



核燃料輸送物設計承認申請書

令01原機(ふ)381

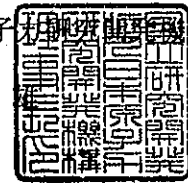
令和2年 2月28日

原子力規制委員会 殿

住 所 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1

氏 名 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

理事長 児玉 敏



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)第41条第1項の規定により、下記のとおり申請します。

記

1. 核燃料輸送物の名称

TN J A型

2. 輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料

(1) 輸送容器の外形寸法

外径 : 約 2. 2 m

全長 : 約 6. 8 m (前部及び後部衝撃吸収カバー含む)

(2) 輸送容器の重量 : 7 1 トン以下 (架台は含まず)

(3) 輸送容器の外観 : 添付図のとおり

(4) 輸送容器の主要材料

本体 : 合金鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金、銅、レジ

蓋部 : ステンレス鋼、合金鋼、タングステン、レジ

バスケット : ステンレス鋼、

衝撃吸収カバー : ステンレス鋼、合金鋼、アルミニウム合金

3. 核燃料輸送物の種類

BM型核分裂性輸送物

4. 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

添付表のとおり

5. 輸送制限個数

任意

6. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件においても密封性能を有した一次蓋及び二次蓋の健全性は維持されるため胴内への水の浸入はない。よって、密封装置内への浸水は考慮していない。

7. 収納物の密封性に関する事項

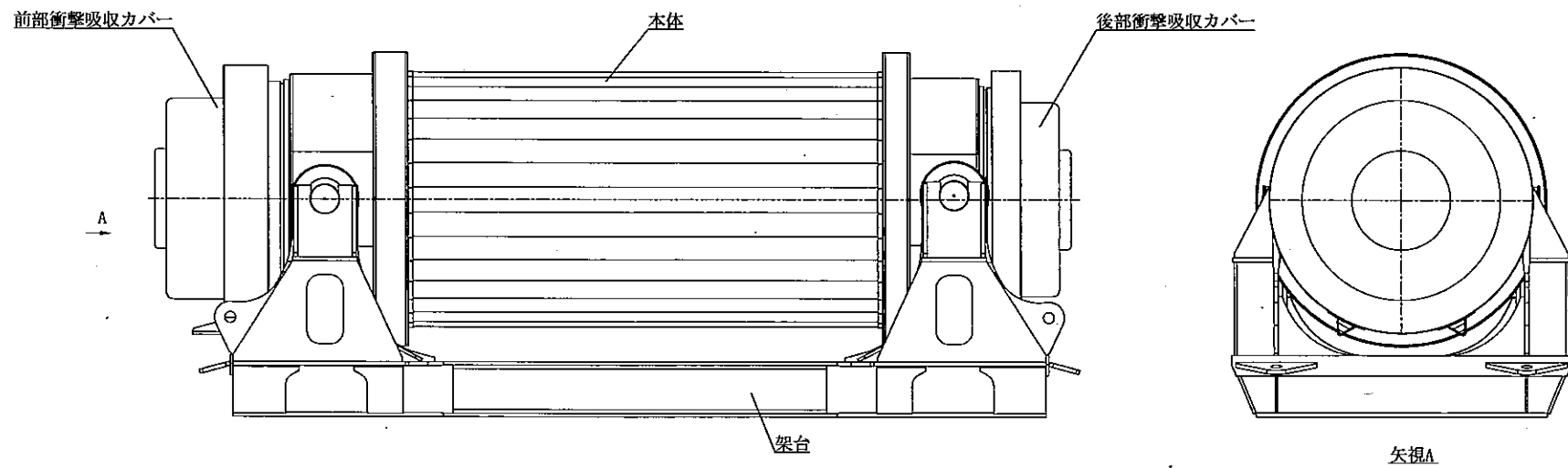
輸送容器は、二重の密封性能を有する構造となっている。

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

環境温度として -40°C まで考慮していない。

9. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

輸送容器の保守及び核燃料輸送物としての取扱いについては、本核燃料輸送物設計承認申請書別紙二章に記載した方法により実施する。



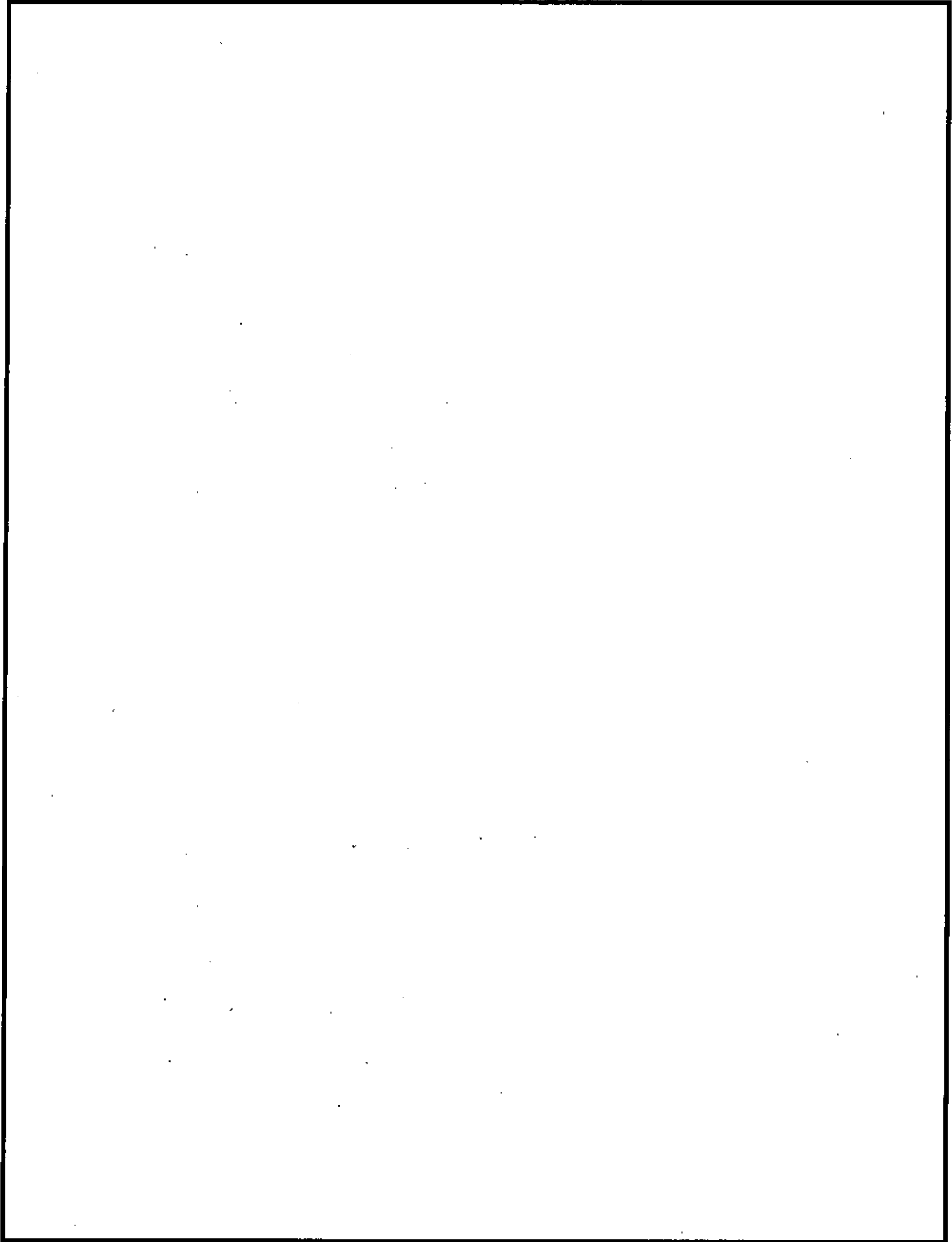
添付図 TN JA型輸送容器外観図

添付表 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

種類		新型転換炉原型炉ふげん使用済燃料 ^{注1)}				
		タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5
		28本クラスタ (ウラン・プルトニウム富化型燃料)	28本クラスタ (微濃縮ウラン型燃料)	36本クラスタ (特殊燃料)	36本クラスタ (照射用36本燃料)	36本クラスタ (照射用ガドリニア燃料)
性状		固体 (ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末焼結体)	固体 (ウラン酸化物粉末焼結体)	固体 (ウラン酸化物粉末焼結体)	固体 (ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末焼結体)	固体 (ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末焼結体)
重量	集合体重量	7.4トン以下				
	ウラン及びプルトニウム重量					
	核分裂性物質重量					
核分裂性物質比(集合体平均)						
ウラン濃縮度(集合体平均)						
核分裂性プルトニウム富化度(集合体平均)						
燃焼度						
冷却期間						
放射能の量 ^{注2)}						
発熱量	3.6kW以下					
収納体数	32体以下					

注1) 表面から1メートルの距離における空気吸収線量率は1グレイ毎時を超える。

注2)



別図 燃料集合体の配置図

別紙記載事項

- (イ)章 核燃料輸送物の説明
- (ロ)章 核燃料輸送物の安全解析
- (ハ)章 品質マネジメントの基本方針
- (ニ)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法
- (ホ)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

取扱注意

別紙

本資料（文書）には、核物質防護上の管理すべき情報が含まれますので、取扱には注意をお願いします。

TN JA型輸送物
安全解析書
(公開版)

本資料には、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構またはその他の企業の秘密情報が含まれている可能性があります。当機構の許可なく本資料の複製品を作成すること、本資料の内容を本来の目的以外に使用すること、ならびに第三者に開示、公開する行為を禁止します。

目次

	頁
(イ)章 核燃料輸送物の説明	(イ)-A-1
A. 目的及び条件	(イ)-A-1
B. 輸送物の種類	(イ)-B-1
C. 輸送容器	(イ)-C-1
D. 輸送容器の収納物	(イ)-D-1
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ)-1
A. 構造解析	(ロ)-A-1
A.1 構造設計	(ロ)-A-1
A.1.1 概要	(ロ)-A-1
A.1.2 設計基準	(ロ)-A-3
A.2 重量及び重心	(ロ)-A-19
A.3 材料の機械的性質	(ロ)-A-19
A.4 輸送物の要件	(ロ)-A-23
A.4.1 化学的及び電氣的反応	(ロ)-A-23
A.4.2 低温強度	(ロ)-A-24
A.4.3 密封装置	(ロ)-A-24
A.4.4 吊上装置	(ロ)-A-25
A.4.5 固縛装置	(ロ)-A-31
A.4.6 圧力	(ロ)-A-35
A.4.7 振動	(ロ)-A-35
A.5 一般の試験条件	(ロ)-A-37
A.5.1 熱的試験	(ロ)-A-37
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ)-A-37
A.5.1.2 熱膨張	(ロ)-A-38
A.5.1.3 応力計算	(ロ)-A-39
A.5.1.4 許容応力との比較	(ロ)-A-48
A.5.2 水噴霧	(ロ)-A-48
A.5.3 自由落下	(ロ)-A-48
A.5.4 積み重ね試験	(ロ)-A-68

A. 5. 5	貫通	(口) - A - 69
A. 5. 6	角又は縁落下	(口) - A - 71
A. 5. 7	結果の要約及びその評価	(口) - A - 71
A. 6	特別の試験条件	(口) - A - 73
A. 6. 1	強度試験・落下試験 I (9m 落下時)	(口) - A - 73
A. 6. 1. 1	垂直落下	(口) - A - 74
A. 6. 1. 2	水平落下	(口) - A - 78
A. 6. 1. 3	コーナー落下	(口) - A - 81
A. 6. 1. 4	傾斜落下	(口) - A - 85
A. 6. 1. 5	結果の要約	(口) - A - 92
A. 6. 2	強度試験・落下試験 II (1m 落下時)	(口) - A - 96
A. 6. 2. 1	結果の要約	(口) - A - 97
A. 6. 3	熱的試験	(口) - A - 98
A. 6. 3. 1	温度及び圧力の要約	(口) - A - 98
A. 6. 3. 2	熱膨張	(口) - A - 99
A. 6. 3. 3	許容応力との比較	(口) - A - 99
A. 6. 4	浸漬	(口) - A - 104
A. 6. 4. 1	15m 浸漬	(口) - A - 104
A. 6. 5	結果の要約及びその評価	(口) - A - 104
A. 7	強化浸漬試験	(口) - A - 106
A. 8	放射性収納物	(口) - A - 111
A. 9	核分裂性輸送物	(口) - A - 111
A. 9. 1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(口) - A - 111
A. 9. 2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(口) - A - 113
A. 10	付属書類	(口) - A - 116
B.	熱解析	(口) - B - 1
B. 1	概要	(口) - B - 1
B. 2	材料の熱的性質	(口) - B - 3
B. 3	構成要素の仕様	(口) - B - 3
B. 4	一般の試験条件	(口) - B - 9
B. 4. 1	熱解析モデル	(口) - B - 9

B. 4. 1. 1	解析モデル	(口)	B-9
B. 4. 2	最高温度	(口)	B-23
B. 4. 3	最低温度	(口)	B-28
B. 4. 4	最大内圧	(口)	B-28
B. 4. 5	最大熱応力	(口)	B-28
B. 4. 6	結果の要約及びその評価	(口)	B-28
B. 5	特別の試験条件	(口)	B-30
B. 5. 1	熱解析モデル	(口)	B-30
B. 5. 1. 1	解析モデル	(口)	B-30
B. 5. 2	輸送物の評価条件	(口)	B-37
B. 5. 3	輸送物温度	(口)	B-37
B. 5. 4	最大内圧	(口)	B-46
B. 5. 5	最大熱応力	(口)	B-47
B. 5. 6	結果の要約及びその評価	(口)	B-47
B. 6	付属書類	(口)	B-48
C.	密封解析	(口)	C-1
C. 1	概要	(口)	C-1
C. 2	密封装置	(口)	C-1
C. 2. 1	密封装置	(口)	C-1
C. 2. 2	密封装置の貫通部	(口)	C-2
C. 2. 3	密封装置のガスケット及び溶接部	(口)	C-2
C. 2. 3. 1	ガスケット	(口)	C-2
C. 2. 3. 2	溶接部	(口)	C-2
C. 2. 4	蓋	(口)	C-2
C. 3	一般の試験条件	(口)	C-4
C. 3. 1	放射性物質の漏えい	(口)	C-4
C. 3. 2	密封装置の加圧	(口)	C-4
C. 3. 3	冷却材汚染	(口)	C-4
C. 3. 4	冷却材損失	(口)	C-4
C. 4	特別の試験条件	(口)	C-5
C. 4. 1	核分裂生成ガス	(口)	C-5

C. 4. 2	放射性物質の漏えい	(口) - C - 6
C. 4. 2. 1	解析条件	(口) - C - 6
C. 4. 2. 2	特別の試験条件における放射性物質の漏えい率	(口) - C - 11
C. 5	結果の要約及びその評価	(口) - C - 12
C. 6	付属書類	(口) - C - 13
D.	遮蔽解析	(口) - D - 1
D. 1	概要	(口) - D - 1
D. 2	線源仕様	(口) - D - 1
D. 2. 1	ガンマ線源	(口) - D - 1
D. 2. 2	中性子源	(口) - D - 7
D. 3	モデル仕様	(口) - D - 9
D. 3. 1	解析モデル	(口) - D - 9
D. 3. 2	解析モデル各領域における原子個数密度	(口) - D - 10
D. 4	遮蔽評価	(口) - D - 36
D. 5	結果の要約及びその評価	(口) - D - 41
D. 6	付属書類	(口) - D - 42
E.	臨界解析	(口) - E - 1
E. 1	概要	(口) - E - 1
E. 2	解析対象	(口) - E - 1
E. 2. 1	収納物	(口) - E - 1
E. 2. 2	輸送容器	(口) - E - 4
E. 2. 3	中性子吸収材	(口) - E - 4
E. 3	モデル仕様	(口) - E - 4
E. 3. 1	解析モデル	(口) - E - 4
E. 3. 2	解析モデル各領域における原子個数密度	(口) - E - 13
E. 4	未臨界評価	(口) - E - 15
E. 4. 1	計算条件	(口) - E - 15
E. 4. 2	輸送物への水の浸入等	(口) - E - 15
E. 4. 3	計算方法	(口) - E - 15
E. 4. 4	計算結果	(口) - E - 17

E.5	ベンチマーク試験	(ロ)	E-18
E.6	結果の要約及びその評価	(ロ)	E-20
E.7	付属書類	(ロ)	E-21
F.	規則及び告示に対する適合性の評価	(ロ)	F-1

(ハ)章 品質マネジメントの基本方針

	(新型転換炉原型炉ふげん)	(ハ)	ふげん-A-1
A.	品質マネジメントシステム	(ハ)	ふげん-A-1
B.	申請者の責任	(ハ)	ふげん-B-1
C.	教育・訓練	(ハ)	ふげん-C-1
D.	設計管理	(ハ)	ふげん-D-1
E.	輸送容器の製造発注	(ハ)	ふげん-E-1
F.	取扱い及び保守	(ハ)	ふげん-F-1
	(核燃料サイクル工学研究所)	(ハ)	核サ研-A-1
A.	品質マネジメントシステム	(ハ)	核サ研-A-1
B.	申請者の責任	(ハ)	核サ研-B-1
C.	教育・訓練	(ハ)	核サ研-C-1
D.	設計管理	(ハ)	核サ研-D-1
E.	輸送容器の製造発注	(ハ)	核サ研-E-1
F.	取扱い及び保守	(ハ)	核サ研-F-1

(ニ)章	輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	(ニ)	A-1
A.	輸送物の取扱い方法	(ニ)	A-1
A.1	装荷方法	(ニ)	A-1
A.2	輸送物の発送前検査	(ニ)	A-2
A.3	取出し方法	(ニ)	A-2
A.4	空容器の準備	(ニ)	A-2
B.	保守条件	(ニ)	B-1
B.1	外観検査	(ニ)	B-1
B.2	耐圧検査	(ニ)	B-1
B.3	気密漏えい検査	(ニ)	B-1

B. 4 遮蔽検査	(ニ)－B－1
B. 5 未臨界検査	(ニ)－B－1
B. 6 熱検査	(ニ)－B－1
B. 7 吊上検査	(ニ)－B－2
B. 8 作動確認検査	(ニ)－B－2
B. 9 補助系の保守	(ニ)－B－2
B. 10 密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ニ)－B－2
B. 11 輸送容器の保管	(ニ)－B－2
B. 12 記録の保管	(ニ)－B－2
B. 13 その他	(ニ)－B－2
(ホ) 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項	(ホ)－1
参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明	(参)－A－1

(イ)章 核燃料輸送物の説明

(イ)章 核燃料輸送物の説明

A. 目的及び条件

a) 使用目的

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「機構」という。）の新型転換炉原型炉ふげん（以下、「ふげん」という。）及び核燃料サイクル工学研究所再処理施設（以下、「東海再処理施設」という。）に保管しているふげん使用済燃料を国内又は我が国と原子力の平和利用に関する協力のための協定を締結している国の再処理事業者の再処理施設に輸送するため。

なお、具体的な輸送先が確定した際は、速やかに使用目的に反映する。

b) 輸送容器の型名 TN JA 型

c) 輸送物の種類 BM 型核分裂性輸送物

d) 輸送制限個数 任意

e) 輸送指数 10 以下

f) 臨界安全指数 0

g) 輸送物の総重量 78.4 トン以下（架台は含まず）

h) 外形寸法 外径 約 2.2m

全長 約 6.8m

（前部及び後部衝撃吸収カバーを含む）

i) 輸送容器の材料

本体 合金鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金、銅、レジン

蓋部 ステンレス鋼、合金鋼、タングステン、レジン

バスケット ステンレス鋼、

衝撃吸収カバー ステンレス鋼、合金鋼、アルミニウム合金

j) 輸送容器に収納する放射性物質

輸送容器に収納する放射性物質の仕様を(イ)-第 A.1 表に示す。

k) 輸送形態

輸送物の輸送形態は、車両による陸上輸送及び船による海上輸送である。

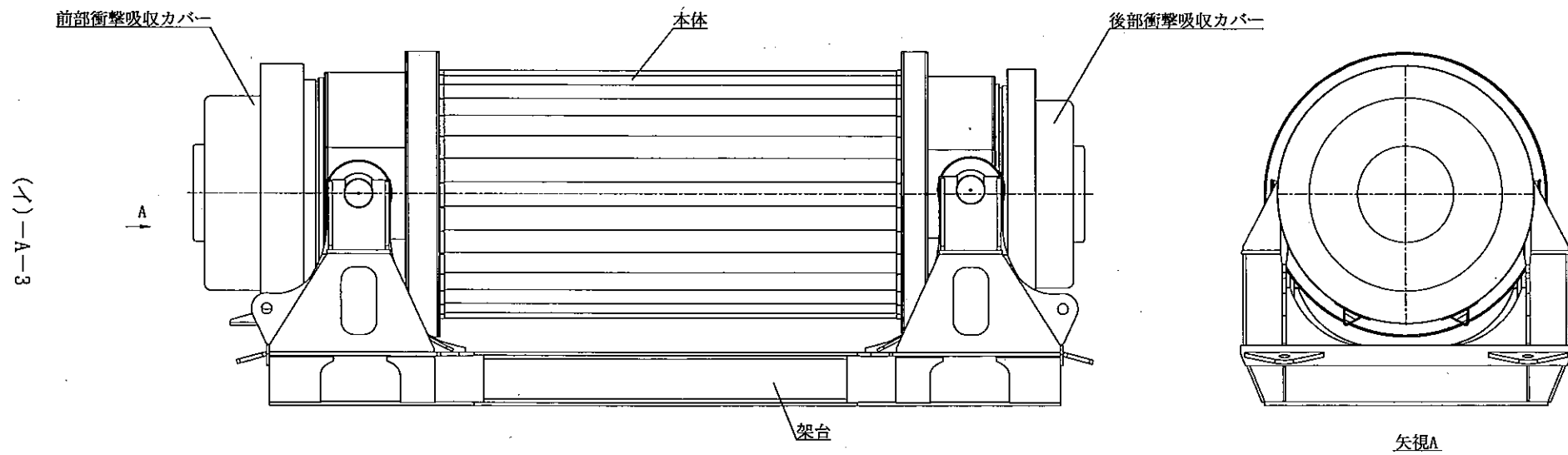
輸送物は(イ)-第 A.1 図に示すように、輸送中は架台上に横置き状態に保持され、前部及び後部トラニオンにより固縛される。

(イ)-第A.1表 輸送容器に収納する放射性物質の仕様

種類		新型転換炉原型炉ふげん使用済燃料 ^{注1)}				
		タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5
		28本クラスタ (ウラン・プルトニウム 富化型燃料)	28本クラスタ (微濃縮 ウラン型燃料)	36本クラスタ (特殊燃料)	36本クラスタ (照射用36本燃料)	36本クラスタ (照射用 ガドリニア燃料)
性状		固体 (ウラン・プルトニウム 混合酸化物 粉末焼結体)	固体 (ウラン酸化物 粉末焼結体)	固体 (ウラン酸化物 粉末焼結体)	固体 (ウラン・プルトニウム 混合酸化物 粉末焼結体)	固体 (ウラン・プルトニウム 混合酸化物 粉末焼結体)
重量	集合体重量	7.4トン以下				
	ウラン及び プルトニウム重量					
	核分裂性物質重量					
核分裂性物質比 (集合体平均)						
ウラン濃縮度 (集合体平均)						
核分裂性プルトニウム富化度 (集合体平均)						
燃焼度						
冷却期間						
放射能強度 ^{注2)}						
発熱量	3.6kW以下					
収納体数 ((イ)-第D.6図参照)		32体以下				

注1) 表面から1メートルの距離における空気吸収線量率は1グレイ毎時を超える。

注2)



(イ)-第 A.1 図 輸送物荷姿図

B. 輸送物の種類

BM 型核分裂性輸送物

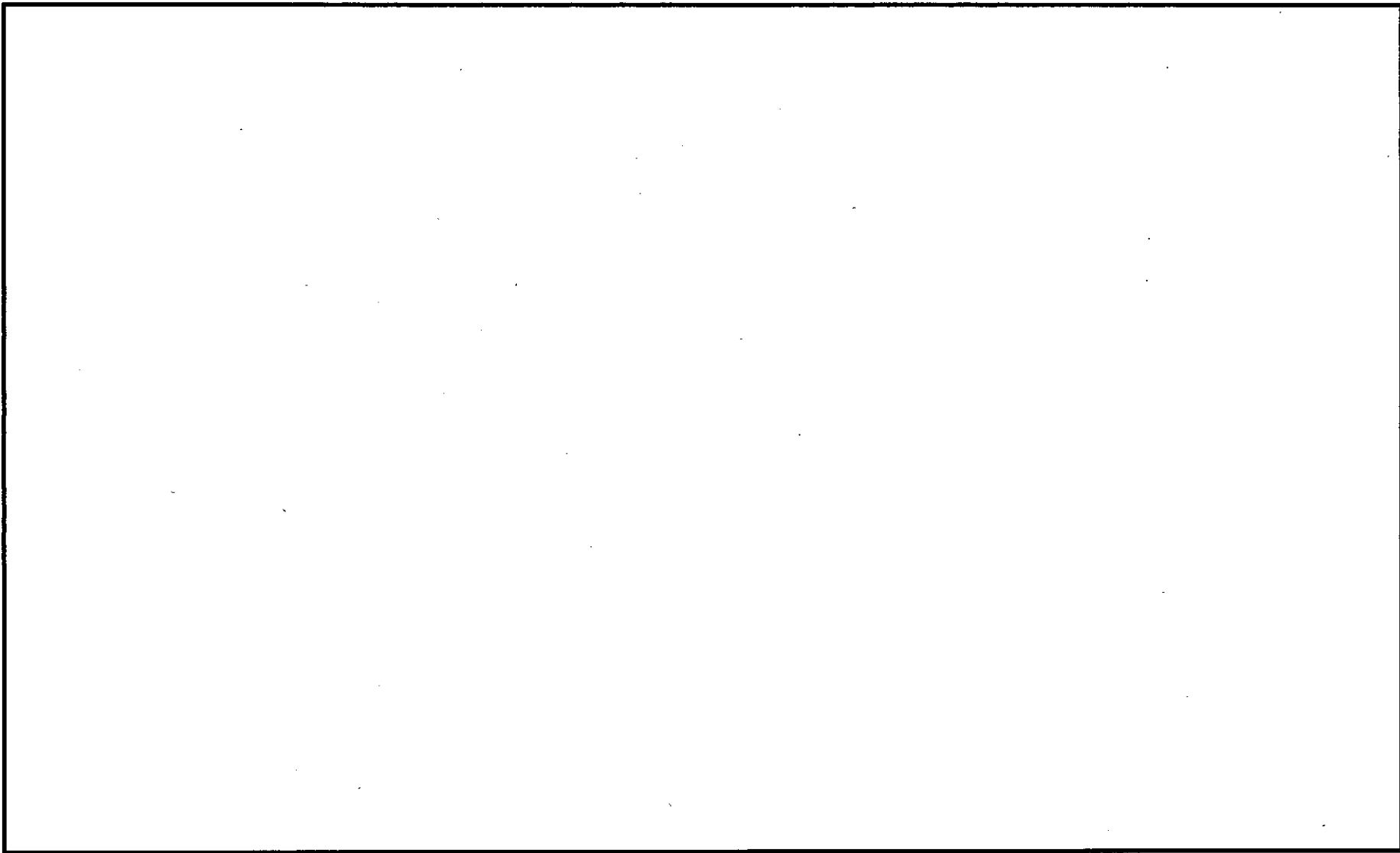
C. 輸送容器

C.1 輸送容器の概要

輸送容器の概要は次のとおりである。また、輸送容器の全体図を(イ)-第C.1図に、縦断面図を(イ)-第C.2図に示す。

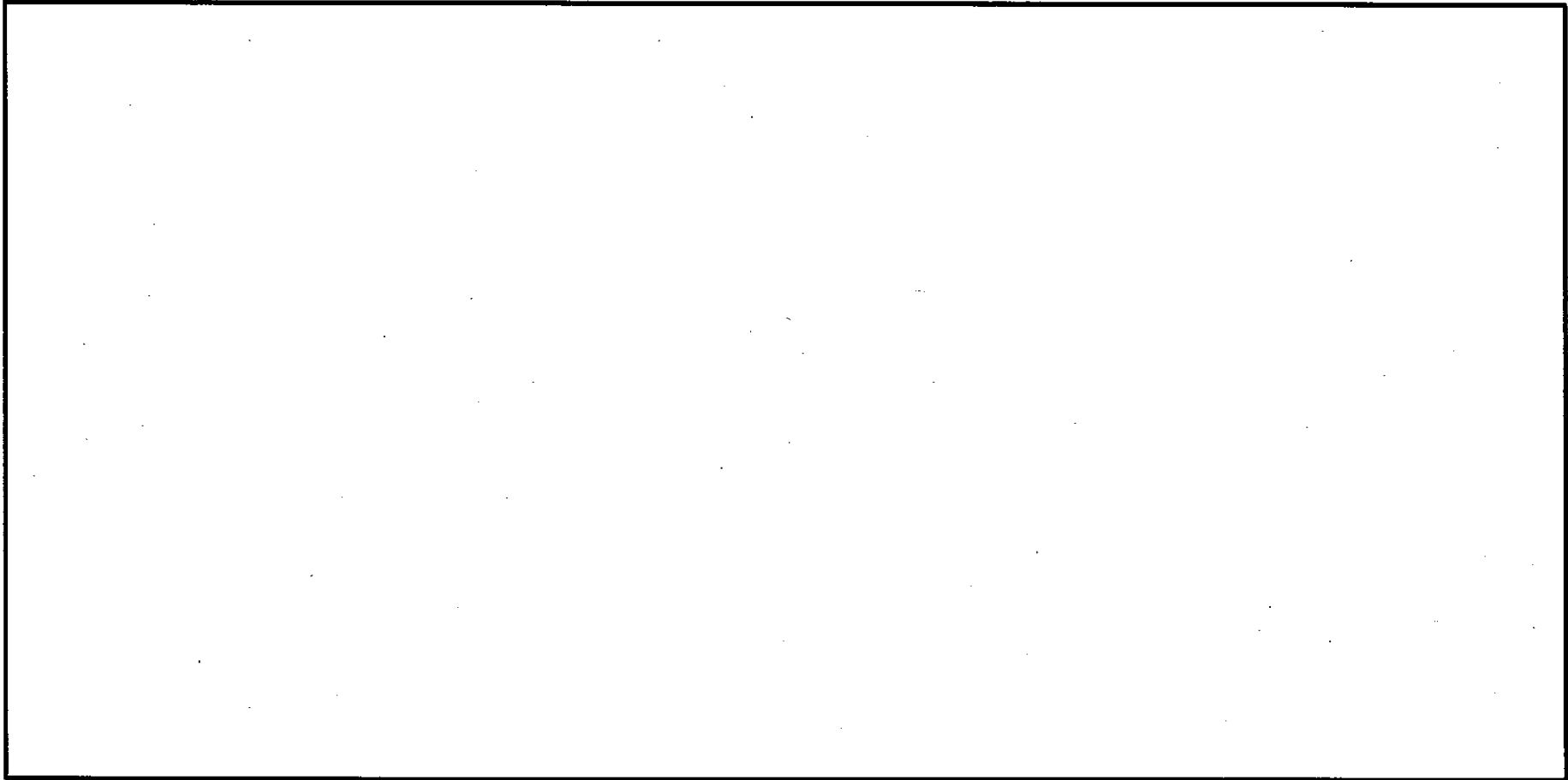
- ・ 輸送容器は円筒形状であり、取扱いに当たっては、本体に取付けられたトラニオンを使用して行われる。
- ・ 落下等による衝撃を緩和するため、容器本体の前部及び後部に衝撃吸収カバーが取付けられる。
- ・ 輸送容器は、二重の密封機能を有する構造となっている。
- ・ 主要な遮蔽材は、輸送容器を構成する合金鋼、ステンレス鋼、タングステン及びレジンである。
- ・ 燃料集合体を輸送容器内部に収納するためのバスケットには、中性子吸収材として[]が用いられている。
- ・ 輸送容器の輸送中は、輸送架台により横置き状態に保持され、固縛装置で固定される。また、機構施設内あるいは再処理施設内での取扱い時には縦置き状態に保持される。

(1)-C-2



(イ)-第 C.1 図 輸送容器全体図

(A)-C-3



(単位：mm)

(イ)-第 C.2 図 輸送容器縦断面図

C.2 構成部品

輸送容器は、本体、蓋部、バスケット並びに前部及び後部に取付けられる衝撃吸収カバーの4つの主要部から構成されている。

なお、本体と蓋部を合わせて、容器本体と称する。

C.2.1 本体

本体の主要な構成部品は、合金鋼部（胴、底板）、銅伝熱体、レジン、スカート支持リング、ドラム、トラニオン及びオリフィスである。本体の縦断面、横断面、トラニオン、オリフィスの構造を(イ)-第C.3図～(イ)-第C.9図に示す。

胴は、鍛造合金鋼製の円筒形であり、円板状の底板と共に容器を構成している。胴と底板の溶接については、(イ)-第C.3図に示されるように、胴と胴の一部を含んだ底板を突合せ溶接により一体としている。

合金鋼部は、内外圧に耐えるように圧力容器として設計されており、また主要なガンマ線遮蔽体となっている。

合金鋼部の内面、ガスケットの接する面、前後部端面は、ステンレス鋼でオーバーレイされており、前部端面には、蓋部を取付けるためのボルト孔が設けられている。また、合金鋼部外面のドラムやスカート支持リング、銅伝熱体及びレジンにより覆われる部分は、錆止め塗装あるいはステンレス鋼でオーバーレイされる。

銅伝熱体及び胴部のレジン、合金鋼部の中央部外周に位置し、断面がS字形状の銅伝熱体及びレジンからなっている。

銅伝熱体は、周方向の一方の端部を胴外面にボルト止めあるいは溶接により固定し、もう一方の端部を隣の銅伝熱体に溶接により固定し、胴外面を覆っている。銅伝熱体は、主に収納物から発生する崩壊熱を自然冷却により周囲に放散するために設けられている。胴外面と銅伝熱体により生じる空間にレジンが鑄込まれ、あるいはレジンプロックが組み込まれる。

また、底板外面にも、レジンが取付けられ、ステンレス鋼製のレジンカバーで封じられている。

レジン、主要な中性子遮蔽体となっている。

スカート支持リングは、アルミニウム合金製のリングとステンレス鋼製のスカート支持リングカバーで構成され、本体の前部及び後部に位置している。スカート支持リングは、使用済燃料プールへの搬入、搬出の際に輸送容器の中央部分を汚染から防止するためのスカートを取付ける際に利用される。

ドラムは、本体の前部及び後部外周に位置し、ステンレス鋼製のドラムカバーとレジンから構成されており、前部及び後部の径方向の中性子遮蔽のために取付けられている。

トラニオンは、ステンレス鋼製であり、本体の前部及び後部に位置している。トラニオンの中心部にはレジンが充填されている。また、トラニオンは、前部に一对、後部に一对あり、トラニオン高さが異なる以外は、同じ構造をしている。トラニオンは、トラニオン締付けボルト〔 〕で合金鋼部に取り付けられ、主に輸送容器の取扱い及び輸送時の固縛に用いられる。

遮蔽プラグは、本体前部の一对のトラニオン間の 2 ヶ所に位置し、レジンとステンレス鋼板で構成されている。

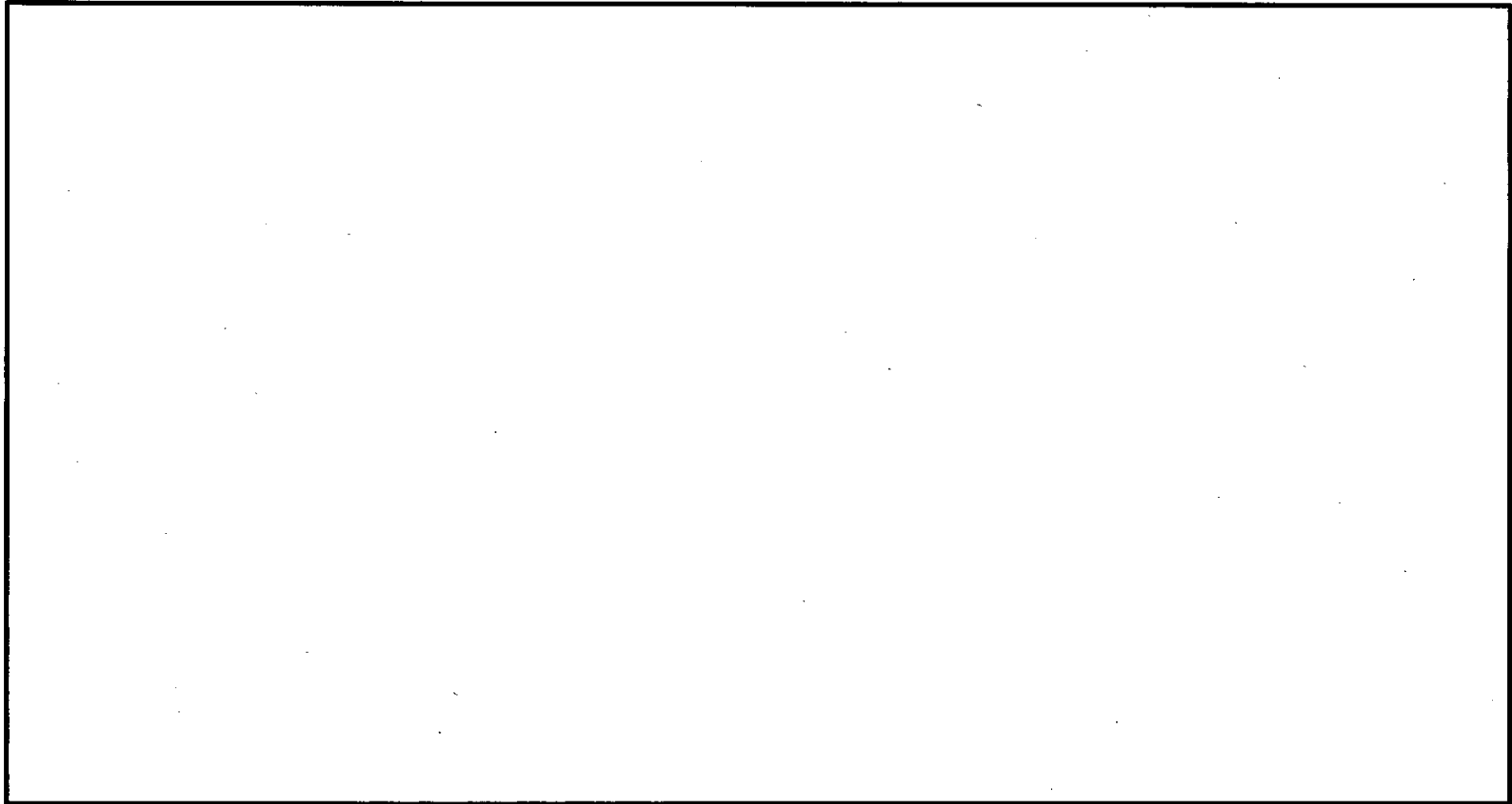
オリフィスは、本体前部〔 箇所〕にベントオリフィス、本体後部〔 箇所〕にドレンオリフィスがあり、いずれも同じ構造であり、主にステンレス鋼製である。

オリフィスの下部には〔 〕を密封するための〔 〕製ガスケットを有する〔 〕があり、一次側密封境界を構成する。それらの上部には、〔 〕製ガスケットを有する〔 〕があり、二次側密封境界を構成する。

〔 〕輸送中不用意に外されることのないようになっている。

本体の底部には、〔 〕個のボルト穴が設けられており、後部衝撃吸収カバーを取付けるために使用される。

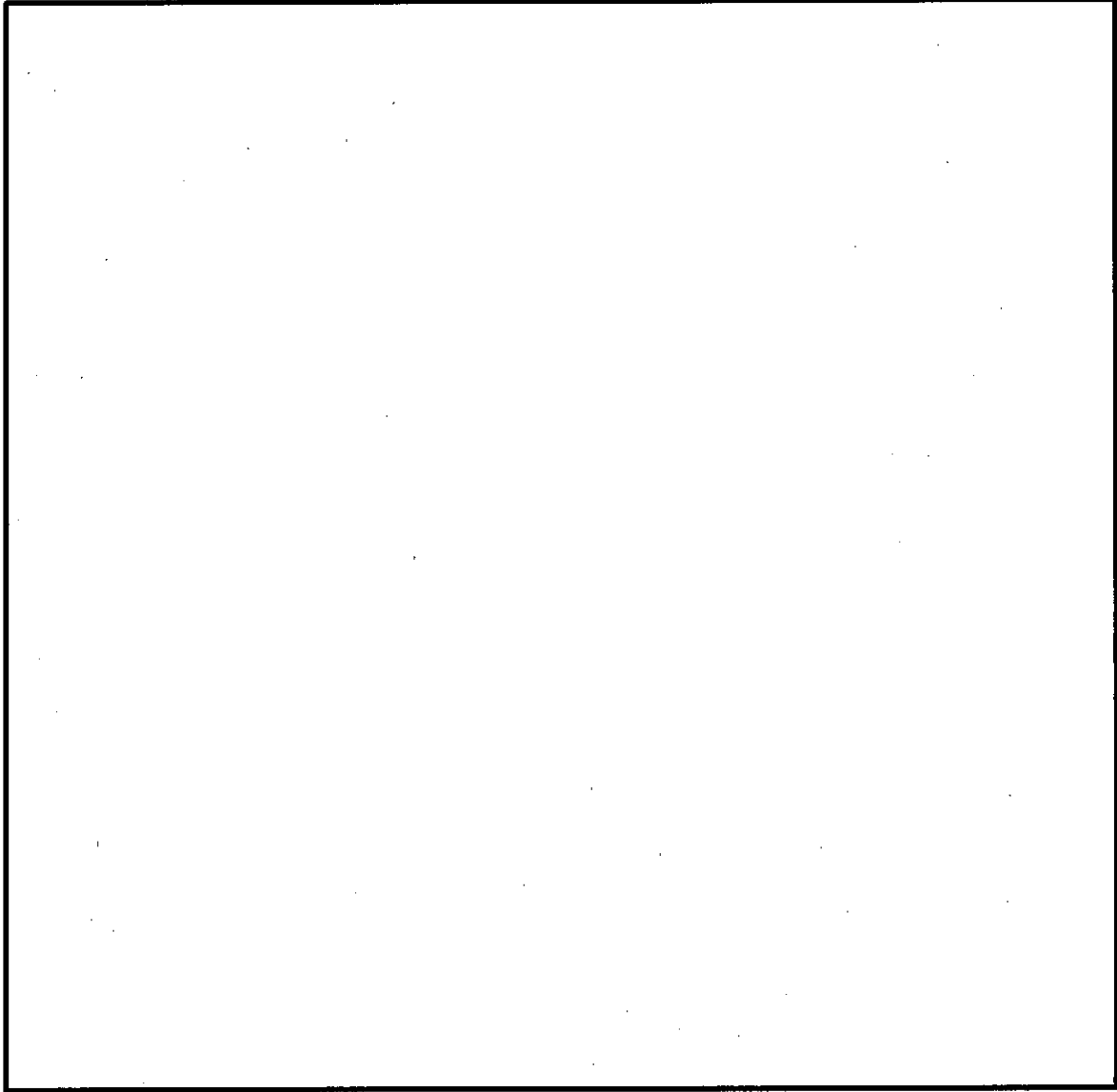
(イ)-0-6



(単位 : mm)



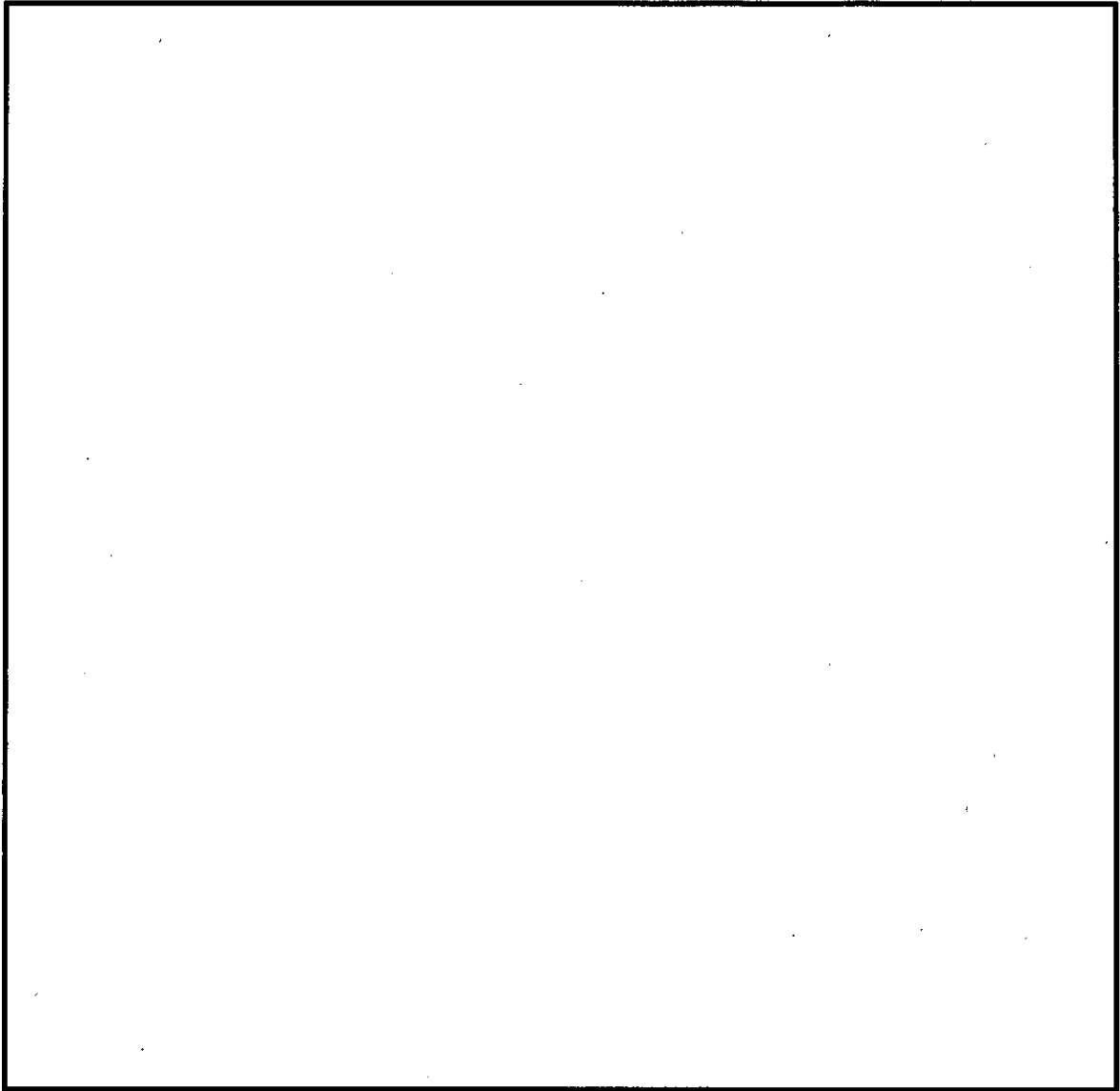
(イ)-第 C.3 図 本体縦断面図



(単位 : mm)

注) ベントオリフィスと前部トラニオンの軸方向位置は僅かに異なるが同じ断面に記載した。

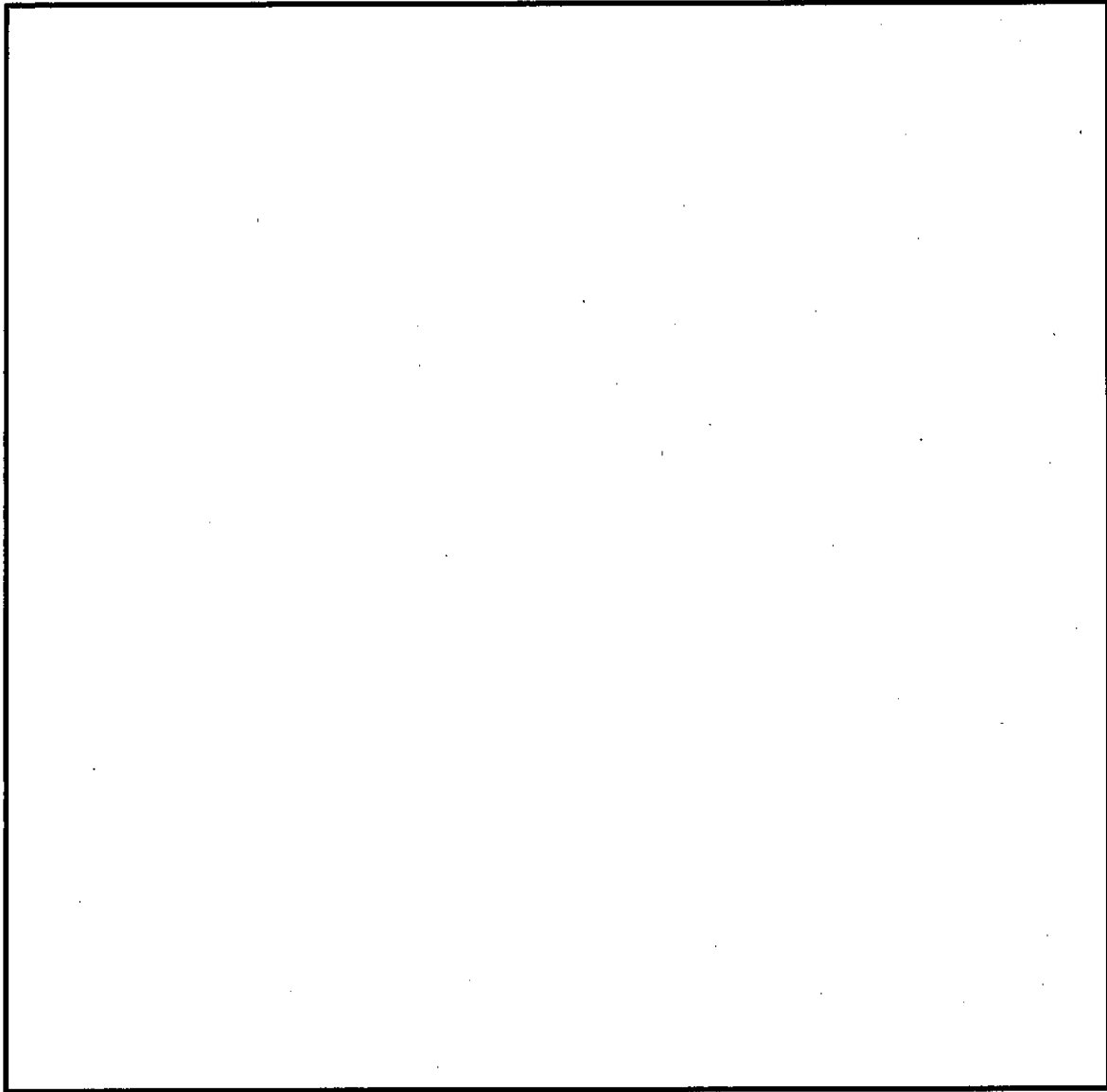
(イ)-第 C. 4 図 本体横断面図 ((イ)-第 C. 3 図の A-A 断面)



(単位：mm)

注) 銅伝熱体の胴外面への固定方法にはボルト止めと溶接止めがあり、本図ではボルト止めタイプを記載した。

(イ)-第 C. 5 図 本体横断面図 ((イ)-第 C. 3 図の B-B 断面)

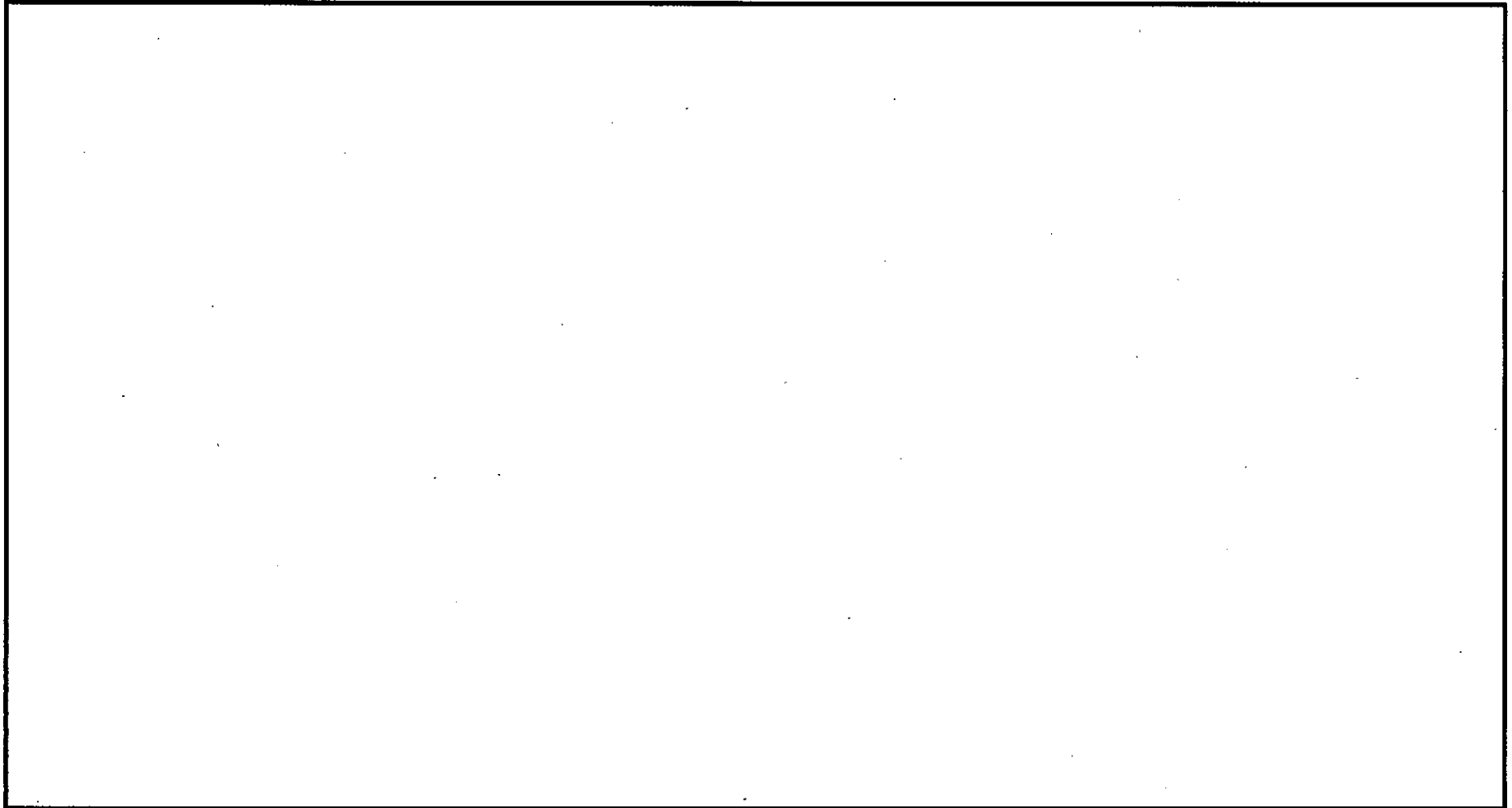


(単位：mm)

注) ドレンオリフィスと後部トラニオンの軸方向位置は僅かに異なるが同じ断面に記載した。

(イ)-第 C. 6 図 本体横断面図 ((イ)-第 C. 3 図の C-C 断面)

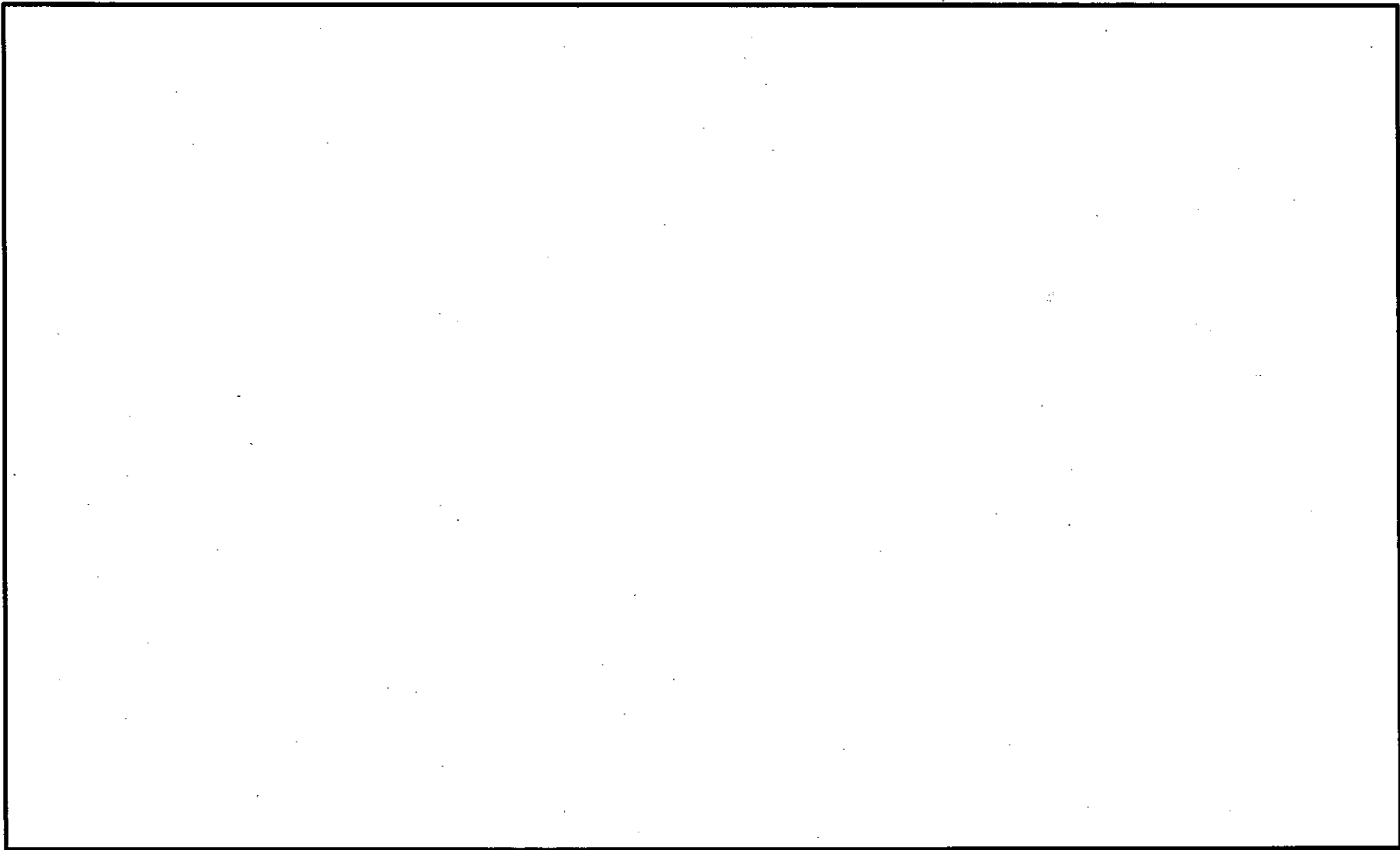
(イ)-C-10



(単位 : mm)

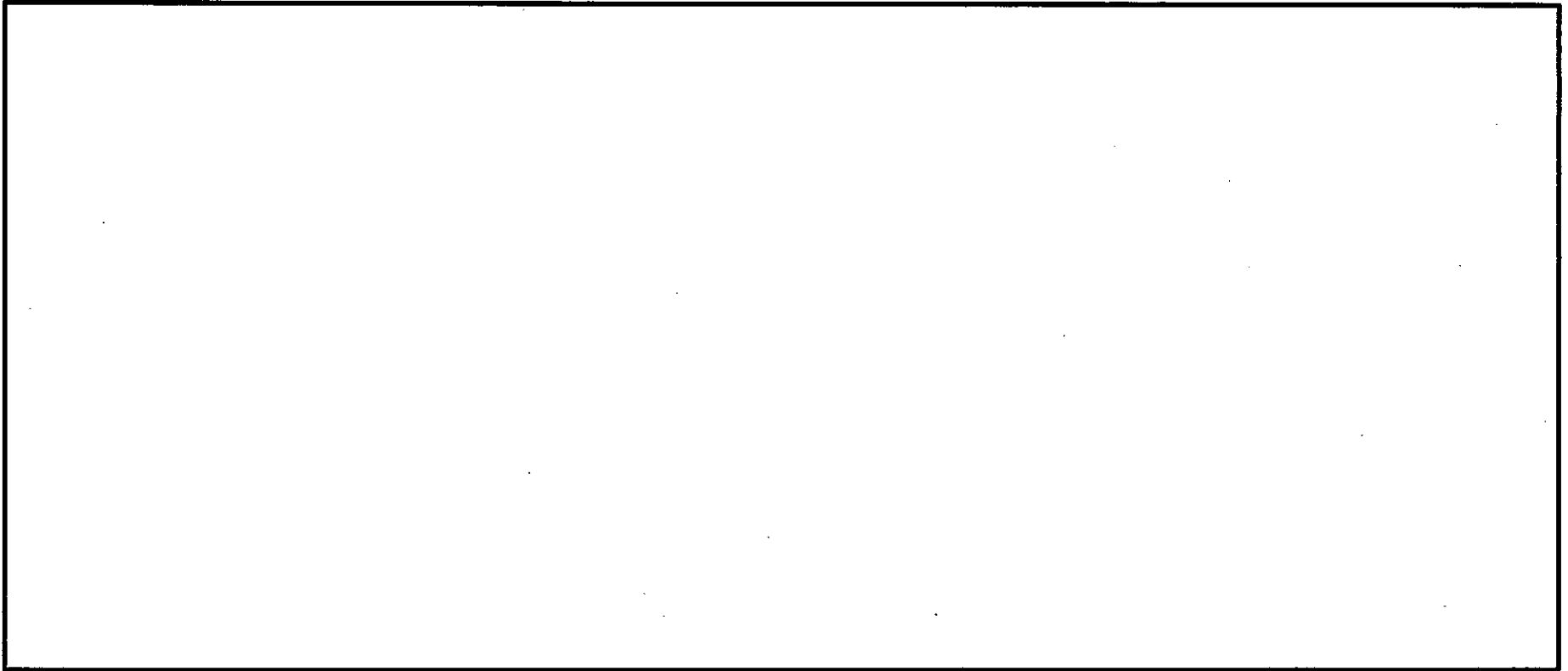
(イ)-第 C.7 図 トラニオン構造図

(イ)-C-II



(イ)-第 C.8 図 ベント及びドレンオリフィス断面図

(イ)-0-12



(イ)-第 C.9 図 ベント及びドレンオリフィス構造図

C.2.2 蓋部

蓋部は、一次蓋、リングフランジ及び二次蓋により構成されている。各部品の構造を(イ)-第 C.10 図及び(イ)-第 C.11 図に示す。

一次蓋は、ステンレス鋼製の円板状であり、本体前部端面にリングフランジにより取付けられる。一次蓋は、リングフランジとともに内外圧に耐えるように設計されている。一次蓋の外面には、レジンが設置され、中性子遮蔽体となっている。また、一次蓋の内面にはタングステン製のガンマ線遮蔽体が設置され、ステンレス鋼と共にガンマ線遮蔽体となっている。さらにその内側に、ステンレス鋼製の [] [] カバーに覆われた [] が設置されており、輸送物の落下時にキャビティ内のバスケット及び収納物による蓋部への衝撃を緩和する設計となっている。

一次蓋に設けられた同心円の二重の [] 製ガスケットにより一次蓋ガスケット部(本体と一次蓋との接合部)の密封性が確保される。この二重のガスケットの中間部にテストオリフィスがあり、一次蓋ガスケット部の密封性を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。一次蓋の中央部にはサンプリングオリフィスが設置されている。サンプリングオリフィスは [] [] に使用される。サンプリングオリフィスはテストオリフィスを有しており、サンプリングオリフィスの密封性を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。

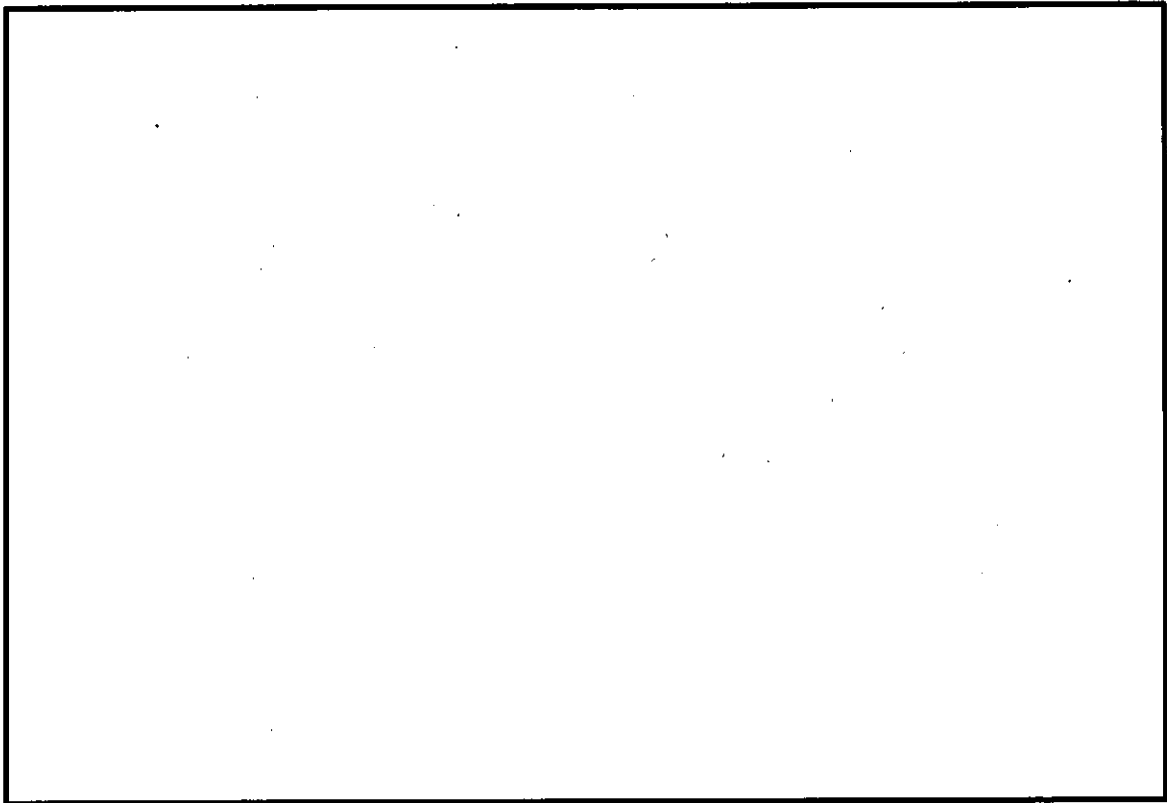
リングフランジは、ステンレス鋼製のリング状であり、[] 本のリングフランジ締付けボルト [] で本体前部端面に取付けられる。リングフランジを取付けることにより、一次蓋は本体に固定される。

二次蓋は、鍛造合金鋼製の円板状であり、[] 本の二次蓋締付けボルト [] により本体前部端面に取付けられる。二次蓋下面には [] 本の二次蓋位置決めピンが取付けられている。また、二次蓋の外表面には、[] 個のボルト穴が設けられており、前部衝撃吸収カバーを取付けるために使用される。

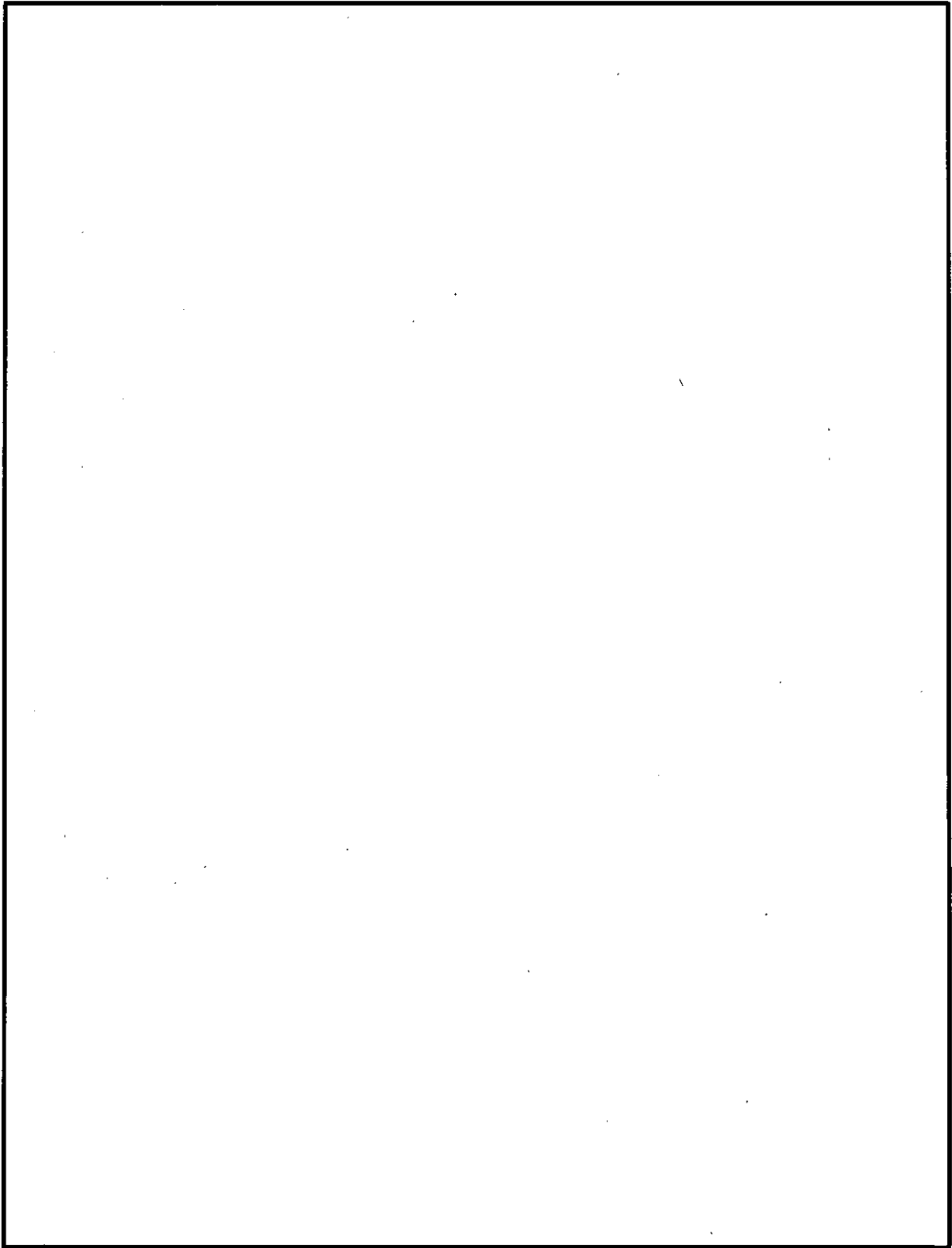
二次蓋に設けられた同心円の二重の [] 製ガスケットにより二次蓋ガスケット部(本体と二次蓋との接合部)の密封性が確保される。この二重のガスケットの中間部にテストオリフィスがあり、二次蓋ガスケット部の密封性を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。二次蓋にはサンプリングオリフィスが設置されている。サンプリングオリフィスは [] [] に使用される。サンプリングオリフィスはテス

トオリフィスを有しており、サンプリングオリフィスの密封性を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。

上記の説明のとおり蓋部は、一次蓋により一次側密封境界を、二次蓋により二次側密封境界を構成している。



(イ)-第 C. 10 図 蓋部構造図



(单位 : mm)

(イ)-第 C.11 図 蓋部品構造図

C.2.3 バスケット

バスケットは、主にトッププレート、ボトムプレート及びサポートプレート、スペーサー、タイロッド、並びにロジメントチューブ及びアルミチューブから構成されている。バスケットの構造を(イ)-第C.12図に示す。

燃料を収納するロジメントは、ステンレス鋼製のロジメントチューブ、及びその外側に取付けられる[]製のアルミチューブで構成されている。

サポートプレートは、ステンレス鋼製の円板であり、ロジメントとステンレス鋼製のスペーサーを両側から保持するように積み重ねられている。

その上下端には、ステンレス鋼製のトッププレートとボトムプレートが取付けられており、スペーサー内を貫通するステンレス鋼製のタイロッドにより互いに締結される。

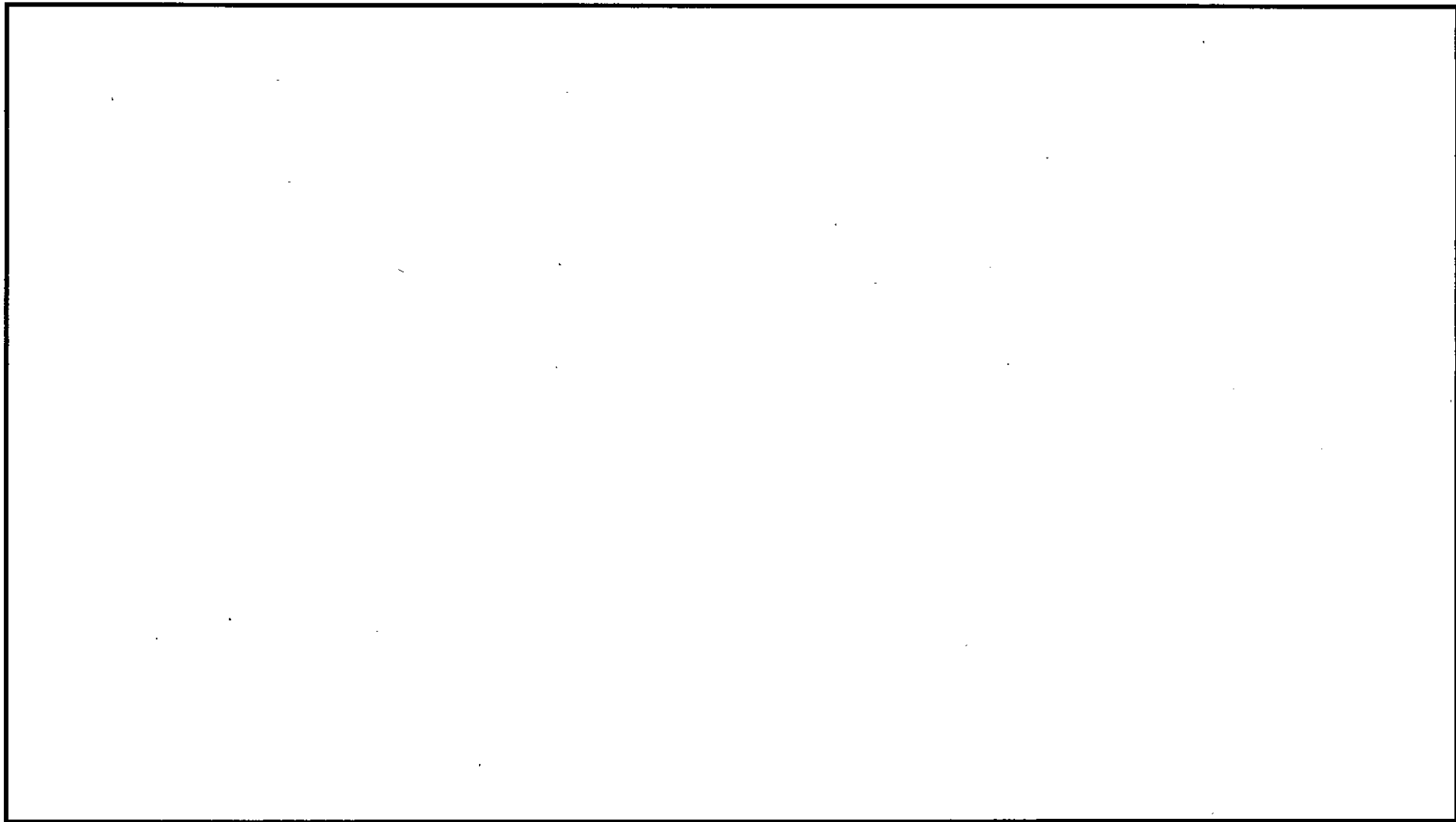
容器本体内面に取付けられた方向キーによりバスケットの容器本体内での周方向の回転が抑制される。

C.2.4 燃料集合体支持スペーサー

燃料集合体支持スペーサーは、ステンレス鋼製の中空円筒形状である。燃料集合体支持スペーサーを(イ)-第C.13図に示す。

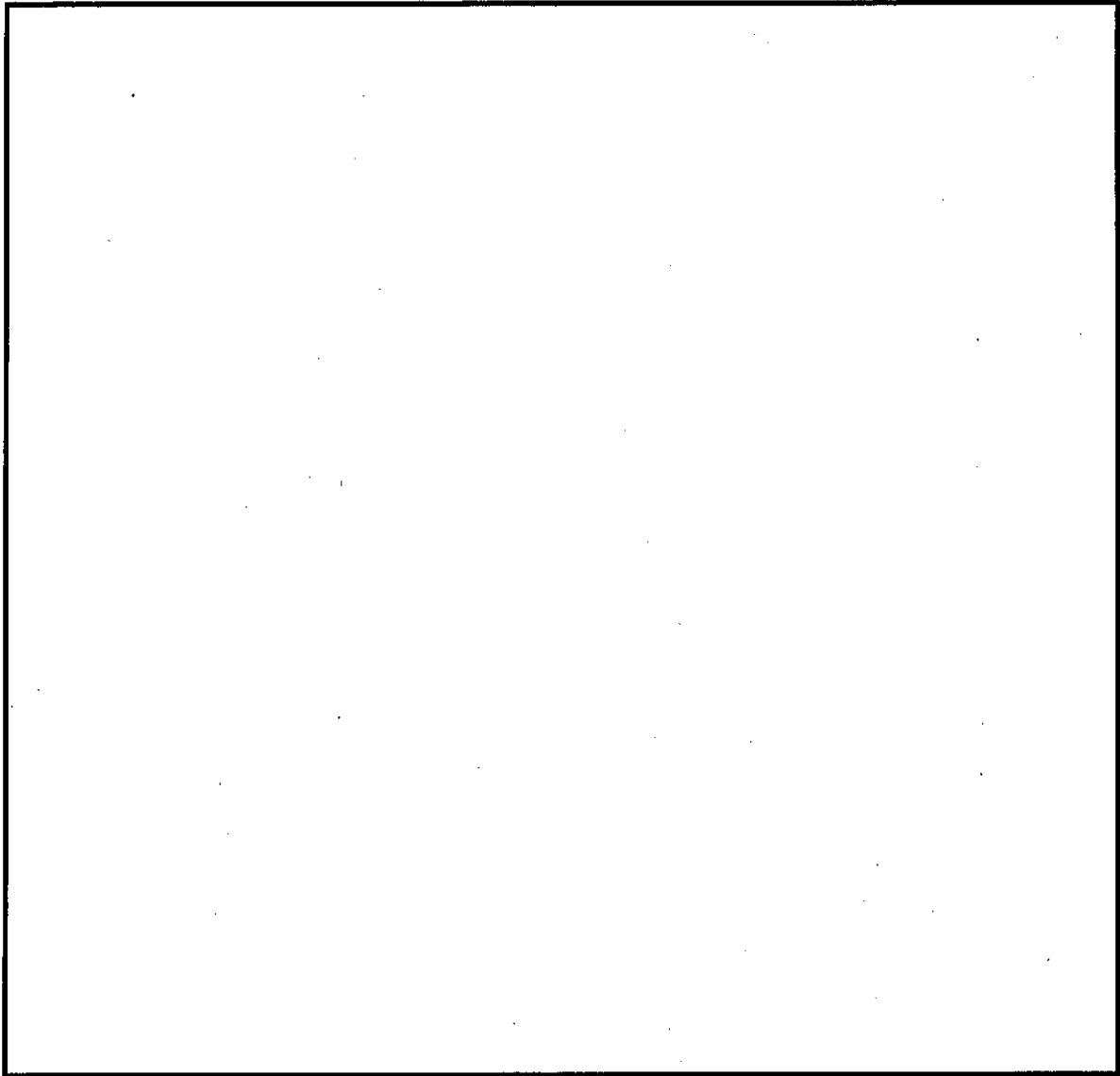
燃料集合体は、燃料集合体支持スペーサーに乗せられて、バスケットのロジメント内に保持される。また、燃料集合体支持スペーサーの底面には、溝加工が施され、スペーサー内の水が抜ける構造となっている。

(イ)-C-18



(単位：mm)

(イ)-第 C.12 図 バスケット構造図



(単位 : mm)

(イ)-第 C. 13 図 燃料集合体支持スペーサー

C.2.5 衝撃吸収カバー

衝撃吸収カバーには、前部及び後部衝撃吸収カバーがある。各々の構造を(イ)-第 C.14 図及び(イ)-第 C.15 図に示す。

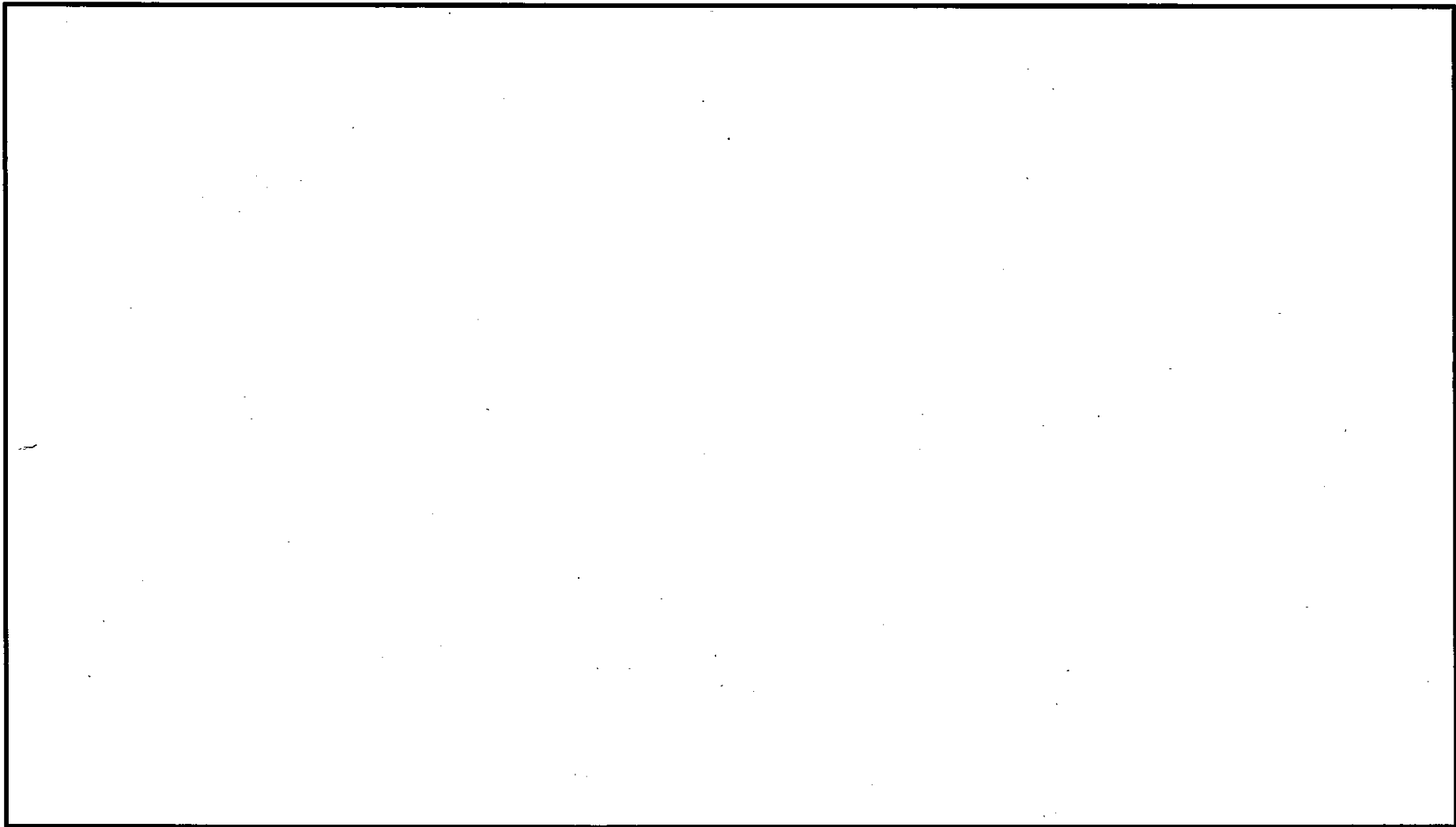
衝撃吸収カバーは、製緩衝材及びアルミニウム合金製アルミリングをステンレス鋼板で被覆したものであり、容器本体の前部及び後部端面に取付けられる。

前部及び後部衝撃吸収カバーの内部には落下による衝撃を緩和するため製緩衝材が充填されている。

衝撃吸収カバーは、貫通チューブを通して本の締付けボルトで容器に取付けられる。

各衝撃吸収カバーの上部には吊上げラグが、下部には地面に置く際の脚が設けられている。

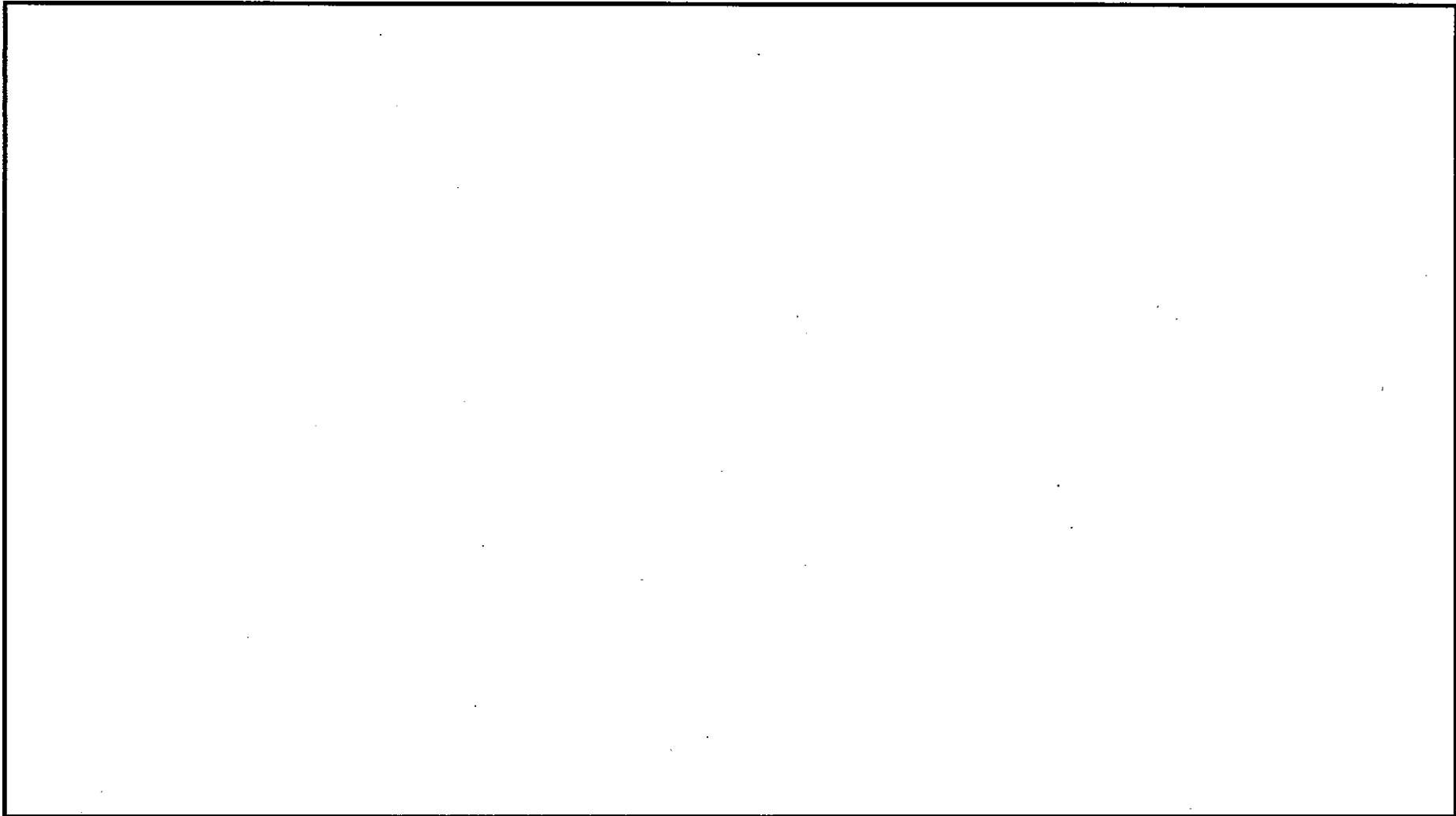
(イ)-C-21



(単位：mm)

(イ)-第 C. 14 図 前部衝撃吸収カバー構造図

(イ)-C-22



(単位 : mm)

(イ)-第 C.15 図 後部衝撃吸収カバー構造図

C.3 密封境界

輸送容器は二重の密封境界を有しており、多重の水密性を有する構造となっている。

C.3.1 一次密封境界

一次密封境界は、(イ)-第 C.16 図～(イ)-第 C.19 図に示すように、以下により構成されている。

- ・ 本体内面
- ・ 一次蓋内面
- ・ 一次蓋ガスケット部(本体と一次蓋との接合部)
- ・ 一次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット部
- ・ ベント及びドレンオリフィスの []
[] のガスケット部

一次蓋ガスケット部は、(イ)-第 C.10 図及び(イ)-第 C.17 図に示すように、一次蓋、二重のリング状の [] 製ガスケット、リングフランジ締付けボルトにより構成されている。二重のガスケットには、その中間部にテストオリフィスがあり、テストプラグを外して一次蓋ガスケットの密封性能を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。

一次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット部は、(イ)-第 C.18 図に示すように、一次蓋とリング状の [] 製ガスケットを有する [] により構成されている。 [] の 2 つのガスケットの中間部にテストオリフィスがあり、テストプラグを外して、このガスケットの密封性能を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。

ベント及びドレンオリフィスの [] のガスケット部は、(イ)-第 C.19 図に示すように、 [] 製ガスケットを有する [] により構成されている。オリフィスの密封性は、気密漏えい検査を行い確認する。

C.3.2 二次密封境界

二次密封境界は、(イ)-第 C.16 図、(イ)-第 C.17 図、(イ)-第 C.19 図及び(イ)-第 C.20 図に示すように、以下により構成されている。

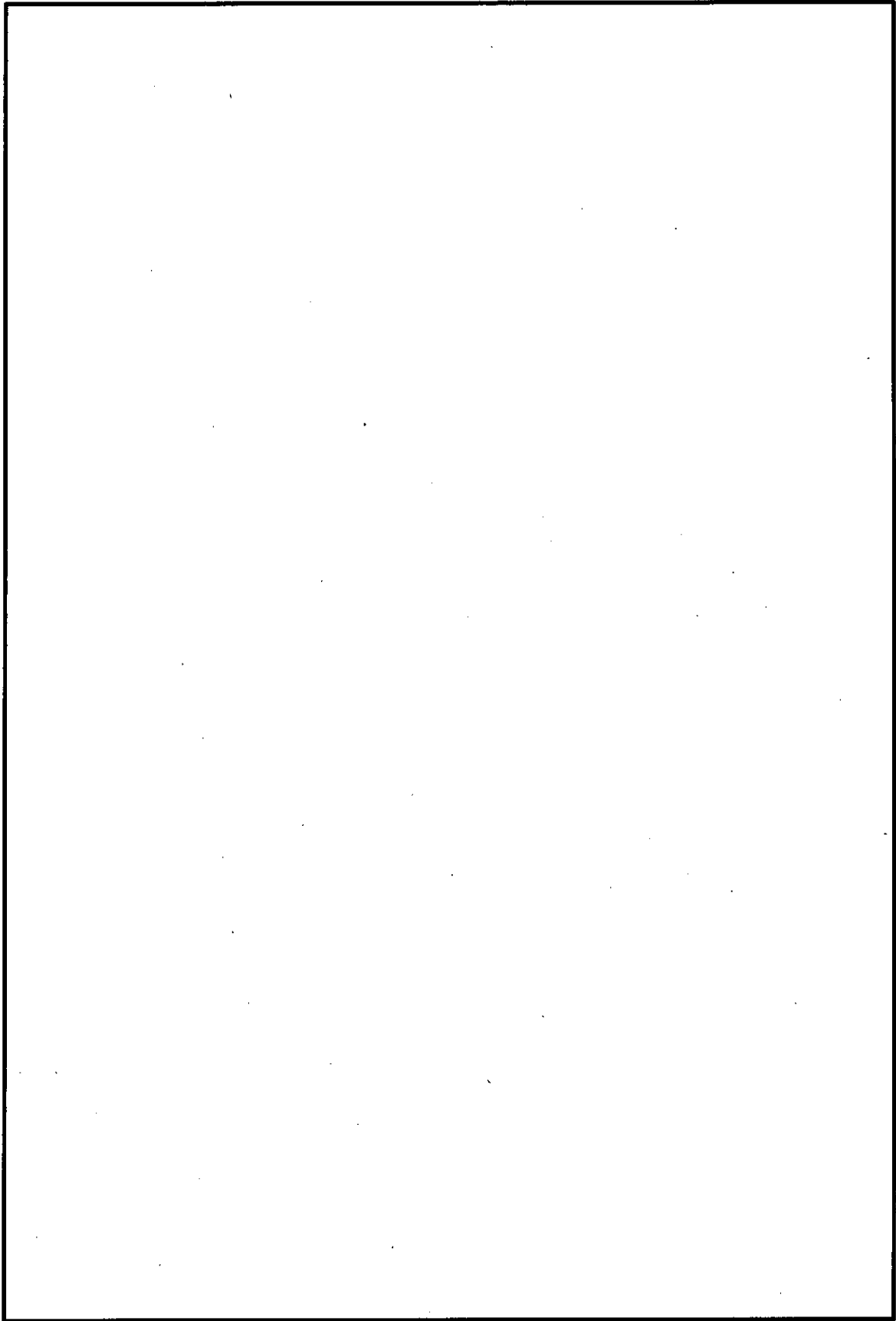
- ・ 本体内面
- ・ 二次蓋内面

- ・ 二次蓋ガスケット部(本体と二次蓋との接合部)
- ・ 二次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット部
- ・ ベント及びドレンオリフィスの [] ガスケット部

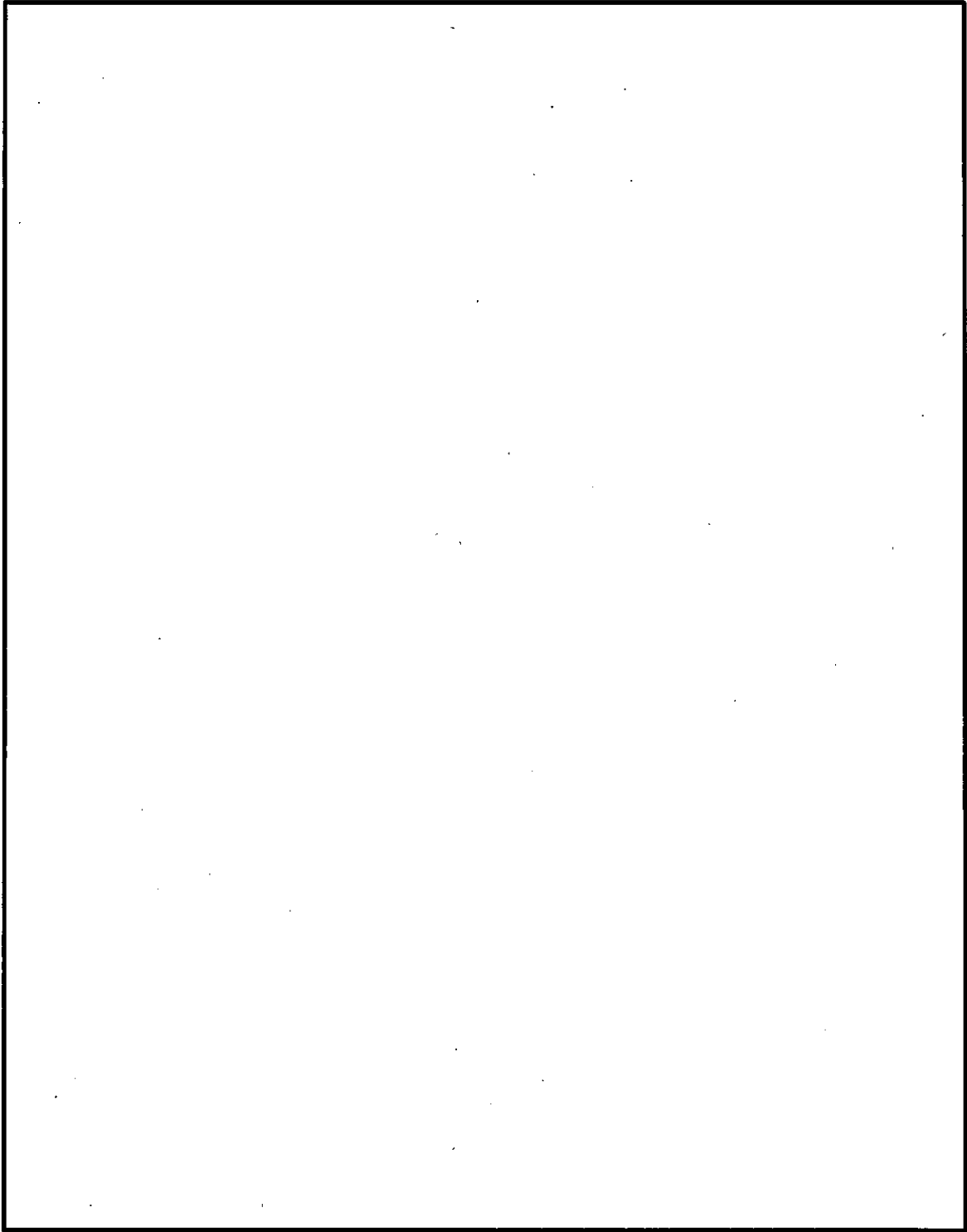
二次蓋ガスケット部は、(イ)-第 C. 10 図及び(イ)-第 C. 17 図に示すように、二次蓋、二重のリング状の [] 製ガスケット、二次蓋締付けボルトにより構成されている。二重のガスケットには、その中間部にテストオリフィスがあり、テストプラグを外して二次蓋ガスケットの密封性能を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。

二次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット部は、(イ)-第 C. 20 図に示すように、二次蓋とリング状の [] 製ガスケットを有する [] により構成されている。 [] の 2 つのガスケットの中間部にテストオリフィスがあり、テストプラグを外して、このガスケットの密封性能を確認するための気密漏えい検査が実施できる構造となっている。

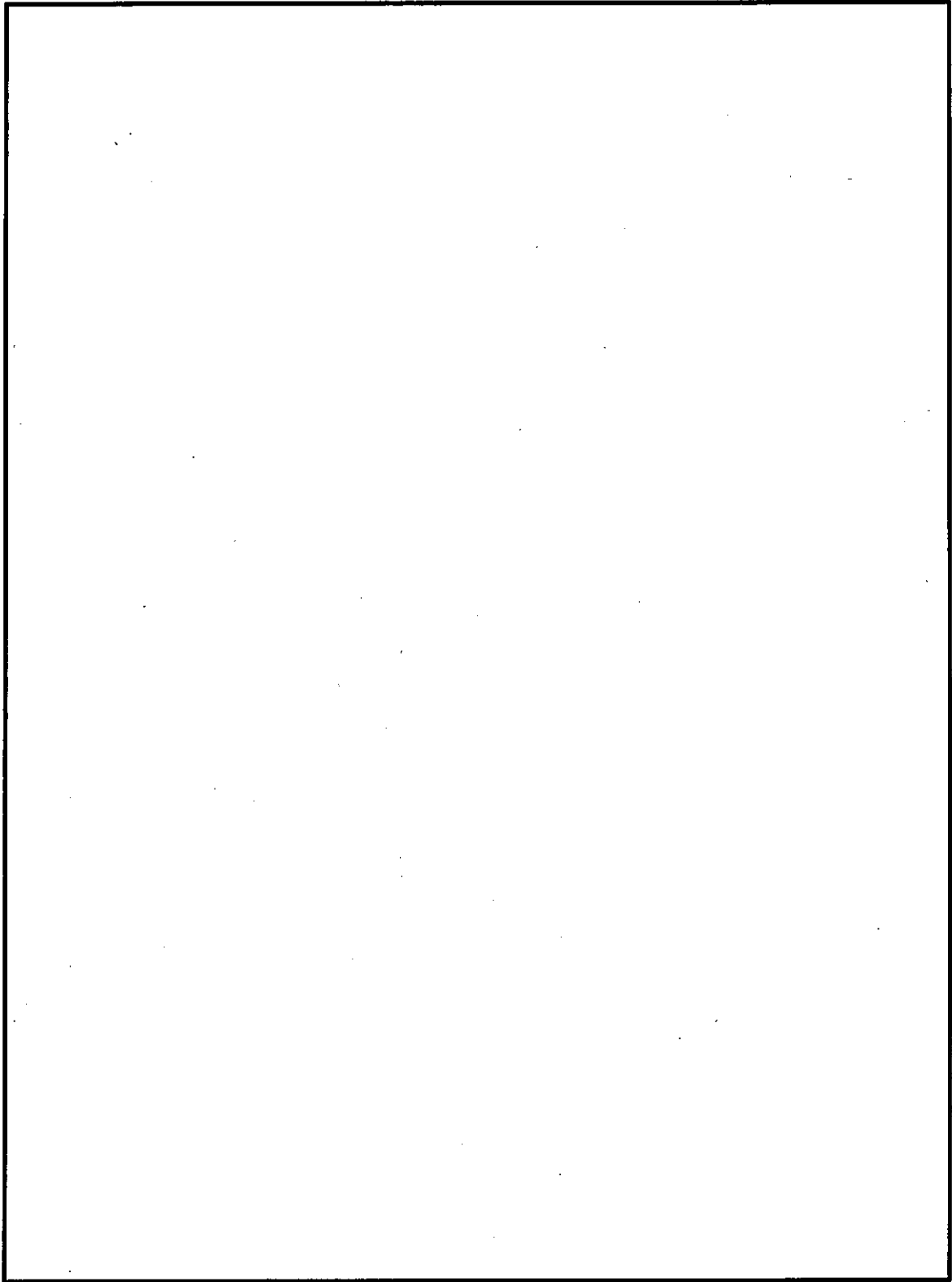
ベント及びドレンオリフィスの [] ガスケット部は、(イ)-第 C. 19 図に示すように、 [] 製ガスケットを有する [] により構成されている。オリフィスの密封性は、気密漏えい検査を行い確認する。



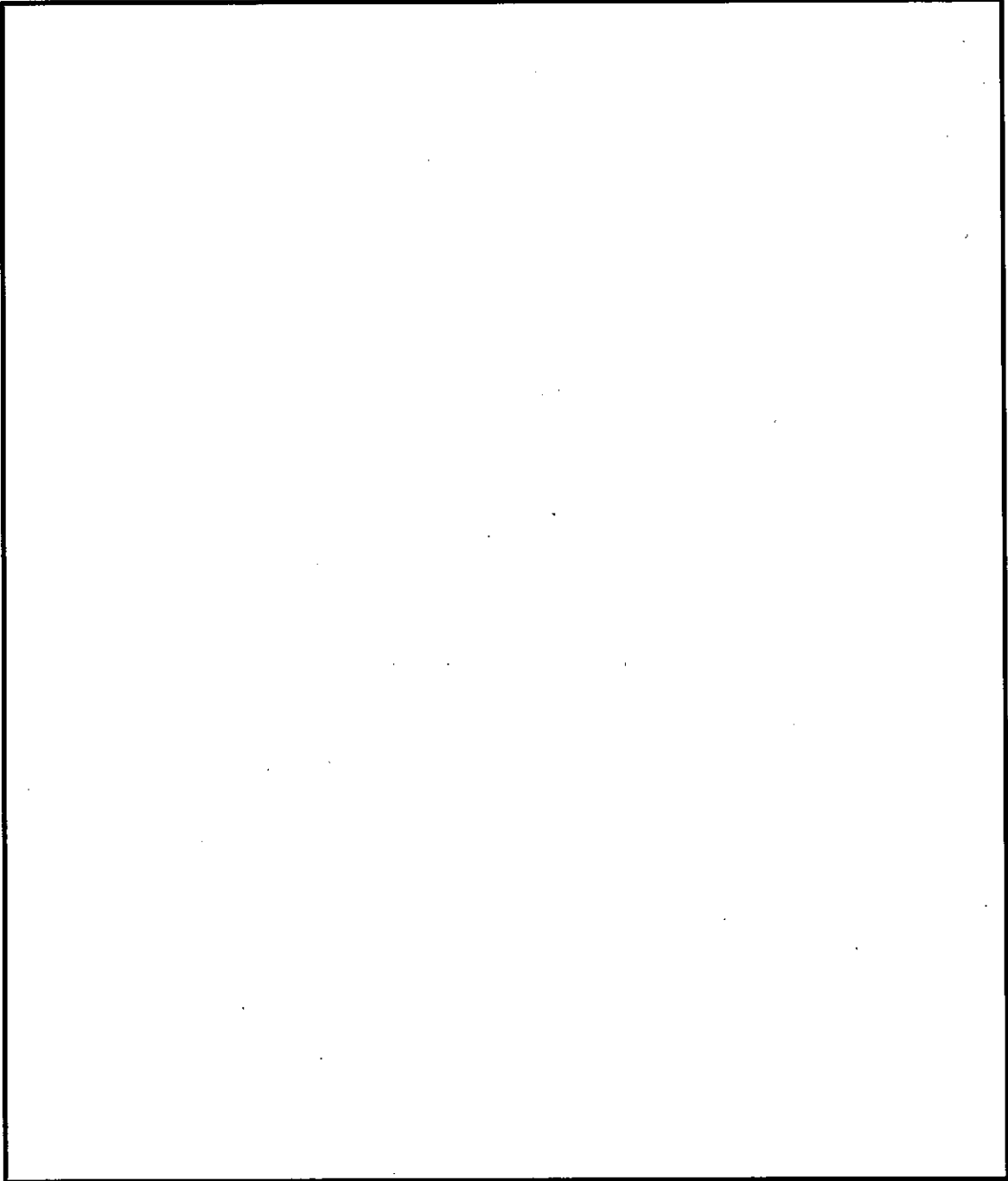
(イ)-第 C. 16 図 密封境界



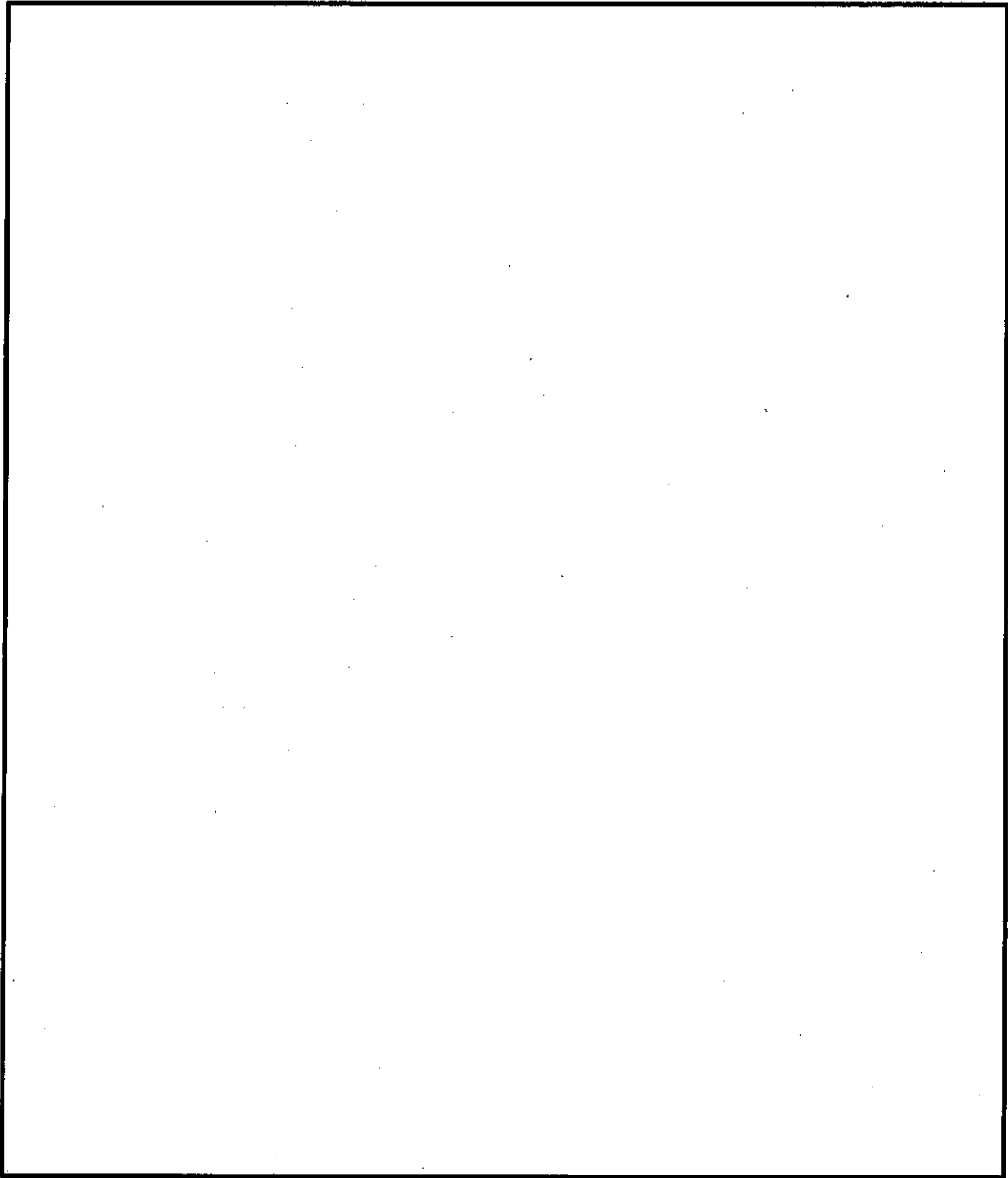
(イ)-第 C.17 図 一次蓋及び二次蓋ガスケット部の密封境界



(イ)-第 C. 18 図 一次蓋のサンプリングオリフィス部の密封境界



(イ)-第 C.19 図 ベント及びドレンオリフィス部の密封境界



(イ)-第 C. 20 図 二次蓋のサンプリングオリフィス部の密封境界

C.4 材料

主要材料は、(イ)-第C.1表に示すとおりである。

また、輸送容器のレジンは、を主材として、(イ)-第C.2表に示すように、素材を一定の割合で混合したものである。

(イ)-第 C.1 表 輸送容器の構成部品及び主要材料 (1/5)

部品	材料	規格 ^{注)}	タイプ等 ^{注)}
1. 本体			
胴	合金鋼		
底板	合金鋼		
銅伝熱体	銅		
レジン			
レジンカバー	ステンレス鋼		
ドラムカバー	ステンレス鋼		
前部ドラム端板	ステンレス鋼		
後部ドラム端板	ステンレス鋼		
スカート支持 リング	アルミニウム合金		
スカート支持 リングカバー	ステンレス鋼		
トラニオン	ステンレス鋼		
トラニオン 取付けボルト	合金鋼		
遮蔽プラグ			

注) 記載の規格材料または相当品を用いる。

(イ)-第 C.1 表 輸送容器の構成部品及び主要材料 (2/5)

部品	材料	規格 ^{注)}	タイプ等 ^{注)}
1. 本体 (続き)			
	ステンレス鋼		
	銅合金		
	ステンレス鋼		
	チタン		
	ステンレス鋼		
ガスケット			

注) 記載の規格材料または相当品を用いる。

(イ)-第 C.1 表 輸送容器の構成部品及び主要材料 (3/5)

部品	材料	規格 ^{注)}	タイプ等 ^{注)}
2. 蓋部			
一次蓋	ステンレス鋼		
レジン			
レジンカバー	ステンレス鋼		
<input type="checkbox"/> カバー	ステンレス鋼		
ガンマ線遮蔽体	タングステン		
リングフランジ	ステンレス鋼		
リングフランジ 締付けボルト	合金鋼		
二次蓋	合金鋼		
二次蓋締付けボルト	合金鋼		
二次蓋位置決めピン	ステンレス鋼		
ガスケット			

注) 記載の規格材料または相当品を用いる。

(イ)-第 C.1 表 輸送容器の構成部品及び主要材料 (4/5)

部品	材料	規格 ^{注)}	タイプ等 ^{注)}
3. バスケット ロジメントチューブ	ステンレス鋼		
アルミチューブ			
トッププレート、 ボトムプレート、 サポートプレート、	ステンレス鋼		
スペーサー、 タイロッド	ステンレス鋼		
4. 燃料集合体支持 スペーサー			
燃料集合体支持 スペーサー	ステンレス鋼		

注) 記載の規格材料または相当品を用いる。

(イ)-第 C.1 表 輸送容器の構成部品及び主要材料 (5/5)

部品	材料	規格 ^{注)}	タイプ等 ^{注)}
5. 前部及び後部 衝撃吸収カバー			
緩衝材			
外板	ステンレス鋼		
貫通チューブ	ステンレス鋼		
取付けカバー	ステンレス鋼		
締付けボルト	合金鋼		
アルミリング	アルミニウム合金		
アルミリングカバー	ステンレス鋼		

注) 記載の規格材料または相当品を用いる。

(イ)-第 C.2 表 レジンの素材と割合

素材	重量比 (%)

C.5 寸法

寸法は、(イ)-第 C.3 表に示すとおりである。

(イ)-第 C.3 表 輸送容器の寸法 (1/2)

部品			寸法 (mm)
1. <u>本体</u>			
全長			
胴	内径		
	外径		
	厚さ	(中央部)	
銅伝熱体	厚さ		
レジン (胴部)	厚さ	(最小)	
スカート支持リング	外径		
底板	厚さ		
レジン (底部)	厚さ	(最小)	
トラニオン	外径		
	高さ	(前部)	
		(後部)	
2. <u>蓋部</u>			
一次蓋	外径		
	厚さ		
レジン	厚さ	(最小)	
ガンマ線遮蔽体	厚さ	(最小)	
リングフランジ	外径		
	厚さ		
二次蓋	外径		
	厚さ		

(イ)-第 C. 3 表 輸送容器の寸法 (2/2)

部品		寸法 (mm)
3.	<u>バスケット</u>	
	外径	
	全長	
	ロジメントチューブ	外径
		厚さ
	アルミチューブ	内径
		厚さ
	サポートプレート	外径
		厚さ
	スペーサー	外径
4.	<u>燃料集合体支持スペーサー</u>	外径
		全長
5.	<u>前部衝撃吸収カバー</u>	外径
		厚さ
6.	<u>後部衝撃吸収カバー</u>	外径
		厚さ
7.	<u>輸送容器</u>	外径
		全長

C.6 重量

輸送物の総重量は、78.4 トン以下である。各部品の重量を(イ)-第C.4表に示す。

(イ)-第C.4表 輸送物重量

部品又は収納物	重量 (トン)
本体	56.3
一次蓋	2.2
リングフランジ	0.7
二次蓋	1.4
前部衝撃吸収カバー	3.5
後部衝撃吸収カバー	1.9
バスケット (燃料集合体支持 スペーサー32個を含む)	5.0
燃料集合体 (32体)	7.4
輸送容器重量	71.0以下
輸送物総重量	78.4以下

D. 輸送容器の収納物

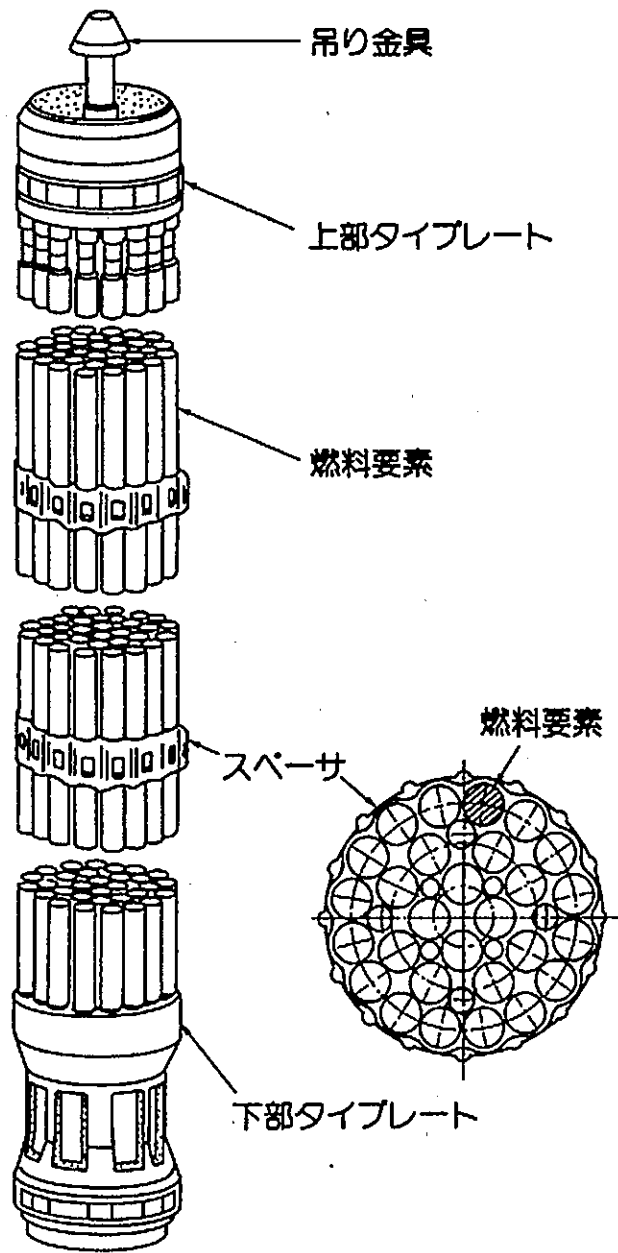
輸送容器の収納物は、ふげんの使用済燃料集合体である。

D.1 燃料集合体の概要

輸送容器に収納される燃料集合体の仕様を(イ)-第 D. 1 表に、代表的な形状例を(イ)-第 D. 1 図に示す。また、燃料集合体のタイプごとに断面図を(イ)-第 D. 2 図～(イ)-第 D. 5 図に示す。

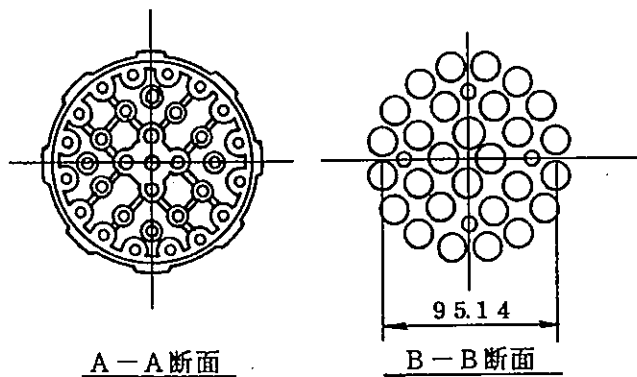
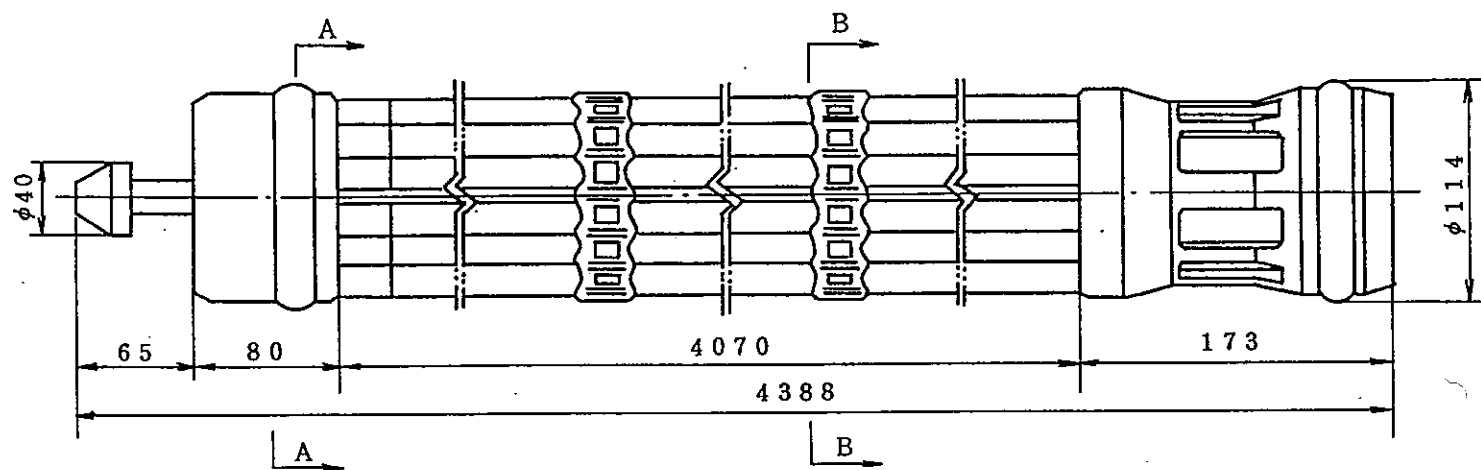
(イ)-第 D.1 表 輸送容器に収納する燃料集合体の仕様

種類	新型転換炉原型炉ふげん使用済燃料				
	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5
	28本クラスタ (ウラン・プルトニウム 富化型燃料)	28本クラスタ (微濃縮 ウラン型燃料)	36本クラスタ (特殊燃料)	36本クラスタ (照射用36本燃料)	36本クラスタ (照射用 ガドリニア燃料)
材質					
燃料	ウラン・プルトニウム 混合酸化物	二酸化ウラン	二酸化ウラン	ウラン・プルトニウム 混合酸化物	ウラン・プルトニウム 混合酸化物
燃料密度 (理論密度)					
被覆管	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2
寸法					
全長	4388mm	4388mm	4388mm	4388mm	4393mm
外径	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm
燃料有効長	3700mm	3700mm	3540mm	3647mm	3640mm
配列	28本クラスタ	28本クラスタ	36本クラスタ	36本クラスタ	36本クラスタ
燃料要素外径					
質量					
集合体重量	225kg	225kg	170kg	215kg	215kg
ウラン及び プルトニウム重量					
核分裂性物質重量					
核分裂性物質比 (集合体平均)					
ウラン濃縮度 (集合体平均)					
核分裂性プルトニウム富化度 (集合体平均)					



(イ)-第 D.1 図 燃料集合体全体図

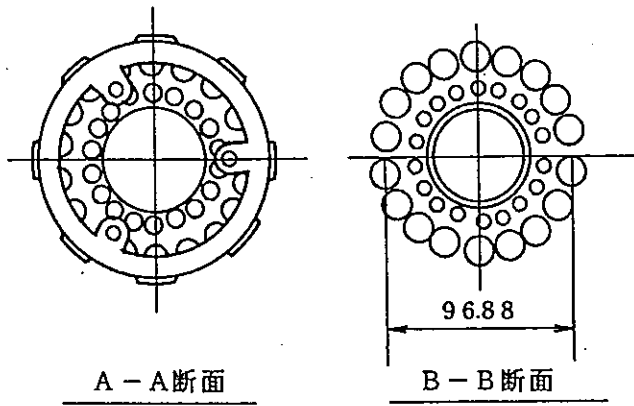
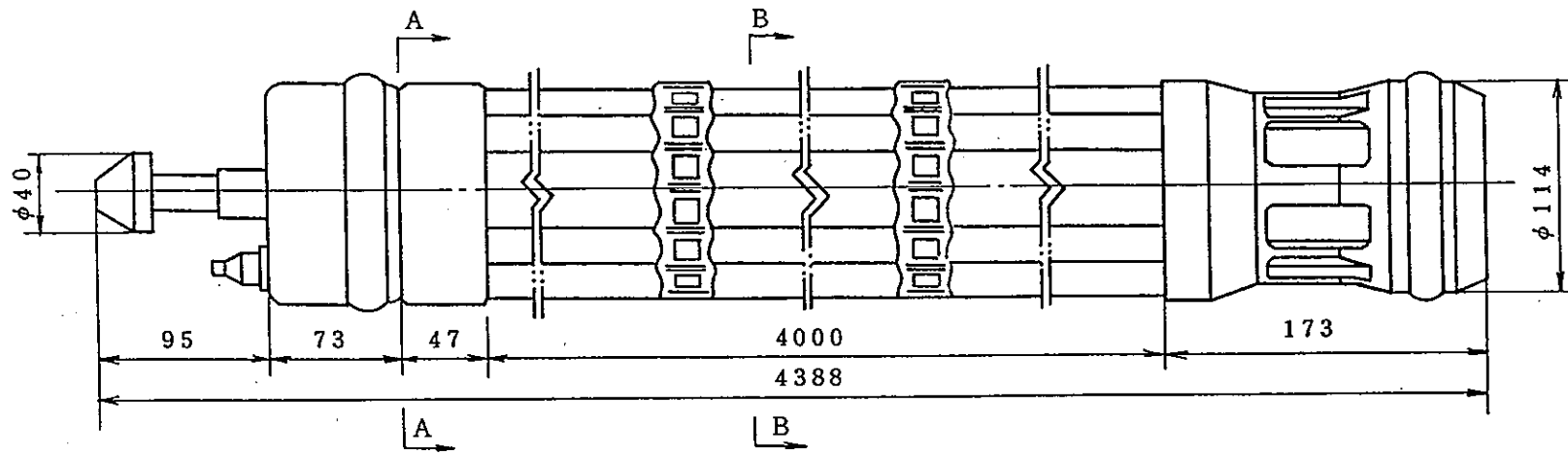
(イ)-D-4



(単位：mm)

(イ)-第D.2図 燃料集合体 (タイプ1及びタイプ2)

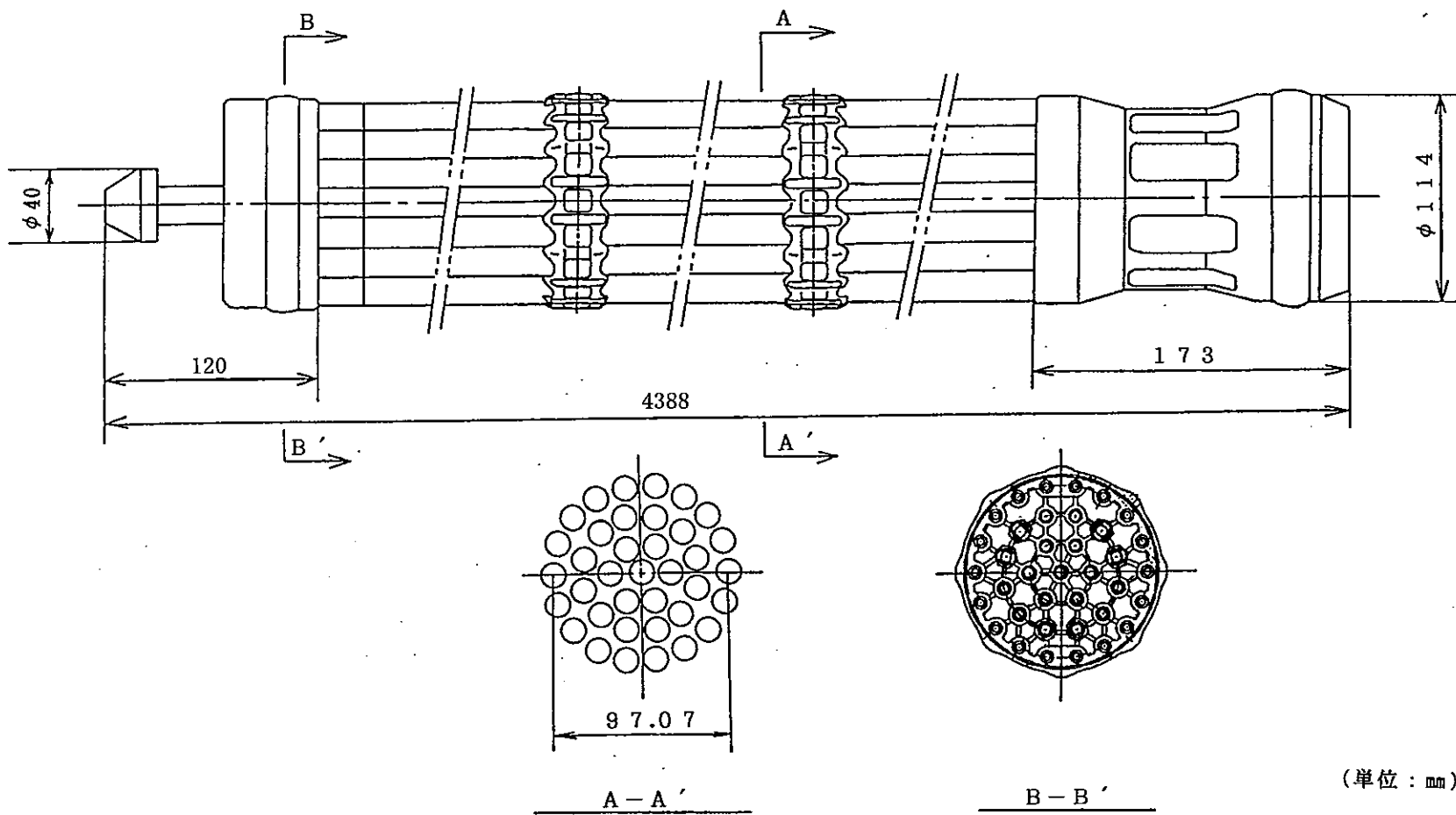
(イ)-D-5



(単位: mm)

(イ)-第D.3図 燃料集合体 (タイプ3)

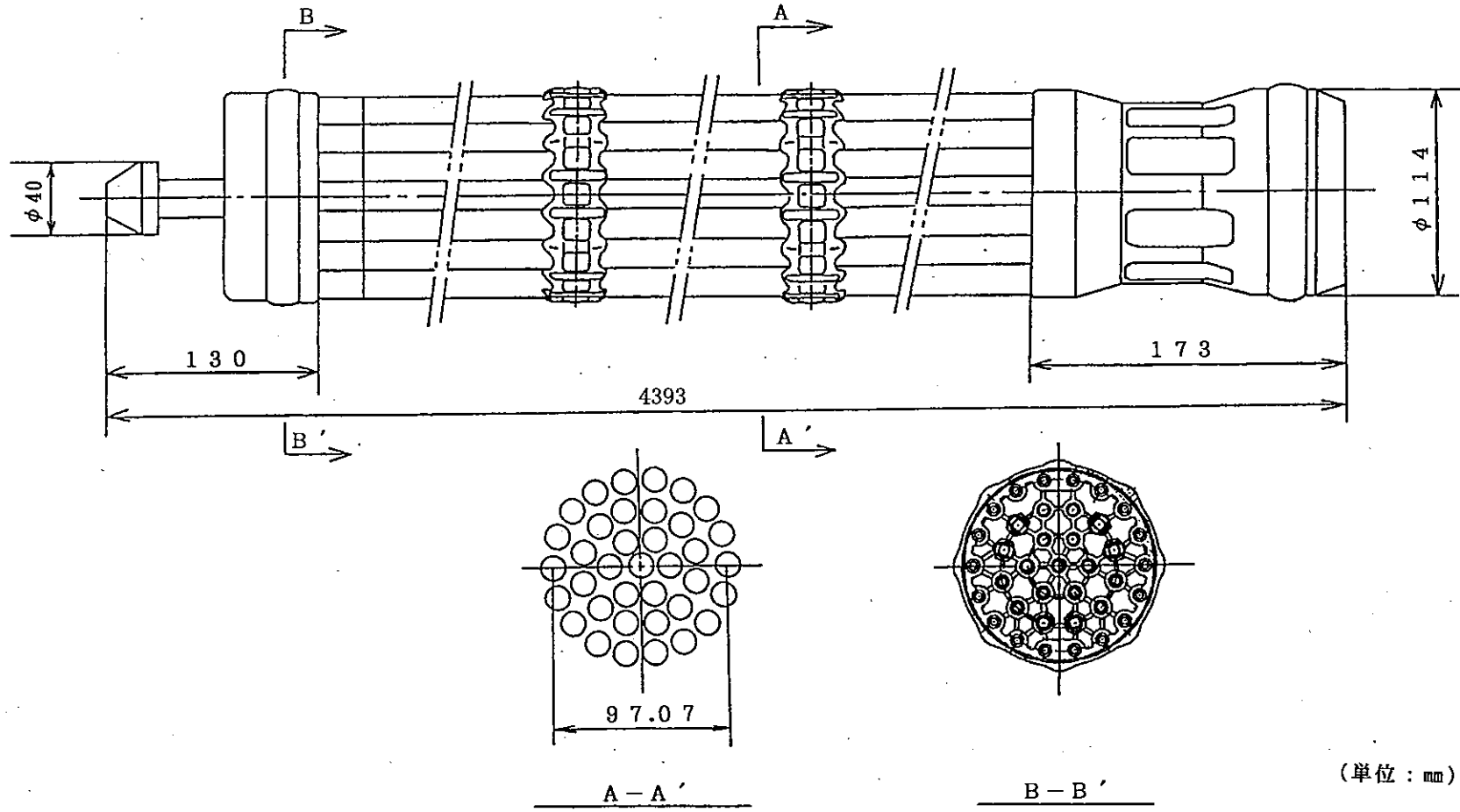
9-D-(イ)



(単位: mm)

(イ)-第D.4図 燃料集合体 (タイプ4)

(イ)-D-7



(イ)-第D.5図 燃料集合体 (タイプ5)

D.2 燃料集合体の照射及び冷却特性

輸送容器に収納される燃料集合体の照射及び冷却特性を(イ)-第D.2表に示す。

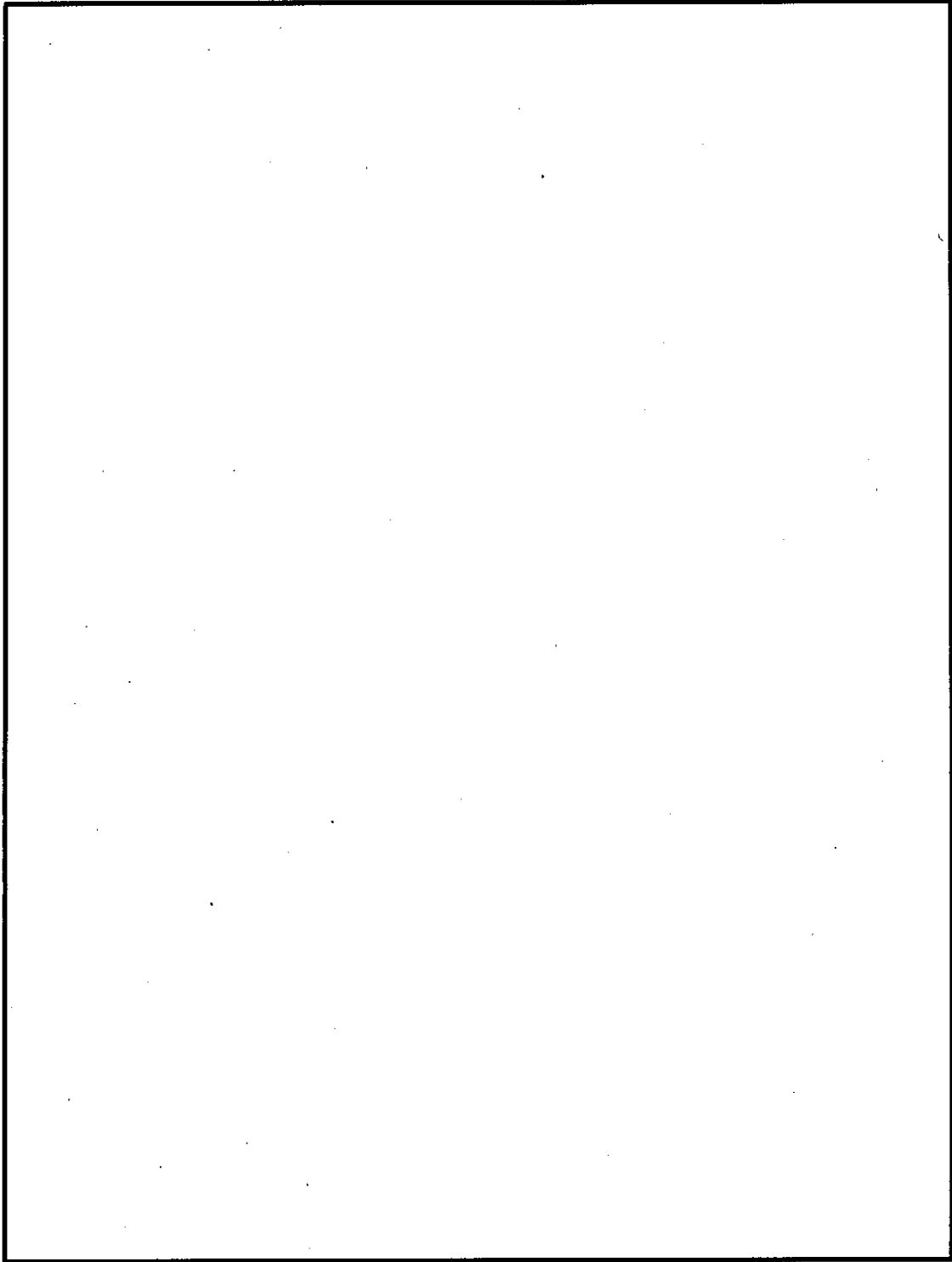
(イ)-第D.2表 燃料集合体の照射及び冷却特性

型式	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5
燃焼条件					
燃焼度 (MWD/HMt)					
比出力 (MW/HMt)					
冷却期間 (年)					

D.3 燃料集合体の配置

輸送容器に収納される燃料集合体は、バスケットのロジメント内へ装荷される。

ロジメントは(イ)-第C.12図に示されるように32箇所ある。ロジメントへの燃料集合体の配置は(イ)-第D.6図の通りである。



(イ)-第 D. 6 図 燃料集合体の配置図

D.4 最大崩壊熱及び放射能強度

(イ)-第D.2表に示す燃料集合体の照射及び冷却特性に基づく、燃料集合体1体当たりの最大崩壊熱、放射能強度等の計算結果を(イ)-第D.3表に示す。

(イ)-第D.3表によるとタイプ1~3の燃料集合体1体当たりの最大崩壊熱はタイプ1の110Wであり、タイプ4~5の燃料集合体1体当たりの最大崩壊熱はタイプ4の157Wであるので、輸送物1体当たりの最大崩壊熱は3.6kWとなる。

同様に、タイプ1~3の燃料集合体1体当たりの最大放射能強度はタイプ1の TBq であり、タイプ4~5の燃料集合体1体当たりの最大放射能強度はタイプ5の TBq であるので、輸送物1体当たりの最大放射能強度は PBq となる。

(イ)-第D.3表 最大崩壊熱及び放射能強度

(燃料集合体1体当たり)

項目	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5
① 最大崩壊熱 (W)	110	82.4	78.1	157	154
② 最大放射能強度 (TBq)					
③ 主要核種の放射能強度 (TBq)					
④ A ₂ 値 (TBq)					

注)

(口)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12月28日付、総理府令第57号）」（以下「規則」という。）及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成2年11月28日付、科学技術庁告示第5号）」（以下「告示」という。）に基づいて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亀裂、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の試験条件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の試験条件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BM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の試験条件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、一般の試験条件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検査合格基準に基づいて、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。一般の試験条件においては密封境界の内部は負圧に維持されるため、放射性物質の漏えいはない。

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、一般の試験条件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.、2. の条件及び想定される最も厳しい燃料の配置を考慮して、通常輸送時の他、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の孤立系及び配列系のいずれの場合にも未臨界であることを示している。

6. 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)-A～F に各解析、評価の詳細を示す。

(口)-A 構造解析

A. 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

輸送物の安全な取扱いに必要な基本的構造及び構成は、以下のとおりである。

輸送容器は、(イ)-第 C.1 図に示すように、本体、蓋部、バスケット並びに前部及び後部に取付けられる衝撃吸収カバーの4つの主要部から構成されている。

本体は、合金鋼部（胴、底板）、銅伝熱体、レジン、スカート支持リング、ドラム、トラニオン、オリフィス等により構成されている。

蓋部は、一次蓋、リングフランジ及び二次蓋からなり、一次蓋はリングフランジを介してリングフランジ締付けボルトにより本体前部端面に取付けられ、二次蓋は一次蓋の外側に二次蓋締付けボルトにより本体前部端面に取付けられる。また、一次蓋の内側にステンレス鋼製の [] カバーに覆われた [] が設置されており、輸送物の落下時にキャビティ内のバスケット及び収納物による蓋部への衝撃を緩和する設計となっている。

バスケットは、ロジメントチューブ及びそれを保持するサポートプレート並びにロジメントチューブの外面に取付けられる [] 製のアルミチューブ等からなり、32体の燃料を収納する。

衝撃吸収カバーは、 [] 製緩衝材及びアルミニウム合金製アルミリングをステンレス鋼板で被覆したものであり、容器本体の前部及び後部端面に取付けられる。

輸送容器は二重に密封性が確保される容器になっており、一次密封境界は、(イ)-第 C.16 図等に示すように、以下により構成されている。

- ・ 本体内面
- ・ 一次蓋内面
- ・ 一次蓋ガスケット部(本体と一次蓋との接合部)
- ・ 一次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット部
- ・ ベント及びドレンオリフィスの [] のガスケット部

また、二次密封境界は、(イ)-第 C.16 図等に示すように、以下により構成されている。

- ・ 本体内面
- ・ 二次蓋内面

- ・ 二次蓋ガスケット部(本体と二次蓋との接合部)
- ・ 二次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット部
- ・ ベント及びドレンオリフィスの [] ガスケット部

一次蓋ガスケット部及び二次蓋ガスケット部はそれぞれ [] 製ガスケットにより密封性が保たれる構造となっている。また、各サンプリングオリフィスは [] [] 製ガスケットを有する [] 等により構成されており密封性が保たれる構造となっている。さらにベント及びドレンオリフィスは [] [] 製ガスケットを有する [] 等により構成されており密封性が保たれる構造となっている。

なお、(イ)-第 C. 2 図に示すように、輸送中、蓋部は前部衝撃吸収カバーに覆われるため、一次蓋及び二次蓋並びに各サンプリングオリフィスが不用意に開けられることはない。また、(イ)-第 C. 19 図に示すように、ベント及びドレンオリフィスは誤って開けられることがないように [] で覆われている。

(イ)-第 C. 4 図及び(イ)-第 C. 6 図に示すように、輸送容器の前部に 1 対、後部に 1 対のトラニオンが取付けられており、輸送容器の垂直及び水平姿勢における操作及び輸送時の固縛が容易にかつ安全に実施できる構造となっている。

容器本体内に収納されるバスケットは、燃料が互いに接触して損傷したり、また 1 箇所に集合して臨界に達する危険性を防止するため、(イ)-第 C. 12 図に示すように、32 個の円管状のロジメントチューブを均等に配置した構造となっている。

構造解析では、法令に定める各試験条件における輸送容器の挙動を評価し、次項に述べる設計基準に適合することを示す。

A. 1. 2 設計基準

規則及び告示の要件に従い、構成部品の材質、形状及び荷重条件を考慮して、各解析項目に適用する評価基準を設定する。

(1) 評価基準

各試験条件及び解析項目に応じて定めた評価基準を以下に示す。

a. 輸送物の要件（吊上装置及び固縛装置）

- ① 応力強さ（主応力の差の絶対値）が降伏応力以下であること。
- ② 吊上装置について疲労評価を行い、算定された許容繰返し回数が想定繰返し回数以上であること。

b. 一般の試験条件

(a) 熱的試験

- ① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq \frac{2}{3} S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

ここで、 σ_m ：平均引張応力 σ_b ：曲げ応力 S_y ：降伏応力

また、疲労評価を行い、算定された許容繰返し回数が想定繰返し回数以上であること。

- ② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の容器本体部品については、発生応力を分類してそれぞれの応力強さに対して以下の基準を適用する。

$$P_m \leq \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$$

$$P_L, P_L + P_b \leq 1.5 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$$

$$P_L + P_b + Q \leq 3 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$$

ここで、 P_m ：一次一般膜応力強さ P_L ：一次局部膜応力強さ

P_b ：一次曲げ応力強さ Q ：二次応力強さ

S_u ：引張強さ

- ③ バスケットについては、拘束による熱応力が生じないこと。

(b) 水噴霧

- ① 水の吹き付けに耐えうること。

(c) 自由落下

- ① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

- ② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の部品については、他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(d) 積み重ね試験

- ① 本体胴部に発生する応力が降伏応力を超えないこと。

(e) 貫通

- ① 衝撃吸収カバー外板に貫通が生じないこと。

c. 特別の試験条件

(a) 強度試験・落下試験 I (9m 落下時)

- ① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

- ② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の部品については、他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(b) 強度試験・落下試験 II (1m 落下時)

- ① 軟鋼棒の直撃部がせん断で破壊しないこと。

(c) 熱的試験

- ① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

- ② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の容器本体部品については、他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

(d) 浸漬（強化浸漬試験にも適用する。）

- ① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

- ② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の容器本体部品については、他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

d. 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

(a) 水噴霧

- ① 水の吹き付けに耐えうること。

(b) 自由落下

- ① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

- ② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の部品については、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(c) 積み重ね試験

- ① 本体胴部について、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

(d) 貫通

- ① 臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

e. 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

(a) 強度試験・落下試験 I（9m 落下時）

- ① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

- ② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の部品については、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

- ③ 燃料被覆管については、破断しないこと。

(b) 強度試験・落下試験Ⅱ (1m 落下時)

① 軟鋼棒の直撃部がせん断で破壊しないこと。

(c) 熱的試験

① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の容器本体部品については、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

(d) 浸漬 (0.9m)

① リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトについては、発生応力に対して以下の基準を適用する。

$$\sigma_m \leq S_y$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$$

② リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト以外の容器本体部品については、臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする。

以上の各試験条件及び解析項目に応じた評価基準を(ロ)-第A.1表にまとめる。

(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(ロ)-第A.2表に示すとおりとする。

(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。

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

なお、余裕率を用いないものについては、該当箇所にその基準値等を示す。

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(ロ)-第A.3表に示す。

(ロ)-第 A.1 表 構造解析に用いる評価基準 (1/3)

条件	解析項目	評価部位	評価基準		
			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
輸送物の要件	吊上装置	トラニオン	$\leq S_y$	—	想定 繰返し回数 $\leq N_a$
	固縛装置	トラニオン	$\leq S_y$	—	—
	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	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq \frac{2}{3} S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$	—	想定 繰返し回数 $\leq N_a$
		本体、一次蓋、リン グフランジ、二次蓋	$P_m \leq \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ PL, PL+Pb $\leq 1.5 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ PL+Pb+Q $\leq 3 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$	—	—
		バスケット	拘束による熱応力が生じないこと		
	水噴霧	輸送物	水の吹き付けに耐えうること		
	自由落下	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$	—	—
		容器本体 バスケット 衝撃吸収カバー	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする		
		燃料被覆管	破断のないこと		
	積み重ね試験	本体胴部	$\leq S_y$	—	—
	貫通	衝撃吸収カバー 外板	耐貫通強度		

P_m : 一次一般膜応力
 N_a : 許容繰返し回数

PL : 一次局部膜応力
 σ_m : 平均引張応力

Pb : 一次曲げ応力
 σ_b : 曲げ応力

Q : 二次応力

(ロ)-第 A.1 表 構造解析に用いる評価基準 (2/3)

条件	解析項目	評価部位	評価基準
特別の試験条件	落下試験 I (9m 落下時)	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$
		容器本体 バスケット 衝撃吸収カバー	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
		燃料被覆管	破断のないこと
	落下試験 II (1m 落下時)	軟鋼棒直撃部	せん断で破壊しないこと
	熱的試験	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$
		本体、一次蓋、リングフランジ、二次蓋	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
	浸漬	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$
	強化浸漬試験	本体、一次蓋、リングフランジ、二次蓋	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする

(ロ)-第 A.1 表 構造解析に用いる評価基準 (3/3)

条件	解析項目	評価部位	評価基準
核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	水噴霧	輸送物	水の吹き付けに耐えうること
	自由落下	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$
		容器本体 バスケット	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
		燃料被覆管	破断のないこと
	積み重ね試験	本体胴部	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
貫通	衝撃吸収カバー 外板	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	落下試験 I (9m 落下時)	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$
		容器本体 バスケット	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
		燃料被覆管	破断のないこと
	落下試験 II (1m 落下時)	軟鋼棒直撃部	せん断で破壊しないこと
	熱的試験	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$
		本体、一次蓋、リングフランジ、二次蓋	臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする
	浸漬 (0.9m)	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_m + \sigma_b \leq S_y$
本体、一次蓋、リングフランジ、二次蓋		臨界解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	

(ロ)-第A.2表 負荷の組合せ (1/3)

条件	解析項目	評価部位	負荷条件			
			重量	圧力	熱膨張	その他
輸送物の要件	吊上装置	トラニオン	○	—	—	○ (初期締付力)
	固縛装置	トラニオン	○	—	—	○ (初期締付力)
	圧力	輸送物	—	△	—	—
	振動	輸送物	—	—	—	△
一般の試験条件	熱的試験	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	—	○	○	○ (初期締付力)
		本体、一次蓋、リング フランジ、二次蓋	—	○	○	○ (初期締付力)
		バスケット	—	—	△	—
	水噴霧	輸送物	—	—	—	△
	自由落下	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	○	—	—	○ (初期締付力)
		容器本体	○	—	—	○ (初期締付力)
		バスケット 衝撃吸収カバー	△	—	—	—
		燃料被覆管	○	○	—	—
	積み重ね試験	本体胴部	△	—	—	—
	貫通	衝撃吸収カバー外板	—	—	—	△

○：負荷の組合せによる評価

△：単一負荷による評価

(ロ)-第 A.2 表 負荷の組合せ (2/3)

条件	解析項目	評価部位	負荷条件			
			重量	圧力	熱膨張	その他
特別の試験条件	落下試験 I (9m 落下時)	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	○	—	—	○ (初期締付力)
		容器本体	○	—	—	○ (初期締付力)
		バスケット 衝撃吸収カバー	△	—	—	—
		燃料被覆管	○	○	—	—
	落下試験 II (1m 落下時)	軟鋼棒直撃部	△	—	—	—
	熱的試験	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	—	○	○	○ (初期締付力)
		本体、一次蓋、リング フランジ、二次蓋	—	○	○	○ (初期締付力)
	浸漬 強化浸漬試験	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	—	○	—	○ (初期締付力)
		本体、一次蓋、リング フランジ、二次蓋	—	○	—	○ (初期締付力)

○：負荷の組合せによる評価 △：単一負荷による評価

(ロ)-第 A.2 表 負荷の組合せ (3/3)

条件	解析項目	評価部位	負荷条件			
			重量	圧力	熱膨張	その他
核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	水噴霧	輸送物	—	—	—	△
	自由落下	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	○	—	—	○ (初期締付力)
		容器本体	○	—	—	○ (初期締付力)
		バスケット	△	—	—	—
		燃料被覆管	○	○	—	—
	積み重ね試験	本体胴部	△	—	—	—
貫通	衝撃吸収カバー外板	—	—	—	△	
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	落下試験 I (9m 落下時)	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	○	—	—	○ (初期締付力)
		容器本体	○	—	—	○ (初期締付力)
		バスケット	△	—	—	—
		燃料被覆管	○	○	—	—
	落下試験 II (1m 落下時)	軟鋼棒直撃部	△	—	—	—
	熱的試験	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	—	○	○	○ (初期締付力)
		本体、一次蓋、リング フランジ、二次蓋	—	○	○	○ (初期締付力)
	浸漬 (0.9m)	リングフランジ 締付けボルト 二次蓋締付けボルト	—	○	—	○ (初期締付力)
		本体、一次蓋、リング フランジ、二次蓋	—	○	—	○ (初期締付力)

○：負荷の組合せによる評価

△：単一負荷による評価

(ロ)-第 A.3 表 構造解析の解析条件と解析方法 (2/6)

条件	項目	解析条件					解析方法			備考
		参照図	材質	温度 (°C)	負荷		指標	適用数式又は要素	評価基準	
					種類	負荷係数				
輸送物の要件	[圧力]	—	—	—	内外圧力差	—	応力	—	損傷が生じないこと	A.4.6
	[振動]	—	合金鋼	120	輸送中の振動	—	振動数	固有振動数	共振しないこと	A.4.7
一般の試験条件	[熱的試験]									A.5.1
	1. 本体、一次蓋、リングフランジ、二次蓋	(n)-第 A.4 図～ (v)-第 A.7 図	合金鋼 ステンレス鋼	120	内圧 温度分布 初期締付力	1	応力強さ	P_u PL, PL+Pb PL+Pb+Q	Min. $(\frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y)$ 1.5×Min. $(\frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y)$ 3×Min. $(\frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y)$	
	2. リングフランジ締付けボルト、二次蓋締付けボルト	—	合金鋼	120	同上	1	引張応力 引張+曲げ 疲労評価	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$ 許容繰返し回数	$\frac{2}{3} S_y$ Sy 想定繰返し回数以上	
	3. バスケット 1) バスケットと本体の熱膨張	—	合金鋼 ステンレス鋼	97/140 97/127	熱膨張	1	膨張差	$\Delta L = (L_1 - L_2) + (\Delta L_1 - \Delta L_2)$ $\Delta D = (D_1 - D_2) + (\Delta D_1 - \Delta D_2)$	軸及び径方向の 隙間: 0mm 以上	
	[水噴霧]	—	ステンレス鋼 ニッケルメッキ	—	水噴霧	—	吸水による 劣化、水溜り	吸水性 水切り性	無 良好	A.5.2

(ロ)- 第 A.3 表 構造解析の解析条件と解析方法 (3/6)

条件	項目	解析条件					解析方法		備考	
		参照図	材質	温度 (°C)	負荷		指標	適用数式又は要素		評価基準
					種類	負荷係数				
一般の試験条件	[自由落下] 1. 衝撃吸収カバー/スカート支持リング変形量 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナー落下	(n)-第 A.8 図～ (n)-第 A.10 図	アルミニウム合金 ステンレス鋼	120	衝突速度	1	変形量	落下方向最大変形量	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	A.5.3
	2. 本体、一次蓋、リングフランジ、二次蓋 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナー落下	(n)-第 A.8 図～ (n)-第 A.12 図	合金鋼 ステンレス鋼	120	衝突速度 初期締付力	1	相当塑性歪	最大相当塑性歪、相当塑性歪分布	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	
	3. リングフランジ締付け ボルト、二次蓋締付け ボルト 1) 前部垂直落下 2) 水平落下 3) 前部コーナー落下	—	合金鋼	120	同上	1	引張応力 引張+曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	Sy Sy	
	4. バスケット 1) 水平落下	(n)-第 A.13 図～ (n)-第 A.16 図	ステンレス鋼	170	衝突速度 本体速度時刻歴	1	相当塑性歪	最大相当塑性歪、相当塑性歪分布	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	
	5. 燃料被覆管	(n)-第 A.17 図～ (n)-第 A.20 図	ジルカロイ 2	200	衝突速度 本体/バスケット 速度時刻歴 内圧	1	相当塑性歪	最大相当塑性歪、相当塑性歪分布	破断のないこと	
	[積み重ね試験] 1. 縦置き	—	合金鋼	120	輸送物重量の 5 倍	1	圧縮応力	$\sigma_c = (W + mg)/A$	Sy	A.5.4
	2. 横置き	—	合金鋼	120	輸送物重量の 5 倍	1	曲げ応力	$\sigma_b = M/Z$	Sy	
	[貫通]	(n)-第 A.21 図	ステンレス鋼	100	落下エネルギー	—	貫通に必要なエネルギー	$W_p = mgh$ $W = \int_0^t \tau_{cr} \pi d(t-y) dy$	$W_p < W$	A.5.5

(ロ)-第 A.3 表 構造解析の解析条件と解析方法 (4/6)

条件	項目	解析条件					解析方法		備考	
		参照図	材質	温度 (°C)	負荷		指標	適用数式又は要素		評価基準
					種類	負荷係数				
特別の試験条件	【落下試験 I (9m 落下時)】 1. 衝撃吸収カバー/スカート支持リング変形量 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナー落下 4) 傾斜落下	(p)-第 A.22 図、 (p)-第 A.24 図、 (p)-第 A.26 図、 (p)-第 A.28 図、 (p)-第 A.30 図、 (p)-第 A.32 図	アルミニウム合金 ステンレス鋼	120	衝突速度	1	変形量	落下方向最大変形量	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	A.6.1
	2. 本体、一次蓋、リングフランジ、二次蓋 1) 垂直落下 2) 水平落下 3) コーナー落下 4) 傾斜落下	(p)-第 A.23 図、 (p)-第 A.27 図、 (p)-第 A.29 図、 (p)-第 A.31 図、 (p)-第 A.33 図	合金鋼 ステンレス鋼	120	衝突速度 初期締付力	1	相当塑性歪	最大相当塑性歪、相当塑性歪分布	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	
	3. リングフランジ締付けボルト、二次蓋締付けボルト 1) 前部垂直落下 2) 前部コーナー落下 3) 水平落下 4) 傾斜落下	—	合金鋼	120	同上	1	引張応力 引張+曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	Sy Sy	
	4. バスケット 1) 傾斜落下	(p)-第 A.34 図～ (p)-第 A.36 図	ステンレス鋼	170	衝突速度 本体速度時刻歴	1	相当塑性歪	最大相当塑性歪、相当塑性歪分布	他の解析で考慮を要する形状変化を明らかにする	
	5. 燃料被覆管	(p)-第 A.25 図、 (p)-第 A.37 図、 (p)-第 A.38 図	ジルカロイ 2	200	衝突速度 本体/バスケット 速度時刻歴 内圧	1	相当塑性歪	最大相当塑性歪、相当塑性歪分布	破断のないこと	

(ロ)-第 A. 3 表 構造解析の解析条件と解析方法 (5/6)

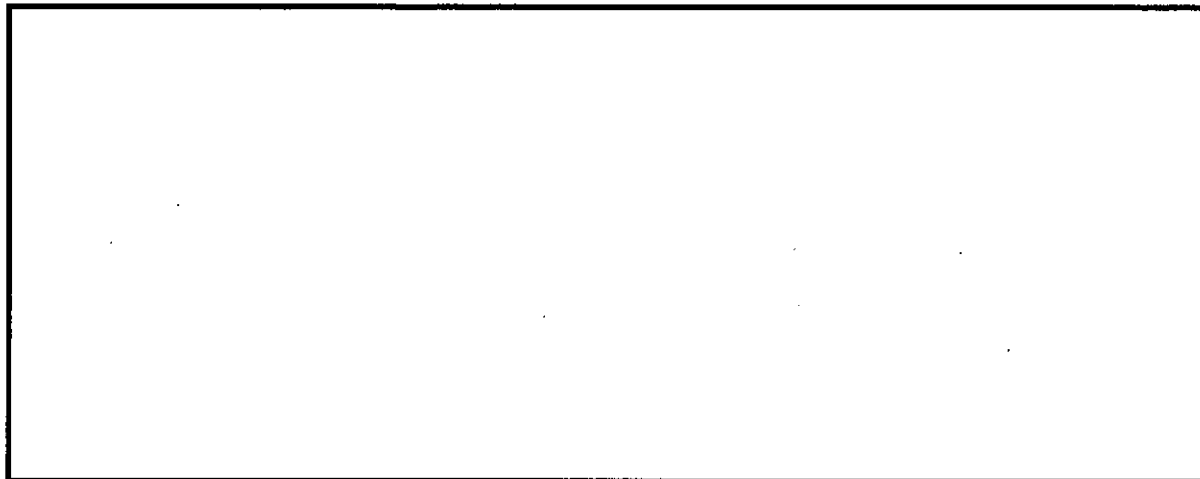
条件	項目	解析条件					解析方法		備考	
		参照図	材質	温度 (°C)	負荷		指標	適用数式又は要素		評価基準
					種類	負荷係数				
特別の試験条件	[落下試験Ⅱ (1m 落下時)] 1. 垂直落下 1) 前部衝撃吸収カバー	—	ステンレス鋼	120	軟鋼棒 圧潰荷重	1	せん断で貫通する荷重	$F_{bar} = \sigma u \cdot A$ $F_p = \pi \cdot d \cdot t \cdot S_t$	$F_{bar} < F_p$	A. 6. 2
	2. 水平落下 1) 胴部	—	合金鋼	120		1				
	2) オリフィス部	—	チタン	100		1				
	[熱的試験]									
	1. 本体、一次蓋、リング フランジ、二次蓋	(p)-第 A. 39 図、 (p)-第 A. 40 図	合金鋼 ステンレス鋼	250/150	内圧 温度分布 初期締付力	1	応力強さ	PL+Pb+Q	他の解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする	A. 6. 3
	2. リングフランジ締付け ボルト、二次蓋締付け ボルト	—	合金鋼	150	同上	1	引張応力 引張+曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	S_y S_y	
	[浸漬] [強化浸漬試験]									
	1. 本体、一次蓋、リング フランジ、二次蓋	(p)-第 A. 41 図、 (p)-第 A. 42 図	合金鋼 ステンレス鋼	120	外圧 初期締付力	1	応力強さ	P_m $PL, PL+Pb$	他の解析で考慮を要する 形状変化を明らかにする	A. 6. 4 A. 7
	2. リングフランジ締付け ボルト、二次蓋締付け ボルト	—	合金鋼	120	外圧 初期締付力	1	引張応力 引張+曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	S_y S_y	

(ロ)-第 A.3 表 構造解析の解析条件と解析方法 (6/6)

条件	項目	解析条件					解析方法		備考	
		参照図	材質	温度 (°C)	負荷		指標	適用数式又は要素		評価基準
					種類	負荷係数				
放射性収納物	[燃料被覆管の強度]		}						A.8	
(イ)章並びに前述の一般の試験条件及び特別の試験条件に対する解析結果を引用して評価										
核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	[水噴霧] [自由落下] [積み重ね試験] [貫通]		}							A.9.1
前述の一般の試験条件に対する解析結果を引用して評価										
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	[落下試験 I (9m 落下時)] [落下試験 II (1m 落下時)] [熱的試験] [浸漬 (0.9m)]		}							A.9.2
前述の特別の試験条件に対する解析結果を引用して評価										

A.2 重量及び重心

輸送容器及び収納物の総重量、各構成部品の重量は、(イ)-第C.4表に示したとおりである。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。



(単位：mm)

(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を(ロ)-第A.4表に示す。

(ロ)-第A.4表 材料の機械的性質 (1/3)

材料	部品	降伏応力 ^{注1)} (温度) [MPa] (°C)	引張強さ ^{注1)} (温度) [MPa] (°C)	最小破断伸び ^{注1)} [%]	ポアソン 比 ^{注2)}	密度 [10 ³ kg/m ³]	縦弾性係数 (温度) [10 ⁵ MPa] (°C)	線膨張係数 (温度) [10 ⁻⁶ /°C] (°C)
合金鋼	胴、底板、二次蓋							
ステンレス鋼	一次蓋							
ステンレス鋼	リングフランジ トラニオン							
アルミニウム合金	スカート支持リング アルミリング							

注 1) 設計要求仕様値

注 2) 代表値

(ロ)-第 A.4 表 材料の機械的性質 (2/3)

材料	部品	降伏応力 ^{注1)} (温度) [MPa] (°C)	引張強さ ^{注1)} (温度) [MPa] (°C)	最小破断伸び ^{注1)} [%]	ポアソン 比 ^{注2)}	密度 [10 ³ kg/m ³]	縦弾性係数 (温度) [10 ⁵ MPa] (°C)	線膨張係数 (温度) [10 ⁻⁶ /°C] (°C)
チタン								
合金鋼	リングフランジ締付けボルト 二次蓋締付けボルト トラニオン取付けボルト							
ステンレス鋼	スカート支持リングカ バー ^{注3)} 衝撃吸収カバー外板 ^{注3)} アルミリングカバー ^{注3)}							
ステンレス鋼	取付けカバー (衝撃吸収カバー)							

注 1) 設計要求仕様値

注 2) 代表値

注 3) 落下解析に用いた応力-歪関係は A. 10.2 付属書類-2 に示す。

(ロ)-第 A. 4 表 材料の機械的性質 (3/3)

材料	部品	降伏応力 ^{注1)} (温度) [MPa] (°C)	引張強さ ^{注1)} (温度) [MPa] (°C)	最小破断伸び ^{注1)} [%]	ポアソン 比 ^{注2)}	密度 [10 ³ kg/m ³]	縦弾性係数 (温度) [10 ⁵ MPa] (°C)	線膨張係数 (温度) [10 ⁻⁶ /°C] (°C)
ステンレス鋼	ロジメントチューブ (バスケット)							
	アルミチューブ (バスケット)							
ステンレス鋼	サポートプレート (バスケット)							

注 1) 設計要求仕様値

注 2) 代表値

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器及び輸送容器と収納物の間で接触する異種材料の一覧を(ロ)-第A.5表に示す。輸送物は乾式で輸送されることから、接触する異種材料間において、化学的及び電氣的反応は生じない。

(ロ)-第A.5表 接触する異種材料の一覧

材料	部品	材料	部品
ステンレス鋼	胴 ^{注)} 、底板 ^{注)}	銅	銅伝熱体
		[]	レジン
		アルミニウム合金	スカート支持リング
銅	銅伝熱体	[]	レジン
アルミニウム合金	スカート支持リング アルミリング	ステンレス鋼	スカート支持リング カバー、アルミリング カバー
[]	レジン	ステンレス鋼	ドラムカバー、レジ ンカバー
ステンレス鋼	一次蓋	タングステン	ガンマ線遮蔽体
ステンレス鋼	リングフランジ、二次 蓋 ^{注)} 、トラニオン	合金鋼	リングフランジ締付 けボルト、二次蓋締付 けボルト、トラニオン 取付けボルト
ステンレス鋼	衝撃吸収カバー外板	[]	緩衝材
ステンレス鋼	一次蓋、二次蓋 ^{注)} 、 []	[]	ガスケット
銅合金	[]		
銅合金	[]	ステンレス鋼	[]
ステンレス鋼	トップ・サポート・ボ トムプレート、ロジメ ントチューブ	[]	アルミチューブ
ステンレス鋼	ロジメントチューブ	ジルコニウム合金	燃料集合体

注) ステンレス鋼オーバーレイ

A. 4.2 低温強度

輸送物は、周囲温度□℃以上で使用する。

(1) 構成部品の低温特性

(イ)-第 C.1 表に示す輸送容器の使用材料は、□℃において脆性破壊や亀裂等を発生することはない。したがって、規則で定められる□℃から 70℃の温度範囲において亀裂、破損等の生じるおそれはない。

(2) 低温時の強度

胴、底板及び二次蓋に使用される合金鋼については、破壊靱性試験を行い□℃において使用可能であることを確認する。

また、リングフランジ、トラニオン及びバスケット部品に使用されるマルテンサイトステンレス鋼並びにボルト材である合金鋼については、衝撃試験を行い□℃において使用可能であることを確認する。

スカート支持リング及び衝撃吸収カバーのアルミリングに使用されるアルミニウム合金並びに衝撃吸収カバー等のオーステナイトステンレス鋼は低温脆性を示さない材料である。

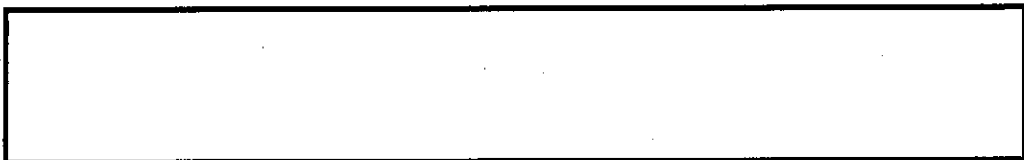
また、緩衝材である□□□□□□□□は、機械的特性に対して温度による影響を受けない材料である。

以上より、輸送容器は低温においても強度等の機械的性能が低下又は損なわれることはなく、亀裂、破損等の生じるおそれはない。

A. 4.3 密封装置

輸送容器の二次蓋及び二次蓋締付けボルトは、通常輸送時において(イ)-第 C.2 図に示すように前部衝撃吸収カバーにより覆われており不用意に開放されることはない。

また、ベント及びドレンオリフィスには、その外側に□□□□□□□□が取り付けられるため、不用意に開放されることはない。



A.4.4 吊上装置

輸送物には、(イ)-第 C.4 図及び(イ)-第 C.6 図に示すように前部に 2 個、後部に 2 個のトラニオンが取付けられており、これらのトラニオンによって吊上げ操作が行われる。

トラニオンによる吊上げ操作には、前部と後部の計 4 個のトラニオンを使用する水平吊り、前部の 2 個のトラニオンを使用する垂直吊りがある。

ここでは、トラニオンに作用する荷重が最大となる垂直吊りについて、前部のトラニオンを対象に評価を行う。

(1) 応力評価

a. 最大荷重

トラニオンに作用する最大荷重は、次式により求められる。なお、垂直吊りを行う場合には、輸送物から衝撃吸収カバーが取外された状態であるが、輸送物の全体質量を用いてトラニオンに作用する最大荷重 F を算出する。

$$F = m \times g \times \frac{G}{N}$$

ここで、 m : 輸送物の質量 [78400 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

G : 負荷係数 [3]

N : トラニオンの個数 [2 個]

したがって、

$$F = 1.16 \times 10^6 \text{ N}$$

b. 応力計算

トラニオンの各部寸法及び荷重作用点を(ロ)-第 A.2 図に示す。

(a) トラニオン円筒部

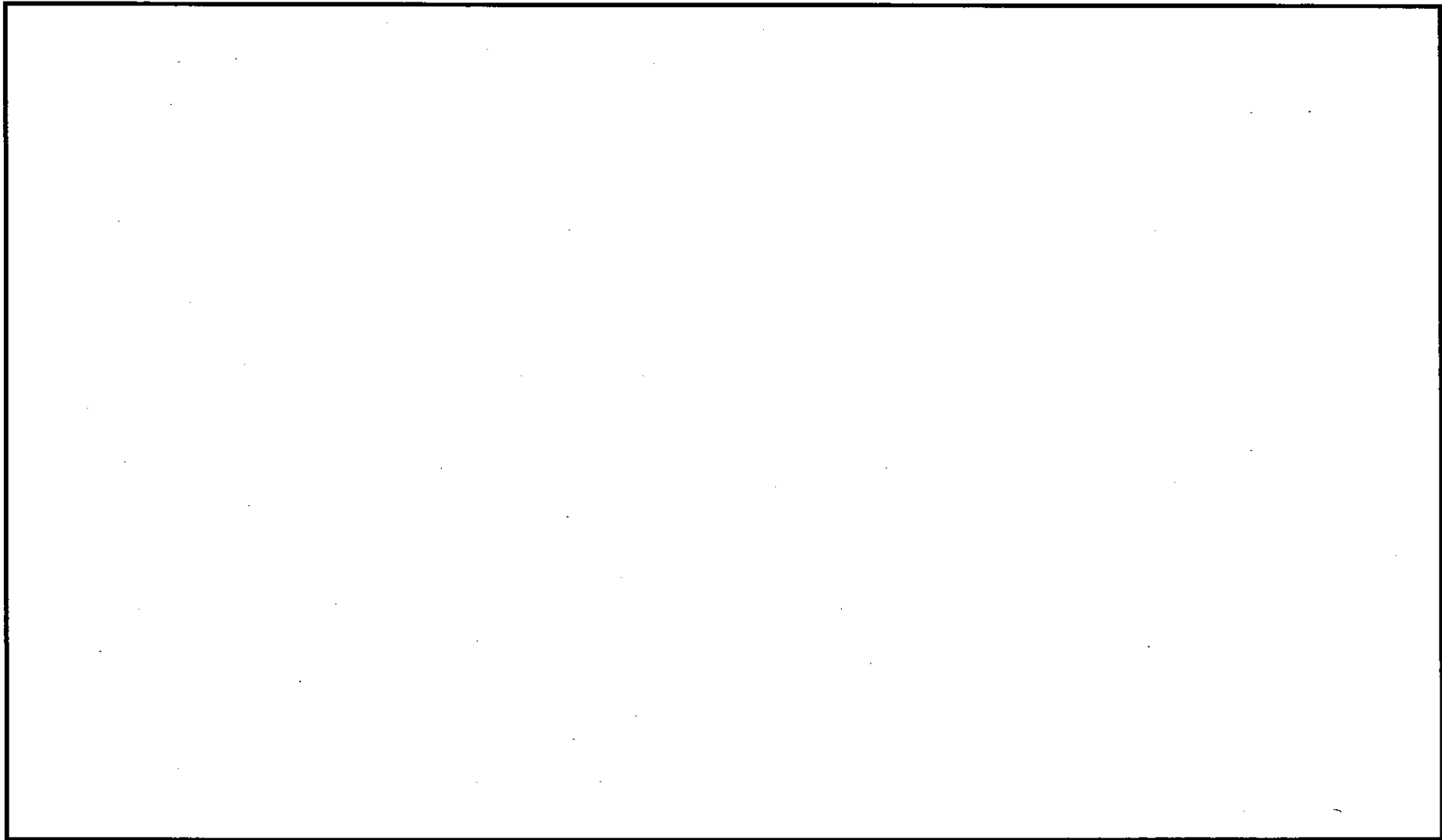
トラニオン円筒部に発生する最大曲げ応力及びせん断応力は、はり理論を用いて次のように表される。

i. 最大曲げ応力 (σ)

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

$$M = F \times L$$

(口)-A-26



(単位：mm)

(口)-第A.2図 前部トラニオンの寸法と荷重作用点

ここで、M : 曲げモーメント (N・mm)

F : トラニオン 1 個あたりに作用する最大荷重 [1.16×10^6 N]

L : F 作用点と評価断面との距離 (mm)

Z : 断面係数 (mm^3)

$$Z = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4) / D_o$$

(D_o : トラニオン円筒部の外径、 D_i : トラニオン円筒部の内径)

ii. せん断応力 (τ)

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

ここで、F : トラニオン 1 個あたりに作用する最大荷重 [1.16×10^6 N]

A : 断面積 (mm^2)

$$A = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$$

iii. 応力強さ (S)

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

(ロ)-第 A. 2 図に示す断面 A-A、断面 B-B 及び断面 C-C について評価した結果、応力強さは、断面 A-A において MPa、断面 B-B において MPa、断面 C-C において MPa となり、断面 A-A において最大となる。これに対する評価基準(S_y)は MPa (120°C^注)である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

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

したがって、操作時における荷重に対して、トラニオン円筒部は必要な強度を有している。

注) A. 5. 1. 1 項の評価基準値設定温度を参照 (以下同様)

(b) トラニオン取付けボルト

トラニオンに作用するせん断荷重は、胴にはめ込まれる円筒部で受け持たれる構造になっているため、トラニオン取付けボルトには、吊上げ時の回転モーメントによる引張荷重と初期締付けトルクによる軸力が作用する。

i. 回転モーメントによる引張応力

(ロ)-第 A.2 図に示す O 点を支点とする回転モーメントによる最大引張応力 σ_1 は、ボルト⑥に生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_1 = M \times \frac{D_6}{I} \quad (D_6 : O \text{ 点よりボルト⑥までの距離 [} \square \text{ mm]})$$

$$M = F \times L$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times dr^4 \times 11 + \sum_{j=1}^{11} \left(\frac{\pi dr^2}{4} \times D_j^2 \right)$$

ここで、F : トラニオン 1 個当たりに作用する最大荷重 [1.16×10^6 N]

M : 回転モーメント (N・mm)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

L : モーメントアーム [\square mm]

D_j : O 点よりボルト j までの距離 (mm)

dr : ボルト \square の最小径 [\square mm]

したがって、

$$\sigma_1 = \square \text{ MPa}$$

ii. 初期締付けトルクによる引張応力

初期締付けトルクによる引張応力 σ_2 は次式で与えられる。

$$\sigma_2 = F_f \times \frac{1}{(\pi dr^2 / 4)}$$

ここで、 F_f : 初期締付けによる軸力 [\square N]

dr : ボルト \square の最小径 [\square mm]

したがって、

$$\sigma_2 = \square \text{ MPa}$$

以上より、吊上げ時にトラニオン取付けボルトに発生する引張応力 σ は、

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \square \text{ MPa}$$

となり、これに対する評価基準 (S_y) は \square MPa (120°C) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \boxed{} - 1 = \boxed{}$$

したがって、吊上げ時における引張応力に対して、トラニオン取付けボルトは必要な強度を有している。

(2) 疲労評価

トラニオンに生じる応力について、応力集中を考慮した繰返し応力強さによる許容繰返し回数と想定される繰返し回数を比較して評価を行う。

疲労評価にあたっては、実際に作用する荷重をベースとし、クレーン構造規格⁸⁾に規定された衝撃係数（安全側に最大値を参照）を荷荷係数として設定する。

したがって、繰返しピーク応力強さを算定する応力強さは、応力評価における荷荷係数と疲労評価における荷荷係数の比率で以下のように補正する。

補正した応力強さを(ロ)-第 A.6 表に示す。

$$S_F = S \times (A/B)$$

ここで、 S_F : 疲労評価に用いる各部の応力強さ (MPa)

S : 応力評価における各部の応力強さ (MPa)

A : 疲労評価における荷荷係数 [1.6]

B : 応力評価における荷荷係数 [3]

(ロ)-第 A.6 表 疲労評価に用いる応力強さ

部品	部位	応力強さ (MPa)	
		応力評価	疲労評価
トラニオン	トラニオン円筒部		
	トラニオン取付けボルト		

a. トラニオン円筒部

(a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S_p \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S_p : トラニオン円筒部の応力強さ [MPa]

K_t : 応力集中係数 [5 (構造上の不連続部に対する最大値)]⁹⁾

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数

[MPa (120°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

(b) 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (ロ)-第 A. 付 1.1 図に示す高張力鋼の設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回}$$

となり、輸送時の吊上回数を 回とすると、想定される繰返し回数に比べて許容繰返し回数は十分に大きく、トラニオンは必要な疲労強度を有している。

b. トラニオン取付けボルト

(a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S_p \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S_p : トラニオン取付けボルトの応力強さ (応力の変動幅)

[MPa]

K_t : 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)]⁹⁾

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数

[MPa (120°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

(b) 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (ロ)-第 A. 付 1.2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回}$$

となり、輸送時の吊上回数を 回とすると、想定される繰返し回数に比べて

許容繰返し回数は十分に大きく、トラニオン取付けボルトは必要な疲労強度を有している。

A.4.5 固縛装置

輸送物は、(イ)-第 A.1 図に示すように前部及び後部のトラニオンを利用して輸送架台に固定される。したがって、トラニオン部について、輸送時の加速度が作用した場合の強度を評価する。

輸送時の加速度としては、以下のように仮定する。

- ・ 前後方向 : 2g
- ・ 横方向 : 2g
- ・ 垂直方向 : 2g (上方)、3g (下方)

(1) 最大荷重

上記加速度のうち横方向の加速度を受けてもトラニオンには応力は発生しない。また、垂直方向の加速度は、前部及び後部の計 4 個のトラニオンで分担して受け持たれる。一方、前後方向の加速度は、前部トラニオンが前後方向に拘束されていないため、後部トラニオンに受け持たれる。

したがって、輸送中の加速度により後部トラニオンに作用する荷重が最大となり、最大荷重 (F) は次式により求められる。

$$F = \sqrt{\left(\frac{2}{2} \times 9.81\right)^2 + \left(\frac{3}{4} \times 9.81\right)^2} \times 78400$$
$$= 9.62 \times 10^5 \text{ N}$$

(2) 応力計算

トラニオンの各部寸法及び荷重作用点を(ロ)-第 A.3 図に示す。

a. トラニオン円筒部

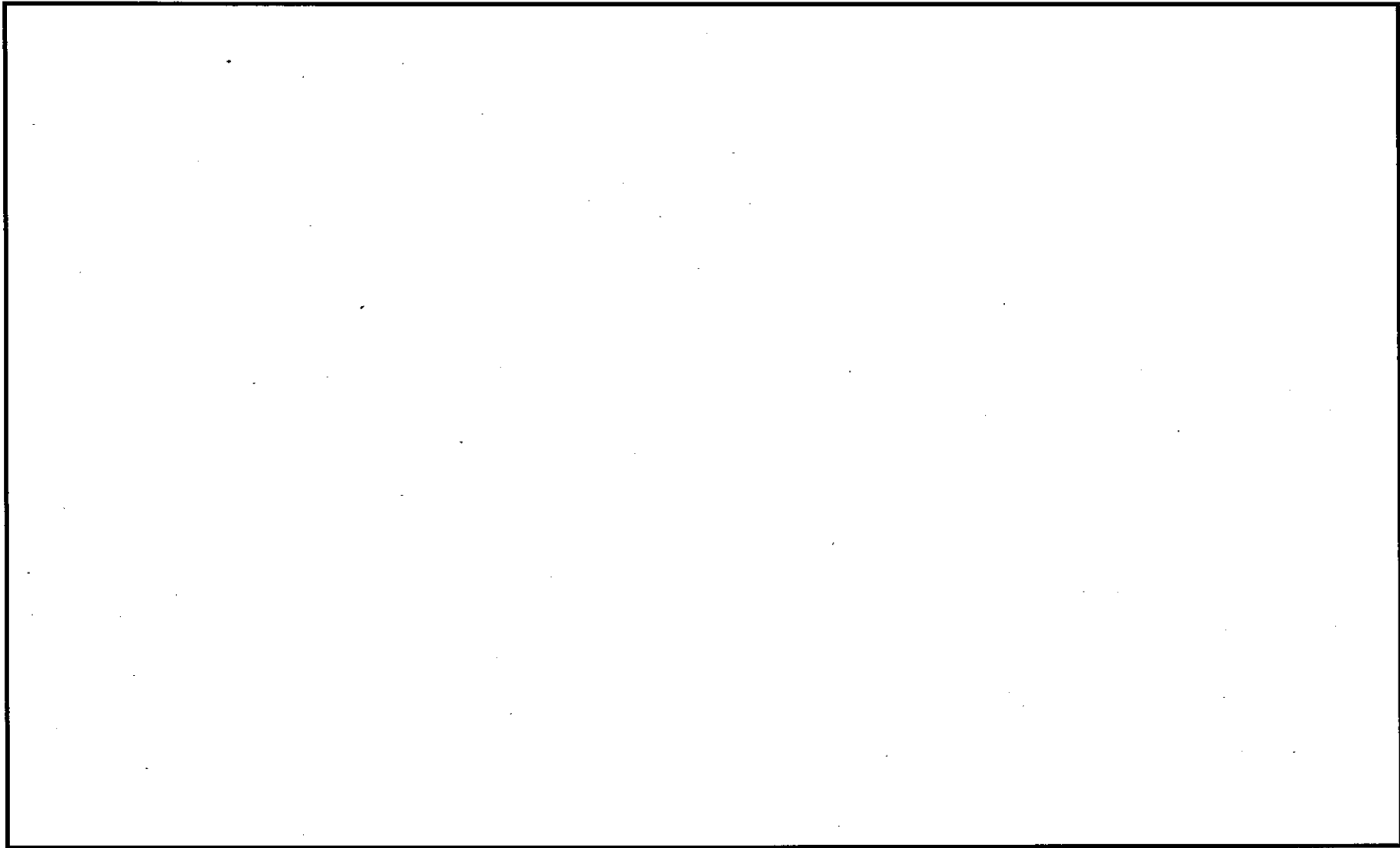
トラニオン円筒部に発生する最大曲げ応力及びせん断応力は、はり理論を用いて次のように表される。

(a) 最大曲げ応力 (σ)

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

$$M = F \times L$$

(ロ) -A-32



(単位：mm)

(ロ)-第 A.3 図 後部トラニオンの寸法と荷重作用点

ここで、M : 曲げモーメント (N・mm)

F : トラニオン 1 個あたりに作用する最大荷重 [9.62×10⁵ N]

L : F 作用点と評価断面との距離 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4) / D_o$$

(D_o : トラニオン円筒部の外径、D_i : トラニオン円筒部の内径)

(b) せん断応力 (τ)

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

ここで、F : トラニオン 1 個あたりに作用する最大荷重 [9.62×10⁵ N]

A : 断面積 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$$

(c) 応力強さ (S)

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

(ロ)-第 A.3 図に示す断面 A-A、断面 B-B 及び断面 C-C について評価した結果、応力強さは、断面 A-A において MPa、断面 B-B において MPa、断面 C-C において MPa となり、断面 A-A において最大となる。これに対する評価基準(S_y)は MPa (120°C) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \text{} - 1 = \text{}$$

したがって、輸送中に受ける加速度に対して、トラニオン円筒部は必要な強度を有している。

b. トラニオン取付けボルト

トラニオンに作用するせん断荷重は、胴にはめ込まれる円筒部で受け持たれる構造になっているため、トラニオン取付けボルトには、回転モーメントによる引張荷重と初期締付けトルクによる軸力が作用する。

(a) 回転モーメントによる引張応力

(ロ)-第 A.3 図に示す O 点を支点とする回転モーメントによる最大引張応力 σ₁ は、ボルト ⑥ に生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_1 = M \times \frac{D_6}{I} \quad (D_6 : \text{O点よりボルト⑥までの距離} [\text{ } \text{mm}])$$

$$M = F \times L$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times dr^4 \times 12 + \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{\pi dr^2}{4} \times D_j^2 \right)$$

ここで、F : トラニオン 1 個あたりに作用する最大荷重 [9.62 × 10⁵N]

M : 回転モーメント (N・mm)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

L : モーメントアーム [mm]

D_j : O点よりボルト j までの距離 (mm)

dr : ボルト の最小径 [mm]

したがって、

$$\sigma_1 = \text{ } \text{MPa}$$

(b) 初期締付けトルクによる引張応力

初期締付けトルクによる引張応力 σ_2 は次式で与えられる。

$$\sigma_2 = F_f \times \frac{1}{(\pi dr^2 / 4)}$$

ここで、F_f : 初期締付けによる軸力 [N]

dr : ボルト の最小径 [mm]

したがって、

$$\sigma_2 = \text{ } \text{MPa}$$

以上より、輸送時にトラニオン取付けボルトに発生する引張応力 σ は、

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \text{ } \text{MPa}$$

となり、これに対する評価基準(S_y)は MPa (120℃) である。

この時の余裕率 MS は次の値となる。

$$MS = \frac{S_y}{\sigma} - 1 = \text{ } - 1 = \text{ }$$

したがって、輸送時における引張応力に対して、トラニオン取付けボルトは必要な強度を有している。

A. 4. 6 圧力

一般の試験条件における胴の最大内圧は、 MPa 絶対圧であり、最大内外圧力差は MPa である (A. 5. 1. 1 に記載)。

また、一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の最大内圧は MPa 絶対圧であり、最大内外圧力差は MPa である (A. 5. 1. 1 に記載)。

A. 5. 1 の熱的試験において、胴内圧と外気圧の圧力差を MPa、一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の内圧と外気圧の圧力差を MPa として、胴部及び蓋部の健全性を確認しており、圧力に変動が生じた場合でも輸送容器の健全性が損なわれることはない。

A. 4. 7 振動

輸送中に発生する振動が輸送物に及ぼす影響を評価するために、輸送物の固有振動数と輸送中の振動数とを比較し、共振の可能性を検討する。

輸送物は横置き状態で、前部及び後部トラニオンに支えられて輸送される。この場合、固有振動数 (f_n) は次式で与えられる。

$$f_n = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EIg}{q}}$$

ここで、 λ : 振動モードが 1 の場合の定数 [3. 14]

E : 縦弾性係数 [MPa (120°C)]

L : トラニオン間隔 [mm]

g : 重力加速度 [9.81×10^3 mm/s²]

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

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

(D_o : 胴の外径 [mm]、 D_i : 胴の内径 [mm])

q : 単位長さ当たりの重量 (N/mm)

$$q = \frac{Mg}{L}$$

(M : 輸送物質量 [78400 kg])

よって、

$$f_n = \text{ Hz}$$

となり、輸送中の振動 (主として 10 Hz 以下) により輸送物が共振することはない。

したがって、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルト等は輸送中に緩むことはなく、輸送中の振動により輸送物が影響を受けることはない。

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件における輸送物の温度分布及び最大内圧はそれぞれ(ロ)-B.4.2 及び(ロ)-B.4.4 に示されている。

各部位の最高温度に基づき、本試験における評価基準値の対象温度を(ロ)-第 A.7 表のように設定する。

また、一般の試験条件における胴の最大内圧は MPa 絶対圧であり、外気圧が大気圧(0.105 MPa)から 60 kPa (0.060 MPa) に低下した場合を考慮しても、最大内外圧力差は MPa である。一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の最大内圧は MPa 絶対圧であり、外気圧が 60 kPa (0.060 MPa) に低下した場合を考慮すると、最大内外圧力差は MPa である。

そこで、胴内圧と外気圧の圧力差を MPa、一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の内圧と外気圧の圧力差を MPa として評価する。

(ロ)-第 A.7 表 一般の試験条件における各部位の最高温度と評価基準値設定温度

(単位：℃)

部位	最高温度	評価基準値設定温度
胴	101	120
底板	93	120
一次蓋	88	120
リングフランジ	87	120
リングフランジ 締付けボルト	87	120
二次蓋	85	120
二次蓋締付けボルト	85	120
ロジメントチューブ (バスケット)	158	170
サポートプレート (バスケット)	156	170

A. 5. 1. 2 熱膨張

一般の試験条件における熱膨張により輸送容器各部には熱応力が発生する。

容器本体に発生する熱応力については、内圧及びボルトの初期締付け力との荷重の組み合わせを考慮して、A. 5. 1. 3に記載する。

バスケットについては、バスケットと容器本体の熱膨張差に基づく隙間の減少を算定し、拘束による熱応力が生じないことを評価する。

(1) 軸方向

バスケットと容器本体の胴部の熱膨張差により、軸方向の隙間が減少する。

バスケットと容器本体内面の軸方向の隙間 ΔL は以下のように求められる。

$$\Delta L = (L_1 - L_2) + \{L_1 \times (T_1 - 20) \times \alpha_1 - L_2 \times (T_2 - 20) \times \alpha_2\}$$

ここで、 L_1 : 容器本体のキャビティ長さ [mm]

L_2 : バスケットの全長 [mm]

T_1 : 胴部の温度 [°C 注1)]

T_2 : バスケットの温度 [°C 注2)]

α_1 : 胴部の線膨張係数 [/ °C (°C)]

α_2 : バスケットの線膨張係数 [/ °C (°C)]

よって、 $\Delta L =$ mm > 0mm

となり、軸方向におけるバスケットと容器本体内面間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

(2) 径方向

バスケットと容器本体の胴部の熱膨張差により、径方向の隙間が減少する。

バスケット外面と容器本体内面の隙間 ΔD は以下のように求められる。

$$\Delta D = (D_1 - D_2) + \{D_1 \times (T_1 - 20) \times \alpha_1 - D_2 \times (T_2 - 20) \times \alpha_2\}$$

ここで、 D_1 : 容器本体の内径 [mm]

D_2 : バスケットの外径 [mm]

T_1 : 胴部の温度 [°C 注1)]

T_2 : バスケットの温度 [°C 注3)]

α_1 : 胴部の線膨張係数 [/ °C (°C)]

α_2 : バスケットの線膨張係数 [/ °C (°C)]

注1) 胴外面 (°C) の平均温度

注2) ロジメントチューブ (°C) の平均温度

注3) サポートプレート (°C) の平均温度

よって、 $\Delta D = \square \text{ mm} > 0 \text{ mm}$

となり、径方向におけるバスケット外面と容器本体内面の間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

A.5.1.3 応力計算

一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部に発生する応力の計算を行う。

容器本体各部には、温度勾配、内圧及びボルトの初期締付け力による応力が発生するが、本項では内圧及びボルトの初期締付け力による一次応力と、温度勾配を考慮した（一次＋二次）応力について、ABAQUS コードを用いて求める。また、併せて容器本体の各部品に対する疲労評価を行う。

(1) 解析モデル

解析モデルとして、容器本体の 3 次元 180° モデルを用いる。

当該モデルは、本体（胴及び底板）、一次蓋、リングフランジ、リングフランジ締付けボルト、二次蓋及び二次蓋締付けボルトから構成されている。

解析モデルの要素分割図を(ロ)-第 A.4 図に示す。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

一次応力の算出に当たり、容器本体内面及び一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の内面に、外気圧との差圧がそれぞれ $\square \text{ MPa}$ 及び $\square \text{ MPa}$ となるように圧力を負荷し、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトには、以下に示す初期締付けによる軸力を作用させる。初期締付けトルクによる軸力 F は次式で与えられる。

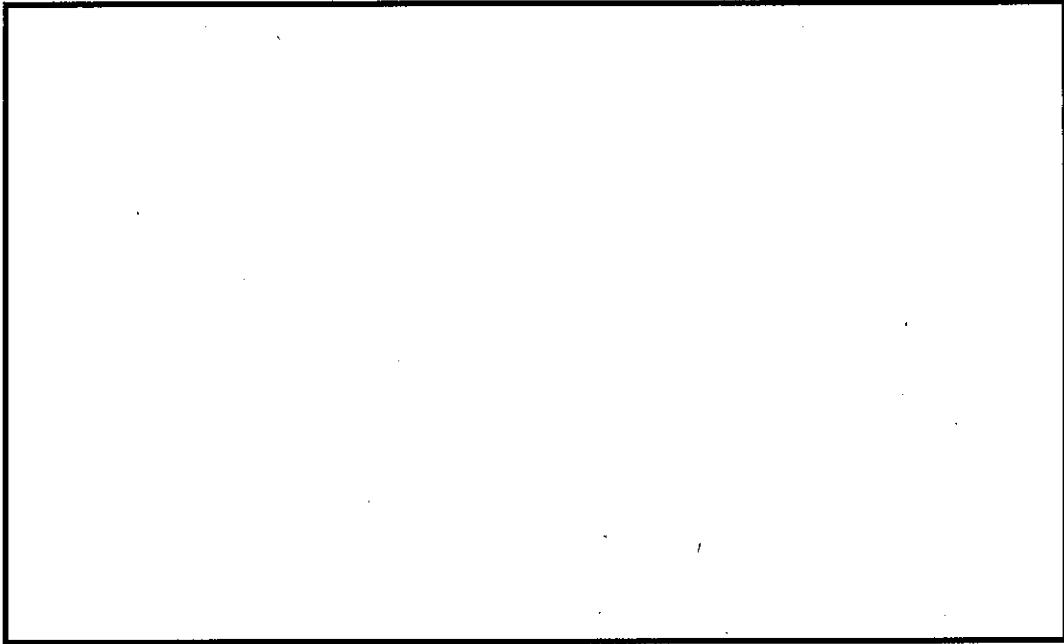
$$F = T \times \frac{1}{0.2d} \times 1000$$

ここで、T：初期締付けトルク [$\square \text{ N}\cdot\text{m}$]

d：ボルトの呼び径 [$\square \text{ mm}$]

よって、 $F = \square \text{ N}$

次に、（一次＋二次）応力を算出するために容器本体の温度分布を与える。



(口)-第 A. 4 図 要素分割図 (一般の試験条件の熱的試験)

b. 境界条件

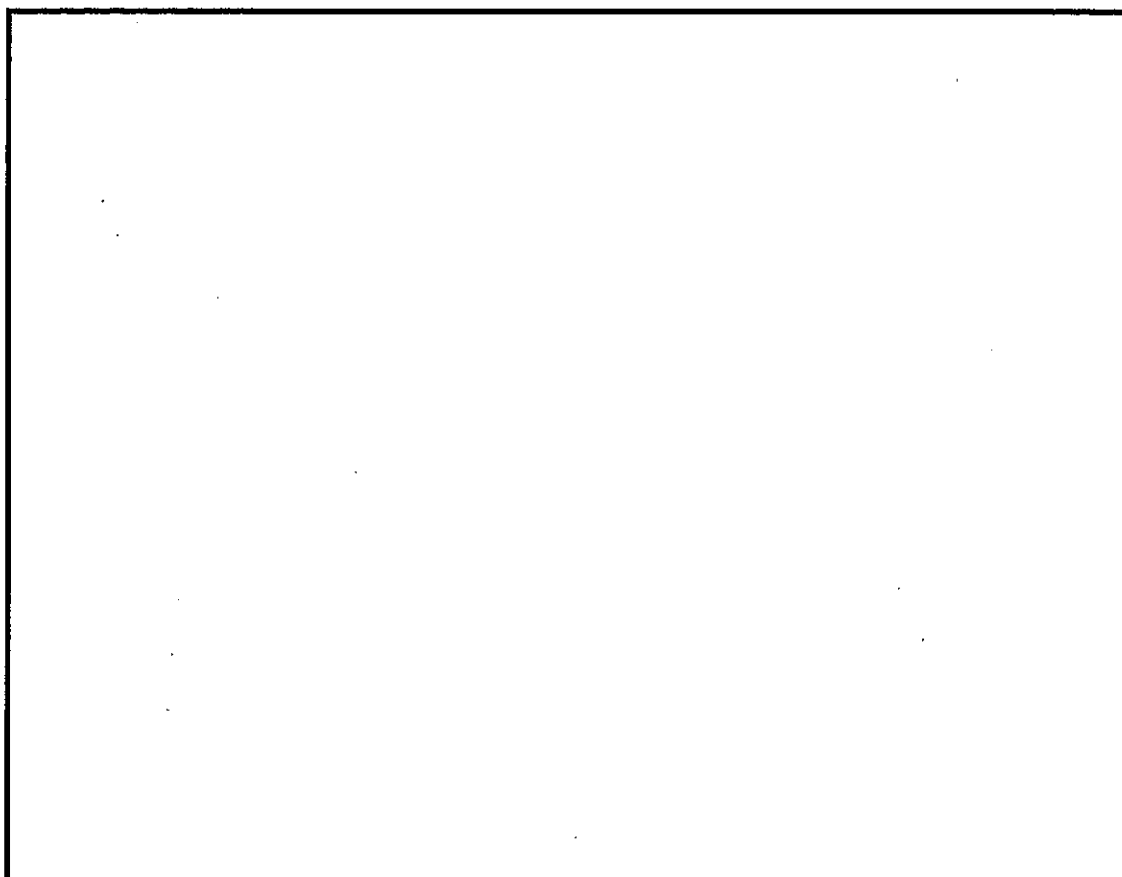
底板端面の軸方向変位、対称面の対称面直交方向変位を拘束する。

(3) 解析結果

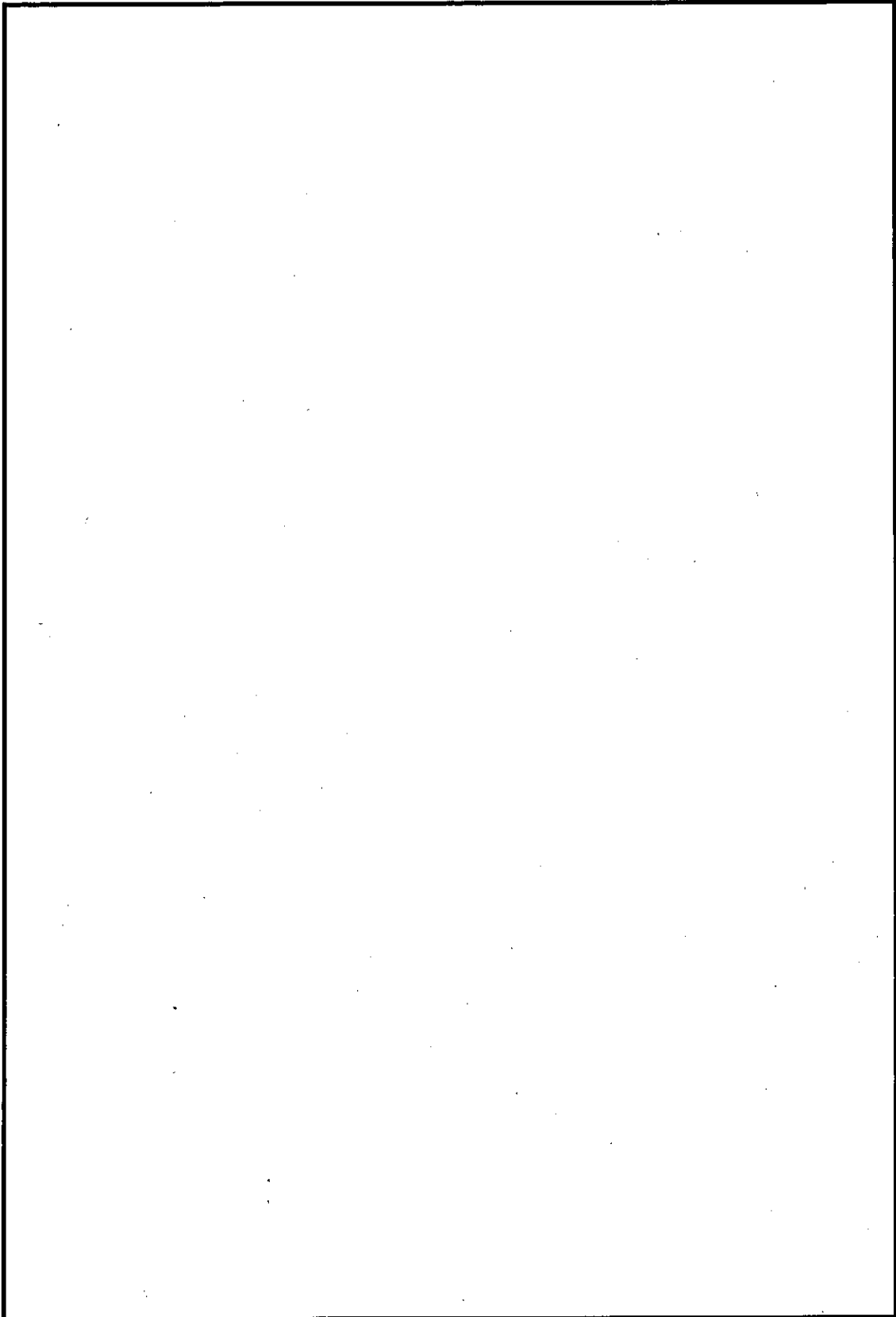
(一次+二次) 応力の算出における変形図及び応力分布図をそれぞれ(ロ)-第 A. 5 図及び(ロ)-第 A. 6 図に示す。

(ロ)-第 A. 7 図に示す評価位置について、一次応力の評価結果を(ロ)-第 A. 8 表に示す。また、同評価位置についての(一次+二次) 応力の評価結果及びリングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトの評価結果を(ロ)-第 A. 9 表に示す。

評価結果に示すように容器本体に発生する応力はいずれも評価基準を下回っており、一般の試験条件の熱的試験により容器本体が影響を受けることはない。

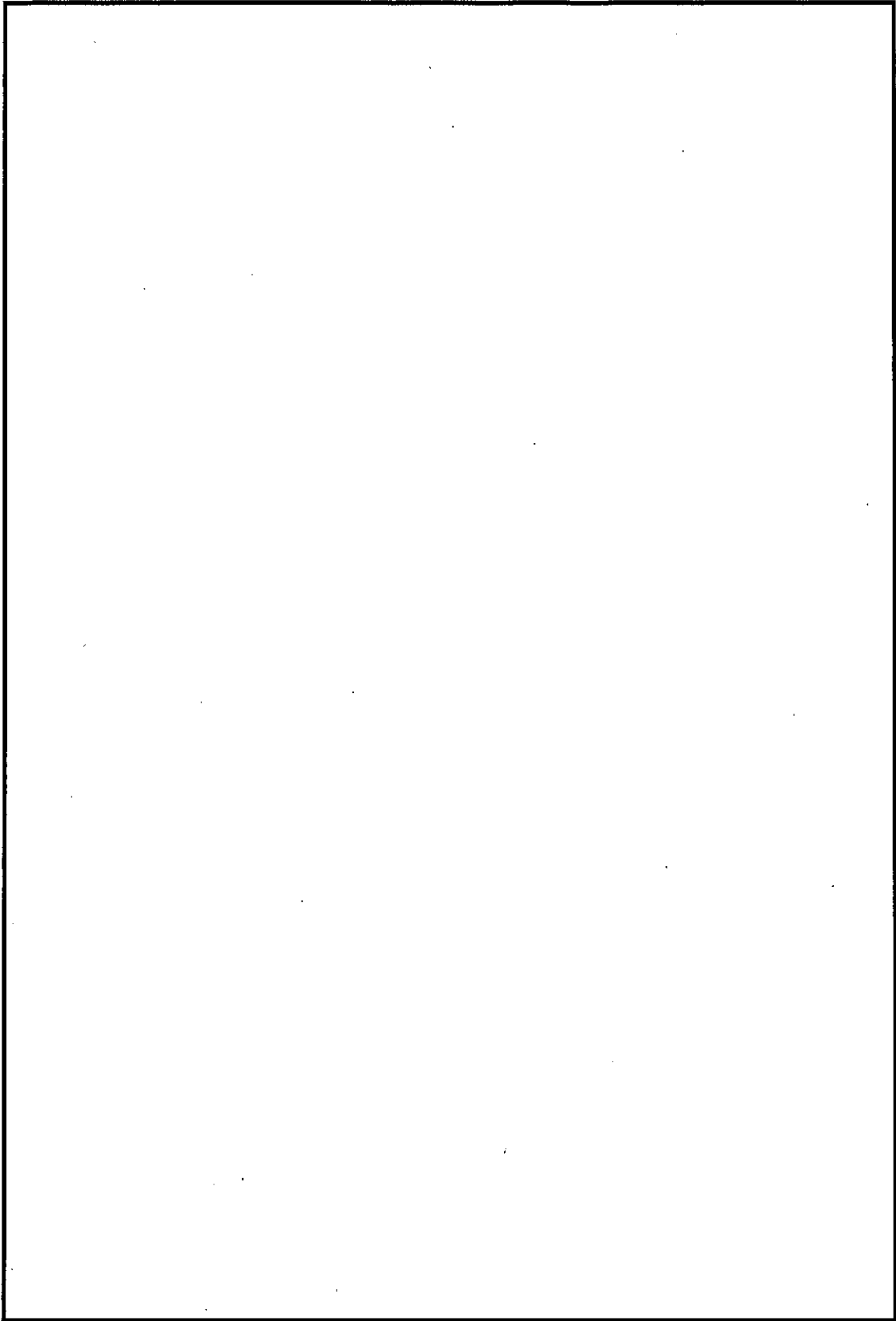


(ロ)-第 A. 5 図 一般の試験条件の熱的試験の解析結果 (変形図)



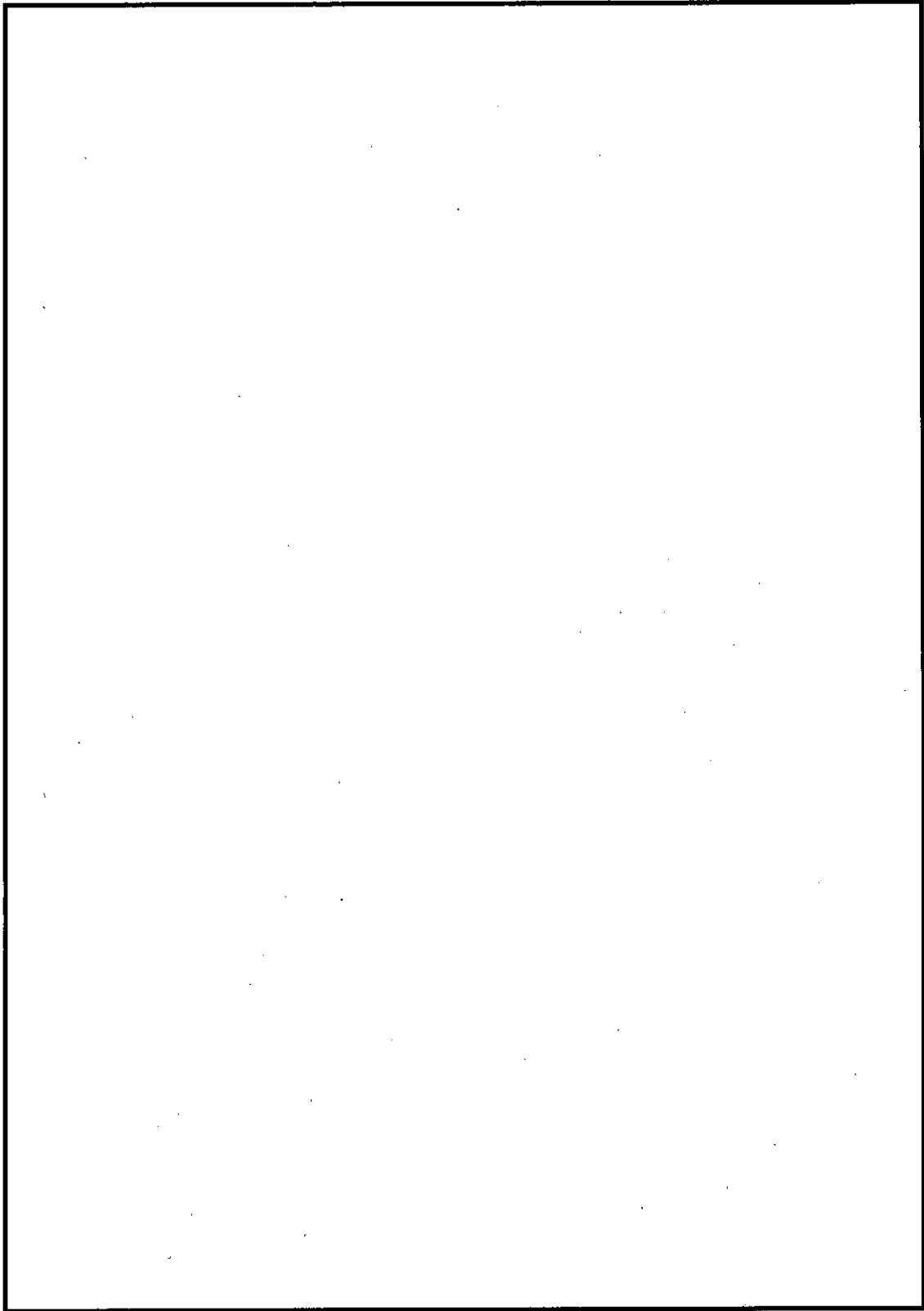
(ロ)-第 A. 6 図 一般の試験条件の熱的試験の解析結果

(応力分布図<トレスカ応力>) (1/2)



(口)-第 A.6 図 一般の試験条件の熱的試験の解析結果

(応力分布図<トレスカ応力>) (2/2)



(口)-第 A.7 図 一般の試験条件の熱的試験における応力評価位置

(ロ)-第A.8表 一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部の

一次応力に関する応力評価結果

評価位置		応力分類 ^{注1)}	応力強さ (MPa)	評価基準 ^{注2)} (MPa)	余裕率 (MS)
一次蓋	①	Pm			
		PL+Pb			
	②	PL			
リングフランジ	③	PL			
二次蓋	④	Pm			
		PL+Pb			
	⑤	PL			
胴	⑥	PL			
	⑦	Pm			
	⑧	PL			
底板	⑨	PL			
	⑩	Pm			
		PL+Pb			

注1) Pm：一次一般膜応力強さ、PL：一次局部膜応力強さ、Pb：一次曲げ応力強さ

注2) 評価基準は、Pmに対して、 $\text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ 、PL及びPL+Pbに対して、

$$1.5 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$$

(ロ)-第 A.9 表 一般の試験条件の熱的試験における容器本体各部の

(一次+二次) 応力に関する応力評価結果

評価位置		応力分類又は 応力の種類 ^{注1)}	応力強さ (MPa)	評価基準 ^{注2)} (MPa)	余裕率 (MS)
一次蓋	①	PL+Pb+Q			
	②	PL+Pb+Q			
リングフランジ	③	PL+Pb+Q			
二次蓋	④	PL+Pb+Q			
	⑤	PL+Pb+Q			
胴	⑥	PL+Pb+Q			
	⑦	PL+Pb+Q			
	⑧	PL+Pb+Q			
底 板	⑨	PL+Pb+Q			
	⑩	PL+Pb+Q			
リングフランジ	—	σ_m			
締付けボルト	—	$\sigma_m + \sigma_b$			
二次蓋	—	σ_m			
	—	$\sigma_m + \sigma_b$			

注 1) PL : 一次局部膜応力強さ、Pb : 一次曲げ応力強さ、Q : 二次応力強さ、 σ_m : 平均引張
 応力、 σ_b : 曲げ応力

注 2) 評価基準は、(一次+二次) 応力に対して、 $3 \times \text{Min.} \left\{ \frac{1}{3} S_u, \frac{2}{3} S_y \right\}$ 、リングフラン
 ジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトの σ_m に対して、 $\frac{2}{3} S_y$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して、 S_y

(4) 疲労評価

リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに生じる応力について、応力集中を考慮した繰返し応力強さによる許容繰返し回数と想定される繰返し回数を比較して評価を行う。

a. リングフランジ締付けボルト

(a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S_F \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S_F : リングフランジ締付けボルトの応力強さ (応力の変動幅)
[MPa]

K_t : 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)]⁹⁾

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数
[MPa (120°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

(b) 許容繰返し回数

A. 10.1 付属書類-1 (ロ)-第 A. 付 1.2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回}$$

となり、想定される輸送容器の使用回数に比べて許容繰返し回数は十分に大きく、リングフランジ締付けボルトは必要な疲労強度を有している。

b. 二次蓋締付けボルト

(a) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S_F \times K_t \times (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S_F : 二次蓋締付けボルトの応力強さ (応力の変動幅)
[MPa]

K_t : 応力集中係数 [4 (ボルトのネジ部に対する最大値)]⁹⁾

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数
[MPa (120°C)]

したがって、

$$S_a = \text{ MPa}$$

(b) 許容繰返し回数

A. 10. 1 付属書類-1 (ロ)-第 A. 付 1. 2 図に示す高張力ボルトの設計疲れ線図より、 S_a (MPa) に対する許容繰返し回数 N_a は、

$$N_a = \text{ 回}$$

となり、想定される輸送容器の使用回数に比べて許容繰返し回数は十分に大きく、二次蓋締付けボルトは必要な疲労強度を有している。

A. 5. 1. 4 許容応力との比較

(ロ)-第 A. 8 表及び(ロ)-第 A. 9 表に示すように、容器本体の各部品に発生する応力はいずれも評価基準を下回っており、一般の試験条件の熱的試験において輸送容器の構造健全性及び密封性能は維持される。

A. 5. 2 水噴霧

輸送物の表面はステンレス鋼若しくはニッケルメッキを施した銅である。

したがって、水切りは極めてよく、水噴霧により輸送物の健全性が損なわれることはない。

A. 5. 3 自由落下

輸送物の最大重量は 78. 4 トンであるため、告示により落下高さは 0. 3m となる。

本評価では、輸送容器を実形状に従いモデル化して、0. 3m の高さから落下する事象を LS-DYNA コードを用いて解析する。

(1) 容器本体

容器本体及び衝撃吸収カバーをモデル化して解析し、容器本体各部に発生する応力及び塑性歪を求め、他の解析で考慮を要する形状変化について評価する。

a. 解析モデル

解析モデルは、各落下姿勢（垂直、水平、コーナー）に共通して適用できるように 3 次元 180° モデルとする。当該モデルは、胴部、底部、一次蓋、リングフランジ、リングフランジ締付けボルト、二次蓋、二次蓋締付けボルト及び衝撃吸収カバーから構成されている。

胴部は、スカート支持リング、銅伝熱体、レジン（胴部）及びドラム等から構成され、レジン（胴部）は解析モデルの全体重量が設計重量となるように密度を調整した領域としてモデルに与えている。また、底部は底板及びレジン（底

部)等から構成される。

バスケット及び収納物による負荷を反映するために、等価な重量でバスケットの外形寸法を有する単純形状の領域を与えている。

評価にあたって必要となる衝撃吸収カバーあるいはスカート支持リングの緩衝特性については、本輸送容器と一部寸法が異なるが同一の構造及び部品構成を有する輸送容器の1/3スケールモデル落下試験を対象とした再現解析を行い、解析への適用性が確認された緩衝特性を解析モデルに与える(A.10.2 付属書類-2 参照)。

また、一次蓋の内側に取付けられた[]については、当該[]単体の動的圧縮試験を対象とした再現解析を行い、解析部への適用性が確認された緩衝特性を解析モデルに与える(A.10.3 付属書類-3 参照)。

解析モデルの要素分割図を(口)-第A.8図に示す。

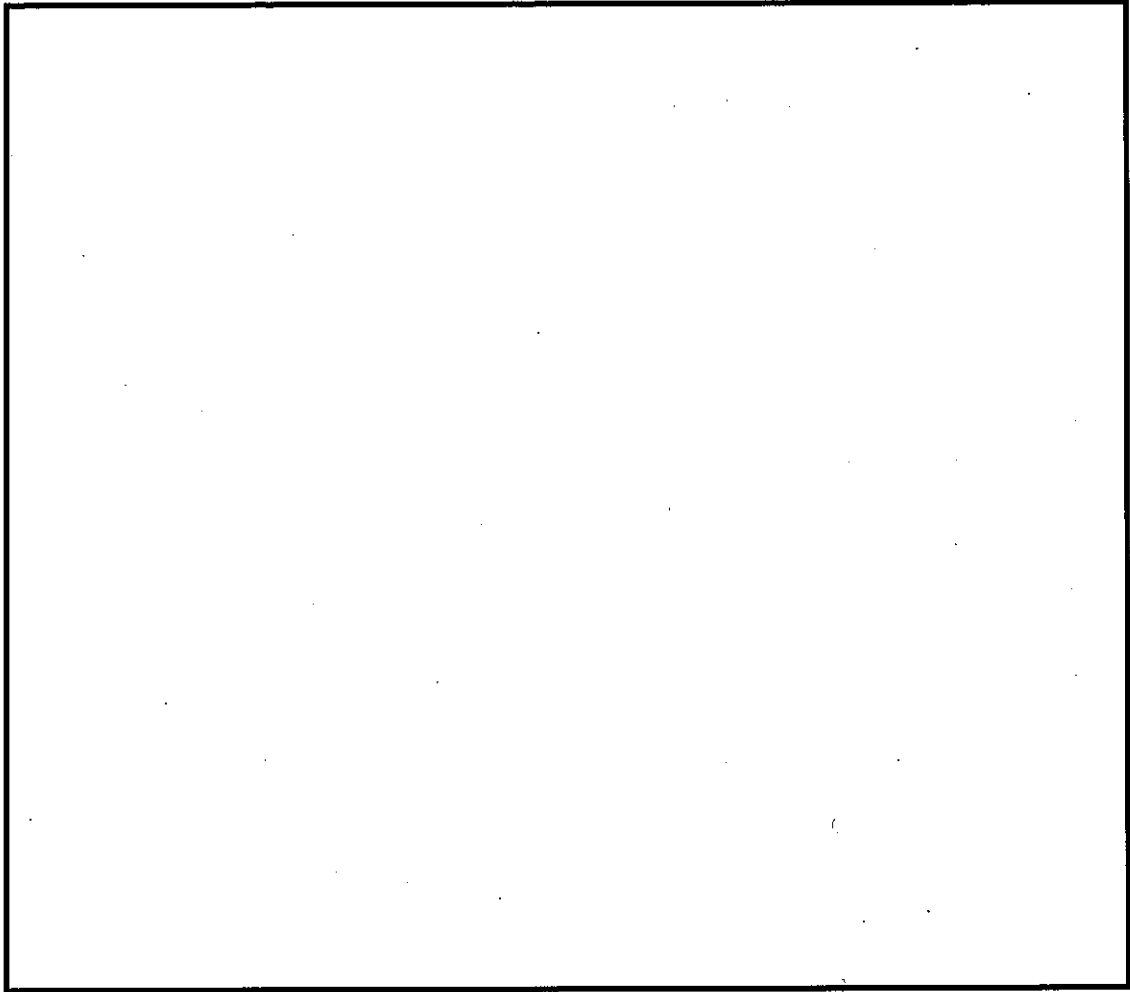
なお、構造強度部材に発生する塑性歪を保守的に算定するために、材料特性として公称応力及び伸びに基づく応力-歪関係((口)-第A.9図参照)を採用する。

b. 荷重条件及び境界条件

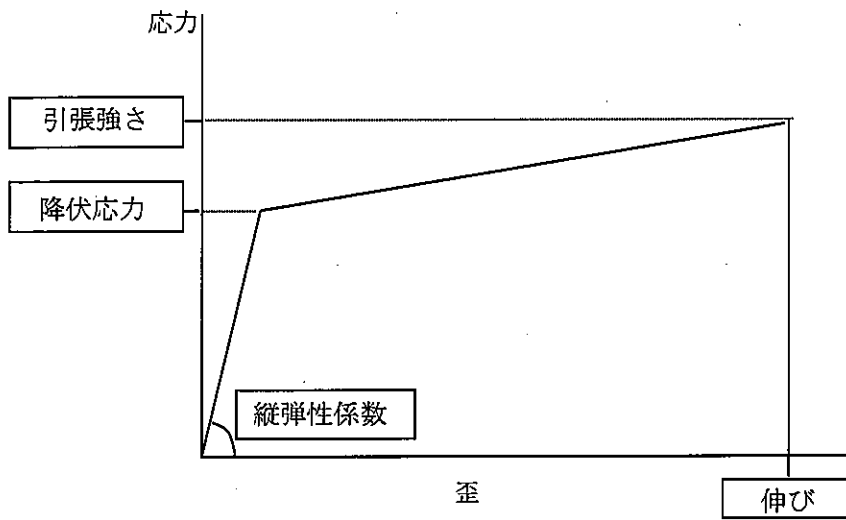
解析ケースとして、以下の各落下姿勢について解析を行う。

- ① 垂直落下(前部及び後部)
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下(前部及び後部)

落下姿勢に応じた角度で剛体面に接した解析モデルに対し、まず、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに初期締付けによる軸力([]N)に相当する荷重を作用させる。続いて、自由落下時の衝突速度(2.43m/s)を与える。なお、コーナー落下については、衝撃吸収カバーのコーナーと輸送物の重心が鉛直線上に並ぶ状態で剛体面に接した解析モデルとする。



(口)-第 A. 8 図 要素分割図 (自由落下/容器本体)



(口)-第 A. 9 図 評価対象部品に設定した応力-歪関係

c. 解析結果

解析は最大変形が確認できる時刻まで実行し、解析結果として、最大変形量、落下中の各構造強度部材に発生する塑性歪及び密封性能の評価としてリングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトの応力を抽出した。各落下姿勢における衝撃吸収カバーの変形図を(ロ)-第 A. 10 図に示す。

各落下姿勢における損傷状態に関する解析結果を以下に示す。

(a) 前部垂直落下

容器本体の密封境界構成部品には塑性歪の発生はなく、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準(MPa)を下回っており、密封性能は維持される。

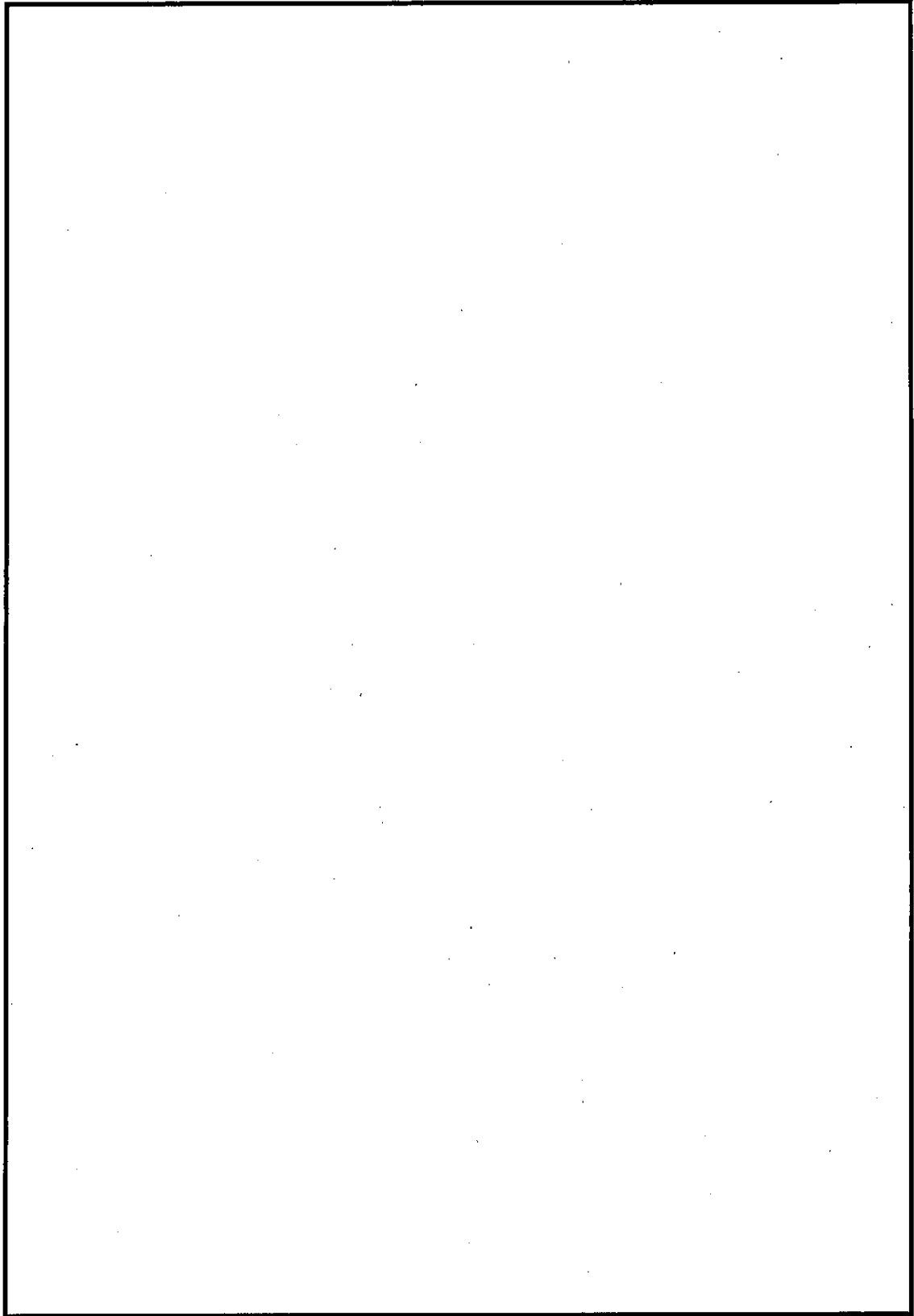
(b) 後部垂直落下

容器本体の密封境界構成部品には塑性歪の発生はなく、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。

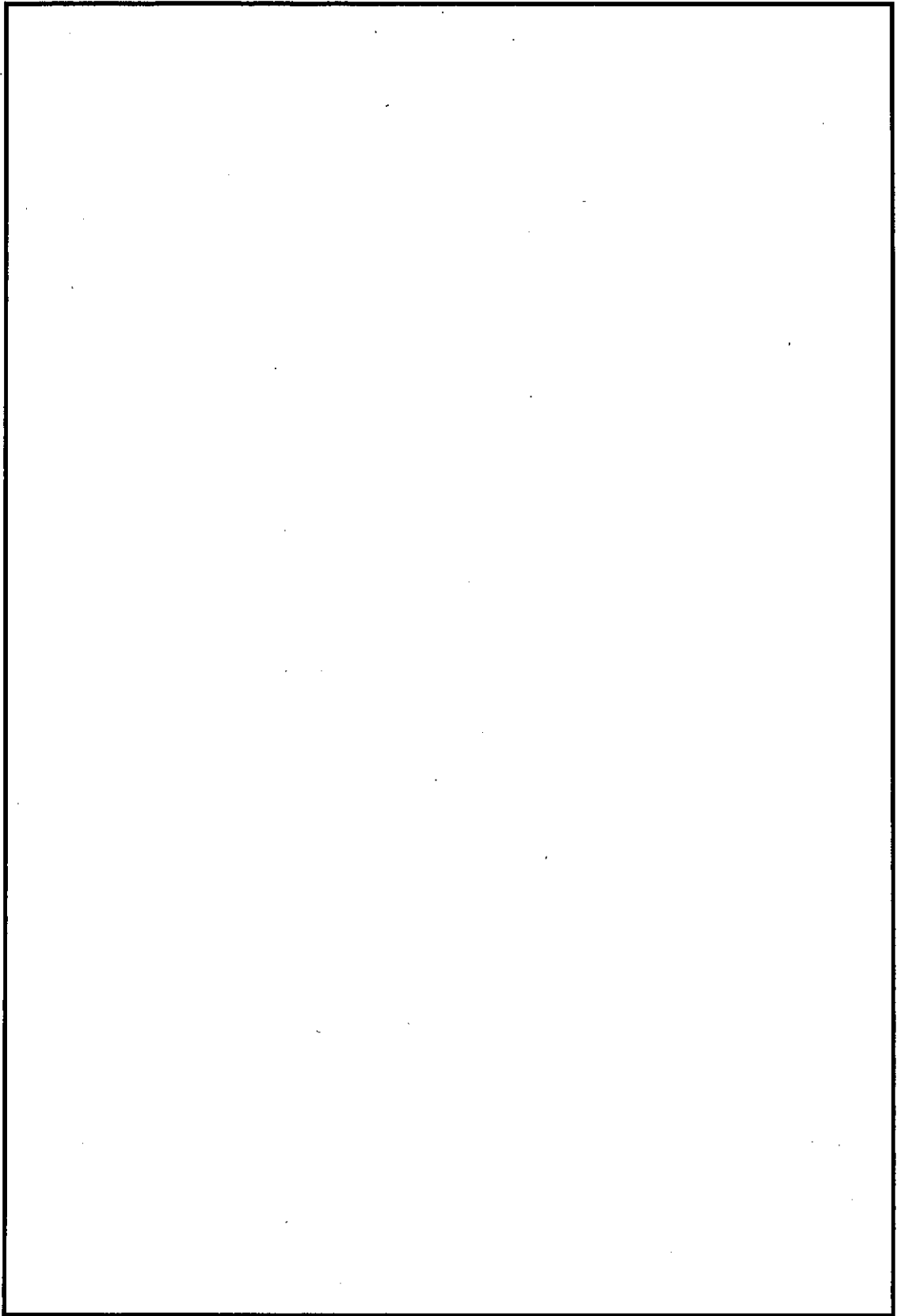
(c) 水平落下

容器本体の密封境界構成部品のうち、一次蓋及び二次蓋に %以下の局所的な塑性歪（相当塑性歪分布図を(ロ)-第 A. 11 図に示す。）が発生しているが、いずれも各部品の材料の最小破断伸び（一次蓋： %、二次蓋： %）に比べて小さく破断には至らない。

したがって、水平落下において、容器本体には他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準(MPa)を下回っており、密封性能は維持される。



(口)-第 A. 10 図 自由落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(口)-第 A. 11 図 0.3m 水平落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図)

(d) 前部コーナー落下

容器本体の密封境界構成部品のうち、二次蓋に %以下の局所的な塑性歪(相当塑性歪分布図を(口)-第 A.12 図に示す。)が発生しているが、材料の最小破断伸び (%)に比べて小さく、破断には至らない。

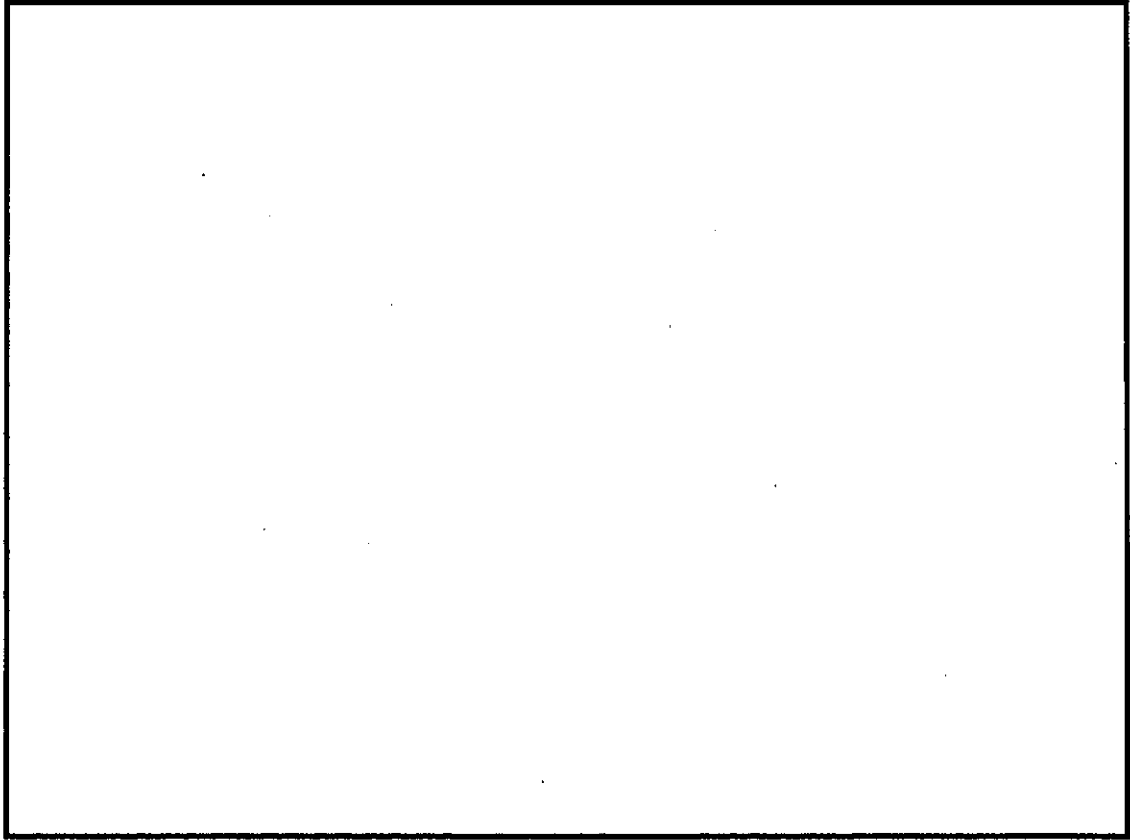
したがって、前部コーナー落下において、容器本体には他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準 (MPa)を下回っており、密封性能は維持される。

(e) 後部コーナー落下

容器本体の密封境界構成部品には塑性歪の発生はなく、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。

以上の解析結果を(口)-第 A.10 表にまとめる。

同表に示されるように、いずれの落下姿勢においても密封性能は維持され、他の解析で考慮を要するような形状変化が生じることはなく、自由落下において容器本体の構造健全性は維持される。



(口)-第 A. 12 図 0.3m 前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図)

(ロ)-第 A. 10 表 自由落下における容器本体の解析結果のまとめ (1/2)

落下姿勢	衝撃吸収カバー/ スカート支持リング 最大変形量 ^{注1)} (mm)	部品	最大相当 塑性歪 (%)	評価	
前部垂直	[衝撃吸収カバー] 前部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板		他の解析で考慮を要する 形状変化は生じない。	
		一次蓋			
		リングフランジ			
		二次蓋			
後部垂直	[衝撃吸収カバー] 後部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板			(同上)
		一次蓋			
		リングフランジ			
		二次蓋			
水平	[スカート支持リング] 前部: <input type="checkbox"/> 後部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板		塑性歪は材料の最小破断 伸び ^{注2)} に比べて小さくか つ局所的であり、他の解 析で考慮を要する形状変 化は生じない。	
		一次蓋			
		リングフランジ			
		二次蓋			
前部 コーナー	[衝撃吸収カバー] 前部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板			塑性歪は材料の最小破断 伸び ^{注2)} に比べて小さくか つ局所的であり、他の解 析で考慮を要する形状変 化は生じない。
		一次蓋			
		リングフランジ			
		二次蓋			
後部 コーナー	[衝撃吸収カバー] 後部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板	他の解析で考慮を要する 形状変化は生じない。		
		一次蓋			
		リングフランジ			
		二次蓋			

注 1) 衝撃吸収カバー及びスカート支持リングの変形量は一般の試験条件の遮蔽解析の解析モデルに考慮される。

注 2) 材料の最小破断伸び/ 胴及び底板: %、一次蓋: %、リングフランジ: %、二次蓋: %

(ロ)-第 A.10 表 自由落下における容器本体の解析結果のまとめ (2/2)

評価対象部品	落下姿勢	応力の種類 ^{注1)}	解析結果 (MPa)	評価基準 ^{注2)} (MPa)	余裕率 (MS)
リングフランジ 締付けボルト	前部垂直	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	水平	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	前部 コーナー	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
二次蓋 締付けボルト	前部垂直	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	水平	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	前部 コーナー	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			

注1) σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注2) 評価基準は、 σ_m 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対して、 S_y

(2) バスケット

落下時において、バスケットには自重による慣性力と収納物による慣性力が作用するが、落下姿勢の中では、収納物による全ての荷重が負荷される水平落下が最もバスケットにとって厳しい条件となる。本項では、水平落下時における衝撃を受けた場合のバスケットに発生する塑性歪を求め、他の解析で考慮を要する形状変化について評価する。

a. 解析モデル

バスケットは、サポートプレートが軸方向に等間隔で配置されていることから、その間隔（1 ピッチ）の半分で切り取ったスライス形状モデルを用いて解析することができる。

容器本体は、水平落下時にバスケットが本体の胴部により支持される条件を模擬するため、胴内径を有する剛体の円環としてモデル化する。

収納物は、代表燃料の断面寸法で燃料有効長を全長とする円柱の体積から算定した密度を有する円柱でモデル化する。

ロジメントチューブの外側に取付けられるアルミチューブは、安全側の取り扱いとするため、該当する質量を質量要素としてロジメントチューブ外面に付加する。

収納物を保持するロジメントチューブの配置を考慮して、落下方向として2ケース（180° 方向、270° 方向）を対象とする。これらの落下方向に対して、ロジメントチューブの配置は左右対称となるため、解析モデルは半円形状とする。

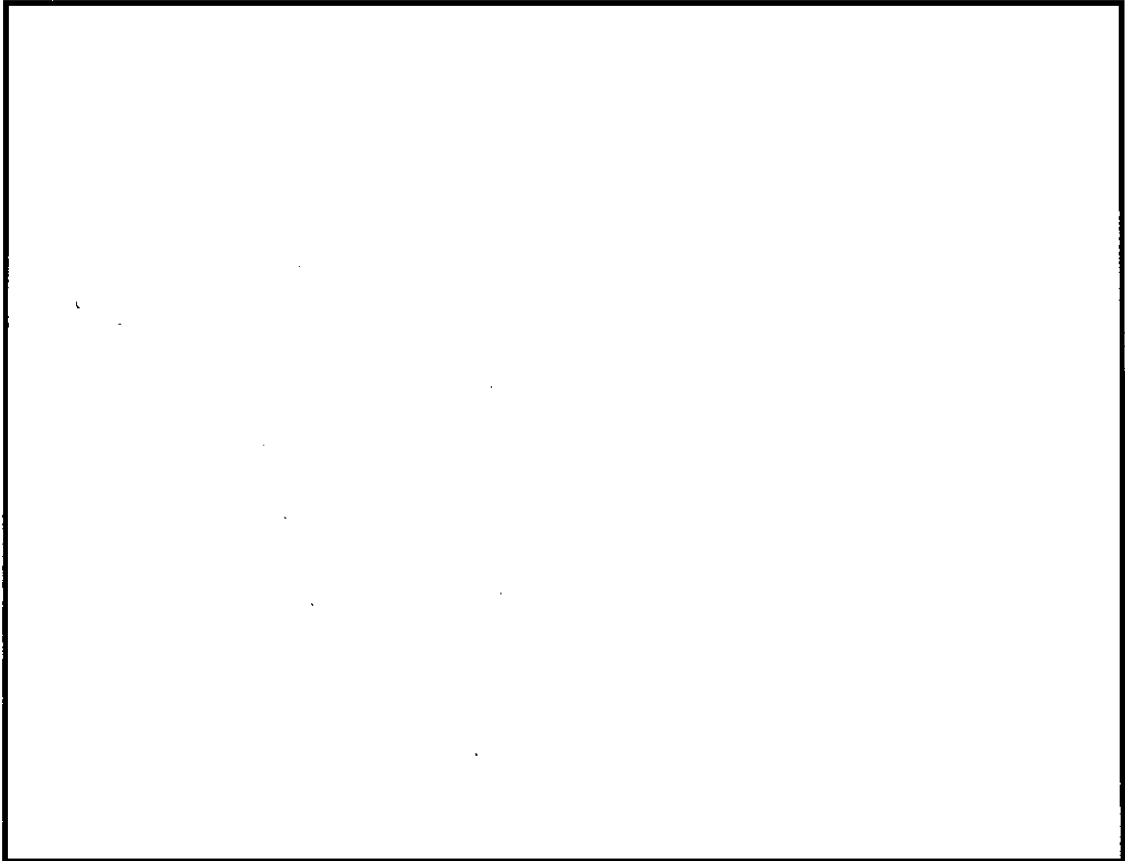
解析モデルに与える物性としては、発生する塑性歪を保守的に算定するために、公称応力と伸びに基づく応力-歪関係（(ロ)-第 A. 9 図参照）を採用する。

解析モデルの要素分割図を(ロ)-第 A. 13 図に示す。

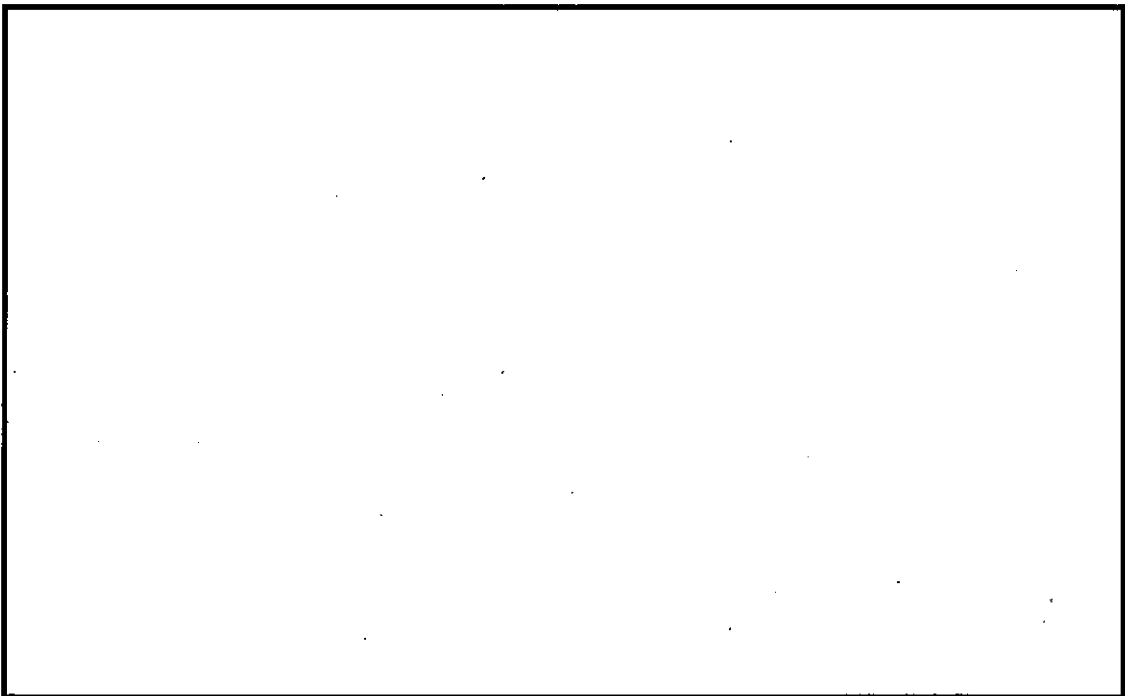
b. 荷重条件及び境界条件

解析モデルに自由落下時の衝突速度（2.43m/s）を与え、バスケットを支持する本体の胴部には(ロ)-第 A. 14 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、容器本体の水平落下における胴部中央部内面から抽出した。

スライス形状のバスケットの両端面には対称条件を与える。



(ロ)-第 A. 13 図 要素分割図 (自由落下/バスケット)



(ロ)-第 A. 14 図 容器本体の速度時刻歴 (0.3m 水平落下)

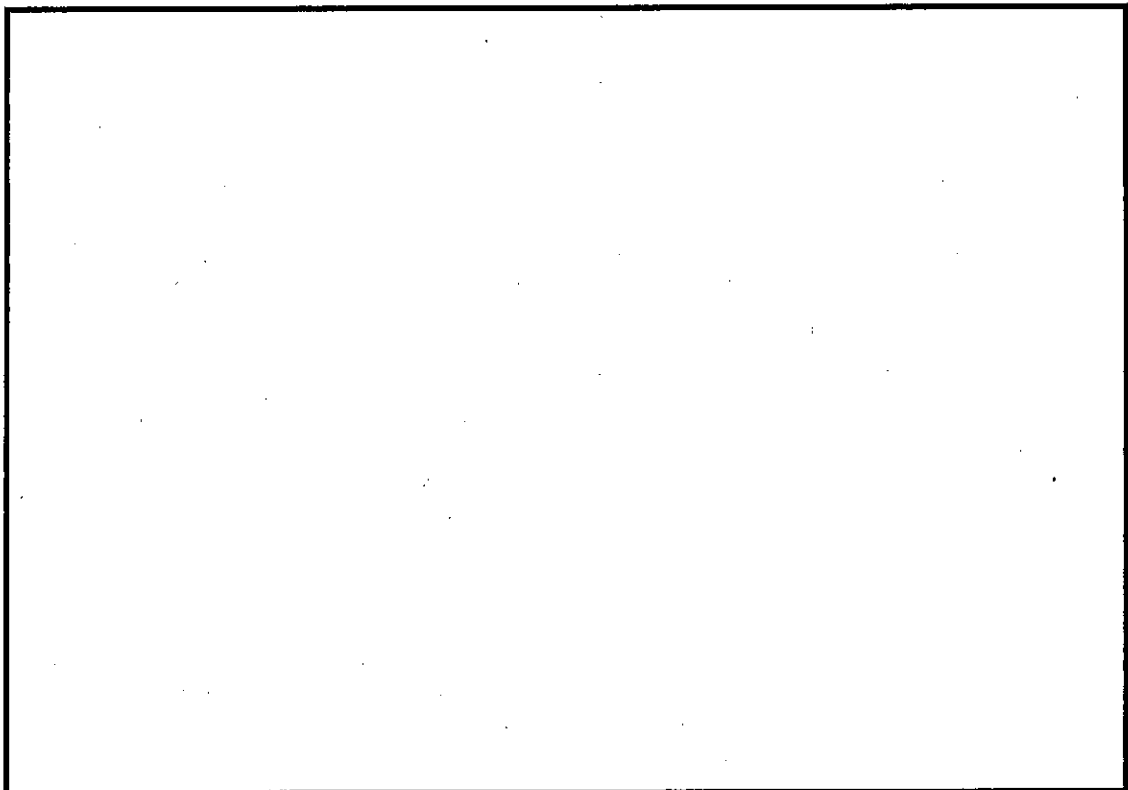
c. 解析結果

各落下方向について、塑性歪が発生したバスケットの各部品の相当塑性歪分布図を(ロ)-第 A. 15 図及び(ロ)-第 A. 16 図に示す。

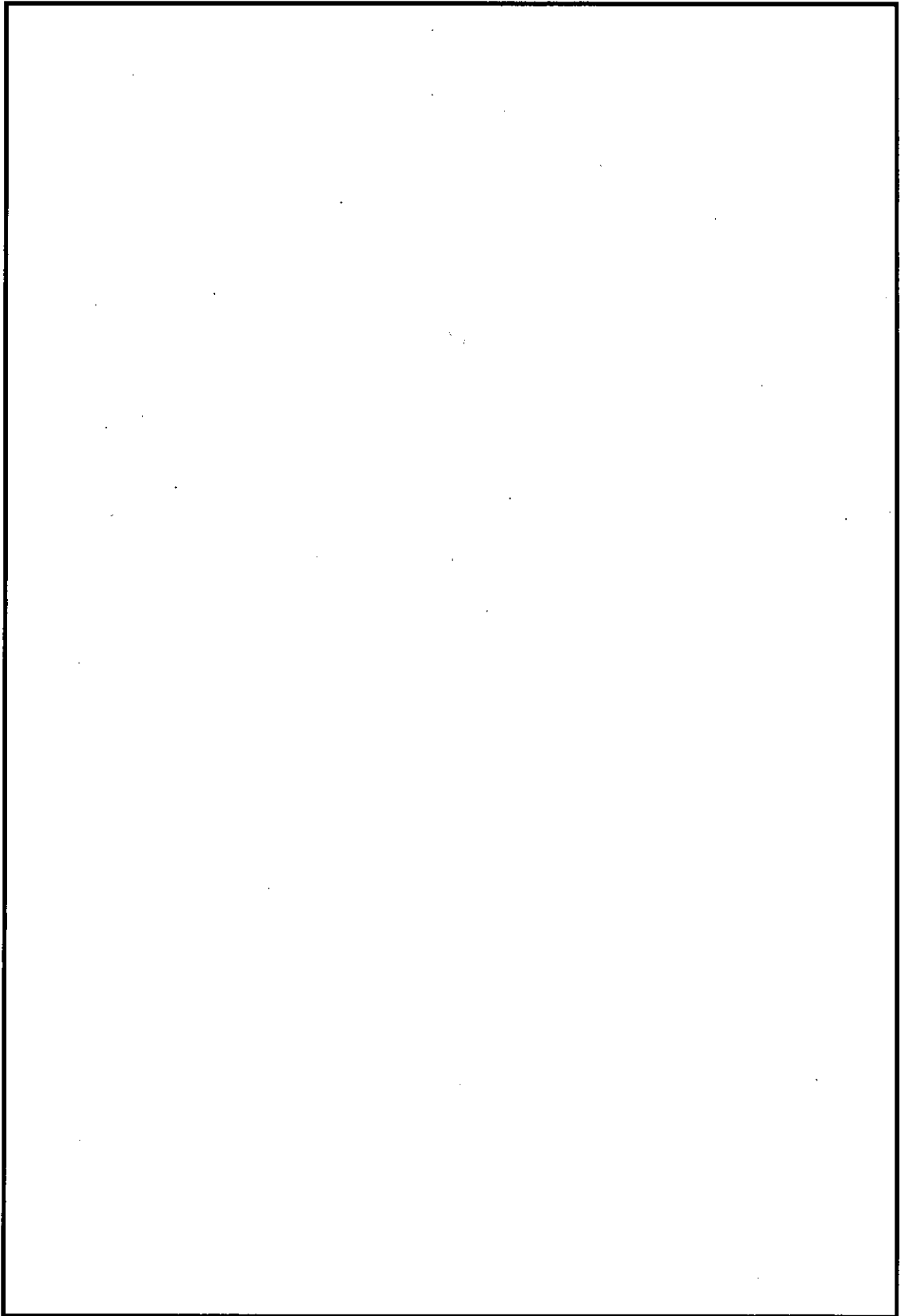
ロジメントチューブには、180° 方向落下において最大 % の塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸び () に比べて小さく破断には至らない。

燃料を支持するサポートプレートには、270° 方向落下において % 以下の局所的な塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸び () に比べて小さく破断には至らず、また、形状は維持される。

各落下方向に関する解析結果を(ロ)-第 A. 11 表にまとめる。同表に示されるように、いずれの落下方向においても塑性歪は材料の最小破断伸びに比べて小さく破断には至らない。ロジメントチューブには変形が生じる可能性はあるが、燃料を支持するサポートプレートは形状を維持することから、他の解析で考慮を要するような形状変化は生じることはなく、自由落下においてバスケットの構造健全性は維持される。



(ロ)-第 A. 15 図 0.3m 水平落下 (180° 方向) /バスケットの解析結果 (相当塑性歪分布図)



(ロ)-第 A. 16 図 0.3m 水平落下 (270° 方向) /バスケットの解析結果 (相当塑性歪分布図)

(ロ)-第A.11表 自由落下におけるバスケットの解析結果のまとめ

落下方向	部品	最大相当塑性歪 (%)	評価
180°	ロジメントチューブ		塑性歪は材料の最小破断伸び (□%) に比べて小さく破断には至らない。 サポートプレートの形状が維持されるため、他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。
	サポートプレート		他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。
270°	ロジメントチューブ		塑性歪は材料の最小破断伸び (□%) に比べて小さく破断には至らない。 サポートプレートの形状が維持されるため、他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。
	サポートプレート		塑性歪は材料の最小破断伸び (□%) に比べて小さくかつ局所的であり、他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。

(3) 燃料被覆管

落下時において、輸送容器に収納された燃料集合体には衝撃時の慣性力が作用する。

ここでは、燃料ペレットを封入している燃料被覆管にこの衝撃時の慣性力が直接作用するものとして、燃料被覆管に発生する塑性歪を求め、破断が生じないことを以下に示す。

落下姿勢としては、燃料被覆管に負荷される軸荷重及び曲げ荷重に相当する慣性力がそれぞれ最大となる垂直落下及び水平落下を対象とする。

輸送容器に収納する燃料集合体は、(イ)-第 D.1 表に示す 5 種類が予定されているが、本評価では燃料被覆管の機械的強度が最も低い、タイプ 1 (あるいはタイプ 2) の未照射の燃料被覆管を対象とする。

評価に用いる燃料集合体の諸元及び燃料被覆管の物性を(ロ)-第 A.12 表及び(ロ)-第 A.13 表に示す。なお、内部気体圧力については、照射燃料の圧力を包含する値を設定している。

(ロ)-第 A.12 表 燃料集合体の諸元

項目	評価に用いる値
燃料集合体質量	230 kg
燃料棒本数	28 本
燃料ペレット質量 (集合体当たり)	<input type="text"/> kg
燃料有効長	3700 mm
燃料被覆管外径	<input type="text"/> mm
燃料被覆管内径	<input type="text"/> mm
スペーサー間隔	<input type="text"/> mm
内部気体最大圧力 (20℃)	<input type="text"/> MPa 絶対圧

(ロ)-第 A.13 表 燃料被覆管の物性

項目	評価に用いる値
密度	<input type="text"/> kg/m ³ ¹⁰⁾
縦弾性係数 (200℃)	<input type="text"/> MPa ¹⁰⁾
降伏応力 (200℃)	<input type="text"/> MPa ¹¹⁾
引張強さ (200℃)	<input type="text"/> MPa ¹¹⁾
ポアソン比 (200℃)	<input type="text"/> ¹⁰⁾
最小破断伸び (200℃)	<input type="text"/> % ¹¹⁾

a. 解析モデル

燃料棒はスペーサーによりほぼ等しい間隔に支持されていることから、スペーサー一間隔の長さの燃料被覆管をモデル化する。

解析モデルに与える物性としては、発生する塑性歪を保守的に算定するために、公称応力と伸びに基づく応力-歪関係（(ロ)-第 A. 9 図参照）を採用する。

解析モデルの要素分割図を(ロ)-第 A. 17 図に示す。

b. 荷重条件及び境界条件

(a) 垂直落下

垂直落下では、容器本体内面に接する燃料被覆管の下端が、容器本体と同じ落下時の速度変化を受けるものと仮定する。

解析モデルに自由落下時の衝突速度 (2.43m/s) を与え、その下端には(ロ)-第 A. 18 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、容器本体の垂直落下のうち燃料被覆管への衝撃が大きくなる後部垂直落下の底板から抽出した。

垂直落下では、ペレットの慣性力はペレット自身により受け持たれるが、安全側に燃料集合体質量を燃料棒本数で除した質量を解析モデルの上端に付加する。

また、被覆管内面には、内部気体の圧力が負荷される。安全側に収納される燃料集合体の最大値である \square MPa 絶対圧 (20°C) を参照すると、200°C における内圧 P は以下のように求められる。なお、容器の内圧は無視する。

$$P = \square \times \frac{273.15 + 200}{273.15 + 20} = \square \text{ MPa}$$

この値を切り上げて、解析モデルの内面には \square MPa の圧力を作用させる。

境界条件として、解析モデルの両端には対称条件を与える。

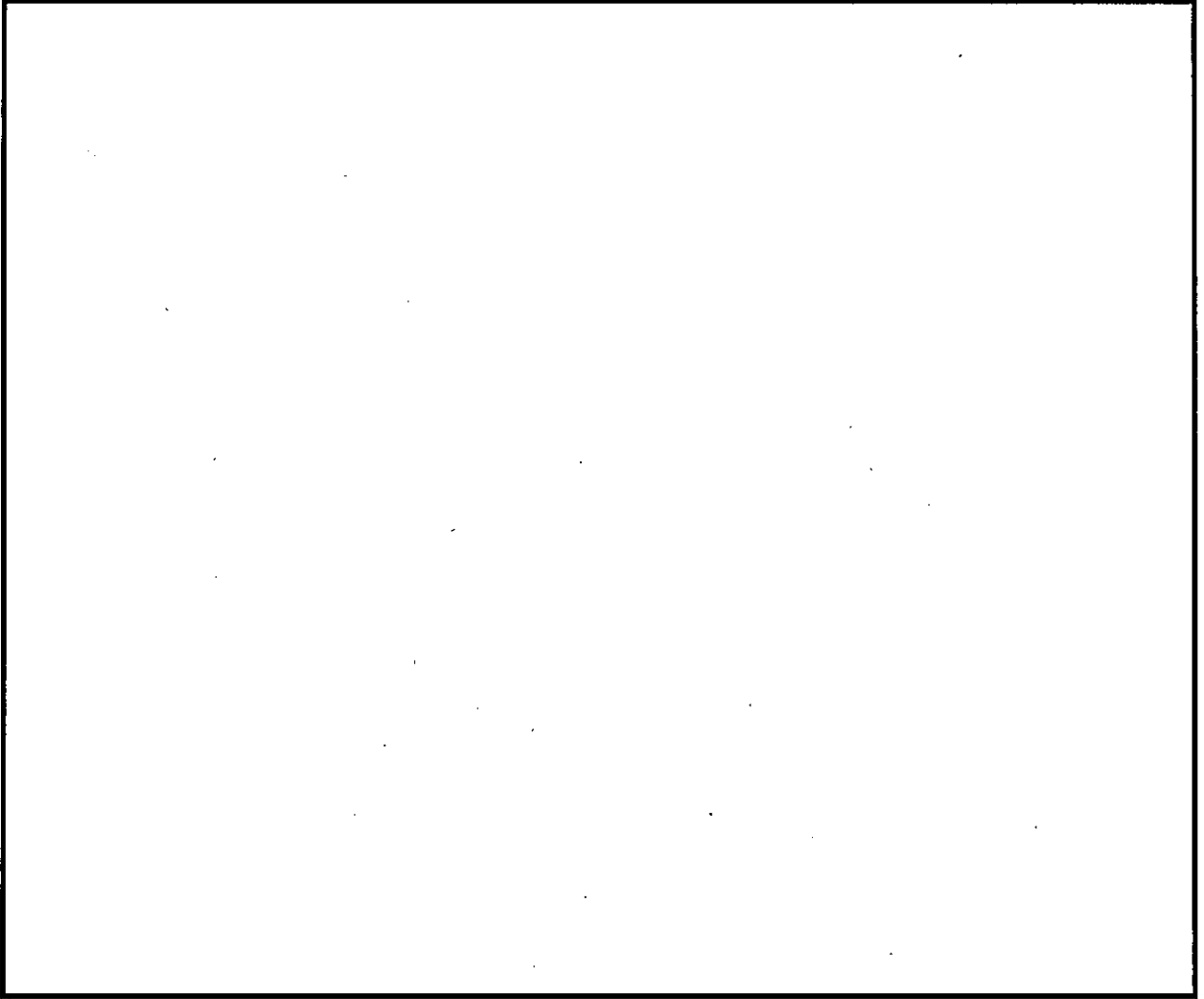
(b) 水平落下

水平落下では、ロジメントチューブ内面に接する燃料集合体のスペーサー部分が、バスケットと同じ落下時の速度変化を受けるものと仮定する。

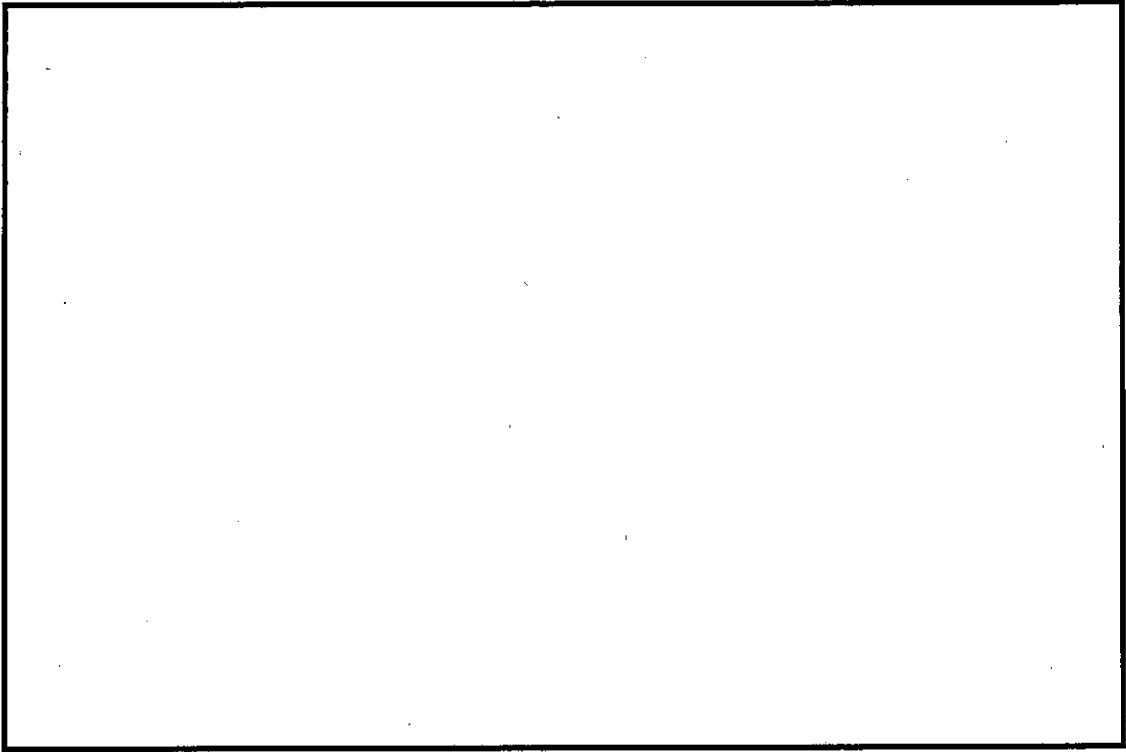
解析モデルに自由落下時の衝突速度 (2.43m/s) を与え、その両端には(ロ)-第 A. 19 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、バスケットの水平落下のうちバスケットへの衝撃が大きくなる 180° 方向落下時の燃料を支持するサポートプレートから抽出した。

水平落下では、ペレットの慣性力は全て燃料被覆管に受け持たれるため、ペレットの質量を燃料被覆管の内面に一様に付加する。また、解析モデルの内面には \square MPa の圧力を作用させる。

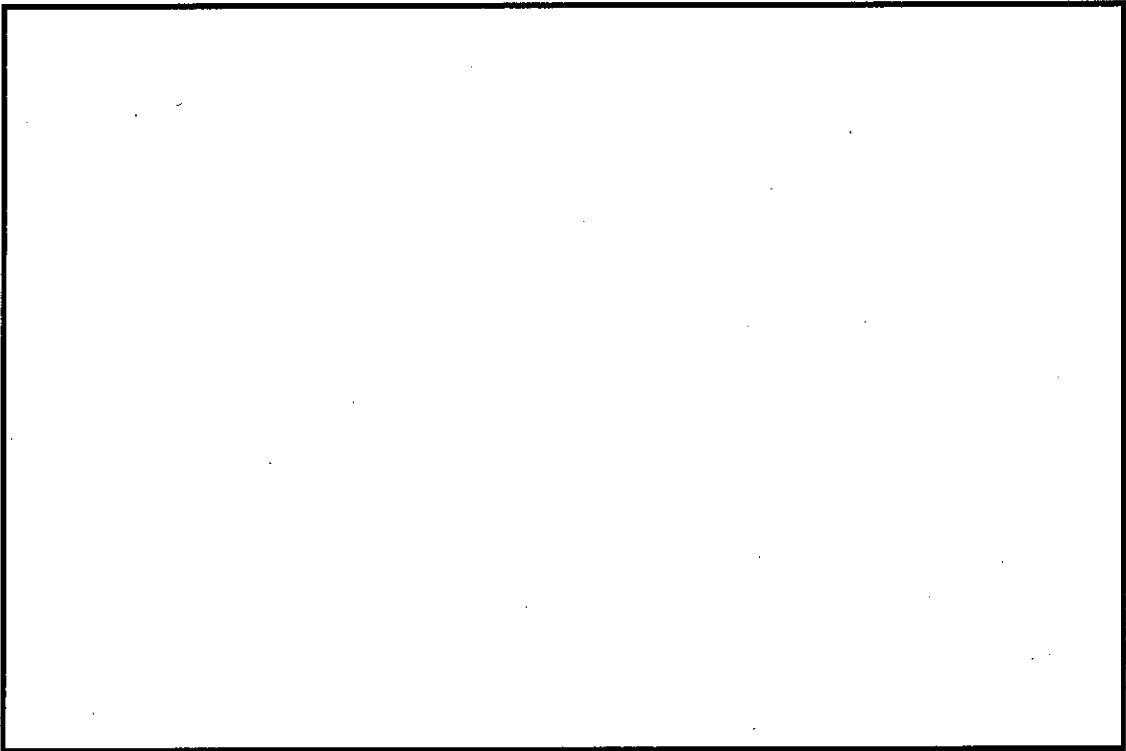
境界条件として、解析モデルの両端には対称条件を与える。



(口)-第 A. 17 図 要素分割図 (自由落下/燃料被覆管)



(ロ)-第 A. 18 図 容器本体の速度時刻歴 (0.3m 後部垂直落下)



(ロ)-第 A. 19 図 バスケットの速度時刻歴 (0.3m 水平落下)

c. 解析結果

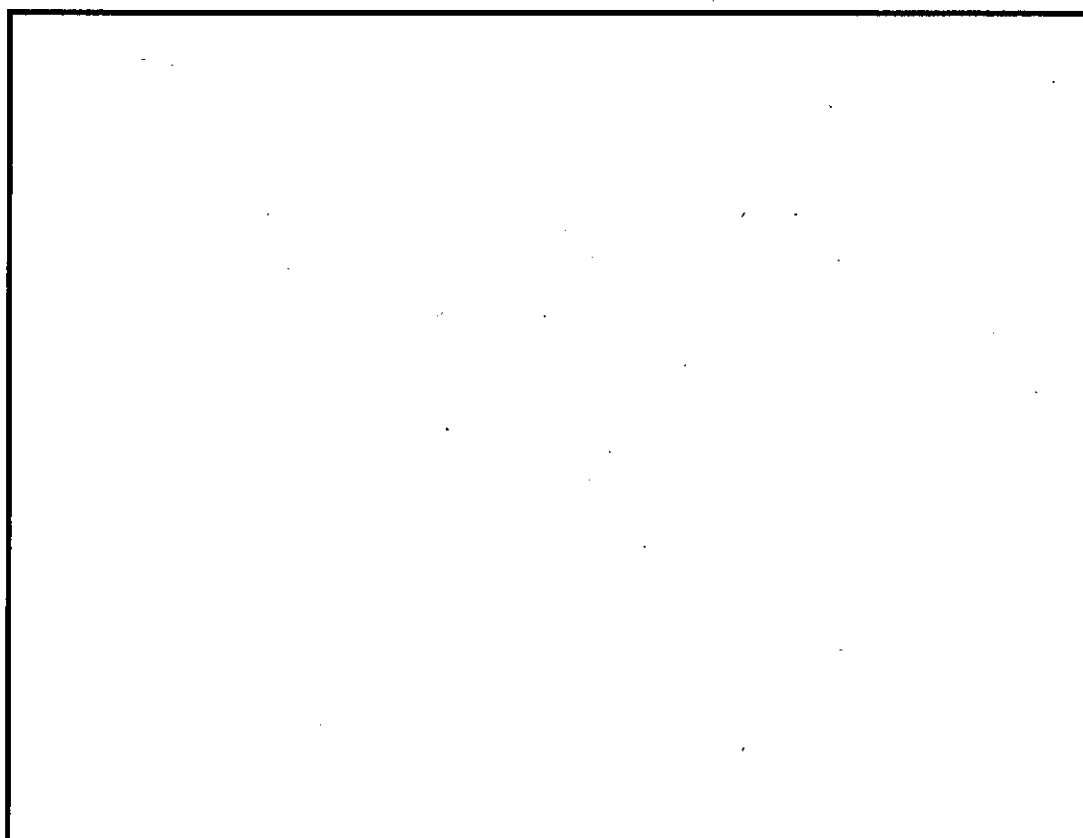
垂直及び水平落下における解析結果を(ロ)-第 A. 14 表に示す。

垂直落下では、塑性歪の発生はない。一方、水平落下では、(ロ)-第 A. 20 図に示すように両端部近傍に最大 % の塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸び () に比べて小さい。

したがって、自由落下において、燃料被覆管が破断することはない。

(ロ)-第 A. 14 表 自由落下における燃料被覆管の解析結果のまとめ

条件	最大相当塑性歪 (%)	評価
0.3m 垂直落下		塑性歪は発生しない。
0.3m 水平落下		塑性歪は材料の最小破断伸び (<input type="text"/>) に比べて小さく破断には至らない。



(ロ)-第 A. 20 図 0.3m 水平落下/燃料被覆管の解析結果 (相当塑性歪分布図)

A. 5. 4 積み重ね試験

本試験の条件として、輸送物重量の 5 倍に相当する荷重と、輸送容器の投影面積に 13 kPa を乗じた値の大きい方を輸送容器に負荷することから、本輸送容器については、輸送物重量の 5 倍に相当する荷重が負荷された時の本体胴部の強度を評価する。

(1) 縦置き

本体の上端面に輸送物重量の 5 倍に相当する荷重を負荷した時に、本体下部に発生する圧縮応力を求める。本体の圧縮応力は後部胴薄肉部で最大となり、自重を考慮して、次式で求められる。

$$\sigma_s = \frac{(5+1) \times M \times g}{\frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)}$$

ここで、M : 輸送物質量 [78400 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

D_o : 胴外径 [mm]

D_i : 胴内径 [mm]

したがって、

$$\sigma_s = \text{ MPa}$$

となり、これに対する評価基準 (S_y) は MPa (120°C) である。

よって、縦置き状態における積み重ね試験により本体胴部の構造健全性が損なわれることはない。

(2) 横置き

横置きの場合の解析モデルとしては、一様な荷重 (単位長さ当たり : q) を受け、両端で単純支持された長さ L (mm) の梁を考える。

単位長さ当たりの荷重 (q) は、自重も考慮して、次式で求められる。

$$q = \frac{(5+1) \times M \times g}{L}$$

ここで、M : 輸送物質量 [78400 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

L : 容器本体の全長 [mm]

この場合、梁に発生する最大曲げモーメント (M_c) は、

$$M_c = q \times \frac{L^2}{8}$$

断面係数 (Zc) は、

$$Z_c = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$$

ここで、Do : 胴外径 [mm]

Di : 胴内径 [mm]

したがって、最大曲げ応力 (σc) は、

$$\sigma_c = \frac{M_c}{Z_c} = \text{ MPa}$$

となり、これに対する評価基準 (Sy) は MPa (120°C) である。

よって、横置き状態における積み重ね試験により本体胴部の構造健全性が損なわれることはない。

A.5.5 貫通

質量 6 kg、直径 3.2 cm の容易に破損しない棒が 1m の高さから輸送物の最も弱い部分に落下した場合の貫通の有無を評価する。

本試験は棒の落下が輸送物の密封性能に与える影響を評価するものであるが、輸送物の密封装置は前部衝撃吸収カバーに覆われており、前部衝撃吸収カバー外板は輸送物の外表面で最も薄い板厚 mm) であることから、安全側に衝撃吸収カバー外板を対象として、棒が貫通しないことを示す。

落下前の棒が持つポテンシャルエネルギー (Wp) は、次式で表される。

$$W_p = mgh$$

ここで、m : 棒の質量 [6 kg]

g : 重力加速度 [9.81 m/s²]

h : 落下高さ [1000 mm]

したがって、

$$W_p = 6 \times 9.81 \times 1000 = 5.89 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

一方、棒が板厚 mm の外板を貫通するために必要なエネルギー (W) は、次式で求められる ((口)-第 A.21 図参照)。

$$W = \int_0^t \tau_{cr} \pi d (t-y) dy = \tau_{cr} \pi d \times \frac{1}{2} \times t^2$$

ここで、 τ_{cr} : 外板のせん断強さ

$$\tau_{cr} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times S_u = \boxed{} \text{ MPa (100°C 注)}$$

(S_u : 引張強さ)

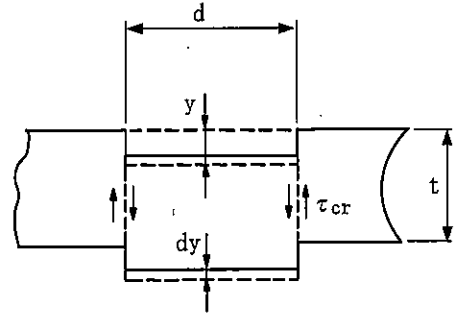
d : 棒の直径 [32 mm]

t : 外板の板厚 [$\boxed{} \text{ mm}$]

したがって、

$$W = \tau_{cr} \pi d \times \frac{1}{2} \times t^2$$

$$= \boxed{} \times \pi \times 32 \times \frac{1}{2} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$



(ロ)-第 A. 21 図 せん断モデル

棒が持つポテンシャルエネルギーと板厚 $\boxed{} \text{ mm}$ の衝撃吸収カバー外板を貫通するために必要なエネルギーを比較すると、

$$W_p (5.89 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{mm}) < W (\boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm})$$

となるため、棒の落下によって外板を貫通することはない。

よって、棒の落下により密封装置が影響を受けることはなく、輸送物の健全性が損なわれることはない。

注) (ロ)-第 B. 7 表に示す衝撃吸収カバー表面の最高温度に対して安全側に設定

A. 5.6 角又は縁落下

輸送物は、鋼製の円筒形で重量は78.4トンであり、角又は縁落下の対象には該当しない。

A. 5.7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件の試験後の状態を以下に要約する。

(1) 熱的試験

本体、一次蓋、リングフランジ、リングフランジ締付けボルト、二次蓋及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は、評価基準を下回っている。バスケットと容器本体の内面間には隙間が存在し、拘束による熱応力は生じない。

したがって、熱的試験において輸送容器の構造健全性及び密封性能は維持される。

(2) 水噴霧

輸送物の表面の水切りは極めてよい。

したがって、水噴霧により輸送物の健全性が損なわれることはない。

(3) 自由落下

容器本体については、水平落下において一次蓋と二次蓋に %以下の塑性歪、前部コーナー落下において二次蓋に %以下の塑性歪が発生しているが、いずれも材料の最小破断伸びに比べて小さくかつ局所的であることから、他の解析で考慮を要するような形状変化は生じない。

また、いずれの落下姿勢においてもリングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っている。

バスケットについては、水平落下において、ロジメントチューブに最大 %、サポートプレートに %以下の塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸びに比べて小さく破断が生じることはない。ロジメントチューブには変形が生じる可能性はあるが、燃料を支持するサポートプレートは形状を維持することから、他の解析で考慮を要するような形状変化は生じることなく構造健全性は維持される。

したがって、自由落下において輸送容器の構造健全性及び密封性能は維持される。

収納物である燃料集合体については、燃料被覆管を対象とした解析において、水平落下で最大 %の塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸びに比べて小さい。

したがって、自由落下において燃料被覆管に破断が生じることはない。

(4) 積み重ね試験

輸送物重量の 5 倍に相当する荷重を受けた時の本体胴部に発生する応力は、評価基準を下回っている。

したがって、積み重ね試験において本体胴部の構造健全性は維持される。

(5) 貫通

衝撃吸収カバー外板に 6 kg 棒を 1m 高さから落下させた場合でも貫通することはない。

したがって、棒の落下により密封性能に影響はなく、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

A.6.1 強度試験・落下試験 I (9m 落下時)

本試験は、輸送物が最大損傷を受けるよう平らな降伏しない落下試験台に9mの高さから落下させるものである。

ここでは、A.5.3 自由落下と同じく、輸送容器を実形状に従いモデル化して、9mの高さから落下する事象を LS-DYNA コードを用いて解析し、容器本体及びバスケットについて、発生する応力及び塑性歪を求め、他の解析で考慮を要する形状変化について評価する。また、燃料被覆管については、発生する塑性歪を求め、燃料被覆管が破断しないことを示す。

解析ケースとして、以下の各落下姿勢について解析を行う。

- ① 垂直落下 (前部及び後部)
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下 (前部及び後部)
- ④ 傾斜落下

傾斜落下については、蓋部への影響が厳しくなるように、後部が先に着床する傾斜を与え、傾斜角度については、蓋側が着床する時の本体前端部の速度が比較的大きくなる角度として \square° を選定した。

なお、バスケット及び燃料被覆管の水平方向の落下については、水平落下に比べて厳しい条件となる傾斜落下を用いる。

A. 6. 1. 1 垂直落下

(1) 容器本体

a. 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

b. 荷重条件及び境界条件

垂直の状態では剛体面に接した解析モデルに対し、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトには、A. 5. 1. 3 に示した初期締付けによる軸力 (N) を作用させる。続いて、9m 落下時の衝突速度 (13. 3m/s) 以上の初期速度として安全側に 13. 6m/s を与える。

c. 解析結果

(a) 前部垂直落下

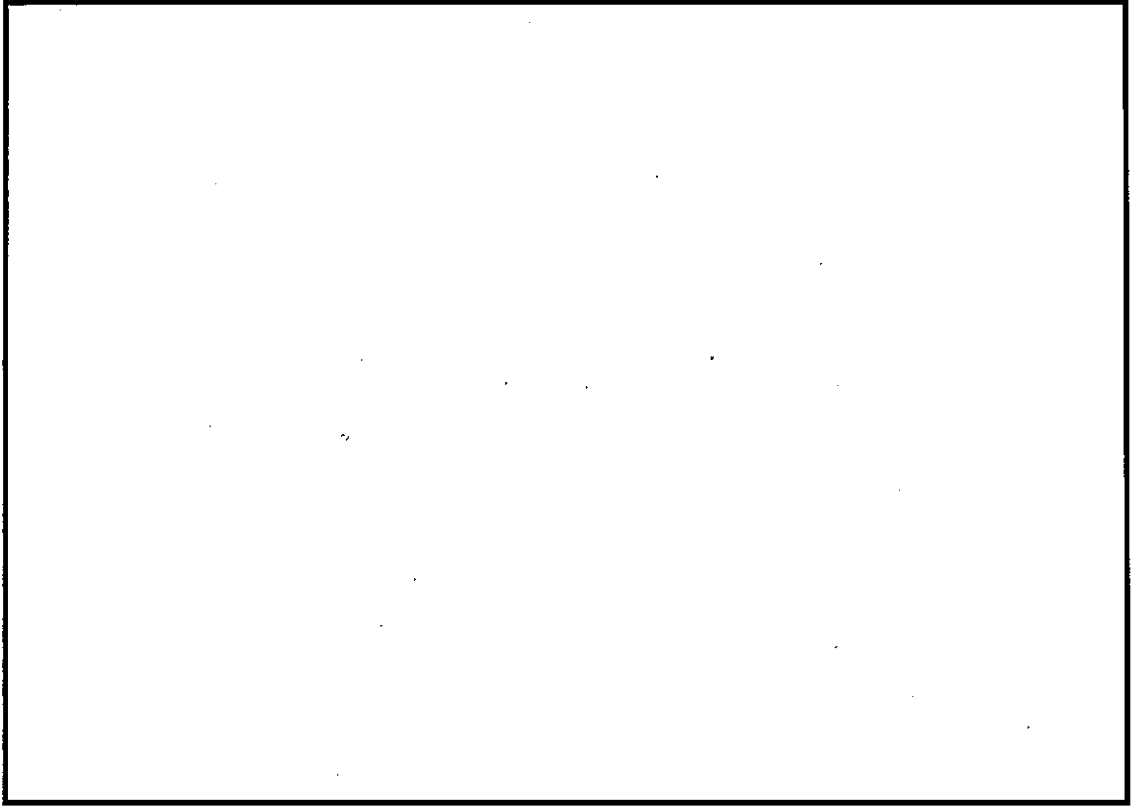
- ・ 前部衝撃吸収カバーの変形状態を (ロ)-第 A. 22 図 に示す。
- ・ 容器本体の密封境界構成部品のうち、一次蓋に最大 %、二次蓋に最大 % の局所的な塑性歪 (相当塑性歪分布図を (ロ)-第 A. 23 図 に示す。) が発生しているが、いずれも各部品の材料の最小破断伸び (一次蓋 : %、二次蓋 : %) に比べて小さく破断には至らない。
- ・ リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準 (MPa) を下回っており、密封性能は維持される。

したがって、前部垂直落下において容器本体の密封性能は維持され、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。

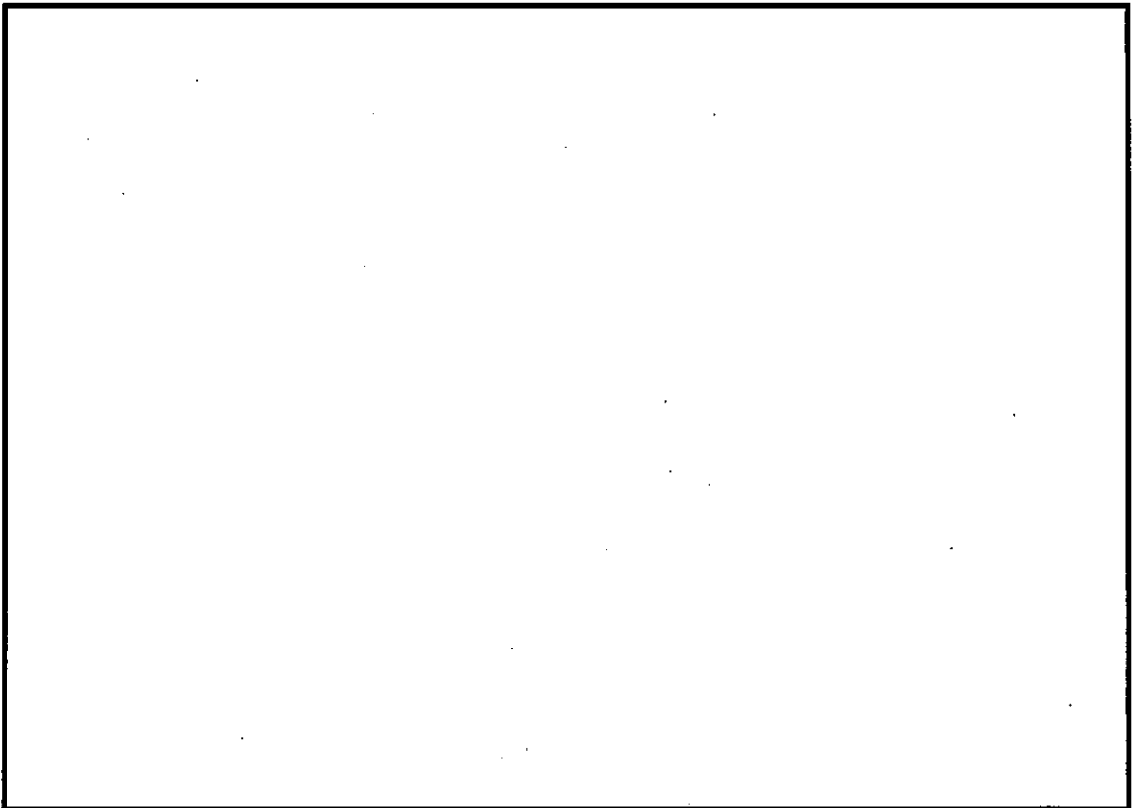
(b) 後部垂直落下

- ・ 後部衝撃吸収カバーの変形状態を (ロ)-第 A. 24 図 に示す。
- ・ 容器本体の密封境界構成部品には塑性歪の発生はない。
- ・ リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準 (MPa) を下回っており、密封性能は維持される。

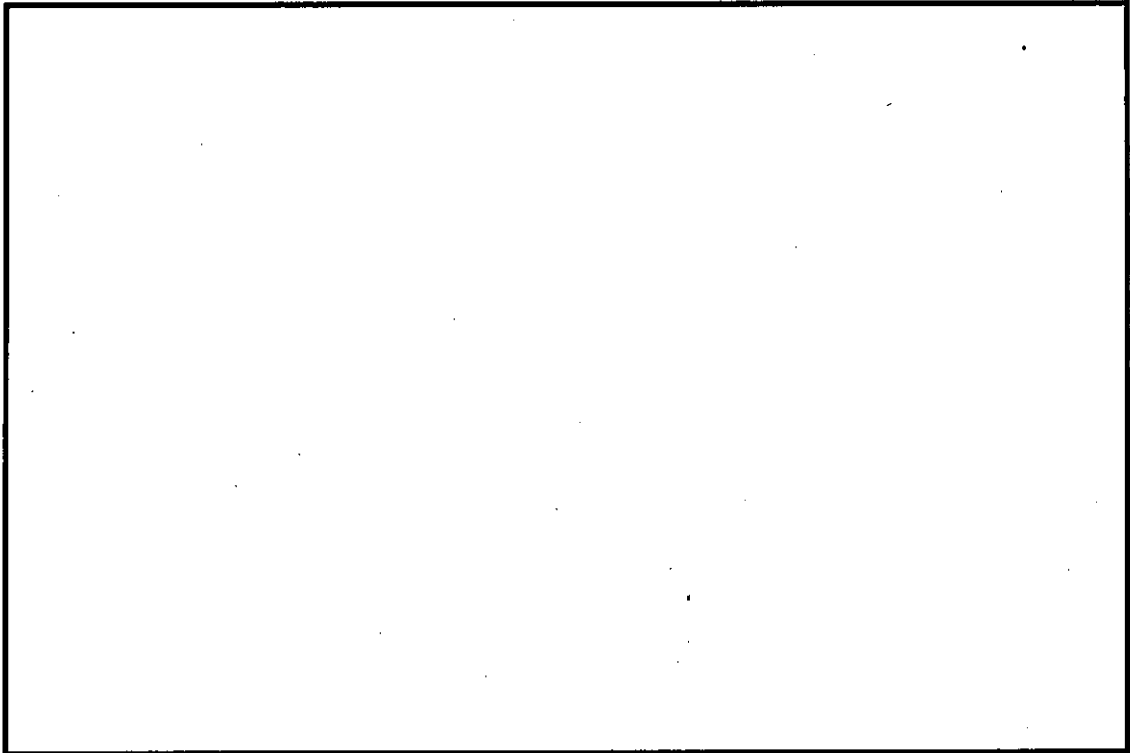
したがって、後部垂直落下において容器本体の密封性能は維持され、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。



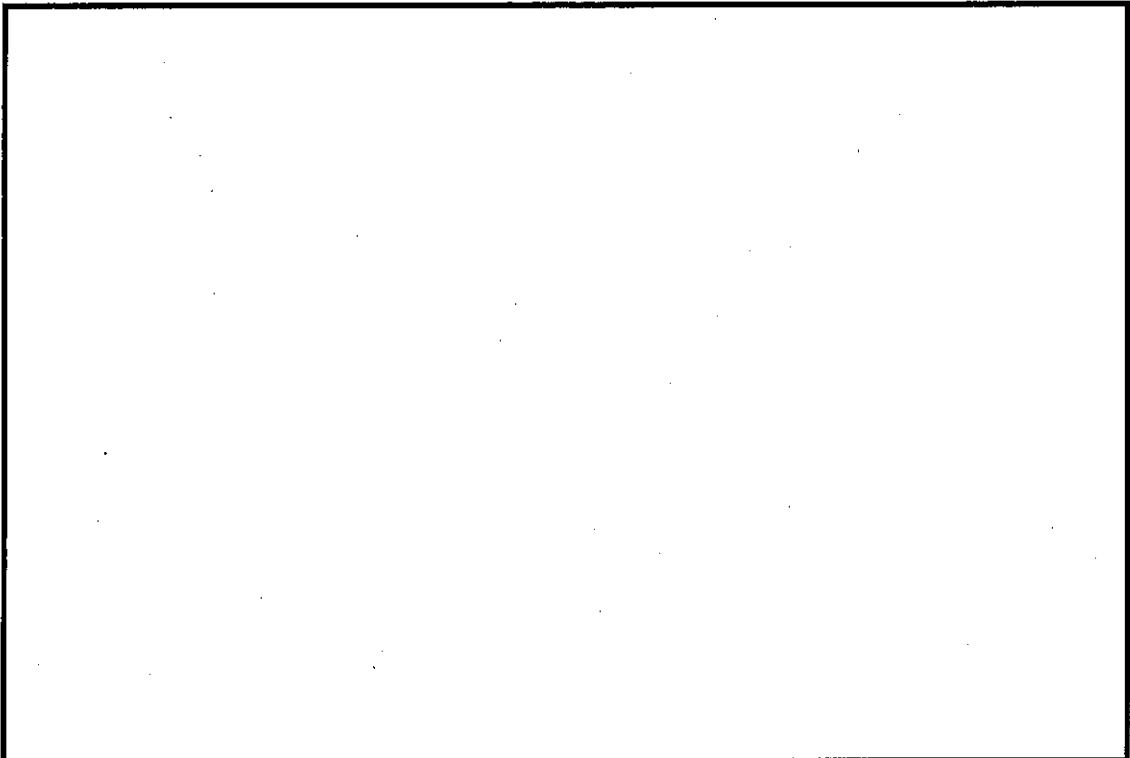
(口)-第 A. 22 図 9m 前部垂直落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(口)-第 A. 23 図 9m 前部垂直落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (1/2)



(口)-第 A. 23 図 9m 前部垂直落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (2/2)



(口)-第 A. 24 図 9m 後部垂直落下/容器本体の解析結果 (変形図)

(2) 燃料被覆管

a. 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

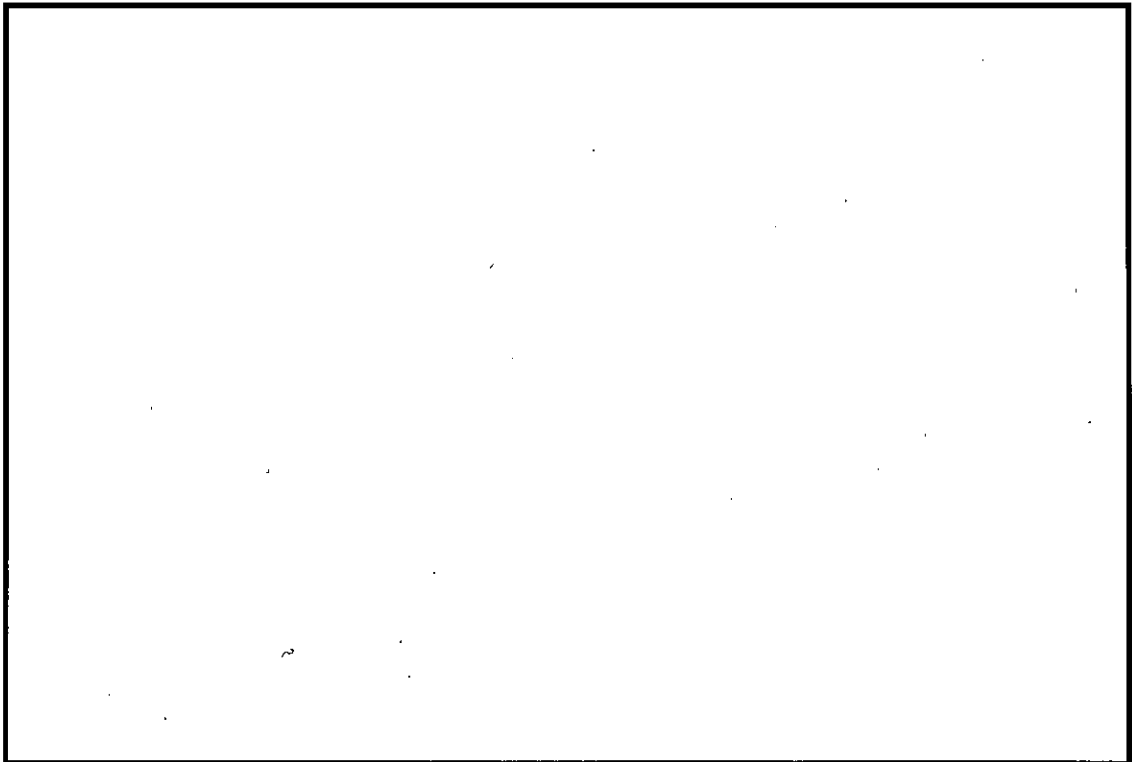
b. 荷重条件及び境界条件

解析モデルに容器本体の 9m 落下解析における初期速度と同じ速度を与え、その下端には(口)-第 A. 25 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、容器本体の垂直落下のうち燃料被覆管への衝撃が大きくなる後部垂直落下の底板から抽出した。

落下速度及び速度時刻歴を除く荷重条件及び境界条件は、A. 5. 3 に示したとおりである。

c. 解析結果

垂直落下では、塑性歪の発生はなく、燃料被覆管が破断することはない。



(口)-第 A. 25 図 容器本体の速度時刻歴 (9m 後部垂直落下)

A. 6. 1. 2 水平落下

(1) 容器本体

a. 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

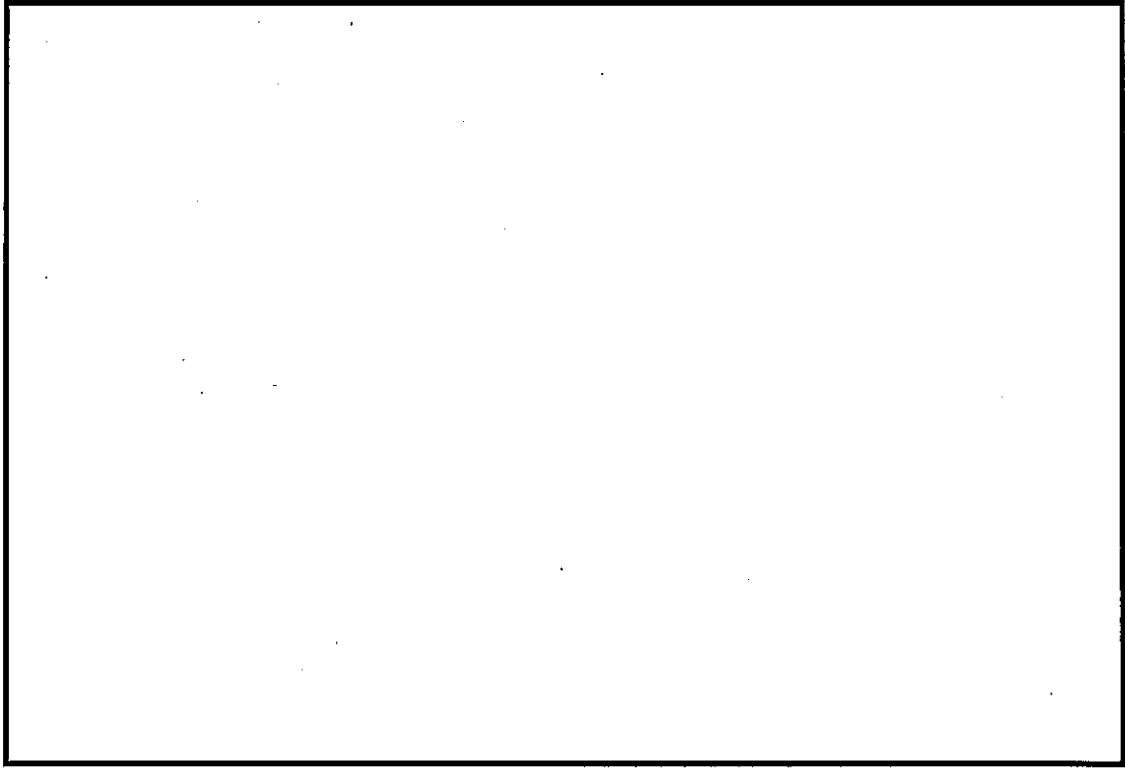
b. 荷重条件及び境界条件

水平の状態で剛体面に接した解析モデルに対し、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトには、A. 5. 1. 3 に示した初期締付けによる軸力 N) を作用させる。続いて、9m 落下時の衝突速度 (13. 3m/s) 以上の初期速度として安全側に 13. 6m/s を与える。

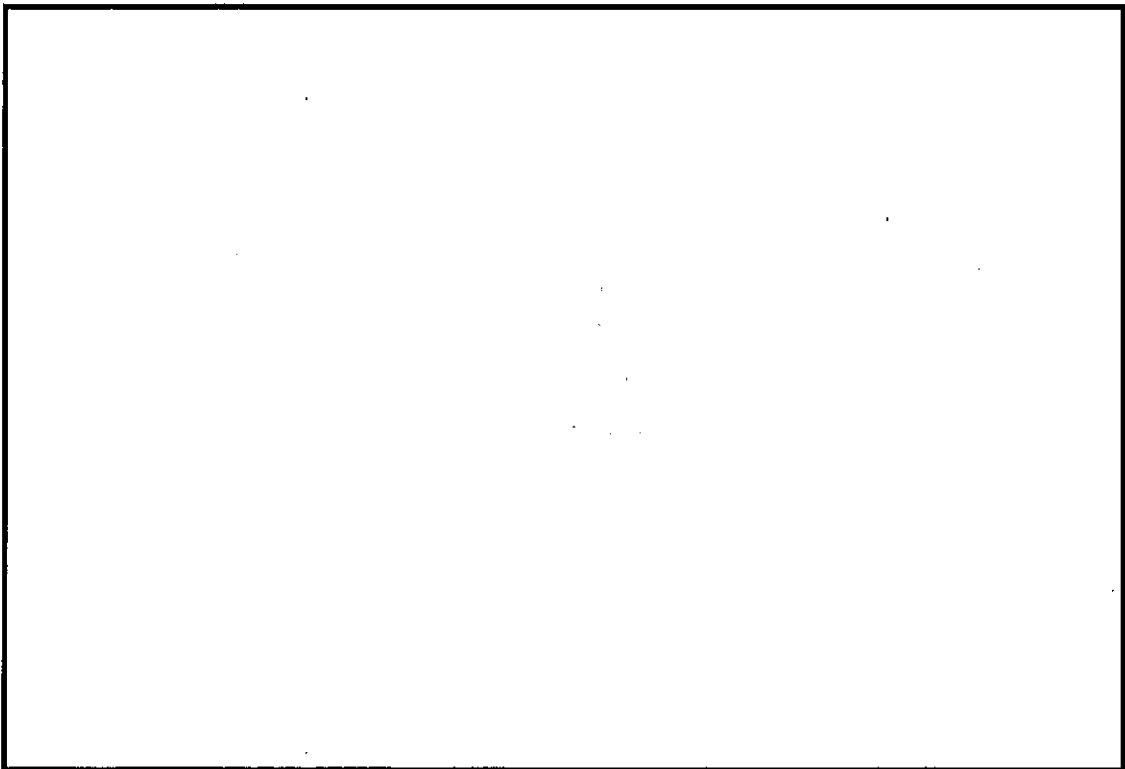
c. 解析結果

- ・ 衝撃吸収部品の変形状態を(ロ)-第 A. 26 図に示す。
- ・ 容器本体の密封境界構成部品のうち、本体に最大 %、一次蓋に最大 %、二次蓋に最大 %の局所的な塑性歪 (相当塑性歪分布図を(ロ)-第 A. 27 図に示す。) が発生しているが、いずれも各部品の材料の最小破断伸び (本体及び二次蓋 : %、一次蓋 : %) に比べて小さく破断には至らない。
- ・ リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準 MPa) を下回っており、密封性能は維持される。

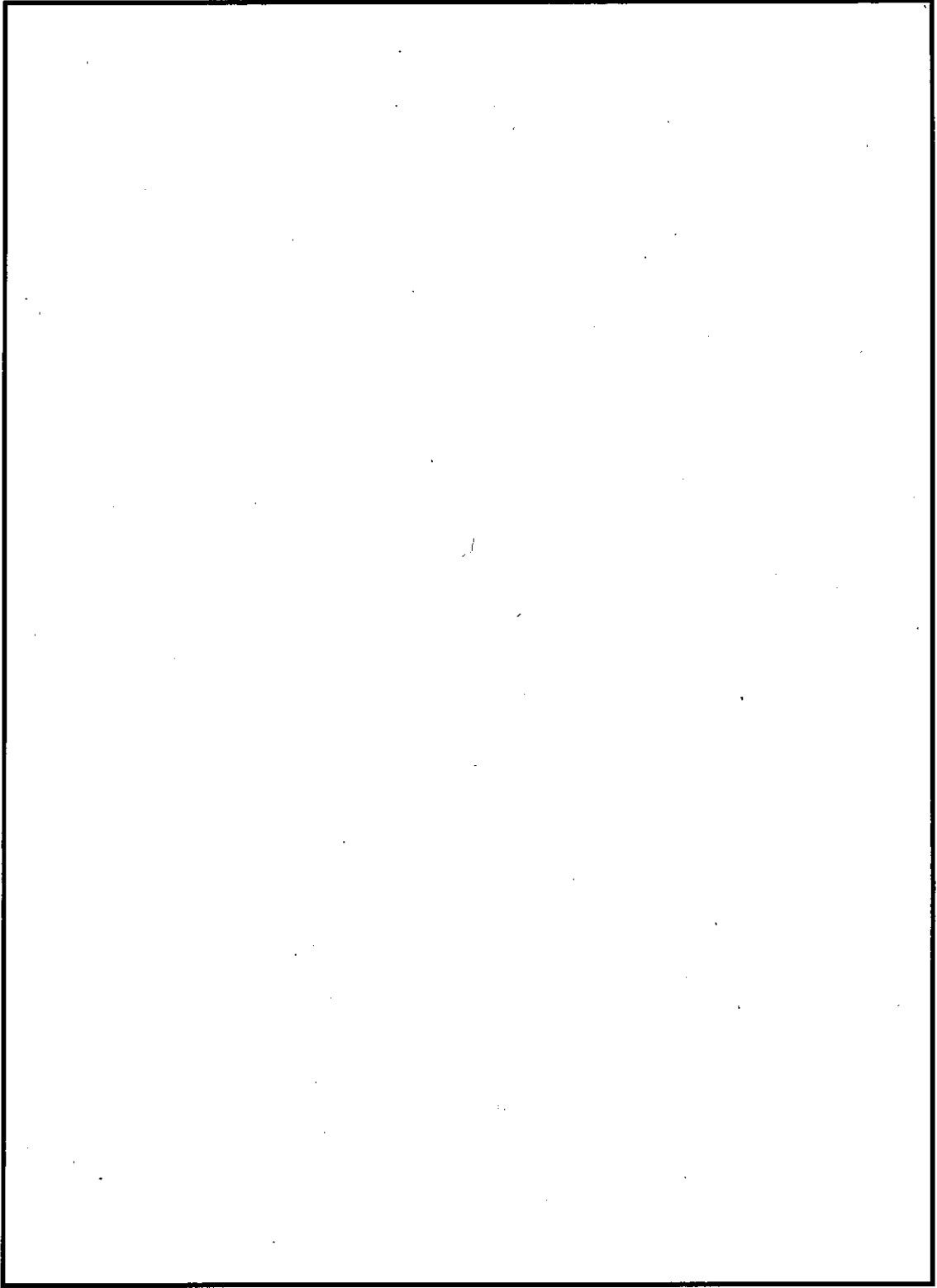
したがって、水平落下において容器本体の密封性能は維持され、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。



(口)-第 A. 26 図 9m 水平落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(口)-第 A. 27 図 9m 水平落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (1/2)



(口)-第 A. 27 図 9m 水平落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (2/2)

A.6.1.3 コーナー落下

(1) 容器本体

a. 解析モデル

解析モデルは、A.5.3の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

b. 荷重条件及び境界条件

衝撃吸収カバーのコーナーと輸送物の重心が鉛直線上に並ぶ状態で剛体面に接した解析モデルに対し、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトには、A.5.1.3に示した初期締付けによる軸力（N）を作用させる。続いて、9m落下時の衝突速度（13.3m/s）以上の初期速度として安全側に13.6m/sを与える。

c. 解析結果

(a) 前部コーナー落下

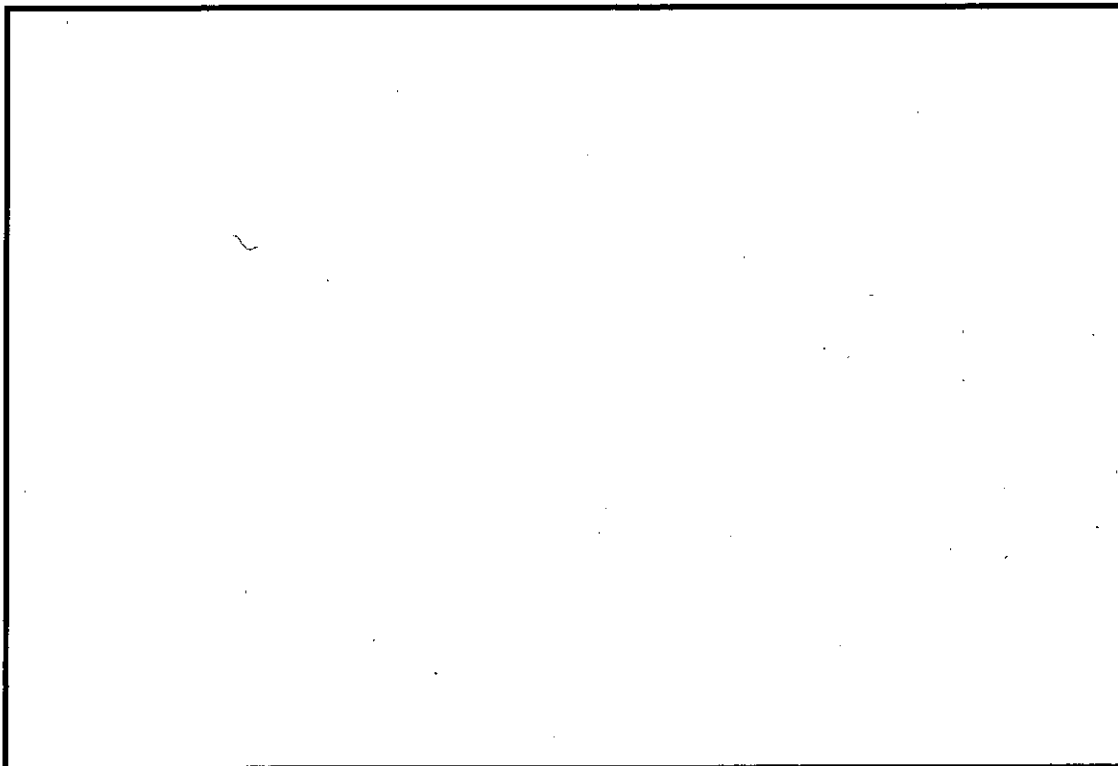
- ・ 前部衝撃吸収カバーの変形状態を(ロ)-第A.28図に示す。
- ・ 容器本体の密封境界構成部品のうち、本体に最大%、一次蓋に最大%、リングフランジに最大%、二次蓋に最大%の局所的な塑性歪（相当塑性歪分布図を(ロ)-第A.29図に示す。）が発生しているが、いずれも各部品の材料の最小破断伸び（本体及び二次蓋：%、一次蓋：%、リングフランジ：%）に比べて小さく破断には至らない。
- ・ リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準（MPa）を下回っており、密封性能は維持される。

したがって、前部コーナー落下において容器本体の密封性能は維持され、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。

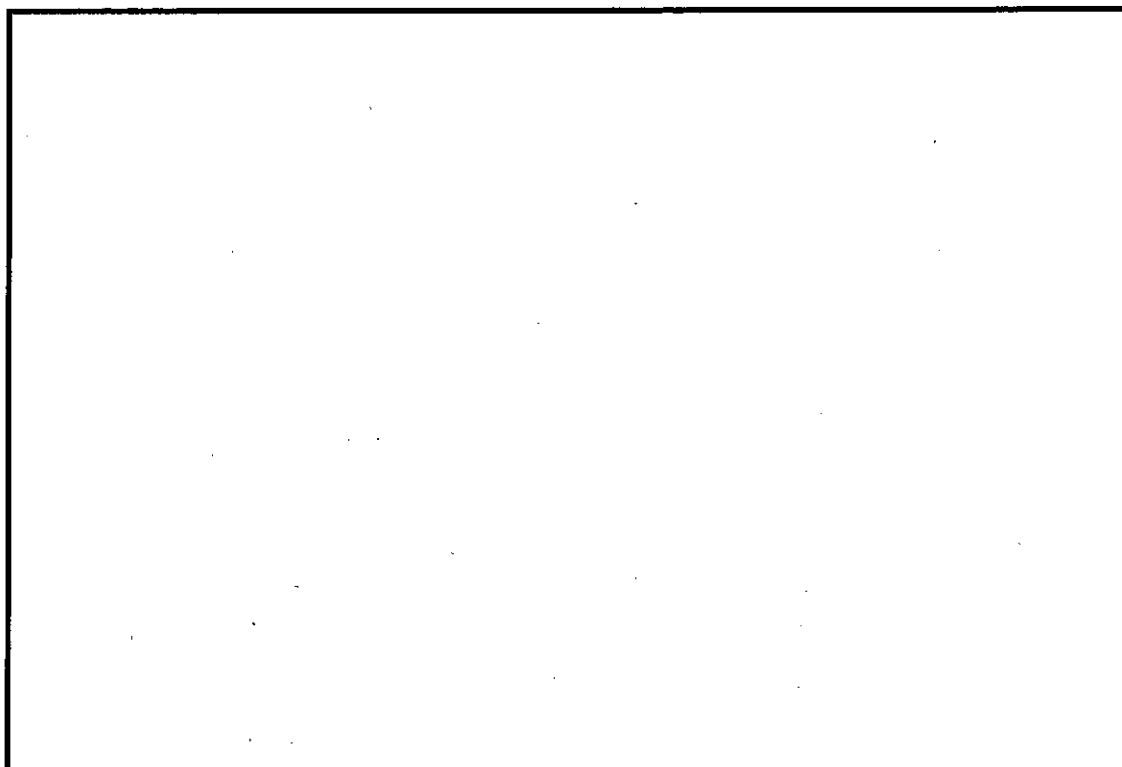
(b) 後部コーナー落下

- ・ 後部衝撃吸収カバーの変形状態を(ロ)-第A.30図に示す。
- ・ 容器本体の密封境界構成部品のうち、本体に最大%の局所的な塑性歪（相当塑性歪分布図を(ロ)-第A.31図に示す。）が発生しているが、材料の最小破断伸び（%）に比べて小さく破断には至らない。
- ・ リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準（MPa）を下回っており、密封性能は維持される。

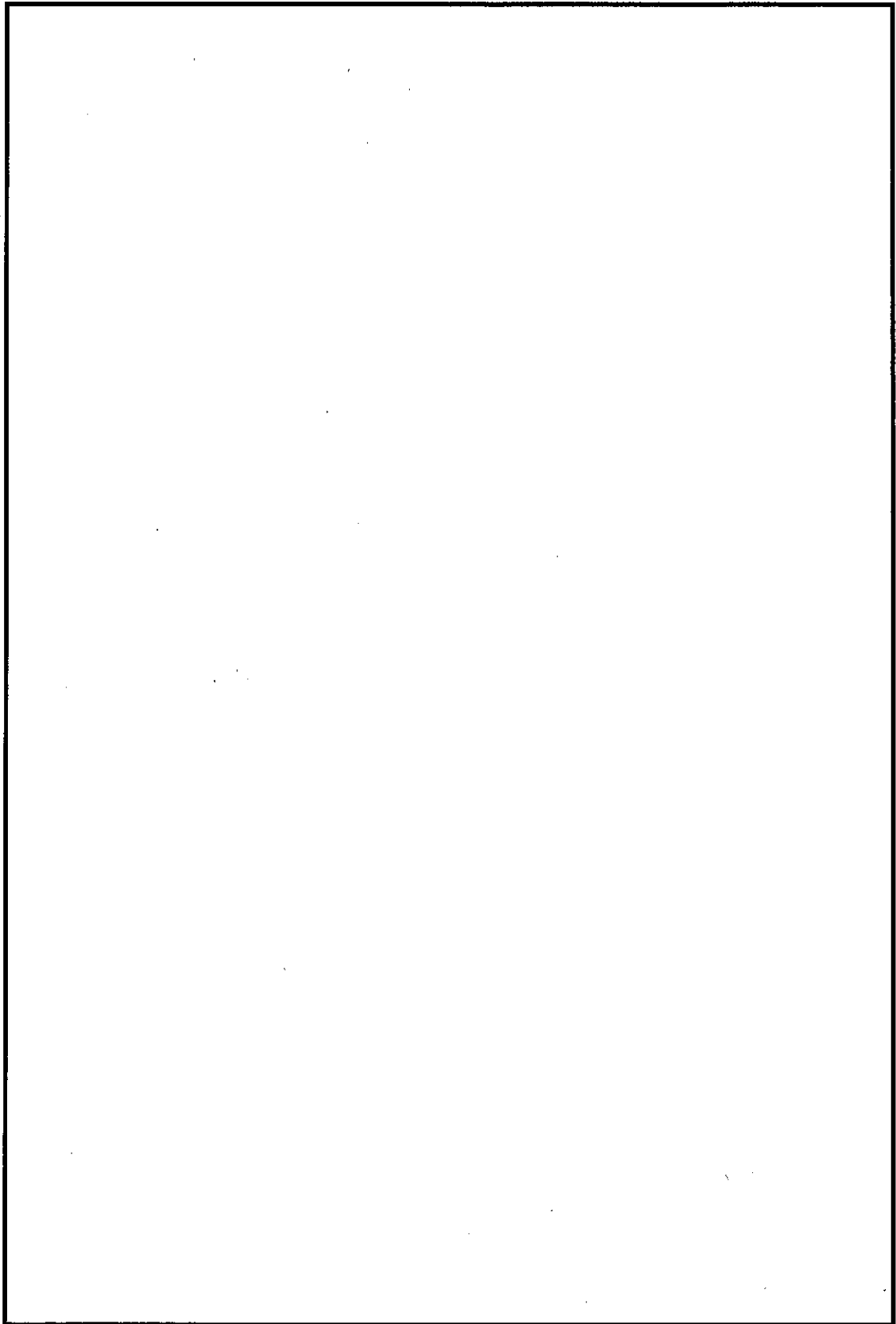
したがって、後部コーナー落下において容器本体の密封性能は維持され、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。



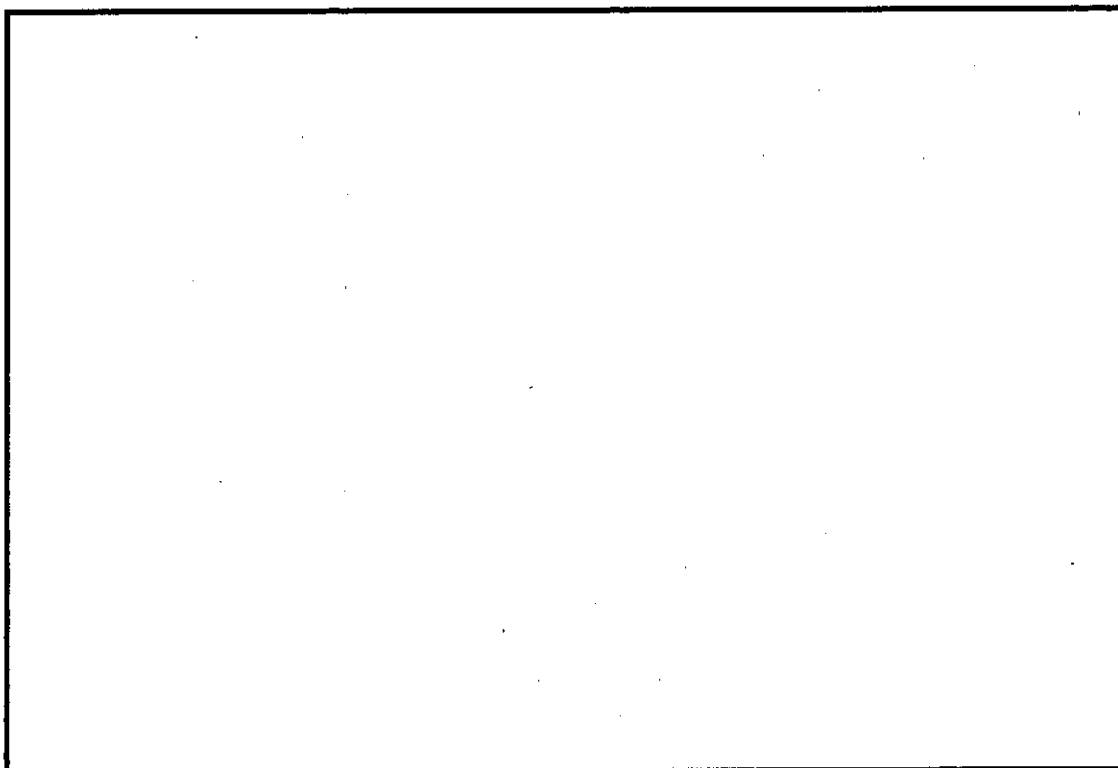
(口)-第 A. 28 図 9m 前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (変形図)



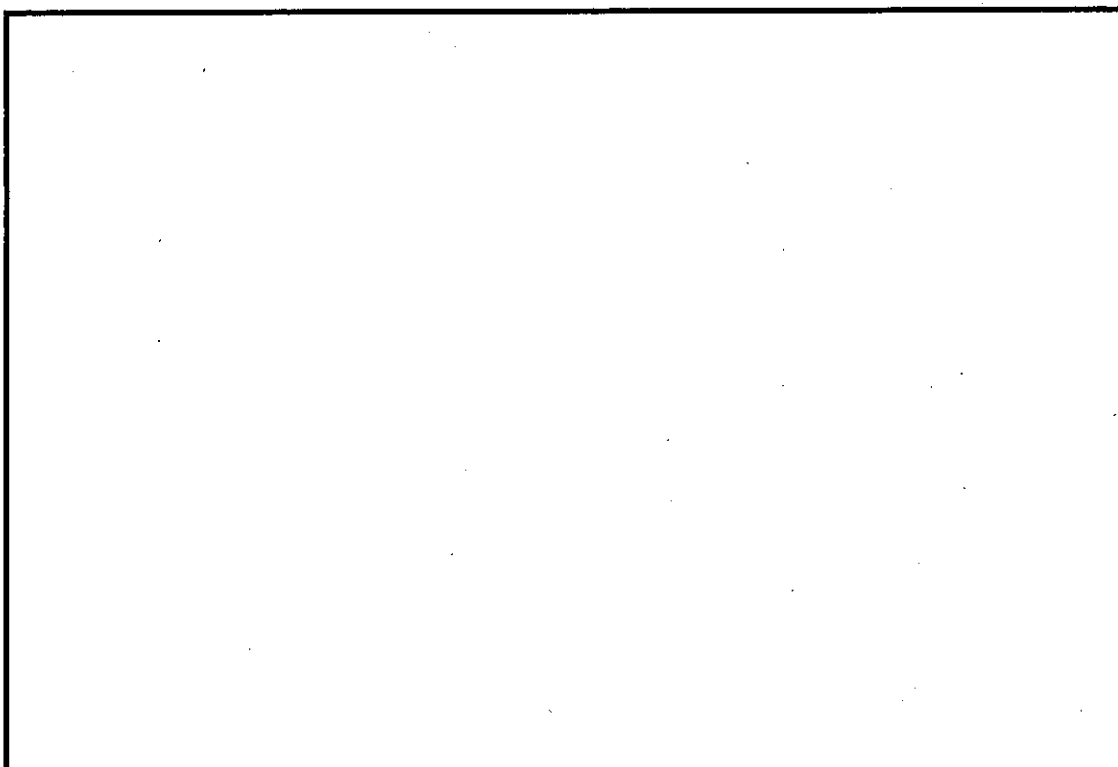
(口)-第 A. 29 図 9m 前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (1/2)



(口)-第 A. 29 図 9m 前部コーナー落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (2/2)



(口)-第 A. 30 図 9m 後部コーナー落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(口)-第 A. 31 図 9m 後部コーナー落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図)

A. 6. 1. 4 傾斜落下

(1) 容器本体

a. 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

b. 荷重条件及び境界条件

水平から \square° の傾斜角度で剛体面に接した解析モデルに対し、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトには、A. 5. 1. 3 に示した初期締付けによる軸力 (\square N) を作用させる。続いて、9m 落下時の衝突速度 (13. 3m/s) 以上の初期速度として安全側に 13. 6m/s を与える。

c. 解析結果

- ・ 衝撃吸収部品の変形状態を(ロ)-第 A. 32 図に示す。
- ・ 容器本体の密封境界構成部品のうち、本体に最大 $\square\%$ と、材料の最小破断伸び ($\square\%$) を超える塑性歪 (相当塑性歪分布図を(ロ)-第 A. 33 図に示す。) が発生しているが、発生位置である底板外面端部の局所的な範囲が後部衝撃吸収カバーからの荷重を受けて圧縮されたことによる塑性歪であり破断には至らない。
- ・ 容器本体の密封境界構成部品のうち、その他の部品については、一次蓋に最大 $\square\%$ 、リングフランジに最大 $\square\%$ 、二次蓋に最大 $\square\%$ の局所的な塑性歪 ((ロ)-第 A. 33 図に示す。) が発生しているが、いずれも各部品の材料の最小破断伸び (一次蓋: $\square\%$ 、リングフランジ: $\square\%$ 、二次蓋: $\square\%$) に比べて小さく破断には至らない。
- ・ リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準 (\square MPa) を下回っており、密封性能は維持される。

したがって、傾斜落下において容器本体の密封性能は維持され、他の解析で考慮を要する形状の変化は生じない。

(2) バスケット

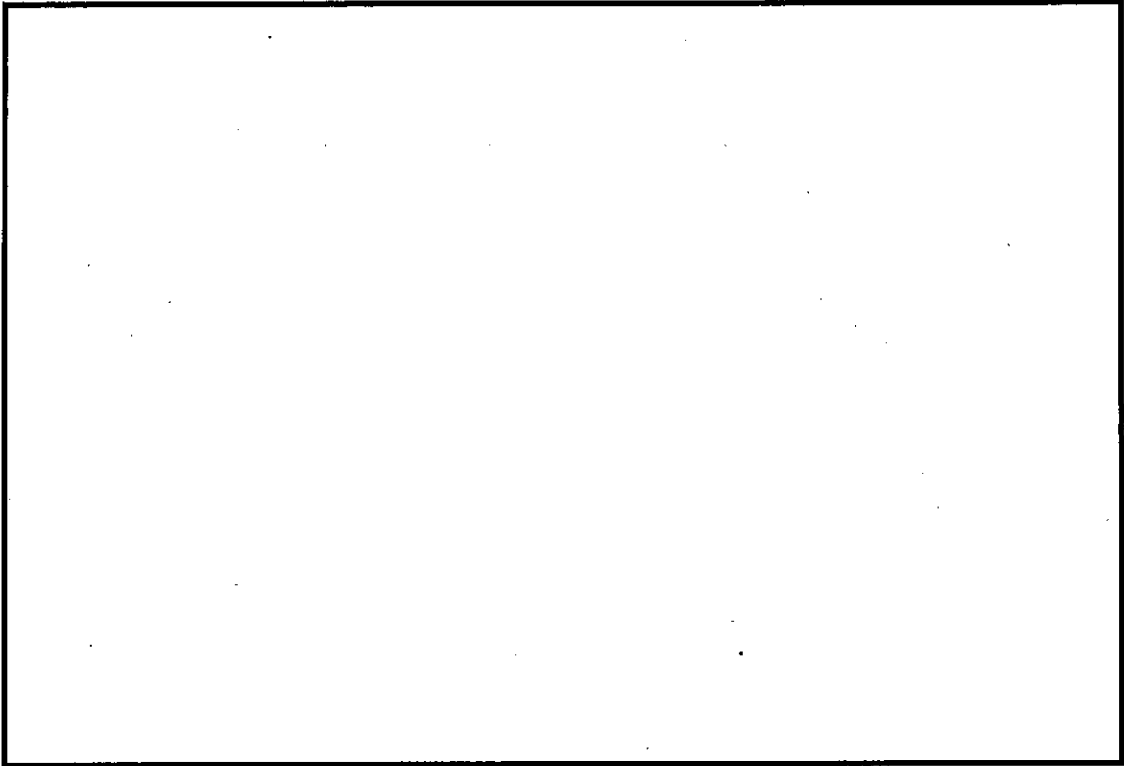
a. 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

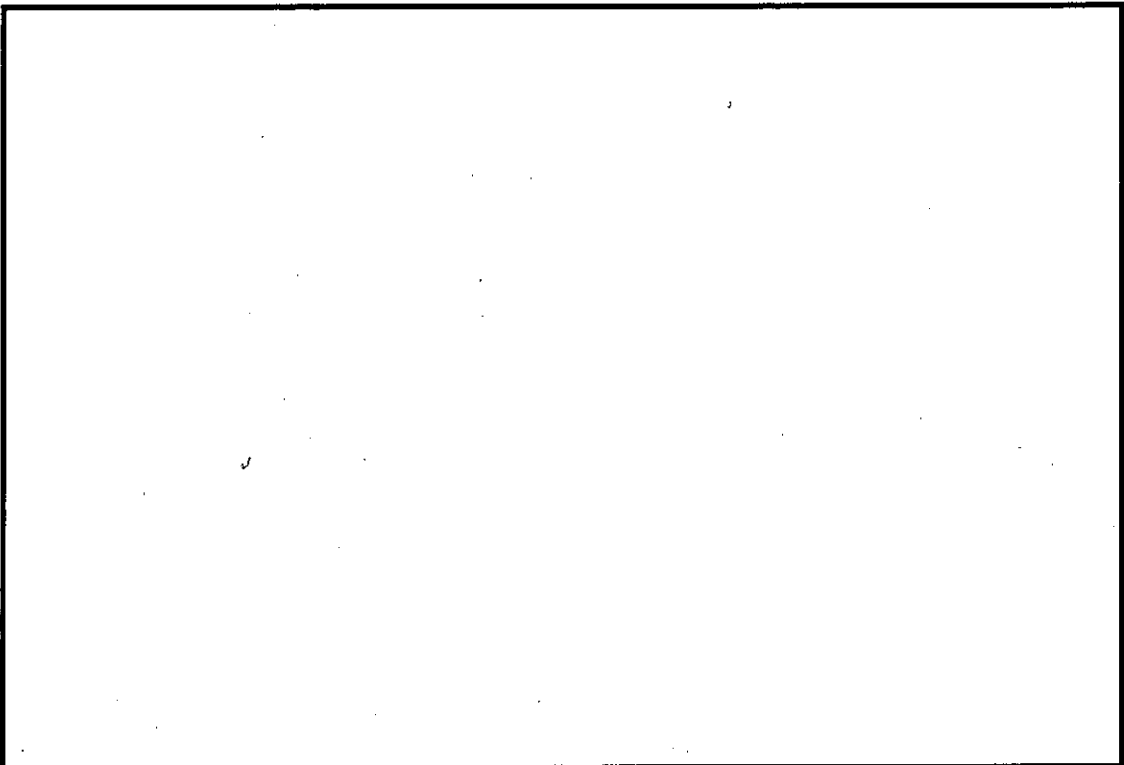
b. 荷重条件及び境界条件

解析モデルに容器本体の 9m 落下解析における初期速度と同じ速度を与え、バスケットを支持する本体の胴部には(ロ)-第 A. 34 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、容器本体の傾斜落下における胴部前端部内面から抽出した。

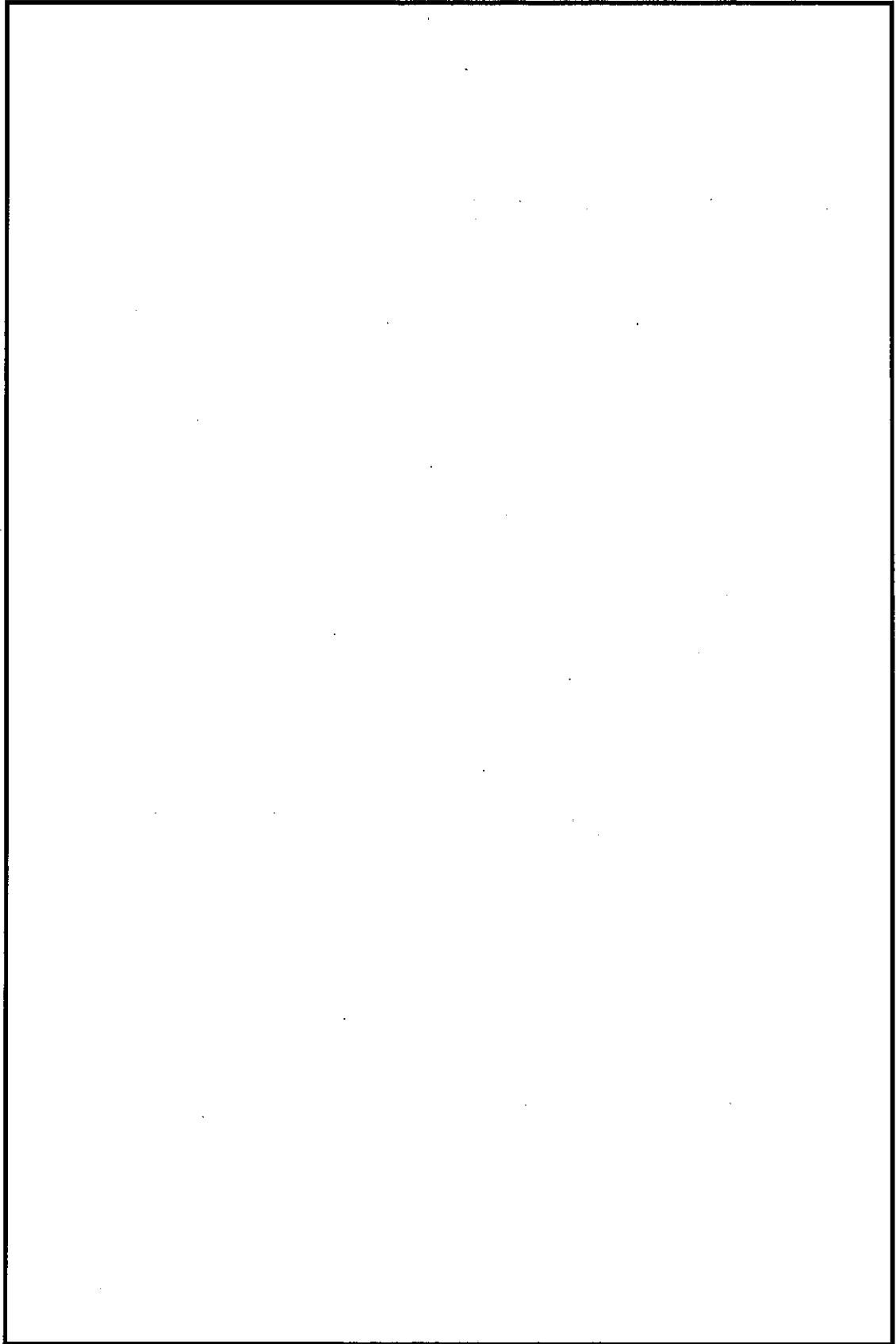
スライス形状のバスケットの両端面には対称条件を与える。



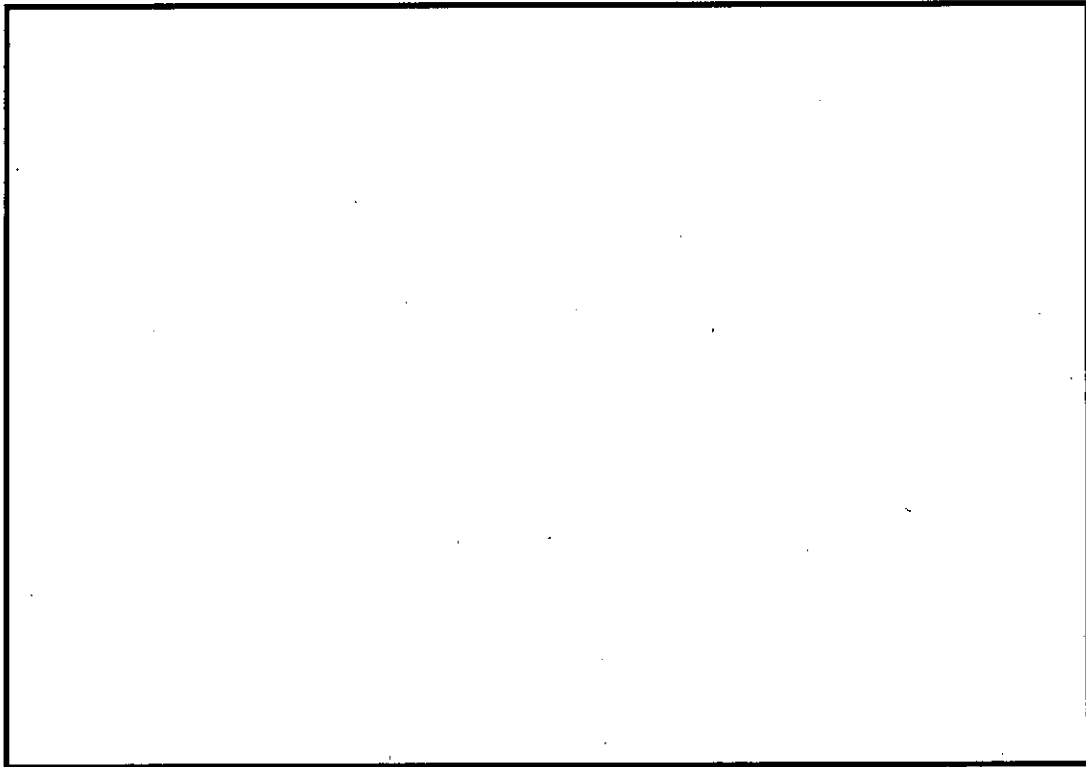
(口)-第 A. 32 図 9m 傾斜落下/容器本体の解析結果 (変形図)



(口)-第 A. 33 図 9m 傾斜落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (1/2)



(口)-第 A. 33 図 9m 傾斜落下/容器本体の解析結果 (相当塑性歪分布図) (2/2)

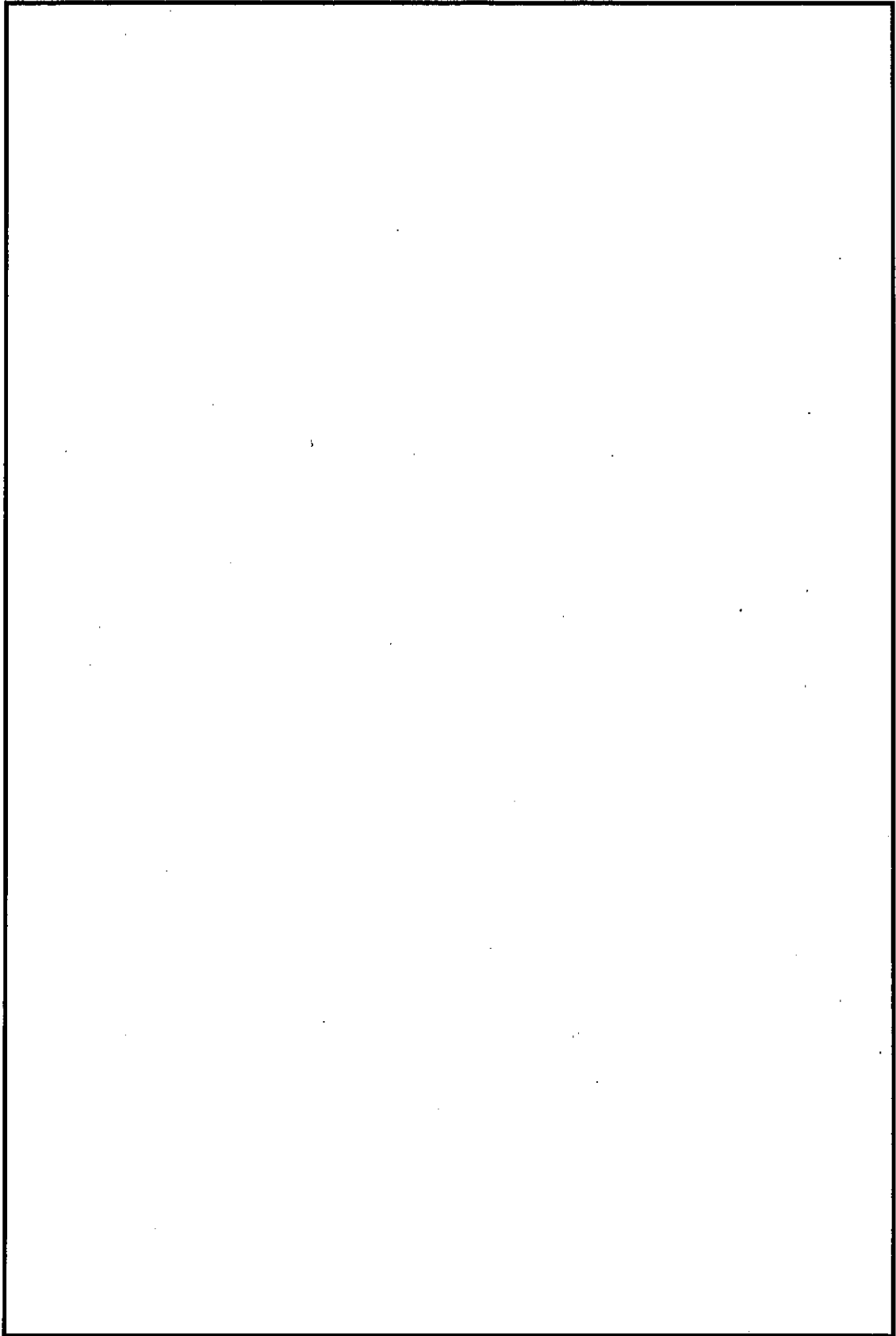


(ロ)-第 A. 34 図 容器本体の速度時刻歴 (9m 傾斜落下)

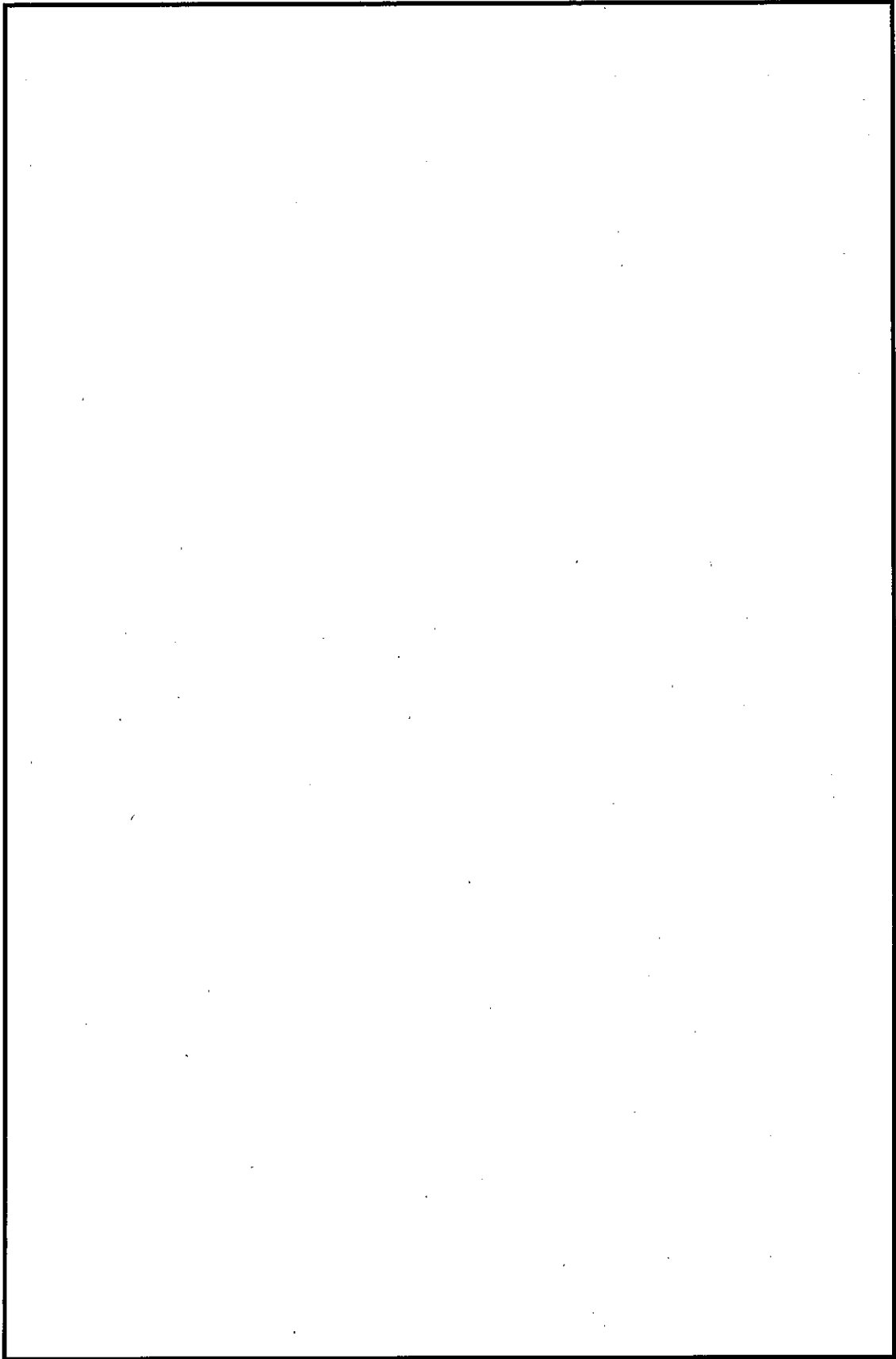
c. 解析結果

- ・ 各落下方向について、バスケットの各部品の相当塑性歪分布図を(ロ)-第 A. 35 図及び(ロ)-第 A. 36 図に示す。
- ・ ロジメントチューブには、270° 方向落下において最大 % の塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸び () に比べて小さく破断には至らない。
- ・ 燃料を支持するサポートプレートには、270° 方向落下において最大 % の局所的な塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸び () に比べて小さく破断には至らない。

したがって、傾斜落下において、バスケットの構成部品に破断は生じない。
また、サポートプレートの塑性歪は局所的であり、臨界解析を除く他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。



(ロ)-第 A. 35 図 9m 傾斜落下 (180° 方向) /バスケットの解析結果 (相当塑性歪分布図)



(ロ)-第 A. 36 図 9m 傾斜落下 (270° 方向) /バスケットの解析結果 (相当塑性歪分布図)

(3) 燃料被覆管

a. 解析モデル

解析モデルは、A. 5. 3 の自由落下の評価に用いたものと同じモデルを適用する。

b. 荷重条件及び境界条件

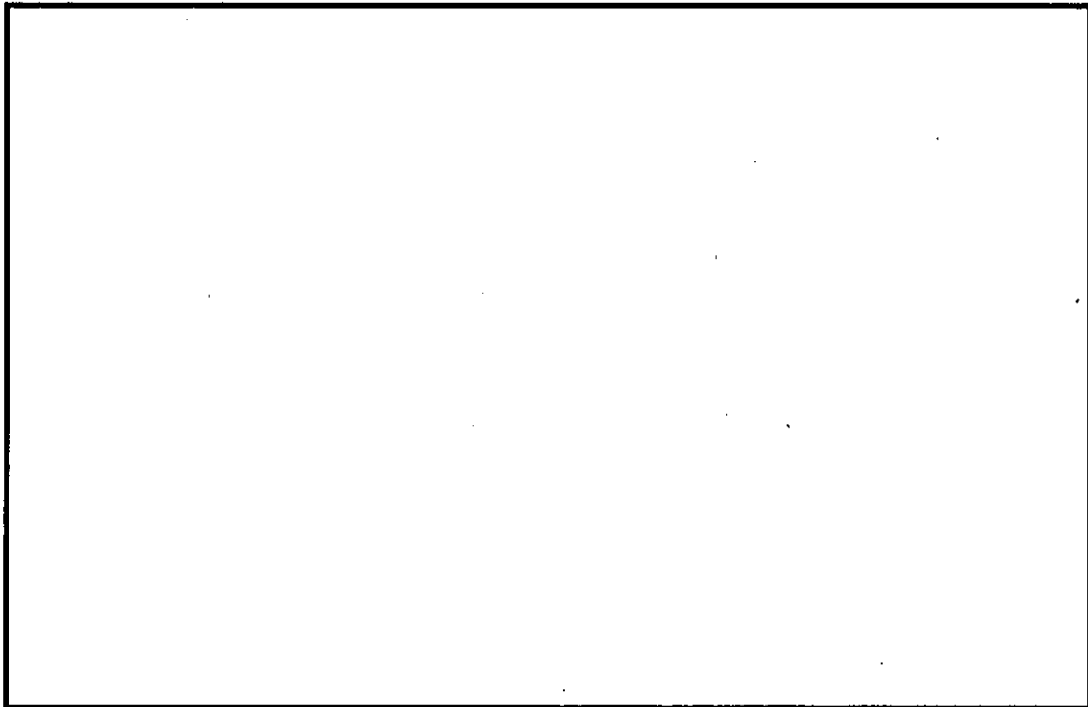
解析モデルにバスケットの 9m 落下解析における初期速度と同じ速度を与え、その両端には(ロ)-第 A. 37 図に示す速度時刻歴を与える。当該速度時刻歴は、バスケットの傾斜落下のうちバスケットへの衝撃が大きくなる 270° 方向落下時の燃料を支持するサポートプレートから抽出した。

落下速度及び速度時刻歴を除く荷重条件及び境界条件は、A. 5. 3 に示したとおりである。

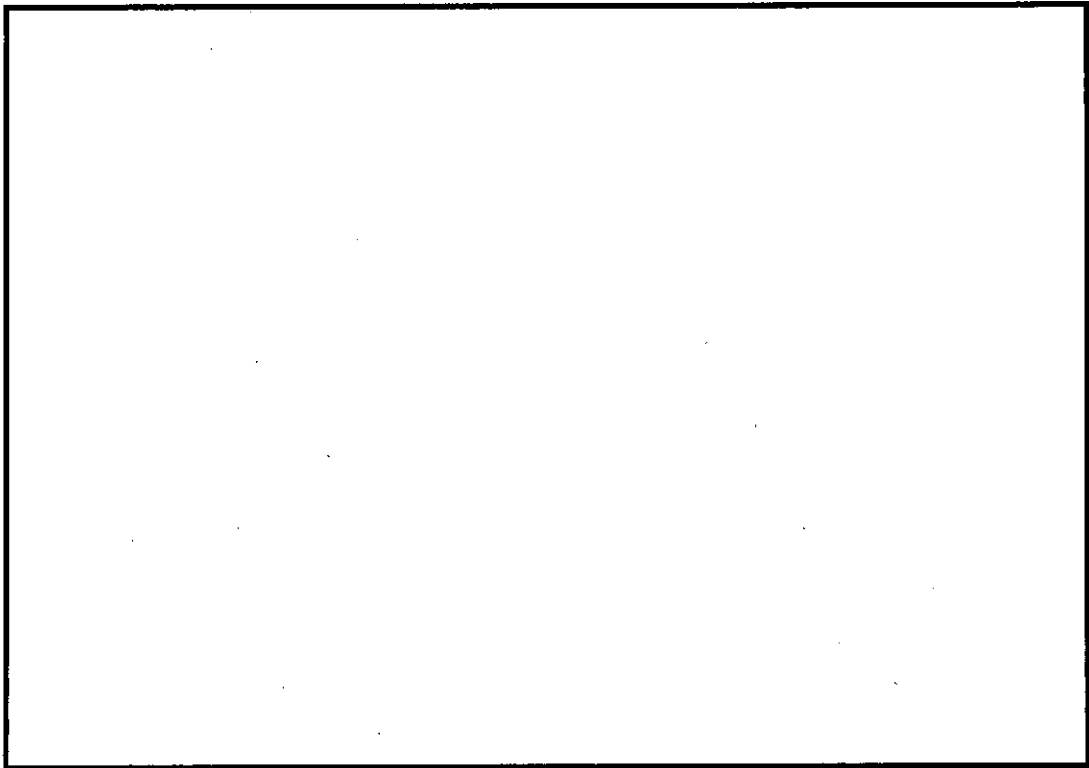
c. 解析結果

傾斜落下では、(ロ)-第 A. 38 図に示すように両端部近傍に最大 % の塑性歪が発生しているが、材料の最小破断伸び () に比べて小さい。

したがって、燃料被覆管が破断することはない。



(ロ)-第 A. 37 図 バスケットの速度時刻歴 (9m 傾斜落下)



(口)-第 A. 38 図 9m 傾斜落下/燃料被覆管の解析結果 (相当塑性歪分布図)

A. 6. 1. 5 結果の要約

A. 6. 1. 1～A. 6. 1. 4 に示した容器本体、バスケット及び燃料被覆管の解析結果をそれぞれ(口)-第 A. 15 表～(口)-第 A. 17 表にまとめる。

(ロ)-第 A.15 表 9m 落下における容器本体の解析結果のまとめ (1/2)

落下姿勢	衝撃吸収カバー/ スカート支持リング 最大変形量 ^{注1)} (mm)	部品	最大相当 塑性歪 (%)	評価		
前部垂直	[衝撃吸収カバー] 前部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板		塑性歪は材料の最小破断伸び ^{注2)} に比べて小さくかつ局所的であり、他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。		
		一次蓋				
		リングフランジ				
		二次蓋				
後部垂直	[衝撃吸収カバー] 後部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板			他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。	
		一次蓋				
		リングフランジ				
		二次蓋				
水平	[スカート支持リング] 前部: <input type="checkbox"/> 後部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板				塑性歪は材料の最小破断伸び ^{注2)} に比べて小さくかつ局所的であり、他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。
		一次蓋				
		リングフランジ				
		二次蓋				
前部 コーナー	[衝撃吸収カバー] 前部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板	(同上)			
		一次蓋				
		リングフランジ				
		二次蓋				
後部 コーナー	[衝撃吸収カバー] 後部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板		(同上)		
		一次蓋				
		リングフランジ				
		二次蓋				
傾斜 (<input type="checkbox"/>)	[スカート支持リング] 前部: <input type="checkbox"/> 後部: <input type="checkbox"/>	胴及び底板			材料の最少破断伸び ^{注2)} を超える塑性歪が発生しているが、圧縮による局所的な塑性歪であり破断には至らず、他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。	
		一次蓋				
		リングフランジ				
		二次蓋				

注1) 衝撃吸収カバー及びスカート支持リングの変形量は特別の試験条件の熱解析の解析モデルに考慮される。

注2) 材料の最小破断伸び/ 胴及び底板: %、一次蓋: %、リングフランジ: %、二次蓋: %

(ロ)-第A.15表 9m落下における容器本体の解析結果のまとめ (2/2)

部品	落下姿勢	応力の種類 ^{注1)}	解析結果 (MPa)	評価基準 ^{注2)} (MPa)	余裕率 (MS)
リングフランジ 締付けボルト	前部垂直	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	水平	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	前部 コーナー	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	傾斜 □)	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
二次蓋締付け ボルト	前部垂直	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	水平	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	前部 コーナー	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			
	傾斜 □)	σ_m			
		$\sigma_m + \sigma_b$			

注1) σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注2) 評価基準は、 σ_m 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対してSy

(ロ)-第 A. 16 表 9m 落下におけるバスケットの解析結果のまとめ

落下方向	部品	最大相当塑性歪 (%)	評価
180°	ロジメントチューブ		塑性歪は材料の最小破断伸び (<input type="checkbox"/> %) に比べて小さく破断には至らない。
	サポートプレート		塑性歪は材料の最小破断伸び (<input type="checkbox"/> %) に比べて小さく破断には至らない。 また、塑性歪は局所的であり、臨界解析を除く他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。
270°	ロジメントチューブ		塑性歪は材料の最小破断伸び (<input type="checkbox"/> %) に比べて小さく破断には至らない。
	サポートプレート		塑性歪は材料の最小破断伸び (<input type="checkbox"/> %) に比べて小さく破断には至らない。 また、塑性歪は局所的であり、臨界解析を除く他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。

(ロ)-第 A. 17 表 9m 落下における燃料被覆管の解析結果のまとめ

条件	最大相当塑性歪 (%)	評価
9m 垂直落下		塑性歪は発生しない。
9m 傾斜落下		塑性歪は材料の最小破断伸び (<input type="checkbox"/> %) に比べて小さく破断には至らない。

A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ (1m落下時)

本試験は、輸送物が最大損傷を受けるよう直径 15 cm の軟鋼棒上に、1m の高さから落下させるものである。

落下姿勢として、輸送物の重心が軟鋼棒上の真上に位置する垂直落下と水平落下を対象とする。その他の落下では、落下エネルギーが回転モーメントとして作用するため、輸送物が上記落下より大きな衝撃を受けることはない。

垂直落下では軟鋼棒が前部衝撃吸収カバーを直撃する場合について、水平落下では軟鋼棒が胴あるいはオリフィス部を直撃する場合について評価する。

(1) 垂直落下

落下時に軟鋼棒が圧潰することにより輸送容器に加わる最大荷重 F_{bar} は、次式で与えられる。

$$F_{bar} = \sigma_u \times A$$

ここで、 σ_u : 軟鋼棒の引張強さ [400 MPa]

A : 軟鋼棒の断面積 (mm²)

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

(d : 軟鋼棒の直径 [150 mm])

したがって、

$$F_{bar} = 7.07 \times 10^6 \text{ N}$$

押抜きせん断によって、板がせん断破壊するのに必要な荷重 F_p は、次式で与えられる。

$$F_p = \pi \times d \times t \times S_\tau$$

ここで、d : 軟鋼棒の直径 [150 mm]

t : 板厚 (mm)

S_τ : せん断強さ (MPa)

$$S_\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} \times S_u$$

(S_u : 引張強さ (MPa))

前部衝撃吸収カバーには、(イ)-第 C.14 図に示すように、軟鋼棒の直撃から蓋部を保護する取付けカバーが設置されている。

取付けカバーの厚さ及び引張強さは以下のとおりである。

$$t = \square \text{ mm}$$

$$S_u = \square \text{ MPa (120}^\circ\text{C)}$$

したがって、取付けカバーがせん断破壊するのに必要な荷重 F_p は、

$$F_p = \square \text{ N} > F_{bar}$$

となり、前部衝撃吸収カバーが貫通されることはない。

(2) 水平落下

a. 胴の貫通強度

水平落下の場合、銅伝熱体に軟鋼棒が衝突して胴への衝撃が緩和される可能性があるため、ここでは、安全側に銅伝熱体を無視して軟鋼棒が胴を直撃するものとして評価する。

胴の板厚及び引張強さは以下のとおりである。

$$t = (D_o - D_i) / 2$$

ここで、 D_o : 胴の外径 [\square mm]

D_i : 胴の内径 [\square mm]

よって、 $t = \square$ mm

$$S_u = \square \text{ MPa (120}^\circ\text{C)}$$

したがって、胴がせん断破壊するのに必要な荷重 F_p は、

$$F_p = \square \text{ N} > F_{bar}$$

となり、胴が貫通されることはない。

b. オリフィス部の貫通強度

ベントオリフィス及びドレンオリフィスには、軟鋼棒の直撃からオリフィス部の密封境界構成部品を保護するために \square が設置されている。

\square の板厚及び引張強さは以下のとおりである。

$$t = \square \text{ mm}$$

$$S_u = \square \text{ MPa (100}^\circ\text{C} \text{ 注)}$$

したがって、 \square がせん断破壊するのに必要な荷重 F_p は、

$$F_p = \square \text{ N} > F_{bar}$$

となり、オリフィス部が貫通されることはない。

A. 6. 2. 1 結果の要約

落下試験 II においては、輸送物の重心が軟鋼棒上の真上に位置する垂直落下及び水平落下のいずれの場合でも、直撃を受ける部位が貫通されることはなく、容器本体に破損が生じることはない。

注) (ロ)-第 B. 7 表に示すドラム外表面の最高温度に対して安全側に設定

A. 6.3 熱的試験

A. 6.3.1 温度及び圧力の要約

特別の試験条件における輸送物の温度分布及び最大内圧はそれぞれ(ロ)-B. 5. 3 及び(ロ)-B. 5. 4 に示されている。

火災発生 30 分後の各部位の最高温度を参考に本試験における評価基準値の対象温度を(ロ)-第 A. 18 表のように設定する。

また、特別の試験条件における胴内部及び一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の最大内圧は、それぞれ MPa 絶対圧及び MPa 絶対圧である。本試験では、一次蓋及び二次蓋に対して厳しい条件となるように圧力を設定する。

まず、二次蓋について、外気圧が 60 kPa (0.060 MPa) に低下した場合を考慮すると、二次蓋の内外圧力差は MPa となるため、一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の内圧と外気圧の圧力差を安全側に MPa とする。

次に、一次蓋については、一次蓋と二次蓋に囲まれた空間が外気圧と同じ 60 kPa (0.060 MPa) に低下したと仮定すると、一次蓋の内外圧力差は MPa となる。これを安全側に MPa として、上記の一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の内圧と外気圧の圧力差 MPa に加算し、胴内圧と外気圧の圧力差を MPa とする。

(ロ)-第 A. 18 表 火災発生 30 分後の各部位の最高温度と評価基準値設定温度

(単位：℃)

部位	最高温度	評価基準値設定温度
胴	228	250
底板	140	250
一次蓋	88	150
リングフランジ	86	150
リングフランジ 締付けボルト	86	150
二次蓋	97	150
二次蓋締付けボルト	97	150

A. 6.3.2 熱膨張

特別の試験条件の熱的試験における容器本体各部に発生する応力の計算を行う。

容器本体各部には、温度勾配、内圧及びボルトの初期締付け力による応力が発生するため、本項ではこれらの荷重を考慮した（一次＋二次）応力について、ABAQUSコードを用いて求める。

(1) 解析モデル

解析モデルとして、A. 5.1と同様に容器本体の3次元180°モデルを用いる。

当該モデルは、本体（胴及び底板）、一次蓋、リングフランジ、リングフランジ締付けボルト、二次蓋及び二次蓋締付けボルトから構成されている。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

容器本体内面及び一次蓋と二次蓋に囲まれた空間の内面に、外気圧との差圧がそれぞれ MPa 及び MPa となるように圧力を負荷し、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトには、A. 5.1.3に示した初期締付けによる軸力 (N) を作用させる。

b. 境界条件

底板端面の軸方向変位、対称面の対称面直交方向変位を拘束する。

(3) 解析結果

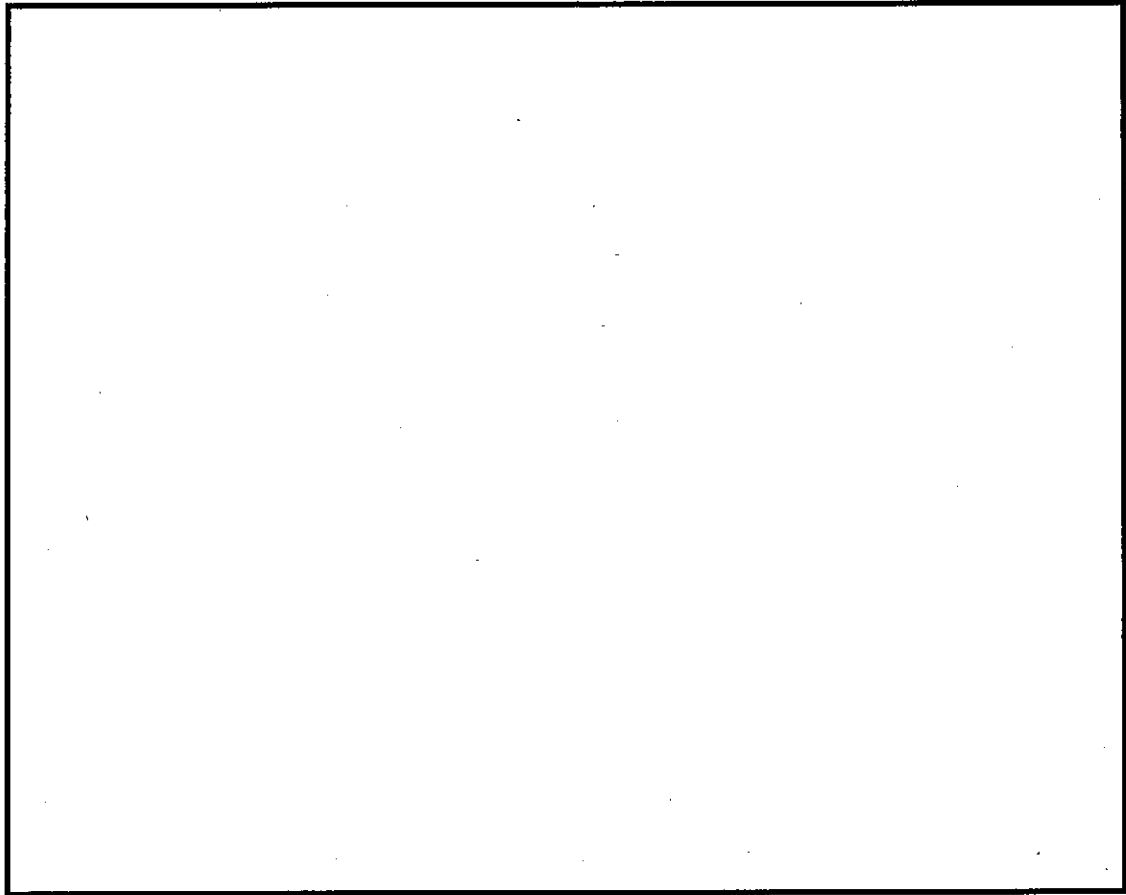
変形図及び応力分布図をそれぞれ(ロ)-第 A. 39 図及び(ロ)-第 A. 40 図に示す。

(ロ)-第 A. 7 図に示す評価位置についての（一次＋二次）応力の評価結果及びリングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトの評価結果を(ロ)-第 A. 19 表に示す。

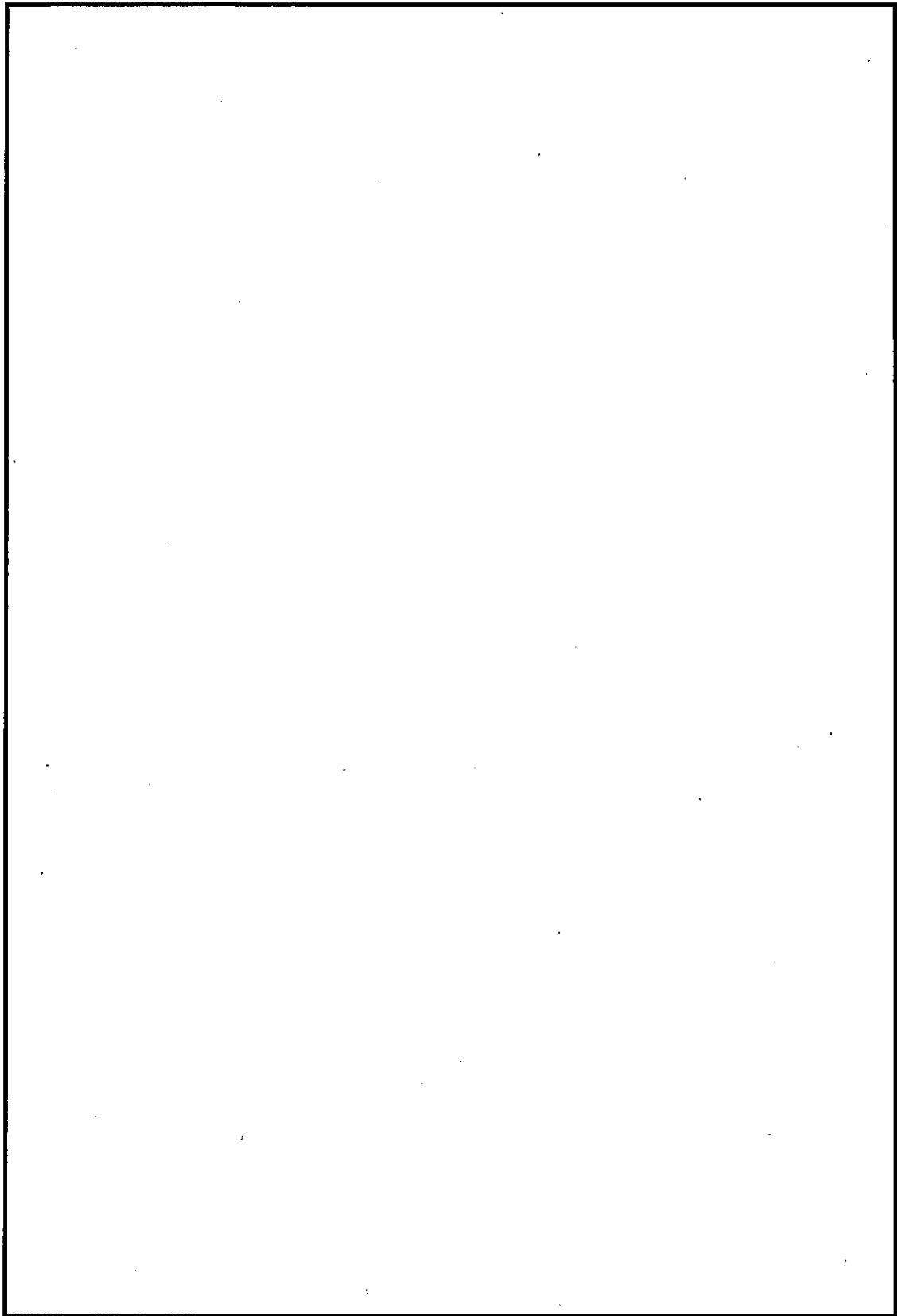
評価結果に示すように容器本体の各部品に発生する応力はいずれも降伏応力を下回っており、また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っている。

A. 6.3.3 許容応力との比較

容器本体の各部品に発生する応力はいずれも降伏応力を下回っており、他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っており密封性能は維持される。

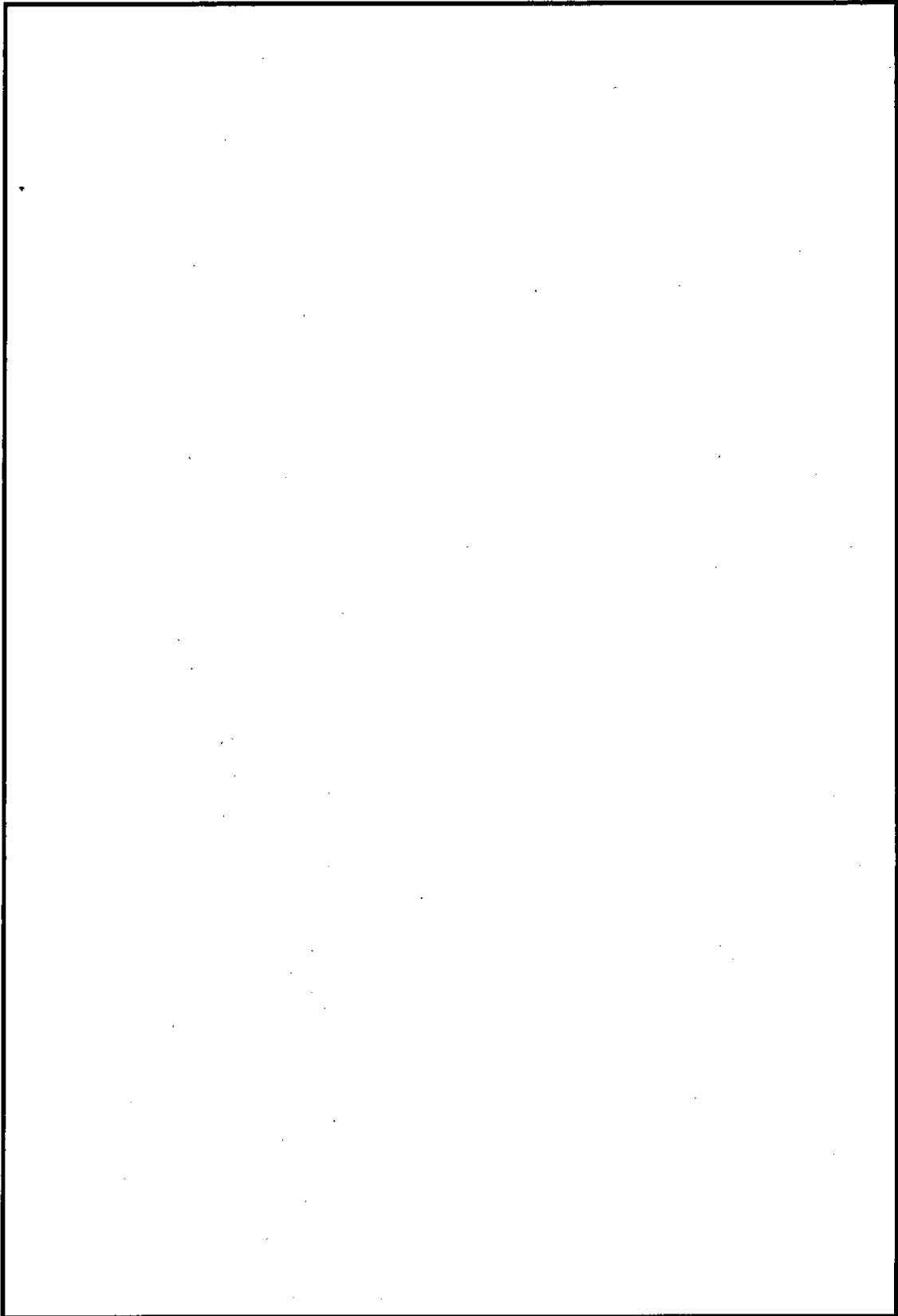


(口)-第 A. 39 図 特別の試験条件の熱的試験の解析結果 (変形図)



(ロ)-第 A. 40 図 特別の試験条件の熱的試験の解析結果

(応力分布図<トレスカ応力>) (1/2)



(ロ)-第 A. 40 図 特別の試験条件の熱的試験の解析結果

(応力分布図<トレスカ応力>) (2/2)

(ロ)-第 A. 19 表 特別の試験条件における熱的試験の評価結果 (1/2)

評価位置		応力強さ (MPa)	評価
一次蓋	①		発生する応力は降伏応力 ^{注)} を下回っており、他の解析で考慮を要するような形状変化は生じない。
	②		
リングフランジ	③		(同上)
二次蓋	④		(同上)
	⑤		
胴	⑥		(同上)
	⑦		
	⑧		
底板	⑨		(同上)
	⑩		

注) 降伏応力/ 一次蓋 : MPa、リングフランジ : MPa、二次蓋 : MPa、
胴及び底板 : MPa

(ロ)-第 A. 19 表 特別の試験条件における熱的試験の評価結果 (2/2)

部品	応力の種類 ^{注1)}	解析結果 (MPa)	評価基準 ^{注2)} (MPa)	余裕率 (MS)
リングフランジ 締付けボルト	σ_m			
	$\sigma_m + \sigma_b$			
二次蓋締付け ボルト	σ_m			
	$\sigma_m + \sigma_b$			

注1) σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注2) 評価基準は、 σ_m 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対して S_y

A. 6.4 浸漬

A. 6.4.1 15m 浸漬

15m の水深に相当する外圧を受ける場合よりも厳しい条件となる強化浸漬試験における容器本体の強度が、A. 7 で評価されている。

その結果によれば、密封性能は維持され、容器本体について他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。

A. 6.5 結果の要約及びその評価

(1) 強度試験・落下試験Ⅰ（9m 落下時）

各落下姿勢のうち傾斜落下においては材料の最小破断伸びを超える塑性歪が発生しているが、圧縮による局所的なものであり破断には至らない。他の落下姿勢においては発生する塑性歪は局所的でありかつ材料の最小破断伸びに比べて小さく破断には至らない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は、いずれの落下姿勢においても評価基準を下回っている。

したがって、密封性能は維持され、容器本体について他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。

バスケットの各部品に発生する塑性歪は材料の最小破断伸びに比べて小さく、破断には至らない。バスケットの変形は臨界解析において考慮される。

燃料被覆管に発生する塑性歪は材料の最小破断伸びに比べて小さく、破断には至らない。燃料被覆管の変形は臨界解析において考慮される。

(2) 強度試験・落下試験Ⅱ（1m 落下時）

前部衝撃吸収カバーを直撃する垂直落下、胴あるいはオリフィス部を直撃する水平落下のいずれの場合でも、直撃を受ける部位が貫通されることはなく、容器本体に破損が生じることはない。

したがって、密封性能は維持され、容器本体について他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。

(3) 熱的試験

容器本体の各部品に発生する応力は、降伏応力を下回っている。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っている。

したがって、密封性能は維持され、容器本体について他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。

(4) 浸漬

15m の水深に相当する外圧に対し、容器本体が十分な強度を有していることを、A.7 に示す強化浸漬試験の結果より確認した。

したがって、15m の水深に相当する外圧を受けた場合でも、密封性能は維持され、容器本体について他の解析で考慮を要する形状変化は生じない。

A.7 強化浸漬試験

本項では、200m の水深に相当する外圧を受けた場合に、容器本体各部に発生する応力について、ABAQUS コードを用いて求める。

(1) 解析モデル

解析モデルとして、A.5.1 と同様に容器本体の 3 次元 180° モデルを用いる。

当該モデルは、本体（胴及び底板）、一次蓋、リングフランジ、リングフランジ締付けボルト、二次蓋及び二次蓋締付けボルトから構成されている。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

容器本体外面に 200m 水深に相当する圧力 (2.101 MPa) を負荷し、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトには、A.5.1.3 に示した初期締付けによる軸力 (N) を作用させる。

b. 境界条件

底板端面の軸方向変位、対称面の対称面直交方向変位を拘束する。

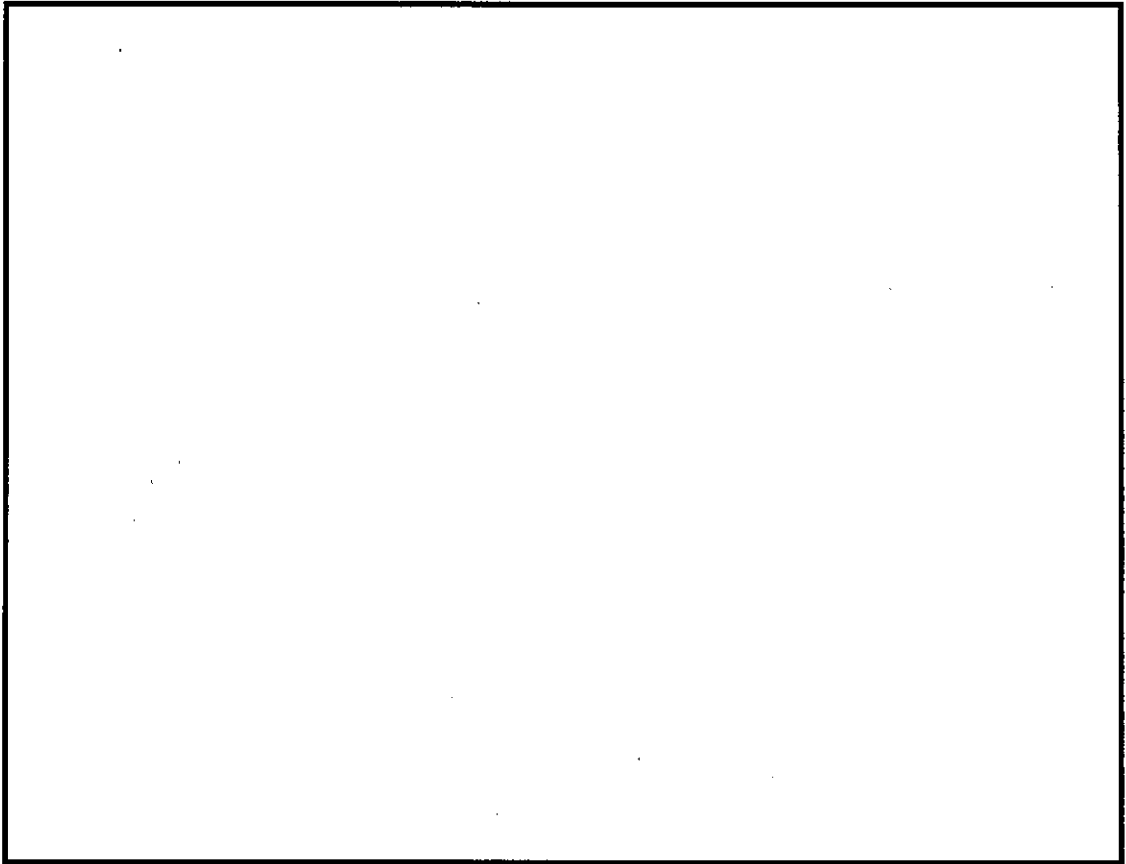
(3) 解析結果

変形図及び応力分布図をそれぞれ(ロ)-第 A.41 図及び(ロ)-第 A.42 図に示す。

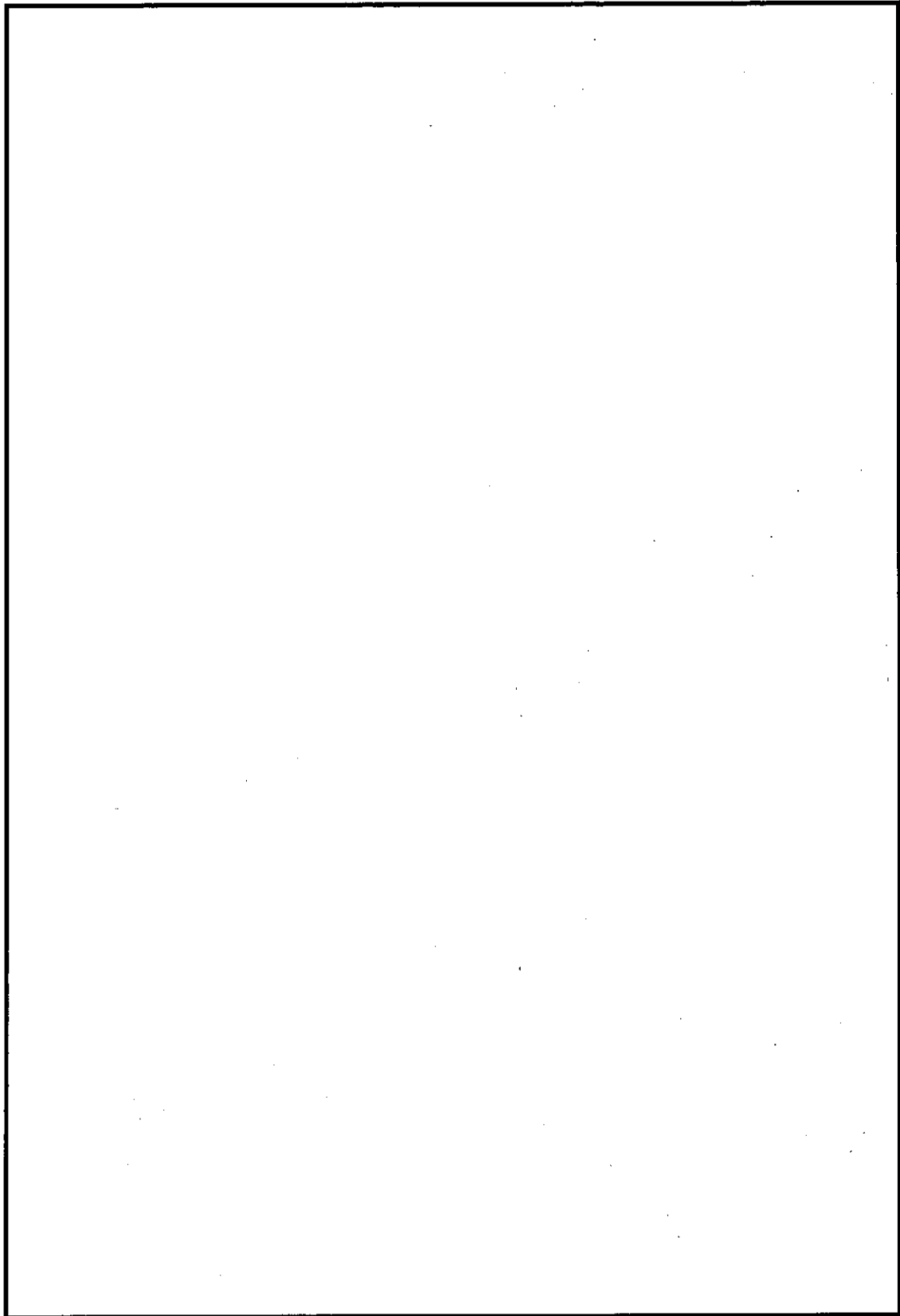
(ロ)-第 A.7 図に示す評価位置について、各部に発生する応力の評価結果を(ロ)-第 A.20 表に示す。

評価結果に示すように、容器本体の各部品に発生する応力は降伏応力を下回っている。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っている。

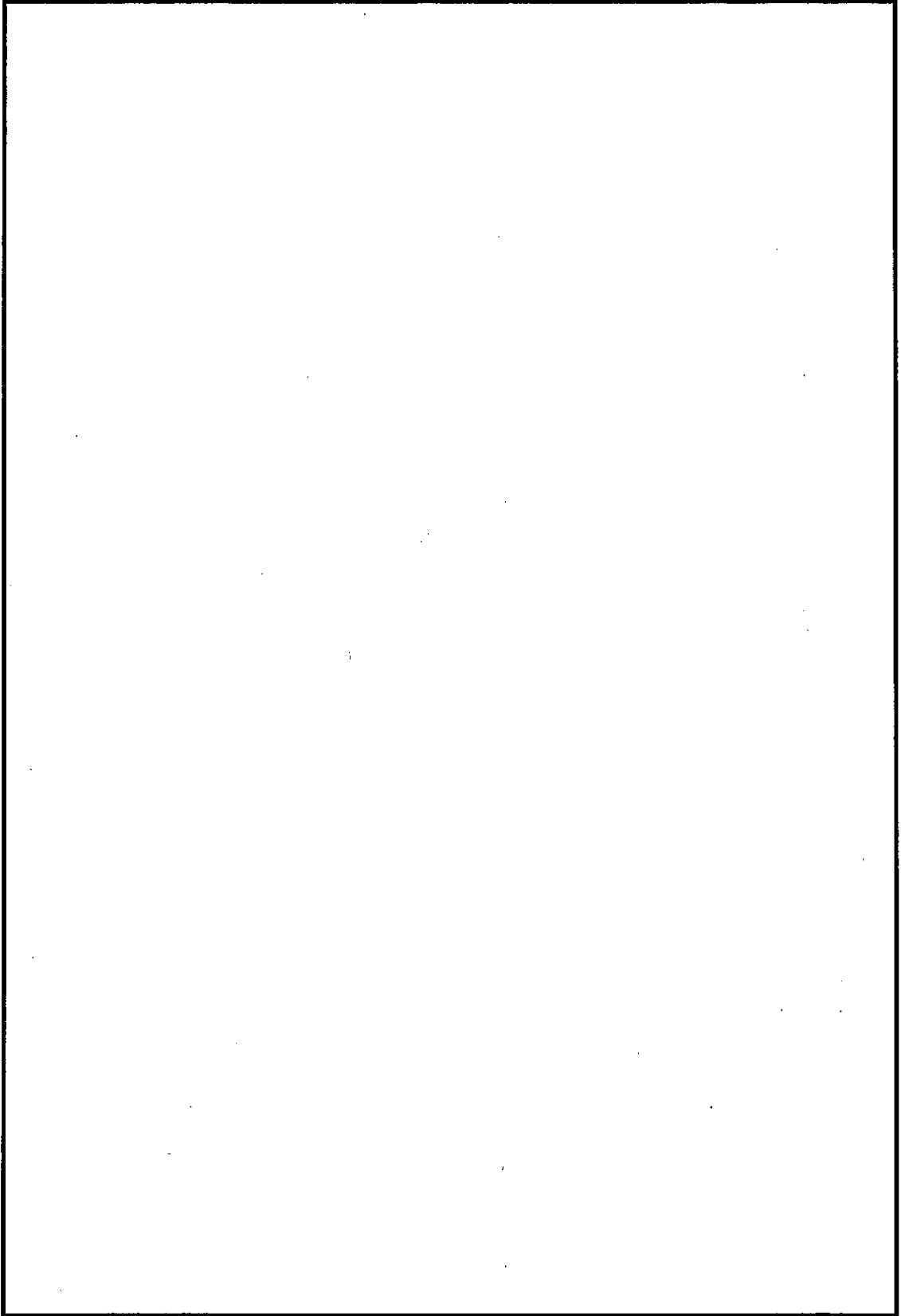
したがって、容器本体について他の解析で考慮を要する形状変化は生じることではなく、また、密封性能は維持される。



(口)-第 A. 41 図 強化浸漬試験の解析結果 (変形図)



(口)-第 A. 42 図 強化浸漬試験の解析結果 (応力分布図<トレスカ応力>) (1/2)



(口)-第 A. 42 図 強化浸漬試験の解析結果 (応力分布図<トレスカ応力>) (2/2)

(ロ)-第 A. 20 表 強化浸漬試験の評価結果 (1/2)

評価位置		応力分類 ^{注1)}	応力強さ (MPa)	評価	
一次蓋	①	Pm		発生する応力は降伏応力 ^{注2)} を下回っており、他の解析で考慮を要するような形状変化は生じない。	
		PL+Pb			
②	PL				
リングフランジ	③	PL			(同上)
二次蓋	④	Pm			(同上)
		PL+Pb			
⑤	PL				
胴	⑥	PL			(同上)
	⑦	Pm			
	⑧	PL			
底板	⑨	PL	(同上)		
	⑩	Pm			
		PL+Pb			

注1) Pm: 一次一般膜応力強さ、PL: 一次局部膜応力強さ、Pb: 一次曲げ応力強さ

注2) 降伏応力/ 一次蓋: MPa、リングフランジ: MPa、二次蓋: MPa、
胴及び底板: MPa

(ロ)-第 A. 20 表 強化浸漬試験の評価結果 (2/2)

部品	応力の種類 ^{注1)}	解析結果 (MPa)	評価基準 ^{注2)} (MPa)	余裕率 (MS)
リングフランジ 締付けボルト	σ_m			
	$\sigma_m + \sigma_b$			
二次蓋締付け ボルト	σ_m			
	$\sigma_m + \sigma_b$			

注1) σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

注2) 評価基準は、 σ_m 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対して Sy

A.8 放射性収納物

輸送物の放射性収納物は、使用済燃料集合体である。

各種燃料集合体の仕様は(イ)-第 D.1 表に、各種燃料集合体の構造図は(イ)-第 D.2 図～(イ)-第 D.5 図に示すとおりである。

燃料集合体の強度については、A.5.3 自由落下及び A.6.1 強度試験・落下試験 I (9m 落下時)において評価している。

それぞれの評価結果によれば、一般の試験条件の自由落下及び特別の試験条件の 9m 落下時には、燃料被覆管に塑性歪が発生するものの、材料の最小破断伸びに比べて小さく、燃料被覆管に破断が生じることはない。

A.9 核分裂性輸送物

輸送物は、核分裂性輸送物に該当する。

したがって、(ロ)-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

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件として、水噴霧、自由落下、積み重ね試験及び貫通の各試験の重畳効果を考慮する。

(ロ)-E 臨界解析における評価方法を考慮して、A.5 一般の試験条件の評価結果をもとに影響する輸送物の損傷状態を評価すると以下のようになる。

(1) 水噴霧

A.5.2 と同様に、輸送物に損傷はない。

(2) 自由落下

A.5.3 と同様に、衝撃吸収カバー及びスカート支持リングに変形が生じるが臨界体系を構成する容器本体に損傷はない。バスケットの構成部品に発生する塑性歪は材料の最小破断伸びに比べて小さく破断には至らない。また、燃料を支持するサポートプレートの形状が維持されるため、臨界解析の解析条件に影響を与える形状変化は生じない。

燃料被覆管においては塑性歪が発生するものの、材料の最小破断伸びに比べて小さく、燃料被覆管に破断が生じることはない。

(3) 積み重ね試験

A.5.4 と同様に、臨界体系を構成する容器本体に損傷はない。

(4) 貫通

A. 5. 5 と同様に、臨界体系を構成する容器本体に損傷はない。

以上の結果より、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における輸送物の損傷状態は(ロ)-第 A. 21 表のようにまとめられる。輸送物は、(ロ)-第 A. 22 表に示すように、規則及び告示に定められている核分裂性輸送物に係る一般の試験条件としての要件を満足する。

(ロ)-第 A. 21 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	備考
水噴霧	・ 損傷なし	—
自由落下	・ 衝撃吸収カバー及びスカート支持リングに変形が生じる。 ・ 容器本体に塑性歪が発生するが臨界解析で考慮するような形状変化は生じない。 ・ バスケットに塑性歪が発生するが臨界解析で考慮するような形状変化は生じない。 ・ 燃料被覆管は破断には至らないが変形が生じる。	・ 衝撃吸収カバー及びスカート支持リングは臨界解析で無視する。 ・ 燃料被覆管の変形を臨界解析において考慮する。
積み重ね試験	・ 損傷なし	—
貫 通	・ 損傷なし	—

(ロ)-第 A. 22 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における適合性評価

核分裂性輸送物としての要件	評価
構造部に一辺 10 cm の立方体を包含するようなくぼみが生じないこと。	衝撃吸収カバーが変形するが、一辺 10 cm の立方体を包含するようなくぼみは生じない。
外接する直方体の各辺が 10 cm 以上であること。	外接する直方体の各辺は 10 cm 以上である。

A. 9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件として、次の試験手順のうち最大の破損を受ける条件の下に置く。

(a) 一般の試験条件後の損傷状態 + 落下試験 I (9m 落下時)

+ 落下試験 II (1m 落下時) + 熱的試験 + 浸漬 (0.9m)

(b) 一般の試験条件後の損傷状態 + 15m 浸漬

輸送容器は、A. 6. 4に示すように水深 15m に相当する外圧に対して十分な構造強度を有しており容器本体部品に損傷は生じない。

したがって、上記(a)と(b)のうち、輸送物の損傷が生じる(a)の条件で重量効果を考慮する。

ここで、一般の試験条件としては、(ロ)-第 A. 21 表に示すように損傷がある自由落下を考慮する。

(ロ)-E 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以下に評価する。

(1) 落下試験 I (9m 落下時)

A. 9. 1 の自由落下と 9m 落下の落下方向が同一の場合に衝撃吸収カバーの変形量が最大になり、輸送物に作用する衝撃も最大になると考えられる。

したがって、0. 3m と 9m を合計して落下高さを 9. 3m とした場合について検討することになるが、落下高さが 9. 3m の時の衝突速度は 13. 6m/s であり、A. 6. 1 強度試験・落下試験 I (9m 落下時) の評価では、安全側にこの衝突速度を用いて解析を行っている。

よって、本項における評価は、A. 6. 1 の評価結果を参照して以下のようになる。

a. 容器本体

(ロ)-第 A. 15 表に示すように、衝撃吸収カバー及びスカート支持リングに変形が生じるが臨界体系を構成する容器本体に発生する塑性歪は局所的であり、臨界解析の解析条件に影響するような形状変化は生じない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っており、密封性能は維持される。

b. バスケット

(ロ)-第 A. 16 表に示すように、構成部品に塑性歪が発生するが、塑性歪は材料の最小破断伸びに比べて小さく破断には至らない。また、燃料を支持するサポートプレートに変形が生じて臨界解析の解析条件に影響する可能性がある。

c. 燃料被覆管

(ロ)-第 A.17 表に示すように、燃料被覆管に塑性歪が発生するが、塑性歪は材料の最小破断伸びに比べて小さく破断には至らない。

(2) 落下試験Ⅱ (1m 落下時)

自由落下及び 9m 落下による損傷は、1m 落下に対する評価に影響しない。

したがって、A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ (1m 落下時) に示したように、1m 落下において、輸送物の重心が軟鋼棒上の真上に位置する垂直落下及び水平落下のいずれの場合でも、直撃を受ける部位が貫通されることはなく、容器本体に破損が生じることはない。

(3) 熱的試験

A.6.3 熱的試験の評価に示すように、容器本体に発生する応力は降伏応力を下回っており、特別の試験条件の熱的試験による形状変化は生じない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っており密封性能は維持される。

(4) 浸漬 (0.9m)

A.6.4 の 15m 浸漬の結果から明らかなように、0.9m の水深に相当する外圧を受けた場合でも、容器本体に発生する応力は降伏応力を下回っており形状変化は生じない。また、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトに発生する応力は評価基準を下回っており密封性能は維持される。

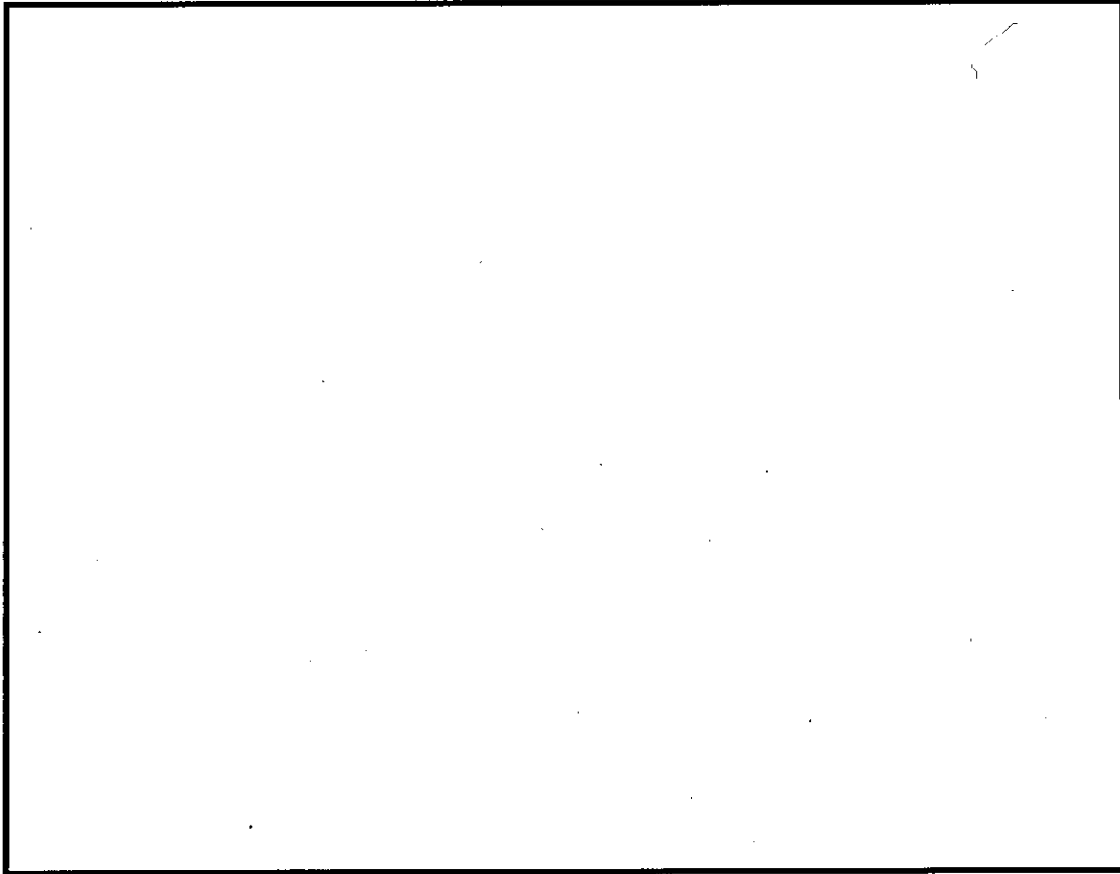
以上の結果より、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における輸送物の損傷状態は(ロ)-第 A.23 表のようにまとめられる。

(ロ)-第 A. 23 表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における輸送物の損傷状態

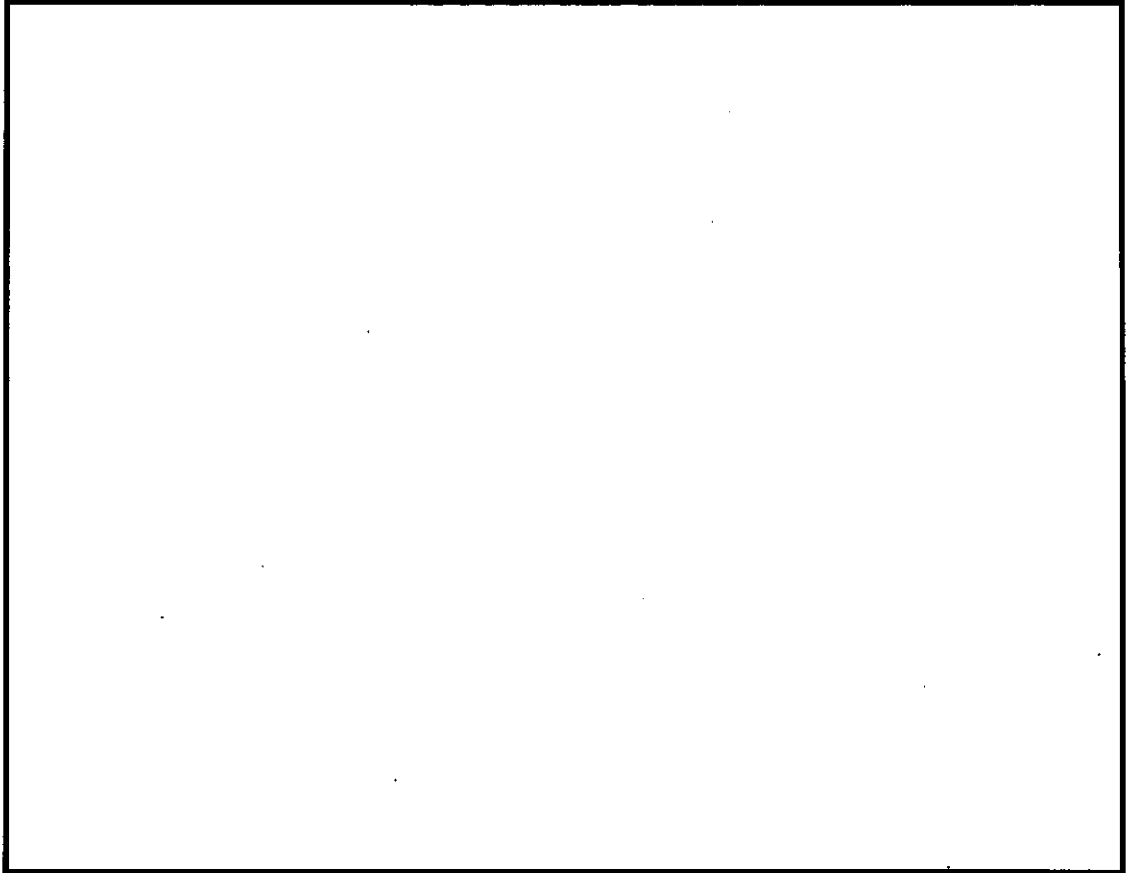
試験条件	輸送物の損傷状態	備考
落下試験 I (9m 落下時)	<ul style="list-style-type: none"> ・衝撃吸収カバー及びスカート支持リングに変形が生じる。 ・容器本体に塑性歪が発生するが臨界解析で考慮するような形状変化は生じない。 ・バスケットは破断には至らないが変形が生じる。 ・燃料被覆管は破断には至らないが変形が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・衝撃吸収カバー及びスカート支持リングは臨界解析で無視する。 ・バスケットの変形を臨界解析において考慮する。 ・燃料被覆管の変形を臨界解析において考慮する。
落下試験 II (1m 落下時)	<ul style="list-style-type: none"> ・容器本体に破損は生じない。 	—
熱的試験	<ul style="list-style-type: none"> ・容器本体に形状変化は生じない。 	—
浸漬 (0.9m)	<ul style="list-style-type: none"> ・容器本体に形状変化は生じない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・密封性能が維持されるため、容器内部への水の浸入はない。

A.10 付属書類

A.10.1 付属書類-1 設計疲れ線図



(口)-第 A. 付 1.1 図 設計疲れ線図 (炭素鋼、低合金鋼及び高張力鋼) ¹²⁾



(口)-第 A. 付 1, 2 図 設計疲れ線図 (高張力ボルト) ¹²⁾

A.10.2 付属書類-2 1/3 スケールモデル落下試験再現解析による緩衝特性の確認

(1) 概要

落下解析では、輸送容器の落下挙動を模擬するように、変形して衝撃を緩和する緩衝体について、その緩衝特性を設定することが必要となる。

そのために、実際の落下試験で得られた結果と落下試験を模擬した解析の結果を比較し、解析モデルに与えた緩衝特性の適用性を確認している。

本輸送容器の場合、一部寸法は異なるが同一の構造及び部品構成を有する輸送容器を対象として、1/3 スケールモデルを用いた落下試験が実施されている。

そこで、本項では、この1/3 スケールモデルにより実施された落下試験と同様の条件によって解析を実施し、緩衝体（衝撃吸収カバーあるいはスカート支持リング）の変形量と衝撃加速度について落下試験と解析結果を比較し、その結果に基づいて、解析モデルに与えた衝撃吸収カバーあるいはスカート支持リングの緩衝特性が本輸送容器の解析評価に適用可能であることを確認する。

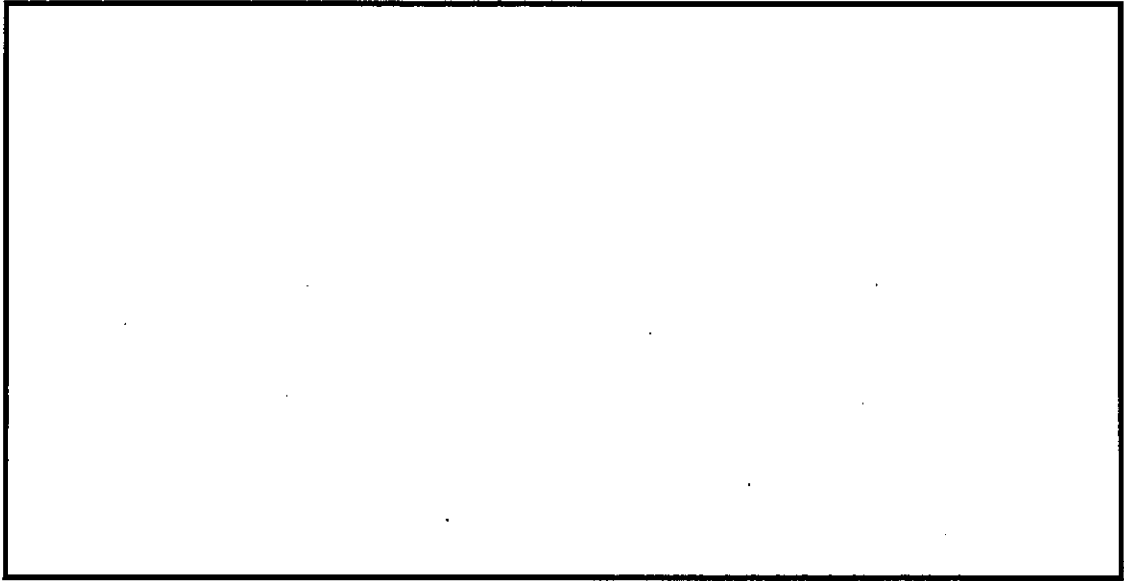
(2) 落下試験の概要

a. 1/3 スケールモデル

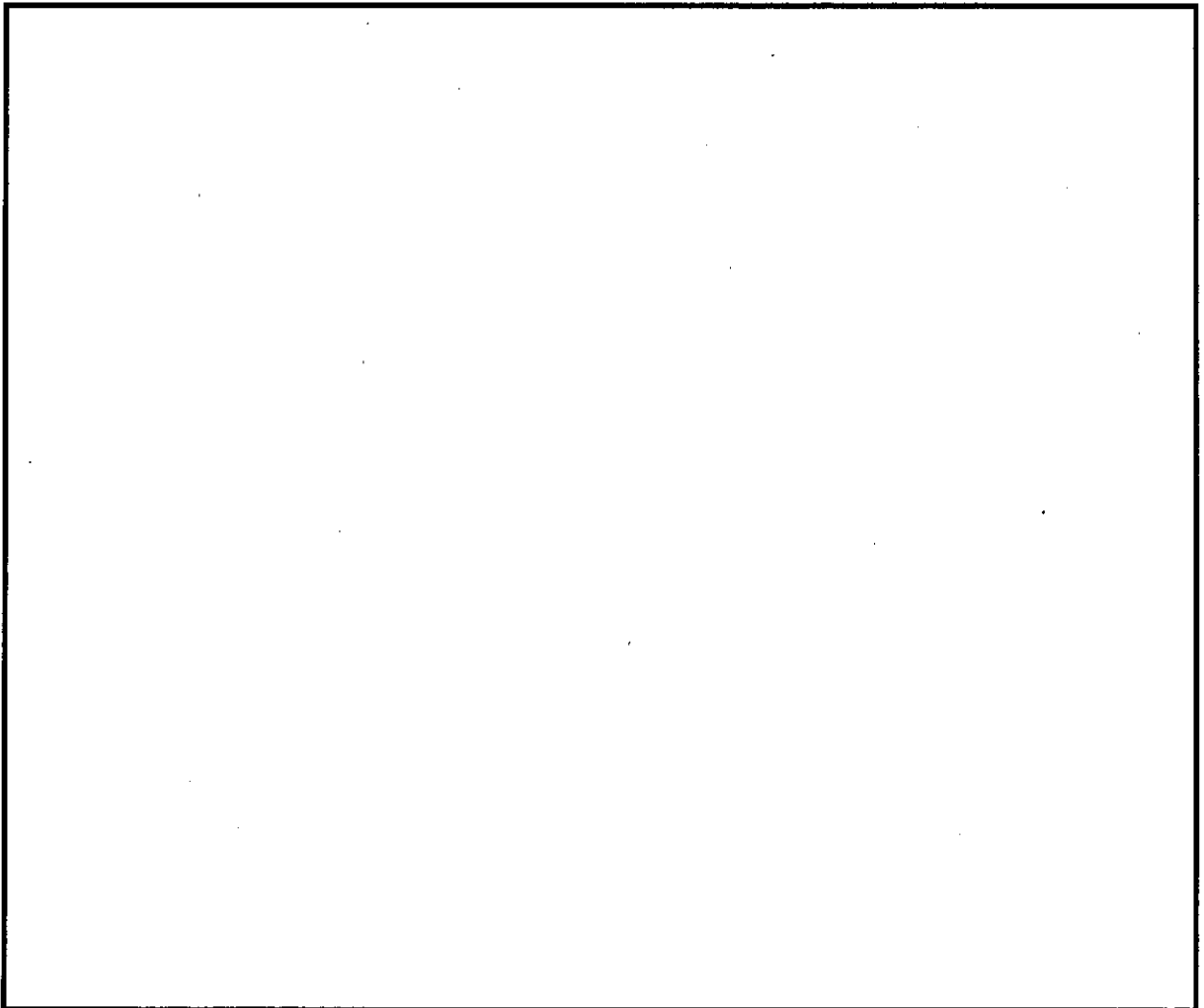
試験体である1/3 スケールモデルの外観を写真(ロ)-第A.付2.1に、本輸送容器と1/3 スケールモデルの縦断面図の比較を(ロ)-第A.付2.1図に示す。

(ロ)-第A.付2.1図に示すように、緩衝特性を与える衝撃吸収カバーあるいはスカート支持リングは、本輸送容器と1/3 スケールモデルで良く近似した構造をしており、その変形挙動は同様なものとなる。

(ロ)-第A.付2.1表に本輸送容器と1/3 スケールモデルの構成部品の代表的な適用材料を示す。落下時の挙動に直接影響する衝撃吸収カバー及びスカート支持リングの各部品には、同じ材料が適用されている。



写真(ロ)-第 A. 付 2.1 1/3 スケールモデルの外観



(ロ)-第 A. 付 2.1 図 本輸送容器と 1/3 スケールモデルの縦断面図

(ロ)-第 A. 付 2.1 表 本輸送容器と 1/3 スケールモデルの各適用材料

主要部品	適用材料	
	本輸送容器	1/3 スケールモデル
胴、底板		
一次蓋		
リングフランジ		
リングフランジ締付けボルト		
二次蓋		
二次蓋締付けボルト		
トラニオン		
スカート支持リング		
スカート支持リングカバー		
衝撃吸収カバー		
緩衝材		
外板		
アルミリング		
レジン		

注) 1/3 スケールモデルでは、温度による強度低下を考慮して等価な強度の材料あるいはグレードが選定された。

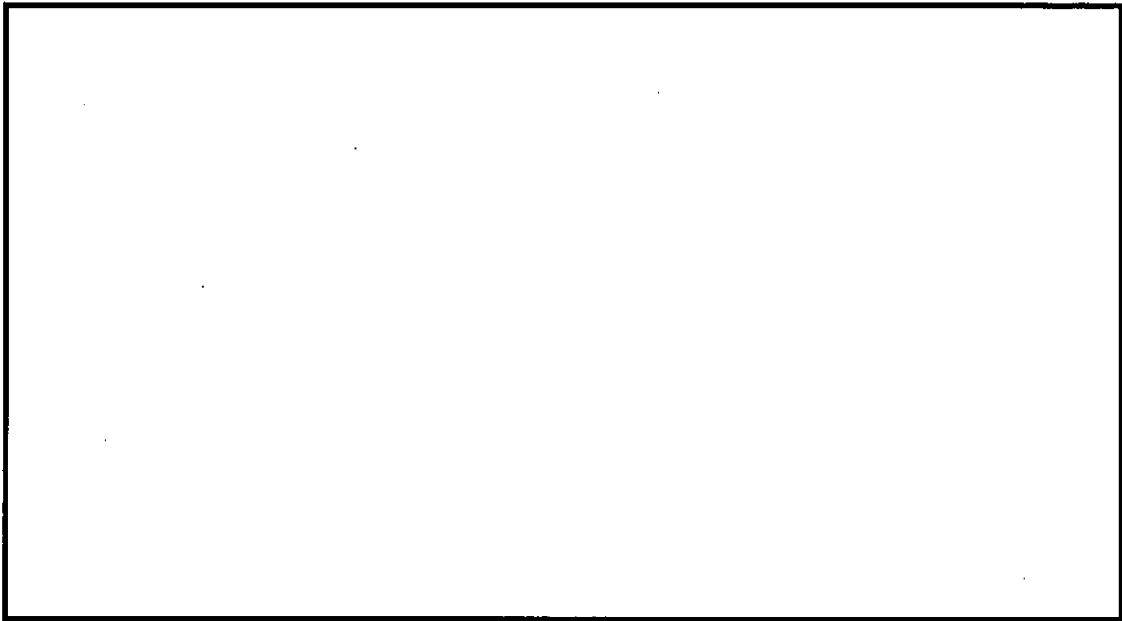
b. 試験結果

落下試験では、9m 落下と 1m 落下を組み合わせた種々のケースが実施されているが、本輸送容器の評価に適用する緩衝特性を確認する落下試験として、衝撃吸収カバーの緩衝材に対しては 9m 前部垂直落下、スカート支持リングのアルミニウム合金に対しては 9m 水平落下の結果を参照する。

(a) 9m 前部垂直落下

落下後の前部衝撃吸収カバーの変形状態を写真(口)-第 A. 付 2.2に示す。

試験結果として、測定された加速度と変形量を(口)-第 A. 付 2.2 表に示す。



写真(口)-第 A. 付 2.2 9m 前部垂直落下後の変形状態

(口)-第 A. 付 2.2 表 9m 前部垂直落下試験結果の概要

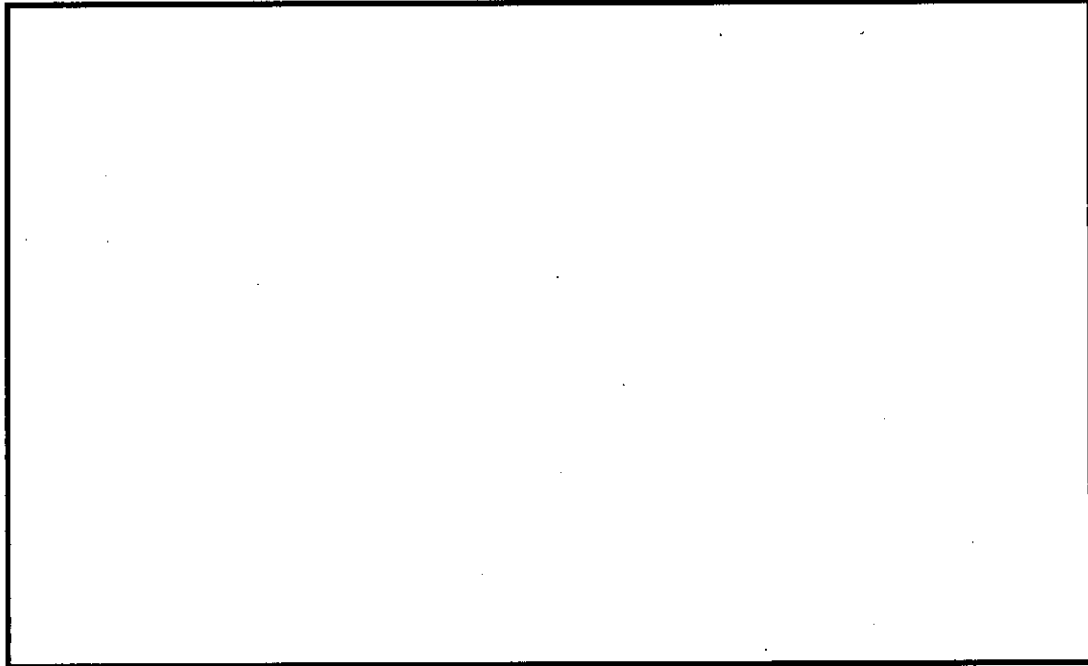
落下姿勢	落下高さ (m)	最大加速度 ^{注)} (g)	前部衝撃吸収カバー 最大変形量 (mm)
前部垂直			

注)

(b) 9m 水平落下

落下後のスカート支持リングの変形状態を写真(ロ)-第 A. 付 2. 3 に示す。

試験結果として、測定された加速度と変形量を(ロ)-第 A. 付 2. 3 表に示す。



写真(ロ)-第 A. 付 2. 3 9m 水平落下後の変形状態

(ロ)-第 A. 付 2. 3 表 9m 水平落下試験結果の概要

落下姿勢	落下高さ (m)	最大加速度 ^{注2)} (g)	スカート支持リング 最大変形量 (mm)
水平 ^{注1)}			

注1) 後部を水平から下に の傾斜を与えている。

注2)

(3) 落下試験再現解析

a. 1/3 スケールモデルの解析モデル

1/3 スケールモデルの解析モデルは、容器本体、衝撃吸収カバー、模擬バスケット及び模擬収納物から構成される。

容器本体及び衝撃吸収カバーは、実形状に沿ってモデル化している。また、模擬バスケット及び模擬収納物についても、落下試験において発生する加速度を測定しているため、解析結果の評価にあたって本体の加速度に加えてそれらの加速度も比較できるように、それぞれの実形状に沿ってモデル化している。

b. 解析手順

解析には、動的解析コードの LS-DYNA を使用する。

落下試験の条件（落下姿勢、落下高さ）を与えて解析した結果から、衝撃吸収カバーの変形量と加速度を求め、落下試験の測定データと比較評価を行う。

c. 解析条件

(a) 解析モデル図

解析モデルの要素分割図を(ロ)-第 A. 付 2.2 図に示す。

(b) 衝撃吸収カバー及びスカート支持リングの材料物性

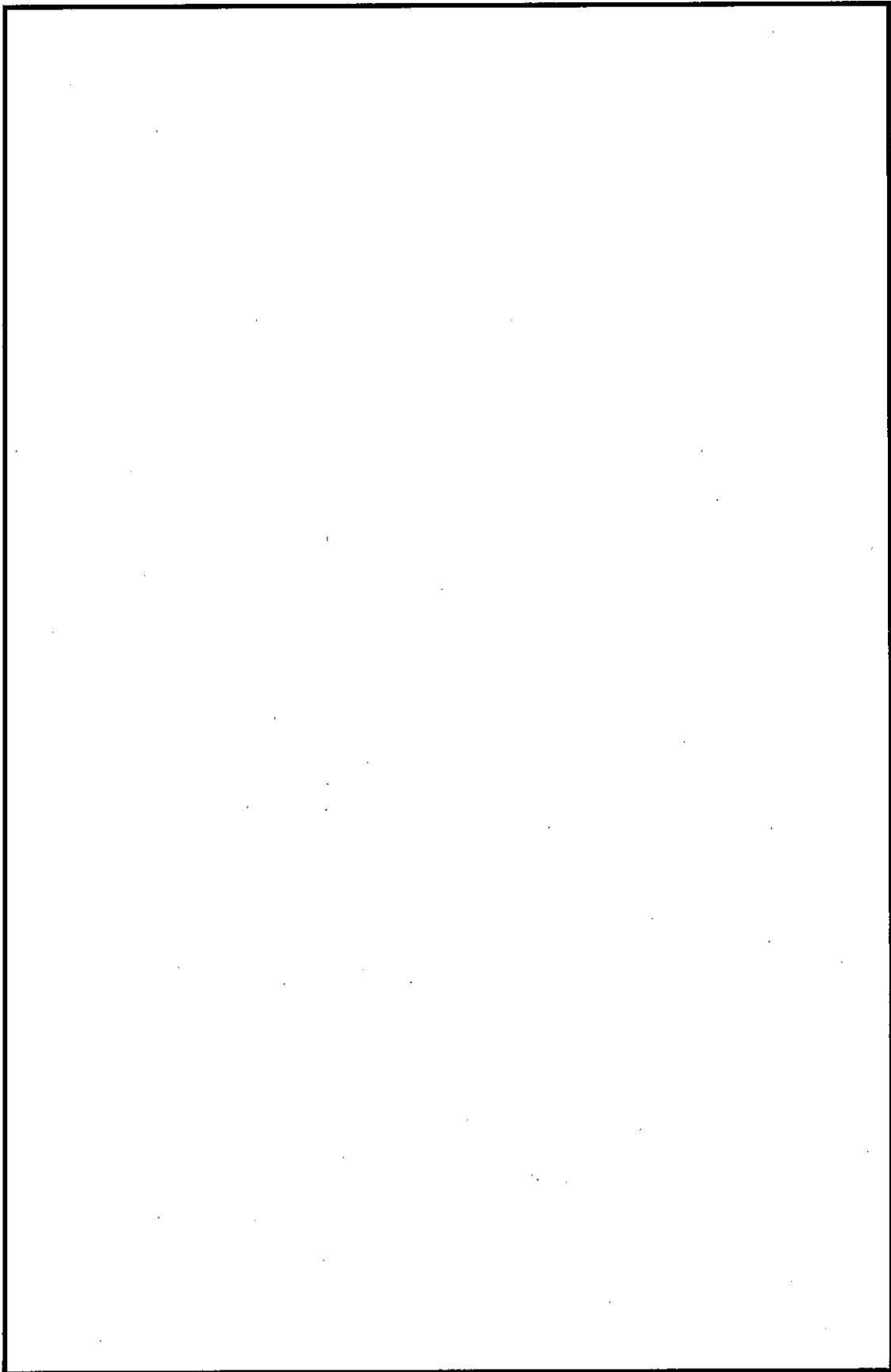
衝撃吸収カバーの緩衝材である [] の物性は、 []

[] 単体の圧縮試験から得られた荷重と変位の関係を参照して設定した。

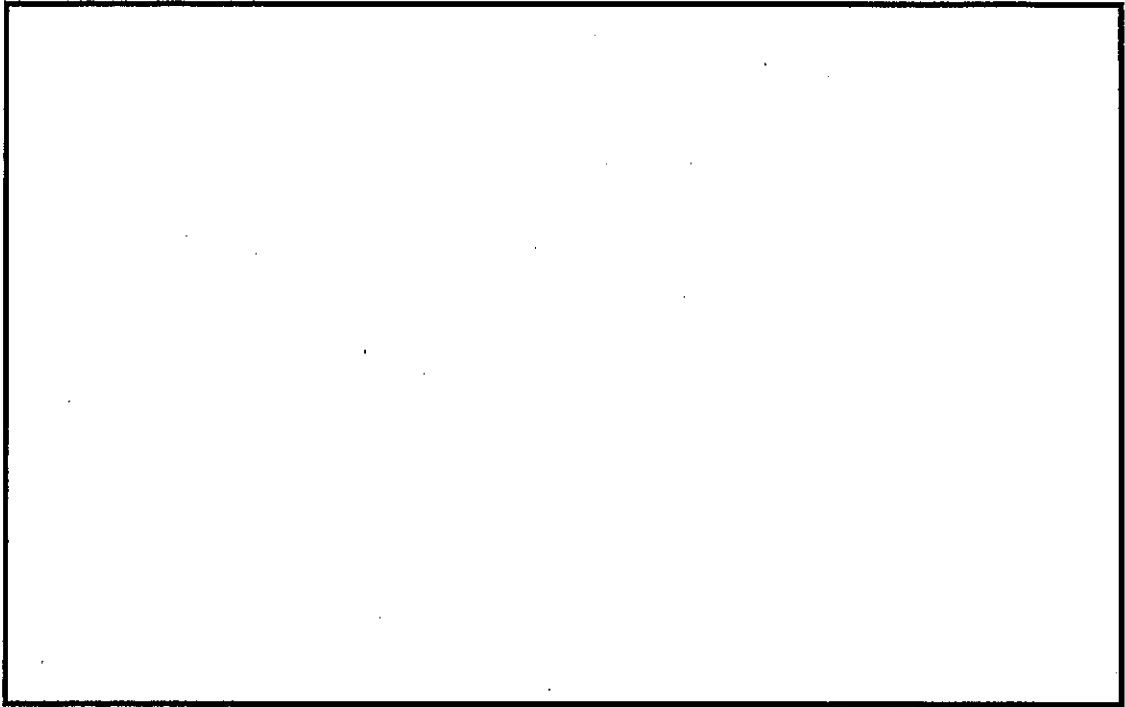


また、衝撃吸収カバー外板及びスカート支持リング外板を構成するステンレス鋼の物性は、JAERI-M88-191 に提案されている構成方程式を参照して歪速度依存性を考慮した設定とした。

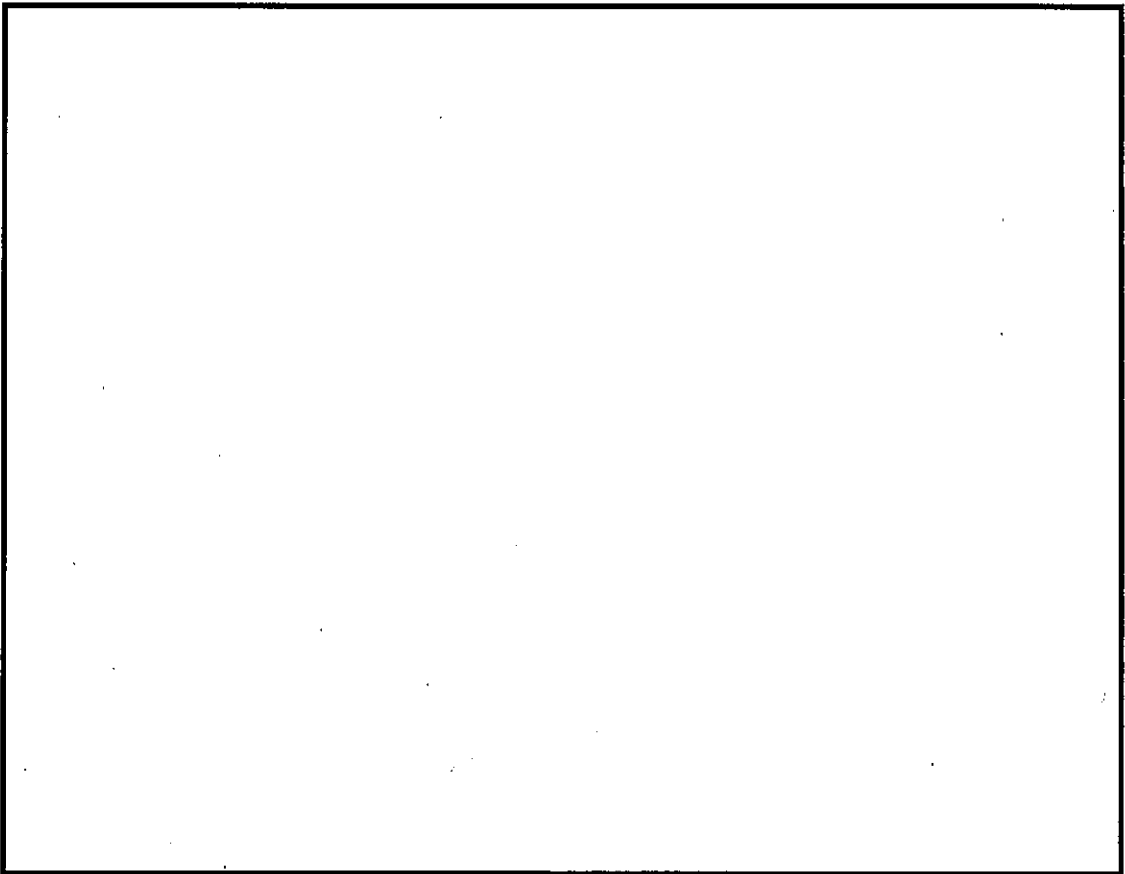
衝撃吸収カバーの緩衝材である [] に与えた応力-歪関係を(ロ)-第 A. 付 2.3 図に、スカート支持リングのアルミニウム合金に与えた応力-歪関係を(ロ)-第 A. 付 2.4 図に、衝撃吸収カバー外板及びスカート支持リング外板のステンレス鋼に与えた応力-歪関係を(ロ)-第 A. 付 2.5 図に示す。



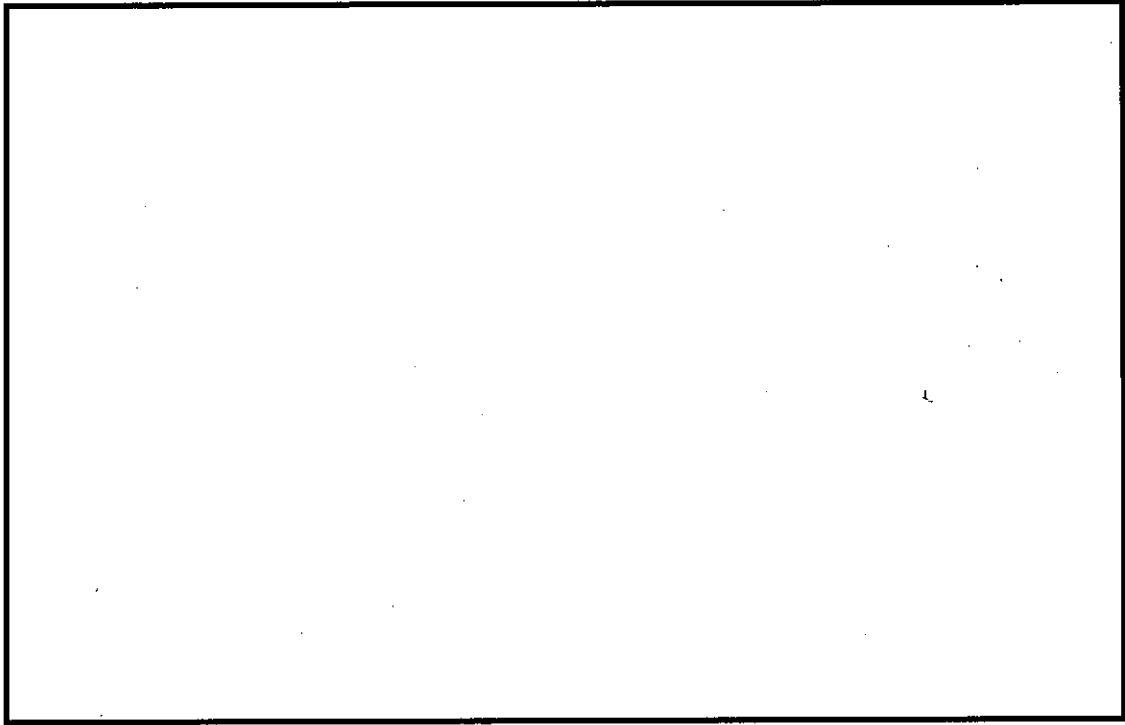
(ロ)-第 A. 付 2. 2 図 要素分割図 (1/3 スケールモデル落下試験再現解析)



(口)-第 A. 付 2.3 図 に与えた応力-歪関係



(口)-第 A. 付 2.4 図 アルミニウム合金に与えた応力-歪関係



(ロ)-第 A. 付 2.5 図 ステンレス鋼に与えた応力-歪関係

d. 解析結果

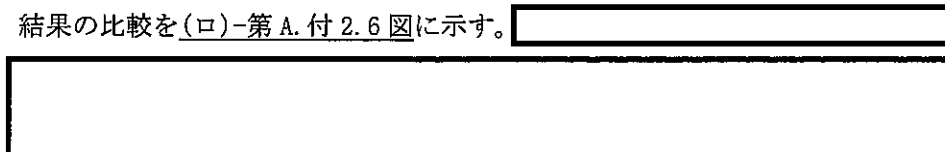
(a) 変形量の比較

9m 前部垂直落下における前部衝撃吸収カバーの変形量と 9m 水平落下におけるスカート支持リングの変形量について、試験結果と解析結果の比較を(口)-第 A. 付 2.4 表に示す。

上記の各変形量は、試験結果と解析結果で良い近似を示している。

(b) 加速度の比較

9m 前部垂直落下及び 9m 水平落下における加速度について、試験結果と解析結果の比較を(口)-第 A. 付 2.6 図に示す。



いずれの加速度も、試験結果と解析結果で、波形及び振幅について良い近似を示している。

(4) 解析モデルの適用性評価

前項に示すように、試験結果と解析結果を比較すると、変形量及び加速度について、それぞれ良く近似していることが示されている。

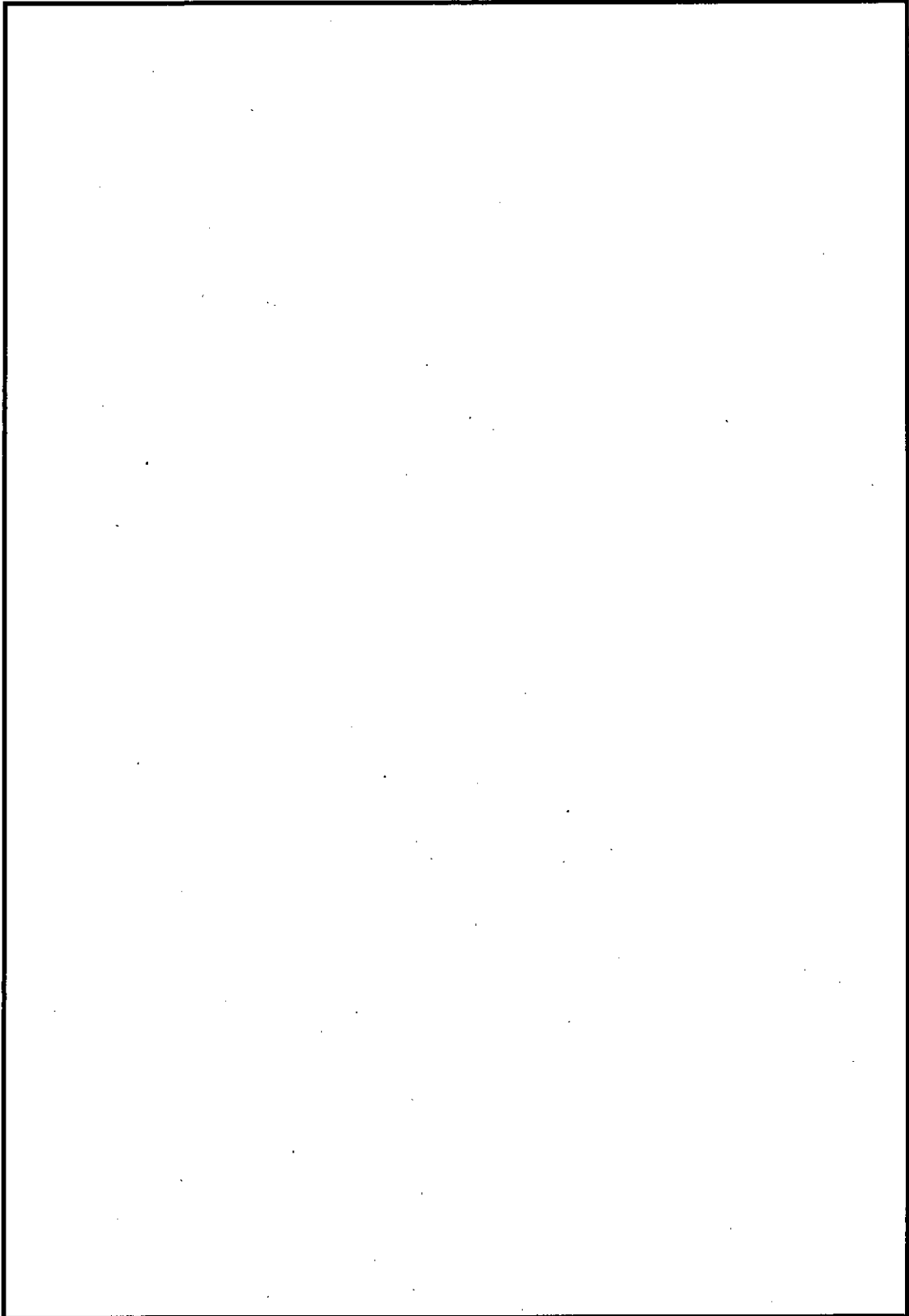
このことから、解析モデルに設定した緩衝特性は、1/3 スケールモデルの緩衝体の落下時挙動を良く再現しており、同一の構造及び部品構成を有している本輸送容器の落下時の強度評価に用いる解析条件として、適用性のあることが確認された。

(口)-第 A. 付 2.4 表 変形量の比較 (1/2)

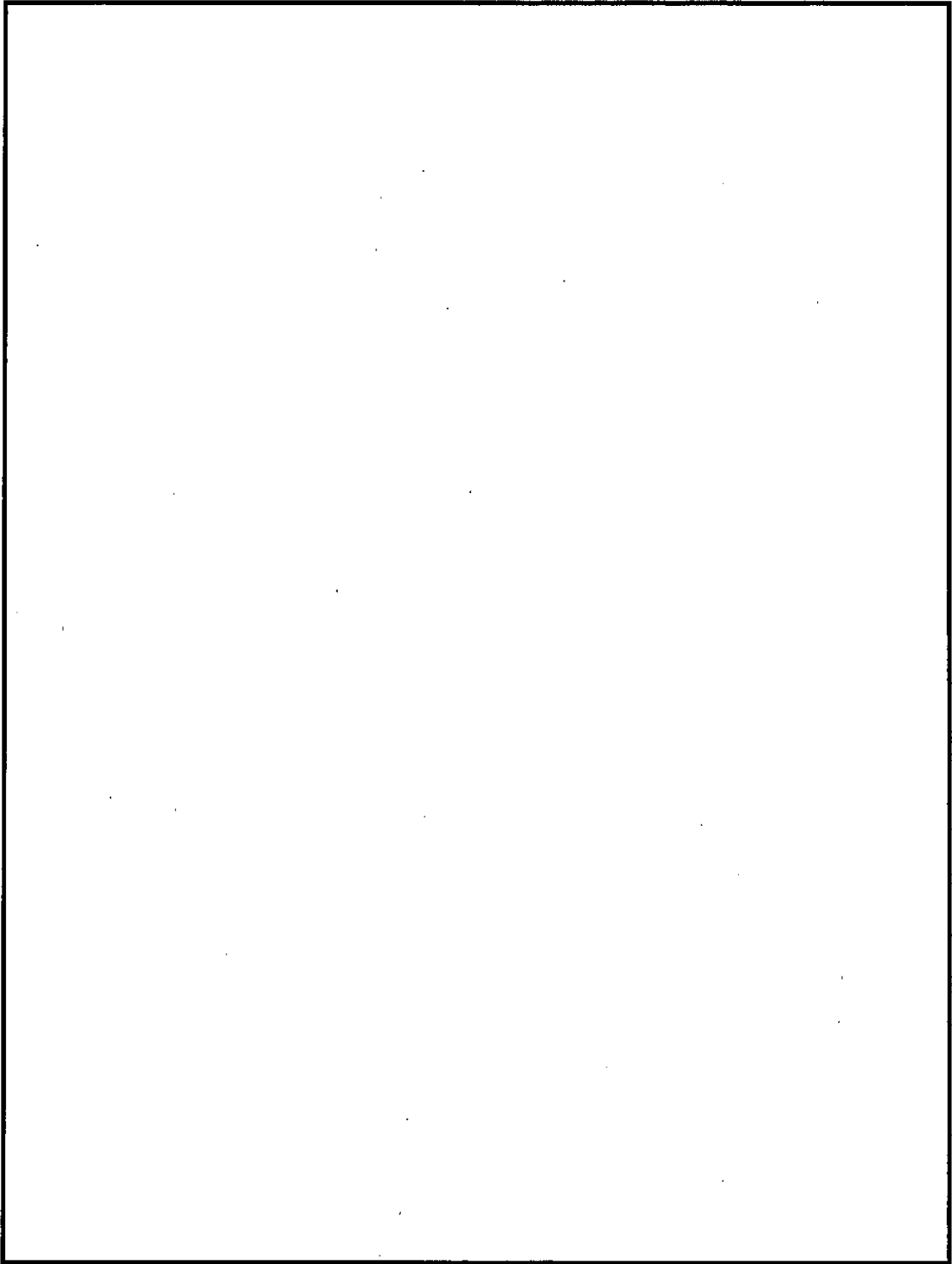
9m 前部垂直落下	
落下姿勢	
落下試験結果	
解析結果	

(口)-第A.付2.4表 変形量の比較 (2/2)

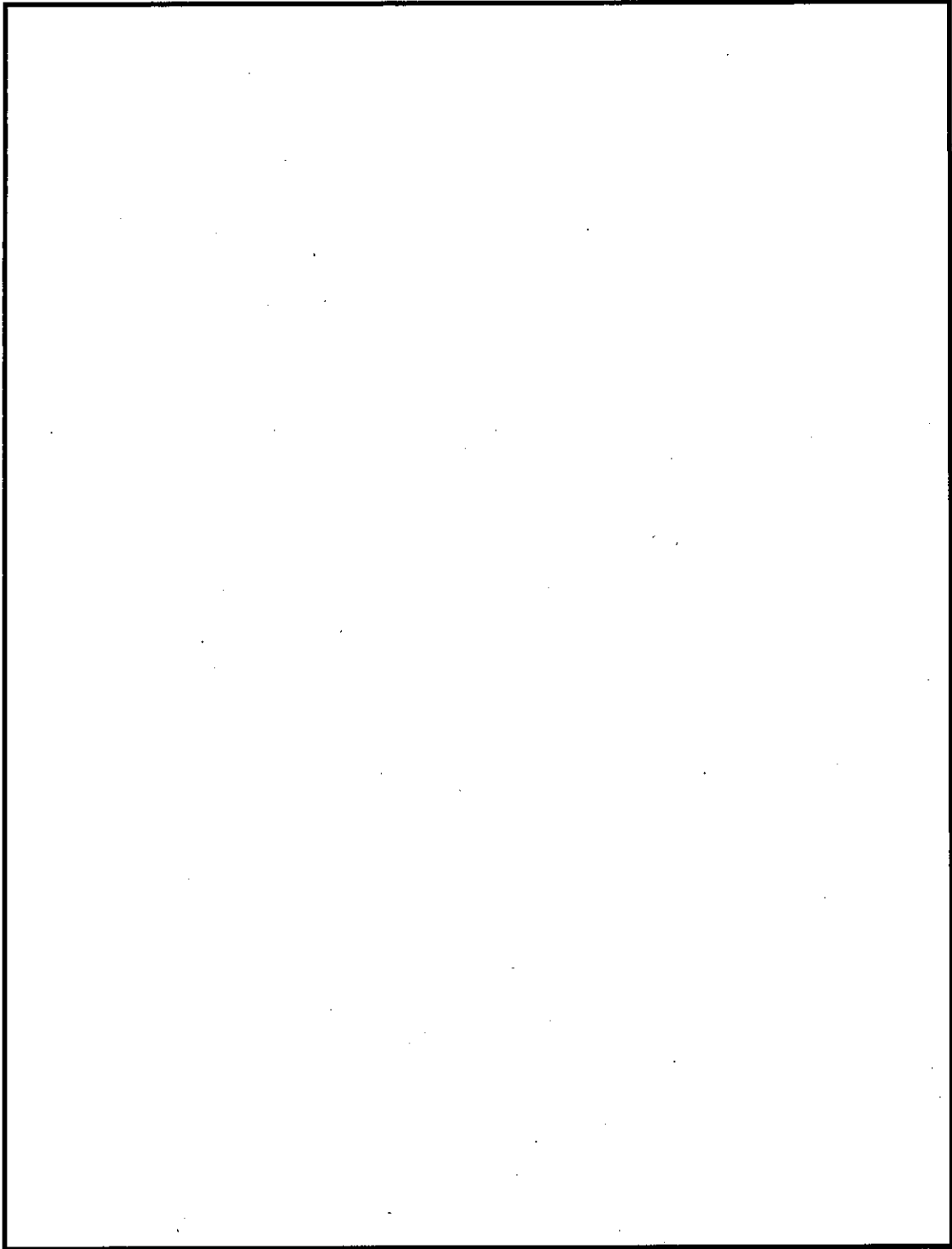
9m 水平落下	
落下姿勢	
落下試験結果	
解析結果	



(口)-第A.付2.6図 加速度の比較 (1/3)



(口)-第 A. 付 2.6 図 加速度の比較 (2/3)



(口)-第A.付2.6図 加速度の比較 (3/3)

A. 10.3 付属書類-3 []の単体試験再現解析による緩衝特性の確認

(1) 概要

輸送容器では、落下時にバスケット及び収納物による蓋部への衝撃を緩和するために、一次蓋の内側に [] が設置されている。

解析モデルでは、 [] でモデル化し、 [] の圧縮特性を示す物性を与える。

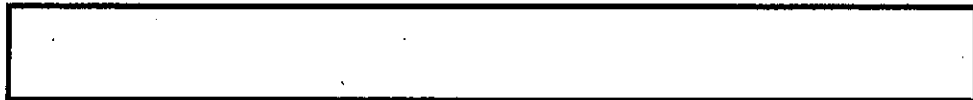
この物性は、 [] の静的な圧縮試験から得られた変形量と荷重の関係に基づいて設定するが、落下時の動的な条件において、実際の [] と解析モデルの [] が同等の挙動を示すことが必要である。

そこで、 [] 単体の動的圧潰試験及びその試験の状態を模擬した解析を実施して、それぞれの結果を比較することにより、解析モデルに与えた物性が輸送容器の解析評価に適用可能であることを確認する。

(2) 単体試験の概要

a. []

試験体である [] の外観を写真(口)-第 A. 付 3.1 に示す。



b. 試験方法

落錘試験機に [] を取付け、錘の質量を調整して試験機の最大高さ (約 4m) から落下させ、 [] の変位と錘に設置した加速度計が検出する加速度の時刻歴を記録する。

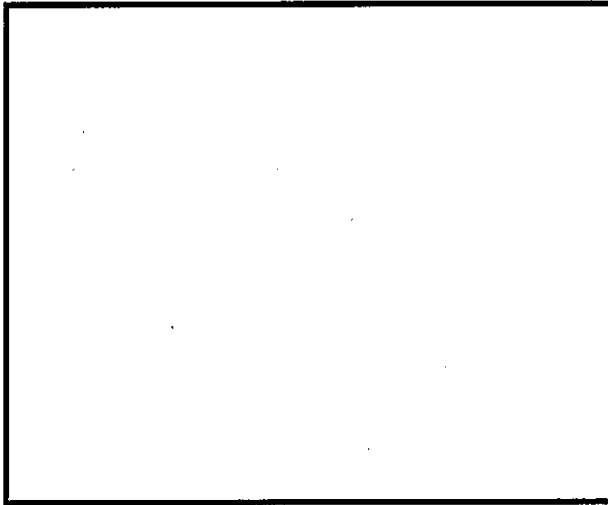
単体試験の状況を写真(口)-第 A. 付 3.2 に示す。

c. 試験結果

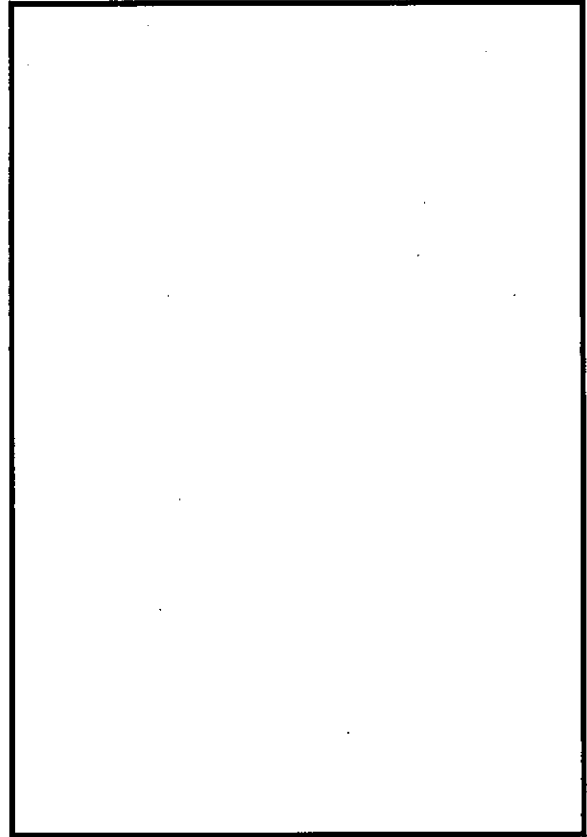
試験後の [] の状態を写真(口)-第 A. 付 3.3 に示す。

試験に際して測定された錘の全体質量と衝突速度は以下のとおりである。

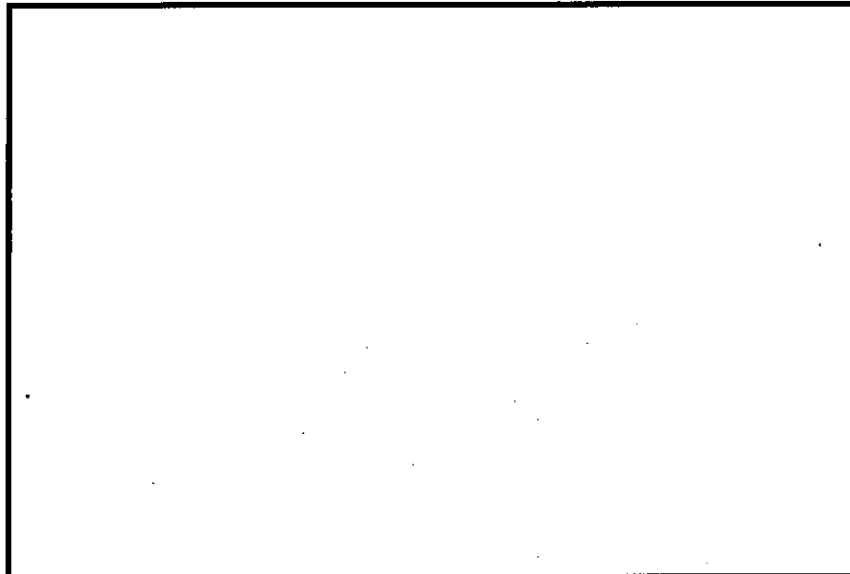
- ・ 錘の全体質量： [] kg
- ・ 錘の衝突速度： [] m/s



写真(口)-第 A. 付 3.1



写真(口)-第 A. 付 3.2 単体試験の状況



写真(口)-第 A. 付 3.3 試験後の[]の状態

(3) 単体試験再現解析

a. 解析モデルの構成

解析モデルは、錘と [] を模擬した [] により構成される。
[] を模擬した [] には、[] の圧縮試験から設定した物性を与え、錘には試験で測定された質量と衝突速度を与える。 []
[] の解析モデルに与えた応力-歪関係を (ロ)-第 A. 付 3.1 図に示す。

b. 解析手順

解析には、動的解析コードの LS-DYNA を使用する。
解析結果から変位と加速度を求め、単体試験の測定データと比較評価を行う。

c. 解析結果

(a) 変位の比較

[] 上面の圧縮方向変位について、試験で測定された変位と解析モデルから得られた変位の比較を (ロ)-第 A. 付 3.2 図に示す。
変位の推移及び変位量ともに、良い近似を示している。

(b) 加速度の比較

試験で測定された加速度と解析モデルから得られた加速度の比較を (ロ)-第 A. 付 3.3 図に示す。それぞれの加速度は、 []

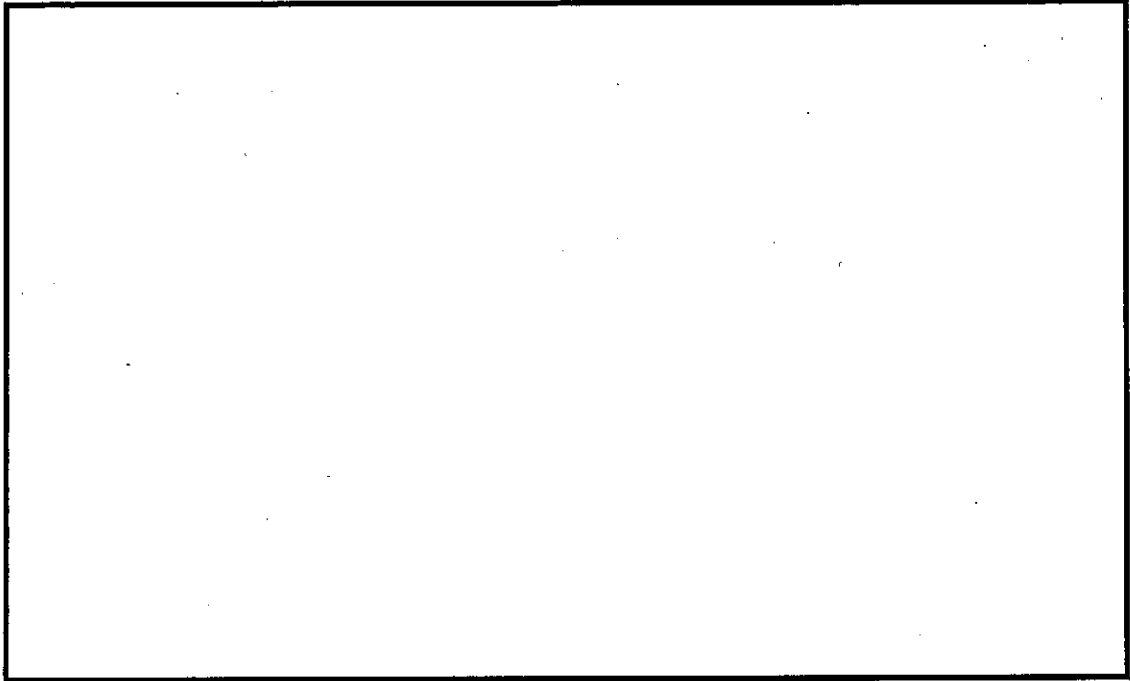


試験で測定された加速度と解析モデルで得られた加速度は、波形及び振幅について良い近似を示している。

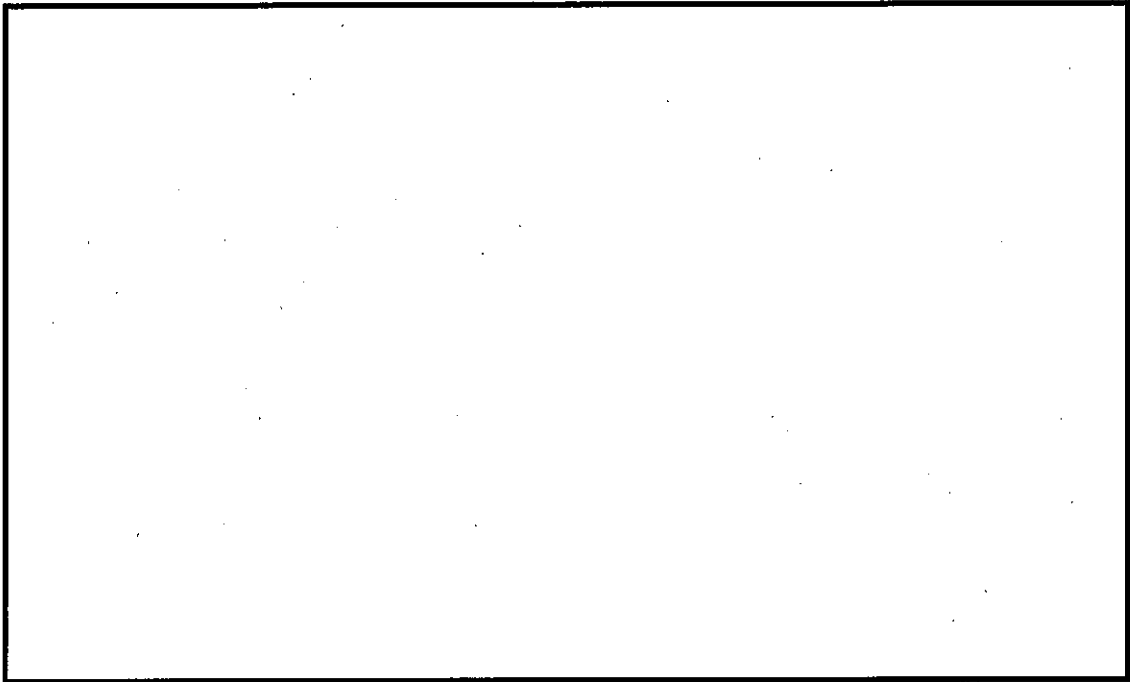
(4) 解析モデルの適用性評価

前項に示すように、試験結果と解析結果を比較すると、変位及び加速度について、それぞれ良く近似していることが示されている。

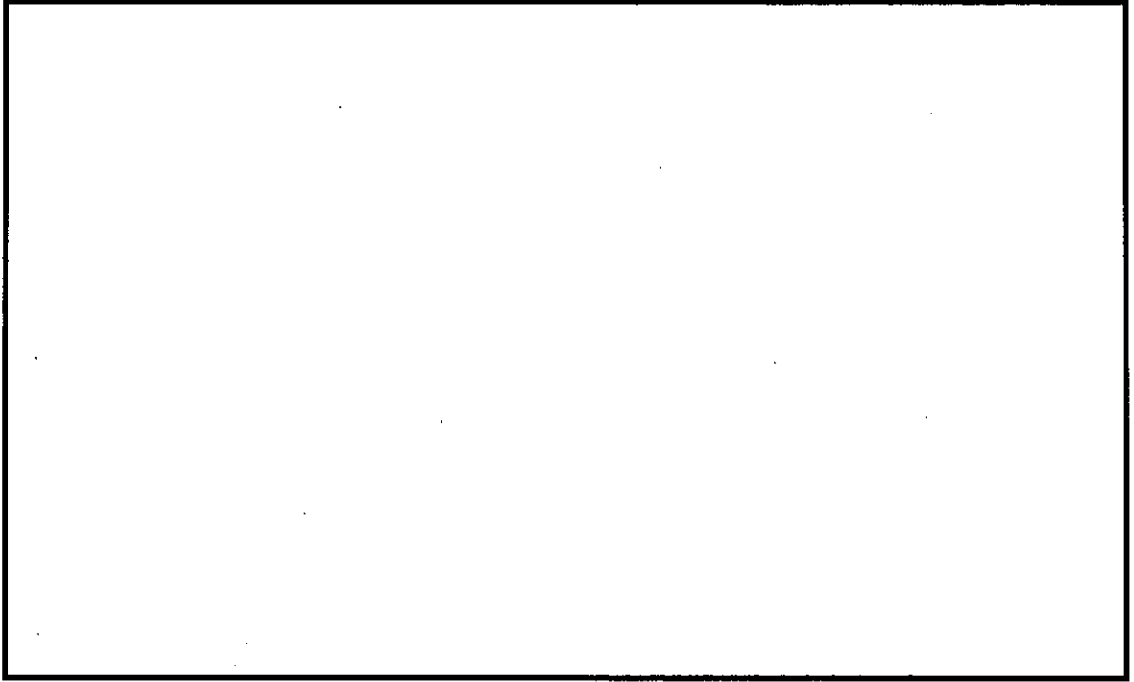
このことから、解析モデルに設定した [] の特性は、輸送容器の落下時の強度評価に用いる解析条件として、適用性のあることが確認された。



(口)-第 A. 付 3.1 図 与えた応力-歪関係



(口)-第 A. 付 3.2 図 変位の比較



(ロ)-第 A. 付 3.3 図 加速度の比較

A.10.4 付属書類-4 参考文献

- 1) E. A. Brandes, G. B. Brook, "Smithells Metals Reference Book 7th Edition", Butterworth-Heinemann, 1992
- 2) ASME, "ASME Boiler & Pressure Vessel Code, SEC II, Part D, Properties (Metric)", 2017
- 3) IMOA, "Practical Guidelines for the Fabrication of High Performance Austenitic Stainless Steels", 2010
- 4) AFNOR, "NF EN 10088-1 Stainless steels - Part 1: List of stainless steels", 2014
- 5) Techniques de l'ingénieur, "Propriétés générales de l'aluminium et de ses alliages", M4661V1, 2005
- 6) VDEh, "SEW310 Physikalische Eigenschaften von Stählen", 1992
- 7) (社) 日本アルミニウム協会, "アルミニウム材料特性データベース", 2001
- 8) "クレーン構造規格 (平成 30 年厚生労働省告示第 33 号)", 2018
- 9) ASME, "ASME Boiler & Pressure Vessel Code, SEC III, Division 3", 2017
- 10) (株) 神戸製鋼所, "神戸製鋼技報 Vol. 20 No. 2 April, 1970、ジルカロイ被覆管に関するデータ集", 1970
- 11) (国研) 日本原子力研究開発機構, "新型転換炉ふげん発電所燃料体設計認可申請書 (照射用セグメント燃料体)"
- 12) ASME, "ASME Boiler & Pressure Vessel Code, SEC III, Appendices", 2017

(口)-B 熱解析

B. 熱解析

B.1 概要

輸送物の熱設計上の特徴を以下に示す。

- ・ 輸送物は乾燥状態で取り扱われ、輸送中の内部気体はヘリウムである。
- ・ 燃料集合体から発生する崩壊熱は、バスケット及び胴を介して銅伝熱体外面から自然対流と放射によって放散される。
- ・ 燃料集合体とロジメントチューブとの間の伝熱は主にヘリウムの伝導と放射によりなされる。
- ・ アルミチューブと胴内面との間の伝熱は主にヘリウムとサポートプレートの伝導と放射によりなされる。
- ・ 銅伝熱体は、胴の外面にボルト止めあるいは溶接により固定される。

熱解析は、一般の試験条件における輸送物各部の温度を求め、構成部品の温度が使用可能温度を超えないことを示すとともに、他の解析への条件を示す。

特別の試験条件においては輸送物各部の温度を求め、構成部品の健全性への影響を示すとともに、他の解析への条件を示す。

さらに、一般の試験条件及び特別の試験条件における輸送物各部の圧力を求め、他の解析への条件を示す。

熱解析の主な条件及び方法を(口)-第B.1表に示す。

(ロ)-第B.1表 熱解析の主な条件及び方法

項目		条件		一般の試験条件		特別の試験条件			
		最高温度評価条件	最低温度評価条件	火災前	火災時	火災後			
崩壊熱量		4.0kW	0kW	4.0kW	4.0kW	4.0kW	4.0kW		
環境 条件	周囲温度	静止空気 38℃	静止空気 □℃	静止空気 38℃	火災 30 分間 800℃	静止空気 38℃			
	太陽熱放射	あり	なし	あり	あり	あり			
	周囲吸収率	1.0	1.0	1.0	0.9 注)	1.0			
計算 モデル	輸送物	軸方向二次元軸対称全体モデル及び半径方向三次元部分モデル (燃料集合体領域は均質化近似)							
	燃料集合体	燃料集合体半径方向二次元断面モデル							
温度分布計算 プログラム		有限要素法による ABAQUS ¹⁾ コード							

注) 火災の放射率を示す

B.2 材料の熱的性質

輸送容器の構成材料のうち、熱解析で用いる材料の熱的性質を(ロ)-第B.2表に示す。
熱的性質として記述した値は、主に当該材料の規格、あるいは文献に記載された相当材料の代表値、並びに試験データを引用している。

B.3 構成要素の仕様

使用温度条件により、その性能が影響を受ける主な構成要素の仕様及び使用可能温度範囲を以下に示す。

(1) レジン

・使用可能温度範囲 : °C ~ °C²⁾

(2) ガスケット ()

・使用可能温度範囲 : °C ~ °C³⁾ (一般の試験条件)
~ °C³⁾ (特別の試験条件)

(ロ)-第B.2表 材料物性 (1/5)

部品	材料	熱伝導率 (温度) (W/(m·K)) (°C)	比熱 (温度) (J/(kg·K)) (°C)	密度 (10 ³ kg/m ³)	放射率
胴、底板	合金鋼 4), 5)				
一次蓋	ステンレス鋼 4), 6)				
リングフランジ	ステンレス鋼 4), 5)				
スカート支持リング、 アルミリング	アルミニウム合金				

(ロ)-第 B.2 表 材料物性 (2/5)

部品	材料	熱伝導率 (温度) (W/(m·K)) (°C)	比熱 (温度) (J/(kg·K)) (°C)	密度 (10 ³ kg/m ³)	放射率
銅伝熱体	銅 ⁷⁾				
レジン					
緩衝材					
レジンカバー、 衝撃吸収カバー外板	ステンレス鋼 ^{4), 6)}				

注) 銅伝熱体外面の Ni メッキに対する値。

(ロ)-第B.2表 材料物性 (3/5)

部品	材料	熱伝導率 (温度) (W/(m·K)) (°C)	比熱 (温度) (J/(kg·K)) (°C)	密度 (10 ³ kg/m ³)	放射率
前部ドラム端板、 取付けカバー	ステンレス鋼 ^{8),9)}				
<input type="text"/> カバー	ステンレス鋼 ⁴⁾				
ガンマ線遮蔽体	タングステン				

(ロ)-第B.2表 材料物性 (4/5)

部品	材料	熱伝導率 (温度) (W/(m·K)) (°C)	比熱 (温度) (J/(kg·K)) (°C)	密度 (10 ³ kg/m ³)	放射率
サポートプレート	ステンレス鋼 ^{4),5)}				
ロジメントチューブ	ステンレス鋼 ⁴⁾				
アルミチューブ					

(ロ)-B-7

(ロ)-第 B.2 表 材料物性 (5/5)

部品	材料	熱伝導率 (温度) (W/(m·K)) (°C)	比熱 (温度) (J/(kg·K)) (°C)	密度 (10 ³ kg/m ³)	放射率
燃料棒	ジルカロイ-2 ^{7),11)}				
燃料ペレット	MOX ^{7),12)}				
内部流体	ヘリウム ⁷⁾				

B.4 一般の試験条件

B.4.1 熱解析モデル

一般の試験条件における輸送物の温度は、解析コードABAQUSを用いた有限要素法による定常熱解析により算出する。

B.4.1.1 解析モデル

(1) 解析モデルと評価部位

以下の3つの解析モデルを用いる。

- ・ 軸方向二次元軸対称全体モデル（以下、「全体モデル」という。）
- ・ 半径方向三次元部分モデル（以下、「部分モデル」という。）
- ・ 燃料集合体半径方向二次元断面モデル（以下、「燃料集合体モデル」という。）

各解析モデルで評価する輸送物部位は以下のとおりである。

全体モデル…………… 前部及び後部衝撃吸収カバー、ドラムカバー、一次蓋、レジン（一次蓋及び底部）、一次蓋ガスケット、リングフランジ、リングフランジ締付けボルト、二次蓋、二次蓋締付けボルト、二次蓋ガスケット、底板

部分モデル…………… 銅伝熱体、レジン（胴部）、胴、ロジメントチューブ、アルミチューブ、サポートプレート

燃料集合体モデル… 燃料被覆管

(2) 各解析モデルの説明

a. 全体モデル

一次蓋下部の [] 領域は [] と空気存在比から、等価な熱的物性を与える。

前部及び後部衝撃吸収カバーの外板と内部に充填されている緩衝材（ [] [] ）及びアルミリングは実形状どおりモデル化する。

バスケット領域は、燃料集合体が存在する領域は上部タイププレート、上部プレナム、燃料有効部、下部プレナム、下部タイププレートの5領域に分割し、それぞれ異方性を考慮した熱伝導率をもつ均質化領域としてモデル化する。軸方向の熱伝導率は、各部材の存在比を考慮した等価熱伝導率とし、径方向の熱伝導率は、部分モデルの解析結果から導かれる等価熱伝達率を与える。燃料集合

体の下（底板側）は燃料集合体支持スペーサーとバスケットの各部材の存在比を考慮した等方性の等価熱伝導率を与える。

バスケット領域の位置は、底板に接するように設置する。このとき、蓋側には13mmの隙間（内部流体）が存在する。

なお、全体モデルではトラニオンはモデル化しないが、トラニオン温度は保守的に胴温度とする。

全体モデルの形状寸法及び要素分割図をそれぞれ(ロ)-第 B.1 図と(ロ)-第 B.2 図に示す。

なお、自由落下により衝撃吸収カバーの一部に変形が生じるが、輸送容器各部の温度を高く評価するため、変形はないものとしている。

b. 部分モデル

燃料集合体の軸方向発熱分布が最も高い中央部領域の輸送容器本体、バスケット及び燃料集合体をモデル化する。

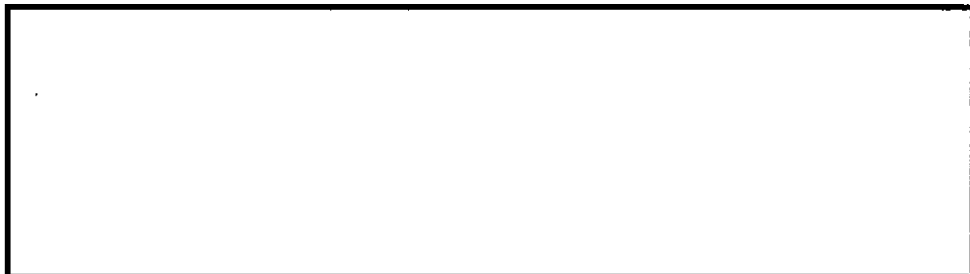
バスケットは軸方向に一様ではなくサポートプレートの領域とロジメントの領域で断面が異なっているため、サポートプレートとロジメントの1ピッチを含む領域をモデル化する。

部分モデルは、容器本体側面の銅伝熱体外面からバスケットのロジメントチューブまでの部品と、均質化した燃料集合体領域で構成する。均質化した燃料集合体領域の熱伝導率は、燃料集合体モデルの解析結果から導かれる等価熱伝導率を与える。

部分モデルの形状寸法を(ロ)-第 B.3 図、要素分割図を(ロ)-第 B.4 図に示す。

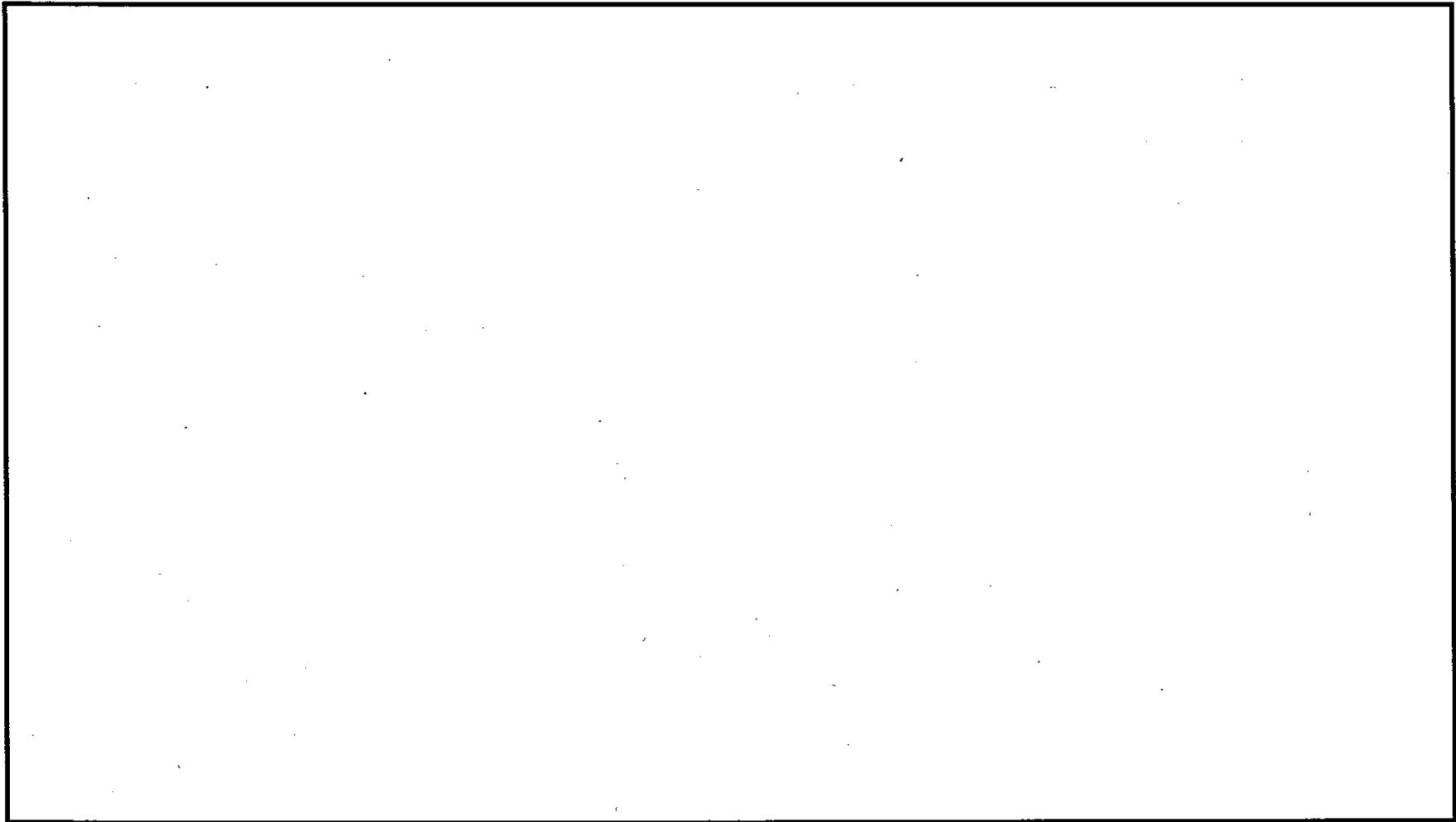
c. 燃料集合体モデル

輸送容器に収納する燃料は5タイプある。



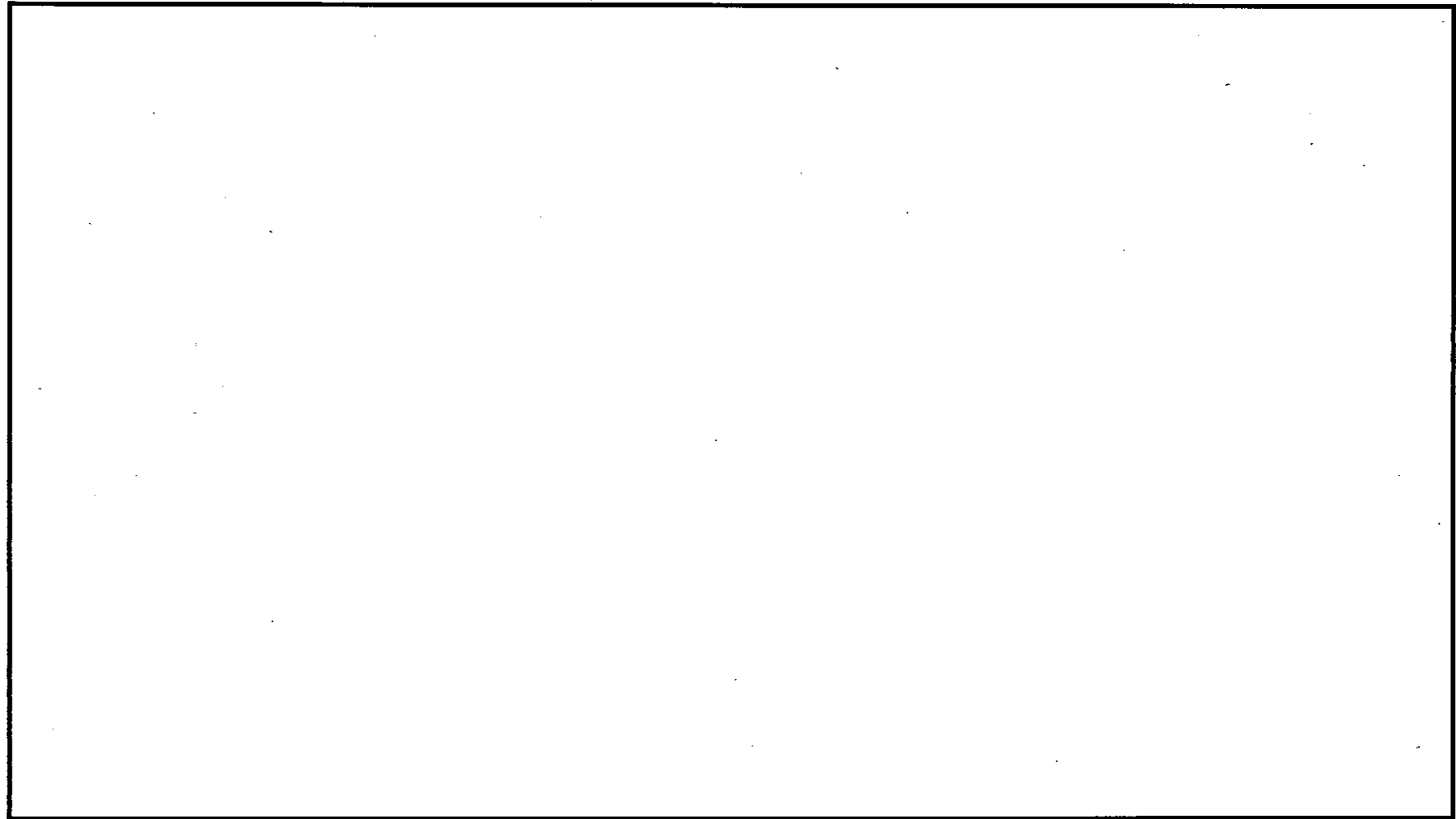
解析モデルの形状寸法及び要素分割図を(ロ)-第 B.5 図～(ロ)-第 B.6 図に示す。

(ロ)-B-11



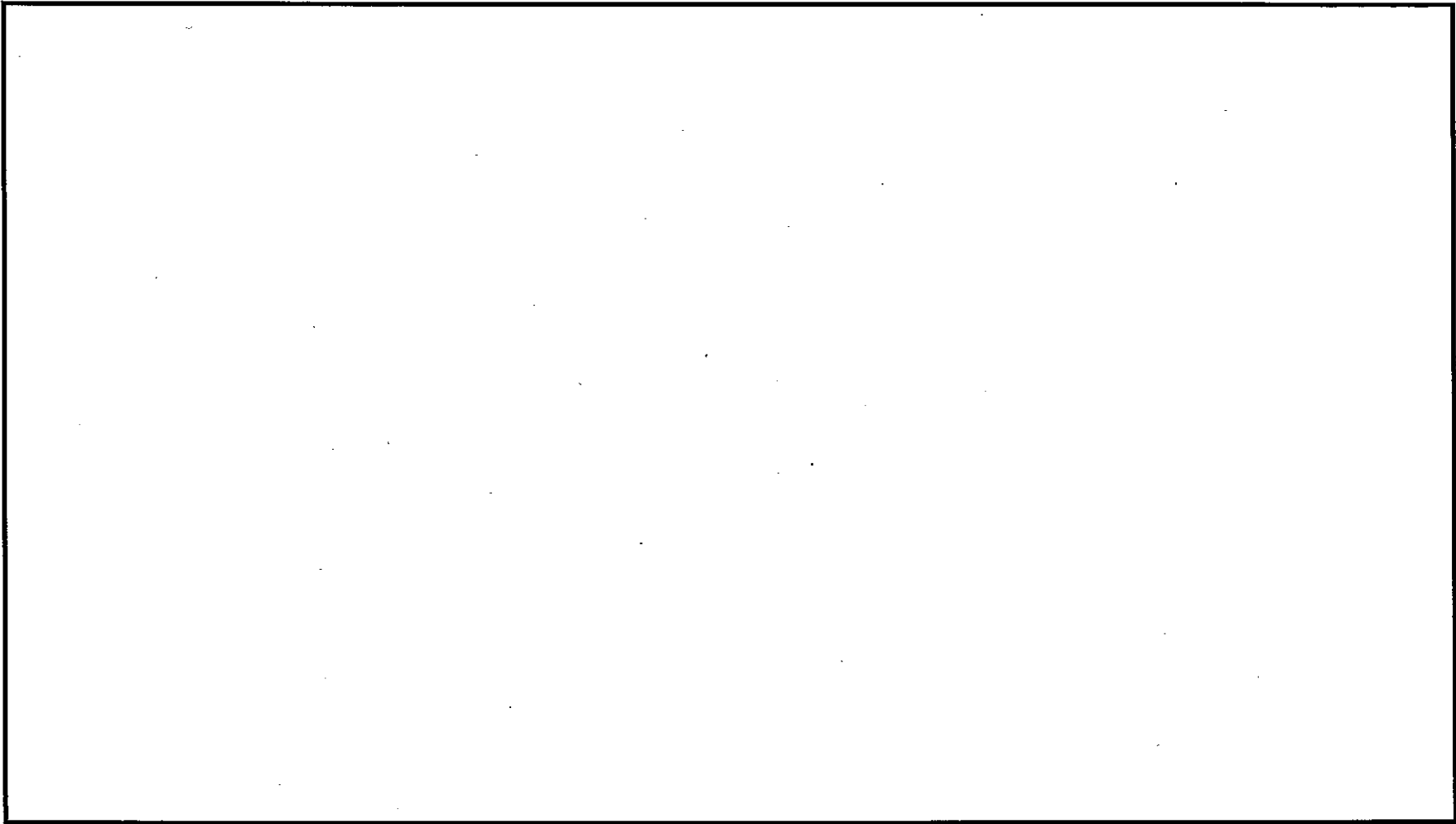
(ロ)-第B.1図 一般の試験条件の全体モデルの形状寸法

(単位：mm)



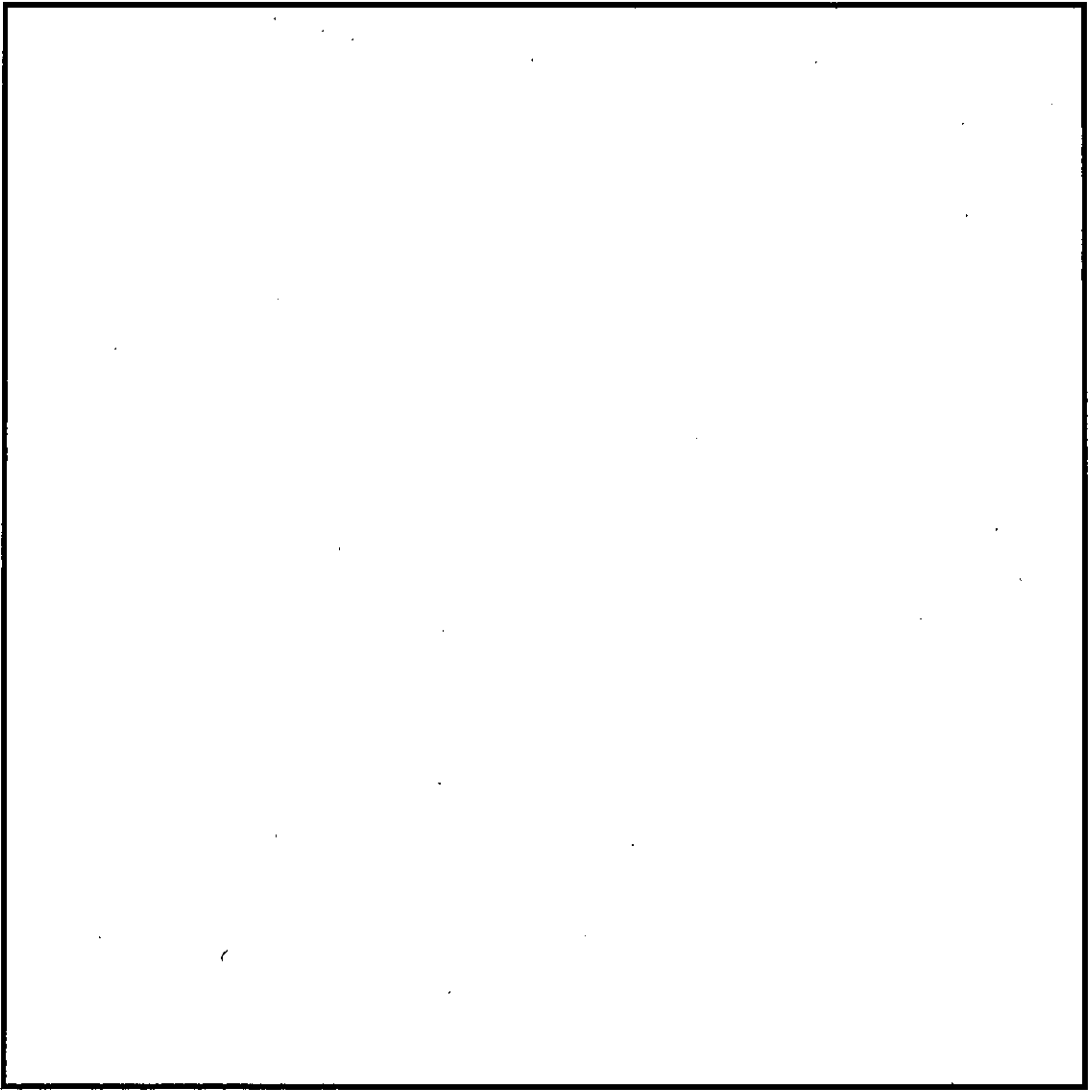
(ロ)-第 B. 2 図 一般の試験条件の全体モデルの要素分割図

(ロ)-B-13

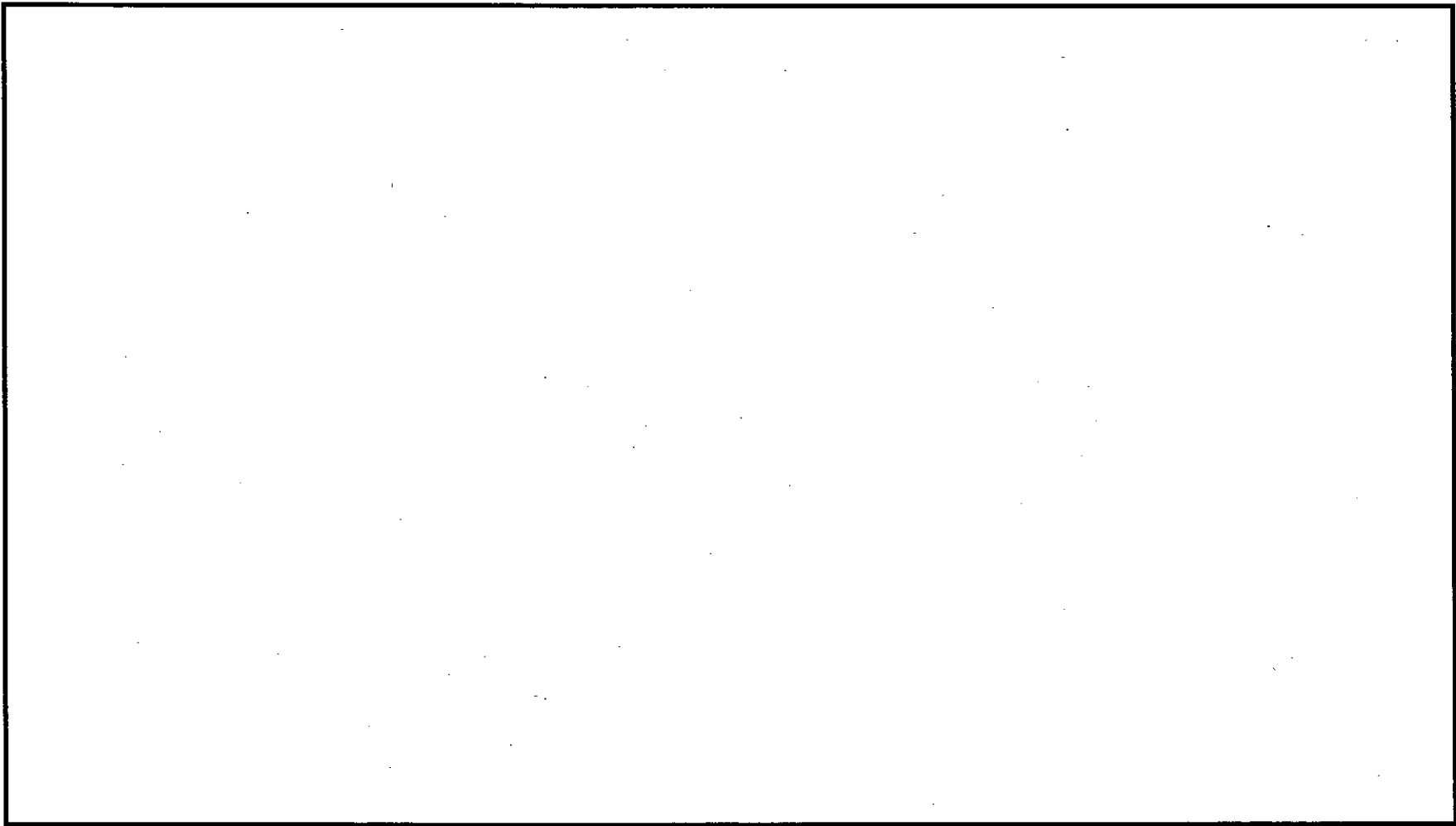


(ロ)-第 B.3 図 部分モデルの形状寸法

(単位 : mm)

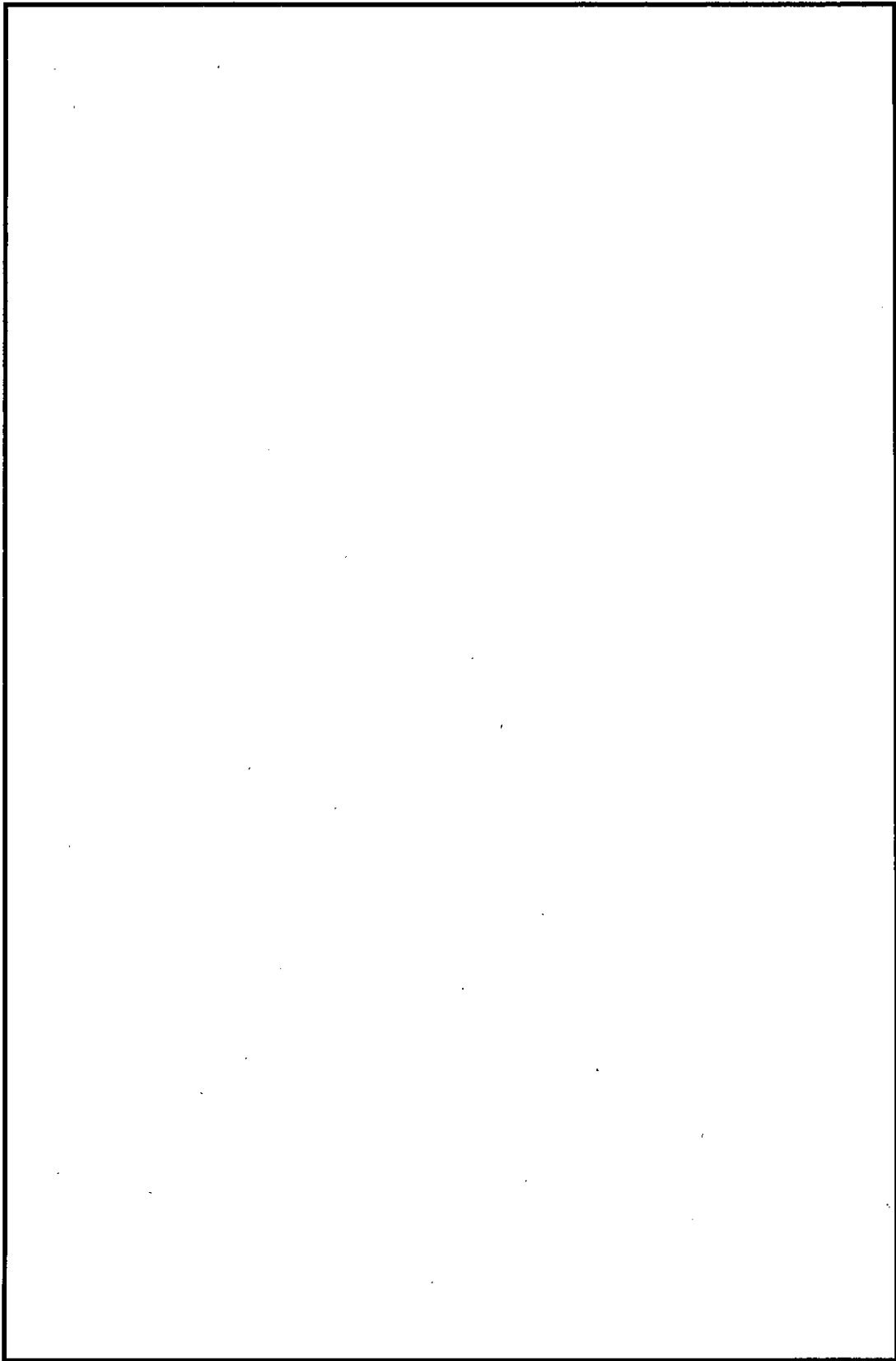


(ロ)-第B.4図 部分モデルの要素分割図



(ロ)-第B.5図 燃料集合体モデルの形状寸法

(単位：mm)



(ロ)-第 B.6 図 燃料集合体モデルの要素分割図

(3) 解析条件

一般の試験条件における解析条件を(ロ)-第 B.3 表に示す。また、太陽熱放射条件を(ロ)-第 B.4 表に示す。

各モデルにおいて考慮した解析条件は次のとおりである。

- 全体モデルにおいては、燃料集合体の軸方向の発熱分布を考慮するために燃料有効部の範囲を 16 領域に分割する。燃料集合体 32 体当たりの軸方向発熱量分布を(ロ)-第 B.7 図に示す。



それぞれのバスケット孔内に相当する発熱量を与える。径方向の発熱量分布を(ロ)-第 B.5 表に、燃料集合体の配置を(ロ)-第 B.8 図に示す。

- 部分モデルにおいては、全体モデルの結果に基づいて軸方向への熱の移動を考慮する。胴内面と銅伝熱体外面の温度が全体モデルの胴内面と銅伝熱体外面の温度と一致するように、胴内面と銅伝熱体外面に負の熱流束を与える。軸方向への熱の逃げのモデル化概念を(ロ)-第 B.9 図に示す。また、実際に用いた軸方向への熱移動量を(ロ)-第 B.6 表に示す。
- 全体モデル及び部分モデルにおいては、周囲温度を境界条件として、自然対流熱伝達と放射による放熱を考慮する。
- 燃料集合体モデルにおいては、部分モデルで最高温度となるロジメントチューブの温度を境界条件とする。

(ロ)-第 B.3 表 一般の試験条件の解析条件

項目		最高温度 評価条件	最低温度 評価条件
崩壊熱量		4.0kW	0kW
環境条件	周囲温度	38℃	<input type="checkbox"/> ℃
	太陽熱放射	あり	なし
	周囲吸収率	1.0	
輸送容器 表面	放射率		
	吸収率		
衝撃吸収 カバー表面	放射率		
	吸収率		

(ロ)-第 B.4 表 太陽熱放射条件

表面の形状及び位置の区分	太陽の放射熱 ^{注1)} (W/m ²)
垂直に輸送される表面	200
その他の表面 (曲面) ^{注2)}	400

注1) 技術基準上は一日につき12時間の負荷であるが、解析上は連続照射とする。

注2) 技術基準上は「水平に輸送されない下向きの表面」に対しては200W/m²であるが、解析上は安全側に全ての曲面に対して400W/m²とする。

(ロ)-第 B. 5 表 部分モデルにおける径方向発熱量分布

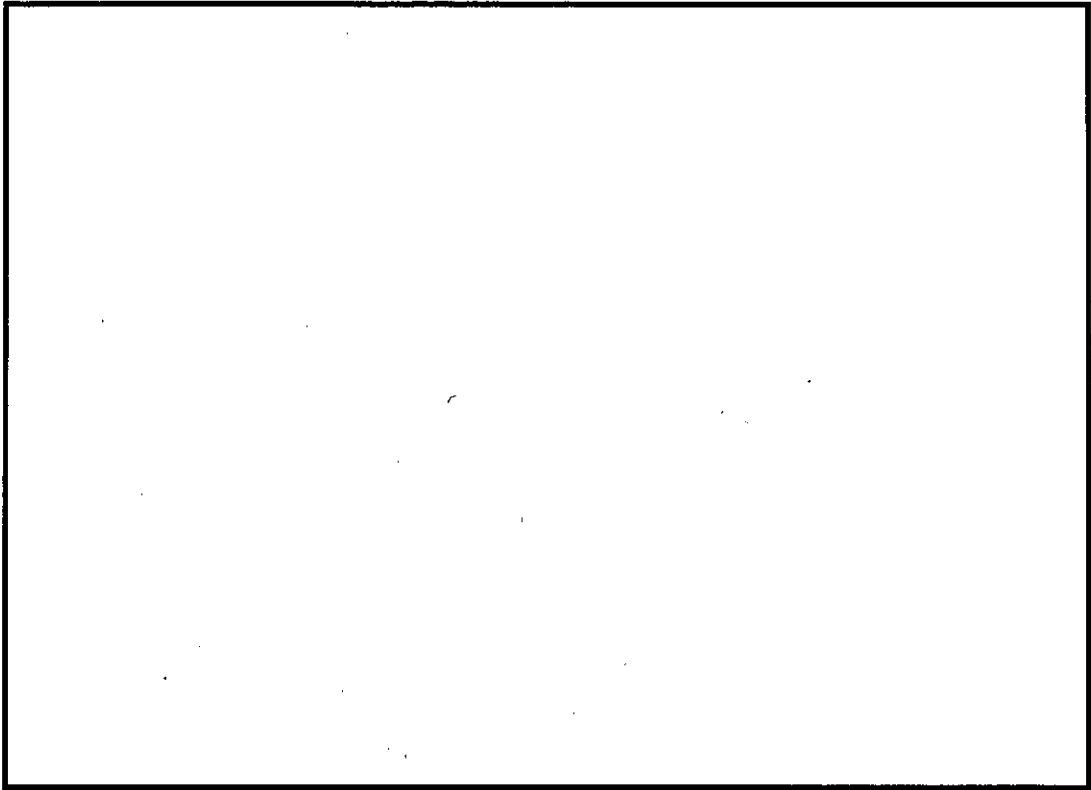
部位	燃料 集合体数	発熱量 ^{注)} (kW)			
		軸方向への 熱の逃げ考慮前		軸方向への 熱の逃げ考慮後	
		1体 当たり	合計	1体 当たり	合計
合計	32 体	—		—	

注) 部分モデルにおける評価領域、すなわち(ロ)-第 B. 7 図における発熱量最大の領域、
 mm)を燃料有効長(mm)あたりに換算した値

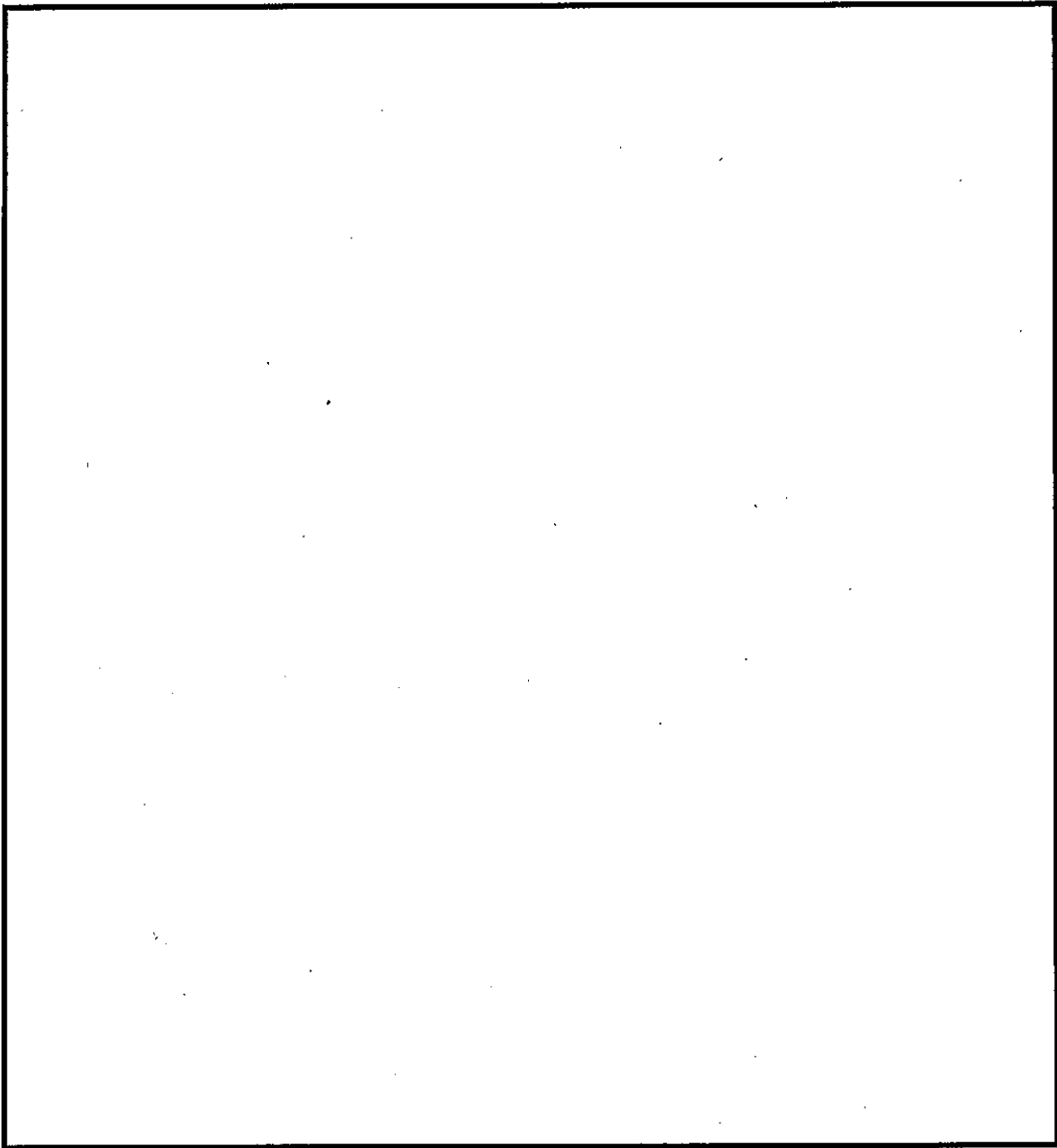
(ロ)-第 B. 6 表 部分モデルにおける軸方向への熱移動量

部位	軸方向への熱移動量 ^{注)} (kW)

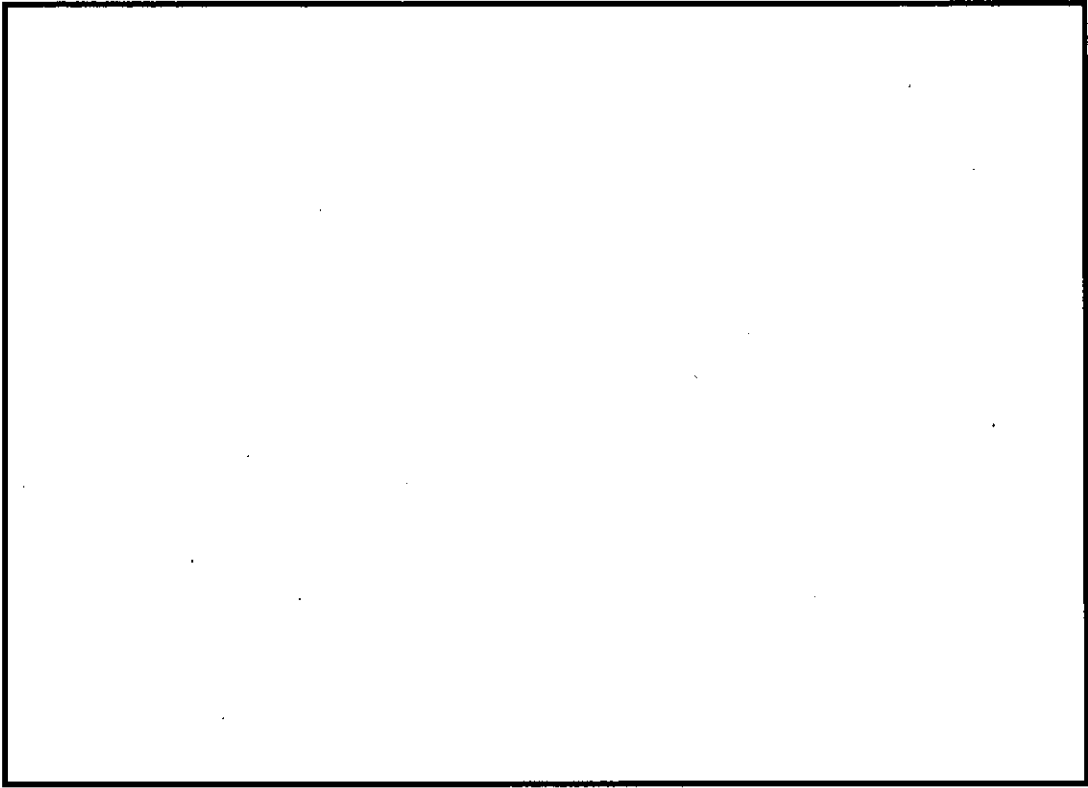
注) 部分モデルにおける評価領域、すなわち(ロ)-第 B. 7 図における発熱量最
 大の領域(mm)を燃料有効長(mm)あたりに換算した値



(口)-第 B. 7 図 燃料集合体 32 体当たりの軸方向発熱量分布



(口)-第 B. 8 図 燃料集合体の配置



(ロ)-第 B. 9 図 軸方向への熱の逃げのモデル化概念

B.4.2 最高温度

一般の試験条件における、B.4.1 に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた輸送物各部の最高温度の結果を(口)-第B.7表に示す。

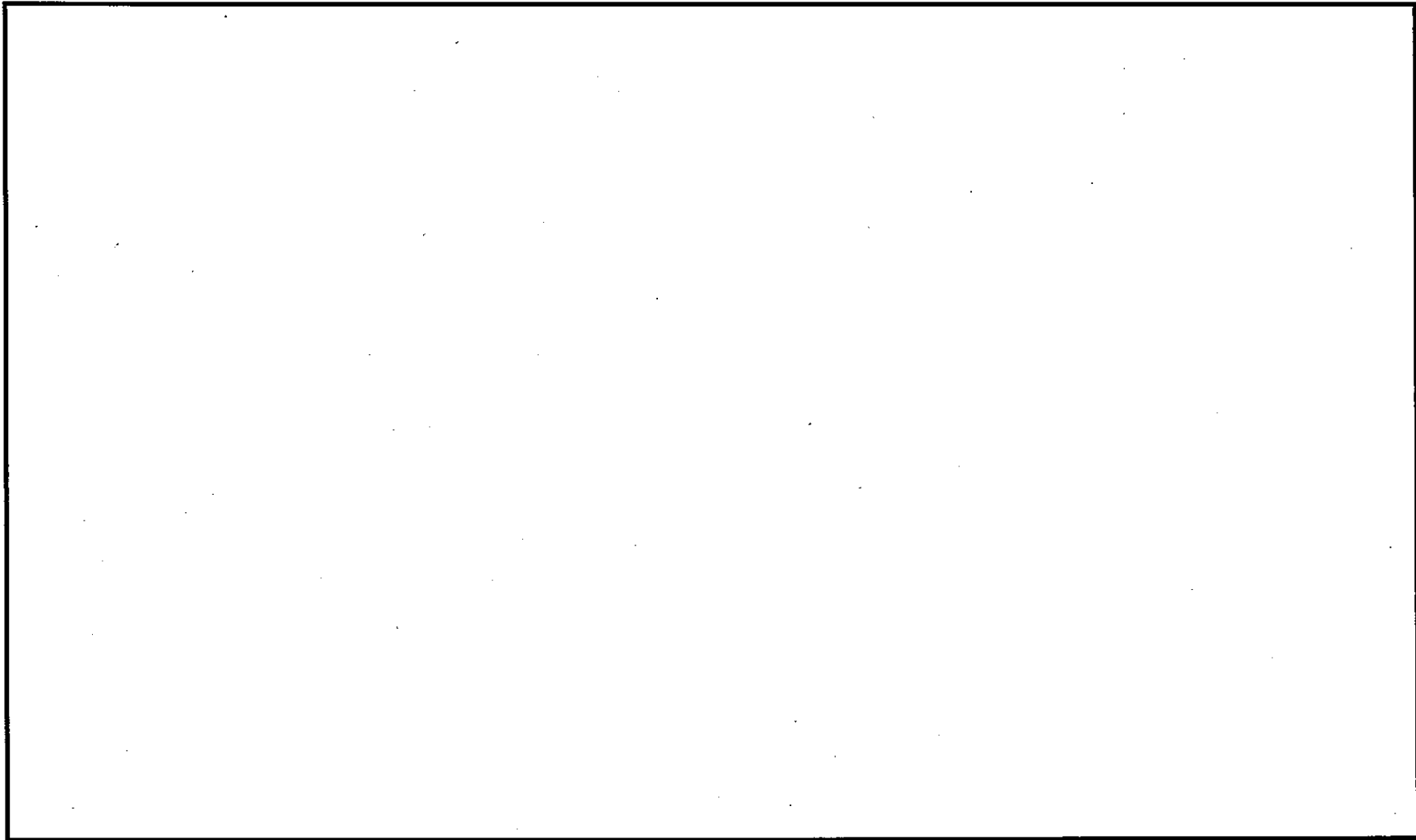
ABAQUS コードで解析して得られた一般の試験条件で太陽熱放射のある場合の輸送物とその収納物の各部の温度分布を(口)-第B.10図～(口)-第B.12図に示す。なお、部分モデルは全体モデルの胴内面の最高温度を示す断面を境界条件としている。

一般の試験条件において、各部の温度は B.3 に示す使用可能温度を超えることはない。

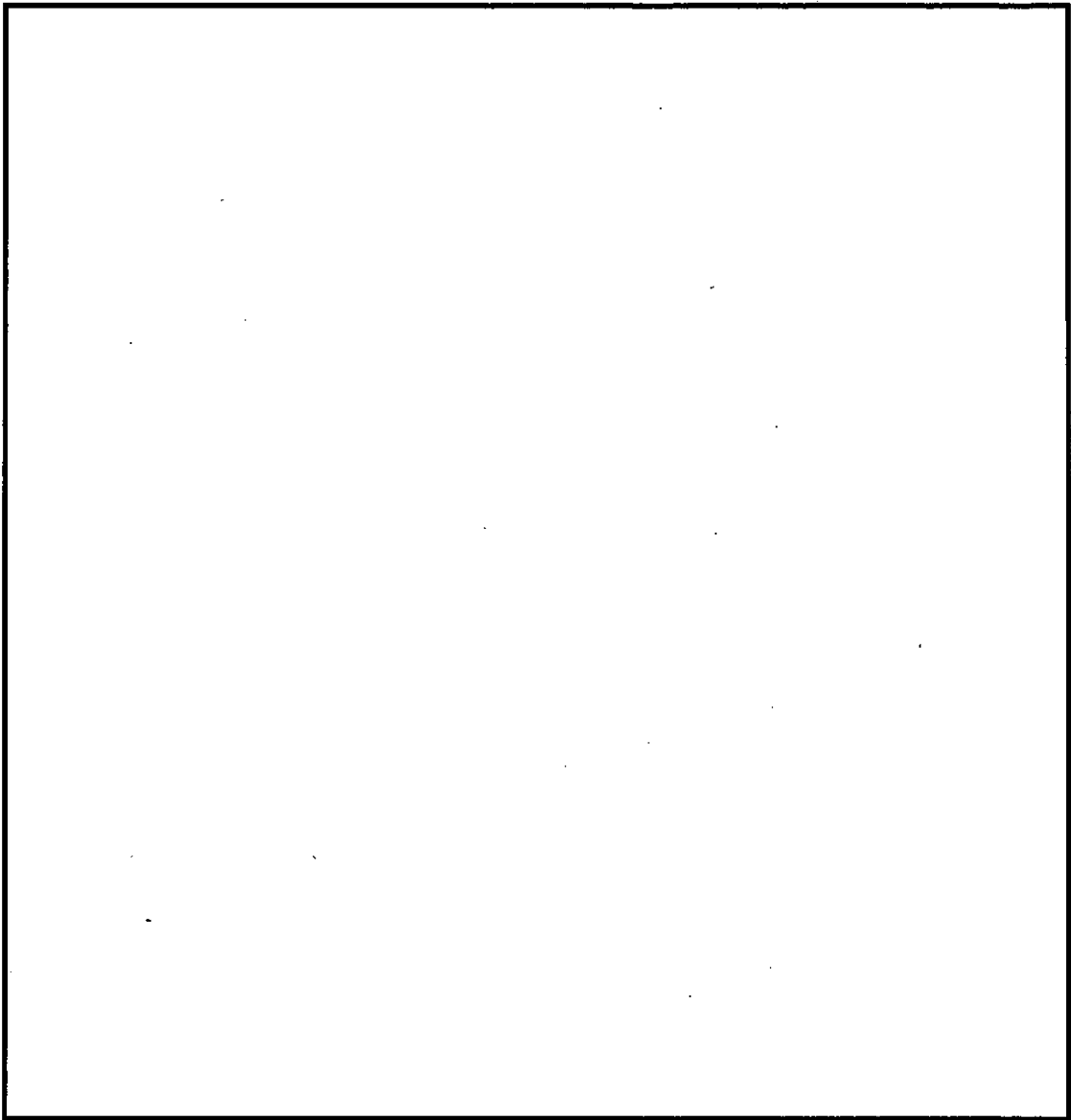
また、太陽熱放射なしの場合において、輸送物表面の温度は規則に定める基準値である 85℃を超えない。

(ロ)第B.7表 一般の試験条件の最高温度

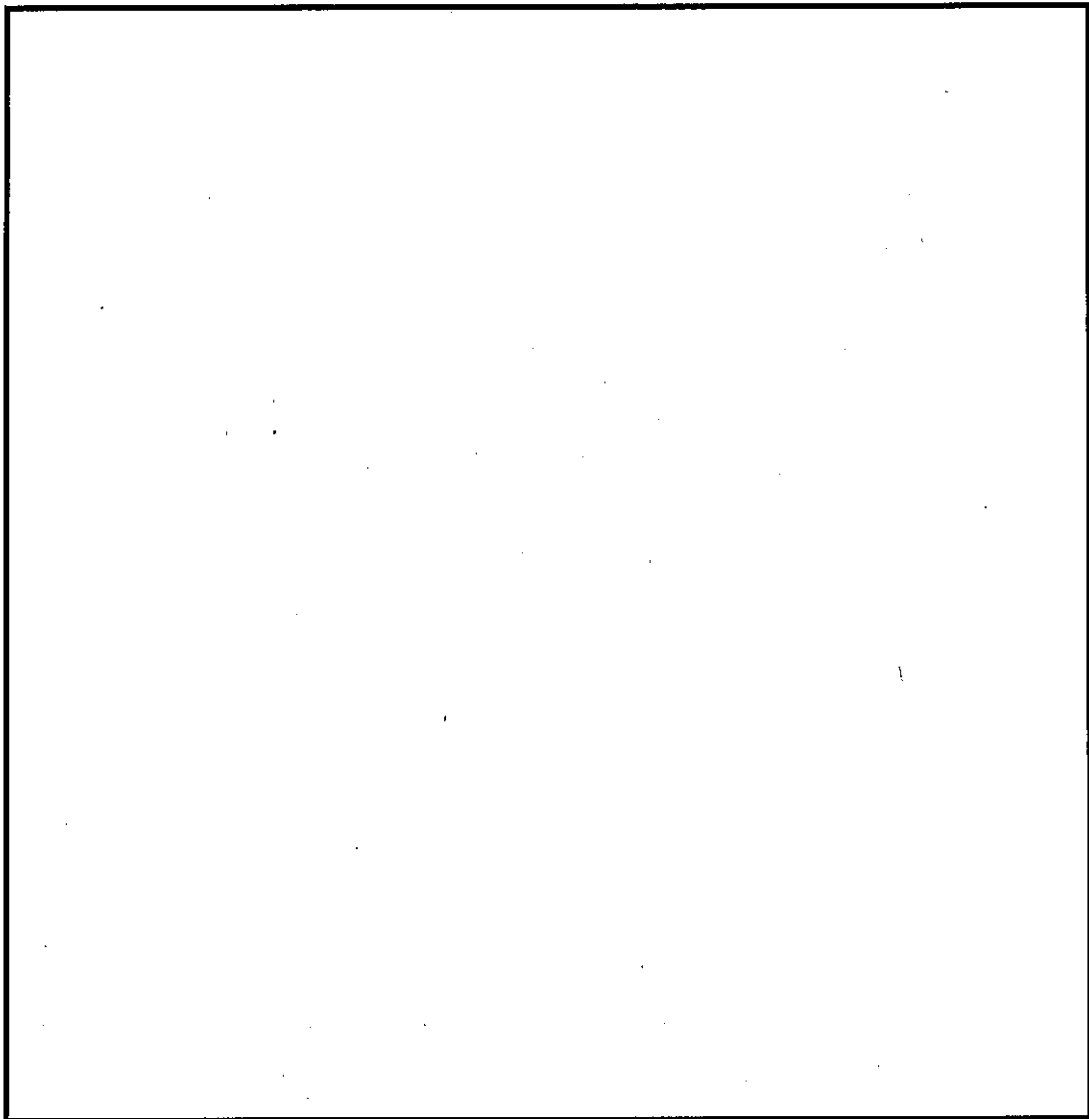
部位	温度 (°C) (太陽熱放射あり)	温度 (°C) (太陽熱放射なし)	
衝撃吸収カバー表面	74	53	
ドラムカバー表面	88	64	
銅伝熱体外面	96	70	
胴	101	75	
底板	93	69	
一次蓋	88	64	
リングフランジ	87	63	
二次蓋	85	61	
リングフランジ締付けボルト	87	63	
二次蓋締付けボルト	85	61	
一次蓋ガスケット	87	63	
二次蓋ガスケット	84	60	
レジン	一次蓋	88	64
	胴部	98	73
	底部	91	68
トラニオン	101	75	
ロジメントチューブ	158	135	
アルミチューブ	158	135	
サポートプレート	156	133	
燃料被覆管	169	150	



(ロ)-第 B.10 図 一般の試験条件の全体モデル温度分布



(ロ)-第 B. 11 図 一般の試験条件の部分モデル温度分布



(ロ)-第 B. 12 図 一般の試験条件の燃料集合体モデル温度分布 (タイプ 4)

B. 4. 3 最低温度

輸送物の最低使用温度条件は、(ロ)-第 B. 3 表に記載したように□℃の大気中において、太陽熱放射を受けず発熱量が 0kW の時であり、輸送物の最低温度は□℃である。この温度において、構成材料に悪影響を及ぼすような要因は生じない。また、輸送物は乾式であり、胴内はヘリウムが充填されるため凍結することはない。

B. 4. 4 最大内圧

輸送物は、発送前の熱平衡時において、輸送容器の内圧が大気圧以下となるように調整される。

輸送物は乾式であり、輸送中の蒸気圧の上昇あるいは水の放射線分解による内部圧力の要因はない。

したがって、一般の試験条件における最大内圧は□MPa 絶対圧であり、大気圧の変動 ($\pm 0.004\text{MPa}$) を考慮しても 0.097MPa 絶対圧を超えることはない。

B. 4. 5 最大熱応力

一般の試験条件において、温度分布により、容器本体及びバスケットには熱応力が生じるが、(ロ)-A. 5. 1 に示すように、いずれも評価基準を下回っている。

B. 4. 6 結果の要約及びその評価

(1) 最高温度

太陽熱放射なしの場合において、輸送物表面の温度は規則に定める基準値である 85°C を超えない。

使用温度条件により、その性能が影響を受ける主な構成要素の温度は、その材料の使用可能温度範囲を超えない。

したがって、一般の試験条件における輸送物の温度によって、輸送容器の健全性が損なわれることはない。

(2) 最低温度

輸送物の最低温度は□℃である。この温度は輸送容器構成部品の使用可能温度範囲内であり、輸送容器の健全性が損なわれることはない。

(3) 最大内圧

最大内圧は 0.097MPa 絶対圧を超えることはない。ただし、構造解析では内外圧力差を□MPa として評価を行っている。

(4) 最大熱応力

温度分布により容器本体及びバスケットに発生する熱応力は基準値を下回っている。

したがって、一般の試験条件における温度分布によって発生する熱応力により輸送容器の構造健全性が損なわれることはない。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

特別の試験条件における輸送物の温度は、解析コードABAQUSを用いた有限要素法による非定常熱解析により算出する。

B.5.1.1 解析モデル

(1) 解析モデルと評価部位

B.4.1.1 に説明した以下の3つの解析モデルを用いる。

- ・ 全体モデル
- ・ 部分モデル
- ・ 燃料集合体モデル

各解析モデルで評価する輸送物部位は以下のとおりである。

全体モデル…………… 前部及び後部衝撃吸収カバー、ドラムカバー、一次蓋、
レジン（一次蓋及び底部）、一次蓋ガスケット、リング
フランジ、リングフランジ締付けボルト、二次蓋、
二次蓋ガスケット、二次蓋締付けボルト、胴、底板
部分モデル…………… 銅伝熱体、レジン（胴部）、ロジメントチューブ、ア
ルミチューブ、サポートプレート
燃料集合体モデル… 燃料被覆管

(2) 各解析モデルの説明

各解析モデルにおける均質化は、一般の試験条件と同じである。

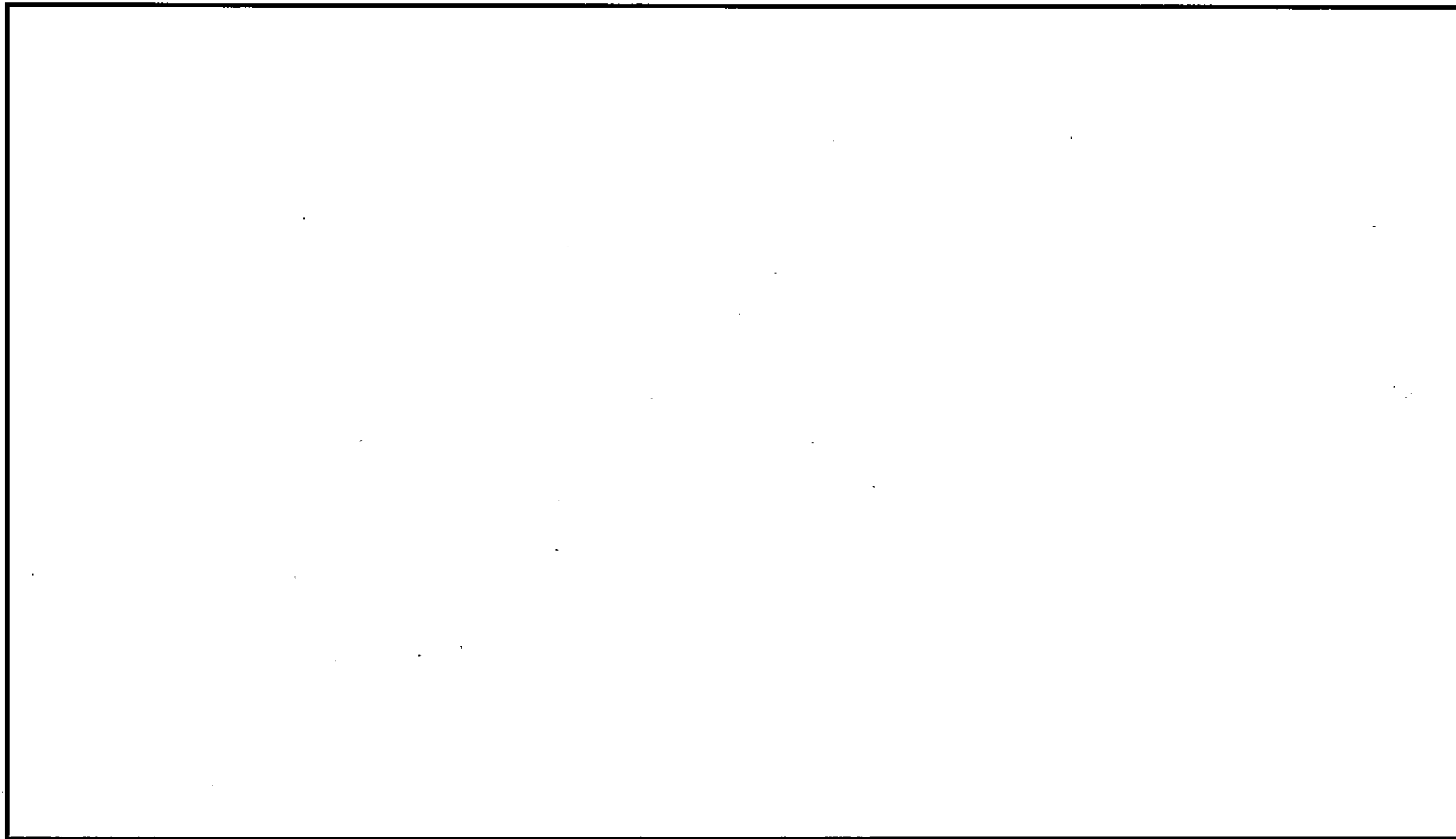
特別の試験条件における熱解析は、強度試験（9m 落下試験及び 1m 貫通試験）条件に引き続いて、耐火試験条件にさらされるものとし、落下試験等の影響を以下のように解析モデルに考慮する。

- ・ 9m 落下試験により衝撃吸収カバーが変形するため、変形後の形状をモデルに考慮する。
- ・ 1m 貫通試験における輸送物の変形は、衝撃吸収カバー及び銅伝熱体に生じる変形である。銅伝熱体には直径 150mm の範囲の変形が生じるが、熱解析結果への影響は無視しうるものであることから、解析モデルでは銅伝熱体に変形しないものとする。また、衝撃吸収カバーに穴があく可能性があるが、局所的であり断熱効果への影響は無視しうるものであることから、解

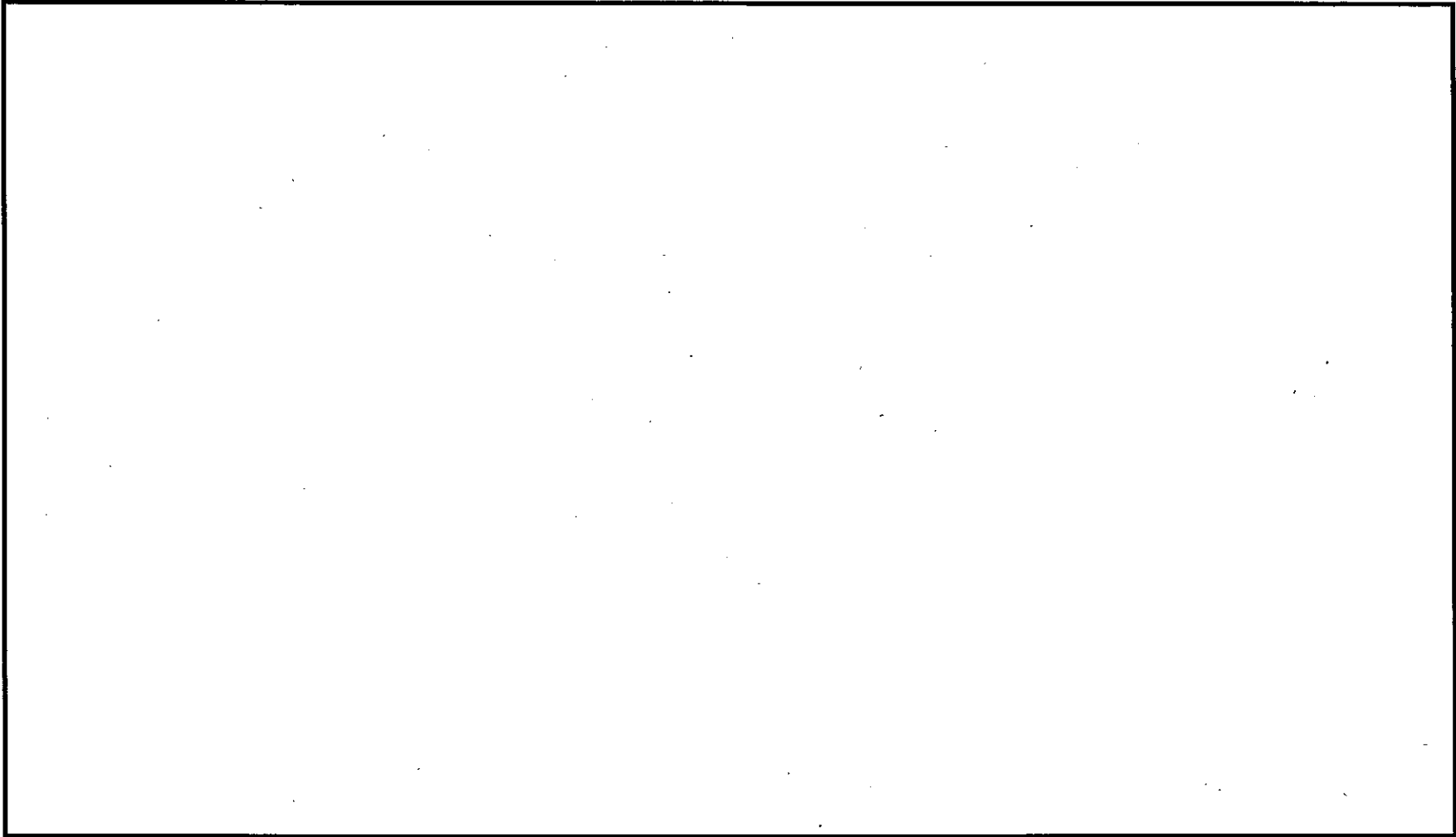
析モデルでは衝撃吸収カバーの貫通孔はないものとする。

- ・ 容器本体、バスケット及び燃料集合体については、一般の試験条件での条件と同じとする。
- ・ 9m 落下試験により、全燃料棒から FP ガスが放出されるものと仮定し、内部流体の熱伝導率の低下を考慮する。

以上の条件を考慮した特別の試験条件に対する、全体モデルの形状寸法を(口)-第 B.13 図に、要素分割図を(口)-第 B.14 図に示す。また、部分モデルの形状寸法及び要素分割図は(口)-第 B.3 図及び(口)-第 B.4 図に示すとおりである。また、燃料集合体モデルの形状寸法及び要素分割図は、(口)-第 B.5 図及び(口)-第 B.6 図に示すとおりである。ただし、部分モデル及び燃料集合体モデルの内部流体は、全体モデル同様にヘリウム及び FP ガスである。



(ロ)-第 B.13 図 特別の試験条件の全体モデル形状寸法



(ロ)-第 B. 14 図 特別の試験条件の全体モデル要素分割図

(3) 解析条件

特別の試験条件における解析条件を(ロ)-第 B.8 表に示す。火災時は火炎の放射による入熱が主となる。また、太陽熱放射条件は(ロ)-第 B.4 表に示したとおりである。

各解析モデルにおいて考慮した解析条件は、次のとおりである。

- ・ 特別の試験条件における径方向の発熱量分布を(ロ)-第 B.9 表に示す。
- ・ 部分モデルにおいては、一般の試験条件と同様に軸方向への熱の移動を考慮する。ただし、火災時には胴内面と銅伝熱体外面における軸方向への熱の逃げを考慮しないこととする。また、火災後には全体モデルの胴内の軸方向への熱の逃げ量と一致するように、外周部に収納された燃料集合体領域の発熱密度の低減と胴内面と銅伝熱体外面に負の熱流束の付与を行うこととする。実際に用いた軸方向への熱移動量を(ロ)-第 B.10 表に示す。
- ・ 特別の試験条件における内部流体（ヘリウム及び FP ガス）の熱伝導率は、FP ガス放出後の胴内のヘリウム及び FP ガスのモル分率を考慮して、混合気体の熱伝導率の計算式⁷⁾を用いて算出する。特別の試験条件における内部流体の熱伝導率を(ロ)-第 B.11 表に示す。
- ・ 各モデルのその他の解析条件は、一般の試験条件と同様である。

(ロ)-第 B.8 表 特別の試験条件の解析条件

項目		火災前	火災時	火災後
崩壊熱量		4.0kW		
環境条件	周囲温度	38℃	800℃ (30 分間)	38℃
	太陽熱放射	あり	あり	あり
	周囲吸収率	1.0	0.9 ^{注)}	1.0
輸送容器 表面	放射率			
	吸収率			
衝撃吸収 カバー表面	放射率			
	吸収率			

注) 火炎の放射率を示す。

(ロ)-第 B. 9 表 部分モデルにおける径方向発熱量分布の値

部位	燃料 集合体数	発熱量 ^{注)} (kW)					
		軸方向への 熱の逃げ 考慮前		軸方向への熱の逃げ考慮後			
				火災前		火災後	
		1体 当たり	合計	1体 当たり	合計	1体 当たり	合計
合計	32 体	—		—		—	

注) 部分モデルにおける評価領域、すなわち(ロ)-第 B. 7 図における発熱量最大の領域 (□ mm) を燃料有効長 (□ mm) 当たりに換算した値

(ロ)-第 B. 10 表 部分モデルにおける軸方向への熱移動量

部位	軸方向への熱移動量 ^{注)} (kW)	
	火災前	火災後

注) 部分モデルにおける評価領域、すなわち(ロ)-第 B. 7 図における発熱量最大の領域 (□ mm) を燃料有効長 (□ mm) 当たりに換算した値

(口)-第 B. 11 表 特別の試験条件における内部流体の熱伝導率

温度(K(°C))	熱伝導率(W/(m·K))
300 (26. 85)	
400 (126. 85)	
500 (226. 85)	
600 (326. 85)	

B. 5.2 輸送物の評価条件

9m 落下試験における輸送物の変形は衝撃吸収カバーに生じる変形である。衝撃吸収カバーの変形量は次のとおりである。ここで、水平落下時においては前部及び後部スカート支持リング、並びに前部及び後部衝撃吸収カバーが変形するが、変形領域は局所的であり、また変形しても内部のアルミニウム合金の体積が減少するわけではないことから、安全側に水平落下時の変形量は□mm とする。

- ・ 前部垂直落下 : □ (mm)
- ・ 後部垂直落下 : □ (mm)
- ・ 水平落下 : □ (mm)
- ・ 前部コーナー落下 : □ (mm)
- ・ 後部コーナー落下 : □ (mm)

解析においては、垂直落下、水平落下及びコーナー落下の変形後の形状を包絡するような形状に衝撃吸収カバーをモデル化する。

1m 貫通試験における輸送物の変形は、衝撃吸収カバー及び銅伝熱体に生じる変形である。衝撃吸収カバーは落下時に穴があく可能性があるが、局所的であるので、断熱効果に大きな変化はない。また、銅伝熱体の最大変形は直径 150mm の範囲の変形である。この変形は局所的であり、銅伝熱体に変形していないと仮定しても、輸送物の熱的性能に影響をおよぼすことはない。

なお、燃料被覆管については、(ロ)-A.6.1.5 に示したように、9m 落下時には約□%の塑性変形並びに部分的な燃料棒ピッチの拡大及び縮小が想定されるが、燃料棒ピッチが燃料被覆管温度に与える影響は小さく、また、上部及び下部タイプレートの変形を考慮しない方が燃料被覆管温度を安全側に評価することから、燃料被覆管の変形はないものとしてモデル化する。

B. 5.3 輸送物温度

特別の試験条件における B. 5.1 に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた輸送物各部の最高温度の結果と、そのときの火災発生後からの時間を(ロ)-第 B. 12 表に示す。

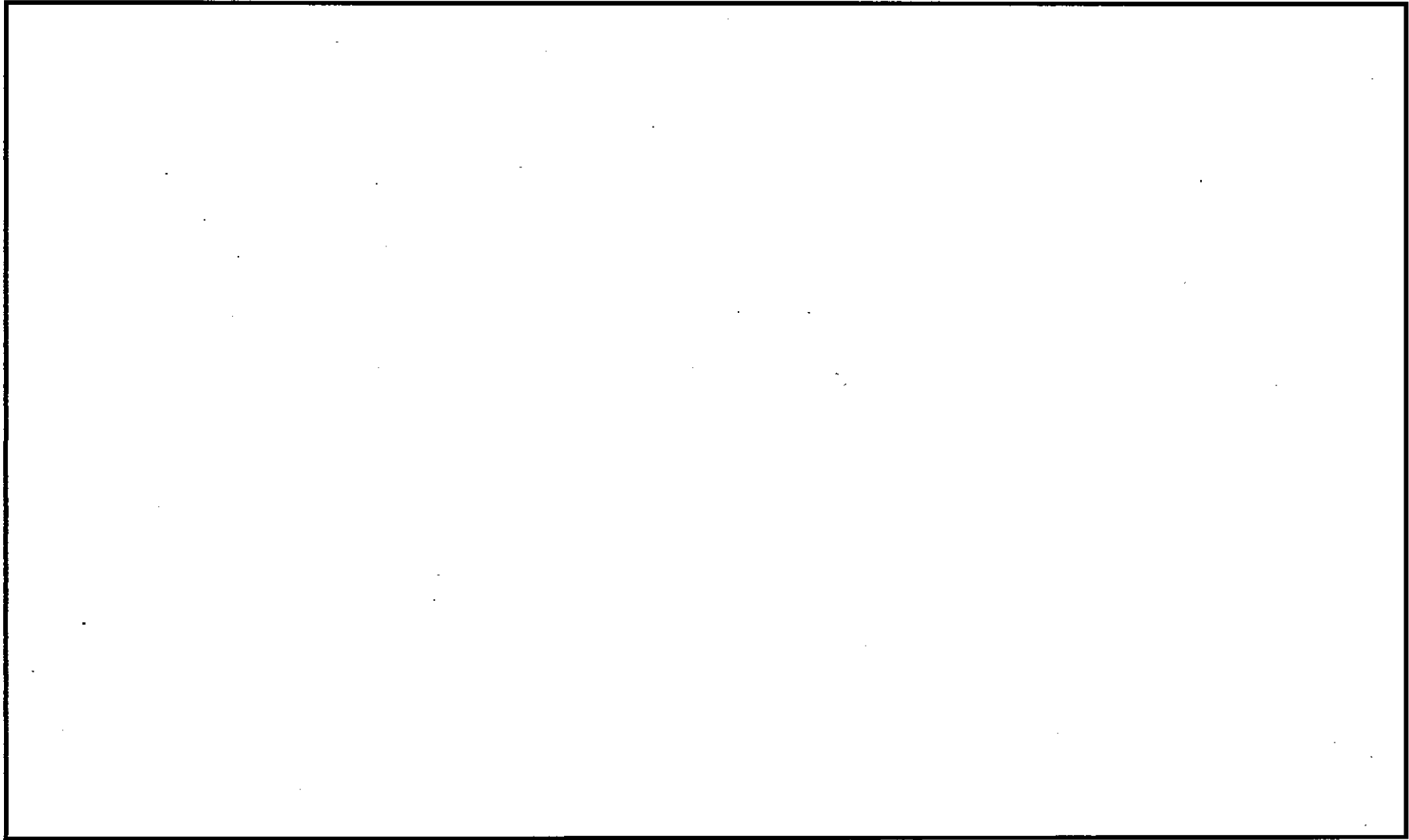
ABAQUS コードで解析して得られた火災発生 30 分後の輸送物各部の温度分布を(ロ)-第 B. 15 図及び(ロ)-第 B. 16 図に、また、バスケット領域温度が最も高くなる火災発生から□時間後における温度分布を(ロ)-第 B. 17 図、(ロ)-第 B. 18 図及び(ロ)-第 B. 19 図(部分モデル及び燃料集合体モデルは□時間後)に、さらに、時

刻歴温度変化を(ロ)-第 B. 20 図に示す。

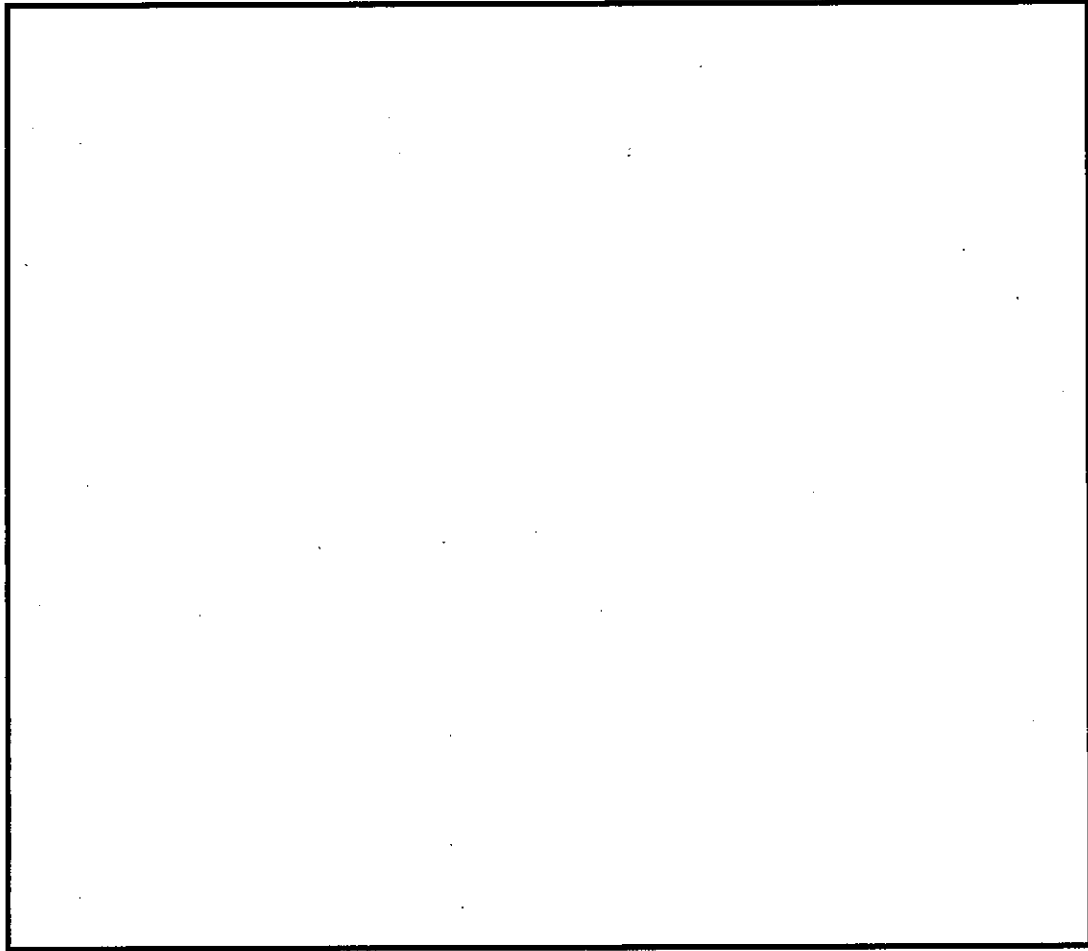
なお、密封境界となる一次蓋ガスケットの最高温度は 132℃となり、使用可能温度 ℃を超えることはない。

(ロ)-第B.12表 特別の試験条件の最高温度

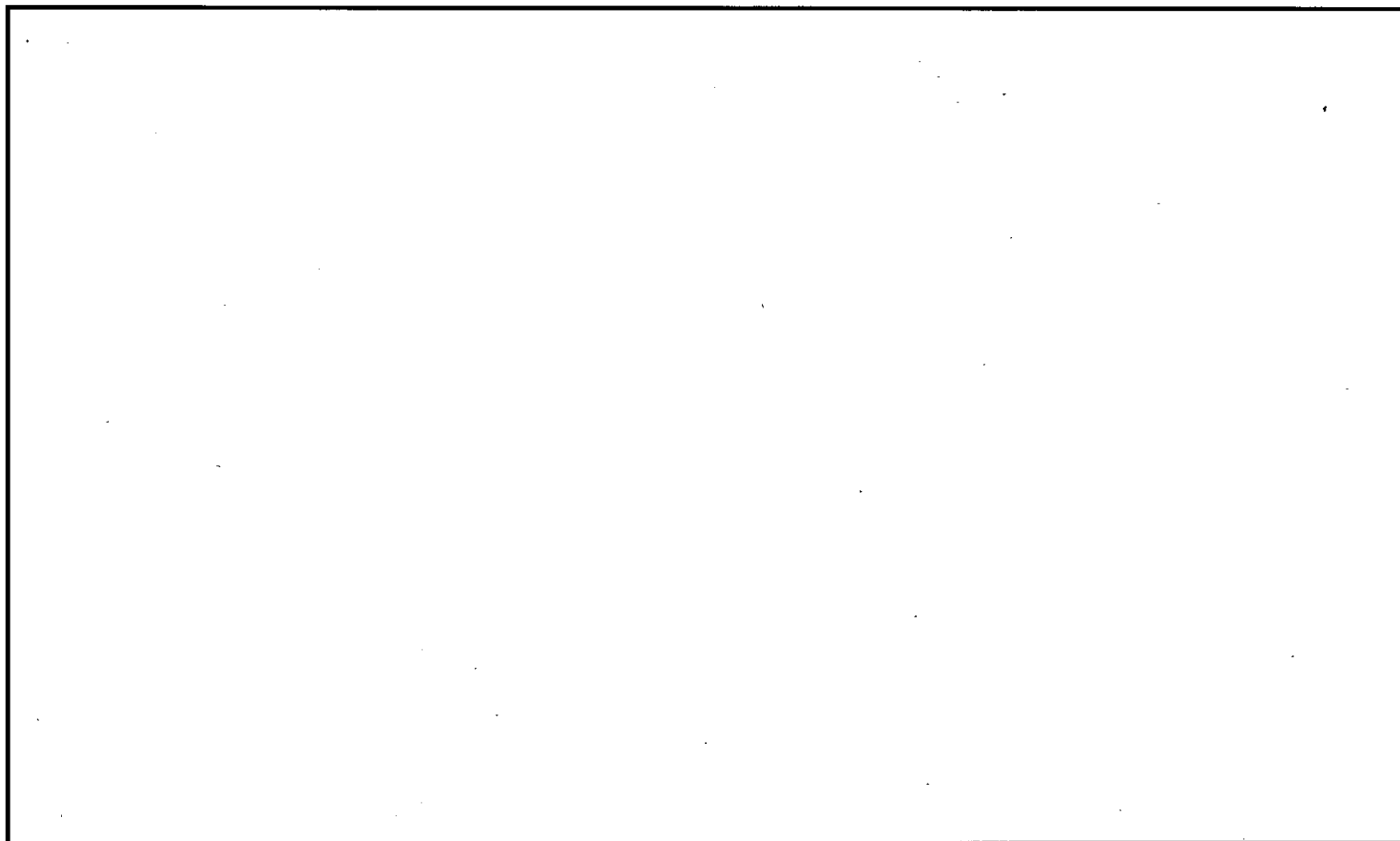
部位		温度(°C)	火災発生後の 時間(h)
衝撃吸収カバー表面		793	
ドラムカバー表面		732	
銅伝熱体表面		479	
胴		247	
底板		148	
一次蓋		132	
リングフランジ		130	
二次蓋		131	
リングフランジ締付けボルト		130	
二次蓋締付けボルト		131	
一次蓋ガスケット		132	
二次蓋ガスケット		131	
レジン	一次蓋	130	
	胴部	478	
	底部	143	
ロジメントチューブ		254	
アルミチューブ		254	
サポートプレート		240	
燃料被覆管		278	



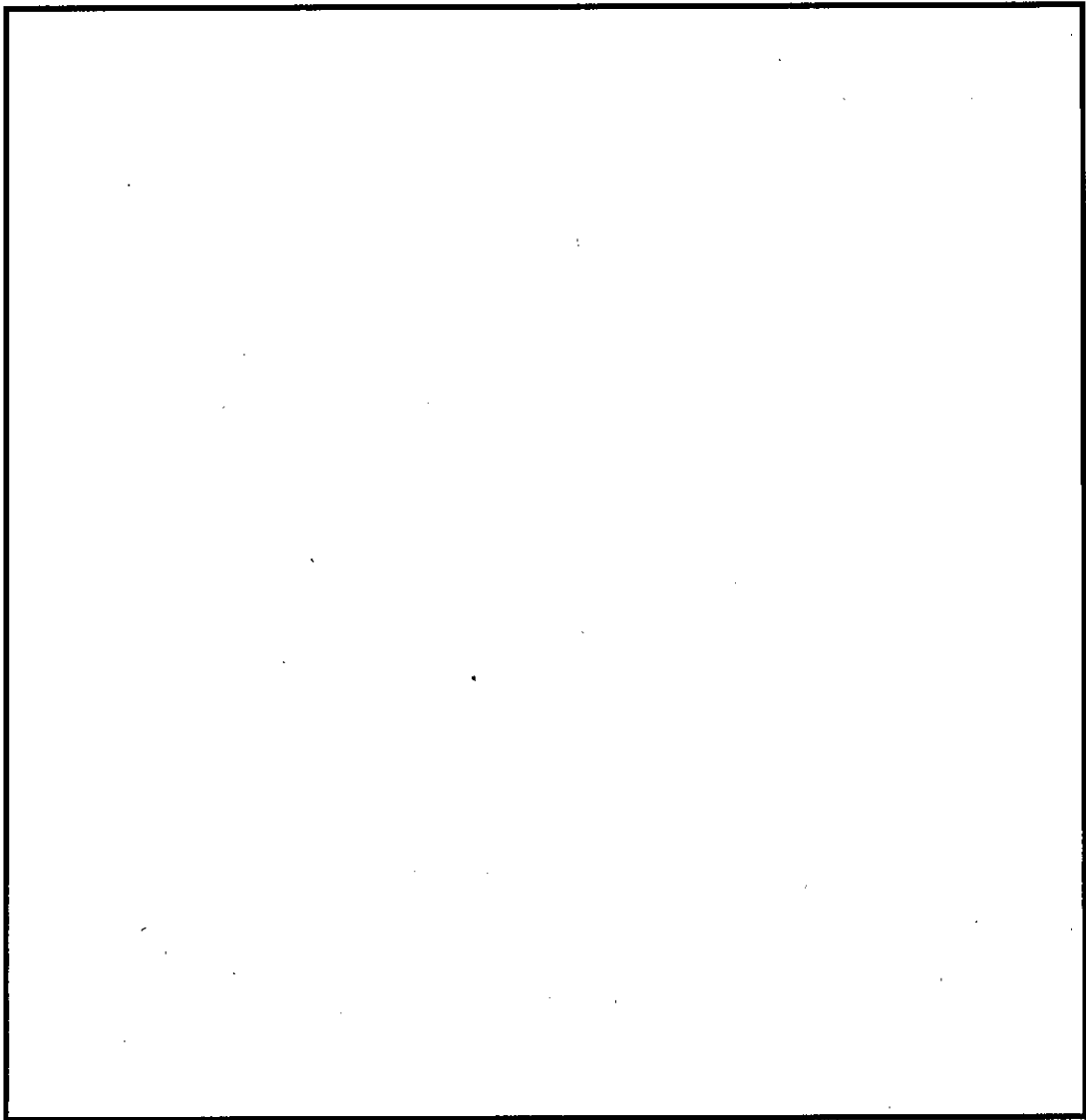
(ロ)-第B.15図 特別の試験条件の全体モデル温度分布 (火災発生 30 分後)



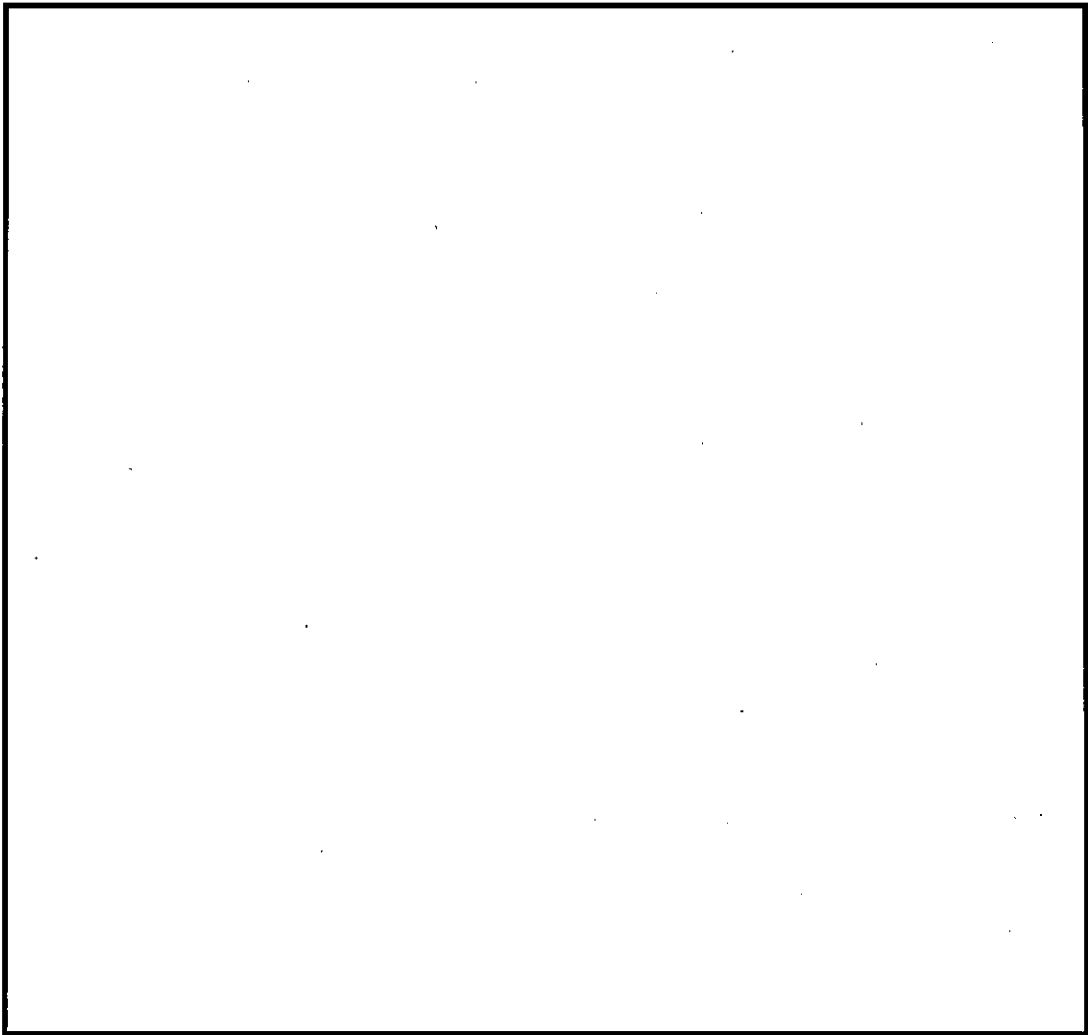
(ロ)-第 B. 16 図 特別の試験条件の部分モデル温度分布 (火災発生 30 分後)



(ロ)-第 B.17 図 特別の試験条件の全体モデル温度分布 (火災発生 後)



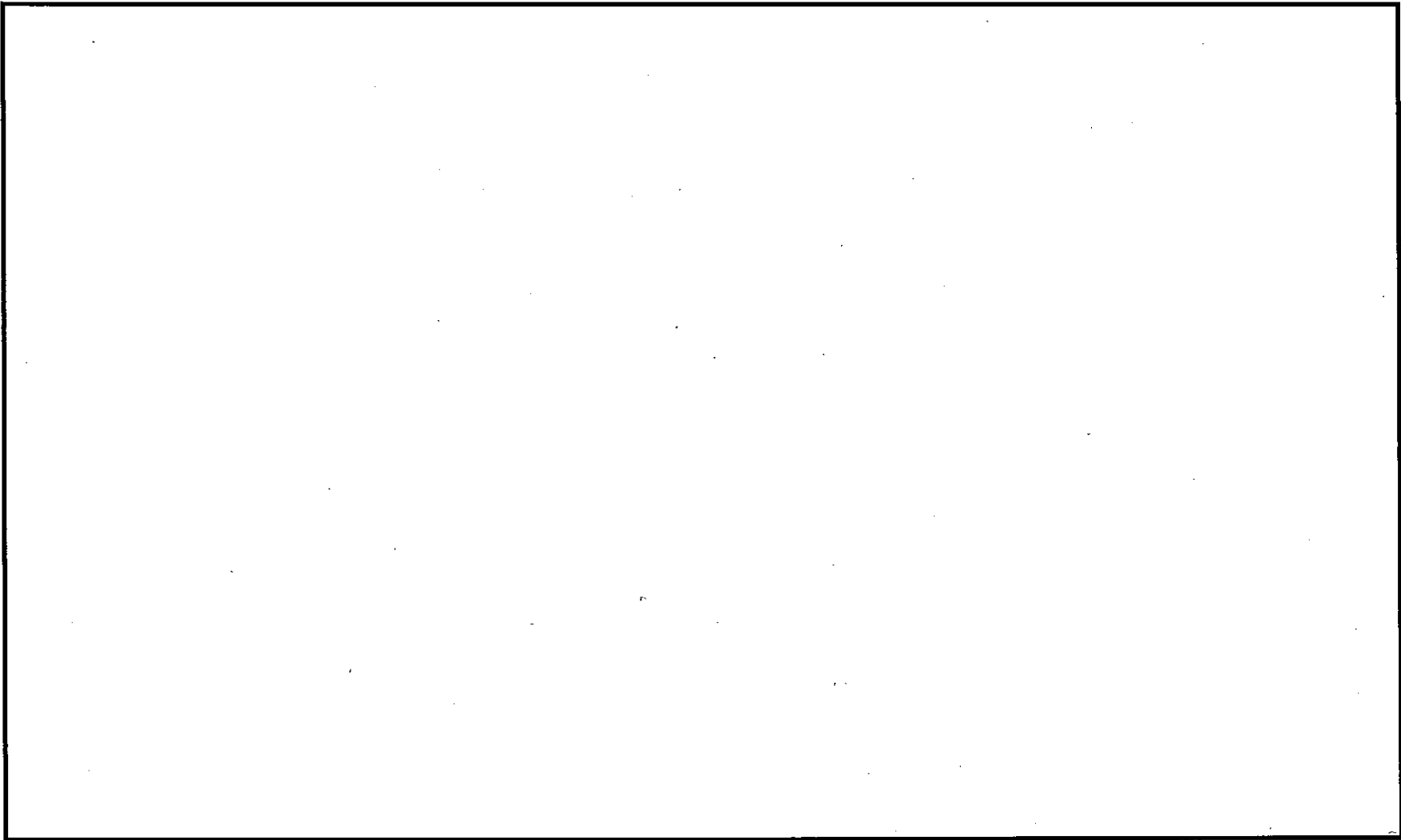
(ロ)-第 B.18 図 特別の試験条件の部分モデル温度分布 (火災発生 後)



(ロ)-第 B. 19 図 特別の試験条件の燃料集合体モデル温度分布 (タイプ 4)

(火災発生 後)

(マ) --B--45



(ロ)-第 B. 20 図 特別の試験条件の時刻歴温度変化

B.5.4 最大内圧

特別の試験条件における最大内圧の評価にあたっては、燃料棒内の気体が放出されると仮定する。

輸送時の初期内部圧力は、常温で大気圧以下に調整され、また、乾燥状態で輸送されるので、輸送中の蒸気圧の上昇あるいは水の放射線分解による内部圧力の要因はない。

したがって、内部圧力の上昇は、輸送容器内の気体の温度上昇によるもののみである。

最大内圧の計算に用いた条件及び計算結果を(口)-第B.13表に示す。

(口)-第B.13表 特別の試験条件における最大内圧

項目	記号	単位	数値等
初期充填圧力	P_0	MPa 絶対圧	
特別の試験条件における胴内ヘリウム及びFPガスの温度	T	K	
胴内ヘリウム充填時における胴内ヘリウムの温度	T_0	K	
全燃料棒の密封性能が失われたときの燃料棒内のヘリウム及びFPガスによる圧力上昇	P_{FP}	MPa 絶対圧	
燃料棒初期内圧	P_{R0}	MPa 絶対圧	
胴内体積	V_c	m^3	
燃料棒のヘリウム初期温度	T_{R0}	K	
プレナム体積	V_{P0}	$m^3/本$	
燃料棒本数	n	本	
収納体数	N	体	
燃料棒破損率	α	—	
気体定数	R_0	J/(mol·K)	
ガス生成量	M_g	mol/体	
ガス放出率	β	—	
特別の試験条件における胴内圧	P	MPa 絶対圧	

B. 5.5 最大熱応力

特別の試験条件において、温度分布と線膨張係数の違いにより、容器本体及びバスケットには熱歪が生じる。(ロ)-A. 6. 3 に示したように、温度勾配が最大となる火災発生後 30 分において、輸送物各部の最大熱応力はいずれも評価基準を満足する。

B. 5.6 結果の要約及びその評価

(1) 最高温度

特別の試験条件における輸送物の温度及び温度変化は、それぞれ(ロ)-第 B. 12 表及び(ロ)-第 B. 20 図に示したとおりである。

バスケットの最高温度は短時間使用可能温度を十分下回っており、密封性能が損なわれることはない。レジン表面は炭化するが、自己消火性であり焼失することはない。したがって、特別の試験条件における輸送物の温度によって、輸送容器の性能が損なわれることはない。

(2) 最大内圧

最大内圧は MPa 絶対圧である。ただし、構造解析では内外圧力差を MPa として評価を行っている。

(3) 最大熱応力

温度分布と線膨張係数の違いにより容器本体及びバスケットに発生する熱応力はわずかであり、輸送容器の密封性能は維持され、また、他の解析に有意な影響を与えることはない。

B.6 付属書類

B.6.1 解析に用いた対流熱伝達率

B.6.1.1 全体モデルに用いた対流熱伝達率

(1) 輸送物表面と周囲の熱伝達率

a. 銅伝熱体外面の自然対流熱伝達率

銅伝熱体外面の自然対流熱伝達率は、水平円筒表面の自然対流熱伝達率を表わす次の Schutz の式⁷⁾を用いる。

$$h = 0.1\lambda \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} \times \text{Pr} \right)^{1/3}$$

ここで、h : 熱伝達率 (W/(m²·K))

λ : 熱伝導率 (W/(m·K))

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

β : 体積膨脹係数 (K⁻¹)

ν : 動粘性係数 (m²/s)

Pr : プラントル数 (-)

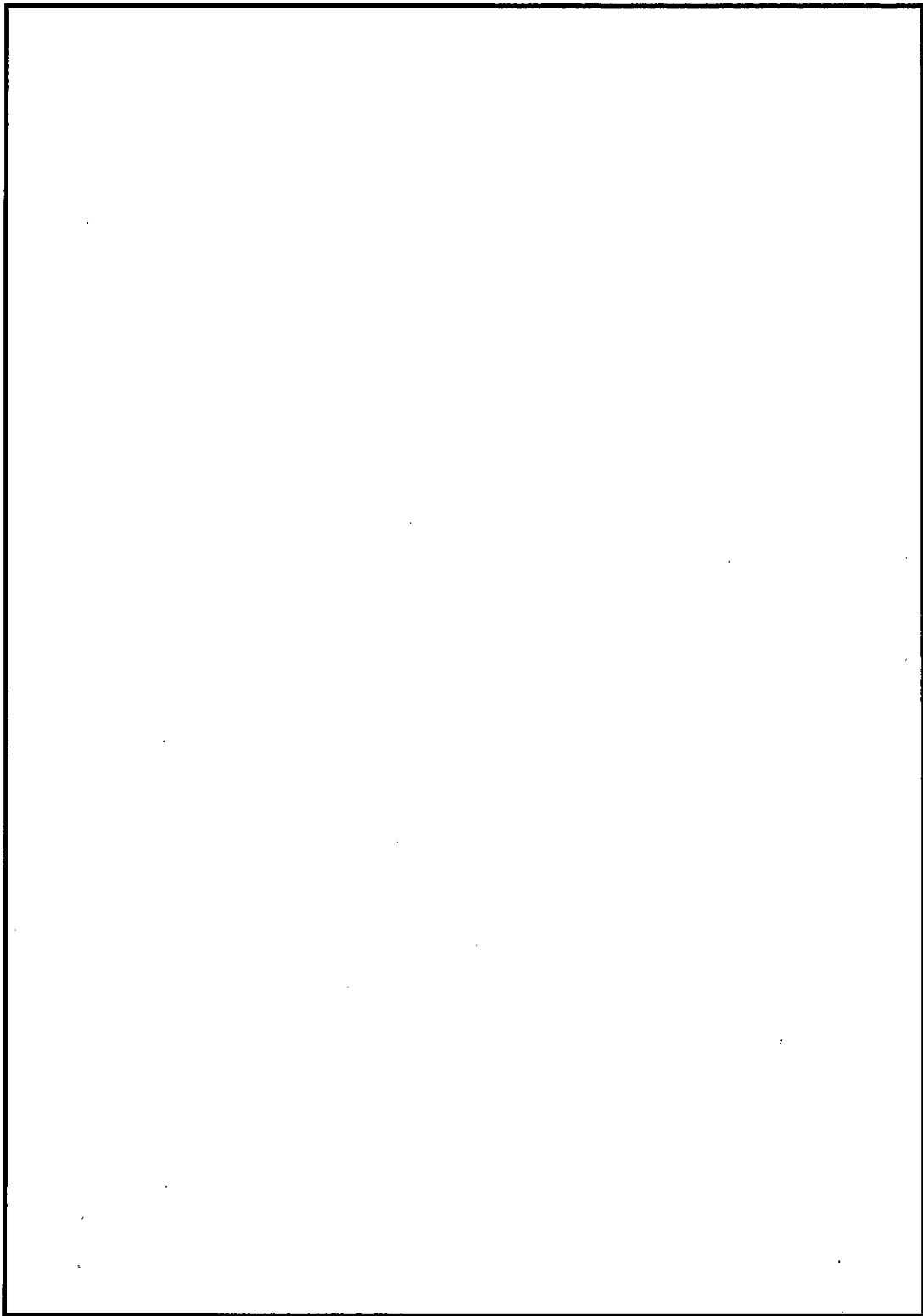
Δt : 流体と伝熱面の温度差 (K)

流体と伝熱面の平均温度に対して求めた熱伝達率を(口)-第 B. 付 1 表に示す。

ここで、実際に用いた熱伝達率としては、(口)-第 B. 付 1 図に示される水平円筒外面の周方向分布を考慮して、90° ~ 180° の平均値に対する比率を平均し の係数を(口)-第 B. 付 1 表の値に乗じた値を保守側に設定する。ただし、火災時に対しては入熱が多くなるよう(口)-第 B. 付 1 表の値を設定する。

(口)-第 B. 付 1 表 銅伝熱体外面の自然対流熱伝達率

温度(°C)	熱伝達率(W/(m ² ·K))
0	
20	
100	
200	
300	
400	
600	
800	



(口)-第 B. 付 1 図 水平円筒外面における自然対流熱伝達率の周方向分布¹³⁾

b. 衝撃吸収カバー円筒表面の自然対流熱伝達率

衝撃吸収カバー円筒表面に対しては、銅伝熱体外面の自然対流熱伝達率にて使用した Schutz の式を用いる。(ロ)-第 B. 付 1 表に示す値に周方向分布を考慮した係数 を乗じて保守的な値を設定する。ただし、火災時に対しては入熱が多くなるよう(ロ)-第 B. 付 1 表の値を設定する。

c. 衝撃吸収カバー垂直表面の自然対流熱伝達率

衝撃吸収カバー垂直表面の自然対流熱伝達率は、垂直平板に対する次の Jakob の式¹⁴⁾を用いる。

$$h = 0.129\lambda \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} \times Pr \right)^{1/3}$$

ここで、h : 熱伝達率 (W/(m²·K))

λ : 熱伝導率 (W/(m·K))

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

β : 体積膨脹係数 (K⁻¹)

ν : 動粘性係数 (m²/s)

Pr : プラントル数 (—)

Δt : 流体と伝熱面の温度差 (K)

流体と伝熱面の平均温度に対して求めた熱伝達率を(ロ)-第 B. 付 2 表に示す。

(口)-第B.付2表 衝撃吸収カバー垂直面の自然対流熱伝達率

温度(°C)	熱伝達率(W/(m ² ·K))
0	
20	
100	
200	
300	
400	
600	
800	

d. 衝撃吸収カバーと容器本体との間の熱伝達

衝撃吸収カバーと容器本体との間には取合いの関係上ギャップがあり、この間の熱伝達は空気の熱伝導及び放射によるとする。

B.6.1.2 部分モデルに用いた熱伝達率

(1) 銅伝熱体外面と周囲の熱伝達率

銅伝熱体外面の自然対流熱伝達率に対しては、全体モデルにて使用した Schutz の式を用いる。(口)-第 B. 付 1 表に示す値に周方向分布を考慮した係数 を乗じて保守的な値を設定する。ただし、火災時には入熱が多くなるよう(口)-第 B. 付 1 表の値を設定する。

B.6.2 混合気体の熱伝導率の計算式について

特別の試験条件における内部流体の熱伝導率は、FP ガス放出後の胴内のヘリウム及びFP ガスのモル分率を考慮して、混合気体の熱伝導率の計算式⁷⁾を用いて算出する。なお、FP ガスは生成量の多いキセノンとした。

$$\lambda_m = \frac{\lambda_1}{1 + \Psi_{12}(x_2/x_1)} + \frac{\lambda_2}{1 + \Psi_{21}(x_1/x_2)}$$

$$\Psi_{ij} = \frac{1}{4} \left\{ 1 + \left[\frac{\eta_i}{\eta_j} \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{3/4} \cdot \frac{1 + (S_i/T)}{1 + (S_j/T)} \right]^{1/2} \right\}^2 \cdot \left[\frac{1 + (S_{ij}/T)}{1 + (S_i/T)} \right]$$

$$S_i = 1.5T_{bi}$$

$$S_{ij} = \sqrt{S_i S_j}$$

ここで、 λ_m : 混合気体の熱伝導率 (W/(m·K))

λ_1 : ヘリウムの熱伝導率 (W/(m·K))

λ_2 : FP ガス (キセノン) の熱伝導率 (W/(m·K))

x_1 : ヘリウムのモル分率 (—)

x_2 : FP ガス (キセノン) のモル分率 (—)

η_1 : ヘリウムの粘性係数 (μ Pa·s)

η_2 : FP ガス (キセノン) の粘性係数 (μ Pa·s)

M_1 : ヘリウムの分子量 (g/mol)

M_2 : FP ガス (キセノン) の分子量 (g/mol)

T : 温度 (K)

T_{b1} : ヘリウムの標準沸点 (K)

T_{b2} : FP ガス (キセノン) の標準沸点 (K)

計算条件及び計算結果を(ロ)-第B.付3表に示す。

(ロ)-第B.付3表 内部流体の熱伝導率計算条件及び計算結果

項目	記号	単位	T : 温度 (K)				
			300	400	500	600	
熱伝導率	ヘリウム	λ_1	W/(m·K)				
	キセノン	λ_2	W/(m·K)				
モル分率	ヘリウム	x_1	—				
	キセノン	x_2	—				
粘性係数	ヘリウム	η_1	$\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$				
	キセノン	η_2	$\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$				
分子量 ¹⁵⁾	ヘリウム	M_1	g/mol				
	キセノン	M_2	g/mol				
標準沸点	ヘリウム	T_{b1}	K				
	キセノン	T_{b2}	K				
混合気体の熱伝導率	λ_m	W/(m·K)					

B. 6. 3 参考文献

- 1) Dassault Systemes, "ABAQUS 6.13 Analysis User's Guide", 2013
- 2)
- 3) "TABLEAU DES ELSTOMERES POUR L'INDUSTRIE", STACEM
- 4) ASME, "ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II, Part D Properties (Metric)", 2017
- 5) E. A. Brandes, G. B. Brook, "Smithells Metals Reference Book 7th Edition", Butterworth-Heinemann, 1992
- 6) IMOA, "Practical Guidelines for the Fabrication of High Performance Austenitic Stainless Steels", 2010
- 7) (社)日本機械学会, "伝熱工学資料(改訂第4版)", 1986
- 8) AFNOR, "NF EN 10088-1 Stainless steels - Part 1: List of stainless steels", 2014
- 9) VDEh, "SEW310 Physikalische Eigenschaften von Stählen", 1992
- 10) Robert Siegel, John Howell, "Thermal Radiation Heat Transfer 4th edition", Taylor & Francis, 2002
- 11) Donald L. Hagrman, Gregory A. Reymann, "MATPRO-VERSION 11 A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior", NUREG/CR-0497 TREE-1280 REV.3, EG&G Idaho, Inc., 1979
- 12) R. L. Gibby, "The effect of plutonium content on the thermal conductivity of (U, Pu)O₂ solid solutions", Journal of Nuclear Materials Vol.38, 1971
- 13) 三角利之, 鈴木幸治, 北村健三, "大きな水平加熱円柱周りの自然対流の流動と伝熱(空気の場合)", 論文 No. 98-1098 日本機械学会論文集(B論) 65 巻 631 号, 1999
- 14) M. Jakob, "Heat Transfer", Volume I, John Wiley & Sons, Inc., 1949
- 15) 自然科学研究機構, "理科年表 平成 30 年", 国立天文台編, 2017

(口)-C 密封解析

C. 密封解析

C.1 概要

本章では、一般の試験条件及び特別の試験条件において輸送物からの放射性物質の漏えい率が規則に定める基準値以下であり、輸送物が密封性能を満足していることを確認する。

(ロ)-A 構造解析及び(ロ)-B 熱解析に示したように、一般の試験条件及び特別の試験条件において密封性能は維持される。

(ロ)-B 熱解析に示したように一般の試験条件では密封境界の内部は負圧である。したがって、輸送物からの放射性物質の漏えいは生じない。

特別の試験条件では、密封境界の内部が正圧になる可能性があるため、発送前気密漏えい検査条件によって求めた密封境界からの漏えい率に基づいて放射性物質の密封境界外への漏えい率を評価し、その漏えい率が特別の試験条件における放射性物質漏えい率の基準を満足することを示す。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

輸送容器の密封装置は以下により構成されている ((イ)-第 C.16 図～(イ)-第 C.19 図参照)。

- ・ 本体
- ・ 一次蓋
- ・ 一次蓋ガスケット
- ・ 一次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット
- ・ ベント及びドレンオリフィスの [] のガスケット

輸送容器は、(ロ)-A 構造解析及び(ロ)-B 熱解析に示したように一般の試験条件及び特別の試験条件における温度、圧力及び衝撃に十分耐えられる設計となっている。また(ロ)-A.4.1 で示したように、輸送容器の構成材料は相互に、あるいは収納物と化学的及び電氣的反応を起こすことはない。一次蓋ガスケット及び各オリフィスのガスケットについては、一般の試験条件及び特別の試験条件における温度が使用可能な温度範囲に入っている ((ロ)-B 熱解析参照)。したがって、一般の試験条件及び特別の試験条件において密封装置の性能は維持される設計となっている。

C.2.2 密封装置の貫通部

輸送容器の貫通部としては一次蓋に取付けられたサンプリングオリフィス、本体前部に取付けられたベントオリフィス及び本体後部の□箇所に取付けられたドレンオリフィスがある。

サンプリングオリフィスの構造を(イ)-第 C. 18 図に示す。

また、ベント及びドレンオリフィスの構造を(イ)-第 C. 19 図に示す。

C.2.3 密封装置のガスケット及び溶接部

C.2.3.1 ガスケット

輸送容器の密封装置のガスケットは次のとおりである。

- ・ 一次蓋ガスケット
- ・ 一次蓋のサンプリングオリフィスの□ガスケット
- ・ ベント及びドレンオリフィスの□
□のガスケット

これらは□製ガスケットであり、(ロ)-B 熱解析で述べたように、一般の試験条件及び特別の試験条件において使用可能な温度範囲に入っているため、ガスケットの性能は維持される。

また、輸送毎に各ガスケットについて欠陥等のないことが確認されるとともに、各ガスケット部に対して、気密漏えい検査が行われ密封性が確認される。

C.2.3.2 溶接部

輸送物の密封性能に影響を及ぼす溶接部は次のとおりである。

- ・ □
- ・ □

これらの溶接部に対しては、非破壊検査（表面欠陥及び内部欠陥の探傷）を実施し、溶接部にクラック、融合不良等の欠陥がないことを確認する。

C.2.4 蓋

一次蓋の密封境界は、一次蓋と本体胴部との接合面のほかにサンプリングオリフィスの□の接合面がある。これらの接合面には□製ガスケットが取付けられている（(イ)-第 C. 17 図及び(イ)-第 C. 18 図参照）。

一次蓋は、リングフランジを介して□本の□のボルトにより本体胴部に取り付けられる。(口)-A 構造解析で述べたように一般の試験条件及び特別の試験条件における温度、圧力及び衝撃に十分耐え得る強度を有する。

C.3 一般の試験条件

(ロ)-C.2 で示したように、(ロ)-A 構造解析及び(ロ)-B 熱解析の解析結果から、一般の試験条件において密封装置の性能が損なわれることはない。

C.3.1 放射性物質の漏えい

前述のとおり、一般の試験条件において輸送容器の密封装置は破損せず、健全性が保たれることが明らかとなっている。また、(ロ)-B 熱解析の解析結果から、輸送容器の内部は負圧である。したがって、一般の試験条件において輸送物から放射性物質の漏えいは生じない。

C.3.2 密封装置の加圧

輸送物の内部圧力は、発送前において負圧に調整される。

また、輸送物は乾式であるため、放射線または熱により圧力上昇要因となる水分は含まない。

したがって、一般の試験条件における最大内圧は大気圧を超えることはない。そのため、密封性能が損なわれるような加圧状態になることはない。

C.3.3 冷却材汚染

輸送容器は、冷却水を用いない乾式であるため、冷却材汚染はない。

C.3.4 冷却材損失

輸送容器は、冷却水を用いない乾式であるため、冷却材損失はない。

C.4 特別の試験条件

(ロ)-C.2 で示したように、(ロ)-A 構造解析及び(ロ)-B 熱解析の解析結果から特別の試験条件においても密封装置の性能が損なわれることはない。

特別の試験条件では、密封境界の内部が正圧になる可能性があるため、発送前気密漏えい検査条件によって求めた密封境界からの漏えい率に基づいて放射性物質の密封境界外への漏えい率を評価し、その漏えい率が特別の試験条件における放射性物質漏えい率の基準を満足することを示す。

C.4.1 核分裂生成ガス

特別の試験条件において、安全側に全燃料棒の密封性が失われたと仮定し、燃料が有する放射性物質が(ロ)-第 C.1 表に示す割合及び量で胴内雰囲気中に放出されると仮定する。

(ロ)-第 C.1 表 放射性物質の放出率

(輸送物 1 基当たり)

主要核種	収納放射エネルギー (TBq)	破損率 (%)	放出率 (%)	A ₂ 値 ^{注1)} (TBq)	放出放射エネルギー (TBq)	放射性物質濃度 ^{注2)} (TBq/cm ³)

注1) については、 である。

注2) 胴内気体体積は cm³ (25°C、0.101MPa) である。

C.4.2 放射性物質の漏えい

C.4.2.1 解析条件

(1) 発送前気密漏えい検査合格基準

輸送物は、発送前に気密漏えい検査を実施して密封性能を確認する。この気密漏えい検査の合格基準 L_{a0} を(ロ)-第C.2表に示す。

(ロ)-第C.2表 発送前気密漏えい検査の合格基準

項目	記号	単位	条件
外部圧力	P_{u0}	MPa 絶対圧	0.101
内部圧力	P_{d0}	MPa 絶対圧	0
温度	T_0	K (°C)	298.15 (25)
合格基準	Q_0	$\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	1.5×10^{-3} 注1)
	L_{a0}	cm^3/s	2.97×10^{-2} 注2)

注1) 輸送物には□箇所(注)のガスケット部(本体と一次蓋接合部及び□つ
のオリフィス)が存在し、気密漏えい検査は個別に行う。本欄に
示す値は、それぞれのガスケット部について得られた漏えい率の
合計値に対する合格基準である。

注2) 質量漏えい率から体積漏えい率への変換には、
平均圧力 $P_{a0} = (P_{u0} + P_{d0}) / 2 = 0.0505 \text{MPa}$ を用いる。

(2) 気体の漏えい孔径

輸送容器の密封装置はC.2.1に示したように特別の試験条件において密封性能
が維持される設計となっている。

そのため、気体の漏えい孔径は発送前気密漏えい検査の合格基準に基づき算出
する気体の漏えい孔径を超えることはない。

この合格基準相当の気体の漏えいを想定した場合の漏えい孔径を以下の式より
求める¹⁾。

$$L_{a0} = (F_c + F_m) (P_{u0} - P_{d0})$$

ここで、 L_{a0} : 発送前気密漏えい検査時の合格基準値 (cm^3/s)

F_c : 連続流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

$$F_e = \frac{\pi}{128} \times \frac{D^4}{a \cdot \mu_0} \quad 2)$$

F_m : 自由分子流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa} \cdot \text{s})$)

$$F_m = \frac{\sqrt{2\pi R_0}}{6} \times \frac{D^3 \cdot \sqrt{T_0/M}}{a \cdot P_{a0}} \quad 2)$$

P_{u0} : 発送前気密漏えい検査時の輸送物外部圧力 (MPa)

P_{d0} : 発送前気密漏えい検査時の輸送物内部圧力 (MPa)

D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい経路の長さ (ガスケット断面の直径) (cm)

μ_0 : 発送前気密漏えい検査時の漏えい気体の粘性係数 ($\text{MPa} \cdot \text{s}$)

R_0 : 気体定数 = 8.3144598×10^7 (erg/(mol·K))

T_0 : 発送前気密漏えい検査時の温度 (K)

M : 漏えい気体の分子量 (g/mol)

P_{a0} : 発送前気密漏えい検査時の平均圧力 (MPa)

$$P_{a0} = \frac{1}{2}(P_{u0} + P_{d0})$$

気体の漏えい孔径算出のためのパラメータを(ロ)-第C.3表に示す。同表のパラメータを用いて求めた漏えい孔径 D は以下の通りである。

$$D = \boxed{} \text{ cm}$$

(ロ)-第 C.3 表 発送前気密漏えい検査の合格基準に基づく

漏えい孔径算出のためのパラメータ

項目	記号	単位	数値	備考
漏えい経路長さ	a	cm		ガスケット断面径
気密漏えい検査時の漏えい気体の粘性係数	μ_0	MPa·s	1.85×10^{-11}	25°Cにおける空気の粘性係数
気密漏えい検査時の温度	T_0	K	298.15	
漏えい気体の分子量	M	g/mol	29.0	空気
気密漏えい検査時の輸送物外部圧力	P_{u0}	MPa	0.101	
気密漏えい検査時の輸送物内部圧力	P_{d0}	MPa	0	
気密漏えい検査時の合格基準値	L_{a0}	cm ³ /s	2.97×10^{-2}	

(3) 特別の試験条件における漏えい率

特別の試験条件における体積漏えい率 L_a は、下式を用いて算出される。

$$L_a = (F_c + F_m) (P_u - P_d)$$

ここで、 L_a : 特別の試験条件における体積漏えい率 (cm^3/s)

F_c : 連続流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

$$F_c = \frac{\pi}{128} \times \frac{D^4}{a \cdot \mu}$$

F_m : 自由分子流の流動伝導係数 ($\text{cm}^3/(\text{MPa}\cdot\text{s})$)

$$F_m = \frac{\sqrt{2\pi R_0}}{6} \times \frac{D^3 \cdot \sqrt{T/M}}{a \cdot P_a}$$

P_u : 特別の試験条件における輸送物内部圧力 (MPa)

P_d : 特別の試験条件における輸送物外部圧力 (MPa)

D : 漏えい孔径 (cm)

a : 漏えい経路の長さ (ガスケット断面の直径) (cm)

μ : 特別の試験条件の漏えい気体の粘性係数 ($\text{MPa}\cdot\text{s}$)

R_0 : 気体定数 = 8.3144598×10^7 (erg/(mol·K))

T : 特別の試験条件における温度 (K)

M : 漏えい気体の分子量 (g/mol)

P_a : 特別の試験条件における輸送物の平均圧力 (MPa)

$$P_a = \frac{1}{2} (P_u + P_d)$$

特別の試験条件における気体の漏えい率算出のために使用するパラメータを

(口)-第 C.4 表に示す。

計算の結果、特別の試験条件における気体の漏えい率 L_a は、以下のとおりである。

$$L_a = \begin{matrix} \text{=} & \boxed{} & (\text{cm}^3/\text{s}) \\ \text{=} & \boxed{} & (\text{ref}\cdot\text{cm}^3/\text{s}) \end{matrix}$$

(ロ)-第 C.4 表 特別の試験条件における気体の漏えい率算出のためのパラメータ

項目	記号	単位	数値	備考
漏えい孔径	D	cm		
漏えい経路長さ	a	cm		ガスケット断面径
特別の試験条件の漏えい気体の粘性係数	μ	MPa·s		ヘリウム
特別の試験条件の温度	T	K		ガスケット温度 132°C
漏えい気体の分子量	M	g/mol	4.0	ヘリウム
特別の試験条件の輸送物内部圧力	P_u	MPa		
特別の試験条件の輸送物外部圧力	P_d	MPa	0.060	

C.4.2.2 特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、(ロ)-第 C.1 表に示す密封装置内に気体状で存在する核種の放射性物質濃度と前項で求めた特別の試験条件における漏えい率 (L_a) を乗じて求められる。

特別の試験条件における放射性物質濃度を用いて求めた気体中の放射性物質の漏えい率と A_2 値/week との比率を(ロ)-第 C.5 表に示す。密封装置からの放射性物質の1週間当たりの漏えい量と各核種の A_2 値/week との比率の合計は1よりも小さい。

したがって、密封装置からの放射性物質の1週間当たりの漏えい量は基準値より小さい。

(ロ)-第 C.5 表 特別の試験条件における気体中の放射性物質の漏えい率

核種	放射性物質漏えい率 (Bq/week)	A_2 値/week (Bq/week)	比率
合計			1.10×10^{-2}

C.5 結果の要約及びその評価

密封解析の評価結果は以下に示すとおりであり、輸送容器の密封性能は規則及び告示に定められる BM 型輸送物に係る技術上の基準に適合する。

C.5.1 密封装置

輸送容器の密封装置は、本体及び一次蓋、一次蓋ガスケット、一次蓋のサンプリングオリフィスの [] ガスケット、ベント及びドレンオリフィスの [] のガスケットで構成されている。これらの密封装置は、一般の試験条件並びに特別の試験条件の落下試験及び火災試験に対して十分な強度を有する。したがって、ガスケットの密封性能が損なわれることはない。

C.5.2 一般の試験条件

(1) 放射性物質の漏えい

一般の試験条件において輸送容器の密封装置は破損せず、健全性が保たれることが明らかとなっている。また、(ロ)-B 熱解析の解析結果から、輸送容器の内部は負圧である。したがって、一般の試験条件において輸送物から放射性物質の漏えいは生じない。

(2) 密封装置の加圧

輸送物の内部圧力は、発送前において負圧に調整される。

また、輸送物は乾式であるため、放射線または熱により圧力上昇要因となる水分は含まない。

したがって、一般の試験条件における最大内圧は大気圧を超えることはない。そのため、密封性能が損なわれるような加圧状態になることはない。

(3) 冷却材汚染

輸送容器は、冷却水を用いない乾式であるため、冷却材汚染はない。

(4) 冷却材損失

輸送容器は、冷却水を用いない乾式であるため、冷却材損失はない。

C.5.3 特別の試験条件

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率と基準値との比率の合計は 1.10×10^{-2} であり、放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

C.6 付属書類

C.6.1 参考文献

- 1) American National Standard Institute, Inc., "American National Standard for Radioactive materials - Leakage Tests on Packages for Shipment", ANSI N14.5-2014, 2014
- 2) International Organization for Standardization, "Safe transport of radioactive materials - Leakage testing on packages", ISO 12807, 1996

(口)-D 遮蔽解析

D. 遮蔽解析

D.1 概要

輸送物の主要なガンマ線遮蔽材は、(イ)-第 C.3 図、(イ)-第 C.11 図及び(イ)-第 C.1 表に示すとおり、側部方向は胴の合金鋼であり、前部方向は蓋部のタングステン、ステンレス鋼及び合金鋼、及び後部方向は底板の合金鋼である。

主要な中性子遮蔽材は、側部方向は胴部のレジン、前部方向は一次蓋のレジン、及び後部方向は底部のレジンである。

線源としては核分裂生成物及びアクチノイドによる線源及び構造材の放射化による線源を考慮した。線源強度は、ORIGEN2.1 コード¹⁾及び放射化計算式により連続照射を仮定して求めた。

一般の試験条件及び特別の試験条件においては、想定される輸送容器の状態を考慮して線量当量率を評価する。線量当量率の計算には、MCNP6 コード²⁾を用いた。

これらの解析から得られた線量当量率は、規則及び告示で定められた基準を満足する。

D.2 線源仕様

線源強度の計算に用いる燃焼度、比出力、照射期間及び冷却期間を(ロ)-第 D.1 表に示す。この線源条件により求めた収納物の線源強度の比較を(ロ)-第 D.2 表に示す。

輸送物の収納物配置は(ロ)-第 D.1 図に示したとおりである。遮蔽解析ではこの収納物配置を考慮して、(ロ)-第 D.3 表に示すように安全側の仮定により遮蔽解析用の線源強度を設定した。

D.2.1 ガンマ線源

(1) 燃料有効部のガンマ線源

燃料有効部のガンマ線源は、核分裂生成物及びアクチノイドによるものである。ガンマ線源強度の計算は、ORIGEN2.1 コードを用いて行った。計算においては付属書類 D.6.1 に示す軸方向燃焼度分布を考慮した。

燃料有効部のガンマ線の各エネルギーの線源強度を(ロ)-第 D.4 表に示す。

(ロ)-第 D.1 表 収納物の線源計算条件

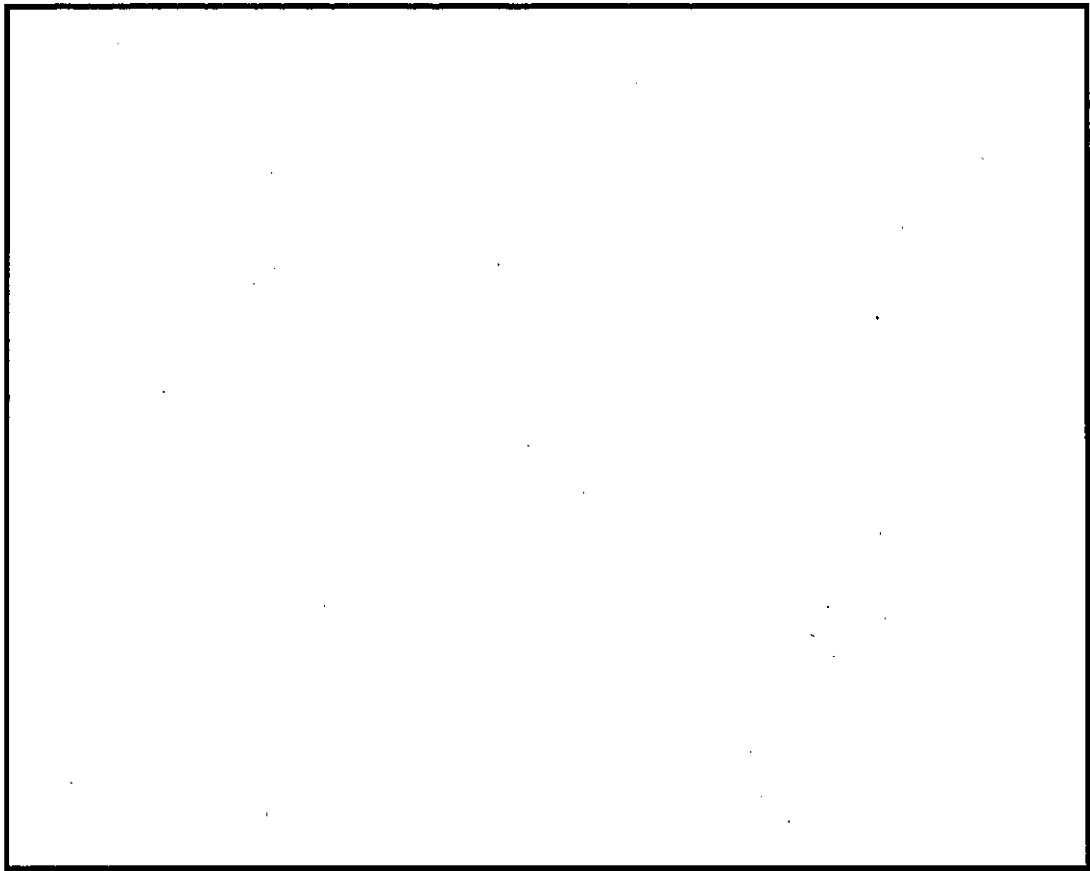
燃料集合体の種類	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4	タイプ 5
	条件	28本クラスタ (ウラン ・プルトニウム 富化型燃料)	28本クラスタ (微濃縮 ウラン型燃料)	36本クラスタ (特殊燃料)	36本クラスタ (照射用 36本燃料)
燃焼度 (MDW/MTU)					
比出力 ^{注)} (MW/MTU)					
照射期間 (日)					
冷却期間 (年)					

注) 比出力は定格出力に相当する炉平均値とした。

(ロ)-第 D.2 表 収納物の線源強度

(燃料集合体 1 体当たり)

燃料集合体の種類		タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4	タイプ 5	
		28本クラスタ (ウラン ・プルトニウム 富化型燃料)	28本クラスタ (微濃縮 ウラン型燃料)	36本クラスタ (特殊燃料)	36本クラスタ (照射用 36本燃料)	36本クラスタ (照射用 ガドリニア燃料)	
ガンマ線源	燃料有効部 (photons/s)						
	放射化線源						上部タイププレート (⁶⁰ Co TBq)
							上部プレナム (⁶⁰ Co TBq)
							燃料有効部 (⁶⁰ Co TBq)
							下部プレナム (⁶⁰ Co TBq)
							下部タイププレート (⁶⁰ Co TBq)
							放射化線源合計 (⁶⁰ Co TBq)
中性子源	燃料有効部 (n/s)						



(口)-第D.1図 収納物配置

(口)-第D.3表 遮蔽解析用の線源強度の設定

線源	部位
燃料有効部の ガンマ線源	
燃料集合体構造材 の放射化による ガンマ線源	
中性子源	

注)

--

(ロ)-第 D.4 表 燃料有効部のガンマ線の各エネルギーの線源強度

(輸送物 1 基当たり)

エネルギー 群数	平均エネルギー (MeV)	燃料有効部線源強度 (photons/s)
1	0.01	
2	0.025	
3	0.0375	
4	0.0575	
5	0.085	
6	0.125	
7	0.225	
8	0.375	
9	0.575	
10	0.85	
11	1.25	
12	1.75	
13	2.25	
14	2.75	
15	3.5	
16	5.0	
17	7.0	
18	9.5	
合計		

(2) 放射化線源

燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源のうち、輸送容器外部の線量当量率に寄与するものは、構造材中に含まれる ^{59}Co の (n, γ) 反応により生じる ^{60}Co が大部分である。

^{60}Co の放射化線源強度は次式を用いて求めた。

$$A = N_0 \sigma \phi \times \{1 - \exp(-\lambda T_1)\} \times \exp(-\lambda T_2)$$

ここで、

- A : 放射化核種 (^{60}Co) の放射能 (Bq)
- N_0 : ターゲット核種 (^{59}Co) の個数 (atoms)
- σ : 2200 m/s の中性子による ^{59}Co の (n, γ) 反応断面積 (cm^2)
($37.2 \text{ barn}^3 = 37.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$)
- ϕ : 炉内照射熱中性子束 ($\text{n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$)
- λ : ^{60}Co の崩壊定数 $= 3.6002 \times 10^{-4} \text{ (日}^{-1}\text{)}$
- T_1 : 照射期間 (日)
- T_2 : 冷却期間 (日)

線源計算にあたって、燃料集合体の構造材のガンマ線源強度は、上部タイプレート、上部プレナム、燃料有効部、下部プレナム及び下部タイプレートの 5 領域に分けて求める。

^{60}Co の放射化線源強度の計算結果を(ロ)-第 D. 5 表に示す。

なお、 ^{60}Co は 1 崩壊で 1.173 MeV と 1.332 MeV のガンマ線を 1 個ずつ放出する。計算に使用するエネルギースペクトルは、1.173 MeV と 1.332 MeV の離散スペクトルとした。

(ロ)-第 D.5 表 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度

(輸送物 1 基当たり)

モデル化領域	燃料集合体構造材の放射化線源強度 (^{60}Co TBq)
上部タイプレート	
上部プレナム	
燃料有効部	
下部プレナム	
下部タイプレート	
合計	

D.2.2 中性子源

燃料中には中性子源となる超ウラン元素が生成される。これらの核種から中性子が生成する反応は、自発核分裂及び (α, n) 反応である。一次中性子源強度の計算は、ORIGEN2.1コードを用いて行った。計算においては付属書類D.6.1に示す軸方向の燃焼度分布を考慮した。

体系の増倍効果を考慮した全中性子源強度 (N_s) は次式で求められる。

$$N_s = N_0 / (1 - k_{\text{eff}})$$

ここで、

N_0 : 輸送物 1 基当たりの一次中性子源強度 (n/s)

k_{eff} : 燃料集合体を収納した場合の輸送物の実効増倍率 (-)

ここでは乾燥状態において燃料集合体を収納した場合の輸送物の k_{eff} を求めた。

解析に用いる中性子源強度を(口)-第D.6表に示す。

上記の中性子源強度のうち大部分は、 ^{244}Cm の自発核分裂線源及び増倍による ^{235}U 及び ^{239}Pu の核分裂線源であり、 (α, n) 反応による線源はわずかである。

そこで、計算に用いる線源のエネルギースペクトルは、線源強度に支配的な核分裂線源のうち最もスペクトルが硬い ^{239}Pu の核分裂スペクトルとする。計算に使用する ^{239}Pu の核分裂スペクトルは、次式に示す Watt 型連続分布エネルギースペクトルとした²⁾。

$$p(E) = C \cdot \exp(-E/a) \cdot \sinh(bE)^{1/2}$$

ここで、

p : エネルギースペクトル (-)

E : エネルギー (MeV)

a : 0.966 (MeV)

b : 2.842 (MeV^{-1})

C : 規格化定数

(口)-第D.6表 中性子源強度

(輸送物 1 基当たり)

		中性子源強度	
		(空欄)	
一次中性子源強度 N_0 (n/s)	(α, n) 反応		
	自発核分裂		
	合計		
輸送物の実効増倍率 k_{eff} (-) 注)			
全中性子源強度 N_s (n/s)			

注) ORIGEN2.1 コードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及びポイズンとなる核分裂生成物の生成量を求め、これらを考慮した核種組成を用いて(口)-E 臨界解析に示す手法と同一手法 (KENO-VIコード) により得られた値である。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

遮蔽解析モデルは三次元モデルとし、本体のベント及びドレンオリフィス、及びトラニオンを含めて輸送物をモデル化する。

各試験条件のモデル化に際しては以下に示す条件を考慮する。

(1) 通常輸送時

通常輸送時の解析モデルは以下の条件とする。

解析モデルを(ロ)-第D.2図～(ロ)-第D.7図に示す。

- ① 胴内での燃料集合体の軸方向の移動を考慮し、安全側に前部方向、後部方向に移動したモデルとする。
- ② バスケットについては、安全側にトッププレート、ボトムプレート及びサポートプレート等を見捨てるし、ロジメントチューブ及びアルミチューブが燃料全長に亘って存在するものとする。
- ③ 燃料下部に挿入される燃料集合体支持スペーサーについてはその高さのみ考慮し、真空とする。
- ④ 各部寸法はノミナル値とし、寸法公差は密度係数として考慮する。
- ⑤ 燃料集合体は、ロジメントチューブ内で均質化する。

(2) 一般の試験条件

一般の試験条件の解析モデルは、以下の部品が一般の試験条件の0.3m落下において受ける変形を考慮することを除き通常輸送時と同一である。

- ① 前部及び後部衝撃吸収カバー
- ② スカート支持リング

解析モデルを(ロ)-第D.8図～(ロ)-第D.9図に示す。

(3) 特別の試験条件

特別の試験条件の解析モデルは以下の条件とする。

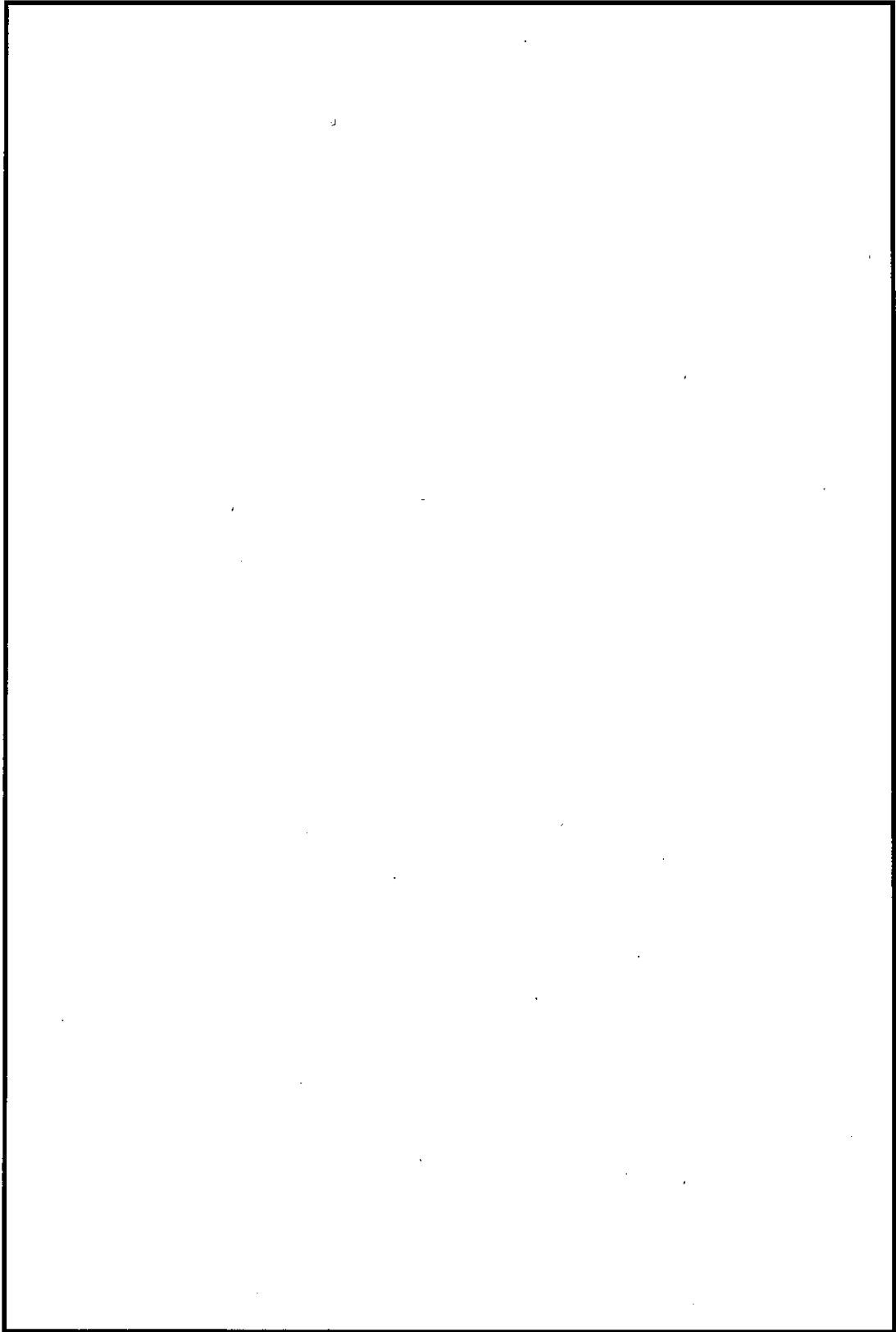
解析モデルを(ロ)-第D.10図～(ロ)-第D.12図に示す。

- ① 1m貫通試験及び9m落下試験により損傷する可能性がある以下の部品を見捨てる。

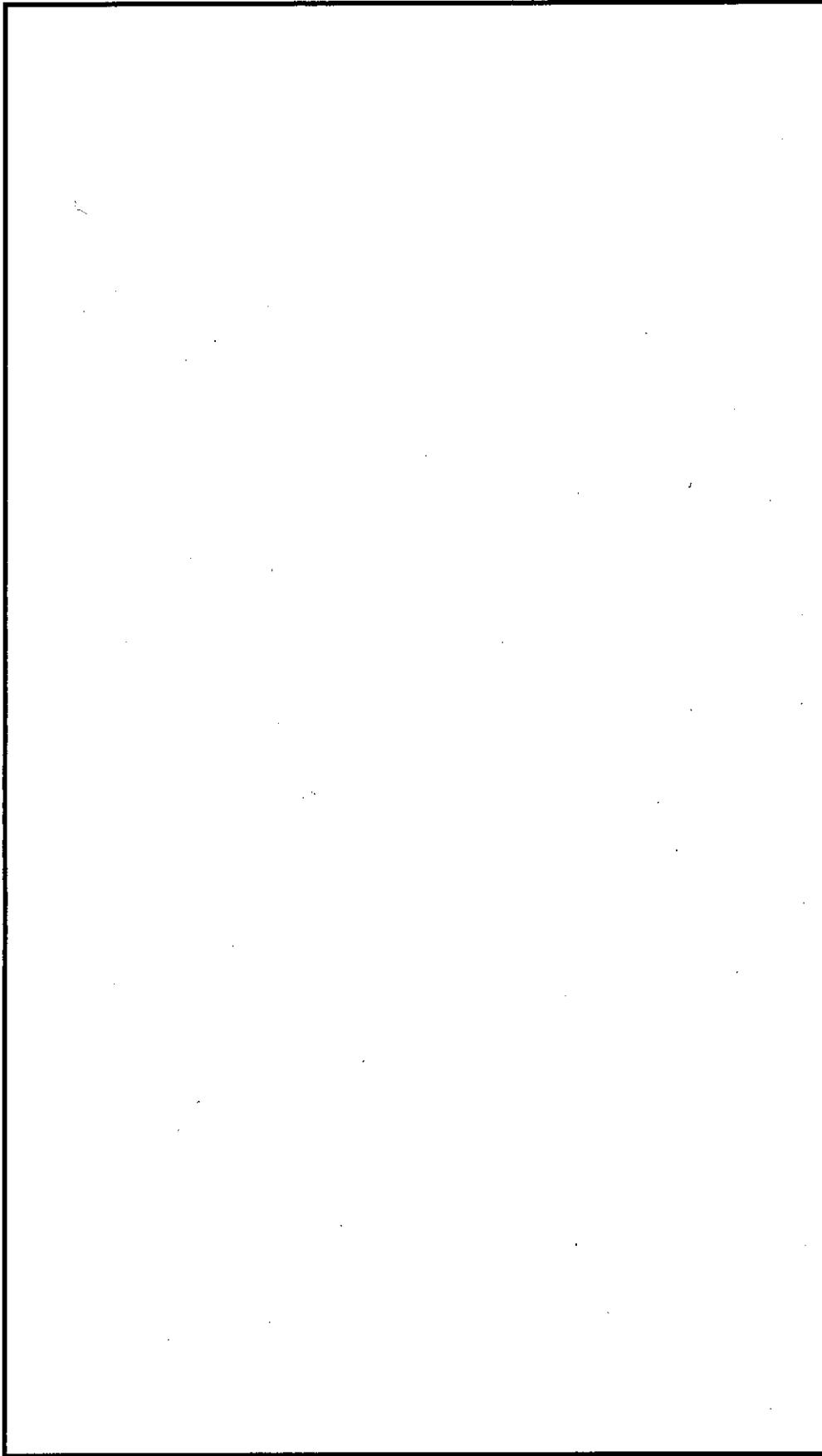
- 1) 衝撃吸収カバー
 - 2) 銅伝熱体
 - 3) ドラム
 - 4) 本体のレジン
 - 5) レジンカバー
 - 6) スカート支持リング
- ② 耐火試験による蓋部の焼損はないが、一次蓋のレジンを安全側に無視する。
 - ③ 一次蓋内の の変形を考慮し、当該空間が無くなったものとする。
 - ④ 燃料下部の燃料集合体支持スペーサーに該当する空間が無くなったものとする。

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

遮蔽解析に用いる均質化領域の構成物質体積比を(口)-第D.7表に示す。また、遮蔽解析に用いる各領域の原子個数密度を(口)-第D.8表に、主な部品の材料密度と密度係数を(口)-第D.9表に示す。

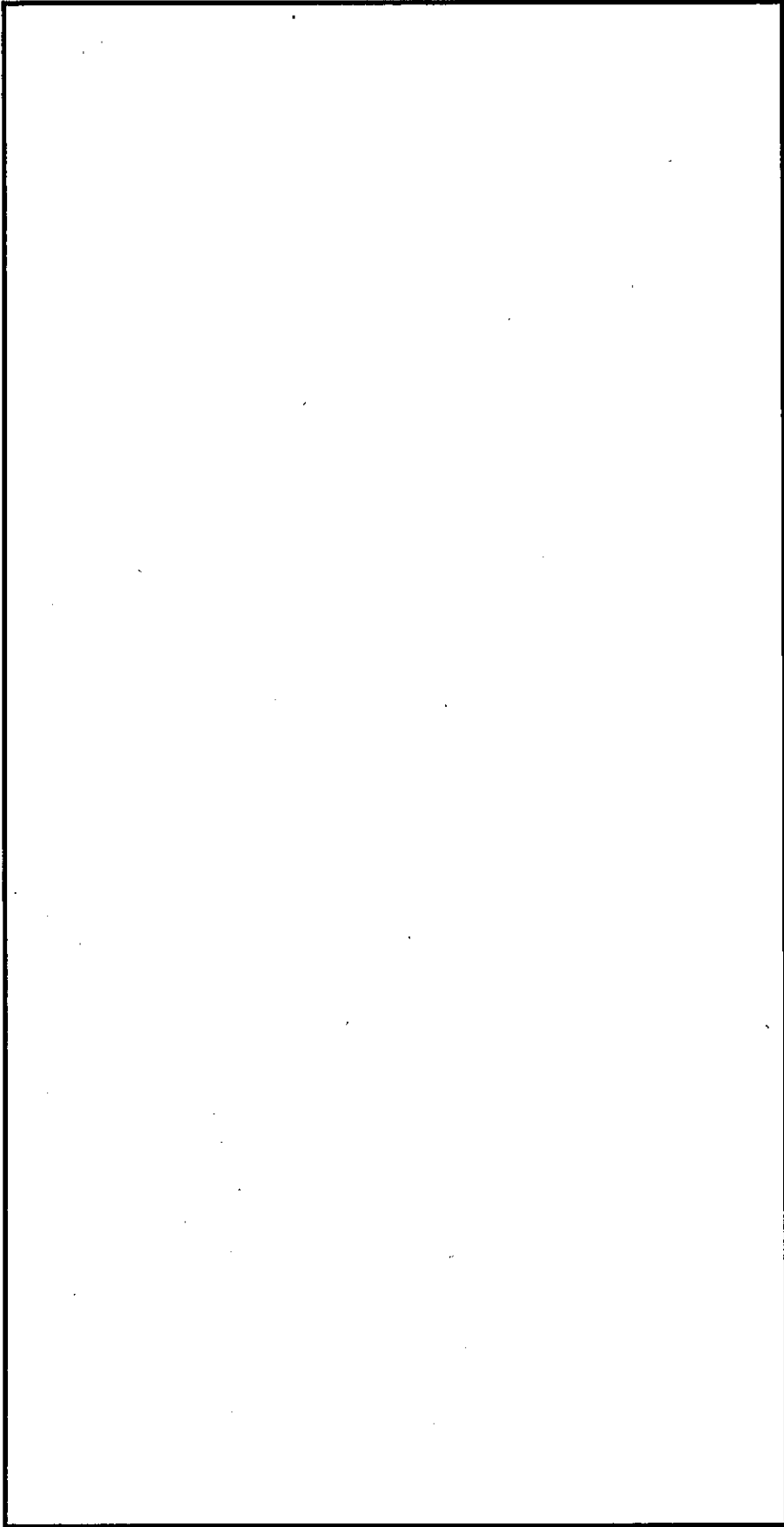


(ロ)-第D.2図 通常輸送時の解析モデル (鳥瞰図)



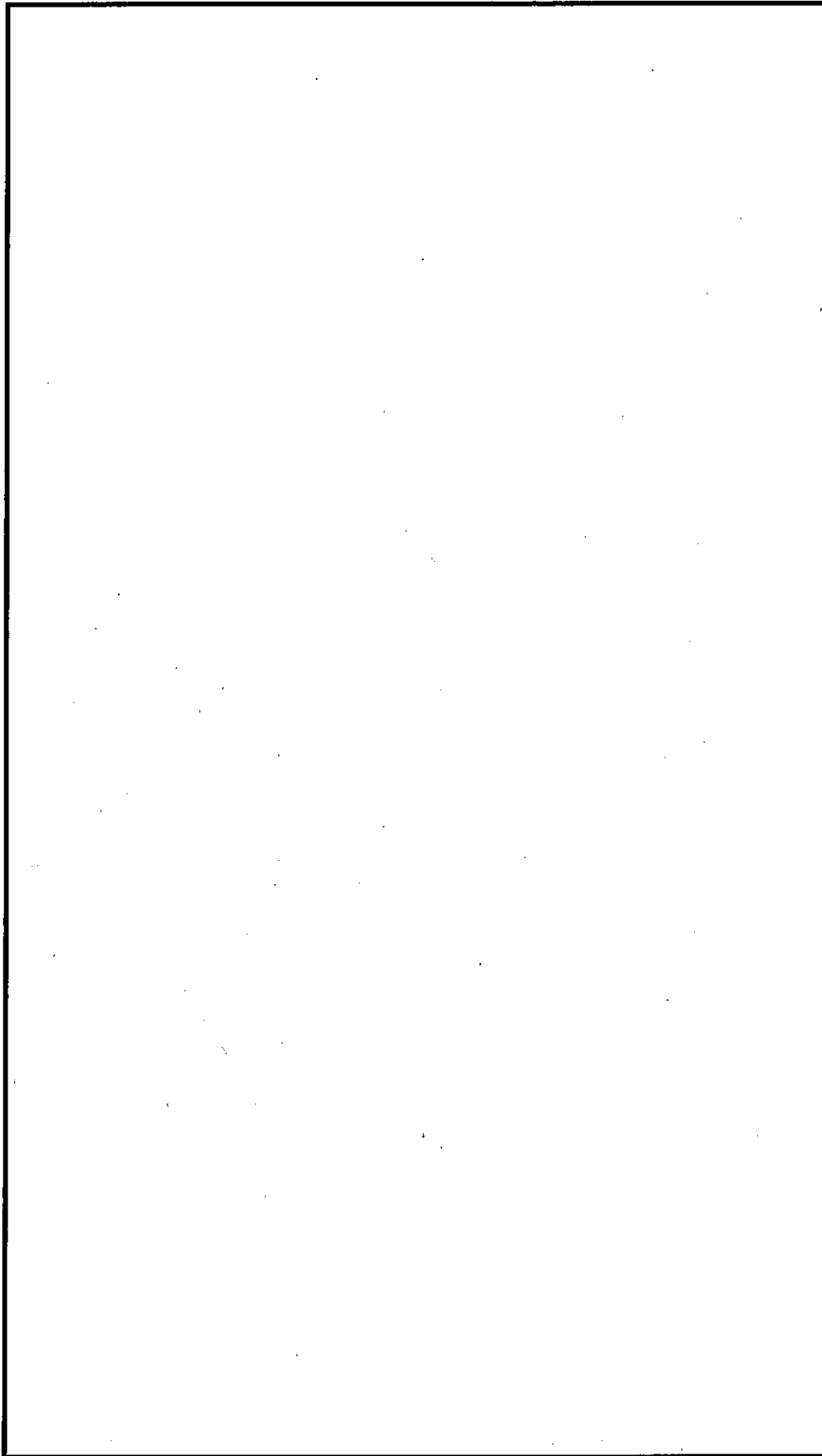
(単位：mm)

(ロ)-第 D.3(a)図 通常輸送時の解析モデル (一般部縦断面、上部)



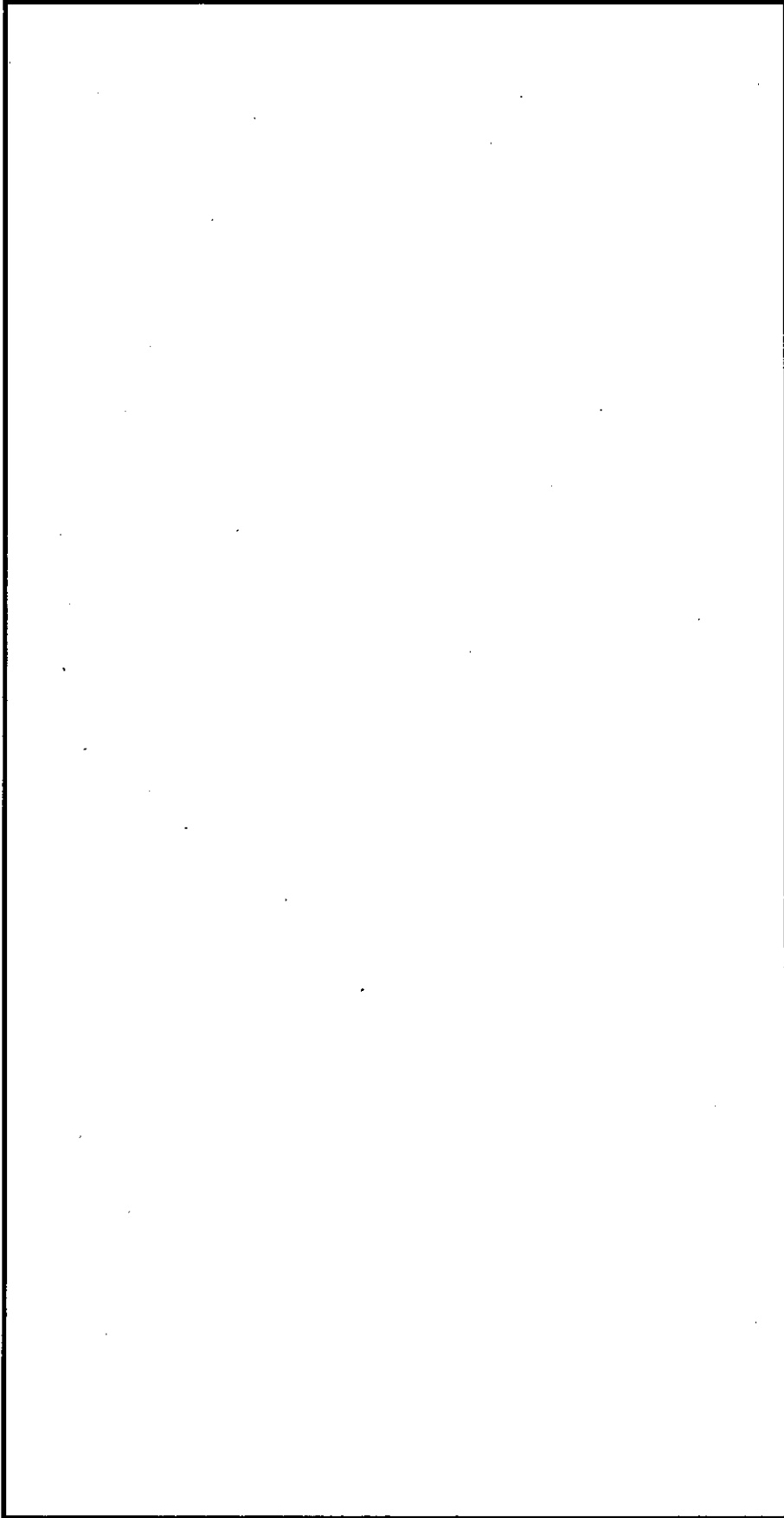
(単位 : mm)

(ロ)-第 D. 3(b) 図 通常輸送時の解析モデル (一般部縦断面、下部)



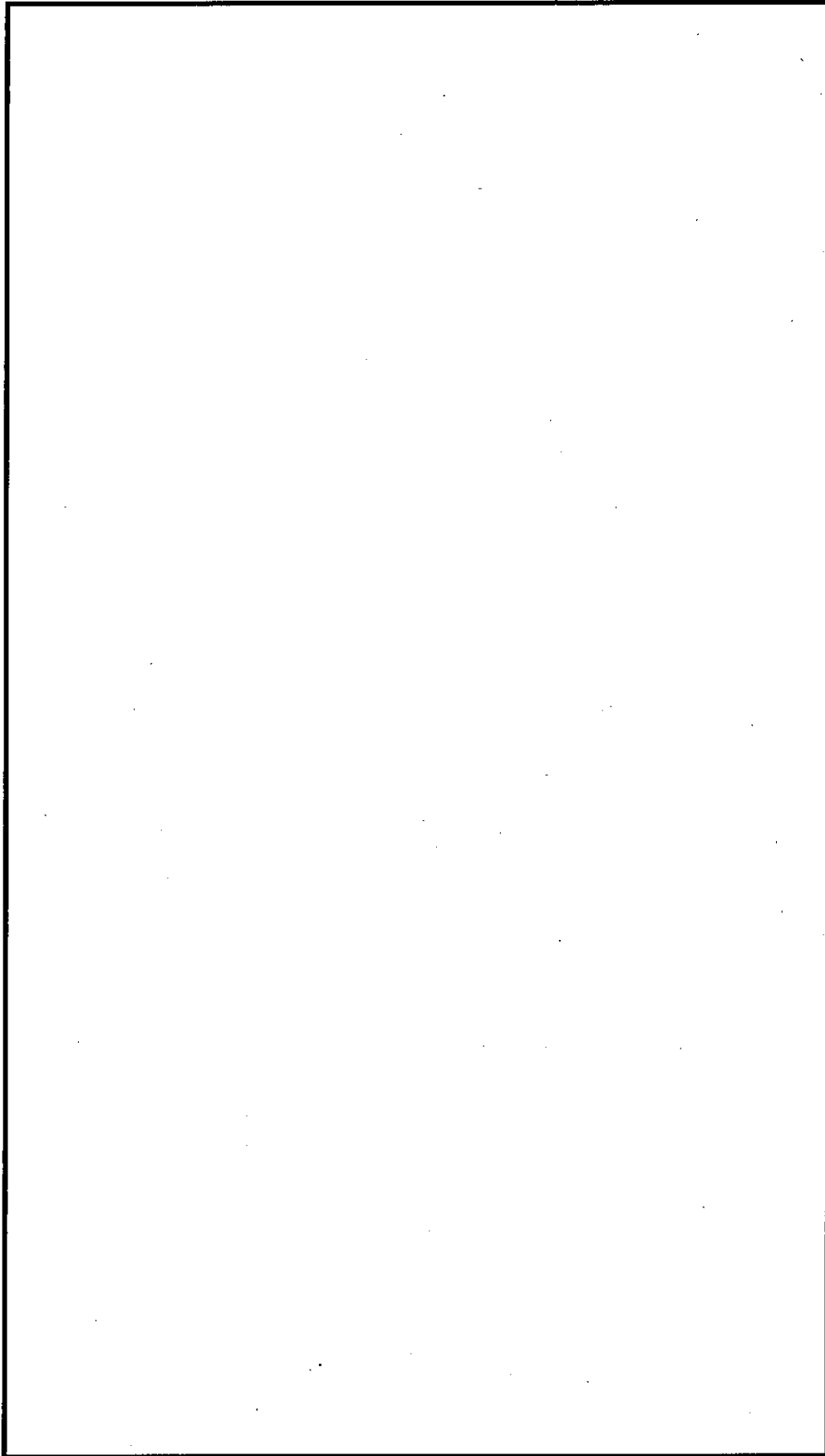
(単位：mm)

(ロ)-第D.4(a)図 通常輸送時の解析モデル (0° 方向縦断面、上部)



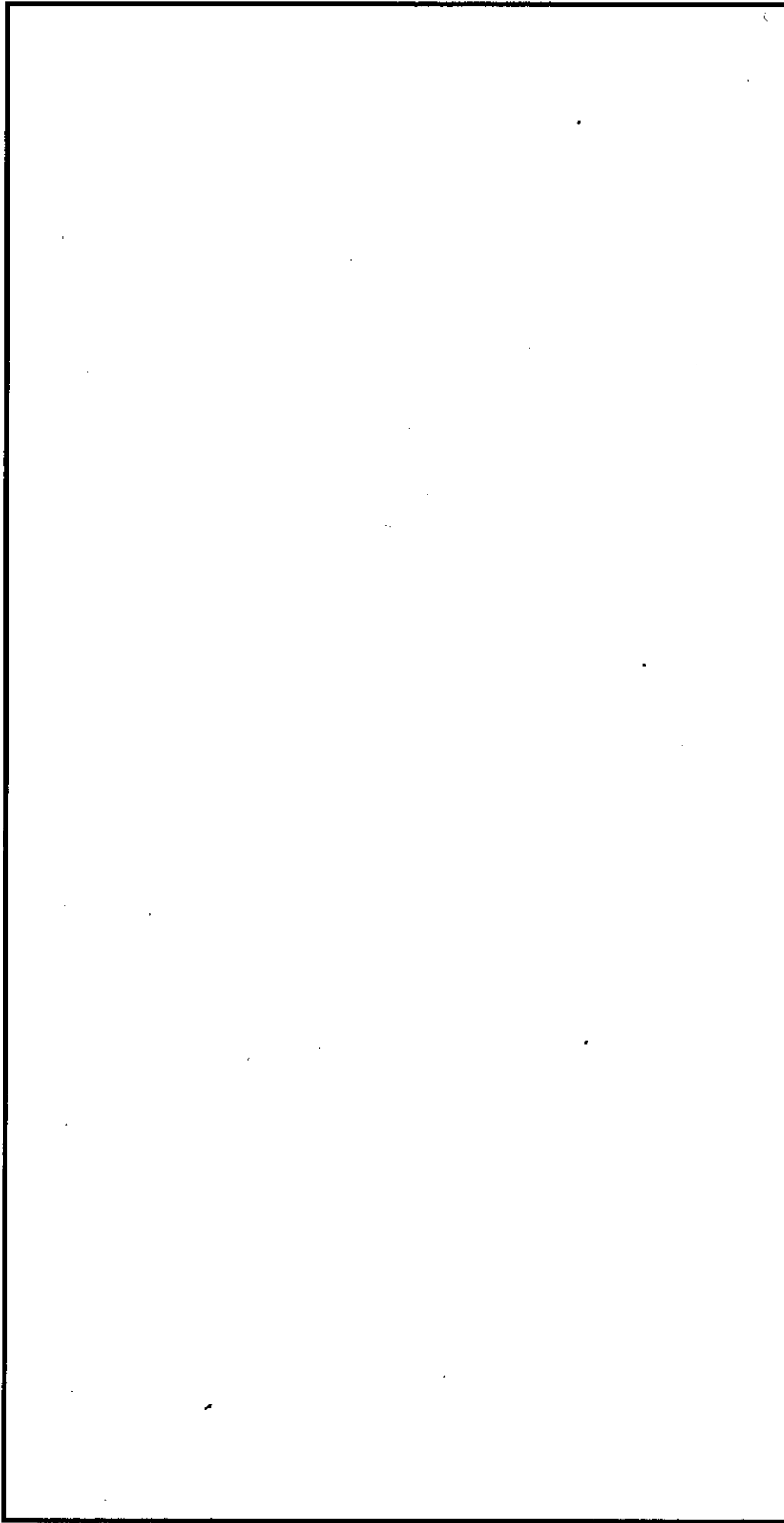
(単位 : mm)

(ロ)-第 D. 4 (b) 図 通常輸送時の解析モデル (0° 方向縦断面、下部)



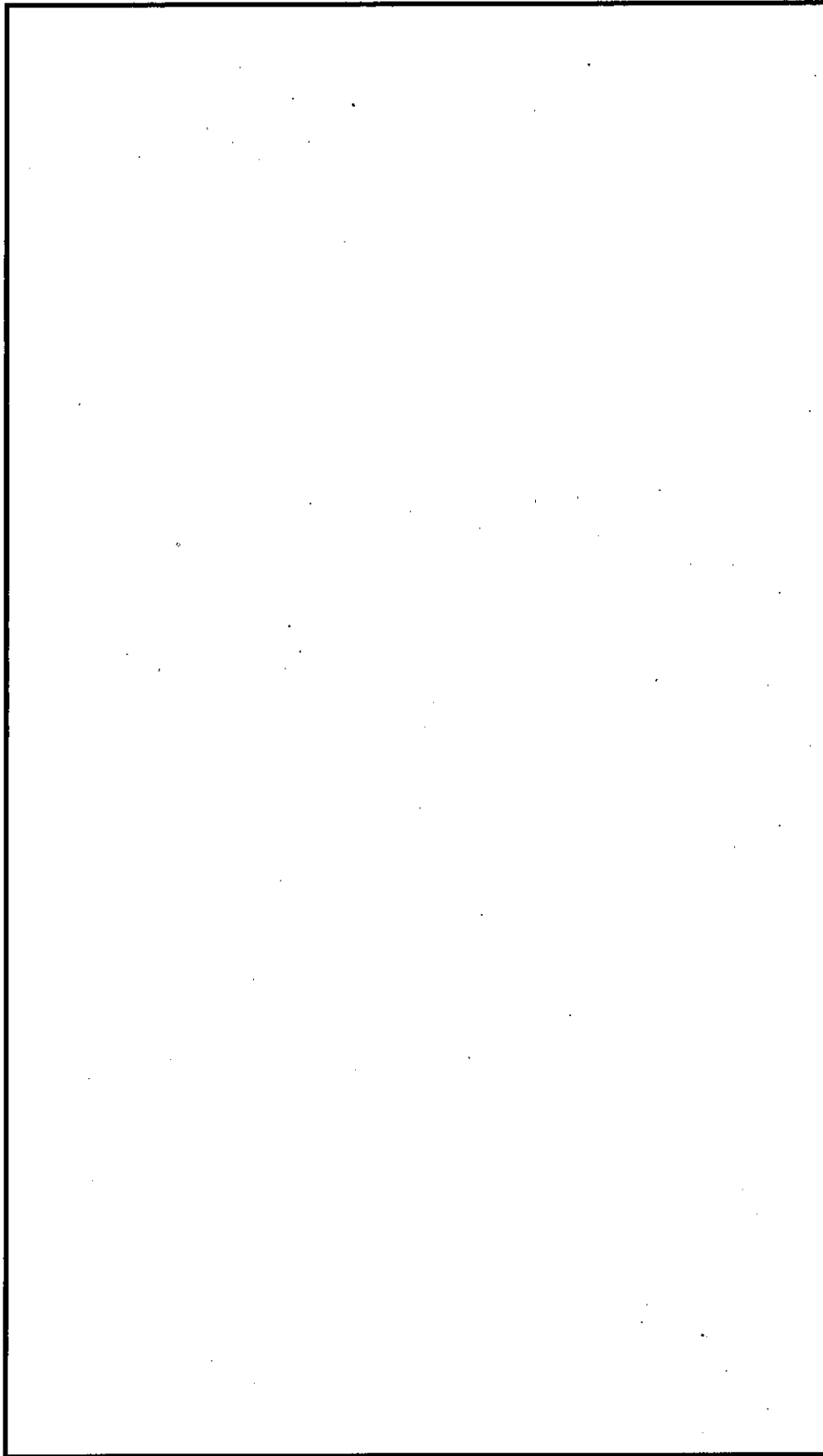
(単位：mm)

(口)-第 D. 5(a) 図 通常輸送時の解析モデル (45° 方向縦断面、上部)



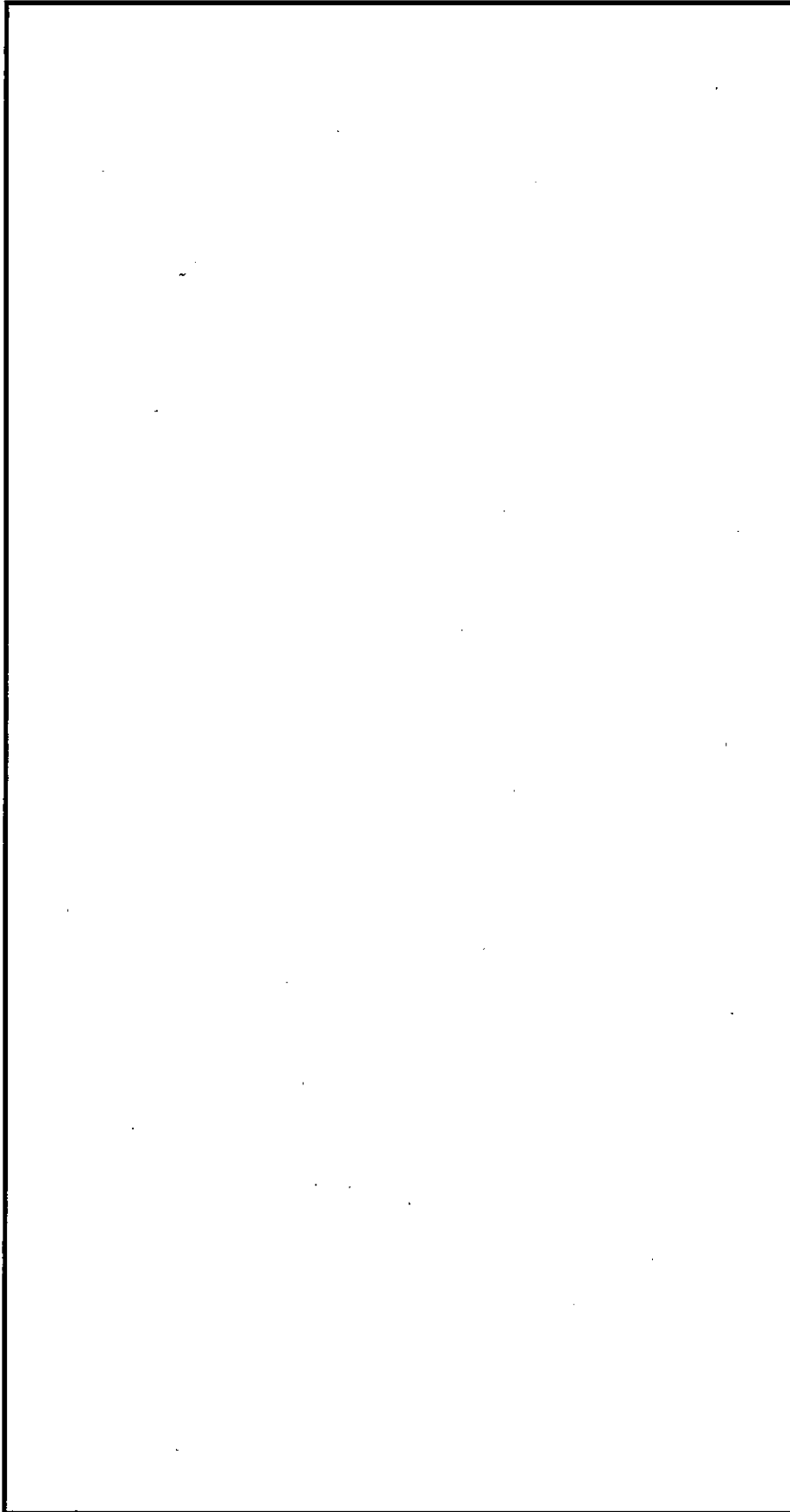
(単位：mm)

(口)-第 D. 5(b) 図 通常輸送時の解析モデル (45° 方向縦断面、下部)



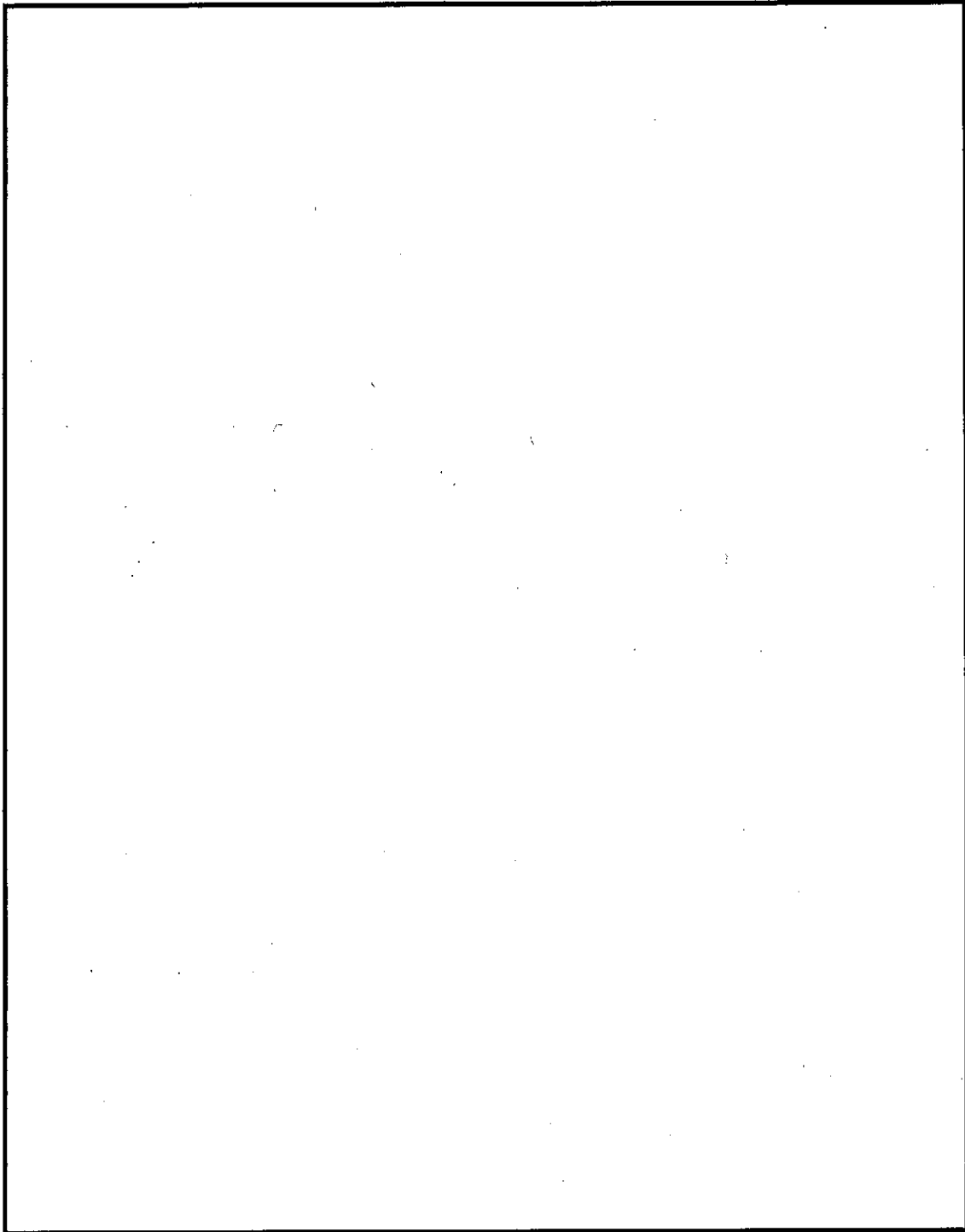
(単位：mm)

(ロ)-第 D. 6(a) 図 通常輸送時の解析モデル (90° 方向縦断面、上部)

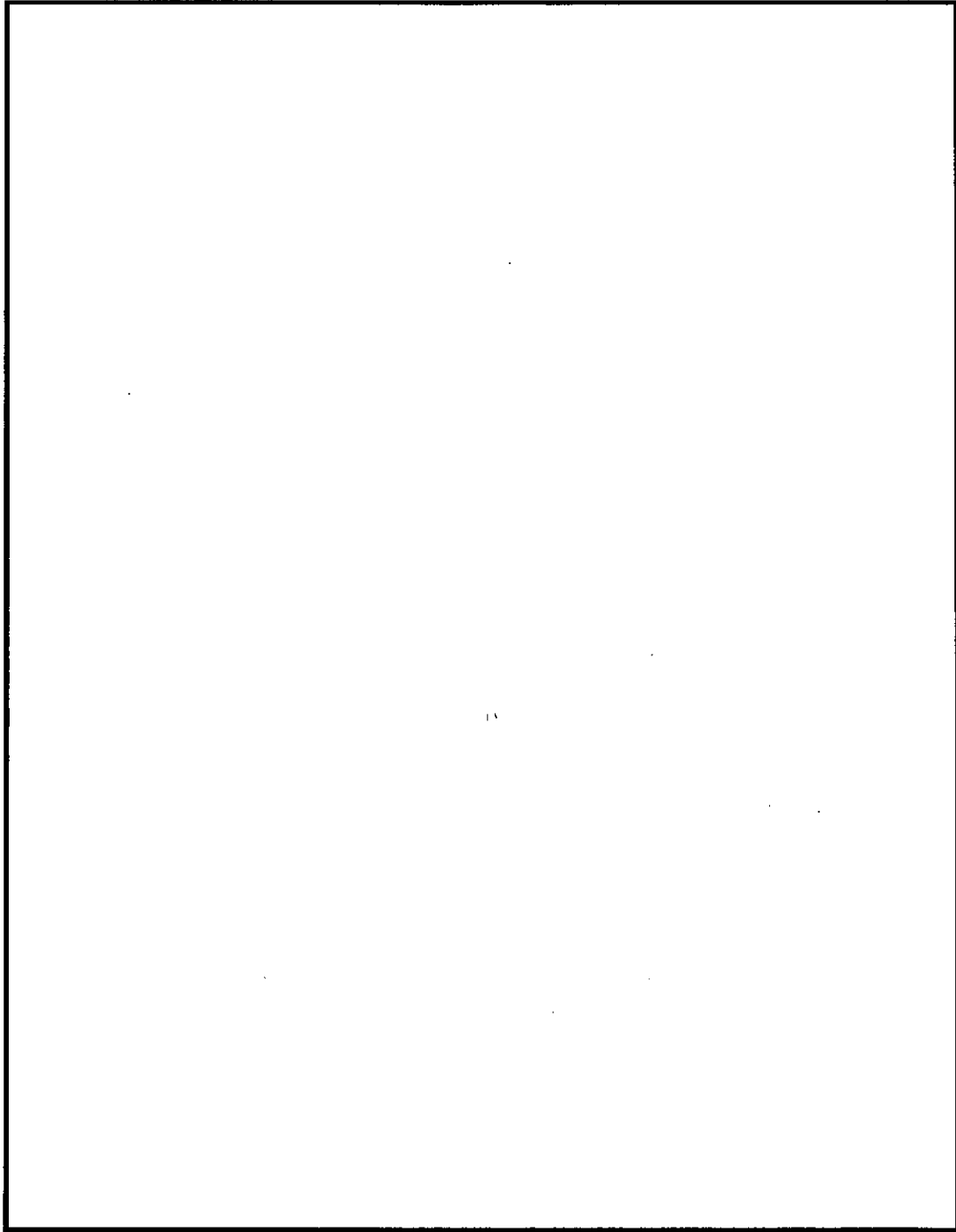


(単位：mm)

(ロ)-第 D. 6(b) 図 通常輸送時の解析モデル (90° 方向縦断面、下部)

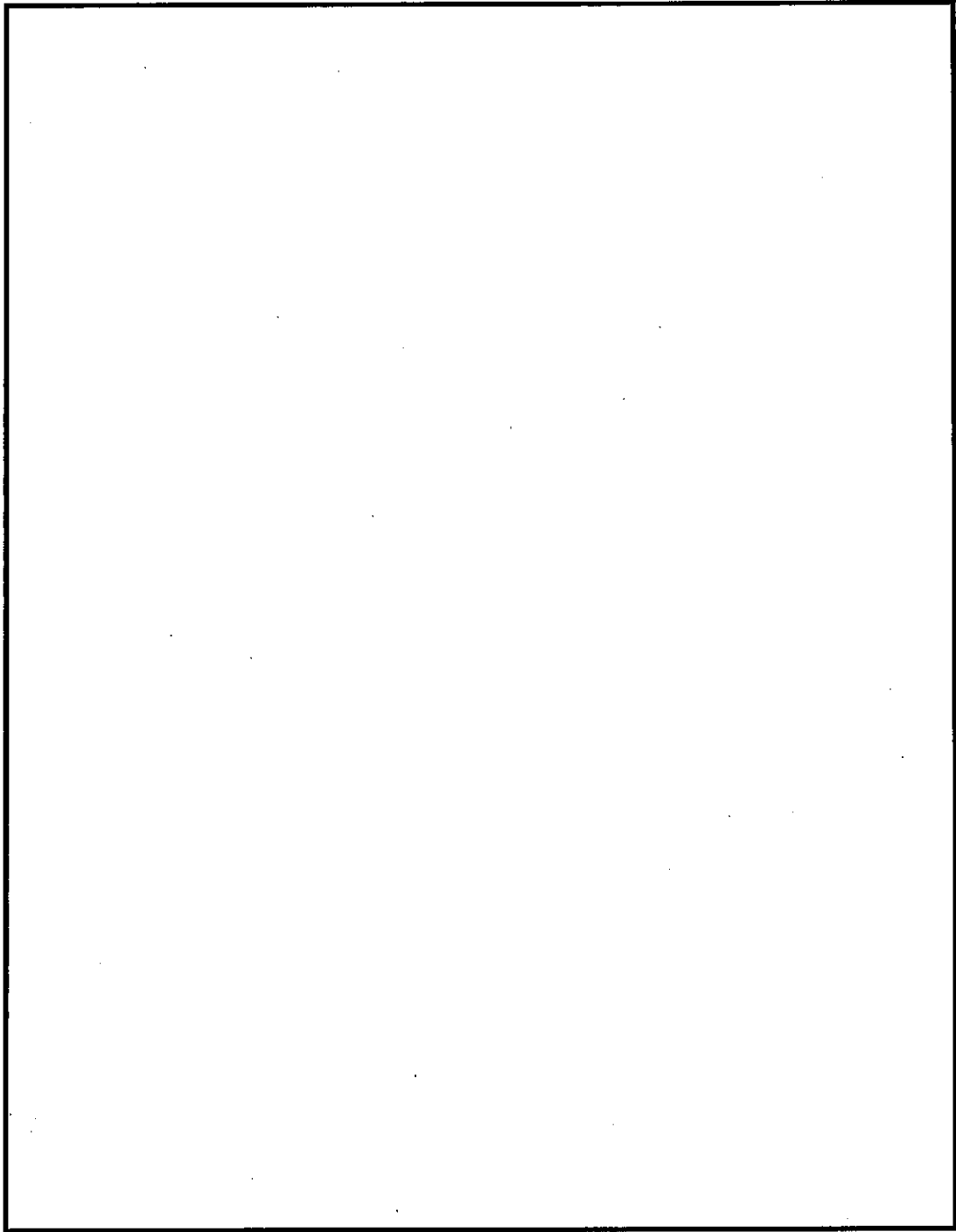


(ロ)-第D.7(a)図 通常輸送時の解析モデル (軸方向中央部横断面)



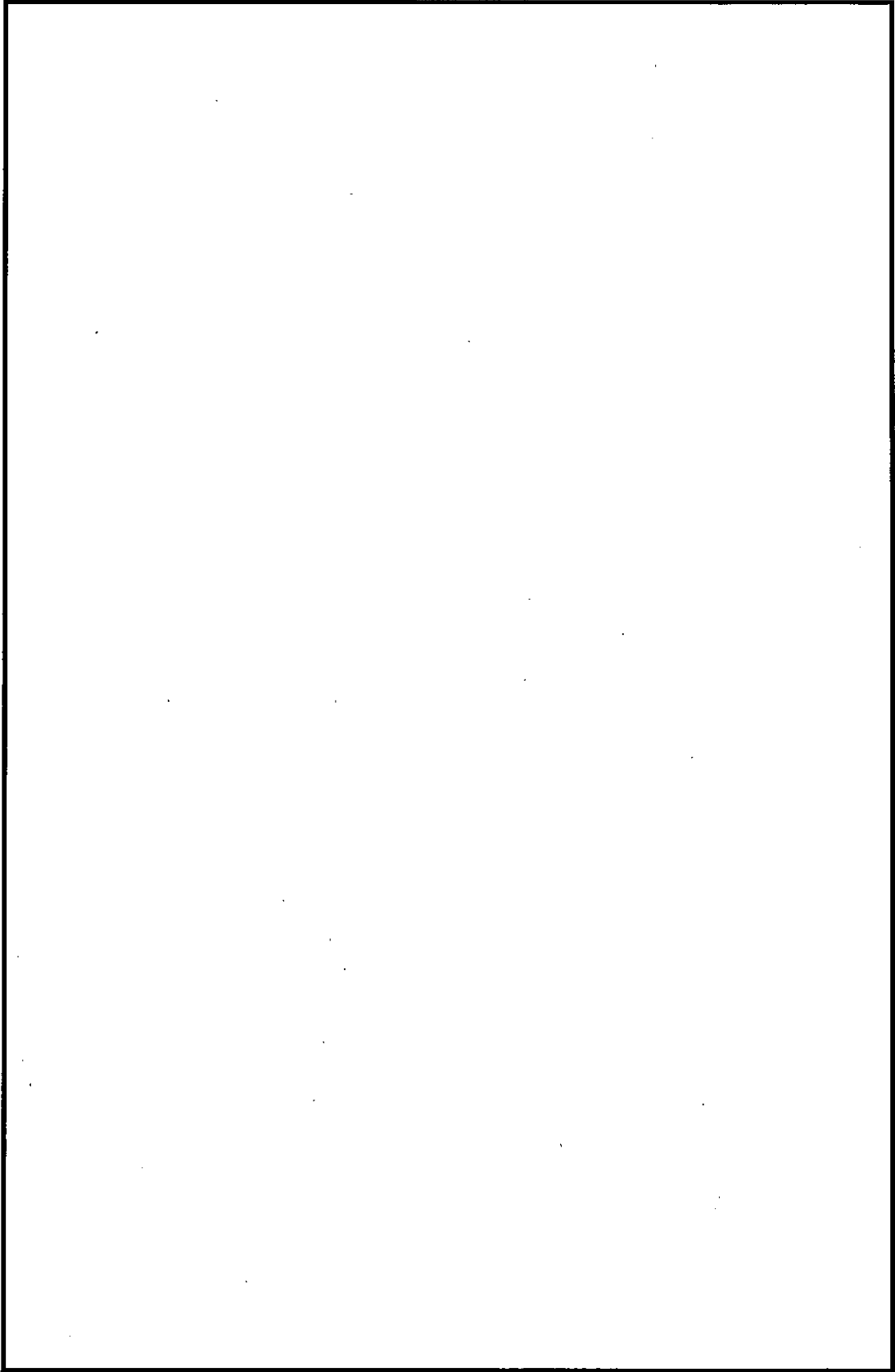
注) ベントオリフィスと前部トラニオンの Z 方向位置は僅かに異なるが同じ断面に記載した。

(ロ)-第 D. 7(b) 図 通常輸送時の解析モデル (ベントオリフィス及び前部トラニオン部横断面)

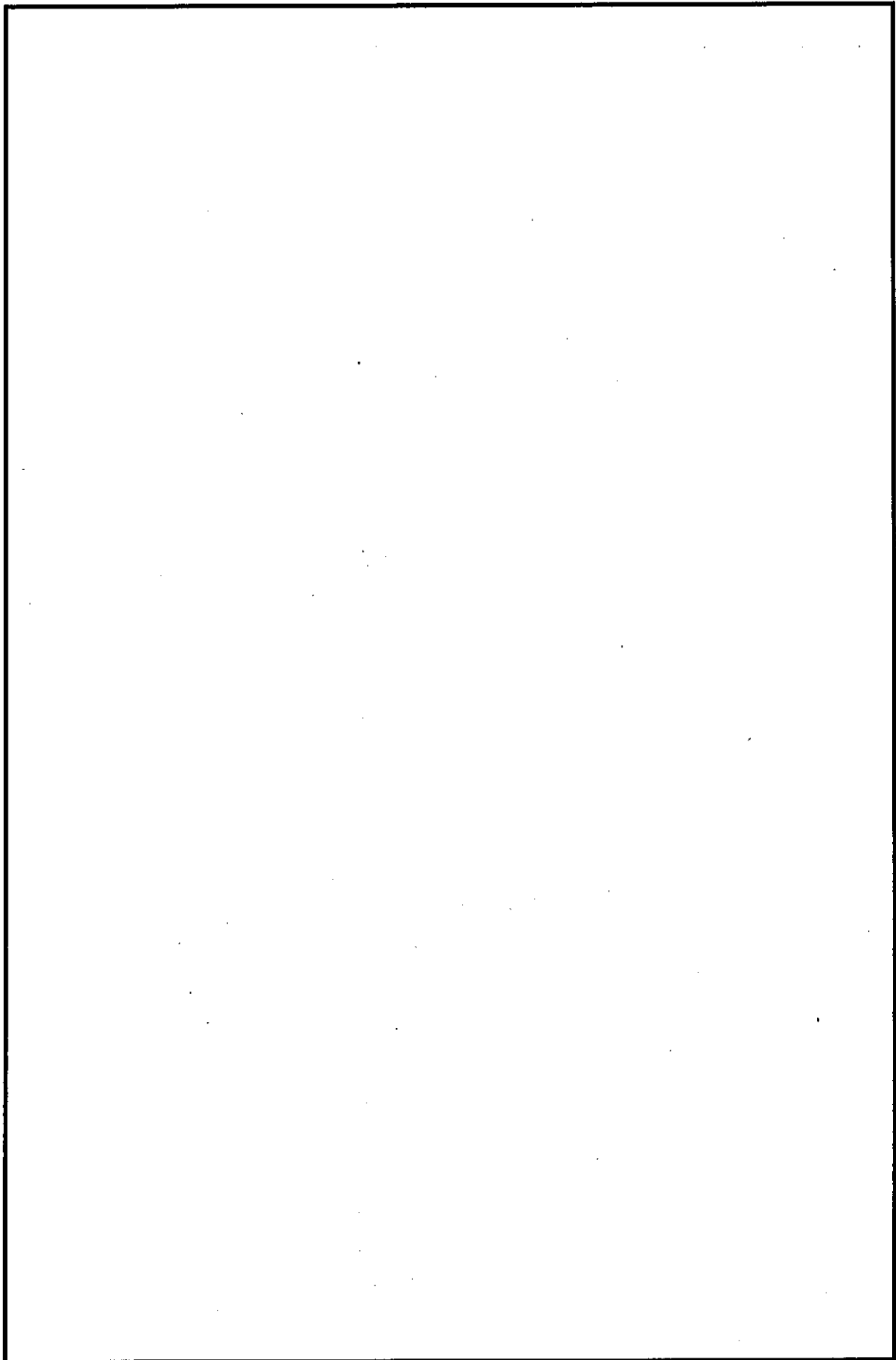


注：ドレンオリフィスと後部トラニオンの Z 方向位置は僅かに異なるが同じ断面に記載した。

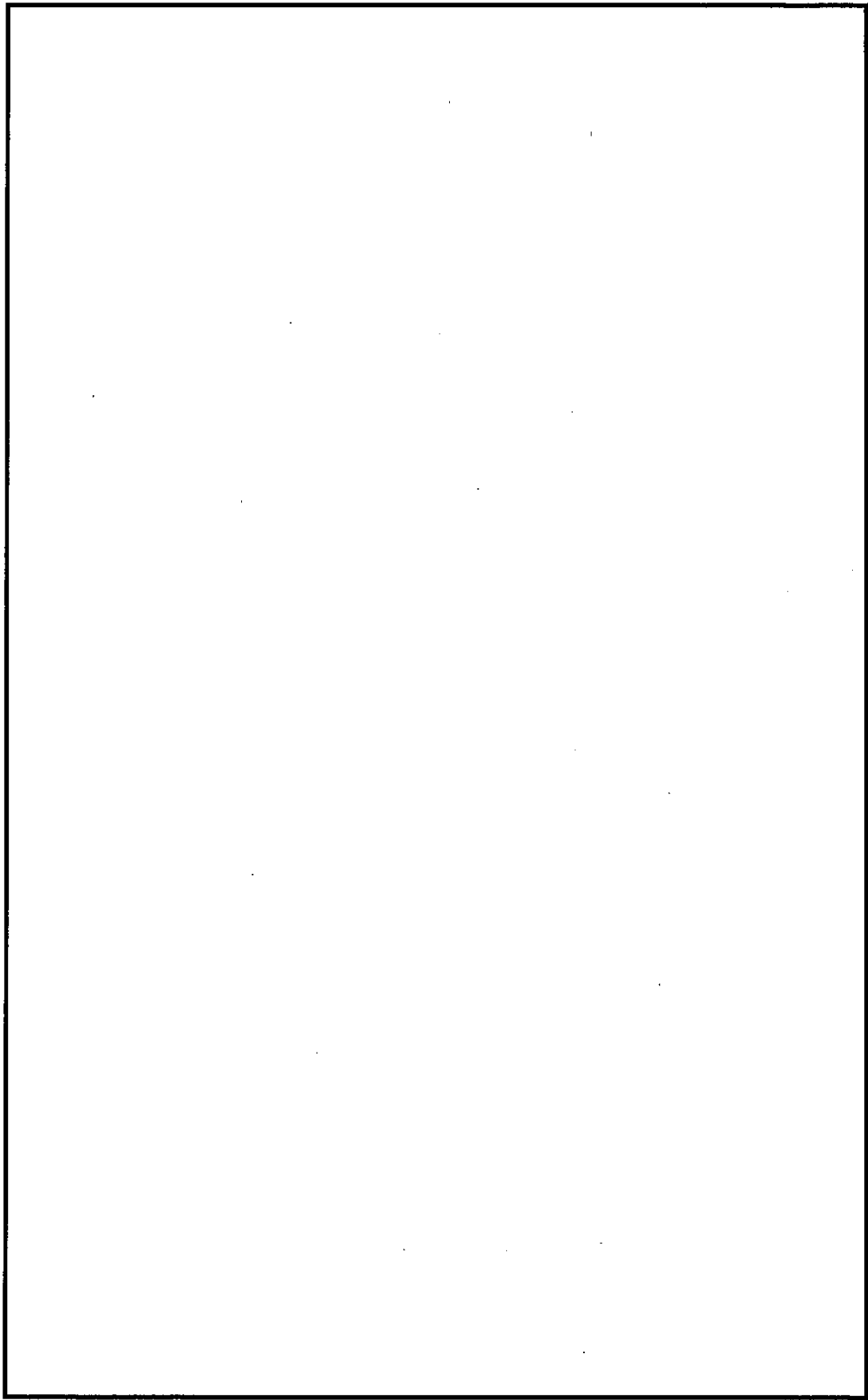
(ロ)-第 D.7(c) 図 通常輸送時の解析モデル (ドレンオリフィス及び後部トラニオン部横断面)



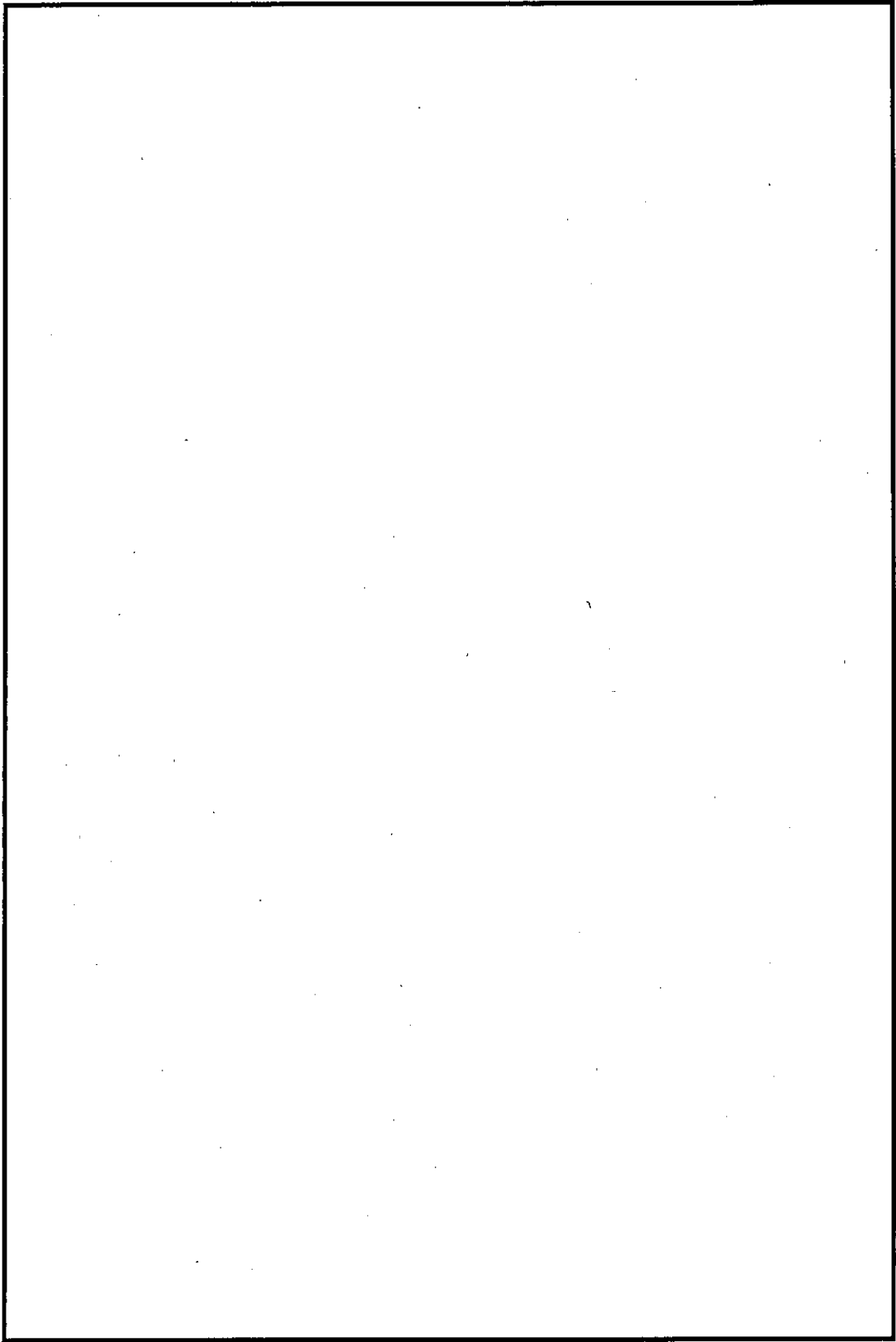
(ロ)-第 D. 8 図 一般の試験条件の解析モデル (鳥瞰図)



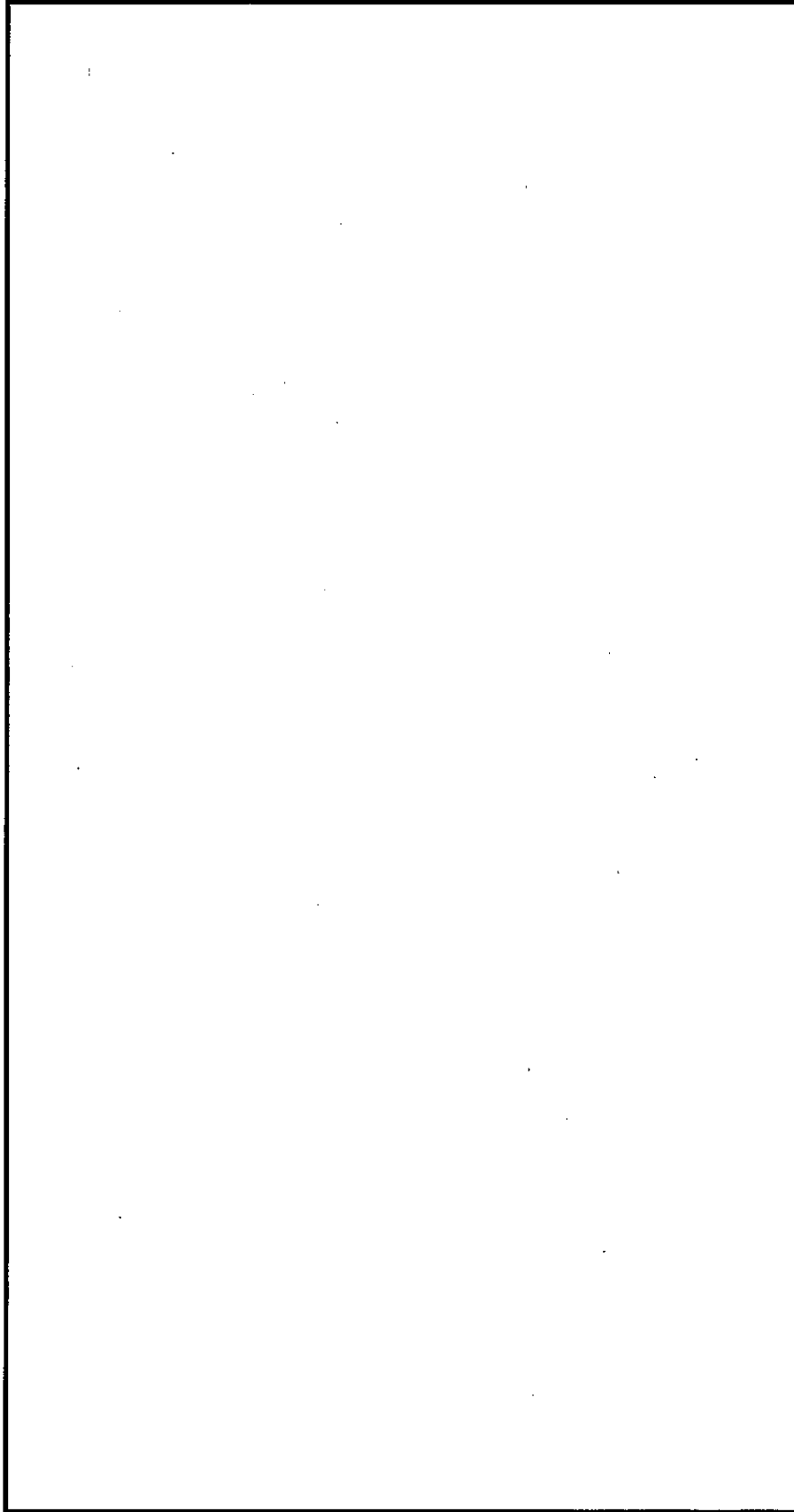
(ロ)-第D.9(a)図 一般の試験条件の解析モデル (一般部縦断面、上部)



(ロ)-第 D. 9(b) 図 一般の試験条件の解析モデル (一般部縦断面、下部)

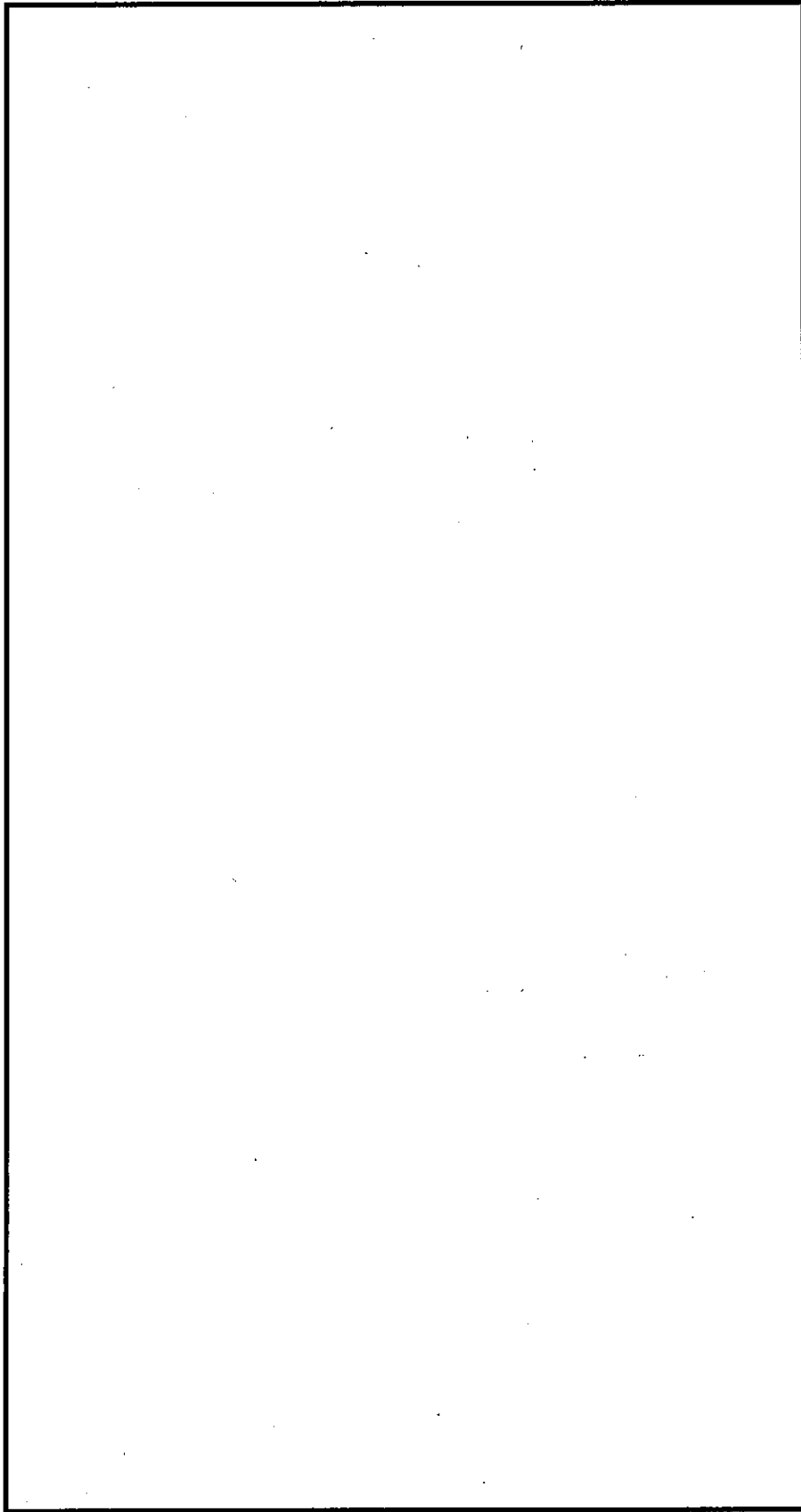


(ロ)-第 D. 10 図 特別の試験条件の解析モデル (鳥瞰図)



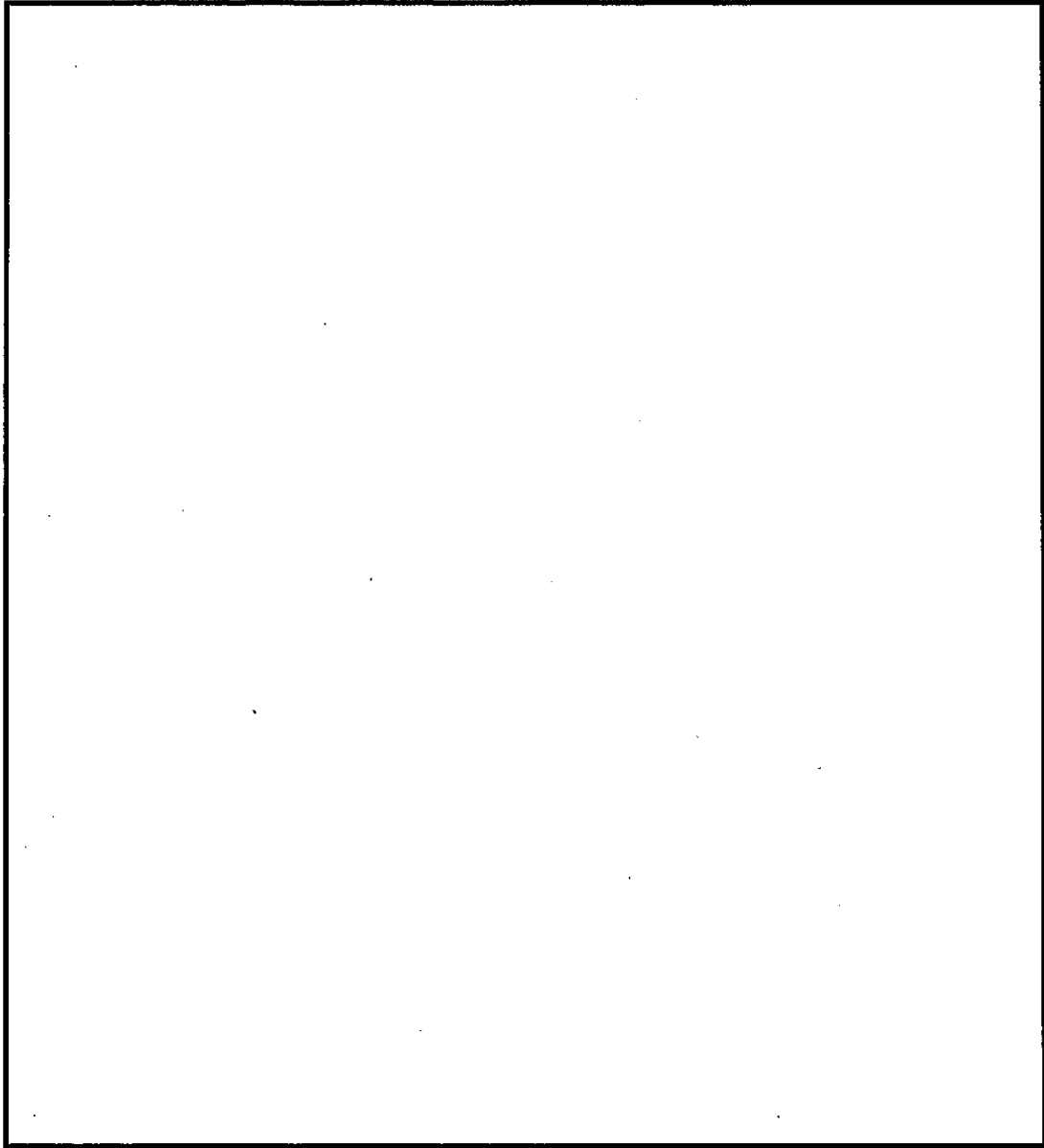
(単位 : mm)

(口)-第D.11(a)図 特別の試験条件の解析モデル (一般部縦断面、上部)



(単位：mm)

(ロ)-第 D. 11(b) 図 特別の試験条件の解析モデル (一般部縦断面、下部)



(単位 : mm)

(ロ)-第 D.12 図 特別の試験条件の解析モデル (軸方向中央部横断面)

(ロ)-第D.7(a)表 解析に用いる均質化領域の構成物質体積比 ()

領域 構成物質		均質化領域				
		上部タイプレート	上部プレナム	燃料有効部	下部プレナム	下部タイプレート
燃料集合体	MOX					
	ジルカロイ-2					
	ステンレス鋼					
	インコネル					
ボイド						

(ロ)-第D.7(b)表 解析に用いる均質化領域の構成物質体積比 ()

領域 構成物質		均質化領域				
		上部タイプレート	上部プレナム	燃料有効部	下部プレナム	下部タイプレート
燃料集合体	MOX					
	ジルカロイ-2					
	ステンレス鋼					
	インコネル					
ボイド						

(ロ) 第 D. 8(a) 表 解析に用いる均質化領域の原子個数密度

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	上部タイププレート	上部プレナム	燃料有効部	下部プレナム	下部タイププレート
O					
Ti					
Cr					
Fe					
Ni					
Zr					
Sn					
²³⁸ U					

(ロ)-第D.8(b)表 解析に用いる均質化領域の原子個数密度 ()

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	上部タイプレート	上部プレナム	燃料有効部	下部プレナム	下部タイプレート
O					
Ti					
Cr					
Fe					
Ni					
Zr					
Sn					
²³⁸ U					

(ロ)-第 D. 8(c)表 解析に用いる各領域の原子個数密度

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	合金鋼	ステンレス鋼					銅
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	
Cr							
Mn							
Fe							
Ni							
Cu							
Mo							

(ロ)-第 D. 8(d)表 解析に用いる各領域の原子個数密度

(単位: 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	タングステン	チタン	アルミニウム 合金	レジン ^{注)}	
H					
¹⁰ B					
¹¹ B					
C					
O					
Mg					
Al					
Ti					
Zn					
W					

注) 特別の試験条件では、レジンの焼損を考慮し100%無視する。

(ロ)-第 D.9 表 主な部品の材料密度と密度係数

部品	材料	材料密度 (g/cm ³)	密度係数
胴	合金鋼		
底板			
二次蓋			
一次蓋	ステンレス鋼 (a)		
カバ	ステンレス鋼 (b)		
リングフランジ	ステンレス鋼 (c)		
レジンカバー	ステンレス鋼 (d)		
取付けカバー	ステンレス鋼 (e)		
銅伝熱体	銅		
ガンマ線遮蔽体	タングステン		
	チタン		
スカート支持リング	アルミニウム合金		
レジン	胴部	レジン	
	底部		
	一次蓋		
ロジメントチューブ	ステンレス鋼 (d)		
アルミチューブ			
緩衝材			
均質化燃料領域	燃料ペレット		
	インコネル		
	ジルカロイ-2		
	ステンレス鋼 (d)		

D.4 遮蔽評価

輸送物の外部のガンマ線量当量率、中性子線量当量率を評価するために使用した計算手法及び解析結果について以下に説明する。

(1) 計算手法

線量当量率の計算はガンマ線、中性子共に MCNP6 コードを用いて行った。

断面積は、中性子については ENDF71x ライブラリ⁴⁾、ガンマ線については MCPLIB84 ライブラリ⁵⁾のデータを使用した。

線束から線量当量率への変換係数は ICRP Publ. 74⁶⁾の1 cm線量当量率変換係数に基づく中性子 55 群、ガンマ線 25 群構造に対する値を用いた。

分散低減法には、解析モデルにおいて仮想的に分割した各メッシュに対して Weight Window (WW) を設定して用いた。

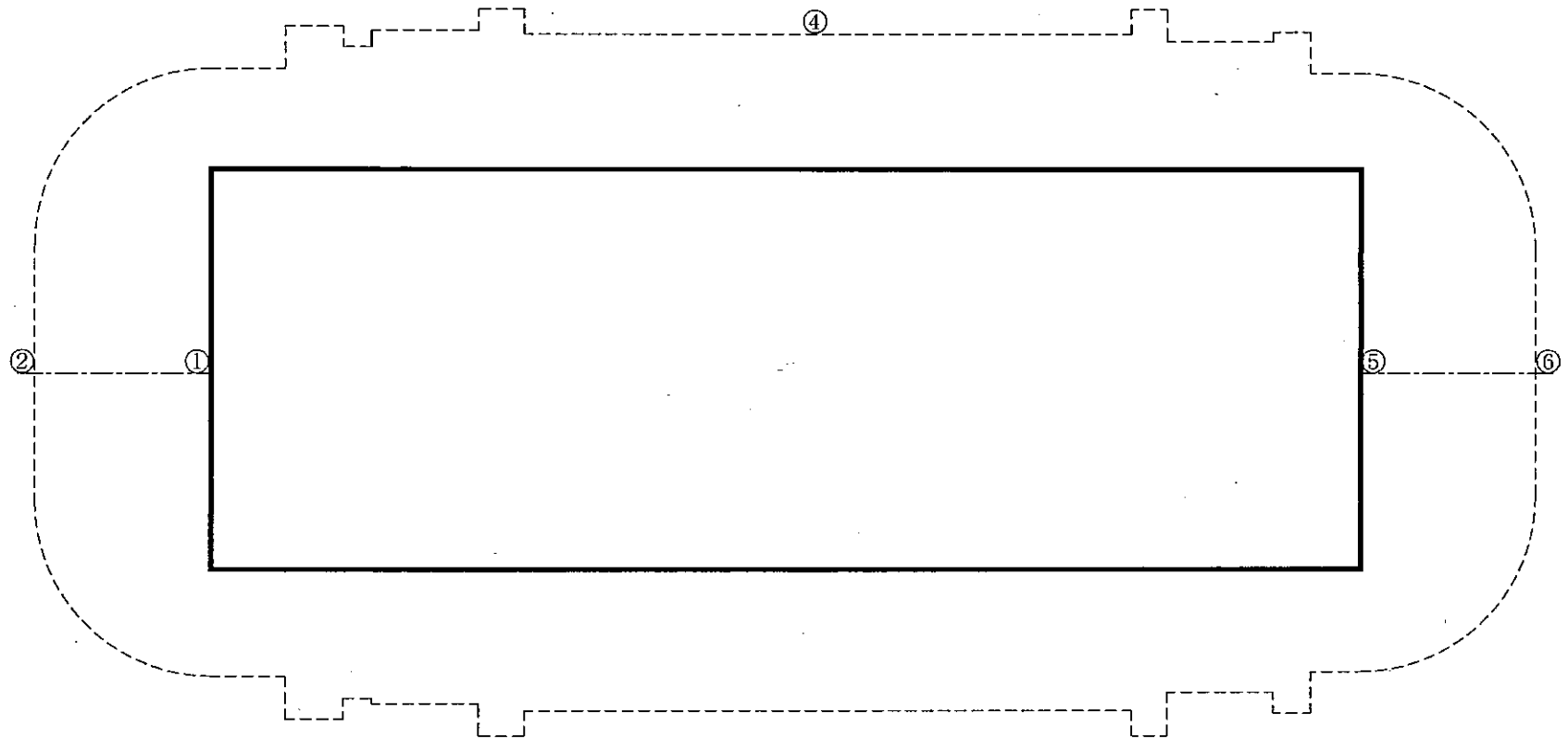
(2) 計算結果

各モデルにおけるガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の評価位置を(ロ)-第 D. 13 図及び(ロ)-第 D. 14 図に、また、解析結果を(ロ)-第 D. 10 表～(ロ)-第 D. 12 表に示す。

これらの結果では、前部、側部及び後部の各方向において、輸送物表面及び表面から 1m で線量当量率が最大となる位置での線量当量率の合計値及びその内訳を記載している。

また、(ロ)-第 D. 10 表及び(ロ)-第 D. 11 表に示すように一般の試験条件に置かれた輸送物表面の最高線量当量率は、著しく増加することはない。

----- 表面から 1m 離れた位置



(ロ) -D-37

(ロ)-第 D. 13 図 通常輸送時及び一般の試験条件の線量当量率評価位置

(ロ)-第 D. 10 表 通常輸送時の線量当量率

(単位：μSv/h)

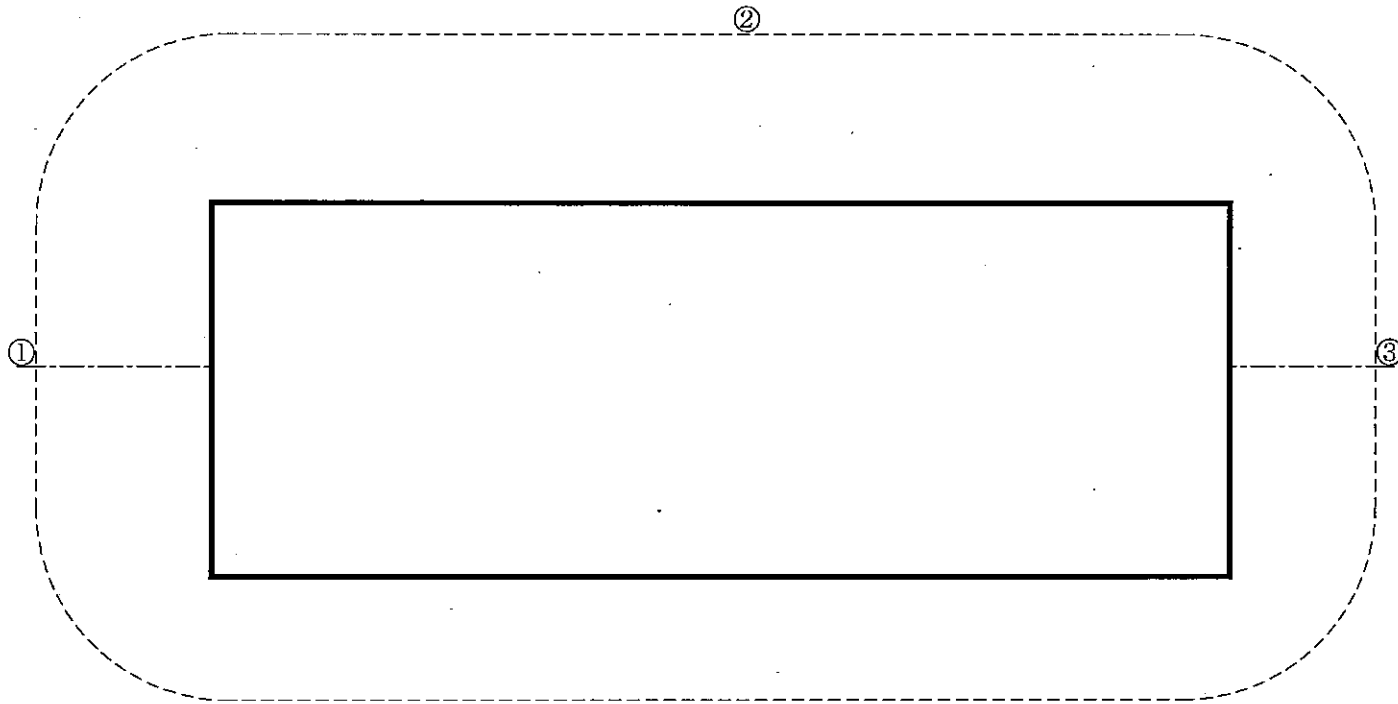
評価位置		前部	側部	後部	基準値	
		①	③	⑤		
輸送物表面	ガンマ線	燃料有効部	1	8	2	2000
		構造材放射化	1	315	89	
		二次ガンマ線	1	12	2	
	中性子	9	362	10		
	合計	12	697	103		
評価位置		②	④	⑥	基準値	
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	1	23	1	100
		構造材放射化	1	10	23	
		二次ガンマ線	1	6	1	
	中性子	2	15	4		
	合計	5	54	29		

(ロ)-第 D. 11 表 一般の試験条件の線量当量率

(単位：μSv/h)

評価位置		前部	側部	後部	基準値	
		①	③	⑤		
表面	ガンマ線	燃料有効部	1	8	2	2000
		構造材放射化	1	315	125	
		二次ガンマ線	1	12	2	
	中性子	14	363	12		
	合計	17	698	141		

----- 表面から 1m 離れた位置



(ロ)-第 D. 14 図 特別の試験条件の線量当量率評価位置

(ロ)-第 D.12 表 特別の試験条件の線量当量率

(単位 : $\mu\text{Sv/h}$)

評価位置			前部	側部	後部	基準値
			①	②	③	
表面から 1 m	ガンマ線	燃料有効部	1	294	8	10000
		構造材放射化	9	115	566	
		二次ガンマ線	1	4	1	
	中性子		60	2806	326	
	合計		71	3219	901	

D.5 結果の要約及びその評価

通常輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件の遮蔽解析の結果の要約を(ロ)-第D.13表に示す。解析から得られた最大線量当量率は規則及び告示で定められた基準値を満足する。また、一般の試験条件における最大線量当量率の著しい増加は生じない。

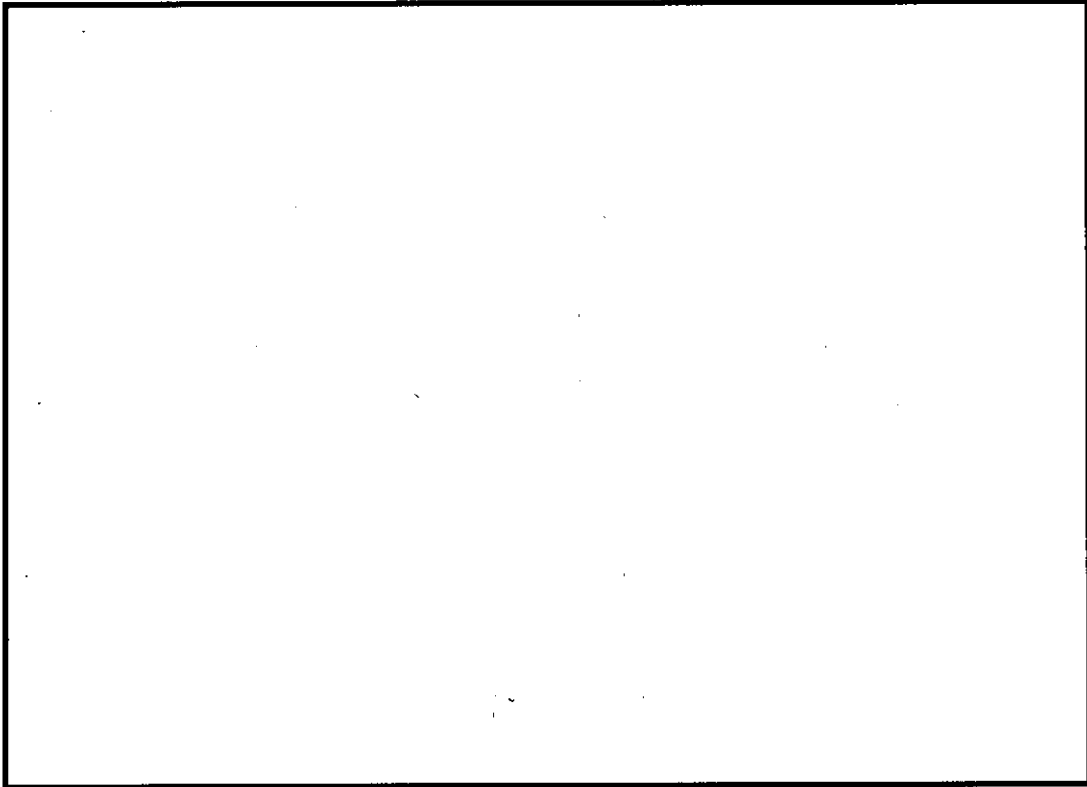
(ロ)-第D.13表 最大線量当量率の要約

項目	部位	輸送物表面 (μSv/h)			表面より 1m (μSv/h)		
		前部	側部	後部	前部	側部	後部
通常輸送時							
ガンマ線		3	335	93	3	39	25
中性子		9	362	10	2	15	4
合計		12	697	103	5	54	29
一般の試験条件					/		
ガンマ線		3	335	129			
中性子		14	363	12			
合計		17	698	141			
特別の試験条件		/					
ガンマ線					11	413	575
中性子					60	2806	326
合計					71	3219	901
基準値							
通常輸送時			2000			100	
一般の試験条件			2000			—	
特別の試験条件			—			10000	

D.6 付属書類

D.6.1 線源計算に用いる軸方向燃焼度分布

線源計算に用いる軸方向燃焼度分布を(口)-第D.付1図に示す。



(口)-第D.付1図 軸方向燃焼度分布

D.6.2 参考文献

- 1) A. G. Croff, "ORIGEN-2 A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621, 1980
- 2) Denise B. Pelowitz, "MCNP6™ USER'S MANUAL, Version 1.0 May 2013 Manual Rev.0", LA-CP-13-00634 Rev.0, 2013
- 3) BNL, "Neutron Cross Sections", BNL 325 Third Edition, 1973
- 4) Conlin Jeremy Lloyd, Gardiner Steven J, Parsons Donald K, Kahler Albert C. III, Lee Mary Beth, Morgan C. White, "Release of ENDF/V-VII.1-based Continuous Energy Neutron Cross Section Data Tables for MCNP", LA-UR-13-20240, 2013
- 5) Morgan C. White, "Photoatomic Data Library MCPLIB04: A New Photoatomic Library Based On Data from ENDF/B-VI Release 8", LA-UR-03-1019, 2003
- 6) ICRP, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", Publication 74, 1996

(口)-E 臨界解析

E. 臨界解析

E.1 概要

輸送容器には、燃料集合体を収納するバスケットが用いられ、燃料集合体が分散・集合しないようになっている。バスケットには未臨界維持のために中性子吸収材である を用いている。

輸送容器は燃料集合体を装荷後、胴内水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封性能を有した複数の蓋を有しており、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いても胴内に水が浸入することはない。したがって、胴内を告示第 25 条第 1 号のただし書きに記載されている「浸水及び漏水を防止する特別な措置が講じられた部分」とし、胴内を水で満たさない条件で臨界解析を行うこととする。

臨界解析では、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における輸送容器及び燃料集合体の変形を考慮し、境界条件として完全反射を仮定することにより、以下の条件より厳しい条件とする。

- ① 通常輸送時
- ② 輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ③ 一般の試験条件下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ④ 特別の試験条件下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ⑤ 一般の試験条件下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合
- ⑥ 特別の試験条件下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

臨界解析には、SCALE コードシステム¹⁾を用い、実効増倍率 (k_{eff}) の計算はモンテカルロ法による KENO-VI コード²⁾を用いて行った。その結果、 k_{eff} は標準偏差の 3 倍を加えても十分未臨界である。

したがって、輸送物は上記①～⑥のいずれの条件においても未臨界である。

E.2 解析対象

E.2.1 収納物

輸送容器には燃料集合体を最大 32 体装荷する。

輸送容器に装荷する燃料集合体の仕様は(イ)-第 D.1 表に示したとおりである。輸送容器に装荷する燃料集合体は照射済であるが、解析ではウラン濃縮度及びプルトニウム富化度は未照射のままの減損していない値をとり、安全側の仮定とする。また、燃料集合体には可燃性毒物としてガドリニウムを添加した燃料棒が含まれる場

合があるが、臨界解析ではガドリニウム(Gadolinium)の存在を無視する。臨界解析の対象とする燃料集合体の仕様を(口)-第E.1表に示す。

また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における燃料集合体の変形を考慮し、輸送容器に収納される全燃料集合体について燃料棒ピッチの変化を仮定する。燃料棒ピッチ変化の k_{eff} への影響を確認するため、燃料棒ピッチが変形前のピッチである場合に加えて、燃料棒ピッチが最小の場合について評価する。

(ロ)-第 E.1 表 臨界解析の燃料集合体の仕様

	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4	タイプ 5
	28本クラスタ (ウラン・プルトニウム 富化型燃料)	28本クラスタ (微濃縮 ウラン型燃料)	36本クラスタ (特殊燃料)	36本クラスタ (照射用 36 本燃料)	36本クラスタ (照射用 ガドリニア燃料) タイプ I (5-I) タイプ II (5-II)
燃料材質	ウラン・プルトニウム 混合酸化物	ウラン酸化物	ウラン酸化物	ウラン・プルトニウム 混合酸化物	ウラン・プルトニウム 混合酸化物
燃料被覆管材質	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2
燃料棒直径 (mm)					
燃料ペレット直径 (mm)					
燃料被覆管肉厚 (mm)					
燃料有効長 (mm)	3700	3700	3540 (3700) 注)	3647 (3700) 注)	3640 (3700) 注)
燃料集合体当たりの 燃料棒数 (本)	28	28	36	36	36
燃料集合体の径 (mm)					
²³⁵ U 濃縮度 (%)					
Pu 富化度 (%)					

注) 安全側に燃料有効長が最も長い燃料タイプに合わせ 3700mm として評価する。

E. 2.2 輸送容器

輸送容器の構造は、(イ)-第 C. 2 図等に示すとおりである。

輸送容器は(ロ)-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において、臨界評価に影響する構造物の形状変化は生じない。



また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件において、臨界評価に影響するものとしては、以下の変形等が生じる。

- ・ 銅伝熱体が 1m 貫通試験により損傷し、胴部のレジンが部分的に焼損する。
- ・ 9m 落下試験によりロジメントチューブ、アルミチューブ及びサポートプレートに微小な変形が生じる。

E. 2.3 中性子吸収材

(イ)-第 C. 12 図にバスケットの構造を示す。

アルミチューブには中性子吸収材として


を用いている。

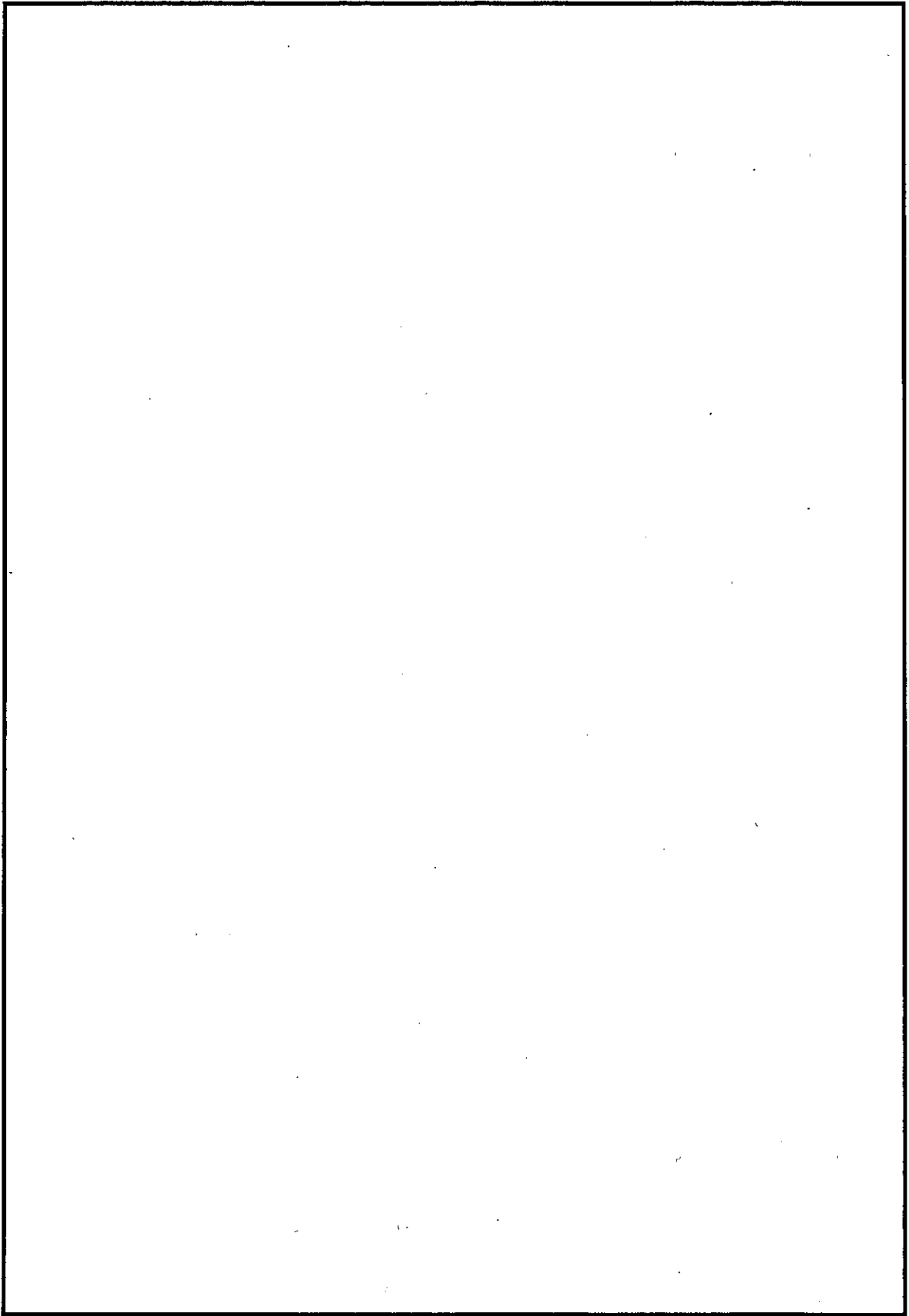
核分裂性輸送物に係る特別の試験条件において、ロジメントチューブ、アルミチューブ及びサポートプレートに微小な変形が生じる。

E. 3 モデル仕様

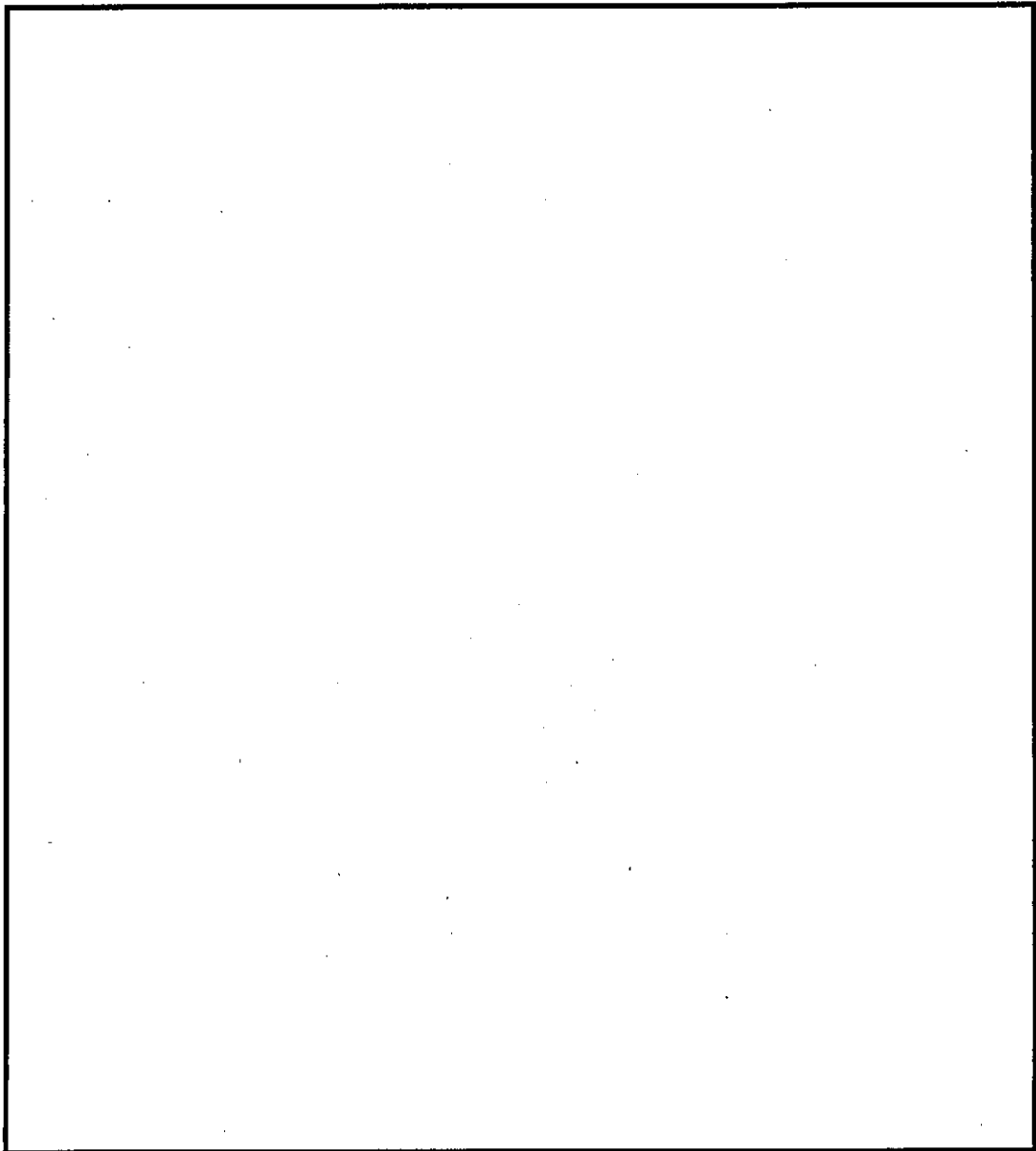
E. 3.1 解析モデル

(ロ)-第 E. 1 図～(ロ)-第 E. 8 図に臨界解析モデルを示す。解析モデルは安全側の評価となるよう以下の条件を考慮した。

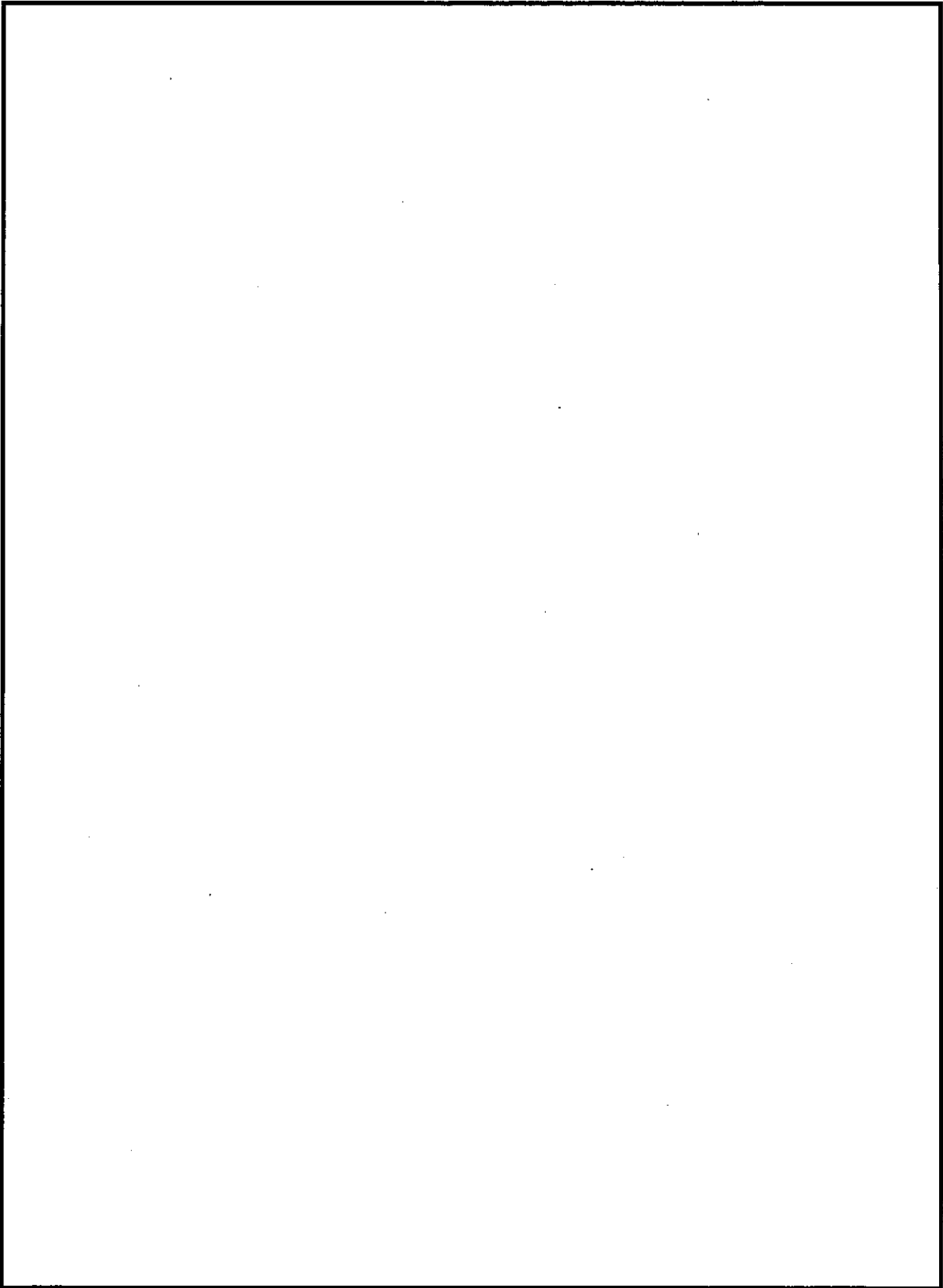
- ・ 銅伝熱体、ドラム、レジン、レジンカバー及びスカート支持リング等を見捨てる
- ・ リングフランジ、二次蓋及び衝撃吸収カバーを見捨てる
- ・ バスケットの寸法の公差を安全側に考慮。また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件でのロジメントチューブ、アルミチューブ及びサポートプレートの微小変形を安全側に考慮
- ・ 安全側に燃料集合体を輸送容器中央に寄せて配置
- ・ 燃料棒ピッチの変化を考慮（燃料棒ピッチが変化なし及び最小の 2 ケース）
- ・ 境界条件として完全反射を仮定することにより、無限個の配列を想定
- ・ 胴内における燃料集合体として存在する部分は燃料有効長に相当する燃料領域のみとし、上・下部構造材を見捨てる



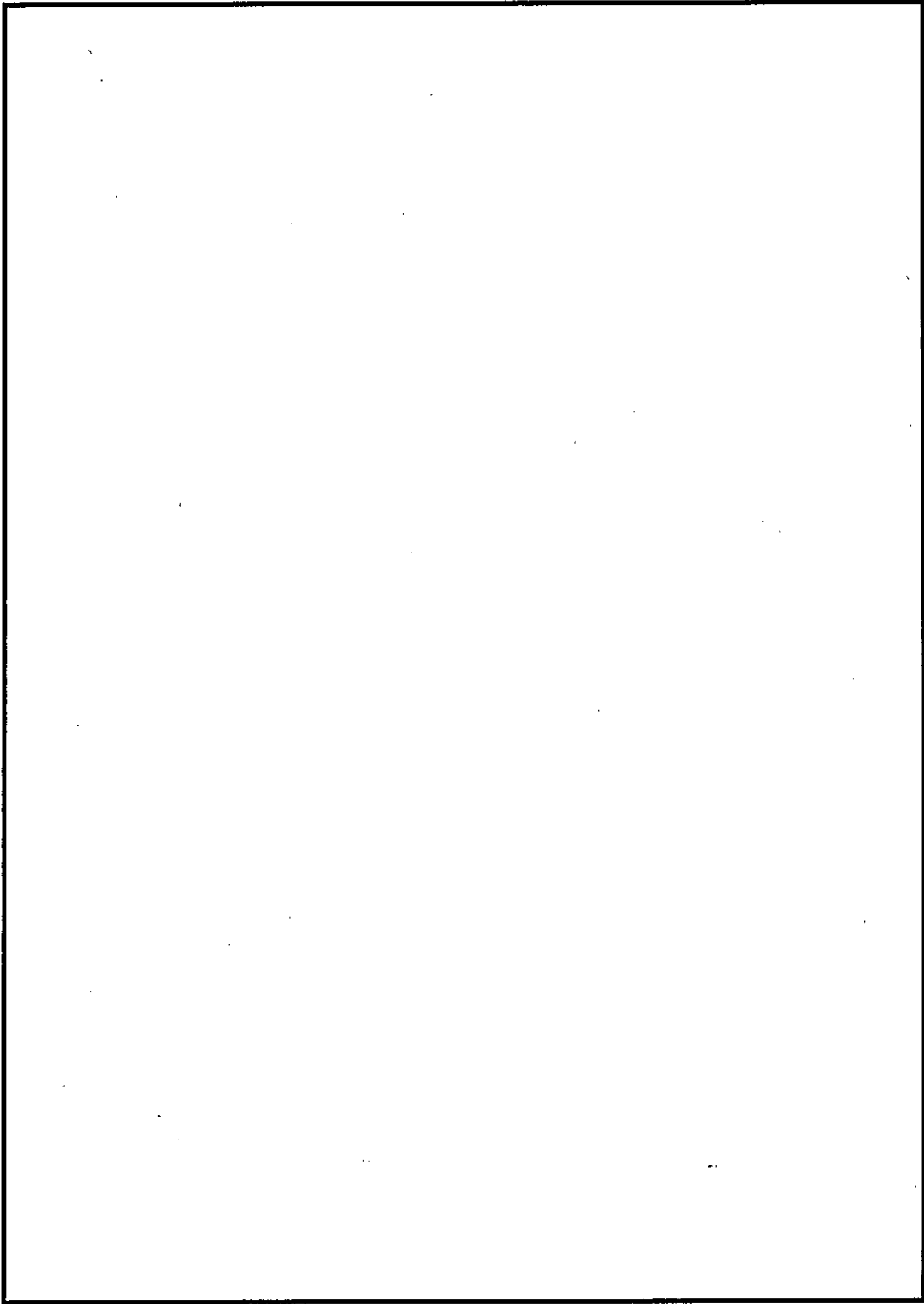
(ロ)-第 E.1 図 臨界解析モデル (輸送容器縦断面)



(ロ)-第 E. 2 図 臨界解析モデル (輸送容器横断面)

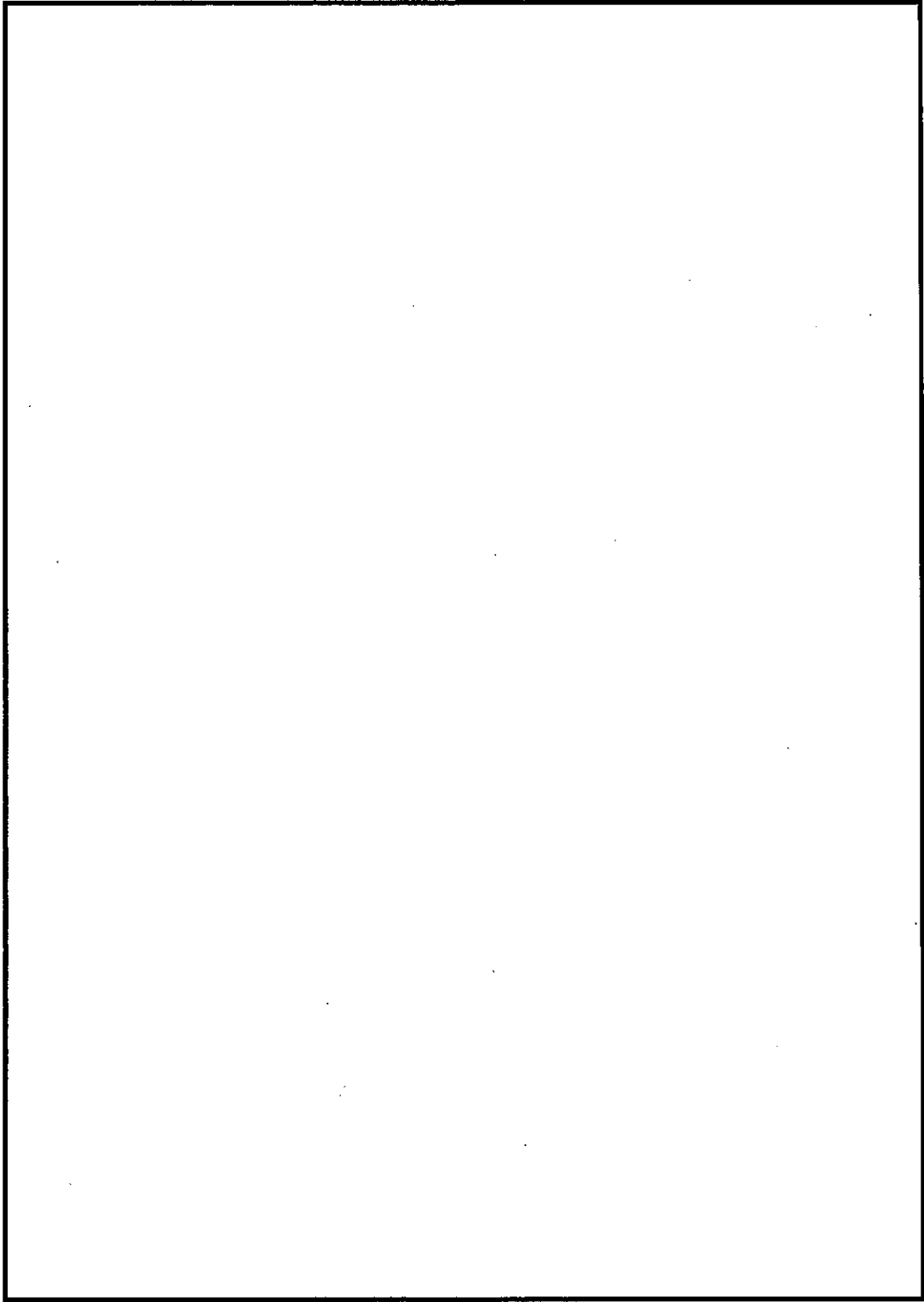


(ロ)-第 E. 3 図 臨界解析モデル (バスケット横断面)



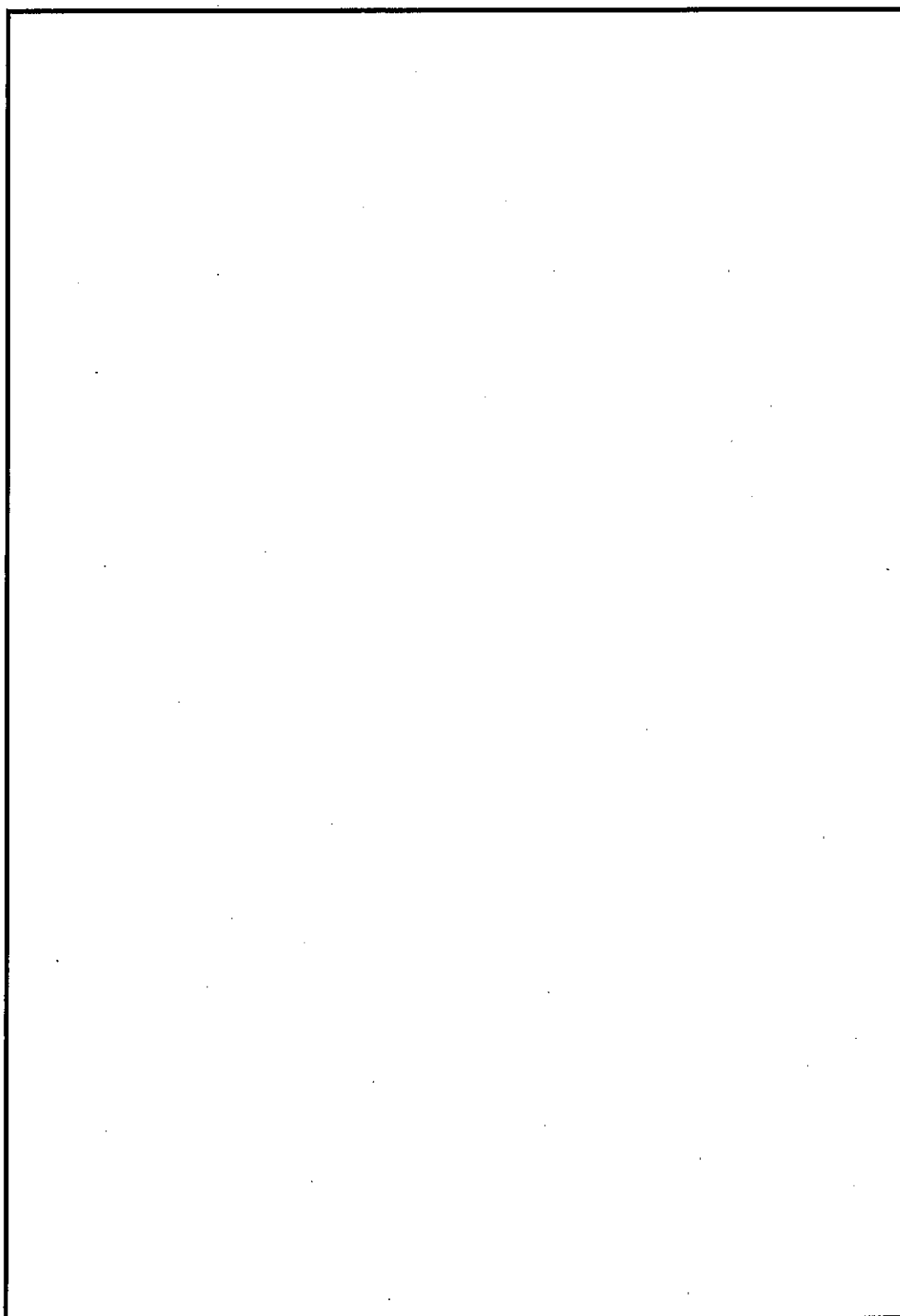
(単位 : mm)

(ロ)-第 E. 4 図 臨界解析モデル (タイプ 1/タイプ 2 燃料横断面)



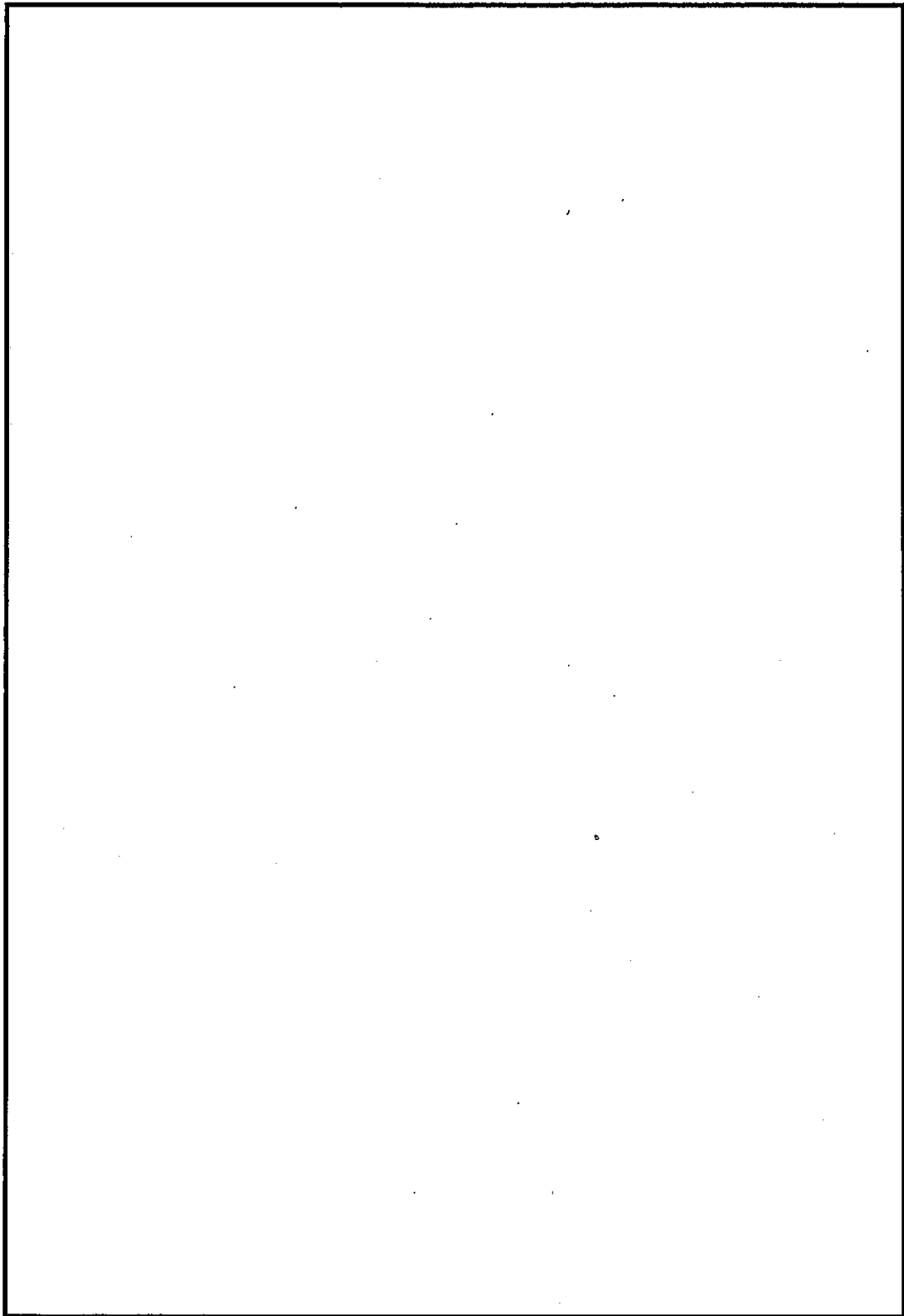
(単位 : mm)

(ロ)-第 E. 5 図 臨界解析モデル (タイプ 3 燃料横断面)



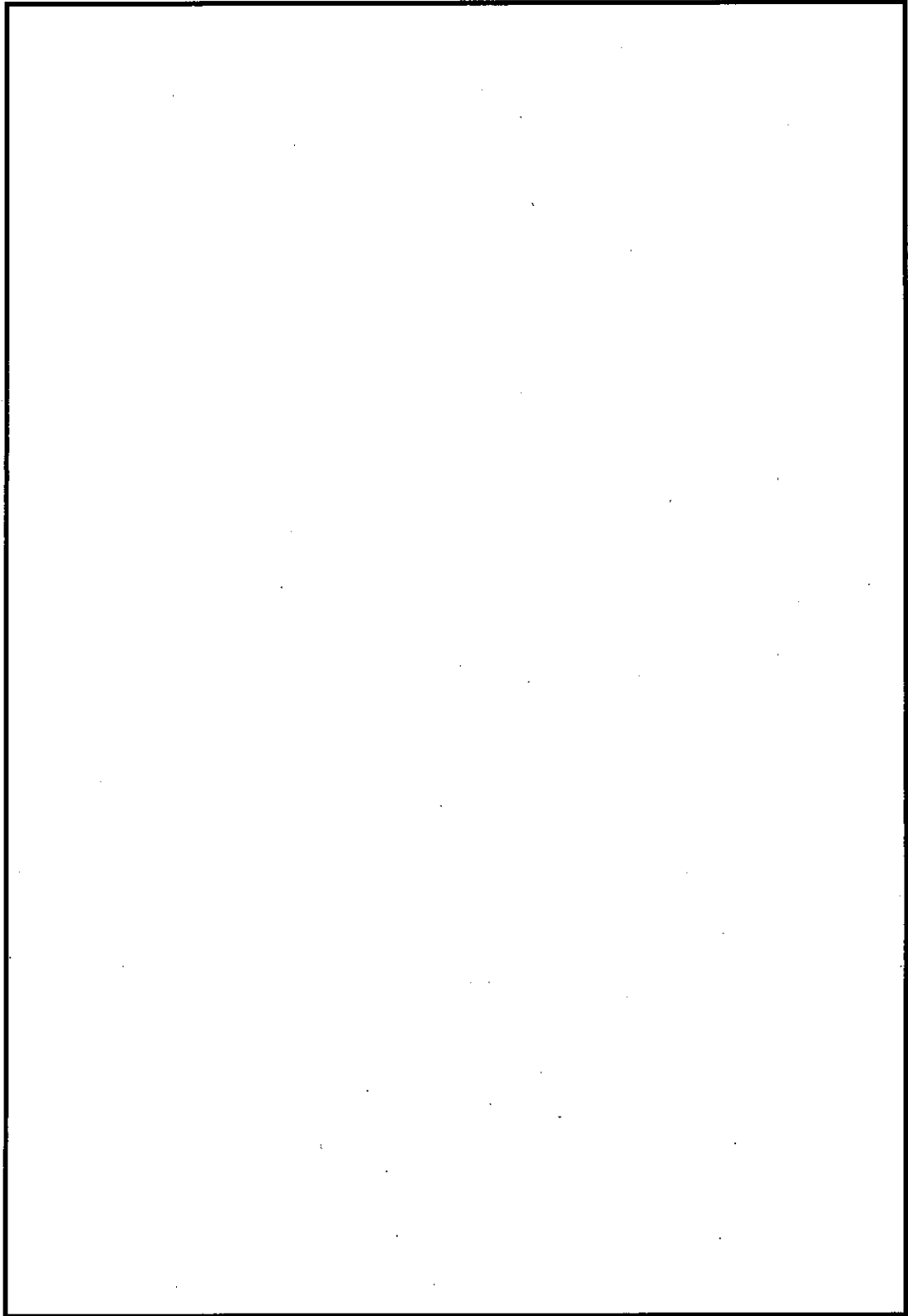
(単位 : mm)

(ロ)-第 E.6 図 臨界解析モデル (タイプ 4 燃料横断面)



(単位 : mm)

(ロ)-第 E.7 図 臨界解析モデル (タイプ 5-I 燃料横断面)



(単位 : mm)

(ロ)-第 E.8 図 臨界解析モデル (タイプ 5-II 燃料横断面)

E.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

臨界解析で用いた輸送物各領域の構成物質の原子個数密度を(ロ)-第 E.2 表に示す。

(ロ)-第 E.2 表 輸送物各領域の原子個数密度 (1/4)

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	タイプ1 燃料ペレット	タイプ2 燃料ペレット	タイプ3 燃料ペレット	
			内側	外側
0				
²³⁵ U				
²³⁸ U				
²³⁹ Pu				
²⁴⁰ Pu				
²⁴¹ Pu				
²⁴² Pu				

(ロ)-第 E.2 表 輸送物各領域の原子個数密度 (2/4)

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	タイプ4 燃料ペレット	タイプ5 燃料ペレット	
		MOX 燃料棒	Gd 燃料棒
0			
²³⁵ U			
²³⁸ U			
²³⁹ Pu			
²⁴⁰ Pu			
²⁴¹ Pu			
²⁴² Pu			

(ロ)-第 E. 2 表 輸送物各領域の原子個数密度 (3/4)

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	合金鋼	ステンレス鋼			
		(a)	(b)	(c)	(d)
Cr					
Fe					
Ni					
Mo					

(ロ)-第 E. 2 表 輸送物各領域の原子個数密度 (4/4)

(単位 : 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	タングステン		ジルカロイ-2
¹⁰ B			
¹¹ B			
C			
Al			
Zr			
Sn			
W			

E. 4 未臨界評価

E. 4.1 計算条件

(1) 収納物

輸送物の最大燃料装荷量は燃料集合体 32 体であるため、本解析は最大装荷量の場合を想定している。

解析の対象とした(ロ)-第 E. 1 表に示す燃料仕様は E. 2. 1 に示すとおり k_{eff} を安全側に評価する仕様である。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における燃料集合体の変形を考慮し、輸送容器に収納される全燃料集合体について燃料棒ピッチを縮小させている。

なお、安全側に反応度がより高くなるように燃料集合体を輸送容器中央に寄せて配置している。

(2) 輸送容器

臨界解析では、安全側に銅伝熱体、ドラム、レジン、レジンカバー、スカート支持リング、リングフランジ、二次蓋及び衝撃吸収カバー等が存在しないモデルとし、輸送容器の外側で完全反射境界条件とした。

(3) 中性子吸収材

(ロ)-A. 9 で述べたように、ロジメントチューブ、アルミチューブ及びサポートプレートは核分裂性輸送物に係る特別の試験条件において微小な変形を生じるため、ロジメントを輸送容器中央に寄せた配置としている。なお、胴内中性子束が小さいので が使用期間中に中性子を吸収して効果を失うことはない。

E. 4.2 輸送物への水の浸入等

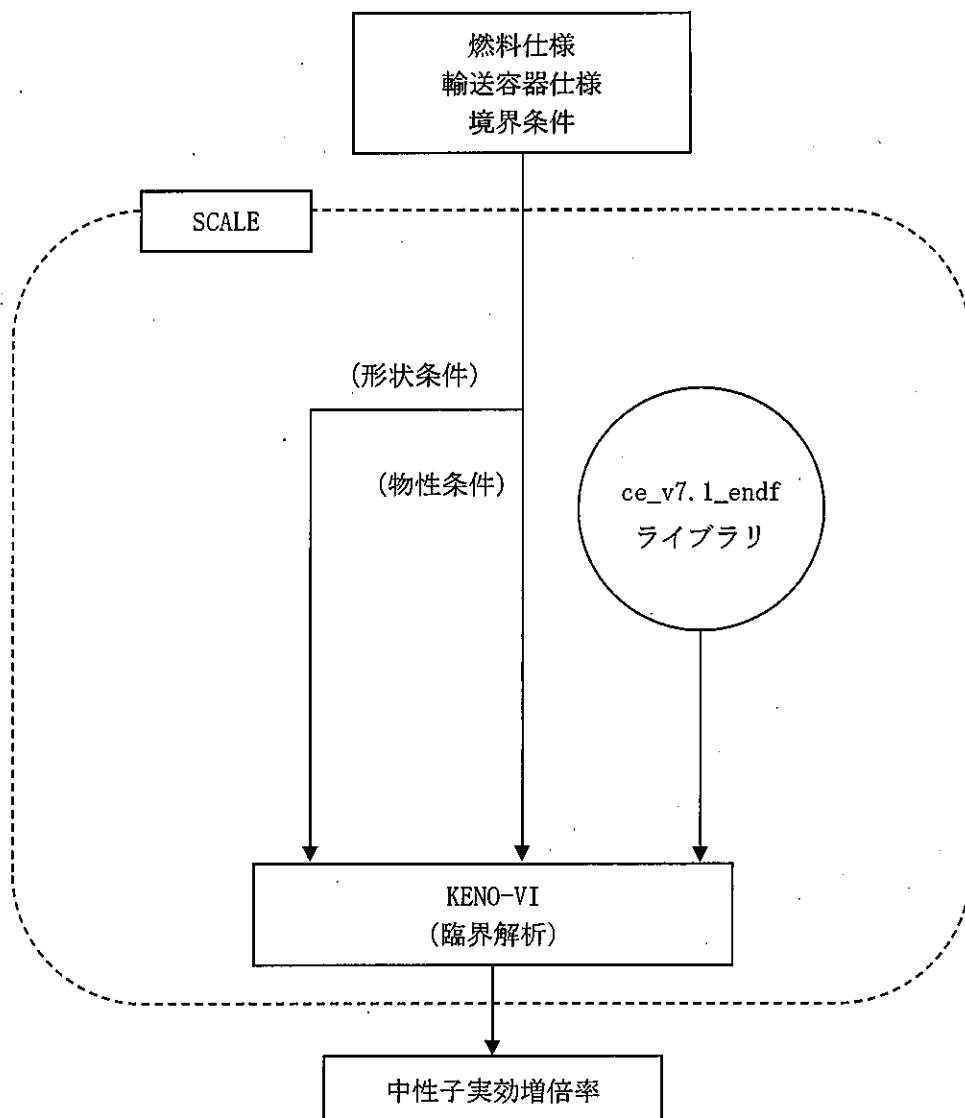
(ロ)-A. 9 に示したように核分裂性輸送物に係る特別の試験条件においても密封装置の健全性及び二次蓋の防水機能は保たれるので、胴内への水の浸入はない。

E. 4.3 計算方法

臨界計算には、米国オークリッジ国立研究所で、原子力関連許認可評価用に開発された SCALE コードシステム¹⁾を用いた。 k_{eff} の計算には KENO-VI コード¹⁾を、核データライブラリには SCALE コードシステムの内蔵ライブラリデータのの一つである

ENDF/B-VII.1 連続エネルギーライブラリ (ce_v7.1_endf) を用いた。計算の流れを (ロ)-第 E.9 図に示す。

この計算の流れに従い、(ロ)-第 E.1 図～(ロ)-第 E.8 図のモデルに対して臨界計算を行った。



(ロ)-第 E.9 図 臨界計算の流れ

E.4.4 計算結果

臨界解析の結果を(ロ)-第E.3表に示す。本解析は通常輸送時並びに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置かれた輸送物の孤立系及び配列系の各状態と比較して安全側の評価であり、十分未臨界である。

(ロ)-第E.3表 臨界解析結果

	項目	k_{eff}	σ	$k_{eff} + 3\sigma$
タイプ1	燃料棒ピッチ変化なし	0.38612	0.00019	0.38669
	燃料棒ピッチ最小	0.38807	0.00020	0.38867
タイプ2	燃料棒ピッチ変化なし	0.25631	0.00015	0.25676
	燃料棒ピッチ最小	0.25830	0.00017	0.25881
タイプ3	燃料棒ピッチ変化なし	0.22948	0.00014	0.22990
	燃料棒ピッチ最小	0.23223	0.00014	0.23265
タイプ4	燃料棒ピッチ変化なし	0.38214	0.00020	0.38274
	燃料棒ピッチ最小	0.38421	0.00019	0.38478
タイプ5-I	燃料棒ピッチ変化なし	0.47168	0.00024	0.47240
	燃料棒ピッチ最小	0.47421	0.00022	0.47487
タイプ5-II	燃料棒ピッチ変化なし	0.47590	0.00022	0.47656
	燃料棒ピッチ最小	0.47803	0.00022	0.47869

E.5 ベンチマーク試験

(1) UO₂燃料

米国 PNL で行われた臨界実験²⁾を対象としたベンチマーク解析を実施した。

ベンチマーク解析対象とした PNL-3602 臨界実験の体系は、鉄の反射体に挟まれた 3 つのクラスタ（低濃縮ウラン燃料棒を正方格子に配列した体系）の間に中性子吸収材を設置したものであり、中性子吸収材の種類、板厚、水ギャップ幅及び燃料濃縮度など、輸送物の臨界解析で重要と考えられる要因に関し、数種類の異なる体系で実施されている。実験体系の概要を(ロ)-第 E.10 図に示す。

この臨界実験体系は、周囲を合金鋼製の厚い胴に囲まれ各燃料集合体の間にバスケットの による中性子吸収材を有する本輸送物の臨界解析体系と類似している。

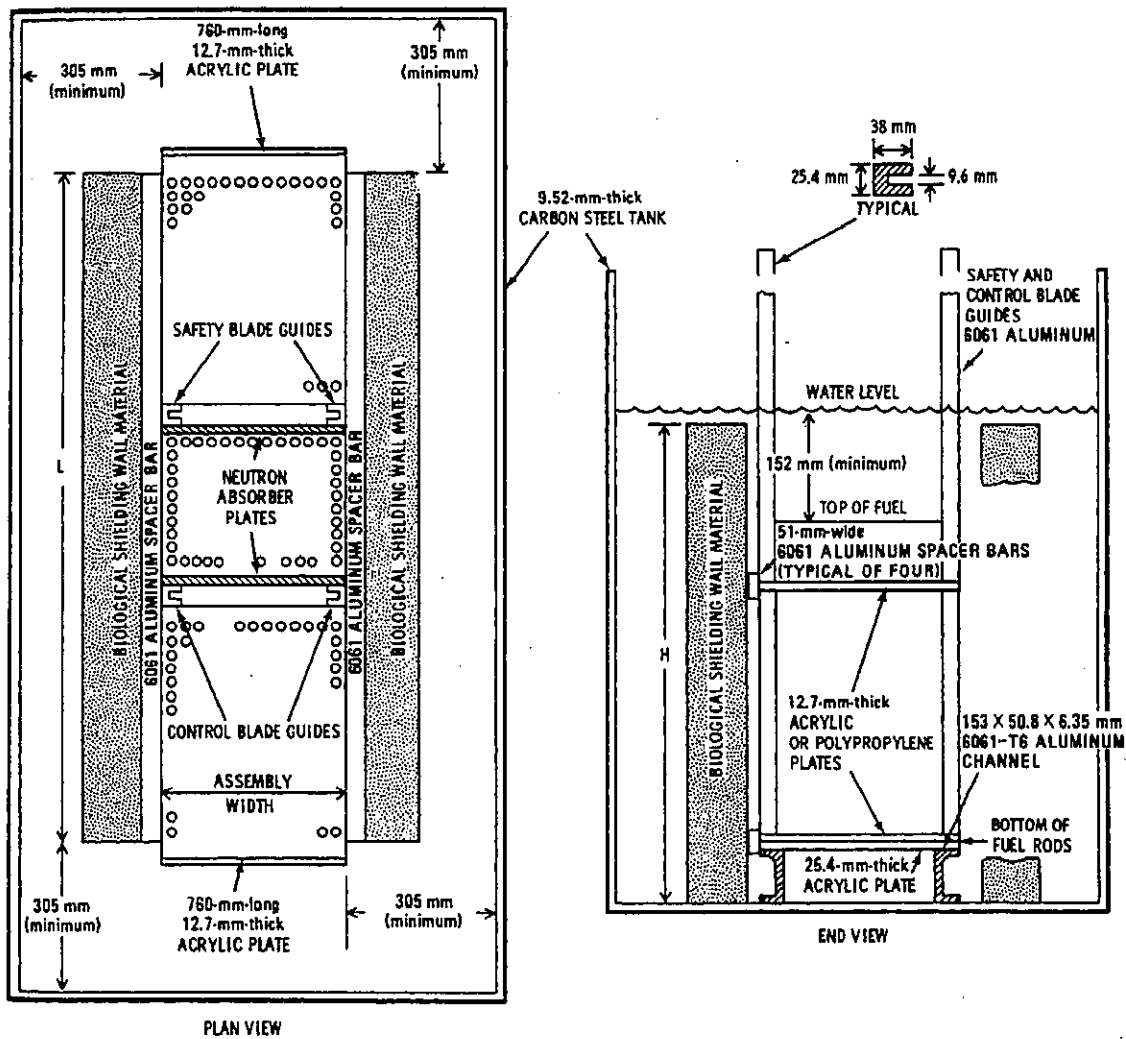
(2) MOX 燃料

日本原子力研究所及び米国 PNL 等で行われた臨界実験²⁾を対象としたベンチマーク解析を実施した。ベンチマーク解析対象としたこれらの臨界実験はいずれも純水またはほう酸水中に MOX 燃料棒を正方格子または六角格子に配列したものである。この臨界実験体系は MOX 燃料が純水中に存在する本輸送物の臨界解析体系と類似している。

ベンチマーク解析は ENDF/B-VII.1 連続エネルギーライブラリ (ce_v7.1_endf) を用い SCALE コードシステムで行った。(ロ)-第 E.4 表にベンチマーク解析の結果を示す。ベンチマーク解析の結果、本輸送物の臨界解析に用いた計算コード及び核データは妥当な結果を与えるといえる。

(ロ)-第 E.4 表 ベンチマーク解析結果

項目	UO ₂ 燃料	MOX 燃料
解析ケース数	13	23
平均値	1.00077	0.99994
標準偏差	0.00200	0.00288
最小値	0.99819	0.99619
最大値	1.00495	1.00614



(口)-第 E. 10 図 PNL-3602 の臨界実験体系

E.6 結果の要約及びその評価

輸送容器には、燃料集合体を収納するバスケットが用いられ、燃料集合体が分散・集合しないようになっている。バスケットには未臨界維持のために中性子吸収材である を用いている。

輸送物の臨界解析は、

- ① 通常輸送時
- ② 輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ③ 一般の試験条件下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ④ 特別の試験条件下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- ⑤ 一般の試験条件下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合
- ⑥ 特別の試験条件下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

のいずれの条件よりも厳しい条件で行い、結果は十分未臨界であった。したがって、上記①～⑥のいずれの条件においても未臨界が維持される。

E.7 付属書類

E.7.1 輸送容器の品質管理及び輸送前の密封性能の確認

輸送容器については、(ハ)章に示す品質管理の基本方針に基づいて高度の品質管理が行われ、参考章に示すように、製作中及び製作完了時に十分な検査が行われる。また、(ニ)章に示す保守により性能が維持される。

輸送前には、(ニ)章に示すように発送前検査において一次蓋、二次蓋及びオリフイスの気密漏えい検査が実施され密封性能が確認される。

E.7.2 取扱い時の臨界解析

輸送物の取扱い時においては、胴内に水が満たされる。ここでは、胴内に水が満たされる場合の臨界解析を行う。

(1) 収納物

臨界解析で使用した燃料仕様は(ロ)-第 E.1 表に示す ATR 燃料 6 種類である。

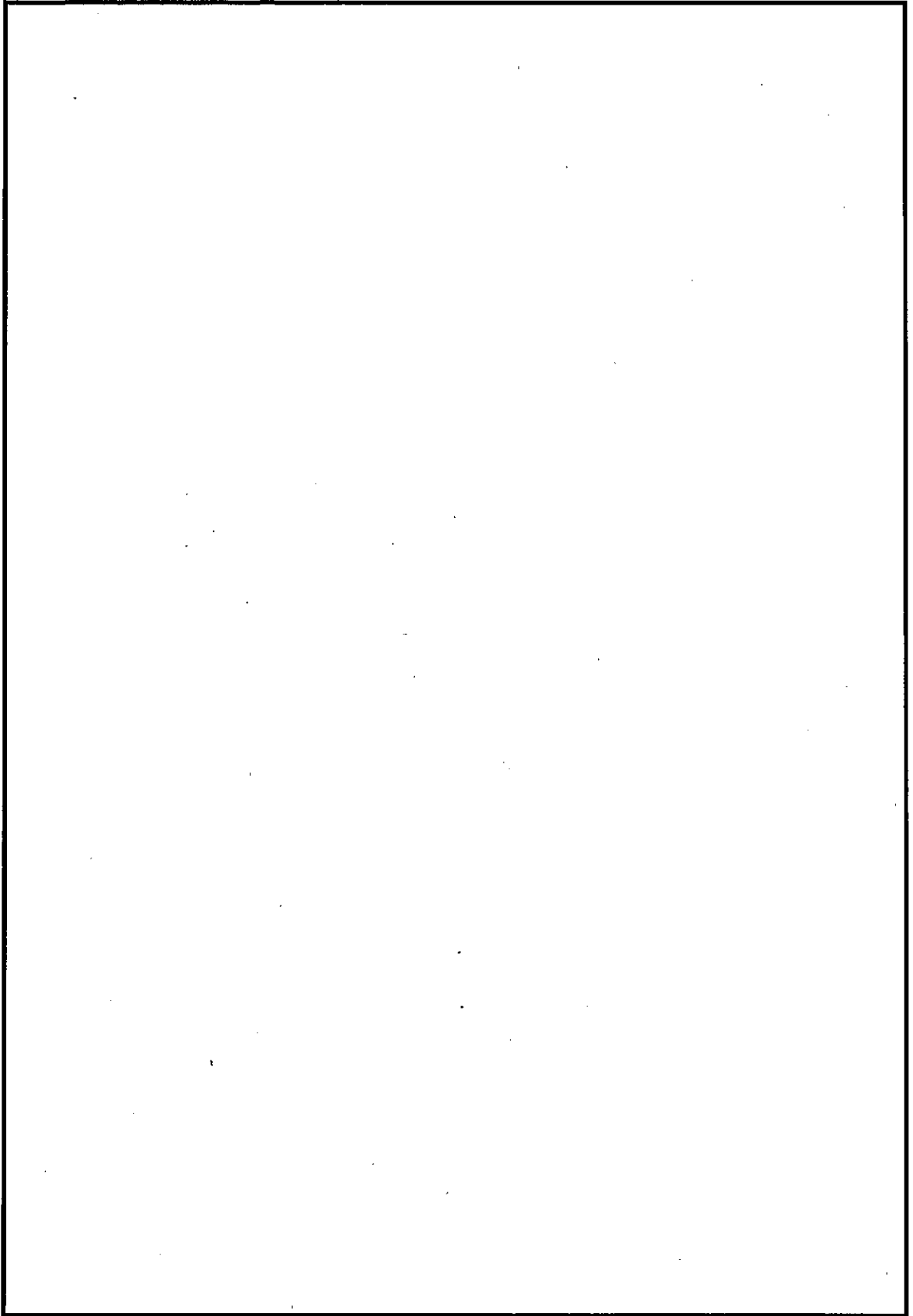
(2) 解析モデル

(ロ)-第 E.付 1 図～(ロ)-第 E.付 3 図に臨界解析モデルを示す。なお、燃料集合体の臨界解析モデルは(ロ)-第 E.4 図～(ロ)-第 E.8 図に示した通りである。解析モデルは安全側の評価となるよう以下の条件を考慮した。

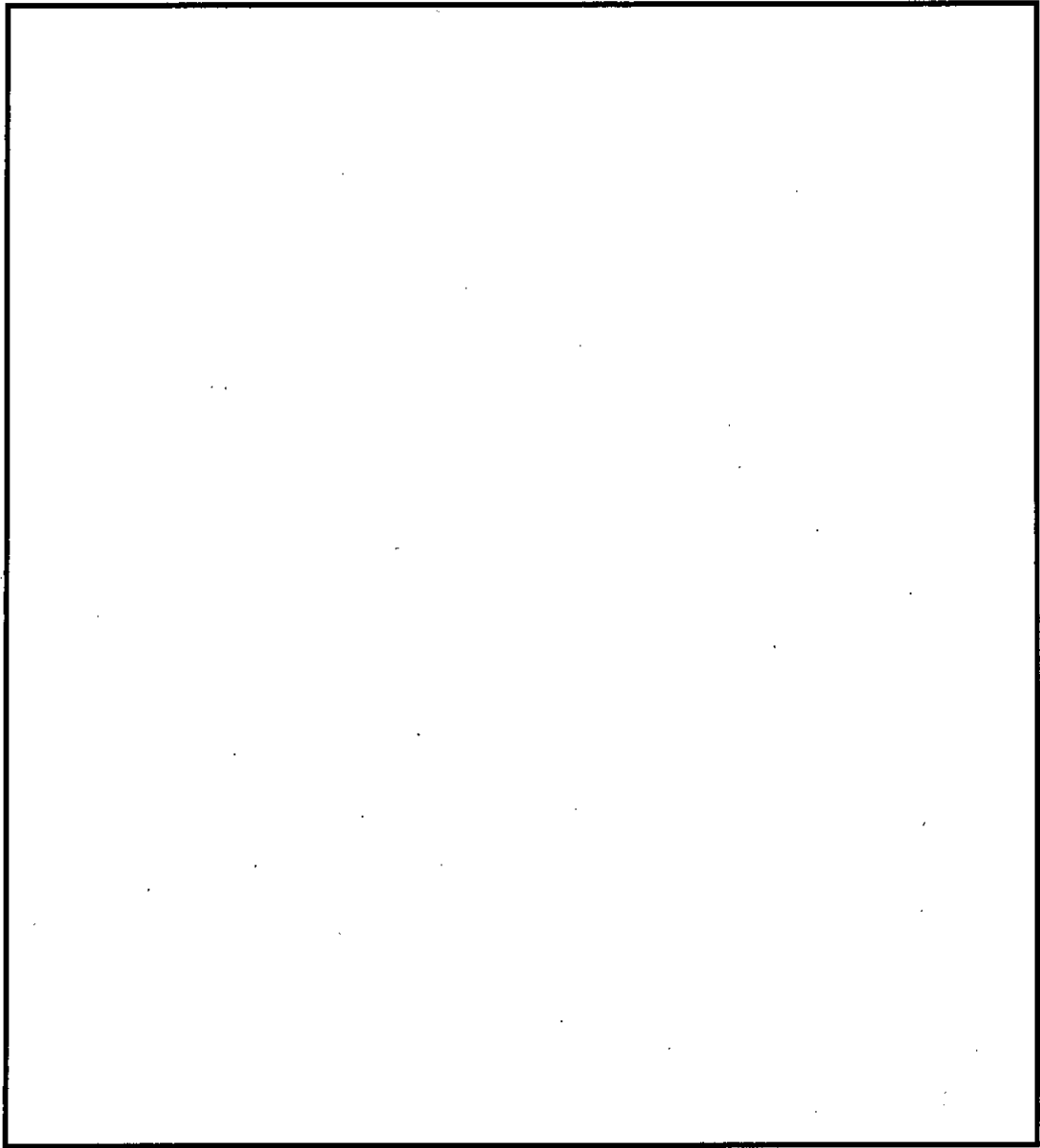
- ・ 銅伝熱体、ドラム、レジン、レジンカバー及びスカート支持リング等を見捨
- ・ リングフランジ、二次蓋及び衝撃吸収カバーを見捨
- ・ バスケットの寸法の公差を安全側に考慮
- ・ 安全側に燃料集合体を輸送容器中央に寄せて配置
- ・ 胴内には水が存在
- ・ 境界条件として完全反射を仮定することにより、無限個の配列を想定
- ・ 胴内における燃料集合体として存在する部分は燃料有効長に相当する燃料領域のみとし、上・下部構造材を水に置換え

臨界解析で用いた輸送物各領域の構成物質の原子個数密度を(ロ)-第 E.付 1 表に示す。

輸送物の k_{eff} を最も大きく評価するために、胴内の水の密度は 1.0g/cm^3 とし、燃料集合体の温度は常温 (300K) とした。

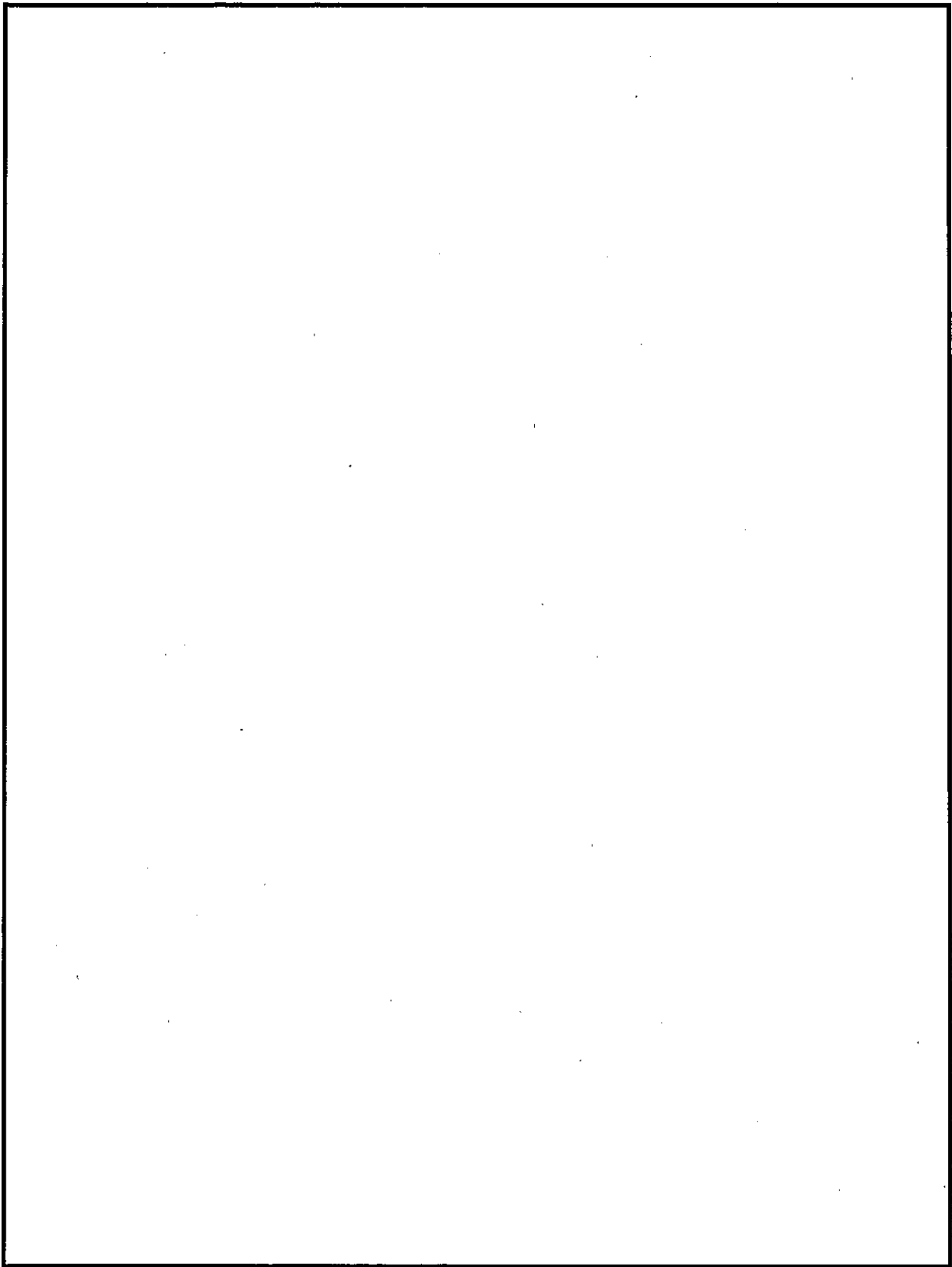


(ロ)-第 E. 付 1 図 臨界解析モデル (輸送容器縦断面)



(単位：mm)

(ロ)-第 E. 付 2 図 臨界解析モデル (輸送容器横断面)



(単位：mm)

(ロ)-第E.付3図 臨界解析モデル (バスケット横断面)

(ロ)-第 E. 付 1 表 輸送物各領域の原子個数密度

領域 ^{注)}	密度 (g/cm ³)	元素	原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³)
水	1.0	H	6.686×10 ⁻²
		O	3.343×10 ⁻²

注) その他の領域は(ロ)-第 E. 2 表に示した通り。

(3) 計算方法

臨界計算には、E. 4. 3 と同様に SCALE コードシステムを用いた。

(4) 計算結果

臨界解析の結果を(ロ)-第 E. 付 2 表に示す。本解析は E. 4. 4 に示した臨界解析結果より中性子実効増倍率が大きくなるが、十分未臨界である。

(ロ)-第 E. 付 2 表 取扱い時の臨界解析結果

	k _{eff}	σ	k _{eff} +3σ
タイプ 1	0.63238	0.00043	0.63367
タイプ 2	0.51679	0.00036	0.51787
タイプ 3	0.56783	0.00036	0.56891
タイプ 4	0.62010	0.00041	0.62133
タイプ 5-I	0.65739	0.00040	0.65859
タイプ 5-II	0.65658	0.00043	0.65787

E.7.3 参考文献

- 1) Oak Ridge National Laboratory, "SCALE Code System", ORNL/TM-2005/39, Version 6.2.1, 2016
- 2) OECD/NEA, "International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments", NEA/NSC/DOC(95)03, 2014

(ロ)-F 規則及び告示に対する適合性の評価

F. 規則及び告示に対する適合性の評価

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
(核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬) 第3条 第1項第1号 第2号 第3号	(L型輸送物として運搬できる核燃料物質等) 第3条 (A型輸送物として運搬できる核燃料物質等の放射能の量の限度) 第4条	BM型輸送物のため該当しない。 BM型輸送物のため該当しない。 輸送物の収納物は原子力規制委員会の定める量を超える量の放射能を有する核燃料物質等に該当するので、BM型輸送物として輸送する。	(イ)-A、 (イ)-B (イ)-D
(L型輸送物に係る技術上の基準) 第4条第1号		輸送物は、以下に示すように容易に、かつ安全に取扱うことができる。 a. 輸送物は、本体にトランニオンがあり、吊上げ、吊下しは専用吊具を用い、クレーンを使用して容易に行える。また、輸送物は専用の輸送架台を用いて車輛又は船舶に強固に積付けられる等、安全に取扱えるものである。 b. 輸送物の吊上装置は負荷係数を3としており、急激な吊上げに耐えられるものである。 c. 輸送物にはトランニオンを除いて輸送物を吊上げるおそれのある吊手はない。また、輸送物は専用吊具によって容易に、かつ、安全に取扱うことができる。	(イ)-C (ロ)-A. 4. 4 (イ)-C

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項						
第4条第6号	(表面密度限度) 第9条	BM型輸送物のため該当しない。	(ニ)-A.2						
第7号		BM型輸送物のため該当しない。							
第8号		輸送物の表面の放射性物質の密度は、発送前に表面密度限度以下であることを確認したうえで、発送される。							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>表面密度限度 (Bq/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>アルファ線を放出する放射性物質</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>アルファ線を放出しない放射性物質</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>		区分	表面密度限度 (Bq/cm ²)	アルファ線を放出する放射性物質	0.4	アルファ線を放出しない放射性物質	4
区分		表面密度限度 (Bq/cm ²)							
アルファ線を放出する放射性物質		0.4							
アルファ線を放出しない放射性物質		4							
第9号		BM型輸送物のため該当しない。							
第10号		輸送物には所定のもの以外が収納されていないことを確認したうえで蓋をするので、輸送物の安全性を損なうおそれのあるものを収納することはない。		(ニ)-A.1					
(A型輸送物に係る技術上の基準) 第5条第1号		前述のとおり前条(第4条)第1号から第5号まで、第8号及び第10号に定める基準に適合している。							
第2号	輸送容器の仕様は外径約2.2m、長さ約6.8mの円筒型容器であり、外接する直方体の各辺は10cm以上である。	(イ)-C.1							
第3号	輸送物の一次蓋、リングフランジ及び二次蓋は輸送の際には前部衝撃吸収カバーで覆われるため、リングフランジ締付けボルト及び二次蓋締付けボルトが不用意に外されることはない。	(ロ)-A.4.3							
第4号	輸送容器は、周囲温度 <input type="text"/> °C以上で使用する。 輸送容器の構成部品は、 <input type="text"/> °Cの温度においても亀裂、破損等は生じない。 したがって、 <input type="text"/> °Cから70°Cの周囲温度において、構成部品に亀裂、破損等を生じるおそれはない。	(ロ)-A.4.2							
第5号	輸送物の密封装置は周囲圧力が60kPaの場合でも、放射性物質の漏えいはない。	(ロ)-A.4.6							
第6号	該当しない。								

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項						
第5条第7号	(線量当量率) 第8条	輸送物は最大放射エネルギーの収納物を収納しても、輸送物の最大表面線量当量率は0.697mSv/hであり、基準値の2mSv/hを超えることはない。	(口)-D.4 (口)-D.5						
第8号		輸送物は最大放射エネルギーの収納物を収納しても、輸送物の表面から1mの距離における最大線量当量率は54μSv/hであり、基準値の100μSv/hを超えることはない。	(口)-D.4 (口)-D.5						
第9号		BM型輸送物のため該当しない。							
第10号		該当しない。							
(BM型輸送物に係る技術上の基準) 第6条第1号		前述のとおり前条(第5条)第1号から第8号までに定める基準に適合している。ただし、第6号に定められる要件は該当しない。							
第6条第2号	(BM型輸送物に係る一般の試験条件) 第14条 別記第4第1号	輸送物は、周囲温度38℃及び下表の太陽放射熱を1日につき安全側に24時間負荷して定常状態に達した温度を評価している。また、技術基準上は、水平に輸送されない下向きの表面に対しては200W/m ² であるが、解析上は安全側に全ての曲面に対して400W/m ² としている。	(口)-B.4.1.1						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>表面の形状及び位置</th> <th>放射熱 (W/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>垂直に輸送される平面</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>その他の表面(曲面)</td> <td>400</td> </tr> </tbody> </table>	表面の形状及び位置	放射熱 (W/m ²)	垂直に輸送される平面	200	その他の表面(曲面)	400	
表面の形状及び位置	放射熱 (W/m ²)								
垂直に輸送される平面	200								
その他の表面(曲面)	400								

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
第6条第2号 イ	(BM型輸送物に係る一般の試験条件の下における漏えい量) 第15条	一般の試験条件下では、輸送物の最大線量当量率の著しい増加はない。 また、輸送物は最大放射エネルギーの収納物を収納しても、輸送物の最大表面線量当量率は0.698mSv/hであり、基準値の2mSv/hを超えることはない。	(ロ)-D.4 (ロ)-D.5
ロ	第15条	輸送物は一般の試験条件下に置いた場合でも密封性が低下することはない。輸送物は一般の試験条件下では負圧を維持するため、放射性物質の環境への漏えいはない。	(ロ)-C.3.1
ハ	(表面密度限度) 第9条	輸送物は専用積載として運搬するが、最大崩壊熱量に余裕を見た4.0kWを収納し一般の試験条件下に置いた場合でも、輸送中に人が容易に接近し得る部分の最高温度は日陰において基準値の温度85℃を超えることはない。	(ロ)-B.4.2 (ロ)-B.4.6
ニ	(表面密度限度) 第9条	輸送物は一般の試験条件下に置いた場合でも密封性が低下することなく、輸送物表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えることはない。	(ロ)-C.3.1

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
<p data-bbox="188 293 355 322">第6条第3号</p> <p data-bbox="328 501 352 530">イ</p> <p data-bbox="328 1021 352 1050">ロ</p> <p data-bbox="272 1541 355 1570">第4号</p>	<p data-bbox="427 293 624 356">第16条 別記第5第3号</p> <p data-bbox="419 882 639 1014">(BM型輸送物に 係る特別の試験 条件の下におけ る漏えい量)</p> <p data-bbox="427 1021 528 1050">第17条</p>	<p data-bbox="651 327 1241 459">浸漬試験 (15m) 輸送物は、より厳しい強化浸漬試験に対して評価し、輸送物の健全性が確保されることを確認している。</p> <p data-bbox="651 501 1241 842">輸送物は特別の試験条件下に置いた場合、衝撃吸収カバー、銅伝熱体及びスカート支持リングに変形が生じ、側部レジンが一部焼損する可能性がある。そのため、衝撃吸収カバーの全部、側部レジン及び蓋部・底部レジンの全部をモデルから除いた。また、銅伝熱体、ドラム及びスカート支持リングも安全側に除いた。その場合でも輸送物の表面から 1m 離れた位置での最大線量当量率は 3.219mSv/h であり、基準値の 10mSv/h を超えることはない。</p> <p data-bbox="651 1021 1241 1503">輸送物は特別の試験条件下に置いた場合、衝撃吸収カバー、銅伝熱体及びスカート支持リングに変形が生じ、側部レジンが一部焼損する可能性があるが、密封装置は健全であり、火災試験を経た後も密封性は保持できる。ここで安全側に全燃料棒の密封性が失われたと仮定し、燃料棒内の放射性ガスが胴内雰囲気中に放出されると仮定している。この場合、放射性物質の漏えい率は、<input type="text"/> <input type="text"/> Bq/week、<input type="text"/> <input type="text"/> Bq/week であり、各核種の A₂ 値 <input type="text"/> TBq、<input type="text"/> TBq) より求められる混合物に対する基準値 A₂ Bq/week との比率は 1.10×10⁻² で、1 より小さく、基準値 A₂ Bq/week を超えることはない。ただし、<input type="text"/> の基準値については、<input type="text"/> である。</p> <p data-bbox="651 1541 1241 1709">輸送物は、周囲温度 <input type="text"/> °C 以上で使用する。輸送容器の材料は、<input type="text"/> °C の低温下においても機械的性能が低下することはない。したがって、<input type="text"/> °C から 38°C までの運搬中に予想される温度変化に対しても亀裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	<p data-bbox="1262 327 1394 389">(ロ)-A. 6. 4 (ロ)-A. 7</p> <p data-bbox="1262 501 1369 564">(ロ)-D. 4 (ロ)-D. 5</p> <p data-bbox="1262 1021 1422 1050">(ロ)-C. 4. 2. 2</p> <p data-bbox="1262 1541 1394 1570">(ロ)-A. 4. 2</p>

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
第6条第5号	(原子力規制委員 会の定める量を 超える放射能を 有する核燃料物 質等を収納した 核燃料輸送物に 係る試験条件) 第18条 別記第6	強化浸漬試験(200m) 輸送物の収納物は使用済燃料であり、最大放射能 量はA ₂ 値の10万倍を超える。水深200mに相当す る2.101MPaの水圧下に置かれたとしても密封装 置は破損しない。	(ロ)-A.7
第7条~第10条 (核分裂性物質に 係る核燃料輸送 物の技術上の基 準)	(核分裂性輸送物 とならない核燃 料輸送物) 第23条	BM型輸送物のため該当しない。	
第11条	(核分裂性物質に 係る核燃料輸送 物の技術上の基 準の一部を適用 しない核分裂性 輸送物) 第23条の2	輸送物に収納する核分裂性物質の重量は最大 □kgであり、輸送物は核分裂性輸送物として輸 送する。 輸送物は核的に安全側のモデルを仮定し、無限個 の任意配列の場合にも実効増倍率は0.479となり 未臨界である。	(イ)-A (イ)-B (ロ)-E.4.4
第1号 イ、ロ	(核分裂性輸送物 に係る一般の試 験条件) 第24条 別記第11	構造解析の結果、輸送物は、核分裂性輸送物に係 る一般の試験条件下に置いた場合でも、構造部に 10cm立方を包含するようなくぼみを生じること はなく、外接する直方体の各辺は10cm以上であ る。	(ロ)-A.9.1

規則の項目	告示の項目	説明	申請書記載 対応事項
<p>第11条第2号 イ、ロ、ハ、ニ、ホ</p> <p>第3号</p>	<p>(核分裂性輸送物に係る孤立系の条件) 第25条 第1、2、3号</p> <p>(核分裂性輸送物に係る特別の試験条件) 第26条 別記第12</p> <p>(核分裂性輸送物に係る配列系の条件) 第27条</p>	<p>構造・熱解析等の結果から輸送物の容器本体は落下試験等においても臨界解析モデルに影響を与えるような物理的・化学的変化はなく、胴内への浸水もないが、燃料集合体は落下試験において変形する可能性がある。臨界解析では燃料集合体の変形を考慮したモデルで解析を行った。収納物の温度は常温とし、収納物は輸送容器中央に最も近接して配置した。また、銅伝熱体、レジン、リングフランジ、二次蓋、及び衝撃吸収カバー等が存在しない安全側のモデルで、周囲が完全反射の条件で評価している。</p> <p>以上のモデルは非損傷及び損傷輸送物の孤立系及び配列系のいずれよりも厳しい条件とした安全側のモデルであり、解析の結果、実効増倍率は0.479で未臨界である。したがって、規則第11条第2号のイ、ロ、ハ、ニ及びホのいずれの場合にも臨界に達しない。</p> <p>輸送物は、周囲温度 <input type="text"/> °C以上で使用する。輸送容器の材料は、<input type="text"/> °Cの低温下においても機械的性能が低下することはない。したがって、<input type="text"/> °Cから38°Cまでの運搬中に予想される温度変化に対しても亀裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	<p>(ロ)-E. 2. 2 (ロ)-E. 3. 1 (ロ)-E. 4. 1 (ロ)-E. 4. 2 (ロ)-E. 4. 4 (ロ)-E. 6</p> <p>(ロ)-A. 4. 2</p>

(ハ)章 品質マネジメントの基本方針

(ハ)章-1 品質マネジメントの基本方針（新型転換炉原型炉ふげん）

(ハ)章-1 品質マネジメントの基本方針（新型転換炉原型炉ふげん）は、ふげん使用済燃料を輸送するために使用する輸送容器に適用する。

A. 品質マネジメントシステム

A.1 一般要求事項

- (1) 新型転換炉原型炉ふげん所長（以下「所長」という。）は、輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に当たり、適用法規及び要求事項を満たすため、確立した輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に係る品質マネジメントシステム（以下「QMS」という。）を品質保証計画書において文書化し、実施し、維持するとともに、その有効性を継続的に改善するため、以下のとおり定める。
 - a) QMSに必要なプロセス、プロセスの順序それらの組織への適用、順序及び組織間の相互関係を、「輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送業務に係る品質保証活動組織」及び「プロセス関連図」並びに「B.4 責任及び権限」において明確にする。
 - b) プロセスの運用及び管理が効果的であることを確実にするために必要な判断基準及び方法を、本品質保証計画書及びその関連要領において明確にし、その実効性を「B.6 マネジメントレビュー」及び「E.2.2.1 内部監査」に従って確認する。
 - c) プロセスの運用及び監視の支援をするために必要な資源及び情報を確実に利用できることを、「C.1 資源の運用管理」において明確にする。
 - d) プロセスの監視、可能な場合には測定及び分析を確実に実施することを、「E.2.2.1 内部監査」、「E.2.2.2 プロセスの監視及び測定」及び「E.4 データ分析」において明確にする。万一、不適合又はその可能性がある場合には、管理責任者は、「E.5.2 是正処置」及び「E.5.3 予防処置」に従って処置する。
 - e) プロセスについて計画どおりの結果が得られ、また、継続的な改善ができるような処置を確実に実施することを、「E.5 改善」において明確にする。
- (2) 所長は、QMSの運用において、原子力安全及び核セキュリティの達成に及ぼす影響の程度（重要度）に応じて、QMSの要求事項の適用の程度を分類し、グレード分けを行うことができる。
- (3) 所長は、原子力安全及び核セキュリティの達成に影響を与えるプロセスをアウト

ソースすることにした場合、受注者の能力評価、選定及びアウトソースプロセスの管理の方式と程度を「E.1.1 調達プロセス」において明確にする。

A.2 文書化に関する要求事項

A.2.1 一般

- (1) 所長は、QMSに係る次に示す文書を定める。
 - a) 品質方針及び品質目標
 - b) 品質保証計画書
- (2) 所長又は各課長は、QMSに係る次に示す文書を定める。
 - a) 品質保証計画書で要求する文書化された手順に関する文書及び記録
 - b) 組織内のプロセスの効果的な計画、運用及び管理を確実に実施するために、組織が必要と決定した記録を含む文書

A.2.2 品質保証計画書

所長は、品質保証計画書において次の事項を明確にし、必要に応じて見直し、維持する。

- a) QMSの適用範囲
- b) QMSについて確立された“文書化された手順”又はそれらを参照できる情報
- c) QMSのプロセス間の相互関係に関する記述

A.2.3 文書管理

- (1) 所長は、次に示す文書の管理の方法、手順等を「文書管理要領」に定め（「制文規程」に基づく）、管理する。
 - a) 発行前に適切かどうかの観点から承認する。
 - b) 文書は、レビューし、必要に応じて更新し、再承認する。
 - c) 内部文書の変更の識別及び現在有効な版の識別状態を管理台帳等によって明確にする。
 - d) 該当する文書の適切な版が、必要な時に、必要なところで使用可能な状態にあることを管理台帳等によって確実にする。
 - e) 文書が読みやすく、容易に識別可能な状態であることを確実にする。
 - f) QMSの計画及び運用のために必要と判断した外部文書を明確にし、その配付が管理されていることを管理台帳等によって確実にする。

g) 廃止文書が誤って使用されないようにする。また、何らかの目的で保持する場合には、適切な識別をする。

(2) 所長及び各課長は、各々が所掌する文書を前項に従って、運用管理する。

A.2.4 記録の管理

(1) 所長は、要求事項への適合及び QMS の効果的運用の証拠を示すため、記録の識別、保管、保護、検索、保管期間及び廃棄に係る必要な管理を定め、これに従って管理し、定めのないものは保管期間を保管のファイルに明示し管理する。

(2) 各課長は、各々が所掌する記録を前項に従って管理する。なお、記録は、読みやすく、容易に識別可能で、検索可能にする。

B. 申請者の責任

B.1 経営者のコミットメント

所長は、QMS の構築及び実施、並びにその有効性を継続的に改善することに対するコミットメントの証拠を次の事項によって示す。

- a) 原子力安全及び核セキュリティの重要性並びに法令・規制要求事項を満たすことを、「B.2 品質方針」において明確にさせる。
- b) 品質方針は、組織全体に伝達し、職員等へ理解されるよう啓発活動に取り組む。
- c) 品質保証推進者に指示し、品質目標を「B.3 品質目標」に従って明確にさせる。
- d) 「B.6 マネジメントレビュー」で定めるマネジメントレビューを実施する。
- e) 「C.1 資源の運用管理」で定める必要な資源を提供する。

B.2 品質方針

所長は、理事長の定める品質方針の下に、輸送容器及び輸送の特徴を加味して、輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に係る品質方針を定め、組織内に周知する。品質方針には、組織の目的に対して適切であること、要求事項への適合及び QMS の有効性の継続的な改善に対するコミットメントを含むこと、品質目標の設定及びレビューのための枠組みを与えること、組織全体に伝達され理解されること、適切性の持続のためにレビューすることを含める。

品質方針は以下のとおりとする。

- a) 品質に関する目標及び責務の明確化
- b) 輸送容器及び輸送の安全性及び信頼性の確保
- c) 関連する法令、許可または認可された事項、規格・基準、自治体との協定その他機構が外部機関と遵守を同意した事項の遵守
- d) 継続的改善
- e) 事故等の未然防止、再発防止及び水平展開（または拡大防止）の実施
- f) 事故情報の正確かつ迅速な公開

B.3 品質目標

所長は、品質方針を具体的に展開するため、業務に対する要求事項を満たすための事項を含む品質目標を、輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に係る業務に係る品質方針に従い、「D.1.1 業務の計画」において明確にして設定し、組織内の関係者に周知する。

品質目標は、その達成度が判定可能で、品質方針との整合がとれるものとし、記録として管理する。

B.4 責任及び権限

QMS を構成するプロセスを効果的に運用するため、品質保証活動の組織を(ハ)-第B.1 図に、ふげんにおける責任と権限、役割分担を次に示す。

- a) 所長は、ふげんにおける輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に関する品質保証活動を統括する。
- b) 副所長は、品質保証推進者(管理責任者)として、ふげんにおける輸送容器及び輸送に関する品質保証活動の推進に関する業務を統括する(品質保証活動の推進、実施状況の把握、改善及び自主品質監査等の指導・助言)とともに、核物質防護管理者として、ふげんにおいて実施される輸送に係る核物質防護上の必要な指導及び助言を行う。
- c) 廃止措置部長は、e)からg)の業務を統括する。
- d) 安全・品質保証部長は、h)からj)の業務を統括する。
- e) 計画管理課長は、対外調整、教育訓練の総括に関する業務を行う。
- f) 設備保全課長は、使用済燃料の輸送に関する業務のうち、輸送物及び空輸送容器の国内での輸送及び取扱い(規制当局の検査含む。)、施設内での取扱い、輸送容器の保守、ふげん構内における核物質防護に係る設備の管理に関する業務を行う。
- g) 施設管理課長は、燃料移送機を使用しての使用済燃料の移動に関する業務を行う。
- h) 品質保証課長は、輸送容器(原子炉施設への保安に影響する業務を含む。)に関する品質保証活動の推進(各種委員会運営(PP 委員会を除く。))、安全協定に基づく調整・連絡に関する業務を行う。
- i) 安全管理課長は、放射線管理及び放射線計測器、労働安全の管理に関する業務を行う。
- j) 施設保安課長は、輸送容器の設計・開発及び製作(対外調整、規制当局の審査を含む)、輸送計画の立案及び調整(対外調整を含む)、安全確保対策の立案及び推進、燃料管理に関する業務、核物質防護に関する業務を行う(計画管理課長、設備保全課長、施設管理課長、安全管理課長が実施する業務を除く)。
- k) ふげん安全・品質保証推進会議は、規制当局への審査に係る輸送容器の設計・

開発、製作及び保守等に関する技術的事項、品質保証に関する事項について審議を行う。

- l) 技術検討会は、ふげん安全・品質保証推進会議への諮問機関として、輸送容器の設計・開発、製作及び保守等に関する技術的事項並びに品質保証計画書の改訂、その他、品質保証に関する事項を審議する。
- m) 核物質防護委員会は、輸送に係る核物質防護に関する事項等を審議する。

B.5 管理責任者

- (1) 所長は、与えられている他の業務上の責任とかかわりなく、次の事項についての責任と権限を持つ、管理責任者を任命する。
 - a) QMS に必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。
 - b) QMS に係る成果を含む実施状況及び改善の必要性の有無について所長に報告する。
 - c) 組織全体にわたって、原子力安全及び核セキュリティ上の要求事項についての認識を高めることを、教育等の機会を通じて確実にする。
- (2) 管理責任者は、品質保証推進者である副所長とする。

B.6 マネジメントレビュー

B.6.1 一般

所長は、QMS が引き続き適切で、妥当で、かつ、有効であることを確実にするために、次に示す手順により、「D.1.1 業務の計画」の実績の都度及び必要に応じ随時、QMS のレビューを実施する。

なお、「必要に応じ随時」とは、組織の変更、品質に係わる重大な問題の発生、適用する規格等の改定、その他所長が必要と認めた場合等をいう。

- a) 所長は、管理責任者に指示し、内部監査及び委員会等での指摘等を踏まえて QMS の有効性について分析させる。
- b) 管理責任者は、取りまとめた結果を委員会等で報告・審議し、必要な処置があれば分析結果に考慮するとともに、その結果を所長に報告する。
- c) 所長は、管理責任者がまとめた分析結果を基に、マネジメントレビューを行う。このレビューには、QMS の改善の機会の評価、品質方針及び品質目標を含む QMS の変更の必要性の評価を含める。
- d) 所長は、マネジメントレビューの結果から、「B.7.3 マネジメントレビュー

からのアウトプット」に示す事項に関する決定を行い、管理責任者に指示し、必要な処置を実施させる。

- e) 管理責任者は、必要な処置の実施にあたり、各課長に改善を指示し、その結果を確認し、所長に報告する。
- f) 管理責任者は、マネジメントレビューの結果を、記録として管理する。

B.6.2 マネジメントレビューへのインプット

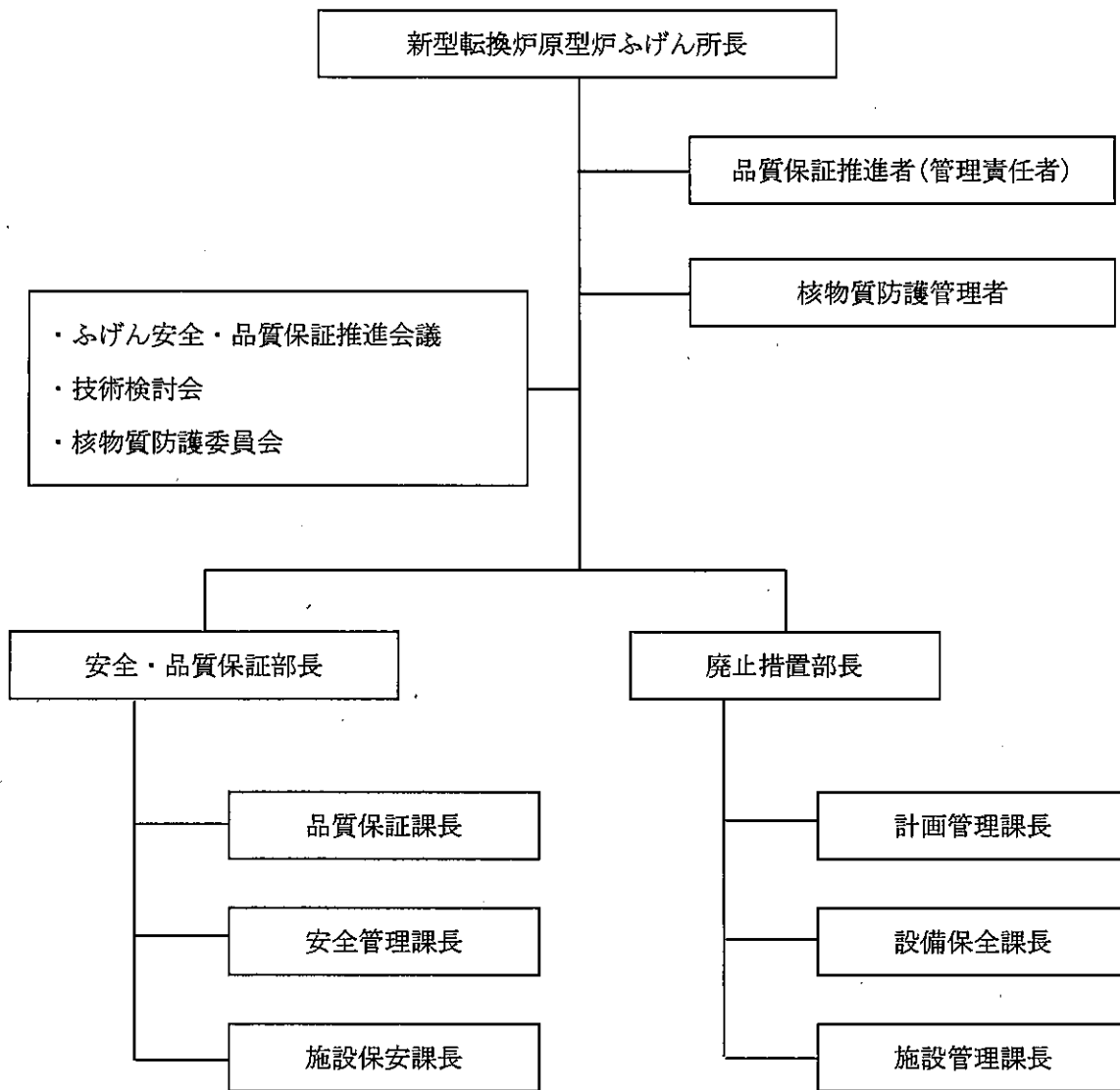
マネジメントレビューへのインプットには、業務に関連する次の情報を含める。

- a) 内部監査の結果
- b) 外部機関の意見等のフィードバック情報
- c) プロセスの成果を含む実施状況並びに検査・試験の結果
- d) 予防処置及び是正処置の状況
- e) 前回までのマネジメントレビューの結果に対するフォローアップ
- f) QMS に影響を及ぼす可能性のある変更
- g) 改善のための提案
- h) 輸送における脅威レベル（設計基礎脅威（DBT））の変更

B.6.3 マネジメントレビューからのアウトプット

マネジメントレビューからのアウトプットには、次の事項に関する決定及び処置を含める。

- a) QMS 及びそのプロセスの有効性の改善
- b) 原子力安全及び核セキュリティの達成のために、業務の計画及び実施に必要な改善
- c) 資源の必要性



(ハ)-第 B.1 図 新型転換炉原型炉ふげん品質マネジメント体制図

C. 教育・訓練

C.1 資源の運用管理

C.1.1 資源の提供

所長は、品質保証計画書で定める QMS 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資源を明確にし、業務の実施に必要な人的資源等の資源を提供する。

C.1.2 人的資源

C.1.2.1 一般

所長は、適切な教育・訓練、技能及び経験を判断の根拠とした力量がある者を従事させ、その力量を維持させるため、教育及び訓練に関する管理の方法を定め、これに従って管理する。

C.1.2.2 力量、教育・訓練及び認識

- (1) 輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に従事する職員等に必要な力量を明確にする。
- (2) 所長は、教育・訓練の計画を策定し、各課長は、教育・訓練の計画に基づき、QMS の活動に従事する要員が必要な力量に到達することができるように教育・訓練又はOJT 等を行う。
- (3) 各課長は、実施した教育・訓練の有効性を評価し、必要に応じ、次の教育・訓練の計画に反映する。
- (4) 各課長は、教育・訓練に際して、業務に従事する要員に、自らの活動の持つ意味と重要性を認識させ、品質目標の達成に向けて自らがどのように貢献できるかを認識させる。
- (5) 各課長は、教育、訓練、技能及び経験について該当する記録を管理する。
- (6) 各課長は、原子力安全及び核セキュリティの達成に影響がある業務に対して、関連する教育・訓練、技能及び経験を判断の根拠に力量のある要員を配置する。

D. 設計管理

D.1 業務の計画及び実施

D.1.1 業務の計画

所長は、輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に係る業務を適切に行うために、関係課長に、業務に必要なプロセスを計画させ、当該業務に係る全体的な計画から検証（申請等）を要する業務等に合わせて、「業務の計画」を定めさせ、記録として管理させる。

また、「業務の計画」の策定に当たっては、品質保証計画書及び関連要領と整合がとれていることを確認する。

D.1.2 業務に対する要求事項に関するプロセス

D.1.2.1 業務に対する要求事項の明確化

所長は、次の事項を関連する業務に対して、関係課長に、「D.1.1 業務の計画」、又は、別に計画等を作成する場合は、その計画等にて明確にさせる。

- a) 適用される法令・規制要求事項及び許認可での審議事項の反映
- b) 設計基礎脅威（DBT）の評価に基づく核物質防護上の要求事項
- c) 関係自治体と締結した安全協定に基づく要求事項
- d) 組織が必要と判断する追加要求事項

D.1.2.2 業務に対する要求事項のレビュー

- (1) 関係課長は、業務を開始する前に、担当業務に対する要求事項をレビューする。
- (2) 関係課長は、レビューの結果及びそのレビューを受けてとられた処置については、記録として管理する。
- (3) 関係課長は、業務に対する要求事項が変更された場合には、「D.1.1 業務の計画」で定める業務の計画等、関連する文書を修正する。変更後の要求事項は、組織及び関連部署（受注者を含む。）に周知する。

D.2 設計・開発の計画

- (1) 所長は、輸送容器（原型容器を含む。）の設計・開発に必要なプロセスを、施設保安課長に明確にさせる。
- (2) 施設保安課長は、次の事項を明確にした設計・開発の計画を「D.1.1 業務の計画」

に定め、これに従って管理する。

- a) 設計・開発の段階
- b) 設計・開発の各段階に適したレビュー、検証及び妥当性確認
- c) 設計・開発に関する責任及び権限

また、設計・開発計画には、次に掲げる事項を含むものとし、設計・開発を行う者(職員等及び受注者)に対して明確に示す。

- a) 適用される法令・規制、基準等、設計・開発条件等の設計・開発の要求事項及びその審査、承認等の責任者並びに必要な設計解析、設計検証等を設計文書として明確化すること
 - b) 輸送容器の機能上重要な構成部品並びにそれらに適用される工法の選定、妥当性等に関する評価の手順を定め、評価を行うこと
 - c) 法令で定める許可又は認可申請等を要する事項及びその他輸送容器の安全性を確保する上で重要な事項については、必要に応じ、ふげんが定める委員会等において、評価の方法、安全性等について審査を受けること
 - d) 設計・開発の要求事項からの変更(逸脱を含む)が生じた場合、適切な処置方法を選定し、文書化し、承認するための手順を定めること
 - e) 設計・開発業務に従事する者は、適切な経験や知識を有する者を割り当てるとともに、必要な情報と手段が入手できるようにすること
 - f) 設計・開発文書は、原設計者以外の者が評価できるようにすること
- (3) 施設保安課長は、効果的なコミュニケーション及び責任の明確な割り当てを確実にするため、次に掲げる事項を明確にし、設計・開発に関与する組織間のインターフェースを運営管理する。これには、輸送容器の施設管理課及び設備保全課との設計取り合いを含める。また、必要に応じて受注者とインターフェースを図る。
- a) 組織間又は受注者との間の取合い
 - b) 組織間又は受注者との間の連絡
- (4) 施設保安課長は、設計・開発の進捗に応じて、策定した「D.1.1 業務の計画」を適宜更新する。

D.3 設計・開発へのインプット

- (1) 施設保安課長は、要求事項に関連するインプットを「D.1.1 業務の計画」において明確にし、設計・開発に反映させ、その記録を管理する。
インプットには、次の事項を含める。

- a) 輸送容器（原型容器を含む。）の機能及び性能に関する要求事項
 - b) 適用される法令・規制等要求事項、許認可申請書等の基本的設計条件及び許認可での審議事項の反映
 - c) 品質保証計画上の要求事項
 - d) 適用可能な場合は、以前の類似した設計から得られた情報
 - e) 設計・開発に不可欠なその他の要求事項
- (2) 施設保安課長は、設計・開発へのインプットの明確化に際し、不適切なデータの使用を防止するため、審査及び承認の方法を明確にし、実行する。
- (3) 施設保安課長は、インプットの適切性をレビューし、その結果を承認する。要求事項には、漏れなく、曖昧でなく、かつ、相反することがないように留意する。

D.4 設計・開発からのアウトプット

- (1) 施設保安課長は、設計・開発からのアウトプットを、設計・開発へのインプットと対比した検証ができるよう、図面、仕様書、報告書、チェックシート等で提示する。
- その際、設計・開発からのアウトプットが次の状態であることを確実にする。
- a) 設計・開発へのインプットで与えられた要求事項を満たす。
 - b) 調達、業務の実施に対して適切な情報を提供する。
 - c) 安全な使用及び適正な使用に不可欠な輸送容器（原型容器を含む。）の特性を明確にする。
 - d) 設計・開発の妥当性確認のために実証試験及び原型容器の製作をアウトソースすることとした場合、関係する検査及び試験の合否判定を含むか又はそれを参照している。
- (2) 施設保安課長は、設計・開発からのアウトプットを次の段階に進める前に承認する。

D.5 設計・開発のレビュー

- (1) 施設保安課長は、設計・開発の適切な段階において、設計要求事項が確実に反映されていることを委員会等でレビューを行う。
- このレビューには、必要に応じて、他部署の専門家等、審査能力を有する者及び輸送容器の施設管理課及び設備保全課の者を含める。
- (2) 施設保安課長は、レビューの結果の記録及び必要な処置があればその記録を管理

する。

D.6 設計・開発の検証

- (1) 施設保安課長は、設計・開発からのアウトプットが、設計・開発へのインプットで与えられる要求事項を満たしていることを確実にするため、設計・開発の適切な段階において検証を行う。
- (2) 施設保安課長は、検証の結果の記録及び必要な処置があればその記録を管理する。

D.7 設計・開発の妥当性確認

- (1) 施設保安課長は、設計・開発の適切な段階において、設計・開発の結果としての設計図書（安全解析書を含む。）が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たしていることを確実にするため、妥当性確認を行う。実施可能な場合にはいつでも、設計図書（安全解析書を含む。）の引渡し又は提供に先立って妥当性確認を完了する。
- (2) 施設保安課長は、妥当性確認の結果の記録及び必要な処置があればその記録を管理する。
- (3) 施設保安課長は、設計・開発の適切な段階において、設計・開発の結果を委員会等において審議し、その妥当性を確認する。
- (4) 施設保安課長は、妥当性確認の結果の記録及び必要な処置があればその記録を管理する。

D.8 設計・開発の変更管理

- (1) 施設保安課長は、設計・開発の変更がある場合は、変更を実施する前に、変更理由、変更箇所、変更内容、変更による影響の有無、変更経緯等を明確にし、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行い、その変更を実施する前に承認する。
- (2) 施設保安課長は、変更のレビューの結果の記録及び必要な処置があればその記録を管理する。

E. 輸送容器の製造発注

E.1 調達管理

E.1.1 調達プロセス

- (1) 所長は、適切な物品又は役務（以下「調達製品」という。）を調達するにあたっては、関係課長に、機構の調達業務に関する規程を遵守させ、調達業務を管理させる。
- (2) 関係課長は、輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送に係る業務をアウトソースする場合、受注者の能力評価及び選定を確実にし、アウトソースプロセスの管理の方式と程度を機構の契約業務に関する規程を遵守して管理する。
- (3) 関係課長は、受注者が要求事項に従って調達製品を供給する能力について、選定、評価及び再評価を行う。
- (4) 関係課長は、受注者に対する評価の結果の記録及び評価によって必要とされた処置があればその記録を管理する。
- (5) 関係課長は、調達製品の調達後における、維持又は運用に必要な技術情報を取得するための方法、及びそれらを他の組織に共有する場合に必要な措置は、機構の契約業務に関する規程に基づき管理する。

E.1.2 調達要求事項

- (1) 関係課長は、調達要求事項を「発注仕様書」等において明確にし、次の事項のうち該当するものを含める。
 - a) 製品、手順、プロセス設備の承認に関する要求事項
 - b) 要員の適格性確認に関する要求事項
 - c) QMS に関する要求事項
 - d) 安全文化を醸成するための活動に関する必要な要求事項
- (2) 関係課長は、契約請求の段階（受注者に伝達する前）において、規定した調達要求事項が妥当であることをレビューし、承認する。
- (3) 施設保安課長は、実証試験に供する原型容器（その構成品を含む。）又は輸送容器（その構成品を含む。）の製作をアウトソースする場合、法令・規制要求事項を考慮し、必要な事項を「発注仕様書」等において明確にする。
- (4) 施設保安課長は、輸送業務をアウトソースする場合、法令・規制要求事項を考慮し、必要事項を「発注仕様書」等において明確にする。

E.1.3 調達製品の検証

- (1) 関係課長は、調達製品が、規定した調達要求事項を満たしていることを確実にするため、必要な検査及び試験又はその他の活動を「発注仕様書」において明確にする。
受注者先で検証を実施する場合には、その検証の要領及びリリース（出荷許可）の方法を発注仕様書で明確にする。
- (2) 関係課長は、受注者における品質保証活動が適切に実施されていることを確認するため、必要に応じ、「D.1.1 業務の計画」にて、実施する時期を明確にし、受注者に対する品質監査を行う。
また、受注者による下請負契約者への品質監査状況を把握し、必要に応じ、下請負契約者に対する品質監査を行う。

E.1.4 調達製品の保存

関係課長は、調達製品の検収後、受入れから使用までの間、適合した状態のまま保存する。この保存には、必要に応じて、識別、取扱い、包装、保管及び保護を含める。保存は、取替品、予備品にも適用する。

E.1.5 識別及びトレーサビリティ

- (1) 所長は、輸送容器の設計・開発、製作及び保守において、適正な計算コードの使用、原型容器（その構成を含む。）及び輸送容器（その構成を含む。）の適正な製作管理並びに保守における適正な輸送容器及び運搬機器の使用を確実にするため、関係課長に、適切な手段でそれらの識別及び管理を行わせ、必要な場合は、「D.1.1 業務の計画」に基づき作成する文書等に明確にし、これに従って管理させる。
- (2) 関係課長は、輸送容器の設計・開発、製作及び保守管理を行う場合、計算コード、原型容器、輸送容器及び運搬機器の識別を行い、管理する。
- (3) 関係課長は、輸送容器の設計・開発、製作及び保守に係る業務をアウトソースする場合は、識別及び管理を調達要求事項として「発注仕様書」等に明確にするとともに、書類審査、立会検査等によって合否判定への適合又は不適合の状態を識別し、管理する。
また、受注者に対しては、管理要領を提示させ、適切な管理を行わせるとともに、次の事項を要求する。

- a) 検査及び試験の状態を識別させ、その記録を提出させる。
- b) 監視、測定、検査及び試験において、トレーサビリティが要求事項となっている場合には、固有の識別を管理させ、記録を提出させる。

E.1.6 監視機器及び測定機器の管理

- (1) 所長は、定められた要求事項に対する適合性を実証するために、関係課長に、実施すべき監視及び測定を実施させ、そのために必要な監視機器及び測定機器を明確にさせる。
- (2) 関係課長は、使用する監視機器及び測定機器の点検、校正を行い、記録として管理する。
- (3) 測定機器が要求事項に適合していないことが判明した場合は、それまでに測定した結果の妥当性を評価し、記録する。また、測定機器及び影響を受けた業務に対して、適切な処置をとる。
- (4) 測定機器の校正及び検証の結果（トレーサビリティの証明書を含む。）については、記録として管理する。
- (5) 関係課長は、輸送容器の設計・開発、製作及び保守に係る業務をアウトソースする場合は、実施すべき監視及び測定を「発注仕様書」等において明確にする。また、受注者に対し、上記の(1)～(3)のうち該当するものを要求し、適切に実施されていることを立会検査（記録確認を含む。）等により確認し、その記録を管理する。

E.2 評価及び改善

E.2.1 一般

所長は、次の事項のために必要となる監視、測定、分析及び改善のプロセスを、「E.2.2 監視及び測定」、「E.3 不適合管理」、「E.4 データの分析」及び「E.5 改善」において明確にし、これに従って実施する。

これには、必要に応じ、統計的手法を含め、適用可能な方法及びその使用の程度を決定することを含める。

E.2.2 監視及び測定

E.2.2.1 内部監査

- (1) 所長は、QMS の次の事項が満たされているか否かを明確にするために、品質保証課長に、品質監査を計画（管理の方法、体制含む）させ、これに従って適切な時期に内部監査を設定し実施する。
また、不適合の発生等、所長が必要と認めたときには臨時に内部監査を実施する。
- (2) 所長は、監査責任者に対し、監査の対象となるプロセス及び領域の状態と重要性、並びにこれまでの監査結果を考慮して、監査プログラムを策定させる。このプログラムには、監査の基準、範囲、頻度及び方法を規定させる。
また、監査責任者及び監査員の選定及び監査の実施においては、監査プロセスの客観性及び公平性を確保する。監査員は自らの業務は監査しない。
- (3) 所長は、監査の計画及び実施、結果の報告を記録として管理する。
- (4) 監査された領域に責任をもつ管理者（所長、管理責任者、関係課長）は、発見された不適合及びその原因を除去するための処置を、「E.3 不適合管理」及び「E.5.2 是正処置」に従って確実に実施する。
また、管理責任者は、フォローアップとして、とられた処置の検証を行うとともに、その検証結果を所長に報告する。

E.2.2.2 プロセスの監視及び測定

- (1) 管理責任者は、QMS のプロセスが計画どおりの結果を達成する能力があることを確実にするため、「A.1 一般要求事項」に規定するプロセスを、品質保証計画書及びその関連要領に規定した活動を通して監視し、適用可能な場合には、測定する。
- (2) 関係課長は、計画されたとおりの結果が出せない場合には、原子力安全及び核セキュリティを達成するために、「E.5.2 是正処置」に従って、適切に修正及び是正処置をとる。

E.2.2.3 検査及び試験

- (1) 所長は、輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送並びに調達製品の要求事項が満たされていることを検証するために、次の事項を管理する。
 - a) 検査及び試験の対象品目、実施項目、実施の方法及び実施時期

- b) 検査及び試験の要求事項、使用される測定機器、立会区分、合否判定基準
 - c) 検査員の資格
 - d) 直接的な検査及び試験ができない場合の間接的な管理
 - e) ホールドポイント
 - f) 検査及び試験結果の文書化
 - g) 検査及び試験に合格しない場合の処置
- (2) 関係課長は、「D.1.1 業務の計画」で定める適切な段階（輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送の各段階において、検査及び試験が規定されているもの）で、監視及び測定を実施するとともに、合否判定基準への適合の証拠を維持する。
- (3) 関係課長は、業務をアウトソースする場合は、「E.1.2 調達要求事項」が満たされていることを検証するため、調達製品の特性を立会検査等（記録確認を含む。）により監視し、測定する。この監視及び測定は、適切な段階（輸送容器の製作、保守及び輸送の各段階において、検査及び試験が規定されているもの）で実施する。

E.3 不適合管理

- (1) 所長は、業務に対する要求事項及び品質保証計画書で定める要求事項に適合しない状況が放置されることを防ぐために、それらを識別し、管理する。これには、不適合の処理に関する管理並びにそれに関連する責任及び権限を含める。
- (2) 関係課長は、輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送の各業務において不適合が明らかとなった場合には、次のいずれかの方法で、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処置をとる。
 - b) 所長が必要と認め、承認したときは、特別採用によって、その使用、リリース（調達製品の引渡し）、又は合格と判定することを正式に許可する。
 - c) 本来の意図された使用又は適用ができないような処置（識別表示、隔離、廃棄等）をとる。
 - d) 引渡し後に不適合が検出された場合には、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処置をとる。
- (3) 関係課長は、不適合の性質の記録及び不適合に対してとられた特別採用を含む処置の記録を管理する。
- (4) 関係課長は、不適合に修正を施した場合、要求事項の適合を実証するため再検証を行う。

E.4 データの分析

- (1) 関係課長は、QMS の適切性及び有効性を実証するため、また、QMS の有効性の継続的な改善の可能性を評価するために、「E.2.2 監視及び測定」及び「E.3 不適合管理」の結果から得られたデータ及びそれ以外の該当する情報源からのデータを収集し、分析する。
- (2) 関係課長は、分析した関連情報を評価したのち、管理責任者に報告する。
- (3) 管理責任者は、データの分析により、次の事項に関連する情報をマネジメントレビューに提供する。
 - a) 原子力安全及び核セキュリティの達成
 - b) 業務に対する要求事項への適合
 - c) 予防処置の機会を得ることを含むプロセスと調達製品の特性及び傾向
 - d) 受注者

E.5 改善

E.5.1 継続的改善

所長、管理責任者及び関係課長は、「B.2 品質方針」、「B.3 品質目標」、「E.2.2.1 内部監査」の結果、「E.4 データの分析」、「E.5.2 是正処置」、「E.5.3 予防処置」及び「B.6 マネジメントレビュー」を通じて、QMS の有効性を継続的に改善する。

E.5.2 是正処置

- (1) 所長は、次の事項を実施する。
 - a) 不適合の内容確認
 - b) 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) 不適合の決定と是正処置決定等の責任と権限を定めること
 - e) 必要な処置の決定及び実施
 - f) とった処置の結果の記録
 - g) とった処置の有効性のレビュー
- (2) 関係課長は、再発防止のため、不適合の原因を除去する処置をとる。是正処置は、検出された不適合のもつ影響に応じたものとする。

E.5.3 予防処置

- (1) 所長は、次の事項に関する要求事項を実施する。
 - a) 起こり得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予防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
 - e) とった予防処置の有効性のレビュー
- (2) 関係課長は、起こり得る不適合が発生することを防止するために、他の輸送容器の設計・開発、製作、保守及び輸送業務から得られた知見の活用を含め、その原因を除去する処置を決める。予防処置は、起こり得る問題の影響に応じたものとする。

F. 取扱い及び保守

設備保全課長は、(二)章に示す核燃料輸送物の発送前検査、輸送容器の保守に関する作業マニュアルを策定し、実施する。

(ハ)章-2 品質マネジメントの基本方針（核燃料サイクル工学研究所）

(ハ)章-2 品質マネジメントの基本方針（核燃料サイクル工学研究所）は、ふげん使用済燃料を輸送するために使用する輸送容器に適用する。

A. 品質マネジメントシステム

A.1 一般要求事項

- (1) 核燃料サイクル工学研究所長（以下「所長」という。）は、要求事項に従い、品質マネジメントシステム（以下「QMS」という。）を確立し、文書化し、実施し、維持する。また、そのQMSの有効性を継続的に改善する。
- (2) 所長は、QMSに関して、再処理廃止措置技術開発センター長（以下「センター長」という。）に次の事項を実施させる。
 - a) QMSに必要なプロセス及びそれらの組織への適用をプロセス関連図において明確にする。
 - b) これらのプロセスの順序及び相互関係をプロセス関連図において明確にする。
 - c) これらのプロセスの運用及び管理のいずれもが効果的であることを確実にするために必要な判断基準及び方法を「A.2.1 c)、d)」に定めるQMSの文書において明確にする。
 - d) これらのプロセスの運用及び監視の支援をするために必要な資源及び情報を利用できることを「C.1 資源の運用管理」において確実にする。
 - e) これらのプロセスを監視し、適用可能な場合には測定し、分析を「E.4.2.3 プロセスの監視及び測定」及び「E.4.4 データの分析」に従って実施する。
 - f) これらのプロセスについて、計画どおりの結果を得るため、かつ、継続的改善を達成するために「E.4.5 改善」に従って必要な処置をとる。
- (3) センター長は、QMSの運用において、輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティに対する重要性に応じて、QMS要求事項の適用の程度について、グレード分けを行うことができる。また、グレード分けの決定に際しては、輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティに対する重要性に加えて以下の事項を考慮することができる。
 - a) プロセス、輸送容器の設計、製作等並びに輸送の複雑性、独自性又は斬新性の程度
 - b) プロセス、輸送容器の設計、製作等並びに輸送の標準化の程度や記録のトレー

サビリティの程度

- c) 検査又は試験による輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティに対する要求事項への適合性の検証可能性の程度
 - d) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務のプロセス、従事する者、要領及び装置等に対する特別な管理や検査の必要性の程度
 - e) 輸送容器に対する保守の難易度
- (4) センター長は、これらのプロセスを輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る品質保証計画書（以下「輸送 QAP」という。）の要求事項に従って運営管理する。
- (5) センター長は、輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティに影響を与えるプロセスをアウトソースすることを決めた場合には、アウトソースしたプロセスに関して管理を確実にする。これらのアウトソースしたプロセスに適用される管理の方式と程度は、「E.1 調達」において明確にする。

A.2 文書化に関する要求事項

A.2.1 一般

所長及びセンター長は、QMS を効果的に運営するために、次の QMS 文書を規定する。また、規定する QMS 文書の体系を明確にする。

- a) 品質方針及び品質目標
 - b) 輸送 QAP
 - c) JIS Q 9001:2008 が要求する次の「文書化された手順」（以下「要領」という。）
 - ・ 文書管理
 - ・ 記録の管理
 - ・ 内部監査
 - ・ 不適合管理
 - ・ 是正処置
 - ・ 予防処置
 - d) プロセスの効果的な計画、運用及び管理を確実に実施するために、所長又はセンター長が必要と決定した文書
 - e) 輸送 QAP で要求する記録並びに所長又はセンター長が必要と決定した記録
- b)～e) で要求される文書は、文書及び記録の管理に係る要領で定める。また、その体系を QMS 文書体系の概念図で管理する。

A. 2. 2 品質保証計画書の策定

所長は、次の事項を含む輸送 QAP を策定し、維持する。また、所長は、制定に当たって品質保証管理責任者に確認させたのち、承認する。

- a) QMS の適用範囲
- b) QMS について確立された文書化された手順
- c) QMS のプロセス間の相互関係に関する記述

A. 2. 3 文書管理

- (1) 所長及びセンター長は、品質保証活動に必要な文書管理のための文書及び記録の管理に係る要領を定める。
ただし、記録は文書の種類ではあるが「A. 2. 4 記録の管理」に規定する要求事項に従って管理する。
- (2) 次の活動に必要な管理を規定するために文書化された手順を確立する。
 - a) 発行前に適切かどうかの観点から文書を承認する。
 - b) 文書はレビューする。また、必要に応じて更新し、再承認する。
 - c) 文書の変更の識別及び現在有効な版の識別を文書の改定番号及び管理台帳により確実にする。
 - d) 該当する文書の適切な版が、必要なときに、必要なところで使用可能な状態にあることをイントラ掲載により確実にする。
 - e) 文書は、読みやすく、容易に識別可能な状態であることを確実にする。
 - f) QMS の計画及び運用のために必要と決定した外部からの文書を適用法令等で明確にし、各ホームページから検索及び法令等に係る官報等を確認することで最新版を利用できるようにする。
 - g) 廃止文書が誤って使用されないようにする。また、これらを何らかの目的で保持する場合には「旧版」を押印し、識別する。

A. 2. 4 記録の管理

- (1) 所長及びセンター長は、品質保証活動に必要な記録の管理のための文書及び記録の管理に係る要領を定める。
- (2) 上記(1)の要領には、次の事項を含める。
 - a) 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方法

b) 記録は読みやすく、容易に識別可能かつ検索可能とすること。

B. 申請者の責任

B.1 経営者のコミットメント

所長は、QMS の構築及び実施並びにその有効性を継続的に改善することに対するコミットメントの証拠を次の事項によって示す。

- a) 要求事項を満たすことの重要性を組織内に周知する。
- b) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務の品質方針を設定する。
- c) 「B.3.1 品質目標」に従い、研究所の品質目標を策定するとともに、センター長に品質目標を策定させる。
- d) 「B.6 マネジメントレビュー」で定めるマネジメントレビューを実施する。
- e) 「C.1 資源の運用管理」で定める必要な資源を提供する。

B.2 品質方針

- (1) 所長は、「B.1 経営者のコミットメント」に従って、次の事項に適合した品質方針を定める。
 - a) 組織の目的に対して適切であること。
 - b) 要求事項への適合及び QMS の有効性の継続的な改善に対するコミットメントを含むこと。
 - c) 品質目標の設定及びレビューのための枠組みを与えること。
 - d) 組織全体に伝達され、理解されること。
 - e) 適切性の持続のためにレビューされること。
- (2) 所長は、品質方針の適切性を持続させるため、「B.4 マネジメントレビュー」でレビューし、必要に応じて改定する。

B.3 計画

B.3.1 品質目標

- (1) 所長は、「B.2. 品質方針」を踏まえ、品質目標を年度ごとに策定する。
- (2) センター長は、所長が定めた年度ごとの品質目標を達成するために、品質目標を定め、品質目標を達成するための要求事項を策定し、文書化する。
- (3) 品質目標の策定に当たっては、次の事項に留意する。
 - a) 「B.2 品質方針」との整合がとれていること。
 - b) 品質目標には、要求事項 (D.1.1(2) a) 項参照) を満たすために必要なものを含める。

- c) 達成度が判定可能な目標であること。
- (4) センター長は、品質目標の達成状況を半期ごとに所長に報告する。

B.3.2 QMS の計画

所長は、次の事項を確実にする。

- a) 品質目標に加えて「A.1 一般要求事項」に規定する要求事項を満たすために、QMS の構築と維持に関して、輸送 QAP を策定する。
- b) QMS の変更を計画し、実施する場合には、その変更が QMS の全体の体系に対して矛盾なく、整合が取れていることを「A.2.3 文書管理」に従い、文書をレビューする。

B.4 責任及び権限

輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務の活動は、次の各号に掲げる者及び委員会で構成する。なお、組織体制は、「(ハ)-第 B.2 図 核燃料サイクル工学研究所 品質保証組織」による。

所長は、次の各号に定める責任及び権限を従事する者に周知することを確実にする。

(1) 所長

所長は、輸送容器の設計、製作等並びに輸送及び核セキュリティに係る業務を統括する。

(2) 品質保証管理責任者

所長は、品質保証に係る業務の管理責任者として、「品質保証管理責任者」を指名する。

所長は、品質保証管理責任者に対して、与えられている他の責任と関わりなく、次に示す責任及び権限を持たせる。

- a) QMS に必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。
- b) 所長に対して、QMS の成果を含む実施状況及び改善の必要性の有無について報告する。
- c) 従事する者に対して、要求事項に対する認識を高めることを確実にする。

(3) 主任監査員

所長は、「E.4.2.2 内部監査」に係る業務の責任者として「主任監査員」を指名する。所長は、主任監査員に対して、与えられている他の責任と関わりなく、E.4.2.2 項の内部監査を実施させる。

(4) 保安管理部長

保安管理部長は、施設安全課長を指揮し、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務における所長及び品質保証管理責任者の品質保証活動に関する調整業務を統括する。

(5) 保安管理部施設安全課長

施設安全課長は、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務における所長及び品質保証管理責任者の品質保証活動の調整に係る業務を行う。

(6) センター長

センター長は、当該センターが行う輸送容器の設計、製作等並びに輸送及び核セキュリティに係る業務を統括する。

(7) 再処理廃止措置技術開発センター品質管理責任者

センター長は、当該センターの品質保証に係る業務の管理責任者として、センター品質管理責任者を指名する。

センター長は、センター品質管理責任者に対して、与えられている他の責任と関わりなく、次に示す責任及び権限を持たせる。

- a) センター内の QMS に必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にすること。
- b) センター内の QMS の成果を含む実施状況及び改善の必要性の有無についてセンター長に報告すること。
- c) センター内の従事する者に対し、要求事項に対する認識を高めること。

(8) 技術部長

技術部長は、当該部内の輸送容器の設計、製作等並びに輸送及び核セキュリティに係る業務を統括する。

(9) 核物質管理課長

核物質管理課長は、当該輸送容器に係る設計、製作等並びに輸送に係る安全及び核セキュリティに係る業務を行う。

(10) 品質保証課長

品質保証課長は、輸送容器に係る設計、製作等並びに輸送に係る業務におけるセンターの品質保証活動の調整に係る業務を行う。

(11) 核燃料サイクル工学研究所品質保証委員会

核燃料サイクル工学研究所品質保証委員会(以下「品質保証委員会」という。)は、所長の諮問を受け、輸送容器に係る設計、製作等並びに輸送に係る業務の品質保証

活動に関する重要事項を審議検討する。また、品質保証委員会委員長は、必要に応じ、部会を設けることができる。

(12) 核燃料サイクル工学研究所安全専門委員会

核燃料サイクル工学研究所安全専門委員会は、所長の諮問を受け、輸送容器の安全に関して、審議検討する。

(13) 再処理施設安全専門委員会

再処理施設安全専門委員会は、当該センター長の諮問を受け、輸送容器の安全に関して、審議検討する。

B.5 品質保証管理責任者

品質保証管理責任者の指名、責任及び権限は、「B.4(2)」に示すとおり。

B.6 マネジメントレビュー

B.6.1 一般

- (1) 所長は、QMS が適切で、妥当で、かつ、有効に機能していることを確認・評価するためにマネジメントレビューに係る要領を定め、毎年度 1 回及び必要に応じてマネジメントレビューを実施する。
- (2) マネジメントレビューでは、次の事項も評価する。
 - a) QMS の改善の機会の評価
 - b) 品質方針及び品質目標を含む QMS の変更の必要性の評価
- (3) マネジメントレビューの結果の記録は品質記録として管理する。(A.2.4 項参照)

B.6.2 マネジメントレビューへのインプット

- (1) マネジメントレビューへのインプットは、次のとおりとする。
 - a) 内部監査の結果
 - b) 輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティの達成に関する外部の受け止め方
 - c) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務のプロセスの成果を含む実施状況並びに検査及び試験の結果
 - d) 予防処置及び是正処置の状況
 - e) 前回までのマネジメントレビューの結果に対するフォローアップ
 - f) QMS に影響を及ぼす可能性のある内外情勢の変更（組織変更、法規制の改正

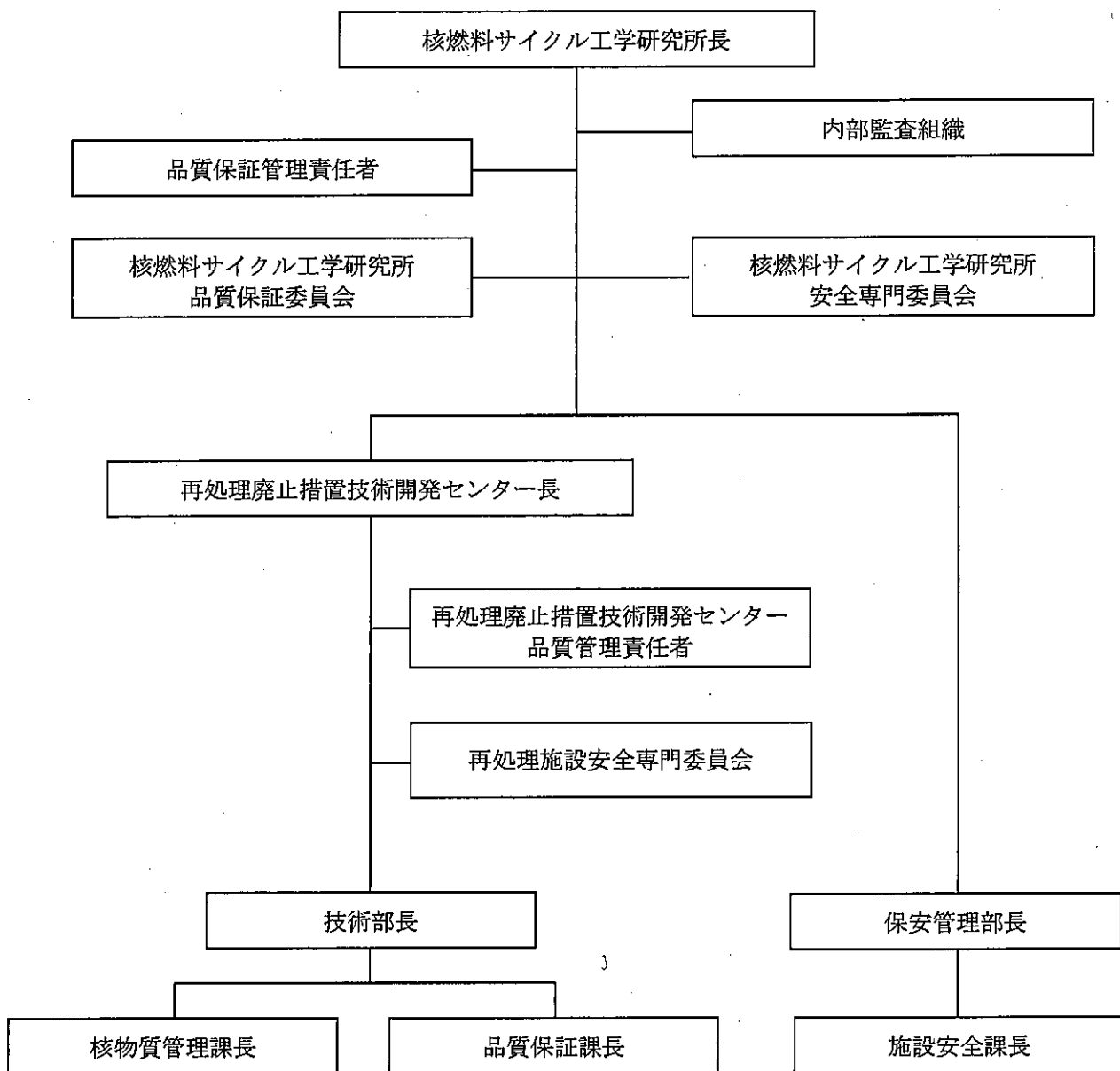
等)

g) QMS の改善のための提案

- (2) 品質保証管理責任者は、センター長に命じて、所掌する業務に関して、前項に定める事項を報告させる。
- (3) 品質保証管理責任者は、前項のインプット情報を確認・評価し、マネジメントレビューにおいて所長に報告する。

B.6.3 マネジメントレビューへのアウトプット

- (1) 所長は、マネジメントレビューの結果に応じて、次の事項に関して、品質保証管理責任者に必要な改善事項を指示する。
 - a) QMS 及びそのプロセスの有効性の改善
 - b) 輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティ業務の計画及び実施に必要な改善
 - c) 資源の必要性
- (2) 所長は、品質保証管理責任者を通じて前項の指示に対する処置状況を確認する。



(ハ) - 第 B. 2 図 核燃料サイクル工学研究所品質保証組織

C. 教育・訓練

C.1 資源の運用管理

C.1.1 資源の提供

所長、センター長、技術部長、核物質管理課長、品質保証課長、保安管理部長及び施設安全課長は、輸送容器及び輸送の安全並びに輸送に係る核セキュリティの達成に必要な資源を明確にし、それぞれの責任及び権限において提供する。

C.1.2 人的資源

C.1.2.1 一般

輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティの達成に影響がある業務に従事する者については、適切な教育・訓練、技能及び経験を判断の根拠とした力量を有する者をあてる。

C.1.2.2 力量、教育・訓練及び認識

センター長は、教育・訓練の管理に係る要領を定める。

核物質管理課長は、この要領に従い、次の事項を実施する。

- a) 輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティの達成に影響がある業務に従事する者に必要な力量を明確にする。
- b) 必要な力量をもてるように、教育・訓練を行うか、又は他の処置を実施する。
- c) 教育・訓練又は他の処置の有効性を評価する。
- d) 従事する者が、自らの活動のもつ意味及び重要性を認識し、品質目標の達成に向けて自らがどのように貢献できるか認識させる。
- e) 教育・訓練に係る実施結果及び評価結果は、品質記録として管理する。

(A.2.4項参照)

D. 設計管理

D.1 業務の計画及び実施

輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務は、具体的に次に示す業務が該当する。

a) 輸送容器の設計

B型輸送物、核分裂性輸送物及び六フッ化ウラン輸送物（0.1kg以上）の事業所外輸送で使用する輸送容器の設計（設計の妥当性確認を目的として実証試験を実施する場合は、その試験のための原型容器の製作設計、試験及び設計の妥当性評価を含む。）

b) 輸送容器の製作

上記 a) の設計に基づく輸送容器の製作（設計の妥当性確認を目的として実証試験を実施する場合は、その試験のための原型容器の製作を含む。）

c) 輸送容器の取扱い、保守

上記 b) で製作した輸送容器の取扱い、保守及び維持管理

d) 輸送

輸送を実施するための許認可、輸送物作製、輸送物荷役、輸送物検査及び輸送実施

D.1.1 業務の計画

- (1) 核物質管理課長は、輸送 QAP に基づき、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に必要なプロセスを計画し、それに関する「品質管理計画書」を策定する。輸送容器を製作する場合には、容器製造者（供給者を含む。）の品質管理の計画及び実施方法を含める。
- (2) この品質管理計画書の策定に当たっては、QMS のその他のプロセスの要求事項と整合をとるとともに、次の各事項を明確にする。
 - a) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に対する品質目標及び要求事項
 - b) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に特有なプロセス及び文書の確立の必要性並びに資源の提供の必要性
 - c) その業務のための検証、妥当性確認、監視、測定、検査及び試験活動並びにこれらの合否判定基準
 - d) 業務のプロセス及びその結果が、要求事項を満たしていることを実証するた

めに必要な記録及び管理 (A. 2. 4 項参照)

「品質管理計画書」は、次の文書から構成される。

- ・ 品質目標
- ・ 実施計画書 (日程計画を含む。)
- ・ 設計計画書
- ・ 技術検討書
- ・ 仕様書
- ・ 輸送容器の取扱い及び保守の管理に関わる文書
- ・ 輸送に関わる文書
- ・ 調達先からの提出文書

- (3) この計画のアウトプットは、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務の計画の実行に適したものとする。

D. 1. 2 業務に対する要求事項に関するプロセス

D. 1. 2. 1 業務に関連する要求事項の明確化

核物質管理課長は、業務に関連する要求事項として、次の事項を「品質管理計画書」において明確にする。

- a) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に適用する法令・規制要求事項
- b) 明示されていないが、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に不可欠な要求事項
- c) 組織が必要と判断する追加要求事項

D. 1. 2. 2 業務に対する要求事項のレビュー

- (1) 核物質管理課長は、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に対する要求事項をレビューする。

このレビューは、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務を行う前に実施する。

レビューでは、次の事項を確実に実施する。

- a) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に対する要求事項が定められている。
- b) 輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に対する要求事項が以前に提

示されたものと異なる場合には、それについて解決されている。

- c) 定められた要求事項を満たす能力を持っている。
- (2) 核物質管理課長は、レビューの結果の記録及びそのレビューを受けてとられた処置の記録を維持する。(A. 2. 4 項参照)
- (3) 核物質管理課長は、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に対する要求事項を書面で示さない場合には、その要求事項を適用する前に確認する。
- (4) 核物質管理課長は、要求事項が変更された場合には、関連する文書を変更する。また、変更後の要求事項が、関連する従事する者に理解されていることを確実にする。

D. 1. 3 設計・開発

核物質管理課長は、設計・開発の要求事項を満足するために、センター長が定めた設計管理に係る要領に従い、輸送容器の設計・開発管理を行う。

D. 1. 3. 1 設計・開発の計画

- (1) 核物質管理課長は、輸送容器の設計・開発の計画を策定し、管理する。
計画では、次の事項を明確にする。
 - a) 設計・開発の段階
 - b) 設計・開発の各段階に適したレビュー、検証及び妥当性確認
 - c) 設計・開発に関する責任及び権限
- (2) 核物質管理課長は、効果的なコミュニケーション及び責任の明確な割当てを確実にするため、設計・開発に関与する関係者間のインターフェースを運営管理する。
- (3) 核物質管理課長は、設計・開発の進行に応じて、策定した計画を適切に更新する。

D. 1. 3. 2 設計・開発へのインプット

- (1) 核物質管理課長は、要求事項に関連するインプットを明確にし、記録を維持する。(A. 2. 4 項参照)
インプットには、次の事項を含める。
 - a) 機能及び性能に関する要求事項
 - b) 適用される法令・規制要求事項
 - c) 適用可能な場合には、以前の類似した設計から得られた情報

- d) 設計・開発に不可欠なその他の要求事項
- (2) 核物質管理課長は、要求事項に関連するインプットについて、その適切性をレビューする。その要求事項は、漏れがなく、曖昧でなく、かつ、相反することがないようにする。

D.1.3.3 設計・開発からのアウトプット

核物質管理課長は、設計・開発からのアウトプットは、設計・開発へのインプットと対比した検証を行うのに適した形式とし、リリース（次工程への引渡し）の前に承認を行う。

また、設計・開発からのアウトプットは、次の状態にする。

- a) 設計・開発へのインプットで与えられた要求事項を満たしていること。
- b) 調達、輸送容器の製作、取扱い及び保守並びに輸送に対して適切な情報を提供していること。
- c) 関係する検査及び試験の合否判定基準を含むか、又はそれを参照していること。
- d) 安全な使用及び適正な使用に不可欠な輸送容器の特性を明確にしていること。

D.1.3.4 設計・開発のレビュー

- (1) 核物質管理課長は、設計・開発の適切な段階において、次の事項を目的として、計画されたとおりに体系的なレビューを行う。
 - a) 設計・開発の結果が、要求事項を満たせるかどうかを評価する。
 - b) 問題を明確にし、必要な処置を提案する。
- (2) 核物質管理課長は、レビューの参加者にレビューの対象となっている設計・開発段階に関連する部署を代表する者を含める。
このレビュー結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持する。（A.2.4項参照）

D.1.3.5 設計・開発の検証

- (1) 核物質管理課長は、設計・開発からのアウトプットが、設計・開発へのインプットで与えられている要求事項を満たしていることを確実にするために、計画されたとおりに検証を実施する。また、この検証の結果の記録及び必要な処置

があればその記録を維持する。(A. 2. 4 項参照)

- (2) この検証は、設計・開発に直接関与していない者が実施する。

D. 1. 3. 6 設計・開発の妥当性確認

- (1) 核物質管理課長は、結果として得られる輸送容器が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たしていることを確実にするために、設計計画書に従って、設計・開発の妥当性確認を実施する。
実行可能な場合にはいつでも、輸送容器の使用前に、妥当性確認を完了する。
- (2) 核物質管理課長は、適切な段階において、必要に応じて以下に示す委員会等で審議を受ける。
 - ・ 核燃料サイクル工学研究所安全専門委員会及びその専門部会
 - ・ 再処理施設安全専門委員会及びその専門部会
- (3) 核物質管理課長は、妥当性確認の結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持する。(A. 2. 4 項参照)

D. 1. 3. 7 設計・開発の変更管理

- (1) 核物質管理課長は、設計・開発の変更内容を明確にし、記録を維持する。
- (2) 核物質管理課長は、変更に対して、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行い、その変更を実施する前に承認する。このレビューには、その変更が、輸送容器を構成する要素及び関連する輸送容器に及ぼす影響の評価を含める。
- (3) 核物質管理課長は、変更のレビューの結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持する。(A. 2. 4 項参照)

E. 輸送容器の製造発注

E.1 調達

E.1.1 調達プロセス

- (1) 核物質管理課長は、適切な調達製品（JIS規格品及びカタログ製品を除く購入、製作、役務等の全ての調達事項を含む。）を調達するため、センター長又はセンター品質管理責任者が定めた調達管理に係る要領に従い、調達業務の管理を実施する。

なお、管理の方法及び程度は、輸送容器及び輸送に係る安全並びに核セキュリティに対する重要性に応じて、あらかじめ、次の各号に掲げる事項を講じるとともに、その講じた事項は、記録として管理する。

- ① 発注先の選定に当たっては、選定、評価及び再評価の基準を定め、発注先の納入実績等に基づいて技術的能力や品質保証体制を評価又は再評価する。
- 特に、輸送容器の製作発注を行う場合には、容器製造者の能力の評価・選定に当たって、必要に応じ、次の事項を考慮する。
- a) 輸送容器の製作に関する技術・従事する者及び製作設備〔技術力〕
 - 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〔品質マネジメントシステム〕
 - c) 輸送容器又は類似のものに関する供給実績〔納入実績〕
 - 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〔納入実績〕
 - e) 試作品、サンプル等の評価〔納入実績〕
- ② 調達製品に係る適用法令・基準、製作規格、製作方法、有資格者の要否等の品質保証上の要求事項を明確にし、その妥当性を評価する。
- ③ ①、②の評価の結果に基づいて、必要な処置を実施する。
- ④ ①、②の評価の結果及び評価によって必要とされた処置があれば、記録として管理する。（A.2.4項参照）
- (2) 核物質管理課長は、調達製品の調達後における維持又は運用に必要な技術情報を取得するための方法を「仕様書」等において明確にする。

E.1.2 調達要求事項

核物質管理課長は、調達製品に関する情報を「仕様書」において明確にし、次の事項のうち該当するものを含めるものとし、調達先に伝達する前に、規定した要求事

項が妥当であることを確実にする。

- a) 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する要求事項
- b) 従事する者の適格性確認に関する要求事項
- c) QMS に関する要求事項
- d) 発注先における検査（方法、時期、判定基準）
- e) 発注先に対する監査
- f) リリース（出荷許可や次工程への引渡し）の方法
- g) 調達製品の維持又は運用に必要な技術情報（輸送容器及び輸送に係る安全並びに核セキュリティに係るものに限る。）の提供

特に、核物質管理課長は、輸送容器の製作発注を行う場合には、次の要求事項を含めて「仕様書」に明記し、容器製造者に適切な管理を行わせ、それらが確実に実施されていることを確認する。

- ① 容器製造者は、経済産業省原子力安全・保安院通達「輸送容器の製作に係る品質マネジメント指針について」に規定されている「Ⅲ. 容器製造者による品質マネジメントの内容」に適合する品質管理を実施すること。
- ② 容器製造者は、機構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、輸送容器の製作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。
- ③ 容器製造者は、機構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、機構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。
- ④ 容器製造者は、輸送容器の製作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。
- ⑤ 容器製造者は、機構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。
- ⑥ 容器製造者は、輸送容器の製作に当たって、安全上の重要度が高く特殊な材料を採用する場合は、あらかじめ製作に係る施工・分析・検査方法について、輸送容器の製作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。
- ⑦ 容器製造者は、輸送容器の製作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措置

すること。

- ⑧ 容器製造者は、不適合品が発生して、手直し等により使用する場合は、機構に対し文書で通知し、取扱いの指示を受けること。
- ⑨ 容器製造者は、容器製造者の製作のプロセスにおいて重要な変更があった場合は、機構に対し速やかに報告し、承認を受けること。

E.1.3 調達製品の検証

- (1) 核物質管理課長は、調達製品が、規定した要求事項を満たしていることを確実にするため、必要な検査又はその他の活動を「仕様書」において明確にする。特に、輸送容器の製作発注を行う場合には、次に示す事項を「仕様書」において明確にし、実施する。
 - ① センター長が定めた受注者品質監査に係る要領に従い、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、必要に応じて供給者に対し直接品質管理の状況を確認する。
 - ② 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、公的規格及び管理の状況等を勘案し、立会確認、記録確認を行う。
 - ③ 輸送容器の製作に係る品質監査及び輸送容器の検査に当たって、必要な計画を文書として作成し、実施する。
- (2) 核物質管理課長は、容器製造者先で検証を実施する場合は、その検証の要領及び調達製品のリリース（次工程への引渡し）の方法を「E.1.2 調達要求事項」の中で明確にし、実施する。
- (3) 核物質管理課長は、調達先の輸送における品質保証活動が適切に実施されていることを確認するため、必要に応じて、受注者品質監査に係る要領に従い調達先に対する品質監査を行う。

E.2 業務の実施

E.2.1 輸送容器の製作管理

- (1) 核物質管理課長は、輸送容器に係る業務を「D.1.1 業務の計画」に従って管理された状態で実施する。

管理された状態には、次の事項のうち該当するものを含む。

 - a) 輸送容器の特性を述べた情報が利用できる。
 - b) 必要に応じて、作業手順が利用できる。

- c) 適切な設備を使用している。
 - d) 監視機器及び測定機器が利用でき、使用している。
 - e) 監視及び測定が実施されている。
 - f) リリース（次工程への引渡し）が規定したとおりに実施されている。
- (2) 核物質管理課長は、輸送容器の製作発注を行った場合には、容器製造者に対して、輸送容器の製作に係る製作スケジュール及び検査スケジュールを提出させ、それを「品質管理計画書」に反映し、管理するとともに、「E.1.2 調達要求事項」で要求した事項が適切に実施されていることを確認する。

E.2.2 輸送容器の製作に関するプロセスの妥当性確認

- (1) 核物質管理課長は、輸送容器に係る業務の過程で結果として生じるアウトプットが、それ以降の監視又は測定で検証することが不可能で、その結果、業務を実施された後でしか不具合が顕在化しない場合を特殊工程（溶接、鉛の鋳込み、樹脂の充填等）として認定し、容器製造者に対して、その製作の該当するプロセスの妥当性確認を行わせることを「仕様書」において明確にする。
- なお、これらのプロセスの妥当性確認には、次の事項のうち該当するものを含んだ手続きを確立する。
- a) プロセスのレビュー及び承認のための明確な基準
 - b) 設備の承認及び従事する者の適格性確認
 - c) 所定の方法及び手順の適用
 - d) 記録に関する要求事項（A.2.4項参照）
 - e) 妥当性の再確認
- (2) 核物質管理課長は、輸送容器に係る業務の発注を行う場合には、容器製造者に対して、特殊工程を含んだ製作を開始する前に、上記(1)に示したプロセスの妥当性確認によってこれらのプロセスが計画どおりの結果を出せることを実証させ、その結果が規定した要求事項を満たすことを確認する。

E.2.3 識別及びトレーサビリティ

- (1) 核物質管理課長は、必要な場合には、業務の計画及び実施の全過程において適切な手段で業務を識別する。
- (2) 核物質管理課長は、監視及び測定の要求事項に関連して、業務の状態を識別する。

- (3) 核物質管理課長は、トレーサビリティが必要な場合、受入、製作、検査等の各段階において適切な識別を行い、管理し、記録を維持する。(A.2.4項参照)
- (4) 核物質管理課長は、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務の発注を行う場合において、トレーサビリティを要求事項とする場合には、上記(1)、(2)及び(3)に示す事項を「仕様書」において明確にし、適切な管理を行わせ、それらが確実に実施されていることを確認する。

E.2.4 調達製品の保存

核物質管理課長は、調達製品(取替品、予備品を含む。)の検証後、受入から使用までの間、要求事項への適合を維持するように保存する。

なお、この保存には、該当する場合、識別、取扱い、保管及び保護を含める。

E.3 監視機器及び測定機器の管理

- (1) 核物質管理課長は、当該センター長が定めた監視機器及び測定機器の管理に係る要領に従い、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務に対する要求事項の適合性を実証するための実施すべき監視及び測定を明確にする。また、そのために必要な監視機器及び測定機器を明確にする。
- (2) 核物質管理課長は、監視及び測定の要求事項との整合性を確保できる方法で監視及び測定が実施できることを確実にするプロセスを確立する。
- (3) 核物質管理課長は、測定値の正当性が保証されなければならない場合には、測定機器に関し、次の事項を満たすようにする。
 - a) 定められた間隔又は使用前に、国際又は国家計量標準にトレーサブルな計量標準に照らして校正若しくは検証又はその両方を行う。そのような標準が存在しない場合には、校正又は検証に用いた基準を記録する。(A.2.4項参照)
 - b) 機器の調整をする、又は必要に応じて再調整する。
 - c) 校正の状態を明確にするために識別をする。
 - d) 測定した結果が無効になるような操作ができないようにする。
 - e) 取扱い、保守、保管において、損傷又は劣化しないように保護する。

さらに、測定機器が要求事項に適合しないことが判明した場合には、その測定機器でそれまでに測定した結果の妥当性を評価し、記録する。また、その機器及び影響を受けた業務に対して適切な処置をとる。校正及び検証の結果の記録を維持する。(A.2.4項参照)

- (4) 核物質管理課長は、規定要求事項に係る監視及び測定にコンピュータソフトウェアを使う場合には、そのコンピュータソフトウェアによって意図した監視及び測定ができることを確認する。この確認は、最初に使用するのに先立って実施する。また、必要に応じて再確認する。
- (5) 核物質管理課長は、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務の発注を行う場合において、監視機器及び測定機器の管理を要求事項とする場合には、上記(1)～(4)に示す事項のうち該当するものを「仕様書」において明確にし、適切な管理を行わせ、それらが確実に実施されていることを確認する。

E.4 評価及び改善

E.4.1 一般

- (1) センター長は、次に示す事項を実施する上で必要となる監視、測定、分析及び改善のプロセスを計画し、実施する。
 - a) 業務に対する要求事項への適合を実証する。
 - b) QMS の適合性を確認する。
 - c) QMS の有効性を継続的に改善する。
- (2) 輸送容器及び輸送に係る安全並びに輸送に係る核セキュリティに対する影響の程度に応じ、統計的手法などの適用に配慮する。

E.4.2 監視及び測定

E.4.2.1 輸送容器及び輸送に係る安全並びに核セキュリティの達成

センター長は、QMS の成果を含む実施状況の測定の一つとして輸送容器及び輸送に係る安全並びに核セキュリティの達成を重視して業務が行われていることを外部とのコミュニケーションを通じて情報を入手する。この情報をマネジメントレビューのインプットデータとする。

E.4.2.2 内部監査

- (1) 所長は、主任監査員を指名し、内部監査組織を設置し、QMS の次の事項が満たされているか否かを明確にするために、内部監査を年一回及び必要に応じて主任監査員に実施させる。
 - a) QMS が、「D.1.1 業務の計画」に適合しているか、「JIS Q 9001:2008」に適合しているか、輸送 QAP の要求事項に適合しているか。

- b) QMS が効果的に実施され、維持されているか。
- (2) 所長は、次の事項を含めた内部監査に係る要領を定める。
- a) 監査の対象となるプロセス及び領域の状態及び重要性並びにこれまでの監査結果を考慮して、監査プログラムを策定する。
 - b) 監査の基準、範囲、頻度及び方法について規定する。
 - c) 監査員の選定及び監査の実施においては客観性及び公平性を確保する。
 - d) 監査員は自らの仕事は監査しない。
 - e) 主任監査員は、内部監査の結果を所長に報告する。また、内部監査及びその結果は、品質記録として管理する。(A.2.4項参照)
- (3) センター長は、検出された不適合及びその原因を除去するために遅滞なく、必要な修正及び是正処置全てを実施し、その結果を主任監査員に報告する。また、フォローアップには、とられた処置の検証及び検証結果の報告を含める。
- (4) 主任監査員は、とられた処置の検証及び検証結果について是正処置が実施されていることを確認する。

E. 4. 2. 3 プロセスの監視及び測定

(1) QMS のプロセスの監視及び測定は、次表のとおり実施する。

監視・測定のプロセス	監視・測定の内容	監視・測定の確認方法	実施責任者
運用管理	品質方針及び品質目標の設定並びに品質目標の達成	・マネジメントレビュー	・ 所長
	・ 品質方針及び品質目標の設定状況 ・ 要求事項に対する目標値の達成状況	・ 品質目標リスト・実績 (中間報告、最終報告)	・ センター長
	マネジメントレビューでの改善指示 ・ 指示内容及び件数、これの是正処置の実施状況	・ アウトプットに対する改善報告 (計画) 書	・ 所長
資源運用	教育・訓練の実施 ・ その実施状況	・ 年度の報告書	・ センター長
業務計画・実施	輸送容器の設計、製作等並びに輸送の計画 ・ その実施状況	・ 品質管理計画書	・ センター長
評価・改善	内部監査の実施状況 ・ 指摘内容及び件数、これらの是正処置の実施状況	・ 内部監査に係る報告書	・ センター長
	不適合の発生状況 ・ 不適合の発生内容及び件数、これらの是正処置の実施状況	・ 不適合管理に係る報告書	・ センター長

(2) 実施責任者は、監視の結果、計画どおりの成果が達成できないと判断した場合には、必要に応じて修正又は「E. 4. 5. 2 是正処置」に従い、是正処置を行う。

E. 4. 2. 4 検査及び試験

(1) センター長は、要求事項が満たされていることを検証するため、次の事項を含めた検査及び試験の管理に係る要領を定める。核物質管理課長は、その要領に従い、検査及び試験を実施する。

- a) 目的に応じた検査及び試験を実施するために必要な期日、場所の選定
- b) 検査及び試験に係る者の独立の程度
- c) 検査及び試験に係る方法並びに合否判定基準

(2) 核物質管理課長は、合否判定基準への適合及びリリース (次工程への引渡し) を

正式に許可した人の記録を維持する。(A. 2. 4 項参照)

- (3) 核物質管理課長は、「品質管理計画書」で決めた検査及び試験が完了するまでは、輸送容器を使用しない。
- (4) 核物質管理課長は、輸送容器の設計、製作等並びに輸送に係る業務の発注を行う場合において、検査及び試験を要求事項とする場合には、上記(1)、(2)及び(3)に示した事項のうち該当するものを「仕様書」において明確にし、「品質管理計画書」に従い、適切な管理を行わせ、それらが確実に実施されていることを確認する。

E. 4. 3 不適合管理

- (1) センター長は、要求事項に適合しない状況が放置されることを防ぐため、それらを識別し、適切な処置ができるよう、次の事項を含めた不適合管理に係る要領を定める。
 - a) 要求事項に適合しない状況が放置されることを防ぐために、それらを識別管理する。
 - b) 不適合の処置に関する管理及びそれに関する責任と権限を明確にする。
- (2) センター長は、不適合管理に係る要領に基づき不適合の管理を実施するとともに、発生した不適合について、該当する場合には、次の一つ又はそれ以上の方法で処置する。
 - a) 検出された不適合を除去するための処置をとる。
 - b) 当該の権限をもつ者が、特別採用によって、その使用、リリース（次工程への引渡し）又は合格と判定することを正式に許可する。
 - c) 本来の意図された使用又は適用ができないような処置（識別表示、隔離、廃棄）をとる。
 - d) 引渡し後又は使用開始後に不適合が検出された場合には、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処置をとる。
- (3) センター長は、発生した不適合のうち、不適合管理に係る要領に定めるランク A の不適合に該当する場合は、不適合管理を行い、品質保証管理責任者に報告する。
- (4) 品質保証管理責任者は、前項の報告を受けた場合は、所長に報告する。
- (5) センター長は、不適合の性質の記録及び不適合に対してとられた特別採用を含む処置の記録を維持する。(A. 2. 4 項参照)

- (6) センター長は、不適合に修正を施した場合の要求事項への適合性を実証するための再検証を行う。

E.4.4 データの分析

核物質管理課長は、QMS の適切性及び有効性を確認し、また、QMS の有効性の継続的な改善の可能性を評価するために、その該当する事項から得られたデータを収集し、分析する。

E.4.5 改善

E.4.5.1 継続的改善

品質保証管理責任者及びセンター長は、品質方針、品質目標、監査結果、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を通じて、QMS を継続的に改善する。

E.4.5.2 是正処置

- (1) センター長は、不適合が検出された場合、速やかに不適合の原因を究明し、再発防止を含めた是正処置を行うため、次の事項を含めた是正処置に係る要領を定める。

是正処置は、検出された不適合のもつ影響に応じたものとする。

- a) 不適合の内容確認
 - b) 不適合の発生の原因究明（間接的原因を含む。）及び原因の特定
 - 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) 実施した処置の結果の記録（A.2.4 項参照）
 - f) 実施した是正処置の有効性のレビュー
- (2) センター長は、検出された不適合の影響に応じた是正処置を行うもののうち、ランク A の不適合については、品質保証管理責任者に報告する。
- (3) 品質保証管理責任者は、前項の報告を受けた場合は、所長に報告する。

E.4.5.3 予防処置

- (1) センター長は、活動の実施によって得られた知見及び他の施設等から得られた知見の活用を含め、起こり得る不適合が発生することを防止するため、次の事項を含めた予防処置に係る要領を定める。

予防処置は、起こり得る問題の影響に応じたものとする。

- a) 起こり得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) 実施した処置の結果の記録 (A. 2. 4 項参照)
 - e) 実施した予防処置の有効性のレビュー
- (2) センター長は、起こり得る問題の影響に応じた予防処置を行うものについて、所長に報告が必要と判断したものについては、品質保証管理責任者に報告する。
- (3) 品質保証管理責任者は、前項の報告を受けた場合は、所長に報告する。

F. 取扱い及び保守

F.1 取扱い及び保守

- (1) 核物質管理課長は、輸送容器の取扱い誤操作及び損傷防止並びに設計上の性能維持を行うため、センター長、センター品質管理責任者が定めた輸送容器の取扱い、保守（定期自主検査）及び保管の管理に係る要領に従い、業務を実施する。
- (2) 核物質管理課長は、輸送容器の定期自主検査の発注を行う場合には、その「仕様書」において輸送容器の取扱い及び保守（定期自主検査）の方法を定めさせることを明記し、適切な取扱い及び保守を行わせ、それらが確実に実施されていることを確認する。

(二)章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

(二)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

A.1 装荷方法

輸送容器への燃料装荷に関する検査、試験及び特別な準備、機器について以下に示す。

- ・ 輸送容器の移動に使用する建屋天井クレーン及び燃料取扱い機器等は、事前に点検し、健全であることを確認する。
- ・ 輸送容器受入れ時に受入れ検査を実施する。
- ・ 輸送容器を燃料プールへ移動する前に、必要に応じて汚染を防止するためのスカート等を取付け、スカート内への注水等必要な処置を実施する。
- ・ 燃料の装荷にあたっては、燃料が定められたロジメントに配置されたことを確認する。
- ・ 燃料装荷後は、輸送容器に一次蓋を載せた後、燃料プールから除染場へ移動し、リングフランジを載せ、リングフランジ締付けボルトを規定のトルクで締付ける。
- ・ 輸送容器内部空間の排水と真空乾燥を実施した後、ヘリウムガスを低圧充填する。
- ・ 輸送容器外表面を必要に応じて除染するとともに蓋ガスケット部、オリフィスの気密漏えい検査を実施する。
- ・ 遮蔽水、冷却材等の液体の充填については、輸送容器は乾式であるため該当しない。

A.2 輸送物の発送前検査

輸送物を発送する前に、(二)-第A.1表に示す発送前検査を実施し、輸送物の健全性を確認する。

A.3 取出し方法

燃料取出し方法及び安全上必要な措置等について以下に示す。

- ・ 輸送物の移動に使用するクレーン及び取扱い機器、燃料取出しに使用するクレーン及び燃料取扱い機器等は、事前に点検し、健全であることを確認する。
- ・ 輸送物受入れ時に、受入れ検査を実施する。
- ・ 燃料の取出しは1体ずつ実施する。

A.4 空容器の準備

燃料取出し後の輸送容器を次の輸送に使用する前に、以下の準備を実施する。

- ・ 燃料取出し後に、必要に応じて輸送容器の内部を洗浄し、輸送容器内の水は完全に排水する。
- ・ 排水後に、輸送容器内部を真空乾燥し、既定圧力に調整する。
- ・ 圧力調整後に、輸送容器の密封性能を確認し、外観検査及び表面密度検査を実施する。

(二)-第A.1表 発送前検査要領 (1/2)

検査項目	検査方法	合格基準
1. 外観検査	容器の外観を目視で検査する。	輸送物の形状、塗装等に異常な傷又は割れがないこと。
2. 気密漏えい検査	容器の一次密封境界及び二次密封境界を構成するガスケット部に対し、圧力上昇法により漏えい率を検査する。	一次密封境界及び二次密封境界のそれぞれの漏えい率が $1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であること。
3. 圧力測定検査	容器内部に充填されるヘリウムの初期充填圧力を検査する。	初期充填圧力が 43kPa 絶対圧以下であること。
4. 線量当量率検査	輸送物の表面及び表面から 1m の距離におけるガンマ線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータ等で測定する。	ガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の合計が、 表面：2mSv/h 表面から 1m の距離：100 μ Sv/h をそれぞれ超えないこと。
5. 未臨界検査	バスケットの外観を目視で検査する。	バスケットに異常な変形又は破損がないこと。
6. 温度測定検査	温度計により輸送物の表面温度を測定し、周囲温度 38 $^{\circ}$ Cでの値に補正する。	輸送中に人が容易に近づくことができる表面の温度が、日陰において 85 $^{\circ}$ Cを超えないこと（専用積載で運搬する）。
7. 吊上検査	輸送物を吊り上げた後の状態において、トラニオン部等の外観を目視で検査する。	トラニオン部等に異常な変形又は破損がないこと。
8. 重量検査	輸送容器及び燃料の合計重量を検査する。	申請書に記載された重量以下であること。

(二)-第 A.1 表 発送前検査要領 (2/2)

検査項目	検査方法	合格基準
9. 収納物検査	燃料の仕様、数量、収納配置を 検査する。 燃料に変形又は破損がないこ とを検査する。	燃料の仕様、数量、収納配置等が 申請書に記載された条件どおり であること。 燃料に異常な変形又は破損がな いこと
10. 表面密度検査	スミヤ法により、輸送物の表面 密度を測定する。	α 線を放出する放射性物質 : 0.4Bq/cm ² を超えないこと。 α 線を放出しない放射性物質 : 4.0Bq/cm ² を超えないこと。

B. 保守条件

輸送容器の仕様を長期にわたって保証できる保守の方法について以下に示す。

また、輸送容器の健全性を確認するため、原則として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回ごとに1回以上）の頻度で(二)-第B.1表に示す定期自主検査を実施する。検査の結果、必要に応じて補修を実施する。

B.1 外観検査

輸送容器の外観を目視で検査し、有害な傷、割れ等がなく、異常な変形がないことを確認する。

B.2 耐圧検査

輸送容器の製作過程において、輸送容器内部に所定の圧力を加え、輸送容器の各部、特に継手部及び貫通部に漏えい、有害な傷、割れ等がなく、異常な変形がないことを確認する。

B.3 気密漏えい検査

輸送容器の一次密封境界及び二次密封境界を構成するガスケット部に対し、圧力上昇法により漏えい率を検査する。測定の結果、一次密封境界及び二次密封境界のそれぞれの漏えい率が $1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下なら合格とし、不合格の場合は、ガスケットを交換する等適切な措置を施し、再度気密漏えい検査を実施する。

B.4 遮蔽検査

輸送毎において、輸送物の線量当量率（ガンマ線及び中性子）を測定し、輸送物表面で 2mSv/h 、輸送物表面より1mの距離で $100 \mu\text{Sv/h}$ を超えないことを確認する。

B.5 未臨界検査

輸送容器内に収納されたバスケットを目視により検査し、有害な傷、割れ等がなく、異常な変形がないことを確認する。

B.6 熱検査

輸送毎において、輸送容器表面の温度を測定し、輸送容器の熱放散能力を確認する。

B.7 吊上検査

輸送物を吊り上げた後、トラニオン部等の外観を目視により検査し、有害な傷、割れ等がなく、異常な変形がないことを確認する。

B.8 作動確認検査

輸送容器には、作動確認が必要な弁、非常用安全装置等は付いていないため、該当なし。

B.9 補助系の保守

輸送容器には、付属冷却システム、中性子遮蔽タンク及びその他の補助系は使用しないため、該当なし。

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

輸送容器は、いかなる弁も有していない。

ガスケットは、B.3 気密漏えい検査において、規定値を超える漏えいが確認された場合は、その都度不良分を交換する。

また、着脱を行う部品（リングフランジ締付けボルト、等）についても検査され、有害な傷、割れ等及び異常な変形がある場合は、その程度に応じて補修あるいは交換を実施する。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器は、原則として屋内保管とし、屋外保管する場合は、雨水に直接さらされないようシートで覆う等の養生を実施する。

B.12 記録の保管

輸送容器の製作時検査記録、定期自主検査記録等は、専用のファイルを設けて容器登録の有効期間内はこれを保管する。

B.13 その他

輸送容器の補修を実施した場合は、対象部分について(二)-第B.1表に示す定期自主検査を実施する。ただし、補修が輸送容器の耐圧性能に影響を及ぼすと考えられる場合は、耐圧検査を実施する。

(二)-第 B.1 表 定期自主検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
1. 外観検査	容器の外観を目視で検査する。	輸送物の形状、塗装等に異常な傷又は割れないこと。
2. 気密漏えい検査	容器の一次密封境界及び二次密封境界を構成するガスケット部に対し、圧力上昇法により漏えい率を検査する。	一次密封境界及び二次密封境界のそれぞれの漏えい率が 1.5×10^{-3} Pa・m ³ /s 以下であること。
3. 吊上検査	容器を吊り上げた後、トラニオン部等の外観を目視で検査する。	トラニオン部等に異常な変形又は破損がないこと。
4. 未臨界検査	バスケットの外観を目視で検査する。	バスケットに異常な変形又は破損がないこと。

(ホ)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

(ホ)章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項

本輸送物の安全輸送のために、次の措置を講じるものとする。

環境温度が ℃以下になる場合には、輸送に供しないものとする。

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

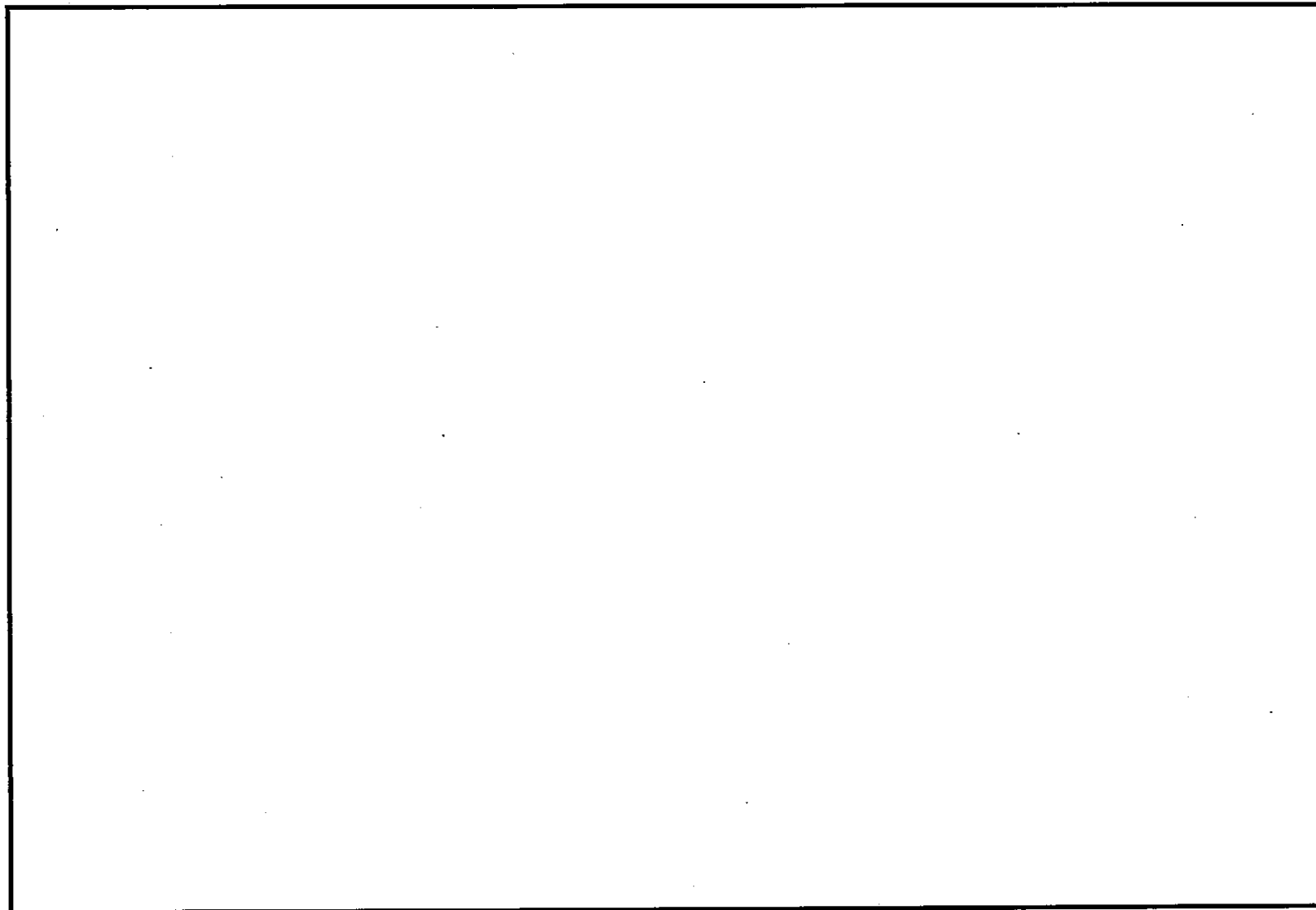
参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

A. 輸送容器の製作方法

A.1 製作工程

輸送容器の製作に関する諸工程すなわち材料調達、成形、切断、溶接、熱処理、補修、検査及び試験は、原則として ASME Boiler and Pressure Vessel Code,
 によって行う。

輸送容器の全体の製作工程例を(参)-第 A.1 図に示す。



(参)-第 A.1 図 輸送容器の製作工程例

A. 2 材料の説明

輸送容器に使用される材料は、(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析に述べられた設計条件を満足すると共に、溶接等の条件を考慮して選定される。

主要な部品について、適用規格を(イ)-第 C.1 表に示す。

A. 2. 1 板材料

輸送容器に使用されるステンレス鋼板は、オーステナイトステンレス鋼であり、使用条件下における材料の腐食の問題はない。

外表面に位置する銅伝熱体にはメッキ等を施し耐食性を増している。

これらの材料は、切断、穴あけ、曲げ、溶接等の各種製作法においても特性を失うことなく加工可能である。

A. 2. 2 管材類

輸送容器に使用されている主な管材である衝撃吸収カバーの取付けボルトを通す貫通チューブ及びバスケットのロジメントチューブは、オーステナイトステンレス鋼管であり、使用条件下における材料の腐食の問題はない。

A. 2. 3 鍛造品、ボルト・ナット類

本体の胴、底板及び二次蓋に使用される鍛造材は合金鋼であり、ステンレス鋼の被覆を施し耐食性を増している。

トラニオン、蓋部のリングフランジ、バスケットのトップ、サポート及びボトムプレートに使用される鍛造材は、マルテンサイトステンレス鋼であり使用条件下における材料の腐食の問題はない。

一次蓋は、オーステナイトステンレス鋼の鍛造材であり使用条件下における材料の腐食の問題はない。

リングフランジ、二次蓋、トラニオン及び衝撃吸収カバーの締付けに使用されるボルト材は合金鋼であり、メッキ等を施し耐食性を増している。

A. 2. 4 溶接用電極・棒・線類

輸送容器の本体は、胴及び底板を溶接によって接合して製作する。

使用される溶接材料は、原則として ASME Code の規格に従う。

本体の胴、底板及び蓋部の二次蓋の内外面に施されるステンレス鋼のオーバーレ

イは、その表面でオーステナイトステンレス鋼の組成となるような溶接材料である。

この溶接材料を用いることにより、溶接部も母材と同等以上の耐食性が確保される。

A.2.5 特殊材料

(1) 中性子遮蔽材

中性子遮蔽材として、レジンは本体の銅伝熱体で囲まれた領域、底部及び一次蓋のレジンカバー内にそれぞれ取付けられる。

(2) 中性子吸収材

未臨界制御のための中性子吸収材として、バスケットのロジメントに を使用する。

(3) 緩衝材

落下衝撃時等の緩衝材として、前部及び後部衝撃吸収カバーに が使用される。

A.2.6 ミルシート

受入れられた材料についてはミルシートと照合し、規定どおりの材料であることを確認する。

A.3 溶接

A.3.1 溶接方法及び材料

輸送容器の溶接は、ASME Code 又は同等の規格に従って実施した溶接施工法確認試験に合格した施工法により行う。

A.3.2 溶接機の管理及び溶接士資格

(1) 溶接機の管理

溶接機は保守計画にしたがって定期的に保守及び点検が行われる。

(2) 溶接士資格

輸送容器に関するすべての溶接士は、溶接士技量認定試験に合格していなければならない。技量認定試験は ASME Code または同等の規格に従って行われる。

A.3.3 溶接の品質保証計画・その他

溶接は原則として ASME Code に従って行う溶接施工法確認試験に合格した施工法で溶接士技量認定試験に合格した溶接士（自動溶接の場合は溶接機オペレーター）により行う。

すべての溶接時には、溶接部位、溶接要領書番号、作業日時、溶接士名等を記録し、これを溶接作業及び溶接士の管理に使用する。

溶接完了後は溶接検査を実施し、溶接部の健全性を確認する。

A.4 遮蔽体の製作法

輸送容器の主な遮蔽体は、合金鋼で作られる胴、底板及び二次蓋、ステンレス鋼で作られる一次蓋及びタングステンのガンマ線遮蔽体、並びに胴部と底部及び一次蓋に組込まれるレジンにより構成される。

これらの遮蔽体は、遮蔽性能に影響を及ぼすような欠陥がないように製作される。

A.5 弁等付属機器の製作法

輸送容器には、本体にベント及びドレンオリフィスがあり、一次蓋及び二次蓋にサンプリングオリフィスがあり、それぞれ 等の部品が取付けられて製作されている。

A. 6 組立等その他の製作法

輸送容器の主要部分の製作法の一例を以下に述べる。

A. 6.1 胴

胴の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① オーバーレイを行う部分に対して機械加工によりオーバーレイ前の所定の寸法に仕上げる。
- ② ステンレス鋼のオーバーレイを行う。
- ③ 機械加工により胴の外径部、内径部及び底板との溶接開先部を含む各部を所定の寸法に仕上げる。

A. 6.2 底板

底板の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① オーバーレイを行う部分に対して機械加工によりオーバーレイ前の所定の寸法に仕上げる。
- ② ステンレス鋼オーバーレイを行う。
- ③ 機械加工により胴との溶接開先部を含む各部を所定の寸法に仕上げる。

A. 6.3 トラニオン

トラニオン製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① 機械加工により所定の寸法に仕上げる。
- ② レジンを組込む。

A. 6.4 銅伝熱体

銅伝熱体の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① 銅伝熱体用銅板を所定の寸法に切断する。
- ② 曲げ加工及び表面処理を行う。

A. 6.5 本体

本体は A. 6.1 及び A. 6.2 で述べた方法で製作された胴及び底板を溶接により接合した後、銅伝熱体等を順次取付けることにより製作される。本体の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① 底板を胴に溶接する。
- ② 本体を熱処理する。
- ③ 機械加工により各部を所定の寸法に仕上げる。
- ④ 銅伝熱体を本体に溶接あるいはボルトにより取付ける。
- ⑤ レジンを組込む。
- ⑥ 前部トラニオン及び後部トラニオンを本体に取付ける。

A. 6. 6 蓋部

(1) 一次蓋

一次蓋の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① 機械加工により所定の寸法に仕上げる。
- ② 細部の孔加工等を行う。
- ③ ガンマ線遮蔽体、及びカバーを取付ける。
- ④ レジンを組込む。
- ⑤ オリフィスを取付ける。
- ⑥ 機械加工により所定の寸法に仕上げる。

(2) リングフランジ

リングフランジの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① 機械加工により所定の寸法に仕上げる。
- ② 細部の孔加工等を行う。

(3) 二次蓋

二次蓋の製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① オーバーレイを行う部分に対して機械加工によりオーバーレイ前の所定の寸法に仕上げる。
- ② ステンレス鋼オーバーレイを行う。
- ③ 熱処理する。
- ④ 細部の孔加工等を行う。
- ⑤ オリフィスを取付ける。
- ⑥ 機械加工により所定の寸法に仕上げる。

A. 6. 7 前部及び後部衝撃吸収カバー

前部及び後部衝撃吸収カバーの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

る。

- ① 衝撃吸収カバー用鋼板を所定の寸法に切断、加工する。
- ② 所定の寸法の外板を用いて一方が開口した円筒状にし、溶接を行う。
- ③ 所定の寸法に仕上げた緩衝材を挿入する。
- ④ 外板を溶接により取付ける。
- ⑤ 吊上げラグ及び脚を溶接により取付ける。
- ⑥ その他の部品を取付ける。

A.6.8 バスケット

バスケットの製作法の主要点及び概略の手順は次のとおりである。

- ① ロジメントチューブを所定の寸法に切断する。
- ② アルミチューブを所定の寸法に切断する。
- ③ サポートプレート、トップ及びボトムプレート、タイロッド、スペーサーを所定の寸法に機械加工する。
- ④ サポートプレート、トップ及びボトムプレート、ロジメントチューブ、アルミチューブ、スペーサーを組立て、タイロッドにより固定する。

A.6.9 組立て

各部品は、製作が終了した段階で異常がない仕上がりであることを確認した後、組立てを行う。概要を以下に示す。

- ① 蓋部をアイボルトによって吊上げて本体上に置き、リングフランジ及び二次蓋締付けボルトを所定のトルクで締付ける。
- ② 前部及び後部衝撃吸収カバーをそれぞれの吊上げラグを使用して吊上げ、容器本体に取付ける。その後衝撃吸収カバー締付けボルトを所定のトルクで締付ける。

B. 輸送容器の試験及び検査方法

輸送容器の製作中及び製作完了後、(ロ)章で述べられている各解析とその要求値を満たすように製作されていることを確認するために各種検査を行う。

B.1 検査項目と検査方法

輸送容器に適用する検査項目及びその実施時期を(参)-第B.1表に示す。なお、輸送容器には、作動確認検査の対象となるバルブや装置は含まれないことから、作動確認検査は対象外としている。

以下に各検査の方法等について述べる。

(参)-第B.1表 検査項目と実施時期

検査項目 \ 機器	本体	蓋部	バスケット	前部・後部衝撃 吸収カバー
① 材料検査	製作中 (材料受取時)	製作中 (材料受取時)	製作中 (材料受取時)	製作中 (材料受取時)
② 寸法検査	製作中及び 製作完了時	製作中及び 製作完了時	製作中及び 製作完了時	製作中及び 製作完了時
③ 溶接検査	製作中	製作中	製作中	製作中
④ 外観検査	製作完了時	製作完了時	製作完了時	製作完了時
⑤ 耐圧検査	製作中	製作中	—	—
⑥ 気密漏えい検査	製作完了時	製作完了時	—	—
⑦ 遮蔽性能検査	製作中	製作中	—	—
⑧ 遮蔽寸法検査	製作中	製作中	—	—
⑨ 伝熱検査	製作完了時	製作完了時	本体製作完了後	本体製作完了後
⑩ 吊上荷重検査	製作完了時	—	—	—
⑪ 重量検査	製作完了時	製作完了時	製作完了時	製作完了時
⑫ 未臨界検査	—	—	製作完了時	—
⑬ 取扱い検査	製作完了時	製作完了時	本体製作完了後	本体製作完了後

(1) 材料検査

a. 目的

輸送容器主要部の各材料について、所定の性能を満足していることを確認する。

b. 確認項目・方法

各材料について、所定の性能を満足していることをミルシート等により確認する。

レジンについては、成分元素の原子個数密度を確認するとともに、各素材が(イ)章に記載された配合比に基づいて計量されていることを確認する。

(2) 寸法検査

a. 目的

輸送容器の主要寸法が所定の寸法公差を満足していることを確認する。

b. 検査方法

巻尺、ノギス、マイクロメーター等を用いて、各部の寸法を測定する。

c. 判定基準

各部の寸法が所定の寸法公差を満足していること。

(3) 溶接検査

輸送容器の溶接部が健全であることを確認する。

a. 開先検査

(a) 検査方法

① 開先面の外観検査

② 開先部の寸法検査

(b) 判定基準

① 開先表面及びその近傍に錆、油分等の溶接上有害なものがないこと。

② 開先寸法が所定の寸法公差を満足していること。

b. 液体浸透探傷検査

(a) 検査方法

溶接部に対して液体浸透探傷検査を行う。

(b) 判定基準

適用規格の判定基準を満足すること。

c. 放射線透過検査

(a) 検査方法

溶接部に対して放射線透過検査を行う。

(b) 判定基準

適用規格の判定基準を満足すること。

d. 超音波探傷検査

(a) 検査方法

溶接部に対して超音波探傷検査を行う。

(b) 判定基準

適用規格の判定基準を満足すること。

(4) 外観検査

a. 目的

輸送容器に使用上支障のある異常が無いことを確認する。

b. 検査方法

各部位について、外観を目視により確認する。

c. 判定基準

使用上支障のある傷、割れ、変形等の異常がないこと。

(5) 耐圧検査

a. 目的

輸送容器が耐圧性能を有することを確認する。

b. 検査方法

輸送容器内部に所定の圧力を加えた後、目視による外観検査を行う。

なお、本検査は、輸送容器内にバスケットが未装荷の状態で行う。

c. 判定基準

異常な変形、ひび、割れ等がないこと。

(6) 気密漏えい検査

a. 目的

ガスケット部の密封性能を確認する。

b. 検査方法

輸送容器の一次密封境界及び二次密封境界を構成するガスケット部に対し、圧力上昇法により、漏えい率を測定する。

c. 判定基準

一次密封境界及び二次密封境界のそれぞれの漏えい率が $1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であること。

(7) 遮蔽性能検査

a. ガンマ線遮蔽性能検査

(a) 目的

主要なガンマ線遮蔽体のうち胴、底板、二次蓋、一次蓋及び一次蓋のガンマ線遮蔽体について、遮蔽性能に影響を及ぼす欠陥がないことを確認する。

(b) 検査方法

各素材の超音波探傷検査の結果により確認する。

(c) 判定基準

各素材の超音波探傷検査の結果が合格基準を満足していること。

b. 中性子遮蔽性能検査

(a) 目的

主要な中性子遮蔽体であるレジンの遮蔽性能を確認する。

(b) 検査方法

レジンの材料検査及び中性子遮蔽寸法検査の結果により確認する。

(c) 判定基準

レジンの材料検査及び中性子遮蔽寸法検査の結果が合格基準を満足していること。

(8) 遮蔽寸法検査

a. ガンマ線遮蔽寸法検査

(a) 目的

主要なガンマ線遮蔽体の遮蔽寸法を確認する。

(b) 検査方法

ノギス、マイクロメーター等を用いて、胴、底板、一次蓋及び一次蓋のガンマ線遮蔽体の寸法を測定する。

(c) 判定基準

各部の寸法が所定の寸法公差を満足していること。

b. 中性子遮蔽寸法検査

(a) 目的

主要な中性子遮蔽体の遮蔽寸法を確認する。

(b) 検査方法

ノギス、マイクロメーター等を用いて、胴部、底部及び一次蓋のレジンの遮蔽寸法を測定する。

(c) 判定基準

各部の寸法が所定の寸法公差を満足していること。

(9) 伝熱検査

a. 目的

輸送状態を模擬して輸送容器を架台上に水平に取付け、収納物の発熱量以上の熱出力を持つ電熱ヒーターを輸送容器内に挿入し、表面温度を計測する。

b. 検査方法

ヒーター出力を段階的に収納物の発熱量程度まであげ、各部の温度が定常に達するまで温度測定をする。

輸送容器各部の温度測定は、熱電対を使用して行なう。

c. 判定基準

温度測定結果に対し熱出力に関する補正を加え、さらに周囲温度 38℃の場合に換算して得られた人が容易に近づくことができる表面の温度の補正結果が 85℃を超えないこと。

(10) 吊上荷重検査

a. 目的

輸送容器の吊上げ時に、前部及び後部トラニオンに使用上支障のある欠陥が発生しないことを確認する。

b. 検査方法

各トラニオンに所定の荷重を負荷し、荷重を解放した後、トラニオン及びトラニオン近傍の外観を目視により検査する。

c. 判定基準

使用上支障のある異常な変形がないこと。

(11) 重量検査

a. 目的

輸送容器の重量を測定し、総重量が所定の重量以下であることを確認する。

b. 検査方法

各部品の重量を重量計により測定し、これらを合計して輸送容器の総重量を求める。

c. 判定基準

輸送容器の総重量が所定の重量以下であること。

(12) 未臨界検査

a. 目的

アルミチューブ材料の化学成分、アルミチューブの板厚及びバスケットの外観を検査し、未臨界性能に問題がないことを確認する。

b. 検査方法

(a) 化学成分検査

アルミチューブに用いられる材料である に対し、 の含有量を材料検査記録により確認する。

(b) 寸法検査

マイクロメーター等を用いて、アルミチューブの板厚を測定する。

(c) 外観検査

バスケットの外観を目視により確認する。

c. 判定基準

(a) 化学成分検査

が所定の値以上であること。

(b) 寸法検査

アルミチューブの板厚が所定の寸法公差を満足していること。

(c) 外観検査

バスケットに傷、割れ、変形等の異常がないこと。

(13) 取扱い検査

a. 目的

輸送容器を取扱う際に、支障が生じないことを確認する。

b. 検査方法

輸送容器に対して各種の取扱い操作をする。

c. 判定基準

各種の取扱い操作性に支障がなく、安全に操作が行えること。