

核燃料輸送物設計承認申請書

NFD発第3196号

令和2年 6月29日

原子力規制委員会 殿

住 所 茨城県東茨城郡大洗町成田町2163番地
氏 名 日本核燃料開発株式会社
代表取締役社長 濱田 昌彦

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 : NFI-XB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

外形 :

長さ :

(2) 輸送容器の総重量 :

(3) 輸送容器の主要材料

イ 容器本体

ロ 蓋

ハ 緩衝体

(4) 輸送容器の外観 : 第1図のとおり

3. 核燃料輸送物の種類

BM型核燃料輸送物

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

第1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

該当せず

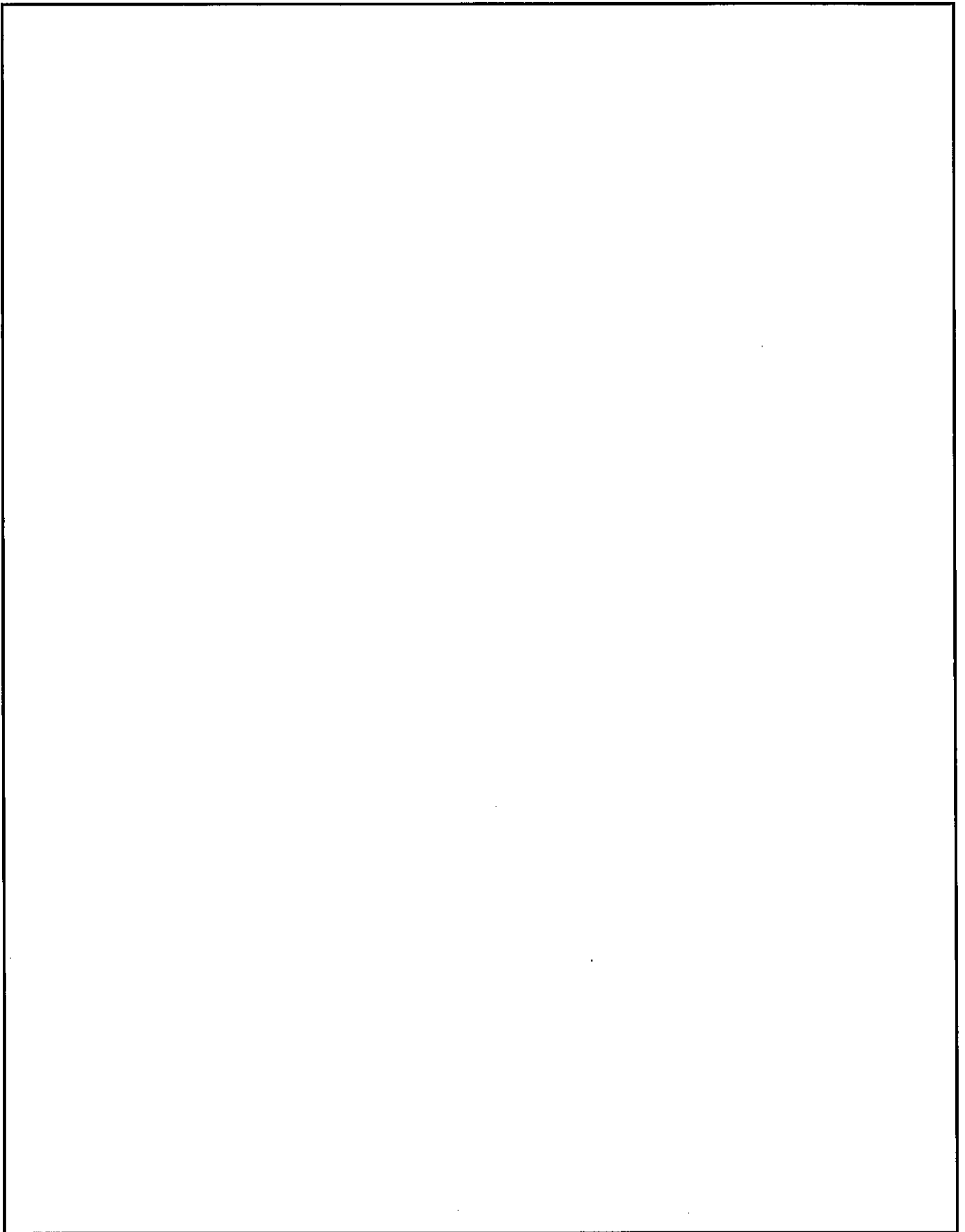
7. 収納物の密封性に関する事項

密封装置は、収納物を収納する容器本体及び蓋で構成される輸送容器とこれに属する、ドレンバルブ及びベントバルブで構成され、蓋及びバルブのシールは Oリングが設けられており、輸送中の密封機能を確保している。

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
- 40℃の環境温度において一部の材料の低温強度が確認されていない。

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定期自主検査並びに核燃料輸送物としての取り扱いについては、別紙に記載した方法により実施する。



第 1 图 N F I - X B 型核燃料输送物外觀图

第1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

収 納 物	収納物 I	収納物 II 注1)	
	燃料デブリサンプル 収納缶	燃料デブリサンプル収納缶	
イ. 種 類	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン及び 二酸化プルトニウム (照射済み)
ロ. 性 状			
ハ. 重 量			
ニ. 放 射 能 の 量			
ホ. ウ ラ ン 濃 縮 度			
ヘ. 核分裂性 プルトニウム富化度			
ト. 燃 焼 度			
チ. 発 熱 量			
リ. 冷 却 日 数			
ヌ. 収 納 数 量			
ル. 外 寸 法			

注1) 収納物IIは、照射済み二酸化ウランと照射済み二酸化ウラン及び照射済み二酸化プルトニウム混合物を混在または単独で収納する。

(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 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法

ニ章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項



別 紙

N F I - X B 型

核燃料輸送物安全解析書



目 次

イ章 核燃料輸送物の説明

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

ロ章 A 構造解析	ロ-A-1
A.1 構造設計	ロ-A-1
A.1.1 概要	ロ-A-1
A.1.2 設計基準	ロ-A-2
A.2 重量及び重心	ロ-A-16
A.3 材料の機械的性質	ロ-A-16
A.4 輸送物の要件	ロ-A-16
A.4.1 化学的及び電氣的反応	ロ-A-16
A.4.2 低温強度	ロ-A-20
A.4.3 密封装置	ロ-A-20
A.4.4 吊上装置	ロ-A-21
A.4.5 固縛装置	ロ-A-25
A.4.6 圧力	ロ-A-32
A.4.7 振動	ロ-A-32
A.5 一般の試験条件	ロ-A-36
A.5.1 熱的試験	ロ-A-36
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	ロ-A-36
A.5.1.2 熱膨張	ロ-A-36
A.5.1.3 応力計算	ロ-A-37
A.5.1.4 許容応力との比較	ロ-A-40

A. 5. 2	水噴霧	.....	□-A-41
A. 5. 3	自由落下	.....	□-A-42
A. 5. 3. 1	垂直落下	.....	□-A-53
A. 5. 3. 2	水平落下	.....	□-A-59
A. 5. 3. 3	コーナー落下	.....	□-A-62
A. 5. 4	積み重ね試験	.....	□-A-63
A. 5. 5	貫通	.....	□-A-65
A. 5. 6	角又は縁落下	.....	□-A-66
A. 5. 7	結果の要約及びその評価	.....	□-A-66
A. 6	特別の試験条件	.....	□-A-69
A. 6. 1	強度試験・落下試験 I (9 m 落下時)	.....	□-A-69
A. 6. 1. 1	垂直落下	.....	□-A-78
A. 6. 1. 2	水平落下	.....	□-A-84
A. 6. 1. 3	コーナー落下	.....	□-A-87
A. 6. 1. 4	傾斜落下	.....	□-A-88
A. 6. 1. 5	結果の要約	.....	□-A-88
A. 6. 2	強度試験・落下試験 II (1 m 落下時)	.....	□-A-89
A. 6. 2. 1	結果の要約	.....	□-A-93
A. 6. 3	熱的試験	.....	□-A-94
A. 6. 3. 1	温度及び圧力の要約	.....	□-A-94
A. 6. 3. 2	熱膨張	.....	□-A-95
A. 6. 3. 3	許容応力との比較	.....	□-A-102
A. 6. 4	浸漬	.....	□-A-104
A. 6. 5	結果の要約及びその評価	.....	□-A-108
A. 7	強化浸漬試験	.....	□-A-114
A. 8	放射性収納物	.....	□-A-114
A. 9	核分裂性輸送物	.....	□-A-115
A. 10	付属書類	.....	□-A-116
A. 10. 1	収納物の最大放射能量	.....	□-A-116

A. 10. 2	参考文献	.....	□-A-117
□章 B	熱解析	.....	□-B-1
B. 1	概 要	.....	□-B-1
B. 2	材料の熱的性質	.....	□-B-5
B. 3	構成要素の仕様	.....	□-B-8
B. 4	一般の試験条件	.....	□-B-9
B. 4. 1	熱解析モデル	.....	□-B-9
B. 4. 1. 1	解析モデル	.....	□-B-9
B. 4. 1. 2	試験モデル	.....	□-B-15
B. 4. 2	最高温度	.....	□-B-16
B. 4. 3	最低温度	.....	□-B-20
B. 4. 4	最大内圧	.....	□-B-20
B. 4. 5	最大熱応力	.....	□-B-22
B. 4. 6	結果の要約及びその評価	.....	□-B-22
B. 5	特別の試験条件	.....	□-B-24
B. 5. 1	熱解析モデル	.....	□-B-24
B. 5. 1. 1	解析モデル	.....	□-B-24
B. 5. 1. 2	試験モデル	.....	□-B-28
B. 5. 2	輸送物の評価条件	.....	□-B-28
B. 5. 3	輸送物温度	.....	□-B-29
B. 5. 4	最大内圧	.....	□-B-32
B. 5. 5	最大熱応力	.....	□-B-33
B. 5. 6	結果の要約及びその評価	.....	□-B-34
B. 6	付属書類	.....	□-B-35
B. 6. 1	解析に用いた対流熱伝達率及び熱輻射係数	.....	□-B-35
B. 6. 2	参考文献	.....	□-B-42
□章 C	密封解析	.....	□-C-1
C. 1	概 要	.....	□-C-1

C. 2	密封装置	□-C-1
C. 2. 1	密封装置	□-C-1
C. 2. 2	密封装置の貫通部	□-C-2
C. 2. 3	密封装置のガスケット及び溶接部	□-C-3
C. 2. 4	蓋	□-C-4
C. 3	一般の試験条件	□-C-5
C. 3. 1	放射性物質の漏えい	□-C-5
C. 3. 2	密封装置の加圧	□-C-1 2
C. 3. 3	冷却材汚染	□-C-1 2
C. 3. 4	冷却材損失	□-C-1 2
C. 4	特別の試験条件	□-C-1 3
C. 4. 1	核分裂生成ガス	□-C-1 3
C. 4. 2	放射性物質の漏えい	□-C-1 3
C. 5	結果の要約及びその評価	□-C-1 6
C. 6	付属書類	□-C-1 7
C. 6. 1	参考文献	□-C-1 7
ロ章D	遮蔽解析	□-D-1
D. 1	概 要	□-D-1
D. 2	線源仕様	□-D-3
D. 2. 1	ガンマ線源	□-D-4
D. 2. 2	中性子源	□-D-5
D. 3	モデル仕様	□-D-8
D. 3. 1	解析モデル	□-D-8
D. 3. 2	解析モデル各領域における原子個数密度	□-D-1 1
D. 4	遮蔽評価	□-D-1 2
D. 4. 1	基本手法	□-D-1 2
D. 4. 2	計算結果	□-D-1 2
D. 5	結果の要約及びその評価	□-D-1 6

D. 6 付属書類	ロ-D-18
D. 6. 1 参考文献	ロ-D-18
ロ章E 臨界解析	ロ-E-1
ロ章F 規則及び告示に対する適合性の評価	ロ-F-1

ハ章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	ハ-A-1
A. 輸送物の取扱い方法	ハ-A-1
A. 1 装荷方法	ハ-A-1
A. 2 輸送物の発送前検査	ハ-A-2
A. 3 取出し方法	ハ-A-2
A. 4 空容器の準備	ハ-A-2
B. 保守条件	ハ-B-1
B. 1 外観及び耐圧検査	ハ-B-1
B. 2 気密漏えい検査	ハ-B-1
B. 3 補助系の保守	ハ-B-1
B. 4 密封装置の弁、ガスケット等の保守	ハ-B-1
B. 5 遮蔽検査	ハ-B-2
B. 6 未臨界検査	ハ-B-2
B. 7 熱検査	ハ-B-2
B. 8 その他	ハ-B-2
ニ章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項	ニ-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 A 目的及び条件



A. 目的及び条件

(1) 使用目的

原子力発電所の損傷した燃料の一部（燃料デブリサンプル）を輸送するために使用する。

(2) 輸送容器の型名

NFI-XB型

(3) 輸送物の種類

BM型核燃料輸送物

(4) 輸送制限個数

任意

(5) 輸送指数

10以下

(6) 臨界安全指数

0

(7) 輸送物の総重量

(8) 輸送容器の外寸法

形状 円筒形（イ）-第C.1図参照

外径

長さ

(9) 輸送容器の重量

(10) 輸送容器の材質

容器本体

蓋

緩衝体

(11) 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様

核燃料物質等の仕様を(イ)一表A.1に示す。

(12) 輸 送 形 態

車両による陸上輸送あるいは船舶による海上輸送

(13) 冷 却 方 法

自然空気冷却

(イ)ー表 A. 1 輸送容器に収納する核燃料物質等の設計仕様

収 納 物	収納物 I	収納物 II 注1)	
	燃料デブリサンプル 収納缶	燃料デブリサンプル収納缶	
イ. 種 類	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン及び 二酸化プルトニウム (照射済み)
ロ. 性 状			
ハ. 重 量			
ニ. 放 射 能 の 量			
ホ. ウ ラ ン 濃 縮 度			
ヘ. 核分裂性 プルトニウム富化度			
ト. 燃 焼 度			
チ. 発 熱 量			
リ. 冷 却 日 数			
ヌ. 収 納 数 量			
ル. 外 寸 法			

注1) 収納物IIは、照射済み二酸化ウランと照射済み二酸化ウラン及び照射済み二酸化プルトニウム混合物を混在または単独で収納する。



イ章B 輸送物の種類





B. 輸送物の種類

BM型核燃料輸送物



イ章C 輸送容器





C. 輸 送 容 器

1. 設計の概要

輸送物の全体図を(イ)－第C. 1 図に、断面図を(イ)－第C. 2 図に示す。本輸送容器は、燃料デブリサンプル収納缶の装荷、取出し等の取扱い時及び輸送時には立置きである。(イ)－第C. 3 図に輸送時の荷姿を示す。

輸送容器は、(イ)－第C. 2 図に示すように円筒形状であり、容器本体、蓋、上部緩衝体及び下部緩衝体で構成される。燃料デブリサンプルは、収納缶に収納されて容器内に収納される。輸送容器の取扱いは、容器に取付けられた吊上げ用金具を使用して行われる。

緩衝体は落下衝撃を緩和するため、容器の上部及び下部に取付けられており、容器は、落下による衝撃に耐えうる強度を持っている。

輸送容器の密封境界は、(イ)－第C. 4 図に示すように容器本体、蓋、蓋部内側Oリング、ベントバルブ及びドレンバルブで構成されている。

本輸送物は乾式にて輸送されるため、ベントバルブ及びドレンバルブは容器内の水抜き時に使用される。

2. 構造

輸送容器は、(イ)－第C. 1 図及び(イ)－第C. 2 図に示すように容器本体、蓋、及び緩衝体により構成される。

(1) 容器本体

容器本体の構造図を(イ)－第C. 5 図に示す。

容器本体は円筒形一体構造であり、密封容器本体を構成している。また、容器本体胴部の板厚は 底部の板厚は であり、ガンマ線遮蔽体となっている。

容器本体胴部側面には、緩衝体取付け用のボルト穴が設けられており、また、吊上げ用金具及び固縛用金具が取付けられている。吊上げ用金具は輸送容器の吊上げ時に使用し、固縛用金具は、輸送時の固縛に使用するものである。

容器本体下部には、ドレンバルブが取付けられている。ドレンバルブは のバルブであり、その構造は(イ)－第C. 8 図に示すとおりである。

(2) 蓋

蓋の構造を(イ)－第C. 6 図に示す。蓋は の蓋ボルトで容器本体上部のフランジ面に取付けられる。この蓋と容器本体フランジ面との接合面には蓋側に2重のOリングが設けられており、この2重のOリングの内側Oリングにより密封性が確保されるようになっている。また、この2重のOリング部にはリークテストのための穴が設けられており、輸送毎にリークテストを行い漏えいがないことを確認できるようになっている。

蓋には、ベントバルブが組込まれている。ベントバルブは のバルブであり、その構造は(イ)－第C. 7 図に示すとおりである。

また、蓋上部には蓋吊上げ用のアイボルト穴が設けられている。

なお、蓋は輸送中緩衝体に覆われており、不用意に蓋ボルトが外されないようになっている。

(3) 緩衝体

上部緩衝体及び下部緩衝体は容器本体の側面に各々 8 本のボルトで取付けられ、落下等により輸送容器に加わる機械的衝撃を吸収して輸送容器を保護する。

上部緩衝体の構造を(イ)－第 C. 9 図に、下部緩衝体の構造を(イ)－第 C. 10 図に示す。

緩衝体は、の外板とリブから構成される構造物の内部に緩衝材である木材 () を充填したものである。

3. 材 質

下記(イ)ー表C.1のとおりである。

(イ)ー表C.1 材 質

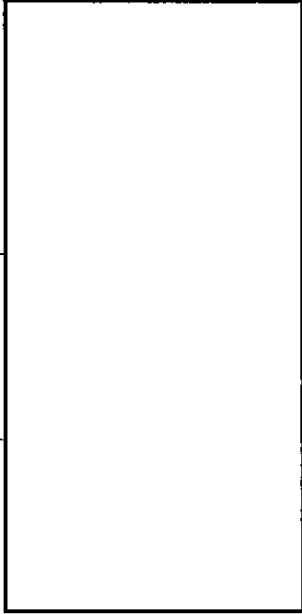
部 位	部 品	材 料	規 格*
容 器 本 体	本 体 ドレンバルブ バルブカバー 吊上げ用金具 固縛用金具		
蓋	蓋 板 蓋 ボルト ベントバルブ バルブカバー ○ リ ン グ		
緩 衝 体	緩 衝 材 外 板 リ ブ		

*記載の規格材料又は相当品を用いる。

4. 寸 法 (公称)

下記(イ)ー表C. 2のとおりである。

(イ)ー表C. 2 輸送容器各部の寸法

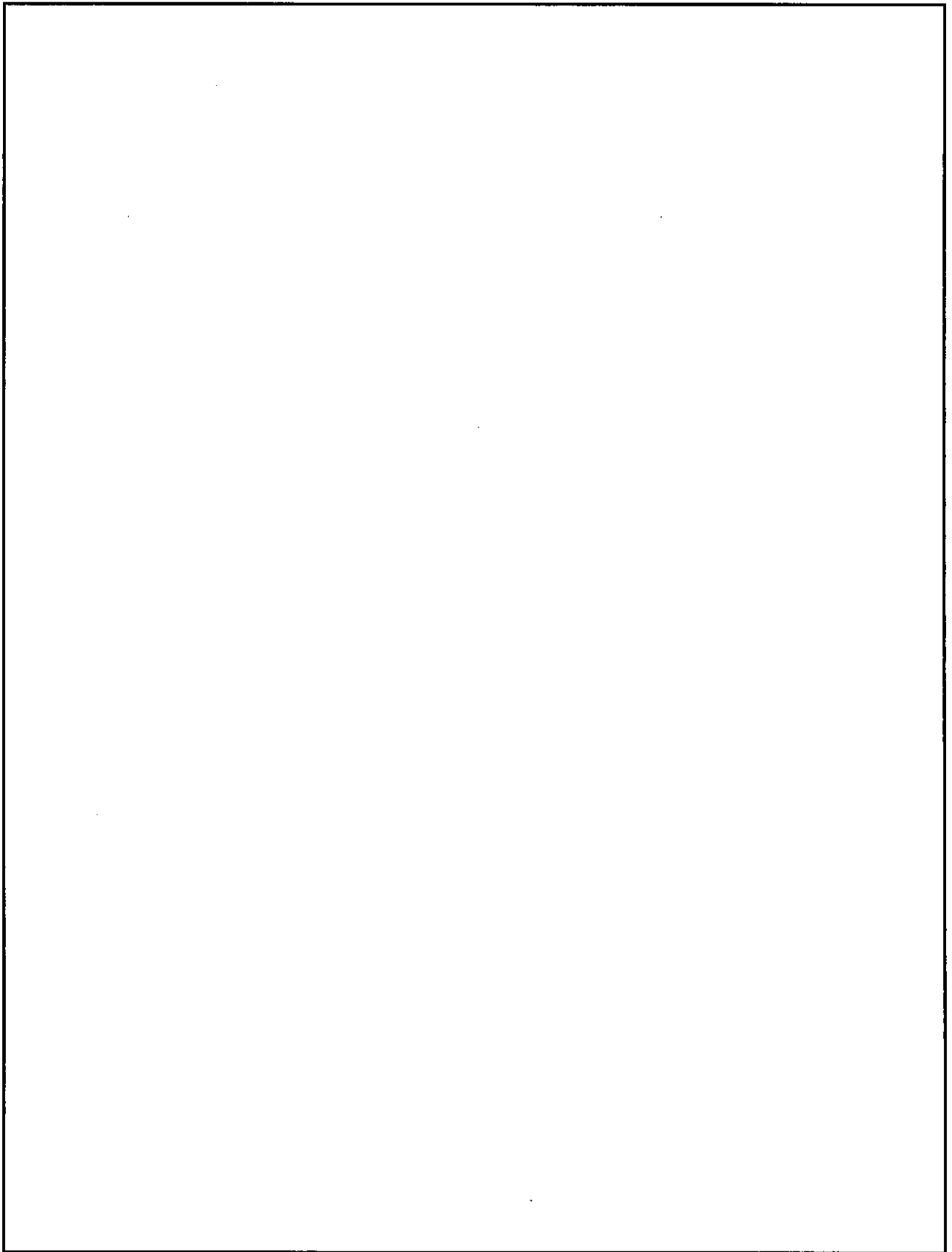
部 品 名	寸 法 (mm)	参 照 図
<u>容 器 本 体</u> 本 体 外 径 胴 部 板 厚 底 部 板 厚 全 長		(イ)ー第C. 5図
<u>蓋</u> 蓋 外 径 厚 さ		(イ)ー第C. 6図
<u>緩 衝 体</u> 外 径 長 さ		(イ)ー第C. 9図, C. 10図

5. 重 量

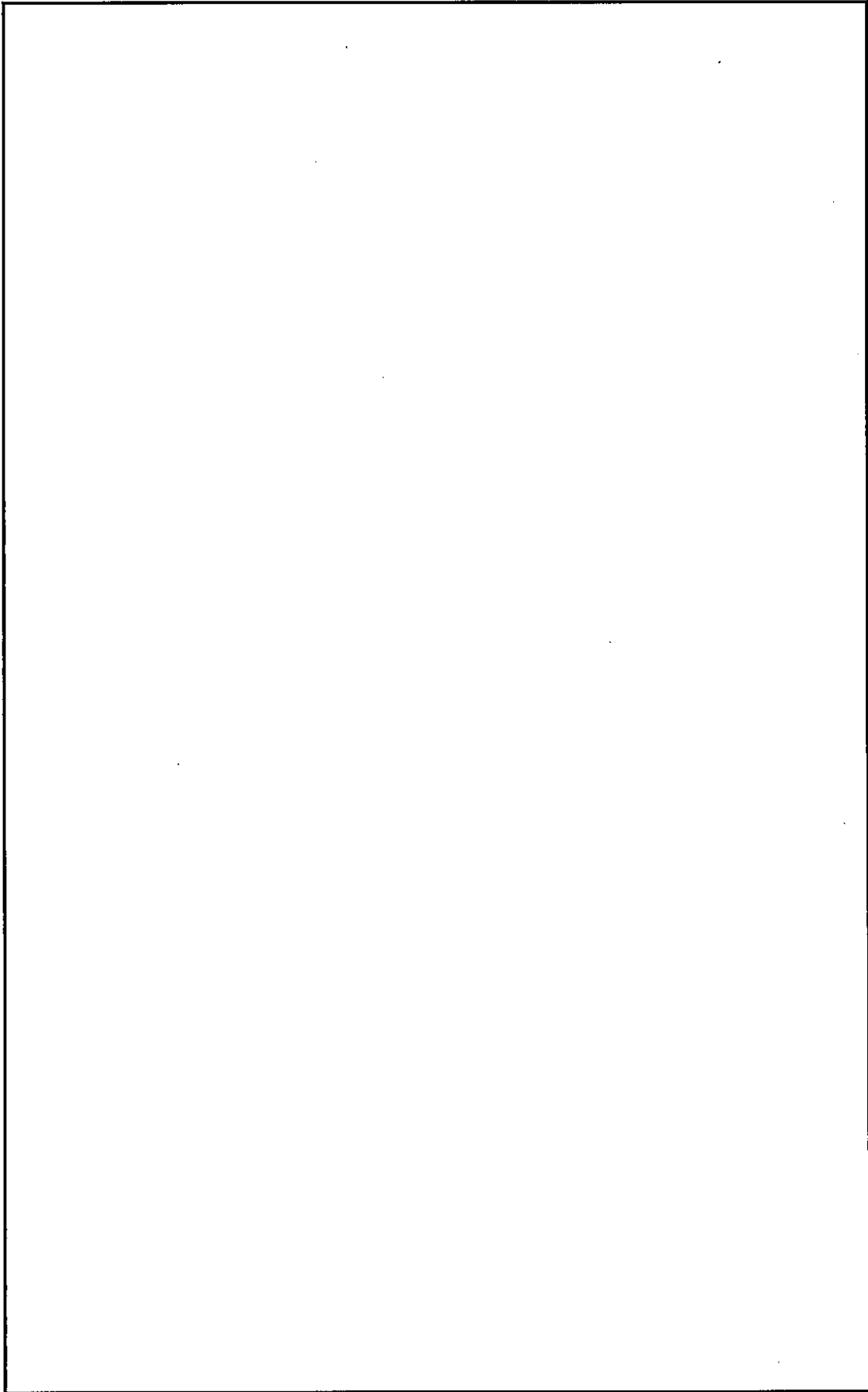
本輸送物の総重量は 以下であり、その詳細を(イ)-表C.3に示す。

(イ)-表C.3 輸 送 物 重 量

輸送容器各部又は収納物	重 量 (トン)	
A. 容器本体 B. 蓋 C. 上部緩衝体 D. 下部緩衝体 E. 収 納 物 ・ 燃料デブリサンプル収納缶 (燃料デブリ <input type="text"/> トンを含む。) ・ 収納缶用上部スペーサー ・ 収納缶用下部スペーサー	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>	
F. 輸送容器総重量 A + B + C + D		<input type="text"/>
G. 輸送物総重量 A + B + C + D + E		<input type="text"/>



(イ) - 第C.1図 輸送物全体図 (鳥瞰図)

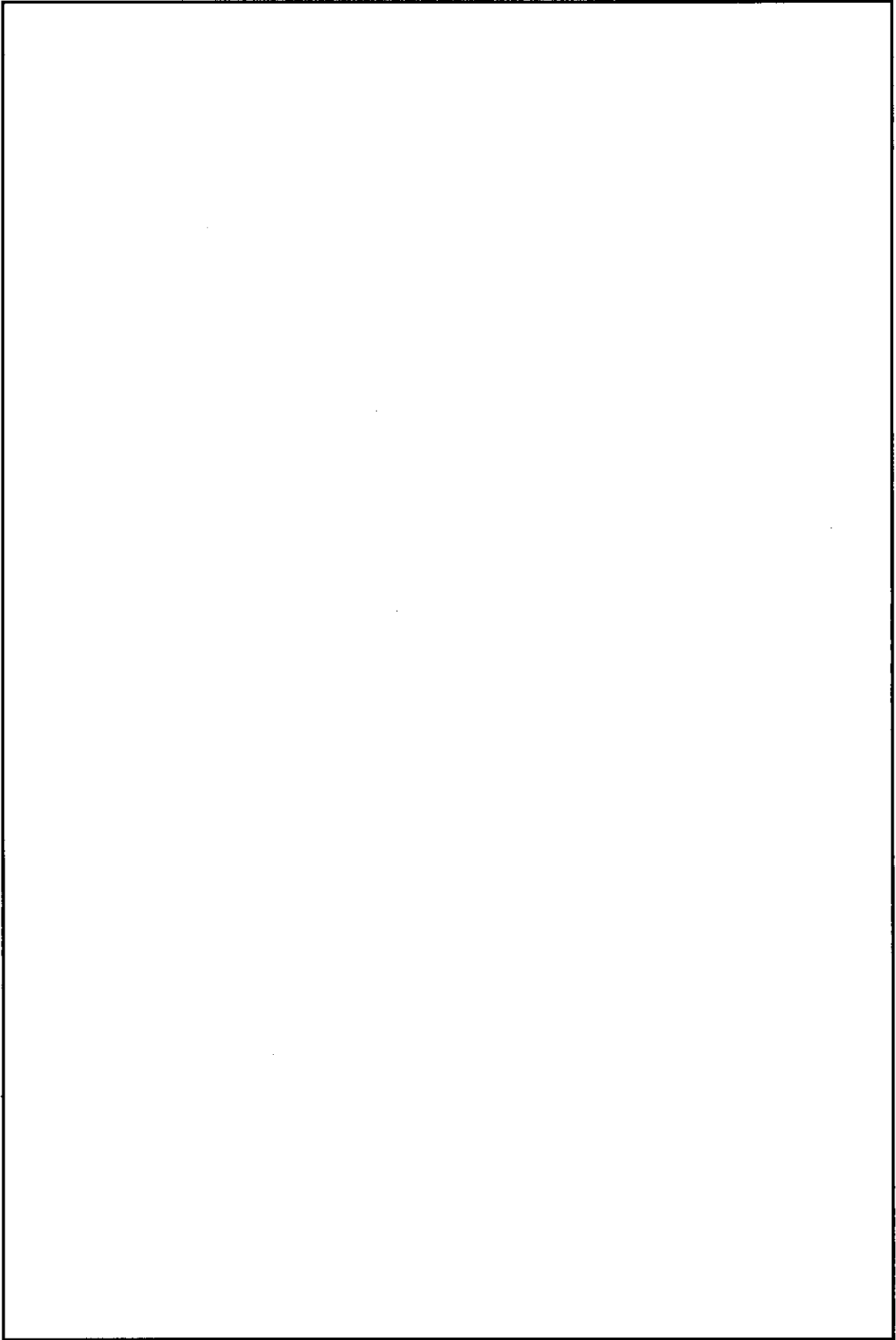


(イ) - 第 C. 2 図 輸送物断面図

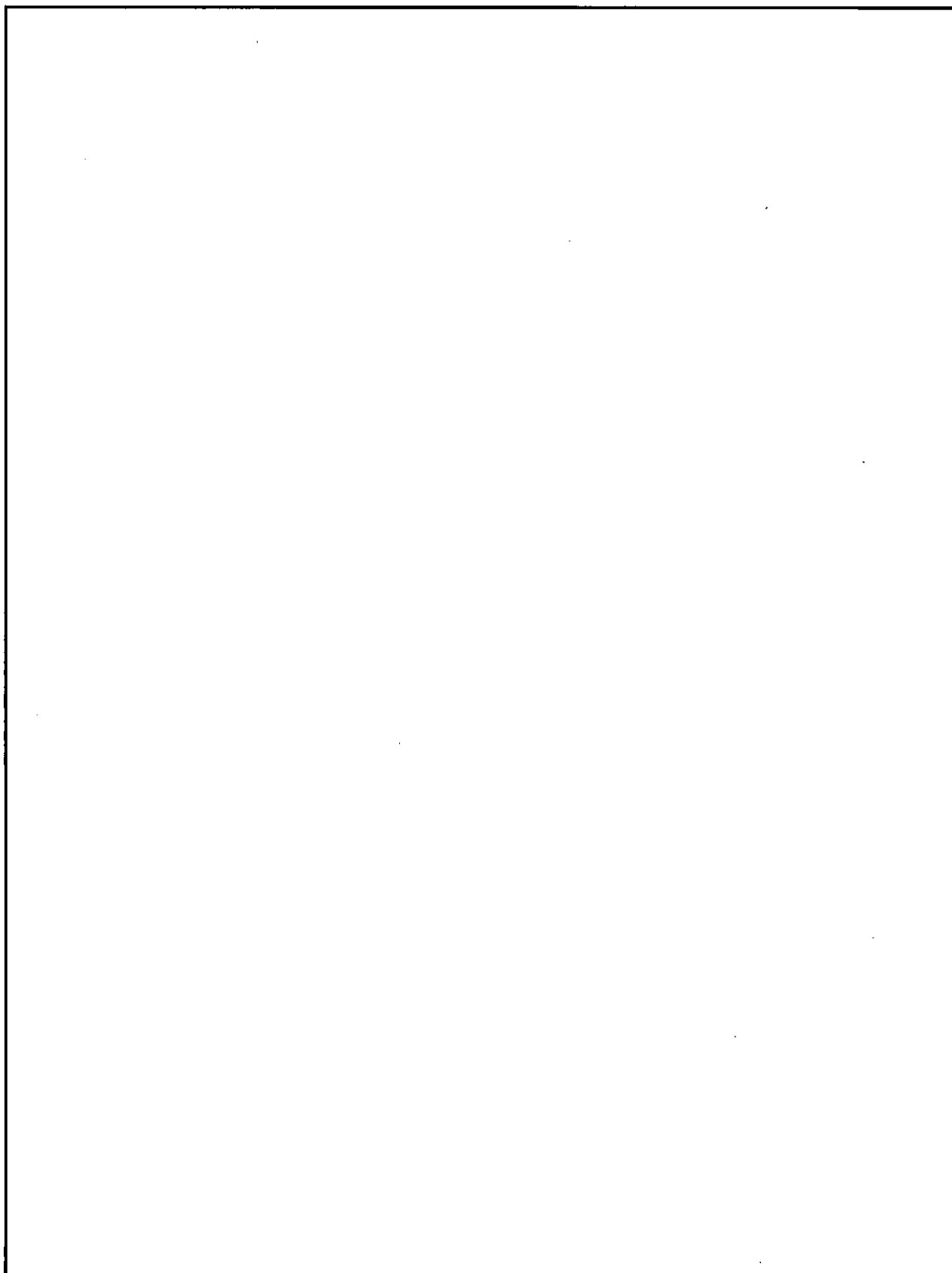


(単位：mm)

(イ) - 第C.3区 輸送荷姿

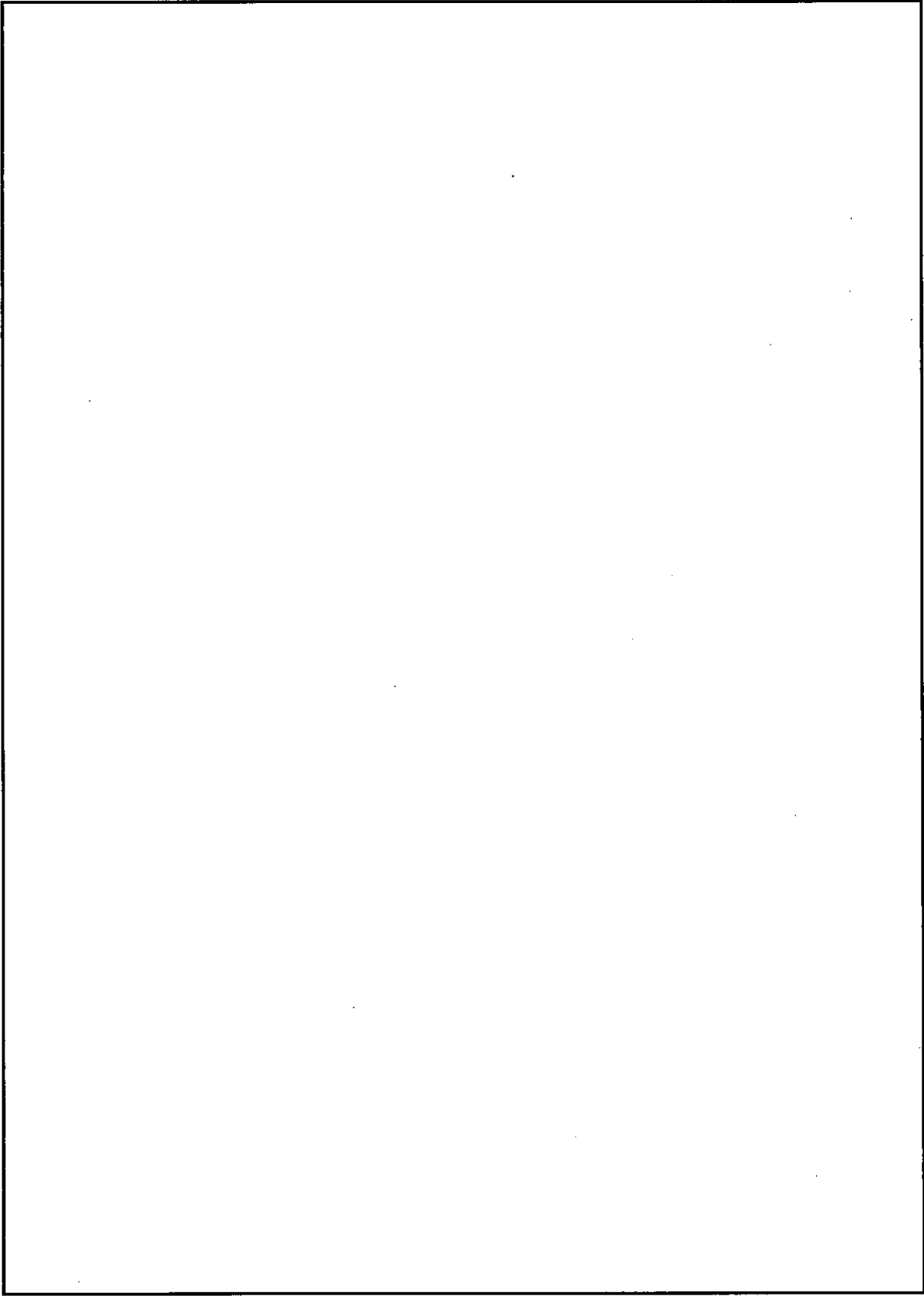


(イ) - 第C.4図 密封境界



(イ) - 第C.5図 容器本体構造図

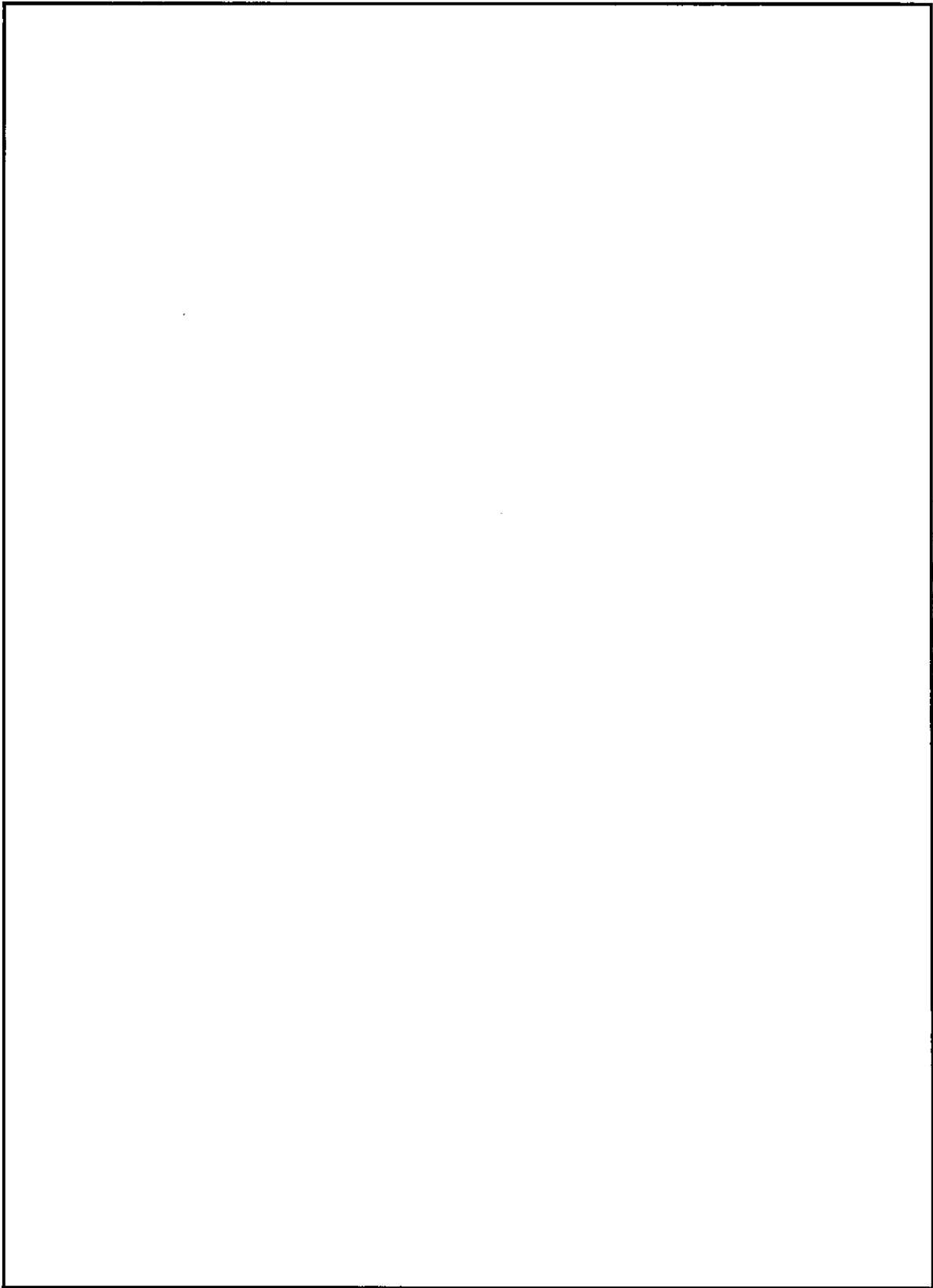
(単位：mm)



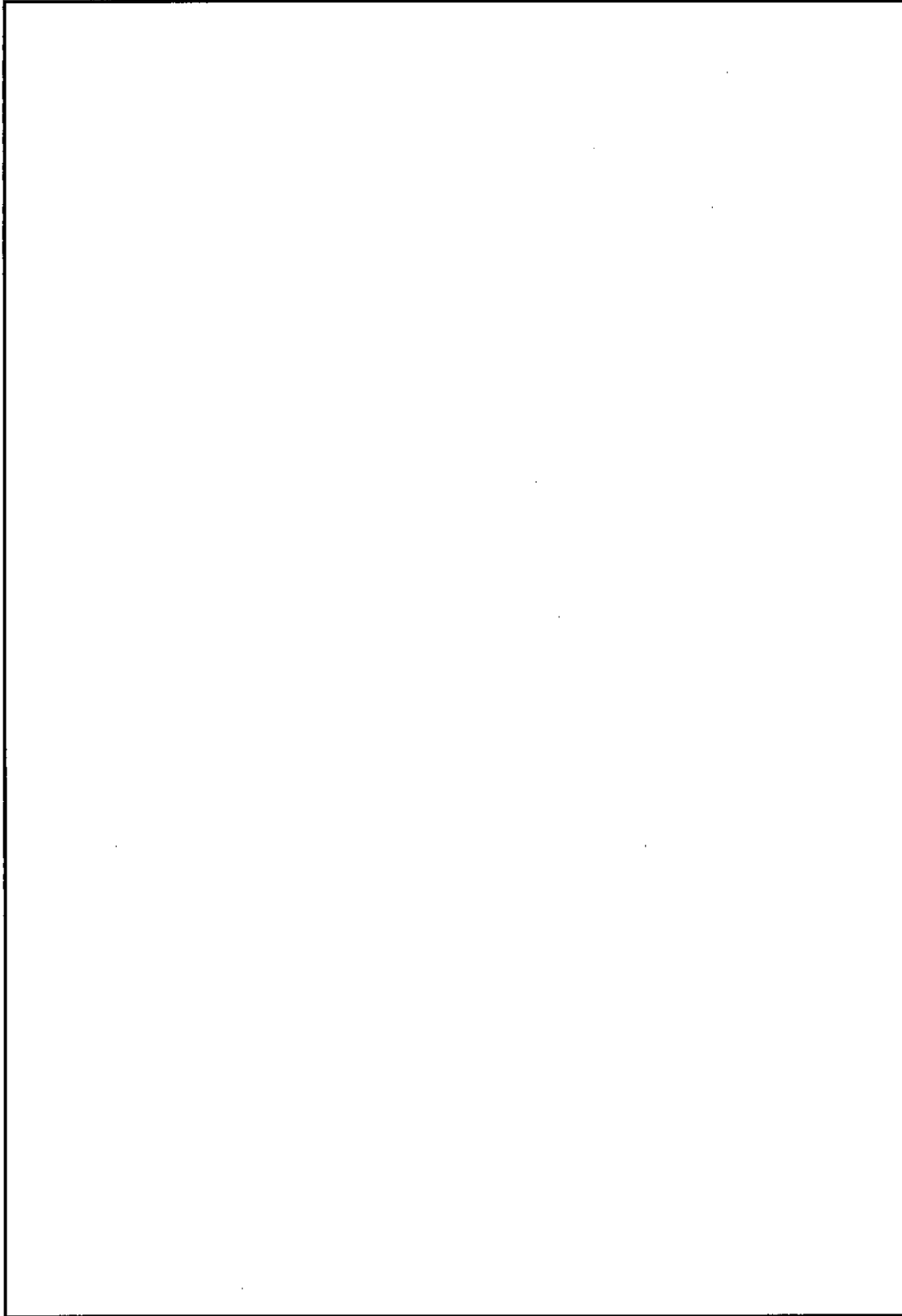
(单位: mm)

(1) - 第 C. 6 图 盖构造图





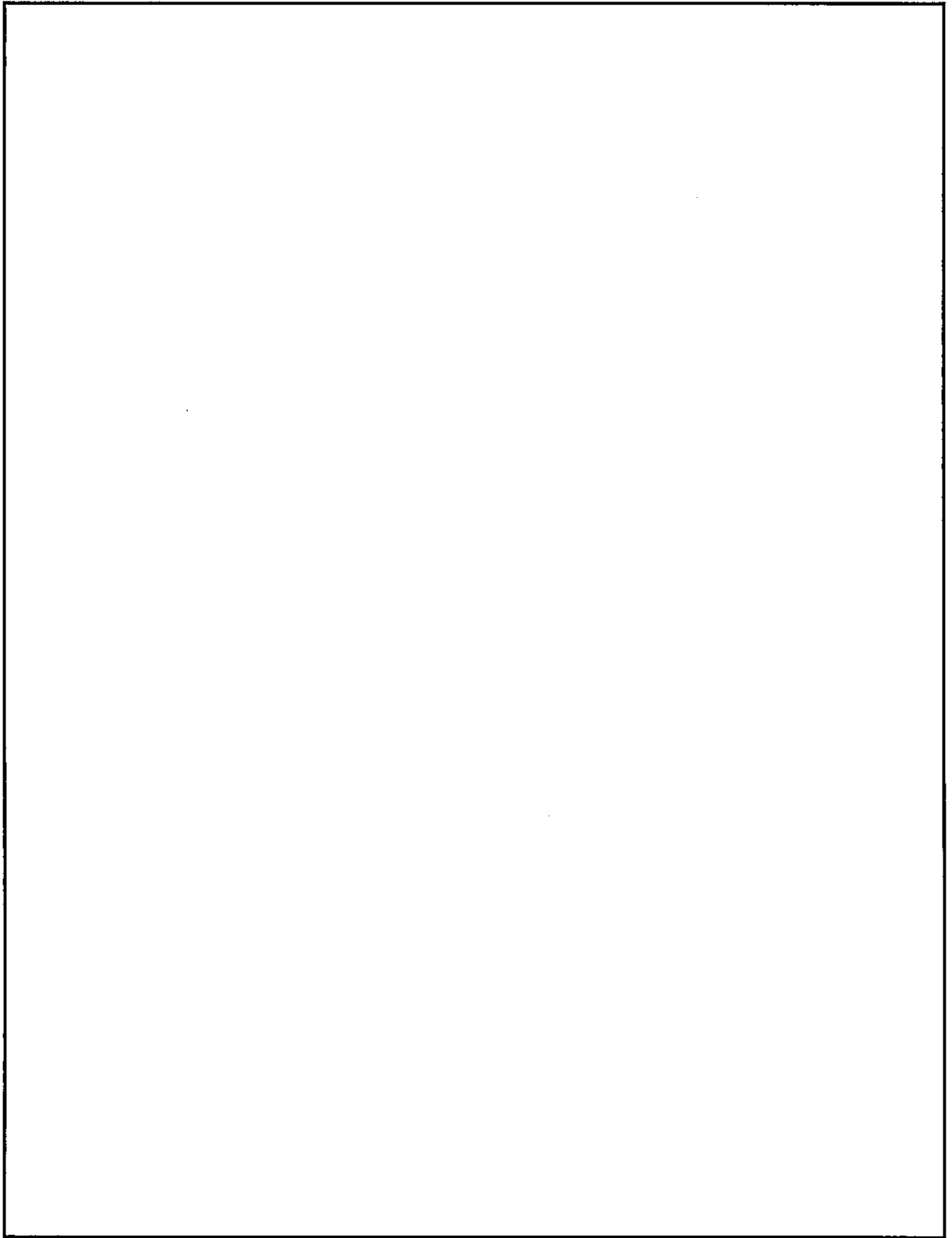
(イ) - 第C.7図 ベントバルブ構造図



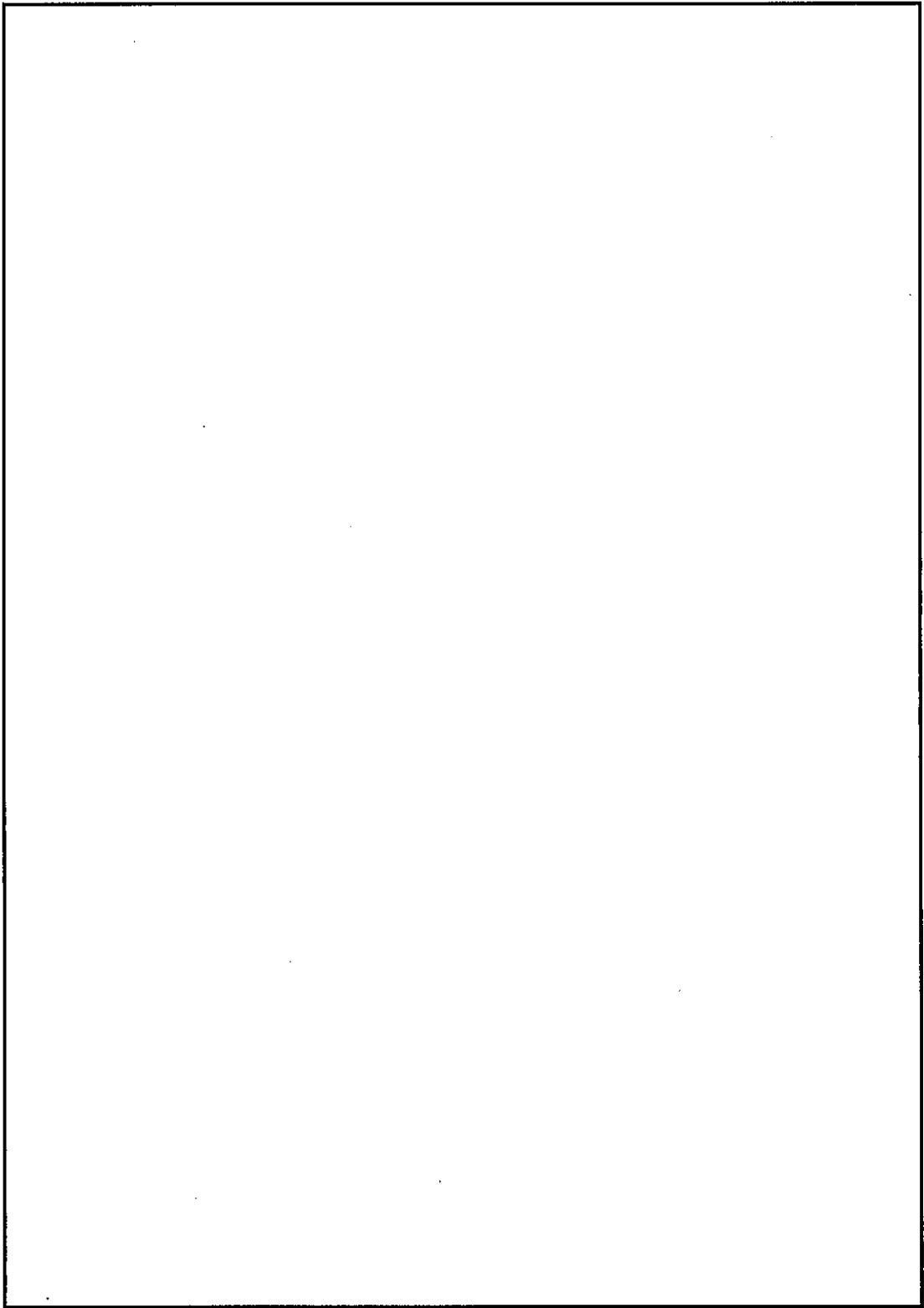
(単位：mm)

(イ) - 第C.8図 ドレンバルブ構造図





(イ) - 第C.9図 上部緩衝体構造図



(単位：mm)

(イ) - 第 C.10 図 下部緩衝体構造図

イ章D 輸送容器の収納物



D. 輸送容器の収納物

本輸送容器の収納物は、燃料デブリサンプル及びその収納缶、並びに収納缶用上部スペーサー及び下部スペーサーである。

(1) 燃料デブリサンプル及びその収納缶

本輸送容器に収納する核燃料物質等の設計仕様を(イ)－表D.1に示す。本輸送容器へは(イ)－表D.1に示す条件の燃料デブリサンプルを収納する。

収納物の放射性核種の種類と放射能の量は(イ)－表D.2に示すとおりである。

燃料デブリサンプル収納缶の形状を(イ)－第D.1図に示す。

(2) 収納缶用上部スペーサー及び下部スペーサー

収納缶用上部スペーサー及び下部スペーサーは で、収納缶用上部スペーサーの構造を(イ)－第D.2図に示し、収納缶用下部スペーサーの構造を(イ)－第D.3図に示す。

燃料デブリサンプル収納缶は、収納缶用上部スペーサー及び下部スペーサーにより所定の位置に保持される。

(イ)ー表D.1 輸送容器に収納する核燃料物質等の設計仕様

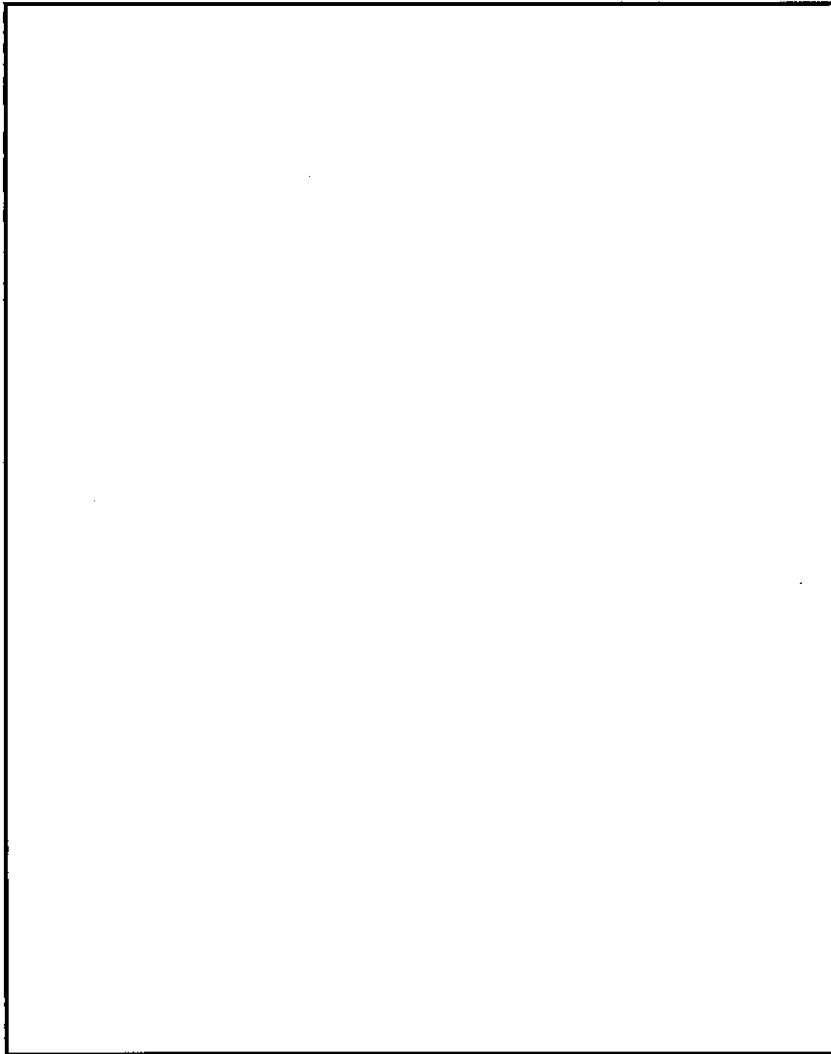
収 納 物	収納物 I	収納物 II 注1)	
	燃料デブリサンプル 収納缶	燃料デブリサンプル収納缶	
イ. 種 類	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン (照射済み)	二酸化ウラン及び 二酸化プルトニウム (照射済み)
ロ. 性 状			
ハ. 重 量			
ニ. 放 射 能 の 量			
ホ. ウ ラ ン 濃 縮 度			
ヘ. 核分裂性 プルトニウム富化度			
ト. 燃 焼 度			
チ. 発 熱 量			
リ. 冷 却 日 数			
ヌ. 収 納 数 量			
ル. 外 寸 法			

注1) 収納物IIは、照射済み二酸化ウランと照射済み二酸化ウラン及び照射済み二酸化プルトニウム混合物を混在または単独で収納する。

(イ)一表D.2 放射性核種の種類と量*

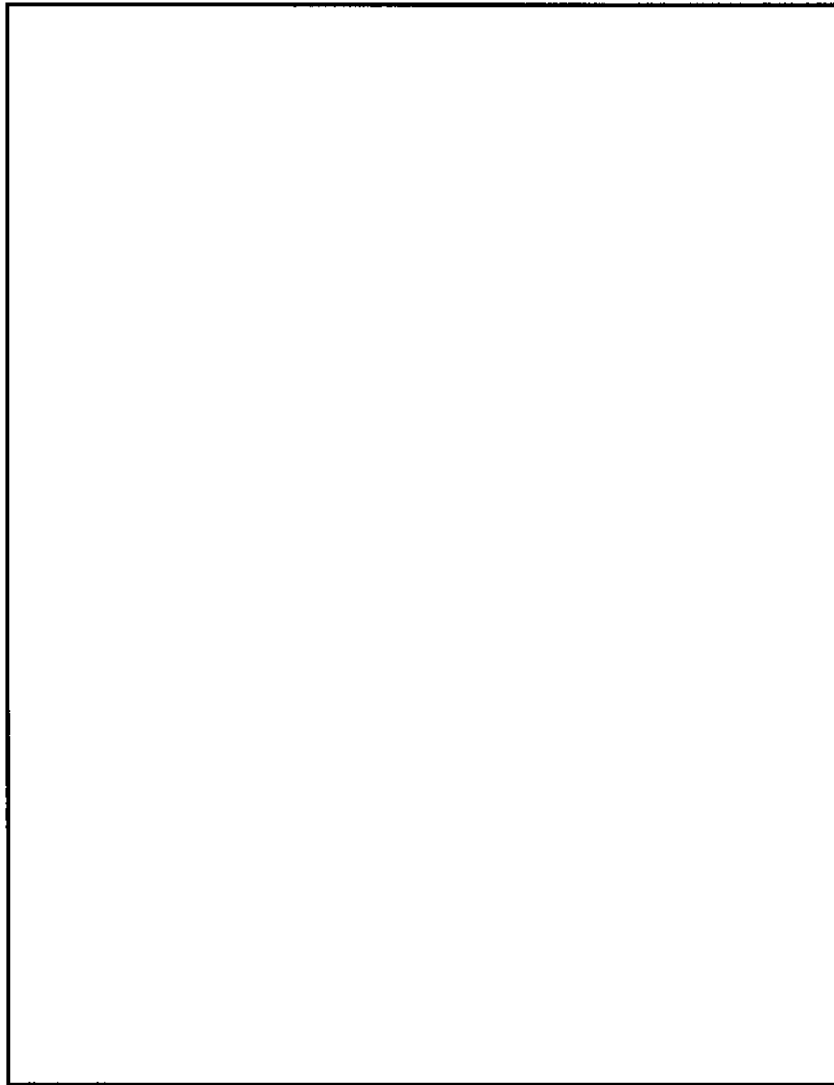
放射性核種の種類と量	二酸化ウラン 燃料デブリサンプル	二酸化ウラン及び 二酸化プルトニウム 燃料デブリサンプル
① 燃料デブリサンプル収納量(kg) ② 最大放射能量(TBq) ③ 主要核種の放射能量(TBq) (②を主要核種ごとに分類) [核 種] ^3H ^{85}Kr ^{90}Sr ^{90}Y ^{93}Zr ^{99}Tc ^{102}Rh ^{106}Ru ^{106}Rh ^{110}Ag $^{110\text{m}}\text{Ag}$ $^{113\text{m}}\text{Cd}$ $^{119\text{m}}\text{Sn}$ ^{125}Sb $^{125\text{m}}\text{Te}$ ^{126}Sn $^{126\text{m}}\text{Sb}$ ^{134}Cs ^{137}Cs $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ^{144}Ce ^{144}Pr $^{144\text{m}}\text{Pr}$ ^{146}Pm ^{147}Pm ^{151}Sm ^{152}Eu ^{154}Eu ^{155}Eu (小計) <hr/> ^{237}U ^{239}Np ^{238}Pu ^{239}Pu ^{240}Pu ^{241}Pu ^{242}Pu ^{241}Am $^{242\text{m}}\text{Am}$ ^{242}Am ^{243}Am ^{242}Cm ^{243}Cm ^{244}Cm ^{245}Cm ^{246}Cm (小計) <hr/> 計		

*ORIGEN2コードにより計算された値



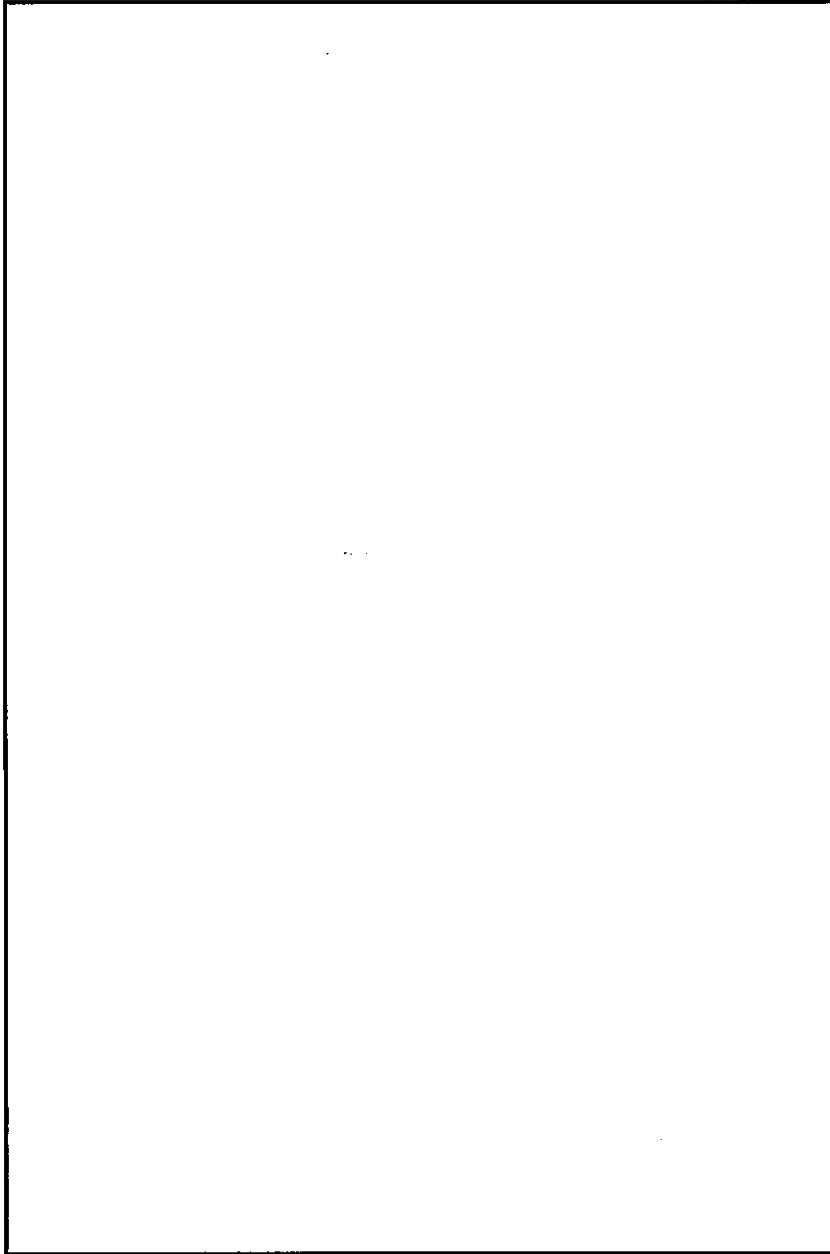
(単位：mm)

(イ) - 第D. 1 図 燃料デブリサンプル収納缶



(単位：mm)

(イ) - 第D. 2 図 収納缶用上部スペーサー構造図



(単位 : mm)

(イ) ー第D.3図 収納缶用下部スペーサー構造図

ロ 章 核燃料輸送物の安全解析





ロ章 核燃料輸送物の安全解析

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

また、評価はすべて解析に基づいており、モデル試験は行っていない。

(1) 構造解析

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

また、熱及び遮蔽解析の評価条件を得るために一般及び特別の試験条件における輸送物の状態及び健全性を評価している。

なお、本輸送物は核分裂性輸送物ではないため、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件における輸送物の状態及び健全性についての評価は該当しない。

(2) 熱解析

熱解析では、前記の構造解析の結果を考慮して、通常の輸送、一般及び特別の試験条件における輸送物各部の温度及び圧力を評価し、構造及び密封解析の評価条件を与えている。

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

(3) 密封解析

密封解析では、上記(1)及び(2)の条件と発送前検査における気密漏えい試験合格基準に基づいて、一般及び特別の試験条件における放射性物質の漏えい率を評価し、基準値を満足することを示している。

(4) 遮蔽解析

遮蔽解析では、上記(1)の条件を考慮して、通常の輸送、一般及び特別の試験条件における輸送物表面あるいは表面から1 m離れた位置の最大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

本輸送物は核分裂性輸送物ではないため、未臨界性評価は該当しない。

(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、口章A～Fに各解析、評価の詳細を示す。

口 章 A 構 造 解 析





A. 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

輸送容器本体は、(イ)－第C.1図に示すように蓋及び容器本体より構成されている。容器本体は、(イ)－第C.6図に示す蓋、(イ)－第C.7図に示すベントバルブ、(イ)－第C.8図に示すドレンバルブとともに密封境界を構成しており、容器内部の圧力に耐えられる構造になっている。また、輸送容器は、熱応力及び振動に対しても耐えられる構造になっている。

蓋は、(イ)－第C.6図に示すように蓋ボルトによって容器本体フランジ部に固定される。容器本体とのシールはOリングを用いて行い、密封境界構成要素として圧力等の負荷に耐えられる構造になっている。蓋は、輸送中には(イ)－第C.1図に示すように上部緩衝体によって覆われている。

ベントバルブ及びドレンバルブは、(イ)－第C.7図及び(イ)－第C.8図に示すようにカバーに覆われている。

(イ)－第C.9図及び(イ)－第C.10図に示す上部及び下部緩衝体は、輸送容器本体の上部及び下部にそれぞれボルトによって取付けられる構造になっており、落下等による機械的衝撃を吸収する。

輸送容器本体の吊上げは、容器本体に取り付けられている吊上げ用金具を用いて行う。また輸送容器は(イ)－第C.3図に示すように、ターンバックルと固縛フレームにより車両に固定され、固縛用金具は輸送中の加速度に耐えられる構造となっている。

A. 1. 2 設計基準

本輸送容器は構造上以下に述べる設計の基本に基づく設計基準にしたがって解析している。

1. 設計の基本

設計の基本としては、「規則」及び「告示」に基づいてBM型輸送物に係る以下の条件等を考慮した。

(1) 通常の輸送条件

- ① 容器の材質間又は容器の材質と放射性収納物間において危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれのないこと。
- ② 密封装置は、不用意に開かれないこと。
- ③ 輸送容器の吊上装置としての吊上げ用金具は吊上荷重の3倍に耐えること。
- ④ 固縛装置は輸送中発生する上下及び輸送方向加速度2g及び左右方向1gに耐えること。
- ⑤ 輸送容器の構成部品は、運搬中に予想される最低温度 -20°C から 70°C の温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- ⑥ 輸送容器の加速度及び振動について考慮すること。

(2) 一般の試験条件

- ① 38°C の環境に1週間放置の熱的試験に耐えること。
- ② 水噴霧試験に耐えること。
- ③ 0.9m自由落下試験に耐えること。
- ④ 自重の5倍の荷重又は、鉛直投影面積に13kPaを乗じた荷重による積み重ね試験に耐えること。
- ⑤ 6kg棒貫通試験に耐えること。

(3) 特別の試験条件

- ① 9 m落下試験に耐えること。
- ② 1 m貫通試験に耐えること。
- ③ 上記の試験条件に置いた後、火災試験に耐えること。
- ④ 15mの水中浸漬（0.15MPaの外圧）試験に耐えること。

ただし、①及び②については最大の破損を受けるような順序で連続して行われること。

なお、一般の試験条件及び特別の試験条件の中で機械的（強度）試験においては、本輸送物使用の最低周囲温度の -20°C から 38°C の周囲温度範囲を考慮すること。

2. 設計基準

設計の基本条件にしたがい、解析項目に対して材質、温度、負荷係数等の設計条件を考慮して適用数式、要素及び解析基準を決定した。

設計条件及び解析方法の要約を(ロ)一表A.1に示す。

この中で応力に関する設計基準値は、各試験条件に対して次のように定めた。

(1) 通常の輸送条件（吊上装置及び固縛装置）

応力強さが設計降伏点以下であること。

ここで、応力強さとは主応力の差の絶対値をいう。また、設計降伏点とは金属キャスク構造規格¹⁾別表5-8に示される設計降伏点を示す。

(2) 一般の試験条件（熱的試験及び自由落下試験）

- ① 蓋ボルト以外の輸送容器の蓋及び容器本体は発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_m$$

$$P_L \leq 1.5 S_m$$

$$P_L + P_b \leq 1.5 S_m$$

$$P_L + P_b + Q \leq 3 S_m$$

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_m ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-1に示される設計応力強さ

- ② 蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq 2 S_m$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq 3 S_m$$

ここで、 S_m ：金属キャスク構造規格¹⁾別表5-2に示される設計応力強さ

- ③ 蓋と本体のＯリング取り付け位置での相対口開き変形量が、Ｏリングの初期締め付け代より小さいこと。
 - ④ 収納缶用スペーサー及び収納缶に対しては、応力強さが設計降伏点以下であること。ここで設計降伏点とは、金属キャスク構造規格¹⁾別表５－８に示される設計降伏点を示す。
- (3) 一般の試験条件（積み重ね試験及び６kg棒貫通試験）
- ① 積み重ね試験に対しては、輸送容器の蓋及び容器本体の応力強さが設計降伏点を超えないこと。また、緩衝体の応力が降伏応力を超えないこと。
 - ② ６kg棒貫通試験に対しては、せん断で破壊しないこと。

(4) 特別の試験条件

- ① 蓋ボルト以外の輸送容器の蓋及び容器本体は発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

(a) 以外

$$P_m \leq 2/3 S_u$$

$$P_L \leq S_u$$

$$P_L + P_b \leq S_u$$

(b)

$$P_m \leq \text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$$

$$P_L \leq \text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$$

$$P_L + P_b \leq \text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$$

ここで、 S_u : 金属キャスク構造規格¹⁾別表5-9に示される設計引張強さ

- ② 蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq S_y$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq S_y$$

ここで、 S_y : 金属キャスク構造規格¹⁾別表5-8に示される設計降伏点

- ③ 蓋と本体のリング取り付け位置での相対口開き変形量が、リングの初期締め付け代より小さいこと。
- ④ 収納缶用スペーサー及び収納缶に対しては、応力強さが設計降伏点以下であること。
- ⑤ 1 m貫通試験に対しては、せん断で破壊しないこと。

(5) 15m浸漬試験

① 輸送容器の蓋及び容器本体は以下の基準を適用する。

(a) 以外

$$P_m \leq 2/3 S_u$$

$$P_L \leq S_u$$

$$P_L + P_b \leq S_u$$

(b)

$$P_m \leq \text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$$

$$P_L \leq \text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$$

$$P_L + P_b \leq \text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$$

② 外圧を受ける容器本体胴部は、外面に受ける圧力が金属キャスク構造規格¹⁾に示される胴の厚さ等によって定まる許容外圧以下であること。

3. 余裕率

適用数式及び要素による結果のうち、定量的な基準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。

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

したがって、余裕率は0以上あれば良いとする。

余裕率を用いられないものは、該当個所にその基準等を記載した。なお、解析基準値はロ章A. 3に示す材料の機械的性質及びロ章Bに示す温度等に基づいて決定する。^{注)}

注) 設計降伏点、設計引張強さ、縦弾性係数等の値は、ロ章A. 3に示す引用文献中で与えられている温度依存データを内挿することによって求める。

(ロ)一表A.1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(1/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計				条件			解析方法			備考
		参照図表	材質	温度(°C)	種類	設計種類	負荷係数	荷要素	適用数式又は要素	解析基準		
											要素	
通常の輸送条件	化学的及び電気的応答											
	1) 化学的応答	(ロ)-表A.3	表による	-	腐食	-	活性	反応の有無	無			
	2) 電気的応答	(ロ)-表A.3	表による	-	腐食	-	電位差	反応の有無	無			
	低温強度											
	1) 構成部品	(ロ)-表A.4	表による	-	材質	-	き裂・破損	-20°Cでのき裂・破損の有無	無			
	2) 低温時の強度	(ロ)-表A.4	表による	-	材質	-	脆性破裂	-20°Cでの脆化の有無	無			
	密封装置											
	1) 蓋	(イ)-第C.2図	-	-	誤操作による開放	-	誤操作の可否	緩衝体に覆われての誤操作の可否	否			
	2) ベントバルブ及びドレンバルブ	(イ)-第C.2図	-	-	誤操作による開放	-	誤操作の可否	カバーに覆われての誤操作の可否	否			
	吊上装置											
1) 吊上げ用金具穴部	(ロ)-第A.3図		75°C	吊上荷重	3	せん断	$S = 2\tau$	S_y	注1			
2) 吊上げ用金具底部	(ロ)-第A.3図		75°C	吊上荷重	3	曲げとせん断	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	S_y				

注1 Sは応力強さを、 S_y は設計降伏点を表す。

(ロ)一表A.1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(2/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計				条件			解析方法		備考
		参照図表	材質	温度(°C)	種類	設計負荷係数	荷要素	適用数式又は要素	解析基準		
通常の輸送条件	固縛装置										
	1) 固縛用金具穴部	(ロ)-第A.5図		75°C	上下、前後2g 左右1g	1	せん断	$S = 2\tau$	S_y		
	2) 固縛用金具底部	(ロ)-第A.5図		75°C	同上	1	曲げとせん断	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	S_y		
	3) 下部緩衝体	(ロ)-第A.6図		-	同上	1	圧縮	$\sigma_c = F/A$	σ_y		注2
	圧力	-		-	周囲圧力の降下	-	圧力	密封性	良		
	振動	(ロ)-第A.7図		75°C	振動	-	共振	固有振動数	加振源の振動数		

注2 σ_y : 降伏応力

(ロ)一表A.1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(3/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件				解析方法		備考		
		参照図	材質	温度(°C)	種類	設計負荷	適用数式又は要素		解析基準	
一般の試験条件	熱的試験									
	1) 蓋	-		75°C	内圧	1	曲げ	$P_L + P_b = \sigma_b$	1.5S _m	注3
	2) 蓋ボルト	-		75°C	内圧及び初期縮付トルク	1	引張	σ_m	2S _m	
	3) 容器本体胴部	-		75°C	内圧	1	引張	$P_m = \sigma_0$	S _m	
	4) 容器本体底部	-		75°C	同上	1	曲げ	$P_L + P_b = \sigma_b$	1.5S _m	
5) Oリングの密封性	-		-	内圧及び初期縮付トルク 熱膨張及び内圧	1	変形量	口開き変形量	初期縮付代		

注3 S_m: 設計応力強さ

(ロ)一表A. 1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(4/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計			条件		解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度(°C)	種類	設計負荷	適用数式又は要素	解析基準		
一般の試験条件	水噴霧	—		—	水噴霧	—	吸水	無		
	自由落下							良		
	1) 緩衝体の変形量と衝撃加速度	(ロ)-第A. 10図		—	落下エネルギー	1	エネルギー—吸収	—	$E_k = WgH$	
	垂直落下	(ロ)-第A. 11図		—	落下エネルギー	1	エネルギー—吸収		$E_k = WgH$	
	水平落下	(ロ)-第A. 12図		—	落下エネルギー	1	エネルギー—吸収		$E_k = WgH$	
	コーナー落下	(ロ)-第A. 13図		—	落下エネルギー	1	エネルギー—吸収			
	2) 垂直落下			75°C	緩衝体圧潰力	1	曲げ	$P_L + P_b = \sigma_b$	$1.5S_m$	
	蓋	—		75°C	慣性力	1	圧縮	$P_m = \sigma_c$	S_m	
	容器本体胴部	—		75°C	緩衝体圧潰力	1	曲げ	$P_L + P_b = \sigma_b$	$1.5S_m$	
	容器本体底部	—		75°C	慣性力	1	圧縮	$S = \sigma_c$	S_y	
	収納用スペース	(ロ)-第A. 16図		75°C	慣性力	1	圧縮	$S = \sigma_c$	S_y	
	収納缶	(ロ)-第A. 17図		75°C	慣性力	1	圧縮			
	3) 水平落下			75°C	慣性力	1	曲げ	$P_m = \sigma_b$	S_m	
	容器本体胴部	—		75°C	慣性力	1	圧縮	$S = \sigma_c$	S_y	
	収納用スペース	(ロ)-第A. 18図		75°C	慣性力	1	曲げ	$S = \sigma_b$	S_y	
収納缶	(ロ)-第A. 19図		75°C	慣性力	1	曲げ	$S = \sigma_b$	S_y		

(ロ)一表A.1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(5/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計				計条件			解析方法		備考
		参照図表	材質	温度(°C)	種類	設計	負荷	適用数式又は要素	解析基準		
一般の試験条件	4) コーナ一落下	— 垂直及び水平落下の結果を引用して評価									
	積み重ね試験										
	容器本体胴部 下部緩衝体	(ロ)-第A.20図 —		75°C —	輸送物重量の5倍 輸送物重量の5倍	1 1	圧縮 圧縮	σ_c σ_c	S_y σ_y		
貫通	(ロ)-第A.21図		75°C	落下エネルギー	1	せん断	$E_s = \pi \cdot d \cdot t^2 \cdot S / 2$	E_s		注4	

注4 E_s :せん断エネルギー

(ロ)一表A.1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(6/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計				条件			解析方法		備考																								
		参照図	材質	温度(°C)	種類	設計負荷	要素	適用数式又は要素	解析基準																										
										種		係数	要																						
特別の試験条件	1) エネルギー吸収と衝撃力 落下試験 I 垂直落下 水平落下 コーナー落下	(p)-第A.22図 (p)-第A.23図 (p)-第A.24図 (p)-第A.25図 (p)-第A.26図 (p)-第A.27図		-	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	-	E _K =WgH	E _K =WgH																									
												2) 垂直落下 蓋 容器本体胴部 容器本体底部 収納用スペーサー 収納缶	-	-	75°C	緩衝体圧潰力 慣性力	1	曲げ 圧縮	P _L +P _b =σ _b P _m =σ _c	① ②	① ②	注5													
																							75°C	緩衝体圧潰力 慣性力	1	曲げ 圧縮	P _L +P _b =σ _b S=σ _c	① S _y	① S _y						
																														75°C	慣性力	1	圧縮	S=σ _c	S _y

注5 ①: MIN[3.6S_m, S_u]、②: MIN[2.4S_m, 2/3S_u]、S_u: 設計引張強さ

(ロ)一表A. 1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(7/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件				解析方法			備考	
		参照図	材質	温度(°C)	設計		適用数式又は要素	解析基準		
					種類	負荷要素				
特別の試験条件	3) 水平落下	—		75°C	慣性力	1	曲げ	$P_m = \sigma_b$	注6	
	容器本体胴部	(p)-第A. 30図		75°C	慣性力	1	圧縮	$S = \sigma_c$		
	収納缶	(p)-第A. 31図		75°C	慣性力	1	曲げ	$S = \sigma_b$		
	4) コーナ	—		— 垂直及び水平落下の解析結果を引用して検討する。						
	5) 傾斜落下	—		—						
落下試験 II										
試験条件	1) 蓋及び容器本体底部	—		75°C	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F	注7
	2) 容器本体胴部	—		75°C	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F	
	3) バルブカバー	—		75°C	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F	

注6 ①: $\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$

注7 F: 貫通荷重



(ロ)一表A.1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(8/8)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件			解析方法		備考		
		参照図	材質	温度(°C)	種類	設計負荷		適用数式又は要素	解析基準
特別の試験条件	熱的試験 1) 蓋 2) 蓋ボルト 3) 容器本体胴部 4) 容器本体底部 5) Oリングの密封性	(p)-第A.32図		300°C	内圧 熱膨張 内圧及び初期 締付トルク	1 1 1	曲げ ひずみ 引張	① ϵ_f S_y	注8 注9
		(p)-第A.33図		400°C	内圧 熱膨張	1 1	周方向応力 ひずみ	② ϵ_f	
		—		300°C	内圧 熱膨張	1 1	曲げ ひずみ	① ϵ_f	
		(p)-第A.34図		—	内圧 熱膨張	1 1	ひずみ 変形量	① ϵ_f	初縮付代
		—		75°C	外圧	1	応力強さ	①	
浸漬	1) 蓋 2) 容器本体胴部 3) 容器本体底部	—		75°C	外圧	1	応力強さ	②	
		—		75°C	外圧	1	圧力	③	
		—		75°C	外圧	1	応力強さ	①	注10

注8 ① : $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ 、② : $\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$ 、 S_u : 設計引張強さ

注9 ϵ_f : 破断ひずみ

注10 許容外圧 : $\text{MIN}[1.5P_{a1}, 1.5P_{a2}]$

A. 2 重量及び重心

輸送物の重量は、イ章C 5. に記載したとおり [] である。また、輸送物の幾何学的重心の位置は、(ロ)－第A. 1図に示すとおりである。

A. 3 材料の機械的性質

解析に用いる [] の機械的性質を(ロ)－表A. 2に、また温度に対する機械的性質の変化を(ロ)－第A. 2図に示す。これらは金属キャスク構造規格¹⁾より引用した。

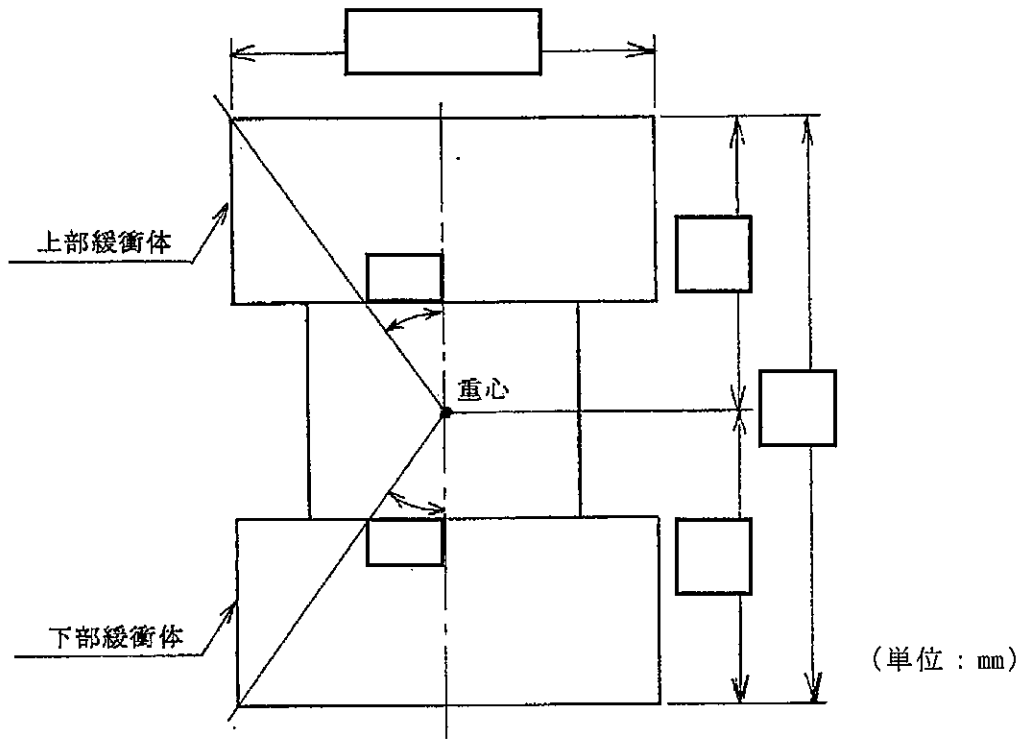
(ロ)－表A. 2 材料の機械的性質 (常温)

材 料	設計引張強さ (MPa)	設計降伏点 (MPa)	熱膨張係数 (mm/mm°C)	ポアソン比 (-)	縦弾性係数 (MPa)

A. 4 輸送物の要件

A. 4. 1 化学的及び電気的反応

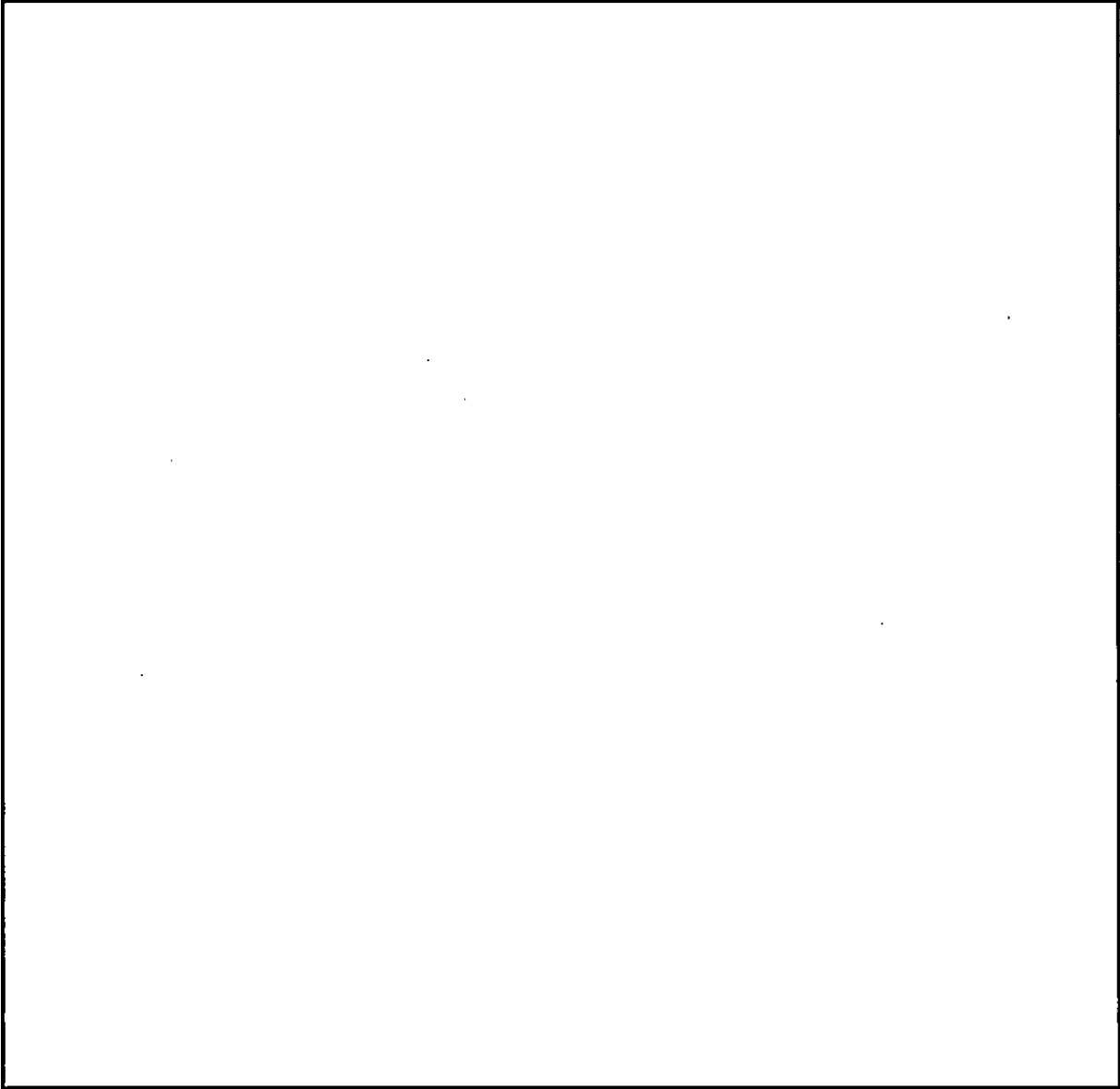
輸送物構成部品及び輸送容器と収納物の間で接触する異種材料の一覧を(ロ)－表A. 3に示すが、化学的及び電気的に反応して問題となる材料は使用していない。



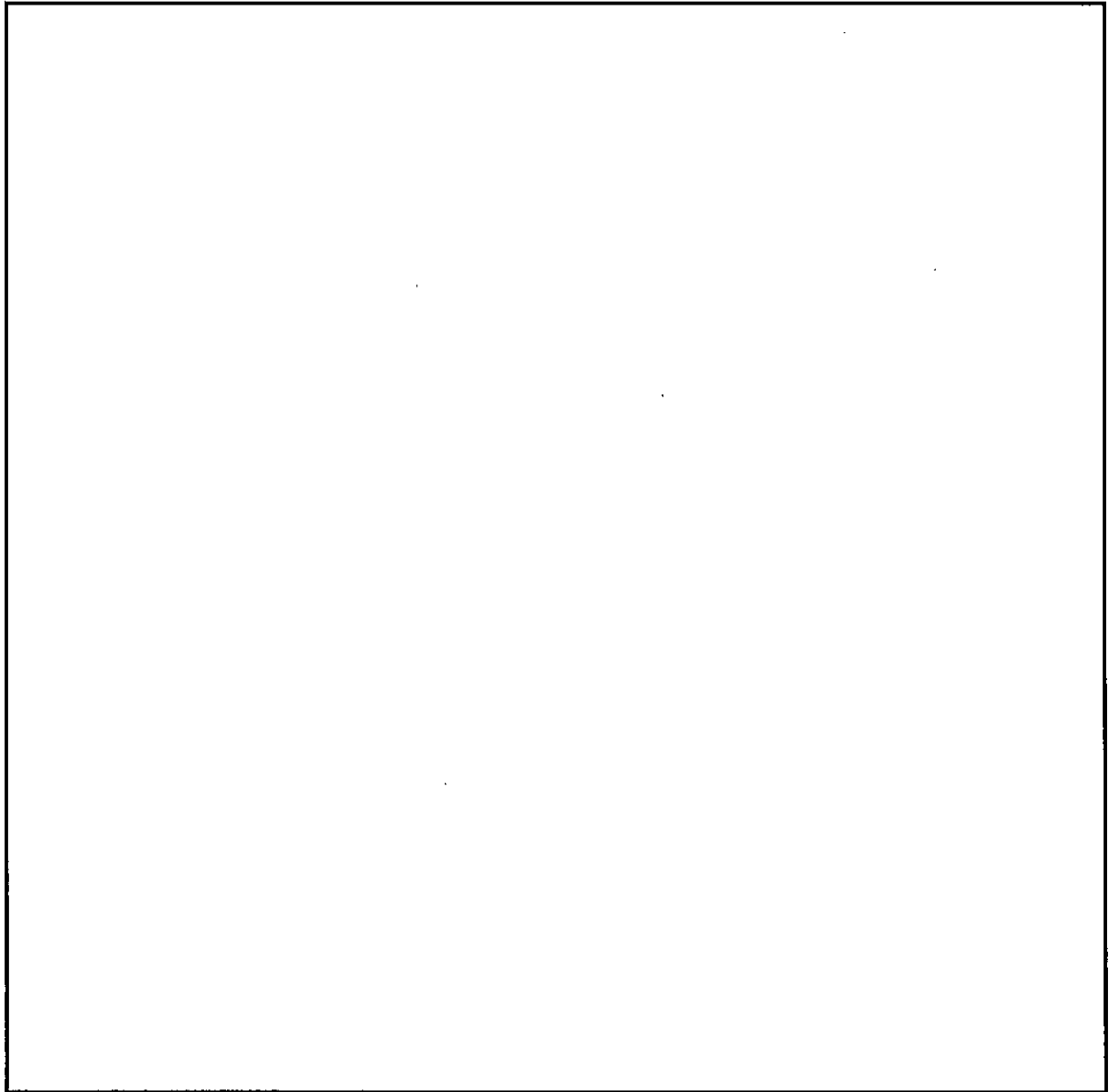
(ロ)-第A.1図 重心の位置

(ロ)-表A.3 接触する異種材料の一覧表

接触する異種材料の一覧表					
材 質	部 品	接 触 境 界 面	材 質	部 品	
	緩 衝 体 外 板				緩 衝 体 緩 衝 材
	蓋 及 び 容 器 本 体	○ リ ン グ			



(口) - 第A. 2(a)図 の温度による機械的性質の変化¹⁾



(ロ) - 第A. 2 (b) 図 の温度による機械的性質の変化¹⁾

A. 4. 2 低温強度

本輸送物は周囲温度 -20°C 以上で使用する。

1. 構成部品の低温特性

イ章C 3. に示す本輸送容器の使用材料の低温特性を(ロ)ー表A. 4に示す。

同表より明らかなように、最低温度 -20°C において構成部品はき裂、破損等の生じるおそれはない。

(ロ)ー表A. 4 輸送容器使用材料の -20°C における低温特性評価

輸送容器の部品	材 質	評 価	引用、文献、資料
容器本体 蓋 収納缶用スペーサー 収納缶 緩衝体外板 バルブ		-20°C において 使用可能	
リング		-20°C でき裂、 破損なし	
緩衝体緩衝材		-20°C で強度 低下なし	

2. 低温時の強度

輸送容器本体、収納缶用スペーサー及び収納缶の材料である

は、低温脆化のない材料であるので低温での機械的性質が低下することはない。

A. 4. 3 密封装置

A.4.4 吊上装置

本項で説明する吊上装置は、吊上げ用金具であり、溶接により容器に取付けられている。

構造解析では安全側に、吊上げ用金具の温度を容器本体の設計温度の75℃として基準値を設定する。

1. 吊上荷重

輸送物吊上重量は安全側に輸送物最大重量とする。吊上げ時には、2個の金具を使用するので1個の金具に作用する荷重(N)は、次式により求められる。

$$P = W \cdot a \cdot g / n$$

ここで、n : 金具の数 = 2

W : 輸送物重量 =

a : 安全係数 = 3

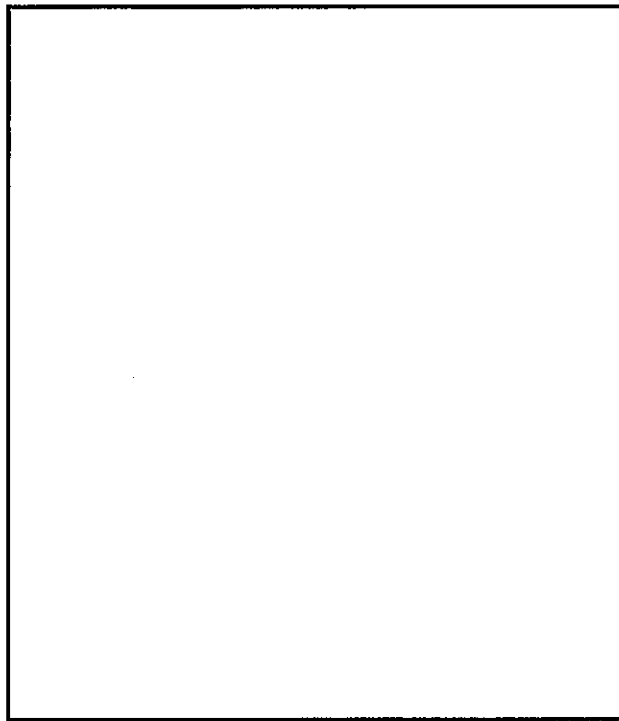
g : 重力加速度 = 9.807m/s²

したがって、

$$P = \frac{W \cdot 3 \cdot 9.807}{2}$$

2. 応力評価

吊上げ用金具の解析モデル図を(ロ)－第A.3図に示す。



(単位：mm)

(ロ) - 第A.3図 吊上げ用金具解析モデル図

(1) A-A断面

(ロ) - 第A.3図に示す金具のA-A断面に発生するせん断応力 τ (MPa)は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{P_1 / 2}{\{(W - d) / 2\} t}$$

ただし、 P_1 : 1個の金具に作用する荷重 = $P / 2 =$ / 2
 =

W : 金具幅 =
 d : 穴径 =
 t : 板厚 =

したがって、
 $\tau =$
 = 36.7MPa

せん断応力 τ による応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = 2 \tau$$

したがって、

$$S = 2 \times 36.7$$

$$= 73.4 \text{ MPa}$$

の設計降伏点 S_y は 75°C において であるから、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{73.4} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

(2) B-B 断面

a. 曲げ応力

(ロ) 第 A. 3 図に示す金具の B-B 断面に発生する曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。

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

$$M = P_1 \cdot X$$

ただし、 M : 曲げモーメント (N·mm)

X : モーメントアーム =

C : 中立軸からの距離 = $W/2$ =

I : 断面 2 次モーメント (mm^4)

ここに、 $I = \frac{W^3 \cdot t}{12}$

$$= \text{}$$

$$= \text{}$$

したがって、

$$\sigma_b = \text{}$$

$$= 113 \text{ MPa}$$

b. せん断応力

(ロ)－第A. 3図に示す金具のB－B断面に発生するせん断応力 τ (MPa)は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{P_1}{W \cdot t}$$

したがって、

$$\tau = \boxed{}$$

$$= 26.2 \text{MPa}$$

c. 応力強さ

上述の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ による応力強さ S (MPa)は次式で与えられる。

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

したがって、

$$S = \sqrt{113^2 + 4 \times 26.2^2}$$

$$= 125 \text{MPa}$$

75℃における材料の設計降伏点 S_y は $\boxed{}$ であるから、余裕率 MS は次式で与えられる。

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

$$= \frac{\boxed{}}{125} - 1$$

$$= \boxed{}$$

なお、溶接部については、(ロ)－第A. 3図に示すように溶接部寸法は金具の板厚以上の大きさを持ち、金具以上の強度を有している。

A. 4. 5 固縛装置

本輸送物は、(イ)－第C. 3図に示すように [] により車両に固定される。本項では本輸送物の構成部品の [] からの反力を受ける [] の強度を検討する。

固縛装置の荷重条件として、前後及び上下に各加速度 $2g$ が作用し、左右方向に加速度 $1g$ が作用する場合を考える。

1. 荷重計算

固縛装置に作用する荷重は、次のように与えられる。

前方向に加速度 (α_x) が作用する場合を考える。(ロ)－第A. 4図において、点Oを支点とするモーメントの釣合は、前方向の加速度による [] の張力を P_{1x} とすると、

$$W \cdot \alpha_x \cdot h + W \cdot (\alpha_z - g) \cdot \frac{a}{2} = 2c \cdot P_{1x} \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi + 2l_x \cdot P_{1x} \cdot \sin \theta$$

となるので、

$$P_{1x} = \frac{W}{4} \cdot \frac{(\alpha_z - g) \cdot a + 2\alpha_x \cdot h}{c \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi + l_x \cdot \sin \theta}$$

同様に、左右方向に加速度 (α_y) が作用する場合は [] の張力を P_{1y} とすると、

$$P_{1y} = \frac{W}{4} \cdot \frac{(\alpha_z - g) \cdot b + 2\alpha_y \cdot h}{c \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi + l_y \cdot \sin \theta}$$

となり、上方向、前方向と左右方向が同時に作用する場合の [] に生じる最大張力 P_1 は次式で与えられる。

$$P_1 = P_{1x} + P_{1y}$$

次に、 [] に作用する水平力を考える。

前方向に加速度 (α_x) が作用する場合、前方向の水平力 (F_x) は次式で与えられる。

$$F_x = W \cdot \alpha_x - 2P_{1x} \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi$$

同様に、左右方向に対しては、

$$F_y = W \cdot \alpha_y - 2P_{1y} \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi$$

これらの合成荷重は次のようになる。

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

また、下方向への鉛直荷重(V)は次のように与えられる。

$$V = 2(P_{1x} + P_{1y}) \cdot \sin \theta + W \cdot g$$

(ロ) - 第A. 4図より、

$$a = b = \boxed{}, \quad c = \boxed{}, \quad l_x = l_y = \boxed{}$$
$$h = \boxed{}, \quad \phi = \boxed{}, \quad \theta = \boxed{}$$

また、

$$\alpha_x = \alpha_z = 2g = 2 \times 9.807 = 19.61 \text{m/s}^2$$

$$\alpha_y = 1g = 9.807 \text{m/s}^2$$

$$W = \boxed{}$$

を上式に代入すると、

$$P_{1x} = 7.28 \times 10^4 \text{N}$$

$$P_{1y} = 4.61 \times 10^4 \text{N}$$

$$P_1 = 1.19 \times 10^5 \text{N}$$

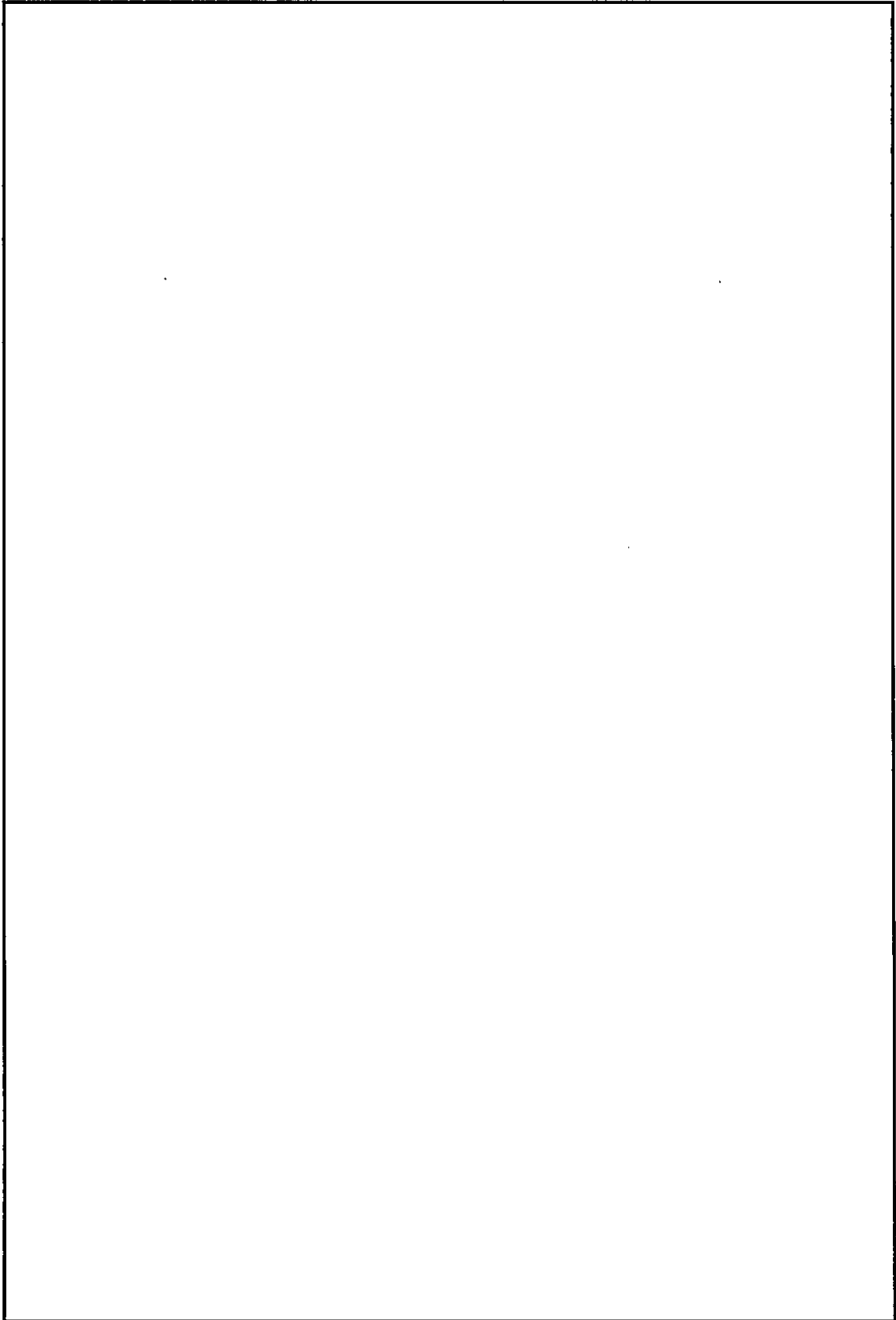
$$F_x = 7.91 \times 10^4 \text{N}$$

$$F_y = 3.05 \times 10^4 \text{N}$$

$$F = 8.48 \times 10^4 \text{N}$$

$$V = 2.52 \times 10^5 \text{N}$$

となる。



(単位 : mm)

(ロ) - 第 A. 4 図 固縛装置に作用する荷重

2. 固縛用金具

(1) A-A断面

(ロ)－第A.5図に示すA-A断面に発生するせん断応力 τ (MPa)は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{P_1 / 2}{(R - d / 2) \cdot t}$$

ただし、 P_1 : 最大荷重 = 1.19×10^5 N

R : 外半径 =
 d : 穴径 =
 t : 板厚 =

したがって、

$$\tau = \frac{1.19 \times 10^5 / 2}{\text{}}$$

$$= 50.2 \text{ MPa}$$

応力強さ S (MPa)は、次式で与えられる。

$$S = 2 \tau$$

$$= 2 \times 50.2$$

$$= 101 \text{ MPa}$$

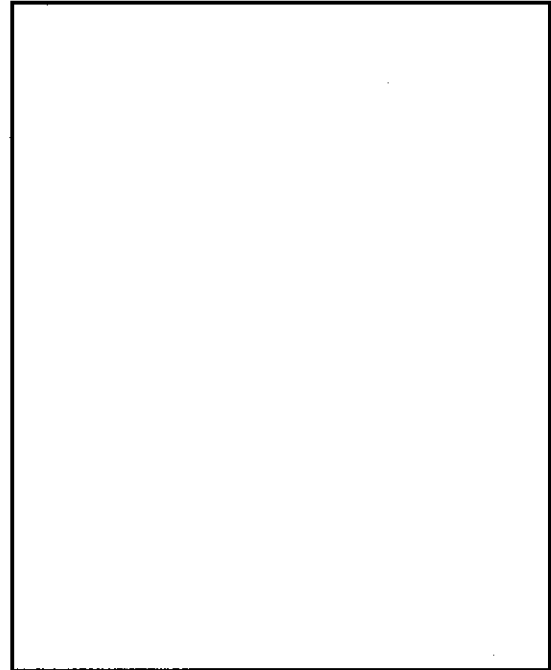
の設計降伏点 S_y は 75°C において であるから、

余裕率 MS は次式で与えられる。

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

$$= \frac{\text{}}{101} - 1$$

$$= \text{}$$



(ロ)－第A.5図 固縛用金具

解析モデル

(2) B-B断面

a. 引張応力

(ロ) 第A. 5図に示す断面B-Bの点Cには曲げ応力と引張応力が生じる。この応力 σ (MPa) は、次式で表わされる。

$$M = P_1 \cdot \cos \theta \cdot X$$
$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} + \frac{P_1 \cdot \sin \theta}{W \cdot t}$$

ただし、

M : 曲げモーメント (N・mm)

θ : 荷重の角度 =

X : モーメントアーム =

W : 金具の幅 =

t : 板厚 =

C : 中立軸からの距離 = $W/2$ =

I : 断面2次モーメント (mm^4)

ここに、

$$I = \frac{W^3 \cdot t}{12}$$

したがって、C点の引張応力 σ_t (MPa) は

$$\sigma_t = \sigma =$$

$$= 63.9 \text{ MPa}$$

となる。

b. せん断応力

B-B断面に生じるせん断応力 τ (MPa) は、次式で与えられる。

$$\tau = \frac{P_1 \cdot \cos \theta}{W \cdot t}$$

よって、せん断応力は、

$$\tau = \boxed{} \\ = 19.9 \text{MPa}$$

(3) 応力強さ

上述の引張応力 σ_t とせん断応力 τ による応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau^2} \\ = \sqrt{63.9^2 + 4 \times 19.9^2} \\ = 75.3 \text{MPa}$$

となる。75°Cにおける材料の設計降伏点 S_y は $\boxed{}$ であるので、余裕率 MS は、

次式で与えられる。

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1 \\ = \frac{\boxed{}}{75.3} - 1 \\ = \boxed{}$$

なお、溶接部については、(ロ)－第A. 5図に示すように溶接寸法は金具の板厚以上の大きさを持ち、金具以上の強度を有している。

3. 下部緩衝体

下部緩衝体には $\boxed{}$ からの反力 (F) と鉛直荷重 (V) が作用する。

(1) 水平力による圧縮応力

反力分布が (ロ)－第A. 6図に示すように周方向に cosine 分布しているとする、緩衝材 $\boxed{}$ に生じる最大圧縮応力 σ_c (MPa) は次のように与えられる。

$$\sigma_c = \frac{F}{(\pi/2) \cdot R \cdot h}$$

ただし、 F : 反力 = 8.48×10^4 N

R : 緩衝体外半径 = $\boxed{}$

h : 固縛フレームの高さ = $\boxed{}$

したがって、

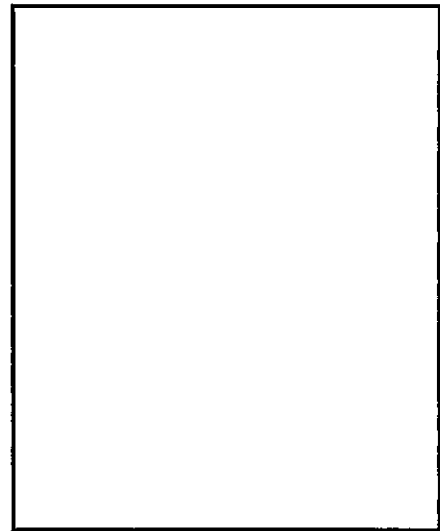
$$\sigma_c = \boxed{} \\ = 0.395 \text{MPa}$$

周辺緩衝材の水平方向の降伏応力 σ_y は

$\boxed{}$ である (A. 5. 3 参照) ので、

余裕率 MS は次のようになる。

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma_c} - 1 \\ = \frac{\boxed{}}{0.395} - 1 \\ = \boxed{}$$



(ロ) - 第 A. 6 図 下部緩衝体
に作用する水平力の分布

(2) 鉛直荷重による圧縮応力

鉛直荷重に対して、 $\boxed{}$ のみで荷重を受けるとすると、圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{V}{(\pi/4) \cdot D^2}$$

ただし、V : 鉛直荷重 = $2.52 \times 10^5 \text{N}$

D : 中央緩衝材の直径 = $\boxed{}$

したがって、

$$\sigma_c = \boxed{} \\ = 1.46 \text{MPa}$$

中央緩衝材の鉛直方向の降伏応力 σ_y は $\boxed{}$ である (A. 5. 3 参照) ので、

余裕率 MS は次のようになる。

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma_c} - 1 \\ = \frac{\boxed{}}{1.46} - 1 \\ = \boxed{}$$

A. 4. 6 圧 力

本輸送物の一般の試験条件下での最大内圧は0.0133MPaG(0.1146MPa)である。一方、A. 5. 1の熱的試験において容器内圧を0.100MPaGとして輸送容器本体の構造解析を行い、健全性を確認している。

外気圧に変動が生じ、外気圧が60kPaまで減少した場合でも最大内圧は0.0546MPaG(0.1146MPa-0.060MPa)であり、本輸送容器の健全性は損われることはない。

A. 4. 7 振 動

本輸送容器は「イ章C 1. 設計の概要」で述べるように固縛装置によって車両に固定されている((イ)-第C. 3図参照)。A. 4. 5において説明したように、加速度2gが作用しても本輸送容器の健全性が損なわれることはない。ここでは、本輸送容器の固有振動数を計算し、輸送時に車両から伝搬される振動数域と比較して本輸送物が共振しないことを示す。

本輸送物を(ロ)-第A. 7図に示すとおりターンバックルの拘束を無視して下部支持の片持梁と考えると、輸送容器のn次の固有振動数 f_n は次式⁵⁾で示される。

$$f_n = \frac{\lambda^2}{2\pi \cdot \varrho^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}$$

ただし、 λ ：境界条件と振動形によって定まる無次元定数

E：縦弾性係数 (N/mm²)

I：振動面に直交する断面主軸に関する

断面2次モーメント (mm⁴)

ϱ ：輸送容器全長 (mm)

g：重力加速度 (mm/s²)

w：単位長さ当りの重量 (N/mm)

ここで、最も振動数の低い1次の固有振動数を計算すると、

$\lambda = 3.927$ (下部支持の片持梁の1次固有振動に対する定数)

$E = 1.91 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ (75°C)

また、断面 2 次モーメントとしては容器本体のみを考えると、

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_2^4 - d_1^4)$$

ただし、 d_2 : 容器本体外径 =
 d_1 : 容器本体内径 =

したがって、

$$I = \frac{\pi}{64} \times \text{$$

$$= \text{$$

$$l = \text{$$

$$g = 9.807 \times 10^3 \text{ mm/s}^2$$

$$w = \text{} = 38.7 \text{ N/mm}$$

したがって、

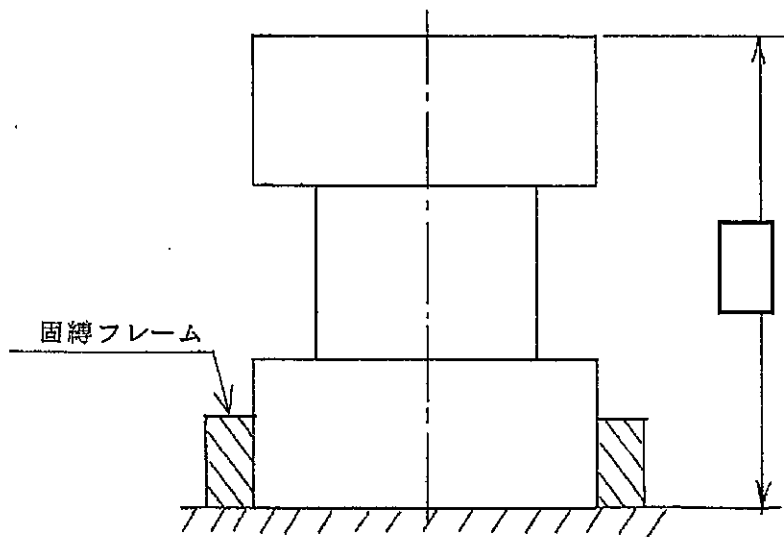
$$f_1 = \frac{3.927^2}{2 \times \pi \times \text{$$

$$\times \sqrt{\frac{1.91 \times 10^5 \times 2.72 \times 10^{10} \times 9.807 \times 10^3}{38.7}}$$

$$= 780 \text{ Hz}$$

一方、輸送中に車両の最大加速度と振動数の関係において貨物に与える影響の大きな振動数域は大部分が 10Hz 以下である。

したがって、輸送時に本輸送物が共振することはない。



(単位 : mm)

(ロ) - 第 A. 7 図 容器本体振動モデル図

また、蓋ボルト、締付ネジ等は強固に締付けられており、輸送時の振動によって容易にゆるむことはない。

以上の結果より通常の輸送における輸送物の要件に対する評価結果の要約を(ロ)表A. 5に示す。

(ロ)一表 A. 5 輸送物の要件に対する評価結果の要約

条 件	項 目	解 析 基 準	解 析 基 準 値	解 析 結 果 等	余 裕 率 等 (MS)	
通 常 の 輸 送 条 件	・化学的及び電氣的反応					
	化学的 反 応	反応のないこと	—	反 応 な し	基準に合致	
	電 氣 的 反 応	反応のないこと	—	反 応 な し	基準に合致	
	・低温強度					
	構成部品の低温特性	-20℃でのき裂、 破損のないこと	—	き裂、破損 なし	基準に合致	
	低温時の強度	低温脆化温度	-20℃	-20℃では低 温脆化なし	基準に合致	
	・密封装置の誤操作による開放 の可能性					
	蓋	可能性がないこと	—	可能性なし	基準に合致	
	ドレン及びベントバルブ	可能性がないこと	—	可能性なし	基準に合致	
	・吊上装置					
	1) 吊上げ用金具穴部	S_y		73.4MPa		
	2) 吊上げ用金具底部	S_y		125MPa		
	・固縛装置					
	1) 固縛用金具穴部	S_y		101MPa		
	2) 固縛用金具底部	S_y		75.3MPa		
	3) 下部緩衝体周辺緩衝材	σ_y		0.395MPa		
4) 下部緩衝体中央緩衝材	σ_y	1.46MPa				
・圧 力	密 封 性	良		良		基準に合致
・振 動	振 動 性 加 速 度	固有振動数(780Hz)と輸送による振動 数(10Hz)の差が大であり、かつ実際の 加速度も2g以下なので基準に合致				

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

1. 圧 力

輸送容器に最大崩壊熱の収納物を収納し、太陽放射熱を考慮した場合の輸送容器内の圧力はB. 4. 4において0.0133MPaGと求められている。構造解析においては0.100MPaGとして評価する。

2. 温 度

輸送物各部の温度分布はB. 4. 2の(ロ)－第B. 4図に示されている。各部位の最高温度と解析基準値を定める温度を(ロ)－表A. 6に示す。なお、本項以降において、容器本体は胴部と底部に分けて評価する。

(ロ)－表A. 6 一般の試験条件における最高温度の要約

(単位：℃)

部 位	熱 解 析 結 果	解 析 基 準 値 設 定 温 度
蓋	52.2	75
容 器 本 体 胴 部	52.6	75
容 器 本 体 底 部	52.8	75
収納缶、収納缶スペーサー	52.7	75

A. 5.1.2 熱 膨 張

熱応力は、温度勾配がある場合及び異種材料が組み合わさっている場合に生じるが、(ロ)－第B. 4図に示すように各部の内外面での温度差は1℃以下と微小であり、また のみで輸送容器本体は構成されているので、熱応力は無視できるほど小さい。

A.5.1.3 応力計算

本項では、一般の試験条件の熱試験における輸送容器本体各部の容器内圧による応力の計算を行う。

1. 蓋

蓋を周辺支持円板にモデル化すると、最大曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{1.24 \cdot P \cdot R^2}{t_1^2}$$

ただし、P : 内 圧 = 0.1MPa

R : 外 半 径 =

t₁ : 最小板厚 =

したがって、

$$\sigma_b =$$

$$= 0.676 \text{MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜＋一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) に対する基準値

1.5 S_m は となり、余裕率 MS は次のようになる。

$$MS = \frac{1.5 S_m}{S} - 1$$

$$= \frac{}{0.676} - 1$$

$$=$$

2. 蓋ボルト

蓋ボルトには内圧と初期締付トルクによる平均引張応力 σ_m (MPa) が生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_m = \left(\frac{P \cdot \pi \cdot r^2}{n} + \frac{T}{K \cdot d_m} \right) \div \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

ただし、r : Oリング位置半径 =

n : ボルト本数 =

T : 初期締付トルク =

K : 締付トルク係数=0.2

d_m : ボルトの呼び径 =

d : ボルトの最小径 =

したがって、

$$\sigma_m = \text{}$$
$$= 50.5 \text{ MPa}$$

ここで、軸方向に垂直な断面の平均引張応力 σ_m に対する基準値 $2 S_m$ は

となり、余裕率は次のようになる。

$$MS = \frac{2 S_m}{\sigma_m} - 1$$
$$= \frac{\text{}}{50.5} - 1$$
$$= \text{}$$

3. 容器本体胴部

内圧を受ける円筒の最大応力は円周方向に生じ、次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_\theta = P \cdot \frac{k^2 + 1}{k^2 - 1}$$

ただし、 $k = \frac{b}{a} = \text{} = 2.35$

a : 内半径 =

b : 外半径 =

したがって、

$$\sigma_\theta = 0.1 \times \frac{2.35^2 + 1}{2.35^2 - 1}$$
$$= 0.145 \text{ MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_\theta$$

ここで、一次一般膜応力強さ (P_m) に対する基準値 S_m は となり、

余裕率は次のようになる。

$$MS = \frac{S_m}{S} - 1$$
$$= \frac{\text{}}{0.145} - 1$$
$$= \text{}$$

4. 容器本体底部

容器本体底部を周辺固定の円板にモデル化すると、最大曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{0.75 \cdot P \cdot a^2}{t_2^2}$$

ただし、 t_2 : 板厚 =

したがって、

$$\sigma_b = \text{$$

= 0.0286 MPa

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) に対する基準値

$1.5 S_m$ は となり、余裕率は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{1.5 S_m}{S} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{0.0286} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

A. 5. 1. 4 許容応力との比較

熱試験における熱膨張と内圧による応力はA. 5. 1. 2項及びA. 5. 1. 3項で検討した。これらの応力と基準値との比較はA. 5. 7項に示す。

蓋と容器本体胴部との蓋Oリング位置における相対口開き変形量については、A. 5. 1. 2項で示したように蓋内外面での温度差は微小であるので、内圧による変形量のみについて検討する。

内圧を受ける周辺支持の円板の最大たわみ量 δ (mm)は次式で与えられる。⁵⁾

$$\delta = \frac{0.696 \cdot P \cdot R^4}{E \cdot t_1^3}$$

ただし、P : 内 圧 = 0.1MPa

R : 外 半 径 =

E : 縦弾性係数 =

t_1 : 最 小 板 厚 =

したがって、

$$\delta =$$

$$= 1.63 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Oリング位置での口開き量を蓋の最大たわみ量の 1.63×10^{-3} mmとしても、Oリングの初期締付代2.0mmより小さく密封性を損うことはない。

A. 5. 2 水 噴 霧

本輸送容器の外側は であり、水噴霧に対して吸水による脆化により密封性が損われたり、水溜りによる腐食が発生することがないため線量当量率の増加等を生じることはない。

A. 5.3 自由落下

ここでは、「A. 1.2 設計基準」のうち、一般の試験条件の自由落下試験において規則及び告示に規定された輸送物の健全性について評価を行う。本輸送物の最大総重量は であるため、告示により、落下高さは0.9mとなる。

輸送物が0.9m落下した場合、その落下エネルギーが輸送容器本体の上下部に取付けられた緩衝体の変形によって吸収される。

本項では、自由落下試験時の緩衝体の変形量及び衝撃加速度について評価し、輸送容器本体の健全性を評価する。

緩衝体の変形量及び衝撃加速度の解析条件を以下に述べる。

(a) 解析モデル

1. 解析する落下姿勢

輸送物の落下姿勢として次の3種類を考える。((ロ) - 第A. 8 図参照)

- ① 垂直落下
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下

2. 解析方法

① 輸送物の落下エネルギーは緩衝体の弾塑性変形によって全て吸収されるものとする。この仮定では、緩衝体を除いた輸送物及び落下試験台を剛体とし、落下エネルギーの振動及び熱等への消費を無視することになるので、落下による緩衝体の変形を大きく評価し安全側の解析となる。

② 解析に用いる輸送物の重量に関する数値は、「イ章C 5. 重量」で示した輸送物最大総重量 を用いる。

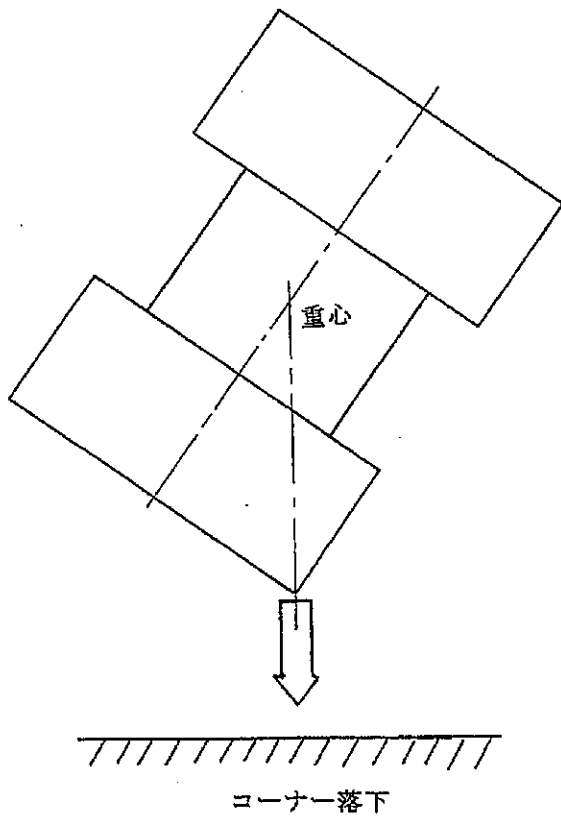
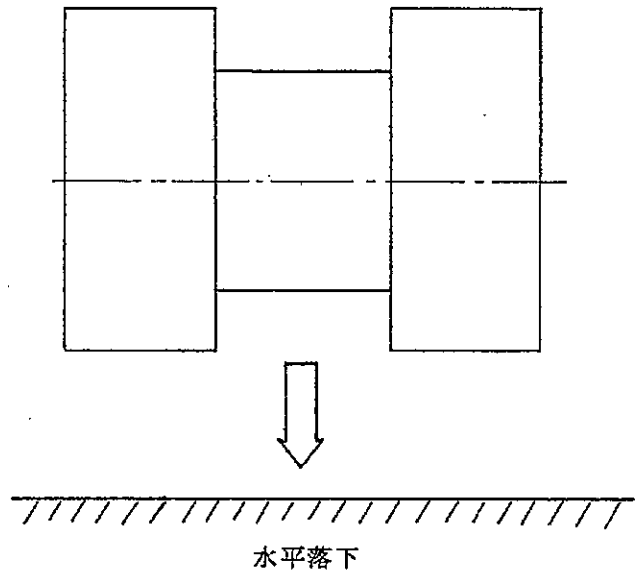
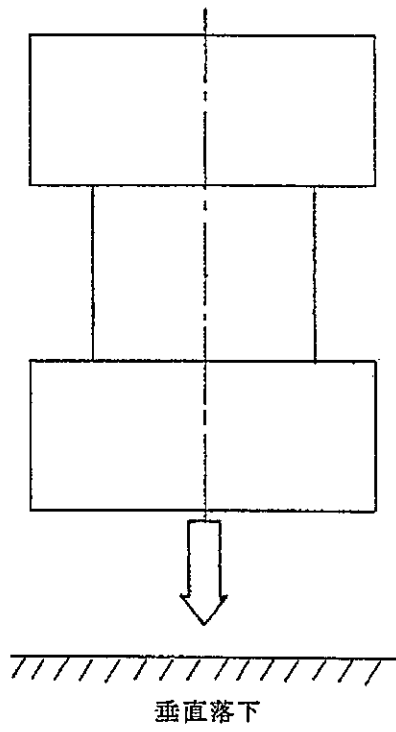
落下エネルギーは次式で与えられる。

$$E_K = W \cdot g \cdot H$$

ただし、 E_K : 輸送物の落下エネルギー (N・mm)

W : 輸送物最大総重量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s²)



(ロ)-第A.8図 0.9m落下試験での落下姿勢

H : 落下高さ (mm)

ここで、 $W = \boxed{\quad}$ kg

$g = 9.807 \text{ m/s}^2$

$H = 9.0 \times 10^2 \text{ mm}$

したがって、

$E_k = \boxed{\quad}$

$= 6.62 \times 10^7 \text{ N}\cdot\text{mm}$

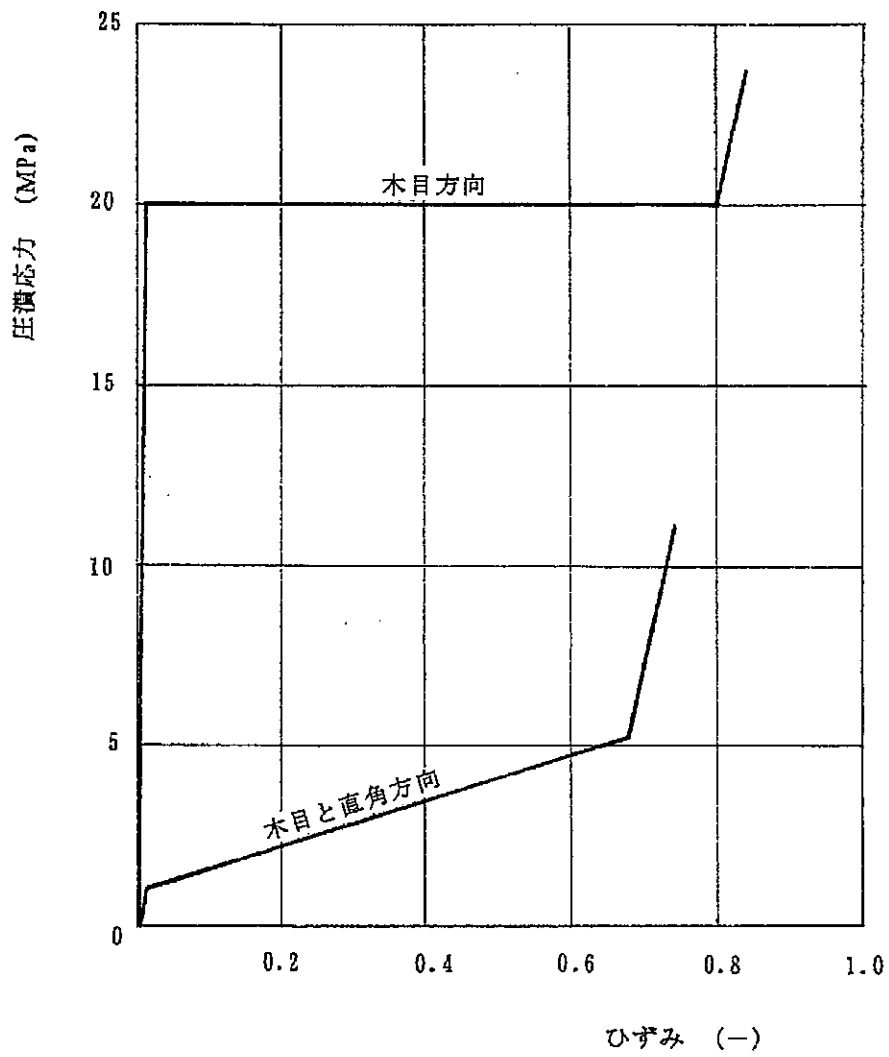
- ③ 緩衝体は(イ)－第C. 9図及び(イ)－第C. 10図に示すとおり、外板及び内部のリブが $\boxed{\quad}$ であり、外板で囲まれた空間には $\boxed{\quad}$ (比重：0.23) が詰められている。
- ④ 緩衝体の変形量と衝撃力の計算はCRUSHコード⁶⁾を用いて行う。このコードにおいてはエネルギー吸収に寄与する部材は安全側に内部の木材 ($\boxed{\quad}$) のみとして、緩衝体の変形量を単軸変形法(UDM)により求めている。
- ⑤ 衝撃力については参考文献⁶⁾における解析と実験との比較検証により外板等の衝撃力等を考慮した負荷係数1.2を④で求められる衝撃力に乗じる。
- ⑥ 木材の場合、圧潰特性は異方性を持つ。 $\boxed{\quad}$ の木目方向と木目と直角方向における圧潰特性を(ロ)－第A. 9図に示す。木目方向とある角度を持つ落下方向に対しては、次式により異方性の影響を考慮する。

$$\sigma_{\theta} = \sigma_0 \cdot \cos^2 \theta + \sigma_{90} \cdot \sin^2 \theta$$

ここで、 σ_{θ} : 木目方向と角度 θ 傾斜した方向の圧潰応力

σ_0 : 木目方向の圧潰応力

σ_{90} : 木目と直角方向の圧潰応力



(ロ) - 第A. 9図 (比重 : 0.23) の圧潰特性

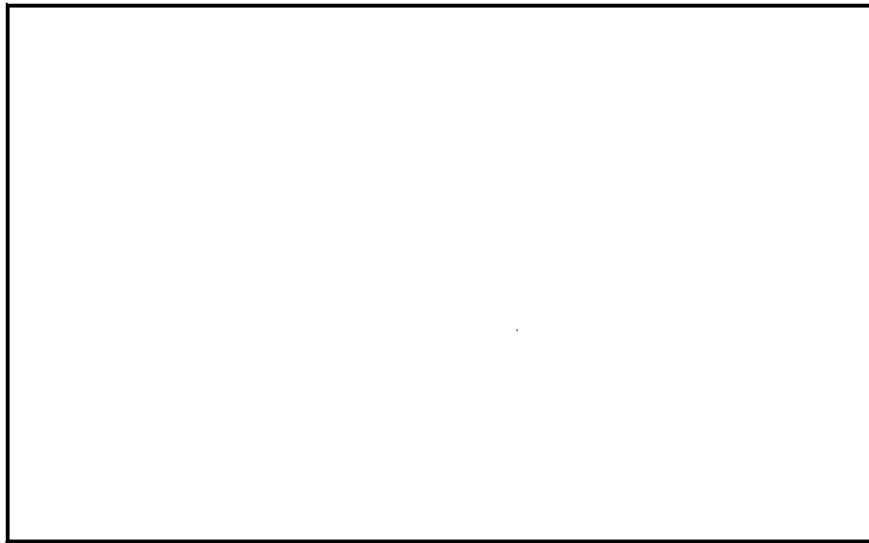
3. 垂直落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

解析モデルを(ロ)－第A.10図に示す。斜線を施した部分、すなわち緩衝体内の木材が深さ δ だけ圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

2. 項に示した方法により求めた変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を(ロ)－第A.11図に示す。

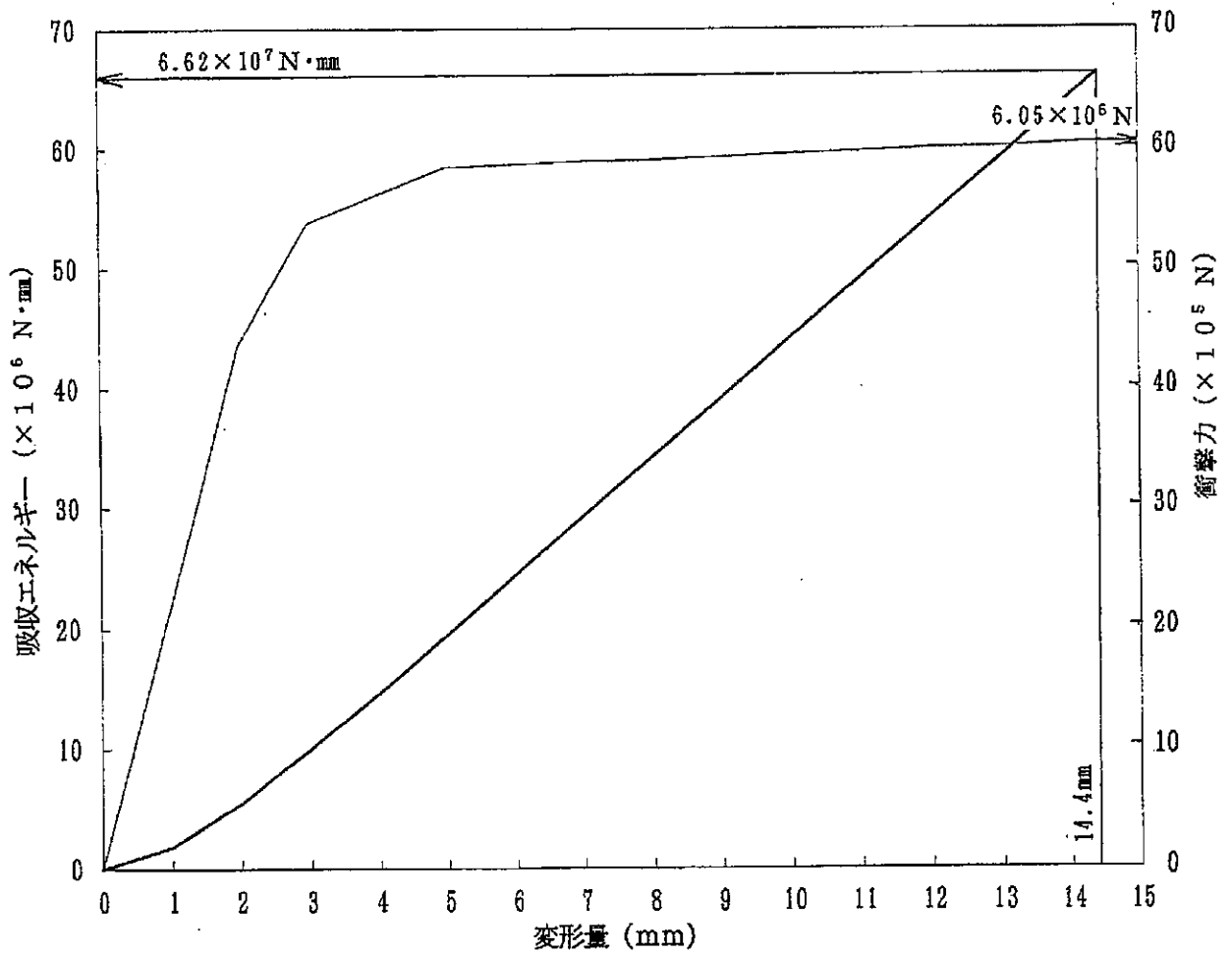
(ロ)－第A.11図より、落下エネルギー E_K に対応する変形量は14.4mmであり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_v &= \frac{F}{W} \\ &= \boxed{} \\ &= 807 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



(ロ) - 第A.10図 垂直落下解析モデル

— 吸収エネルギー — 衝撃力



(ロ) - 第A.11図 垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

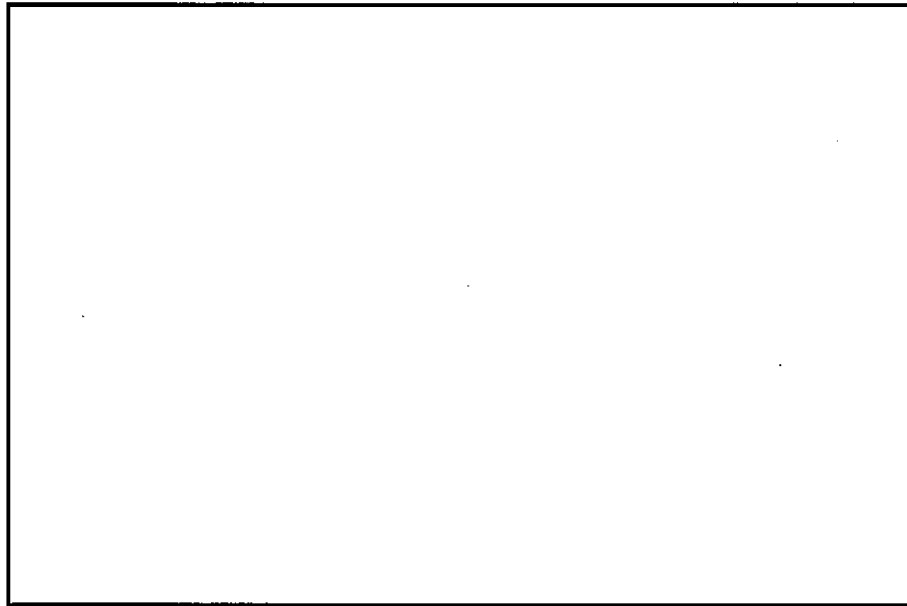
4. 水平落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

解析モデルを(ロ)－第A.12図に示す。図において斜線を施した部分の木材が
圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を(ロ)－第A.13図に示す。

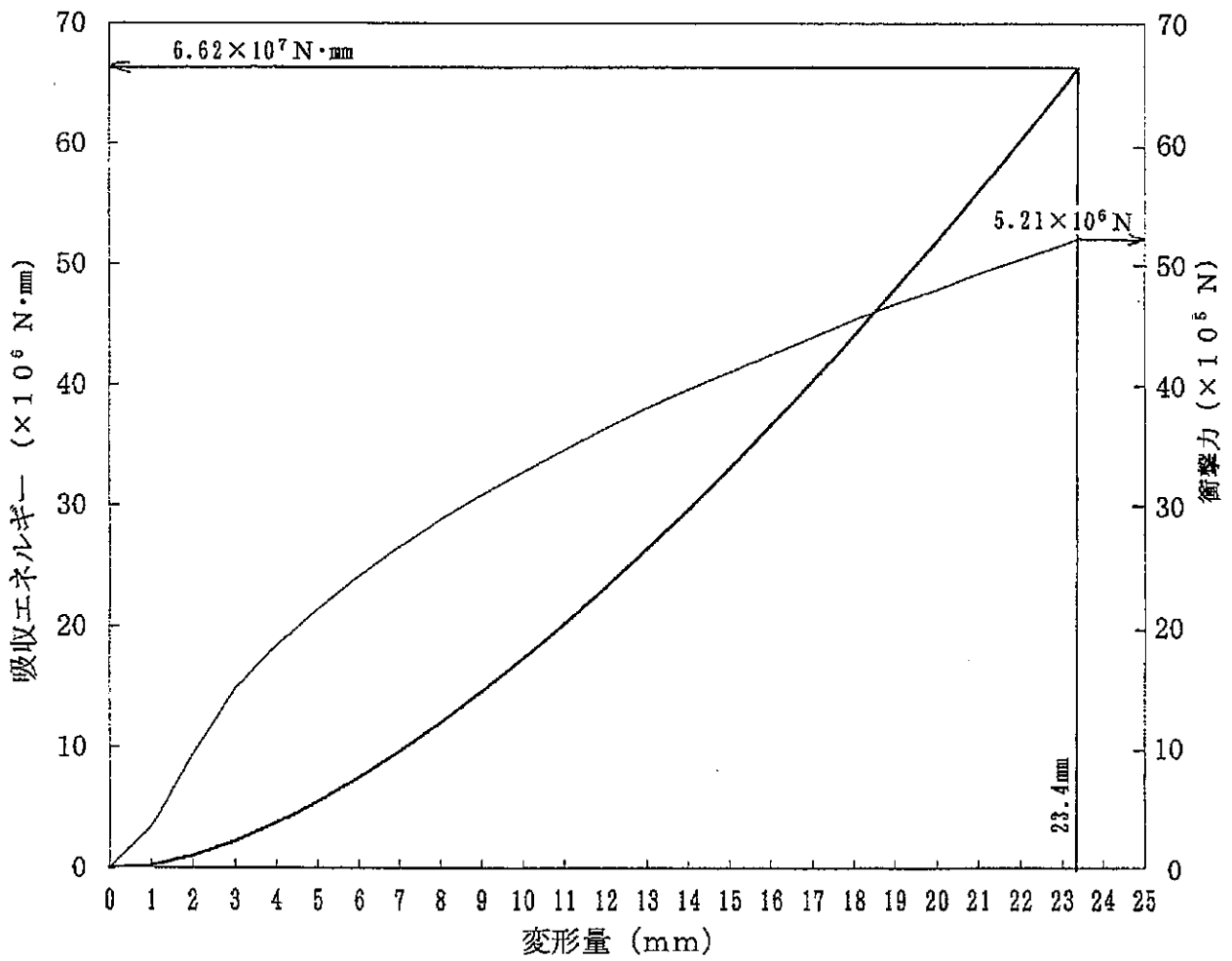
(ロ)－第A.13図より、落下エネルギー E_K に対応する変形量は23.4mmであり、
衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_H &= \frac{F}{W} \\ &= \boxed{} \\ &= 695 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



(ロ) - 第A.12図 水平落下解析モデル

— 吸収エネルギー — 衝撃力



(ロ) - 第A.13図 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

5. コーナー落下時の緩衝体の変形量と衝撃力

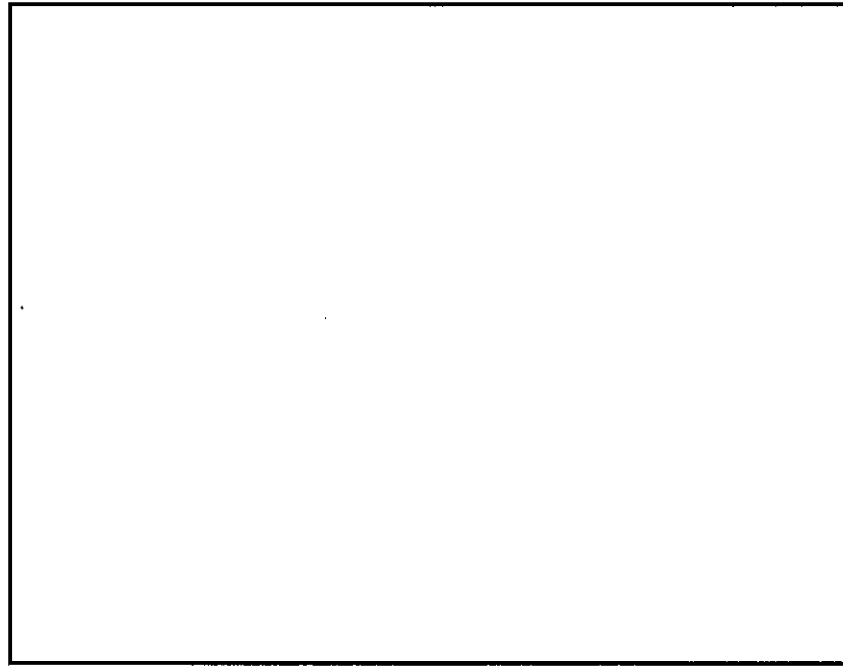
「A.2 重量及び重心」の項で述べたように輸送物のコーナー及び重心を結ぶ直線と中心軸とのなす角は である。

(ロ)－第A.14図に示す解析モデルにおいて斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を(ロ)－第A.15図に示す。

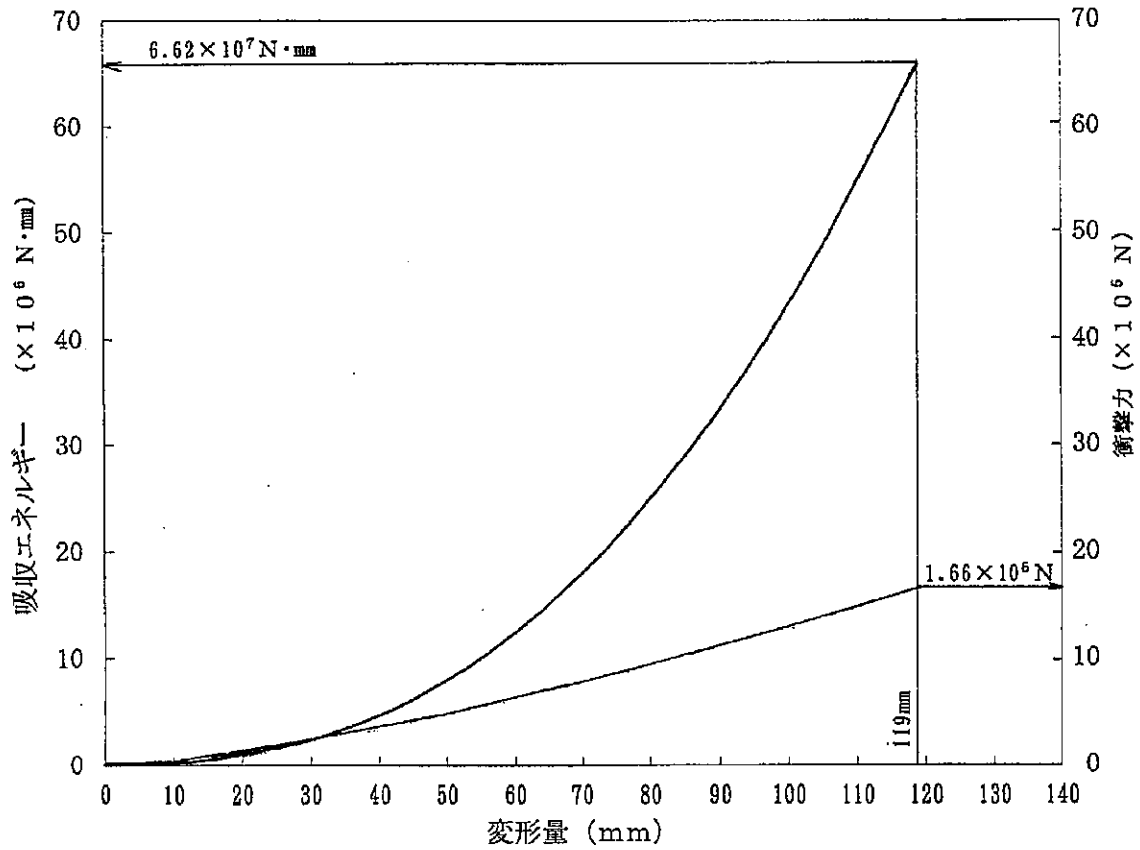
(ロ)－第A.15図より落下エネルギー E_k に対応する変形量は119mmであり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_c &= \frac{F}{W} \\ &= \text{} \\ &= 221 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



(ロ) - 第 A. 14 図 コーナー落下解析モデル

— 吸収エネルギー — 衝撃力



(ロ) - 第 A. 15 図 コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

6. 解析結果の要約

自由落下試験時の緩衝体の変形量と衝撃加速度の解析結果の要約を(ロ)－表 A. 7 に示す。

(ロ)－表 A. 7 に示すとおり、自由落下試験時に輸送物の緩衝体に圧潰変形が生じる。一般の試験条件における熱解析においては、緩衝体からの放熱量は少なく緩衝体の変形の有無の影響はほとんどないと考えられるので、変形を無視する。

また、遮蔽解析においては緩衝体の変形を考慮して評価する。

(ロ)－表 A. 7 自由落下試験時の衝撃加速度と緩衝体の変形量

落下姿勢	衝撃加速度 (m/s^2)	緩衝体の変形量 δ (mm)	設計基準変形量 ^{注)} δ_{max} (mm)
垂直落下	807	14.4	144
水平落下	695	23.4	109
コーナー落下	221	119	356

注) 設計基準変形量とはそれぞれの落下物において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値である。

(b) 原型試験

該当なし

(c) モデル試験

該当なし

A. 5. 3. 1 垂直落下

0.9m垂直落下時の衝撃力に対して、輸送容器本体は十分な強度で密封性を保持し、輸送容器内部の収納缶用スペーサー及び収納缶は破損しないことを示す。

1. 蓋

頭部垂直落下時に蓋には緩衝材の圧潰力が反力として作用する。この場合、蓋を周辺支持の円板にモデル化すると、最大曲げ応力 σ_b (MPa)は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{1.24 \cdot q \cdot r^2}{t^2}$$

ただし、

q : 中央 の圧潰応力 =

r : 容器本体支持部の内半径 =

t : 最小板厚 =

したがって、

$$\sigma_b = \text{$$
$$= 63.5 \text{ MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa)は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ($P_L + P_b$)に対する基準値 $1.5 S_m$ は

となり、余裕率MSは次のようになる。

$$MS = \frac{1.5 S_m}{S} - 1$$

$$= \frac{\text{}}{63.5} - 1$$

$$= \text{$$

2. 容器本体胴部

垂直落下時に輸送物全重量の慣性力が胴部に作用するとすると、容器本体胴部に生じる圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_v}{\pi \cdot (b^2 - a^2)}$$

ただし、

W : 輸送物全重量 =

G_v : 垂直落下時の衝撃加速度 = 807m/s²

b : 胴部外半径 =

a : 胴部内半径 =

したがって、

$$\sigma_c = \text{$$

= 12.5MPa

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_c$$

ここで、一次一般膜応力強さ (P_m) に対する基準値 S_m は となり、

余裕率は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_m}{S} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{12.5} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

3. 容器本体底部

底部垂直落下時に底部には緩衝材の圧潰力が反力として作用する。この場合の最大曲げ応力 σ_b (MPa) は次のようになる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{0.75 \cdot q \cdot a^2}{t_2^2}$$

ただし、 t_2 : 板厚 =

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{} \\ &= 5.71 \text{MPa} \end{aligned}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜＋一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) に対する基準値

1.5 S_m は となり、余裕率は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{1.5 S_m}{S} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{5.71} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

4. 収納缶用スペーサー

頭部垂直落下時には (ロ) - 第A.16図 に示すように、収納缶、収納缶収納物、並びに収納缶用上部スペーサー及び下部スペーサーの重量の慣性力が収納缶用上部スペーサーに作用すると考え、収納缶用上部スペーサーに生じる圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_v}{\pi \cdot (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

ただし、

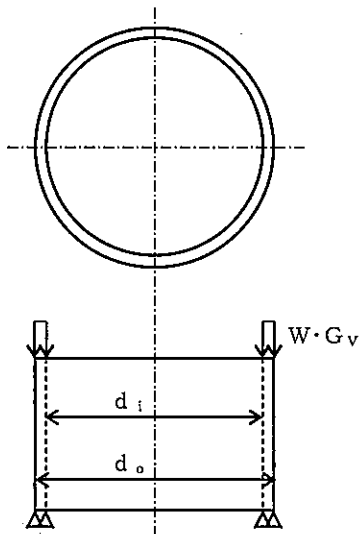
W : 収納缶、収納缶収納物、並びに収納缶用上部スペーサー及び

下部スペーサーの重量 =

G_v : 垂直落下時の衝撃加速度 = 807m/s^2

d_o : 収納缶用上部スペーサーの外径 =

d_i : 収納缶用上部スペーサーの内径 =



(ロ) - 第A.16図 頭部垂直落下時の収納缶用上部スペーサーに作用する荷重

したがって、

$$\sigma_c = \text{$$

$$= 15.9 \text{ MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_c$$

ここで、 の設計降伏点 S_y は となり、余裕率は次のようになる。

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

$$= \frac{\text{}{15.9} - 1$$

$$= \text{$$

5. 収納缶

底部垂直落下時には (ロ) - 第A.17図に示すように、収納缶及び収納缶用上部スペーサーの重量の慣性力が収納缶に作用すると考え、収納缶に生じる圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_v}{\pi \cdot (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

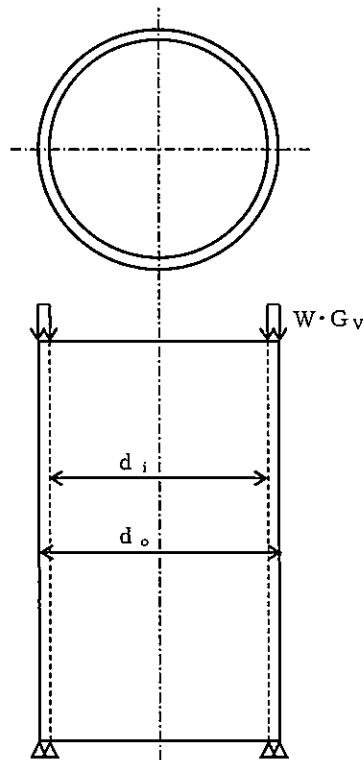
ただし、

W : 収納缶及び収納缶用上部スペーサーの重量 =

G_v : 垂直落下時の衝撃加速度 = 807m/s^2

d_o : 収納缶の外径 =

d_i : 収納缶の内径 =



(ロ) - 第A.17図 底部垂直落下時の収納缶に作用する荷重

したがって、

$$\sigma_c = \boxed{} \\ = 9.97 \text{MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_c$$

ここで、 $\boxed{}$ の設計降伏点 S_y は $\boxed{}$ となり、余裕率は次のようになる。

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1 \\ = \frac{\boxed{}}{9.97} - 1 \\ = \boxed{}$$

A. 5. 3. 2 水平落下

0.9m水平落下時の衝撃力に対して、輸送容器本体は十分な強度で密封性を保持し、輸送容器内部の収納缶用スペーサー及び収納缶は破損しないことを示す。

1. 容器本体胴部

水平落下時には胴部に曲げ応力が生じる。輸送物全重量の慣性力が作用すると考え、胴部に生じる曲げ応力 σ_b (MPa)は容器本体を分布荷重が作用する両端支持梁にモデル化すると次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{W \cdot G_H \cdot \ell \cdot (d_o / 2)}{8 \{ \pi \cdot (d_o^4 - d_i^4) / 64 \}}$$

ただし、

W : 輸送物重量 =

G_H : 水平落下時の衝撃加速度 = 695m/s^2

ℓ : 容器本体全長 =

d_o : 胴部外径 =

d_i : 胴部内径 =

したがって、

$$\sigma_b = \text{$$

$$= 13.6\text{MPa}$$

さらに、応力強さS (MPa)は次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜応力強さ(P_m)に対する基準値 S_m はとなり、

余裕率は次のようになる。

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

$$= \frac{\text{}}{13.6} - 1$$

$$= \text{$$

2. 収納缶用スペーサー

水平落下時には収納缶、収納缶収納物及び収納缶用下部スペーサーの重量の慣性力が収納缶用下部スペーサーのリング部に作用すると考える。リング部に作用する反力分布が(ロ)－第A.18図に示すように、30°の範囲でcosine分布しているとすると、リング部に生じる最大圧縮応力 σ_c (MPa)は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{\frac{\pi}{2\theta \cdot R} \cdot W \cdot G_H \cdot \frac{L_P}{L}}{t}$$

ただし、

W : 収納缶、収納缶収納物及び収納缶用下部スペーサーの重量

=

G_H : 水平落下時の衝撃加速度 = 695m/s²

L : 収納缶用下部スペーサーの全長 =

L_P : 収納缶用下部スペーサーのリングピッチ =

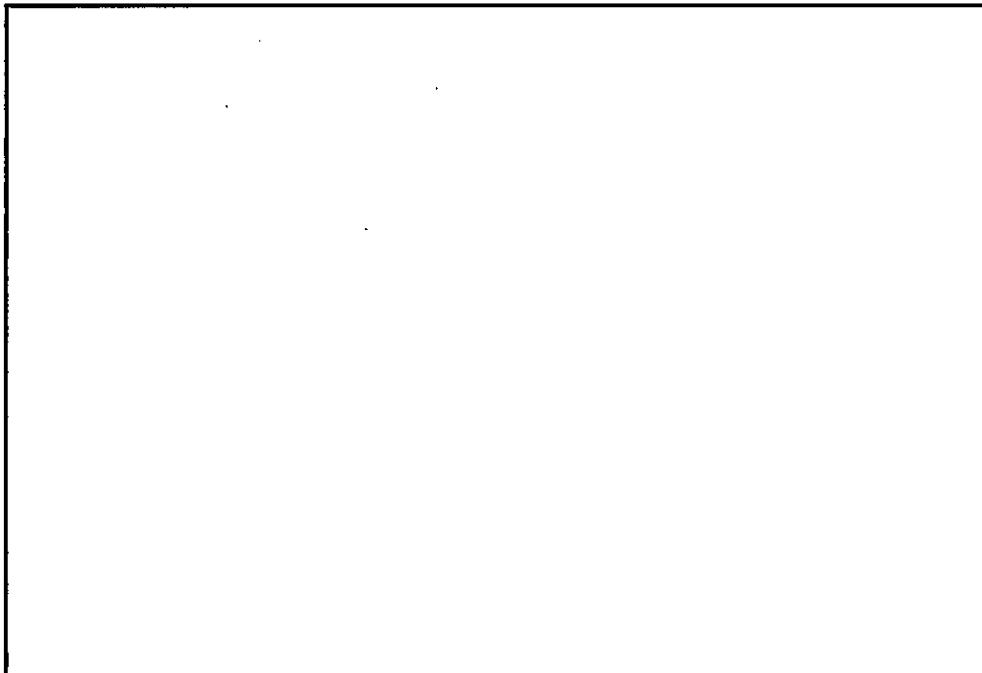
R : 収納缶用下部スペーサーのリング外半径 =

t : 収納缶用下部スペーサーのリング板厚 =

θ : 反力の角度範囲 = 30° = 0.52360rad



(ロ)－第A.18図 水平落下時の収納缶用下部スペーサーに作用する荷重



(ロ) - 第A.19図 水平落下時の収納缶に作用する荷重

したがって、

$$\sigma_b = \boxed{} \\ = 0.637\text{MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、 $\boxed{}$ の設計降伏点 S_y は $\boxed{}$ となり、余裕率は次のようになる。

$$MS = \frac{S_y}{S} - 1 \\ = \frac{\boxed{}}{0.637} - 1 \\ = \boxed{}$$

A.5.3.3 コーナー落下

(ロ) - 表A.7に示すように、コーナー落下時の衝撃加速度は垂直落下及び水平落下時に比べて小さい。したがって、垂直及び水平落下時に比べて条件が厳しくないのでコーナー落下時に輸送容器本体の構造健全性が損なわれることはない。

A. 5. 4 積み重ね試験

本項の条件としては、輸送物の構造解析上の総重量である [] の 5 倍に相当する [] の荷重の方が、本輸送容器の鉛直投影面積 ([]) に [] を乗じて得た値に相当する荷重 ($3.38 \times 10^4 \text{ N}$) より大きいので、 $3.68 \times 10^5 \text{ N}$ の荷重が軸方向に作用する場合について行う。

1. 容器本体胴部

(ロ) - 第 A. 20 図に示すように、容器を縦置にし、容器本体胴部の軸方向に両端から等分布荷重 F をかけたとき胴部に生じる圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{F}{\pi \cdot (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

ただし、

F : 荷重 = [] (輸送物総重量の 5 倍の荷重)

d_i : 容器本体内径 = []

d_o : 容器本体外径 = []



(単位 : mm)

(ロ) - 第 A. 20 図 両端より圧縮される容器の解析モデル

したがって、

$$\sigma_c = \boxed{} \\ = 0.756\text{MPa}$$

一方、容器本体材料の75℃における設計降伏点 S_y は $\boxed{}$ であるので、
余裕率MSは次式で与えられる。

$$MS = \frac{S_y}{\sigma_c} - 1 \\ = \frac{\boxed{}}{0.756} - 1 \\ = \boxed{}$$

2. 下部緩衝体

軸方向荷重に対して、中央緩衝材のみで荷重を受けるとすると、圧縮応力 σ_c (MPa)は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{F}{(\pi/4) \cdot D^2}$$

ただし、D：中央緩衝材の直径 $=\boxed{}$

したがって、

$$\sigma_c = \boxed{} \\ = 2.13\text{MPa}$$

中央緩衝材の降伏応力 σ_y は $\boxed{}$ である(A. 5. 3参照)ので、余裕率MSは
次のようになる。

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma_c} - 1 \\ = \frac{\boxed{}}{2.13} - 1 \\ = \boxed{}$$

A. 5. 5 貫 通

本項では重量 6 kg、直径 3. 2cm の軟鋼棒が 1 m の高さから本輸送物外表面で最も板厚の薄い緩衝体外板(板厚) へ落下するとした場合に、緩衝体の外板が破断し軟鋼棒が内部に貫通しないことを示す。

6 kg の軟鋼棒が 1 m の高さから落下したときの落下エネルギー E (N・mm) は次式で与えられる。

$$E = W \cdot H \cdot g$$

ただし、

W : 軟鋼棒の重量 = 6 kg

H : 落下高さ = 1000mm

g : 重力加速度 = 9.807m/s^2

したがって、

$$E = 5.89 \times 10^4 \text{N}\cdot\text{mm}$$

軟鋼棒が緩衝体の外板へ落下し、貫通する最小エネルギーは落下エネルギーが (ロ) 一第 A. 21 図 に示すごとく外板のせん断に消費される場合である。この場合のせん断に要するエネルギー E_s (N・mm) は次式で与えられる。

$$E_s = \pi \cdot d \cdot t^2 \cdot S / 2$$

ただし、

d : 軟鋼棒の直径 = 32mm

t : 緩衝体の外板の板厚 =

S : 外板のせん断強さ

せん断強さはせん断ひずみエネルギー説に基づき設計引張強さの $1/\sqrt{3}$ とすると、材料 の 75°C における設計引張強さ S_u は であるので、せん断強さは、

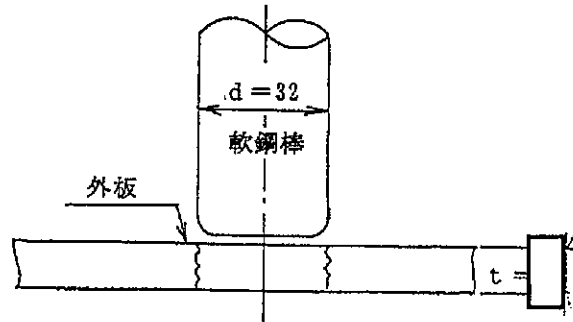
$$S = \frac{S_u}{\sqrt{3}} \quad (75^\circ\text{C})$$

$$E_s = \pi \times 32 \times \frac{t^2}{2} \times \frac{S_u}{\sqrt{3}}$$
$$= \text{} \text{N}\cdot\text{mm}$$

となる。落下エネルギー E とせん断エネルギー E_s を比較すると、

$$E = 5.89 \times 10^4 \text{N}\cdot\text{mm} < E_s = \text{} \text{N}\cdot\text{mm}$$

であるので外板は軟鋼棒の落下によりせん断破壊せず、軟鋼棒は緩衝体を貫通しない。



(単位：mm)

(ロ)-第A.21図 せん断による貫通モデル図

その他の輸送物の外表面の [] は全て緩衝体外板より厚いので、せん断破損はおこらず、他解析への影響は無視できる。

A.5.6 角又は縁落下

本輸送物は、 [] の円筒形で重量は [] であり、角又は縁落下は該当しない。

A.5.7 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

一般の試験条件下における輸送物に対する評価結果の要約を(ロ)-表A.8に示す。表に示すように、自由落下試験により緩衝体に永久変形が生じるが、各試験条件下において輸送容器本体はA.1.2に定めた基準を満足し構造上の健全性が損われることはない。

(ロ)表A.8 一般の試験条件に対する構造解析結果の要約(1/2)

条件	項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (MS)
一般の試験条件	熱的試験				
	1)熱膨張(熱応力)	材料に生じる温度差は1℃以下と微小であり、また [] のみで輸送容器は構成されるので熱応力は無視できるほど小さい			
	2)内圧による応力				
	蓋	1.5 S _m	[]	0.676	[]
	蓋ボルト	2 S _m	[]	50.5	[]
容器本体胴部	S _m	[]	0.145	[]	
容器本体底部	1.5 S _m	[]	0.0286	[]	
水噴霧		吸水性 水切り	無 良	無 良	基準に合致 基準に合致

(ロ)表A.8 一般の試験条件に対する構造解析結果の要約(2/2)

条件	項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (MS)
一般の試験条件	自由落下				
	1)垂直落下				
	蓋	1.5 S _m	[]	63.5	[]
	容器本体胴部	S _m	[]	12.5	[]
	容器本体底部	1.5 S _m	[]	5.71	[]
	収納缶用スペーサー	S _y	[]	15.9	[]
	収納缶	S _y	[]	9.97	[]
	2)水平落下				
	容器本体胴部	S _m	[]	13.6	[]
	収納缶用スペーサー	S _y	[]	36.9	[]
収納缶	S _y	[]	0.637	[]	
3)コーナー落下	衝撃加速度が垂直及び水平落下に比べて小さいので、垂直及び水平落下の結果より厳しくなく、問題ない。				
積み重ね試験					
容器本体胴部	S _y	[]	0.756	[]	
下部緩衝体	S _y	[]	2.13	[]	
貫通					
緩衝体外板	せん断エネルギー	[]	5.89×10 ⁴ N・mm	[]	

2. 一般の試験条件における蓋リング密封性能の評価（ひずみレベルの評価）

一般の試験条件のうち、蓋リングの密封性能に影響を及ぼす熱的試験、落下試験及び貫通試験に対して検討した。蓋のリング取付位置での口開き変形量の計算結果とリングの初期締付代との比較を(ロ)ー表A.9に示す。表に示すように、リング位置での口開き変形量は基準値より十分小さく、密封性能が損われることはない。

(ロ)ー表A.9 一般の試験条件に対する蓋部密封境界のひずみレベル評価

条 件	リング位置での蓋と容器本体フランジ部との 相対口開き変形量	基 準 値
熱 的 試 験	$1.63 \times 10^{-3} \text{mm}$	リングの 初期締付代 2.0mm
自 由 落 下	条件がより厳しい特別の試験条件にて評価	
6 kg 棒貫通		

A.6 特別の試験条件

本節では本輸送物が規則及び告示に規定された特別の試験条件下において、「A.1.2 設計基準」に示す基準を満足することを示す。

特別の試験は強度試験に引きつづいて火災試験が行われるとする。火災試験に影響をおよぼす強度試験による変形は、輸送物の熱的性能に関係する緩衝体の変形である。緩衝体は、1 m貫通試験において貫通が生じ、9 m落下試験では変形が生じるが、9 m落下試験と1 m貫通試験の試験順序の違いによってこれらの変形に有意な差は生じないので、これらに引きつづく火災試験においては、強度試験の順序の違いは輸送物に影響を与えない。したがって、強度試験は9 m落下試験に続いて1 m貫通試験が行われるとして解析する。

A.6.1 強度試験・落下試験 I (9 m落下時)

連続して起る特別の試験条件の第1番目は、輸送物が最大破損を受けるよう平らな降伏しない落下試験台上に9 mの高さから輸送物を落下させるものである。

本項では輸送物が9 m落下した場合、その落下エネルギーが、輸送容器本体端部に取付けられた緩衝体の変形によって吸収され、輸送物に加わる衝撃力が十分緩和されることを示し、それに対する輸送容器本体の健全性を検討する。

(a) 解析

1. 解析する落下姿勢

輸送物が最大破損を受ける落下方向としては次の4種類を考える。

- ① 垂直落下
- ② 水平落下
- ③ コーナー落下(落下点が輸送物の重心を通る鉛直線上にある場合)
- ④ 傾斜落下

ここで、傾斜落下については、落下方向がコーナー落下と垂直落下との間の場合とコーナー落下と水平落下との間の場合がある。前者の場合は、落下エネルギーの吸収が垂直落下とコーナー落下の間になり、これらのいずれよりも条件が厳しくなることはないので、本項では検討しない。また、後者の場合は落下エネルギーの一部が輸送物を水平の方向に転倒させるのに費され、最終的には水平落下の場合と同じ状態でエネルギーの吸収が行われるので、本項では検討しない。

2. 解析方法

① 解析にあたっては、落下試験台を剛体とし、落下エネルギーは輸送物でのみ吸収するものと仮定する。この仮定により、輸送物の変形量を大きめに評価することになる。

② 解析に用いる輸送物の重量に関する数値は、「イ章 C 5. 重量」に示した輸送物最大総重量 を用いる。

落下エネルギー E_K (N・mm) は次式で与えられる。

$$E_K = W \cdot g \cdot H$$

ただし、

W : 輸送物の重量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

H : 落下高さ (mm)

ここで、

$$W = \text{$$

$$g = 9.807 \text{ m/s}^2$$

$$H = 9.0 \times 10^3 \text{ mm}$$

したがって、

$$E_K = 6.62 \times 10^8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

③ 緩衝体は(イ)－第 C. 9 図及び(イ)－第 C. 10 図に示すとおり、外板及び内部のリップが であり、外板で囲まれた空間には が詰められている。

④ 緩衝体の変形量と衝撃力の計算方法は「A. 5. 3 自由落下」(a) 2 項に示す方法と同様に行う。

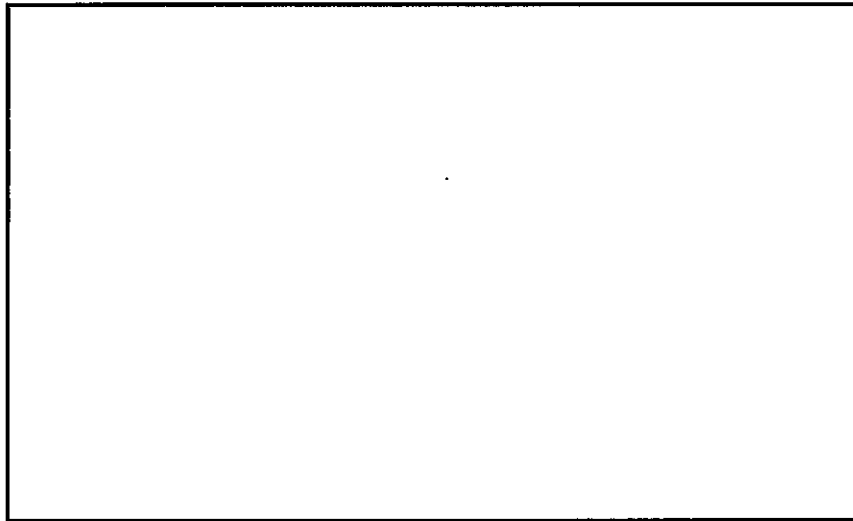
3. 垂直落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

解析モデルを(ロ)－第A.22図に示す。斜線を施した部分、すなわち緩衝体内の木材が深さ δ だけ圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

2. ④項に示した方法により求めた変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を(ロ)－第A.23図に示す。

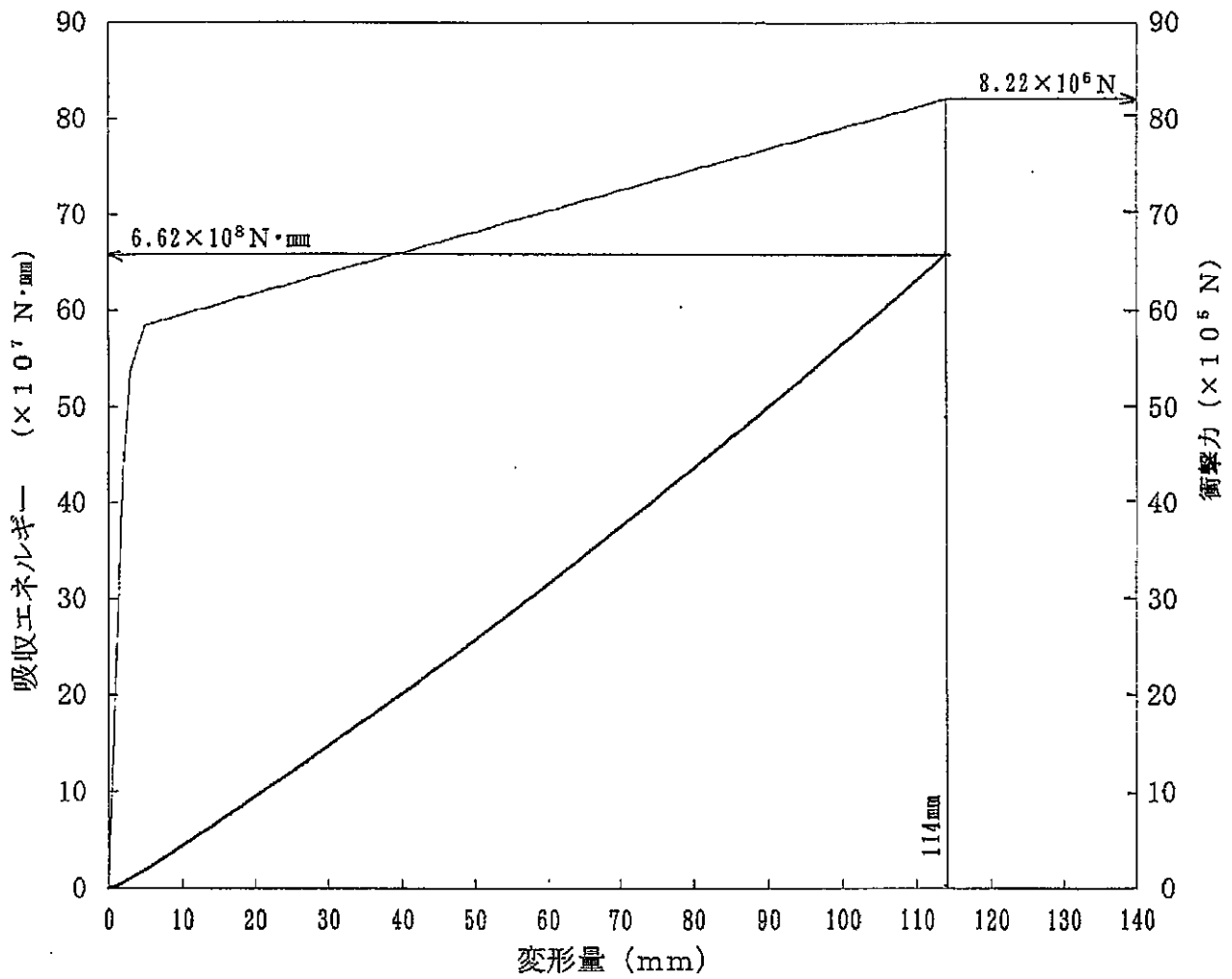
(ロ)－第A.23図より、落下エネルギー E_K に対応する変形量は114mmであり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_v &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{8.22 \times 10^6}{\boxed{}} \\ &= 1096 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



(ロ) - 第A. 22図 垂直落下解析モデル

— 吸収エネルギー — 衝撃力



(ロ) - 第A. 23図 垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

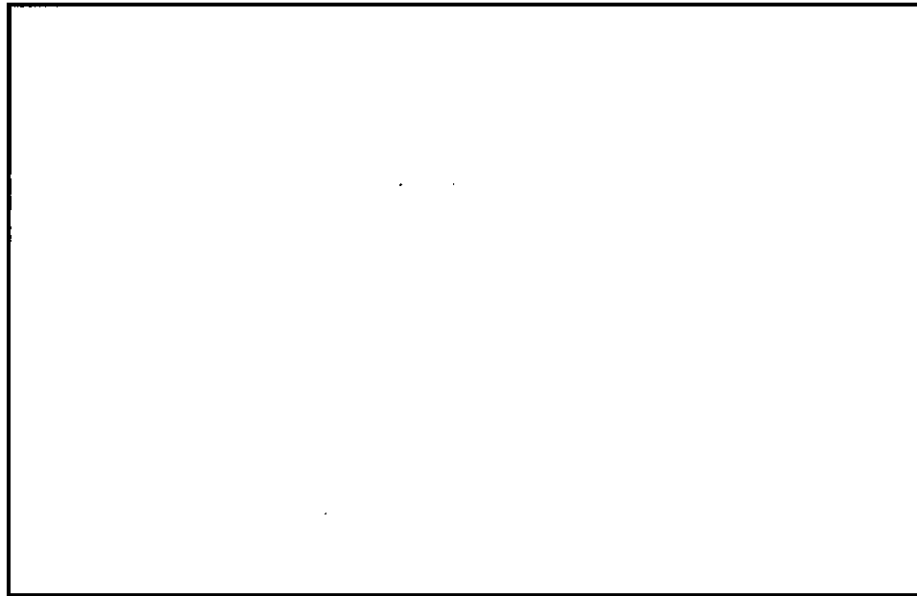
4. 水平落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

解析モデルを(ロ)－第A.24図に示す。図において斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を(ロ)－第A.25図に示す。

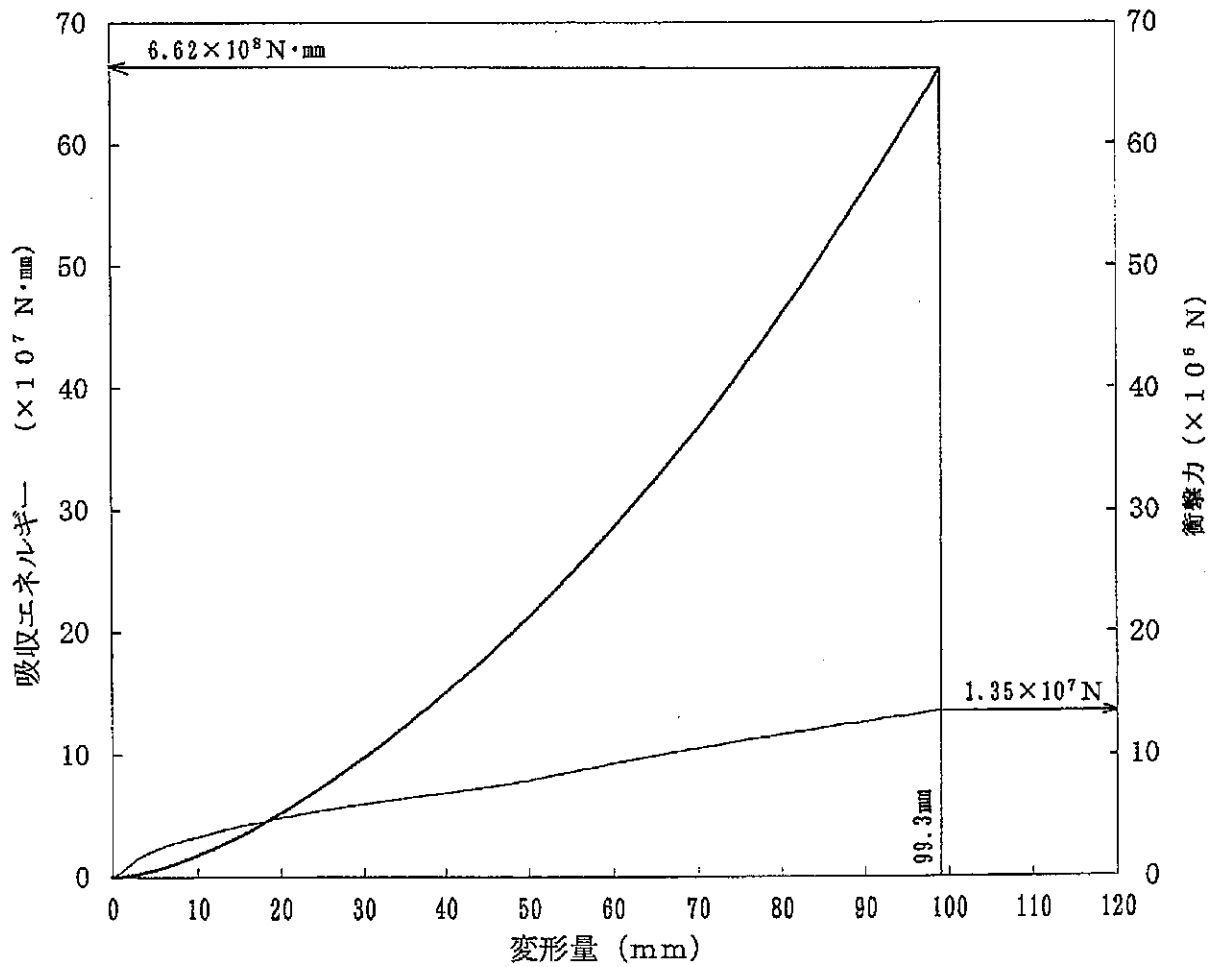
(ロ)－第A.25図より、落下エネルギー E_K に対応する変形量は99.3mmであり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_H &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{1.35 \times 10^7}{\boxed{}} \\ &= 1800 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



(ロ) - 第A.24図 水平落下解析モデル

— 吸収エネルギー — 衝撃力



(ロ) - 第A.25図 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

5. コーナー落下時の緩衝体の変形量と衝撃力

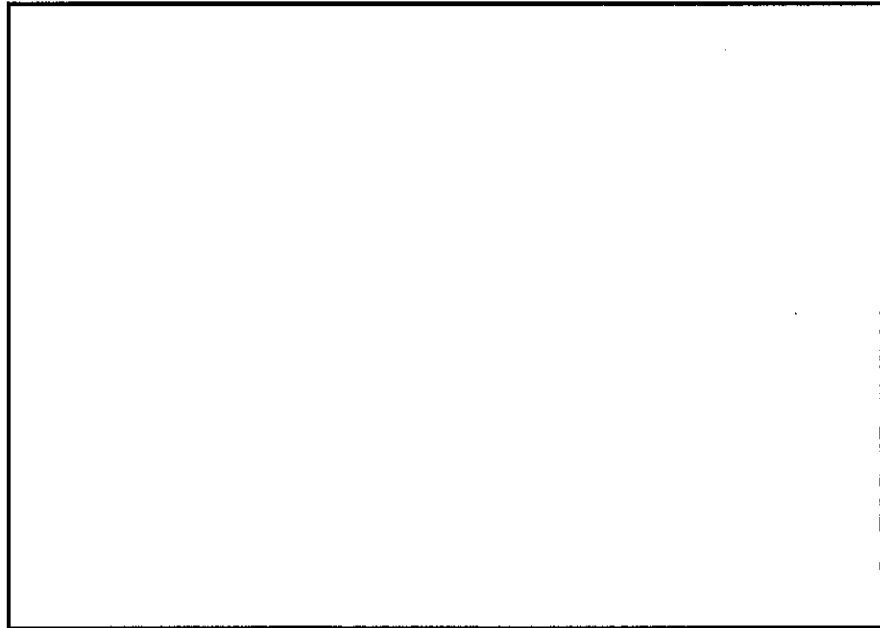
「A. 2 重量及び重心」の項で述べたように輸送容器のコーナー及び重心を結ぶ直線と中心軸とのなす角は である。

(ロ)－第A. 26図に示す解析モデルにおいて斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を (ロ)－第A. 27図に示す。

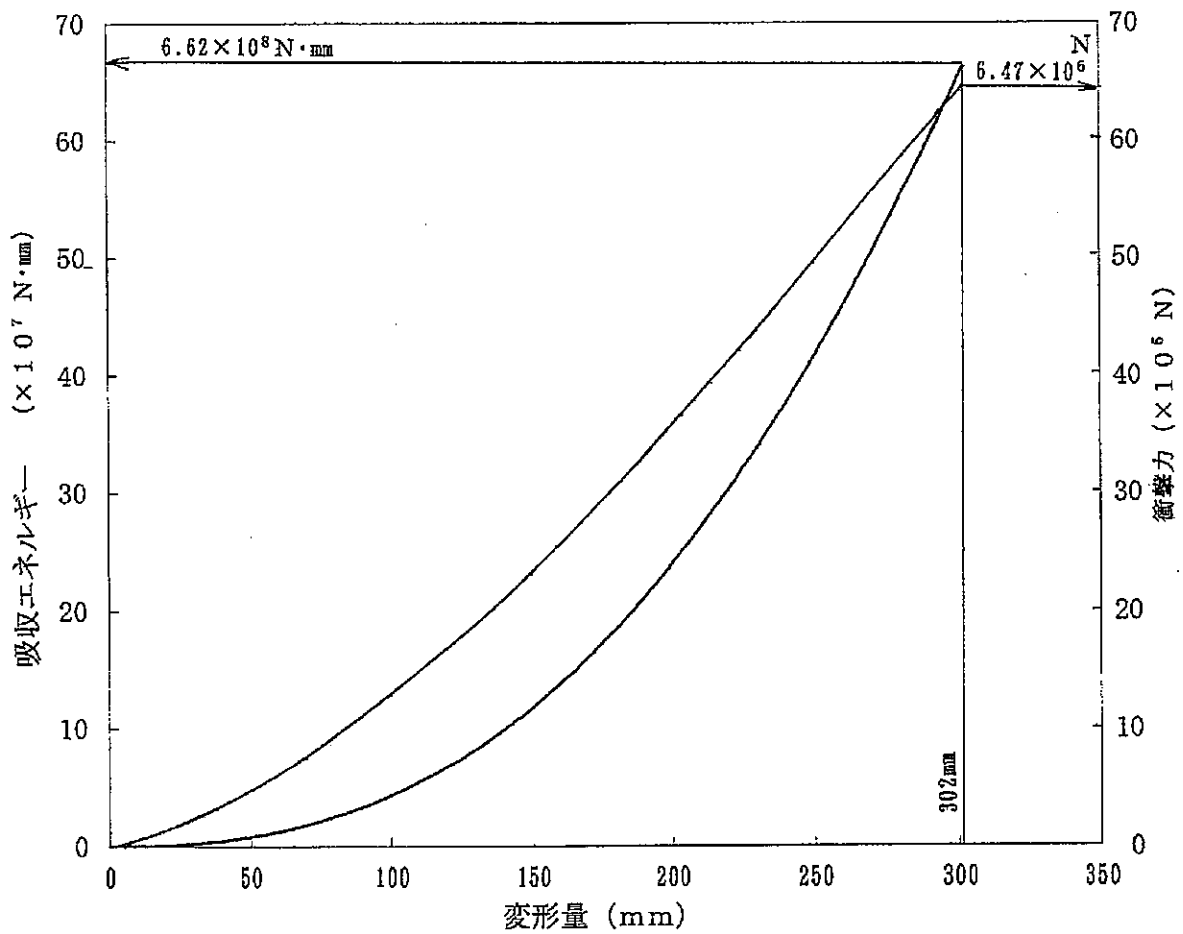
(ロ)－第A. 27図より落下エネルギー E_K に対応する変形量は302mmであり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_c &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{6.47 \times 10^6}{\text{}} \\ &= 863 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



(ロ) - 第A.26図 コーナー落下解析モデル

— 吸収エネルギー — 衝撃力



(ロ) - 第A.27図 コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

6. 解析結果の要約

9 m落下試験時の緩衝体の変形量と衝撃加速度の解析結果の要約を(ロ)一表 A.10 に示す。

(ロ)一表 A.10 に示すとおり、9 m落下試験時に輸送物の緩衝体に圧潰変形が生じる。特別の試験条件における熱解析においては、緩衝体からの入熱量は緩衝体の変形すると多くなると考えられるので、変形を考慮する。また、遮蔽解析においては緩衝体を無視して評価する。

(ロ)一表 A.10 9 m落下試験時の衝撃加速度と緩衝体の変形量

落下姿勢	衝撃加速度 (m/s^2)	緩衝体の変形量 δ (mm)	設計基準変形量 ^{注)} δ_{max} (mm)
垂直落下	1096	114	144
水平落下	1800	99.3	109
コーナー落下	863	302	356

注) 設計基準変形量とはそれぞれの落下物において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値である。

(b) 原型試験

該当なし

(c) モデル試験

該当なし

A.6.1.1 垂直落下

9 m垂直落下時の衝撃力に対して、輸送容器本体は十分な強度で密封性を保持し、輸送容器内部の収納缶用スペーサー及び収納缶は破損しないことを示す。

1. 蓋

頭部垂直落下時に蓋には緩衝材の圧潰力が反力として作用する。この場合、蓋を周辺支持の円板にモデル化すると、最大曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{1.24 \cdot q \cdot r^2}{t^2}$$

ただし、

q : 中央 の圧潰応力 =

r : 容器本体支持部の内半径 =

t : 最小板厚 =

したがって、

$$\sigma_b = \text{$$

$$= 63.5 \text{ MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) に対する基準値

MIN[3.6 S_m, S_u] は となり、余裕率 MS は次のようになる。

$$MS = \frac{\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]}{S} - 1$$

$$= \frac{\text{}}{63.5} - 1$$

$$= \text{$$

2. 容器本体胴部

垂直落下時に輸送物全重量の慣性力が胴部に作用するとすると、胴部に生じる圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_v}{\pi \cdot (b^2 - a^2)}$$

ただし、

W : 輸送物全重量 =

G_v : 垂直落下時の衝撃加速度 = 1096m/s²

b : 胴部外半径 =

a : 胴部内半径 =

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \text{} \\ &= 16.9 \text{MPa} \end{aligned}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_c$$

ここで、一次一般膜応力強さ (P_m) に対する基準値 $\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$ は

となり、余裕率は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]}{S} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{16.9} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

3. 容器本体底部

底部垂直落下時に底部には緩衝材の圧潰力が反力として作用する。この場合の最大曲げ応力 σ_b (MPa) は次のようになる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{0.75 \cdot q \cdot a^2}{t_2^2}$$

ただし、 t_2 : 板厚 =

したがって、

$$\sigma_b = \text{$$
$$= 5.71 \text{MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) に対する基準値 $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ は となり、余裕率 MS は次のようになる。

$$MS = \frac{\text{MIN}[3.6S_m, S_u]}{S} - 1$$
$$= \frac{\text{}}{5.71} - 1$$
$$= \text{$$

4. 収納缶用スペーサー

頭部垂直落下時には(ロ)－第A.28図に示すように、収納缶、収納缶収納物、並びに収納缶用上部スペーサー及び下部スペーサーの重量の慣性力が収納缶用上部スペーサーに作用すると考え、収納缶用上部スペーサーに生じる圧縮応力 σ_c (MPa)は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_v}{\pi \cdot (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

ただし、

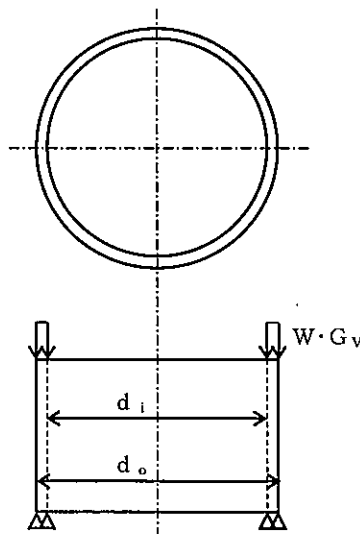
W : 収納缶、収納缶収納物、並びに収納缶用上部スペーサー及び

下部スペーサーの重量 =

G_v : 垂直落下時の衝撃加速度 = 1096m/s²

d_o : 収納缶用上部スペーサーの外径 =

d_i : 収納缶用上部スペーサーの内径 =



(ロ)－第A.28図 頭部垂直落下時の収納缶用上部スペーサーに作用する荷重

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \boxed{} \\ &= 21.5\text{MPa} \end{aligned}$$

さらに、応力強さ S (MPa)は次式で与えられる。

$$S = \sigma_c$$

ここで、 $\boxed{}$ の設計降伏点 S_y は $\boxed{}$ となり、余裕率は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \frac{\boxed{}}{21.5} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

5. 収納缶

底部垂直落下時には (ロ) - 第A.29図に示すように、収納缶及び収納缶用上部スペーサーの重量の慣性力が収納缶に作用すると考え、収納缶に生じる圧縮応力 σ_c (MPa)は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_v}{\pi \cdot (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

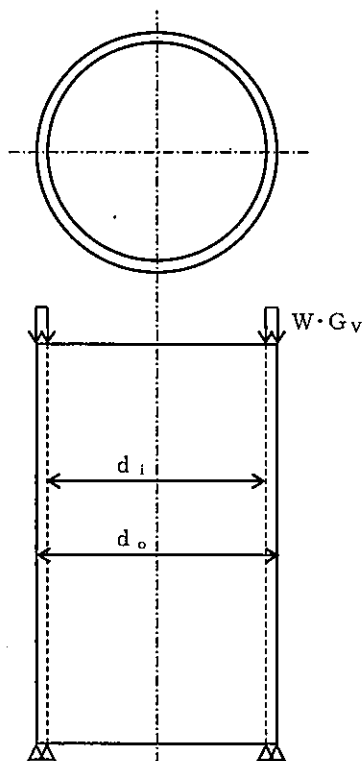
ただし、

W : 収納缶及び収納缶用上部スペーサーの重量 = $\boxed{}$

G_v : 垂直落下時の衝撃加速度 = 1096m/s^2

d_o : 収納缶の外径 = $\boxed{}$

d_i : 収納缶の内径 = $\boxed{}$



(ロ) 一第 A. 29 図 底部垂直落下時の収納缶に作用する荷重

したがって、

$$\sigma_c = \boxed{} \\ = 13.6 \text{ MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_c$$

ここで、 $\boxed{}$ の設計降伏点 S_y は $\boxed{}$ となり、余裕率は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \frac{\boxed{}}{13.6} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

A.6.1.2 水平落下

9 m水平落下時の衝撃力に対して、輸送容器本体は十分な強度で密封性を保持し、輸送容器内部の収納缶用スペーサー及び収納缶は破損しないことを示す。

1. 容器本体胴部

水平落下時には胴部に曲げ応力が生じる。輸送物全重量の慣性力が作用すると考え、胴部に生じる曲げ応力 σ_b (MPa)は容器を分布荷重が作用する両端支持梁にモデル化すると次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{W \cdot G_H \cdot \ell \cdot (d_o / 2)}{8 \{ \pi \cdot (d_o^4 - d_i^4) / 64 \}}$$

ただし、

W : 輸送物重量 =

G_H : 水平落下時の衝撃加速度 = 1800 m/s²

ℓ : 容器本体全長 =

d_o : 胴部外径 =

d_i : 胴部内径 =

したがって、

$$\sigma_b = \text{$$

$$= 35.1 \text{ MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa)は次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜応力強さ (P_m)に対する基準値 $\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$ は

となり、余裕率は次のようになる。

$$MS = \frac{\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]}{S} - 1$$

$$= \frac{\text{}}{35.1} - 1$$

$$= \text{$$

2. 収納缶用スペーサー

水平落下時には収納缶、収納缶収納物及び収納缶用下部スペーサーの重量の慣性力が収納缶用下部スペーサーのリング部に作用すると考える。リング部に作用する反力分布が (ロ) - 第A.30図に示すように、 30° の範囲でcosine分布しているとする、リング部に生じる最大圧縮応力 σ_c (MPa)は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{\frac{\pi}{2\theta} \cdot R \cdot W \cdot G_H \cdot \frac{L_P}{L}}{t}$$

ただし、

W : 収納缶、収納缶収納物及び収納缶用下部スペーサーの重量

$$= \boxed{}$$

G_H : 水平落下時の衝撃加速度 = 1800m/s^2

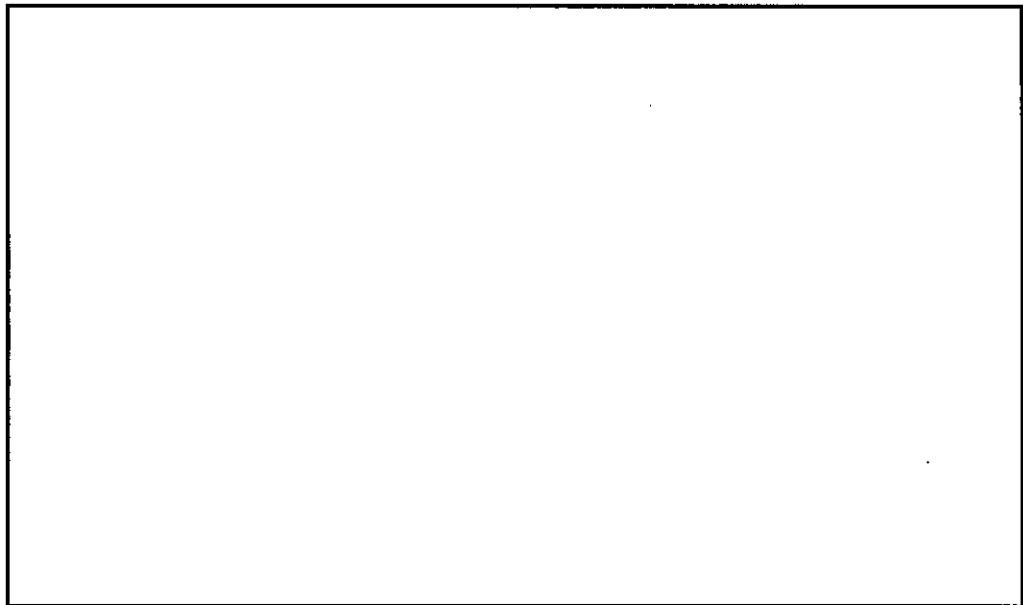
L : 収納缶用下部スペーサーの全長 = $\boxed{}$

L_P : 収納缶用下部スペーサーのリングピッチ = $\boxed{}$

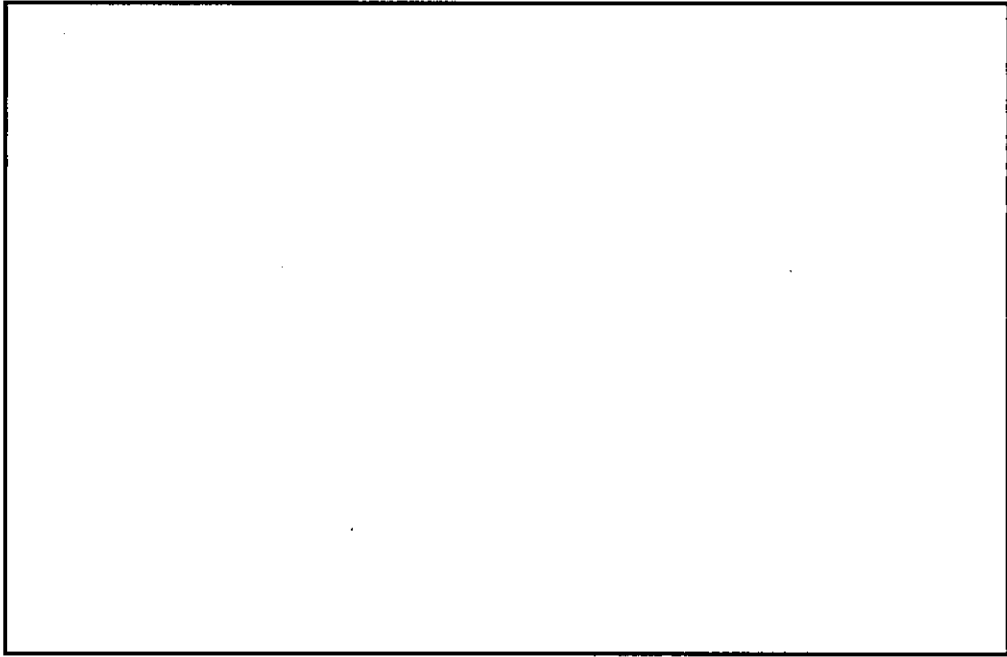
R : 収納缶用下部スペーサーのリング外半径 = $\boxed{}$

t : 収納缶用下部スペーサーのリング板厚 = $\boxed{}$

θ : 反力の角度範囲 = $30^\circ = 0.52360\text{rad}$



(ロ) - 第A.30図 水平落下時の収納缶用下部スペーサーに作用する荷重



(ロ) - 第 A. 31 図 水平落下時の収納缶に作用する荷重

したがって、

$$\sigma_b =$$



$$= 1.65 \text{MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、 の設計降伏点 S_y は となり、余裕率は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{1.65} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

A. 6. 1. 3 コーナー落下

(ロ) - 表 A. 10 に示すように、コーナー落下時の衝撃加速度は垂直落下及び水平落下時に比べて小さい。したがって、垂直及び水平落下時に比べて条件が厳しくないでコーナー落下時に輸送容器本体の構造健全性が損なわれることはない。

A.6.1.4 傾斜落下

傾斜落下時においては、口章A.6.1項で評価したように垂直落下、水平落下及びコーナー落下より緩い落下条件であり、輸送容器本体が構造健全性を損うことはない。

A.6.1.5 結果の要約

1. 結果の要約

落下試験Ⅰの解析結果の要約は(口)一表A.10のとおりである。

本試験では、緩衝体は変形するが、緩衝体は輸送容器本体からはずれることはない。

2. 結果の検討

落下試験Ⅰによる塑性変形は、緩衝体に生じるが、輸送容器本体の構造上の健全性が損われることはない。

以上の解析及び評価は周囲温度38℃の高温側の環境下に対して行った。低温側の環境下に対しては、A.4.2項に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないので、輸送物の構造上の健全性に問題はない。

A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1m落下時）

本項では、落下試験Ⅰに引きつづいて落下試験Ⅱがおこるとして輸送物が1m高さから直径150mmの軟鋼棒へ落下した場合に対して、輸送容器本体が耐えることを解析によって示す。

落下試験Ⅱは、輸送物が最大破損をうけるよう垂直及び水平方向に落下し、バルブ部以外の部分については軟鋼棒が重心を直撃するとして解析した。

これ以外の落下は、落下エネルギーが回転モーメントとして作用するので輸送物に対して上記落下より大きな破損を生じることはない。

解析は蓋及び容器本体底部、容器本体胴部とバルブ部について行う。

1. 蓋及び容器本体底部の貫通強度

押抜きせん断によって板にせん断破壊を引起すのに必要な力F(N)は次式で与えられる。

$$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$$

ただし、

d : 軟鋼棒直径 = 150mm

t : 板 厚 =

S : せん断強さ (MPa)

せん断強さはせん断ひずみエネルギー説に基づき設計引張強さの $1/\sqrt{3}$ とすると、材料 の75℃における設計引張強さ S_u は であるので、せん断強さは、

$$S =$$

したがって、

$$F = \pi \times 150 \times
=$$

落下時に軟鋼棒が輸送容器に加わる最大荷重 F_{bar} (N) は軟鋼棒が塑性変形するときであるから、

$$F_{\text{bar}} = \sigma_u \cdot A$$

ただし、

σ_u : 軟鋼棒の引張強さ (MPa)

A : 軟鋼棒の断面積 (mm²)

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

d : 軟鋼棒の直径 = 150mm

したがって、

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} \times 150^2 \\ &= 1.77 \times 10^4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

σ_u を 400MPa とすると、

$$\begin{aligned} F_{\text{bar}} &= 400 \times 1.77 \times 10^4 \\ &= 7.08 \times 10^6 \text{ N} \end{aligned}$$

となる。

したがって、余裕率MSは次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{F}{F_{\text{bar}}} - 1 \\ &= \frac{\boxed{}}{7.08 \times 10^6} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

以上より、蓋及び容器本体底部が貫通することはない。

2. 容器本体胴部の貫通強度

解析は1.と同様にして、胴部の貫通強度を検討する。

押抜きせん断によって板にせん断破壊を引起すのに必要な力 F (N) は次式で与えられる。

$$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$$

ただし、

d : 軟鋼棒直径 = 150mm

t : 板 厚 =

材料 の75°Cにおける設計引張強さ S_u は であるので、

$$S =$$

したがって、

$$F = \pi \times 150 \times
=$$

落下時に軟鋼棒が輸送容器に加える最大荷重 F_{bar} (N) は1. 項より、

$$F_{bar} = 7.08 \times 10^6 \text{ N}$$

である。

したがって、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$MS = \frac{F}{F_{bar}} - 1
= \frac{}{7.08 \times 10^6} - 1
=$$

したがって、胴部が貫通することはない。

3. バルブ部の貫通強度

ベントバルブ及びドレンバルブは、(イ)－第C. 7 図及び(イ)－第C. 8 図に示すように緩衝体に覆われかつ、カバーがついており、軟鋼棒の直撃に対してバルブ本体を保護する。

1. と同様に、板にせん断破壊を引起すのに必要な力 F (N) は次式で与えられる。

$$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$$

ただし、

d : 軟鋼棒直径 = 150mm

t : 緩衝体外板とバルブカバーの板厚の合計

$$= \boxed{}$$

バルブカバーの材料 $\boxed{}$ の75℃における設計引張強さ S_u は $\boxed{}$ であるので、

$$S = \boxed{}$$

したがって、

$$F = \pi \times 150 \times \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

落下時に軟鋼棒が輸送容器に加える最大荷重 F_{bar} (N) は1. 項より、

$$F_{bar} = 7.08 \times 10^6 \text{ N}$$

である。

したがって、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$MS = \frac{F}{F_{bar}} - 1$$

$$= \frac{\boxed{}}{7.08 \times 10^6} - 1$$

$$= \boxed{}$$

したがって、バルブ部が貫通することはない。

A.6.2.1 結果の要約

落下試験Ⅱにおいては緩衝体に貫通又は変形が生じるおそれがあるが、輸送容器本体に破損が生じることはない。

以上の解析及び評価は周囲温度38℃の高温側の環境下に対して行った。低温側の環境下に対しては、A.4.2に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないので、輸送物の構造上の健全性に問題はない。

A.6.3 熱的試験

A.6.3.1 温度及び圧力の要約

1. 圧 力

特別の試験条件における輸送容器内の圧力はB.5.4において0.0402MPaGである。構造解析では0.100MPaGとして評価する。

2. 温 度

輸送物各部の最高温度はB.5.3の(ロ)―表B.16に示されている。各部位の最高温度と解析基準値を定める温度を(ロ)―表A.11に示す。

(ロ)―表A.11 特別の試験条件における最高温度の要約

(単位：℃)

部 位	熱 解 析 結 果	解 析 基 準 値 設 定 温 度
蓋	247	300
容 器 本 体 胴 部	368	400
容 器 本 体 底 部	129	200

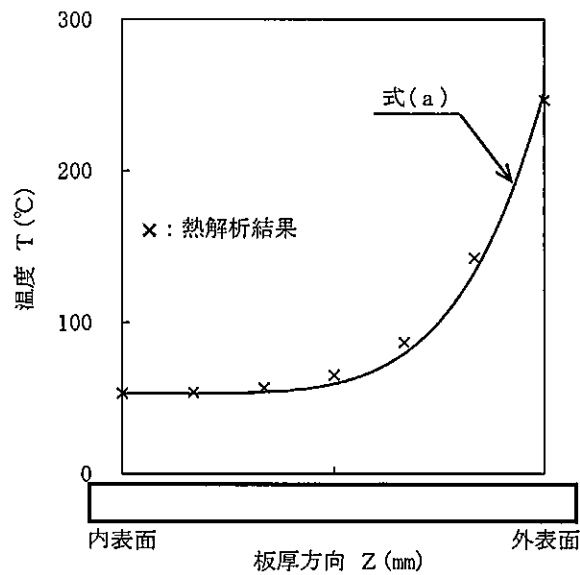
A.6.3.2 熱膨張

本項では、特別の試験条件下における輸送容器本体各部の熱ひずみと容器内圧による応力の計算を行う。

1. 熱ひずみ

(1) 蓋

蓋の内面と外面との温度差が最大となるのはB.5.3の結果より火災事故発生後30分である。この時の温度分布を(ロ)－第A.32図に示す。



(ロ)－第A.32図 蓋中央部温度分布

板厚方向に温度勾配がある場合の円板の最大ひずみ ϵ は次式で与えられる。⁵⁾

$$\epsilon_0 = \epsilon_r = \alpha \left\{ -T_0 + \frac{1}{t} \int T dZ + \frac{6}{t^2} \int (T \cdot Z) dZ \right\}$$

ただし、

ϵ_0 : 円周方向ひずみ

ϵ_r : 径方向ひずみ

α : 熱膨張係数 = 17.07×10^{-6} mm/mm°C (300°C)

T_0 : 外表面温度 = 247°C

t : 板厚 =

T : 板厚方向 (Z) の温度分布

(ロ) 第 A. 32 図に示すように、温度分布は次式で表わされる。

$$T = 8.18 \times 10^{-11} \boxed{} + 53.0 \quad \text{式(a)}$$

上式を用いると、

$$\frac{1}{t} \int T \, dZ = \boxed{}$$

$$= 86.1^\circ\text{C}$$

$$\frac{6}{t^2} \int (T \cdot Z) \, dZ = \boxed{}$$

$$= 71.0^\circ\text{C}$$

したがって、

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_r = 17.07 \times 10^{-6} \times \{-247 + 86.1 + 71.0\}$$

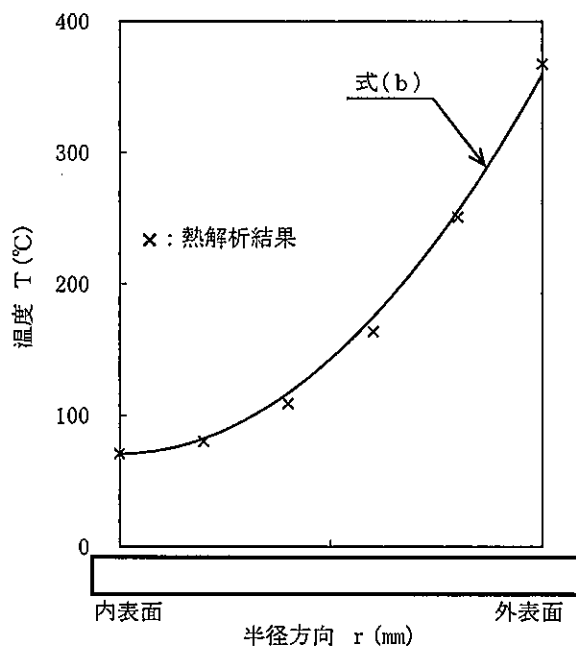
$$= -1.54 \times 10^{-3}$$

$$= -0.154\%$$

発生ひずみは、材料 $\boxed{}$ の最小破断ひずみの 29% に比べて十分小さく健全性を維持する。

(2) 容器本体胴部

蓋と同様に、内面と外面の温度差が最大となるのは火災事故発生後30分であり、板厚内の温度分布は(ロ)－第A.33図となる。



(ロ)－第A.33図 胴部中央部温度分布

この場合の円筒の最大ひずみは次式で与えられる。⁵⁾

$$\varepsilon_{\theta} = \varepsilon_z = \frac{\alpha}{b^2} \cdot \left[\left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} + 1 \right) \cdot \int_a^b (T \cdot r) dr - T_0 \cdot b^2 \right]$$

ただし、

ε_{θ} : 円周方向ひずみ

ε_z : 軸方向ひずみ

a : 内半径 =

b : 外半径 =

α : 熱膨張係数 = 17.57×10^{-6} mm/mm°C (400°C)

T : 半径方向(r)の温度分布

T_0 : 外面の温度 = 368°C

(ロ) 第 A. 33 図に示すように、温度分布は次式で表わされる。

$$T = 4.62 \times 10^{-3} \cdot \boxed{} + 70.7 \quad \text{式(b)}$$

上式を用いると、

$$\begin{aligned} \int_a^b (T \cdot r) dr &= 4.62 \times 10^{-3} \times \boxed{} \\ &+ \boxed{} \\ &= 1.44 \times 10^7 \end{aligned}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\theta} = \varepsilon_z &= \boxed{} \\ &= -3.21 \times 10^{-3} \\ &= -0.321\% \end{aligned}$$

発生ひずみは材料 $\boxed{}$ の最小破断ひずみの 29% に比べて十分小さく健全性を維持する。

(3) 容器本体底部

蓋と胴部に比べて温度勾配が小さく、発生ひずみは上記結果より小さくなるので、蓋及び胴部と同様に健全性を維持する。

2. 内圧による応力

(1) 蓋

蓋を周辺支持円板にモデル化すると、最大曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{1.24 \cdot P \cdot R^2}{t_1^2}$$

ただし、

P : 内 圧 = 0.1MPa

R : 外 半 径 =

t_1 : 最小板厚 =

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \text{} \\ &= 0.676\text{MPa} \end{aligned}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) に対する基準値 $\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$ は となり、余裕率 MS は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]}{S} - 1 \\ &= \frac{\text{}}{0.676} - 1 \\ &= \text{} \end{aligned}$$

(2) 蓋ボルト

蓋ボルトには内圧と初期締付トルクによる平均引張応力 σ_m (MPa) が生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_m = \left(\frac{P \cdot \pi \cdot r^2}{n} + \frac{T}{K \cdot d_m} \right) \div \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

ただし、

r : Oリング位置半径 =

n : ボルト本数 =

T : 初期締付トルク =

K : 締付トルク係数 = 0.2

d_m : ボルトの呼び径 =

d : ボルトの最小径 =

したがって、

$$\sigma_m = \text{$$
$$= 50.5\text{MPa}$$

ここで、軸方向に垂直な断面の平均引張応力 σ_m に対する基準値 S_y は

となり、余裕率は次のようになる。

$$MS = \frac{S_y}{\sigma_m} - 1$$
$$= \frac{\text{}{50.5} - 1$$
$$= \text{$$

(3) 容器本体胴部

内圧を受ける円筒の最大応力は円周方向に生じ、次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_\theta = P \cdot \frac{k^2 + 1}{k^2 - 1}$$

ただし、

$$k = \frac{b}{a} = \text{} = 2.35$$

a : 内半径 =

b : 外半径 =

したがって、

$$\sigma_\theta = 0.1 \times \frac{2.35^2 + 1}{2.35^2 - 1}$$
$$= 0.145\text{MPa}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_\theta$$

ここで、一次一般膜応力強さ (P_m) に対する基準値 $\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$ は となり、余裕率 MS は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 MS &= \frac{\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]}{S} - 1 \\
 &= \frac{\text{input}}{0.145} - 1 \\
 &= \text{input}
 \end{aligned}$$

(4) 容器本体底部

容器本体底部を周辺固定の円板にモデル化すると、最大曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{0.75 \cdot P \cdot a^2}{t_2^2}$$

ただし、

$$t_2: \text{板厚} = \text{input}$$

したがって、

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= \text{input} \\
 &= 0.0286 \text{MPa}
 \end{aligned}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$) に対する基準値 $\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$ は となり、余裕率 MS は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 MS &= \frac{\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]}{S} - 1 \\
 &= \frac{\text{input}}{0.0286} - 1 \\
 &= \text{input}
 \end{aligned}$$

A. 6.3.3 許容応力との比較

熱試験における熱膨張によるひずみと内圧による応力はA. 6.3.2項で検討した。これらの応力と基準値との比較はA. 6.5項に示す。

次に、蓋と容器本体フランジ部との蓋リング位置における相対口開き変形量を以下に求める。

板厚内の温度差により蓋が曲げ変形を生じる場合の曲率半径 ρ (mm) は次式で与えられる。(ロ)－第A.34図参照)

$$\rho = \frac{t/2}{\varepsilon}$$

ただし、

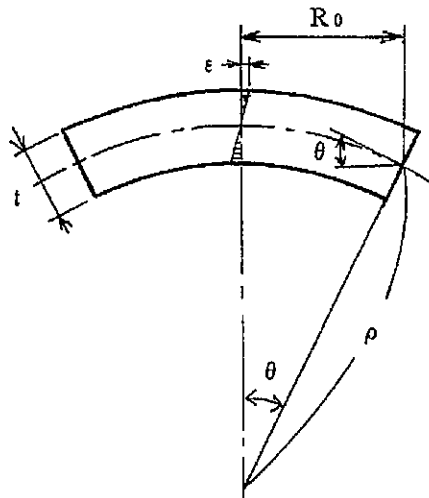
$$\varepsilon : \text{表面の膨張ひずみ} = \alpha \cdot (T - 20) + \varepsilon_r$$

$$t : \text{最大板厚} = \boxed{}$$

$$\alpha : \text{熱膨張係数} = 17.07 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C} \quad (300^\circ\text{C})$$

$$T : \text{表面温度} = 247^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_r : \text{表面の熱ひずみ} = -1.54 \times 10^{-3} \quad (\text{A. 6.3.2の1.(1)参照})$$



(ロ)－第A.34図 蓋の曲げ変形解析モデル

したがって、

$$\varepsilon = 17.07 \times 10^{-6} \times (247 - 20) - 1.54 \times 10^{-3}$$

$$= 2.33 \times 10^{-3}$$

$$\rho = \boxed{}$$

$$= 6.44 \times 10^4 \text{ mm}$$

蓋リング位置でのたわみ量 δ_1 (mm) は次式で表わされる。

$$\delta_1 = (R_o - \varrho) \cdot \tan \theta$$

ただし、

R_o : 外半径 =

ϱ : リング位置距離 =

θ : $\sin^{-1} \left(\frac{R_o}{\rho} \right) = \text{} = 0.331^\circ$

したがって、

$$\delta_1 = \text{}$$
$$= 0.516\text{mm}$$

次に、内圧を受ける周辺支持の円板の最大たわみ量 δ_2 (mm) は次式で与えられる。

5)

$$\delta_2 = \frac{0.696 \cdot P \cdot R^4}{E \cdot t_1^3}$$

ただし、

P : 内 圧 = 0.1MPa

R : 外 半 径 =

E : ヤング率 = 1.76×10^5 MPa (300°C)

t_1 : 最小板厚 =

したがって、

$$\delta_2 = \text{}$$
$$= 0.00176\text{mm}$$

内圧による最大たわみ量を蓋リング位置でのたわみ量とすると、熱膨張と内圧による口開き変形量 δ (mm) は、

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$
$$= 0.516 + 0.00176$$
$$= 0.518\text{mm}$$

となるが、リングの初期締付代2.0mmより小さく密封性を損うことはない。

A.6.4 浸漬

1. 蓋

蓋を周辺支持円板にモデル化すると、最大曲げ応力 σ_b (MPa)は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{1.24 \cdot P \cdot R^2}{t^2}$$

ただし、

R : 蓋半径 (mm)

P : 水頭圧 (MPaG)

t : 最小板厚 (mm)

ここに、

$$R = \boxed{}$$

$$P = 0.15 \text{MPaG}$$

$$t = \boxed{}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \boxed{} \\ &= 1.02 \text{MPa} \end{aligned}$$

さらに、応力強さ S (MPa)は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$)に対する基準値 $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ は $\boxed{}$ となり、余裕率 MS は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{\text{MIN}[3.6S_m, S_u]}{S} - 1 \\ &= \frac{\boxed{}}{1.02} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

したがって、外圧に対し蓋は十分な強度を有する。なお、外圧は蓋を容器本体に押付けるように作用するので、蓋リングの密封性能は15m浸漬試験において保持される。

2. 容器本体胴部

(1) 外圧に対する容器本体胴の応力評価

外圧を受ける円筒の最大圧縮応力 σ_c (MPa) は次式で表わされる。⁵⁾

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot k^2}{k^2 - 1} \cdot P$$

ただし、

$$k : \frac{b}{a} = \boxed{} = 2.35$$

$$a : \text{内半径} = \boxed{}$$

$$b : \text{外半径} = \boxed{}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{2 \times 2.35^2}{2.35^2 - 1} \times 0.15 \\ &= 0.367 \text{MPa} \end{aligned}$$

さらに、応力強さ S (MPa) は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_c$$

ここで、一次一般膜応力強さ (P_m) に対する基準値 $\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$ は $\boxed{}$ となり、余裕率 MS は次のようになる。

余裕率は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{\text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]}{S} \\ &= \frac{\boxed{}}{0.367} - 1 \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

(2) 外圧に対する容器本体胴の耐圧評価

外圧を受ける円筒形の容器本体胴の許容外圧 (MPa) は、金属キャスク構造規格¹⁾より、次の式で与えられる。

$t > 0.1 \cdot D_o$ より、

$$P \leq \text{MIN}[1.5 P_{a1}, 1.5 P_{a2}]$$

$$P_{a1} = \left(\frac{2.167 \cdot t}{D_o} - 0.0833 \right) \cdot B$$

$$P_{a2} = \frac{2 \cdot S \cdot t}{D_o} \cdot \left(1 - \frac{t}{D_o} \right)$$

ただし、

P_{a1} および P_{a2} : 許容外圧 (MPa)

B : 金属キャスク構造規格¹⁾ 別図 7-1 ~ 別図 7-6、
別図 7-11 から別図 7-21 により求められる値 = 80

t : 胴の厚さ =

D_o : 胴の外径 =

S : $\text{MIN}[1.5 S_m, 0.9 S_y]$ =

S_m : 設計応力強さ =

S_y : 設計降伏点 =

したがって、

$$P_{a1} = \left(\frac{2.167 \cdot t}{D_o} - 0.0833 \right) \cdot B$$

$$= \text{$$

$$= 43.1 \text{ MPa}$$

$$P_{a2} = \frac{2 \cdot S \cdot t}{D_o} \cdot \left(1 - \frac{t}{D_o} \right)$$

$$= \text{$$

$$= 67.1 \text{ MPa}$$

$$\text{MIN}[1.5 P_{a1}, 1.5 P_{a2}] = \text{$$

ここで、15m浸漬試験時の外圧は0.15MPaGなので、余裕率MSは次のようになる。

$$\begin{aligned}
 MS &= \frac{\text{MIN}[1.5 P_{a1}, 1.5 P_{a2}]}{0.15} - 1 \\
 &= \frac{\boxed{}}{0.15} - 1 \\
 &= \boxed{}
 \end{aligned}$$

3. 容器本体底部

容器本体底部を端部固定の円板にモデル化すると、その最大曲げ応力 σ_b (MPa)は次式で与えられる。⁵⁾

$$\sigma_b = \frac{0.75 \cdot P \cdot a^2}{t^2}$$

ただし、

a : 円板の半径 =

t : 板厚 =

したがって、

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= \boxed{} \\
 &= 0.0428 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

さらに、応力強さS (MPa)は、次式で与えられる。

$$S = \sigma_b$$

ここで、一次一般膜+一次曲げ応力強さ($P_L + P_b$)に対する基準値 $\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]$ はとなり、余裕率MSは次のようになる。

$$\begin{aligned}
 MS &= \frac{\text{MIN}[3.6 S_m, S_u]}{S} - 1 \\
 &= \frac{\boxed{}}{0.0428} - 1 \\
 &= \boxed{}
 \end{aligned}$$

A. 6. 5 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

特別の試験条件下における輸送物に対する評価結果の要約を(ロ)－表A.12に示す。表に示すように、各試験条件下において輸送物各部はA. 1. 2に定めた基準を満足し構造上の健全性が損われることはない。

(ロ)－表A.12 特別の試験条件に対する構造解析結果の要約(1/2)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (MS)
特別の試験条件	落下試験Ⅰ				
	1. 垂直落下				
	蓋	MIN[3.6S _m , S _u]		63.5	
	容器本体胴部	MIN[2.4S _m , 2/3S _u]		16.9	
	容器本体底部	MIN[3.6S _m , S _u]		5.71	
	収納缶用スペーサー	S _y		21.5	
	収納缶	S _y		13.6	
	2. 水平落下				
	容器本体胴部	MIN[2.4S _m , 2/3S _u]		35.1	
	収納缶用スペーサー	S _y		95.6	
収納缶	S _y		1.65		
3. コーナー及び傾斜落下	衝撃加速度が垂直及び水平落下時の衝撃加速度に比べて小さいので、1.及び2.の結果より厳しくなく、問題ない。				
	落下試験Ⅱ				
	1. 蓋及び容器本体底部	貫通荷重		7.08×10 ⁶ N	
	2. 容器本体胴部	貫通荷重		7.08×10 ⁶ N	
	3. バルブ部	貫通荷重		7.08×10 ⁶ N	

(ロ) - 表 A. 12 特別の試験条件に対する構造解析結果の要約 (2/2)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率等 (MS)
特別の試験条件	熱的試験				
	1. 歪レベル評価 (熱歪)				
	2. 内圧による応力				
	蓋	MIN[3.6S _m , S _u]		0.676	
	蓋ボルト	S _y		50.5	
	容器本体胴部	MIN[2.4S _m , 2/3S _u]		0.145	
	容器本体底部	MIN[3.6S _m , S _u]		0.0286	
	浸漬				
	蓋	MIN[3.6S _m , S _u]		1.02	
	容器本体胴部	MIN[2.4S _m , 2/3S _u]		0.367	
	MIN[1.5P _{a1} , 1.5P _{a2}]		0.15		
容器本体底部	MIN[3.6S _m , S _u]		0.0428		

2. 蓋Oリングの密封性能の評価（ひずみレベルの評価）

各試験条件において蓋部に作用する荷重に対してOリング位置での蓋の口開き変形量を各項において検討した。その変形量とOリングの初期締付代との比較を(ロ)一表A.13に示すが、各条件においていずれも基準値の初期締付代より口開き変形量は小さく密封性能が損われることはない。

(ロ)一表A.13 特別の試験条件に対する蓋部密封境界のひずみレベル評価

条 件		Oリング位置での蓋と容器本体フランジ部との相対口開き変形量	基 準 値
9 m 落 下 試 験	頭 部 垂 直	緩衝体の反力が蓋を容器本体に押付ける方向に作用するので口開き変形は生じない。	Oリングの 初期締付代 2.0mm
	底 部 垂 直	蓋が容器本体に押付けられ、口開き変形は生じない。	
	水 平	衝撃力の方向が口開き変形を生じる方向ではないので、口開き変形は生じない。	
	コ ー ナ ー	垂直、水平に比べて条件が厳しくない。	
1 m 貫通 試験	頭 部 垂 直	蓋が容器本体に押付けられ、口開き変形は生じない。	
火 災 試 験		熱的試験時の口開き変形量は0.518mmである。	
1.5 m浸漬試験		蓋が容器本体に押付けられ、口開き変形は生じない。	

3. 破損の要約

特別の試験条件下における破損の要約を各試験項目に従って説明する。

(1) 落下試験 I (9 m 落下時)

本試験では緩衝体が塑性変形する。最大変形はコーナー落下時に緩衝体に生じ、最大302mm圧潰する。緩衝体は変形するが、輸送容器本体からはずれることはない。

(2) 落下試験 II (1 m 落下時)

本試験では、緩衝体に貫通又は変形が生じる。緩衝体には貫通が生じるが、輸送容器本体からはずれることはない。

(3) 熱的試験 (火災試験)

本試験における容器内圧に対して、輸送容器本体各部の応力及びひずみは解析基準値以下で輸送容器本体は構造健全性を維持する。

(4) 浸漬 (15m 浸漬試験)

15mの水頭下においても、本輸送容器本体は破断することなくかつ密封性能を損うことはない。

(5) ま と め

特別の試験条件下における輸送物の主な破損の要約を(ロ)－表 A. 14に示す。これらの破損が、容器の熱的性能、密封性能及び遮蔽性能に与える影響は、(ロ)－表 A. 15に示すとおりである。これらの影響の具体的評価は、以下ロ章各項で検討する。

(ロ) - 表 A.14 特別の試験条件下の輸送物破損の評価

備考) ○印は破損あり
 —印は破損なし

試験	部位	輸送容器本体	緩衝体	収納缶用スペーサー	収納缶	備考
落下試験 I (9 m 落下試験)	—	—	○	—	—	・ 収納缶用スペーサー及び収納缶は破損しない。
落下試験 II (1 m 貫通試験)	—	—	○	—	—	・ 上記と同じ。
熱的試験 (火災試験)	—	—	—	—	—	—
浸漬 (15m 浸漬試験)	—	—	—	—	—	—

(ロ)ー表 A. 15 特別の試験条件における他の解析への影響

熱 解 析	密 封 解 析	遮 蔽 解 析
<p>落下試験Ⅰ(9 m 落下試験)による緩衝体の変形量を考慮して解析する。また、落下試験Ⅱ(1 m 貫通試験)により緩衝体に貫通が生じる恐れがあるので安全側に貫通部分をモデルより除外する。なお、収納缶用スペーサー及び収納缶は破損しない。</p>	<p>密封装置は緩衝体及びバンプカバーに覆われているので、直接突起物等により衝撃を受けることはない。また、蓋部密封境界の歪レベルは小さく密封性能が損われることはない。</p>	<p>緩衝体の変形が大きいので、解析モデル上、緩衝体がないとし緩衝体による放射線の減衰効果を見捨てて解析する。収納缶用スペーサー及び収納缶は塑性変形しないため、燃料デブリサンプルが収納缶内部でのみ移動するものとして取り扱う。</p>

A. 7 強化浸漬試験

本輸送容器の収納物は、A. 10. 1 に示すとおり、最大放射エネルギーが A_2 値の 10 万倍を超えないため、該当なし。

A. 8 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物は、BWR 使用済燃料集合体及び制御棒の他、炉心構造物等から構成される燃料デブリサンプルであり、その収納缶の構造図を(イ)ー第D. 1 図に示す。

収納缶の構造的特徴及び仕様はイ章Dに示すとおりである。

本輸送物を構成する蓋、容器本体、収納缶用スペーサー及び収納缶等の強度解析を行い、破損しないことを確認した。したがって、外部に放射性収納物が放散することはない。

なお、収納缶内の収納物自体の強度解析は実施していないため、収納缶内で破損や移動等が起こるものとして、他の解析では取り扱う。

A.9 核分裂性輸送物

該当なし。

A.10 付属書類

A.10.1 収納物の最大放射能量

本輸送物の収納物の最大放射能量は、以下のとおりA₂値の10万倍を超えないので、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を収納した核燃料輸送物には該当しない。

主要核種	基準値(A ₂ 値) (TBq)	放射能量 (TBq)	A ₂ 値との比 (-)
アクチニド 及び 娘核種	²³⁷ U	—	
	²³⁹ Np	0.4	
	²³⁸ Pu	0.001	
	²³⁹ Pu	0.001	
	²⁴⁰ Pu	0.001	
	²⁴¹ Pu	0.06	
	²⁴² Pu	0.001	
	²⁴¹ Am	0.001	
	^{242m} Am	0.001	
	²⁴² Am	—	
	²⁴³ Am	0.001	
	²⁴² Cm	0.01	
	²⁴³ Cm	0.001	
	²⁴⁴ Cm	0.002	
	²⁴⁵ Cm	0.0009	
	²⁴⁶ Cm	0.0009	
核分裂生成物	³ H	40	
	⁸⁵ Kr	10	
	⁹⁰ Sr	0.3	
	⁹⁰ Y	0.3	
	⁹³ Zr	制限無し	
	^{90m} Nb	30	
	⁹⁰ Tc	0.9	
	¹⁰² Rh	0.5	
	¹⁰⁶ Ru	0.2	
	¹⁰⁶ Rh	—	
	¹¹⁰ Ag	—	
	^{110m} Ag	0.4	
	^{113m} Cd	0.5	
	^{119m} Sn	30	
	¹²⁵ Sb	1	
	^{125m} Te	0.9	
	¹²⁶ Sn	0.4	
	^{126m} Sb	—	
	¹³⁴ Cs	0.7	
	¹³⁵ Cs	1	
	¹³⁷ Cs	0.6	
	^{137m} Ba	—	
	¹⁴⁴ Ce	0.2	
	¹⁴⁴ Pr	—	
	^{144m} Pr	—	
	¹⁴⁶ Pm	—	
	¹⁴⁷ Pm	2	
	¹⁵¹ Sm	10	
¹⁵² Eu	1		
¹⁵⁴ Eu	0.6		
¹⁵⁵ Eu	3		
合計			

A.10.2 参考文献

- 1) (社)日本機械学会, “使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版)”, JSME S FA1-2007, (2007)
- 2) 日本工業標準調査会, “JIS B 8270 圧力容器(基盤規格)”, (財)日本規格協会, (1993)
- 3) 産業技術センター, “複合材料技術集成”, (1976)
- 4) 木材工業ハンドブック編集委員会, “木材工業ハンドブック(改訂3版)”, (昭和57年)
- 5) 日本機械学会編, “機械工学便覧 新版”, (1987)
- 6) 幾島、浅田, “放射性物質輸送容器の衝突解析用簡易計算コードの開発, (I) 緩衝体付輸送容器衝突計算コードCRUSH”, 日本原子力学会誌 Vol. 33 No.4, (1991)



口 章 B 熱 解 析





B. 熱解析

B.1 概要

1. 熱設計

本輸送容器の熱設計の要点は、容器内部の収納物により発生する崩壊熱を外部に放散するシステムである。本輸送容器は(イ)－第C.2図に示すように円筒構造である。容器内の収納物により発生する崩壊熱は、容器本体内の空気の伝導とふく射によって容器本体に伝えられる。容器本体に伝えられた熱は、容器本体外表面より大気に放散される。また、容器内は空気の温度上昇により圧力上昇を生じる。

なお、収納物の崩壊熱量は、以下であり、自然冷却にて輸送を行う。

2. 熱解析

熱解析は、本輸送物が「規則」及び「告示」に基づいてBM型輸送物に係る技術上の基準に適合することを示すために行った。

通常の輸送時及び一般の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

① 最高温度条件

輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽放射熱を1週間受ける。

② 人の近づきうる表面の最高温度条件

輸送物は、38℃の大気中において太陽放射熱を受けない。

特別の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

① 輸送物は、0.9の周囲吸収率を持つ800℃の放射熱環境に30分間さらされる

(火災事故)。この場合、輸送物表面の放射率はである。(注1)

なお、火災中は太陽放射熱を受けない。

② 事故後の輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽放射熱を受ける。

(注1) 輸送物が火災にさらされた場合、輸送物表面の放射率はより小さいので、「放射性物質等の輸送に関する安全基準」にもとづき、安全側にとする。

本輸送物は、ロ章A. 構造解析で示したように一般の試験条件下及び特別の試験条件下において緩衝体に変形を生じるので、輸送物の熱的性能はこの変形の影響を受けると考えられる。

一般の試験条件のうち、水噴霧試験及び積み重ね試験では輸送物は変形しないが、自由落下試験及び貫通試験において緩衝体に変形を生じる。

一般の試験条件下では、緩衝体に変形していないとする方が輸送物の温度を高く評価できる。したがって、緩衝体には変形がないものとし、38℃の環境に1週間放置したものとして一般の試験条件下の熱解析を行う。

特別の試験条件下では、落下試験Ⅰ及びⅡにより緩衝体に変形や破損が生じるのでこれらを考慮して評価する。

次に、燃料デブリサンプル、収納缶及び収納缶用スペーサーは、容器胴内において移動する可能性がある。しかし、これらが移動したとしても、収納物の発熱量が非常に小さいので容器の温度分布に与える影響は無視できる（B.4.2の解析結果参照）。したがって、熱解析では燃料デブリサンプル、収納缶及び収納缶用スペーサーは移動せず底部に接触しているとして取扱う。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下の熱解析は、有限要素法によるABAQUSコード¹⁾を用いて行った。

3. 最大崩壊熱量

本輸送容器に収納する燃料デブリサンプルの仕様は、イ章Dで述べたとおりである。収納物の崩壊熱は、ORIGEN2コード²⁾を用いて計算した。

熱解析の対象とする燃料デブリサンプルの最大崩壊熱は全体で□とした。

計算に用いた燃焼条件を(ロ)表B.1に示す。収納缶に収納される燃料デブリサンプルは合計□以下であり、収納される燃料デブリサンプル□全てがウランであるものとした計算の結果、その崩壊熱量は最大□である。

(ロ)－表B.1 燃 焼 条 件

収納物の種類 条件	燃料デブリサンプル
燃 焼 度 (GWD/MTU)	
冷 却 期 間 (日)	

4. 熱解析の条件及び方法

熱解析の条件及び方法を(ロ)－表B.2に示す。

(ロ)一表B.2 熱解析の条件及び方法

項目	条件		試験		
	通常時	一般の試験	特別の試験		試験
崩壊熱量	太陽放射熱無の紺	最高温度評価条件	火災前	火災時	火災後
	静置空気 38℃	静置空気 38℃	静置空気 38℃	火災30分間 800℃	静止空気 38℃
	なし	照射	照射	なし	照射
	1.0	1.0	1.0	0.9※	1.0
容器表面放射率					
	軸対称全体モデル (緩衝体を含む)				
計算モデル	輸送容器				
	収納物	均質化近似			
温度分布計算プログラム	有限要素法によるABAQUSコード				
使用物性値	B.2 材料の熱的性質に示す。				
最大内圧	$\frac{PV}{T} = \text{一定}$				

※火災の放射率を示す。



B.2 材料の熱的性質

輸送物の構成材料はイ章C 3. に示すとおりである。これらの材料のうち熱解析で用いた材料の熱的性質を以下に示す。

1.
の熱的性質を(ロ)表B. 3に示す。このデータは伝熱工学資料³⁾に基づいている。

なお、放射率のうち、(a)は火炎にさらされない鋼板表面の放射率であり、伝熱工学資料³⁾に基づいている。また、(b)は火炎にさらされている鋼板表面の放射率であり、平成2年科学技術庁告示第5号に基づいている。

2. 燃料デブリサンプル

燃料デブリサンプルは、主に二酸化ウラン及びジルカロイで構成されているが、本検討では二酸化ウランのみで構成されているものとする。

二酸化ウランの熱的性質を(ロ)表B. 4に示す。

このデータのうち、密度及び比熱のデータは、伝熱工学資料³⁾に基づいている。また、熱伝導率のデータは、Thermal conductivities of irradiated UO_2 and $(U, Gd)O_2$ pellets⁴⁾に基づいている。

3.
の熱的性質を(ロ)表B. 5に示す。このデータは木材工業ハンドブック⁵⁾に基づいている。

4. 空 気

空気の熱的性質を(ロ)表B. 6に示す。このデータは伝熱工学資料³⁾に基づいている。

(ロ)一表B. 3 の熱的性質

		
密 度		
放 射 率		
温 度 ℃	熱 伝 導 率 W/(m · K)	比 熱 kJ/(kg · K)
0		
20		
200		
400		
600		
800		

(ロ)一表B. 4 二酸化ウランの熱的性質

二酸化ウラン		
密 度		
温 度 ℃	熱 伝 導 率 W/(m · K)	比 熱 kJ/(kg · K)
0		
20		
200		
400		
600		
800		

(ロ) - 表 B. 5 の熱的性質

		
密 度		
温 度 ℃	熱 伝 導 率 W / (m · K)	比 熱 kJ / (kg · K)
20		
100		

(ロ) - 表 B. 6 空 気 の 熱 的 性 質

空 気					
温 度 ℃	密 度 kg / m ³	比 熱 kJ / (kg · K)	動粘性係数 mm ² / s	熱伝導率 W / (m · K)	プラン トル数
0	1.251	1.005	13.8	0.0241	0.73
20	1.166	1.005	15.6	0.0257	0.71
100	0.916	1.013	23.9	0.0316	0.70
200	0.722	1.026	35.8	0.0386	0.69
300	0.596	1.047	49.5	0.0449	0.69
400	0.508	1.068	64.5	0.0508	0.69
600	0.391	1.118	98.9	0.0613	0.70
800	0.319	1.156	137	0.0709	0.71

B.3 構成要素の仕様

1. 蓋部シール

Oリング

使用可能温度 $-60 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ⁶⁾

太 さ

2. ベントバルブ及びドレンバルブ

バルブ

シール材 Oリング (形状を除き、1. と同じ仕様)

B.4 一般の試験条件

B.4.1 熱解析モデル

輸送物の熱解析は、有限要素法によるABAQUSコードを用いて行った。

B.4.1.1 解析モデル

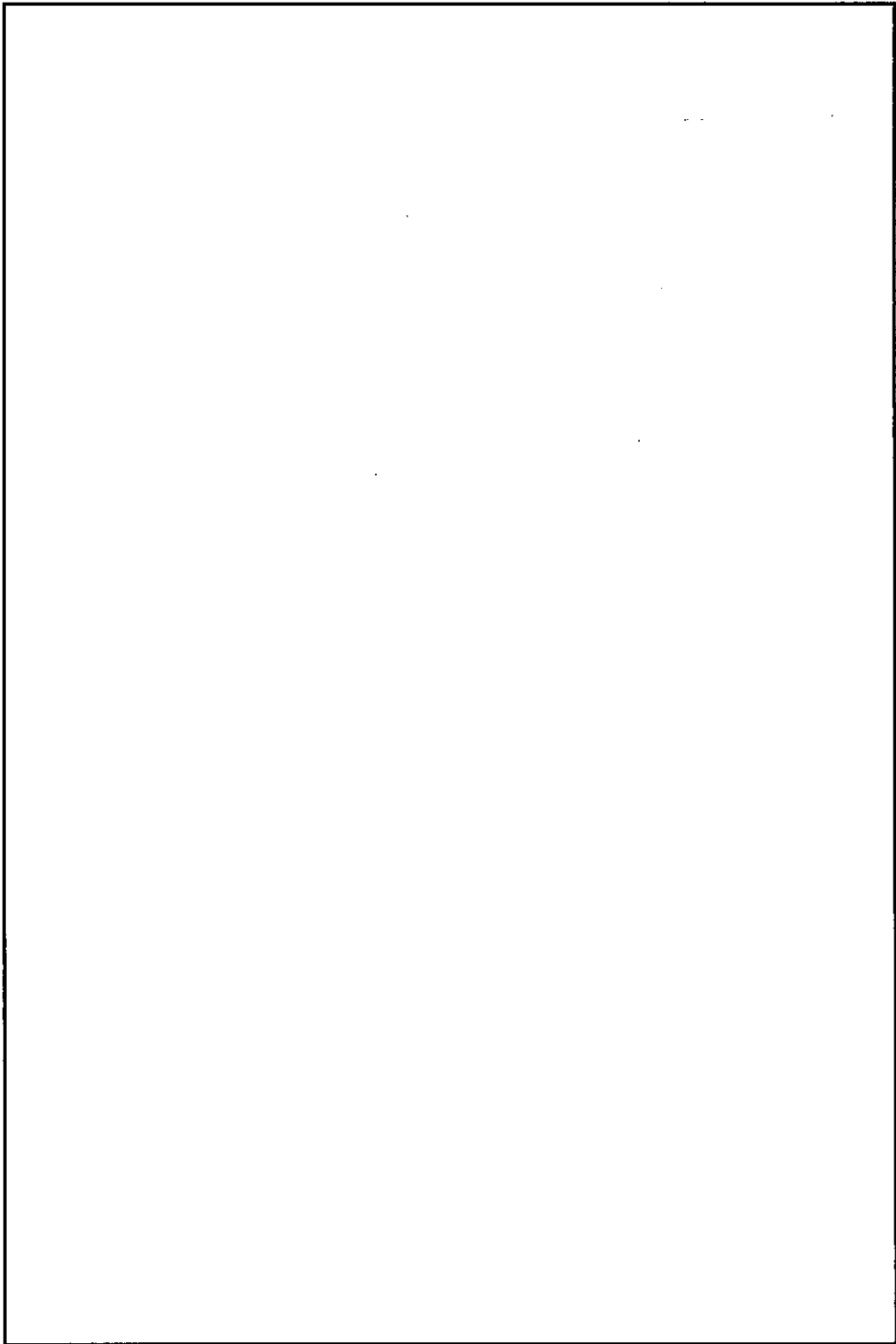
1. 形状モデル

本輸送物の通常の輸送時及び一般の試験条件における各部温度を評価するために軸方向2次元軸対称全体モデル(以下全体モデルと言う)を用いた。

B.1.2.で述べたように一般の試験条件下の熱解析では輸送容器は変形及び破損はしていないとする。

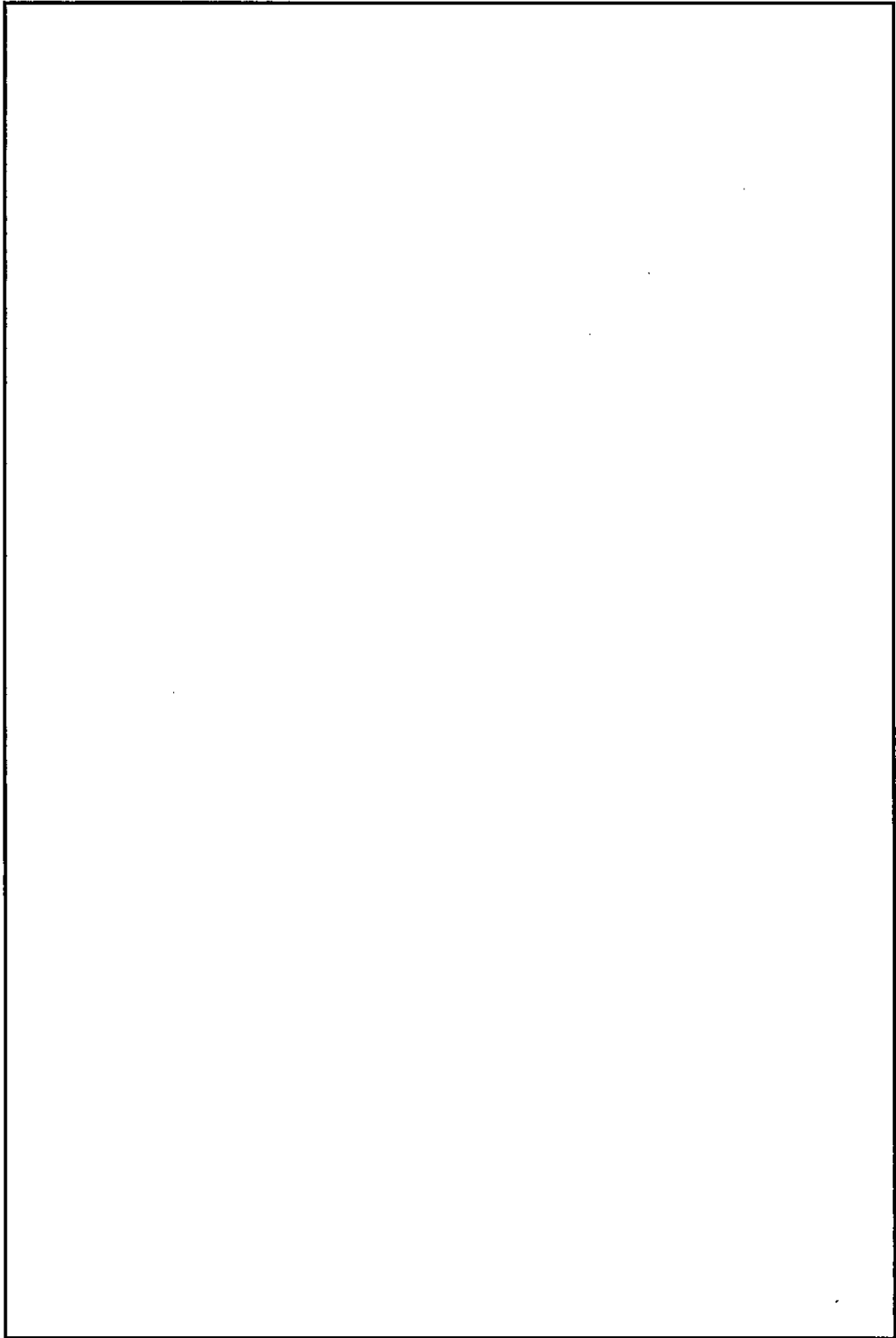
解析モデルに用いる熱伝達係数等の諸係数については付属書類B.6.1に詳細を示す。

解析モデルの形状及び要素分割図を(ロ)－第B.1図及び(ロ)－第B.2図に示す。なお、容器本体については胴部と底部に分けて評価結果を示すことにする。



(単位：mm)

(ロ)－第B.1図 解析モデル形状図 (通常時及び一般の試験条件)



(ロ)－第B.2図 解析モデル要素分割図 (通常時及び一般の試験条件)

解析モデルにおいて、燃料デブリサンプル、収納缶及び収納缶用スペーサーは1つの均質な領域であると近似し、二酸化ウラン及び[]が均一に混合されていると仮定した。均質化した収納物領域の平均密度及び平均比熱は次の式を用いて計算した。

$$\rho_{ave} = \frac{\sum W_i}{V}$$

$$C_{pave} = \frac{\sum (W_i \cdot C_{pi})}{\sum W_i}$$

ただし、

- ρ_{ave} : 平均密度 (kg/m³)
- W_i : 二酸化ウラン及び[]の重量 (kg)
- V : 均質化した領域の体積 (m³)
- C_{pave} : 平均比熱 (kJ/kg·K)
- C_{pi} : 二酸化ウラン及び[]の比熱 (kJ/kg·K)

均質化した収納物領域の体積と構成材料の重量を(ロ)－表B.7に示す。

(ロ)－表B.7 均質化した収納物領域の体積と構成材料の重量

総体積 (m ³)		
総重量 (kg)		
内訳 (kg)	二酸化ウラン	
	[]	

均質化した収納物の平均密度及び平均比熱を(ロ)－表 B. 8 に示す。

(ロ)－表 B. 8 均質化した収納物領域の熱的性質

平均密度 (kg/m ³)	
温度 (°C)	平均比熱 (kJ/kg·K)
0	
20	
200	
400	

緩衝体も同様に、周辺緩衝材部に対してはリブを考慮し、次のように均質化した。

平均密度及び平均比熱は、

$$\rho_{ave} = \frac{\sum W_i}{V}$$

$$C_{pave} = \frac{\sum (W_i \cdot C_{pi})}{\sum W_i}$$

ここで、 ρ_{ave} : 平均密度 (kg/m³)

W_i : 又は の重量 (kg)

V : 均質化した領域の体積 (m³)

C_{pave} : 平均比熱 (kJ/kg·K)

C_{pi} : 又は の比熱 (kJ/kg·K)

また、平均熱伝導率は、

$$\lambda_{ave} = \frac{\sum (V_i \cdot \lambda_i)}{V}$$

ここで、 λ_{ave} : 平均熱伝導率 (W/m·K)

V_i : 又は の体積 (m³)

λ_i : 又は の熱伝導率 (W/m·K)

均質化した緩衝体周辺緩衝材部の体積と構成材料の重量を(ロ)－表 B. 9 に示す。

(ロ)－表 B. 9 均質化した緩衝体周辺緩衝材部の体積と構成材料の重量

総体積 (m ³)		[]
総重量 (kg)		
内訳	[]	

均質化した緩衝体周辺緩衝材部の平均密度、平均比熱及び平均熱伝導率を(ロ)－表 B. 10に示す。

(ロ)－表 B. 10 均質化した緩衝体周辺緩衝材部の熱的性質

平均密度 (kg/m ³)	[]	
温度 (°C)	平均比熱 (kJ/kg·K)	平均熱伝導率 (W/m·K)
20	[]	
100		
200		
300		

2. 解析条件

通常時及び一般の試験条件下における解析条件を(ロ)－表B.11に示す。また、太陽放射熱を(ロ)－表B.12に示す。

収納物の最大崩壊熱量は、である。また、周囲空気温度は最高38℃、容器表面の放射率は、周囲吸収率は1.0とする。

(ロ)－表B.11 通常時及び一般の試験条件下の熱解析条件

項 目		条 件
崩 壊 熱 量		<input type="text"/>
環条 境件	周 围 温 度	38℃
	太 陽 放 射 熱	(ロ)－表B.12に示す熱量が連続照射又はなし
	周 围 吸 収 率	1.0
容器表面放射率		<input type="text"/>

(ロ)－表B.12 太陽放射熱データ

表面の形状及び位置の区分		太 陽 放 射 熱 ^{注)} (W/m ²)
水平に輸送される平面	下向きの表面	な し
	上向きの表面	800
垂直に輸送される表面及び 水平に輸送されない下向きの平面		200
その他の表面		400

注) 安全側に連続照射とする。

B.4.1.2 試験モデル

該当なし

B.4.2 最高温度

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通常時及び一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度の結果を(ロ)表B.13に示す。

A B A Q U Sコードで解析して得られた太陽放射熱のない場合の通常時の輸送容器の各部の温度分布を(ロ)第B.3図に、また最高温度評価条件における温度分布を(ロ)第B.4図に示す。

通常時に人が容易に近づきうる表面としては、(ロ)表B.13に示すように、通常時(太陽放射熱無しの場合)において緩衝体は38.6℃、容器本体胴部外表面は38.8℃となり、これらは基準値の85℃以下である。

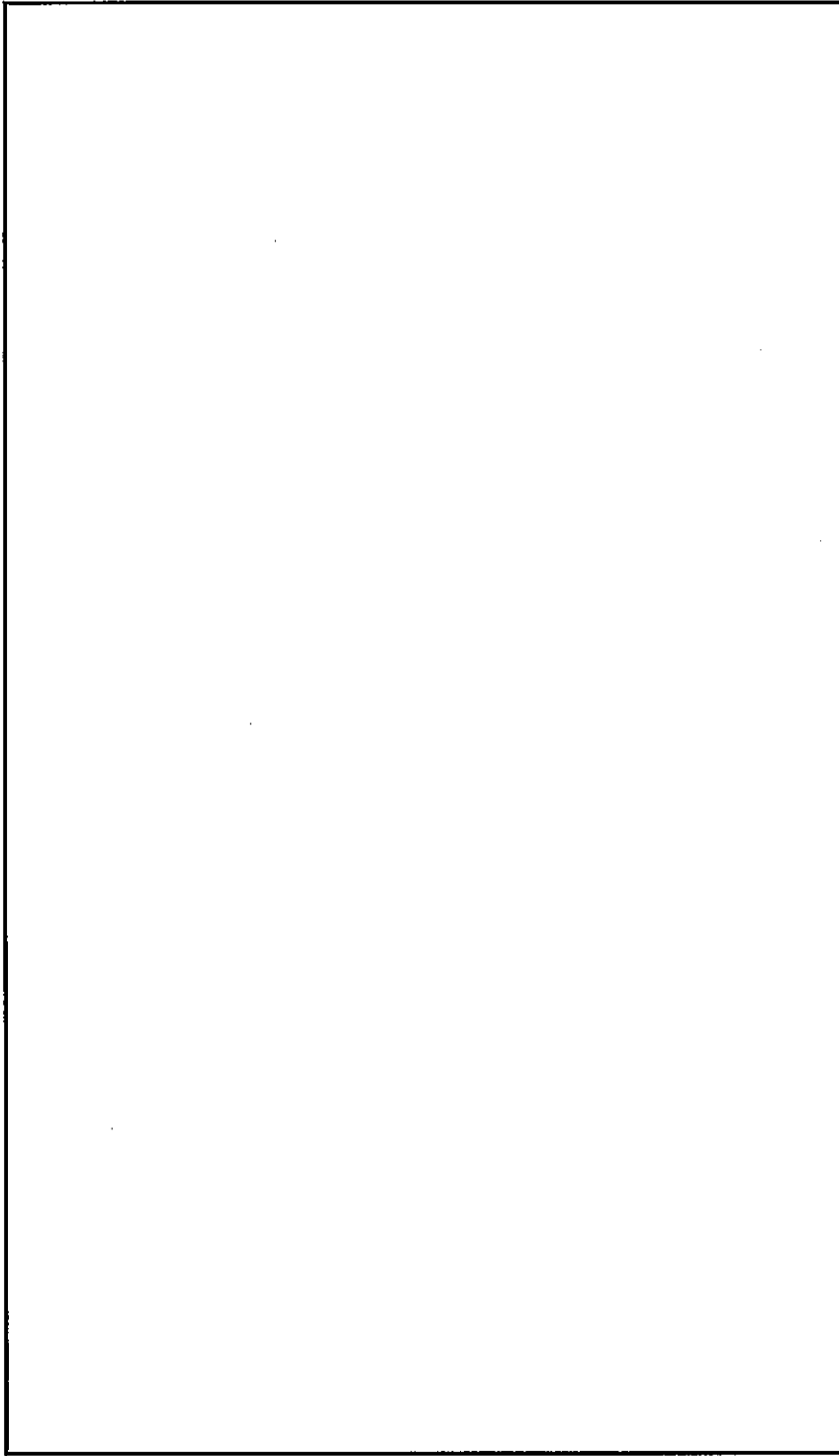
一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度は、蓋で52.2℃、容器本体で52.8℃である。また蓋Oリングは52.1℃、ベントバルブOリングは52.1℃、ドレンバルブOリングは52.6℃となる。

以上の熱解析結果より、一般の試験条件下において、密封装置Oリングの最高温度は使用可能温度150℃をこえることはなく、その他の構成材料についても悪影響を及ぼすような温度にはならない。

(ロ)一表B.13 通常時及び一般の試験条件下における最高温度

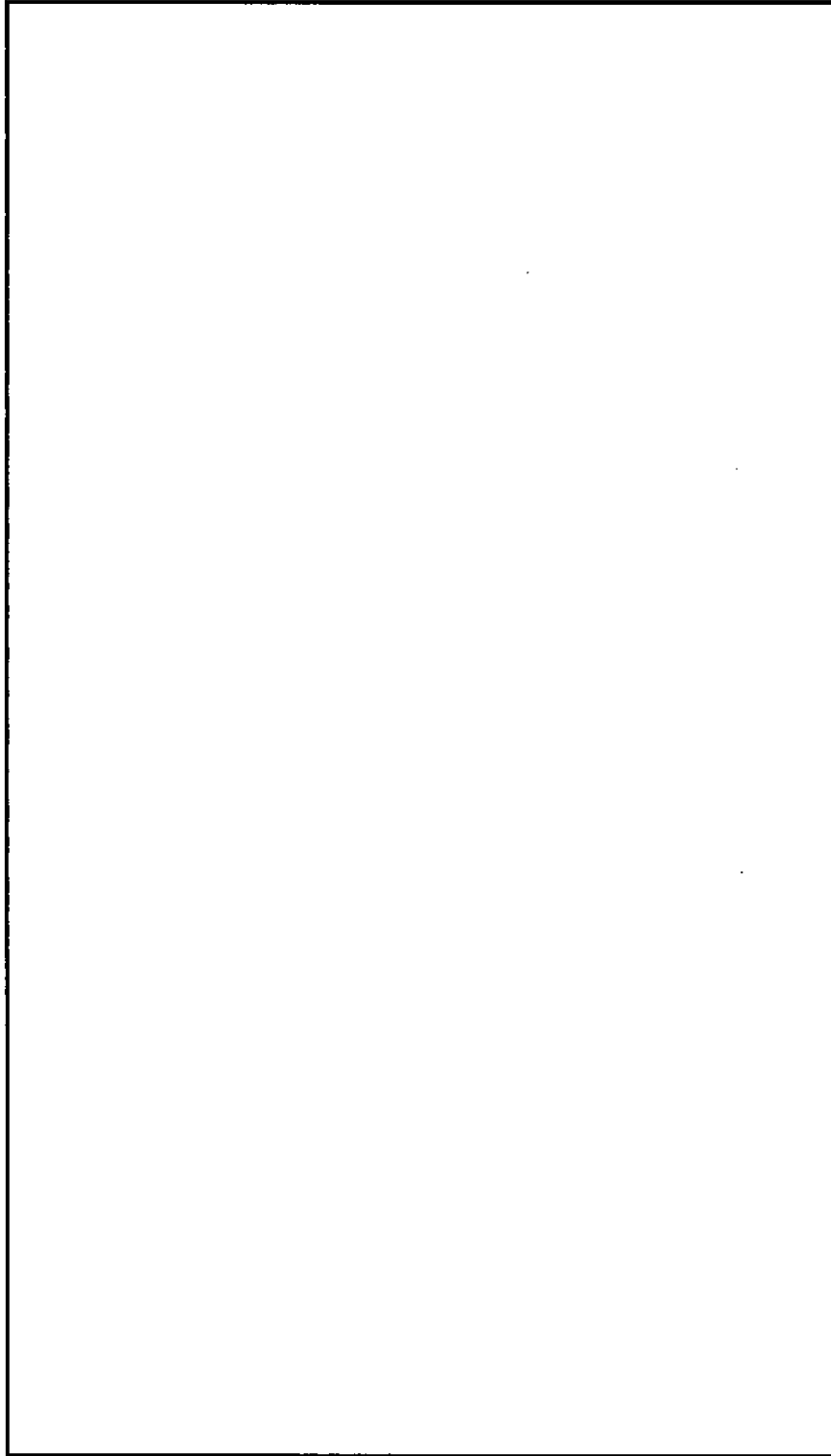
(単位：℃)

部 位	条 件	通 常 時	一 般
		太 陽 放 射 熱 無	太 陽 放 射 熱 有
周 囲 温 度		3 8	3 8
緩 衝 体 表 面		3 8 . 6	5 8 . 5
容 器 本 体 胴 部 外 表 面		3 8 . 8	5 2 . 5
蓋		3 8 . 6	5 2 . 2
容 器 本 体 胴 部		3 9 . 0	5 2 . 6
容 器 本 体 底 部		3 9 . 0	5 2 . 8
収 納 缶 及 び 収 納 缶 用 ス ペ ー サ ー		3 9 . 0	5 2 . 7
蓋 オ リ ン グ		3 8 . 6	5 2 . 1
ペ ン ト バ ル ブ オ リ ン グ		3 8 . 6	5 2 . 1
ド レ ン バ ル ブ オ リ ン グ		3 8 . 9	5 2 . 6



(単位：℃)

(ロ) - 第 B. 3 図 通常時 (太陽放射熱：なし) における解析モデル温度分布



(単位 : °C)

(ロ) - 第B.4図 一般の試験条件における解析モデル温度分布 (最高温度評価条件)

B. 4. 3 最低温度

本輸送物の最低使用温度は -20°C である。ロ章A. 4. 2 低温強度の項で述べたように構成材料は -20°C で使用しても健全性が損なわれることはない。

B. 4. 4 最大内圧

一般の試験条件において輸送容器内に最大内圧を生じるのは崩壊熱量は \square で、環境温度が 38°C の場合である。

以下、このときの容器内の圧力の計算を示す。ここで、計算は下記の条件下で行う。

- ・ 収納物（燃料デブリサンプル、収納缶収納物、収納缶及び収納缶用スペーサー）の相変化及び化学的分解は起こらないため、考慮しない。
- ・ ロ章C. 密封解析の検討と同様に、収納缶の密封性は考慮しない。
- ・ 燃料デブリサンプルからのFPガス放出を考慮する。
このときのFPガス放出率は30%⁷⁾と仮定する。

以上の条件より、容器内空気の温度上昇による圧力上昇は次式で与えられる。

$$P = P_1 + P_2$$
$$P_1 = P_0 \times \frac{T}{T_{20}}$$
$$P_2 = \frac{M \cdot \alpha \cdot R \cdot T}{V} \times 10^{-6}$$

ただし、

- P : 一般の試験条件下の圧力 (MPa abs)
- P_0 : 初期圧力 (大気圧 : 0.1013 MPa abs)
- P_1 : 空気の分圧 (MPa abs)
- P_2 : FPガスの分圧 (MPa abs)
- T_{20} : 初期温度 ($20 + 273.15 = 293.15$ K)
- T : 収納物温度 ($52.7 + 273.15 = 325.85$ K)
- M : 燃料デブリサンプル中のFPガス量 (0.09349 mol)

R : 気体定数 (8.3144621 J/mol·K)

α : FPガス放出率 (0.3)

V : 内部空間体積

したがって、

$$P_1 = 0.1013 \times \frac{325.85}{293.15}$$

$$= 0.1126 \text{ MPa abs}$$

$$P_2 =$$

$$= 0.0020 \text{ MPa abs}$$

$$P = 0.1126 + 0.0020$$

$$= 0.1146 \text{ MPa abs}$$

$$= 0.0133 \text{ MPaG}$$

B. 4.5 最大熱応力

一般の試験条件下においては、容器各部の温度差は1℃以下と小さいので生じる熱応力は無視できるほど小さい。

B. 4.6 結果の要約及びその評価

通常時及び一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度は(ロ)一表 B. 13に示すとおりであり、輸送容器内部の圧力は0.1146MPaである。

容易に人の近づき得る部分としての緩衝体及び容器本体胴部外表面の最高温度は太陽放射熱なしの通常時において38.8℃であり、基準温度の85℃をこえることはない。

Oリングの最高温度は52.6℃となり、B. 3に記載した使用可能温度150℃をこえることはない。また、その他の構成材料についても悪影響を及ぼすような温度にはならない。

なお、一般の試験条件下の構造解析においては、(ロ)一表 B. 13に示す温度及び圧力に余裕をとった条件で解析を行っている。

一方、本輸送物の最低使用温度は-20℃であるが、ロ章 A. 4. 2に示すように構成材料は、-20℃において健全性が損なわれることはない。

一般の試験条件下における熱解析結果の要約及びその評価を(ロ)一表 B. 14に示す。

(ロ)一表 B.14 通常時及び一般の試験条件下における熱解析結果の要約及びその評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度			
近接表面 ^{注)}	85℃	38.8℃	基準に合致
リング	150℃	52.6℃	基準に合致
蓋	—	52.2℃	] 構造解析に使用
容器本体胴部	—	52.6℃	
容器本体底部	—	52.8℃	
最大内圧	—	0.1146MPa (0.0133MPaG)	構造解析では 安全側に0.100 MPaGを使用
最大熱応力	—	熱応力は無視でき るほど小さい。	—
最低温度	-20℃における健全 性の維持	-20℃において材 料は健全性を維持	基準に合致

注) 太陽放射熱無しの場合に対する評価である。

B.5 特別の試験条件

B.5.1 熱解析モデル

輸送物の熱解析は、燃料デブリサンプルを収納した輸送物について、有限要素法によるABAQUSコードを用いて行った。

B.5.1.1 解析モデル

1. 形状モデル

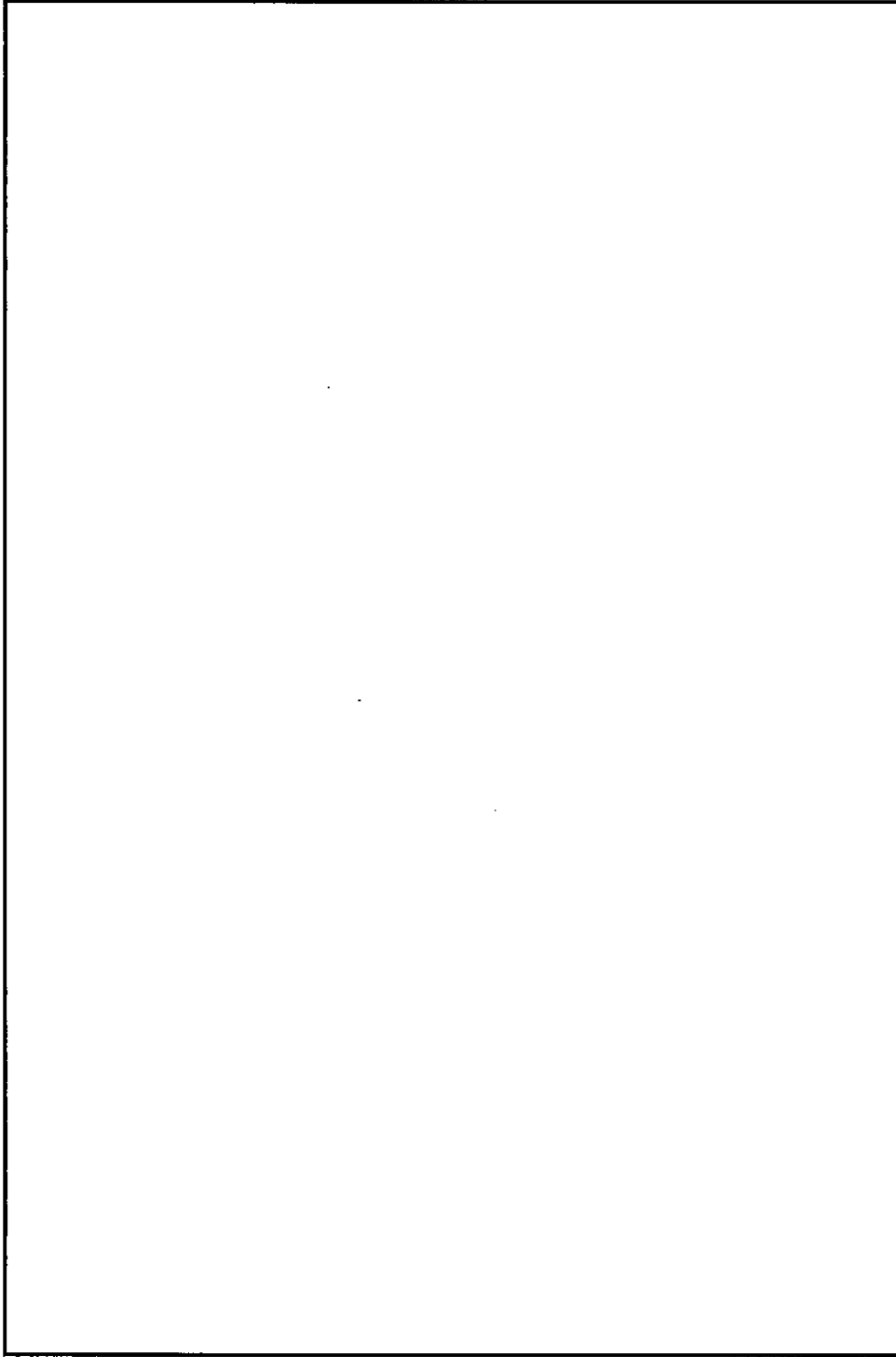
一般の試験条件と同様に、全体モデルを用いた。

なお、特別の試験条件においては下部緩衝体底面も火災にさらされ、外部からの入熱が多くなるように輸送容器は横置になったとして解析する。

B.1 2. で述べたように、特別の試験条件下の火災事故においては、落下試験 I により緩衝体が変形する。緩衝体に対しては、変形を考慮する方が輸送容器への入熱量を大きく与えるので、変形後の形状をモデルに考慮する。

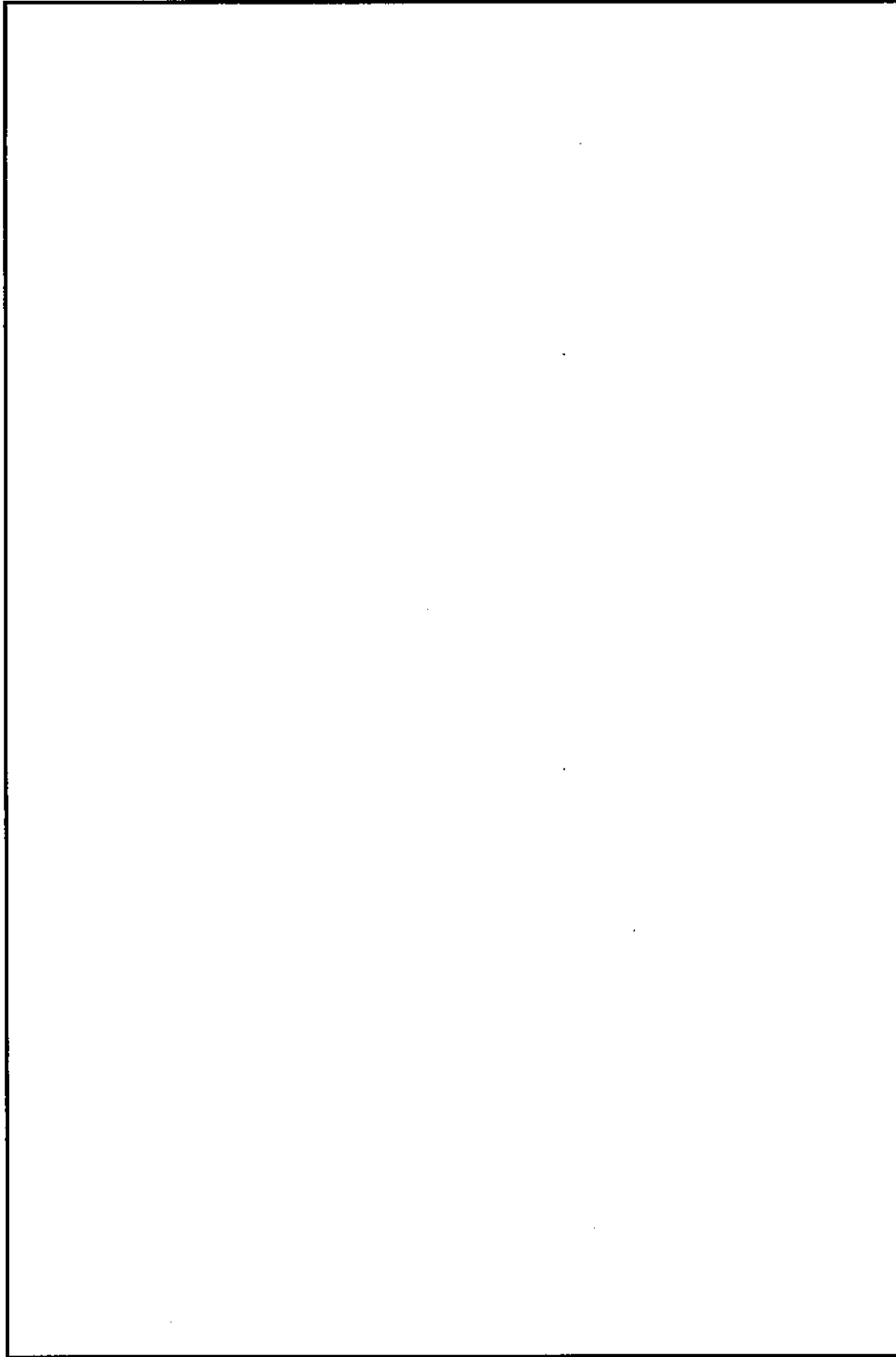
落下試験 II（貫通落下）における輸送物の変形も緩衝体に生じる変形である。緩衝体については、落下時に緩衝体に穴があく可能性があるので、上部緩衝体には中央に、下部緩衝体にはドレンバルブ付近に穴があいたとする。

全体モデルの形状を(ロ)－第B.5図に、要素分割図を(ロ)－第B.6図に示す。



(単位：mm)

(ロ) - 第 B. 5 図 解析モデル形状図 (特別の試験条件)



(ロ) - 第B.6図 解析モデル要素分割図 (特別の試験条件)

2. 解析条件

解析に使用した熱的条件は次のとおりである。

収納物の崩壊熱量は、全体で□である。特別の試験条件下の熱解析は、強度試験（落下試験Ⅰ及びⅡ）条件にひきつづいて、火災事故条件下におかれるものとする。また、火災事故に遭遇する時の輸送容器の温度分布は、一般の試験条件時の温度分布（(ロ)－第B.4図参照）であるとする。

火災事故の熱的条件は、周囲温度800℃、火災時間30分、火炎の放射率0.9、容器表面の放射率□であり、太陽放射熱は受けないものとし、容器は横置きとする。火災事故後の熱的条件は、周囲温度38℃であり、太陽放射熱((ロ)－表B.12参照)を連続で受けるものとする。このとき、容器表面の放射率は□であり、周囲の吸収率は1.0とする。容器表面からの熱放散は自然対流と放射を考慮する。

解析条件のまとめを(ロ)－表B.15に示す。

(ロ)－表B.15 特別の試験条件下の熱解析条件

事象 項目		火災事故前	火災事故時 (30分間)	火災事故後
崩壊熱量		□		
環境条件	周囲温度	静止空気 38℃	火災 800℃	静止空気 38℃
	太陽放射熱	照射	なし	照射
	周囲吸収率	1.0	0.9※	1.0
容器表面の放射率		□		
容器の姿勢		立置き	横置き	横置き

※火炎の放射率を示す。

B.5.1.2 試験モデル

該当なし

B.5.2 輸送物の評価条件

落下試験Ⅰ(9 m落下)における輸送物の変形は、緩衝体に生じる変形である。このときの緩衝体の変形は、垂直落下で114mm、水平落下で99.3mm、コーナー落下で302mmの変形量である。

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緩衝体をモデル化する。

落下試験Ⅱ(貫通落下)においては緩衝体に穴があく可能性があるので、(ロ)ー第B.5図に示すように上部緩衝体及び下部緩衝体それぞれに、直径150mmの穴があくとしてモデル化する。

B.5.3 輸送物温度

B.5.1.1の1.及び2.に記載したモデル及び条件に基づいて、ABAQUSコードにより解析した。特別の試験条件下における最高温度と火災発生後からの時間の結果を(ロ)ー表B.16に示す。

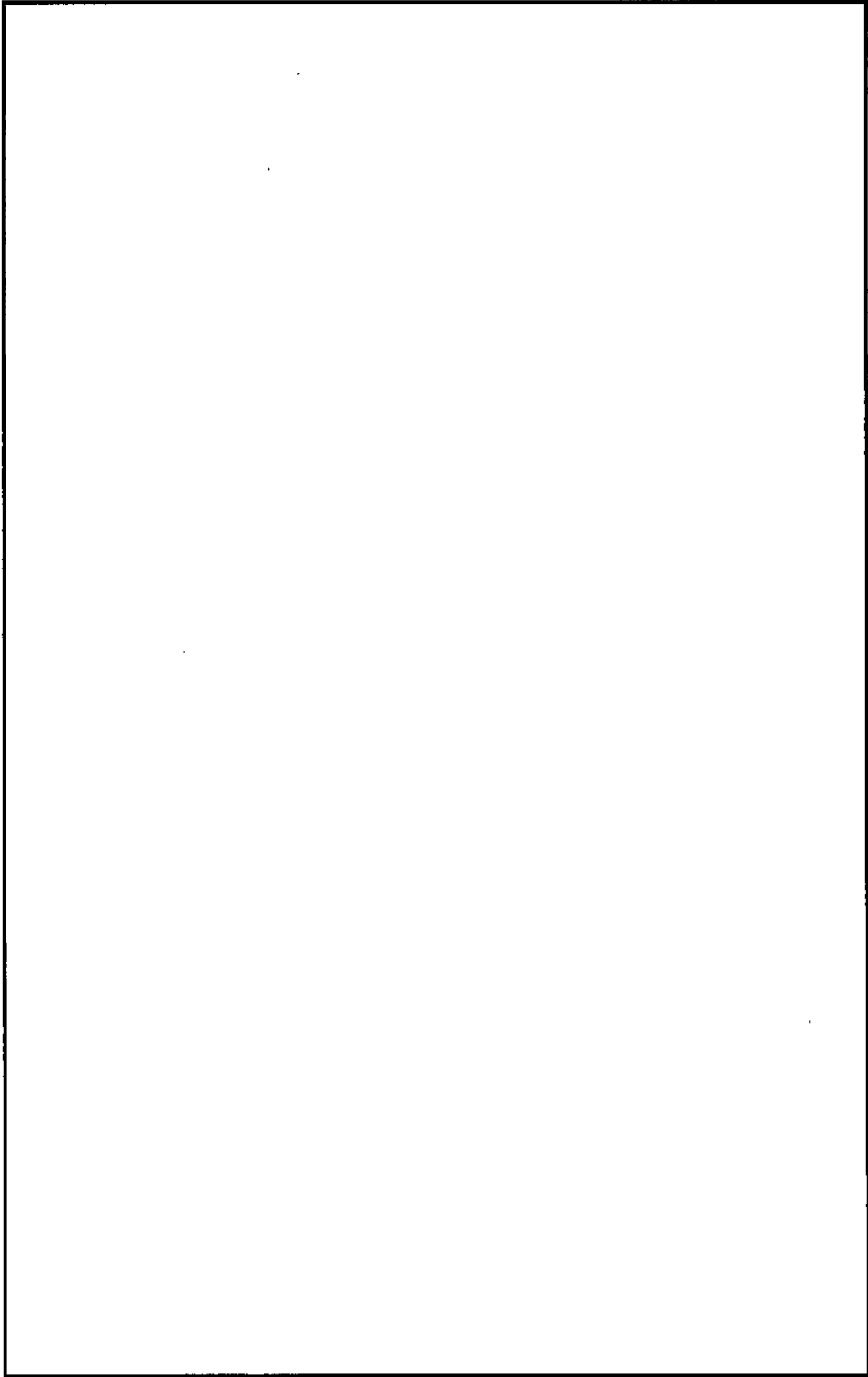
火災事故30分後の輸送物の各部の温度分布を(ロ)ー第B.7図に、時刻歴温度変化を(ロ)ー第B.8図に示す。

なお、密封境界の蓋Oリングの最高温度は122℃、ベントバルブOリングは118℃、ドレンバルブOリングは127℃となり、使用可能温度150℃をこえることはない。

(ロ)ー表B.16 特別の試験条件下における最高温度

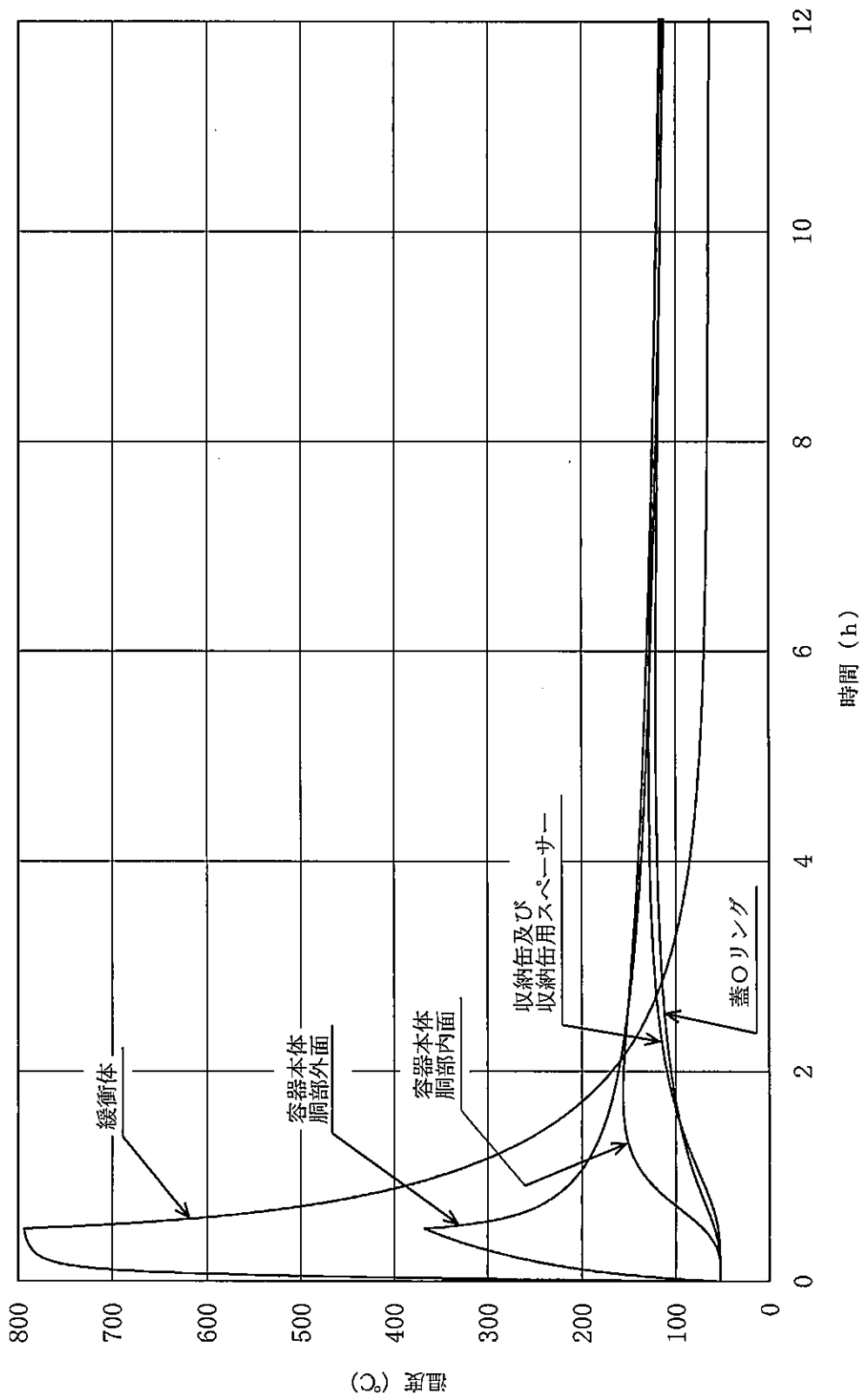
(単位：℃)

部 位 \ 条 件	特 別	
	温 度 (℃)	火災発生後の時間 (h)
緩 衝 体	794	0.5
蓋	247	0.5
容 器 本 体 胴 部	368	0.5
容 器 本 体 底 部	129	4.84
収納缶及び 収納缶用スペーサー	129	4.84
蓋 O リ ン グ	122	5.39
ベントバルブOリング	118	7.51
ドレンバルブOリング	127	4.40



(ロ) 一第B.7図 特別の試験条件における解析モデルの温度分布(火災事故30分後)





(ロ) - 第B.8図 特別の試験条件における時刻歴温度変化

B.5.4 最大内圧

輸送物の熱解析から、特別の試験条件下において輸送容器内の圧力は、収納缶及び収納缶用スペーサーの温度が最高になる火災後4.84時間の時に最大になる。

以下、この条件における容器内の圧力の計算を行う。

特別の試験条件後の容器内圧力は、B.4.4と同様にして次のように求められる。

$$P = P_1 + P_2$$

$$P_1 = P_0 \times \frac{T}{T_{20}}$$

$$P_2 = \frac{M \cdot \alpha \cdot R \cdot T}{V} \times 10^{-6}$$

ただし、

P : 特別の試験条件下の圧力 (MPa abs)

P_0 : 初期圧力 (大気圧 : 0.1013 MPa abs)

P_1 : 空気の分圧 (MPa abs)

P_2 : FPガスの分圧 (MPa abs)

T_{20} : 初期温度 (20 + 273.15 = 293.15 K)

T : 収納物温度 (129 + 273.15 = 402.15 K)

M : 燃料デブリサンプル中のFPガス量 (0.09349 mol)

R : 気体定数 (8.3144621 J/mol·K)

α : FPガス放出率 (0.3)

V : 内部空間体積

したがって、

$$P_1 = 0.1013 \times \frac{402.15}{293.15}$$

$$= 0.1390 \text{ MPa abs}$$

$$P_2 =$$

$$= 0.0025 \text{ MPa abs}$$

$$\begin{aligned} P &= 0.1390 + 0.0025 \\ &= 0.1415 \text{ MPa abs} \\ &= 0.0402 \text{ MPaG} \end{aligned}$$

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下において本輸送物に生じる熱応力については、ロ章 A. 6.3 で説明したように容器各部位の温度差が最大になる火災事故発生後 30 分の時に最大熱応力及び最大熱ひずみが生じる。

ロ章 A. 6.3 より、このとき容器に生じる最大ひずみは容器本体胴部に生じるが、材料の最小破断ひずみ 29% に比べて 0.321% と小さく、容器の構造健全性が損なわれることはない。

B.5.6 結果の要約及びその評価

特別の試験条件下における輸送物の性能評価は、崩壊熱量が□、周囲温度38℃の環境条件下で800℃、30分間の火災事故に遭遇するとして行った。この場合の輸送物各部の温度変化は、(ロ)－第B.8図に示すとおりである。

輸送物各部において最高温度と火災事故発生時からの時間をまとめると、(ロ)－表B.16に示すとおりである。また、輸送容器内部の最大圧力は0.1415MPaである。□リングの温度は(ロ)－表B.16に示したように150℃をこえることはなく、特別の試験条件下で密封性能が損われることはない。また、その他の構成材料についても、悪影響を及ぼすような温度にはならない。

なお、特別の試験条件に対する構造解析においては、(ロ)－表B.16に示す温度及び圧力に余裕をとった条件で解析を行っており、特別の試験条件下の熱的試験において輸送物が健全性を保持していることを示している(ロ章A.6.3参照)。

特別の試験条件下における輸送物の総合的評価を(ロ)－表B.17に示す。

(ロ)－表B.17 特別の試験条件下における輸送物の総合的評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度			
○ リ ン グ	150℃	127℃	基準に合致 構造解析に使用
蓋	—	247℃	
容器本体胴部	—	368℃	
容器本体底部	—	129℃	
最大内圧	—	0.1415MPa (0.0402MPaG)	構造解析では 安全側に0.100 MPaGを使用
最大熱応力			
容器本体胴部熱ひずみ	—	0.321%	ひずみ量が小さ く構造健全性を 維持

B.6 付属書類

B.6.1 解析に用いた対流熱伝達率及び放射係数

1. 垂直円筒及び垂直板の対流熱伝達

垂直面の熱伝達率は、垂直平板に対する次のJakobの式⁸⁾を用いる。

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

ただし、

h : 熱伝達率 (W / (m² · K))

λ : 熱伝導率 (W / (m · K))

g : 重力加速度 (9.807m / s²)

β : 体積膨張係数 (K⁻¹)

ν : 動粘性係数 (m² / s)

P_r : プラントル数 (-)

Δt : 温度差 (K)

各温度に対して求めた熱伝達率を(ロ)ー表B.付1に示す。

(ロ)ー表B.付1 垂直面の自然対流熱伝達率

温 度 (°C)	熱 伝 達 率 (W / (m ² · K))
0	Δt ^{0.333}
20	Δt ^{0.333}
100	Δt ^{0.333}
200	Δt ^{0.333}
300	Δt ^{0.333}
400	Δt ^{0.333}
600	Δt ^{0.333}
800	Δt ^{0.333}

2. 水平円筒表面の対流熱伝達率

特別の試験条件における容器本体胴部及び緩衝体円筒面における対流熱伝達率は、水平円筒表面の自然対流熱伝達を表わす次のSchutzの式³⁾を用いる。

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

ただし、

- h : 熱伝達率 (W / (m² · K))
- λ : 熱伝導率 (W / (m · K))
- g : 重力加速度 (9.807m / s²)
- β : 体積膨張係数 (K⁻¹)
- ν : 動粘性係数 (m² / s)
- P_r : プラントル数 (-)
- Δt : 温度差 (K)

各温度に対して求めた熱伝達率を(ロ)ー表B.付2に示す。

(ロ)ー表B.付2 円筒外表面の自然対流熱伝達率

温 度 (°C)	熱 伝 達 率 (W / (m ² · K))	
0	[Blank Box]	
20		Δ t 0.333
100		Δ t 0.333
200		Δ t 0.333
300		Δ t 0.333
400		Δ t 0.333
600		Δ t 0.333
800		Δ t 0.333

3. 水平板の熱伝達率

立置時の緩衝体水平面に対する熱伝達率は、McAdamsの自然対流熱伝達式⁹⁾を用いる。

$$\text{加熱水平上面} \quad h = 0.14 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} \cdot P_r \right)^{1/3}$$

$$\text{加熱水平下面} \quad h = 0.27 \cdot \frac{\lambda}{L} \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot L^3}{\nu^2} \cdot P_r \right)^{1/4}$$

ただし、

h : 熱伝達率 (W / (m² · K))

λ : 熱伝導率 (W / (m · K))

g : 重力加速度 (9.807 m / s²)

β : 体積膨張係数 (K⁻¹)

ν : 動粘性係数 (m² / s)

P_r : プラントル数 (-)

L : 面長さ (0.557 m)

Δt : 温度差 (K)

上式より求められる水平面の熱伝達率は(ロ)一表B.付3に示すようになる。

(ロ)一表B.付3 緩衝体水平面の熱伝達率

温 度 (°C)	熱 伝 達 率 (W / (m ² · K))	
	加熱水平上面	加熱水平下面
0	$\Delta t 0.333$	$\Delta t 0.25$
20	$\Delta t 0.333$	$\Delta t 0.25$
100	$\Delta t 0.333$	$\Delta t 0.25$
200	$\Delta t 0.333$	$\Delta t 0.25$
300	$\Delta t 0.333$	$\Delta t 0.25$

4. 輸送物表面と周囲の放射係数と太陽放射熱量

表面と周囲の放射係数 F_{ϵ} は次の式により求める。

$$F_{\epsilon} = \frac{1}{(1/\epsilon_1) + (1/\epsilon_2) - 1}$$

ただし、

ϵ_1 : 容器表面の放射率

ϵ_2 : 周囲吸収率または周囲放射率

一般の試験条件では、

$$\epsilon_1 = \boxed{} \text{ ((口) - 表 B. 11 参照)}$$

$$\epsilon_2 = 1.0 \text{ ((口) - 表 B. 11 参照)}$$

$$F_{\epsilon} = \frac{1}{\boxed{}} \\ = \boxed{}$$

火災事故中には、

$$\epsilon_1 = \boxed{} \text{ ((口) - 表 B. 15 参照)}$$

$$\epsilon_2 = 0.9 \text{ ((口) - 表 B. 15 参照)}$$

$$F_{\epsilon} = \frac{1}{\boxed{}} \\ = \boxed{}$$

火災事故後には、

$$\epsilon_1 = \boxed{} \text{ ((口) - 表 B. 15 参照)}$$

$$\epsilon_2 = 1.0 \text{ ((口) - 表 B. 15 参照)}$$

$$F_{\epsilon} = \frac{1}{\boxed{}} \\ = \boxed{}$$

次に、太陽放射熱は(ロ)－表 B. 12に示されるデータより、緩衝体水平面(上向)に対しては、

$$q_{s1} = \varepsilon_1 \cdot Q_{s1}$$

ただし、 ε_1 : 容器表面の放射率 ()

Q_{s1} : 水平面(上向)に対する太陽放射熱(800 W/m²)

したがって、

$$\begin{aligned} q_{s1} &= () \times 800 \\ &= () \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

また、火災後の緩衝体垂直平面に対して容器表面の放射率を考慮すると次のように与えられる。

$$q_{s2} = \varepsilon_1 \cdot Q_{s2}$$

ただし、 Q_{s2} : 垂直平面に対する太陽放射熱(200 W/m²)

したがって、

$$\begin{aligned} q_{s2} &= () \times 200 \\ &= () \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

容器本体胴部及び緩衝体円筒表面に対しては、容器表面の放射率を考慮すると太陽放射熱は同様に、次のように与えられる。

$$q_{s3} = \varepsilon_1 \cdot Q_{s3}$$

ただし、 Q_{s3} : 曲面に対する太陽放射熱(400 W/m²)

したがって、

$$\begin{aligned} q_{s3} &= () \times 400 \\ &= () \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

5. ギャップ間の熱伝達

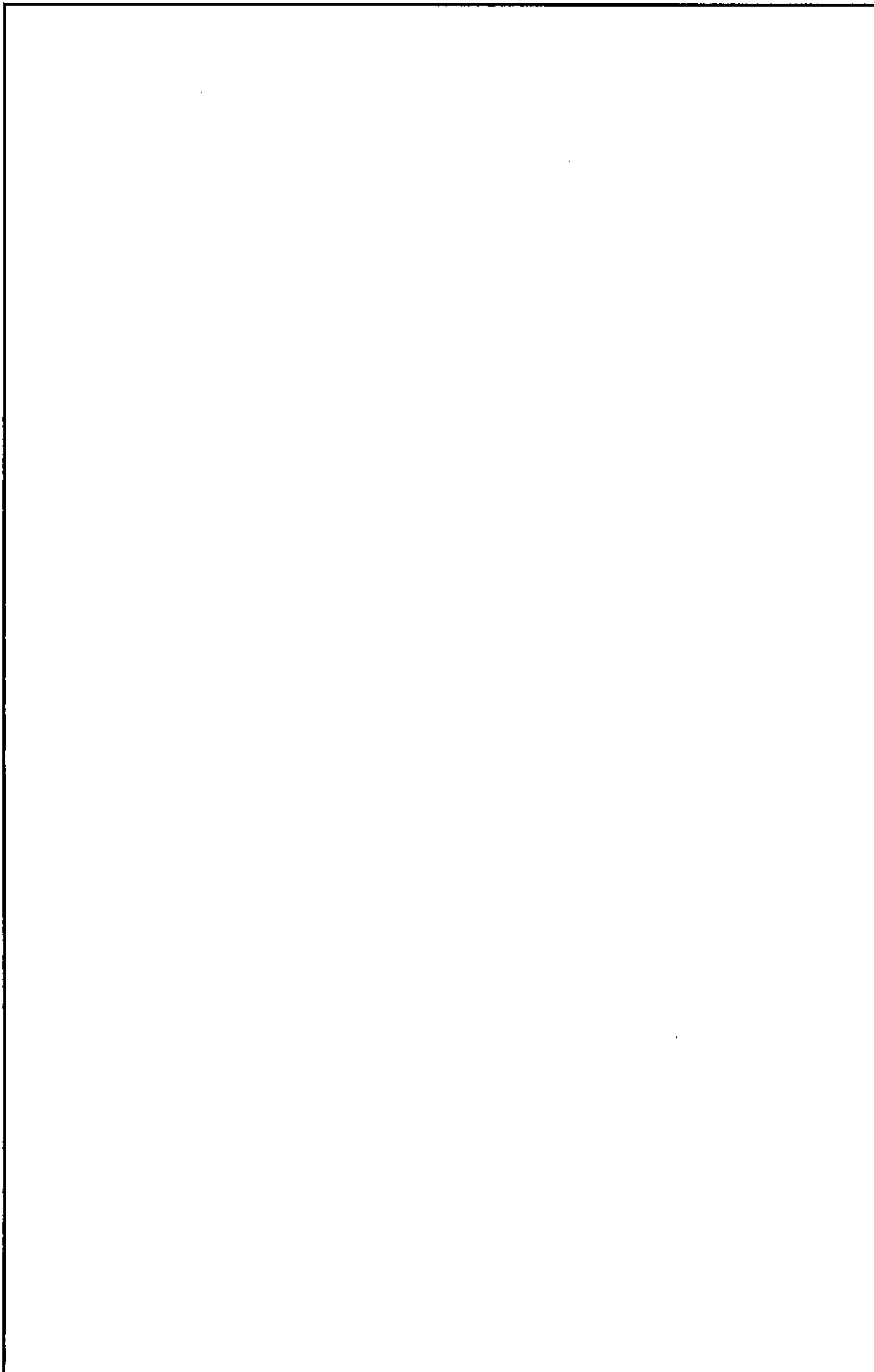
(ロ)－第B.付1図に示すように、緩衝体と容器本体との間、及び収納缶＋収納缶用スペーサーと容器本体内面との間にギャップがある箇所における熱伝達は空気の熱伝導と放射熱によるとした。

放射係数は、以下の値を与える。

$$F_{\epsilon} = \frac{1}{(1/\epsilon_{sus}) + (1/\epsilon_{sus}) - 1}$$
$$= \frac{1}{\boxed{}}$$
$$= 0.0811$$

を与える。





(ロ) - 第B. 付1図 各部のギャップ

B.6.2 参考文献

- 1) ABAQUS, INC., "ABAQUS Theory Manual", ABAQUS, INC., Pawtucket, R.
- 2) Groff, A. G., "ORIGEN2-A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621. (July, 1980)
- 3) "伝熱工学資料(改訂第4版又は改訂第3版)" 日本機械学会 (1986, 1975)
- 4) M. Amaya et al. "Thermal conductivities of irradiated UO_2 and $(U, Gd)O_2$ pellets ", Journal of Nuclear Materials 300 (2002) 57-64
- 5) "木材工業ハンドブック" 木材工業ハンドブック編集委員会(1982)
- 6) "複合材料技術集成"、産業技術センター、1976
- 7) "日本原子力学会標準 使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査標準：2013 (AESJ-SC-F006:2013)" 日本原子力学会
- 8) Jakob, M., "Heat Transfer", Volume I. John Wiley & Sons, Inc., New York (1962)
- 9) McAdams, W.H., "Heat Transmission", Third Edition McGraw Hill.

口 章 C 密 封 解 析





C. 密 封 解 析

C. 1 概 要

密封解析は、本輸送容器が「規則」及び「告示」に基づいてBM型輸送物に係る技術上の基準に適合することを示すために行った。

本輸送容器の密封境界は、(イ)－第C. 4図に太線で示す容器本体と蓋の内側、ベントバルブ、ドレンバルブ、及び各密封装置を結ぶOリング等で構成されている。本解析では空気漏えい試験等によって求めた各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、その漏えい率が一般の試験条件及び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

1. 構 成

密封装置は、(イ)－第C. 2図に示すように収納物を収容する容器本体及び蓋で構成される輸送容器とこれに付属する、ドレンバルブ及びベントバルブ等から構成される。

蓋及びバルブ類のシールは密封性の良好な のOリングが使用されている。

蓋及びバルブシール部は輸送ごとに漏えい率が基準値以下であることが確認される。

2. 材 質

容器本体、蓋、ドレンバルブ、ベントバルブ及び蓋ボルトには
蓋、ドレンバルブ及びベントバルブシールのOリングには がそれぞれ使用されている。

3. 圧力及び温度

密封装置は、(ロ)－表C. 1に示す圧力に対し十分な強度を備えている。

(ロ)－表C.1 各条件下における圧力及び温度

条 件		計 算 値
一般の試験条件	圧 力 (MPa abs)	0.115
	温 度 (°C)	53
特別の試験条件	圧 力 (MPa abs)	0.142
	温 度 (°C)	129

備考：温度は燃料デブリサンプル収納缶の温度

4. 封 印



5. 製 作 検 査

密封装置の構成部品の製作及び検査は、密封性を確保するために参考に記述されている方法で行われる。

C.2.2 密封装置の貫通部

1. 貫 通 部

密封装置には、(イ)－第C.4図に示すように、容器本体の下部及び蓋にはドレンバルブ及びベントバルブを設けるための貫通部が設けられている。

2. 貫通部の機能

収納物の装荷及び取出し時には輸送容器を燃料プールに沈めて行うことがあるので、ドレンバルブ及びベントバルブは輸送容器をプールから取出した後の密封装置内の水の排出のために用いられる。

3. バルブの仕様

ベントバルブ、ドレンバルブはロ章B. 3の2.項に示す仕様の [] のバルブであり、(ロ)ー表C. 1に示す特別の試験条件における温度及び圧力に耐える。

C. 2. 3 密封装置のガスケット及び溶接部

1. ガスケット

蓋には、(イ)ー第C. 6図に示すように [] のOリング2本が同心円状に設けられている。Oリングが2重に設けられている目的は、ハ章で述べる気密漏えい検査を行うことにある。

バルブにも、(イ)ー第C. 7図及び(イ)ー第C. 8図に示すように、 [] のゴムOリングが設けられている。

2. ガスケットの仕様

ガスケットの寸法及び材質を(ロ)ー表C. 2に示す。

(ロ)ー表C. 2 ガスケットの寸法及び材質

(単位：mm)

部 位		寸 法		材 質	備 考		
蓋	内 側	φ 約 []	× I. D. 約 []	[] Oリング	—		
	外 側	φ 約 []	× I. D. 約 []				
ベントバルブ	内 側	φ 約 []	× I. D. 約 []		[] Oリング	—	
	外 側	φ 約 []	× I. D. 約 []				
ドレンバルブ	内 側	φ 約 []	× I. D. 約 []			[] Oリング	—
	外 側	φ 約 []	× I. D. 約 []				

[] のOリングは、その良好な熱的特性(ロ章B. 3構成要素の仕様の項参照)及び耐寒性(ロ章A. 4. 2低温強度の項参照)により、一般の試験及び特別の試験条件下でも蓋及びバルブの密封性を保つことができる。

3. 溶接部

本輸送容器には密封境界に係る溶接部はなく該当しない。

C.2.4 蓋

1. 密封構造

蓋は、(ロ)表C.1に示す温度及び圧力に耐える強度を備え、かつ密封性を保つことができるシールを設けてある。

2. 蓋の締付け

蓋の密封性を保つため、蓋ボルトは適切な定められたトルクで締付けることとする。



C.3 一般の試験条件

一般の試験条件における密封装置内の圧力及び温度は(ロ)一表C.1に示すとおりであり、本条件において密封装置の性能が損われないことは(ロ)章A 構造解析により確認している。

C.3.1 放射性物質の漏えい

密封装置は、製作中及び保守時に行う気密漏えい試験により漏えいがないことが確認される。

さらに本輸送物の密封性能については、輸送ごとに空気漏えい試験等により漏えい率が基準値以下であることを確認することとしている。

このように漏えいはないが、本解析では漏えい試験において蓋のシール及びバルブに供給した空気等の圧力変化(最大許容空気漏えい率相当)が一定時間後に検知されたと想定し放射性物質の漏えいを評価する。

放射性物質は密封装置内の気体(ガス)中に存在するので、その漏えい率は気密漏えい試験等から求められる漏えい率とは異なる。

したがって、ここでは最大許容漏えい率から一般の試験条件のガスの漏えい率を求め、ガス中の放射性物質濃度と漏えい率から、放射性物質の漏えい率を求めて、放射性物質の漏えい率が規則及び告示の基準値以下であることを確認する。

1. 密封装置内の放射能濃度

本輸送容器に収納される燃料デブリサンプルは保守的に照射済みの UO_2 燃料の塊であるとし、燃料が有する放射性物質が(ロ)一表C.3に示す割合及び量でキャビティ雰囲気中に放出されると仮定する。このとき、燃料デブリサンプル収納缶の蓋部のOリングによる密封性は無視し、核分裂生成ガスは直接キャビティ内に放出されるものとする。なお、密封解析の対象とする燃料デブリサンプルの種類は、(イ)一表D.2に示すように放射能強度が大きい二酸化ウラン燃料デブリサンプルとする。

(ロ)表C.3 輸送容器キャビティ内の放射性物質濃度

主要核種	収納放射エネルギー (TBq)	放出率 (%)	A ₂ 値 (TBq)	放出放射エネルギー (A ₂ 値比)	放射性物質濃度 ^{注1)} (Bq/ref cm ³)
³ H	3.52×10 ⁻²	30 ¹⁾	40	2.64×10 ⁻⁴	2.69×10 ⁵
⁸⁵ Kr	3.45×10 ⁻¹		10	1.04×10 ⁻²	2.63×10 ⁶
合計	3.80×10 ⁻¹	—	—	1.06×10 ⁻²	2.90×10 ⁶

注1) キャビティ内ガス体積は ref cm³である。

2. 最大許容漏えい率

密封解析の設計基準として設定した最大許容空気漏えい率L_{Rt}は、輸送容器の被検査部3箇所合計漏えい率として(ロ)表C.4に示す値とする。

(ロ)表C.4 最大許容漏えい率

項 目	全 密 封 境 界 (蓋部及びバルブ2箇所)
L _{Rt} : 最大許容漏えい率 (ref cm ³ /s)	3.0×10 ⁻²

3. 気密漏えい試験時の漏えい率と漏えい試験条件

(1) 気密漏えい試験時の漏えい率

圧力降下試験による漏えい試験時の漏えい率は次式で表される。

$$L_R = \frac{VT_s}{3600HP_s} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right)^{2/3} \quad (1)$$

ただし、

L_R : 25℃, 0.101MPa (1 atm abs) の標準状態における体積漏えい率 (ref cm³/s)

V : テスト系の容積 (cm³)

H : 試験時間 (h)

T_s : 基準温度 (298 K)

P_s : 基準圧力 (0.101MPa, (1 atm abs))

T₁ : 試験開始時の空気温度 (K)

T₂ : 試験終了時の空気温度 (K)

P₁ : 試験開始時の空気圧力 (MPa abs)

P_2 : 試験終了時の空気圧力 (MPa abs)

上記の(1)式に次の気密漏えい試験条件を入れて漏えい率を求め、設計基準として設定した最大許容漏えい率以下であることを確認する。

(2) 気密漏えい試験条件

- (a) 試験開始時の空気圧力はサイトで得られる圧縮空気の圧力とし、ここでは、 0.739MPa abs ($6.5\text{kg/cm}^2\text{G}$) とする。
- (b) 計算においては $T_1 = T_2 = T_s = 298\text{K}$ (25°C) とする。
- (c) 上記(a), (b)の条件及びサイトの漏えい試験装置系の全容積 V を考慮して、合計空気漏えい率 L_R ($L_R = \sum L_{Ri}$ (i : 被検査部 3箇所)) が最大許容漏えい率 L_{Rt} 以下であることを確認できるように、試験時間 H 及び圧力降下 $\Delta P_2 = (P_1 - P_2)$ を定め試験を実施する。

4. 一般の試験条件における最大ガス漏えい率

一般の試験条件における最大ガス漏えい率は、漏えい試験における最大許容空気漏えい率 L_{Rt} にもとづいて以下の手順により求める。

(1) 漏えい穴径

漏えい穴としてはシール部を最短で横切る丸穴を仮定する。

漏えい穴中の流体の流れの形態は自由分子流と連続流が考えられ、その漏えい率は次式で与えられる。

$$L = (F_c + F_m) (P_u - P_d)^3 \quad \text{-----} \quad (2)$$

ここで、

ここで、 L : 圧力 P_a における絞られない流れの漏えい率 ($\text{cm}^3/\text{s at } P_a, T_a$)

P_a : 流れの平均圧力 (MPa)

$$P_a = \frac{1}{2} (P_u + P_d) \quad \text{-----} \quad (3)$$

T_a : 流体の平均温度 (K)

P_u : 上流側の圧力 (MPa)

P_d : 下流側の圧力 (MPa)

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

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

$$F_c = 2.49 \times 10^{-2} \times \frac{D^4}{a \mu} \quad \text{4) 注)} \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$F_m = 3.81 \times 10^3 \times \frac{D^3 \sqrt{\frac{T}{M}}}{a P a} \quad \text{5) 注)} \quad \text{-----} \quad (5)$$

ただし、D : 漏えい穴径 (cm)

a : 漏えい穴長 (cm)

μ : 粘性係数 (MPa·s)

T : 流体の温度 (K)

M : 流体の分子量 (空気 : 29.0g/mol)

漏えい穴径(D)は、次式及び(2)式から求められる。

$$L = L_{ri} \cdot \frac{P_s}{P_a} \cdot \frac{T_a}{T_s} \quad \text{-----} \quad (6)$$

ここで、 L_{ri} : 密封境界1箇所の空気漏えい率 (ref cm³/s)

T_a : 平均温度 (= T_s) (K)

蓋部並びにバルブ部の漏えい試験時の最大漏えい穴径を(口)一表C.5に示す。なお、ここでは漏えい穴径を大きく評価するため蓋部及びバルブ部の密封境界1箇所の漏えい率 L_{ri} を安全側に最大許容漏えい率 L_{rt} に等しいものとする。

注) ANS I N 1 4 . 5 記載式の単位をSI単位に換算した。

(ロ) 表 C. 5 漏えい試験時の最大漏えい穴径

項目	部 位	蓋 部	バルブ部(1個分)
L_{ri} : 密封境界1箇所の空気漏えい率 (ref cm^3/s)		3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}
P_u : 上流側圧力 (MPa abs)		0.739	
P_d : 下流側圧力 (MPa abs)		0.101	
P_a : 流れの平均圧力 (MPa abs)		0.42	
T_a, T : 空気の温度 (K)		298	
L : 漏えい試験時の空気漏えい率 (cm^3/s at P_a, T_a)		7.21×10^{-3}	
μ : 空気の粘性係数 (MPa \cdot s)		1.85×10^{-11}	
a : 漏えい穴長 (cm)		<input type="text"/> 注)	<input type="text"/> 注)
M : 空気の分子量 (g/mol)		29.0	29.0
F_c : 連続流の流動伝導係数 ($\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa}\cdot\text{s}}$)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
F_m : 自由分子流の流動伝導係数 ($\frac{\text{cm}^3}{\text{MPa}\cdot\text{s}}$)			
D : 漏えい穴径 (cm)			

注) Oリング断面直径を採用

(2) 一般の試験条件における最大ガス漏えい率

一般の試験条件におけるガス漏えい率は、(2)～(5)式に一般の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい穴径を代入して求められる。

(2)式から求められたガス漏えい率 (L_x) を 25℃、0.101MPa abs (1 atm abs) の標準状態における漏えい率 $L_{s,x}$ に換算すると次式となる。

$$L_{s,x} = L_x \times \left(\frac{P_{a,x}}{0.101} \times \frac{298}{T_{a,x}} \right) \quad (7)$$

ここで、 x ：一般の試験条件を表す添字

ただし、 $T_{a,x} = T_{u,x}$ とする。

一般の試験条件下のガス漏えい率を(ロ)表C.6に示す。計算は蓋とバルブ部について行い、より大きい方の漏えい率を最大ガス漏えい率とする。

(ロ)表C.6 一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項目	部 位	全密封境界 (蓋 部)	全密封境界 (バルブ部)
D : 漏えい穴径 (cm)			
a : 漏えい穴長 (cm)			
μ : ガスの粘性係数 (MPa·s)		2.00×10 ⁻¹¹	
$P_{u,x}$: 一般の試験条件下の密封装置内圧力 (MPa abs)		0.115	
$P_{d,x}$: 一般の試験条件下の外圧 (MPa abs)		0.06	
$T_{u,x}$: 一般の試験条件下のガス温度 (K)		326	
M : ガスの分子量 (g/mol)		29.0	
L_x : 一般の試験条件下のガス漏えい率 (cm ³ /s at $P_{a,x}, T_{a,x}$)		6.11×10 ⁻⁴	6.09×10 ⁻⁴
$L_{s,x}$: 一般の試験条件下のガス漏えい率 (cm ³ /s at 25℃, 0.101MPa)		4.84×10 ⁻⁴ (1.74×10 ⁰ cm ³ /h)	4.82×10 ⁻⁴ (1.74×10 ⁰ cm ³ /h)

5. 一般の試験条件における放射性ガスの漏えい率

一般の試験条件における放射性ガスの漏えい率は、1.項で求めた密閉装置内の空気中の放射性物質濃度と前項で求めた一般の試験条件下のガス漏えい率(Ls, x)を乗じて求められる。

一般の試験条件における放射性物質濃度を用いて求めた放射性ガスの漏えい率と基準値との比率を(ロ)表C.7に示す。

(ロ)表C.7 一般の試験条件における放射性ガスの漏えい率

核種	放射性物質濃度 (Bq/cm ³)	放射性物質漏えい率 (Bq/h)	基準値 (Bq/h)	比率
³ H	2.69×10 ⁵	4.68×10 ⁵	4×10 ⁷	1.17×10 ⁻²
⁸⁵ Kr	2.63×10 ⁶	4.59×10 ⁶	1×10 ⁷	4.59×10 ⁻¹
			合計	4.71×10 ⁻¹

6. 一般の試験条件における冷却材の漏えい率

冷却材は本輸送物には使用していないので該当しない。

7. 一般の試験条件における放射性液体の漏えい率

冷却材は本輸送物には使用していないので該当しない。

8. 放射性物質の漏えい

一般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を(ロ)表C.8に示す。

(ロ)表C.8 一般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

項目	比率
ガス中の放射性物質	4.71×10 ⁻¹
合計	4.71×10 ⁻¹

(ロ)一表 C. 8 に示すように放射性物質の漏えい率と基準値との比率は 4.71×10^{-1} であり 1 より小さい。

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

C. 3. 2 密封装置の加圧

密封装置の加圧は

- (1) 密封装置内の空気の温度上昇
- (2) 冷却材の放射線分解によるガスの発生
- (3) 燃料デブリサンプルから放出される核分裂生成ガス

によっておこる。

(2) 項の冷却材の放射線分解による発生ガスの加圧については、冷却材は本輸送物に使用していないので該当しない。

(3) 項の燃料デブリサンプルから密封装置内へ放出される核分裂生成ガス (^3H 、 Kr 、 I 、 Xe) 及び He の量は、 0.028mol である。密封装置内の空気の量は 1.545mol ($3.78 \times 10^4\text{cm}^3$ (at 25°C 、 0.101MPa)) であり、密封装置内の核分裂生成ガスの量は十分小さいが、ロ章 B 熱解析における最大内圧の計算で考慮している。

したがって、密封装置の加圧は(1)項の空気の温度上昇によるものと(3)項の核分裂生成ガスを考慮して、C. 2. 1、3. 項に示す条件で密封装置の耐圧強度及びOリング部の密封性能が損われないことをロ章 A 構造解析により確認している。

C. 3. 3 冷却材汚染

冷却材は本輸送物に使用していないので該当しない。

C. 3. 4 冷却材損失

冷却材は本輸送物に使用していないので該当しない。

C. 4 特別の試験条件

特別の試験条件における密封装置内の圧力及び温度は(ロ)－表C. 1に示すとおりであり、本条件において密封装置の性能が損われないことはロ章A構造解析により確認している。

C. 4. 1 核分裂生成ガス

本輸送容器に収納される燃料デブリサンプルは保守的に照射済みのUO₂燃料の塊であるとし、特別の試験条件において燃料が有する放射性物質が(ロ)－表C. 9に示す割合及び量でキャビティ雰囲気中に放出されると仮定する。このとき、燃料デブリサンプル収納缶の蓋部のOリングによる密封性は無視し、核分裂生成ガスは直接キャビティ内に放出されるものとする。

(ロ)－表C. 9 輸送容器キャビティ内の放射性物質濃度

主要核種	収納放射エネルギー (TBq)	放出率 (%)	A ₂ 値 ^{注1)} (TBq)	放出放射エネルギー (A ₂ 値比)	放射性物質濃度 ^{注2)} (Bq/ref cm ³)
³ H	3.52×10 ⁻²	30 ¹⁾	40	2.64×10 ⁻⁴	2.68×10 ⁵
⁸⁵ Kr	3.45×10 ⁻¹		100	1.04×10 ⁻³	2.63×10 ⁶
合計	3.80×10 ⁻¹	—	—	1.30×10 ⁻³	2.89×10 ⁶

注1) ⁸⁵KrについてはA₂値の10倍である。

注2) キャビティ内ガス体積は ref cm³である。

C. 4. 2 放射性物質の漏えい

1. 特別の試験条件における最大ガス漏えい率

特別の試験条件におけるガス漏えい率は、(2)～(5)、(7)式に特別の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい穴径を代入して求められる。

特別の試験条件下のガス漏えい率を(ロ)－表C. 10に示す。計算は蓋部とバルブ部について行い、より大きい方の漏えい率を最大ガス漏えい率とする。

(ロ)一表C.10 特別の試験条件下の最大ガス漏えい率

項目	部位	全密封境界 (蓋部)	全密封境界 (バルブ部)
D : 漏えい穴径 (cm)		□	□
a : 漏えい穴長 (cm)			
μ : ガスの粘性係数 (MPa·s)		2.34×10^{-11}	
$P_{u,x}$: 特別の試験条件下の密封装置内圧力 (MPa abs)		0.142	
$P_{d,x}$: 特別の試験条件下の外圧 (MPa abs)		0.06	
$T_{u,x}$: 特別の試験条件下のガス温度 (K)		402	
M : ガスの分子量 (g/mol)		29.0	
L_x : 特別の試験条件下のガス漏えい率 (cm ³ /s at $P_{a,x} \cdot T_{a,x}$)		7.85×10^{-4}	7.84×10^{-4}
$L_{s,x}$: 特別の試験条件下のガス漏えい率 (cm ³ /s at 25°C, 0.101MPa)		5.82×10^{-4} (3.52×10^2 cm ³ /week)	5.81×10^{-4} (3.52×10^2 cm ³ /week)

2. 特別の試験条件における放射性ガスの漏えい率

特別の試験条件における放射性ガスの漏えい率は、密封装置内の空気中の放射性物質濃度と前項で求めた特別の試験条件下のガス漏えい率 ($L_{s,x}$) を乗じて求められる。

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放射性ガスの漏えい率と基準値との比率を(ロ)一表C.11に示す。

(ロ)一表C.11 特別の試験条件における放射性ガスの漏えい率

核種	放射性物質濃度 (Bq/cm ³)	放射性物質漏えい率 (Bq/week)	基準値 (Bq/week)	比率
³ H	2.68×10^5	9.44×10^7	4×10^{13}	2.36×10^{-6}
⁸⁵ Kr	2.63×10^6	9.25×10^8	1×10^{14}	9.25×10^{-6}
			合計	1.16×10^{-5}

3. 特別の試験条件における冷却材の漏えい率

冷却材は本輸送物に使用していないので該当しない。

4. 特別の試験条件における放射性液体の漏えい率

冷却材は本輸送物に使用していないので該当しない。

5. 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と基準値との比率を(ロ)－表C.12に示す。

(ロ)－表C.12 特別の試験条件における放射物質の漏えい率と基準値との比率

項 目	比 率
ガス中の放射性物質	1.16×10^{-5}
合 計	1.16×10^{-5}

(ロ)－表C.12に示すように放射性物質の漏えい率と基準値との比率は 1.16×10^{-5} となり1より小さい。

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

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、本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。

1. 密封装置

本輸送容器の主な密封装置は容器とバルブであり、密封境界は容器本体、蓋、ベントバルブ、ドレンバルブ及び各密封装置を結ぶゴムリングで構成されている。これらの密封装置は、一般の試験条件及び特別の試験条件に対して十分な強度を有し、また、ゴムリングの密封性能が損われることはない。

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ける放射性物質の漏えい率と基準値との比率は 4.71×10^{-1} であり、放射性物質の漏えい率は基準値を満足する。

(2) 密封装置の加圧

密封装置の加圧は、空気の温度上昇及び燃料デブリサンプルから放出される核分裂生成ガスによる。ロ章A構造解析に示したようにこの加圧により密封性能が損われるような変形は生じない。

(3) 冷却材汚染

冷却材は本輸送物に使用していないので該当しない。

(4) 冷却材損失

冷却材は本輸送物に使用していないので該当しない。

3. 特別の試験条件

(1) 核分裂生成ガス

燃料デブリサンプルからの放出放射エネルギーは、最大でも 1.30×10^{-3} (A₂値比)である。

(2) 放射性物質の漏えい

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は 1.16×10^{-5} 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) 日本原子力学会標準「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物
輸送容器の安全設計及び検査基準：2013 (AESJ-SC-F006:2013)」、日本原子力
学会 (2014年11月)
- 2) American National Standards Institute, Inc.
American National Standard for radioactive materials
Leakage test on packages for shipment (1997)
ANSI N14.5-1997 式(B.14)
- 3) 同上 式(B.2)
- 4) 同上 式(B.3)
- 5) 同上 式(B.4)



口 章 D 遮 蔽 解 析



D. 遮 蔽 解 析

D. 1 概 要

遮蔽解析は、本輸送容器が「規則」及び「告示」に基づいてBM型輸送物に係る技術上の基準に適合することを示すために行った。

(イ)－第C. 1 図及び(イ)－第C. 2 図に示すとおり、本輸送容器の主要なガンマ線遮蔽材は、側部方向には容器本体の であり、軸方向は本体底部及び蓋の である。

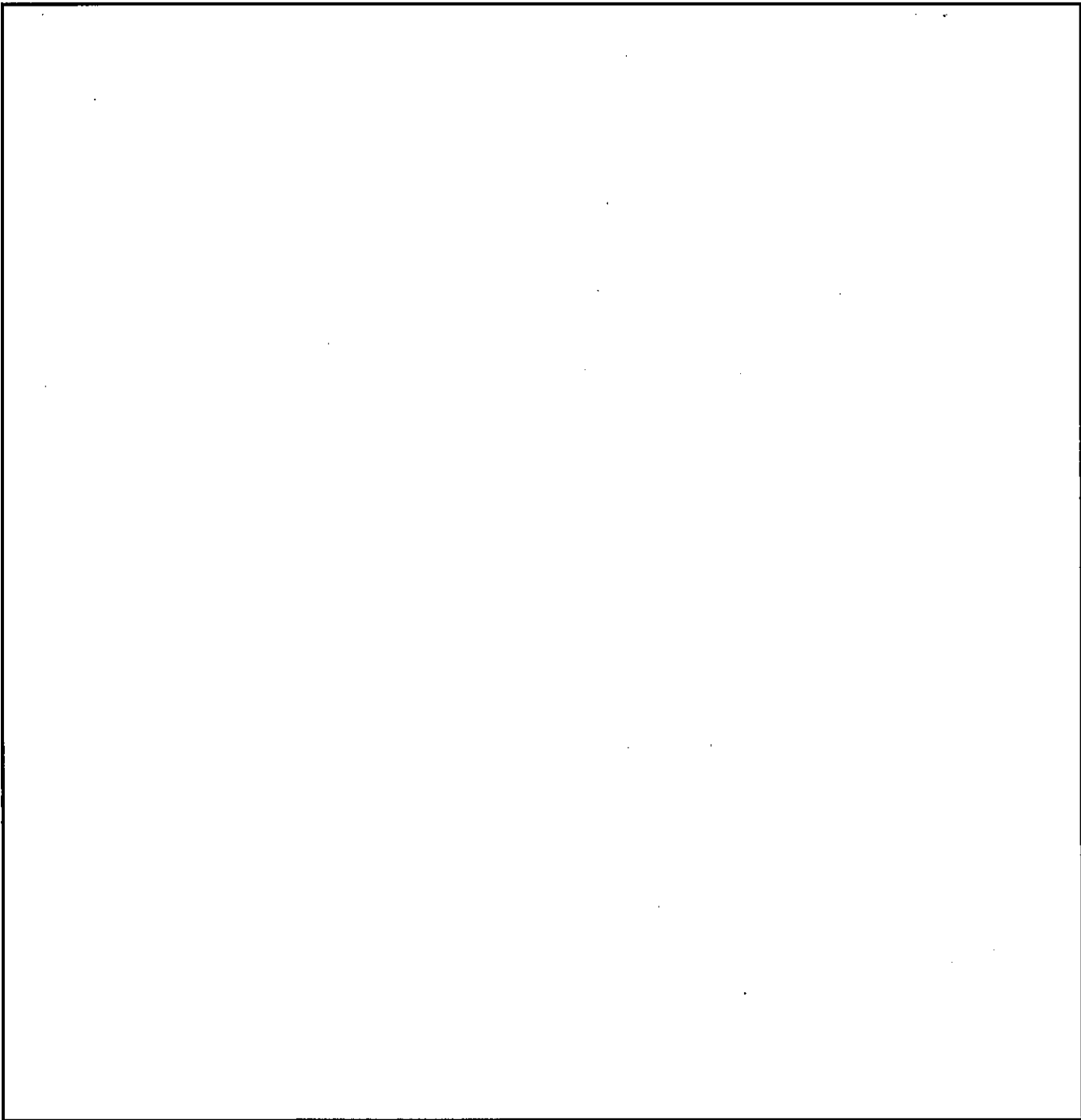
本解析の基盤とした遮蔽体の概略形状、主要部寸法及び材料を(ロ)－第D. 1 図に示す。

線量当量率評価位置としては、通常輸送時及び一般の試験条件下では側部方向は容器本体の外表面、蓋部及び底部方向は緩衝体の表面をそれぞれ輸送物表面とした。一方、特別の試験条件下においては、緩衝体は大幅に変形するので、全ての方向に対して容器本体表面を輸送物表面とした。

線源強度は、ORIGEN2.2 コード¹⁾により連続照射を仮定して求めた。

通常輸送時、一般の試験条件下及び特別の試験条件下においては、想定される輸送容器及び収納物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、DOT3.5 コード²⁾を用いた。

これらの計算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を満足する。



(单位：mm)

(口) - 第D. 1 图 输送物遮蔽构成

D. 2 線源仕様

線源強度の計算に用いる燃焼度、照射期間、濃縮度及び冷却期間を(ロ)ー第D. 1表に示す。
 燃料デブリサンプルの遮蔽解析は保守的に評価するため、照射済み二酸化ウラン とし、燃料デブリサンプル収納缶内部の高さ方向に最大限伸びた棒状の塊を仮定するものとする。

(ロ)ー第D. 1表 収納物の線源計算条件

収 納 物		燃料デブリサンプル
条 件		
種 類		二酸化ウラン (照射済み)
燃 焼 度 ^{注1)}	(MWD/MTU)	<input type="text"/>
比 出 力	(MW/MTU)	
照 射 期 間	(日)	
濃 縮 度 ^{注2)}	(%)	
冷 却 期 間	(日)	

注1)

注2)

D. 2.1 ガンマ線源

燃料デブリサンプルのガンマ線源は、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、ORIGEN2.2 コードを用いて行った。

燃料デブリサンプルのエネルギーごとのガンマ線源強度を(ロ)－第D. 2表に示す。

(ロ)－第D. 2表 燃料デブリサンプルのガンマ線の各エネルギーごとの線源強度

(燃料デブリサンプル 当り)

エネルギー群数	平均エネルギー (MeV)	燃料デブリサンプル (photons/s)
1	0.01	<input type="text"/>
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	0.850	
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		

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、ORIGEN2.2 コードを用いて行った。

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 : 収納物 当りの一次中性子源強度

k_{eff} : 燃料デブリサンプル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デブリサンプル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(ロ)－第D. 3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を(ロ)－第D. 4表に示す。

(ロ) - 第D. 3表 中性子源強度

(燃料デブリサンプル 当り)

収納物		燃料デブリサンプル	
条 件			
一次中性子源強度 No (n/s)	(α , n)反応	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	
	自発核分裂		
	計		
収納物の実効増倍率 (k_{eff}) ^{注)}			
全中性子源強度 Ns (n/s)			

注) ORIGEN2.2 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 KENO-V. a コード⁵⁾により得られた値である。

(ロ) - 第D. 4表 中性子線源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル ^{注)}
1	1.492×10^7	5.72×10^{-4}
2	1.220×10^7	2.02×10^{-3}
3	1.000×10^7	6.07×10^{-3}
4	8.180×10^6	2.00×10^{-2}
5	6.360×10^6	4.12×10^{-2}
6	4.960×10^6	5.27×10^{-2}
7	4.060×10^6	1.10×10^{-1}
8	3.010×10^6	8.74×10^{-2}
9	2.460×10^6	2.28×10^{-2}
10	2.350×10^6	1.15×10^{-1}
11	1.830×10^6	2.07×10^{-1}
12	1.110×10^6	1.89×10^{-1}
13	5.500×10^5	1.31×10^{-1}
14	1.110×10^5	1.59×10^{-2}
15	3.350×10^3	8.12×10^{-5}
16	5.830×10^2	5.89×10^{-6}
17	1.010×10^2	3.89×10^{-7}
18	2.900×10^1	5.53×10^{-8}
19	1.070×10^1	1.33×10^{-8}
20	3.060×10^0	1.88×10^{-9}
21	1.120×10^0	4.19×10^{-10}
22	4.140×10^{-1}	1.20×10^{-10}
合 計		1.0

注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを DLC-23/CASK ライブラリ³⁾ の中性子 22 群構造に振り分けたものである。

D. 3 モデル仕様

D. 3.1 解析モデル

遮蔽解析モデルは二次元(R-Z)モデルとする。

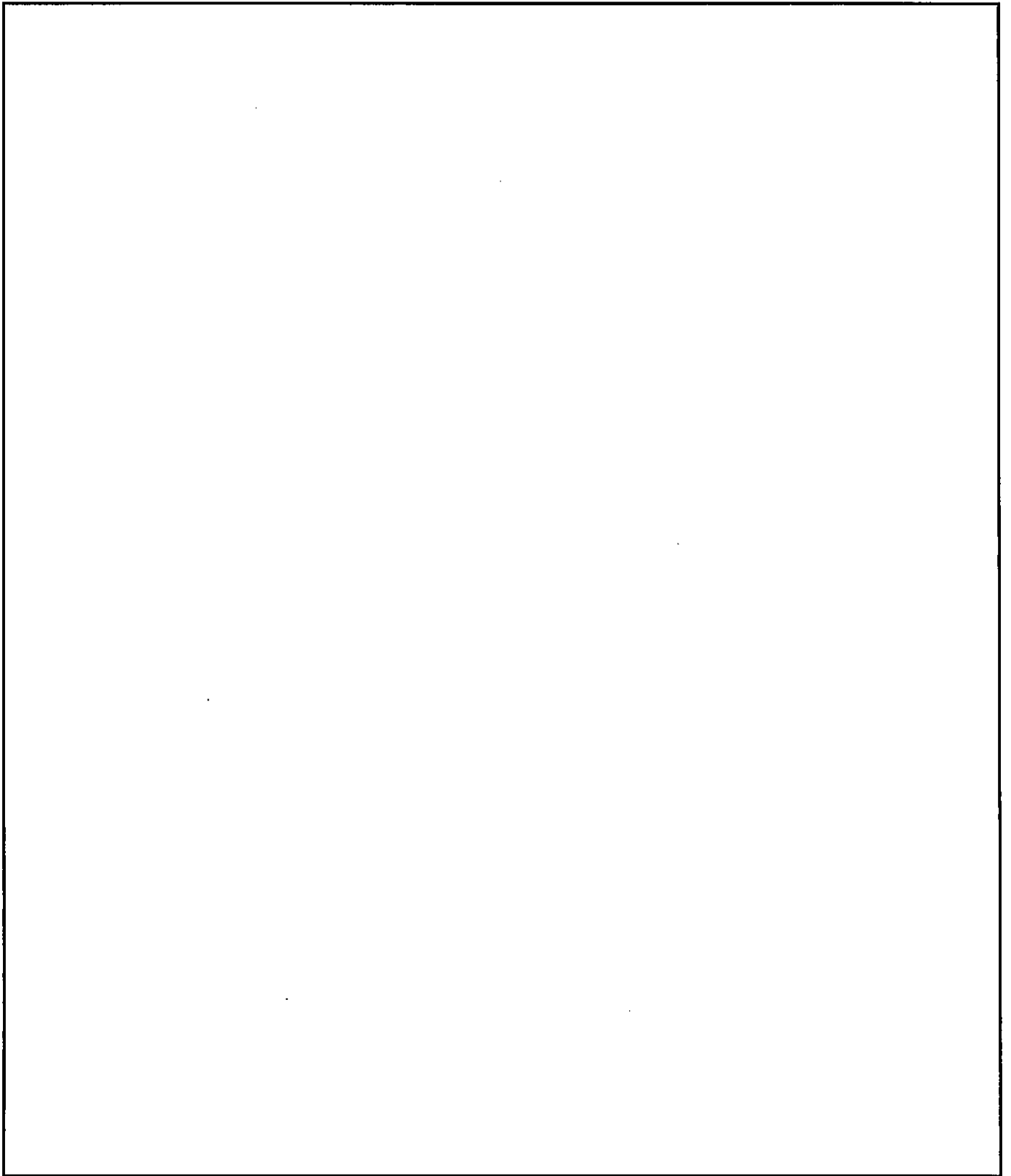
各試験条件におけるモデル化は以下に示す条件を考慮する。

1. 通常輸送時及び一般の試験条件下

通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下において 0.9m落下における緩衝体の変形を考慮すること以外は同一とし、以下の条件とする。

解析モデルを(ロ)－第D. 2図に示す。

- (1) 緩衝体は、安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮する。
- (2) 燃料デブリサンプル収納時の遮蔽計算において燃料デブリサンプルは、収納缶内部の軸方向の最大高さを考慮した一様の断面形状の棒状線源とする。
- (3) 燃料デブリサンプル収納缶及び収納缶用スペーサーは、遮蔽材としては無視し、距離のみ考慮する。



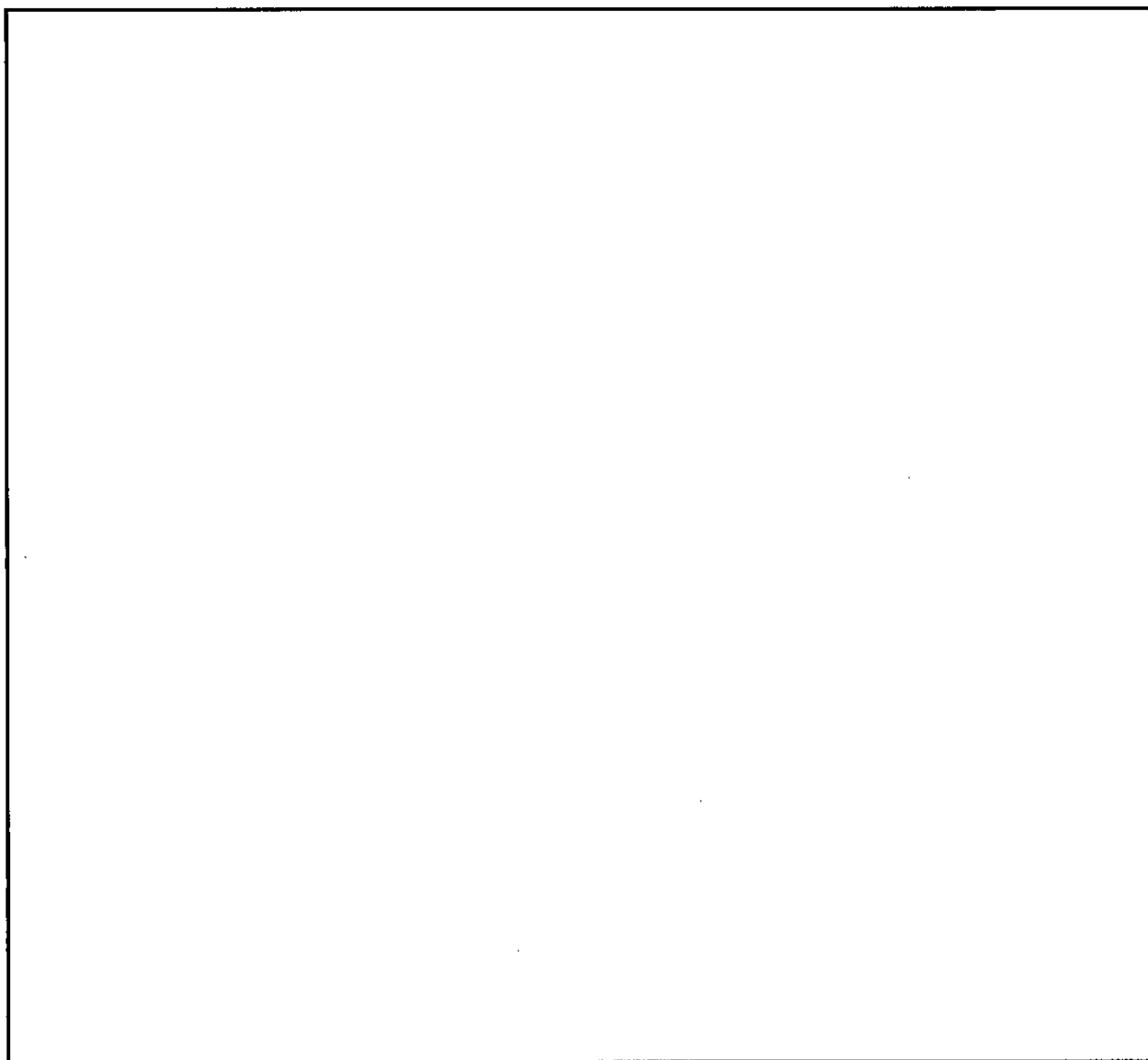
(単位：mm)

(ロ) - 第D. 2図 通常輸送時、一般の試験条件下の解析モデル

2. 特別の試験条件下

特別の試験条件下における解析モデルは一般の試験条件下の場合と次の点で異なる。解析モデルを(ロ)－第D. 3図に示す。

- (1) 緩衝体は外れることはないが、特別の試験条件下における落下試験によって大幅に変形するので、無いものとしてモデル化する。



(単位：mm)

(ロ)－第D. 3図 特別の試験条件下の解析モデル

D. 3. 2 解析モデル各領域における原子個数密度

遮蔽解析に用いた均質化領域の構成物質体積比を(ロ)－第D. 5表に示す。また、遮蔽解析に用いた各物質の原子個数密度を(ロ)－第D. 6表に示す。

(ロ)－第D. 5表 遮蔽解析に用いる均質化領域の構成物質体積比

	UO ₂	SUS	ボイド
燃料デブリサンプル			
容器本体側部			
容器本体底部			
蓋部			

(ロ)－第D. 6表 遮蔽解析に用いる各物質の原子個数密度

(単位：10²⁴atoms/cm³)

領域 元素	燃料デブリ サンプル	容器本体		蓋部	空気
		側部	底部		
O					
N					
Cr					
Fe					
Ni					
²³⁵ U					
²³⁸ U					

D. 4 遮蔽評価

輸送物の外部の指定場所でガンマ線線量当量率、中性子線量当量率を評価するために使用した基本手法とコードについて以下に説明する。

D. 4. 1 基本手法

遮蔽計算はガンマ線、中性子共に DOT3.5 コードを用いて行った。

断面積は、DLC-23/CASK ライブラリのデータ³⁾を使用した。

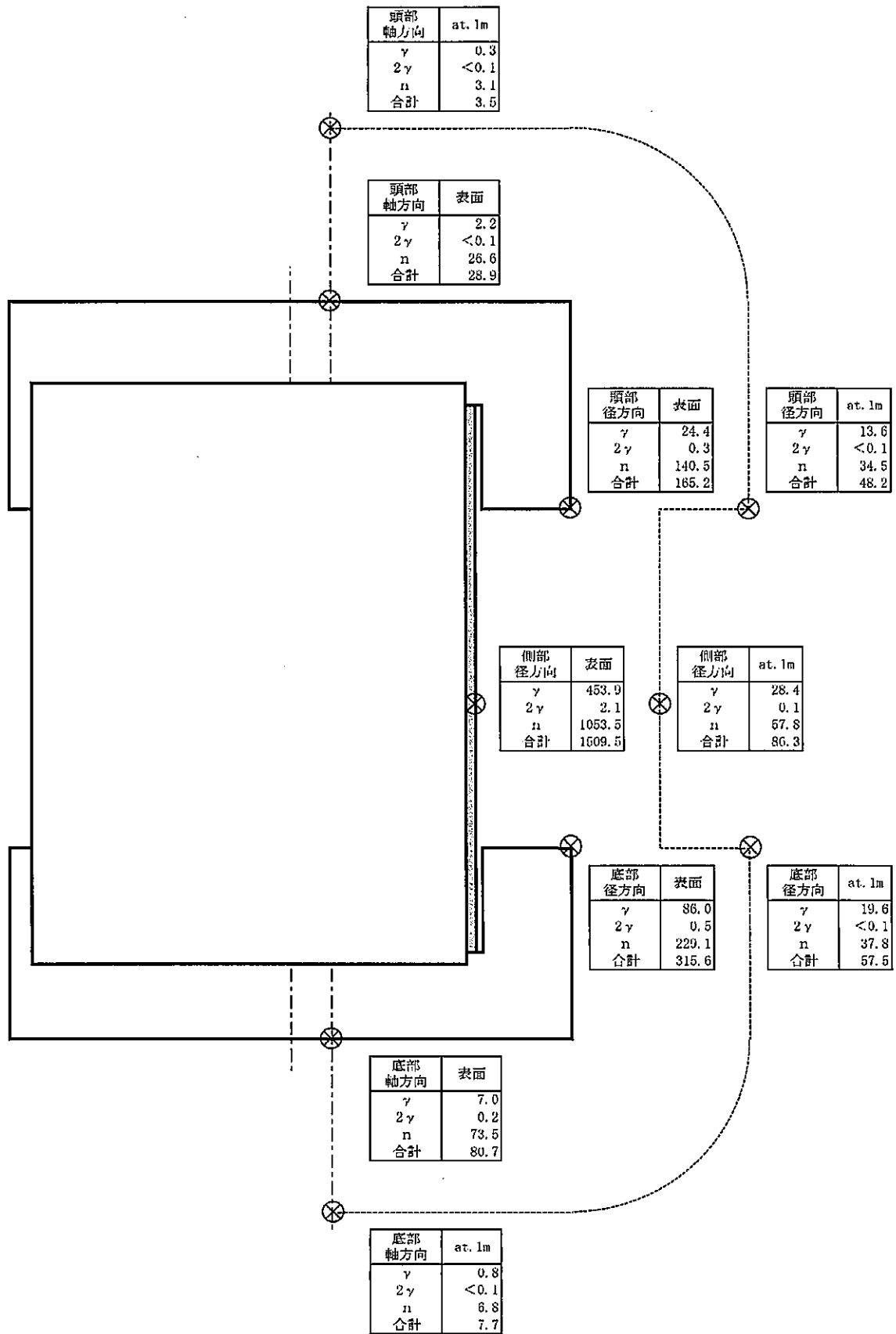
線束から線量当量率への変換係数は ICRP Publ. 74⁴⁾ の 1cm 線量当量率変換係数に基づく DLC-23/CASK ライブラリの中性子 22 群、ガンマ線 18 群構造に対する値を用いた。

D. 4. 2 計算結果

各モデルにおける主要部位でのガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率の計算結果を (ロ)ー第D. 4 図、(ロ)ー第D. 5 図及び(ロ)ー第D. 6 図に示す。

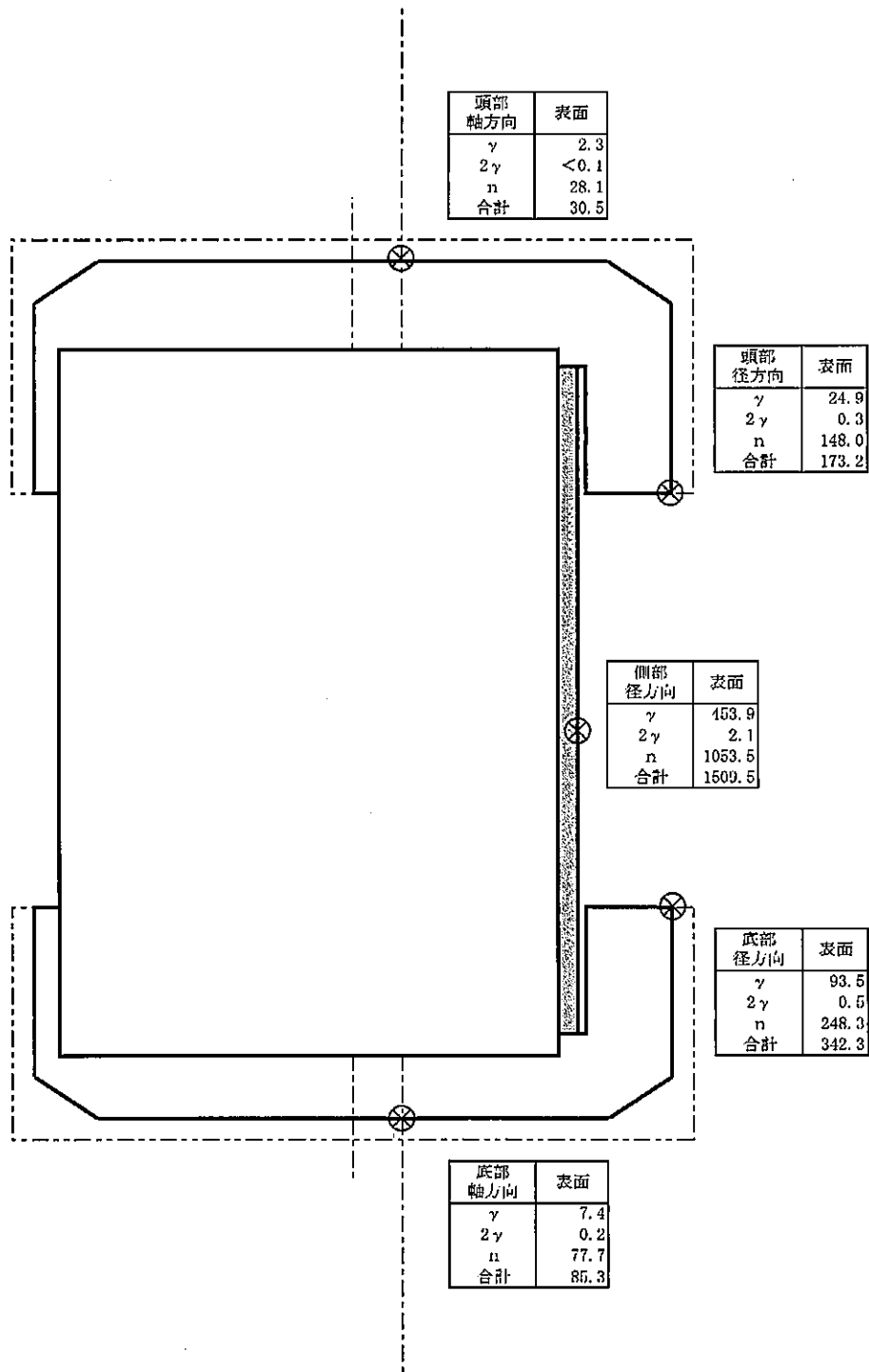
ここでは、頭部、側部及び底部の各エリアにおいて、輸送物表面及び表面から 1 m で線量当量率が最大となる位置での最大線量当量率の合計値及びその内訳を記載している。

また、(ロ)ー第D. 9 表に示すように一般の試験条件下に置かれた輸送物表面の最大線量当量率は、著しく増加することはない。



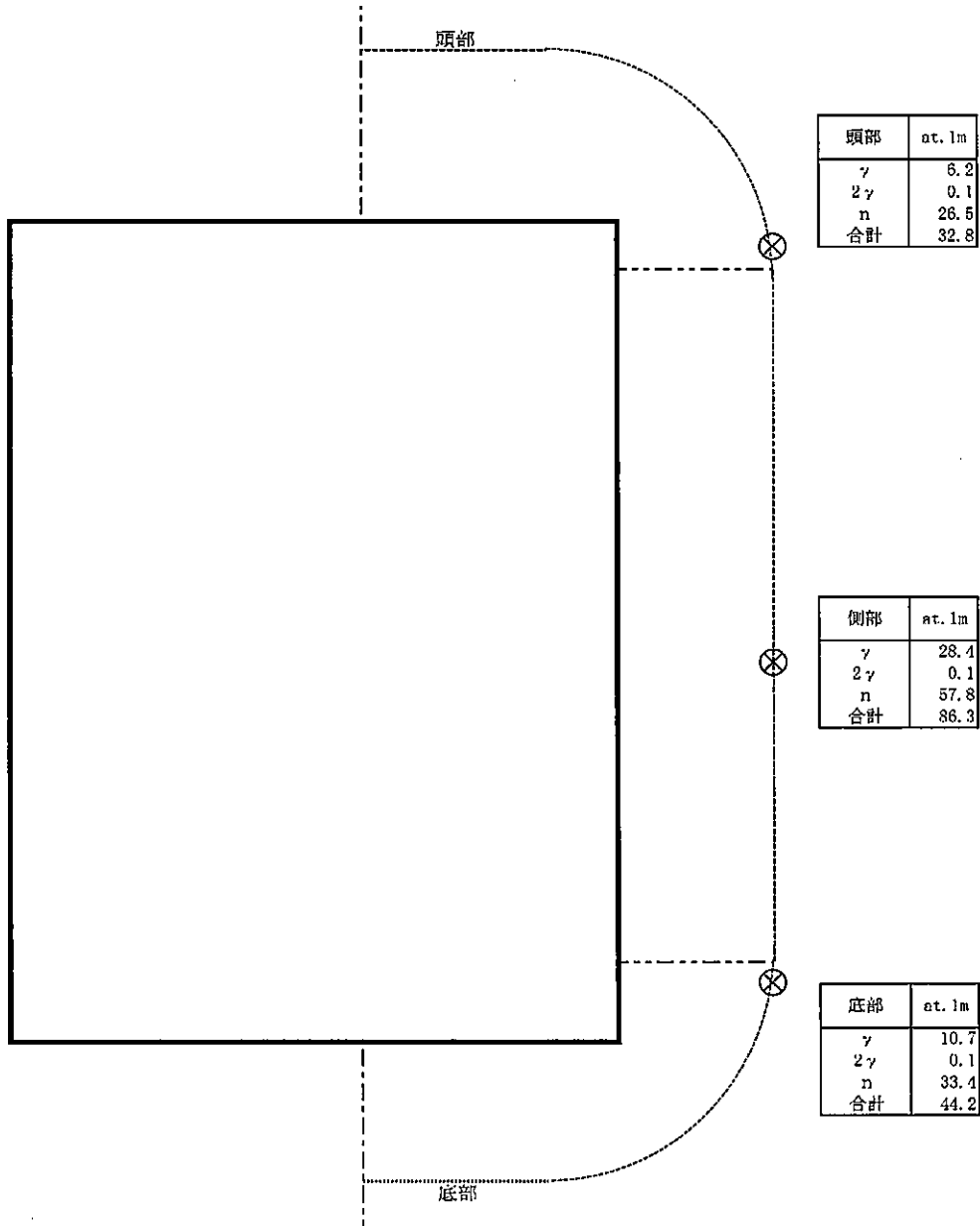
(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

(ロ) - 第D. 4図 通常の輸送時の線量当量率分布



(単位 : $\mu\text{Sv/h}$)

(口) - 第D. 5図 一般の試験条件下の線量当量率分布



(単位：μSv/h)

(口) - 第D. 6図 特別の試験条件下の線量当量率分布

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モデルの要約を(ロ)－表D.7に示す。

また、計算から得られた最大線量当量率の要約は(ロ)－表D.8に示すとおりであり、規則で定められた基準を満足している。

(ロ)－表D.7 遮蔽解析モデルの要約

項目		条件		
		通常輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件
線源		径方向移動考慮 ・最も側部寄りに移動		同左
遮蔽体	本体	容器本体、蓋 <input type="text"/>		
	緩衝体	空気に置換し、距離のみ考慮	変形を考慮	安全側に緩衝体を無いものとする。

(ロ) - 表D.8 最大線量当量率の要約

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

部 位 項 目	輸 送 物 表 面			表 面 より 1 m		
	頭 部	側 部	底 部	頭 部	側 部	底 部
通常輸送時						
ガンマ線	24.4	453.9	86.0	13.6	28.4	19.6
二次ガンマ線	0.3	2.1	0.5	0.1	0.1	0.1
中性子	140.5	1053.5	229.1	34.5	57.8	37.8
合 計	165.2	1509.5	315.6	48.2	86.3	57.5
一般の試験条件下						
ガンマ線	24.9	453.9	93.5			
二次ガンマ線	0.3	2.1	0.5			
中性子	148.0	1053.5	248.3			
合 計	173.2	1509.5	342.3			
特別の試験条件下						
ガンマ線				6.2	28.4	10.7
二次ガンマ線				0.1	0.1	0.1
中性子				26.5	57.8	33.4
合 計				32.8	86.3	44.2
基準値						
通常輸送時		2000			100	
一般の試験条件下		2000			—	
特別の試験条件下		—			10000	

D. 6 付属書類

D. 6.1 参考文献

- 1) S.B. Ludwig, A. G. Croff, "Revision to ORIGEN2 - Version 2.2," Transmittal memo of CCC-0371/17, Oak Ridge National, Laboratory (2002).
- 2) ORNL-RSIC, "DOT3.5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", CCC-276, (1976).
- 3) ORNL-RSIC, "CASK-40 Group Coupled Neutrons and Gamma-ray Cross-section Data", DLC-23, (1973).
- 4) ICRP, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", Publication 74, (1987)
- 5) "SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation", Vols. 1-3, NUREG/CR-0200, U. S. Nuclear Regulatory Commission (originally issued July 1980).

口 章 E 臨 界 解 析





E. 臨界解析

本輸送容器に収納する収納物は、核分裂性核種を含むが、その最大重量は以下となる。告示に示すとおり、専用積載の場合、核分裂性核種重量が 45g 以下の輸送物は核分裂性輸送物とならないことから、本輸送物における未臨界性評価は該当しない。

(1) 照射前 核分裂性核種重量：

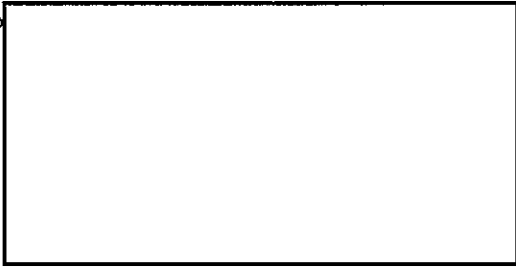
(2) 照射後 核分裂性核種重量：



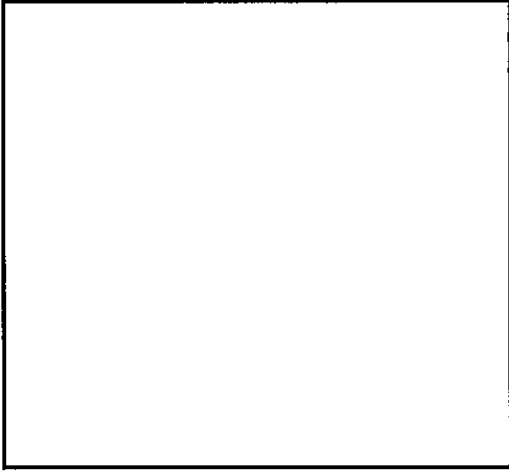
ロ 章 F 規則及び告示に対する適合性の評価



「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		該当なし。 該当なし。 本輸送物は、燃料デブリサンプル <input type="text"/> (以下) を収納するものであり、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, B (イ) - A, B (イ) - D
(L型輸送物に係る技術上の基準) 第4条第1号		本輸送物は、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、本体に吊上げ用金具があり吊上げ、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、輸送物は車輻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. 輸送物には吊上げ用金具及び固縛用金具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。 d. 輸送物の表面は滑らかに仕上げており、また、バルブは輸送物本体に埋込まれた造りとなっており、カバーで保護されている。	(イ) - C (ロ) - A, 4. 4 (イ) - C (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2号		<p>本輸送物は以下に示すように、運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じるおそれはない。</p> <p>a. 収納物の発熱量が最大である□のとき 収納物の最高温度は52.7℃であり、収納物が溶融することはなく、収納物の幾何学的形状、物理的状态が変化することはない。</p> <p>b. </p> <p>c. 輸送物の主要遮蔽材である□ の温度は上記の状態でも52.8℃であり、融点よりはるかに低く、遮蔽能力が低下することはない。また、容器各部の温度差による熱応力によって容器に割れが生じることはない。</p> <p>d. 輸送物はドライキャスクであり、水分はないので放射線分解によってガスは発生しないので、内圧を高めることはなく、密封性を損うことはない。</p> <p>e. 固縛装置は、輸送中発生する上下及び前後方向加速度2g並びに左右方向加速度1gに耐えるように設計され、また、本輸送物は低速度で運搬されるので共振することもなく振動等によりき裂、破損等の生じるおそれはない。</p>	<p>(ロ)－B.4.2</p> <p>(ロ)－C.2.4</p> <p>(ロ)－B.4.2 (ロ)－B.4.5</p> <p>(ロ)－B.4.4</p> <p>(ロ)－A.4.5</p>
第3号		<p>輸送物表面には、吊上装置である吊上げ用具及び固縛用具以外には不要な突起物がなく、また、輸送物表面は滑らかに仕上げており、除染は容易である。</p>	<p>(イ)－C</p>

「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4号		本輸送物の各々の材料相互の間及び収納物との間では、危険な物理的又は化学的作用を起こすおそれはない。	(ロ) - A. 4. 1						
第5号		バルブは、輸送物本体に埋込まれた構造であり、カバーを取付けて緩衝体で覆われる。また、バルブの操作は専用の開閉用工具で行われるものであり、誤って操作されることはない。	(ロ) - C. 2. 1						
第6号		該当なし。							
第7号		該当なし。							
第8号	(表面密度限度) 第9条	<p>本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。</p> <table border="1" data-bbox="699 1211 1214 1435"> <thead> <tr> <th data-bbox="699 1211 943 1256">区 分</th> <th data-bbox="943 1211 1214 1256">表面密度限度(Bq/cm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="699 1256 943 1346">アルファ線を放出する放射性物質</td> <td data-bbox="943 1256 1214 1346">0.4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 1346 943 1435">アルファ線を放出しない放射性物質</td> <td data-bbox="943 1346 1214 1435">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	(ハ) - A
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		該当なし。							
第10号		本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上で蓋をするので、本輸送物の安全性を損うおそれのあるものを収納することはない。	(ハ) - A						

「規則」 の項目	「告示」 の項目	説 明	申請書記載 対応事項
(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		本輸送容器の仕様は外径約 <input type="text"/> 、長さ約 <input type="text"/> <input type="text"/> 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
第3号		本輸送物は以下に示すように、みだりに開封 されないように、かつ、開封された場合に開 封されたことが明らかになるような措置が 講じられ、基準を満足している。 a  b	(ロ)-C. 2. 1 (ロ)-C. 2. 4 (ロ)-C. 2. 1
第4号		本輸送容器は、周囲温度-20℃以上で使用す る。輸送容器の構成部品は、-20℃の温度に おいてもき裂、破損等は生じない。したがっ て、-20℃から70℃の周囲温度において、構 成部品にき裂、破損等を生じるおそれはな い。	(ロ)-A. 4. 2
第5号		本輸送物の密封装置は周囲圧力が60kPaの場 合でも、放射性収納物を保持できる構造とな っている。	(ロ)-A. 4. 6
第6号イ		該当なし。	

「規則」 の項目	「告示」 の項目	説 明	申請書記載 対応事項
<p style="text-align: center;">ロ</p> <p>第5条第7号</p> <p style="text-align: center;">第8号</p> <p style="text-align: center;">第9号</p> <p style="text-align: center;">第10号</p> <p>(BM型輸送物に係る技術上の基準)</p> <p>第6条第1号</p>	<p>(線量当量率)</p> <p>第8条</p>	<p>本輸送物は、収納物等の温度変化による圧力増加に対応できるように適切な内部空間を有している。</p> <p>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1.510 mSv/hであり、基準値の2mSv/hを超えることはない。</p> <p>本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1 mの距離における最大線量当量率は86.3 μSv/hであり、基準値の100 μSv/hを超えることはない。</p> <p>該当なし。</p> <p>該当なし。</p>	<p>(ロ) - B. 5. 4</p> <p>(ロ) - D. 4</p> <p>(ロ) - D. 5</p> <p>(ロ) - D. 4</p> <p>(ロ) - D. 5</p>
<p>第6条第1号</p>		<p>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号イに定められる要件は該当しない。</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3号	別記第5第1号	ii 落下試験台の上面はなめらかな水平面であり、軟鋼丸棒は直径15cmとして解析している。 iii 軟鋼棒は落下試験台上に垂直に固定されているとして解析している。 iv 軟鋼丸棒の長さは、輸送物に最大の破損をひき起すように十分長いものとして解析している。	
	第2号	火災試験 i 本輸送物は、火災による入熱量を大きく評価するように落下試験Ⅰ、Ⅱの落下順序に影響を受けないように解析している。 ii 本輸送物は0.9の火炎放射率をもつ800℃の熱放射環境に30分間さらされるとして解析している。輸送物の表面の熱放射率は□として解析している。 iii 火災試験中は対流による入熱も考慮して計算している。 iv 本輸送物は加熱停止後38℃の環境温度中で別記第4第1号に定める放射熱を負荷し自然冷却の状態で、内部温度がすべて下がり始めるまで計算している。	(ロ)－B. 5. 1
	第3号	浸漬試験 (15m) 本輸送物は、0.15MPaGの水圧下に置かれたとして解析している。	(ロ)－A. 6. 4

「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3号	(BM型輸送物に係る特別の試験条件)		
イ	第16条	本輸送物は特別の試験条件下に置いた場合、緩衝体に変形が生じる。しかし、緩衝体は、モデルから除いており、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0.086mSv/hであり、基準値の10mSv/hを超えることはない。	(ロ)-D. 4 (ロ)-D. 5
	(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)		
ロ	第17条	本輸送物は特別の試験条件下に置いた場合、緩衝体に変形が生じるが、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。この場合、放射性物質の漏えい率と基準値 A_2 との比率は 1.16×10^{-5} で1より小さく基準値 A_2 Bq/Weekを超えることはない。	(ロ)-C. 4
第4号		本輸送物は、周囲温度 -20°C 以上で使用する。本輸送物の主要材料である は、 -20°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き裂、破損等の生じるおそれはない。	(ロ)-A. 4. 2
	(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5号	第18条 別記第6	浸漬試験 (200m) 本輸送物の収納物の最大放射エネルギーは、 A_2 値の10万倍を超えないので該当しない。	(ロ)-A. 10. 1

「規則」 の項目	「告示」 の項目	説 明	申請書記載 対応事項
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) 第11条	第23条第5号	該当なし。 輸送物に収納する核分裂性物質量は、最大でも約□であり、本輸送物は核分裂性輸送物に該当しない。	(ロ)－E
第1号	(核分裂性輸送物に係る一般試験条件) 第24条 別記第11	該当なし。	
第2号 イ,ロ,ハ,ニ,ホ	(核分裂性輸送物に係る孤立系の条件) 第25条 第1,2,3号	該当なし。	
	(核分裂性輸送物に係る特別の試験条件) 第26条 別記第12	該当なし。	
	(核分裂性輸送物に係る配列系の条件) 第27条	該当なし。	
第3号		該当なし。	



ハ 章 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法



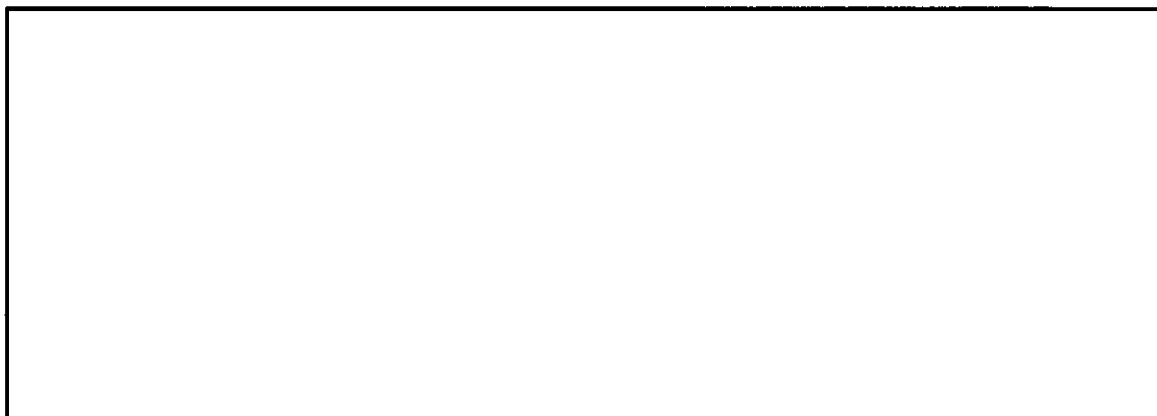
ハ章 核燃料輸送物の取扱い方法及び保守の方法

A. 輸送物の取扱い方法

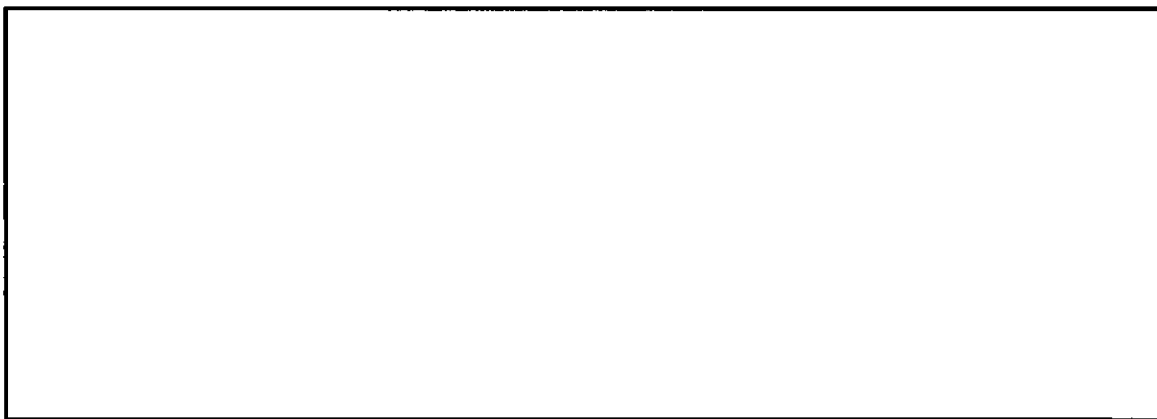
A. 1 装荷方法

輸送容器への収納物装荷は、施設に合わせて以下の3種類の方法により行われる。

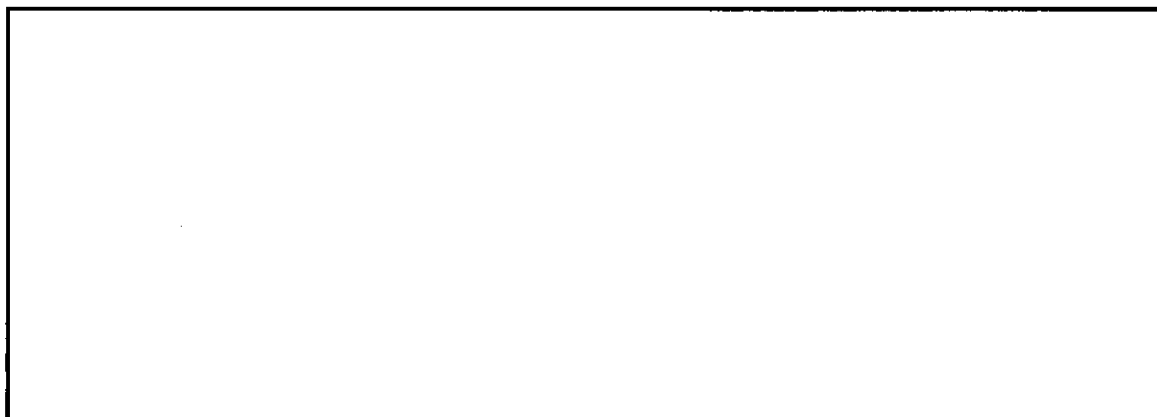
A. 1. 1 水中での装荷



A. 1. 2 気中での装荷



A. 1. 3 セルでの装荷



A. 2 輸送物の発送前検査

輸送物を発送する前に(ハ)－表 A. 1に示す発送前検査を行う。

A. 3 取出し方法

輸送容器からの燃料デブリサンプルを収納した収納缶の取出しは、施設に合わせて以下の2種類の方法により行われる。

A. 3. 1 水中での取出し

A large rectangular box with a black border, used to redact information related to the underwater removal method.

A. 3. 2 気中での取出し

A large rectangular box with a black border, used to redact information related to the removal method in air.

A. 4 空容器の準備

1. 燃料デブリサンプルを収納した収納缶取出し後の空容器を次の輸送に使用する前に(ハ)－表 A. 2に示す検査を行う。
2. 燃料デブリサンプルを収納した収納缶の輸送前に空容器の受渡しを行うに際しては、(ハ)－表 B. 1に示す定期自主検査及び(ハ)－表 A. 2に示す空容器の準備における検査の記録により、何ら異常なく保守されていることを確認したうえで行う。なお、空容器の輸送は総理府令第57号に定める第3条又は第13条の区分に応じ、適切な条件下で行う。

(ハ)－表 A. 1 輸送物発送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (1/2)

No.	検査項目	検査方法	合格基準
1	外観検査	輸送物の外観を目視で検査する。	表面状況（傷、割れ等）及び形態に性能上の異常がないこと。
2	吊上げ検査	容器を吊上げた後の状態において、吊上げ用金具部の外観を目視で検査する。	吊上げ用金具部に異常がないこと。
3	重量検査	容器重量及び収納物重量の和を書類により確認する。	輸送物としての重量が <input type="text"/> 以下であること。
4	表面密度検査	スミヤ法により輸送物の表面密度を検査する。	α 核種：0.4Bq/cm ² 以下、 β 、 γ 核種：4Bq/cm ² 以下、 であること。
5	線量当量率検査	輸送物の表面及び表面から1 m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で検査する。	線量当量率が表面において2mSv/h以下、1 mの距離において100 μ Sv/h以下であること。
6	未臨界検査	該当しない。	—

(ハ)－表 A. 1 輸送物発送前検査の項目、検査方法及び合格基準 (2/2)

No.	検査項目	検査方法	合格基準
7	収納物検査	①収納物の外観、数量等を目視等により検査する。 ②照射済燃料についての運転記録等により放射能の量、燃焼度、発熱量、冷却日数等を確認する。	①外観、数量に異常がないこと。 ②設計承認条件のとおりであること。
8	温度測定検査	輸送物の表面温度を測定する。	日陰において輸送中人が容易に近づくことができる表面で85℃以下であること。
9	気密漏えい検査	0.64MPa G (6.5kg/cm ² G)以上の圧力を加え、容器密封部における圧力降下を測定し、漏えい率が基準値以下であることを確認する。	各部の漏えい率の合計が 3×10^{-2} ref cm ³ /sを超えないこと。
10	圧力測定検査	輸送物の外筒表面温度を測定し、内圧に換算して設計基準値以下であることを確認する。	設計基準値(0.1MPa G)以下であること。

(ハ)－表A.2 空容器の準備における検査の項目、検査方法及び合格基準

No.	検査項目	検査方法	合格基準	備考
1	外観検査	空容器の外観を目視で検査する。	表面状況(傷、割れ等)及び形態に性能上の異常がないこと。	
2	吊上げ検査	空容器を吊上げた後の状態において、吊上げ用金具部の外観を目視で検査する。	吊上げ用金具部に異常がないこと。	
3	表面密度検査	スミヤ法により空容器の表面密度を測定する。	α 核種：0.4Bq/cm ² 以下、 β , γ 核種：4Bq/cm ² 以下であること。	
4	線量当量率検査	空容器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をサーベイメータで検査する。	線量当量率が表面において2mSv/h以下、容器表面から1mの点で100 μ Sv/h以下であること。	
5	未臨界検査	該当しない。	—	
6	気密漏えい検査	0.64MPaG (6.5kg/cm ² G)以上の圧力を加え容器密封部における圧力降下を測定し、漏えい率が基準値以下であることを確認する。	各部の漏えい率の合計が 3×10^{-2} ref cm ³ /s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条件について記述する。

B.1 外観及び耐圧検査

外観検査は、輸送容器の外観を目視で検査し表面状況及び形態に異常のないことを確認する。

耐圧検査は、輸送容器の内部に0.15MPaG (1.53kg/cm² G)の水圧を30分間以上加えて、同輸送容器各部に亀裂、漏えいの発生しないことを確認する。この検査は同輸送容器製作工場での輸送容器完成時に実施する。輸送毎に生じる熱負荷の繰返しによる応力は、同輸送容器の本体各部の材質の の強度に比較して十分に小さいので、この耐圧検査で安全性が確認される。

蓋部、バルブ部はB.2に示す気密漏えい検査を輸送毎に実施し漏えいのないことを確認する。

B.2 気密漏えい検査

この検査は、輸送毎に実施する。

蓋シール及び弁部について、その漏えい率の合計が 3×10^{-2} ref cm³/s以下であることを確認する。

B.3 補助系の保守

該当なし

B.4 密閉装置の弁、ガスケット等の保守

本節でいうシールとは本体蓋取付けに使用するOリング及びバルブに使用するOリングである。

B.2に示したように、輸送容器からの漏えいに関連しバルブ、シールに対する試験は輸送毎に実施し、規定値以上の漏えいが確認された場合にはその都度良品と取換える。

B.5 遮蔽検査

容器本体、蓋等の外観を検査し、変形等の異常がないことを確認する。

B.6 未臨界検査

該当しない。

B.7 熱検査

輸送物発送前検査時に輸送物側面中央部等の温度を測定して、輸送中人が容易に近づることができる表面の最高温度が85℃以下であることを確認する。

B.8 その他

1. 定期自主検査

(ハ)ー表B.1による定期自主検査を行い、その記録を保存する。

(ハ)一表B.1 定期自主検査の項目、検査方法、合格基準及び検査頻度

No.	検査項目	検査方法	合格基準	検査頻度
1	外観検査	容器及び部品の外観を目視で検査する。	表面状況（傷、割れ等）及び形態に性能上の異常がないこと。	1回以上／1年 また、年間の使用回数が10回を超える場合は使用回数10回ごとに1回以上
2	未臨界検査	該当しない。	—	
3	作動確認検査	ベント弁及びドレン弁が正常に作動するか否かを検査する。	操作性に異常のないこと。	
4	気密漏えい検査	加圧漏えい試験等により、漏えい率を確認する。	漏えい率の合計が $3.0 \times 10^{-2} \text{ref cm}^3/\text{s}$ を超えないこと。	
5	吊上げ検査	空容器を吊上げた後に外観を検査する。	吊上げ用金具部に異常のないこと。	

二 章 安全設計及び安全輸送に関する特記事項





二章 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の特記事項等該当する事項はない。



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

輸送容器は、口章「輸送物の安全解析」に述べられた構造、熱、密封、遮蔽の各解析及びそれらにより決定される寸法等、構造を満足するように、参考A.「輸送容器の製作法」に従って製作し、それらが上記各設計条件を満足していることを、参考B.「試験・検査方法等」に説明する各種検査により確認する。

A. 輸送容器の製作法

A. 1 概 要

輸送容器の製作手順を(参)－第A. 1 図に示す。

以下、(参)－第A. 1 図に従い、製作手順及び方法の概要について述べる。

(1) 容器本体の製作

(1-1) 容器本体の製作

容器本体は、塊を鍛造加工により成形し、機械加工により所定の寸法に仕上げた鍛造品を購入する。

(1-2) 吊上げ用金具及び固縛用金具の製作

吊上げ用金具及び固縛用金具は、鋼板から所定の寸法・形状に加工（切断・機械加工等）する。

(1-3) 吊上げ用金具及び固縛用金具の容器本体への組立溶接

吊上げ用金具及び固縛用金具を容器本体に溶接する。

(1-4) 容器本体の機械加工

容器本体の仕上げ代を有する箇所等を最終仕上げのために機械加工する。

(1-5) ドレンバルブの容器本体への組込

ドレンバルブを容器本体に組込む。

(2) 蓋の製作

(2-1) 蓋の製作

蓋は、塊を鍛造加工により成形し、機械加工により所定の寸法に仕上げた鍛造品を購入する。

(2-2) 蓋の機械加工

蓋の仕上げ代を有する箇所等を最終仕上げのために機械加工する。

(2-3) ベントバルブの組込

ベントバルブを蓋に組込む。

(3) 上部及び下部緩衝体の製作

(3-1) 部材加工

鋼板を所定の寸法・形状に加工（切断、機械加工、曲げ加工等）する。

(3-2) 組立溶接

所定の寸法・形状に加工された部材のうち、上板（上部緩衝体）及び底板（下部緩衝体）を除いた部材の組立溶接を行う。

(3-3) 緩衝材の組込み

上板（上部緩衝体）及び底板（下部緩衝体）の組立を除いて完成した缶体に緩衝材を組込む。

(3-4) 組立溶接

緩衝材の組込みを完成した缶体に上板（上部緩衝体）及び底板（下部緩衝体）を溶接する。

(4) 輸送容器の組立及び試験・検査

完成した容器本体に蓋及び上部・下部緩衝体の取付けを行い、輸送容器を組立てる。

容器本体

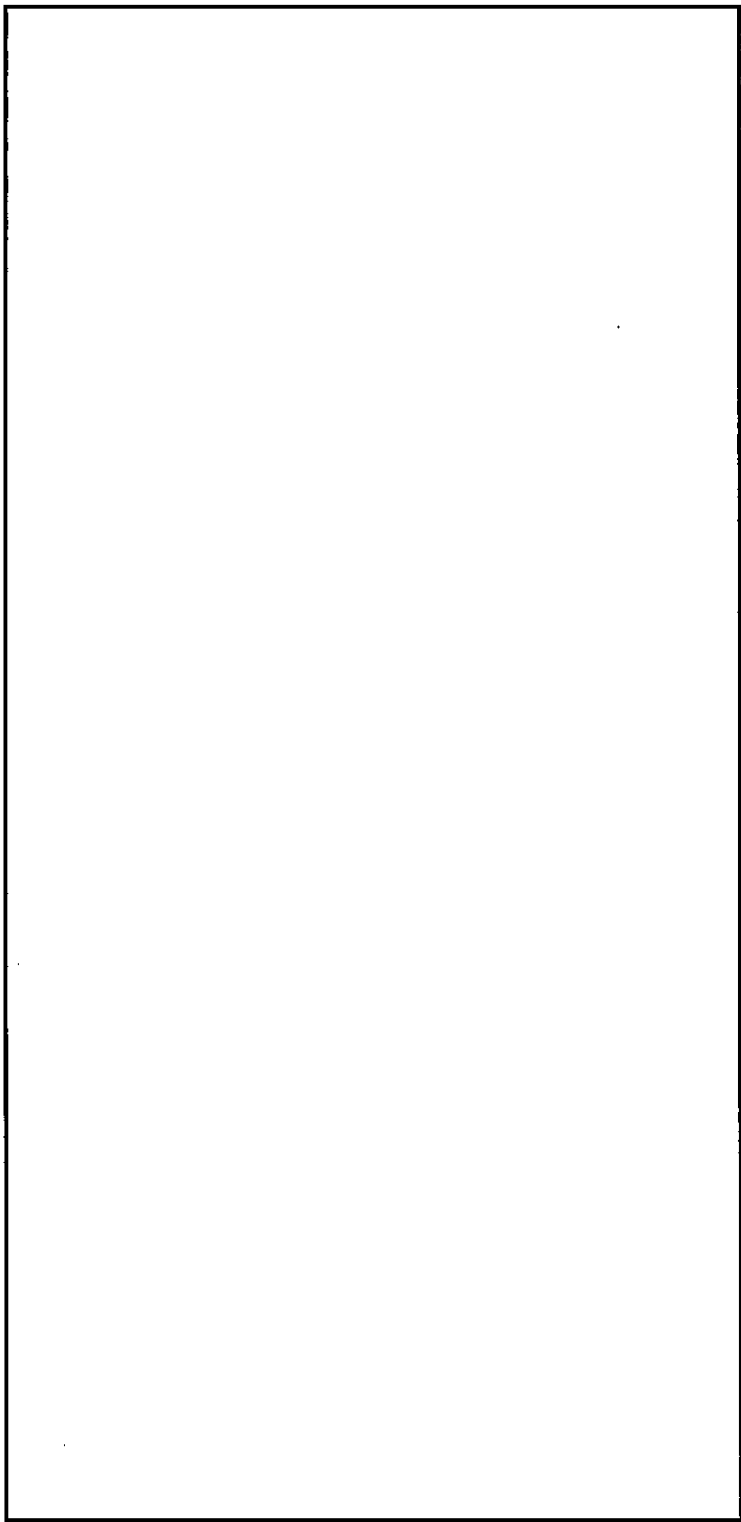
本体

吊上げ用金具

固縛用金具

蓋

上部・下部緩衝体



(参) - 第A. 1 図 輸送容器全体製作手順図

A. 2 材料の説明

A. 2. 1 板 材 料

輸送容器に使用する板材料は、口章「輸送物の安全解析」に述べられた設計条件から、(参)一表 A. 1 に示す規格の材料を使用し、B. 1 に示す検査を実施することにより、(参)一表 A. 2 に示されている材料諸特性が得られていることを確認する。

本材料は、であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

また、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 鍛造品、ボルト・ナット類

材料の適用規格を、(参)一表 A. 1 に示す。材料の諸特性の確認方法については、上記 A. 2. 1 板材料に同じ。

本材料は、であり、輸送容器使用条件下における材料の腐食の問題はない。

A. 2. 3 溶接用電極・棒・線類

輸送容器に使用する材料に対し、健全な溶接を得るために(参)一表 A. 3 に示す規格の溶接材料を使用する。ティグ溶接の非消耗電極にはトリウム入タングステンを使用する。

A. 2. 4 特殊材料

前記一般材料の他に、(参)一表 A. 4 に示す特殊材料を使用する。

(1) 緩 衝 材

緩衝材の材料として上部緩衝体及び下部緩衝体内部にを充填する。

A. 2. 5 ミルシート

製造された材料が規格等で要求される諸特性を満足していることを確認するため、材料メーカーにてB. 1に述べる試験検査を実施し、その結果をミルシートに記載する。材料受入時には、各材料とミルシートの記載事項を比較照合し、規定通りの材料であることを確認する。

A. 2. 6 材料の欠陥部の修理

表面欠陥等については、グラインダ又は機械加工等により欠陥を除去し、滑らかに仕上げた後、目視検査及びその材料に要求される非破壊検査を実施する。

溶接補修が必要な欠陥については、下記に示す手順で修理する。

- (1) 欠陥をグラインダ又は機械加工等により除去する。
- (2) 欠陥除去部の浸透探傷試験を行う。
- (3) 欠陥除去部の肉盛溶接を行う。
- (4) 肉盛溶接部をグラインダ又は機械加工等により滑らかに仕上げる。
- (5) 欠陥修理部の浸透探傷試験及び放射線透過試験（放射線透過試験を行うことが困難な場合は、超音波探傷試験）を行う。

A. 2. 7 材料の切断

材料の切断及び開先加工は、プラズマ切断等の溶融切断又はシャーリング、機械加工、グラインダ等の機械的方法により施工する。溶融切断による場合は、切断後グラインダ、機械加工等の機械的手段により切断端面の仕上げ加工を実施する。

A. 2. 8 材料の成型

材料の曲げ加工は、冷間にてロール加工又はプレス加工により行う。

(参)-表A.1 材料適用規格 (板、棒、管、鍛造及びボルト材)

使用部位	材料区分	適用規格	備考	
<u>1. 容器本体</u> 本体 ドレンバルブ バルブカバー 吊上げ用金具 固縛用金具	鍛造材 棒材 又は 鍛造材 板材 板材 板材	<div style="border: 1px solid black; height: 100%; width: 100%;"></div>		
<u>2. 蓋</u> 蓋板 蓋ボルト ベントバルブ バルブカバー	鍛造材 ボルト材 棒材 又は 鍛造材 板材			
<u>3. 緩衝体</u>	板材			

(参)-表A. 2 材料特性 (板、棒、鍛造及びボルト材)

適用規格	材料区分	耐力	引張強さ	伸び	絞り	硬 さ			化 学 成 分 (%)							
		N/mm ²	N/mm ²	%	%	HB	HRB	HV	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	その他

備考：適用規格は1994年時点における最新年版相当。

(参)-表A.3 溶接材料

溶接法	適用規格
テ ィ グ 溶 接 (GTAW)	
被 覆 ア ー ク 溶 接 (SMAW)	
フ ラ ッ ク ス コ ア ー ド ア ー ク 溶 接 (FCAW)	

(参)-表A.4 特殊材料

使用目的	材 料 名	適 用 規 格	備 考
緩 衝 材			

A. 3 溶 接

A. 3. 1 溶接方法及び材料

- (1) 容器本体の溶接は、資源エネルギー庁長官通達61資庁第8100号に準拠して実施した溶接施行法確認試験に合格した施行法により行う。
- (2) 輸送容器の溶接部の母材は、全て の組合せで、溶接は、ティグ溶接（GTAW）、被覆アーク溶接（SMAW）、フラックスコアードアーク溶接（FCAW）のいずれか、又はそれらの組合せにより行う。
- (3) 以下に各溶接法について述べる。
 - ① ティグ溶接（GTAW）

非消耗電極と溶接物の間に発生させたアークで溶接棒を溶かして溶接する方法で、電極の周囲からアルゴンガス等を流してシールドを行う。
 - ② 被覆アーク溶接（SMAW）

被覆アーク溶接棒を電極として溶接物との間にアーク発生させ、発生させたアークで溶接棒を溶かして溶接する方法。
 - ③ フラックスコアードアーク溶接（FCAW）

連続的に供給されるフラックス入りワイヤを電極として、溶接物との間にアークを発生させ、発生させたアークでワイヤを溶かして溶接する方法で、電極の周囲から炭酸ガス等を流してシールドを行う。
- (4) 溶接材料は、母材と同等以上の諸特性を有する（参）一表A. 3に示す規格のものを使用する。

A. 3. 2 溶接機の管理及び作業員資格

- (1) 溶接機は1年を超えない期間毎に点検を実施し、溶接作業には点検有効期限内の溶接機のみ使用する。
- (2) 輸送容器の溶接は、資源エネルギー庁長官通達61資庁第8100号に準拠して実施した溶接士の技能の確認試験に合格した溶接士又は、通達にもとづく試験と同等の、J I Sの規定に準拠した検定試験に合格した溶接士が行う。

A. 3. 3 溶接の主要事項に関する説明

- (1) 溶接時の層間温度は最大200℃とする。
- (2) 容器本体への溶接部の継手形状及び溶接法を(参)ー第A. 2図に示す。
- (3) 溶接完了後、溶接部は容器完成までのいずれかの時期に洗浄し、汚れ、異物等を除去する。
- (4) 溶接完了後、溶接部表面に付着したスパッタ(溶接材料の飛び粉)を除去し、溶接ビードの凹凸を滑らかに仕上げる。

A. 3. 4 溶接欠陥の修理

○ 検査の結果、割れ、ピンホール、ブローホール、スラグの巻き込み等の欠陥が発見され不具合と判定された溶接部は、グラインダ、機械加工等の機械的方法によるか、又はアークエアガウジングにより欠陥部を除去し、溶接補修する。補修溶接は技量認定された溶接士により、溶接施行法確認試験に合格した施行法にて実施する。補修後は再検査を実施し適合を確認する。

A. 3. 5 溶接後の熱処理

該当なし

A. 3. 6 特殊溶接

○ 該当なし

A. 3. 7 溶接の品質保証計画その他

容器本体の溶接は、技量認定された溶接士が溶接施行法確認試験に合格した施行法で行う。

容器本体の溶接時には、継手位置、施行法番号、作業日、溶接士名を記録し、その記録を溶接作業及び溶接士の管理に使用する。

継手位置	溶接法	継手形状(単位:mm)
容器本体と吊上げ用金具	GTAW SMAW 又は FCAW	
容器本体と固縛用金具	GTAW SMAW 又は FCAW	

(参) - 第A.2図 輸送容器本体への溶接部の継手形状及び溶接法

A. 4 遮蔽体の製作法

(1) 鉛遮蔽体の製作法

該当なし

(2) その他の遮蔽体の製作法

容器本体（蓋を含む）の肉厚をもって遮蔽体とするものであり、鍛造品から機械加工により所定の寸法に仕上げたものである。

A. 5 弁等の付属機器の製作法

ベントバルブ及びドレンバルブは、棒材または鍛造材を適当な長さに切断した後、旋盤等により仕上げ加工を行う。

A. 6 組立等のその他の製作法

容器本体のガスケットシート面、上面及び底面等仕上げ程度、形状及び位置の精度が重要な箇所については、機械加工仕上げを行う。

全ての組立溶接及び仕上げ加工を完了した後、ベントバルブ、ドレンバルブ、蓋、上部緩衝体、下部緩衝体を参考B.「試験、検査方法等」で述べる製作完了時に行う検査を実施するために、順次、ボルト締め等により組立てる。

B. 試験、検査方法等

輸送容器の製作中及び製作完了後、口章で述べられた各解析に対応する設計条件を満たすように製造されていることを確認するために、(参)一表B.1に示す検査を実施する。以下各検査の方法等につき記述する。

B.1 材料検査

全ての材料は受取時に、ミルシートにより所定の性能を満足していることを確認する。

輸送容器主要材料は、(参)一表B.2に従い検査を行う。

B.2 寸法検査

適切に管理されている巻尺、ノギス、マイクロメーター、その他計測器具を用いて輸送容器の寸法を測定し、(参)一第B.1図～B.4図に示す合格基準を満足していることを確認する。

(参)-表B.1 試験検査項目一覧表

検査項目	容器本体 (蓋を含む)		上部・下部緩衝体		備考
	実施区分	実施時期	実施区分	実施時期	
材料検査	○	製作中 (材料受取時)	○	製作中 (材料受取時)	(参)-表B.2参照
寸法検査	○	製作完了時	○	製作完了時	(参)-第B.1図~ (参)-第B.4図廻
溶接検査	○	製作中	○	製作中	(参)-表B.3参照
外觀検査	○	製作完了時	○	製作完了時	
耐圧検査	○	製作完了時	-	-	
気密漏えい検査	○	製作完了時	-	-	
遮蔽性能検査	-	-	-	-	
遮蔽寸法検査	○	製作完了時	-	-	
伝熱検査	-	-	-	-	
吊上荷重検査	○	製作完了時	-	-	
重量検査	○	製作完了時	○	製作完了時	
未臨界検査	-	-	-	-	
作動確認検査	○	製作完了時	-	-	
取扱検査	○	製作完了時	○	製作完了時	

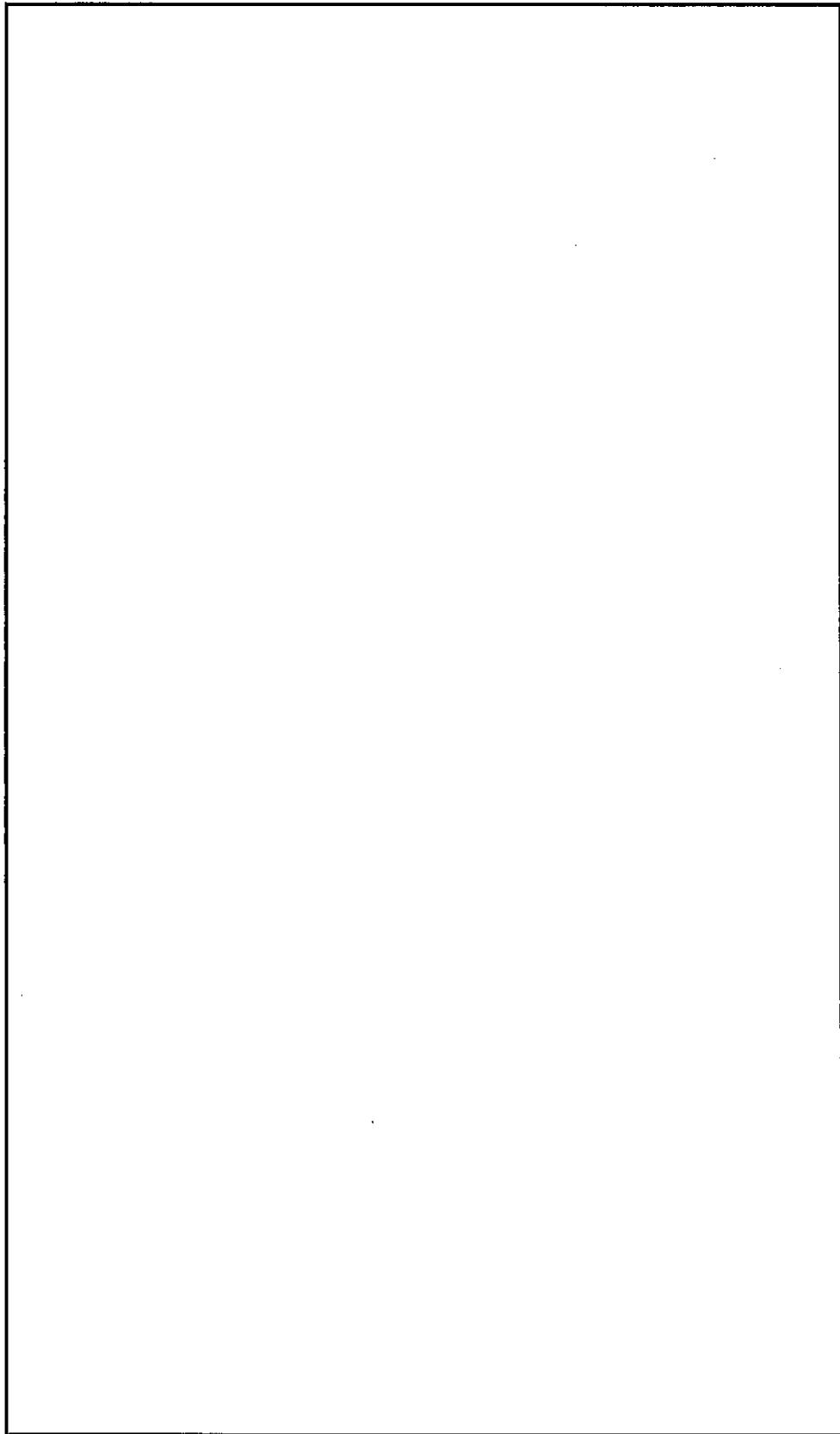


(参)-表B.2 材料試験検査項目一覧表

名称	使用材質	試験検査項目					備考
		化学分析	引張試験	硬度試験	(注1) 浸透探傷試験	(注1) 超音波探傷試験		密度計測
<u>1. 容器本体</u> 本体 ドレンバルブ バルブカバープレート 吊上げ用具 固縛用具 <u>2. 容器蓋</u> 蓋板 蓋ボルト ベントバルブ バルブカバープレート <u>4. 緩衝体</u> 外板 リブ 緩衝材 ()		○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○(注2) ○ ○ ○(注2) ○ ○	

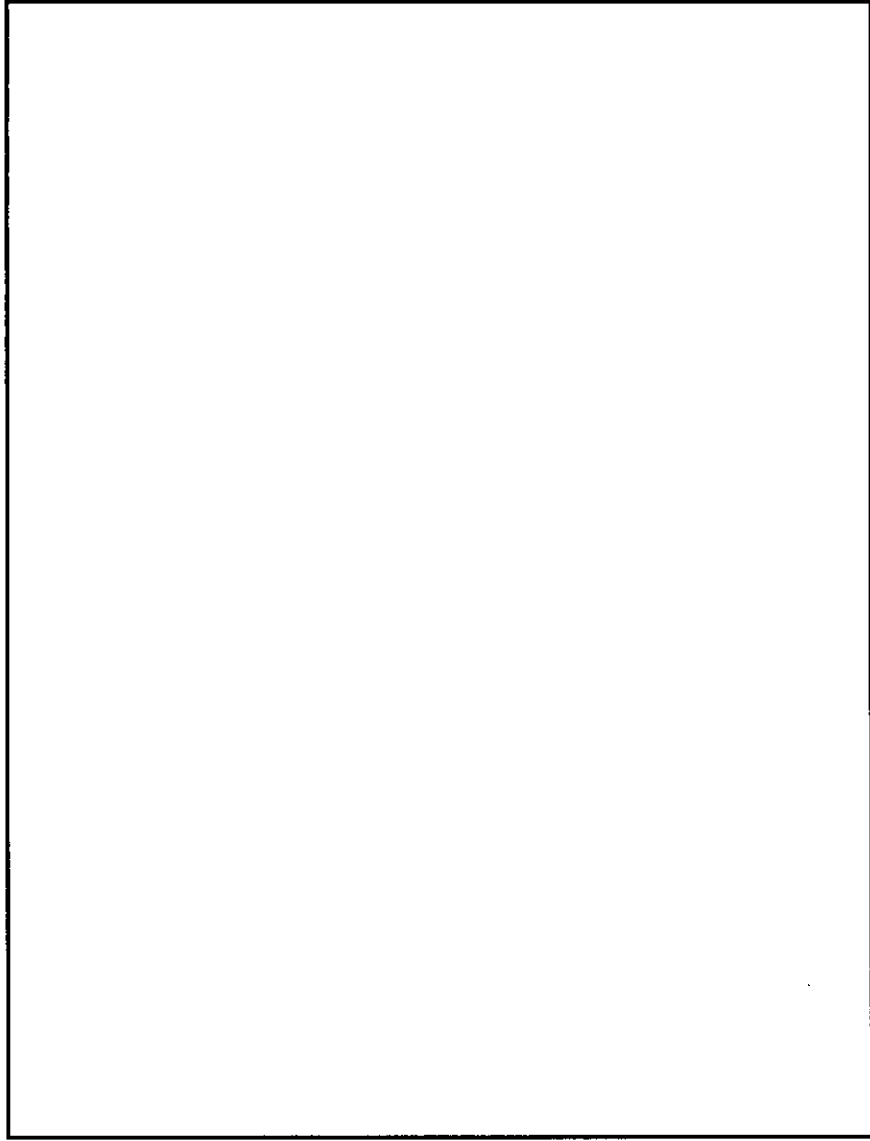
(注1) 試験方法及び合格基準は通産省告示第501号に準拠する。

(注2) 直径又は対辺距離が50mmを超える棒材については超音波探傷試験を実施する。



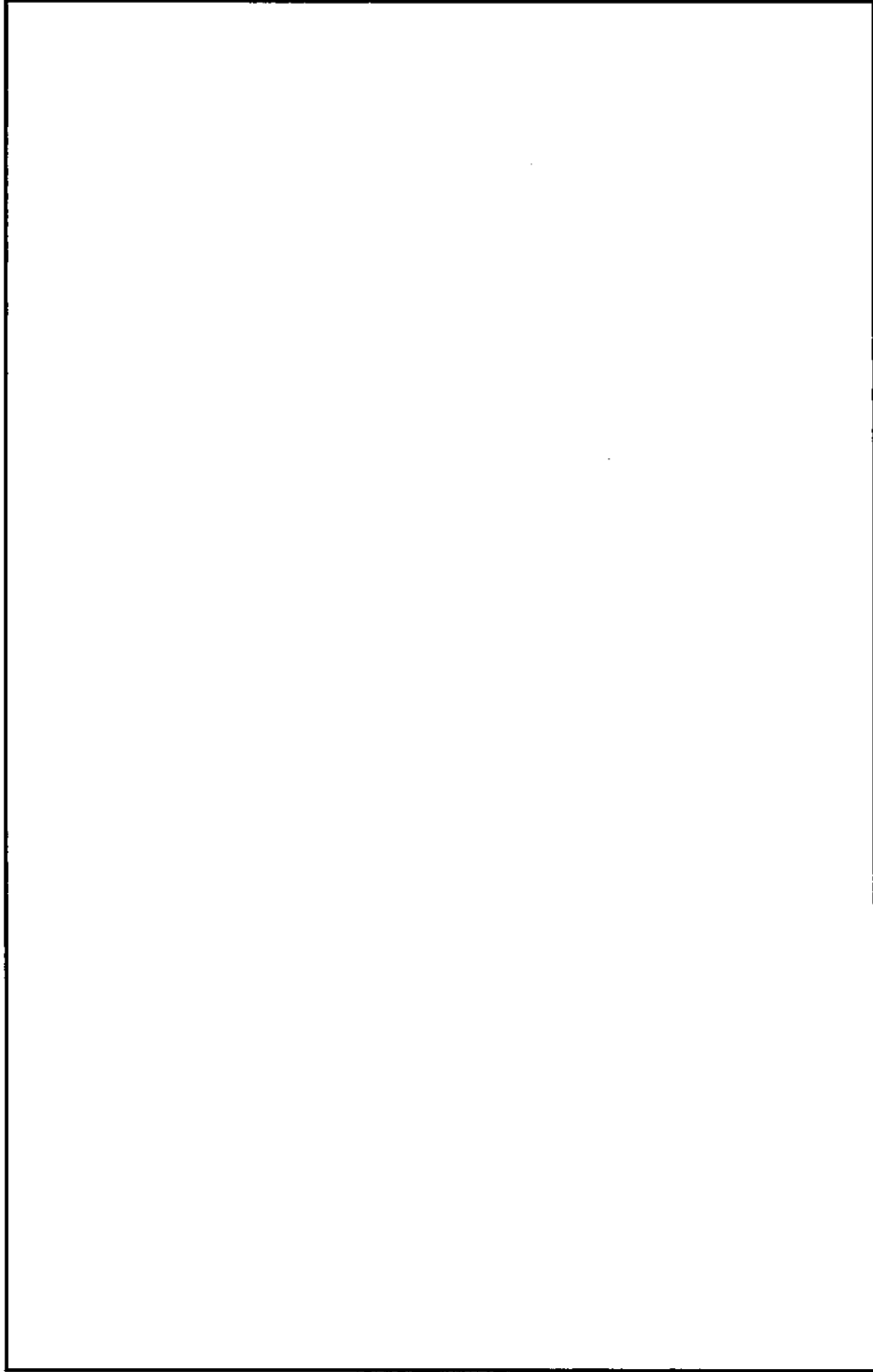
(単位：mm)

(参) - 第B.1図 容器本体の主要寸法及び合格基準



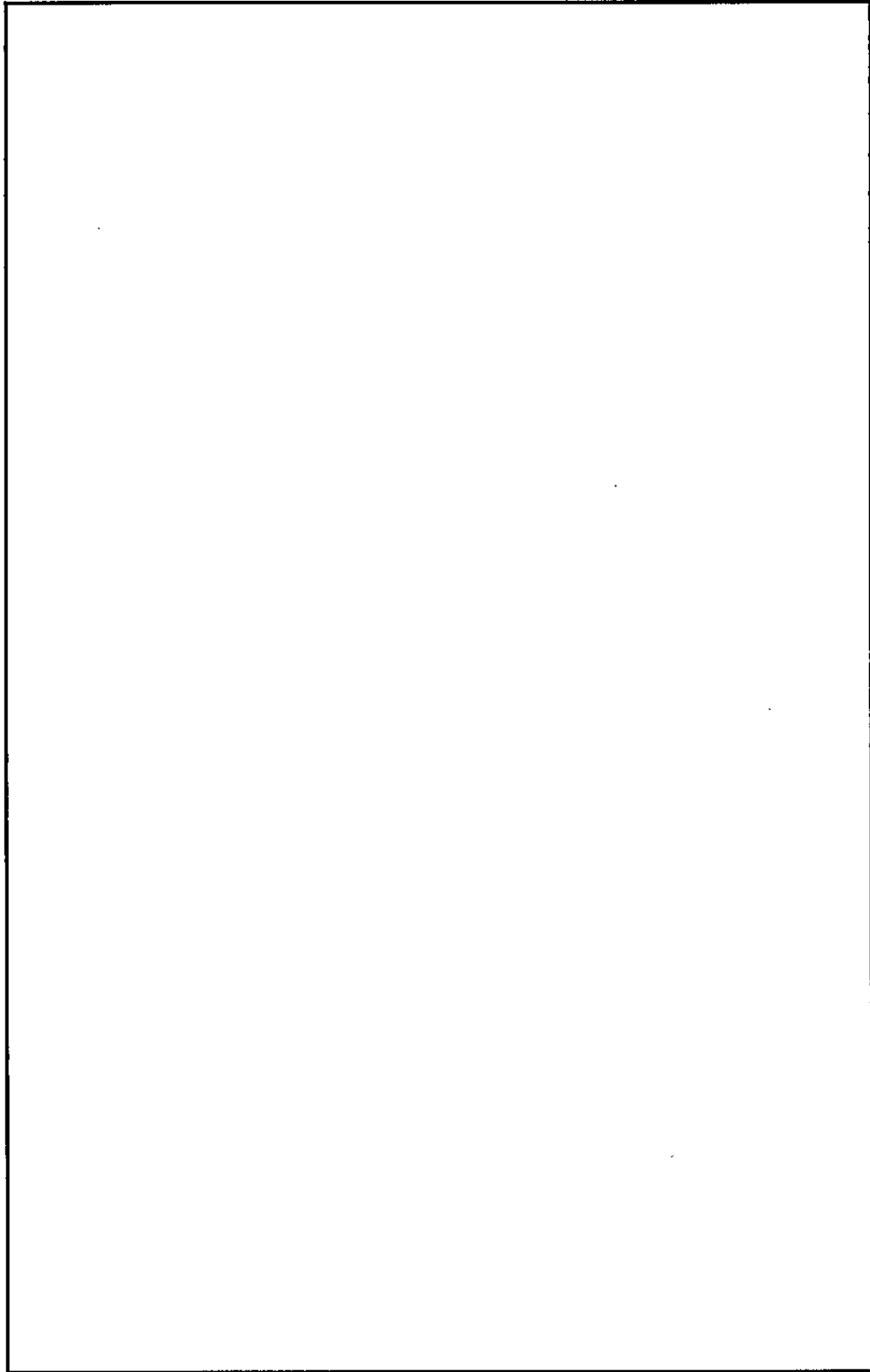
(単位：mm)

(参) - 第B.2図 蓋の主要寸法及び合格基準



(単位：mm)

(参) - 第B. 3図 上部緩衝体の主要寸法及び合格基準



(単位：mm)

(参) - 第 B. 4 図 下部緩衝体の主要寸法及び合格基準

B.3 溶接検査

輸送容器製作中、溶接部の健全性を確認するため、(参)一表B.3に従い各部分の溶接検査を行う。

要領及び判定基準を下記に示す。

B.3.1 仮付検査

該当なし。

B.3.2 外観検査

溶接完了後、目視により外観検査を行い、割れ、アンダーカット、ブローホール等の有害な欠陥がないことを確認する。

(参)一表B.3 溶接検査項目一覧表

検査対象継手	仮付検査	外観検査	液体浸透探傷試験	放射線透過試験
<u>1. 容器本体</u>				
(1) 容器本体と吊上げ用金具		○	○	
(2) 容器本体と固縛用金具		○	○	
(3) 容器本体に取付く部品の溶接部		○	○	
<u>2. 緩衝体</u>				
外面溶接部		○	○	

B. 3.3 浸透探傷試験

(参)一表 B. 3 に示す継手の溶接部の最終層について、通産省令第81号に準拠して浸透探傷試験を行い、判定する。

(1) 試験方法

日本工業規格 J I S Z 2 3 4 3 (1982)「浸透探傷試験方法及び欠陥指示模様の等級分類」の「4 試験方法」による。

(2) 合格基準

- ① 線状欠陥指示模様がないこと。
- ② 円形状欠陥指示模様が J I S Z 2 3 4 3 の「8.3 欠陥指示模様の等級分類」の1級又は2級であること。
- ③ 面積が 3750mm^2 の長方形（短辺の長さは、25mm以上とする）内に円形状欠陥指示模様が10個以上含まれないこと。ただし、円形状欠陥指示模様であって、長さが1.5mm以下のものは算定することを要しない。

B. 3.4 放射線透過試験

該当なし。

B. 4 外観検査

容器本体（蓋を含む）及び上部・下部緩衝体について目視により下記項目の検査を行う。

- (1) 形状が図示通りであること。
- (2) 外観上の傷及び切削部の返り等、不手際な部分のないこと。
- (3) 仕上面の状態が良好であること。
- (4) 腐食等のないこと。

B. 5 耐圧検査

容器本体（蓋を含む）の水圧試験を実施する。

試験圧力は設計圧力の1.5倍で 0.15MPaG （ $1.53\text{kg/cm}^2\text{G}$ ）とし、目視により異常な変形、ひび、割れ等がないことを確認する。

B.6 気密漏えい検査

B.6.1 容器本体

容器本体の製作完了後、蓋、ドレンバルブ及びベントバルブを組み込み、各二重Oリングシール部を0.64MPaG (6.5kg/cm²G)に加圧して加圧漏えい法による気密漏えい検査を実施し、各シール部の合計漏えい率が 3.0×10^{-2} std cm³/s以下であることを確認する。

B.7 遮蔽性能検査

B.7.1 ガンマ線遮蔽検査

容器本体は 鍛造品で製作されており、材料検査の一部としての超音波探傷検査により有害な内部欠陥のないこと、及び遮蔽寸法検査によりガンマ線遮蔽材（容器本体及び蓋）の寸法が合格基準内にあることを確認する。

以上の検査により遮蔽性能を満足していることを確認できるため、⁶⁰Co等の線源を装填しての検査は行わない。

B.7.2 中性子遮蔽検査

B.7.1 ガンマ線遮蔽検査を中性子遮蔽検査に読み替えることにより、本項検査とするものとする。

B.8 遮蔽寸法検査

B.8.1 ガンマ線遮蔽寸法検査

容器製作完了後、B.2で述べた寸法検査で、ガンマ線遮蔽材（容器本体及び蓋）の寸法が合格基準内にあることを確認する。

B.8.2 中性子遮蔽寸法検査

B.8.1 ガンマ線遮蔽寸法検査を中性子遮蔽寸法検査に読み替えることにより、本項検査とするものとする。

B.9 伝熱検査

ロ章Bに示すように、一般の試験条件下の最大発熱量が□と小さく、解析結果が基準値に対して余裕があるので、ロ章Bに示す解析のみで十分安全性が確認できるので伝熱検査は行わない。

B.10 吊上荷重検査

容器完成後、吊上げ用金具に、輸送容器通常輸送時の吊上げ重量の2倍(□)以上の荷重を付加し、異常のないことを目視により確認する。

B.11 重量検査

各部品の重量を測定し、合計重量が(参)一表B.4に示す合格基準を満足することを確認する。

(参)一表B.4 輸送容器重量

部 品	合 格 基 準
容 器 本 体	合計重量が□で あること。
蓋	
上 部 緩 衝 体	
下 部 緩 衝 体	

B.12 未臨界検査

本輸送物は核分裂性輸送物とならない核燃料輸送物である。したがって未臨界検査は該当しない。

B.13 作動確認検査

ベントバルブ及びドレンバルブを手動で操作し、正常に作動することを確認する。

B.14 取扱検査

輸送容器本体に対し、蓋、上部・下部緩衝体の組込み、取外し、吊上げ等の取扱い、模擬収納物による装荷及び取出しが正常に行えることを確認する。

C. 輸送容器の製作スケジュール

輸送容器の製作スケジュールを(参)－第C.1図に示す。



部 品 名	月							
		1	2	3	4	5	6	7
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px;">容器本体</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px; margin-bottom: 10px; display: inline-block;">本 体</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px; margin-bottom: 10px; display: inline-block;">吊上げ用金具</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px; margin-bottom: 10px; display: inline-block;">固縛用金具</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px; display: inline-block;">蓋</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">上部・下部緩衝体</div>								

(注) 本製作スケジュールと実際のスケジュールとは若干の変動が生じる場合がある。

(参)-第C.1図 輸送容器の製作スケジュール

N F I - X B 型

核燃料輸送物安全解析書

参 考 資 料



参考資料

□章A 構造解析

A. 1 「CRUSH」コードの説明…………… (□)-A-1

□章B 熱解析

B. 1 「ABAQUS」コードの説明…………… (□)-B-1

□章D 遮蔽解析

D. 1 「ORIGEN2」コードの説明…………… (□)-D-1

D. 2 「DOT3.5」コードの説明…………… (□)-D-5

D. 3 「KENO-V」コードの説明…………… (□)-D-9

□章A 構造解析

A.1 「CRUSH」コードの説明

1. 概要

「CRUSH」コードは単軸変形法 (UDM: Uni-axial Displacement Method) と呼ばれ、(□) - 第A. 参1図に示すように、緩衝材を互いに干渉しない一次元棒の集合とみなし、一次元棒塑性変形によって衝突エネルギーを吸収すると仮定して、変形、荷重及び加速度を求めるものである。

2. 計算式

UDMの計算式について、一般的な考え方を説明する。

(□) - 第A. 参1図に示すように長さ l_i の i 番目の一次元棒が圧縮力を受け変形した場合のひずみ及び変形抵抗力 (荷重) は次式で表わすことができる。

$$\varepsilon_i(\delta) = \frac{\delta_i}{l_i}$$

$$F_i(\delta) = K_i \cdot \sigma_i(\varepsilon_i) \cdot A_i$$

ここで、 δ : 変形

ε : ひずみ

l : 一次元棒の長さ

F : 荷重

K : 端面拘束係数

σ : 応力

A : 一次元棒の断面積

である。端面拘束係数の値は以下の範囲にある。

$$0 \leq K_i \leq 1$$

緩衝材の全荷重は次式となる。

$$F(\delta) = \sum F_i(\delta)$$

緩衝材の吸収エネルギーは次式となる。

$$E(\delta) = \int F(\delta) d\delta$$

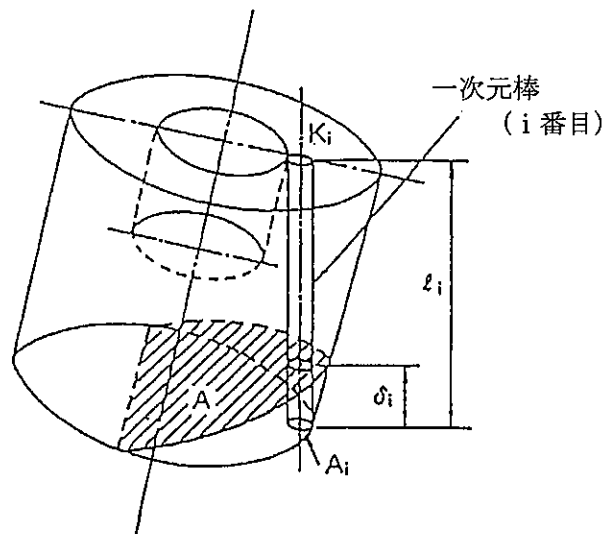
一方、重量Wの輸送容器が高さHから落下した場合の衝突エネルギーは次式で表わすことができる。

$$E(\delta) = \gamma \cdot W \cdot H$$

ここで、 γ : 落下エネルギーに対する一次衝突によって消費されるエネルギーの割合である。輸送容器に加わる加速度は次式で求めることができる。

$$\alpha = \frac{F(\delta)}{W}$$

ここで、 α : 加速度である。



(ロ) - 第A. 参1図 UDMによる衝突計算法

3. 信頼性

「CRUSH」コードの計算結果については文献(1)において実験結果及び詳細計算コードによる計算結果との比較検討がなされ、妥当性が検証されている。

文献(1) 幾島、浅田、“放射性物質輸送容器の衝突解析用簡易計算コードの開発、(I) 緩衝体付輸送容器衝突計算コードCRUSH”，日本原子力学会誌 Vol 33, No. 4(1991)

B.1 「ABAQUS」コードの説明

1. 概 要

ABAQUSコードとは、HKS (HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN, INC.) において、開発・整備されている有限要素法解析のための汎用プログラム・システムである。

このコードは、構造解析の分野における線形及び非線形問題を解析するために開発されたものであり、大変形問題、接触問題及び座屈問題等のような幾何学的非線形解析、弾塑性問題やクリープ問題等の材料非線形解析、動的解析及び熱応力問題に対する熱伝導解析等の幅広い解析が可能である。

さらに、種々の形状に対して応用するため、二次元連続体、三次元連続体、シェル、はり等の構造に対して、多くの要素を含んだ要素ライブラリが用意されており、線形解析のみでなく非線形解析が可能である。要素ライブラリには非圧縮性材料に関するものや、接触及びインターフェイス等の特殊な問題に対する要素も含まれている。

ABAQUSプログラムの構成

このシステムは次のプログラムから構成されている。

- ・プリプログラム
- ・メインプログラム

プリプログラムはメインプログラムのプリプロセッサで、入力データチェック及びモデルのプロットを行い、解析のためのデータベースを作成する。メインプログラムは、このシステムを中心となるものであり、弾性、弾塑性、クリープ、大変形、座屈解析及び動的解析の機能を有している。さらに、ポストプロセッシングとして解析結果のプリント出力、結果ファイルの作成及びリスタート解析のためのリスタートファイルの作成も行う。

2. 応力解析の解析プロシージャ

ABAQUSは、構造物の応答を数値的に解析する柔軟性に富むツールとなるように設計されており、線形及び非線形の解析をできるだけ自由に行えるよう、解析プロシージャは解析すべき問題の履歴をごく一般的にモデル化できるように作成されている。

解析においては、負荷の履歴をいくつかのステップに分割することができ、非線形解析ではプログラムの自動コントロールによって、各ステップは複数のインクリメントに分割される。各インクリメントの非線形釣合式を解くために、ABAQUSはほとんどの問題でニュートン法を用いている。

使用可能な主なプロシージャは以下の通りである。

(1) 静的応力／変位解析

ABAQUSは静的応力解析に2種類の方法を用いている。ひとつは負荷履歴が指定されている解析(熱衝撃での温度ランジェント等)である。もうひとつは弧長法(修正 Riks 法)であり、崩壊後または座屈後のような不安定問題の解析に用いることができる。負荷履歴が指定される解析では、材料の応答は時間依存または非依存とすることができる。

(2) 線形問題に対する動的応力／変位解析

ABAQUSは系の固有モードに基づく時刻歴応答解析、応答スペクトル解析、定常応答解析及び不規則応答解析の機能を持っている。固有振動数の計算にはサブスペース法が用いられており、解析の任意の段階での計算が可能で、初期荷重を考慮することができる。

(3) 非線形問題に対する動的応力／変位解析

非線形の動的問題に対し、ABAQUSは Hilber-Hughes-Taylor 法(制御可能な数値減衰を含むニューマーク法)による直接陰的積分機能を持っており、自動時間増分機能がある。非線形の弱い問題に対しては、系の初期状態の固有モードを基底関数として用いるモード投影法があり、非線形制止構造物を含む配管系のような局所的非線形性のある系の解析に非常に有効である。

3. 熱伝導解析

ABAQUSには、熱伝導(拡散)問題の解析機能が用意されており、線形及び非線形問題に対して、定常及び非定常の解析を行うことができる。

定常問題の解は、時間積分を行うことなく直接求めることが可能である。非定常問題に対しては、後退差分法(修正 Crank-Nicholson 法)による時間積分が行われる。この積分法は線形問題に対しては無条件安定である。

熱伝導解析は、熱応力解析に用いる温度場を得るために行われることが多い。ABAQUSは、熱伝導解析から出力された結果ファイルを、応力解析の入力データとするための使い易いインタフェースを用意している。

ABAQUSは、非線形熱伝導問題の解析にイテレーションを行う。その方法は基本的にはニュートン法であるが、強い非線形の潜熱が存在する場合の安定性を確保するために、修正が加えられている。

熱伝導解析のための要素ライブラリは、ほとんどの問題をモデル化することが可能となるように準備されている。シェル構造物の解析のためには、シェル型の熱伝導要素が用意されている。

熱伝導解析における境界条件には、熱流束（分布または集中）、温度指定、熱伝達、ふく射がある。これらはいずれも時間の関数として与えることができる。

熱伝導と応力の問題を完全に達成させた解析機能も用意されている。

4. 信頼性

ABAQUSコードの検証は数多くの問題に対して理論解と比較することにより行われており、それらはABAQUS EXAMPLE PROBLEMS MANUAL と VERIFICATION MANUAL に詳細が示されている。

ロ章D 遮蔽解析

D.1 「ORIGEN2」コードの説明

1. 概要

ORIGEN2は、Oak Ridge National Laboratoryで開発され、互いに関連した多数の同位元素の生成及び壊変量を計算するために広く使われてきたORIGENコードを改良したものである。本輸送容器の遮蔽解析では、本コードをガンマ線源強度及び中性子源強度の計算に用いた。

2. 機能

ORIGEN2は、燃料中等に生成される同位元素と放射能の量を求める基本式ではORIGENと同一であるが、核データが変更され、炉型式ごとに標準的なデータが整備されている。

本コードは約1300核種におよぶ同位元素のデータライブラリーを持っており、これを用いて

^{235}U 燃料だけでなく ^{239}Pu 、 ^{233}U 燃料等を扱うことができる。

また、本ライブラリー中には核分裂生成物からのガンマ線放出率及び超ウラン元素からの中性子放出率のデータが含まれているので、本コードを使用済燃料中の放射線源強度及び崩壊熱の計算に用いることができる。

本コードのインプット及びアウトプットを(ロ)－第D.参1図に示す。

3. 計算手法

ORIGEN2では、個々の同位元素の生成量と壊変量を下記に示す一階の微分方程式を解くことにより求める。

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N I_{ij} \lambda_j X_j + \sum_{k=1}^N f_{ik} \sigma_k X_k - (\lambda_i + \phi \sigma_i) X_i \quad (i=1, \dots, N)$$

ただし

X_i : 核種 i の密度

λ_i : 核種 i の崩壊定数

σ_i : 核種 i の平均中性子吸収断面積

ϕ : 平均中性子束

f_{ij} : 核種 j が中性子と反応して核種 i になる割合

I_{ik} : 核種 k から核種 i に崩壊する割合

この一階連立方程式を解くにあたって、2つの方法が用いられる。1つはマトリックス指数法であり、長寿命核種に対して用いられる。他の1つは Bateman 法であり、短寿命核種に対して用いられる。本コードの概略計算フローを(ロ)－第D. 参2図に示す。

4. 信頼性

ORIGEN2は、Oak Ridge National Laboratory で開発されたコードである。

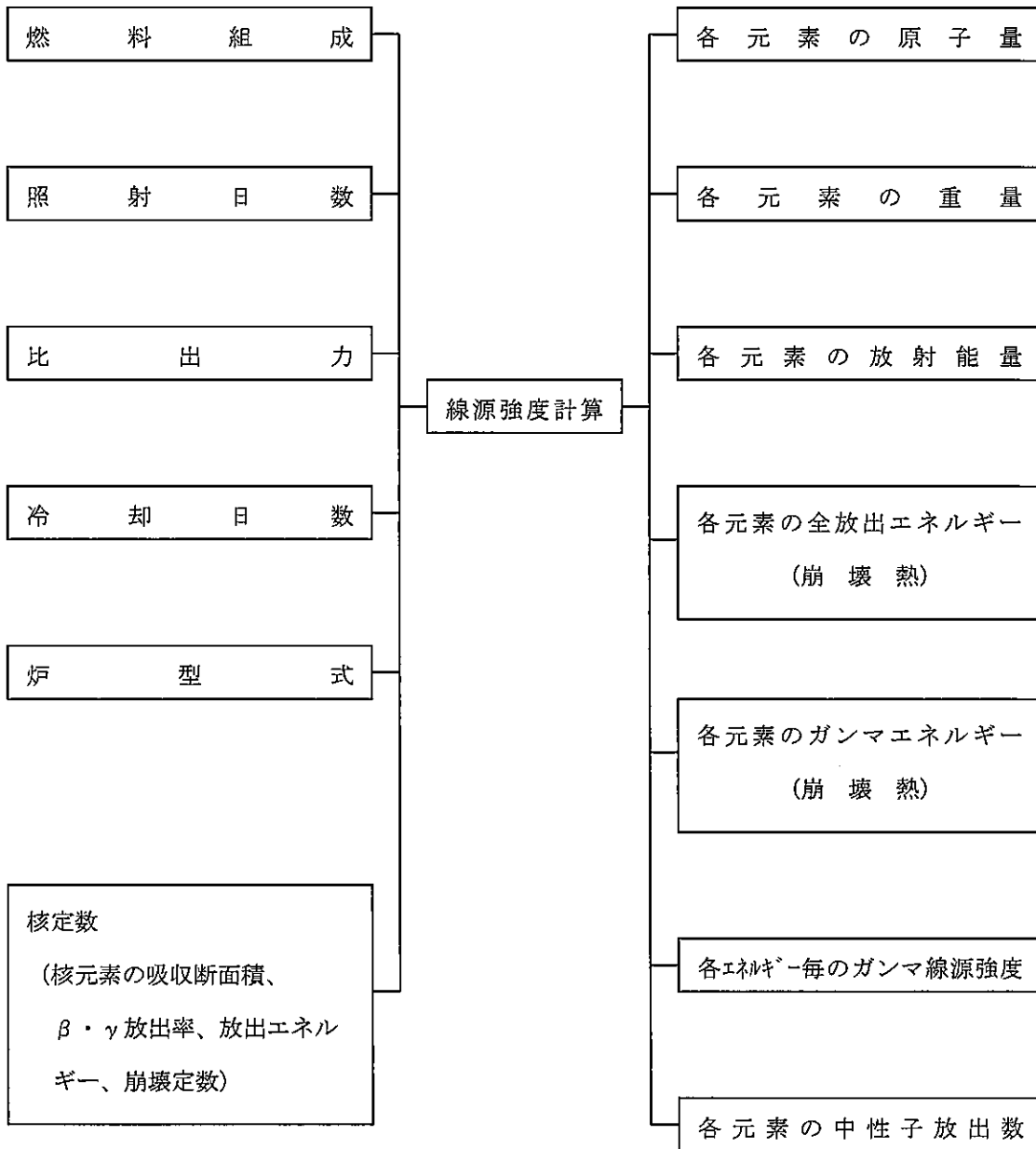
ORIGEN2は約 1300 核種におよぶ元素の核データを内蔵しており、他の同種のコードに比べて、取扱うことができる核種が多い。使用済燃料輸送容器の放射線源強度の計算に用いられた実績として次のものがある。

(a)

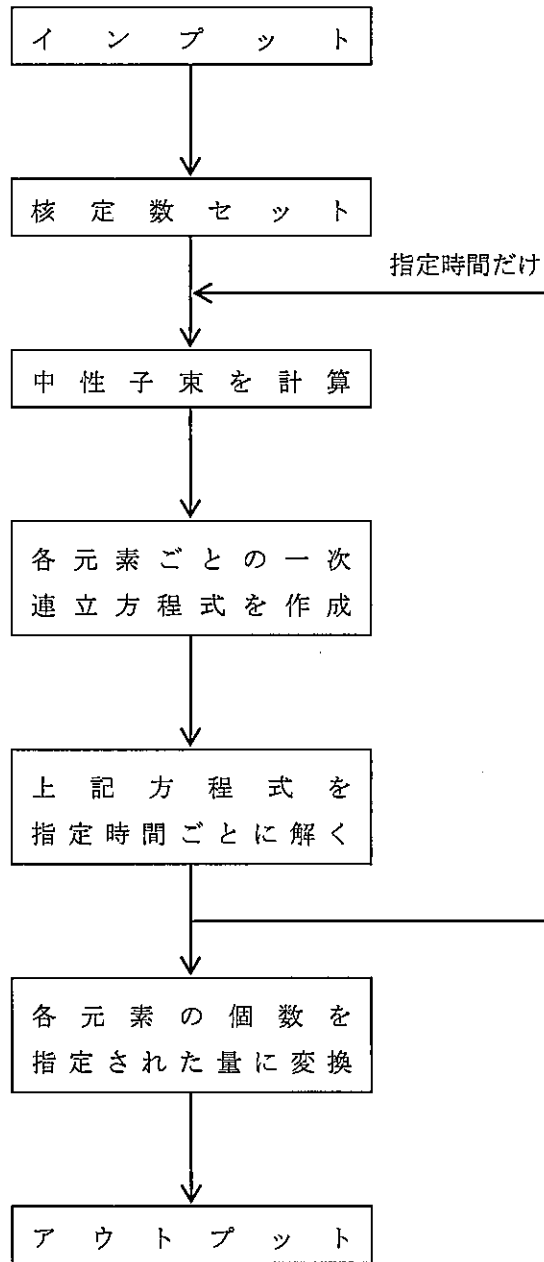
等

インプット

アウトプット



(ロ)-第D. 参1図 ORIGIN2コード インプット/アウトプット



(ロ) - 第D. 参2図 ORIGIN2コード 概略計算フロー

D.2 「DOT 3.5」コードの説明

1. 概 要

DOT 3.5は、Oak Ridge National Laboratory で開発された二次元輸送Sn コードである。現在本コードは、臨界解析及び遮蔽解析等の分野で広く用いられている。解法は角度方向を有限個の代表角で表示するSn法である。

DOT 3.5はDOTⅢを改良したものであり、両者に本質的な差異はない。本輸送容器の遮蔽解析では、ガンマ線及び中性子の線量当量率を計算するために用いた。

2. 機 能

散乱の角度依存性については、ルジャンドル球関数の多項式近似を用いて表すことができる(P ℓ 近似)。エネルギー群については、用いる核定数の群数に合わせてとることができる。また中性子及びガンマ線の方向の分割についても任意の分割を選ぶことができる。本解析では、P₃S₈近似を用いている。

本コードのインプット及びアウトプットを(ロ)―第D.参3図に示す。

3. 計算手法

時間に依存しない線型の輸送方程式は次のように書ける。

$$\vec{\Omega} \cdot \nabla \phi(\vec{r}, E, \vec{\Omega}) + \Sigma_t(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E, \vec{\Omega}) \\ = \iint \phi(\vec{r}, E', \vec{\Omega}') \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) dE' d\Omega' + Q(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$$

ここで

$\phi(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$: 位置 \vec{r} , エネルギーE, 方向 $\vec{\Omega}$ の中性子束

$\Sigma_t(\vec{r}, E)$: 全断面積

$\Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega})$: 散乱断面積

$Q(\vec{r}, E, \vec{\Omega})$: 線源

P ℓ 近似においては、 $\Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega})$ を次のように展開する。

$$\Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) = \sum_{\ell} \sigma_{\ell}(\vec{r}, E' \rightarrow E) P_{\ell}(\vec{\Omega} \cdot \vec{\Omega}')$$

ただし

$$\sigma_{\ell}(\vec{r}, E' \rightarrow E) = \frac{2\ell+1}{4\pi} \int \Sigma(\vec{r}, E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) P_{\ell}(\mu) d\mu$$

ここで $\mu = \vec{\Omega} \cdot \vec{\Omega}'$

DOT 3.5では、空間は空間メッシュに、また中性子及びガンマ線の方法は方向メッシュに分けて計算を行う。Snは中性子及びガンマ線の方法の分け方を表すものである。

DOT 3.5は上記輸送方程式を、空間、方向性に関して分割し差分法により解く。

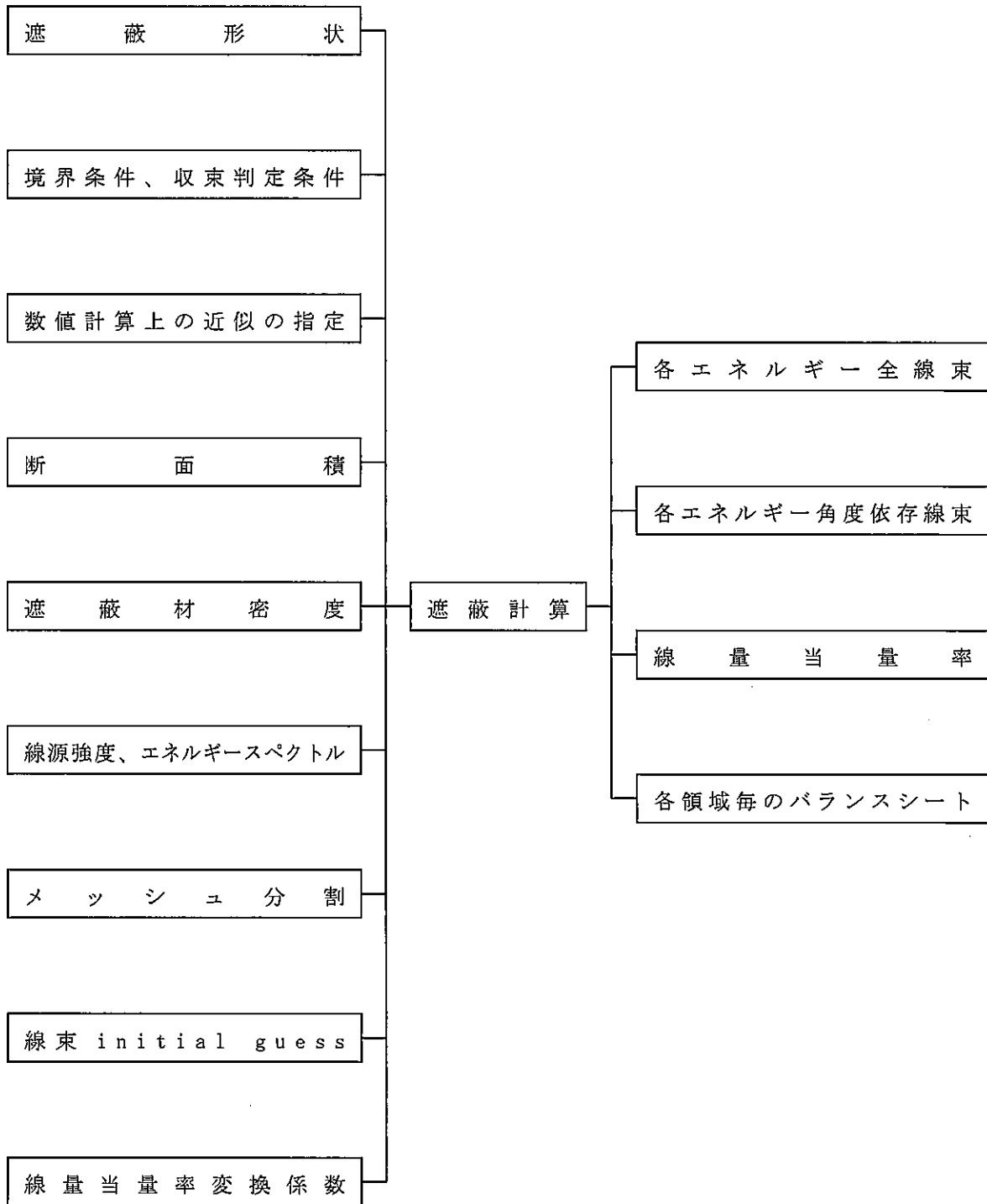
本コードの概略計算フローを(ロ)–第D. 参4図に示す。

4. 信 頼 性

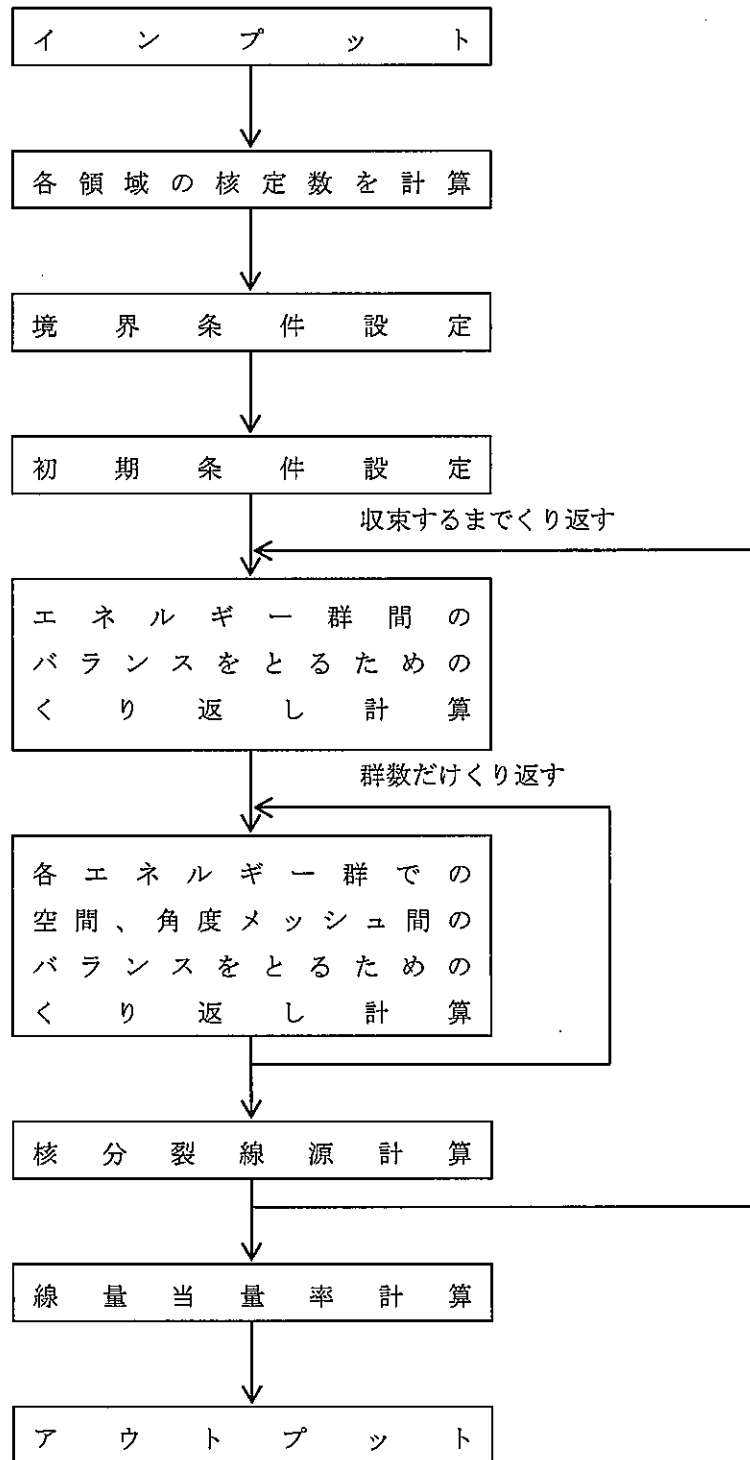
DOT 3.5は、遮蔽計算及び臨界計算で広範囲に用いられているコードである。

インプット

アウトプット



(ロ)-第D.参3図 DOT3.5コード インプット/アウトプット



(ロ) - 第D. 参4図 DOT 3.5コード 概略計算フロー

D.3 「KENO-V」コードの説明

KENO-Vは米国オークリッジ国立研究所で開発された多群モンテカルロ法にもとづく計算コードであり、複雑な体系の中性子増倍率の計算を行うことができる。

本コードでは中性子飛程履歴において中性子の確率的な重みが吸収率に応じて減少してゆくものとして取扱われる。中性子の消滅は、中性子の重みがある値以下になったときロシアンルーレットにより決定される。中性子の k_{eff} は次式により計算される。

$$k_{eff} = \frac{\sum_{j=1}^{NPB} \sum_{i=1}^{NCOLL} WT_{ij} \nu \Sigma f}{\sum_{j=1}^{NPB} WT_{oj} \Sigma t}$$

ただし、

- NPB : 1回のバッチで発生する中性子数
- NCOLL : 中性子の衝突回数
- WT_{ij} : 核分裂が起ったとき中性子の持っていた重み
- WT_{oj} : 発生した中性子が持っていた重み
- ν : 1回の核分裂で発生する中性子数
- Σf : 巨視的核分裂断面積
- Σt : 巨視的全断面積



輸送容器に係る品質管理の方法等





目 次

(イ)章 輸送容器に係る品質管理の方法等に関する説明	……	(イ)－A－1
(イ)－A 品質マネジメントシステム	……	(イ)－A－1
(イ)－B 申請者の責任	……	(イ)－B－1
(イ)－C 教育・訓練	……	(イ)－C－1
(イ)－D 設計管理	……	(イ)－D－1
(イ)－E 輸送容器の製造発注	……	(イ)－E－1
(イ)－F 取扱い及び保守	……	(イ)－F－1
(イ)－G 測定、分析及び改善	……	(イ)－G－1



(イ) 章 輸送容器に係る品質管理の方法等に関する説明

核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等全般的な品質マネジメントの基本方針及び輸送容器の製作に係る品質マネジメントについて以下に示す。

(イ)－A 品質マネジメントシステム

当社は、製品が顧客及び適用される規格、指針、法規の要求事項並びに社内管理基準に適合することを確実にするための手段として、ISO9001及びJEAG4121に基づく品質マネジメントシステムを確立し、維持する。

(1) 品質方針

日本核燃料開発株式会社 取締役社長は、下記方針を定めている。

①当社は、核燃料、構造材料等に関する研究開発及び核燃料物質等の輸送業務を行うが、

(a) 国際的にも競争力があり、かつ、社会に貢献する研究開発を行う

(b) 顧客の期待に応え、有益な成果をあげるべく創意を重んじる

(c) 法および地元との協定等を遵守し、安全を最優先する

ことを基本とする。

②上記に基づいて、顧客要求および関連する法規に適合した核燃料物質等の輸送業務を、全社的な品質保証体制のもとで実施する。社長は、当社の核燃料物質等の輸送業務に関する品質保証を統括し、技術管理本部長に品質保証の推進を徹底させる。

③この目的を達成するために、品質保証計画書を作成し、品質保証に関する業務要素とその管理方法を明確にした。各部門は、技術管理本部の統括のもとで、品質に関する業務をこの計画書にしたがって遂行するものとする。

(2) 品質目標

当社は、品質目標の策定にあたり、次の事項を実施する。

① 部門実行計画

社長の品質方針を受けて、部門長は具体的な品質目標と、それを達成するための具体的な計画をまとめる。

この品質目標は、具体的で、達成度の判定が可能で、品質方針と整合するもので

なければならない。

② 品質方針等の徹底

社長は、品質方針、部門実行計画を社員に徹底させる。社長は、社員が、自らの業務のもつ意味と重要性を認識し、品質目標の達成に向けて自らどのように貢献できるかを認識させる。

社員は、品質方針、部門実行計画を十分に理解し、これを確実に実行しなければならない。

A.1 品質マニュアル

(1) 品質マニュアル

品質マニュアルは当社の核燃料輸送物の品質に関する最上位の文書に位置づけ、規格、指針、法規の要求事項を満足させるため、品質保証の骨子を記述するものであり、品質保証活動の責任と権限を明確にし、品質マネジメントシステムの実施事項を規定するものである。

社長が定めた品質方針を受け、技術管理本部が品質マニュアルの作成、改訂、発行等の維持管理を実施する。

(2) 品質管理計画書

核燃料輸送物が、規格、指針、法規及び設計仕様の要求事項に適合していることを明らかにするため、技術管理本部は品質計画を容器製造会社への品質要求事項も含め文書化する。

技術管理本部は、核燃料輸送物の製造に関する品質活動が、規格、指針、法規の要求に適合することを明らかにするため、品質計画書を作成する。また、研究部門が発行する設計仕様、検査手順及び取扱手順を当該品質計画書の一部とする。

A.2 文書管理

文書体系は、品質方針及び品質マニュアルの規定事項を具体化した規程書及び個別の作業に対する手順及び指示内容を具体的に記述した実施要領書より構成される。品質マネジメントシステムで必要とされる文書を文書管理規程に基づき管理を行う。

A.3 品質記録の管理

要求事項への適合の証拠として、また品質マネジメントを効果的に実施している

証拠として、業務が所定の要求事項あるいは実施要領書に従って行われたことを示す十分な品質記録、プロジェクト記録ファイルを作成し、管理する。記録は、読みやすく、容易に判別できるように作成しなければならない。記録には、表題、日付、作成者を明確にする。

記録は原則として原紙保管とし、劣化又は損傷を防ぎ、紛失が生じることのない環境で品質記録保管管理要領及びプロジェクト記録ファイル作成要領に基づいて保管する。これらの記録は、実施要領に定める期間、保管・維持する。

(イ)－B 申請者の責任

品質保証は、全ての部門・全ての人が機能的に緊密に連帯して活動することにより達成されると同時に、所要の品質を達成する基本的責任は業務を実行する者にあることを基本とする。社長は、当社の核燃料物質等の輸送業務に関する品質保証を統括し、技術管理本部長に品質保証の推進を徹底させる。

核燃料輸送物の設計、製作、取扱、保守等の業務に関する品質体制の組織を図1に示す。また、当社の組織及び容器製造者等の組織例を図2に示す。

当社の各組織の業務所掌と責任は以下の通りである。各部の活動における最終的責任者は部長とする。

(1) 経営者

社長は品質方針を立て、品質保証組織の構成及び業務分担を定めるとともに、必要な経営資源を提供する。また、品質マネジメントシステムの確立・運用・維持に関してマネジメントレビューを行う。

(2) 管理責任者

社長は、品質マネジメントシステムが継続的に適切かつ効果的に実施され、維持されるようにする権限と責任を有する直接的な管理責任者として技術管理本部長を品質管理責任者として任命し、以下の事項について明確な権限を持たせる。

輸送容器の設計製作に係る品質マネジメントシステムを ISO9001 及び JEAG4121 に従って確立し、実行し維持することを確実にすること。

① 品質マネジメントシステムの見直し及び改善の根拠とするため、品質マネジメントシステムの実施状況を社長に報告すること。

② 品質マネジメントシステムに関する事項について、外部関係者と連絡をとること。

(3) 技術管理本部

技術管理本部は、次の責任及び権限を有しており、組織上他の部門から独立して、品質保証活動を統括する。すなわち、各部門に対し品質保証活動を体系的かつ効果的に遂行するため、助言、統制、調整及び勧告を行う。また、経営者からの指示及び要求を適宜各部門へ指示通達し、かつ、専門的立場で助言する。

① 内部品質監査及び容器製造者等に対する品質監査の実施、審査並びに是正処置の指示

② 不適合報告の承認、作業の停止指示並びに是正処置及び予防処置の承認

(4) 管理部門

管理部門は、核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等の業務に関して、次の責

任及び権限を有している。

- ・資材、購買及び輸送容器製造者等外注管理業務

(5) 研究部門

研究部門は、核燃料輸送物の設計、製作、取扱い、保守等の業務に関して、次の責任及び権限を有している。

- ① 核燃料輸送物の設計、製作、取扱い保守等に関する文書の作成
- ② 容器製造者等から提出される文書の審査及び承認
- ③ 輸送容器保守業務の管理
- ④ 不適合報告書の作成並びに是正処置及び予防処置の検討

(6) 品質会議

当社における品質会議は、社長を議長、品質管理責任者を幹事とし、役員、部長及び核燃料取扱主任者等で構成され、品質保証活動の状況を全社的に知らせ、品質問題を検討し、必要に応じて、指示・勧告を行う。

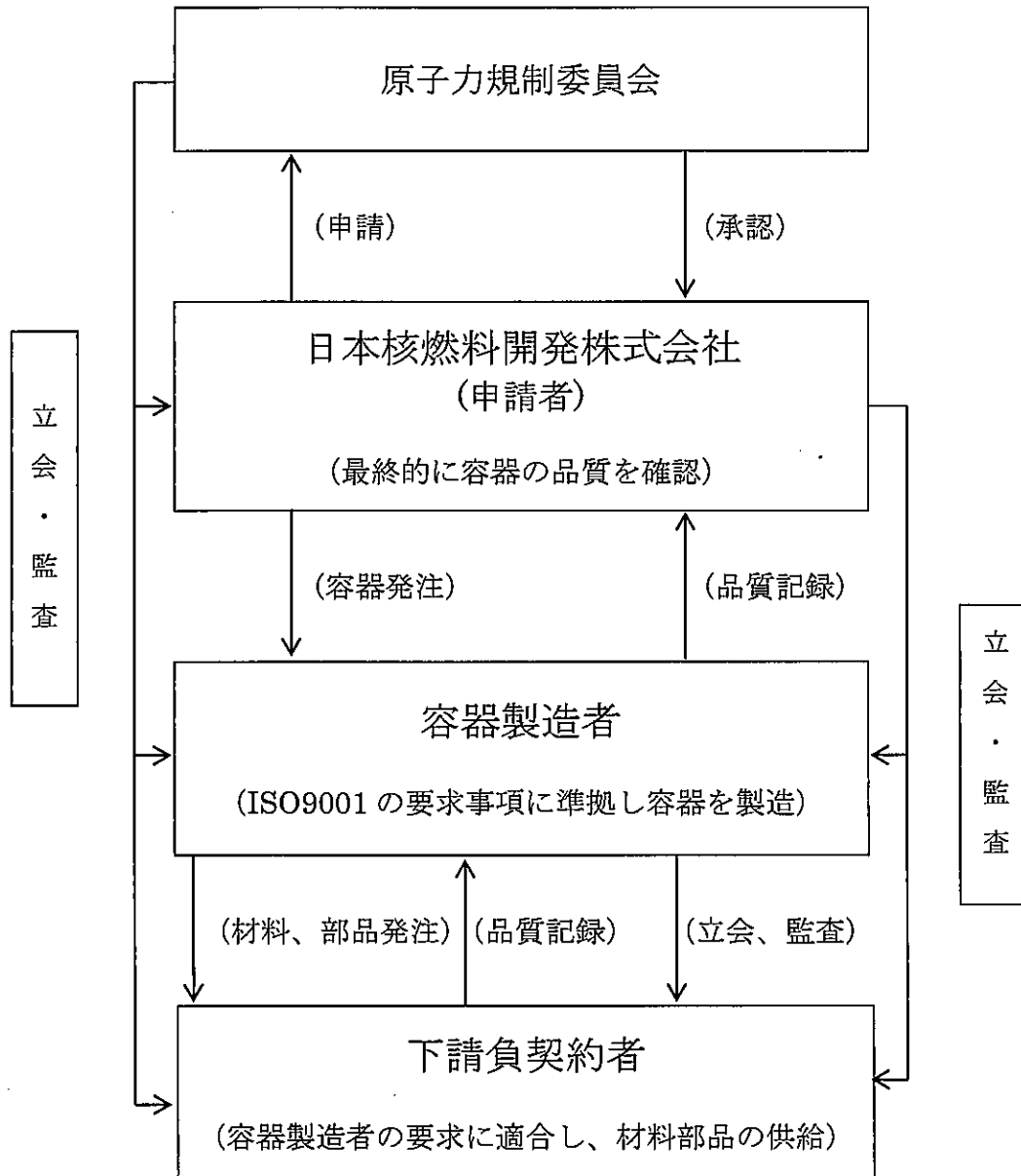


図1 核燃料輸送物の設計、製作、調達、保守等の品質体制

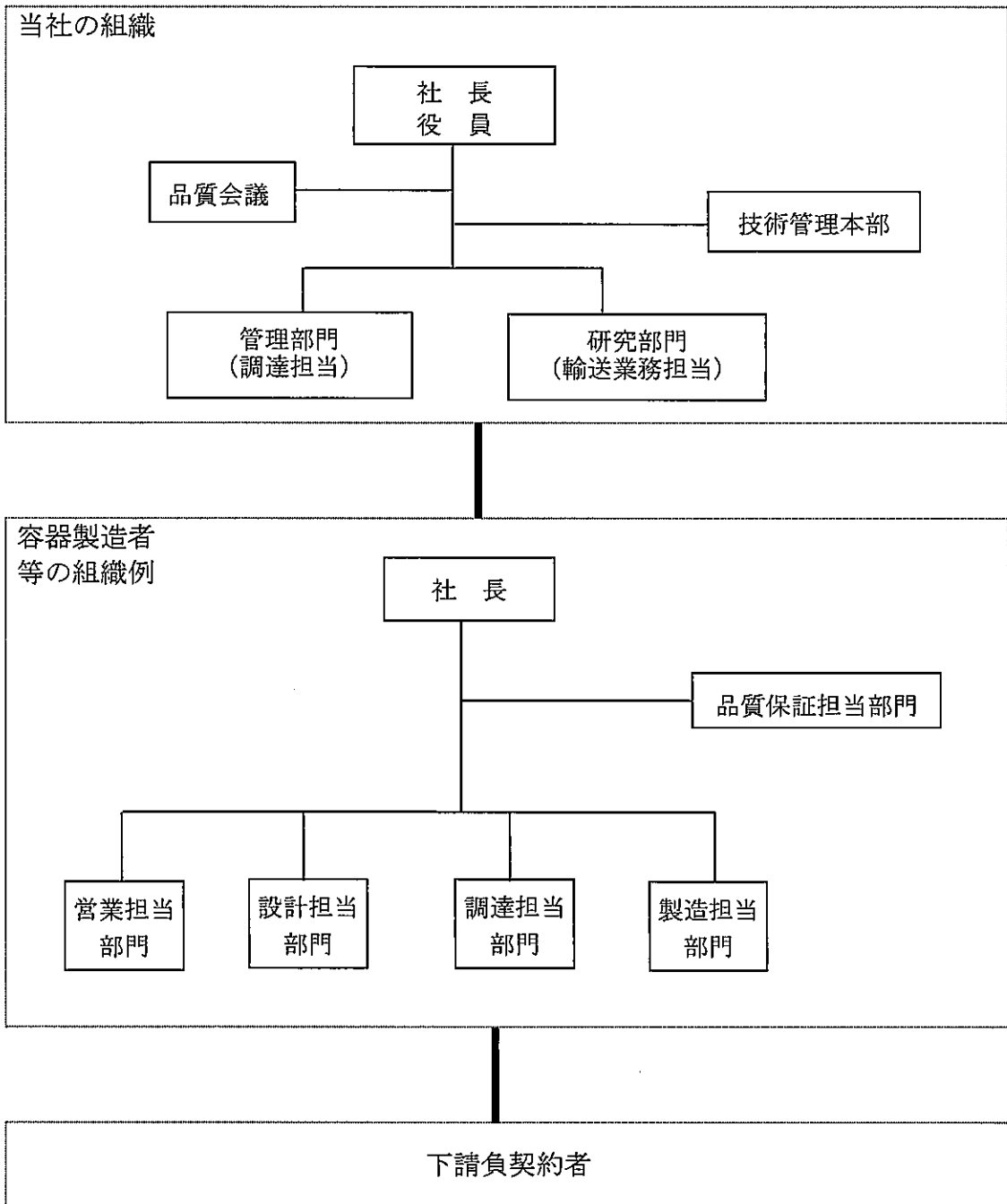


図2 当社の組織及び容器製造者等の組織例

(イ)－C 教育・訓練

当社の教育・訓練は製品の品質に影響する全ての社員を対象とし、その資質の向上に寄与するべく計画される。核燃料物質等の輸送業務を円滑に実施する上では、技術者の洞察力・創造力に依存する所が大きいため、管理者は知的刺激・革新性・協力を促す雰囲気を醸成すると共に、技術者にチャレンジし、その能力向上に貢献する場を与えるよう配慮し、また、モラルの向上に資する。

また、研究開発を行う上で、安全且つ確実に試験を行うことは必須の条件であり、このために、

- ・品質保証に関わる教育（技術管理本部）
- ・放射線管理・安全管理に関わる教育（保安管理部門）
- ・作業管理のための実施要領に関わる教育（保安管理部門）

については、年度毎に主管部の計画に基づいて技術管理本部が全体計画を立案して、主管部はこの計画により全員を対象に教育を実施すると共に、その教育記録を作成し、主管部はこれを保管する。

(イ)－D 設計管理

核燃料輸送物の設計が法令上の技術上の基準及び設計要求事項等に適合することを確実にするため、次の事項を実施する。

(1) 設計管理

- ① 管理部門は、核燃料輸送物の設計を請け負う事業者（以下「設計者」という）が当該設計業務を行うに適格であることを認定し、発注にあたっては、法令上の技術上の基準、当社内の輸送容器使用者或いは顧客の要求事項並びに当社内の輸送容器取扱い者の要求事項を踏まえた内容を発注仕様書に明記し、設計者に提示する。また、研究部門は、設計者が当該製品の設計責任者及び適切な設計担当者を選任することを明示し、設計計画書（エンジニアリングスケジュール）を作成し、提出するよう指示する。
- ② 研究部門は、従来と異なる設計或いは特殊材料を採用する場合は、当社の設計要求事項を設計者に十分理解させるため、当社及び設計者との間に十分な意思疎通を図るものとする。

(2) 設計審査

研究部門は、設計者が作成する設計図書について、法令上の技術上の基準が満たされ、設計要求事項が十分反映されていることを審査し、承認する。

(3) 設計検証及び妥当性の確認

研究部門は、上記設計結果に基づき、新設計・新技術または特殊材料を採用する場合には、実証試験、代替計算等による設計検証を行う。

研究部門は、上記設計結果に基づき、輸送容器が明確にされた使用者の要求事項に適合していることを確実にするため、設計の妥当性を確認する。

(4) 設計変更

研究部門は、当該核燃料輸送物の設計仕様を更に変更する場合、具体的変更内容を文書により設計者に提示する。研究部門は、当該設計変更後の設計文書内容について、法令上の技術上の基準が満たされ、設計要求事項が十分反映されていることを実施前に審査し、承認する。

(イ)－E 輸送容器の製造発注

製造する輸送容器が当社の輸送容器使用者或いは顧客の要求事項、法令上の技術上の基準、設計承認申請書の設計仕様及び容器承認申請書の製作方法の要求事項に適合することを確実にするため、次の事項を実施する。

1. 容器製造者の評価

管理部門は、調達する製造者を選定するに当たっては、実績のある製造者を選定する。新たな製造者に発注する場合、技術的能力・供給実績・類似製品の使用実績を評価し、技術管理本部の承認を得る。この評価結果は技術管理本部が管理する。

評価に当たっては、必要に応じて次項を考慮する。

- (1) 輸送容器の製造技術・要員及び製造設備
- (2) 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
- (3) 輸送容器又は類似のものに対する供給実績
- (4) 輸送容器又は類似のものに対する使用実績及び品質に関する記録

2. 容器製造者への品質マネジメントシステムの要求事項

研究部門は、輸送容器の調達に際し「購入仕様書」を作成し、購入先に提出する。この購入仕様書には、

- (1) 容器製造者が行う業務の範囲
- (2) 設計・材料・製作・検査・試験などの技術的要求事項
- (3) 必要な製作・加工図面
- (4) 品質計画の提出に関する事項
- (5) 検査に関わる事項
- (6) 提出文書・記録に関する事項
- (7) 不適合の処置に関する事項
- (8) 当社による監査、立会検査に関する事項
- (9) 購入仕様事項の適用を下請負契約者まで及ぼすための事項を含む。

さらに、以下の事項についても具体的に購入仕様書に明記する。

- (10) ISO9001等に適合する品質管理が行われること。
- (11) 当社は、容器製造者及び下請負契約者に対して品質監査及び発注した製品の製造期間中の立会検査を行う権利を常に有していること。更に、関係官庁担当官の立会検査が実施されること。
- (12) 当社が下請負契約者の選定基準について審査・承認し、選定状況を確認で

きるように措置すること。

- (13) 輸送容器の製造に係る事業者間の責任関係を契約等により明確にするための措置を講じること。
- (14) 輸送物設計上安全に係る重要な材料仕様値等について、容器製造者及びその下請負契約者にその重要性を十分理解させるための措置を講じること。
- (15) 輸送容器の製造に当たって、安全上の重要度が高く特殊な材料または工程を採用する場合は、予め製造に係る施工・分析・検査方法について、輸送容器の製造に携わる各事業者間における情報交換や技術的検討が十分行われるための措置を講じること。

また、特殊工程を実施する場合は、作業者の認定、使用機器の校正、保守、工程パラメータ・製品特性の監視ならびにこれらの管理についての措置を明確にすること。

- (16) 輸送容器の製造に係る複数の事業者間にまたがる工程では、作業指示や納期などの取決めを明確にし、緊密な連携を図るための措置を講じること。
- (17) 不適合品が発生して手直し等により使用する場合は、当社管理部門に文書で通知し、取扱いの指示を受けるように措置すること。
- (18) 容器製造者の製造工程において重要な変更があった場合は、当社管理部門に速やかに報告し、承認を受けるように措置すること。
- (19) 容器製造者が下請負契約者に対して、次の事項を行うように措置すること。
 - a. 第1項に準じて、下請負を行う能力の評価を行うこと。
 - b. 第2項(10)～(18)に準じて、当社が容器製造者に要求した事項を下請負契約者に指示し、実施させること。
 - c. 次項第3項に準じて、容器製造者が下請負契約者に対して、品質監査及び検査により検証すること。

但し、下請負契約者が一般購入品を使用する際の、次の場合はこの限りでない。

- a. 容器承認の検査項目と関係の無いと認められる下請負である場合。
- b. 容器製造者等が立会検査を行うことにより、直接管理する場合。
- c. JIS等の公的規格や公的資格制度により製造が行われる場合であって、差し支えないと認められる場合。
- d. 検査の確認項目が簡易なものや汎用品であって、受け入れ時の検収で十分と認められる場合。

3. 輸送容器の製作に係る検査及び品質監査による検証

輸送容器が、設計等種々の要求事項に適合することを検証するため、次の事項を実施する。

- (1) 技術管理本部、管理部門及び研究部門は、容器製造者への品質監査を行うとともに、容器製造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し直接品質監査を行う。
- (2) 技術管理本部及び研究部門は、輸送容器の検査に当たって、安全上の重要性などを考慮しつつ、公的規格及び公的資格制度の有無、容器製造者及び下請負契約者の品質管理の状況を勘案し、立会検査、記録確認を行う。
- (3) 研究部門は、品質監査及び輸送容器の検査に当たって、実施要領等の文書を作成し実施する。
- (4) 研究部門は、製作に先立ち、必要に応じ調達先と「製作開始前検討会」を開催し、上記に関わる技術的な事項を調整・検討し、その記録を輸送容器製作記録ファイルに保管する。

(イ)－F 取扱い及び保守

研究部門の責任者は、核燃料輸送容器の管理、取扱い及び検査の要領を策定するとともに、関係する組織に周知徹底する。

研究部門の責任者は、上記要領に基づき、輸送容器は管理され、安全かつ適切に取扱い、輸送容器の性能を維持するため定期的に点検を行い、点検記録を保管する。

(イ)－G 測定、分析及び改善

G.1 内部品質監査

技術管理本部は、次の責任及び権限を有しており、組織上他の部門から独立して、品質保証活動を統括する。すなわち、各部門に対し品質保証活動を体系的かつ効果的に遂行するため、助言、統制、調整及び勧告を行う。また、経営者からの指示及び要求を適宜各部門へ指示通達し、かつ、専門的立場で助言する。

- ① 内部品質監査の実施、審査及び是正処置の指示
- ② 不適合報告の承認、作業の停止指示並びに是正処置及び予防処置の承認

G.2 不適合品の管理

不適合の製品、活動、プロセスなどがあった場合、これを共通の財産として活用するため、不適合管理システム（不適合管理・再発防止対策実施要領）に従いこれを処置する。

G.3 是正処置及び予防処置

不適合に際し、担当部署は暫定処置を決定し、また、再発防止対策を策定し、技術管理本部に提出する。技術管理本部はこれを品質会議にかけ、その処置の効果を審議・確認するとともに、その結果を関係部署に周知徹底する。

技術管理本部は、不適合報告、品質監査、顧客クレーム等の情報を基に、潜在している不適合、欠陥または他の望ましくない状況の発生原因となり得る問題を検出する。検出された問題について、対象となる部門をふくめて検討会を実施し、予防処置の方法等を決め、対象部門における実施状況を確認し、その内容をマネジメントレビューに提出する。