

核燃料輸送物設計承認申請書の一部補正について

21京大施環化第89号
令和3年11月15日

原子力規制委員会 殿

住 所 京都府京都市左京区吉田本町36番地1
氏 名 国立大学法人京都大学

学 長 湊 長 博

令和3年5月31日付け21京大施環化第41号をもって申請しました核燃料輸送物設計承認申請書について、下記のとおり一部補正します。

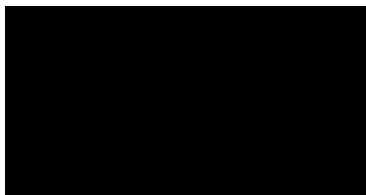
記

1. 核燃料輸送物の名称

■■■■■■ 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



(2) 輸送容器の重量

(3) 核燃料輸送物の総重量

(4) 輸送容器の概略を示す図

第1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3年5月31日付け21京大施環化第41号（令和3年11月15日付け21京大施環化第89号をもって一部補正）に係る別紙の（イ）－第C.1図から（イ）－第D.6図までに示されている。

(5) 輸送容器の主要材料

イ 本体	ステンレス鋼	■■■■■■
		■■■■■■
ロ 外容器蓋	ステンレス鋼	■■■■■■
		■■■■■■
ハ 内容器蓋	ステンレス鋼、	■■■■■■
ニ 燃料バスケット	ステンレス鋼、	■■■■■■

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、形状、重量及び放射能の量

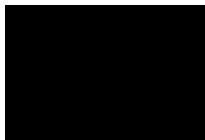
第1表のとおり

5. 輸送制限個数

(1) 輸送制限個数

(2) 輸送制限配列

(3) 臨界安全指数



6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

−40℃から38℃まで

7. 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のため■■■■■■所定の間隔、位置

が保たれるようになっている。また、
構造となっている。

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

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、内容器本体と内容器蓋で構成され、内容器本体と内容器蓋の接触部は、
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

該当なし

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3年5月31日付け21京大施環化第41号（令和3年11月15日付け21京大施環化第89号をもって一部補正）に係る別紙のとおり。

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

輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書（令和3年5月31日付け21京大施環化第41号（令和3年11月15日付け21京大施環化第89号をもって一部補正）に係る別紙のとおり。

13. その他特記事項

(1) 使用予定年数

第1表 収納する核燃料物質等の仕様 (1/3) (研究用原子炉未照射新燃料)

原子炉	
燃料要素	
全装荷数 (体/容器)	
種類	
燃料芯材	
性状	
重量	²³⁵ U 重量 (g 以下 / 容器)
	U 重量 (g 以下 / 容器)
	²³⁵ U 重量 (g 以下 / 体)
	U 重量 (g 以下 / 体)
濃縮度 (wt%以下)	
放射能の量	総量 (GBq 以下 / 容器)
	主要な核種 (GBq 以下 / 容器)
燃焼度 (%以下)	
発熱量 (W 以下 / 容器)	
冷却日数 (日)	

- 一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉毎に、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。
- 重量及び発熱量は、収納する燃料要素等毎の重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。
- 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 以下

第1表 収納する核燃料物質等の仕様 (2/3) ([REDACTED])

原子炉	
燃料要素	
全装荷数 (体/容器)	
種類	
燃料芯材	
性状	
重量	²³⁵ U 重量 (g 以下/容器)
	U 重量 (g 以下/容器)
	²³⁵ U 重量 (g 以下/体)
	U 重量 (g 以下/体)
濃縮度 (wt%以下)	
放射能の量	総量 (GBq 以下/容器)
	主要な核種 (GBq 以下/容器)
燃焼度 (%以下)	
発熱量 (W 以下/容器)	
冷却日数 (日)	

- 一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉毎に、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。
- 重量及び発熱量は、収納する燃料要素等毎の重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。
- 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 以下

第1表 収納する核燃料物質等の仕様 (3/3) [REDACTED]

項目		仕様	
種類		[REDACTED]	
性状			
型式			
寸法 (mm)			
[REDACTED]重量 (g 以下)			
輸送物1基あたりの仕様	[REDACTED]収納数 (枚以下)		
	²³⁵ U重量 (kg 以下)		
	ウラン濃縮度 (wt%以下)		
	放射能の量 (Bq 以下)		
	主要核種の放射能の量 (Bq 以下)		²³⁵ U
	発熱量 (W 以下)		
燃焼度 (%)			
冷却日数 (日以上) ※1			

※1 : 2021年4月時点

・ 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 以下

別 紙

本 [REDACTED] 型核燃料輸送物の「別紙記載事項」を以下に示す。

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

目 次

頁

イ章 核燃料輸送物の説明

- (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

- (ロ)-A. 構造解析…………… (ロ)－A－1
 - A.1 構造設計…………… (ロ)－A－1
 - A.1.1 概 要…………… (ロ)－A－1
 - A.1.2 設計基準…………… (ロ)－A－2
 - A.2 重量及び重心…………… (ロ)－A－33
 - A.3 材料の機械的性質…………… (ロ)－A－33
 - A.4 輸送物の要件…………… (ロ)－A－50
 - A.4.1 化学的及び電気的反応…………… (ロ)－A－50
 - A.4.2 低温強度…………… (ロ)－A－51
 - A.4.3 密封装置…………… (ロ)－A－52
 - A.4.4 吊上装置…………… (ロ)－A－53
 - A.4.5 固縛装置…………… (ロ)－A－58
 - A.4.6 圧 力…………… (ロ)－A－66
 - A.4.7 振 動…………… (ロ)－A－68
 - A.5 一般の試験条件…………… (ロ)－A－71
 - A.5.1 熱 的 試 験…………… (ロ)－A－71
 - A.5.1.1 温度及び圧力の要約…………… (ロ)－A－71
 - A.5.1.2 熱 膨 張…………… (ロ)－A－73
 - A.5.1.3 応 力 計 算…………… (ロ)－A－74

(㉓)-C. 密封解析	(㉓)-C-1
C.1 概要	(㉓)-C-1
C.2 密封装置	(㉓)-C-1
C.2.1 密封装置	(㉓)-C-1
C.2.2 密封装置の貫通部	(㉓)-C-4
C.2.3 密封装置ガスケット及び溶接部	(㉓)-C-4
C.2.4 蓋	(㉓)-C-5
C.3 一般の試験条件	(㉓)-C-6
C.3.1 放射性物質の漏えい	(㉓)-C-6
C.3.2 密封装置の加圧	(㉓)-C-16
C.3.3 冷却材汚染	(㉓)-C-16
C.3.4 冷却材損失	(㉓)-C-16
C.4 特別の試験条件	(㉓)-C-17
C.4.1 核分裂生成ガス	(㉓)-C-17
C.4.2 放射性物質の漏えい	(㉓)-C-17
C.5 結果の要約及びその評価	(㉓)-C-22
C.6 付属書類	(㉓)-C-23
(㉓)-D. 遮蔽解析	(㉓)-D-1
D.1 概要	(㉓)-D-1
D.2 線源仕様	(㉓)-D-2
D.2.1 ガンマ線源	(㉓)-D-2
D.2.2 中性子源	(㉓)-D-9
D.3 モデル仕様	(㉓)-D-11
D.3.1 解析モデル	(㉓)-D-11
D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度	(㉓)-D-17
D.4 遮蔽評価	(㉓)-D-19
D.5 結果の要約及びその評価	(㉓)-D-24
D.6 付属書類	(㉓)-D-26

ハ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

(ハ)-A. 輸送物の取扱い方法	(ハ) - A - 1
A.1 装荷方法	(ハ) - A - 1
A.2 輸送物の発送前検査	(ハ) - A - 2
A.3 取出し方法	(ハ) - A - 2
A.4 空容器の準備	(ハ) - A - 2
(ハ)-B. 保守条件	(ハ) - B - 1
B.1 外観検査	(ハ) - B - 1
B.2 耐圧検査	(ハ) - B - 1
B.3 気密漏えい検査	(ハ) - B - 1
B.4 遮蔽検査	(ハ) - B - 1
B.5 未臨界検査	(ハ) - B - 1
B.6 熱検査	(ハ) - B - 2
B.7 吊上検査	(ハ) - B - 2
B.8 作動確認検査	(ハ) - B - 2
B.9 補助系の保守	(ハ) - B - 2
B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ハ) - B - 2
B.11 輸送容器の保管	(ハ) - B - 2
B.12 記録の保管	(ハ) - B - 2
B.13 その他	(ハ) - B - 2

二章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項	(ニ) - 1
-----------------------	---------

図リスト

イ章

(イ)－第 A. 1 図	輸送容器の概念図	(イ)－A－6
(イ)－第 C. 1 図	輸送物概念図	(イ)－C－2
(イ)－第 C. 2 図	輸送物固縛状態図	(イ)－C－3
(イ)－第 C. 3 図	輸送物輸送状態図	(イ)－C－4
(イ)－第 C. 4 図	輸送容器密封境界	(イ)－C－5
(イ)－第 C. 5 図	輸送容器全体図	(イ)－C－9
(イ)－第 C. 6 図	本 体	(イ)－C－10
(イ)－第 C. 7 図	内 容 器 蓋	(イ)－C－11
(イ)－第 C. 8 図	燃料バスケット (燃料バスケット 1)	(イ)－C－12
(イ)－第 C. 9 図	燃料バスケット (燃料バスケット 2)	(イ)－C－13
(イ)－第 C. 10 図	外 容 器 蓋	(イ)－C－14
(イ)－第 D. 1 図	金属スペーサ断面形状	(イ)－D－2
(イ)－第 D. 2 図	KUR 標準及び半装燃料要素	(イ)－D－8
(イ)－第 D. 3 図	KUR 特殊燃料要素	(イ)－D－9
(イ)－第 D. 4 図		(イ)－D－10
(イ)－第 D. 5 図		(イ)－D－11
(イ)－第 D. 6 図		(イ)－D－12

ロ章A

(ロ)－第 A. 1 図	重 心 の 位 置	(ロ)－A－33
(ロ)－第 A. 2 図		の温度に対する機械的性質の変化 (1/5)
		(ロ)－A－36
(ロ)－第 A. 2 図		の温度に対する機械的性質の変化 (2/5)
		(ロ)－A－37
(ロ)－第 A. 2 図		の温度に対する機械的性質の変化 (3/5)

	(㉓) - A - 38
(㉓) - 第 A. 2 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (4/5) (㉓) - A - 39
(㉓) - 第 A. 2 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (5/5) (㉓) - A - 40
(㉓) - 第 A. 3 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (1/4)	(㉓) - A - 41
(㉓) - 第 A. 3 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (2/4)	(㉓) - A - 42
(㉓) - 第 A. 3 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (3/4)	(㉓) - A - 43
(㉓) - 第 A. 3 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (4/4)	(㉓) - A - 44
(㉓) - 第 A. 4 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (1/1) (㉓) - A - 45
(㉓) - 第 A. 5 図	■■■■■ の温度に対する機械的性質の変化 (1/1) (㉓) - A - 46
(㉓) - 第 A. 6 図	設計疲れ線図 (■■■■■ ■■■■■)	(㉓) - A - 47
(㉓) - 第 A. 7 図	設計疲れ線図 (■■■■■)	(㉓) - A - 48
(㉓) - 第 A. 8 図	緩衝材の応力-歪線図	(㉓) - A - 49
(㉓) - 第 A. 9 図	アイプレート解析モデル	(㉓) - A - 53
(㉓) - 第 A. 10 図	アイプレート溶接部解析モデル	(㉓) - A - 56
(㉓) - 第 A. 11 図	輸送時加速度	(㉓) - A - 58
(㉓) - 第 A. 12 図	アイプレート解析モデル	(㉓) - A - 60
(㉓) - 第 A. 13 図	アイプレート溶接部解析モデル	(㉓) - A - 63
(㉓) - 第 A. 14 図	輸送容器振動解析モデル	(㉓) - A - 68
(㉓) - 第 A. 15 図	熱膨張解析モデル	(㉓) - A - 73
(㉓) - 第 A. 16 図	一般の試験条件下における応力評価位置	(㉓) - A - 75
(㉓) - 第 A. 17 図	内容器胴中央部応力解析モデル	(㉓) - A - 76

(㉓)－第 A. 18 図	内容器底板応力解析モデル……………	(㉓)－A－77
(㉓)－第 A. 19 図	内容器蓋中央部応力解析モデル……………	(㉓)－A－78
(㉓)－第 A. 20 図	内容器蓋Oリング部変位の解析モデル……………	(㉓)－A－79
(㉓)－第 A. 21 図	内容器蓋締付ボルト応力解析モデル(初期締付応力)	(㉓)－A－80
(㉓)－第 A. 22 図	内容器蓋締付ボルト応力解析モデル (内圧力による応力) ……………	(㉓)－A－81
(㉓)－第 A. 23 図	内容器蓋締付ボルト応力解析モデル (熱膨張による応力) ……………	(㉓)－A－82
(㉓)－第 A. 24 図	水平落下時鋼板による加速度評価箇所……………	(㉓)－A－89
(㉓)－第 A. 25 図	水平落下時外筒鋼板による加速度解析モデル…	(㉓)－A－90
(㉓)－第 A. 26 図	外容器蓋フランジ断面形状……………	(㉓)－A－92
(㉓)－第 A. 27 図	水平落下時外容器鏡板による加速度解析モデル…	(㉓)－A－95
(㉓)－第 A. 28 図	仕切板断面形状……………	(㉓)－A－97
(㉓)－第 A. 29 図	アイプレート変形解析モデル……………	(㉓)－A－99
(㉓)－第 A. 30 図	アイプレート取付板解析モデル……………	(㉓)－A－100
(㉓)－第 A. 31 図	外容器本体フランジ解析モデル……………	(㉓)－A－101
(㉓)－第 A. 32 図	アイプレート取付脚解析モデル……………	(㉓)－A－103
(㉓)－第 A. 33 図	垂直落下時鋼板による加速度解析モデル……………	(㉓)－A－105
(㉓)－第 A. 34 図	コーナー落下時鋼板による加速度解析モデル…	(㉓)－A－107
(㉓)－第 A. 35 図	1.2m水平落下時応力評価位置 (容器本体) ……	(㉓)－A－111
(㉓)－第 A. 36 図	1.2m水平落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル ……………	(㉓)－A－112
(㉓)－第 A. 37 図	1.2m水平落下時内容器胴部応力解析モデル…	(㉓)－A－113
(㉓)－第 A. 38 図	1.2m水平落下時内容器底板応力解析モデル…	(㉓)－A－114
(㉓)－第 A. 39 図	1.2m水平落下時内容器上端部応力解析モデル…	(㉓)－A－115
(㉓)－第 A. 40 図	1.2m水平落下時内容器蓋締付ボルト応力解析モデル ……………	(㉓)－A－117
(㉓)－第 A. 41 図	■■■■■バスケット断面係数解析モデル……………	(㉓)－A－118
(㉓)－第 A. 42 図	1.2m水平落下時燃料要素評価ケース……………	(㉓)－A－122
(㉓)－第 A. 43 図	■■■■■要素板面方向 1.2m水平落下時解析モデル	

	(v) - A - 123
(v) - 第 A. 44 図	██████████ 平行方向 1.2m 水平落下時解析モデル	(v) - A - 125
(v) - 第 A. 45 図	押え具応力解析モデル図	(v) - A - 130
(v) - 第 A. 46 図	██████████ 1.2m 水平落下応力解析モデル図	(v) - A - 132
(v) - 第 A. 47 図	██████████ 1.2m 水平落下時モデル	(v) - A - 133
(v) - 第 A. 48 図	██████████ 1.2m 水平落下 : ██████████ に落下するケース	(v) - A - 134
(v) - 第 A. 49 図	██████████ 2m 水平落下 : ██████████ 水平落下 するケース	(v) - A - 135
(v) - 第 A. 50 図	██████████ 1.2m 水平落下応力解析モデル図	(v) - A - 136
(v) - 第 A. 51 図	1.2m 下部垂直落下時応力評価位置 (容器本体) ..	(v) - A - 142
(v) - 第 A. 52 図	1.2m 下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器的 干渉解析モデル	(v) - A - 143
(v) - 第 A. 53 図	1.2m 下部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル ·	(v) - A - 144
(v) - 第 A. 54 図	1.2m 下部垂直落下時内容器底板応力解析モデル ·	(v) - A - 145
(v) - 第 A. 55 図	1.2m 下部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル ···	(v) - A - 147
(v) - 第 A. 56 図	1.2m 下部垂直落下時 ██████████ 要素応力解析モデル	(v) - A - 149
(v) - 第 A. 57 図	██████████ 1.2m 垂直落下 ██████████	(v) - A - 151
(v) - 第 A. 58 図	██████████ 1.2m 垂直落下 : ██████████	(v) - A - 152
(v) - 第 A. 59 図	██████████ 1.2m 水力落下応力解析モデル図	(v) - A - 153
(v) - 第 A. 60 図	1.2m 上部垂直落下時応力評価位置 (容器本体) ..	(v) - A - 158
(v) - 第 A. 61 図	1.2m 上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う	(v) - A - 159
	内容器への干渉解析モデル	
(v) - 第 A. 62 図	1.2m 上部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル ·	(v) - A - 160
(v) - 第 A. 63 図	1.2m 上部垂直落下時内容器底板応力解析モデル ·	(v) - A - 161

(□)－第 A. 64 図	1.2m 上部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル	·· (□)－A－163
(□)－第 A. 65 図	1.2m 上部垂直落下時素応力解析モデル	······ (□)－A－169
(□)－第 A. 66 図	燃料要素 1.2m 上部垂直落下応力解析モデル	図·· (□)－A－171
(□)－第 A. 67 図	1.2m コーナー落下時緩衝材変形に伴う	······ (□)－A－178
	内容器への干渉解析モデル	
(□)－第 A. 68 図	上部コーナー落下時内容器蓋締付ボルト	······ (□)－A－180
	応力解析モデル	
(□)－第 A. 69 図	1.2m 下部傾斜落下時緩衝材変形に伴う	······ (□)－A－184
	内容器への干渉解析モデル	
(□)－第 A. 70 図	1.2m 下部傾斜落下時落下角度と	······ (□)－A－185
	加速度の関係	
(□)－第 A. 71 図	1.2m 上部傾斜落下時緩衝材変形に伴う	······ (□)－A－186
	内容器への干渉解析モデル	
(□)－第 A. 72 図	1.2m 上部傾斜落下時落下角度と	······ (□)－A－187
	加速度の関係	
(□)－第 A. 73 図	圧縮時の応力評価位置	······ (□)－A－189
(□)－第 A. 74 図	圧縮時内容器蓋部解析モデル	······ (□)－A－189
(□)－第 A. 75 図	圧縮時内容器胴部解析モデル	······ (□)－A－191
(□)－第 A. 76 図	貫通モデル	······ (□)－A－195
(□)－第 A. 77 図	せん断モデル	······ (□)－A－196
(□)－第 A. 78 図	9m 下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う	······ (□)－A－203
	内容器への干渉解析モデル	
(□)－第 A. 79 図	9m 上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う	······ (□)－A－208
	内容器への干渉解析モデル	
(□)－第 A. 80 図	9m 水平落下時緩衝材の変形に伴う	······ (□)－A－212
	内容器への干渉解析モデル	
(□)－第 A. 81 図	9m コーナー落下時緩衝材の変形に伴う	······ (□)－A－216
	内容器への干渉解析モデル	

表リスト

イ章

(イ)－第 A. 1 表	輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様 …… (イ)－A－3 (1/3) (研究用原子炉未照射新燃料)	
(イ)－第 A. 1 表	輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様 …… (イ)－A－4 (2/3) ()	
(イ)－第 A. 1 表	輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様 …… (イ)－A－5 (3/3) ()	
(イ)－第 C. 1 表	輸送容器の構成材料 …… (イ)－C－16	
(イ)－第 C. 2 表	輸送容器各部の寸法 …… (イ)－C－17	
(イ)－第 C. 3 表	輸送容器の重量 …… (イ)－C－18	
(イ)－第 D. 1 表	収納物の燃料要素仕様 (研究用原子炉未照射新燃料) …… (イ)－D－3	
(イ)－第 D. 2 表	収納物の燃料要素仕様 () …… (イ)－D－5	
(イ)－第 D. 3 表	収納物の燃料要素仕様 () …… (イ)－D－7	

ロ章A

(ロ)－第 A. 1 表	構造解析に用いる応力評価基準 …… (ロ)－A－4	
(ロ)－第 A. 2 表	設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分(1/2) …… (ロ)－A－5	
(ロ)－第 A. 2 表	設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分(2/2) …… (ロ)－A－6	
(ロ)－第 A. 3 表	負 荷 条 件 (1/2) …… (ロ)－A－7	
(ロ)－第 A. 3 表	負 荷 条 件 (2/2) …… (ロ)－A－8	
(ロ)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …… (ロ)－A－9 (1/24)	
(ロ)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …… (ロ)－A－10 (2/24)	

(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉓)－A－11 (3/24)
(㉔)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉔)－A－12 (4/24)
(㉕)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉕)－A－13 (5/24)
(㉖)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉖)－A－14 (6/24)
(㉗)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉗)－A－15 (7/24)
(㉘)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ----- (㉘)－A－16 (8/24)
(㉙)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉙)－A－17 (9/24)
(㉚)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉚)－A－18 (10/24)
(㉛)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉛)－A－19 (11/24)
(㉜)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉜)－A－20 (12/24)
(㉝)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉝)－A－21 (13/24)
(㉞)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉞)－A－22 (14/24)
(㉟)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㉟)－A－23 (15/24)
(㊱)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㊱)－A－24 (16/24)
(㊲)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 …………… (㊲)－A－25

	(17/24)	
(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ……	(㉓)－A－26
	(18/24)	
(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ……	(㉓)－A－27
	(19/24)	
(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ……	(㉓)－A－28
	(20/24)	
(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ……	(㉓)－A－29
	(21/24)	
(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ……	(㉓)－A－30
	(22/24)	
(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ……	(㉓)－A－31
	(23/24)	
(㉓)－第 A. 4 表	輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 ……	(㉓)－A－32
	(24/24)	
(㉓)－第 A. 5 表	材料の機械的性質 ……	(㉓)－A－34
(㉓)－第 A. 6 表	設計基準値となる材料の機械的性質 ……	(㉓)－A－35
(㉓)－第 A. 7 表	接触する異種材料の一覧 ……	(㉓)－A－50
(㉓)－第 A. 8 表	輸送物各部の最低温度 ……	(㉓)－A－51
(㉓)－第 A. 9 表	通常の輸送条件下における解析結果の要約 ……	(㉓)－A－65
(㉓)－第 A. 10 表	圧力変動時における応力評価結果 (1/1) ……	(㉓)－A－67
(㉓)－第 A. 11 表	一般の試験条件下における設計温度 ……	(㉓)－A－71
(㉓)－第 A. 12 表	一般の試験条件下における設計圧力 ……	(㉓)－A－72
(㉓)－第 A. 13 表	一般の試験条件 (熱的試験) 下における ……	(㉓)－A－84
	応力評価結果 (1/1)	
(㉓)－第 A. 14 表	一般の試験条件下での緩衝材についての ……	(㉓)－A－88
	変形量及び加速度	
(㉓)－第 A. 15 表	一般の試験条件下における設計加速度 ……	(㉓)－A－110
(㉓)－第 A. 16 表	1.2m水平落下時における応力評価結果 ……	(㉓)－A－139

	(1/3)	
(㊦)－第 A. 16 表	1. 2m 水平落下時における応力評価結果 -----	(㊦)－A－140
	(2/3)	
(㊦)－第 A. 16 表	1. 2m 水平落下時における応力評価結果 -----	(㊦)－A－141
	(3/3)	
(㊦)－第 A. 17 表	1. 2m 下部垂直落下時における応力評価結果 ……	(㊦)－A－155
	(1/3)	
(㊦)－第 A. 17 表	1. 2m 下部垂直落下時における応力評価結果 ……	(㊦)－A－156
	(2/3)	
(㊦)－第 A. 17 表	1. 2m 下部垂直落下時における応力評価結果 ……	(㊦)－A－157
	(3/3)	
(㊦)－第 A. 18 表	1. 2m 上部垂直落下時における応力評価結果 ……	(㊦)－A－175
	(1/3)	
(㊦)－第 A. 18 表	1. 2m 上部垂直落下時における応力評価結果 ……	(㊦)－A－176
	(2/3)	
(㊦)－第 A. 18 表	1. 2m 上部垂直落下時における応力評価結果 ……	(㊦)－A－177
	(3/3)	
(㊦)－第 A. 19 表	コーナー落下時の設計加速度 ……………	(㊦)－A－179
(㊦)－第 A. 20 表	1. 2m 上部コーナー落下時における応力評価結果	(㊦)－A－183
	(1/1)	
(㊦)－第 A. 21 表	落下角度と加速度の関係 ……………	(㊦)－A－185
(㊦)－第 A. 22 表	落下角度と加速度の関係 ……………	(㊦)－A－187
(㊦)－第 A. 23 表	積み重ねにおける応力評価結果 ……………	(㊦)－A－194
(㊦)－第 A. 24 表	特別の試験条件下での緩衝材についての ……	(㊦)－A－201
	変形量及び加速度	
(㊦)－第 A. 25 表	特別の試験条件下における設計加速度 ……	(㊦)－A－202
(㊦)－第 A. 26 表	9m 下部垂直落下時における応力評価結果 ……	(㊦)－A－205
	(1/3)	

(㉓)－第 A. 26 表	9m 下部垂直落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－206 (2/3)	206
(㉓)－第 A. 26 表	9m 下部垂直落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－207 (3/3)	207
(㉓)－第 A. 27 表	9m 上部垂直落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－209 (1/3)	209
(㉓)－第 A. 27 表	9m 上部垂直落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－210 (2/3)	210
(㉓)－第 A. 27 表	9m 上部垂直落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－211 (3/3)	211
(㉓)－第 A. 28 表	9m 水平落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－213 (1/3)	213
(㉓)－第 A. 28 表	9m 水平落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－214 (2/3)	214
(㉓)－第 A. 28 表	9m 水平落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－215 (3/3)	215
(㉓)－第 A. 29 表	コーナー落下時の設計加速度 …… (㉓)－A－217	217
(㉓)－第 A. 30 表	9m 上部コーナー落下時における応力評価結果 …… (㉓)－A－218 (1/1)	218
(㉓)－第 A. 31 表	落下角度と加速度の関係 …… (㉓)－A－220	220
(㉓)－第 A. 32 表	落下角度と加速度の関係 …… (㉓)－A－222	222
(㉓)－第 A. 33 表	落下試験 I における変形量と加速度 …… (㉓)－A－223	223
(㉓)－第 A. 34 表	落下試験 II における貫通の評価結果 …… (㉓)－A－231	231
(㉓)－第 A. 35 表	特別の試験条件下における設計温度 …… (㉓)－A－232	232
(㉓)－第 A. 36 表	特別の試験条件下における設計圧力 …… (㉓)－A－232	232
(㉓)－第 A. 37 表	特別の試験条件（熱的試験）下における応力 …… (㉓)－A－234	234
	解析及び評価結果 (1/1)	
(㉓)－第 A. 38 表	15m 浸漬試験時における応力評価結果 …… (㉓)－A－243	243

(㉓)－第 A. 39 表	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の …… (㉓)－A－247 輸送物の損傷状態
(㉓)－第 A. 40 表	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件に …… (㉓)－A－248 おける適合性評価
(㉓)－第 A. 41 表	特別の試験条件（重ね合せ評価）での …… (㉓)－A－252 変形量及び設計加速度
(㉓)－第 A. 42 表	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の …… (㉓)－A－253 輸送物の損傷状態
(㉓)－第 A. 43 表	C A S H－Ⅱ解析値と実験値の比較 …… (㉓)－A－260
(㉓)－第 A. 44 表	解析結果と試験結果の比較 …… (㉓)－A－262
(㉓)－第 A. 45 表	内容器蓋内側 O リング部変位量解析結果 …… (㉓)－A－267

ロ章 B

(㉓)－第 B. 1 表	熱解析条件 …… (㉓)－B－5
(㉓)－第 B. 2 表	熱解析の方法 …… (㉓)－B－6
(㉓)－第 B. 3 表	ステンレス鋼の熱的性質 …… (㉓)－B－7
(㉓)－第 B. 4 表	空気の熱的性質 …… (㉓)－B－8
(㉓)－第 B. 5 表	緩衝材()の熱的性質 …… (㉓)－B－9
(㉓)－第 B. 6 表	断熱材()の …… (㉓)－B－10 熱的性質
(㉓)－第 B. 7 表	() O リングの仕様 …… (㉓)－B－11
(㉓)－第 B. 8 表	熔融栓の仕様 …… (㉓)－B－11
(㉓)－第 B. 9 表	一般の試験条件下の熱的条件 …… (㉓)－B－13
(㉓)－第 B. 10 表	一般の試験条件下における各部の最高温度 …… (㉓)－B－14
(㉓)－第 B. 11 表	特別の試験条件下の熱的条件 …… (㉓)－B－19
(㉓)－第 B. 12 表	特別の試験条件下における各部の最高温度 …… (㉓)－B－21
(㉓)－第 B. 13 表	特別の試験条件下における容器内の最高圧力 …… (㉓)－B－24
(㉓)－第 B. 14 表	対流熱伝達率（輸送物表面 \leftrightarrow 周囲環境） …… (㉓)－B－36
(㉓)－第 B. 15 表	放射率及び放射形態係数 …… (㉓)－B－36

(㉓)－第 B. 16 表	容器内圧力計算結果 ……………	(㉓)－B－39
(㉓)－第 B. 17 表	各試験条件時での設計圧力 ……………	(㉓)－B－40
(㉓)－第 B. 18 表	原型容器試験結果と解析結果の比較 ……………	(㉓)－B－41

ロ章 C

(㉓)－第 C. 1 表	密封装置の設計圧力及び設計温度 ……………	(㉓)－C－2
(㉓)－第 C. 2 表	ガスケットの寸法及び材質 ……………	(㉓)－C－4
(㉓)－第 C. 3 表	内容器蓋締付けボルト ……………	(㉓)－C－5
(㉓)－第 C. 4 表	最大許容空気漏えい率 ……………	(㉓)－C－6
(㉓)－第 C. 5 表	漏えい試験時の最大漏えい孔径 ……………	(㉓)－C－9
(㉓)－第 C. 6 表	一般の試験条件下の最大ガス漏えい率 ……………	(㉓)－C－10
(㉓)－第 C. 7 表	計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比 ……………	(㉓)－C－12
(㉓)－第 C. 8 表	燃料要素 1 体当たりの表面放射能 ……………	(㉓)－C－12
(㉓)－第 C. 9 表	一般の試験条件における放射性物質の漏えい率 ……………	(㉓)－C－13
(㉓)－第 C. 10 表	低照射された燃料要素 1 体当たり表面放射能 ……………	(㉓)－C－14
(㉓)－第 C. 11 表	一般の試験条件における放射能の漏えい率 ……………	(㉓)－C－15
(㉓)－第 C. 12 表	特別の試験条件下の最大ガス漏えい率 ……………	(㉓)－C－18
(㉓)－第 C. 13 表	特別の試験条件における放射性物質の漏えい率 ……………	(㉓)－C－20
(㉓)－第 C. 14 表	特別の試験条件における放射性物質の漏えい率 ……………	(㉓)－C－21

ロ章 D

(㉓)－第 D. 1 表	ウラン同位体のガンマ線放出割合 ……………	(㉓)－D－3
(㉓)－第 D. 2 表	燃料要素 1 体当たりのウラン同位体 によるガンマ線強度	(㉓)－D－3
(㉓)－第 D. 3 表	計算に用いた比放射能 ……………	(㉓)－D－4
(㉓)－第 D. 4 表	計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比 ……………	(㉓)－D－4
(㉓)－第 D. 5 表	計算に用いた燃料要素 1 体当たりの ウラン同位体の重量	(㉓)－D－4
(㉓)－第 D. 6 表	ウラン同位体のガンマ線放出割合 ……………	(㉓)－D－6

(㉓)－第 D. 7 表	評価用燃料要素 1 体当たりのウラン同位体 …… (㉓)－D－6 によるガンマ線源強度
(㉓)－第 D. 8 表	計算に用いた比放射能 …… (㉓)－D－7
(㉓)－第 D. 9 表	計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比 …… (㉓)－D－7
(㉓)－第 D. 10 表	計算に用いた評価用燃料要素 1 体当たりの …… (㉓)－D－7 ウラン同位体の重量
(㉓)－第 D. 11 表	ORIGEN による核分裂生成物の放射能等 …… (㉓)－D－8
(㉓)－第 D. 12 表	ウラン同位体の自発核分裂放出率 …… (㉓)－D－9
(㉓)－第 D. 13 表	ウラン同位体元素の自発核分裂放出率 …… (㉓)－D－10
(㉓)－第 D. 14 表	使用材料及び密度 …… (㉓)－D－17
(㉓)－第 D. 15 表	遮蔽計算で用いた各領域の …… (㉓)－D－17 遮蔽材の体積比
(㉓)－第 D. 16 表	各材料の原子個数密度 …… (㉓)－D－18
(㉓)－第 D. 17 表	ガンマ線エネルギー群構造と線量当量率換算係数 (㉓)－D－20
(㉓)－第 D. 18 表	ガンマ線による線量当量率(新燃料要素装荷時) ・ (㉓)－D－21
(㉓)－第 D. 19 表	ガンマ線による線量当量率 …… (㉓)－D－21 (低照射された燃料要素装荷時)
(㉓)－第 D. 20 表	中性子による線量当量率 (新燃料要素装荷時) ・ (㉓)－D－22
(㉓)－第 D. 21 表	中性子による線量当量率 …… (㉓)－D－23 (低照射された燃料要素装荷時)
(㉓)－第 D. 22 表	輸送物の線量当量率 (新燃料要素装荷時) …… (㉓)－D－24
(㉓)－第 D. 23 表	輸送物の線量当量率 …… (㉓)－D－25 (低照射された燃料要素装荷時)

ロ章 E

(㉓)－第 E. 1 表	燃料要素の主要仕様 …… (㉓)－E－3
(㉓)－第 E. 2 表	の主要仕様 (1/2) …… (㉓)－E－4
(㉓)－第 E. 2 表	の主要仕様 (2/2) …… (㉓)－E－5
(㉓)－第 E. 3 表	内容器表面から容器表面までの距離 …… (㉓)－E－6

(㉓)－第 E. 4 表	規則で定められる要件と解析条件の対応 ……	(㉓)－E－14
(㉓)－第 E. 5 表	臨界解析に用いた輸送容器各領域の原子個数 ……	(㉓)－E－14
	密度組成 (atoms/barn-cm)	
(㉓)－第 E. 6 表	臨界解析に用いた燃料要素の原子個数 ……	(㉓)－E－15
	密度組成 (atoms/barn-cm)	
(㉓)－第 E. 7 表	解析対象燃料要素 ……	(㉓)－E－16
(㉓)－第 E. 8 表	冠水時臨界計算結果 ……	(㉓)－E－20
(㉓)－第 E. 9 表	ベンチマーク臨界実験解析結果 ……	(㉓)－E－23
(㉓)－第 E. 10 表	水密度の変化に伴う実効増倍率の変化 ……	(㉓)－E－33

ロ章 F

(㉓)－第 F. 1 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(1/3) ……	(㉓)－F－3
(㉓)－第 F. 1 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(2/3) ……	(㉓)－F－5
(㉓)－第 F. 1 表	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(3/3) ……	(㉓)－F－6

ロ章 G

(㉓)－第 G. 1 表	規則及び告示に定める ……	(㉓)－G－2
	技術基準への適合性の評価	

ハ章

(㉓)－第 A. 1 表	輸送物発送前検査要領 ……	(㉓)－A－3
--------------	---------------	---------

イ章 核燃料輸送物の説明

イ章 A 目的及び条件

(イ)章 核燃料輸送物の説明

(イ)－A. 目的及び条件

本輸送容器は、国立大学法人京都大学の複合原子力科学研究所に設置されている京都大学研究用原子炉（KUR）の新燃料要素 [redacted] を内外の加工事業者の工場からそれぞれKUR [redacted] 輸送することを目的とするものである。また、複合原子力科学研究所核燃料物質使用施設から [redacted] を輸送するために使用する。

本輸送容器の概念図を (イ)－第A.1図に示す。

- (1) 輸送容器の型名 [redacted]
- (2) 輸送物の種類
 - (a) BU型核分裂性輸送物
- (3) 輸送制限個数 [redacted]
- (4) 輸送制限配列 [redacted]
- (5) 輸送指数 [redacted]
- (6) 臨界安全指数 [redacted]
- (7) 輸送物の重量 [redacted]
- (8) 輸送容器の外形寸法
 - (a) 外 径 [redacted]
 - (b) 高 さ [redacted]
- (9) 輸送容器の重量 [redacted] バスケット収納時 [redacted]
- (10) 輸送容器の主要材質
 - (a) 本 体 ステンレス鋼、 [redacted]
 - [redacted]
 - (b) 外容器蓋 ステンレス鋼、 [redacted]
 - [redacted]
 - (c) 内容器蓋 ステンレス鋼、 [redacted]
 - (d) 燃料バスケット ステンレス鋼、 [redacted]
- (11) 輸送容器に収納する核燃料物質

輸送容器に収納する燃料には、研究用原子炉の燃料要素として低濃縮ウラン燃料（以下「LEU燃料」という）がある。これらの燃料については、使用目的から標準燃料要素、特殊燃料要素及び半装燃料要素に区別される。また、

輸送容器に収納する核燃料物質の種別及び数量は、次の何れかとする。

- (a) 研究用原子炉未照射新燃料 ……………
- 新燃料は、公称濃縮度が等しいもののみが収納される。

- (b)
- (c)

(12) 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様

核燃料物質の仕様を(イ)－第A.1表に示す。

(13) 輸送形態

- (a) 輸送方式

海上輸送は貨物船により、陸上輸送は貨物自動車によりいずれも専用積載で行われる。

- (b) 積載方式

輸送容器は専用の固縛用具により緊縛固定される。

(14) 使用予定年数

- (a) 使用予定年数
- (b) 年間の運搬に使用される回数：3回以下
- (c) 1回の運搬に要する日数：

(イ) ー第 A.1 表 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様 (1/3) (研究用原子炉未照射新燃料)

原子炉	
燃料要素	
全装荷数 (体/容器)	
種類	
燃料芯材	
性状	
重量	²³⁵ U 重量 (g 以下 / 容器)
	U 重量 (g 以下 / 容器)
	²³⁵ U 重量 (g 以下 / 体)
	U 重量 (g 以下 / 体)
濃縮度 (wt%以下)	
放射能の量	総量 (GBq 以下 / 容器)
	主要な核種 (GBq 以下 / 容器)
燃焼度 (%以下)	
発熱量 (W 以下 / 容器)	
冷却日数 (日)	

- 一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉毎に、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。
- 重量及び発熱量は、収納する燃料要素等毎の重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。
- 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 以下

(イ) - 第 A.1 表 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様 (2/3)

原子炉	
燃料要素	
全装荷数 (体/容器)	
種類	
燃料芯材	
性状	
重量	²³⁵ U 重量 (g 以下/容器)
	U 重量 (g 以下/容器)
	²³⁵ U 重量 (g 以下/体)
	U 重量 (g 以下/体)
濃縮度 (wt%以下)	
放射能の量	総量 (GBq 以下/容器)
	主要な核種 (GBq 以下/容器)
燃焼度 (%以下)	
発熱量 (W 以下/容器)	
冷却日数 (日)	

- 一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉毎に、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。
- 重量及び発熱量は、収納する燃料要素等毎の重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。
- 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 以下

(イ) - 第 A.1 表 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様 (3/3)

項目	仕様
[Redacted content]	

※1 : 2021年4月時点

- ・ 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 以下

(イ) - 第A.1図 輸送容器の概念図

(イ) - A - 6

イ章 B 輸送物の種類

(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■■■■のウラン燃料であり、放射エネルギーがA₂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、ウラン 235 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。

従って、本輸送物は「BU型核分裂性輸送物」に該当する。

イ章 C 輸送容器

(イ)－C．輸送容器

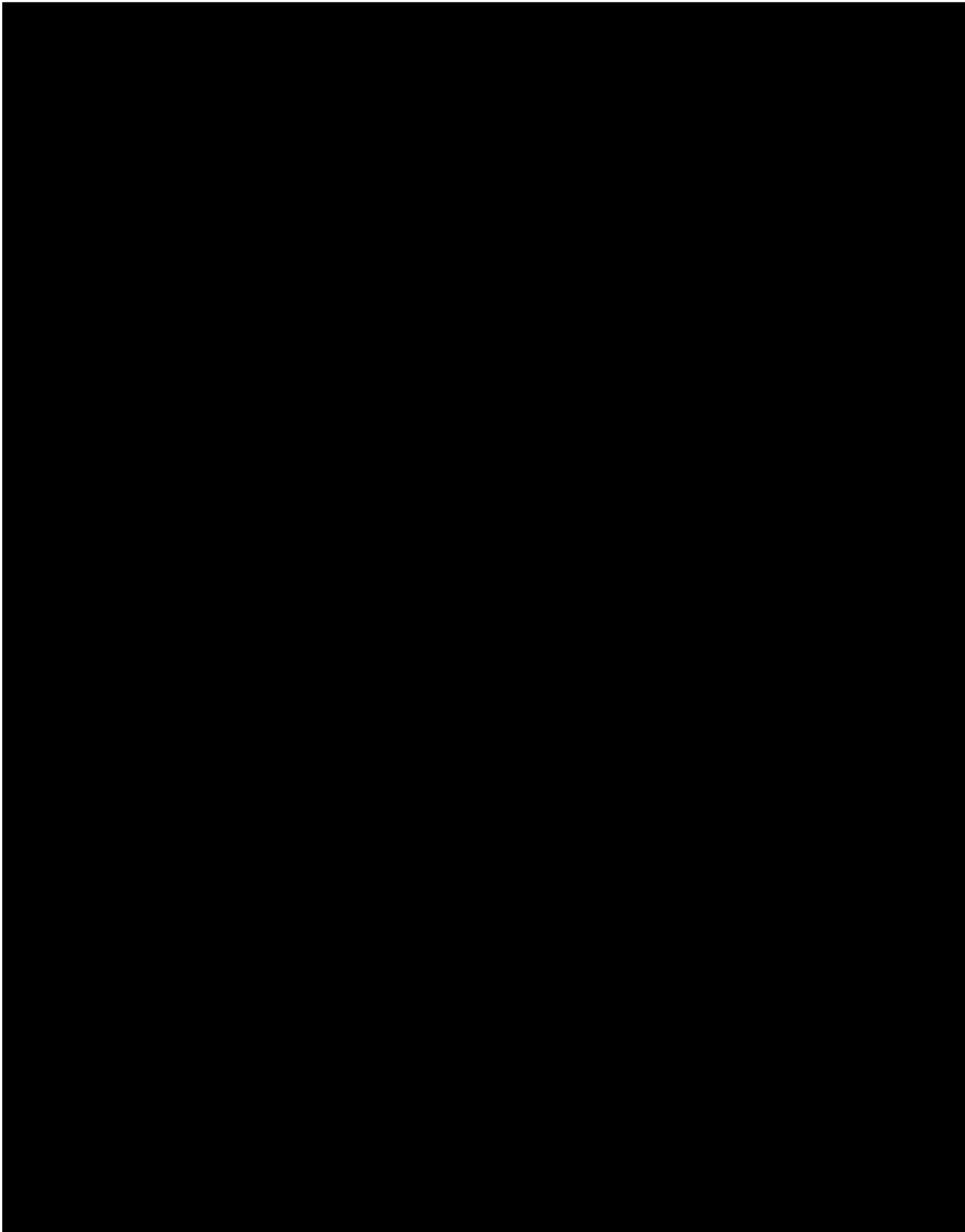
1. 輸送容器の概要

本輸送容器は、円筒形状であり、輸送時及び取扱い時ともに縦置き状態で保持される。

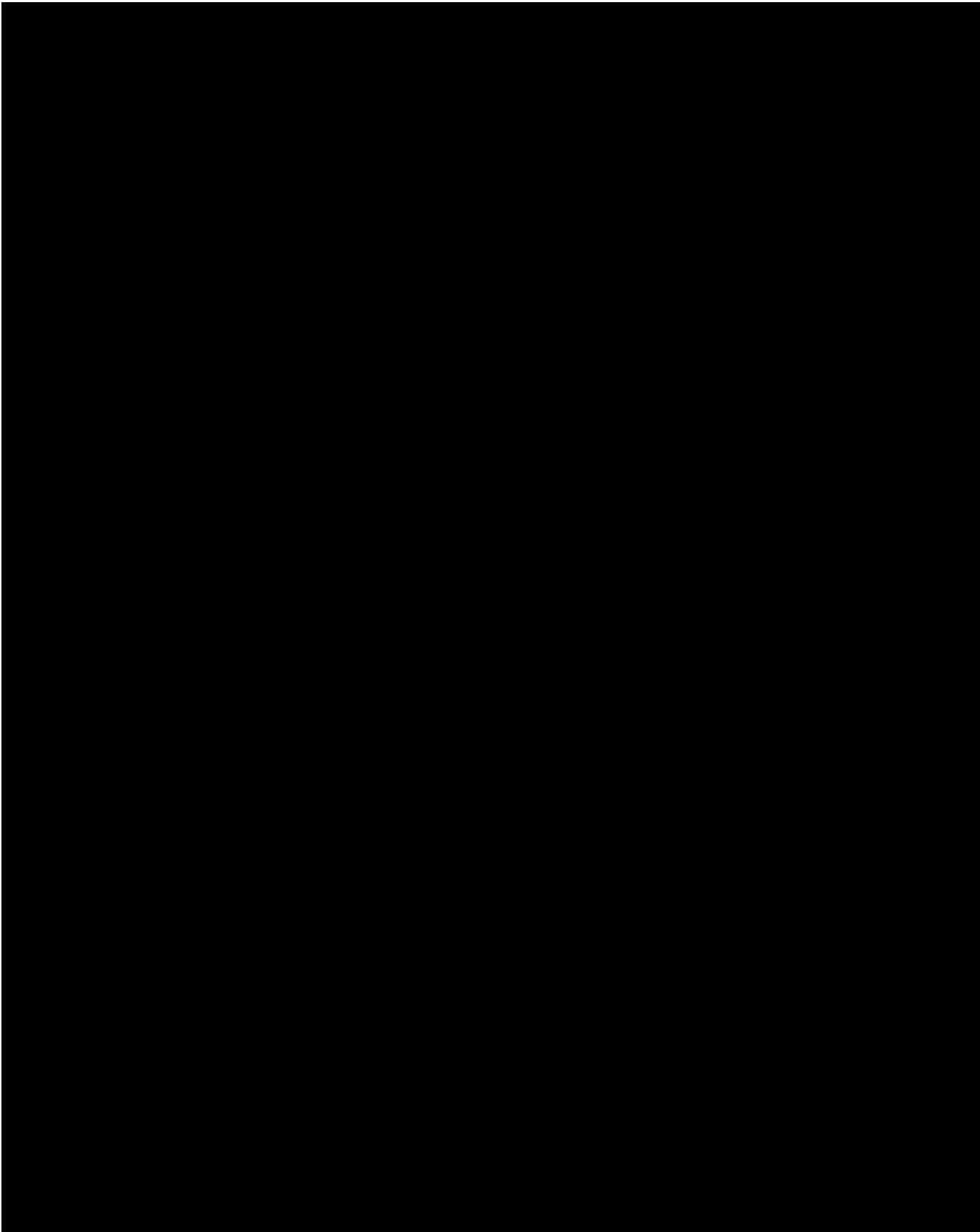
本輸送物の概念図を(イ)－第C.1図に、輸送物固縛状態図を(イ)－第C.2図に、輸送物輸送状態図を(イ)－第C.3図に示す。

本輸送容器の概要を以下に示す。

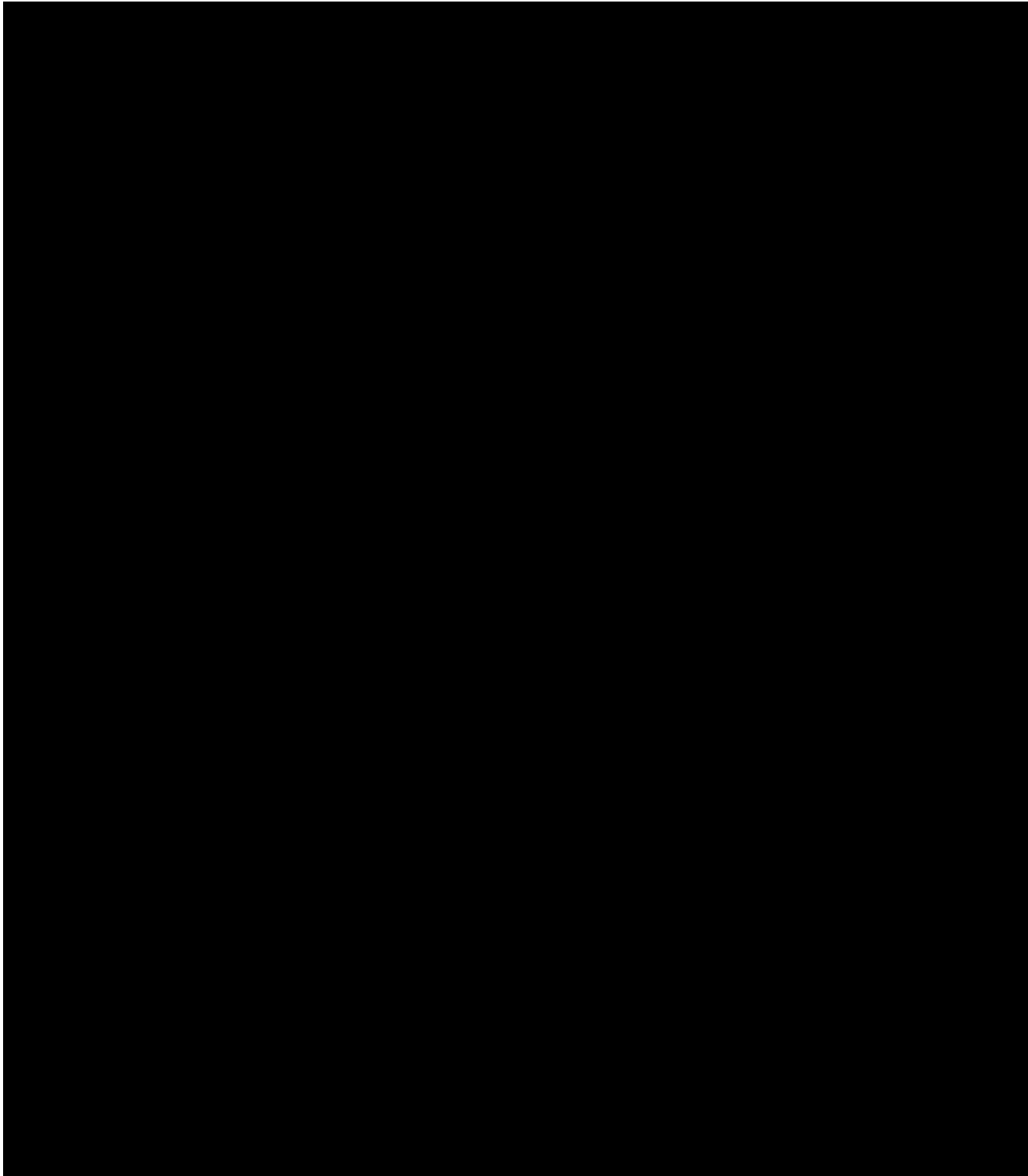
- (1) 本輸送容器の燃料バスケットは、燃料要素の断面形状に合わせ角型としている
(これを燃料バスケット1とする)。燃料バスケット2は、燃料バスケット1の上部に[REDACTED]取り付けられている。特に断りがない場合は、これらを合わせて燃料バスケットと呼ぶ。
- (2) 内容器は、設計圧力 [REDACTED] の耐圧容器として設計されている。
- (3) 本輸送容器の取扱いは、本体に取付けられたアイプレートを介しクレーンにて行われる。
- (4) 落下等による衝撃を緩和するため、輸送容器の上部及び下部に衝撃吸収用の緩衝材を充填している。
- (5) 火災事故等による入熱を防ぐため、輸送容器の胴、上部及び下部に断熱材を充填している。
- (6) 本輸送容器の密封境界を(イ)－第C.4図に示す。



(イ) - 第 C.1 図 輸送物概念図



(1) - 第 C.2 図 輸送物固縛状態 図



(1) - 第 C.3 図 輸送物輸送状態図

(1) - 第C.4図 輸送容器密封境界

2. 輸送容器の構造 ((イ)－第C.5 図参照)

本輸送容器は、容器本体を構成する本体と内容器蓋、内容物である燃料バスケット及び外容器蓋の4つの主要部から構成されている。

本輸送容器の構造を上記4つの主要部に分け以下に述べる。

2.1 本 体 ((イ)－第C.6 図参照)

本体は、外容器本体及び内容器本体からなり高さ ■■■■、外径 ■■■■ の円筒形状であり、外容器本体は胴に ■■■■ の鋼板、底部に ■■■■ の鋼板等を使用し、内容器本体は胴に ■■■■ の鋼板、底部に ■■■■ の鋼板等を使用しそれぞれ溶接されている。

外容器本体と内容器本体との中空部には、胴部及び下部に断熱材を上部及び下部に緩衝材を充填し、それぞれ火災時の入熱、落下時の衝撃から容器を保護する構造である。

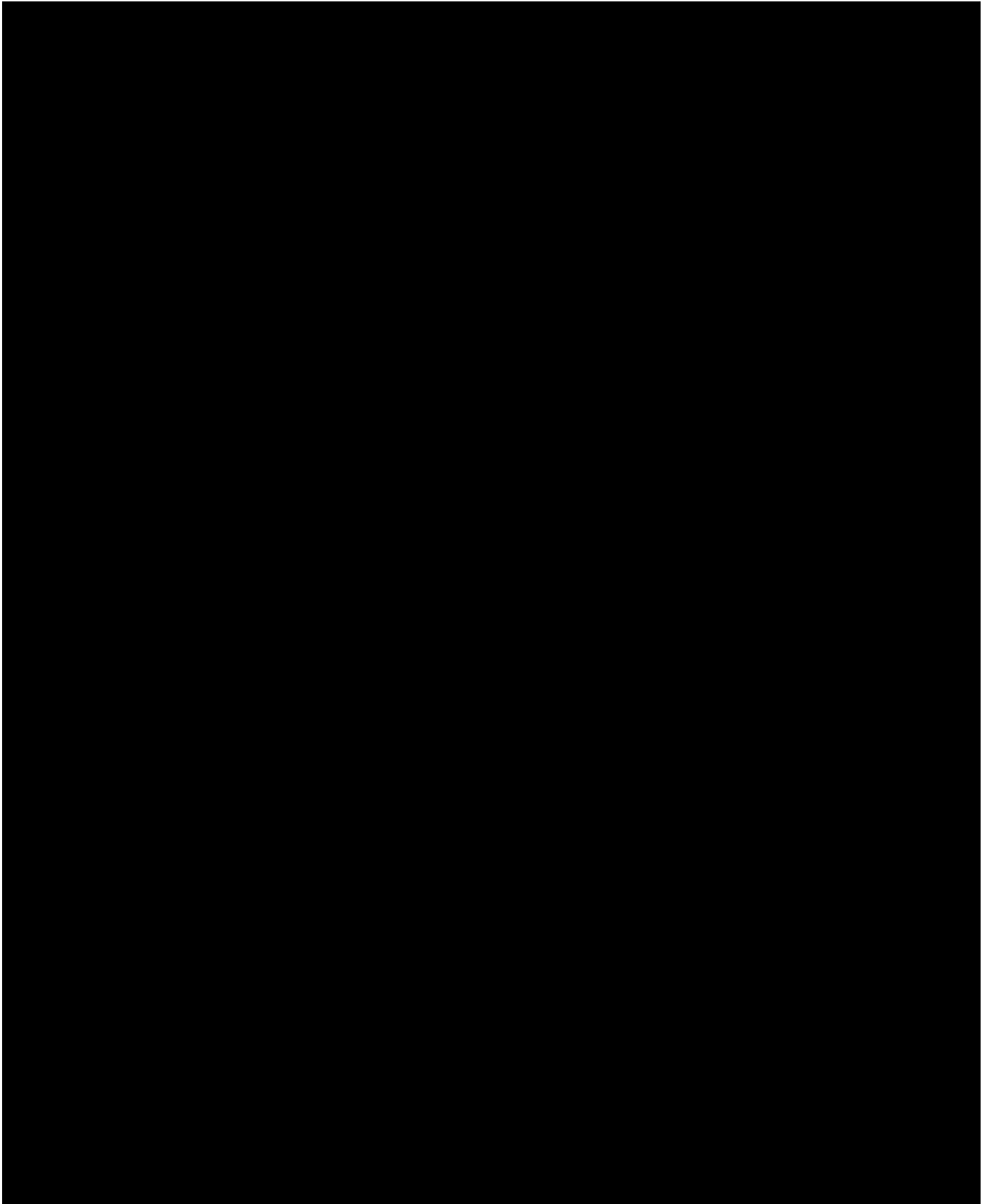
本体上部には、輸送容器を吊上げるためのアイプレートを溶接により ■■■■ 取付けている。

外容器本体には■■■■の溶融栓を設けている。これは、火災時の熱により断熱材及び緩衝材から発生する蒸気やガスで、外容器本体の内圧が上昇するのを避けるためである。

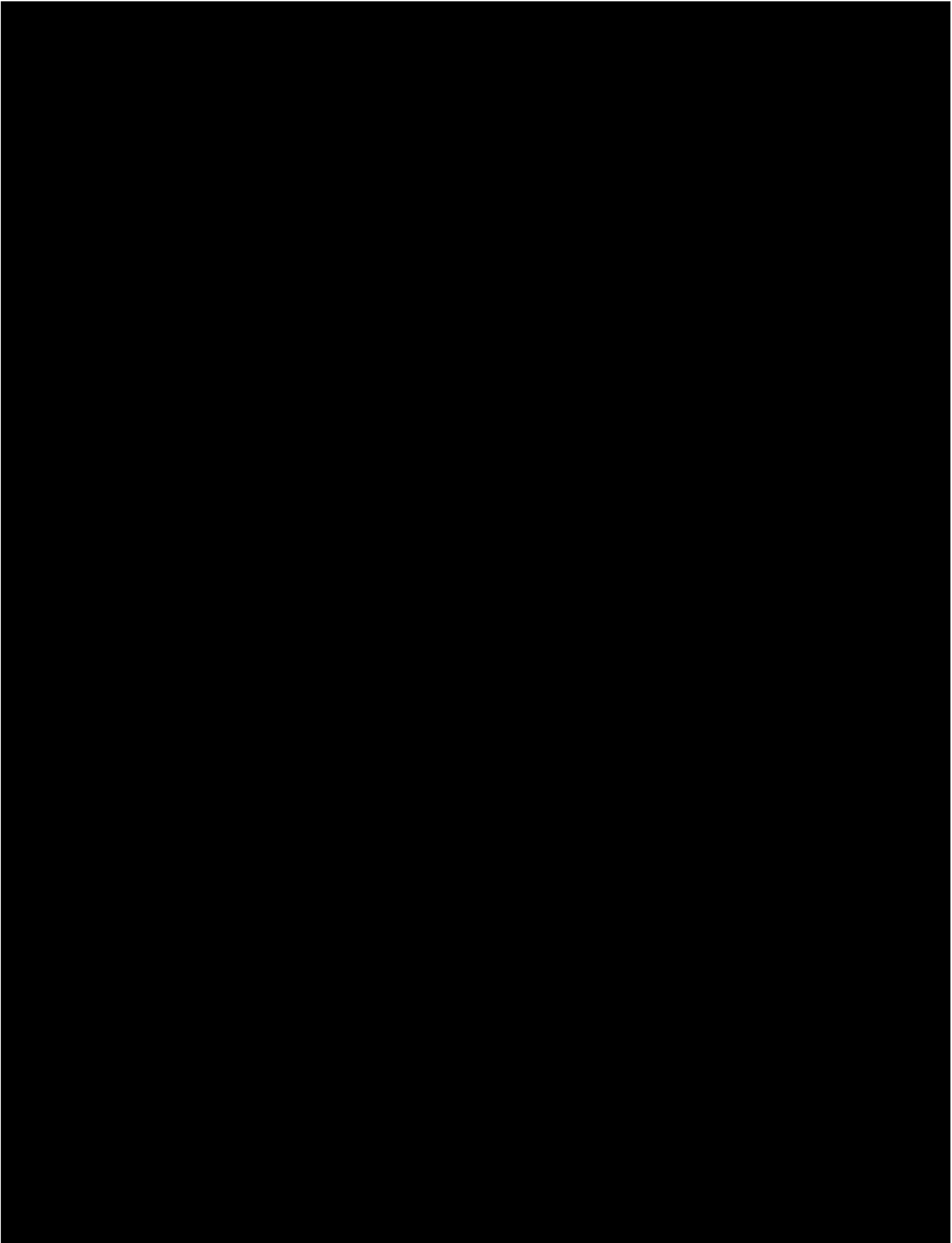
内容器本体は、燃料バスケットを固定するために、内面上部の■■■■に座板を設け、底部に凸部を加工している。

内面上部の座板と燃料バスケット上部は、ボルトで固定し、燃料バスケット下部は、凸部に挿入される。

固定する際には、内容器本体と燃料バスケットとの金属接触を避けるために、それぞれクッションゴムを介して行われる。



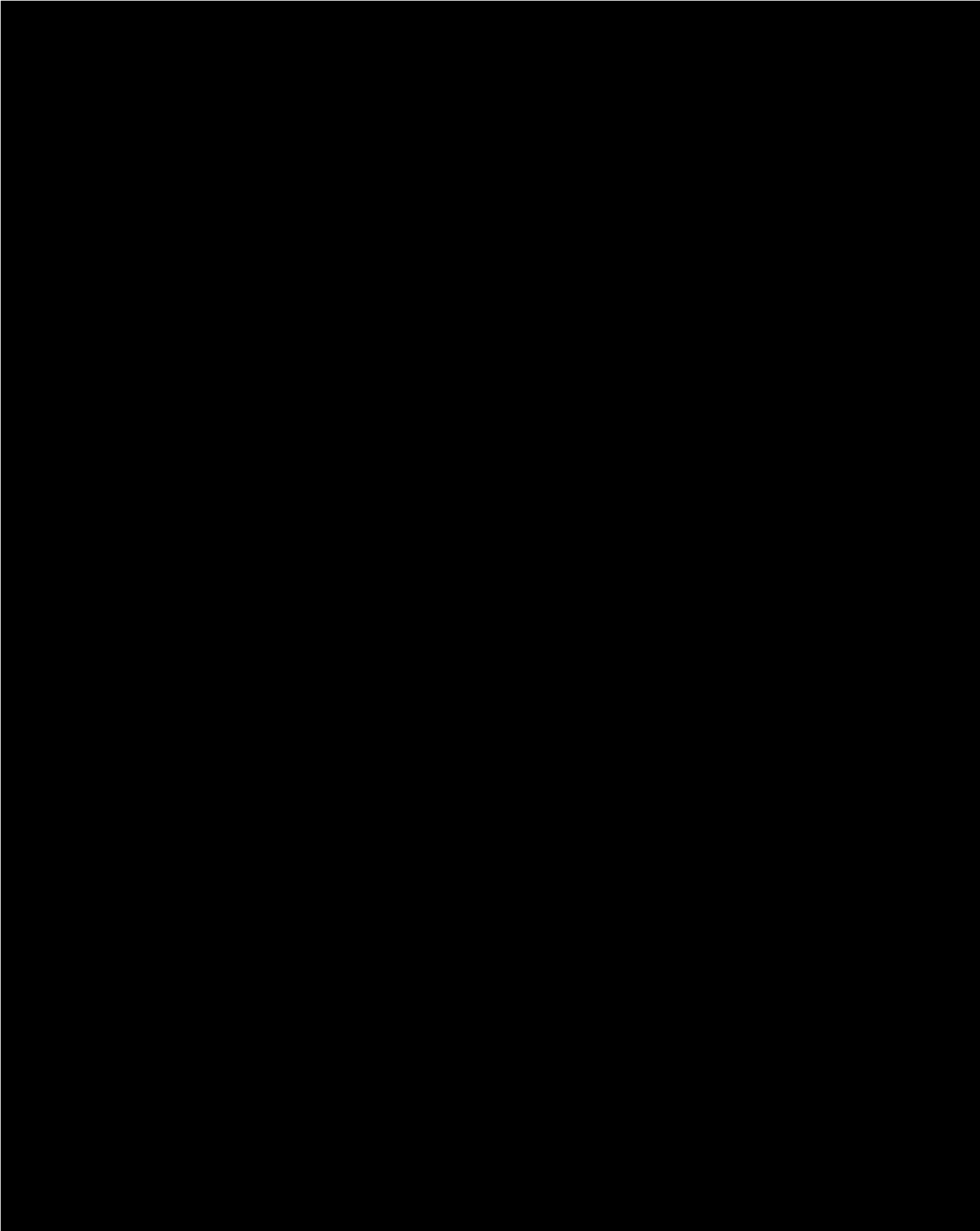
(イ) - 第 C.5 図 輸送容器全体図



(i) - 第 C.6 図 本 体

(イ) - 第 C.7 図 内 容 器 蓋

(イ) - 第 C. 8 図 燃料バスケット (燃料バスケット 1)



(イ)－第C.9図 燃料バスケット(燃料バスケット2)

(イ) - 第 C. 10 図 外 容 器 蓋

3. 輸送容器の材質

本輸送容器の構成材料を(イ)－第 C.1 表に示す。

4. 輸送容器の寸法

本輸送容器各部の寸法を(イ)－第 C.2 表に示す。

5. 輸送容器の重量

本輸送容器の重量を(イ)－第 C.3 表に示す。

(イ) - 第C.1表 輸送容器の構成材料

部 品 名	材 料	個 数	備 考
(1) 本 体 <ul style="list-style-type: none"> ・ 外容器本体 ・ 内容器本体 ・ アイプレート ・ 座 板 ・ 断 熱 材 ・ 緩 衝 材 ・ Oリング ・ 溶 融 栓 ・ ガスケット 	ステンレス鋼 ステンレス鋼 [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted]	[Redacted]	
(2) 内容器蓋 <ul style="list-style-type: none"> ・ 内容器蓋 	ステンレス鋼	[Redacted]	
(3) 燃料バスケット <ul style="list-style-type: none"> ・ 角パイプ ・ 上部フランジ ・ 下部フランジ ・ クッションゴム 	ステンレス鋼 [Redacted] [Redacted] [Redacted]	[Redacted]	
(4) 外容器蓋 <ul style="list-style-type: none"> ・ 外 装 板 ・ 内 装 板 ・ 断 熱 材 ・ 緩 衝 材 ・ 溶 融 栓 	ステンレス鋼 [Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted]	[Redacted]	

(イ) - 第 C.2 表 輸送容器各部の寸法

部 品 名	部 位	公称寸法 (mm)	備 考
(1) 本 体			
(2) 内容器蓋			
(3) 燃料バスケット			バスケット 2 のみ
(4) 外容器蓋			

(イ) - 第 C.3 表 輸送容器の重量

No.	名 称	重 量 (kg)	備 考
1	本 体		
2	内 容 器 蓋		
3	燃料バスケット		
4	外 容 器 蓋		
5	合 計		

なお、収納物等の全重量を ■■■ 以下とする設計としているため、輸送物の最大重量は ■■■ となる。

イ章 D 輸送容器の収納物

(イ)－D． 輸送容器の収納物

D.1 研究用原子炉未照射新燃料

輸送容器の収納物のうち研究用原子炉未照射新燃料は、KURに装荷される[REDACTED]で、
[REDACTED]である。

燃料芯材は、[REDACTED]である。

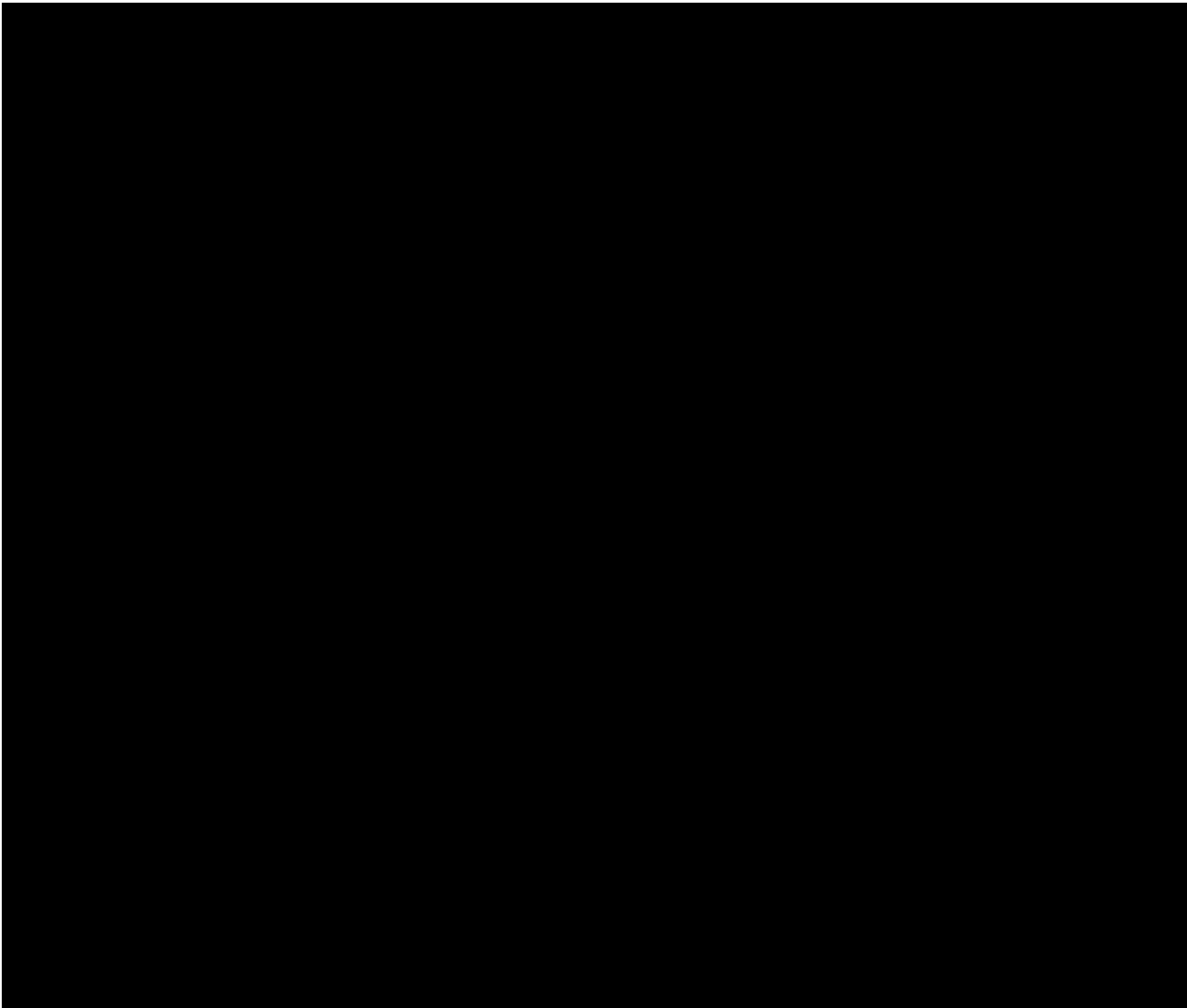
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

標準燃料要素、特殊燃料要素及び半装燃料要素（以下「燃料要素等」という）は、燃料部に
[REDACTED]で取付けて組立てる。

燃料要素等は、[REDACTED]等の周辺緩衝材で包装し、ポリエチレン（保護シート）等の有機高分子化合物等の袋に入れ、輸送容器の燃料バスケットに収納される。

なお、燃料要素等を収納する場合には、燃料要素等の上部及び下部側に[REDACTED]のスペーサを組み込み、輸送時の衝撃を吸収するとともに、長さを調整し、燃料要素等を固定する。また、燃料要素等を収納する場合には、バスケット孔内にあらかじめ(イ)－第D.1図に示す金属スペーサ（[REDACTED]）を入れ、その金属スペーサの中に燃料要素を収納する。

輸送容器の安全性評価に用いた収納物である燃料要素等の仕様を(イ)－第D.1表に示す。



(イ) - 第 D. 1 図 金属スペーサ断面形状

(イ) - 第 D.1 表 収納物の燃料要素仕様 (研究用原子炉未照射新燃料)

分類	燃料バスケット
	原子炉
項目	
形式	
全装荷数(体/容器)	
種類	
核的仕様	U-235 濃縮度 (wt%)
	U-235 含有量 (g/体)
	U-含有量 (g/体)
燃焼度	
発熱量	
冷却日数	
放射能の量(GBq/容器)	
材質	燃料芯材
	被覆材
	側板、取付板等
	可燃性吸収体
形状	燃料断面形状
	参照図
燃料重量(kg/体)	

D.2

輸送容器の収納物のうち [REDACTED] は、 [REDACTED] 装荷される [REDACTED] で [REDACTED] [REDACTED] があり、いずれも [REDACTED] である。

燃料芯材は [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED] のうち [REDACTED] は、保護用のアルミシート等の緩衝材を [REDACTED] の間に挟んだ後にアルミニウム製の鞘管に挿入し、 [REDACTED] の周辺緩衝材で包装し、輸送容器の燃料バスケットに収納される。また、 [REDACTED] は、保護用のアルミシート等の緩衝材を [REDACTED] の間に挟んだ後に [REDACTED] 等の周辺緩衝材で包装し、輸送容器の燃料バスケットに収納される。

なお、 [REDACTED] を収納する場合には、梱包された [REDACTED] の上部及び下部側に [REDACTED] 製のスペーサを組み込み、輸送時の衝撃を吸収するとともに、長さを調整し [REDACTED] を固定する。

輸送容器の安全性評価に用いた収納物である [REDACTED] の仕様を (i) - 第 D. 2 表に示す。

(イ) - 第 D. 2 表 収納物の燃料要素仕様

分類	燃料パレット
	原子炉
項目	
形式	
全装荷数(枚/容器)	
種類	
核的仕様	U-235濃縮度 (wt%)
	U-235含有量 (g/枚)
	U-含有量 (g/枚)
燃焼度(%)	
発熱量(w/容器)	
冷却日数(日)	
放射能の量(GBq/容器)	
材質	燃料芯材
	被覆材
	側板, 取付板等
	可燃性吸収体
形状	燃料断面形状
	参照図
燃料重量(g/枚)	

D.3

輸送容器の収納物のうち [redacted] は、 [redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

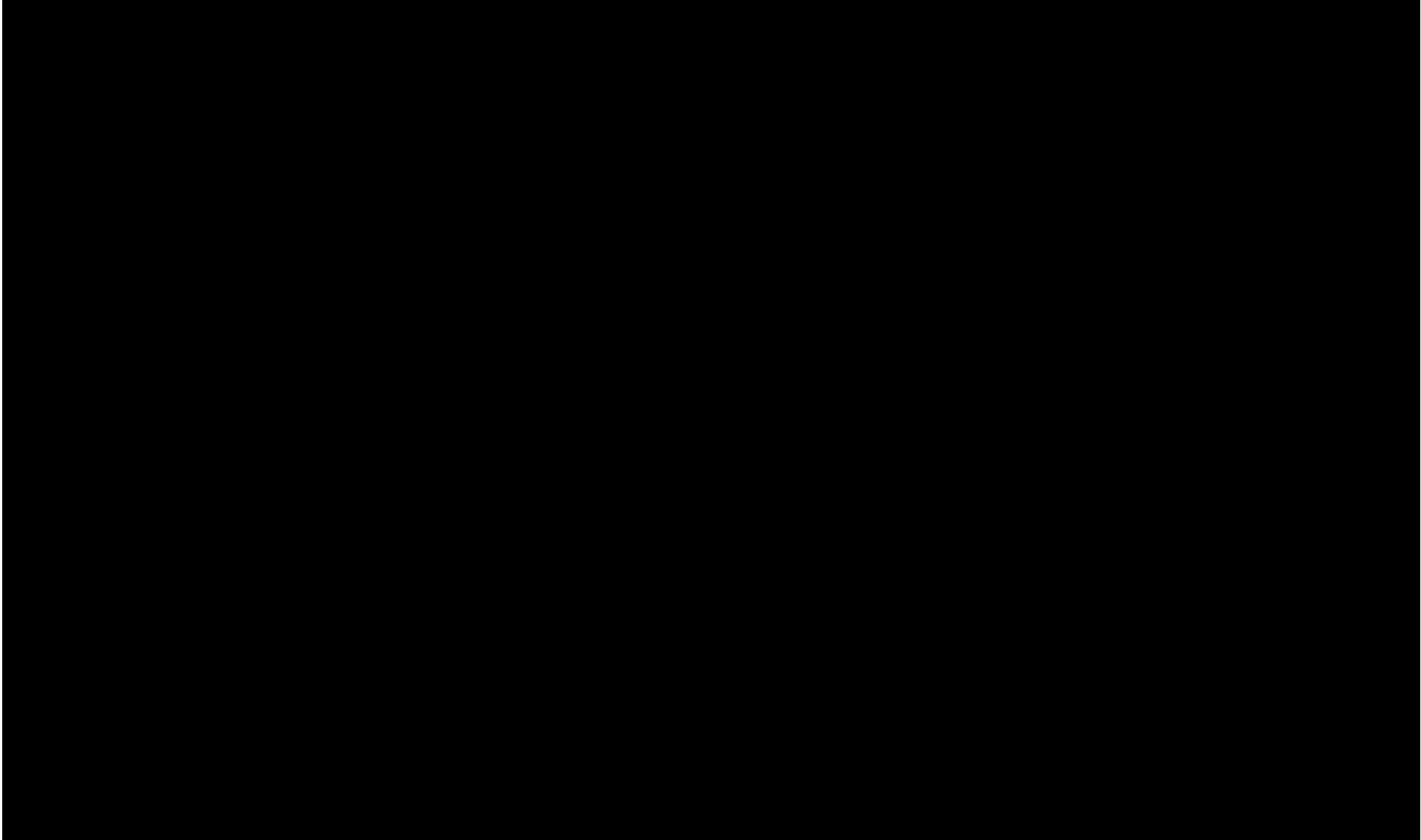
[redacted]

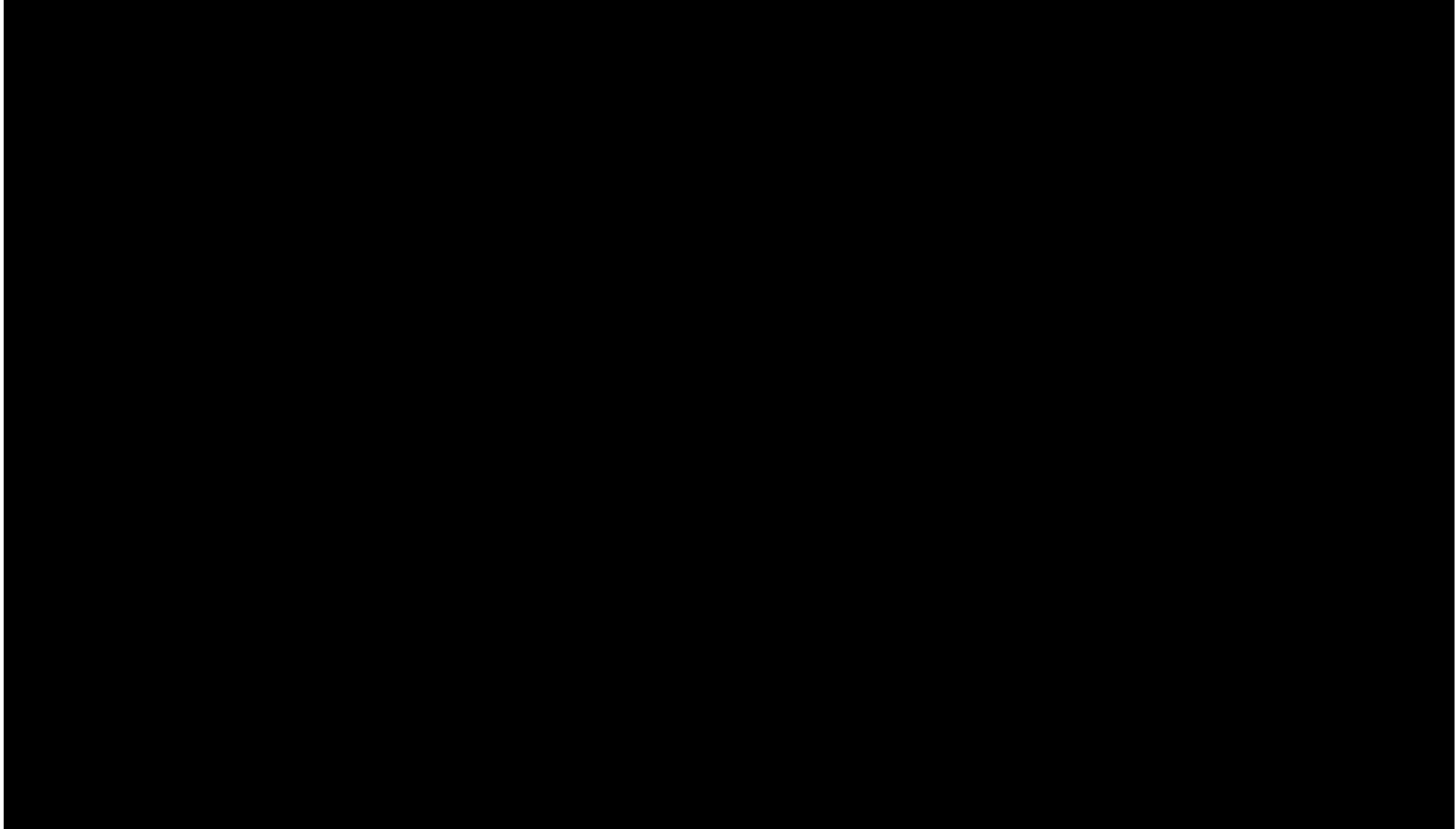
なお、 [redacted] を収納する場合には、梱包された [redacted] の上部及び下部側に [redacted] のスペーサ等を組み込み、輸送時の衝撃を吸収するとともに、高さを調整し、 [redacted] を固定する場合がある。

輸送容器の安全性評価に用いた収納物である [redacted] の仕様を (イ) - 第 D.3 表に示す。

(イ) - 第 D. 3 表 収納物の燃料要素仕様

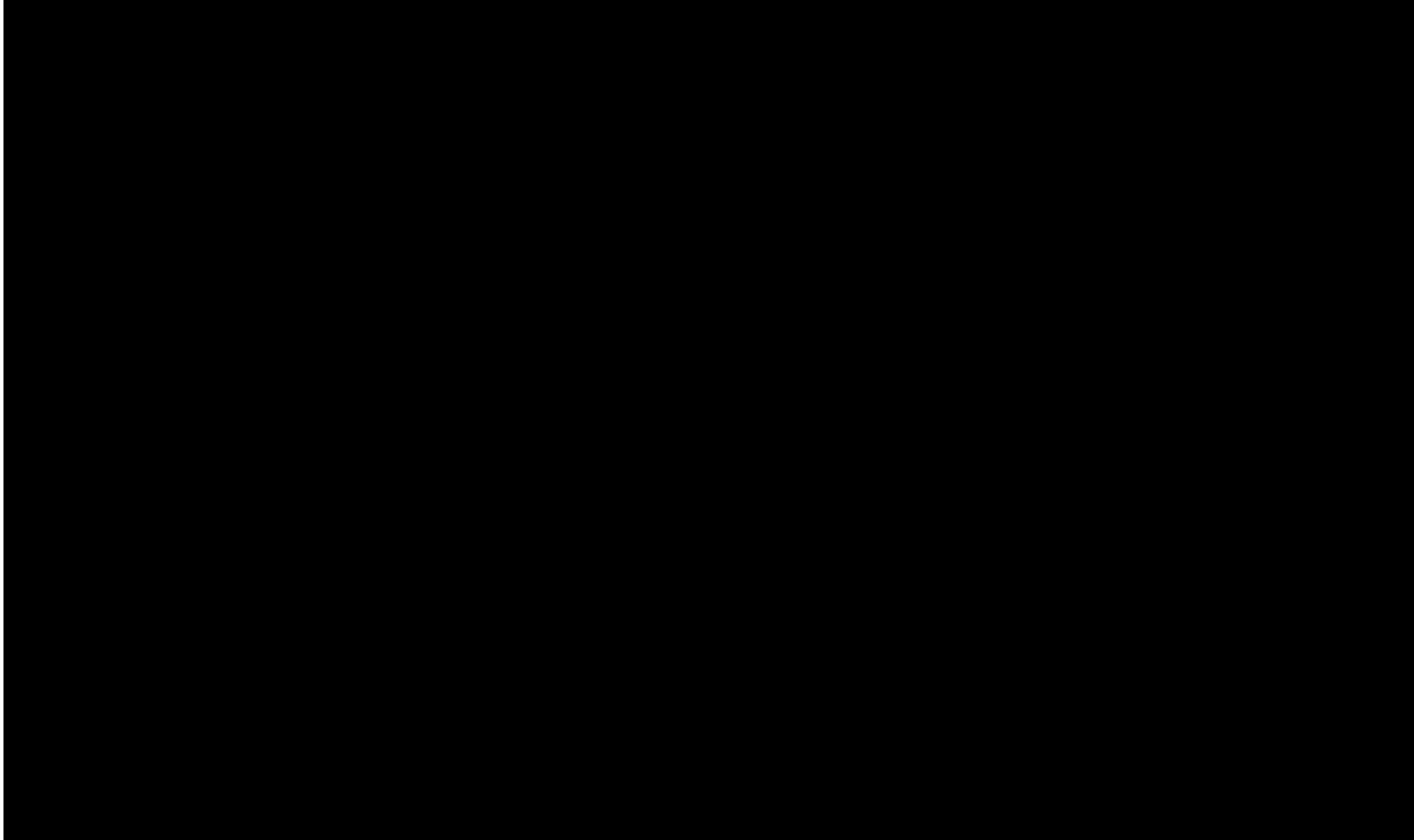
分類	燃料バスケット
	種類
形式	
全装荷数(枚/容器)	
種類	
核的仕様	U-235濃縮度 (wt%)
	U-235含有量 (g/枚)
	U-含有量 (g/枚)
燃焼度(%)	
発熱量(w/容器)	
冷却日数(日)	
放射能の量(GBq/容器)	
材質	燃料芯材
	被覆材
	側板, 取付板等
	可燃性吸収体
形状	燃料断面形状
	参照図
燃料重量(g/枚)	





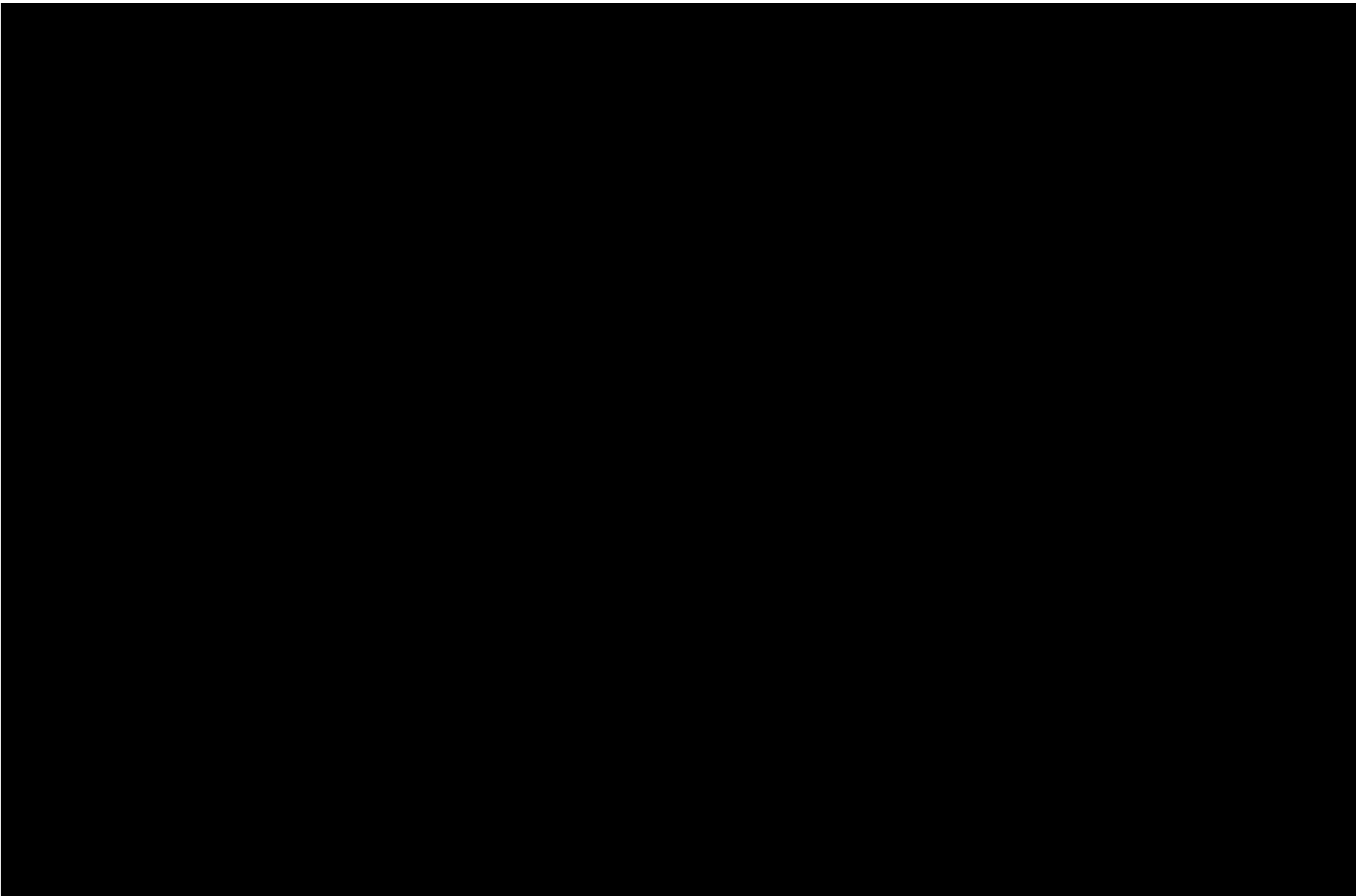
(イ)-第D.3図 KUR特殊燃料要素 ()

(イ) - D - 10

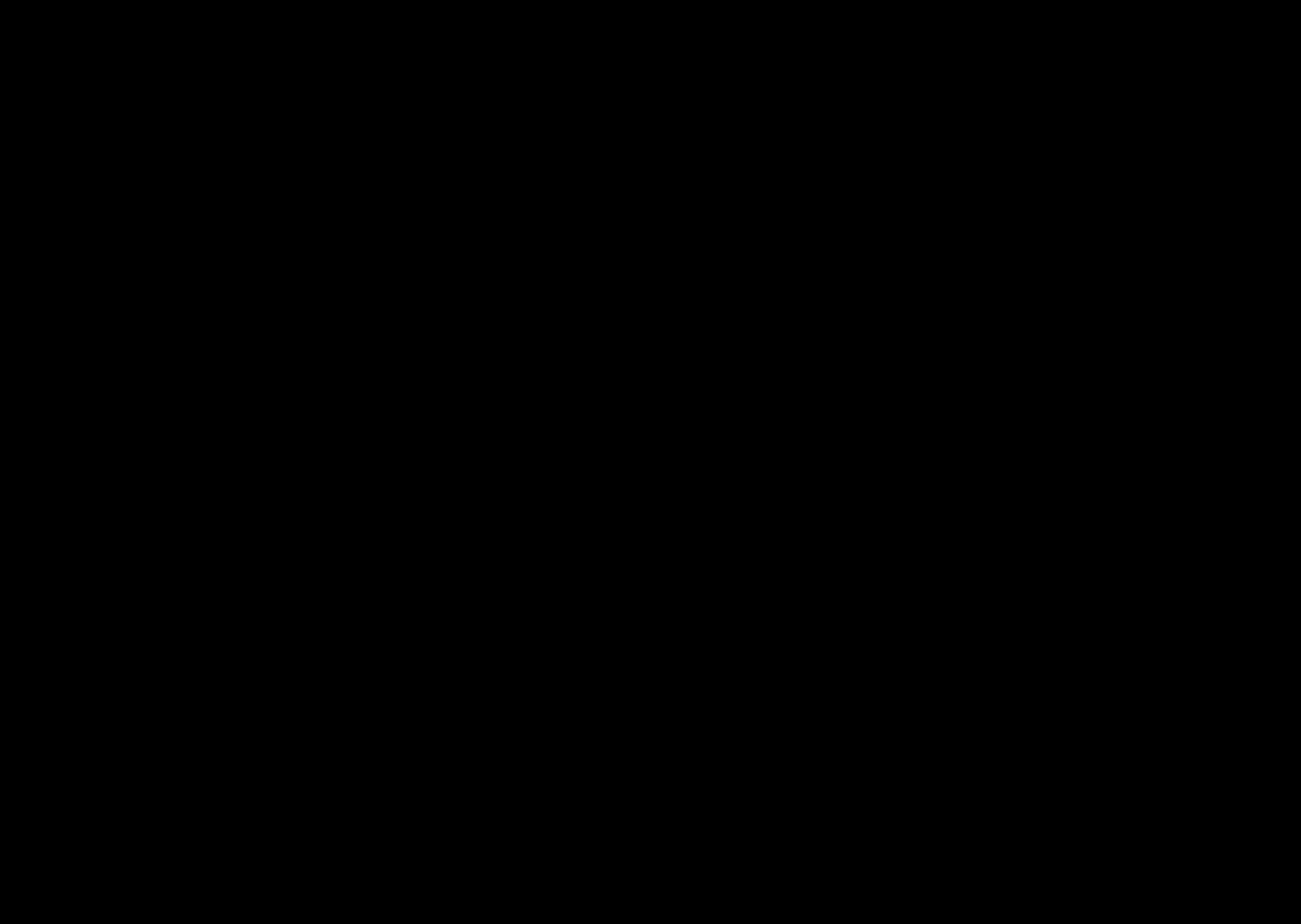


(イ) - 第D. 4 図 

(イ) - D - 11



(イ) - 第 D. 5 図 



(イ) 第D.6図 

(イ) - D - 12

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

本輸送物に関する安全解析は、本輸送物が「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和 53 年総理府令第 57 号）」（以下「規則」という。）及び「平成 2 年科学技術庁告示第五号（「平成 2 年科学技術庁告示第 5 号（核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示）」（以下「告示」という。）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することを示すために行う。

本解析の概要は以下のとおりである。

1. 構造解析

構造解析では、通常の輸送時において輸送物のき裂、破損等の生じないことを確認する他、密封解析の前提となる密封装置の健全性を一般及び特別の試験条件において確認している。

また、熱及び遮蔽解析の評価条件を得るために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を評価している。

さらに、本輸送物は 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状態及び健全性についても評価している。

2. 熱解析

熱解析では、前記の構造解析の結果を考慮して、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条件を与えている。

また、一般の試験条件における輸送物の近接表面温度基準（85℃）に適合することを確認している。

3. 密封解析

密封解析では、上記 1.、2. の条件と発送前検査における気密漏えい試験合格基準に基づいて、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を示している。

4. 遮蔽解析

遮蔽解析では、上記 1.、2. の条件を考慮して、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離れた位置の線量当量率を評価し、基準値を満足することを示している。

5. 臨界解析

臨界解析では、上記 1. の結果より核分裂性輸送物に係る一般の試験条件において、臨界評価に影響するような構造物の変形等が生じないことを示し、通常輸送時における輸送物、孤立系における輸送物並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下における孤立系及び配列系輸送物のいずれの場合にも未臨界であることを示している。

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を示している。

以下、ロ章A～Gに各解析、評価の詳細を示す。

A 構造解析

A. 1. 2 設計基準

輸送容器の設計基準は、告示に従うと同時に、A S M E Sec. III Subsec. N B ⁽¹⁾の技術基準に準拠し、各試験条件ごとに設計基準値を設ける。

(1) 設計基準値

各試験条件及び解析項目に対する設計基準を (a) - 第 A. 1 表 に示す。設計基準値は、各試験条件ごとに (a) - A. 3 材料の機械的性質及び (a) - B 熱解析に示す温度等に従い決定する。

なお、密封境界の重要部品である内容器蓋締付ボルトは、特別の試験条件において歪レベルが密封性に影響を与えない設計基準値とし、吊上装置及び締付装置は、告示に従い降伏応力を設計基準値とする。また、貫通試験時の衝突部近傍については耐貫通強度を基準値とする。

また、溶接部の継手効率は、放射線透過試験を行う箇所（内容器胴の長手溶接部、内容器胴とフランジ及び底板の周溶接部）については とし、それ以外の箇所については とする。

以下、本項で用いる設計基準値の記号の内容は次の通りである。

- S m ; 設計応力強さ
- S y ; 設計降伏点
- S u ; 設計引張強さ
- S a ; 繰返しピーク応力強さ
- N ; 使用回数
- N a ; 許容繰返し回数
- D F ; 疲れ累積係数 (= N / N a)

(2) 負荷の組合せ条件

負荷の組合せ条件は、設計条件に従い、各解析項目に対して (a) - 第 A. 2 表 及び (a) - 第 A. 3 表 に示すように、構造、材料、温度及び安全係数などを考慮して決定する。

(3) 余 裕 率

解析結果のうち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。

$$\text{余裕率 (Ms)} = \frac{\text{[Redacted]}}{1}$$

余裕率を用いられないものは、該当箇所にその基準値等を記述する。

以上に述べた設計基準に従い、構造解析の条件、解析項目及び解析手法等をまとめて (□)－第 A.4 表 (1/24) ～ (24/24) に示す。

(ロ) - 第 A. 1 表 構造解析に用いる応力評価基準

条件	解析項目	応力分類		一次応力強さ	一次+二次 応力強さ	一次+二次+ピーク 応力強さ	
		記号	評価位置	Pm(PL)	PL+Pb	PL+Pb+Q	PL+Pb+Q+F
通常の 輸送条件	吊上装置	アイプレート		<Sy	<Sy	—	
	固縛装置	アイプレート		<Sy	<Sy	—	
	圧力	輸送物		外気圧の変動に耐えうること。			
	振動	輸送物		輸送中の振動に耐えうること。			
一般の 試験 条件	熱的試験	内容器本体		<Sm	<1.5Sm	<3Sm	
		内容器蓋		<2/3Sy	<Sy	<Sy	
		内容器蓋締付ボルト		疲労評価 (DF<1)			
	水噴霧	輸送物		水の吹き付けに耐えうること。			
	自由落下 (1.2m落下)	内容器本体		<Sm	<1.5Sm	<3Sm	—
		燃料ハブケット					
		内容器蓋		<2/3Sy	<Sy	<Sy	—
		内容器蓋締付ボルト					
	積み重ね試験	内容器本体		<Sm	<1.5Sm	<3Sm	—
		内容器蓋		<2/3Sy	<Sy	<Sy	
貫通	外容器		設計引張強さ				
特別 の 試験 条件	落下試験Ⅰ (9m落下)	内容器本体		$< \frac{2}{3} Su$	<Su	—	
		燃料ハブケット					
		内容器蓋		<2/3Sy	<Sy	—	
		内容器蓋締付ボルト					
		燃料要素					
	落下試験Ⅱ (1m落下貫通)	外容器		設計引張強さ			
		内容器本体		$< \frac{2}{3} Su$	<Su	—	—
		内容器蓋		<2/3Sy	<Sy	—	
	熱的試験	内容器本体		<2/3Su	<Su	—	—
		内容器蓋		<2/3Sy	<Sy	—	
内容器蓋締付ボルト							
浸透 (15m)	内容器本体		<2/3Su	<Su	—	—	
	内容器蓋		<2/3Sy	<Sy	—		

注. 応力評価基準は、BU型輸送物及び核分裂性輸送物共同一とする。

(ロ) - 第 A.2 表 設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分 (1/2)

要件	条件	解析項目	応力分類 評価位置	負 荷 条 件				
				重 量 *	内 圧	外 圧	熱 膨 張	そ の 他
B U 型 輸 送 物 の 要 件	通輸 常送 の条 件	吊上装置	アイプレート	△	—	—	—	—
		固縛装置	アイプレート	△	—	—	—	—
		圧力	輸送物	—	○	○	—	○
		振動	輸送物	—	—	—	—	△
	一 般 試 験 条 件	熱的試験	内容器本体	—	△	—	—	—
			内容器蓋	—	△	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	—	○	—	○	○
		水噴霧	輸送物	—	—	—	—	△
		自由落下 (1.2m落下)	内容器本体	○	○	—	—	—
			燃料バスケット	△	—	—	—	—
			内容器蓋	○	○	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	○	○	—	○	○
		燃料要素	△	—	—	—	—	
		積み重ね試験	内容器	○	○	—	—	—
	貫通	外容器	—	—	—	—	△	
	特 別 の 試 験 条 件	落下試験Ⅰ (9m落下)	内容器本体	○	○	—	—	—
			燃料バスケット	△	—	—	—	—
			内容器蓋	○	○	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	○	○	—	—	○
			燃料要素	△	—	—	—	—
落下試験Ⅱ (1m落下貫通)		外容器	△	—	—	—	—	
		内容器本体	○	○	—	—	—	
		内容器蓋	○	○	—	—	—	
熱的試験		内容器本体	—	△	—	—	—	
		内容器蓋	—	△	—	—	—	
		内容器蓋締付ボルト	—	○	—	—	○	
浸漬 (15m)		内容器本体	—	—	△	—	—	
	内容器蓋	—	—	△	—	—		

○：負荷の組合せによる評価 △：単一負荷による評価

*：重量とは、衝撃荷重等による応力評価に用いる重量(力)、すなわち輸送物質量に設計加速度又は重力を乗じて得られる重量(力)を意味する。

(ロ) - 第 A.2 表 設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分 (2/2)

要件	条件	解析項目	応力分類 評価位置	負 荷 条 件				
				重 量 *	内 圧	外 圧	熱 膨 張	そ の 他
核 分 裂 性 輸 送 物 の 要 件	一 般 の 試 験 条 件	水 噴 霧	輸 送 物	—	—	—	—	△
		自 由 落 下 (1.2m落下)	内 容 器 本 体	○	○	—	—	—
			燃 料 バ ス ケ ッ ト	△	—	—	—	—
			内 容 器 蓋	○	○	—	—	—
			内 容 器 蓋 締 付 ボ ル ト	○	○	—	○	○
			燃 料 要 素	△	—	—	—	—
		積 み 重 ね 試 験	内 容 器	○	○	—	—	—
	貫 通	外 容 器	—	—	—	—	△	
	特 別 の 試 験 条 件	落 下 試 験 I (9m落下)	内 容 器 本 体	○	○	—	—	—
			燃 料 バ ス ケ ッ ト	△	—	—	—	—
			内 容 器 蓋	○	○	—	—	—
			内 容 器 蓋 締 付 ボ ル ト	○	○	—	—	○
			燃 料 要 素	△	—	—	—	—
		落 下 試 験 II (1m落下貫通)	外 容 器	△	—	—	—	—
内 容 器 本 体			○	○	—	—	—	
内 容 器 蓋			○	○	—	—	—	
熱 的 試 験		内 容 器 本 体	—	△	—	—	—	
		内 容 器 蓋	—	△	—	—	—	
	内 容 器 蓋 締 付 ボ ル ト	—	○	—	—	○		
浸 漬 (0.9m)	内 容 器 本 体	—	—	△	—	—		
	内 容 器 蓋	—	—	△	—	—		

○：負荷の組合せによる評価 △：単一負荷による評価

*：重量とは、衝撃荷重等による応力評価に用いる重量(力)、すなわち輸送物質量に設計加速度又は重力を乗じて得られる重量(力)を意味する。

(ロ) - 第 A.3 表 負 荷 条 件 (1/2)

要件	条件	解析項目	応力分類 評価位置	負 荷 条 件					
				重 量*	内 圧	外 圧	熱 膨 張	そ の 他	
B U 型 輸 送 物 の 要 件	通輸 常送 の条 件	吊上装置	アイプレート						
		固縛装置	アイプレート						
		圧 力	輸 送 物						
		振 動	輸 送 物						
	一 般 の 試 験 条 件	熱 的 試 験	内容器本体						
			内容器蓋						
			内容器蓋締付ボルト						
		水 噴 霧	輸 送 物						
		自 由 落 下 (1.2m落下)	内容器本体						
			燃料バスケット						
			内容器蓋						
			内容器蓋締付ボルト						
		燃料要素							
	積み重ね試験	内 容 器							
	貫 通	外 容 器							
	特 別 の 試 験 条 件	落 下 試 験 I (9 m 落 下)	内容器本体						
			燃料バスケット						
			内容器蓋						
			内容器蓋締付ボルト						
			燃料要素・						
		落 下 試 験 II (1m落下貫通)	外 容 器						
内 容 器 本 体									
内 容 器 蓋									
熱 的 試 験		内容器本体							
		内容器蓋							
		内容器蓋締付ボルト							
浸 漬 (15m)		内容器本体							
	内 容 器 蓋								

* : (ロ) - 第 A.2 表の脚注に同じ

(ロ)－第A. 3表 負 荷 条 件 (2/2)

要件	条件	解析項目	応力分類		負 荷 条 件				
			評価位置		重 量*	内 圧	外 圧	熱 膨 張	そ の 他
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	水 噴 霧	輸 送 物						
		自由落下 (1.2m落下)	内 容 器 本 体						
			燃 料 バ ス ケ ッ ト						
			内 容 器 蓋						
			内 容 器 蓋 締 付 ボ ル ト						
			燃 料 要 素						
		積み重ね試験	内 容 器						
	貫 通	外 容 器							
	特別の試験条件	落下試験Ⅰ (9m落下)	内 容 器 本 体						
			燃 料 バ ス ケ ッ ト						
			内 容 器 蓋						
			内 容 器 蓋 締 付 ボ ル ト						
			燃 料 要 素						
		落下試験Ⅱ (1m落下貫通)	外 容 器						
			内 容 器 本 体						
			内 容 器 蓋						
		熱的試験	内 容 器 本 体						
			内 容 器 蓋						
			内 容 器 蓋 締 付 ボ ル ト						
浸 透 (0.9m)		内 容 器 本 体							
	内 容 器 蓋								

* : (ロ)－第A. 2表の脚注に同じ

(11)-第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (1/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷				適用数式または要素	設計基準					
						種類	負荷係数	要素								
B U 型 の 輸 送 物 条 件	通	1. 化学的及び電気的反応	-	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]						
		(1) 化学的反応									-	腐食	-	活性	活性の有無	無
	(2) 電気的反応	-	腐食	-	電位差	水分の有無	無									
	輸	2. 低温強度	-	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	脆性破壊 がないこ と -40°C						
		(1) 容器本体									-	材質	1	材料劣化	最低使用温度	
		(2) ボルト									-	材質	1	材料劣化	最低使用温度	
	(3) Oリング	-	材質	1	材料劣化	最低使用温度										
	送	3. 密閉装置	(イ)-第 C.7 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]					
		(1) 内容器蓋										誤操作による開放	-	誤操作の可否	誤操作の可否	否
	物	条	4. 吊上装置	(ロ)-第 A.9 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]					
(1) アイプレート			輸送物重量									3	曲げ応力	$\sigma = \frac{6M}{tb^2}$	M: 曲げモーメント t: 板厚 b: アイプレートの幅	Sy 0.6Sy
												3	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$		
						合成応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	Sy								
件	送	5. 固縛装置	(ロ)-第 A.11 図 (ロ)-第 A.12 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]						
											(1) アイプレート	組合せ加速度	2	曲げ応力	$\sigma = \frac{6M}{tb^2}$	Sy
													2	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	0.6Sy
						合成応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	Sy								

(v)-第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (2/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準	
						種類	負荷係数	要素				
B 通 常 型 の 輸 送 物 条 件	6. 圧 力											
	(1) 内容器胴部	—	[注1]	外気圧降下 60kPa	1	組合せ応力	$\left. \begin{aligned} \sigma_\theta &= \frac{P \cdot Dm}{2t} \\ \sigma_z &= \frac{P \cdot Dm}{4t} \\ \sigma_r &= -\frac{P}{2} \end{aligned} \right\} \text{薄肉円筒の式}$	[注1]	[注1] Smを基準とし、各 応力成分ごとに基 準値を設ける。			
	(2) 内容器底板	—								1	組合せ応力	$\left. \begin{aligned} \sigma_\theta &= \pm 0.225 \frac{P \cdot a^2}{h^2} \\ \sigma_r &= \pm 0.75 \frac{P \cdot a^2}{h^2} \\ \sigma_z &= -P \end{aligned} \right\} \text{固定円板の式}$
	(3) 内容器蓋	—										
	(4) 内容器蓋締付ボルト	—				初期締付力	1			引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{Ar}$	[注2]
										内 圧	1	引張応力
	(5) 内容器蓋リング部の 変位	—				内 圧	1	変 位		$\omega = \frac{P \cdot a^4}{64} \times \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \times \left(\frac{5+\nu}{1+\nu} - \frac{r^2}{a^2} \right)$	[注3]	
	7. 振 動											
	(1) 輸送容器	(v)-第 A.14 図				振 動	1	共 振		$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$	共振しない こと	
	(2) 燃料バスケット									f_0 ; 固有振動数		

(a) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (3/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
B U 一般 の 輸 送 物 条 件	一 般 輸 送 物 条 件	1. 熱的試験									
		1.1 熱膨張									
		(1) 容器内面と燃料バスケット外面	(a)-第 A.15 図			熱膨張	1	圧縮	熱応力による拘束の有無	無	
		1.2 応力計算	(a)-第 A.16 図								[注1] S _m を基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 内容器胴部	(a)-第 A.17 図			内圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	[注1]	
		(2) 内容器底板	(a)-第 A.18 図			内圧	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(3) 内容器蓋	(a)-第 A.19 図			内圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式	[注2]	
		(4) 内容器蓋締付ボルト	(a)-第 A.21 図			初期締付力	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{A_i}$		
						内圧		引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot A_i}$		
						熱膨張		引張応力	*		[注2] S _y を基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 * : 熱膨張による応力は無視できる値である。
(5) 内容器蓋 Oリング部の変位	(a)-第 A.20 図			内圧	1	変位	Oリング部変位の式	[注3]	[注3] 初期締め代約		
		2. 水噴霧									
					水噴霧	1	{ 吸水 水切り	吸水性 水切り性	無 良		

(a) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (4/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準			
						種類	負荷係数	要素						
B U 型 の 輸 送 物 条 件	一 般 試 験 条 件	3. 自由落下	(a)-第 A. 35 図 (a)-第 A. 36 図 (a)-第 A. 37 図 (a)-第 A. 38 図 (a)-第 A. 39 図 (a)-第 A. 40 図 (a)-第 A. 41 図 (a)-第 A. 42 図 ~50 図 (a)-第 A. 45 図	[黒塗り]	1.2m水平落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_H$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ_H : 変形量 δ : 残量	[注1]	[注1] 設計基準は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。				
		3.1 水平落下												
		(1) 緩衝材の変形量												
		(2) 内容器胴部									曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注2]	[注2] Sm を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板									せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	[注3]	[注3] Sy を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(4) 内容器上端部 (内容器蓋)									せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$		
		(5) 内容器蓋締付ボルト									曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M \cdot L_{max}}{I}$		
		(6) 燃料バスケット									曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注4]	[注4] 基準値は σ_{cr} である。
(7) 燃料要素・[黒塗り]	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$												
	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{a(h_2 - h_1)}$	[注5]	[注5] Sy を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。										
	座屈応力	$\sigma_y = \sigma_{cr} \left(1 + \frac{e}{r} \sec \frac{L}{2K} \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{E}} \right)$ σ_y : 設計降伏点 σ_{cr} : 座屈応力 E : 縦弾性係数 K : 断面二次半径 L : 長さ r : 断面係数/断面積 e : 偏心量												
(8) 燃料要素押え具	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注5]	[注5] Sy を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。										

(注) 自由落下の解析項目の内圧及び初期締付力による応力は、「1.2 応力計算」に記載されている設計条件及び適用数式により計算する。

(v) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (5/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準							
						種類	負荷係数	要素										
B	一般型輸送物条件	3.2 下部垂直落下	(v)-第 A. 51 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]						
		(1) 緩衝材の変形量	(v)-第 A. 52 図										1.2m 下部垂直落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_v$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ_v : 変形量 δ : 残量	[注 1]	[注 1] 設計基準は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。 [注 2] S_m を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注 3] S_y を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(2) 内容器胴部	(v)-第 A. 53 図										1.2m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	[注 2]	
		(3) 内容器底板	(v)-第 A. 54 図										1.2m 下部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式	[注 3]	
		(4) 内容器蓋	(v)-第 A. 55 図										1.2m 下部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
		(5) 内容器蓋締付ボルト	—										1.2m 下部垂直落下	1	—	—	[注 3]	
		(6) 燃料要素・[REDACTED]	(v)-第 A. 56 図 ~59 図										1.2m 下部垂直落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1) b}$	[注 3]	
[REDACTED]			1	引張応力	$\sigma_t = \frac{W_o}{A}$													
			1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$													
		(7) 燃料要素押え具	((v)-第 A. 45 図)	1.2m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$											

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (7/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準	
						種類	負荷係数	要素				
B U 般 型 の 輸 送 物 条 件	一 般	4. 積み重ね試験	(ロ)-第 A.75 図 (ロ)-第 A.74 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[注1] Suを基準値とし、 各応力成分ごとに 基準値を設ける。 [注2] Syを基準値とし、 各応力成分ごとに 基準値を設ける。	
		(1) 内容器胴部										輸送物重量
	(2) 内容器蓋	輸送物重量	5+自重	組合せ応力								
	輸 送 物 条 件	5. 貫通 (1) 外容器	(ロ)-第 A.76 図 ~77 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	軟鋼棒の落下衝撃	1	吸収 エネルギー	$E_2 = \frac{1}{2} \tau_{cr} \cdot \pi \cdot d \cdot t^2$ (τ_{cr} : せん断強さ) = 0.6Su	貫通しない こと。	
		6. 角又は縁落下		[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]						本項は該当しない。

(a) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (8/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準					
						種類	負荷係数	要素								
B	特別	1. 落下試験 I	(a)-第 A.78 図	[REDACTED]	9m 下部垂直落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_v$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ : 残量 δ_v : 変形量	[注 1]	[注 1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が基準値内であること。						
U	別	1.1 下部垂直落下														
の		(1) 緩衝材の変形量														
輸	試	(2) 内容器胴部									9m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$	[注 3]	[注 3] Su を基準とし、各応力成分ごとに、基準値を設ける。
送	験	(3) 内容器底板									9m 下部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式	[注 2]	[注 2] Sy を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
物	条	(4) 内容器蓋									9m 下部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
	件	(5) 内容器蓋締付ボルト									9m 下部垂直落下	1	-	-		
		(6) 燃料要素 [REDACTED] [REDACTED]	9m 下部垂直落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1)b}$	[注 2]									
			9m 下部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{W_o}{A}$										
			9m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$										
		(7) 燃料要素押え具	9m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$	[注 2]									

(注) 落下試験 I の解析項目の内圧及び初期締付力による応力は、「1.2 応力計算」に記載されている設計条件及び適用数式により計算する。

(v) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (9/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
B U 別 型 の 輸 送 物 条 件	特 別 輸 送 物 条 件	1.2 上部垂直落下 (1) 緩衝材の変形量	(v)-第 A.79 図	[REDACTED]	[REDACTED]	9m上部垂直落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_v$ δ_o : 変形前の厚さ δ : 残量 δ_v : 変形量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が、許容値内であること。 [注2] Suを基準とし、各応力成分ごとに、基準値を設ける。 [注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		9m上部垂直落下				1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	[注2]		
		9m上部垂直落下				1	組合せ応力	固定円板の式	[注3]		
		9m上部垂直落下				1	組合せ応力	単純支持円板の式			
		9m上部垂直落下				1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot A_i}$			
		9m上部垂直落下				1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1) b}$	[注3]		
		9m上部垂直落下				1	引張応力	$\sigma_t = \frac{W_o}{A}$			
9m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$								
9m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$	[注3]							

(a) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (10/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
B U 別 型 の 輸 送 物 条 件	特 別 輸 送 物 条 件	1.3 水平落下 (1) 緩衝材の変形量	(a)-第 A.80 図	[REDACTED]	[REDACTED]	9m水平落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_H$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ : 残量 δ_H : 変形量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が基準値内であること。 [注3] Suを基準とし、各応力成分ごとに、基準値を設ける。 [注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注2] [注2] [注2] [注2] [注4] [注2] [注4]
		(2) 内容器胴部				9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$		
		(3) 内容器底板				9m水平落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器上端部 (内容器蓋)				9m水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$		
		(5) 内容器蓋締付ボルト				9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M \cdot \ell_{max}}{I}$		
		(6) 燃料バスケット				9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$		
		(7) 燃料要素 [REDACTED]				9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$		
							1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{a(h_2 - h_1)}$		
		1	座屈応力	$\sigma_y = \sigma_{cr} \left(1 + \frac{e}{r} \sec \frac{L}{2K} \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{E}} \right)$ σ_y : 設計降伏点 σ_{cr} : 座屈応力 E : 縦弾性係数 K : 断面二次半径 L : 長さ r : 断面係数/断面積 e : 偏心量	[注4]	[注4] 基準値は σ_{cr} である。					
(8) 燃料要素押え具	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注2]						

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (11/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
B U 型 の 輸 送 物 件	特 別 の 試 験 条 件	1.4 コーナー落下	(ロ)-第 A.81 図	[Redacted]	[Redacted]	9m コーナー落下	1	水平成分及び垂直成分に分解して 8.1~8.3 項の結果より評価	[注1]	[注1] Sy を基準値とし、 各応力成分ごとに 基準値を設ける。	
		(1) 内容器蓋締付ボルト				9m 上部コーナー落 下	1	曲げ応力 $\sigma_{max} = \sigma_v + \sigma_H$ $\sigma_v = \frac{N_v \cdot W \cdot L_v \cdot \ell_{vMAX}}{2 \sum \ell^2 \cdot A_i}$ $\sigma_H = \frac{N_H \cdot W \cdot L_H \cdot \ell_{HMAX}}{2 \sum \ell^2 \cdot A_i}$			
		1.5 傾斜落下				(ロ)-第 A.82 図 ~85 図	9m 傾斜落下	1			水平成分及び垂直成分に分解して 8.1~8.3 項の結果より評価

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (12/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷				適用数式または要素	設計基準
						種類	負荷係数	要素			
B	特別	2. 落下試験Ⅱ	(ロ)-第 A.86 図 (ロ)-第 A.87 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		
		2.1 貫通								[REDACTED]	[REDACTED]
(1) 外容器蓋部	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー	貫通しないこと。							
(2) 外容器底部	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー								
(3) 外容器胴部	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー								
輸送	試験条件	3. 熱的試験	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]		
		3.1 熱膨張								熱膨張	1
(1) 内容器内面と燃料バスケット外面	内圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	[注1]						
3.2 圧力による応力						内圧	1	組合せ応力	固定円板の式		
(1) 内容器胴部						内圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
(2) 内容器底板	初期締付力	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{A_i}$	[注2]						
(3) 内容器蓋						内圧	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot A_i}$		
(4) 内容器蓋締付ボルト	内圧	1	変位	Oリング部変位の式	[注3]						
(5) 内容器蓋Oリング部の変位						初期締め代約					

(ロ) - 第 A. 4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (13/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準						
						種類	負荷係数	要素									
B	特別型の輸送物条件	4. 浸漬	(ロ)-第 A. 88 図	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[注1] Su を基準とし各 応力成分ごとに、 基準値を設ける。							
		4.1 15m浸漬															
		(1) 内容器胴部	(ロ)-第 A. 91 図								外 圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	} [注1]		
		(2) 内容器底板	(ロ)-第 A. 92 図								外 圧	1	組合せ応力	固定円板の式			
		(3) 内容器蓋	(ロ)-第 A. 93 図								外 圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式	} [注2]		
(4) 内容器胴部の座屈	(ロ)-第 A. 89 図	外 圧	1	座屈圧力	$P_e = \frac{4B \cdot t}{2D_o}$	} [注1]											
					B ; 形状係数 D _o ; 内容器胴部外径												
		(5) 内容器蓋リング部の変位	(ロ)-第 A. 94 図			外 圧	1	変位	Oリング部変位の式	} [注3]	[注3] 初期締め代約 [REDACTED]						

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (14/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
核	一	1. 水噴霧				水噴霧	1	{ 吸水 水切り	吸水性 水切り性	無 良	
分	般										
裂	の										
性	輸										
輸	送										
送	条										
物	件										
の											
要											
件											

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (15/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
核 分 裂 の 性 試 験 輸 送 条 件 物 件 の 要 件	一般	2. 自由落下 (a) 水平落下 (1) 緩衝材の変形量	—	[黒塗り]	[黒塗り]	1.2m水平落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_H$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ_H : 変形量 δ : 残量	[注1]	[注1] 設計基準は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。 [注2] [注2] S_m を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注3] [注3] S_y を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注4] [注4] 基準値は σ_{cr} である。 [注5] [注5] S_y を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(2) 内容器胴部	—			1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注2]	
		(3) 内容器底板	—			1.2m水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	[注2]	
		(4) 内容器上端部 (内容器蓋)	—			1.2m水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	[注2]	
		(5) 内容器蓋締付ボルト	—			1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M \cdot L_{max}}{I}$	[注3]	
		(6) 燃料バスケット	—			1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注3]	
		(7) 燃料要素 [黒塗り] [黒塗り] [黒塗り]	—			1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注3]	
							1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{a(h_2 - h_1)}$	[注3]	
			1	座屈応力	$\sigma_y = \sigma_{cr} \left(1 + \frac{e}{r} \sec \frac{L}{2K} \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{E}} \right)$ σ_y : 設計降伏点 σ_{cr} : 座屈応力 E : 縦弾性係数 K : 断面二次半径 L : 長さ r : 断面係数/断面積 e : 偏心量	[注4]					
		(8) 燃料要素押え具	—	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注5]			

(注) 自由落下の解析項目の内圧及び初期締付

2 応力計算」に記載されている設計条件及び適用数式により計算する。

(ロ) 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (16/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準					
						種類	負荷係数	要素								
核 分 裂 の 性 試 験 輸 送 条 件 の 要 件	一 般 性 試 験 輸 送 条 件 の 要 件	(b) 垂直落下	—	[REDACTED]	1.2m 下部垂直落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_v$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ_v : 変形量 δ : 残量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。						
		(イ) 下部垂直落下														
		(1) 緩衝材の変形量														
		(2) 内容器胴部									1.2m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	[注2]	[注2] Sm を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板									1.2m 下部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式	[注3]	[注3] Sy を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(4) 内容器蓋									1.2m 下部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
		(5) 内容器蓋締付ボルト									1.2m 下部垂直落下	1	—	—		
(6) 燃料要素 [REDACTED]	1.2m 下部垂直落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1)b}$	[注3]	[注3]										
[REDACTED]		1	引張応力	$\sigma_t = \frac{W_o}{A}$												
		1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$												
(7) 燃料要素押え具	1.2m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{P}{A}$	[注3]	[注3]										

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (17/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準						
						種類	荷重係数	要素									
核 分 裂 の 性 試 験 輸 送 条 件 物 件 の 要 件	一 般 性 輸 送 条 件	(ロ) 上部垂直落下	—	[REDACTED]	1.2m上部垂直落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_v$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ : 残量 δ_v : 変形量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。							
		(1) 緩衝体の変形量									—	1.2m上部垂直落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_v$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ : 残量 δ_v : 変形量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。
		(2) 内容器胴部									—	1.2m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	[注2]	[注2] Smを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板									—	1.2m上部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式	[注3]	[注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(4) 内容器蓋									—	1.2m上部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
		(5) 内容器蓋締付ボルト									—	1.2m上部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{R}{n \cdot A_r}$		
		(6) 燃料要素・[REDACTED]									—	1.2m上部垂直落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1)b}$	[注3]	[注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
													1	引張応力	$\sigma_t = \frac{W_o}{A}$		
													1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具									—	1.2m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$	[注3]	[注3]
(c) コーナー落下	—	1.2mコーナー落下	1	曲げ応力	水平成分及び垂直成分に分解して 3. (a) 及び 3. (b) 項の結果より評価	$\sigma_{max} = \sigma_v + \sigma_H$ $\sigma_v = \frac{N_v \cdot W \cdot L_v \cdot l_{vMAX}}{2 \sum l^2 \cdot A_r}$ $\sigma_H = \frac{N_H \cdot W \cdot L_H \cdot l_{HMAX}}{2 \sum l^2 \cdot A_r}$	[注3]										
(1) 内容器蓋締付ボルト	—	1.2m上部コーナー落下															

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (18/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
核 分 裂 の 性 輸 送 物 の 要 件	一 般 性 輸 送 物 の 要 件	3. 積み重ね試験	—	—	—	—	—	—	—	[注1] S_u を基準値とし、 各応力成分ごとに 基準値を設ける。 [注2] S_y を基準値とし、 各応力成分ごとに 基準値を設ける。	
		(1) 内容器胴部									—
	(2) 内容器蓋	—	輸送物重量	5+自重	組合せ応力						
		4. 貫通	—	—	—	—	—	—	—	貫通しない こと。	
		(1) 外容器									軟鋼棒の落下衝撃

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (20/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準					
						種類	負荷係数	要素								
核 分 裂 の 性 試 験 輸 送 条 件 物 件 の 要 件	特 別	(ロ) 上部垂直落下	—	■	9m上部垂直落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_v$ δ_o : 変形前の厚さ δ : 残量 δ_v : 変形量	} [注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が、許容値内であること。						
		(1) 緩衝材の変形量									9m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{F}{A}$	} [注2]	[注2] Suを基準とし、各応力成分ごとに、基準値を設ける。
		(2) 内容器胴部									9m上部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式	} [注3]	
		(3) 内容器底板									9m上部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式		} [注3] [注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(4) 内容器蓋									9m上部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot A_i}$		
		(5) 内容器蓋締付ボルト									9m上部垂直落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1) b}$		
		(6) 燃料要素・ ■									9m上部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{W_o}{A}$	} [注3]	
		1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$												
		(7) 燃料要素押え具	—	■	9m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{A}$	} [注3]							

(d) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (21/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準	
						種類	負荷係数	要素				
核 分 裂 の 性 試 験 輸 送 条 件 の 要 件	特 別 性 試 験 条 件	(b) 水平落下 (1) 緩衝材の変形量	—	[REDACTED]	[REDACTED]	9m水平落下	1	変形量	$\delta = \delta_o - \delta_H$ δ_o : 変形前の最小厚さ δ : 残量 δ_H : 変形量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が基準値内であること。 [注3] Suを基準とし、各応力成分ごとに、基準値を設ける。 [注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注2] [注2] [注2] [注2] [注4] [注2]	[注4] 基準値は σ_{cr} である。
		(2) 内容器胴部	—			9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注3]		
		(3) 内容器底板	—			9m水平落下	1	組合せ応力	固定円板の式			
		(4) 内容器上端部 (内容器蓋)	—			9m水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$			
		(5) 内容器蓋締付ボルト	—			9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M \cdot \ell_{max}}{I}$	[注2]		
		(6) 燃料バスケット	—			9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注2]		
		(7) 燃料要素 [REDACTED]	—			9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注2]		
							1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{a(h_2 - h_1)}$	[注2]		
			1	座屈応力	$\sigma_y = \sigma_{cr} \left(1 + \frac{e}{r} \sec \frac{L}{2K} \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{E}} \right)$ σ_y : 設計降伏点 σ_{cr} : 座屈応力 E : 縦弾性係数 K : 断面二次半径 L : 長さ r : 断面係数/断面積 e : 偏心量	[注4]						
		(8) 燃料要素押え具	—	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注2]				

(ロ) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (22/24)

記号の説明

σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準
						種類	負荷係数	要素			
核 分 裂 の 性 試 験 輸 送 条 件 の 要 件	特 別 の 輸 送 条 件	(c) コーナー落下	—	[REDACTED]	[REDACTED]	9m コーナー落下	1	水平成分及び垂直成分に分解して 1. (a) 及び 1. (b) 項の結果より評価	[注1]	[注1] Sy を基準値とし、 各応力成分ごとに 基準値を設ける。	
		(1) 内容器蓋締付ボルト				9m 上部コーナー落 下	1	曲げ応力			$\sigma_{\max} = \sigma_v + \sigma_H$ $\sigma_v = \frac{N_v \cdot W \cdot L_v \cdot \ell_{v\text{MAX}}}{2 \sum \ell^2 \cdot A_i}$ $\sigma_H = \frac{N_H \cdot W \cdot L_H \cdot \ell_{H\text{MAX}}}{2 \sum \ell^2 \cdot A_i}$

(v) - 第 A.4 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (23/24)

記号の説明

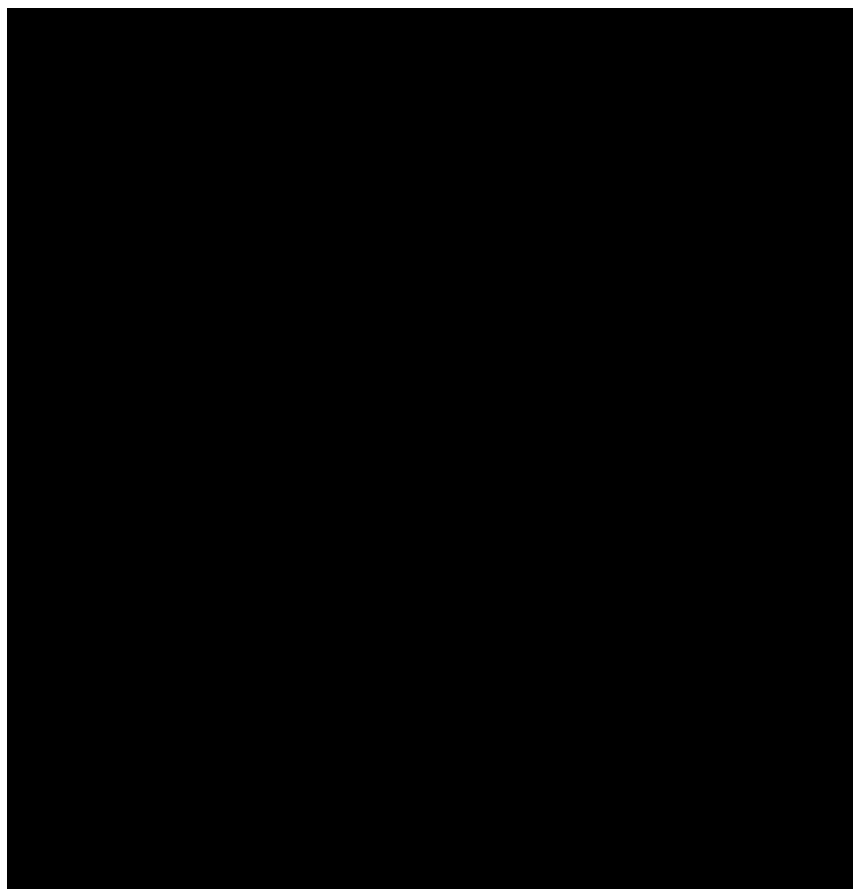
σ : 主応力 τ_t : ねじり応力
 σ_t : 引張応力 F : 荷重
 σ_c : 圧縮応力 P : 圧力
 τ : せん断応力 A : 断面積

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	設計負荷			適用数式または要素		設計基準																			
						種類	負荷係数	要素																						
核 分 別 の 裂 性 試 験 輸 送 条 件 物 件 の 要 件	特 別 性 試 験	2. 落下試験Ⅱ	—	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]																				
		貫通									—	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]												
		(1) 外容器蓋部																	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー	貫通しないこと								
	(2) 外容器底部	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー																										
	(3) 外容器胴部	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー																										
	輸 送 条 件 物 件 の 要 件	輸 送 条 件	3. 熱的試験	—	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]																			
			熱膨張									—	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]											
			(1) 内容器内面と燃料バスケット外面																	熱膨張	1	圧縮	熱応力による拘束の有無	無						
			(v) 圧力による応力																	—	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]		
(1) 内容器胴部			内圧																										1	組合せ応力
(2) 内容器底板			内圧																					1					組合せ応力	固定円板の式
(3) 内容器蓋	内圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式																										
(4) 内容器蓋締付ボルト	初期締付力	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{A_i}$	[注2]	[Redacted]	[注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。																							
	内圧	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot A_i}$																										
(5) 内容器蓋リング部の変位	内圧	1	変位	リング部変位の式	[注3]	[Redacted]	[注3] 初期締め代約																							

A.2 重量及び重心

本輸送物の重量は、(イ)－第 C.3 表に記載したとおりで、最大 [REDACTED] である。

また、輸送物の重心位置は、(ロ)－第 A.1 図に示すとおりである。



(ロ)－第 A.1 図 重心の位置

A.3 材料の機械的性質

解析に用いる材料の機械的性質の一覧を (ロ)－第 A.5 表に示す。

設計基準値となる材料の機械的性質を (ロ)－第 A.6 表に示す。なお、現在の適切な出典⁽²³⁾に基づく値を () 内に示す。本輸送容器の主要部材等の機械的性質に、これら現在の適切な出典に基づく値を用いた場合においても、解析結果に与える影響は軽微であり、安全性に問題がないことを確認した。

ステンレス鋼、[REDACTED] の温度に対する機械的性質の変化を (ロ)－第 A.2 図、(ロ)－第 A.3 図、(ロ)－第 A.4 図及び (ロ)－第 A.5 図に示す。

また、疲れ解析に用いる設計疲れ線図を (ロ)－第 A.6 図及び (ロ)－第 A.7 図に示す。

なお、緩衝材に使用している [REDACTED] の応力－歪線図を (ロ)－第 A.8 図に示す。これらの値は後述の参考文献より引用した。

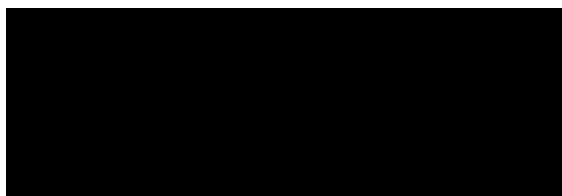
(ロ) - 第 A. 5 表 材料の機械的性質

材 料	記 号	主 要 適 用 部 品	縦弾性係数 E [N/mm ²]	線膨張係数 α [1/°C]	設計引張強さ Su [N/mm ²]	設計降伏点 Sy [N/mm ²]	設計応力強さ Sm [N/mm ²]	ポアソン比 ν	応力-歪線図
[Redacted]	[Redacted]	内容器本体 外容器本体及び外容器蓋 燃料バスケット	(ロ)-第 A. 2 図 (4/5)	(ロ)-第 A. 2 図 (5/5)	(ロ)-第 A. 2 図 (1/5)	(ロ)-第 A. 2 図 (2/5)	(ロ)-第 A. 2 図 (3/5)	[Redacted]	—
		内容器蓋 内容器蓋締付ボルト 外容器蓋締付ボルト	(ロ)-第 A. 3 図 (3/4)	(ロ)-第 A. 3 図 (4/4)	(ロ)-第 A. 3 図 (1/4)	(ロ)-第 A. 3 図 (2/4)	(ロ)-第 A. 4 図 (1/1)		—
		燃料要素 (A) [Redacted]	—	—	—	(ロ)-第 A. 5 図 (1/1)	—		—
		緩衝材	—	—	—	—	—		(ロ)-第 A. 8 図

(ロ) - A - 34

ステンレス鋼 ; 参考文献(2)

() 内数字は図番の枚数番号を示す。

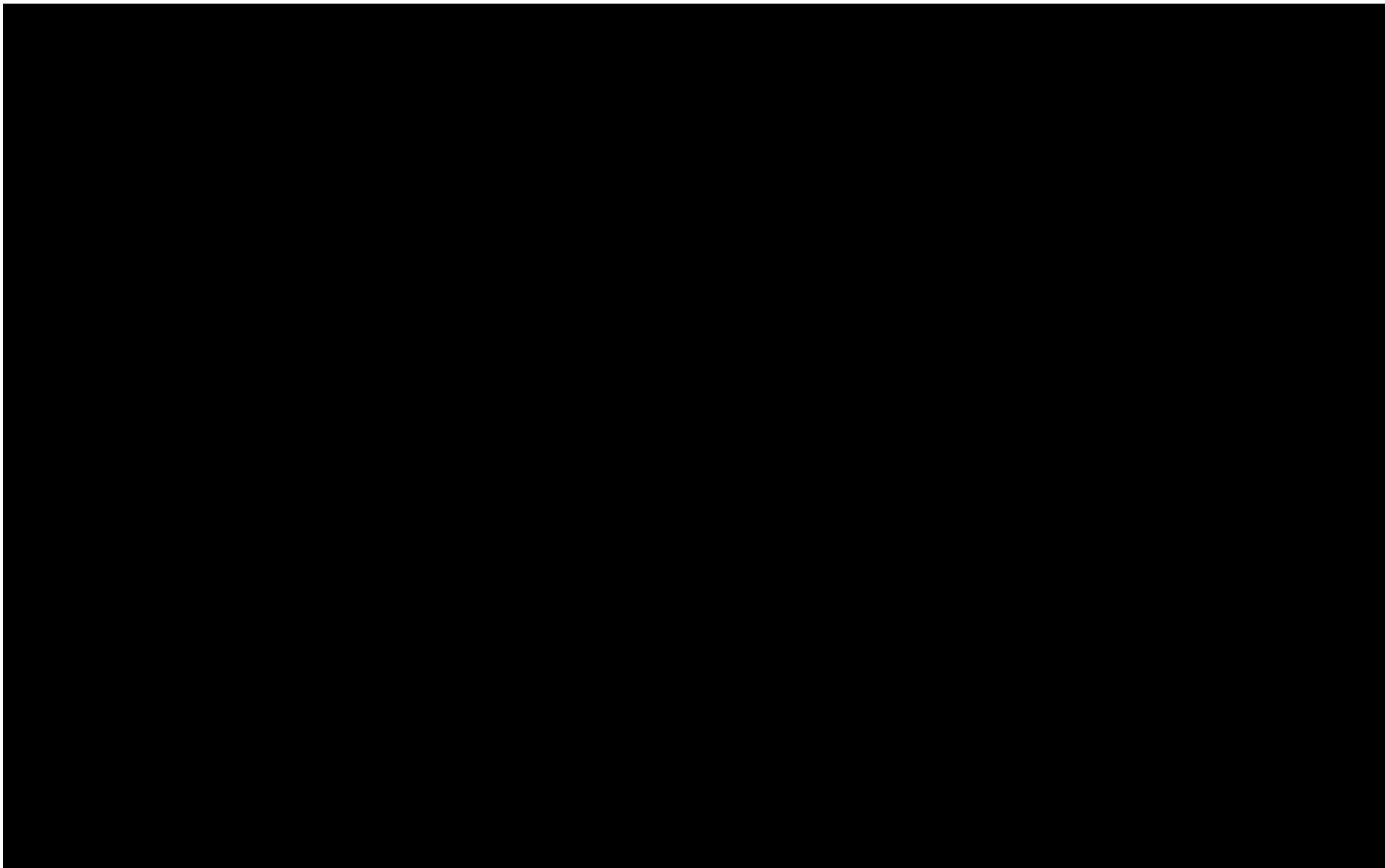


(ロ) 第 A.6 表 設計基準値となる材料の機械的性質

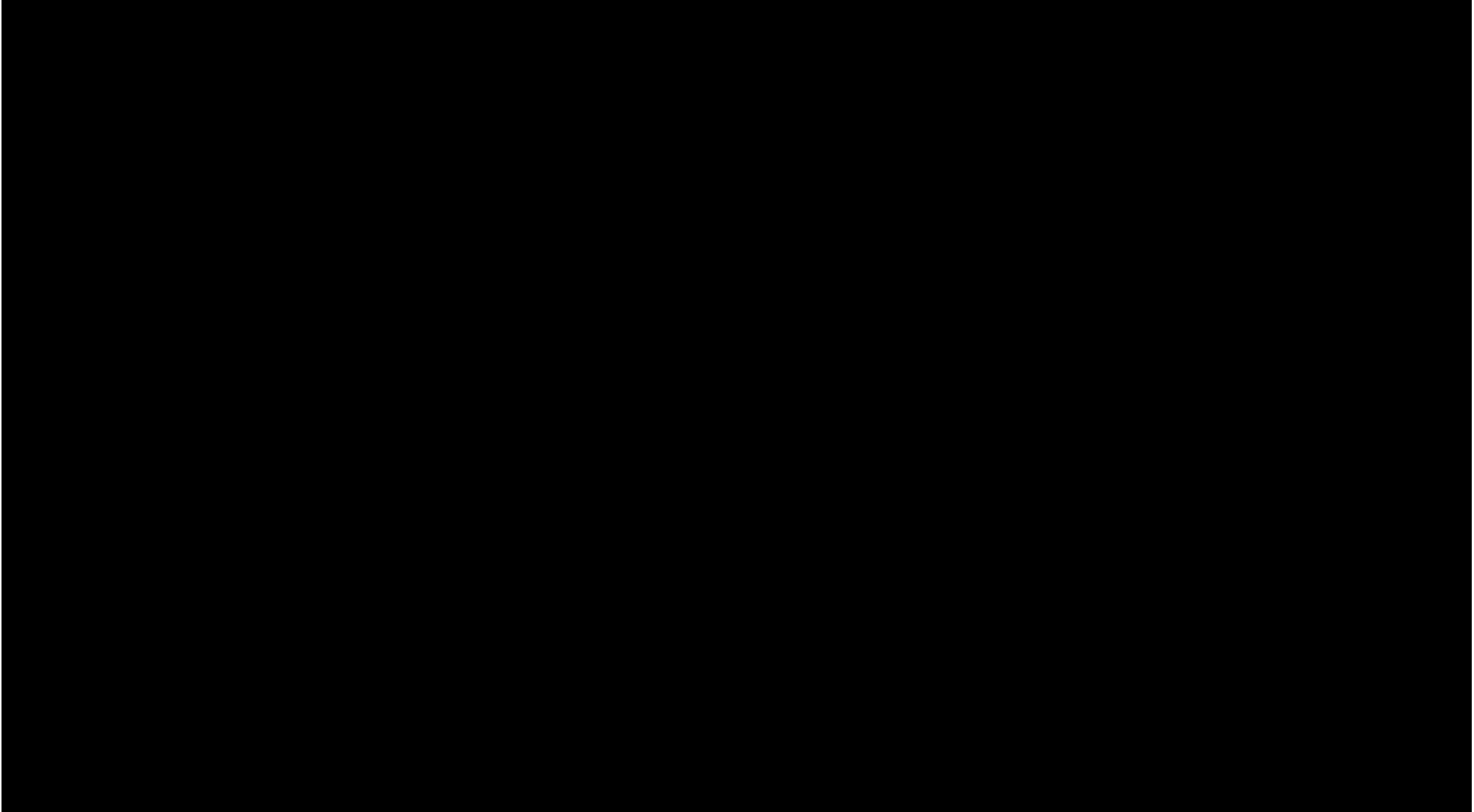
No	評価位置	材 料	<ul style="list-style-type: none"> 一般の条件 一般の試験条件 特別の試験条件（熱的試験を除く） 					<ul style="list-style-type: none"> 特別の試験条件（熱的試験のみ） 						
			T	Sm	Sy	Su	E	α	T	Sm	Sy	Su	E	α
1	内容器本体	[Redacted]												
2	内容器蓋													
3	燃料バスケット													
4	外容器本体													
5	外容器蓋													
6	内容器蓋締付ボルト													
7	外容器蓋締付ボルト													
8	燃料要素 (A) [Redacted]													
9	燃料要素押え具 [Redacted]													

記号の説明

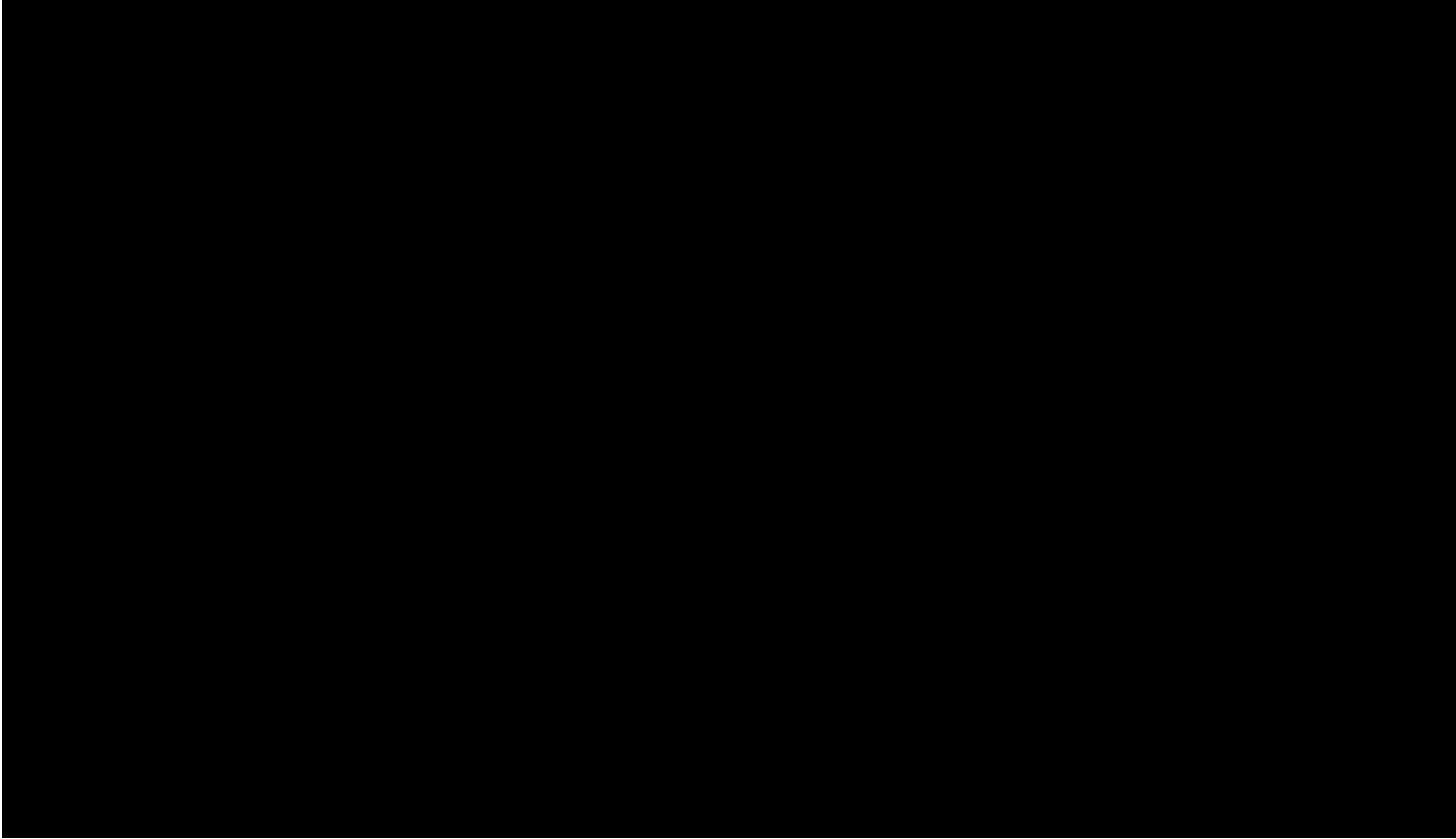
T ; 温度 [°C] *1 : KUR 燃料要素及び [Redacted] の設計降伏点
 Sm ; 設計応力強さ [N/mm²] *2 : KUR 燃料要素及び [Redacted] 設計降伏点
 Sy ; 設計降伏点 [N/mm²] () : 発電用原子炉設備規格 材料規格 (2012 年版)
 Su ; 設計引張強さ [N/mm²] に基づく値
 E ; 縦弾性係数 [×10⁵N/mm²] α ; 線膨張係数 [×10⁻⁶°C⁻¹]



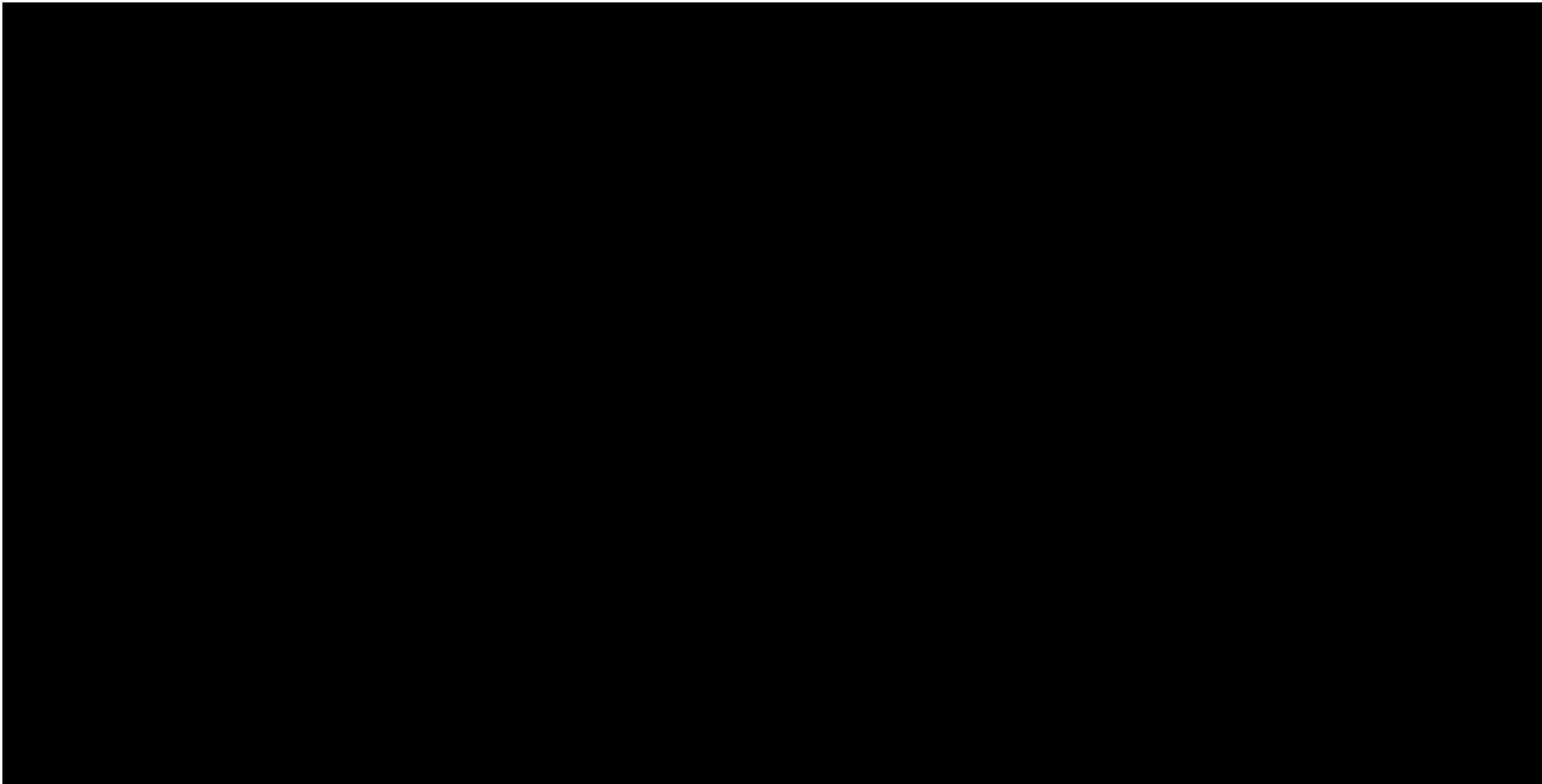
(甲) - 第 A. 2 図 [redacted] の温度に対する機械的性質の変化 (1/5)

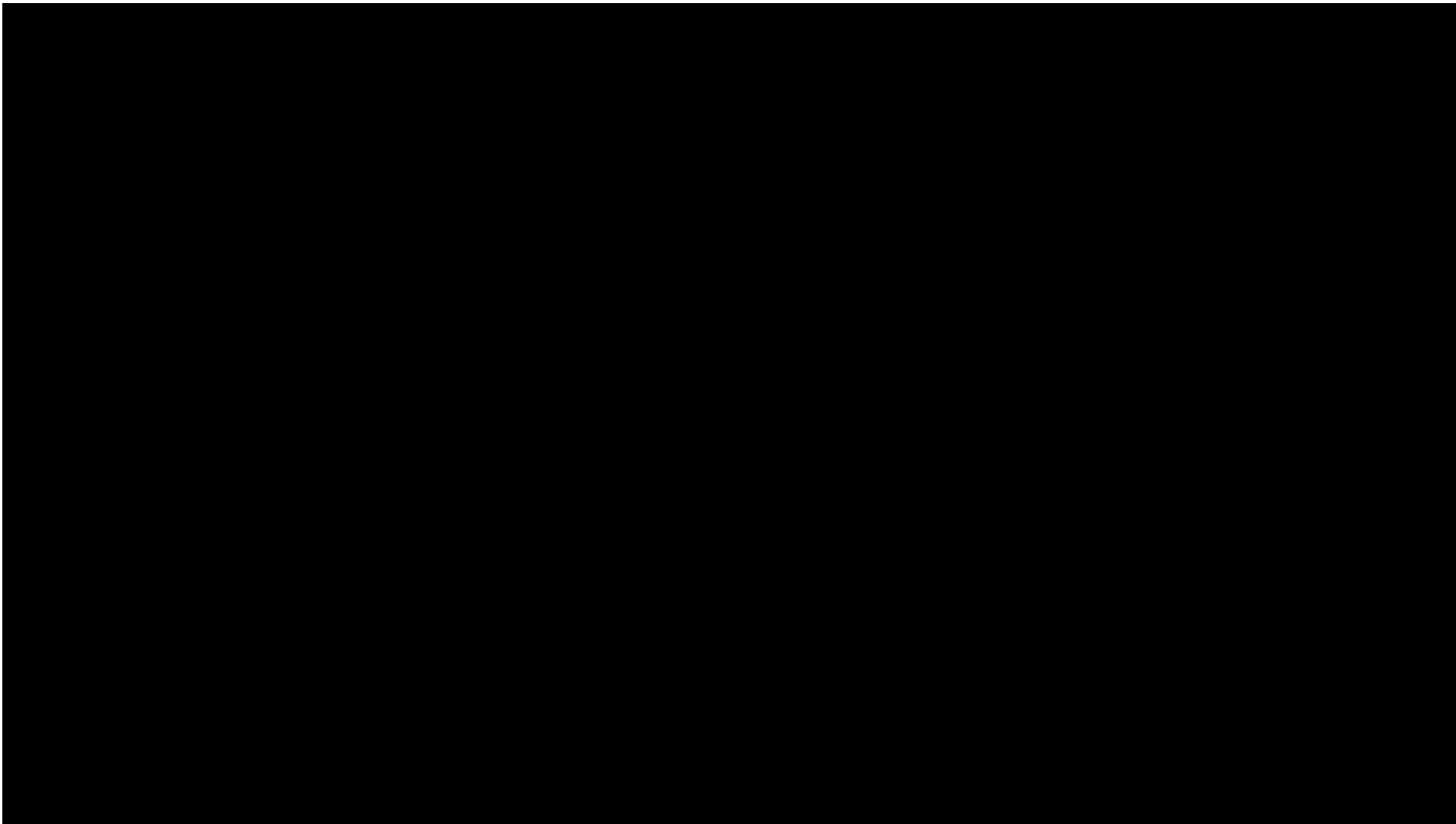


(ロ) - 第 A. 2 図 [redacted] の温度に対する機械的性質の変化 (2/5)

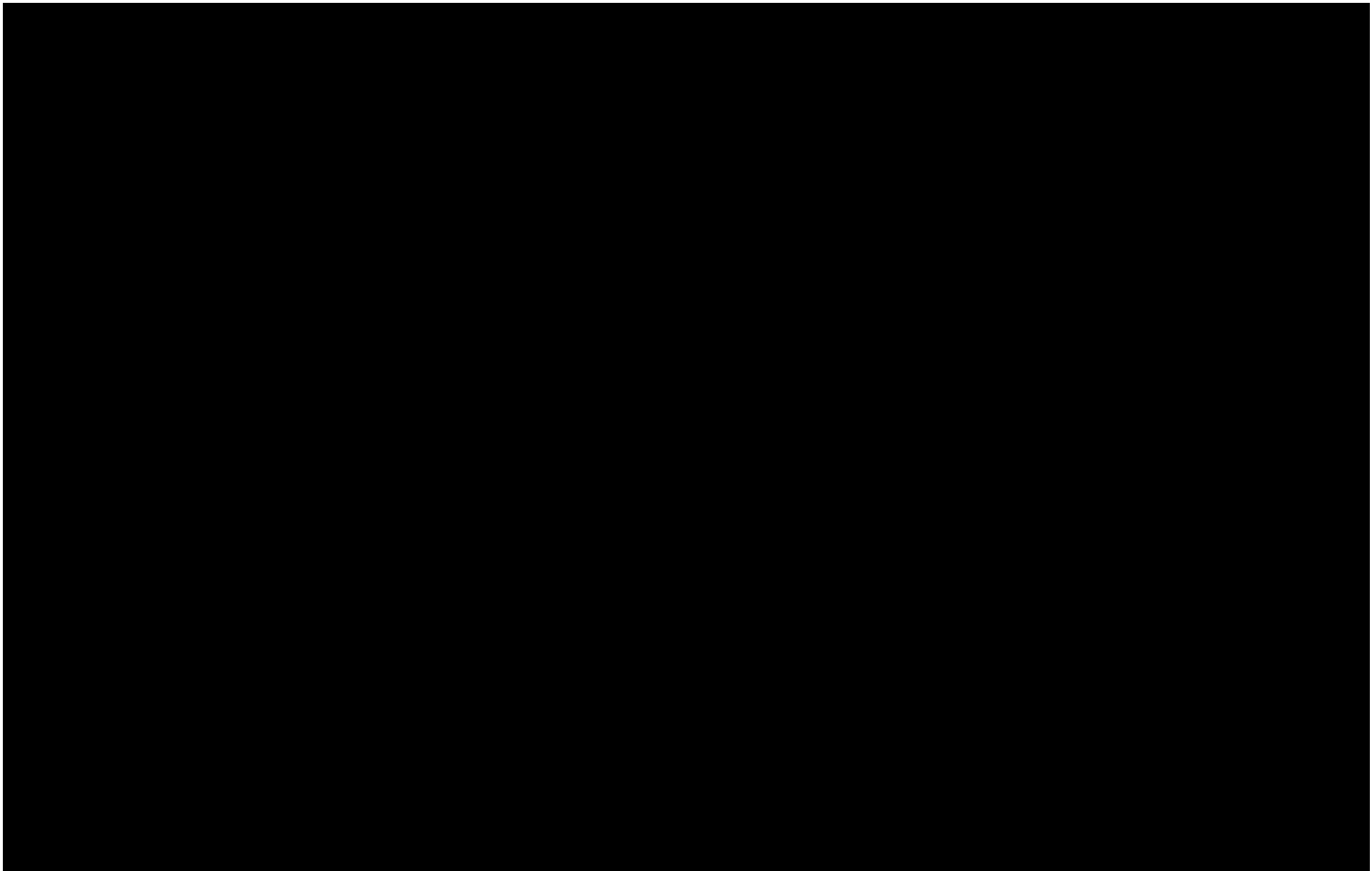


(甲) - 第 A. 2 図 [redacted] の温度に対する機械的性質の変化 (3/5)

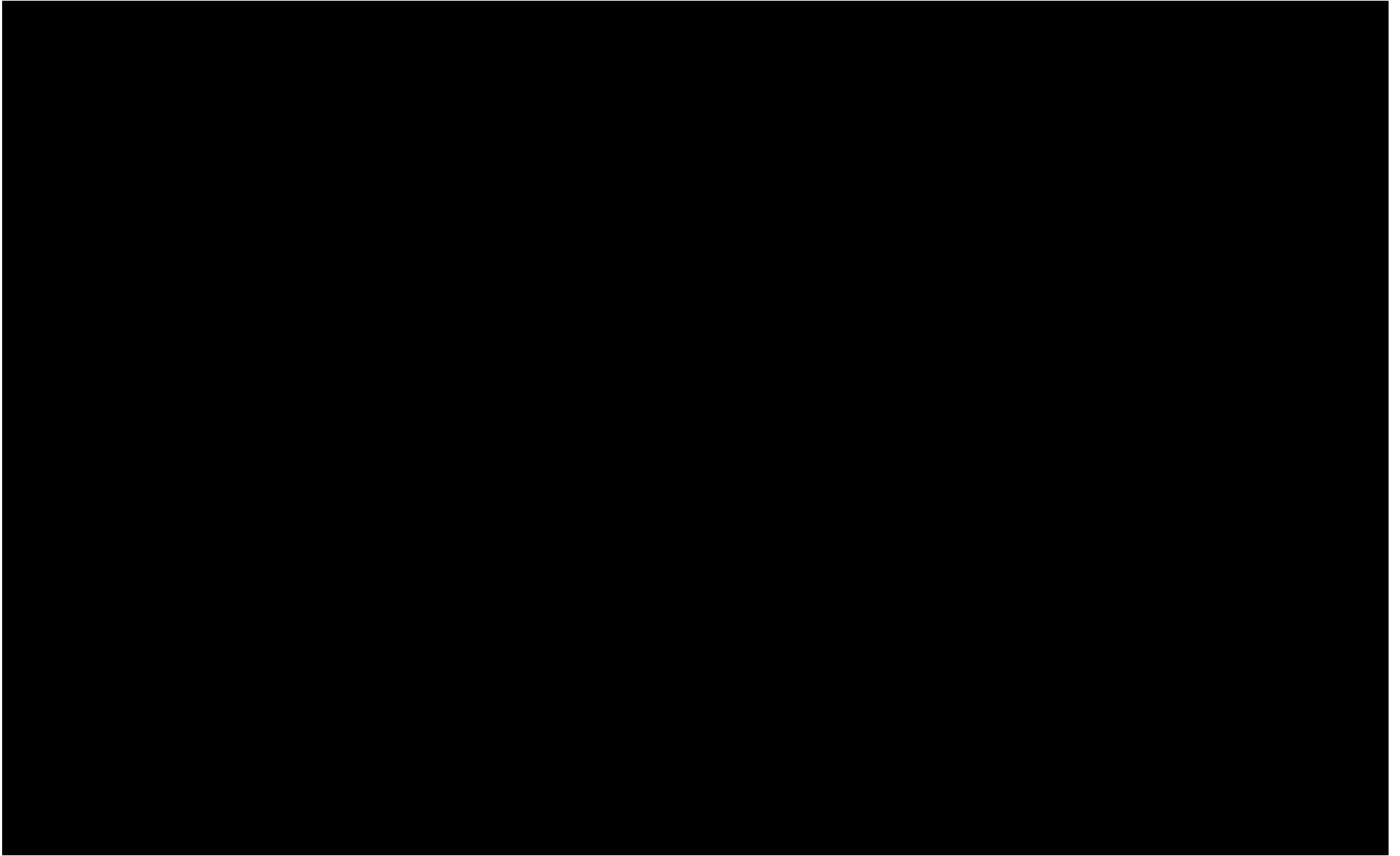




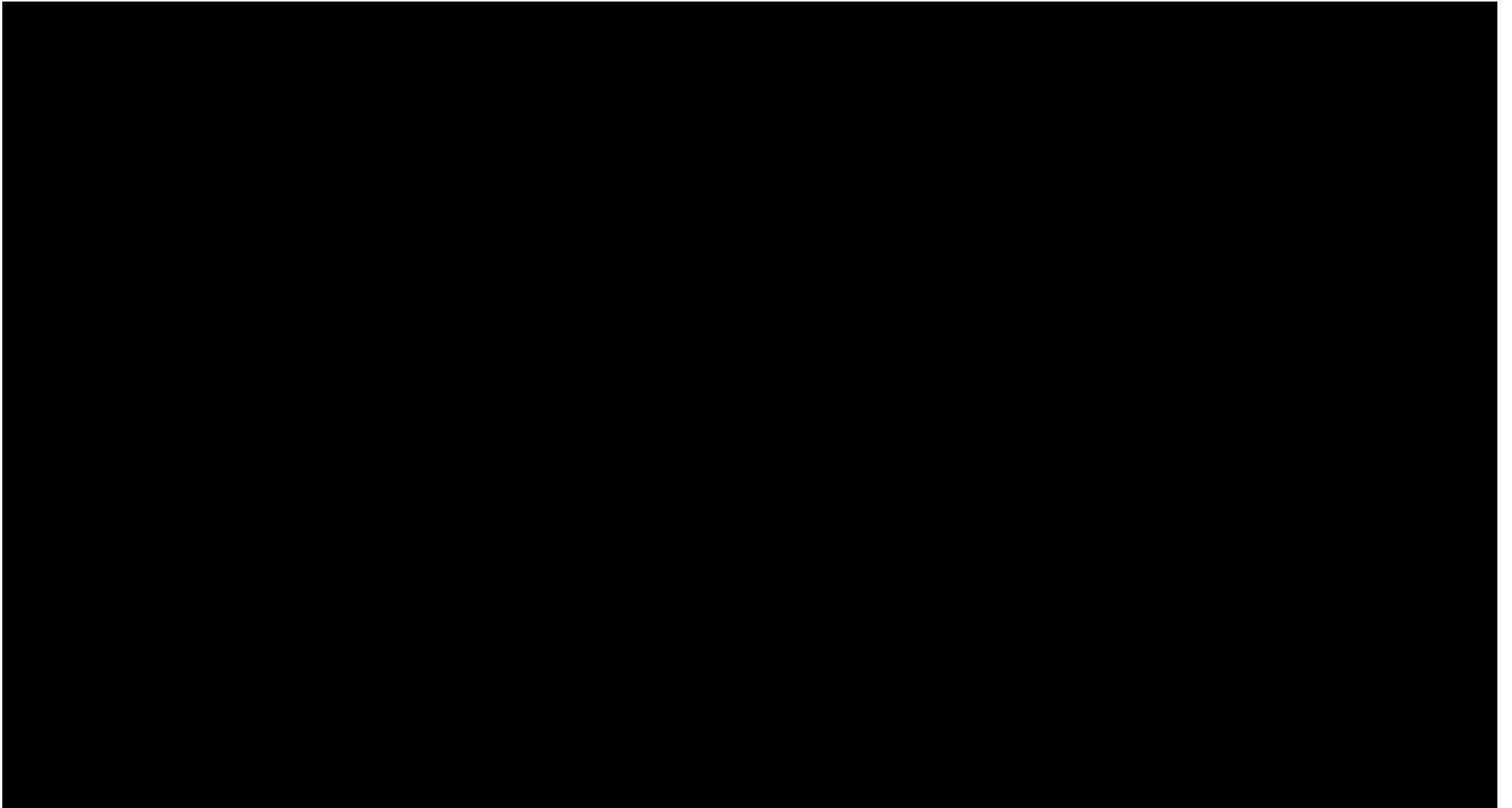
(甲) - 第 A. 2 図 [redacted] の温度に対する機械的性質の変化 (5/5)



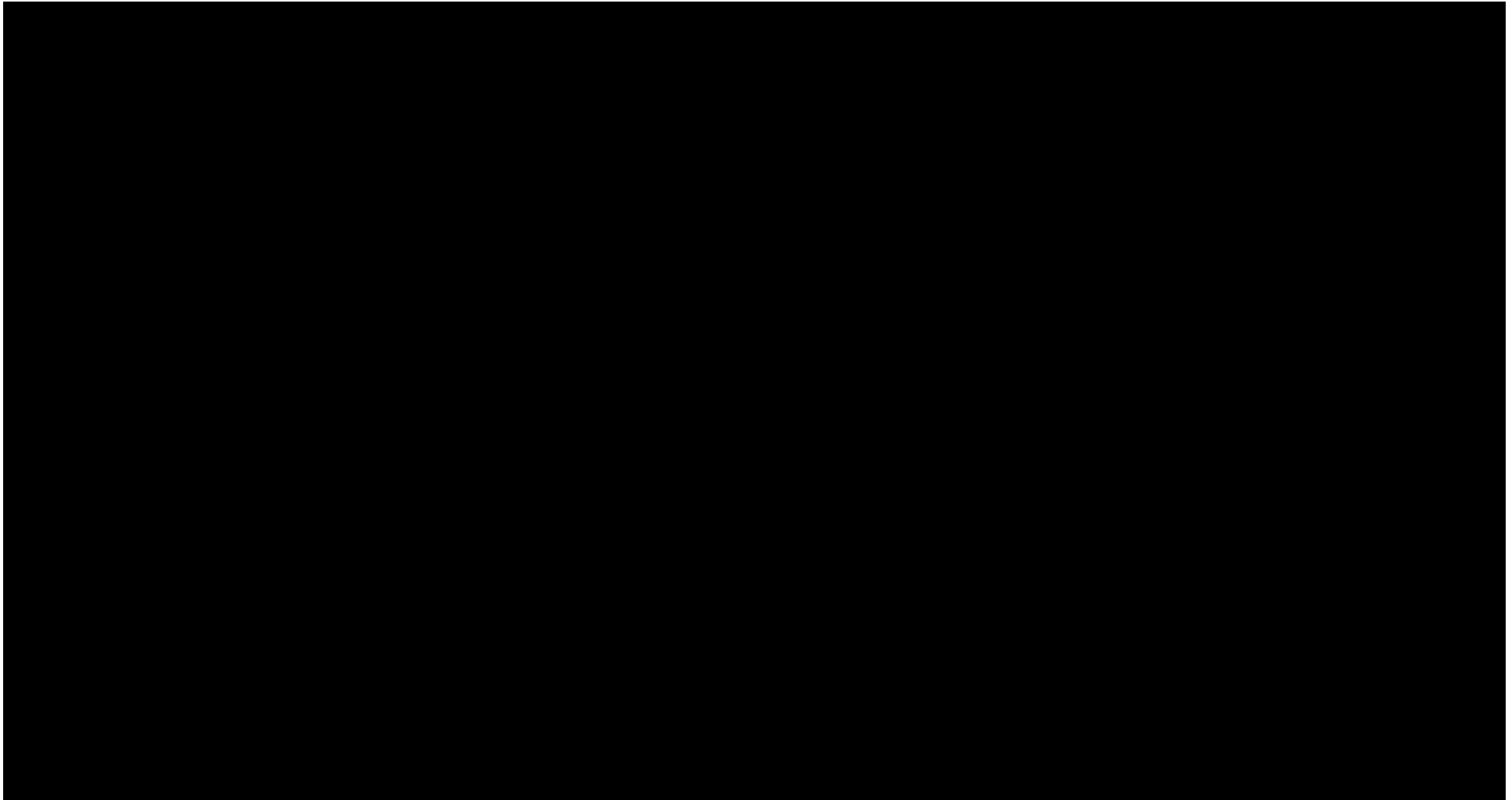
(甲) - 第 A. 3 図 [REDACTED] の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (1/4)



(甲) - 第 A. 3 図 [REDACTED] の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (2/4)

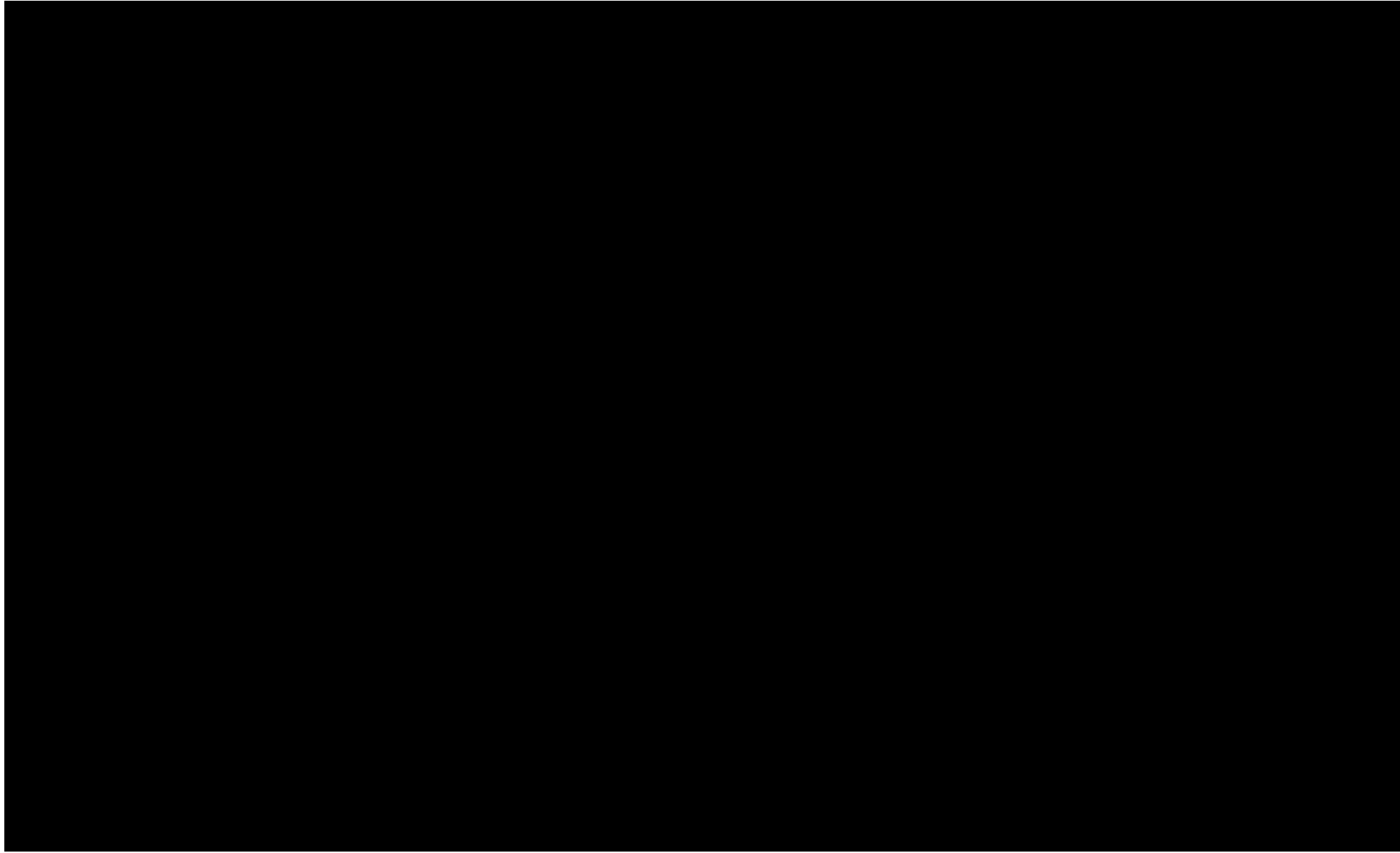


(甲) - 第 A. 3 図 の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (3/4)

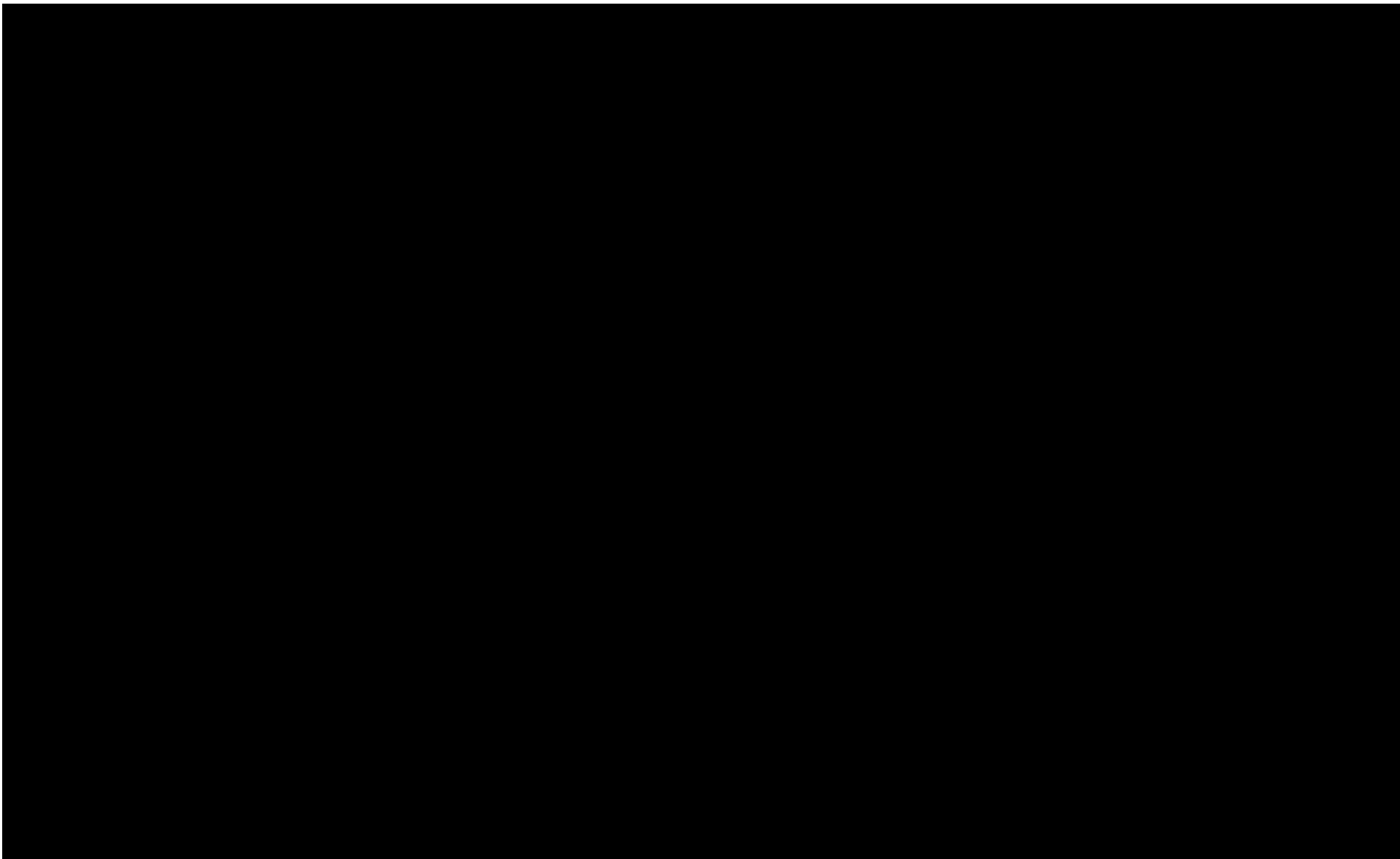


(ア) - 第 A. 3 図 [redacted] の温度に対する機械的性質の変化 (ボルト材) (4/4)

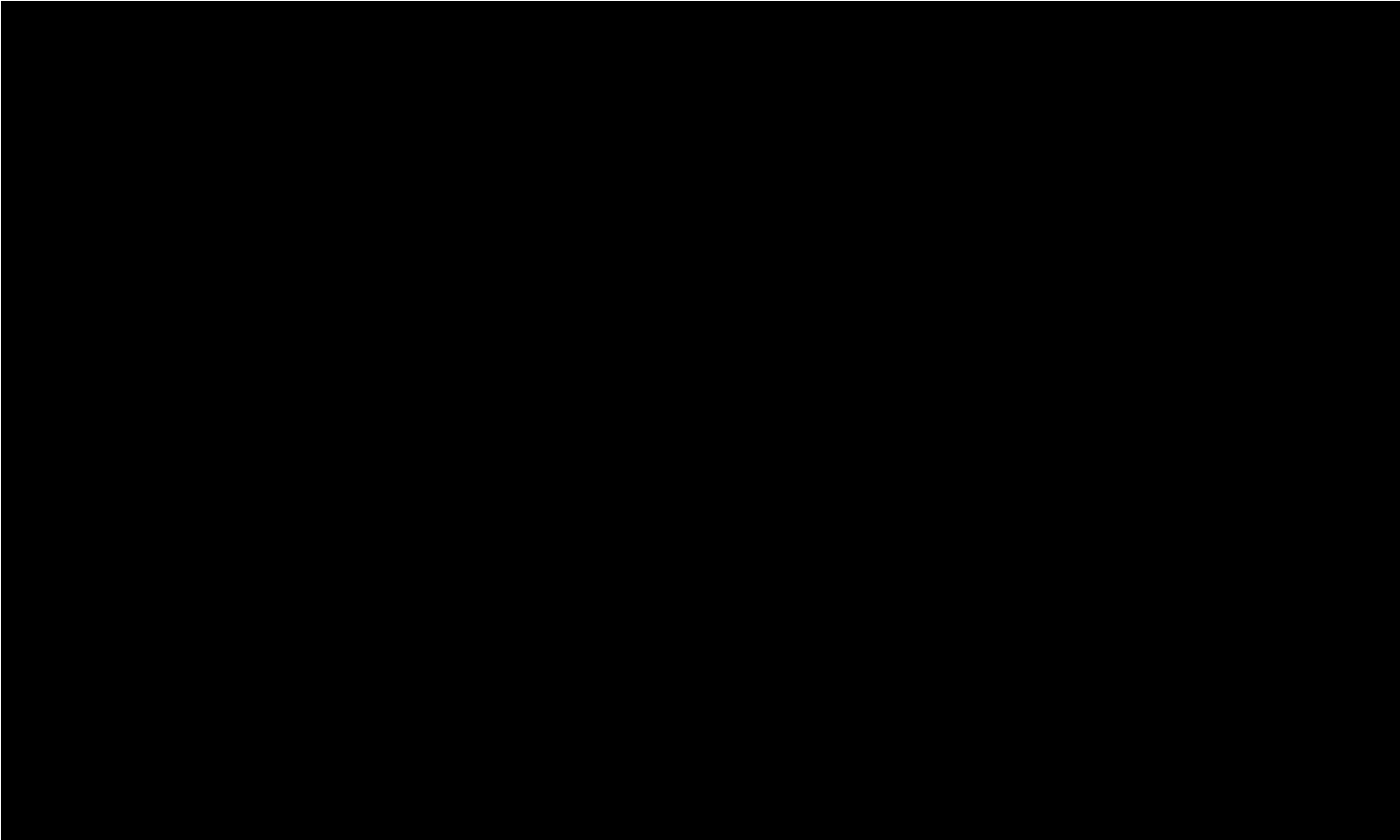
(甲) - A - 45



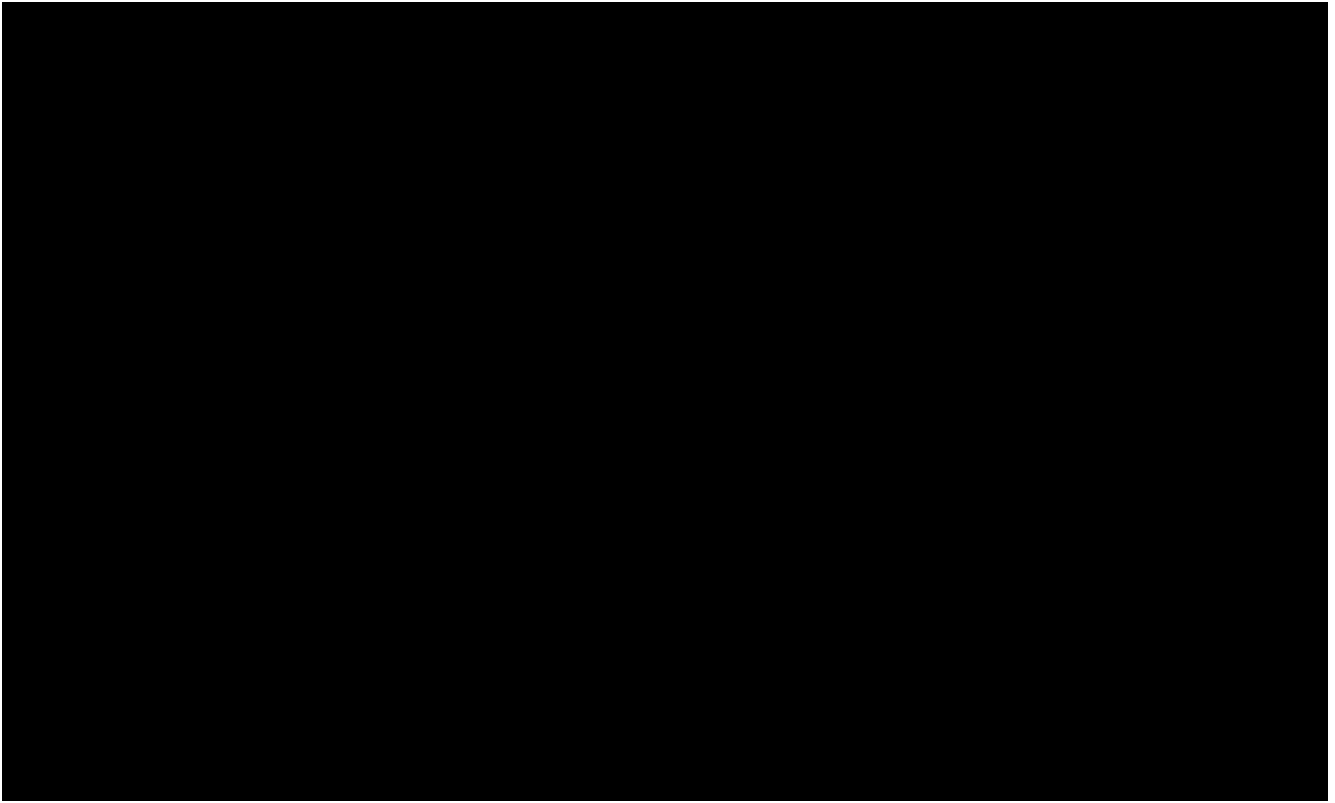
(甲) - 第 A. 4 図 [REDACTED] の温度に対する機械的性質の変化 (1/1)



(甲) - 第 A. 5 図 温度に対する機械的性質の変化 (1/1)



(□) - 第 A. 6 図 設計疲れ線図 ([redacted])



(□) - 第 A. 7 図 設計疲れ線図 [redacted]



(a) - 第 A. 8 図 緩衝材の応力-歪線図 ^[4]

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

本輸送物中の接触する異種材料の一覧を (ロ)－第A.7表 に示す。

本輸送物に使用されている材料は空気中で化学的に安定した材料であり、異種材料の接触により化学的及び電氣的に反応することはない。

(ロ)－第A.7表 接触する異種材料の一覧

接 触 物	接 触 材 料
内容物 } 外容器 } —緩衝材	
内容器 } 外容器 } —断熱材	
内容器本体 } 内容器蓋 } —Oリング	
燃料バスケット } 内容器蓋 } —スペーサ	
保護シート — スペーサ	
保護シート — 燃料バスケット	
保護シート — 周辺緩衝材	
保護シート — 収納物	
周辺緩衝材 — 収納物	
クッションゴム — 下部バスケット	
内容器 } 外容器 } —ガスケット	
取付金具 — 溶融栓	

A. 4. 2 低温強度

本輸送物は(イ)－B項で示すように BU 型輸送物である。したがって、本項では輸送容器を－40℃の環境条件に置いた場合、使用に耐えることを示す。

(ロ)－第 A. 8 表 に輸送物各部の温度と使用材質の最低使用温度を示す。

(ロ)－第 A. 8 表 輸送物各部の最低温度

No.	評価位置	材質	最低温度(℃)	脆性遷移温度または最低使用温度(℃)	引用、文献、資料
1	収納物		－40	脆性破壊しない。	
2	内容器本体		－40	脆性破壊しない。	
3	外容器本体		－40	脆性破壊しない。	
4	内容器蓋		－40	－40 以下	
5	外容器蓋		－40	脆性破壊しない。	
6	燃料バスケット		－40	脆性破壊しない。	
7	内容器蓋締付ボルト		－40	－40 以下	
8	外容器蓋締付ボルト		－40	－40 以下	
9	内容器蓋Oリング		－40	－40 以下	
10	緩衝材		－40	－40 以下	
11	断熱材		－40	－40 以下	

内容器及び外容器の [] ステンレス鋼は (ロ)－第 A. 105 図 に示すように、また、内容器蓋及びボルト類に使用している [] ステンレス鋼は、(ロ)－第 A. 106 図 に示すように、－40℃において十分なる耐衝撃値を維持する。なお、燃料要素 [] は(ロ)－第 A. 8 表 に示す参考文献から、－40℃において、脆性破壊を発生しない。

Oリングに使用している [] 以下であり、－40℃においてもOリングは密封性能を保持する。

緩衝材に使用している [] (ロ)－第 A. 104 図 に示すように、室温、－20℃、－40℃において、材料特性に有意差はないため、－40℃において緩衝材としての機能を保持する。

したがって、－40℃の環境条件下でも、本輸送容器はその機能を維持する。

A. 4. 3 密装置

本輸送容器は、内容器本体内に燃料要素を収納した後、内容器蓋をボルト締めし、その後内容器蓋は、外容器蓋で覆われているので、内容器蓋は、不用意に開封されることはない。

[Redacted]

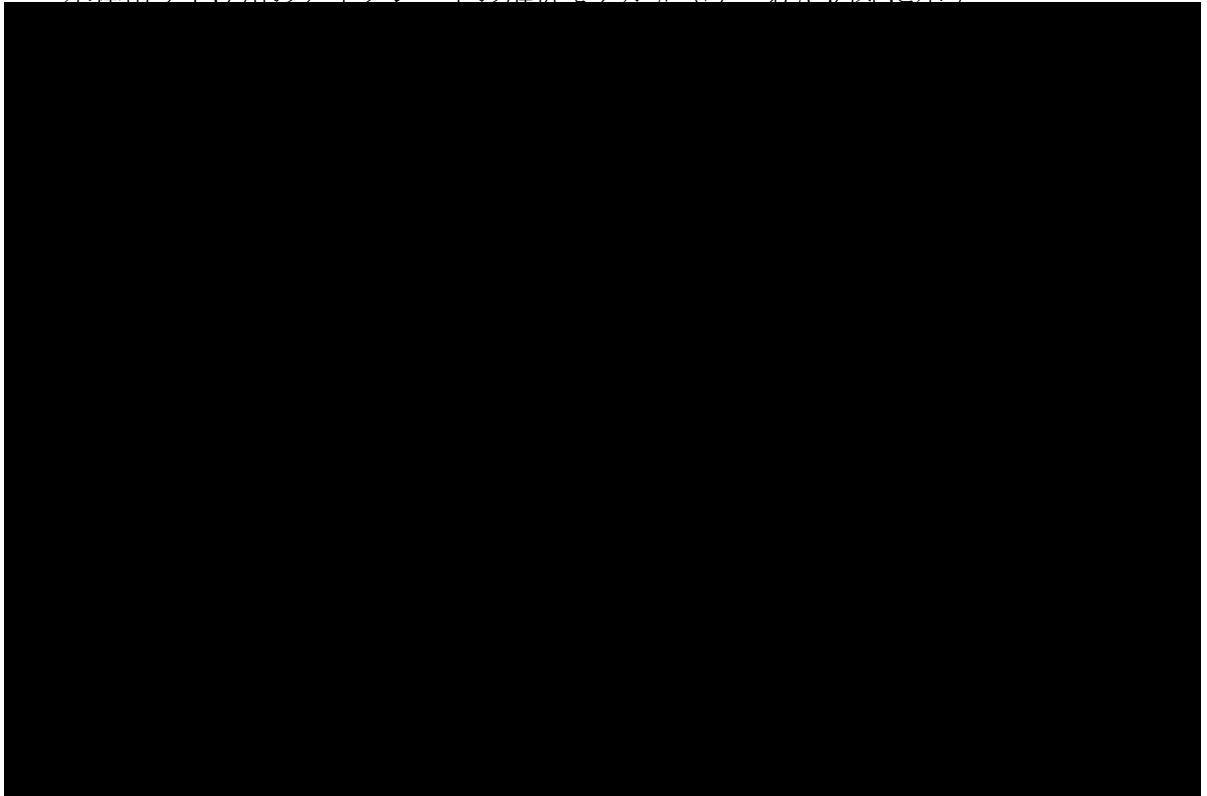
[Redacted]

[Redacted]

A. 4. 4 吊上装置

本項で説明する吊上装置は、外容器本体の側胴部に取り付けられた本体吊り上げ用のアイプレートである。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アイプレート取付位置の容器本体外表面の解析結果の最高温度■■■■を考慮、安全側に■■■■としたときの吊上装置の降伏応力 S_y を用いる。

本体吊り上げ用のアイプレートの解析モデルを(ロ)－第A. 9図に示す



(ロ)－第A. 9図 アイプレート解析モデル

本体吊り上げ用のアイプレートに加わる荷重に対する輸送物吊り上げ総重量 m_0 は、(イ)－第C. 3表に示すように最大■■■■である。

■■■■のアイプレートのうち1ヶ所に加わる輸送物吊り上げ時の最大荷重 F (N)は、負荷係数を3として次式で与えられる。

$$\text{■■■■} \quad \text{N}]$$

ここで、 g ; 重力加速度 $g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

よって、(□)－第 A.9 図に示すアイプレートに上方向垂直荷重 F [N] が作用するときの各断面に生ずる応力について解析する。

(1) A－A 断面

(□)－第 A.9 図に示すアイプレートの斜線部分（A－A 断面）に発生するせん断応力 τ [N/mm²] は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{t \cdot h}$$

ここで、 τ ; せん断応力 [N/mm²]

F ; 最大荷重

t ; 板厚

h ; 高さ

したがって、

$$\tau = \frac{F}{t \cdot h} \quad [\text{N/mm}^2]$$

となり、アイプレート材のせん断応力に対する設計基準値 (0.6Sy =) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS =

(2) B－B 断面

(□)－第 A.9 図に示すアイプレートの固定部分（B－B 断面）に発生する曲げ応力 σ_b (N/mm²) は次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{F \cdot \ell}{tb^2/6}$$

ここで、 M ; 曲げモーメント [N/mm]

Z ; 断面係数 [mm³]

ℓ ; モーメントアーム

b ; アイプレート幅

t ; 板厚

したがって、

$$\sigma_b \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

となり、アイプレート材() の設計降伏点 (Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

次に、B-B断面に発生するせん断応力 τ は次式で与えられる。

$$\tau \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

となり、アイプレート材 のせん断応力に対する設計基準値 (0.6Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

上記の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ との合成応力 σ [N/mm²] は、次式で与えられる。

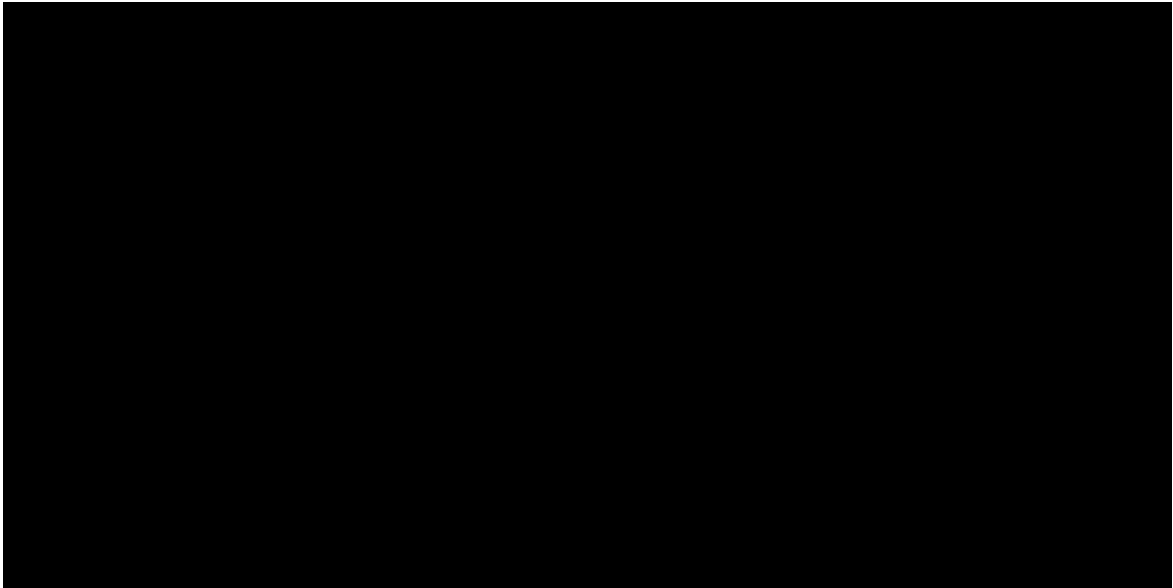
$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} = \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

となり、アイプレート 設計降伏点 (Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

(3) B-B断面溶接部



(□) - 第 A. 10 図 アイプレート溶接部解析モデル

(□) - 第 A. 10 図 に示すアイプレート固定部分溶接部に発生する曲げ応力 σ_b (N/mm²) は次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{F \cdot \ell}{Z}$$

ここで、 Z ; 溶接部の断面係数 [mm³]

$$Z = \frac{1}{6} \cdot 2a \cdot b^2$$

a ; 溶接のど厚

b ; 板幅

したがって、 σ_b は、次の値となる。

$$\sigma \quad [N/mm^2]$$

これは溶接部の設計基準値 (0.45Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、以下の値となる。

MS

次に、B-B断面溶接部に発生するせん断応力は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{2a \cdot b}$$

[N/mm²]

これは、溶接部のせん断応力に対する設計基準値 (0.45×0.6×Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、以下の値となる。

M

上記の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ との合成応力 σ (N/mm²) は、次式で与えられる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

[N/mm²]

となり、溶接部の設計基準値 (0.45Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

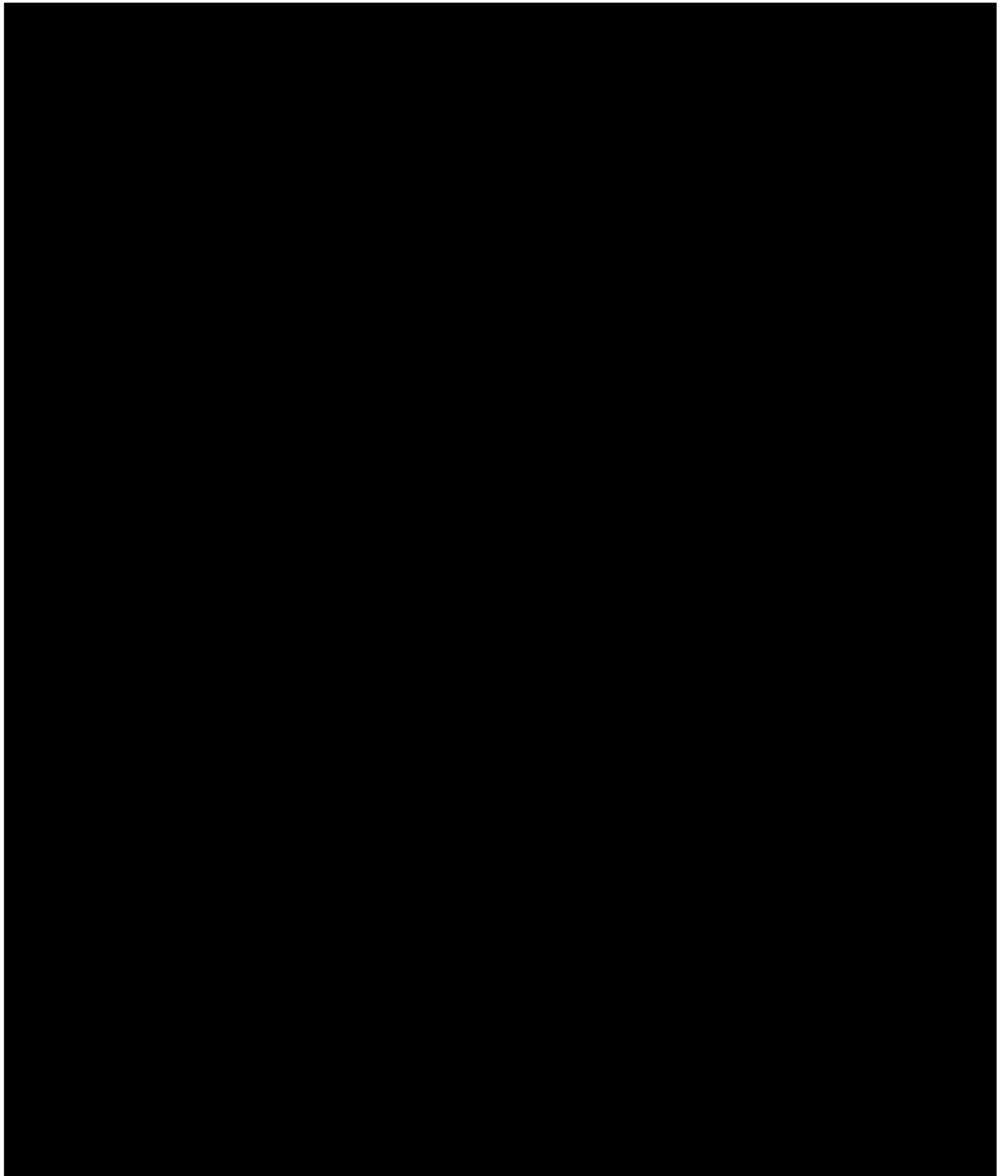
以上の解析結果の要約を (ロ) - 第 A.9 表 に示す。

(ロ) - 第 A.9 表 に示すように、解析結果の余裕率 MS は、いずれも正であり、吊上時においてアイプレートは健全である。

なお、使用年数を、使用回数として年 3 回、1 回の輸送当たりの取り扱い回数を 10 回とした場合、吊り上げ繰返し回数は 回となる。上記 (1) ~ (3) での評価における最大応力は で、その繰返し応力は となるが、これは (ロ) - 第 A.6 図 に示す設計疲れ線図の 回での繰返しピーク圧力強さ 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。

A. 4. 5 固縛装置

本輸送容器は、(ロ)－第 A. 11 図 に示すように、固縛装置に固縛して輸送される。
輸送容器と固縛装置はアイプレート及びターンバックルを介して固縛される。



(ロ)－第 A. 11 図 輸送時加速度

輸送中に加わる加速度は、(㉓)－第 A. 11 図に示すように、前後方向 2G、左右方向 1G、上方向 1G、下方向 3G である。

上記の合成力を考慮し、(㉓)－第 A. 11 図における④点及び⑤点を支点とする転倒モーメントにより、ターンバックルに加わる引張力は下記で与えられる。

$$T_A = \frac{2 \cdot H_G + R}{2H_T \sin\theta \cdot \sec\alpha + 2\cos\theta \{R(1 + \cos\alpha) + E\cos\alpha\}} \times m_o \times g \quad [N]$$

$$T_B = \frac{3 \cdot H_G \cos\alpha + R}{H_T \sin\theta + (2R + E) \cos\theta} \times m_o \times g \quad [N]$$

ここで、

T_A ; ④点を支点とした時のターンバックル引張力

T_B ; ⑤点を支点とした時のターンバックル引張力

H_G ; 重心高さ H_G

H_T ; アイプレート中心までの高さ H_T

R ; 輸送容器外半径 R

E ; アイプレートの取付長さ E

θ ; ターンバックル角度 θ

α ; アイプレート方向角度 α

m_o ; 輸送物質質量 m_o

g ; 重力加速度 g

より、次の値となる。

T_A

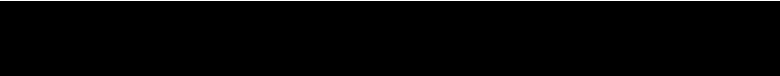
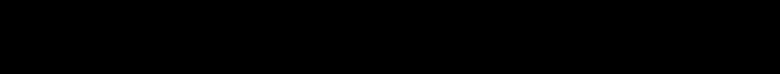

T_B

したがって、⑤点を支点とする場合が、引張力は大きいため

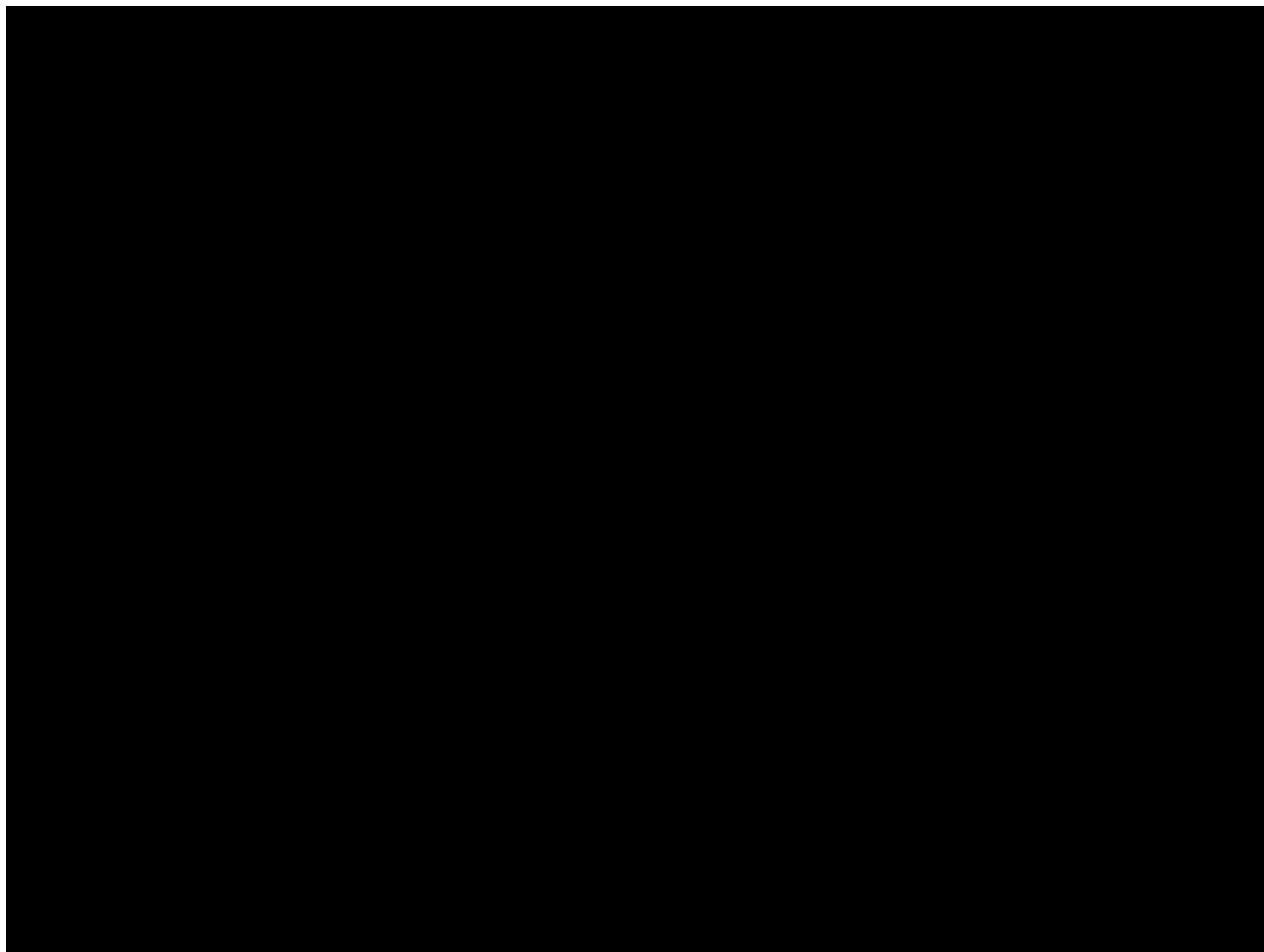
$$T = \text{[Redacted]} \quad [N]$$

にて、強度解析を行う。

輸送中に、輸送容器のアイプレートが、固縛装置ターンバックルにより最大引張力 T を受けた時の水平方向分力 F 及び鉛直方向分力 V は、次式で与えられる。

T		[N]
F		[N]
V		[N]

また、この時の解析モデルを (ロ)－第 A. 12 図 に示す。



(ロ)－第 A. 12 図 アイプレート解析モデル

よって、(□)－第 A. 12 図に示すアイプレートにターンバックル方向荷重 [] が作用するときの各断面に生ずる応力について解析する。

(1) A－A断面

(□)－第 A. 12 図に示すアイプレートの斜線部分 (A－A断面) に発生するせん断応力 τ [N/mm²] は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{T}{A} = \frac{T}{t \cdot h}$$

ここで、 τ ; せん断応力 [N/mm²]
 T ; 最大荷重 []
 t ; 板厚 []
 h ; 高さ []

したがって、

$$\tau = \frac{T}{t \cdot h} \quad [N/mm^2]$$

となり、アイプレート材 [] のせん断応力に対する設計基準値 (0.6Sy = [] より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

$$MS = \frac{\tau}{0.6S_y} = \frac{T}{0.6S_y t \cdot h}$$

(2) B－B断面

(□)－第 A. 12 図に示すアイプレートの固定部分 (B－B断面) に発生する曲げ応力 σ_b [N/mm²] は次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{V \cdot \ell}{t b^2/6}$$

ここで、 M ; 曲げモーメント [N・mm]
 Z ; 断面係数 [mm³]
 V ; 鉛直方向分力 []

t ;

l ;

b ;

したがって、

$$\sigma_b \quad \text{[N/mm}^2\text{]}$$

となり、アイプレート材()の設計降伏点 (Sy)より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

次に、B-B断面に発生するせん断応力 τ は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{V}{t \times b} \quad \text{[N/mm}^2\text{]}$$

となり、アイプレート材()のせん断応力に対する設計基準値 (0.6Sy)より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

上記の曲げ応力 σ_b とせん断応力との合成応力 σ (N/mm²) は、次式で与えられる。

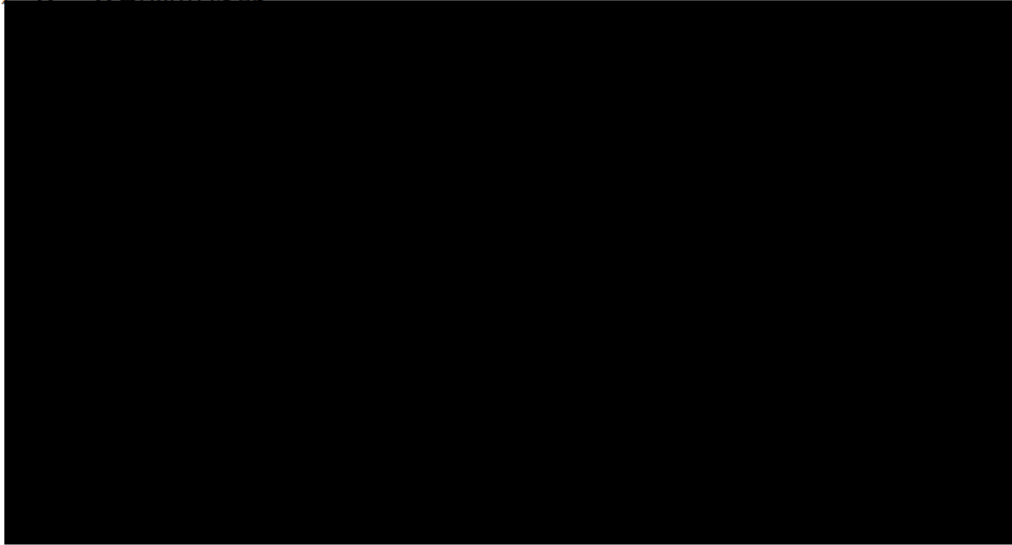
$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} = \quad \text{[N/mm}^2\text{]}$$

となり、アイプレート材()の設計降伏点 (Sy)より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

(3) B-B断面溶接部



(□) - 第 A. 13 図 アイプレート溶接部解析モデル

(□) - 第 A. 13 図 に示すアイプレート固定部分溶接部に発生する曲げ応力 σ_b (N/mm²) は次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{V \cdot \ell}{Z}$$

ここで、Z ; 溶接部の断面係数

$$Z = \frac{1}{6} \cdot 2a \cdot b^2 \quad [\text{mm}^3]$$

a ; 溶接のど厚

b ; 板幅

したがって、 σ_b は次の値となる。

$$\sigma_b \quad [\text{N/mm}^2]$$

これは溶接部の設計基準値 (0.45 Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

次に、B-B断面溶接部に発生するせん断応力は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{V}{2a \cdot b}$$

[N/mm²]

これは、溶接部のせん断応力に対する設計基準値 (0.45×0.6×Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

上記の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ との合成応力 σ (N/mm²) は次式で与えられる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau^2} =$$

[N/mm²]

となり、溶接部の設計基準値 (0.45 Sy) より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

MS

以上の解析結果の要約を(□)－第 A.9 表に示す。

(□)－第 A.9 表に示すように、解析結果の余裕率 MS は、いずれも正であり、固縛時においてアイプレートは健全である。

(ロ) - A.9 表 通常の輸送条件下における解析結果の要約

条件	解析項目	荷重の種類	設計基準	設計基準値(N/mm ²)	解析結果(N/mm ²)	余裕率 M S	
通常の輸送条件	<u>吊上装置</u>						
	1. 吊上使用時アイプレート		輸送物重量×3				
	A-A断面	(1)せん断応力		0.6Sy			
	B-B断面	(1)曲げ応力		Sy			
		(2)せん断応力	0.6Sy				
		(3)合成応力	Sy				
	B-B断面 (溶接部)	(1)曲げ応力		0.45Sy			
		(2)せん断応力		0.27Sy			
		(3)合成応力		0.45Sy			
	<u>固縛装置</u>						
2. 固縛時アイプレート		加 速 度 〔 左右 : 1G 前後 : 2G 上方 : 1G 下方 : 3G 〕					
A-A断面	(1)せん断応力		0.6Sy				
B-B断面	(1)曲げ応力		Sy				
	(2)せん断応力		0.6Sy				
	(3)合成応力		Sy				
B-B断面 (溶接部)	(1)曲げ応力			0.45Sy			
	(2)せん断応力		0.27Sy				
	(3)合成応力		0.45Sy				

A. 4. 6 圧 力

輸送容器の外気圧が 60kPa に減少した場合、輸送容器が健全であり密封性が保持されることを解析する。なお、輸送物構成部品の最低温度 []、最高温度は [] とし て解析を行う。

外気圧が 60kPa まで降下したとき、内容器には

$$P_2 = P_0 - P_a = [] \quad [\text{MPa}]$$

の内圧が作用することになる。

ここで、

$$P_0 ; \text{内容器初期内圧 (大気圧)} \quad P_0 [] \quad [\text{MPa}]$$

$$P_a ; \text{圧力降下後の外気圧} \quad P_a [] \quad [\text{MPa}]$$

応力評価については A. 5. 1. 3 「応力計算」において、容器に作用する内圧を []

[] としているため、本項では差圧の合計である

$$P = P_1 + [] \quad [\text{MPa}]$$

の内圧が作用するものとして解析する。

応力評価位置及び解析方法は、A. 5. 1. 3 項と同様に行い、その応力評価結果を (v) - 第 A. 10 表 に示す。


(ロ) - 第A.10表 圧力変動時における応力評価結果 (1/1)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ (kg/mm ²) 評価位置		初期締付 応力	内 圧 による 応力	熱膨張 による 応力	一次応力強さの評価						(一次+二次)応力強さ の評価			疲 労 評 価																																																																						
						Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb +Q	3Sm	MS	PL+Pb +Q+F	Sa	N	Na	DF	MS																																																																	
1	内 容 器 胴 部	σ_r																																																																																			
		σ_θ																																																																																			
		σ_z																																																																																			
2	内 容 器 底 板	内 面															σ_r																																																																				
		σ_θ																																																																																			
		σ_z																																																																																			
	外 面	σ_r																																																																																			
		σ_θ																																																																																			
		σ_z																																																																																			
3	内 容 器 蓋	内 面																														σ_r																																																					
		σ_θ																																																																																			
		σ_z																																																																																			
	外 面	σ_r																																																																																			
		σ_θ																																																																																			
		σ_z																																																																																			
4	内容器蓋 締付ボルト	σ_t																																																																																			
5	内容器蓋 内側Oリング部変位																																																																																				

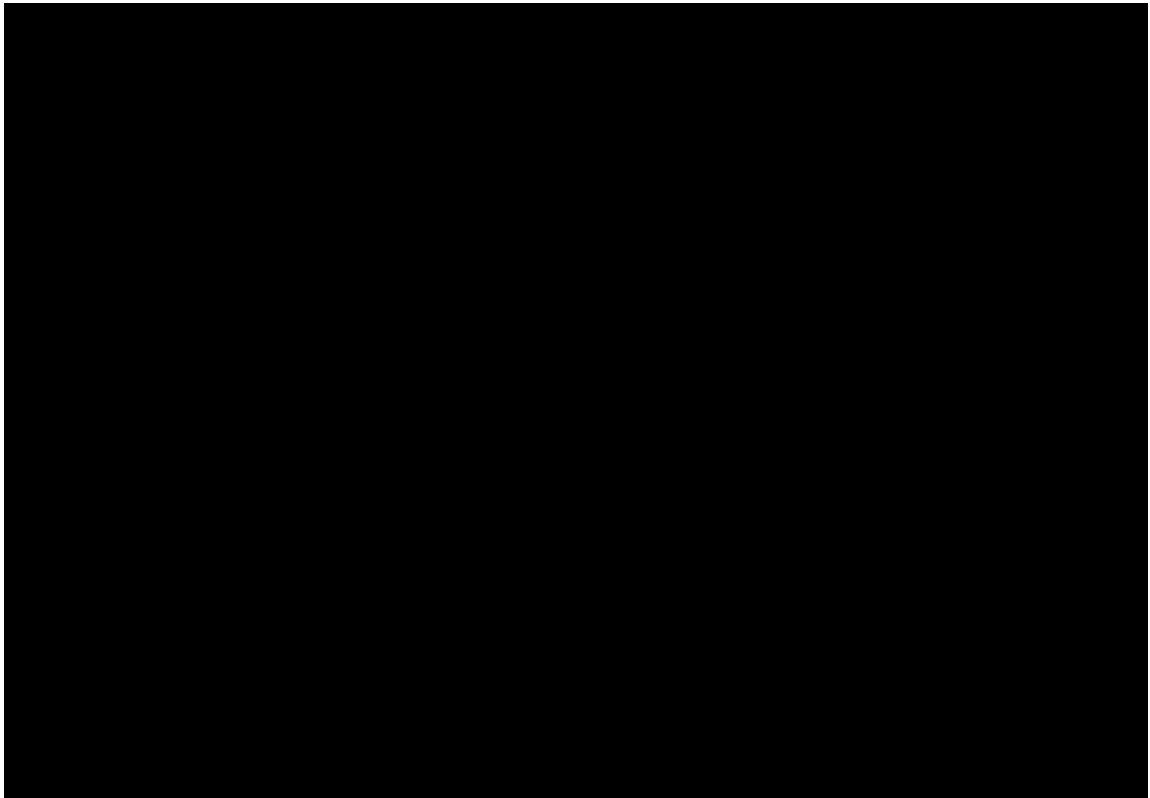
Pm; 一次一般模応力 PL; 一次局部模応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 σ_t ; ボルト軸方向応力
Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sm; 設計応力強さ Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 *; 応力集中係数=4 σ_r ; 径方向応力 σ_θ ; 周方向応力 σ_z ; 軸方向応力

A. 4.7 振 動

本輸送物は、(イ)－第 C. 2 図に示すように、固縛装置上  で、ターンバックルで固縛されて輸送される。ターンバックルは、積載車両等の振動によりガタまたは緩みが生じないように十分強固に締付けられる。したがって、これらによる振動は生じないものとし、以下では本輸送物の固有振動数を計算し、車両輸送時及び船舶輸送時に受ける振動数と比較し、輸送物が共振しないことを示す。

(1) 輸送容器の振動

輸送容器の振動解析モデルを (ロ)－第 A. 14 図 に示す。



(ロ)－第 A. 14 図 輸送容器振動解析モデル

(ロ) 第 A.14 図に示すように、輸送容器を [redacted] の並列ばねに支えられた質点系とすると。この時の固有振動数は、次式⁽⁸⁾で与えられる。

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m}} \times 10^3 \quad [\text{rad/s}]$$

したがって、

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K \times 10^3}{m}} \quad [\text{Hz}]$$

ここで、

ω_0 ; 輸送容器固有振動数 [rad/s]

f_0 ; 輸送容器固有振動数 [Hz]

m ; 輸送物質質量 [redacted]

K ; 並列ばね定数 [kg/mm]

K [redacted]

A_1 ; 補強材の断面積

A_2 ; [redacted] の断面積

A_3 ; 外容器胴板の断面積

A_4 ; ターンバックルの断面積

E_1 ; 補強材の縦弾性係数

E_2 ; [redacted] の縦弾性係数⁽¹³⁾

E_3 ; 外容器胴板の縦弾性係数

E_4 ; ターンバックルの縦弾性係数

l_1 ; 補強材の長さ

l_2 ; [redacted] の長さ

l_3 ; 外容器胴板の長さ

l_4 ; ターンバックルの長さ

A.5 一般の試験条件

本輸送物はBU型核分裂性輸送物である。したがって、規則に定められた一般の試験条件は、次のとおりである。

(1) 水吹き付け試験

(1)の試験に引き続いて次の条件の下に置く。

(2) 自由落下試験

(3) 積み重ね試験

(4) 貫通試験

(1)～(4)の試験に引き続いて次の条件の下に置く。

(5) 周囲温度が-40℃から38℃までの環境に一週間放置。

本項においては、上述の試験条件下での本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

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

本項では、一般の試験条件下における設計・解析に使用する温度及び圧力の要約を記述する。

(1) 設計温度

(p)-B.4.2 最高温度で評価した結果、輸送物は■■■■まで温度が上昇する（最低温度は■■■■）。したがって、一般の試験条件下における設計温度は、(p)-第A.11表に示すように内容器及び外容器とも、安全側に■■■■になるものとして評価する。

(p)-第A.11表 一般の試験条件下における設計温度

No	部 位	設計温度 (°C)
1	燃 料 要 素	■■■■
2	燃料バスケット	
3	内 容 器 本 体	
4	内 容 器 蓋	
5	外 容 器	

(2) 設計圧力

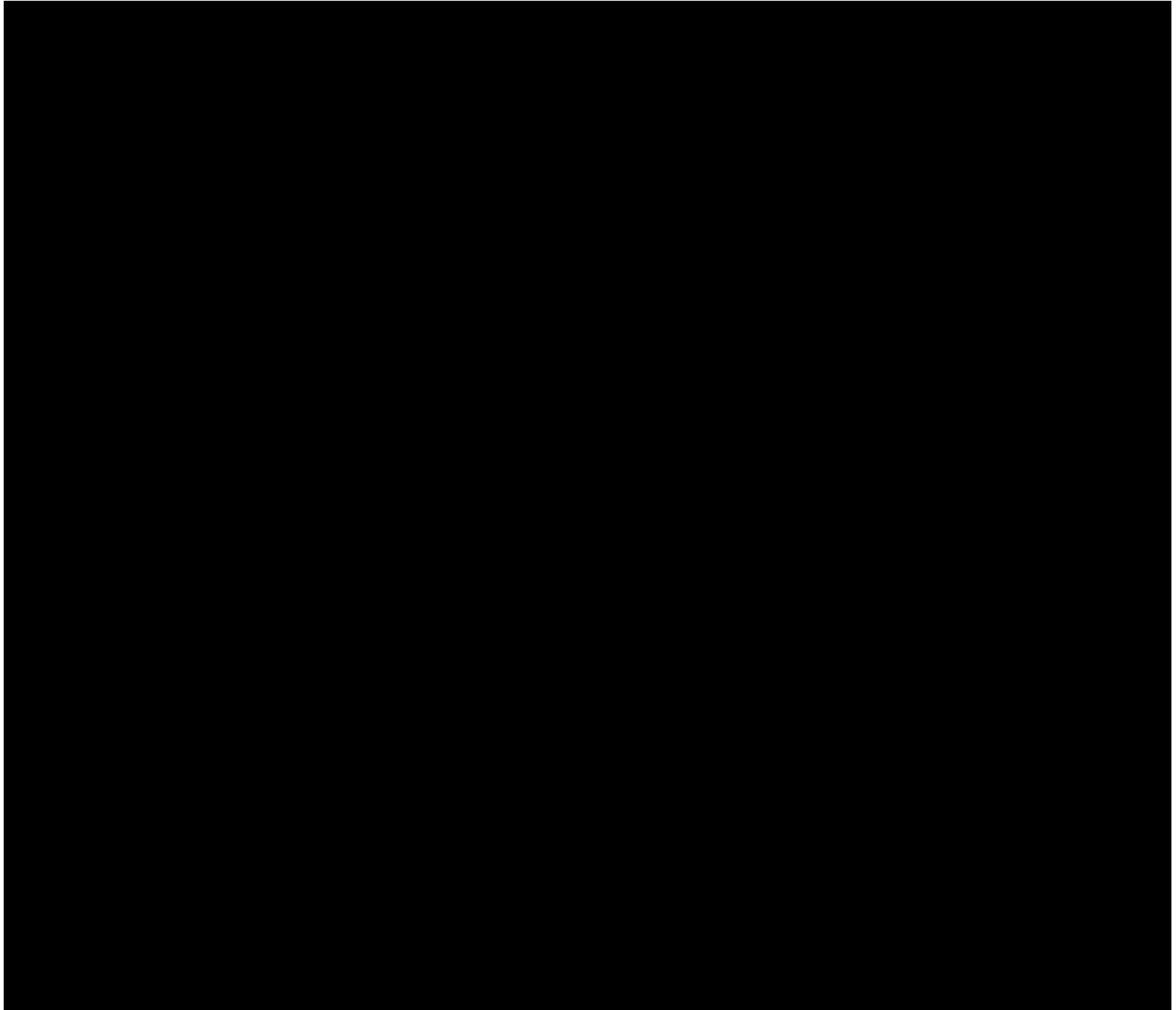
(□)－B. 4. 4 最大内圧で評価したように、内容器内圧力は、ゲージ圧で [REDACTED] まで上昇する。また [REDACTED] まで温度変化があった場合であっても、内容器内圧力は [REDACTED] である。したがって、一般の試験条件下における設計圧力は、(□)－A. 12 表 に示すように安全側に [REDACTED] の圧力差が生ずるものとして評価する。

(□)－第 A. 12 表 一般の試験条件下における設計圧力

No.	部 位	設 計 圧 力
1	内 容 器 内	[REDACTED]

A.5.1.2 熱膨張

本項では、内容器と燃料バスケットの熱膨張差による接触することによって、燃料バスケットと内容器に生ずる応力について述べる。この時の解析モデルを (ロ)－第 A.15 図 に示す。



(ロ)－第 A.15 図 熱膨張解析モデル

燃料バスケットと内容器の温度上昇は、(ロ)－B. 熱解析のとおり、■■■■で温度差は無く、材質も同一の■■■■■■■■であるため、熱膨張差は生じない。

また、外容器と内容器についてもほとんど温度差は生じず、外容器の熱膨張により内容器が影響を受けることはない。

したがって、燃料バスケットと内容器には、熱膨張による応力は発生しない。

A. 5. 1. 3 応力計算

本項では、輸送物各部の応力計算を行う。

輸送物各部に応力を発生させる負荷としては、温度勾配、外部からの荷重及び圧力が考えられる。

輸送容器の内容器胴部は、板厚に対する内半径の比が■以上あり、薄肉円筒と考えられる。従って、胴部板厚内には温度差が生じにくい。また、内容器蓋及び内容器底板は他の部分に比べて肉厚であるが、これらの部分は外容器蓋並びに断熱材及び緩衝材で覆われているため温度差が生じにくい。

燃料バスケットも同様に、板厚が■温度差が生じにくい。

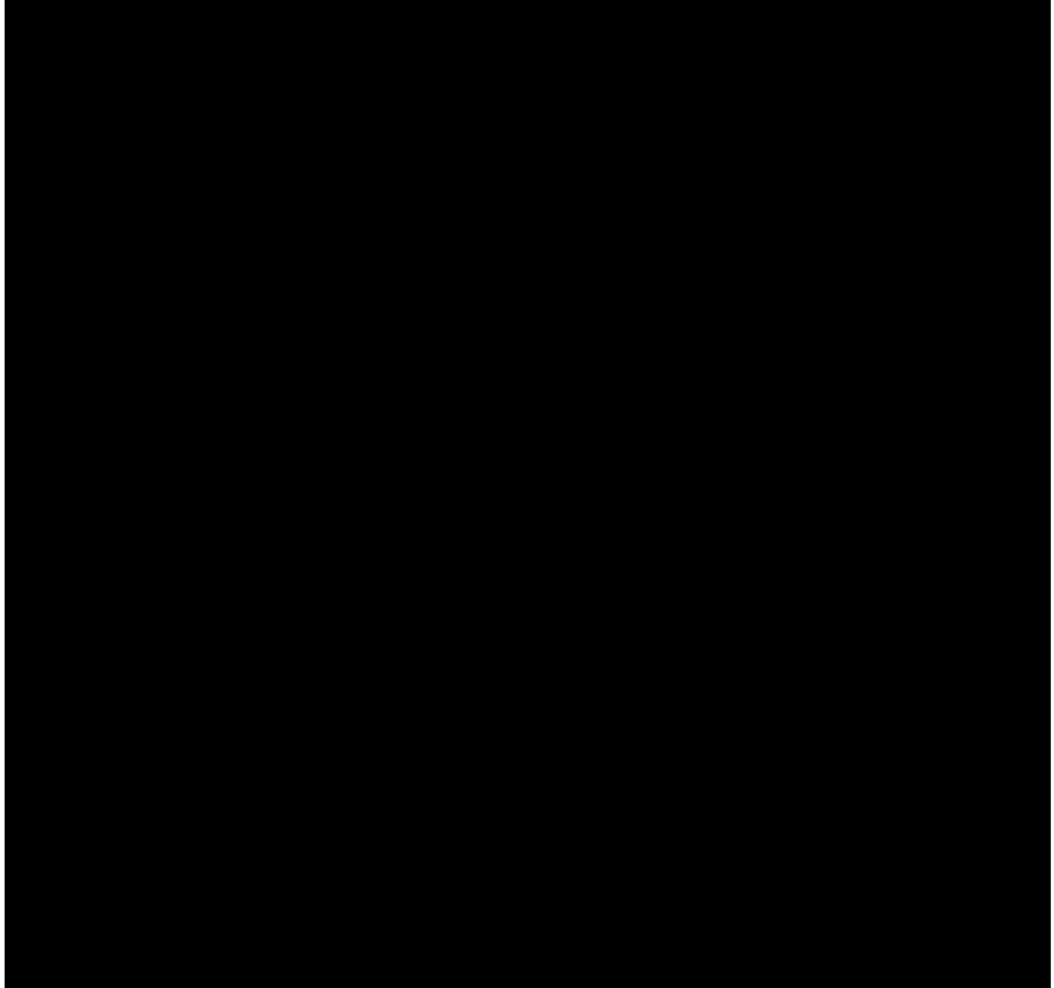
よって、輸送容器各部においては、板厚方向の温度差による熱応力は小さいため、本項では計算を省略する。

次に、輸送物に作用する圧力としては、内容器内圧力を考慮し、この内圧力により生ずる各部の応力を解析する。

また、密封境界の重要な部位である内容器蓋締付ボルトについては、初期締付力及び熱膨張を考慮し、解析する。

(1) 応力評価位置

一般の試験条件下における内容器の応力評価位置を (㍀)－第 A. 16 図 に示す。
なお、各項では、主応力を求めるものとし、応力強さの分類はまとめて (㍀)－第 A. 13 表 に示し、応力強さの評価は A. 5. 1. 4 項で行う。



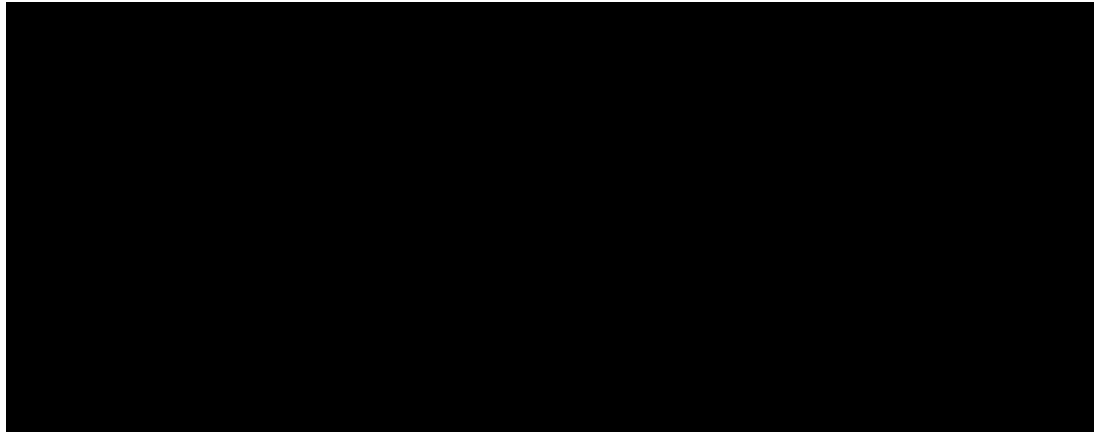
記号	評価位置
Ⓐ	内容器胴部
Ⓑ	内容器底板
Ⓒ	内容器蓋
Ⓓ	内容器蓋Oリング部変位
Ⓔ	内容器蓋締付ボルト

(㍀)－第 A. 16 図 一般の試験条件下における応力評価位置

㊤ 内容器胴

内容器胴中央部には、内容器内圧力が内圧力として作用する。

内圧力を受ける内容器胴中央部に生ずる応力解析モデル図を (㉓)－第 A. 17 図に示す。内容器胴中央部に生ずる応力 σ は薄肉円筒として、次式⁽⁷⁾で与えられる。



(㉓)－第 A. 17 図 内容器胴中央部応力解析モデル

σ_{θ}

σ_z

σ_r

ここで、

σ_{θ} ; 周方向応力 [N/mm²]

σ_z ; 軸方向応力 [N/mm²]

σ_r ; 径方向応力 [N/mm²]

P ; 内容器内設計圧力 P

D_m ; 内容器胴部平均径 D_m

t ; 内容器胴部板厚 t

D ; 内容器胴部内径 D

したがって、次の値となる。

σ_{θ}

σ_z

σ_r

[N/mm²]

[N/mm²]

[N/mm²]

② 内容器底板

内圧力を受ける内容器底板の応力解析モデル図を (ロ)－第 A. 18 図 に示す。

(ロ)－第 A. 18 図 に示す周辺固定円板とした場合の固定部分に生ずる応力 σ は次式で与えられる。

$$\sigma_{\theta}$$

$$\sigma_r$$

$$\sigma_z$$

(ロ)－第 A. 18 図 内容器底板応力解析モデル

ここで、

$$\sigma_{\theta} \quad ; \quad \text{周方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_r \quad ; \quad \text{径方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z \quad ; \quad \text{軸方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$P \quad ; \quad \text{内容器内設計圧力}$$

$$a \quad ; \quad \text{内容器底板半径}$$

$$h \quad ; \quad \text{内容器底板板厚}$$

したがって、次の値となる。

$$\sigma_{\theta}$$

$$[N/mm^2]$$

$$\sigma_r$$

$$[N/mm^2]$$

$$\sigma_z$$

$$[N/mm^2]$$

応力の復号は上が内面、下が外面を表す。

© 内容器蓋

内圧力を受ける内容器蓋に生ずる応力解析モデル図を (a)－第 A. 19 図 に示す。

(a)－第 A. 19 図に示す周辺単純支持円板に生ずる応力 σ (N/mm²) は中央部で最大となり次式で与えられる。

$$\sigma_{\theta}$$

$$\sigma_z$$

ここで、

σ_{θ} ; 周方向応力 [N/mm²]

σ_r ; 径方向応力 [N/mm²]

σ_z ; 軸方向応力 [N/mm²]

P ; 内容器内設計圧力

a ; 内容器蓋支持点半径

h ; 内容器蓋板厚

したがって、次の値となる。

$$\sigma_{\theta} \quad \text{[N/mm}^2\text{]}$$

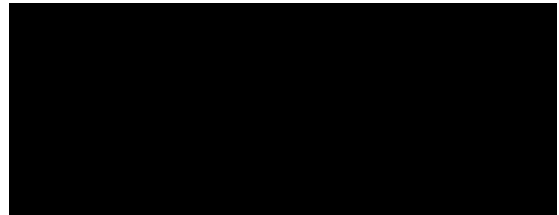
$$\sigma_z \quad \text{[N/mm}^2\text{]}$$

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。



(a)－第 A. 19 図 内容器蓋中央部

応力解析モデル



④ 内容器蓋Oリング部の変位

内容器蓋Oリング部変位の解析モデル図を (ロ)－第 A. 20 図 に示す。

(ロ)－第 A. 20 図に示す周辺単純支持円板における変位 ω (mm) は次式⁽⁷⁾で与えられる。

ω

(ロ)－第 A. 20 図 内容器蓋Oリング部変位の解析モデル

ここで、

P ; 内容器内設計圧力

ν ; ポアソン比

a ; 内容器蓋支持点半径

r ; 中心から評価点までの距離

r_i ; 内側Oリング溝の半径 $r_i =$

D ; 内容器蓋の曲げ剛性

D

E

h

したがって、内側Oリング溝部の変位 ω_i は次の値となる。

ω_i

ω_i は、(イ)－第 C. 6 図に示すようにOリングの初期締め代 δ (Oリング径とOリング溝深さの差) より十分小さい。

⑤ 内容器蓋締付ボルト

内容器蓋締付ボルト（以下、この項で「ボルト」という。）については、初期締付応力、内圧力による応力及び熱膨張による応力を解析する。

(a) 初期締付応力

内容器蓋締付ボルトに生じる初期締付力による応力の解析モデル図を (ロ)－第 A. 21 図 に示す。

(ロ)－第 A. 21 図 に示すボルトに生ずる引張応力 σ_t は次式で与えられる。

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

(ロ)－第 A. 21 図 内容器蓋締付ボルト
応力解析モデル（初期締付応力）

ここで、

F ; ボルトの初期締付力

F [N]

T ; 初期締付トルク

k ; トルク係数

d ; ボルトの呼び径

A_i ; ボルトの谷径断面積

A

したがって、次の値となる。

σ_t [N/mm²]

(b) 内圧力による応力

内圧力によるボルトに生ずる応力の解析モデルを (a)－第 A. 22 図 に示す。

(a)－第 A. 22 図 に示すボルトに生ずる引張応力 σ_t は次式で与えられる。

σ_t

(a)－第 A. 22 図 内容器蓋締付ボルト応力解析モデル (内圧力による応力)

ここで、

r_i ; 受圧面半径

P ; 内容器内設計圧力

A_i ; ボルトの谷径断面積

n ; ボルト本数

したがって、次の値となる。

σ_t

$[\text{N}/\text{mm}^2]$

(c) 熱膨張による応力

内容器蓋締付ボルトに生ずる熱膨張による応力の解析モデル図を (p)－第 A.23 図 に示す。ボルトと内容器蓋の温度は、(p)－B 熱解析のとおり [REDACTED] で温度差は無く、材質も同一の [REDACTED] であるため、熱膨張による応力は無視できる値である。



(p)－第 A.23 図 内容器蓋締付ボルト
応力解析モデル (熱膨張
による応力)

A. 5. 1. 4 許容応力との比較

(ロ)－A. 5. 1. 3 項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて(ロ)－第 A. 13 表に示す。

この表から分かるように、個々の荷重が単独あるいは重畳作用しても設計基準値に対する余裕率は、正である。なお、周囲の温度が-40℃から 38℃に変化した場合においても、熱膨張、熱応力に対して影響はない。

したがって、一般の試験条件下（熱的試験）において、本輸送物の健全性は維持される。

また、本輸送物の使用回数を■■■■とした場合の許容繰返し数に対する余裕率は、(ロ)－第 A. 13 表に示すように正である。よって荷重の繰返しにより本輸送物の健全性が損なわれることはない。

* 使用回数 $N = 3 \text{ 回/年} \times \text{■■■■} \times \text{余裕度} \text{■■■■}$

(ロ) - 第 A.13 表 一般の試験条件 (熱的試験) 下における応力評価結果 (1/1)

No.	応力及び応力強さ (kg/mm ²) 評価位置		初期締付 応 力	内 圧 による 応 力	熱膨張 による 応 力	一次応力強さの評価					一次+二次) 応力強さ の評価			疲 勞 評 価				
						Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb +Q	3Sm	MS	PL+Pb +Q+F	Sa	N	Na
1	内 容 器 胴 部	σ_r																
		σ_θ																
		σ_z																
2	内 容 器 底 板	内 面																σ_r
																		σ_θ
																		σ_z
	外 面	σ_r																
		σ_θ																
		σ_z																
3	内 容 器 蓋	内 面																σ_r
																		σ_θ
																		σ_z
	外 面	σ_r																
		σ_θ																
		σ_z																
4	内 容 器 蓋 締付ボルト	σ_t																
5	内 容 器 蓋 Oリング部変位																	

Pm; 一次一般模応力 PL; 一次局部模応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 σ_t ; ボルト軸方向応力 Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sm; 設計応力強さ Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 *; 応力集中係数=4 σ_r ; 径方向応力 σ_θ ; 周方向応力 σ_z ; 軸方向応力

A.5.2 水 噴 霧

本輸送容器の外表面構成材料は、ステンレス鋼であり、吸水性は無い。したがって、水吹き付け試験による腐蝕等で材料が劣化する恐れはない。

また

■、水密構造になっているので輸送容器内に水が入ることはない。

A. 5.3 自由落下

本輸送物の質量は、最大 [] であり [] 以下であるから規則に定められる一般の試験条件下での自由落下高さは 1.2m である。

落下姿勢は、下記の 4 ケースについて解析する。

- ① 水平落下
- ② 垂直落下（上部及び下部）
- ③ コーナー落下（上部及び下部）
- ④ 傾斜落下（上部及び下部）

本解析の目的は、次のとおりである。

- ① 自由落下による外容器の変形が密封境界である内容容器に達することがなく、内容容器の密封性能が維持されること。
- ② 自由落下時の衝撃によって内容容器が破損することがなく、内容容器の密封性能が維持されること。
- ③ 収納物の破損がないこと。

(1) 解析方法

本輸送物について、1.2m 自由落下試験を行った場合、輸送容器の変形量及び容器本体、燃料バスケット、収納物等に発生する応力の解析条件を以下に示す。

(a) 変形量

- ① 衝突面は剛体であるとし、輸送物の落下エネルギーは、緩衝材のみによって全量吸収されるものとする。したがって、外容器の変形量は、緩衝材の変形量となる。これは、鋼板及び断熱材による吸収を無視するため変形量を大きくし安全側の評価となる。
- ② 緩衝材により生ずる加速度及び変形量は、A. 10.1 に示す緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH-II」を用いて計算する。

(b) 応 力

① 輸送物の落下エネルギーは、緩衝材と外容器本体及び外容器蓋を構成する鋼板の変形により吸収される。

② 応力解析に用いる加速度（以下、「設計加速度」という。）は、「CASH-II」の計算値（緩衝材により生ずる加速度）を 1.2 倍（A.10.1 項に示すように実験結果との比較により定めた値）にした値に鋼板による加速度を加えたものとする。

これは、輸送物に生ずる衝撃力が、緩衝材による加速度にさらに鋼板による加速度が加わるため安全側の評価となる。

$$\text{設計加速度} = \text{CASH-II の計算結果} \times 1.2 + \text{鋼板による加速度}$$

③ 鋼板により、生ずる加速度は簡易計算により求める。

(2) 落下エネルギー

解析に使用する輸送物の質量は、「A.2 重量及び重心」に示したように [REDACTED] である。よって、落下エネルギーは、次式で与えられる。

$$E_a = E_v = m \cdot g \cdot h$$

ここで、

E_a ; 緩衝材の吸収エネルギー [J]

E_v ; 輸送物の落下エネルギー [J]

m ; 輸送物の質量 [REDACTED]

h ; 落下高さ [REDACTED]

g ; 重力加速度 [REDACTED]

したがって、次の値となる。

$$E_a = \frac{m \cdot g \cdot h}{1.2} + m \cdot g \cdot h$$

(3) 緩衝材性能解析プログラム「CASH-II」の計算結果

緩衝材性能解析プログラム「CASH-II」による、加速度及び緩衝材の変形量の計算結果を (ロ) 第 A.14 表 に示す。

なお、解析に用いる「CASH-II」計算結果の 1.2 倍の加速度を同表に示す。

(ロ) - 第 A.14 表 一般の試験条件下での緩衝材についての変形量及び加速度

落下姿勢		変形量 (mm)	加速度 (× g)		
			計算値	×1.2倍	
水 平					
垂 直	上 部				
	下 部				
コーナ ー	上部				
	下部				
傾 斜	上部				5°
					15°
					30°
					45°
					60°
					75°
					85°
	下部				5°
					15°
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			

*この角度は、落下角度で輸送物の中心線と落下方向とのなす角度である。

(以下、同じ)

ここで、

g ; 重力加速度

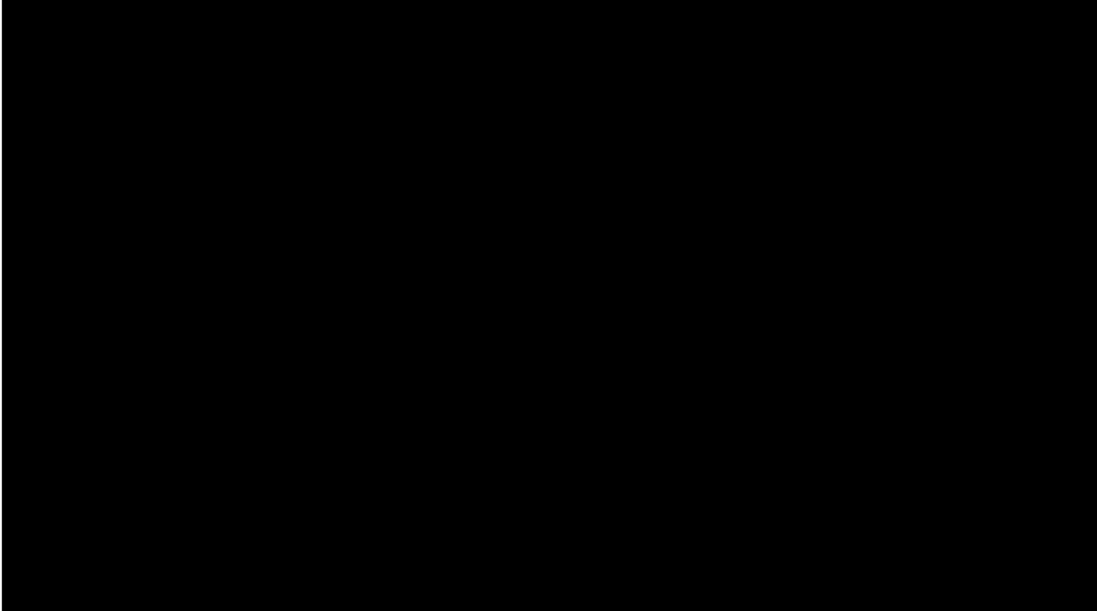
$g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

(4) 鋼板による加速度の増加

(イ) 水平落下時

水平落下時の鋼板による加速度の増加を求める。

その評価箇所を (ロ)－第 A.24 図 に示す。

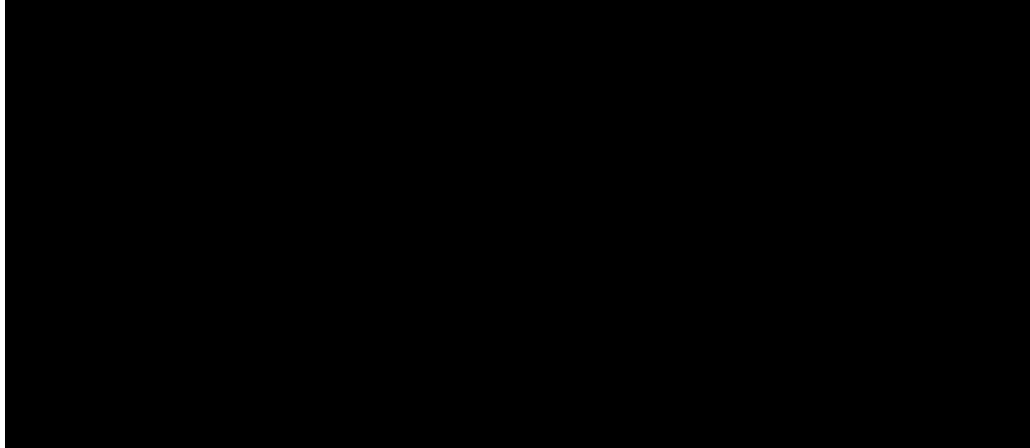


記号	評価位置
①	外筒鋼板
②	外容器フランジ
③	強め輪
④	外容器鏡板
⑤	仕切板
⑥	アイプレート直撃
⑦	アイプレート取付板
⑧	外容器本体フランジ
⑨	アイプレート取付脚

(ロ)－第 A.24 図 水平落下時鋼板による加速度評価箇所

④ 外筒鋼板によるもの

外筒鋼板を、輸送物の全重量が分布している円環とし、その解析モデルを (ロ)-
第 A. 25 図 に示す。



(ロ) - 第 A. 25 図 水平落下時外筒鋼板による加速度解析モデル

(ロ) - 第 A. 25 図 に示すように、等分布荷重 w を受ける円環の曲げモーメントは
次式で与えられる。⁽¹⁰⁾

$$M = w R^2 \left\{ \cos \alpha + \alpha \sin \alpha + \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha + \frac{1}{2} \cos \theta + (\theta - \pi) \sin \theta \right\}$$

上式は、 $\theta = \alpha$ で最大となり、次式となる。

$$M = w R^2 \left\{ \left(\frac{3}{2} + \sin^2 \alpha \right) \cos \alpha + (2\alpha - \pi) \sin \alpha \right\}$$

この曲げモーメントにより発生する応力が変形応力 σ_s に等しくなる時、最大
抵抗力 F が生ずるものとする。

$$\sigma_s = \frac{M}{Z_p} = \frac{w R^2 \left\{ \left(\frac{3}{2} + \sin^2 \alpha \right) \cos \alpha + (2\alpha - \pi) \sin \alpha \right\}}{Z_p}$$

より、この時の等分布荷重 w は次式で与えられる。

$$w = \frac{\sigma_s \cdot Z_p}{R^2 \left\{ \left(\frac{3}{2} + \sin^2 \alpha \right) \cos \alpha + (2\alpha - \pi) \sin \alpha \right\}}$$

したがって、最大抵抗力は下記となる。

$$F = 2\pi wR = \frac{2\pi\sigma_s \cdot Z_p}{R \left\{ \left(\frac{3}{2} + \sin^2 \alpha \right) \cos \alpha + (2\alpha - \pi) \sin \alpha \right\}}$$

ここで、 M ; 円環の曲げモーメント [N・mm]

w ; 等分布荷重 [N/mm]

F ; 最大抵抗力 [N]

R ; 円環半径

σ_s ; 変形応力 (常温)

θ ; OCよりの任意の角度 [rad]

α ; 変形部分の半角

α

δ ; 変形量

δ

Z_p ; 塑性断面係数

Z_p

b ; 円環幅

h ; 円環厚み

したがって、次の値となる。

F

外筒鋼板による加速度の増加 N_{H1} は次式となる。

N_{H1}

ここで、

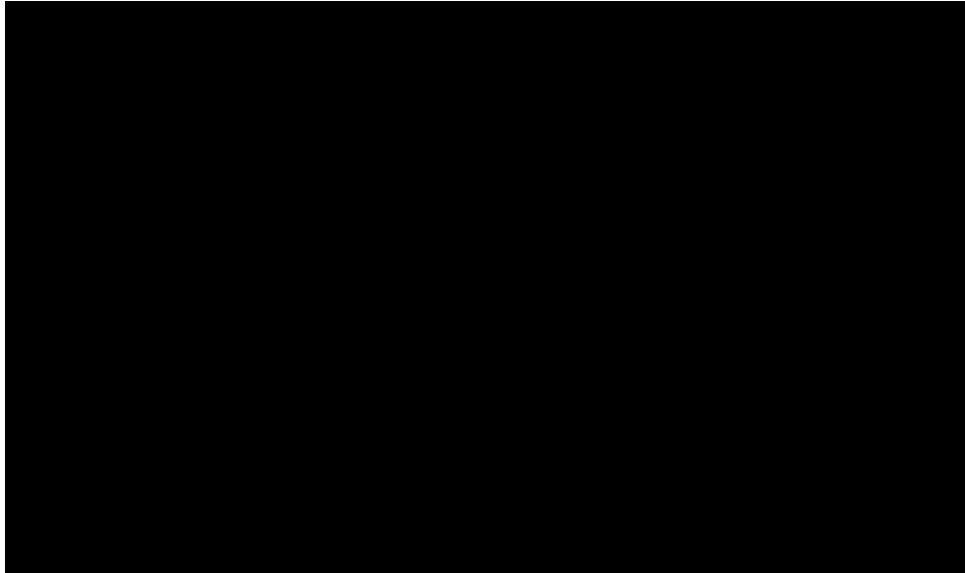
m ; 輸送物質質量

⑧ 外容器蓋フランジによるもの

解析モデルは A. 5. 3 (4) (イ) ④項と同様、(□)－第 A. 25 図による。

ただし、変形量は円環半径に達していないため、モーメント式の α は 0 とする。

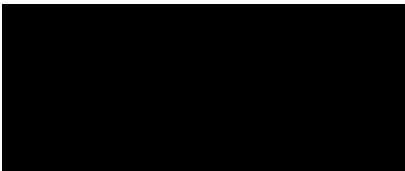
また、外容器蓋フランジの断面形状を (□)－第 A. 26 図に示す。



(□)－第 A. 26 図 外容器蓋フランジ断面形状

最大抵抗力は次式で与えられる。⁽¹⁰⁾

$$F = \frac{4\pi}{3R} \cdot \sigma_s \cdot Z_p$$



ここで、

F ; 最大抵抗力 [N]

R ; 円環半径 R

σ_s ; 変形応力 (常温) σ_s

Z_p ; 塑性断面係数

Z_p

b ; 円環幅

h ; 円環厚み

したがって、外容器蓋フランジによる加速度の増加 N_{H_2} は次式となる。

N_H



© 強め輪によるもの

解析モデルは A. 5. 3 (4) (イ) ④項と同様、(ロ) - 第 A. 25 図による。

最大抵抗力は次式で与えられる。

$$F = \frac{2\pi\sigma_s \cdot Z_p}{R \left\{ \left(\frac{3}{2} + \sin^2 \alpha \right) \cos \alpha + (2\alpha - \pi) \sin \alpha \right\}}$$

ここで、 F ; 最大抵抗力 [N]

R ; 円環半径 R

σ_s ; 変形応力 (常温) σ_s

δ ; 変形量 δ

α ; 変形部分の半角

α

Z_p ; 塑性断面係数 [mm³]

$Z_p =$

b ; アングル幅

h ; アングル厚み

したがって、Fは下記の値となる。

F =

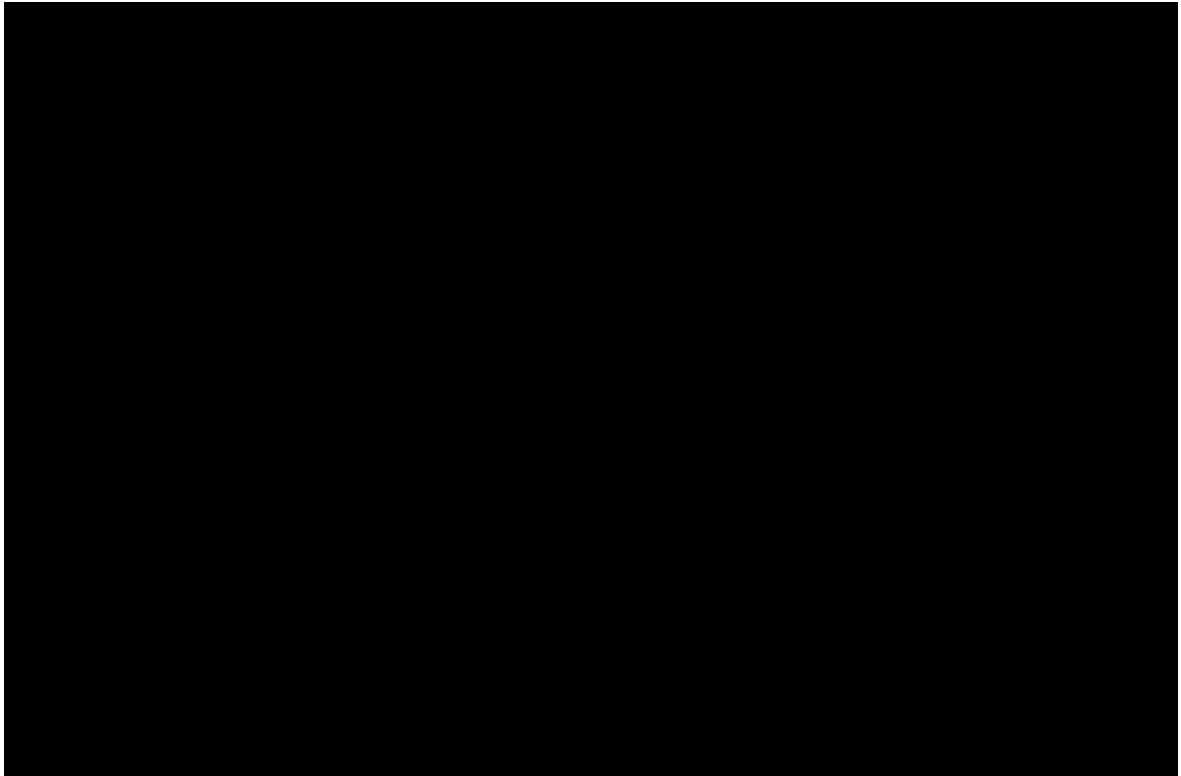
=

強め輪による加速度の増加 N_{H3} は次式となる。

N_{H3}

④ 外容器鏡板によるもの

解析モデルを (□)－第 A. 27 図 に示す。



(□)－第 A. 27 図 水平落下時外容器鏡板による加速度解析モデル

(□)－第 A. 27 図に示すように、外容器鏡板 r 部には落下反力により曲げモーメントが発生する。この曲げモーメントによる応力が変形応力 σ_s に等しくなる時、最大抵抗力 F が生ずるものとする、最大抵抗力 F は次式で与えられる。

$$F = \frac{\sigma_s}{r} \cdot Z_p = \frac{\sigma_s}{r} \cdot \frac{C \cdot h^2}{4}$$

ここで、

F ; 最大抵抗力 [N]

σ_s ; 変形応力 (常温) [MPa]

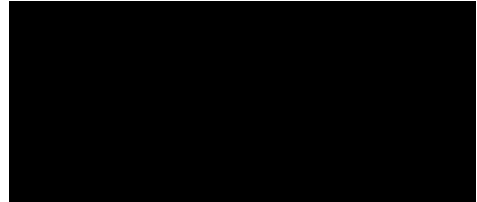
Z_p ; 塑性断面係数 [mm³]

$$Z_p = \frac{C \cdot h^2}{4}$$

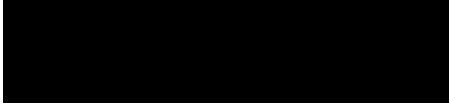
C ; 緩衝材変形幅


h ; 鏡板板厚

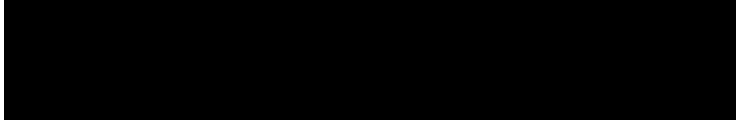
r ; コーナー部半径



したがって、次の値となる。

F  [N]

鏡板は  あるので、外容器鏡板による加速度の増加 N_{H4} は次式となる。

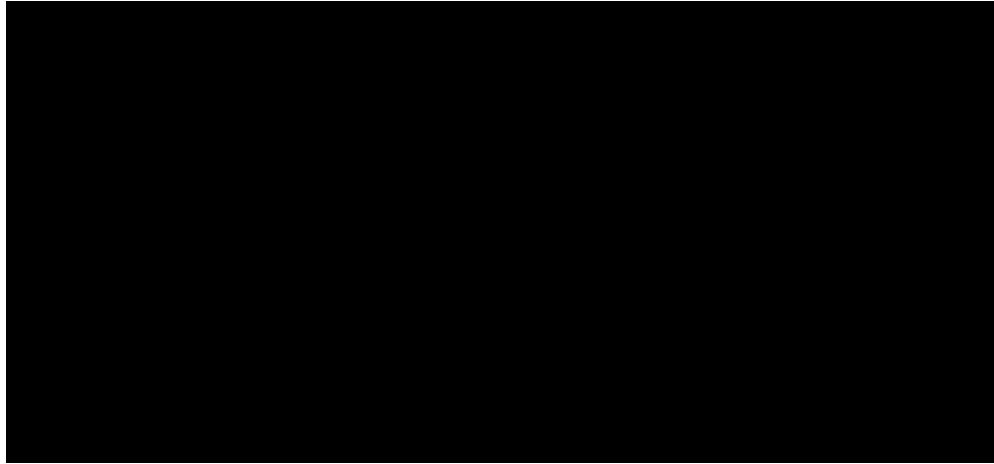
N_{H4}  [m/s²]

⑤ 仕切板によるもの

解析モデルは A. 5. 3 (4) (イ) ④項と同様、(□)－第 A. 25 図による。

ただし、変形量は円環半径に達してないため、モーメント式の α は 0 とする。

また、仕切板の断面形状を (□)－第 A. 28 図に示す。



(□)－第 A. 28 図 仕 切 板 断 面 形 状

最大抵抗力は次式⁽¹⁰⁾で与えられる。

$$F = \frac{4\pi}{3R} \cdot \sigma_z \cdot Z_p$$

[N]

ここで、

F ; 最大抵抗力 [N]

R ; 円環半径 R

σ_z ; 変形応力 (常温) σ_z

Z_p ; 塑性断面係数

$Z_p =$ [mm³]

b ; 円環幅

h ; 円環厚み

したがって、仕切板による加速度の増加 N_{H5} は次式となる。

N_{H5}

$[m/s^2]$

㊦ アイプレート取付板によるもの

解析モデルを (㊦)－第 A.30 図 に示す。



(㊦)－第 A.30 図 アイプレート取付板解析モデル

(㊦)－第 A.30 図に示すように、中央に集中荷重を受ける両端固定梁は、両端において最大曲げモーメントを発生し、これにより発生する応力が変形応力 σ_s に等しくなる時、最大抵抗力 F は次式で与えられる。⁽⁷⁾

$$F = \frac{8}{\ell} \cdot \sigma_s \cdot Z_p$$

ここで、

F ; 最大抵抗力 [N]

σ_s ; 変形応力 (常温)

Z_p ; 塑性断面係数 [mm³]

$$Z_p = \frac{1}{4} b \cdot h^2$$

b ; アイプレート取付板幅 b

h ; アイプレート取付板板厚 h

ℓ ; 両端固定点幅 ℓ

したがって、下記の値となる。

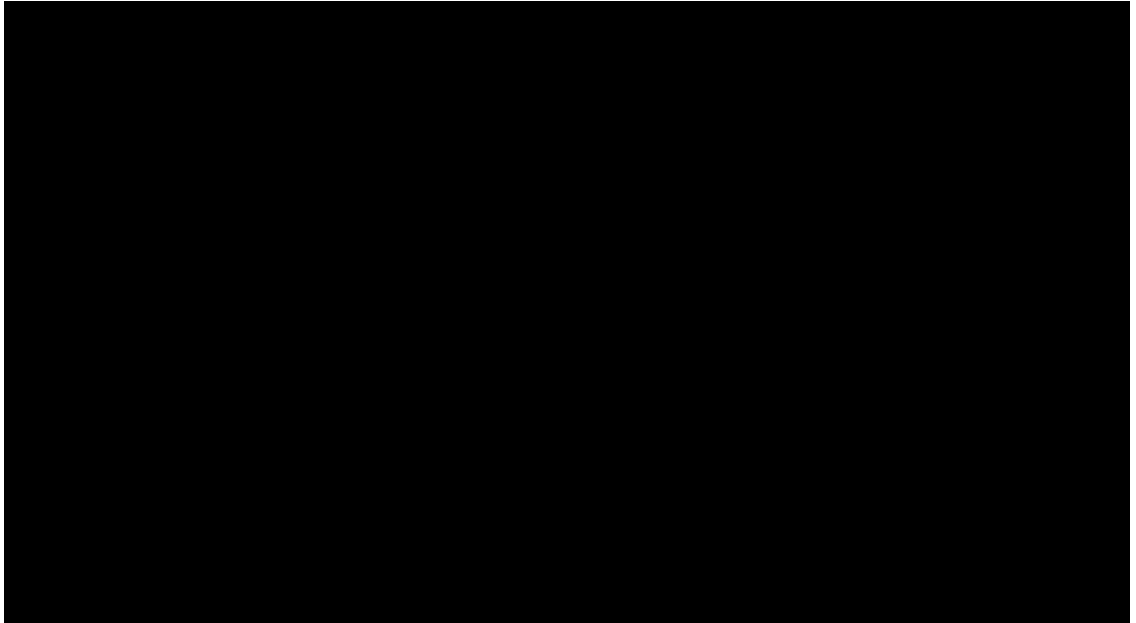
F [N]

アイプレート取付板による加速度の増加は N_{H7} は次式となる。

N_{H7} [m/s²]

④ 外容器本体フランジによるもの

解析モデルを (ロ)－第 A.31 図 に示す。



(ロ)－第 A.31 図 外容器本体フランジ解析モデル

(ロ)－第 A.31 図に示すように

、この時の座屈荷重が最大抵抗力 F になるものとする、次式で与えられる。^[19]

F

ここで、

F ; 最大抵抗力

l ; 支持点間距離

B_y ; Y軸まわりの曲げ剛さ

B_y

$[N \cdot mm^2]$

E ; 縦弾性係数 (常温)

E

$[N/mm^2]$

h ; フランジ板厚

h

$[mm]$

b ; フランジ点幅

C ; 捩り剛さ

G ; 横弾性係数 (常温)

したがって、次の値となる。

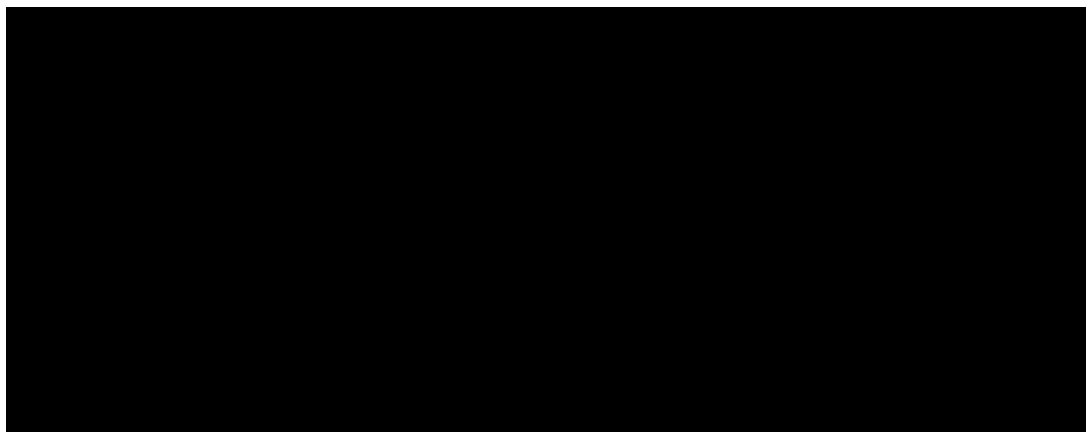
F [N]

外容器本体フランジによる加速度の増加 N_{H8} は次式となる。

N_{H8} [m/s²]

① アイプレート取付脚によるもの

解析モデルを (ロ) ー第 A. 32 図 に示す。



(ロ) 第 A. 32 図 アイプレート取付脚解析モデル

(ロ) ー第 A. 32 図 に示すように、X-X 断面における圧縮応力が変形応力 σ_s に等しくなる時、最大抵抗力 F が生ずるものとする、次式で与えられる。

$$F = \sigma_s \cdot A = \sigma_s \cdot 2h \cdot (b_1 + b_2)$$

ここで、

- F ; 最大抵抗力
- σ_s ; 変形応力 (常温)
- A ; 評価断面積
- b_1 ; 板 幅
- b_2 ; 板 幅
- h ; 板 厚



したがって、次の値となる。

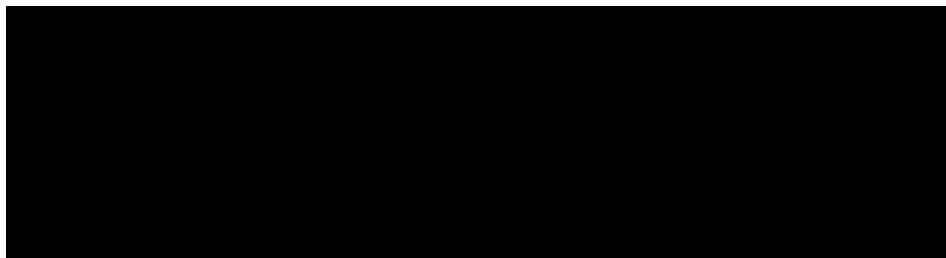
$$F = \text{[redacted]}$$

アイプレート取付脚による加速度の増加 N_{H9} は次式となる。

$$N_H \text{ [redacted]} \quad [\text{m/s}^2]$$

以上の結果より、水平落下時の鋼板による加速度の増加の合計を求めると次のとおりとなる。

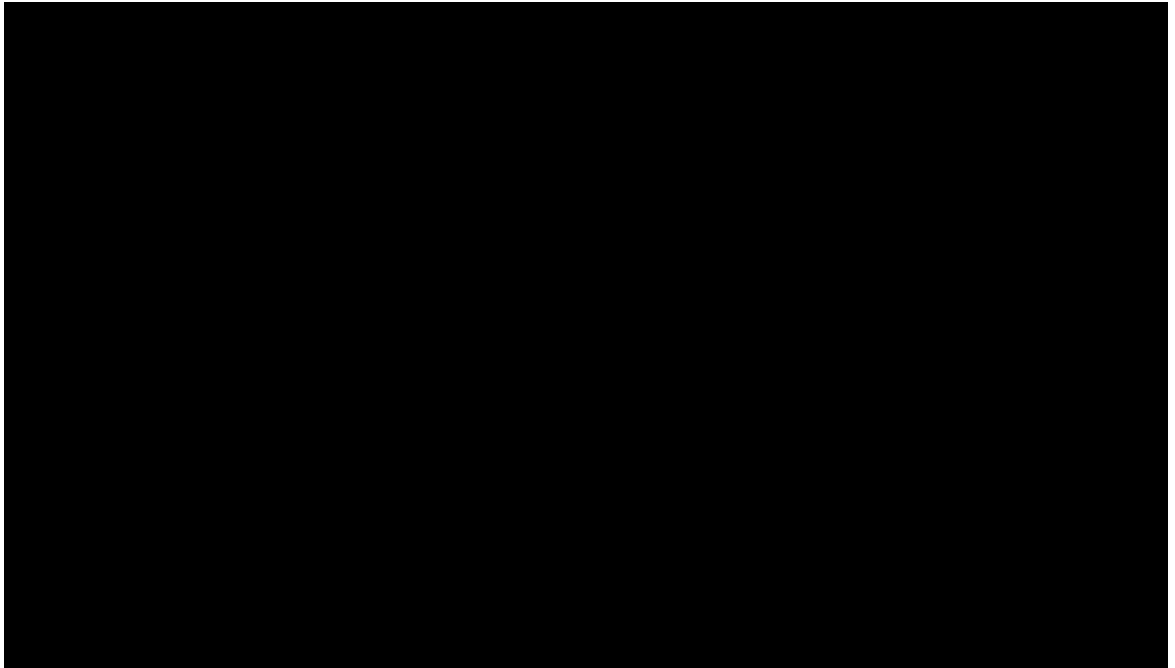
N_H



(ロ) 垂直落下時

垂直落下時の鋼板による加速度の増加を求める。

解析モデルを (ロ) ー第 A. 33 図 に示す。



(ロ) ー第 A. 33 図 垂直落下時鋼板による加速度解析モデル

(ロ) ー第 A. 33 図 に示すように、落下時の抵抗反力は、①の外筒コーナー部を圧縮する力 F_1 と、②の円錐状補強板を圧縮する力 F_2 の和となる。鋼板の変形量 δ は、(ロ) ー第 A. 14 表 に示す緩衝材の変形量と等しいものとし、この時の応力が変形応力に等しくなる抵抗反力 F_1 及び F_2 は次式⁽¹⁷⁾で与えられる。

$$F_1 = 2\pi h r \sin^2 \phi \cdot \sigma_s$$

$$F_2 = 2\pi h (R_2 + \delta \tan \alpha) \cos \alpha \cdot \sigma_s$$

ここで、

F_1 : 外筒コーナー部抵抗反力 [N]

F_2 : 円錐状補強板抵抗反力 [N]

h : 板厚

r : 外筒コーナー部半径

ϕ : 変形量 δ の時の角度

$$\phi = \cos^{-1} \left(1 - \frac{\delta}{r} \right)$$

δ ; 変形量 (上部垂直落下) δ_1

(下部垂直落下) δ

ϕ_1

ϕ_2

R_2 : 円錐上部半径 (上部垂直落下) R_2

(下部垂直落下) R_2

α : 円錐角

α

σ_s : 変形応力 (常温)

$\sigma_s = S$

よって、 F_1 及び F_2 は次の値となる。

(上部垂直落下時)

F_1

F_2

(下部垂直落下時)

F_1

F_2

したがって、これにより生ずる加速度は次式で与えられる。

$$N_v = \frac{F}{m} = \frac{F_1 + F_2}{m}$$

(上部垂直落下時)

N_v

(下部垂直落下時)

N_v

ここで、

g ; 重力加速度

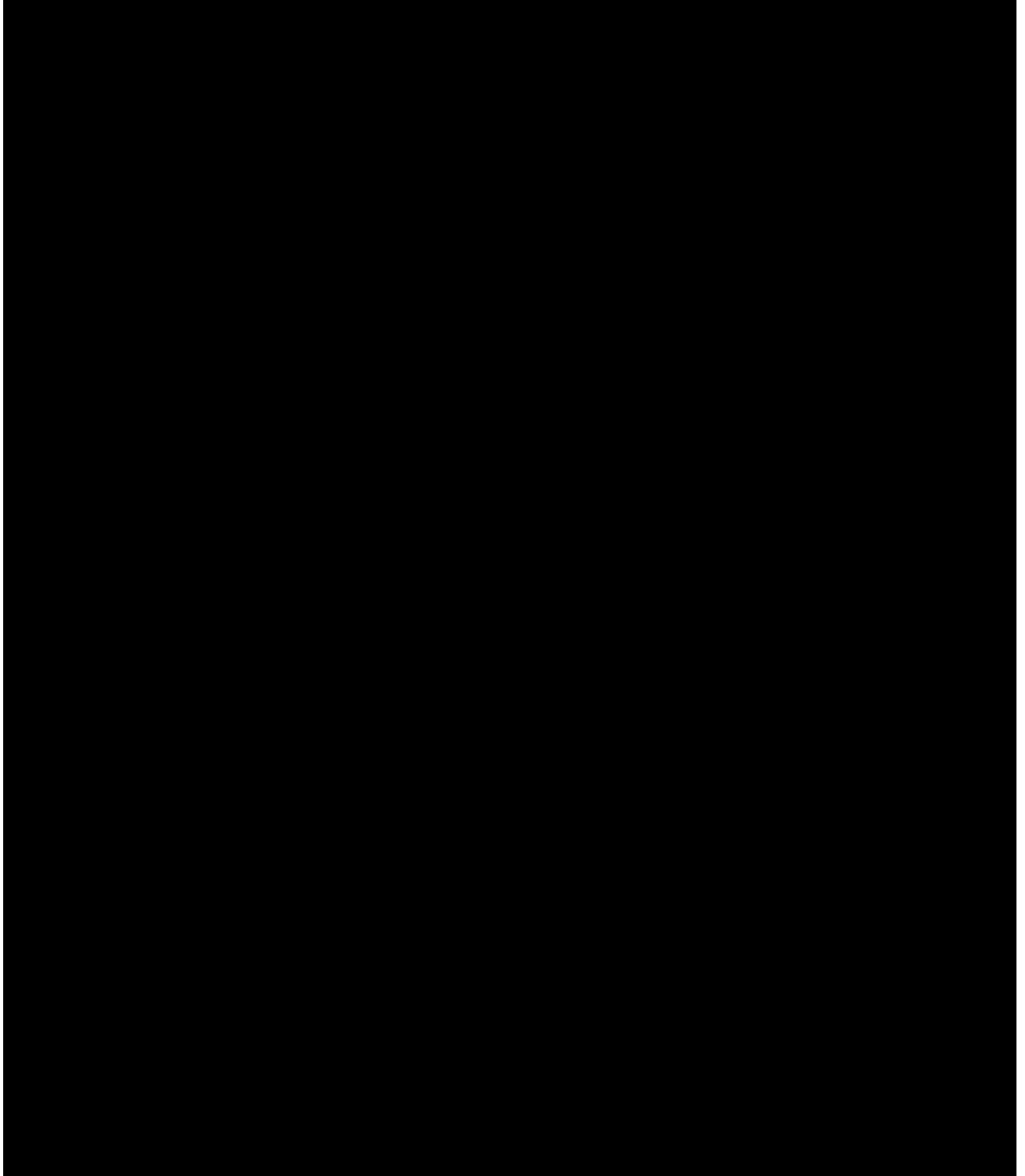
$g = 9.81$

$[m/s^2]$

(ハ) コーナー落下時

コーナー落下時の鋼板による加速度の増加を求める。

解析モデルを (ロ)－第 A. 34 図 に示す。



(ロ)－第 A. 34 図 コーナー落下時鋼板による加速度解析モデル

(Ⅱ)－第 A. 34 図に示すように、コーナー落下時の外鋼板による最大抵抗力 F は次式で与えられる。⁽¹⁵⁾

$$F = \frac{(R_o^3 - R_i^3) \times \tan\theta \times (\theta_B - \sin\theta_B \cdot \cos\theta_B)}{R_o \times \sin\theta} \times \sigma_s$$

ここで、

F ; 最大抵抗力

[N]

R_o ; 円筒鋼板外径

R_o

R_i ; 円筒鋼板内径

R_i

h ; 円筒鋼板板厚

h

θ ; 落下角度

[上部コーナー落下]

[下部コーナー落下]

δ ; 変形量

[上部コーナー落下]

[下部コーナー落下]

θ_B ; 角 度

$$\theta_B = \cos^{-1} \left[1 - \frac{\delta}{R_o \sin\theta} \right] \text{より}$$

[上部コーナー落下]

θ_B

[下部コーナー落下]

θ_B

σ_s ; 変形応力 (常温)

よって、Fは次の値となる。

〔上部コーナー落下時〕

F



〔下部コーナー落下時〕

F

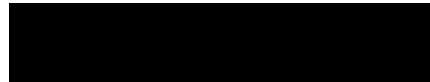


したがって、これにより生ずる加速度は次式で与えられる。

$$N_c = \frac{F}{m}$$

〔上部コーナー落下時〕

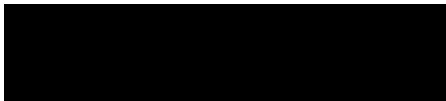
N_c



[m/s²]

〔下部コーナー落下時〕

N_c



[m/s²]

(5) 設計加速度

コーナー落下時と同様に、傾斜落下時の加速度を求め (v)－第 A.15 表 に示す。
 また、落下応力解析に用いる設計加速度を次式として計算し、同表にまとめる。

$$\text{設計加速度} = \text{CASH-II の計算結果} \times 1.2 + \text{鋼板による加速度}$$

(v)－第 A.15 表 一般の試験条件下における設計加速度

落下姿勢		CASH-II ×1.2倍	鋼板による 加速度 [×g]	設計加速度 [×g]	
水 平					
垂 直	上 部				
	下 部				
コ ー ナ	上 部				
	下 部				
傾 斜	上 部				5°
					15°
					30°
					45°
					60°
					75°
					85°
	下 部				5°
					15°
					30°
					45°
		60°			
		75°			
		85°			

ここで、

g ; 重力加速度

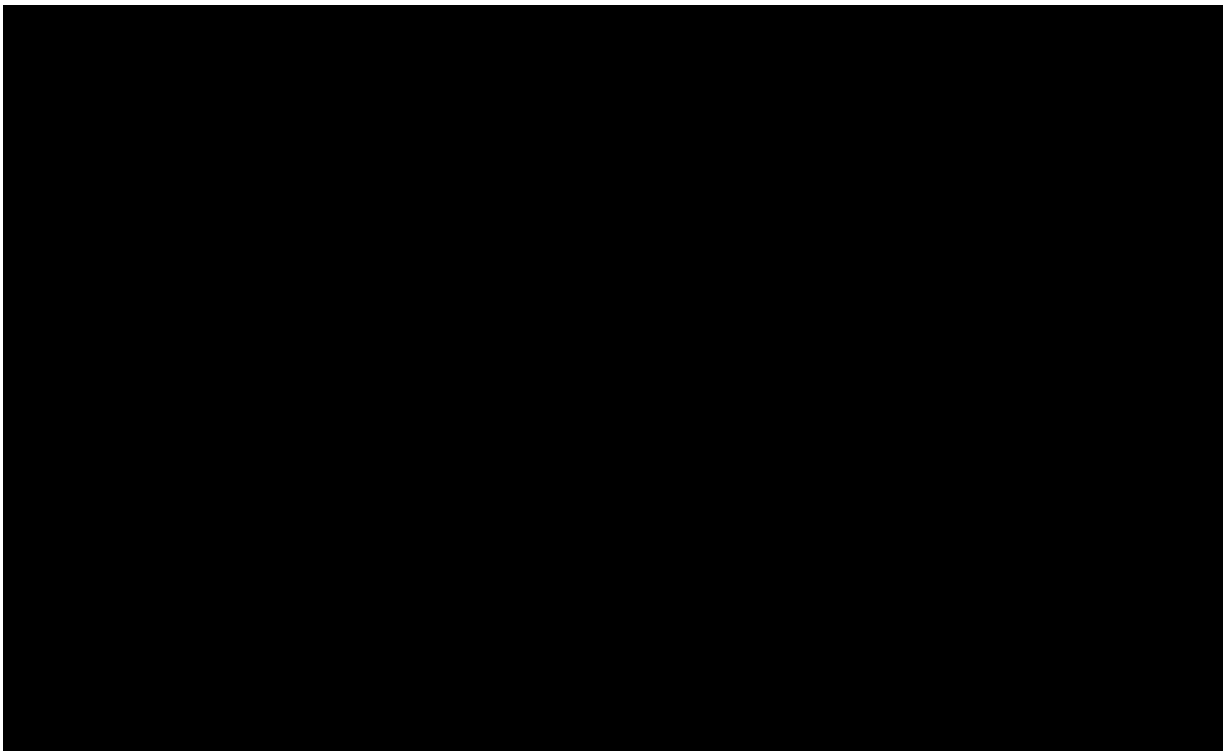
$$g = 9.81 \quad [\text{m/s}^2]$$

(6) 1.2m水平落下時の応力解析

1.2m水平落下時の応力解析は、容器本体、燃料バスケット及び燃料要素に分けて行う。また、各項での応力解析は、主応力を求めるのみとし、応力分類及び応力強さの評価は、A.5.3(6)(d)項で行う。

(a) 容器本体

1.2m水平落下時における容器本体の応力評価位置は、密封性能維持の観点から (p)－第A.35図 に示すとおりとする。



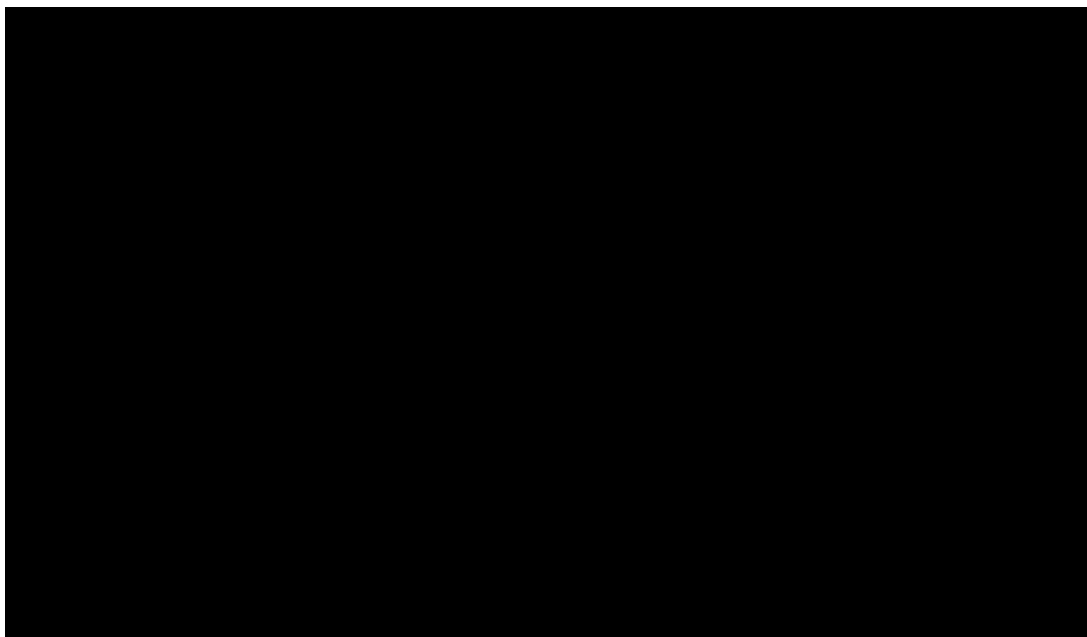
記号	評価位置
Ⓐ	緩衝材（変形量）
Ⓑ	内容器胴部
Ⓒ	内容器底板
Ⓓ	内容器上端部
Ⓔ	内容器蓋締付ボルト

(p)－第A.35図 1.2m水平落下時応力評価位置（容器本体）

④ 緩衝材の変形量

1.2m水平落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器及び内容器蓋部まで達しないことを示す。

解析モデルを (ロ)－第 A.36 図 に示す。



(ロ)－第 A.36 図 1.2m水平落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(ロ)－第 A.36 図に示すように、1.2m水平落下後における緩衝材の残量 δ (mm) は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_0 - \delta_H$$

ここで、

δ_0 ; 緩衝材の変形前の最少厚さ δ_0

δ_H ; 緩衝材変形量 δ_H

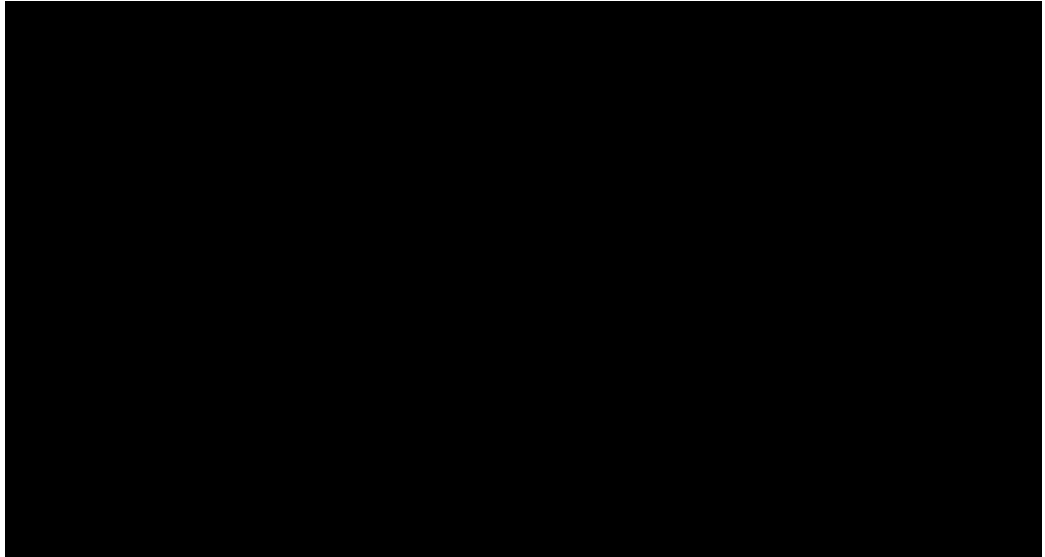
したがって、次の値となる。

$$\delta = \text{[redacted]}$$

よって、1.2m水平落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器本体及び内容器蓋部には達しない。

⑧ 内容器胴部

1.2m水平落下時における内容器胴部の応力の解析モデルを (㍀)－第 A. 37 図に示す。



(㍀)－第 A. 37 図 1.2m水平落下時内容器胴部応力解析モデル

(㍀)－第 A. 37 図に示すように、内容器は両端で支持され、等分布荷重を受ける梁とすると、支持点間の中央で曲げ応力 σ_b が最大となり、次式で与えられる。

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

ここで、

M ; 曲げモーメント [N・mm]

$$M = \frac{F \cdot \ell}{8} = \frac{1}{8} \cdot m \cdot N \cdot \ell$$

F ; 衝撃荷重 F = m・N [N]

m ; 輸送物の支持点間質量 m

N ; 設計加速度 N

ℓ ; 支持点間長さ ℓ

M [N・mm]

Z ; 断面係数 [mm³]

$$Z = \frac{\pi \cdot d_2^4 - d_1^4}{32 \cdot d_2}$$

d_2 ; 内容器胴部外径

d_2

d_1 ; 内容器胴部内径

d_1

Z

[mm³]

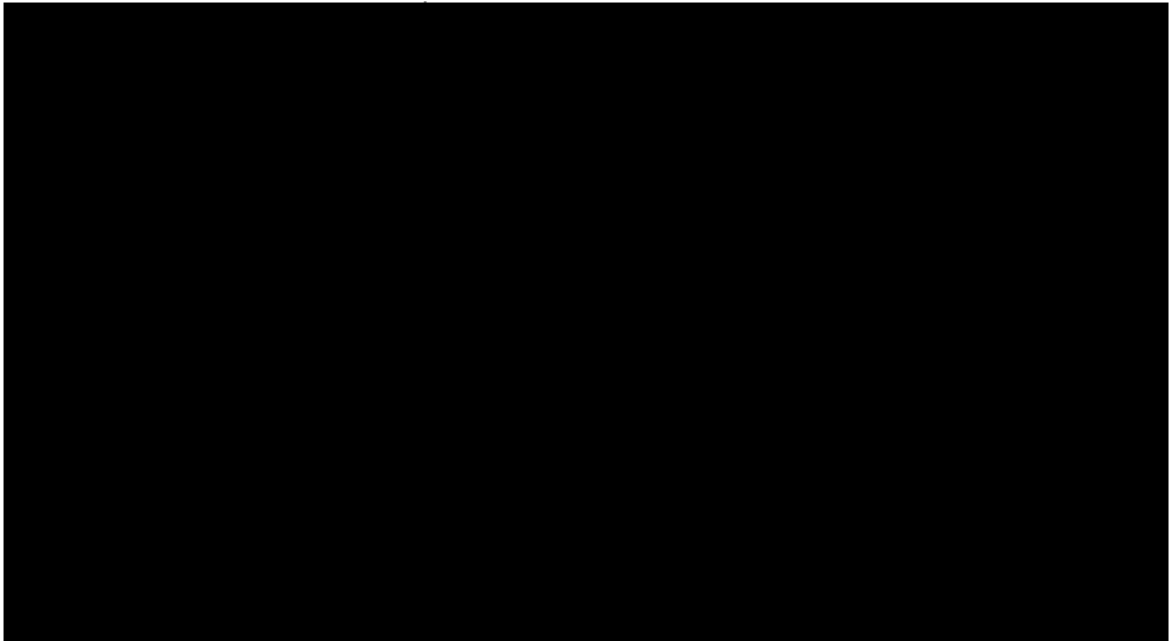
したがって、曲げ応力 σ_b は、次の値となる。

σ_b

[N/mm²]

◎ 内容器底板

1.2m 水平落下時における内容器底板の応力の解析モデルを (v)－第 A. 38 図 に示す。



(v)－第 A. 38 図 1.2m 水平落下時内容器底板応力解析モデル

(v)－第 A. 38 図に示すように、水平落下時、内容器底板 A－A 断面は、燃料バスケットの落下衝撃力を受ける。この時発生するせん断応力は次式で与えられる。

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

ここで、

F ; 衝撃力

[N]

$$F = \frac{1}{2} (m_B + m_F) \times N$$

m_B ; 燃料バスケット質量

m_F ; 収納物質量

N ; 設計加速度

F

A ; 内容器底部断面積 [(φ) - 第 A. 38 図の斜線部分]

A

R_1 ; 内容器底板凸部外半径 R_1

R_2 ; 内容器底板凸部内半径 R_2

θ ; 角度 θ

A

したがって、せん断応力 τ は次の値となる。

τ

[N/mm²]

④ 内容器上端部

1.2m 水平落下時における内容器上端部の応力の解析モデルを (φ) - 第 A. 39 図 に示す。

(φ) - 第 A. 39 図 1.2m 水平落下時内容器上端部応力解析モデル

(㍶)－第 A. 39 図に示すように、内容器蓋は、落下方向に滑りⒶ点で内容器上端部と当たり、内容器蓋にはせん断応力が生ずる。

この時のせん断応力 τ は次式で与えられる。

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

ここで、

F ; 衝撃力 $F = N \cdot m$ [N]

m ; 内容器蓋の質量

m

N ; 設計加速度

N

[N]

A ; 内容器上端部断面積 [(㍶)－第 A. 39 図の斜線部分]

$$A = R_1^2 \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) - R_2^2 \left(\frac{\pi}{2} - \tan \theta \right)$$

R_1 ; 内容器フランジ外半径

R_1

R_2 ; 内容器内半径

R_2

θ ; 角度


A

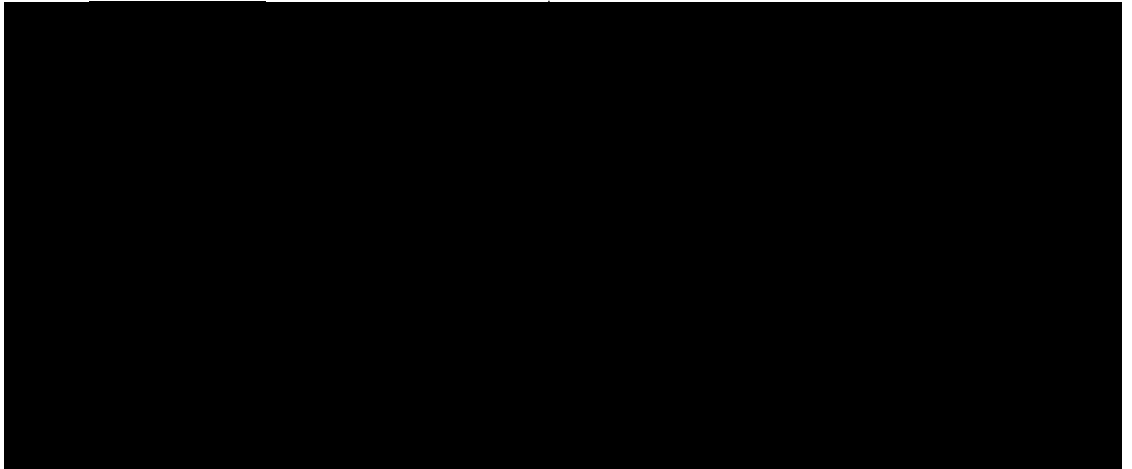
したがって、次の値となる。

τ

[N/mm²]

⑤ 内容器蓋締付ボルト

1.2m水平落下時における内容器蓋締付ボルト  の応力の解析モデルを (㍀) - A. 40 図 に示す。 !



(㍀) - 第 A. 40 図 1.2m水平落下時内容器蓋締付ボルト応力解析モデル

(㍀) - 第 A. 40 図 に示すように、1.2m水平落下時において、内容器蓋締付ボルトには、内容器蓋の回転モーメントが作用する。

これにより、内容器蓋締付ボルトには曲げ応力 σ_b [N/mm²] が生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot L_{\max}}{I} = \frac{N \cdot m \cdot L \cdot L_{\max}}{\sum L_i^2 \cdot A_i}$$

ここで、

M ; 曲げモーメント [N・mm]

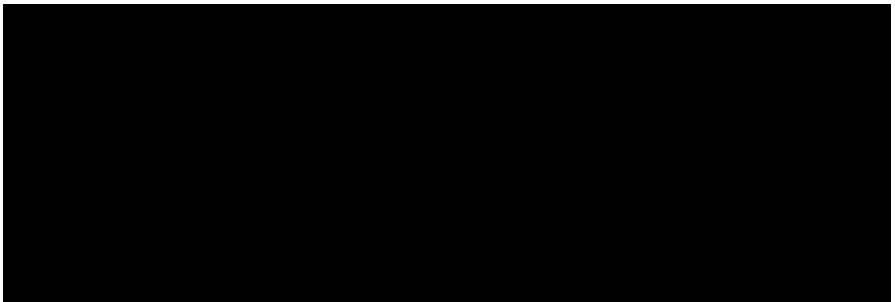
$$M = N \cdot m \cdot L$$

N ; 設計加速度

m ; 内容器蓋の質量

L ; モーメントアーム

L_i ; 転倒支点㊦点から各ボルトまでの距離 [mm]



L_{max} ; 支点から最も離れたボルトまでの距離

L_{max} [mm]

A_i ; 内容器蓋締付ボルトの谷径断面積

d_i ; ボルトの谷径 [mm]

A_i [mm²]

したがって、次の値となる。

σ_b

(b) 燃料バスケット

本項では、1.2m水平落下時において、燃料バスケットに生ずる応力について解析する。燃料バスケットは角型であり、その形状について断面係数を求める。

応力は、パイプ軸方向強度について評価する。

(イ) バスケットの断面係数

バスケットの断面係数を求める。解析モデルを (v)－第 A.41 図 に示す。

(v)－第 A.41 図 バスケット断面係数解析モデル

(i) X-X軸に関する断面係数

(a) 第 A. 41 図に示す、X-X軸に関する断面係数は次式で与えられる。

$$Z_x = \frac{I_o}{h_1} + A y_1 + A e_y$$

ここで、

Z_x ; X-X軸に関する断面係数 [mm³]

I_o ; 角パイプ1本の断面2次モーメント

$I_o =$

h_1 ; 角パイプの外の内り

h_2 ; 角パイプの内の内り

A ; 角パイプの断面積

$A =$

y_1 ; 角パイプ中心までの距離

e_y ; 燃料バスケット上端面までの距離

したがって、次の値となる。

$$Z_x = \frac{I_o}{h_1} + A y_1 + A e_y$$

(ii) Y-Y軸に関する断面係数

(a) 第 A. 41 図に示す、Y-Y軸に関する断面係数は次式で与えられる。

$$Z_y = \frac{I_o}{h_2} + A x_1 + A x_2 + A x_3 + A e_x$$

ここで、

Z_y ; Y-Y軸に関する断面係数

I_o ; 角パイプ1本の断面2次モーメント $I_o =$

A ; 角パイプの断面積 $A =$

x_1 ; パイプ中心までの距離 x_1

x_2 ; パイプ中心までの距離 x_2

x_3 ; パイプ中心までの距離 x_3

e_x ; 燃料バスケット上端までの距離 e_x

したがって、次の値となる。

Z_y

(iii) U-U軸に関する断面係数

(p) ー第 A. 41 図に示す、U-U軸に関する断面係数は次式で与えられる。

Z_U

ここで、

Z_U ; U-U軸に関する断面係数

[mm³]

I_o ; 角パイプ1本の断面2次モーメント I_o

A ; 角パイプの断面積 $A =$

v_1 ; パイプ中心までの距離 v_1

v_2 ; パイプ中心までの距離 v_2

v_3 ; パイプ中心までの距離 v_3

v_4 ; パイプ中心までの距離 v_4

e_v ; 燃料バスケット上端までの距離 e_v

したがって、次の値となる。

Z_U

以上の値のうち、最小値を採用するものとして

$Z = \min$ [mm³]

とする。

(c) 燃料要素 ██████████ (研究用原子炉未照射新燃料)

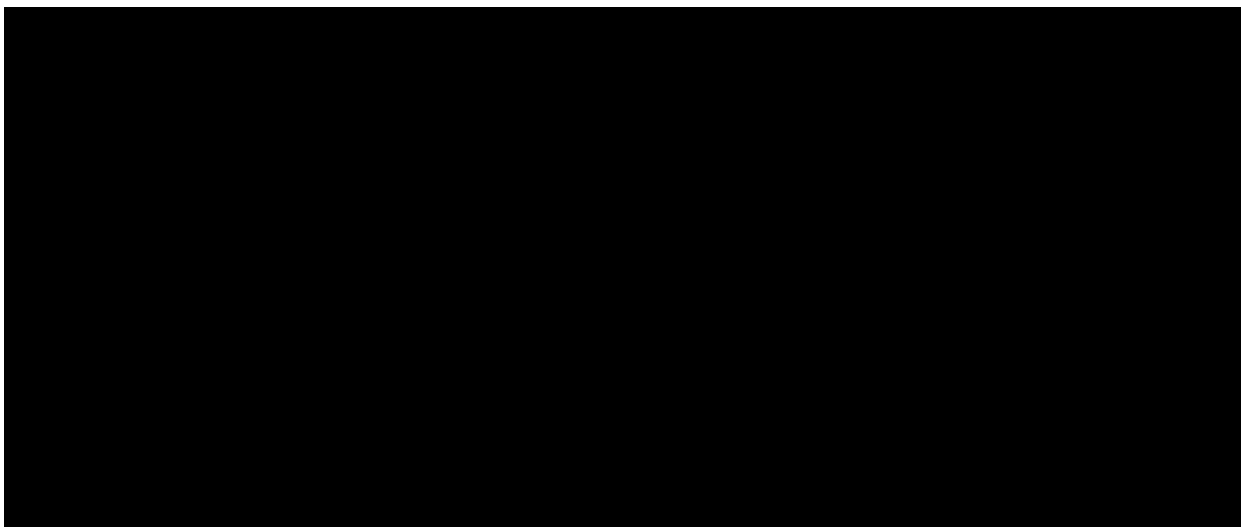
(c)-1. 燃料要素

本項では、1.2m水平落下時において、燃料要素に生ずる応力について解析する。燃料要素の仕様は、(イ)－D項に示すように、██████████要素である。

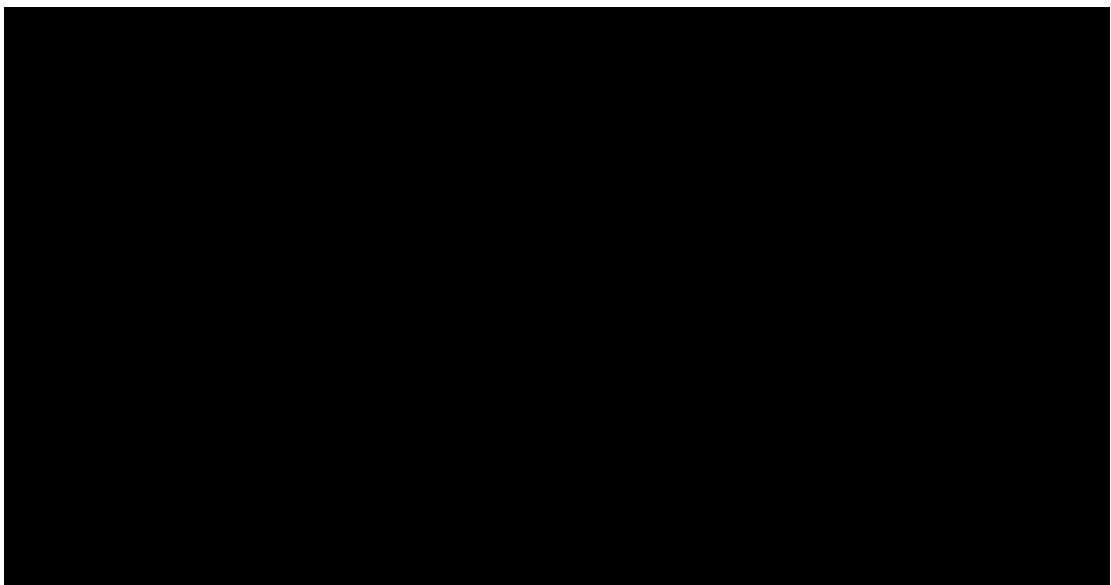
(イ) 燃料要素評価の落下ケース

水平落下時における燃料要素の落下ケースは、(ロ)－第 A. 42 図に示す 2 ケースについて評価する。

① ██████████の面方向に水平落下したとき。



② ██████████に平行な方向に水平落下したとき。



(ロ)－第 A. 42 図 1.2m水平落下時燃料要素評価ケース

(ロ) 燃料要素

(イ) 燃料要素の

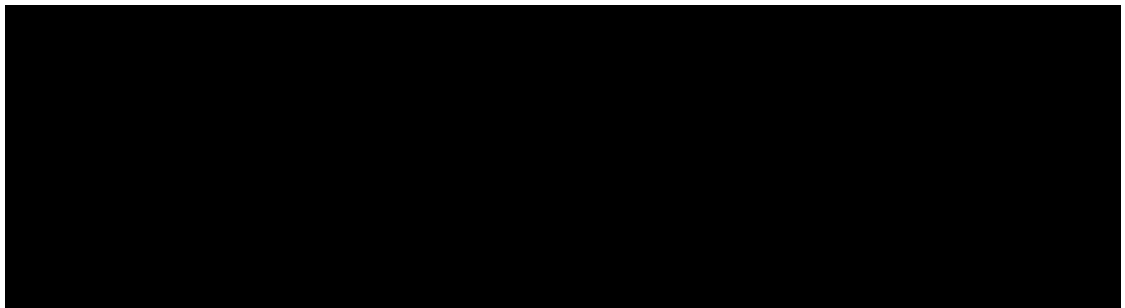
1.2m 水平落下時において要素に生ずる応力について解析する。

(イ)－D項に示すように、新燃料要素は3種類のKUR燃料要素がある。本項では、の面方向に水平落下した場合とに平行な方向に水平落下した場合の二つの落下方向に分けて検討する。

① の面方向に水平落下したとき。

面方向に水平落下する場合に対しては、KUR標準燃料要素について解析を示し、他の2種類については同様の解析を行う。その結果を(ロ)－第A.16表に示す

解析モデルを(ロ)－第A.43図に示す。



(ロ)－第A.43図 要素板面方向1.2m水平落下時解析モデル

(ロ)－第A.43図に示すように、自重による等分布荷重を受ける両端固定梁は、両端固定端で、最大曲げモーメントを受け、この時発生する曲げ応力 σ_b は、次式で与えられる。

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

ここで、M；単位当りの曲げモーメント [N・mm/mm]

$$M = \frac{w \cdot \ell^2}{12}$$

w；等分布荷重 [N/mm²]

w

m質量

N；設計加速度

a [redacted] さ

ℓ ; 固定端間隔

Z ; 単位幅当りの断面係数

Z

h_2

h_1

したがって、次の値となる。

σ_b

② [redacted] に平行な方向に水平落下したとき。

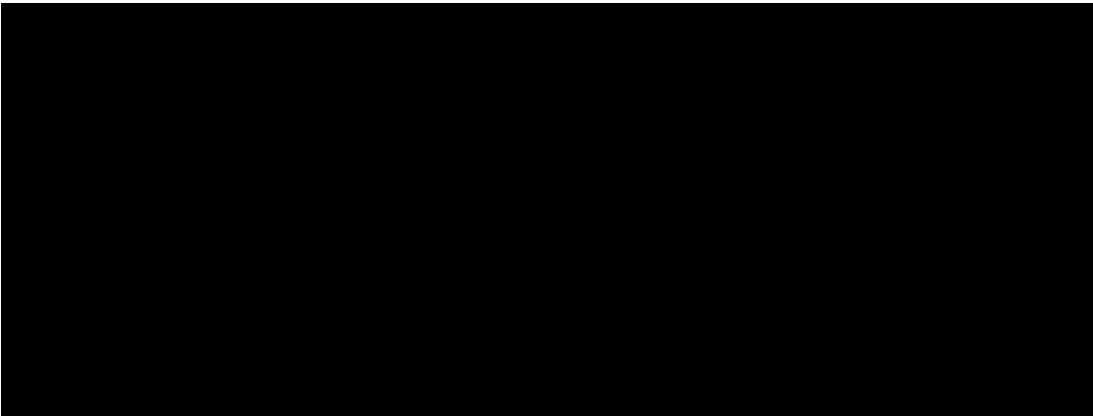
[redacted] に平行な方向に水平落下する場合、(i)－D項に示すように、KUR燃料要素の [redacted] は曲率を有しているため、落下時 [redacted] にはそれ自身と側板の慣性力によって圧縮応力の他に、曲げによる応力も発生し、座屈する恐れがある。そのため、KUR燃料要素の [redacted] に対しては座屈の検討を行う。


KUR特殊燃料要素 [redacted] については、 [redacted] と同じ方向に平面を有し、かつそれよりも強度がある [redacted] あるため、 [redacted] の平行な方向に水平落下した場合、側板の慣性力がその [redacted] に作用するようになっている。よって、KUR特殊燃料要素の [redacted] については、まず、この [redacted] が側板の慣性力全てを分担するとして、その強度を検討する。その強度に問題がないことを確認後、 [redacted] のみの慣性力による強度を検討する。


それらの結果を (ロ)－第 A. 16 表 に示す。

まず、KUR燃料要素の解析の準備として、 [redacted] が湾曲していない並行な [redacted] を持つ燃料要素について検討する。

解析モデルを (ロ)－第 A. 44 図 に示す。



(㍀)－第 A. 44 図  要素板平行方向 1.2m 水平落下時解析モデル

(㍀)－第 A. 44 図に示すように、 の自重及び側板の部分重量を受ける長方形板は圧縮応力 σ_c を生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{(m_F + m_S) \times N}{a (h_2 - h_1)} \quad [N/mm^2]$$

ここで、

N

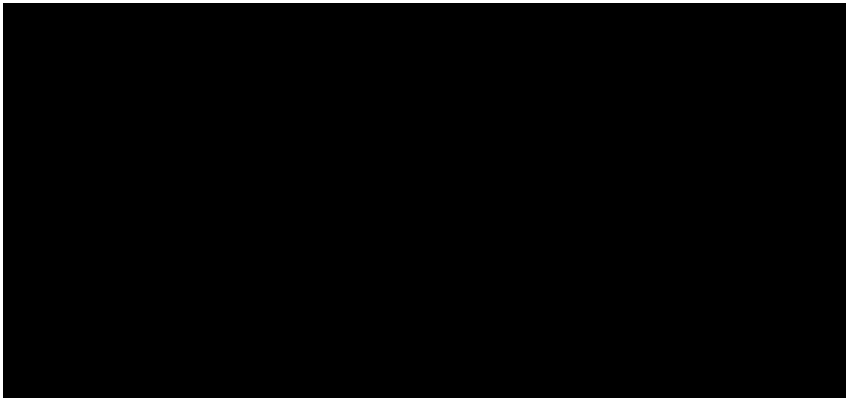
m_F

m_S

a

h_2


h_1



したがって、下記の値となる。

$$\sigma_c \quad \text{[Redacted]} \quad [N/mm^2]$$

次に、KUR 燃料要素について検討する。

まず、KUR 特殊燃料要素を除く KUR 標準燃料要素及び KUR 半装燃料要素の  について評価する。ここでは、KUR 標準燃料要素について解析を示し、KUR 半装燃料要素については同様の解析を行う。

曲げを伴う軸圧縮の梁では、たわみが成長すると曲げモーメントが最大値となる断面の凹側縁で平均軸圧縮応力と曲げ応力の合成圧縮応力が降伏強さに達し、さらに圧縮荷重が増そうとすると破壊する。したがって、この強度は、危険断面における合成圧縮応力が設計降伏点に達すると破壊す

るものと考えている Southwell⁽²³⁾ の式を用いて評価する。

その式を以下に示す。

$$S_y = \sigma_{cr} \left(1 + \frac{e}{r} \sec \frac{L}{2k} \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{E}} \right) \text{-----} \textcircled{1}$$

ここで、 σ_{cr} : 梁の座屈応力 (平均軸圧縮応力) $\frac{P}{A}$ [N/mm²]

P : 梁の圧縮荷重 [N]

A : 梁の断面積 [mm²]

S_y : 材料の設計降伏点 [N/mm²]

E : 材料の縦弾性係数 [N/mm²]

L : 梁の長さ [mm]

e : 梁の偏心量 [mm]

k : 断面二次半径 $\sqrt{\frac{I}{A}}$ [mm]

I : 断面二次モーメント [mm⁴]

Z : 断面係数 [mm³]

r : $\frac{Z}{A}$ [mm]

である。

KUR 標準燃料要素 [REDACTED] におけるそれらの値は、以下の通りである。

[REDACTED] の縦弾性係数 : E = [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] の設計降伏点 : S_y = [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] の単位幅当たりの断面積 : A = [REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] の単位幅当たりの断面二次モーメント [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] の単位幅当たりの断面係数 [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] の偏心量 : e = [REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED] の幅 : L = [REDACTED] [REDACTED]


よって、これらの値より、

k [REDACTED]

r [REDACTED]




となる。

したがって、これらの値を①式の右辺に代入して、設計降伏点 S_y となる値、すなわち、の座屈応力 σ_{cr} は、

$$\sigma_{cr} = \text{[Redacted]}$$

となる。

一方、水平落下時のに生じる平均軸圧縮応力 σ_c は、**平行型燃料要素**と同様に次式で求められる。

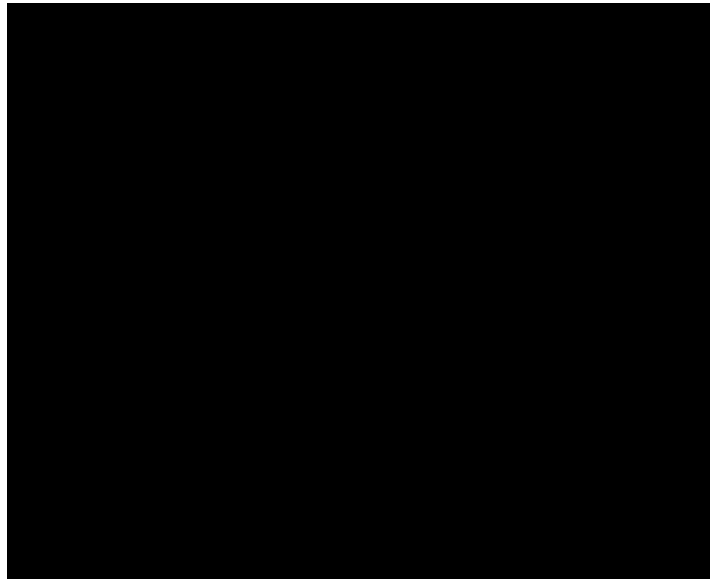
$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{(m_f + m_s) \cdot N}{a \cdot (h_2 - h_1)} \quad [\text{N/mm}^2]$$

ここで、

N : 設計加速度

m_f の質量

m_s : 側板部分の質量



a : の長さ

h_2 

h_1 : 芯材厚さ



したがって、

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

よって、

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

である。

したがって、KUR標準燃料要素のは一般の試験条件でのに平行な方向の水平落下において、十分な強度を有する。

次に、KUR特殊燃料要素[]について検討する。

KUR特殊燃料要素には[]と同じ方向に平面を有している[]
[]あり、この[]の慣性力全てを分担する
と安全側に仮定して、その強度を検討する。その強度に問題がないことを
確認後[]のみの慣性力による強度を検討する。

この中板に生じる圧縮応力 σ_c は、次式を用いて得られる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{(m_m + m_s) \cdot N}{a \cdot t} \quad [\text{N/mm}^2]$$

ここで、

N : 設計加速度 N = []

m_m : []質量 $m_m =$ []

m_s : []部分の質量

したがって、

$$\sigma_c = []$$
$$= []$$

よって[]に作用する圧縮応力は材料の[]の設計降伏点[]
より小さいため強度上問題がない。

次に、[]の強度について検討する。

[]の断面形状及び材質は同じであるため[]の限界座屈応力 σ_{cr}
(平均軸圧縮応力)は、KUR標準燃料要素[]の限界座屈応力と同じ値、

$$\sigma_{cr} = \blacksquare \blacksquare$$

である。

一方、水平落下時の \blacksquare に生じる平均軸圧縮応力 σ_c は、次式で求められる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{m_f \cdot N}{a \cdot (h_2 - h_1)} \quad [\text{N/mm}^2]$$

ここで、

N : 設計加速度 \blacksquare

\blacksquare

よって、

σ_c \blacksquare

σ_c は、

$\sigma_c = \blacksquare \blacksquare \blacksquare$

である。

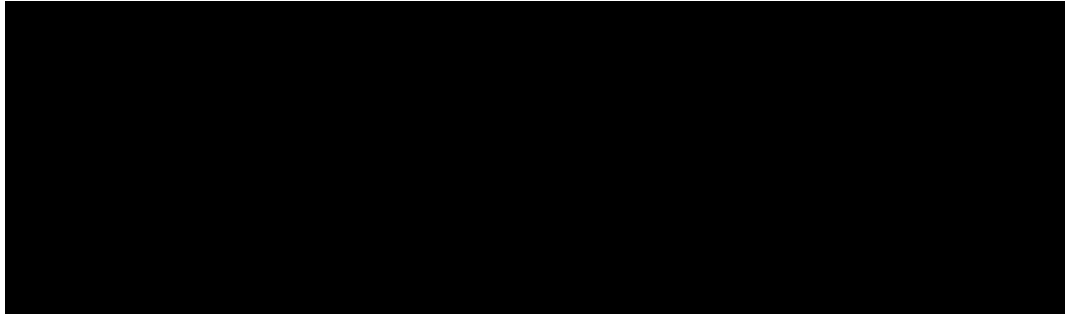
したがって、KUR特殊燃料要素の \blacksquare は一般の試験条件で \blacksquare に平行な方向の水平落下において、十分な強度を有する。

(ii) 燃料要素押え具

燃料要素の輸送の際、長さ調節のため押え具を用いる場合がある。

本項では、押え具に生ずる応力について解析方法を示す。

解析モデルを (v)－第 A. 45 図 に示す。



(v)－第 A. 45 図 押え具応力解析モデル図

(v)－第 A. 45 図に示すように、押え具は自重による等分布荷重を受ける両端支持梁で、中央に最大曲げモーメントを受け、この時発生する曲げ応力 σ_b は、次式で与えられる。

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

ここで、

M : 単位当たり曲げモーメント [N・mm]

$$M = \frac{w \cdot \ell^2}{8}$$

w : 等分布荷重

$$w = \frac{m_z}{\ell} \times N$$

M

m_z : 押え具質量

N : 設計加速度

ℓ : 押え具長さ

Z : 押え具断面係数

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{h_o^4 - h_i^4}{h_o}$$

[mm³]

h_o : 押え具外径

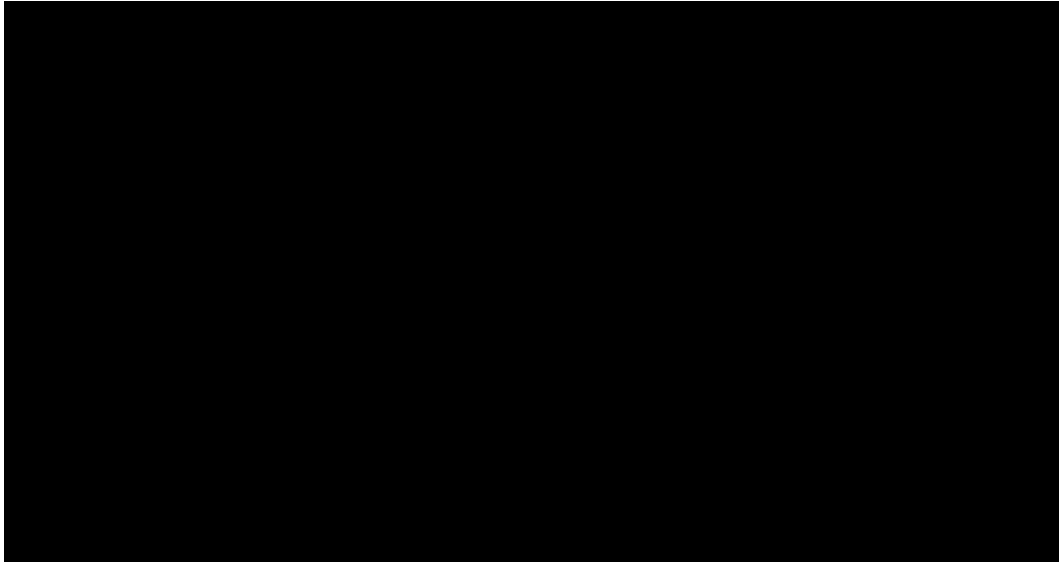
h_i : 押え具内径

したがって、次の値となる。

σ_b [N/mm²]

(c)-2. [REDACTED]

本項では、1.2m水平落下時において[REDACTED]に生ずる応力について解析する[REDACTED]仕様は、(イ)－D項に示すように[REDACTED]板である。解析モデルを(ロ)－第A.46図に示す。



(ロ)－第A.46図 [REDACTED] 1.2m水平落下応力解析モデル図

(ロ)－第A.46図に示すように[REDACTED]の自重を受ける平板は次式で与えられる圧縮応力 σ_c を生じる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{m_F \times N}{l \times (h_2 - h_1)}$$

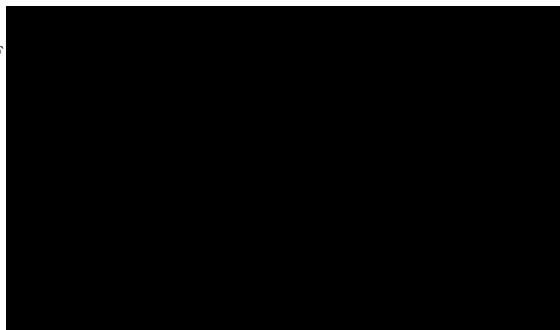
ここで、

m_F

l

h_2

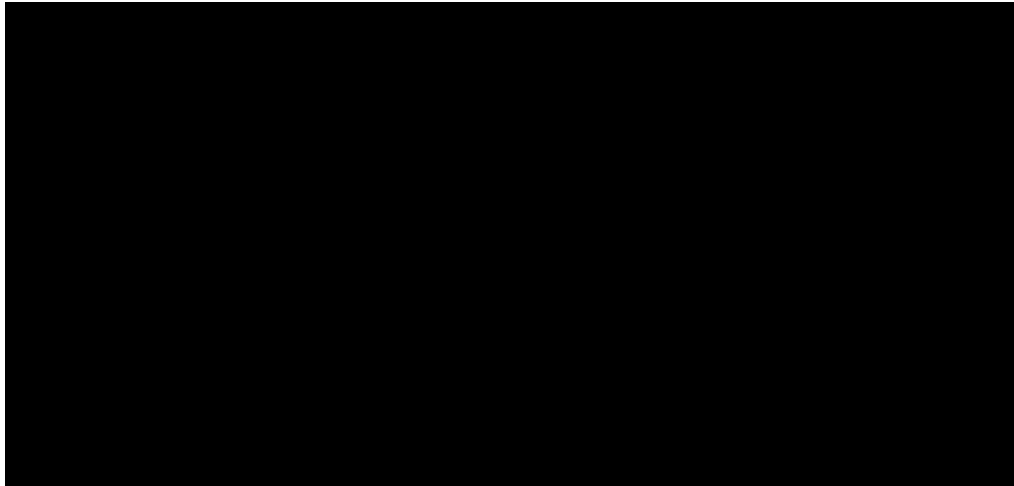
h_1



N : 設計加速度 [m/s²]

である。

水平落下の場合 [redacted] については図(□)－第 A. 47 図に示す方向に設計加速度が加わる。



図(□)－第 A. 47 図 [redacted] .2m 水平落下時モデル

この場合、被覆材厚さの合計は [redacted] であり、

m_F

l

$h_2 - h_1$: 被覆材厚さ合計

N : 設計加速度

であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c

[redacted] する場合の 2 ケースが考えられる。

[redacted] の面方向に水平落下するケース (図(□)－第 A. 48 図) については、落下方向と [redacted] の構造の関係から、[redacted] さとして [redacted])、[redacted] 材

厚さとして () を用いて、

m_F :

l :

h_2 :

h_1 :

N :

であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c

(□) - 第 A. 48 図 .2m 水平落下 : の面方向に水平落下するケース

また に平行な方向に水平落下したケース (図 (□) - 第 A. 49 図) については、

m_F

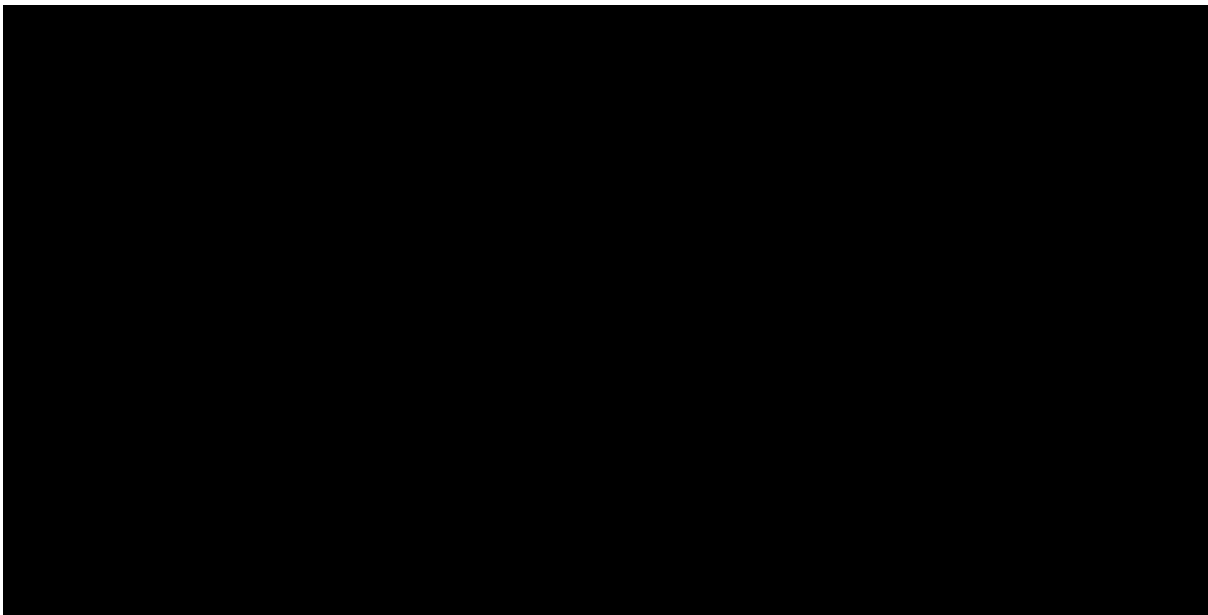
l



h_2

h_1

N

であるので、圧縮応力は次の値となる。

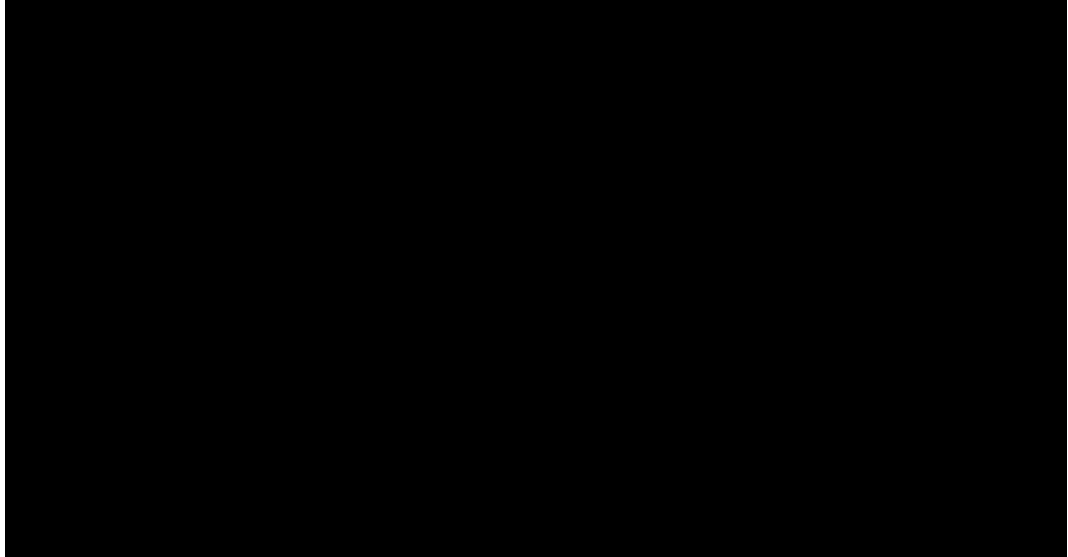


(㍀) - 第 A. 49 図  1.2m 水平落下 :  に平行な方向に水平落下するケース

(c)-3. [REDACTED]

本項では、1.2m水平落下時において[REDACTED]に生ずる応力について解析する。[REDACTED]の仕様は、(イ)－D項に示すように、[REDACTED]である。

解析モデルを(ロ)－第 A. 50 図に示す。



(ロ)－第 A. 50 図 [REDACTED] 1.2m水平落下応力解析モデル図

(ロ)－第 A. 50 図に示すように、[REDACTED]自重を受け[REDACTED]は、底面部で最大曲げモーメントを受け、その時に発生する曲げ応力 σ_b は次式で与えられる。

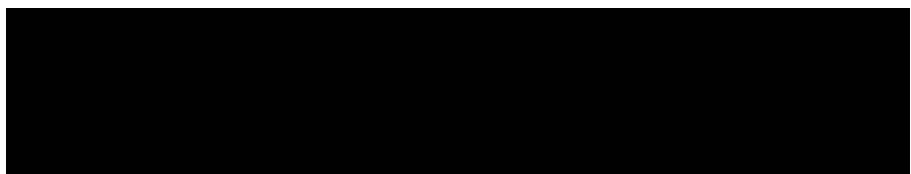
$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

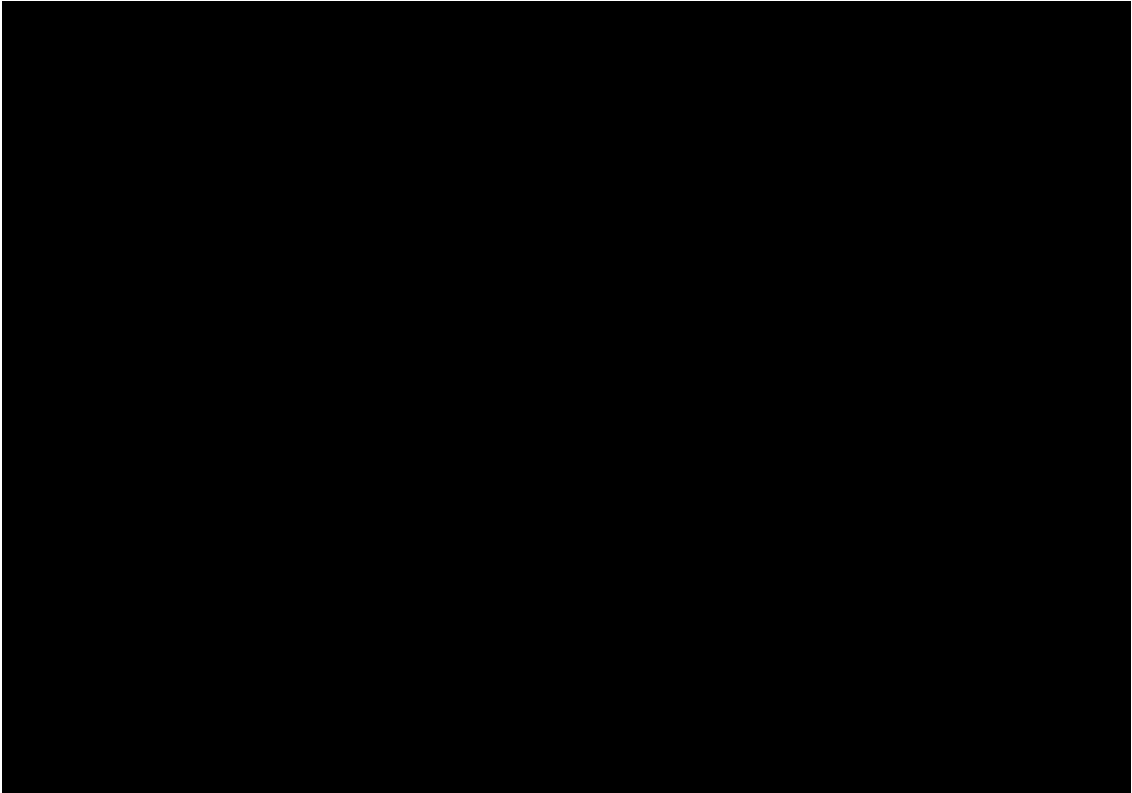
ここで、

M：曲げモーメント

$$M = [REDACTED]$$

w：等分布荷重





であるので、曲げ応力は次の値となる。



(d) 許容応力の比較

(㍀)－A.5.3(6)項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて、(㍀)－第A.16表に示す。

この表から分かるように、個々の荷重が単独あるいは重畳作用しても設計基準値に対する余裕率は正である。

したがって、1.2m水平落下試験条件下において、本輸送物の健全性は維持される。

(π) - 第 A.16 表 1.2m水平落下時における応力評価結果 (1/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	評価位置	初 期 応 力	内 圧 に よ る 応 力	熱膨張 に よ る 応 力	衝 撃 力 に よ る 応 力	一次応力強さの評価					(一次+二次) 応力強さの評価			疲 勞 評 価								
						Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS		
1	内 容 器 胴 部																					
																				σ_r		
																				σ_θ		
2	内 容 器 底 板																					
																					σ_r	
																					σ_θ	
																					σ_z	
3	内 容 器 上 端 部 (内容器蓋)																					
																						σ_r
																						σ_θ
																						σ_z
4	内容器蓋締付ボルト																					
																						σ_t
																						σ_b
5	[] バスケット																					
																						τ

Pm; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sm; 設計応力強さ Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 σ_r ; 径方向応力 σ_θ ; 周方向応力 σ_z ; 軸方向応力 σ_b ; 曲げ応力 τ ; せん断応力 σ_t ; ボルト軸方向応力

(a) - 第 A. 16 表 1.2m水平落下時における応力評価結果 (2/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置		初 期 縮 応 力	内 圧 に よ る 応 力	熱 膨 張 に よ る 応 力	衝 撃 応 力	軸平均圧縮応力			一次応力強さの評価			(一次+二次) 応力強さの評価			疲 勞 評 価				
							σ_c	σ_{cr}	MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb+Q	Sy	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF
1	KUR標準 [redacted] [redacted])	面方向	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
		平行方向																		
2	KUR特殊 [redacted] [redacted])	面方向																		
		平行方向																		
3	KUR半装 [redacted] [redacted])	面方向																		
		平行方向																		

Pm ; 一次一般膜応力 PL ; 一次局部膜応力 Pb ; 一次曲げ応力 Q ; 二次応力 F ; ピーク応力 Sa ; 繰返しピーク応力強さ N ; 使用回数 Na ; 許容繰返し回数 DF ; 疲れ累積係数 Sy ; 設計降伏点 MS ; 余裕率 σ_{cr} : 限界座屈応力 σ_b ; 曲げ応力 σ_c : 軸平均圧縮応力
*1 : 軸平均圧縮応力

(a) - 第 A. 16 表 1.2m水平落下時における応力評価結果 (3/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	評価位置	応力及び応力強さ		初 縮 応 力	期 付 力	内 圧 に よ る 応 力	熱 膨 張 に よ る 応 力	衝 撃 力	一次応力強さの評価						(一次+二次) 応力強さの評価			疲 勞 評 価				
		Pm(PL)	2/3 Sy						MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb+Q	Sy	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS	
1																						
2																						
3																						

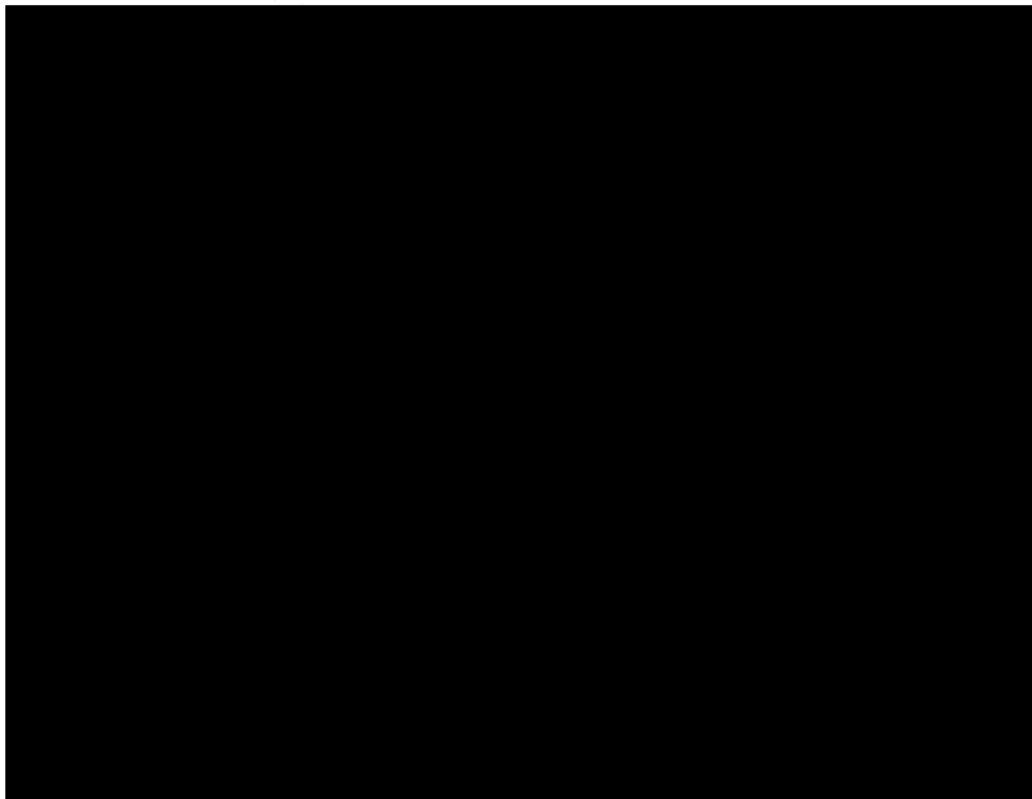
Pm; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 σ_b ; 曲げ応力 σ_c ; 圧縮応力

(7) 1.2m下部垂直落下時の応力解析

1.2m下部垂直落下時の応力解析は、容器本体及び燃料要素に分けて行う。また、各項での応力解析は、主応力を求めるのみとし、応力分類及び応力強さの評価は、A.5.3(7)(c)項で行う。

(a) 容器本体

1.2m下部垂直落下時における容器本体の応力評価位置は、密封性能維持の観点から (p)－第A.51図 に示すとおりとする。



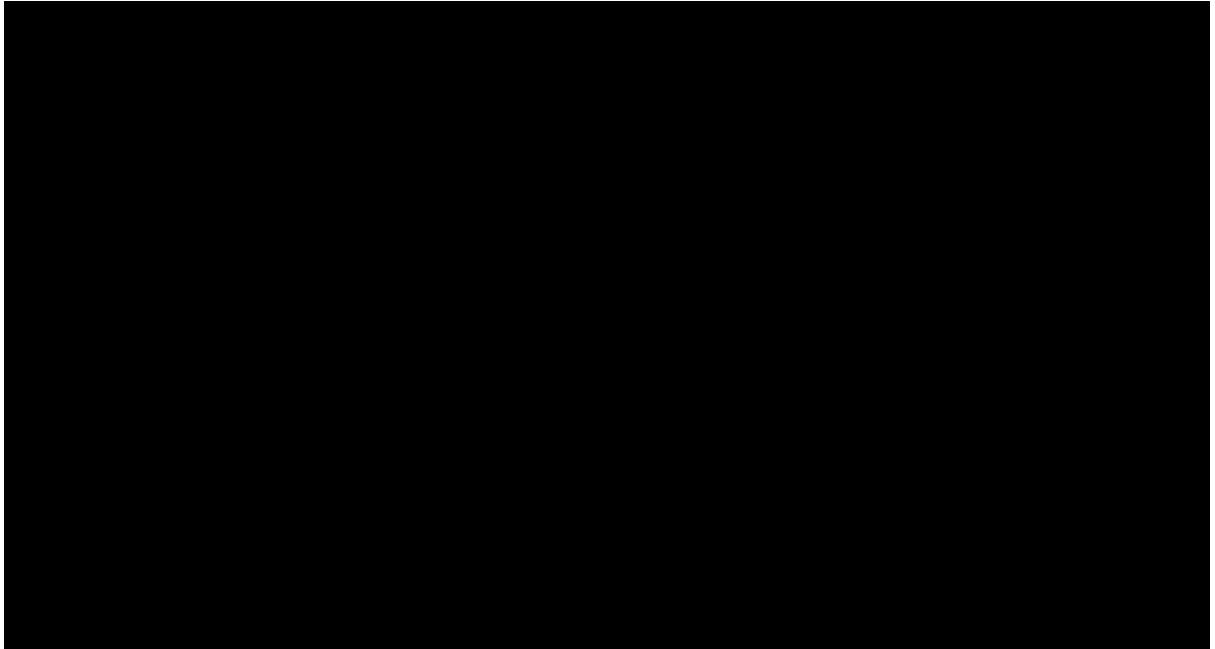
記号	評価位置
①	緩衝材（変形量）
②	内容器胴部
③	内容器底板
④	内容器蓋
⑤	内容器蓋締付ボルト

(p)－第A.51図 1.2m下部垂直落下時応力評価位置（容器本体）

④ 緩衝材の変形量

1.2m下部垂直落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器底部まで達しないことを示す。

解析モデルを (ロ)－第 A.51 図 に示す。



(ロ)－第 A.52 図 1.2m下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器の干渉解析モデル

(ロ)－第 A.52 図 に示すように、1.2m下部垂直落下後における緩衝材の残量 δ (mm) は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_0 - \delta_v$$

ここで、

δ_0 ; 緩衝材の変形前の最少厚さ δ_0

δ_v ; 緩衝材変形量 δ_v

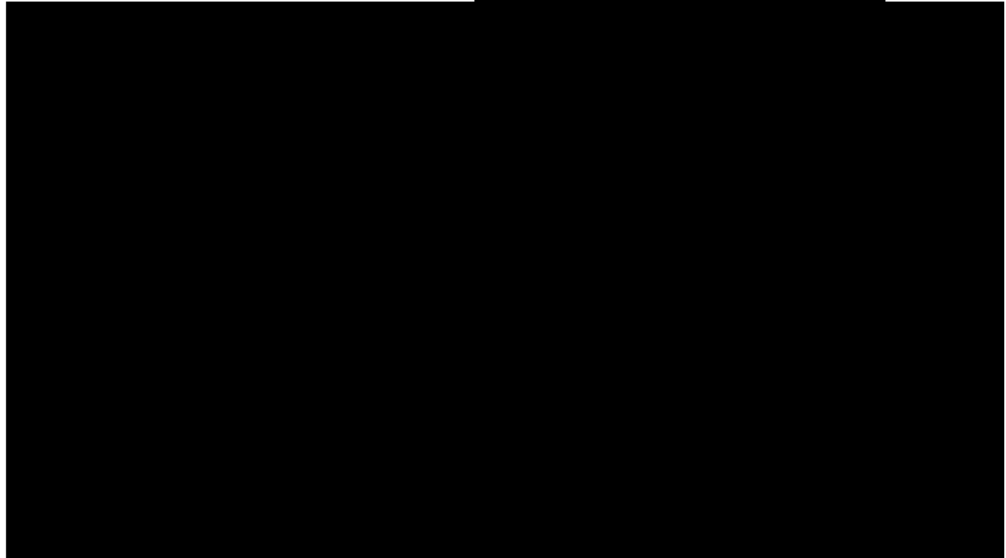
したがって、次の値となる。

δ

よって、1.2m下部垂直落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器底部には達しない。

② 内容器胴部

1.2m下部垂直落下時における内容器胴部の応力の解析モデルを (㍀)－第 A.53 図 に示す。



(㍀)－第 A.53 図 1.2m下部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル

(㍀)－第 A.53 図 に示すように、内容器胴部には自重と内容器蓋部廻りの重量により圧縮力が作用する。この圧縮力により生ずる応力 σ_c は次式で与えられる。

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

ここで、

F ; 内容器胴部に作用する圧縮力

	[N]
m_1 ; 内容器 (胴及びフランジ部) 質量	m_1
m_2 ; 内容器蓋質量	m_2
m_3 ; 燃料バスケット質量	m_3
m_4 ; 収納物質質量	m_4
m_5 ; 外容器蓋質量	m_5
N ; 設計加速度	N

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

A ; 内容器胴部の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) \quad [\text{mm}^2]$$

d_2 ; 内容器胴部外径 d_2 [redacted]

d_1 ; 内容器胴部内径 d_1 [redacted]

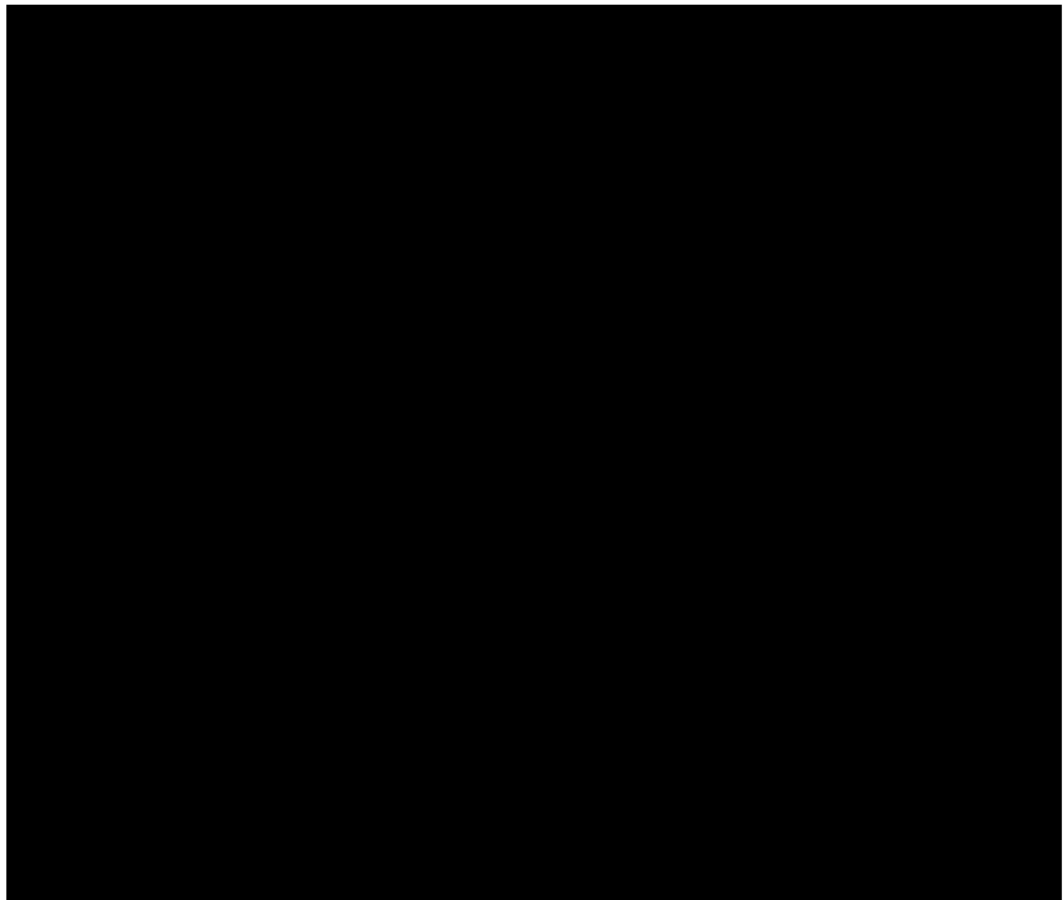
A [redacted]

したがって、圧縮力による σ_c は次の値となる。

$$\sigma_c = \text{[redacted]} \quad [\text{N/mm}^2]$$

◎ 内容器底板

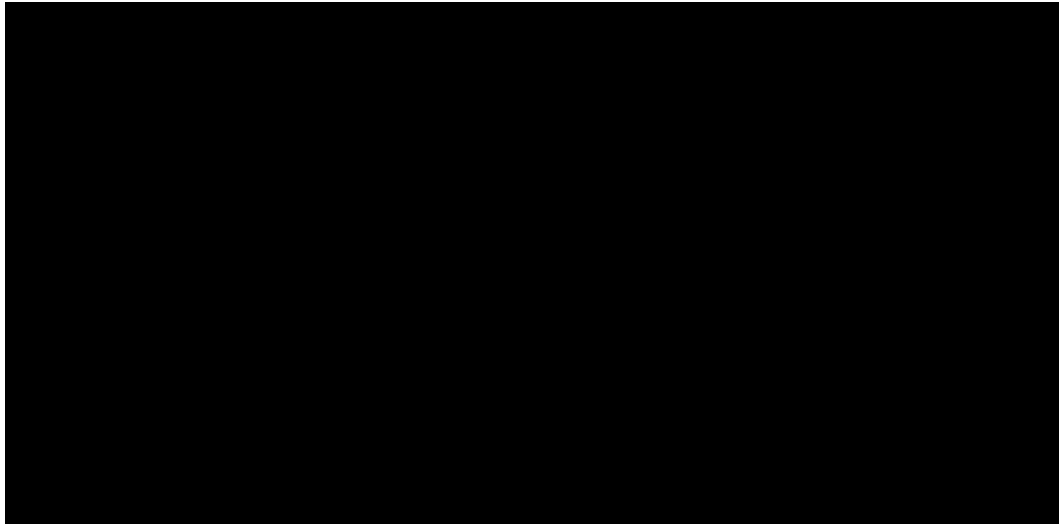
1.2m 下部垂直落下時における内容器底板の応力の解析モデルを (p) - 第 A.54 図 に示す。



(p) - 第 A.54 図 1.2m 下部垂直落下時内容器底板応力解析モデル

④ 内容器蓋

1.2m下部垂直落下時における内容器蓋の応力の解析モデルを (ロ)－第A.55 図に示す。



(ロ)－第A.55 図 1.2m下部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル

(ロ)－第A.55 図に示すように、内容器蓋には、自重が等分布荷重として作用する。等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \mp 1.24 \frac{w \cdot a^2}{h^2}$$

$$\sigma_z = -w \text{ (外面)}$$

ここで、

σ_r ; 径方向応力 [N/mm²]

σ_θ ; 周方向応力 [N/mm²]

σ_z ; 軸方向応力 [N/mm²]

a ; 内容器蓋支持点半径 a

h ; 内容器蓋板厚 h

w ; 自重による等分布荷重

w =

N ; 設計加速度 N

γ ; 内容器蓋の密度 γ

したがって、次の値となる。

$$\sigma_r = \text{[redacted]} \quad \text{N/mm}^2$$
$$\sigma_z = \text{[redacted]} \quad \text{N/mm}^2$$

となる。

応力の復号は上が外面、下が内面を表す。

⑤ 内容器蓋締付ボルト

下部垂直落下時において、落下による荷重は内容器蓋締付ボルトにかからない。したがって応力も発生しない。

(b) 燃料要素・

(b)-1. 燃料要素 (研究用原子炉未照射燃料)

(イ)

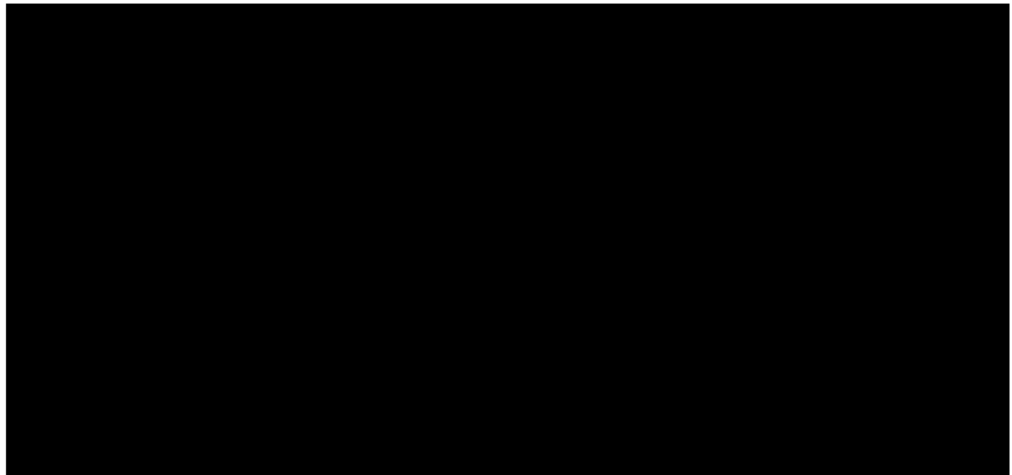
1.2m下部垂直落下時において要素に生ずる応力について解析する。

(i) 固定の場合

要素には、新燃料要素としてKUR燃料要素が合計3種類ある。本項では、KUR標準燃料要素について解析方法を示し、他の2種類については同様の解析を行ない、その結果を(ρ)-第A.17表に示す。

ただしは、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。

解析モデルを(ρ)-第A.56図に示す。



(ρ)-第A.56図 1.2m下部垂直落下時燃料要素応力解析モデル

(ρ)-第A.56図に示すように

る。この保持する力は、次式で与えられる。

$$F_H = f \cdot 2b$$

ここで、

$$F_H = \text{を保持する力} \quad [N]$$

f ; 単位長さ当りの保持力

b さ

したがって、次の値となる。

$$F_H = \text{ } \quad [N]$$

次に、が落下しようとする力は、次式で与えられる。

$$F = m \cdot N$$

ここで、

F [] 落下力 [N]

m ; [] 質量 m = []

N ; 設計加速度 N = []

したがって、次の値となる。

F [] [N]

故に、[] を保持する力は、落下しようとする力を上回っており [] がずり落ちることは無い。

上記の如く、両端を固定した [] に自重による落下力が働く場合、 [] は、せん断応力 τ が発生し、次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1) b}$$

ここで、

τ ; せん断応力 [N/mm²]

F []

h₂ []

h₁ []

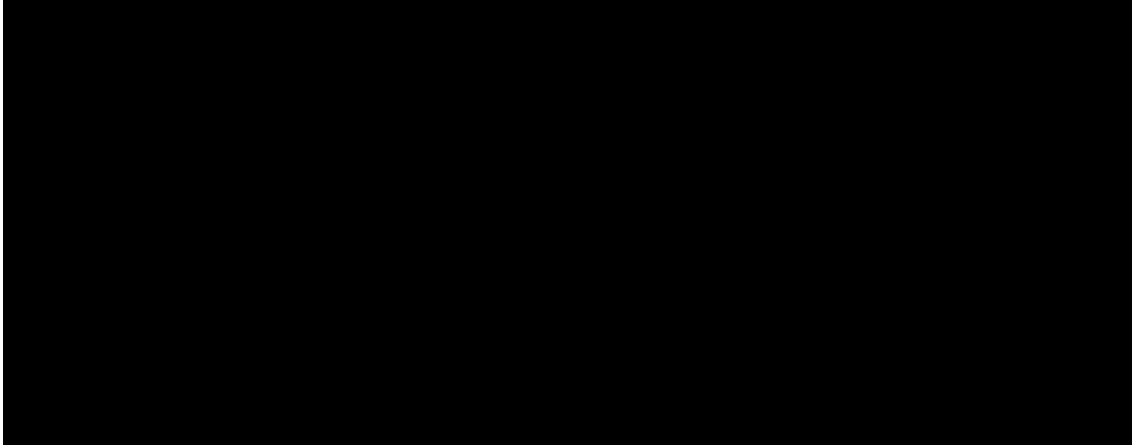
b []

したがって、次の値となる。

(b)-2. [REDACTED]

本項では、1.2m垂直落下時において、[REDACTED]に生ずる応力について解析する。

[REDACTED]については、垂直落下時には (a)－第 A. 57 図 に示すよう [REDACTED]の面に垂直な方向に設計加速度を受ける。



(a)－第 A. 57 図 [REDACTED] 1.2m垂直落下 [REDACTED]

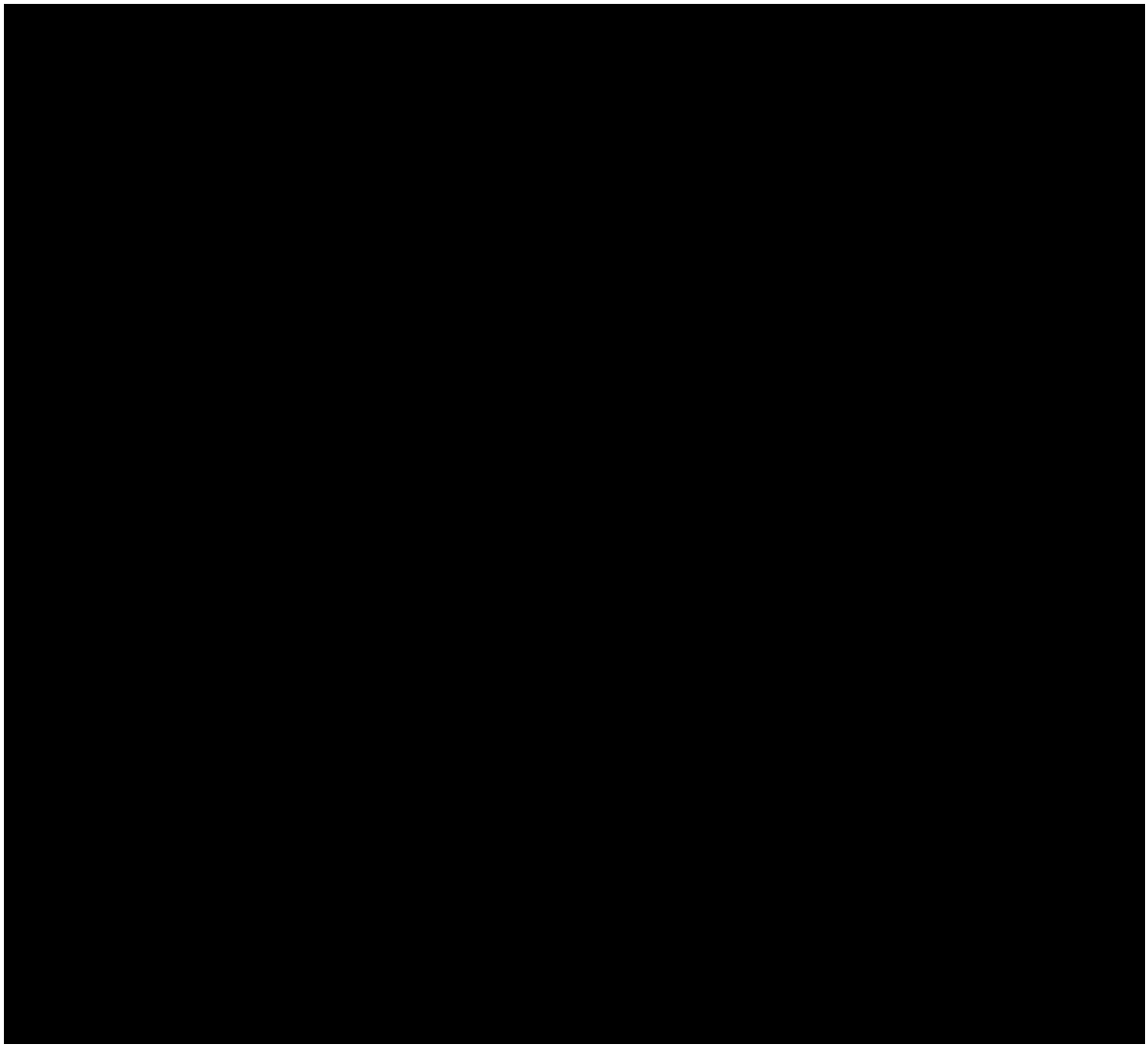
この場合 [REDACTED]については被覆材合計厚さとして [REDACTED] [REDACTED]を用いて、



m_F [REDACTED]
 l : [REDACTED]
 h_2 [REDACTED]
 N [REDACTED]

であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c [REDACTED]

また、[REDACTED]については、垂直落下時には (a)－第 A. 58 図 に示すように [REDACTED] [REDACTED]で設計加速度を受ける。



(㊦) - 第 A. 58 図  1.2m 垂直落下 : 

この場合、

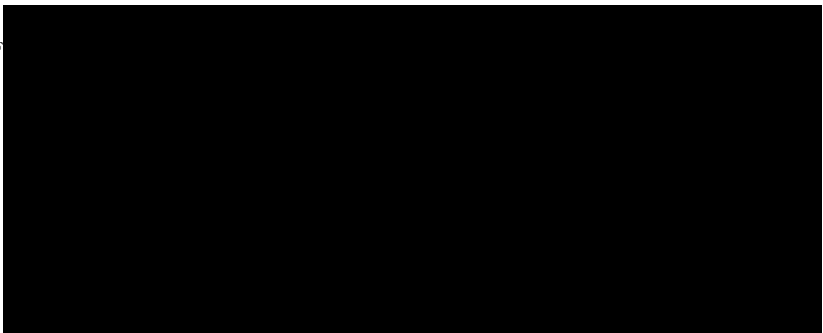
m_F

l

h_2

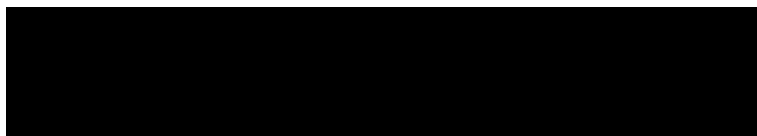
h_1

N



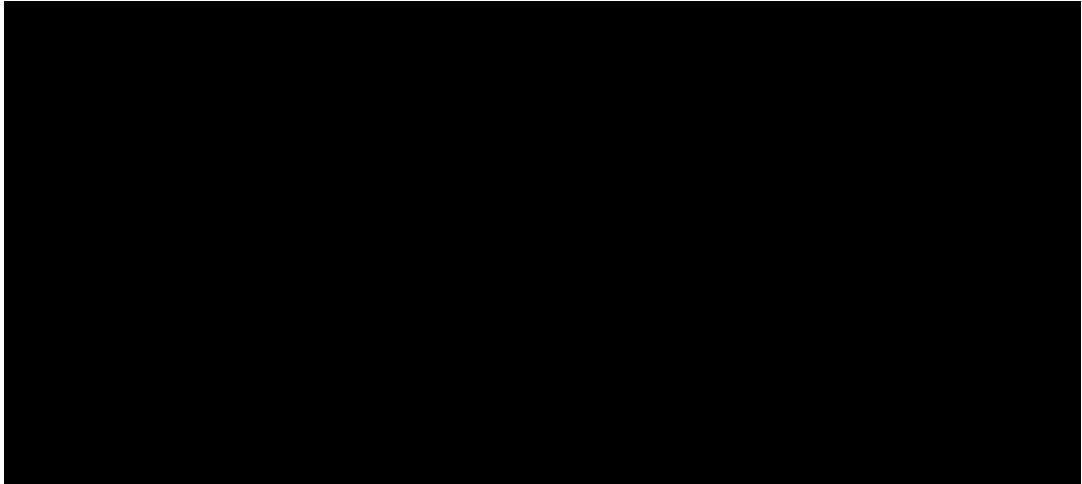
であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c



(b)-3. [REDACTED]

本項では、1.2m垂直落下時において、[REDACTED]に生ずる応力について解析する。垂直落下時には (a)－第A.59図 に示すよう [REDACTED] の面に垂直な方向に設計加速度を受ける。



(a)－第A.59図 [REDACTED] .2m垂直落下解析モデル図

この場合 [REDACTED] は自重を受け、その時に発生する圧縮応力 σ_c は次式で与えられる。

σ_c [REDACTED]

ここで、

m_F [REDACTED]

R_1 [REDACTED]

R_2 [REDACTED]

N [REDACTED]

であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c [REDACTED]

(c) 許容応力の比較

(㊦)－A. 5. 3 (7)項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて、(㊦)－第 A. 17 表に示す。

この表から分かるように、個々の荷重が単独あるいは重畳作用しても設計基準値に対する余裕率は正である。

したがって、1.2m 下部垂直落下試験条件下において、本輸送物の健全性は維持される。

(ロ) ー第 A.17 表 1.2m 下部垂直落下時における応力評価結果 (2/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置	初 期 縮 付 力	内 圧 に よ る 応 力	熱 膨 張 に よ る 応 力	衝 撃 力	一次応力強さの評価					(一次+二次) 応力 強さの評価			疲 勞 評 価						
						Pm(PL)	2/3Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb +Q	Sy	MS	PL+Pb +Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	KUR 標準 ██████████	τ																		
2	KUR 特殊 ██████████	τ																		
3	KUR 半装 ██████████	τ																		

Pm; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 τ; せん断応力

(ロ) 第 A.17 表 1.2m 下部垂直落下時における応力評価結果 (3/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	評価位置	応力及び応力強さ		初 期 縮 応 力	内 圧 に よ る 応 力	熱 膨 張 に よ る 応 力	衝 撃 応 力	一次応力強さの評価					(一次+二次) 応力強さの評価			疲 勞 評 価				
								Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb+Q	Sy	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na

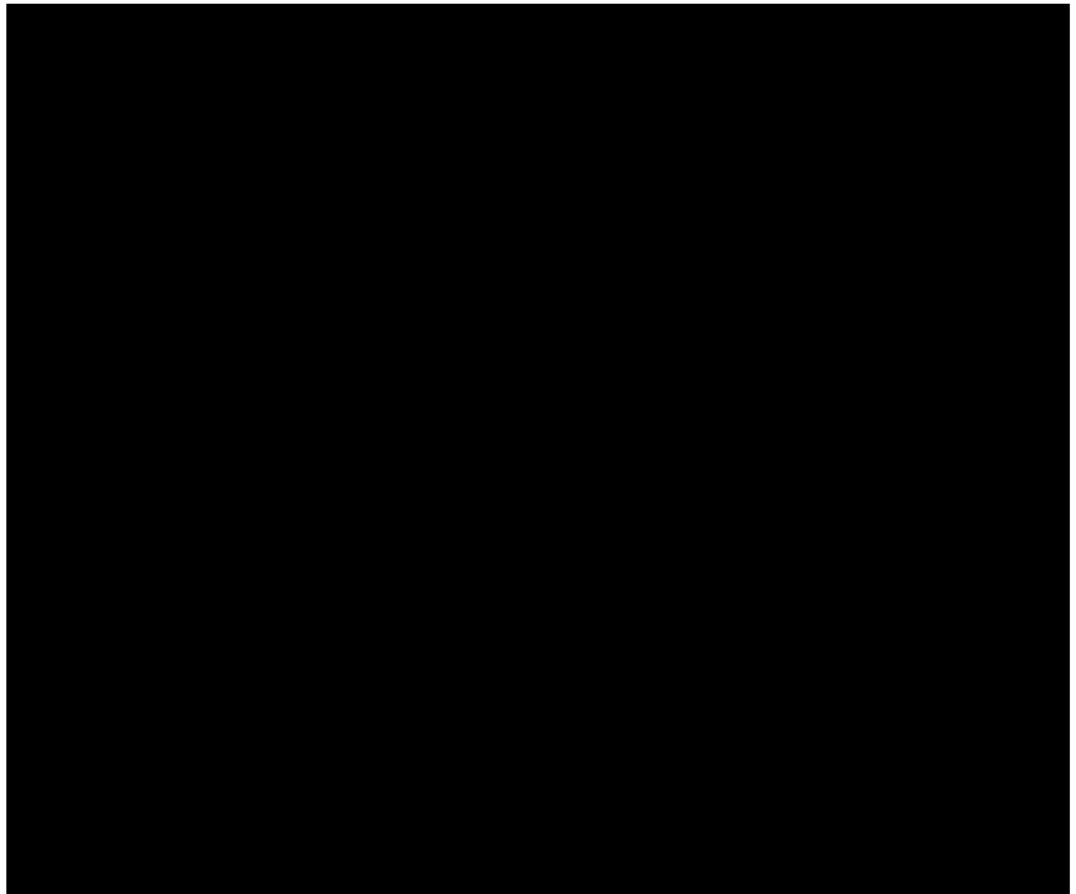
Pm; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 σ_b ; 曲げ応力 σ_c ; 圧縮応力

(8) 1.2m上部垂直落下時の応力解析

1.2m上部垂直落下時の応力解析は、容器本体及び燃料要素に分けて行う。また、各項での応力解析は、主応力を求めるのみとし、応力分類及び応力強さの評価は、A.5.3(8)(c)項で行う。

(a) 容器本体

1.2m上部垂直落下時における容器本体の応力評価位置は、密封性能維持の観点から (a)－第 A.60 図 に示すとおりとする。



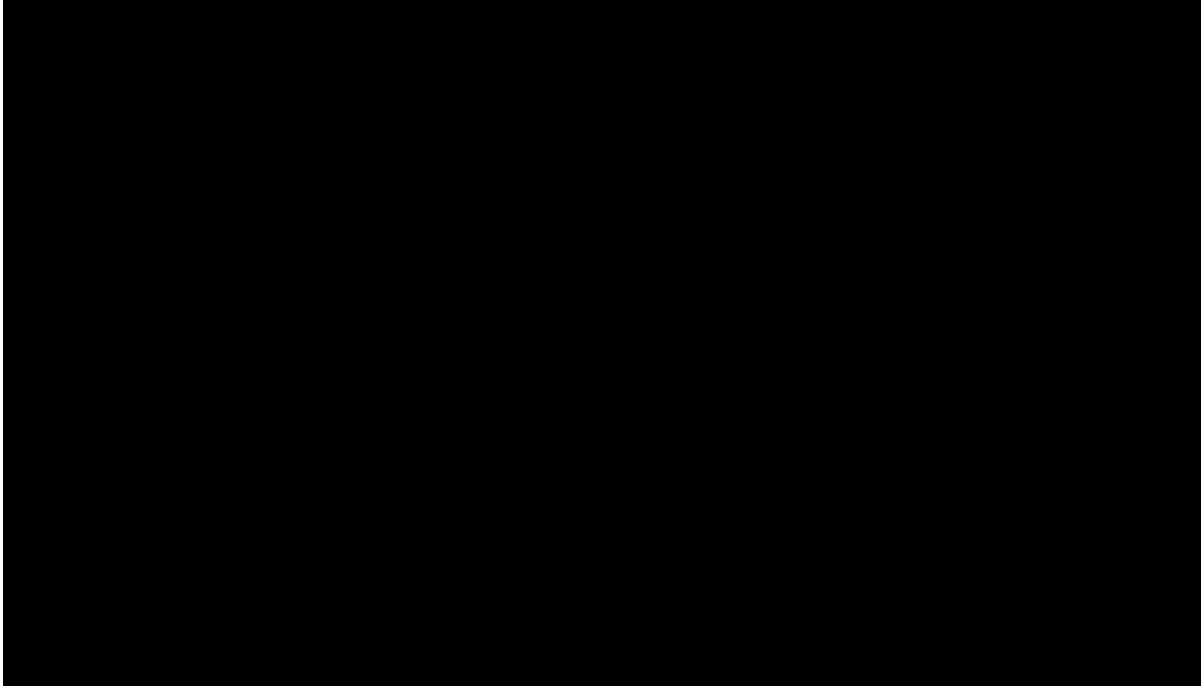
記号	評価位置
Ⓐ	緩衝材（変形量）
Ⓑ	内容器胴部
Ⓒ	内容器底板
Ⓓ	内容器蓋
Ⓔ	内容器蓋締付ボルト

(a)－第 A.60 図 1.2m上部垂直落下時応力評価位置（容器本体）

④ 緩衝材の変形量

1.2m上部垂直落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器蓋部まで達しないことを示す。

解析モデルを (ロ)－第 A.61 図 に示す。



(ロ)－第 A.61 図 1.2m上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(ロ)－第 A.61 図 に示すように、1.2m上部垂直落下後における緩衝材の残量 δ (mm) は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_0 - \delta_v$$

ここで、

δ_0 ; 緩衝材の変形前の最少厚さ δ_0

δ_v ; 緩衝材変形量 δ_v

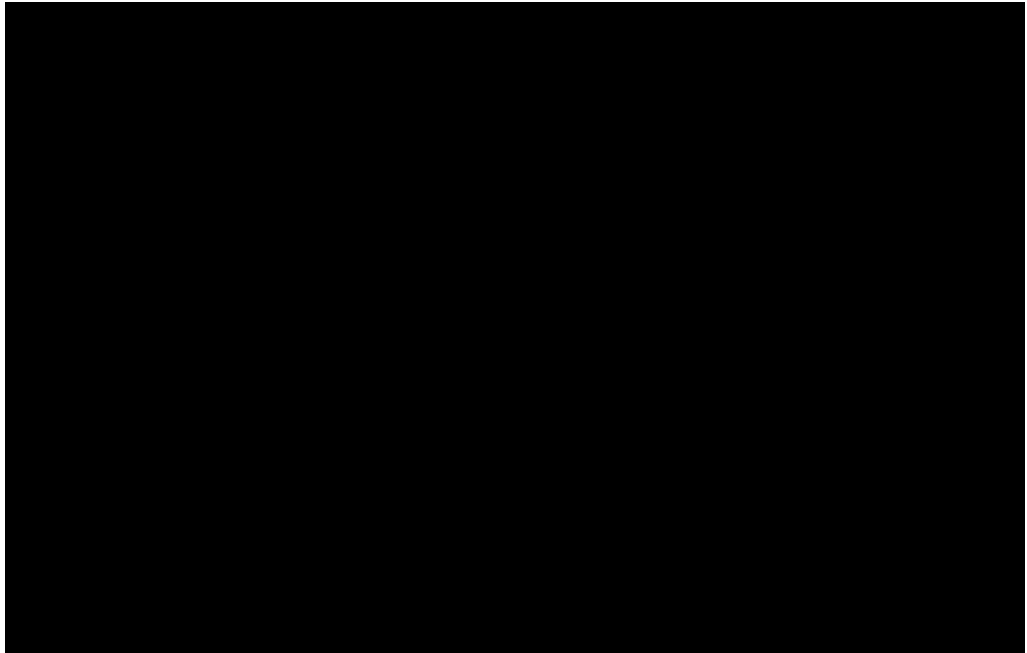
したがって、次の値となる。

$$\delta =$$

よって、1.2m上部垂直落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器蓋部には達しない。

② 内容器胴部

1.2m上部垂直落下時における内容器胴部の応力の解析モデルを (㍀)－第 A.62 図 に示す。



(㍀)－第 A.62 図 1.2m上部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル

(㍀)－第 A.60 図に示すように、内容器胴部には自重と内容器底部廻りの質量により圧縮力が作用する。この圧縮力により生ずる応力 σ_c は次式で与えられる。

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

ここで、

F ; 内容器胴部に作用する圧縮力

$$F = (m_1 + m_3 + m_6) \cdot N \quad [N]$$

m_1 ; 内容器 (胴及び底部) 質量 m

m_3 ; 燃料バスケット質量 m

m_6 ; 外容器本体質量 m

N ; 加速度 N

$$F = \quad [N]$$

A ; 内容器胴部の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) \quad [\text{mm}^2]$$

d_2 ; 内容器胴部外径

d_2

d_1 ; 内容器胴部内径

d_1

A

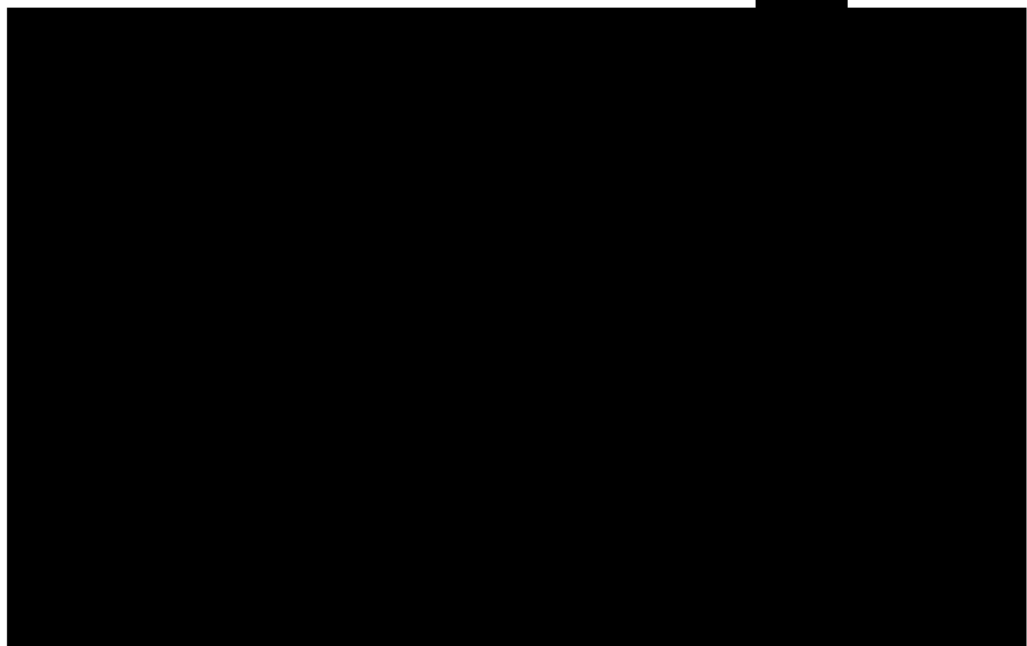
したがって、次の値となる。

σ_c

$[\text{N}/\text{mm}^2]$

◎ 内容器底板

1.2m上部垂直落下時における内容器底板の応力の解析モデルを (p)－第 A.63 図 に示す。



(p)－第 A.63 図 1.2m上部垂直落下時内容器底板応力解析モデル

(p)－第 A.63 図に示すように、内容器底板には、外容器底部と内容器底板自重が等分布荷重として作用する。等分布荷重を受ける周辺固定円板に生ずる応力は、固定端で最大となり、次式で与えられる。

$$\sigma_{\theta} = \pm 0.225 \frac{w \cdot a^2}{h^2}$$

$$\sigma_r = \pm 0.75 \frac{w \cdot a^2}{h^2}$$

$$\sigma_z = -w \text{ (外面)}$$

ここで、

$$\sigma_\theta ; \text{周方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_r ; \text{径方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z ; \text{軸方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$a ; \text{内容器底板内半径} \quad a$$

$$h ; \text{内容器底板板厚} \quad h$$

w ; 等分布荷重

$$w = \frac{(m_7 + m_8) \cdot N}{\pi a^2} \quad [N/mm^2]$$

$$m_7 ; \text{内容器底板質量} \quad m_7$$

$$m_8 ; \text{外容器底部質量} \quad m_8$$

$$N ; \text{加速度} \quad N$$

$$w \quad [N/mm^2]$$

したがって、次の値となる。

$$\sigma_\theta \quad [N/mm^2]$$

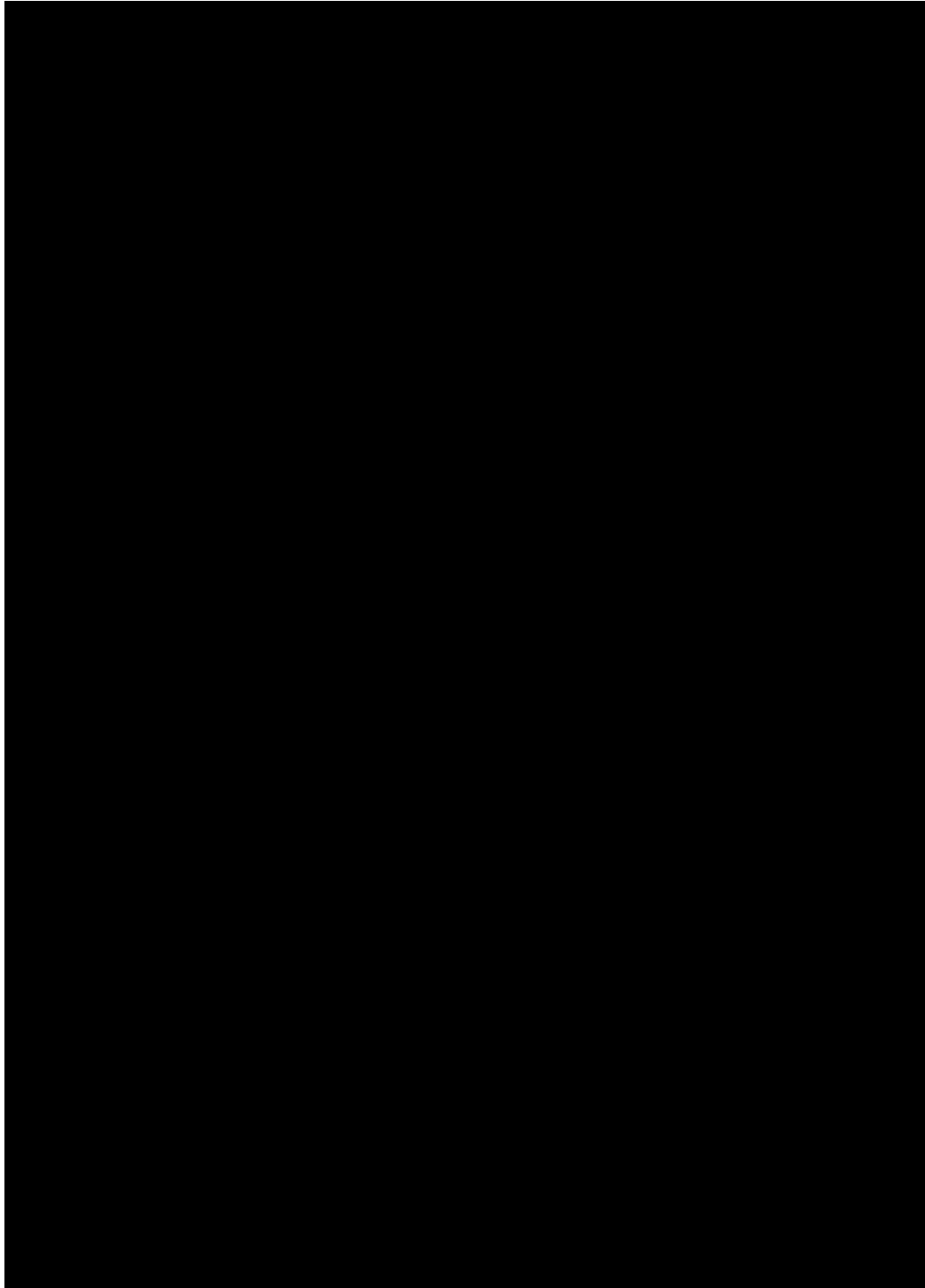
$$\sigma_r \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z \quad [N/mm^2]$$

応力の複号は上が外面、下が内面を表す。

④ 内容器蓋

1.2m上部垂直落下時における内容器蓋の応力の解析モデルを (㍀)－第A.64
図に示す。



(㍀)－第A.64 図 1.2m上部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル

(v)－第 A. 64 図に示すように、内容器蓋には、収納物及び燃料バスケット質量が中央部に等分布荷重として、また、内容器蓋自重が等分布荷重として作用する。これに対し、内容器蓋は緩衝材の円環状反力そして内容器蓋締付ボルトにて支持される。

これらの荷重を受ける周辺支持円板に生ずる応力は、中央で最大となり、(v)－第 A. 64 図に示す①、②、③及び④の各モデルの解析結果を重ね合わせることにより、求めることができる。

① 収納物+燃料バスケット

(v)－第 A. 64 図－①に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。⁽⁷⁾

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \mp \frac{3P_1 \cdot b^2}{8h^2} \left\{ 4(1+\nu) \ln \frac{a}{b} + 4 - (1-\nu) \frac{b^2}{a^2} \right\}$$

$$\sigma_z = -P_1 \text{ (内面)}$$

ここで、

$$\sigma_r ; \text{ 径方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_\theta ; \text{ 周方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z ; \text{ 軸方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$a ; \text{ 内容器蓋支持点半径} \quad a$$

$$b ; \text{ 荷重半径} \quad b$$

$$h ; \text{ 内容器蓋板厚} \quad h$$

P_1 ; 収納物及び燃料バスケットによる等分布荷重

$$P_1 = \frac{(m_3 + m_4)}{\pi b^2} \cdot N \quad [N/mm^2]$$

$$m_3 ; \text{ 燃料バスケット質量} \quad m_3$$

$$m_4 ; \text{ 収納物質量} \quad m_4$$

$$N ; \text{ 加速度} \quad N$$

$$P_1 \quad [N/mm^2]$$

$$\nu ; \text{ ポアソン比} \quad \nu$$

したがって、次の値となる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta$$

$$\sigma_z$$

[N/mm²]

[N/mm²]

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力 R_1 は次の値となる。

$$R_1$$

② 内容器蓋自重

(□)－第 A.64 図－②に示すように、内容器蓋自重による等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \mp 1.24 \frac{P_2 \cdot a^2}{h^2}$$

$$\sigma_z = -P_2 \text{ (内面)}$$

ここで、

$$\sigma_r ; \text{ 径方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_\theta ; \text{ 周方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z ; \text{ 軸方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$a ; \text{ 内容器蓋支持点半径} \quad a$$

$$h ; \text{ 内容器蓋板厚} \quad h$$

$$N ; \text{ 加速度} \quad N$$

$$\gamma ; \text{ 内容器蓋の密度} \quad \gamma$$

$$P_2 ; \text{ 内容器蓋自重による等分布荷重}$$

$$P_2$$

したがって、次の値となる。

$$\sigma_r$$

[N/mm²]

$$\sigma_z$$

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力 R_2 は次の値となる。

$$R_2 = \text{[REDACTED]} \quad [\text{N}]$$

③ 緩衝材反力控除分

(㍀) ー 第 A. 64 図ー③に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。⁽⁷⁾

$$\sigma_r = \sigma_\theta = + \frac{-3P_3 \cdot c^2}{8h^2} \left\{ 4(1+\nu) \cdot \ln \frac{a}{c} + 4 - (1-\nu) \cdot \frac{c^2}{a^2} \right\}$$

$$\sigma_z = -P_3 \quad (\text{内面})$$

ここで、

$$\sigma_r ; \text{径方向応力} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\sigma_\theta ; \text{周方向応力} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\sigma_z ; \text{軸方向応力} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$a ; \text{内容器蓋支持点半径} \quad \text{[REDACTED]}$$

$$c ; \text{荷重半径}$$

$$c = \text{[REDACTED]}$$

$$c_0 ; \text{円錐上部半径} \quad c_0 \text{ [REDACTED]}$$

$$\alpha ; \text{円錐角} \quad \alpha \text{ [REDACTED]}$$

$$\delta ; \text{緩衝材変形量} \quad \delta \text{ [REDACTED]}$$

$$h ; \text{内容器蓋板厚} \quad h \text{ [REDACTED]}$$

$$\nu ; \text{ポアソン比} \quad \nu \text{ [REDACTED]}$$

$$P_3 ; \text{緩衝材の圧縮応力} \quad P_3 = \text{[REDACTED]}$$

したがって、次の値となる。

$$\sigma_r = \text{[REDACTED]}$$

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

$$\sigma_z = \text{[REDACTED]}$$

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力 R_3 は次の値となる。

④ 緩衝材反力

(□) 第 A.64 図-④に示すように、緩衝材反力の等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = +1.24 \frac{P_4 \cdot a^2}{h^2}$$

$$\sigma_z = -P_4 \text{ (外面)}$$

ここで、

$$\sigma_r ; \text{ 径方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_\theta ; \text{ 周方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z ; \text{ 軸方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$a ; \text{ 内容器蓋支持点半径} \quad a =$$

$$h ; \text{ 内容器蓋板厚} \quad h =$$

$$P_4 ; \text{ 緩衝材の圧縮応力} \quad P_4 =$$

したがって、次の値となる。

$$\sigma_r = \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z = \quad [N/mm^2]$$

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力 R_4 は次の値となる。

$$R_4 = \quad [N]$$

以上の結果より、それぞれの応力を重ね合せると次のようになる。

$$\sigma_r \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z \quad [N/mm^2]$$

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、支持点反力の合計は次の値となる。

(b) 燃料要素

(b)-1. 燃料要素 (研究用原子炉未照射燃料)

(イ)

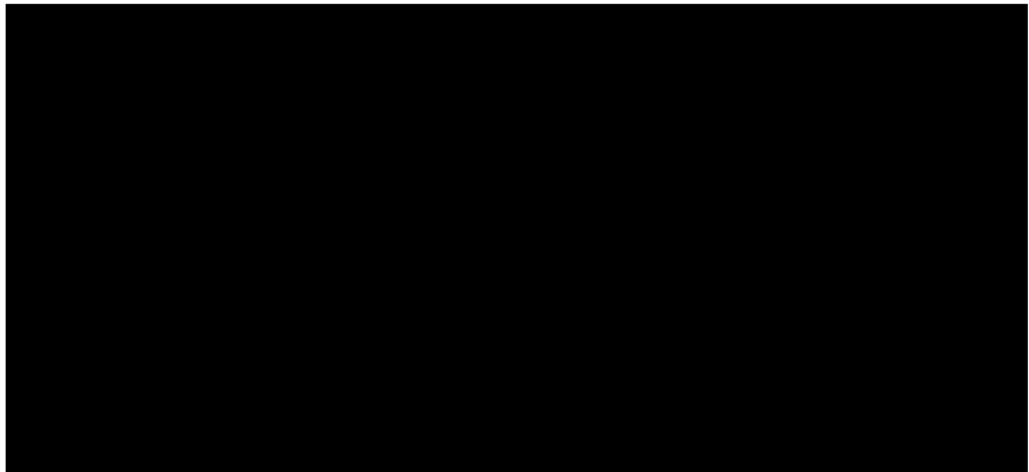
部垂直落下時において要素に生ずる応力について解析する。

(i)

要素には、新燃料要素としてKUR燃料要素が合計3種類ある。本項では、KUR標準燃料要素について解析方法を示し、他の2種類については同様の解析を行ない、その結果を (ロ) 第 A. 18 表 に示す。

ただし、は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。

解析モデルを (ロ) 第 A. 65 図 に示す。



(ロ) 第 A. 65 図 1.2m上部垂直落下要素応力解析モデル

(ロ) 第 A. 65 図に示すように、
いる。この保持する力は、次式で与えられる。

$$F_H = f \cdot 2b$$

ここで、

F_H

f

b

したがって、次の値となる。

$$F_H \quad [N]$$

次にが落下しようとする力は、次式で与えられる。

$$F = m \cdot N$$

ここで、

$$F \quad ; \text{燃料板落下力} \quad [N]$$

m

N

したがって、下記の値となる。

F [N]

故に を保持する力は、落下しようとする力を上回っており、

がずり落ちることはない。

上記の如く、

は、せん断応力 τ が発生し、次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F}{2(h_2 - h_1)b}$$

ここで、

τ ;せん断応力 [N/mm²]

F

h_2

h_1

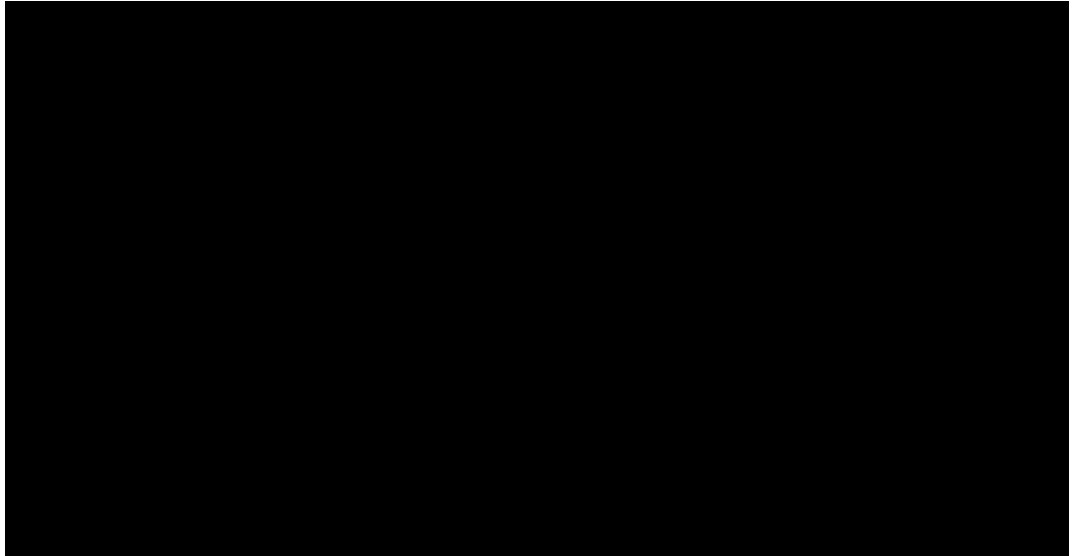
b

したがって、次の値となる。

τ [N/mm²]

(b)-2. [REDACTED]

本項では、1.2m上部垂直落下時において [REDACTED] 板に生ずる応力について解析する。解析モデル図を (a)－第 A. 66 図 に示す。



(a)－第 A. 66 図 燃料要素 1.2m上部垂直落下応力解析モデル図

[REDACTED] については、垂直落下時には (a)－第 A. 57 図 に示したとおり [REDACTED] の面に垂直な方向に設計加速度を受け、被覆材合計厚さとして [REDACTED] [REDACTED] を用いて、

m_F

l

h_2

N

であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c

また [REDACTED] については、垂直落下時には (a)－第 A. 58 図 に示したとおり [REDACTED]

[REDACTED] 平行な方向に設計加速度を受け、この場合、

m_F

l

h_2

h_1

N

であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c

(b)-3. [REDACTED]

本項では、1.2m上部垂直落下時において、[REDACTED]に生ずる応力について解析する。解析モデルは(□)-第A.59図に示した場合と同一である。

m_F : [REDACTED]
 R_1 [REDACTED]
 R_2 [REDACTED]
 N : [REDACTED]

であるので、圧縮応力は次の値となる。

σ_c [REDACTED]
[REDACTED] $[N/mm^2]$

(c) 許容応力の比較

(□)－A.5.3(8)項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて、(□)－第A.18表に示す。

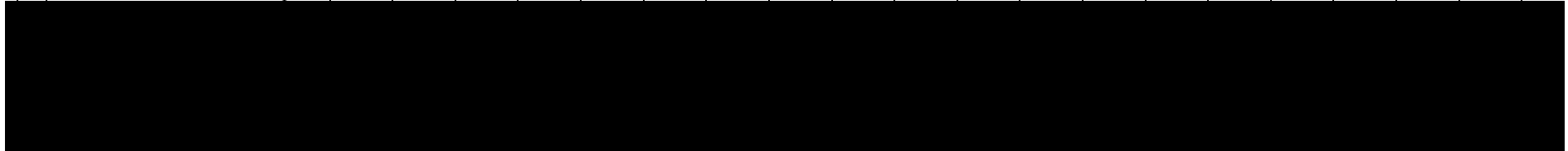
この表から分かるように、個々の荷重が単独あるいは重畳作用しても設計基準値に対する余裕率は正である。

したがって、1.2m上部垂直落下試験条件下において、本輸送物の健全性は維持される。

(㍑)－第 A. 18 表 1.2m 上部垂直落下時における応力評価結果 (3/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	評価位置	応力及び応力強さ		初期 応力	内圧 による 応力	熱膨張 による 応力	衝撃 応力	一次応力強さの評価					(一次+二次) 応力 強さの評価			疲労評価				
		Pm(PL)	2/3 Sy					MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb +Q	Sy	MS	PL+Pb +Q+F	Sa	N	Na	DF	MS



Pm ; 一次一般膜応力 PL ; 一次局部膜応力 Pb ; 一次曲げ応力 Q ; 二次応力 F ; ピーク応力 Sa ; 繰返しピーク応力強さ N ; 使用回数 Na ; 許容繰返し回数 DF ; 疲れ累積係数 Sy ; 設計降伏点 MS ; 余裕率 σ_b ; 曲げ応力 σ_c ; 圧縮応力

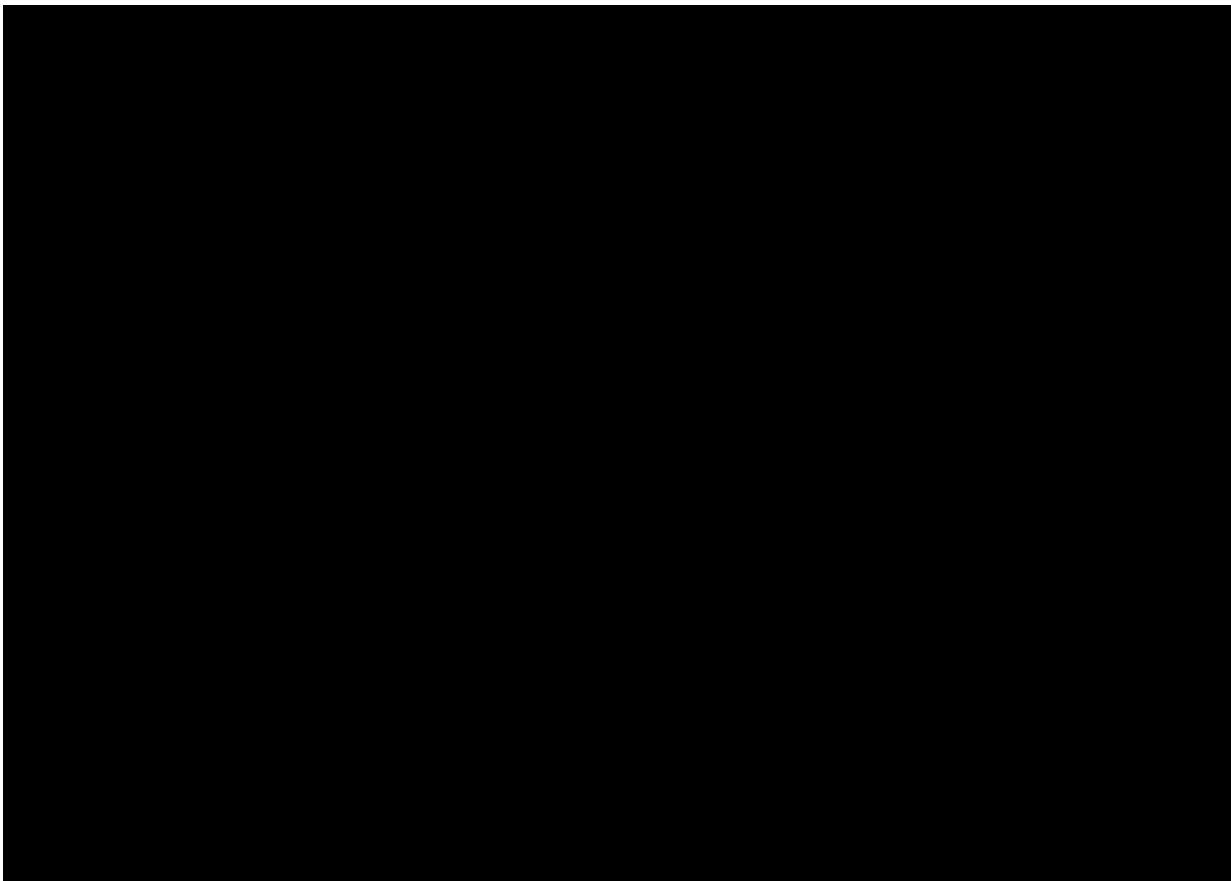
(9) コーナー落下

コーナー落下は、傾斜落下の特殊な場合であり、(□)－第 A. 67 図に示すように、輸送物の落下点と重心を結ぶ線が、剛平面に対して垂直な場合の落下である。

(a) 緩衝材の変形量

緩衝材の変形量と残量の関係をも (□)－第 A. 67 図に示す。

図より変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。



(□)－第 A. 67 図 1.2m コーナー落下時緩衝材変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(b) 輸送容器及び収納物に生ずる応力

(□)－第 A.15 表のコーナー落下時の設計加速度を垂直成分及び水平成分に分解し、(□)－第 A.19 表に示す。

(□)－第 A.19 表 コーナー落下時の設計加速度

(× g)

落下方向		落下方向加速度 (N)	垂直方向加速度 ($N_V = N \cos \theta$)	水平方向加速度 ($N_H = N \sin \theta$)
コーナー	上部			
	下部			

(□)－第 A.19 表より、各方向成分加速度は、垂直落下時及び水平落下時に生ずる加速度より小さくなる。したがって、応力解析は省略する。

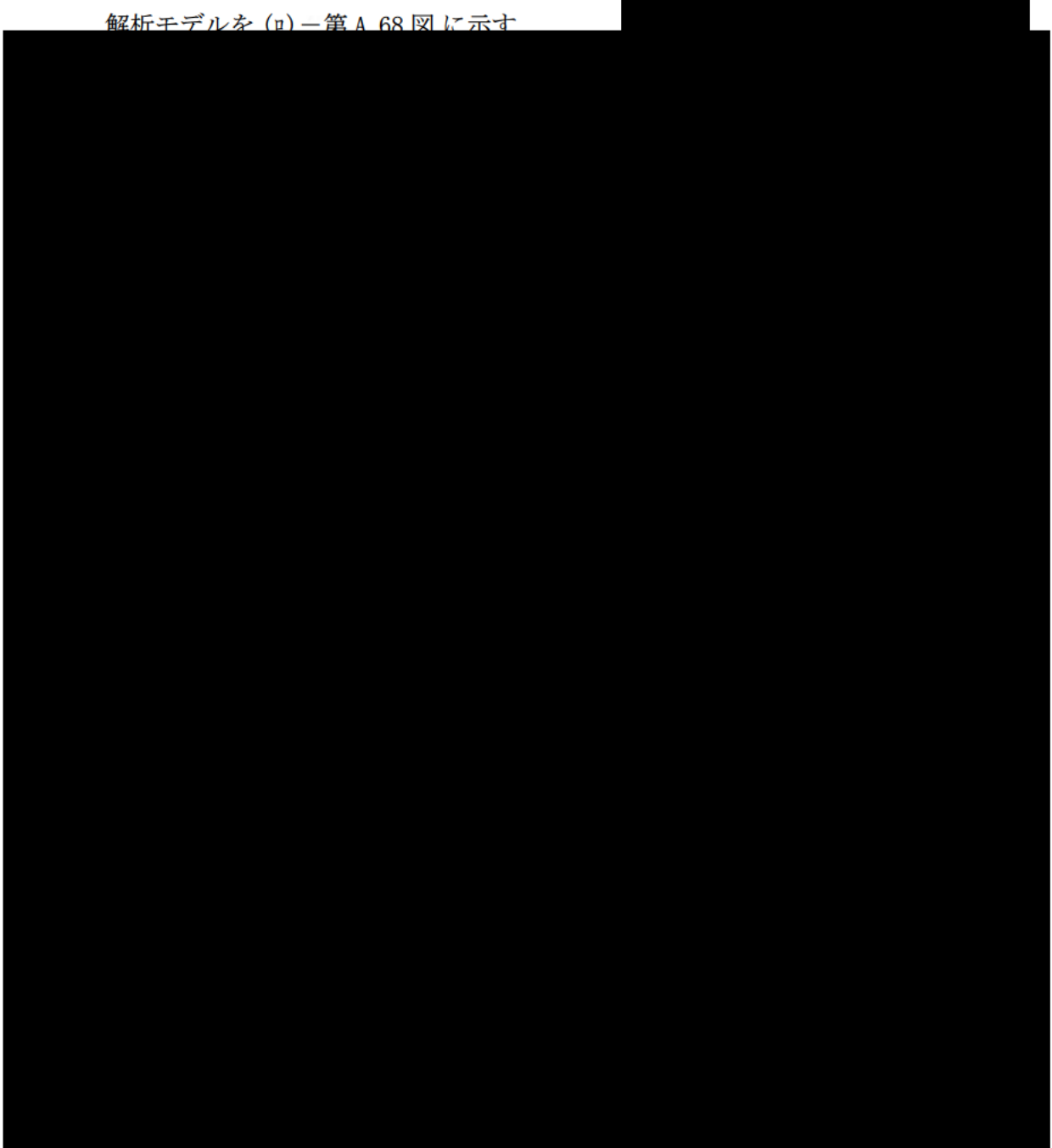
なお、A.5.3(6)～(8)の項と異なる内容器蓋締付ボルトの解析については、次頁に示す。

(c) コーナー落下時内容器蓋締付ボルトに生ずる応力

下部コーナー落下時の内容器蓋に生ずる加速度において、垂直成分加速度は、水平成分加速度に比べてはるかに大きい。そのため、内容器蓋締付ボルトに生ずる蓋の回転モーメントによる応力は無視し得る。

一方、上部コーナー落下時には、内容器蓋締付ボルトに、蓋の回転モーメントによる応力が生ずる。したがって、この時に生ずる応力について解析する。

解析モデルを (p) - 第 A. 68 図 に示す

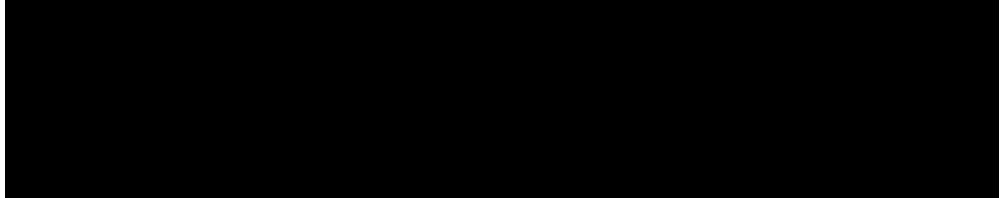


(p) - 第 A. 68 図 上部コーナー落下時内容器蓋締付ボルト応力解析モデル

(㊦)－第 A.73 図に示すように、上部コーナー落下時、内容器蓋の回転モーメントにより、内容器蓋締付ボルトには曲げ応力が生ずる。

この時の曲げ応力は、 で最大となり次式で与えられる。

$$\sigma_{\max} = \sigma_V + \sigma_H$$



ここで、

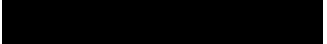
σ_{\max} ;  $[\text{N}/\text{mm}^2]$

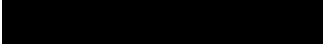
σ_V ; 垂直成分加速度により生ずる応力 $[\text{N}/\text{mm}^2]$

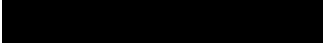
σ_H ; 水平成分加速度により生ずる応力 $[\text{N}/\text{mm}^2]$

N_V ; 垂直成分加速度 N_V 

N_H ; 水平成分加速度 N_H 

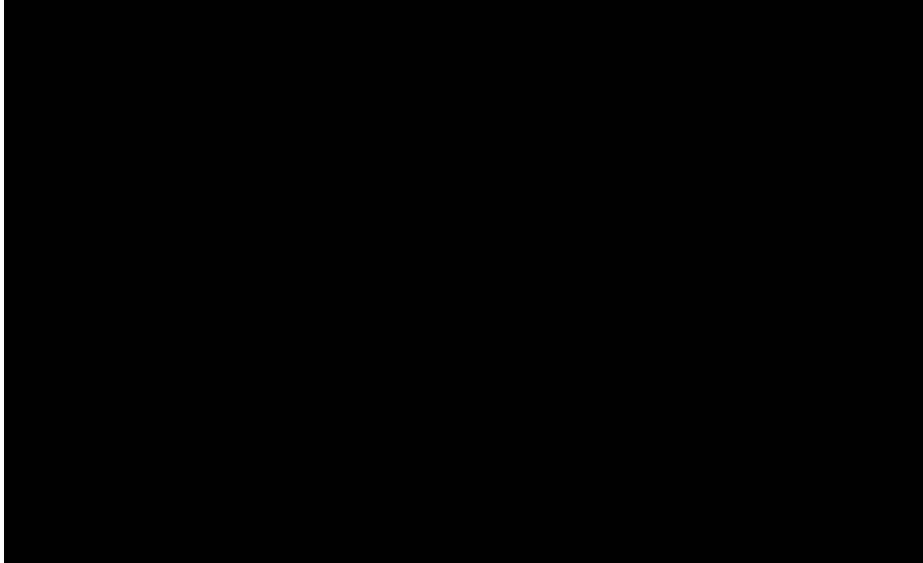
m ; 内容器蓋にかかる質量 m 

L_V ; 垂直方向モーメントアーム L_V 

L_H ; 水平方向モーメントアーム L_H 

l_i ; 転倒支点Vから各ボルトまでの距離 $[\text{mm}]$

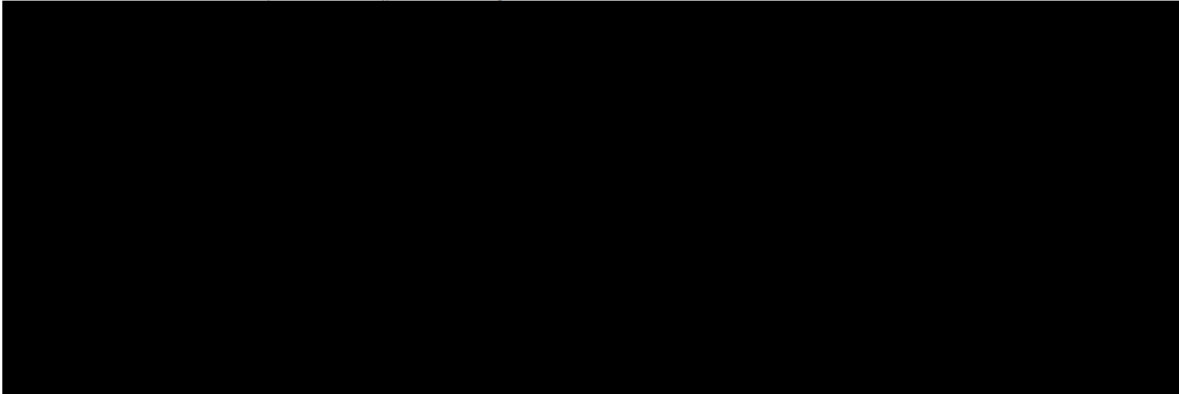
l'_i ; 転倒支点Hから各ボルトまでの距離 $[\text{mm}]$



A_i ; 内容器蓋締付ボルト [redacted] の谷径断面積

d_i ; ボルトの谷径 d_i [redacted] mm²]

したがって、以下の値となる。



上部コーナー落下時の内容器蓋締付ボルトの応力評価結果を (□)－第 A.20 表 に示す。

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

(ロ) ー第 A.20 表 1.2m 上部コーナ落下時における応力評価結果 (1/1)

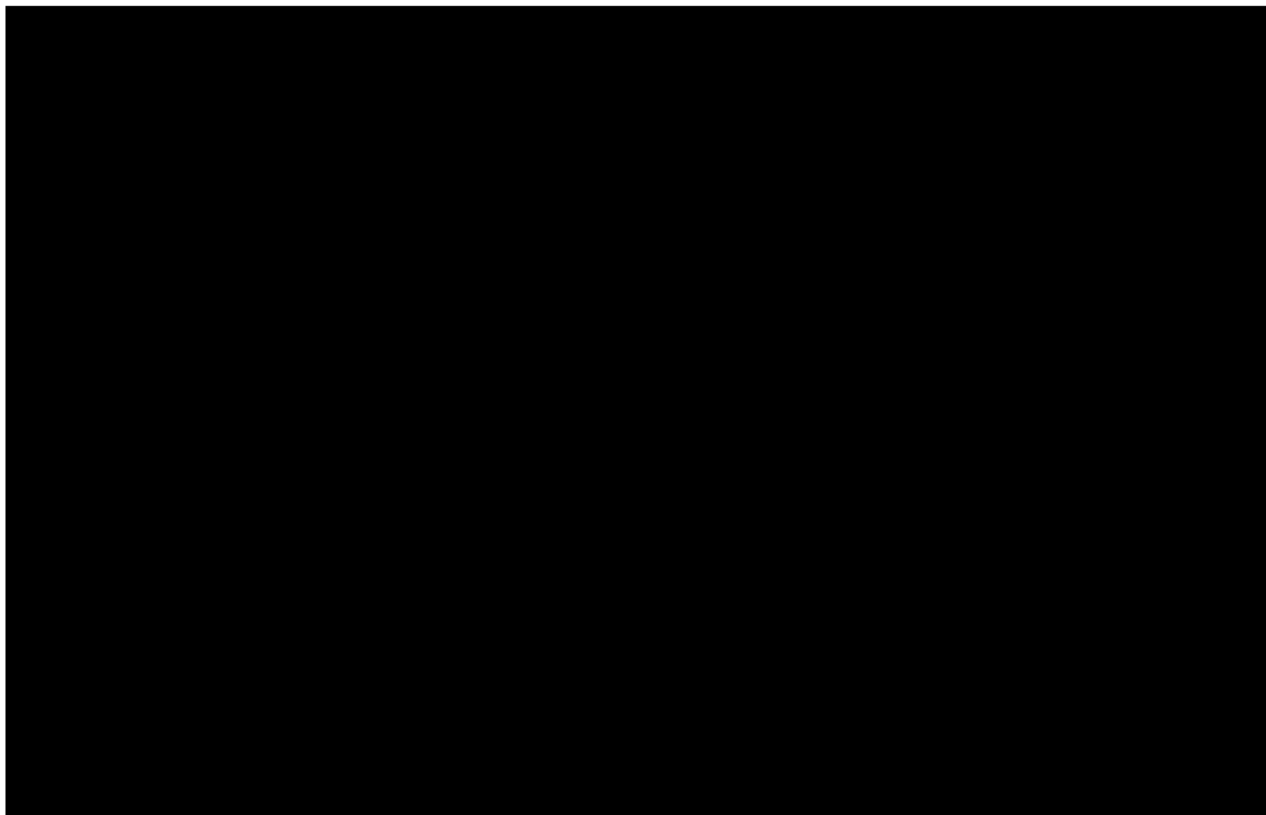
No.	応力及び応力強さ 評価位置	初期 応力	内圧 による 応力	熱膨張 による 応力	衝撃応力		一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力 強さの評価			疲 勞 評 価					
					水平成分	垂直成分	Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb +Q	3Sm	MS	PL+Pb +Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器蓋締付ボルト	σ_t																			
		σ_b																			
		τ																			

Pm；一次一般膜応力 PL；一次局部膜応力 Pb；一次曲げ応力 Q；二次応力 F；ピーク応力 Sa；繰返しピーク応力強さ N；使用回数 Na；許容繰返し回数 DF；疲れ累積係数
Sm；設計応力強さ Sy；設計降伏点 MS；余裕率 σ_t ；ボルト軸方向応力 σ_b ；曲げ応力 τ ；せん断応力

(10) 下部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

下部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を (㍀)－第 A. 69 図 に示す。



番 号	落下角度 (θ)	緩衝材変形前 最少厚さ	緩衝材変形量	緩衝材残量
①	5°			
②	15°			
③	30°			
④	45°			
⑤	60°			
⑥	75°			
⑦	85°			

(㍀)－第 A. 69 図 1.2m 下部傾斜落下時緩衝材変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(㍀)－第 A. 74 図より下部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

(b) 輸送容器及び収納物に生ずる応力

(□)－第 A. 15 表の下部傾斜落下時の設計加速度を、垂直成分及び水平成分に分解し、(□)－第 A. 21 表に示す。

また、落下角度と加速度の関係を(□)－第 A. 70 図に示す。

(□)－第 A. 21 表 落下角度と加速度の関係

落下角度 θ (度)	加 速 度 (G)		
	落下方向 (N)	垂 直 成 分 ($N \cdot \cos \theta$)	水 平 成 分 ($N \cdot \sin \theta$)
5			
15			
30			
45			
60			
75			
85			

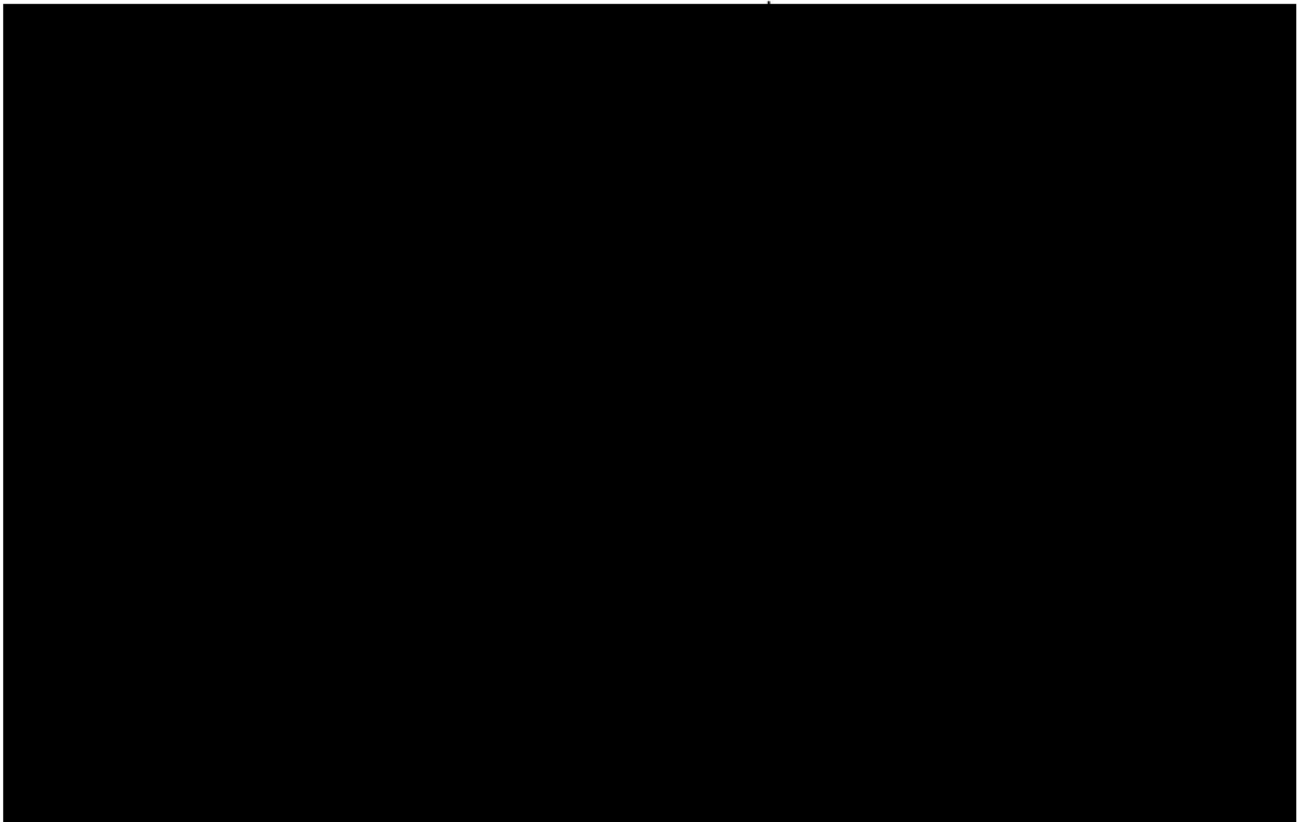
(□)－第 A. 70 図 1.2m 下部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

(□)－第 A. 21 表より、各方向成分加速度は、垂直落下時及び水平落下時に生ずる加速度より小さくなる。したがって、応力解析は省略する。

(11) 上部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

上部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を (㍀)－第 A. 71 図 に示す。



番 号	落下角度 (θ)	緩衝材変形前 最 少 厚 さ	緩衝材変形量	緩衝材残量
①	5°			
②	15°			
③	30°			
④	45°			
⑤	60°			
⑥	75°			
⑦	85°			

(㍀)－第 A. 71 図 1.2m上部傾斜落下時緩衝材変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(㍀)－第 A. 71 図より上部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

(b) 輸送容器及び収納物に生ずる応力

(□)－第 A. 15 表の上部傾斜落下時の設計加速度を、垂直成分及び水平成分に分解し、(□)－第 A. 22 表に示す。

また、落下角度と加速度の関係を (□)－第 A. 72 図に示す。

(□)－第 A. 22 表 落下角度と加速度の関係

落下角度 θ (度)	加 速 度 (G)		
	落下方向 (N)	垂 直 成 分 ($N \cdot \cos \theta$)	水 平 成 分 ($N \cdot \sin \theta$)
5			
15			
30			
45			
60			
75			
85			

(□)－第 A. 72 図 1.2m 上部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

(□)－第 A. 22 表より、各方向成分加速度は、垂直落下時及び水平落下時に生ずる加速度より小さくなる。したがって、応力解析は省略する。

A. 5. 4 積み重ね試験

本項では、輸送物に技術基準で定められた荷重を加えた場合に輸送物に生ずる応力について解析する。

各項での応力解析は、主応力を求めるものとし、応力分類及び応力強さの評価は A. 5. 4(3)項に示す。

(1) 圧縮荷重

本項の試験条件において加えるべき荷重は、輸送物質量の 5 倍の荷重 W_1 と輸送物の投影面積 A に圧力 [] を乗じた荷重 W_2 のいずれか大きい値と規定されている。

本輸送物の場合、各々の荷重は次の値となる。

$$W_1 = 5 \cdot m_0 \cdot g \quad [N]$$

$$W_2 \text{ []} \quad [N]$$

ここで、

m_0 ; 輸送物質量 []

A ; 輸送物の投影面積 []

A []

D ; 輸送容器外径 []

D []

g ; 重力の加速度 []

g []

したがって、

$$\text{[]} \quad [N]$$

$$\text{[]} \quad [N]$$

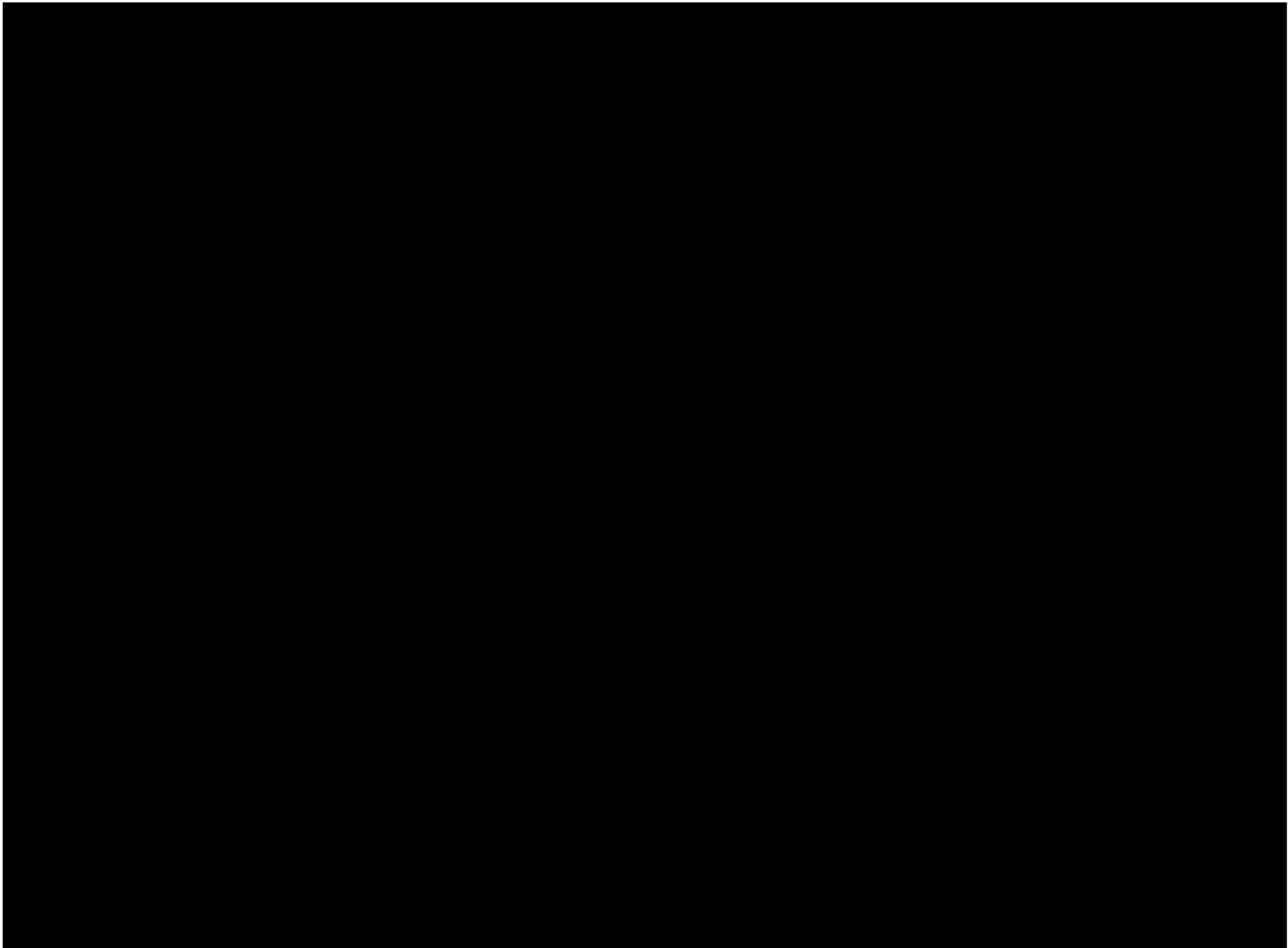
となり、 $W_1 > W_2$ となる。

よって圧縮荷重 F は、 $F = W_1 \text{ [] []}$ とする。

(2) 応力解析

圧縮荷重を 24 時間付加した場合の容器本体各部の応力について解析する。

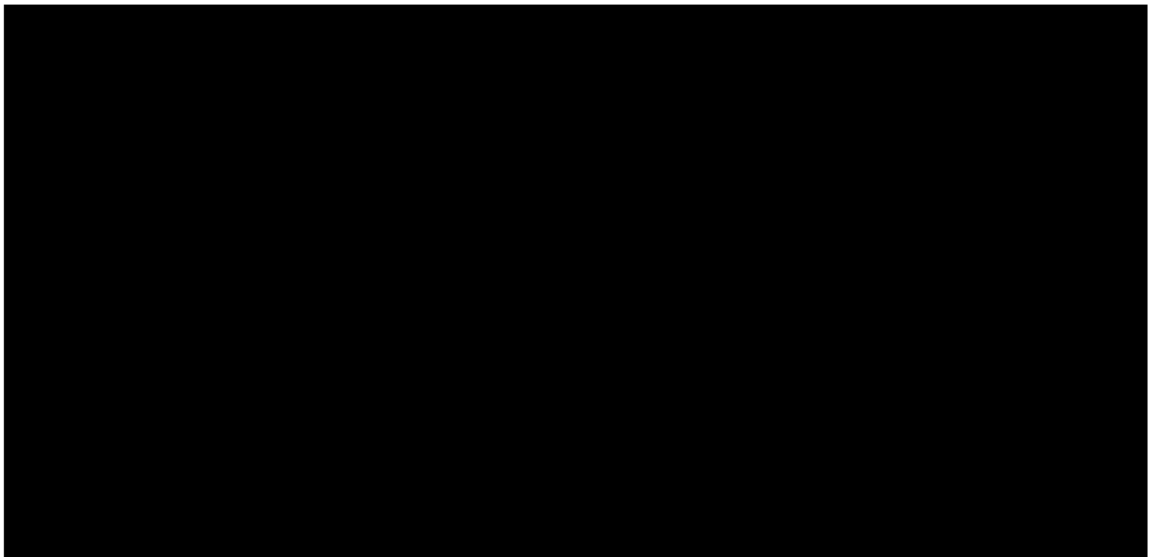
圧縮時における応力評価位置を (□)－第 A. 73 図に示す。



(□)－第 A. 73 図 圧縮時の応力評価位置

④ 内容器蓋部

解析モデルを (□)－第 A. 74 図 に示す。



(□)－第 A. 74 図 圧縮時内容器蓋部解析モデル

(㉔)－第 A.74 図 に示すように、内容器蓋には自重及び圧縮荷重が等分布荷重として作用する。等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる応力は中央で最大となり、次式で与えられる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta = +1.24 \cdot \frac{w \cdot a^2}{h^2}$$

$$\sigma_z = -w \text{ (外面)}$$

ここで、

$$\sigma_r ; \text{ 径方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_\theta ; \text{ 周方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z ; \text{ 軸方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$a ; \text{ 内容器蓋支持点半径}$$

a

$$h ; \text{ 内容器蓋板厚}$$

h

$$w ; \text{ 等分布荷重}$$

$$[N/mm^2]$$

$$w = \frac{(m_2 + m_5) \cdot g + F}{\pi a^2}$$

$$m_2 ; \text{ 内容器蓋質量}$$

m₂

$$m_5 ; \text{ 外容器蓋質量}$$

m₆

$$F ; \text{ 圧縮荷重}$$

F

w

$$[N/mm^2]$$

したがって、次の値となる。

$$\sigma_r = \sigma_\theta$$

$$N/mm^2$$

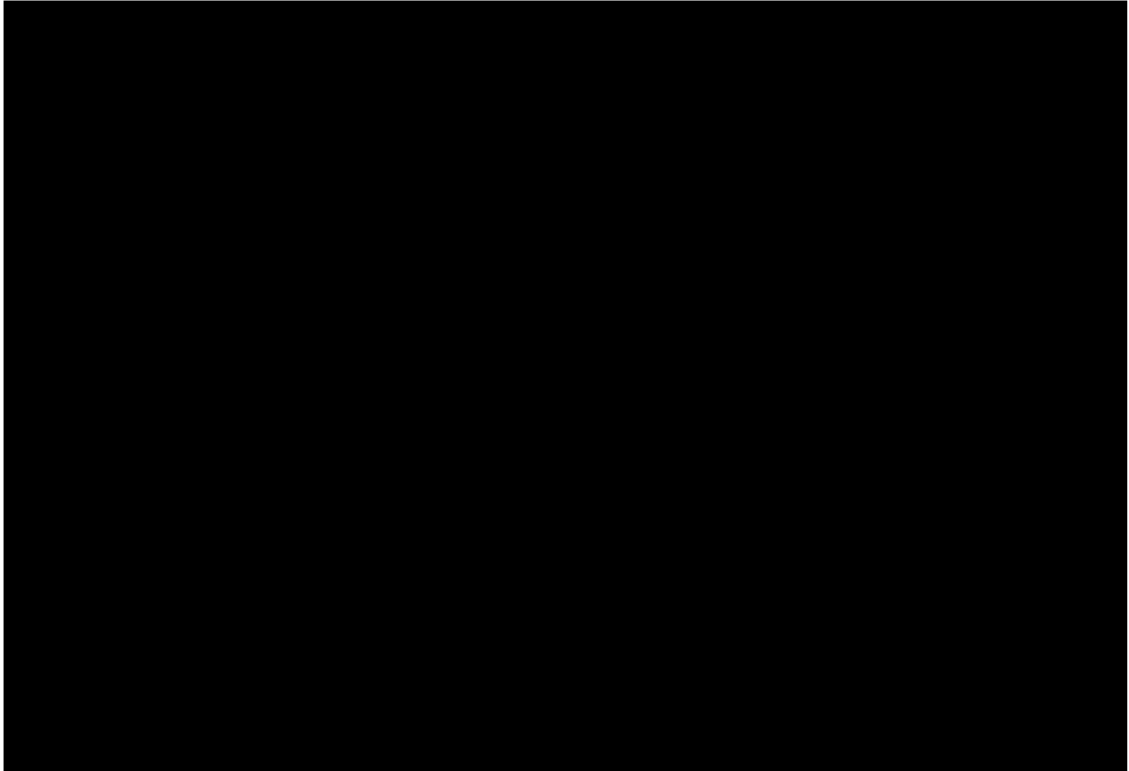
$$\sigma_z$$

$$[N/mm^2]$$

応力の複号は上が外面、下が内面を表わす。

② 内容器胴部

解析モデルを (㍀)－第 A. 75 図 に示す。



(㍀)－第 A. 75 図 圧縮時内容器胴部解析モデル

(㍀)－第 A. 75 図に示すように、内容器胴部には、自重及び圧縮荷重が作用する。
この圧縮力により生ずる応力 σ_z は次式で与えられる。

$$\sigma_z = \frac{F + m \cdot g}{A}$$

ここで、

σ_z ; 圧縮応力 [N/mm²]

F ; 圧縮力 F [N]

m ; 輸送物の質量

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6$$

m_1 ; 内容器質量 (胴及びフランジ部) m_1

m_2 ; 内容器蓋質量 m_2

m_3 ; 燃料バスケット質量 m_3

m_4 ; 収納物質量 m_4

m_5 ; 外容器質量

m_5

m_6 ; 外容器蓋質量

m_6

g ; 重力の加速度

$g = 9.81$

$[m/s^2]$

A ; 内容器胴部の断面積

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

d_2 ; 内容器胴部外径

d_2

d_1 ; 内容器胴部内径

d_1

A

$mm^2]$

したがって、次の値となる。

$\sigma_z =$

$[N/mm^2]$

(3) 許容応力の比較

(□)－A.5.4 項の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて (□)－第 A.23 表 に示す。

この表から分かるように、個々の荷重が単独あるいは重畳作用しても設計基準値に対する余裕率は正である。

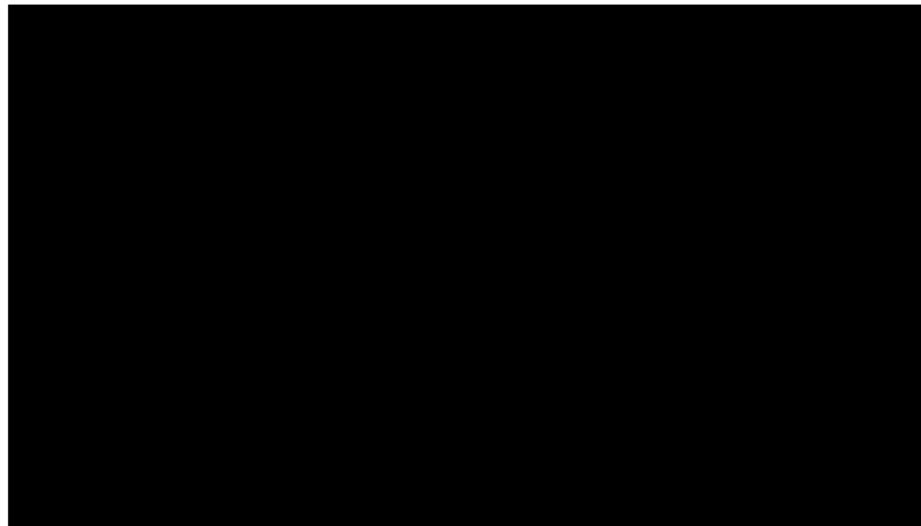
したがって、一般の試験条件下の積み重ね試験において、本輸送物の健全性は維持される。

A.5.5 貫 通

本項の試験条件として、重量 ■■■ で直径 ■■■ の棒をその半球形の先端を下にして、軸を垂直にし ■■■ の高さより輸送物の最も弱い部分に落下させた場合にも棒が貫通しないことを示す。

解析にあたっては、安全側に評価するため落下エネルギーが総て、外容器外装鋼板の変形エネルギーに費やされるものとし、内部の緩衝材、断熱材等の影響は無視するものとする。

本輸送物の重要な密封装置である内容器本体及び内容器蓋は、外容器及び外容器蓋により覆われており、その外装鋼板の板厚は ■■■ である。解析モデルを (□)－第 A.76 図に示す。



(□)－第 A.76 図 貫 通 モ デ ル

(□)－第 A.76 図に示すように板厚 ■■■ の外容器外装鋼板に棒が外装鋼板を最も貫通しやすい姿勢で衝突する場合について説明する。

落下前の棒の持つポテンシャルエネルギー E_1 (N・mm) は次式で与えられる。

$$E_1 = m \cdot g \cdot h$$

ここで、

m ; 棒の質量

m

h ; 落下高さ

h

g ; 重力加速度

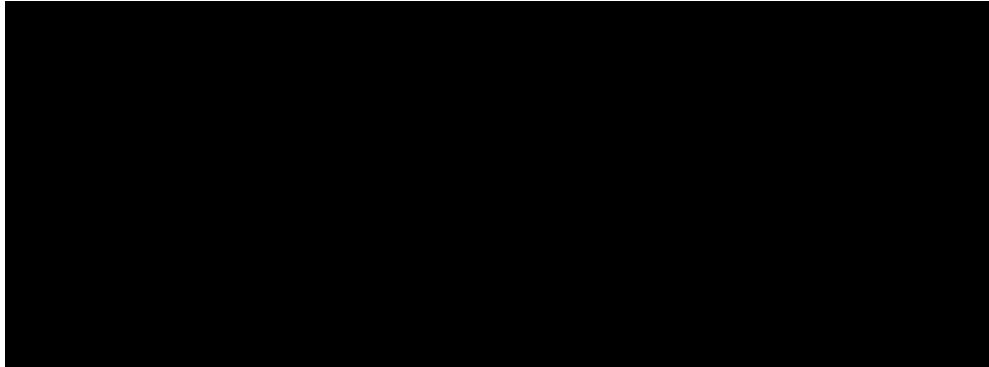
g

したがって、

$$E_1 = \text{[redacted]} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

となる。

一方、棒が板厚 [redacted] の外装鋼板を貫通するために必要な、エネルギー E_2 は次式で与えられる。解析モデルを (ロ)－第 A.77 図に示す。



(ロ)－第 A.77 図 せん断モデル

$$E_2 = \int_0^t \tau_{cr} \cdot \pi \cdot d \cdot (t-y) \cdot dy$$

ここで、

τ_{cr} ; 外装鋼板のせん断強さ

$$\tau_{cr} = \text{[redacted]} \quad [\text{N}/\text{mm}^2]$$

S_u ; 設計引張強さ

S_u [redacted]

d ; 棒の直径

d [redacted]

t ; 外装鋼板の板厚

t [redacted]

積分を行い数値を代入すると

$$E_2 = \text{[redacted]} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

となり、

$$E_1 = \text{[redacted]}$$

となるから、棒の落下によって外装鋼板が貫通することはない。

以上に示したように棒の落下により密閉装置が影響をうけることはなく、本輸送物の健全性が損なわれることはない。

A.6 特別の試験条件

本輸送物は、BU型輸送物である。したがって、技術基準に定められた特別の試験条件は次のとおりである。

(1) 落下試験 I

(1)の試験に引き続いて次の条件の下に置く。

(2) 落下試験 II

(3) 耐火試験

(4) 浸漬試験

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

A.6.1 強度試験・落下試験I（9m落下時）又は強度試験・落下試験III（動的圧潰時）

本項では、輸送物が9m落下した場合、輸送物が受ける影響について検討する。

本項で検討する落下姿勢は、下記の4姿勢とし、9m落下においても本輸送物が健全性を維持できることを示す。

- ① 垂直落下（上部、下部）
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下（上部、下部）
- ④ 傾斜落下（上部、下部）

(a) 解析モデル

各落下試験時に生ずる応力等は、解析によって示す。

輸送物が9m落下した場合、その落下エネルギーは外容器の上部及び下部に取り付けられた緩衝材の変形によって吸収される。

本項ではこの時、輸送物に加わる衝撃力を評価し、輸送物に与える影響について解析する。

(b) 原型試験

参考文献(25)に詳細を示す。

(c) モデル試験

採用しない。

本解析の目的は、次のとおりである。

- ① 9m落下による外容器の変形が密封境界である内容容器に達することがなく、内容容器の密封性能が維持されること。
- ② 9m落下時の衝撃によって内容容器が破損することがなく、内容容器の密封性能が維持されること。
- ③ 収納物の破損がないこと。

(1) 解析方法

本輸送物について、9m落下試験を行った場合、輸送容器の変形量及び容器本体、燃料バスケット、収納物等に発生する応力の解析条件を以下に示す。

(a) 変形量

- ① 衝突面は剛体であるとし、輸送物の落下エネルギーは、緩衝材のみによって全量吸収されるものとする。したがって、外容器の変形量は、緩衝材の変形量となる。これは、鋼板及び断熱材による吸収を無視するため変形量を大きくし安全側の評価となる。
- ② 緩衝材により生ずる加速度及び変形量は、A. 10. 1 に示す緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH-II」を用いて計算する。


(b) 応力

- ① 輸送物の落下エネルギーは、緩衝材と外容器本体及び外容器蓋を構成する鋼板の変形により吸収される。
- ② 応力解析に用いる設計加速度は、「CASH-II」の計算値（緩衝材により生ずる加速度）を1.2倍（A. 10. 1 項に示すように実験結果との比較により定めた値）した値に鋼板による加速度を加えたものとする。これは、輸送物に生ずる衝撃力が、緩衝材による加速度にさらに鋼板による加速度が加わるため安全側の評価となる。

設計加速度 = CASH-II の計算結果 × 1.2 + 鋼板による加速度

- ③ 鋼板により生ずる加速度は、簡易計算により求める。

(2) 落下エネルギー

解析に使用する輸送物の質量は、「A.2 重量及び重心」に示したように、である。よって、落下エネルギーは、次式で与えられる。

$$U_a = U_v = m \cdot g \cdot h$$

ここで、

U_a ; 緩衝材の吸収エネルギー [J]

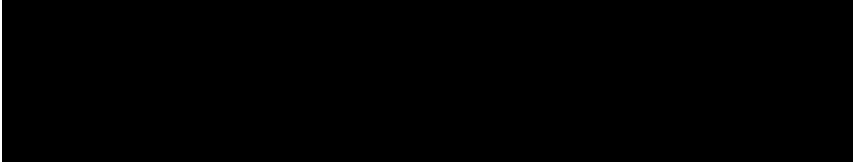
U_v ; 輸送物の落下エネルギー [J]

m ; 輸送物の質量 m 

h ; 落下高さ h

g ; 重力加速度 g

したがって、次の値となる。



[J]
[N・mm]

(3) 緩衝材性能解析プログラム「CASH-II」の計算結果

緩衝材性能解析プログラム「CASH-II」による、緩衝材により生ずる加速度及び緩衝材の変形量の計算結果を (ロ) - 第 A.24 表 に示す。

なお、応力解析に用いる「CASH-II」の計算結果の 1.2 倍の加速度を同表に示す。

(4) 設計加速度

(ロ) - 第 A.24 表における計算コード「CASH-II」の解析値を 1.2 倍したものと、A.5.3(4)項で述べたものと同一の鋼板について、同一手法の解析で求めた鋼板による加速度を (ロ) - 第 A.25 表 に示す。

また、落下応力解析に用いる設計加速度を次式として計算し、同表に示す。

$$\text{設計加速度} = \text{CASH-IIの計算結果} \times 1.2 + \text{鋼板による加速度}$$

(㍀)－第 A. 24 表 特別の試験条件下での緩衝材についての変形量及び加速度

落下姿勢			変形量 [mm]	加速度 [$\times g$]	
				計算値	$\times 1.2$ 倍
水 平					
垂 直	上 部				
	下 部				
コーナ ー	上 部				
	下 部				
傾 斜	上 部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			
		下 部			
	15°				
	30°				
	45°				
	60°				
	75°				
	85°				

ここで、

g ; 重力加速度

$g = 9.81$

[m/s^2]

(㉔) - 第 A. 25 表 特別の試験条件下における設計加速度

落下姿勢		CASH-II ×1.2倍	鋼板による 加速度 [×g]	設計加速度 [×g]	
水 平					
垂 直	上 部				
	下 部				
コーナ ー	上 部				
	下 部				
傾 斜	上 部				5°
					15°
					30°
					45°
					60°
					75°
					85°
	下 部				5°
					15°
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			

ここで、

g ; 重力加速度

$g = 9.81$

[m/s²]

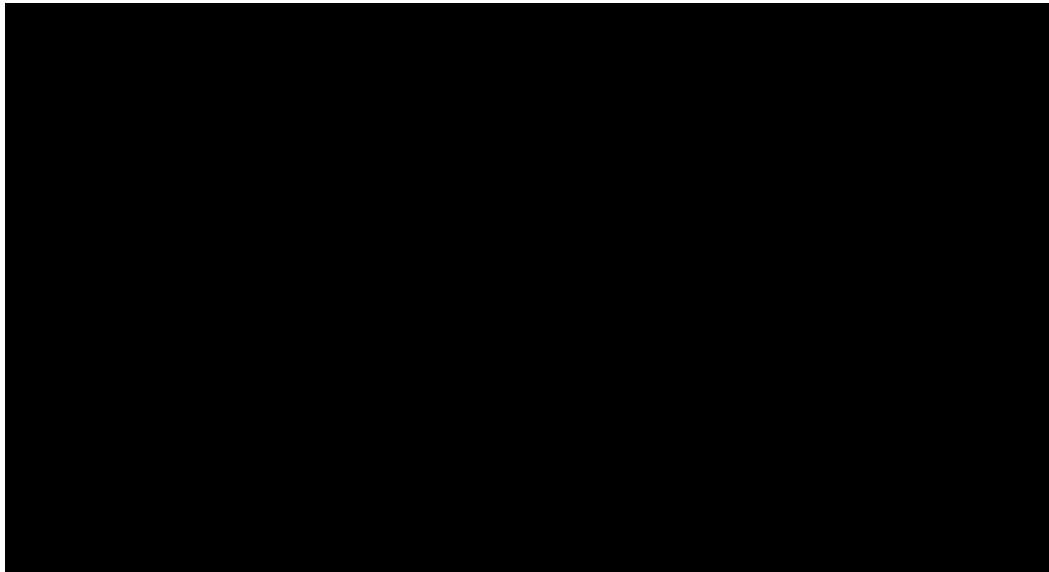
A. 6. 1. 1 垂直落下

(1) 下部垂直落下

9m下部垂直落下による緩衝材の変形量は(□)－第 A. 24 表より [REDACTED]
加速度は(□)－第 A. 25 表より [REDACTED] である。

(a) 緩衝材の変形量

9m下部垂直落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器底部まで達しないことを示す。解析モデルを(□)－第 A. 78 図に示す。



(□)－第 A. 78 図 9m下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(□)－第 A. 78 図に示すように 9m下部垂直落下後における緩衝材の残量 δ (mm) は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_0 - \delta_v$$

ここで、

δ_0 ; 緩衝材の変形前の最少厚さ δ_0 [REDACTED]

δ_v ; 緩衝材変形量 δ_v [REDACTED]

したがって、次の値となる。

δ [REDACTED]

よって、9m下部垂直落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器底部には達しない。

(b) 輸送容器各部に生ずる応力

(㉓)－A.5.3(7)項で述べたものと同一の評価位置について同一手法の解析を行う。解析結果を評価結果と共に (㉓)－第A.26表 に示す。

(v) - 第 A.26 表 9m 下部垂直落下時における応力評価結果 (2/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

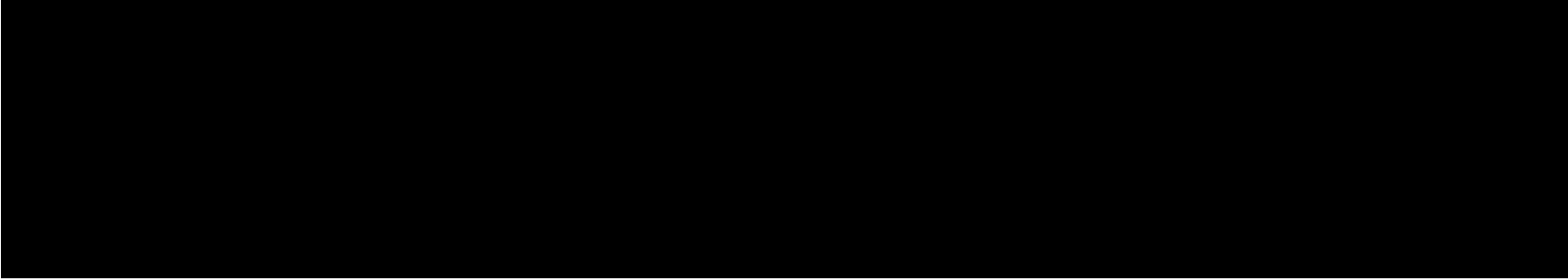
No.	応力及び応力強さ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝 撃 応 力	一 次 応 力 強 さ の 評 価					
						Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS
1	KUR 標準	τ	[Redacted]								
2	KUR 特殊	τ									
3	KUR 半装	τ									

Pm ; 一次一般膜応力 PL ; 一次局部膜応力 Pb ; 一次曲げ応力 Sy ; 設計降伏点 MS ; 余裕率 τ ; せん断応力

(㉔)－第 A. 26 表 9m下部垂直落下時における応力評価結果 (3/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置	初期締付応力	内圧による応力	衝 撃 応 力	一 次 応 力 強 さ の 評 価					
					Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS



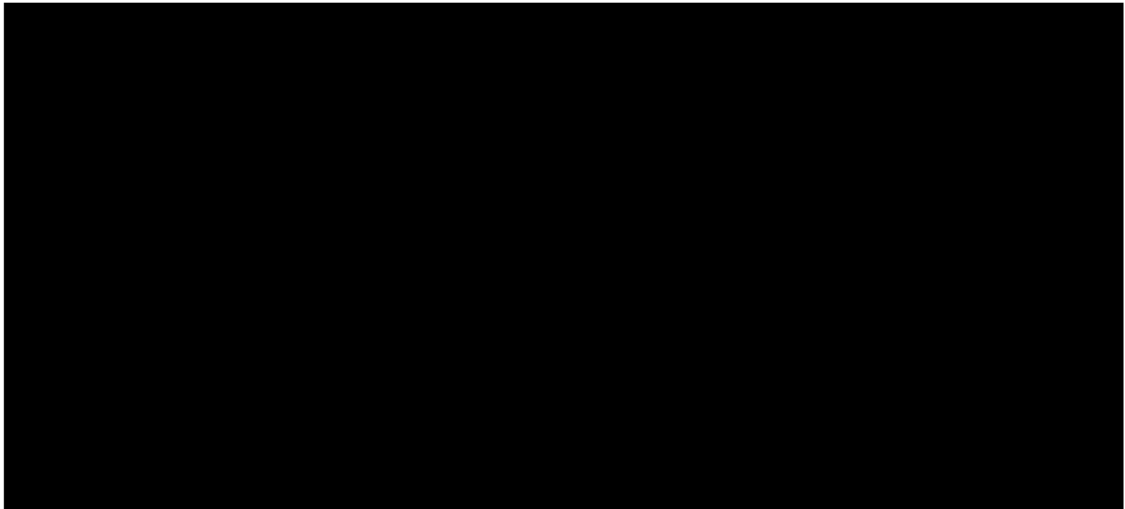
Pm; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 σ_b ; 曲げ応力 σ_c ; 圧縮応力

(2) 上部垂直落下

9m上部垂直落下による緩衝材の変形量は(□)－第 A. 24 表より [REDACTED]、
加速度は(□)－第 A. 25 表より [REDACTED] である。

(a) 緩衝材の変形量

9m上部垂直落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器上部ま
で達しないことを示す。解析モデルを (□)－第 A. 79 図 に示す。



(□)－第 A. 79 図 9m上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(□)－第 A. 79 図に示すように 9m上部垂直落下後における緩衝材の残量 δ
(mm) は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_0 - \delta_v$$

ここで、

δ_0 ; 緩衝材の変形前の最少厚さ δ_0 [REDACTED]

δ_v ; 緩衝材変形量 δ_v [REDACTED]

したがって、次の値となる。

$$\delta = [REDACTED]$$

よって、9m上部垂直落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器蓋部には達し
ない。

(b) 輸送容器各部に生ずる応力

(□)－A. 5. 3(8) 項で述べたものと同一の評価位置について同一手法の解析
を行う。解析結果を評価結果と共に (□)－第 A. 27 表 に示す。

(v) - 第 A.27 表 9m 上部垂直落下時における応力評価結果 (2/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝 撃 応 力	一 次 応 力 強 さ の 評 価					
						P _m (P _L)	2/3 S _y	M _S	P _L +P _b	S _y	M _S
1	KUR 標準	τ									
2	KUR 特殊	τ									
3	KUR 半装	τ									

P_m; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 P_b; 一次曲げ応力 S_y; 設計降伏点 M_S; 余裕率 τ; せん断応力

(㊦) 第 A. 27 表 9m 上部垂直落下時における応力評価結果 (3/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置	初期締付応力	内圧による応力	衝 撃 応 力	一 次 応 力 強 さ の 評 価					
					Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS

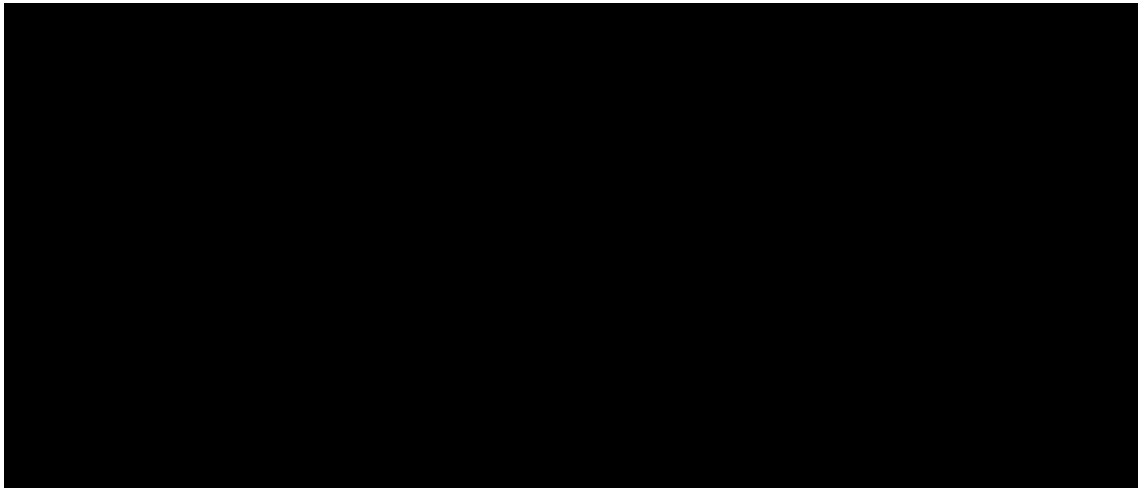
Pm ; 一次一般膜応力 PL ; 一次局部膜応力 Pb ; 一次曲げ応力 Q ; 二次応力 F ; ピーク応力 Sa ; 繰返しピーク応力強さ N ; 使用回数 Na ; 許容繰返し回数 DF ; 疲れ累積係数 Sy ; 設計降伏点 MS ; 余裕率 σ_b ; 曲げ応力 σ_c ; 圧縮応力

A. 6. 1. 2 水平落下

9m水平落下による緩衝材の変形量は(□)－第 A. 24 表より ()、加速度は(□)－第 A. 25 表より () である。

(1) 緩衝材の変形量

9m水平落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器まで達しないことを示す。解析モデルを (□)－第 A. 80 図 に示す。



(□)－第 A. 80 図 9m水平落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(□)－第 A. 80 図に示すように 9m水平落下後における緩衝材の残量 δ (mm)は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_0 - \delta_H$$

ここで、

δ_0 ; 緩衝材の変形前の最少厚さ δ_0 ()

δ_H ; 緩衝材変形量 δ_H ()

したがって、次の値となる。

() ()
よって、9m水平落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器には達しない。

(2) 輸送容器及び収納物に生ずる応力

(□)－A. 5. 3(6) 項で述べたものと同じの評価位置について同一手法の解析を行う。解析結果を評価結果と共に (□)－第 A. 28 表 に示す。

(a) ー第 A.28 表 9m 水平落下時における応力評価結果 (2/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置		初期縮付応力	内圧による応力	衝 撃 応 力	軸平均圧縮応力			一次応力強さの評価		
						σ_c	σ_{cr}	MS	PL+Pb	Sy	MS
1	KUR標準 [Redacted]	面方向	σ_b	[Redacted]							
		平行方向	σ_c								
2	KUR特殊 [Redacted]	面方向	σ_b								
		平行方向	σ_c								
3	KUR半装 [Redacted]	面方向	σ_b								
		平行方向	σ_c								

Pm ; 一次一般膜応力 PL ; 一次局部膜応力 Pb ; 一次曲げ応力 Sy ; 設計降伏点 MS ; 余裕率 σ_{cr} ; 限界座屈応力 σ_c ; 軸平均圧縮応力
*1 ; 軸平均圧縮応力

(a) - 第 A. 28 表 9m 水平落下時における応力評価結果 (3/3)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置	初期締付応力	内圧による応力	衝 撃 応 力	一 次 応 力 強 さ の 評 価					
					Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS
[Redacted content]										

Pm; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 Pb; 一次曲げ応力 Q; 二次応力 F; ピーク応力 Sa; 繰返しピーク応力強さ N; 使用回数 Na; 許容繰返し回数 DF; 疲れ累積係数 Sy; 設計降伏点 MS; 余裕率 σ_b ; 曲げ応力 σ_c ; 圧縮応力

A.6.1.3 コーナー落下

(1) 緩衝材の変形量

緩衝材の変形量と残量の関係を図A.81に示す。

図より変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。



図A.81 9mコーナー落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(2) 輸送容器及び収納物に生ずる応力

(□)－第 A. 25 表のコーナー落下時の設計加速度を垂直成分及び水平成分に分解し、(□)－第 A. 29 表に示す。

(□)－第 A. 29 表 コーナー落下時の設計加速度

(× g)

落下方向		落下方向加速度 (N)	垂直方向加速度 ($N_V = N \cos \theta$)	水平方向加速度 ($N_H = N \sin \theta$)
コーナー	上部			
	下部			

(□)－第 A. 29 表より、各方向成分加速度は、垂直落下時及び水平落下時に生ずる加速度より小さくなる。したがって、応力解析は省略する。

なお、内容器蓋締付ボルトについては、(□)－A. 5. 3(9)と同一手法の解析を行い、解析結果を評価結果と共に(□)－第 A. 30 表に示す。

(ロ) 第 A.30 表 9m 上部コーナー落下時における応力評価結果 (1/1)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	評価位置	応力及び応力強さ	初期締付応力	内圧による 応力	衝撃応力		一次応力強さの評価				
					水平成分	垂直成分	Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy
1	内容器蓋締付ボルト	σ_t									
		σ_b									
		τ									

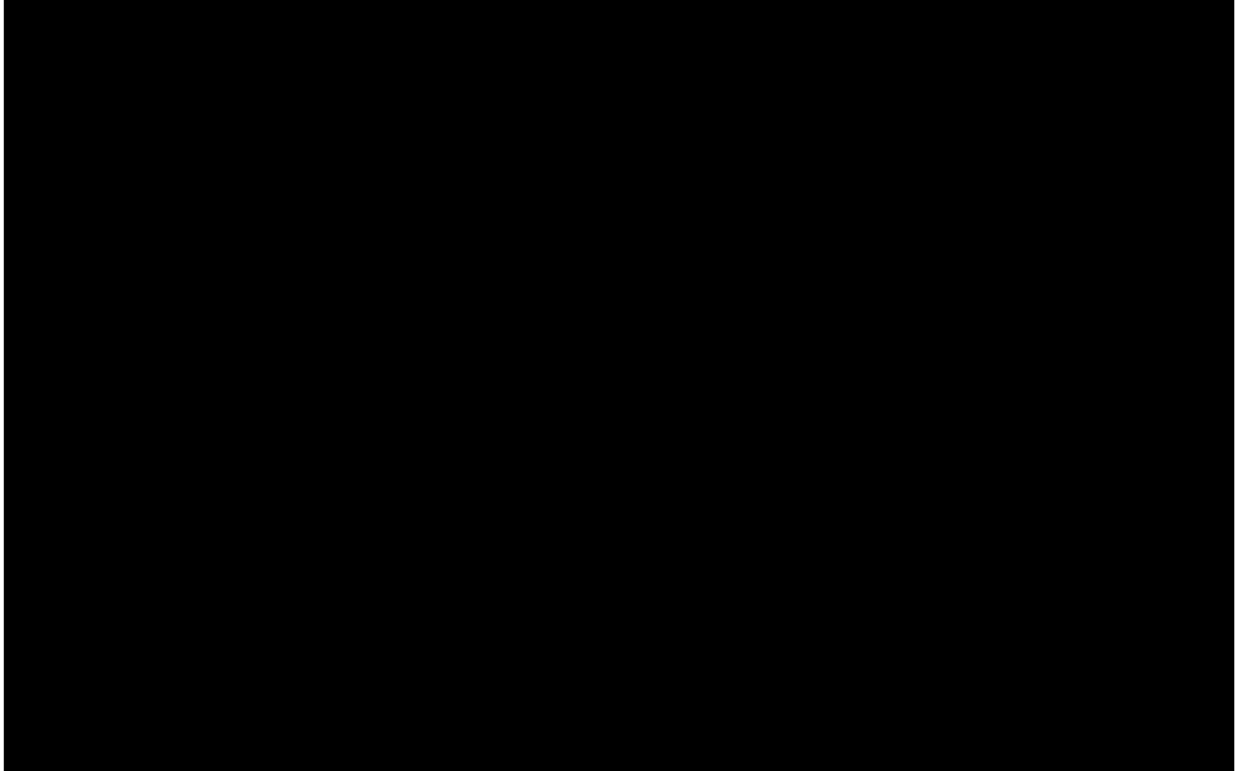
Pm ; 一次一般膜応力 PL ; 一次局部膜応力 Pb ; 一次曲げ応力 Sy ; 設計降伏点 MS ; 余裕率 σ_t ; ボルト軸方向応力 σ_b ; 曲げ応力 τ ; せん断応力

A. 6. 1. 4 傾斜落下

(1) 下部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

下部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を (㍀) - 第 A. 82 図 に示す。



番 号	落下角度	緩衝材変形前 最少厚さ	緩衝材変形量	緩衝材残量
①	5°	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
②	15°			
③	30°			
④	45°			
⑤	60°			
⑥	75°			
⑦	85°			

(㍀) - 第 A. 82 図 9m 下部傾斜落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(㍀) - 第 A. 82 図より下部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

(b) 輸送容器及び収納物に生ずる応力

(□)－第 A. 25 表の下部傾斜落下時の設計加速度を、垂直成分及び水平成分に分解し、(□)－第 A. 31 表に示す。

また、落下角度と加速度の関係を(□)－第 A. 83 図に示す。

(□)－第 A. 31 表 落下角度と加速度の関係

落下角度 θ (度)	加 速 度 (G)		
	落下方向 (N)	垂 直 成 分 ($N \cdot \cos \theta$)	水 平 成 分 ($N \cdot \sin \theta$)
5			
15			
30			
45			
60			
75			
85			

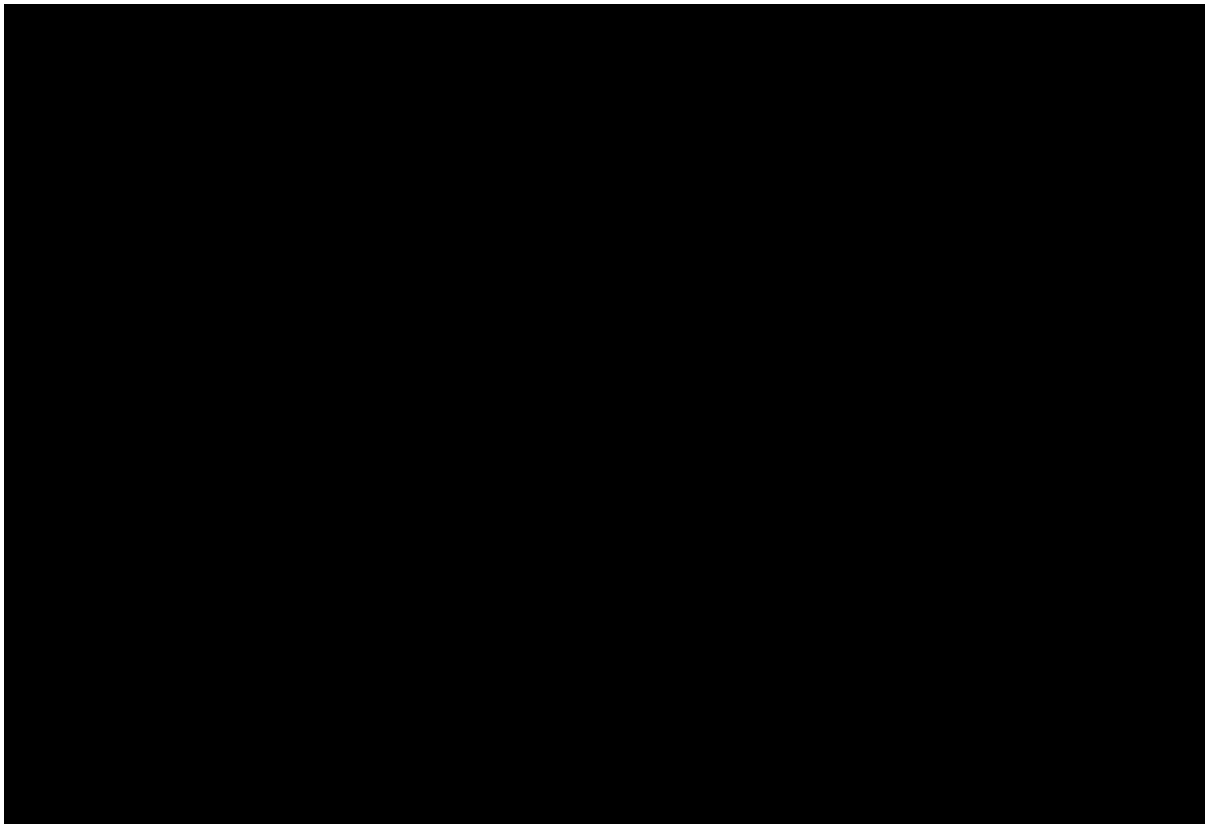
(□)－第 A. 83 図 9m 下部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

(□)－第 A. 31 表より、各方向成分加速度は、垂直落下時及び水平落下時に生ずる加速度より小さくなる。したがって、応力解析は省略する。

(2) 上部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

上部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を (□)－第 A. 84 図 に示す。



番 号	落下角度	緩衝材変形前 最少厚さ	緩衝材変形量	緩衝材残量
①	5°			
②	15°			
③	30°			
④	45°			
⑤	60°			
⑥	75°			
⑦	85°			

(□)－第 A. 84 図 9m上部傾斜落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(□)－第 A. 84 図より上部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

(b) 輸送容器及び収納物に生ずる応力

(□)－第 A. 25 表の上部傾斜落下時の設計加速度を、垂直成分及び水平成分に分解し、(□)－第 A. 32 表に示す。

また、落下角度と加速度の関係を (□)－第 A. 85 図に示す。

(□)－第 A. 32 表 落下角度と加速度の関係

落下角度 θ (度)	加 速 度 (G)		
	落下方向 (N)	垂 直 成 分 ($N \cdot \cos \theta$)	水 平 成 分 ($N \cdot \sin \theta$)
5			
15			
30			
45			
60			
75			
85			

(□)－第 A. 85 図 9m 上部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

(□)－第 A. 32 表より、各方向成分加速度は、垂直落下時及び水平落下時に生ずる加速度より小さくなる。したがって、応力解析は省略する。

A. 6. 1. 5 結果の要約

ここでは、強度試験・落下試験 I による本輸送物の変形の状態について述べる。
解析では、変形が内容器に達するか否かを評価する。

各落下による変形量を (ロ) - 第 A. 33 表 に示す。

(ロ) - 第 A. 33 表 落下試験 I における変形量と加速度

項目 落下方向		緩衝材 解析位置	緩衝材変形前 最少厚さ (mm)	緩衝材変形量 (mm)	緩衝材残量 (mm)	設計加速度 × g (m/s ²)
垂直落下		上端部	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		下端部				
水平落下	円筒部					
コーナー落下		上コーナー部				
		下コーナー部				
傾斜 落下	5°	上コーナー部				
		下コーナー部				
	15°	上コーナー部				
		下コーナー部				
	30°	上コーナー部				
		下コーナー部				
	45°	上コーナー部				
		下コーナー部				
	60°	上コーナー部				
		下コーナー部				
	75°	上コーナー部				
		下コーナー部				
	85°	上コーナー部				
		下コーナー部				

(□)－第 A. 33 表で明らかなように、各落下時における変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

また、(□)－第 A. 26 表、(□)－第 A. 27 表、(□)－第 A. 28 表及び(□)－第 A. 30 表に示すように、各落下方向に対して、輸送容器及び収納物に生ずる応力は基準値以下であり破損することはない。

したがって、遮蔽性能及び密封性能は損われない。

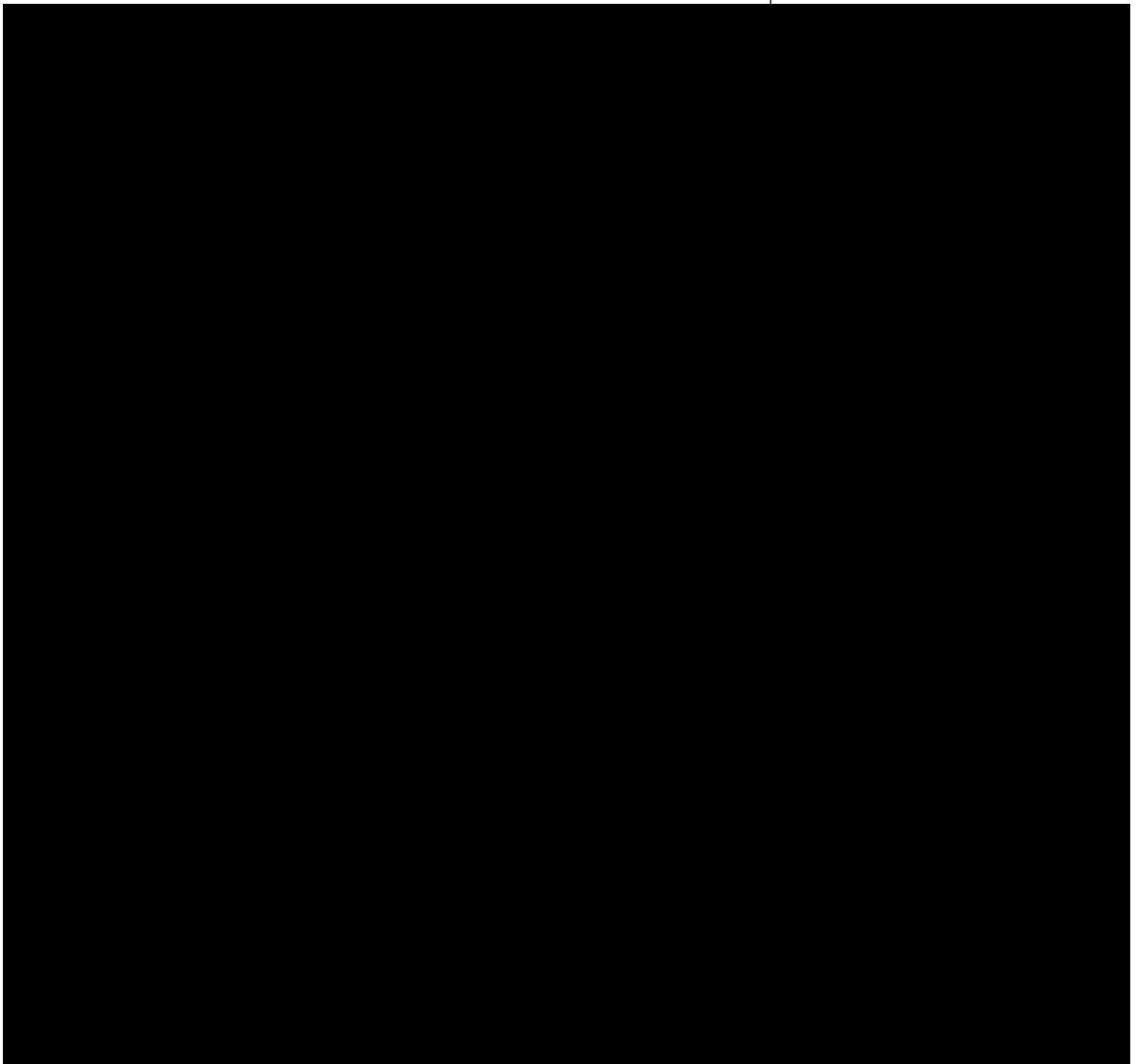
A. 6. 2 強度試験・落下試験Ⅱ（1m落下時）

本項では、落下試験Ⅰに引き続いて落下試験Ⅱがおこるとして解析する。

輸送物が1mの高さから直径150mmの軟鋼棒上へ落下した場合、輸送物が受ける影響について検討する。

本項で検討する落下姿勢は次の3姿勢とし、その解析モデルを (□)－第A. 86 図 に示す。

- ① 上部垂直落下（外容器蓋直撃）
- ② 下部垂直落下（外容器底板直撃）
- ③ 水平落下（外容器胴部直撃）



(c) 水平落下（外容器胴部）

(□)－第A. 86 図 落下試験Ⅱの解析モデル

(1) 貫 通

本項では、(㍀)－第 A. 86 図に示す各評価位置が落下試験Ⅱにより、貫通しないことを示す。

解析にあたっては、安全側に評価するため落下エネルギーが総て、外容器外装鋼板の変形エネルギーに費やされるものとし、内部の緩衝材、断熱材等の影響は無視するものとする。

(a) 外容器蓋が軟鋼棒に直撃する場合（上部垂直落下）

(㍀)－第 A. 80 図(a)に示すように、外容器蓋が軟鋼棒に直撃する場合、本輸送物の落下エネルギー U_0 は次式で与えられる。

$$U_0 = m g H$$

ここで、

m ; 輸送物質量	m	
H ; 落下高さ	H	
g ; 重力加速度	g	

したがって、下記の値となる。

この落下エネルギー (U_0) が、外容器蓋鏡板部の変形エネルギー (U) に等しいとして、変形量 (δ) を求める。

$$U = \sigma_s \cdot V$$

ここで、

σ_s ; 鏡板の変形応力 (常温)

V ; 鏡板の変形する部分の体積

$$V = \{ \pi (d + t) t \} \cdot \delta \quad [\text{mm}^3]$$

d ; 軟鋼棒の直径 d

t ; 鏡板の厚さ t

δ ; 変形量 $[\text{mm}]$

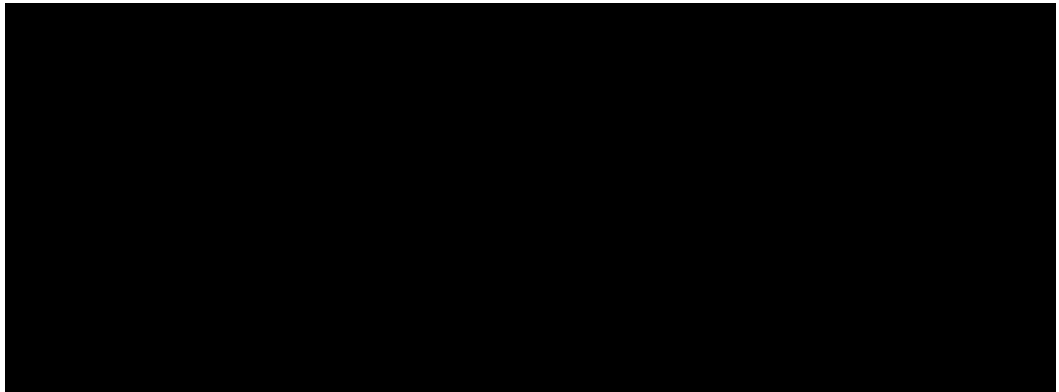
したがって、落下エネルギー (U_0) と変形エネルギー (U) は等しいとし、

より、 δ

落下試験Ⅰによる変形量 () を加えると () になる。また、断熱材の変形前の最小厚さは () であるから、変形後の断熱材の残量は () である。したがって、変形は内容器まで達することはない。

外容器蓋鏡板の貫通強度は、落下試験Ⅱによる変形歪が材料の伸び以下であれば貫通は生じないものとして評価する。

解析モデルを (□)－第 A. 92 図 に示す。



(□)－第 A. 87 図 落下試験Ⅱ 貫通強度解析モデル

(□)－第 A. 87 図に示すように、外容器鏡板の落下試験Ⅱによる伸び量 (Δl) は、次式で与えられる。

$$\Delta l = l' - l$$

ここで、

l' ; 変形後の長さ l'

l ; 変形前の長さ l

δ ; 変形量 δ

d ; 軟鋼棒直径 d

したがって

$$\Delta l$$

この伸び量が生じた場合の歪 (ε) は、

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

となり、鏡板の歪は () である。外容器蓋鏡板は () であり、貫通するまでの伸びが () 以上なので、貫通することはない。

(b) 外容器底部が軟鋼棒に直撃する場合（下部垂直落下）

(p)－第 A. 91 図 (b) に示すように、外容器底部が軟鋼棒に直撃する場合の変形量（ δ ）は外容器底鏡板の厚み及び材質が前項と同じため（ ）となる。

落下試験 I による変形量（ ）を加えると（ ）になる。また、断熱材の変形前の最小厚さは（ ）あるから変形後の断熱材の残量は（ ）である。したがって、変形は内容器まで達することはない。

また、この時の歪は前項と同じ（ ）であり、貫通するまでの伸びも前項と同じ（ ）以上なので、貫通することはない。

(c) 外容器胴部が軟鋼棒に直撃する場合

(p)－第 A. 86 図 (c) に示すように、外容器胴部が軟鋼棒に直撃する場合の変形量（ δ ）は、前記と同様に次式で与えられる。

$$U_o = \sigma_s \cdot \{ \pi (d + t) \cdot t \} \delta$$

ここで、

U_o ; 落下エネルギー

$$U_o = \text{（ ）} \text{（ ）}$$

d ; 軟鋼棒の直径

d

t ; 胴板の厚さ

t

σ_s ; 胴板の変形応力

σ_s

したがって、

落下試験 I による変形量（ ）を加えると（ ）になる。また、断熱材の変形前の最小厚さは（ ）であるから、変形後の断熱材の残量は（ ）である。したがって、変形は内容器まで達することはない。

また、この時の変形歪（ ε ）は前記と同様、次式で与えられる。

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

ここで、

Δl ; 伸び量 [mm]

l ; 変形前の長さ [mm]

δ ; 変形量 δ

d ; 軟鋼棒直径 d

したがって、

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

となり、胴板の歪は () である。外容器胴板は () であり、貫通するまでの伸びが () 以上なので、貫通することはない。

(2) 輸送容器に関する検討

1 m 落下試験時輸送容器に生ずる加速度を求める。

(a) 上部垂直落下時

(p)－第 A. 86 図 (a) に示すように、外容器蓋が軟鋼棒に直撃する場合に輸送物に生ずる加速度 N は、(p)－第 A. 85 図に示す解析モデルにより、次式で与えられる。

$$N = \frac{F}{m} \quad [\text{m/s}^2]$$

ここで、

F ; 鏡板変形時反力

$$F = \sigma_s \cdot \pi \cdot (d + t) \cdot t \quad [\text{N}]$$

σ_s ; 鏡板の変形応力 σ_s

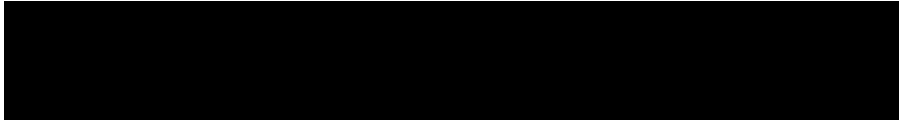
d ; 軟鋼棒の直径 d

t ; 鏡板の厚さ t


m ; 輸送物の質量 m

したがって、次の値となる。

N



(b) 下部垂直落下時

(p)－第 A. 86 図 (b) に示すように、外容器底板が軟鋼棒に直撃する場合に輸送物に生ずる加速度 N は鏡板の厚み及び材質が前項と同じため  となる。

(c) 水平落下時

(p)－第 A. 86 図 (c) に示すように、外容器胴部が軟鋼棒に直撃する場合に輸送物に生ずる加速度 N は、(p)－第 A. 92 図に示す解析モデルにより、次式で与えられる。

$$N = \frac{F}{m} \quad [m/s^2]$$

ここで、

F ; 胴板変形時反力

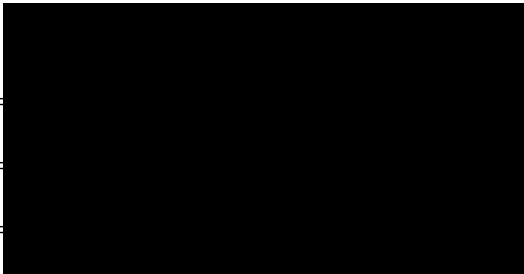
$$F = \sigma_s \cdot \pi \cdot (d + t) \cdot t \quad [N]$$

σ_s ; 胴板の変形応力 σ_s

d ; 軟鋼棒の直径 d =

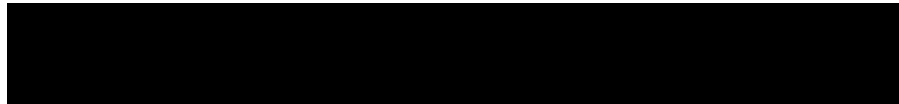
t ; 胴板の厚さ t =


m ; 輸送物の質量 m =



したがって、次の値となる。

N



上記の解析結果は、特別の試験条件下における設計加速度 ((p)－第 A. 33 表より  よりも小さい。したがって、本項では応力解析を省略する。

A.6.2.1 結果の要約

強度試験・落下試験Ⅱの解析結果及び評価結果を (ロ) ー 第 A.34 表 に示す。

(ロ) ー 第 A.34 表 落下試験Ⅱにおける貫通の評価結果

(1) 変形量

No.	評価位置	変形前断熱材 最少厚さ (mm)	落下試験Ⅰ 変形量 (mm)	落下試験Ⅱ 変形量 (mm)	残 量 (mm)
1	外容器蓋部				
2	外容器底部				
3	外容器胴部				

(2) 変形歪

No.	評価位置	設計基準	設計基準値	解析結果	余裕率
1	外容器蓋部				
2	外容器底部				
3	外容器胴部				

(3) 加速度

No.	評価位置	設計基準	設計基準値	解析結果	余裕率
1	外容器蓋部				
2	外容器底部				
3	外容器胴部				

(ロ) ー 第 A.34 表に示すように、各評価位置の落下試験Ⅱにおける変形歪は、設計基準値である [] の伸びを下回っているため、貫通は生じず、この時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で生ずる加速度は一般の試験条件下における加速度より小さい。

したがって、最大破損を受ける落下条件下においても、輸送容器の密封性能、遮蔽性能に影響を与えることはない。

内容器本体及び収納物においても、落下試験Ⅰで生ずる加速度よりも小さいので損傷することはない。

A. 6. 3 熱的試験

A. 6. 3. 1 温度及び圧力の要約

本項では、特別の試験条件下における設計・解析に使用する温度及び圧力の要約を記述する。

(1) 設計温度

(p)－B. 5. 3 輸送物温度で評価した結果、燃料バスケットは■■■■■、内容器本体■■■■■、内容器蓋は■■■■■まで温度が上昇する。したがって、特別の試験条件下における設計温度は、安全側に (p)－第 A. 35 表 に示す値にて評価する。

(p)－第 A. 35 表 特別の試験条件下における設計温度

No.	部 位	温 度 (°C)
1	燃 料 バ ス ケ ッ ト	■■■■■
2	内 容 器 本 体	■■■■■
3	内 容 器 蓋	■■■■■

(2) 設計圧力

(p)－B. 5. 4 最大内圧で評価したように、内容器内圧力はゲージ圧で■■■■■まで上昇する。したがって、特別の試験条件下における設計圧力は、(p)－第 A. 36 表 に示すように安全側に■■■■■] の圧力差が生ずるものとして評価する。

(p)－第 A. 36 表 特別の試験条件下における設計圧力

No.	部 位	設 計 圧 力 (ゲージ圧)
1	内 容 器 内	■■■■■

A. 6. 3. 2 熱膨張

本項では、内容器内面と燃料バスケット外面の熱膨張差により生ずる応力について述べる。

燃料バスケットと内容器の温度上昇は、(□)－第 A. 35 表のとおり ██████████ となるが、バスケットの下部は内容器に固定されていないため燃料バスケットと内容器には、熱膨張差による応力は発生しない。

A. 6. 3. 3 許容応力との比較

(1) 応力計算

設計圧力により輸送物各部に生ずる応力について、A. 5. 1. 3 項と同一位置について同一手法で解析する。

この時の輸送物各部の温度は、(□)－第 A. 35 表に示した温度を用いる。

(2) 内容器蓋 Oリング部変位

設計圧力により、内容器蓋 Oリング部の変位について、A. 5. 1. 3(1)④項と同一位置について同一手法で解析する。

(3) 応力解析及び評価結果

各解析項目について得られた応力解析結果に対する応力評価結果をまとめて、(□)－第 A. 37 表に示す。

この結果より、特別の試験条件（熱的試験）下において、本輸送物の健全性は維持される。


(ロ) ー第 A.37 表 特別の試験条件 (熱的試験) 下における応力解析及び評価結果 (1/1)

応力及び応力強さの単位
; N/mm²

No.	応力及び応力強さ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	一次応力強さの評価																							
						Pm(PL)	2/3Su	MS	PL+Pb	Su	MS																		
1	内容器胴部	σ_r																											
		σ_θ																											
		σ_z																											
2	内面	σ_r																											
		σ_θ																											
		σ_z																											
	外面	σ_r																											
		σ_θ																											
		σ_z																											
3	内面	σ_r																											
		σ_θ																											
		σ_z																											
	外面	σ_r																											
		σ_θ																											
		σ_z																											
4	内容器蓋締付ボルト	σ_t																											
5	内容器蓋 Oリング部変位																												

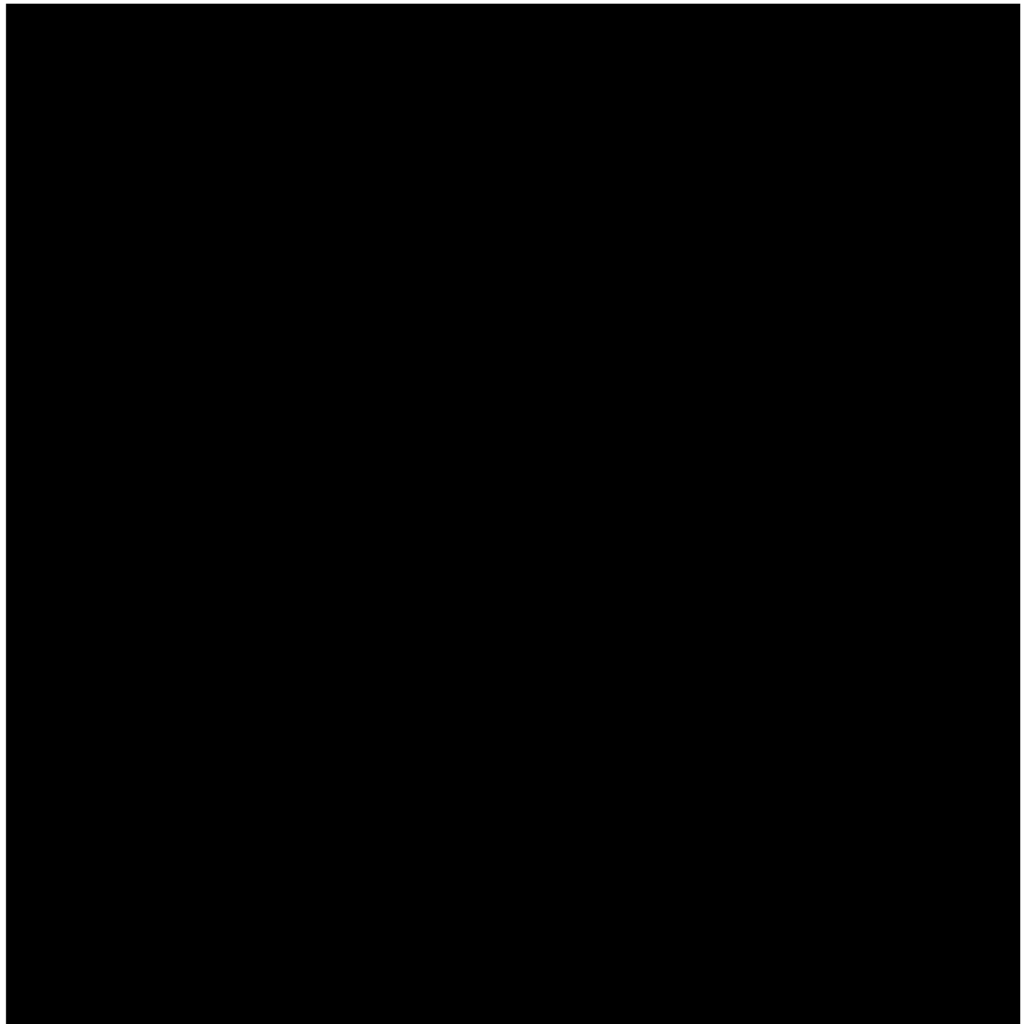
Pm; 一次一般膜応力 PL; 一次局部膜応力 Pb; 一次曲げ応力 Sy; 設計降伏点 Su; 設計引張強さ MS; 余裕率 σ_r ; 径方向応力 σ_θ ; 周方向応力 σ_z ; 軸方向応力 σ_t ; ボルト軸方向応力

A.6.4 浸漬

本項では、輸送物が 15m の水中に浸漬した場合、輸送物が十分耐え得ることを示す。
この時、輸送物には  の外圧力が作用する。

外圧力は、内容器が受けるものとして、応力評価位置を (a)－第 A.88 図 に示す。

なお、本輸送物の収納物の放射エネルギーは A_2 値の 10 万倍を超えることはないので、200 m 浸漬は該当せず。



記号	評価位置
①	内容器胴部
②	内容器底板
③	内容器蓋
④	内容器蓋 O リング部変位

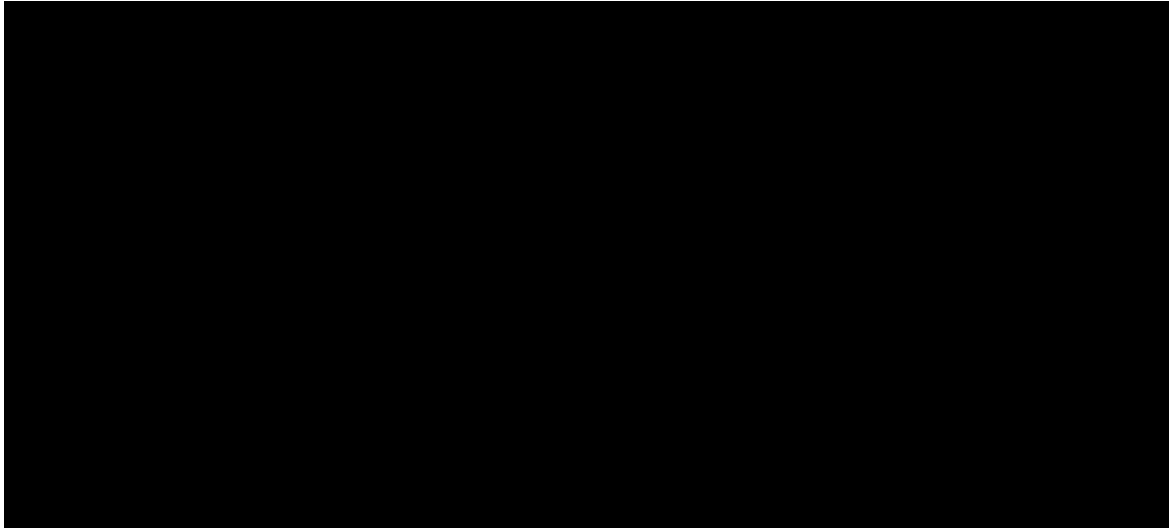
(a)－第 A.88 図 15m 浸漬試験時における内容器の応力評価位置

④ 内容器胴部

外圧力を受ける内容器胴部は、座屈と胴中央部に生ずる応力について評価する。

(a) 座 屈

内容器胴部が、外圧力を受ける場合の許容座屈圧力解析モデルを (Ⅱ)－第 A. 89 図に示す。



(Ⅱ)－第 A. 89 図 内容器胴部の許容座屈圧力解析モデル

(Ⅱ)－第 A. 89 図に示す内容器胴部の許容座屈圧力 P_e は次式⁽²⁾で与えられる。なお、現在の適切な出典⁽²⁴⁾においても、当該の許容座屈応力 P_e を求める式及び図は適用されている。

$$P_e = \frac{4B \cdot t}{3D_o}$$

ここで、

P_e ; 許容座屈圧力 [MPa]

D_o ; 内容器胴部外径 D_o

t ; 内容器胴部板厚 t

B ; (Ⅱ)－第 A. 87 図より求まる値 B

l ; 内容器胴部長さ l

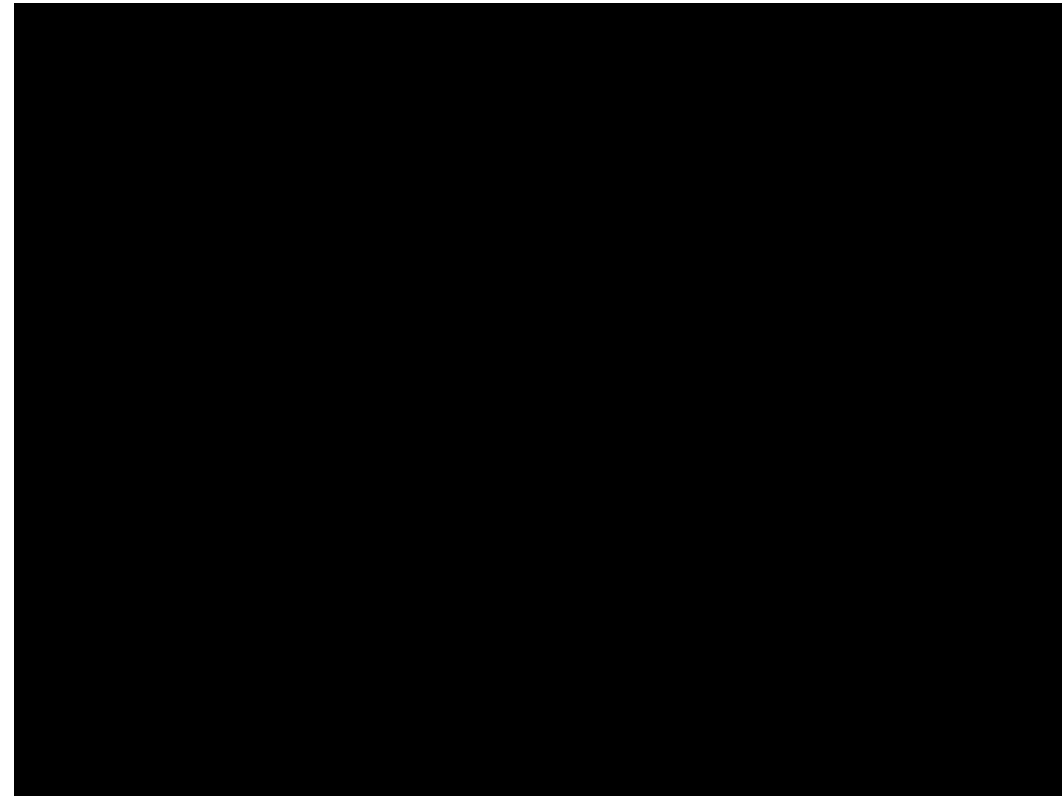
したがって、

P_e [MPa]

となり、内容器胴部の受ける外圧力 P [REDACTED] に対する余裕率 MS は次の値となる。

MS [REDACTED]

よって、内容器胴部は外圧力により座屈することはない。



(備考)

1. 中間の値は、比例法によって計算する。
2. この図の使用方法は、次のとおりとする。

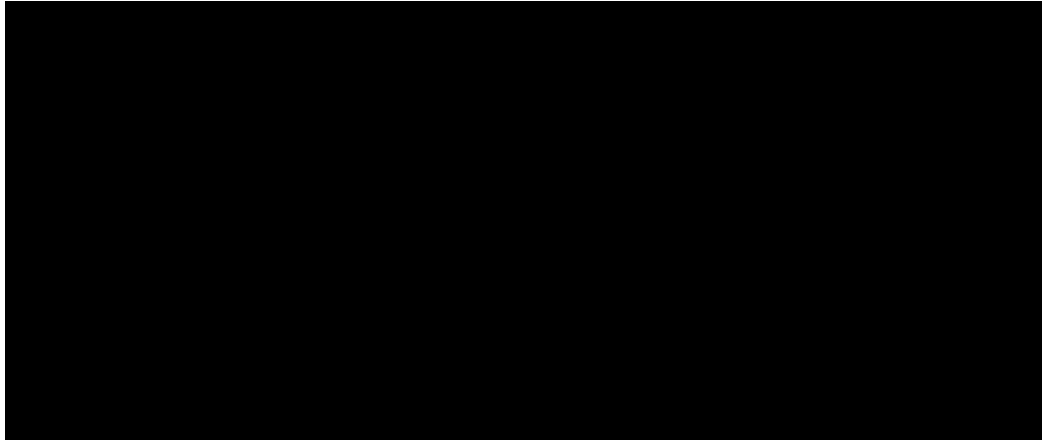
《外面に圧力を受ける円筒形の場合》

- (イ) 縦軸に $1/D_o$ の値をとる。
- (ロ) 使用する板の厚さ t を仮定して D_o/t の値を算定する。
- (ハ) $1/D_o$ の点から水平線を引き、 D_o/t に対応する曲線との交点を求める。
- (ニ) (ハ)により求めた交点を通る垂直線を引き、これと使用温度に対応する曲線との交点を求める。
- (ホ) (ニ)により求めた交点から水平線を引き、縦軸との交点として B を求める。

(ロ) - 第 A. 90 図 外圧を受ける円筒胴の形状曲線⁽²⁾

(b) 内容器胴中央部

外圧を受ける内容器胴中央部に生ずる応力解析モデル図を (a) - 第 A. 91 図に示す。内容器胴中央部に生ずる応力 σ は薄肉円筒として、次式で与えられる。



(a) - 第 A. 91 図 内容器胴中央部応力解析モデル

$$\sigma_{\theta} = -\frac{P \cdot D_m}{2t}$$

$$\sigma_z = -\frac{P \cdot D_m}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

σ_{θ} ; 周方向応力 [N/mm²]

σ_z ; 軸方向応力 [N/mm²]

σ_r ; 径方向応力 [N/mm²]

P ; 外圧力 P

D_m ; 内容器胴部平均径 $D_m = D + t$

t ; 内容器胴部板厚 t

D ; 内容器胴部内径 D



したがって、以下の値となる。

σ_{θ}		[N/mm ²]
σ_z		[N/mm ²]
σ_r		[N/mm ²]

② 内容器底板

外圧を受ける内容器底板の応力解析モデル図を (a)－第 A.92 図 に示す。

(a)－第 A.97 図 に示す周辺固定円板とした場合の固定部分に生ずる応力 σ は次式で与えられる。

σ_{θ}		
σ_r		
σ_z		

(a)－第 A.92 図 内容器底板応力解析モデル

ここで、

σ_{θ} ;	周方向応力	[N/mm ²]
σ_r ;	径方向応力	[N/mm ²]
σ_z ;	軸方向応力	[N/mm ²]
P ;	外圧力	P
a ;	内容器底板半径	a
h ;	内容器底板板厚	h

したがって、以下の値となる。

σ_{θ}	
σ_r	
σ_z	

応力の複号は上が外面、下が内面を表す。

© 内容器蓋

外圧力を受ける内容器蓋に生ずる応力解析モデル図を (a)－第 A. 93 図 に示す。

(a)－第 A. 93 図 に示す周辺単純支持円板に生ずる応力 σ (N/mm²) は中央部で最大となり次式で与えられる。

$$\sigma_{\theta}$$

$$\sigma_z$$

ここで、

(a)－第 A. 93 図 内容器蓋中央部応力解析モデル

$$\sigma_{\theta} ; \quad \text{周方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_r ; \quad \text{径方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z ; \quad \text{軸方向応力} \quad [N/mm^2]$$

$$P ; \quad \text{外圧力}$$

$$a ; \quad \text{内容器蓋支持点半径}$$

$$h ; \quad \text{内容器蓋板厚}$$

$$P$$

$$a$$

$$h$$

したがって、次の値となる。

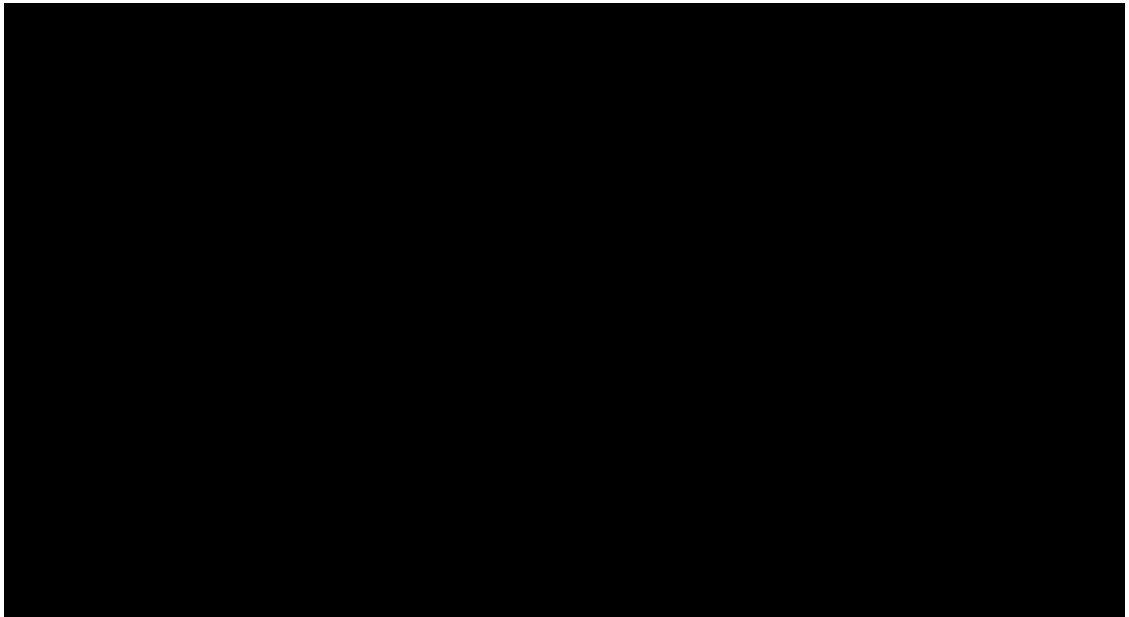
$$\sigma_{\theta} = \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_z = \quad [N/mm^2]$$

応力の複号は上が外面、下が内面を表す。

④ 内容器蓋Oリング部の変位

外圧力を受ける内容器蓋Oリング部変位解析モデルを (a)－第 A. 94 図 に示す。



(a)－第 A. 94 図 外圧力による内容器蓋Oリング部変位解析モデル

(a)－第 A. 94 図に示すように、等分布荷重を受ける周辺支持円板において、支持点より l だけ離れたところの、外側Oリング部の変位 ω は次式で与えられる。

$$\omega = \theta \cdot l = \frac{P \cdot \alpha \cdot a^3}{8D \cdot (1 + \nu)} \times l \quad [\text{mm}]$$

ここで、

ω ; 外側Oリング部の変位 [mm]

θ ; 支点におけるたわみ角 [rad]

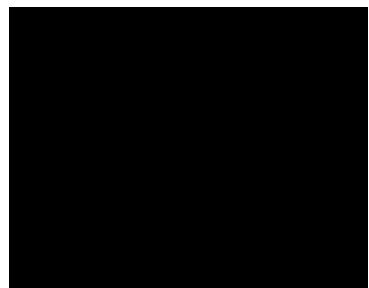
$$\theta = \frac{P \cdot \alpha \cdot a^3}{8D \cdot (1 + \nu)}$$

P ; 外圧力 P

α ; 安全係数 α

a ; 内容器蓋中心から支点までの距離 a

R ; 内容器蓋の半径 R



D ; 曲げ剛性 [N・mm]

D

E ; 内容器蓋の縦弾性係数 E

t ; 内容器蓋の最少板厚 t

ν ; ポアソン比 ν

l ; 支点から外側Oリングまでの距離 l

したがって、次の値となる

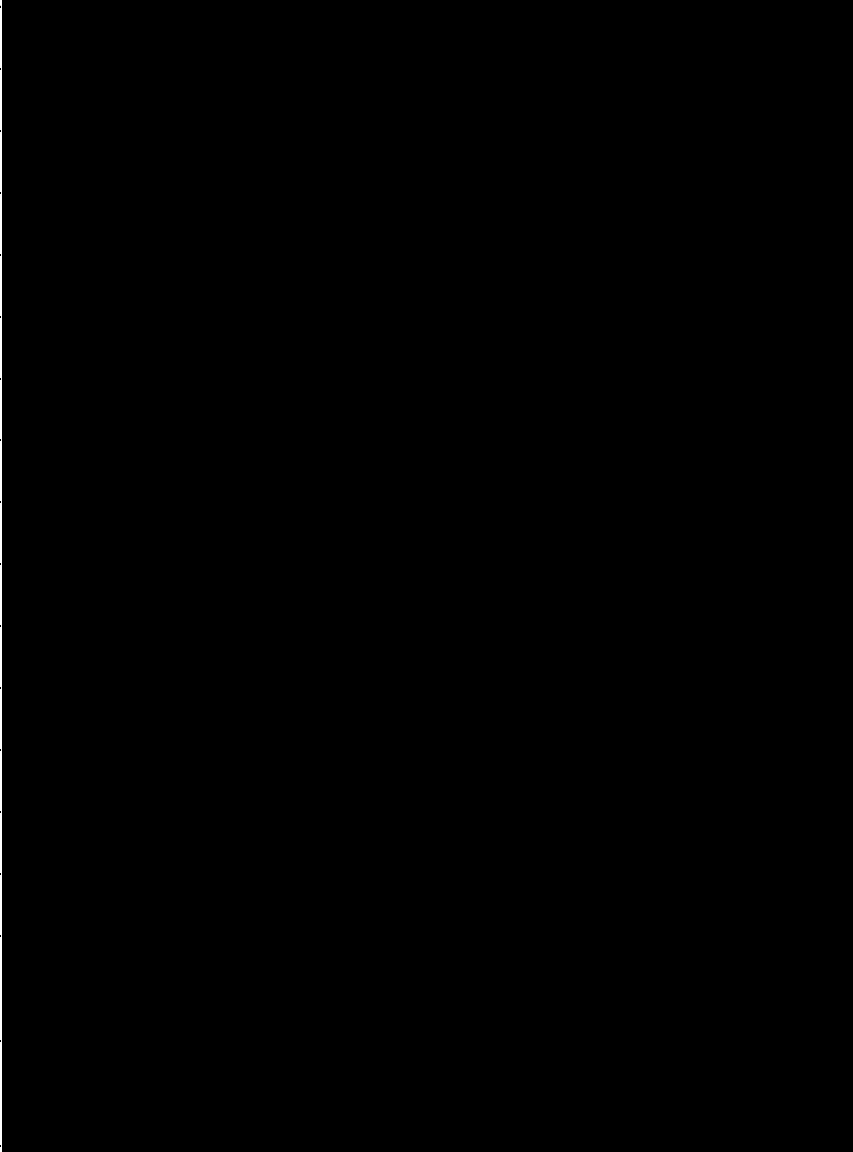
ω

この値は、Oリングの初期締め代 δ より十分小さく、外圧力により密封性能が損なわれることはない。

結果の要約と検討

④～⑩項の結果をまとめて (ロ)－第 A. 38 表 に示す。

(ロ)－第 A. 38 表 15m浸漬試験時における応力評価結果

位置		応力及び 応力強さ	応 力	一次応力強さ											
				P _m (PL)	2/3Su	MS	PL+Pb	Su	MS						
内容器 胴中央部		σ_r													
		σ_θ													
		σ_z													
内容器 底 板	内面	σ_r													
		σ_θ													
		σ_z													
	外面	σ_r													
		σ_θ													
		σ_z													
内容器 蓋	内面	σ_r													
		σ_θ													
		σ_z													
	外面	σ_r													
		σ_θ													
		σ_z													
内容器胴部の座屈															
内容器蓋Oリング部 の変位															

(注) 応力及び応力強さの単位 ; N/mm²

以上の結果により本輸送物は 15m浸漬試験条件下において、密封性能が損なわれることなく、密封性能の健全性は維持される。

A.6.5 結果の要約及びその評価

特別の試験について解析により検討を行った。強度試験では、落下試験Ⅰにおいて、外容器は変形するものの、変形は内容器に達しない。

落下試験Ⅱにおいて、外容器は局所的に変形するものの、変形は内容器及び密封境界に達しない

また、この時内容器各部に発生する応力は許容応力以下であり、密封境界は破損せず、密封性は損なわれない。

引き続き行われる熱的試験でも、内容器各部に発生する応力は、許容応力以下であり、密封境界は破損せず、密封性は損なわれない。

浸漬試験においても内容器は ████████ の外圧力に耐え健全である。

なお、燃料要素及び ████████ は強度試験において発生する応力が許容応力以下であり破損しない。

外容器、内容器及び収納物の評価の結果は、B・熱解析、C・密封解析、D・遮蔽解析、E・臨界解析に用いられる。

B・熱解析、C・密封解析、D・遮蔽解析、E・臨界解析においては、A・構造解析の結果を次のように考慮した。

(1) 熱解析

輸送容器の熱解析上重要な箇所は、内容器及び内容器蓋部である。

また、内容器蓋は外容器蓋で覆われている。

構造解析における上部緩衝材の変形量は、垂直落下において ████████、水平落下において ████████ であるが、変形前の厚みはそれぞれ ████████ あるので内容器に達せず、輸送容器は健全である。

また、落下試験Ⅱにより外容器には貫通が生じない。

また、外容器蓋は外れることなく、断熱材としての機能は十分有している。

したがって、熱解析では内容器は変形せず、断熱材及び緩衝材の残存厚さは、安全側に定めるものとする。

(2) 密封解析

構造解析において輸送容器の密封装置は健全性を有し、また燃料要素は破損せ

ず健全性を有する。

密封解析では、この結果を用いて放射性物質の漏えい評価を行う。

(3) 遮蔽解析

遮蔽解析では、外容器、内容器及び燃料要素の破損が解析結果に影響する。

構造解析における上部及び下部緩衝材の厚みは [REDACTED] であるので、変形は内容器に達せず、輸送容器は健全である。

落下試験Ⅱにより、外容器は局所的に変形するが、内容器は変形しない。

したがって、遮蔽解析では内容器は変形しないものとし、安全側に評価するため外容器並びに断熱材及び緩衝材はないものとした。

(4) 臨界解析

臨界解析では、遮蔽解析と同様、内容器は変形しないものとし、安全側に評価するため、外容器並びに断熱材及び緩衝材はないものとした。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物の最大放射エネルギーは A2 値の 10 万倍以下であり、該当しない。

A.8 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物である燃料要素及び [REDACTED] は、(イ)－D で説明された通りである。

燃料要素及び [REDACTED] の強度解析は、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において、輸送容器と等しい衝撃加速度を受けるものとして行っている。その結果、一般及び特別の試験条件下において、燃料要素及び [REDACTED] に発生する応力は許容応力以下であり、燃料要素及び [REDACTED] は破損しない。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は規則に基づき、核分裂性輸送物に該当し、周囲温度 -40°C 以上で使用する。

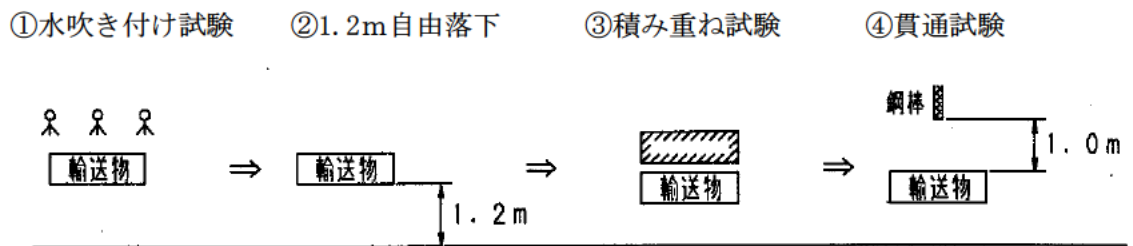
本輸送物は、A.4.2 で示すとおり、周囲温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$ の温度条件において、き裂、破損の生じる等のおそれはない。

したがって、本項では、ロ章E 臨界解析において、想定する輸送物の損傷状態を以下の試験条件に対して評価する。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

核分裂性輸送物の一般の試験条件としては、(ロ)－第 A.95 図 に示す試験手順（水吹き付け試験、1.2m自由落下試験、積み重ね試験及び鋼棒貫通試験）による重畳効果を考慮し、安全性を評価する。

ロ章Eの臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態をA.5及びA.9.2の解析結果をもとに評価すると以下のようなになる。



1. 連続試験

(1) 水吹き付け

A.5.2 と同一であり、輸送物に損傷はない。

(2) 1.2m自由落下（1.2m落下）

B U型の一般の試験条件と同一であり、A.5.3 と同様であり、臨界体系である内容容器に損傷はない。

2. 積み重ね試験

A. 5. 4 と同一であり、臨界体系である内容器に損傷はない。

3. 貫通試験

A. 5. 5 と同一であり、臨界体系である内容器に損傷はない。

以上の結果より、一般の試験条件下の輸送物の損傷状態は (p)－第 A. 39 表 のようにまとめられる。本輸送物は、(p)－第 A. 40 表 に示すように、一般の試験条件において、規則及び告示に定められている核分裂性輸送物としての要件を満足する。

(p)－第 A. 39 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	備 考
水吹き付け	損傷なし	——
1.2m落下	外容器、緩衝材及び断熱材の変形	外容器、緩衝材及び断熱材は臨界解析で無視する。アイプレートも変形する可能性があるが、これらは臨界解析で無視する。 落下衝撃加速度、輸送容器各部の応力等は9m落下試験時の結果を超えない。
積み重ね	損傷なし	——
貫通	損傷なし	——

A. 9. 2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

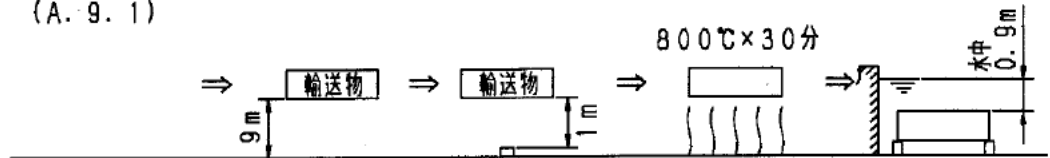
核分裂性輸送物の特別の試験条件としては、(v)－第 A. 96 図 に示す試験手順

- | |
|--|
| <p>A 一般の試験条件後の損傷状態+9m落下試験+1m貫通試験+火災試験
(800℃×30分)+0.9m浸漬試験</p> <p>B 一般の試験条件後の損傷状態+15m浸漬試験</p> |
|--|

により、A又はBのうち、臨界体系上への影響が大きい9m落下試験及び火災試験の緩衝材焼失により、隣りあう輸送物の内容器間の近接するAの条件で重畳効果を考慮し、安全性を評価する。

[A]

- ① 一般の試験条件 (A. 9. 1) ② 落下試験 - I ③ 落下試験 - II ④ 耐火試験 ⑤ 浸漬試験



[B]

- ① 一般の試験条件 (A. 9. 1) ② 浸漬試験



(v)－第 A. 96 図 特別の試験条件

ここで、一般の試験条件としては(□)－第 A. 39 表に示すように損傷がある連続試験を採用する。

ロ章Eの臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態を評価すると次のようになる。

1. 一般の試験条件のうち連続試験

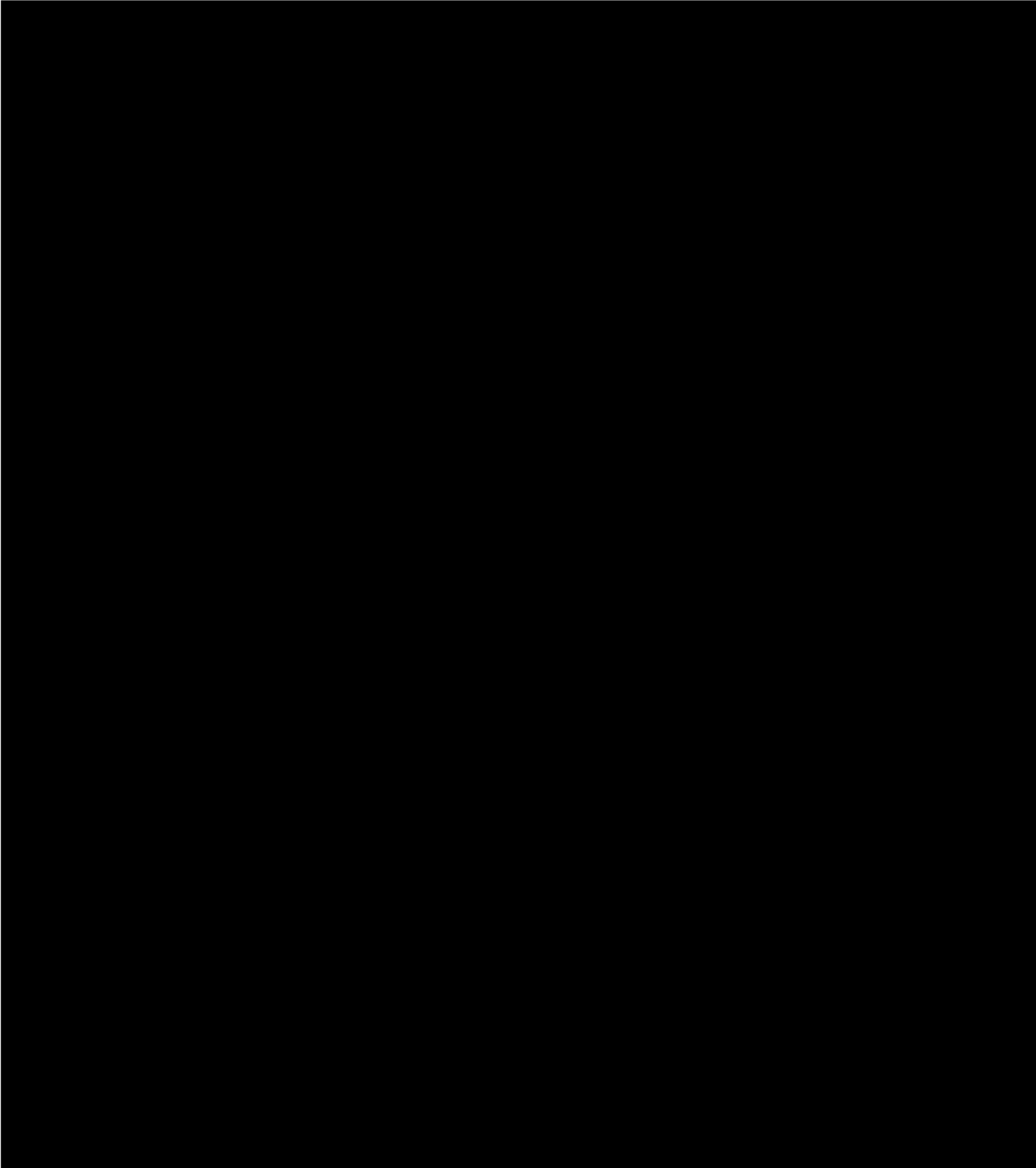
本試験条件における輸送物の損傷状態は(□)－第 A. 39 表に示すとおりである。

2. 9m落下試験

(1) 落下姿勢と落下試験の順序

(□)－第 A. 97 図 に落下姿勢と落下試験の順序を示す。

A. 9.1 の 1.2m落下と 9m落下の落下方向が同一の場合に緩衝体の変形量が最大になると考えられるので、この場合について検討を行う。



(㊦) - 第 A. 97 図 落下姿勢と試験の順序

(2) 9m落下試験時の変形量及び設計加速度

1. 2m落下試験と9m落下試験の重ね合わせを考慮する、核分裂性輸送物の落下試験 I により輸送物に生ずる変形量及び設計加速度は、A. 5. 3 と同様の手法で解析を行う。解析結果をBU型輸送物の落下試験 I (9m単独) との加速度比率と合わせ、(□)－第 A. 41 表 に示す。

(□)－第 A. 41 表 特別の試験条件(重ね合せ評価)での変形量及び設計加速度

落下 高さ	加速度及び 変形量 落下姿勢		加 速 度 (g)			変形量 (mm)	落下試験 I (9m単独) における 設計加速度 との比
			CASH-II ×1.2 倍	鋼板による 加速度	設 計 加速度		
*9m	水 平						
	垂直	上 部					
		下 部					
	コーナ ー	上 部					
		下 部					

* 1.2m落下後の変形を考慮し、9m落下を評価する。

(3) 輸送物各部の損傷評価

重ね合わせを考慮する核分裂性輸送物の落下試験 I による設計加速度は、(□)－第 A. 41 表に示すようにBU型輸送物の落下試験 I の設計加速度と比較して最大 ■■■ の増加である。BU型輸送物の落下試験 I における構造評価結果のうち、余裕率の最も小さい部位は(□)－第 A. 28 表に示すように水平落下時 ■■■ であり、余裕率は ■■■ である。

輸送物の構造評価において、荷重である加速度の増加割合と、発生応力の増加割合は同等であるため、設計加速度及び発生応力が ■■■ 増加しても、最小の余裕率は ■■■ であり、輸送容器及び収納物の構造健全性は維持される。

3. 1m貫通試験

1. 及び 2. の落下試験において外容器、緩衝材及び断熱材が変形するが、これらは A. 6. 2 に示すように 1m貫通試験に対する評価において関係しない。したがって、本試験における輸送物の損傷状態は A. 6. 2 の結果 (A. 6. 5 に示す要約参照) と同一である。

4. 熱的試験

熱的試験においては、外容器、緩衝材及び断熱材の変形は考慮しているが、外容器、緩衝材及び断熱材の変形量による影響は微小であると考えられる。したがって、本試験における輸送物の損傷評価は A. 6. 3 3. (3) と同一となる。

5. 0.9m浸漬試験

A. 6. 4 の 15m浸漬試験の結果から明らかなように、0.9m浸漬試験において輸送物は損傷が拡大することはない。

6. 輸送物の損傷状態の要約

(□)－第 A. 42 表 に特別の試験条件下の輸送物の損傷状態の要約を示す。

(□)－第 A. 42 表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の輸送物の損傷状態

条 件	輸送物の損傷状態	備 考
9m落下	外容器、緩衝材及び断熱材の変形	外容器、緩衝材及び断熱材は臨界解析で無視
1m貫通	外容器、緩衝材及び断熱材の変形	外容器、緩衝材及び断熱材は臨界解析で無視
熱的試験(火災)	断熱材の一部焼損 各部位の温度が上昇	臨界解析上は断熱材を無視し、水密度を ████████ としている
0.9m浸漬	損傷なし	臨界解析上は満水で解析する

A. 10 付属書類

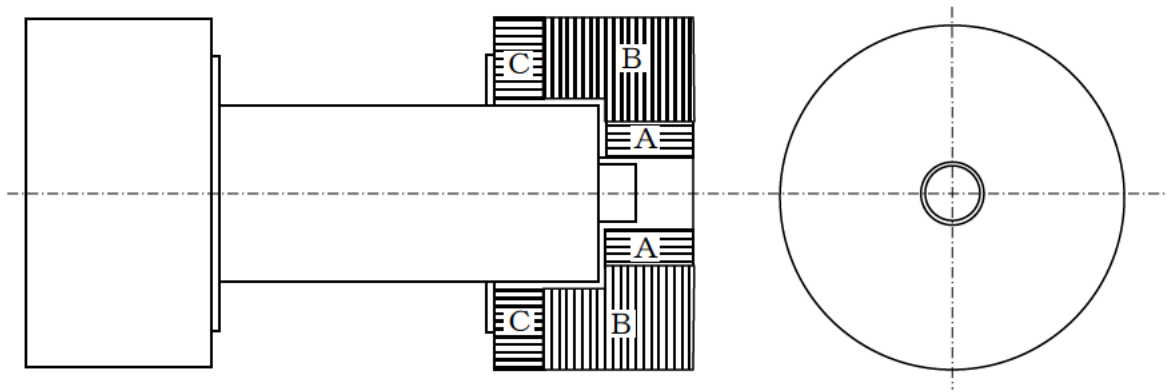
A. 10.1	緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH-II」	……	(p) - A - 255
A. 10.2	型輸送物落下解析の妥当性	……	(p) - A - 262
A. 10.3	内容器蓋Oリング部変位	……	(p) - A - 263
A. 10.4	緩衝材の低温時応力-歪特性	……	(p) - A - 268
A. 10.5	の応力-歪特性	……	(p) - A - 269
A. 10.6	の低温強度	……	(p) - A - 270
A. 10.7	の低温衝撃値	……	(p) - A - 271
A. 10.8	の低温衝撃値	……	(p) - A - 272
A. 10.9	内容器蓋締付ボルトの締付トルクの算出方法	……	(p) - A - 273
A. 10.10	参考文献	……	(p) - A - 278

A.10.1 緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH-II」

(1) 概 要

輸送物落下時の緩衝体の解析に用いた計算コード「CASH-II」は、輸送容器の両端に緩衝体を装着した輸送物に対して各落下時（垂直落下、水平落下、傾斜落下）の緩衝材の変形量、吸収エネルギー及び輸送物に生じる衝撃力（加速度、g 値）を一次元変形法（Uniaxial Displacement Method ; U.D.M）により解析する計算コードである。

「CASH-II」は(□)－第 A.98 図に示されるように、機械的材料特性（応力－歪関係）の異なった領域（材料的領域と呼ぶ）から構成される緩衝体に適用することができる。



A, B, Cは材料的領域を示す。

(□)－第 A. 98 図 緩衝体解析モデル

(2) 解析理論

「CASH-II」コードとは、一次元変形法 (U. D. M.) に基づき、緩衝体付輸送物の傾斜落下試験 (傾斜角度 $\theta = 0$ は垂直落下、傾斜角度 $\theta = 90^\circ$ は水平落下となる。) 時の緩衝体の衝撃性能を解析するプログラムであり、次に示す 2 つの基本仮定に基づいている。

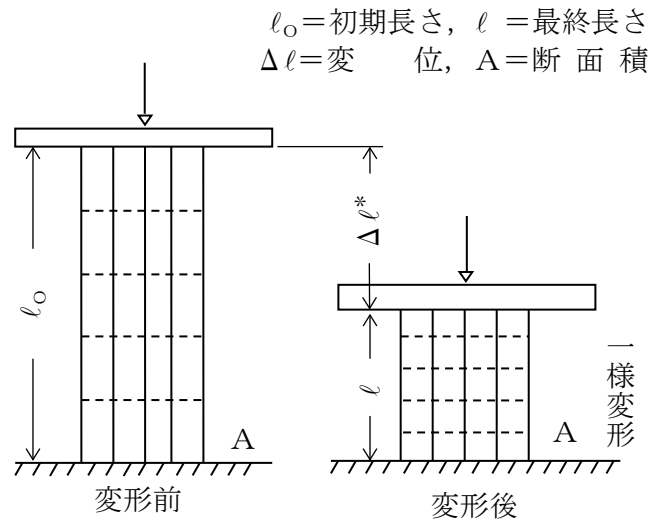
- (a) 一次元変形法 (U. D. M.) によりエネルギー吸収特性を解析する。
- (b) 一次元棒傾斜配置は、等価な一次元棒水平配置と一次元棒垂直配置に置きかえる。

以下に本仮定に基づく「CASH-II」コードの解析理論を説明する。

(a) 一次元変形法 (U. D. M.)

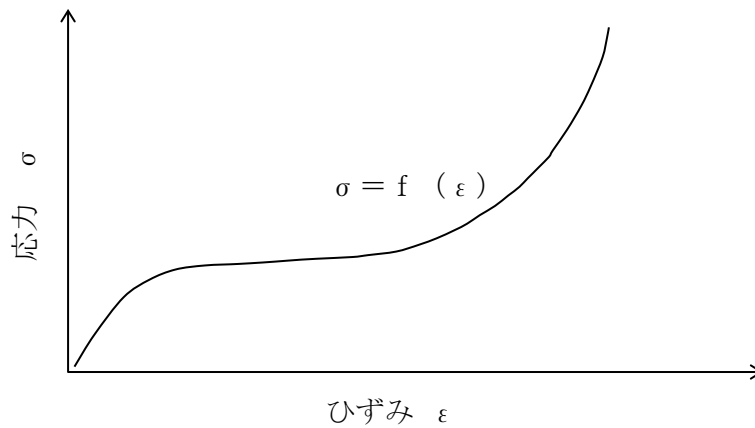
一次元変形法とは、全ての变形可能領域が一次的にエネルギーを一様に吸収すると仮定する理論である。すなわち、緩衝体等の变形可能領域を多くの一次元棒に置換し、その一次元棒のエネルギー吸収特性より緩衝体全体のエネルギー吸収特性を評価するものである。

今、(□)－第 A. 99 図の構造物にエネルギー E_0 を持つ重量 W のおもりが衝突する問題を考える。



(□) - 第 A. 99 図 一次元変形法による解析モデル

構造材の「圧縮応力-圧縮歪」関係を(□) - 第 A. 100 図のように与えるとする。



(□) - 第 A. 100 図 材料の圧縮応力-圧縮ひずみ関係

構造物の変形量 Δl とおもりに生ずる加速度 a を求める手順は次のようになる。

一般的に構造物が Δl だけ変形するときの歪 ϵ は次式で与えられる。

$$\epsilon = \Delta l / l_0 \quad (\text{A. 10-1})$$

このときの応力 σ は次式で与えられる。

$$\sigma = f(\epsilon) = f(\Delta l / l_0) \quad (\text{A. 10-2})$$

したがって、 Δl だけ変形した時に発生する力 F は次式で与えられる。

$$F = A \sigma = A \times f (\Delta l / l_0) \quad (\text{A. 10-3})$$

Δl だけ変形する時に構造物が吸収するエネルギーEは、

$$E = \int_0^{\Delta l} F d l = l_0 \cdot \int_0^{\Delta l / l_0} A \sigma(\epsilon) d \epsilon \quad (\text{A. 10-4})$$

構造物が吸収すべきエネルギーE₀が与えられた場合には (A. 10-4) 式より最終変形 Δl^* が決まる。

$$E_0 = l_0 \cdot \int_0^{\Delta l^* / l_0} A \sigma(\epsilon) d \epsilon \quad (\text{A. 10-5})$$

したがって、 Δl^* を (A. 10-3) 式の Δl に代入すると力F*が決まる。

$$F^* = A f (\Delta l^* / l_0) \quad (\text{A. 10-6})$$

この結果、加速度 a*は次式で与えられる。

$$a^* = F^* / W \quad (\text{A. 10-7})$$

(b) 一次元棒傾斜配置の取扱い

次に一次元変形法による一次元棒傾斜配置の取扱いについて説明する。

今、傾斜落下角度を θ とすると、傾斜方向の応力 σ_θ と垂直方向の応力 σ_z 及び水平方向の応力 σ_x の間には次の関係式が成り立つと仮定する。

(但し、同一歪 ϵ について)

$$\sigma_\theta (\epsilon) = \sigma_z (\epsilon) \cos^m \theta + \sigma_x (\epsilon) \sin^m \theta \quad (\text{A. 10-8})$$

m ; 材料の傾斜定数

この時、エネルギーE_θ、E_z、E_xの間には、次の関係式が近似的に成り立つ。

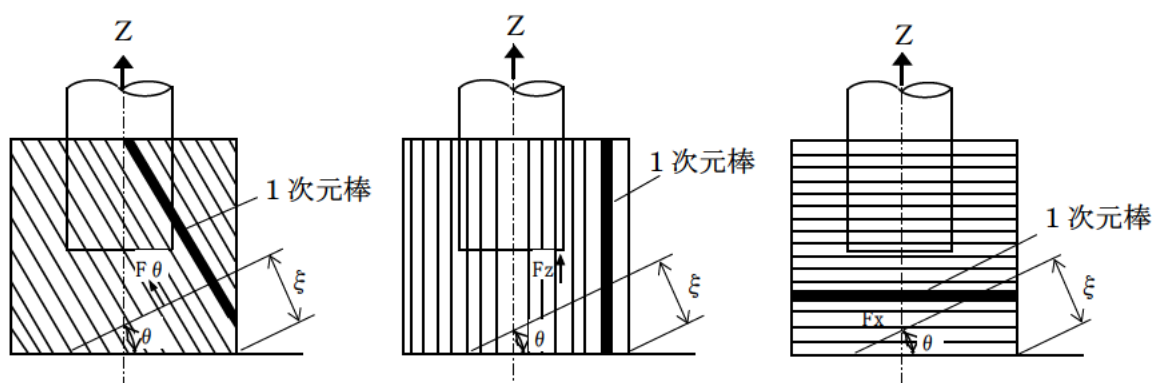
$$E_\theta = E_z \cos^{m-2} \theta + E_x \sin^{m-2} \theta \quad (\text{A. 10-9})$$

また、力の大きさF_θ、F_z、F_xの間には、次の関係式が近似的に成り立つ。

$$F_\theta = F_z \cos^{m-1} \theta + F_x \sin^{m-1} \theta \quad (\text{A. 10-10})$$

ただし、 E_{θ} 、 F_{θ} 、は、傾斜角 θ の方向に一次元棒を配置した時の歪 ε だけ変形した場合のエネルギーと力であり、 E_z 、 F_z は垂直方向に一次元棒を配置した時の歪 ε だけ変形した場合のエネルギーと力であり、 E_x 、 F_x は水平方向に一次元棒を配置した時の歪 ε だけ変形した場合のエネルギーと力である。

(下図参照)



(3) 「CASH-II」コードの検証

「CASH-II」コードの検証として4種類のキャスクの落下試験の解析を行った。解析値と実験値の比較を(□)-第A.43表に示す。

(□)-第A.43表より次のことが言える。

- (a) 緩衝体の変形量は相対的に「CASH-II」コード解析値の方が大きい値を示し、安全側の結果を得る。
- (b) 「CASH-II」コードによる加速度の設計値は実験値に対し、同程度もしくは高め値を示し、妥当な結果を得ている。

また、本輸送物の重量は █████ であり、上記4種類のキャスク重量の範囲内にある。

(□)-第A.101図に示すように本輸送物の緩衝体は、他キャスクと比較してほぼ同一のプロポーシオンをしており、解析コード適用上問題はない。

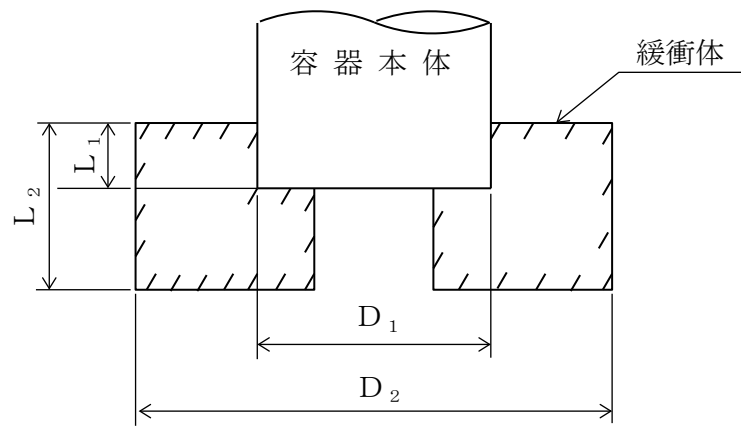
以上の結果より、「CASH-II」コードの緩衝性能評価を行うと、ほぼ妥当な結果を得るものと考えられるが、緩衝体の設計に当たっては次の配慮を行うこととする。

- (イ) 発生加速度については、「CASH-II」コード計算値に対し 20%の余裕をとった設計加速度で評価する。
- (ロ) 緩衝体の変形量は「CASH-II」コードの方が大き目の値を示すため、計算結果をそのまま設計変形量とする。

(ロ) - 第 A. 43 表 CASH-II 解析値と実験値の比較

キャストタイプ		TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4
重量 (kg)					
外寸法 (mm)					
落下姿勢					
加 速 度	解析値 (g)				
	設計値 (g)				
	実験値 (g)				
変 形 量	解析値 (mm)				
	実験値 (mm)				

*設計値とは、解析値に対して 1.2 倍した値をさすもので、試験結果のバラツキを考慮し、設計に際して使用される値である。



	TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4	本輸送物
L_1/L_2					
D_1/D_2					
緩衝材					

(㊦) - 第 A. 101 図 緩衝体プロポーシオン

A. 10.2 XXXXXXXXXX型輸送物落下解析の妥当性

原型容器による落下試験結果⁽²⁵⁾と解析結果の比較を(□)－第 A. 44 表に示す。

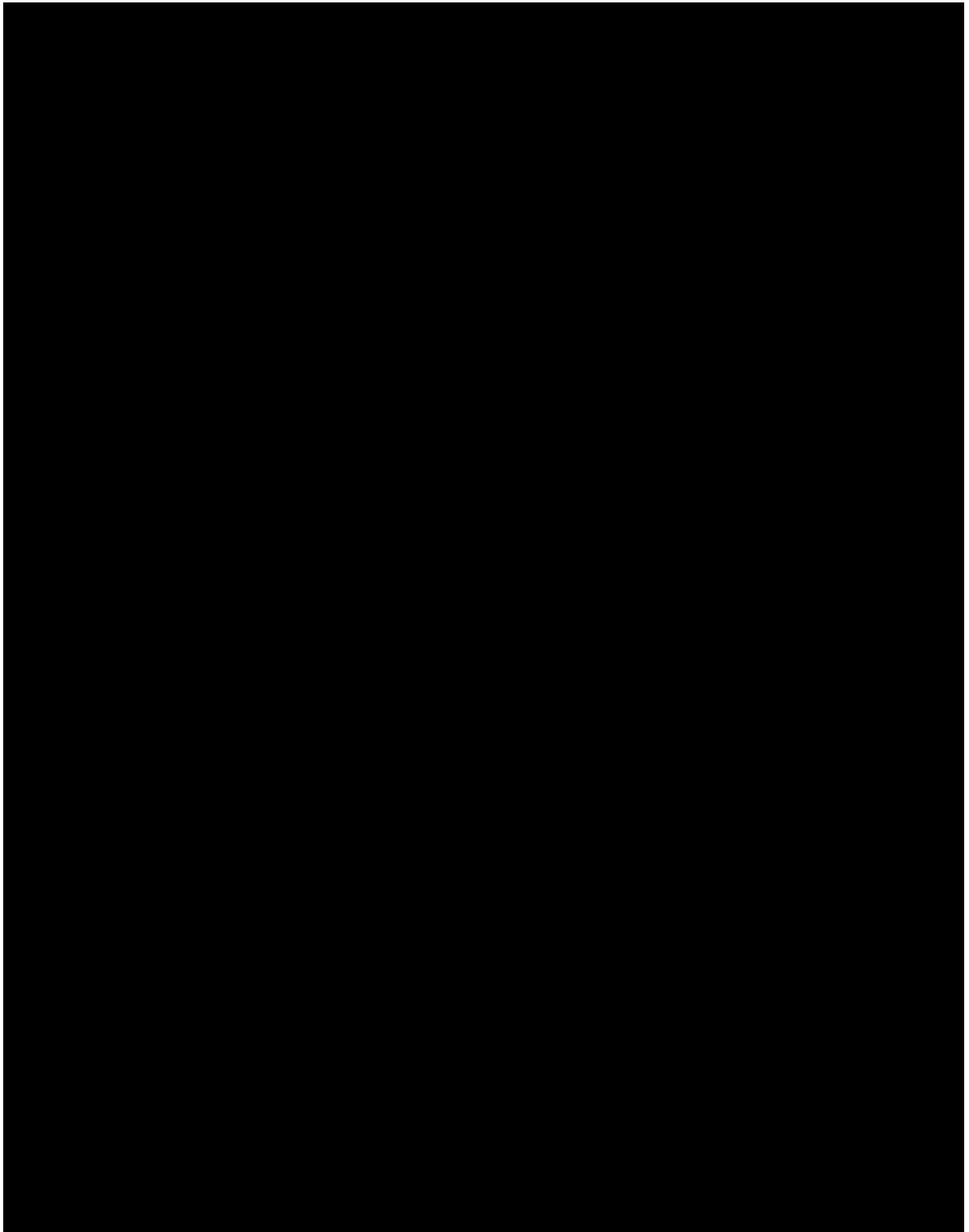
解析結果は、総合的に安全側の評価となっている。

(□)－第 A. 44 表 解析結果と試験結果の比較

項 目		解析結果	試験結果	比 率 (解析／試験)	備 考
加速度 (G)	落下試験 I				
	落下試験 II				
変形量 (mm)	落下試験 I + II				

A. 10.3 内容器蓋Oリング部変位

1.2m上部垂直降下時における内容器蓋Oリング部変位の解析モデルを(□)－第A.102図に示す。



(□)－第A.102図 1.2m上部垂直落下時内容器蓋解析モデル

(㉓)－第 A. 96 図に示すように、内容器蓋には、収納物及び燃料バスケット質量が中央部に等分布荷重として、また、内容器蓋自重が等分布荷重として作用する。

これに対し、内容器蓋は緩衝材の円環状反力そして内容器蓋締付ボルトにて支持される。

これらの荷重を受ける内容器蓋 O リング部における部位は(㉓)－第 A. 96 図に示す①、②、③及び④の各モデルの解析結果を重ね合せることにより、求めることができる。

① 収納物＋燃料バスケット

(㉓)－第 A. 96 図に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる変位 ω_1 (mm) は次式で与えられる。

$$\omega_1 = \frac{P_1 b^4}{16D} \left\{ \frac{r^4}{4b^4} - \frac{4a^2 - (1-\nu)b^2}{2(1+\nu)a^2} \cdot \frac{r^2}{b^2} - \left[2 \frac{r^2}{b^2} + 1 \right] \ln \frac{a}{b} + \frac{4(3+\nu)a^2 - (7+3\nu)b^2}{4(1+\nu)b^2} \right\}$$

ここで、

ω_1 ; 内側 O リング部変位 [mm]

ν ; ポアソン比 ν

a ; 内容器蓋支持点半径 a

b ; 荷重半径 b

r ; 内側 O リング溝の半径 r

m_3 ; 燃料バスケット質量 m_3

m_4 ; 収納物質量 m_4

N ; 加速度 N

h ; 内容器蓋の最少板厚 h

E ; 縦弾性係数 E

P_1 ; 収納物及び燃料バスケットによる等分布荷重

P_1 [N/mm²]

D ; 内容器蓋の曲げ剛性

D [N・mm]

したがって、収納物と燃料バスケットによる変位 ω_1 は次の値となる。



② 内容器蓋自重

(ロ) 第 A. 96 図②に示すように、内容器蓋自重による等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる変位 ω_2 (mm) は次式で与えられる。

$$\omega_2 = \frac{P_2 a^4}{64D} \left[1 - \frac{r^2}{a^2} \right] \left[\frac{5 + \nu}{1 + \nu} - \frac{r^2}{a^2} \right]$$

ここで、

ω_2 ; 内側Oリング部変位 [mm]

ν ; ポアソン比 ν

a ; 内容器蓋支持点半径 a

r ; 内側Oリング溝の半径 r

h ; 内容器蓋の板厚 h

N ; 加 速 度 N

γ ; 内容器蓋の密度 γ

D ; 内容器蓋の曲げ剛性 D

P_2 ; 内側器蓋自重による等分布荷重

$$P_2 = \gamma \text{ [Redacted]} \quad [\text{N/mm}^2]$$

したがって、内容器蓋自重による変位 ω_2 は次の値となる。

$$\omega_2 \text{ [Redacted]}$$

③ 緩衝材反力控除分

(ロ) 第 A. 96 図③に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる変位 ω_3 (mm) は次式で与えられる。

$$\omega_3 = \frac{P_3 C^4}{16D} \left\{ \frac{r^4}{4C^4} - \frac{4a^2 - (1-\nu)C^2}{2(1+\nu)a^2} \cdot \frac{r^2}{C^2} - \left[2 \frac{r^2}{C^2} + 1 \right] \ln \frac{a}{C} + \frac{4(3+\nu)a^2 - (7+3\nu)C^2}{4(1+\nu)C^2} \right\}$$

ここで、

ω_3 ; 内側Oリング部変位 [mm]

ν ; ポアソン比

ν

a ; 内容器蓋支持点半径

a

C ; 荷重半径

$$C = C_0 + \delta \cdot$$

C_0 ; 円錐上部半径

C_0

α ; 円錐角

α

δ ; 緩衝材変形量

δ

D ; 内容器蓋の曲げ剛性

D

P_3 ; 緩衝材の圧縮応力

P_3

r ; 内側Oリング溝の半径

r

したがって ω_3 は次の値となる。

ω_3

=

④ 緩衝材反力

(㍀) - 第 A. 96 図④に示すように、緩衝材反力の等分布荷重を受ける周辺支持円板に生ずる変位 ω_4 (mm) は次式で与えられる。

$$\omega_4 = \frac{P_4 a^4}{64D} \left[1 - \frac{r^2}{a^2} \right] \left[\frac{5+\nu}{1+\nu} - \frac{r^2}{a^2} \right]$$

ここで、

ω_4 ; 内側Oリング部変位 [mm]

ν ; ポアソン比

ν

a ; 内容器蓋支持点半径

a

r ; 内側Oリング溝の半径 r
 D ; 内容器蓋の曲げ剛性 D
 P_4 ; 緩衝材の圧縮応力 P_3

したがって、緩衝材反力による変位 ω_4 は次の値となる。

ω_4

以上の結果より、1.2m上部垂直落下時における全体の変位 ω は、次の値となる。

$\omega =$

また、9m上部垂直落下については、加速度；、緩衝材の圧縮応力；
 1.2m上部垂直落下の値と置き直し、同様の解析を行う。それらの評価結果を(□)－第A.45表に示す。

(□)－第A.45表 内容器蓋内側Oリング部変位量解析結果

[mm]

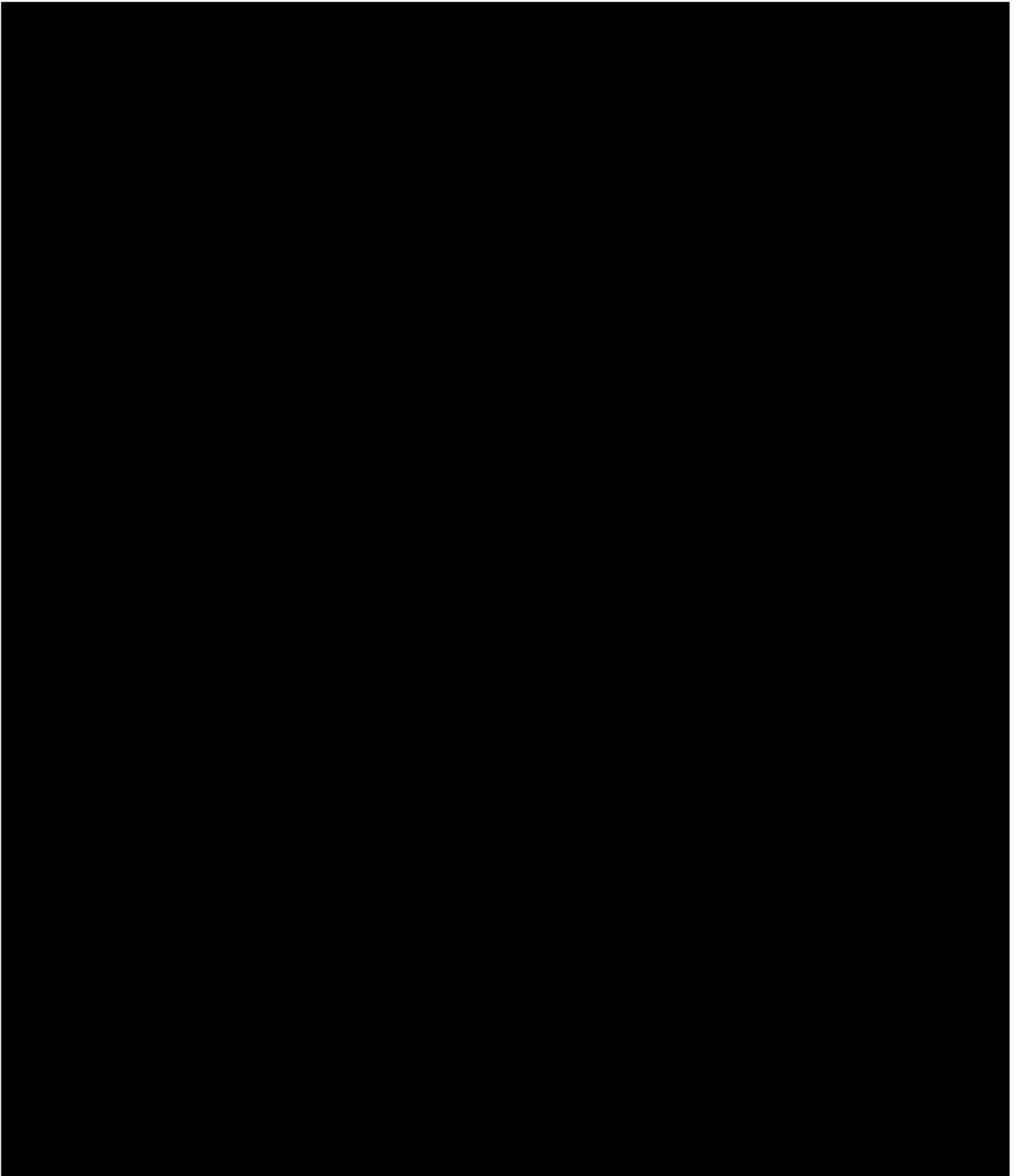
No.	解析条件	変位	変位量	変位量合計	※残留締め代
1	一般の試験条件(内圧)	ω_0			
		ω_1			
	1.2mの上部垂直落下	ω_2			
		ω_3			
		$-\omega_4$			
2	一般の試験条件(内圧)	ω_0			
		ω_1			
	9mの上部垂直落下	ω_2			
		ω_3			
		$-\omega_4$			

※ 残留締め代＝初期締め代－変位量合計

(□)－第A.45表に示すように、1.2m及び9m上部垂直落下時における内側Oリング部の残留締め代はいずれの時も正であり、輸送物の密封性は維持される。

A. 10.4 緩衝材の低温時応力-歪特性

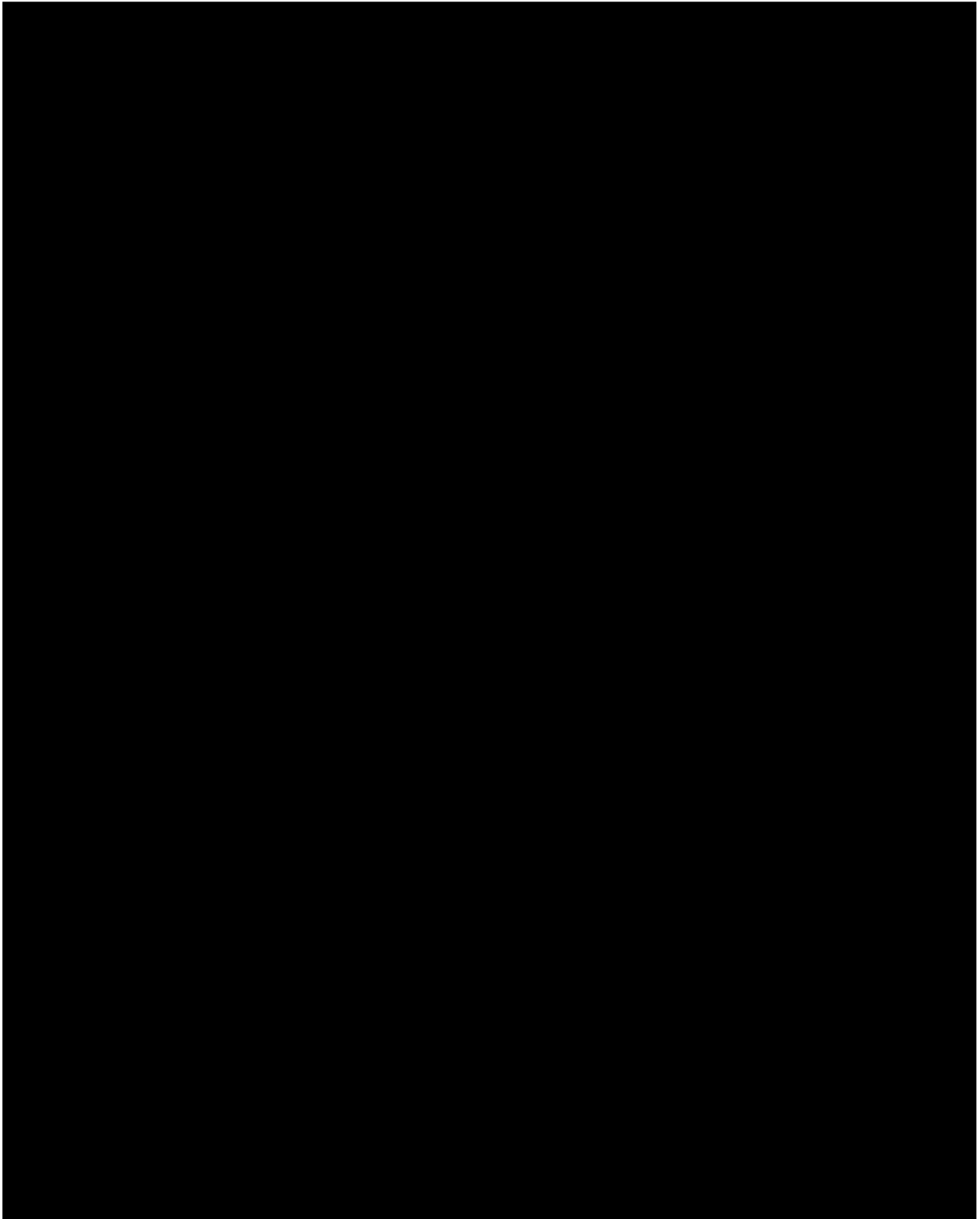
緩衝材の低温における応力-歪特性を(a) - 第 A. 103 図に示す。



(a) - 第 A. 103 図 緩衝材の低温時応力-歪線図^[4]

A. 10.5 [redacted] 応力-歪特性

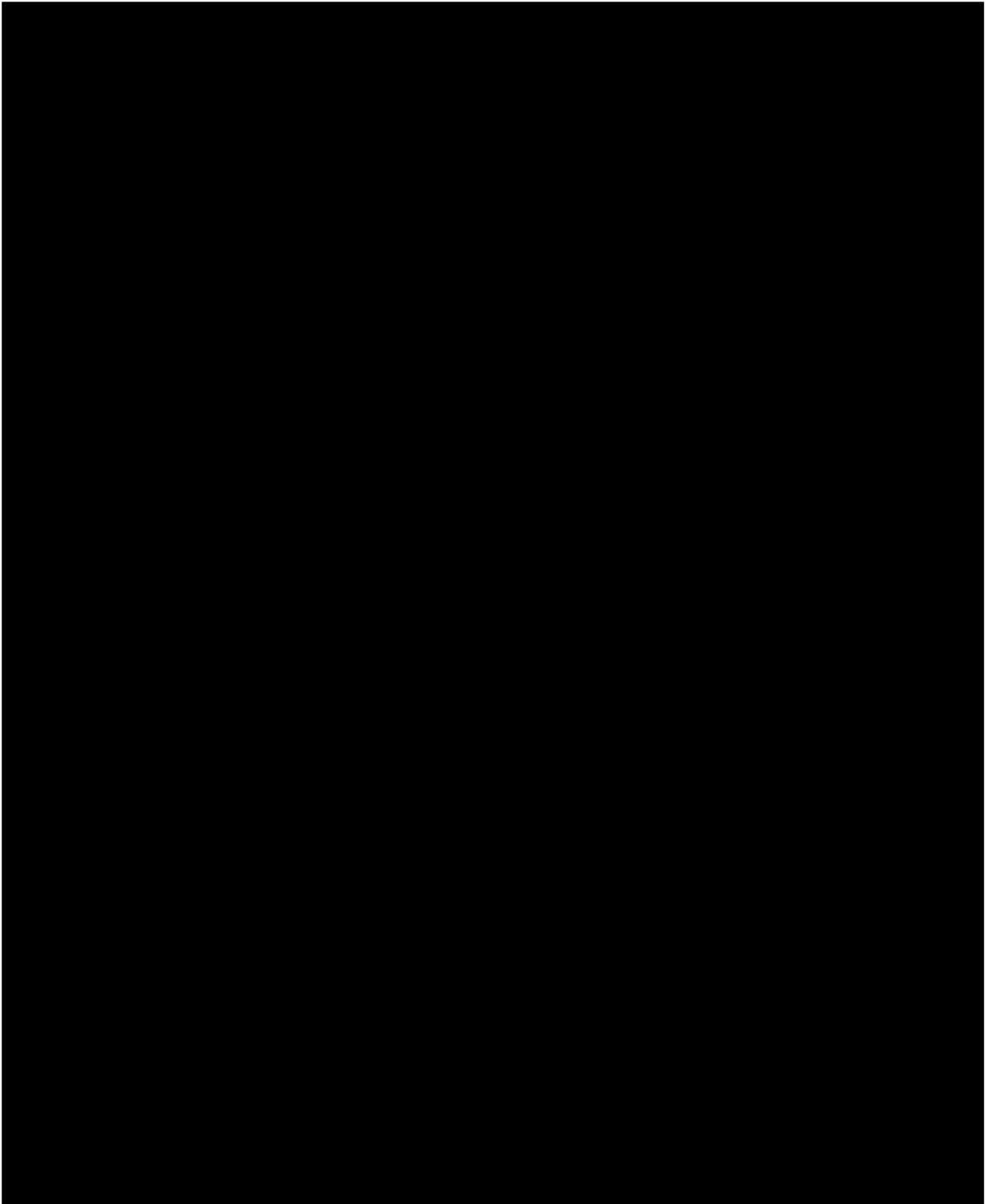
[redacted] の応力-歪特性を (a) - 第 A. 104 図 に示す。



(a) - 第 A. 104 図 [redacted] の応力-歪線図^[4]

A. 10.6 ■■■■■ の低温強度

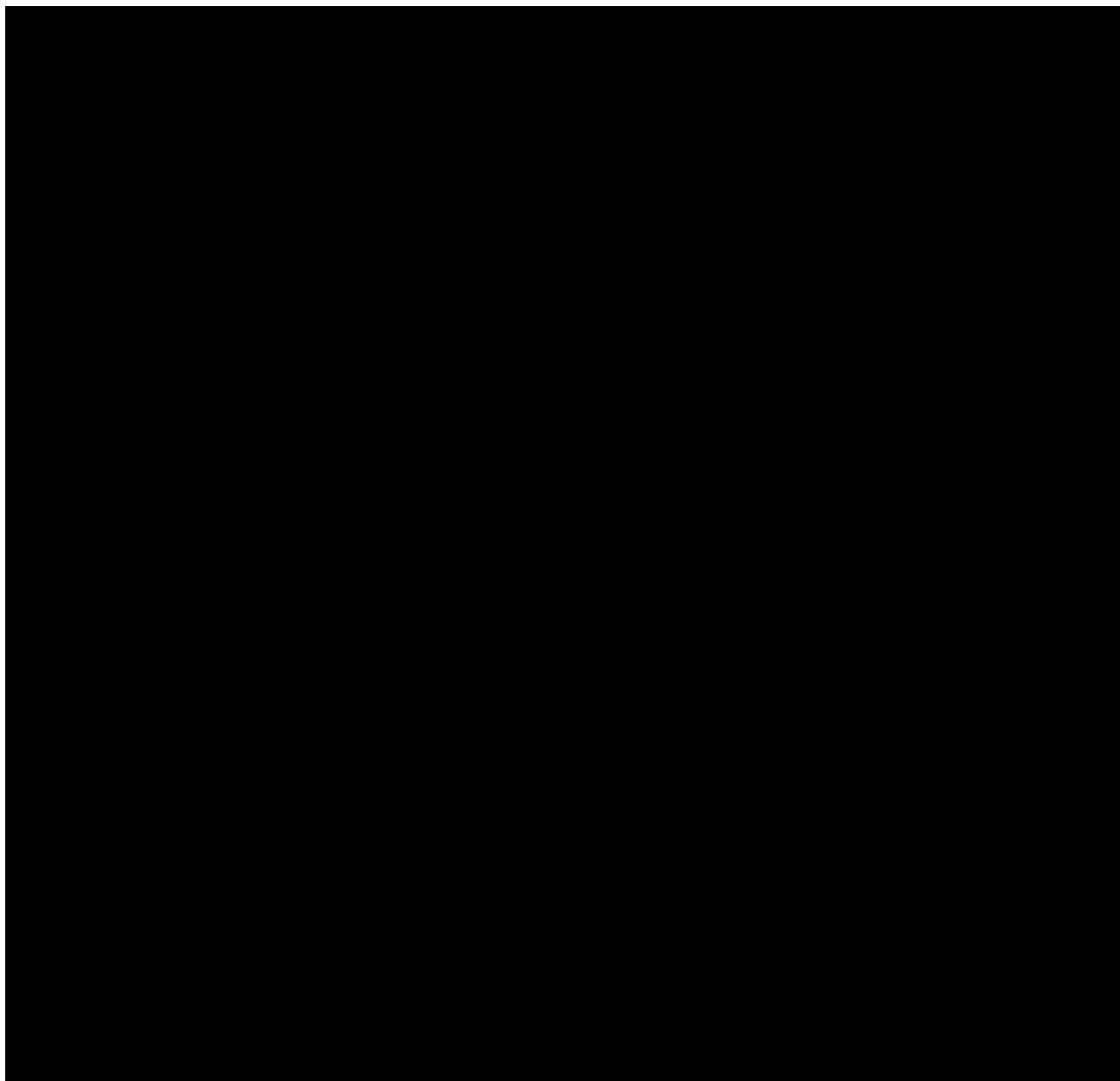
■■■■■ の低温時機械的性質を (□)－第 A. 105 図に示す。



(□)－第 A. 105 図 ■■■■■ の低温強度^[16]

A. 10.7 ■■■■■ の低温衝撃値

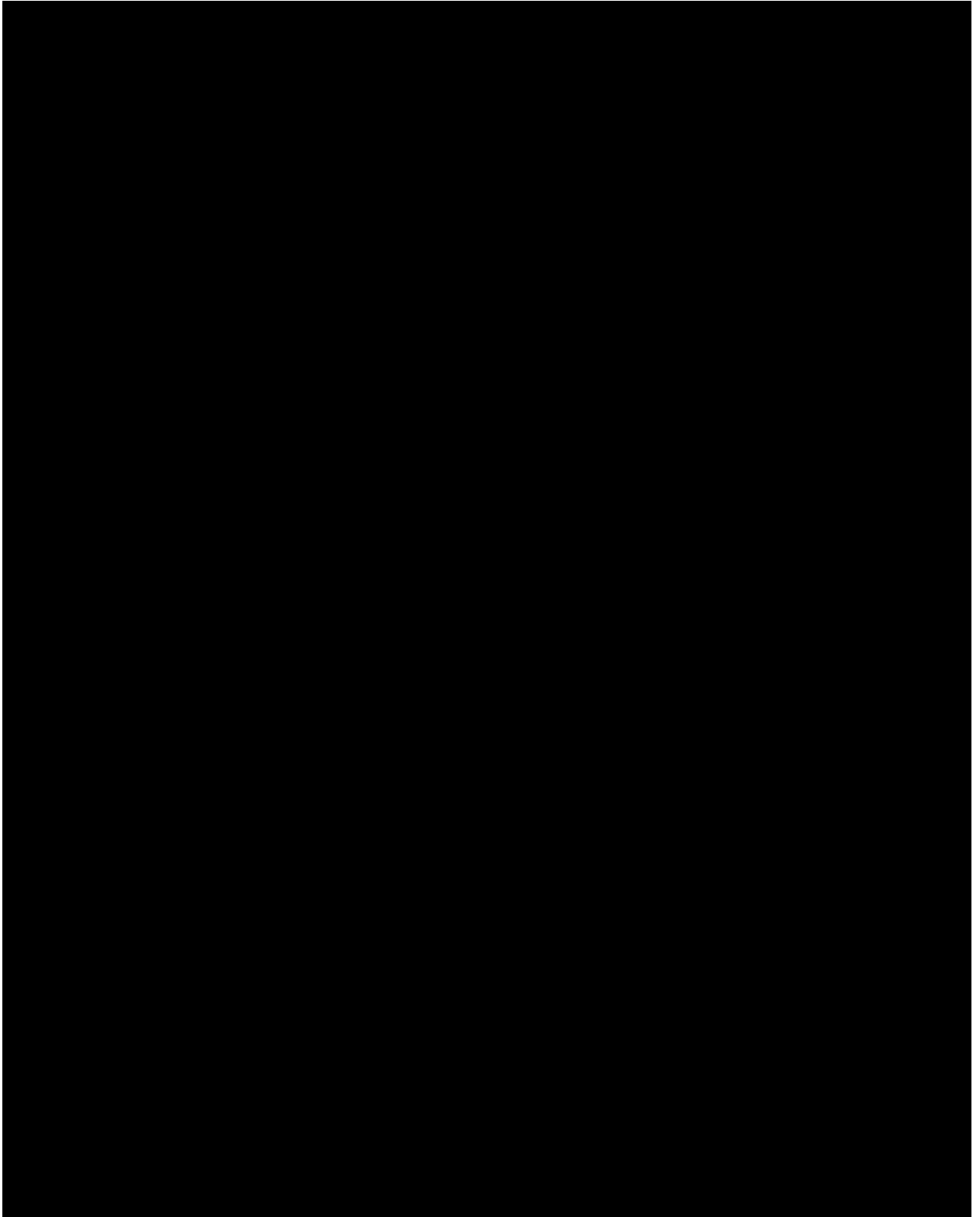
■■■■■ の低温衝撃値を (□) - 第 A. 106 図に示す。



(□) - 第 A. 106 図 ■■■■■ の低温衝撃値^[16]

A. 10. 8 [redacted] の低温衝撃値

[redacted] の低温衝撃値を (□) - 第 A. 107 図に示す。

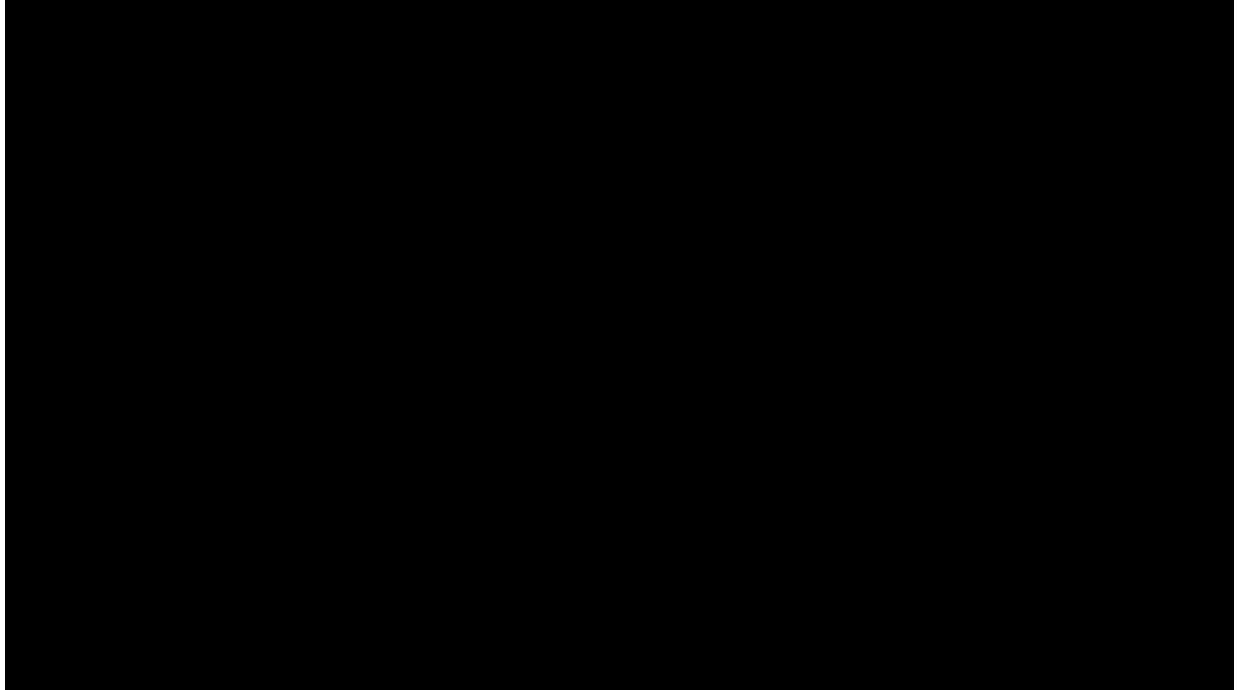


(□) - 第 A. 107 図 [redacted] の低温衝撃値^[18]

A.10.9 内容器蓋締付ボルトの締付トルクの算出方法

本項においては、内容器蓋締付ボルト（以下、この項で「ボルト」という。）の初期締付力について解析する。

解析モデルを(□)－第 A.108 図に示す。



(□)－第 A.108 図 内容器蓋締付ボルト初期締付力解析モデル

(□)－第 A.108 図に示すボルトの必要最少締付力は次式で与えられる。

$$F_{min} = F_C + F_G + F_H$$

ここで、

F_{min} : ボルトの必要最少締付力 [N]

F_C : 外力が作用したときの内容器蓋から失われる圧縮力 [N]

F_G : Oリング部の締付力 [N]

F_H : 熱膨張差による低下締付力 [N]

であり、 F_C 、 F_G 、 F_H を下記に解析する。

(1) 外力が作用したときの内容器蓋から失われる圧縮力 F_C は次式で与えられる。

$$F_C = (1 - \phi) W_a = (1 - \phi) (W_1 + W_2) / n$$

ここで、

$$W_a ; \text{軸方向外力 } W_a = (W_1 + W_2) / n$$



W_1 ; 内圧による荷重

$W_1 =$

P ; 最大内圧

P

G_1 ; 内側リング径

G_1

W_2 ; 9m上部垂直落下時荷重

$W_2 =$

n ; ボルト本数

n

ϕ ; ボルト内力係数

ϕ

K_t ; ボルト

K_t

l_a ; ボルト円筒部の長さ

l_s ; ボルト細胴部の長さ

A_b ; ボルト円筒部の断面積

A_b

A_s ; 有効断面積

A_s

d_2 ; ボルトの谷径

E_b ; ボルトの縦弾性係数

$l\delta$; ナット側はめあいねじ部の弾性変位に対する

等価長さ

K_C ; 内容器蓋の圧縮ばね定数

K_C

l_K ; 締付長さ

l_K

d_1 ; ボルト穴の直径

$d_1 =$

B ; ボルト接触面直径

B

d_m ; 等価円筒の直径

d_m

E_c ; 内容器蓋の縦弾性係数

したがって、

$$F_c = (1 - \phi) W_a =$$

また、外力によるボルトの引張力 F_t は

$$F_t =$$

$$F_G = \pi (G_1 + G_2) \times q / n$$

ここで、

G_1 ; 内側Oリング径 G_1

G_2 ; 外側Oリング径 G_2

q ; Oリングの線荷重 q

したがって、

$$F_G$$

(3) 熱膨張差による低下締付力 F_H

内容器蓋とボルトは同材質であるため $F_H = 0$ となる。

以上の結果より、必要最少締付力は次の値となる。

$$F_{min} = \quad [N]$$

(4) ボルトの初期締付力

ボルトの初期締付力 F_o は、必要最少締付力に余裕を持たせた値とし、次の値とする。

(5) ボルトの初期締付トルク

ボルトの初期締付トルクは次式で与えられる。

$$T = k \cdot d \cdot F_o \quad [N \cdot mm]$$

ここで、

k ; トルク係数

[一]

(6) ボルト締付三角形

以上の解析結果を(□)－第 A. 109 図のボルト締付三角形に示す。

なお、図中の記号を下記に示す。

F_o ; ボルト初期締付力

F_o

F_{min} ; ボルトの必要最少締付力

F_{min}

W_a ; 軸方向外力

W_a

F_t ; 外力が作用したときのボルト引張力増加 F_t

F_c ; 外力が作用したときの蓋圧縮力減少 F_c

F_c' ; 内容器蓋に残る圧縮力 F_c'

F_H ; 熱膨張差による締付力低下 F_H

F_b ; ボルト引張力 F_b

F_G ; Oリング締付力 F_G

(□)－第 A. 109 図に示すように、内容器蓋に残る圧縮力 F_c' は Oリング締付力 F_G より大きい。

したがって、初期締付力 F_o により、Oリング部の密封性は維持される。

(㉓)－第 A.109 図 内容器蓋締付ボルト締付三角形

(㉓)－第 A.109 図の説明

(1) 本図は、初期締付け力 F_0 から軸方向外力 W_a が作用しても、蓋部に残る圧縮力 $F_{c'}$ は Oリング締付け力 F_c より大きいことを示している。

(2) 蓋ボルトには、初期締付けによってボルト軸部に F_0 なる引張り力、被締付け物（蓋部）に F_0 なる圧縮力を生じて A 点でつりあっている状態を示している。

(3) 蓋ボルトに軸方向外力 W_a が作用すると、ボルト及び蓋の状態は B 点及び C 点に移動する。

 B 点はボルト軸部に F_t なる引張り力が作用し、A 点より δ の伸びが生じ移動する。

 C 点は、被締付け物（蓋部）から F_c なる圧縮力が失われ、締付け長さは δ だけ伸び、A 点から C 点へ移動する。

(4) 即ち、ボルトに F_t なる引張り力が追加され、被締付け物（蓋部）から F_c なる圧縮力が失われ、締付け長さは δ だけ伸びる。この時、被締付け物（蓋部）に残存する圧縮力は $F_{c'}$ となる。

A. 10. 10 参考文献

- (1) ASME Sec. III Subsec. NB (1974)
- (2) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準
(昭和 55 年、告示第 501 号)
- (3) “ボイラ・圧力容器構造規格の解説” (1980) 日本ボイラ協会
- (4) ██████████
- (5) ROARK, J. R. “Formulas for Stress and Strain (FIFTH EDITION)”
Mc GRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY (1975)
- (6) S. P. チモシェンコ “板とシェルの理論 (I)” 長谷川節訳
- (7) “機械工学便覧” (改定第 6 版) 日本機械学会 (1977)
- (8) J. P. Den Hartog Mechanical Vibrations, McGraw-Hill Book Co.
- (9) 水原旭他 “構造計算便覧”
産業図書出版(株) (1965)
- (10) “構造力学公式集” 土木学会編
- (11) 関谷壮他 “平板構造強度便覧” 朝倉書店
- (12) “弾性安定要覧” 長柱研究委員会、コロナ社
- (13) “使用済核燃料輸送容器の構造解析プログラムの開発・整備に関する調査報告書 (II)” (1983) 日本機械学会
- (14) IAEA Guide Book Vol. 2 “Research Reactor Core Conversion Safety Analysis and Licensing Issues Fuels”
- (15) On the Prediction of Deformation and Deceleration of a Composite Cylindrical Body for the Corner Drop Case.
CONF-710801 (Vol. 2). 1971, ██████████
- (16) 長谷川正義 “ステンレス鋼便覧” 日刊工業新聞社
- (17) “強度設計データブック” 強度設計データブック編集委員会編
- (18) 藤田輝夫 “ステンレス鋼の熱処理” 日刊工業新聞社
- (19) S. P. チモシェンコ “座屈理論” 仲威雄 他訳、コロナ社
- (20) ██████████ (第 4 版)” 軽金属協会 (1990)
- (21) “複合材料技術集成” 産業技術センター (1976)
- (22) ニチアス(株)社内データ
- (23) “発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)” 日本機械学会
- (24) “発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2012 年版)” 日本機械学会
- (25) ██████████る原型容器試験結果報告書”
平成 2 年 5 月 ██████████

B 熱 解 析

(ロ)－B．熱解析

B.1 概要

本解析では、本輸送物が規則に定められた一般の試験条件下及び特別の試験条件下において熱的性能を満足し、輸送物が健全であることを示す。

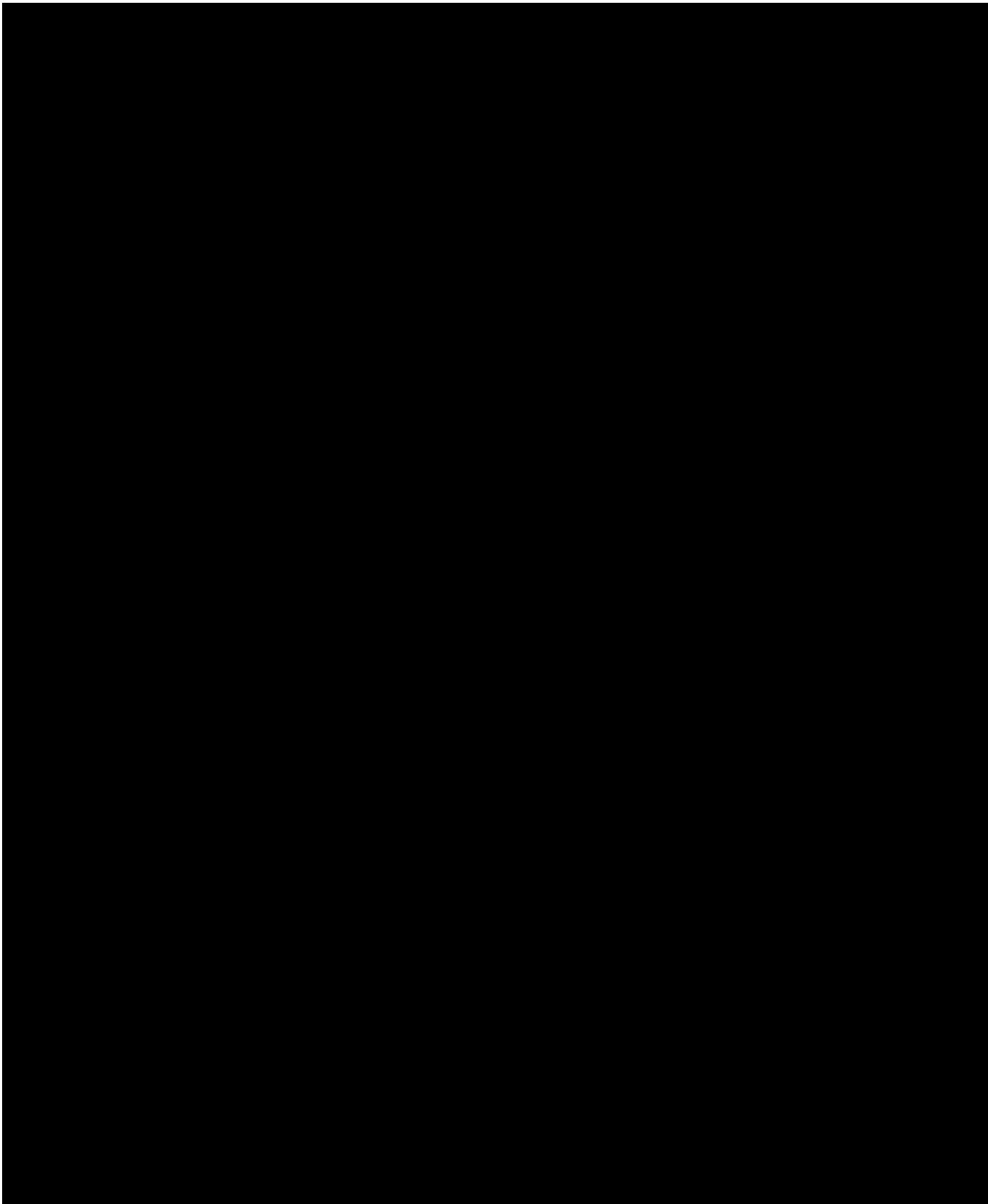
本輸送容器は、「乾式」タイプの輸送容器であり、輸送物としては■■■■■■で固縛装置に固定されて輸送される。したがって、本解析は、■■■■■■で解析する。

B.1.1 熱設計

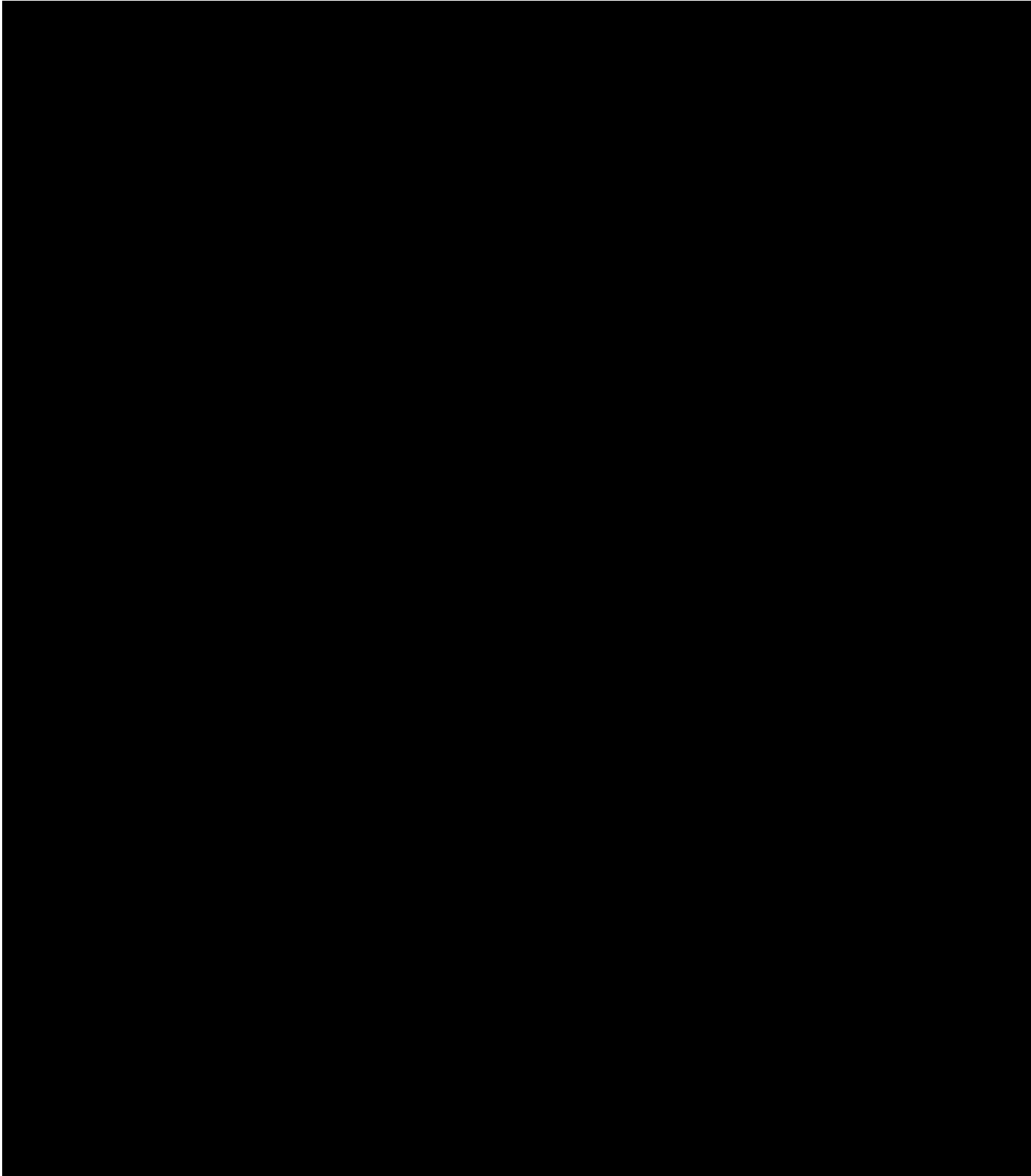
本輸送容器の構成を(ロ)－第 B.1 図に示す。本輸送容器は、同図に示すように本体、内容器蓋、燃料バスケット及び外容器蓋等により構成されている。なお、燃料バスケット2については、燃料バスケット1と同様の形状で大きな差異はないため、燃料バスケット1と同様の取り扱いとする。

本輸送物の熱設計上の特徴を以下に示す。

- (1) 収納物である燃料要素等は、(イ)章Dに示す通り6種類あるが、これら収納物から発生する崩壊熱は微小であるため、解析上は収納物からの発熱を無視する。
- (2) 輸送物の伝熱 ((ロ)－第 B.2 図参照)
 - (a) 輸送物への入熱は、太陽放射熱及び特別の試験条件下における火災時の熱である。
 - (b) 輸送物外表面の熱は、伝導により内容器本体及び内容器蓋の内面まで伝えられる。



(㉓) - 第 B. 1 図 輸送容器構成図



(㉓) - 第 B. 2 図 熱伝達概念図

- (c) 内容器本体及び内容器蓋の内面の熱は、自然対流と伝導により燃料バスケット外表面へ伝えられる。
- (d) 燃料バスケット内部については、以下の理由から熱解析モデルとしては無視し、断熱条件とすることにより燃料バスケット外表面の温度で燃料要素及び燃料バスケット外表面の温度を代表させるものとする。
- (i) 一般の試験条件下においては、内部発熱が微少のため内部で温度勾配が生じない。
 - (ii) 特別の試験条件下においては、外部入熱のみであり、最高温度は、外部よりも内部の方が低くなる。
- (3) 緩衝材の██████は、特別の試験条件下における火災時に断熱性能を有する。
- (4) 外容器本体及び外容器蓋の外装板には、特別の試験条件下における火災時の熱により緩衝材及び断熱材から発生する蒸気やガスが放出されるので、内圧上昇を防止するための溶融栓を設けている。
- (5) 本輸送容器の気密性を保持する内容器蓋Oリング部は、断熱材及び緩衝材の断熱効果により、特別の試験条件下における火災による入熱から保護される。

B.1.2 熱解析の条件と方法

(1) 熱解析の条件

熱解析に使用した一般の試験条件下及び特別の試験条件下に対する熱的条件を
(□)－第B.1表に示す。

(□)－第B.1表 熱解析条件

項 目 \ 条 件		一 般 の 試 験 条 件	特 別 の 試 験 条 件		
			火 災 前	火 災 時	火 災 後
崩 壊 熱					
環 境 条 件	周 囲 温 度				
	太 陽 放 射 熱				
	周 囲 放 射 率				
容 器 表 面 放 射 率					

- (a) 火災にさらされない鋼[]の表面放射率
- (b) 火災にさらされている鋼[]の表面放射率
- (c) 火災にさらされた後の鋼[]の表面放射率

(2) 熱解析の方法

熱解析を実施する時の方法について(□)－第B.2表に示す。

(□)－第B.2表 熱解析の方法



項 目		内 容
収 納 物 仕 様		燃料要素 ((イ)章D参照)
最 大 崩 壊 熱 (W)		0
計算モデル	輸 送 容 器	軸対称2次元モデル
	収 納 物	—
温 度 計 算		簡 易 解 析 *
		非定常熱解析コードTRUMP** (B.6.2参照)
使用物性値 (熱的性質)		B.2 材料の熱的性質

* : 一般の試験条件

** : 特別の試験条件

B.2 材料の熱的性質

本輸送物の構成材料は、イ章に示す通りである。これらの材料のうち熱解析で使用した材料は以下のとおりであり、各々の材料の熱的性質を以下に示す。

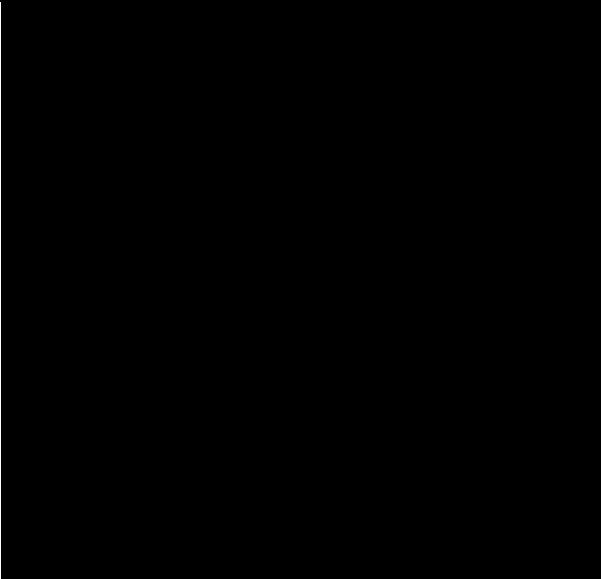
- ・ ステンレス鋼
- ・ 空 気
- ・ 緩衝材 
- ・ 断熱材 

(1) ステンレス鋼

ステンレス鋼の熱的性質を (ロ)－第 B.3 表 ⁽¹⁾ に示す。

ステンレス鋼は、内容器、外容器等本輸送容器の主要構造材として使用する。

(ロ)－第 B.3 表 ステンレス鋼の熱的性質

比重量	
温 度 (°C)	
50	
100	
200	
400	
600	
800	

(2) 空 気

空気の熱的性質を(□)－第 B.4 表⁽²⁾に示す。

(□)－第 B.4 表 空気の熱的性質

比重量	9.16×10^{-4} (g/cm ³)	
温 度 (°C)	比 熱 (kJ/(kg·K))	熱 伝 導 率 (mW/(m·K))
0	1.005	24.07
40	1.009	27.21
100	1.013	31.63
140	1.017	34.54
200	1.026	38.61
500	1.093	56.17
800	1.156	70.94

(3) 緩衝材 [REDACTED]

緩衝材 [REDACTED] の熱的性質を (□) - 第 B.5 表⁽⁶⁾ に示す。

[REDACTED] は、本輸送容器の上部及び下部に緩衝材として使用されているが、熱的には断熱効果がある。

(□) - 第 B.5 表 緩衝材 [REDACTED] の熱的性質

比重量	[REDACTED]
温 度 (°C)	[REDACTED]
0	[REDACTED]
50	[REDACTED]
100	[REDACTED]
150	[REDACTED]
200	[REDACTED]
250	[REDACTED]
275	[REDACTED]
320	[REDACTED]
350	[REDACTED]
500	[REDACTED]
900	[REDACTED]

(4) 断熱材 [REDACTED]

断熱材 [REDACTED] の熱的性質を (□) - 第 B. 6 表 ⁽³⁾ に示す。


(□) - 第 B. 6 表 断熱材 [REDACTED]) の熱的性質

比重量	[REDACTED]
温 度 (°C)	[REDACTED]
20	[REDACTED]
50	[REDACTED]
100	[REDACTED]
250	[REDACTED]
300	[REDACTED]
400	[REDACTED]
800	[REDACTED]

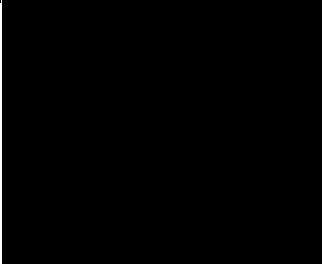
B.3 構成要素の仕様

熱解析をする上で関連する構成要素の仕様を以下に示す。

(1)  Oリング

 Oリングの仕様を(□)－第B.7表⁽⁴⁾に示す。

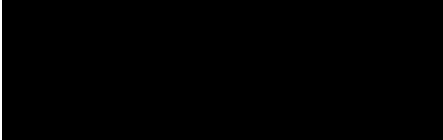
(□)－第B.7表  Oリングの仕様

項	目	仕	様
材	質		
硬	度		
通常使用温度			
事故時使用温度及び時間			

(2) 溶融栓

溶融栓の仕様を(□)－第B.8表に示す。

(□)－第B.8表 溶融栓の仕様

項	目	仕	様
材	質		
融	点		

B.4 一般の試験条件

本輸送物が一般の試験条件下において、規則に定められた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

本輸送物の収納物の崩壊熱は微小であるため、解析では、収納物からの発熱を無視する。

したがって、環境温度 38°C の日陰において、本輸送物は収納物からの発熱がなく太陽入熱がないため、外表面温度は 38°C 以上にはならない。

一般の試験条件下における本輸送物の温度上昇は、環境温度 38°C において太陽放射熱の入熱によるものである。

本解析は、本輸送物への入熱は太陽放射熱、放熱は自然対流と放射とし、XXXXXXXXXXのモデルを考える。

本解析は、付属書類 B.6.1 に示す方法により簡易計算で求める。

B.4.1.1 解析モデル

ここでは、計算に使用した以下の項目について述べる。

- ・形状モデル
- ・解析条件
- ・輸送物の伝熱

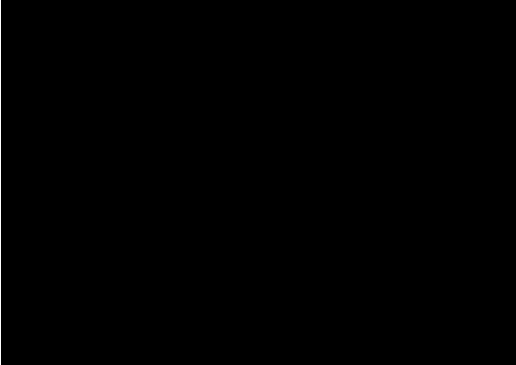
(1) 形状モデル

一般の試験条件下での熱解析の形状モデルは、輸送容器の変形がないものとし、垂直状態に置かれたXXXXXXXXXXの円筒とする。

(2) 解析条件

解析に使用した一般の試験条件下の熱的条件を(□)－第 B.9 表に示す。

(ロ)－第 B.9 表 一般の試験条件下の熱的条件

項 目		条 件
崩 壊 熱 (W)		
環 境 条 件	周 囲 温 度 (°C)	
	太 陽 放 射 熱 (W/m ²)	
	周 囲 放 射 率	
容 器 表 面 放 射 率		

注) * ; 「垂直に輸送される表面」の放射熱は 200W/m²であるが、安全側に「その他の表面」として 400W/m²とする。

** ; 「水平に輸送される平面」で、かつ「上向きの表面」

(3) 輸送物の伝熱 ((ロ)－第 B.2 図参照)

本輸送物の伝熱について、以下に述べる。

- (a) 輸送物は、一般の試験条件下では変形が小さいので、変形は無視する。
- (b) 熱流入（太陽放射熱）と熱放出（大気への自然対流及び放射）が平衡であるモデルの輸送物表面について定常熱計算を実施する。
- (c) 輸送物の最高温度は、(b)の輸送物表面の最高温度とする。
- (d) 輸送物への入熱は、太陽放射熱のみであり、これは自然対流及び放射により輸送物外面へ伝えられる。
- (e) 輸送物外面の熱は、伝導により内容器本体内面まで伝えられる。

以上の条件より簡易計算で定常熱計算を実施した。

詳細は、付属書類 B.6.1 に示す。

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ない。

B.4.2 最高温度

一般の試験条件下における最高温度を(□)－第B.10表に示す。

(□)－第B.10表 一般の試験条件下における各部の最高温度

項目 部位	一般の試験条件		
	太陽放射熱 なし 周囲温度 38℃	太陽放射熱 あり 周囲温度 38℃	太陽放射熱 なし 周囲温度 -40℃
燃料バスケット外面			
内容器蓋Oリング部			
内容器本体内面			
本体外面			

一般の試験条件下における最高温度は、付属書類 B.6.1 に示すように輸送物各部で
 一様に ■■■ であるが、安全側に ■■■ とする。

B. 4.3 最低温度

太陽放射熱がなく -40°C の静止空気中での輸送物各部の温度は、収納物の崩壊熱が微小で考慮しないため一様に -40°C となる。この温度は、輸送容器に使用している \blacksquare
 \blacksquare Oリングの通常使用温度範囲 \blacksquare 内にあるので、十分その性能を維持できる。また、構造材はステンレス鋼であり脆化することはない。

したがって、本輸送容器の健全性は維持される。

B. 4.4 最大内圧

一般の試験条件下における輸送物最高温度は、B. 4.2 で述べたように \blacksquare 、最低温度 \blacksquare である。一般の試験条件下における最大内圧の評価に当っては、輸送物が一様に \blacksquare になったものとして、容器内空気の熱膨張による圧力を考慮し、付属書類 B. 6.4 に示す計算にて求めた。

その結果、温度が \blacksquare の範囲で、容器内圧力は \blacksquare となる。また \blacksquare の温度変化があった場合であっても、容器内圧力は \blacksquare である。したがって、これら圧力は、設計圧力 \blacksquare より十分小さいので、本輸送物の健全性は維持される。

B. 4.5 最大熱応力

一般の試験条件下における熱応力は、(ロ)章の A. 5.1 項で述べたように構造強度に悪影響を与えることはない。

B.4.6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下における熱解析の結果に基づく評価は、以下に示す通りであり、構造強度及び密封性能に悪影響を与えないことを確認した。なお、すでに上述のとおり、輸送物の構成部品の最低温度は■■■■、最高温度は■■■■として、評価を実施した。

(1) 輸送物表面温度

本輸送物の表面温度は■■■■であり、許容基準温度 85°Cを超えない。

(2) 構造強度

構造強度上問題となる最大内圧、熱応力及び最高温度について以下に述べる。最大内圧については、容器内の内圧上昇が■■■■となり、設計圧力■■■■以下である。したがって構造強度に影響を与えない。熱応力については、(ロ)章の A.5.1 項で述べたように構造強度に悪影響を与えることはない。

最高温度については、本輸送物の構造材において、先に述べた■■■■の最高温度で溶融するものはなく、各部とも十分な強度を有する。

(3) 密封性能

密封性能上問題となる密封境界の内容器蓋Oリングの温度、変形及び最大内圧について以下に述べる。

密封境界である内容器蓋Oリングの温度は■■■■となる。この値は、■■■■Oリングの通常使用温度範囲(■■■■)内であり劣化することはない。

変形については、密封境界に影響を与えるようなものは発生しない。

外圧が 60kPa まで低下した場合における内外圧力差は■■■■である。これに対し、内容器の内圧は設計圧力である■■■■であるため、外圧が 60kPa まで低下した場合でも、密封装置の構造健全性及び密封性が確保される。

B.5 特別の試験条件

本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熱評価を3次元非定常熱解析コード TRUMP を用いて行った。

B.5.1.1 解析モデル

ここでは、TRUMP による計算に使用した以下の項目について述べる。

- ・形状モデル
- ・解析条件
- ・輸送物の伝熱

(1) 形状モデル

本輸送物は、ロ章A構造解析で示したようにBU型輸送物の要件としての特
別の試験条件下の落下試験において輸送容器に局所的な変形を生じるが、輸送
容器の健全性は保たれる。

落下試験Ⅰによる変形は垂直方向■■■■、水平方向■■■■となるので、特
別の試験条件下での熱解析では緩衝材及び断熱材の寸法を軸方向では変形前
■■■■に、半径方向では■■■■
■■■■に、それぞれ減少させて解析する。

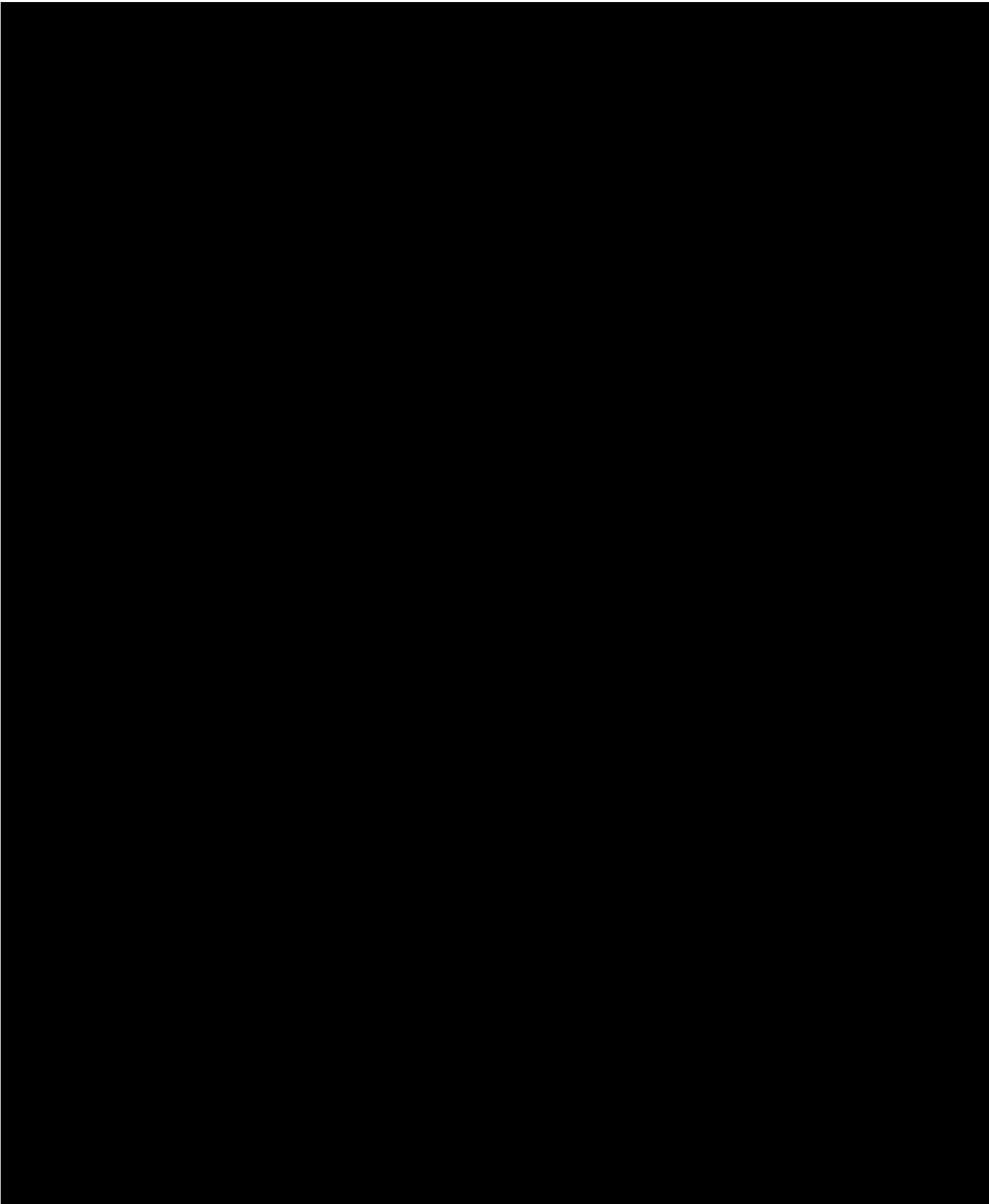
落下試験Ⅱによる変形は局所的なものであり、熱的な影響がないと考えるの
で、モデル化を行なわない。

特別の試験条件の形状モデル(軸対称2次元モデル)を(ロ)―第B.3図に示す。

形状モデルにおいて、燃料バスケットはB.6.3に示す方法にて円筒状におき
かえてモデル化した。

また、形状モデルにおける評価部位は次の通りである。

- ・燃料バスケット
- ・内容器本体内面
- ・内容器蓋Oリング部
- ・本体外面



(ロ) - 第 B.3 図 軸対称 2 次元モデル

(2) 解析条件

解析に使用した熱的条件は、次の通りである。

収納物の崩壊熱は、微少であり考慮しない。特別の試験条件下の熱解析は、特別の試験条件下での強度試験条件に引き続いて、火災事故条件下におかれるものとする。したがって、火災事故に遭遇する前の輸送物の温度分布は、一般の試験条件下の温度分布を使用する。

火災事故時の熱的条件は、周囲温度 []、火災時間 []、火災の放射率 [] とし、容器表面の放射率を [] とする。また、太陽放射熱も考慮する。周囲から容器への熱伝達は、放射とともに対流も考慮する。

火災事故後の熱的条件は、周囲温度 []℃、容器表面の放射率として本体外面で [] 周囲の放射率を [] とした。容器表面からの熱放散は、自然対流と放射を考慮する。また太陽放射熱も考慮する。

以上の解析条件をまとめたものを (p) - 第 B. 11 表に示す。

なお、火災時には [] の熱分解ガスの燃焼時の火災による入熱を考慮する。

(p) - 第 B. 11 表 特別の試験条件下の熱的条件

項 目	初期条件	火災事故時	火災事故後
崩壊熱量 (W)	0		
環 境 条 件	周 围 温 度 (°C)	[]	
	太 陽 放 射 熱 (W/m ²)		
	周 围 放 射 率		
容 器 表 面 放 射 率			

- (a) 火災にさらされない鋼 [] の表面放射率
- (b) 火災にさらされている鋼 [] の表面放射率
- (c) 火災にさらされた後の鋼 [] の表面放射率
- (d) 「垂直に輸送される表面」の放射熱は 200W/m²であるが、安全側に「その他の表面」として 400W/m²とする。
- (e) 「水平に輸送される平面」で、かつ「上向きの表面」の太陽放射熱

(3) 輸送物の伝熱、 ((p) - 第 B. 2 図参照)

本輸送物の伝熱について、以下に述べる。

(a) 輸送物外面への熱は、自然対流及び放射により伝えられる。

(b) 輸送物外面の熱は、伝導により内容器本体内部まで伝えられる。

(c) 内容器本体内部の熱は、放射と伝導により燃料バスケット外面へ伝えられる。

(d) 燃料バスケット内部は、一般の試験条件下と同様に断熱条件とする。

以上の各伝熱について、解析に使用した関係式等を付属書類 B. 6. 3 に示す。

(4) 核分裂性輸送物の熱解析

核分裂性輸送物としての落下の重ね合せを考慮した変形量は、下表に示すように一般の試験条件+9m落下の重ね合せに於いて、((p) - 第 B. 3 図)に示す熱解析モデルでの変形量よりも、垂直落下を除いて小さく、垂直落下に於いてもたかだか [] をこえる程度である。

項 目	垂 直 方 向		水 平 方 向
	蓋 部	底 部	
断熱材の変形前の最小厚さ (mm)	[]		[]
B U型輸送物としての9 m落下 の変形量 (mm)	[]		[]
核分裂性輸送物としての9m 落下 (重ね合せ) の変形量 (mm)	[]		[]
熱解析モデルの変形量 (mm)	[]		[]

() 内は断熱材の変形後の残量を示す。

また落下試験 II を重ね合せた場所においても変形は内容器に達することはない、また変形は局部的なものである。

従って、核分裂性輸送物としての重ね合せを考慮した熱解析モデルは、本熱解析モデルに対し熱的に有意な差はないと考えられるので、核分裂性輸送物としての特別の試験条件下での熱解析は省略する。

B. 5. 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ない。

B. 5. 2 輸送物の評価条件

特別の試験条件下の落下試験により生ずる変形を考慮した(□)－第 B. 3 図を使用し解析を実施した。

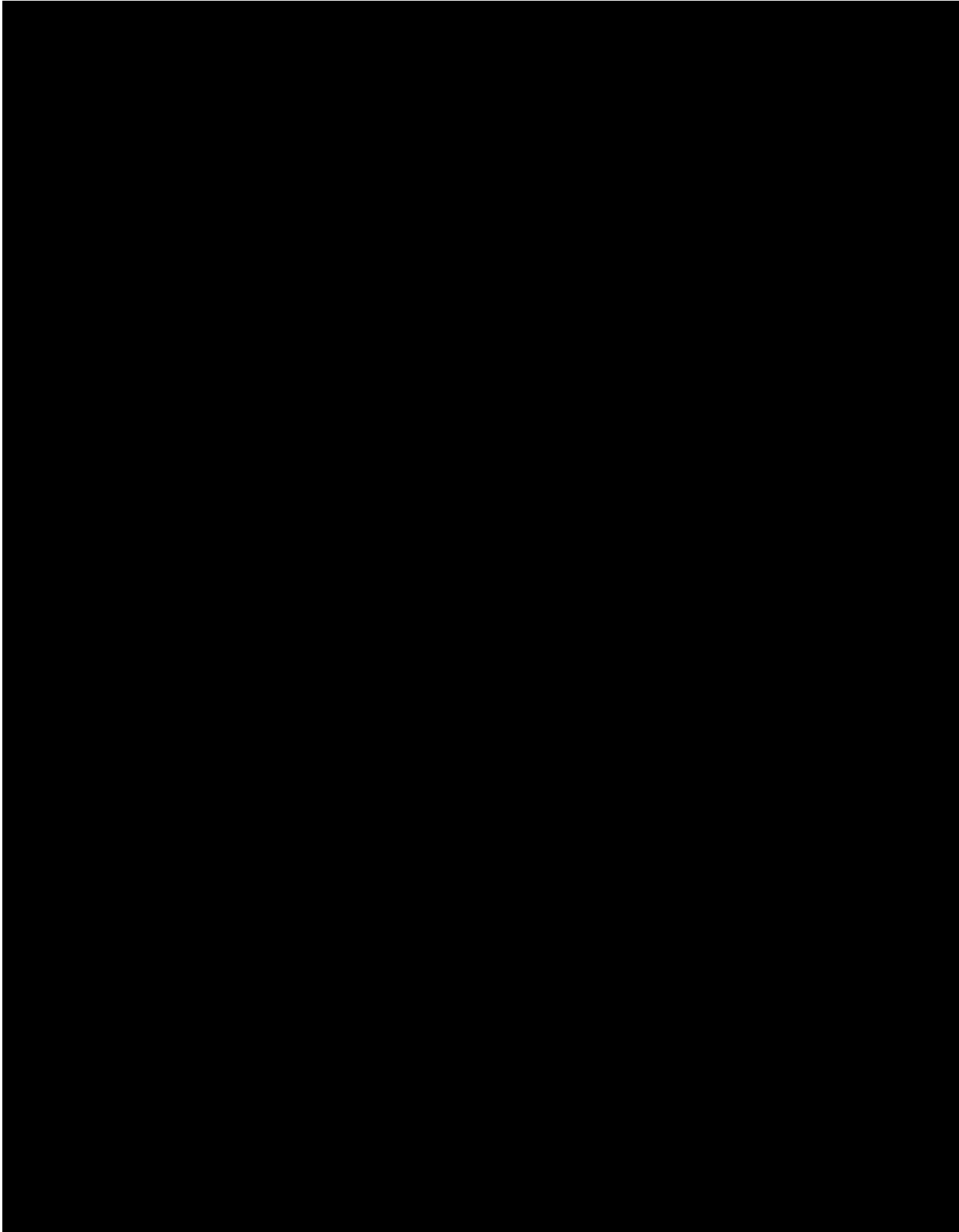
B. 5. 3 輸送物温度

B. 5. 1. 1 で述べた解析モデルを用いた計算結果を(□)－第 B. 4 図に示す。これは、特別の試験条件下での輸送物主要部の温度変化を時間経過とともにプロットしたものである。また、各部の最高温度と火災発生から最高温度到達までの時間を(□)－第 B. 12 表に示す。

(□)－第 B. 12 表 特別の試験条件下における各部の最高温度

項目 部位	特別の試験条件	
	最高温度	火災発生から 最高温度到達 までの時間
燃料バスケット	■	
内容器蓋Oリング部		
内容器本体内面		
本体外面		

注) 本体外面の最高温度が周囲温度 ■ を超えているのは溶融栓から放出された断熱材から発生したガスの燃焼によるものである。



(ロ)一第B.4図 特別の試験条件下における各部の温度履歴

(2) 圧 力

(1) 温度の項で述べたように、特別の試験条件下において輸送物各部の温度が上昇する。これらの温度上昇によって容器内の空気が熱膨張し容器内圧が上昇する。

容器内圧の解析条件として、燃料バスケット外面の最高温度 [redacted] で評価する。特別の試験条件下における容器内の最高圧力を (ロ) ー第 B. 13 表に示す。

(ロ) ー第 B. 13 表 特別の試験条件下における容器内の最高圧力

条 件 位 置	特別の試験条件下 における最高圧力 (MPa [gauge])
容 器 内	[redacted]

特別の試験条件下での最高圧力は、(ロ) ー第 B. 13 表に示すとおり [redacted] である。

これは、本輸送容器の設計圧力 [redacted] より低いので、本輸送容器の健全性は維持される。

(3) 構造強度

構造強度上問題となる最大内圧、熱応力及び最高温度について以下に述べる。

最大内圧については、容器内の圧力上昇が [redacted] となり、設計圧力 [redacted] 以下である。したがって、構造強度に影響を与えない。

熱応力については、(ロ) 章の A. 5 項で述べたように構造強度に悪影響を与えることはない。

(4) 密封性能

密封境界である内容器蓋 O リング部の最高温度は [redacted] となる。この値は、[redacted] O リングの事故時使用温度 [redacted] 以下であり、本輸送物の密封性能は維持される。

B.6 付属書類

- B.6.1 一般の試験条件下における輸送物の最高温度 …………… (a) – B – 26
- B.6.2 熱伝導汎用プログラム「TRUMP」の概要 …………… (a) – B – 29
- B.6.3 特別の試験条件下での温度計算に用いる「TRUMP」
のインプットデータについて …………… (a) – B – 34
- B.6.4 輸送物の内圧 …………… (a) – B – 39
- B.6.5 熱解析手法の妥当性の検討 …………… (a) – B – 41
- B.6.6 参考文献 …………… (a) – B – 43

B.6.1 一般の試験条件下における輸送物の最高温度

一般の試験条件下における輸送物の最高温度は、定常状態における熱収支をとり、以下のように求めた。

流入熱量 $Q_{in}(W)$ は太陽からの放射熱のみであり、放出熱量 $Q_{out}(W)$ は放射熱 $Q_1(W)$ と自然対流による放出熱 $Q_2(W)$ の和である。輸送容器外面温度を t ($^{\circ}C$) とし、 $Q_{in}=Q_{out}$ となる最高温度 t_{max} を求める。

t_0 : 環境温度 []

A_v : 垂直部の伝熱面積
[]

A_h : 上向き水平部の伝熱面積
[]

(1) 太陽熱からの放射熱、 Q_{in}

$$Q_{in} = [] \times [] \times [] \times [] \dots\dots\dots (6.1-1)$$

ϵ : 容器表面の放射率

$$\epsilon = []$$

(2) 輸送物からの放射熱 Q_1

$$Q_1 = (A_v + A_h) \times \epsilon \times \sigma \times \{ (T)^4 - (T_0)^4 \}$$

$$[] \times [] \times [] \times []$$

$$[] \times [] \times [] \times []$$

$$T = t + 273$$

T : 絶対温度 (K)

t : 輸送容器外面温度 ($^{\circ}C$)

σ : ステファン・ボルツマン定数 ($W/(m^2 \cdot K^4)$)

(3) 自然対流による放出熱 Q_2

垂直円筒面自然対流熱伝達は、Mc Adams⁽⁵⁾の式により次式のように与えられる。

$$Nu_v = 0.13 (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}) \quad \dots\dots\dots (6.1-3)$$

$$Nu_v = h_v \cdot L / k \quad \quad \quad : \text{ヌッセルト数} \quad \dots\dots\dots (6.1-4)$$

$$Gr = g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta t / \nu^2 : \text{グラスホフ数} \quad \dots\dots\dots (6.1-5)$$

$$Pr = \nu / a \quad \quad \quad : \text{プラントル数} \quad \dots\dots\dots (6.1-6)$$

ここで、

$$h_v : \text{垂直円筒面の熱伝達率} \quad (W / (m^2 \cdot K))$$

$$L : \text{代表長さ} \quad (m)$$

$$k : \text{空気の熱伝導率} \quad (W / (m \cdot K))$$

$$g : \text{重力加速度} \quad 9.8 (m / s^2) = 1.27 \times 10^8 (m / h^2)$$

$$\beta : \text{空気の体膨張係数} \quad (1 / K)$$

$$\Delta t : \text{温度差} \quad (t - t_0) \quad (^\circ C)$$

$$\nu : \text{空気の動粘性率} \quad (m^2 / h)$$

$$a : \text{空気伝導率} \quad (m^2 / h)$$

(6.1-3)、(6.1-5)、(6.1-6) 式よりヌッセルト数 Nu を求め (6.1-4) 式より垂直円筒面の熱伝達率 h_v を求める。

また、水平面の熱伝達率を h_h とし次の (6.1-7)、(6.1-8) 式から、 h_v と同じ方法で h_h を求める。

$$Nu_h = \dots\dots\dots$$

$$Nu_h = h_h \cdot L / k \quad \dots\dots\dots (6.1-8)$$

この h_v と h_h を用いて、自然対流による放出熱 Q_2 は、次式で与えられる。

$$Q_2 = (h_v \cdot A_v + h_h \cdot A_h) \cdot (t - t_0) \quad \dots\dots\dots (6.1-9)$$

(4) 最高温度 t_{\max} の計算

空気温度 [] での各々の値は、

L =
g =
k =
 β =
 Δt =
 ν =
a =

したがって、(6.1-6)、(6.1-5)、(6.1-3) 式より、

Pr =
Gr =
=
=
Nu_v =
よって ()
h_v =
また、
h_h =

なお、定常状態における熱収支は、前記の通り $Q_{in} = Q_{out}$ となり、(6.1-1)、(6.1-2)、(6.1-9) 式及び熱伝達率 h から、温度差 Δt の収束計算を行い、最高温度 t_{\max} を求めると $t_{\max} = []$ となる。

ここで、最高温度 t_{\max} は安全側に [] する。

B.6.2 熱伝導汎用プログラム「TRUMP」の概要

(1) 概 要

TRUMPは1968年Lawrence Livermore Laboratoryで開発されたノード法に基づく伝熱計算プログラムである。

(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扱うことができる。また、TRUMPは、直交座標、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、3次元形状の物体を取扱うことができる。

物性値のうち熱伝導率、比熱は、温度又は時間の関数として表わすことができる。

要素間の熱伝達は、伝導、自然対流、強制対流及び放射による熱伝達を取扱うことができ、境界条件は自然対流、強制対流及び放射による熱伝達を取扱うことができる。また、境界温度は、時間の関数として表わすことができる。初期温度は空間での位置によって異なってもよい。TRUMPの出力としては、各時間毎の温度分布のほか、各要素の熱収支等が得られる。

(3) 計算方法 [(□) - 第 B.5 図参照]

TRUMPは、空間座標と時間について4個の独立変数及び温度と2つの反応物濃度という合計3個の従属変数をもった連立偏微分方程式を解く。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3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わされる。

$$\begin{aligned}\frac{DT}{Dt} &= \frac{\delta T}{\delta t} + \underline{v} \cdot \nabla T \\ &= \frac{1}{\rho C} \cdot \nabla \cdot K \nabla T + G - \frac{Q_a}{C} \cdot \frac{\delta a}{\delta t} - \frac{Q_b}{C} \cdot \frac{\delta b}{\delta t} \\ \frac{Da}{Dt} &= \frac{\delta a}{\delta t} + \underline{v} \cdot \nabla a \\ &= -a \cdot \exp \left(Z_a - \frac{E_a}{R \cdot T} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{Db}{Dt} &= \frac{\delta b}{\delta t} + \underline{v} \cdot \nabla b \\ &= -b \cdot \exp \left(Z_b - \frac{E_b}{R \cdot T} \right) \\ K_1 \cdot \left(\frac{\delta T_1}{\delta r} \right)_i &= h_i \cdot (T_{2i} - T_{1i}) = K_2 \cdot \left(\frac{\delta T_2}{\delta r} \right)_i \\ h_i &= h_{i0} + h_{ic} [(T_{2i} - T_{1i})^2]^{P_i/2} \\ &\quad + \sigma \cdot F_i (T_{1i} + T_{2i}) \cdot (T_{1i}^2 - T_{2i}^2) \end{aligned}$$

境界面のコンダクタンス h_i は、接触コンダクタンス、自然対流、強制対流及び放射の効果を含んだ一般形である。 σ は、ステファン-ボルツマン定数、 F は、総括放射形態係数である。

$$K \cdot \left(\frac{\delta T}{\delta t} \right)_s = U_{sb} \cdot (T_b - T_s)$$

ここで、

T_b = 外部温度

U_{sb} = 表面コンダクタンス

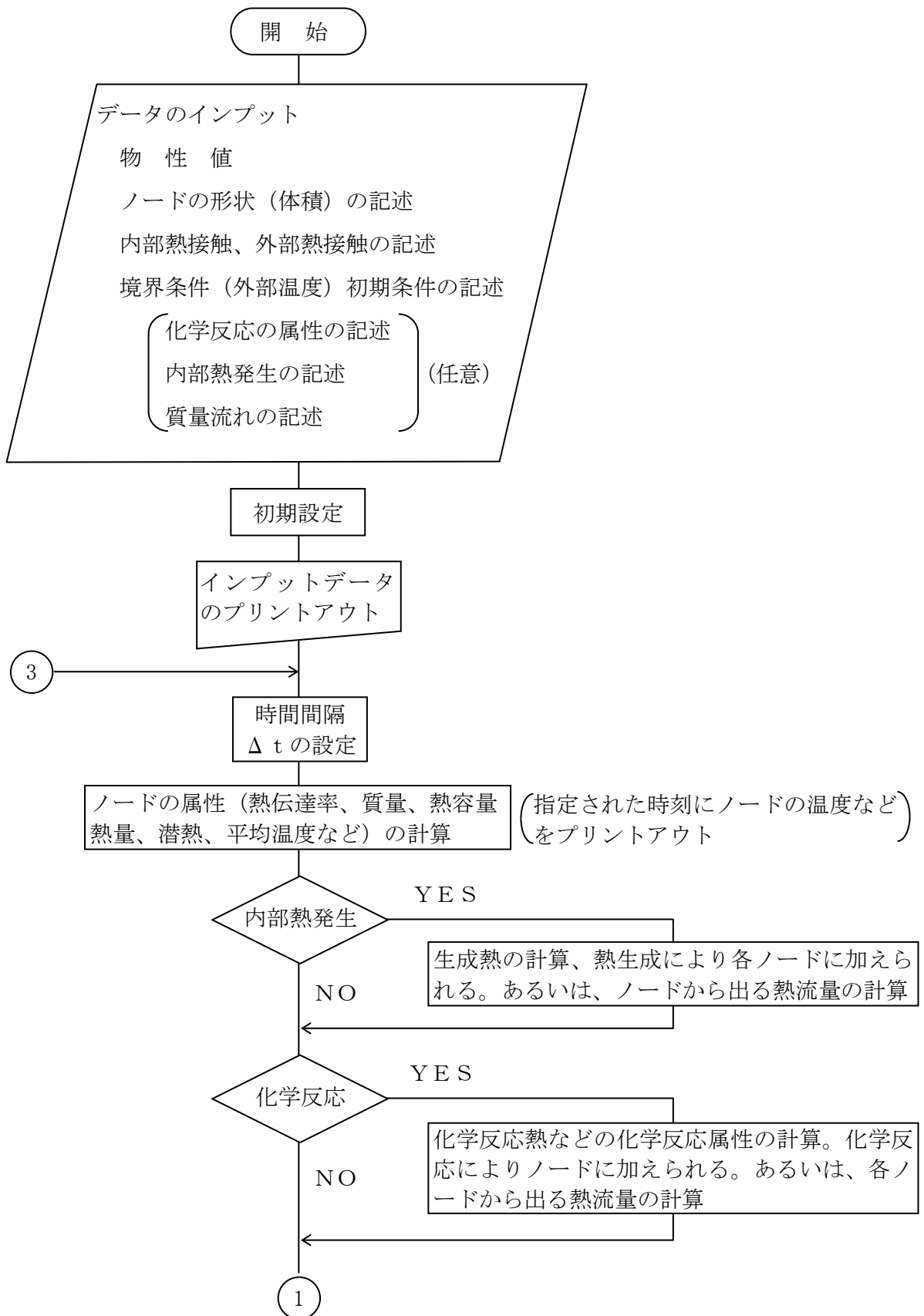
U_{sb} は、物質相の場合と同様に、次のように表わされる。

$$\begin{aligned} U_{sb} &= h_{s0} + h_{sc} \cdot [(T_b - T_s)^2]^{P_i/2} \\ &\quad + \sigma \cdot F_b \cdot (T_s + T_b) \cdot (T_s^2 + T_b^2) \end{aligned}$$

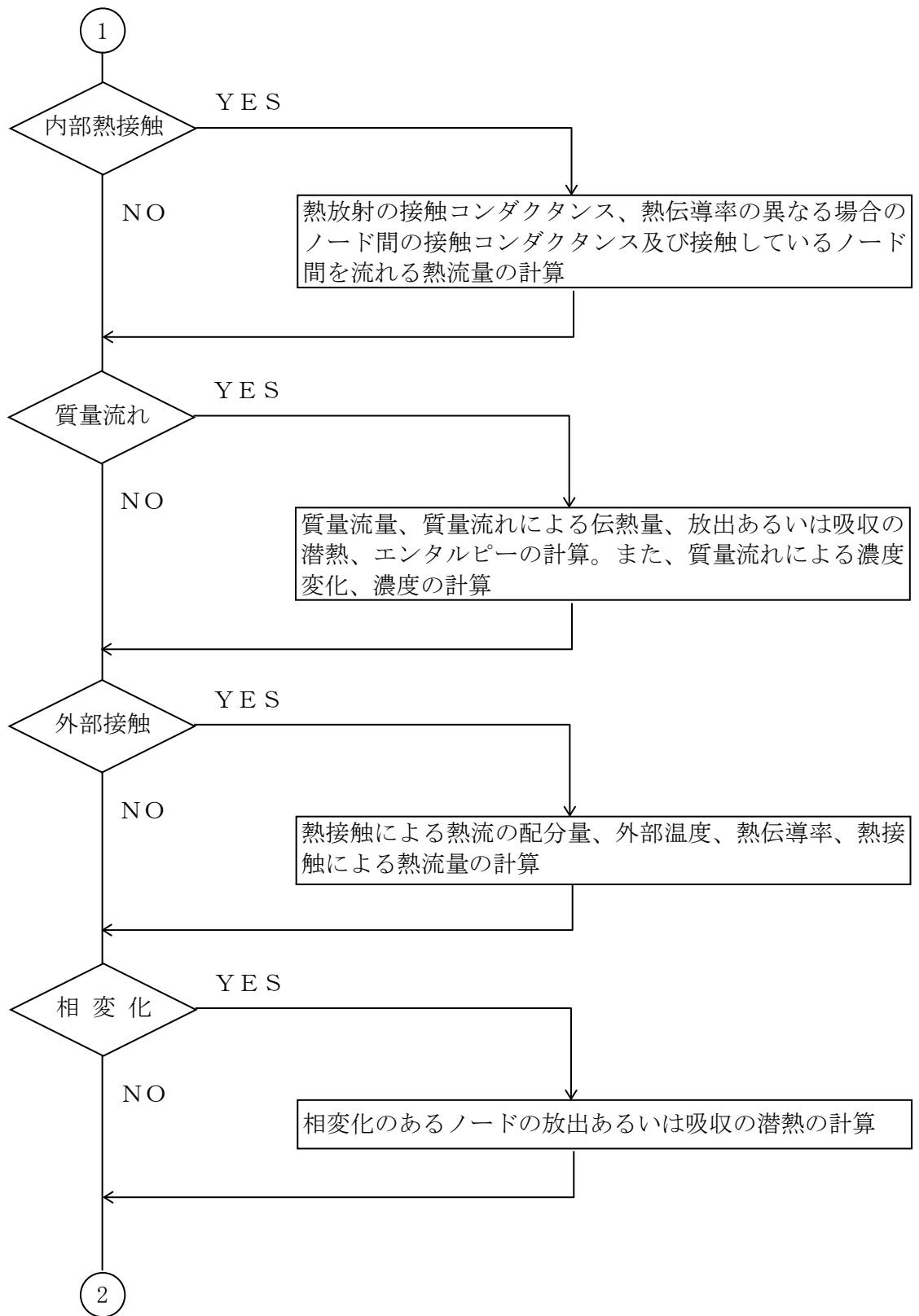
TRUMP で実際に解かれる方程式は、微小時間間隔に対してであり、前述の方程式において時間微分 $\delta u / \delta t$ を $(u' - u) / \Delta t$ と置き換えることにより計算される。ここで、 u' と u は時間間隔 Δt の始まりと終わりの値である。

(4) 実績

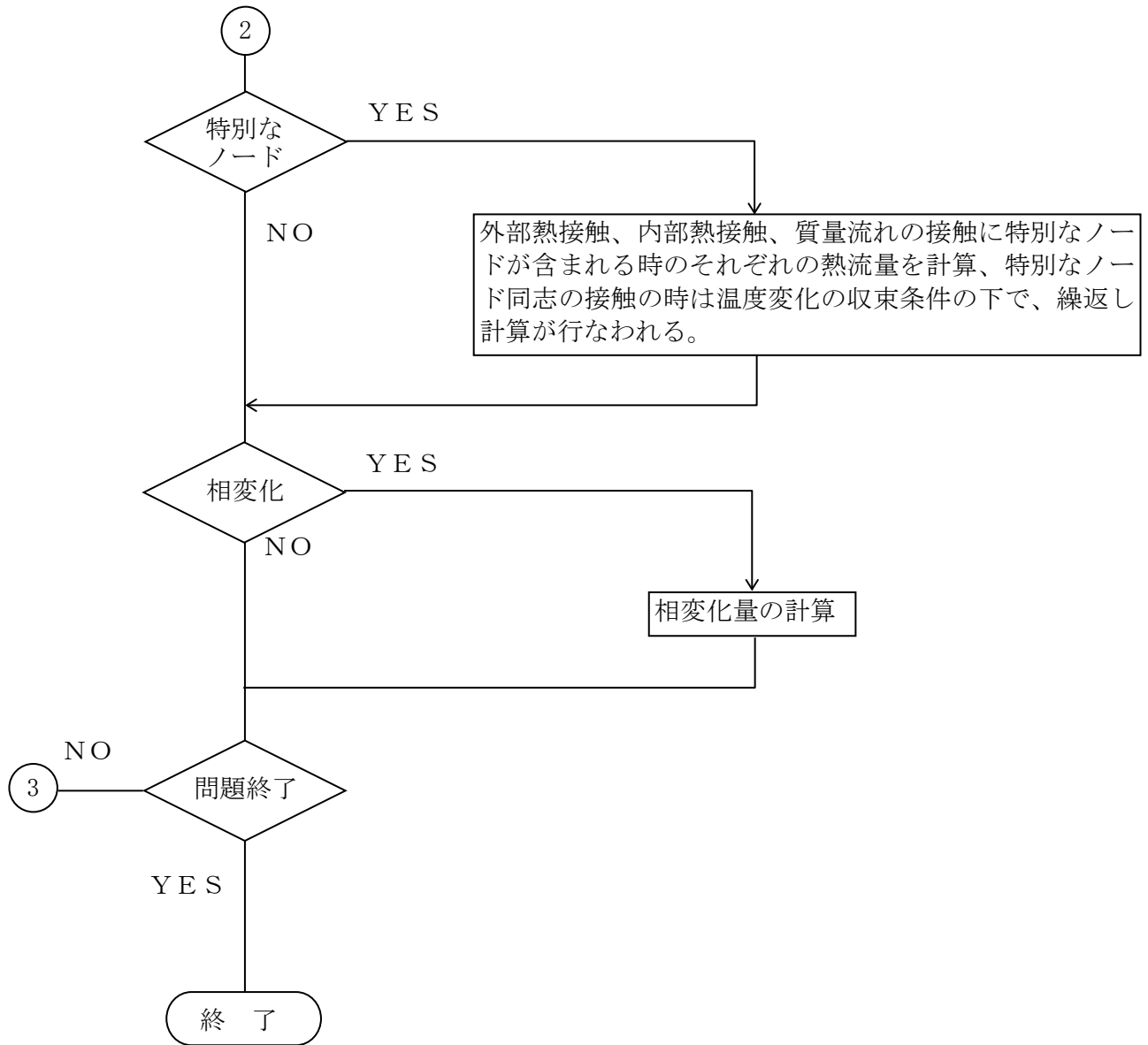
TRUMP プログラムは、Lawrence Livermore Laboratory で開発されたプログラムであり、現在米国の数多くの研究所等で使用されている。



(ロ) - 第 B.5 図 TRUMP フローチャート (1/3)



(ロ) - 第 B.5 図 TRUMP フローチャート (2/3)



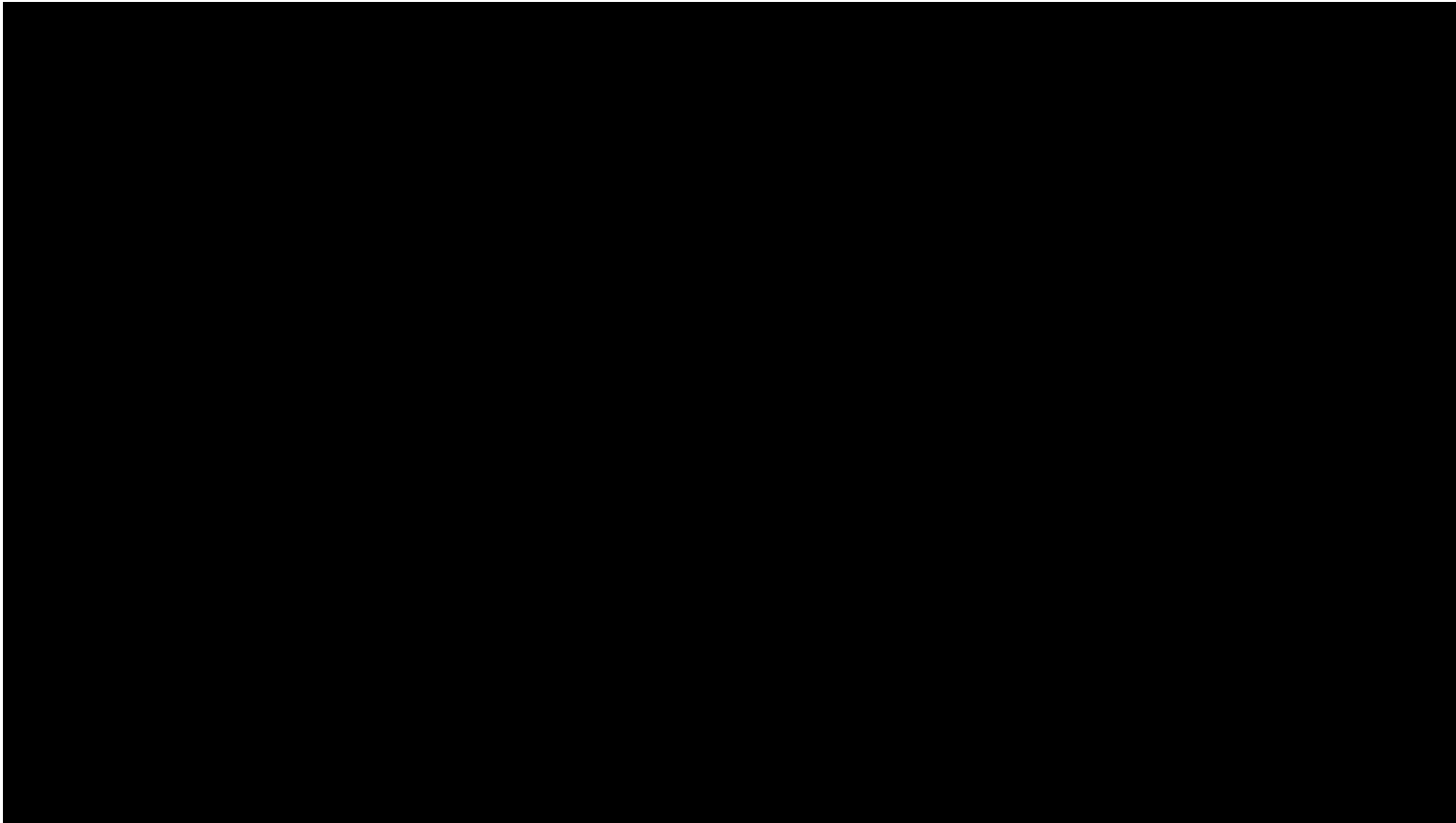
(ロ) - 第 B.5 図 TRUMP フローチャート (3/3)

B. 6. 3 特別の試験条件下での温度計算に用いる「TRUMP」のインプットデータについて

(1) 燃料バスケットのモデル化 ((a)－第 B. 6 図参照)

燃料バスケットのモデル化に際しては、内容器本体と燃料バスケットの最短部のギャップと燃料バスケットの厚さを等価なものとして円筒形状にモデル化した。

ただし、燃料バスケットの熱容量は、比重を補正することにより等価なもの



((a)－第 B. 6 図 燃料バスケットモデル化図

(a) 内容器本体とギャップが最短となる外半径 R_1

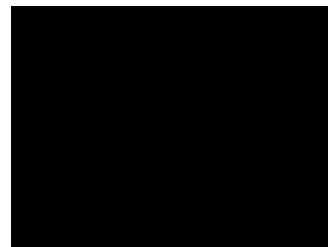
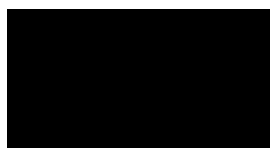
$$R_1 = R - G$$

ここで、

R : 内容器本体半径

G : ギャップ (最小値)

R_1



(2) 輸送物表面と周囲環境との伝熱

(a) 対流熱伝達率

輸送物表面の自然対流熱伝達率は、Mc. Adams の式⁽⁵⁾により次式のように与えられる。

(i) 垂直円筒外面

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \dots\dots\dots (6.3-1)$$

$$Nu_v = \dots\dots\dots$$

$$h = \frac{Nu_v \cdot k}{L} \dots\dots\dots (6.3-3)$$

(ii) 上向き水平面

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}$$

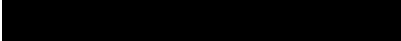
$$Nu_h = \dots\dots\dots$$

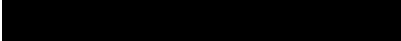
$$h = \frac{Nu_h \cdot k}{L}$$

ここで、

h : 対流熱伝達率 (W/(cm²・K))

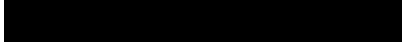
k : 空気の熱伝導率 (W/(cm・K))

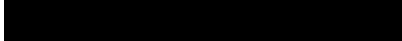
火災時 

火災後 

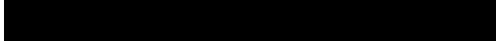
L : 代表長さ (cm)

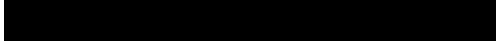
垂直面 

水平面 

g : 重力加速度 

β : 体膨張係数 (1/K)

火災時 

火災後 

γ : 動粘性率 (cm²/s)

火災時 =

火災後 =

Gr : グラスホフ数

Pr : プラントル数

Nu : ヌッセルト数

以上の値を (6.3-1) 式～ (6.3-4) 式に代入し、各条件での対流熱伝達率を求め (㍀) - 第 B.14 表に示す。

(㍀) - 第 B.14 表 対流熱伝達率 (輸送物表面 ↔ 周囲環境)

部 位 条 件	垂 直 円 筒 面	上 向 き 水 平 面
	火 災 時	
火 災 後		

(b) 放射伝熱

放射形態係数は次式により与えられる。

$$F_{12} = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \dots\dots\dots (6.3-5)$$

F_{12} : 放射形態係数

ϵ_1 : 面 1 の放射率

ϵ_2 : 面 2 の放射率

各面の放射率及び (6.3-5) 式より求めた放射形態係数を (㍀) - 第 B.15 表に示す。

(㍀) - 第 B.15 表 放射率及び放射形態係数

条 件		火 災 時	火 災 後
		項 目	
放 射 率	輸送物表面		
	周 囲 環 境		
放 射 形 態 係 数			

(3) 燃料バスケットと内筒との伝熱

(a) 対流熱伝達率

垂直同心円筒間の密閉流体層の自然対流熱伝達率を次式により算出する。⁽²⁾

Nu

Nu

Ra

h =

ここで、

Nu : ヌッセルト数

Ra : レイレイ数

g : 重力加速度

β : 体膨張係数

D : 流体層の厚さ =

Δt : 内外円筒面の温度差 (°C)

a : 温度伝導率

ν : 動粘性率

L : 燃料バスケット長さ (cm)

k : 熱伝導率

h : 自然対流熱伝達率 (W / (cm² · K))

Ra

ここで Δt し Ra を求めると、以下の値となる。

Ra

次に Nu

Nu

以上より、自然対流熱伝達率 (h) を (6.3-9) 式より求めると

h



となる。

(b) 放射伝熱


ガス層をはさんだ円筒間の放射形態係数は、同心円筒の次式により与える。


$$F_{12} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + (A_1/A_2)(1/\varepsilon_2 - 1)} \dots\dots\dots (6.3-10)$$


$$A_1/A_2 = r_1/r_2 \dots\dots\dots (6.3-11)$$


ここで、

F_{12} : 放射形態係数

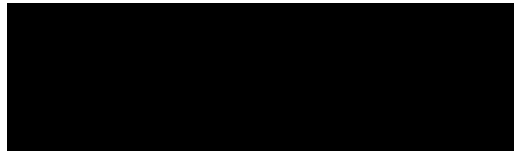
ε_1 : 面 1 の放射率 = 

ε_2 : 面 2 の放射率 = 



r_1 : 外円筒の内半径 

r_2 : 内円筒の外半径 = 

F_{12}



(4)  の燃焼時の火炎による入熱

 の燃焼による熱量は  であり、この熱量が全て火炎として容器本体外面にあるものとして解析を行った。

B. 6. 4 輸送物の内圧

輸送物について、一般の試験条件下及び特別の試験条件下での内圧を求める。

(1) 作用圧力

容器内の空気による作用圧力を求める。

(a) 初期圧力

容器内の初期圧力は、大気圧であり [] とする。

(b) P_1

空気の膨張による圧力 P_1 は、ボイル・シャルルの法則に基づく次式で求める。

$$P_1 = P_0 \frac{T_1}{T_0} \dots\dots\dots (6.5-1)$$

ここで、

P_0 : 初期圧力 []

T_0 : 初期温度 []

T_1 : 各条件下での空気の温度 (K)

これらの式より P_1 を求めると (ロ) - B. 16 表 のようになる。

(ロ) - 第 B. 16 表 容器内圧計算結果

場 所	容 器 内 空 気	
	一般の試験条件	特別の試験条件
試 験 条 件		
圧 力 (MPa [gauge])	[]	[]
温 度 (°C)	[]	[]

なお、仮想的 [] 蓋締めを行い、最高温度 [] まで温度上昇した場合、
 [] して、式 (6.5-1) に基づき計算すると []
 [] となり、設計圧力の [] 以下である。

(2) 設計圧力

輸送物各部の強度評価等を行う場合には、(1)の作用圧力に対し、余裕をもたせた(□)－第B.17表に示す設計圧力を使用する。

(□)－第B.17表 各試験条件時での設計圧力

	容 器 内
一般の試験条件時	
特別の試験条件時	

B. 6. 5 熱解析手法の妥当性の検討

本項は、本文に示す熱解析手法の妥当性を検討するため、原型容器による耐火試験結果^[7]を用い、耐火試験を模擬する解析（以下、この項で「解析」という。）を行い、検討したものである。

(1) 原型容器及び試験方法

- ・ 原型容器 …………… 参考資料 [7]
- ・ 試験方法 …………… 参考資料 [7]

(2) 解析結果の検討

(a) ー 第 B. 7 図及び (a) ー 第 B. 18 表に試験結果と解析結果を示す。

解析は、B. 6. 3 項に示す条件で実施した。但し、試験状態を模擬するため、初期温度及び炉内温度は原型容器試験時の測定結果を入力データとして用いた。また、屋内試験のため太陽放射熱は考慮していない。

(a) ー 第 B. 7 図及び (a) ー 第 B. 18 表より、解析値は安全側であり、B. 5 項及び B. 6. 3 項に示す熱解析手法は、妥当である。

(a) ー 第 B. 18 表 原型容器試験結果と解析結果の比較

条件 評価部位	最高温度		最高温度到達時間	
	試験値	解析値	試験値	解析値
リング近傍				
内容器本体内面				
燃料バスケット外面				
容器本体外面				

(ロ) 第B.7図 原型容器による試験値と解析値の比較

B.6.6 参考文献

- [1] “非弾性構造物解析法の実用化に関する研究（I）”
非弾性構造物解析法実用化研究分科会（E P I O C）日本機械学会
(1977)
- [2] “伝熱工学資料 第3版” 日本機械学会 (1975)
- [3] 日本アスベスト(株)社内データ
- [4] 日本バルカー工業(株)社内データ
- [5] “HEAT TRANSMISSION” Mc Adams
- [6] ██████████
██████████器に関する原型容器試験結果報告書”
平成2年5月 ██████████

C 密封解析

(ロ)－C． 密封解析

C.1 概 要

本解析では、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における本輸送容器の密封性について述べる。

本輸送容器の密封性に関する部分を密封装置と考える。本輸送容器の密封装置は、内容器であり、これは内容器本体と内容器蓋で構成され、内容器本体と内容器蓋との接触部は、
[REDACTED]で密封されている。

密封装置は製作中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、内容器蓋Oリング部は輸送物の発送前に実施される気密漏えい検査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。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

(1) 構 成

本輸送容器の密封装置は(ロ)－第 C.1 図に示す通り、内容器本体及び内容器蓋により構成される。

(2) 材 質

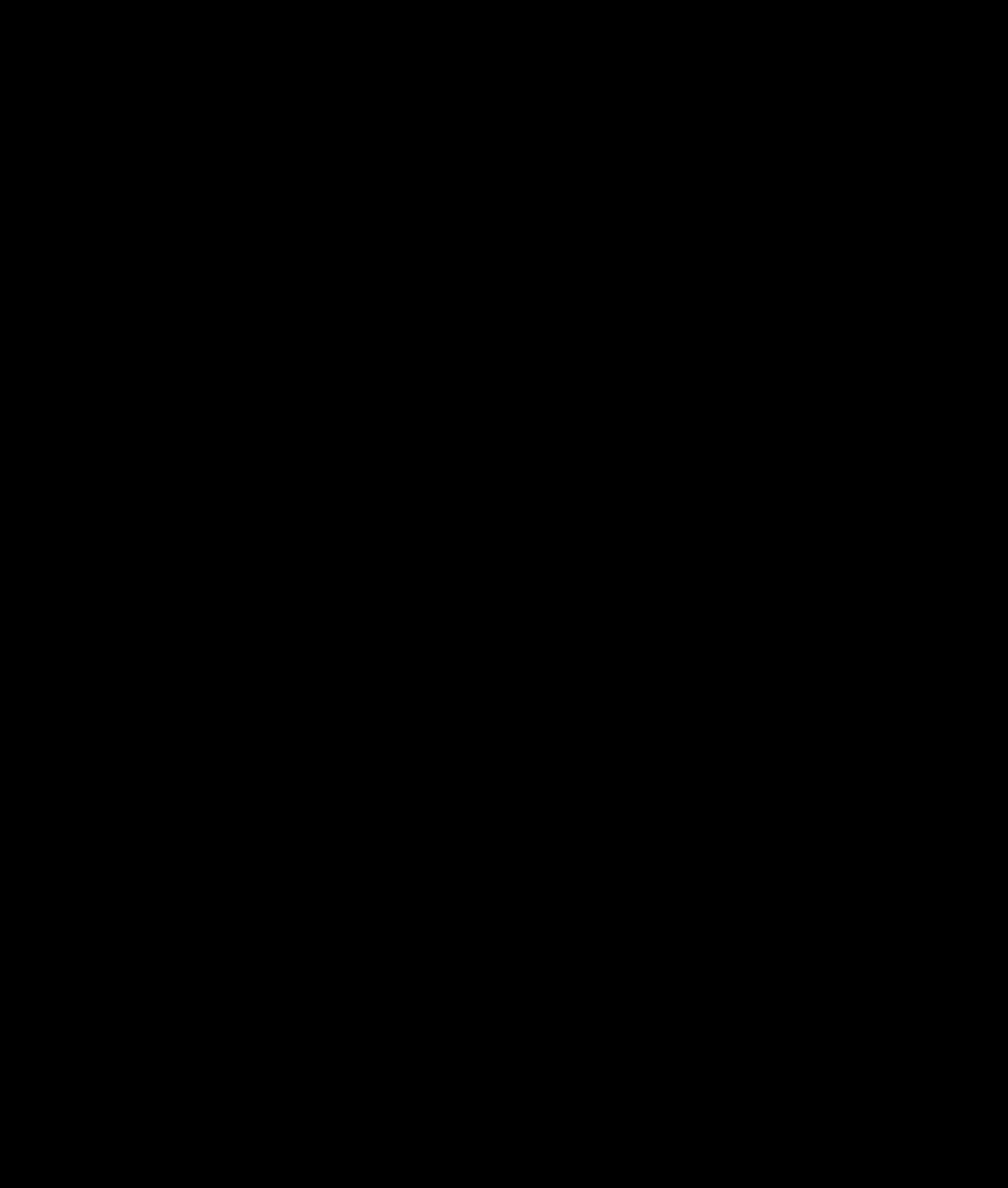
密封装置を構成する内容器本体及び内容器蓋にはステンレス鋼、内容器蓋のシール部には[REDACTED]Oリングが使用されている。

(3) 設計圧力及び設計温度

(a) ー 第 C.1 表に示す設計圧力及び設計温度で漏えい率の評価を行う。

(a) ー 第 C.1 表 密封装置の設計圧力及び設計温度

条 件	項 目	密 封 装 置
一般の試験条件	設計圧力 (MPa [gauge])	[Redacted]
	設計温度 (°C)	
特別の試験条件	設計圧力 (MPa [gauge])	
	設計温度 (°C)	



(㉓) - 第C.1図 輸送容器密封境界

(5) 製作・検査

密封装置の構成部品の製作及び検査は、密封性を確保するために適した方法で行われる。

C.2.2 密封装置の貫通部

本輸送容器の開口部は内容器蓋のみであるから、本項は該当しない。

C.2.3 密封装置ガスケット及び溶接部

(1) 密封装置ガスケット

密封装置ガスケットには [REDACTED] Oリングが使用される。このOリングは (p)－A.4.1 で示したように化学的及び電気的反応を起こさない。また、一般及び特別の試験条件下における圧力、温度に対し十分な密封性能を有している。

(2) ガスケットの仕様

ガスケットの寸法及び材質を (p)－第C.2表に示す。

[REDACTED] のOリングは、その耐熱性（口章 B.3 構成要素の仕様の項参照）及び耐寒性（口章 A.4.2 低温強度の項参照）により、一般及び特別の試験条件下並びに最低使用温度でも内容器蓋の密封性を保つことができる。

(p)－第C.2表 ガスケットの寸法及び材質


(単位：mm)

部 位		寸 法	材 質	備 考
内容器蓋	内 側	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
	外 側	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

(3) 溶接部

内容器本体のフランジ、胴及び底板の溶接は(参)－Aで述べる方法にしたがって施行される。溶接部は製作中に適切な非破壊検査を行い、その健全性を確認し、さらに、耐圧検査を行い漏えいのないことを確認する。

C.2.4 蓋

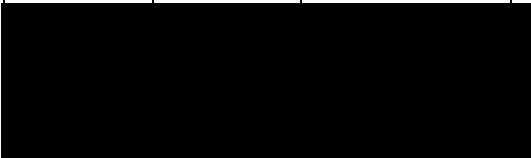
内容器蓋には(□)－第 C.1 図に示す通り、 Oリングが取付けられている。

また、内容器蓋は一般及び特別の試験条件下においても十分耐え得る強度を備え、かつ、密封性を保持できる構造となっている。

内容器蓋は、輸送容器の密封性を保つため、(□)－第 C.3 表に示す内容器蓋締付けボルトにより適正なトルクで締付ける。

なお、外圧が 60 [kPa]まで低下した場合であっても、A.5.1 で示したとおり、内容器蓋の口開き量は O リングの初期締め付け代を下回り、密封性は維持される。

(□)－第 C.3 表 内容器蓋締付けボルト

名 称	サイズ	本 数	締付けトルク (N・m)
内容器蓋締付けボルト			

C.3 一般の試験条件

本輸送物の密封装置は、(□)－Aの構造解析の結果からBU型輸送物の要件としての一
般の試験条件下での衝撃により健全性は損なわれない。また、(□)－Bの熱解析の結果か
ら一般の試験条件下での温度及び圧力に対しても健全性は損なわれない。

したがって、密封装置の密封性は、一般の試験条件により損なわれることはないので、
本解析においては、輸送物の発送前に行う内容器蓋Oリング部の気密漏えい検査における
判定基準に基づいて密封性能の評価を行うことにより、一般の試験条件下における放射性
物質の漏えい率が規則に定める基準値以下であることを示す。

C.3.1 放射性物質の漏えい

C.3.1.1 内容器からの漏えい量

密封装置は、製作中及び保守時に行う気密漏えい検査等により漏えいがないこと
が確認される。

さらに本輸送物の密封性能については、輸送ごとに気密漏えい検査等により漏えい
率が基準値以下であることを確認することとしている。

本解析では気密漏えい試験において内容器蓋のシールに供給した空気等の圧力変
化（最大許容空気漏えい率相当）が一定時間後に検知されたと想定し放射性物質の漏
えいを評価する。

したがって、ここでは最大許容空気漏えい率から一般の試験条件のガスの漏えい率
を求め、ガス中の放射性物質濃度とそれぞれの漏えい率から、放射性物質の漏えい率
を求めて、放射性物質の漏えい率が府令及び告示の基準値以下であることを確認する。

(1) 最大許容空気漏えい率

密封解析の設計基準として設定した最大許容空気漏えい率 L_R は、輸送容器の被
検査部の空気漏えい率として(□)－第C.4表に示す値とする。

(□)－第C.4表 最大許容空気漏えい率

項 目	密 封 境 界 (内容器蓋Oリング部)
L_R ：最大許容空気漏えい率 (std cm ³ /s)	

(3) 一般の試験条件における最大ガス漏えい率

一般の試験条件における最大ガス漏えい率は、漏えい試験における最大許容空気漏えい率 L_R に基づいて以下の手順により求める。

(a) 漏えい孔径

漏えい孔としてはシール部を最短で横切る丸孔を仮定する。

漏えい孔中の流体の流れの形態は自由分子流と連続流が考えられ、その漏えい率は次式で与えられる。

$$L = (F_c + F_m) (P_u - P_d)^2 \quad \text{..... (C. 3-2)}$$

ここで、 L : 圧力 P_a における体積漏えい率 (cm^3/s at P_a, T_a)

P_a : 流れの平均圧力 (MPa)

$$P_a = \frac{1}{2} (P_u + P_d) \quad \text{..... (C. 3-3)}$$

T_a : 流体の平均温度 (K)

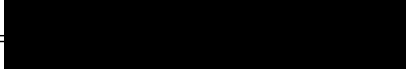
P_u : 上流側の圧力 (MPa)

P_d : 下流側の圧力 (MPa)

F_c : 連続流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

F_m : 自由分子流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

$F_c =$  (C. 3-4)

$F_m =$  (C. 3-5)

ただし、 D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい孔長 (cm)

μ : 粘性係数 ($\text{MPa}\cdot\text{s}$)

T : 流体の温度 (K)

M : 流体の分子量 (g/mol)

漏えい孔径 (D) は、次式及び (C. 3-2) 式から求められる。

$$L = L_{Ri} \cdot \frac{P_s}{P_a} \cdot \frac{T_a}{T_s} \quad \text{..... (C. 3-6)}$$

ここで、 L_{Ri} : 密封境界の空気漏えい率 (std cm^3/s)

T_a : 平均温度 (= T_s) (K)

内容器蓋部の漏えい試験時の最大漏えい孔径を (p) - 第 C. 5 表 に示す。

注) ANS I N14.5 記載式の単位を S I 単位に換算した。

(p) - 第 C.5 表 漏えい試験時の最大漏えい孔径

項目	部 位	内容器蓋Oリング部
L_{Ri} : 密封境界 1 箇所 の空気漏えい率	(std cm ³ /s)	
P_u : 上流側圧力	(MPa)	
P_d : 下流側圧力	(MPa)	
P_a : 流れの平均圧力	(MPa)	
T_a, T : 空気の温度	(K)	
L : 漏えい試験時の 空気漏えい率	(cm ³ /s at P_a, T_a)	
μ : 空気の粘性係数	(MPa · s)	
a : 漏えい孔長	(cm)	
M : 空気の分子量	(g/mol)	
F_c : 連続流の 流動伝導係数	($\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$)	
F_m : 自由分子流の 流動伝導係数	($\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa} \cdot \text{s}}$)	
D : 漏えい孔径	(cm)	

注) Oリング断面直径を採用

*1: 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので低い温度を設定することは安全側である。

(b) 一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

一般の試験条件下のガス漏えい率は(C. 3-2)～(C. 3-5)式に一般の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

(C. 3-2)式から求められたガス漏えい率 (L_x) を

$$L_{s,x} = L_x \dots\dots\dots (C. 3-7)$$

ここで、

x : 一般の試験条件を表す添字

ただし、 $T_{a,x} = T_{u,x}$ とする。

一般の試験条件下のガス漏えい率を(□)－第 C. 6 表に示す。計算は内容器蓋 O リング部の漏えい率を最大ガス漏えい率とする。

(□)－第 C. 6 表 一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項 目	部 位	密 封 境 界 (内容器蓋 O リング部)
D : 漏えい孔径 (cm)		
a : 漏えい孔長 (cm)		
μ : ガスの粘性係数 (MPa·s)		
$P_{u,x}$: 一般の試験条件下の密封装置内圧力 (MPa abs)		
$P_{d,x}$: 一般の試験条件下の外圧 (MPa abs)		
$T_{u,x}$: 一般の試験条件下のガス温度 (K)		
M : ガスの分子量 (g/mol)		
L_x : 一般の試験条件下のガス漏えい率 (cm^3/s at $P_{a,x} \cdot T_{a,x}$)		
$L_{s,x}$: 一般の試験条件下のガス漏えい率 (cm^3/s at)		

*1: 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので低い温度を設定することは安全側である。

C.3.1.2 放射性物質漏えい量評価

(1) 新燃料要素 ██████████ 輸送時

(a) 漏えいに係る内容容器内放射性物質の評価

(ロ)－Aに示したように一般の試験条件下において ██████████ は破損しないため、██████████ に含有されている濃縮ウランは漏えいしないものとする。漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着したウラン、すなわち、表面汚染ウランを仮定する。

燃料要素全表面に、燃料要素製造時の表面汚染検査の判定基準である ██████████] の汚染があるものと仮定する。

表面汚染ウランは、燃料製造メーカーが取扱っている ██████████ 濃縮ウラン ██████████ 濃縮ウラン ██████████ 濃縮ウラン、天然ウラン及び劣化ウランのうち $^{234}\text{U}/^{235}\text{U}$ の比が最大の ██████████ 濃縮ウランと仮定する。

燃料要素1体に付着している ██████████ 濃縮ウランの放射性核種の重量は、以下に示す方法で保守的に算定した。

- (i) ^{235}U 量 : 燃料要素全表面積及び ██████████
[^{235}U] [$1\mu\text{g} \cdot ^{235}\text{U}/100\text{cm}^2$] から求めた。
- (ii) ^{238}U 量 : ^{234}U 及び ^{236}U 量をゼロとし、(i)で求めた ^{235}U 量と濃縮度 ██████████ 公差の下限を用いて ^{238}U 量を求めた。
- (iii) ^{234}U 、 ^{236}U 量 : ^{234}U 及び ^{236}U は、燃料製作時に決定されるので、重量の制限値は定められていない。このため過去のミルシートから最大重量比を選出し、それらを保守的に切り上げた重量比を用いて ^{234}U 及び ^{236}U の重量を求めた。また、この際に必要なウラン全量は、(i)で求めた ^{235}U 量と(ii)で求めた ^{238}U 量の合計である。なお、計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比を(ロ)－第 C.7 表に示す。

燃料要素 1 体当たりの表面放射能を (ロ) - 第 C. 8 表 に示す。

(ロ) - 第 C. 7 表 計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比

濃 縮 度 (wt%)	同 位 体	ミルシートの 最大重量比 (wt%)	計算に用いた重量比 (wt%)

(ロ) - 第 C. 8 表 燃料要素 1 体当たりの表面放射能

燃 料 要 素	放 射 能 (Bq)
KUR 標準・半装	
KUR 特殊	

(b) 一般の試験条件下における放射性物質漏えい量評価

燃料要素表面に付着している表面汚染ウランは、粉状であると考えられる。この表面汚染ウランが全量剥離し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定し、漏えい率の評価を行う。

一般の試験条件下における放射性物質の漏えい率は、内容器内の空気中に存在する各核種の濃度と C.3.1.1(3)(b)項で求めた一般の試験条件下のガス漏えい率 ($L_{s,x}$) を乗じて求められる。

表面汚染ウラン濃度が最も高い [REDACTED]) について、放射性物質の漏えい率を求めると (ロ) ー第 C.9 表に示す通りとなる。

(ロ) ー第 C.9 表に示すように一般の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準値より小さい。

(ロ) ー第 C.9 表 一般の試験条件下における放射性物質の漏えい率

核種	放射能濃度* (TBq/cm ³)	漏えい率 (TBq/h)	基準値 ($A_2 \times 10^{-6}$) (TBq/h)	比率
[REDACTED]				

(2) [redacted]

(a) 漏えいに係わる内容容器内放射性物質の評価

(a) - Aに示したように一般の試験条件下において [redacted] は破損しないため、
[redacted] に含有されている濃縮ウランは漏えいしないものとする。

漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素表面には、前 C. 3. 1. 2(1), (a) 項と同様に、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着した表面汚染ウランを仮定する。
[redacted] についても同様の仮定とする。

また、[redacted] については原子炉内での使用はないため、原子炉水については考慮しない。

低照射燃料の燃料要素 1 体当りの表面放射能を (a) - 第 C. 10 表に示す。

(a) - 第 C. 10 表 低照射された燃料要素 1 体当り表面放射能

	放射能 (Bq)
[redacted]	[redacted]

C.3.2 密封装置の加圧

本輸送物はドライ状態で輸送されるため、放射線または熱により圧力が上昇する要因となる水分は含まれていない。

したがって輸送物内部の加圧要因となるのは、温度上昇による空気の熱膨張である。これによる内圧力は(□)－第 B.16 表で述べた通りである。

密封装置の耐圧強度解析は(□)－第 B.16 表の内圧力に対し、設計余裕をとり、(□)－第 B.17 表に示す設計圧力で実施している。

C.3.3 冷却材汚染

本輸送容器には冷却材を使用していないので、本項は該当しない。

C.3.4 冷却材損失

本輸送容器には冷却材を使用していないので、本項は該当しない。

C.4 特別の試験条件

本輸送物の密封装置は、(ロ)－Aの構造解析の結果からBU型輸送物の要件としての特
別の試験条件下での衝撃により健全性は損なわれない。また、(ロ)－Bの熱解析の結果か
ら特別の試験条件下での温度及び圧力に対しても健全性は損なわれない。

したがって、密封装置の密封性は、特別の試験条件により損なわれることはないので本
解析においては、輸送物の発送前に行う内容器蓋Oリング部の気密漏えい試験における判
定基準に基づいて密封性能の評価を行うことにより、特別の試験条件下における放射性物
質の漏えい率が法令に定める基準値以下であることを示す。

C.4.1 核分裂生成ガス

(1) 新燃料要素輸送時

収納物は未照射の燃料要素なので、核分裂生成ガスは発生しない。

(2) ██████████ 輸送時

特別の試験条件において、ロ章 A.6 に説明したように燃料要素の破損がなく █████
██████ に封入されている核分裂生成ガスが漏出しないので、密封装置内の核分裂生成ガ
スの濃度は、一般の試験条件と同様に(ロ)－第 C.10 表に示す値である。

C.4.2 放射性物質の漏えい

C.4.2.1 内容器からの漏えい量

(1) 特別の試験条件における最大ガス漏えい率

特別の試験条件下のガス漏えい率は(C.3-2)～(C.3-5)及び(C.3-7)式に特別の試
験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

特別の試験条件下のガス漏えい率を(ロ)－第 C.12 表に示す。計算は内容器蓋部に
ついて行い、最大ガス漏えい率とする。

(ロ) - 第 C. 12 表 特別の試験条件下の最大ガス漏えい率

部 位	密 封 境 界 (内容器蓋リング部)
項 目	
D : 漏えい孔径 (cm)	
a : 漏えい孔長 (cm)	
μ : ガスの粘性係数 (MPa·s)	
$P_{u,x}$: 特別の試験条件下の密封装置内圧力 (MPa abs)	
$P_{d,x}$: 特別の試験条件下の外圧 (MPa abs)	
$T_{u,x}$: 特別の試験条件下のガス温度 (K)	
M : ガスの分子量 (g/mol)	
L_x : 特別の試験条件下のガス漏えい率 (cm^3/s at $P_{a,x} \cdot T_{a,x}$)	
$L_{s,x}$: 特別の試験条件下のガス漏えい率 (cm^3/s at \blacksquare)	

*1: 気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので低い温度を設定することは安全側である。

C.4.2.2 放射性物質漏えい量評価

(1) 新燃料要素 ██████████ 輸送時

(ロ)－Aに示したように特別の試験条件下において ██████████ は破損しないため、一般の試験条件下と同様に漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着したウラン、すなわち、表面汚染ウランを仮定する。

燃料要素1体当たりの表面放射能は、(ロ)－第C.8表に示す通りである。

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、内容器内の空気中に存在する各核種の濃度とC.4.2.1項で求めた漏えい率を乗じて求められる。表面汚染ウラン濃度が最も大きい ██████████ について、放射性物質の漏えい率を求めると(ロ)－第C.13表に示す通りとなる。

(ロ)－第C.13表に示すように特別の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準値より小さい。

(2) ██████████ 輸送時

(ロ)－Aに示したように特別の試験条件下において ██████████ は破損しないため、一般の試験条件下と同様に ██████████ に含有されている濃縮ウランは漏えいしないものとする。

燃料要素1体当たりの表面放射能は、(ロ)－第C.10表に示す通りである。

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は内容器内に存在する核種の濃度とC.4.2.1項で求めた漏えい率を乗じて求められる。

C.3.1.2(2)項と同様に ██████████ について、燃料表面に付着する放射能濃度は(ロ)－第C.14表に示す通りとなる。

(ロ)－第C.14表に示すように特別の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準値より小さい。

(ロ) ー 第 C. 13 表 特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

核 種	放射能濃度 (T B q / cm ³)	漏えい 率 (T B q / week)	基 準 値 (A ₂) (T B q / week)	比 率

(ロ) 第 C. 14 表 特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

核種	放射能濃度 (TBq/cm ³)	漏えい率 (TBq/week)	基準値 (A ₂) (TBq/week)	比 率

C.5 結果の要約及びその評価

(1) 新燃料要素、XXXXXXXXXX 輸送時

漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着している表面汚染ウランが全量剥離し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定し、各放射能濃度に漏えい率を乗じて、一般の試験条件及び特別の試験条件の漏えい率評価を行うと、(ロ)－第 C.9 表、(ロ)－第 C.13 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。

(2) XXXXXXXXXX 輸送時

漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着している表面汚染ウランが全量剥離し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定し、各放射能濃度に漏えい率を乗じて、一般の試験条件及び特別の試験条件の漏えい率評価を行うと、(ロ)－第 C.11 表、(ロ)－第 C.14 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 密封解析における設計温度 (p) - C - 24

C.6.2 参考文献 (p) - C - 25

C.6.1 密封解析における設計温度

密封解析における設計温度は、内容器内空気の圧力を求める際に使用しているが、この圧力は内容器内空気の平均温度により計算されるものである。

内容器内空気の体積は、燃料バスケットの内側にあるものが大部分 [REDACTED] であり、また燃料バスケットの内側の空気温度は、燃料に発熱がないため燃料バスケットの温度よりも低くなる。

安全側に、燃料バスケットの内側の空気温度を、燃料バスケットの平均温度 [REDACTED] *と等しいとし、燃料バスケットと内容器本体間の空気温度を、燃料バスケット平均温度と内容器本体の平均温度 [REDACTED] *との平均温度 [REDACTED] に等しいとして、内容器内空気の平均温度を求めると [REDACTED] となり、燃料バスケット最高温度 [REDACTED] より低い温度になる。

以上のことから、内容器内空気の平均温度として、燃料バスケットの最高温度 [REDACTED] を用いることは、内容器内圧力を大きく評価することになるので、密封解析における設計温度として燃料バスケット最高温度を用いる。

* : TRUMPコードによる計算結果を平均した値である。

C.6.2 参考文献

(1) American National Standards Institute, Inc.

American National Standard for radioactive materials
leakage test on packages for shipment (1997)

A N S I N14.5-1997

(2) 伝熱工学資料第3版 日本機械学会 (1975)

D 遮 蔽 解 析

(ロ)－D. 遮蔽解析

D.1 概 要

本輸送物の収納物である燃料要素のうち、新燃料()の場合、ガンマ線源としては ^{235}U 、 ^{238}U 等を考慮し、中性子源としてはウラン等の自発核分裂を考慮して評価する。低照射された燃料である()場合、ガンマ線源としては ^{235}U 、 ^{238}U 等及び核分裂生成物を考慮し、中性子源としてはウラン等の自発核分裂を考慮して評価する。

ガンマ線の遮蔽計算においては、一般の試験条件及び特別の試験条件で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件とも内容器表面を輸送物表面として線量当量率を評価する。

中性子による線量当量率は、収納物である燃料を点線源とみなし計算する。ここで、実際には収納物はキャビティ内に分散しているが、点線源を内容器表面との距離が最も小さくなる位置に配置して評価を行い、ガンマ線の遮蔽計算と同様内容器表面を輸送物表面とし、安全側に内容器による遮蔽効果を見逃し距離による減衰のみを考慮するものとして評価する。

D.2 線源仕様

本輸送物の収納物には、未照射の新燃料要素と低照射[]等とがあり、未照射のウランの場合、ガンマ線源としては ^{235}U 、 ^{238}U 等の放射性核種を考慮し、中性子源としてはウランの自発核分裂により放出される中性子を考慮して評価する。低照射[]の場合、ガンマ線源として ^{235}U 、 ^{238}U 等の放射性元素と核分裂生成物の放射性核種、中性子源としてはウラン等の自発核分裂により放出される中性子を考慮する。

D.2.1 ガンマ線源

(1) 新燃料要素装荷時

収納物に含まれるウラン同位体は、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 及び ^{238}U であり、それらのガンマ線放出割合を(Ⅱ)－第D.1表⁽¹⁾に示す。

収納物の最大ウラン量は[]であるが、評価には、より保守的となるよう、収納物の最大ウラン量を超え((Ⅱ)－第D.5表:最大ウラン量[])、収納する燃料要素よりも放射能が高い燃料要素[]を想定し、1体当りのガンマ線源強度を(Ⅱ)－第D.2表に示すとおりとする。そのガンマ線源強度は次式で求めた。

$$S_E = C \cdot W \cdot R_E$$

ここで S_E : エネルギーEのガンマ線源強度 (Photons/s)

C : 比放射能 (Bq/g) : (Ⅱ)－第D.3表⁽²⁾に示す。

W : ウラン同位体の重量 (g)

R_E : エネルギーEのガンマ線放出割合 (photons/decay)

ウラン同位体の重量は以下に示す方法で保守的に算定した。

(a) ^{235}U 量 : 燃料要素の最大 ^{235}U 含有量

(b) ^{238}U 量 : ^{234}U 量及び ^{236}U 量をゼロとし、(a)で求めた ^{235}U 量と濃縮度の公差の下限を用いて ^{238}U 量を求めた。

(c) ^{234}U 、 ^{236}U 量 : ^{234}U 及び ^{236}U 量は、燃料製作時に決定されるので、重量の制限値は定められていない。このため過去のミルシート等から最大重量比を選出し、それらを保守的に切り上げた重量比を用いて ^{234}U 及び ^{236}U の重量を算出した。また、この際に必要なウラン全量は、(a)で求めた ^{235}U 量と (b)で求めた ^{238}U 量の合計である。なお、計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比を(Ⅱ)－第D.4表に示す。

計算に用いた燃料要素 1 体あたりのウラン同位体の重量を(□)－第D.5 表に示す。

(□)－第D.1 表 ウラン同位体のガンマ線放出割合

ウラン同位体	ガンマ線エネルギー (MeV)	ガンマ線放出割合 (Photons/decay)
[Redacted]		

(□)－第D.2 表 燃料要素 1 体あたりのウラン同位体によるガンマ線源強度

エネルギー (MeV)	γ 線源強度 (Photons/s)
[Redacted]	

(ロ) ー第D.3表 計算に用いた比放射能

ウラン同位体	比放射能 (Bq/g)
[Redacted]	

(ロ) ー第D.4表 計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比

ウラン同位体	重量比 (wt%)	
	ミルトの最大値	計算に用いた値
[Redacted]		

(ロ) ー第D.5表 計算に用いた燃料要素1体当たりのウラン同位体の重量

ウラン同位体	重量 (g)
[Redacted]	

(2) 低照射 ██████████ 装荷時

収納物である ██████████ のウラン量を超え、また、照射によって生成される放射能よりも保守的となるような冷却日数及び燃料度となる燃料を想定し、それらの収納時におけるガンマ線源強度を代表ケースとして評価する。

(a) ウランからの同位体によるガンマ線源

収納物に含まれるウラン同位体は、主に ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 等であり、それらのガンマ線放出率を (a) ー 第 D. 6 表⁽¹⁾ に示す。

評価では、収納物のウラン量を超える高濃縮ウラン (HEU) 燃料の約 ██████████、中濃縮ウラン (MEU) 燃料を ██████████ え、全ウラン量として ██████████ 収納されているとし ██████████ の燃料要素 (以下、「評価用燃料要素」という。) が ██████████ 収納されていると仮定した。評価用燃料要素 1 体あたりのガンマ線源強度を (a) ー 第 D. 7 表に示す。そのガンマ線源強度は、次式で求めた。

$$S_E = C \cdot W \cdot R_E$$

ここで S_E : エネルギー E のガンマ線源強度 (Photons/s)

C : 比放射能 (Bq/g) : (a) ー 第 D. 8 表⁽²⁾ に示す。

W : ウラン同位体の重量 (g)

R_E : エネルギー E のガンマ線放出割合 (photons/decay)

ウラン同位体の重量は以下に示す方法で保守的に算定した。

(i) ^{235}U 量 : 燃料の最大 ^{235}U 含有量

(ii) ^{238}U 量 : ^{234}U 量及び ^{236}U 量をゼロとし、(i) で求めた ^{235}U 量と濃縮度の公差の下限を用いて ^{238}U 量を求めた。

(iii) ^{234}U 、 ^{236}U 量 : ^{234}U 及び ^{236}U 量は、燃料製作時に決定されるので、重量の制限値は定められていない。このため過去の類似のミルシート等から最大重量比を選出し、それらを保守的に切り上げた重量比を用いて、 ^{234}U 及び ^{236}U の重量を算出した。また、この際に必要なウラン全量は (i) で求めた ^{235}U 量と (ii) で求めた ^{238}U 量の合計である。なお、計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比を (a) ー 第 D. 9 表に示す。

計算に用いた燃料要素 1 体あたりのウラン同位体の重量を (a) ー 第 D. 10 表に

示す。

(□)－第D.6表 ウラン同位体のガンマ線放出割合

ウラン同位体	ガンマ線エネルギー(MeV)	ガンマ線放出割合(Photons/decay)
[Redacted]		

(□)－第D.7表 評価用燃料要素1体当たりのウラン同位体によるガンマ線源強度

エネルギー (MeV)	γ線源強度 (Photons/s)
[Redacted]	

(ロ) ー 第 D. 8 表 計算に用いた比放射能

ウラン同位体	比放射能 (Bq/g)
[Redacted]	

(ロ) ー 第 D. 9 表 計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比

ウラン同位体	重量比 (wt%)	
	HEU燃料	MEU燃料
[Redacted]		

(ロ) ー 第 D. 10 表 計算に用いた評価用燃料要素 1 体当たりのウラン同位体の重量

ウラン同位体	重量 (g)
[Redacted]	

(b) 核分裂生成物からのガンマ線

評価用燃料要素は、実際に収納する[]よりも
も燃焼度が高く、冷却時間も短い、以下の条件の通りとした。

(i) HEU燃料 302 時間照射 (100W 換算) (0.0013Mwd) 冷却時間 15 年

(ii) MEU燃料 100 時間照射 (100W 換算) (0.0005Mwd) 冷却時間 4 年

これら 2 つ燃料要素について ORIGIN で核分裂生成物の放射能を計算した。
ただし、

- ① 燃料要素の運転中のピーキング係数を 2.00 とする。
- ② 主要核種の放射能をスケーリングして 100% として主要核種以外の核種の放射能の影響を考慮する。

このうち放射能の高い方を燃料要素の核分裂生成物の放射能とした。主要な核種の放射能とガンマ線強度を表 (p) - 第 D.11 表 に示す。

なお、実際に運搬する[]放射能は燃料要素 1 体分相当とすると [] となり、評価に使用した評価用燃料要素はより保守的となる。

(p) - 第 D.11 表 ORIGIN による核分裂生成物の放射能等

主要核種	ガンマ線エネルギー (MeV)	放出率 (%)	ORIGIN の放射能 (Bq)	スケーリング係数*	Photons/s
------	--------------------	---------	------------------	-----------	-----------

D.2.2 中性子源

(1) 新燃料要素装荷時

収納物は、未照射ウランであるため、中性子源として考慮する必要があるのはウランの自発核分裂による中性子の放出である。

ウラン同位体の自発核分裂放出率を(□)－第D.12表⁽³⁾に示す。

(□)－第D.12表 ウラン同位体の自発核分裂放出率

ウラン同位体	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U

ウラン同位体の中では、²³⁸Uの自発核分裂速度が最も大きいので、実際の収納物よりも²³⁸U含有量大きい燃料要素

体当りの中性子線強度を想定し、その値をとする。その自発核分裂による中性子源強度は次式で求めた。

$$S_n = \sum W_i \cdot f_i \cdot n$$

ここで

S_n ; 燃料要素 1 体当りの中性子源強度 (n/s)

w_i ; 燃料要素 1 体当りのウラン同位元素の重量 (g)

((□)－第D.5表による)

f_i ; ウラン同位体の自発核分裂放出率 (個 / g / s)

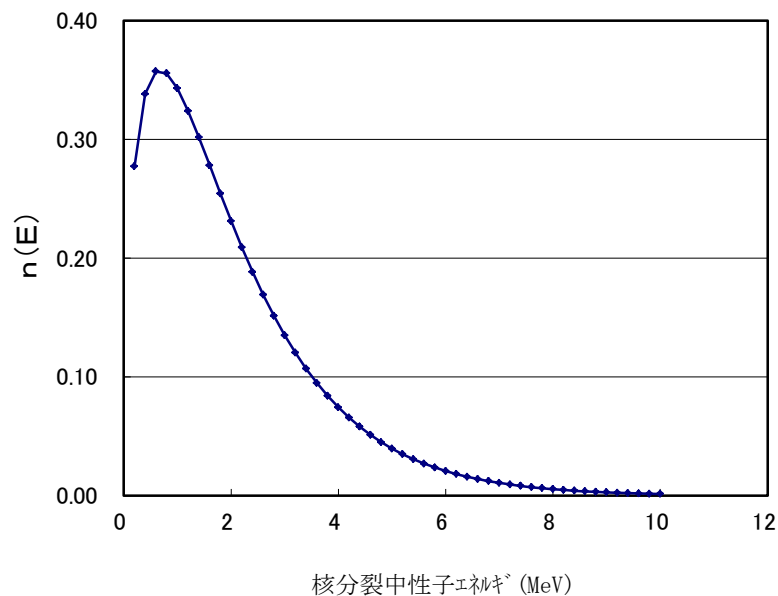
((□)－第D.12表による)

n ; 1 核分裂当りの中性子発生数⁴⁾ (2.5)

また、核分裂により放出される中性子のエネルギースペクトルを(□)－第D.1図⁴⁾に示す。中性子のエネルギーが高い程、換算係数が大きくなるので、線量当量率を安全側に評価するため、放出される中性子のエネルギーが全て10MeVであると仮定する。

臨界解析の結果、²³⁵U装荷量が保守的である濃縮度の燃料要素) 燃料要素を装荷した水の存在しない状態の輸送容器 1 基の実行増倍率 k_{eff} は 3σ を考慮してである。

本計算では安全側に実効増倍率を k_{eff} として、中性子源強度に中性子の増倍効果を k_{eff} 考慮する。



(a) ー第D.1 図 核分裂中性子のエネルギースペクトル

(2) 低照射された燃料要素装荷時

ガンマ線源強度と同様に、評価用燃料要素を用いて評価を実施した。

中性子源として考慮する必要があるのはウラン等の自発核分裂による中性子の放出である。それらの同位体の自発核分裂放出率を (a) ー第D.13 表⁽³⁾ に示す。

(a) ー第D.13 表 ウラン等同位元素の自発核分裂放出率

ウラン同位体	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U

放射能のより保守的な評価用燃料要素 1 体当りの中性子源強度を S_0 とする。その自発核分裂による中性子源強度は D.2.3(1) と同様の手法で算出した。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

(1) ガンマ線による線量当量率

ガンマ線の遮蔽計算には ANISN コード⁽⁶⁾を用いる。一般の試験条件及び特別の試験条件で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件とも、内容器表面を輸送物表面として、線量当量率の評価を行う。ガンマ線遮蔽計算モデルを(□)－第 D.2 図に示す。

ガンマ線源強度は濃縮度 [] %の燃料要素 [] を想定したが、線源領域は燃料の自己遮蔽が小さくなるようにより保守的に [] の小さい燃料要素のデータを用いて、燃料一体の線源領域を [] 直方体とした。側面モデルにおける線源領域のモデル化にあたっては [] の燃料要素を断面積の等しい円筒形状に均一に混合した。その際、バスケットの遮蔽効果は無視したが、(□)－第 B.6 図に示されている燃料バスケットと内容器胴とのギャップは、側面モデルの空間厚さ [] とした。この空間厚さも考慮して、線源領域表面が、最も検出点に近くなるようモデル化した。

輸送容器表面から 1m 離れた検出点での線量当量率は、ANISN コードによる計算では過大な安全側の評価となるため、空間領域の減衰計算は以下に示す方法で行った。

ANISN コードによる遮蔽計算で求められた輸送容器表面の角度束を $4\pi\phi(\vec{r}_s, E, \vec{\Omega})$ とすれば、(□)－第 D.3 図に示す空間の計算点 r_p での線束 $\phi(\vec{r}_p, E)$ 及び線量当量率 D は、次式で計算される。

$$\phi(\vec{r}_p, E) = \int_{\Omega} \int_S \phi(\vec{r}_s, E, \vec{\Omega}) \delta(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}) \cos \varphi \frac{ds}{r^2} d\vec{\Omega} \quad (D.3-1)$$

$$D = \int_E K(E) \phi(\vec{r}_p, E) dE \quad (D.3-2)$$

ここで、

ds ; 輸送容器表面の面積要素

r ; 面積要素 ds と計算点までの距離

$$r = \left| \vec{r}_p - \vec{r}_s \right|$$

$K(E)$; 線量当量率変換係数

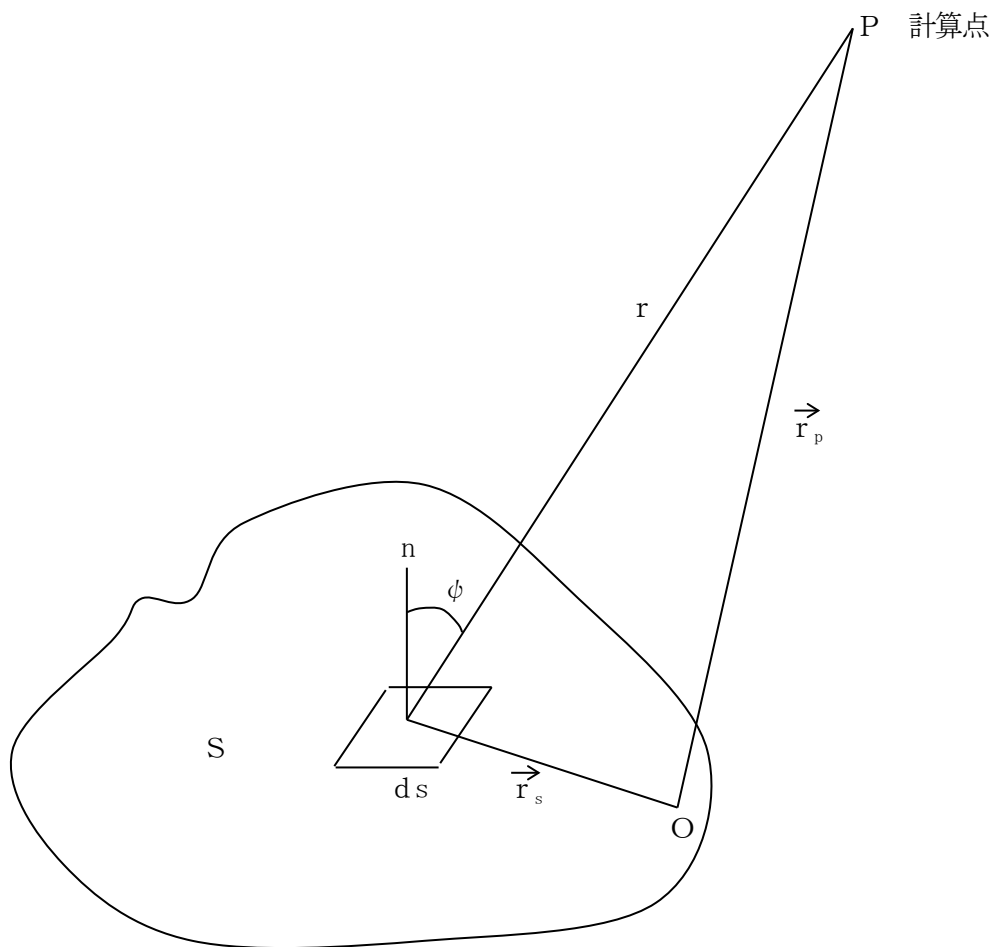
ϕ ; $\vec{\Omega}$ と ds の法線ベクトル n とのなす角

$\vec{\Omega}$; ds から計算点への角度を示す単位ベクトル

$\vec{\Omega}'$; ds からの任意の角度方向を示す単位ベクトル

E ; エネルギー

(ロ) - 第D.2図 ガンマ線遮蔽計算モデル



(□) - 第D.3 図 輸送容器表面の角度束と計算点との関係

(2) 中性子による線量当量率

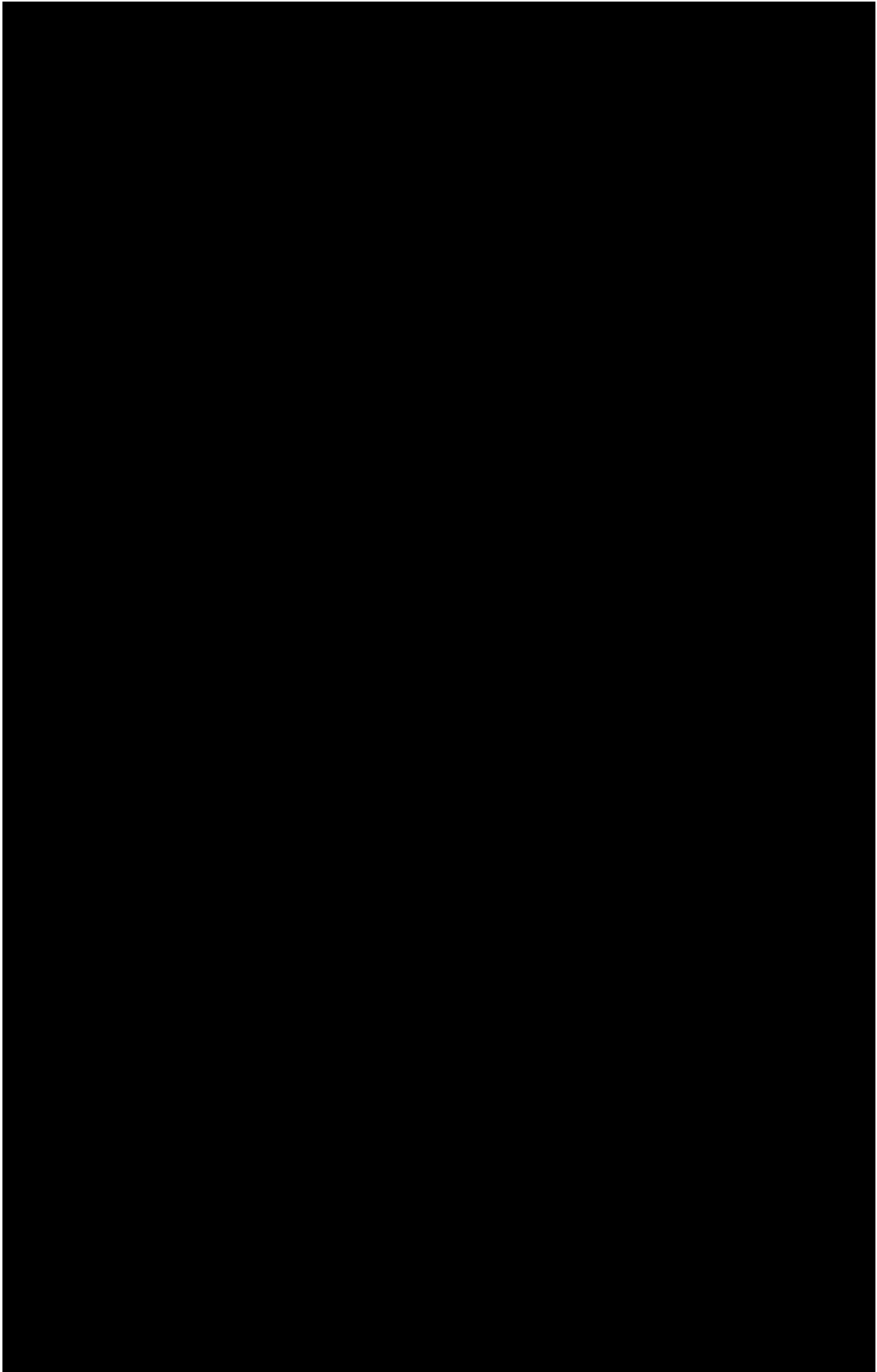
中性子による線量当量率は (ロ)－第D.4図に示すように、収納物である燃料要素を点線源とみなして計算する。収納物はキャビティ内に分散しているが、この点線源を内容器表面との距離が最も小さくなる位置に配置して評価する。

中性子の遮蔽計算においても、安全側に、内容器表面を輸送物表面として、線量当量率の評価を行う。また、評価にあたっては、安全側に、内容器蓋、底、胴等による遮蔽効果を見做し、距離による減衰のみを考慮するものとする。

(1) 蓋 部

(2) 側 面

(3) 底 部



(ロ) ー第D.4図 中性子遮蔽計算モデル

D. 3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

ガンマ線の遮蔽計算に用いた各領域の使用材料及び密度を(ρ)－第D. 14表に、各領域の遮蔽材の体積比を(ρ)－第D. 15表に、各遮蔽材の原子個数密度を(ρ)－第D. 16表に、それぞれ示す。

中性子による線量当量率は、構造材による遮蔽を考慮していないので、これらの各表は該当しない。

(ρ)－第D. 14表 使用材料及び密度

名称	材料	密度 (g/cm ³)
[Redacted]		

(ρ)－第D. 15表 遮蔽計算で用いた各領域の遮蔽材の体積比

領域	遮蔽材	体積比 (%)
[Redacted]		

(v) - 第 D. 16 表 各材料の原子個数密度

(atoms/barn · cm)

核種	線源領域 (側面評価時)	線源領域 (蓋部・底部評価時)	
[Redacted content]			

D.4 遮蔽評価

(1) ガンマ線による線量当量率

(a) 新燃料要素装荷時

新燃料要素装荷時におけるガンマ線の遮蔽計算はAN I S Nコードを用いて行った。ガンマ線に対する断面積は、DLC-23E/CASK ライブラリ⁽⁶⁾のエネルギー群構造 (18群) のものを使用した。

このエネルギー群構造を(□)－第D.17表に示す。線量当量率を求めるために用いたガンマ線に対する線量当量率換算係数⁽⁷⁾を(□)－第D.17表に示した。

計算結果を(□)－第D.18表に示す。

なお、一般の試験条件下における線量当量率の増加率については一般の試験条件下で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件共内容器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。

(ロ) - 第D.17表 ガンマ線エネルギー群構造と線量当量率換算係数

エネルギー群	上限エネルギー (eV)	線量当量率換算係数 $((\text{mSv/h}) / (\gamma / \text{cm}^2 \cdot \text{s}))$

(ロ)－第D.18表 ガンマ線による線量当量率 (新燃料要素装荷時)

評価位置		線量当量率 (mSv/h)
輸送物表面	蓋部	[Redacted]
	側面	
	底部	
輸送物表面から 1m離れた位置	蓋部	
	側面	
	底部	

(2) 低照射された燃料要素装荷時

低照射された燃料要素装荷時におけるガンマ線の遮蔽計算は前(1)(a)項と同様の手法で算出した。

計算結果を(ロ)－第D.19表に示す。

なお、一般の試験条件下における線量当量率の増加率については一般の試験条件下で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件共内容器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。

(ロ)－第D.19表 ガンマ線による線量当量率 (低照射された燃料要素装荷時)

評価位置		線量当量率 (mSv/h)		合計 (mSv/h)
		ウラン同位体	F P	
輸送物表面	蓋部	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	側面			
	底部			
輸送物表面から 1m離れた位置	蓋部			
	側面			
	底部			

(3) 中性子による線量当量率

(a) 新燃料要素装荷時

新燃料要素装荷時の中性子による線量当量率は次式で求める。

$$D_n = A \times \frac{S_n \cdot n}{4\pi r^2} \times k$$

ここで、

D_n : 線量当量率

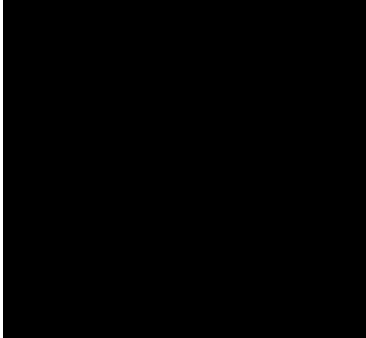
S_n : 燃料要素 1 体当りの中性子源強度

n : 輸送容器 1 基の収納燃料要素体数

r : 点線源から評価位置までの距離

k : 中性子の増倍効果

A : 10 MeV のエネルギーの中性子束の線量当量率換算係数⁷⁾



未照射燃料要素装荷時の中性子による線量当量率の計算結果を(□)－第D. 20表に示す。

(□)－第D. 20表 中性子による線量当量率 (新燃料要素装荷時)

評価 位置		線量当量率 (mSv/h)
輸送物表面	蓋 部	
	側 面	
	底 部	
輸送物表面から 1m 離れた位置	蓋 部	
	側 面	
	底 部	

(b) 低照射された燃料要素装荷時

低照射された燃料要素装荷時の中性子による線量当量率は前(2)(a)と同様の手法で算出する。

低照射された燃料要素装荷時の中性子による線量当量率の計算結果を(□)－第 D. 21 表に示す。

(□)－第 D. 21 表 中性子による線量当量率 (低照射された燃料要素装荷時)

評価 位置		線量当量率 (mSv/h)
輸送物表面	蓋 部	[Redacted]
	側 面	
	底 部	
輸送物表面から 1m 離れた位置	蓋 部	
	側 面	
	底 部	

D.5 結果の要約及びその評価

本輸送物の新燃料要素装荷時と低照射された燃料要素装荷時の遮蔽解析で得られた線量当量率の結果を(□)－第D.22表及び(□)－第D.23表に示す。

ガンマ線による線量当量率は1次元輸送計算コードANISN、中性子による線量当量率は点線源モデルによる簡易計算により、それぞれ求めた。

(□)－第D.22表及び(□)－第D.23表に示すように計算結果は、いずれも基準値を満足している。

(□)－第D.22表 輸送物の線量当量率

(新燃料要素装荷時)

(単位：mSv / h)

評価項目		輸送物表面			輸送物表面から 1m の位置		
		側面	蓋部	底部	側面	蓋部	底部
通常の輸送条件	γ線						
	中性子						
	合計						
	基準値						
一般の試験条件	γ線						
	中性子						
	合計						
	基準値						
特別の試験条件	γ線						
	中性子						
	合計						
	基準値						

(ロ) ー第 D. 23 表 輸送物の線量当量率

(低照射された燃料要素装荷時)

(単位：mSv / h)

評価項目		輸送物表面			輸送物表面から 1m の位置		
		側面	蓋部	底部	側面	蓋部	底部
通常の輸送条件	γ線						
	中性子						
	合計						
	基準値						
一般の試験条件	γ線						
	中性子						
	合計						
	基準値						
特別の試験条件	γ線						
	中性子						
	合計						
	基準値						

D.6 附属書類

D.6.1 ANISN コードの説明 (㊦) - D - 27

D.6.2 参考文献 (㊦) - D - 30

D.6.1 ANISN コードの説明

ANISN コードは、一次元ボルツマン輸送方程式を Discrete Ordinates Sn 法に基づいて数値計算するもので、米国 ORNL で開発された。

輸送方程式は、位置、エネルギー、進行方向からなる位相空間の体積要素内における粒子の生成と消滅の釣合を数学的に表現したもので次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & \Omega \cdot \nabla \phi (r, E, \Omega) + \sigma_t (r, E) \phi (r, E, \Omega) \\ & = \int \int \phi (r, E', \Omega') \sigma_s (r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) dE', d\Omega' \\ & \quad + S (r, E, \Omega) \dots \dots \dots (D.6-1) \end{aligned}$$

ここで、

$\phi (r, E, \Omega)$: 角度中性子束 (位置 r で単位ベクトル Ω 方向の単位立体角あたりに進む Ω に垂直な面を単位時間に通過する粒子の数)

$\sigma_t (r, E)$: 全巨視断面積

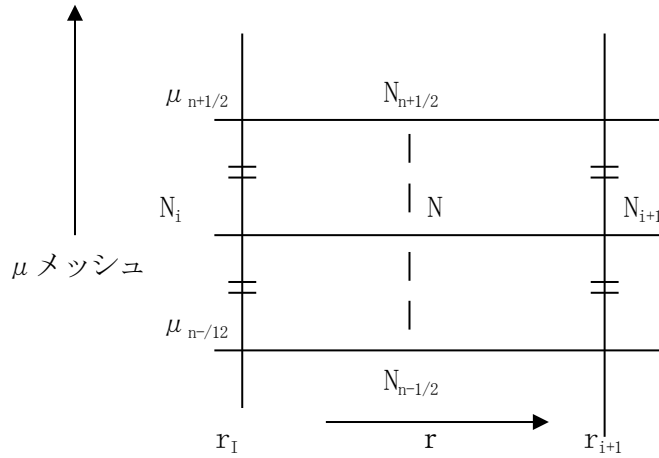
$\sigma_s (r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$: 散乱巨視断面積あるいは中性子による二次ガンマ線の生成巨視断面積

$S (r, E, \Omega)$: 外部線源

Sn 法は、この輸送方程式を位置、エネルギー、進行方向を離散的に取り扱い数値計算する方法で、角度分点の特殊なとり方 (Sn 分点) から Sn 法と呼ばれる。その手法は、輸送方程式を各エネルギー群、進行方向に対して、Fundamental cell で表して得られる差分型の階差方程式を繰り返し計算法により収束するまで計算する。

今、一次元輸送方程式を隣接する (r_i, r_{i+1}) 、 $(\mu_{n-1/2}, \mu_{n+1/2})$ メッシュが定める Fundamental cell で表すと ((v) - 第 D.5 図参照)

$$\begin{aligned} & W \cdot \mu \cdot (A_{i+1} N_{i+1} - A_i N_i) + \alpha_{n+1/2} \cdot N_{n+1/2} - \alpha_{n-1/2} \cdot N_{n-1/2} \\ & = V \cdot (S - \Sigma t) \cdot N \cdot W \dots \dots \dots (D.6-2) \end{aligned}$$



(D.5) 第D.5図 メッシュ分割図

ここで、

N : 中性子束 (角度分布を含む) (各エネルギー群に対して)

μ : 方向余弦

A : 面積要素

平板形状では 1.0

円筒形状では $2\pi r$

球形状では $4\pi r^2$

W : 方向余弦 μ の重み $\sum_n W = 1.0$

V : 体積要素

平板形状では $r_{i+1} - r_i$

円筒形状では $\pi (r_{i+1}^2 - r_i^2)$

球形状では $4/3\pi (r_{i+1}^3 - r_i^3)$

Σt : 全断面積

S : 線源項 (外部線源 + 散乱積分項)

α : 次式で決まる値である。

$$\alpha_{n+1/2} = \alpha_{n-1/2} - W \cdot \mu (A_{i+1} - A_i)$$

$$\alpha_{1/2} = 0.0$$

(D.6-2) 式は、(D.6-1) 式に位相体積を掛けて積分し、微分を差分に置き換えることにより得られる。

(D.6-2) 式は、5つの未知変数 (N 、 N_i 、 N_{i+1} 、 $N_{n-1/2}$ 、 $N_{n+1/2}$) を含んでいる。
 そこで未知変数の数を減じるために、ダイヤモンド差分法やステップ関数近似を使用する。

ダイヤモンド差分法：隣接メッシュ点間での線型近似

$$N = 1/2(N_{i+1} + N_i) = 1/2(N_{n-1/2} + N_{n+1/2})$$

ステップ関数近似：

$$N = N_i = N_{n+1/2} \quad \text{for } \mu < 0$$

$$N = N_{i+1} = N_{n-1/2} \quad \text{for } \mu > 0$$

ダイヤモンド差分法を用いると $\mu > 0$ に対しては、

$$N = \frac{2\mu AN_i + \frac{2\alpha}{W} N_{n-1/2} + SV}{2\mu A + \frac{2\alpha}{W} + \sum tV} \quad (\text{D.6-3})$$

ここで

$$\alpha = 1/2(\alpha_{n+1/2} + \alpha_{n-1/2})$$

$$A = 1/2(A_{i+1} + A_i)$$

この階差式は、初期値を適当に与えて Iteration 法により収束するまで計算する。

以上が基本的な解法である。

D. 6.2 参考文献

- 1) 村上悠紀雄、他；「放射線データブック」、地人書館（昭和 57 年）
- 2) International Atomic Energy Agency “Safety Series No. 37”（1987）
- 3) Ethesington; “Nuclear Engineering Handbook”（1965）
- 4) 原子力ハンドブック、グラストン(1965)
- 5) ORNL/RSIC Computer Code Collection ANISN-W “A One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code” CCC-82
- 6) RSIC Data Library Collection DLC-23 “Cask 40 Group Coupled Neutron and Gamma-Ray Cross Section Data”
- 7) 日本アイソトープ協会「外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」
ICRP Publication 74（平成 10 年）

E 臨界解析

(ロ) - E. 臨界解析

E.1 概 要

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件下における緩衝体及び断熱材の変形等を考慮し、解析モデルとして、緩衝材及び断熱材を無視した最も厳しい状態となる損傷配列系について、未臨界性を3次元モンテカルロ法を用いて行った。

本輸送容器には、6種類の燃料要素が収納される。本輸送容器1基に収納する要素数は、
[REDACTED]である。また [REDACTED]

本解析では、特殊燃料要素及び半装燃料要素を除く 4種類の燃料要素を収納した場合について臨界解析を行う。特殊燃料要素及び半装燃料要素は標準燃料要素に比べて、燃料要素1体当たりの²³⁵Uの含有量が同じかあるいは少ないため、輸送容器収納時の実効増倍率は小さくなるので評価対象外とする。

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

輸送容器 1 基には、(ロ)－第 E.1 表に示す角型燃料要素が [REDACTED] 収納される。

本輸送容器 1 基当たりの ^{235}U 装荷量は、濃縮度 [REDACTED] の [REDACTED] [REDACTED] したとき最大となり、その装荷重量は [REDACTED] である。

燃料要素は [REDACTED] [REDACTED] で構成されている。 [REDACTED]

各収納燃料要素の [REDACTED] の主要仕様を (ロ)－第 E.2 表に示す。

E.2.2 輸送容器

本輸送容器は口章 A.9 に示すとおり核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下においては、外容器緩衝体及び断熱材の一部が変形するが、臨界評価に影響する内容物の形状変化は生じない。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においては、燃料要素、内容物は破損せず、緩衝体及び断熱材の一部が変形する。

したがって、本臨界解析のモデルにおいては、E.3.1 に示すように緩衝材及び断熱材は、安全側にないものとし、非損傷輸送物（輸送時）及び損傷輸送物（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）に対して共通して適用できるモデルとしている。

通常の輸送条件、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件における緩衝材の残量を (ロ)－第 E.3 表に示す。この表より明らかなように、内容器表面を輸送物表面とした損傷系で評価を行うことは十分安全側である。

(ロ) - 第E.1表 燃料要素の主要仕様

項目 燃料要素の名称	全長 (mm)	断面寸法 (mm)	²³⁵ U濃縮度 (wt%)	燃料要素 1体当りの ²³⁵ U (g)	輸送物当 たりの最大収 納数 (体)	備考
KUR標準燃料要素						
KUR特殊燃料要素						
KUR半装燃料要素						

(ロ) - 第E.2表 ■ ■ ■ の 主 要 仕 様 (1/2)

項 目 燃料要素の名称	■ ■ ■ の全長 (mm)	■ ■ ■ の 幅(mm)	■ ■ ■ の 厚さ(mm)	被覆材の 厚さ(mm)	■ ■ ■ 1枚当 たりの重量 (g)	備 考
	KUR標準燃料要素					
KUR特殊燃料要素						
KUR半装燃料要素						

(口) - 第E.2表 ■ ■ ■ の 主 要 仕 様 (2/2)

項 目 燃料要素の名称	■ 1枚当 たりの ²³⁵ U (g) 重量	■ の芯材 長さ (mm)	■ の芯材 幅 (mm)	■ の 芯材 厚さ (mm)	燃 料 芯 材	備 考
KUR標準燃料要素						
KUR特殊燃料要素						
(Blank)						
						

(ロ) - 第 E.3 表 内容器表面から容器表面までの距離

(単位：mm)

	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 験条件	核分裂性輸送物 に係る特別の試 験条件
内筒表面から輸送容器 表面までの距離			
変形量			
残量			

*1 損傷系では、内筒表面から輸送容器表面までの距離を 0mm とする。

E.2.3 中性子吸収材

本輸送容器には、中性子吸収材を用いていない。

E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

本輸送容器には、5種類の燃料要素と[]が収納される。特殊燃料要素、半装燃料要素は標準型要素に比べて燃料要素1体当たりの²³⁵U含有量が少ないため、輸送容器の実効増倍率は小さくなる。従って、ここでは、特殊燃料要素、半装燃料要素を除く1種類の燃料要素を解析対象とする。これらに[]についても解析対象とする。さらに[]解析対象とする。

臨界解析では、輸送容器の内部及び外部の空隙は全て水で満たされものとして、孤立系及び配列系において損傷系と非損傷系のいずれかが厳しいかを検討し、最も厳しい状態で解析を行う。なお、ここで使用した損傷系は一般の試験条件及び特別の試験条件に置いた輸送物の状態、非損傷系は健全な輸送物の状態と定義する。

(1) 孤立系（損傷系－非損傷系）

孤立系においては、非損傷系の内容器周囲の領域は断熱材であり、損傷系では断熱材が喪失しているものとして、断熱材が水に置換されたものとする。中性子反射効果及び中性子減速効果は、水の方が断熱材よりも大きい。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くなる。

(2) 配列系（損傷系－非損傷系）

配列系においては、断熱材がないものとしている損傷系が、非損傷系に比べ、となりあう内容器の配列間の距離が小さく、中性子相互干渉効果が大きいため損傷系が厳しくなる。

(3) 損傷孤立系と損傷配列系

内容器に水が満たされている損傷孤立系及び配列系においては、中性子は十分減速されるモデルとなり、中性子減速は同程度である。また、中性子の漏れを全く無いとした完全反射の配列系は、水の反射効果を考慮して中性子の漏れを小さくした孤立系よりもさらに厳しい結果となる。

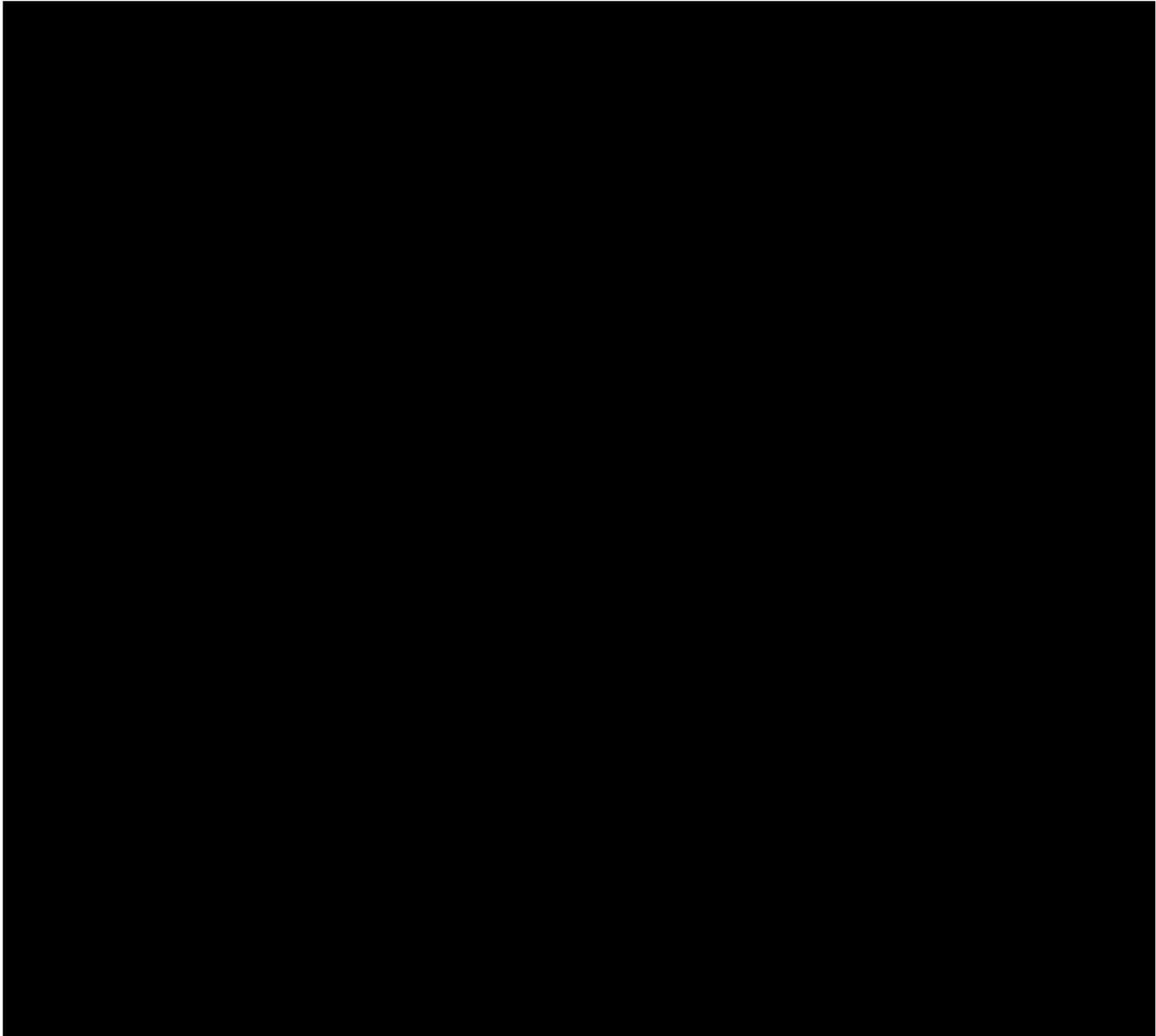
したがって、本解析では、径方向の輸送物配列を(ロ)－第E.1図及び(ロ)－第E.2図に示すように、外容器緩衝材及び断熱材が完全に取り除かれた状態の内容器が無限に最稠密配列となる三角格子型とし、軸方向については、燃料部分が無限の長さを持つ最も厳しい状態となる損傷配列系の解析モデルで評価する。規則で定められる要件とそれぞれの解析条件の対応を(ロ)－第E.4表に示す。

本解析に用いた内容容器内の燃料要素配列モデルを(ロ)－第 E. 2 図() に示す。内容容器は浸水するものとして、内容容器の内部及び外部の空隙は全て密度 1.00g/cm^3 の水で満たされているものとした。内容容器内での中性子吸収を小さく見積るために、内容容器胴及び燃料バスケットの角形パイプ以外の構造物は無視して水で置き換えた。

解析対象である 4 種類の燃料要素の解析モデルを(ロ)－第 E. 3 図から(ロ)－第 E. 5 図に示す。燃料要素の上部及び下部構造物は無視して、燃料部分が無限の長さを持つものとした。 については、燃料部分と被覆材 を均質化し、 が燃料バスケットの角形パイプ中全体に均等に広がった場合を想定して解析を行った。 については、角形パイプの縦方向、 は横方向に燃料を均等配置した。 については、 が燃料バスケット上部に を想定して解析を行った。

E. 3. 2 臨界解析モデル各領域の原子個数密度

計算に使用した輸送容器各領域の原子個数を(ロ)－第 E. 5 表に示す。また、燃料要素各部の原子個数密度を(ロ)－第 E. 6 表に示す。 ^{235}U 濃縮度は公差の最大値として、安全側に実効増倍率を計算するようにした。



上下方向モデルは、KUR 及び [redacted]

[redacted] 上下とも反射境界（完全反射）とした。

計算時には、金属スペーサーは使用していない [redacted]

(ロ) ー 第 E. 1 図 輸送容器臨界計算モデル (KUR 燃料要素 [redacted])

[redacted]

(口) - 第 E. 2 図 輸送容器臨界計算モデル (収納時)

(ロ) 第 E. 3 図 KUR 標準燃料要素臨界計算モデル

(ロ) ー第 E. 4 図  臨界計算モデル

(ロ) ー第 E. 5 図 ー 界計算モデル

(ロ) - 第 E. 4 表 規則で定められる要件と解析条件の対応

規則で定められる要件				解析条件		
条件	輸送物数	輸送物内への水の浸入	水の近接反射	輸送物の配置	輸送物内への水の浸入	水の近接反射
1. 通常輸送時		なし	なし	内容物が無限に最稠密配列となる三角格子型モデルとした。	あり	水の近接反射より厳しい無限個で評価している。
2. 孤立系	1 個	あり	あり			
3. 一般の試験条件	1 個 (孤立系)	あり	あり			
4. 特別の試験条件	1 個 (孤立系)	あり	あり			
5. 一般の試験条件	5N 個* (配列系)	要件なし	あり			
6. 特別の試験条件	2N 個* (配列系)	要件なし	あり			

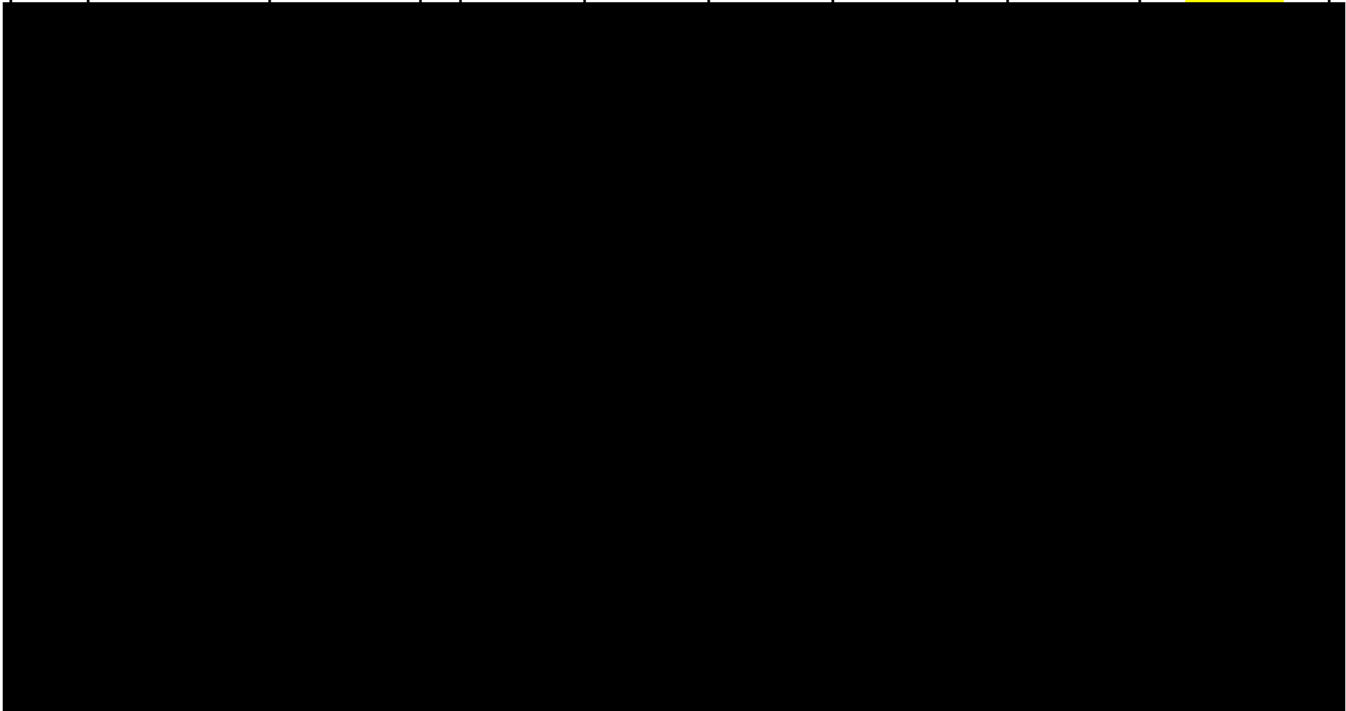
* : N は輸送制限個数を示す。本輸送容器では、N=無限個

(ロ) - 第 E. 5 表 臨界解析に用いた輸送容器各領域の原子個数密度組成 (atoms/barn-cm)

核 種	内容物及び燃料 バスケットのパイプ	水 (1.00 g/cm ³)

(□) - 第 E. 6 表 臨界解析に用いた燃料要素の原子個数密度組成 (atoms/barn-cm)

核種	KUR (LEU) 標準燃料要素	被覆材		核種	■ ■	核種	■ ■		核種	■ ■
----	------------------------	-----	--	----	--------	----	--------	--	----	--------



E. 4 未臨界性評価

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. 7 表に示す。

(ロ) - 第 E. 7 表 解析対象燃料要素

項目	^{235}U 濃縮度 (wt%)	輸送物当たり の最大収納数 (本)
燃料要素の名称		
KUR標準燃料要素		

(2) 輸送容器

解析対象である輸送容器の内容器を (ロ) - 第 E. 3 図に示すとおり輸送物の表面として評価する。

E. 4.2 輸送物への水の浸入等

臨界解析に当たっては、孤立系と配列系の評価を包含するよう、内容器内部は水で満たされているとして評価を行った。

E. 4.4 で示すように、冠水時に最大の実効増倍率を示す場合は [] を収納した場合であるため、その [] に対して水密度はパラメータとして評価した際、最大の実効増倍率を示すのは、水密度 [] の時であり、このときでも、未臨界であることを確認した。このとき、水の浸入によって輸送物の配列変化や接近及び温度変化はないものとした。なお、梱包材の影響は、水密度の変化に包含される。

水密度の影響を評価した結果を付属書類の E. 7.1 に示す。

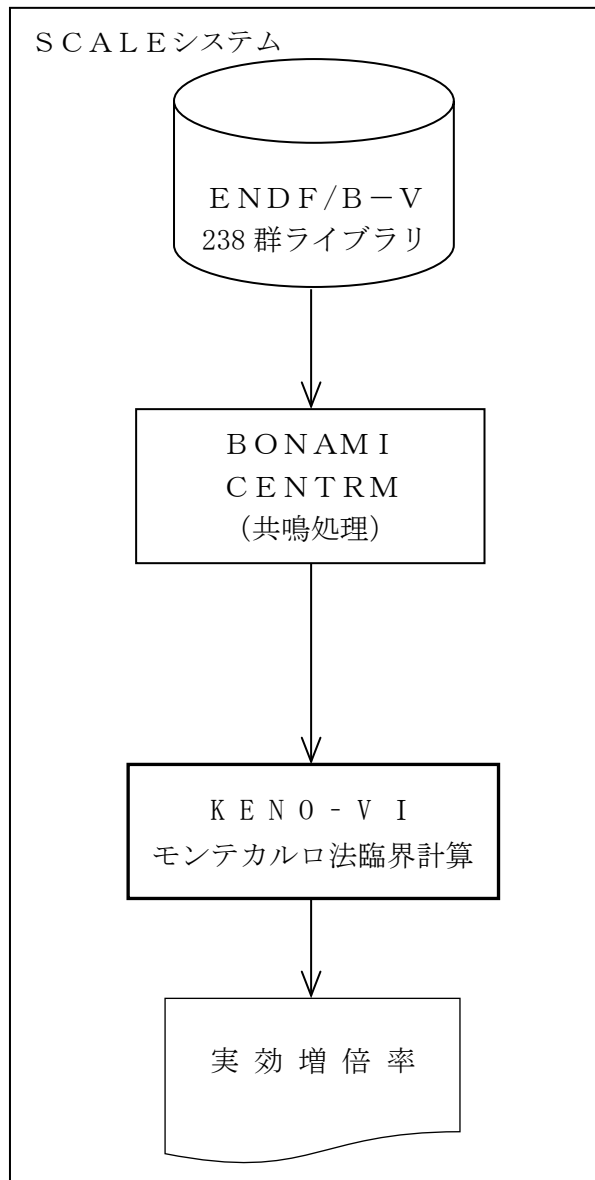
E.4.3 計算方法

臨界計算は、

SCALEシステム⁽¹⁻³⁾を用いて臨界計算を行った。keffの計算には、SCALEシステム内蔵の3次元モンテカルロ法臨界解析コードKENO-VIを用いた。また、核データライブラリは、SCALEシステム内蔵のENDF/B-V 238群ライブラリを用いた。

■中の共鳴自己遮蔽効果については、SCALEシステム内蔵の共鳴処理コードBONAMI、及びCENTRMを用いた。KENO-VIの説明をE.7.2に示す。

以上の臨界計算の流れを(□)－第E.6図に示す。



(口) - 第 E. 6 図 臨界計算の流れ

E. 4.4 計算結果

未臨界性評価は、E. 3.1 項に示すように最も厳しい損傷配列系を解析対象とする。

冠水時の損傷配列における実効増倍率の計算結果は(ロ)－第 E. 8 表に示すとおりである。

KUR 標準燃料要 [redacted] 収納した場合の実効増倍率は、 $keff \pm \sigma$ [redacted] であり、このときの 99%信頼区間での実効増倍率は、 $keff + 3\sigma$ [redacted] であり、基準値 0.95 を十分下回っており、未臨界である。

[redacted] 場合が最も実効増倍率が高く、 $keff \pm \sigma$ [redacted] であり、このときの 99%信頼区間での実効増倍率は、 $keff + 3\sigma$ [redacted] であり、基準値 0.95 を十分下回っており、未臨界である。

[redacted] が最も実効増倍率が高く、 $keff \pm \sigma$ [redacted] であり、このときの 99%信頼区間での実効増倍率は、 $keff + 3\sigma$ [redacted] であり、これが最大値となるが、基準値 0.95 を十分下回っており、未臨界である。

[redacted]、このときの 99%信頼区間での実効増倍率は、 $keff + 3\sigma$ [redacted] であり、基準値 0.95 を十分下回っており、未臨界である。

さらに、内容器内部及び輸送物の間を満たす水の密度が 1.00g/cm^3 から 0.00g/cm^3 まで変化した場合における実効増倍率への影響を、最大水密度 [redacted] での実効増倍率が最も大きい [redacted] 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 [redacted] のときであるが、そのときでも $keff + 3\sigma$ [redacted] であり、本輸送物は未臨界である。なお、角型パイプ内を水の密度が [redacted] で計算した方が実効増倍率が高いため、この結果を示している。また、[redacted] KUR 標準燃料による水密度の影響は [redacted] の結果に包含される。

また、[redacted] 満たす水の密度が 1.00g/cm^3 から 0.00g/cm^3 まで変化した場合における実効増倍率への影響を評価した結果、最も実効増倍率が大きくなるのは [redacted] [redacted] であるが、そのときでも $keff + 3\sigma$ [redacted] であり、本輸送物は未臨界である。

(ロ) - 第 E. 8 表 冠水時臨界計算結果

燃料要素の名称	燃料芯材	^{235}U *1 濃縮度 (wt%)	^{235}U *1 重量 (g/体)	収納*2 体数	$k_{\text{eff}} \pm 1\sigma$	$k_{\text{eff}} + 3\sigma$
KUR 標準燃料 要素						

*1 計算に用いた値である。 *2 輸送容器 1 基当たりの収納体数

*3 燃料がキャスクの中心に寄った場合 *4 燃料バスケット外側の水密度が

E.5 ベンチマーク試験

(1) ベンチマーク試験

本解析で用いた SCALE システムにある 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) 日本原子力研究所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)⁽³⁾

(b) ORNL で SPERT-D 燃料 () で行われた臨界実験 (国際ベンチマーク試験)⁽⁴⁾

(c) JRR-4 (濃縮度) で行われた臨界実験⁽⁵⁾

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、日本原子力研究所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. 7 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)¹⁾ が作成された。その中に、米国 ORNL で SPERT-D 燃料 [REDACTED]、形状：(ロ) - 第 E. 8 図、(ロ) - 第 E. 9 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 [REDACTED]、臨界燃料本数 [REDACTED]、臨界量 (²³⁵U) [REDACTED]、格子配列：(ロ) - 第 E. 10 図参照 (図に示す燃料体の数字は [REDACTED] を示す)

(ii) CASE15 (SPART15)

格子の形状 [REDACTED]、臨界燃料本数 [REDACTED]、臨界量 (²³⁵U) [REDACTED]、格子配列：(ロ) - 第 E. 10 図参照 (図に示す燃料体の数字は [REDACTED] を示す)

(iii) CASE23 (SPART23)

格子の形状：[REDACTED]、臨界燃料本数：[REDACTED]、臨界量 (²³⁵U)：[REDACTED]、²³⁵U 濃度 [REDACTED]、ボロン濃度：[REDACTED]、格子配列：(ロ) - 第 E. 10 図参照 (図に示す燃料体の数字は [REDACTED] 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 [REDACTED] 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. 11 図及び (ロ) - 第 E. 12 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

(a) 日本原子力研究所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)

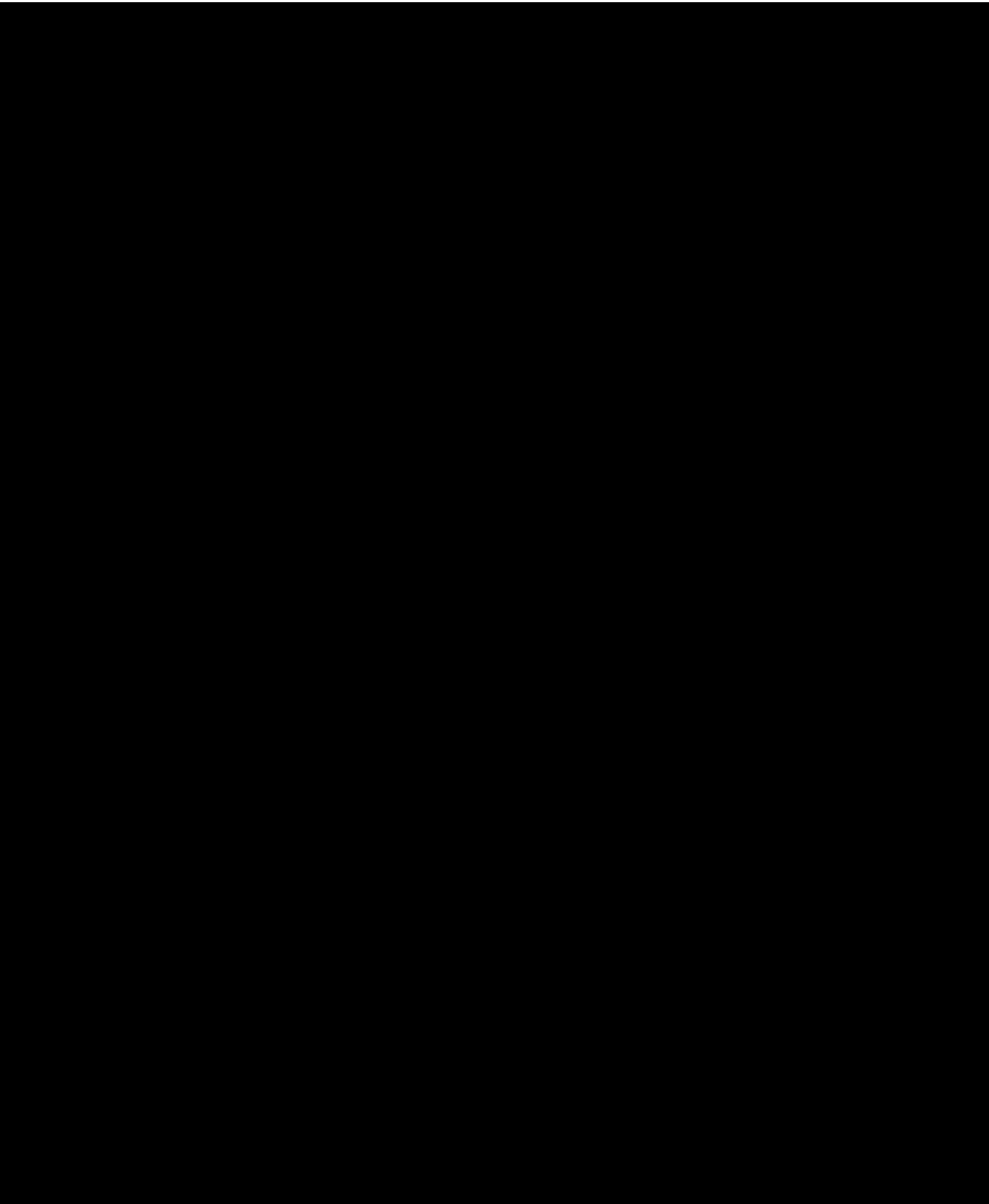
(b) ORNL で SPERT-D 燃料()で行われた臨界実験(国際ベンチマーク試験)

(c) JRR-4(濃縮度)で行われた全炉心及び最小炉心臨界実験の各体系について MGCL と KENO-V. a から実効増倍率を求めると、(ロ) ー第 E. 9 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。

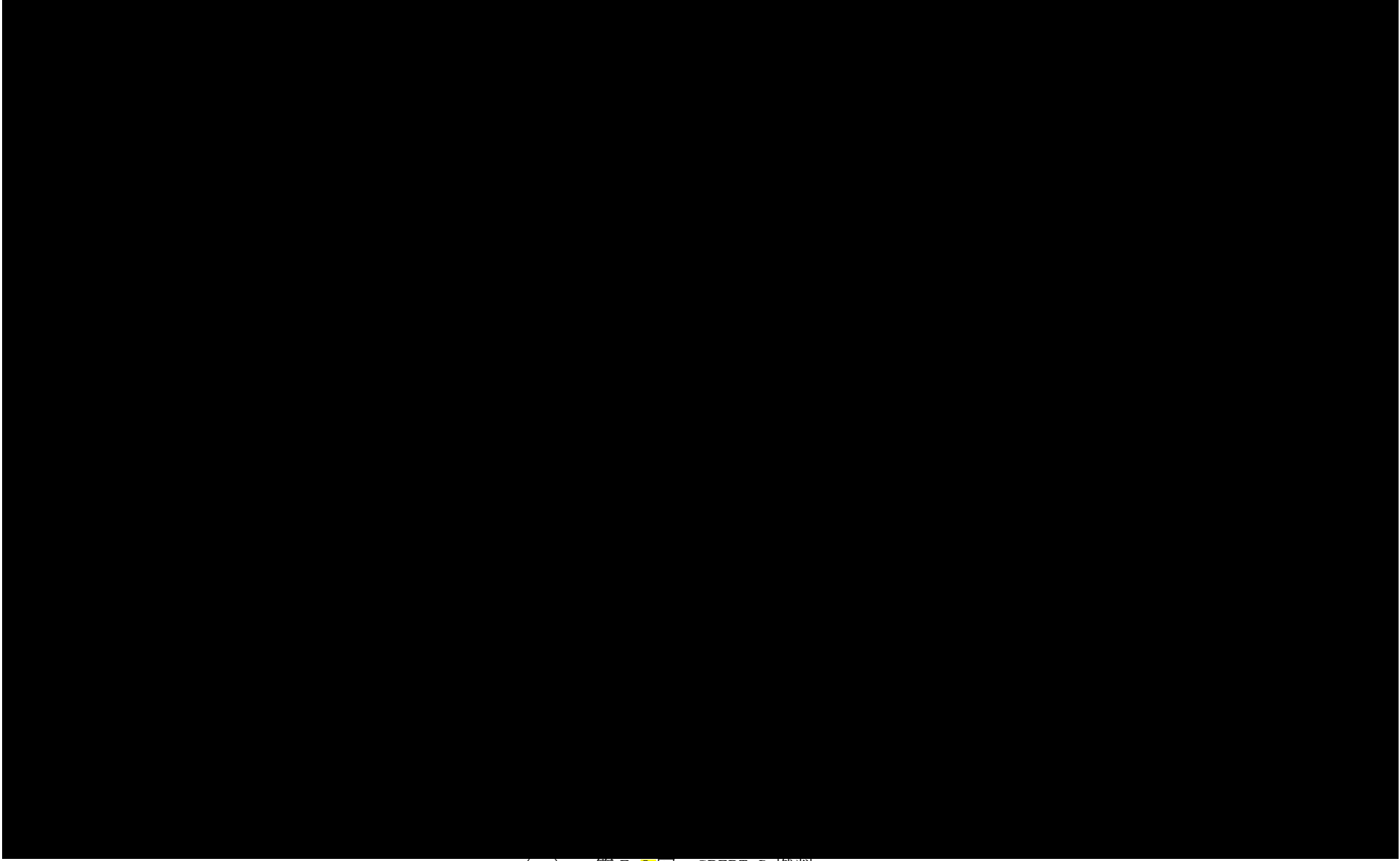
(ロ) ー第 E. 9 表 ベンチマーク臨界実験解析結果

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

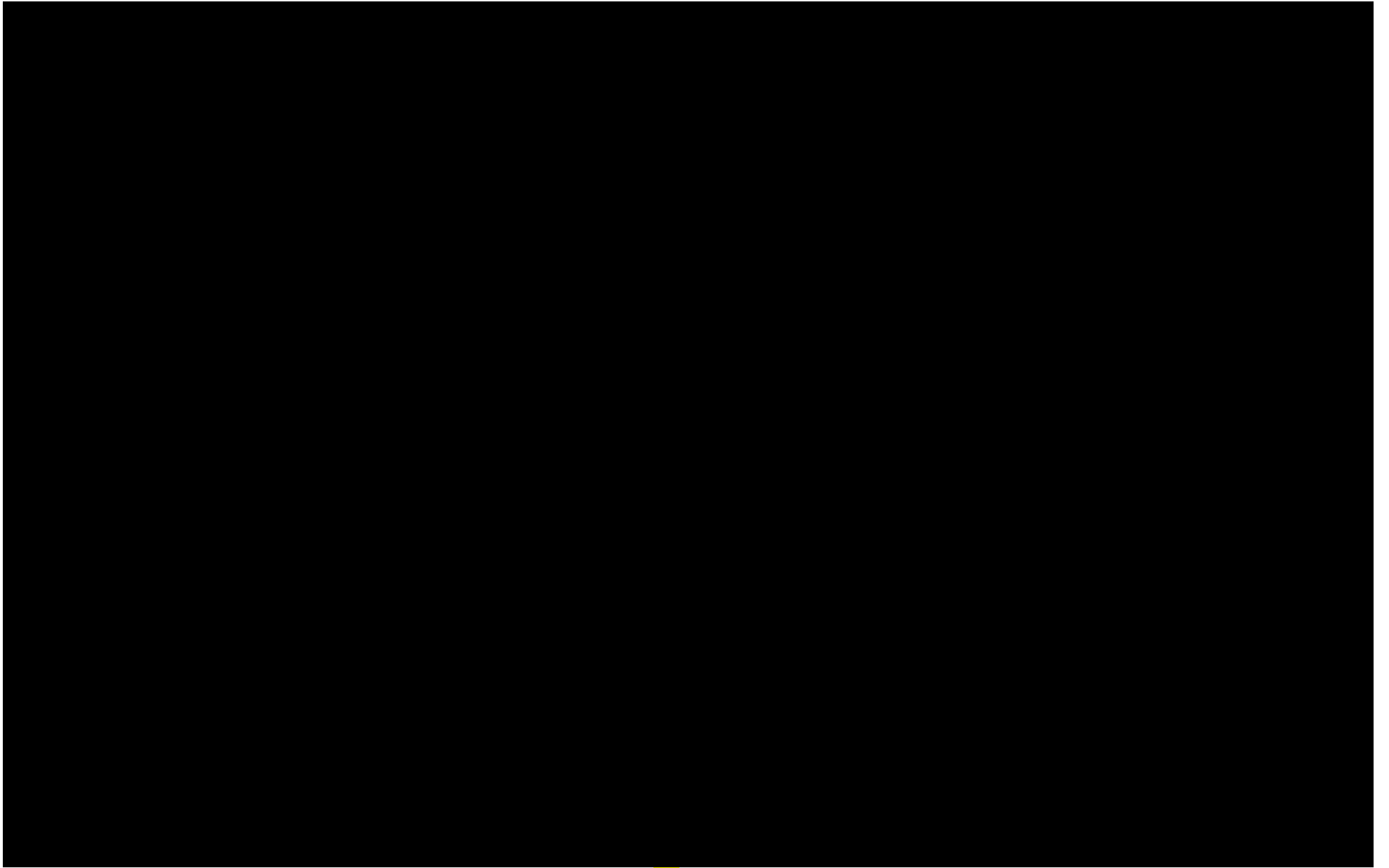
* : 燃料対水体積比

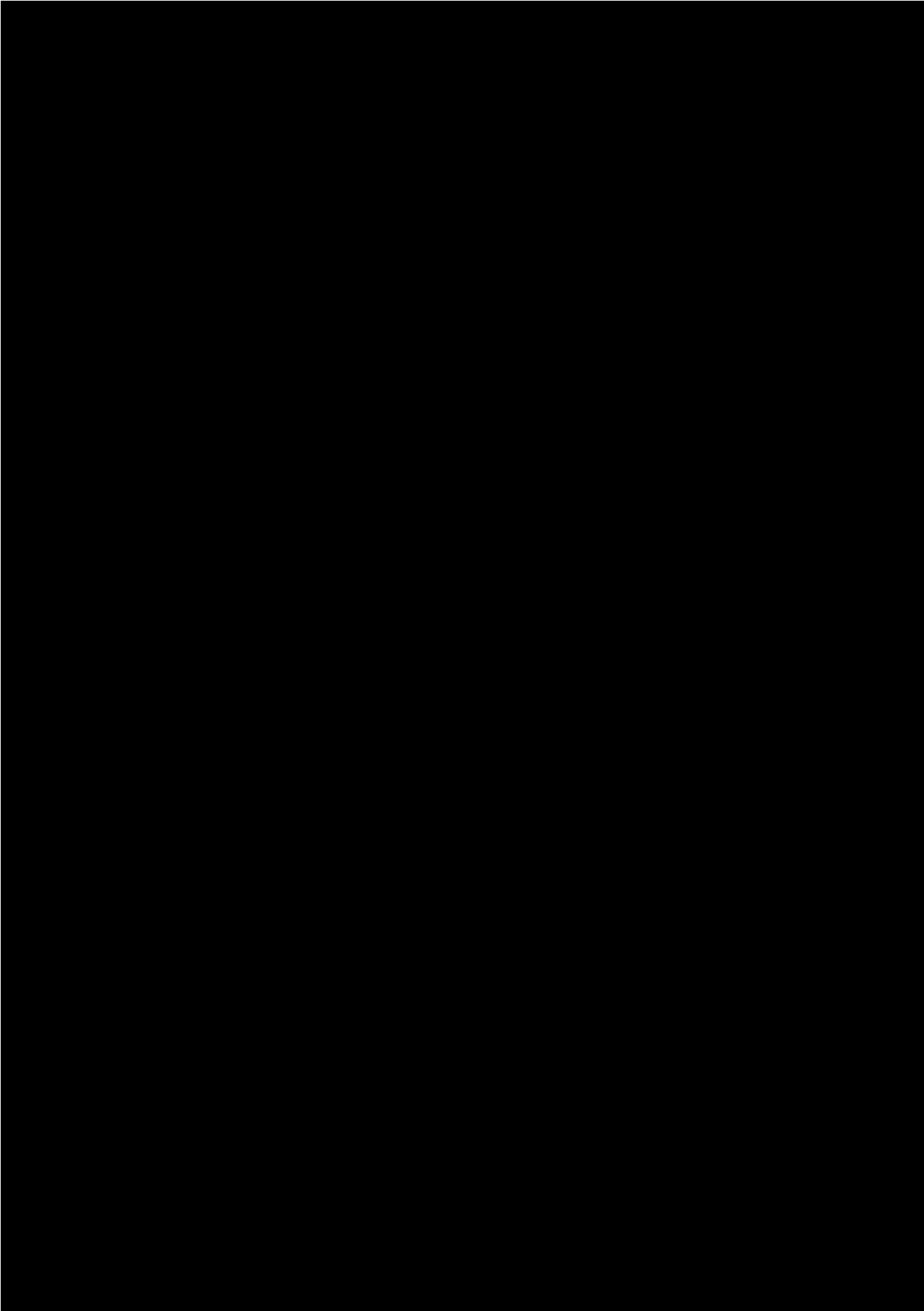


(口) - 第E.7 図 T C A 臨 界 実 験 体 系

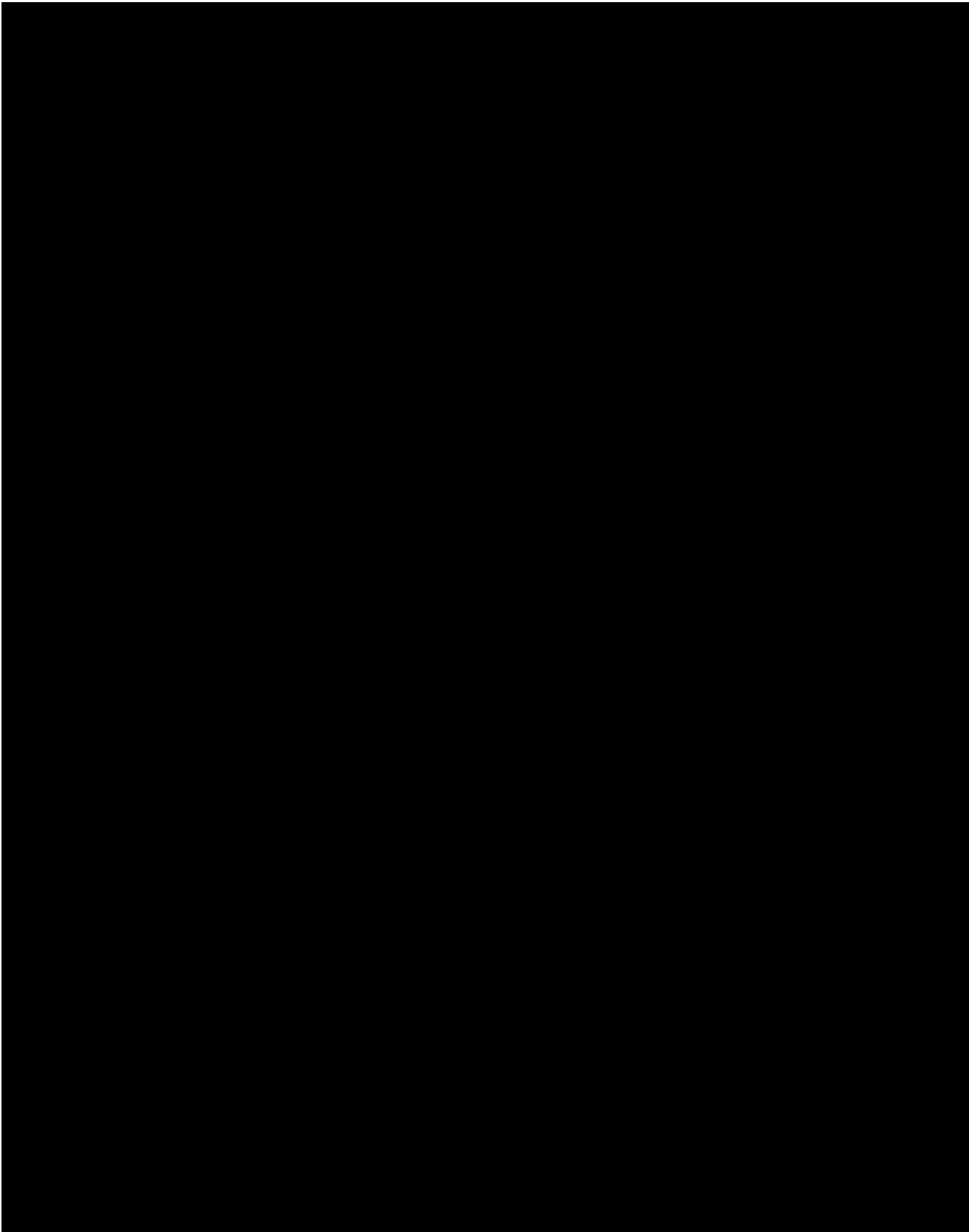


(口) - 第 E. 9 図 SPERT-D 燃料 (続き)





(口) - 第 E. 11 図 燃料要素



(口) - 第 E. 12 图 炉心配置图

E.6 結果の要約及びその評価

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置くこととした場合、(ロ) -A.9.1 に示すように、輸送容器の変形は、臨界評価体系（損傷状態を考慮した輸送物の表面）の外側である外容器の変形であり、臨界評価体系である内容容器に一辺 10cm の立方体を包含するくぼみは生じず、また外接する直方体の各辺が 10cm 未満となることはない。

本解析で最大の実効増倍率を示すのは、(ロ) -第 E.8 表に示すとおり輸送容器 1 基に [REDACTED] し、内容容器内部及び輸送物の間を満たす水の密度が [REDACTED] の場合であり、 $k_{\text{eff}}+3\sigma$ [REDACTED] であり未臨界である。

E. 7 付属書類

- E. 7. 1 水密度の影響評価 (v) – E – 32
- E. 7. 2 KENO-V. a 及び KENO-VI コードの説明 (v) – E – 34
- E. 7. 3 MGCL ライブラリ の説明 (v) – E – 35
- E. 7. 4 参考文献 (v) – E – 36

E.7.1 水密度の影響評価

ここでは、輸送容器に水が浸入した場合において、内容器内外の水密度の変化が臨界性に及ぼす影響を評価する。

最適減速状態を与える水密度及びその時の体系の実効増倍率は、主に燃料要素間の距離と燃料要素間の構造物による中性子吸収により決まる。本輸送物では、燃料要素間の距離とこの間にある燃料要素を収納するパイプの肉厚は収納燃料要素による違いはない。したがって、各燃料要素の最適減速状態における未臨界性の確認は、水密度 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ での実効増倍率が最も大きくなる燃料要素を収納した場合の実効増倍率が 0.95 を超えないことを確認することにより、その他の燃料要素においても、確認できる。

ここでは、水密度 [] での実効増倍率が最も大き [] について、内容器内外の水密度が $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ から $0.00\text{g}/\text{cm}^3$ まで変化した場合の実効増倍率を計算して、本輸送物が最適減速状態においても未臨界であることを確認する。

水密度の影響評価に用いる解析モデルは、水密度 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ の時と同一である。

また、水を除く各領域の原子個数密度組成も同一である、

計算結果を (a) ー 第 E. 10 表及び (a) ー 第 E. 22 図に示す。

[] の場合は、水密度 [] において最適減速状態が起っているが、このときの実効増倍率は、 $k_{\text{eff}}+3\sigma =$ [] であり、基準値 0.95 を下回っている。

水密度 [] の水に浸された状態での実効増倍率が最も大きい輸送容器 1 基当り [] [] 時でも、最適減速状態における未臨界性は確保されており、本輸送物は如何なる条件下でも未臨界であるといえる。

(ア) - 第 E. 10 表 水密度の変化に伴う実効増倍率の変化

水 密 度 (g/cc)	k_{eff}	1σ	$k_{eff} + 3\sigma$
1.00			
0.5			
0.1			
0.001			
0.00			

E.7.2 KENO-V.a 及びKENO-VI コードの説明

(1) KENO-V.a

KENO-V.a は、モンテカルロ臨界計算コードであり、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(PL)で表された中性子散乱マトリ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。

$$k_{\text{eff}} = \frac{\sum_{j=1}^{\text{NPB}} \sum_{i=1}^{\text{NCOLL}} W_{t_{ij}} \frac{\nu \Sigma_f}{\Sigma_t}}{\sum_{j=1}^{\text{NPB}} W_{t_{oj}}}$$

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

$W_{t,j}$;	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
Σf	;	巨視的核分裂断面積
Σt	;	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

(2) KENO-VI

SCALEシステムに内蔵されるKENO-VIはモンテカルロ臨界計算コードKENOの最新版である。計算手法等はKENO-V.aと同様であるが、より複雑な形状を取り扱えるのが特徴である。

E.7.3 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⁽¹⁾を処理コードMGCL-ACE⁽¹⁾で処理して日本原子力研究所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クスを持っており、散乱マトリクスのルジャンドル展開次数は1次 (P_1) である。MGCLは、付属の実効断面積作成コードMAIL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. 7.4 参考文献

- (1) Y. Naito, et al. “MGCL-PROCESSOR : A Computer Code System for Processing Multi-group Constants Library”, JAERI-M9396(1981)
- (2) 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)
- (3) SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, ORNL/TM-2005/39, Version 5.1, Vols. I-III, November 2006. Available from Radiation Safety Information Computational Center at Oak Ridge National Laboratory as CCC-732.
- (4) 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)
- (5) K. Woods, et al. “Critical Experiments of SPERT-D Fuel in Water”, NEA/NSC/DOC(95)03/II Volume III(1998)
- (6) 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

(ロ)－F．核燃料輸送物の経年変化の考慮

F.1 考慮すべき経年変化要因

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

本輸送物の使用期間中に想定される経年変化の要因としては、容器保管中や使用中における温度変化、収納物から発生する放射線、腐食等の化学的変化、繰り返し荷重が考えられる。そこで、これらの経年変化を生じさせる要因について、本輸送容器の主要材料・部材に関して評価を実施することとする。

本輸送物を使用する期間としては、製造後か■■■■年として、使用回数としては、年3回、一輸送当たり輸送に要する日数■■■■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

本輸送物の構成材料は、口章の(口)－第 A.5 表に示す通りである。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
- ・ 断熱材 [REDACTED]
- ・ 緩衝材 [REDACTED]

なお、O-ring の経年変化については、輸送毎に交換を行うため、本章では考慮しない。
また、収納物については、輸送毎で変わるため、輸送容器本体についてのみ考慮する。

以下に、(口)－第 F.1 表に各材料の経年変化の考慮について示す。

吊上装置は、(口) 章 A の A.4.4 において示したとおり、吊り上げ荷重が負荷される場合の許容繰返し回数は、使用予定期間中の想定繰返し回 [REDACTED] よりも多く、また、密封装置は (口) 章 A の A.5.1.3 に示したとおり、設計圧力が負荷される場合の許容繰返し回数は使用期間中の想定繰返し回数 [REDACTED] よりも多いことから、使用予定期間における繰返し荷重に伴う疲労の影響はない。

(ロ) - 第 F.1 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(1/3)

材料	要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価
ステンレス鋼	熱	ステンレス鋼の温度変化については、金属キャスク構造規格（設計・建設規格（JSME S NSI-2005） ⁽¹⁾ （2007年追補版） ⁽²⁾ において██████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。	輸送時における最高温度は██████であり、本材料では機能の低下はおきないため、熱による経年変化の影響は受けない。
	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3回、1度の輸送に要する期間を██████として、██████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、██████あるため、中性子照射による経年変化の影響は受けない。
	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、海塩粒子の曝露試験においても有意な腐食は認められていない ⁽⁴⁾ 。	ステンレス鋼は腐食しにくい材料であり、また、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。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され、適切に対応される。

			以上のことから経年変化の影響は受けない。
--	--	--	----------------------



(ロ) - 第 F.1 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(2/3)

材料	要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価
断熱	熱	の温度変化における重量変化量に関しては、を超えると急激に変化することが確認されている ⁽⁵⁾ 。	輸送時における最高温度はであり、本材料では機能の低下はおきないため、熱による経年変化を考慮する必要はない。
	放射線	中性子照射量が $10^{15}\text{n}/\text{cm}^2$ までは、顕著な機械的特性変化は認められない ⁽³⁾ 。	年間 3 回、1 度の輸送に要する期間を日として、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あるため、中性子照射による経年変化の影響は受けない。
	化学反応	本材料は、水分との接触により、吸湿等の恐れがある。	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、腐食等の影響は受けない。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・腐食の恐れはなく、経年変化の影響はない。

(ロ) - 第 F.1 表 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(3/3)

材料	要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価
緩衝材	熱	本材料に関する温度変化については、から影響が出ることを確認されているが、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 ⁽⁷⁾ 。	輸送時における最高温度であり、本材料では機能の低下はおきないため、熱による経年変化を考慮する必要はない。
	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 ⁽⁷⁾ 。	本輸送容器で収納する収納物について、そこから発生する中性子からの中性子照射量は、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を考慮する必要はない。
	化学反応	本材料は、水分との接触により、吸湿、腐食の恐れがある。	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・腐食の恐れはなく、経年変化の影響はない。

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

前章に示したとおり、本輸送物に係る各材料について、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、本輸送物については、安全解析において経年変化を考慮する必要がないことが分かった。本章にて評価を実施しなかった部材については、(ハ)章にて示す輸送容器の保守および取り扱いにおいてその健全性が担保されるため、安全解析上考慮する必要はない。

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) [Redacted]

(6) (独) 原子力安全基盤機構, 「平成 15 年 金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書 最終報告」, (2004).

(7) [Redacted]

G 規則及び告示に対する適合性の評価

(ロ) -G. 規則及び告示に対する適合性の評価

本輸送物は (ロ) -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該当しない。		
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該当しない。		
第3条第1項 第3号	第4条 及び 別表第一	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、燃料物質の濃縮度 ██████████ 未満の ██████████ である。 収納される放射エネルギーは A2 値を超えるため、本輸送物は BU 型輸送物に該当する。	(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該当しない。		
第3条第3項		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。 また、以下の通り、第 7 条の技術上の基準の適合性評価にあたり経年変化の考慮が求められることから以下の通り評価した。 1. 輸送物は使用予定年数を ██████████、年間の輸送回数を 3 回、一輸送当たり輸送に要する日数 ██████████ と設定する。 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。 3. 経年変化の要因として、熱、放射線照射、化学変化及び繰り返し荷重とする。 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うけると	(イ)-D	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		<p>しても、材料強度に影響が現れる単位面積当たり 10^{16} 個を十分に下回る。</p> <p>5. 熱の影響については、輸送容器構成部品の最高温度は ■■■ で有り、ステンレス鋼は、規格等で構造強度基準が定められる範囲であること、また、断熱材、緩衝材も機械的特性変化を生じる温度を下回る。</p> <p>6. 化学変化の影響について、ステンレス鋼は不動態膜を表面に形成し腐食は進行しないこと、また外観検査等で状態を確認し、必要に応じ補修すること、断熱材、緩衝材はステンレス鋼に覆われ、密閉空間にあることから吸湿等による分解、腐食は生じない</p> <p>7. 繰り返し荷重の影響について、圧力や取扱いによる繰り返し荷重により発生する応力に基づく許容繰り返し回数は想定される繰り返し回数を上回る。</p> <p>以上より、輸送物は経年変化による影響はない。</p>		
第4条		本輸送物は BU 型輸送物であるので該当しない。		
第5条		本輸送物は BU 型輸送物であるので該当しない。		
第6条		本輸送物は BU 型輸送物であるので該当しない。		
第7条第1号		<p>輸送物は、以下に示すとおり容易且つ安全に取り扱うことが出来る。</p> <p>輸送物は、取扱い中の吊上げ吊下ろしが容易に出来るよう容器本体にアイプレートを有し、アイプレートを吊り具と</p>	(ロ)-A. 4. 4	第4条第1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>接続し容易に取り扱うことが出来る。また、アイプレートは取扱いを考慮して安全係数を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出来る。</p>		
<p>第7条第1号 (つづき)</p>		<p>輸送物は以下に示すとおり、運搬中に予想される温度、内圧及び振動等に対して亀裂・破損等を生じる恐れはない。</p> <p>1. 運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は-40℃、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℃で太陽熱の放射をうける条件に輸送物を置いた場合であり、収納物の崩壊熱は無視しうることから輸送物各部の温度は一律 ■■■■ である。本温度において、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℃から38℃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 ■■■■ である。これらを上回る圧力を内容器に負荷した条件のもと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を算定した結果、運搬中に輸送物への</p>	<p>(ロ)-A. 4. 7 (ロ)-A. 5</p>	<p>第4条第2号</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>入力が予想される振動数（0～50Hz）に対して大きな開きがあり運搬中にう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>		
第7条第1号 (つづき)		<p>本輸送物の表面には取扱い等に使用するアイプレート以外の突起物はない。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
第7条第1号 (つづき)		<p>本輸送物の構成部品はステンレス鋼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の生じるおそれはない。</p> <p>1. 第4条第2号で示した通り、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恐れはない。</p> <p>3. 断熱材等緩衝材の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>	(ロ)-A. 4. 1 (ロ)-A. 4. 2	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
		4 [REDACTED] [REDACTED] ステンレス鋼に覆われ密閉されていることから腐食等を生じるおそれはない。		
第7条第1号 (つづき)		本輸送物は弁をもたない設計であることから、技術上の基準は適用されない。	(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	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。 1. α線を放出する放射性物質 0.4 Bq/cm ² 2. α線を放出しない放射性物質 4 Bq/cm ²	(ハ)-A. 2	第4条第8号
第7条第1号 (つづき)		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恐れのあるものを装荷することはない。 本輸送物は、外接する直方体の各辺が下記の通り 10cm 以上である。	(ハ)-A. 2 (イ)-C (イ)-第 C. 1 図	第4条第10号 第5条第2号
		[REDACTED]	(ロ)-A. 4. 3	第5条第3号
第7条第1号 (つづき)		第4条第2号に示すとおり、運搬中に予想される輸送容器構成部品の温度の	(ロ)-A. 3 (ロ)-B. 4. 2	第5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>範囲■■■■の範囲である。一方、当該を包含する■■■■℃の温度範囲において、輸送物構成部品の材料は著しい強度の低下及び脆化等は生じず、必要な材料強度に影響を及ぼすことはない。従って、■■■■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>		
第7条第1号 (つづき)		<p>外圧が 60kPa まで低下した場合における内外圧力差は■■■■である。これに対し、内容器の内圧を設計圧力である■■■■として、外圧が 60kPa まで低下したとして評価し、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ことから 60kPa まで外圧が低下した場合においても放射性物質の漏えいはない。</p>	(ロ)-A. 4. 6	第5条第5号
第7条第1号 (つづき)		<p>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。</p>		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、ANISN コード等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。また、解析では収納する収納物よりもウラン量が多い新燃料及び低照射された燃料が収納されている条件の下で評価しており、輸送物の表面における最大線量当量率は低照射された燃料を収納した場合であり■■■■となり 2mSv/h を下回る。</p> <p>1. 線量当量率への寄与の高い ²³⁴U 及び ²³⁶U について、これまでの実績の最大値</p>	(ロ)-D. 5	第5条第7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>を超える量を含む。</p> <p>2. 低照射された燃料に対しては、実際に収納する収納物よりも多いウラン量、高い放射能を有する燃料が収納されているとする。</p> <p>3. 外容器等の構造材を無視して、内容器外表面を輸送容器表面とみなしている。</p>		
第7条第1号 (つづき)		<p>本輸送物は、表面における最大線量当量率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 [REDACTED] であり 100 μ Sv/h をしたまわる。</p>	(ロ)-D. 5	第5条第8号
第7条第1号 (つづき)		<p>本輸送物に収納される収納物の放射能の量は [REDACTED] である。仮にこの放射能が全て A2 値が最小となる ^{234}U (A2 値: 6GBq) であると仮定しても、10 万倍を下回ることから本要件の適用は受けない。</p>	(ロ)-A. 6. 4	第6条第5号
第7条第2号	第19条 別記第7 別記第4 第1号	<p>BU 型輸送物に係る一般の試験条件</p> <p>a. 熱的試験</p> <p>一般の試験条件において、輸送物を 38℃ の雰囲気中で太陽熱の放射があ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、各部の温度は [REDACTED] で一様になる。</p> <p>当該の温度は [REDACTED] 製 O リングの最高使用可能温度である [REDACTED] を下回ることから O リングの健全性は維持される。また、内容器の内圧は [REDACTED] となるが、内容器の</p>	(ロ)-B. 4. 1	

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4 第2号	強度評価においては当該を上回る が負荷された輸送 物が同様である条件の下で評価 されており、内容物が弾性範囲内である ことを確認している。また、密封境界を 形成する内容物蓋とフランジ部の口開 き量は0リングの初期締め付け代を下 回ることから密封性は維持される		
	別記第3 第1号イ	b. 水噴霧 輸送物の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	(ロ)-A. 5. 2	
	別記第3 第1号ロ	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。		
	別記第3 第1号ロ(1)	c. 自由落下 当該輸送物の最大重量である ことから、落下高さは1.2mとなる。 1.2m高さから落下したときの輸送物の 状態について、CASH-IIコード等を用い て、輸送物に生じる加速度及び変形量を 評価している。また、得られた加速度に 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mmの 変形が生じるが変形は外容器に限られ 内容物、内容物蓋、バスケット及び収納 物に変形は生じないこと及び内容物蓋 の口開きは0リングの初期締め付け代 に比べ十分に小さく、構造健全性及び密 封性は確保される。	(ロ)-A. 5. 3	
	別記第3	d. 積み重ね	(ロ)-A. 5. 4	

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号ロ(3)	<p>輸送容器の投影面積に 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を比較すると後者の負荷のほう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、輸送容器に塑性変形を生じることなく、輸送物の健全性は確保され、密封性及び遮蔽性能に影響を与える損傷はない。</p>		
	別記第3 第1号ロ(4)	<p>e. 貫通 外容器の外板()の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外容器の鋼板を貫通させるエネルギーを比較し、後者の値のほうが大きいことを確認しており、外鋼板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。</p>	(ロ)-A.5.5	第5条第9号ロ
第7条第2号 (つづき)		<p>一般の試験条件に置いた輸送物は、外容器に変形が生じることを踏まえ、通常輸送時における最大線量当量率評価と同じく、内容器の外表面を輸送物表面とみなす保守側の条件の下で評価した結果、表面における最大線量当量率は となり、2mSv/h を下回る。</p>	(ロ)-D.4	第6条第2号イ
第7条第2号 (つづき)		<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、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に相当する漏洩があると仮定した上で、燃料製造時に燃料の表面に</p>	(ロ)-C.3.1	第6条第2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>付着するウラン同位体を対象として、これらが内容器内部に分散している条件の下で、内容器の内圧が最大内圧を超える()と仮定し、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($A2 \times 10^{-6}$)に対する比率は であり基準を満足する。</p>		
第7条第2号 (つづき)	第15条	<p>輸送物は専用積載で輸送される。一般の試験条件に置いた輸送物を38℃の環境での日陰に置いた場合においても、収納物の崩壊熱量は無視しうることから人が近づきうる輸送物表面の温度は38℃となる。従って輸送物表面の温度は を超えることはない。</p>	(ロ)-B.4.2	第6条第2号 ハ
第7条第2号 (つづき)	第9条	<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>	(ロ)-A.2	第6条第2号 ニ
第7条第3号	第20条 別記第8 別記第5 第1号イ	<p>BU型輸送物に係る特別の試験条件 落下試験I 9m高さから落下させた場合の輸送物の状態について、CASH-IIコード等を用いて、輸送物に生じる加速度及び変形量を評価している。また、得られた加速度に基づいて、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</p>	(ロ)-A.6 (ロ)-A.6.1	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		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外容器に限られ内容器、内容器蓋、バスケット及び収納物に破損は生じないこと及び内容器蓋の口開きは 0 リングの初期締め付け代に比べ十分に小さく、構造健全性及び密封性は確保される。		
第 7 条第 3 号 (つづき)	別記第 5 第 1 号ロ	落下試験Ⅱ (1m 貫通試験) 1m 高さから直径 150 mm 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、鋼棒が外容器蓋、外容器胴部及び外容器底部に衝突するケースとしている。評価の結果、いずれのケースも外容器外板を貫通することはないこと並びに鋼棒が外容器の変形により内容器及び内容器蓋に到達することは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。	(ロ)-A. 6. 2	
第 7 条第 3 号 (つづき)	別記第 5 第 2 号イ 第 2 号ロ	熱的試験 落下試験 I, II を行った後に熱的試験に置いた後、熱的試験に置いた輸送物の状態について、落下試験による外容器の変形を重畳した保守的なモデルを用いて、TRUMP コードにより輸送物各部の温度を評価した結果、緩衝材及び断熱材に一部焼損が生じる。また、0 リングの温度は [] となるが、短期的な最高使用可能温度を下回ることから熱的健全性は確保される。また、内容器内圧は内部	(ロ)-A. 6. 3	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		の空気温度をバスケットの最高温度とした場合でも [REDACTED] であり強度評価に用いた [REDACTED]) を下回ることから、密封装置の構造健全性及び密封性は確保される。		
第7条第3号 (つづき)	別記第5 第3号	浸漬試験 (水深 15m) 15mの水深に置いた輸送物の状態について、密封装置である内容容器及び内容容器蓋に [REDACTED] の外圧が負荷した場合の構造強度及び内容容器蓋の口開き量を評価した結果、内容容器及び内容容器蓋が破損、座屈を生じることはないこと及び内容容器蓋の口開き量は 0 リングの初期締め付け代を下回ることを確認したことから構造健全性及び密封性は確保される。	(㍑)-A. 6. 4	
第7条第3号 (つづき)		特別の試験条件に置いた輸送物は、外容器に変形、緩衝材及び断熱材が一部焼損することを踏まえ、通常輸送時における最大線量当量率評価と同じく、内容容器の外表面を輸送物表面とみなす保守側の条件の下で ANISN コード等を用いて評価した結果、表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率は [REDACTED] となり、2mSv/h を下回る。	(㍑)-D. 5	第6条第3号 イ
第7条第3号 (つづき)	第17条	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に相当する漏えいがあると仮定して上で、燃料の表面に付着するウラン同位体を対象として、これらが内容	(㍑)-C. 4. 2	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
		器の内部に分散している条件の下で内容物の内圧を最大内圧を超える と仮定し放射性物質 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(A2) に対する比率は であり基準 を満足する。		
第 7 条第 4 号		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、周囲の温度が- 40℃から 38℃の範囲とした場合の輸送 物各部の温度において、材料は必要とさ れる構造強度に対して影響はない。また 内容物の内圧は当該の温度範囲におけ る最大圧力を超える条件の下で構造健 全性及び密封性が確保される。	(ロ)-A. 3 (ロ)-B. 4. 2	
第 7 条第 5 号		本輸送物は、冷却装置等を持たない自 然冷却方式である。	(ロ)-B. 1	
第 7 条第 6 号		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 (ゲージ圧) は を下 回ることから最大使用圧力 を 超えない。	(ロ)-B. 4 (ロ)-B. 5	
第 8 条		本輸送物は BU 型輸送物であるので該 当しない。		
第 9 条		本輸送物は BU 型輸送物であるので該 当しない。		
第 10 条		本輸送物は BU 型輸送物であるので該 当しない。		
第 11 条		経年変化の考慮について、第 3 条第 3 項の技術上の基準に対する適合性にお いて説明のとおり、経年変化の要因とし て放射線照射、熱、化学変化及び繰り返 し荷重を考慮して、使用予定年数、使用 回数に対する影響評価を行った結果、輸	(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>送物に経年変化の影響はない。</p> <p>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、外容器の一部に変形が生じるが、内容器、内容器蓋、バスケットの構造健全性は確保される。</p> <p>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、外容器の変形、緩衝材及び断熱材の一部に損傷が生じるが、内容器、内容器蓋、バスケット及び収納物が破損することはない。</p>		
第 11 条	第 23 条	<p>本輸送物は、²³⁵U を 15g 以上収納し、²³⁵U の濃縮度が ████████ であるので核分裂性輸送物の要件に該当する。</p>	(イ)-B (イ)-D	
第 11 条第 1 号	第 24 条 別記第 11 第 1 号 第 2 号	<p>(一般の試験条件)</p> <p>50mm/h の雨量に相当する水を 1 時間水吹き付けた場合の影響を評価している。</p> <p>本輸送物の最大総重量は ████████ であり、落下高さ 1.2m 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。</p>	(ロ)-A. 9. 1 (ロ)-A. 9. 1	
第 11 条第 1 号 (つづき)	第 3 号	<p>自重の輸送物の 5 倍に相当する荷重を付加したほうが厳しい条件となるため、この条件における内容器の強度を評価している。</p> <p>重量 ████████、直径 ████████ の軟鋼棒を 1m の高さから本輸送物の最も弱い部分に</p>	(ロ)-A. 9. 1 (ロ)-A. 9. 1	

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
		落下させたとしている。		
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外容器の最大 [] 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。一方、輸送物の [] であるはから外接する直方体の一边は10 cm以上である。</p>	(ロ)-A. 9.1	
第11条第2号 イ、ロ、ハ、 二、ホ	第25条	<p>第11条第2号イからホの5つの条件をすべて包含する保守的な実効増倍率解析モデルとして、隣接する輸送物間の相互干渉を強めるため輸送容器の外容器等を見捨てて内容器の外表面を輸送容器表面とすること、評価体系中で中性子の漏れがないように内容器外表面に外接する正六角形を完全反射面として、輸送容器が無限配列していること、照射の履歴がある収納物については未照射としていること及び配列系においても内容器内部を満水とした上で、収納物が収納されるバスケット内部と外部の水密度を区別して反応度が最大となる条件を定める等を考慮して、KENO-VIコードを用いてすべ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 [] となり、収納物とした核燃料物質のいずれを収納し</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
		た場合においても未臨界性が確保される。		
第11条第3号		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、周囲の温度が-40℃から38℃の範囲とした場合の輸送物各部の温度において、材料は必要とされる構造強度に対して影響はない。また内容物の内圧は当該の温度範囲における最大圧力を超える条件の下で構造健全性及び密封性が確保される。	(ロ)-A.3 (ロ)-A.4.2	

ハ章 輸送容器の保守及び 核燃料輸送物の取扱い方法

A 輸送物の取扱い方法

輸送物の取扱いに係る品質保証は、京都大学複合原子力科学研究所品質マネジメント計画書に基づいて実施する。

(ハ)－A. 輸送物の取扱い方法

A.1 装荷方法

本輸送物に係る収納物の装荷は、次の手順により行う。

(1) 収納物の準備

収納物は装荷に先立ち、(ハ)－A.2の輸送物発送前検査に基づく収納物検査を行う。

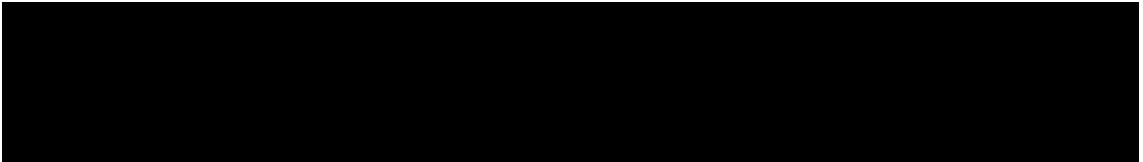
(2) 収納物の装荷と内容器蓋の取付け



(3) 内容器蓋の気密漏えい検査

内容器蓋の気密漏えい検査を行う。

(4) 外容器蓋の取付け

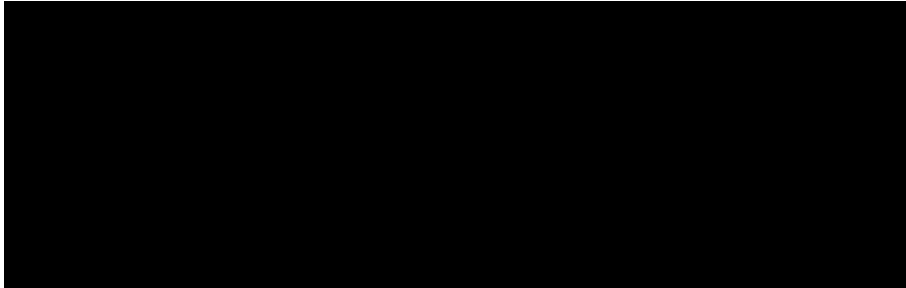


A.2 輸送物の発送前検査

輸送物を発送するつど(ハ)－第A.1表に示す発送前検査を行う。

A.3 取出し方法

収納物の取出しは次の手順により行う。



A.4 空容器の準備

収納物取出し後、容器内面の放射線管理を行い、必要に応じ除染を行う。また、輸送容器の外観検査を行ない、異常がないことを確認して屋内に保管する。

(ハ) - 第 A.1 表 輸送物発送前検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	本体、内容器蓋及び外容器蓋の外観を目視により検査する。	割れ、異常な傷、変形等がないこと。
吊上検査	輸送物を吊上げた状態で輸送物外観を検査する。	アイプレートに割れ、異常な傷、変形等がないこと。
重量検査	輸送物の総重量を検査する。	重量が ████████ 以下であること。
表面密度検査	スミヤ法等により輸送物の表面密度を検査する。	表面密度は α 線を放出する放射性物質については $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下、 α 線を放出しない放射性物質については $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下であること。
線量当量率検査	燃料要素を装荷した状態で、 γ 線及び中性子線量当量率を測定する。	γ 線及び中性子線量当量率の合計が、輸送物の表面で $2\text{mSv}/\text{h}$ 以下、輸送物表面より 1m 離れた位置で $100\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下であること。
未臨界検査	燃料バスケットの外観を目視により検査する。	1. 燃料バスケットが所定の位置に取付けられていること。 2. 割れ、異常な傷、変形等がないこと。
収納物検査	種類、濃縮度、収納量及び外観並びに表面密度を検査する。	1. 種類 設計承認条件のとおりであること。 2. 濃縮度及び収納量 設計承認条件のとおりであること。 3. 外観：異常のないこと。 4. 表面密度： α 線を放出する放射性物質が $0.056\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下であること。
気密漏えい検査	内容器蓋シール部に ████████]の空気圧を 30 分間加え、圧力降下量により漏えい率を検出する。	漏えい率が、 $1.09 \times 10^{-2}\text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ を超えないこと。
圧力測定検査	収納物から発生する崩壊熱は微少であり、容器温度は周囲温度と同一となる。そのため、本検査は実施しない。	
温度測定検査	収納物から発生する崩壊熱は微少であり、容器内部は常圧であるため、容器内部のからの圧力は周囲圧力と同一となる。そのため、本検査は実施しない。	

B 保 守 条 件

輸送物の保守に係る品質保証は、京都大学複合原子力科学研究所品質マネジメント計画書に基づいて実施する。

(ハ)－B．保守条件

輸送容器の保管は屋内で行う。定期自主検査は、以下に記した方法により、1年に1回以上（年間の使用回数が10回を超えるものにあつては、使用回数10回毎に1回以上）実施する。

B.1 外観検査

本体、燃料バスケット、内容器蓋及び外容器蓋の内外面に割れ、異常な傷、変形等のないことを目視により検査する。

B.2 耐圧検査

耐圧性能に影響する修理等を行った場合、仮の内容器蓋を取付け内容器本体の漏えい率を加圧漏えい法〔検査開始圧力 ██████████ 以上、検査時間：30分間以上〕で検査し、漏えい率が $1.09 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ 以下であることを確認する。

その後、内容器本体内面に割れ、異常な傷、変形等がないことを目視により検査する。

B.3 気密漏えい検査

内容器蓋Oリング部に対し加圧漏えい法〔検査圧力 ██████████ 以上、検査時間：30分間以上〕で気密漏えい検査を実施し、漏えい率が $1.09 \times 10^{-2} \text{MPa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ 以下であることを確認する。

B.4 遮蔽検査

本輸送容器には、特別な遮蔽体を用いていないので、該当しない。

B.5 未臨界検査

燃料バスケットの寸法、形状等に割れ、異常な傷、変形等のないことを目視により検

査する。

B.6 熱検査

本輸送物には、特別な発熱体はないので、該当しない。

B.7 吊上検査

輸送容器を吊上げた状態で、輸送容器の外観を検査し、アイプレートに割れ、異常な傷、変形等がないことを目視により確認する。

B.8 作動確認検査

本輸送容器には、弁・バルブ等特別なものを設けていないので、該当しない。

B.9 補助系の保守

本輸送容器には、補助系を設けていないので、該当しない。

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

本輸送容器に弁・バルブ等は設けていない。

内容器蓋Oリングに割れ、異常な傷、変形等のないことを検査する。異常が認められた場合、Oリングを交換する。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器の保管は屋内で行う。

B.12 記録の保管

本輸送容器供用中は、製作時検査記録、定期自主検査記録を保管する。

B.13 その他

特になし。

二章 安全上の特記事項

(二) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

特記事項なし。

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

品質マネジメントの基本方針

本品質マネジメントの基本方針は、「原子力発電所における安全のための品質保証規定(JEAC4111-2009)」を参考に品質保証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) 京都大学複合原子力科学研究所（以下「研究所」という。）は、法令に定める技術上の基準並びに運搬に関する確認の申請または容器承認の申請書に示された設計仕様及び製作方法に適合するため、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送並びに輸送容器の取扱い、保守及び輸送に関連する原子炉施設（以下「輸送容器等」という。）に係る品質マネジメントシステムを確立し、実施し、かつ、維持する。また、この品質マネジメントシステムはマネジメントレビューを通して、継続的に改善する。

(2) 研究所は、次の事項を実施する。

- a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセスの内容(当該プロセスにより達成される結果を含む。)を明らかにするとともに、当該プロセスのそれぞれについてどのように適用されるかについて識別できるようにすること。
- b) プロセスの順序及び相互の関係を明確にすること。
- c) プロセスの実施及び管理の実効性の確保に必要な判定基準及び方法を明確にすること。
- d) プロセスの実施並びに監視及び測定（以下「監視測定」という。）に必要な資源及び情報が利用できる体制を確保すること。
- e) プロセスを監視測定し、及び分析すること。ただし、測定することが困難な場合は、測定することを要しない。
- f) プロセスについて、第一号の結果を得るため、及び実効性を維持するために、所要の措置を講ずること。
- g) 品質保証の実施に係るプロセス及び組織を品質マネジメントシステムと整合的なものとする。
- h) 社会科学及び行動科学の知見を踏まえて、保安活動を促進すること。

A.2 文書化に関する要求事項

A.2.1 一般

研究所は、A.1 の規定により品質マネジメントシステムを確立するために、次に掲げる文書を作成し、当該文書に規定する事項を実施する。

- a) 品質方針表明書及び品質目標表明書
- b) 品質マネジメントシステムを規定する文書（品質マネジメント計画書）
- c) プロセスについての実効性のある計画的な実施及び管理がなされるようにするために必要な文書
- d) 品質マネジメント計画書に規定する手順書及び記録

A.2.2 文書管理

(1) 研究所は、品質マネジメント計画書に規定する文書その他品質マネジメントシステムに必要な文書（記録を除く。以下「品質マネジメント文書」という。）を管理する。

(2) 研究所は、次に掲げる業務に必要な管理を定めた手順書を作成する。

- a) 品質マネジメント文書を発行するに当たり、当該文書の妥当性をレビューし、その発行を承認すること。
- b) 品質マネジメント文書について所要のレビューを行い、更新を行うに当たり、その更新を承認すること。
- c) 品質マネジメント文書の変更内容及び最新の改訂状況が識別できるようにすること。
- d) 改訂のあった品質マネジメント文書を使用する場合において、当該文書の適切な改訂版が利用できる体制を確保すること。
- e) 品質マネジメント文書が読みやすく、容易に内容を把握することができる状態にあることを確保すること。
- f) 外部で作成された品質マネジメント文書を識別し、その配付を管理すること。
- g) 廃止した品質マネジメント文書が意図に反して使用されることを防止すること。この場合において、当該文書を保持するときは、その目的にかかわらず、これを識別すること。

A.2.3 品質記録の管理

- (1) 研究所は、品質マネジメント計画書に規定する記録その他要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性のある実施を実証する記録の対象を明らかにするとともに、当該記録を、読みやすく容易に内容を把握することができ、かつ、検索することができるように作成し、これを維持管理する。
- (2) 研究所は、前項の記録の識別、保存、保護、検索、保存期間及び廃棄に関し所要の管理を定めた手順書を作成する。
- (3) 研究所は、輸送容器に係る品質記録について、次の事項を確実にする。
 - a) 品質記録には、容器製造者等から提出される品質記録を含むこと。
 - b) 品質記録の保管期間は、容器承認及び設計承認の有効期間を考慮して定めること。

B. 申請者の責任

B.1 経営者のコミットメント

研究所所長（以下「所長」という。）は、経営責任者として品質マネジメントシステムの確立及び実施並びにその実効性の維持と継続的改善に指導力及び責任を持って関与していることを、次に掲げる業務を行うことによって実証する。

- a) 品質方針を定めること。
- b) 品質目標が定められているようにすること。
- c) 安全文化を醸成するための活動を促進すること。
- d) マネジメントレビューを実施すること。
- e) 資源が利用できる体制を確保すること。
- f) 関係法令を遵守することその他原子力の安全を確保することの重要性を、保安活動を実施する者（以下「部室員」という。）に周知すること。

B.2 責任及び権限

B.2.1 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保証組織は、第 B.1 図による。

(2) 責任及び権限

所長は、経営責任者として各部室及び部室員の責任（保安活動の内容について説明する責任を含む。）及び権限が定められ、文書化され、周知されているようにする。

B.2.2 品質保証責任者

所長は、品質マネジメントシステムを管理監督する責任者（以下「品質保証責任者」という。）を任命し、次に掲げる業務に係る責任及び権限を与える。

- a) プロセスが確立され、実施されるとともに、その実効性が維持されているようにすること。
- b) 品質マネジメントシステムの実施状況及びその改善の必要性について所長に

報告すること。

- c) 各部室において、関係法令を遵守することその他原子力の安全を確保することについての認識が向上するようにすること。

B. 2. 3 部室長の責任と権限

所長は、プロセスを管理監督する責任者である各部室の長（以下「部室長」という。）に、次に掲げる業務に係る責任及び権限を与える。

- a) 部室長が管理する個別業務のプロセスが確立され、実施されるとともに、その実効性が維持されているようにすること。
- b) 部室長が管理する個別業務に従事する部室員の個別業務等要求事項についての認識が向上するようにすること。
- c) 部室長が管理する個別業務の実績に関する評価を行うこと。
- d) 安全文化を醸成するための活動を促進すること。

B. 2. 4 内部監査責任者

- (1) 所長は、内部監査責任者を任命する。
- (2) 内部監査責任者は、内部監査に関する業務の責任者として、内部監査の計画及び実施に関する業務を行う。

B. 3 マネジメントレビュー

B. 3. 1 一般

- (1) 所長は、品質マネジメントシステムについて、その妥当性及び実効性の維持を確認するためのレビュー（品質マネジメントシステム、品質方針及び品質目標の改善の余地及び変更の必要性の評価を含む。以下「マネジメントレビュー」という。）を、あらかじめ定めた間隔で行う。
- (2) 研究所は、品質保証責任者にマネジメントレビューの結果の記録を作成させ、これを管理させる。

B. 3. 2 マネジメントレビューへのインプット

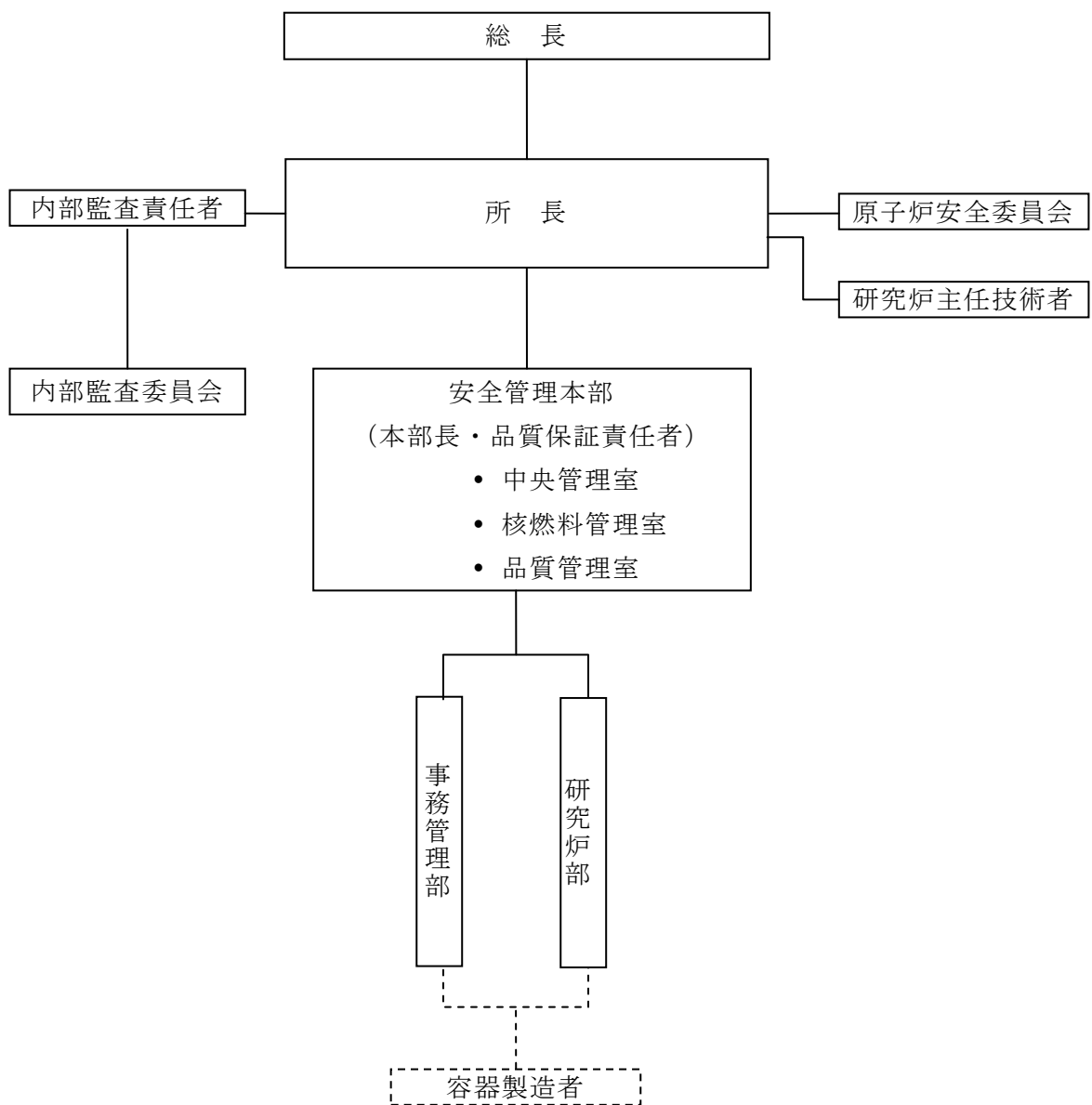
所長は、次に掲げるインプットを元にマネジメントレビューを行う。

- a) 監査の結果
- b) 研究所の外部の者（外部機関、規制官庁、京都大学本部、地域住民、利用者など）からのフィードバック
- c) プロセスの実施状況
- d) 輸送容器等に係る検査の結果
- e) 品質目標の達成状況
- f) 安全文化を醸成するための活動の実施状況
- g) 関係法令の遵守状況
- h) 是正処置（不適合（要求事項に適合しない状態をいう。以下同じ。）に対する再発防止のために行う是正に関する処置をいう。以下同じ。）及び予防処置（生じるおそれのある不適合を防止するための予防に関する処置をいう。以下同じ。）の状況
- i) 従前のマネジメントレビューの結果を受けて講じた措置（フォローアップ）
- j) 品質マネジメントシステムに影響を及ぼすおそれのある変更
- k) 各部室又は部室員からの改善のための提案

B.3.3 マネジメントレビューからのアウトプット

所長は、マネジメントレビューから次に掲げる事項に係る情報を得て、所要の措置を講じる。

- a) 品質マネジメントシステム及び業務の実効性の維持に必要な改善
- b) 個別業務に関する計画及び個別業務の実施に関連する保安活動の改善
- c) 品質マネジメントシステムの妥当性及び実効性の維持を確保するために必要な資源



第 B.1 図 核燃料輸送物の設計等に係る品質保証組織

C. 教育・訓練

C.1 資源の確保

研究所は、保安のために必要な資源を明確にし、確保する。

C.2 要員の提供

研究所は、部室員に、次に掲げる要件を満たしていることをもってその能力が実証された者を充てる。

- a) 適切な教育訓練を受けていること。
- b) 所要の技能及び経験を有していること。

C.3 教育訓練等

研究所は、次に掲げる業務を行う。

- a) 部室員にどのような能力が必要かを明確にすること。
- b) 部室員の教育訓練の必要性を明らかにすること。
- c) 前号の教育訓練の必要性を満たすために教育訓練その他の措置を講ずること。
- d) 前号の措置の実効性を評価すること。
- e) 部室員が、品質目標の達成に向けて自らの個別業務の関連性及び重要性を認識するとともに、自らの貢献の方途を認識しているようにすること。
- f) 部室員の教育訓練、技能及び経験について適切な記録を作成し、これを管理すること。

D. 設計管理

D.1 個別業務に必要なプロセスの計画

- (1) 研究所は、輸送容器等に係る個別業務に必要なプロセスについて、計画を策定するとともに、確立する。
- (2) 前項の規定により策定された計画（以下「個別業務計画」という。）は、他のプロセスの要求事項と整合的なものとする。
- (3) 研究所は、個別業務計画の策定を行うに当たっては、次に掲げる事項を適切に明確化する。
 - a) 個別業務又は輸送容器等に係る品質目標及び個別業務等要求事項
 - b) 所要のプロセス、品質マネジメント文書及び資源であって、個別業務又は輸送容器等に固有のもの
 - c) 所要の検証、妥当性確認、監視測定並びに検査及び試験（以下「検査試験」という。）であって、当該個別業務又は輸送容器等に固有のもの及び個別業務又は輸送容器等の適否を決定するための基準（以下「適否決定基準」という。）
 - d) 個別業務又は輸送容器等に係るプロセス及びその結果が個別業務等要求事項に適合していることを実証するために必要な記録
 - e) 研究所は、個別業務計画の策定に係るアウトプットを、作業方法に見合う形式によるものとする。

D.2 個別業務等要求事項の明確化

研究所は、次に掲げる事項を個別業務等要求事項として明確にする。

- a) 外部の者が明示してはいないものの、個別業務又は輸送容器等に必要な要求事項であって既知のもの
- b) 当該個別業務や輸送容器等に関する関係法令
- c) その他研究所が必要と判断する要求事項

D.3 個別業務等要求事項のレビュー

- (1) 研究所は、個別業務の実施又は輸送容器等の使用に当たって、あらかじめ、

個別業務等要求事項のレビューを実施する。

- (2) 研究所は、前項のレビューを実施するに当たっては、次に掲げる事項を確認する。
- a) 当該個別業務又は輸送容器等に係る個別業務等要求事項が定められていること。
 - b) 当該個別業務又は輸送容器等に係る個別業務等要求事項が、あらかじめ定められた個別業務等要求事項と相違する場合においては、当該相違点が解明されていること。
 - c) 研究所が、あらかじめ定められた要求事項に適合する能力を有していること。
- (3) 研究所は、第一項のレビューの結果に係る記録及び当該レビューの結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。
- (4) 研究所は、個別業務等要求事項が変更された場合においては、関連する文書が改訂されるようにするとともに、関連する部室員に対し変更後の個別業務等要求事項が周知されるようにする。

D.4 外部の者との情報の伝達

研究所は、外部の者との情報の伝達のために実効性のある方法を明らかにして、これを実施する。

D.5 設計開発の計画

- (1) 研究所は、設計開発の計画（以下「設計開発計画」という。）を策定するとともに、設計開発を管理する。
- (2) 研究所は、設計開発計画の策定において、次に掲げる事項を明確にする。
- a) 設計開発の段階
 - b) 設計開発の各段階それぞれにおいて適切なレビュー、検証及び妥当性確認
 - c) 設計開発に係る部室及び部室員の責任（保安活動の内容について説明する責任を含む。）及び権限
- (3) 研究所は、実効性のある情報の伝達並びに責任及び権限の明確な割当てがなされるようにするために、設計開発に関与する各者間の連絡を管理監督する。

- (4) 研究所は、第一項の規定により策定された設計開発計画を、設計開発の進行に応じ適切に更新する。

D.6 設計開発に係るインプット

- (1) 研究所は、輸送容器に係る要求事項に関連した次に掲げる設計開発に係るインプットを明確にするとともに、当該情報に係る記録を作成し、これを管理する。
- a) 意図した使用方法に応じた機能又は性能に係る輸送容器に係る要求事項
 - b) 従前の類似した設計開発から得られた情報であって、当該設計開発へのインプットとして適用可能なもの
 - c) 関係法令
 - d) その他設計開発に必須の要求事項
- (2) 研究所は、設計開発に係るインプットについて、その妥当性をレビューし、承認する。

D.7 設計開発に係るアウトプット

- (1) 研究所は、設計開発に係るアウトプットを、設計開発に係るインプットと対比した検証を可能とする形式により保有する。
- (2) 研究所は、設計開発からプロセスの次の段階に進むことを承認するに当たり、あらかじめ、当該設計開発に係るアウトプットを承認する。
- (3) 研究所は、設計開発に係るアウトプットを、次に掲げる条件に適合するものとする。
- a) 設計開発に係るインプットたる要求事項に適合するものであること。
 - b) 調達、個別業務の実施及び輸送容器等の使用のために適切な情報を提供するものであること。
 - c) 適否決定基準を含むものであること。
 - d) 輸送容器等の安全かつ適正な使用方法に不可欠な当該輸送容器等の特性を規定しているものであること。

D.8 設計開発のレビュー

- (1) 研究所は、設計開発について、その適切な段階において、設計開発計画に従って、次に掲げる事項を目的とした体系的なレビュー（以下「設計開発レビュー」という。）を実施する。
 - a) 設計開発の結果が要求事項に適合することができるかどうかについて評価すること。
 - b) 設計開発に問題がある場合においては、当該問題の内容を識別できるようにするとともに、必要な措置を提案すること。
- (2) 研究所は、設計開発レビューに、当該レビューの対象となっている設計開発段階に関連する部室の代表者及び当該設計開発に係る専門家を参加させる。
- (3) 研究所は、設計開発レビューの結果の記録及び当該結果に基づき所要の措置を講じた場合においては、その記録を作成し、これを管理する。

D.9 設計開発の検証

- (1) 研究所は、設計開発に係るアウトプットが当該設計開発に係るインプットたる要求事項に適合している状態を確保するために、設計開発計画に従って検証を実施する。この場合において、設計開発計画に従ってプロセスの次の段階に進む場合には、要求事項に対する適合性の確認をする。
- (2) 研究所は、前項の検証の結果の記録（当該検証結果に基づき所要の措置を講じた場合においては、その記録を含む。）を作成し、これを管理する。
- (3) 研究所は、当該設計開発に係る部室又は部室員に第一項の検証をさせない。

D.10 設計開発の妥当性確認

- (1) 研究所は、輸送容器を、規定された性能、使用目的又は意図した使用方法に係る要求事項に適合するものとするために、当該輸送容器に係る設計開発計画に従って、当該設計開発の妥当性確認（以下この条において「設計開発妥当性確認」という。）を実施する。
- (2) 研究所は、輸送容器を使用するに当たり、あらかじめ、設計開発妥当性確認

を完了する。ただし、当該輸送容器の完成の後でなければ妥当性確認を行うことができない場合においては、当該輸送容器の使用を開始する前に、設計開発妥当性確認を行う。

- (3) 研究所は、設計開発妥当性確認の結果の記録及び当該妥当性確認の結果に基づき所要の措置を講じた場合においては、その記録を作成し、これを管理する。

D.11 設計開発の変更の管理

- (1) 研究所は、設計開発の変更を行った場合においては、当該変更の内容を識別できるようにするとともに、当該変更に係る記録を作成し、これを管理する。
- (2) 研究所は、設計開発の変更を実施するに当たり、あらかじめ、レビュー、検証および妥当性確認を適切に行い、承認する。
- (3) 研究所は、設計開発の変更のレビューの範囲を、当該変更が輸送容器に及ぼす影響の評価（当該輸送容器を構成する材料又は部品に及ぼす影響の評価を含む。）を含むものとする。
- (4) 研究所は、第二項の規定による変更のレビューの結果に係る記録（当該レビュー結果に基づき所要の措置を講じた場合においては、その記録を含む。）を作成し、これを管理する。

E. 輸送容器の製造発注

E.1 品質管理計画

研究所は、輸送容器製造者及び供給者の品質管理を含む輸送容器の製造に関する品質マネジメント業務を規定する品質管理計画を構築し、品質管理計画書を策定する。

E.2 発注プロセス

- (1) 研究所は、輸送容器の製造を発注する場合、輸送容器の製造が法令に定める技術上の基準並びに設計承認申請書又は容器承認申請書の設計仕様及び容器承認申請書の製造方法に適合することを確実にし、品質マネジメント計画書に定める調達プロセスに従って、外部から調達する物品または役務（以下「調達物品等」という。）が、研究所の規定する調達物品等に係る要求事項（以下「調達物品等要求事項」という。）に適合するようにする。
- (2) 研究所は、研究所が輸送容器の一部の製造を他の製造者に発注し、その製品を容器製造者に支給する場合についても、前項の事項を準用する。

E.3 容器製造者の評価

研究所は、次の事項を実施する。

- (1) 容器製造者の輸送容器を製造する能力について評価し、選定する。能力の評価に当たっては、必要に応じて、次の事項を考慮する。
 - a) 輸送容器の製造に関する技術・要員及び製造設備
 - b) 容器製造者の品質方針、品質管理計画及びそれらの実施状況
 - c) 輸送容器又は類似のものに関する供給実績
 - d) 輸送容器又は類似のものに関する使用実績及び品質に関する記録
 - e) 試作品、サンプル等の評価
- (2) 容器製造者に対して研究所が実施する管理の方式及び程度を明確にする。

E.4 容器製造者への品質マネジメント要求事項

研究所は、輸送容器の製造発注に当たって、容器製造者に対して次の要求事項について、仕様書等の文書で明確に指示し、実施させる。

- a) 容器製造者が、「E.8 容器製造者による品質マネジメントの内容」に適合する品質管理を実施すること。
- b) 研究所及び規制当局の職員が、容器製造者及び容器製造者の供給者等において、輸送容器の製造時の検査や品質管理状況の確認を行うことができるように措置すること。
- c) 研究所が容器製造者の供給者の選定基準について審査し、承認できるように措置すること。また、研究所が容器製造者の供給者の選定状況を確認できるように措置すること。
- d) 輸送容器の製造に携わる事業者間の責任関係を契約等により明確にするように措置すること。
- e) 研究所が示す安全上重要な材料仕様値等について、容器製造者及び容器製造者の供給者にその数値の意味と重要性を十分理解させるように措置すること。
- f) 輸送容器の製造に当たって、安全上の重要度が高く特殊な材料を採用する場合は、予め製造に係る施工・分析・検査方法について、輸送容器の製造に携わる各事業者間における情報交換や技術的検討が十分実施されるように措置すること。
- g) 輸送容器の製造に携わる複数の事業者間にまたがる工程では、作業指示や納期などの取決めを明確にし、緊密な連携を図るように措置すること。
- h) 不適合品が発生して、手直し等により使用する場合は、研究所に対し文書で通知し、取扱の指示を受けること。
- i) 容器製造者の製造のプロセスにおいて重要な変更があった場合は、研究所に対し速やかに報告し、承認を受けること。

E.5 輸送容器の製造の検証

- (1) 研究所は、容器製造者への品質監査を実施するとともに、容器製造者による供給者への品質監査等の状況を把握し、必要に応じ供給者に対し直接品質管理の状況を確認する。

(2) 研究所は、輸送容器の検査に当たって、安全上の重要性などを考慮しつつ、公的規格及び公的資格制度の有無、容器製造者及び供給者の品質管理の状況等を勘案し、立会確認、記録確認を行う。

(3) 研究所は、輸送容器の製造に係る品質監査及び輸送容器の検査に当たって、検査計画書、検査要領書、実施要領等の文書を作成し、実施する。

E.6 日程管理及び特殊工程の認定

研究所は、輸送容器の製造に係る製造スケジュール及び検査スケジュールを作成し、管理する。また、事後の検査では結果が十分検証できない工程を特殊工程として認定し、作業員及び工程の認定及び管理の方法を明確にする。

E.7 測定、分析及び改善

E.7.1 一般

研究所は、次に掲げる業務に必要な監視測定、分析及び改善に係るプロセスについて、計画を策定し（適用する検査試験の方法（統計学的方法を含む。）及び当該方法の適用の範囲の明確化を含む。）、実施する。

- a) 個別業務等要求事項への適合性を実証すること。
- b) 品質マネジメントシステムの適合性を確保し、実効性を維持すること。

E.7.2 外部の者からの意見

- (1) 研究所は、品質マネジメントシステムの実施状況の監視測定の一環として、保安の確保に対する輸送容器等の外部の者の意見を把握する。
- (2) 研究所は、前項の意見の把握及び当該意見の反映に係る方法を明確にする。

E.7.3 内部監査

- (1) 研究所は、品質マネジメントシステムが次に掲げる要件に適合しているかどうかを明確にするために、あらかじめ定めた間隔で、内部監査委員会による内部監査を実施する。研究所は内部監査責任者に内部監査委員会の編成及び指揮をさせる。

- a) 個別業務計画、本書の規定及び当該品質マネジメントシステムに係る要求事項に適合していること。
 - b) 実効性のある実施及び維持がなされていること。
- (2) 研究所は、内部監査の対象となるプロセス、領域の状態及び重要性並びに従前の監査の結果を考慮して、内部監査実施計画を策定する。
 - (3) 研究所は、内部監査の判定基準、範囲、頻度及び方法を定める。
 - (4) 研究所は、内部監査委員の選定及び内部監査の実施においては、客観性及び公平性を確保する。
 - (5) 研究所は、内部監査委員に自らの個別業務を内部監査させない。
 - (6) 研究所は、内部監査実施計画の策定及び実施並びに内部監査結果の報告及び記録の管理について、その責任及び権限並びに要求事項を手順書の中で定める。
 - (7) 研究所は、内部監査された領域に責任を有する管理者に、発見された不適合及び当該不適合の原因を除去するための措置を遅滞なく講じさせるとともに、当該措置の検証を行わせ、その結果を報告させる。

E. 7. 4 プロセスの監視及び測定

- (1) 研究所は、プロセスの監視測定を行う場合においては、当該プロセスの監視測定に見合う監視測定の方法を適用する。
- (2) 研究所は、前項の監視測定の方法により、プロセスが品質管理計画及び個別業務計画に定めた結果を得ることができることを実証する。
- (3) 研究所は、品質管理計画及び個別業務計画に定めた結果を得ることができない場合においては、個別業務等要求事項の適合性を確保するために、修正及び是正処置を適切に講じる。

E. 7. 5 検査及び試験

- (1) 研究所は、輸送容器が要求事項に適合していることを検証するために、輸送容器に対して検査試験を行う。
- (2) 研究所は、前項の検査試験を、個別業務計画及び手順書に従って、個別業務の実施に係るプロセスの適切な段階において行う。

- (3) 研究所は、検査試験の適否決定基準への適合性の証拠となる検査試験の結果に係る記録等を作成し、これを管理する。
- (4) 研究所は、プロセスの次の段階に進むことの承認を行った者を特定する記録を作成し、これを管理する。
- (5) 研究所は、個別業務計画に基づく検査試験を支障なく完了するまでは、プロセスの次の段階に進むことの承認をしない。
- (6) 研究所は、個別業務及び輸送容器の重要度に応じて、検査試験を行う者を定める。この場合において、検査試験を行う者の独立性を考慮する。

E. 7. 6 不適合管理

- (1) 研究所は、要求事項に適合しない個別業務又は輸送容器が放置されることを防ぐよう、当該個別業務又は輸送容器を識別し、これが管理されているようにする。
- (2) 研究所は、不適合の処理に係る管理及びそれに関連する責任及び権限を手順書に定める。
- (3) 研究所は、次に掲げる方法のいずれかにより、不適合を処理する。
 - a) 発見された不適合を除去するための措置を講ずること。
 - b) 個別業務の実施、輸送容器の使用又はプロセスの次の段階に進むことの承認を行うこと（以下「特別採用」という。）。
 - c) 本来の意図された使用又は適用ができないようにするための措置を講ずること。
 - d) 個別業務の実施後に不適合を発見した場合においては、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措置を講ずること。
- (4) 研究所は、不適合の内容の記録及び当該不適合に対して講じた措置（特別採用を含む。）の記録を作成し、これを管理する。
- (5) 研究所は、不適合に対する修正を行った場合においては、修正後の個別業務等要求事項への適合性を実証するための再検証を行う。

E. 7. 7 データの分析

- (1) 研究所は、品質マネジメントシステムが適切かつ実効性のあるものであることを実証するため、及びその品質マネジメントシステムの実効性の改善の余地を評価するために、適切なデータ（監視測定の結果から得られたデータ及びそれ以外の関連情報源からのデータを含む。）を明確にし、収集し、及び分析する。
- (2) 研究所は、前項のデータの分析により、次に掲げる事項に係る情報を得る。
 - a) 輸送容器の外部の者からの意見
 - b) 個別業務等要求事項への適合性
 - c) プロセス、輸送容器の特性及び傾向（予防処置を行う端緒となるものを含む。）
 - d) 調達物品等の供給者の供給能力

E. 7. 8 改善

研究所は、その品質方針、品質目標、内部監査の結果、データの分析、是正処置、予防処置及びマネジメントレビューの活用を通じて、品質マネジメントシステムの妥当性及び実効性を維持するために変更が必要な事項を全て明らかにするとともに、当該変更を実施する。

E. 7. 9 是正処置

- (1) 研究所は、発見された不適合による影響に照らし、適切な是正処置を講じる。
この場合において、原子力の安全に影響を及ぼすものについては、発生した根本的な原因を究明するために行う分析（以下「根本原因分析」という。）を、手順を確立した上で、行う。
- (2) 研究所は、次に掲げる要求事項を規定した是正処置手順書を作成する。
 - a) 不適合のレビュー
 - b) 不適合の原因の明確化
 - c) 不適合が再発しないことを確保するための措置の必要性の評価
 - d) 所要の是正処置（文書の更新を含む。）の明確化及び実施
 - e) 是正処置に関し調査を行った場合においては、その結果及び当該結果に基づき講じた是正処置の結果の記録

f) 講じた是正処置及びその実効性についてのレビュー

E. 7. 10 予防処置

- (1) 研究所は、起こり得る問題の影響に照らし、適切な予防処置を明確にして、これを講じる。この場合において、自らの輸送容器等における保安活動の実施によって得られた知見のみならず他の施設から得られた知見を適切に反映する。
- (2) 研究所は、次に掲げる要求事項（根本原因分析に係る要求事項を含む。）を定めた予防処置手順書を作成する。
- a) 起こり得る不適合及びその原因の明確化
 - b) 予防処置の必要性の評価
 - c) 所要の予防処置の明確化及び実施
 - d) 予防処置に関し調査を行った場合においては、その結果及び当該結果に基づき講じた予防処置の結果の記録
 - e) 講じた予防処置及びその実効性についてのレビュー

E. 8 容器製造者による品質マネジメントの内容

研究所は、輸送容器の製造を容器製造者に発注する際に、容器製造者へ品質マネジメントに係る下記の事項を要求する。

E. 8. 1 品質マネジメントシステム

E. 8. 1. 1 一般要求事項

容器製造者は、輸送容器の製造に係る要求事項に適合して製造を実施するため、品質マネジメントシステムを確立し、文書化し、実施し、かつ、維持すること。

E. 8. 1. 2 文書化に関する要求事項

E. 8. 1. 2. 1 一般

品質マネジメントシステムの文書には、文書化した、品質方針及び品質目標の表明、並びに以下の E. 8. 1. 2. 2 から E. 8. 1. 2. 4 を含めること。

E. 8. 1. 2. 2 品質マニュアル

容器製造者は、品質マネジメントシステムの適用範囲、品質マネジメントシステムについて確立された文書化された手順及び品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述を含む品質マニュアルを作成し、維持すること。

E. 8. 1. 2. 3 文書管理

容器製造者は、品質マネジメントシステムで必要とされる文書を管理すること。文書の承認及びレビュー並びに識別に関して必要な管理を規定する文書化された手順を確立すること。

E. 8. 1. 2. 4 品質記録の管理

容器製造者は、読みやすく、識別可能で、検索可能な品質記録を作成し、維持すること。品質記録の識別、保管、保護、検索、保管期間及び廃棄に関して必要な管理を規定する文書化された手順を確立すること。品質記録には、供給者等から提出される品質記録を含むこと。

E. 8. 2 容器製造者の責任

E. 8. 2. 1 最高責任者のコミットメント

容器製造者の最高責任者は、品質方針を設定し、品質目標が設定されることを確実にし、マネジメントレビューを実施することによって、品質マネジメントシステムの構築及び実施並びにその有効性を継続的に改善することに対するコミットメントの証拠を示すこと。

E. 8. 2. 2 責任及び権限

E. 8. 2. 2. 1 責任及び権限

容器製造者の最高責任者は、輸送容器の製作に係る品質に影響のある業務について責任及び権限が定められ、組織全体に周知されていることを確実にす

ること。

E. 8. 2. 2. 2 管理責任者

容器製造者の最高責任者は、管理層の中から品質マネジメントシステムの実施について責任及び権限を持つ管理責任者を任命すること。

E. 8. 2. 3 マネジメントレビュー

容器製造者の最高責任者は、品質マネジメントシステムが有効であることを確実にするため、定期的に品質マネジメントシステムをレビューすること。

E. 8. 3 資源の運用管理

E. 8. 3. 1 要員の提供

容器製造者は、品質マネジメントシステムを実施し、維持し、その有効性を継続的に改善するために必要な要員を明確にし、提供すること。

E. 8. 3. 2 教育・訓練

- (1) 容器製造者は、輸送容器の製作に係る品質に影響がある仕事に従事する要員に必要な力量を明確にし、必要な力量がもてるように教育・訓練し、その記録を維持すること。
- (2) 特に定められた業務に従事する者については、必要に応じて適切な教育・訓練歴及び経験に基づいて資格認定すること。

E. 8. 4 輸送容器の製造

E. 8. 4. 1 品質管理計画

- (1) 容器製造者は、供給者の品質管理を含む輸送容器の製造に関する品質マネジメント業務を規定する品質管理計画を構築し、品質管理計画書を策定すること。
- (2) 容器製造者は、輸送容器の製造に係る要求事項を満たすために、適宜以下の事項について配慮すること。

- a) 要求事項を達成するために必要と考えられるすべての管理手段、工程、装置（検査装置を含む。）、備品、経営資源及び技術を確保すること。
- b) 製造工程、検査手順及び文書の整合を図ること。
- c) 品質管理、検査の技法は、必要に応じて更新すること。
- d) 輸送容器の製造工程における検証の方法を明確にすること。
- e) 合否判定基準を明確にすること。
- f) 品質記録を作成すること。

E. 8. 4. 2 契約内容の確認

- (1) 容器製造者は、契約内容を確認する手順を定めること。
- (2) 容器製造者は、見積り仕様書の提出前又は契約の前にその内容を確認し、自らが契約の要求事項を満たす能力を持っていることを確認すること。

E. 8. 4. 3 購買

E. 8. 4. 3. 1 一般

容器製造者は、購買品（役務を含む。以下同じ。）を要求事項に適合させる手順を定めること。なお、J I S等の公的規格に基づいて製造される購買品又は検査の確認項目が簡易なもの若しくは汎用品であって、受入時の検収で適合性の確認ができるものについては、この限りではない。

E. 8. 4. 3. 2 供給者の評価

容器製造者は、次の事項を実施すること。

- a) 供給者の選定基準を策定し、供給者が供給契約における要求事項を満たしうる能力を有するか否かについて評価し、選定すること。
- b) 供給者に対して容器製造者が実施する管理の方式及び程度を明確にすること。

E. 8. 4. 3. 3 購買データ

容器製造者は、供給に係る要求事項を記載した購買文書を作成し、供給者

に指示すること。

E. 8. 4. 3. 4 購買品の検証

- (1) 容器製造者は、購買品の検査等に当たって、実施要領等の文書を作成すること。
- (2) 容器製造者は、必要な検査又はその他の活動により購買品の検証を実施すること。

E. 8. 4. 4 工程管理

- (1) 容器製造者は、輸送容器の製造の工程を計画し、管理するに当たって、次の事項を実施すること。
 - a) 品質に影響を及ぼす可能性のある製造についての方法を明確にした手順書を作成すること。
 - b) 各工程において、適切な設備を使用するとともに、適切な作業環境を確保すること。
 - c) 全工程を、品質管理計画書、手順書等に従って実施すること。
 - d) 工程や製品の特性値を監視すること。
 - e) 工程能力を継続的に維持するために設備を適切に保全すること。
 - f) 供給者において不適合が発生した場合又は製造のプロセスに重要な変更があった場合は、速やかに文書にて報告させるとともに、適切な処置をとること。
- (2) 容器製造者は、事後の検査では結果が十分に検証できない工程を、申請者と協議の上、特殊工程として認定し、作業員及び工程の認定及び管理の方法を明確にすること。認定された工程、設備及び要員については、適宜記録を保管すること。

E. 8. 4. 5 識別及びトレーサビリティ

- (1) 容器製造者は、材料の受入から製造の全段階において、輸送容器の状態を識別するための手順を定めること。

(2) 容器製造者は、個々の輸送容器の品質記録の追跡を可能とするための手順を定めること。

E. 8. 4. 6 顧客支給品の管理

容器製造者は、製造する輸送容器に組み込むため又は関連する業務のために申請者から支給される物品の検証、保管及び管理についての手順を定めること。紛失又は損傷した支給品及びその他の使用に適さない支給品については、記録し、申請者に報告すること。

E. 8. 4. 7 検査

E. 8. 4. 7. 1 一般

容器製造者は、検査業務の手順を定めること。必要な検査及び記録は、品質管理計画書又は手順書に規定すること。

E. 8. 4. 7. 2 受入検査

容器製造者は、購入品が要求事項に適合していることを確認するまで、当該購入品を使用又は加工しないこと。

E. 8. 4. 7. 3 工程内の検査

容器製造者は、次の事項を実施すること。

- a) 品質管理計画書及び手順書の規定に従い、輸送容器の検査を実施すること。
- b) 規定された検査を完了するか、又は必要な報告書を受領し、検証するまでは、次工程に進まないこと。

E. 8. 4. 7. 4 最終検査

容器製造者は、輸送容器が要求事項に適合していることを確認するため、品質管理計画書及び手順書に従って、最終検査を実施すること。

E. 8. 4. 7. 5 検査の記録

容器製造者は、輸送容器の検査記録を作成し、保管すること。これらの記録は、判定基準に従って検査に合格したか否かを明らかにすること。検査に合格しない場合には、不適合品の管理に関する手順を適用すること。

E. 8. 4. 8 検査、測定及び試験装置の管理

E. 8. 4. 8. 1 一般

- (1) 容器製造者は、検査、測定及び試験装置（以下「測定装置等」という。）を管理し、校正する手順を定めること。測定装置等は、測定能力に応じて使用すること。
- (2) 容器製造者は、測定装置等の点検の範囲及び頻度を定め、その記録を保管すること。

E. 8. 4. 8. 2 管理手順

容器製造者は、次の事項を実施すること。

- a) 測定項目及び必要な精度を明らかにし、適切な測定装置等を選定すること。
- b) 測定装置等の校正について定めること。
- c) 測定装置等を定期的又は使用前に校正し、調整すること。校正・調整の国際又は国内標準が無い場合は、校正に用いた基準を記録しておくこと。
- d) 適切な標識等によって、測定装置等の校正状態を識別すること。
- e) 測定装置等の校正記録を保管すること。
- f) 測定装置等が校正基準から外れていることが発見された場合、過去の検査の結果の妥当性を評価し、記録すること。
- g) 校正、検査、測定及び試験は、適切な環境条件下で実施すること。
- h) 測定装置等の取扱、保守、保管において、損傷及び劣化しないように保護すること。

E. 8. 4. 9 検査の状態

容器製造者は、検査に合格した輸送容器だけを出荷するために、品質管理計画書及び手順書の規定に従って、製造の全工程における輸送容器の検査の状態を識別すること。

E. 8. 5 測定、分析及び改善

E. 8. 5. 1 内部監査

- (1) 容器製造者は、品質マネジメントシステムが効果的に実施され、維持されているかを明確にするため、定期的に内部監査を実施すること。監査の計画及び実施について、文書化された手順の中で規定すること。監査員は、自らの仕事は監査しないこと。
- (2) 被監査領域の責任者は、発見された不適合及びその原因を除去するために遅滞なく処置がとられることを確実にすること。内部監査の結果はマネジメントレビューへのインプットとすること。

E. 8. 5. 2 不適合品の管理

- (1) 容器製造者は、要求事項に適合しない輸送容器を識別し、管理することを確実にすること。不適合品の処理に関する管理及びそれに関連する責任及び権限を文書化された手順に規定すること。
- (2) 修理又は手直しされた輸送容器は、要求事項への適合性を実証するための再検証を実施すること。

E. 8. 5. 3 改善

E. 8. 5. 3. 1 是正処置

- (1) 容器製造者は、再発防止のため、不適合の原因を除去する処置をとること。
- (2) 次の事項に関する要求事項を規定するために、文書化された手順を確立すること。
 - a) 申請者の苦情及び不適合品報告書の内容確認
 - b) 輸送容器、工程及び品質マネジメントシステムに関する不適合の原因の特定

- c) 不適合の再発防止を確実にするための処置の必要性の評価
- d) 必要な処置の決定及び実施
- e) とった処置の結果の記録

E. 8. 5. 3. 2 予防処置

- (1) 容器製造者は、起こりうる不適合が発生することを防止するため、その原因を除去する処置を決めること。
- (2) 次の事項に関する要求事項を規定するために、文書化された手順を確立すること。
 - a) 起こりうる不適合及びその原因の特定
 - b) 不適合の発生を予防するための処置の必要性の評価
 - c) 必要な処置の決定及び実施
 - d) とった処置の結果の記録

F. 取扱い及び保守

F.1 取扱い管理

(1) 研究所は、取扱い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い管理の方法を文書に定め、適切に管理する。

- a) 取扱い装置の点検並びに取扱い時の誤操作及び損傷防止対策
- b) 輸送容器の取扱い条件
- c) 保管施設からの輸送容器の搬出入条件及び方法
- d) 設備管理の責任者

(2) 研究所は、取扱いを行う者に対して、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。

F.2 保守及び保管管理

(1) 研究所は、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。

- a) 保管中の損傷防止対策
- b) 環境条件等を考慮した保管方法、保管区域の設定
- c) 保管中の点検
- d) 設備管理の責任者

(2) 研究所は、保守及び保管管理を行う者に対して、保守及び保管管理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。

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。