上必要な代表的措置等を以下に示す。

なお、本項において「輸送容器本体」とは、上部緩衝体を取り外した状態又は、上部・下部緩衝体ともに取り外した状態の輸送容器を意味するものとする。



A.4 空容器の準備

輸送容器を空容器として輸送する場合は下記の検査及び測定を実施し、輸送容器の健全性を確認する。

1. 外観検査

外観及び容器本体内部の目視検査を行い、損傷のないことを確認する。

2. 表面密度測定

輸送容器表面の放射性物質の密度を測定し、記録するとともに、技術基準（アルファ線を放出しない放射性物質 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下、アルファ線を放出する放射性物質 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下）を満足していることを確認する。

3. 気密漏えい検査

- ・ 蓋部Oリング及びベントプラグOリング部に損傷がないことを確認する。
- ・ 蓋及びベントプラグを取り付け、ドレン弁が閉となっていることを確認する。

B. 保守条件

輸送容器の性能の維持について、(ハ) - 第 B.1 表に示す自主検査について実施し、その健全性を保証する。

なお、(ハ) - 第 B.1 表に示す各自主検査について、1 年間に 1 回以上(年間の使用回数が 10 回を超える場合は、使用回数 10 回ごとに 1 回以上)定期自主検査を実施し、その記録を必要期間保存するものとする。

B.1 外観及び耐圧検査

B.1.1 外観検査

輸送容器外表面及びフィン等に有害な傷、割れ、変形等がないこと。また、緩衝体の表面の可融栓を目視により検査し、異常がないことを確認する。

B.1.2 耐圧検査

輸送容器内部に 1MPa 以上の水圧を 30 分以上、加えて輸送容器の各部、特に容器本体と蓋接合部、ベントプラグ及びドレン弁部からの漏えい、変形等の異常ないことを確認する。ただし、耐圧性能に影響する修理等を行った場合のみ実施する。

B.2 気密漏えい検査

蓋、ベントプラグ及びドレン弁について、シール部に の圧空を加え、圧力降下の測定により漏えい検査を行い、各部の合計の漏えい率が $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であることを確認する。

B.3 補助系の保守

輸送容器は、補助系を装備していないので該当しない。

B.4 密封装置の弁、ガスケット等の保守

B.2 に示したように、輸送容器からの漏えいに関し、容器蓋及びドレン弁、ベントプラグに対する気密漏えい検査で、基準値を超える漏えいが確認された場合には、その都度不良部品を取り替える。

B.5 遮蔽検査

輸送容器を目視により検査し、有害な変形、破損等の異常のないことを確認する。

B.6 未臨界検査

バスケットを目視により検査し、有害な変形及び破損等の異常のないことを確認する。

B.7 熱検査

フィンを目視により検査し、有害な変形、破損等の異常のないことを確認する。

B.8 その他

なし。

(ハ) - 第B.1表 定期自主検査一覧 (その1)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
外観検査	容器本体、蓋、上部緩衝体、下部緩衝体、ドレン弁及びベントプラグ	輸送容器の外観を目視で検査する。	有害な傷、割れ、変形等の異常のないこと。また可融栓に異常がないこと。
耐圧検査	容器本体（ドレン弁、ベントプラグ含む。）及び蓋	耐圧性能に影響する修理等を行った場合のみ実施する。容器本体（ドレン弁、ベントプラグ含む。）及び蓋の外観を目視で検査する。	輸送容器（ドレン弁、ベントプラグ含む。）に変形等の異常のないこと。
気密漏えい検査	蓋部、ベントプラグ部及びドレン弁部	圧力降下法により漏えい率を測定する。	蓋部、ベントプラグ部及びドレン弁部の合計の漏えい率が $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であること。
密封容器の弁、ガasket等の保守	蓋部、ベントプラグ部及びドレン弁部のガスケット	気密漏えい検査による。	気密漏えい検査で基準値をこえる漏えいが生じた場合は、交換する。
遮蔽検査	容器本体・蓋	輸送容器の遮蔽部の外観を目視で検査する。	有害な傷、割れ及び変形等の異常がないこと。
未臨界検査	バスケット	バスケットの外観を目視で検査する。	外観に変形破損等の異常がないこと。

(ハ) - 第 B.1 表 定期自主検査一覧 (その 2)

検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
伝熱検査	フィン部分	フィン部分の外観を目視で検査する。	有害な変形、破損等の異常のないこと。
吊上げ検査	容器本体の吊上金具及び蓋吊上金具	空容器を吊り上げた状態及び吊上終了後、容器本体の吊上金具の外観等を目視により検査する。 また、蓋を吊り上げた状態及び吊上終了後、蓋吊上金具の外観等を目視により検査する。	変形及びヒビ割れ等の異常がないこと。

(二) 章 安全設計、安全輸送に関する
特記事項

(二) 章 安全設計、安全輸送に関する特記事項

特記事項なし。

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

輸送容器は、(ロ)章「核燃料輸送物の安全解析」における各解析において述べられた構造、熱、遮蔽、密封、臨界の設計条件を満足するよう以下に記述する製作法に基づいて製作し、設計要件が反映されていることを試験及び検査することによって確認する。これらの行為は、設計及び製作を通して適正な品質保証体制のもとで遂行する。

A.1 概要

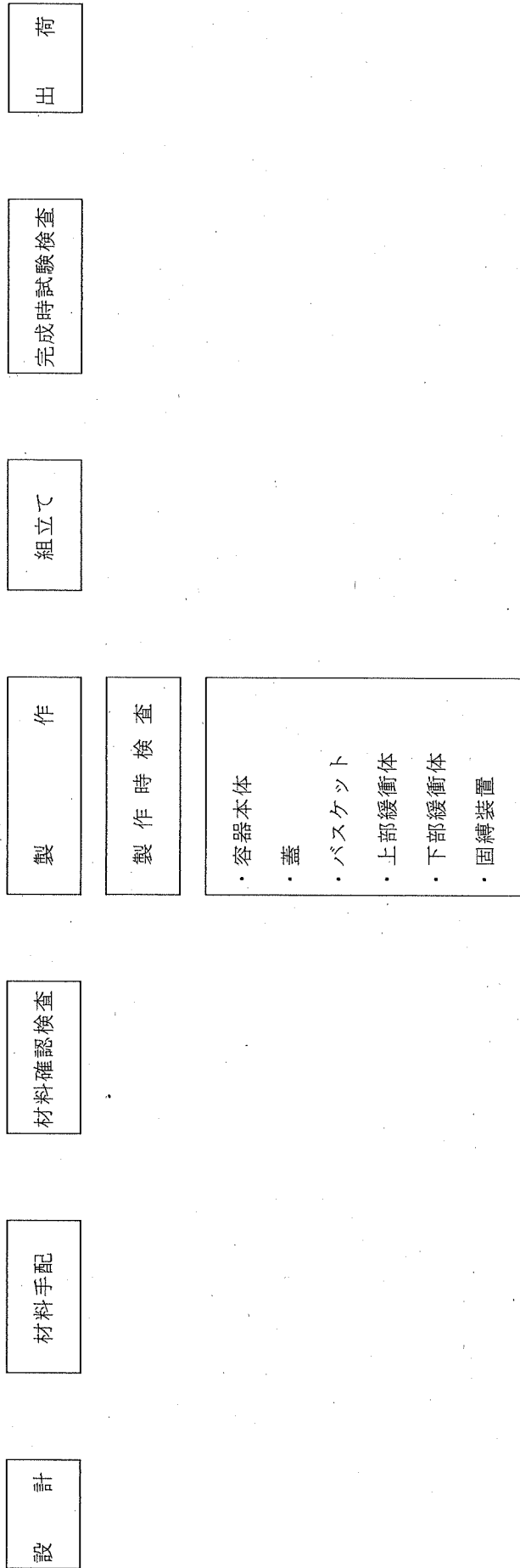
輸送容器の製作は、次に記述する手法に基づいて行う。

全体の製作工程を(参)－第A.1図に、また、主要部品の製作工程を(参)－第A.2図に示す。

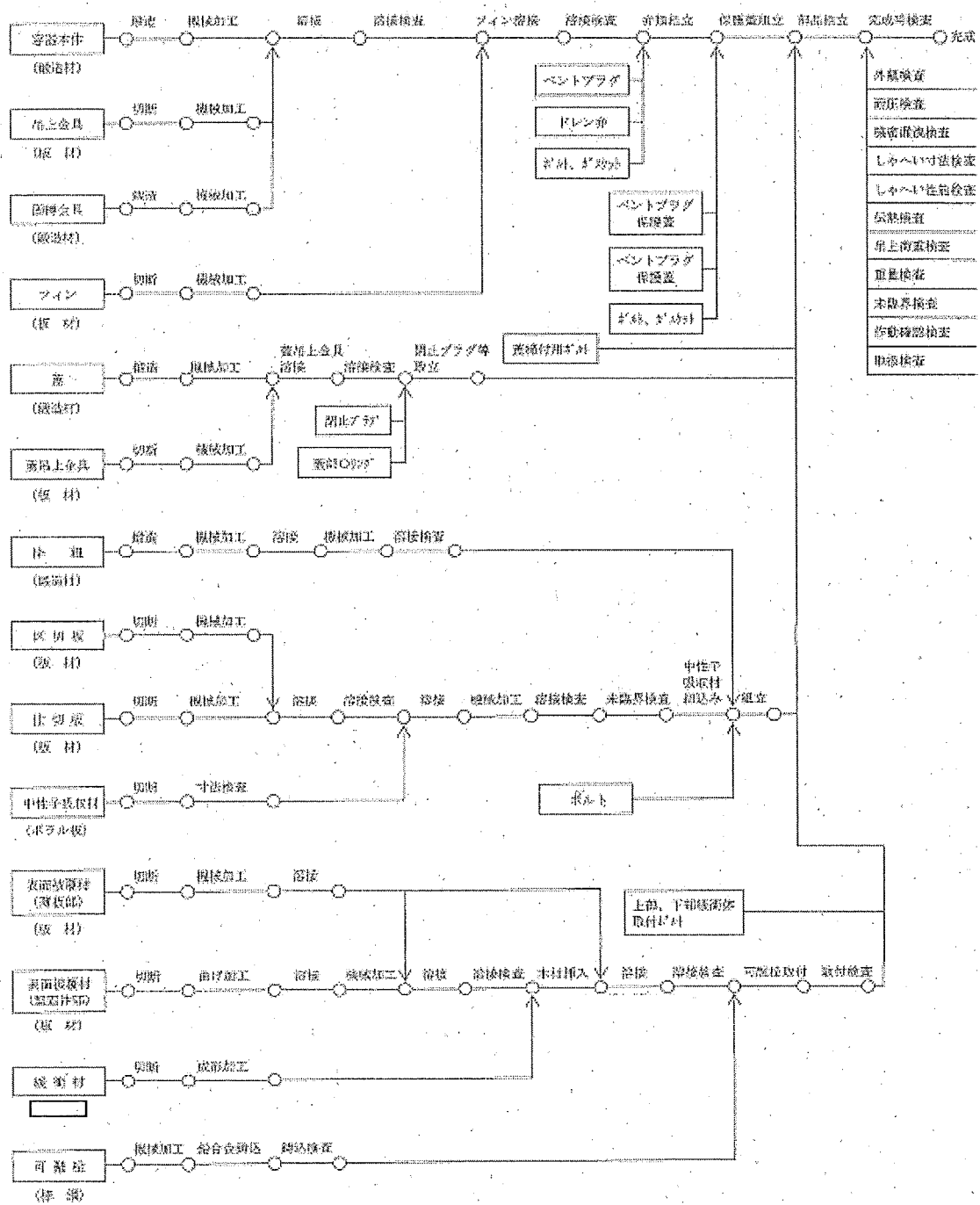
容器本体及び蓋は、鍛造で製作し、機械加工仕上後フィン、吊上金具等を溶接する。

バスケットは、中性子吸収材を被覆するステンレス鋼板製の仕切板とステンレス鋼板のみから成る区切板とで格子状に区切られた30個の燃料挿入孔と仕切板・区切板を保持するステンレス鋼製の枠組から成る。仕切板・区切板の接合部は溶接とし、枠組との接合はボルト接合とする。また、枠組は4ブロックに分けて鍛造で製作し、それぞれを機械加工仕上げ後に溶接接合とする。燃料フォロワを収納する場合は、バスケットの燃料挿入孔にアルミニウム合金製のスペーサを入れる。

上部緩衝体及び下部緩衝体の表面被覆部は、ステンレス鋼材を加工、溶接後成形し、その中に緩衝材として[]を充填する。[]はブロック化し、緩衝作用が最も効果的になるような積層方向をもつように充填する。充填完了後、端板を溶接する。



(参) - 第 A.1 図 製作の全体工程



(参) - 第 A.2 図 製作工程

A.2 材料の説明

A.2.1 板材料

輸送容器に使用する板材料は、(ロ)章「輸送物の安全解析」において記述した設計条件を満足するように(参)一第A.1表に示す規格の材料を使用する。

これらの材料は、十分な強度を有し、耐食性に優れ、各種製作法においても特性を失うことなく加工可能である。

また、(参)一第A.2表に適用規格の材料特性を示す。

A.2.2 管材類

該当しない。

A.2.3 鍛造品、ボルト、ナット類

鍛造品は[]ステンレス鋼(SUS[])であるので、A.2.1の板材と同様、設計上要求される強度、耐食性を有する。また、ボルト類として[]ステンレス鋼(SUS[])を使用する。

これらの材料は、十分な強度を有し、耐食性に優れ、各種製作法においても特性を失うことなく加工可能である。

また、(参)一第A.2表に適用規格の材料特性を示す。

(参) - 第 A.1 表 主要材料適用規格

使用区分	材 料	適用規格	備 考
1. 容器本体			
本 体	SUS <input type="text"/>		
フィン	SUS <input type="text"/>		
吊上金具	SUS <input type="text"/>		
固縛金具	SUS <input type="text"/>		
ベントプラグ			
ベントプラグ本体	SUS <input type="text"/>		
ベントプラグ保護蓋	SUS <input type="text"/>		
保護蓋締付ボルト	SUS <input type="text"/>		
ドレン弁			
ドレン弁本体	<input type="text"/>		
ドレン弁保護蓋	SUS <input type="text"/>		
保護蓋締付ボルト	SUS <input type="text"/>		
2. 蓋			
蓋	SUS <input type="text"/>		
蓋吊上金具	SUS <input type="text"/>		
3. 蓋締付用ボルト	SUS <input type="text"/>		
4. 上部緩衝体及び下部緩衝体			
表面被覆材(薄板、堅固部)	SUS <input type="text"/>		
近接防止枠	SUS <input type="text"/>		
可融栓プラグ	SUS <input type="text"/>		
緩衝体取付ボルト	SUS <input type="text"/>		
5. バスケット			
枠組	SUS <input type="text"/>		
仕切板	SUS <input type="text"/>		
区切板	SUS <input type="text"/>		

(参) 一第 A.2 表 主要材料特性表

適用規格又は材料名	引張試験			硬さ*1 HB	化学成分 (%)								備考		
	耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %		絞り %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr		Mo	Cu	N	その他

*1: 他の硬さの規格値(HRB、HRC、HV)を採用する場合は、適用規格に記載の値とする。

A.2.4 溶接用電極、棒、線類

輸送容器の製作に使用する材料に対して、良好な溶接を行うため、次に示す材料を使用する。

(銘柄)

- | | | |
|-------------|---|--|
| (1) 被覆アーク溶接 | — | <div style="border: 1px solid black; width: 280px; height: 55px;"></div> |
| (2) TIG溶接 | — | |
| (3) MIG溶接 | — | |
| (4) 溶接用電極 | — | |
- 製作に用いる溶接電極はタングステン（トリウム入り）であり、不消耗である。

A.2.5 特殊材料

輸送容器の製作に関し、前述の一般材料の外に（ロ）章「核燃料輸送物の安全解析」の各解析で述べた設計条件を満足するために（参）—第A.3表に示す特殊材料を使用する。

(1) 中性子吸収材

中性子吸収材として、を使用する。

(2) 緩衝材

衝撃の緩和を目的として、上部緩衝体及び下部緩衝体内部に充填されるもので、

を使用する。は、
で、素材はである。

(3) 可融栓

可融栓は、緩衝体の特別の試験条件下（耐火試験時）における過剰な内圧力を防ぐ可融性のプラグで、を鋳込んだものである。

(4) Oリング

Oリングは、容器本体・蓋、ベントプラグ及びドレン弁の密封境界を保持するもので、耐寒性、耐熱性に優れたを使用する。

A.2.6 ミルシート

輸送容器に使用している主要な鋼材については、ミルシートを添付する。ミルシートには、適用仕様、コード又は規格により要求される化学成分、機械的性質及び他の物性値が記載されているものとする。

A.2.7 材料の欠陥部の修理

鍛造材及び板材欠陥の溶接補修は、原則としてJIS.の要求事項を満足するように行う。

(参) - 第 A.3 表 特殊材料

品名	材料	規格	備考
中性子吸収材	[Redacted]	[Redacted]	
緩衝材	[Redacted]	[Redacted]	
可融栓	[Redacted]	[Redacted]	
オリシグ	[Redacted]	[Redacted]	

A.2.8 材料の切断

輸送容器のフィン、吊上金具、固縛金具、蓋吊上金具、緩衝体表面被覆材、仕切板等に使用するステンレス鋼板材の切断は、シャーリング機、プラズマ切断機、グラインダー切断機等を用いて行う。

また、棒材の切断もグラインダー切断機、プラズマ切断機、旋盤等を用いて行う。

プラズマ切断機は高温のプラズマジェットで切断するため、作動ガスにはアルゴンガスを使用する。プラズマ切断を使用した場合は、熱影響部を取り除くため、切断面より 5mm 以上グラインダー又は機械加工で除去し、熱影響部を除くものとする。

A.2.9 材料の成型

輸送容器本体、蓋及び枠組は、ステンレス鋼塊を鍛造加工により、それぞれの形に成型した後、旋盤、グラインダー等を使用して機械加工を行う。

A.3 溶接

A3.1 溶接方法及び材料

輸送容器の母材の種類は、全てステンレス鋼である。溶接施工法を(参)一第 A.4 表に示す。この溶接施工法は、経済産業省の定める施工法試験に合格した施工法とする。

A.3.2 溶接機の管理及び作業員資格

- (1) 溶接機は、毎年 1 回以上定期的に点検し、管理を行う。点検の主要項目は、次のとおりである。

絶縁抵抗値及びタップ切替装置の接点及び動作の状態、アースの接触断線及びキャプタイアケーブルの被覆の状態、ホルダーの具合、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、溶接トーチの破損等の状態、電流の校正、その他。

- (2) 溶接作業員は、電気事業法第 46 条の要件である経済産業省大臣(又は代行機関である(財)発電技術検査協会)の溶接士技能試験に合格した資格を有するものとする。

(参) - 第一 A. 4 表 溶接施工法一覧表

MITI 許可番号 (許可年月日)	溶接要領書 番号	溶接方法	母材区分	母材の 厚さ (mm)	溶着金属 区分	溶接棒 区分	溶加材 区分	シー ルス ド ガ ス	電 極	心 線	裏 面 よ り の ガ ス 保 護	応力除去 焼鈍	予 熱	層数
47公1651 (S. 47. 9. 21)														
46公12012 (S. 46. 10. 22)														
49資庁20572 (S. 49. 11. 25)														
50資庁4692 (S. 50. 5. 13)														
46公12013 (S. 46. 7. 19)														
60資庁第7781号 (S. 60. 6. 13)														
50資庁第12138号 (S. 56. 10. 6)														

A : 被覆了一ク溶接
TB : TIG 溶接 (裏当金付)
T : TIG 溶接
TF+A : 初層 TIG、残層被覆了一ク溶接

TFB+A : 初層 TIG (裏当金付)、残層被覆了一ク溶接
M : MIG 溶接
TF+M : 初層 TIG、残層 MIG 溶接

A : 被覆了一ク溶接 (裏当金付)
TB : TIG 溶接
T : TIG 溶接
TF+A : 初層 TIG、残層被覆了一ク溶接

A.3.3 溶接の主要事項に関する説明

(1) 最高許容温度

溶接時の最高許容温度は、層間温度を 150℃以下に管理する。

(2) 開先等の主要寸法、形状

輸送容器及びバスケットの主な溶接部の開先寸法及び形状を (参) - 第 A.5 表、また溶接線配置図を (参) - 第 A.3 図、(参) - 第 A.4 図に示す。

(3) 溶接部の洗浄

溶接部における融合不足及び溶接後の亀裂を防止するため、溶接部表面の酸化物、油等の異物の除去作業を溶接前に行う。方法は、機械的方法又は化学的方法とする。

(4) 溶接部の仕上げ

溶接部は、非破壊検査の可能な程度に仕上げる。ただし、他の部分との取合いがあるなど特に仕上げが要求される場合は、その要求に応じグラインダー仕上げ、バフ仕上げ、機械加工仕上げ等を実施する。

(参) - 第 A.5 表 溶接開先図(その 1)

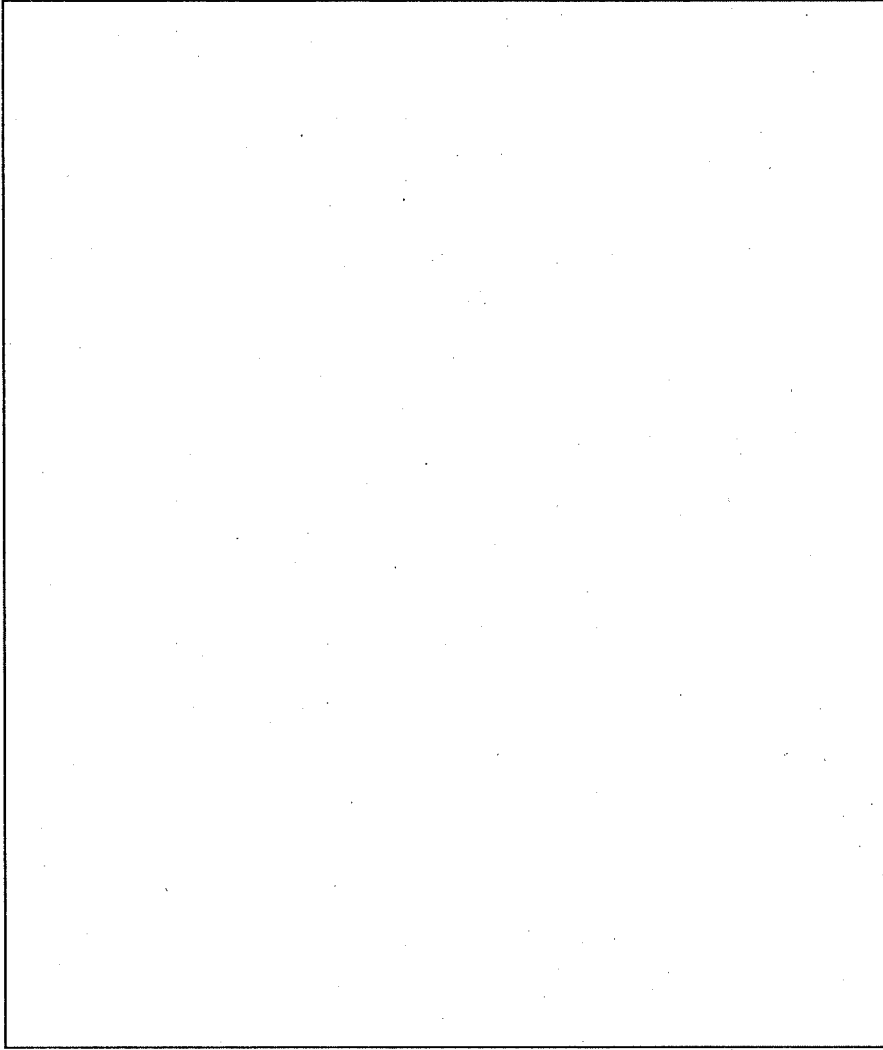
継手 番号	主要溶接部	開先の寸法・形状 (単位: mm)
1		
2		
3		

(参) - 第 A.5 表 溶接開先図(その2)

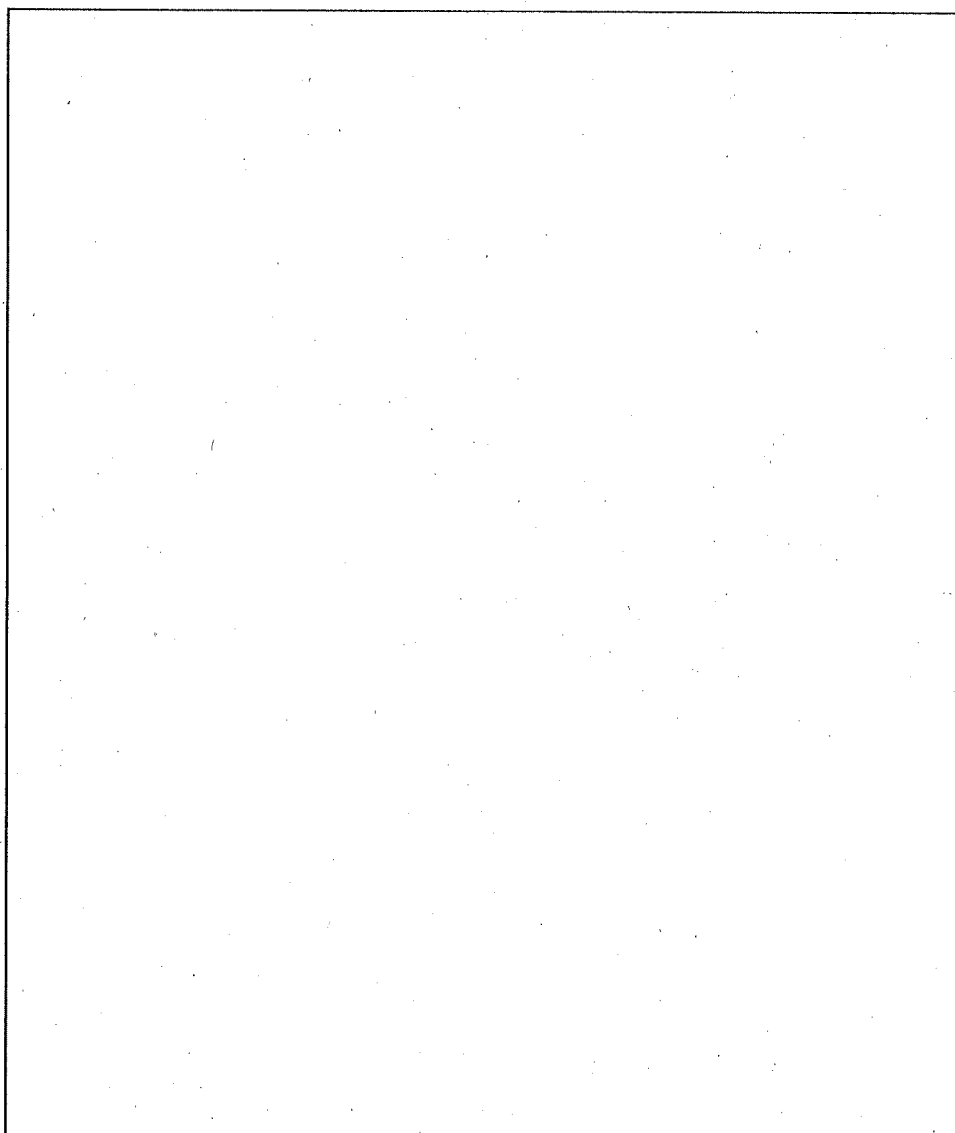
継手 番号	主要溶接部	開先の寸法・形状 (単位: mm)
4		
5		
6		

(参) - 第 A.5 表 溶接開先図(その 3)

継手 番号	主要溶接部	開先の寸法・形状 (単位: mm)
7		
8		
9		



(参) - 第 A.3 図 容器本体溶接線配置



(参) - 第 A.4 図 バスケット溶接線配置

A.3.4 溶接欠陥の修理

目視検査、浸透探傷試験等で発見された溶接部の欠陥は、欠陥の存在箇所をグラインダーで除去し、本溶接と同一の条件で補修溶接を行い、本溶接と同様の検査を実施する。

A.3.5 溶接後の熱処理

ステンレス鋼の溶接においては、結晶粒子の性質上、溶接後の熱処理は不要であるので該当しない。したがって、溶接後の熱処理は行わない。

A.3.6 特殊溶接

輸送容器の製作において特殊溶接は行わない。

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、溶接用材料の管理等は、品質保証を確立するため、製作者は、以下に示す要領に従って溶接作業を行う。

- (1) 製作設計において、主要な溶接継手には継手番号をつけ、製作図面に示す。溶接施工の文書の上での管理は、全てこの継手番号で行う。
- (2) 溶接施工法は、電気事業法第46条の要件である経済産業省大臣(又はその代行機関である(財)発電技術検査協会)の認可を受けた方法を適用する。また、主な溶接部に対して溶接施工要領書を作成し、前述の溶接施工法と照合を明らかにし、溶接方法、溶接施工厚さの範囲、母材の材質、溶接棒の銘柄などを記載し、溶接条件を明記する。
- (3) 作業員は、溶接施工要領書を基に作成した溶接指令書を発行し、溶接後は施工記録を残す。
- (4) 溶接士は、経済産業省大臣(又はその代行機関である(財)発電技術検査協会)の確認を受けた資格を有するものとする。
- (5) 溶接用の材料の取扱いは、それぞれの取扱規定を設け、管理を行う。
- (6) 溶接棒の保管は、銘柄、棒径ごとに区分し、管理を行う。また被覆アーク溶接棒については、棒の乾燥についても規定する。
- (7) 溶接機は、管理基準により定期点検の義務付け、方法等を規定する。
- (8) 溶接部の検査は、製作図と検査要領書に示し、判定基準も明確にしておく。

A.4 遮蔽体の製作法

輸送容器の遮蔽体は、主にステンレス鋼製の容器本体、蓋及びバスケットにより構成される。したがって、鉛等の特別な遮蔽材は使用しないため該当しない。

A.5 弁等の付属機器の製作法

(1) ベントプラグ、ドレン弁

ベントプラグに使用しているベントプラグ本体、ボルト等は、全てステンレス鋼である。

製作は、板及び棒鋼を必要寸法に切断、成形及び機械加工により行う。

また、ドレン弁、Oリング等はメーカー標準品を使用する。

(2) 閉止プラグ

ステンレス鋼製の棒を、必要寸法に切断又は機械加工する。

(3) Oリング

Oリングは、を使用する。

A.6 組立て等その他の製作法

容器本体、蓋、バスケット、上部緩衝体及び下部緩衝体製作完了後、外観検査を行い、水、塵埃等がたまるおそれのあるような溶接ビード、機械加工による切削部の返り、その他外観上の傷等がある場合には、グラインダー等で補修する。

なお、全体の製作工程、各部の組立手順及び方法は(参) - 第 A.1 図 ~ (参) - 第 A.2 図に示す。

B. 試験、検査方法等

本項は、各試験、検査項目別に、試験、検査方法、時期及び判定基準について以下に述べる。これらの試験検査要領を(参) - 第 B.1 表に示す。

B.1 材料検査

(ロ) 章で述べられた各解析に係る材料は、ミルシートにより規格に示す所定の性能を満足していることを確認する。

ステンレス鋼材、ステンレス鋼材の判定基準は、それぞれ JIS 規格等によるものとする。緩衝材の は、原材料の材料証明を確認する。また、Oリングについても材料試験報告書を確認する。

B.2 寸法検査

寸法測定は、(参) 章 D.10 項に基づいて管理されている巻尺、ノギス、マイクロメータ等を用いて検査を行う。

(1) 中間検査

半製品となった時点で実施するもので、主要寸法に対して寸法検査を行う。判定基準は(参) - 第 B.1 図 ~ (参) - 第 B.4 図に示す公差内とする。公差記入無き寸法は次の(イ)削り加工品及び(ロ)缶製品の表による。

(イ) 削り加工品 (単位 : mm)

呼び寸法の区分		寸法差
	4以下	±0.1
4をこえ	16 //	±0.2
16 //	63 //	±0.3
63 //	250 //	±0.5
250 //	1000 //	±0.8
1000 //	4000 //	±1.6

(ロ) 缶製品 (単位 : mm)

呼び寸法の区分		寸法差
	250以下	±3.0
250をこえ	500 //	±4.0
500 //	1000 //	±5.0
1000 //	2000 //	±6.0
2000 //	4000 //	±8.0

胴の真円度 : 最大 - 最小 ≤ 胴径の 1% 但し最大 20mm

(2) 最終検査

完成品となった時点で実施するもので、組立図の主要寸法に対して寸法検査を行う。判定基準は、中間検査のものと同じとする。

(参) - 第 B.1 表 輸送容器製作時及び完成時検査要領 (その 1)

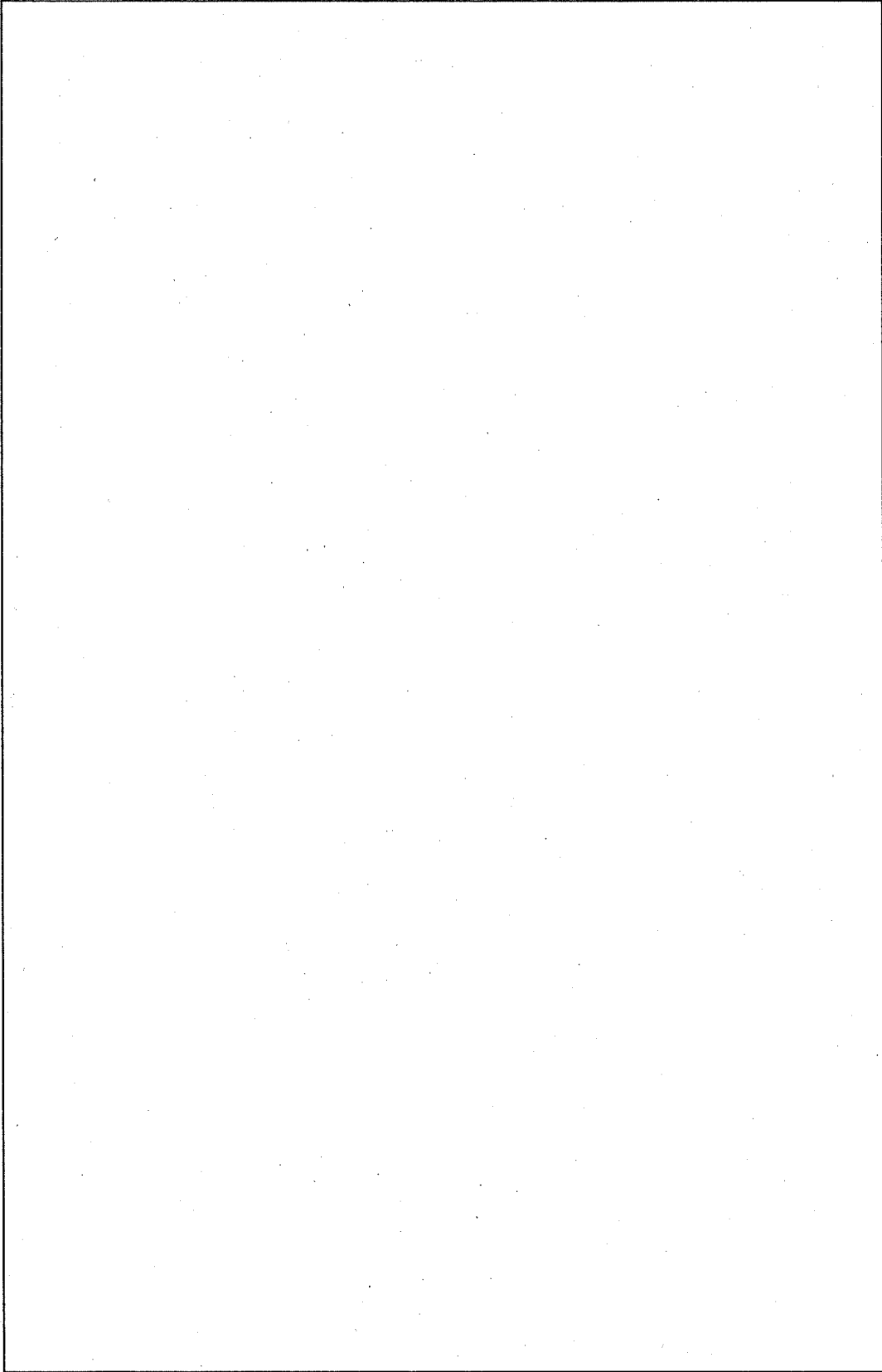
検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
材料検査	容器本体、バスケット、上部緩衝体、下部緩衝体	ミルシート等により使用した材料を照合するか、あるいは強度試験等を実施し、設計条件を満足した材料であることを確認する。	鋼材類については、JIS規格等を満足していること。その他の材料については、設計条件を満足していること。
寸法検査	(同上)	計測器 (巻尺、ノギス、マイクロメーターその他計測治具等) を用いて行う。	所定の寸法公差内にあること。
溶接検査	(同上)	開先合わせ検査、外観検査、浸透探傷試験、放射線透過検査等により溶接の健全性を検査する。	別記-2の各判定基準を満足し、設計条件に合致していること。
外観検査	全部品	全部品の外観を目視で検査する。	有害な傷、汚れ、腐食等のないこと。
耐圧検査	容器本体・蓋	1MPa以上の水圧を加え変形の有無、欠陥を検査する。	異常な変形、割れ等がないこと。
気密漏えい検査	蓋、ベントプラグ、ドレン弁	圧空 <input type="text"/> を加えて、圧力低下量を検査する。	密封装置の漏えい率が $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であること。

(参) - 第 B.1 表 輸送容器製作時及び完成時検査要領 (その 2)

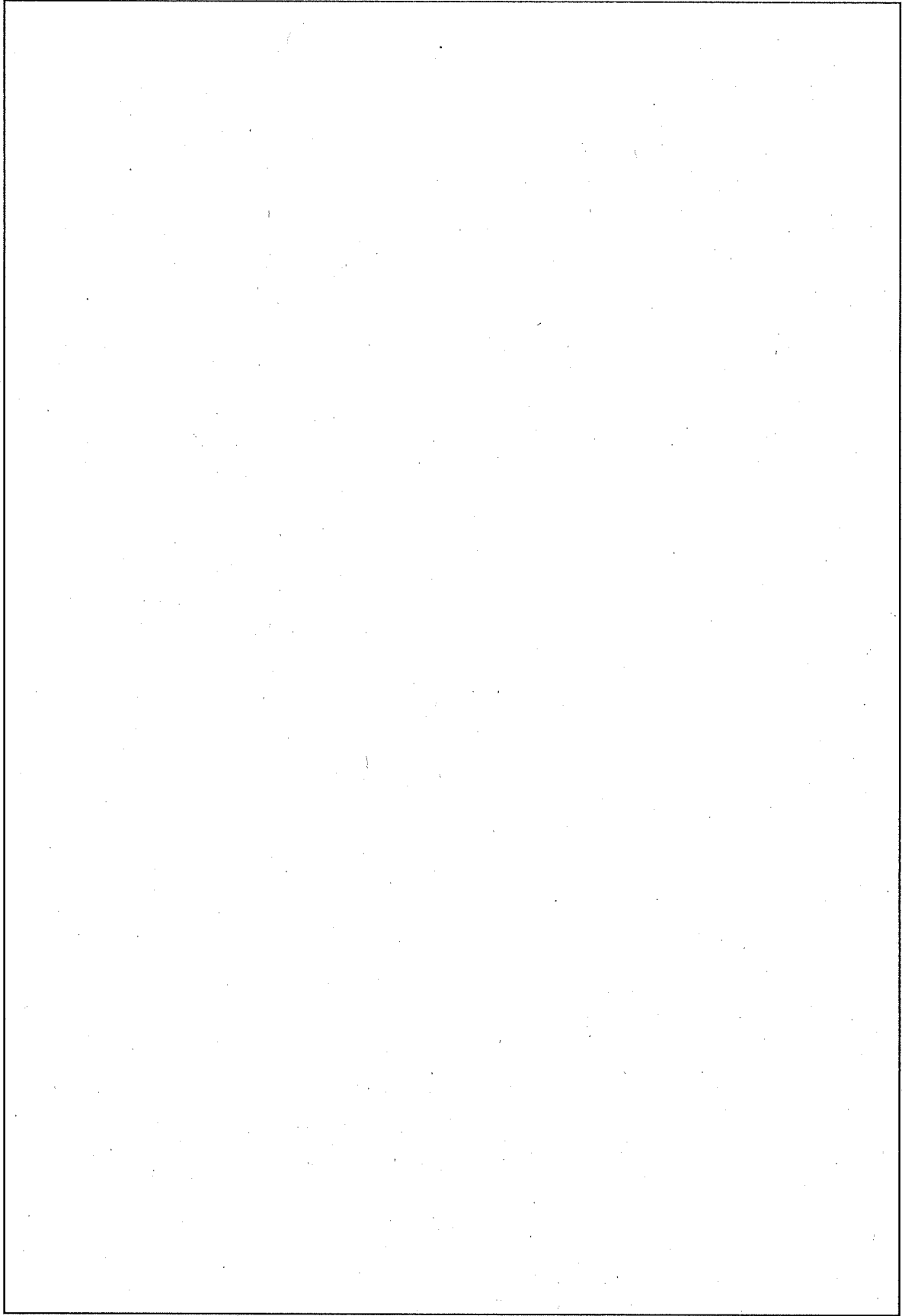
検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
遮蔽性能 検査	容器本体・蓋	ガンマ線源を輸送容器内に挿入し透過線量率を測定する。	使用ガンマ線源について行った遮蔽計算値以下であること。
遮蔽寸法 検査	容器本体・蓋	遮蔽体の主要寸法を測定する。	遮蔽体厚さが寸法公差以内にあること。
吊上げ荷 重検査	容器本体吊上金 具及び蓋吊上金 具	吊上荷重の2倍の荷重を負荷する。	(1) 永久変形のないこと。 (2) 浸透探傷試験によって有害な欠陥のないこと。
伝熱検査	容器本体、上部 緩衝体及び下部 緩衝体	バスケット内に電気ヒータを設置し、模擬蓋を取り付け、各部の温度を測定する。	輸送容器外表面が85℃以下であること。
重量検査	輸送容器の総重量	各部品の総重量又は組立重量を検査する。	18110kg以下
未臨界検査	バスケット	(1) バスケットの外観を目視で検査する。 (2) 中性子吸収材の ¹⁰ B濃度及びB含有率をミルシートによって確認する。	(1) 変形及び破壊がないこと。 (2) 申請書に記載された仕様を満足すること。

(参) - 第 B.1 表 輸送容器製作時及び完成時検査要領 (その 3)

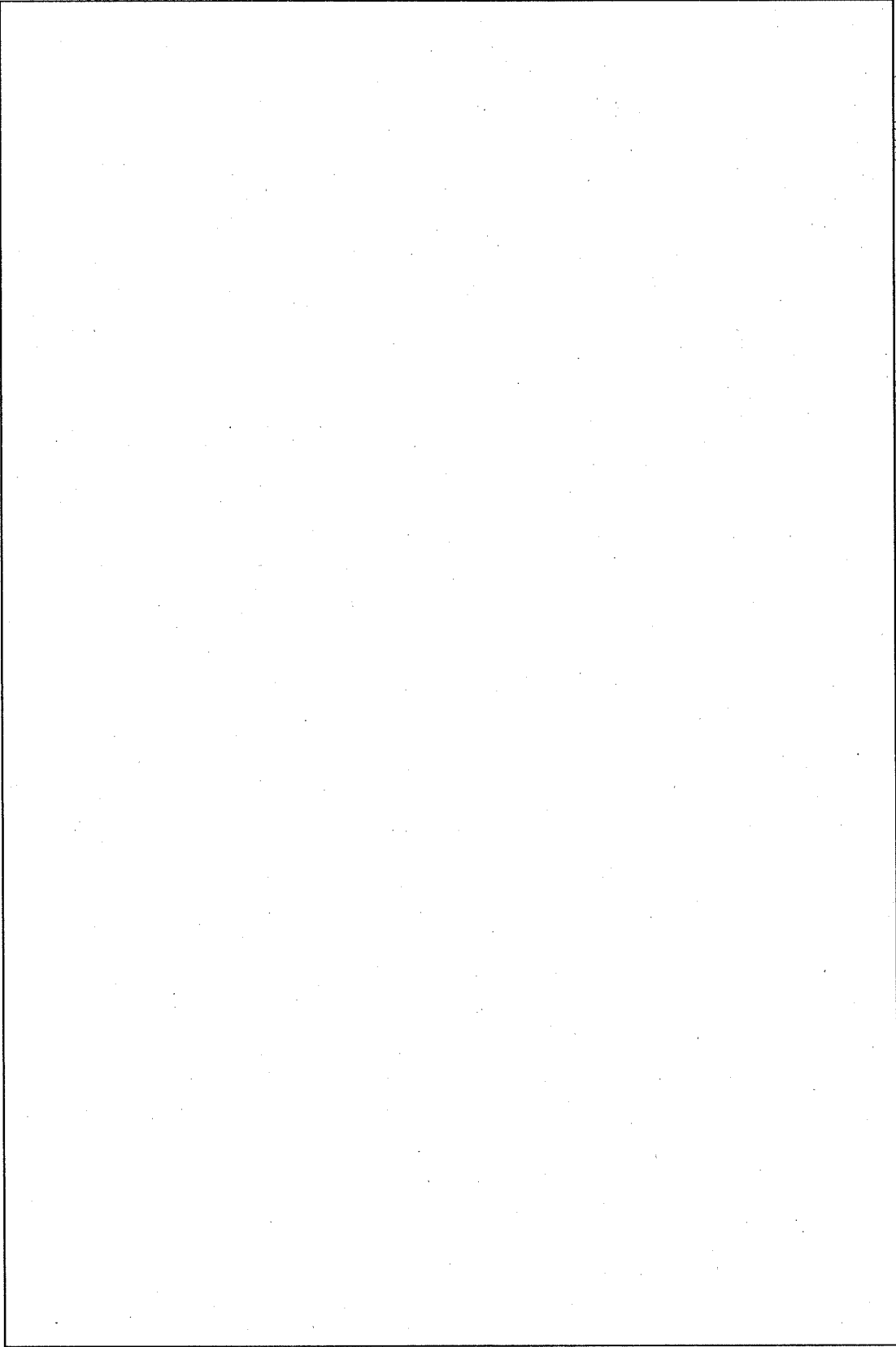
検査項目	検査対象	検査方法	合格基準
作動確認 検査	ベントプラグ及 びドレン弁	(1)ベントプラグの取付け、 取外し。 (2)ドレン弁の開閉を行う。	(1)取付け、取外しが円滑で あ ること。 (2)開閉が円滑であること。 (3)ベントプラグ、ドレン 弁としての機能を満足 すること。
取扱検査	容器本体、上部 緩衝体及び下部 緩衝体	上部緩衝体及び下部緩衝体 の取付け、取り外し、容器 の吊り上げ、吊り下ろし、 蓋の取り付け、取り外しに 支障のないこと。	取扱い上支障のないこと。



(参) — 第 B.1 图 输送容器

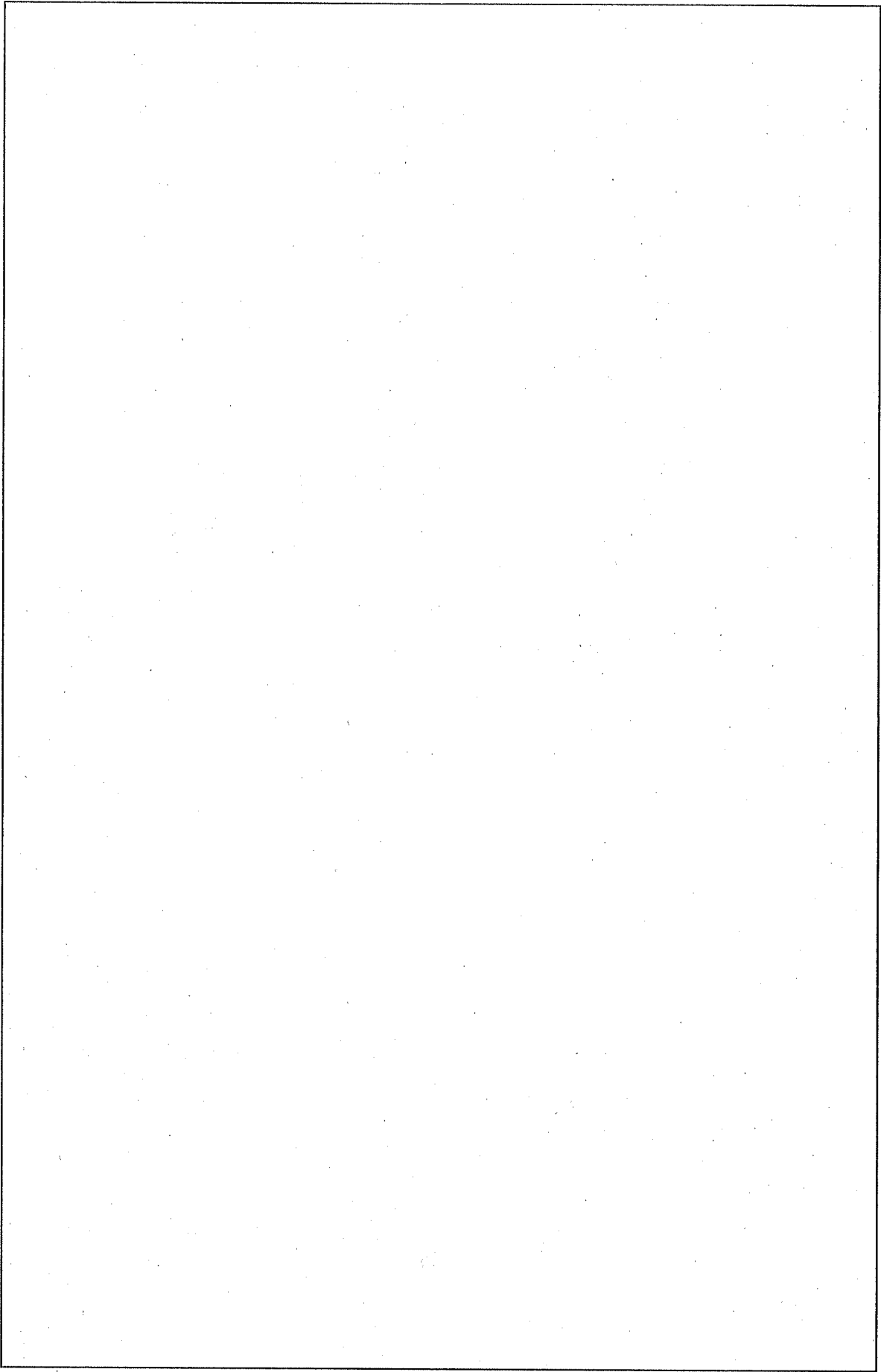


(参) 一第B.2図 容器本体



(単位: mm)

(参) - 第 B.3 図 バスケット



(参) 一第B.4図 緩衝体

B.3 溶接検査

溶接検査は製作中の中間検査のときに実施する。検査内容、方法及び判定基準については以下に述べる。

(1) 目視検査

全ての溶接線に対して実施する。目視にて溶接線の表面を観察し、アンダーカット、クラック等の有害な欠陥の有無を調べる。

判定基準：有害な欠陥のないこと。

(2) 開先寸法検査

開先寸法検査は開先形状、ルート間隔、板の食い違いの3点について確認する。

判定基準：所定の公差内にあること。

(3) 浸透探傷試験

JIS Z 2343 に規定されている「浸透探傷試験方法及び浸透指示模様分類」に基づき、ステンレス鋼の溶接線に対して浸透探傷試験を実施し判定基準を満足していることを確認する。

検査要領は以下のとおり。

- (a) 前処理：検査部表面を洗浄液又はアセトンで十分に洗浄した後、5分間以上自然乾燥を行う。
 - (b) 浸透処理：検査部表面温度が4.5℃以上であることを確認する。浸透液は浸漬法、ハケ塗り又は吹きつけ法により均一に適用する。浸透時間は15分間以上とする。
 - (c) 洗浄処理：洗浄は表面に付着している余剰の浸透液だけを除去するものとし、欠陥中に浸透している液を流出するような過液の洗浄をしない。また、洗浄は布に洗浄液をしみ込ませて拭き取る。なお、余剰浸透液の除去液及び被検査面は、現像液の適用の前に5分間以上自然乾燥を行う。
 - (d) 現像処理：余剰浸透液の除去後、現像液を適用する。この際、現像液を十分攪拌した後、吹きつけ法により薄く均一に適用する。
 - (e) 観察：現像液の乾燥後、9～30分間に観察する。
 - (f) 後洗浄：観察後、洗浄液又はアセトンで被検査部表面を完全に洗浄する。
- 判定基準：欠陥による浸透指示模様のないこととする。

B.4 外観検査

製作中の中間検査、製作完了時の最終検査において実施し、その方法は目視にて観察するものであり、次の項目についての検査を行う。

- (1) 形状、取付位置等が図面とおりに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を確認する。
- (3) 表面仕上面が製作図面とおりにあることを確認する。
- (4) 腐食、汚れ等のないことを確認する。

B.5 耐圧検査

耐圧検査は、製作完了後に輸送容器について行う（ただし、バスケットは除く）。検査は容器内部に水圧 1MPa 以上を加え、30 分間以上放置した後、目視により密封境界（容器本体と蓋の接合部、ベントプラグ、ドレン弁の貫通部）からの水漏れ及び輸送容器の形状に異常のないことを確認する。

B.6 気密漏えい検査

気密漏えい検査は製作完了後に行う。検査方法は、密封境界のシール部（容器本体と蓋の接合部、ベントプラグ、ドレン弁）に窒素ガス等を に加圧する。そして、二重シール部の検査時間での圧力降下を計測して、密封装置の漏えい率が $2.22 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下をもって合格とする。

B.7 遮蔽性能検査

^{60}Co 等のガンマ線源を輸送容器内に挿入し、透過線量率を測定することにより（ロ）章の「核燃料輸送物の安全解析」に記載された遮蔽性能を満足していることを確認する。また、超音波探傷検査により遮蔽材に有害な欠陥部分がないことを確認する。

B.8 遮蔽寸法検査

B.2 に示した寸法検査と同様の検査を行い、公差内にあることを確認する。

B.9 伝熱検査

伝熱検査は、（ロ）章 B. 熱解析において要求されている、日陰における温度評価に対する放熱特性を確認する。

1) 検査装置

検査は、輸送容器内のバスケットの燃料挿入孔の中に電気ヒーターを装荷し、加熱する。発熱量は（ロ）章 B. 熱解析で使用した 2.8kW 以上で模擬する。

温度測定は、熱電対等をバスケット、輸送容器胴内面、フィン先端、緩衝体表面及び周囲大気中に設置し、容器各部の最高温度及び主要部の温度について行う。

2) 検査方法

熱入力及び温度は、ほぼ平衡に達するまで連続的に記録する。

3) 判定基準

検査結果は、周囲温度 38℃に補正した後、輸送容器に容易に近づくことのできる外面が 85℃を超えないことを確認する。

B.10 吊上荷重検査

本体吊上金具、蓋吊上金具について、通常使用時の静荷重の 2 倍の静荷重をかけて検査する。吊上金具の溶接部は、検査後、浸透探傷試験等を行い、有害な欠陥及び変形がないことを確認する。

B.11 重量検査

重量検査は、輸送容器の製作完了時に行う。総重量算出は、個々の単品を測定し、その総和を求める方法又は組立総重量を測定する方法によって行う。

輸送容器の総重量が 18110kg 以下であることを確認する。

B.12 未臨界検査

バスケットの外観及び寸法検査を行う。また、中性子吸収材の B 含有率及び ^{10}B 濃度をミルシートと照合する。

B.13 作動確認検査

ドレン弁の開閉操作に支障がないことを確認する。

B.14 取扱検査

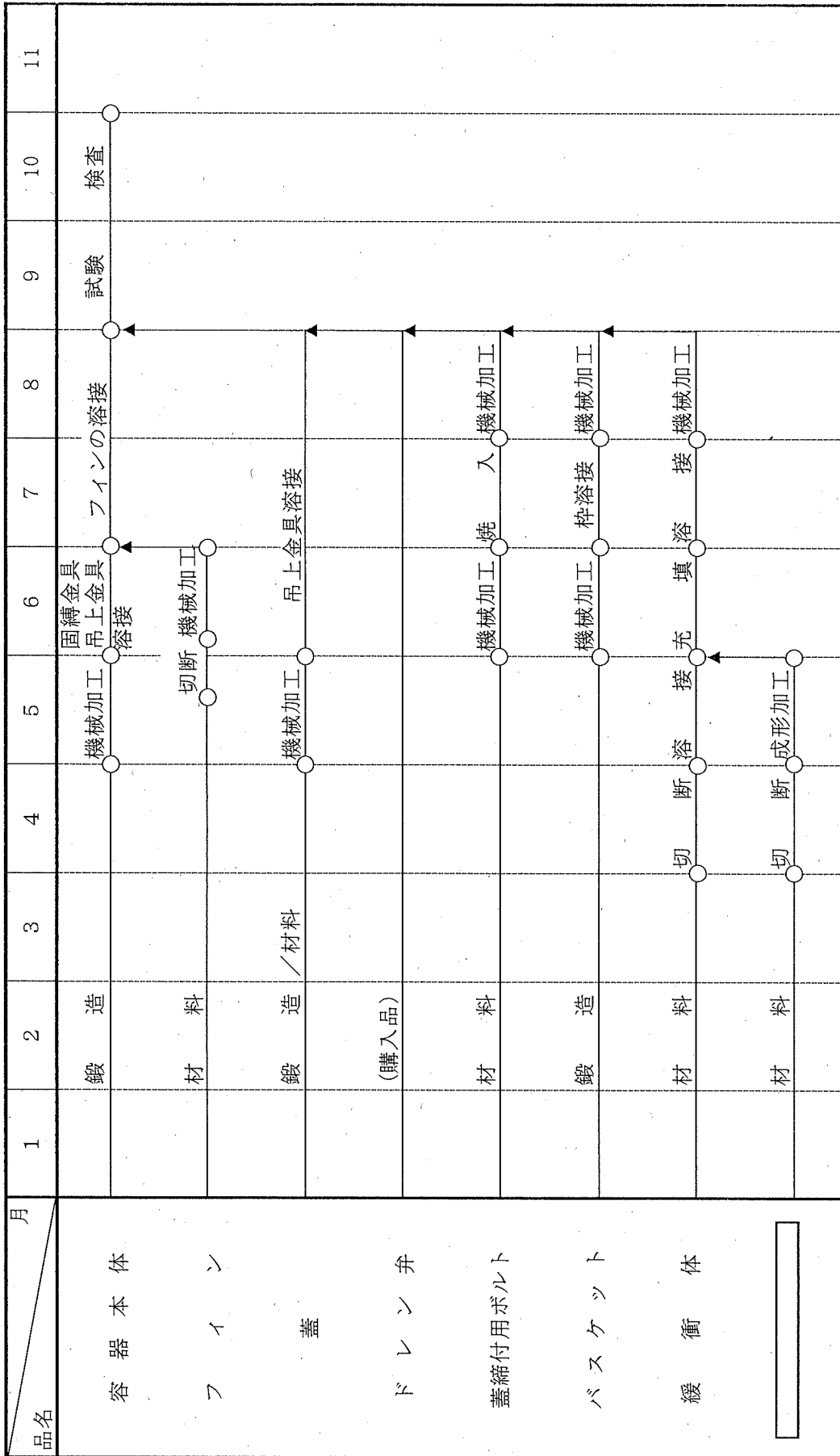
輸送容器は製作完了後、次の操作性について確認する。

- (1) バスケットの輸送容器への組付状態の確認
- (2) バスケットの各燃料挿入孔に、外形寸法を模擬したダミー燃料を挿入することにより、燃料が容易に装荷取り出しできること及び収納状態の確認
- (3) Oリング溝へのOリング組込み
- (4) 輸送容器の蓋の取り付け、取り外しの作業性及び組付状態の確認

- (5) 緩衝体の取り付け状態、取り外しの確認
- (6) 輸送容器と吊上用具及び輸送容器と固縛装置との着脱操作性と組付状態の確認
- (7) ベントプラグ、ドレン弁の組付状態の確認
- (8) 閉止プラグ、保護蓋の組付状態の確認
- (9) 蓋締付用ボルト、保護蓋締付ボルトの締め付け及び取り外しの確認

C. 輸送容器の製作スケジュール

輸送容器の製作工程の代表的な例を (参) - 第 C.1 図 に示す。



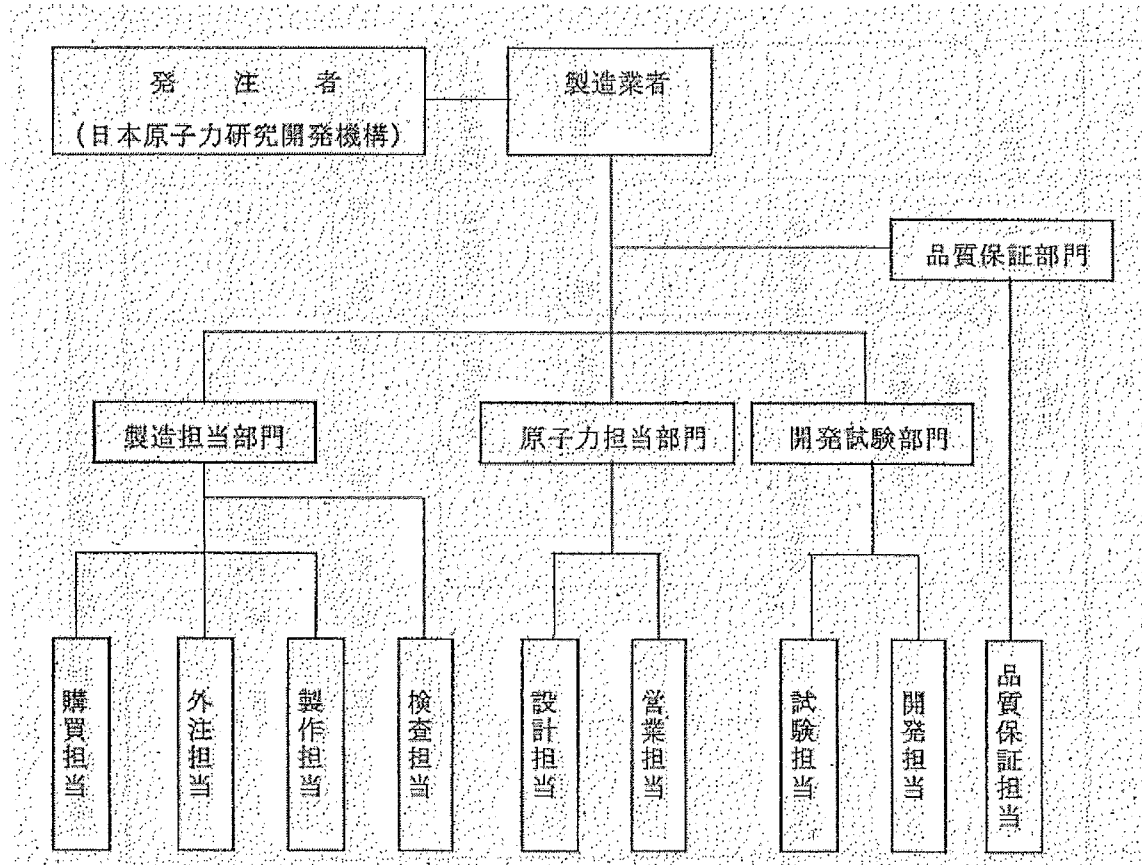
(参) 一第 C.1 図 輸送容器の製作スケジュール

D. 品質管理

輸送容器の設計、製造、検査、試験などの全ての作業は、ここに記載する品質保証計画に従って遂行する。

D.1 組織

輸送容器に関する品質管理は、(参) - 第 D.1 図 に示す組織によって行う。



(参) - 第 D.1 図 品質保証組織

D.2 品質保証計画

品質保証計画の実施要領を以下に示す。

(1) 機器の機能障害又は故障

輸送容器の機能上、最も重要な機器としては、密封境界におけるベントプラグ及びドレン弁がある。

ベントプラグは容器本体にねじ込む構造で、二重のOリングを用いて容器本体とベントプラグ間の密封性が保たれている。

ドレン弁は、弁本体を容器本体の中へ組み込む方式になっており、容器本体とドレン弁とはボルトで固定され、その密封性は Oリングで保たれる。また、ベントプラグ及びドレン弁 その保護蓋をボルトにより取り付け、外的要因から保護する設計となっている。

(2) 設計と製作の関連

設計で要求する事項は図面、仕様書、要領書等の文書に記述する。この文書により全ての製作行為を行う。また、製作途中の適当な時期に各種の検査を行い、設計で要求する事項が全て満足されていることを確認するので、設計と製作には一貫性が保たれる。

(3) プロセスと装置に対する管理と監視

製作工程における主な作業項目は、材料の取扱い、製作及び試験検査である。

材料の取扱いは、材料の入手、保管、マーキング等を含めて材料の誤適用、腐食損傷等の防止に適切な処理をとる。

輸送容器の製作は、構造、寸法及び材料の機械的性質、物理的性質及び化学的性質を考慮して加工手順を決め、その加工手順に適合した管理のもとに製作する。

試験検査は、作業の要点、内容及び判定基準を明確にし、実施する。

(4) 検査と試験によって実証される機能的適用度合

輸送容器の製作中に実施される検査及び試験の方法は、工業的検査、試験手法として広く認められている手法で行い、要求される輸送容器の機能はこれらの検査及び試験で確認できる。

各種の検査及び試験に合格することにより、輸送容器が（ロ）章輸送物の安全解析の項と（ハ）章輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法の項に示した機能を有することが実証される。

(5) 基準の程度、品質履歴及び標準化の程度

輸送容器の製作における品質管理及び品質保証計画を実施すべく、JIS の基準にしたがって要領書を作成し、標準化した方法によって製作する。

(6) その他品質を保証するために必要な事項

特になし。

D.3 設計管理

輸送容器の製作図は、核燃料輸送物設計承認申請書に記述された事項を反映させるため、製造業者の設計担当において作成し、第三者がチェックする体制をとる。チェック事項は、設計基本条件、設計の要求事項、規格及び標準等、具体的な要求事項が製作図に正しく記載されているかをチェックする。その後、発注者(日本原子力研究開発機構)の承認を得るものとする。

D.4 指示及びその方法

製作は、発注者の承認仕様書をもとにして、発注者と製造業者との間で協議し、仕様を明らかにする。発注者は製作の指示を図面等によって行い、これを補足する意味で、製作要領書、試験検査要領書などの要領書類を状況に応じて、製造業者に発行させる。これらの書類は発注者の承認後、効力を生ずるものである。

製造業者内部では、製造担当管理者が個々の作業員に製作図及び関連要領書等を、作業者に徹底させるため、作業の分担指示、材料等の出庫、溶接作業の指示などの書類を発行し、各々の作業を管理するという体制を確立する。

D.5 文書管理

品質に関する指示、要領及び図面等の書類は以下に示すとおり管理する。

輸送容器の品質に影響を及ぼす、発注仕様書、図面、試験検査報告書等の書類は、製造業者の品質保証体制に基づき管理する。これらの書類は完成時に製造業者より発注者に提出し、承認を受けるとともに製造業者において保管する。

D.6 材料、機器及び役務調達

輸送容器に用いる材料及び機器の購入は、材料の種類、機能等の仕様を明らかにした購入仕様書を作成し、これに基づいて行う。納入時には、受入検査により購入仕様書との合致性を確認する。また、受入検査記録は品質記録として管理する。

D.7 材料、部品及び機器の確認に関する管理

主要材料、部品及び構成機器の識別と管理のため、部品番号、連続番号等が永久的あるいは一時的な識別マークで明瞭にマーキングされて追跡調査可能な記録を行う。また、マーキング方法とマーキング材を含めて、材料部品及び機器の管理要領書を作成して材料証明書及び仕様書、図面又はその他の関連文書との関係を明確にする。

D.8 特殊工程の管理

溶接、非破壊検査等の特殊工程は、JIS規格等に準拠して作成された要領書、指示書によって管理された体制下で作業を行う。

特殊工程作業に従事する作業者は、公的機関の資格を有する者あるいは製造業者の基準によって選任された者とする。

作業終了後、作業者は文書をもって管理担当者に報告する。管理担当者がその文書を確認した後、文書保管することにより、特殊工程作業で発生する不具合を防ぐシステムをとる。

D.9 検査管理

検査は、その対象容器、機器により、その方法、精度等が異なるが、製造業者から提出された検査要領書を発注者が内容を検討し、重要度、使用材料及び形状等を十分考慮して審査し、検査要領を確立する。その検討は次の項目による。

(1) データシート

データシートの管理は、製造業者の品質記録の保管規定に従って行わせる。

この規定は、保管すべき品質記録の種類、管理体制、保管場所及び期間、分類、整理方法並びに表示方法を明らかにし、また放射線透過試験のフィルムの処置についても定めたものとする。

データシートの作成方法についてはフォームを規定し、作成の主旨を明らかにする。

(2) 検査方法

検査方法については、検査目的、検査方法、使用する機器、材料の指定、判定基準及び記録方法を定めた要領書に基づいて行う。

(3) 検査員の資格

製造業者における検査員は、製作担当から独立した検査担当に所属しており、検査関連業務に専任させる。

公的機関の資格を有する者、あるいは発注者が承認した製造業者内規で認定された者を非破壊試験に従事させる。

(4) 機器の校正

品質に影響を及ぼす検査に適用するゲージ、計器、測定機器、試験機器及び設備は、検査要領書の要求事項に適合する必要な範囲内の精度が維持されていることを確認する。また、万一校正が必要な場合は、各機器に適合した方法で校正を行う。

(5) 検査要領書

本検査要領書は、検査担当によって作成し、輸送容器の各種検査に関する検査方法手順等が記載してある。

(6) 修理、改良、取換及び再検査

製作工程中の検査あるいは最終検査により、欠陥等の不具合が発見された場合、仕様書や設計図面の要求事項に適合するよう修理、改良、取換等を行い、発注者立会の下に再検査を実施する。その方法については発注者と製造業者との間で協議する。

また、原因、経過、処置及び方法とともに協議内容を記録し、これを保管する。

製造業者においては、修理、改良、取換等は文書(指示文書)の記載事項に従って行う。再検査は、発注者の立会いの下に発注者の承認された要領書に従って行う。

D.10 測定機器、試験機器の管理

測定機器、試験機器の管理は、製造業者の管理規定に従って実施する。この管理規定には、管理の目的、適用範囲、取扱い、保管方法、校正基準及び校正の期間、表示方法、検査の方法と確認、管理台帳の書式等が定められているものとし、発注者の承認対象とする。

D.11 取扱い、保管

輸送容器の機器、使用部材等は、取扱い及び保管による不具合を防止するために適切に一括管理する。

D.12 検査及び製造の進捗状況の管理

輸送容器の検査及び製造の進捗状況は、製作計画書とこれに基づいて作成した日程計画表によって管理する。また、各工程における作業の進捗状況は、いつでも確認できるとともに、工程に遅れが生じないように管理する。

D.13 是正管理

品質に影響を与える検査及び製造で不具合が生じた場合は、直ちに、不具合の項目、内容と処置方法を記述した不具合報告書を作成し、発注者の承認を受ける。

D.14 品質管理記録

製作に関する仕様書、図面、要領書、材料証明書、検査記録等の品質管理記録は、製造業者の品質記録の管理規定に基づき、各発行担当部門において管理する。これらの記録は、発注者に提出し承認を受けるとともに製造業者において保管する。

D.15 品質管理監査

品質管理における監査は、品質保証計画に規定されていることが正しく実施されているかどうかを確認するために行う。監査は、製造業者の品質保証制度に従ったチェックシートに基づき必要に応じて行う。これらのチェックシートは、要求によって発注者に提出し承認を受けるとともに、製造業者において保管する。

JMS-87Y-18.5T型核燃料輸送物
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

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

本品質マネジメントの基本方針は、JIS Q 9001(2008)「品質マネジメントシステム」を参考に品質マネジメント活動の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

- (1) 大洗研究所長（以下「所長」という。）は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント計画を確立し、実施し、かつ、維持する。また、この品質マネジメント計画はマネジメントレビューをとおして、継続的に改善する。
- (2) 所長及び材料試験炉部長（以下「部長」という。）は、次の事項を実施する。
 - ① 品質マネジメント計画のために必要な業務及びそれらの組織への適用を「B.4 責任及び権限」にて明確にする。
 - ② 業務の運用と管理が効果的であることを「B.5 マネジメントレビュー」及び「G.2.1 内部監査」で確認する。
 - ③ 業務の運用及び管理のために必要な資源を「C.1 資源の運用管理」で確実にする。
 - ④ 業務の監視及び測定を行い、計画どおりの結果が得られるように、かつ、継続的改善のために必要な処置が講じられることを「G. 測定、分析及び改善」で確実にする。
- (3) 所長、部長及び担当課長（以下「課長」という。）は、原子力安全に影響を与える業務の調達（設計、製作、保守作業、輸送などの業務の外部委託）については、「E.1 調達管理」の項に従って管理する。

A.2 文書化に関する要求事項

A.2.1 一般

所長又は部長は、次の品質マネジメント計画に係る文書を規定する。

- (1) 品質方針及び品質目標
- (2) 品質マネジメント計画

(3) 本基本方針が要求する以下の管理及び処置に関する文書

- ① 文書管理
- ② 記録の管理
- ③ 内部監査
- ④ 不適合管理
- ⑤ 是正処置
- ⑥ 未然防止処置

(4) 当該部署における輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る業務の効果的な計画、運用及び管理を確実にするために、上記(1)～(3)の文書に加え、当該部署が必要とする文書

(5) 本基本方針が要求する記録

A.2.2 基本方針の策定

所長は、本基本方針を策定し、必要に応じて見直し、維持する。

A.2.3 文書管理

(1) 所長及び部長は、品質マネジメント計画で必要とされる文書について、次に示す事項を含めた管理の手順を定める。

- ① 発行前に、適切かどうかの観点から文書の妥当性をレビューし、承認する。
- ② 文書は定期的に改定の必要性についてレビューする。また、必要に応じて改定する場合は、文書作成時と同様の手続で承認する。
- ③ 文書の妥当性のレビュー及び見直しを行う場合は、対象となる実施部署の従業員等を参加させる。
- ④ 文書の変更内容の識別及び最新の改定版の識別を確実にする。
- ⑤ 該当する文書の最新の改定版又は適切な版が、必要なときに、必要なところで使用可能な状態にあることを確実にする。
- ⑥ 文書は、読みやすかつ容易に識別可能な状態であることを確実にする。
- ⑦ 品質マネジメントシステムの計画及び運用のために組織が必要と決定し

た外部からの文書を明確にし、その配付が管理されていることを確実に
する。

- ⑧ 廃止文書が誤って使用されないようにする。また、これらを何らかの目的
で保持する場合には、適切に識別し、管理する。
 - ⑨ 文書の改定時等の必要なときに文書作成時に使用した根拠等が確認でき
るようにする。
- (2) 所長、品質担当副所長、内部監査責任者、部長及び課長は、前項に基づき、
文書の管理を実施する。

A.3 記録の管理

- (1) 所長及び部長は、要求事項への適合及び品質マネジメント計画の効果的運
用の証拠を示すために、次の事項を含めた記録の管理の手順を定める。
- ① 記録の作成（記録には、電子的媒体を含む。）
 - ② 記録の取扱い（記録の外部への提出、外部からの受領を含む。）
 - ③ 記録の識別、保管、保護、検索の手順、保管期間及び廃棄
- (2) 所長、品質担当副所長、内部監査責任者、部長及び課長は、前項に基づき記
録の管理を実施する。

B. 申請者の責任

B.1 経営者の関与

所長は、品質マネジメント計画を構築し、実施し、その有効性を継続的に改善していることを実証するために、次の事項を行う。

- ① 関係法令・規制要求事項を遵守することを組織内に周知する。
- ② 品質方針を設定する。
- ③ マネジメントレビューを実施する。
- ④ 必要な資源を提供する。
- ⑤ 従業員等が、健全な安全文化を育成し、維持する取組に参画できる環境を整える。
- ⑥ 保安活動に関して、担当する業務について理解して遂行し、当該業務に責任を持つことを従業員等に認識させる。
- ⑦ 全ての階層で行われる決定が、原子力の安全の確保について、優先順位及び説明する責任を考慮して確実に行われるようにする。

B.2 品質方針

所長は、本基本方針に基づく業務の実施に際して、輸送容器及び輸送の特徴を加味して、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質方針を定め、従業員等に周知する。「品質方針」には、次の事項を含める。

- ① 輸送容器及び輸送の安全性及び信頼性を確保すること。
- ② 関連する法令、基準、許可又は認可された事項、安全協定等を遵守すること。
- ③ 品質マネジメント計画の継続的改善を行うこと。

なお、品質方針は、大洗研究所原子炉施設等品質マネジメント計画書に基づいて策定する品質方針の適用を可能とする。

B.3 品質目標

- (1) 所長は、毎年度品質目標を設定する。
- (2) 「品質目標」の設定に当たっては、以下の事項に留意する。

- ① 「品質方針」との整合がとれていること。
 - ② 達成度が評価可能な目標とする。
 - ③ 業務に対する要求事項を満たすために必要なものがあれば含めること。
- (3) 所長は、部長に「品質目標」の展開を実施するよう指示する。

なお、品質目標は、大洗研究所原子炉施設等品質マネジメント計画書に基づいて策定する品質目標を適用可能とする。

B.4 責任及び権限

B.4.1 責任及び権限

(1) 体制

本基本方針に係る業務を実施する品質マネジメント組織は、(別記-2) - 第 B.1 図による。

(2) 責任及び権限

次に掲げる者は、それぞれに記載する事項に責任と権限を有する。

① 所長

大洗研究所において実施される輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント活動を総括し、推進する。

② センター長

所長が行う大洗研究所における品質マネジメント活動を補佐する。

③ 部長

材料試験炉部における輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント活動を統括し、推進する。

④ 課長

課長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント活動を行う。

(3) 大洗研究所品質保証推進委員会

大洗研究所における品質マネジメント活動の推進及び品質マネジメント上重要な事項並びに所長からの諮問事項について審議を行う。

(4) 大洗研究所使用施設等安全審査委員会

核燃料物質使用施設等(施行令第41条非該当施設を含む。)の保安上重要な事項に関する所長の諮問事項の審議を行う。

B.4.2 品質担当副所長

- (1) 所長は、本品質マネジメント計画書に基づく品質マネジメントに関する業務の責任者として品質担当副所長を指名する。
- (2) 品質担当副所長は、与えられている他の責任と関わりなく、次に示す責任及び権限を持つ。
 - ① 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。
 - ② 品質マネジメントシステムの実施状況及び改善の必要性について、所長に報告する。
 - ③ 従業員等に対して、原子力の安全についての認識を高める。
 - ④ 関係法令を遵守する。

B.5 マネジメントレビュー

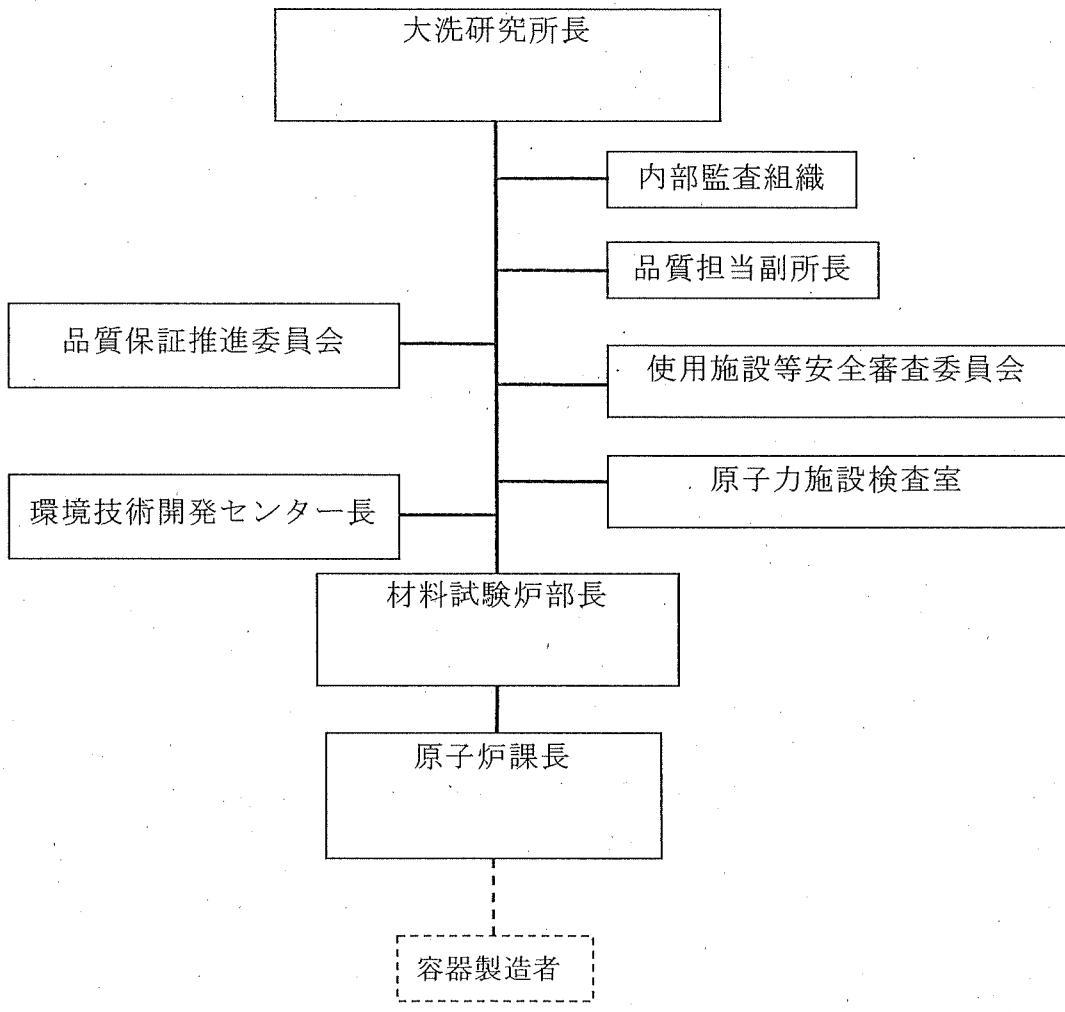
- (1) 所長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る業務に関して、品質マネジメント計画が適切で、有効に機能していることを評価、確認するため、年1回以上、マネジメントレビューを実施する。
- (2) 所長は、マネジメントレビューを実施するため、管理責任者に次の事項を報告させる。
 - ① 内部監査の結果
 - ② 組織の外部の者の意見
 - ③ プロセスの成果を含む実施状況
 - ④ 品質目標の達成状況
 - ⑤ 事業者検査、自主検査等の結果
 - ⑥ 健全な安全文化の育成及び維持の状況
 - ⑦ 関係法令の遵守状況
 - ⑧ 是正処置及び未然防止処置の状況

- ⑨ 前回までのマネジメントレビューの結果に対する処置状況のフォローアップ
- ⑩ 品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある変更
- ⑪ 品質マネジメントシステムの改善のための提案
- ⑫ 資源の妥当性

(3) 所長は、マネジメントレビューの結果から、次の事項に関する決定及び処置を行う。

- ① 本基本方針、規程等の有効性の改善
- ② 業務の計画及び実施に関連する保安活動の改善
- ③ 資源の必要性

(4) 所長は、品質担当副所長を通じて、上記(3)の処置について部長へ改善を指示し、その結果を確認する。



(別記-2) 一第 B.1 図 輸送容器及び輸送に係る品質マネジメント活動組織

C. 教育・訓練

C.1 資源の運用管理

C.1.1 資源の提供

所長及び部長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に必要な資機材、要員、費用等の対策を講ずる。

C.1.2 力量、認識及び教育・訓練

- (1) 部長又は課長は、業務に従事する要員に必要な力量を明確にする。
- (2) 部長又は課長は、必要な教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠として当該業務を実施できる力量を有する者を充てる。
- (3) 部長及び課長は、必要な力量がもてるように、従業員等への教育・訓練、OJT等を行う。
- (4) 部長及び課長は、実施した教育・訓練等の有効性を評価する。
- (5) 教育・訓練実績や技能及び経験に係る記録は維持する。

D. 設計管理

D.1 業務の計画

- (1) 部長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る業務を的確に行うために、品質要求事項の分類、重要性を明確にした輸送方法、輸送容器の設計・製作・取扱い・保守方法、工程表、検査基準等から成る業務の計画を定める。
- (2) 部長は、業務の計画を定めるに当たって、次の事項を考慮する。
 - ① 輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に関し、要求される品質を満足するために必要な管理手段、工程、運搬機器、検査装置、備品、資源及び力量を明確にし、確保すること。
 - ② 輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に関し、検査手順及び適用文書の相互の整合を図ること。
 - ③ 品質管理、検査の技法は、新しい測定方法の開発も含めて、必要に応じて更新すること。
 - ④ 現在の技術水準を超えた能力の測定を必要とする場合、その測定に関する要求事項及び開発計画を明確にすること。
 - ⑤ 実現化の適当な段階における検証及び妥当性確認の方法を明確にすること。
 - ⑥ 外観検査等における主観的な要素を含めて、全ての特徴及び要求事項に対する合否判定基準を明確にすること。
 - ⑦ 記録を明確にし、作成すること。
- (3) 所長、部長及び課長は、官庁検査、許認可申請、ヒアリング・打合せ時に監督官庁とのコミュニケーションを図る。また、安全協定に基づく地元自治体とのコミュニケーションを図る。

D.2 設計・開発

部長は、輸送容器の設計・開発の管理の手順を定める。

D.2.1 設計・開発の計画

課長は、設計・開発業務の実施に当たり、次に掲げる事項を含む設計・開発の計画を策定し、設計・開発を行う者（従業員等及び受注者）に対して明確に

示す。

- ① 適用される法令、規格・基準等、設計・開発条件等の設計・開発の要求事項及びその審査、承認等の責任者並びに必要な設計解析、設計・開発の検証等を設計・開発文書として明確化すること。
- ② 輸送容器の機能上重要な構成品及びそれらに適用される工法の選定、妥当性等に関する評価の手順を定め、評価を行うこと。
- ③ 法令で定める許可、認可申請等を要する事項及びその他輸送容器の安全性を確保する上で重要な事項については、必要に応じ、大洗研究所が定める委員会等において、評価の方法、安全性等について審査を受けること。
- ④ 設計・開発の要求事項からの変更（逸脱を含む）が生じた場合、適切な処置方法を選定し、文書化し、承認するための手順を定めること。
- ⑤ 設計・開発業務に従事する者は、適切な経験や知識を有する者を割り当てるとともに、必要な情報と手段が入手できるようにすること。
- ⑥ 設計・開発文書は、原設計者以外の者が評価できるようにすること。

D.2.2 設計・開発の取合い

課長は、組織間又は大洗研究所外の組織（あるいは外部の機関）との間の設計・開発の取合い及び連絡について、次に掲げる事項を明確にし、部長の承認を得るとともに、適切に管理する。

- (1) 組織間又は大洗研究所外の組織（あるいは外部の機関）との間の取合い
 - ① 設計・開発を実施する組織間又は大洗研究所外の組織（あるいは外部の機関）との間の設計・開発の取合いに関する責任の明確化
 - ② 設計・開発の取合いに関する設計・開発文書の作成、審査、承認、発行、配付及び改定の方法並びに責任組織の明確化
- (2) 組織間又は大洗研究所外の組織（あるいは外部の機関）との間の連絡
 - ① 設計・開発情報の連絡について、情報の位置付け、検討、承認等の方法の明確化
 - ② 設計・開発を行う組織と、調達、製作、使用、保守それぞれの段階に関係する組織（あるいは外部の機関）との間の設計・開発の取合いの明確化

D.2.3 設計・開発へのインプット

- (1) 課長は、適用される法令、規格、基準等による要求事項、許認可申請書等の基本的設計・開発条件及び許認可での審議事項の反映、品質マネジメント計画上の要求事項等、設計・開発を進める上での要求事項を明確にする。
また、課長は、設計・開発を行う者(従業員等及び受注者)に対して、これらの設計・開発の要求事項を明確に示し、設計・開発に反映させる。
- (2) 課長は、設計・開発の要求事項が適切であることを確認する。適用すべき規格等、確立されたものがない場合には、課長が立案し、部長の承認を得る。
- (3) 課長は、設計・開発の要求事項の明確化に際し、不適切なデータの使用を防止するため、審査及び承認の方法を文書で明らかにし、実行する。

D.2.4 設計・開発からのアウトプット

課長は、設計・開発のアウトプットについて次に掲げる事項を必要条件とし、それを図面、仕様書、報告書、チェックシート等で明確にする。

- ① 適用される法令等を含む設計・開発の要求事項に適合していること。
- ② 合格基準が明確であり、かつ、それに基づいて判断されていること。
- ③ 輸送容器の安全性、信頼性及び適切に機能するために重要な設計・開発上の特性を明確にしておくこと。

D.2.5 設計・開発の審査

- (1) 部長は、設計・開発の適切な段階において、設計・開発の要求事項が確実に反映されていることを使用施設等安全審査委員会で確認を受ける。
- (2) 設計・開発の審査は、関係する部署の代表者だけでなく、他部署の専門家等、審査能力を有する者により行い、審査結果を記録する。

D.2.6 設計・開発の検証及び妥当性確認

課長は、設計・開発の適切な段階において、設計・開発の要求事項が満たされていることを確認するため、次に掲げる事項を考慮して管理の方法を文書

に定め、これに従って、部長又は課長は、設計・開発の検証及び妥当性確認を行うとともに、それを記録する。

(1) 設計・開発の検証の方法

- ① 設計・開発審査、代替計算、実証試験、過去の類似設計との比較等一つ以上の設計・開発の検証を適宜、実施すること。
- ② 設計・開発の検証は原設計者以外の者が実施すること。

(2) 代替計算

原設計と同様に設計・開発の要求事項及び計算コードの適切さ等を確認すること。

(3) 実証試験

検証試験、性能の試験等は、輸送容器の構造材料及び構造体系、環境条件等を考慮して実施すること。

(4) 過去の類似設計・開発との比較

比較対象物の設計・開発の要求事項、構造体系や計算コード等の適切さを確認し、比較の妥当性を証明すること。

D.2.7 設計・開発の管理

課長は、設計・開発の変更を行う場合、変更理由、変更箇所、変更内容、変更による影響の有無、変更経緯等を文書化するとともに、次に掲げる事項を考慮する。

(1) 設計・開発の変更の実施

- ① 設計・開発の変更は、原設計に適用された方法と同じ設計・開発の管理の方法で実施する。
- ② 設計・開発の変更による影響とその妥当性を評価する。

(2) 設計・開発の変更の伝達

設計・開発の変更に係る情報は、「D.2.2 設計・開発の取合い」の定めるところに従い、関係する組織へ文書により伝達する。

E. 輸送容器の製造発注

E.1 調達管理

E.1.1 調達プロセス

- (1) 所長は、適切な製品及び役務（以下「製品等」という。）を調達するため、大洗研究所における調達管理の手順を定める。
なお、市場で規格化されている汎用品及び消耗品（以下「汎用品」という。）のうち、事務用品、事務用パソコン等の原子力の安全に影響を及ぼさないものの調達については適用除外とする。
- (2) 供給者及び調達製品に対する管理の方式と程度は、調達製品が輸送容器並びに輸送の安全性及び機能に及ぼす影響に応じて定める。
- (3) 所長は、供給者が課長の要求事項に従って調達する製品等の供給能力を有することを判断する根拠として、供給者を評価及び再評価する基準を定める。課長は、これに基づき供給者を評価する。
- (4) 課長は、評価の結果の記録及び必要な処置があれば、それを記録として維持する。

E.1.2 調達要求事項

- (1) 課長は、調達する製品等に関する要求事項を引合仕様書で明確にし、必要な場合には、次の事項のうち該当するものを含める。
 - ① 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する要求事項
 - ② 要員の適格性確認に関する要求事項
 - ③ 品質マネジメント計画に関する要求事項（輸送容器の製作に係る品質マネジメント指針について（平成20・06・10原院第1号 平成20年6月20日） III 容器製造者による品質マネジメントの内容）
- (2) 課長は、引合仕様書を発行する前に、調達要求事項が妥当であることを確認する。

E.1.3 調達製品の検証

課長は、調達する製品等が、規定した調達要求事項を満たしていることを

確実にするために、必要な検査又はその他の活動の方法を引合仕様書に定め、
検証を実施する。

なお、調達先で検証を実施する場合には、その検証の要領及びリリース（出
荷許可）の方法を引合仕様書で明確にする。

E.2 製作管理

E.2.1 一般

課長は、輸送容器の製作に当たり、安全性及び信頼性を確保するため、要
求事項を明確にし、適切に管理する。

- (1) 適用される法令、規格、基準等の要求事項を明確にする。
- (2) 製作の管理に係る職務分担を決め、担当者を指名するなど製作管理組織
を明確にする。
- (3) 受注者に製作管理要領書を提出させ、必要に応じて部長の承認を得た上
管理する。また、必要に応じて関係者、関係部署に周知し、製作に係る適
合品質の確認に努める。
- (4) 受注者からの製作管理要領書について次に掲げる事項を明確にする。
 - ① 法令等の要求事項の明確化
 - ② 管理に必要な規程類、要領書、指示書等の承認、審査、作業指示等責
任者の明確化
 - ③ 要求される品質に直接影響を及ぼす工程及びその工程での管理項目
並びに作業員の技量、資格等の明確化

E.2.2 工程管理

課長は、輸送容器の製作に関する基本工程を作成し、受注者に対してその
工程を明確に示すとともに、実施工程を提出させる。受注者から提出された
製作・検査に係る工程を確認し、実施状況を把握するとともに、必要に応じ
て基本工程の見直し又は契約変更を検討する。

E.2.3 特殊工程の認定

課長は、事後の輸送容器の検査では所定の品質が十分検証できないような工程を特殊工程と認定し、受注者に特殊工程に係る作業員の能力、作業方法等を含む要領書を提出させ確認することにより、適切に管理する。

E.2.4 新工法の管理

課長は、輸送容器の製作を新工法により実施する場合は、あらかじめその工法の妥当性を適切な方法により確認する。

E.2.5 製作検証

課長は、輸送容器が法令、規格・基準、設計文書等の要求事項に適合していることを確認するために、次の事項を実施する。

- (1) 受注者に対し必要に応じて監査を実施する。また、受注者による下請負契約者への監査状況を把握し、必要に応じて受注者及び下請負契約者の合意を得て、下請負契約者に対して直接監査を行う。
- (2) 輸送容器、構成品の検査に当たって、安全上の重要性などを考慮し、立会確認及び記録確認を行う。

なお、輸送容器、構成品の検査に係る事項については「G.6.2.3 検査及び試験」による。

E.3 識別及びトレーサビリティ

E.3.1 輸送容器及び運搬機器の識別及びトレーサビリティ

課長は、適正な輸送容器及び運搬機器を使用するため、また、輸送容器及び運搬機器が不適合であった場合には、必要に応じてその履歴を追跡可能とするため、輸送における識別に関して、次に掲げる事項を含む管理を行う。

なお、課長は、受注者がこれらの管理を行う場合は、受注者に管理の要領を提出させ、必要に応じ部長の承認を得た上で管理を行う。

- (1) 輸送容器及び運搬機器に固有の識別をし、記録と照合できること。
- (2) 識別は、適切な番号又は記号を可能な限り輸送容器、運搬機器上に表示すること。

- (3) 識別表示に当たっては、以下の事項を満足させること。
 - ① 明確で他と区別しやすいこと。
 - ② 消えにくいこと。
 - ③ 品質に影響を及ぼさないこと。
- (4) 輸送容器、運搬機器を輸送許認可、輸送物の作製、輸送物の荷役、輸送前の検査及び輸送の各プロセスにおいて一時的に保管する場合は、次に掲げる事項に留意すること。
 - ① 輸送容器、運搬機器の識別の維持
 - ② 関係者以外の立入制限

E.3.2 輸送容器の設計、製作、取扱い、保管に係る計算コード、構成品の識別及びトレーサビリティ

課長は、適正な計算コード、構成品を使用するため、また、計算コード又は構成品が不適合であった場合には、必要に応じてその履歴を追跡可能とするため、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守の各段階における識別に関して、次に掲げる事項を含む管理を行う。

なお、課長は、受注者がこれらの管理を行う場合は、受注者に管理の要領を提出させ、必要に応じ部長の承認を得た上で管理を行う。

- (1) 計算コード、個々の構成品又はロットに固有の識別をし、記録と照合できること
- (2) 識別は、適切な番号又は記号を可能な限り構成品上に表示すること
- (3) 識別表示に当たっては、以下の事項を満足させること
 - ① 明確で他と区別しやすいこと。
 - ② 消えにくいこと。
 - ③ 品質に影響を及ぼさないこと。
- (4) 構成品を輸送容器の製作、取扱い及び保守の間保管する場合は、識別の維持に留意すること。
- (5) 構成品上の識別が困難な場合、又はそれのみでは誤用のおそれがある場合は、受払いや置き場所を区分する等により確実に識別できるようにす

ること。

E.4 調達製品の保存

課長は、調達製品の検収後、受入から据付け、使用までの間、製品を適合した状態のまま保存する。この保存には、必要に応じて識別、取扱い、包装、保管及び保護を含める。保存は、取替品、予備品にも適用する。

E.5 監視機器及び測定機器の管理

- (1) 部長は、試験及び検査に使用する監視機器及び測定機器の精度を確保するため管理の手順を定める。
- (2) 課長は、前項の管理手順に基づき点検・校正、保守を行う。また、測定値の正当性を保証しなければならない測定機器は、次の事項を満たすようにする。
 - ① 定められた間隔又は使用前に、国際又は国家計量標準にトレース可能な計量標準に照らして校正又は検証する。そのような標準が存在しない場合には、校正又は検証に用いた基準を記録する。
 - ② 機器の調整をする、又は必要に応じて再調整する。
 - ③ 校正の状態が明確にできる識別をする。
 - ④ 測定した結果が無効になるような操作ができないようにする。
 - ⑤ 取扱い、保守及び保管において、損傷及び劣化しないように保護する。
- (3) 測定機器が要求事項に適合していないことが判明した場合は、それまでに測定した結果の妥当性を評価し、記録する。また、測定機器及び影響を受けた業務に対して、適切な処置を行う。
- (4) 測定機器の校正及び検証の結果（トレーサビリティの証明書を含む。）については、記録の管理の手順に従い、記録として維持する。

F. 取扱い及び保守

F.1 取扱管理

部長は、取扱時の輸送容器の誤操作及び損傷を防止するために、次に掲げる事項を含む取扱管理の方法を文書に定め、適切に管理する。

また、課長は、取扱いを行う者（従業員等又は受注者）に対して、取扱いを行う上での要求事項を明確に示し、輸送容器の誤操作及び損傷防止に反映させる。

- (1) 取扱装置の点検並びに取扱時の誤操作及び損傷防止対策
- (2) 輸送容器の取扱条件
- (3) 保管施設からの輸送容器の搬出入条件及び方法
- (4) 設備管理責任者

F.2 保守及び保管管理

(1) 部長は、輸送容器の要求事項への適合性を維持するために、保守管理の方法を文書に定め、適切に管理する。

(2) 部長は、輸送容器の要求事項への適合性を維持するために、次に掲げる事項を含む保管管理の方法を文書に定め、適切に管理する。

- ① 保管中の損傷防止対策
- ② 環境条件等を考慮した保管方法及び保管区域の設定
- ③ 保管中の点検
- ④ 設備管理責任者

G. 測定、分析及び改善

G.1 一般

所長、部長及び課長は、次の事項のために必要となる監視、測定及び改善のプロセスを計画し、実施する。

- (1) 業務に対する要求事項の適合性を実証する。
- (2) 品質マネジメント計画の適合性を確実にする。
- (3) 品質マネジメント計画の有効性を継続的に改善する。

これには、統計的手法を含め、適用可能な方法及びその使用の程度を考慮する。

G.2 監視及び測定

G.2.1 内部監査

- (1) 所長は、品質マネジメント活動の次の事項が満たされているか否かを確認するため、当該年度における輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に関して内部監査を実施する。
 - ① 品質マネジメント計画が、「D.1 業務の計画」に適合しているか、本基本方針の要求事項に適合しているか。
 - ② 品質マネジメント計画が効果的に運用・維持されているか。
- (2) 所長は、監査の対象となるプロセス、重要性及びこれまでの監査結果を考慮して次の事項を規定した内部プログラムを策定する。
 - ① 監査の基準、範囲及び方法
 - ② 監査員の選定及び監査の実施においては客観性及び公平性を確保する。また、監査員は自らの業務は監査しない。
- (3) 所長は、監査の計画及び実施、結果の報告、記録の維持に関する責任並びに要求事項を規定した手順を作成する。
- (4) 所長は、発見された不適合及びその原因を除去するために、監査を受けた部長に文書をもって是正を指示し、とられた処置の検証及び検証結果の報告を求める。フォローアップには、とられた処置の検証及び検証結果の報告を含める。

G.2.2 プロセスの監視及び測定

- (1) 所長、部長及び課長は、品質マネジメント計画のプロセスを適切な方法で監視し、適宜、測定する。
- (2) 計画どおりの結果が達成できない場合には、その影響の程度に応じて適宜、修正及び是正処置をとる。

G.2.3 検査及び試験

所長は、原子炉等規制法に基づき事業者が行う事業者検査を行う場合の検査体制（独立検査組織）を整備し、事業者検査責任者を指名する。また、所長又は自主検査及び試験を行う部長は、輸送容器の製作、保守及び調達製品の要求事項が満たされていることを検証するための検査及び試験の管理要領を定め、次の事項を管理する。

- (1) 事業者検査責任者、部長及び課長は、輸送容器の製作、保守及び調達製品の要求事項が満たされていることを検証するために、個別業務の計画(D.1 参照)に従って、適切な段階で事業者検査、自主検査等を実施する。
- (2) 検査及び試験の合否判定基準への適合の証拠となる事業者検査、自主検査等の結果に係る記録を作成し、管理する（A.3 参照）。
- (3) 記録には、リリース（次工程への引渡し）を正式に許可した人を明記する。
- (4) 個別業務の計画で決めた検査及び試験が支障なく完了するまでは、当該輸送容器を使用しない。ただし、当該の権限を持つ者が、個別業務の計画に定める手順により承認する場合は、この限りではない。
- (5) 事業者検査責任者は、保安活動の重要度に応じて、事業者検査の中立性及び信頼性が損なわれないよう検査する要員の独立性を確保する。また、部長及び課長は、自主検査等の検査及び試験要員の独立性について、これを準用する。

G.3 不適合管理

- (1) 所長は、次の事項を含む不適合管理の手順を定める。
 - ① 輸送容器及び輸送の安全性及び信頼性を確保するための要求事項に適合しない状況が放置されることを防ぐために、それらを識別すること。
 - ② 不適合の処理に関する管理及びそれに関する責任と権限
- (2) 部長及び課長は、次のいずれかの方法で不適合を処置する。
 - ① 発見された不適合を除去するための処置をとる。
 - ② 不適合事項又は不適合物品を本来の意図された使用又は適用ができないような処置（識別表示、隔離、廃棄）をとる。
- (3) 部長は、不適合の性質の記録及び処置の記録を維持する。
- (4) 部長は、不適合に修正を施した場合の要求事項への適合性実証のための再検証・再検査を行う。
- (5) 部長及び課長は、製品等あるいは業務のプロセスで外部への引渡し後又は業務の実施後に不適合が検出された場合、その不適合による影響又は起こり得る影響に対して、適切な処置を講ずる。

G.4 是正処置等

- (1) 所長は、次に掲げる事項について、是正処置の管理の手順を定める。
 - ① 不適合等のレビュー及び分析
 - ② 不適合等の原因（関連する要因を含む。）の特定
 - ③ 類似の不適合等の有無又は当該不適合等が発生する可能性の明確化
 - ④ 必要な処置の決定及び実施
 - ⑤ 処置の結果の記録
 - ⑥ 是正処置の有効性のレビュー
- (2) 部長及び課長は、不適合が発見された場合、速やかに不適合の原因を究明し、再発を防止するための是正処置を行う。
- (3) 部長及び課長は、是正処置を行う場合は是正処置の管理の手順に従って、適切に行う。その際、発見された不適合のもつ影響に見合った是正処置とする。
- (4) 是正処置の状況は、マネジメントレビューのインプット情報とする。

- (5) 所長は、他部署の参考になると思われる不適合については、品質担当副所長に当該の不適合に関する情報（是正処置情報を含む。）を整理させ、核不拡散・核セキュリティ総合支援センター長及び安全・核セキュリティ統括部長へ提出する。

G.5 未然防止処置

- (1) 所長は、次に掲げる事項について、未然防止処置の管理の手順を定める。
- ① 起こり得る不適合及びその原因の特定
 - ② 不適合の発生を未然に防止するための処置の必要性の評価
 - ③ 必要な処置の決定及び実施
 - ④ 処置の結果の記録
 - ⑤ 未然防止処置の有効性のレビュー
- (2) 部長及び課長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送の実施によって得られた知見及び他から得られた知見（トラブル事例）の活用を含め、起こり得る不適合が発生することを未然に防止する。
- (3) 部長及び課長は、未然防止処置の管理の手順に従って、適切な未然防止処置を行う。
- (4) 未然防止処置の結果は、マネジメントレビューのインプット情報とする。

なお、「品質マネジメントシステム」を見直した場合は、見直し後の内容に従う。