核燃料輸送物設計承認申請書

令０３原機（環材）０２４
令和　４年　２月　28 日

原子力規制委員会　殿

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

核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成２年科学技術庁告示第５号）第４１条第１項の規定により、下記のとおり申請します。

記

１．核燃料輸送物の名称
ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型

２．輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料
（１）輸送容器の外形寸法　　外　径　［　　］
高　さ　［　　］

（２）輸送容器の重量　［　　］

（３）核燃料輸送物の総重量　［　　］

（４）輸送容器の概略を示す図
添付図のとおり。
詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書（令和４年２月 28

日付け令０３原機（環材）０２４)に係る別紙の （イ）－第C.1図から（イ）－第C.3図に示されている。

（５）輸送容器の主要材料

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

３．核燃料輸送物の種類

ＢＵ型核分裂性輸送物

４．収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

添付表のとおり。

５．輸送制限個数

（１）輸送制限個数：制限なし

（２）配列方法　　：任意

（３）臨界安全指数：0

６．運搬中に予想される周囲の温度の範囲

-40℃から 38℃まで

７．収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のため、収納物は燃料バスケットに収納され、所定の間隔、位置が保たれるようになっている。また、燃料バスケットはボルトにより内容器に固定される構造となっている。

８．臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

臨界計算は、密封境界である輸送容器内部への水の浸水を考慮し、実施している。

９．収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封境界は、内容器本体と内容器蓋で構成され、内容器本体と内容器蓋の接触部は、[redacted]Oリングで密封される。

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

該当なし。

１１．輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

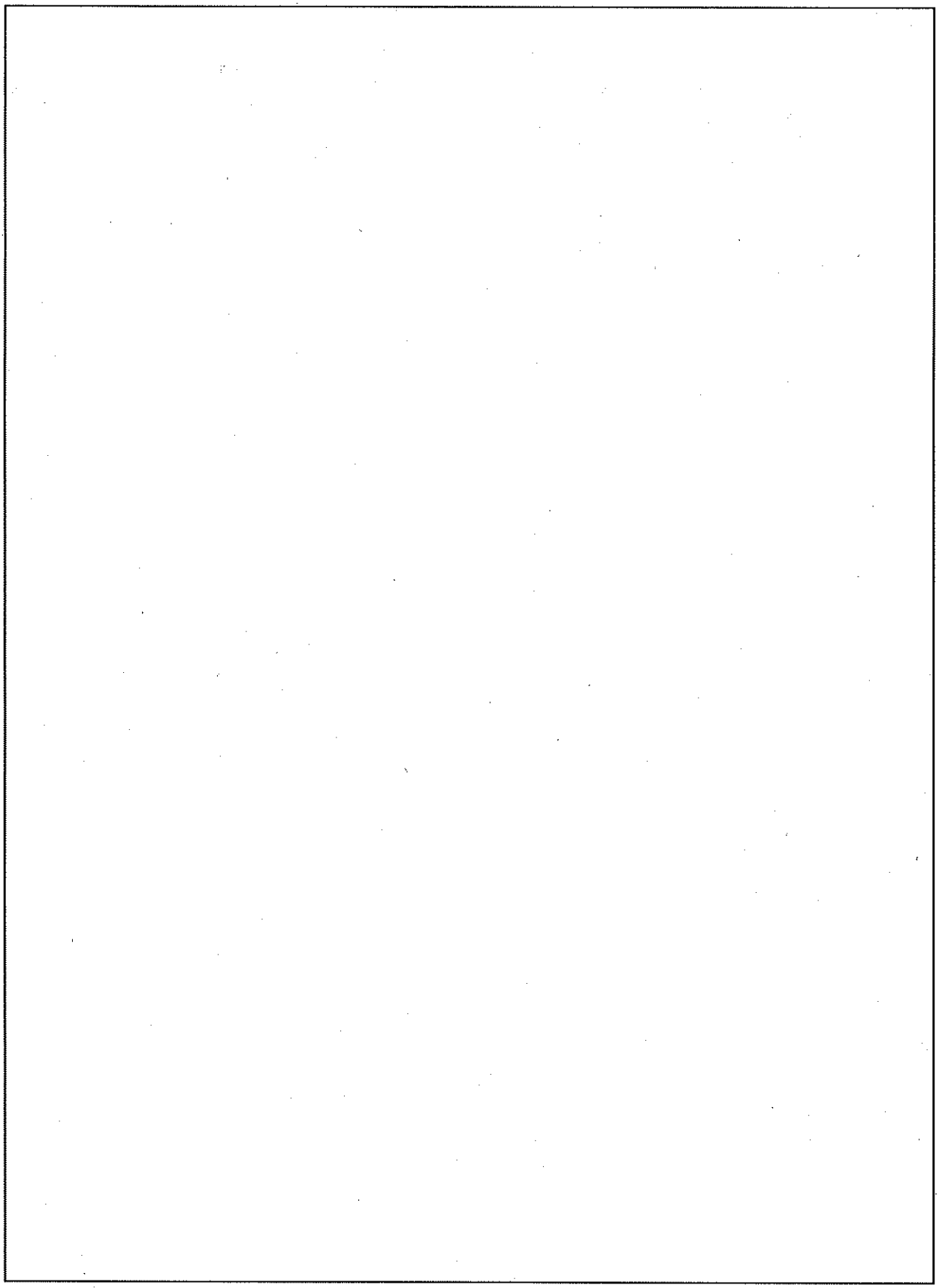
本輸送容器の保守及び本核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書(令和４年２月 28 日付け令０３原機（環材）０２４)に係る別紙に記載したとおり。

１２．輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する事項

輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書(令和４年２月 28 日付け令０３原機(環材)０２４)に係る別紙に記載したとおり。

１３．その他特記事項

本輸送容器は、製造してから現在までに 31 年が経過している輸送容器であり、今後 29 年の使用を予定しているため、総使用予定年数を 60 年としている。



添付図　ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型核燃料輸送物外観図

添付表　収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（1/2）（新燃料）

<table>
<tr><td colspan="2">原子炉</td><td colspan="2">JRR-3</td><td colspan="3">JRR-4</td><td colspan="2">JMTR</td></tr>
<tr><td colspan="2">燃料要素</td><td>JRR-3 標準型燃料要素</td><td>JRR-3 フォロワ型燃料要素</td><td>JRR-4B 型燃料要素</td><td>JRR-4L 型燃料要素</td><td>JRR-4 燃料要素</td><td>JMTR 標準燃料要素</td><td>JMTR 燃料フォロワ</td></tr>
<tr><td colspan="2">全装荷数（体／容器）</td><td colspan="7">10 以下</td></tr>
<tr><td colspan="2">燃料形式</td><td colspan="2">LEU 燃料</td><td>HEU 燃料</td><td colspan="2">LEU 燃料</td><td>MEU 燃料</td><td>LEU 燃料</td></tr>
<tr><td colspan="2">種類</td><td colspan="2">ウランシリコンアルミニウム分散型合金</td><td>ウランアルミニウム合金</td><td>ウランアルミニウム分散型合金</td><td>ウランシリコンアルミニウム分散型合金</td><td>ウランアルミニウム分散型合金</td><td>ウランシリコンアルミニウム分散型合金</td></tr>
<tr><td colspan="2">性状</td><td colspan="7">固　体</td></tr>
<tr><td rowspan="4">重　量</td><td>^{235}U 重量（g 以下／容器）</td><td colspan="7" rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>U 重量（g 以下／容器）</td></tr>
<tr><td>^{235}U 重量（g 以下／体）</td></tr>
<tr><td>U 重量（g 以下／体）</td></tr>
<tr><td colspan="2">濃縮度（wt％以下）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">放射能の量</td><td>総量（GBq 以下／容器）</td></tr>
<tr><td>主要な核種（GBq 以下／容器）</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">燃焼度（％以下）</td><td colspan="7" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">発熱量（W 以下／容器）</td></tr>
<tr><td colspan="2">冷却日数（日）</td></tr>
<tr><td colspan="2">発熱量（W 以下／容器）</td><td colspan="7">0（新燃料）</td></tr>
<tr><td colspan="2">冷却日数（日）</td><td colspan="7"></td></tr>
</table>

・一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉ごとに、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。
ただし、JMTRC の核燃料物質については、種類及び濃縮度が異なる燃料要素等を混載することができる。
・重量及び発熱量は、収納する燃料要素等ごとの重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。

添付表　収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（2/2）（低照射された燃料）

原子炉		JMTRC					
燃料要素		標準燃料要素	特殊燃料要素	燃料フォロワ	標準燃料要素	特殊燃料要素	燃料フォロワ
全装荷数（体／容器）		10 以下					
燃料形式		HEU 燃料			MEU 燃料		
種類		ウランアルミニウム合金			ウランアルミニウム分散型合金		
性状		固　体					
重　量	^{235}U 重量（g 以下／容器）						
	U 重量（g 以下／容器）						
	^{235}U 重量（g 以下／体）						
	U 重量（g 以下／体）						
濃縮度（wt％以下）							
放射能の量	総量（GBq 以下／容器）						
	主要な核種（GBq 以下／容器）						
燃焼度（％以下）							
発熱量（W 以下／容器）		4.30×10^{-5}			3.29×10^{-5}		
冷却日数（日）							

・一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉ごとに、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。
ただし、JMTRC の核燃料物質については、種類及び濃縮度が異なる燃料要素等を混載することができる。
・重量及び発熱量は、収納する燃料要素等ごとの重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。
・収納物表面から 1m 離れた位置での空気吸収線量率は 1Gy/h 以下

別　紙

本 JRF-90Y-950K 型核燃料輸送物の「別紙記載事項」を以下に示す。

１．輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の
核燃料輸送物の安全性に関する説明書・・・・・・・・・　別記－１

２．輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に
関する説明書　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　別記－２

別記－1

ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型

核燃料輸送物設計承認申請書

(別紙記載事項)

令和４年２月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

目　　次

頁

（イ）章　核燃料輸送物の説明 …… （イ）－A－1

（イ）－A．目的及び条件 …… （イ）－A－1

（イ）－B．輸送物の種類 …… （イ）－B－1

（イ）－C．輸送容器 …… （イ）－C－1

（イ）－D．輸送容器の収納物 …… （イ）－D－1

（ロ）章　核燃料輸送物の安全解析 …… （ロ）－1

（ロ）－A．構造解析 …… （ロ）－A－1

A.1　構造設計 …… （ロ）－A－1

A.1.1　概要 …… （ロ）－A－1

A.1.2　設計基準 …… （ロ）－A－2

A.2　重量及び重心 …… （ロ）－A－33

A.3　材料の機械的性質 …… （ロ）－A－33

A.4　輸送物の要件 …… （ロ）－A－50

A.4.1　化学的及び電気的反応 …… （ロ）－A－50

A.4.2　低温強度 …… （ロ）－A－51

A.4.3　密封装置 …… （ロ）－A－52

A.4.4　吊上装置 …… （ロ）－A－53

A.4.5　固縛装置 …… （ロ）－A－58

A.4.6　圧力 …… （ロ）－A－66

A.4.7　振動 …… （ロ）－A－68

A.5　一般の試験条件 …… （ロ）－A－71

A.5.1　熱的試験 …… （ロ）－A－71

A.5.1.1　温度及び圧力の要約 …… （ロ）－A－71

A.5.1.2　熱膨張 …… （ロ）－A－73

A.5.1.3　応力計算 …… （ロ）－A－74

A.5.1.4　許容応力との比較 …… （ロ）－A－83
A.5.2　水噴霧 …… （ロ）－A－85
A.5.3　自由落下 …… （ロ）－A－86
A.5.4　積み重ね試験 …… （ロ）－A－185
A.5.5　貫通 …… （ロ）－A－192
A.5.6　角又は縁落下 …… （ロ）－A－194
A.5.7　結果の要約及びその評価 …… （ロ）－A－194
A.6　特別の試験条件 …… （ロ）－A－195
A.6.1　強度試験・落下試験Ⅰ（9m落下時）
又は強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時） …… （ロ）－A－195
A.6.1.1　垂直落下 …… （ロ）－A－200
A.6.1.2　水平落下 …… （ロ）－A－210
A.6.1.3　コーナー落下 …… （ロ）－A－215
A.6.1.4　傾斜落下 …… （ロ）－A－218
A.6.1.5　結果の要約 …… （ロ）－A－222
A.6.2　強度試験・落下試験Ⅱ（1m落下時） …… （ロ）－A－224
A.6.2.1　結果の要約 …… （ロ）－A－230
A.6.3　熱的試験 …… （ロ）－A－231
A.6.3.1　温度及び圧力の要約 …… （ロ）－A－231
A.6.3.2　熱膨張 …… （ロ）－A－232
A.6.3.3　許容応力との比較 …… （ロ）－A－232
A.6.4　浸漬 …… （ロ）－A－234
A.6.5　結果の要約及びその評価 …… （ロ）－A－243
A.7　強化浸漬試験 …… （ロ）－A－244
A.8　放射性収納物 …… （ロ）－A－244
A.9　核分裂性輸送物 …… （ロ）－A－245
A.9.1　核分裂性輸送物に係る一般の試験条件 …… （ロ）－A－245
A.9.2　核分裂性輸送物に係る特別の試験条件 …… （ロ）－A－248
A.10　付属書類 …… （ロ）－A－253

（ロ）－B．熱解析 …… （ロ）－B－1
B.1　概要 …… （ロ）－B－1
B.1.1　熱設計 …… （ロ）－B－1
B.1.2　熱解析の条件と方法 …… （ロ）－B－5
B.2　材料の熱的性質 …… （ロ）－B－7
B.3　構成要素の仕様 …… （ロ）－B－11
B.4　一般の試験条件 …… （ロ）－B－12
B.4.1　熱解析モデル …… （ロ）－B－12
B.4.1.1　解析モデル …… （ロ）－B－12
B.4.1.2　試験モデル …… （ロ）－B－13
B.4.2　最高温度 …… （ロ）－B－14
B.4.3　最低温度 …… （ロ）－B－15
B.4.4　最大内圧 …… （ロ）－B－15
B.4.5　最大熱応力 …… （ロ）－B－15
B.4.6　結果の要約及びその評価 …… （ロ）－B－16
B.5　特別の試験条件 …… （ロ）－B－17
B.5.1　熱解析モデル …… （ロ）－B－17
B.5.1.1　解析モデル …… （ロ）－B－17
B.5.1.2　試験モデル …… （ロ）－B－21
B.5.2　輸送物の評価条件 …… （ロ）－B－21
B.5.3　輸送物温度 …… （ロ）－B－21
B.5.4　最大内圧 …… （ロ）－B－23
B.5.5　最大熱応力 …… （ロ）－B－23
B.5.6　結果の要約及びその評価 …… （ロ）－B－23
B.6　付属書類 …… （ロ）－B－25

（ロ）－C．密封解析 …… （ロ）－C－1
C.1　概要 …… （ロ）－C－1
C.2　密封装置 …… （ロ）－C－1
C.2.1　密封装置 …… （ロ）－C－1
C.2.2　密封装置の貫通部 …… （ロ）－C－3
C.2.3　密封装置ガスケット及び溶接部 …… （ロ）－C－3
C.2.4　蓋 …… （ロ）－C－4
C.3　一般の試験条件 …… （ロ）－C－5
C.3.1　放射性物質の漏えい …… （ロ）－C－5
C.3.1.1　内容器からの漏えい量 …… （ロ）－C－5
C.3.1.2　放射性物質漏えい量評価 …… （ロ）－C－10
C.3.2　密封装置の加圧 …… （ロ）－C－16
C.3.3　冷却材汚染 …… （ロ）－C－16
C.3.4　冷却材損失 …… （ロ）－C－16
C.4　特別の試験条件 …… （ロ）－C－17
C.4.1　核分裂生成ガス …… （ロ）－C－17
C.4.2　放射性物質の漏えい …… （ロ）－C－17
C.4.2.1　内容器からの漏えい量 …… （ロ）－C－17
C.4.2.2　放射性物質漏えい量評価 …… （ロ）－C－19
C.5　結果の要約及びその評価 …… （ロ）－C－22
C.6　付属書類 …… （ロ）－C－23

（ロ）－D．遮蔽解析 …… （ロ）－D－1
D.1　概要 …… （ロ）－D－1
D.2　線源仕様 …… （ロ）－D－2
D.2.1　ガンマ線源 …… （ロ）－D－2
D.2.2　中性子源 …… （ロ）－D－9
D.3　モデル仕様 …… （ロ）－D－11
D.3.1　解析モデル …… （ロ）－D－11
D.3.2　解析モデル各領域における原子個数密度 …… （ロ）－D－17

D.4　遮蔽評価 …… （ロ）－D－19
D.5　結果の要約及びその評価 …… （ロ）－D－24
D.6　付属書類 …… （ロ）－D－26

（ロ）－E．臨界解析 …… （ロ）－E－1
E.1　概要 …… （ロ）－E－1
E.2　解析対象 …… （ロ）－E－2
E.2.1　収納物 …… （ロ）－E－2
E.2.2　輸送容器 …… （ロ）－E－2
E.2.3　中性子吸収材 …… （ロ）－E－6
E.3　モデル仕様 …… （ロ）－E－7
E.3.1　解析モデル …… （ロ）－E－7
E.3.2　臨界解析モデル各領域の原子個数密度 …… （ロ）－E－8
E.4　未臨界性評価 …… （ロ）－E－21
E.4.1　計算条件 …… （ロ）－E－21
E.4.2　輸送物への水の浸入等 …… （ロ）－E－21
E.4.3　計算方法 …… （ロ）－E－22
E.4.4　計算結果 …… （ロ）－E－24
E.5　ベンチマーク試験 …… （ロ）－E－26
E.6　結果の要約及びその評価 …… （ロ）－E－35
E.7　付属書類 …… （ロ）－E－36

（ロ）－F．核燃料輸送物の経年変化の考慮 …… （ロ）－F－1
F.1　考慮すべき経年変化要因 …… （ロ）－F－1
F.2　安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価 …… （ロ）－F－2
F.3　安全解析における経年変化の考慮内容 …… （ロ）－F－6

（ロ）－G．規則及び告示に対する適合性の評価 …… （ロ）－G－1

（ロ）－H．ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型輸送容器に関する
原型容器試験結果報告書 ····· （ロ）－H

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

(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) －1

図 リ ス ト （１）

（イ）章

（イ）－第A.1図　輸送容器の概念図 …… （イ）－A－5

（イ）－第C.1図　輸送物概念図 …… （イ）－C－2

（イ）－第C.2図　輸送物固縛状態図 …… （イ）－C－3

（イ）－第C.3図　輸送物輸送状態図 …… （イ）－C－4

（イ）－第C.4図　輸送容器密封境界 …… （イ）－C－5

（イ）－第C.5図　輸送容器全体図 …… （イ）－C－9

（イ）－第C.6図　本体 …… （イ）－C－10

（イ）－第C.7図　内容器蓋 …… （イ）－C－11

（イ）－第C.8図　燃料バスケット …… （イ）－C－12

（イ）－第C.9図　外容器蓋 …… （イ）－C－13

（イ）－第D.1図　JRR-3標準型燃料要素
（ウランシリコンアルミニウム分散型合金） … （イ）－D－5

（イ）－第D.2図　JRR-3フォロワ型燃料要素
（ウランシリコンアルミニウム分散型合金） … （イ）－D－6

（イ）－第D.3図　JRR-4B型燃料要素 …… （イ）－D－7

（イ）－第D.4図　JRR-4L型燃料要素 …… （イ）－D－8

（イ）－第D.5図　JRR-4燃料要素
（ウランシリコンアルミニウム分散型合金） … （イ）－D－9

（イ）－第D.6図　JMTR標準燃料要素 …… （イ）－D－10

（イ）－第D.7図　JMTR燃料フォロワ …… （イ）－D－11

（イ）－第D.8図　JMTRC標準燃料要素（A型、B型、C型） …… （イ）－D－12

（イ）－第D.9図　JMTRC標準燃料要素
（ピン固定タイプ）（B型、C型） …… （イ）－D－13

（イ）－第D.10図　JMTRC特殊燃料要素（特A型） …… （イ）－D－14

（イ）－第D.11図　JMTRC特殊燃料要素（特B型） …… （イ）－D－15

（イ）－第D.12図　JMTRC特殊燃料要素
（特C型、特D型） …… （イ）－D－16

図 リ ス ト （２）

（イ）－第 D.13 図　JMTRC 燃料フォロワ（HF 型）・・・・・・・・・・・・・・・・・（イ）－D－17
（イ）－第 D.14 図　JMTRC 標準燃料要素
（MA、MB、MC 型）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（イ）－D－18
（イ）－第 D.15 図　JMTRC 特殊燃料要素
（特 MB、特 MC 型）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（イ）－D－19
（イ）－第 D.16 図　JMTRC 燃料フォロワ（MF 型）・・・・・・・・・・・・・・・・・（イ）－D－20
（ロ）章
（ロ）－第 A.1 図　重心の位置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－A－33
（ロ）－第 A.2 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（1／5）・・（ロ）－A－36
（ロ）－第 A.2 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（2／5）・・（ロ）－A－37
（ロ）－第 A.2 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（3／5）・・（ロ）－A－38
（ロ）－第 A.2 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（4／5）・・（ロ）－A－39
（ロ）－第 A.2 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（5／5）・・（ロ）－A－40
（ロ）－第 A.3 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（ボルト材）（1／4）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－A－41
（ロ）－第 A.3 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（ボルト材）（2／4）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－A－42
（ロ）－第 A.3 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（ボルト材）（3／4）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－A－43
（ロ）－第 A.3 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化
（ボルト材）（4／4）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－A－44
（ロ）－第 A.4 図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化・・・・・・・（ロ）－A－45

図 リ ス ト （３）

（ロ）－第A.5図　A□の温度に対する機械的性質の変化……（ロ）－A－46

（ロ）－第A.6図　設計疲れ線図（□ステンレス鋼
□）……（ロ）－A－47

（ロ）－第A.7図　設計疲れ線図（□）……（ロ）－A－48

（ロ）－第A.8図　緩衝材の応力－歪線図……（ロ）－A－49

（ロ）－第A.9図　アイプレート解析モデル……（ロ）－A－53

（ロ）－第A.10図　アイプレート溶接部解析モデル……（ロ）－A－56

（ロ）－第A.11図　輸送時加速度……（ロ）－A－58

（ロ）－第A.12図　アイプレート解析モデル……（ロ）－A－60

（ロ）－第A.13図　アイプレート溶接部解析モデル……（ロ）－A－63

（ロ）－第A.14図　輸送容器振動解析モデル……（ロ）－A－68

（ロ）－第A.15図　熱膨張解析モデル……（ロ）－A－73

（ロ）－第A.16図　一般の試験条件下における応力評価位置……（ロ）－A－75

（ロ）－第A.17図　内容器胴中央部応力解析モデル……（ロ）－A－76

（ロ）－第A.18図　内容器底板応力解析モデル……（ロ）－A－77

（ロ）－第A.19図　内容器蓋中央部応力解析モデル……（ロ）－A－78

（ロ）－第A.20図　内容器蓋Oリング部変位の解析モデル……（ロ）－A－79

（ロ）－第A.21図　内容器蓋締付ボルト応力解析モデル(初期締付応力)（ロ）－A－80

（ロ）－第A.22図　内容器蓋締付ボルト応力解析モデル
（内圧力による応力）……（ロ）－A－81

（ロ）－第A.23図　内容器蓋締付ボルト応力解析モデル
（熱膨張による応力）……（ロ）－A－82

（ロ）－第A.24図　水平落下時鋼板による加速度評価箇所……（ロ）－A－89

（ロ）－第A.25図　水平落下時外筒鋼板による加速度解析モデル…（ロ）－A－90

（ロ）－第A.26図　外容器蓋フランジ断面形状……（ロ）－A－92

（ロ）－第A.27図　水平落下時外容器鏡板による加速度解析モデル・（ロ）－A－95

（ロ）－第A.28図　仕切板断面形状……（ロ）－A－97

（ロ）－第A.29図　アイプレート変形解析モデル……（ロ）－A－99

図 リ ス ト （４）

（ロ）－第A.30図　アイプレート取付板解析モデル …… （ロ）－A－100
（ロ）－第A.31図　外容器本体フランジ解析モデル …… （ロ）－A－101
（ロ）－第A.32図　アイプレート取付脚解析モデル …… （ロ）－A－103
（ロ）－第A.33図　垂直落下時鋼板による加速度解析モデル …… （ロ）－A－105
（ロ）－第A.34図　コーナー落下時鋼板による加速度解析モデル … （ロ）－A－107
（ロ）－第A.35図　1.2m水平落下時応力評価位置（容器本体） …… （ロ）－A－111
（ロ）－第A.36図　1.2m水平落下時緩衝材の変形に伴う内容器
への干渉解析モデル …… （ロ）－A－112
（ロ）－第A.37図　1.2m水平落下時内容器胴部応力解析モデル …… （ロ）－A－113
（ロ）－第A.38図　1.2m水平落下時内容器底板応力解析モデル …… （ロ）－A－114
（ロ）－第A.39図　1.2m水平落下時内容器上端部応力解析モデル … （ロ）－A－115
（ロ）－第A.40図　1.2m水平落下時内容器蓋締付ボルト
応力解析モデル …… （ロ）－A－117
（ロ）－第A.41図　角型燃料バスケット断面係数解析モデル …… （ロ）－A－118
（ロ）－第A.42図　1.2m水平落下時燃料要素評価ケース …… （ロ）－A－122
（ロ）－第A.43図　角型燃料要素板面方向1.2m水平落下時
解析モデル …… （ロ）－A－123
（ロ）－第A.44図　角型燃料要素板平行方向1.2m水平落下時
解析モデル …… （ロ）－A－124
（ロ）－第A.45図　押え具応力解析モデル …… （ロ）－A－126
（ロ）－第A.46図　1.2m下部垂直落下時応力評価位置(容器本体) … （ロ）－A－133
（ロ）－第A.47図　1.2m下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う
内容器の干渉解析モデル …… （ロ）－A－134
（ロ）－第A.48図　1.2m下部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル … （ロ）－A－135
（ロ）－第A.49図　1.2m下部垂直落下時内容器底板応力解析モデル … （ロ）－A－136
（ロ）－第A.50図　1.2m下部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル … （ロ）－A－138
（ロ）－第A.51図　1.2m下部垂直落下時角型燃料要素応力解析
モデル …… （ロ）－A－140

図 リ ス ト （５）

（ロ）－第A.52図　1.2m下部垂直落下時低照射された
燃料要素応力解析モデル ····· （ロ）－A－142

（ロ）－第A.53図　低照射された燃料要素
1.2m下部垂直落下応力解析モデル ····· （ロ）－A－144

（ロ）－第A.54図　押え具応力解析モデル ····· （ロ）－A－145

（ロ）－第A.55図　1.2m上部垂直落下時応力評価位置(容器本体) ·· （ロ）－A－152

（ロ）－第A.56図　1.2m上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－153

（ロ）－第A.57図　1.2m上部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル · （ロ）－A－154

（ロ）－第A.58図　1.2m上部垂直落下時内容器底板応力解析モデル · （ロ）－A－155

（ロ）－第A.59図　1.2m上部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル ·· （ロ）－A－157

（ロ）－第A.60図　1.2m上部垂直落下時角型燃料要素
応力解析モデル ····· （ロ）－A－163

（ロ）－第A.61図　1.2m上部垂直落下時低照射された
燃料要素応力解析モデル ····· （ロ）－A－165

（ロ）－第A.62図　低照射された燃料要素
1.2m上部垂直落下応力解析モデル ····· （ロ）－A－167

（ロ）－第A.63図　押え具応力解析モデル ····· （ロ）－A－168

（ロ）－第A.64図　1.2mコーナー落下時緩衝材変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－175

（ロ）－第A.65図　上部コーナー落下時内容器蓋締付ボルト
応力解析モデル ····· （ロ）－A－177

（ロ）－第A.66図　1.2m下部傾斜落下時緩衝材変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－181

（ロ）－第A.67図　1.2m下部傾斜落下時落下角度と
加速度の関係 ····· （ロ）－A－182

図 リ ス ト （6）

（ロ）－第A.68図　1.2m上部傾斜落下時緩衝材変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－183

（ロ）－第A.69図　1.2m上部傾斜落下時落下角度と
加速度の関係 ····· （ロ）－A－184

（ロ）－第A.70図　圧縮時の応力評価位置 ····· （ロ）－A－186

（ロ）－第A.71図　圧縮時内容器蓋部解析モデル ····· （ロ）－A－186

（ロ）－第A.72図　圧縮時内容器胴部解析モデル ····· （ロ）－A－188

（ロ）－第A.73図　貫通モデル ····· （ロ）－A－192

（ロ）－第A.74図　せん断モデル ····· （ロ）－A－193

（ロ）－第A.75図　9m下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－200

（ロ）－第A.76図　9m上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－205

（ロ）－第A.77図　9m水平落下時緩衝材の変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－210

（ロ）－第A.78図　9mコーナー落下時緩衝材の変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－215

（ロ）－第A.79図　9m下部傾斜落下時緩衝材の変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－218

（ロ）－第A.80図　9m下部傾斜落下時落下角度と加速度の関係 ···· （ロ）－A－219

（ロ）－第A.81図　9m上部傾斜落下時緩衝材の変形に伴う
内容器への干渉解析モデル ····· （ロ）－A－220

（ロ）－第A.82図　9m上部傾斜落下時落下角度と加速度の関係 ···· （ロ）－A－221

（ロ）－第A.83図　落下試験Ⅱの解析モデル ····· （ロ）－A－224

（ロ）－第A.84図　落下試験Ⅱ貫通強度解析モデル ····· （ロ）－A－226

（ロ）－第A.85図　15m浸漬試験時における内容器の応力評価位置 · （ロ）－A－234

図 リ ス ト （７）

（ロ）－第A.86図　内容器胴部の許容座屈圧力解析モデル …… （ロ）－A－235
（ロ）－第A.87図　外圧を受ける円筒胴の形状曲線 …… （ロ）－A－236
（ロ）－第A.88図　内容器胴中央部応力解析モデル …… （ロ）－A－237
（ロ）－第A.89図　内容器底板応力解析モデル …… （ロ）－A－238
（ロ）－第A.90図　内容器蓋中央部応力解析モデル …… （ロ）－A－239
（ロ）－第A.91図　外圧力による内容器蓋Oリング部変位
解析モデル …… （ロ）－A－240
（ロ）－第A.92図　一般の試験条件 …… （ロ）－A－245
（ロ）－第A.93図　特別の試験条件 …… （ロ）－A－248
（ロ）－第A.94図　落下姿勢と落下試験の順序 …… （ロ）－A－250
（ロ）－第A.95図　緩衝体解析モデル …… （ロ）－A－255
（ロ）－第A.96図　一次元変形法による解析モデル …… （ロ）－A－256
（ロ）－第A.97図　材料の圧縮応力－圧縮ひずみ関係 …… （ロ）－A－256
（ロ）－第A.98図　緩衝体プロポーション …… （ロ）－A－260
（ロ）－第A.99図　1.2m上部垂直落下時内容器蓋解析モデル …… （ロ）－A－262
（ロ）－第A.100図　緩衝材の低温時応力－歪線図 …… （ロ）－A－267
（ロ）－第A.101図　[redacted]の応力－歪線図 …… （ロ）－A－268
（ロ）－第A.102図　SUS[redacted]の低温強度 …… （ロ）－A－269
（ロ）－第A.103図　SUS[redacted]の低温衝撃値 …… （ロ）－A－270
（ロ）－第A.104図　SUS[redacted]の低温衝撃値 …… （ロ）－A－271
（ロ）－第A.105図　内容器蓋締付ボルト初期締付力解析モデル …… （ロ）－A－272
（ロ）－第A.106図　内容器蓋締付ボルト締付三角形 …… （ロ）－A－276
（ロ）－第B.1図　輸送容器構成図 …… （ロ）－B－2
（ロ）－第B.2図　熱伝達概念図 …… （ロ）－B－3
（ロ）－第B.3図　軸対称２次元モデル …… （ロ）－B－18
（ロ）－第B.4図　特別の試験条件下における各部の温度履歴 …… （ロ）－B－22

図 リ ス ト （８）

（ロ）－第B.5図	TRUMP フローチャート（1／3）	（ロ）－B－31
（ロ）－第B.5図	TRUMP フローチャート（2／3）	（ロ）－B－32
（ロ）－第B.5図	TRUMP フローチャート（3／3）	（ロ）－B－33
（ロ）－第B.6図	燃料バスケットモデル化図	（ロ）－B－34
（ロ）－第B.7図	原型容器による試験値と解析値の比較	（ロ）－B－42
（ロ）－第C.1図	輸送容器密封境界	（ロ）－C－2
（ロ）－第D.1図	核分裂中性子のエネルギースペクトル	（ロ）－D－10
（ロ）－第D.2図	ガンマ線遮蔽計算モデル	（ロ）－D－13
（ロ）－第D.3図	輸送容器表面の角度束と計算点との関係	（ロ）－D－14
（ロ）－第D.4図	中性子遮蔽計算モデル	（ロ）－D－16
（ロ）－第D.5図	メッシュ分割図	（ロ）－D－28
（ロ）－第E.1図	輸送容器配列臨界計算モデル（角型燃料要素10体収納時）	（ロ）－E－9
（ロ）－第E.2図	輸送容器臨界計算モデル（角型燃料要素10体収納時）	（ロ）－E－10
（ロ）－第E.3図	輸送容器臨界計算モデル 燃料（HEUとMEU）が混載の場合	（ロ）－E－11
（ロ）－第E.4図	JRR-3 標準型燃料要素臨界計算モデル	（ロ）－E－12
（ロ）－第E.5図	JRR-4B 型燃料要素臨界計算モデル	（ロ）－E－13
（ロ）－第E.6図	JRR-4L 型燃料要素臨界計算モデル	（ロ）－E－14
（ロ）－第E.7図	JRR-4 型燃料要素臨界計算モデル	（ロ）－E－15
（ロ）－第E.8図	JMTR 標準燃料要素臨界計算モデル	（ロ）－E－16
（ロ）－第E.9図	JMTRC 標準燃料要素臨界計算モデル（HEU）	（ロ）－E－17
（ロ）－第E.10図	JMTRC 標準燃料要素臨界計算モデル（MEU）	（ロ）－E－18
（ロ）－第E.11図	臨界計算の流れ	（ロ）－E－23
（ロ）－第E.12図	TCA 臨界実験体系	（ロ）－E－29
（ロ）－第E.13図	SPERT-D 燃料	（ロ）－E－30

図 リ ス ト （ 9 ）

（ロ）－第 E. 13 図　SPERT-D 燃料（続き）…… （ロ）－E－31
（ロ）－第 E. 14 図　炉心配置図…… （ロ）－E－32
（ロ）－第 E. 15 図　燃料要素…… （ロ）－E－33
（ロ）－第 E. 16 図　炉心配置図…… （ロ）－E－34
（ロ）－第 E. 17 図　水密度と実効増倍率（$k_{eff}\pm3\sigma$）の関係
(JRR-3 標準型燃料要素(ウランシリコン
アルミニウム分散型合金)10 体収納時）…… （ロ）－E－39

表 リ ス ト （１）

（イ）章

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

（イ）－第A.1表　輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様
(2/2)（低照射された燃料）…… （イ）－A－4

（イ）－第C.1表　輸送容器の構成材料…… （イ）－C－15

（イ）－第C.2表　輸送容器各部の寸法…… （イ）－C－16

（イ）－第C.3表　輸送容器の重量…… （イ）－C－17

（イ）－第D.1表　収納物の燃料要素仕様（新燃料）…… （イ）－D－3

（イ）－第D.2表　収納物の燃料要素仕様（低照射された燃料）… （イ）－D－4

（ロ）章

（ロ）－第A.1表　構造解析に用いる応力評価基準…… （ロ）－A－4

（ロ）－第A.2表　設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分(1／2)… （ロ）－A－5

（ロ）－第A.2表　設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分(2／2)… （ロ）－A－6

（ロ）－第A.3表　負　荷　条　件（1／2）…… （ロ）－A－7

（ロ）－第A.3表　負　荷　条　件（2／2）…… （ロ）－A－8

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(1／24)…… （ロ）－A－9

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(2／24)…… （ロ）－A－10

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(3／24)…… （ロ）－A－11

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

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(5／24)…… （ロ）－A－13

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(6／24)…… （ロ）－A－14

表 リ ス ト （２）

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(7／24) …… （ロ）－A－15

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(8／24) …… （ロ）－A－16

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(9／24) …… （ロ）－A－17

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(10／24) …… （ロ）－A－18

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(11／24) …… （ロ）－A－19

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(12／24) …… （ロ）－A－20

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(13／24) …… （ロ）－A－21

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(14／24) …… （ロ）－A－22

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(15／24) …… （ロ）－A－23

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

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(17／24) …… （ロ）－A－25

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(18／24) …… （ロ）－A－26

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(19／24) …… （ロ）－A－27

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(20／24) …… （ロ）－A－28

表 リ ス ト （３）

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(21／24) …… （ロ）－A－29

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(22／24) …… （ロ）－A－30

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(23／24) …… （ロ）－A－31

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法
(24／24) …… （ロ）－A－32

（ロ）－第A.5表　材料の機械的性質 …… （ロ）－A－34

（ロ）－第A.6表　設計基準値となる材料の機械的性質 …… （ロ）－A－35

（ロ）－第A.7表　接触する異種材料の一覧 …… （ロ）－A－50

（ロ）－第A.8表　輸送物各部の最低温度 …… （ロ）－A－51

（ロ）－第A.9表　通常の輸送条件下における解析結果の要約 …… （ロ）－A－65

（ロ）－第A.10表　圧力変動時における応力評価結果 …… （ロ）－A－67

（ロ）－第A.11表　一般の試験条件下における設計温度 …… （ロ）－A－71

（ロ）－第A.12表　一般の試験条件下における設計圧力 …… （ロ）－A－72

（ロ）－第A.13表　一般の試験条件（熱的試験）下における応力
評価結果 …… （ロ）－A－84

（ロ）－第A.14表　一般の試験条件下での緩衝材についての
変形量及び加速度 …… （ロ）－A－88

（ロ）－第A.15表　一般の試験条件下における設計加速度 …… （ロ）－A－110

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果
(1／4) …… （ロ）－A－129

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果
(2／4) …… （ロ）－A－130

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果
(3／4) …… （ロ）－A－131

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果
(4／4) …… （ロ）－A－132

表 リ ス ト （４）

（ロ）－第A.17表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果
(1／4) ····· （ロ）－A－148

（ロ）－第A.17表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果
(2／4) ····· （ロ）－A－149

（ロ）－第A.17表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果
(3／4) ····· （ロ）－A－150

（ロ）－第A.17表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果
(4／4) ····· （ロ）－A－151

（ロ）－第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果
(1／4) ····· （ロ）－A－171

（ロ）－第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果
(2／4) ····· （ロ）－A－172

（ロ）－第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果
(3／4) ····· （ロ）－A－173

（ロ）－第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果
(4／4) ····· （ロ）－A－174

（ロ）－第A.19表　コーナー落下時の設計加速度 ····· （ロ）－A－176

（ロ）－第A.20表　1.2m上部コーナー落下時における
応力評価結果 ····· （ロ）－A－180

（ロ）－第A.21表　落下角度と加速度の関係 ····· （ロ）－A－182

（ロ）－第A.22表　落下角度と加速度の関係 ····· （ロ）－A－184

（ロ）－第A.23表　積み重ねにおける応力評価結果 ····· （ロ）－A－191

（ロ）－第A.24表　特別の試験条件下での緩衝材についての
変形量及び加速度 ····· （ロ）－A－198

（ロ）－第A.25表　特別の試験条件下における設計加速度 ····· （ロ）－A－199

表 リ ス ト （５）

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果
(1／4) ……（ロ）－A－201

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果
(2／4) ……（ロ）－A－202

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果
(3／4) ……（ロ）－A－203

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果
(4／4) ……（ロ）－A－204

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果
(1／4) ……（ロ）－A－206

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果
(2／4) ……（ロ）－A－207

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果
(3／4) ……（ロ）－A－208

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果
(4／4) ……（ロ）－A－209

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果
(1／4) ……（ロ）－A－211

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果
(2／4) ……（ロ）－A－212

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果
(3／4) ……（ロ）－A－213

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果
(4／4) ……（ロ）－A－214

（ロ）－第A.29表　コーナー落下時の設計加速度 ……（ロ）－A－216

（ロ）－第A.30表　9m上部コーナー落下時における
応力評価結果 ……（ロ）－A－217

表 リ ス ト （ 6 ）

（ロ）－第 A. 31 表　9m下部傾斜落下時緩衝材の落下角度と加速度の関係 …… （ロ）－A－219

（ロ）－第 A. 32 表　9m上部傾斜落下時緩衝材の落下角度と加速度の関係 …… （ロ）－A－221

（ロ）－第 A. 33 表　落下試験Ⅰにおける変形量と加速度 …… （ロ）－A－222

（ロ）－第 A. 34 表　落下試験Ⅱにおける貫通の評価結果 …… （ロ）－A－230

（ロ）－第 A. 35 表　特別の試験条件下における設計温度 …… （ロ）－A－231

（ロ）－第 A. 36 表　特別の試験条件下における設計圧力 …… （ロ）－A－231

（ロ）－第 A. 37 表　特別の試験条件（熱的試験）下における応力解析及び評価結果 …… （ロ）－A－233

（ロ）－第 A. 38 表　15m浸漬試験時における応力評価結果 …… （ロ）－A－242

（ロ）－第 A. 39 表　核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の輸送物の損傷状態 …… （ロ）－A－246

（ロ）－第 A. 40 表　核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における適合性評価 …… （ロ）－A－247

（ロ）－第 A. 41 表　特別の試験条件（重ね合せ評価）での変形量及び設計加速度 …… （ロ）－A－251

（ロ）－第 A. 42 表　核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の輸送物の損傷状態 …… （ロ）－A－252

（ロ）－第 A. 43 表　CASH-Ⅱ解析値と実験値の比較 …… （ロ）－A－259

（ロ）－第 A. 44 表　解析結果と試験結果の比較 …… （ロ）－A－261

（ロ）－第 A. 45 表　内容器蓋内側Oリング部変位量解析結果 …… （ロ）－A－266

（ロ）－第 A. 46 表　JRR-4B 型燃料板の引張試験片 20 個の測定結果 …… （ロ）－A－277

（ロ）－第 A. 47 表　JIS [redacted] の機械的性質 …… （ロ）－A－277

（ロ）－第 B. 1 表　熱解析条件 …… （ロ）－B－5

（ロ）－第 B. 2 表　熱解析の方法 …… （ロ）－B－6

（ロ）－第 B. 3 表　ステンレス鋼の熱的性質 …… （ロ）－B－7

（ロ）－第 B. 4 表　空気の熱的性質 …… （ロ）－B－8

表 リ ス ト （７）

（ロ）－第 B. 5 表　緩衝材 [redacted] の熱的性質 …… （ロ）－B－9

（ロ）－第 B. 6 表　断熱材 [redacted] の
熱的性質 …… （ロ）－B－10

（ロ）－第 B. 7 表　[redacted] O リングの仕様 …… （ロ）－B－11

（ロ）－第 B. 8 表　溶融栓の仕様 …… （ロ）－B－11

（ロ）－第 B. 9 表　一般の試験条件下の熱的条件 …… （ロ）－B－13

（ロ）－第 B. 10 表　一般の試験条件下における各部の最高温度 …… （ロ）－B－14

（ロ）－第 B. 11 表　特別の試験条件下の熱的条件 …… （ロ）－B－19

（ロ）－第 B. 12 表　核分裂性輸送物としての落下の
重ね合せを考慮した変形量 …… （ロ）－B－20

（ロ）－第 B. 13 表　特別の試験条件下における各部の最高温度 …… （ロ）－B－21

（ロ）－第 B. 14 表　特別の試験条件下における容器内の最高圧力 … （ロ）－B－24

（ロ）－第 B. 15 表　対流熱伝達率（輸送物表面⟷周囲環境） …… （ロ）－B－36

（ロ）－第 B. 16 表　放射率及び放射形態係数 …… （ロ）－B－36

（ロ）－第 B. 17 表　容器内圧力計算結果 …… （ロ）－B－39

（ロ）－第 B. 18 表　各試験条件時での設計圧力 …… （ロ）－B－40

（ロ）－第 B. 19 表　原型容器試験結果と解析結果の比較 …… （ロ）－B－41

（ロ）－第 C. 1 表　密封装置の設計圧力及び設計温度 …… （ロ）－C－1

（ロ）－第 C. 2 表　ガスケットの寸法及び材質 …… （ロ）－C－3

（ロ）－第 C. 3 表　内容器蓋締付ボルト …… （ロ）－C－4

（ロ）－第 C. 4 表　最大許容空気漏えい率 …… （ロ）－C－5

（ロ）－第 C. 5 表　漏えい試験時の最大漏えい孔径 …… （ロ）－C－8

（ロ）－第 C. 6 表　一般の試験条件下の最大ガス漏えい率 …… （ロ）－C－9

（ロ）－第 C. 7 表　計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比 …… （ロ）－C－11

（ロ）－第 C. 8 表　新燃料要素 1 体当たりの表面放射能 …… （ロ）－C－11

（ロ）－第 C. 9 表　一般の試験条件における放射性物質の漏えい率 … （ロ）－C－12

（ロ）－第 C. 10 表　JMTRC 燃料表面水の核種と放射能濃度 …… （ロ）－C－13

（ロ）－第 C. 11 表　低照射された燃料要素 1 体当たりの表面放射能 … （ロ）－C－14

表 リ ス ト （８）

（ロ）－第C.12表　一般の試験条件における放射能の漏えい率 …… （ロ）－C－15

（ロ）－第C.13表　特別の試験条件下の最大ガス漏えい率 …… （ロ）－C－18

（ロ）－第C.14表　特別の試験条件における放射性物質の漏えい率
（新燃料要素） …… （ロ）－C－20

（ロ）－第C.15表　特別の試験条件における放射性物質の漏えい率
（低照射された燃料要素） …… （ロ）－C－21

（ロ）－第D.1表　ウラン同位体のガンマ線放出割合 …… （ロ）－D－3

（ロ）－第D.2表　燃料要素１体当たりのウラン同位体による
ガンマ線源強度 …… （ロ）－D－3

（ロ）－第D.3表　計算に用いた比放射能 …… （ロ）－D－4

（ロ）－第D.4表　計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比 …… （ロ）－D－4

（ロ）－第D.5表　計算に用いた燃料要素１体当たりの
ウラン同位体の重量 …… （ロ）－D－4

（ロ）－第D.6表　ウラン同位体のガンマ線放出割合 …… （ロ）－D－6

（ロ）－第D.7表　混合燃料要素１体当たりのウラン同位体
によるガンマ線源強度 …… （ロ）－D－6

（ロ）－第D.8表　計算に用いた比放射能 …… （ロ）－D－7

（ロ）－第D.9表　計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比 …… （ロ）－D－7

（ロ）－第D.10表　計算に用いた燃料要素１体当たりの
ウラン同位体の重量 …… （ロ）－D－7

（ロ）－第D.11表　ORIGENによる核分裂生成物の放射能等 …… （ロ）－D－8

（ロ）－第D.12表　ウラン同位体の自発核分裂放出率 …… （ロ）－D－9

（ロ）－第D.13表　ウラン等同位体元素の自発核分裂放出率 …… （ロ）－D－10

（ロ）－第D.14表　使用材料及び密度 …… （ロ）－D－17

（ロ）－第D.15表　遮蔽計算で用いた各領域の
遮蔽材の体積比 …… （ロ）－D－17

（ロ）－第D.16表　各材料の原子個数密度 …… （ロ）－D－18

（ロ）－第D.17表　ガンマ線エネルギー群構造と線量当量率換算係数 （ロ）－D－20

表 リ ス ト （９）

（ロ）－第D.18表　ガンマ線による線量当量率(新燃料要素装荷時)・（ロ）－D－21

（ロ）－第D.19表　ガンマ線による線量当量率
（低照射された燃料要素装荷時）・・・・・・・・・・・・・（ロ）－D－21

（ロ）－第D.20表　中性子による線量当量率（新燃料要素装荷時）・（ロ）－D－22

（ロ）－第D.21表　中性子による線量当量率
（低照射された燃料要素装荷時）・・・・・・・・・・・・・（ロ）－D－23

（ロ）－第D.22表　輸送物の線量当量率（新燃料要素装荷時）・・・・・（ロ）－D－24

（ロ）－第D.23表　輸送物の線量当量率
（低照射された燃料要素装荷時）・・・・・・・・・・・・・（ロ）－D－25

（ロ）－第E.1表　燃料要素の主要仕様・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－3

（ロ）－第E.2表　燃料板の主要仕様（1／2）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－4

（ロ）－第E.2表　燃料板の主要仕様（2／2）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－5

（ロ）－第E.3表　内容器表面から容器表面までの距離・・・・・・・・・・・（ロ）－E－6

（ロ）－第E.4表　規則で定められる要件と解析条件の対応・・・・・・・（ロ）－E－19

（ロ）－第E.5表　臨界解析に用いた輸送容器各領域の原子個数
密度組成（atoms/barn-cm）・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－19

（ロ）－第E.6表　臨界解析に用いた燃料要素の原子個数密度組成
（atoms/barn-cm）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－20

（ロ）－第E.7表　解析対象燃料要素・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－21

（ロ）－第E.8表　冠水時臨界計算結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－25

（ロ）－第E.9表　ベンチマーク臨界実験解析結果・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－28

（ロ）－第E.10表　水密度の変化に伴う実効増倍率の変化(JRR-3
標準型燃料要素(ウランシリコンアルミニウム
分散型合金)10体収納時）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－E－38

（ロ）－第F.1表　安全解析における経年変化の考慮の必要性の
評価(1/3)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－F－3

（ロ）－第F.1表　安全解析における経年変化の考慮の必要性の
評価(2/3)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（ロ）－F－4

表 リ ス ト （ 10 ）

（ロ）－第F.1表　安全解析における経年変化の考慮の必要性の
評価(3/3) ····· （ロ）－F－5
（ロ）－第G.1表　規則及び告示に定める
技術基準への適合性の評価 ····· （ロ）－G－2
（ハ）章
（ハ）－第A.1表　輸送物発送前検査要領 ····· （ハ）－A－3

（イ）章　核燃料輸送物の説明

（イ）章　核燃料輸送物の説明

（イ）－Ａ．目的及び条件

本輸送容器は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の原子力科学研究所に設置されている JRR-3 に装荷される新燃料要素を内外の加工事業者の工場から JRR-3 まで輸送することを目的とするものである。

また、原子力科学研究所に設置されている JRR-3、JRR-4 及び大洗研究所に設置されている JMTR の新燃料要素並びに大洗研究所の JMTRC で低照射された燃料を海外等に輸送することを目的とするものである。

本輸送容器の概念図を（イ）－第Ａ.１図に示す。

(1) 輸送容器の型名　　ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型

(2) 輸送物の種類

(a) ＢＵ型核分裂性輸送物

(3) 輸送制限個数　　制限なし

(4) 輸送制限配列　　任　意

(5) 輸送指数　　1.9 以下

(6) 臨界安全指数　　0

(7) 輸送物の重量　　[redacted]

(8) 輸送容器の外形寸法

(a) 外　　径　　[redacted]

(b) 高　　さ　　[redacted]

(9) 輸送容器の重量

角型燃料バスケット収納時　　[redacted]

(10) 輸送容器の主要材質

(a) 本　　体　　ステンレス鋼、[redacted]

[redacted]

(b) 外容器蓋　　ステンレス鋼、[redacted]

[redacted]

(c) 内容器蓋　　ステンレス鋼、[redacted]

(d) 燃料バスケット　　ステンレス鋼、[redacted]

(11) 輸送容器に収納する核燃料物質

輸送容器に収納する燃料には、低濃縮ウラン燃料（以下「LEU 燃料」という。）、中濃縮ウラン燃料（以下「MEU 燃料」という。）及び高濃縮ウラン燃料（以下「HEU 燃料」という。）がある。これらの燃料については、使用目的から標準燃料要素、特殊燃料要素及び燃料フォロワに区別される。

輸送容器に収納する核燃料物質の種別及び数量は、次のいずれかとする。

(a) 新 燃 料 ····· 10 体以下

新燃料は、公称濃縮度が等しいもののみが収納される。

(b) 低照射された燃料 ····· 10 体以下

低照射された燃料は、HEU 燃料及び MEU 燃料が混在して収納される。

(12) 輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様

核燃料物質の仕様を(イ)－第 A. 1 表に示す。

(13) 輸送形態

(a) 輸送方式

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

(b) 積載方式

輸送容器は専用の固縛用具により緊縛固定される。

(14) 使用予定年数

(a) 使用予定年数：60 年

(b) 年間の運搬に使用される回数：3 回以下

(c) 1 回の運搬に要する日数：100 日以下

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

原子炉		JRR-3		JRR-4			JMTR	
燃料要素		JRR-3 標準型燃料要素	JRR-3 フォロワ型燃料要素	JRR-4B 型燃料要素	JRR-4L 型燃料要素	JRR-4 燃料要素	JMTR 標準燃料要素	JMTR 燃料フォロワ
全装荷数（体／容器）		10 以下						
燃料形式		LEU 燃料		HEU 燃料	LEU 燃料		MEU 燃料	LEU 燃料
種類		ウランシリコンアルミニウム分散型合金		ウランアルミニウム合金	ウランアルミニウム分散型合金	ウランシリコンアルミニウム分散型合金	ウランアルミニウム分散型合金	ウランシリコンアルミニウム分散型合金
性状		固　体						
重　量	^{235}U 重量（g 以下／容器）							
	U 重量（g 以下／容器）							
	^{235}U 重量（g 以下／体）							
	U 重量（g 以下／体）							
濃縮度（wt%以下）								
放射能の量	総量（GBq 以下／容器）							
	主要な核種（GBq 以下／容器）							
燃焼度（%以下）								
発熱量（W 以下／容器）		0（新燃料）						
冷却日数（日）								

・一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉ごとに、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。
ただし、JMTRC の核燃料物質については、種類及び濃縮度が異なる燃料要素等を混載することができる。
・重量及び発熱量は、収納する燃料要素等ごとの重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。

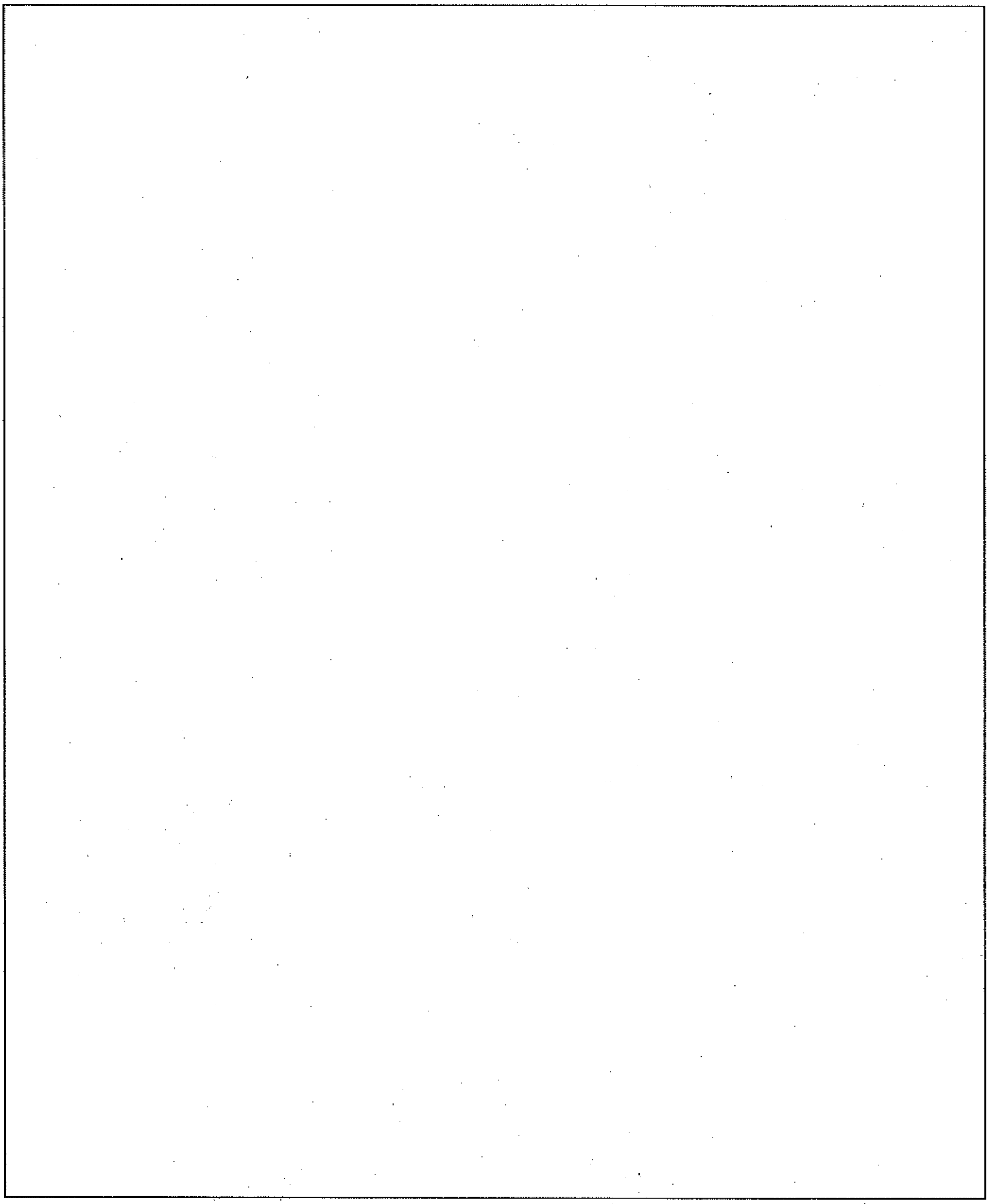
（イ）－第A.1表　輸送容器に収納する核燃料物質等の仕様（2/2）（低照射された燃料）

原子炉		JMTRC					
燃料要素		標準燃料要素	特殊燃料要素	燃料フォロワ	標準燃料要素	特殊燃料要素	燃料フォロワ
全装荷数（体／容器）		10以下					
種類		HEU燃料			MEU燃料		
燃料芯材		ウランアルミニウム合金			ウランアルミニウム分散型合金		
性状		固　体					
重　量	^{235}U重量（g以下／容器）						
	U重量（g以下／容器）						
	^{235}U重量（g以下／体）						
	U重量（g以下／体）						
濃縮度（wt%以下）							
放射能の量	総量（GBq以下／容器）						
	主要な核種（GBq以下／容器）						
燃焼度（%以下）							
発熱量（W以下／容器）		4.30×10^{-5}			3.29×10^{-5}		
冷却日数（日）							

・一つの輸送容器に収納することができる核燃料物質は、原子炉ごとに、種類及び濃縮度が同じ場合にのみ異なる燃料要素等を混載することができる。ただし、JMTRCの核燃料物質については、種類及び濃縮度が異なる燃料要素等を混載することができる。

・重量及び発熱量は、収納する燃料要素等ごとの重量及び発熱量の最大値を混載本数で案分した値とする。

・収納物表面から1m離れた位置での空気吸収線量率は1Gy/h以下



（イ）－第A.1図　輸送容器の概念図

（イ）－Ｂ．輸送物の種類

(1) 輸送物の型別としての要件

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

(2) 核分裂性輸送物としての要件

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

したがって、本輸送物は「ＢＵ型核分裂性輸送物」である。

（イ）－C．輸送容器

1.　輸送容器の概要

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

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

本輸送容器の概要を以下に示す。

(1) 本輸送容器の燃料バスケットは、燃料要素の断面形状に合わせ角型としている。

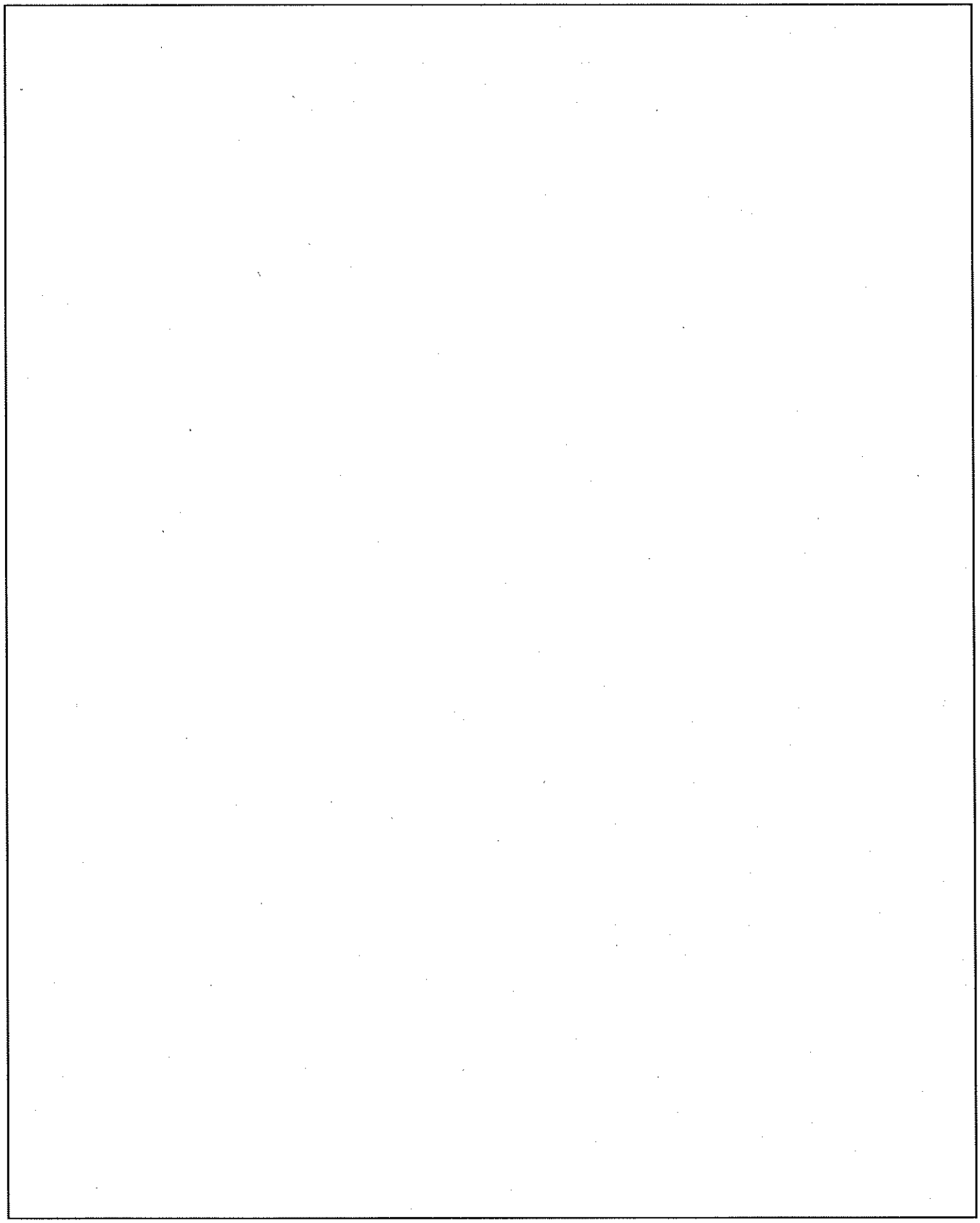
(2) 内容器は、設計圧力 [redacted] の耐圧容器として設計されている。

(3) 本輸送容器の取扱いは、本体に取り付けられたアイプレートを介しクレーンにて行われる。

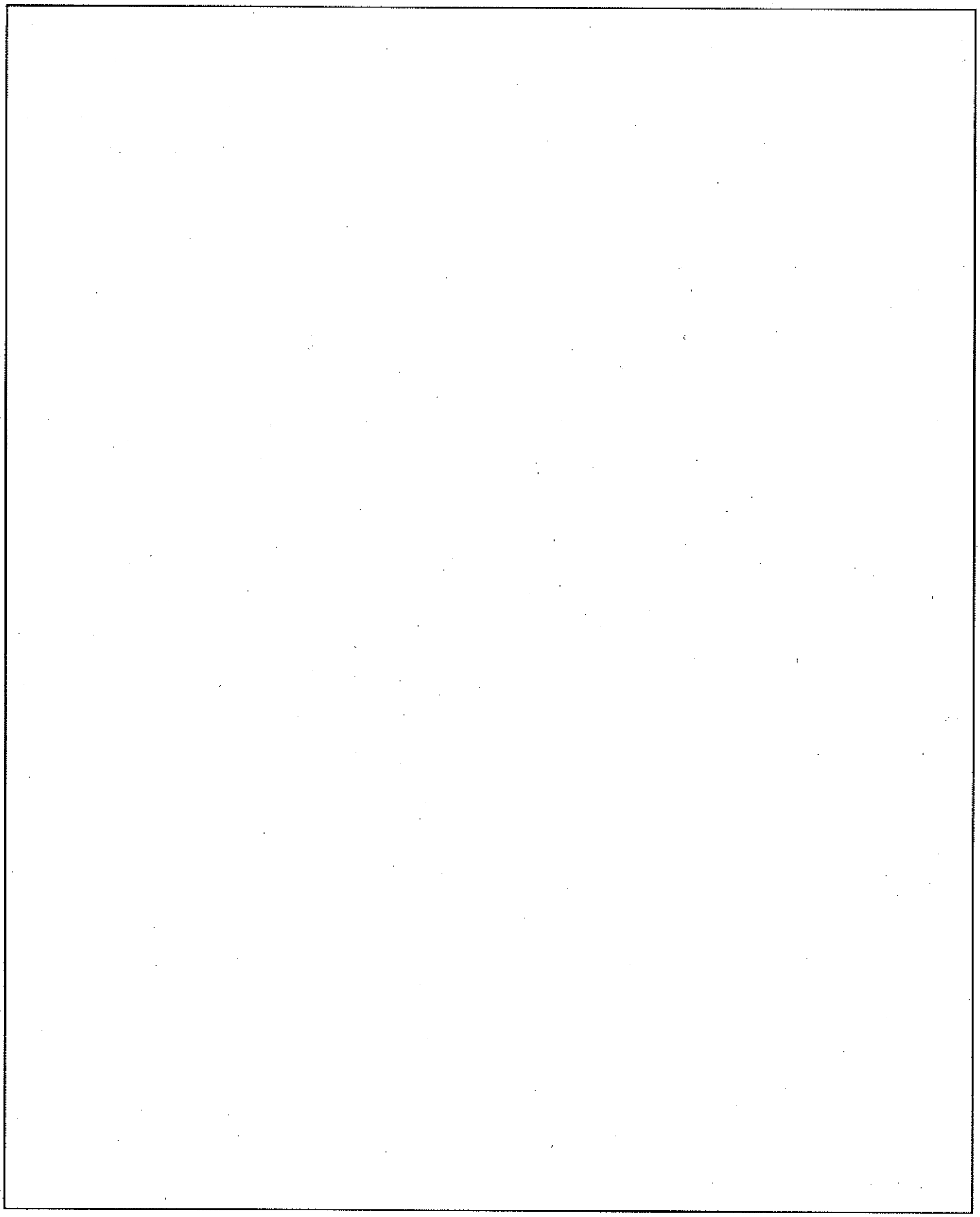
(4) 落下等による衝撃を緩和するため、輸送容器の上部及び下部に衝撃吸収用の緩衝材を充填している。

(5) 火災事故等による入熱を防ぐため、輸送容器の胴、上部及び下部に断熱材を充填している。

(6) 本輸送容器の密封境界を（イ）－第C.4図に示す。

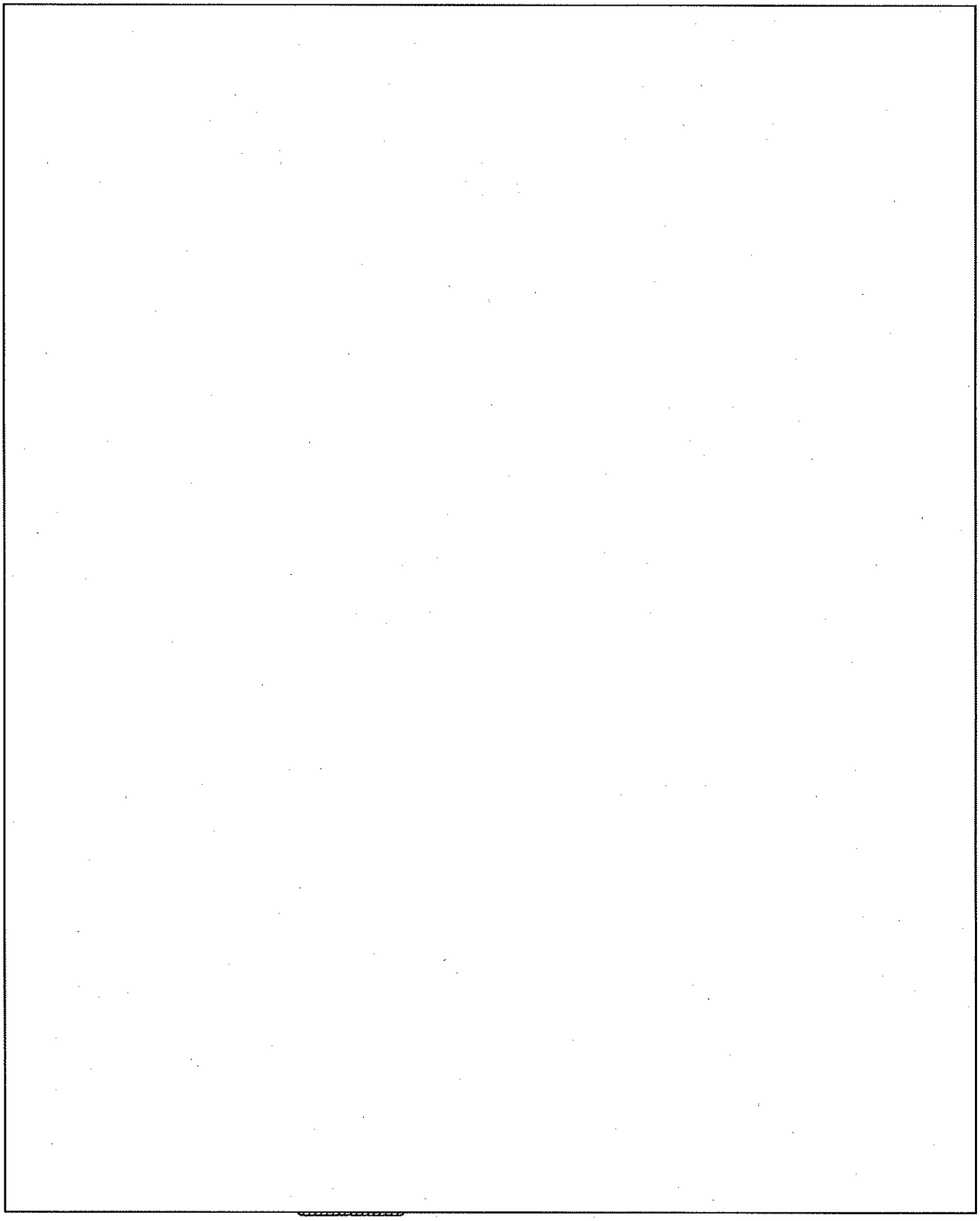


（イ）－第C.1図　輸送物概念図



（イ）－第C.2図　輸送物固縛状態図

（イ）－第C.3図　輸送物輸送状態図



（イ）－第C.4図　輸送容器密封境界

2.　輸送容器の構造（（イ）－第C.5図参照）

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

本輸送容器の構造を上記４つの主要部に分け以下に述べる。

2.1 本　　体（（イ）－第C.6図参照）

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

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

本体上部には、輸送容器を吊上げるためのアイプレートを溶接により４箇所取り付けている。

外容器本体には、８個の溶融栓を設けている。これは、火災時の熱により断熱材及び緩衝材から発生する蒸気やガスで、外容器本体の内圧が上昇するのを避けるためである。

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

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

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

2.2 内容器蓋（（イ）－第C.7図参照）

内容器蓋は、外径[　　]、厚さ[　]の円板形状であり、本体との締付けは[　　]の内容器蓋締付ボルトにより行われ、内容器蓋と内容器本体との接触部はOリングにより密封性が確保される構造である。このOリングは密封性の確認のため二重に設け、二重のOリング間に貫通した気密漏えい検査孔を設け、気密漏えい検査が行える構造となっている。

2.3 燃料バスケット（（イ）－第C.8図参照）

燃料バスケットは、個々の燃料要素を輸送容器の所定の位置に収納し、それらの相対位置を確保するためのものであり、燃料要素を10体収納できる構造である。

燃料バスケットは（イ）－第C.8図に示す形状であり、燃料要素を収納する角パイプ10本を溶接で組み立て、その上部及び下部にフランジを溶接し、さらに下部フランジに下部バスケットを[　]のボルトにて取り付ける構造である。角パイプの内幅寸法は[　　]であり、燃料バスケットの外形寸法は外径[　　]、高さ[　　]である。

また、燃料バスケットは、内容器本体内面上部の[　　]の座板へボルトにて固定されるので、上・下方向及び周方向の移動が抑制されるとともに振動も抑制される。

2.4 外容器蓋（（イ）－第C.9図参照）

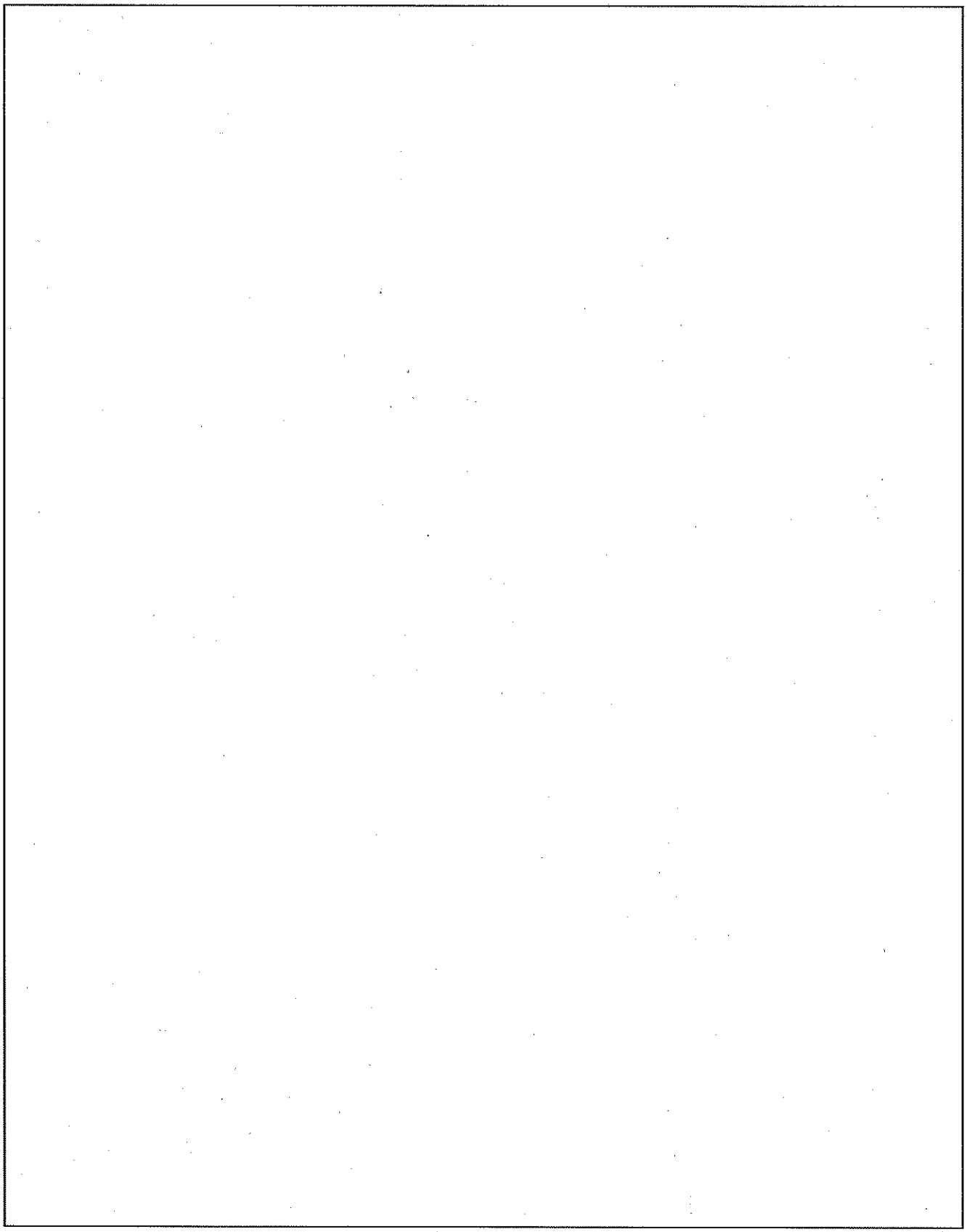
外容器蓋は、高さ［　　］、外径［　　］の円筒形状であり、外装板は胴に［　　］の鋼板、上部に［　　］の鋼板等を使用し、内装板は全面［　　］の鋼板を使用し、それぞれ溶接されている。

外装板と内装板との中空部には、上部中央に断熱材を、その他部分には緩衝材を充填し、それぞれ火災時の入熱、落下時の衝撃から容器を保護する構造である。

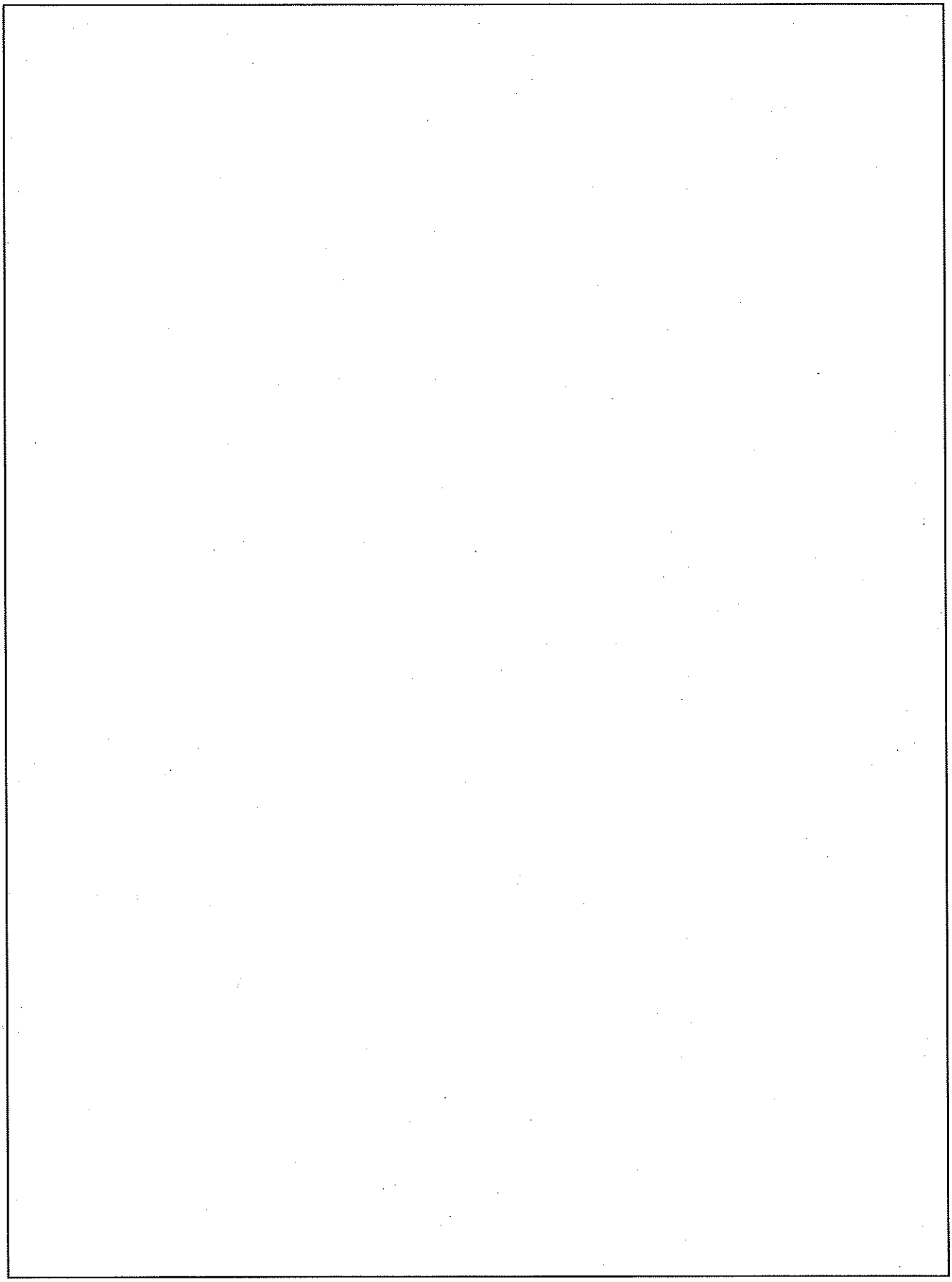
外容器蓋には、吊り上げ用のアイボルトボスを溶接により、［　　］取り付けている。

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

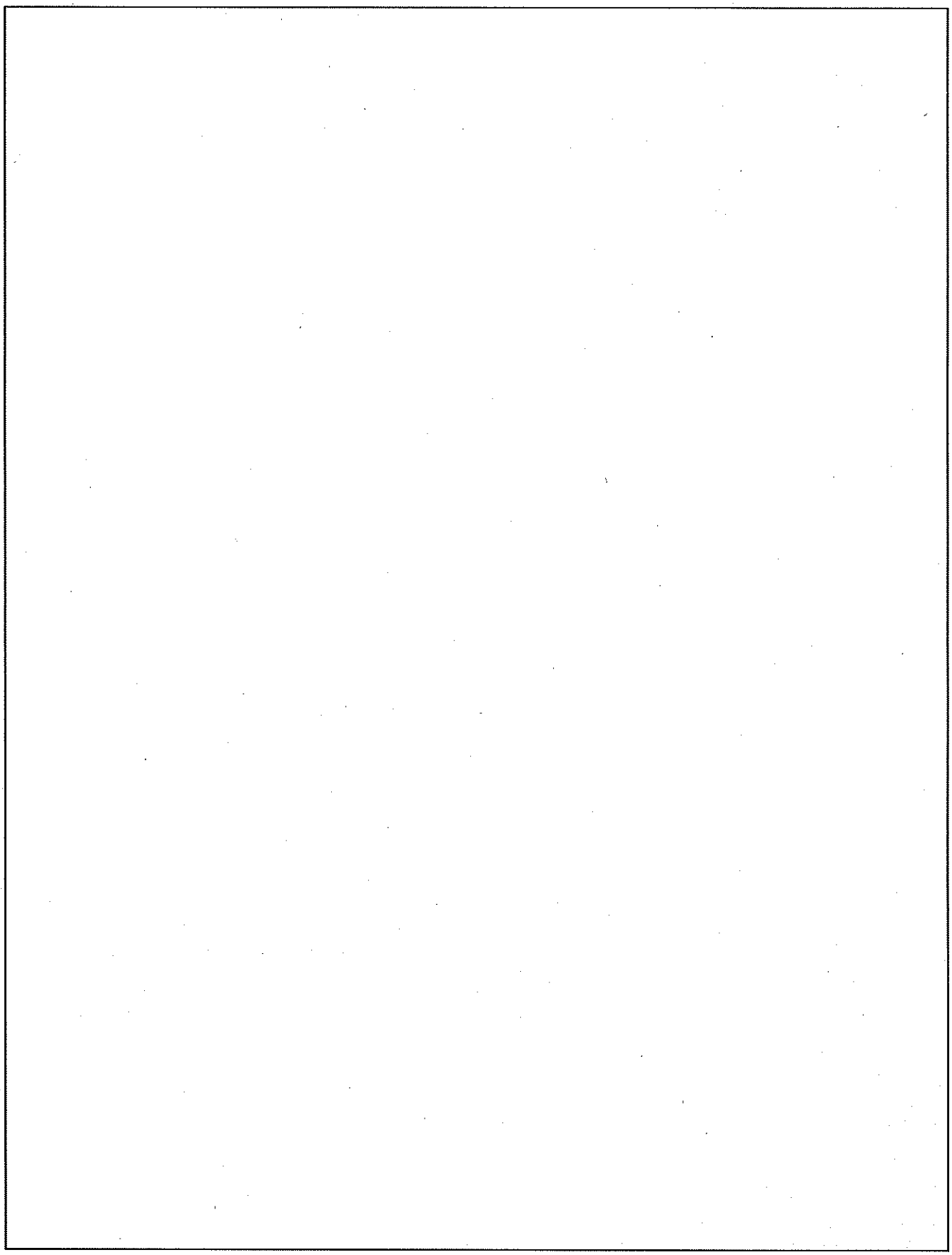
外容器蓋は、内容器蓋を覆う形で本体上部へゴムパッキンを介し、外容器蓋締付ボルトにより締付けられ、本体と外容器蓋との隙間への水の侵入を防止する構造となっている。また、［　　］ができるよう考慮されている。



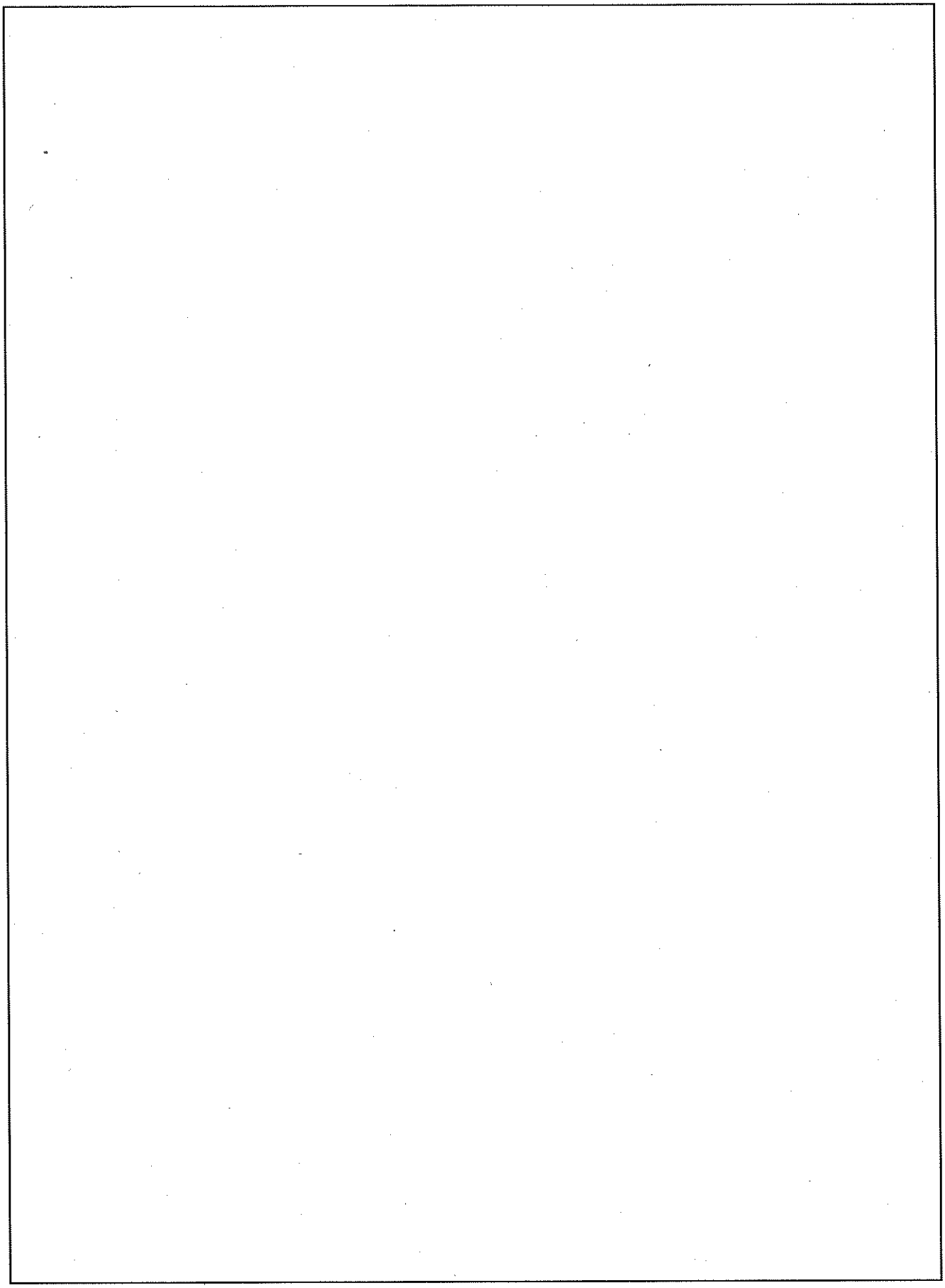
（イ）－第C.5図　輸送容器全体図



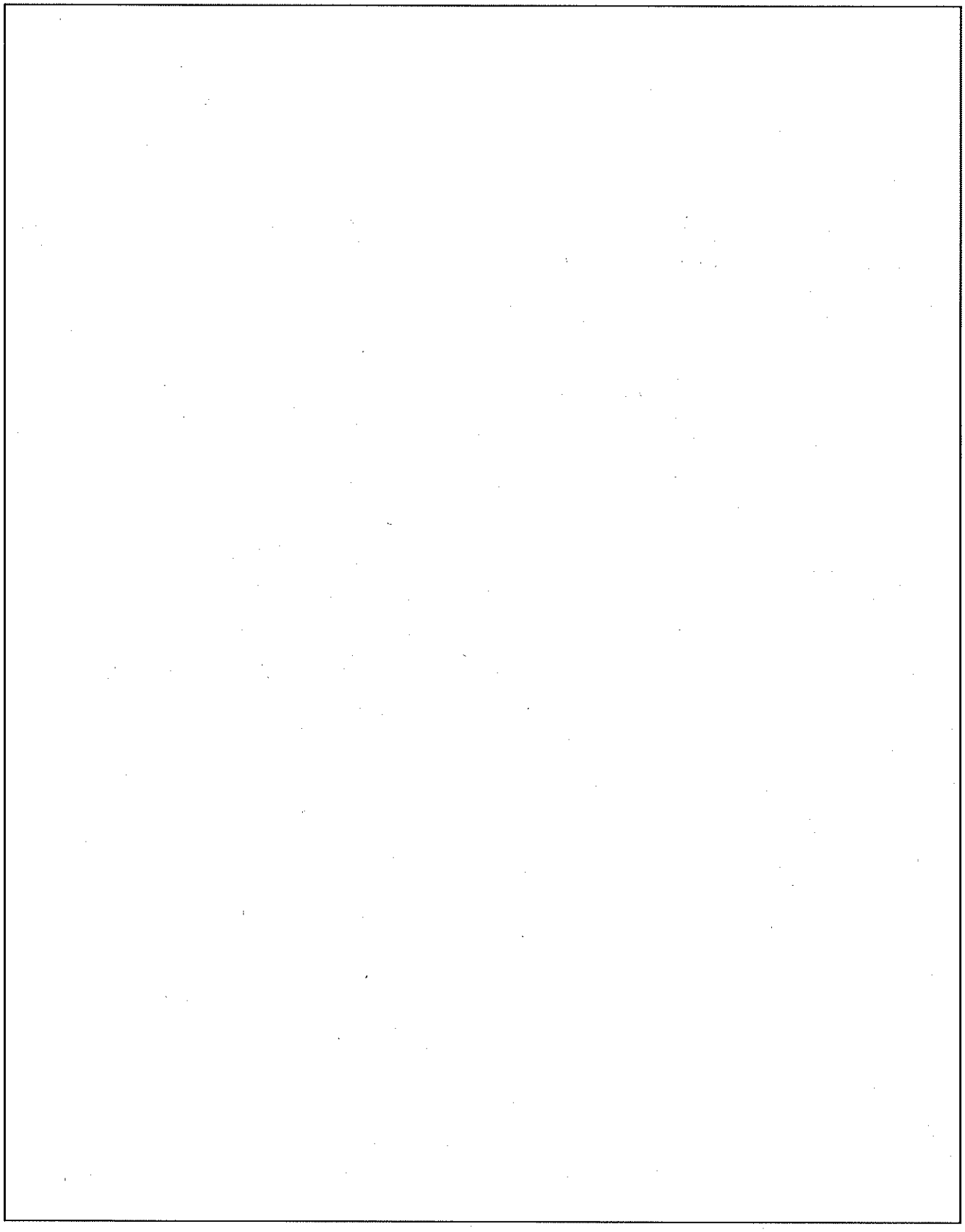
（イ）－第C.6図　　本　　体



（イ）－第C.7図　　内　容　器　蓋



（イ）－第C.8図　燃料バスケット



（イ）－第C.9図　外　容　器　蓋

3. 輸送容器の材質

本輸送容器の構成材料を（イ）－第C.1表に示す。

4. 輸送容器の寸法

本輸送容器各部の寸法を（イ）－第C.2表に示す。

5. 輸送容器の重量

本輸送容器の重量を（イ）－第C.3表に示す。

（イ）－第C.1表　輸送容器の構成材料

部品名	材料	個数	備考
(1) 本体			
・ 外容器本体	ステンレス鋼		
・ 内容器本体	ステンレス鋼		
・ アイプレート			
・ 座板			
・ 断熱材			
・ 緩衝材			
・ Oリング			
・ 溶融栓			
・ ガスケット			
(2) 内容器蓋			
・ 内容器蓋	ステンレス鋼		
(3) 燃料バスケット			
・ 角パイプ	ステンレス鋼		
・ 上部フランジ			
・ 下部フランジ			
・ クッションゴム			
(4) 外容器蓋			
・ 外装板	ステンレス鋼		
・ 内装板			
・ 断熱材			
・ 緩衝材			
・ 溶融栓			

（イ）－第C.2表　輸送容器各部の寸法

部品名	部位	公称寸法（mm）	備考
(1) 本体			
(2) 内容器蓋			
(3) 燃料バスケット			
(4) 外容器蓋			

（イ）－第C.3表　輸送容器の重量

No.	名　称	重　量（kg）	備　考
1	本　体		
2	内容器蓋		
3	燃料バスケット		
4	外容器蓋		
5	合　計		

なお、収納物の重量は、（イ）－第D.1表及び（イ）－第D.2表に示すとおりであり、JRR-3標準型燃料要素10体収納時に最大となり［　　］であるから、輸送物（輸送容器の重量と収納物の重量の合計）の最大重量は［　　］となる。

（イ）－D．輸送容器の収納物

D.1 新 燃 料

輸送容器の収納物のうち新燃料は、JRR-3 及び JRR-4 並びに JMTR の板状燃料で、高濃縮ウラン燃料（HEU 燃料）、中濃縮ウラン燃料（MEU 燃料）及び低濃縮ウラン燃料（LEU 燃料）である。

燃料芯材は、HEU 燃料ではウランアルミニウム合金であり、MEU 燃料ではウランアルミニウム分散型合金であり、LEU 燃料ではウランアルミニウム分散型合金又はウランシリコンアルミニウム分散型合金である。

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

燃料部は、側板又は取付板となるアルミニウム合金板に燃料板の厚さに相当する溝を組み立てる燃料板の数だけ切り、この溝に燃料板を差込んで燃料板長さ 1cm 当たり 265N以上の引張り力に耐えられるように機械的に固定（ロールスエージ）される。

標準燃料要素及び燃料フォロワ（以下「燃料要素等」という。）は、燃料部に所定の部品を溶接等で取り付けて組み立てる。

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

なお、燃料要素等を収納する場合には、燃料要素等の上部及び下部側に[redacted]のスペーサを組み込み、輸送時の衝撃を吸収するとともに、長さを調整し、燃料要素等を固定する。

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

D.2 低照射された燃料

輸送容器の収納物のうち低照射された燃料は、JMTRC に装荷された板状燃料である。

燃料芯材は、HEU 燃料ではウランアルミニウム合金であり、MEU 燃料ではウランアルミニウム分散型合金である。

燃料部は、側板又は取付板となるアルミニウム合金板に燃料板の厚さに相当する溝を組み立てる燃料板の数だけ切り、この溝に燃料板を差込んで燃料板長さ 1cm 当たり 265N以上の引張り力に耐えられるように機械的に固定（ロールスエージ）されたものと、アルミニウム合金製のピンにより固定されたものがある。

標準燃料要素と特殊燃料要素及び燃料フォロワ（以下「燃料要素等」という。）は、燃料部に所定の部品を溶接等で取り付けて組立てられている。

特殊燃料要素は、燃料要素内の一部の燃料板が側板に機械的に固定されず着脱可能な構造になっている。

燃料要素等は、重量軽減を図るために上・下部の不要な部分を切断して収納する。

特殊燃料要素については、燃料板を押さえるために押え具を用いている。その形状図を（イ）－第 D.10 図から（イ）－第 D.12 図及び（イ）－第 D.15 図に示す。

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

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

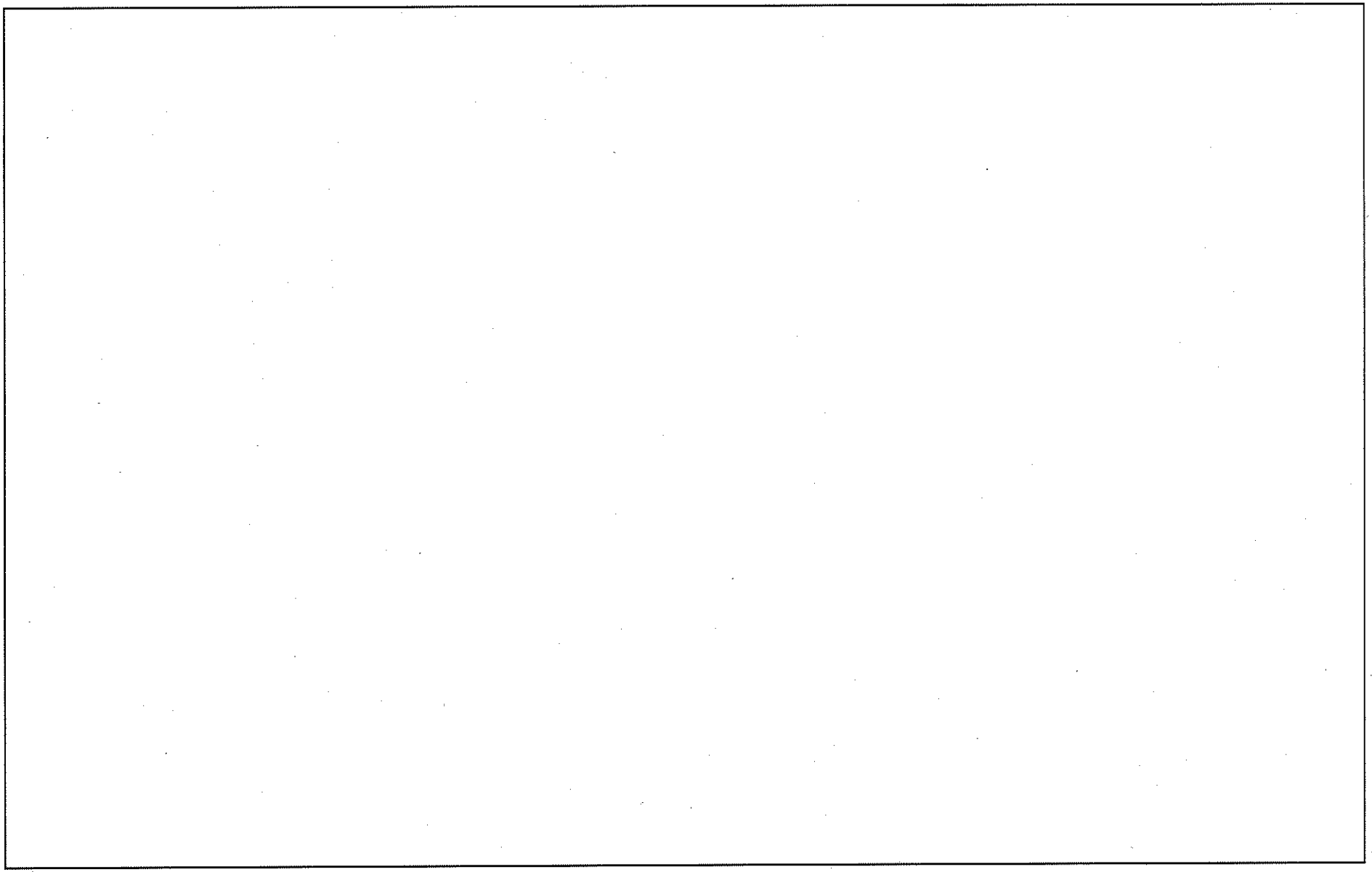
輸送容器の安全性評価に用いた収納物である燃料要素等の仕様を（イ）－第 D.2 表に示す。

（イ）－第D.1表　収納物の燃料要素仕様（新燃料）

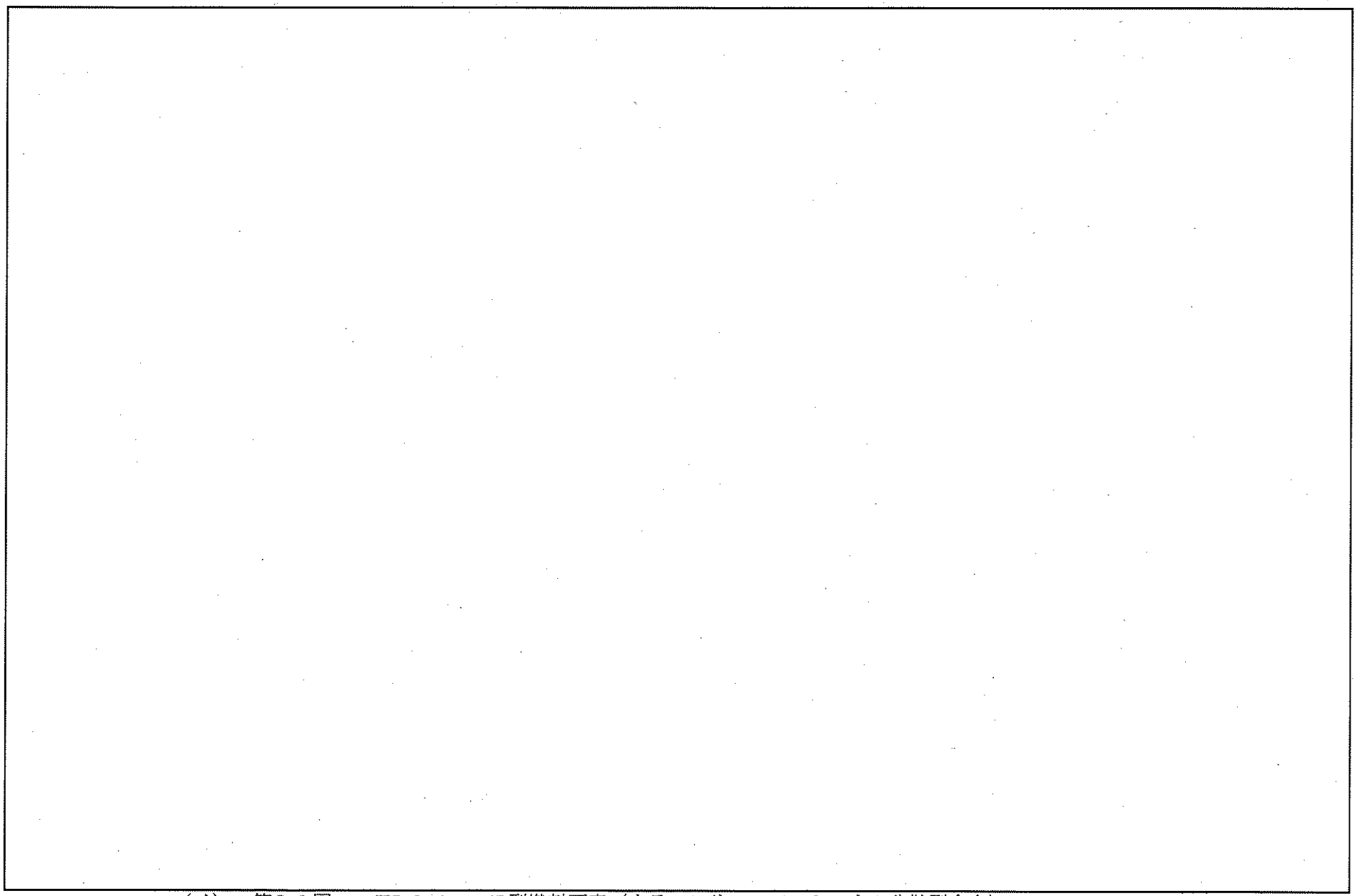
燃料バスケット		角　型						
種類	原子炉	JRR-3		JRR-4			JMTR	
	燃料要素	JRR-3 標準型燃料要素	JRR-3 フォロワ型燃料要素	JRR-4B 型燃料要素	JRR-4L 型燃料要素	JRR-4 燃料要素	JMTR 標準燃料要素	JMTR 燃料フォロワ
形　式		板　状　燃　料						
全装荷数（体/容器）		10 以下						
燃料形式		LEU 燃料		HEU 燃料	LEU 燃料		MEU 燃料	LEU 燃料
核的仕様	U-235 濃縮度（wt%）							
	U-235 含有量（g/体）							
	U-含有量（g/体）							
燃焼度								
発熱量		0　（新　燃　料）						
冷却日数								
放射能の量	総量（GBq 以下/容器）							
	主要な核種（GBq 以下/容器）							
放射能の量（MBq/体）								
材質	種類							
	被覆材							
	側板、取付板等							
	可燃性吸収体							
形状	燃料断面形状							
	参　照　図	（イ）－第D.1図	（イ）－第D.2図	（イ）－第D.3図	（イ）－第D.4図	（イ）－第D.5図	（イ）－第D.6図	（イ）－第D.7図
燃料重量（kg/体）								

（イ）－第 D.2 表　収納物の燃料要素仕様（低照射された燃料）

燃料バスケット		角　型						
種類	原子炉	JMTRC						
	燃料要素	標準燃料要素	特殊燃料要素	燃料フォロワ	標準燃料要素	特殊燃料要素	燃料フォロワ	
形　式		板　状　燃　料						
全装荷数(体/容器)		10 以下						
燃料形式		HEU 燃料			MEU 燃料			
核的仕様	U-235 濃縮度(wt%)							
	U-235 含有量(g/体)							
	U-含有量(g/体)							
燃焼度(%)								
発熱量(w／容器)		4.30×10^{-5} 以下			3.29×10^{-5} 以下			
冷却日数(日)								
放射能の量	総量(GBq 以下/容器)							
	主要な核種(GBq 以下/容器)							
放射能の量(MBq/体)								
材質	種類							
	被覆材							
	側板,取付板等							
	可燃性吸収体							
形状	燃料断面形状							
	参　照　図							
燃料重量(kg/体)								
押え具	参照図	—	(イ)-第 D.10 図	(イ)-第 D.11 図	(イ)-第 D.12 図	—	—	(イ)-第 D.15 図	—
	重量(kg/体)							

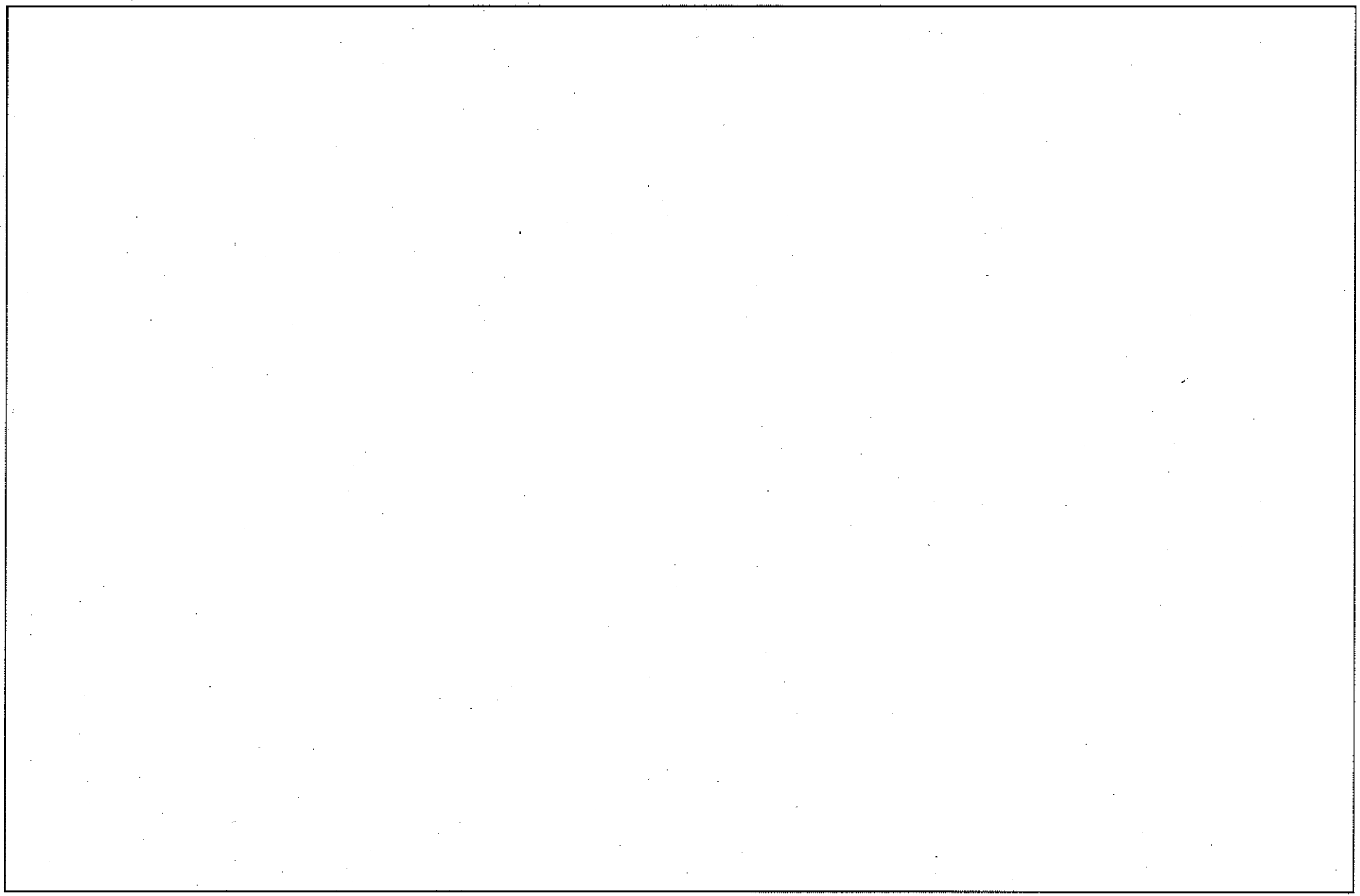


（イ）－第D.1図　　JRR-3標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）

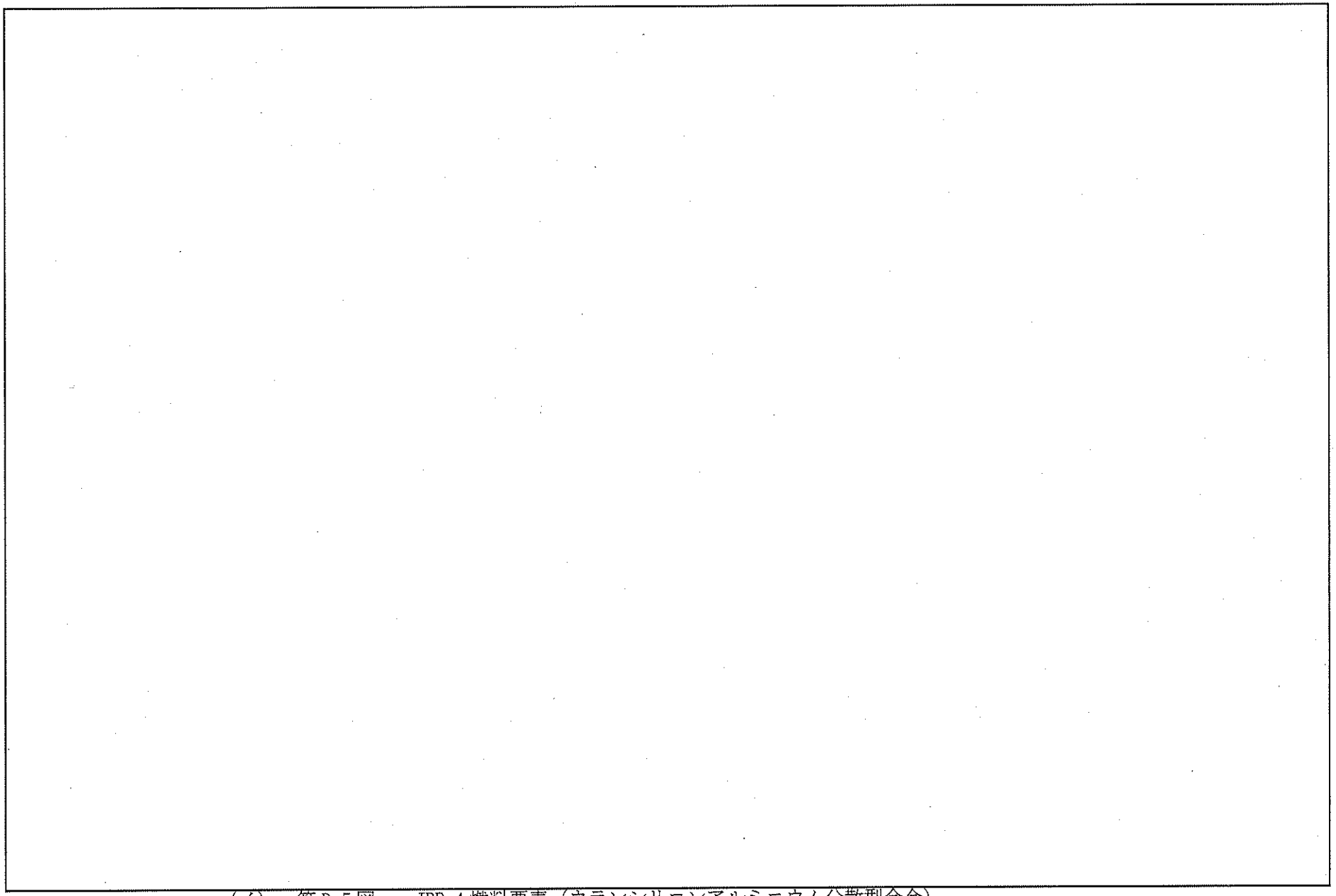


（イ）－第D.2図　　JRR-3フォロワ型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）

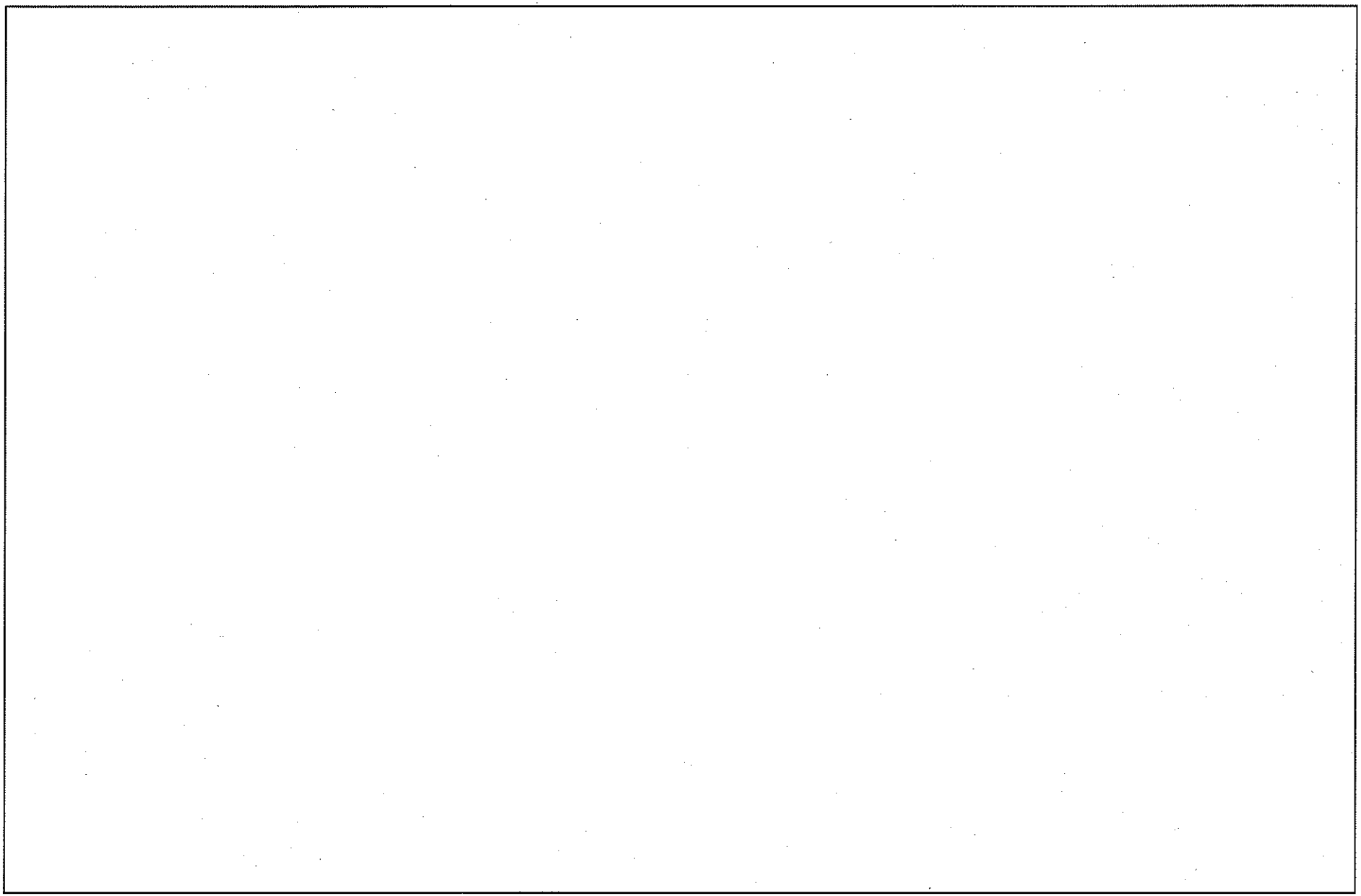
（イ）－第D.3図　JRR-4B型燃料要素



（イ）－第D.4図　　JRR-4L型燃料要素

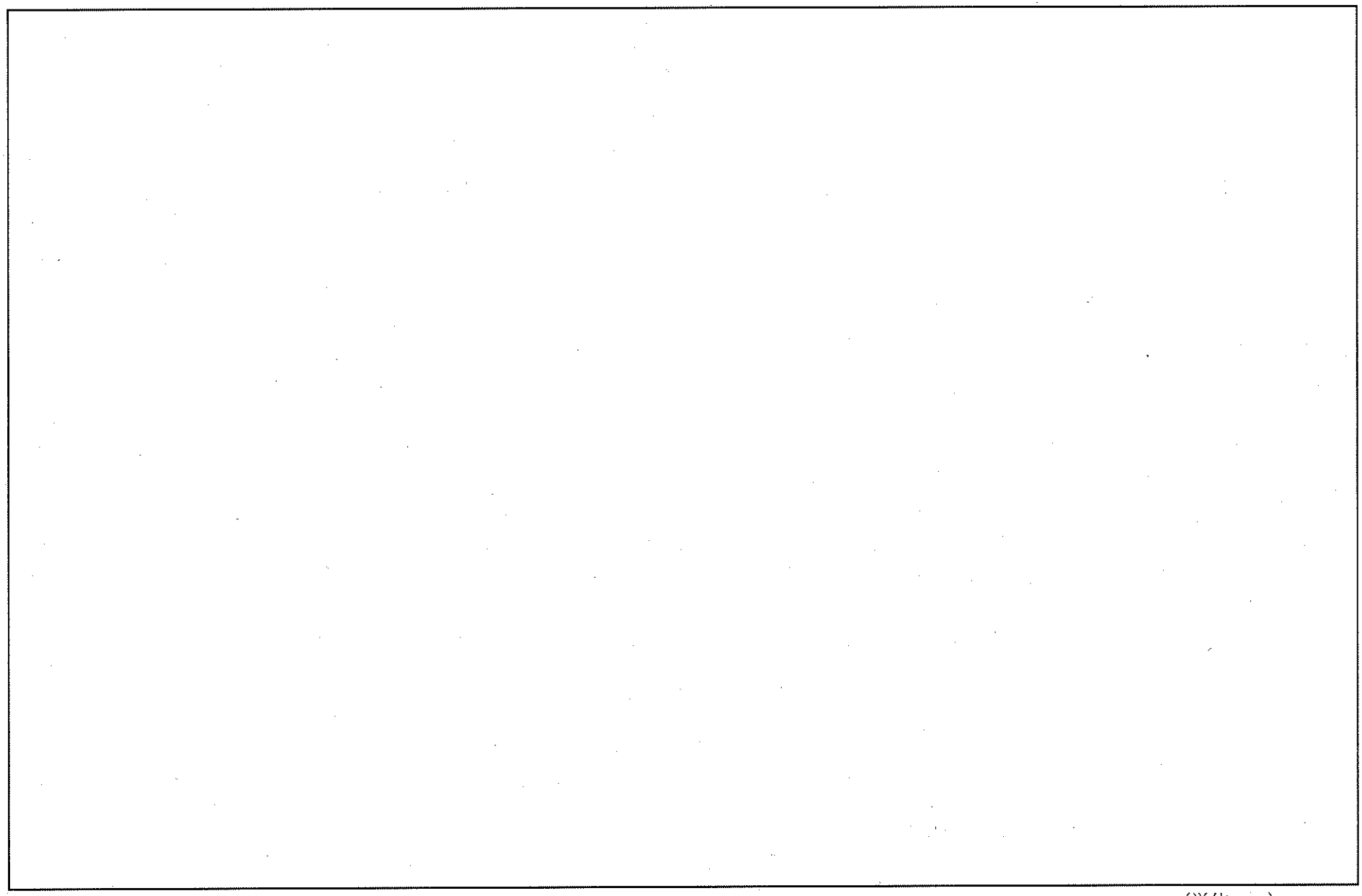


（イ）－第D.5図　　JRR-4燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）



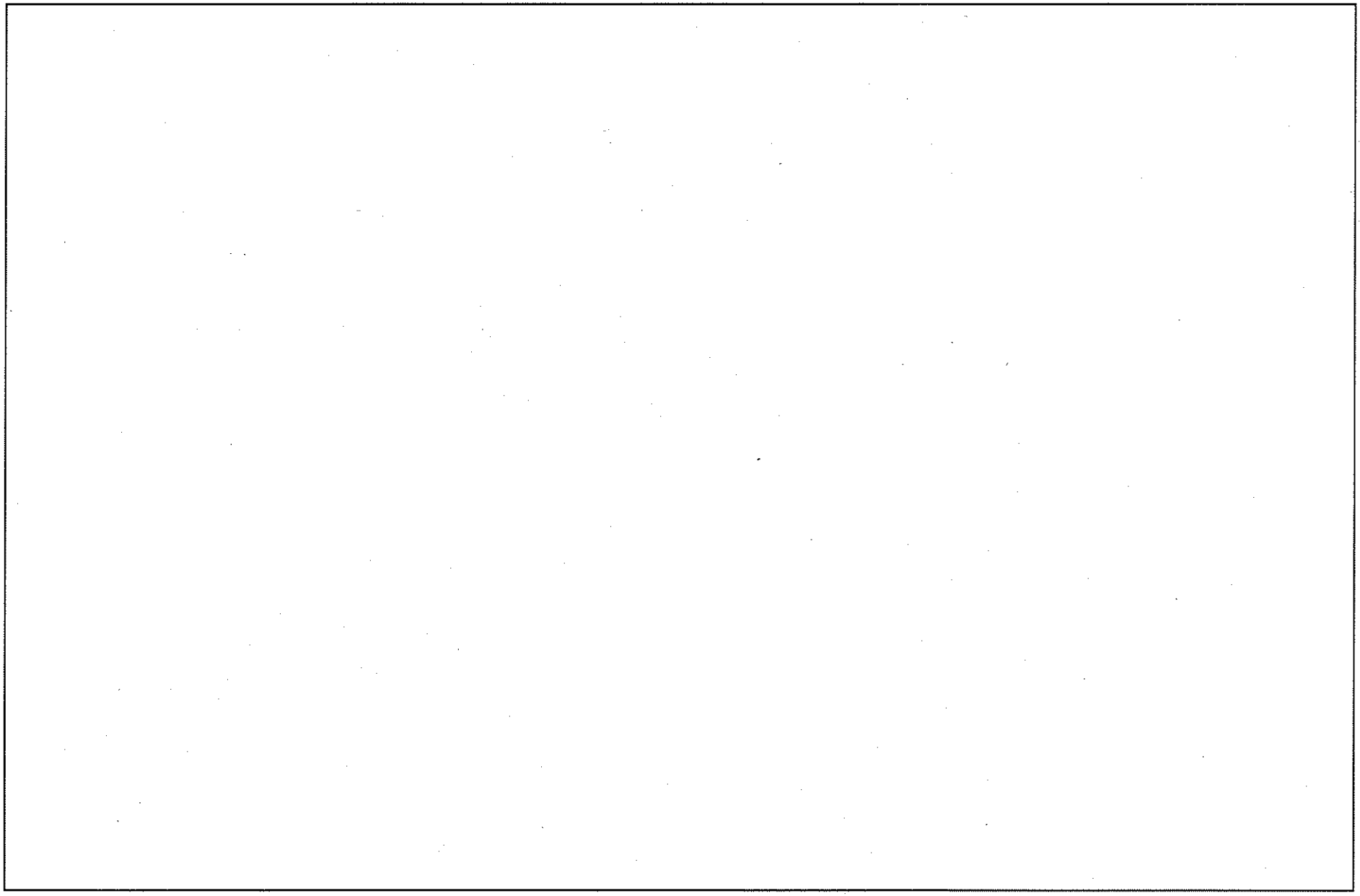
（イ）－第D.6図　　JMTR標準燃料要素

（単位：mm）

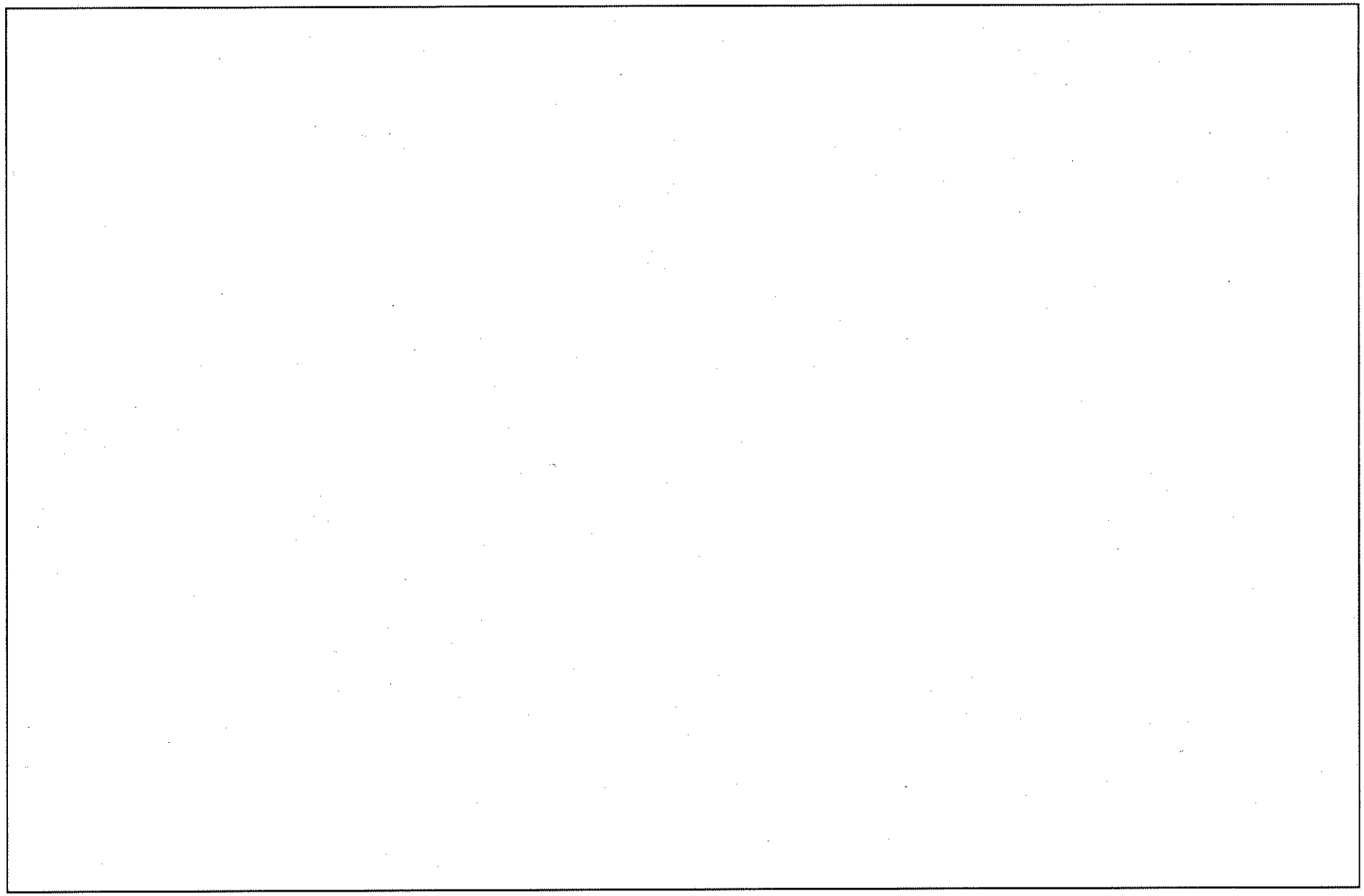


（イ）－第D.7図　　JMTR燃料フォロワ

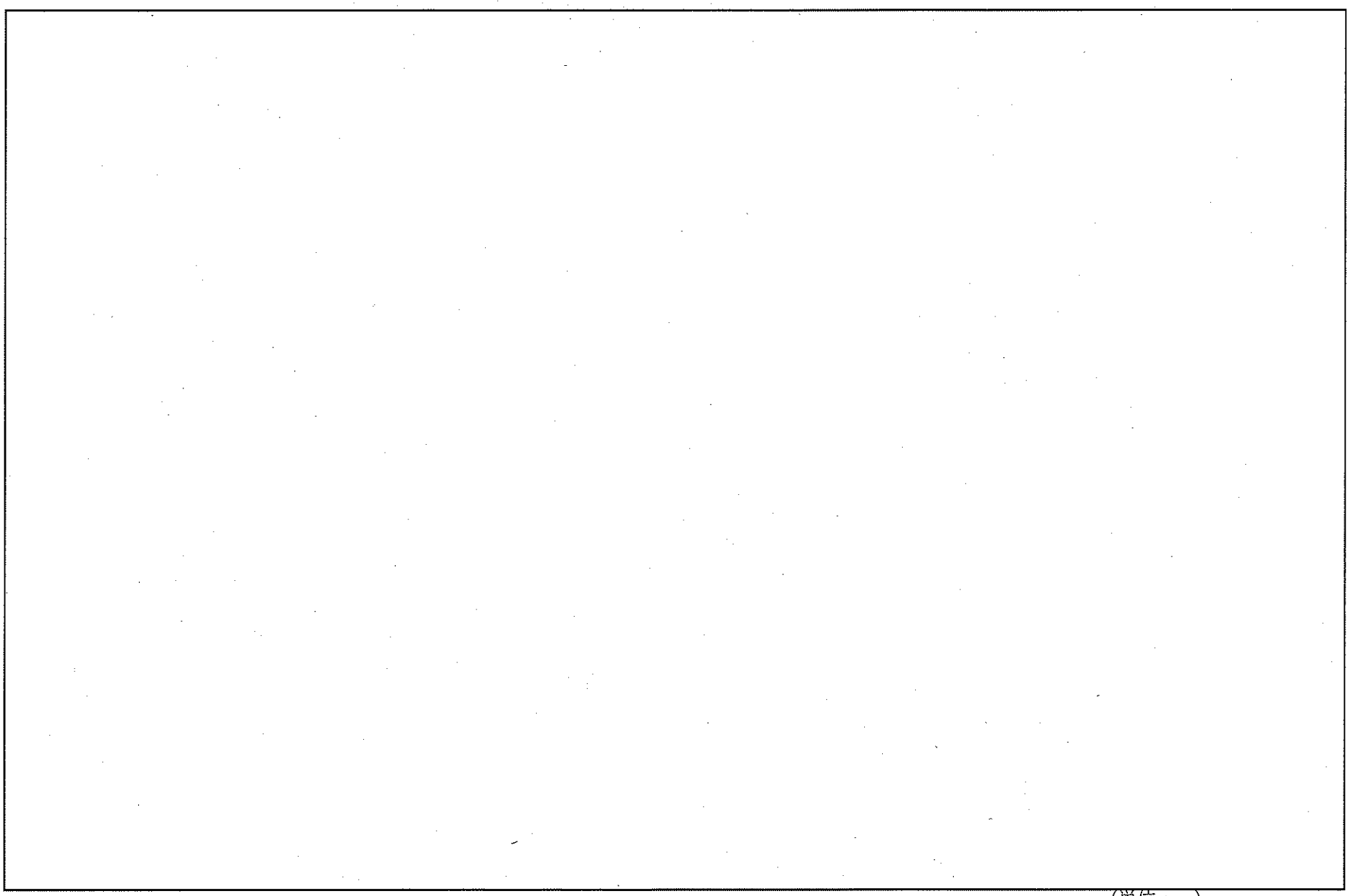
（単位：mm）



（イ）－第D.8図　　JMTRC標準燃料要素（A型、B型、C型）

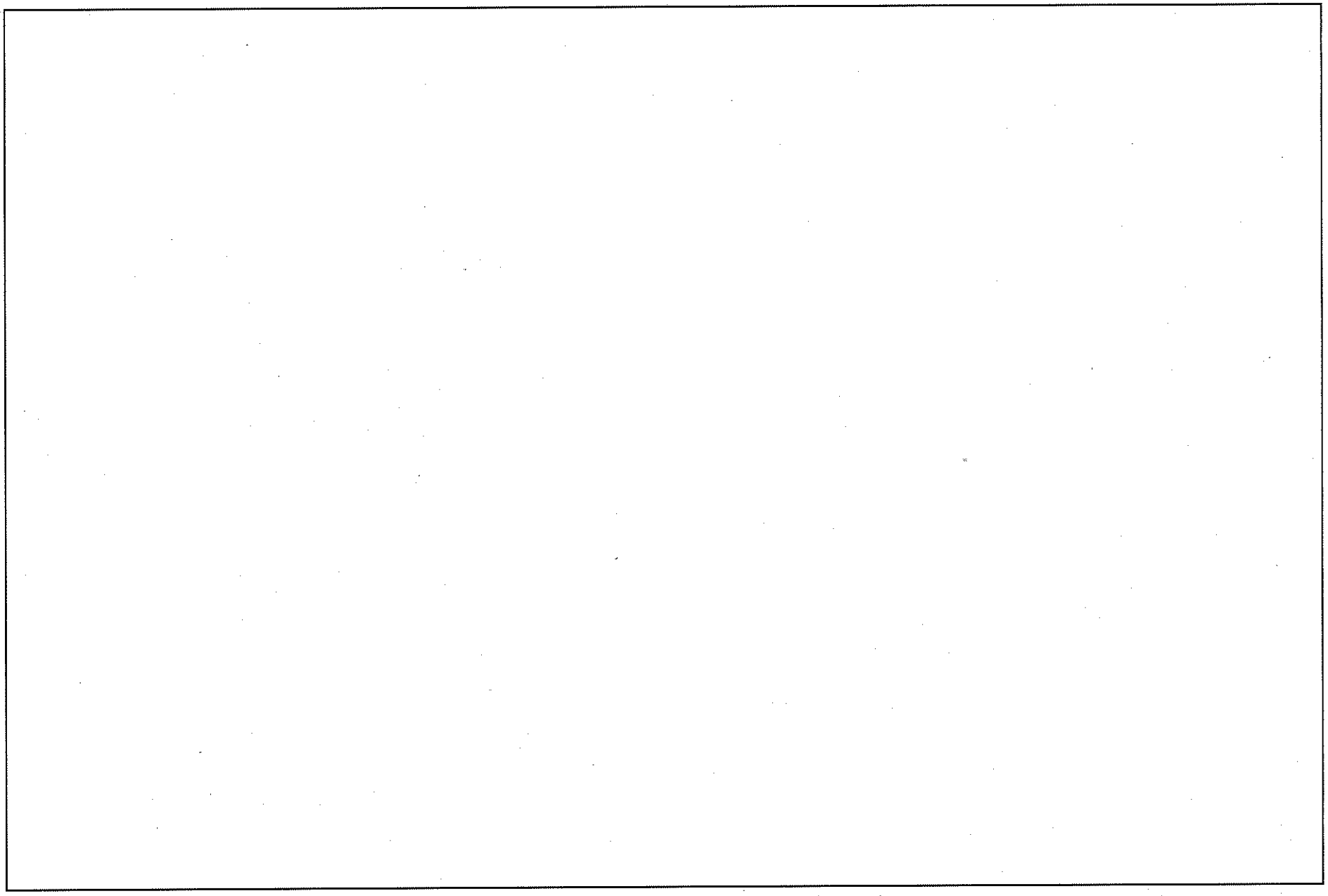


（イ）－第D.9図　　JMTRC標準燃料要素（ピン固定タイプ）（B型、C型）

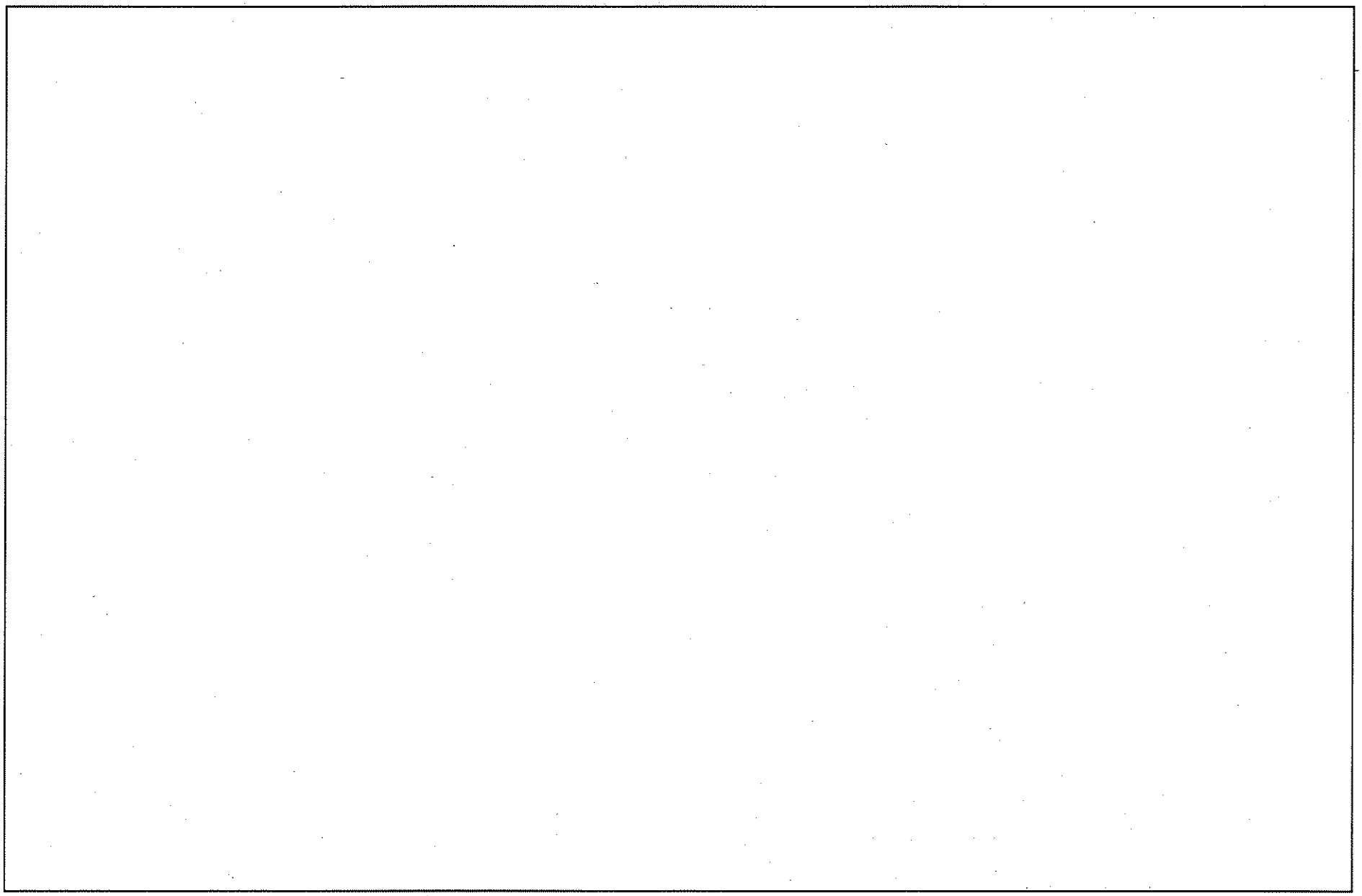


（イ）－第D.10図　　JMTRC特殊燃料要素（特A型）

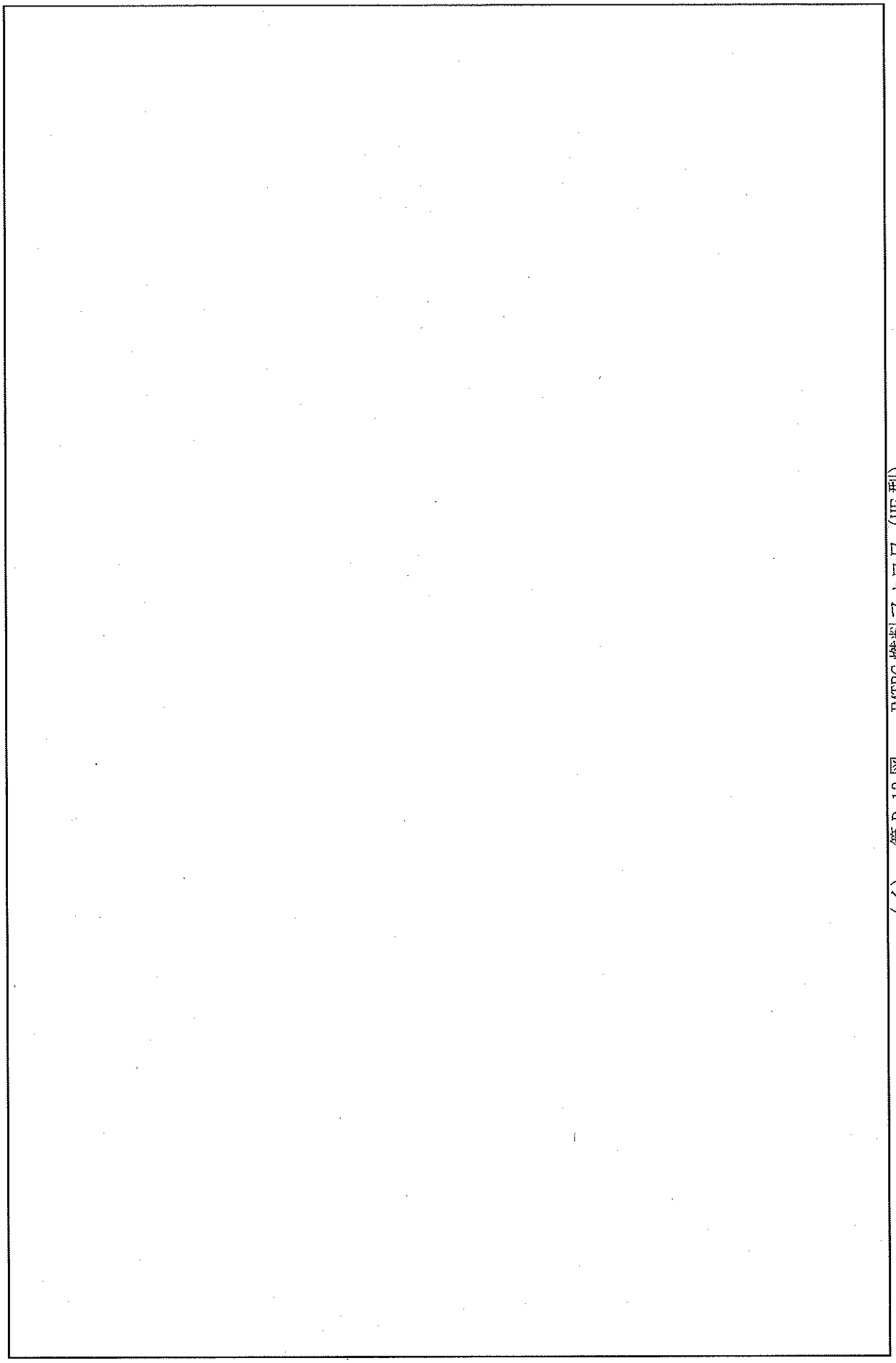
（単位：mm）



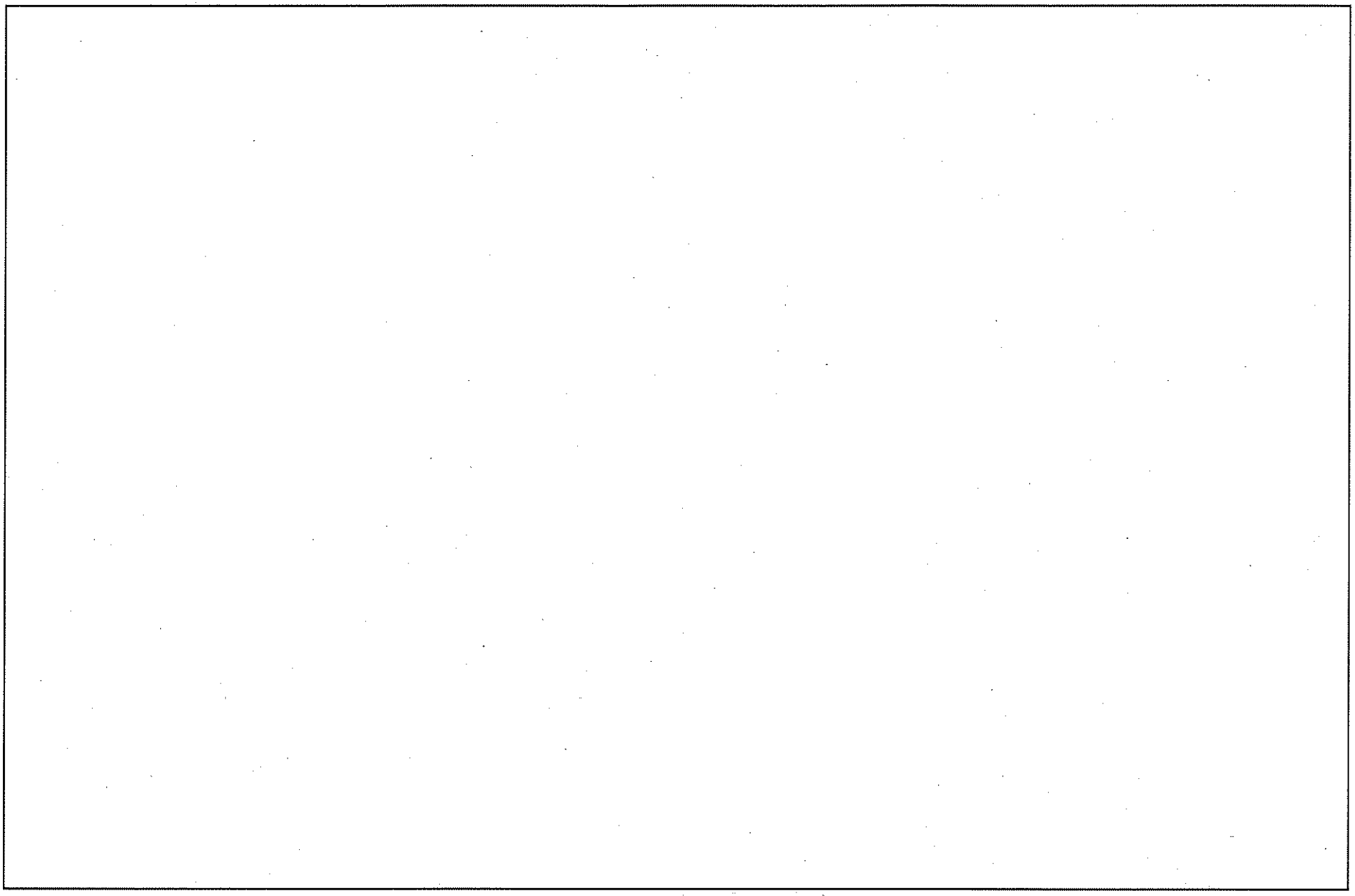
（イ）－第D.11図　　JMTRC特殊燃料要素（特B型）



（イ）－第D.12図　　JMTRC特殊燃料要素（特C型、特D型）

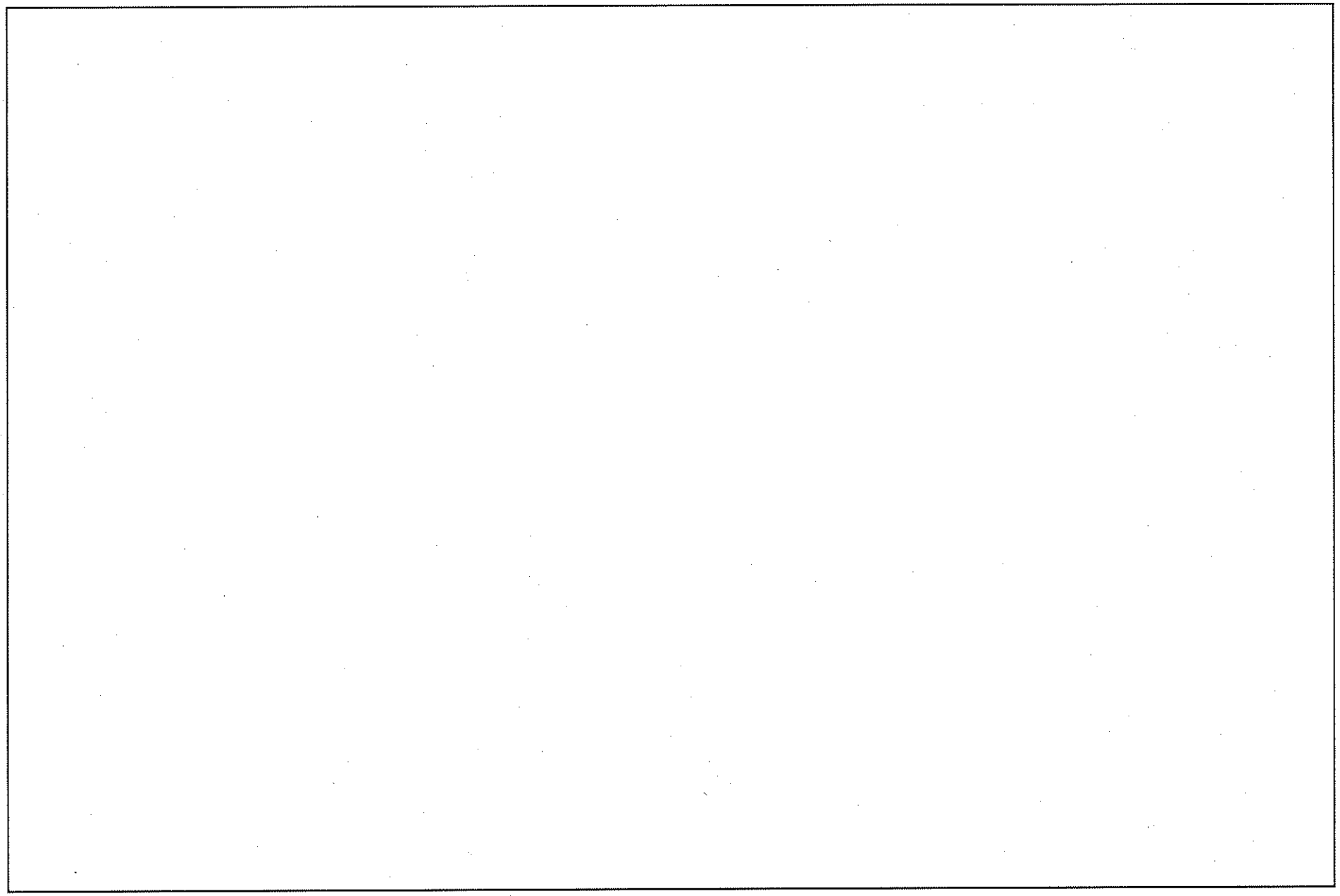


（イ）－第D.13図　JMTRC燃料フォロワ（HF型）

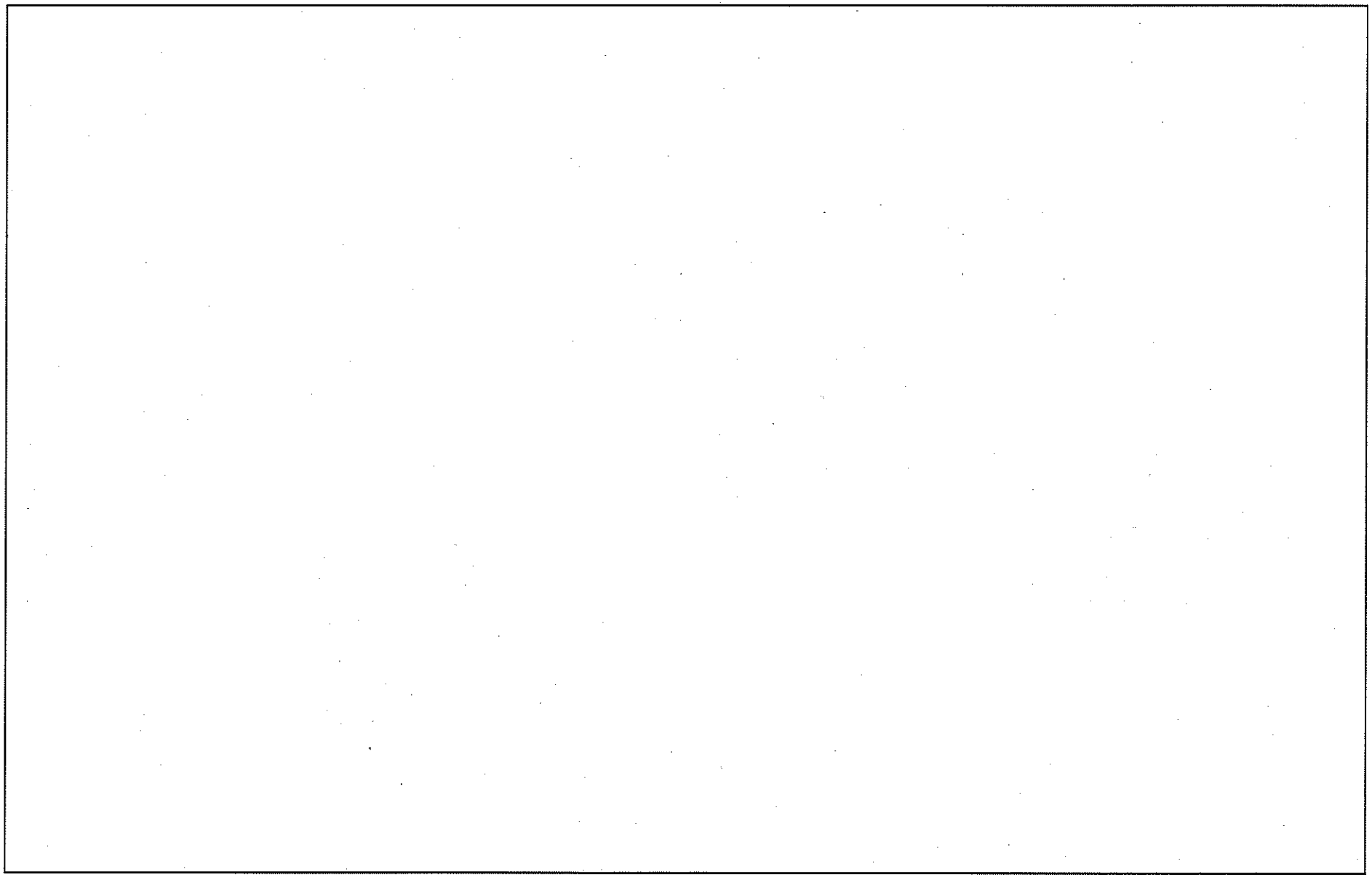


（単位：mm）

（イ）－第 D.14 図　　JMTRC 標準燃料要素（MA、MB、MC 型）



（イ）－第D.15図　　JMTRC特殊燃料要素（特MB、特MC型）



（イ）－第D.16図　　JMTRC燃料フォロワ（MF型）

（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ＢＵ型核分裂性輸送物としての技術上の基準に適合することを示すために行う。

本解析の概要は以下のとおりである。

1.　構造解析

構造解析では、通常の輸送時において輸送物の亀裂、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。

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

2.　熱解析

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

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

3.　密封解析

密封解析では、1.構造解析、2.熱解析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、1.構造解析、2.熱解析の条件を考慮して、通常の輸送、一般及び特別の試験条件における輸送物表面あるいは表面から 1m離れた位置の線量当量率を評価し、基準値を満足することを示している。

5.　臨界解析

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

6.　核燃料輸送物の経年変化の考慮

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

7.　規則及び告示に対する適合性の評価

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

以下、（ロ）章A～Gに各解析、評価の詳細を示す。

A　構造解析

（ロ）－A．構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概　　要

本輸送容器は、（イ）－第C.1図に示すように内容器、外容器及び燃料バスケットに大別される。

内容器は、燃料バスケットを収納する内容器本体と内容器蓋により、構成されている。

燃料バスケットは、収納する燃料要素の形状により、（イ）－第C.8図に示すように角型であり、燃料要素を10体収納可能である。

燃料要素は、燃料バスケット内に収納した後、[redacted]のスペーサにて固定される。

内容器本体は、内容器蓋と組合って、（イ）－第C.4図に示すように、密封境界を形成し、かつ、内圧力に耐えられる耐圧容器となっている。

内容器蓋は、（イ）－第C.7図に示すように[redacted]のOリングで内容器本体との接合部を密封し、内容器蓋締付ボルトにより内容器本体へ締付けられる。

外容器は、外容器本体及び外容器蓋からなり、（イ）－第C.5図に示すように、水密構造となっている。また、外容器と内容器との間には、断熱材及び緩衝材を充填している。

外容器蓋は、（イ）－第C.9図に示す。外容器蓋は、ガスケットで外容器本体との接合部を密封し、外容器蓋締付ボルトにより外容器本体へ締付けられる。

したがって、内容器蓋は、輸送中に外容器蓋で覆われているため、不用意に開封されることはない。[redacted]

輸送容器の吊り上げ及び固縛は、（イ）－第C.6図に示すように、外容器本体の側胴部に取り付けられた[redacted]のアイプレートを用いて行う。

輸送物は輸送中の加速度に耐えられるように、（イ）－第C.2図に示す固縛装置に前述のアイプレートを介して固縛される。

A.1.2 設計基準

輸送容器の設計基準は、告示に従うと同時に、ASME Sec. Ⅲ Subsec. NB[1]の技術基準に準拠し、各試験条件ごとに設計基準値を設ける。

(1) 設計基準値

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

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

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

以下、本項で用いる設計基準値の記号の内容は次のとおりである。

Sm ； 設計応力強さ

Sy ； 設計降伏点

Su ； 設計引張強さ

Sa ； 繰返しピーク応力強さ

N ； 使用回数

Ｎａ ； 許容繰返し回数

ＤＦ ； 疲れ累積係数（＝Ｎ／Ｎａ）

(2) 負荷の組合せ条件

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

(3) 余 裕 率

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

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

余裕率を用いられないものは、該当箇所にその基準値等を記述する。

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

（ロ）－第A.1表　構造解析に用いる応力評価基準

Pm ； 一次一般膜応力　　Q ； 二次応力
PL ； 一次局部膜応力　　F ； ピーク応力
Pb ； 一次曲げ応力　　DF ； 疲れ累積係数

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

注．応力評価基準は、ＢＵ型輸送物及び核分裂性輸送物共同一とする。

（ロ）－第A.2表　設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分（1／2）

要件	条件	解析項目	応力分類／評価位置	負荷条件				
				重量*	内圧	外圧	熱膨張	その他
BU型輸送物の要件	通常の輸送条件	吊上装置	アイプレート	△	—	—	—	—
		固縛装置	アイプレート	△	—	—	—	—
		圧力	輸送物	—	○	○	—	○
		振動	輸送物	—	—	—	—	△
	一般の試験条件	熱的試験	内容器本体	—	△	—	—	—
			内容器蓋	—	△	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	—	○	—	○	○
		水噴霧	輸送物	—	—	—	—	△
		自由落下（1.2m落下）	内容器本体	○	○	—	—	—
			燃料バスケット	△	—	—	—	—
			内容器蓋	○	○	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	○	○	—	○	○
			燃料要素	△	—	—	—	—
		積み重ね試験	内容器	○	○	—	—	—
		貫通	外容器	—	—	—	—	△
	特別の試験条件	落下試験Ⅰ（9m落下）	内容器本体	○	○	—	—	—
			燃料バスケット	△	—	—	—	—
			内容器蓋	○	○	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	○	○	—	—	○
			燃料要素	△	—	—	—	—
		落下試験Ⅱ（1m落下貫通）	外容器	△	—	—	—	—
			内容器本体	○	○	—	—	—
			内容器蓋	○	○	—	—	—
		熱的試験	内容器本体	—	△	—	—	—
			内容器蓋	—	△	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	—	○	—	—	○
		浸漬（15m）	内容器本体	—	—	△	—	—
			内容器蓋	—	—	△	—	—

○：負荷の組合わせによる評価　△：単一負荷による評価

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

（ロ）－第A.2表　設計負荷、負荷の組合せ及び解析区分（2／2）

要件	条件	解析項目	応力分類／評価位置	負荷条件				
				重　量*	内　圧	外　圧	熱膨張	その他
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	水　噴　霧	輸　送　物	—	—	—	—	△
		自由落下（1.2m落下）	内容器本体	○	○	—	—	—
			燃料バスケット	△	—	—	—	—
			内　容　器　蓋	○	○	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	○	○	—	○	○
			燃　料　要　素	△	—	—	—	—
		積み重ね試験	内　容　器	○	○	—	—	—
		貫　通	外　容　器	—	—	—	—	△
	特別の試験条件	落下試験Ⅰ（9m落下）	内容器本体	○	○	—	—	—
			燃料バスケット	△	—	—	—	—
			内　容　器　蓋	○	○	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	○	○	—	—	○
			燃　料　要　素	△	—	—	—	—
		落下試験Ⅱ（1m落下貫通）	外　容　器	△	—	—	—	—
			内容器本体	○	○	—	—	—
			内　容　器　蓋	○	○	—	—	—
		熱的試験	内容器本体	—	△	—	—	—
			内　容　器　蓋	—	△	—	—	—
			内容器蓋締付ボルト	—	○	—	—	○
		浸　漬（0.9m）	内容器本体	—	—	△	—	—
			内　容　器　蓋	—	—	△	—	—

○：負荷の組合わせによる評価　△：単一負荷による評価

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

（ロ）－第A.3表　負　荷　条　件（1／2）

要件	条件	解析項目	応力分類／評価位置	負荷条件 重量*	内圧	外圧	熱膨張	その他
BU型輸送物の要件	通常輸送の条件	吊上装置	アイプレート	×3倍 [　]	——	—	——	——
		固縛装置	アイプレート	×2[g]（前後上下） ×1[g]（左右）	——	—	——	——
		圧力	輸送物	——	[　]MPa	[　]MPa	——	初期締付力 [　]N
		振動	輸送物	——	——	—	——	輸送時振動
	一般の試験条件	熱的試験	内容器本体	——	[　]MPa	—	——	——
			内容器蓋	——	[　]MPa	—	——	——
			内容器蓋締付ボルト	——	[　]MPa	—	[　]〔℃〕	初期締付力 [　]N
		水噴霧	輸送物	——	——	—	——	水噴霧
		自由落下（1.2m落下）	内容器本体	×加速度＝[　][g]（水平落下） ＝[　][g]（垂直落下） ＝[　][g]（コーナー落下）	[　]MPa	—	——	——
			燃料バスケット		——	—	——	——
			内容器蓋		[　]MPa	—	——	——
			内容器蓋締付ボルト		[　]MPa	—	[　]〔℃〕	初期締付力 [　]N
			燃料要素		——	—	——	——
		積み重ね試験	内容器	×5倍＋自重	[　]MPa	—	——	——
		貫通	外容器	—	——	—	——	6kg 軟鋼棒の落下
	特別の試験条件	落下試験Ⅰ（9m落下）	内容器本体	×加速度＝[　][g]（水平落下） ＝[　][g]（垂直落下） ＝[　][g]（コーナー落下）	[　]MPa	—	——	——
			燃料バスケット		——	—	——	——
			内容器蓋		[　]MPa	—	——	——
			内容器蓋締付ボルト		[　]MPa	—	——	初期締付力 [　]N
			燃料要素		——	—	——	——
		落下試験Ⅱ（1m落下貫通）	外容器	自重×1m高さ軟鋼棒への落下	——	—	——	——
			内容器本体	×加速度＝[　](水平) ＝[　][g]（垂直）	[　]MPa	—	——	——
			内容器蓋		[　]MPa	—	——	——
		熱的試験	内容器本体	——	[　]MPa	—	——	——
			内容器蓋	——	[　]MPa	—	——	——
			内容器蓋締付ボルト	——	[　]MPa	—	——	初期締付力 [　]N
		浸漬（15m）	内容器本体	——	——	[　]MPa	——	——
			内容器蓋	——	——	[　]MPa	——	——

＊：（ロ）－第A.2表の脚注に同じ

（ロ）－第A.3表　負　荷　条　件（2／2）

要件	条件	解析項目	応力分類／評価位置	負荷条件 重量*	内圧	外圧	熱膨張	その他
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	水噴霧	輸送物	——	——	——	——	水噴霧
		自由落下（1.2m落下）	内容器本体	×加速度＝□[g]（水平落下）	□MPa	——	——	——
			燃料バスケット		——	——	——	——
			内容器蓋	＝□[g]（垂直落下）	□MPa	——	——	——
			内容器蓋締付ボルト	＝□[g]（コーナー落下）	□MPa	——	□[℃]	初期締付力□N
			燃料要素		——	——	——	——
		積み重ね試験	内容器	×5倍＋自重	□MPa	——	——	——
		貫通	外容器	——	——	——	——	6kg軟鋼棒の落下
	特別の試験条件	落下試験Ⅰ（9m落下）	内容器本体	×加速度＝□[g]（水平落下）	□MPa	——	——	——
			燃料バスケット		——	——	——	——
			内容器蓋	＝□[g]（垂直落下）	□MPa	——	——	——
			内容器蓋締付ボルト	＝□[g]（コーナー落下）	□MPa	——	——	初期締付力□N
			燃料要素		——	——	——	——
		落下試験Ⅱ（1m落下貫通）	外容器	自重×1m高さ軟鋼棒への落下	——	——	——	——
			内容器本体	×加速度＝□(水平)＝□[g](垂直)	□MPa	——	——	——
			内容器蓋		□MPa	——	——	——
		熱的試験	内容器本体	——	□MPa	——	——	——
			内容器蓋	——	□MPa	——	——	——
			内容器蓋締付ボルト	——	□MPa	——	——	初期締付力□N
		浸漬（0.9m）	内容器本体	——	——	□MPa	——	——
			内容器蓋	——	——	□MPa	——	——

＊：（ロ）－第A.2表の脚注に同じ

記号の説明
σ ：合成応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_b ：曲げ応力　　F ：荷　重
σ_t ：引張応力　　P ：圧　力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断 面 積
τ ：せん断応力

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（1／24）

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	設計負荷 要素	適用数式又は要素	設計基準	
B U型輸送物	通常の輸送条件	1. 化学的及び電気的反応									
		(1) 化学的反応	—	—	—	腐食	—	活性	活性の有無	無	
		(2) 電気的反応	—	—	—	腐食	—	電位差	水分の有無	無	
		2. 低温強度								脆性破壊がないこと。	
		(1) 容器本体	—	SUS□	□℃	材質	1	材料劣化	最低使用温度		
		(2) ボルト	—	SUS□	□℃	材質	1	材料劣化	最低使用温度		
		(3) Oリング	—	□	□℃	材質	1	材料劣化	最低使用温度	-40℃	
		3. 密封装置									
		(1) 内容器蓋	(イ)-第C.7図	SUS□	□℃	誤操作による開放	—	誤操作の可否	誤操作の可否	否	
		4. 吊上装置									
		(1) アイプレート	(ロ)-第A.9図	SUS□	□℃	輸送物重量	3	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{6M}{tb^2}$ M:曲げモーメント t:板厚	Sy	
							3	せん断応力	$\tau=\frac{F}{A}$ b:アイプレートの幅	0.6 Sy	
								合成応力	$\sigma=\sqrt{\sigma_b^2+4\tau^2}$	Sy	
		5. 固縛装置									
		(1) アイプレート	(ロ)-第A.11図 (ロ)-第A.12図	SUS□	□℃	組合せ加速度	2	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{6M}{tb^2}$	Sy	
							2	せん断応力	$\tau=\frac{F}{A}$	0.6 Sy	
								合成応力	$\sigma=\sqrt{\sigma_b^2+4\tau^2}$	Sy	

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（2／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t　：ねじり応力
σ_b　：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t　：引張応力　　P　：圧力
σ_c　：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	要素	適用数式又は要素	設計基準	
B U 型輸送物	通常の輸送条件	6. 圧力									[注1] Smを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 内容器胴部	—	SUS□	□℃	外気圧降下 0.06MPa	1	組合せ応力	$\sigma_\theta=\frac{P\cdot Dm}{2t}$, $\sigma_z=\frac{P\cdot Dm}{4t}$, $\sigma_r=-\frac{P}{2}$ 薄肉円筒の式	[注1]	
		(2) 内容器底板	—	SUS□	□℃	外気圧降下 0.06MPa	1	組合せ応力	$\sigma_\theta=\pm0.225\frac{P\cdot a^2}{h^2}$, $\sigma_r=\pm0.75\frac{P\cdot a^2}{h^2}$, $\sigma_z=-P$ 固定円板の式	[注1]	
		(3) 内容器蓋	—	SUS□	□℃	外気圧降下 0.06MPa	1	組合せ応力	$\sigma_\theta=\sigma_r=\mp1.24\frac{P\cdot a^2}{h^2}$, $\sigma_z=-P$ 単純支持円板の式	[注1] [注2]	[注2] Syを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(4) 内容器蓋締付ボルト	—	SUS□	□℃	初期締付力	1	引張応力	$\sigma_t=\frac{F}{Ar}$	[注2]	
						内圧	1	引張応力	$\sigma_t=\frac{F}{n\cdot Ar}$	[注2]	
		(5) 内容器蓋Oリング部の変位	—	SUS□	□℃	内圧	1	変位	$\omega=\frac{P\cdot a^4}{64}\times\left(1-\frac{r^2}{a^2}\right)\times\left(\frac{5+\nu}{1+\nu}-\frac{r^2}{a^2}\right)$ Oリング部変位の式	[注3]	[注3] 初期締め代約□mm
		7. 振動									
		(1) 輸送容器	(ロ)-第A.14図	SUS□	□℃	振動	1	共振	$f_0=\frac{1}{2\pi}\cdot\sqrt{\frac{k}{m}}$ f_0；固有振動数	共振しないこと。	
		(2) 燃料バスケット	—								

記号の説明
σ ：主 応 力　　τ_t ：ねじり応力
σ_b ：曲げ応力　　F ：荷　　重
σ_t ：引張応力　　P ：圧　　力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断 面 積
τ ：せん断応力

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（3／24）

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	要素	適用数式又は要素	設計基準	
B U 型輸送物	通常の輸送条件	1. 熱的試験 1.1 熱膨張 (1) 容器内面と燃料バスケット外面	(ロ)-第A.15図	SUS□	約□℃	熱膨張	1	圧縮	熱応力による拘束の有無	無	
		1.2 応力計算	(ロ)-第A.16図								[注1] Smを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注2] Syを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 ＊：熱膨張による応力は無視できる値である。 [注3] 初期締め代 約□mm
		(1) 内容器胴部	(ロ)-第A.17図	SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	[注1]	
		(2) 内容器底板	(ロ)-第A.18図	SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(3) 内容器蓋	(ロ)-第A.19図	SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式	[注2]	
		(4) 内容器蓋締付ボルト	(ロ)-第A.21図	SUS□	□℃	初期締付力	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{Ai}$		
						内圧	—	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot Ai}$		
						熱膨張	—	引張応力	＊		
		(5) 内容器蓋Oリング部の変位	(ロ)-第A.20図	SUS□	□℃	内圧	1	変位	Oリング部変位の式	[注3]	
		2. 水噴霧	—	—	—	水噴霧	1	吸水	吸水性	無	
								水切り	水切り性	良	

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（4／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t　：ねじり応力
σ_b　：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t　：引張応力　　P　：圧力
σ_c　：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	要素	適用数式又は要素	設計基準	
B U 型輸送物	通常の輸送条件	3. 自由落下									
		3.1 水平落下	(ロ)-第A.35図								
		(1) 緩衝材の変形量	(ロ)-第A.36図	－	－	1.2m水平落下	1	変形量	$\delta = \delta_0 - \delta_v$ δ_0：変形前の最小厚さ δ_v：変形量 δ：残量	[注1]	[注1] 設計基準は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。
		(2) 内容器胴部	(ロ)-第A.37図	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	[注2]	[注2] Smを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	(ロ)-第A.38図	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$		
		(4) 内容器上端部（内容器蓋）	(ロ)-第A.39図	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$		[注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	(ロ)-第A.40図	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M \cdot L_{max}}{l}$	[注3]	
		(6) 燃料バスケット	(ロ)-第A.41図	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$		
		(7) 燃料要素	(ロ)-第A.42図～44図	A□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$		
							1	圧縮応力	$\sigma_c = \frac{W}{a(h_2 - h_1)}$		
		(8) 燃料要素押え具	(ロ)-第A.45図	A□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b = \frac{M}{Z}$		

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

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（5／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t：ねじり応力
σ_b：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t：引張応力　　P　：圧力
σ_c：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	要素	適用数式又は要素	設計基準	
B U型輸送物	通常の輸送条件	3.2 下部垂直落下	(ロ)-第A.46図								[注1] 設計基準は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。 [注2] Smを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 緩衝材の変形量	(ロ)-第A.47図	－	－	1.2m下部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_0-\delta_v$ δ_0：変形前の最小厚さ δ_v：変形量 δ：残量	[注1]	
		(2) 内容器胴部	(ロ)-第A.48図	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{F}{A}$	[注2]	
		(3) 内容器底板	(ロ)-第A.49図	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器蓋	(ロ)-第A.50図	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式	[注3]	
		(5) 内容器蓋締付ボルト	――	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	－	－		
		(6) 燃料要素	(ロ)-第A.51図～53図	A□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$		
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$	[注3]	
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	(ロ)-第A.54図	A□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（6／24）

記号の説明
σ ：主応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_{max} ：曲げ応力　　F ：荷重
σ_t ：引張応力　　P ：圧力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断面積
τ ：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	設計負荷 要素	適用数式又は要素	設計基準	
B U型輸送物	通常の輸送条件	3.3 上部垂直落下	(ロ)-第A.55図								[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。 [注2] Smを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 緩衝材の変形量	(ロ)-第A.56図	－	－	1.2m上部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_o-\delta_v$ δ_o：変形前の最小厚さ δ_v：変形量 δ ：残量	[注1]	
		(2) 内容器胴部	(ロ)-第A.57図	SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{F}{A}$	[注2]	
		(3) 内容器底板	(ロ)-第A.58図	SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器蓋	(ロ)-第A.59図	SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
		(5) 内容器蓋締付ボルト		SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t=\frac{R}{n\cdot Ai}$	[注3]	
		(6) 燃料要素	(ロ)-第A.60図～62図	A□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$		
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$	[注3]	
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	(ロ)-第A.63図	A□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	[注3]	
		3.4 コーナー落下	(ロ)-第A.64図	－	－	1.2mコーナー落下					
		(1) 内容器蓋締付ボルト	(ロ)-第A.65図	SUS□	□℃	1.2m上部コーナー落下	1	曲げ応力	$\sigma_{max}=\sigma_V+\sigma_H$ $\sigma_V=\frac{N_V\cdot W\cdot L_V\cdot \ell_{VMAX}}{2\sum \ell^2\cdot A_r}$ $\sigma_H=\frac{N_H\cdot W\cdot L_H\cdot \ell_{HMAX}}{2\sum \ell^2\cdot A_r}$	[注3]	
		3.5 傾斜落下	(ロ)-第A.66図～69図	－	－	1.2m傾斜落下					

記号の説明
σ ：主応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_z ：曲げ応力　　F ：荷重
σ_t ：引張応力　　P ：圧力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断面積
τ ：せん断応力

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（7／24）

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
B U 型輸送物	通常の輸送条件	4. 積み重ね試験	(ロ)-第A.70図								[注1] Suを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 内容器胴部	(ロ)-第A.72図	SUS□	□℃	輸送物重量	5＋自重	曲げ応力	$\sigma_Z = \frac{F+m\cdot g}{A}$	［注1］	
		(2) 内容器蓋	(ロ)-第A.71図	SUS□	□℃	輸送物重量	5＋自重	組合せ応力	単純支持円板の式	［注2］	
		5. 貫通 (1) 外容器	(ロ)-第A.73図～74図	SUS□	□℃	軟鋼棒の落下衝撃	1	吸収エネルギー	$E_2 = \frac{1}{2}\tau_{Cr}\cdot\pi\cdot d\cdot t^2$ （τ_{Cr}：せん断強さ）＝0.6Su	貫通しないこと。	
		6. 角又は縁落下									本項は該当しない。

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（8／24）

記号の説明

σ	：主 応 力	τ_t	：ねじり応力
σ_b	：曲げ応力	F	：荷　　重
σ_t	：引張応力	P	：圧　　力
σ_c	：圧縮応力	A	：断 面 積
τ	：せん断応力		

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
B U 型輸送物	特別の試験条件	1. 落下試験Ⅰ 1.1 下部垂直落下 (1) 緩衝材の変形量	(ロ)-第A.75図	－	－	9m下部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ：残　量	［注1］	［注1］ 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が基準値内であること。
		(2) 内容器胴部	—	SUS□	□℃	9m下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	［注3］	［注3］ Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	—	SUS□	□℃	9m下部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器蓋	—	SUS□	□℃	9m下部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式	［注2］	［注2］ Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	—	SUS□	□℃	9m下部垂直落下	1	－	－		
		(6) 燃料要素	—	A□	□℃	9m下部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$		
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$	［注2］	
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	—	A□	□℃	9m下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	［注2］	

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

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（9／24）

記号の説明
σ ：主応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_b ：曲げ応力　　F ：荷重
σ_t ：引張応力　　P ：圧力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断面積
τ ：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	要素	適用数式又は要素	設計基準	
B U 型輸送物	特別の試験条件	1.2 上部垂直落下									
		(1) 緩衝材の変形量	(ロ)-第A.76図	—	—	9m 上部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_o-\delta_v$ δ_o：変形前の最小厚さ δ_v：変形量 δ ：残量	［注1］	［注1］ 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が、許容値内であること。
		(2) 内容器胴部	—	SUS□	□℃	9m 上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{F}{A}$	［注2］	［注2］ Su を基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	—	SUS□	□℃	9m 上部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器蓋	—	SUS□	□℃	9m 上部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式	［注3］	［注3］ Sy を基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	—	SUS□	□℃	9m 上部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t=\frac{F}{n\cdot Ai}$		
		(6) 燃料要素	—	A□	□℃	9m 上部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$		
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$	［注3］	
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	—	A□	□℃	9m 上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	［注3］	

記号の説明

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

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
B U 型輸送物	特別の試験条件	1.3 水平落下									[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が基準値内であること。
		(1) 緩衝材の変形量	(ロ)-第A.77図	—	—	9m水平落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ：残量	[注1]	
		(2) 内容器胴部	—	SUS□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	[注3]	[注3] Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	—	SUS□	□℃	9m水平落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器上端部（内容器蓋）	—	SUS□	□℃	9m水平落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{A}$		[注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	—	SUS□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M\cdot\ell_{max}}{I}$	[注2]	
		(6) 燃料バスケット	—	SUS□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	[注2]	
		(7) 燃料要素	—	A□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	[注2]	
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{a(h_2-h_1)}$	[注2]	
		(8) 燃料要素押え具	—	A□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	[注2]	

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（11／24）

記号の説明

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

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
B	特	1.4 コーナー落下	(ロ)-第A.78図			9m コーナー落下	1	水平成分及び垂直成分に分解して8.1～8.3項の結果より評価			
U	別	(1) 内容器蓋締付ボルト	—	SUS□	□℃	9m 上部コーナー落下	1	曲げ応力	$\sigma_{max}=\sigma_V+\sigma_H$ $\sigma_V=\frac{N_V\cdot W\cdot L_V\cdot \ell_{VMAX}}{2\sum \ell^2\cdot Ai}$ $\sigma_H=\frac{N_H\cdot W\cdot L_H\cdot \ell_{HMAX}}{2\sum \ell^2\cdot Ai}$	[注1]	[注1] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
型	の	1.5 傾斜落下	(ロ)-第A.79図～82図			9m 傾斜落下	1	水平成分及び垂直成分に分解して8.1～8.3項の結果より評価			
輸	試										
送	験										
物	条										
	件										

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（12／24）

記号の説明

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

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
B U型輸送物	特別の試験条件	2. 落下試験Ⅱ									
		2.1 貫通	(ロ)-第A.83図								
		(1) 外容器蓋部	(ロ)-第A.84図	SUS□	□℃	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー		貫通しないこと。	
		(2) 外容器底部		SUS□	□℃	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー			
		(3) 外容器胴部		SUS□	□℃	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー			
		3. 熱的試験	—								
		3.1 熱膨張									
		(1) 内容器内面と燃料バスケット外面		SUS□	□／□℃	熱膨張	1	圧縮	熱応力による拘束の有無	無	
		3.2 圧力による応力									
		(1) 内容器胴部		SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	[注1]	[注1] Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(2) 内容器底板		SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(3) 内容器蓋		SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
		(4) 内容器蓋締付ボルト		SUS□	□℃	初期締付力	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{Ai}$	[注2]	[注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
					□℃	内圧	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot Ai}$		
		(5) 内容器蓋Oリング部の変位		SUS□	□℃	内圧	1	変位	Oリング部変位の式	[注3]	[注3] 初期締め代約□mm

記号の説明

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

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（13／24）

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
B U 型輸送物	特別の試験条件	4. 浸漬	(ロ)-第A.85図								[注1] Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		4.1 15m浸漬									
		(1) 内容器胴部	(ロ)-第A.88図	SUS□	—	外圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	[注1]	
		(2) 内容器底板	(ロ)-第A.89図	SUS□	—	外圧	1	組合せ応力	固定円板の式	[注1]	
		(3) 内容器蓋	(ロ)-第A.90図	SUS□	—	外圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式	[注2]	[注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(4) 内容器胴部の座屈	(ロ)-第A.86図	SUS□	—	外圧	1	座屈圧力	$P_e=\frac{4B\cdot t}{2D_o}$ B ；形状係数 D_o；内容器胴部外径	[注1]	
		(5) 内容器蓋Oリング部の変位	(ロ)-第A.91図	SUS□	—	外圧	1	変位	Oリング部変位の式	[注3]	[注3] 初期締め代約□mm

記号の説明

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

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（14／24）

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
核分裂性輸送物の要件	一般の輸送条件	1. 水噴霧	—			水噴霧	1	吸水	吸水性	無	
								水切り	水切り性	良	

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（15／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t　：ねじり応力
σ_b　：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t　：引張応力　　P　：圧力
σ_c　：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	設計負荷 要素	適用数式又は要素	設計基準	
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	2. 自由落下 (a) 水平落下 (1) 緩衝材の変形量	——	—	—	1.2m水平落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ：残量	[注1]	[注1] 設計基準は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。 [注2] Smを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(2) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	[注2]	
		(3) 内容器底板	——	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{A}$		
		(4) 内容器上端部（内容器蓋）	——	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{A}$	[注3]	
		(5) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M\cdot L_{max}}{I}$		
		(6) 燃料バスケット	——	SUS□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$		
		(7) 燃料要素	——	A□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$		
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{a(h_2-h_1)}$		
		(8) 燃料要素押え具	——	A□	□℃	1.2m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	[注3]	

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

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（16／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t：ねじり応力
σ_b：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t：引張応力　　P　：圧力
σ_c：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	(b) 垂直落下 (イ) 下部垂直落下 (1) 緩衝材の変形量	——	—	—	1.2m下部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ：残量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。
		(2) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{F}{A}$	[注2]	[注2] Smを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	——	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器蓋	——	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式	[注3]	[注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	—	—		
		(6) 燃料要素	——	A□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$	[注3]	
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$		
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	——	A□	□℃	1.2m下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{P}{A}$	[注3]	

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（17／24）

記号の説明
σ ：主応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_{max} ：曲げ応力　　F ：荷重
σ_t ：引張応力　　P ：圧力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断面積
τ ：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	要素	適用数式又は要素	設計基準	
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	（ロ）上部垂直落下									[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が許容値内であること。 [注2] Smを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 緩衝体の変形量	——	—	—	1.2m上部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ ：残量	[注1]	
		(2) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{F}{A}$	[注2]	
		(3) 内容器底板	——	SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式	[注3]	
		(4) 内容器蓋	——	SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
		(5) 内容器蓋締付ボルト		SUS□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t=\frac{R}{n\cdot Ar}$		
		(6) 燃料要素	——	A□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$	[注3]	
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$		
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	——	A□	□℃	1.2m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	[注3]	
		(c) コーナー落下	——	—	—	1.2mコーナー落下			水平成分及び垂直成分に分解して 3.(a)及び 3.(b)項の結果より評価	[注3]	
		(1) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	1.2m上部コーナー落下	1	曲げ応力	$\sigma_{max}=\sigma_V+\sigma_H$ $\sigma_V=\frac{N_V\cdot W\cdot L_V\cdot \ell_{VMAX}}{2\sum \ell^2\cdot A_r}$ $\sigma_H=\frac{N_H\cdot W\cdot L_H\cdot \ell_{HMAX}}{2\sum \ell^2\cdot A_r}$		

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（18／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t：ねじり応力
σ_z：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t：引張応力　　P　：圧力
σ_c：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
核分裂性輸送物の要件	一般の試験条件	3. 積み重ね試験									[注1] Suを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。 [注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	輸送物重量	5＋自重	曲げ応力	$\sigma_Z = \frac{F+m\cdot g}{A}$	[注1]	
		(2) 内容器蓋	——	SUS□	□℃	輸送物重量	5＋自重	組合せ応力	単純支持円板の式	[注2]	
		4. 貫通									
		(1) 外容器	——	SUS□	□℃	軟鋼棒の落下衝撃	1	吸収エネルギー	$E_2 = \frac{1}{2}\tau_{Cr}\cdot\pi\cdot d\cdot t^2$ （τ_{Cr}：せん断強さ）＝0.6Su	貫通しないこと。	

記号の説明
σ ：主応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_z ：曲げ応力　　F ：荷重
σ_t ：引張応力　　P ：圧力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断面積
τ ：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	要素	適用数式又は要素	設計基準	
核分裂性輸送物の要件	特別の試験条件	1. 落下試験Ⅰ (a) 垂直落下 (イ) 下部垂直落下 (1) 緩衝材の変形量	——	—	—	9m 下部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ ：残量	［注1］	［注1］ 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が基準値内であること。
		(2) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	9m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	［注3］	［注3］ Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	——	SUS□	□℃	9m 下部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式	［注3］	
		(4) 内容器蓋	——	SUS□	□℃	9m 下部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式	［注2］	［注2］ Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	9m 下部垂直落下	1	—	—	［注2］	
		(6) 燃料要素	——	A□	□℃	9m 下部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$	［注2］	
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$		
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	——	A□	□℃	9m 下部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	［注2］	

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

（ロ）一第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（20／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t：ねじり応力
σ_b：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t：引張応力　　P　：圧力
σ_c：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	設計負荷 要素	適用数式又は要素	設計基準	
核分裂性輸送物の要件	特別の試験条件	（ロ）上部垂直落下									
		(1) 緩衝材の変形量	——	—	—	9m上部垂直落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ：残量	[注1]	[注1] 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が、許容値内であること。
		(2) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	9m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{F}{A}$	[注2]	[注2] Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	——	SUS□	□℃	9m上部垂直落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器蓋	——	SUS□	□℃	9m上部垂直落下	1	組合せ応力	単純支持円板の式	[注3]	[注3] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	9m上部垂直落下	1	引張応力	$\sigma_t=\frac{F}{n\cdot Ai}$		
		(6) 燃料要素	——	A□	□℃	9m上部垂直落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{2(h_2-h_1)b}$	[注3]	
							1	引張応力	$\sigma_t=\frac{W_o}{A}$		
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$		
		(7) 燃料要素押え具	——	A□	□℃	9m上部垂直落下	1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{A}$	[注3]	

（ロ）一第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（21／24）

記号の説明
σ ：主応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_b ：曲げ応力　　F ：荷重
σ_t ：引張応力　　P ：圧力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断面積
τ ：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	設計負荷 要素	適用数式又は要素	設計基準	
核分裂性輸送物の要件	特別の試験条件	(b) 水平落下 (1) 緩衝材の変形量	——	—	—	9m水平落下	1	変形量	$\delta=\delta_O-\delta_V$ δ_O：変形前の最小厚さ δ_V：変形量 δ ：残量	［注1］	［注1］ 設計基準値は特に設けないが、熱解析の結果が基準値内であること。
		(2) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	［注3］	［注3］ Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(3) 内容器底板	——	SUS□	□℃	9m水平落下	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(4) 内容器上端部（内容器蓋）	——	SUS□	□℃	9m水平落下	1	せん断応力	$\tau=\frac{F}{A}$		［注2］ Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(5) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M\cdot\ell_{max}}{I}$	［注2］	
		(6) 燃料バスケット	——	SUS□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	［注2］	
		(7) 燃料要素	——	A□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	［注2］	
							1	圧縮応力	$\sigma_c=\frac{W}{a(h_2-h_1)}$	［注2］	
		(8) 燃料要素押え具	——	A□	□℃	9m水平落下	1	曲げ応力	$\sigma_b=\frac{M}{Z}$	［注2］	

（ロ）一第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（22／24）

記号の説明
σ　：主応力　　τ_t　：ねじり応力
σ_{max}：曲げ応力　　F　：荷重
σ_t　：引張応力　　P　：圧力
σ_c　：圧縮応力　　A　：断面積
τ　：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
核分裂性輸送物の要件	特別の試験条件	(c) コーナー落下				9m コーナー落下	1	水平成分及び垂直成分に分解して 1. (a)及び 1. (b)項の結果より評価			
		(1) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	9m 上部コーナー落下	1	曲げ応力	$\sigma_{max}=\sigma_V+\sigma_H$ $\sigma_V=\frac{N_V\cdot W\cdot L_V\cdot \ell_{VMAX}}{2\sum \ell^2\cdot Ai}$ $\sigma_H=\frac{N_H\cdot W\cdot L_H\cdot \ell_{HMAX}}{2\sum \ell^2\cdot Ai}$	[注1]	[注1] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（23／24）

記号の説明
σ ：主応力　　τ_t ：ねじり応力
σ_z ：曲げ応力　　F ：荷重
σ_t ：引張応力　　P ：圧力
σ_c ：圧縮応力　　A ：断面積
τ ：せん断応力

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷 種類	負荷係数	設計負荷 要素	適用数式又は要素	設計基準	
核分裂性輸送物の要件	特別の試験条件	2. 落下試験Ⅱ 貫通									
		(1) 外容器蓋部	——	SUS□	□℃	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー		貫通しないこと	
		(2) 外容器底部	——	SUS□	□℃	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー			
		(3) 外容器胴部	——	SUS□	□℃	1m落下衝突	1	貫通限界エネルギー			
		3. 熱的試験 熱膨張									
		(イ) 内容器内面と燃料バスケット外面	——	SUS□	□／□℃	熱膨張	1	圧縮	熱応力による拘束の有無	無	
		(ロ) 圧力による応力									
		(1) 内容器胴部	——	SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	［注1］	［注1］ Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(2) 内容器底板	——	SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	固定円板の式		
		(3) 内容器蓋	——	SUS□	□℃	内圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式		
		(4) 内容器蓋締付ボルト	——	SUS□	□℃	初期締付力	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{Ai}$	［注2］	［注2］ Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
					□℃	内圧	1	引張応力	$\sigma_t = \frac{F}{n \cdot Ai}$		
		(5) 内容器蓋Oリング部の変位	——	SUS□	□℃	内圧	1	変位	Oリング部変位の式	［注3］	［注3］ 初期締め代約□mm

（ロ）－第A.4表　輸送容器の構造設計の条件及び解析方法（24／24）

記号の説明

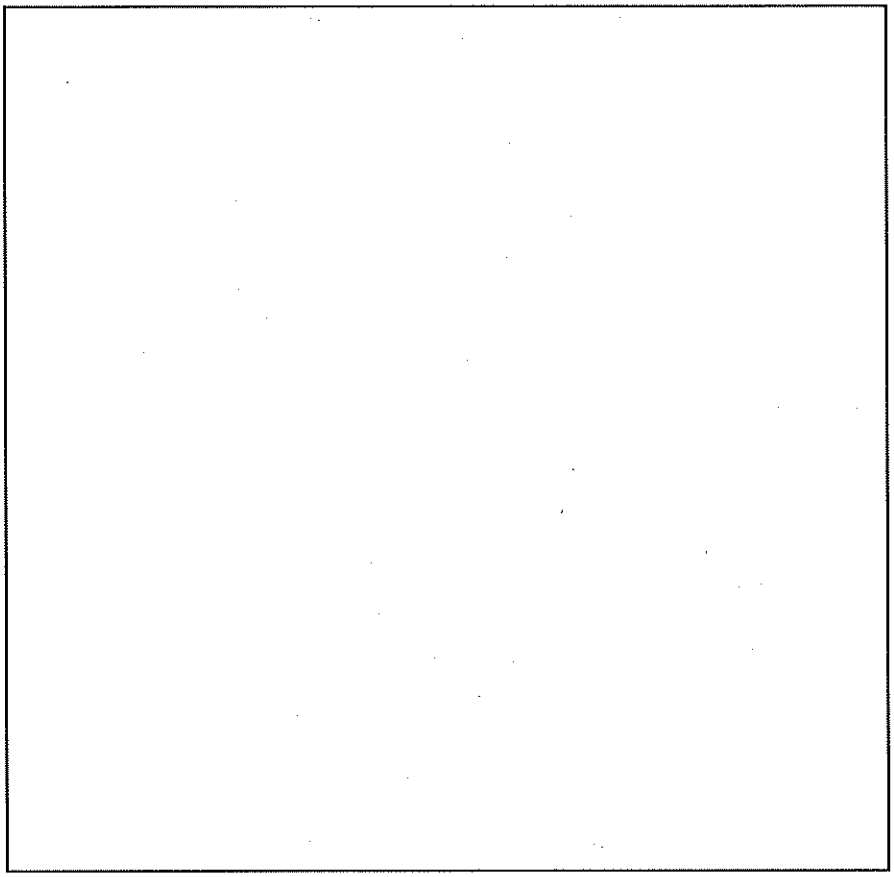
σ	：主応力	τ_t	：ねじり応力
σ_z	：曲げ応力	F	：荷重
σ_t	：引張応力	P	：圧力
σ_c	：圧縮応力	A	：断面積
τ	：せん断応力		

要件	条件	解析項目	設計条件						解析方法		備考
			参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	設計基準	
						種類	負荷係数	要素			
核分裂性輸送物の要件	特別の試験条件	4. 浸漬 0.9m浸漬									[注1] Suを基準とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(1) 内容器胴部	——	SUS□	—	外圧	1	組合せ応力	薄肉円筒の式	[注1]	
		(2) 内容器底板	——	SUS□	—	外圧	1	組合せ応力	固定円板の式	[注1]	
		(3) 内容器蓋	——	SUS□	—	外圧	1	組合せ応力	単純支持円板の式	[注2]	[注2] Syを基準値とし、各応力成分ごとに基準値を設ける。
		(4) 内容器胴部の座屈	——	SUS□	—	外圧	1	座屈圧力	$P_c=\frac{4B\cdot t}{2D_o}$ B ；形状係数 D_o；内容器胴部外径	[注1]	
		(5) 内容器蓋Oリング部の変位	——	SUS□	—	外圧	1	変位	Oリング部変位の式	[注3]	[注3] 初期締め代約□mm

A.2 重量及び重心

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

また、輸送物の重心位置は、（ロ）－第A.1図に示すとおりである。



（ロ）－第A.1図　重心の位置

A.3 材料の機械的性質

解析に用いる材料の機械的性質の一覧を（ロ）－第A.5表に示す。

設計基準値となる材料の機械的性質を（ロ）－第A.6表に示す。

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

ステンレス鋼、アルミニウム合金の温度に対する機械的性質の変化を（ロ）－第A.2図、（ロ）－第A.3図、（ロ）－第A.4図及び（ロ）－第A.5図に示す。

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

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

（ロ）－第A.5表　材料の機械的性質

材　　料	記　　号	主要適用部品	縦弾性係数 E 〔N/mm²〕	線膨張係数 α 〔1/℃〕	設計引張強さ Su 〔N/mm²〕	設計降伏点 Sy 〔N/mm²〕	設計応力強さ Sm 〔N/mm²〕	ポアソン比 ν	応力－歪線図
(2) ステンレス鋼 [redacted]	SUS[redacted]	内容器本体 外容器本体及び外容器蓋 燃料バスケット	(ロ)-第A.2図 (4／5)	(ロ)-第A.2図 (5／5)	(ロ)-第A.2図 (1／5)	(ロ)-第A.2図 (2／5)	(ロ)-第A.2図 (3／5)	[redacted]	―
(2) ステンレス鋼 [redacted]	SUS[redacted] [redacted]	内容器蓋 内容器蓋締付ボルト 外容器蓋締付ボルト	(ロ)-第A.3図 (3／4)	(ロ)-第A.3図 (4／4)	(ロ)-第A.3図 (1／4)	(ロ)-第A.3図 (2／4)	(ロ)-第A.4図	[redacted]	―
(14) アルミニウム合金	A[redacted]	燃料要素（A）	―	―	―	(ロ)-第A.5図	―	[redacted]	―
(4) [redacted]	―	緩衝材	―	―	―	―	―	―	(ロ)-第A.8図

ステンレス鋼　　；　参考文献(2)

アルミニウム合金　；　参考文献(14)

[redacted]　；　参考文献(4)

（　）内数字は図番の枚数番号を示す。

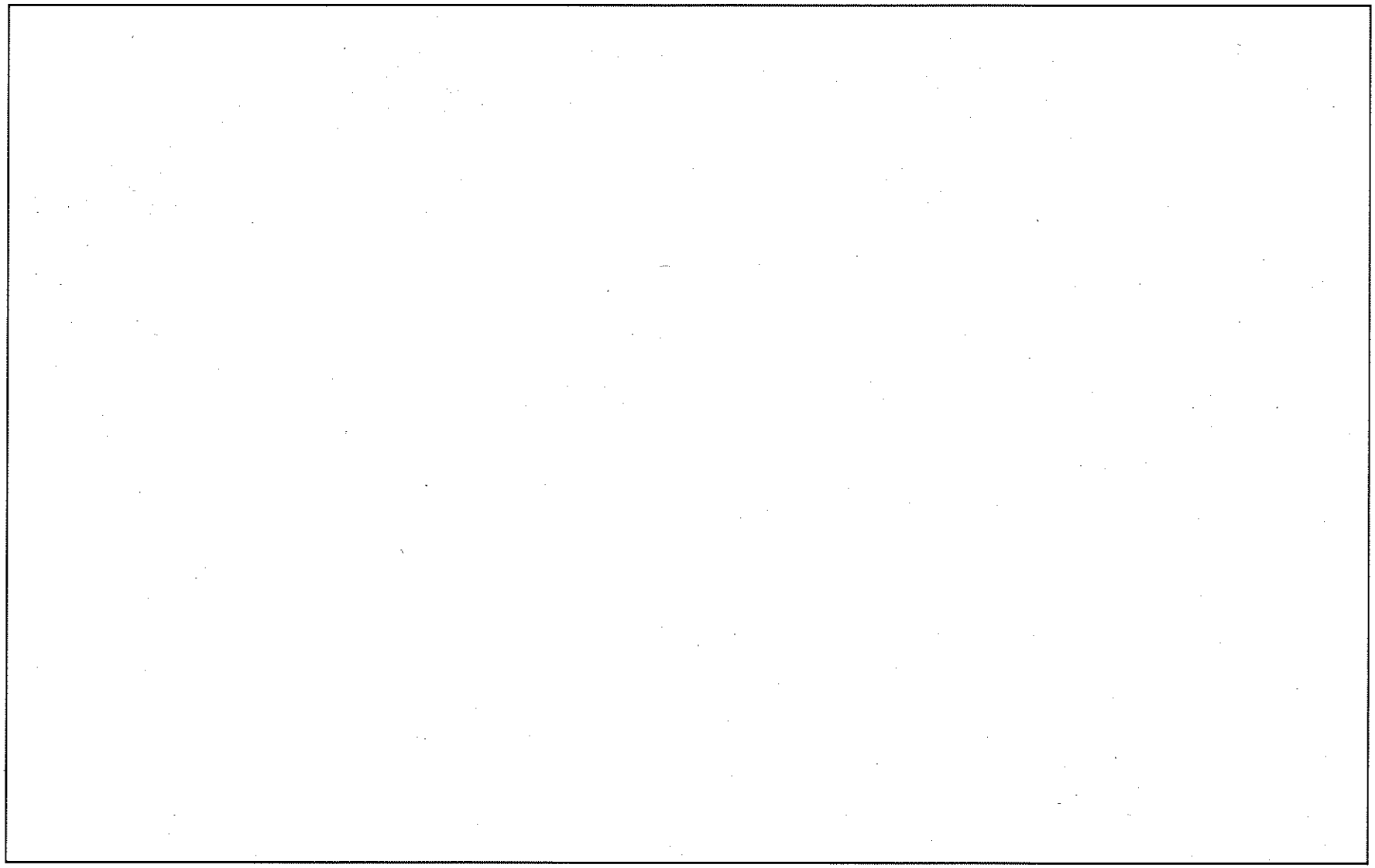
（ロ）－第A.6表　設計基準値となる材料の機械的性質

No	評価位置	材料	・一般の条件 ・一般の試験条件 ・特別の試験条件（熱的試験を除く。）						・特別の試験条件 （熱的試験のみ）					
			T	Sm	Sy	Su	E	α	T	Sm	Sy	Su	E	α
1	内容器本体	SUS□								—	—		—	—
2	内容器蓋	SUS□								—		—	—	—
3	燃料バスケット	SUS□							—	—	—	—	—	—
4	外容器本体	SUS□							—	—	—	—	—	—
5	外容器蓋	SUS□							—	—	—	—	—	—
6	内容器蓋締付ボルト	SUS□								—		—	—	—
7	外容器蓋締付ボルト	SUS□							—	—	—	—	—	—
8	燃料要素（A）	A□		—					—	—		—	—	—
9	燃料要素（B）	JRR-4B型燃料板		—			—	—	—	—		—	—	—
10	燃料要素押え具	A□		—			—	—	—	—	—	—	—	—

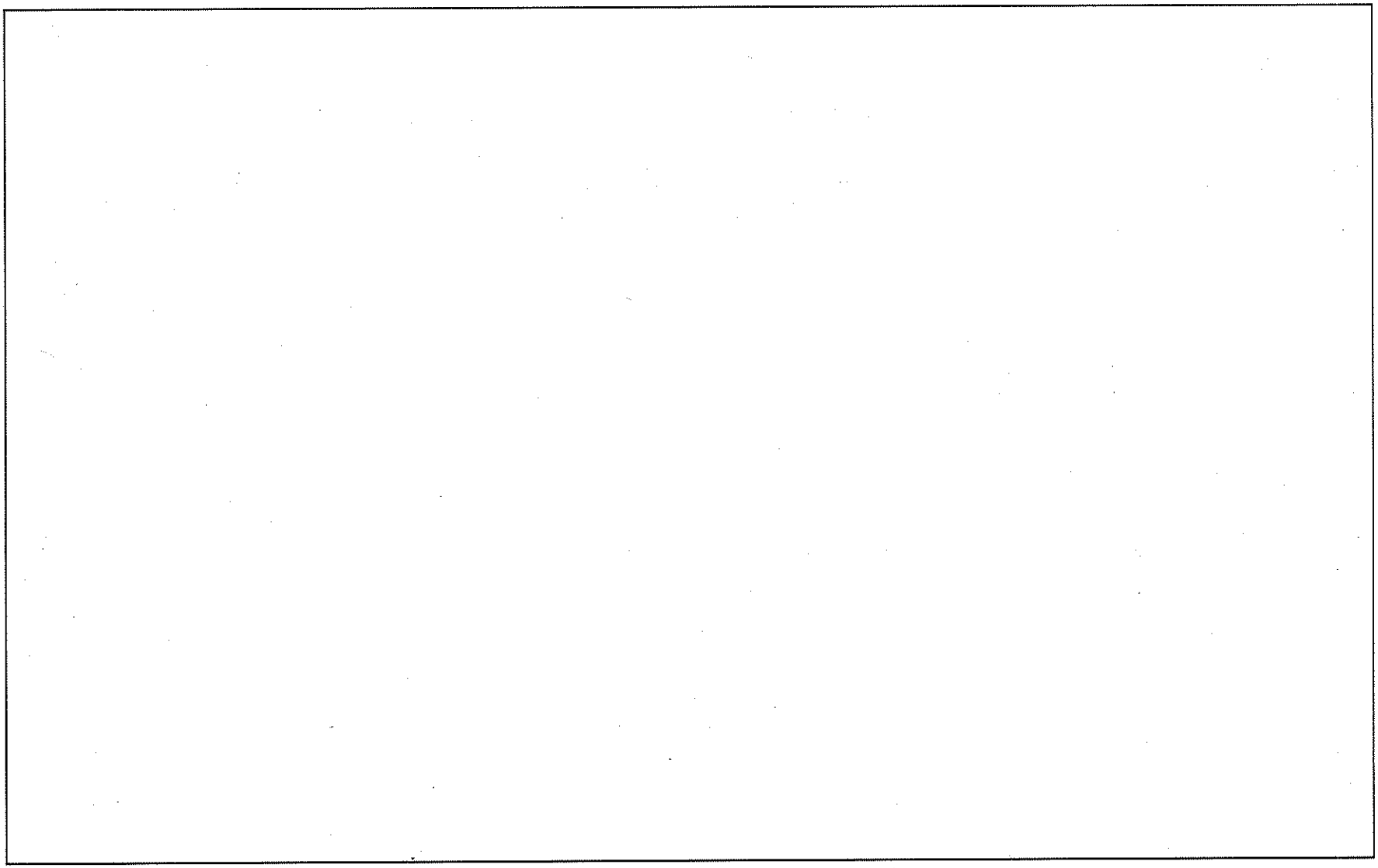
記号の説明

T　；　温度　〔℃〕
Sm　；　設計応力強さ　〔N/mm²〕、
Sy　；　設計降伏点　〔N/mm²〕、
Su　；　設計引張強さ　〔N/mm²〕、
E　；　縦弾性係数　〔×10⁵N/mm²〕、
α　；　線膨張係数　〔×10⁻⁶℃⁻¹〕

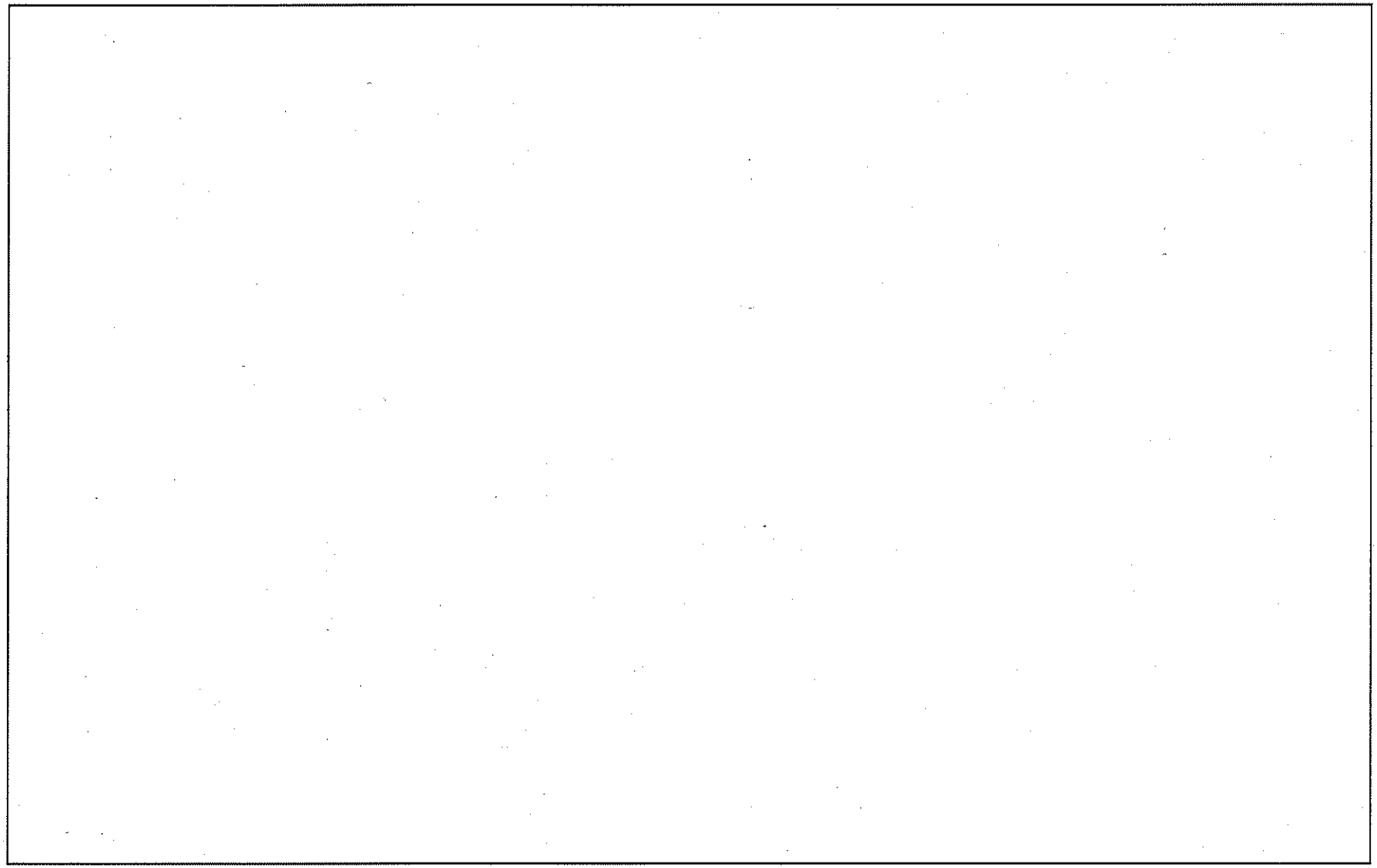
（　）：発電用原子力設備規格　材料規格　（2012年版）に基づく値を示す。



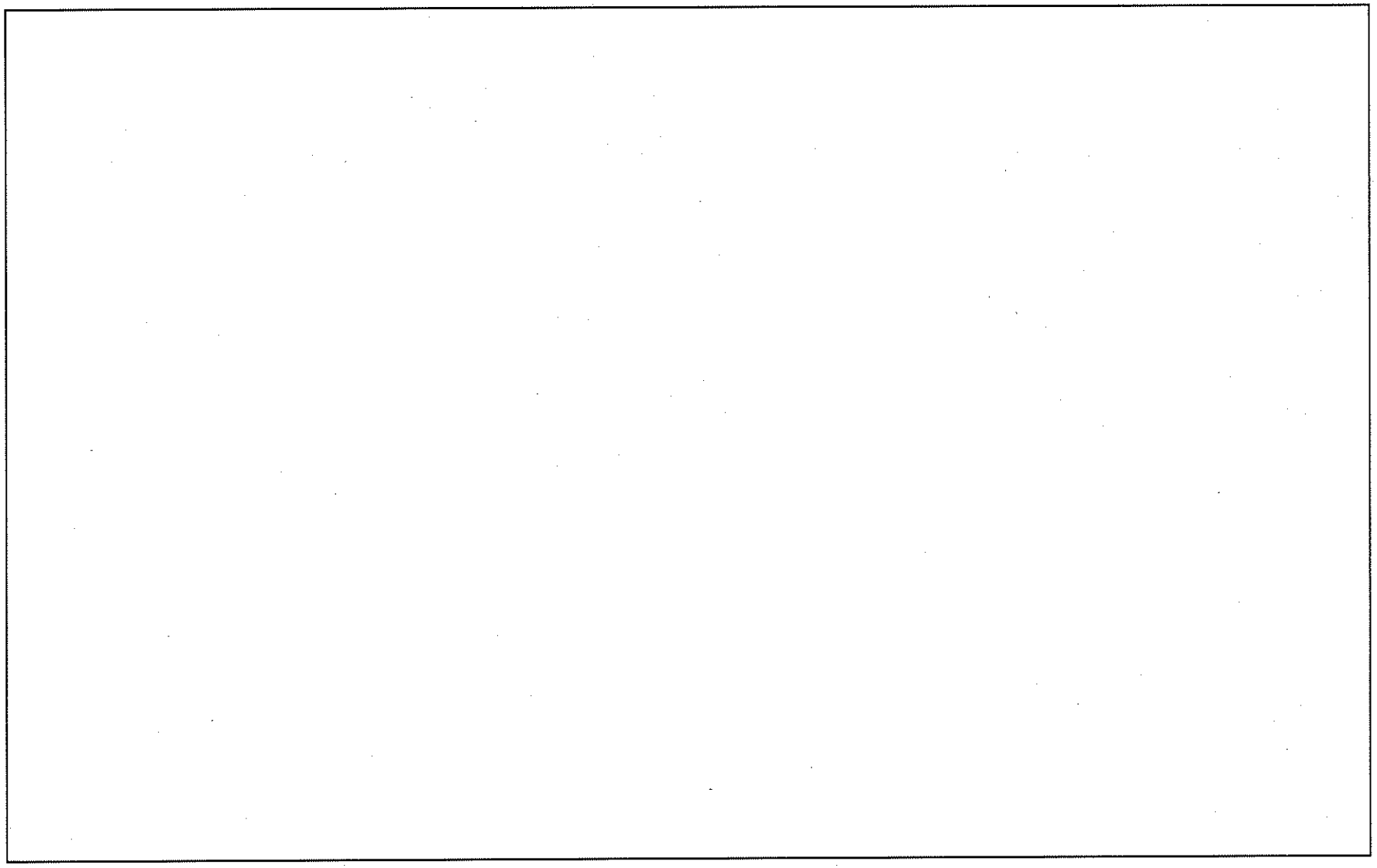
（ロ）－第A.2図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（1／5）



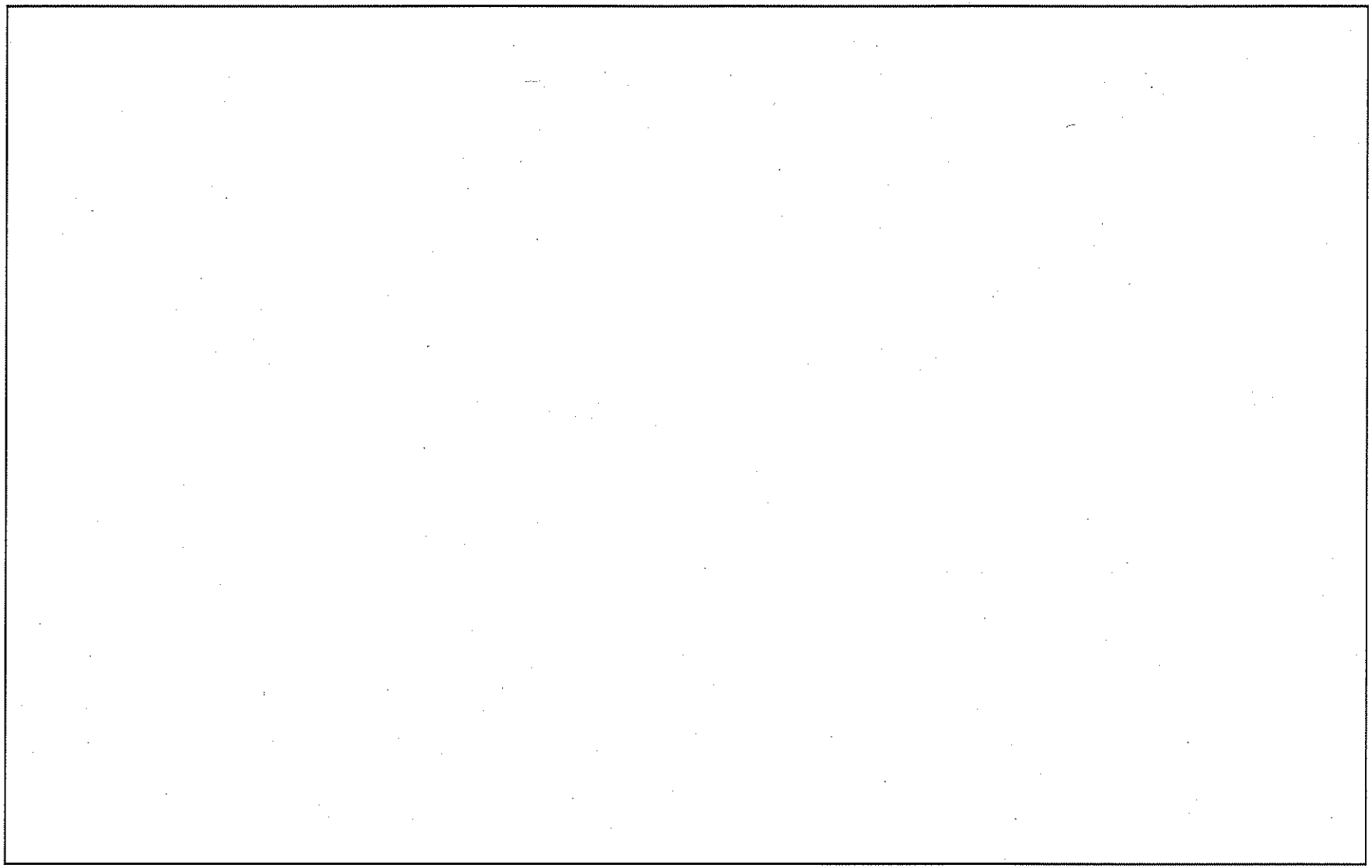
（ロ）－第A.2図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（2／5）



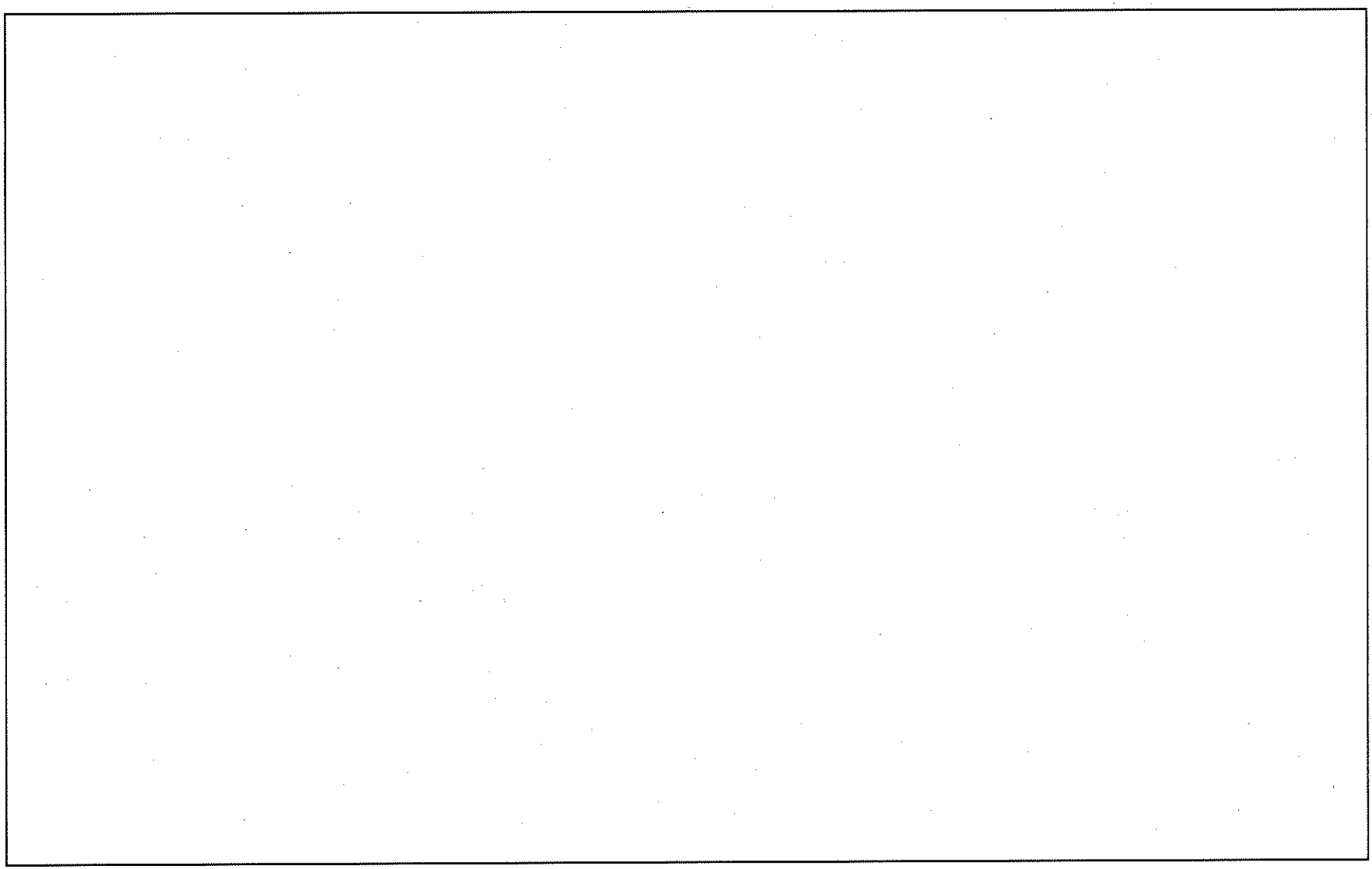
（ロ）－第A.2図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（3／5）



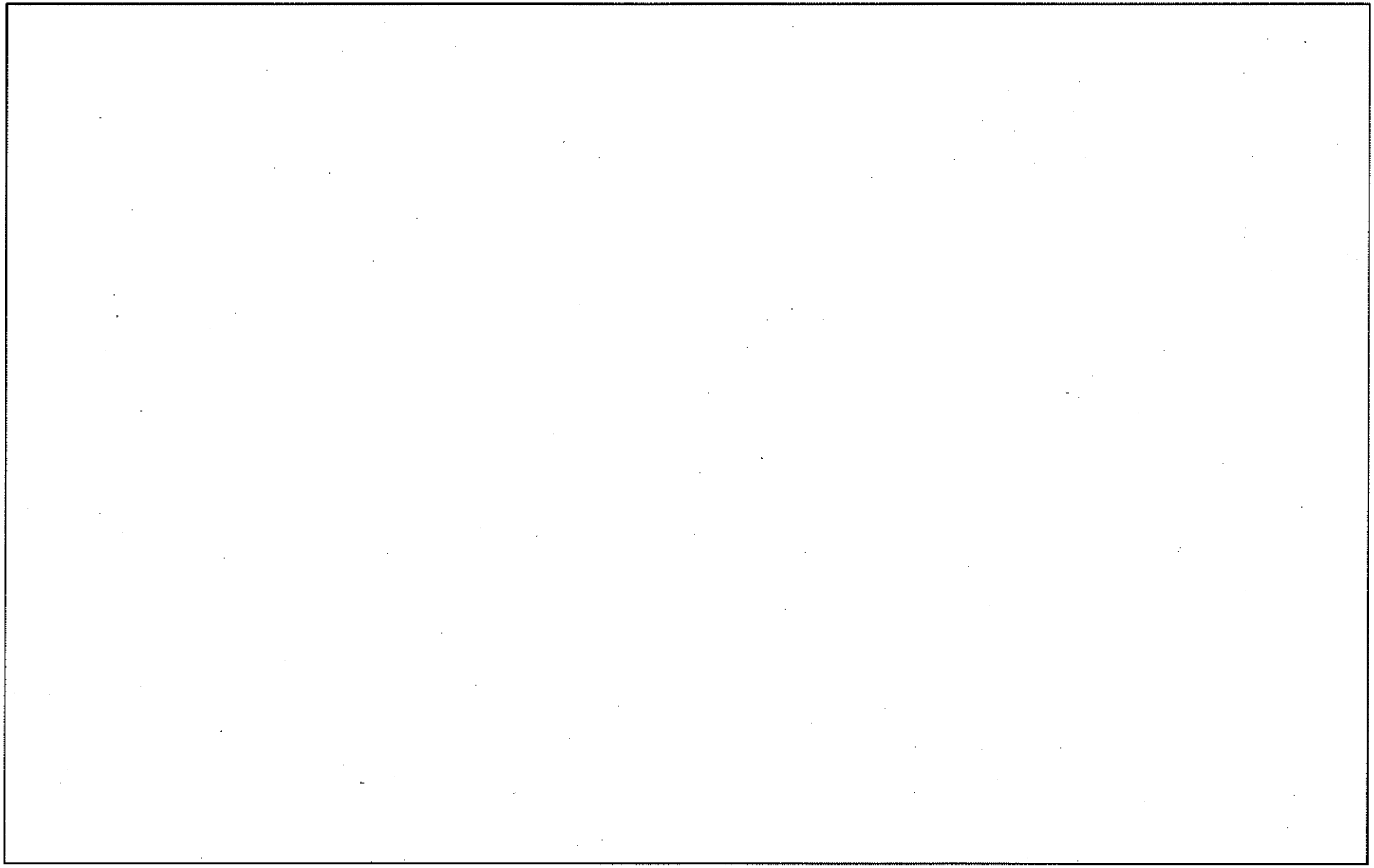
（ロ）－第A.2図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（4／5）



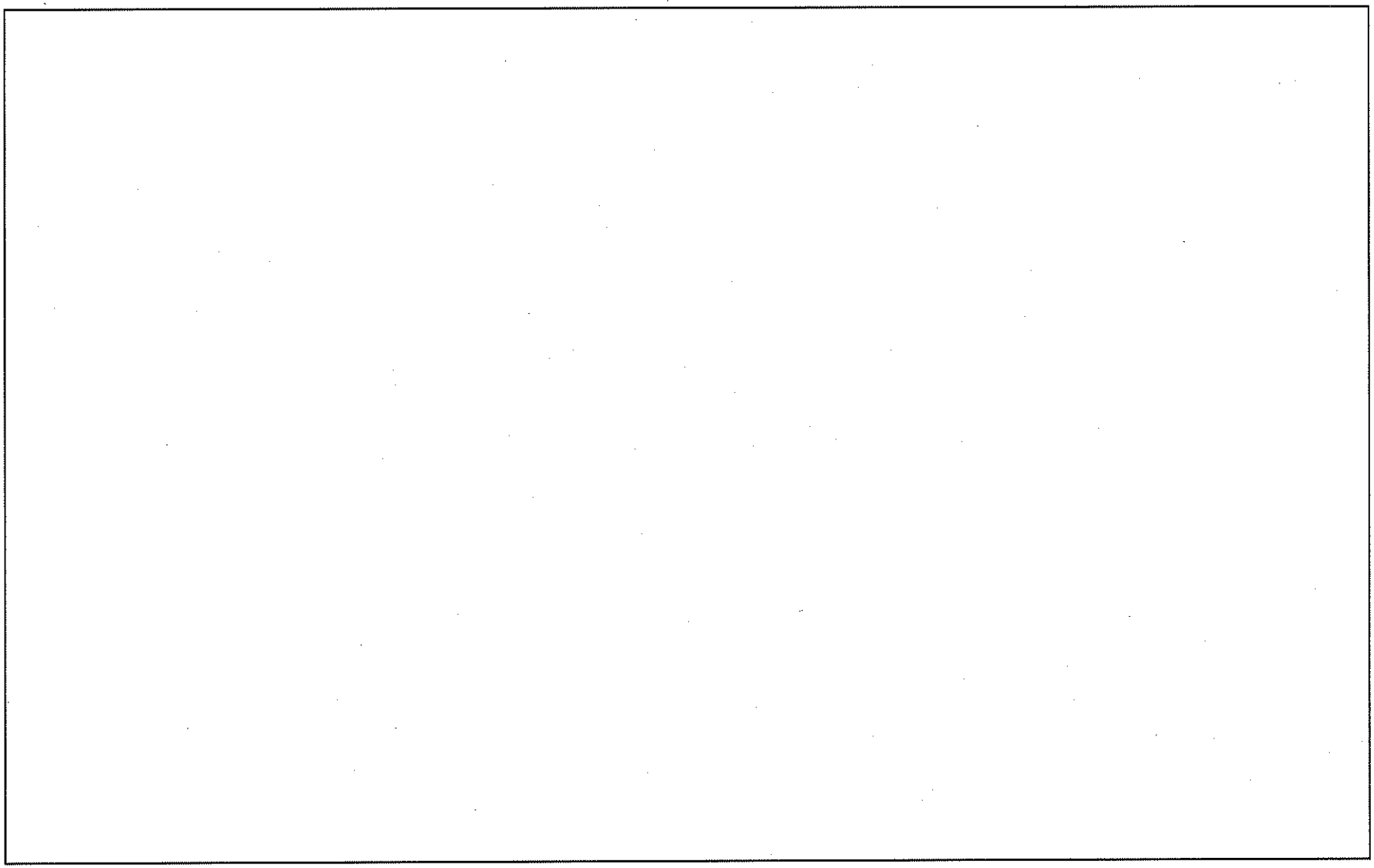
（ロ）－第A.2図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（5／5）



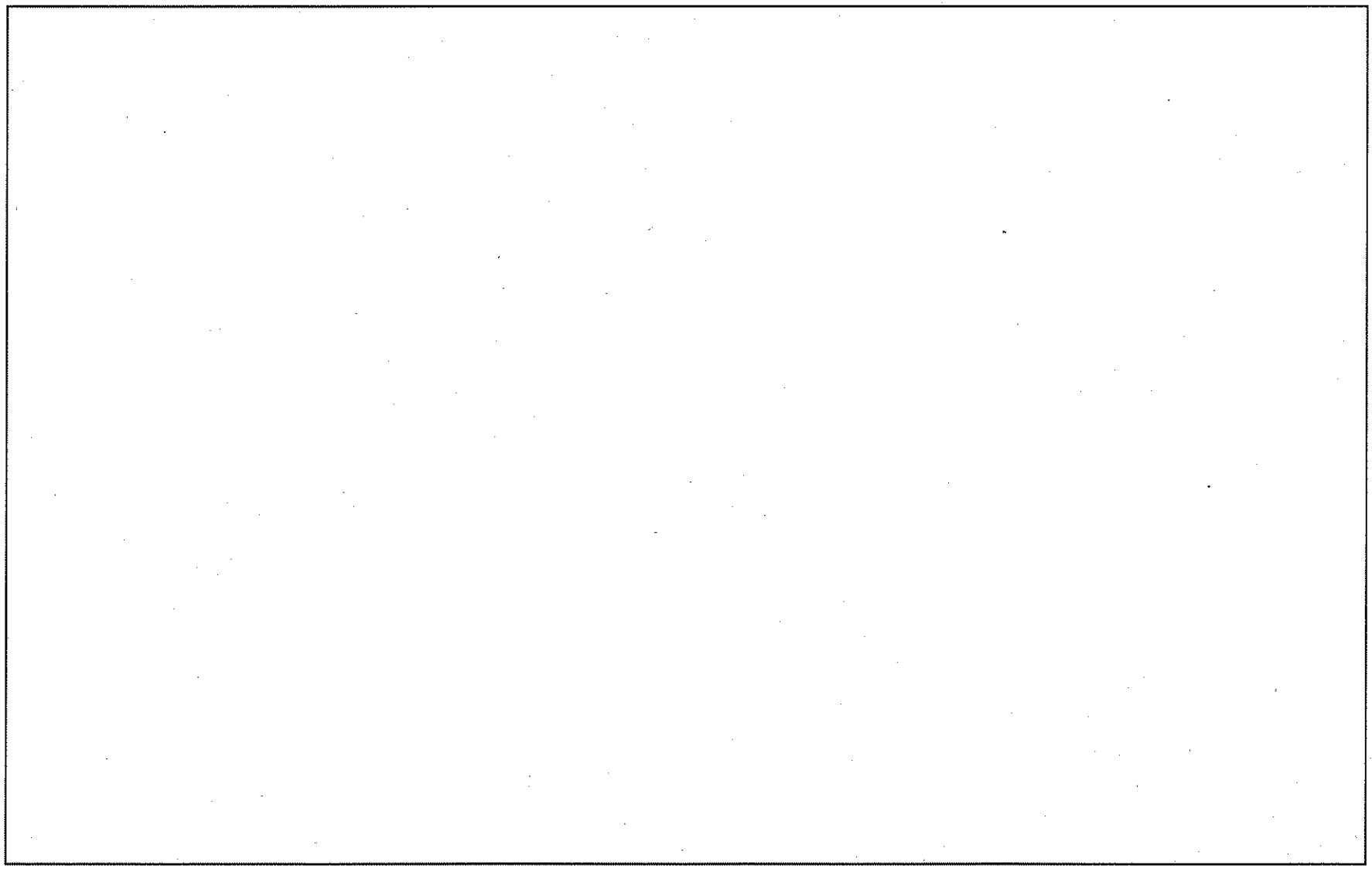
（ロ）－第A.3図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（ボルト材）（1／4）



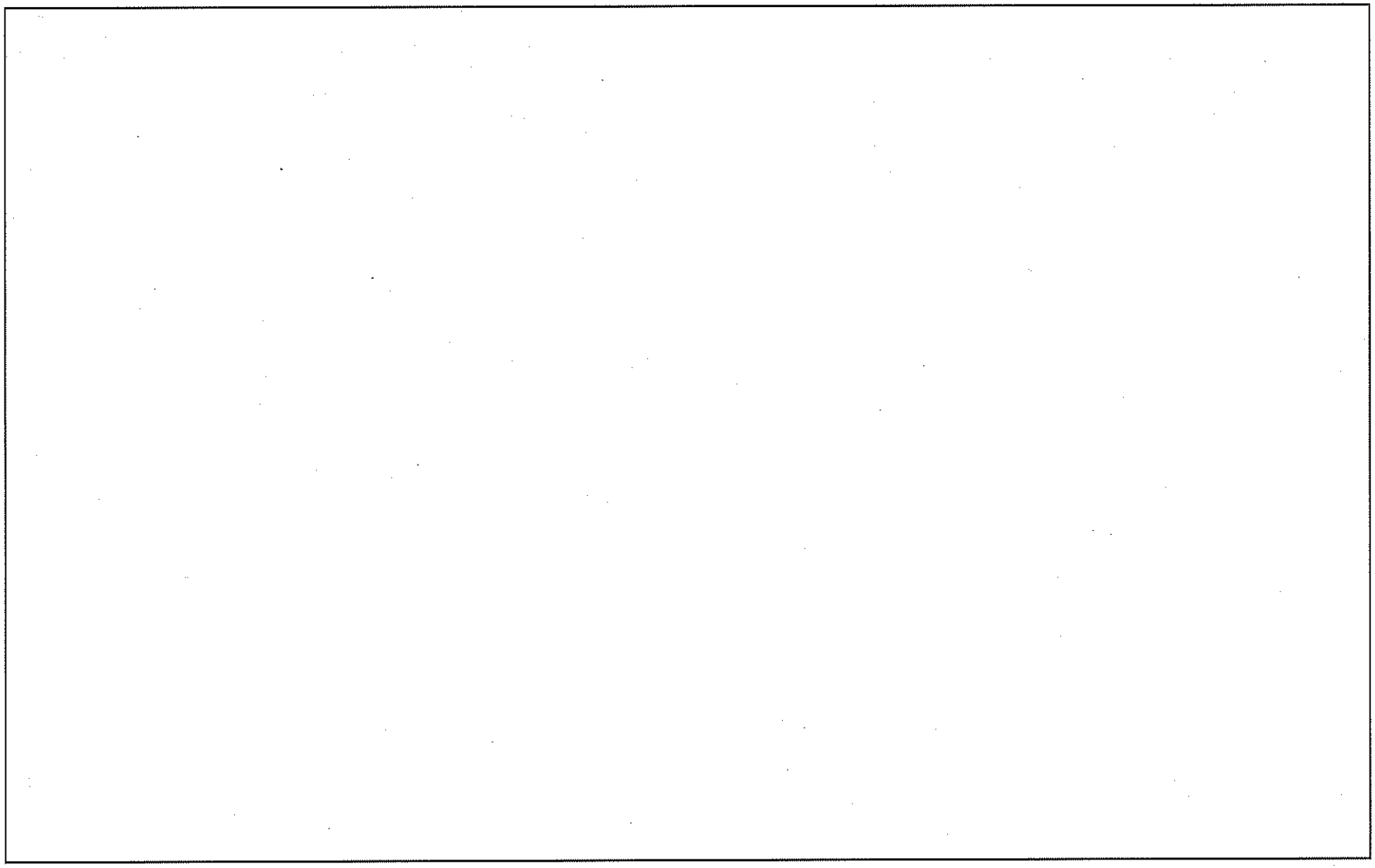
（ロ）－第A.3図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（ボルト材）（2／4）



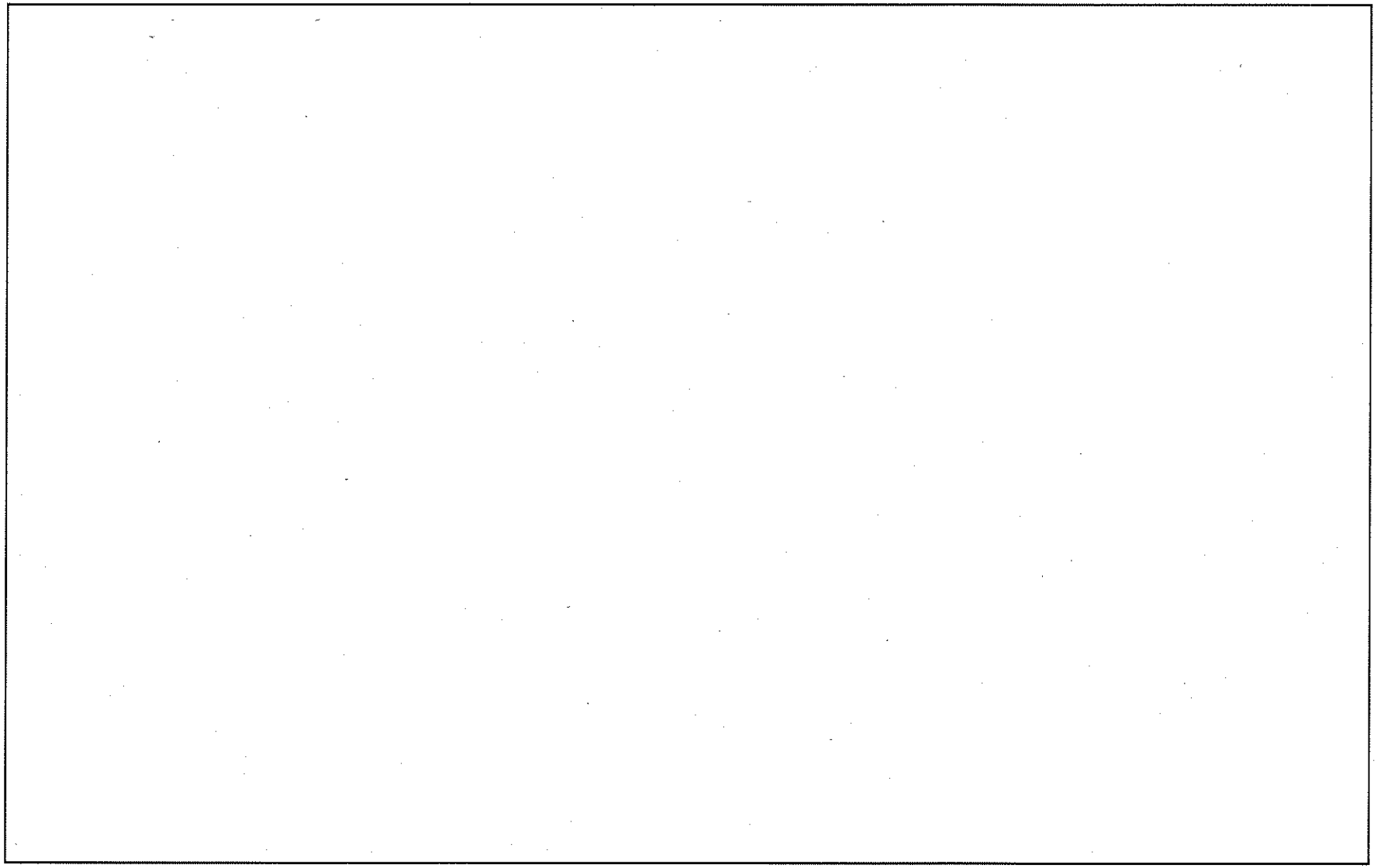
（ロ）－第A.3図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（ボルト材）（3／4）



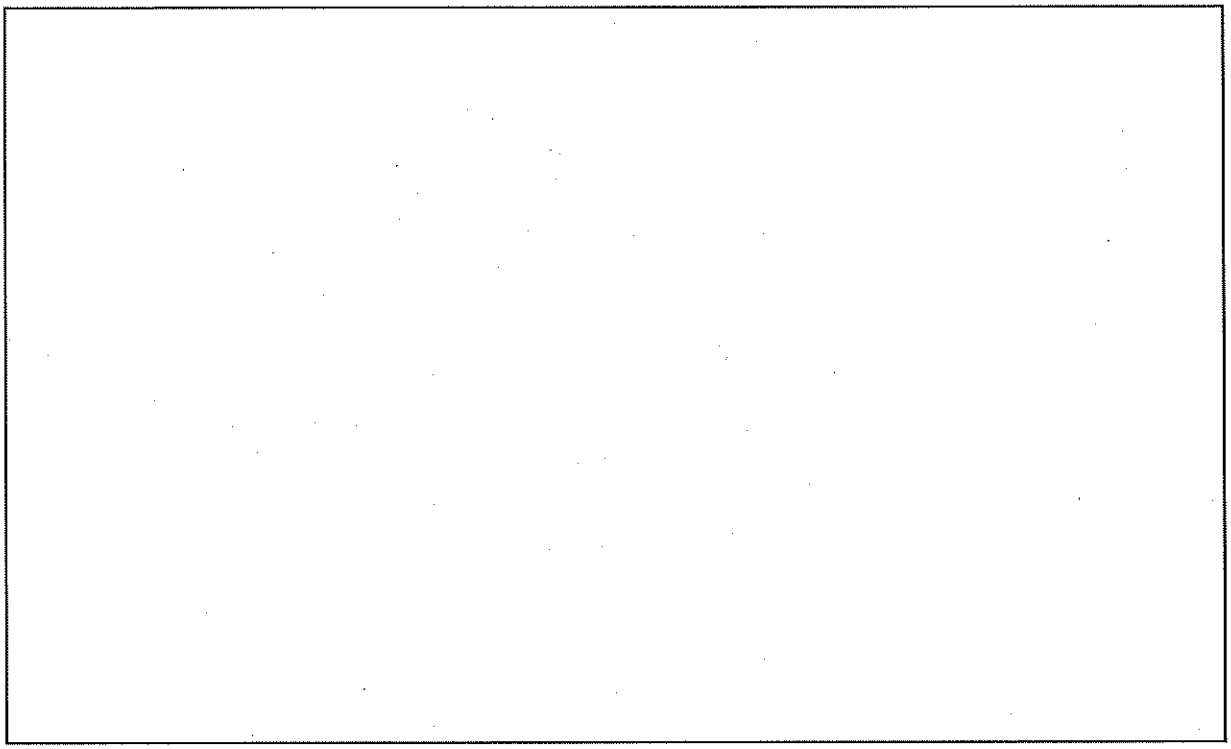
（ロ）－第A.3図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化（ボルト材）（4／4）



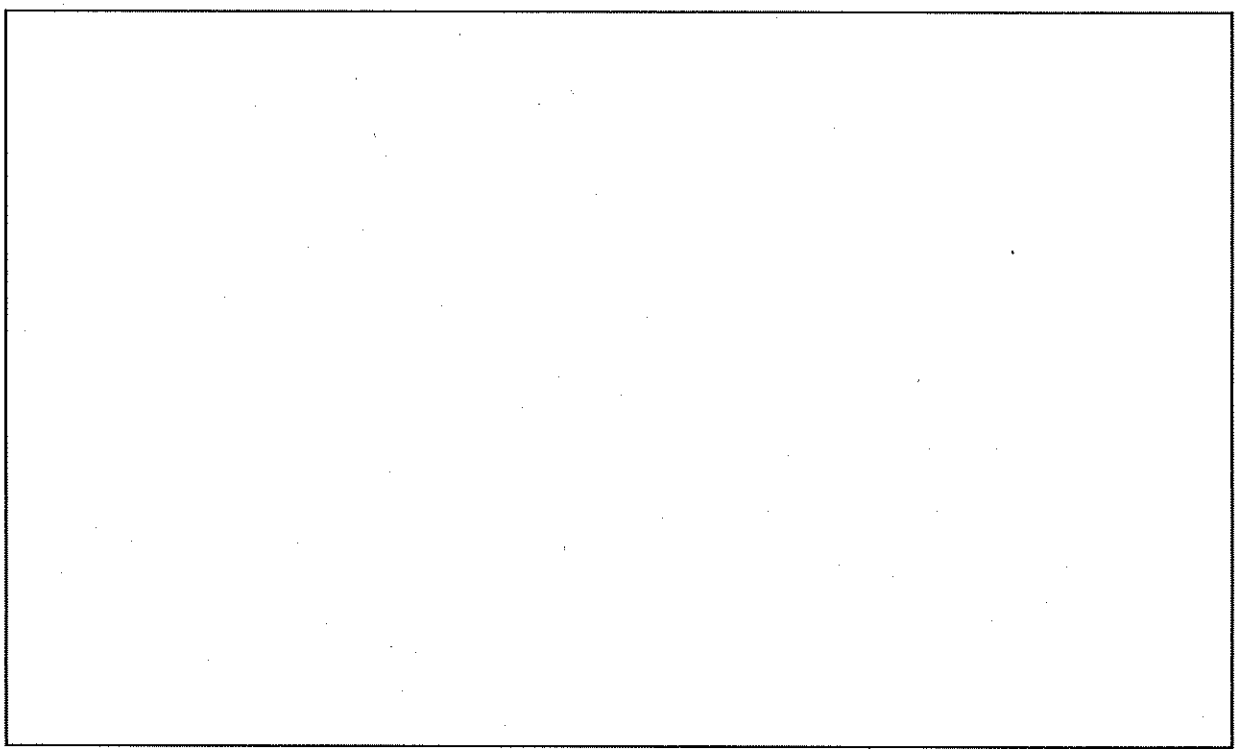
（ロ）－第A.4図　SUS□の温度に対する機械的性質の変化



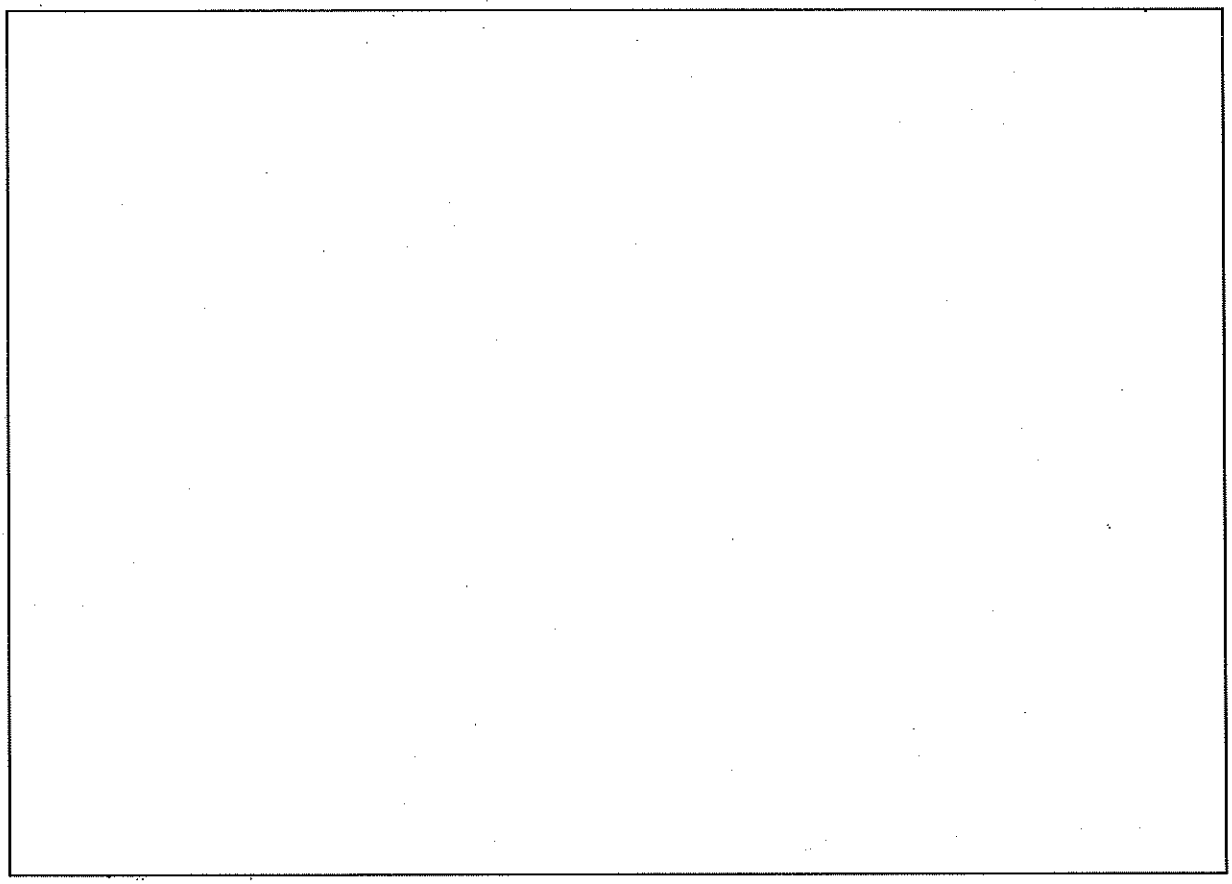
（ロ）－第A.5図　A□の温度に対する機械的性質の変化



（ロ）－第A.6図　設計疲れ線図（[redacted]）(2)



（ロ）－第A.7図　設計疲れ線図（[redacted]）(2)



（ロ）－第A.8図　緩衝材の応力－歪線図(4)

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電気的反応

本輸送物中の接触する異種材料の一覧を（ロ）－第A.7表に示す。

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

（ロ）－第A.7表　接触する異種材料の一覧

接触物	接触材料
内容物 ― 緩衝材 ― 外容器	ステンレス鋼
内容器 ― 断熱材 ― 外容器	ステンレス鋼
内容器本体 ― Oリング ― 内容器蓋	ステンレス鋼
燃料バスケット ― スペーサ ― 内容器蓋	
保護シート ― スペーサ	
保護シート ― 燃料バスケット	
保護シート ― 周辺緩衝材	
保護シート ― 収納物	アルミニウム合金
周辺緩衝材 ― 収納物	アルミニウム合金
クッションゴム ― 下部バスケット	ステンレス鋼
内容器 ― ガスケット ― 外容器	ステンレス鋼
取付金具 ― 溶融栓	

A.4.2 低温強度

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

（ロ）－第A.8表に輸送物各部の温度と使用材質の最低使用温度を示す。

（ロ）－第A.8表　輸送物各部の最低温度

No.	評価位置	材質	最低温度〔℃〕	脆性遷移温度又は最低使用温度〔℃〕	引用、文献、資料
1	収納物	アルミニウム合金	-40	脆性破壊しない。	アルミニウムハンドブック(20)
2	内容器本体	[redacted]ステンレス鋼	-40	脆性破壊しない。	JIS B 8270
3	外容器本体	[redacted]ステンレス鋼	-40	脆性破壊しない。	ステンレス鋼便覧(16)
4	内容器蓋	[redacted]ステンレス鋼	-40	-40以下	ステンレス鋼の熱処理(18)
5	外容器蓋	[redacted]ステンレス鋼	-40	脆性破壊しない。	JIS B 8270
6	燃料バスケット	[redacted]ステンレス鋼	-40	脆性破壊しない。	ステンレス鋼便覧(16)
7	内容器蓋締付ボルト	[redacted]ステンレス鋼	-40	-40以下	ステンレス鋼の
8	外容器蓋締付ボルト	[redacted]ステンレス鋼	-40	-40以下	熱処理(18)
9	内容器蓋Ｏリング	[redacted]	-40	-40以下	複合材料技術集成(21)
10	緩衝材	[redacted]	-40	-40以下	付属書類A.10.4
11	断熱材	[redacted]	-40	-40以下	メーカ社内データ(22)

内容器及び外容器の[redacted]ステンレス鋼は（ロ）－第A.103図に示すように、また、内容器蓋及びボルト類に使用している[redacted]ステンレス鋼は、（ロ）－第A.104図に示すように、-40℃において十分なる耐衝撃値を維持する。

なお、燃料要素のアルミニウム合金は（ロ）－第A.8表に示す参考文献から、－40℃において、脆性破壊を発生しない。

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

緩衝材に使用している[redacted]は（ロ）－第A.100図に示すように、室温、-20℃、-40℃において、材料特性に有意差はないため、-40℃において緩衝材としての機能を保持する。

したがって、-40℃の環境条件下でも、本輸送容器はその機能を維持する。

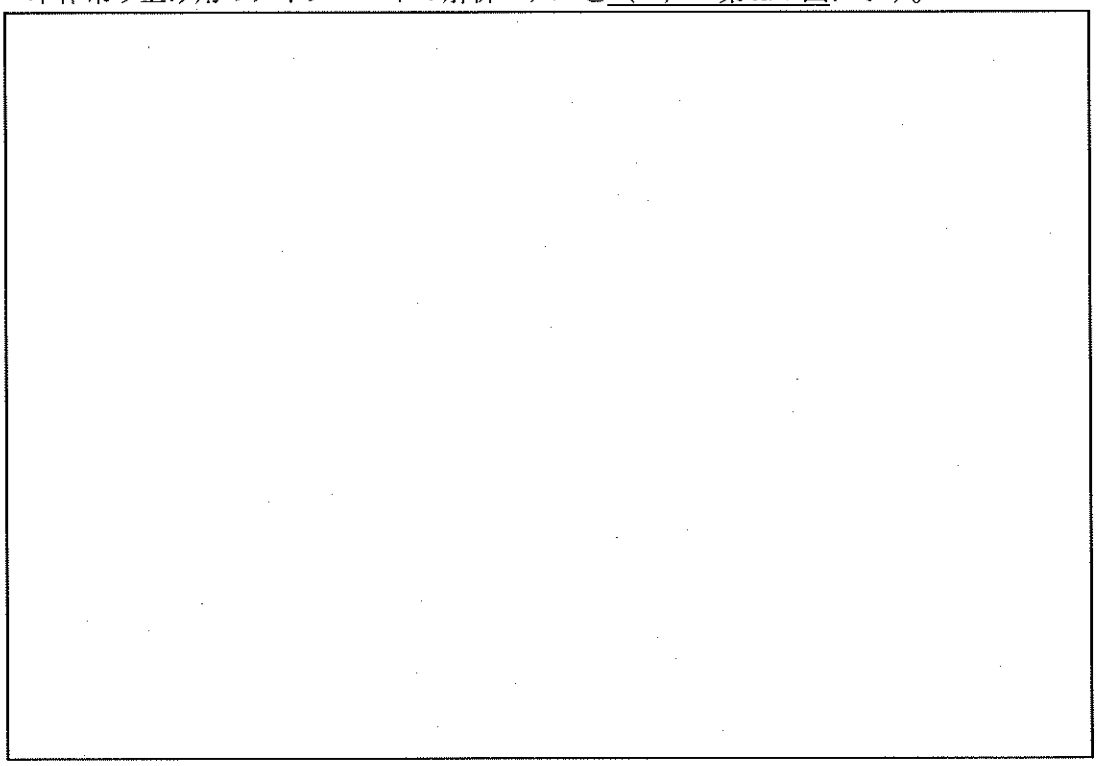
A.4.3 密封装置

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

A.4.4 吊上装置

本項で説明する吊上装置は、外容器本体の側胴部に取り付けられた本体吊り上げ用のアイプレートである。吊上装置に発生する応力に対する設計基準値としては、（ロ）－B．熱解析における通常輸送時のアイプレート取付位置の容器本体外表面の解析結果の最高温度 65℃を考え、安全側に□℃としたときの吊上装置の降伏応力 Sy を用いる。

本体吊り上げ用のアイプレートの解析モデルを（ロ）－第A.9図に示す。



（ロ）－第A.9図　アイプレート解析モデル

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

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

□ [N]

ここで、g ；重力加速度　g＝9.81 [m/s^2]

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

(1) A－A断面

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

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

ここで、　τ　；　せん断応力　〔N/mm²〕

F　；　最大荷重　〔N〕

t　；　板厚　〔mm〕

h　；　高さ　〔mm〕

[　　]

したがって、

τ [　　]　〔N/mm²〕

となり、アイプレート材（SUS[　]）のせん断応力に対する設計基準値（0.6Sy＝[　]N/mm²）より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

$$MS = \frac{0.6Sy}{\tau} - 1$$ [　　]

(2) B－B断面

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

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

ここで、σ_b　；　曲げ応力　〔N/mm²〕

M　；　曲げモーメント　〔N·mm〕

Z　；　断面係数　〔mm³〕

F　；　最大荷重　〔N〕

ℓ　；　モーメントアーム　〔mm〕

b　；　アイプレート巾　〔mm〕

t　；　板　厚　〔mm〕

[　　]

したがって、

σ_b [ ] 〔N/mm^2〕

となり、アイプレート材（SUS□）の設計降伏点（Sy＝□ N/mm^2）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS=\frac{Sy}{\sigma_b}-1$$ [ ]

次に、B－B断面に発生するせん断応力τは次式で与えられる。

$$\tau=\frac{F}{A}=\frac{F}{t\times b}$$ [ ] 〔N/mm^2〕

となり、アイプレート材（SUS□）のせん断応力に対する設計基準値（0.6Sy＝□ N/mm^2）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS=\frac{0.6Sy}{\tau}-1$$ [ ]

上記の曲げ応力σ_bとせん断応力τとの合成応力σ〔N/mm^2〕は、次式で与えられる。

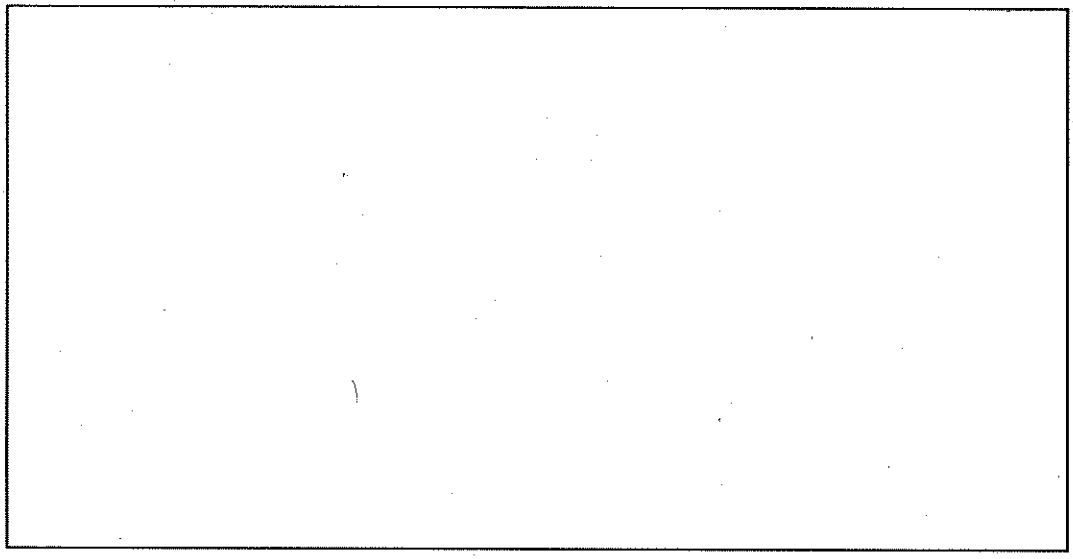
$$\sigma=\sqrt{\sigma_b{}^2+4\tau^2}$$ [ ] 〔N/mm^2〕

となり、アイプレート材（SUS□）の設計降伏点(Sy＝□N/mm^2)より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

MS [ ]

(3) B－B断面溶接部



（ロ）－第A.10図　アイプレート溶接部解析モデル

（ロ）－第A.10図に示すアイプレート固定部分溶接部に発生する曲げ応力σ_b〔N/mm^2〕は次式で与えられる。

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

ここで、σ_b ；　曲げ応力　〔N/mm^2〕

M ；　曲げモーメント　〔N・mm〕

Z ；　溶接部の断面係数　〔mm^3〕

F ；　最大荷重　〔N〕

ℓ ；　モーメントアーム　ℓ＝50　〔mm〕

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

a ；　溶接のど厚　□　〔mm〕

b ；　板　巾　□　〔mm〕

したがって、σ_bは、次の値となる。

σ_b □　〔N/mm^2〕

これは溶接部の設計基準値（0.45Sy＝□N/mm^2）より小さい。

また、余裕率MSは、以下の値となる。

$$MS=\frac{0.45Sy}{\sigma_b}-1$$ [ ]

次に、Ｂ－Ｂ断面溶接部に発生するせん断応力は次式で与えられる。

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

[ ] 〔N/mm²〕

これは、溶接部のせん断応力に対する設計基準値（0.45×0.6×Sy＝[ ]N/mm²）より小さい。

また、余裕率MSは、以下の値となる。

$$MS=\frac{0.45\times0.6\times Sy}{\tau}-1$$ [ ]

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

$$\sigma=\sqrt{\sigma_b^2+4\cdot\tau^2}$$ [ ] 〔N/mm²〕

となり、溶接部の設計基準値（0.45Sy＝[ ]N/mm²）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS=\frac{0.45Sy}{\sigma}-1$$ [ ]

以上の解析結果の要約を（ロ）－第A.9表に示す。

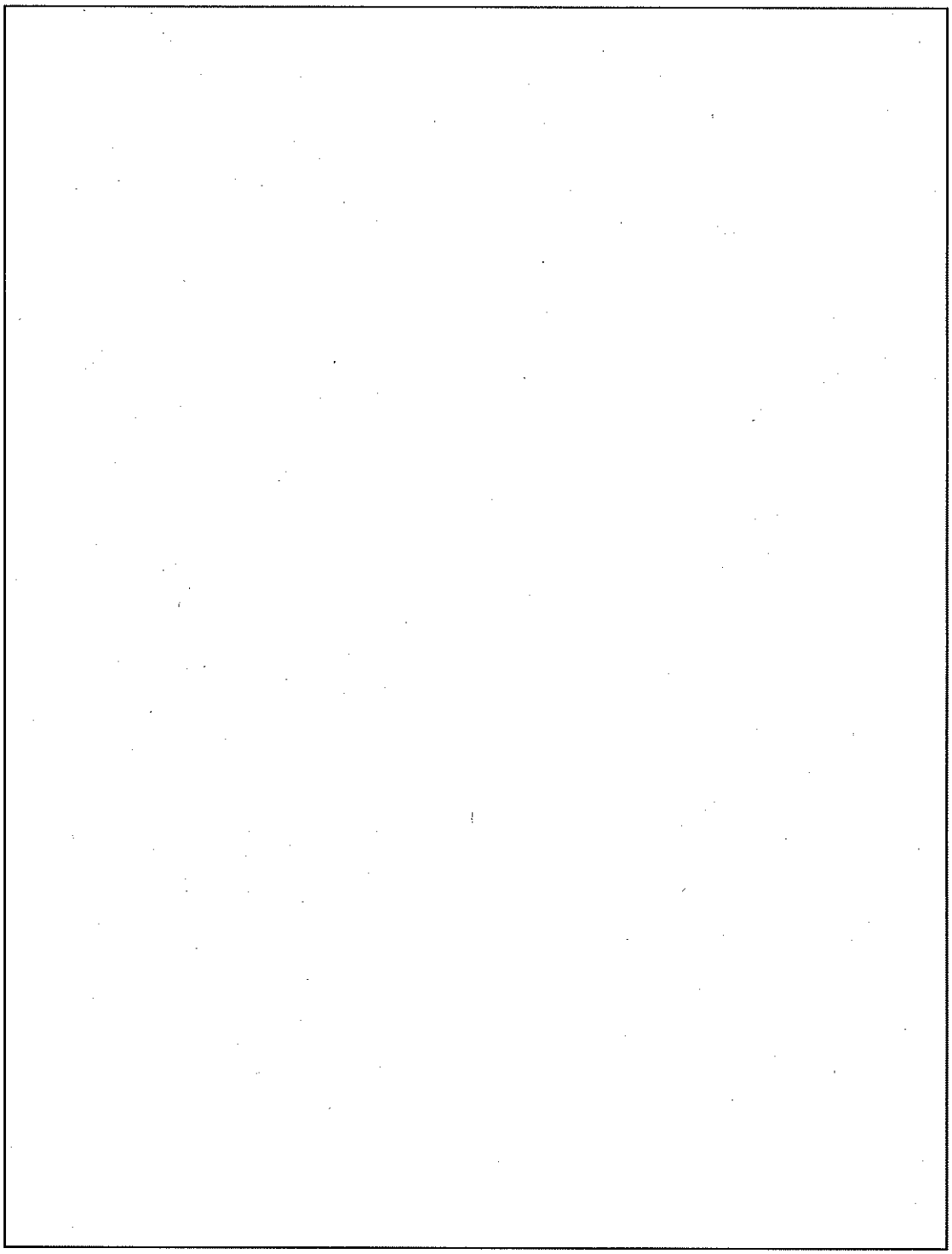
（ロ）－第A.9表に示すように、解析結果の余裕率MSは、いずれも正であり、吊上時においてアイプレートは健全である。

なお、使用年数を60年、使用回数として[ ]回、1回の輸送当たりの取り扱い回数を[ ]回とした場合、吊り上げ繰り返し回数は[ ]回となる。上記（1）～(3)での評価における最大応力は[ ]〔N/mm²〕で、その繰り返し応力は[ ]〔N/mm²〕となるが、これは（ロ）-第A.6図に示す設計疲れ線図の[ ]回での繰返しピーク応力強さ[ ]〔N/mm²〕よりも低く、許容繰り返し回数は、使用予定期間中の繰り返し回数よりも多くなる。

A.4.5 固縛装置

本輸送容器は、（ロ）－第A.11図に示すように、固縛装置に固縛して輸送される。

輸送容器と固縛装置はアイプレート及びターンバックルを介して固縛される。



（ロ）－第A.11図　輸送時加速度

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

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

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

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

ここで、

T_A ； Ⓐ 点を支点とした時のターンバックル引張力

T_B ； Ⓑ 点を支点とした時のターンバックル引張力

H_G ； 重心高さ [mm]

H_T ； アイプレート中心までの高さ [mm]

R ； 輸送容器外半径 [mm]

E ； アイプレートの取付長さ [mm]

θ ； ターンバックル角度

α ； アイプレート方向角度

m_o ； 輸送物質量 [kg]

g ； 重力加速度 $g = 9.81$ [m/s²]

より、次の値となる。

$T_A =$ [N]

$T_B =$ [N]

したがって、 Ⓑ 点を支点とする場合が、引張力は大きいため

$T = T_B =$ [N]

にて、強度解析を行う。

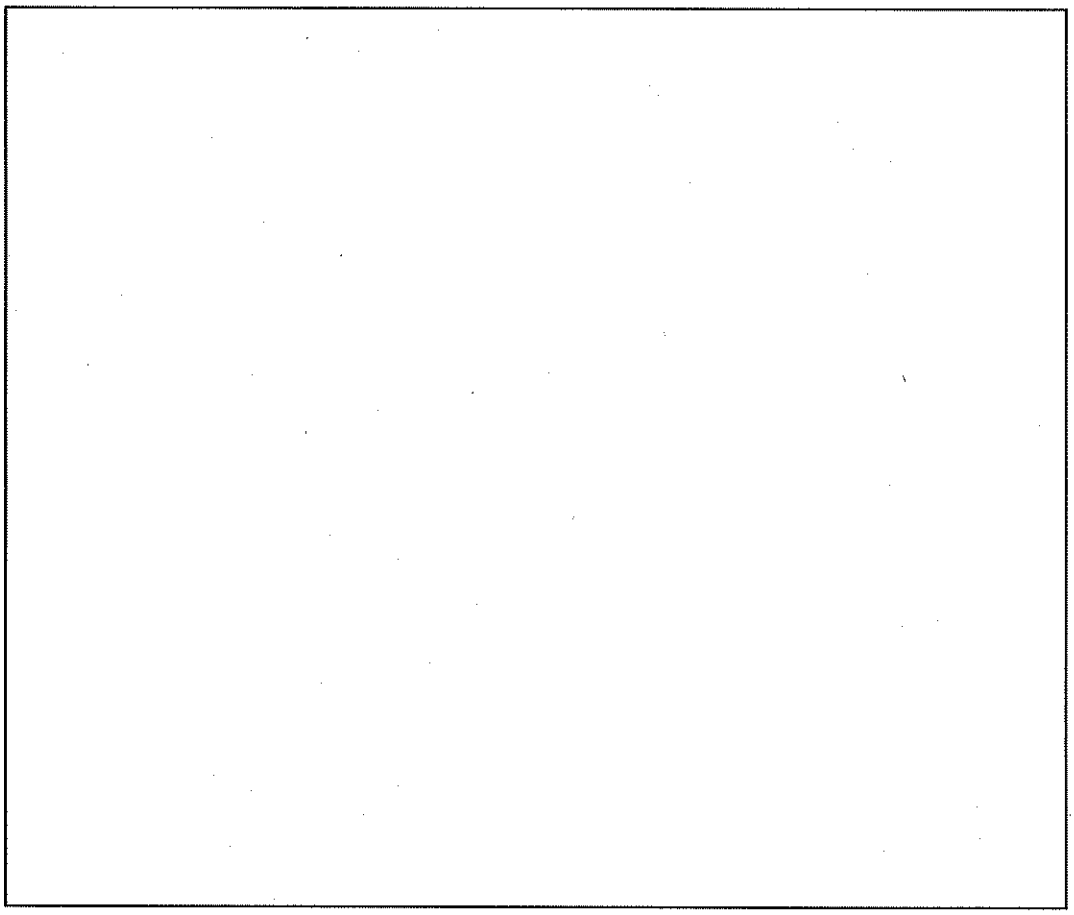
輸送中に、輸送容器のアイプレートが、固縛装置ターンバックルにより最大引張力Tを受けた時の水平方向分力F及び鉛直方向分力Vは、次式で与えられる。

$T =$ [ ] [N]

$F = T \cdot \sin\theta =$ [ ] [N]

$V = T \cdot \cos\theta =$ [ ] [N]

また、この時の解析モデルを（ロ）－第A.12図に示す。



（ロ）－第A.12図　アイプレート解析モデル

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

(1) A－A断面

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

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

ここで、 τ ； せん断応力 〔N/mm²〕

T ； 最大荷重 〔N〕

t ； 板 厚 〔mm〕

h ； 高 さ 〔mm〕

[ ]

したがって、

$\tau =$ [ ] 〔N/mm²〕

となり、アイプレート材（SUS[ ]）のせん断応力に対する設計基準値（0.6Sy＝[ ]N/mm²）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS = \frac{0.6Sy}{\tau} - 1 =$$ [ ]

(2) B－B断面

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

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

ここで、 σ_b ； 曲げ応力 〔N/mm²〕

M ； 曲げモーメント 〔N·mm〕

Z ； 断面係数 〔mm³〕

V ； 鉛直方向分力 [ ] 〔N〕

t　；　アイプレート板厚　　〔mm〕

ℓ　；　モーメントアーム　　〔mm〕

b　；　アイプレート巾　　〔mm〕

したがって、

σ_b　　〔N/mm^2〕

となり、アイプレート材（SUS□）の設計降伏点（Sy＝□ N/mm^2）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS=\frac{Sy}{\sigma_b}-1$$

次に、B－B断面に発生するせん断応力τは次式で与えられる。

$$\tau=\frac{V}{A}=\frac{V}{t\times b}$$　　〔N/mm^2〕

となり、アイプレート材（SUS□）のせん断応力に対する設計基準値（0.6Sy＝□ N/mm^2）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS=\frac{0.6Sy}{\tau}-1$$

上記の曲げ応力σ_bとせん断応力との合成応力σ（N/mm^2）は、次式で与えられる。

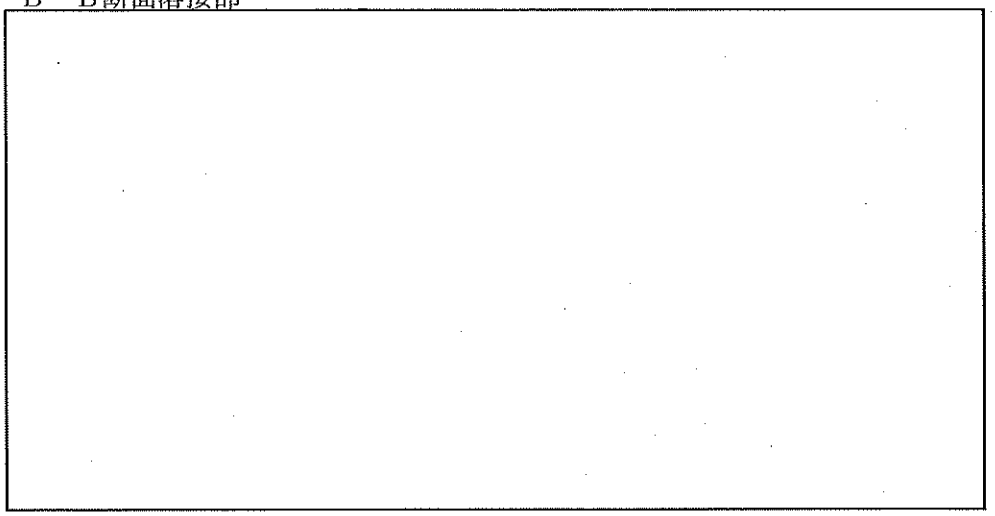
$$\sigma=\sqrt{\sigma_b{}^2+4\tau^2}$$　　〔N/mm^2〕

となり、アイプレート材（SUS□）の設計降伏点（Sy＝□ N/mm^2）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS=\frac{Sy}{\sigma}-1$$

(3) Ｂ－Ｂ断面溶接部



（ロ）－第A.13図　アイプレート溶接部解析モデル

（ロ）－第A.13図に示すアイプレート溶接部に発生する曲げ応力σ_b〔N/mm^2〕は次式で与えられる。

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

ここで、σ_b ；　曲げ応力　〔N/mm^2〕

M ；　曲げモーメント　〔N・mm〕

Z ；　断面係数　〔mm^3〕

V ；　鉛直方向分力　〔N〕

ℓ ；　モーメントアーム　〔mm〕

Z ；溶接部の断面係数

$$Z = \frac{1}{6} \cdot 2a \cdot b^2$$　〔mm^3〕

a ；　溶接のど厚　〔mm〕

b ；　板　巾　〔mm〕

したがって、σ_bは次の値となる。

σ_b　〔N/mm^2〕

これは溶接部の設計基準値（0.45Sy ＝　N/mm^2）より小さい。

また、余裕率MSは、次の値となる。

$$MS=\frac{0.45Sy}{\sigma_b}-1$$ [redacted]

次に、Ｂ－Ｂ断面溶接部に発生するせん断応力は次式で与えられる。

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

[redacted] 〔N/mm²〕

これは、溶接部のせん断応力に対する設計基準値（0.45×0.6×Sy＝[redacted]N/mm²）より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

$$MS=\frac{0.45\times0.6\times Sy}{\tau}-1$$ [redacted]

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

$$\sigma=\sqrt{\sigma_b{}^2+4\cdot\tau^2}$$ [redacted] 〔N/mm²〕

となり、溶接部の設計基準値（0.45Sy＝[redacted]N/mm²）より小さい。

また、余裕率 MS は、次の値となる。

$$MS=\frac{0.45Sy}{\sigma}-1=$$ [redacted]

以上の解析結果の要約を（ロ）－第 A.9 表に示す。

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

（ロ）－A.9表　通常の輸送条件下における解析結果の要約

条件	解析項目		荷重の種類	設計基準	設計基準値(N/mm²)	解析結果 (N/mm²)	余裕率 MS
通常の輸送条件	吊上装置						
	1.吊上使用時アイプレート		輸送物重量×3				
	A－A断面	(1)せん断応力		0.6Sy			
	B－B断面	(1)曲げ応力		Sy			
		(2)せん断応力		0.6Sy			
		(3)合成応力		Sy			
	B－B断面（溶接部）	(1)曲げ応力		0.45Sy			
		(2)せん断応力		0.27Sy			
		(3)合成応力		0.45Sy			
	固縛装置		加速度				
	2.固縛時アイプレート		左右：1G 前後：2G 上方：1G 下方：3G				
	A－A断面	(1)せん断応力		0.6Sy			
	B－B断面	(1)曲げ応力		Sy			
		(2)せん断応力		0.6Sy			
		(3)合成応力		Sy			
	B－B断面（溶接部）	(1)曲げ応力		0.45Sy			
		(2)せん断応力		0.27Sy			
		(3)合成応力		0.45Sy			

A.4.6 圧　　力

輸送容器の外気圧が [redacted]MPa に減少した場合、輸送容器が健全であり密封性が保持されることを解析する。

なお、輸送物構成部品の最低温度は-40℃、最高温度は 65℃として解析を行う。

外気圧が□kPa まで降下したとき、内容器には

$P_2 = P_0 - P_a$ [redacted]　〔MPa〕

の内圧が作用することになる。

ここで、

P_0 ；内容器初期内圧（大気圧）　〔MPa〕

P_a ；圧力降下後の外気圧　〔MPa〕

応力評価については A.5.1.3 応力計算において、容器に作用する内圧を[redacted]MPa としているため、本項では差圧の合計である

$P = P_1 + P_2$ [redacted]　〔MPa〕

の内圧が作用するものとして解析する。

応力評価位置及び解析方法は、A.5.1.3 と同様に行い、その応力評価結果を（ロ）－第 A.10 表に示す。

（ロ）－第A.10表　圧力変動時における応力評価結果

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置 ＼ 応力及び応力強さ			初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
							Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器胴部		σ_r	—		—				—	—	—									
			σ_θ																		
			σ_z																		
2	内容器底板	内面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
		外面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
3	内容器蓋	内面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
		外面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
4	内容器蓋締付ボルト		σ_t	□		—				—	—	—									
5	内容器蓋内側Oリング部変位				① 変位 μ ＝ □mm ② Oリング初期締め代 $\delta \fallingdotseq$ □mm								③ Oリングの残留締め代 $\Delta t = \delta - \mu \fallingdotseq$ □mm									

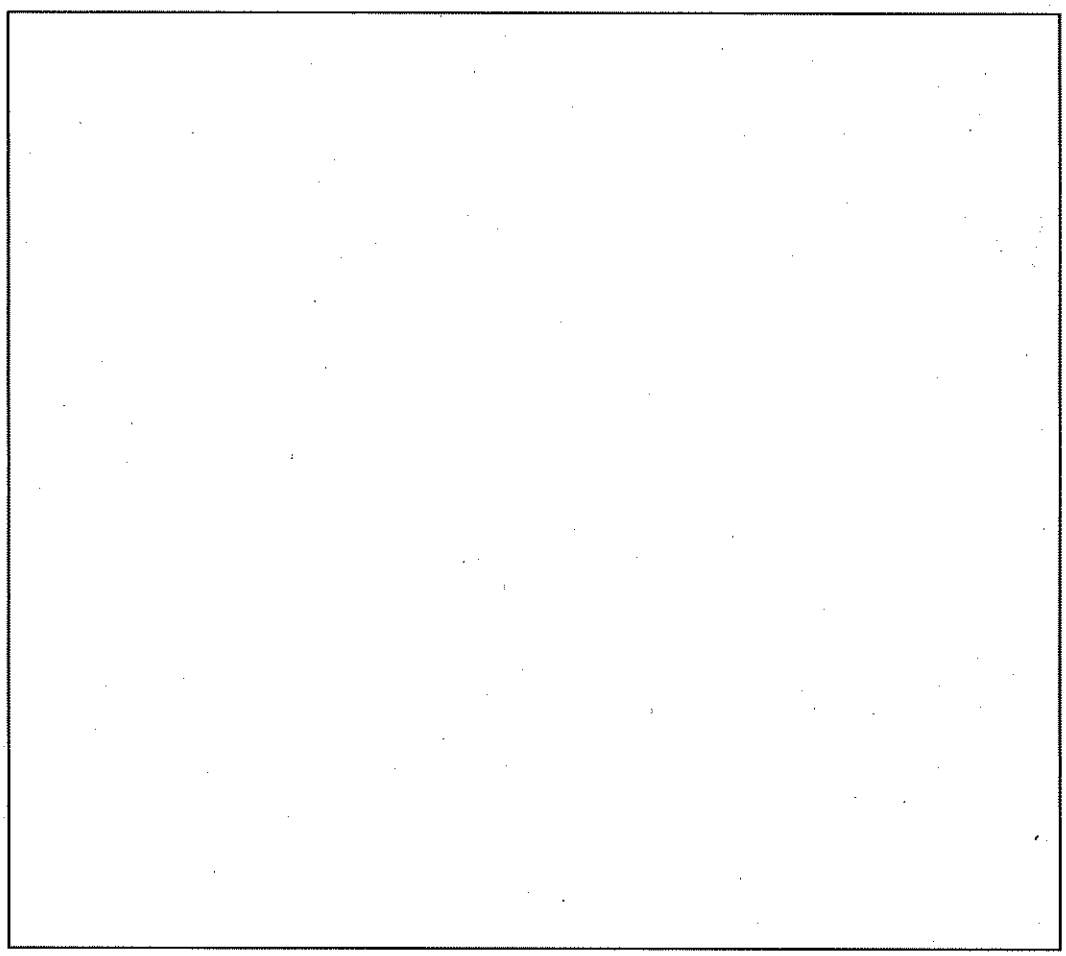
Pm；一次一般模応力　PL；一次局部模応力　Pb；一次曲げ応力　Q ；二次応力　F ；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　σ_t；ボルト軸方向応力
Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数　Sm；設計応力強さ　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　＊；応力集中係数=4　σ_r；径方向応力　σ_θ；周方向応力　σ_z；軸方向応力

A.4.7 振　　動

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

(1) 輸送容器の振動

輸送容器の振動解析モデルを（ロ）－第A.14図に示す。



（ロ）－第A.14図　輸送容器振動解析モデル

（ロ）－第 A.14 図に示すように、輸送容器を 4 種類の並列ばね（k_1～k_4）に支えられた質点系とすると、この時の固有振動数は、次式[8]で与えられる。

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

したがって、

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

ここで、

ω_0 ； 輸送容器固有振動数 〔rad/s〕

f_0 ； 輸送容器固有振動数 〔Hz〕

m ； 輸送物質量 □ 〔kg〕

K ； 並列ばね定数 〔kg/mm〕

$$K = \sum_{i=1}^{4} k_i = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$$

□

A_1 ； 補強材の断面積 〔mm^2〕

A_2 ； □の断面積 〔mm^2〕

A_3 ； 外容器胴板の断面積 〔mm^2〕

A_4 ； ターンバックルの断面積 〔mm^2〕

E_1 ； 補強材の縦弾性係数 〔N/mm^2〕

E_2 ； □の縦弾性係数[13] 〔N/mm^2〕

E_3 ； 外容器胴板の縦弾性係数 〔N/mm^2〕

E_4 ； ターンバックルの縦弾性係数 〔N/mm^2〕

ℓ_1 ； 補強材の長さ 〔mm〕

ℓ_2 ； □の長さ 〔mm〕

ℓ_3 ； 外容器胴板の長さ 〔mm〕

ℓ_4 ； ターンバックルの長さ 〔mm〕

□

ゆえに、

k_1 ； 補強材のばね定数 〔N/mm〕

k_2 ； □のばね定数 〔N/mm〕

k_3 ； 外容器胴板のばね定数 〔N/mm〕

k_4 ； ターンバックルのばね定数 〔N/mm〕

より、

K＝□ 〔kg/mm〕

したがって、固有振動数は下記の値となる。

f_0＝□ 〔Hz〕

この固有振動数□[Hz]は、車両輸送時及び船舶輸送時に受ける振動数域0～50〔Hz〕の範囲外である。よって、共振することはない。また、運搬中に予想される振動数は0～50〔Hz〕程度であり、固有振動数に比べ開きがあることから、入力される励振力が増幅されることはない。したがって、運搬中に予想される本体発生加速度は、一般の試験条件の自由落下等に十分包含されることから輸送物に亀裂、破損が生じることはない。

(2) 燃料バスケット

燃料バスケットは、内容器内にスペーサを介して支持されており、外部からの振動を直接受けることはない。

また、燃料要素も上下を発泡□製のスペーサで保持されており、振動を受けることはない。

(3) 評　　価

本輸送容器の固有振動数は、積載車両等によって生じる振動数に比べ大きいため共振することはない。したがって、内容器蓋締付ボルト及びその他の締付部が輸送中に緩むことはなく、密封性が損なわれることはない。

また、燃料バスケット及び燃料要素は、内容器内面にゴムを介して保持されており、輸送中の振動により健全性が損なわれることはない。

A.5 一般の試験条件

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

(1) 水吹き付け試験

(1)の試験に引き続いて次の条件の下に置く。

(2) 自由落下試験

(3) 積み重ね試験

(4) 貫通試験

(1)～(4)の試験に引き続いて次の条件の下に置く。

(5) 周囲温度が-40℃から 38℃までの環境に一週間放置。

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

A.5.1 熱的試験

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

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

(1) 設計温度

（ロ）－B.4.2 最高温度で評価した結果、輸送物は 65℃まで温度が上昇する（最低温度は-40℃）。したがって、一般の試験条件下における設計温度は、（ロ）－第 A.11 表に示すように内容器及び外容器とも、安全側に□℃になるものとして評価する。

（ロ）－第 A.11 表　一般の試験条件下における設計温度

No	部　　位	設計温度〔℃〕
1	燃 料 要 素	
2	燃料バスケット	
3	内 容 器 本 体	
4	内 容 器 蓋	
5	外 容 器	

(2) 設計圧力

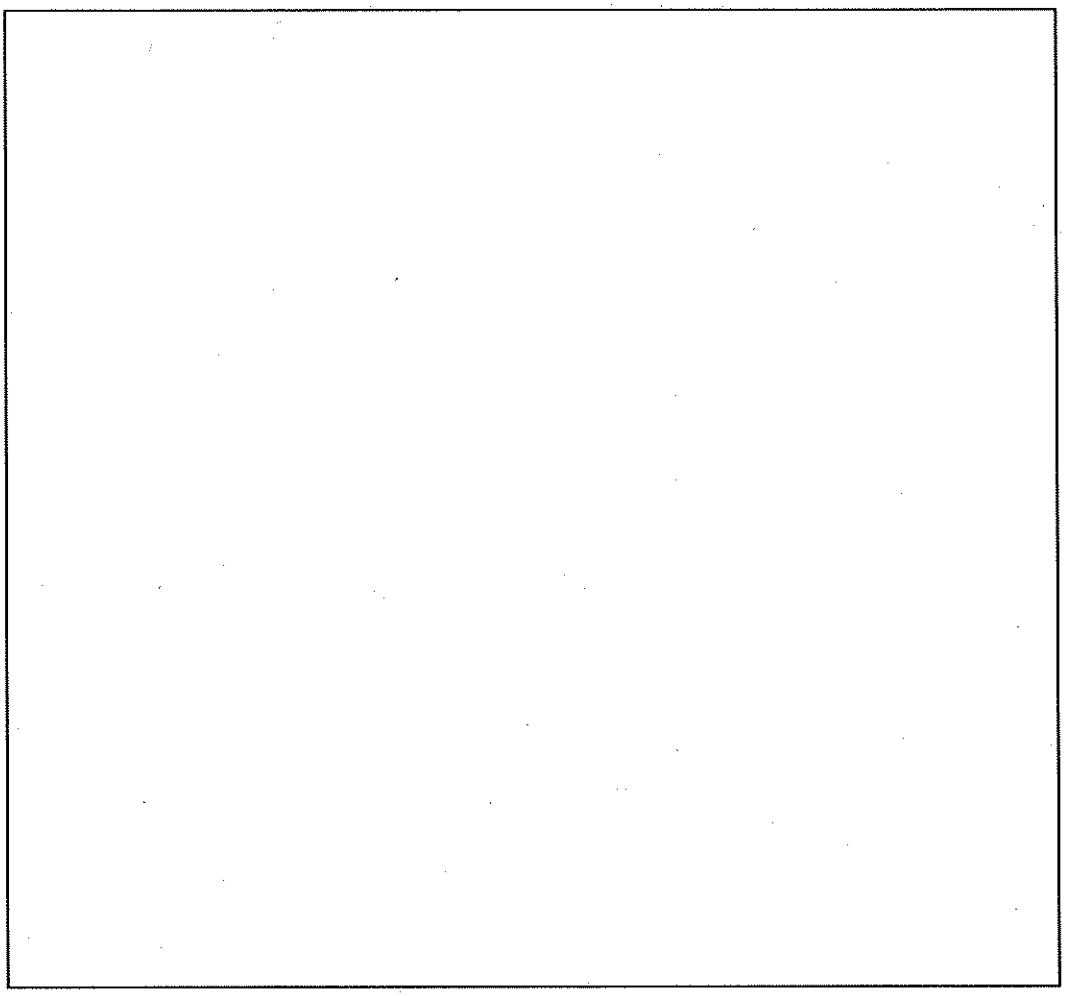
（ロ）－B.4.4 最大内圧で評価したように、内容器内圧力は、ゲージ圧で［　　］MPa まで上昇する。また、-40℃から 65℃まで温度変化があった場合であっても、容器内圧力は［　　］MPa[gauge]である。したがって、一般の試験条件下における設計圧力は、（ロ）－A.12 表に示すように安全側に［　　］MPa の圧力差が生じるものとして評価する。

（ロ）－第 A.12 表　一般の試験条件下における設計圧力

No.	部　　位	設　計　圧　力
1	内　容　器　内	［　　］MPa〔gauge〕

A.5.1.2 熱 膨 張

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



（ロ）－第A.15図　熱膨張解析モデル

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

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

したがって、燃料バスケットと内容器には、熱膨張による応力は発生しない。

A.5.1.3 応力計算

本項では、輸送物各部の応力計算を行う。

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

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

燃料バスケットも同様に、板厚が[ ]温度差が生じにくい。

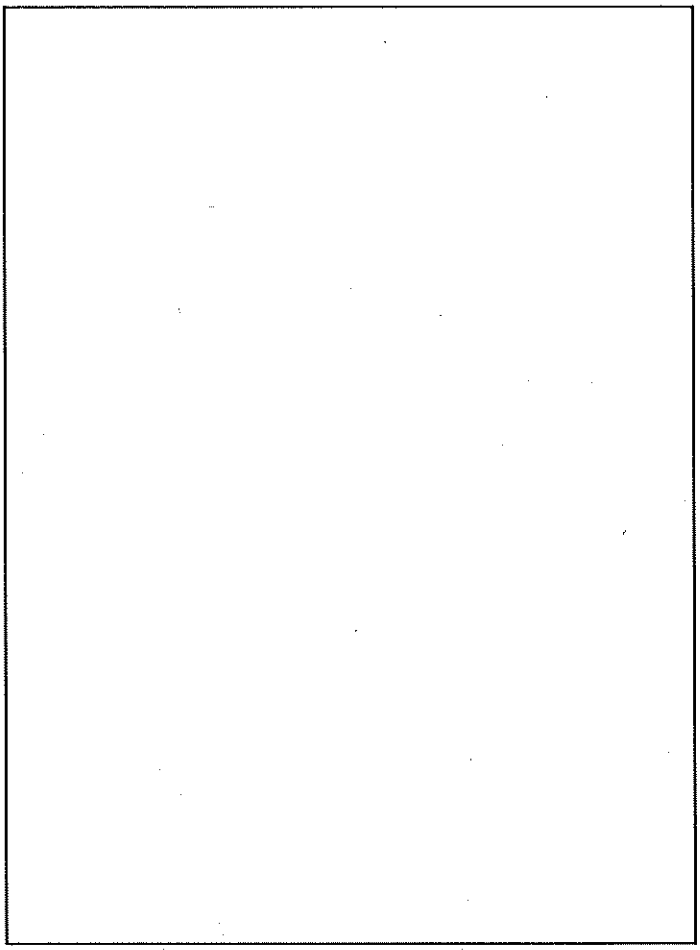
よって、輸送容器各部においては、板厚方向の温度差による熱応力は小さいため、本項では計算を省略する。

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

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

(1) 応力評価位置

一般の試験条件下における内容器の応力評価位置を(ロ)－第A.16図に示す。なお、各項では、主応力を求めるものとし、応力強さの分類はまとめて(ロ)－第A.13表に示し、応力強さの評価はA.5.1.4で行う。



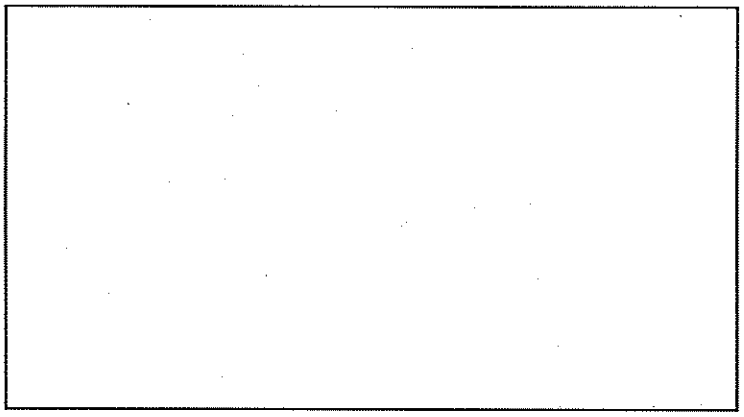
記　号	評　価　位　置
Ⓐ	内　容　器　胴　部
Ⓑ	内　容　器　底　板
Ⓒ	内　容　器　蓋
Ⓓ	内容器蓋Oリング部変位
Ⓔ	内容器蓋締付ボルト

(ロ)－第A.16図　一般の試験条件下における応力評価位置

Ⓐ 内容器胴部

内容器胴中央部には、内容器内圧力が内圧力として作用する。

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



(ロ)－第A.17図　内容器胴中央部応力解析モデル

$$\sigma_\theta = \frac{PD_m}{2t}$$

$$\sigma_z = \frac{PD_m}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

σ_θ ； 周方向応力 〔N/mm²〕

σ_z ； 軸方向応力 〔N/mm²〕

σ_r ； 径方向応力 〔N/mm²〕

P ； 内容器内設計圧力 P ＝ 〔MPa〔gauge〕〕

D_m ； 内容器胴部平均径 $D_m = D + t$ ＝ 〔mm〕

t ； 内容器胴部板厚 、 t ＝ 〔mm〕

D ； 内容器胴部内径 D ＝ 〔mm〕

したがって、次の値となる。

σ_θ ＝ 〔N/mm²〕

σ_z ＝ 〔N/mm²〕

σ_r ＝ 〔N/mm²〕

Ⓑ 内容器底板

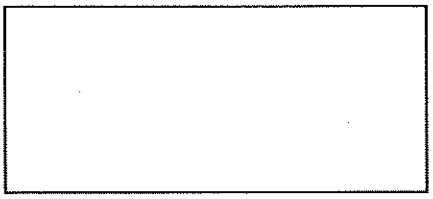
内圧力を受ける内容器底板の応力解析モデル図を(ロ)－第A.18図に示す。

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

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

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

$$\sigma_z = -P \quad (\text{内面})$$



（ロ）－第A.18図　内容器底板応力解析モデル

ここで、

σ_θ	；	周方向応力		〔N/mm²〕
σ_r	；	径方向応力		〔N/mm²〕
σ_z	；	軸方向応力		〔N/mm²〕
P	；	内容器内設計圧力	P＝	〔MPa〔gauge〕〕
a	；	内容器底板半径	a＝	〔mm〕
h	；	内容器底板板厚	h＝	〔mm〕

したがって、次の値となる。

σ_θ＝　　〔N/mm²〕

σ_r＝　　〔N/mm²〕

σ_z＝　(内面)　〔N/mm²〕

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

◎ 内容器蓋

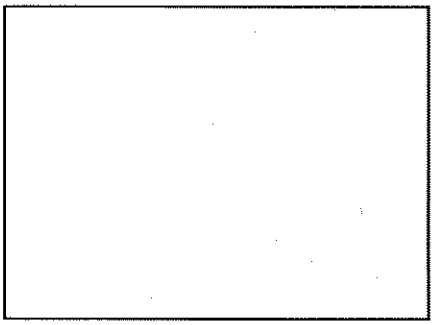
内圧力を受ける内容器蓋に生じる応力解析モデル図を（ロ）－第A.19図に示す。

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

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

$$\sigma_z = -P \quad (\text{内面})$$

ここで、



（ロ）－第A.19図　内容器蓋中央部応力解析モデル

σ_θ	；周方向応力〔N/mm²〕		
σ_r	；径方向応力〔N/mm²〕		
σ_z	；軸方向応力〔N/mm²〕		
P	；内容器内設計圧力	P＝	〔MPa〔gauge〕〕
a	；内容器蓋支持点半径	a＝	〔mm〕
h	；内容器蓋板厚	h＝	〔mm〕

したがって、次の値となる。

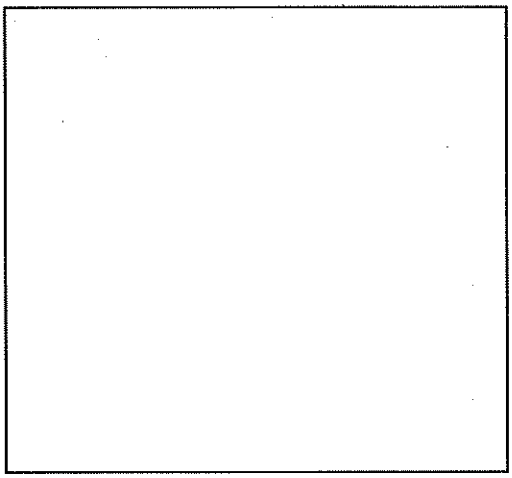
$\sigma_\theta = \sigma_r =$ 〔N/mm²〕

$\sigma_z =$ (内面)　〔N/mm²〕

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

Ⓓ 内容器蓋Oリング部の変位

内容器蓋Oリング部変位の解析モデル図を（ロ）－第A.20図に示す。



（ロ）－第A.20図　内容器蓋Oリング部変位の解析モデル

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

$$\omega = \frac{P \cdot a^4}{64D} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) \cdot \left(\frac{5+\nu}{1+\nu} - \frac{r^2}{a^2}\right)$$

ここで、

P　；内容器内設計圧力　　P＝　　〔MPa〔gauge〕〕

ν　；ポアソン比　　ν＝

a　；内容器蓋支持点半径　　a＝　　〔mm〕

r　；中心から評価点までの距離

r_i；内側Oリング溝の半径　r_i＝　　〔mm〕

D　；内容器蓋の曲げ剛性

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu^2)}$$　　〔N・mm〕

E　；縦弾性係数　　E＝　　〔N/mm²〕

h　；内容器蓋の最小板厚　　h＝　　〔mm〕

したがって、内側Oリング溝部の変位ω_iは次の値となる。

ω_i＝

〔mm〕

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

Ⓔ 内容器蓋締付ボルト

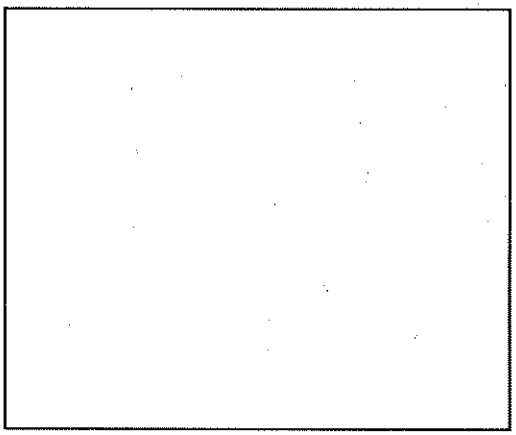
内容器蓋締付ボルト（以下、この項で「ボルト」という。）については、初期締付応力、内圧力による応力及び熱膨張による応力を解析する。

(a) 初期締付応力

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

（ロ）－第A.21図に示すボルトに生じる引張応力σ_tは次式で与えられる。

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



（ロ）－第A.21図　内容器蓋締付ボルト応力解析モデル（初期締付応力）

ここで、

F　；　ボルトの初期締付力

$F = \frac{T}{k \cdot d} =$ 〔N〕

T；　初期締付トルク　T＝ 〔N・mm〕

k；　トルク係数　k＝

d；　ボルトの呼び径　d＝ 〔mm〕

A_i；　ボルト（□）の谷径断面積

$A_i = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^{\,2} =$ 〔mm^2〕

d_i；　ボルトの谷径　d_i＝ 〔mm〕

したがって、次の値となる。

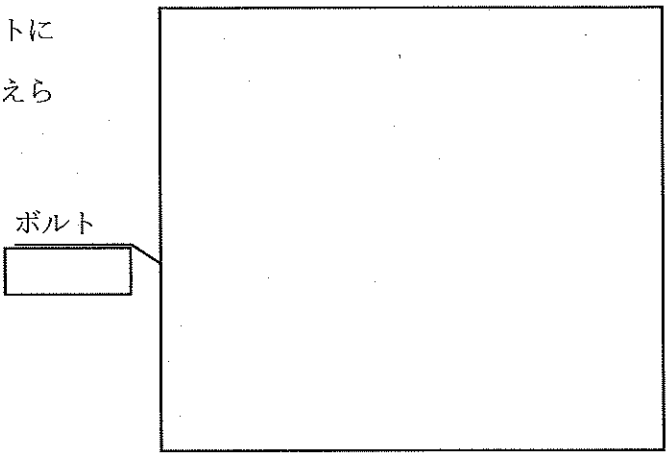
$\sigma_t =$ 〔N/mm^2〕

(b) 内圧による応力

内圧力によるボルトに生じる応力の解析モデルを（ロ）－第A.22図に示す。

（ロ）－第A.22図に示すボルトに生じる引張応力σ_tは次式で与えられる。

$$\sigma_t = \frac{\pi \cdot r_i^2 \cdot P}{n \cdot A_i}$$



（ロ）－第A.22図　内容器蓋締付ボルト応力解析モデル（内圧力による応力）

ここで、

r_i ；　受圧面半径　　r_i =　　〔mm〕

P ；　内容器内設計圧力　　P =　　〔MPa〔gauge〕〕

A_i ；　ボルト（□）の谷径断面積　　A_i =　　〔mm^2〕

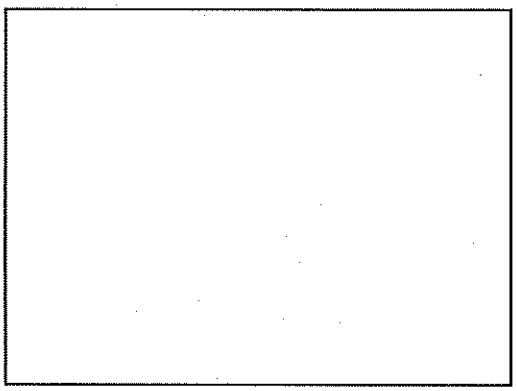
n ；　ボルト本数　　n =

したがって、次の値となる。

σ_t =　　〔N/mm^2〕

(c) 熱膨張による応力

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



（ロ）－第A.23図　内容器蓋締付ボルト応力解析モデル（熱膨張による応力）

A.5.1.4 許容応力との比較

A.5.1.3の各解析項目に対する応力評価結果をまとめて(ロ)－第A.13表に示す。

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

なお、周囲の温度が-40℃から38℃に変化した場合においても、熱膨張、熱応力に対して影響はない。

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

また、本輸送物の使用回数を500回*とした場合の許容繰返し数に対する余裕率は、（ロ）－第A.13表に示すように正である。よって荷重の繰返しにより本輸送物の健全性が損なわれることはない。

＊　使用回数N＝3回／年×60年×余裕度≒500回

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

（ロ）－第A.13表　一般の試験条件（熱的試験）下における応力評価結果

No.	応力及び応力強さ / 評価位置			初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
							Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器胴部		σ_r	—		—				—	—	—									
			σ_θ																		
			σ_z																		
2	内容器底板	内面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
		外面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
3	内容器蓋	内面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
		外面	σ_r	—		—															
			σ_θ																		
			σ_z																		
4	内容器蓋締付ボルト		σ_t			—				—	—	—									
5	内容器蓋Oリング部変位			① 変位μ＝　mm ② Oリング初期締め代　$\delta \fallingdotseq$　mm												③ Oリングの残留締め代 $\Delta t = \delta - \mu \fallingdotseq$　mm					

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

A.5.2 水 噴 霧

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

また、[redacted]水密構造になっているので輸送容器内に水が入ることはない。

A.5.3 自由落下

本輸送物の質量は、最大□kgであり、5000kg以下であるから規則に定められる一般の試験条件下での自由落下高さは1.2mである。

落下姿勢は、下記の4ケースについて解析する。

① 水平落下

② 垂直落下 （上部及び下部）

③ コーナー落下（上部及び下部）

④ 傾斜落下 （上部及び下部）

本解析の目的は、次のとおりである。

① 自由落下による外容器の変形が密封境界である内容器に達することがなく、内容器の密封性能が維持されること。

② 自由落下時の衝撃によって内容器が破損することがなく、内容器の密封性能が維持されること。

③ 収納物の破損がないこと。

(1) 解析方法

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

(a) 変 形 量

① 衝突面は剛体であるとし、輸送物の落下エネルギーは、緩衝材のみによって全量吸収されるものとする。したがって、外容器の変形量は、緩衝材の変形量となる。これは、鋼板及び断熱材による吸収を無視するため変形量を大きくし安全側の評価となる。

② 緩衝材により生じる加速度及び変形量は、A.10.1 に示す緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH－Ⅱ」を用いて計算する。

(b) 応　　力

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

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

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

設計加速度＝CASH－Ⅱの計算結果×1.2＋鋼板による加速度

③ 鋼板により、生じる加速度は簡易計算により求める。

(2) 落下エネルギー

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

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

ここで、

E_a ；	緩衝材の吸収エネルギー		〔J〕
E_v ；	輸送物の落下エネルギー		〔J〕
m ；	輸送物の質量	m＝□	〔kg〕
g ；	重力加速度	g＝□	〔m/s²〕
h ；	落下高さ	h＝□	〔m〕

したがって、次の値となる。

$E_a = E_v =$ □　〔J〕

□　〔N･mm〕

(3) 緩衝材性能解析プログラム「CASH－Ⅱ」の計算結果

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

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

（ロ）－第A.14表　一般の試験条件下での緩衝材についての変形量及び加速度

落下姿勢			変形量〔mm〕	加速度（×g）	
				計算値	×1.2倍
水平					
垂直	上部				
	下部				
コーナー	上部	＊			
	下部				
傾斜	上部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			
	下部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			

＊この角度は、落下角度で輸送物の中心線と落下方向とのなす角度である。

（以下、同じ）

ここで、

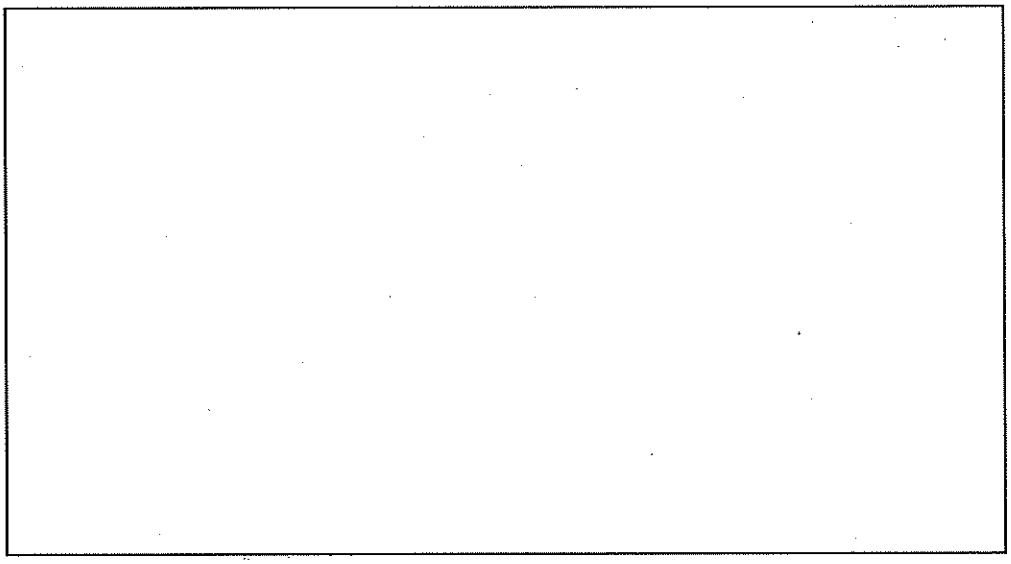
g；重力加速度　　g＝9.81〔m/s²〕

(4) 鋼板による加速度の増加

(イ) 水平落下時

水平落下時の鋼板による加速度の増加を求める。

その評価個所を(ロ) －第A.24図に示す。

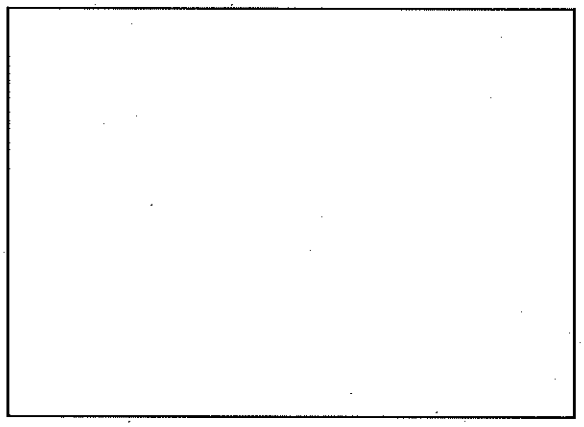


記　号	評　価　位　置
Ⓐ	外　筒　鋼　板
Ⓑ	外容器フランジ
Ⓒ	強　　め　　輪
Ⓓ	外 容 器 鏡 板
Ⓔ	仕　　切　　板
Ⓕ	アイプレート直撃
Ⓖ	アイプレート取付板
Ⓗ	外容器本体フランジ
Ⓘ	アイプレート取付脚

(ロ) －第A.24図　水平落下時鋼板による加速度評価箇所

Ⓐ 外筒鋼板

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



（ロ）－第A.25図　水平落下時外筒鋼板による加速度解析モデル

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

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

上式は、$\theta=\alpha$で最大となり、次式となる。

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

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

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

より、この時の等分布荷重wは次式で与えられる。

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

したがって、最大抵抗力は下記となる。

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

ここで、 M ； 円環の曲げモーメント 〔N･mm〕

w ； 等分布荷重 〔N/mm〕

F ； 最大抵抗力 〔N〕

R ； 円環半径 R = 〔mm〕

σ_s ； 変形応力（常温） σ_s = 〔N/mm^2〕

θ ； ＯＣよりの任意の角度 〔rad〕

α ； 変形部分の半角

α = 〔rad〕

δ ； 変形量 δ = 〔mm〕

Z_p ； 塑性断面係数

Z_p = 〔mm^3〕

b ； 円環幅 b = 〔mm〕

h ； 円環厚み h = 〔mm〕

したがって、次の値となる。

F =

= 〔N〕

外筒鋼板による加速度の増加N_{H1}は次式となる。

$N_{H1} = \frac{F}{m}$ = 〔m/s^2〕

ここで、

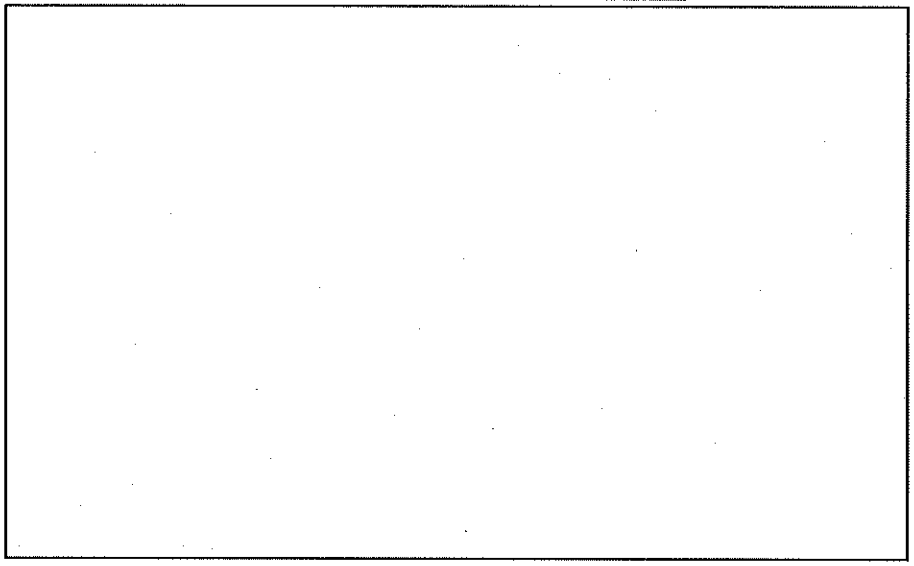
m ； 輸送物質量 m = 〔kg〕

Ⓑ 外容器蓋フランジ

解析モデルはA.5.3(4)（イ）Ⓐと同様、（ロ）－第A.25図による。

ただし、変形量は円環半径に達していないため、モーメント式のαは0とする。

また、外容器蓋フランジの断面形状を（ロ）－第A.26図に示す。



（ロ）－第A.26図　外容器蓋フランジ断面形状

最大抵抗力は次式で与えられる。(10)

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

$$=$$ [　　]

ここで、

F　；　最大抵抗力　〔N〕

R　；　円環半径　R ＝ [　　]　〔mm〕

σ_s　；　変形応力（常温）　σ_s ＝ [　　]　〔N/mm²〕

Z_p　；　塑性断面係数

Z_p ＝ [　　]

＝ [　　]　〔mm³〕

b　；　円環幅　b ＝ [　　]　〔mm〕

h　；　円環厚み　h ＝ [　　]　〔mm〕

したがって、外容器蓋フランジによる加速度の増加N_{H2}は次式となる。

$$N_{H2} = \frac{F}{m} = \boxed{} \quad [m/s^2]$$

Ⓒ 強め輪

解析モデルはA.5.3(4)（イ）Ⓐと同様、（ロ）－第A.25図による。

最大抵抗力は次式で与えられる。

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

ここで、 F ； 最大抵抗力 〔N〕

R ； 円環半径 R ＝ 〔mm〕

σ_s ； 変形応力（常温） σ_s ＝ 〔N/mm²〕

δ ； 変形量 δ ＝ 〔mm〕

α ； 変形部分の半角

α ＝

〔rad〕

Z_p ； 塑性断面係数 〔mm³〕

$$Z_p=\frac{h}{4}\left\{(b-h)^2+h^2\right\}$$

＝

＝

b ； アングル幅 b ＝ 〔mm〕

h ； アングル厚み h ＝ 〔mm〕

したがって、Fは下記の値となる。

F＝

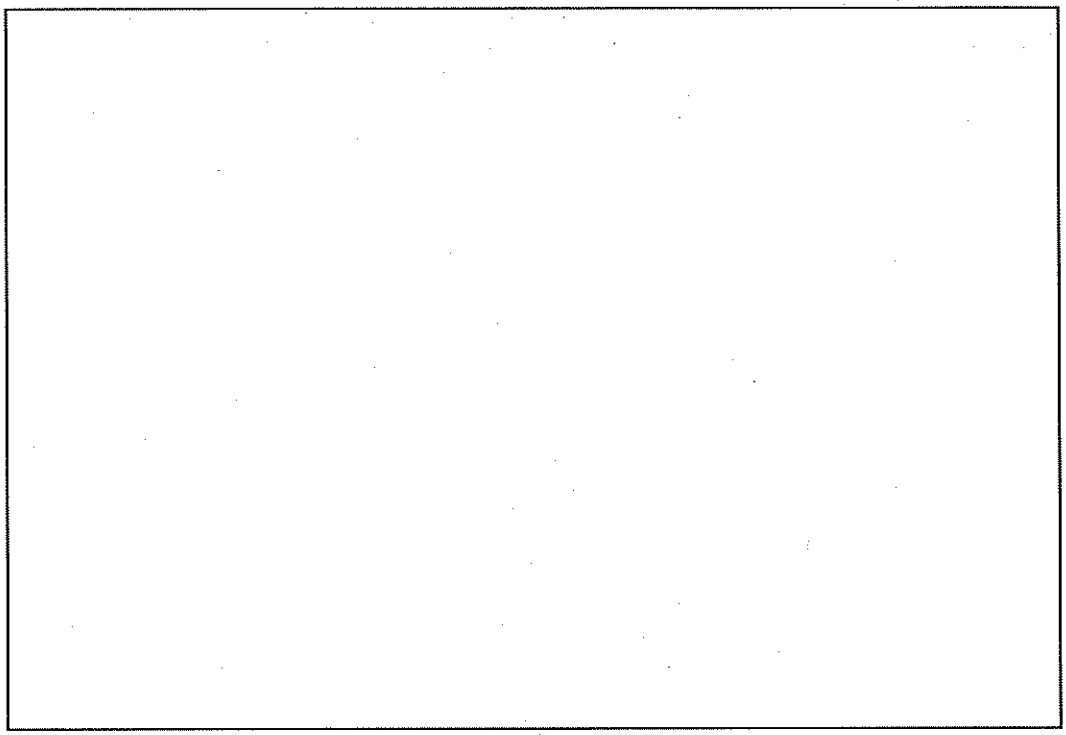
＝ 〔N〕

強め輪による加速度の増加N_{H3}は次式となる。

$$N_{H3}=\frac{F}{m}=$$ 〔m/s²〕

Ⓓ 外容器鏡板

解析モデルを（ロ）－第A.27図に示す。



（ロ）－第A.27図　水平落下時外容器鏡板による加速度解析モデル

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

$$F=\frac{\sigma_s}{r}\cdot Z_{p'}=\frac{\sigma_s}{r}\cdot\frac{C\cdot h^2}{4}$$

ここで、

F　；　最大抵抗力　〔N〕

σ_s　；　変形応力（常温）　$\sigma_s=$　〔N/mm^2〕

Z_p　；　塑性断面係数　〔mm^3〕

$$Z_{p'}=\frac{C\cdot h^2}{4}$$

C ； 緩衝材変形幅 C ＝ [mm]

h ； 鏡板板厚 h ＝ [mm]

r ； コーナー部半径 r ＝ [mm]

したがって、次の値となる。

F＝ [N]

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

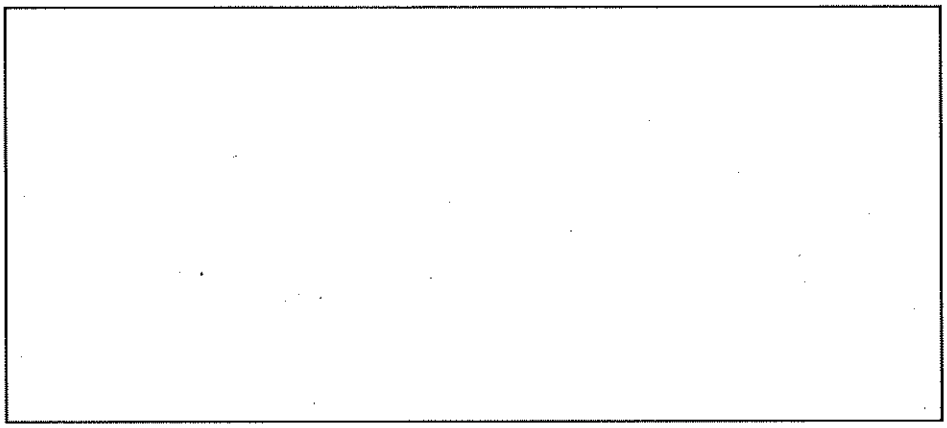
N_{H4} $\frac{2 \cdot F}{m}$ ＝ [m/s^2]

Ⓔ 仕切板

解析モデルはA.5.3(4)（イ）Ⓐと同様、（ロ）－第A.25図による。

ただし、変形量は円環半径に達してないため、モーメント式のαは0とする。

また、仕切板の断面形状を（ロ）－第A.28図に示す。



（ロ）－第A.28図　仕　切　板　断　面　形　状

最大抵抗力は次式[10]で与えられる。

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

$$=$$ 〔N〕

ここで、

F　；　最大抵抗力　〔N〕

R　；　円環半径　R ＝　〔mm〕

σ_z　；　変形応力（常温）　σ_z ＝　〔N/mm²〕

Z_p　；　塑性断面係数

$$Z_p=\frac{1}{4}b\cdot h^2=$$ 〔mm³〕

b　；　円環幅　b ＝　〔mm〕

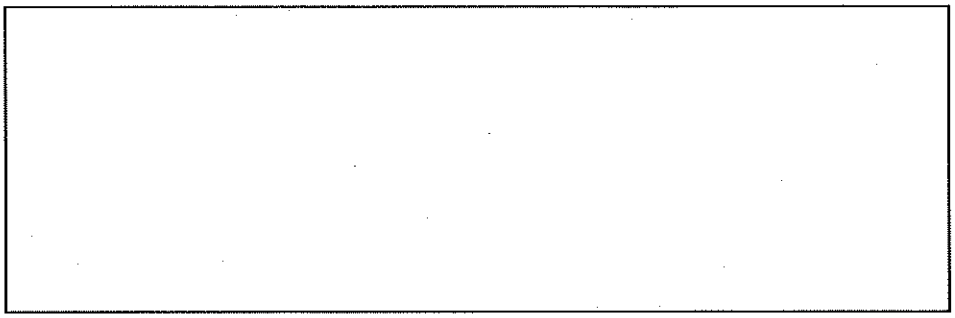
h　；　円環厚み　h ＝　〔mm〕

したがって、仕切板による加速度の増加N_{H5}は次式となる。

$$N_{H5} \quad \frac{F}{m} = \boxed{} \qquad [m/s^2]$$

Ⓕ アイプレートによるもの

解析モデルを（ロ）－第A.29図に示す。



（ロ）－第A.29図　アイプレート変形解析モデル

（ロ）－第A.29図に示すように、アイプレートを直撃した場合、X－X断面において、最大圧縮応力を生じ、この応力が変形応力σ_sに等しくなる時、最大抵抗力が生じるものとすると、最大抵抗力Fは次式で与えられる。

$$F=\sigma_s \cdot A=\sigma_s \cdot (b-d) \cdot t$$

ここで、

F	； 最大抵抗力			〔N〕
σ_s	； 変形応力（常温）	σ_s =		〔N/mm²〕
A	； 評価断面積			〔mm²〕
b	； アイプレート幅	b =		〔mm〕
t	； アイプレート板厚	t =		〔mm〕
d	； アイプレート穴径	d =		〔mm〕

したがって、次の値となる。

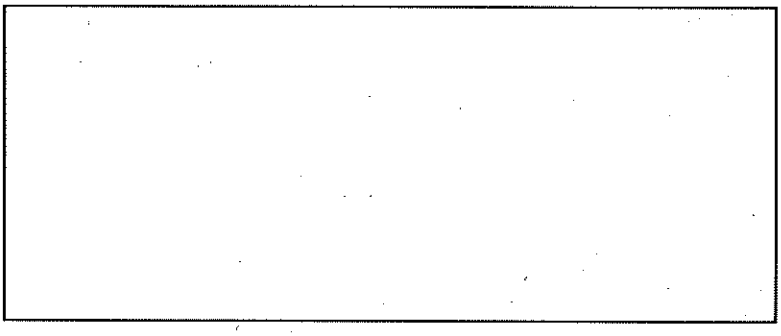
$F=$ 〔N〕

アイプレートによる加速度の増加はN_{H6}は次式となる。

$$N_{H6}=\frac{F}{m}=$$ 〔m/s²〕

Ⓖ アイプレート取付板

解析モデルを（ロ）－第A.30図に示す。



（ロ）－第A.30図　アイプレート取付板解析モデル

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

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

ここで、

F ；	最大抵抗力		〔N〕
σ_s ；	変形応力（常温）	$\sigma_s=$	〔N/mm²〕
Z_p ；	塑性断面係数		〔mm³〕
	$Z_p=\frac{1}{4}b\cdot h^2$		
b ；	アイプレート取付板幅	b=	〔mm〕
h ；	アイプレート取付板板厚	h=	〔mm〕
ℓ ；	両端固定点幅	$\ell=$	〔mm〕

したがって、下記の値となる。

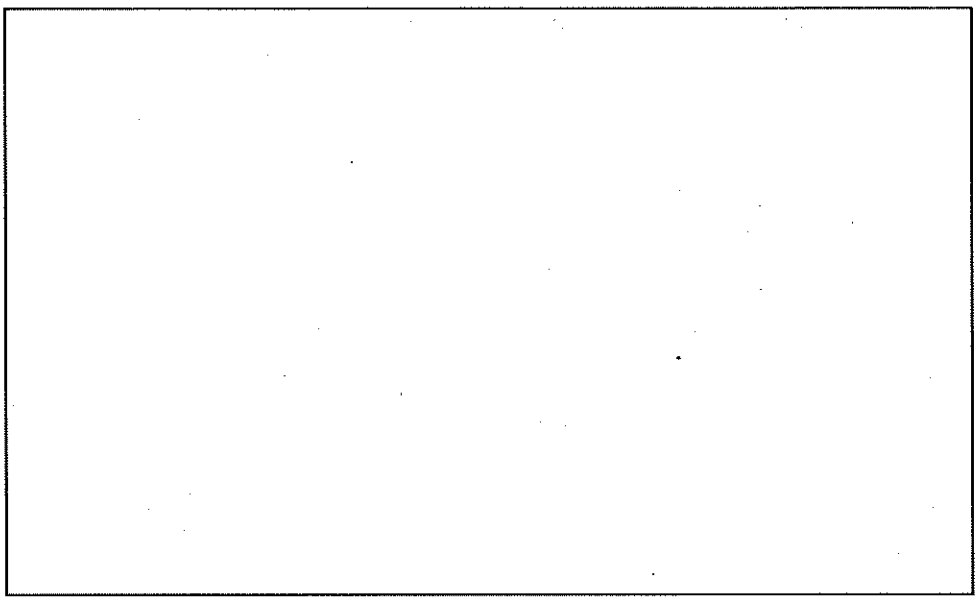
F= 〔N〕

アイプレート取付板による加速度の増加はN_{H7}は次式となる。

$N_{H7}=$ 〔m/s²〕

㊊ 外容器本体フランジ

解析モデルを（ロ）－第A.31図に示す。



（ロ）－第A.31図　外容器本体フランジ解析モデル

（ロ）－第A.31図に示すように、中央に集中荷重を受ける細長い矩形断面を持つ両端支持梁は横座屈を生じ、この時の座屈荷重が最大抵抗力Fになるものとすると、次式で与えられる。[19]

$$F = \frac{16.93\sqrt{B_y C}}{\ell^2}$$

ここで、

F　；　最大抵抗力　〔N〕

ℓ　；　支持点間距離　ℓ＝　〔mm〕

B_y　；　Y軸まわりの曲げ剛性

B_y＝

＝　〔N・mm^2〕

E　；　縦弾性係数（常温）　E＝　〔N/mm^2〕

h　；　フランジ板厚　h＝　〔mm〕

b　；　フランジ点幅　　b＝　　〔mm〕

C　；　捩り剛性

$$C=\frac{bh^3}{3}\left(1-0.630\frac{h}{b}\right)G$$

$$=$$

$$=$$ 〔N・mm^2〕

G　；　横弾性係数（常温）　G＝　　〔N/mm^2〕

したがって、次の値となる。

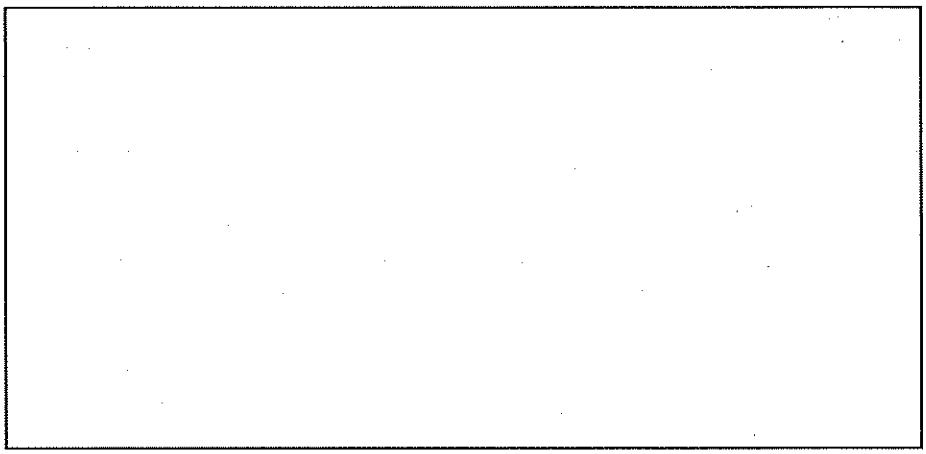
$F=$　　〔N〕

外容器本体フランジによる加速度の増加N_{H8}は次式となる。

$$N_{H8}=\frac{F}{m}=$$　　〔m/s^2〕

Ⓘ アイプレート取付脚

解析モデルを（ロ）－第A.32図に示す。



（ロ）－第A.32図　アイプレート取付脚解析モデル

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

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

ここで、

F ；	最大抵抗力		〔N〕
σ_s ；	変形応力（常温）	σ_s =	〔N/mm²〕
A ；	評価断面積		〔mm²〕
b_1 ；	板　幅	b_1 =	〔mm〕
b_2 ：	板　幅	b_2 =	〔mm〕
h ；	板　厚	h =	〔mm〕

したがって、次の値となる。

F = 〔N〕

アイプレート取付脚による加速度の増加N_{H9}は次式となる。

$$N_{H9} = \frac{F}{m} =$$ 〔m/s²〕

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

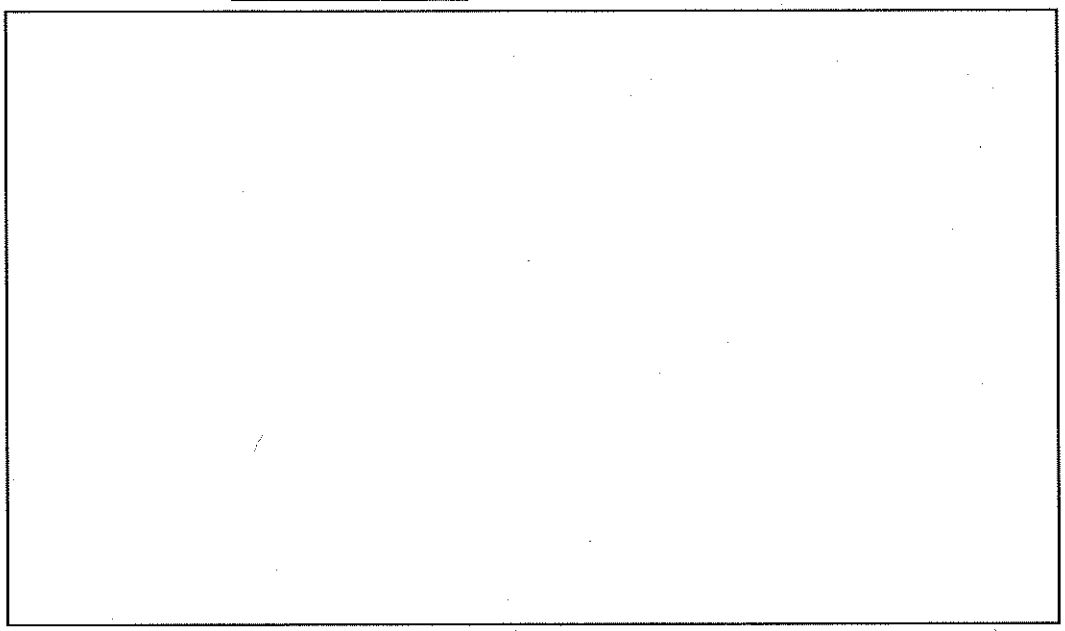
$$N_H = N_{H1} + N_{H2} + N_{H3} + N_{H4} + N_{H5} + N_{H6} + N_{H7} + N_{H8} + N_{H9}$$

$$= \boxed{\phantom{0000000000

（ロ）垂直落下時

垂直落下時の鋼板による加速度の増加を求める。

解析モデルを（ロ）－第A.33図に示す。



（ロ）－第A.33図　垂直落下時鋼板による加速度解析モデル

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

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

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

ここで、

F_1：外筒コーナー部抵抗力　〔N〕

F_2：円錐状補強板抵抗力　〔N〕

h　：板　厚　　h＝　　〔mm〕

r　：外筒コーナー部半径　　r＝　　〔mm〕

ϕ　：変形量δの時の角度

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

δ ；変形量（上部垂直落下） δ_1 = [ ] 〔mm〕

（下部垂直落下） δ_2 = [ ] 〔mm〕

ϕ_1 = [ ]

ϕ_2 = [ ]

R_2 ：円錐上部半径 （上部垂直落下） R_2 = [ ] 〔mm〕

（下部垂直落下） R_2 = [ ] 〔mm〕

α ：円錐角 α = [ ]

σ_s ：変形応力（常温） $\sigma_s = S_u$ = [ ] 〔N/mm²〕

よって、F_1及びF_2は次の値となる。

（上部垂直落下時）

F_1 = [ ] 〔N〕

F_2 = [ ]

= [ ] 〔N〕

（下部垂直落下時）

F_1 = [ ] 〔N〕

F_2 = [ ]

= [ ] 〔N〕

したがって、これにより生じる加速度は次式で与えられる。

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

（上部垂直落下時）

N_v = [ ] 〔m/s²〕

（下部垂直落下時）

N_v = [ ] 〔m/s²〕

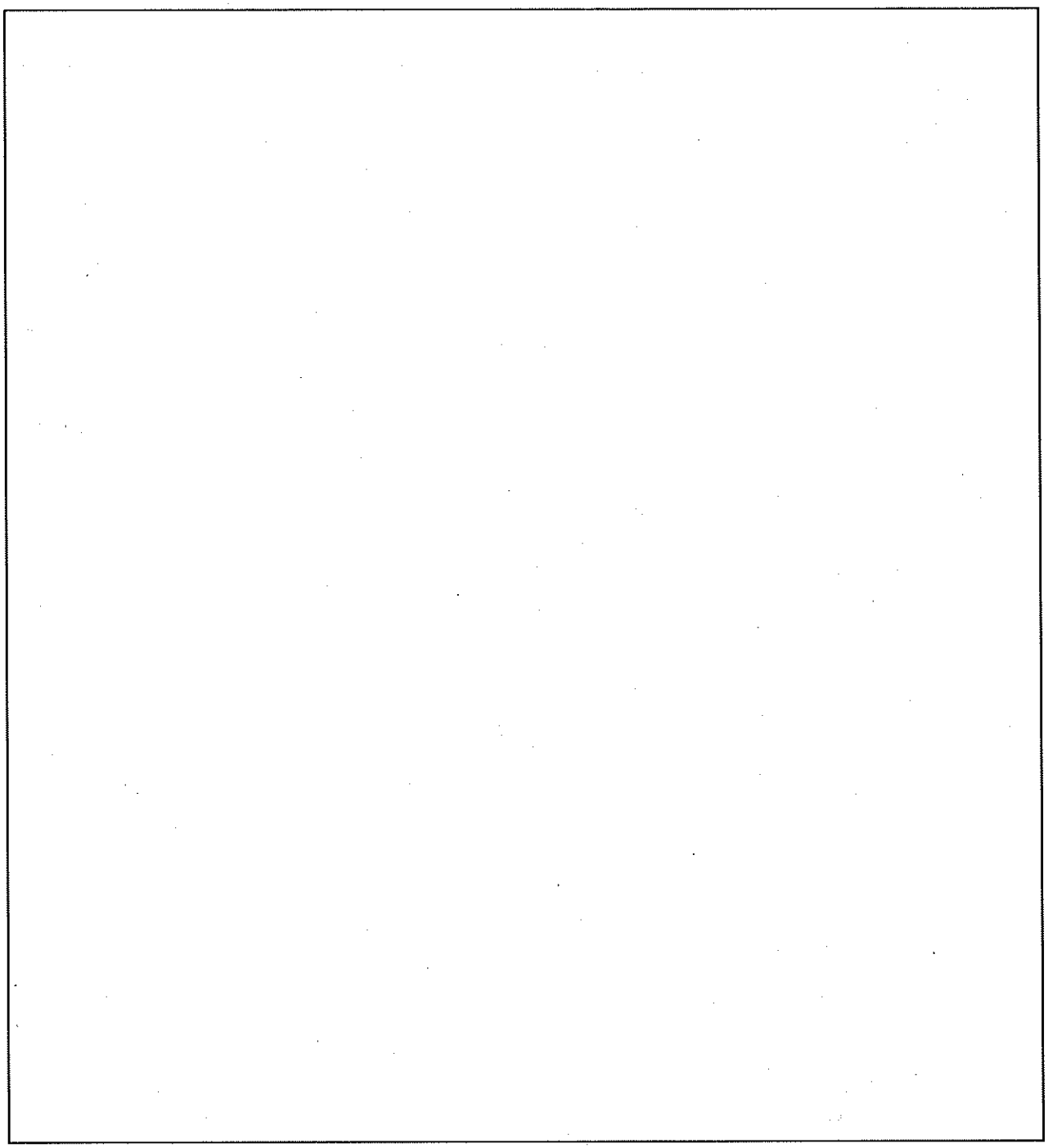
ここで、

g ；重力加速度 g = 9.81 〔m/s²〕

(ハ) コーナー落下時

コーナー落下時の鋼板による加速度の増加を求める。

解析モデルを（ロ）－第A.34図に示す。



（ロ）－第A.34図　コーナー落下時鋼板による加速度解析モデル

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

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

ここで、

F　；最大抵抗力　〔N〕

R_o；円筒鋼板外径　$R_o=$　〔mm〕

R_i；円筒鋼板内径　$R_i=$　〔mm〕

h　；円筒鋼板板厚　$h=$　〔mm〕

θ　；落下角度

〔上部コーナー落下〕　$\theta=$　〔rad〕

〔下部コーナー落下〕　$\theta=$　〔rad〕

δ　；変形量

〔上部コーナー落下〕　$\delta=$　〔mm〕

〔下部コーナー落下〕　$\delta=$　〔mm〕

θ_B；角　度

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

〔上部コーナー落下〕

$\theta_B=$　〔rad〕

〔下部コーナー落下〕

$\theta_B=$　〔rad〕

σ_s；変形応力（常温）　$\sigma_s=$　〔N/mm²〕

よって、Ｆは次の値となる。

〔上部コーナー落下時〕

$F =$ [redacted]

[redacted] 〔N〕

〔下部コーナー落下時〕

$F =$ [redacted]

[redacted] 〔N〕

したがって、これにより生じる加速度は次式で与えられる。

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

〔上部コーナー落下時〕

$N_c =$ [redacted] 〔m/s^2〕

〔下部コーナー落下時〕

$N_c =$ [redacted] 〔m/s^2〕

(5) 設計加速度

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

設計加速度＝CASH－Ⅱの計算結果×1.2＋鋼板による加速度

(ロ)－第A.15表　一般の試験条件下における設計加速度

落下姿勢			CASH－Ⅱ ×1.2倍	鋼板による加速度〔×g〕	設計加速度〔×g〕
水平					
垂直	上部				
	下部				
コーナー	上部				
	下部				
傾斜	上部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			
	下部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			

ここで、

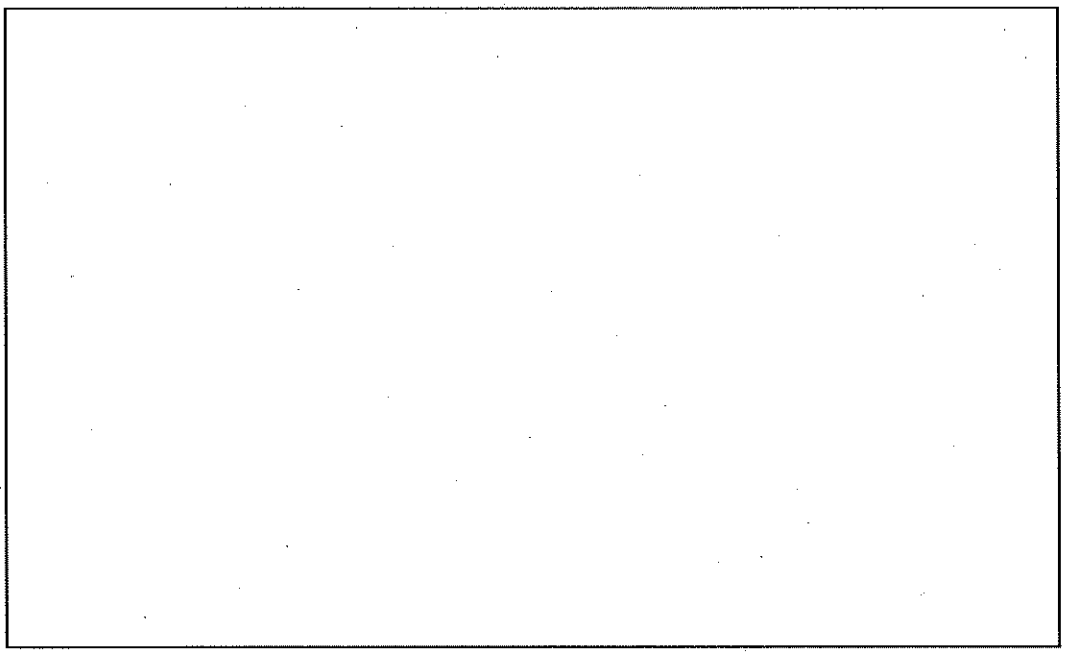
g ；重力加速度　　g＝9.81　　〔m/s²〕

(6) 1.2m水平落下時の応力解析

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

(a) 容器本体

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



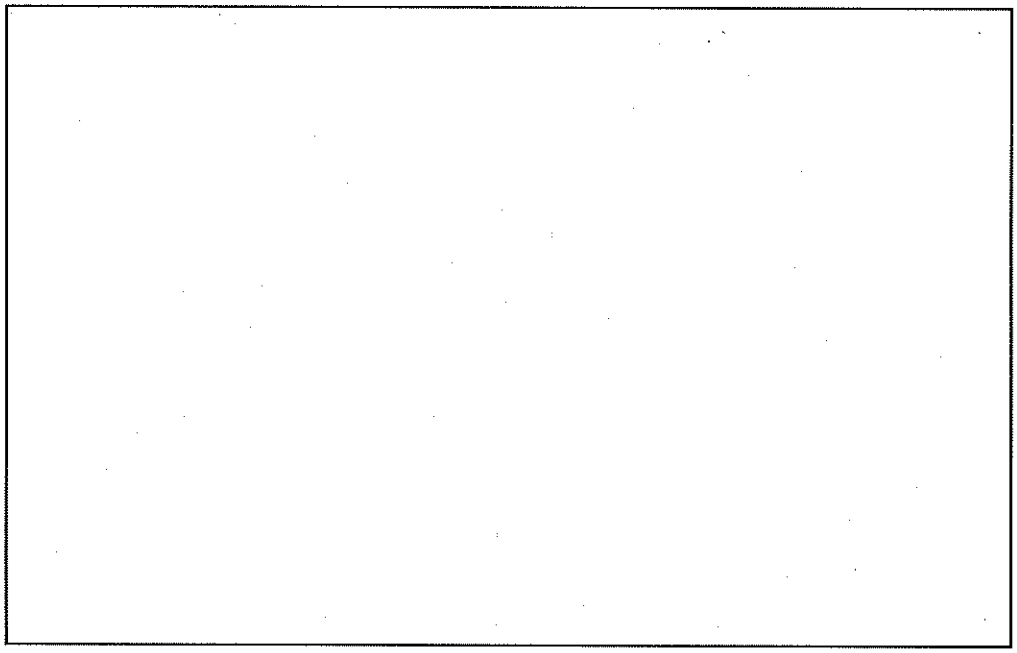
記　号	評　価　位　置
Ⓐ	緩衝材（変形量）
Ⓑ	内　容　器　胴　部
Ⓒ	内　容　器　底　板
Ⓓ	内　容　器　上　端　部
Ⓔ	内容器蓋締付ボルト

（ロ）－第A.35図　1.2m水平落下時応力評価位置（容器本体）

Ⓐ 緩衝材の変形量

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

解析モデルを（ロ）－第A.36図に示す。



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

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

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

ここで、

δ_0；緩衝材の変形前の最少厚さ　　$\delta_0=$ [　　]〔mm〕

δ_H；緩衝材変形量　　$\delta_H=$ [　　]〔mm〕

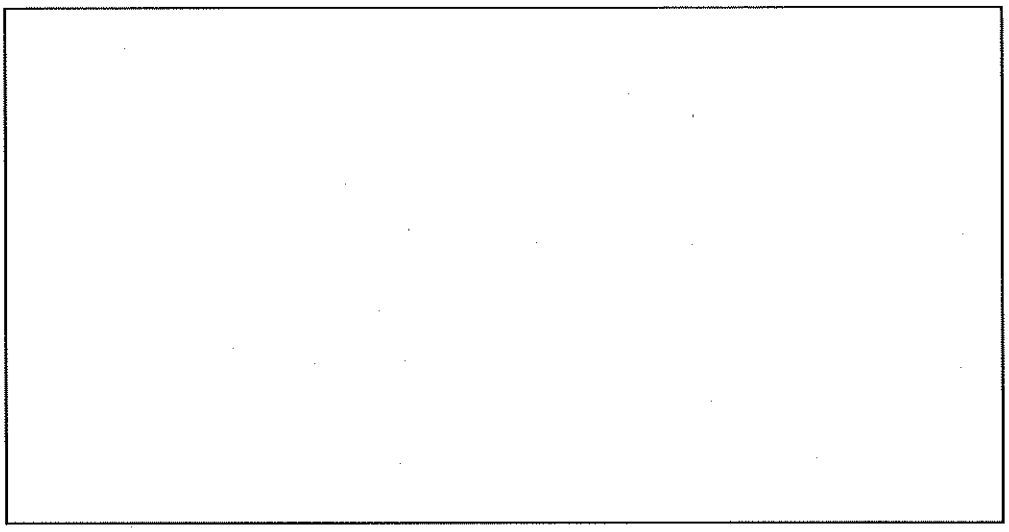
したがって、次の値となる。

$\delta=$ [　　]〔mm〕

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

Ⓑ　内容器胴部

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



（ロ）－第A.37図　1.2m水平落下時内容器胴部応力解析モデル

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

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

ここで、

M；曲げモーメント　〔N・mm〕

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

F；衝撃荷重　$F = m \cdot N$　〔N〕

m；輸送物の支持点間質量　$m =$ [ ]　〔kg〕

N；設計加速度　$N =$ [ ]　〔m/s^2〕

ℓ；支持点間長さ　$\ell =$ [ ]　〔mm〕

$M =$ [ ]　〔N・mm〕

Z；断面係数　〔mm^3〕

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

d_2；内容器胴部外径　　d_2＝　　〔mm〕

d_1；内容器胴部内径　　d_1＝　　〔mm〕

Z＝　　〔mm^3〕

したがって、曲げ応力σ_bは、次の値となる。

σ_b＝　　〔N/mm^2〕

Ⓒ 内容器底板

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

（ロ）－第A.38図　1.2m水平落下時内容器底板応力解析モデル

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

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

ここで、

F；衝撃力　　〔N〕

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

m_B；燃料バスケット質量　　m_B＝　　〔kg〕

m_F；収納物質量　　m_F＝　　〔kg〕

N　；設計加速度　　N ＝　　〔m/s²〕

F＝　　〔N〕

A　；内容器底部断面積〔（ロ）－第A.38図の斜線部分〕

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

R_1；内容器底板凸部外半径　　R_1＝　　〔mm〕

R_2；内容器底板凸部内半径　　R_2＝　　〔mm〕

θ　；角度　　$\theta = \cos^{-1}\dfrac{R_2}{R_1}$＝　　〔rad〕

A＝

＝　　〔mm²〕

したがって、せん断応力τは次の値となる。

τ＝　　〔N/mm²〕

Ⓓ　内容器上端部

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

（ロ）－第A.39図　1.2m水平落下時内容器上端部応力解析モデル

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

この時のせん断応力τは次式で与えられる。

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

ここで、

F ；衝撃力　　F＝N・m　　〔N〕

m ；内容器蓋の質量　　m＝　　〔kg〕

N ；設計加速度　　N＝　　〔m/s²〕

F＝　　〔N〕

A ；内容器上端部断面積〔（ロ）－第A.39図の斜線部分〕

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

R_1 ；内容器フランジ外半径　　R_1＝　　〔mm〕

R_2 ：内容器内半径　　R_2＝　　〔mm〕

θ ；角度

$$\theta=\cos^{-1}\frac{R_2}{R_1}=$$

＝　　〔rad〕

A＝

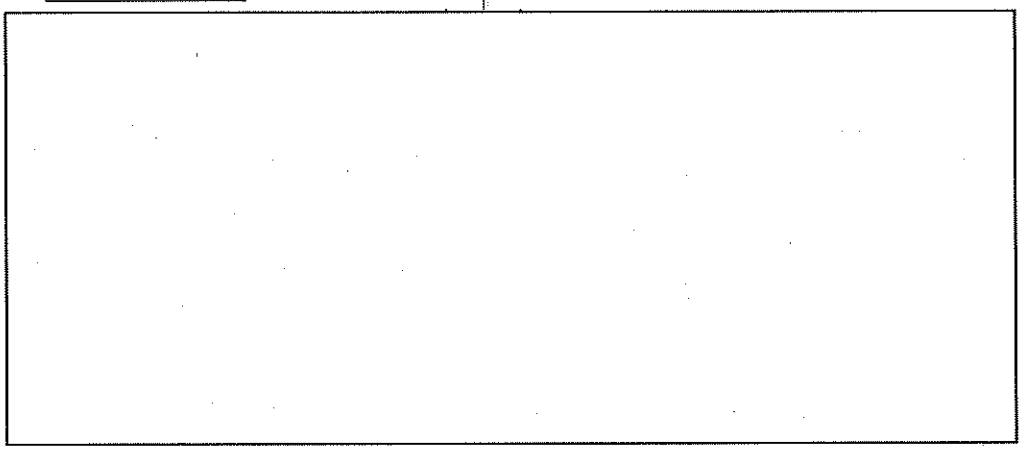
＝　　〔mm²〕

したがって、次の値となる。

τ＝　　〔N/mm²〕

Ⓔ 内容器蓋締付ボルト

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



（ロ）－第A.40図　1.2m水平落下時内容器蓋締付ボルト応力解析モデル

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

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

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

ここで、

M ；曲げモーメント　〔N・mm〕

$M = N \cdot m \cdot L$

N ；設計加速度　N＝［　　］　〔m/s²〕

m ；内容器蓋の質量　m＝［　　］　〔kg〕

L ；モーメントアーム　L＝［　　］　〔mm〕

L_i ；転倒支点Ⓗ点から各ボルトまでの距離　〔mm〕

L_1＝［　　］　L_2＝［　　］

L_3＝　　L_4＝

L_5＝　　L_6＝

L_7＝

Lmax；支点から最も離れたボルトまでの距離

Lmax＝L_7＝[　　]

Ai　；内容器蓋締付ボルト[　　]の谷径断面積

di　；ボルトの谷径　　di＝[　　]

Ai＝[　　]　〔mm²〕

したがって、次の値となる。

σ_b＝[　　]

＝[　　]　〔N/mm²〕

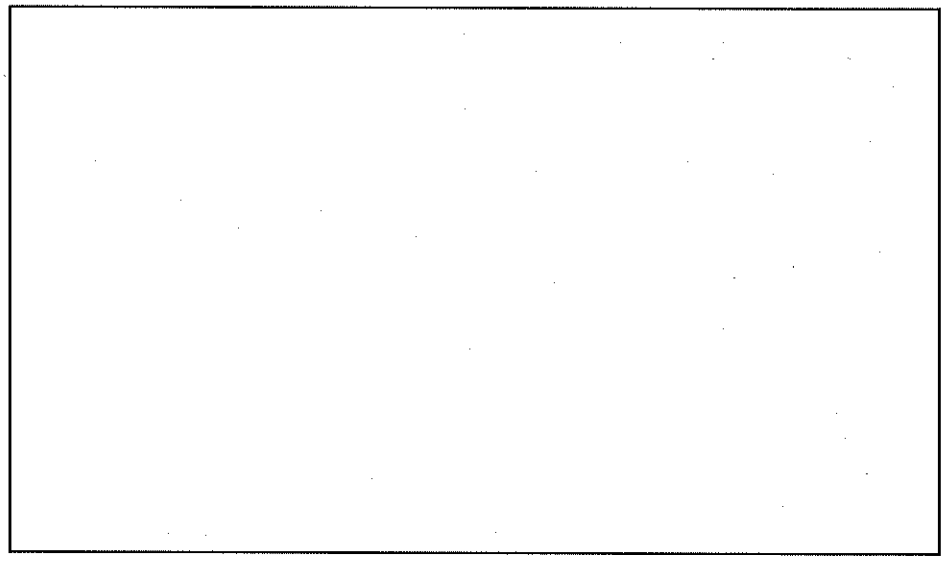
(b) 燃料バスケット

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

応力は、パイプ軸方向強度について評価する。

(イ) 角型燃料バスケットの断面係数

角型燃料バスケットの断面係数を求める。解析モデルを（ロ）－第A.41図に示す。



（ロ）－第A.41図　角型燃料バスケット断面係数解析モデル

（ｉ）Ｘ－Ｘ軸に関する断面係数

（ロ）－第A.41図に示す、Ｘ－Ｘ軸に関する断面係数は次式で与えられる。

$$Z_x = \frac{10 \cdot I_o + 6A \cdot y_1^2}{e_y}$$

ここで、

Z_x；Ｘ－Ｘ軸に関する断面係数　〔mm³〕

I_o；角パイプ［　　］断面２次モーメント

$$I_o = \frac{1}{12}(h_1^4 - h_2^4) = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$　〔mm⁴〕

h_1；角パイプの外のり　$h_1 =$［　　］〔mm〕

h_2；角パイプの内のり　$h_2 =$［　　］〔mm〕

A　；角パイプの断面積

$$A = h_1^2 - h_2^2 = \boxed{}$$　〔mm²〕

y_1；角パイプ中心までの距離　$y_1 =$［　　］〔mm〕

e_y；燃料バスケット上端面までの距離　$e_y =$［　　］〔mm〕

したがって、次の値となる。

$Z_x =$［　　］〔mm³〕

（ⅱ）Ｙ－Ｙ軸に関する断面係数

（ロ）－第A.41図に示す、Ｙ－Ｙ軸に関する断面係数は次式で与えられる。

$$Z_y = \frac{10 \cdot I_o + 2A \cdot (x_1^2 + 2x_2^2 + x_3^2)}{e_x}$$

ここで、

Z_y；Ｙ－Ｙ軸に関する断面係数　〔mm³〕

I_o；角パイプ１本の断面２次モーメント　$I_o =$［　　］〔mm⁴〕

A　：角パイプの断面積　$A =$［　　］〔mm²〕

x_1；パイプ中心までの距離　$x_1 =$［　　］〔mm〕

x_2；パイプ中心までの距離　$x_2 =$［　　］〔mm〕

x_3；パイプ中心までの距離　$x_3 =$［　　］〔mm〕

e_x；燃料バスケット上端までの距離　$e_x =$［　　］〔mm〕

したがって、次の値となる。

Z_y=

=　　〔mm³〕

（iii）U－U軸に関する断面係数

（ロ）－第A.41図に示す、U－U軸に関する断面係数は次式で与えられる。

$$Z_U=\frac{10\cdot I_o+2\cdot A\cdot (v_1^2+v_2^2+v_3^2+v_4^2)}{e_v}$$

ここで、

Z_U；U－U軸に関する断面係数　〔mm³〕

I_o；角パイプ1本の断面2次モーメント　I_o=　〔mm⁴〕

A　：角パイプの断面積　A=　〔mm²〕

v_1；パイプ中心までの距離　v_1=　〔mm〕

v_2；パイプ中心までの距離　v_2=　〔mm〕

v_3；パイプ中心までの距離　v_3=　〔mm〕

v_4；パイプ中心までの距離　v_4=　〔mm〕

e_v；燃料バスケット上端までの距離　e_v=　〔mm〕

したがって、次の値となる。

Z_U=

=　　〔mm³〕

以上の値のうち、最小値を採用するものとして

$Z=\min\{Z_x、Z_y、Z_u\}$ =　　〔mm³〕

とする。

(ロ) 角型燃料バスケットの軸方向強度

解析モデルは前項の（ロ）－第A.41図と同様である。

燃料バスケットに生じる曲げ応力は中央点で最大となり次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{(w_f + w_p) \cdot N \cdot L^2}{8Z}$$

ここで、

σ_b ；曲げ応力 〔N/mm²〕

M ；最大曲げモーメント 〔N・mm〕

$$M = \frac{(w_f + w_p) \cdot N \cdot L^2}{8}$$

w_f ；燃料要素による等分布質量 〔kg/mm〕

この等分布質量は、角型燃料要素の中で最も単位長さ当たりの質量が重いものとする。（JRR-3標準型燃料）

$W_f = \frac{m_f}{\ell} =$ [ ] 〔kg/mm〕

m_f ；燃料要素質量 $m_f =$ [ ] 〔kg〕

ℓ ；燃料要素長さ $\ell =$ [ ] 〔mm〕

w_p ；燃料バスケット自重による等分布質量 〔kg/mm〕

$w_p = \frac{m_p}{L} =$ [ ] 〔kg/mm〕

m_p ；燃料バスケット質量 $m_p =$ [ ] 〔kg〕

L ：支持点間長さ $L =$ [ ] 〔mm〕

N ；設計加速度 $N =$ [ ] 〔m/s²〕

Z ；燃料バスケット断面係数 $Z =$ [ ] 〔mm³〕

したがって、次の値となる。

$\sigma_b =$ [ ] 〔N/mm²〕

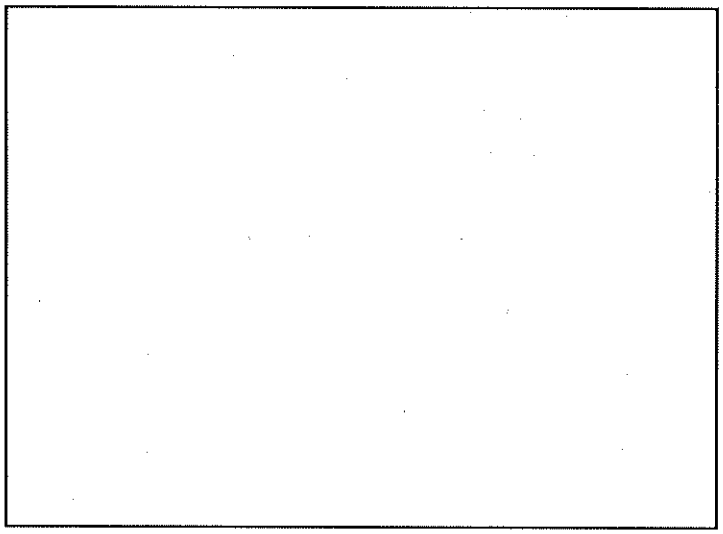
(c) 燃料要素

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

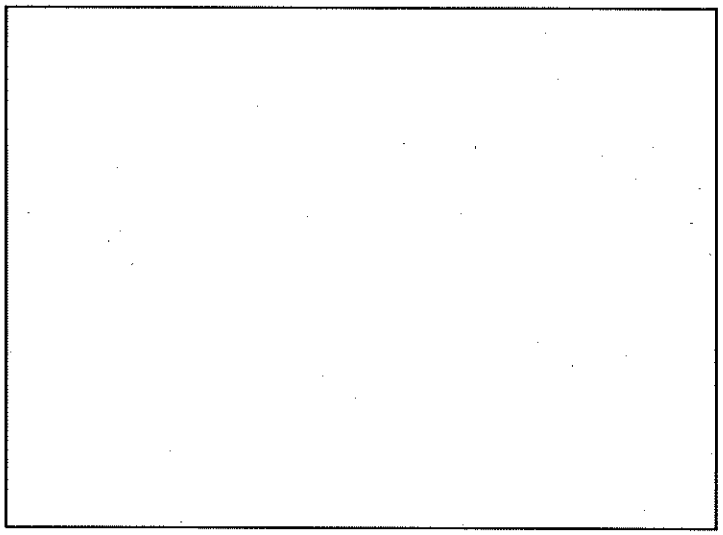
(イ) 燃料要素評価の落下ケース

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

① 燃料板の面方向に水平落下したとき。



② 燃料板に平行な方向に水平落下したとき。



（ロ）－第A.42図 1.2m水平落下時燃料要素評価ケース

(ロ) 燃料要素

(ｉ) 燃料板

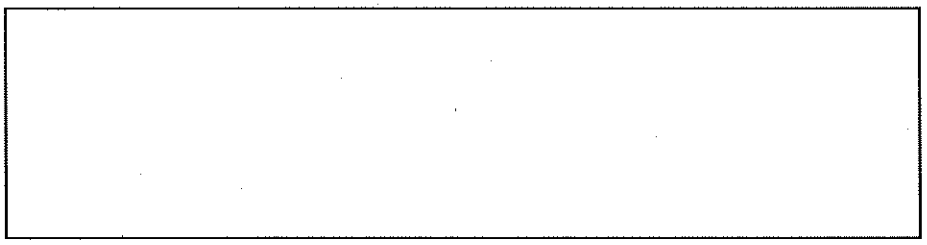
1.2m水平落下時において角型燃料要素の燃料板に生じる応力について解析する。

(イ) －Dに示すように、角型燃料要素には、新燃料要素ではフォロワ型を含め合計7種類あり、低照射された燃料要素では合計9種類ある。本項では、JRR-3標準型について、解析方法を示し、他の15種類については同様の解析を行い、その結果を(ロ) －第A.16表に示す。

ただし、ウランアルミニウム合金は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。

① 燃料板の面方向に水平落下したとき。

解析モデルを(ロ)－第A.43図に示す。



(ロ) －第A.43図　角型燃料要素板面方向1.2m水平落下時解析モデル

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

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

ここで、　M；単位当たりの曲げモーメント　〔N·mm/mm〕

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

w　；等分布荷重　〔N/mm²〕

$$w = \frac{m}{\ell \cdot a} \cdot N = \boxed{}$$

m；燃料板質量　m＝ $\boxed{}$ 〔kg〕

N；設計加速度　N＝ $\boxed{}$ 〔m/s²〕

a ；燃料板長さ　　a = [　　]　〔mm〕

ℓ ；固定端間隔　　ℓ = [　　]　〔mm〕

Z ；単位巾当りの断面係数

$$Z=\frac{1}{6}\cdot\frac{h_2^{\,3}-h_1^{\,3}}{h_2}=$$ [　　]　〔mm^3/mm〕

h_2 ；燃料板厚さ　　h_2 = [　　]　〔mm〕

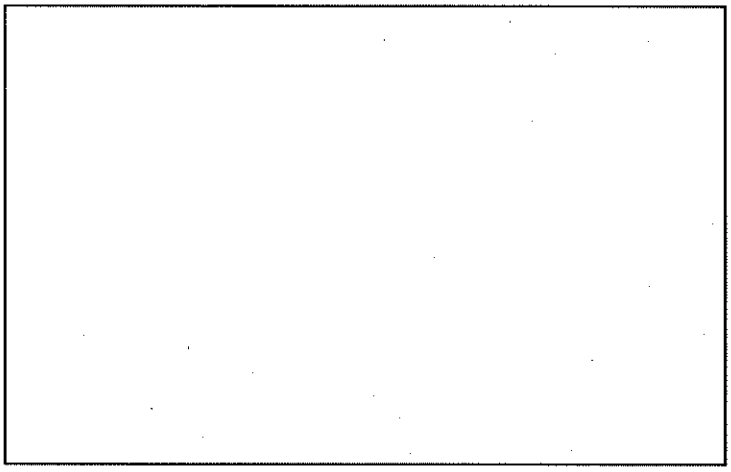
h_1 ；燃料板芯材厚さ　　h_1 = [　　]　〔mm〕

したがって、次の値となる。

σ_b = [　　]　〔N/mm^2〕

② 燃料板に平行な方向に水平落下したとき。

解析モデルを（ロ）－第A.44図に示す。



（ロ）－第A.44図　角型燃料要素板平行方向1.2m水平落下時解析モデル

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

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

ここで、

N ；設計加速度	N =		〔m/s²〕
m_F ；燃料板質量	m_F =		〔kg〕
m_S ；側板部分質量	m_S =		〔kg〕
a ；燃料板長さ	a =		〔mm〕
h_2 ；燃料板厚さ	h_2 =		〔mm〕
h_1 ；燃料板芯材厚さ	h_1 =		〔mm〕

したがって、下記の値となる。

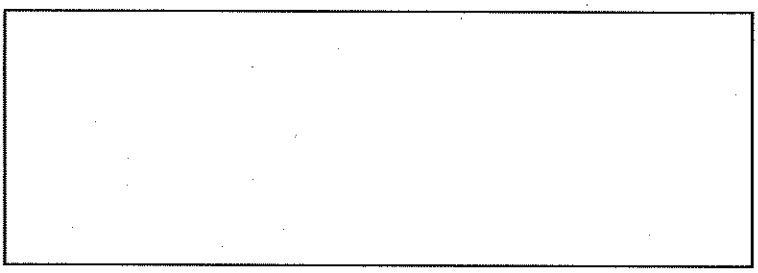
σ_c = 〔N/mm²〕

（ii）燃料要素押え具

（イ）－Dに示すように低照射された燃料要素は、重量軽減を図るため下部側のアダプター及び上部側の把手の部分を切断しているため、全長として短い燃料要素となっている。そのため、長さ調節のため押え具を用いている。

本項では、押え具に生じる応力について解析方法を示しその結果を（ロ）－第A.16表に示す。

解析モデルを（ロ）－第A.45図に示す。



（ロ）－第A.45図　押え具応力解析モデル

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

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

ここで、

M：単位当たり曲げモーメント　〔N･mm〕

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

w：等分布荷重

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

$$= \boxed{}$$

$$M = \boxed{}$$　〔N･mm〕

m_z：押え具質量　$m_z = \boxed{}$　〔kg〕

N　：設計加速度　$N = \boxed{}$　〔m/s²〕

ℓ　：押え具長さ　$\ell = \boxed{}$　〔mm〕

Z　：押え具断面係数

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

$$=\square \quad [mm^3]$$

h_o：押え具外径　　$h_o=\square$ [mm]

h_i：押え具内径　　$h_i=\square$ [mm]

したがって、次の値となる。

$$\sigma_b=\square \quad [N/mm^2]$$

(d) 許容応力の比較

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

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

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

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果（1／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価					
							Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器胴部	σ_r	—		—	—							—	—	—	—	—	—	—	—	—
		σ_θ				—															
		σ_z																			
2	内容器底板	σ_r	—		—	—							—	—	—	—	—	—	—	—	—
		σ_θ				—															
		σ_z				—															
		τ		—																	
3	内容器上端部（内容器蓋）	σ_r	—		—	—							—	—	—	—	—	—	—	—	—
		σ_θ				—															
		σ_z				—															
		τ		—																	
4	内容器蓋締付ボルト	σ_t			—	—										—	—	—	—	—	—
		σ_b	—	—	—																
		τ	—	—	—	—															
5	角型燃料バスケット	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果（2／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置＼応力及び応力強さ			初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価					
								Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb+Q	Sy	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JRR-3標準型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	JRR-3フォロワ型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	JRR-4B型	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JRR-4L型	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	JRR-4（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	JMTR標準	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	JMTR燃料フォロワ	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果（3／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ ／ 評価位置			初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
								Pm (PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q＋F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JMTRC 標準燃料要素（A型、B型、C型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	JMTRC 標準燃料要素（Φ2.2 ピン固定タイプ）(B、C型)	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	JMTRC 特殊燃料要素（特A型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JMTRC 特殊燃料要素（特B型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	JMTRC 特殊燃料要素（特C型、特D型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	JMTRC 燃料フォロワ（HF型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	JMTRC 標準燃料要素（MA、MB、MC型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	JMTRC 特殊燃料要素（特MB、特MC型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	JMTRC 燃料フォロワ（MF型）	面方向	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
		平行方向	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Q；二次応力　F；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数

Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_b；曲げ応力　σ_c；圧縮応力

（ロ）－第A.16表　1.2m水平落下時における応力評価結果（4／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ ／ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
							Pm (PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q＋F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JMTRC 特殊燃料要素押え具（特A型）	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	JMTRC 特殊燃料要素押え具（特B型）	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	JMTRC 特殊燃料要素押え具（特C型，特D型）	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JMTRC 特殊燃料要素押え具（特MB，特MC型）	σ_b	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Q；二次応力　F；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数

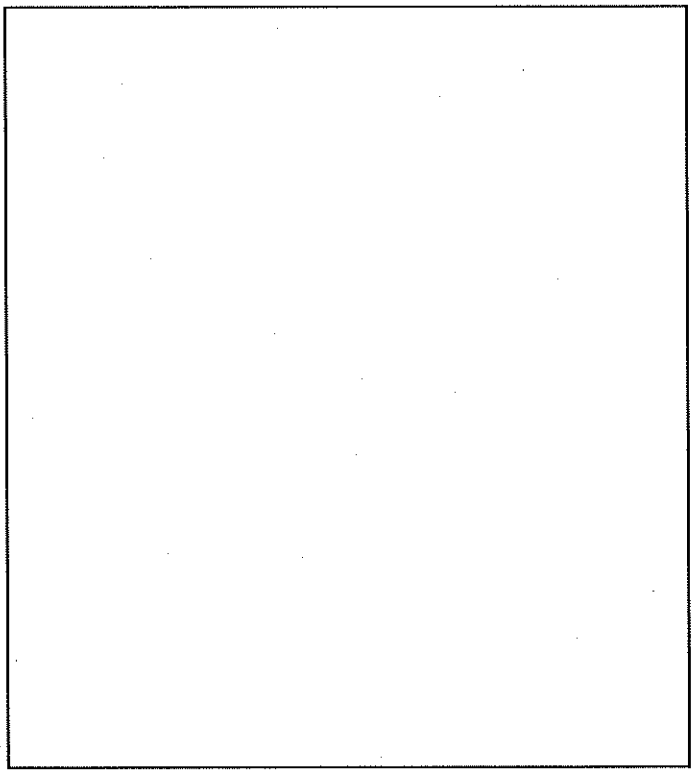
Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_b；曲げ応力

(7) 1.2m下部垂直落下時の応力解析

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

(a) 容器本体

1.2m下部垂直落下時における容器本体の応力評価位置は、密封性能維持の観点から（ロ）－第A.46図に示すとおりとする。



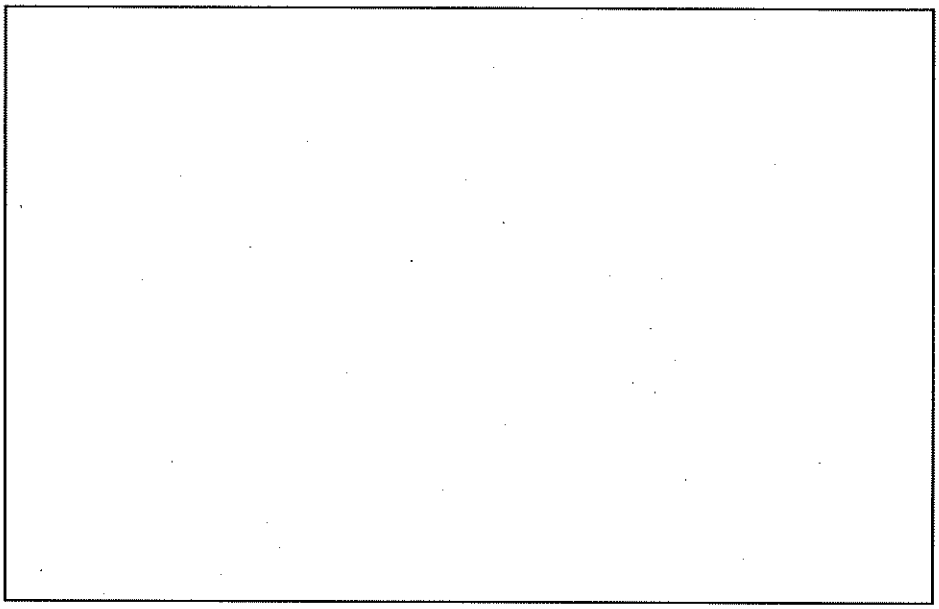
記号	評価位置
Ⓐ	緩衝材（変形量）
Ⓑ	内容器胴部
Ⓒ	内容器底板
Ⓓ	内容器蓋
Ⓔ	内容器蓋締付ボルト

（ロ）－第A.46図　1.2m下部垂直落下時応力評価位置（容器本体）

Ⓐ 緩衝材の変形量

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

解析モデルを（ロ）－第A.47図に示す。



（ロ）－第A.47図　1.2m下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器の干渉解析モデル

（ロ）－第A.47図に示すように、1.2m下部垂直落下後における緩衝材の残量δ〔mm〕は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_o - \delta_v$$

ここで、

δ_o；緩衝材の変形前の最少厚さ　$\delta_o =$ [redacted] 〔mm〕

δ_v；緩衝材変形量　$\delta_v =$ [redacted] 〔mm〕

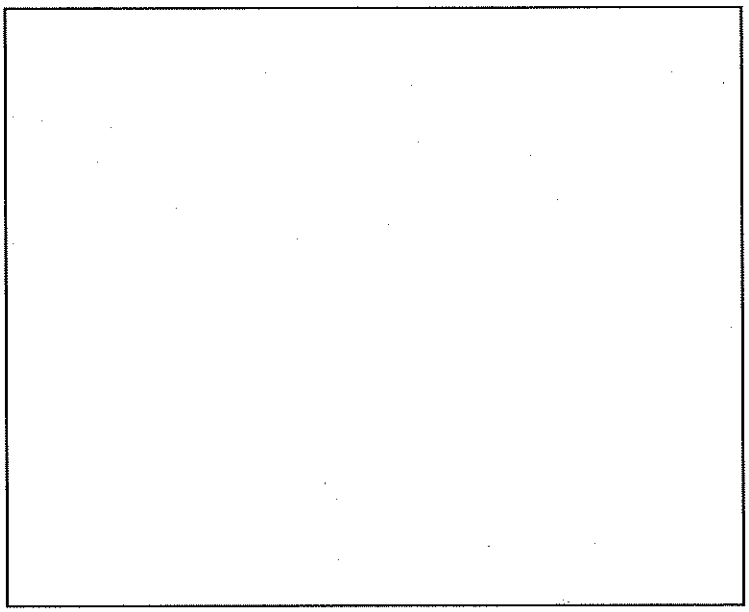
したがって、次の値となる。

$\delta =$ [redacted] 〔mm〕

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

Ⓑ 内容器胴部

1.2m下部垂直落下時における内容器胴部の応力の解析モデルを（ロ）－第A.48図に示す。



（ロ）－第A.48図　1.2m下部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル

（ロ）－第A.48図に示すように、内容器胴部には自重と内容器蓋部周りの重量により圧縮力が作用する。この圧縮力により生じる応力σ_cは次式で与えられる。

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

ここで、

F ；内容器胴部に作用する圧縮力

$F = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5) \cdot N$ 〔N〕

m_1 ；内容器（胴及びフランジ部）質量	m_1 =		〔kg〕
m_2 ；内容器蓋質量	m_2 =		〔kg〕
m_3 ；燃料バスケット質量	m_3 =		〔kg〕
m_4 ；収納物質量	m_4 =		〔kg〕
m_5 ；外容器蓋質量	m_5 =		〔kg〕
N ；設計加速度	N =		〔m/s^2〕

F＝ [N]

A；内容器胴部の断面積

$A=\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)$ [mm²]

d_2；内容器胴部外径　d_2＝ [mm]

d_1；内容器胴部内径　d_1＝ [mm]

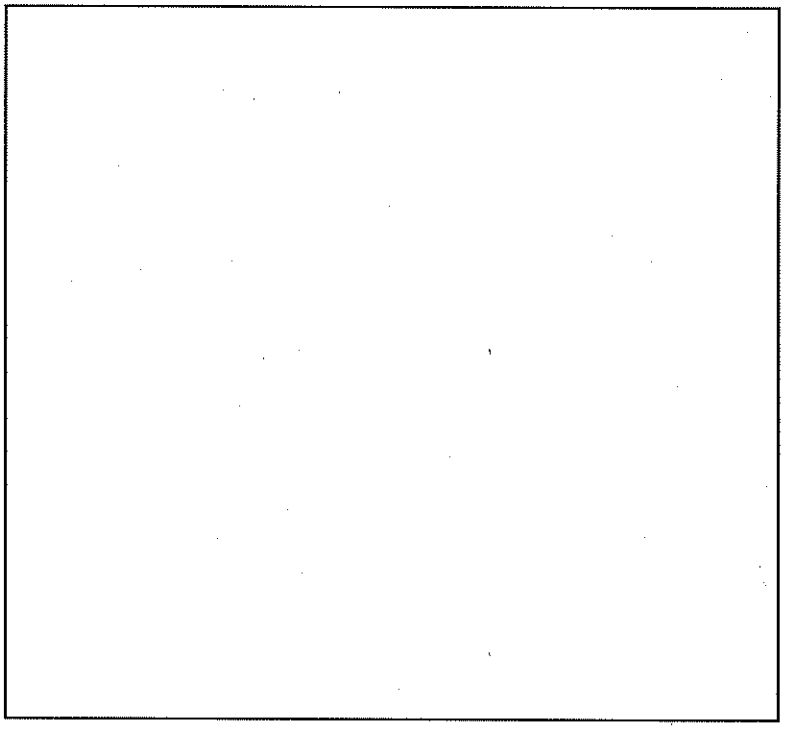
A＝ [mm²]

したがって、圧縮力によるσ_cは次の値となる。

σ_c＝ [N/mm²]

◎ 内容器底板

1.2m下部垂直落下時における内容器底板の応力の解析モデルを（ロ）－第A.49図に示す。



（ロ）－第A.49図　1.2m下部垂直落下時内容器底板応力解析モデル

（ロ）－第A.49図に示すように、内容器底板には、収納物重量、燃料バスケット重量及び内容器底板自重が等分布荷重として作用する。等分布荷重を受ける周辺固定円板に生じる応力は、固定端で最大となり、次式で与えられる。

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

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

$$\sigma_z = -w \quad (\text{内面})$$

ここで、

σ_θ ；周方向応力			〔N/mm²〕
σ_r ；径方向応力			〔N/mm²〕
σ_z ；軸方向応力			〔N/mm²〕
a ；内容器底板内半径	a＝		〔mm〕
h ；内容器底板板厚	h＝		〔mm〕
w ；等分布荷重			
$w = \frac{(m_3+m_4+m_7) \cdot N}{\pi a^2}$			〔N/mm²〕
m_3 ；燃料バスケット質量	m_3＝		〔kg〕
m_4 ；収納物質量	m_4＝		〔kg〕
m_7 ；内容器底板質量	m_7＝		〔kg〕
N ；設計加速度	N＝		〔m/s²〕
w ＝			〔N/mm²〕

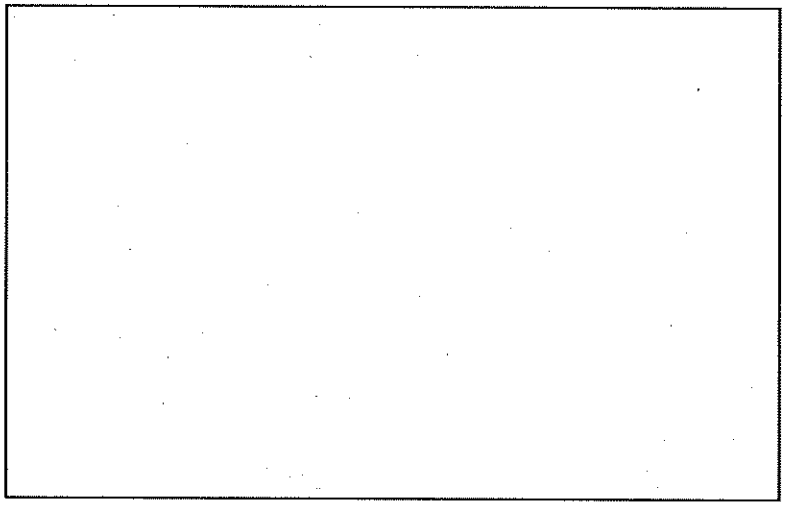
したがって、次の値となる。

σ_θ＝		〔N/mm²〕
σ_r＝		〔N/mm²〕
σ_z＝	(内面)	〔N/mm²〕

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

Ⓓ 内容器蓋

1.2m下部垂直落下時における内容器蓋の応力の解析モデルを(ロ)－第A.50図に示す。



(ロ)－第A.50図　1.2m下部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル

(ロ)－第A.50図に示すように、内容器蓋には、自重が等分布荷重として作用する。等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。

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

$$\sigma_z = -w \quad (外面)$$

ここで、

σ_r ；径方向応力　〔N/mm²〕

σ_θ ；周方向応力　〔N/mm²〕

σ_z ；軸方向応力　〔N/mm²〕

a ；内容器蓋支持点半径　a＝　〔mm〕

h ；内容器蓋板厚　h＝　〔mm〕

w ；自重による等分布荷重

$w = \gamma \cdot h \cdot N =$　〔N/mm²〕

N ；設計加速度　N＝　〔m/s²〕

γ ；内容器蓋の密度　γ＝　〔kg/mm³〕

したがって、次の値となる。

$\sigma_r = \sigma_\theta =$ [ ] 〔N/mm²〕

$\sigma_z =$ [ ] (外面) 〔N/mm²〕

となる。

応力の複号は上が外面、下が内面を表す。

Ⓔ 内容器蓋締付ボルト

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

(b) 燃料要素

(イ) 燃料板

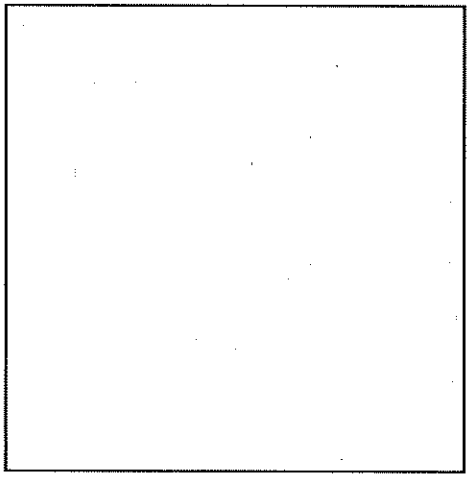
1.2m下部垂直落下時において角型燃料要素に生じる応力について解析する。

(i) 燃料板両端カシメ固定の場合

角型燃料要素には、新燃料要素ではフォロワ型を含め合計7種類あり、低照射された燃料要素では合計9種類ある。本項では、JRR-3標準型について解析方法を示し、他の15種類については同様の解析を行ない、その結果を(ロ)－第A.17表に示す。

ただし、ウランアルミニウム合金は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。

解析モデルを(ロ)－第A.51図に示す。



(ロ)－第A.51図　1.2m下部垂直落下時角型燃料要素応力解析モデル

(ロ)－第A.51図に示すように、燃料板は両端でカシメられ固定されている。この保持する力は、次式で与えられる。

$$F_H = f \cdot 2b$$

ここで、

F_H＝燃料板を保持する力　〔N〕

f　；単位長さ当りの保持力　f＝　〔N/mm〕

b　；燃料板長さ　b＝　〔mm〕

したがって、次の値となる。

F_H＝　〔N〕

次に、燃料板が落下しようとする力は、次式で与えられる。

$$F = m \cdot N$$

ここで、

F ；燃料板落下力 〔N〕

m ；燃料板質量 m＝ 〔kg〕

N ；設計加速度 N＝ 〔m/s²〕

したがって、次の値となる。

F＝ 〔N〕

ゆえに、燃料板を保持する力は、落下しようとする力を上回っており、燃料板がずり落ちることはない。

上記のとおり、両端を固定した燃料板に自重による落下力が働く場合、燃料板には、せん断応力τが発生し、次式で与えられる。

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

ここで、

τ ；せん断応力 〔N/mm²〕

F ；燃料板落下力 F＝ 〔N〕

h_2 ；燃料板厚さ h_2＝ 〔mm〕

h_1 ；燃料板芯材厚さ h_1＝ 〔mm〕

b ；燃料長さ b＝ 〔mm〕

したがって、次の値となる。

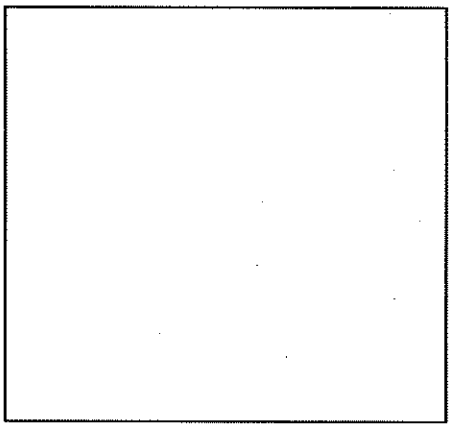
τ＝ 〔N/mm²〕

（ii）燃料板ピン固定の場合

1.2m垂直落下時において、低照射された燃料要素の燃料板固定部のピンに生じる応力について解析する。

低照射された燃料要素にはフォロワ型を含め合計9種類あるが、本項ではピン固定方式の燃料要素のみについて解析方法を示し、その結果を（ロ）－第A.17表に示す。

ただし、ウランアルミニウム合金は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。解析モデル図を（ロ）－第A.52図に示す。



（ロ）－第A.52図　1.2m下部垂直落下時低照射された燃料要素応力解析モデル

（ロ）－第A.52図に示すように、燃料板は、側板をピンで固定されている。

この保持する力は、次式で与えられる。

$$F_H = \tau_a \times A \quad [N]$$

ここで、

F_H：燃料板を保持する力　[N]

τ_a：ピンの許容応力＝□　[N/mm²]

A　：ピンの断面積　[mm²]

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

d　：ピンの径＝□　[mm]

n　：ピンの本数＝□　[－]

したがって、次の値となる。

$F_H = \tau_a \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times n$

$=$ [　　]　〔N〕

次に燃料板が落下しようとする力は、次式で与えられる。

$F = m \cdot N$

ここで、

F：燃料板落下力　〔N〕

m：燃料板質量＝[　]　〔kg〕

N：設計加速度＝[　]　〔m/s²〕

したがって、次の値となる。

F＝[　　]　〔N〕

ゆえに、燃料板を保持するピンの力は、落下しようとする力を上回っており、燃料板がずり落ちる事はない。

上記のとおり、燃料板両端にピン固定した燃料板には、自由落下による慣性力が働く場合、燃料板のピン部には引張力が発生し次式で与えられる。

$\sigma_t = \frac{W_0}{A}$

ここで、

$W_0 = \frac{m \times N}{n/2}$

W_0＝[　　]　〔N〕

σ_t：燃料板ピン部の応力　〔N/mm²〕

W_0：燃料板ピン部に作用する荷重　〔kg〕

n　：ピン本数　n＝[　]　〔本〕

m　；燃料板質量　m＝[　]　〔kg〕

N　：設計加速度　N＝[　]　〔m/s²〕

A　：ピン有効部面積　〔mm²〕

$A = ((L_1 - L_2)/2 - d) \times t_1$

L_1：燃料板幅　L_1＝[　]　〔mm〕

L_2：燃料板芯材幅　　L_2＝　　〔mm〕

t_1：燃料板厚さ　　t_1＝　　〔mm〕

d　：ピン穴径　　d　＝　　〔mm〕

A＝　　〔mm^2〕

したがって、次の値となる。

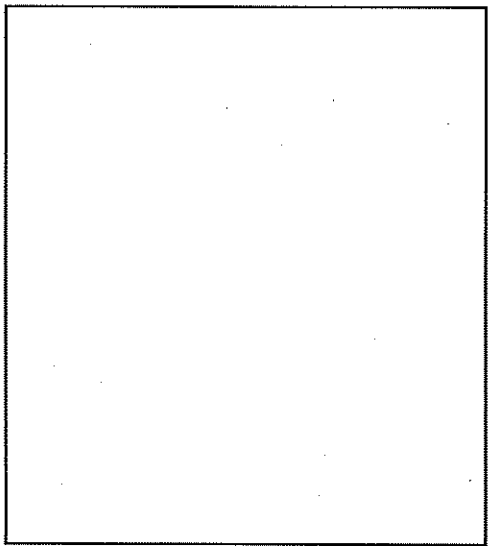
σ_t＝　　〔N/mm^2〕

（iii）燃料板と側板が固定されていない場合

1.2m垂直落下時において、低照射された燃料要素に生じる応力について解析する。低照射された燃料要素にはフォロワ型を含め合計 9 種類あるが、本項では燃料板と側板とが固定されていない燃料要素について解析方法を示し、その結果を（ロ）－第A.17表に示す。

ただし、ウランアルミニウム合金は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。

解析モデルを（ロ）－第A.53図に示す。



（ロ）－第A.53図　低照射された燃料要素1.2m下部垂直落下応力解析モデル

（ロ）－第 A.53 図に示すように、燃料板の自重を受ける長方形板は圧縮応力σ_cを生じ、次式で与えられる。

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

ここで、

m_F：燃料板質量	m_F=	〔kg〕
ℓ　：燃料板幅	ℓ=	〔mm〕
h_2：燃料板厚さ	h_2=	〔mm〕
h_1：燃料板芯材厚さ	h_1=	〔mm〕
N　：設計加速度	N=	〔m/s^2〕

したがって、次の値となる。

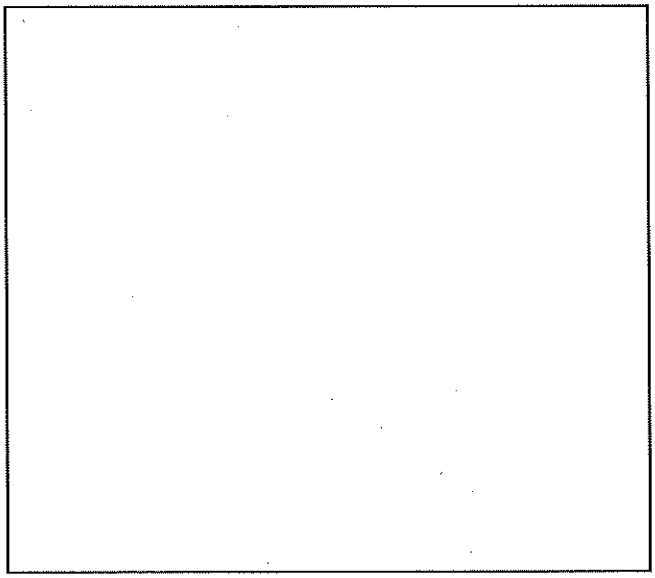
σ_c= 　　〔N/mm^2〕

(ﾛ) 燃料要素押え具

（イ）－Dに示すように低照射された燃料要素は、重量軽減を図るため下部側のアダプター及び上部側の把手の部分を切断しているため、全長が短い燃料要素となっている。そのため、長さ調節のため押え具等を用いている。

本項では、押え具に生じる応力について解析方法を示しその結果を（ロ）－第A.17表に示す。

解析モデルを（ロ）－第A.54図に示す。



（ロ）－第A.54図　押え具応力解析モデル

（ロ）－第 A.54 図に示すように、押え具は自重及び燃料要素重量を受け、圧縮応力σ_cを生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{(m_z + m_f) \times N}{\frac{\pi}{4}(h_o^2 - h_i^2)}$$

ここで、

m_z：押え具質量 ＝ 〔kg〕

m_f：燃料要素質量＝ 〔kg〕

N ：設計加速度 ＝ 〔m/s^2〕

h_o：押え具外径 ＝ 〔mm〕

h_i：押え具内径 ＝ 〔mm〕

したがって、次の値となる。

σ_c＝ 〔N/mm^2〕

(c) 許容応力の比較

各解析項目に対する応力評価結果をまとめて、（ロ）－第A.17表に示す。

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

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

応力及び応力強さの単位
；N/mm^2

（ロ）－第A.17表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果（1／4）

No.	評価位置	応力及び応力強さ		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価					
								Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器胴部		σ_r				—															
			σ_θ	—		—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
2	内容器底板	内面	σ_r																			
			σ_θ	—		—					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
		外面	σ_r																			
			σ_θ	—		—					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
3	内容器蓋	内面	σ_r																			
			σ_θ	—		—					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
		外面	σ_r																			
			σ_θ	—		—					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
4	内容器蓋締付ボルト		σ_t			—	—															
			σ_b	—	—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			τ				—															

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

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

（ロ）－第A.17表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果（2／4）

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価				
							Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb+Q	Sy	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JRR-3標準型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	JRR-3フォロワ型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	JRR-4B型	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JRR-4L型	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	JRR-4（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	JMTR標準	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	JMTR燃料フォロワ	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

(ロ)－第 A.17 表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果　(3／4)

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
							Pm (PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q＋F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JMTRC 標準燃料要素 (A型、B型、C型)	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	JMTRC 標準燃料要素 (Φ2.2ピン固定タイプ)(B、C型)	σ_t	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	JMTRC 特殊燃料要素 (特A型)	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JMTRC 特殊燃料要素 (特B型)	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	JMTRC 特殊燃料要素 (特C型、特D型)	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	JMTRC 燃料フォロワ (HF型)	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	JMTRC 標準燃料要素 (MA、MB、MC型)	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	JMTRC 特殊燃料要素 (特MB、特MC型)	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	JMTRC 燃料フォロワ (MF型)	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Q；二次応力　F；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数

Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_t；燃料板ピン部の応力　σ_c；圧縮応力　τ；せん断応力

(ロ)－第A.17表　1.2m下部垂直落下時における応力評価結果　(4／4)

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
							Pm (PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q＋F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JMTRC 特殊燃料要素押え具 (特B型)	σ_c	—	—	—	[redacted]	—	—	—	[redacted]	[redacted]	[redacted]	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Q；二次応力　F；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数

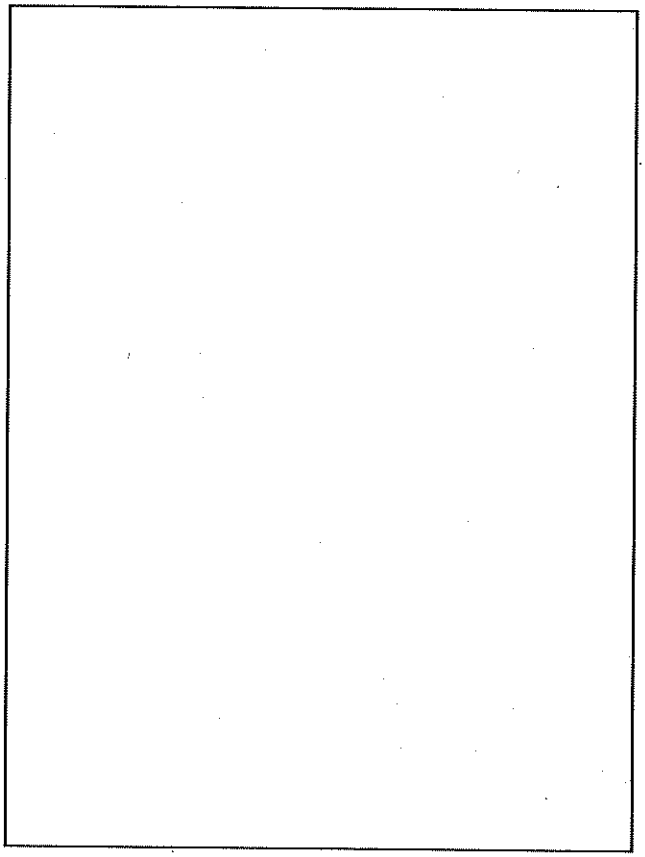
Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_c；圧縮応力

(8) 1.2m上部垂直落下時の応力解析

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

(a) 容器本体

1.2m上部垂直落下時における容器本体の応力評価位置は、密封性能維持の観点から（ロ）－第A.55図に示すとおりとする。



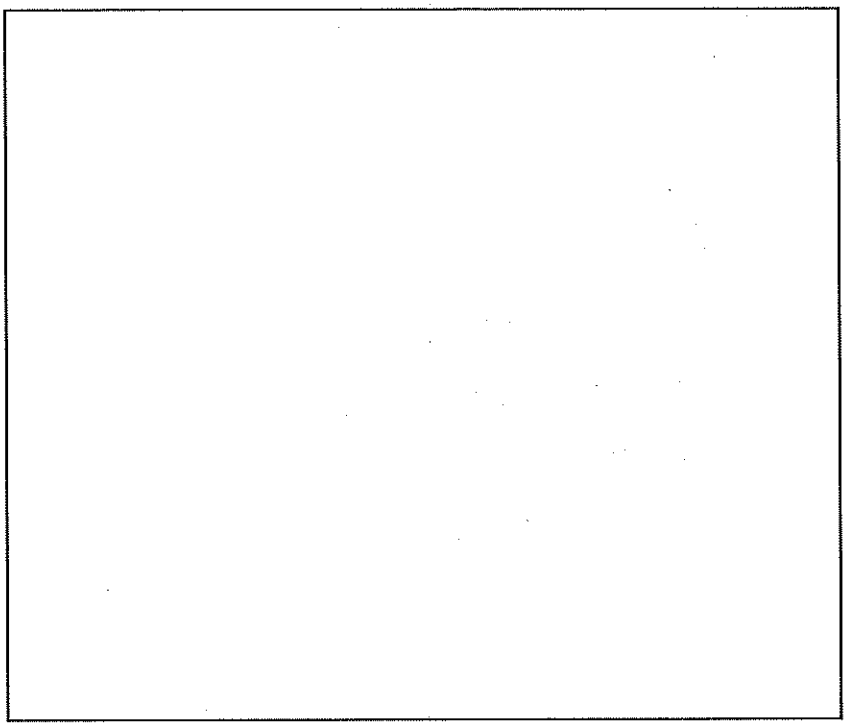
記　号	評　価　位　置
Ⓐ	緩衝材（変形量）
Ⓑ	内　容　器　胴　部
Ⓒ	内　容　器　底　板
Ⓓ	内　　容　　器　　蓋
Ⓕ	内容器蓋締付ボルト

（ロ）－第A.55図　1.2m上部垂直落下時応力評価位置（容器本体）

Ⓐ 緩衝材の変形量

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

解析モデルを（ロ）－第A.56図に示す。



（ロ）－第A.56図　1.2m上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

（ロ）－第A.56図に示すように、1.2m上部垂直落下後における緩衝材の残量δ〔mm〕は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_o - \delta_v$$

ここで、

δ_o；緩衝材の変形前の最少厚さ　　$\delta_o =$ □ 〔mm〕

δ_v；緩衝材変形量　　$\delta_v =$ □ 〔mm〕

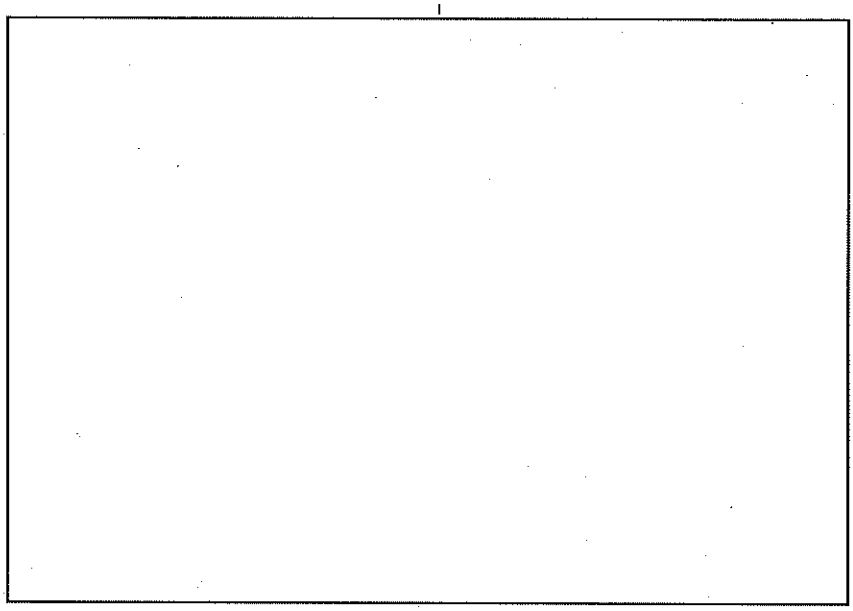
したがって、次の値となる。

$\delta =$ □ 〔mm〕

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

Ⓑ 内容器胴部

1.2m上部垂直落下時における内容器胴部の応力の解析モデルを（ロ）－第A.57図に示す。



（ロ）－第A.57図　1.2m上部垂直落下時内容器胴部応力解析モデル

（ロ）－第A.57図に示すように、内容器胴部には自重と内容器底部周りの重量により圧縮力が作用する。この圧縮力により生じる応力σ_cは次式で与えられる。

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

ここで、

σ_c；圧縮応力　〔N/mm²〕

F　；内容器胴部に作用する圧縮力

$F = (m_1 + m_3 + m_6) \cdot N$　〔N〕

m_1；内容器（胴及び底部）質量　m_1 =　〔kg〕

m_3；燃料バスケット質量　m_3 =　〔kg〕

m_6；外容器本体質量　m_6 =　〔kg〕

N　；加速度　N =　〔m/s²〕

F =　〔N〕

A；内容器胴部の断面積

$$A=\frac{\pi}{4}\left(d_2^{\,2}-d_1^{\,2}\right) \qquad [mm^2]$$

d_2；　内容器胴部外径　　$d_2=$ [　　]　[mm]

d_1；　内容器胴部内径　　$d_1=$ [　　]　[mm]

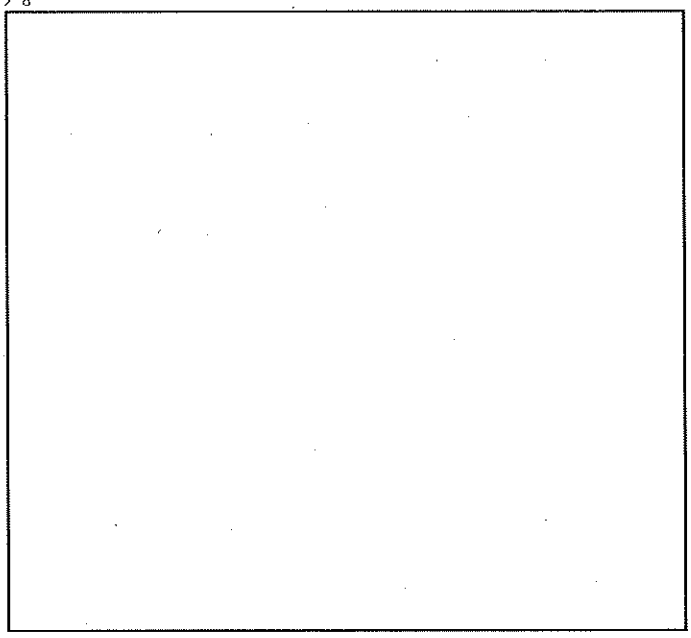
$A=$ [　　]　[mm²]

したがって、次の値となる。

$\sigma_c=$ [　　]　[N/mm²]

Ⓒ　内容器底板

1.2m上部垂直落下時における内容器底板の応力の解析モデルを（ロ）－第A.58図に示す。



（ロ）－第A.58図　1.2m上部垂直落下時内容器底板応力解析モデル

（ロ）－第A.58図に示すように、内容器底板には、外容器底部と内容器底板自重が等分布荷重として作用する。等分布荷重を受ける周辺固定円板に生じる応力は、固定端で最大となり、次式で与えられる。

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

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

$\sigma_z = -w$（外面）

ここで、

σ_θ ；周方向応力 〔N/mm²〕

σ_r ；径方向応力 〔N/mm²〕

σ_z ；軸方向応力 〔N/mm²〕

a ；内容器底板内半径　a = 〔mm〕

h ；内容器底板板厚　h = 〔mm〕

w ；等分布荷重

$$w = \frac{(m_7 + m_8) \cdot N}{\pi a^2}$$ 〔N/mm²〕

m_7 ；内容器底板質量　m_7 = 〔kg〕

m_8 ；外容器底部質量　m_8 = 〔kg〕

N ；加速度　N = 〔m/s²〕

w = 〔N/mm²〕

したがって、次の値となる。

σ_θ = 〔N/mm²〕

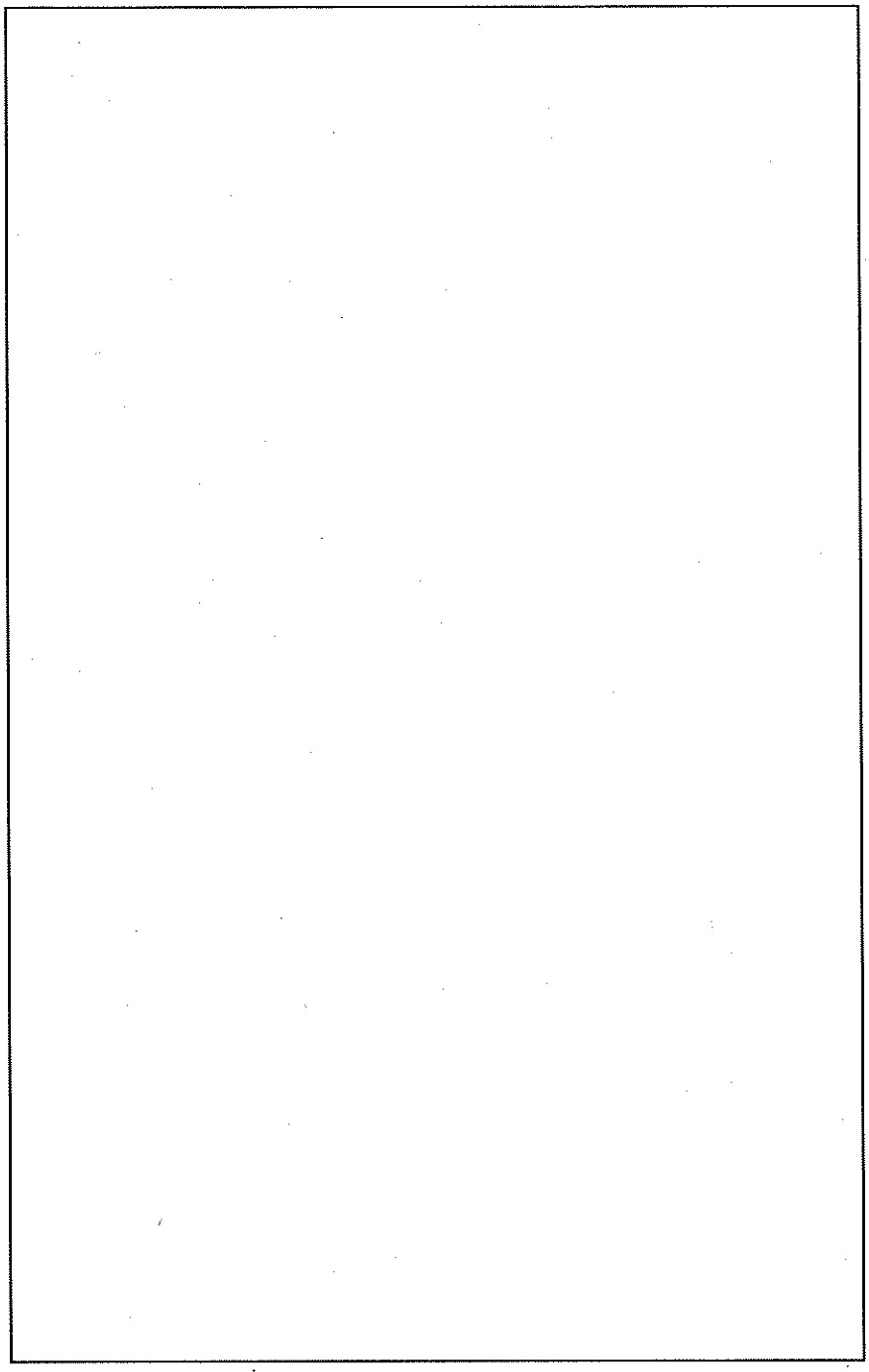
σ_r = 〔N/mm²〕

σ_z = (外面) 〔N/mm²〕

応力の複号は上が外面、下が内面を表す。

Ⓓ 内容器蓋

1.2m上部垂直落下時における内容器蓋の応力の解析モデルを（ロ）－第A.59図に示す。



（ロ）－第A.59図　1.2m上部垂直落下時内容器蓋応力解析モデル

（ロ）－第A.59図に示すように、内容器蓋には、収納物及び燃料バスケット重量が中央部に等分布荷重として、また、内容器蓋自重が等分布荷重として作用する。これに対し、内容器蓋は緩衝材の円環状反力として内容器蓋締付ボルトにて支持される。

これらの荷重を受ける周辺支持円板に生じる応力は、中央で最大となり、（ロ）－第A.59図に示す①、②、③及び④の各モデルの解析結果を重ね合せることにより、求めることができる。

① 収納物＋燃料バスケット

（ロ）－第A.59図①に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。[7]

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

$\sigma_z = -P_1$（内面）

ここで、

σ_r；径方向応力 〔N/mm²〕

σ_θ；周方向応力 〔N/mm²〕

σ_z；軸方向応力 〔N/mm²〕

a ；内容器蓋支持点半径 a＝ 〔mm〕

b ；荷重半径 b＝ 〔mm〕

h ；内容器蓋板厚 h＝ 〔mm〕

ν ；ポアソン比 ν

P_1；収納物及び燃料バスケットによる等分布荷重

$$P_1 = \frac{(m_3 + m_4)}{\pi b^2} \cdot N$$ 〔N/mm²〕

m_3；燃料バスケット質量 m_3＝ 〔kg〕

m_4；収納物質量 m_4＝ 〔kg〕

N ；加速度 N ＝ 〔m/s²〕

P_1＝ 〔N/mm²〕

したがって、次の値となる。

$\sigma_r = \sigma_\theta =$ [ ]

$=$ [ ] 〔N/mm²〕

$\sigma_z =$ [ ] (内面) 〔N/mm²〕

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力R_1は次の値となる。

$R_1 = (m_3 + m_4) \cdot N$

$=$ [ ] 〔N〕

② 内容器蓋自重

（ロ）－第A.59図②に示すように、内容器蓋自重による等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。

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

$\sigma_z = -P_2$ (内面)

ここで、

σ_r ; 径方向応力 〔N/mm²〕

σ_θ ; 周方向応力 〔N/mm²〕

σ_z ; 軸方向応力 〔N/mm²〕

a ; 内容器蓋支持点半径 a = [ ] 〔mm〕

h ; 内容器蓋板厚 h = [ ] 〔mm〕

P_2 ; 内容器蓋自重による等分布荷重

$P_2 = \gamma \cdot h \cdot N =$ [ ] 〔N/mm²〕

N ; 加速度 N = [ ] 〔m/s²〕

γ ; 内容器蓋の密度 γ = [ ] 〔kg/mm³〕

したがって、次の値となる。

$\sigma_r = \sigma_\theta =$ [ ] 〔N/mm²〕

$\sigma_z =$ [ ] (内面)

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力R_2は次の値となる。

$R_2 = P_2 \cdot \pi \cdot a^2 =$ [　　] 〔N〕

③　緩衝材反力控除分

（ロ）－第A.59図③に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。(7)

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

$\sigma_z = -P_3$（内面）

ここで、

σ_r ；径方向応力 〔N/mm²〕

σ_θ ；周方向応力 〔N/mm²〕

σ_z ；軸方向応力 〔N/mm²〕

a　；内容器蓋支持点半径　a = [　　] 〔mm〕

h　；内容器蓋板厚　h [　　] 〔mm〕

ν　；ポアソン比　ν [　　]

P_3 ；緩衝材の圧縮応力　P_3 [　　] 〔N/mm²〕

c　；荷重半径

$c = c_0 + \delta \cdot \tan\alpha =$ [　　] 〔mm〕

c_0 ；円錐上部半径　c_0 = [　　] 〔mm〕

α　；円錐角　α = [　　]

δ　；緩衝材変形量　δ = [　　] 〔mm〕

したがって、次の値となる。

$\sigma_r = \sigma_\theta =$ [　　]

= [　　] 〔N/mm²〕

$\sigma_z =$ [　　]（内面） 〔N/mm²〕

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力R_3は次の値となる。

$R_3 = P_3 \pi c^2 =$ [　　]　〔N〕

④　緩衝材反力

（ロ）－第A.59図④に示すように、緩衝材反力の等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる応力は、中央で最大となり、次式で与えられる。

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

$\sigma_z = -P_4$（外面）

ここで、

σ_r；径方向応力　〔N/mm²〕

σ_θ；周方向応力　〔N/mm²〕

σ_z；軸方向応力　〔N/mm²〕

a　；内容器蓋支持点半径　a ＝ [　　]　〔mm〕

h　；内容器蓋板厚　h ＝ [　　]　〔mm〕

P_4；緩衝材の圧縮応力　P_4 ＝ [　　]　〔N/mm²〕

したがって、次の値となる。

$\sigma_r = \sigma_\theta =$ [　　]　〔N/mm²〕

$\sigma_z =$ [　　]（外面）　〔N/mm²〕

応力の複号は上が内面、下が外面を表す。

また、この時の支点反力R_4は次の値となる。

$R_4 = P_4 \pi a^2 =$ [　　]　〔N〕

以上の結果より、それぞれの応力を重ね合せると次のようになる。

$\sigma_r = \sigma_\theta =$ [　　]　〔N/mm²〕

$\sigma_z =$ [　　]（内面）　〔N/mm²〕

応力の複号は上が内面、下が外面を表わす。

また、支持点反力の合計は次の値となる。

$R =$ [　　]　〔N〕

Ⓔ 内容器蓋締付ボルト

上部垂直落下時において、内容器蓋には前述の A.5.3(8)(a) Ⓓに示すように、収納物と燃料バスケット及び内容器蓋自重が作用する。これに対し、緩衝材の反力及び円錐状補強板反力そして内容器蓋締付ボルトにて支えられる。この内、内容器蓋締付ボルトには支持点反力であるRが作用する。したがって、内容器蓋締付ボルトに生じる引張応力は次式で与えられる。

$$\sigma_t = \frac{R}{n \cdot A_i}$$

ここで、

σ_t ; 引張応力 〔N/mm²〕

R ; 支持点反力 R= [ ] 〔N〕

n ; 内容器蓋締付ボルト本数 n= [ ] 〔本〕

A_i ; 内容器蓋締付ボルト ( ) の谷径断面積

$A_i = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2$ = [ ] 〔mm²〕

d_i ; 内容器蓋締付ボルトの谷径 d_i= [ ] 〔mm〕

したがって、次の値となる。

σ_t = [ ] 〔N/mm²〕

(b) 燃料要素

(イ) 燃料板

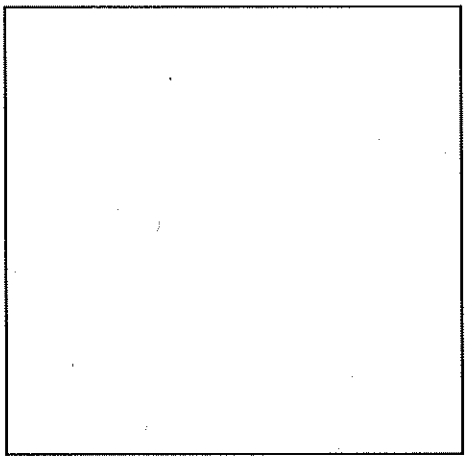
1.2m上部垂直落下時において角型燃料要素に生じる応力について解析する。

(i) 燃料板両端カシメ固定の場合

角型燃料要素には、新燃料要素ではフォロワ型を含め合計7種類あり、低照射された燃料要素では合計9種類ある。本項では、JRR-3標準型について解析方法を示し、他の8種類については同様の解析を行ない、その結果を(ロ)－第A.18表に示す。

ただし、ウランアルミニウム合金は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。

解析モデルを(ロ)－第A.60図に示す。



(ロ)－第A.60図　1.2m上部垂直落下時角型燃料要素応力解析モデル

(ロ)－第A.60図に示すように、燃料板は両端でカシメられ固定されている。この保持する力は、次式で与えられる。

$$F_H = f \cdot 2b$$

ここで、

F_H；燃料板を保持する力　〔N〕

f　；単位長さ当りの保持力　f＝　〔N/mm〕

b　；燃料板長さ　b＝　〔mm〕

したがって、次の値となる。

F_H＝　〔N〕

次に、燃料板が落下しようとする力は、次式で与えられる。

$$F = m \cdot N$$

ここで、

F　；燃料板落下力　〔N〕

m ；燃料板質量　　m＝[　　]　〔kg〕

N ；設計加速度　　N＝[　　]　〔m/s²〕

したがって、下記の値となる。

F＝[　　]　〔N〕

ゆえに、燃料板を保持する力は、落下しようとする力を上回っており、燃料板がずり落ちることはない。

上記のとおり、両端を固定した燃料板に自重による落下力が働く場合、燃料板には、せん断応力τが発生し、次式で与えられる。

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

ここで、

τ ；せん断応力　　〔N/mm²〕

F ；燃料板落下力　　F ＝[　　]　〔N〕

h_2 ；燃料板厚さ　　h_2＝[　　]　〔mm〕

h_1 ；燃料板芯材厚さ　　h_1＝[　　]　〔mm〕

b ；燃料板長さ　　b ＝[　　]　〔mm〕

したがって、次の値となる。

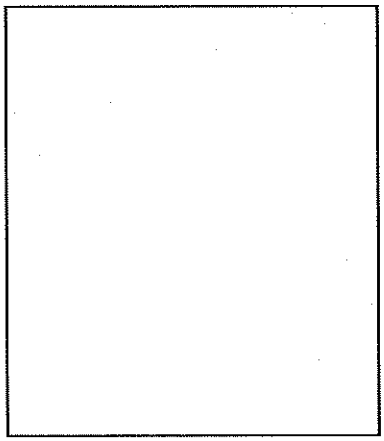
τ＝[　　]　〔N/mm²〕

（ii）燃料板ピン固定の場合

1.2m垂直落下時において、低照射された燃料要素の固定部のピンに生じる応力について解析する。

低照射された燃料要素にはフォロワ型を含め合計6種類あるが、本項ではピン固定方式の燃料要素のみについて解析方法を示し、その結果を（ロ）－第A.18表に示す。

ただし、ウランアルミニウム合金は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。解析モデル図を（ロ）－第A.61図に示す。



（ロ）－第A.61図　1.2m上部垂直落下時低照射された燃料要素応力解析モデル

（ロ）－第A.61図に示すように、燃料板は、側板をピンで固定されている。

この保持する力は、次式で与えられる。

$F_H = \tau_a \times A$　〔N〕

ここで、

F_H：燃料板を保持する力　〔N〕

τ_a：ピンの許容応力＝□　〔N/mm²〕

A　：ピンの断面積　〔mm²〕

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

d　：ピンの最小径＝□　〔mm〕

n　：ピンの本数＝□　〔－〕

したがって、次の値となる。

$$F_H = \tau_a \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times n$$

$$= \boxed{} \quad [N]$$

次に燃料板が落下しようとする力は、次式で与えられる。

$$F = m \cdot N$$

ここで、

F：燃料板落下力 [N]

m：燃料板質量＝ [kg]

N：設計加速度＝ [m/s^2]

したがって、次の値となる。

F＝ [N]

ゆえに、燃料板を保持するピンの力は、落下しようとする力を上回っており、燃料板がずり落ちる事はない。

上記のとおり、燃料板両端にピン固定した燃料板には、自由落下による慣性力が働く場合、燃料板のピン部には引張力が発生し次式で与えられる。

$$\sigma_t = \frac{W_0}{A}$$

ここで、

$$W_0 = \frac{m \times N}{n/2}$$

W_0＝ [N]

σ_t：燃料板ピン部の応力 [N/mm^2]

W_0：燃料板ピン部に作用する荷重 [kg]

m：燃料板質量 m＝ [kg]

n：ピン本数 n＝ [－]

N：設計加速度 N＝ [m/s^2]

A：ピン有効部面積 [mm^2]

$$A = ((L_1 - L_2)/2 - d) \times t_1$$

L_1：燃料板幅　　L_1＝　　〔mm〕

L_2：燃料板芯材幅　　L_2＝　　〔mm〕

t_1：燃料板厚さ　　t_1＝　　〔mm〕

d　：ピン穴径　　d　＝　　〔mm〕

A＝　　〔mm^2〕

したがって、次の値となる。

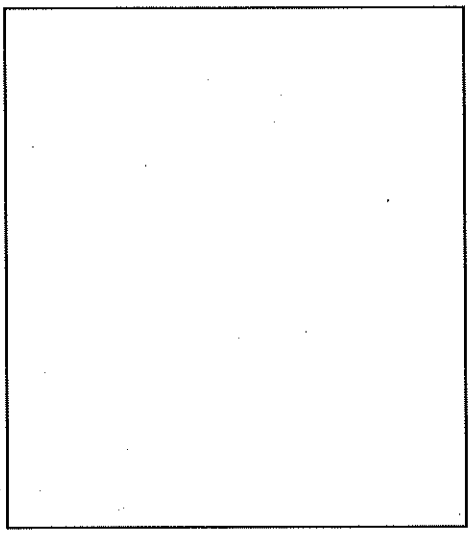
σ_t＝　　〔N/mm^2〕

（iii）燃料板と側板が固定されていない場合

1.2m垂直落下時において、低照射された燃料要素に生じる応力について解析する。低照射された燃料要素にはフォロワ型を含め合計9種類あるが、本項では燃料板と側板とが固定されていない燃料要素について解析方法を示し、その結果を（ロ）－第A.18表に示す。

ただし、ウランアルミニウム合金は、被覆材と同一強度を有するものとして解析する。

解析モデル図を（ロ）－第A.62図に示す。



（ロ）－第A.62図　低照射された燃料要素1.2m上部垂直落下応力解析モデル

（ロ）－第A.62図に示すように、燃料板の自重を受ける長方形板は圧縮応力σ_cを生じ、次式で与えられる。

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

ここで、

σ_C：圧縮応力		〔N/mm²〕
m_F：燃料板質量	m_F=	〔kg〕
ℓ　：燃料板幅	ℓ=	〔mm〕
h_2：燃料板厚さ	h_2=	〔mm〕
h_1：燃料板芯材厚さ	h_1=	〔mm〕
N　：設計加速度	N=	〔m/s²〕

したがって、次の値となる。

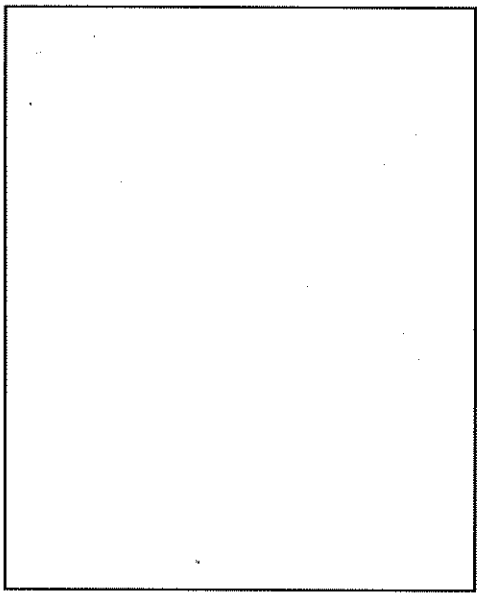
σ_c=　　〔N/mm²〕

(ﾛ) 燃料要素押え具

（イ）－Dに示すように低照射された燃料要素は、重量軽減を図るため下部側のアダプター及び上部側の把手の部分を切断しているため、全長が短い燃料要素となっている。そのため、長さ調節のため押え具等を用いている。

本項では、押え具に生じる応力について解析方法を示しその結果を（ロ）－第A.18表に示す。

解析モデルを（ロ）－第A.63図に示す。



（ロ）－第A.63図　押え具応力解析モデル

（ロ）－第A.63図に示すように、押え具は自重及び燃料要素重量を受け、圧縮応力σ_cを生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{(m_z + m_f) \times N}{\frac{\pi}{4}(h_o^2 - h_i^2)}$$

ここで、

σ_C：圧縮応力		〔N/mm²〕
m_z：押え具質量	=	〔kg〕
m_f：燃料要素質量	=	〔kg〕
N ：設計加速度	=	〔m/s²〕
h_o：押え具外径	=	〔mm〕
h_i：押え具内径	=	〔mm〕

したがって、次の値となる。

σ_c = 〔N/mm²〕

(c) 許容応力の比較

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

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

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

（ロ）－第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果（1／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置 ＼ 応力及び応力強さ			初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価					
								Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器胴部		σ_r				—															
			σ_θ	—		—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
2	内容器底板	内面	σ_r																			
			σ_θ	—		—								—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
		外面	σ_r																			
			σ_θ	—		—								—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
3	内容器蓋	内面	σ_r																			
			σ_θ	—		—								—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
		外面	σ_r																			
			σ_θ	—		—								—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_z																			
4	内容器蓋締付ボルト		σ_t			—																
			σ_b	—	—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			τ				—															

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

（ロ）－第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果（2／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価					
							Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS	PL+Pb+Q	Sy	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JRR-3標準型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—	—		—	—	—					—	—	—	—	—	—	—	—
2	JRR-3フォロワ型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—	—		—	—	—					—	—	—	—	—	—	—	—
3	JRR-4B型	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JRR-4L型	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	JRR-4（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—	—		—	—	—					—	—	—	—	—	—	—	—
6	JMTR標準	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	JMTR燃料フォロワ	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

（ロ）－第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果（3／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
							Pm (PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q＋F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JMTRC標準燃料要素（A型、B型、C型）	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	JMTRC標準燃料要素（Φ2.2ピン固定タイプ）(B、C型)	σ_t	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	JMTRC特殊燃料要素（特A型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JMTRC特殊燃料要素（特B型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	JMTRC特殊燃料要素（特C型、特D型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	JMTRC燃料フォロワ（HF型）	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	JMTRC標準燃料要素（MA、MB、MC型）	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	JMTRC特殊燃料要素（特MB、特MC型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	JMTRC燃料フォロワ（MF型）	τ	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Q；二次応力　F；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数

Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_t；燃料板ピン部の応力　σ_c；圧縮応力　τ；せん断応力

（ロ）一第A.18表　1.2m上部垂直落下時における応力評価結果（4／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						(一次＋二次)応力強さの評価			疲労評価					
							Pm (PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q	Sy	MS	PL＋Pb ＋Q＋F	Sa	N	Na	DF	MS
1	JMTRC特殊燃料要素押え具（特A型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	JMTRC特殊燃料要素押え具（特B型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	JMTRC特殊燃料要素押え具（特C型，特D型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	JMTRC特殊燃料要素押え具（特MB型，特MC型）	σ_c	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Q；二次応力　F；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数

Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_c；圧縮応力

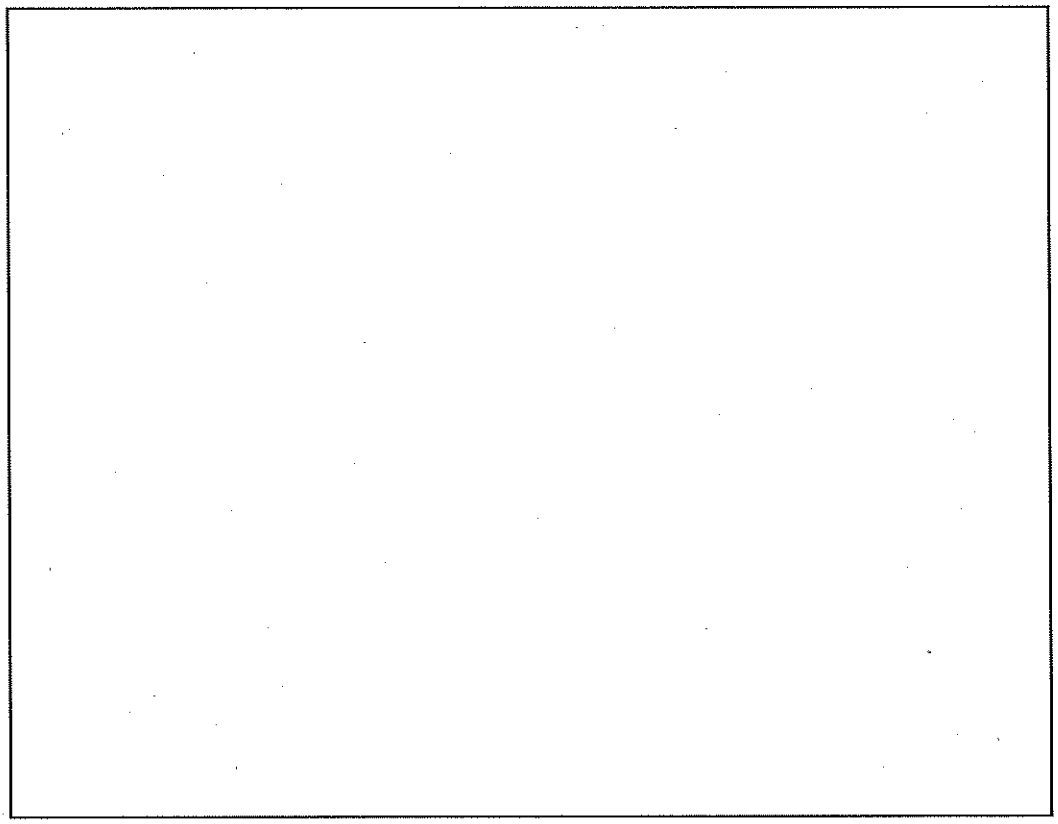
(9) コーナー落下

コーナー落下は、傾斜落下の特殊な場合であり、（ロ）－第A.64図に示すように、輸送物の落下点と重心を結ぶ線が、剛平面に対して垂直な場合の落下である。

(a) 緩衝材の変形量

緩衝材の変形量と残量の関係を（ロ）－第A.64図に示す。

図より変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。



（ロ）－第A.64図　1.2mコーナー落下時緩衝材変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(b) 輸送容器及び収納物に生じる応力

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

（ロ）－第A.19表　コーナー落下時の設計加速度

（×g）

落　下　方　向		落下方向加速度 (N)	垂直方向加速度 ($N_V=N\cos\theta$)	水平方向加速度 ($N_H=N\sin\theta$)
コーナー	上　部			
	下　部			

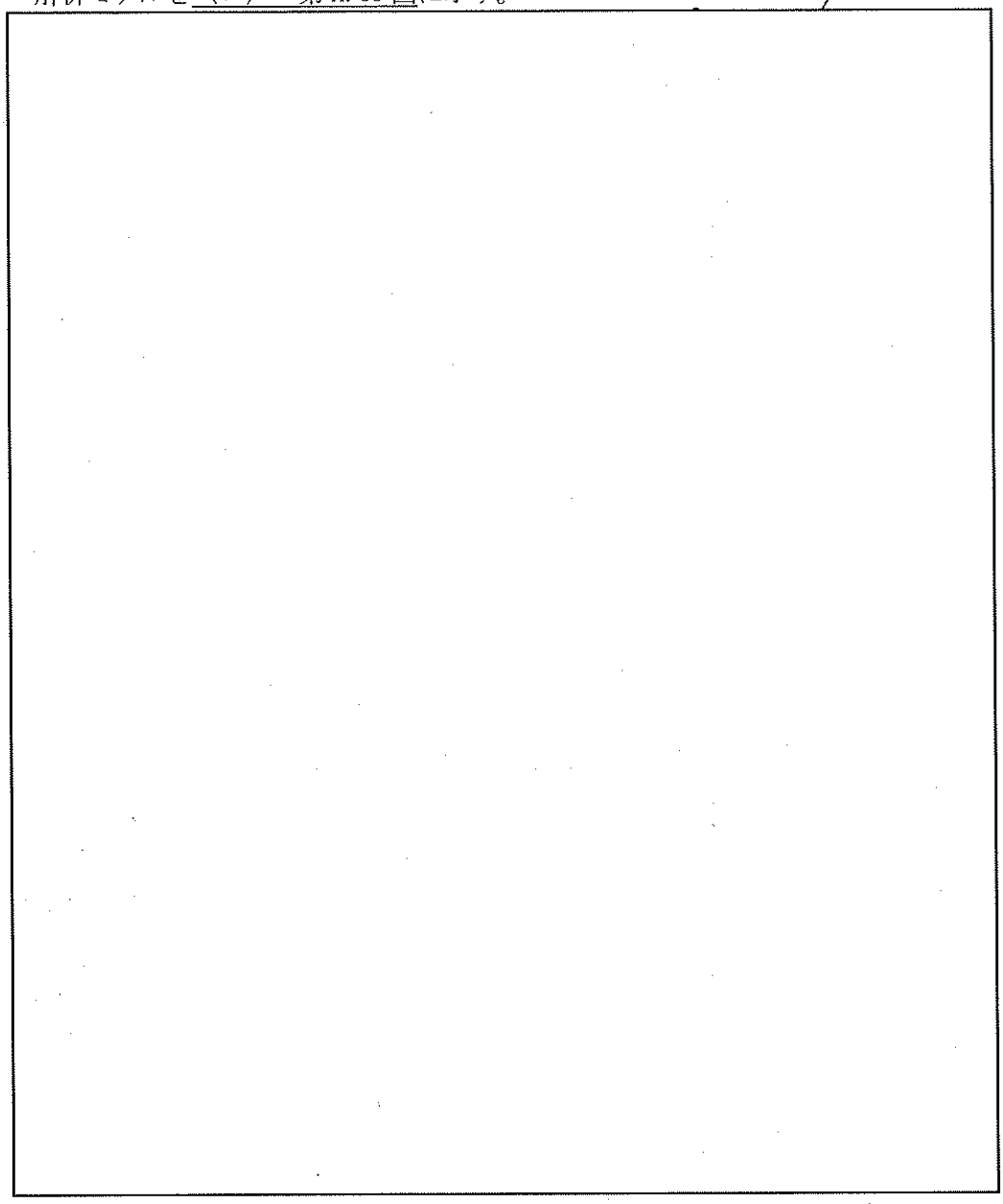
（ロ）－第A.19表より、各方向成分加速度は、垂直落下時及び水平落下時に生じる加速度より小さくなる。したがって、応力解析は省略する。

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

(c) コーナー落下時内容器蓋締付ボルトに生じる応力

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

一方、上部コーナー落下時には、内容器蓋締付ボルトに、蓋の回転モーメントによる応力が生じる。したがって、この時に生じる応力について解析する。解析モデルを（ロ）－第A.65図に示す。



（ロ）－第A.65図　上部コーナー落下時内容器蓋締付ボルト応力解析モデル

（ロ）－第A.65図に示すように、上部コーナー落下時、内容器蓋の回転モーメントにより、内容器蓋締付ボルトには曲げ応力が生じる。

この時の曲げ応力は、［　　］で最大となり次式で与えられる。

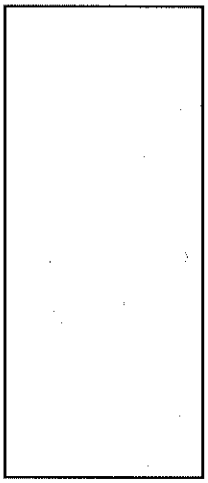
$$\sigma_{max} = \sigma_V + \sigma_H$$

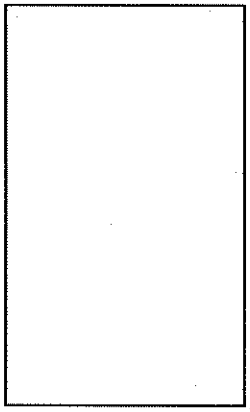
$$\sigma_V = \frac{N_V \cdot m \cdot L_V \cdot \ell_8}{2 \times [\quad] \cdot Ai}$$

$$\sigma_H = \frac{N_H \cdot m \cdot L_H \cdot \ell'_8}{2 \times [\quad] \cdot Ai}$$

ここで、

σ_{max}	；	［　　］に生じる最大曲げ応力		〔N/mm²〕
σ_V	；	垂直成分加速度により生じる応力		〔N/mm²〕
σ_H	；	水平成分加速度により生じる応力		〔N/mm²〕
N_V	；	垂直成分加速度	N_V＝	〔m/s²〕
N_H	；	水平成分加速度	N_H＝	〔m/s²〕
m	；	内容器蓋にかかる質量	m ＝	〔kg〕
L_V	；	垂直方向モーメントアーム	L_V＝	〔mm〕
L_H	；	水平方向モーメントアーム	L_H＝	〔mm〕
ℓ_i	；	転倒支点Vから各ボルトまでの距離		〔mm〕
ℓ'_i	；	転倒支点Hから各ボルトまでの距離		〔mm〕





A_i ；　内容器蓋締付ボルト（□）の谷径断面積

$$A_i = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 = \boxed{} \quad [mm^2]$$

したがって、以下の値となる。

$$\sigma_V = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \quad [N/mm^2]$$

$$\sigma_H = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \quad [N/mm^2]$$

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

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

（ロ）－第A.20表　1.2m上部コーナー落下時における応力評価結果

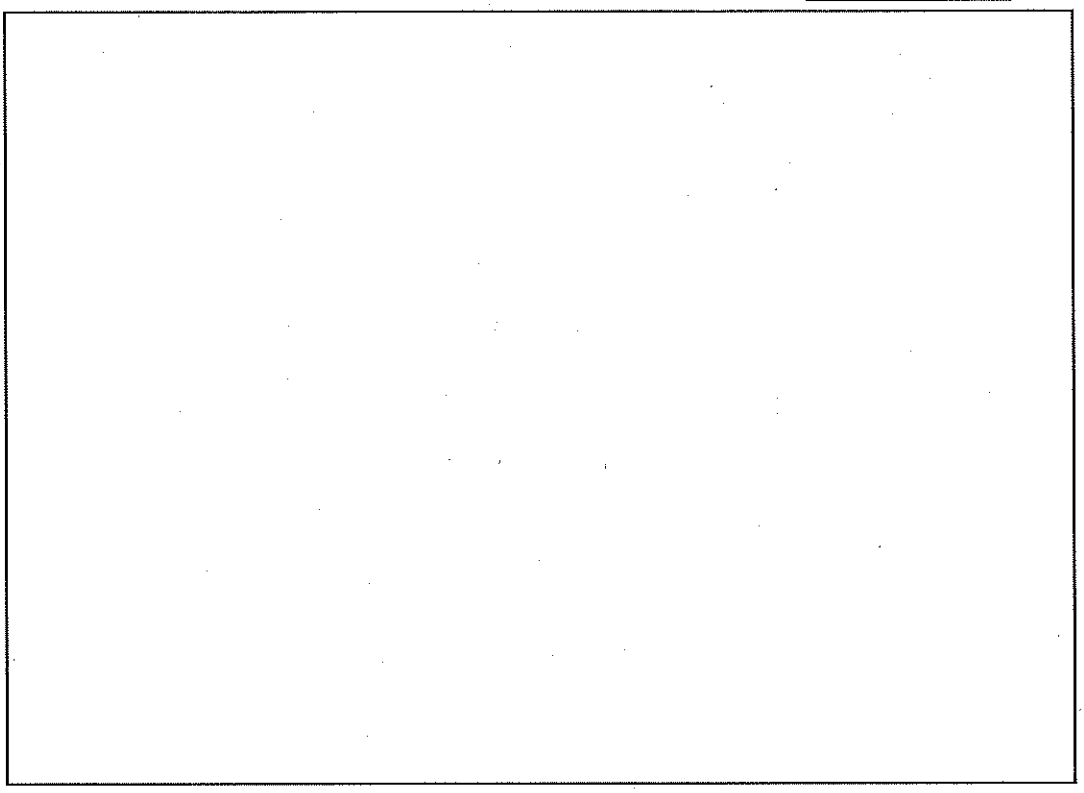
No.	評価位置 ＼ 応力及び応力強さ		初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力		一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価					
						水平成分	垂直成分	Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器蓋締付ボルト	σ_t			—	—	—							—	—	—	—	—	—	—	—	—
		σ_b	—	—	—																	
		τ				—	—															

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

(10) 下部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

下部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を(ロ)－第A.66図に示す。



番　号	落下角度（θ）	緩衝材変形前 最 少 厚 さ	緩衝材変形量	緩衝材残量
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

(ロ) －第A.66図　1.2m下部傾斜落下時緩衝材変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(ロ) －第A.66図より下部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

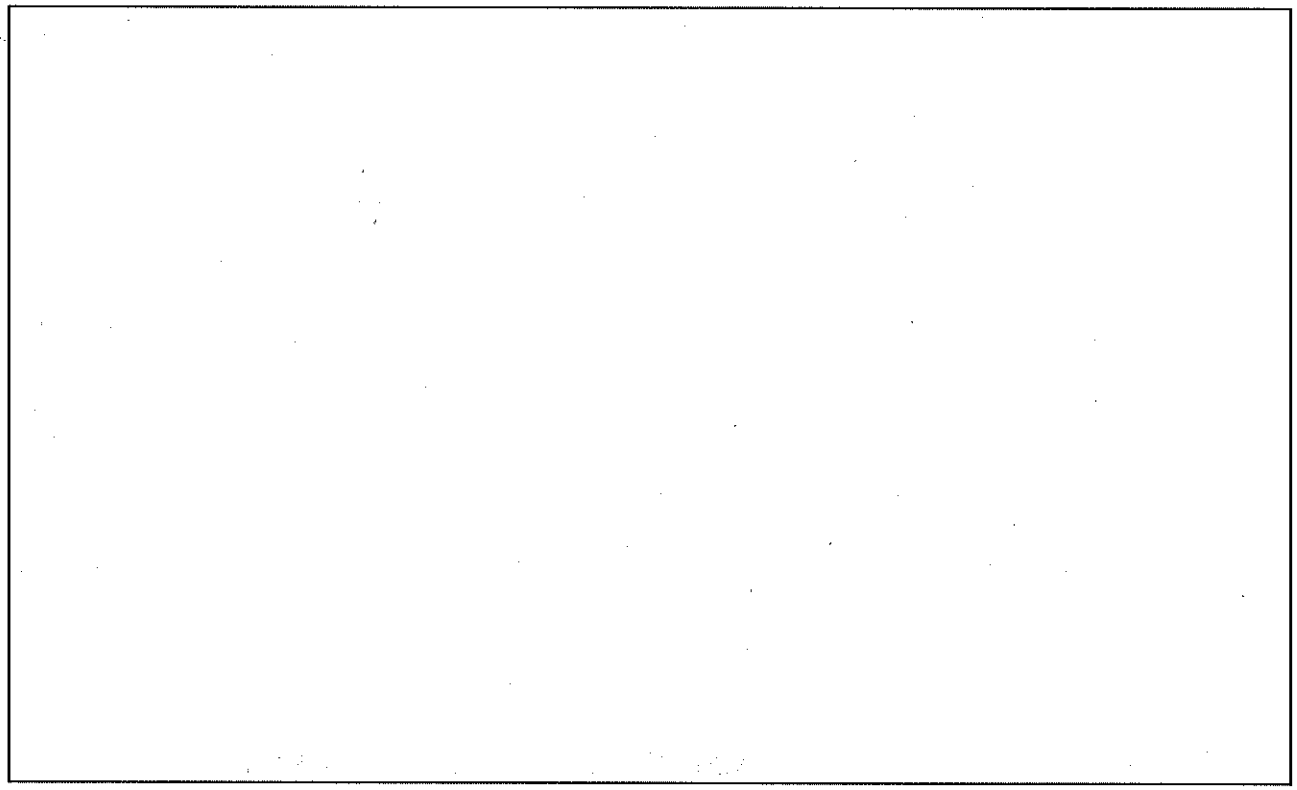
(b) 輸送容器及び収納物に生じる応力

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

また、落下角度と加速度の関係を（ロ）－第A.67図に示す。

（ロ）－第A.21表　落下角度と加速度の関係

落下角度 θ（度）	加速度（G）		
	落下方向（N）	垂直成分（N・cosθ）	水平成分（N・sinθ）



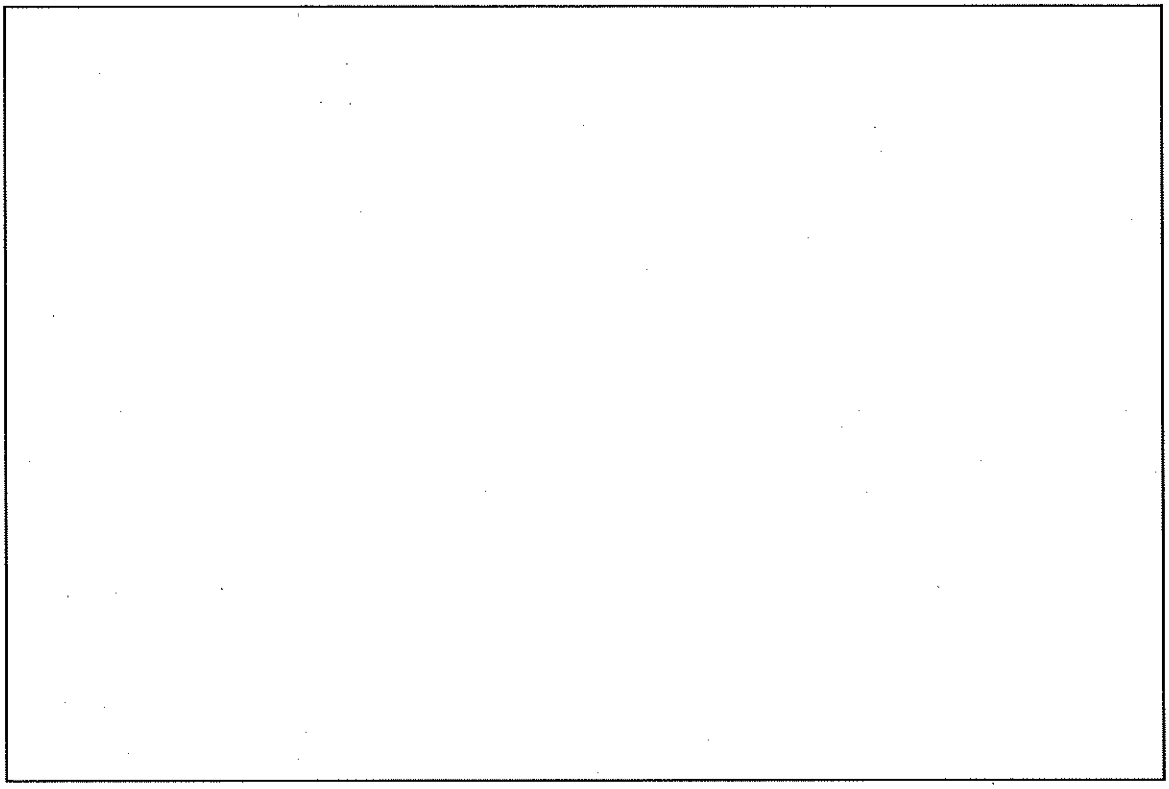
（ロ）－第A.67図　1.2m下部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

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

(11) 上部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

上部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を(ロ)－第A.68図に示す。



番　号	落下角度（θ）	緩衝材変形前 最 少 厚 さ	緩衝材変形量	緩衝材残量
①				
②				
③				
④				
⑤				
⑥				
⑦				

(ロ) －第A.68図　1.2m上部傾斜落下時緩衝材変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(ロ) －第A.68図より上部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

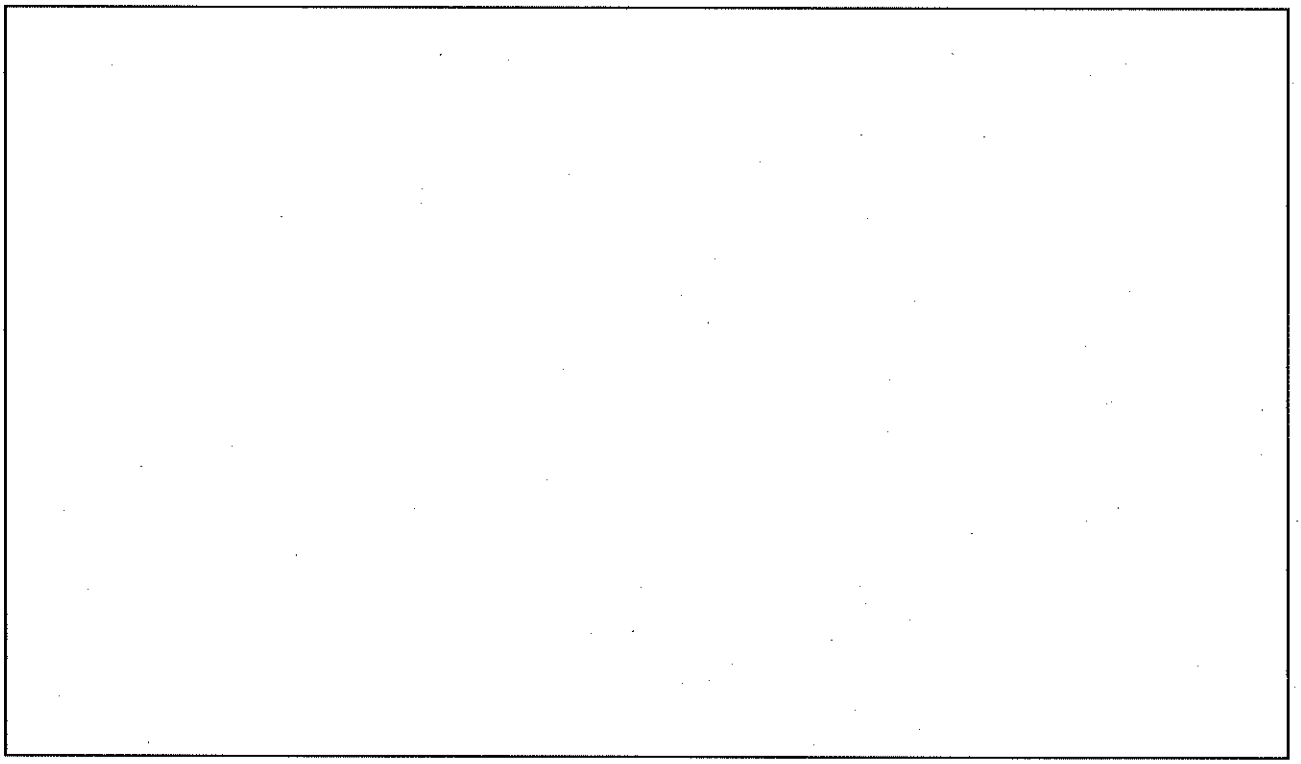
(b) 輸送容器及び収納物に生じる応力

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

また、落下角度と加速度の関係を（ロ）－第A.69図に示す。

（ロ）－第A.22表　落下角度と加速度の関係

落下角度 θ（度）	加速度（G）		
	落下方向（N）	垂直成分（N・cosθ）	水平成分（N・sinθ）



（ロ）－第A.69図　1.2m上部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

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

A.5.4 積み重ね試験

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

各項での応力解析は、主応力を求めるものとし、応力分類及び応力強さの評価はA.5.4(3)に示す。

(1) 圧縮荷重

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

本輸送物の場合、各々の荷重は次の値となる。

$W_1 = 5 \cdot m_0 \cdot g$ 〔N〕

$W_2 =$ [　　] 〔N〕

ここで、

m_0 ; 輸送物質量　　$m_0 =$ [　　] 〔kg〕

g ; 重力加速度　　$g = 9.81$ 〔m/s^2〕

A ; 輸送物の投影面積

$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 =$ [　　] 〔mm^2〕

D ; 輸送容器外径　　$D =$ [　　] 〔mm〕

したがって、

$W_1 =$ [　　] 〔N〕

$W_2 =$ [　　] 〔N〕

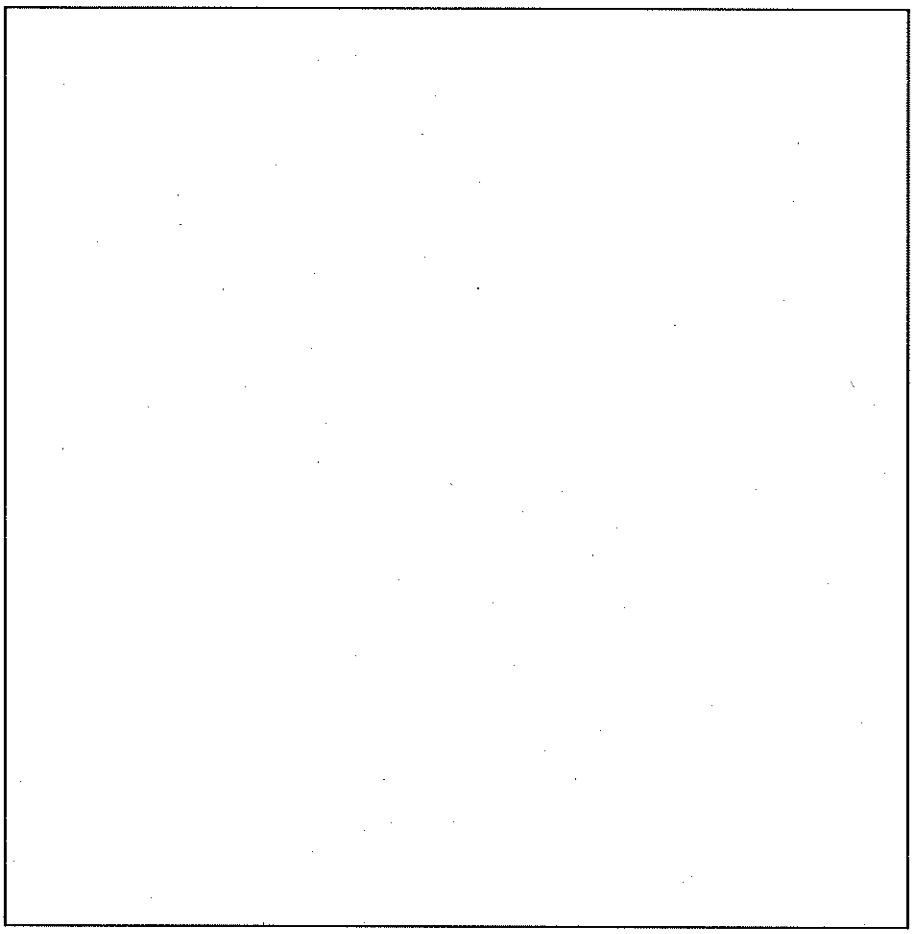
となり、$W_1 > W_2$となる。

よって圧縮荷重Fは、$F =$ [　　] 〔N〕とする。

(2) 応力解析

圧縮荷重を24時間付加した場合の容器本体各部の応力について解析する。

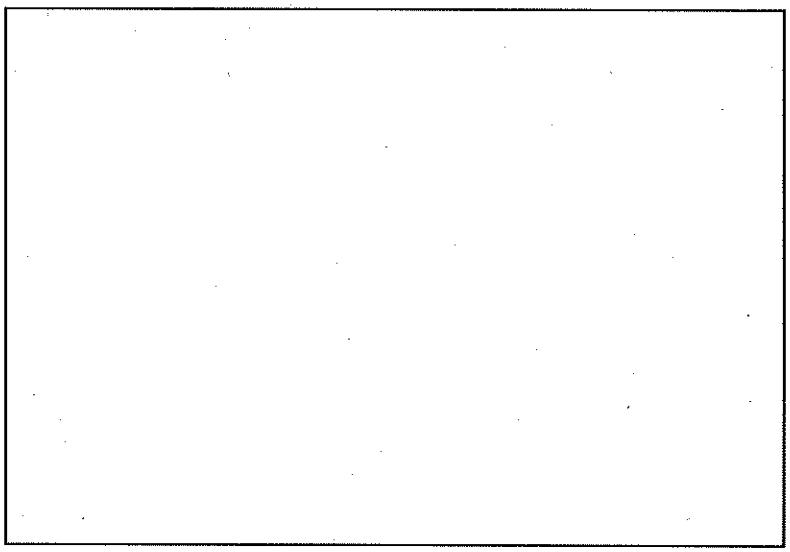
圧縮時における応力評価位置を（ロ）－第A.70図に示す。



（ロ）－第A.70図　圧縮時の応力評価位置

Ⓐ 内容器蓋部

解析モデルを（ロ）－第A.71図に示す。



（ロ）－第A.71図　圧縮時内容器蓋部解析モデル

（ロ）－第A.71図に示すように、内容器蓋には自重及び圧縮荷重が等分布荷重として作用する。等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる応力は中央で最大となり、次式で与えられる。

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

$$\sigma_z=-w\quad(\text{外面})$$

ここで、

σ_r ；径方向応力			〔N/mm²〕
σ_θ ；周方向応力			〔N/mm²〕
σ_z ；軸方向応力			〔N/mm²〕
a ；内容器蓋支持点半径	a ＝		〔mm〕
h ；内容器蓋板厚	h ＝		〔mm〕
w ；等分布荷重			〔N/mm²〕

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

m_2 ；内容器蓋質量	m_2＝		〔kg〕
m_5 ；外容器蓋質量	m_6＝		〔kg〕
F ；圧縮荷重	F ＝		〔N〕

w＝ 〔N/mm²〕

したがって、次の値となる。

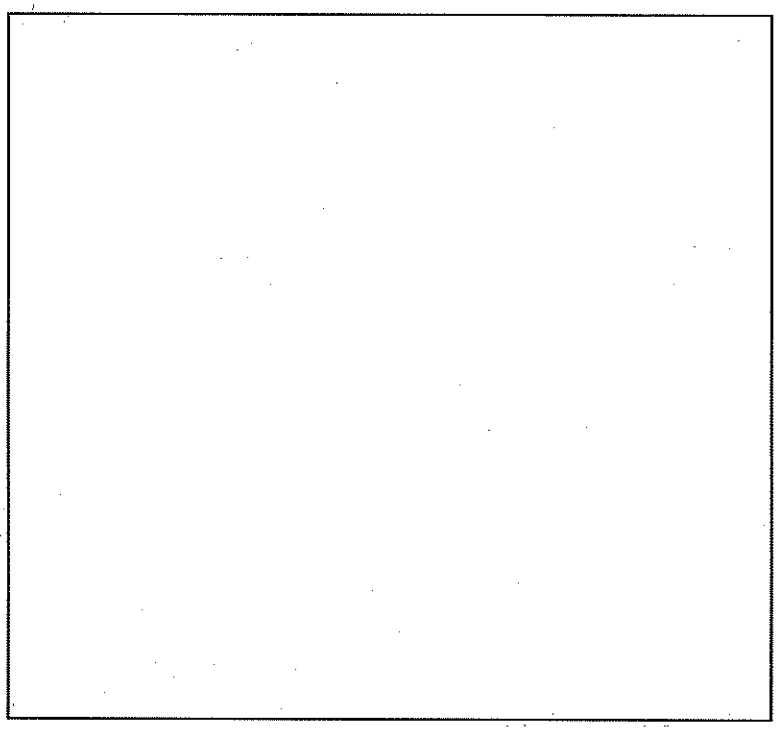
$\sigma_r=\sigma_\theta=$ 〔N/mm²〕

$\sigma_z=$ (外面) 〔N/mm²〕

応力の複号は上が外面、下が内面を表わす。

Ⓑ 内容器胴部

解析モデルを（ロ）－第A.72図に示す。



（ロ）－第A.72図　圧縮時内容器胴部解析モデル

（ロ）－第A.72図に示すように、内容器胴部には、自重及び圧縮荷重が作用する。この圧縮力により生じる応力σ_zは次式で与えられる。

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

ここで、

σ_z；圧縮応力　〔N/mm²〕

F　；圧縮力　F＝　〔N〕

m　；輸送物の質量

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

m_1；内容器質量（胴及びフランジ部）　m_1＝　〔kg〕

m_2；内容器蓋質量　m_2＝　〔kg〕

m_3；燃料バスケット質量　m_3＝　〔kg〕

m_4；収納物質量　m_4＝　〔kg〕

m_5 ；外容器蓋質量　　m_5 = [redacted]　〔kg〕

m_6 ；外容器質量　　m_6 = [redacted]　〔kg〕

m = [redacted]　〔kg〕

g ；重力加速度　　g ＝9.81　〔m/s^2〕

A ；内容器胴部の断面積

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

d_2 ；内容器胴部外径　　d_2 = [redacted]　〔mm〕

d_1 ；内容器胴部内径　　d_1 = [redacted]　〔mm〕

$A = \frac{\pi}{4} \cdot$ ([redacted]) ＝1.48×10^4　〔mm^2〕

したがって、次の値となる。

σ_z = [redacted]　〔N/mm^2〕

(3) 許容応力の比較

各解析項目に対する応力評価結果をまとめて（ロ）－第A.23表に示す。

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

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

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

（ロ）－第A.23表　積み重ねにおける応力評価結果

No.	応力及び応力強さ / 評価位置			初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価						（一次＋二次）応力強さの評価			疲労評価					
								Pm(PL)	Sm	MS	PL+Pb	1.5Sm	MS	PL+Pb+Q	3Sm	MS	PL+Pb+Q+F	Sa	N	Na	DF	MS
1	内容器蓋部（中央点）	内面	σ_r	—		—								—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_θ																			
			σ_z																			
		外面	σ_r	—		—								—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_θ																			
			σ_z																			
2	内容器胴部		σ_r	—		—							—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			σ_θ																			
			σ_z																			

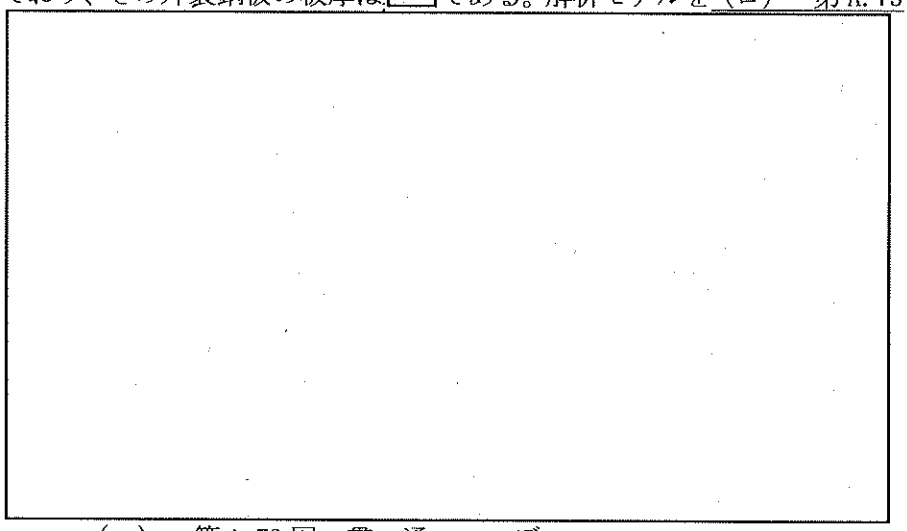
Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Q；二次応力　F；ピーク応力　Sa；繰返しピーク応力強さ　N；使用回数　Na；許容繰返し回数　DF；疲れ累積係数
Sm；設計応力強さ　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_r；径方向応力　σ_θ；周方向応力　σ_z；軸方向応力

A.5.5 貫　　通

本項の試験条件として、重量 6kg で直径 32mm の棒をその半球形の先端を下にして、軸を垂直にし 1mの高さより輸送物の最も弱い部分に落下させた場合にも棒が貫通しないことを示す。

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

本輸送物の重要な密封装置である内容器本体及び内容器蓋は、外容器及び外容器蓋により覆われており、その外装鋼板の板厚は[ ]である。解析モデルを（ロ）－第A.73図に示す。



（ロ）－第A.73図　貫　通　モ　デ　ル

（ロ）－第A.73図に示すように板厚[ ]の外容器外装鋼板に棒が外装鋼板を最も貫通しやすい姿勢で衝突する場合について説明する。

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

$E_1 = m \cdot g \cdot h$

ここで、

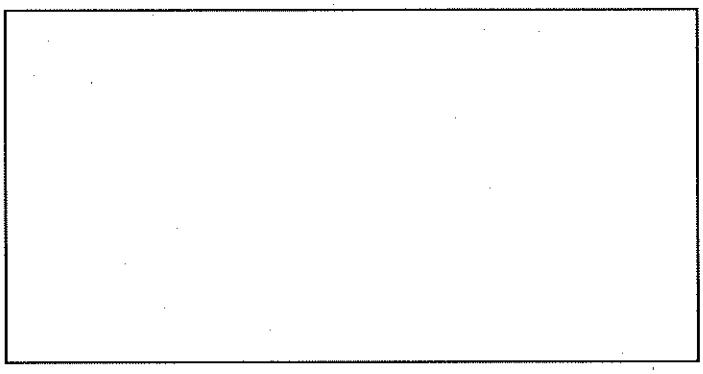
m；棒の質量	m＝		〔kg〕
h；落下高さ	h＝		〔mm〕
g；重力加速度	g＝	9.81	〔m/s²〕

したがって、

E_1＝[ ]　〔N･mm〕

となる。

一方、棒が板厚□の外装鋼板を貫通するために必要な、エネルギーE_2は次式で与えられる。解析モデルを（ロ）－第A.74図に示す。



（ロ）－第A.74図　せ　ん　断　モ　デ　ル

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

ここで、

τ_{cr}；外装鋼板のせん断強さ

$$\tau_{cr}=0.6\times Su=\square \quad [N/mm^2]$$

Su	；設計引張強さ	Su＝	[N/mm²]
d	；棒の直径	d ＝	[mm]
t	；外装鋼板の板厚	t ＝	[mm]

積分を行い数値を代入すると

$$E_2=\tau_{cr}\cdot\pi\cdot d\times\frac{1}{2}\times t^2$$

$$=\square \quad [N\cdot mm]$$

となり、

E_1＝□

となるから、棒の落下によって外装鋼板が貫通することはない。

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

A.5.6 角又は縁落下

本要件は、重量が 50kg 以下のファイバー板製又は木製の直方体形状のもの、重量が 100kg 以下のファイバー板製の円筒形状のものに対して適用され、本輸送物の重量は、[ ]であり、本項に該当せず。

A.5.7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下における本輸送物の要約を各試験項目ごとに記述する。

(1) 1.2m落下

A.5.3 より、1.2m各ケースでの落下時の緩衝体の変形量は、[ ](垂直落下) ～[ ](コーナー落下) となり、その変形はいずれの落下姿勢においても内容器には達しない。

輸送物の衝撃加速度は、[ ]Gとなり、この時容器に発生する応力は設計基準値以下であり、容器の健全性は保たれ、その密封性は維持される。

(2) 他の要約

自由落下時の圧力、振動、水吹き付け試験、積み重ね試験及び貫通に対する評価において、密封境界である内容器は健全性を保ち、その密封性は維持される。

(3) 許容応力との比較

A.1.2(2)の負荷の組合せ条件に基づき解析した結果、全ての項目についてA.1.2(1)の設計基準を満足しており、密封境界である内容器は建全であり、その密封性は維持される。

A.6 特別の試験条件

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

(1) 落下試験Ⅰ

(1)の試験に引き続いて次の条件の下に置く。

(2) 落下試験Ⅱ

(3) 耐火試験

(4) 浸漬試験

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

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

本項では、輸送物が9m落下した場合、輸送物が受ける影響について検討する。

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

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

(a) 解析モデル

各落下試験時に生じる応力等は、解析によって示す。

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

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

(b) 原型試験

付属書に詳細を示す。

(c) モデル試験

採用しない。

本解析の目的は、次のとおりである。

① 9m落下による外容器の変形が密封境界である内容器に達することがなく、内容器の密封性能が維持されること。

② 9m落下時の衝撃によって内容器が破損することがなく、内容器の密封性能が維持されること。

③ 収納物の破損がないこと。

(1) 解析方法

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

(a) 変 形 量

① 衝突面は剛体であるとし、輸送物の落下エネルギーは、緩衝材のみによって全量吸収されるものとする。したがって、外容器の変形量は、緩衝材の変形量となる。これは、鋼板及び断熱材による吸収を無視するため変形量を大きくし安全側の評価となる。

② 緩衝材により生じる加速度及び変形量は、A.10.1 に示す緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH－Ⅱ」を用いて計算する。

(b) 応　　力

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

② 応力解析に用いる設計加速度は、「CASH－Ⅱ」の計算値（緩衝材により生じる加速度）を 1.2 倍（A.10.1 に示すように実験結果との比較により定めた値）した値に鋼板による加速度を加えたものとする。これは、輸送物に生じる衝撃力が、緩衝材による加速度にさらに鋼板による加速度が加わるため安全側の評価となる。

設計加速度＝CASH－Ⅱの計算結果×1.2＋鋼板による加速度

③ 鋼板により生じる加速度は、簡易計算により求める。

(2) 落下エネルギー

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

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

ここで、

U_a ；	緩衝材の吸収エネルギー		〔J〕
U_v ；	輸送物の落下エネルギー		〔J〕
m ；	輸送物の質量	m＝□	〔kg〕
h ；	落下高さ	h＝□	〔m〕
g ；	重力加速度	g＝ 9.81	〔m/s^2〕

したがって、次の値となる。

$U_a = U_v$＝□ 〔J〕

□ 〔N・mm〕

(3) 緩衝材性能解析プログラム「CASH－Ⅱ」の計算結果

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

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

(4) 設計加速度

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

また、落下応力解析に用いる設計加速度を次式として計算し、同表に示す。

設計加速度＝CASH－Ⅱの計算結果×1.2＋鋼板による加速度

（ロ）－第A.24表　特別の試験条件下での緩衝材についての変形量及び加速度

落下姿勢			変形量〔mm〕	加速度〔×g〕	
				計算値	×1.2倍
水平					
垂直	上部				
	下部				
コーナー	上部				
	下部				
傾斜	上部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			
	下部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			

ここで、

g ；重力加速度　　g＝9.81　　〔m/s²〕

（ロ）－第A.25表　特別の試験条件下における設計加速度

落下姿勢			CASH－II ×1.2倍	鋼板による加速度〔×g〕	設計加速度〔×g〕
水平					
垂直	上部				
	下部				
コーナー	上部				
	下部				
傾斜	上部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			
	下部	5°			
		15°			
		30°			
		45°			
		60°			
		75°			
		85°			

ここで、

g ；重力加速度　　g＝9.81　　〔m/s^2〕

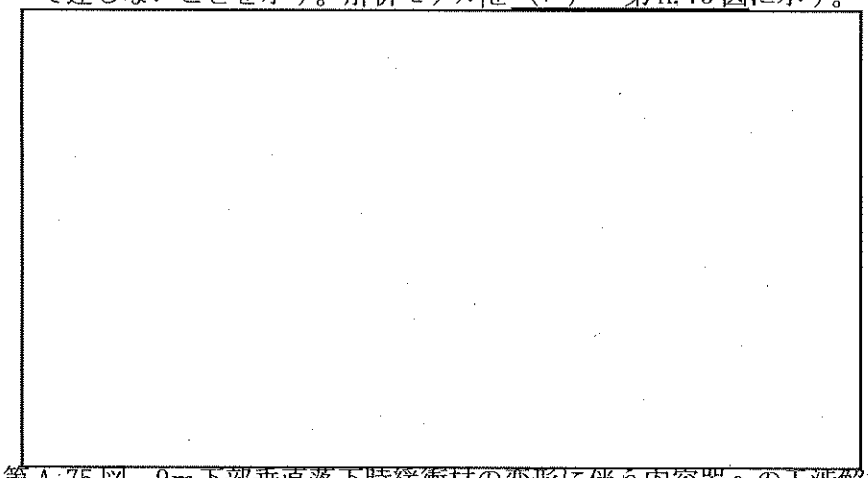
A.6.1.1 垂直落下

(1) 下部垂直落下

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

(a) 緩衝材の変形量

9m下部垂直落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器底部まで達しないことを示す。解析モデルを（ロ）－第A.75図に示す。



（ロ）－第A.75図　9m下部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

（ロ）－第A.75図に示すように9m下部垂直落下後における緩衝材の残量δ〔mm〕は、次式で与えられる。

$$\delta=\delta_o-\delta_v$$

ここで、

δ_o；緩衝材の変形前の最少厚さ　δ_o＝［　　］〔mm〕

δ_v；緩衝材変形量　δ_v＝［　　］〔mm〕

したがって、次の値となる。

δ＝［　　］〔mm〕

よって、9m下部垂直落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器底部には達しない。

(b) 輸送容器各部に生じる応力

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

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果（1／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置＼応力及び応力強さ			初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
							Pm(PL)	2/3 Su	MS	PL＋Pb	Su	MS
1	内容器胴部		σ_r	—		—				—	—	—
			σ_θ			—						
			σ_z									
2	内容器底板	内面	σ_r	—								
			σ_θ									
			σ_z									
		外面	σ_r	—					—			
			σ_θ									
			σ_z									
3	内容器蓋	内面	σ_r	—								
			σ_θ									
			σ_z									
		外面	σ_r	—								
			σ_θ									
			σ_z									
4	内容器蓋締付ボルト		σ_t			—				—	—	—
			σ_b	—	—	—						
			τ			—						

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　Su；設計引張強さ　MS；余裕率　σ_r；径方向応力　σ_θ；周方向応力　σ_z；軸方向応力
τ；せん断応力　　σ_b；曲げ応力　　σ_t；ボルト軸方向応力

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果（2／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置＼応力及び応力強さ		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
						Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JRR-3 標準型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—		—	—	—			
2	JRR-3 フォロワ型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—		—	—	—			
3	JRR-4B 型	τ	—	—		—	—	—			
4	JRR-4L 型	τ	—	—		—	—	—			
5	JRR-4（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	τ	—	—		—	—	—			
6	JMTR 標準	τ	—	—		—	—	—			
7	JMTR 燃料フォロワ	τ	—	—		—	—	—			

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

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果　(3／4)

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

	応力及び応力強さ ／ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
						Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JMTRC 標準燃料要素（A 型、B 型、C 型）	τ	—	—		—	—	—			
2	JMTRC 標準燃料要素（Φ2.2 ピン固定タイプ）(B、C 型)	σ_t	—	—		—	—	—			
3	JMTRC 特殊燃料要素（特 A 型）	σ_c	—	—		—	—	—			
4	JMTRC 特殊燃料要素（特 B 型）	σ_c	—	—		—	—	—			
5	JMTRC 特殊燃料要素（特 C 型、特 D 型）	σ_c	—	—		—	—	—			
6	JMTRC 燃料フォロワ（HF 型）	τ	—	—		—	—	—			
7	JMTRC 標準燃料要素（MA、MB、MC 型）	τ	—	—		—	—	—			
8	JMTRC 特殊燃料要素（特 MB、特 MC 型）	σ_c	—	—		—	—	—			
9	JMTRC 燃料フォロワ（MF 型）	τ	—	—		—	—	—			

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_t；燃料板ピン部の応力　σ_c；圧縮応力　τ；せん断応力

（ロ）－第A.26表　9m下部垂直落下時における応力評価結果　(4／4)

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
						Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JMTRC 特殊燃料要素押え具（特B型）	σ_c	—	—		—	—	—			

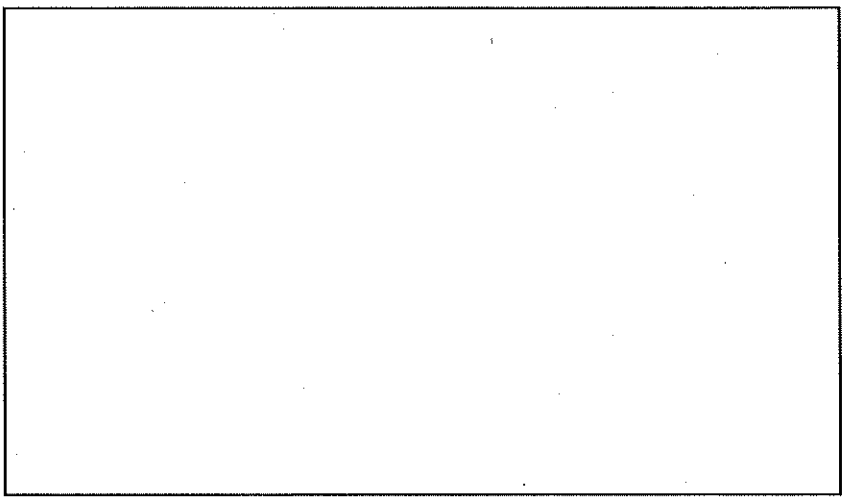
Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_c；圧縮応力

(2) 上部垂直落下

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

(a) 緩衝材の変形量

9m上部垂直落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器上部まで達しないことを示す。解析モデルを（ロ）－第A.76図に示す。



（ロ）－第A.76図　9m上部垂直落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

（ロ）－第A.76図に示すように9m上部垂直落下後における緩衝材の残量δ（mm）は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_o - \delta_v$$

ここで、

δ_o；緩衝材の変形前の最少厚さ　δ_o＝［　　］〔mm〕

δ_v；緩衝材変形量　δ_v＝［　　］〔mm〕

したがって、次の値となる。

δ＝［　　］〔mm〕

よって、9m上部垂直落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器蓋部には達しない。

(b) 輸送容器各部に生じる応力

（ロ）－A.5.3(8)項で述べたものと同一の評価位置について同一手法の解析を行う。解析結果を評価結果と共に（ロ）－第A.27表に示す。

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果（1／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置 ＼ 応力及び応力強さ			初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
							Pm(PL)	2/3Su	MS	PL＋Pb	Su	MS
1	内容器胴部		σ_r	—		—				—	—	—
			σ_θ			—						
			σ_z									
2	内容器底板	内面	σ_r	—								
			σ_θ									
			σ_z									
		外面	σ_r	—								
			σ_θ									
			σ_z									
3	内容器蓋	内面	σ_r	—								
			σ_θ									
			σ_z									
		外面	σ_r	—			—	—	—			
			σ_θ									
			σ_z									
4	内容器蓋締付ボルト		σ_t							—	—	—
			σ_b	—	—	—						
			τ			—						

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　Su；設計引張強さ　MS；余裕率　σ_r；径方向応力　σ_θ；周方向応力　σ_z；軸方向応力
σ_t；燃料板ピン部の応力　σ_b；曲げ応力　τ；せん断応力

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果（2／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
						Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL+Pb	Sy	MS
1	JRR-3標準型(ウランシリコンアルミニウム分散型合金)	τ	—	—		—	—	—			
2	JRR-3 フォロワ型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金)	τ	—	—		—	—	—			
3	JRR-4B型	τ	—	—		—	—	—			
4	JRR-4L型	τ	—	—		—	—	—			
5	JRR-4（ウランシリコンアルミニウム分散型合金)	τ	—	—		—	—	—			
6	JMTR標準	τ	—	—		—	—	—			
7	JMTR燃料フォロワ	τ	—	—		—	—	—			

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

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果　(3／4)

応力及び応力強さの単位
；N/mm^2

No.	応力及び応力強さ ／ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
						Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JMTRC 標準燃料要素（A型、B型、C型）	τ	—	—		—	—	—			
2	JMTRC 標準燃料要素（Φ2.2 ピン固定タイプ）(B、C型)	σ_t	—	—		—	—	—			
3	JMTRC 特殊燃料要素（特A型）	σ_c	—	—		—	—	—			
4	JMTRC 特殊燃料要素（特B型）	σ_c	—	—		—	—	—			
5	JMTRC 特殊燃料要素（特C型、特D型）	σ_c	—	—		—	—	—			
6	JMTRC 燃料フォロワ（HF型）	τ	—	—		—	—	—			
7	JMTRC 標準燃料要素（MA、MB、MC型）	τ	—	—		—	—	—			
8	JMTRC 特殊燃料要素（特 MB、特 MC型）	σ_c	—	—		—	—	—			
9	JMTRC 燃料フォロワ（MF型）	τ	—	—		—	—	—			

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_t；燃料板ピン部の応力　σ_c；圧縮応力　τ；せん断応力

（ロ）－第A.27表　9m上部垂直落下時における応力評価結果　(4／4)

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ ＼ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
						Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JMTRC 特殊燃料要素押え具（特A型）	σ_c	—	—		—	—	—			
2	JMTRC 特殊燃料要素押え具（特B型）	σ_c	—	—		—	—	—			
3	JMTRC 特殊燃料要素押え具(特C型、特D型)	σ_c	—	—		—	—	—			
4	JMTRC 特殊燃料要素押え具(特MB、特MC型)	σ_c	—	—		—	—	—			

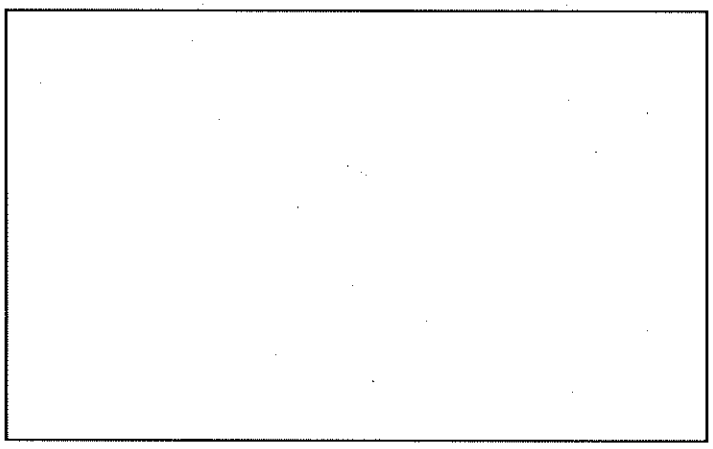
Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_c；圧縮応力

A.6.1.2 水平落下

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

(1) 緩衝材の変形量

9m水平落下により緩衝材に変形が生じても、その変形が内容器まで達しないことを示す。解析モデルを（ロ）－第 A.77 図に示す。



（ロ）－第 A.77 図　9m水平落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

（ロ）－第 A.77 図に示すように 9m水平落下後における緩衝材の残量 δ 〔mm〕は、次式で与えられる。

$$\delta = \delta_o - \delta_H$$

ここで、

δ_o；緩衝材の変形前の最少厚さ　δ_o＝［　　］〔mm〕

δ_H；緩衝材変形量　δ_H＝［　　］〔mm〕

したがって、次の値となる。

δ ＝［　　］〔mm〕

よって、9m水平落下時の変形は、緩衝材のみで、内容器には達しない。

(2) 輸送容器及び収納物に生じる応力

（ロ）－A.5.3(6)で述べたものと同一の評価位置について同一手法の解析を行う。解析結果を評価結果と共に（ロ）－第 A.28 表に示す。

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果（1／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価 Pm(PL)	2/3Su	MS	PL＋Pb	Su	MS
1	内容器胴部	σ_r	—		—						
		σ_θ			—						
		σ_z									
2	内容器底板	σ_r	—		—						
		σ_θ			—						
		σ_z			—						
		τ		—							
3	内容器上端部	σ_r	—		—						
		σ_θ			—						
		σ_z			—						
		τ		—							
4	内容器蓋締付ボルト	σ_t			—						
		σ_b	—	—							
		τ	—	—	—						
5	角型燃料バスケット	σ_b	—	—		—	—	—			

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　Su；設計引張強さ　MS；余裕率　σ_r；径方向応力　σ_θ；周方向応力　σ_z；軸方向応力
σ_t；ボルト軸方向応力　σ_b；曲げ応力　τ；せん断応力

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果（2／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置＼応力及び応力強さ			初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
							Pm(PL)	2/3 Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JRR-3 標準型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
2	JRR-3 フォロワ型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
3	JRR-4B 型	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
4	JRR-4L 型	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
5	JRR-4（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
6	JMTR 標準	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
7	JMTR 燃料フォロワ	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_b；曲げ応力　σ_c；圧縮応力

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果（3／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ / 評価位置			初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
							Pm(PL)	2/3Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JMTRC 標準燃料要素 （A型、B型、C型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
2	JMTRC 標準燃料要素 （Φ2.2ピン固定タイプ） （B、C型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
3	JMTRC 特殊燃料要素 （特A型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
4	JMTRC 特殊燃料要素 （特B型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
5	JMTRC 特殊燃料要素 （特C型、特D型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
6	JMTRC 燃料フォロワ （HF型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
7	JMTRC 標準燃料要素 （MA、MB、MC型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
8	JMTRC 特殊燃料要素 （特MB、特MC型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			
9	JMTRC 燃料フォロワ （MF型）	面方向	σ_b	—	—		—	—	—			
		平行方向	σ_c	—	—		—	—	—			

Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_b；曲げ応力　σ_c；圧縮応力

（ロ）－第A.28表　9m水平落下時における応力評価結果（4／4）

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	応力及び応力強さ ／ 評価位置		初期締付応力	内圧による応力	衝撃応力	一次応力強さの評価					
						Pm(PL)	2/3Sy	MS	PL＋Pb	Sy	MS
1	JMTRC 特殊燃料要素押え具 （特A型）	σ_b	—	—		—	—	—			
2	JMTRC 特殊燃料要素押え具 （特B型）	σ_b	—	—		—	—	—			
3	JMTRC 特殊燃料要素押え具 （特C型，特D型）	σ_b	—	—		—	—	—			
4	JMTRC 特殊燃料要素押え具 （特MB，特MC型）	σ_b	—	—		—	—	—			

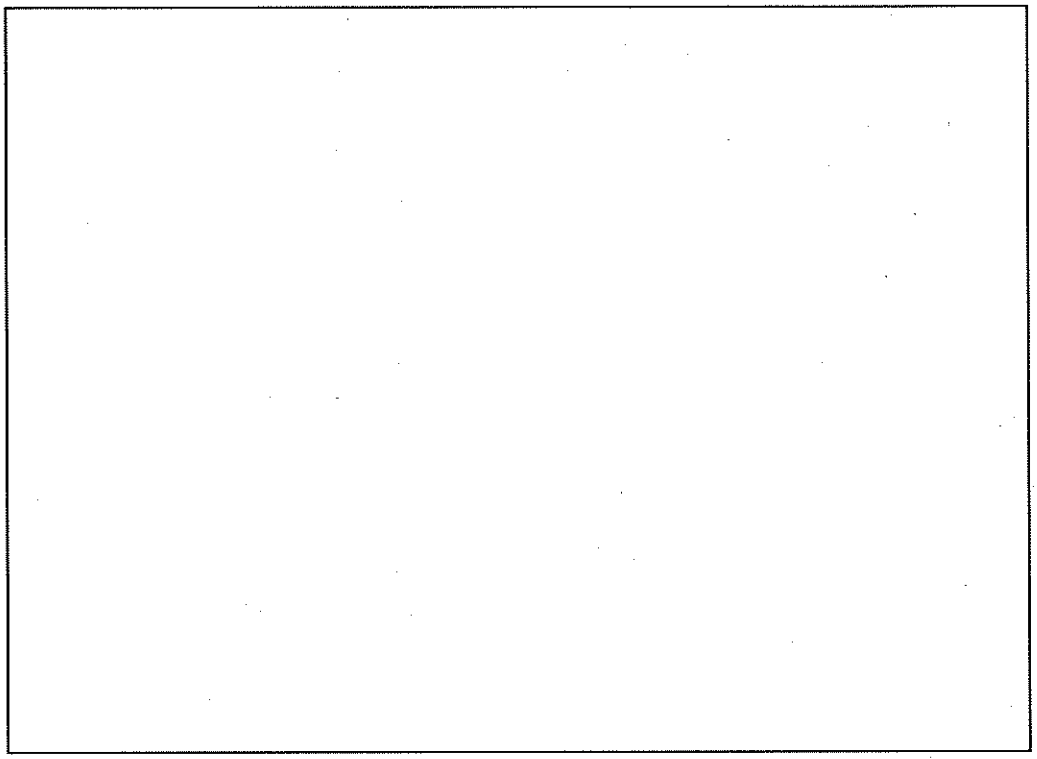
Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_b；曲げ応力

A.6.1.3 コーナー落下

(1) 緩衝材の変形量

緩衝材の変形量と残量の関係を（ロ）－第A.78図に示す。

図より変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。



（ロ）－第A.78図　9mコーナー落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(2) 輸送容器及び収納物に生じる応力

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

（ロ）－第 A.29 表　コーナー落下時の設計加速度

（×g）

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

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

なお、内容器蓋締付ボルトについては、（ロ）－A.5.3(9)と同一手法の解析を行い、解析結果を評価結果と共に（ロ）－第 A.30 表に示す。

（ロ）－第A.30表　9m上部コーナー落下時における応力評価結果

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

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

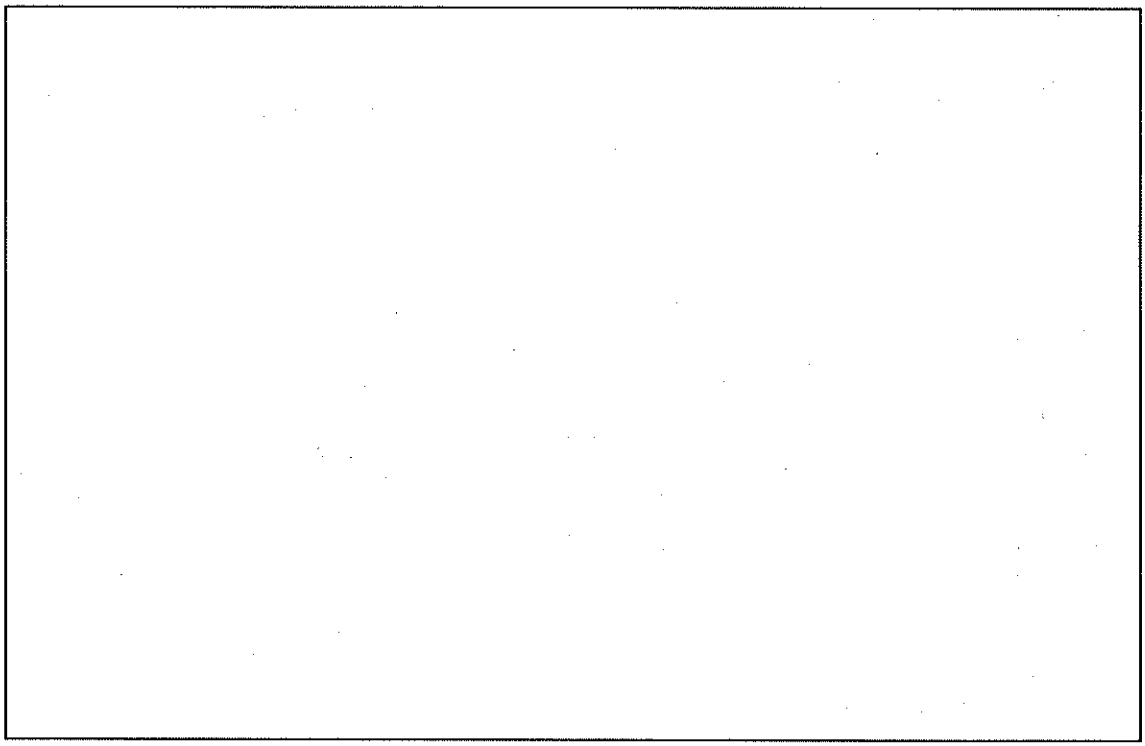
Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　MS；余裕率　σ_t；ボルト軸方向応力　σ_b；曲げ応力　τ；せん断応力

A.6.1.4 傾斜落下

(1) 下部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

下部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を(ロ)－第A.79図に示す。



番　　号	落下角度	緩衝材変形前 最 少 厚 さ	緩衝材変形量	緩 衝 材 残 量

(ロ) －第A.79図　9m下部傾斜落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(ロ) －第A.79図より下部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

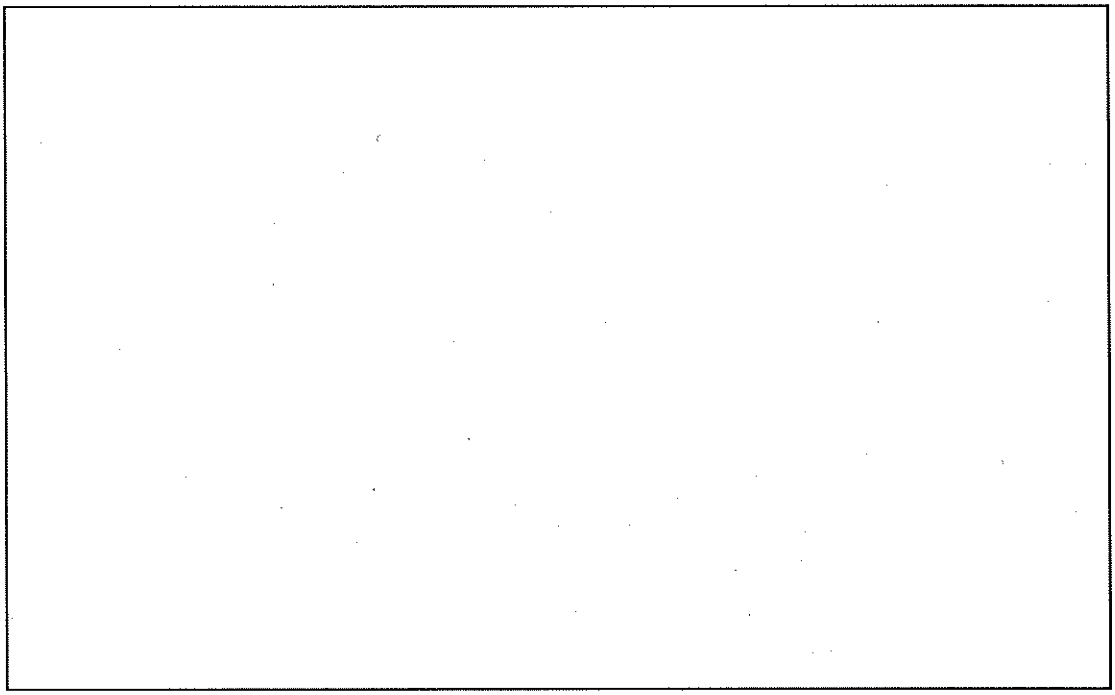
(b) 輸送容器及び収納物に生じる応力

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

また、落下角度と加速度の関係を（ロ）－第A.80図に示す。

（ロ）－第A.31表　9m下部傾斜落下時緩衝材の落下角度と加速度の関係

落下角度 θ〔度〕	加速度〔G〕		
	落下方向〔N〕	垂直成分〔N・cosθ〕	水平成分〔N・sinθ〕



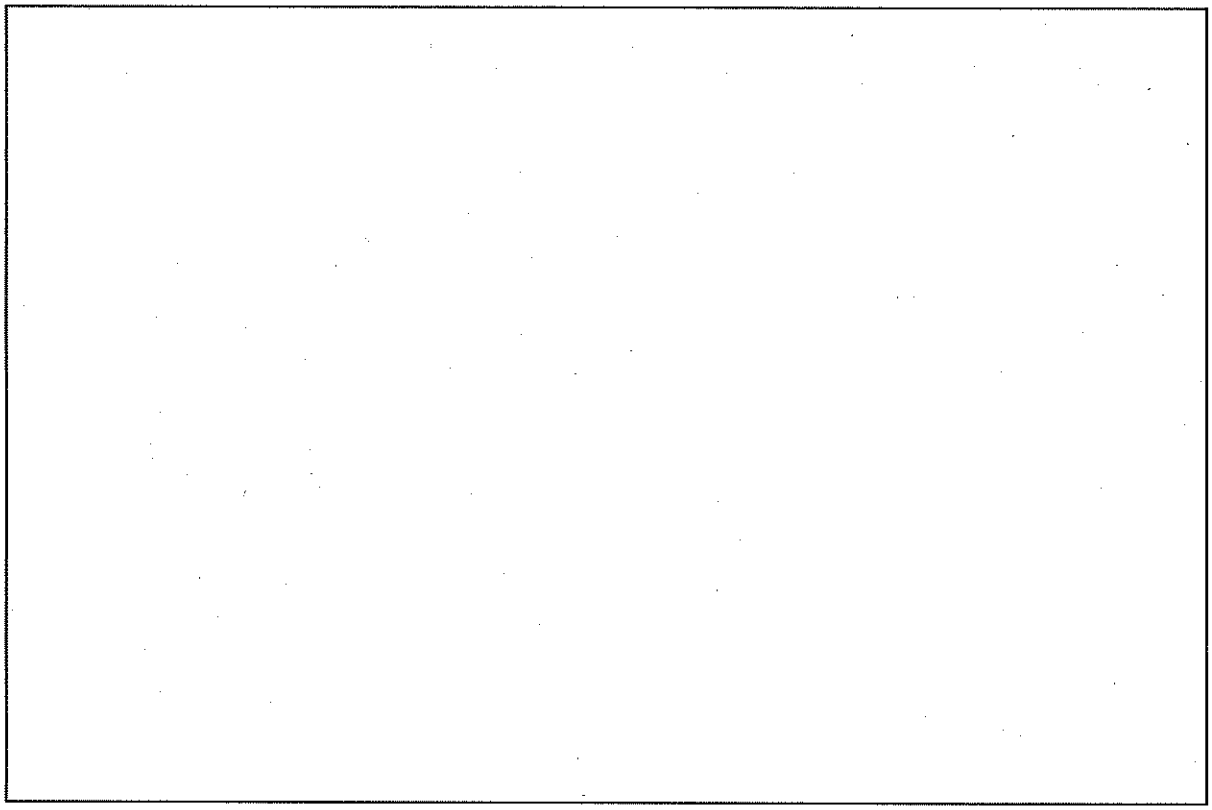
（ロ）－第A.80図　9m下部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

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

(2) 上部傾斜落下

(a) 緩衝材の変形量

上部傾斜落下時における落下角度と変形量の関係を(ロ)－第A.81図に示す。



番　　号	落下角度	緩衝材変形前 最 少 厚 さ	緩衝材変形量	緩 衝 材 残 量

(ロ) －第A.81図　9m上部傾斜落下時緩衝材の変形に伴う内容器への干渉解析モデル

(ロ) －第A.81図より上部傾斜落下時の変形は、緩衝材のみで内容器まで達することはない。

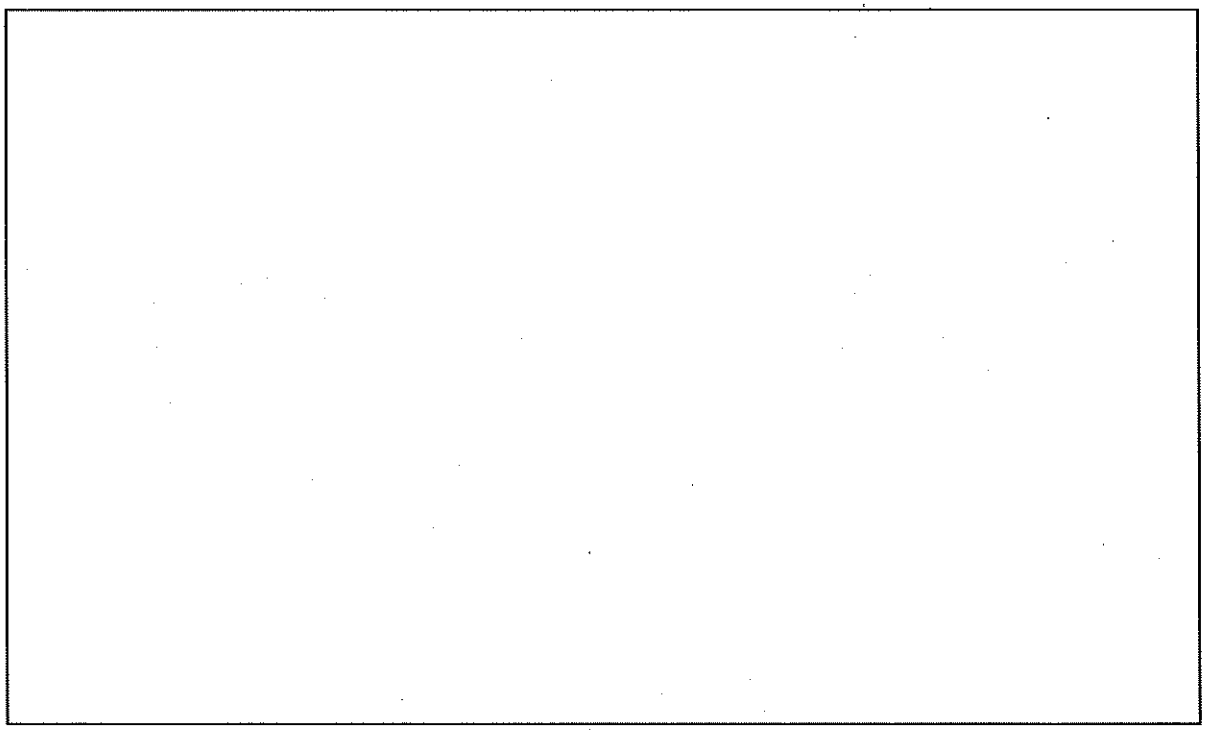
(b) 輸送容器及び収納物に生じる応力

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

また、落下角度と加速度の関係を（ロ）－第A.82図に示す。

（ロ）－第A.32表　9m上部傾斜落下時緩衝材の落下角度と加速度の関係

落下角度 θ〔度〕	加速度〔G〕		
	落下方向〔N〕	垂直成分〔N・$\cos\theta$〕	水平成分〔N・$\sin\theta$〕



（ロ）－第A.82図　9m上部傾斜落下時落下角度と加速度の関係

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

A.6.1.5 結果の要約

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

各落下による変形量を（ロ）－第A.33表に示す。

（ロ）－第A.33表　落下試験Ⅰにおける変形量と加速度

落下方向＼項目		緩衝材解析位置	緩衝材変形前最少厚さ〔mm〕	緩衝材変形量〔mm〕	緩衝材残量〔mm〕	設計加速度×g〔m/s²〕
垂直落下						
水平落下						
コーナー落下						
傾斜落下	5°					
	15°					
	30°					
	45°					
	60°					
	75°					
	85°					

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

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

したがって、遮蔽性能及び密封性能は損われない。

A.6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1m落下時）

本項では、落下試験Ⅰに引き続いて落下試験Ⅱが起こるとして解析する。

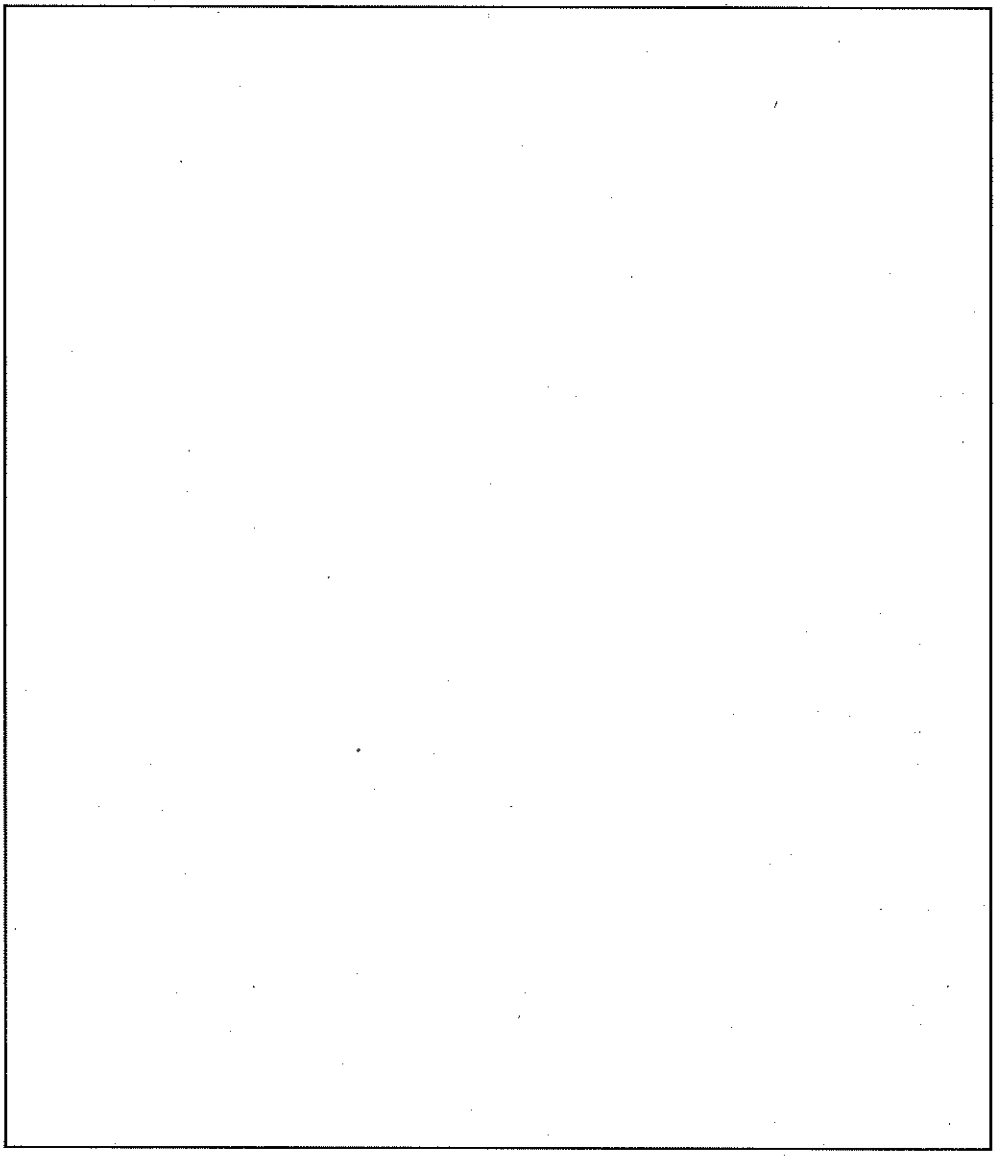
輸送物が1mの高さから直径150㎜の軟鋼棒上へ落下した場合、輸送物が受ける影響について検討する。

本項で検討する落下姿勢は次の3姿勢とし、その解析モデルを（ロ）－第A.83図に示す。

① 上部垂直落下（外容器蓋直撃）

② 下部垂直落下（外容器底板直撃）

③ 水 平 落 下（外容器胴部直撃）



（ロ）－第A.83図　落下試験Ⅱの解析モデル

(1) 貫　　通

本項では、（ロ）－第A.83図に示す各評価位置が落下試験Ⅱにより、貫通しないことを示す。

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

(a) 外容器蓋が軟鋼棒に直撃する場合（上部垂直落下）

（ロ）－第A.83図(a)に示すように、外容器蓋が軟鋼棒に直撃する場合、本輸送物の落下エネルギーU_oは次式で与えられる。

$$U_o = m g H$$

ここで、

m；輸送物質量　　m＝[　　]　〔kg〕

H；落下高さ　　H＝1000　〔mm〕

g；重力加速度　　g＝　9.81　〔m/s^2〕

したがって、下記の値となる。

U_o＝[　　]　〔N･mm〕

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

$$U = \sigma_s \cdot V$$

ここで、

σ_s；鏡板の変形応力（常温）　　σ_s＝[　　]　〔N/mm^2〕

V　；鏡板の変形する部分の体積

$$V = \{\pi (d + t)\ t\} \cdot \delta$$　〔mm^3〕

d　；軟鋼棒の直径　　d＝150　〔mm〕

t　；鏡板の厚さ　　t＝[　　]　〔mm〕

δ　；変形量　〔mm〕

したがって、落下エネルギー（U_o）と変形エネルギー（U）は等しいとし、

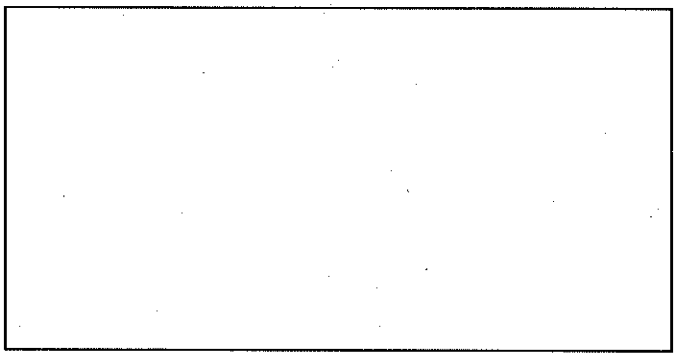
[　　]

より、　δ＝[　　]　〔mm〕

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

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

解析モデルを（ロ）－第A.84図に示す。



（ロ）－第A.84図　落下試験Ⅱ貫通強度解析モデル

（ロ）－第A.84図に示すように、外容器鏡板の落下試験Ⅱによる伸び量（$\Delta\ell$）は、次式で与えられる。

$$\Delta\ell=\ell'-\ell$$

ここで、

ℓ' ；変形後の長さ　ℓ' =[　　]〔mm〕

ℓ ；変形前の長さ　ℓ =[　　]〔mm〕

δ ；変形量　δ =[　　]〔mm〕

d ；軟鋼棒直径　d =150〔mm〕

したがって、

$\Delta\ell$=[　　]

この伸び量が生じた場合の歪（ε）は、

$$\varepsilon=\frac{\Delta\ell}{\ell}=$$[　　]

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

(b) 外容器底部が軟鋼棒に直撃する場合（下部垂直落下）

（ロ）－第 A.83 図(b)に示すように、外容器底部が軟鋼棒に直撃する場合の変形量（δ）は外容器底鏡板の厚み及び材質が前項と同じため［　　］となる。

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

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

(c) 外容器胴部が軟鋼棒に直撃する場合（水平落下）

（ロ）－第 A.83 図(c)に示すように、外容器胴部が軟鋼棒に直撃する場合の変形量（δ）は、前記と同様に次式で与えられる。

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

ここで、

U_o；落下エネルギー	U_o＝［　　］	〔N･mm〕
d ；軟鋼棒の直径	d ＝150	〔mm〕
t ；胴板の厚さ	t ＝［　　］	〔mm〕
σ_s；胴板の変形応力	σ_s＝［　　］	〔N/mm^2〕

したがって、

［　　］〔mm〕

より、δ＝［　　］

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

また、この時の変形ひずみ（ε）は前記と同様、次式で与えられる。

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{1.14\delta}{2\delta + d}$$

ここで、

$\Delta \ell$; 伸び量 〔mm〕

ℓ ; 変形前の長さ 〔mm〕

δ ; 変形量 $\delta =$ □ 〔mm〕

d ; 軟鋼棒直径 d ＝150 〔mm〕

したがって、

$\varepsilon =$ □

となり、胴板のひずみは□である。外容器胴板はSUS□であり、貫通するまでの伸びが□以上なので、貫通することはない。

(2) 輸送容器に関する検討

１ｍ落下試験時輸送容器に生じる加速度を求める。

(a) 上部垂直落下時

（ロ）－第 A.83 図(a)に示すように、外容器蓋が軟鋼棒に直撃する場合に輸送物に生じる加速度Ｎは、（ロ）－第A.84図に示す解析モデルにより、次式で与えられる。

$$N = \frac{F}{m} \quad 〔m/s^2〕$$

ここで、

F ; 鏡板変形時反力

$F = \sigma_s \cdot \pi \cdot (d + t) \cdot t$ 〔N〕

σ_s ; 鏡板の変形応力 $\sigma_s =$ □ 〔N/mm²〕

d ; 軟鋼棒の直径 d ＝150 〔mm〕

t ; 鏡板の厚さ t ＝ □ 〔mm〕

m ; 輸送物の質量 m ＝ □ 〔kg〕

したがって、次の値となる。

N＝$\boxed{}$ 〔m/s²〕

(b) 下部垂直落下時

（ロ）－第 A.83 図(b)に示すように、外容器底板が軟鋼棒に直撃する場合に輸送物に生じる加速度Nは鏡板の厚み及び材質が前項と同じため、$\boxed{}$〔m/s²〕となる。

(c) 水平落下時

（ロ）－第 A.83 図(c)に示すように、外容器胴部が軟鋼棒に直撃する場合に輸送物に生じる加速度Nは、（ロ）－第 A.84 図に示す解析モデルにより、次式で与えられる。

$$N=\frac{F}{m}$$ 〔m/s²〕

ここで、

F ；胴板変形時反力

$$F=\sigma_s\cdot\pi\cdot(d+t)\cdot t$$ 〔N〕

σ_s；胴板の変形応力　$\sigma_s=\boxed{}$ 〔N/mm²〕

d ；軟鋼棒の直径　d ＝150 〔mm〕

t ；胴板の厚さ　t ＝$\boxed{}$ 〔mm〕

m ；輸送物の質量　m ＝$\boxed{}$ 〔kg〕

したがって、次の値となる。

N＝$\boxed{}$ 〔m/s²〕

上記の解析結果は、特別の試験条件下における設計加速度（（ロ）－第 A.33 表より水平＝$\boxed{}$、上部垂直＝$\boxed{}$、下部垂直＝$\boxed{}$ $\boxed{}$ よりも小さい。したがって、本項では応力解析を省略する。

A.6.2.1 結果の要約

強度試験・落下試験Ⅱの解析結果及び評価結果を（ロ）－第A.34表に示す。

（ロ）－第A.34表　落下試験Ⅱにおける貫通の評価結果

(1) 変 形 量

No.	評価位置	変形前断熱材最少厚さ〔mm〕	落下試験Ⅰ変形量〔mm〕	落下試験Ⅱ変形量〔mm〕	残　量〔mm〕
1	外容器蓋部				
2	外容器底部				
3	外容器胴部				

(2) 変 形 歪

No.	評価位置	解析基準	設計基準値	解析結果	余裕率
1	外容器蓋部				
2	外容器底部				
3	外容器胴部				

(3) 加 速 度

No.	評価位置	解析基準	設計基準値〔m/s²〕	解析結果〔m/s²〕	余裕率
1	外容器蓋部				
2	外容器底部				
3	外容器胴部				

（ロ）－第A.34表に示すように、各評価位置の落下試験Ⅱにおける変形歪は、設計基準値であるSUS□の伸びを下回っているので、貫通は生じず、この時の変形は内容器本体まで達することはない。

また、落下試験Ⅱで生じる加速度は一般の試験条件下における加速度より小さい。

したがって、最大破損を受ける落下条件下においても、輸送容器の密封性能、遮蔽性能に影響を与えることはない。

内容器本体及び収納物においても、落下試験Ⅰで生じる加速度よりも小さいので損傷することはない。

A.6.3 熱的試験

A.6.3.1 温度及び圧力の要約

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

(1) 設計温度

（ロ）－B.5.3 輸送物温度で評価した結果、燃料バスケットは、[　　]、内容器本体は[　　]、内容器蓋は[　　]まで温度が上昇する。したがって、特別の試験条件下における設計温度は、安全側に（ロ）－第A.35表に示す値にて評価する。

（ロ）－第A.35表　特別の試験条件下における設計温度

No.	部　　位	温　度〔℃〕
1	燃料バスケット	[　　]
2	内容器本体	
3	内　容　器　蓋	

(2) 設計圧力

（ロ）－B.5.4 最大内圧で示すように、内容器内圧力はゲージ圧で[　　]まで上昇する。したがって、特別の試験条件下における設計圧力は、（ロ）－第A.36表に示すように安全側に[　　]の圧力差が生じるものとして評価する。

（ロ）－第A.36表　特別の試験条件下における設計圧力

No.	部　　位	設計圧力(ゲージ圧)
1	内容器内	[　　]

A.6.3.2 熱 膨 張

本項では、内容器内面と燃料バスケット外面の熱膨張差により生じる応力について述べる。

燃料バスケットと内容器の温度上昇は、(ロ)－第A.35表のとおり、[redacted]となるが、バスケットの下部は内容器に固定されていないため燃料バスケットと内容器には、熱膨張差による応力は発生しない。

A.6.3.3 許容応力との比較

(1) 応力計算

設計圧力により輸送物各部に生じる応力について、A.5.1.3と同一位置について同一手法で解析する。

この時の輸送物各部の温度は、(ロ)－第A.35表に示した温度を用いる。

(2) 内容器蓋Oリング部変位

設計圧力により、内容器蓋Oリング部の変位について、A.5.1.3(1) Ⓓ と同一位置について同一手法で解析する。

(3) 応力解析及び評価結果

各解析項目について得られた応力解析結果に対する応力評価結果をまとめて、(ロ)－第A.37表に示す。

この結果より、特別の試験条件（熱的試験）下において、本輸送物の健全性は維持される。

（ロ）－第A.37表　特別の試験条件（熱的試験）下における応力解析及び評価結果

応力及び応力強さの単位
；N/mm²

No.	評価位置＼応力及び応力強さ			初期締付応力	内圧による応力	熱膨張による応力	一次応力強さの評価 Pm(PL)	2/3Su	MS	PL＋Pb	Su	MS
1	内容器胴部		σ_r	－		－				－	－	－
			σ_θ			－						
			σ_z			－						
2	内容器底板	内面	σ_r	－		－						
			σ_θ			－						
			σ_z			－						
		外面	σ_r	－		－			－			
			σ_θ			－						
			σ_z			－						
3	内容器蓋中央部	内面	σ_r	－		－						
			σ_θ			－						
			σ_z			－						
		外面	σ_r	－		－			－			
			σ_θ			－						
			σ_z			－						
4	内容器蓋締付ボルト		σ_t							－	－	－
5	内容器蓋 Oリング部変位			内側 ① 変位 μ = □ mm ② Oリング初期締め代 δ = □					③ Oリングの残留締め代 $\Delta t = \delta - \mu$ = □ mm			

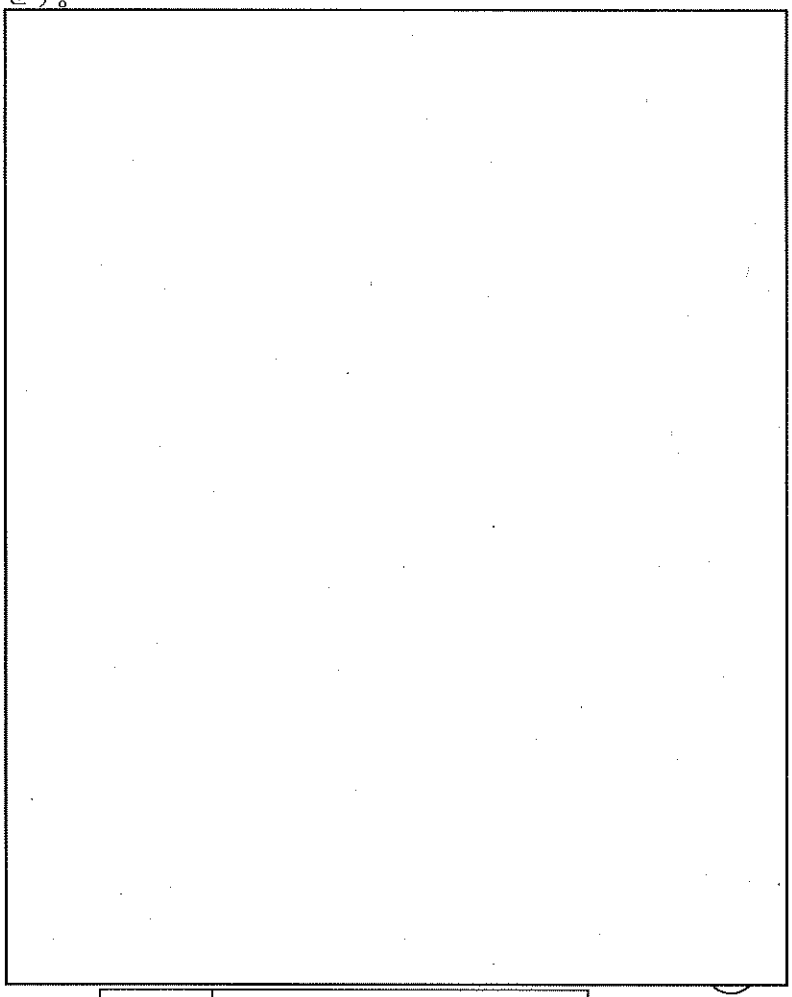
Pm；一次一般膜応力　PL；一次局部膜応力　Pb；一次曲げ応力　Sy；設計降伏点　Su；設計引張強さ　MS；余裕率　σ_r；径方向応力　σ_θ；周方向応力　σ_z；軸方向応力　σ_t；ボルト軸方向応力

A.6.4 浸　　漬

本項では、輸送物が15mの水中に浸漬した場合、輸送物が十分耐え得ることを示す。この時、輸送物には、[　　]の外圧力が作用する。

外圧力は、内容器が受けるものとして、応力評価位置を（ロ）－第A.85図に示す。

なお、本輸送物の収納物の放射能量はA_2値の10万倍を超えることはないので、200m浸漬は該当せず。



記　号	評　価　位　置
Ⓐ	内　容　器　胴　部
Ⓑ	内　容　器　底　板
Ⓒ	内　容　器　蓋
Ⓓ	内容器蓋Oリング部変位

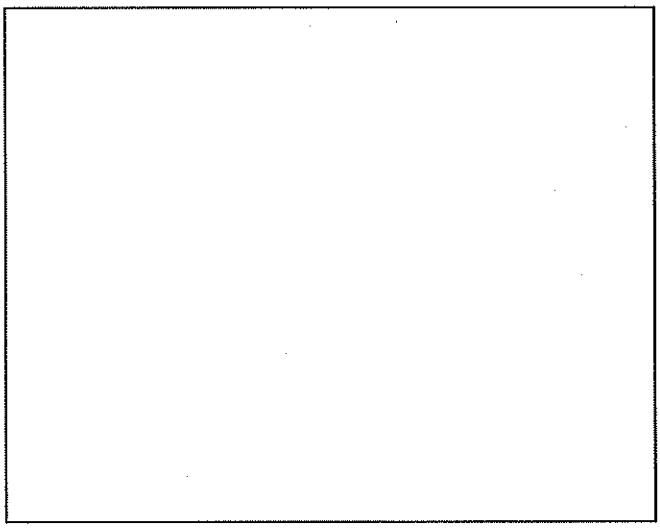
（ロ）－第A.85図　15m浸漬試験時における内容器の応力評価位置

Ⓐ 内容器胴部

外圧力を受ける内容器胴部は、座屈と胴中央部に生じる応力について評価する。

(a) 座　　屈

内容器胴部が、外圧力を受ける場合の許容座屈圧力解析モデルを（ロ）－第A.86図に示す。



（ロ）－第A.86図　内容器胴部の許容座屈圧力解析モデル

（ロ）－第A.86図に示す内容器胴部の許容座屈圧力P_eは次式[2]で与えられる。なお、現在の適切な出典[24]においても、当該の許容座屈応力P_eを求める式及び図は適用されている。

$$P_e=\frac{4B\cdot t}{3D_o}$$

ここで、

P_e ；　許容座屈圧力　〔MPa〕

D_o ；　内容器胴部外径　$D_o=$ 〔mm〕

t ；　内容器胴部板厚　$t=$ 〔mm〕

B ；　（ロ）－第A.87図より求まる値　$B=$

ℓ ；　内容器胴部長さ　$\ell=$ 〔mm〕

したがって、

$P_e=$ 〔MPa〕

となり、内容器胴部の受ける外圧力Ｐ＝[　　]に対する余裕率 MS は次の値となる。

MS＝[　　]

よって、内容器胴部は外圧力により座屈することはない。

[　　]

（備考）

１．中間の値は、比例法によって計算する。

２．この図の使用方法は、次のとおりとする。

《外面に圧力を受ける円筒形の場合》

(イ) 縦軸に１／Ｄ。の値をとる。

(ロ) 使用する板の厚さｔを仮定してＤ。／ｔの値を算定する。

(ハ) １／Ｄ。の点から水平線を引き、Ｄ。／ｔに対応する曲線との交点を求める。

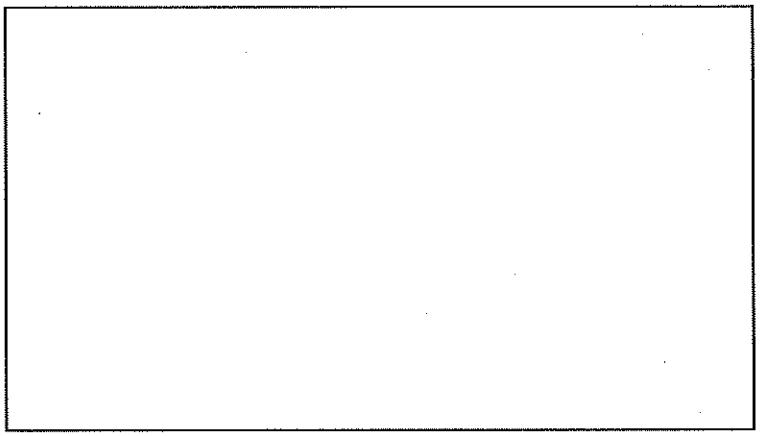
(ニ) (ハ)により求めた交点を通る垂直線を引き、これと使用温度に対応する曲線との交点を求める。

(ホ) (ニ)により求めた交点から水平線を引き、縦軸との交点としてＢを求める。

（ロ）－第 A. 87 図　外圧を受ける円筒胴の形状曲線(2)

(b) 内容器胴中央部

外圧を受ける内容器胴中央部に生じる応力解析モデル図を（ロ）－第A.88図に示す。内容器胴中央部に生じる応力σは薄肉円筒として、次式で与えられる。



（ロ）－第A.88図　内容器胴中央部応力解析モデル

$$\sigma_\theta = -\frac{P \cdot D_m}{2t}$$

$$\sigma_z = -\frac{P \cdot D_m}{4t}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

ここで、

σ_θ ；	周方向応力			〔N/mm²〕
σ_z ；	軸方向応力			〔N/mm²〕
σ_r ；	径方向応力			〔N/mm²〕
P ；	外圧力		P＝	〔MPa〕
D_m ；	内容器胴部平均径	$D_m = D + t$	＝	〔mm〕
t ；	内容器胴部板厚		t＝	〔mm〕
D ；	内容器胴部内径		D＝	〔mm〕

したがって、以下の値となる。

σ_θ＝　　〔N/mm²〕

σ_z＝　　〔N/mm²〕

σ_r＝　　〔N/mm²〕

Ⓑ 内容器底板

外圧を受ける内容器底板の応力解析モデル図を（ロ）－第A.89図に示す。

（ロ）－第A.89図に示す周辺固定円板とした場合の固定部分に生じる応力σは次式で与えられる。

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

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

σ_z＝－P（外面）

（ロ）－第A.89図　内容器底板応力解析モデル

ここで、

σ_θ	；	周方向応力		〔N/mm²〕
σ_r	；	径方向応力		〔N/mm²〕
σ_z	；	軸方向応力		〔N/mm²〕
P	；	外圧力	P＝	〔MPa〕
a	；	内容器底板半径	a＝	〔mm〕
h	；	内容器底板板厚	h＝	〔mm〕

したがって、以下の値となる。

σ_θ＝　　〔N/mm²〕

σ_r＝　　〔N/mm²〕

σ_z＝　　(外面)　　〔N/mm²〕

応力の複号は上が外面、下が内面を表す。

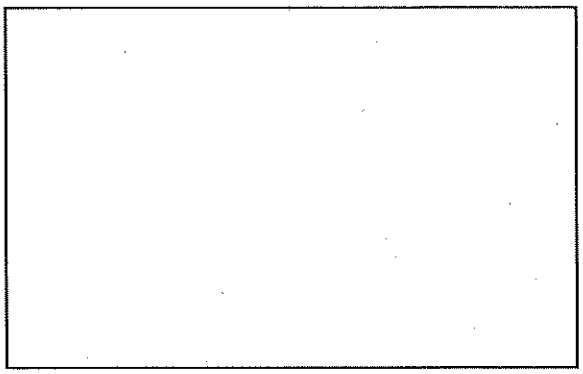
© 内容器蓋

外圧力を受ける内容器蓋に生じる応力解析モデル図を(ロ)－第A.90図に示す。

（ロ）－第A.90図に示す周辺単純支持円板に生じる応力σ〔N/mm²〕は中央部で最大となり次式で与えられる。

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

$$\sigma_z = -P \quad (外面)$$



（ロ）－第A.90図　内容器蓋中央部応力解析モデル

ここで、

σ_θ ；	周方向応力		〔N/mm²〕
σ_r ；	径方向応力		〔N/mm²〕
σ_z ；	軸方向応力		〔N/mm²〕
P ；	外圧力	P＝	〔MPa〕
a ；	内容器蓋支持点半径	a＝	〔mm〕
h ；	内容器蓋板厚	h＝	〔mm〕

したがって、次の値となる。

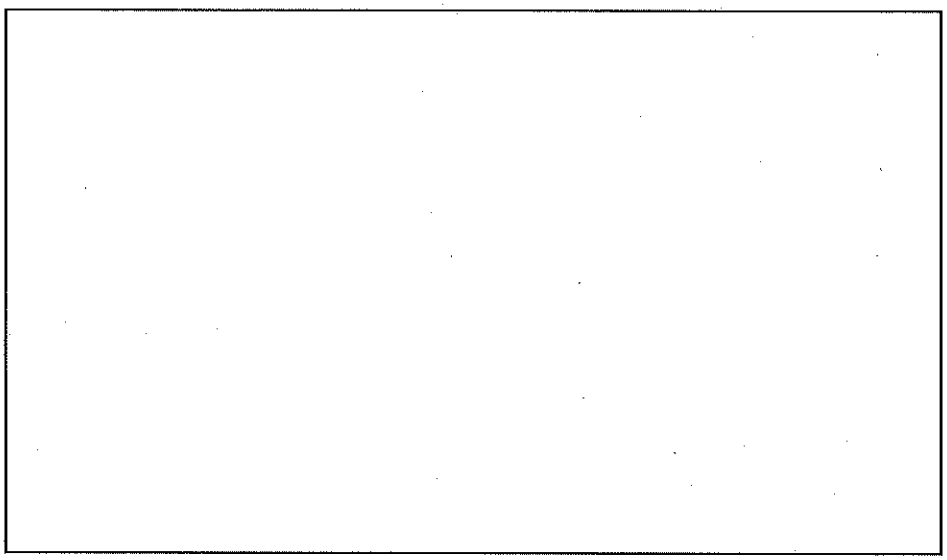
σ_θ＝　　〔N/mm²〕

σ_z＝　　(外面)　〔N/mm²〕

応力の複号は上が外面、下が内面を表す。

Ⓓ 内容器蓋Oリング部の変位

外圧力を受ける内容器蓋Oリング部変位解析モデルを(ロ)－第A.91図に示す。



(ロ) －第A.91図　外圧力による内容器蓋Oリング部変位解析モデル

(ロ) －第A.91 図に示すように、等分布荷重を受ける周辺支持円板において、支持点よりℓだけ離れたところの、外側Oリング部の変位ωは次式で与えられる。

$$\omega = \theta \cdot \ell = \frac{P \cdot \alpha \cdot a^3}{8D \cdot (1+\nu)} \times \ell \qquad [mm]$$

ここで、

ω ； 外側Oリング部の変位 [mm]

θ ； 支点におけるたわみ角 [rad]

$$\theta = \frac{P \cdot \alpha \cdot a^3}{8D \cdot (1+\nu)}$$

P ； 外圧力　P＝□ [MPa]

α ； 安全係数　$\alpha = (R / a)^2$

a ； 内容器蓋中心から支点までの距離　a＝□ [mm]

R ； 内容器蓋の半径　R＝□ [mm]

D ； 曲げ剛性 〔N･mm〕

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12(1-\nu^2)}$$

E ； 内容器蓋の縦弾性係数 E＝ 〔N/mm²〕

t ； 内容器蓋の最少板厚 t＝ 〔mm〕

ν ； ポアソン比 ν＝

ℓ ； 支点から外側Oリングまでの距離 ℓ＝ 〔mm〕

したがって、次の値となる。

ω＝ 〔mm〕

この値は、Oリングの初期締め代δ＝ より十分小さく、外圧力により密封性能が損なわれることはない。

結果の要約と検討

Ⓐ ～ Ⓓ の結果をまとめて（ロ）－第A.38表に示す。

（ロ）－第A.38表　15m浸漬試験時における応力評価結果

位置 ＼ 応力及び応力強さ		応力	一次応力強さ Pm(PL)	2／3Su	MS	PL＋Pb	Su	MS
内容器胴中央部	σ_r					—	—	—
	σ_θ							
	σ_z							
内容器底板 内面	σ_r							
	σ_θ							
	σ_z							
内容器底板 外面	σ_r							
	σ_θ							
	σ_z							
内容器蓋 内面	σ_r							
	σ_θ							
	σ_z							
内容器蓋 外面	σ_r							
	σ_θ							
	σ_z							
内容器胴部の座屈		—	・外圧力　P ＝ [　] MPa ・許容外圧力　P_e ＝ [　] MPa ・余裕率　MS ＝ [　]					
内容器蓋Oリング部の変位		—	・外側Oリング部の変位　ω ＝ [　] mm ・Oリングの初期締め代　δ ＝ [　] mm					

（注）応力及び応力強さの単位　；N/mm^2

以上の結果により本輸送物は 15m浸漬試験条件下において、密封性能が損なわれることなく、密封性能の健全性は維持される。

A.6.5 結果の要約及びその評価

特別の試験について解析により検討を行った。強度試験では、落下試験Ⅰにおいて、外容器は変形するものの、変形は内容器に達しない。

落下試験Ⅱにおいて、外容器は局所的に変形するものの、変形は内容器及び密封境界に達しない。

また、この時内容器各部に発生する応力は許容応力以下であり、密封境界は破損せず、密封性は損なわれない。

引き続き行われる熱的試験でも、内容器各部に発生する応力は、許容応力以下であり、密封境界は破損せず、密封性は損なわれない。

浸漬試験においても内容器は[　　]の外圧力に耐え、健全である。

なお、燃料要素は強度試験において発生する応力が許容応力以下であり破損しない。

外容器、内容器及び収納物の評価の結果は、（ロ）章B．熱解析、C．密封解析、D．遮蔽解析、E．臨界解析に用いられる。

B．熱解析、C．密封解析、D．遮蔽解析、E．臨界解析においては、A．構造解析の結果を次のように考慮した。

(1) 熱 解 析

輸送容器の熱解析上重要な箇所は、内容器及び内容器蓋部である。

また、内容器蓋は外容器蓋で覆われている。

構造解析における上部緩衝材の変形量は、垂直落下において[　　]、水平落下において[　　]であるが、変形前の厚みはそれぞれ[　　]あるので内容器に達せず、輸送容器は健全である。

また、落下試験Ⅱにより外容器には貫通が生じない。

また、外容器蓋は外れることなく、断熱材としての機能は十分有している。

したがって、熱解析では内容器は変形せず、断熱材及び緩衝材の残存厚さは、安全側に定めるものとする。

(2) 密封解析

構造解析において輸送容器の密封装置は健全性を有し、また、燃料要素は破損せず健全性を有する。

密封解析では、この結果を用いて放射性物質の漏えい評価を行う。

(3) 遮蔽解析

遮蔽解析では、外容器、内容器及び燃料要素の破損が解析結果に影響する。

構造解析における上部及び下部緩衝材の厚みは軸方向[　　]、半径方向[　　]であるので、変形は内容器に達せず、輸送容器は健全である。

落下試験Ⅱにより、外容器は局所的に変形するが、内容器は変形しない。

したがって、遮蔽解析では内容器は変形しないものとし、安全側に評価するため外容器並びに断熱材及び緩衝材はないものとした。

(4) 臨界解析

臨界解析では、遮蔽解析と同様、内容器は変形しないものとし、安全側に評価するため、外容器並びに断熱材及び緩衝材はないものとした。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物の最大放射能量はA_2値の10万倍以下であり、該当しない。

A.8 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物である燃料要素は、(イ)－Dで説明したとおりである。

燃料要素の強度解析は、一般の試験条件下及び特別の試験条件下において、輸送容器と等しい衝撃加速度を受けるものとして行っている。その結果、一般及び特別の試験条件下において、燃料要素に発生する応力は許容応力以下であり、燃料要素は破損しない。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は規則に基づき、核分裂性輸送物に該当し、周囲温度-40℃以上で使用する。

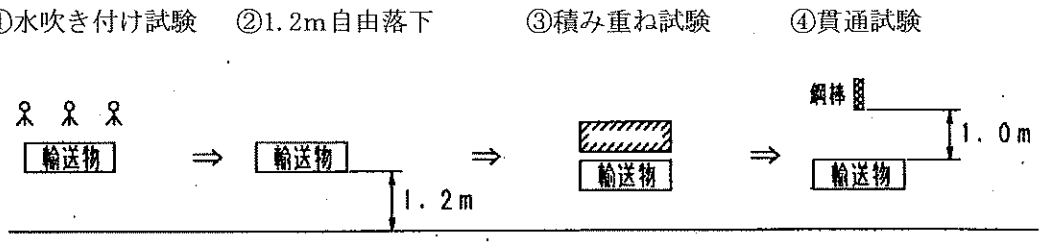
本輸送物は、A.4.2 で示すとおり、周囲温度-40℃～38℃の温度条件において、亀裂、破損の生じる等のおそれはない。

したがって、本項では、（ロ）E.臨界解析において、想定する輸送物の損傷状態を以下の試験条件に対して評価する。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

核分裂性輸送物の一般の試験条件としては、（ロ）－第A.92図に示す試験手順（水吹き付け試験、1.2m自由落下試験、積み重ね試験及び鋼棒貫通試験）による重畳効果を考慮し、安全性を評価する。

（ロ）章Eの臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態をA.5及びA.9.2の解析結果をもとに評価すると以下のようになる。



（ロ）－第A.92図 一般の試験条件

1. 連続試験

(1) 水吹き付け

A.5.2と同一であり、輸送物に損傷はない。

(2) 1.2m自由落下（1.2m落下）

ＢＵ型の一般の試験条件と同一であり、A.5.3と同様であり、臨界体系である内容器に損傷はない。

2. 積み重ね試験

A.5.4と同一であり、臨界体系である内容器に損傷はない。

3. 貫通試験

A.5.5と同一であり、臨界体系である内容器に損傷はない。

以上の結果より、一般の試験条件下の輸送物の損傷状態は（ロ）－第A.39表のようにまとめられる。本輸送物は、（ロ）－第A.40表に示すように、一般の試験条件において、規則及び告示に定められている核分裂性輸送物としての要件を満足する。

（ロ）－第A.39表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	備　　考
水吹き付け	損傷なし	―――
1.2m落下	外容器、緩衝材及び断熱材の変形	外容器、緩衝材及び断熱材は臨界解析で無視する。アイプレートも変形する可能性があるが、臨界解析では、無視する。 落下衝撃加速度、輸送容器各部の応力等は9m落下試験時の結果を超えない。
積み重ね	損傷なし	―――
貫通	損傷なし	―――

（ロ）－第A.40表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における適合性評価

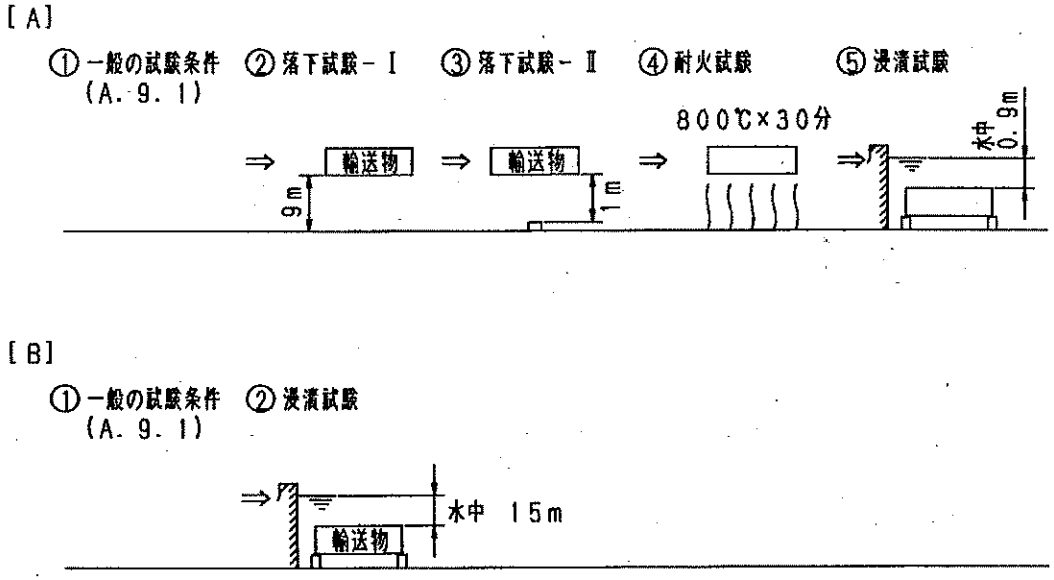
核分裂性輸送物としての要件	評　　価
構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと。	外容器、緩衝材及び断熱材が変形するが、臨界評価体系である内容器には、一辺が10 cmの立方体を包含するようなくぼみの変形は生じない。
外接する直方体の各辺が10cm以上であること。	臨界評価体系である内容器の外寸法は、φ[　　]×長さ[　　]であり、外接する直方体の各辺は10cm以上である。

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

核分裂性輸送物の特別の試験条件としては、（ロ）－第A.93図に示す試験手順

（
A　一般の試験条件後の損傷状態＋9m落下試験（落下試験－Ⅰ）＋
1m貫通試験（落下試験－Ⅱ）＋耐火（火災）試験（800℃×30分）＋
0.9m浸漬試験
B　一般の試験条件後の損傷状態＋15m浸漬試験
）

により、A又はBのうち、臨界体系上への影響が大きい9m落下試験及び耐火（火災）試験の緩衝材焼失により、隣りあう輸送物の内容器間の近接するAの条件で重畳効果を考慮し、安全性を評価する。



（ロ）－第A.93図 特別の試験条件

ここで、一般の試験条件としては（ロ）－第A.39表に示すように損傷がある連続試験を採用する。

（ロ）E.臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態を評価すると次のようになる。

1. 一般の試験条件のうち連続試験

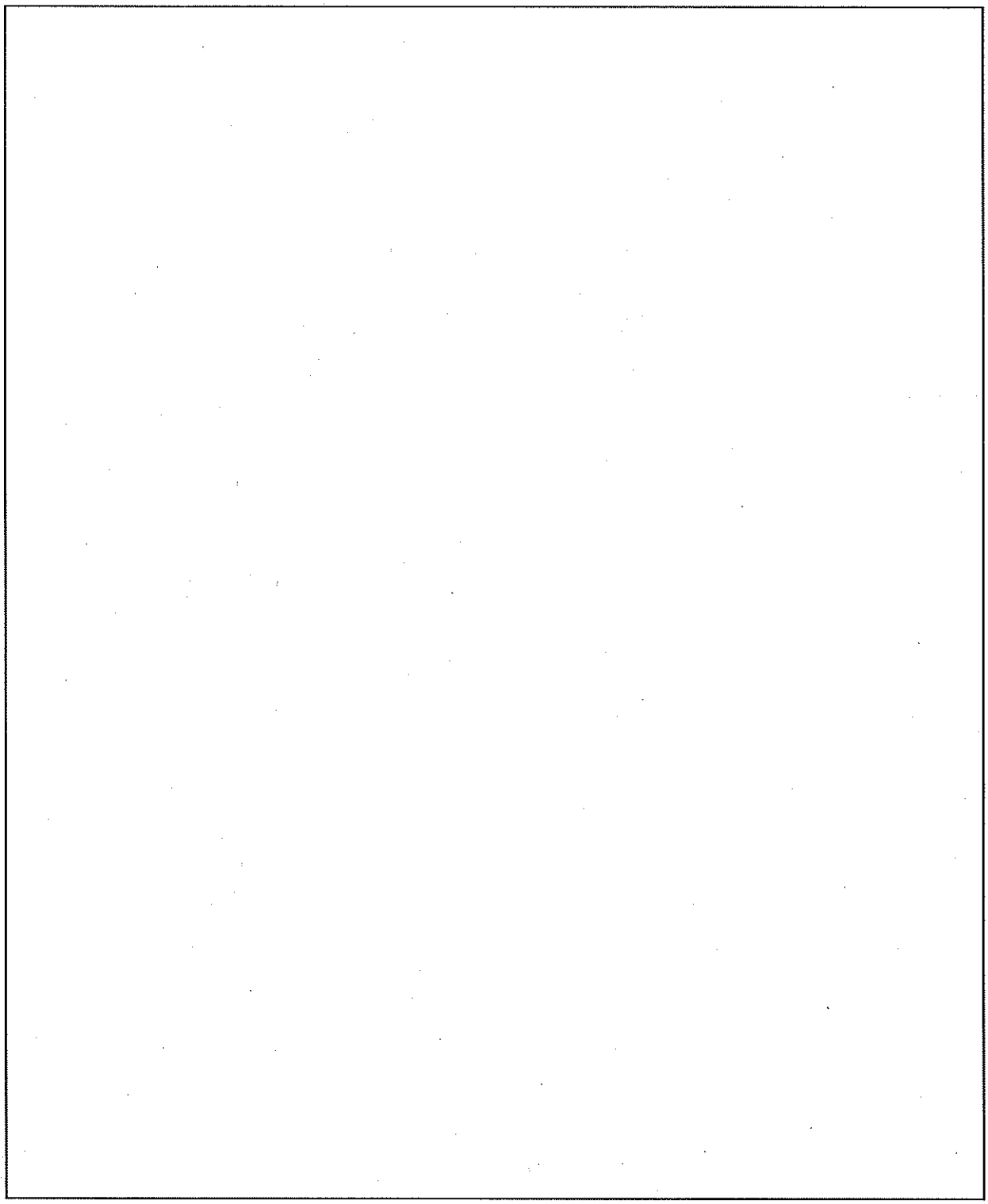
本試験条件における輸送物の損傷状態は(ロ)－第A.39表に示すとおりである。

2. 9m落下試験

(1) 落下姿勢と落下試験の順序

（ロ）－第A.94図に落下姿勢と落下試験の順序を示す。

A.9.1 の 1.2m落下と 9m落下の落下方向が同一の場合に緩衝体の変形量が最大になると考えられるので、この場合について検討を行う。



（ロ）－第A.94図 落下姿勢と落下試験の順序

(2) 9m落下試験時の変形量及び設計加速度

1.2m落下試験と9m落下試験の重ね合わせを考慮する核分裂性輸送物の落下試験Ⅰにより輸送物に生じる変形量及び設計加速度は、A.5.3と同様の手法で解析を行う。解析結果をBU型輸送物の落下試験Ⅰ（9m単独）との加速度比率と合わせ、（ロ）－第A.41表に示す。

（ロ）－第A.41表 特別の試験条件(重ね合せ評価)での変形量及び設計加速度

落下高さ	落下姿勢＼加速度及び変形量		加速度〔g〕 CASH-Ⅱ ×1.2倍	加速度〔g〕 鋼板による加速度	加速度〔g〕 設計加速度	変形量〔mm〕	落下試験Ⅰ(9m単独)における設計加速度との比
*9m	水平						
	垂直	上部					
		下部					
	コーナー	上部					
		下部					

＊ 1.2m落下後の変形を考慮し、9m落下を評価する。

(3) 輸送物各部の損傷評価

重ね合わせを考慮する核分裂性輸送物の落下試験Ⅰによる設計加速度は、（ロ）－第A.41表に示すようにBU型輸送物の落下試験Ⅰの設計加速度と比較して最大□の増加である。BU型輸送物の落下試験Ⅰにおける構造評価結果のうち、余裕率の最も小さい部位は（ロ）－第A.27表に示すように上部垂直落下時の内容器蓋締付ボルトであり、余裕率は□である。

輸送物の構造評価において、荷重である加速度の増加割合と、発生応力の増加割合は同等であるため、設計加速度及び発生応力が□増加しても、最小の余裕率は□であり、輸送容器及び収納物の構造健全性は維持される。

3. 1m貫通試験

1. 及び2. の試験において外容器、緩衝材及び断熱材が変形するが、これらはA. 6. 2に示すように1m貫通試験に対する評価において関係しない。したがって、本試験における輸送物の損傷状態はA. 6. 2の結果（A. 6. 5に示す要約参照）と同一である。

4. 熱的試験

熱的試験においては、外容器、緩衝材及び断熱材の変形は考慮しているが、外容器、緩衝材及び断熱材の変形量による影響は微小であると考えられる。したがって、本試験における輸送物の損傷評価はA. 6. 3 3. (3)と同一となる。

5. 0. 9m浸漬試験

A. 6. 4 の 15m浸漬試験の結果から明らかなように、0. 9m浸漬試験において輸送物は損傷が拡大することはない。

6. 輸送物の損傷状態の要約

（ロ）－第A. 42表に特別の試験条件下の輸送物の損傷状態の要約を示す。

（ロ）－第A. 42表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の輸送物の損傷状態

条　　件	輸送物の損傷状態	備　　考
9m落下	外容器，緩衝材及び断熱材の変形	外容器，緩衝材及び断熱材は臨界解析では無視
1m貫通	外容器，緩衝材及び断熱材の変形	外容器，緩衝材及び断熱材は臨界解析では無視
熱的試験(火災)	断熱材の一部焼損 各部位の温度が上昇	臨界解析上は断熱材を無視し、水密度を［　　］としている。
0. 9m浸漬	損傷なし	臨界解析上は満水で解析する。

A.10　付属書類

A.10.1　緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH-Ⅱ」 …… （ロ）－A－254

A.10.2　ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型輸送物落下解析の妥当性 …… （ロ）－A－261

A.10.3　内容器蓋Ｏリング部変位 …… （ロ）－A－262

A.10.4　緩衝材の低温時応力－歪特性 …… （ロ）－A－267

A.10.5　[redacted]の応力－歪特性 …… （ロ）－A－268

A.10.6　SUS[redacted]の低温強度 …… （ロ）－A－269

A.10.7　SUS[redacted]の低温衝撃値 …… （ロ）－A－270

A.10.8　SUS[redacted]の低温衝撃値 …… （ロ）－A－271

A.10.9　内容器蓋締付ボルトの締付トルクの算出方法 …… （ロ）－A－272

A.10.10　JRR-4B 型燃料板の機械的性質 …… （ロ）－A－277

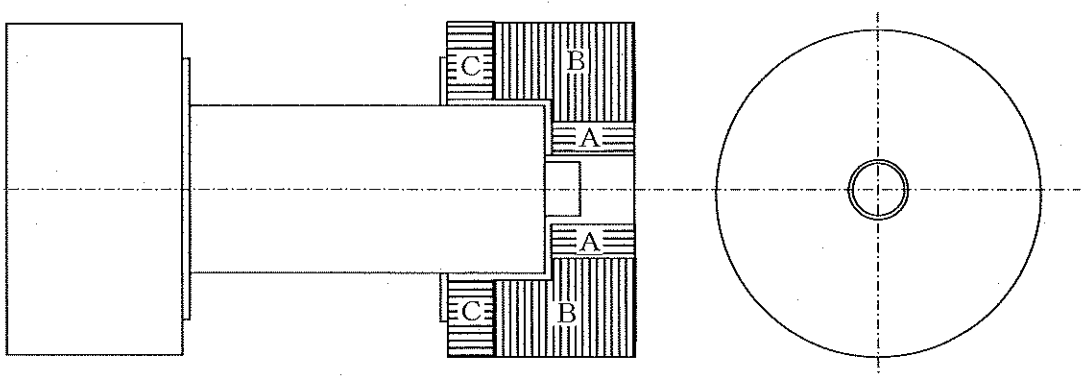
A.10.11　参考文献 …… （ロ）－A－278

A.10.1　緩衝材の緩衝性能解析プログラム「CASH-Ⅱ」

(1) 概　　要

輸送物落下時の緩衝体の解析に用いた計算コード「CASH-Ⅱ」は、輸送容器の両端に緩衝体を装着した輸送物に対して各落下時（垂直落下、水平落下、傾斜落下）の緩衝材の変形量、吸収エネルギー及び輸送物に生じる衝撃力（加速度、g値）を一次元変形法（Uniaxial Displacement Method；U.D.M）により解析する計算コードである。

「CASH-Ⅱ」は（ロ）－第A.95図に示されるように、機械的材料特性（応力－歪関係）の異なった領域（材料的領域と呼ぶ）から構成される緩衝体に適用することができる。



A，B，Cは材料的領域を示す。

（ロ）－第A.95図　緩衝体解析モデル

(2) 解析理論

「CASH-Ⅱ」コードとは、一次元変形法（U.D.M.）に基づき、緩衝体付輸送物の傾斜落下試験（傾斜角度θ＝0は垂直落下、傾斜角度θ＝90°は水平落下となる。）時の緩衝体の衝撃性能を解析するプログラムであり、次に示す 2 つの基本仮定に基づいている。

(a) 一次元変形法（U.D.M.）によりエネルギー吸収特性を解析する。

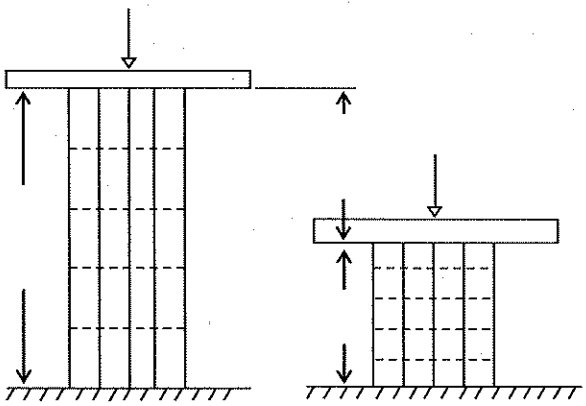
(b) 一次元棒傾斜配置は、等価な一次元棒水平配置と一次元棒垂直配置に置きかえる。

以下に本仮定に基づく「CASH-Ⅱ」コードの解析理論を説明する。

(a) 一次元変形法（U.D.M.）

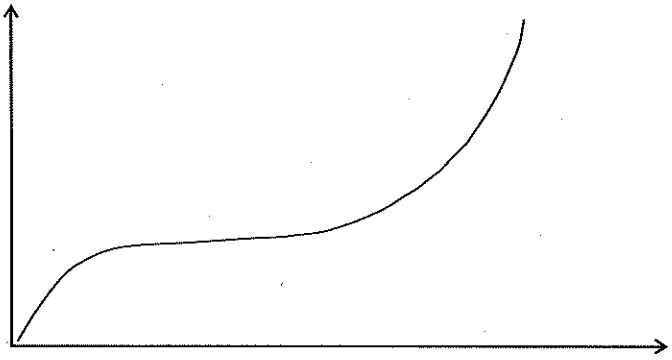
一次元変形法とは、全ての変形可能領域が一次元的にエネルギーを一様に吸収すると仮定する理論である。すなわち、緩衝体等の変形可能領域を多くの一次元棒に置換し、その一次元棒のエネルギー吸収特性より緩衝体全体のエネルギー吸収特性を評価するものである。

今、（ロ）－第A.96図の構造物にエネルギーE$_0$を持つ重量Wのおもりが衝突する問題を考える。



（ロ）－第A.96図　一次元変形法による解析モデル

構造材の「圧縮応力－圧縮歪」関係を（ロ）－第A.97図のように与えるとする。



（ロ）－第A.97図　材料の圧縮応力－圧縮ひずみ関係

構造物の変形量$\Delta\ell$とおもりに生じる加速度aを求める手順は次のようになる。

一般的に構造物が$\Delta\ell$だけ変形するときの歪εは次式で与えられる。

$$\varepsilon = \Delta\ell / \ell_0 \qquad \text{(A.10-1)}$$

このときの応力σは次式で与えられる。

$$\sigma = f(\varepsilon) = f(\Delta\ell / \ell_0) \qquad \text{(A.10-2)}$$

したがって、$\Delta\ell$だけ変形した時に発生する力Fは次式で与えられる。

$$F = A\sigma = A \times f(\Delta\ell / \ell_0) \qquad \text{(A.10-3)}$$

$\Delta\ell$だけ変形する時に構造物が吸収するエネルギーEは、

$$E = \int_0^{\Delta\ell} F\,d\ell = \ell_0 \cdot \int_0^{\Delta\ell/\ell_0} A\sigma(\varepsilon)\,d\varepsilon \qquad \text{(A.10-4)}$$

構造物が吸収すべきエネルギーE_0が与えられた場合には（A.10-4）式より最終変形$\Delta\ell^*$が決まる。

$$E_0 = \ell_0 \cdot \int_0^{\Delta\ell^*/\ell_0} A\sigma(\varepsilon)\,d\varepsilon \qquad \text{(A.10-5)}$$

したがって、$\Delta\ell^*$を（A.10-3）式の$\Delta\ell$に代入すると力F^*が決まる。

$$F^* = A\,f\,(\Delta\ell^* / \ell_0) \qquad \text{(A.10-6)}$$

この結果、加速度a^*は次式で与えられる。

$$a^* = F^* / W \qquad \text{(A.10-7)}$$

(b) 一次元棒傾斜配置の取扱い

次に一次元変形法による一次元棒傾斜配置の取扱いについて説明する。

今、傾斜落下角度をθとすると、傾斜方向の応力σ_θと垂直方向の応力σ_z及び水平方向の応力σ_xの間には次の関係式が成り立つと仮定する。

（但し、同一歪εについて）

$$\sigma_\theta(\varepsilon) = \sigma_z(\varepsilon)\cos^m\theta + \sigma_x(\varepsilon)\sin^m\theta \qquad \text{(A.10-8)}$$

m；材料の傾斜定数

この時、エネルギーE_θ、E_z、E_xの間には、次の関係式が近似的に成り立つ。

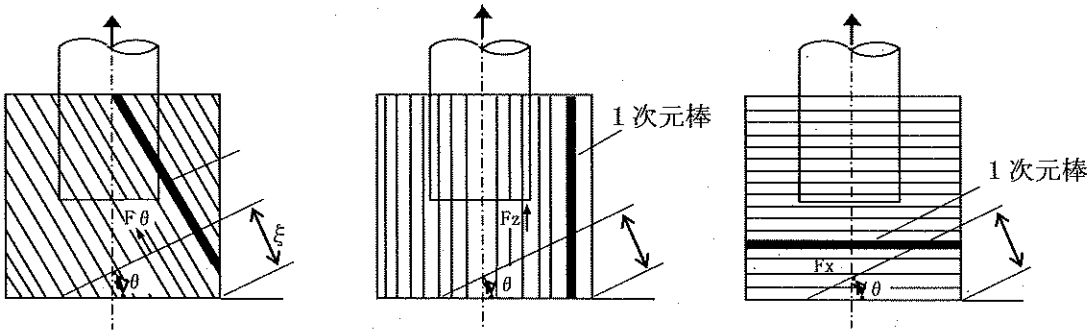
$$E_\theta = E_z\cos^{m-2}\theta + E_x\sin^{m-2}\theta \qquad \text{(A.10-9)}$$

また、力の大きさF_θ、F_z、F_xの間には、次の関係式が近似的に成り立つ。

$$F_\theta = F_z\cos^{m-1}\theta + F_x\sin^{m-1}\theta \qquad \text{(A.10-10)}$$

ただし、E_θ、F_θ、は、傾斜角θの方向に一次元棒を配置した時の歪εだけ変形した場合のエネルギーと力であり、E_z、F_zは垂直方向に一次元棒を配置した時の歪εだけ変形した場合のエネルギーと力であり、E_x、F_xは水平方向に一次元棒を配置した時の歪εだけ変形した場合のエネルギーと力である。

（下図参照）



(3) 「CASH-Ⅱ」コードの検証

「CASH-Ⅱ」コードの検証として 4 種類のキャスクの落下試験の解析を行った。解析値と実験値の比較を（ロ）－第A.43表に示す。

（ロ）－第A.43表より次のことが言える。

(a) 緩衝体の変形量は相対的に「CASH-Ⅱ」コード解析値の方が大きめの値を示し、安全側の結果を得る。

(b) 「CASH-Ⅱ」コードによる加速度の設計値は実験値に対し、同程度もしくは高めの値を示し、妥当な結果を得ている。

また、本輸送物の重量は［　　］であり、上記 4 種類のキャスク重量の範囲内にある。

（ロ）－第A.98図に示すように本輸送物の緩衝体は、他キャスクと比較してほぼ同一のプロポーションをしており、解析コード適用上問題はない。

以上の結果より、「CASH-Ⅱ」コードの緩衝性能評価を行うと、ほぼ妥当な結果を得るものと考えられるが、緩衝体の設計に当たっては次の配慮を行うこととする。

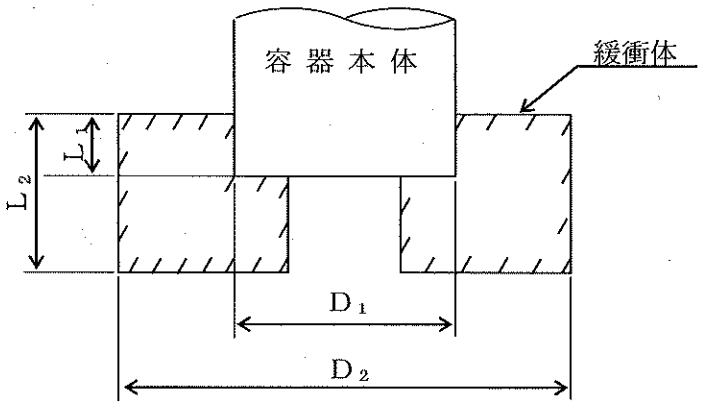
(イ) 発生加速度については、「CASH-Ⅱ」コード計算値に対し20%の余裕をとった設計加速度で評価する。

(ロ) 緩衝体の変形量は「CASH-Ⅱ」コードの方が大き目の値を示すため、計算結果をそのまま設計変形量とする。

(ロ) －第A.43表　CASH-Ⅱ解析値と実験値の比較

キャスクタイプ		TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4
重量〔kg〕					
外寸法〔mm〕					
落下姿勢					
加速度	解析値〔g〕				
	設計値〔g〕				
	実験値〔g〕				
変形量	解析値〔mm〕				
	実験値〔mm〕				

＊設計値とは、解析値に対して 1.2 倍した値をさすもので、試験結果のバラツキを考慮し、設計に際して使用される値である。



	TYPE1	TYPE2	TYPE3	TYPE4	本輸送物
L_1/L_2					
D_1/D_2					
緩衝材					

（ロ）－第A.98図　緩衝体プロポーション

A.10.2　ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型輸送物落下解析の妥当性

原型容器による落下試験結果と解析結果の比較を（ロ）－第A.44表に示す。

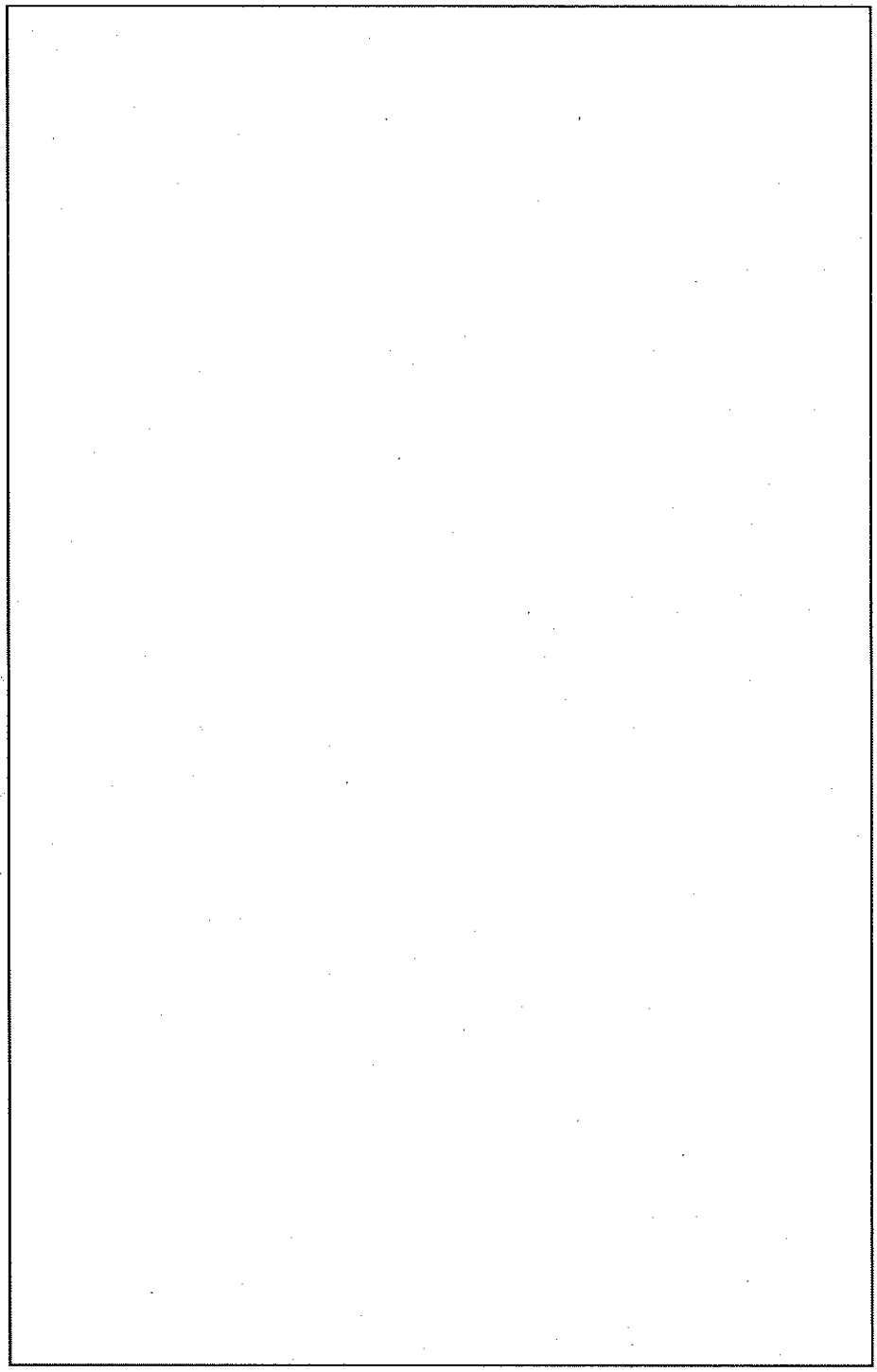
解析結果は、総合的に安全側の評価となっている。

（ロ）－第A.44表　解析結果と試験結果の比較

項　　目		解析結果	試験結果	比　率 （解析／試験）	備　　考
加速度〔G〕	落下試験Ⅰ				
	落下試験Ⅱ				
変形量〔mm〕	落下試験Ⅰ＋Ⅱ				

A.10.3　内容器蓋Oリング部変位

1.2m上部垂直降下時における内容器蓋Oリング部変位の解析モデルを（ロ）－第A.99図に示す。



（ロ）－第A.99図　1.2m上部垂直落下時内容器蓋解析モデル

（ロ）－第A.99図に示すように、内容器蓋には、収納物及び燃料バスケット重量が中央部に等分布荷重として、また、内容器蓋自重が等分布荷重として作用ずる。

これに対し、内容器蓋は緩衝材の円環状反力そして内容器蓋締付ボルトにて支持される。

これらの荷重を受ける内容器蓋Oリング部における部位は（ロ）－第A.99図に示す①、②、③及び④の各モデルの解析結果を重ね合せることにより、求めることができる。

① 収納物＋燃料バスケット

（ロ）－第A.99図①に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる変位ω_1〔mm〕は次式で与えられる。

$$\omega_1 = \frac{P_1 b^4}{16D}\left\{\frac{r^4}{4b^4} - \frac{4a^2-(1-\nu)b^2}{2(1+\nu)a^2}\cdot\frac{r^2}{b^2} - \left[2\frac{r^2}{b^2}+1\right]\ell n\,\frac{a}{b} + \frac{4(3+\nu)a^2-(7+3\nu)b^2}{4(1+\nu)b^2}\right\}$$

ここで、

ω_1 ；	内側Oリング部変位			〔mm〕
ν ；	ポアソン比	ν =		
a ；	内容器蓋支持点半径	a =		〔mm〕
b ；	荷重半径	b =		〔mm〕
r ；	内側Oリング溝の半径	r =		〔mm〕
m_3 ；	燃料バスケット質量	m_3 =		〔kg〕
m_4 ；	収納物質量	m_4 =		〔kg〕
N ；	加 速 度	N =		〔m/s²〕
h ；	内容器蓋の最少板厚	h =		〔mm〕
E ；	縦弾性係数	E =		〔N/mm²〕

P_1 ； 収納物及び燃料バスケットによる等分布荷重

P_1 = 〔N/mm²〕

D ； 内容器蓋の曲げ剛性

D = 〔N・mm〕

したがって、収納物と燃料バスケットによる変位ω_1は次の値となる。

$\omega_1 =$ [ ]

[ ]

$=$ [ ] 〔mm〕

② 内容器蓋自重

（ロ）－第A.99図②に示すように、内容器蓋自重による等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる変位ω_2〔mm〕は次式で与えられる。

$$\omega_2 = \frac{P_2 a^4}{64D}\left[1-\frac{r^2}{a^2}\right]\left[\frac{5+\nu}{1+\nu}-\frac{r^2}{a^2}\right]$$

ここで、

ω_2	；	内側Oリング部変位		〔mm〕
ν	；	ポアソン比	ν =	
a	；	内容器蓋支持点半径	a =	〔mm〕
r	；	内側Oリング溝の半径	r =	〔mm〕
h	；	内容器蓋の板厚	h =	〔mm〕
N	；	加 速 度	N =	〔m/s²〕
γ	；	内容器蓋の密度	γ =	〔kg/mm³〕
D	；	内容器蓋の曲げ剛性	D =	〔N・mm〕

P_2； 内側器蓋自重による等分布荷重

$P_2 = \gamma hN =$ [ ] 〔N/mm²〕

したがって、内容器蓋自重による変位ω_2は次の値となる。

$\omega_2 =$ [ ] 〔mm〕

③ 緩衝材反力控除分

（ロ）－第A.99図③に示すように、中央部同心円内に等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる変位ω_3〔mm〕は次式で与えられる。

$$\omega_3 = \frac{P_3 C^4}{16D}\left\{\frac{r^4}{4C^4} - \frac{4a^2-(1-\nu)C^2}{2(1+\nu)a^2}\cdot\frac{r^2}{C^2} - \left[2\frac{r^2}{C^2}+1\right]\ell n\frac{a}{C} + \frac{4(3+\nu)a^2-(7+3\nu)C^2}{4(1+\nu)C^2}\right\}$$

ここで、

ω_3 ； 内側Oリング部変位 〔mm〕

ν ； ポアソン比 ν = □

a ； 内容器蓋支持点半径 a = □ 〔mm〕

C ； 荷重半径

$C = C_\circ + \delta \cdot \tan\alpha$ = □ = □ 〔mm〕

$C_\circ$ ； 円錐上部半径 $C_\circ$ = □ 〔mm〕

α ； 円 錐 角 α = □ 〔deg〕

δ ； 緩衝材変形量 δ = □ 〔mm〕

D ； 内容器蓋の曲げ剛性 D = □ 〔N・mm〕

P_3 ； 緩衝材の圧縮応力 P_3 = □ 〔N/mm²〕

r ； 内側Oリング溝の半径 r = □ 〔mm〕

したがって、ω_3は次の値となる。

ω_3 = □

□

= □ 〔mm〕

④ 緩衝材反力

（ロ）－第A.99図④に示すように、緩衝材反力の等分布荷重を受ける周辺支持円板に生じる変位ω_4〔mm〕は次式で与えられる。

$$\omega_4 = \frac{P_4 a^4}{64D}\left[1-\frac{r^2}{a^2}\right]\left[\frac{5+\nu}{1+\nu}-\frac{r^2}{a^2}\right]$$

ここで、

ω_4 ； 内側Oリング部変位 〔mm〕

ν ； ポアソン比 ν = □

a ； 内容器蓋支持点半径 a = □ 〔mm〕

r ； 内側Oリング溝の半径　　r ＝ [　　] 〔mm〕

D ； 内容器蓋の曲げ剛性　　D ＝ [　　] 〔N･mm〕

P_4 ； 緩衝材の圧縮応力　　P_3 ＝ [　　] 〔N/mm^2〕

したがって、緩衝材反力による変位ω_4は次の値となる。

ω_4 ＝ [　　] 〔mm〕

以上の結果より、1.2m上部垂直落下時における全体の変位ωは、次の値となる。

$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4$ ＝ [　　] 〔mm〕

また、9m上部垂直落下については、加速度；[　　]、緩衝材の圧縮応力；[　　]、及び変形量；[　　]を1.2m上部垂直落下の値と置き直し、同様の解析を行う。それらの評価結果を（ロ）－第A.45表に示す。

（ロ）－第A.45表　内容器蓋内側Oリング部変位量解析結果

〔mm〕

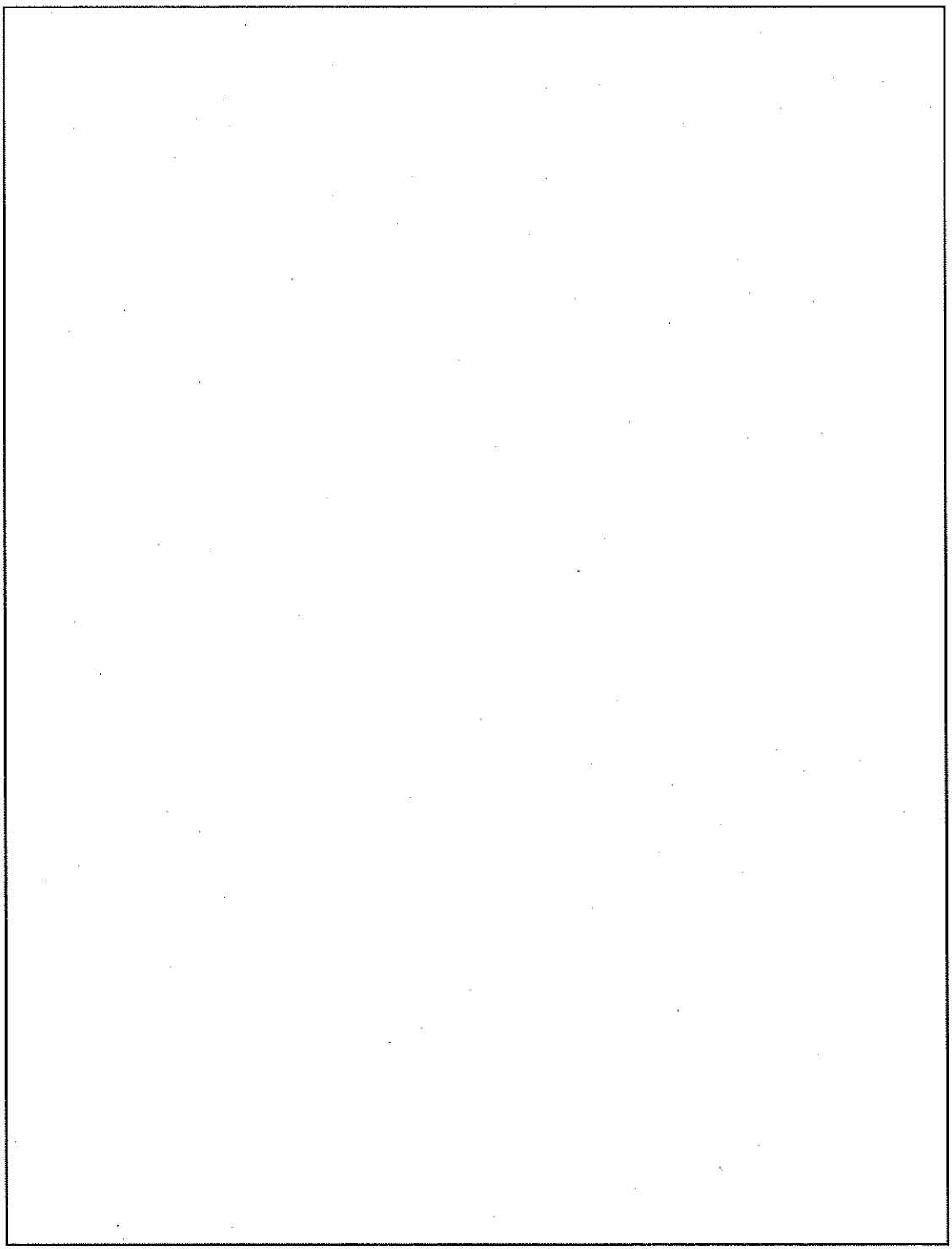
No.	解析条件	変位	変位量	変位量合計	※残留締め代
1	一般の試験条件(内圧)	ω_0			
	1.2mの上部垂直落下	ω_1			
		ω_2			
		ω_3			
		$-\omega_4$			
2	一般の試験条件(内圧)	ω_0			
	9mの上部垂直落下	ω_1			
		ω_2			
		ω_3			
		$-\omega_4$			

※　残留締め代＝初期締め代（[　　]mm）－変位量合計

（ロ）－第A.45表に示すように、1.2m及び9m上部垂直落下時における内側Oリング部の残留締め代はいずれの時も正であり、輸送物の密封性は維持される。

A. 10. 4　緩衝材の低温時応力－歪特性

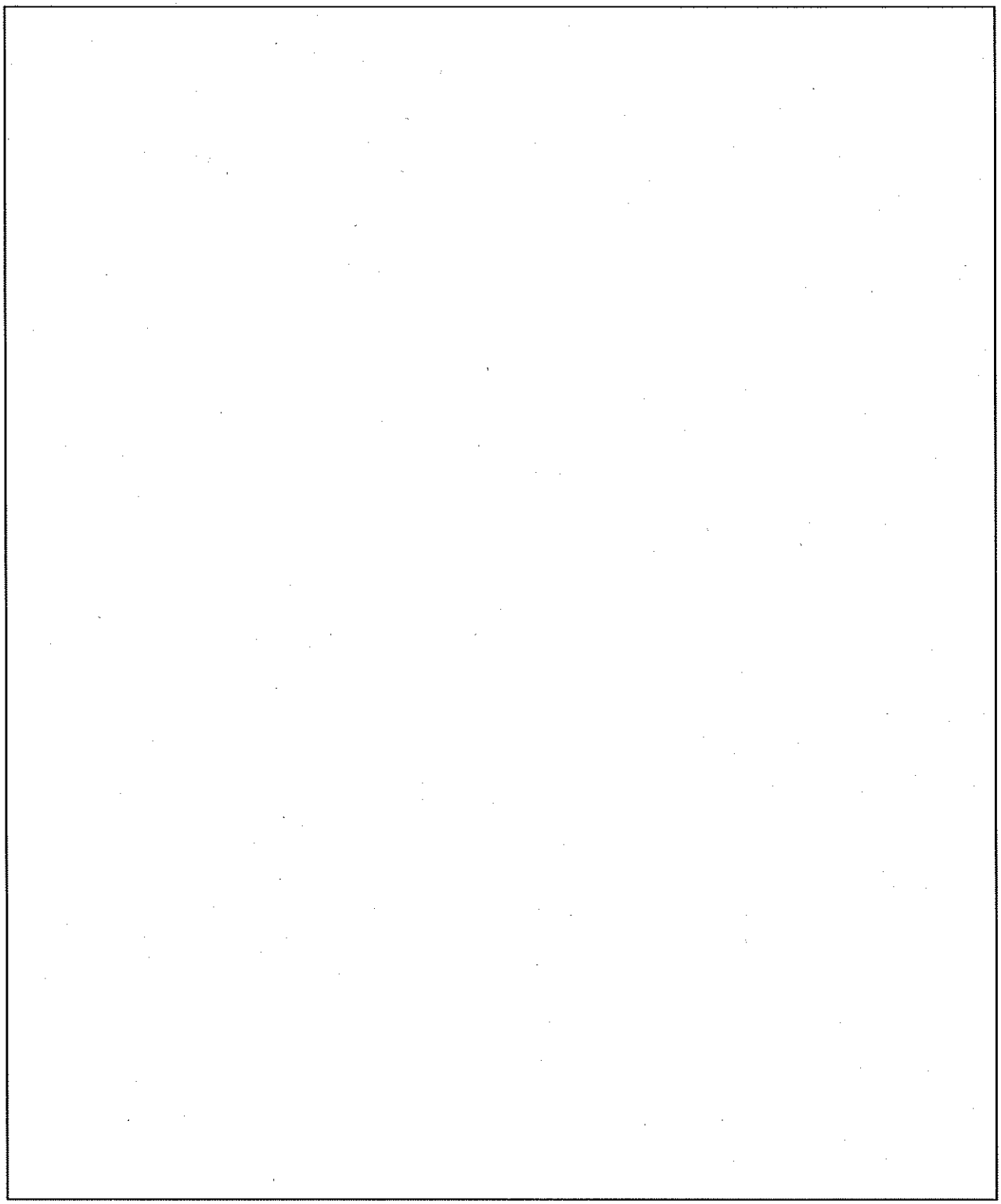
緩衝材の低温における応力－歪特性を（ロ）－第A. 100図に示す。



（ロ）－第A. 100図　緩衝材の低温時応力－歪線図(4)

A.10.5 [redacted]の応力－歪特性

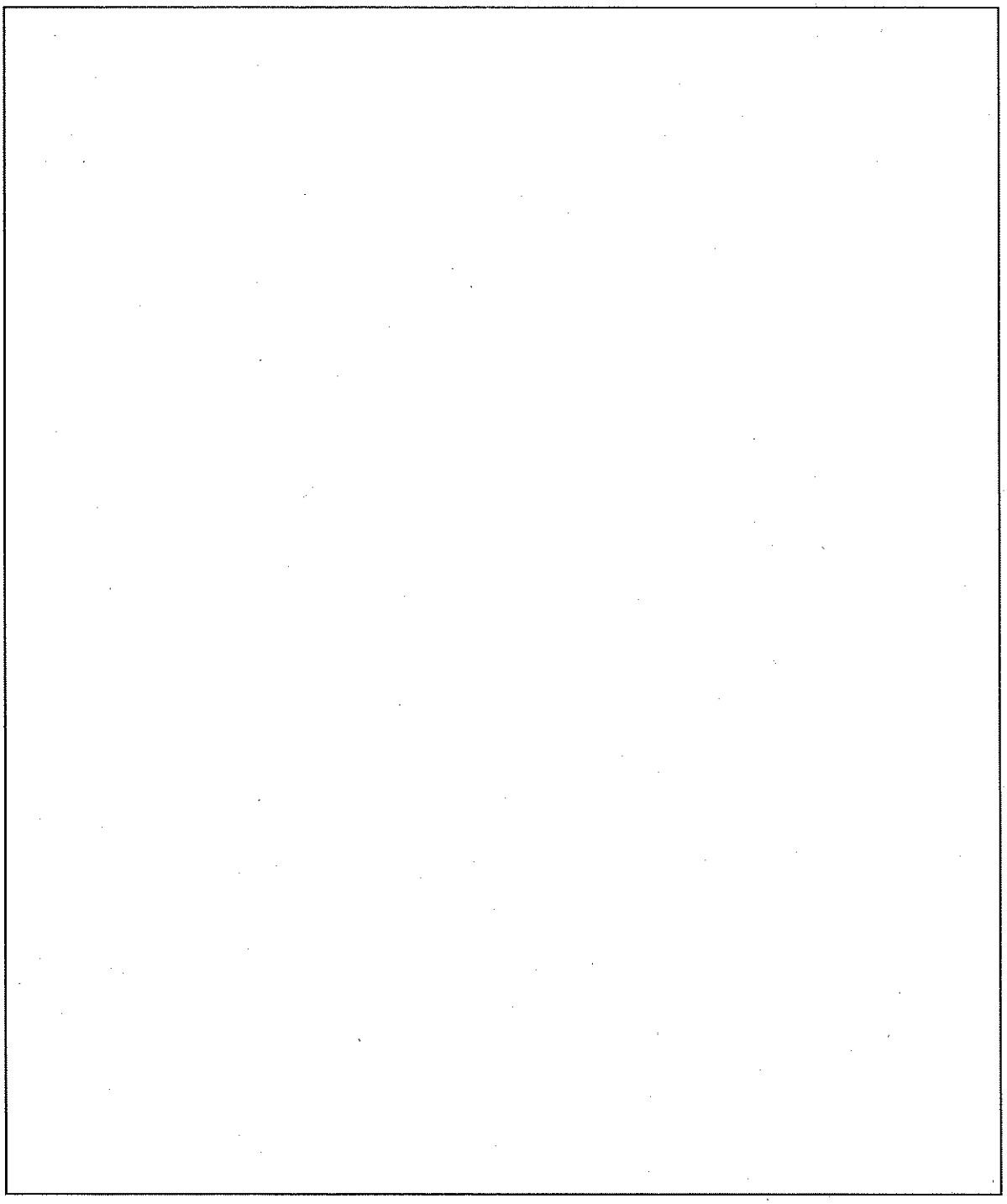
[redacted]の応力－歪特性を（ロ）－第A.101図に示す。



（ロ）－第A.101図 [redacted]の応力－歪線図(4)

A.10.6　SUS□の低温強度

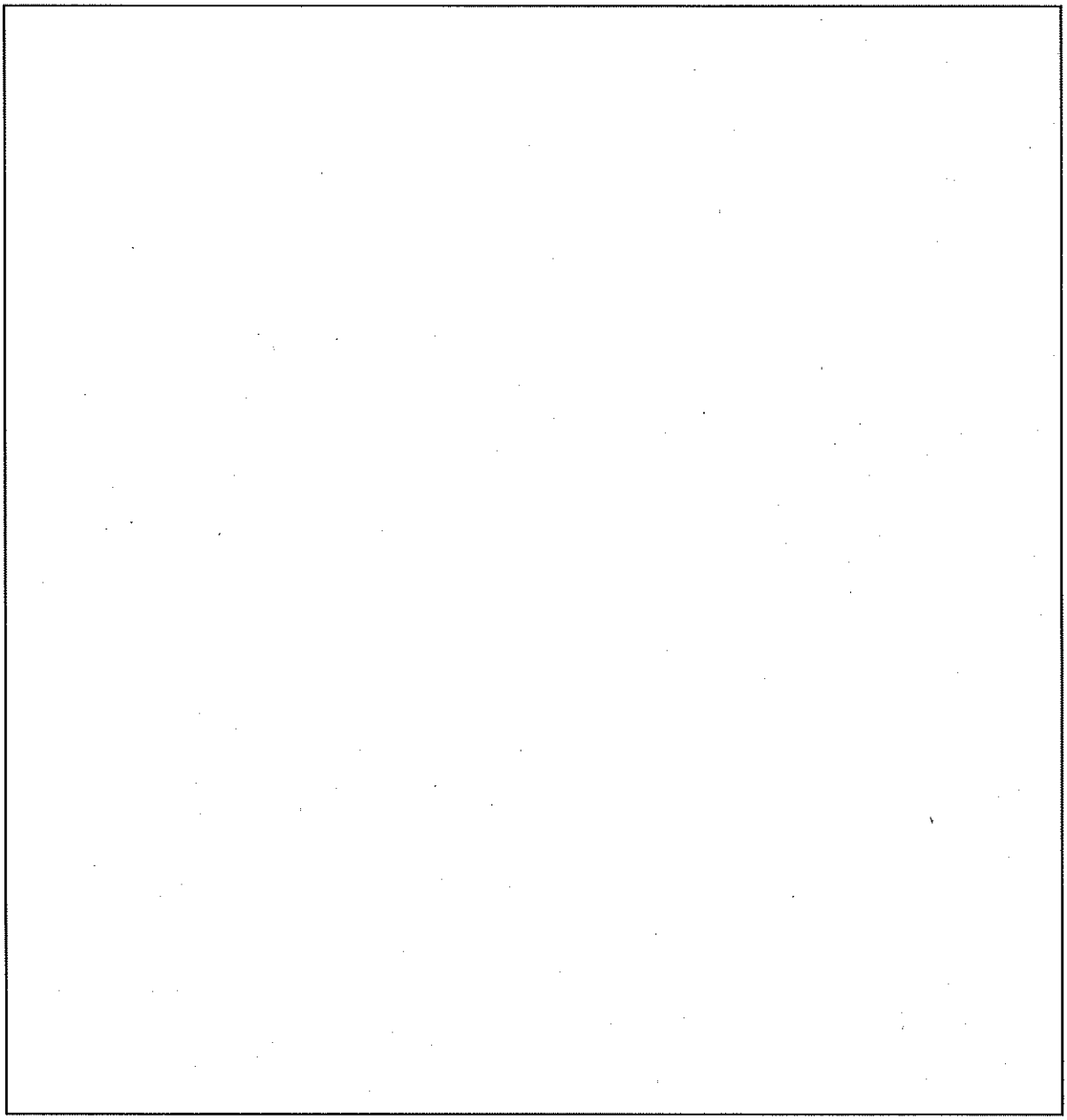
SUS□の低温時機械的性質を（ロ）－第A.102図に示す。



（ロ）－第A.102図　SUS□の低温強度[16]

A.10.7　SUS□の低温衝撃値

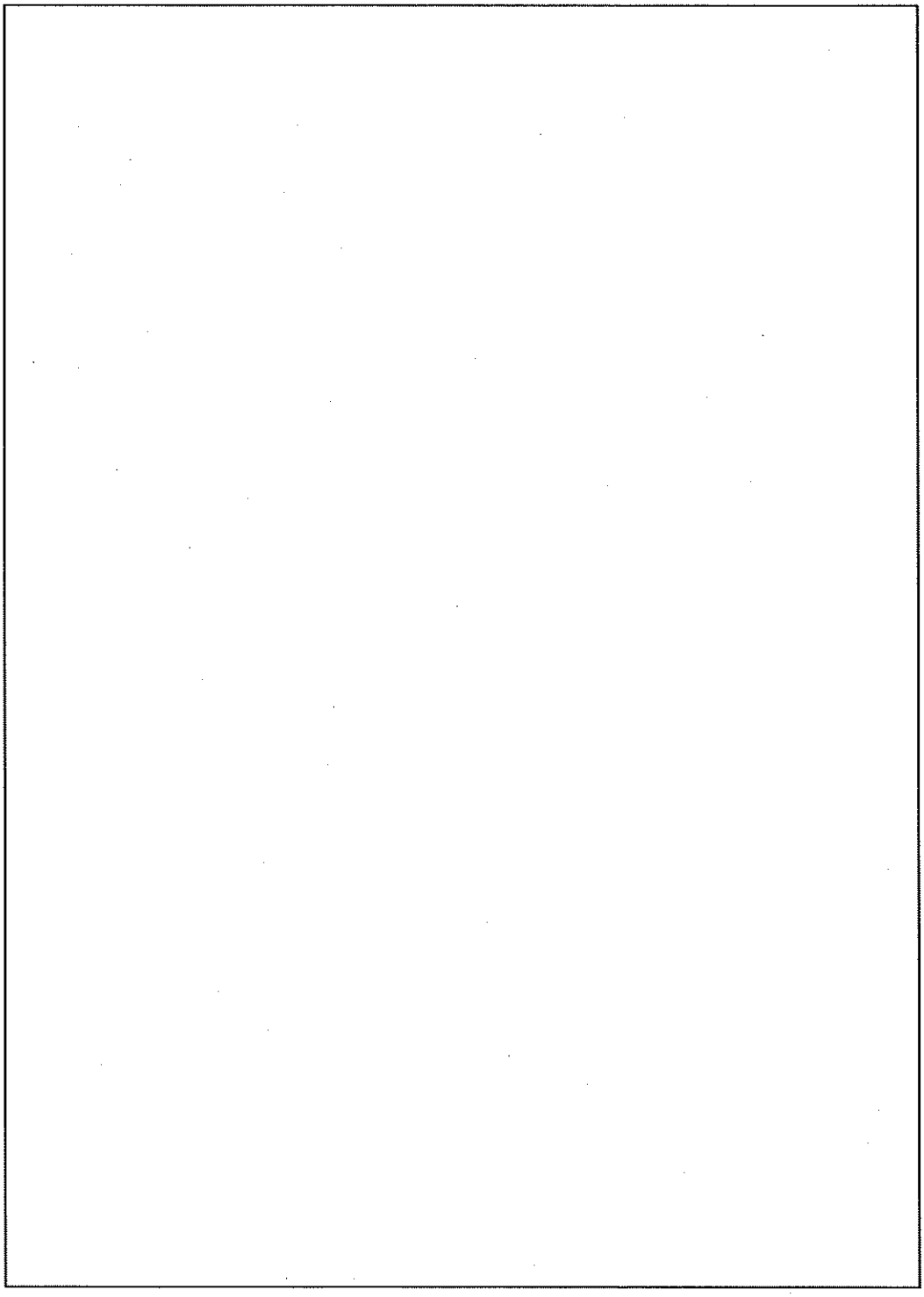
SUS□の低温衝撃値を（ロ）－第A.103図に示す。



（ロ）－第A.103図　SUS□の低温衝撃値[16]

A.10.8　SUS[　　]の低温衝撃値

SUS[　　]の低温衝撃値を（ロ）－第A.104図に示す。

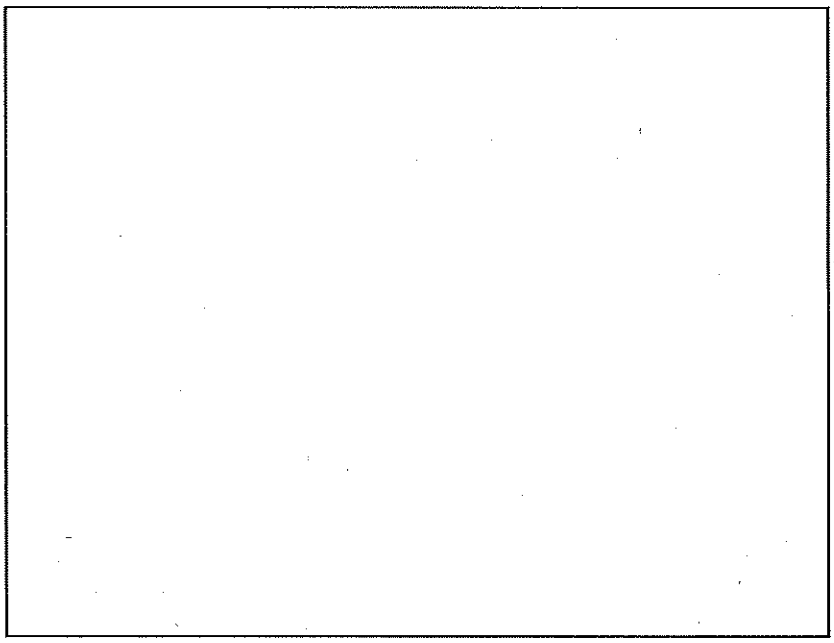


（ロ）－第A.104図　SUS[　　]の低温衝撃値[18]

A.10.9　内容器蓋締付ボルトの締付トルクの算出方法

本項においては、内容器蓋締付ボルト（以下、この項で「ボルト」という。）の初期締付力について解析する。

解析モデルを（ロ）－第A.105図に示す。



（ロ）－第A.105図　内容器蓋締付ボルト初期締付力解析モデル

（ロ）－第A.105図に示すボルトの必要最少締付力は次式で与えられる。

$$F_{min}=F_C+F_G+F_H$$

ここで、

F_{min}：ボルトの必要最少締付力　〔N〕

F_C　：外力が作用したときの内容器蓋から失われる圧縮力　〔N〕

F_G　：Oリング部の締付力　〔N〕

F_H　：熱膨張差による低下締付力　〔N〕

であり、F_C、F_G、F_Hを下記に解析する。

(1) 外力が作用したときの内容器蓋から失われる圧縮力

外力が作用したときの内容器蓋から失われる圧縮力F_Cは次式で与えられる。

$$F_C=(1-\phi)W_a=(1-\phi)(W_1+W_2)\ /n$$

ここで、

W_a　;軸方向外力　$W_a=(W_1+W_2)\ /n$

$=$ [redacted] 〔N〕

W_1 ；内圧による荷重

$$W_1 = P \cdot \frac{\pi}{4} G_1^2 =$$ 〔N〕

P ；最大内圧　P ＝ 〔MPa〕

G_1 ；内側Oリング径　G_1 ＝ 〔mm〕

W_2 ；9m上部垂直落下時荷重　W_2 ＝ 〔N〕

n ；ボルト本数　n ＝ 〔－〕

ϕ ；ボルト内力係数

$$\phi = \frac{F_t}{W_a} = \frac{K_t}{K_t + K_C} =$$ 〔－〕

K_t ；ボルトの引張ばね定数

$$K_t = E_b \Big/ \left[\frac{\ell_a}{A_b} + \frac{\ell_s + \ell\delta}{A_s} \right] =$$ 〔N/mm〕

ℓ_a ；ボルト円筒部の長さ　ℓ_a ＝ 〔mm〕

ℓ_s ；ボルト細胴部の長さ　ℓ_s ＝ 〔mm〕

A_b ；ボルト円筒部の断面積

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2 =$$ 〔mm^2〕

A_s ；有効断面積

$$A_s = \frac{\pi}{4} d_2{}^2 =$$ 〔mm^2〕

d_2 ；ボルトの谷径＝ mm

E_b ；ボルトの縦弾性係数　E_b ＝ 〔N/mm^2〕

$\ell\delta$ ；ナット側はめあいねじ部の弾性変位に対する

等価長さ　$\ell\delta$ ＝ 〔mm〕

K_C ；内容器蓋の圧縮ばね定数

$$K_C = \frac{E_C}{\ell_K} \cdot \frac{\pi}{4} \left[d_m{}^2 - d_1{}^2 \right] =$$ 〔N/mm〕

ℓ_K ；締付長さ　ℓ_K ＝ 〔mm〕

d_1 ；ボルト穴の直径　d_1 ＝ 〔mm〕

B ；ボルト接触面直径　B ＝ 〔mm〕

d_m；等価円筒の直径

$$d_m = B + \frac{\ell_K}{5} =$$ 〔mm〕

E_C；内容器蓋の縦弾性係数　$E_C =$ 〔N/mm^2〕

したがって、

$F_C = (1-\phi)\, W_a =$ 〔N〕

また、外力によるボルトの引張力F_tは

$F_t = \phi W_a =$ 〔N〕

(2) Oリング部の締付力

Oリング部の締付力F_Gは次式で与えられる。

$F_G = \pi(G_1 + G_2) \times q / n$

ここで、

G_1；内側Oリング径　$G_1 =$ 〔mm〕

G_2；外側Oリング径　$G_2 =$ 〔mm〕

q　；Oリングの線荷重　$q =$ 〔N/mm〕

したがって、

$F_G =$ 〔N〕

(3) 熱膨張差による低下締付力

熱膨張差による低下締付力F_Hは、内容器蓋とボルトは同材質であるため$F_H = 0$となる。

以上の結果より、必要最少締付力は次の値となる。

$F_{min} = F_C + F_G + F_H =$ 〔N〕

(4) ボルトの初期締付力

ボルトの初期締付力F_oは、必要最少締付力に余裕を持たせた値とし、次の値とする。

$F_o =$ 〔N〕

(5) ボルトの初期締付トルク

ボルトの初期締付トルクは次式で与えられる。

$T = k \cdot d \cdot F_C =$ 〔N·mm〕

ここで、

k ；トルク係数　　k＝[　　]　　〔－〕

(6) ボルト締付三角形

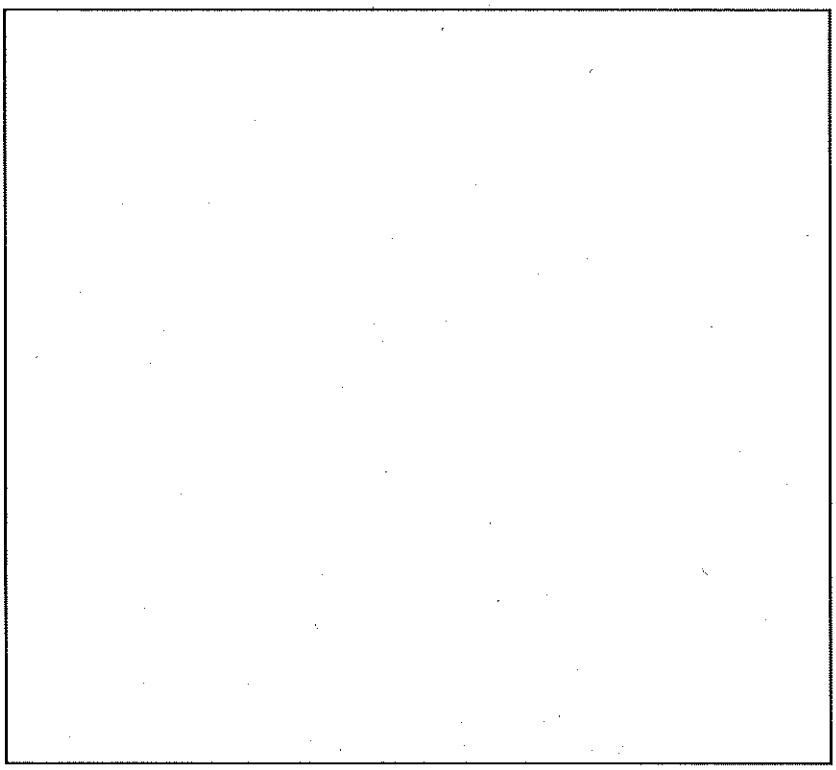
以上の解析結果を（ロ）－第A.106図のボルト締付三角形に示す。

なお、図中の記号を下記に示す。

F_o	；ボルト初期締付力	F_o ＝	〔N〕
F_{min}	；ボルトの必要最少締付力	F_{min} ＝	〔N〕
W_a	；軸方向外力	W_a ＝	〔N〕
F_t	；外力が作用したときのボルト引張力増加	F_t ＝	〔N〕
F_C	；外力が作用したときの蓋圧縮力減少	F_C ＝	〔N〕
F_C'	；内容器蓋に残る圧縮力	F_C' ＝	〔N〕
F_H	；熱膨張差による締付力低下	F_H ＝	〔N〕
F_b	；ボルト引張力	F_b ＝	〔N〕
F_G	；Oリング締付力	F_G ＝	〔N〕

（ロ）－第A.106図に示すように、内容器蓋に残る圧縮力F_C'はOリング締付力F_Gより大きい。

したがって、初期締付力F_oにより、Oリング部の密封性は維持される。



（ロ）－第A.106図　内容器蓋締付ボルト締付三角形

（ロ）－第A.106図の説明

(1) 本図は、初期締付力F_oから軸方向外力W_aが作用しても、蓋部に残る圧縮力F_C'はOリング締付力F_Gより大きいことを示している。

(2) 蓋ボルトには、初期締付けによってボルト軸部にF_oなる引張力、被締付け物（蓋部）にF_oなる圧縮力を生じて Ⓐ 点でつりあっている状態を示している。

(3) 蓋ボルトに軸方向外力W_aが作用すると、ボルト及び蓋の状態は Ⓑ 点及び Ⓒ 点に移動する。

Ⓑ 点はボルト軸部にF_tなる引張力が作用し、Ⓐ 点よりδの伸びが生じ移動する。

Ⓒ 点は、被締付け物（蓋部）からF_Cなる圧縮力が失われ、締付け長さはδだけ伸び、Ⓐ 点から Ⓒ 点へ移動する。

(4) 即ち、ボルトにF_tなる引張力が追加され、被締付け物（蓋部）からF_Cなる圧縮力が失われ、締付け長さはδだけ伸びる。この時、被締付け物（蓋部）に残存する圧縮力はF_C'となる。

A.10.10 JRR-4B型燃料板の機械的性質

燃料板の評価は、塑性変形を生じない設計基準値として耐力を解析基準とするため、燃料要素(B)の材料であるJRR-4B型燃料板の耐力を以下のように定める。

(1) 燃料要素（A）の材料であるA□の機械的な性質は、IAEA Guide Book Vol.2[14]より評価温度□℃において設計降伏点（Sy）は□〔N/mm²〕以上とされている。

(2) JRR-4B型燃料板は、燃料板の各ロールバッジから抜取った1枚の燃料板から引張試験片を製作し、引張試験を行っており、その判定基準は引張強さで□〔N/mm²〕<□kgf/mm²>である。この試験は、原子炉施設として使用前検査の対象となっている。

(3) なお、前項(2)の引張試験片20個における測定結果を（ロ）－第A.46表に示す。

（ロ）－第A.46表　JRR-4B型燃料板の引張試験片20個の測定結果

	測定結果		
	最小	最大	平均
耐力（0.2%）〔N/mm²〕			
引張強さ〔N/mm²〕			

(4) JRR-4B型燃料板の被覆材の素材であるJIS□の強度を（ロ）－第A.47表に示す。

（ロ）－第A.47表　□の機械的性質

	JIS□
耐力〔N/mm²〕	
引張強さ〔N/mm²〕	

(5) 以上より、JRR-4B型燃料板の機械的性質における耐力は、前項(2)に示す□N/mm²の引張強さを有する燃料板に対して、前記(1)項と同様の耐力（設計降伏点）＝□〔N/mm²〕を採用することは安全側であるものと判断でき、この値をJRR-4B型燃料板の耐力と定めた。

A.10.11 参考文献

(1) ASME Sec. Ⅲ Subsec. NB (1974)

(2) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準
(昭和55年、告示第501号)

(3) “ボイラ・圧力容器構造規格の解説” (1980) 日本ボイラ協会

(4) [redacted]社内データ

(5) ROARK, J.R “Formulas for Stress and Strain (FIFTH EDITION)”
Mc GRAWW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY (1975)

(6) S.P.チモシェンコ“板とシェルの理論(Ⅰ)”長谷川節訳

(7) “機械工学便覧” (改定第6版) 日本機械学会 (1977)

(8) J.P. Den Hartog Mechanical Vibrations, McGraw-Hill Book Co.

(9) 水原旭他“構造計算便覧”産業図書出版㈱ (1965)

(10) “構造力学公式集”土木学会編

(11) 関谷壮他“平板構造強度便覧”朝倉書店

(12) “弾性安定要覧”長柱研究委員会、コロナ社

(13) “使用済核燃料輸送容器の構造解析プログラムの開発・整備に関する調査報告書(Ⅱ)” (1983) 日本機械学会

(14) IAEA Guide Book Vol.2 “Research Reactor Core Conversion Safety Analysis and Licensing Issues Fuels”

(15) On the Prediction of Deformation and Deceleration of a Composite Cylindrical Body for the Corner Drop Case.
CONF-710801 (Vol.2). 1971, P.733 - 776

(16) 長谷川正義“ステンレス鋼便覧”日刊工業新聞社

(17) “強度設計データブック”強度設計データブック編集委員会編

(18) 藤田輝夫“ステンレス鋼の熱処理” 日刊工業新聞社

(19) S.P.チモシェンコ“座屈理論”仲威雄 他訳、コロナ社

(20) “アルミニウムハンドブック(第4版)”軽金属協会 (1990)

(21) “複合材料技術集成”産業技術センター (1976)

(22) ニチアス㈱社内データ

(23) “発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版)” 日本機械学会

(24) “発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)” 日本機械学会

B　熱解析

（ロ）－B．熱 解 析

B.1 概　　要

本解析では、本輸送物が規則に定められた一般の試験条件下及び特別の試験条件下において熱的性能を満足し、輸送物が健全であることを示す。

本輸送容器は、「乾式」タイプの輸送容器であり、輸送物としては、[　　]で固縛装置に固定されて輸送される。したがって、本解析は、[　　]で解析する。

B.1.1 熱 設 計

本輸送容器の構成を（ロ）－第 B.1 図に示す。本輸送容器は、同図に示すように本体、内容器蓋、燃料バスケット、外容器蓋等により構成されている。

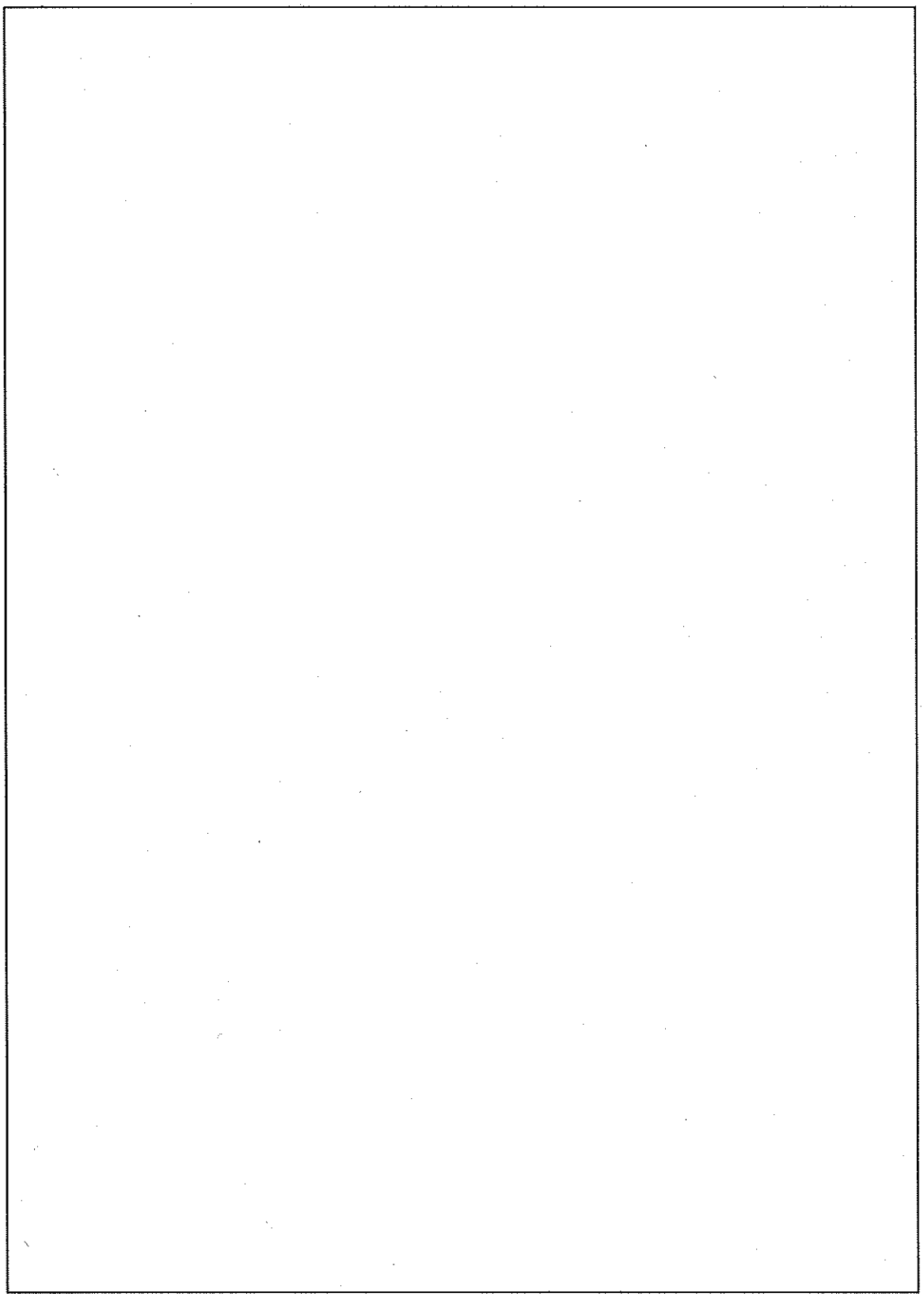
本輸送物の熱設計上の特徴を以下に示す。

(1) 収納物である燃料要素は、（イ）－Dに示すとおり 16 種類あるが、これら収納物から発生する崩壊熱は微小であるため、解析上は収納物からの発熱を無視する。

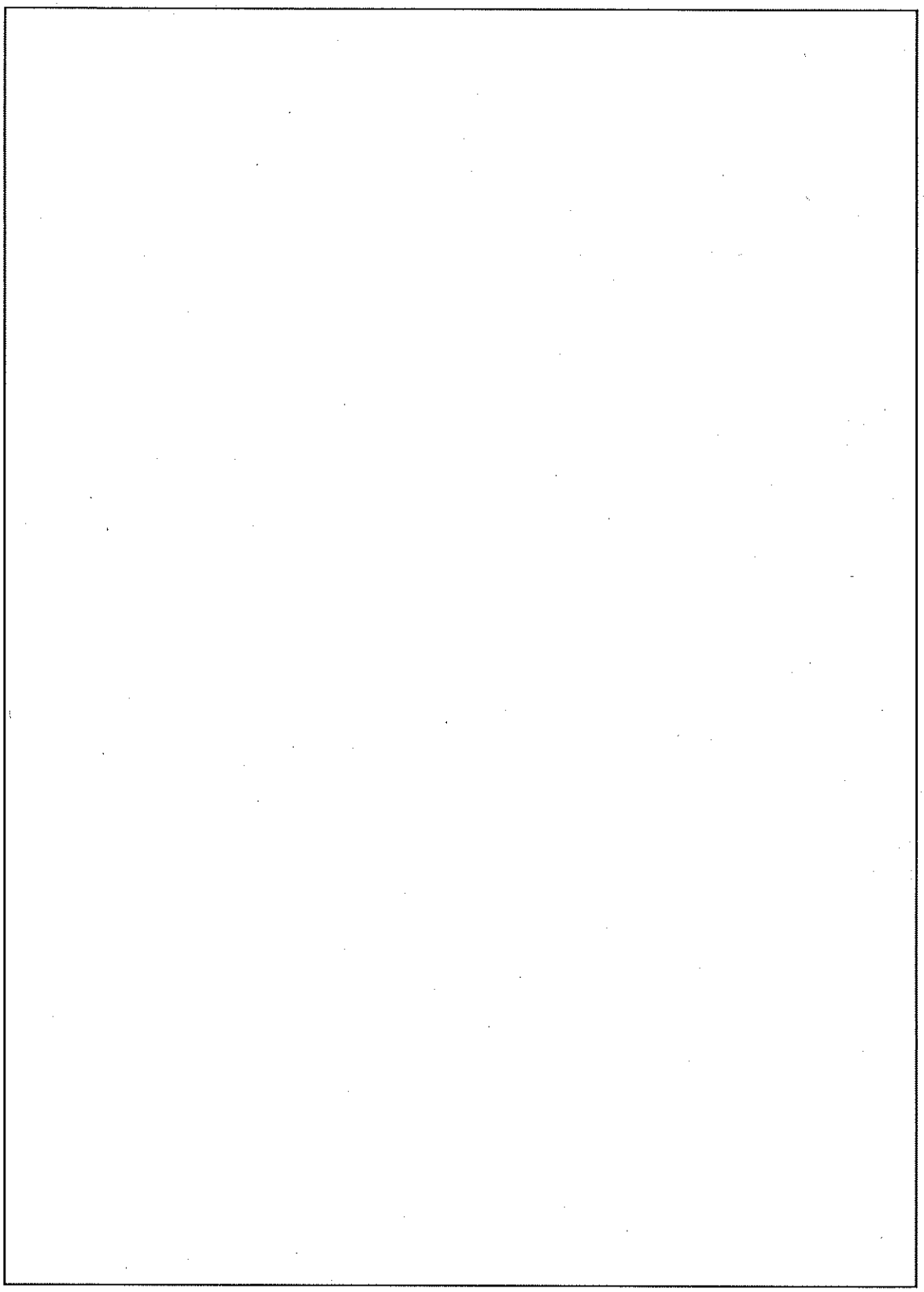
(2) 輸送物の伝熱（（ロ）－第 B.2 図参照）

(a) 輸送物への入熱は、太陽放射熱及び特別の試験条件下における火災時の熱である。

(b) 輸送物外表面の熱は、伝導により内容器本体及び内容器蓋の内面まで伝えられる。



（ロ）－第B.1図　輸送容器構成図



（ロ）－第B.2図　熱伝達概念図

(c) 内容器本体及び内容器蓋の内面の熱は、自然対流と伝導により燃料バスケット外表面へ伝えられる。

(d) 燃料バスケットの内部については、以下の理由から熱解析モデルとしては無視し、断熱条件とすることにより燃料バスケットの外表面の温度で燃料要素及び燃料バスケットの外表面の温度を代表させるものとする。

（ｉ）一般の試験条件下においては、内部発熱が微少のため内部で温度勾配が生じない。

（ii）特別の試験条件下においては、外部入熱のみであり、最高温度は、外部よりも内部の方が低くなる。

(3) 緩衝材の[redacted]は、特別の試験条件下における火災時に断熱性能を有する。

(4) 外容器本体及び外容器蓋の外装板には、特別の試験条件下における火災時の熱により緩衝材及び断熱材から発生する蒸気やガスが放出されるので、内圧上昇を防止するための溶融栓を設けている。

(5) 本輸送容器の気密性を保持する内容器蓋Ｏリング部は、断熱材及び緩衝材の断熱効果により、特別の試験条件下における火災による入熱から保護される。

B.1.2 熱解析の条件と方法

(1) 熱解析の条件

熱解析に使用した一般の試験条件下及び特別の試験条件下に対する熱的条件を（ロ）－第B.1表に示す。

（ロ）－第B.1表　熱解析条件

条件 / 項目		一般の試験条件			特別の試験条件		
					火災前	火災時	火災後
崩壊熱							
環境条件	周囲温度	静止空気 38℃	静止空気 38℃	静止空気 -40℃	静止空気 38℃	30分 800℃	静止空気 38℃
	太陽放射熱	なし	あり	なし	あり	あり	あり
	周囲放射率	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0
容器表面放射率		0.4	0.4	0.4	(a) 0.4	(b) 0.8	(c) 0.6

(a) 火災にさらされない鋼（SUS□）の表面放射率

(b) 火災にさらされている鋼（SUS□）の表面放射率

(c) 火災にさらされた後の鋼（SUS□）の表面放射率

(2) 熱解析の方法

熱解析を実施する時の方法について（ロ）－第B.2表に示す。

（ロ）－第B.2表　熱解析の方法

項目		内容
収納物仕様		燃料要素（イ）章D参照
最大崩壊熱〔W〕		[redacted]
計算モデル	輸送容器	軸対称2次元モデル
	収納物	―
温度計算		簡易解析 *
		非定常熱解析コードTRUMP** (B.6.2参照)
使用物性値（熱的性質）		B.2　材料の熱的性質

＊：一般の試験条件

＊＊：特別の試験条件

B.2 材料の熱的性質

本輸送物の構成材料は、（イ）章に示すとおりである。これらの材料のうち熱解析で使用した材料は以下のとおりであり、各々の材料の熱的性質を以下に示す。

・ステンレス鋼

・空　　気

・緩衝材 [redacted]

・断熱材 [redacted]

(1) ステンレス鋼

ステンレス鋼の熱的性質を（ロ）－第B.3表(1)に示す。

ステンレス鋼は、内容器、外容器等本輸送容器の主要構造材として使用する。

（ロ）－第B.3表　ステンレス鋼の熱的性質

比重量	[redacted]	
温　度 〔℃〕	比　　熱 〔kJ/(kg・K)〕	熱 伝 導 率 〔mW/ (m・K) 〕
50	[redacted]	
100		
200		
400		
600		
800		

(2) 空　　気

空気の熱的性質を（ロ）－第B.4表[(2)]に示す。

（ロ）－第B.4表　空気の熱的性質

比重量	9.16×10^{-4}〔g/cm³〕	
温　度〔℃〕	比　　熱〔kJ/(kg・K)〕	熱伝導率〔mW/(m・K)〕
0	1.005	24.07
40	1.009	27.21
100	1.013	31.63
140	1.017	34.54
200	1.026	38.61
500	1.093	56.17
800	1.156	70.94

(3) 緩衝材[　　]

緩衝材[　　]の熱的性質を（ロ）－第B.5表[6]に示す。

[　　]は、本輸送容器の上部及び下部に緩衝材として使用されているが、熱的には断熱効果がある。

（ロ）－第B.5表　緩衝材[　　]の熱的性質

比重量	0.16〔g/cm³〕	
温　度〔℃〕	比　　熱〔kJ/(kg・K)〕	熱伝導率〔mW/(m・K)〕
0		
50		
100		
150		
200		
250		
275		
320		
350		
500		
900		

(4) 断熱材 [　　]

断熱材 [　　] の熱的性質を（ロ）－第B.6表(3)に示す。

（ロ）－第B.6表　断熱材 [　　] の熱的性質

比重量	[　　]	
温　度 〔℃〕	比　　熱 〔kJ/(kg・K)〕	熱 伝 導 率 〔mW/(m・K)〕
20		
50		
100		
250		
300		
400		
800		

B.3 構成要素の仕様

熱解析をする上で関連する構成要素の仕様を以下に示す。

(1) [redacted]Oリング

[redacted]Oリングの仕様を（ロ）－第B.7表[4]に示す。

（ロ）－第B.7表 [redacted]Oリングの仕様

項目	仕様
材質	[redacted]
硬度	
通常使用温度	
事故時使用温度及び時間	

(2) 溶融栓

溶融栓の仕様を（ロ）－第B.8表に示す。

（ロ）－第B.8表　溶融栓の仕様

項目	仕様
材質	[redacted]
融点	

B.4 一般の試験条件

本輸送物が一般の試験条件下において、規則に定められた技術基準を満足することを以下に示す。

B.4.1 熱解析モデル

本輸送物の収納物の崩壊熱は微小であるため、解析では、収納物からの発熱を無視する。

したがって、環境温度 38℃の日陰において、本輸送物は収納物からの発熱がなく太陽入熱がないため、外表面温度は38℃以上にはならない。

一般の試験条件下における本輸送物の温度上昇は、環境温度 38℃において太陽放射熱の入熱によるものである。

本解析は、本輸送物への入熱は太陽放射熱、放熱は自然対流と放射とし、縦置状態のモデルを考える。

本解析は、付属書類B.6.1に示す方法により簡易計算で求める。

B.4.1.1 解析モデル

ここでは、計算に使用した以下の項目について述べる。

・形状モデル

・解析条件

・輸送物の伝熱

(1) 形状モデル

一般の試験条件下での熱解析の形状モデルは、輸送容器の変形がないものとし、垂直状態に置かれた直径□mm、高さ□mmの円筒とする。

(2) 解析条件

解析に使用した一般の試験条件下の熱的条件を(ロ)－第B.9表に示す。

（ロ）－第B.9表　一般の試験条件下の熱的条件

項目		条件		
崩壊熱〔W〕				
環境条件	周囲温度〔℃〕	静止空気 38	静止空気 38	静止空気 -40
	太陽放射熱〔W/m²〕	0	400*、800**	0
	周囲放射率	1.0	1.0	1.0
容器表面放射率		0.4	0.4	0.4

注　＊；「垂直に輸送される表面」である放射熱は200W/m²であるが、安全側に「その他の表面」として400W/m²とする。

＊＊；「水平に輸送される表面」で、かつ「上向きの表面」

(3) 輸送物の伝熱（（ロ）－第B.2図参照）

本輸送物の伝熱について、以下に述べる。

(a) 輸送物は、一般の試験条件下では変形が小さいので、変形は無視する。

(b) 熱流入（太陽放射熱）と熱放出（大気への自然対流及び放射）が平衡であるモデルの輸送物表面について定常熱計算を実施する。

(c) 輸送物の最高温度は、(b)の輸送物表面の最高温度とする。

(d) 輸送物への入熱は、太陽放射熱のみであり、これは自然対流及び放射により輸送物外面へ伝えられる。

(e) 輸送物外面の熱は、伝導により内容器本体内面まで伝えられる。

以上の条件より簡易計算で定常熱計算を実施した。

詳細は、付属書類B.6.1に示す。

B.4.1.2 試験モデル

解析モデルを採用し、試験モデルは採用しない。

B.4.2 最高温度

一般の試験条件下における最高温度を（ロ）－第B.10表に示す。

（ロ）－第B.10表　一般の試験条件下における各部の最高温度

項目 / 部位	一般の試験条件		
	太陽放射熱なし 周囲温度 38℃	太陽放射熱あり 周囲温度 38℃	太陽放射熱なし 周囲温度 -40℃
燃料バスケット外面	38℃	65℃	-40℃
内容器蓋Oリング部	38℃	65℃	-40℃
内容器本体内面	38℃	65℃	-40℃
本体外面	38℃	65℃	-40℃

一般の試験条件下における最高温度は、付属書類 B.6.1 に示すように輸送物各部で一様に□℃であるが、安全側に65℃とする。

B.4.3 最低温度

太陽放射熱がなく-40℃の静止空気中での輸送物各部の温度は、収納物の崩壊熱が微小で考慮しないため一様に-40℃となる。この温度は、輸送容器に使用している[redacted]Oリングの通常使用温度範囲（[redacted]）内にあるので、十分その性能を維持できる。また、構造材はステンレス鋼であり脆化することはない。

したがって、本輸送容器の健全性は維持される。

B.4.4 最大内圧

一般の試験条件下における輸送物最高温度は、B.4.2 で述べたように 65℃、最低温度は-40℃である。一般の試験条件下における最大内圧の評価に当たっては、輸送物が一様に 65℃になったものとして、容器内空気の熱膨張による圧力を考慮し、付属書類 B.6.4 に示す計算にて求めた。

その結果、温度が-40℃から 65℃の範囲で、容器内圧力は、[redacted]となる。また、-40℃から 65℃の温度変化があった場合であっても、容器内圧力は[redacted]である。したがって、これら圧力は、設計圧力[redacted]より十分小さいので、本輸送物の健全性は維持される。

B.4.5 最大熱応力

一般の試験条件下における熱応力は、（ロ）－A.5.1 で述べたように構造強度に悪影響を与えることはない。

B.4.6 結果の要約及びその評価

一般の試験条件下における熱解析の結果に基づく評価は、以下に示すとおりであり、構造強度及び密封性能に悪影響を与えないことを確認した。

なお、すでに上述のとおり、輸送物の構成部品の最低温度は-40℃、最高温度は65℃として、評価を実施した。

(1) 輸送物表面温度

本輸送物の表面温度は65℃であり、許容基準温度85℃を超えない。

(2) 構造強度

構造強度上問題となる最大内圧、熱応力及び最高温度について以下に述べる。

最大内圧については、容器内の内圧上昇が[redacted]となり、設計圧力[redacted]以下である。したがって、構造強度に影響を与えない熱応力については、(ロ)－A.5.1で述べたように構造強度に悪影響を与えることはない。

最高温度については、本輸送物の構造材において、先に述べた65℃の最高温度で溶融するものはなく、各部とも十分な強度を有する。

(3) 密封性能

密封性能上問題となる密封境界の内容器蓋Oリングの温度、変形及び最大内圧について以下に述べる。

密封境界である内容器蓋Oリングの温度は、-40℃～65℃となる。この値は、[redacted]Oリングの通常使用温度範囲[redacted]内であり劣化することはない。

変形については、密封境界に影響を与えるようなものは発生しない。

外圧が0.06MPaまで低下した場合における内外圧力差は[redacted]である。これに対し、内容器の内圧は設計圧力である[redacted]であるため、外圧が0.06MPaまで低下した場合でも、密封装置の構造健全性及び密封性が確保される。

B.5 特別の試験条件

本輸送物が特別の試験条件下において、規則に定められる技術基準を満足することを以下に示す。

B.5.1 熱解析モデル

特別の試験条件下における熱評価を 3 次元非定常熱解析コード TRUMP を用いて行った。

B.5.1.1 解析モデル

ここでは、TRUMP による計算に使用した以下の項目について述べる。

・形状モデル

・解析条件

・輸送物の伝熱

(1) 形状モデル

本輸送物は、（ロ）－A．構造解析で示したようにBU型輸送物の要件としての特別の試験条件下の落下試験において輸送容器に局所的な変形を生じるが、輸送容器の健全性は保たれる。

落下試験Ⅰによる変形は垂直方向[　　]、水平方向[　　]となるので、特別の試験条件下での熱解析では緩衝材及び断熱材の寸法を軸方向では変形前[　　]に、半径方向では変形前[　　]に、それぞれ減少させて解析する。

落下試験Ⅱによる変形は局部的なものであり、熱的な影響がないと考えるので、モデル化を行なわない。

特別の試験条件の形状モデル(軸対称 2 次元モデル)を（ロ）－第 B.3 図に示す。

形状モデルにおいて、燃料バスケットは B.6.3 に示す方法にて円筒状に置き換えてモデル化した。

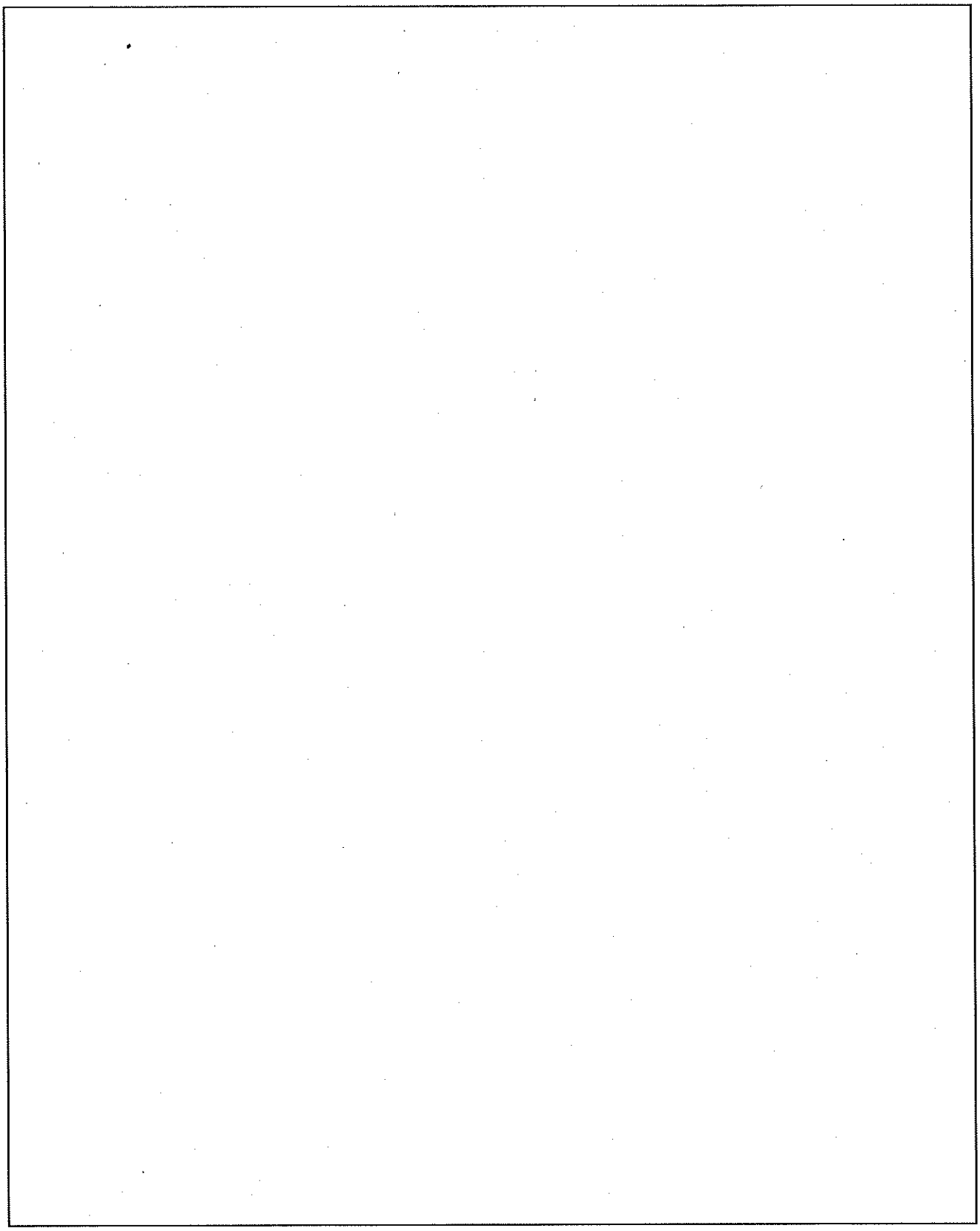
また、形状モデルにおける評価部位は次のとおりである。

・燃料バスケット

・内容器本体内面

・内容器蓋Oリング部

・本体外面



（ロ）－第B.3図　軸対称2次元モデル

(2) 解析条件

解析に使用した熱的条件は、次のとおりである。

収納物の崩壊熱は、微少であり考慮しない。特別の試験条件下の熱解析は、特別の試験条件下での強度試験条件に引き続いて、火災事故条件下に置かれるものとする。したがって、火災事故に遭遇する前の輸送物の温度分布は、一般の試験条件下の温度分布を使用する。

火災事故時の熱的条件は、周囲温度 800℃、火災時間 30 分、火災の放射率 0.9 とし、容器表面の放射率を 0.8 とする。また、太陽放射熱も考慮する。周囲から容器への熱伝達は、放射とともに対流も考慮する。

火災事故後の熱的条件は、周囲温度 38℃、容器表面の放射率として本体外面で 0.6、周囲の放射率を 1.0 とした。容器表面からの熱放散は、自然対流と放射を考慮する。また、太陽放射熱も考慮する。

以上の解析条件をまとめたものを（ロ）－第 B.11 表に示す。

なお、火災時には、[redacted]の熱分解ガスの燃焼時の火災による入熱を考慮する。

（ロ）－第 B.11 表　特別の試験条件下の熱的条件

項　　目		初期条件	火災事故時	火災事故後
崩壊熱量〔W〕			[redacted]	
環境条件	周囲温度〔℃〕	静止空気 38	30 分 800	静止空気 38
	太陽放射熱〔W/m²〕	400 (d) 800 (e)	400 (d) 800 (e)	400 (d) 800 (e)
	周囲放射率	1.0	0.9	1.0
容器表面放射率		0.4 (a)	0.8 (b)	0.6 (c)

(a) 火災にさらされない鋼（SUS[redacted]）の表面放射率

(b) 火災にさらされている鋼（SUS[redacted]）の表面放射率

(c) 火災にさらされた後の鋼（SUS[redacted]）の表面放射率

(d) 「垂直に輸送される表面」である放射熱は 200W/m² であるが、安全側に「その他の表面」として 400W/m² とする。

(e) 「水平に輸送される表面」で、かつ「上向きの表面」

(3) 輸送物の伝熱、（（ロ）－第B.2図参照）

本輸送物の伝熱について、以下に述べる。

(a) 輸送物外面への熱は、自然対流及び放射により伝えられる。

(b) 輸送物外面の熱は、伝導により内容器本体内面まで伝えられる。

(c) 内容器本体内面の熱は、放射と伝導により燃料バスケット外面へ伝えられる。

(d) 燃料バスケット内部は、一般の試験条件下と同様に断熱条件とする。

以上の各伝熱について、解析に使用した関係式等を付属書類B.6.3に示す。

(4) 核分裂性輸送物の熱解析

核分裂性輸送物としての落下の重ね合せを考慮した変形量を（ロ）－第B.12表に示す。一般の試験条件＋9m落下の重ね合せにおいて、（ロ）－第B.3図に示す熱解析モデルでの変形量よりも、垂直落下を除いて小さく、垂直落下においても［　　］を超える程度である。

（ロ）－第B.12表　核分裂性輸送物としての落下の重ね合せを考慮した変形量

項　　目	垂直方向		水平方向
	蓋　部	底　部	
断熱材の変形前の最小厚さ〔mm〕			
ＢＵ型輸送物としての 9m落下の変形量〔mm〕			
核分裂性輸送物としての 9m落下（重ね合せ）の変形量〔mm〕			
熱解析モデルの変形量〔mm〕			

（　）内は断熱材の変形後の残量を示す。

また、落下試験Ⅱを重ね合せた場所においても変形は内容器に達することはなく、また変形は局部的なものである。

したがって、核分裂性輸送物としての重ね合せを考慮した熱解析モデルは、本熱解析モデルに対し熱的に有意な差はないと考えられるので、核分裂性輸送物としての特別の試験条件下での熱解析は省略する。

B. 5. 1. 2 試験モデル

解析モデルを採用し、試験モデルは採用しない。

B. 5. 2 輸送物の評価条件

特別の試験条件下の落下試験により生じる変形を考慮した（ロ）－第 B. 3 図を使用し解析を実施した。

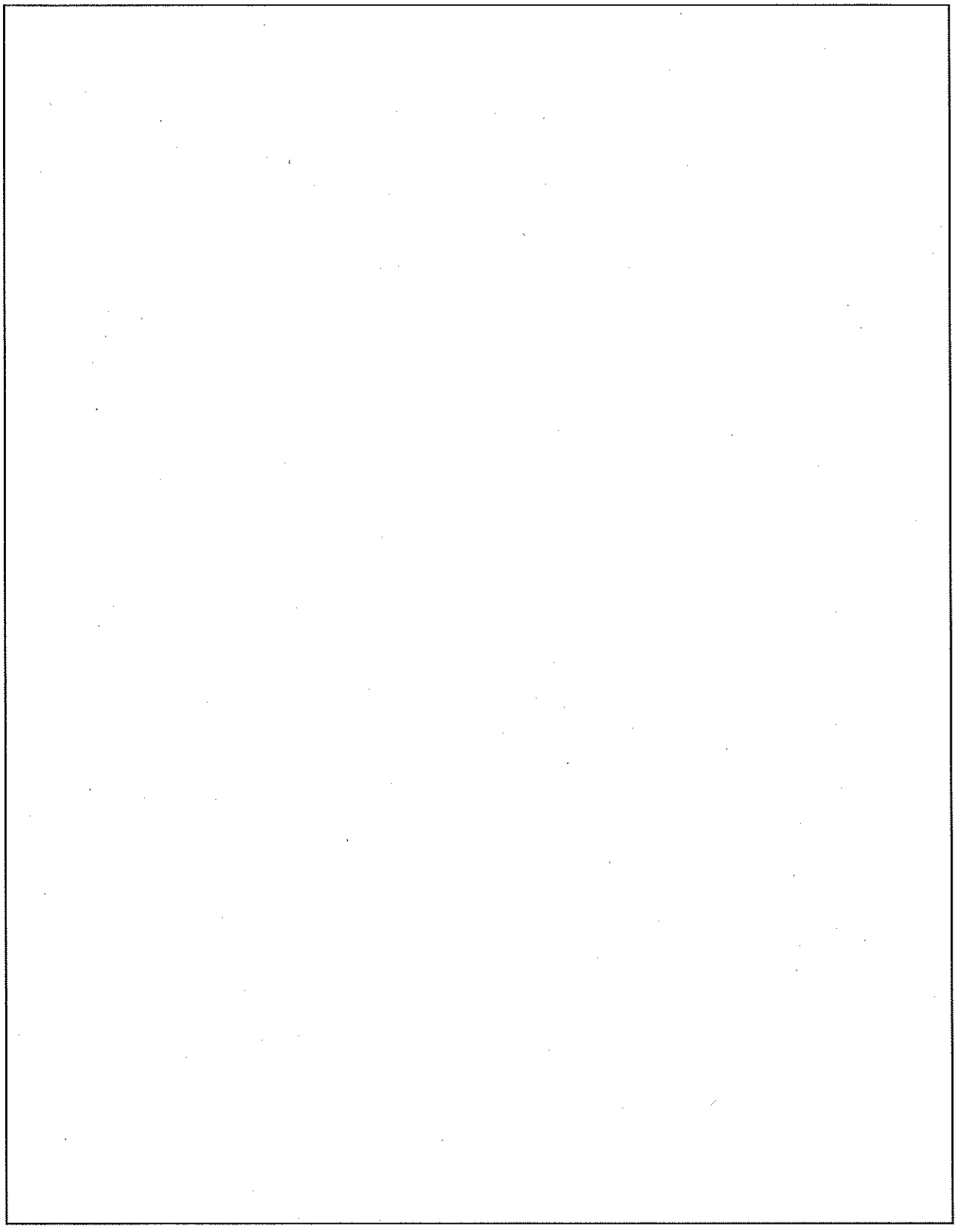
B. 5. 3 輸送物温度

B. 5. 1. 1 で述べた解析モデルを用いた計算結果を（ロ）－第 B. 4 図に示す。これは、特別の試験条件下での輸送物主要部の温度変化を時間経過とともにプロットしたものである。また、各部の最高温度と火災発生から最高温度到達までの時間を（ロ）－第 B. 13 表に示す。

（ロ）－第 B. 13 表　特別の試験条件下における各部の最高温度

項目 / 部位	特別の試験条件	
	最高温度	火災発生から最高温度到達までの時間
燃料バスケット		
内容器蓋Oリング部		
内容器本体内面		
本体外面		

注）本体外面の最高温度が周囲温度 800℃を超えているのは溶融栓から放出された断熱材から発生したガスの燃焼によるものである。



（ロ）－第B.4図　特別の試験条件下における各部の温度履歴

B.5.4 最大内圧

特別の試験条件下における最大内圧の評価に当たっては、容器内空気の熱膨張による圧力を考慮し、付属書類　B.6.4に示す計算にて求めた。

その結果、容器内圧力は、[　　]となる。したがって、この圧力は設計圧力より小さいので、各部の健全性は維持される。

B.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下における熱応力は、（ロ）－A.6.3で述べたように、構造強度に悪影響を与えることはない。

B.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熱解析の結果に基づく評価は、以下に示すとおりであり、構造強度及び密封性能に悪影響を与えないことを確認した。

(1) 温　　度

本輸送物の特別の試験条件下における各部の最高温度を（ロ）－第B.13表に、また、特別の試験条件下における各部の温度履歴を（ロ）－第B.4図に示した。

特別の試験条件下における燃料バスケットの最高温度は火災発生後約1.6時間で209.9℃に達する。本解析では、燃料バスケット内部を断熱条件としているので、実際の収納物である板状燃料の温度は、燃料バスケットの最高温度209.9℃を超えることはない。

この燃料温度は国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の試験・研究炉で使用する板状燃料のブリスタ発生温度としている温度（以下「燃料の許容温度」という。）400℃に比べて低い値である。したがって、収納物は健全である。

また、内容器蓋Oリング部の最高温度は火災発生後約0.9時間で187.8℃に達する。この温度は、[　　]Oリングの事故時使用温度250℃を超えない。したがって、特別の試験条件下においても内容器蓋Oリングは健全であり、本輸送容器の密封性は維持される。

(2) 圧　　力

(1)温度の項で述べたように、特別の試験条件下において輸送物各部の温度が上昇する。これらの温度上昇によって容器内の空気が熱膨張し容器内圧が上昇する。

容器内圧の解析条件として、燃料バスケット外面の最高温度209.9℃で評価する。特別の試験条件下における容器内の最高圧力を（ロ）－第B.14表に示す。

（ロ）－第B.14表　特別の試験条件下における容器内の最高圧力

条件／位置	特別の試験条件下における最高圧力（MPa〔gauge〕）
容器内	[ ]

特別の試験条件下での最高圧力は、（ロ）－第B.14表に示すとおり、[ ][ ]である。

これは、本輸送容器の設計圧力[ ]より低いので、本輸送容器の健全性は維持される。

(3) 構造強度

構造強度上問題となる最大内圧、熱応力及び最高温度について以下に述べる。

最大内圧については、容器内の圧力上昇が、[ ]となり、設計圧力[ ]以下である。したがって、構造強度に影響を与えない。

熱応力については、（ロ）－A.5で述べたように構造強度に悪影響を与えることはない。

(4) 密封性能

密封境界である内容器蓋Oリング部の最高温度は、187.8℃となる。この値は、[ ]製Oリングの事故時使用温度（[ ]℃）以下であり、本輸送物の密封性能は維持される。

B.6 付属書類

B.6.1 一般の試験条件下における輸送物の最高温度 …… (ロ) －B－26
B.6.2 熱伝導汎用プログラム「TRUMP」の概要 …… (ロ) －B－29
B.6.3 特別の試験条件下での温度計算に用いる「TRUMP」
のインプットデータについて …… (ロ) －B－34
B.6.4 輸送物の内圧力 …… (ロ) －B－39
B.6.5 熱解析手法の妥当性の検討 …… (ロ) －B－41
B.6.6 参考文献 …… (ロ) －B－43

B.6.1 一般の試験条件下における輸送物の最高温度

一般の試験条件下における輸送物の最高温度は、定常状態における熱収支を取り、以下のように求めた。

流入熱量Q_{in}〔W〕は太陽からの放射熱のみであり、放出熱量Q_{out}〔W〕は放射熱Q_1〔W〕と自然対流による放出熱Q_2〔W〕の和である。輸送容器外面温度をｔ〔℃〕とし、$Q_{in}=Q_{out}$となる最高温度t_{max}を求める。

t_0 ：環境温度＝38〔℃〕

A_v ：垂直部の伝熱面積

＝［　　］〔m^2〕

A_h ：上向き水平部の伝熱面積

＝［　　］〔m^2〕

(1) 太陽熱からの放射熱、Q_{in}

$$Q_{in}= 400\ [W/m^2] \times \varepsilon \times A_v + 800\ [W/m^2] \times \varepsilon \times A_h \quad \cdots\cdots\cdots (6.1\text{-}1)$$

ε ：容器表面の放射率

$\varepsilon = 0.4$

(2) 輸送物からの放射熱Q_1

$$Q_1 = (A_v + A_h) \times \varepsilon \times \sigma \times \{(T)^4 - (To)^4\}$$

＝［　　］

＝［　　］ …… (6.1-2)

$T = t + 273$

T：絶対温度〔K〕

ｔ：輸送容器外面温度〔℃〕

σ ：ステファン・ボルツマン定数〔$W/(m^2 \cdot K^4)$〕

(3) 自然対流による放出熱Q_2

垂直円筒面自然対流熱伝達は、Mc Adams[5]の式により次式のように与えられる。

$Nu_v = 0.13\ (Gr \cdot Pr)^{1/3} (10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12})$ …… (6.1-3)

$Nu_v = h_v \cdot L / k$ ：ヌッセルト数 …… (6.1-4)

$Gr = g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta t / \nu^2$ ：グラスホフ数 …… (6.1-5)

$Pr = \nu / a$ ：プラントル数 …… (6.1-6)

ここで、

h_v	：垂直円筒面の熱伝達率	〔W/(m²·K⁴)〕
L	：代表長さ	〔m〕
k	：空気の熱伝導率	〔W/(m·K〕
g	：重力加速度	9.8〔m/s²〕＝1.27×10⁸〔m/h²〕
β	：空気の体膨張係数	〔1/K〕
Δt	：温度差 $(t - t_0)$	〔℃〕
ν	：空気の動粘性率	〔m²/h〕
a	：空気伝導率	〔m²/h〕

(6.1-3)、(6.1-5)、(6.1-6) 式よりヌッセルト数Nu を求め (6.1-4) 式より垂直円筒面の熱伝達率h_vを求める。

また、水平面の熱伝達率をh_hとし次の (6.1-7) 、 (6.1-8) 式から、h_vと同じ方法でh_hを求める。

$Nu_h = 0.14 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3}\ (2\times10^7 < Gr \cdot Pr < 3\times10^{10})$ …… (6.1-7)

$Nu_h = h_h \cdot L / k$ …… (6.1-8)

このh_vとh_hを用いて、自然対流による放出熱Q_2は、次式で与えられる。

$Q_2 = (h_v \cdot A_v + h_h \cdot A_h) \cdot (t - t_0)$ …… (6.1-9)

(4) 最高温度 t_{max} の計算

空気温度 38℃での各々の値は、

L ＝□ 〔m〕

g ＝ 1.27×10^{8} 〔m/h²〕

k ＝ 0.0271 〔W/(m·K)〕

β ＝ $1/(273+38)$ ＝3.22×10^{-3} 〔1/K〕

$\Delta t = t_{max} - t_0$ 〔℃〕

ν ＝ 0.0623 〔m²/h〕

a ＝ 0.0882 〔m²/h〕

したがって、(6.1-6)、(6.1-5)、(6.1-3) 式より、

$Pr = \nu / a = 0.0623 / 0.0882 = 0.706$

$Gr = g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta t / \nu^2$

$=1.27\times10^{8}\times3.22\times10^{-3}\times$□$\times\Delta t / 0.0623^2$

=□$\times\Delta t$

$Nu_v = 0.13 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} =$□$\times\Delta t^{1/3}$

よって (6.1-4) 式より

$$h_v = \frac{Nu_v \cdot k}{L} = 1.481\times\Delta t^{1/3} \quad 〔W/(m^2\cdot K)〕$$

また、

$$h_h = \frac{Nu_h \cdot k}{L} = 1.595\times\Delta t^{1/3} \quad 〔W/(m^2\cdot K)〕$$

なお、定常状態における熱収支は、前記のとおり $Q_{in} = Q_{out}$ となり、(6.1-1)、(6.1-2)、(6.1-9) 式及び熱伝達率 h から、温度差 Δt の収束計算を行い、最高温度 t_{max} を求めると t_{max}=□℃となる。

ここで、最高温度 t_{max} は安全側に 65℃とする。

B.6.2 熱伝導汎用プログラム「TRUMP」の概要

(1) 概　　要

TRUMP は 1968 年 Lawrence Radiation Laboratory で開発されたノード法に基づく伝熱計算プログラムである。

(2) 機　　能

TRUMP は、熱生成、化学反応、相変化及び物質移動を伴う熱伝達を取り扱うことができる。また、TRUMP は、直交座標、円柱座標、回転体座標あるいは極座標を用いて物体を分割することにより、3 次元形状の物体を取り扱うことができる。

物性値のうち熱伝導率、比熱は、温度又は時間の関数として表わすことができる。

要素間の熱伝達は、伝導、自然対流、強制対流及び放射による熱伝達を取り扱うことができ、境界条件は自然対流、強制対流及び放射による熱伝達を取り扱うことができる。また、境界温度は、時間の関数として表わすことができる。初期温度は空間での位置によって異なってもよい。TRUMP の出力としては、各時間ごとの温度分布のほか、各要素の熱収支等が得られる。

(3) 計算方法(（ロ）－第 B.5 図参照)

TRUMP は、空間座標と時間について 4 個の独立変数及び温度と 2 つの反応物濃度という合計 3 個の従属変数をもった連立偏微分方程式を解く。熱生成及び化学反応を伴う熱伝導及び物質移動の方程式は、通常の 3 次元の場合は、普通のベクトル演算式を用いて次のように表わされる。

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\delta T}{\delta t} + \underline{v} \cdot \nabla T$$

$$= \frac{1}{\rho C} \cdot \nabla \cdot K \nabla T + G - \frac{Qa}{C} \cdot \frac{\delta a}{\delta t} - \frac{Qb}{C} \cdot \frac{\delta b}{\delta t}$$

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{\delta a}{\delta t} + \underline{v} \cdot \nabla a$$

$$= -a \cdot \exp\left(Z_a - \frac{E_a}{R \cdot T}\right)$$

$$\frac{Db}{Dt} = \frac{\delta b}{\delta t} + \underline{v} \cdot \nabla b$$

$$= -b \cdot \exp\left(Z_b - \frac{E_b}{R \cdot T}\right)$$

$$K_1 \cdot \left(\frac{\delta T_1}{\delta r}\right)_i = h_i \cdot (T_{2i} - T_{1i}) = K_2 \cdot \left(\frac{\delta T_2}{\delta r}\right)_i$$

$$h_i = h_{io} + h_{ic} [(T_{2i} - T_{1i})^2]^{p_i/2} + \sigma \cdot F_i (T_{1i} + T_{2i}) \cdot (T^2{}_i - T^2{}_i)$$

境界面のコンダクタンスｈｉは、接触コンダクタンス、自然対流、強制対流及び放射の効果を含んだ一般形である。σは、ステファンーボルツマン定数、Ｆは、総括放射形態係数である。

$$K \cdot \left(\frac{\delta T}{\delta t}\right)_s = U_{sb} \cdot (T_b - T_s)$$

ここで、

T_b　＝外部温度

U_{sb}　＝表面コンダクタンス

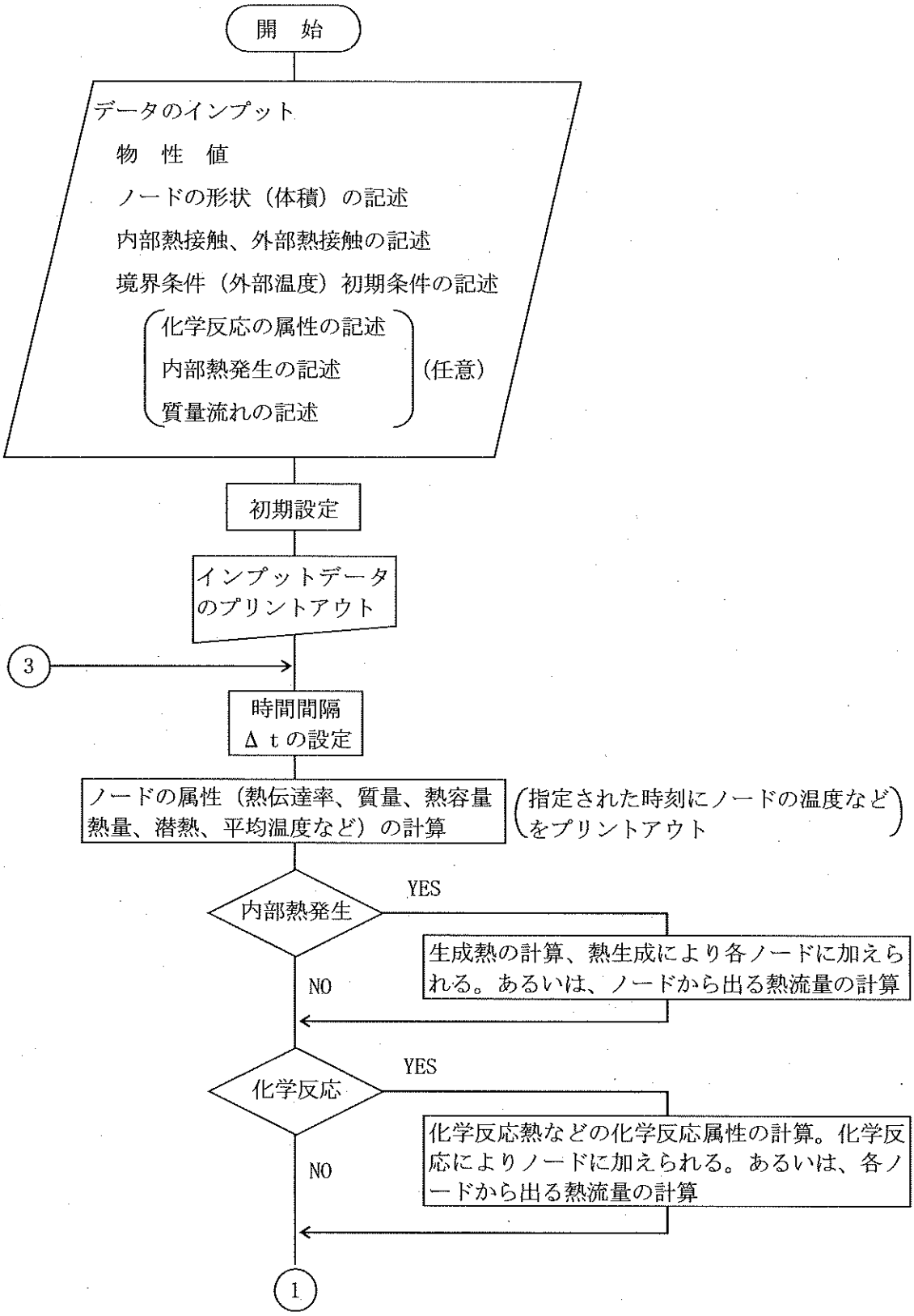
U_{sb}は、物質相の場合と同様に、次のように表わされる。

$$U_{sb} = h_{so} + h_{sc} \cdot [(T_b - T_s)^2]^{p_i/2} + \sigma \cdot F_b \cdot (T_s + T_b) \cdot (T_s{}^2 + T_b{}^2)$$

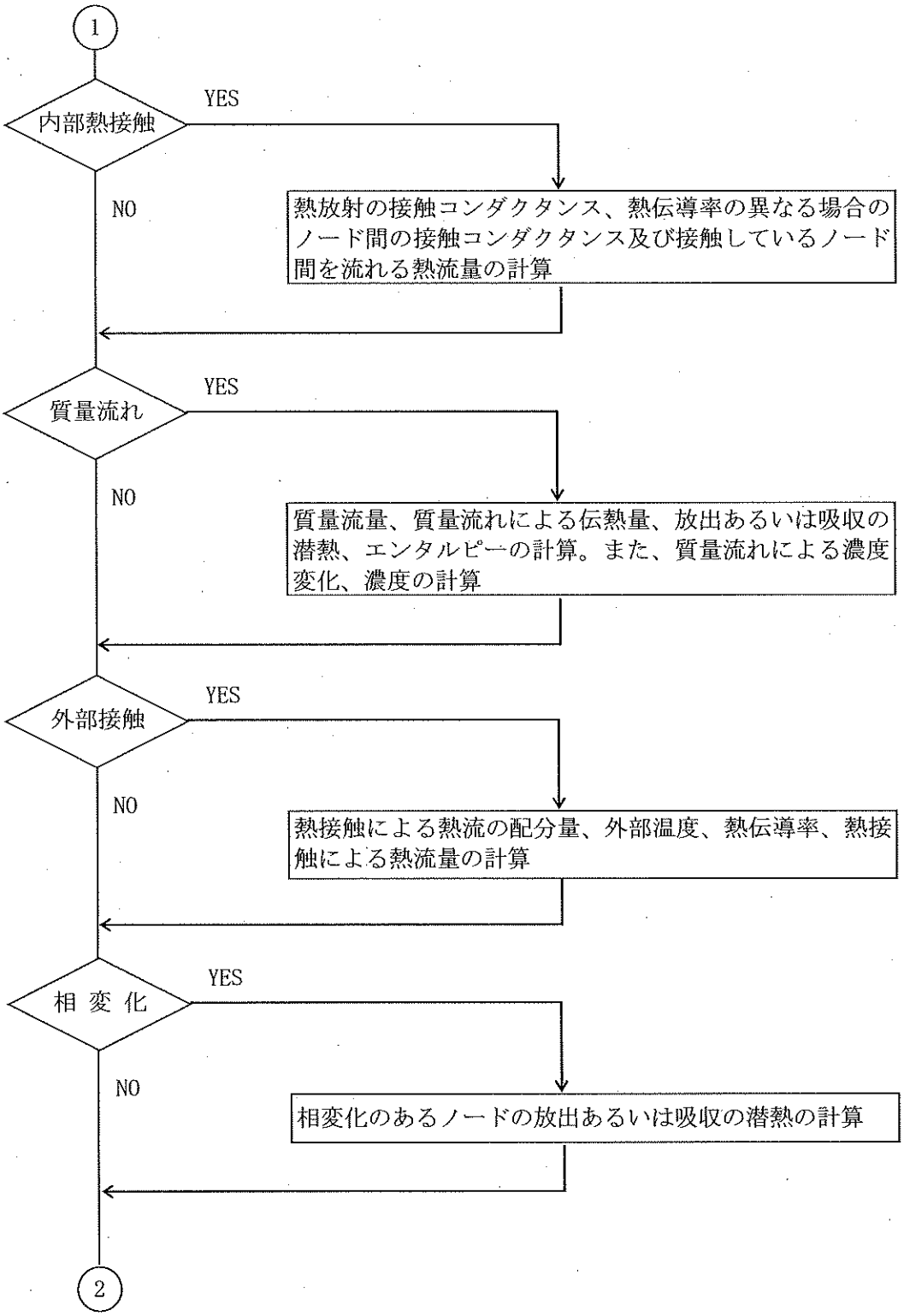
TRUMP で実際に解かれる方程式は、微小時間間隔に対してであり、前述の方程式において時間微分δｕ／δｔを（ｕ′－ｕ）／Δｔと置き換えることにより計算される。ここで、ｕ′とｕは時間間隔Δｔの始まりと終わりの値である。

(4) 実　績

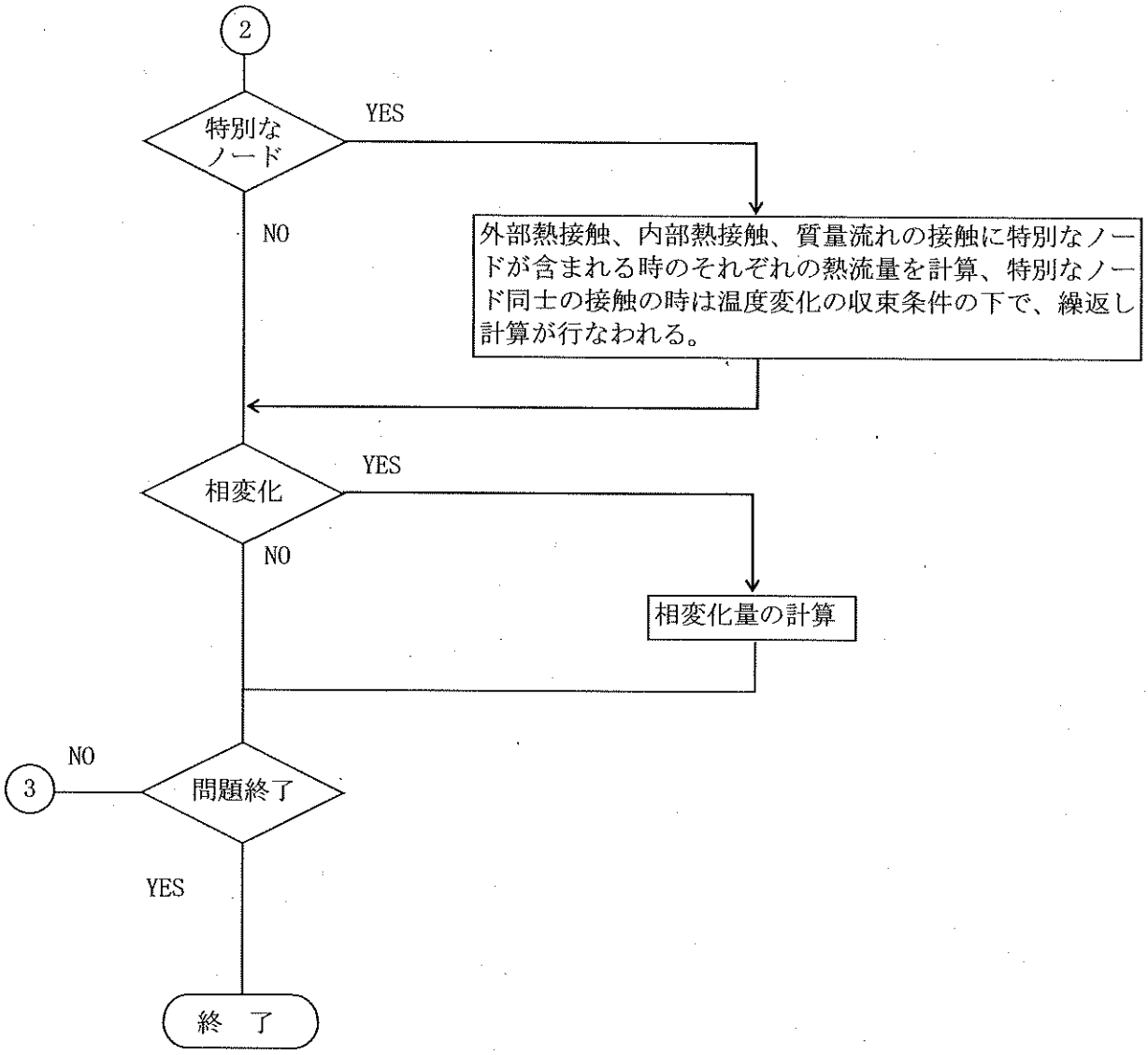
TRUMP プログラムは、Lawrence Radiation Laboratory で開発されたプログラムであり、現在米国の数多くの研究所等で使用されている。



（ロ）－第B.5図　TRUMP フローチャート（1／3）



（ロ）－第B.5図　TRUMPフローチャート（2／3）



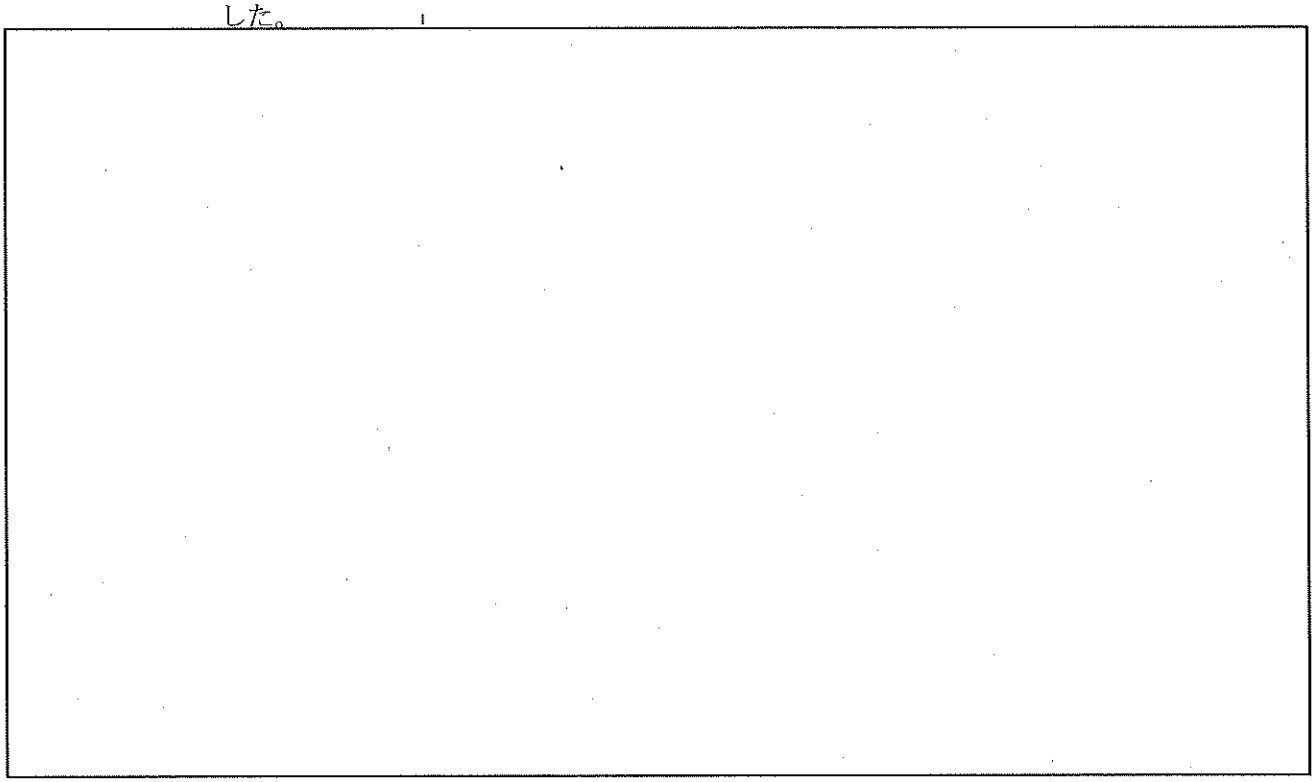
（ロ）－第B.5図　TRUMP フローチャート（3／3）

B.6.3 特別の試験条件下での温度計算に用いる「TRUMP」のインプットデータについて

(1) 燃料バスケットのモデル化（（ロ）－第B.6図参照）

燃料バスケットのモデル化に際しては、内容器本体と燃料バスケットの最短部のギャップと燃料バスケットの厚さを等価なものとして円筒形状にモデル化した。

ただし、燃料バスケットの熱容量は、比重を補正することにより等価なものとした。



（ロ）－第B.6図　燃料バスケットモデル化図

(a) 内容器本体とギャップが最短となる外半径R_1

$$R_1 = R - G$$

ここで、

R：内容器本体内半径

G：ギャップ（最小値）

R_1

(2) 輸送物表面と周囲環境との伝熱

(a) 対流熱伝達率

輸送物表面の自然対流熱伝達率は、Mc. Adams の式[5]により次式のように与えられる。

（ｉ）垂直円筒外面

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad \cdots\cdots (6.3\text{-}1)$$

$$Nu_v = 0.13 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}) \quad \cdots\cdots (6.3\text{-}2)$$

$$h = \frac{Nu_v \cdot k}{L} \quad \cdots\cdots (6.3\text{-}3)$$

（ii）上向き水平面

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}$$

$$Nu_h = 0.14 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (2 \times 10^7 < Gr \cdot Pr < 3 \times 10^{10}) \quad \cdots\cdots (6.3\text{-}4)$$

$$h = \frac{Nu_h \cdot k}{L}$$

ここで、

h ；対流熱伝達率　〔W/(cm²·K)〕

k ；空気の熱伝導率　〔W/(cm·K)〕

火災時＝7.094×10^{-4}　〔at 800 ℃〕

火災後＝2.706×10^{-4}　〔at 38 ℃〕

L ；代表長さ　〔cm〕

垂直面＝□　〔cm〕

水平面＝□　〔cm〕

g ；重力加速度＝ 980　〔cm/s²〕

β ；体膨張係数　〔1/K〕

火災時＝1／(273＋800)＝9.32×10^{-4}

火災後＝1／(273＋ 38)＝3.22×10^{-3}

ν ；動粘性率　　〔cm^2/s〕

火災時＝1.37

火災後＝0.173

Gr ；グラスホフ数

Pr ；プラントル数＝0.706

Nu ；ヌッセルト数

以上の値を（6.3-1）式～（6.3-4）式に代入し、各条件での対流熱伝達率を求め（ロ）－第B.15表に示す。

（ロ）－第B.15表　対流熱伝達率（輸送物表面 ⟷ 周囲環境）

条件＼部位	垂直円筒面	上向き水平面
火災時	$6.459\times10^{-5}\cdot\Delta t^{1/3}$	$6.956\times10^{-5}\cdot\Delta t^{1/3}$
火災後	$1.480\times10^{-4}\cdot\Delta t^{1/3}$	$1.594\times10^{-4}\cdot\Delta t^{1/3}$

(b) 放射伝熱

放射形態係数は次式により与えられる。

$$F_{12}=\frac{1}{1/\varepsilon_1+1/\varepsilon_2-1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6.3\text{-}5)$$

F_{12} ；放射形態係数

ε_1 ；面１の放射率

ε_2 ；面２の放射率

各面の放射率及び（6.3-5）式より求めた放射形態係数を（ロ）－第B.16表に示す。

（ロ）－第B.16表　放射率及び放射形態係数

項目＼条件		火災時	火災後
放射率	輸送物表面	0.8	0.6
	周囲環境	0.9	1.0
放射形態係数		0.735	0.6

(3) 燃料バスケットと内筒との伝熱

(a) 対流熱伝達率

垂直同心円筒間の密閉流体層の自然対流熱伝達率を次式により算出する。[2]

$Nu = 1.0 \quad (Ra < 10^3)$ ····· (6.3-6)

$Nu = 0.28 \cdot Ra^{1/4} \cdot (L/D)^{-1/4} \quad (10^3 < Ra < 10^7)$ ····· (6.3-7)

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot D^3 \cdot \Delta t}{a \cdot \nu}$$ ····· (6.3-8)

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D}$$ ····· (6.3-9)

ここで、

Nu；ヌッセルト数

Ra；レイリー数

g ；重力加速度＝980 〔cm/s²〕

β ；体膨張係数＝1／(273＋250)＝1.912×10^{-3} 〔1/K〕

D ；流体層の厚さ＝□〔cm〕

Δt；内外円筒面の温度差〔℃〕

a ；温度伝導率＝6.194×10^{-1} 〔cm²/s〕

ν ；動粘性率 ＝0.426〔cm²/s〕

L ；燃料バスケット長さ〔cm〕

k ：熱伝導率＝4.175×10^{-4} 〔W/(cm·K)〕

h ：自然対流熱伝達率 〔W/(cm²·K)〕

$$Ra = \frac{980 \times 1.912 \times 10^{-3} \times \square}{6.194 \times 10^{-1} \times 0.426} \Delta t$$

＝□×Δt

ここでΔt＝200℃としRaを求めると、以下の値となる。

Ra ＝□ ×200 ＝□ $(10^3 < Ra < 10^7)$

次にNuを (6.3-7) 式より算出する。

$Nu = 0.28 \cdot Ra^{1/4} \cdot (L/D)^{-1/4}$

$= 0.28 \times$□$^{1/4} \times (125.6/$□$)^{-1/4}$

＝0.918

以上より、自然対流熱伝達率（h）を（6.3-9）式より求めると

$$h = \frac{Nu \cdot K}{D} = \frac{0.918 \times 4.175 \times 10^{-4}}{\square}$$

$$= \square \ (W/(cm^2 \cdot K))$$

となる。

(b) 放射伝熱

ガス層を挟んだ円筒間の放射形態係数は、同心円筒の次式により与える。

$$F_{12} = \frac{1}{{}^1/\varepsilon_1 + (A_1/A_2)\ ({}^1/\varepsilon_2 - 1)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6.3\text{-}10)$$

$$A_1 / A_2 = r_1 / r_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6.3\text{-}11)$$

ここで、

F_{12} ；放射形態係数

ε_1 ；面1の放射率＝0.4

ε_2 ；面2の放射率＝0.4

r_1 ；外円筒の内半径＝□〔mm〕

r_2 ；内円筒の外半径＝□〔mm〕

$$F_{12} = \frac{1}{1/0.4 + (\square)(1/0.4 - 1)}$$

$$= 0.242$$

(4) □の燃焼時の火炎による入熱

□の燃焼による熱量は、23.45〔kJ/g〕であり、この熱量が全て火炎として容器本体外面にあるものとして解析を行った。

B.6.4 輸送物の内圧力

輸送物について、一般の試験条件下及び特別の試験条件下での内圧力を求める。

(1) 作用圧力

容器内の空気による作用圧力を求める。

(a) 初期圧力

容器内の初期圧力は、大気圧であり、0.101MPa とする。

(b) P_1

空気の膨張による圧力P_1は、ボイル・シャルルの法則に基づく次式で求める。

$$P_1 = P_0 \frac{T_1}{T_0} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6.5\text{-}1)$$

ここで、

P_0：初期圧力（at 20℃）＝0.101〔MPa〕

T_0：初期温度＝273＋20＝293〔K〕

T_1：各条件下での空気の温度〔K〕

これらの式よりP_1を求めると（ロ）－B.17 表のようになる。

（ロ）－第 B.17 表　容器内圧力計算結果

場　　所	容　器　内　空　気	
試　験　条　件	一般の試験条件	特別の試験条件
圧　　力 (MPa〔gauge〕)	0.016	0.065
温　　度〔℃〕	65	209.9

なお、仮想的に-40℃で蓋締めを行い、最高温度 65℃まで温度上昇した場合、T_0:233〔K〕、T_1:338〔K〕として、（6.5-1）式に基づき計算すると、□MPa[gauge]となり、設計圧力の□MPa 以下である。

(2) 設計圧力

輸送物各部の強度評価等を行う場合には、(1)の作用圧力に対し、余裕をもたせた（ロ）－第B.18表に示す設計圧力を使用する。

（ロ）－第B.18表　各試験条件時での設計圧力

	容　器　内
一般の試験条件時	
特別の試験条件時	

B.6.5 熱解析手法の妥当性の検討

本項は、本文に示す熱解析手法の妥当性を検討するため、原型容器による耐火試験結果を用い、耐火試験を模擬する解析（以下、この項で「解析」という。）を行い、検討したものである。

(1) 原型容器及び試験方法

・原型容器 …… ロ章－第H.1図参照

・試験方法 …… ロ章－H.6参照

(2) 解析結果の検討

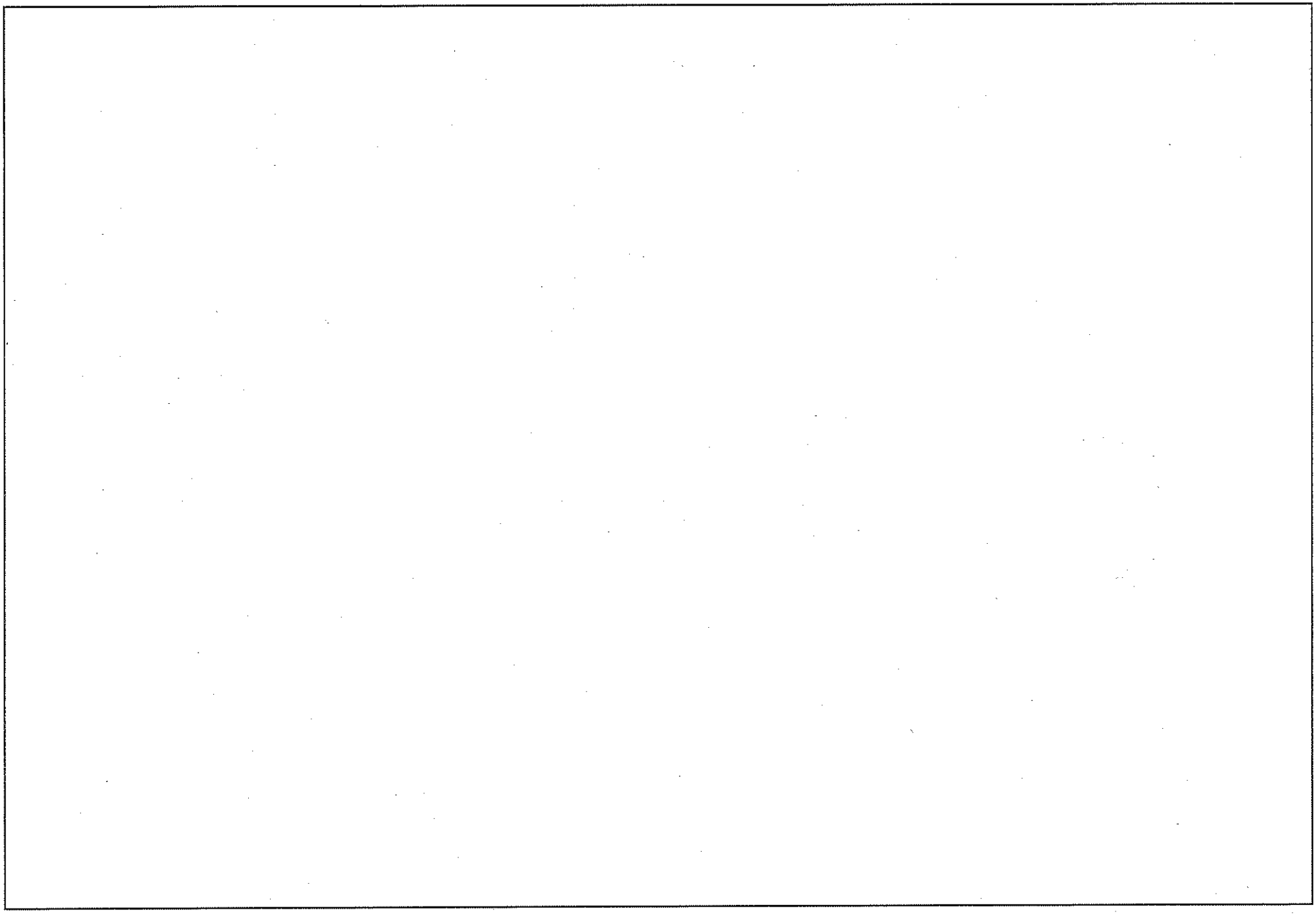
（ロ）－第B.7図及び（ロ）－第B.19表に試験結果と解析結果を示す。

解析は、B.6.3に示す条件で実施した。ただし、試験状態を模擬するため、初期温度及び炉内温度は原型容器試験時の測定結果を入力データとして用いた。また、屋内試験のため太陽放射熱は考慮していない。

（ロ）－第B.7図及び（ロ）－第B.19表より、解析値は安全側であり、B.5及びB.6.3に示す熱解析手法は、妥当である。

（ロ）－第B.19表　原型容器試験結果と解析結果の比較

条件 / 評価部位	最高温度〔℃〕		最高温度到達時間〔時間〕	
	試験値	解析値	試験値	解析値
Oリング近傍	88.6	161.0	2.0	1.0
内容器本体内面	396.2	464.1	0.6	0.5
燃料バスケット外面	123.3	182.5	1.0	1.6
容器本体外面	1051.6	1229.7	0.1	0.1



（ロ）－第B.7図　原型容器による試験値と解析値の比較

B.6.6 参考文献

（1）“非弾性構造物解析法の実用化に関する研究（Ⅰ）”
非弾性構造物解析法実用化研究分科会（EPIOC）日本機械学会
(1977)

（2）“伝熱工学資料　第３版”日本機械学会（1975）

（3）日本アスベスト㈱社内データ

（4）日本バルカー工業㈱社内データ

（5）“HEAT TRANSMISSION” Mc Adams

（6）[redacted]社内データ

C　密封解析

（ロ）－C．密封解析

C.1 概　　要

本解析では、一般の試験条件下及び特別の試験条件下における本輸送容器の密封性について述べる。

本輸送容器の密封性に関する部分を密封装置と考える。本輸送容器の密封装置は、内容器であり、これは内容器本体と内容器蓋で構成され、内容器本体と内容器蓋との接触部は、[redacted]Oリング（内容器蓋Oリング）で密封されている。

密封装置は製作中及び保守点検時に気密漏えい試験等により漏えい率が判定基準を満足することが確認され、内容器蓋Oリング部は輸送物の発送前に実施される気密漏えい検査により漏えい率が判定基準を満足することが確認される。

C.2 密封装置

C.2.1 密封装置

(1) 構　　成

本輸送容器の密封装置は（ロ）－第C.1図に示すとおり、内容器本体及び内容器蓋により構成される。

(2) 材　　質

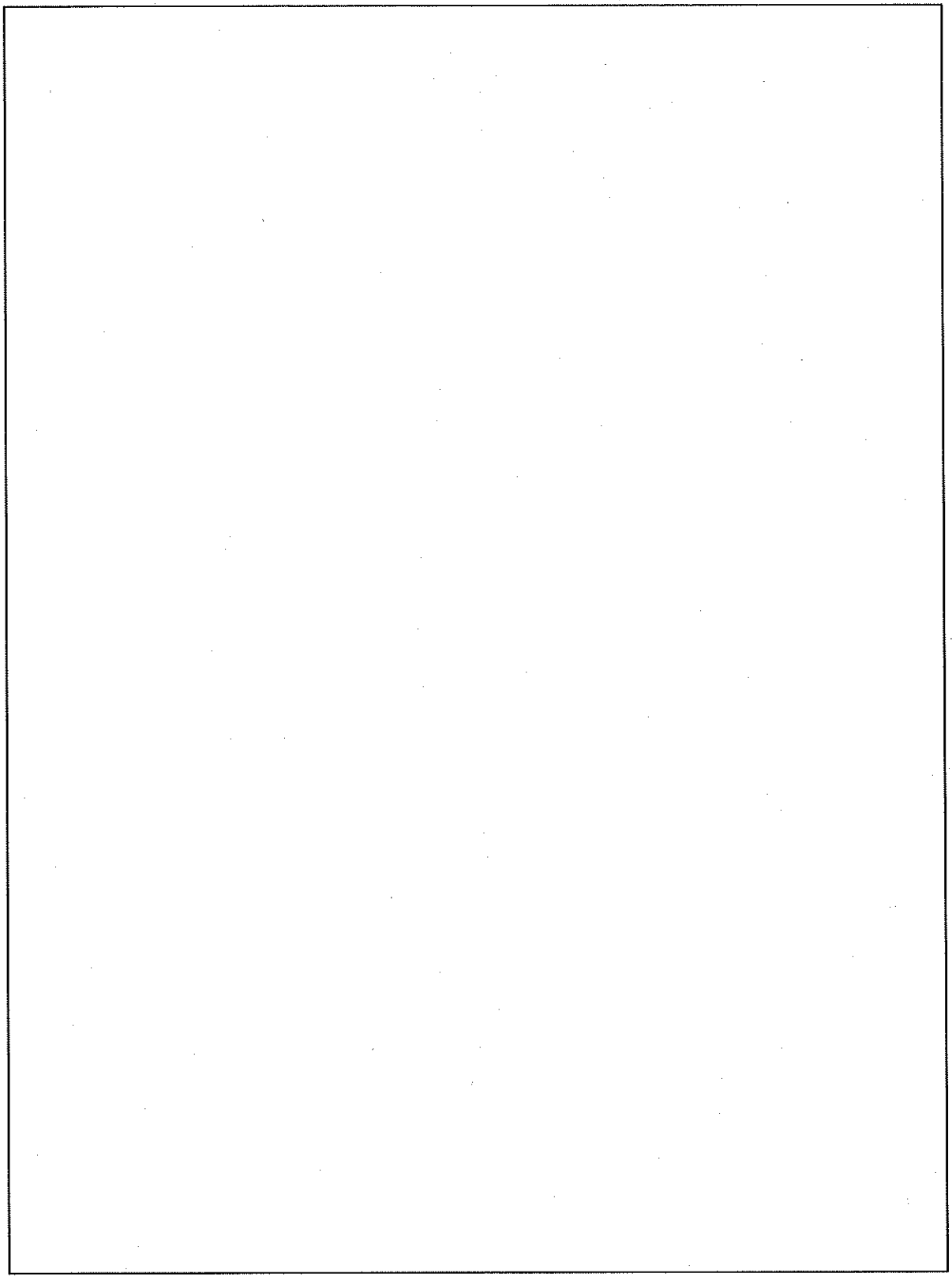
密封装置を構成する内容器本体及び内容器蓋にはステンレス鋼、内容器蓋のシール部には[redacted]Oリングが使用されている。

(3) 設計圧力及び設計温度

（ロ）－第C.1表に示す設計圧力及び設計温度で漏えい率の評価を行う。

（ロ）－第C.1表　密封装置の設計圧力及び設計温度

条　　件	項　　目	密　封　装　置
一般の試験条件	設計圧力〔MPa〔gauge〕〕	[redacted]
	設計温度〔℃〕	65
特別の試験条件	設計圧力〔MPa〔gauge〕〕	[redacted]
	設計温度〔℃〕	209.9



（ロ）－第C.1図　輸送容器密封境界

(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適した方法で行われる。

C.2.2 密封装置の貫通部

本輸送容器の開口部は内容器蓋のみであるから、本項は該当しない。

C.2.3 密封装置ガスケット及び溶接部

(1) 密封装置ガスケット

密封装置ガスケットには［　　］Oリングが使用される。このOリングは（ロ）－A.4.1で示したように化学的及び電気的反応を起こさない。また、一般及び特別の試験条件下における圧力、温度に対し十分な密封性能を有している。

(2) ガスケットの仕様

ガスケットの寸法及び材質を（ロ）－第C.2表に示す。

［　　］Oリングは、その耐熱性（(ロ) －B.3 構成要素の仕様参照）及び耐寒性（(ロ) －A.4.2 低温強度参照）により、一般及び特別の試験条件下並びに最低使用温度でも内容器蓋の密封性を保つことができる。

（ロ）－第C.2表　ガスケットの寸法及び材質

（単位：mm）

部　　位		寸　　法	材　　質	備　　考
内容器蓋	内　側			Oリング
	外　側			

(3) 溶 接 部

内容器本体のフランジ、胴及び底板の溶接は（参）－Aで述べる方法にしたがって施行される。溶接部は製作中に適切な非破壊検査を行い、その健全性を確認し、さらに、耐圧検査を行い、漏えいのないことを確認する。

C.2.4 蓋

内容器蓋には（ロ）－第C.1図に示すとおり、2本の溝中に2つの[redacted]Oリングが取り付けられている。

また、内容器蓋は一般及び特別の試験条件下においても十分耐え得る強度を備え、かつ、密封性を保持できる構造となっている。

内容器蓋は、輸送容器の密封性を保つため、（ロ）－第C.3表に示す内容器蓋締付ボルトにより適正なトルクで締め付ける。

なお、外圧が0.06MPa [gauge]まで低下した場合であっても、A.5.1で示したとおり、内容器蓋の口開き量はOリングの初期締付け代を下回り、密封性は維持される。

（ロ）－第C.3表　内容器蓋締付ボルト

名　　称	サイズ	本　数	締付トルク [N・m]
内容器蓋締付ボルト	[redacted]		

C.3 一般の試験条件

本輸送物の密封装置は、(ロ)－A．構造解析の結果からBU型輸送物の要件としての一般の試験条件下での衝撃により健全性は損なわれない。また、(ロ)－B．熱解析の結果から一般の試験条件下での温度及び圧力に対しても健全性は損なわれない。

したがって、密封装置の密封性は、一般の試験条件により損なわれることはないので、本解析においては、輸送物の発送前に行う内容器蓋Oリング部の気密漏えい検査における判定基準に基づいて密封性能の評価を行うことにより、一般の試験条件下における放射性物質の漏えい率が規則に定める基準値以下であることを示す。

C.3.1 放射性物質の漏えい

C.3.1.1 内容器からの漏えい量

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

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

本解析では気密漏えい試験において内容器蓋のシールに供給した空気等の圧力変化（最大許容空気漏えい率相当）が一定時間後に検知されたと想定し、放射性物質の漏えいを評価する。

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

(1) 最大許容空気漏えい率

密封解析の設計基準として設定した最大許容空気漏えい率L_Rは、輸送容器の被検査部の空気漏えい率として(ロ)－第C.4表に示す値とする。

(ロ)－第C.4表 最大許容空気漏えい率

項　　目	密封境界 (内容器蓋Oリング部)
L_R：最大許容空気漏えい率 [std cm^3/s]	[redacted]

(2) 気密漏えい試験時の漏えい率と気密漏えい試験条件

(a) 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。

$$L_R = \frac{VTs}{60HPs}\left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2}\right)^{(1)} \quad \cdots\cdots (C.3\text{-}1)$$

ただし、

L_R ：[　　]の標準状態における体積漏えい率 (std cm^3/s)

V　：試験系の容積 [　　] [cm^3]

H　：試験時間 (min)

Ts ：基準温度 [　　] [K]

T_1 ：試験開始時の空気温度 [K]

T_2 ：試験終了時の空気温度 [K]

Ps ：基準圧力 [　　]

P_1 ：試験開始時の空気圧力 [MPa]

P_2 ：試験終了時の空気圧力 [MPa]

上記の(C.3-1)式に次の気密漏えい試験条件を入れて空気漏えい率を求め、設計基準として設定した最大許容空気漏えい率以下であることを確認する。

(b) 気密漏えい試験条件

(i) 試験開始時の空気圧力は、[　　]とする。

(ii) 試験終了時の空気圧力は、[　　]とする。

(iii) 試験時間は 30 分間とする。

(iv) 計算においては、$T_1 = T_2 = T_s$ = [　　] とする。

以上の条件を (C.3-1) 式にあてはめ、気密漏えい試験時の最大許容空気漏えい率を求めた結果を (ロ) 一第 C.4 表に示す。

(v) 上記(i)～(iv)の条件及び漏えい試験装置系の全容積Vを考慮して、内容器蓋Oリング部空気漏えい率L_R（$L_R = \Sigma L_{Ri}$が最大許容空気漏えい率L_R = [　　]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ΔP（$P_1 - P_2$）を定め試験を実施する。

注) $L_R \cdot \frac{Ps}{P_1} \cdot \frac{T_1}{Ts}$ = [　　]

(3) 一般の試験条件における最大ガス漏えい率

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

(a) 漏えい孔径

漏えい孔としてはシール部を最短で横切る丸孔を仮定する。

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

$$L=(Fc+Fm)(Pu-Pd)^{(2)} \quad \cdots\cdots (C.3\text{-}2)$$

ここで、L ：圧力Paにおける体積漏えい率 (cm^3/s at Pa, Ta)

Pa ：流れの平均圧力〔MPa〕

$$Pa=\frac{1}{2}(Pu+Pd) \quad \cdots\cdots (C.3\text{-}3)$$

Ta ：流体の平均温度 〔K〕

Pu ：上流側の圧力〔MPa〕

Pd ：下流側の圧力〔MPa〕

Fc ：連続流の流動伝導係数〔$cm^3/(MPa\cdot s)$〕

Fm ：自由分子流の流動伝導係数〔$cm^3/(MPa\cdot s)$〕

$$Fc=2.49\times10^{-2}\times\frac{D^4}{a\,\mu}^{(3),\,注)} \quad \cdots\cdots (C.3\text{-}4)$$

$$Fm=3.81\times10^{3}\times\frac{D^3\sqrt{\frac{T}{M}}}{a\,Pa}^{(4),\,注)} \quad \cdots\cdots (C.3\text{-}5)$$

ただし、D ：漏えい孔径〔cm〕

a ：漏えい孔長〔cm〕

μ ：粘性係数〔MPa·s〕

T ：流体の温度〔K〕

M ：流体の分子量〔g/mol〕

漏えい孔径(D)は、次式及び(C.3-2)式から求められる。

$$L=L_R i\cdot\frac{Ps}{Pa}\cdot\frac{Ta}{Ts} \quad \text{——————} \quad (C.3\text{-}6)$$

ここで、$L_R i$ ：密封境界の空気漏えい率〔std cm^3/s〕

Ta ：平均温度 (＝Ts)〔K〕

内容器蓋部の漏えい試験時の最大漏えい孔径を(ロ) 一第C.5表に示す。

注) ANSI N14.5記載式の単位をSI単位に換算した。

（ロ）－第C.5表　漏えい試験時の最大漏えい孔径

項目＼部位			内容器蓋Oリング部
L_{Ri}	：密封境界1箇所の空気漏えい率	〔std cm^3/s〕	
Pu	：上流側圧力	〔MPa〕	
Pd	：下流側圧力	〔MPa〕	
Pa	：流れの平均圧力	〔MPa〕	
Ta, T	：空気の温度	〔K〕	
L	：漏えい試験時の空気漏えい率	〔cm^3/s at Pa, Ta〕	
μ	：空気の粘性係数	〔MPa・s〕	
a	：漏えい孔長	〔cm〕	
M	：空気の分子量	〔g/mol〕	
Fc	：連続流の流動伝導係数	〔$\frac{cm^3}{MPa \cdot s}$〕	
Fm	：自由分子流の流動伝導係数	〔$\frac{cm^3}{MPa \cdot s}$〕	
D	：漏えい孔径	〔cm〕	

注）Oリング断面直径を採用

*1：気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので低い温度を設定することは安全側である。

(b) 一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

一般の試験条件下のガス漏えい率は(C. 3-2)～(C. 3-5)式に一般の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

(C. 3-2)式から求められたガス漏えい率（Lx）を [　　] の標準状態における漏えい率Ls, xに換算すると次式となる。

Ls, x＝ [　　] ……(C. 3-7)

ここで、

x：一般の試験条件を表す添字

ただし、Ta, x＝Tu, xとする。

一般の試験条件下のガス漏えい率を（ロ）－第C. 6表に示す。計算は内容器蓋Oリング部の漏えい率を最大ガス漏えい率とする。

（ロ）－第C. 6表　一般の試験条件下の最大ガス漏えい率

項目＼部位	密封境界（内容器蓋Oリング部）
D　：漏えい孔径〔cm〕	[　　]
a　：漏えい孔長〔cm〕	
μ　：ガスの粘性係数〔MPa･s〕	
Pu, x　：一般の試験条件下の密封装置内圧力〔MPa abs〕	
Pd, x　：一般の試験条件下の外圧〔MPa abs〕	
Tu, x　：一般の試験条件下のガス温度(K)	
M　：ガスの分子量〔g/mol〕	
Lx　：一般の試験条件下のガス漏えい率〔cm^3/s at Pa, x・Ta, x〕	
Ls, x　：一般の試験条件下のガス漏えい率 [　　]	

*1：気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので低い温度を設定することは安全側である。

C.3.1.2 放射性物質漏えい量評価

(1) 新燃料要素輸送時

(a) 漏えいに係わる内容器内放射性物質の評価

（ロ）－Aに示したように一般の試験条件下において燃料板は破損しないため、燃料板に含有されている濃縮ウランは漏えいしないものとする。漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着したウラン、すなわち、表面汚染ウランを仮定する。

燃料要素全表面に、燃料要素製造時の表面汚染検査の判定基準である［　　］の汚染があるものと仮定する。

表面汚染ウランは、燃料製造メーカが取扱っている［　］濃縮ウラン、［　］濃縮ウラン、［　］濃縮ウラン、天然ウラン及び劣化ウランのうち $^{234}U/^{235}U$ の比が最大の［　］濃縮ウランと仮定する。

燃料要素 1 体に付着している［　］濃縮ウランの放射性核種の重量は、以下に示す方法で保守的に算定した。

（ｉ）^{235}U 量　：燃料要素全表面積及び［　　］［^{235}U］［1μg・^{235}U／100cm^2］から求めた。

（ii）^{238}U 量　：^{234}U 及び ^{236}U をゼロとし、（ｉ）で求めた ^{235}U 量と濃縮度［　　］の公差の下限を用いて ^{238}U 量を求めた。

（iii）^{234}U、^{236}U 量　：^{234}U 及び ^{236}U は、燃料製作時に決定されるので、重量の制限値は定められていない。このため過去のミルシートから最大重量比を選出し、それらを保守的に切り上げた重量比を用いて ^{234}U 及び ^{236}U の重量を求めた。また、この際に必要なウラン全量は、（ｉ）で求めた ^{235}U 量と（ii）で求めた ^{238}U 量の合計である。なお、計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比を（ロ）－第C.7表に示す。

新燃料要素１体当たりの表面放射能を（ロ）－第C.８表に示す。

（ロ）－第C.７表　計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比

濃　縮　度 〔wt%〕	同 位 体	ミルシートの最大重量比 〔wt%〕	計算に用いた重量比 〔wt%〕

（ロ）－第C.８表　新燃料要素１体当たりの表面放射能

燃料要素	放　射　能　〔Bq〕				
	^{234}U	^{235}U	^{236}U	^{238}U	合　計
JRR-3 標準型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）					
JRR-3 フォロワ型（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）					
JRR-4B 型					
JRR-4L 型（ウランアルミニウム分散型合金）					
JRR-4（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）					
JMTR 標準					
JMTR 燃料フォロワ					

(b) 一般の試験条件下における放射性物質漏えい量評価

燃料要素表面に付着している表面汚染ウランは、粉状であると考えられる。この表面汚染ウランが全量剝離し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定し、漏えい率の評価を行う。

一般の試験条件における放射性物質の漏えい率は、内容器内の空気中に存在する各核種の濃度とC.3.1.1(3)(b)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。

表面汚染ウラン濃度が最も高いJRR-3標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）について、放射性物質の漏えい率を求めると（ロ）－第C.9表に示すとおりとなる。

（ロ）－第C.9表に示すように一般の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準値より小さい。

（ロ）－第C.9表　一般の試験条件における放射性物質の漏えい率

核　種	放射能濃度* 〔TBq/cm^3〕	漏えい率 〔TBq/h〕	基準値($A_2\times10^{-6}$) 〔TBq/h〕	比　率
合　計				1.00×10^{-3}

＊：内容器内空気体積は［　　］cm^{3}を用いる。

(2) 低照射された燃料要素輸送時

(a) 漏えいに係わる内容器内放射性物質の評価

（ロ）－Aに示したように一般の試験条件下において燃料板は破損しないため、燃料板に含有されている濃縮ウランは漏えいしないものとする。

漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素表面には、C.3.1.2(1)(a)と同様に、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着した表面汚染ウランを仮定する。

また、低照射燃料要素の全表面には厚さ 1mm の原子炉水が付着しているものと仮定する。したがって、密封性能の検討に考慮する放射性物質は、原子炉水に含まれる放射性核種とする。

原子炉水の放射能濃度は、過去 20 年間のNo.1 カナル水の測定データの最大値の 2 倍の値とし、12Bq/cm^3 として、放射性物質の漏えいを評価する。

燃料要素表面に付着する水の放射能濃度は 12Bq/cm^3、核種は ^{60}Co とし（ロ）－第 C.10 表に示す。

低照射された燃料の燃料要素 1 体当たりの表面放射能を（ロ）－第 C.11 表に示す。

（ロ）－第 C.10 表　JMTRC 燃料表面水の核種と放射能濃度

核　種	放射能濃度 〔Bq/cm^3〕
^{60}Co	12

（ロ）－第C.11表　低照射された燃料要素１体当たりの表面放射能

	放　射　能　〔Bq〕
JMTRC 標準燃料要素（ウランアルミニウム合金）（A 型、B 型、C 型）	
JMTRC 標準燃料要素（ウランアルミニウム合金）（B 型、C 型）	
JMTRC 特殊燃料要素（特 A 型）（ウランアルミニウム合金）	
JMTRC 特殊燃料要素（特 B 型）（ウランアルミニウム合金）	
JMTRC 特殊燃料要素（特 C 型、特 D 型）（ウランアルミニウム合金）	
JMTRC 燃料ﾌｫﾛﾜ（HF 型）（ウランアルミニウム合金）	
JMTRC 標準燃料要素（MA, MB, MC 型）（ウランアルミニウム分散型合金）	
JMTRC 特殊燃料要素（特 MB, 特 MC 型）（ウランアルミニウム分散型合金）	
JMTRC 燃料ﾌｫﾛﾜ（MF 型）（ウランアルミニウム分散型合金）	

(b) 一般の試験条件下における放射性物質漏えい量評価

C.3.1.2(1)(a)と同様に、燃料表面に付着している表面汚染ウランが全量剝離し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定する。

燃料要素表面に付着する水の放射能濃度は12Bq/cm^3、核種は^{60}Coとする。

一般の試験条件における放射性物質の漏えい率は、内容器内の空気中に存在する核種の濃度とC.3.1.1(3)(b)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。

表面積の最も大きいHEUのJMTRC特殊燃料要素（特C，D型）について、燃料表面に付着する放射能濃度は（ロ）－第C.12表に示すとおりとなる。

密封境界内の内容器内の空気中に均一に分散しているとして、放射性物質の漏えい率を求めると（ロ）－第C.12表に示すとおりとなる。

（ロ）－第C.12表に示すように一般の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準値より小さい。

（ロ）－第C.12表　一般の試験条件における放射能の漏えい率

核種	放射能濃度〔TBq/cm^3〕	漏えい率〔TBq/h〕	基準値（$A_2\times10^{-6}$）〔TBq/h〕	比率
^{60}Co			4.0×10^{-7}	
合　　計				1.07×10^{-3}

C.3.2 密封装置の加圧

本輸送物はドライ状態で輸送されるため、放射線または熱により圧力が上昇する要因となる水分は含まれていない。

したがって輸送物内部の加圧要因となるのは、温度上昇による空気の熱膨張である。これによる内圧力は（ロ）－第B.17表で述べたとおりである。

密封装置の耐圧強度解析は（ロ）－第B.17表の内圧力に対し、設計余裕をとり、（ロ）－第B.18表に示す設計圧力で実施している。

C.3.3 冷却材汚染

本輸送容器には冷却材を使用していないので、該当しない。

C.3.4 冷却材損失

本輸送容器には冷却材を使用していないので、該当しない。

C.4 特別の試験条件

本輸送物の密封装置は、（ロ）－A．構造解析の結果からBU型輸送物の要件としての特別の試験条件下での衝撃により健全性は損なわれない。また、（ロ）－B．熱解析の結果から特別の試験条件下での温度及び圧力に対しても健全性は損なわれない。

したがって、密封装置の密封性は、特別の試験条件により損なわれることはないので本解析においては、輸送物の発送前に行う内容器蓋Oリング部の気密漏えい試験における判定基準に基づいて密封性能の評価を行うことにより、特別の試験条件下における放射性物質の漏えい率が法令に定める基準値以下であることを示す。

C.4.1 核分裂生成ガス

(1) 新燃料要素輸送時

収納物は未照射の燃料要素なので、核分裂生成ガスは発生しない。

(2) 低照射された燃料要素輸送時

特別の試験条件において、（ロ）－A.6に説明したように燃料要素の破損がなく燃料板に封入されている核分裂生成ガスが漏えいしないので、密封装置内の核分裂生成ガスの濃度を、一般の試験条件と同様に（ロ）－第C.10表及び（ロ）－第C.11表に示す値とする。

C.4.2 放射性物質の漏えい

C.4.2.1 内容器からの漏えい量

(1) 特別の試験条件における最大ガス漏えい率

特別の試験条件下のガス漏えい率は(C.3-2)～(C.3-5)及び(C.3-7)式に特別の試験条件下の圧力条件、ガス物性値及び最大漏えい孔径を代入して求められる。

特別の試験条件下のガス漏えい率を(ロ)－第C.13表に示す。計算は内容器蓋部について行い、最大ガス漏えい率とする。

（ロ）－第C.13表　特別の試験条件下の最大ガス漏えい率

項目＼部位	密封境界（内容器蓋Oリング部）
D　：漏えい孔径〔cm〕	
a　：漏えい孔長〔cm〕	
μ　：ガスの粘性係数〔MPa･s〕	
Pu,x　：特別の試験条件下の密封装置内圧力〔MPa abs〕	
Pd,x　：特別の試験条件下の外圧〔MPa abs〕	
Tu,x　：特別の試験条件下のガス温度〔K〕	
M　：ガスの分子量〔g/mol〕	
Lx　：特別の試験条件下のガス漏えい率〔cm^3/s at Pa,x・Ta,x〕	
Ls,x　：特別の試験条件下のガス漏えい率	

*1：気体の粘性係数は温度が上昇すれば大きくなるので低い温度を設定することは安全側である。

C.4.2.2 放射性物質漏えい量評価

(1) 新燃料要素輸送時

(ロ)－Aに示したように特別の試験条件下において燃料板は破損しないため、一般の試験条件下と同様に漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着したウラン、すなわち、表面汚染ウランを仮定する。

燃料要素1体当たりの表面放射能は、(ロ)－第C.8表に示すとおりである。

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は、内容器内の空気中に存在する各核種の濃度とC.4.2.1で求めた漏えい率を乗じて求められる。表面汚染ウラン濃度が最も大きいJRR-3標準型燃料要素(ウランシリコンアルミニウム分散型合金)について、放射性物質の漏えい率を求めると(ロ)－第C.14表に示す通りとなる。

(ロ)－第C.14表に示すように特別の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準値より小さい。

(2) 低照射された燃料要素輸送時

(ロ)－Aに示したように特別の試験条件下において燃料板は破損しないため、一般の試験条件下と同様に燃料板に含有されている濃縮ウランは漏えいしないものとする。

燃料要素1体当たりの表面放射能は、(ロ)－第C.10表及び(ロ)－第C.11表に示すとおりである。

特別の試験条件における放射性物質の漏えい率は内容器内に存在する核種の濃度とC.4.2.1で求めた漏えい率を乗じて求められる。

C.3.1.2(2)と同様に表面積の最も大きいHEUのJMTRC特殊燃料要素(特C, D型)について、燃料表面に付着する放射能濃度は(ロ)－第C.15表に示すとおりとなる。

(ロ)－第C.15表に示すように特別の試験条件下における放射性物質の漏えい率は基準値より小さい。

（ロ）－第C.14表　特別の試験条件における放射性物質の漏えい率（新燃料要素）

核　種	放射能濃度 〔TBq/cm^3〕	漏えい率 〔TBq/week〕	基　準　値(A_2) 〔TBq/week〕	比　率
合　計				1.18×10^{-7}

（ロ）－第C.15表　特別の試験条件における放射性物質の漏えい率

（低照射された燃料要素）

核種	放射能濃度 〔TBq/cm³〕	漏えい率 〔TBq/week〕	基準値（A_2） 〔TBq/week〕	比　率
^{60}Co				
合　　計				1.26×10^{-7}

C.5 結果の要約及びその評価

(1) 新燃料要素輸送時

漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着している表面汚染ウランが全量剝離し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定し、各放射能濃度に漏えい率を乗じて、一般の試験条件及び特別の試験条件の漏えい率評価を行うと、(ロ) －第C.9表、(ロ) －第C.14表に示すように放射性物質の漏えい率はいずれも基準値より小さい。

(2) 低照射された燃料要素輸送時

漏えいに係る放射性物質としては、燃料要素製造時に燃料要素表面に付着している表面汚染ウランが全量剝離し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定し、また、燃料要素表面に付着しているプール水の放射性物質が全量蒸発気化し、内容器内の空気中に均一に分散していると仮定し、各放射能濃度に漏えい率を乗じて、一般の試験条件及び特別の試験条件の漏えい率評価を行うと、(ロ) －第C.12表、(ロ) －第C.15表に示すように放射性物質の漏えい率はいずれも基準値より小さい。

C.6 付属書類

C.6.1 密封解析における設計温度 …… (ロ) —C—24

C.6.2 参考文献 …… (ロ) —C—25

C.6.1 密封解析における設計温度

密封解析における設計温度は、内容器内空気の圧力を求める際に使用しているが、この圧力は内容器内空気の平均温度により計算されるものである。

内容器内空気の体積は、燃料バスケットの内側にあるものが大部分[　　]であり、また燃料バスケットの内側の空気温度は、燃料に発熱がないため燃料バスケットの温度よりも低くなる。

安全側に、燃料バスケットの内側の空気温度を、燃料バスケットの平均温度[　　]*と等しいとし、燃料バスケットと内容器本体間の空気温度を、燃料バスケット平均温度と内容器本体の平均温度[　　]*との平均温度[　　]に等しいとして、容器内空気の平均温度を求めると、[　　]となり、燃料バスケット最高温度[　　]より低い温度になる。

以上のことから、内容器内空気の平均温度として、燃料バスケットの最高温度[　　]を用いることは、容器内圧力を大きく評価することになるので、密封解析における設計温度として燃料バスケット最高温度を用いる。

＊：TRUMP コードによる計算結果を平均した値である。

C.6.2 参考文献

(1) American National Standards Institute, Inc.
American National Standard for radioactive materials leakage test on packages for shipment (1997)
ANSI N14.5－1997

(2) 伝熱工学資料第３版　　日本機械学会 (1975)

D　遮蔽解析

（ロ）－D．遮蔽解析

D.1 概　　要

本輸送物の収納物である燃料要素のうち、新燃料の場合、ガンマ線源としては ^{235}U、^{238}U 等を考慮し、中性子源としてはウラン等の自発核分裂を考慮して評価する。低照射された燃料の場合、ガンマ線源としては ^{235}U、^{238}U 等及び核分裂生成物を考慮し、中性子源としてはウラン等の自発核分裂を考慮して評価する。

ガンマ線の遮蔽計算においては、一般の試験条件及び特別の試験条件で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件とも内容器表面を輸送物表面として線量当量率を評価する。

中性子による線量当量率は、収納物である燃料を点線源とみなし計算する。ここで、実際には収納物はキャビティ内に分散しているが、点線源を内容器表面との距離が最も小さくなる位置に配置して評価を行い、ガンマ線の遮蔽計算と同様内容器表面を輸送物表面とし、安全側に内容器による遮蔽効果を無視し距離による減衰のみを考慮するものとして評価する。

D.2 線源仕様

本輸送物の収納物には、未照射の新燃料要素と低照射の燃料要素とが有り、未照射のウランの場合、ガンマ線源としては ^{235}U、^{238}U 等の放射性核種を考慮し、中性子源としてはウランの自発核分裂により放出される中性子を考慮して評価する。低照射の燃料要素の場合、ガンマ線源として ^{235}U、^{238}U 等の放射性元素と核分裂生成物の放射性核種、中性子源としてはウラン等の自発核分裂により放出される中性子を考慮する。

D.2.1 ガンマ線源

(1) 新燃料要素装荷時

収納物に含まれるウラン同位体は、^{234}U、^{235}U、^{236}U 及び ^{238}U であり、それらのガンマ線放出割合を（ロ）－第D.1表(1) に示す。

放射能の最も高いJRR-3標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）（濃縮度 [redacted]）1体当りのガンマ線源強度を（ロ）－第D.2表に示す。そのガンマ線源強度は次式で求めた。

$$S_E = C \cdot W \cdot R_E$$

ここで　S_E ：エネルギーEのガンマ線源強度〔Photons/s〕

C ：比放射能〔Bq/g〕：（ロ）－第D.3表(2) に示す。

W ：ウラン同位体の重量〔g〕

R_E ：エネルギーEのガンマ線放出割合〔photons/decay〕

ウラン同位体の重量は以下に示す方法で保守的に算定した。

(a) ^{235}U 量：燃料要素の最大 ^{235}U 含有量

(b) ^{238}U 量：^{234}U 量及び ^{236}U 量をゼロとし、(a)で求めた ^{235}U 量と濃縮度の公差の下限を用いて ^{238}U 量を求めた。

(c) ^{234}U、^{236}U 量：^{234}U 及び ^{236}U 量は、燃料製作時に決定されるので、重量の制限値は定められていない。このため過去のミルシート等から最大重量比を選出し、それらを保守的に切り上げた重量比を用いて ^{234}U 及び ^{236}U の重量を算出した。また、この際に必要なウラン全量は、(a)で求めた ^{235}U 量と(b)で求めた ^{238}U 量の合計である。なお、計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比を（ロ）－第D.4表に示す。

計算に用いた燃料要素１体あたりのウラン同位体の重量を（ロ）－第D.５表に示す。

（ロ）－第D.１表　ウラン同位体のガンマ線放出割合

ウラン同位体	ガンマ線エネルギー〔MeV〕	ガンマ線放出割合〔Photons/decay〕

（ロ）－第D.２表　燃料要素１体当たりのウラン同位体によるガンマ線源強度

エネルギー〔MeV〕	ガンマ線源強度〔Photons/s〕

（ロ）－第D.3表　計算に用いた比放射能

ウラン同位体	比放射能〔Bq/g〕

（ロ）－第D.4表　計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比

ウラン同位体	重量比〔wt%〕	
	ミルシートの最大値	計算に用いた値

（ロ）－第D.5表　計算に用いた燃料要素1体当たりのウラン同位体の重量

ウラン同位体	重　　量〔g〕

(2) 低照射された燃料要素装荷時

(a) ウランからの同位体によるガンマ線源

収納物に含まれるウラン同位体は、主に ^{234}U、^{235}U、^{236}U、^{238}U 等であり、それらのガンマ線放出割合を（ロ）－第D.6表(1) に示す。

放射能が最も高いJMTRCのHEU燃料とMEU燃料を混合して輸送する収納物の1体相当(以下「混合燃料要素」という)のガンマ線源強度を（ロ）－第D.7表に示す。そのガンマ線源強度は、次式で求めた。

$$S_E = C \cdot W \cdot R_E$$

ここで　S_E ：エネルギーEのガンマ線源強度〔Photons/s〕

C ：比放射能〔Bq/g〕：（ロ）－第D.8表(2) に示す。

W ：ウラン同位体の重量〔g〕

R_E ：エネルギーEのガンマ線放出割合〔photons/decay〕

ウラン同位体の重量は以下に示す方法で保守的に算定した。

（i）^{235}U 量　：燃料の最大 ^{235}U 含有量

（ii）^{238}U 量　：^{234}U 量及び ^{236}U 量をゼロとし、(i)で求めた ^{235}U 量と濃縮度の公差の下限を用いて ^{238}U 量を求めた。

（iii）^{234}U、^{236}U 量：^{234}U 及び ^{236}U 量は、燃料製作時に決定されるので、重量の制限値は定められていない。このため過去のミルシート等から最大重量比を選出し、それらを保守的に切り上げた重量比を用いて、^{234}U 及び ^{236}U の重量を算出した。また、この際に必要なウラン全量は（i）で求めた ^{235}U 量と（ii）で求めた ^{238}U 量の合計である。なお、計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比を（ロ）－第D.9表に示す。

計算に用いた燃料要素1体当たりのウラン同位体の重量を（ロ）－第D.10表に示す。

（ロ）－第D.6表　ウラン同位体のガンマ線放出割合

ウラン同位体	ガンマ線エネルギー〔MeV〕	ガンマ線放出割合〔Photons/decay〕

（ロ）－第D.7表　混合燃料要素1体当たりのウラン同位体によるガンマ線源強度

エネルギー〔MeV〕	ガンマ線源強度〔Photons/s〕

（ロ）－第D.8表　計算に用いた比放射能

ウラン同位体	比放射能〔Bq/g〕

（ロ）－第D.9表　計算に用いた ^{234}U 及び ^{236}U の重量比

ウラン同位体	重量比〔wt%〕	
	HEU 燃料	MEU 燃料

（ロ）－第D.10表　計算に用いた燃料要素1体当たりのウラン同位体の重量

ウラン同位体	重　　量〔g〕

(b) 核分裂生成物からのガンマ線

JMTRC 燃料要素は照射時間及び冷却時間は以下の通りである。

(ⅰ)HEU 燃料　302 時間照射（100W 換算）(0.0013MWd)　冷却時間 □年

(ⅱ)MEU 燃料　100 時間照射（100W 換算）(0.0005MWd)　冷却時間 □年

これら 2 つ燃料要素について ORIGEN で核分裂生成物の放射能を計算した。

ただし、

① 燃料要素の運転中のピーキング係数を 2.00 とする。

② 主要核種の放射能をスケーリングして 100%として主要核種以外の核種の放射能の影響を考慮する。

このうち放射能の高い方を混合燃料要素の核分裂生成物の放射能とした。主要な核種の放射能とガンマ線強度を表（ロ）－第 D.11 表に示す。

（ロ）－第 D.11 表　ORIGEN による核分裂生成物の放射能等

主要核種	ガンマ線エネルギー〔MeV〕	放出率〔%〕	ORIGENの放射能〔Bq〕	スケーリング係数*	ガンマ線源強度〔Photons/s〕

＊：

D.2.2 中性子源

(1) 新燃料要素装荷時

収納物は、未照射ウランであるため、中性子源として考慮する必要があるのはウランの自発核分裂による中性子の放出である。

ウラン同位体の自発核分裂放出率を（ロ）－第D.12表[3]に示す。

（ロ）－第D.12表　ウラン同位体の自発核分裂放出率

ウラン同位体	^{234}U	^{235}U	^{236}U	^{238}U

ウラン同位体の中では、^{238}U の自発核分裂速度が最も大きいので、収納物のなかでは、^{238}U 含有量が最も大きい JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金） 1 体当たりの中性子線強度が最大となる。その値は である。その自発核分裂による中性子源強度は次式で求めた。

$$S_n = \Sigma\ W_i \cdot f_i \cdot n$$

ここで

S_n ；燃料要素 1 体当たりの中性子源強度 〔n/s〕

w_i ；燃料要素 1 体当たりのウラン同位体の重量 〔g〕

（(ロ) －第D.5表による）

f_i ；ウラン同位体の自発核分裂放出率 〔個/g/s〕

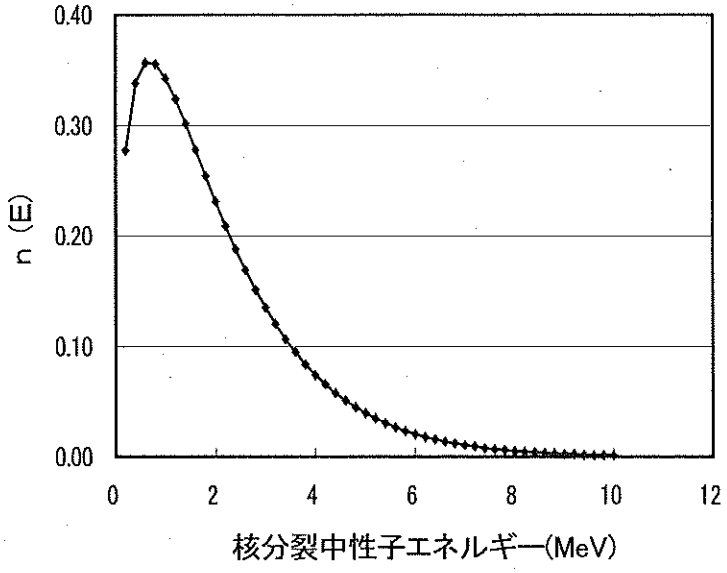
（(ロ) －第D.12表による）

n ；1 核分裂当りの中性子発生数[4] 〔2.5〕

また、核分裂により放出される中性子のエネルギースペクトルを（ロ）－第D.1図[4]に示す。中性子のエネルギーが高い程、換算係数が大きくなるので、線量当量率を安全側に評価するため、放出される中性子のエネルギーが全て 10MeV であると仮定する。

臨界解析の結果、^{235}U 装荷量が最大となる濃縮度 の JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）10 体を装荷した水の存在しない状態の輸送容器 1 基の実行増倍率 k_{eff} は 3σ を考慮して である。

本計算では安全側に実効増倍率を［　］として、中性子源強度に中性子の増倍効果［　　］を考慮する。



（ロ）－第D.1図　核分裂中性子のエネルギースペクトル

(2) 低照射された燃料要素装荷時

中性子源として考慮する必要があるのはウラン等の自発核分裂による中性子の放出である。それらの同位体の自発核分裂放出率を（ロ）－第D.13表[3]に示す。

（ロ）－第D.13表　ウラン等同位元素の自発核分裂放出率

ウラン同位体	^{234}U	^{235}U	^{236}U	^{238}U

放射能の一番高い混合燃料要素1体当たりの中性子源強度が最大となる。その値は［　　］である。その自発核分裂による中性子源強度はD.2.2(1)と同様の手法で算出した。

D.3 モデル仕様

D.3.1 解析モデル

(1) ガンマ線による線量当量率

ガンマ線の遮蔽計算には ANISN コード[5]を用いる。一般の試験条件及び特別の試験条件で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件とも、内容器表面を輸送物表面として、線量当量率の評価を行う。ガンマ線遮蔽計算モデルを（ロ）－第D.2図に示す。

ガンマ線源強度は濃縮度[　　]の JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）としたが、線源領域は燃料の自己遮蔽が小さくなるようにアルミニウム重量の小さい JRR-4L 型燃料要素のデータを用いて、燃料一体の線源領域を[　　]の直方体とした。側面モデルにおける線源領域のモデル化にあたっては、10 体の燃料要素を断面積の等しい円筒形状に均一に混合した。その際、バスケットの遮蔽効果は無視したが、（ロ）－第 B.6 図に示されている燃料バスケットと内容器胴とのギャップは、側面モデルの空間厚さ[　]とした。この空間厚さも考慮して、線源領域表面が、最も検出点に近くなるようモデル化した。

輸送容器表面から 1m離れた検出点での線量当量率は、ANISN コードによる計算では過大な安全側の評価となるため、空間領域の減衰計算は以下に示す方法で行った。

ANISN コードによる遮蔽計算で求められた輸送容器表面の角度束を $4\pi\phi(\vec{r}_s, E, \vec{\Omega})$ とすれば、（ロ）－第D.3図に示す空間の計算点 r_p での線束 $\phi(\vec{r}_p, E)$ 及び線量当量率Dは、次式で計算される。

$$\phi(\vec{r}_p, E) = \int_{\vec{\Omega}'}\int_S \phi(\vec{r}_s, E, \vec{\Omega}')\,\delta(\vec{\Omega}', \vec{\Omega})\cos\varphi\frac{ds}{r^2}\,d\vec{\Omega} \qquad (D.3\text{-}1)$$

$$D = \int_E K(E)\,\phi(\vec{r}_p, E)\,dE \qquad (D.3\text{-}2)$$

ここで、

ｄｓ　；輸送容器表面の面積要素

ｒ　；面積要素ｄｓと計算点までの距離

$$r = \left| \vec{r}_p - \vec{r}_s \right|$$

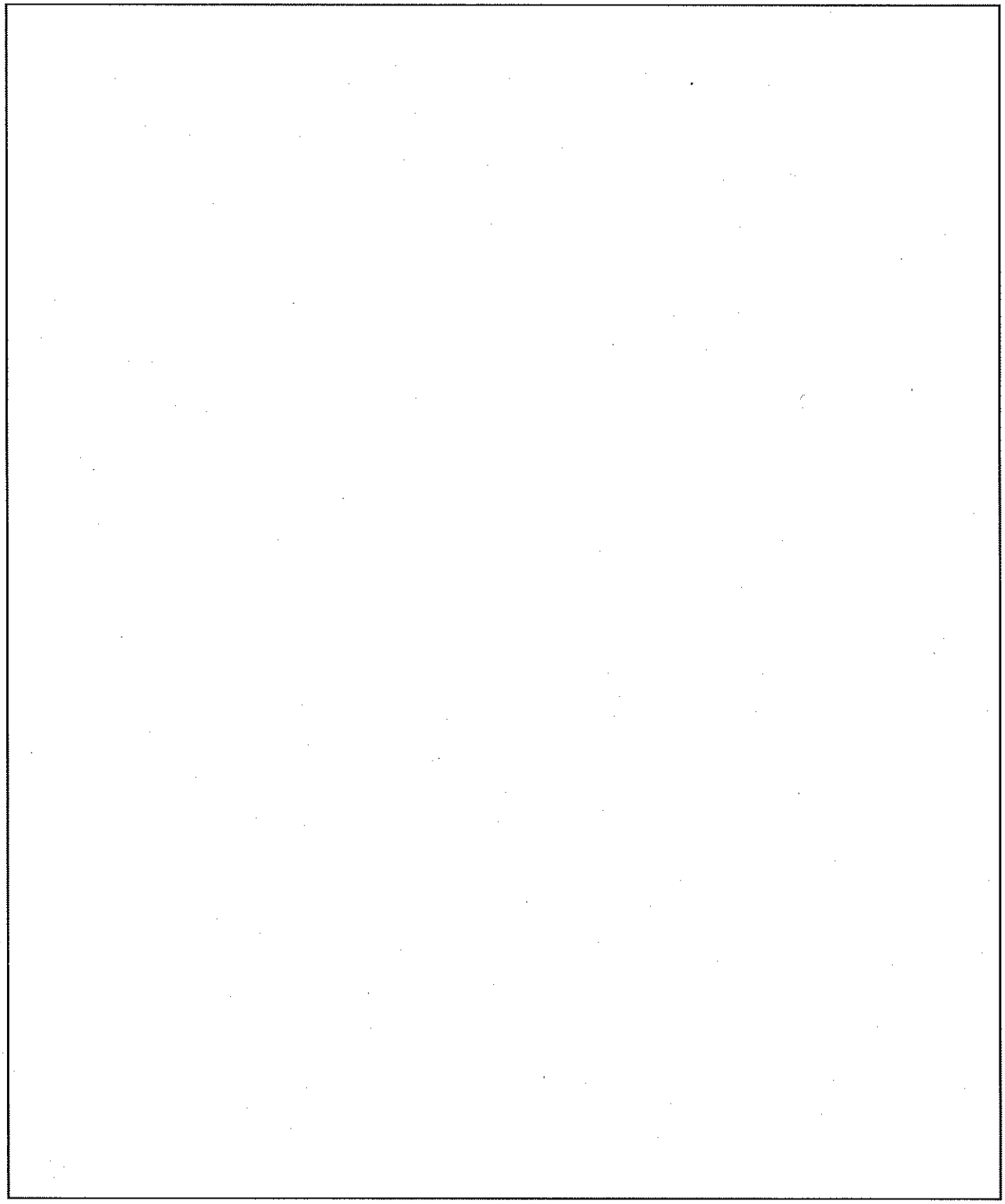
Ｋ(Ｅ)　；線量当量率変換係数

ϕ　；$\vec{\Omega}$とｄｓ の法線ベクトルｎとのなす角

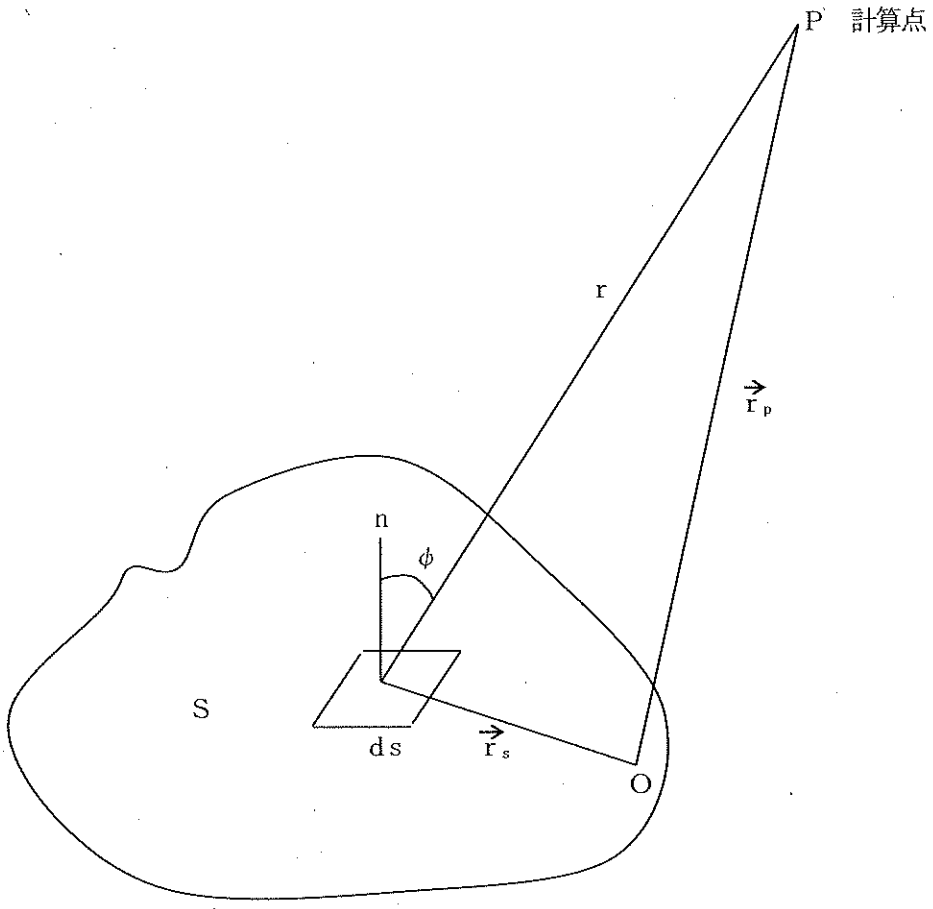
$\vec{\Omega}$　；ｄｓ から計算点への角度を示す単位ベクトル

$\vec{\Omega}$　；ｄｓ からの任意の角度方向を示す単位ベクトル

Ｅ　；エネルギー



（ロ）－第D.2図　ガンマ線遮蔽計算モデル

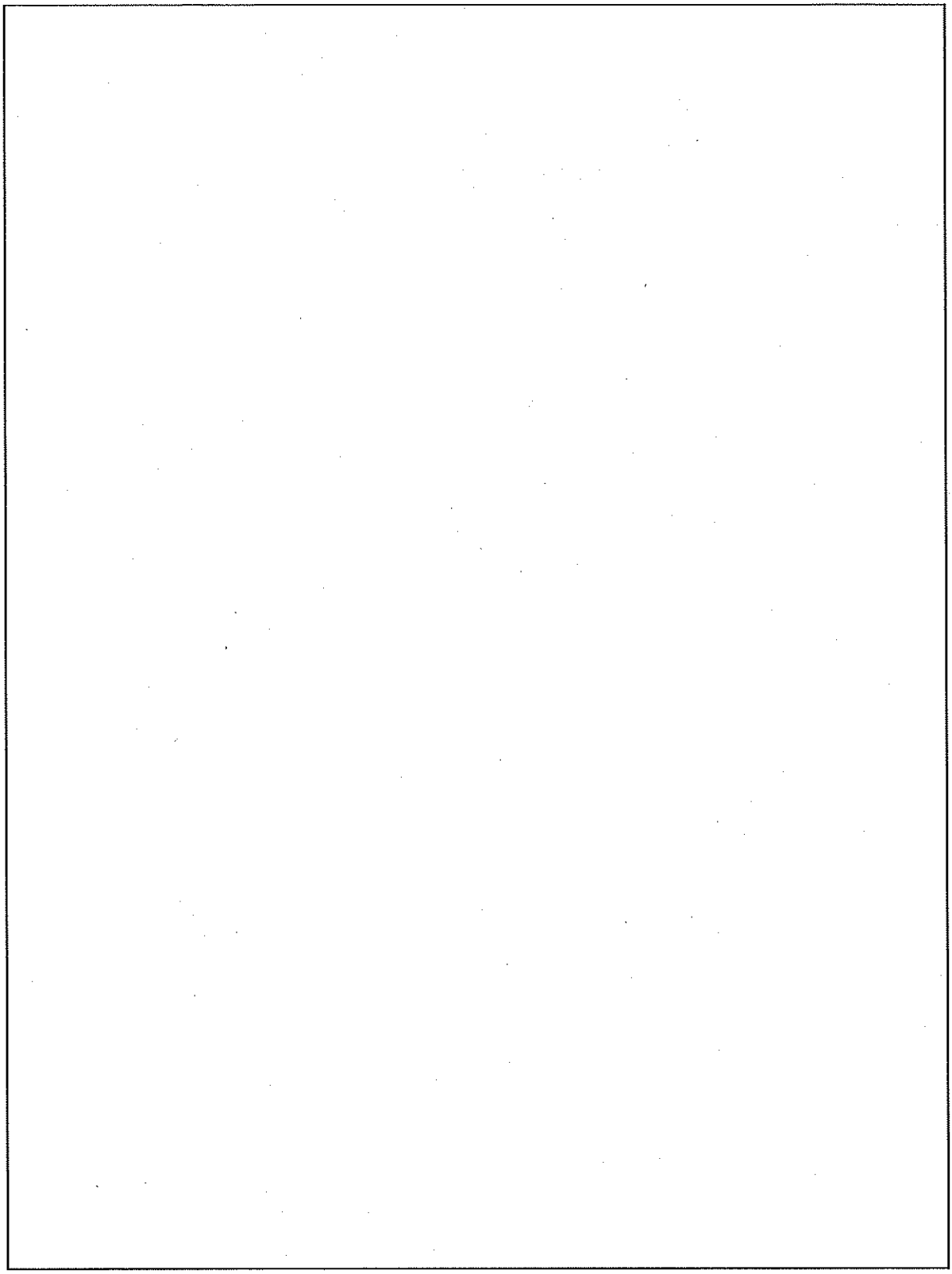


（ロ）－第D.3図　輸送容器表面の角度束と計算点との関係

(2) 中性子による線量当量率

中性子による線量当量率は （ロ）－第D.4図に示すように、収納物である燃料要素を点線源とみなして計算する。収納物はキャビティ内に分散しているが、この点線源を内容器表面との距離が最も小さくなる位置に配置して評価する。

中性子の遮蔽計算においても、安全側に内容器表面を輸送物表面として、線量当量率の評価を行う。また、評価に当たっては、安全側に、内容器蓋、底、胴等による遮蔽効果を無視し、距離による減衰のみを考慮するものとする。



（ロ）－第D.4図　中性子遮蔽計算モデル

D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

ガンマ線の遮蔽計算に用いた各領域の使用材料及び密度を（ロ）－第 D.14 表に、各領域の遮蔽材の体積比を（ロ）－第 D.15 表に、各遮蔽材の原子個数密度を（ロ）－第 D.16 表に、それぞれ示す。

中性子による線量当量率は、構造材による遮蔽を考慮していないので、これらの各表は該当しない。

（ロ）－第 D.14 表　使用材料及び密度

名称	材料	密度〔g/cm³〕
内容器蓋	SUS	
内容器胴	SUS	
内容器底板	SUS	

（ロ）－第 D.15 表　遮蔽計算で用いた各領域の遮蔽材の体積比

領　域	遮蔽材	体積比〔%〕

（ロ）－第D.16表　各材料の原子個数密度

〔atoms/barn・cm〕

核種	線源領域 （側面評価時）	線源領域 （蓋部、底部評価時）	SUS□	SUS□

D.4 遮蔽評価

(1) ガンマ線による線量当量率

(a) 新燃料要素装荷時

新燃料要素装荷時におけるガンマ線の遮蔽計算は ANISN コードを用いて行った。ガンマ線に対する断面積は、DLC-23E/CASK ライブラリ[6]のエネルギー群構造(18 群)のものを使用した。

このエネルギー群構造及び線量当量率を求めるために用いたガンマ線に対する線量当量率換算係数[7] を (ロ) －第 D.17 表に示す。

計算結果を (ロ) －第 D.18 表に示す。

なお、一般の試験条件下における線量当量率の増加率については一般の試験条件下で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件共に内容器表面を輸送物表面として評価しているため、線量当量率の増加はなく基準を満足している。

（ロ）－第D.17表　ガンマ線エネルギー群構造と線量当量率換算係数

エネルギー群	上限エネルギー〔eV〕	線量当量率換算係数〔(mSv/h)/(γ/cm²・s)〕

（ロ）－第D.18表　ガンマ線による線量当量率（新燃料要素装荷時）

評価位置		線量当量率〔mSv/h〕
輸送物表面	蓋部	<0.001
	側面	0.033
	底部	0.003
輸送物表面から1m離れた位置	蓋部	<0.001
	側面	0.004
	底部	<0.001

(b) 低照射された燃料要素装荷時

低照射された燃料要素装荷時におけるガンマ線の遮蔽計算はD.4(1)(a)と同様の手法で算出した。

計算結果を（ロ）－第D.19表に示す。

なお、一般の試験条件下における線量当量率の増加率については一般の試験条件下で、外容器が変形することを考慮し、通常の輸送条件、一般の試験条件及び特別の試験条件共内容器表面を輸送物表面として評価しているため、線量当量率の増加はなく基準を満足している。

（ロ）　－第D.19表　ガンマ線による線量当量率（低照射された燃料要素装荷時）

評価位置		線量当量率〔mSv/h〕		合計〔mSv/h〕
		ウラン同位体	FP	
輸送物表面	蓋部	<0.001	0.025	0.026
	側面	0.022	0.145	0.167
	底部	0.002	0.069	0.071
輸送物表面から1m離れた位置	蓋部	<0.001	0.005	0.006
	側面	0.003	0.015	0.018
	底部	<0.001	0.013	0.014

(2) 中性子による線量当量率

(a) 新燃料要素装荷時

新燃料要素装荷時の中性子による線量当量率は次式で求める。

$$D_n = A \times \frac{S_n \cdot n}{4\pi r^2} \times k$$

ここで、

D_n ；線量当量率 〔mSv/h〕

S_n ；燃料要素１体当たりの中性子源強度 [ ] 〔n/s〕

n ；輸送容器１基の収納燃料要素体数 10 〔体〕

r ；点線源から評価位置までの距離 〔cm〕

k ；中性子の増倍効果 [ ]

A ；10 MeV のエネルギーの中性子束の線量当量率換算係数

0.00159〔(mSv/h)/(n/cm^2・s)〕

未照射燃料要素装荷時の中性子による線量当量率の計算結果を(ロ) －第D.20表に示す。

(ロ) －第D.20表 中性子による線量当量率（新燃料要素装荷時）

評価位置		線量当量率 〔mSv/h〕
輸送物表面	蓋部	0.002
	側面	0.007
	底部	0.005
輸送物表面から1m離れた位置	蓋部	<0.001
	側面	<0.001
	底部	<0.001

(b) 低照射された燃料要素装荷時

低照射された燃料要素装荷時の中性子による線量当量率は D.4(1)(a)と同様の手法で算出する。

低照射された燃料要素装荷時の中性子による線量当量率の計算結果を（ロ）－第D.21表に示す。

（ロ）－第D.21表　中性子による線量当量率（低照射された燃料要素装荷時）

評価位置		線量当量率 〔mSv/h〕
輸送物表面	蓋部	<0.001
	側面	0.002
	底部	<0.001
輸送物表面から1m離れた位置	蓋部	<0.001
	側面	<0.001
	底部	<0.001

D.5 結果の要約及びその評価

本輸送物の新燃料要素装荷時と低照射された燃料要素装荷時の遮蔽解析で得られた線量当量率の結果を（ロ）-第D.22表及び（ロ）-第D.23表に示す。

ガンマ線による線量当量率は1次元輸送計算コードANISN、中性子による線量当量率は点線源モデルによる簡易計算により、それぞれ求めた。

（ロ）－第D.22表及び（ロ）－第D.23表に示すように計算結果は、いずれも基準値を満足している。

（ロ）－第D.22表　輸送物の線量当量率

（新燃料要素装荷時）　　（単位：mSv/h）

評価項目		輸送物表面			輸送物表面から1m の位置		
		側面	蓋部	底部	側面	蓋部	底部
通常の輸送条件	ガンマ線	0.033	<0.001	0.003	0.004	<0.001	<0.001
	中性子	0.007	0.002	0.005	<0.001	<0.001	<0.001
	合計	0.040	0.003	0.008	0.005	0.002	0.002
	基準値	2 以下			0.1 以下		
一般の試験条件	ガンマ線	0.033	<0.001	0.003			
	中性子	0.007	0.002	0.005			
	合計	0.040	0.003	0.008			
	基準値	2 以下			—		
特別の試験条件	ガンマ線				0.004	<0.001	<0.001
	中性子				<0.001	<0.001	<0.001
	合計				0.005	0.002	0.002
	基準値	—			10 以下		

（ロ）－第D.23表　輸送物の線量当量率

（低照射された燃料要素装荷時）　　（単位：mSv/h）

評価項目		輸送物表面			輸送物表面から1m の位置		
		側面	蓋部	底部	側面	蓋部	底部
通常の輸送条件	ガンマ線	0.167	0.026	0.071	0.018	0.006	0.014
	中性子	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	合計	0.169	0.027	0.072	0.019	0.007	0.015
	基準値	2 以下			0.1 以下		
一般の試験条件	ガンマ線	0.167	0.026	0.071			
	中性子	0.002	<0.001	<0.001			
	合計	0.169	0.027	0.072			
	基準値	2 以下			—		
特別の試験条件	ガンマ線				0.018	0.006	0.014
	中性子				<0.001	<0.001	<0.001
	合計				0.019	0.007	0.015
	基準値	—			10 以下		

D.6 付属書類

D.6.1 ANISN コードの説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(ロ) －D－27

D.6.2 参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(ロ) －D－30

D.6.1 ANISN コードの説明

ANISN コードは、一次元ボルツマン輸送方程式を Discrete Ordinates Sn 法に基づいて数値計算するもので、 米国 ORNL で開発された。

輸送方程式は、位置、 エネルギー、 進行方向からなる位相空間の体積要素内における粒子の生成と消滅の釣合を数学的に表現したもので次式で与えられる。

$$\Omega \cdot \nabla \phi (r, E, \Omega) + \sigma t (r, E) \phi (r, E, \Omega)$$
$$= \int \int \phi (r, E', \Omega') \sigma s (r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) dE', d\Omega'$$
$$+ S (r, E, \Omega) \cdots\cdots\cdots (D.6\text{-}1)$$

ここで、

$\phi (r, E, \Omega)$; 角度中性子束（位置 r で単位ベクトルΩ 方向の単位立体角当たりに進むΩに垂直な面を単位時間に通過する粒子の数）

$\sigma t (r, E)$; 全巨視断面積

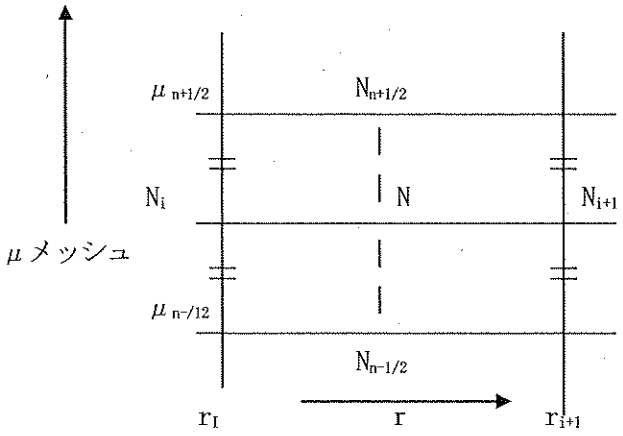
$\sigma s (r, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$; 散乱巨視断面積あるいは中性子による二次ガンマ線の生成巨視断面積

$S (r, E, \Omega)$; 外部線源

Sn法は、 この輸送方程式を位置、エネルギー、進行方向を離散的に取り扱い数値計算する方法で、角度分点の特殊なとり方（Sn分点）からSn法と呼ばれる。その手法は、輸送方程式を各エネルギー群、 進行方向に対して、Fundamental cell で 表して得られる差分型の階差方程式を繰り返し計算法により収束するまで計算する。

今、一次元輸送方程式を隣接する (r_i, r_{i+1})、$(\mu_{n-1/2}, \mu_{n+1/2})$ メッシュが定める Fundamental cell で表すと （(ロ) －第D.5図参照）

$$W \cdot \mu \cdot (A_{i+1} N_{i+1} - A_i N_i) + \alpha_{n+1/2} \cdot N_{n+1/2} - \alpha_{n-1/2} \cdot N_{n-1/2}$$
$$= V \cdot (S - \Sigma t) \cdot N \cdot W \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (D.6\text{-}2)$$



（ロ）－第D.5図　メッシュ分割図

ここで、

N：中性子束（角度分布を含む）（各エネルギー群に対して）

μ：方向余弦

A：面積要素

平板形状では　1.0

円筒形状では　$2\pi r$

球形状では　$4\pi r^2$

W：方向余弦μの重み$\sum_n W = 1.0$

V：体積要素

平板形状では　$r_{i+1} - r_i$

円筒形状では　$\pi (r^2_{i+1} - r^2_i)$

球形状では　$4/3\pi (r^3_{i+1} - r^3_i)$

Σt：全断面積

S：線源項（外部線源＋散乱積分項）

α：次式で決まる値である。

$$\alpha_{n+1/2} = \alpha_{n-1/2} - W \cdot \mu (A_{i+1} - A_i)$$

$$\alpha_{1/2} = 0.0$$

(D.6-2) 式は、(D.6-1) 式に位相体積を掛けて積分し、微分を差分に置き換えることにより得られる。

(D. 6-2) 式は、5つの未知変数（N、 N_i、N_{i+1}、 $N_{n-1/2}$、$N_{n+1/2}$)を含んでいる。

そこで未知変数の数を減じるために、 ダイアモンド差分法やステップ関数近似を使用する。

ダイアモンド差分法：隣接メッシュ点間での線型近似

$$N=1/2(N_{i+1}+N_i)=1/2(N_{n-1/2}+N_{n+1/2})$$

ステップ関数近似：

$$N=N_i=N_{n+1/2} \qquad \text{for} \quad \mu<0$$

$$N=N_{i+1}=N_{n+1/2} \qquad \text{for} \quad \mu>0$$

ダイアモンド差分法を用いると$\mu>0$に対しては、

$$N=\frac{2\mu AN_i+\frac{2\alpha}{W}N_{n-1/2}+SV}{2\mu A+\frac{2\alpha}{W}+\Sigma tV} \qquad \text{(D. 6-3)}$$

ここで

$$\alpha=1/2(\alpha_{n+1/2}+\alpha_{n-1/2})$$

$$A=1/2(A_{i+1}+A_i)$$

この階差式は、初期値を適当に与えて Iteration 法により収束するまで計算する。

以上が基本的な解法である。

D.6.2 参考文献

(1) 村上悠紀雄、他；「放射線データブック」、地人書館（昭和57年）

(2) International Atomic Energy Agency "Safety Series No.37" (1987)

(3) Ethesington; "Nuclear Engineering Handbook" (1965)

(4) 原子力ハンドブック、 グラストン(1965)

(5) ORNL/RSIC Computer Code Collection ANISN-W "A One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code" CCC-82

(6) RSIC Data Library Collection DLC-23 "Cask 40 Group Coupled Neutron and Gamma-Ray Cross Section Data"

(7) 日本アイソトープ協会「外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」ICRP Publication 74 (平成10年)

E　臨界解析

（ロ）－E．臨界解析

E.1 概　　要

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件下における緩衝体及び断熱材の変形等を考慮し、解析モデルとして、緩衝材及び断熱材を無視した最も厳しい状態となる損傷配列系について、未臨界性を3次元モンテカルロ法を用いて行った。

本輸送容器には、16種類の燃料要素が収納される。本輸送容器1基に収納する要素数は、10体である。

本解析では、燃料フォロワと特殊燃料要素を除く8種類の燃料要素を収納した場合について臨界解析を行う。燃料フォロワと特殊燃料要素は標準燃料要素に比べて、燃料要素1体当たりの ^{235}U の含有量が同じかあるいは少ないため、輸送容器収納時の実効増倍率は小さくなるので評価対象外とする。

なお、JMTRC燃料については濃縮度の違う2種類の燃料（MEU、HEU燃料）を混載して輸送する場合もある。したがって、ここではMEU燃料のみ及びHEU燃料のみを10体収納した場合に加えて混載の一例としてHEU燃料5体とMEU燃料5体を収納した場合について、未臨界性を確認するものとする。

E.2 解析対象

E.2.1 収 納 物

輸送容器1基には、（ロ）－第E.1表に示す角型燃料要素が10体収納される。

本輸送容器1基当たりの^{235}U装荷量は、濃縮度[　　]のJRR-3標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）を10体装荷したとき最大となり、その装荷重量は[　　]である。

燃料要素は、ウランアルミニウム合金、ウランアルミニウム分散型合金、またはウランシリコンアルミニウム分散型合金の燃料芯材をアルミニウム合金で被覆した燃料板で構成されている。

各収納燃料要素の燃料板の主要仕様を（ロ）－第E.2表に示す。

E.2.2 輸送容器

本輸送容器は（ロ）－A.9に示すとおり核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下においては、外容器緩衝体及び断熱材の一部が変形するが、臨界評価に影響する内容器の形状変化は生じない。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においては、燃料要素、内容器は破損せず、緩衝体及び断熱材の一部が変形する。

したがって、本臨界解析のモデルにおいては，E.3.1に示すように緩衝材及び断熱材は、安全側にないものとし、非損傷輸送物（輸送時）及び損傷輸送物（核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下）に対して共通して適用できるモデルとしている。

通常の輸送条件、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件及び特別の試験条件における緩衝材の残量を（ロ）－第E.3表に示す。この表より明らかなように、内容器表面を輸送物表面とした損傷系で評価を行うことは十分安全側である。

（ロ）－第E.1表　燃　料　要　素　の　主　要　仕　様

項目 / 燃料要素の名称		全長〔mm〕	断面寸法〔mm〕	^{235}U 濃縮度〔wt%〕	燃料要素1体当たりの ^{235}U〔g〕	輸送物当たりの最大収納数〔体〕	備考
JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）							
JRR-3 フォロワ型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）							
JRR-4B 型燃料要素							
JRR-4L 型燃料要素							
JRR-4 型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）							
JMTR 標準燃料要素							MEU
							LEU
JMTR 燃料フォロワ							LEU
JMTRC 標準燃料要素	A						HEU
	B						
	C						
	A						MEU
	B						
	C						
JMTRC 燃料フォロワ							HEU
							MEU
JMTRC 特殊燃料要素	A						HEU
	B						
	C						
	D						
	B						MEU
	C						

（ロ）－第E.2表　燃　料　板　の　主　要　仕　様（1／2）

項目 / 燃料要素の名称		燃料板の全長〔mm〕	燃料板の幅〔mm〕	燃料板の厚さ〔mm〕	被覆材の厚さ〔mm〕	燃料板1枚当たりの重量〔g〕	備考
JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）							
JRR-3 フォロワ型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）							
JRR-4B 型燃料要素							
JRR-4L 型燃料要素							
JRR-4 型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）							
JMTR 標準燃料要素							MEU
							LEU
JMTR 燃料フォロワ							LEU
JMTRC 標準燃料要素	A						HEU
	B						
	C						
	A						MEU
	B						
	C						
JMTRC 燃料フォロワ							HEU
							MEU
JMTRC 特殊燃料要素	A						HEU
	B						
	C						
	D						
	B						MEU
	C						

（ロ）－第E.2表　燃　料　板　の　主　要　仕　様（2／2）

項目 ＼ 燃料要素の名称		燃料板1枚当たりの ^{235}U〔g〕重量	燃料板の芯材長さ〔mm〕	燃料板の芯材幅〔mm〕	燃料板の芯材厚さ〔mm〕	燃料芯材	備考
JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）						ウランシリコンアルミニウム分散型合金	
JRR-3 フォロワ型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）						ウランシリコンアルミニウム分散型合金	
JRR-4B 型燃料要素						ウランアルミニウム合金	
JRR-4L 型燃料要素						ウランアルミニウム分散型合金	
JRR-4 型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）						ウランシリコンアルミニウム分散型合金	
JMTR 標準燃料要素						ウランアルミニウム分散型合金	MEU
						ウランシリコンアルミニウム分散型合金	LEU
JMTR 燃料フォロワ						ウランシリコンアルミニウム分散型合金	LEU
JMTRC 標準燃料要素	A					ウランアルミニウム合金	HEU
	B						
	C						
	A					ウランアルミニウム分散型合金	MEU
	B						
	C						
JMTRC 燃料フォロワ						ウランアルミニウム合金	HEU
						ウランアルミニウム分散型合金	MEU
JMTRC 特殊燃料要素	A					ウランアルミニウム合金	HEU
	B						
	C						
	D						
	B					ウランアルミニウム分散型合金	MEU
	C						

（ロ）－第E.3表　内容器表面から容器表面までの距離

（単位：mm）

	通常の輸送条件（非損傷系）	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件
内筒表面から輸送容器表面までの距離			
変　形　量			
緩衝材の残量			

*1：損傷系では、内筒表面から輸送容器表面までの距離を0mmとする。

E.2.3 中性子吸収材

本輸送容器には、中性子吸収材を用いていない。

E.3 モデル仕様

E.3.1 解析モデル

本輸送容器には、16 種類の角型の燃料要素が収納される。燃料フォロワと特殊燃料要素は標準型燃料要素に比べて燃料要素 1 体当たりの ^{235}U 含有量が少ないため、輸送容器の実効増倍率は小さくなる。したがって、ここでは、燃料フォロワと特殊燃料要素を除く 8 種類の燃料要素を解析対象とする。

臨界解析では、輸送容器の内部及び外部の空隙は全て水で満たされものとして、孤立系及び配列系において損傷系と非損傷系のいずれかが厳しいかを検討し、最も厳しい状態で解析を行う。

なお、ここで使用した損傷系は一般の試験条件及び特別の試験条件に置いた輸送物の状態、非損傷系は健全な輸送物の状態と定義する。

(1) 孤立系（損傷系－非損傷系）

孤立系においては、非損傷系の内容器周囲の領域は断熱材であり、損傷系では断熱材が喪失しているものとして、断熱材が水に置換されたものとする。中性子反射効果及び中性子減速効果は、水の方が断熱材よりも大きい。したがって、中性子反射効果及び中性子減速効果の大きい損傷系が厳しくなる。

(2) 配列系（損傷系－非損傷系）

配列系においては、断熱材がないものとしている損傷系が、非損傷系に比べ、とりあう内容器の配列間の距離が小さく、中性子相互干渉効果が大きいため損傷系が厳しくなる。

(3) 損傷孤立系と損傷配列系

内容器に水が満たされている損傷孤立系及び配列系においては、中性子は十分減速されるモデルとなり、中性子減速は同程度である。また、中性子の漏れを全く無いとした完全反射の配列系は、水の反射効果を考えて中性子の漏れを小さくした孤立系よりもさらに厳しい結果となる。

したがって、本解析では、径方向の輸送物配列を（ロ）－第 E.1 図に示すように、外容器緩衝材及び断熱材が完全に取り除かれた状態の内容器が無限に最稠密配列となる三角格子型とし、軸方向については、燃料部分が無限の長さを持つ最も厳しい状態となる損傷配列系の解析モデルで評価する。規則で定められる要件とそれぞれの解析条件の対応を（ロ）－第 E.4 表に示す。

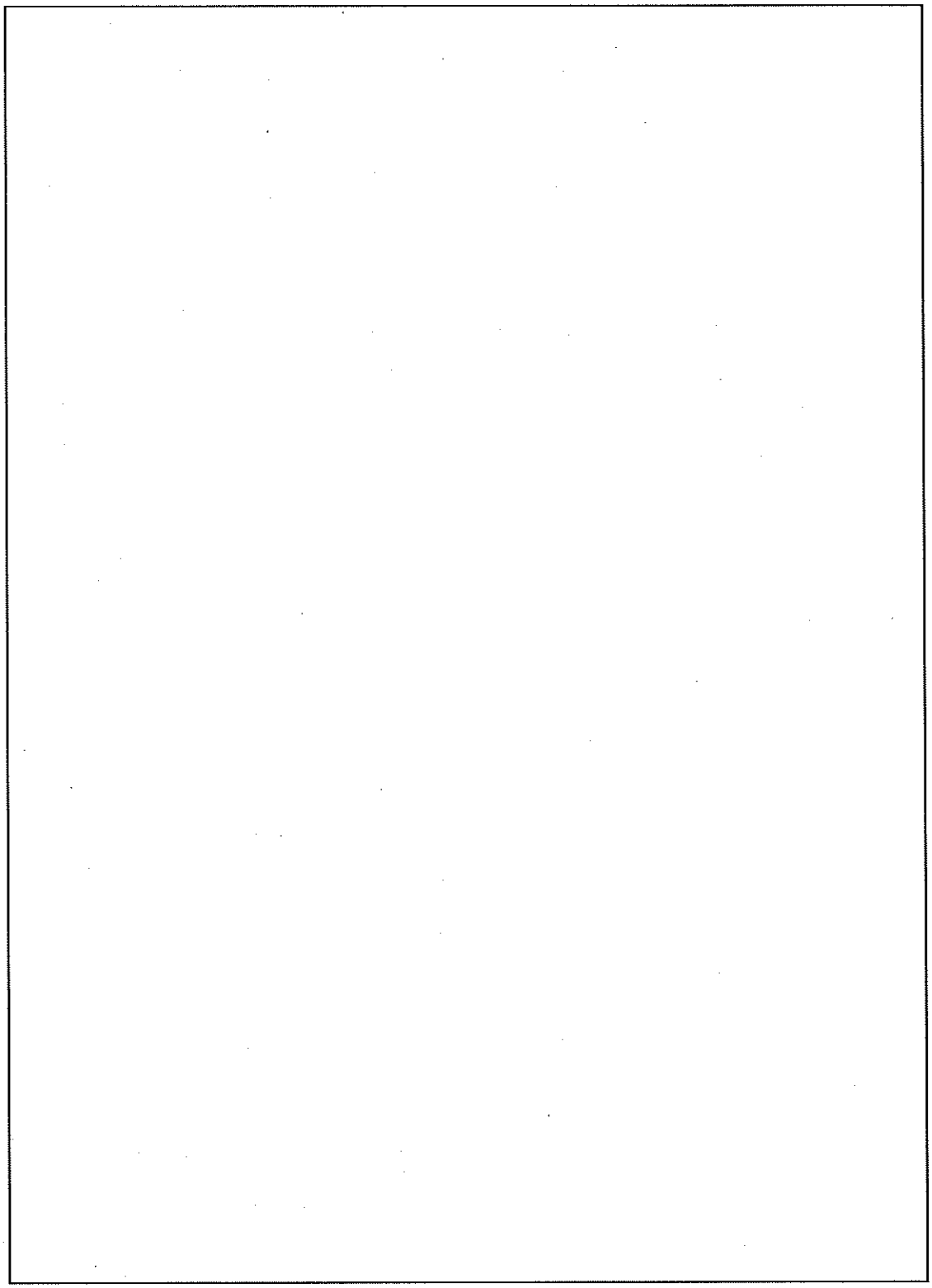
本解析に用いた内容器内の燃料要素配列モデルを（ロ）－第 E.2 図に示す。内容器は浸水するものとして、内容器の内部及び外部の空隙は全て密度 1.00g/cm^3 の水で満たされているものとした。内容器内での中性子吸収を小さく見積もるために、内容器胴及び燃料バスケットの角形パイプ以外の構造物は無視して水で置き換えた。

JMTRC 燃料は濃縮度の違う 2 種類の燃料を混載する場合もあるため、その一例となる混載を考慮した臨界解析モデルを（ロ）－第 E.3 図に示す。

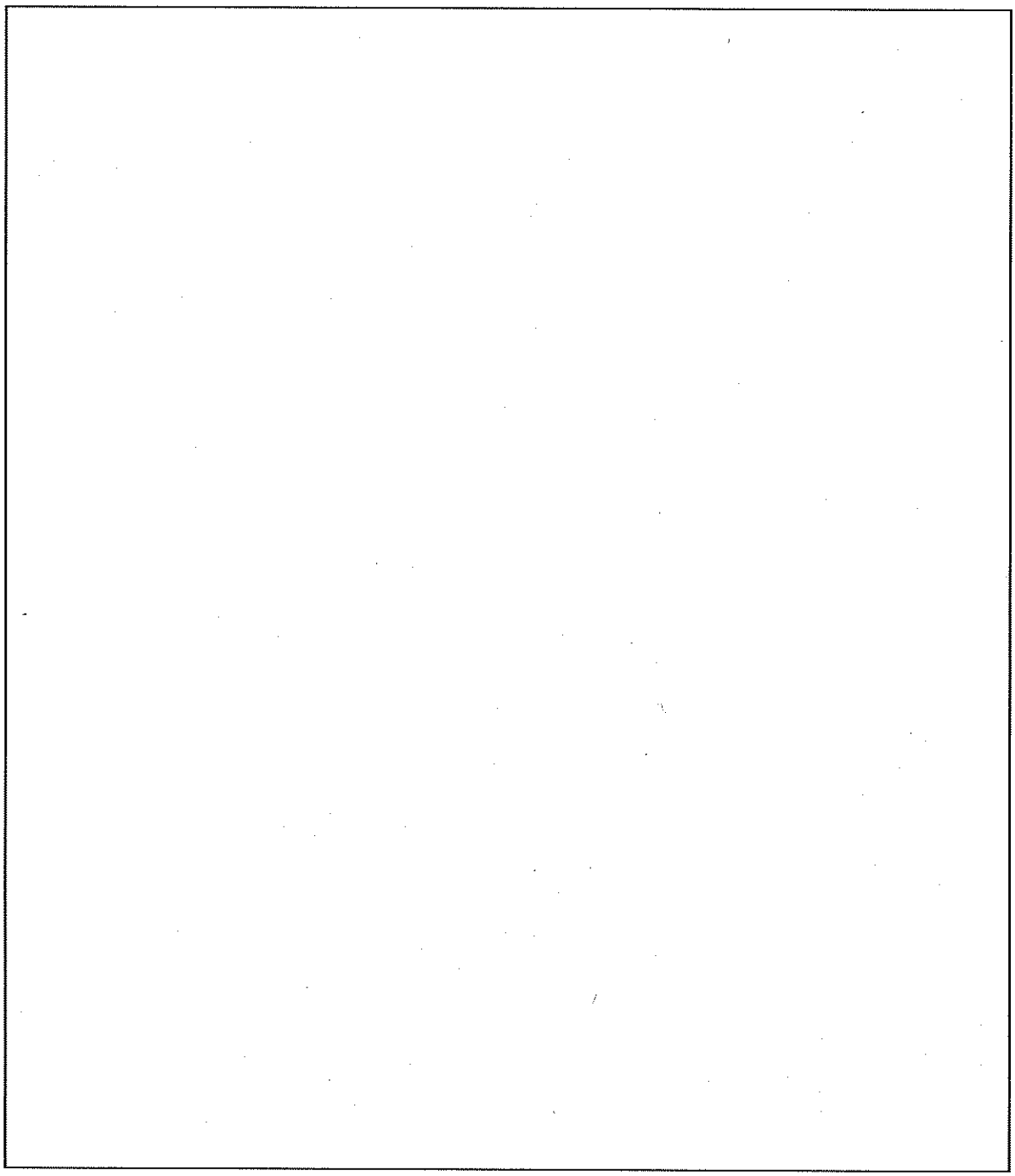
解析対象である 8 種類の燃料要素の解析モデルを（ロ）－第 E.4 図から（ロ）－第 E.10 図に示す。JMTR 標準燃料要素については、LEU 燃料と MEU 燃料で燃料芯材の組成が異なる以外は、同一のモデルとした。燃料要素の上部及び下部構造物は無視して、燃料部分が無限の長さを持つものとした。JRR-4B 型、JRR-4L 型燃料要素及び JRR-4 燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）については、外側燃料板も内側燃料板と同一の構造であるとして、^{235}U の量を多く見積もるようにした。

E.3.2 臨界解析モデル各領域の原子個数密度

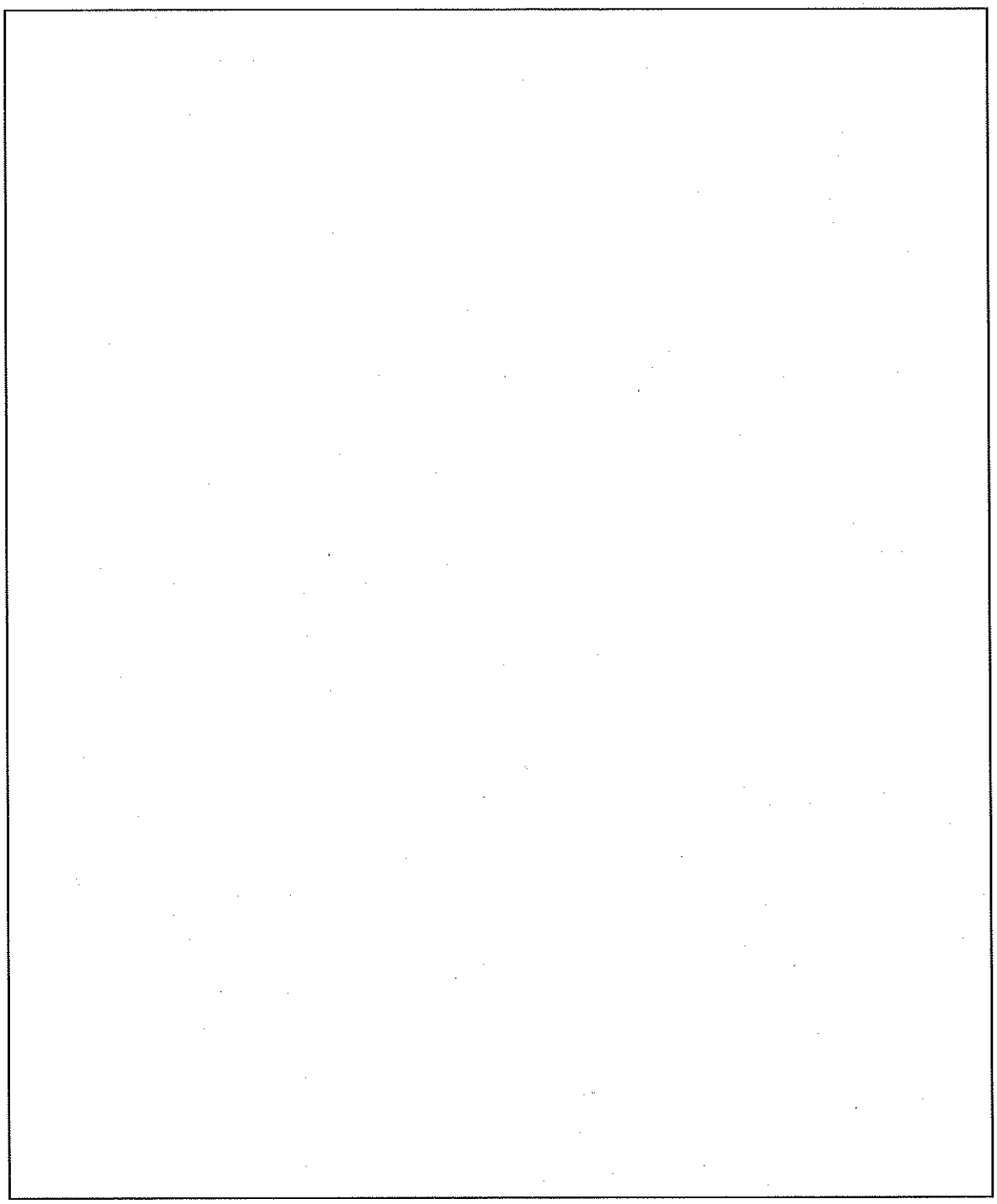
計算に使用した輸送容器各領域の原子個数密度を（ロ）－第 E.5 表に示す。また、燃料要素各部の原子個数密度を（ロ）－第 E.6 表に示す。^{235}U 濃縮度は公差の最大値として、安全側に実効増倍率を計算するようにした。



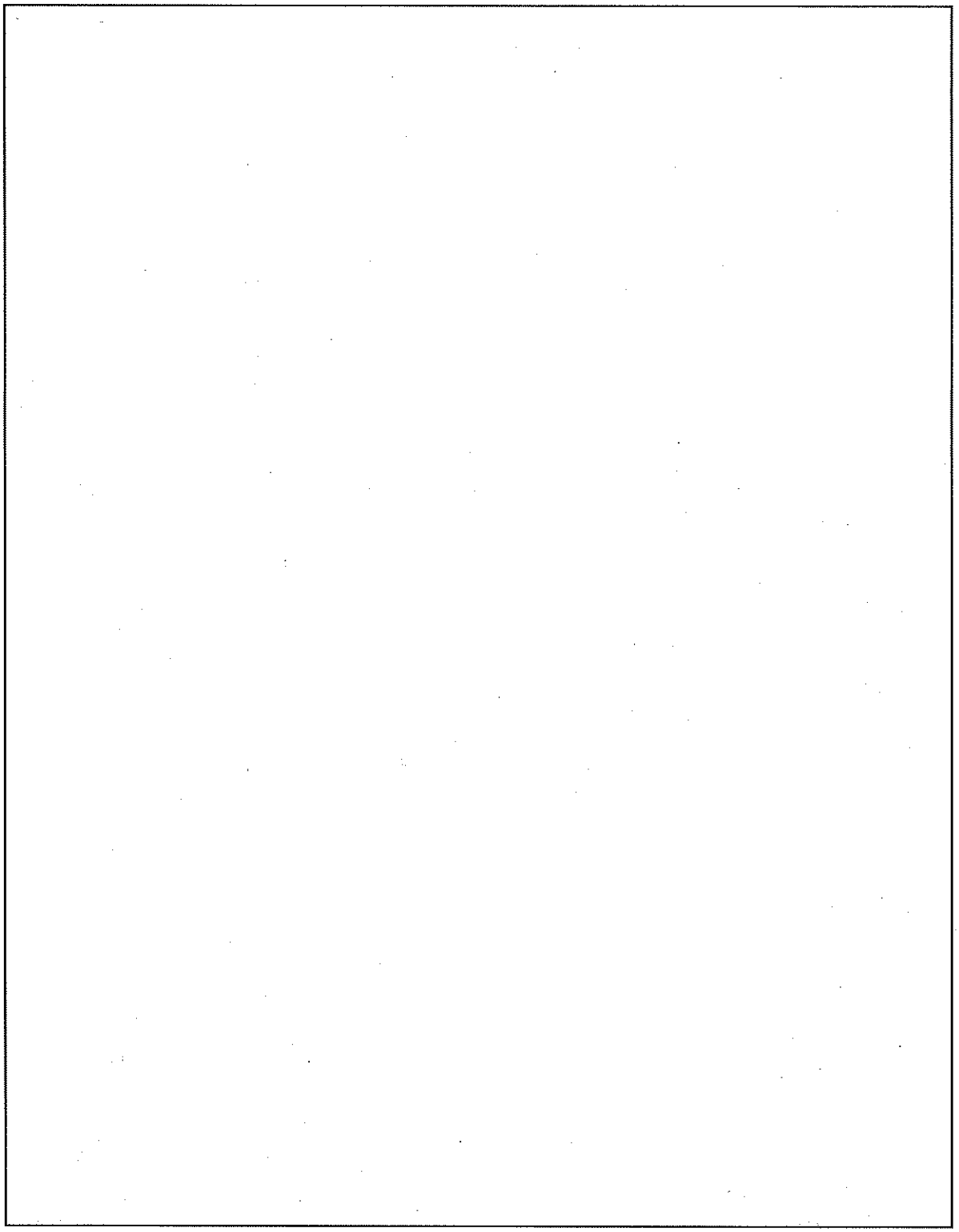
（ロ）－第E.1図　輸送容器配列臨界計算モデル（角型燃料要素10体収納時）



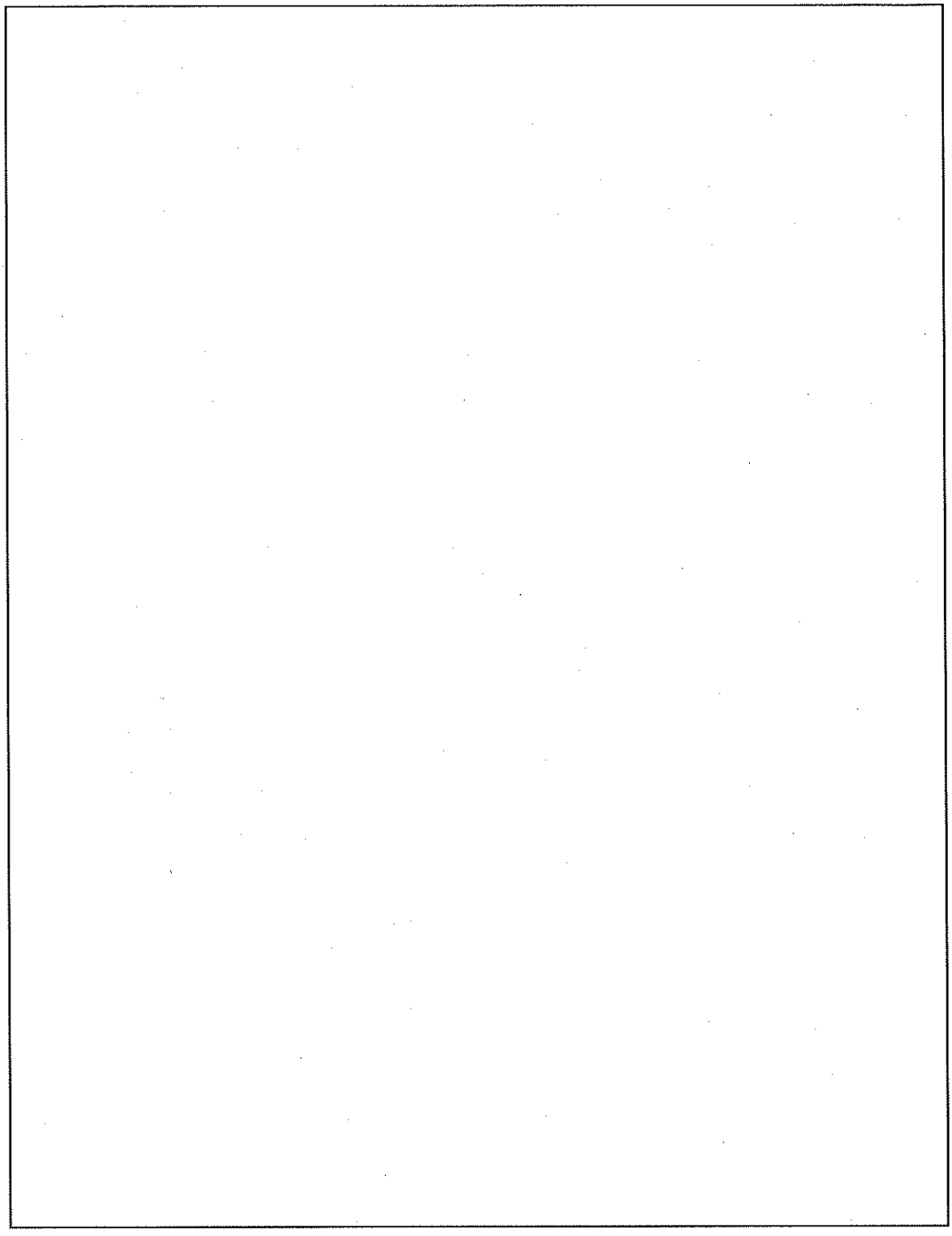
（ロ）－第E.2図　輸送容器臨界計算モデル（角型燃料要素10体収納時）



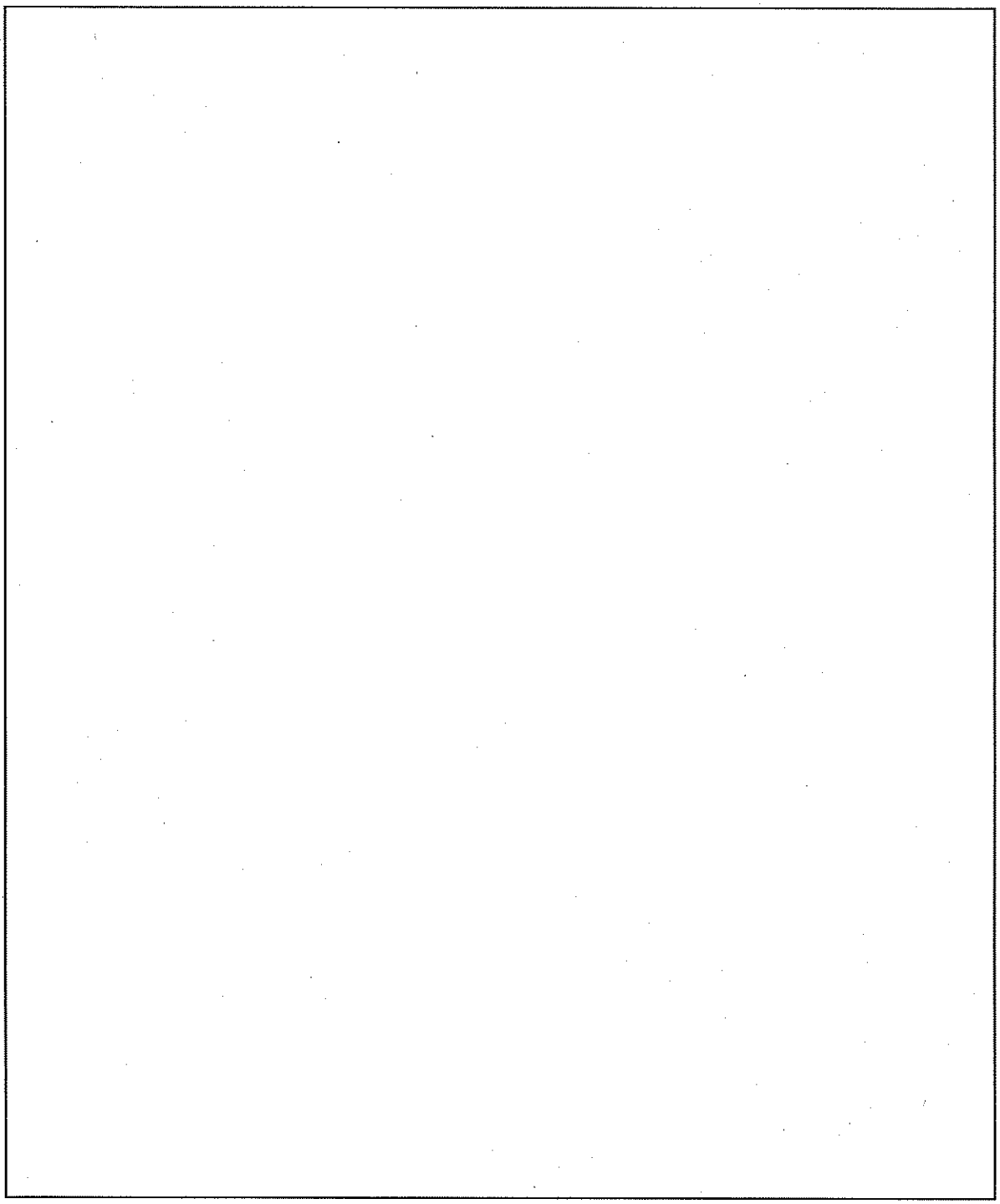
（ロ）－第E.3図　輸送容器臨界計算モデル燃料（HEUとMEU）が混載の場合



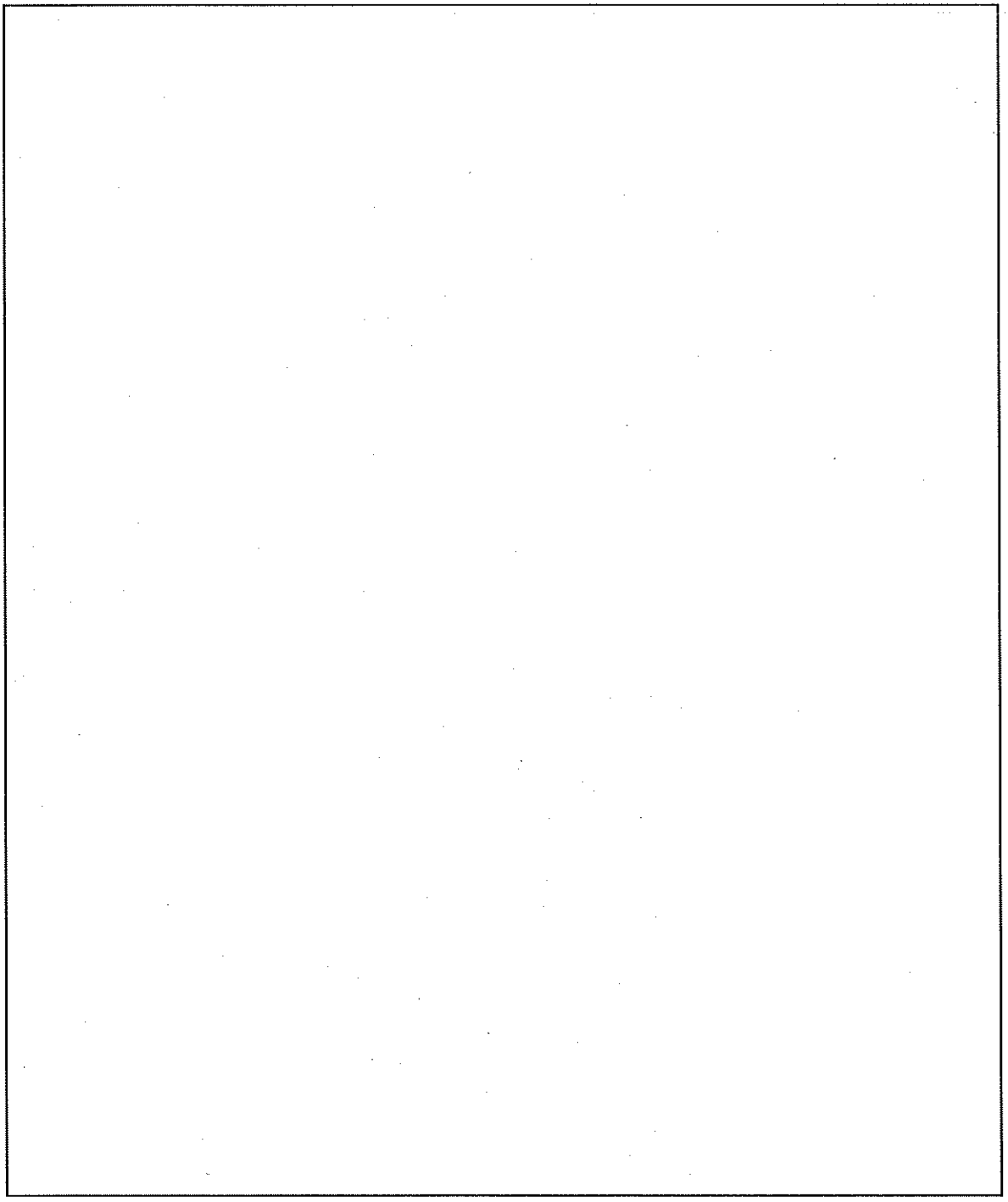
（ロ）－第E.4図　JRR-3標準型燃料要素臨界計算モデル



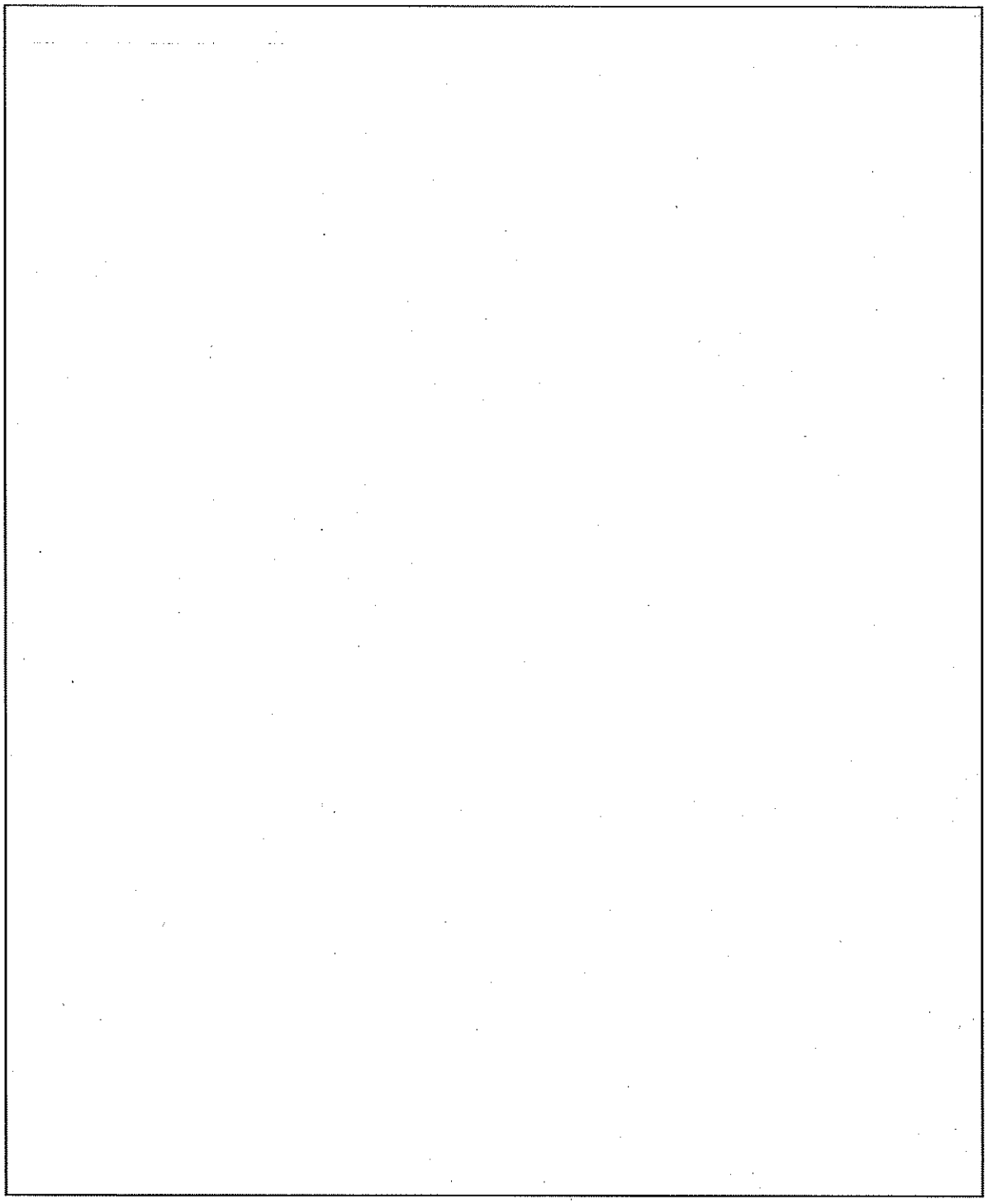
（ロ）－第E.5図　JRR-4B型燃料要素臨界計算モデル



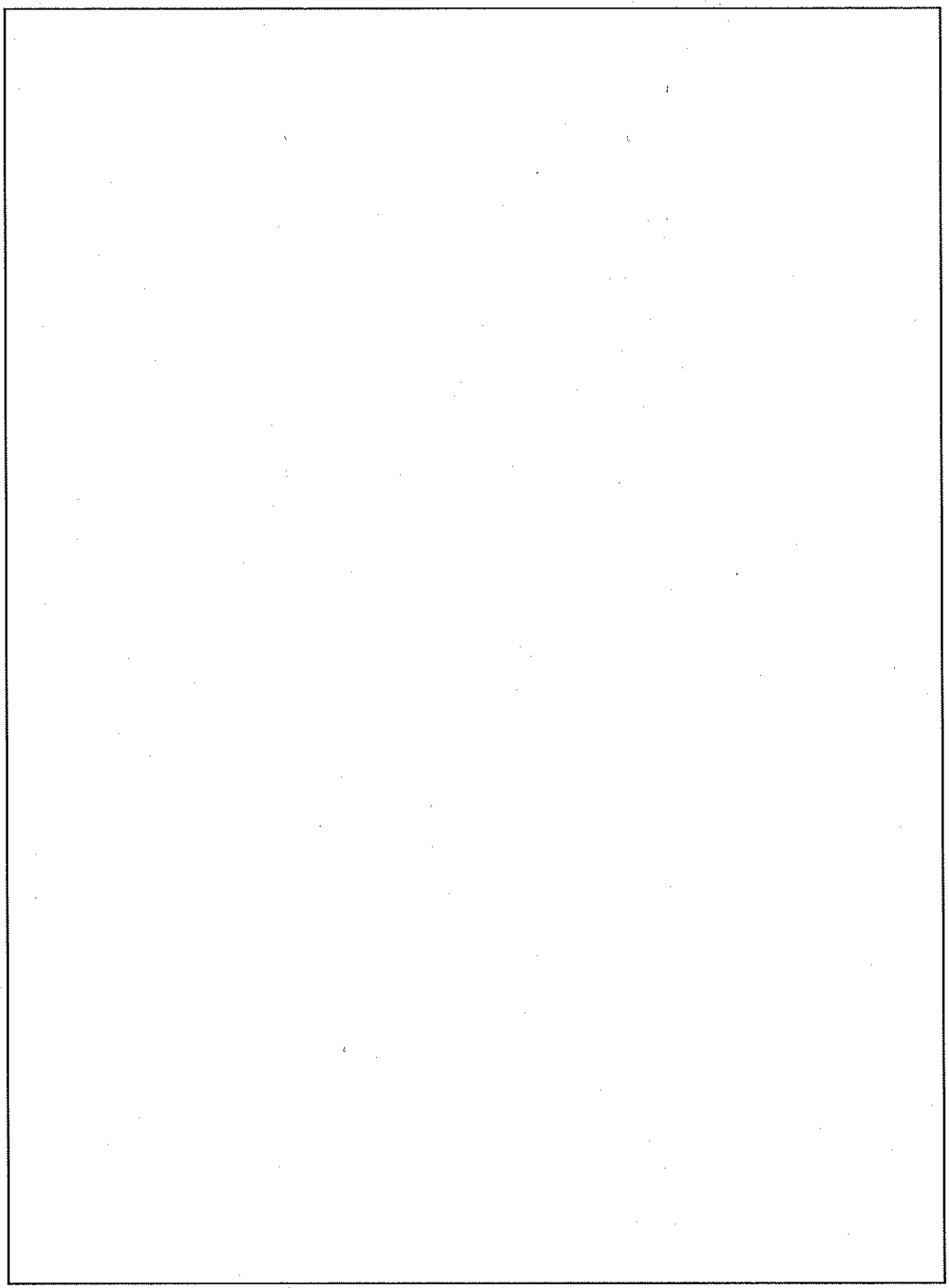
（ロ）－第E.6図　JRR-4L型燃料要素臨界計算モデル



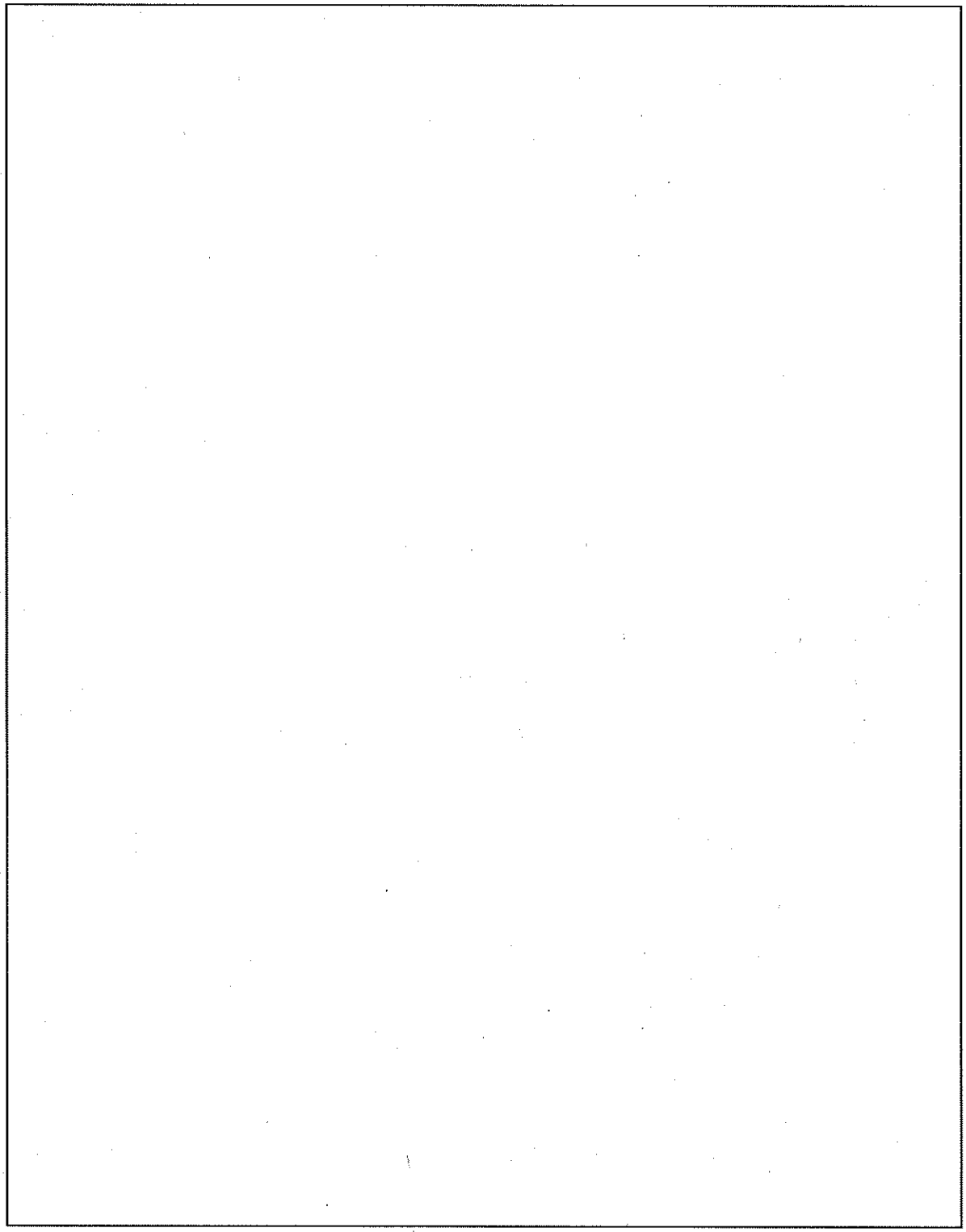
（ロ）－第E.7図　JRR-4型燃料要素臨界計算モデル



（ロ）－第E.8図　JMTR標準燃料要素臨界計算モデル



（ロ）－第E.9図　JMTRC標準燃料要素臨界計算モデル（HEU）



（ロ）－第E.10図　JMTRC標準燃料要素臨界計算モデル（MEU）

（ロ）－第E.4表　規則で定められる要件と解析条件の対応

規則で定められる要件				解析条件		
条件	輸送物数	輸送物内への水の浸入	水の近接反射	輸送物の配置	輸送物内への水の浸入	水の近接反射
1. 通常輸送時		なし	なし	内容器が無限に最稠密配列となる三角格子型モデルとした。	あり	水の近接反射より厳しい無限個で評価している。
2. 孤立系	1個	あり	あり			
3. 一般の試験条件	1個（孤立系）	あり	あり			
4. 特別の試験条件	1個（孤立系）	あり	あり			
5. 一般の試験条件	5N個*（配列系）	要件なし	あり			
6. 特別の試験条件	2N個*（配列系）	要件なし	あり			

＊：Nは輸送制限個数を示す。本輸送容器では、N＝無限個

（ロ）－第E.5表　臨界解析に用いた輸送容器各領域の原子個数密度組成（atoms/barn-cm）

核　　種	内容器及び燃料バスケットのパイプ	水〔1.00g/cm^3〕
H	0	6.686×10^{-2}
O	0	3.343×10^{-2}

（ロ）－第E.6表　臨界解析に用いた燃料要素の原子個数密度組成（atoms/barn-cm）

核種	JRR-3 標準型 燃料要素 (ウランシリコン アルミニウム分散 型合金)	JRR-4 B 型 燃料要素	JRR-4 L 型 燃料要素 (ウラン アルミニウム分散 合金)	JRR-4 燃料要素 (ウランシリコンアルミニウム分散型 合金)	JMTR (MEU) 標準 燃料要素	JMTR (LEU) 標準 燃料要素	JMTRC (HEU) 標準 燃料要素	JMTRC (MEU) 標準 燃料要素	被覆材

E.4 未臨界性評価

E.4.1 計算条件

(1) 収 納 物

解析対象である収納物の8種類の燃料要素を（ロ）－第E.7表に示す。

（ロ）－第E.7表　解析対象燃料要素

項目 / 燃料要素の名称	^{235}U 濃縮度 〔wt%〕 *	輸送物当たりの最大収納数 〔本〕
JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）		10
JRR-4B 型燃料要素		10
JRR-4L 型燃料要素		10
JRR-4 燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）		10
JMTR 標準燃料要素		10
JMTR 標準燃料要素		10
JMTRC 標準燃料要素		10
JMTRC 標準燃料要素		10

＊公称値

(2) 輸送容器

解析対象である輸送容器の内容器を（ロ）－第E.2図に示すとおり輸送物の表面として評価する。

E.4.2 輸送物への水の浸入等

臨界解析に当たっては、孤立系と配列系の評価を包含するよう、内容器内部は水で満たされているものとして評価を行った。

内容器へ水は浸入するものとして臨界性を評価するために、水密度をパラメータとして臨界解析を行った。最大の実効増倍率を示す場合は、水密度0.02g/cm^{3}の時であり、このときでも、未臨界であることを確認した。水の浸入によって輸送物の配列変化や接近及び温度変化はないものとした。

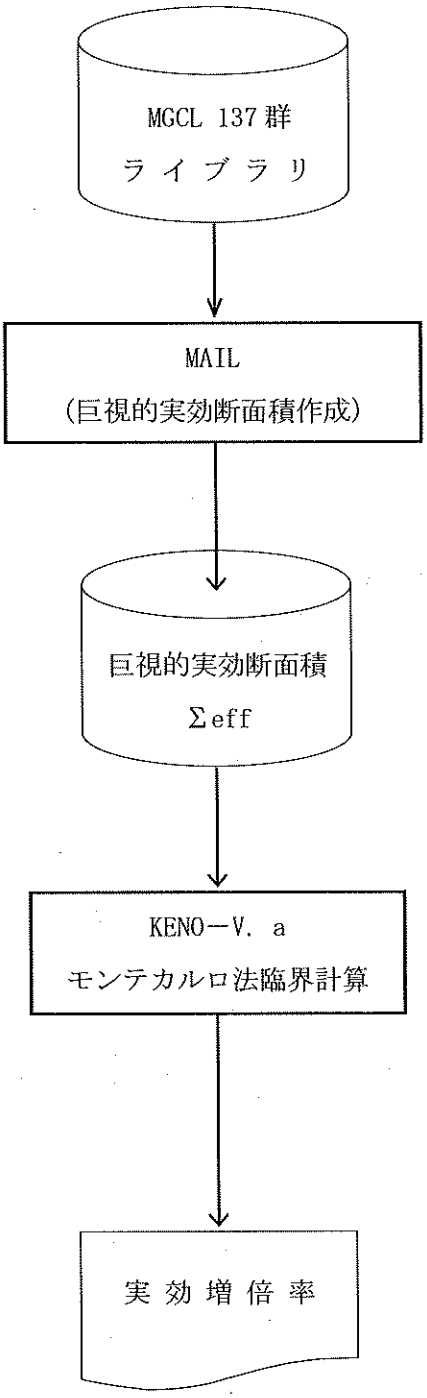
水密度の影響を評価した結果を付属書類のE.7.1に示す。

E.4.3 計算方法

臨界計算は、多群中性子断面積ライブラリ MGCL[1]と、3 次元モンテカルロ法臨界解析コード KENO－V.a[2]を用いて行った。臨界計算の流れを（ロ）－第 E.11 図に示す。

KENO－V.a コードと MGCL ライブラリの説明をそれぞれ E.7.2 及び E.7.3 に示す。

燃料板中での ^{235}U 及び ^{238}U の共鳴自己遮蔽効果については、MGCL ライブラリに付属の MAIL コード[1]により、燃料板の非均質効果も含めて補正した。



(ロ)－第E.11図　臨界計算の流れ

E.4.4 計算結果

未臨界性評価は、E.3.1に示すように最も厳しい損傷配列系を解析対象とする。

冠水時の損傷配列における実効増倍率の計算結果は（ロ）－第 E.8 表に示すとおりである。

最大の実効増倍率を示すのは輸送容器 1 基に JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）を 10 体収納した場合で、その実効増倍率は、$k_{eff} \pm \sigma$ = 0.902±0.005 であり、このときの 99%信頼区間での実効増倍率は、$k_{eff} + 3\sigma$ =0.917 であり、基準値 0.95 を十分下回っており、未臨界である。

さらに、内容器内部及び輸送物の間を満たす水の密度が 1.00g/cm^3 から 0.00g/cm^3 まで変化した場合における実効増倍率への影響を、最大水密度 1.00g/cm^3 での実効増倍率が最も大きい JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）について評価した結果、最も実効増倍率が大きくなるのは水密度 0.02g/cm^3 のときであるが、そのときでも $k_{eff} + 3\sigma$ =0.939 であり、本輸送物は未臨界である。

なお、JMTRC 燃料要素については濃縮度の違う 2 種類の燃料要素（MEU、HEU 燃料）を混載して輸送する場合もあり、混載した場合、^{235}U の装荷量は MEU 燃料のみ収納した場合の装荷量よりも少なく、実効増倍率も MEU 燃料のみ収納した場合よりも小さくなる。

（ロ）－第E.8表　　冠　水　時　臨　界　計　算　結　果

燃料要素の名称	燃料芯材	^{235}U *1 濃縮度〔wt%〕	^{235}U *1 重量〔g/体〕	収納*2 体　数	K_{eff}±1σ	K_{eff}＋3σ
JRR-3 標準型 燃 料 要 素	ウランシリコン アルミニウム分 散型合金			10	0.902±0.005	0.917 0.939*3
JRR-4B 型 燃 料 要 素	ウランアルミニ ウム合金			10	0.811±0.006	0.829
JRR-4L 型 燃 料 要 素	ウランアルミニ ウム分散型合金			10	0.801±0.007	0.822
JRR-4 燃 料 要 素	ウランシリコン アルミニウム分 散型合金			10	0.799±0.004	0.811
JMTR 標準 燃料要素(MEU)	ウランアルミニ ウム分散型合金			10	0.827±0.006	0.845
JMTR 標準 燃料要素(LEU)	ウランシリコン アルミニウム分 散型合金			10	0.893±0.004	0.905
JMTRC 標準 燃料要素(HEU)	ウランアルミニ ウム合金			10	0.783±0.004	0.796
JMTRC 標準 燃料要素(MEU)	ウランアルミニ ウム分散型合金			10	0.812±0.004	0.825
JMTRC 標準 燃料要素 (HEU、MEU 混載)	ウランアルミニ ウム合金 ウランアルミニ ウム分散型合金			5 5	0.796±0.004	0.809

*1 計算に用いた値である。　*2 輸送容器１基当たりの収納体数　*3 水密度 0.02g/cm^3

E.5 ベンチマーク試験

(1) ベンチマーク試験

本解析で用いたSCALEシステムにあるMGCLライブラリとKENO-V.aコードの組合せの計算精度を検証するために、

(a)国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）で行われたアルミニウム被覆の低濃縮UO_2燃料棒を軽水中に配列した臨界実験(TCA臨界実験)[3]

(b) ORNLでSPERT-D燃料(ウランアルミニウム合金、^{235}U濃縮度□%)で行われた臨界実験(国際ベンチマーク試験)[4]

(c) JRR-4(濃縮度□%、U_3Si_2、板状燃料)で行われた臨界実験[5]

について解析し、その評価を行った。

(2) ベンチマーク試験の詳細

(a) TCA臨界実験

対象としたベンチマーク臨界実験は、原子力機構の軽水臨界実験装置TCA(Tank-type Critical Assembly)で臨界水位測定実験である。その実験は、燃料の種類、格子パーターン、格子ピッチ、配列、中性子吸収材の有無等を変化させて行われた。燃料にはUO_2及びPuO_2が用いられた。この実験の内の^{235}U濃縮度2.6%のUO_2燃料棒を軽水中に配列した実験から格子及び配列のピッチの異なる5ケースを選び、MGCLライブラリとKENO-V.aコードの組合せにより解析した。

TCAの臨界実験タンクとUO_2燃料棒を（ロ）-第E.12図に示す。

タンク内にUO_2燃料棒は格子状に配列され、4種類の格子ピッチ(水とUO_2の体積比で1.50、1.83、2.48、3.00)で燃料棒の数を変えて実験が行われた。ここでは、燃料体水体積比が1.50から2ケース、その他から各ケースずつを選んで、解析した。

(b) 国際ベンチマーク実験

OECD/NEA は、臨界安全解析コードの検証のために 1994 年に ICSBEP (International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project)を計画し、臨界データハンドブック(International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments)[1]が作成された。その中に、米国 ORNL で SPERT-D 燃料(ウランアルミニウム合金、^{235}U 濃縮度[redacted]%、形状:(ロ)-第 E.13 図参照)を用いて燃料貯蔵、輸送、再処理の仕様を決めるために行われた臨界実験(ケース数 23)が記述されている。これらの中から JRR-4 の体系に近い臨界データを 3 ケースを選び、国際ベンチマーク試験データとし、MGCL ライブラリと KENO-V.a コードの組合せにより解析した。その 3 ケースを下記に示す。

(i) CASE3(SPART3)

格子の形状:4×3.09、臨界燃料本数:12.36±0.17、臨界量(^{235}U):3.79±0.05kg、格子配列:(ロ)-第 E.14 図参照

(ii) CASE15(SPART15)

格子の形状:16×3、臨界燃料本数:48、臨界量(^{235}U):19.62kg、格子配列:(ロ)-第 E.14 図参照

(iii) CASE23(SPART23)

格子の形状:6×5.55、臨界燃料本数:33.12±0.10、臨界量(^{235}U):10.15±0.03kg)、^{235}U 濃度:3.99g/ℓ、ボロン濃度:0.871g /ℓ、格子配列:(ロ)-第 E.14 図参照

(c) JRR-4 臨界試験

JRR-4 は最大出力 3.5MW のスイミングプール型研究用原子炉である。燃料は低濃縮ウランシリコンアルミニウム分散型燃料である。燃料要素は 4×5 の格子に配列され、その周囲に黒鉛反射体(リドタンク側、大型反射体はアルミニウム反射体)、照射筒、中性子源が配置されている。板状の 5 本の制御棒と後備安全棒は燃料要素間及び燃料要素と反射体間にある。減速材、冷却材は軽水である。(ロ)-第 E.15 図及び(ロ)-第 E.16 図にそれぞれ燃料要素及び炉心配置図を示す。平成 10 年 7 月に最小炉心及び全炉心臨界試験が実施された。

最小炉心では、燃料要素 12 体が十字に配列、その周りに黒鉛反射体が装荷され、制御棒 C1、C2、C3 が全引き抜き、C4 が 369mm、C5 が 292mm 引き抜きされた。

全炉心臨界では、燃料要素が 20 体(5×4)で、C1～C4 が 255mm、C5 が 301mm 引き抜きである。試験中の炉心温度は約 20℃である。

これらの最小臨界、全炉心臨界について MGCL ライブラリと KENO-V.a コードの組合せで解析を行った。

(3) ベンチマーク試験結果

本解析で用いた MGCL ライブラリと KENO-V.a コードの組合せによる臨界解析の精度を検証するために

(a)原子力機構で行われたアルミニウム被覆の低濃縮 UO_2 燃料棒を軽水中に配列した臨界実験(TCA 臨界実験)

(b) ORNL で SPERT-D 燃料(ウランアルミニウム合金、^{235}U 濃縮度□%)で行われた臨界実験(国際ベンチマーク試験)

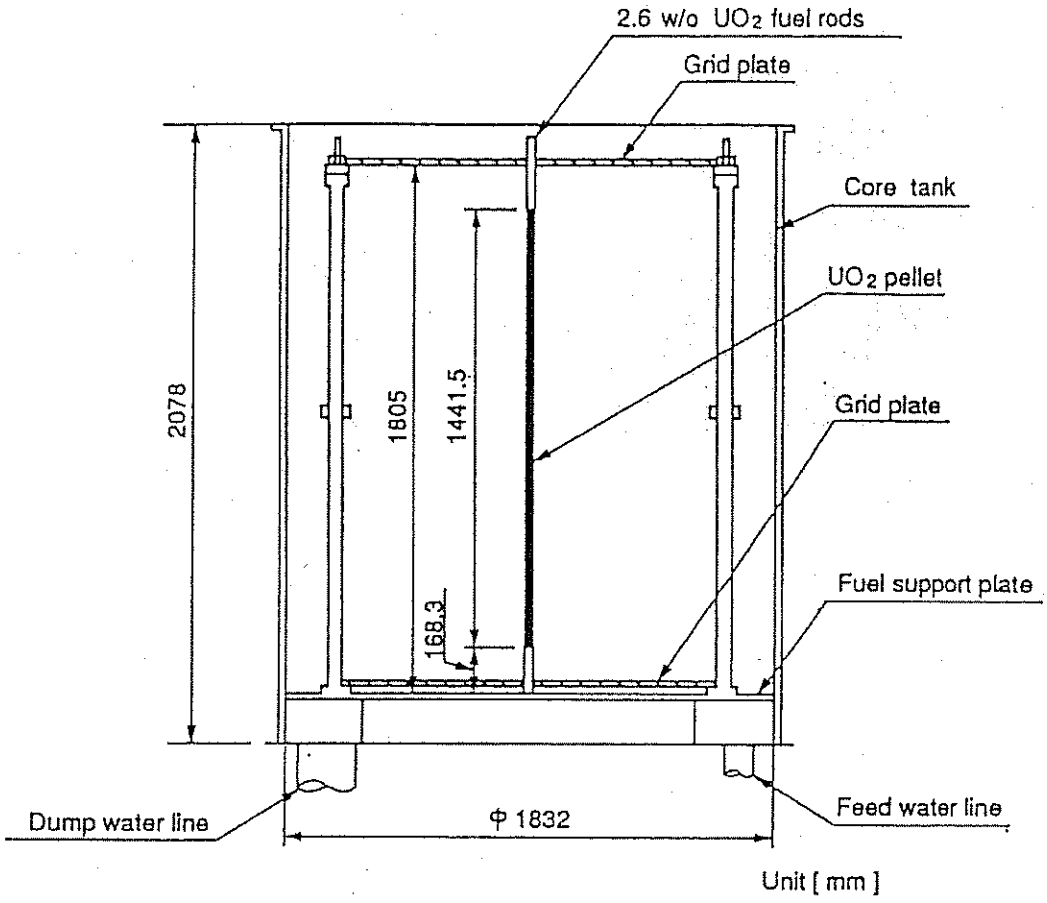
(c) JRR-4(濃縮度□%、U_3Si_2、板状燃料)で行われた全炉心及び最小炉心臨界実験

の各体系について MGCL と KENO-V.a から実効増倍率を求めると、(ロ) －第 E.9 表に示す結果が得られた。これより、本解析に用いた計算方法及び核データは妥当な結果を与えると言える。

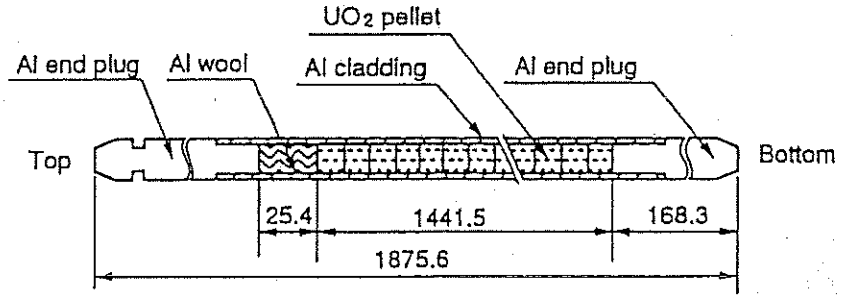
(ロ) －第 E.9 表　ベンチマーク臨界実験解析結果

試験体系	燃料棒(板){要素}配列	k_{eff}	1σ	$k_{eff}+3\sigma$
TCA 臨界実験	17×17-1.83*	0.9926	0.0042	1.0052
	21×21-1.83	0.9911	0.0043	1.0040
	20×20-1.50	0.9883	0.0040	1.0003
	18×18-2.48	0.9859	0.0041	0.9982
	17×17-3.00	0.9981	0.0041	1.0104
国際ベンチマーク試験	(88×68+1×2)	0.98896	0.00174	0.99418
	(352×88)	0.98865	0.00141	0.99288
	(132×110+11+12+11+12+12+11)	0.99110	0.00138	0.99524
JRR-4 臨界試験	{2×4+4}	0.98901	0.00138	0.99315
	{4×5}	0.98319	0.00116	0.98667

＊：燃料対水体積比

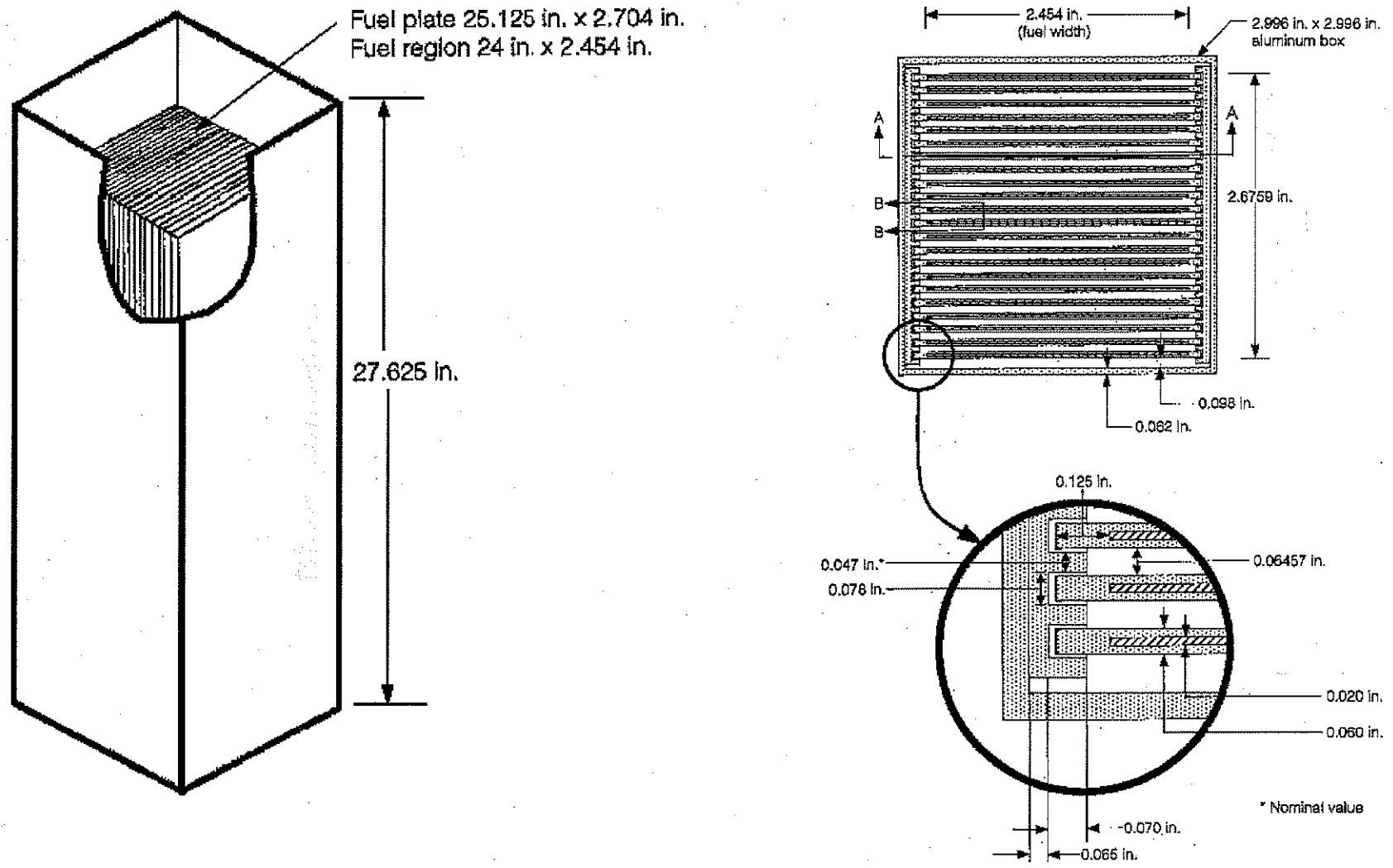


Vertical cross-sectional view of core tank

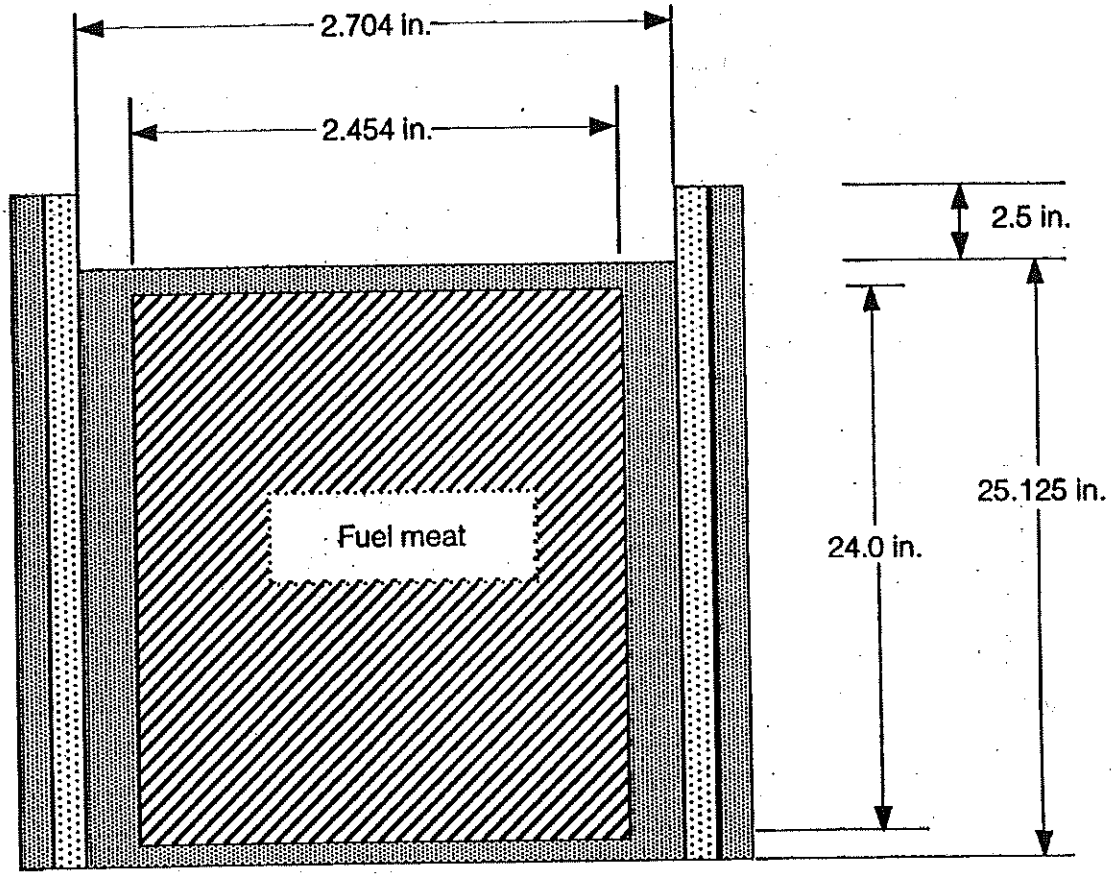


2.6 w/o UO_2 fuel rods

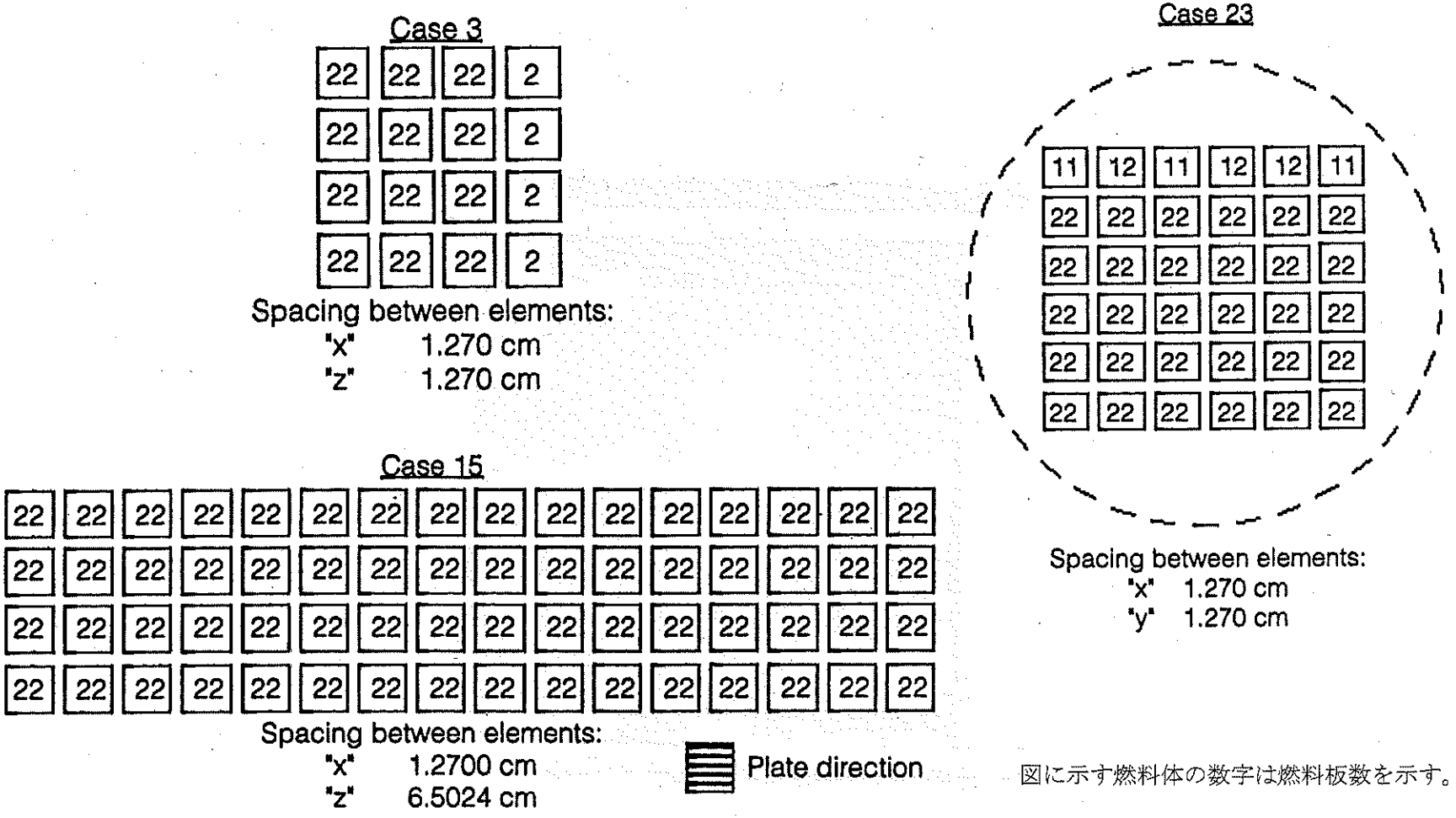
（ロ）－第E.12図　ＴＣＡ　臨　界　実　験　体　系



（ロ）－第 E.13 図　SPERT-D 燃料

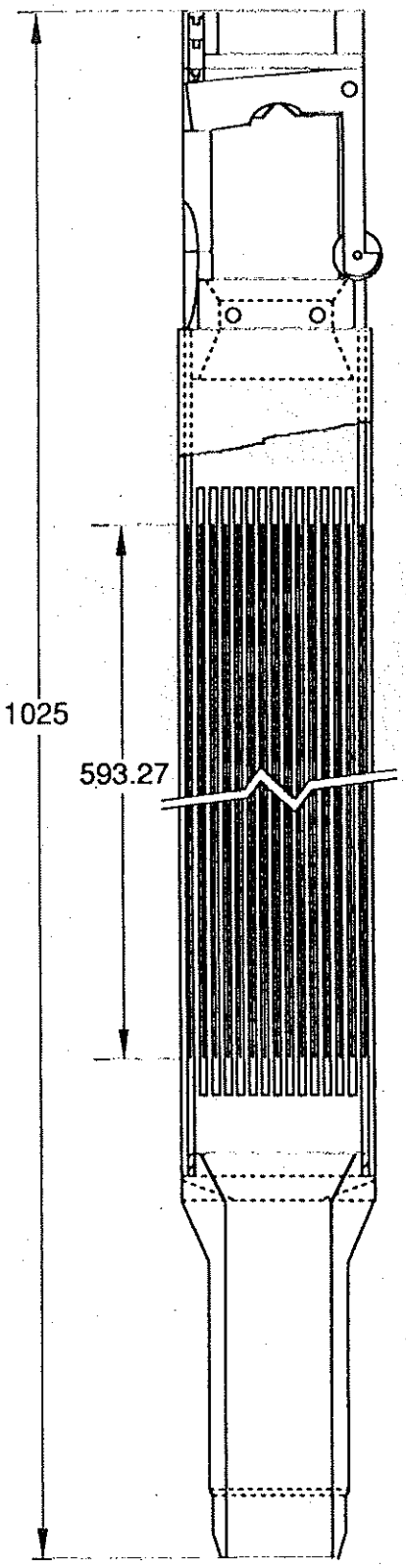


（ロ）－第E.13図　SPERT-D燃料（続き）



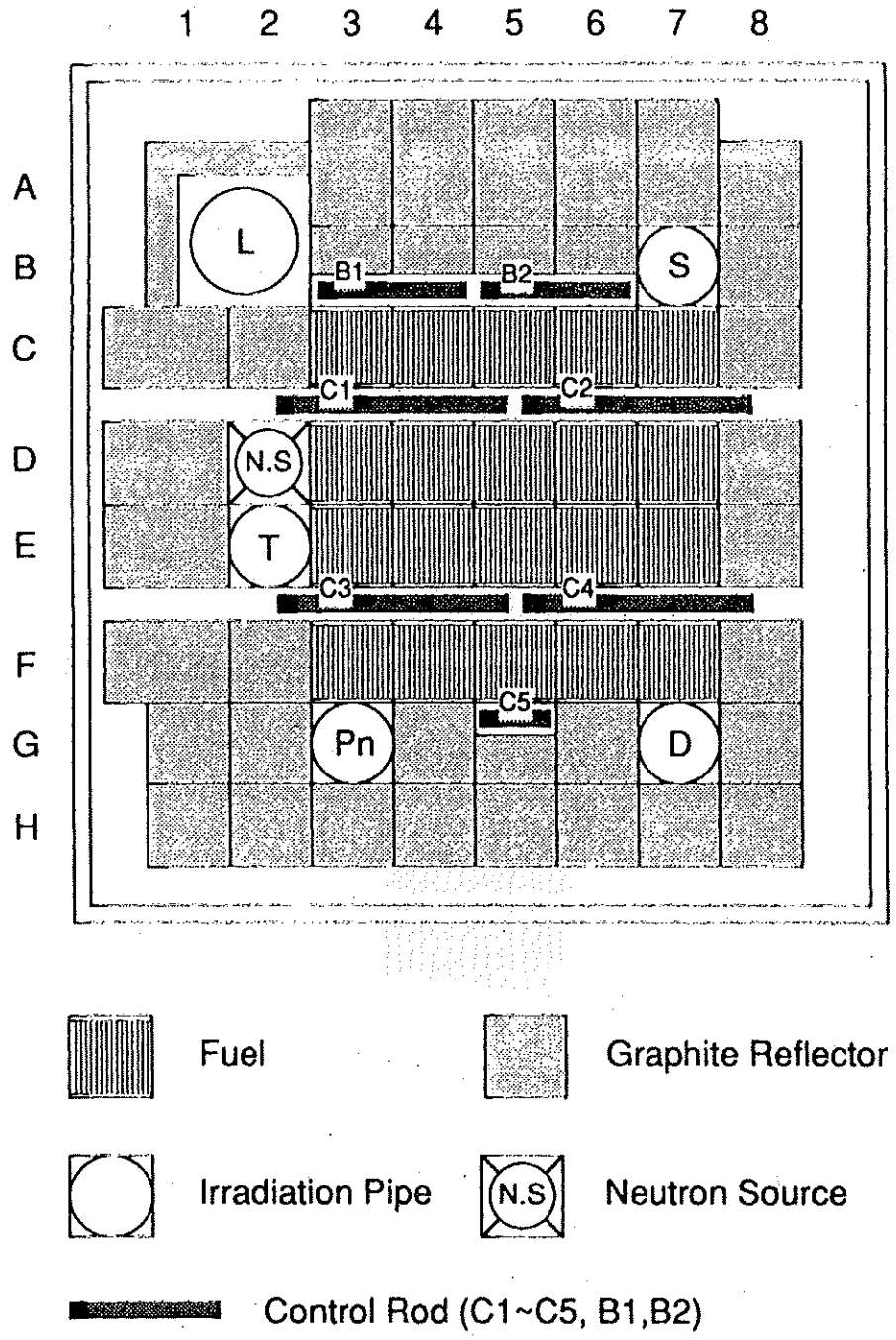
図に示す燃料体の数字は燃料板数を示す。

（ロ）－第E.14図　炉心配置図



(dimensions in mm)

（ロ）－第 E. 15 図　燃料要素



（ロ）－第E.16図　炉心配置図

E.6 結果の要約及びその評価

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置くこととした場合、（ロ）－A.9.1 に示すように、輸送容器の変形は、臨界評価体系（損傷状態を考慮した輸送物の表面）の外側である外容器の変形であり、臨界評価体系である内容器に一辺 10cm の立方体を包含するくぼみは生じず、また外接する直方体の各辺が 10cm 未満となることはない。

本解析で最大の実効増倍率を示すのは、（ロ）－第 E.8 表に示すとおり輸送容器 1 基に JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）を 10 体収納した場合であり、keff+3σ＝0.917 であり未臨界である。

E.7 付属書類

E.7.1　水密度の影響評価 …… (ロ) －E－37

E.7.2　KENO-V.a コードの説明 …… (ロ) －E－40

E.7.3　MGCL ライブラリの説明 …… (ロ) －E－41

E.7.4　参考文献 …… (ロ) －E－42

E.7.1 水密度の影響評価

ここでは、輸送容器に水が浸入した場合において、内容器内外の水密度の変化が臨界性に及ぼす影響を評価する。

最適減速状態を与える水密度及びその時の体系の実効増倍率は、主に燃料要素間の距離と燃料要素間の構造物による中性子吸収により決まる。本輸送物では、燃料要素間の距離とこの間にある燃料要素を収納するパイプの肉厚は収納燃料要素による違いはない。したがって、各燃料要素の最適減速状態における未臨界性の確認は、水密度 1.00g/cm^3 での実効増倍率が最も大きくなる燃料要素を収納した場合の実効増倍率が 0.95 を超えないことを確認することにより、その他の燃料要素においても、確認できる。

ここでは、水密度 1.00g/cm^3 での実効増倍率が最も大きい JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）について、内容器内外の水密度が 1.00g/cm^3 から 0.00g/cm^3 まで変化した場合の実効増倍率を計算して、本輸送物が最適減速状態においても未臨界であることを確認する。

水密度の影響評価に用いる解析モデルは、水密度 1.00g/cm^3 の時と同一である。

また、水を除く各領域の原子個数密度組成も同一である、

計算結果を（ロ）－第 E.10 表及び（ロ）－第 E.17 図に示す。

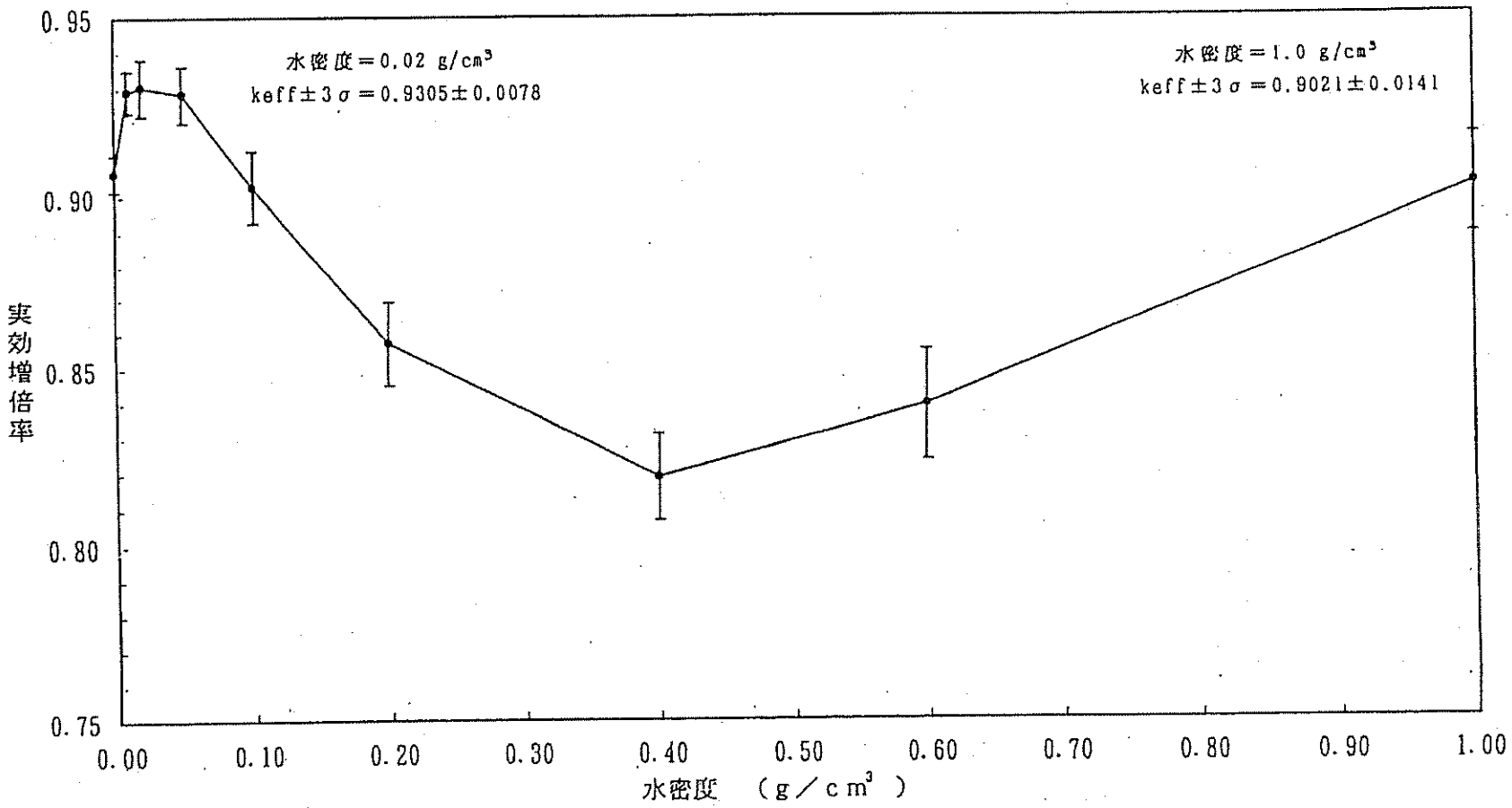
水密度 0.02g/cm^3 において最適減速状態が起こっているが、このときの実効増倍率は、keff＋3σ＝0.939 であり、基準値 0.95 を下回っている。

水密度 1.00g/cm^3 の水に浸された状態での実効増倍率が最も大きい輸送容器 1 基当たり JRR-3 標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）10 体収納時でも、最適減速状態における未臨界性は確保されており、本輸送物はいかなる条件下でも未臨界であるといえる。

（ロ）－第E.10表　水密度の変化に伴う実効増倍率の変化

（JRR-3標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）10体収納時）

水　密　度 〔g/cm³〕	k_{eff}	1σ	$k_{eff}+3\sigma$
1.00	0.9021	0.0047	0.9162
0.60	0.8391	0.0052	0.8547
0.40	0.8189	0.0041	0.8312
0.20	0.8572	0.0040	0.8692
0.10	0.9028	0.0034	0.9130
0.05	0.9286	0.0026	0.9364
0.02	0.9305	0.0026	0.9383
0.01	0.9294	0.0019	0.9351
0.00	0.9067	0.0017	0.9118



（ロ）－第E.17図　水密度と実効増倍率（$k_{eff}\pm3\sigma$）の関係（JRR-3標準型燃料要素（ウランシリコンアルミニウム分散型合金）10体収納時）

E.7.2　KENO-V.a コードの説明

KENO-V.a は、モンテカルロ臨界計算コードであり、米国 ORNL で開発された。KENO コードは、多群モンテカルロ法に基づき、複雑な体系の中性子増倍率の計算を行うことができる。

KENO では、中性子断面積ライブラリとして、多群形式ルジャンドル展開項(P_L)で表された中性子散乱マトリクスを持つライブラリを用いる。

KENO-V.a よりも古い版の KENO コード（KENO-IV）では、散乱マトリクスの展開次数として 1 次（P_1）までを取り扱っていたが、KENO-V.a では、任意の次数までを取り扱うことができ、（ただし、本申請では 1 次までを取り扱っている。）特に中性子散乱の異方性が実効増倍率に大きな影響を与えるような系で精度が向上している。

KENO-V.a における実効増倍率の基本的な計算方法は、KENO－IVコードと同様である。すなわち、核分裂性物質が存在する領域で発生した核分裂中性子が、媒質中で衝突を起こすうちに、媒質中の吸収断面積に応じて、その重みを減少していくものとして取り扱われる。中性子の追跡は、中性子の重みがある値以下になるか、体系外へ漏えいするまで続けられる。核分裂物質を含む媒質中での衝突では、核分裂の重みが記録され、次の世代での中性子の発生分布に用いられる。1 つの世代で複数（通常 300 個程度）の中性子を発生させ、前世代の核分裂の重みの分布にしたがって中性子を発生させることを繰り返すことにより、実際の核分裂中性子分布に近い分布を得ることができる。系の実効増倍率は、各世代ごとに計算される世代ごと実効増倍率の平均値として求められる。

$$keff = \frac{\sum_{j=1}^{NPB} \sum_{i=1}^{NCOLL} Wt_{ij} \frac{\nu\Sigma_f}{\Sigma_t}}{\sum_{j=1}^{NPB} Wt_{oj}}$$

ここで、

NPB　；　1 回の世代で発生する中性子数

NCOLL　；　各中性子の衝突回数

Wt_{ij}　；　核分裂が起こったときの中性子の持っていた重み

Wt_{oj}　；　発生中性子が持っていた重み

ν ; 1核分裂当たりの中性子発生数

Σ_f ; 巨視的核分裂断面積

Σ_t ; 巨視的全断面積

i ; 中性子の衝突回数

j ; 1世代中での発生中性子番号

E.7.3 MGCLライブラリの説明

MGCL ライブラリは、評価済み核データライブラリ ENDF/B-IV[1]を処理コード MGCL-ACE[1]で処理して原子力機構で作成した臨界解析用中性子断面積ライブラリであり、マスターライブラリの中性子エネルギ群数は137群である。

MGCL マスターライブラリは、各核種について、無限希釈断面積、共鳴自己遮蔽因子テーブル及び散乱マトリクスを持っており、散乱マトリクスのルジャンドル展開次数は1次（P_1）である。MGCLは、付属の実効断面積作成コードMAILによって処理され、材質の密度・組成及び燃料の非均質を考慮した領域ごとの巨視的実効断面積に変換されて、臨界解析に用いられる。

E.7.4 参考文献

(1) Y. Naito, et al. "MGCL-PROCESSOR : A Computer Code System for Processing Multi-group Constants Library", JAERI-M9396(1981)

(2) L. M. Petrie, et al. "KENO-V.a : A Monte Carlo Criticality Program with Super Grouping", NUREG/CR-0200 Rev. 3 Sec. F-11(1984)

(3) 小室他「KENO-Ⅳコードベンチマーク計算(10)(軽水型原子炉臨界集合体による臨界実験)」、JAERI-M9147(1980)

(4) K. Woods, et al. "Critical Experiments of SPERT-D Fuel in Water", NEA/NSC/DOC(95)03/Ⅱ Volume Ⅲ(1998)

(5) Y.Nakano, et al., "Neutronics Characteristics of JRR-4 Low Enriched Uranium Core", Proceedings of 21th International of RERTER (1998)

F　核燃料輸送物の経年変化の考慮

(ロ)－F．核燃料輸送物の経年変化の考慮

F.1 考慮すべき経年変化要因

本章では、本輸送物について、使用を予定する期間中に想定される使用状況及びそれに伴う経年変化について考慮する。

本輸送物の使用期間中に想定される経年変化の要因としては、容器保管中や使用中における温度変化、収納物から発生する放射線、腐食等の化学的変化、繰り返し荷重が考えられる。そこで、これらの経年変化を生じさせる要因について、本輸送容器の主要材料・部材に関して評価を実施することとする。

本輸送物を使用する期間としては、製造後から 60 年として、使用回数としては、年 3 回、1 回の輸送当たり輸送に要する日数を 100 日として評価を実施する。

F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価

本輸送物の構成材料は、ロ章の（ロ）－第A.5表に示すとおりである。これらの材料のうち経年変化を考慮する材料を以下に示す。

・ステンレス鋼

・断熱材 [redacted]

・緩衝材 [redacted]

なお、Oリングの経年変化については、輸送ごとに交換を行うため、本章では考慮しない。

また、収納物については、輸送ごとで変わるため、輸送容器本体についてのみ考慮する。

（ロ）－第F.1表に各材料の経年変化の考慮について示す。

なお、吊上装置は、（ロ）－A.4.4において示したとおり、吊り上げ荷重が負荷される場合の許容繰り返し回数は、使用予定期間中の想定繰り返し回数（18000回）よりも多く、また、密封装置は（ロ）－A.5.1.4に示したとおり、設計圧力が負荷される場合の許容繰り返し回数は使用期間中の想定繰り返し回数（500回）よりも多いことから、使用予定期間における繰り返し荷重に伴う疲労による経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。

（ロ）－第F.1表　安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(1/3)

材料	要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価
ステンレス鋼 [ ]	熱	ステンレス鋼の温度変化については、金属キャスク構造規格（設計・建設規格（JSME S NSI-2005）[1]（2007年追補版）[2]において[ ]までの設計用強度・物性値が規定されており、当該の温度まではクリープ等の影響を受けない。	一般の試験条件下の太陽放射熱ありの条件における最高温度は65℃であり、本材料では機能の低下は起きないため、熱による経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。
	放射線	中性子照射量が10^{16}n/cm^{2}以上となると、材料強度に影響が生じ始める[3]。	年間3回、1度の輸送に要する期間を100日として、60年間使用する条件下で、構造部品の特定の1cm^{2}に、集中して中性子が照射されたとしても、その中性子照射量は、[ ]であるため、中性子照射による経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。
	化学反応	ステンレス鋼は、表層に不動態膜を形成し、腐食しにくい材料である。また、より安全を考慮し、海塩粒子のばく露試験においても有意な腐食は認められていない[4]。	ステンレス鋼は腐食しにくい材料であり、また、運搬中に予想される海塩粒子付着による腐食に対しても、実用上影響はない。さらに、万一腐食が生じた場合でも、定期点検・保守作業等により腐食の有無は確認され、適切に対応される。以上のことから経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。

（ロ）－第F.1表　安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(2/3)

材料	要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価
断熱材 [ ] [ ] [ ]	熱	[ ]の温度変化における重量変化量に関しては、[ ]を超えると急激に変化することが確認されている[5]。	一般の試験条件下の太陽放射熱ありの条件における最高温度は65℃であり、本材料では機能の低下は起きないため、熱による経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。
	放射線	中性子照射量が $10^{15}n/cm^2$ までは、顕著な機械的特性変化は認められない[3]。	年間3回、1度の輸送に要する期間を100日として、60年間使用する条件下で、構造部品の特定の $1cm^2$ に、集中して中性子が照射されたとしても、その中性子照射量は、[ ]であるため、中性子照射による経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。
	化学反応	本材料は、水分との接触により、吸湿等のおそれがある。	本材料はステンレス鋼に覆われており、密閉空間にあることから、吸湿等による分解、腐食等の影響は受けない。ステンレス鋼の評価については、上述のとおり、経年変化の影響を受けないことから、本材料も吸湿・腐食のおそれはなく、経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。

（ロ）－第F.1表　安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価(3/3)

材料	要因	経年変化の考慮の必要性の検討	評価
緩衝材 □ □	熱	本材料に関する温度変化については、□から影響が出ることが確認されているが、その温度以下についての影響については、温度変化についての経年変化は認められない[7]。	一般の試験条件下の太陽放射熱ありの条件における最高温度は65℃であり、本材料では機能の低下は起きないため、熱による経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。
	放射線	中性子照射量が3MGyまでは、顕著な機械的特性変化は認められない[7]。	本輸送容器で収納する収納物について、そこから発生する中性子からの中性子照射量は、保守的に見積もっても□程度であるため、中性子照射による経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。
	化学反応	本材料は、水分との接触により、吸湿、腐食のおそれがある。	本材料はステンレス鋼に覆われており、密閉空間にあることから、吸湿等による分解、腐食の影響は受けない。ステンレス鋼の評価については、上述のとおり、経年変化の影響を受けないことから、本材料も吸湿・腐食のおそれはなく、経年変化への影響はないため、安全解析で考慮する経年変化はない。

F.3 安全解析における経年変化の考慮内容

前章に示したとおり、本輸送物に係る各材料について、経年変化の考慮の必要性について評価を行った。その結果、使用期間中において本輸送物については、経年変化の影響はないことから安全解析において経年変化を考慮する必要がないことが分かった。本章にて評価を実施しなかった部材については、（ハ）章にて示す輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法においてその健全性が担保されるため、安全解析上考慮する必要はない。

参考文献

(1) （一社）日本機械学会、「使用済燃料貯蔵施設規格　金属キャスク構造規格（JSME S FA1-2007）」(2007).

(2) （一社）日本機械学会、「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版）＜第Ⅰ編　軽水炉規格＞（JSME S NC1-2005（2007年追補版含む））」(2007).

(3) K.Farrell, et al,"An Evaluation of Low Temperature Radiation Embrittlement Mechanisms in Ferritic Alloys", J. of Nuclear Materials, Vol.210,(1994).

(4) R.R.Gaugh, "Stress Corrosion Cracking of Prescipitation-Hardening Stainless Steels", Materials Performance, Vol.26, No.2, (1987).

(5)

(6) (独)原子力安全基盤機構,「平成１５年　金属キャスク貯蔵技術確証試験　報告書　最終報告」,(2004).

(7)

G　規則及び告示に対する適合性の評価

（ロ）－G．規則及び告示に対する適合性の評価

本輸送物は（ロ）－第G.1表に示すように、規則及び告示に定める技術基準の該当項目に合致している。

（ロ）－第G.1表　規則及び告示に定める技術基準への適合性の評価

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
第3条第1項 第1号	第3条	本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第3条第1項 第2号	第4条	本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第3条第1項 第3号	第4条 及び 別表第一	本輸送物に収納される核燃料物質は、特別形核燃料物質等以外のものに該当し、核燃料物質の濃縮度は［　　］未満のウラン合金である。 収納される放射能量は A_2 値を超えるため、本輸送物はＢＵ型輸送物に該当する。	(イ)－B	
第3条第2項	第5条	本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第3条第3項		本輸送物はＢＵ型輸送物であるので、規則第7条に定める技術基準の適用を受ける。 また、第7条の技術上の基準の適合性評価に当たり経年変化の考慮が求められることから以下のとおり評価した。 1．輸送物は使用予定年数を60年、年間の輸送回数を3回、1回の輸送当たり輸送に要する日数を100日と設定する。 2．収納物については当該輸送日数では経年変化がないことから、輸送容器構成部品について考慮する。 3．経年変化の要因として、熱、放射線照射、化学変化及び繰り返し荷重とする。 4．放射線照射の影響については、使用予定期間で収納物から照射を受けると	(イ)－D (ロ)－F	

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		しても、材料強度に影響が現れる単位面積当たり 10^{16} 個を十分に下回る。 ５．熱の影響については、輸送容器構成部品の最高温度は 65℃で有り、ステンレス鋼は、規格等で定められる構造強度基準の範囲内であること、また、断熱材、緩衝材も機械的特性変化を生じる温度を下回る。 ６．化学変化の影響について、ステンレス鋼は不動態膜を表面に形成し腐食は進行しにくいこと、また外観検査等で状態を確認し、必要に応じ補修すること、断熱材、緩衝材はステンレス鋼に覆われ、密閉空間にあることから吸湿等による分解、腐食等の影響は受けない。 ７．繰り返し荷重の影響について、圧力や取扱いによる繰り返し荷重により発生する応力に基づく許容繰り返し回数は想定される繰り返し回数を上回る。 以上より、輸送物は経年変化による影響はない。		
第４条		本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第５条		本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第６条		本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第７条第１号		輸送物は、以下に示すとおり容易且つ安全に取り扱うことが出来る。 輸送物は、取扱い中の吊上げ吊下ろしが容易に出来るよう容器本体にアイプ	(ロ)－A.4.4	第４条第１号

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		レートを有し、アイプレートを吊り具と接続し容易に取り扱うことが出来る。また、アイプレートは取扱いを考慮して安全係数を３とし、輸送物の最大重量を考慮した荷重に対して必要な強度を有する設計としており安全に取り扱うことが出来る。		
第７条第１号 （つづき）		輸送物は以下に示すとおり、運搬中に予想される温度、内圧及び振動等に対して亀裂・破損等を生じるおそれはない。 １．運搬中に予想される輸送物各部の最低温度は-40℃、また最高温度は規則第７条第２号に規定される周囲の温度が38℃で太陽熱の放射を受ける条件に輸送物を置いた場合であり、収納物の崩壊熱は無視しうることから輸送物各部の温度は一律 65℃である。本温度において、輸送容器構成部品は健全性を損なうことはない。 ２．運搬中に予想される温度の変化に対して、輸送物を周囲の温度が-40℃から38℃まで変化することを想定しても輸送容器構成部品間で有意な熱膨張差及び熱応力は発生しない。 ３．運搬中に予想される内圧の変化について、輸送物の最大内圧は［　　］［　　］である。これを上回る圧力を内容器に負荷した条件の下で密封装置の強度及び密封性を評価しており、構造健全性及び密封性が確保されることを確認している。	(ロ)－A.4.7 (ロ)－A.5	第４条第２号

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		４．振動等について、輸送物の固有振動数を算定した結果、運搬中に輸送物への入力が予想される振動数（0～50Hz）に対して大きな開きがあり運搬中に受ける荷重が増幅されることはない。また、運搬中に予想される輸送物への入力荷重は一般の試験条件における自由落下や積み重ね試験時の荷重に包含されることから、輸送物に亀裂・破損を生じるおそれはない。		
第７条第１号 （つづき）		本輸送物の表面には取扱い等に使用するアイプレート以外の突起物はない。また、本輸送物の表面は滑らかに仕上げられたステンレス鋼であり汚染の除去が容易な構造となっている。	(イ)－C	第４条第３号
第７条第１号 （つづき）		本輸送物の構成部品はステンレス鋼、[redacted]等化学的に安定した材料を使用しており容器を構成する材料相互及び収納物と危険な物理的作用や化学的作用が生じるおそれはない。 １．第４条第２号で示したとおり、運搬中に予想される温度の範囲において有意な熱膨張差等が生じることはなく、熱膨張による相互の干渉もないことから、材料相互及び材料と収納物の間で危険な物理的作用を生じるおそれはない。 ２．本輸送物は冷却水を用いないタイプであり、凍結に起因する破損を生じるおそれはない。 ３．断熱材[redacted]	(ロ)－A.4.1 (ロ)－A.4.2	第４条第４号

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		[redacted]、緩衝材[redacted]、[redacted] [redacted]のOリングは金属材料と接触しても化学反応を生じるおそれはない。 4.[redacted]及び[redacted]はステンレス鋼に覆われ密閉されていることから、吸湿等による分解、腐食等の影響は受けない。		
第7条第1号 （つづき）		本輸送物は弁をもたない設計であることから、技術上の基準は適用されない。	(ロ)－C.2.1 (ロ)－A.4.3	第4条第5号
第7条第1号 （つづき）	第9条	本輸送物の表面の放射性物質の密度は、発送前検査において以下に記述する値以下であることを確認する。 1.アルファ線を放出する放射性物質 0.4Bq/cm^2 2.アルファ線を放出しない放射性物質 4Bq/cm^2	(ハ)－A.2	第4条第8号
第7条第1号 （つづき）		輸送容器に燃料装荷する場合には、所定の要領に基づいて行い、しかも、輸送物の発送前検査として収納物検査が行われるので輸送物安全性を損なうおそれのあるものを装荷することはない。 本輸送物は、外接する直方体の各辺が下記のとおり10cm以上である。 ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型 高　さ　約[redacted] 外　径　約 [redacted]	(ニ)－A.2 (イ)－C (イ)－第 C.1図 (ロ)－A.4.3	第4条第10号 第5条第2号 第5条第3号

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		□		
第７条第１号 （つづき）		第４条第２号に示すとおり、運搬中に予想される輸送容器構成部品の温度の範囲は-40℃から65℃の範囲である。一方、当該を包含する-40℃から□℃の温度範囲において、輸送物構成部品の材料は著しい強度の低下、脆化等は生じず、必要な材料強度に影響を及ぼすことはない。したがって、-40℃から□℃の温度の範囲において構成部品に亀裂、破損を生じるおそれはない。	(ロ)－A.3 (ロ)－B.4.2	第５条第４号
第７条第１号 （つづき）		外圧が□MPa まで低下した場合における内外圧力差は□である。これに対し、内容器の内圧を設計圧力である□として、外圧が□MPa まで低下したとして評価し、密封装置の構造健全性及び密封性が確保されることを確認していることから□MPa まで外圧が低下した場合においても放射性物質の漏えいはない。	(ロ)－A.4.6	第５条第５号
第７条第１号 （つづき）		本輸送物は、液体の核燃料物質を収納しないことから、本要件の適用は受けない。		第５条第６号
第７条第１号 （つづき）		本輸送物は以下に示す保守的な条件を設定して、ANISN コード等を用いて輸送物表面における最大線量当量率を求めている。また、解析では収納する収納物よりもウラン量が多い新燃料及び低照射された燃料が収納されている条件の下で評価しており、輸送物の表面における最大線量当量率は低照射された燃	(ロ)－D.5	第５条第７号

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載対応項目	備　考
		料を収納した場合であり 0.169mSv/h となり 2mSv/h を下回る。 1．線量当量率への寄与の高い ^{234}U 及び ^{236}U について、これまでの実績の最大値を超える量を含有する。 2．低照射された燃料に対しては、実際に収納する収納物よりも多いウラン量、高い放射能を有する燃料が収納されているとする。 3．外容器等の構造材を無視して、内容器外表面を輸送容器表面とみなしている。		
第7条第1号 （つづき）		本輸送物は、表面における最大線量当量率と同様の保守的な条件に基づき表面から1m離れた位置における線量当量率を評価している。表面から1m離れた位置における最大線量当量率は、19μSv/h であり 100μSv/h を下回る。	(ロ)－D.5	第5条第8号
第7条第1号 （つづき）		本輸送物に収納される収納物の放射能の量は［　　］である。仮にこの放射能が全て A_2 値が最小となる ^{234}U（A_2 値：6GBq）であると仮定しても、10万倍を下回ることから本要件の適用は受けない。	(ロ)－A.6.4	第6条第5号
第7条第2号	第19条 別記第7 別記第4 第1号	ＢＵ型輸送物に係る一般の試験条件 a.熱的試験 一般の試験条件において、輸送物を38℃の雰囲気で太陽熱の放射がある条件の下に置いた場合について、輸送物の温度を評価した結果、各部の温度は［　　］℃で一様になる。	(ロ)－B.4.1	

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		当該の温度は、[redacted]Oリングの最高使用可能温度である[redacted]を下回ることからOリングの健全性は維持される。また、内容器の内圧は[redacted]となるが、内容器の強度評価においては当該を上回る[redacted]が負荷された輸送物が一様に[redacted]℃である条件の下で評価されており、内容器が弾性範囲内であることを確認している。また、密封境界を形成する内容器蓋とフランジ部の口開き量はOリングの初期締め付け代を下回ることから密封性は維持される。		
	別記第4 第2号 別記第3 第1号イ	b. 水噴霧 輸送物の表面はなめらかなステンレス鋼であり、吸水性はなく、吸水による腐食等が生じるおそれはないことから、密封性及び遮蔽性能に影響する損傷はない。	(ロ)－A.5.2	
	別記第3 第1号ロ 別記第3 第1号ロ(1)	c. 自由落下 当該輸送物の最大重量は[redacted]であることから、落下高さは1.2mとなる。 1.2m高さから落下したときの輸送物の状態について、CASH-IIコード等を用いて、輸送物に生じる加速度及び変形量を評価している。また、得られた加速度に基づいて、輸送容器及び収納物の強度を評価している。落下姿勢は、垂直、水平、コーナー及び傾斜落下を対象としている。解析の結果、輸送物に最大[redacted]の変形が生じるが変形は外容器に限られ	(ロ)－A.5.3	

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		内容器、内容器蓋、バスケット及び収納物に変形は生じないこと、内容器蓋の口開きはOリングの初期締め付け代に比べ十分に小さく、構造健全性及び密封性は確保される。		
	別記第3 第1号ロ(3)	d. 積み重ね 輸送容器の投影面積に0.13 kg/cm^{2}を負荷する場合と輸送物に自重の5倍荷重を負荷する場合を比較すると後者の負荷の方が厳しい条件となることから後者の条件の下で、輸送物の状態について評価している。その結果、輸送容器に塑性変形を生じることはなく、輸送物の健全性は確保され、密封性及び遮蔽性能に影響を与える損傷はない。	(ロ)－A.5.4	
	別記第3 第1号ロ(4)	e. 貫通 外容器の外板(厚さ　　)の6 kgの鋼棒を1m高さから落下させた場合について、鋼棒の持つ落下エネルギーと外容器の鋼板を貫通させるエネルギーを比較し、後者の値の方が大きいことを確認しており、外鋼板が貫通することはないことから、密封性及び遮蔽性能に影響を与える損傷はない。	(ロ)－A.5.5	第5条第9号ロ
第7条第2号 (つづき)		一般の試験条件に置いた輸送物は、外容器に変形が生じることを踏まえ、通常輸送時における最大線量当量率評価と同じく、内容器の外表面を輸送物表面とみなす保守側の条件の下で評価した結果、表面における最大線量当量率は0.169mSv/hとなり、2mSv/hを下回る。	(ロ)－D.4	第6条第2号イ

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
第７条第２号 （つづき）		一般の試験条件に置いた輸送物は密封装置の構造健全性及び密封性が確保され、収納物の構造健全性も維持される。放射性物質の漏えい量評価においては、発送前検査における気密漏えい検査の合格基準に相当する漏えいがあると仮定した上で、燃料製造時に燃料の表面に付着するウラン同位体を対象として、これらが内容器内部に分散している条件の下で、内容器の内圧が最大内圧を超える［　　］と仮定し、放射性物質の１時間当たりの漏えい量を評価した結果、放射性物質の漏えい量の基準（$A_2 \times 10^{-6}$）に対する比率は 1.07×10^{-3} であり基準を満足する。	（ロ）－C.3.1	第６条第２号 ロ
第７条第２号 （つづき）	第15条	輸送物は専用積載で輸送される。一般の試験条件に置いた輸送物を 38℃の環境での日陰に置いた場合においても、収納物の崩壊熱量は無視しうることから人が近づきうる輸送物表面の温度は38℃となる。したがって輸送物表面の温度は65℃を超えることはない。	（ロ）－B.4.2	第６条第２号 ハ
第７条第２号 （つづき）	第９条	一般の試験条件に置いた輸送物は、密封装置の構造健全性及び密封性が確保されることから、放射性物質が放出されることはない。また、発送前検査において表面密度が表面密度限度を下回ることを確認することから、表面密度限度を超えることはない。	（ニ）－A.2	第６条第２号 ニ
第７条第３号	第20条 別記第８	ＢＵ型輸送物に係る特別の試験条件	（ロ）－A.6	

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載対応項目	備　考
	別記第5 第1号イ	落下試験Ⅰ 9m高さから落下させた場合の輸送物の状態について、CASH-II コード等を用いて、輸送物に生じる加速度及び変形量を評価している。また、得られた加速度に基づいて、輸送容器及び収納物の強度を評価している。落下姿勢は、垂直、水平、コーナー及び傾斜落下を対象としている。解析の結果、輸送物に最大[redacted]の変形が生じるが変形は外容器に限られ内容器、内容器蓋、バスケット及び収納物に破損は生じないこと、内容器蓋の口開きはOリングの初期締め付け代に比べ十分に小さく、構造健全性及び密封性は確保される。	(ロ)－A.6.1	
第7条第3号 (つづき)	別記第5 第1号ロ	落下試験Ⅱ（1m貫通試験） 1m高さから直径150㎜の鋼棒上に落下させた場合の輸送物の状態について、鋼棒が輸送物に衝突することで生じる外容器のくぼみ変形量を評価している。評価は、鋼棒が外容器蓋、外容器胴部及び外容器底部に衝突するケースとしている。評価の結果、いずれのケースも外容器外板を貫通することはないこと並びに鋼棒が外容器の変形により内容器及び内容器蓋に到達することはないことを確認しており、密封装置の構造健全性及び密封性は確保される。	(ロ)－A.6.2	
第7条第3号 (つづき)	別記第5 第2号イ 第2号ロ	熱的試験 落下試験Ⅰ、Ⅱを行った後に熱的試験に置いた後、輸送物の状態について、落	(ロ)－A.6.3 (ロ)－B.5	

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載対応項目	備　考
		下試験による外容器の変形を重畳した保守的なモデルを用いて、TRUMP コードにより輸送物各部の温度を評価した結果、緩衝材及び断熱材に一部焼損が生じる。また、Oリングの温度は□℃となるが、短期的な最高使用可能温度を下回ることから熱的健全性は確保される。また、内容器内圧は内部の空気温度をバスケットの最高温度とした場合でも□であり強度評価に用いた□MPa□を下回ることから、密封装置の構造健全性及び密封性は確保される。		
第7条第3号（つづき）	別記第5第3号	浸漬試験（水深15m） 15mの水深に置いた輸送物の状態について、密封装置である内容器及び内容器蓋に□の外圧が負荷した場合の構造強度及び内容器蓋の口開き量を評価した結果、内容器及び内容器蓋が破損、座屈を生じることはないこと及び内容器蓋の口開き量はOリングの初期締め付け代を下回ることを確認したことから構造健全性及び密封性は確保される。	(ロ)－A.6.4	
第7条第3号（つづき）		特別の試験条件に置いた輸送物は、外容器に変形、緩衝材及び断熱材が一部焼損することを踏まえ、通常輸送時における最大線量当量率評価と同じく、内容器の外表面を輸送物表面とみなす保守側の条件の下で ANISN コード等を用いて評価した結果、表面から1m離れた位置	(ロ)－D.5	第6条第3号イ

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載対応項目	備　考
		における最大線量当量率は 0.019mSv/h となり、2mSv/h を下回る。		
第7条第3号 (つづき)	第17条	特別の試験条件に置いた輸送物は、密封装置の構造健全性及び密封性が確保され、収納物の構造健全性も維持される。放射性物質の漏えい量評価においては、発送前検査における気密漏えい検査の合格基準に相当する漏えいがあると仮定した上で、燃料の表面に付着するウラン同位体を対象として、これらが内容器の内部に分散している条件の下で内容器の内圧を最大内圧を超える［　　］と仮定し放射性物質の1週間当たりの漏えい量を評価した結果、放射性物質の漏えい量の基準(A_2)に対する比率は 1.26×10^{-7} であり基準を満足する。	(ロ)－C.4.2	第6条第3号ロ
第7条第4号		第7条第1号（第4条第2号、第5条第4号）の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、周囲の温度が-40℃から38℃の範囲とした場合の輸送物各部の温度において、材料は必要とされる構造強度に対して影響はない。また内容器の内圧は当該の温度範囲における最大圧力を超える条件の下で構造健全性及び密封性が確保される。	(ロ)－A.3 (ロ)－B.4.2	
第7条第5号		本輸送物は、冷却装置等を持たない自然冷却方式である。	(ロ)－B.1	
第7条第6号		本輸送物は、運搬中に予想される温度の変化及び内外圧の変化を考慮しても、内外圧差（ゲージ圧）は［　　］を下回ることから最大使用圧力［　　］を超えない。	(ロ)－B.4 (ロ)－B.5	
第8条		本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載対応項目	備　考
第9条		本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第10条		本輸送物はＢＵ型輸送物であるので適用を受けない。		
第11条		経年変化の考慮について、第3条第3項の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、経年変化の要因として放射線照射、熱、化学変化及び繰り返し荷重を考慮して、使用予定年数、使用回数に対する影響評価を行った結果、輸送物に経年変化の影響はない。 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件においた輸送物の状態について、外容器の一部に変形が生じるが、内容器、内容器蓋、バスケットの構造健全性は確保される。 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件に置くこととした場合、一般の試験条件の履歴を受けたのちに、落下試験、熱的試験、浸漬試験に置いた輸送物の状態について、外容器の変形、緩衝材及び断熱材の一部に損傷が生じるが、内容器、内容器蓋、バスケット及び収納物が破損することはない。	(ロ)－F	
第11条	第23条	本輸送物は、^{235}Uを15g以上収納し、^{235}Uの濃縮度が［　　］%であるので核分裂性輸送物の要件に該当する。	(イ)－B (イ)－D	
第11条第1号	第24条 別記第11 第1号	(一般の試験条件) 50mm/hの雨量に相当する水を1時間吹き付けた場合の影響を評価している。 本輸送物の最大総重量は［　　］で	(ロ)－A.9.1	

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
	第２号	あり、落下高さ 1.2mである。落下時に受ける最大損傷を評価できるように解析している。	(ロ)－A.9.1	
第11条第１号 (つづき)	第３号	自重の輸送物の 5 倍に相当する荷重を付加した方が厳しい条件となるため、この条件における内容器の強度を評価している。 重量 6kg、直径 3.2cm の軟鋼棒を 1m (100cm)の高さから本輸送物の最も弱い部分に落下させたとしている。	(ロ)－A.9.1 (ロ)－A.9.1	
第11条第１号 イ、ロ		輸送物を一般の試験条件の下に置くこととした場合、輸送物に生じる変形は自由落下に伴う外容器の最大［　　］［　　］の変形に限られる。また変形の形状はくぼみを生じるような変形ではないことから、1 辺が 10 cmの立方体を包含するようなくぼみは容器の構造部に生じない。一方、輸送物の外径［　　］［　　］、全長［　　］であるから外接する直方体の一辺は 10 cm以上である。	(ロ)－A.9.1 (ロ)－A.9.1 (イ)－C (イ)-第C.1図	
第11条第２号 イ、ロ、ハ、ニ、 ホ	第25条	第 11 条第 2 号イからホの 5 つの条件を全て包含する保守的な実効増倍率解析モデルとして、隣接する輸送物間の相互干渉を強めるため輸送容器の外容器等を無視して内容器の外表面を輸送容器表面とすること、評価体系中で中性子の漏れがないように内容器外表面に外接する正六角形を完全反射面として、輸送容器が無限配列しているとしていること、照射の履歴がある収納物について	(ロ)－E.3.1 (ロ)－E.4.4 (ロ)－E.5	

規則の項目	告示の項目	説　　明	申請書記載 対応項目	備　考
		は未照射としていること及び配列系においても内容器内部を満水とした上で、収納物が収納されるバスケット内部と外部の水密度を区別して反応度が最大となる条件を定める等を考慮して、KENO-VIコードを用いて全ての収納物に対して実効増倍率を求めた結果、実効増倍率の最大値は約0.94となり、収納物とした核燃料物質のいずれを収納した場合においても未臨界性が確保される。		
第11条第3号		第7条第1号（第4条第2号、第5条第4号）の技術上の基準に対する適合性において説明のとおり、周囲の温度が-40℃から38℃の範囲とした場合の輸送物各部の温度において、材料は必要とされる構造強度に対して影響はない。また内容器の内圧は当該の温度範囲における最大圧力を超える条件の下で構造健全性及び密封性が確保される。	(ロ)－A.3 (ロ)－A.4.2	

ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型輸送容器に

関する原型容器試験結果報告書

平成２年５月

日本原子力研究所

目　　次

1. 概　　要 …… (ロ) －H－1

2. 試 験 項 目 …… (ロ) －H－1

3. 実施場所及び実施日程 …… (ロ) －H－1

4. 使 用 機 器 類 …… (ロ) －H－4

4.1 試　験　体 …… (ロ) －H－4

4.2 使 用 機 器 …… (ロ) －H－14

4.2.1 強 度 試 験 …… (ロ) －H－14

4.2.2 耐 火 試 験 …… (ロ) －H－15

4.2.3 密 封 試 験 …… (ロ) －H－15

5. 強 度 試 験 …… (ロ) －H－23

5.1 試 験 要 領 …… (ロ) －H－23

5.2 落下姿勢の選定 …… (ロ) －H－24

5.3 落下姿勢の調整 …… (ロ) －H－24

5.4 測定項目及び測定位置 …… (ロ) －H－26

5.5 試 験 結 果 …… (ロ) －H－29

5.5.1 ９m水平落下試験（落下試験Ⅰ） …… (ロ) －H－29

5.5.2 １m水平貫通試験（落下試験Ⅱ） …… (ロ) －H－32

6. 耐 火 試 験 …… (ロ) －H－36

6.1 試 験 概 要 …… (ロ) －H－36

6.2 測 定 方 法 …… (ロ) －H－36

6.3 試験状況及び試験結果 …… (ロ) －H－36

6.4 試験終了後の状況 …… (ロ) －H－41

7. 密 封 試 験 …… (ロ) －H－50

7.1 試 験 概 要 …… (ロ) －H－50

7.2 測 定 方 法 …… (ロ) －H－50

7.3 試 験 結 果 …… (ロ) －H－51

8. 試験結果の評価 …… (ロ) －H－52

1. 概　　要

本試験は、実輸送容器の１／１スケールモデルの輸送容器（以下「原型容器」という。）を１基使用し、2.に示す一連の試験を実施し、輸送物の安全性を確認することを目的とする。

2. 試 験 項 目

本試験で実施した試験項目を以下に示す。

(1) 強度試験

(a) 落下試験Ⅰ …… ９ｍ水平落下（１３５° 方向下向）

(b) 落下試験Ⅱ …… １ｍ水平貫通（１３５° 方向下向）

(2) 耐火試験 …… 炉内試験（８００℃の環境に３０分間放置）

(3) 密封試験

3. 実施場所及び実施日程

(1) 実施場所

(a) 強度試験及び密封試験

(b) 耐火試験及び密封試験

(2) 実施日程

試験実施日程を（ロ）－第H.1表に示す。

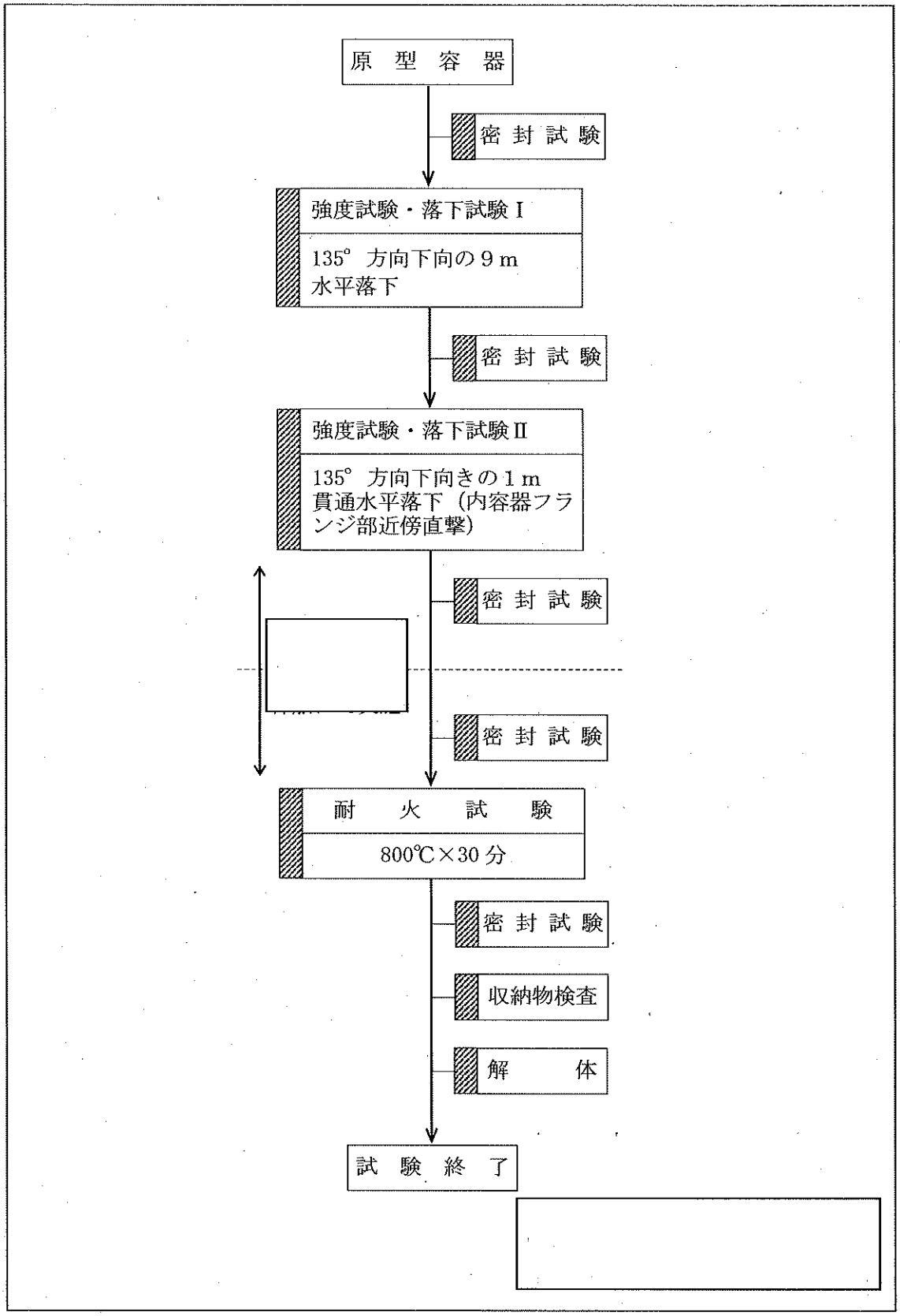
(3) 試験手順

試験手順を（ロ）－第H.2表に示す。

（ロ）－第H.1表　原　型　容　器　試　験　日　程　表

年　月 / 項　目	平成2年 1月	2月	3月	4月
1. 原型試験の準備	→	→	→	
2. 原　型　試　験				
(1) 強　度　試　験			→	
(2) 耐　火　試　験			→	
(3) 密　封　試　験			▼ ▼ ▼	
(4) 収 納 物 検 査				→
3. 報告書の作成				→

（ロ）－第H.2表　原型容器試験手順



4. 使用機器類

4.1 試 験 体

(1) 原型容器 …… 1体（（ロ）－第H.1図参照）

強度試験及び耐火試験用供試体として、実輸送容器とほぼ同一の原型容器 1 体を製作した。原型容器と実輸送容器の比較を（ロ）－第H.3表に示す。（ロ）－第H.3表（1/2）に示すように、検出器取付等のため溝加工及び穴加工等を行っている。

(2) 模擬燃料要素 …… 6体（（ロ）－第H.2図参照）

模擬燃料要素は、実機と同一寸法、同一形状であるが、燃料芯材にアルミニウムを使用している。

(3) 模擬重量体 …… 4体（（ロ）－第H.3図参照）

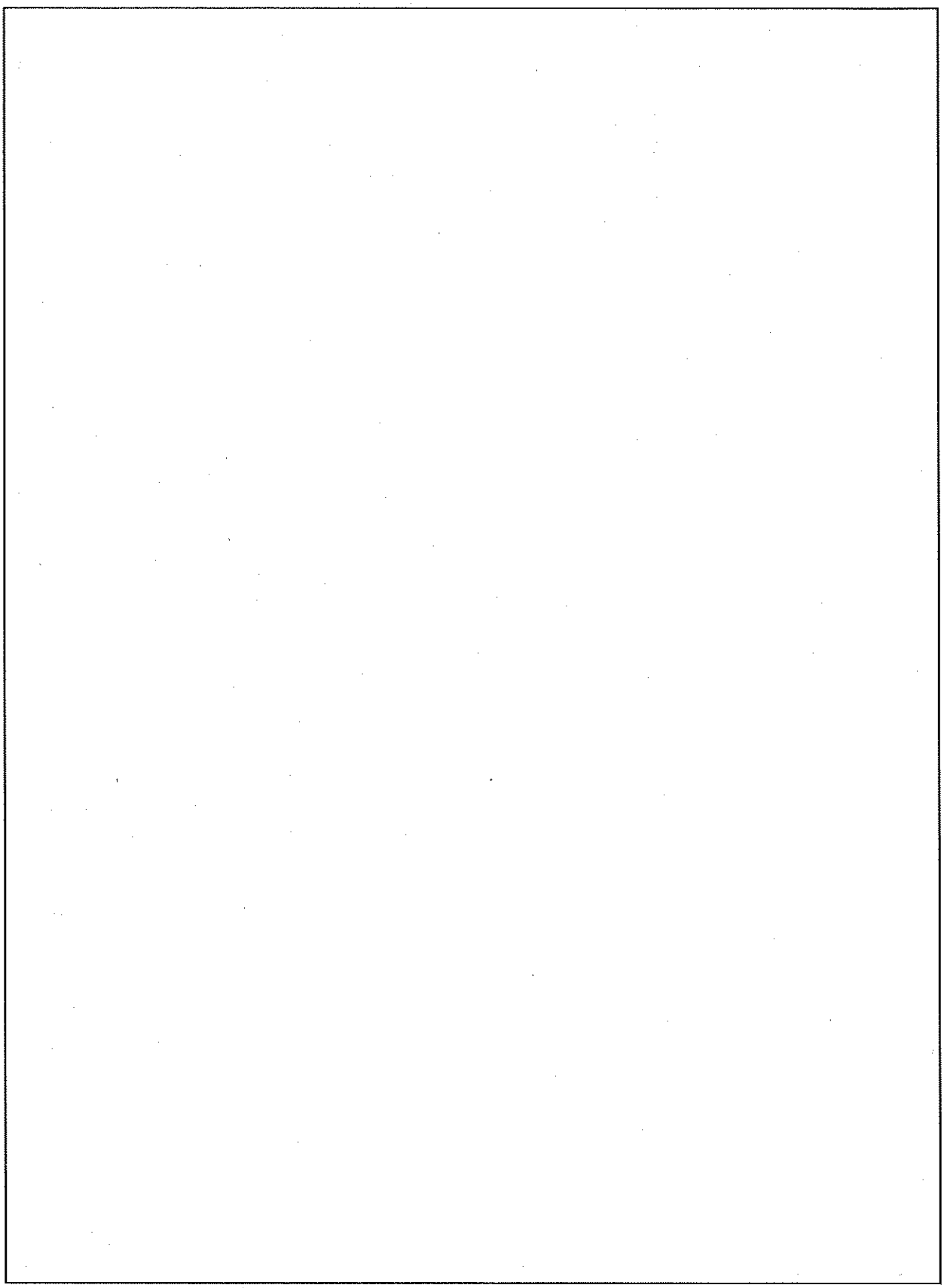
形状は角型とし、全長及び重量は、ＪＭＴＲ標準燃料要素と同一である。

（ロ）－第H.3表 実輸送容器と原型容器との主要部の比較(1/2)

部位		実輸送容器	原型容器
容器本体	上部	溝及び穴加工等なし	配線用溝加工を有す。 気密漏えい試験用穴加工等を有す。 T/C取付用穴加工を有す。
	下部	配線用穴加工等なし	配線用穴加工等を有す。
外容器蓋		—	— (相違点なし)
内容器蓋		—	— (相違点なし)
燃料ケバスト	上部	切り欠きなし	配線用切り欠きを有す。
	下部	切り欠き及び穴加工等なし	配線用切り欠き及び穴加工を有す。

（ロ）－第H.3表　実輸送容器と原型容器との主要部の比較(2/2)

項目		実輸送容器	原型容器
重量〔kg〕	外容器蓋 内容器蓋 本体 燃料バスケット 収納物 合計		
寸法〔mm〕〔材質〕	外容器蓋 内径 外径 全高	[・ステンレス鋼	[・ステンレス鋼
	内容器蓋 外径 厚さ	[・ステンレス鋼	[・ステンレス鋼
	本体 内径 外径 全高	[・ステンレス鋼	[・ステンレス鋼
	燃料バスケット 外径 全高	[・ステンレス鋼	[・ステンレス鋼

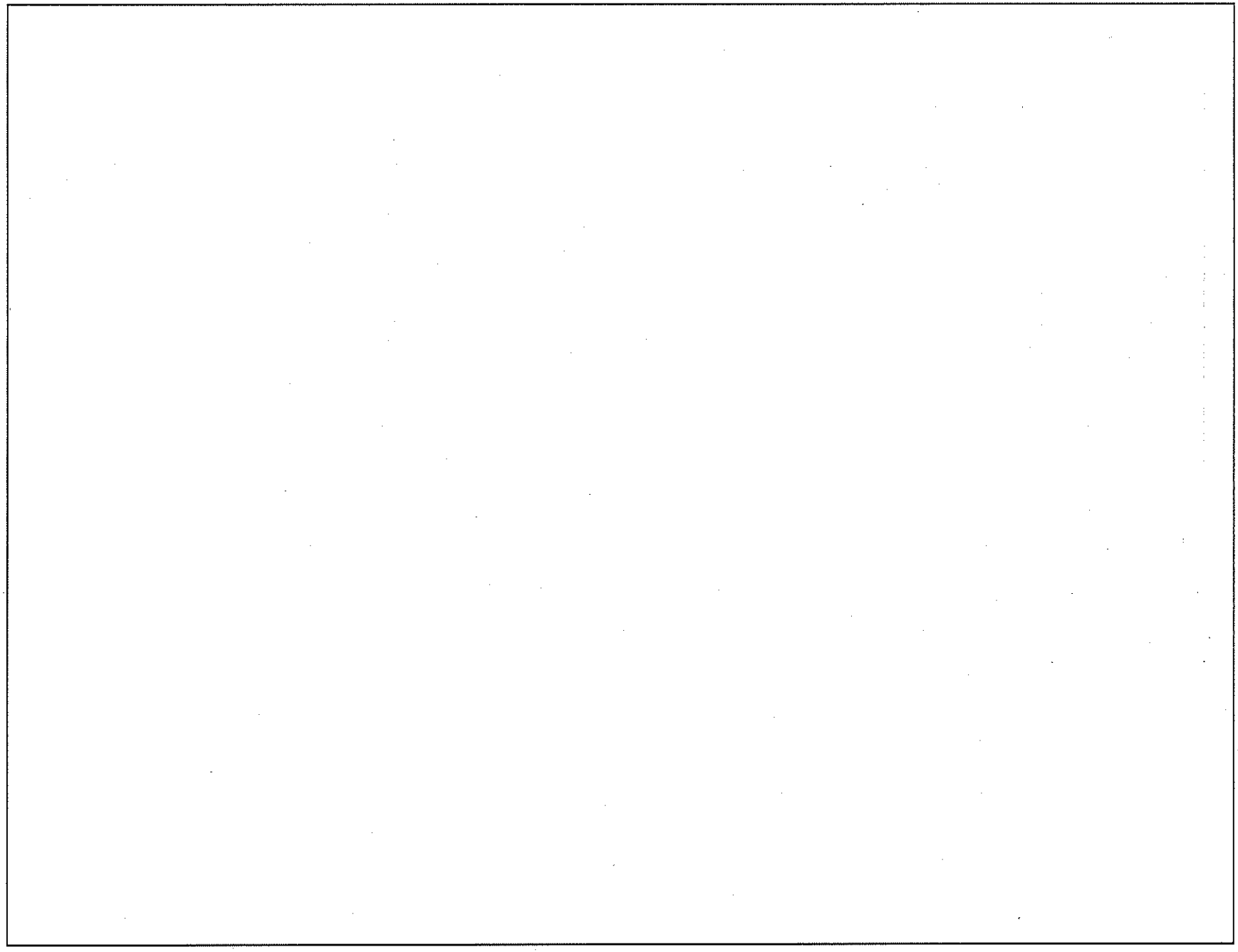


（ロ）－第H.1図　原型容器概念図

（ロ）－第H.2図（1／6）ＪＲＲ－３標準型燃料要素（模擬燃料要素）

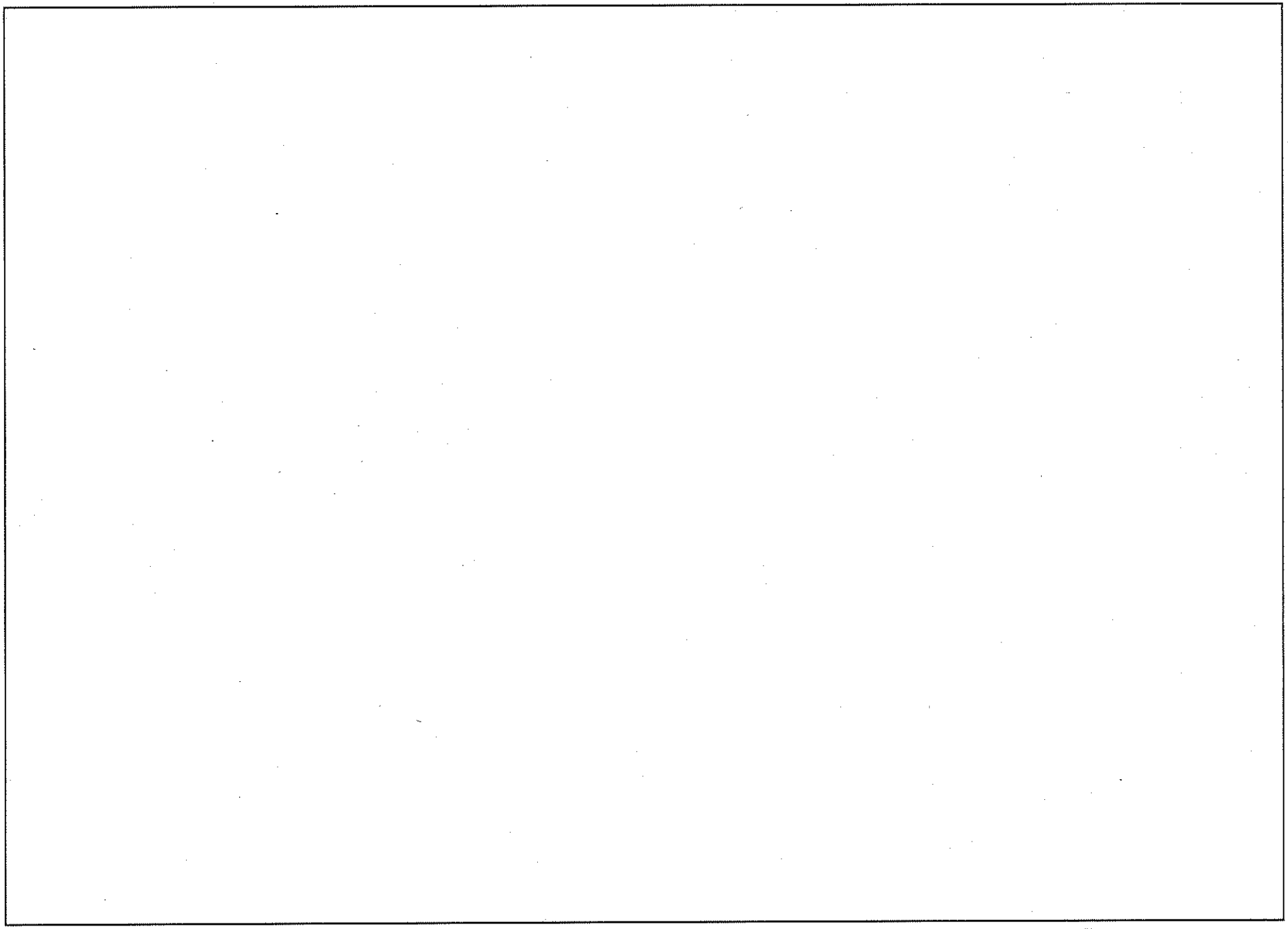
（ロ）－第H.2図（2／6）ＪＲＲ－３フォロワ型燃料要素（模擬燃料要素）

（ロ）－第H.2図（3／6）ＪＲＲ－４Ｂ型燃料要素（模擬燃料要素）

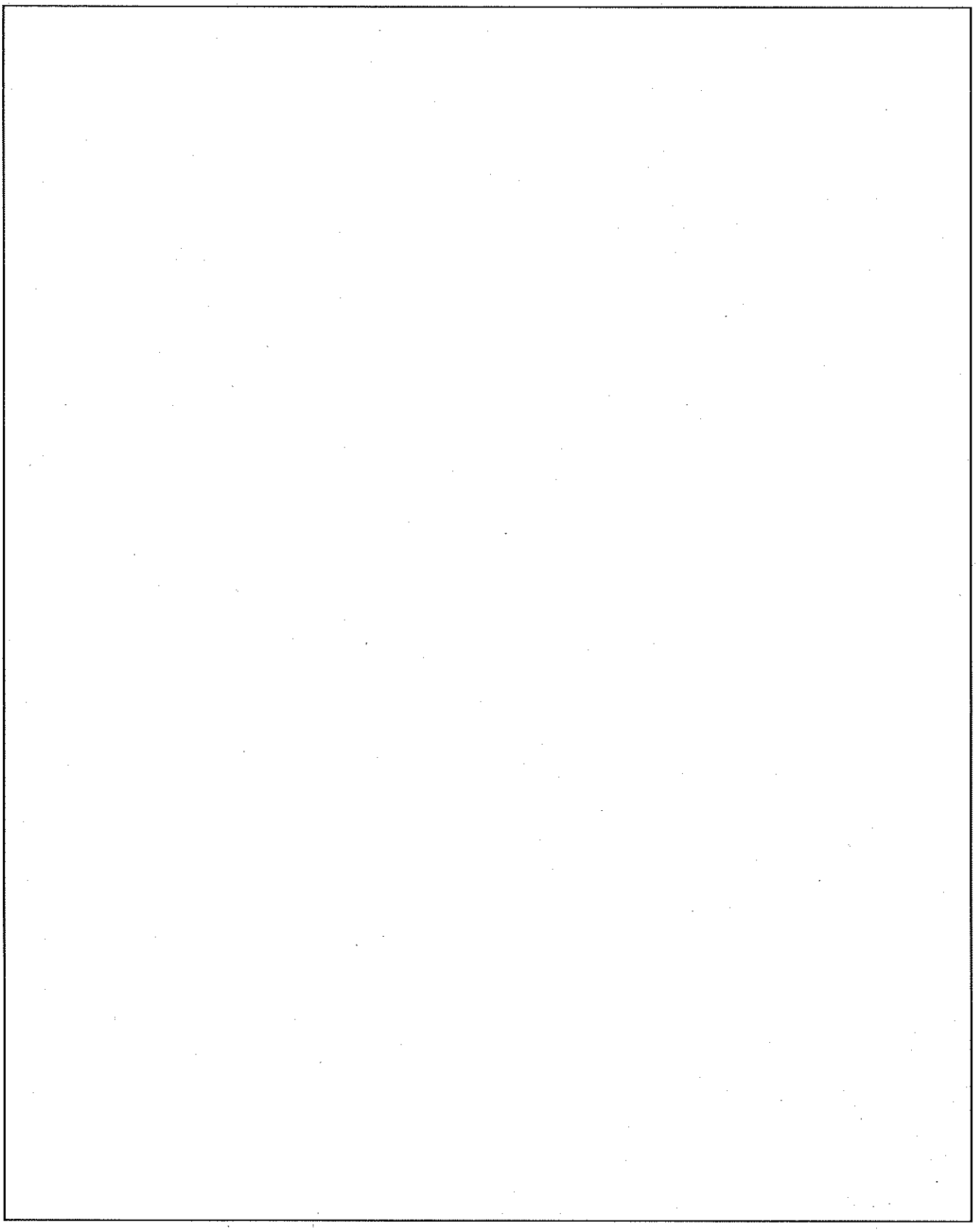


（ロ）－第H.2図（4／6）ＪＲＲ－４Ｌ型燃料要素（模擬燃料要素）

（ロ）－第H.2図（5／6）ＪＭＴＲ標準燃料要素（模擬燃料要素）



（ロ）－第H.2図（6／6）ＪＭＴＲ燃料フォロワ（模擬燃料要素）



（ロ）－第H.3図　模擬重量体

4.2 使用機器

4.2.1 強度試験

(1) 落下試験台

本試験に使用した落下試験台は、[redacted]である。本落下試験台の全重量は、[redacted]である。（（ロ）－第H.4図、写真（ロ）－第H.1参照）

(2) 切離し装置

切離し装置を（ロ）－第H.5図に示す。本切離し装置は、電磁式で最大吊下げ荷重は5tである。

(3) 貫通棒（落下試験Ⅱ）

貫通棒は鋼製で、φ150mm×300mmの寸法とし、落下台上にボルトにて固定する。（（ロ）－第H.6図、写真（ロ）－第H.2参照）

(4) クレーン車

吊上げ能力16tのクレーン車を使用した。

(5) 加速度変換器

単軸用の加速度変換器（型式：AS－1000HA、容量：1000G）を使用した。（写真（ロ）－第H.3参照）

記録は増幅器を介して、データレコーダにより行った。

(6) ひずみゲージ

単軸用のひずみゲージ（型式：KFC－1－C1－16）及び2軸用のひずみゲージ（型式：KFC－2－D16－16）を使用した。（写真（ロ）－第H.4参照）

記録は、増幅器を介して、データレコーダにより行った。

(7) ビデオ

各落下姿勢毎にビデオ撮影を行い、着地前後の挙動及び変形状況、計測状況を記録した。

(8) 測 定 具

直定規：2.0m、1.0m、３０cm(０．３m)、１５cm(０．１５m)

巻　尺：5m、3m

ノギス：1.5m

その他

4.2.2 耐火試験

(1) 耐 火 炉

耐火試験には、[redacted]を使用した。

(2) シース熱電対

耐火試験には、φ1.0cm、長さ 15m の非接地型のシース熱電対を使用し、各部の温度を測定した。(写真（ロ）－第H.5参照)

4.2.3 密封試験

密封試験では、次の機器を使用した。

(1) 圧 力 計

(a) ブルドン管式圧力計

・測定範囲：0～10kg/cm^2

(b) ひずみゲージ式圧力計

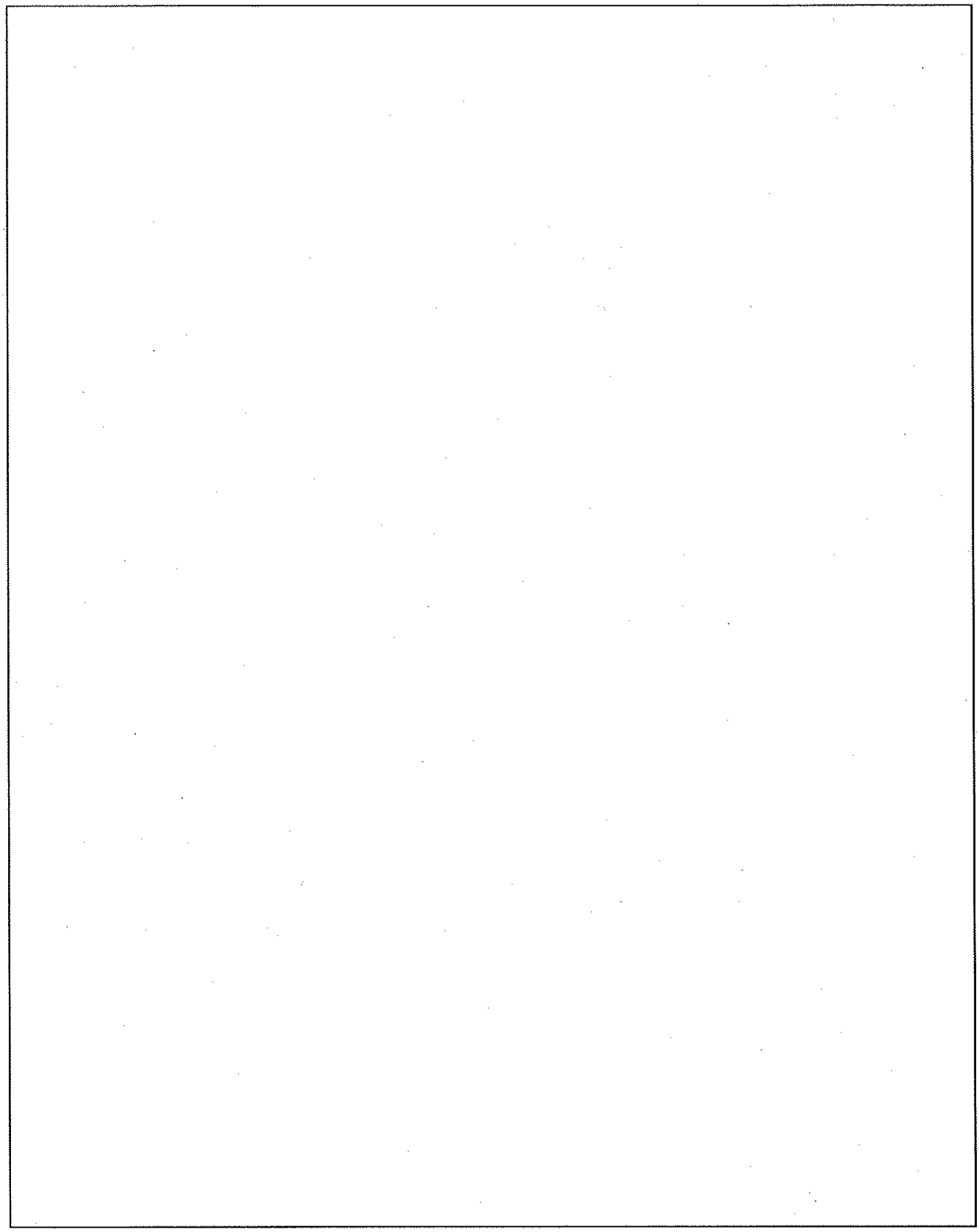
・測定範囲：0～10kg/cm^2

(2) 止弁（玉形弁）

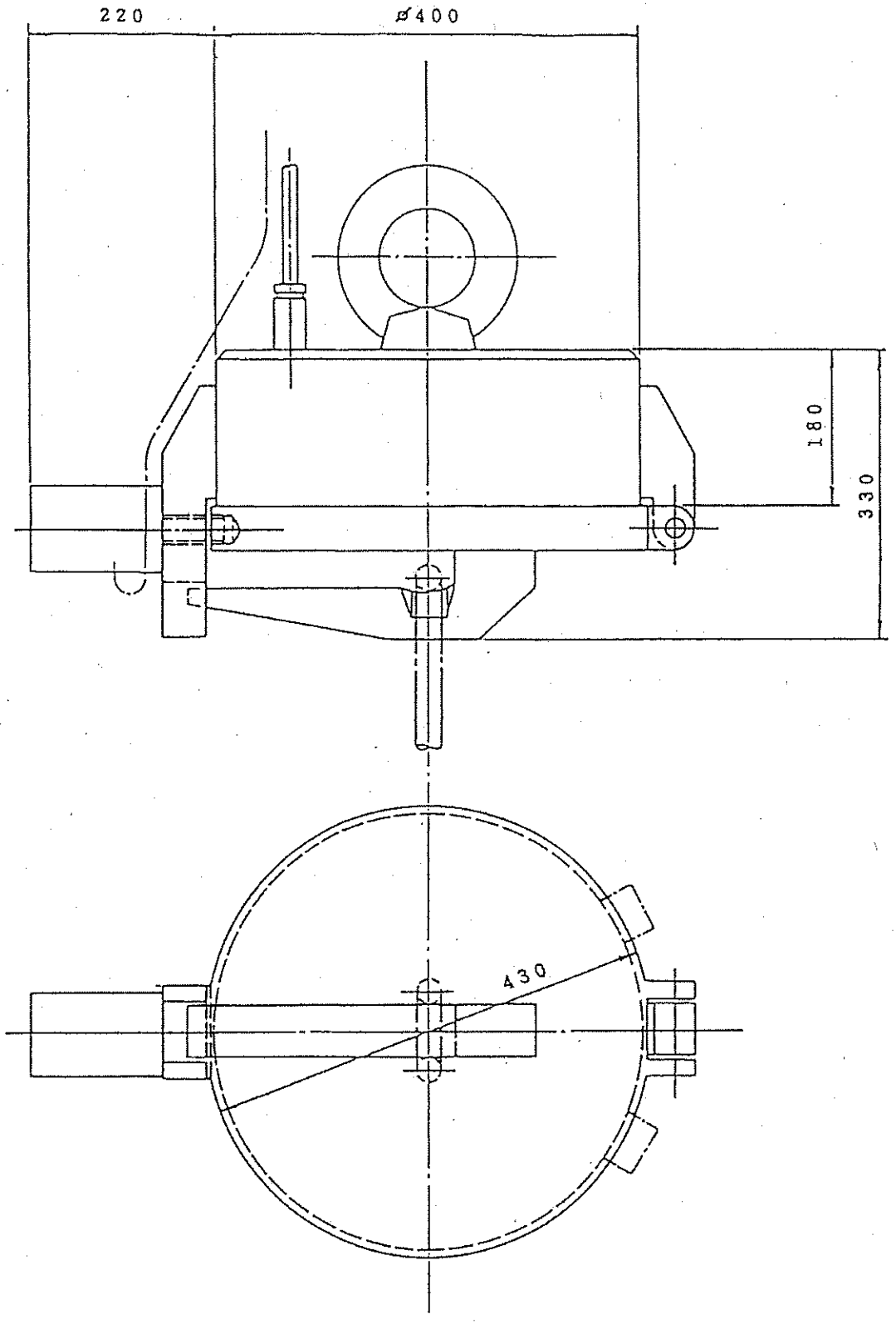
(3) N_2ボンベ

(4) データレコーダ

本データレコーダにて(b)の圧力指示値をモニターし、漏えい率を算出した。

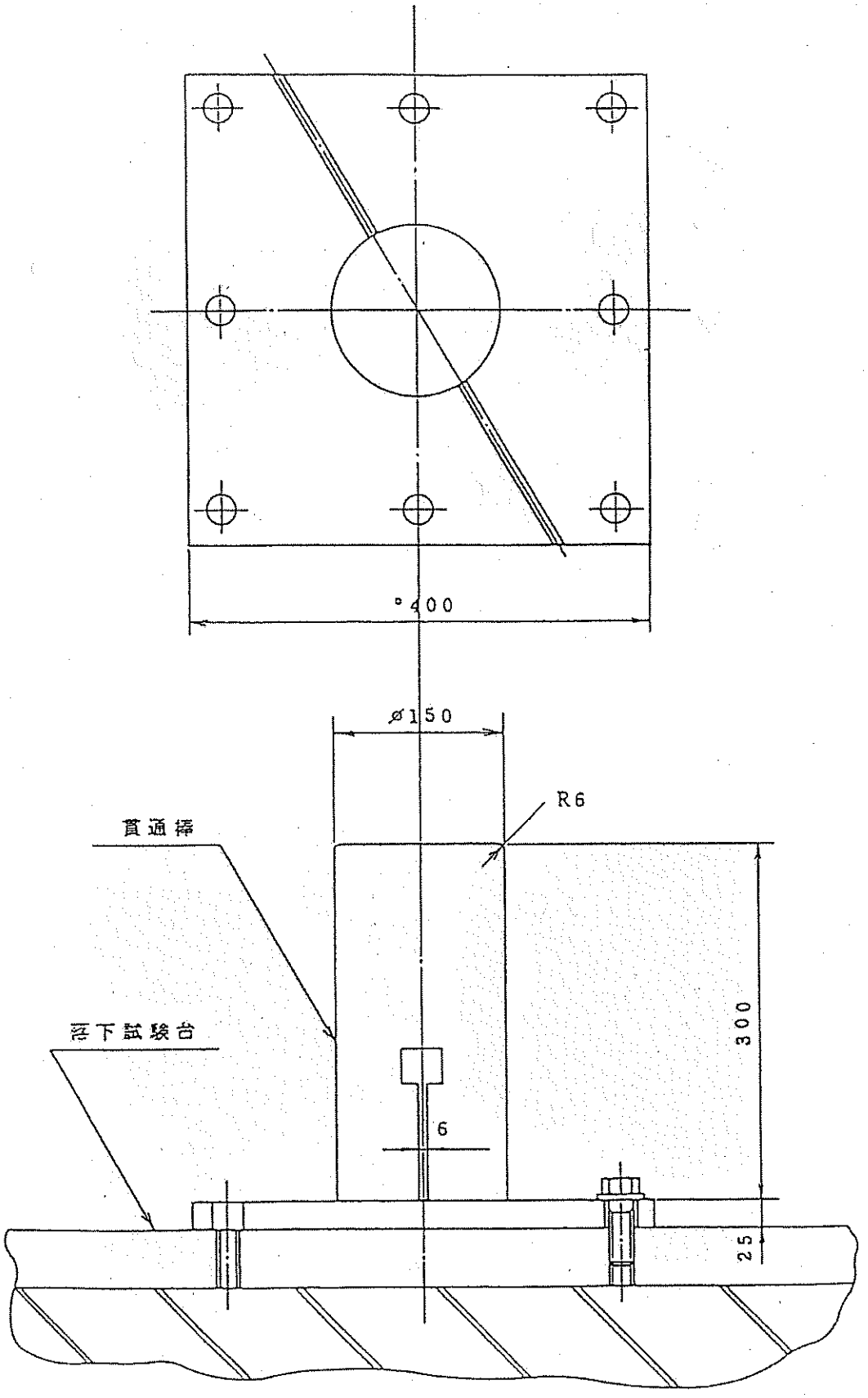


（ロ）－第H.4図　落下試験台



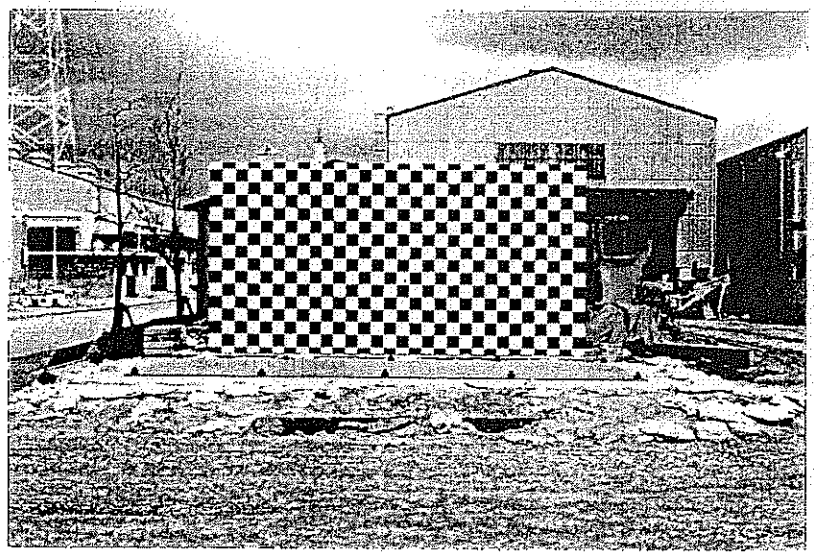
単位：mm

（ロ）－第H.5図　切離し装置

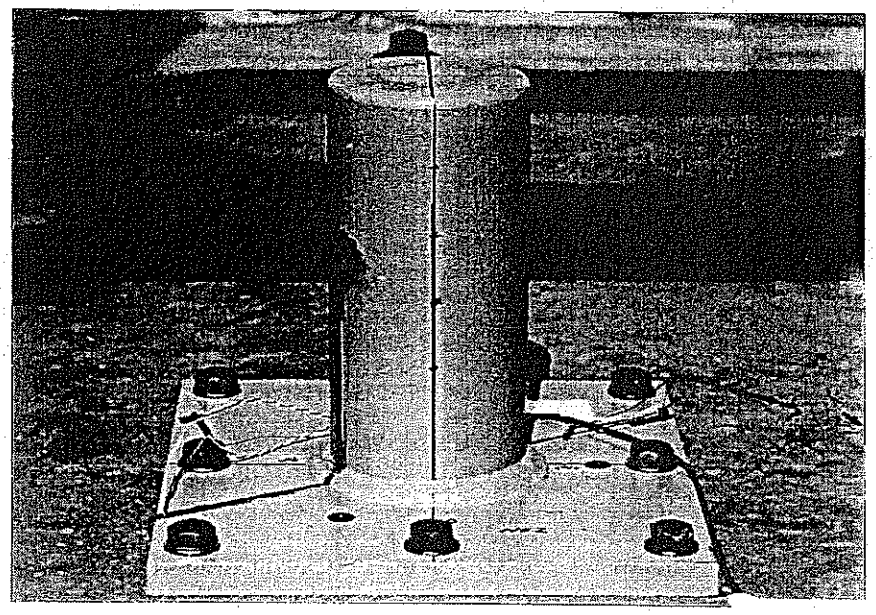


単位：mm

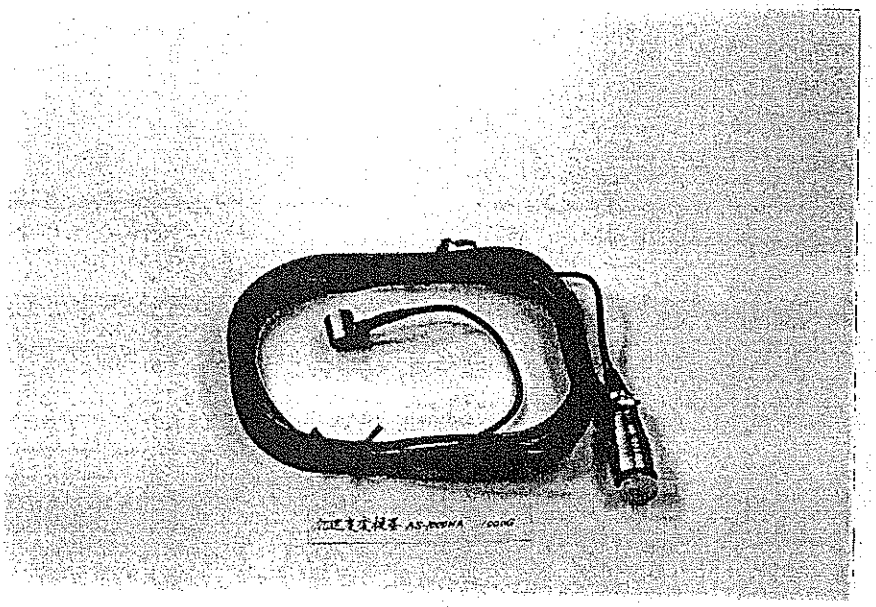
（ロ）－第H.6図　貫　通　棒



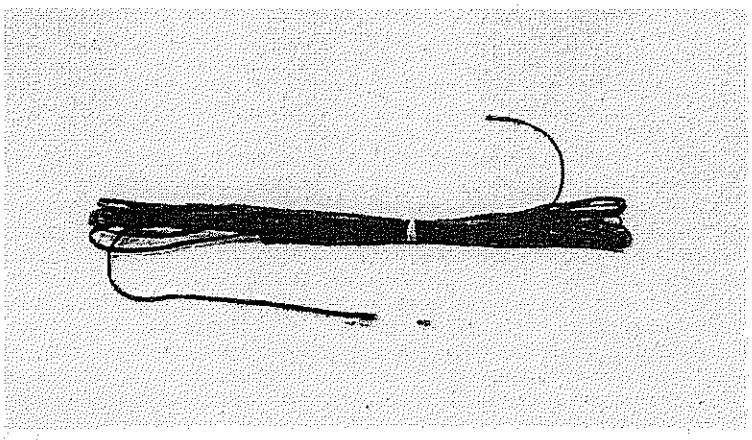
写真（ロ）－第H.1　落　下　試　験　台



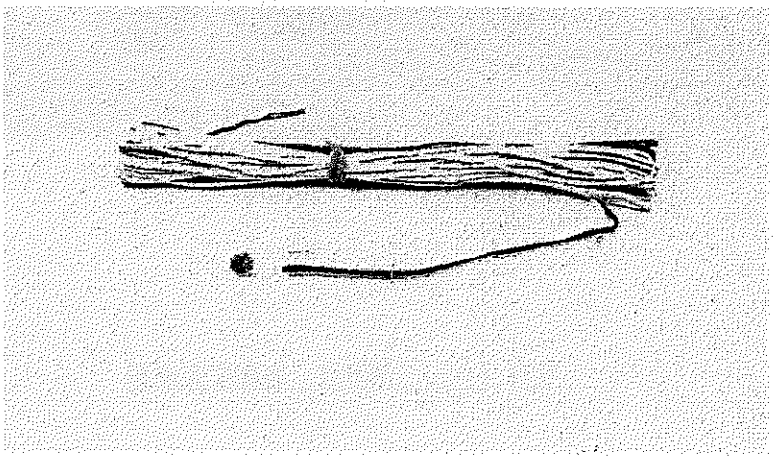
写真（ロ）－第H.2　貫　　通　　棒



写真（ロ）－第H.3　加速度変換器

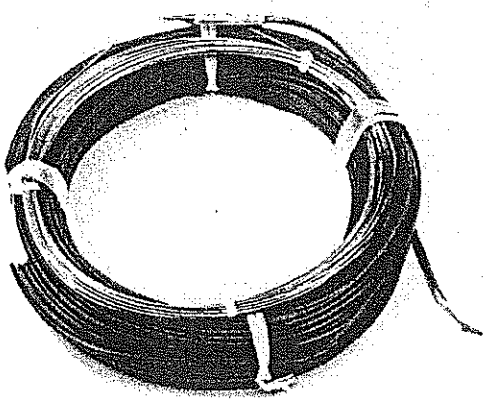


単　　軸　　用



2　　軸　　用

写真（ロ）－第H.4 ひ ず み ゲ ー ジ



写真（ロ）－第H.5　熱　　電　　対

5. 強 度 試 験

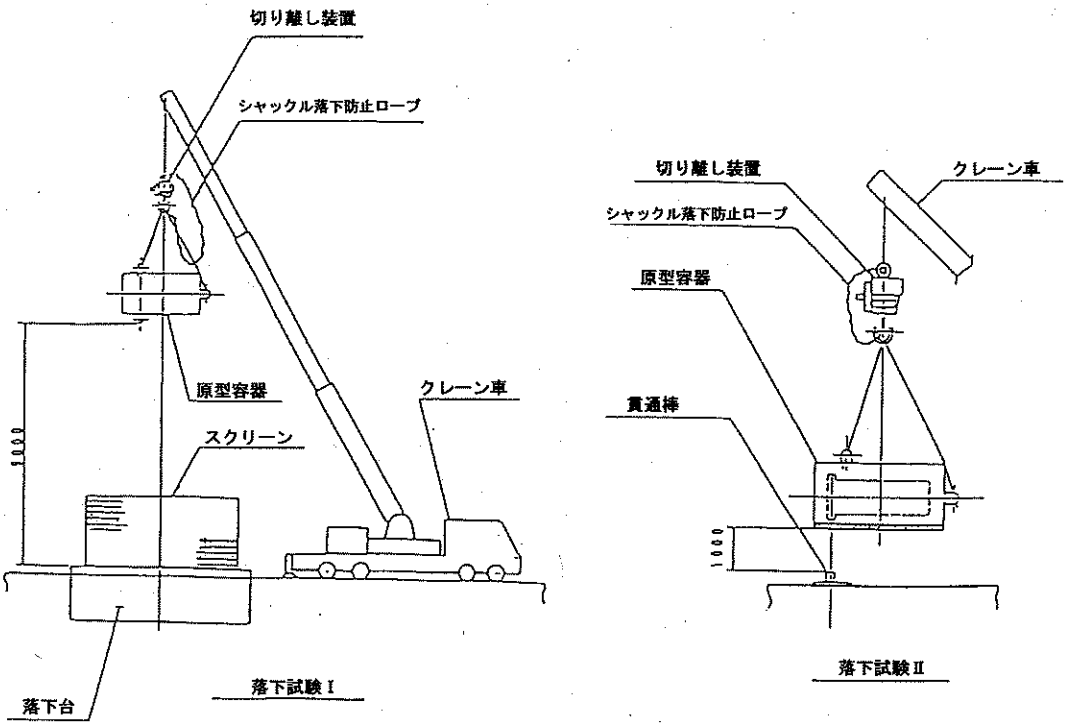
5.1 試験要領

強度試験は、輸送容器が満たすべき落下条件として、規則で定めるＢＵ型輸送物に係る「特別の試験条件下の試験」のうち、落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱを実施するものである。

(1) 落下試験Ⅰは、輸送物を 9m の高さから最大衝撃を受けるような姿勢でコンクリートマット上に敷いた鋼板上へ落下させる試験である。

(2) 落下試験Ⅱは、輸送物を 1m の高さから最大衝撃を受けるような姿勢で垂直固定した直径 15cm、長さ 20cm 以上の軟鋼丸棒面上に落下させる試験である。

上記(1)及び(2)の落下試験要領を（ロ）－第H.7図に示す。

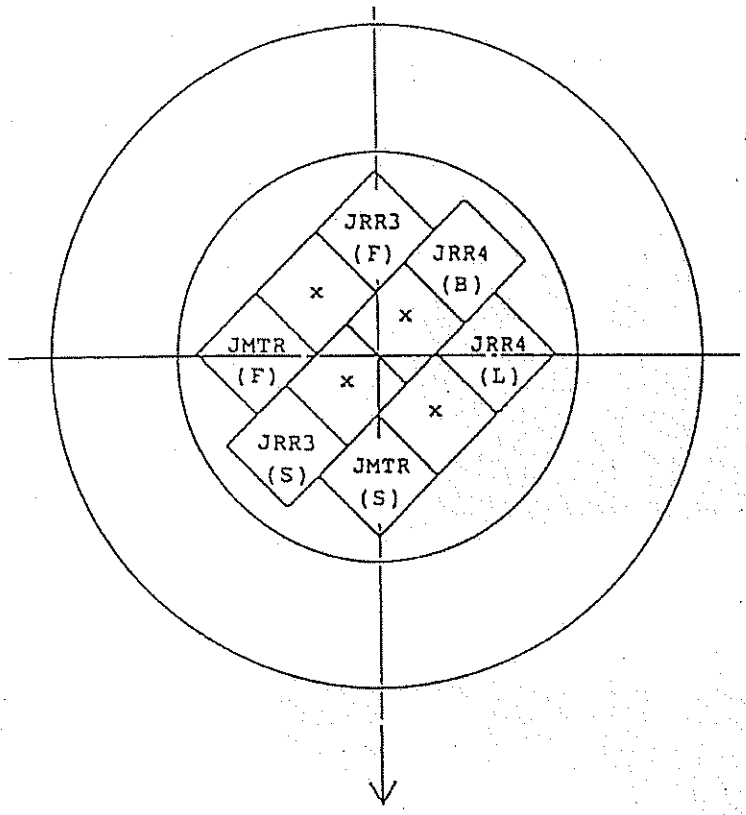


（ロ）－第H.7図　落下試験要領図

5.2 落下姿勢の選定

落下試験では、落下試験Ⅰ＋Ⅱによる変形で密封装置部の緩衝材残存厚さが最小となり、耐火試験時における、密封装置への入熱が最大となる水平落下とした。

燃料バスケットは、収納物重量が重くなる角型燃料バスケットとした。また、収納物の配置を（ロ）－第H.8図に示す。



略　　号	模擬燃料要素名
ＪＲＲ（Ｆ）	ＪＲＲ３フォロワ型
ＪＲＲ４（Ｂ）	ＪＲＲ－４Ｂ型
ＪＲＲ４（Ｌ）	ＪＲＲ－４Ｌ型
ＪＭＴＲ（Ｓ）	ＪＭＴＲ標準
ＪＲＲ３（Ｆ）	ＪＲＲ－３標準型
ＪＲＲ３（Ｓ）	ＪＲＲ－３標準型
ＪＲＲ２（Ｆ）	ＪＭＴＲ燃料フォロワ

×：模擬重量体（４体）

（ロ）－第H.8図　収納物の配置図

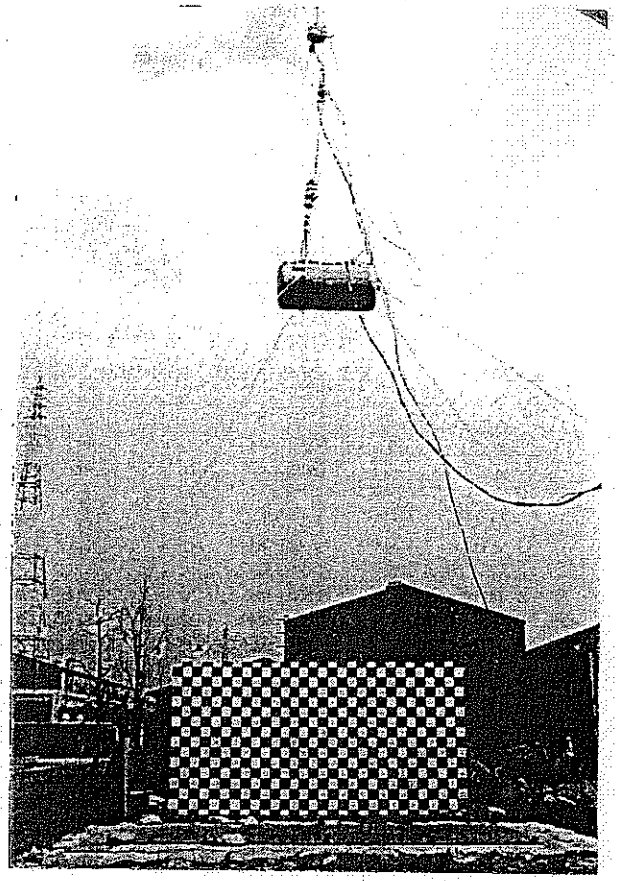
5.3 落下姿勢の調整

下部側は底板にアイプレートを取付け、上部側は315°方向のアイプレートを利用してワイヤを取付け、水平姿勢の調整を行った。

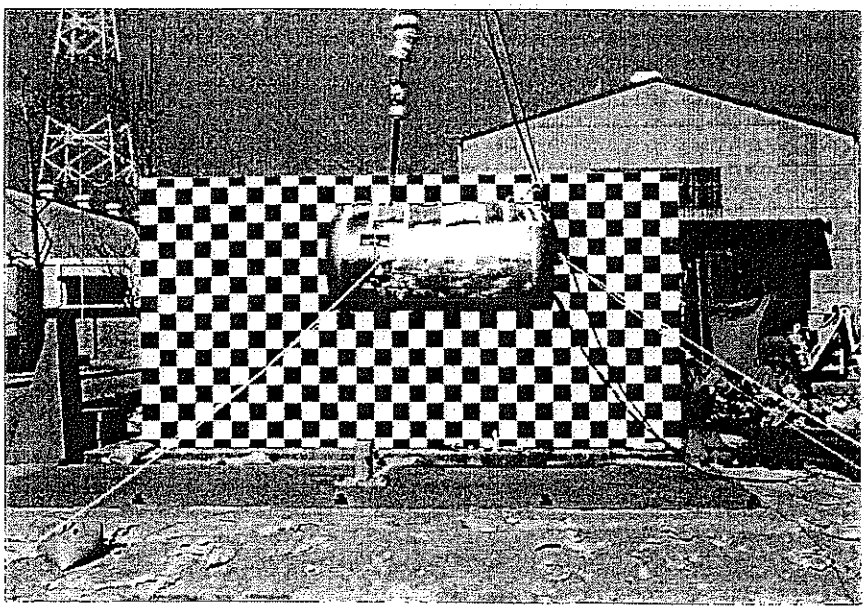
水平度の確認は、トランシットにて行い、調整後、9mおよび1mの高さまで原型容器を吊上げた。

落下高さの確認は、あらかじめ9m及び1mの長さに調整した下げ振り（おもりと糸を結びつけたもの）を原型容器に取付けに行った。

写真（ロ）－第H.6に原型容器の吊上げ状況を示す。



落下試験Ⅰ（9m水平落下）



落下試験Ⅱ（1m水平落下）

写真（ロ）－第H.6　原型容器の吊上げ状況

5.4 測定項目及び測定位置

測定項目及び測定位置を（ロ）－第H.4表に示す。

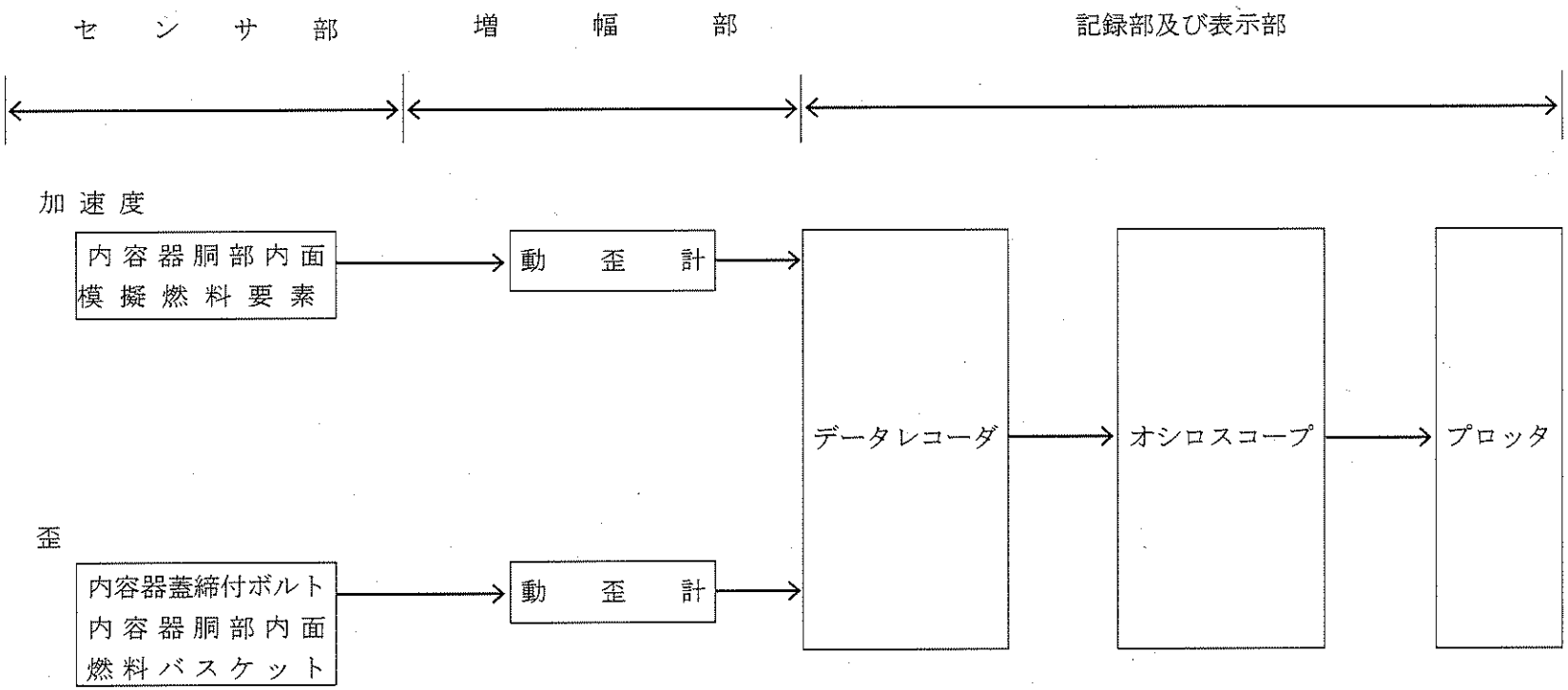
（ロ）－第H.4表　測定項目及び測定位置

測定項目	測定位置	測定点数
加速度	・内容器本体 ・模擬燃料要素	2
ひずみ	・内容器本体 ・燃料バスケット	2
残留変形	・本体 ・外容器蓋	—

加速度及びひずみの測定位置を（ロ）－第H.9図に示す。

また、強度試験時の計測ブロック線図を（ロ）－第H.10図に示す。

（ロ）－第H.9図　測定位置図



（ロ）－第H.10図　計測ブロック線図（強度試験時）

5.5 試験結果

5.5.1 9m水平落下試験（落下試験Ⅰ）：写真（ロ）－第H.7、写真（ロ）－第H.8参照

(1) 落下状況

原型容器は、135° 方向下向きで水平落下したが、若干傾き、下端が先に落下試験台に衝突した。落下後、4回程度バウンドし、その高さの最大値は、上端で□mm程度、下端で□mm程度であった。また、原型容器バウンドにより、約□mm上部側に移動し、落下姿勢の状態で静止した。

(2) 原型容器の状態

原型容器は、全長にわたって約□mm変形した。

外容器蓋締付ボルトは破損せず、また、外容器蓋は外れることはなかった。

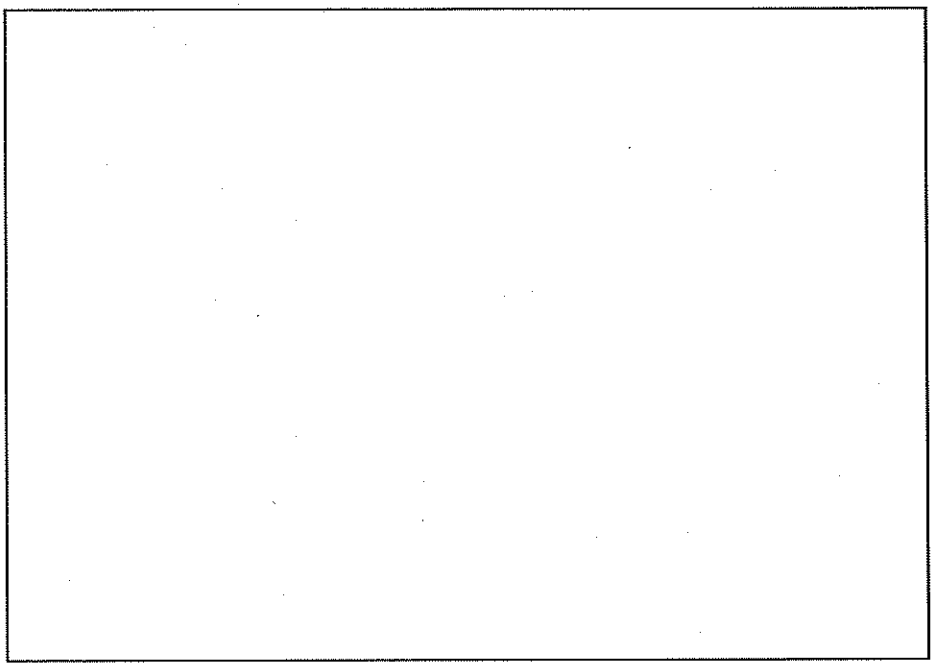
局所的状態は、(a)及び(b)のとおりであり、写真（ロ）－第H.8 (2/2) に示す。

(a) 容器本体と外容器蓋のフランジ部に最大□mm程度の隙間が生じた。

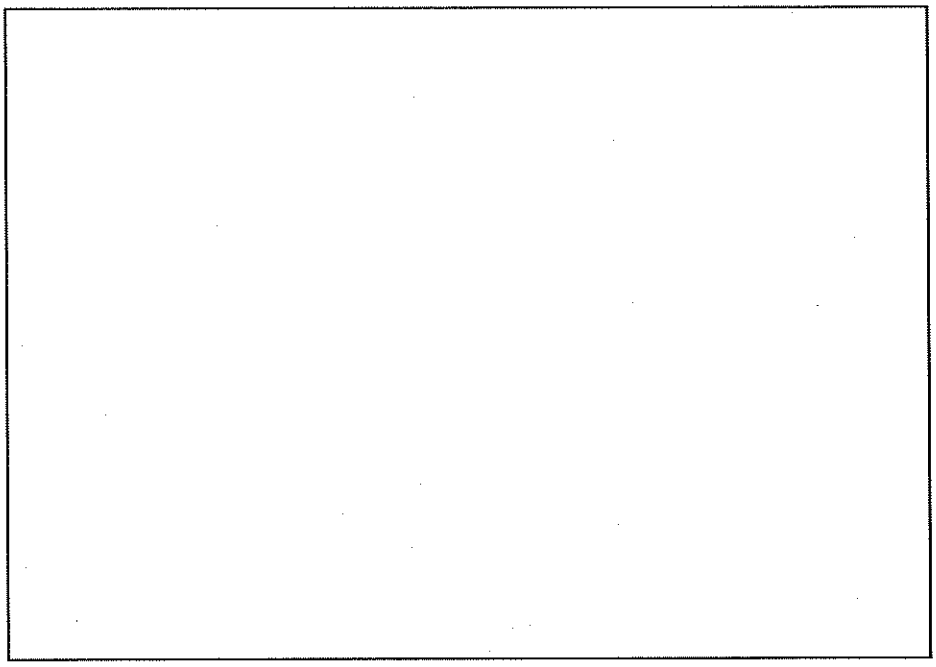
(b) アイプレート部は、アイプレート及びアイプレート取付板が変形し、容器本体内へ陥没した。この陥没により、容器本体の外板に巾□mm、長さ□mm程度の亀裂が生じた。

(3) 原型容器内部の状態

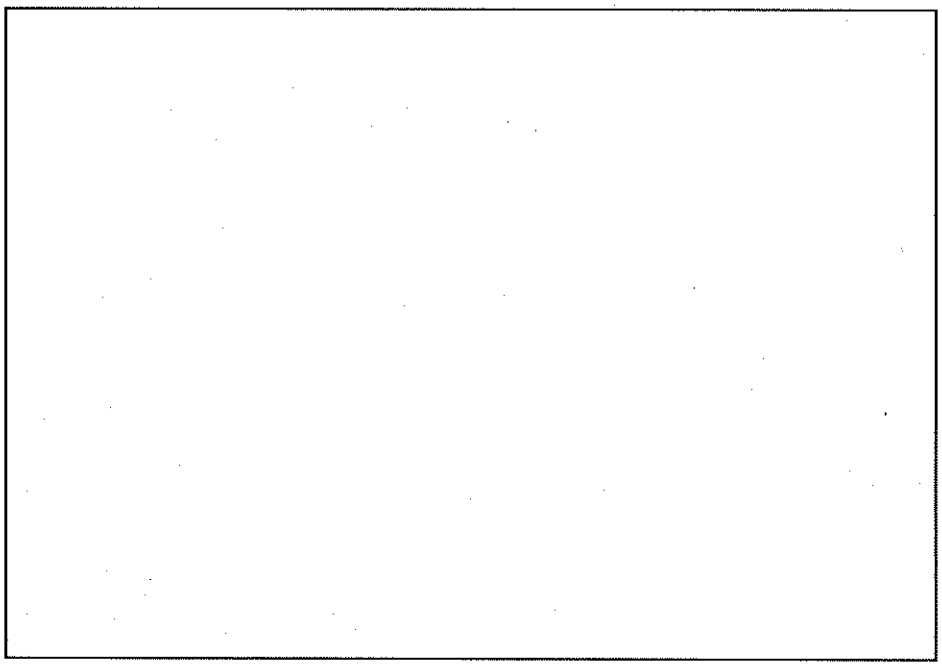
内部の状態は6.4項に示す。



写真（ロ）－第H.7　9m水平落下後の姿勢



写真（ロ）－第H.8　9m水平落下後の変形状況(1/2)



写真（ロ）－第H.8　9m水平落下後の変形状況(2／2)

5.5.2　1m 水平貫通試験（落下試験Ⅱ）：写真（ロ）－第 H.9、写真（ロ）－第 H.10 参照

(1) 落下状況

原型容器は、9m 水平落下試験後、外径 150mm×長さ 300mm の貫通棒上へ内容器フランジ部が直撃するように落下した。

原型容器は、貫通棒へ衝突後、下端が落下試験台へ衝突し、その後、貫通棒上を滑るように移動しながら、落下試験台上に、落下姿勢の状態で静止した。

(2) 原型容器の状態

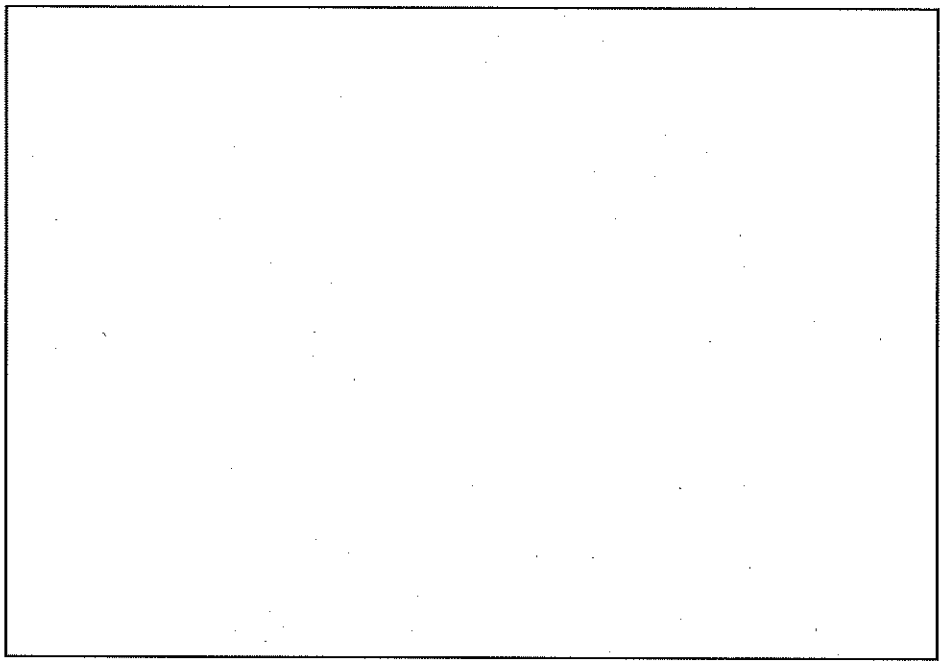
原型容器は、貫通棒への衝突部で深さ約□mm の変形が生じ、下部側は、9m 水平落下による変形から、さらに□mm 程度変形した。

変形状況を写真（ロ）－第 H.10 に示す。

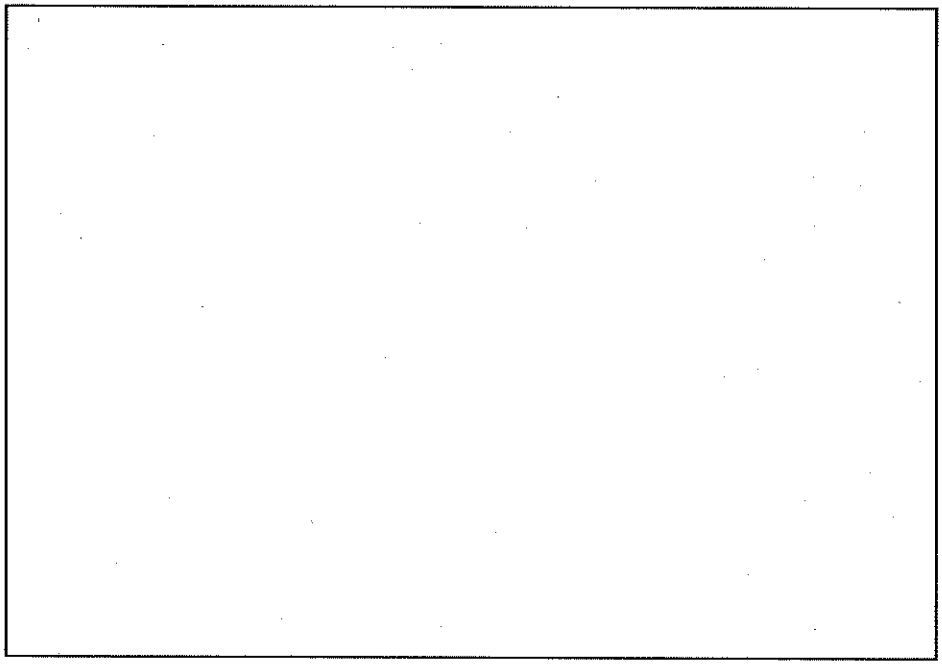
(3) 原型容器内部の状態

内部の状態は、6.4 項に示す。

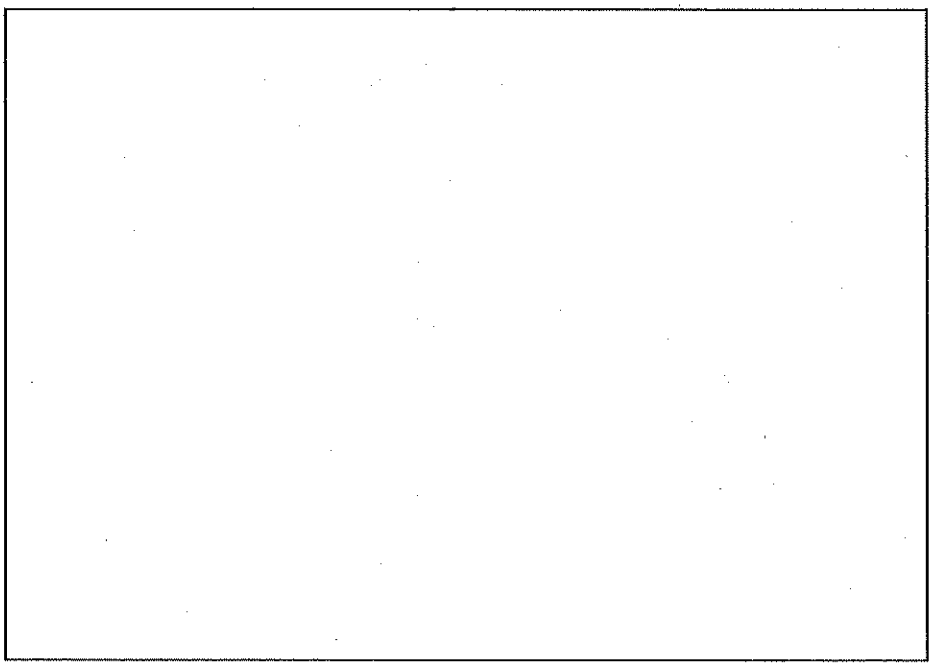
以上の落下試験Ⅰ及びⅡに対する、衝撃加速度、応力及び原型容器変形量の概要を（ロ）－第 H.5 表に示す。



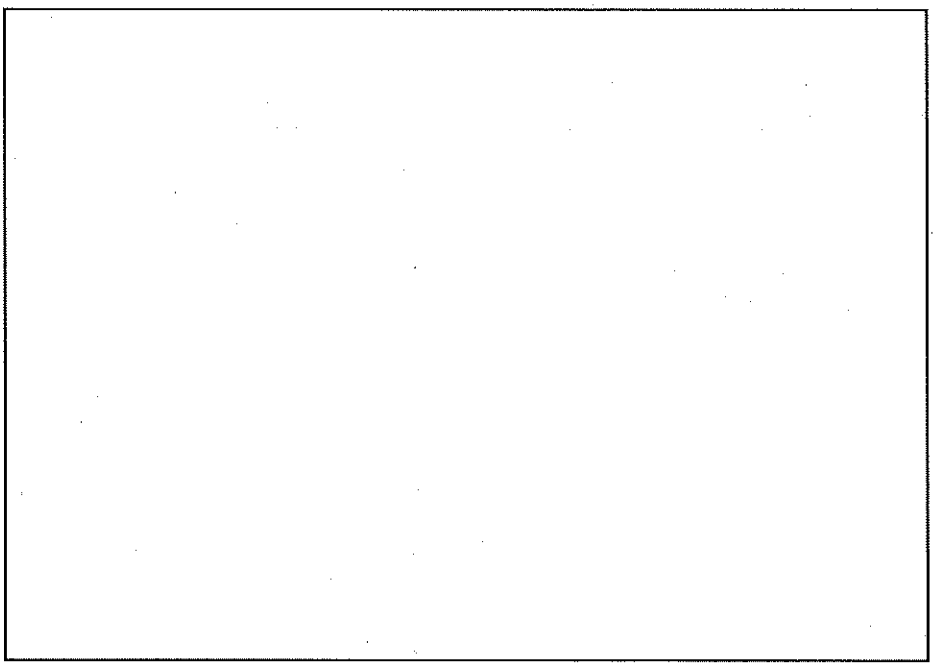
写真（ロ）－第H.9　1ｍ水平落下後の姿勢



写真（ロ）－第H.10　1ｍ水平落下後の変形状況(1/3)



写真（ロ）－第H.10　1m水平落下後の変形状況(2/3)



写真（ロ）－第H.10　1m水平落下後の変形状況(3/3)

（ロ）－第H.5表　測定結果の概要

落下姿勢 / 項目		水平落下	
		9m	1m
衝撃加速度（G）			
応力 (kg/mm²)	内容器本体		
	燃料バスケット		
変形量（mm）			

（注）表中の応力は、上段が軸方向、下段が周方向の値を示す。

6. 耐火試験

6.1 試験概要

耐火試験は、強度試験後の原型容器に対し、輸送容器が満たすべき耐火条件として規則で定めるＢＵ型輸送物に係る「特別の試験条件下の試験」の 800℃の火災環境炉内に30分間放置するものである。

耐火試験要領を（ロ）－第H.11図に示す。

6.2 測定方法

耐火試験時の温度測定は、すべてシース熱電対を使用した。温度測定は、次の各点で行った。（（ロ）－第H.9図参照）また、耐火試験時の計測ブロック図を（ロ）－第H.12図に示す。

(1) 容器本体外面

(2) 内容器本体内面

(3) 燃料バスケット

(4) Ｏリング部

(5) 模擬燃料要素

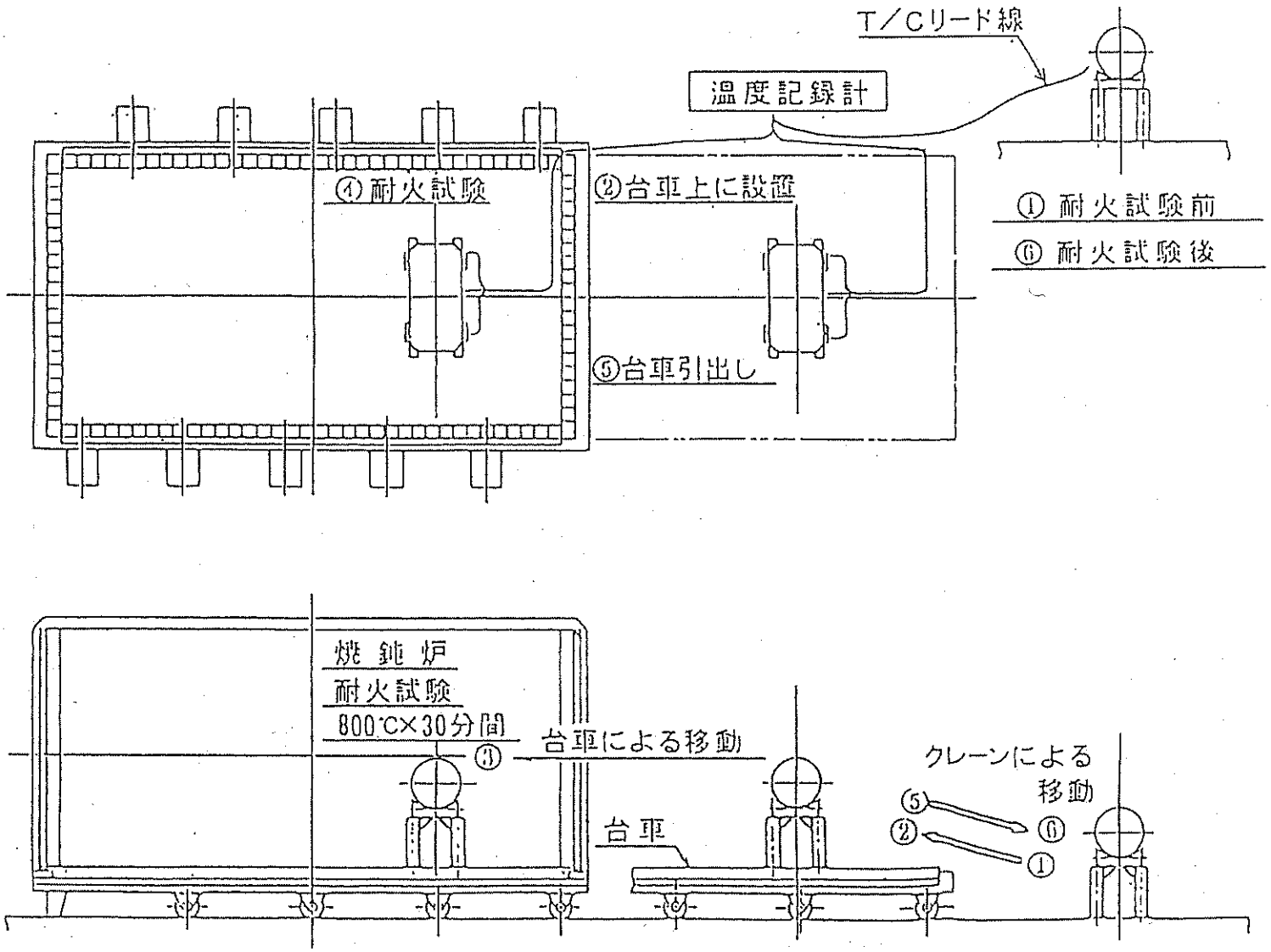
なお、炉内温度は、炉内雰囲気温度測定用シース熱電対により、制御した。

6.3 試験状況及び試験結果（写真（ロ）－第H.11～写真（ロ）－第H.14参照）

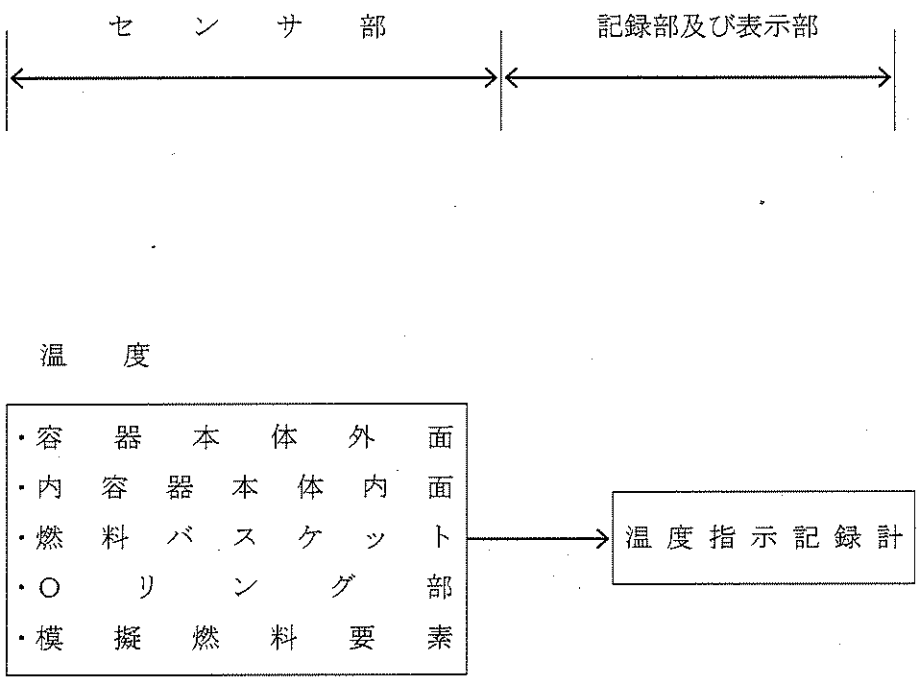
試験日の前夜より炉内昇温を開始し、炉内温度は約12時間後に壁温が1000℃となり、その温度で約1時間保持し、炉内温度の均一化を図った。

試験時は、①炉扉開、②炉台車引出し、③原型容器台車に設置、④台車引き込み、⑤炉扉閉などの作業時間に約3分かかり、炉内温度は約1000℃から約550℃に降下した。炉扉閉後、炉内の再昇温を行い、約3分間で550℃から800℃に昇温した。その後炉内雰囲気を825℃±20℃に制御し、30分間の耐火試験を実施した。30分後に炉扉を開いて台車と原型容器を引出し、台車の熱輻射を避けるために原型容器を吊上げて別の場所に放置し、自然放冷した。尚、原型容器の初期温度は約12℃、雰囲気温度も約12℃であった。

各測定位置の最高温度及び到達時間を（ロ）－第H.6表に示す。また、試験中及び試験終了後の各部の温度の径時変化を（ロ）－H.13図に示す。



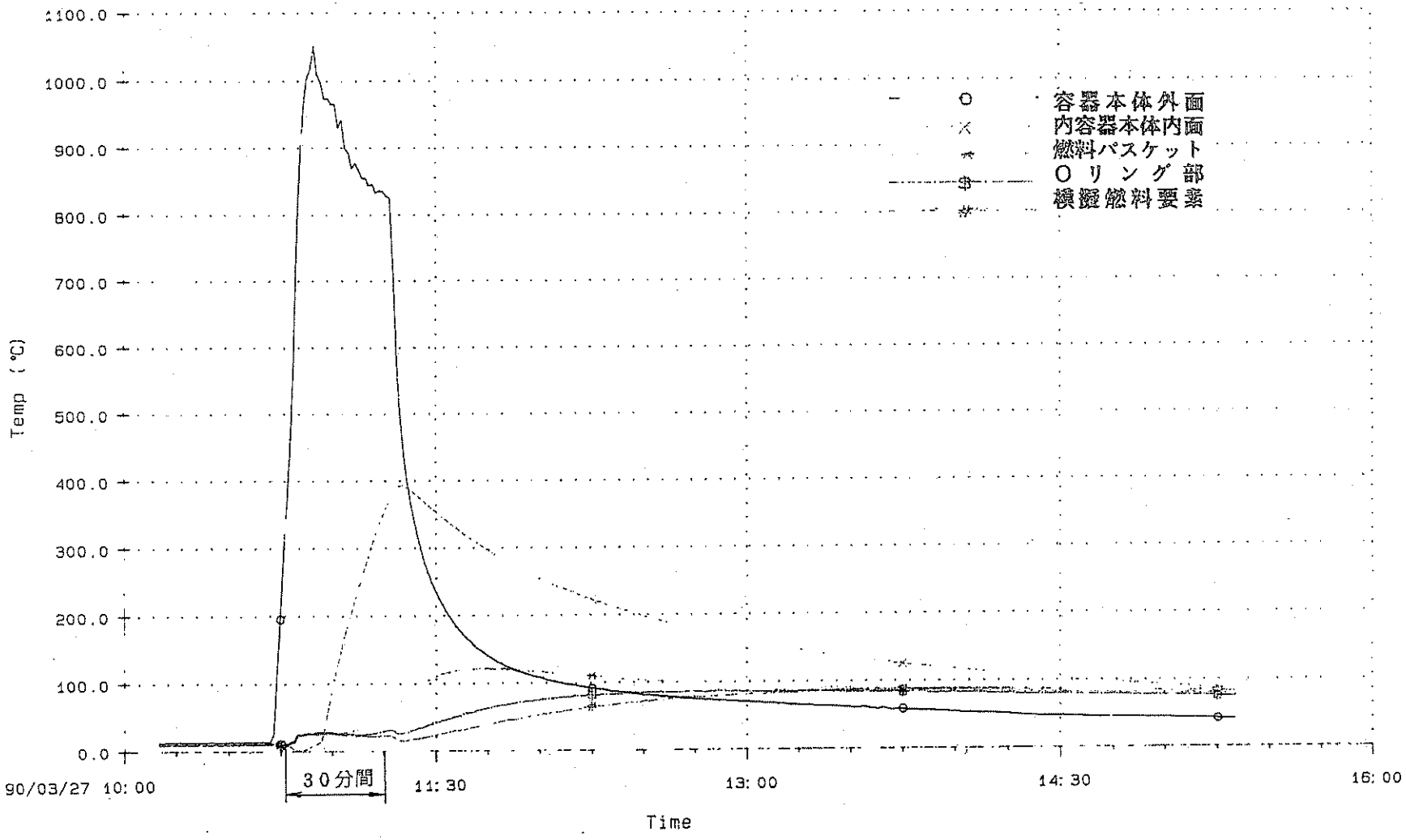
（ロ）－第H.11図　耐　火　試　験　要　領



(ロ)－第H.12図　計測ブロック線図（耐火試験時）

（ロ）－第H.6表　耐火試験結果

項目 / 測定位置	最高温度（℃）	耐火試験開始からの経過時間（時間）
容器本体外面	1051.6	約0.1
内容器本体内面	396.2	約0.6
燃料バスケット	123.3	約1.0
Oリング部	88.6	約2.0
模擬燃料要素	88.4	約3.3



(ロ) －第H.13図　耐火試験時における各部の温度履歴

6.4 試験終了後の状況

(1) 試験終了直後の状況

耐火試験終了直後に、9m水平落下による容器本体外板の亀裂部及び上・下部の溶融栓から火炎を生じたが、炉から取出し数分後には、鎮火した。(写真(ロ)－第H.13、写真（ロ）－第H.14参照)

(2) 原型容器内部の状況

内部の状況については、強度試験による状況と耐火試験による状況を合わせて記載する。

(a) 内容器本体（写真（ロ）－第H.15参照)

変形は認められなかった。

(b) 燃料バスケット（写真（ロ）－第H.16参照)

下部フランジの一部が変形していたが角パイプに変形は認められなかった。

(c) 模擬燃料要素（写真（ロ）－第H.17参照)

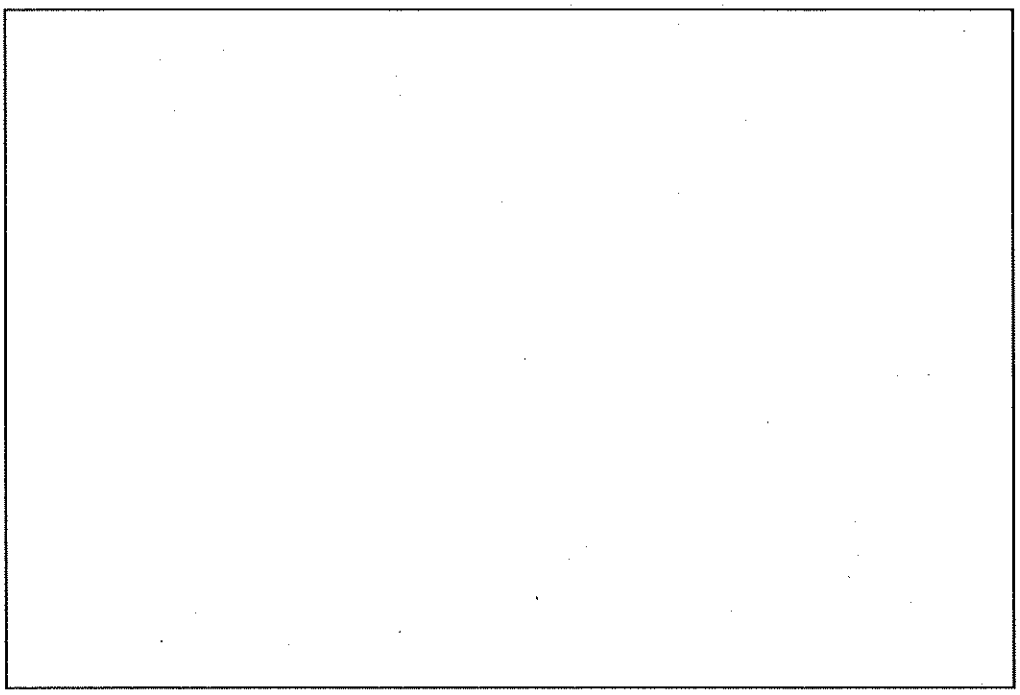
変形は認められなかった。

(3) [　　]の状況（写真（ロ）－第H.18参照)

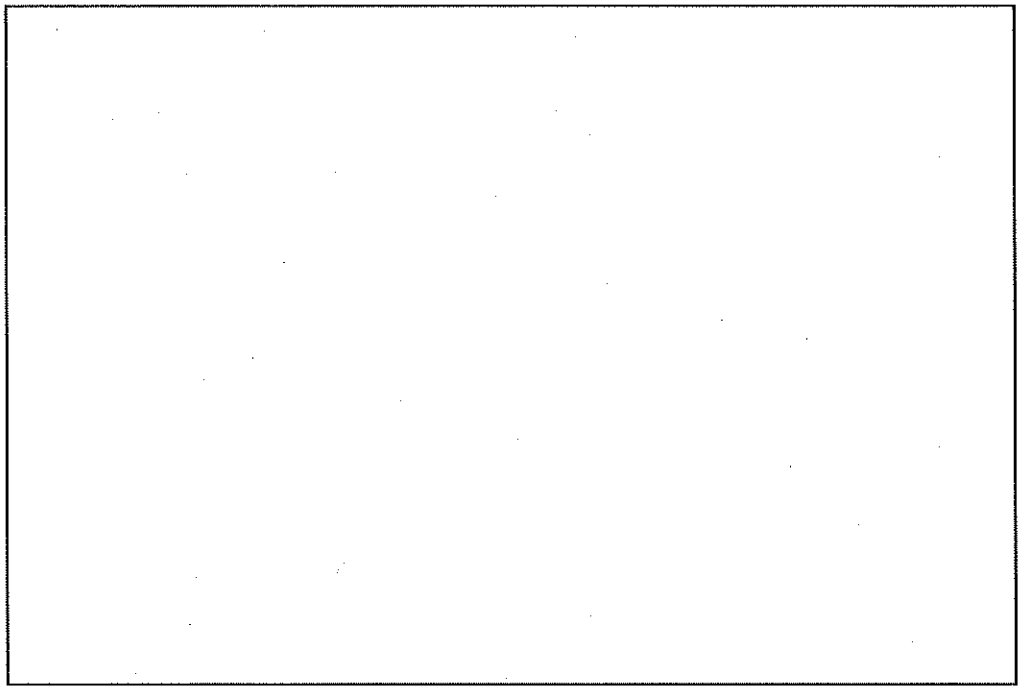
[　　]は、30mm～50mm程度であった。

(4)[　　](写真（ロ）－第H.15、写真（ロ）－第H.18参照)

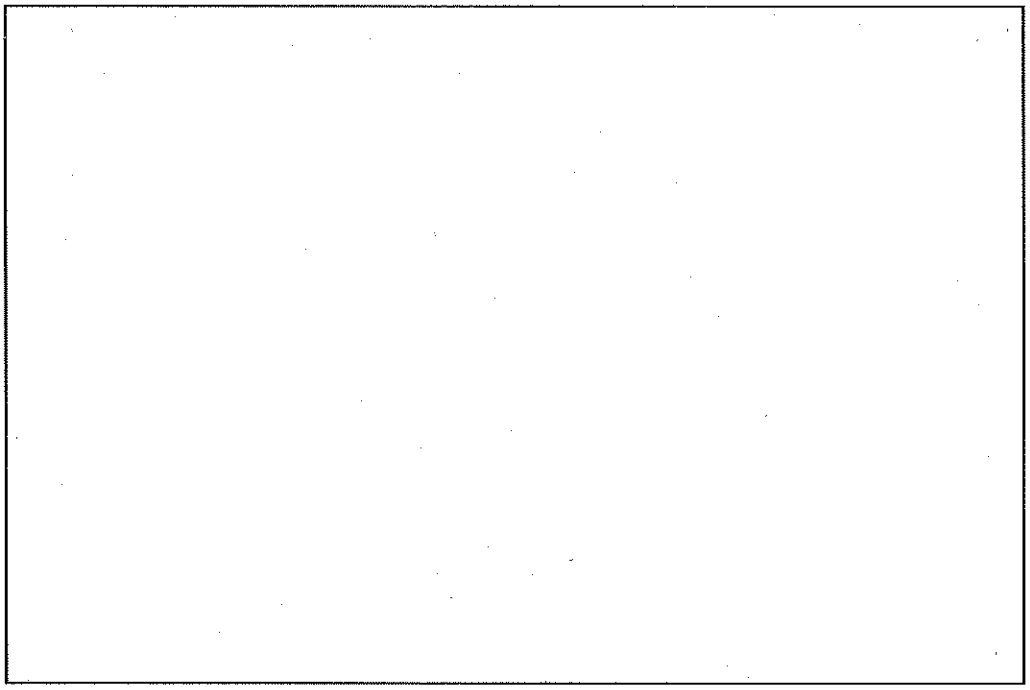
容器本体胴部は、全体が炭化していた。また、外容器蓋部は、内側の50mm程度を残し、炭化していた。



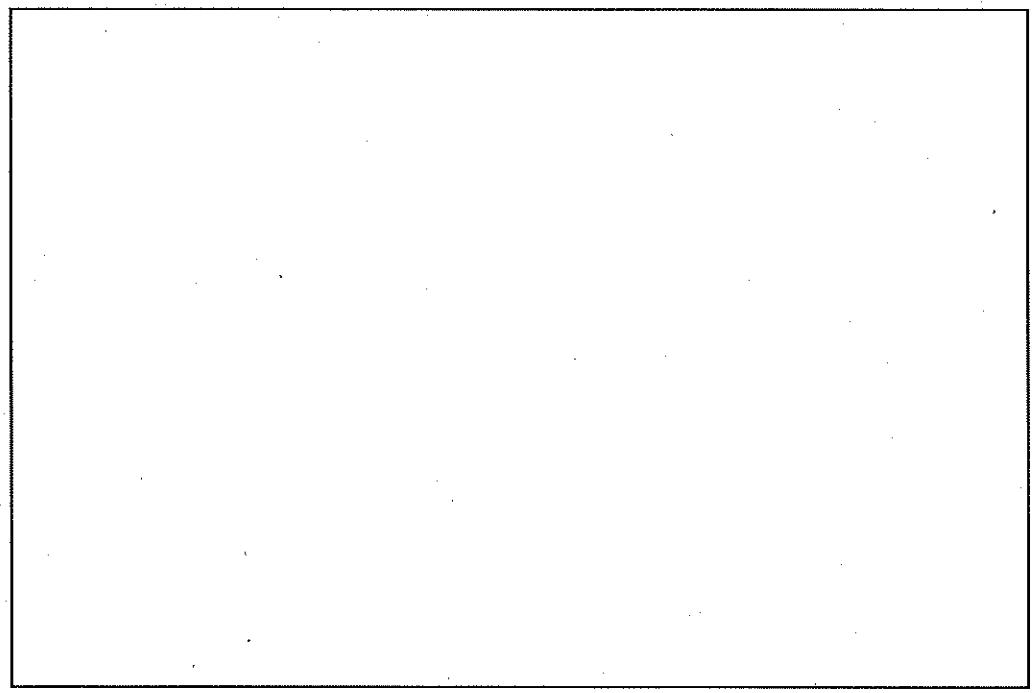
写真（ロ）－第H.11　炉内昇温完了後扉開



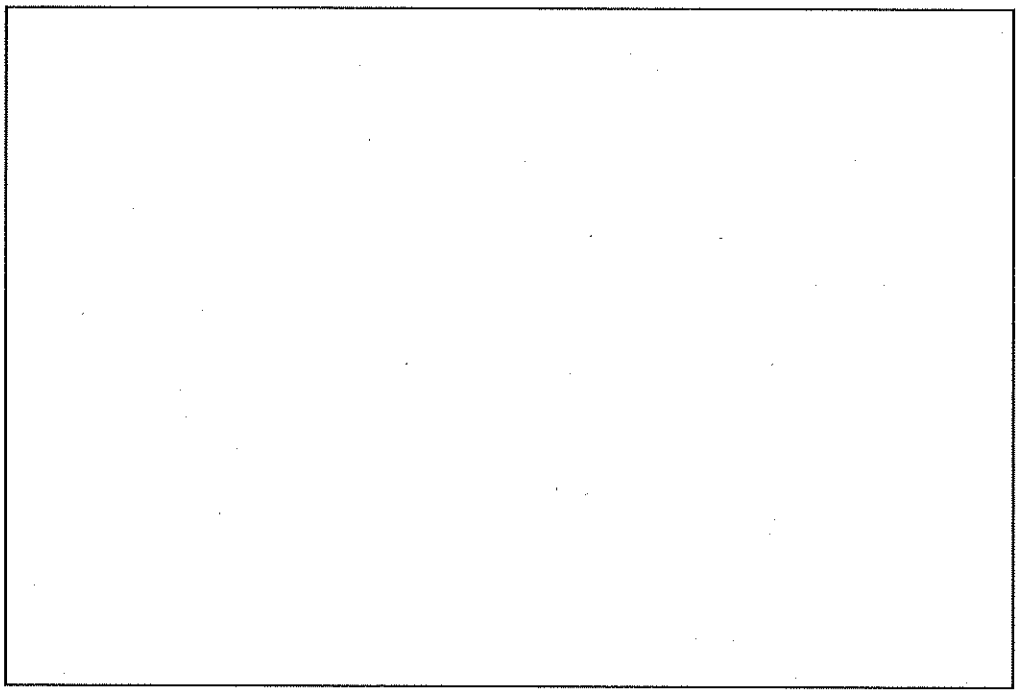
写真（ロ）－第H.12　台車上へ原型容器を設置



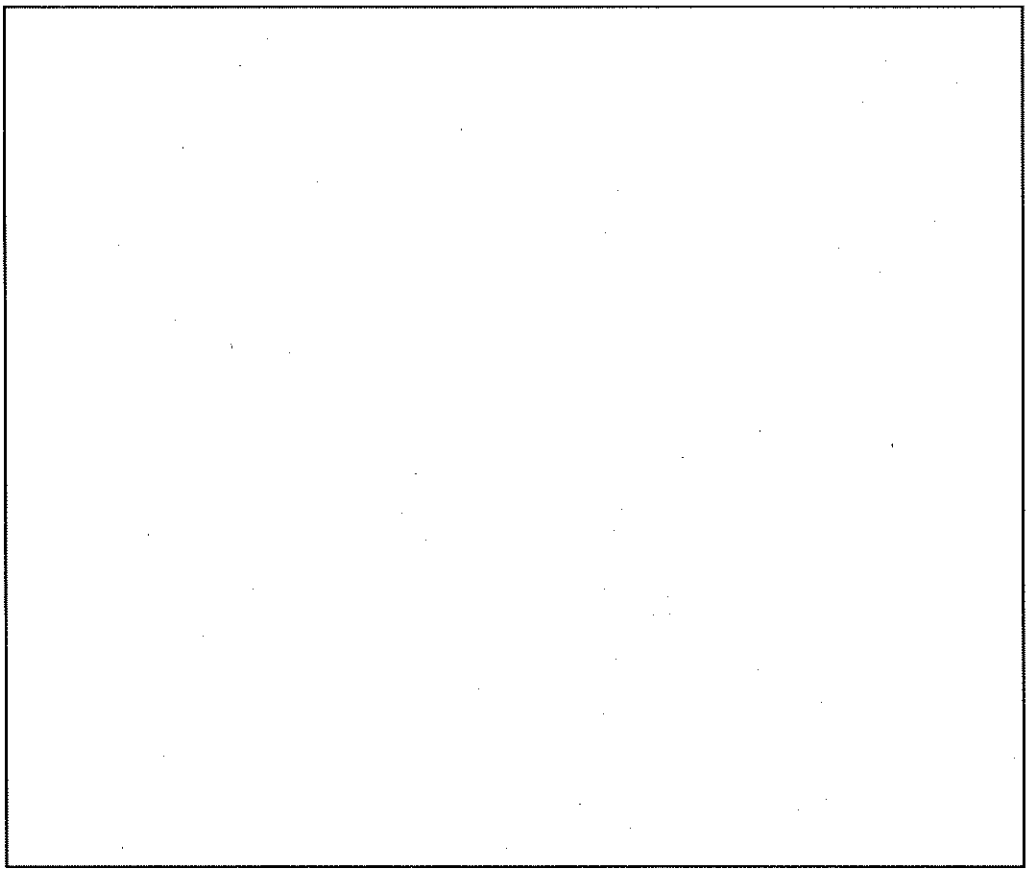
写真（ロ）－第H.13　耐火試験終了後扉開



写真（ロ）－第H.14　自然放冷状況

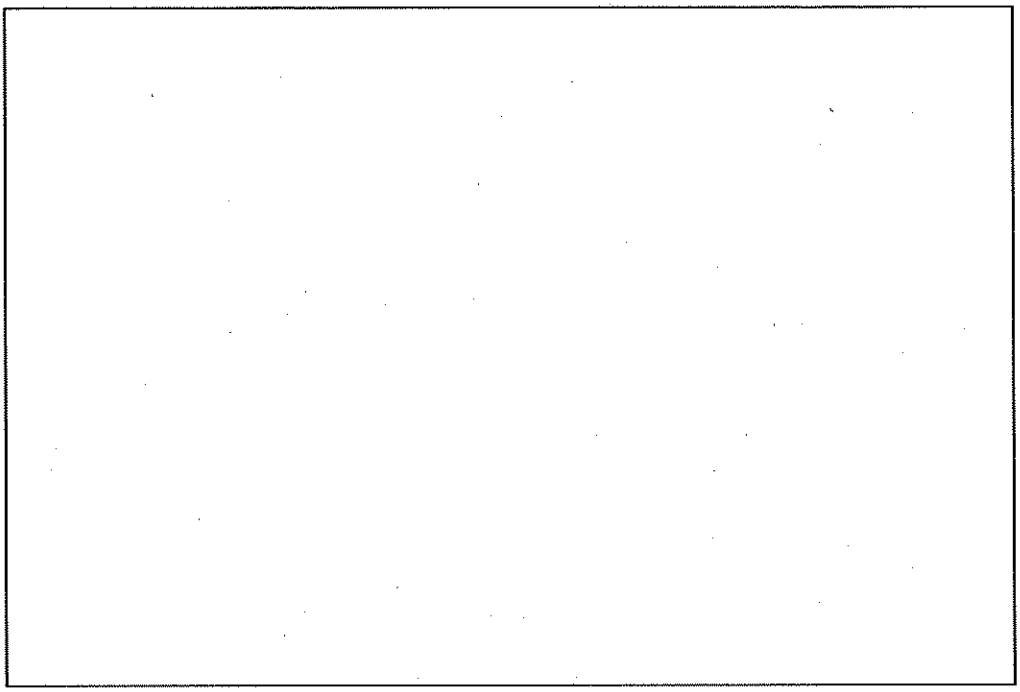


写真（ロ）－第H.15　原型容器試験後の内容器本体



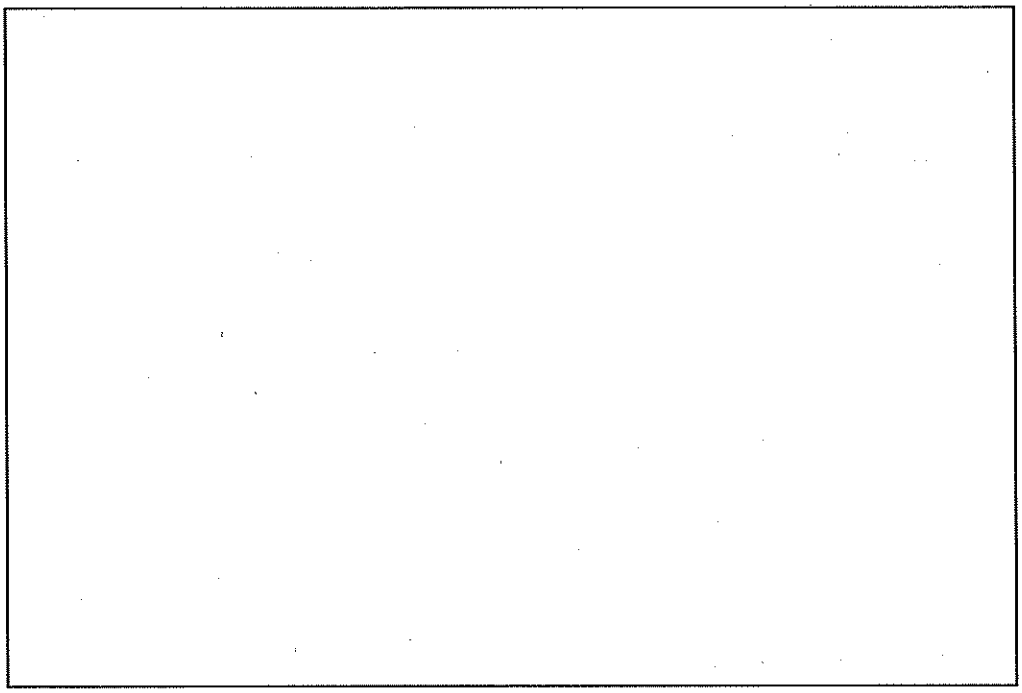
写真（ロ）－第H.16　原型容器試験後の燃料バスケット(1/2)

写真（ロ）－第H.16　原型容器試験後の燃料バスケット(2/2)



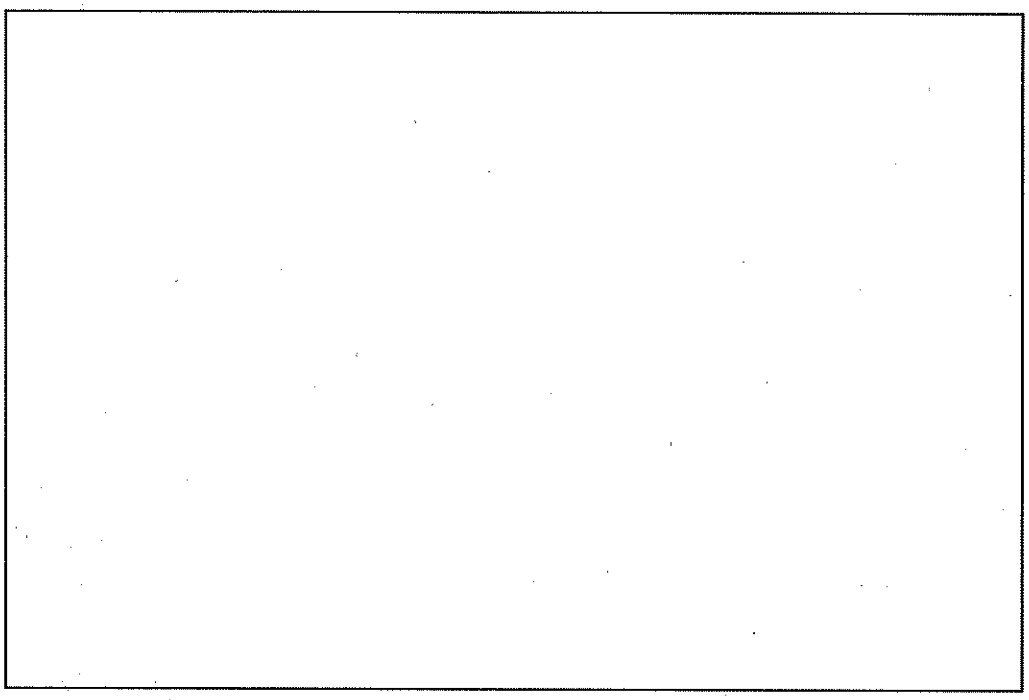
写真（ロ）－第H.17　原型容器試験後の模擬燃料要素(1/6)

（ＪＲＲ－３標準型燃料要素）



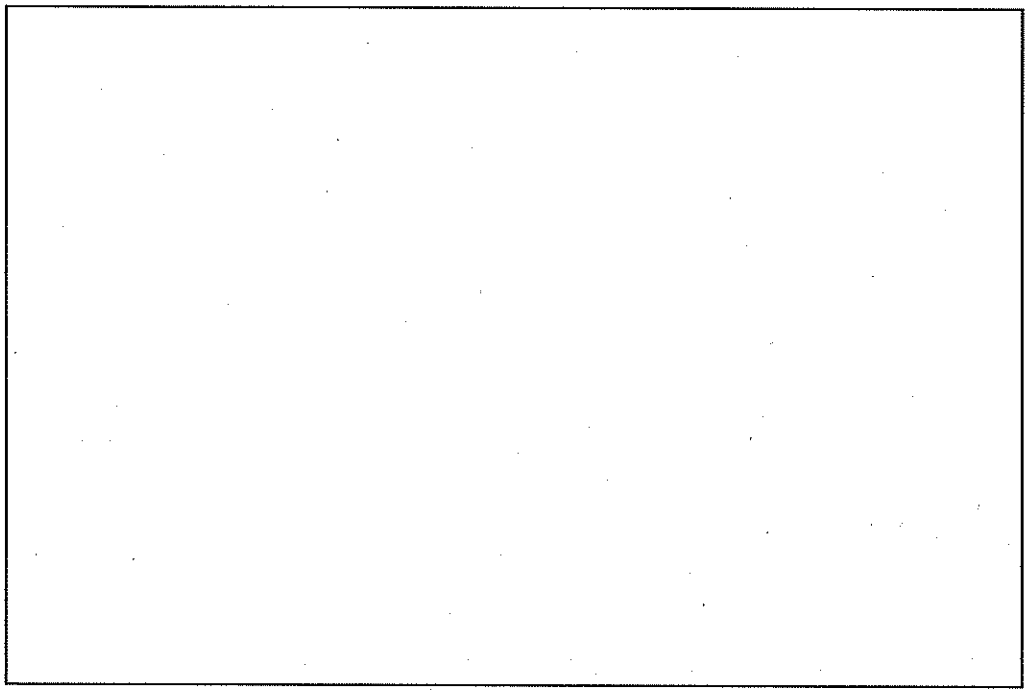
写真（ロ）－第H.17　原型容器試験後の模擬燃料要素(2/6)

（ＪＲＲ－３フォロワ型燃料要素）



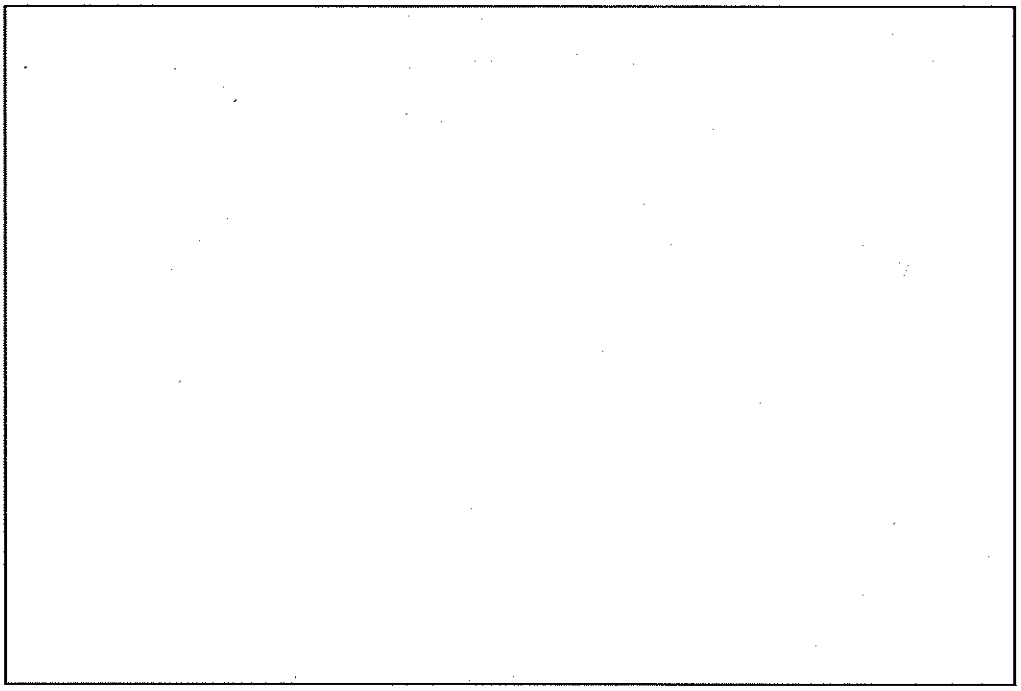
写真（ロ）－第H.17　原型容器試験後の模擬燃料要素(3/6)

（ＪＲＲ－４Ｂ型燃料要素）



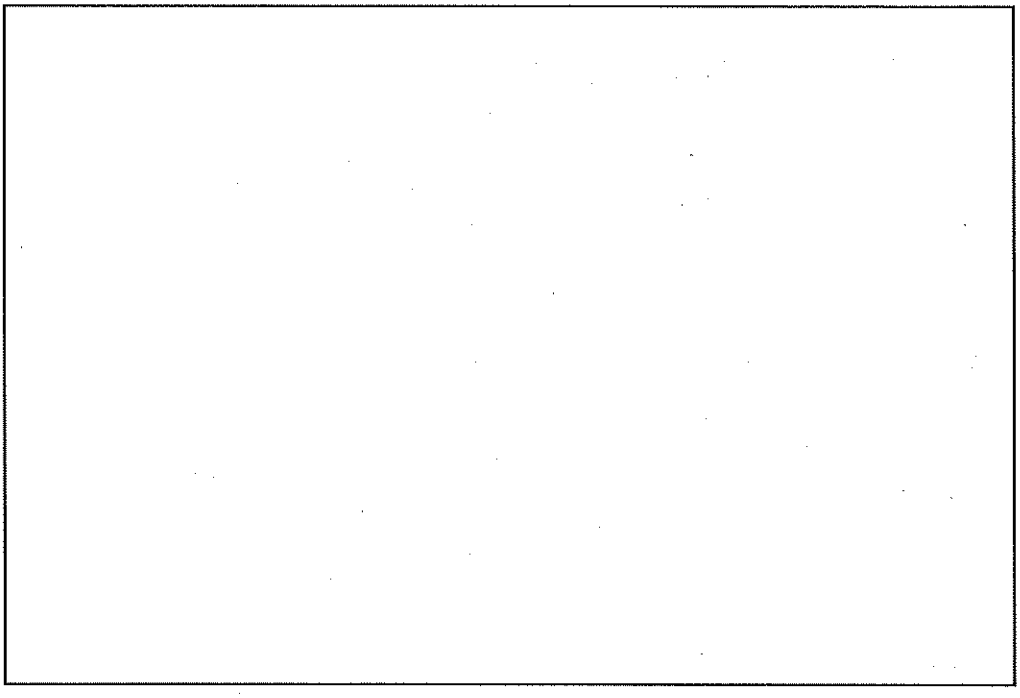
写真（ロ）－第H.17　原型容器試験後の模擬燃料要素(4/6)

（ＪＲＲ－４Ｌ型燃料要素）



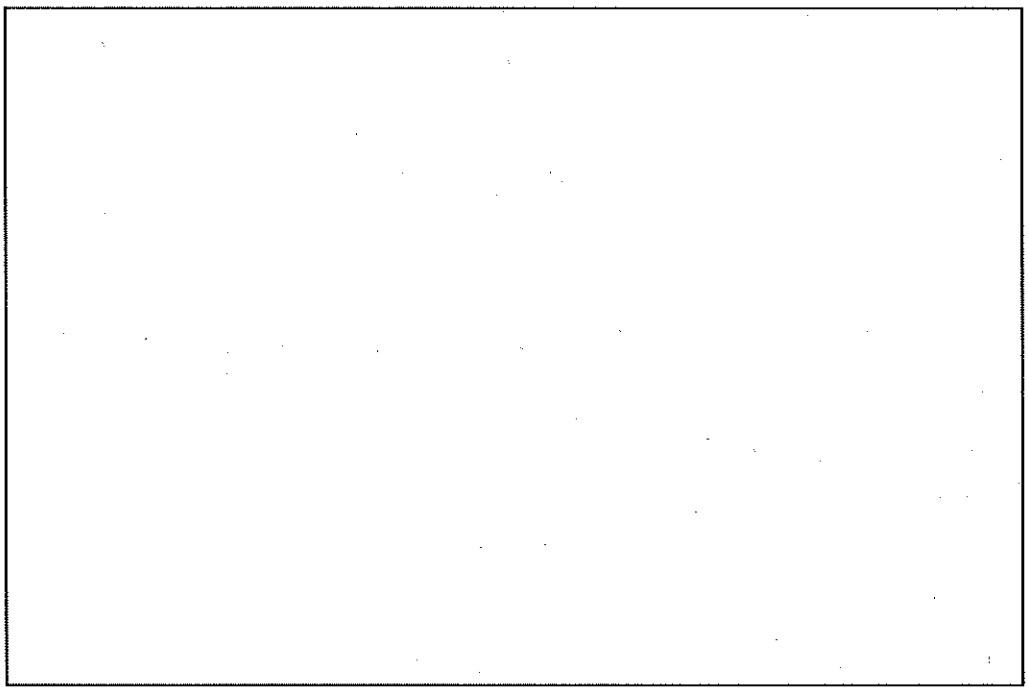
写真（ロ）－第H.17　原型容器試験後の模擬燃料要素(5/6)

（ＪＭＴＲ標準燃料要素）



写真（ロ）－第H.17　原型容器試験後の模擬燃料要素(6/6)

（ＪＭＴＲ燃料フォロワ）



写真（ロ）－第H.18　原型容器試験後の外容器蓋

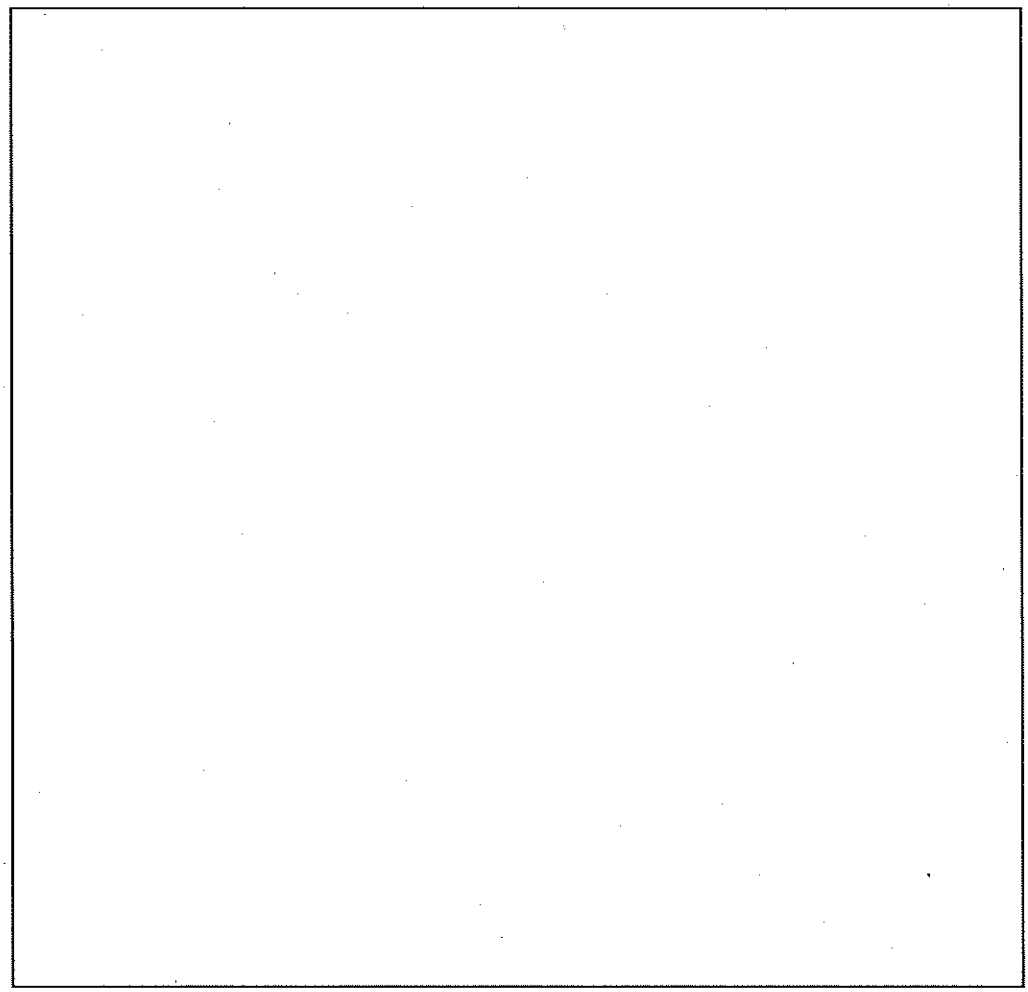
7. 密 封 試 験

7.1 試験概要

密封試験は、各強度試験前後及び耐火試験の前後で加圧漏えい法にて実施し、密封境界の漏えい率が、(ロ) 章Cで示した基準値以下であることを確認する試験である。

7.2 測定方法

密封境界である内容器蓋Oリング部の漏えい率は、(ロ) ー第 H. 14 図に示す測定系にて、加圧漏えい法で 30 分間保持し求めた。



(ロ) ー第 H. 14 図　密封試験測定系

7.3 試験結果

密封試験の結果を（ロ）－第H.7表に示す。

（ロ）－第H.7表　密封試験結果

項目＼試験条件		9m水平落下時	1m水平落下時	耐火試験時
漏えい率	試験前	6.64×10^{-3}	7.78×10^{-3}	1.33×10^{-2}
(atm・mℓ/s)	試験後	7.78×10^{-3}	1.11×10^{-2}	9.11×10^{-3}

8.　試験結果の評価

落下試験Ⅰ、落下試験Ⅱの結果、外容器蓋及び容器本体の表面は変形したが、密封境界である内容器本体及び内容器蓋には変形は無く、落下試験後に行った密封試験で密封性能が維持されていることを確認した。模擬燃料要素についても変形は無かった。

また、引続く耐火試験においても、試験後に行った密封試験により密封性能が維持されていることを確認した。

今回行った原型容器試験によりＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型輸送物が規則で要求されている事故時条件での安全性を十分保持し得ることが確認できた。

（ハ）章　輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

(ハ) 章　輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱方法

(ハ) －A.　輸送物の取扱方法

A.1 装荷方法

本輸送物に係る収納物の装荷は、次の手順により行う。

(1) 収納物の準備

収納物は装荷に先立ち、(ハ) －A.2の輸送物発送前検査に基づく収納物検査を行う。

(2) 収納物の装荷と内容器蓋の取付け

(3) 内容器蓋の気密漏えい検査

内容器蓋の気密漏えい検査を行う。

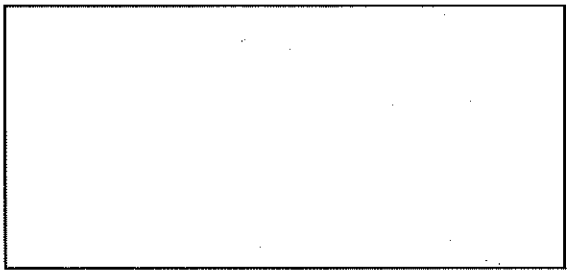
(4) 外容器蓋の取付け

A.2 輸送物の発送前検査

輸送物を発送する都度（ハ）－第A.1表に示す発送前検査を行う。

A.3 取出し方法

収納物の取出しは次の手順により行う。



A.4 空容器の準備

収納物取出し後、容器内面の放射線管理を行い、必要に応じ除染を行う。また、輸送容器の外観検査を行い、異常がないことを確認して屋内に保管する。

（ハ）－第A.1表　輸送物発送前検査要領

検査項目	検査方法	合格基準
外観検査	本体、内容器蓋及び外容器蓋の外観を目視により検査する。	割れ、異常な傷、変形等がないこと。
吊上検査	輸送物を吊上げた状態で輸送物外観を検査する。	アイプレートに割れ、異常な傷、変形等がないこと。
重量検査	輸送物の総重量を検査する。	重量が［　　］以下であること。
表面密度検査	スミヤ法等により輸送物の表面密度を検査する。	表面密度はアルファ線を放出する放射性物質については0.4Bq/cm^{2}以下、アルファ線を放出しない放射性物質については4Bq/cm^{2}以下であること。
線量当量率検査	燃料要素を装荷した状態で、ガンマ線及び中性子線量当量率を測定する。	ガンマ線及び中性子線量当量率の合計が、輸送物の表面で2mSv/h以下、輸送物表面より1m離れた位置で100μSv/h以下であること。
未臨界検査	燃料バスケットの外観を目視により検査する。	1. 燃料バスケットが所定の位置に取り付けられていること。 2. 割れ、異常な傷、変形等がないこと。
収納物検査	種類、濃縮度、収納量及び外観並びに表面密度を検査する。	1. 種類 ウランシリコンアルミニウム分散型合金、ウランアルミニウム分散型合金又はウランアルミニウム合金 2. 濃縮度及び収納量 (1) 濃縮度［　　］wt% 以下 （ウランシリコンアルミニウム分散型合金又はウランアルミニウム分散型合金） U　：［　　］g以下 (^{235}U：［　　］g 以下) (2) 濃縮度［　］wt%以下 （ウランアルミニウム分散型合金） U　：［　　］g以下 (^{235}U：［　　］g 以下) (3) 濃縮度［　　］wt%以下 （ウランアルミニウム合金） U　：［　　］g以下 (^{235}U：［　　］g 以下) (4) 最大重量：［　］kg 3. 外観：異常のないこと。 4. 表面密度：α線を放出する放射性物質が0.056Bq/cm^{2}以下であること。
気密漏えい検査	内容器蓋シール部に［　　］[gauge]の空気圧を30分間加え、圧力降下量により漏えい率を検出する。	漏えい率が、1.09×10^{-2}MPa･cm^3/sを超えないこと。

圧力測定検査	収納物から発生する崩壊熱は微少であり、容器内部は常圧であるため、容器内部からの圧力は周囲圧力と同一となる。そのため、本検査は実施しない。
温度測定検査	収納物から発生する崩壊熱は微少であり、容器温度は周囲温度と同一となる。そのため、本検査は実施しない。

(ハ) －B．保守条件

輸送容器の保管は屋内で行う。定期自主検査は、以下に記した方法により、1年に1回以上（年間の使用回数が10回を超えるものにあっては、使用回数10回ごとに1回以上）実施する。

B.1 外観検査

本体、燃料バスケット、内容器蓋及び外容器蓋の内外面に割れ、異常な傷、変形等がないことを目視により検査する。

B.2 耐圧検査

耐圧性能に影響する修理等を行った場合、仮の内容器蓋を取り付けて内容器本体の漏えい率を加圧漏えい法〔検査開始圧力：[　　]以上、検査時間：30分間以上〕で検査し、漏えい率が 1.09×10^{-2}MPa･cm^3/s を超えないことを確認する。

その後、内容器本体内面に割れ、異常な傷、変形等がないことを目視により検査する。

B.3 気密漏えい検査

内容器蓋Oリング部に対し加圧漏えい法〔検査圧力：[　　]以上、検査時間：30分間以上〕で気密漏えい検査を実施し、漏えい率が 1.09×10^{-2}MPa･cm^3/s 以下であることを確認する。

B.4　遮蔽検査

本輸送容器には、特別な遮蔽体を用いていないので、該当しない。

B.5 未臨界検査

燃料バスケットの寸法、形状等に割れ、異常な傷、変形等がないことを目視により検査する。

B.6 熱検査

本輸送物には、特別な発熱体はないので、該当しない。

B.7 吊上検査

輸送容器を吊上げた状態で、輸送容器の外観を検査し、アイプレートに割れ、異常な傷、変形等がないことを目視により検査する。

B.8 作動確認検査

本輸送容器には、弁・バルブ等特別なものを設けていないので、該当しない。

B.9 補助系の保守

本輸送容器には、補助系を設けていないので、該当しない。

B.10 密封装置の弁、ガスケット等の保守

本輸送容器に弁・バルブ等は設けていない。

内容器蓋Oリングに割れ、異常な傷、変形等がないことを検査する。異常が認められた場合、Oリングを交換する。

B.11 輸送容器の保管

輸送容器の保管は屋内で行う。

B.12 記録の保管

本輸送容器供用中は、製作時検査記録、定期自主検査記録を保管する。

B.13 そ の 他

特になし。

（ニ）章　安全設計及び安全輸送に関する特記事項

（ニ）章　安全設計及び安全輸送に関する特記事項

特記事項なし。

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

本輸送容器の製作に関する諸工程すなわち、材料調達、切断、成形、切削、溶接、熱処理、補修、試験及び検査は、総理府令第７４号及び通産省告示第５０１号等を準用して行う。

本輸送容器は、（ロ）章の「核燃料輸送物の安全解析」で述べた構造、熱、密封、遮蔽及び臨界の各解析により決定された寸法及び構造を満足するように、（参）－Ａ．輸送容器の製作法に従って製作し、（参）－Ｂ．試験・検査方法等に記述する試験及び検査により、上記の各設計条件を満足していることを確認する。

なお、輸送容器の製作スケジュールを（参）－Ｃ　輸送容器の製作スケジュールに示す。

（参）－A．輸送容器の製作法

A.1 概　　要

本輸送容器の主な構成品は、次のとおりである。

(1) 本　　体

本体の主な構成品は、次のとおりである。

1) 外容器本体：外装板、底板、フランジ、アイプレート、仕切板、円錐状補強板、締付け部鋼板、溶融栓、ガスケット

2) 内容器本体：内容器胴、内容器フランジ、内容器底板

3) 緩衝材及び断熱材

(2) 内容器蓋　　：内容器蓋、Ｏリング、内容器蓋締付けボルト

(3) 燃料バスケット：角パイプ、上部及び下部フランジ、下部バスケット、クッションゴム、ゴムシート、燃料バスケット固定ボルト、下部バスケット固定ボルト

(4) 外容器蓋　　：内装板、外装板、円錐状補強板、フランジ、断熱材、緩衝材、溶融栓、外容器蓋締付けボルト・ナット・ばね座金

輸送容器の製作は、前記の構成品について（ロ）章の「核燃料輸送物の安全解析」を満足するように、以下に述べる輸送容器全体製作工程及び詳細図に従って行う。

A.1.1 輸送容器の全体製作工程及び詳細図

輸送容器の全体製作工程及び詳細図の構成並びに、それらの概要を(参)－第 A.1 表に示す。

(参)－第A.1表　詳 細 図 一 覧 表

No.	図 面 名 称	概　　要
(参)－第 A.1 図	輸送容器全体製作工程	輸送容器全体の製作手順及び方法の概要を図示したもの。
(参)－第 A.2 図	輸送容器組立図	以下の(参) －第 A.3 図～(参)－第A.6図の組立状態を図示したもの。
(参)－第 A.3 図	本体詳細図	形状寸法を図示したもの。
(参)－第 A.4 図	内容器蓋詳細図	
(参)－第 A.5 図	燃料バスケット詳細図	
(参)－第 A.6 図	外容器蓋詳細図	

A.1.2 製作方法及び製作手順の概要

本輸送容器は、（参）－第A.1図に示す手順及び方法により製作される。

以下に（参）－第A.1図に従い、製作手順及び方法の概要について説明する。

(1) 内容器本体の製作

内容器本体の構造を（参）－第 A.3 図に示す。内容器本体は、内容器胴・内容器フランジ・内容器底板等により構成される。

(a) 材料受取検査

購入した鋼板の材料確認を行い、材質、寸法及び仕様に誤りのないことを確認する。

(b) 部材加工

鋼板の切断、切削、曲げ及び開先加工を行い、内容器胴、内容器フランジ、内容器底板等とする。合わせて、座板、アイプレート、仕切板等を加工する。

(c) 曲げ加工をした内容器胴の仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後本溶接を行う。溶接部は、放射線透過検査により健全性を確認する。

(d) 内容器フランジの取付け

内容器胴と内容器フランジの仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後、本溶接を行う。溶接部は、放射線透過検査により健全性を確認する。

(e) 内容器底板の取付け

内容器胴と内容器底板の仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後本溶接を行う。溶接部は、放射線透過検査により健全性を確認する。

(f) 座板、アイプレート、仕切板等の取付け

内容器本体と座板、アイプレート、仕切板等の仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後本溶接を行う。溶接部は、浸透探傷検査により健全性を確認する。

(g) 寸法検査

各部の寸法を検査し寸法公差内にあることを確認する。

(h) 気密漏えい検査及び耐圧検査

内容器本体単独にて、気密漏えい検査を行い、溶接部からの漏えい率が基準値以下であることを確認する。また、耐圧検査により強度上問題がなく漏えいがないことを確認する。

(i) 洗　　浄

内容器本体内外面について、洗浄し、油脂、ごみ等を除去する。

(2) 本体の製作

本体の構造を（参）－第 A.3 図に示す。本体は、前記の内容器本体と外容器本体、緩衝材、断熱材等により構成される。

(a) 材料受取検査

購入した鋼板、緩衝材、断熱材等の材料確認を行い、材質、寸法及び仕様に誤りのないことを確認する。

(b) 部材加工

鋼板について、切断、切削、曲げ、穴開け、開先加工等を行い、フランジ、締付部鋼板、外装板、円錐状補強板、底板、鏡板及び上部外装板とする。

(c) 内容器本体へフランジ、締付部鋼板、外容器本体胴部外装板、円錐状補強板等を仮付けし、開先合せ検査を行い、合格後本溶接を行う。溶接部は、浸透探傷検査により健全性を確認する。

(d) 緩衝材の充填（本体下部）

(ｲ) 部材加工

[　　]の成形加工を行う。

(ﾛ) 緩衝材充填

外容器本体下部へ[　　]を充填し、異常のないことを目視により確認する。

(e) 断熱材の充填

断熱材を外容器本体胴部及び外容器本体下部へ充填する。

(f) 外容器本体鏡板の取付け

外容器本体鏡板を外容器本体胴部外装板及び底板と仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後、本溶接を行う。溶接部は、浸透探傷検査により健全性を確認する。

(g) 緩衝材の充填（本体上部）

(ｲ) 部材加工

[　　]の成形加工を行う。

(ﾛ) 緩衝材充填

外容器本体上部へ[　　]を充填し、異常のないことを目視により確認する。

(h) 外容器本体上部外装板の取付け

外容器本体上部と外容器本体上部外装板の仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後、本溶接を行う。溶接部は、浸透探傷検査により健全性を確認する。

(i) 外容器本体シート面の機械加工

外容器本体フランジのシート面を機械加工により仕上げる。

(j) 寸法検査及び外観検査

外容器本体について、寸法検査により各部の寸法が寸法公差内にあることを確認し、目視により外観に異常のないことを確認する。

(k) 洗　　浄

外容器本体について、洗浄し、油脂、ごみ等を除去する。

(3) 内容器蓋の製作

内容器蓋の構造を（参）－第A.4図に示す。

(a) 材料受取検査

購入した鋼板の材料確認を行い、材質、寸法及び仕様に誤りがないことを確認する。

(b) 部材加工

鋼板について切断、切削及び穴開けを行う。

(c) 寸法検査

内容器蓋各部の寸法が寸法公差内にあることを確認する。

(d) 洗　　浄

内容器蓋について洗浄し、油脂、ごみ等を除去する。

(4) 燃料バスケットの製作

燃料バスケットの構造を（参）－第A.5図に示す。

燃料バスケットは、角パイプ、上部及び下部フランジ、下部バスケット等により構成される。

(a) 材料受取検査

購入したパイプ及び鋼板の材料確認を行い、材質、寸法及び仕様に誤りがないことを確認する。

(b) 部材加工

鋼管材について切断、切削を行う。また、鋼板についても機械加工を行い、角パイプ、上部及び下部フランジ、底板等とする。

(c) 角パイプの組立て

角パイプを（参）－第A.5図の形状に溶接する。

(d) 上部及び下部フランジの取付け

組立てた角パイプと上部及び下部フランジの仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後、本溶接を行う。

(e) 上部及び下部ボスの取付け

上部及び下部フランジと上部及び下部ボスの仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後、本溶接を行う。

(f) 下部バスケットの取付け

下部バスケットを［　　］にて取り付けて燃料バスケットとする。

(g) 寸法検査

燃料バスケット各部の寸法が寸法公差内にあることを確認する。

(h) 洗　　浄

燃料バスケットについて洗浄し、油脂、ごみ等を除去する。

(5) 外容器蓋の製作

外容器蓋の構造を（参）－第A.6図に示す。外容器蓋は、内装板、外装板、緩衝材、断熱材等により構成される。

(a) 材料受取検査

購入した鋼板、緩衝材、断熱材等の材料確認を行い、材質、寸法及び仕様に誤りのないことを確認する。

(b) 部材加工

鋼板について、切断、切削、曲げ、穴開け、開先加工等を行い、外容器蓋フランジ、外容器蓋締付部鋼板、外容器蓋外装板、外容器蓋内筒、外容器蓋内装板、円錐状補強板、外容器蓋上板及び外容器蓋鏡板とする。

(c) 各部材の取付け

外容器蓋フランジ、外容器蓋締付部鋼板、外容器蓋外装板、外容器蓋内筒、外容器蓋内装板及び円錐状補強板の仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後、本溶接を行う。溶接部は、浸透探傷検査により健全性を確認する。

(d) 緩衝材の充填

(ｲ) 部材加工

[　　]の成形加工を行う。

(ﾛ) 緩衝材充填

外容器蓋へ[　　]を充填し、異常のないことを目視により確認する。

(e) 断熱材の充填

断熱材を外容器蓋中央部へ充填する。

(f) 外容器蓋鏡板の取付け

外容器蓋鏡板を外容器蓋外装板及び外容器蓋上板と仮付け後、開先合せ検査を行い、合格後、本溶接を行う。溶接部は、浸透探傷検査により健全性を確認する。

(g) 外容器蓋シート面の機械加工

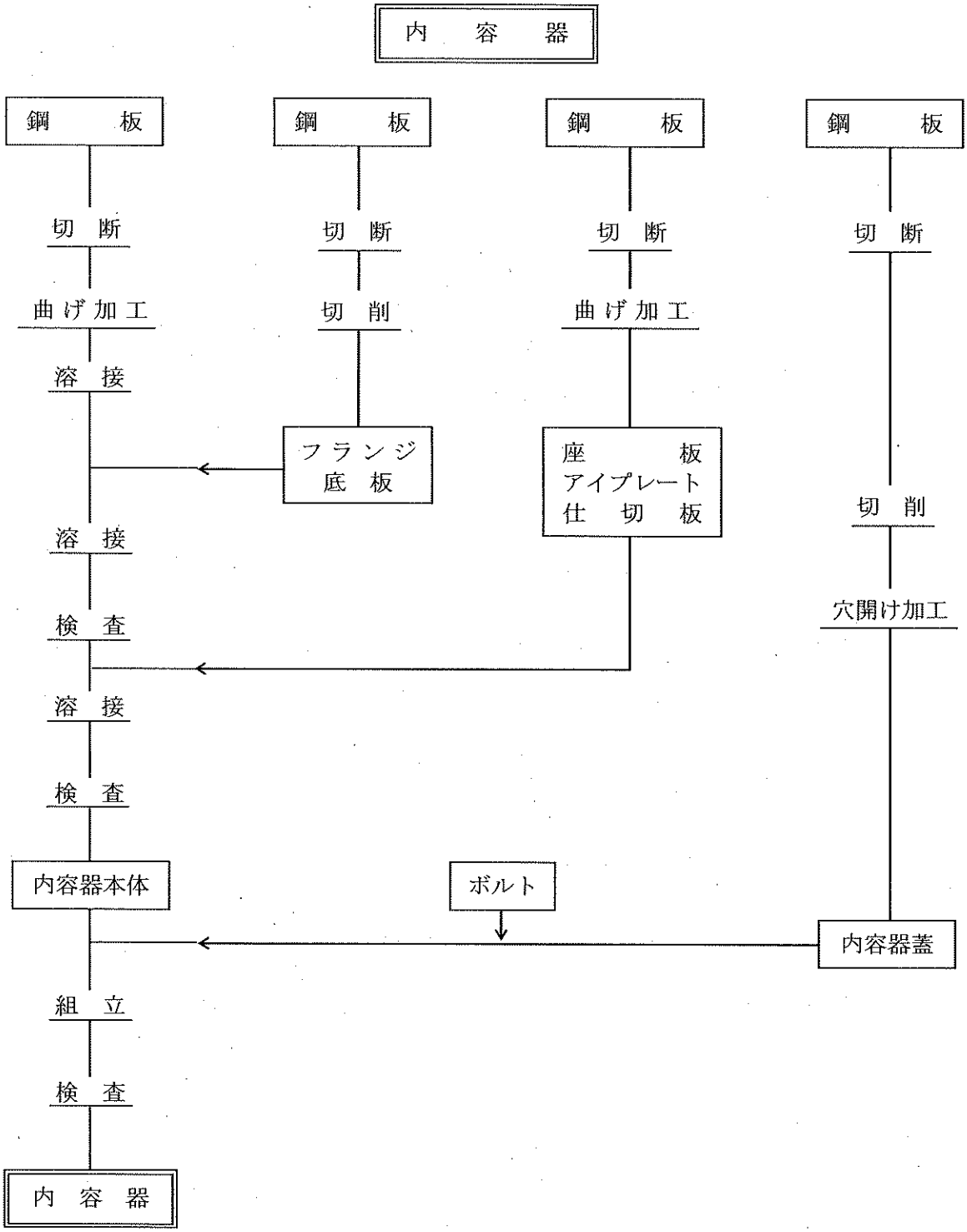
外容器蓋フランジ部のシート面を機械加工により仕上げる。

(h) 寸法検査及び外観検査

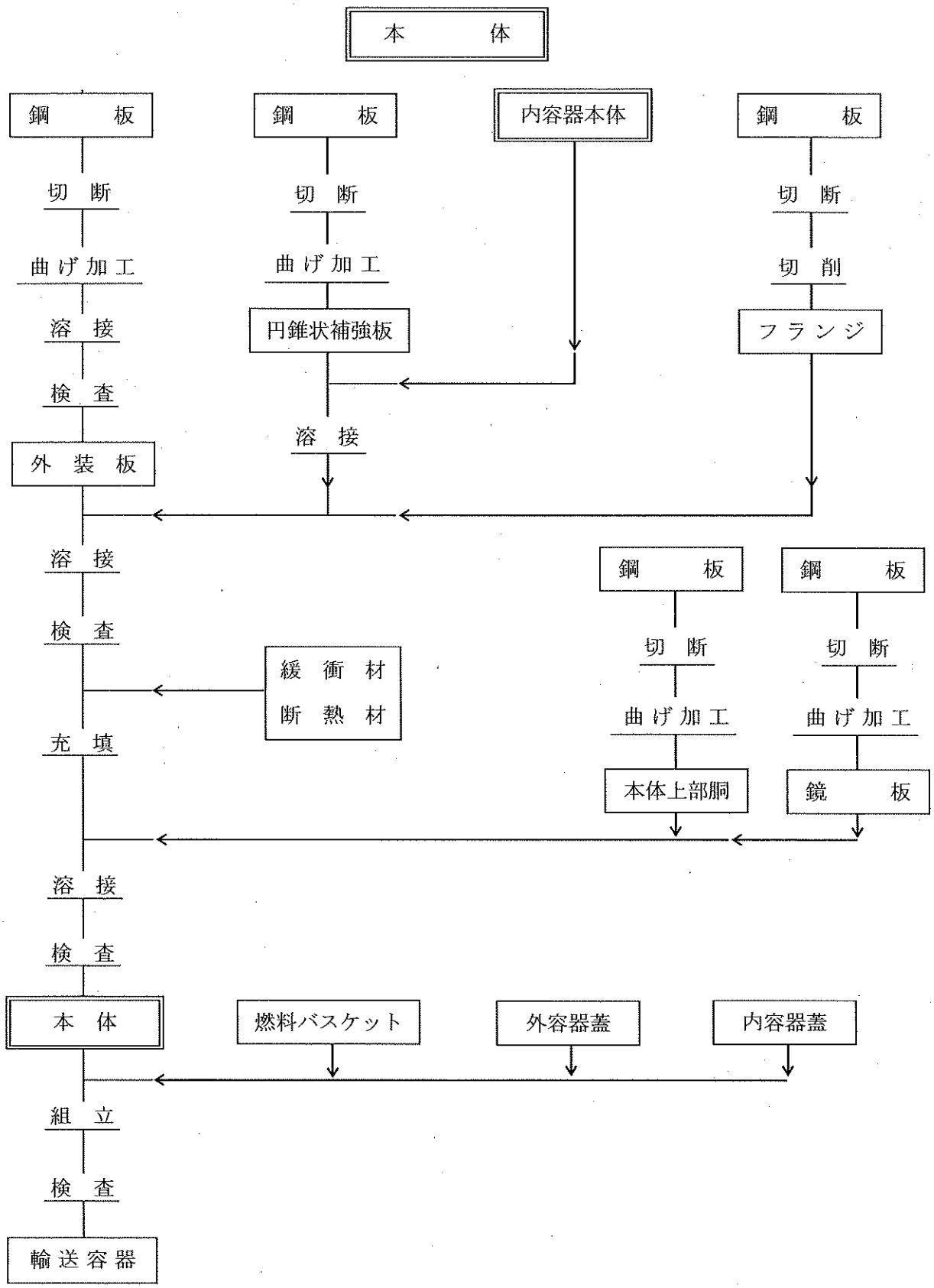
外容器蓋の寸法検査を行い、各部の寸法が寸法公差内にあることを確認し、目視にて外観に異常のないことを確認する。

(i) 洗　　浄

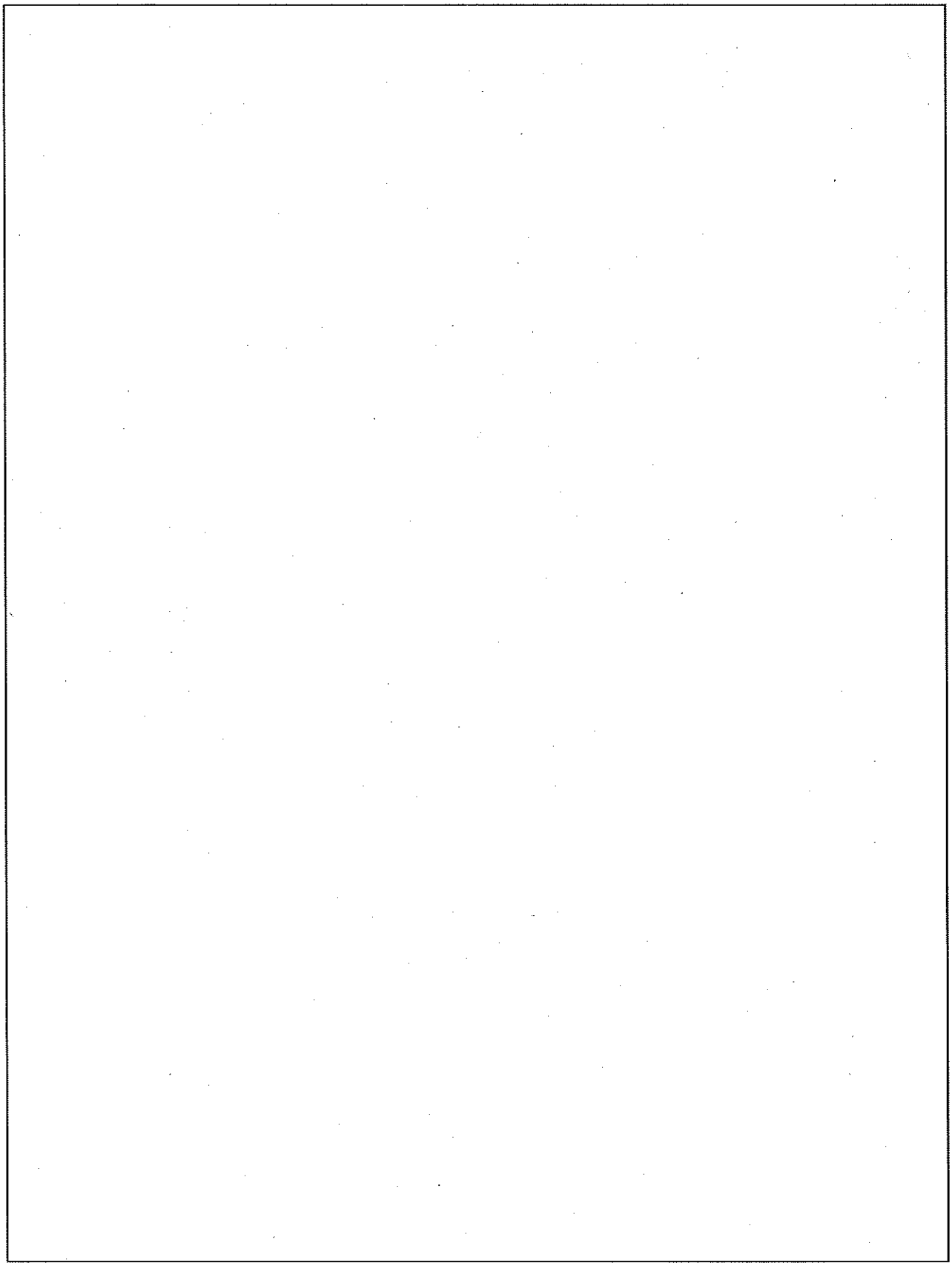
外容器蓋について洗浄し、油脂、ごみ等を除去する。



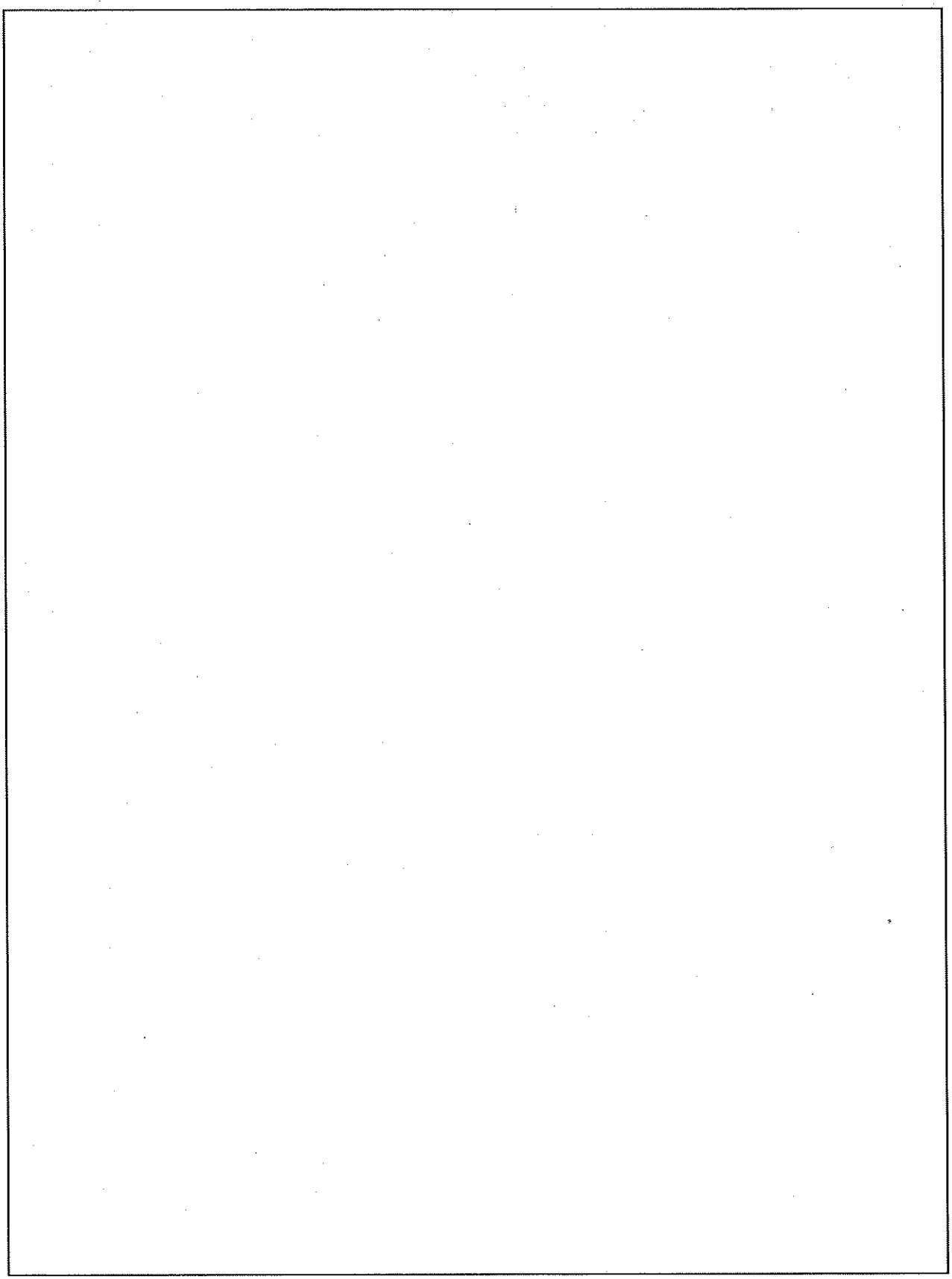
(参) －第A.1図　輸送容器全体製作工程 (1/2)



（参）－第A.1図　輸送容器全体製作工程（2/2）

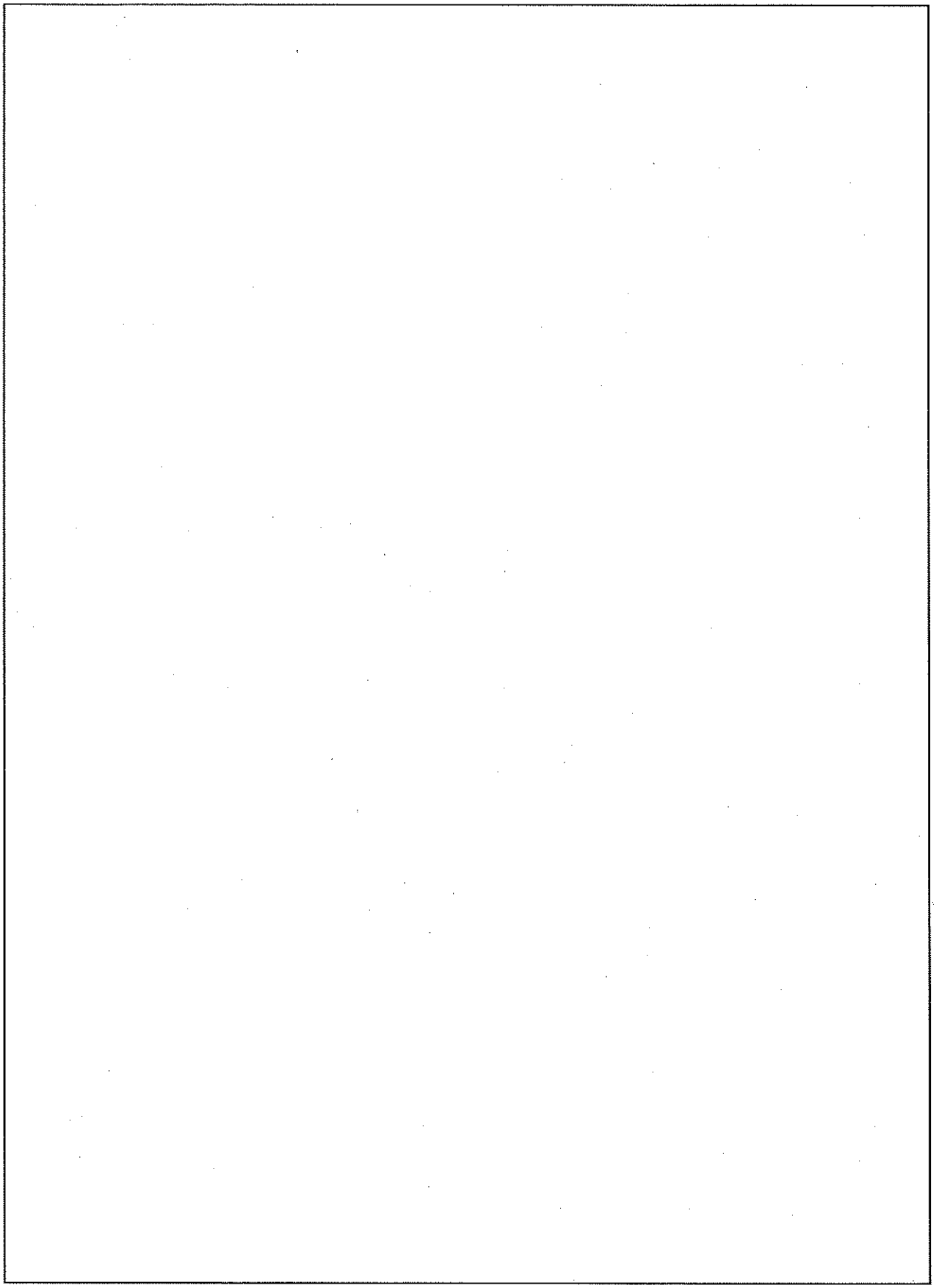


（参）－第A.2図　輸送容器組立図

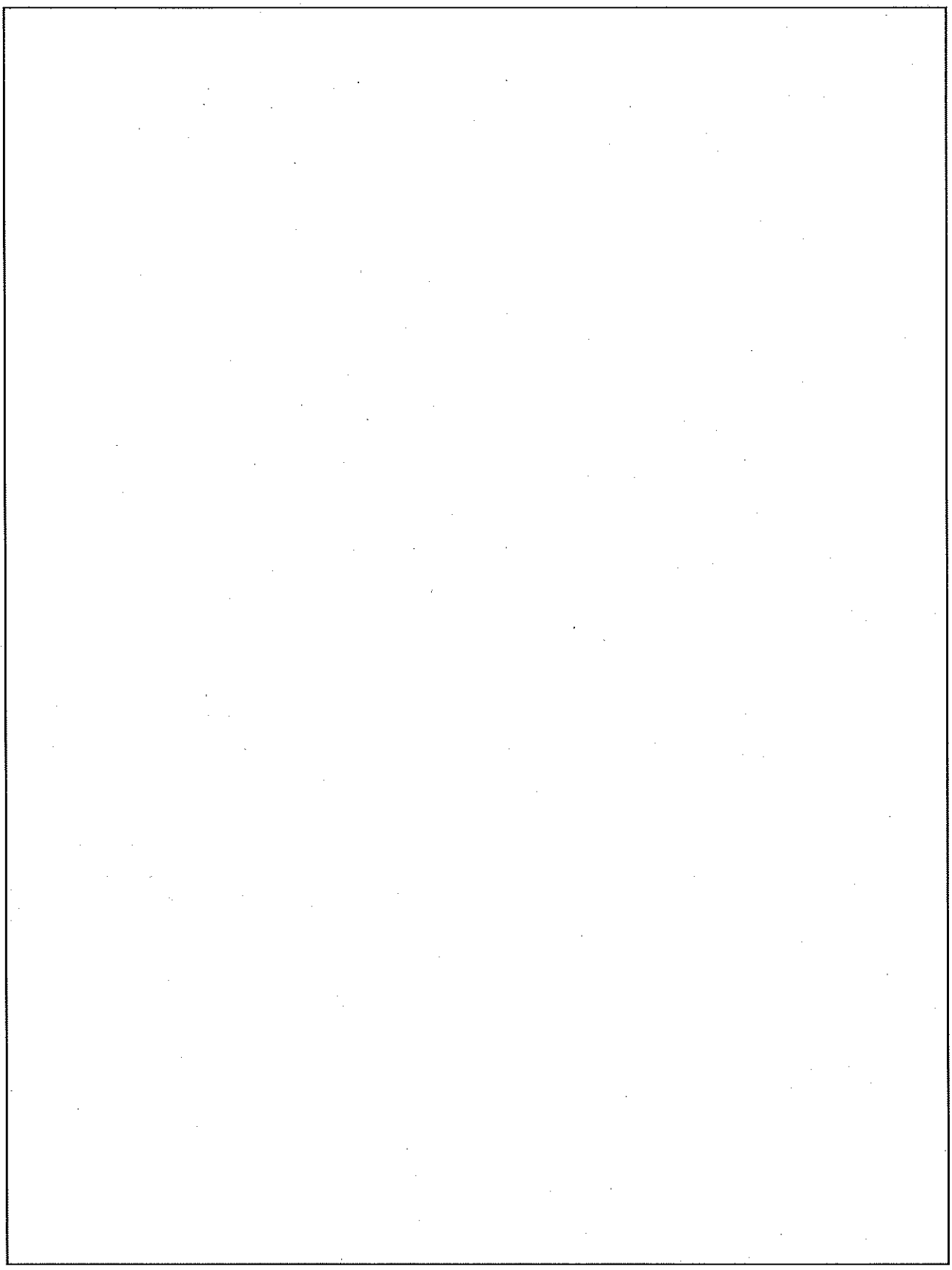


（参）－第A.3図　本　体　詳　細　図

（参）－第A.4図　内　容　器　蓋　詳　細　図



（参）－第A.5図　燃料バスケット詳細図



（参）－第A.6図　外　容　器　蓋　詳　細　図

A.2 材料の説明

A.2.1 板 材 料

本輸送容器の製作に使用する板材料を（参）－第A.2表に示す。

（参）－第A.2表　製作に使用する板材料

材　　料	仕　　様
ステンレス	
ステンレス	

本体材料は、[redacted]ステンレス鋼であり、輸送容器使用条件における材料の腐食の問題はない。また、切断、切削、穴開け、曲げ、溶接等の方法は、[redacted]ステンレス鋼に対し従来から使用されている一般的な方法を用い、各板材料の特性を失わせるような加工法は行わない。

なお、（参）－第A.2表に示す各板材料に対し、設計基準に適合していることを確認するため、別記-2ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型核燃料輸送物品質マネジメントの基本方針に示す試験・検査を実施する。

A.2.2 管 材 類

本輸送容器の製作に使用する管材類を（参）－第A.3表に示す。

（参）－第A.3表　製作に使用する管材類

材　　料	仕　　様
ステンレス鋼	

（参）－第A.3表に示す管材類についての諸特性の確認方法、腐食性、加工方法は、前記A.2.1に同じ。

A.2.3 鍛造品、ボルト・ナット類

本輸送容器の製作に使用する鍛造品、ボルト、ナット類を（参）－第A.4表に示す。

（参）－第A.4表　製作に使用する鍛造品、ボルト、ナット類

材　　料	仕　　様
ステンレス	

（参）－第 A.4 表に示す材料についての諸特性の確認方法、腐食性、加工方法は、前記A.2.1に同じ。

A.2.4 溶接用電極、棒、線類

本輸送容器の製作に使用する溶接棒は、JIS 規格品を使用する。

溶接使用材料は、適用規格で定められた試験検査を実施し、母材と同等以上の諸特性が得られることを確認する。

A.2.5 特殊材料

本輸送容器の製作に使用する特殊材料を（参）－第A.5表に示す。

（参）－第A.5表　特　殊　材　料

使用目的	材料
緩衝材	
断熱材	
溶融栓	
内容器蓋Oリング	
燃料スペーサ	

A.2.6 ミルシート

本輸送容器の製作に使用する材料のミルシートの記載内容は、製造者名・製造ロット番号・仕様又は適用規格・材料の種類又は略号等とする。その他、主な材料毎の記載内容を（参）－第A.6表に示す。

（参）－第A.6表　ミルシート記載内容

	記　載　内　容
板　材　料	化学成分、機械的性質、寸法、重量
管　材　料	化学成分、機械的性質、寸法、重量
棒　材　料	化学成分、機械的性質、寸法、重量
ボルト・ナット類	化学成分、機械的性質、寸法
特　殊　材　料	型式、型番、グレード等

材料受入時に、各材料の適用規格で要求される諸特性とミルシートの記載事項を比較照合し、材料確認を行う。

A.2.7 材料の欠陥部の修理

使用材料確認時に、有害な欠陥が発見された場合、代替えもしくは、チッピング、グラインダ施工等によって欠陥を除去し、溶接補修を行う。

A.2.8 材料の切断

本輸送容器を製作するに当たり、各材料は、最終寸法へ加工して行く過程で切断が行われる。

切断の際、板材は、シャーリング機、グラインダ、プラズマ切断機、施盤等を使用し、棒材は、グラインダ、高速切断機、施盤等を使用する。

A.2.9 材料の成型

使用材料の成形曲げ加工は、原則としてプレス加工、ベンディングローラ等の機械によって行う。

A.3 溶　　接

A.3.1 溶接方法及び材料

本輸送容器の製作に係る主要な溶接材料の組合せ・溶接方法及び溶接部位を（参）－第A.7表に示す。

A.3.2 溶接機の管理及び作業員資格

(1) 溶接機の管理

溶接機は、保守計画に従って定期的に保守点検され、安全、かつ、良好な状態に管理される。

(2) 作業員資格

本輸送容器の溶接作業は、JIS等の公的機関が資格認定した溶接士が従事する。

A.3.3 溶接の主要事項に関する説明

(1) 最高層間温度

ステンレス鋼溶接時の層間温度は、最高で177℃とする。

(2) 溶接表面の洗浄

溶接部については、グラインダ等で研磨を行う。また、研磨後、必要に応じてアセトン等にて、油脂、ごみ等を除去する。

(3) 溶接後の溶接位置の許容範囲

製作図面に指示する公差の範囲内とする。

(4) 溶接部の仕上げ

溶接完了後、溶接部表面に付着したスパッタを除去し、機械加工又はグラインダ仕上げを行う。

A.3.4 溶接欠陥の修理

本輸送容器の製作途中、検査等により発見されたクラック、ピンホール等の溶接欠陥は、修理を行う。

修理は、溶接欠陥部を含む周辺領域を削り落した後、再溶接を行う。再溶接は、A.3.1に示す溶接方法により、A.3.2の管理に示す溶接機を使用し、有資格作業員によって行

う。

なお、修理した場合は、修理の後、再検査を行う。

A.3.5 溶接後の熱処理

特に、溶接後の熱処理を行わないので、該当しない。

A.3.6 特殊溶接

本輸送容器の溶接部は、特殊溶接を行わないので、該当しない。

A.3.7 溶接の品質保証計画・その他

本輸送容器の溶接は、総理府令第７４号：通商産業省令第８１号に定める施行法により、JIS等の公的機関が資格認定した溶接士が、管理された溶接機及び溶接棒を用いて施工する。溶接施工時には、溶接継手番号・施工法・作業内容及び溶接士名を記録し、溶接作業を管理する。

溶接完了後は、溶接検査を実施し、溶接部の健全性を確認する。

A.4 遮蔽体の製作法

本輸送容器には、特に放射線遮蔽体を使用していないので、該当しない。

A.5 弁等の付属機器の製作法

本輸送容器には、弁等の付属機器を設けていないので、該当しない。

A.6 組立等その他の製作法

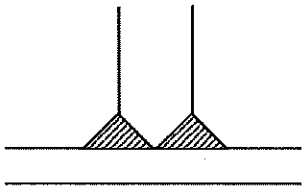
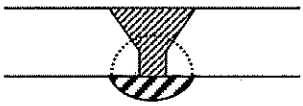
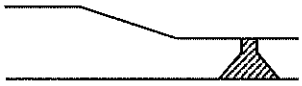
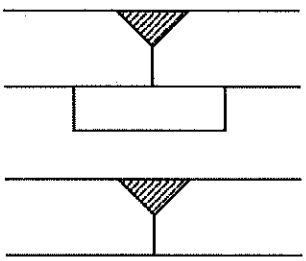
本輸送容器において、ボルト締め付けによる組立部は、燃料バスケット、内容器蓋、外容器蓋等である。以下に組立方法を示す。

(1) 燃料バスケットの下部バスケットを工具にて、下部フランジにボルト締めし、本体内部へ挿入する。挿入後、燃料バスケットを工具にて内容器本体にボルト締めする。

(2) 内容器蓋は、Oリングを取付け、工具にて本体にボルト締めする。

(3) 外容器本体にガスケットを取り付けた後、外容器蓋を工具にて外容器本体にボルト・ナットを用いて締め付ける。

（参）－第A.7表　溶接施工法詳細

溶接材料の組合わせ	溶接方法	溶接部位
	被覆アーク溶接又はミグ溶接によるスミ肉溶接 	
	被覆アーク溶接、ミグ溶接又はティグ溶接による突き合せ溶接 	
	ティグ溶接又はミグ溶接による突き合せ溶接 	
	被覆アーク溶接又はミグ溶接による突き合せ溶接 	

（参）－B．試験・検査方法等

輸送容器の製作中及び製作完了後、（ロ）章で述べられる解析とその要求値を満たすように製造されていることを確認する。

(1) 製作時及び完成時の試験検査

（参）－第B.1表に製作時及び完成時の検査要領を示す。

以下、各試験・検査の方法等について記述する。

（参）－第B.1表　輸送容器製作時及び完成時検査要領

No.	検査項目	検査方法	合格基準
1	材料検査	輸送容器に用いられた材料について、ミルシート等により確認する。	申請書の（参）－B.1項による。
2	寸法検査	主要寸法を計測器を用いて検査する。	申請書の（参）－B.2項による。
3	溶接検査	1)外観　2)開先寸法　3)液体浸透探傷試験　4)放射線透過試験等により溶接の健全性を検査する。	申請書の（参）－B.3項による。
4	外観検査	輸送容器の外観を目視で検査する。	有害な傷、割れ等がなく形状に異常な欠陥がないこと。
5	耐圧検査	内容器本体に水圧をかけ、外観を目視検査する。	申請書の（参）－B.5項による。
6	気密漏えい検査	加圧漏えい法により、内容器蓋シール部の漏えい率検査を行う。	申請書の（参）－B.6項による。
7	遮蔽性能検査	8　遮蔽寸法検査にて代替する。	
8	遮蔽寸法検査	内容器の胴、底及び蓋の板厚を検査する。	申請書の（参）－B.8項による。
9	伝熱検査	特別な冷却装置（除熱装置）を設けていないので、該当しない。	
10	吊上荷重検査	輸送容器本体に荷重を付加し、異常の有無を検査する。	吊上げ荷重の2倍の荷重に耐えること。
11	重量検査	完成輸送容器の総重量を測定する。	申請書の（参）－B.11項による。
12	未臨界検査	燃料バスケットの外観及び寸法を検査する。	申請書の（参）－B.12項による。
13	作動確認検査	弁、バルブ等特別なものを設けていないので、該当しない。	
14	取扱検査	輸送容器に模擬収納物を装荷し、一連の取扱作業を行う。	申請書の（参）－B.14項による。

B.1 材料検査

本輸送容器に使用する材料は、材料購入時、ミルシート等により規格に示す所定の性能を有していることを確認する。

B.2 寸法検査

本輸送容器の各部について寸法をノギス等により測定し検査する。

輸送容器主要部については、（参）－第 A.3 図～（参）－第 A.6 図に示された寸法であることを確認する。

なお、公差については、図示なき場合は、下記無記号公差表（参）－第 B.2 表によって判定する。

（参）－第B.2表　無 記 号 公 差 表

溶接構造無記号公差*1（単位：mm）	
呼び寸法の区分	寸法差
1 を超え　120 以下	±1.5
120 を超え　315 以下	±2.0
315 を超え　1000 以下	±3.0
1000 を超え　2000 以下	±5.0
2000 を超え　4000 以下	±7.0
4000 を超え　8000 以下	±10.0
8000 を超え 16000 以下	±15.0

削り加工無記号公差*2（単位：mm）	
呼び寸法の区分	寸法差
0.5 以上　6 以下	±0.2
6 を超え　30 以下	±0.5
30 を超え　120 以下	±0.8
120 を超え　315 以下	±1.2
315 を超え　1000 以下	±2.0
1000 を超え　2000 以下	±3.0
2000 を超え　4000 以下	±4.0
4000 を超え　8000 以下	±5.0

＊1：JIS　B0404（1977）に示す付表－1の16級に準拠

＊2：JIS　B0405（1977）に示す付表－1の16級に準拠

B.3 溶接検査

輸送容器製作中、溶接部の健全性を確保するために、主要部につき以下に示す溶接検査を行う。

(1) 仮付検査

(a) 開先の形状は図示のとおり加工され、開先及びその付近には、塗料、油脂、錆などのないことを確認する。

(b) 開先寸法の許容値（仮付状態にて）

(イ) 開先角度　　：±5°

(ロ) ルート間隔　：±1mm

(ハ) 板のくい違い：（参）－第B.3表の許容値内であること

（総理府令第74号による）

（参）－第B.3表　溶接継手の板の許容くい違い

長手継手		周継手	
板厚	くい違い	板厚	くい違い
20mm以下	1mm以下	15mm以下	1.5mm以下
20～120mm	板厚の5%以下	20～120mm	板厚の10%以下
120mm以上	6mm以下	120mm以上	12mm以下

(2) 溶接外観検査

溶接完了後、目視により外観検査を行い、割れ、アンダカット、オーバーラップ等の有害な欠陥がないことを確認する。

(a) 割　れ　　：ないこと

(b) アンダカット　：深さ0.5mm以下

(c) オーバーラップ：0.5mm以下

(3) 浸透探傷検査

検査方法は、総理府令第74号に従って実施する。判定基準は次のとおりとする。

(a) 線形状欠陥指示模様がないこと。

(b) 円形状欠陥指示模様が JIS Z 2343 の「8.3 欠陥指示模様の等級分類」の２級であること。

(c) 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。

(4) 放射線透過試験

検査方法は、総理府令第７４号に従って実施する。判定基準は次のとおりとする。

(a) 日本工業規格 JIS Z 3104(1968)「鋼溶接部の放射線透過試験方法及び透過写真の等級分類方法」の 3.「透過写真の等級分類方法」の１級であること。この場合において、ブローホールについては、試験視野を 3 倍に拡大して欠陥点数求め、その３分の１の値を欠陥点数とすることができる。

(b) ブローホールがある場合には、その径は、隣接する他のブローホールとの間の距離が 25 mm未満の場合にあっては、板厚の 0.2 倍（3.2mm を超える場合にあっては、3.2mm）、隣接する他のブローホールとの間の距離が 25 mm以上の場合にあっては、板厚の 0.3 倍（6.4mm を超える場合にあっては、6.4mm）、を超えないこと。

(c) 板厚の 12 倍の範囲内で、隣接するスラグ巻き込みの間の距離が長い方のスラグ巻き込みの長さの６倍未満であり、かつ、これらが連続して直線上に並んでいるときにおけるこれらの長さの合計が板厚を超えないこと。

なお、放射線透過検査を行う溶接部の余盛の高さは（参）－B.４表のとおりとする。

（参）－B.４表　放射線透過試験を行う溶接部の余盛高さ

母材厚さの区分	余盛高さ
12mm 以下	1.5mm 以下
12mm を超え 25mm 以下	2.5mm 以下
25mm を超え 50mm 以下	3　mm 以下
50mm を超えるもの	4　mm 以下

B.4 外観検査

本輸送容器の全部品について、有害な傷や割れ等がないこと、ガスケット、ボルト、ナット等が正常な位置にあること・形状等が図面どおりであること・油脂類が除去されていること・腐食等がないことなどを目視により検査する。

B.5 耐圧検査

輸送容器製作中、内容器本体に対し耐圧検査を実施し、耐圧性能を有することを確認する。

耐圧検査圧力は、設計圧力の1.5倍の水圧で実施する。

(1) 検査圧力　：0.147Mpa［gauge］（0.0981MPa［gauge］×1.5）

(2) 検査方法及び判定基準

水にて、0.147MPa［gauge］まで加圧し、30分間以上保持する。

加圧した状態において、圧力降下を生じないことを確認する。また、目視により外観に異常がないことを確認する。

B.6 気密漏えい検査

輸送容器製作完了後、内容器蓋シール部に対し加圧漏えい法にて気密漏えい検査を実施し、気密性能を確認する。

(1) 検査圧力　：　[　　]

(2) 判定基準　：　漏えい率が1.09×10^{-2}MPa・cm^3/sを超えないこと。

B.7 遮蔽性能検査

本検査は、B.8の遮蔽寸法検査にて代替する。

B.8 遮蔽寸法検査

内容器完成時に、胴部、底部及び内容器蓋の板厚を測定し、測定値が（参）－A項に示す寸法であることを検査する。

B.9 伝熱検査

本輸送容器の収納物の発熱量は小さい。また、本輸送容器は特別な冷却装置を備えていないので、本検査は実施しない。

B.10　吊上荷重検査

輸送容器製作完了後、アイプレートに対し、輸送物総重量の 2 倍以上の荷重をかけ、アイプレートや外装鋼板に異常な変形や割れ等がないことを目視により検査する。

B.11　重量検査

輸送容器完成時、全体の重量を測定し、その値が［　　］以下であることを検査する。

B.12　未臨界検査

輸送容器製作完了後、燃料バスケットに対し、B.2項に示す寸法検査及びB.4項に示す外観検査を行い、臨界安全性に問題がないことを検査する。

B.13　作動確認検査

本輸送容器には、弁・バルブ等特別なものを設けていないので、該当しない。

B. 14　取扱検査

模擬収納物を使用し、輸送容器への収納及び取出し等の一連の作業を行い、取扱いに異常のないことを検査する。

作業手順の概略は、次のとおりである。

(1) 空容器及び模擬収納物を準備する。

(2) 空容器へ模擬収納物を挿入し、燃料スペーサを取り付ける。

(3) 内容器蓋へOリングを取付け、蓋締めを行う。

(4) 本体へガスケットを取付け、外容器蓋の締付けを行う。

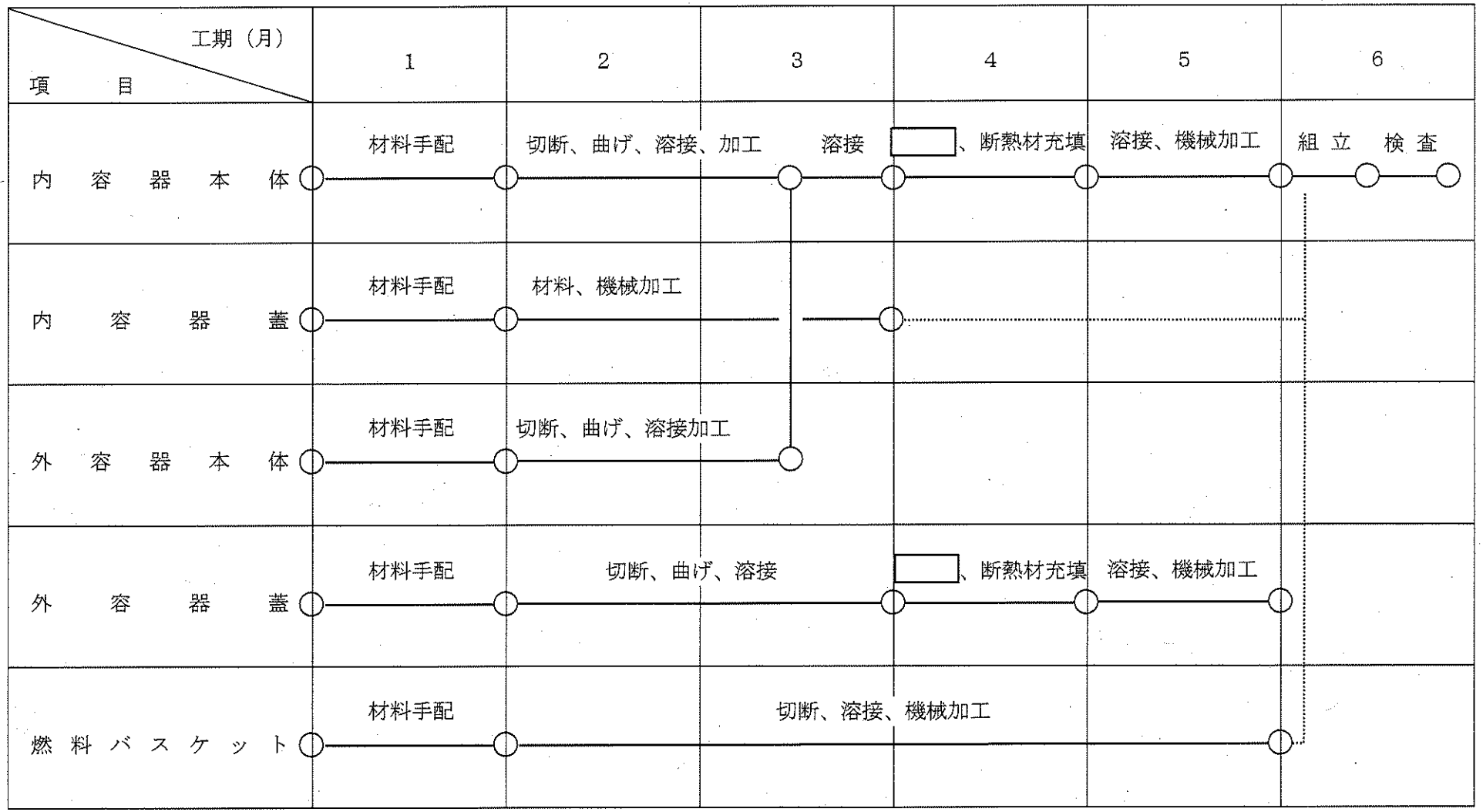
(5) 吊具にて輸送物を吊上げる。

(6) 上記作業の逆の作業を行い、模擬収納物を取り出す。

（参）－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表に示す。

（参）－第C.1表　輸送容器の製作スケジュール



別記－２

ＪＲＦ－９０Ｙ－９５０Ｋ型核燃料輸送物
品質マネジメントの基本方針

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

品質マネジメントの基本方針（大洗研究所）

本品質マネジメントの基本方針は、JIS Q 9001(2008)「品質マネジメントシステム」を参考に品質マネジメント活動の要求事項を定めたものである。

A. 品質マネジメントシステム

A.1 一般要求事項

(1) 大洗研究所長（以下「所長」という。）は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント計画を確立し、実施し、かつ、維持する。また、この品質マネジメント計画はマネジメントレビューをとおして、継続的に改善する。

(2) 所長及び材料試験炉部長（以下「部長」という。）は、次の事項を実施する。

① 品質マネジメント計画のために必要な業務及びそれらの組織への適用を「B.4 責任及び権限」にて明確にする。

② 業務の運用と管理が効果的であることを「B.5 マネジメントレビュー」及び「G.2.1 内部監査」で確認する。

③ 業務の運用及び管理のために必要な資源を「C.1 資源の運用管理」で確実にする。

④ 業務の監視及び測定を行い、計画どおりの結果が得られるように、かつ、継続的改善のために必要な処置が講じられることを「G. 測定、分析及び改善」で確実にする。

(3) 所長、部長及び担当課長（以下「課長」という。）は、原子力安全に影響を与える業務の調達（設計、製作、保守作業、輸送などの業務の外部委託）については、「E.1 調達管理」の項に従って管理する。

A.2 文書化に関する要求事項

A.2.1 一般

所長又は部長は、次の品質マネジメント計画に係る文書を規定する。

(1) 品質方針及び品質目標

(2) 品質マネジメント計画

(3) 本基本方針が要求する以下の管理及び処置に関する文書

① 文書管理

② 記録の管理

③ 内部監査

④ 不適合管理

⑤ 是正処置

⑥ 未然防止処置

(4) 当該部署における輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る業務の効果的な計画、運用及び管理を確実にするために、上記 (1) ～(3)の文書に加え、当該部署が必要とする文書

(5) 本基本方針が要求する記録

A.2.2 基本方針の策定

所長は、本基本方針を策定し、必要に応じて見直し、維持する。

A.2.3 文書管理

(1) 所長及び部長は、品質マネジメント計画で必要とされる文書について、次に示す事項を含めた管理の手順を定める。

① 発行前に、適切かどうかの観点から文書の妥当性をレビューし、承認する。

② 文書は定期的に改定の必要性についてレビューする。また、必要に応じて改定する場合は、文書作成時と同様の手続で承認する。

③ 文書の妥当性のレビュー及び見直しを行う場合は、対象となる実施部署の従業員等を参加させる。

④ 文書の変更内容の識別及び最新の改定版の識別を確実にする。

⑤ 該当する文書の最新の改定版又は適切な版が、必要なときに、必要なところで使用可能な状態にあることを確実にする。

⑥ 文書は、読みやすくかつ容易に識別可能な状態であることを確実にする。

⑦ 品質マネジメントシステムの計画及び運用のために組織が必要と決定し

た外部からの文書を明確にし、その配付が管理されていることを確実にする。

⑧ 廃止文書が誤って使用されないようにする。また、これらを何らかの目的で保持する場合には、適切に識別し、管理する。

⑨ 文書の改定時等の必要なときに文書作成時に使用した根拠等が確認できるようにする。

(2) 所長、品質担当副所長、内部監査責任者、部長及び課長は、前項に基づき、文書の管理を実施する。

A.3 記録の管理

(1) 所長及び部長は、要求事項への適合及び品質マネジメント計画の効果的運用の証拠を示すために、次の事項を含めた記録の管理の手順を定める。

① 記録の作成（記録には、電子的媒体を含む。）

② 記録の取扱い（記録の外部への提出、外部からの受領を含む。）

③ 記録の識別、保管、保護、検索の手順、保管期間及び廃棄

(2) 所長、品質担当副所長、内部監査責任者、部長及び課長は、前項に基づき記録の管理を実施する。

B.　申請者の責任

B.1　経営者の関与

所長は、品質マネジメント計画を構築し、実施し、その有効性を継続的に改善していることを実証するために、次の事項を行う。

① 関係法令・規制要求事項を遵守することを組織内に周知する。

② 品質方針を設定する。

③ マネジメントレビューを実施する。

④ 必要な資源を提供する。

⑤ 従業員等が、健全な安全文化を育成し、維持する取組に参画できる環境を整える。

⑥ 保安活動に関して、担当する業務について理解して遂行し、当該業務に責任を持つことを従業員等に認識させる。

⑦ 全ての階層で行われる決定が、原子力の安全の確保について、優先順位及び説明する責任を考慮して確実に行われるようにする。

B.2　品質方針

所長は、本基本方針に基づく業務の実施に際して、輸送容器及び輸送の特徴を加味して、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質方針を定め、従業員等に周知する。「品質方針」には、次の事項を含める。

① 輸送容器及び輸送の安全性及び信頼性を確保すること。

② 関連する法令、基準、許可又は認可された事項、安全協定等を遵守すること。

③ 品質マネジメント計画の継続的改善を行うこと。

なお、品質方針は、大洗研究所原子炉施設等品質マネジメント計画書に基づいて策定する品質方針の適用を可能とする。

B.3 品質目標

(1) 所長は、毎年度品質目標を設定する。

(2) 「品質目標」の設定に当たっては、以下の事項に留意する。

①「品質方針」との整合がとれていること。

② 達成度が評価可能な目標とする。

③ 業務に対する要求事項を満たすために必要なものがあれば含めること。

(3) 所長は、部長に「品質目標」の展開を実施するよう指示する。

なお、品質目標は、大洗研究所原子炉施設等品質マネジメント計画書に基づいて策定する品質目標を適用可能とする。

B.4 責任及び権限

B.4.1 責任及び権限

(1) 体制

本基本方針に係る業務を実施する品質マネジメント組織は、(別記－２）－第B.1図による。

(2) 責任及び権限

次に掲げる者は、それぞれに記載する事項に責任と権限を有する。

① 所長

大洗研究所において実施される輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント活動を総括し、推進する。

② センター長

所長が行う大洗研究所における品質マネジメント活動を補佐する。

③ 部長

材料試験炉部における輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント活動を統括し、推進する。

④ 課長

課長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る品質マネジメント活動を行う。

(3)大洗研究所品質保証推進委員会

大洗研究所における品質マネジメント活動の推進及び品質マネジメント上重要な事項並びに所長からの諮問事項について審議を行う。

(4) 大洗研究所使用施設等安全審査委員会

核燃料物質使用施設等(施行令第41条非該当施設を含む。)の保安上重要な事項に関する所長の諮問事項の審議を行う。

B.4.2　品質担当副所長

(1)　所長は、本品質マネジメント計画書に基づく品質マネジメントに関する業務の責任者として品質担当副所長を指名する。

(2)　品質担当副所長は、与えられている他の責任と関わりなく、次に示す責任及び権限を持つ。

①　品質マネジメントシステムに必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。

②　品質マネジメントシステムの実施状況及び改善の必要性について、所長に報告する。

③　従業員等に対して、原子力の安全についての認識を高める。

④　関係法令を遵守する。

B.5　マネジメントレビュー

(1)　所長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る業務に関して、品質マネジメント計画が適切で、有効に機能していることを評価、確認するため、年1回以上、マネジメントレビューを実施する。

(2)　所長は、マネジメントレビューを実施するため、管理責任者に次の事項を報告させる。

①　内部監査の結果

②　組織の外部の者の意見

③　プロセスの成果を含む実施状況

④　品質目標の達成状況

⑤　事業者検査、自主検査等の結果

⑥　健全な安全文化の育成及び維持の状況

⑦　関係法令の遵守状況

⑧　是正処置及び未然防止処置の状況

⑨　前回までのマネジメントレビューの結果に対する処置状況のフォローアップ

⑩　品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある変更

⑪　品質マネジメントシステムの改善のための提案

⑫　資源の妥当性

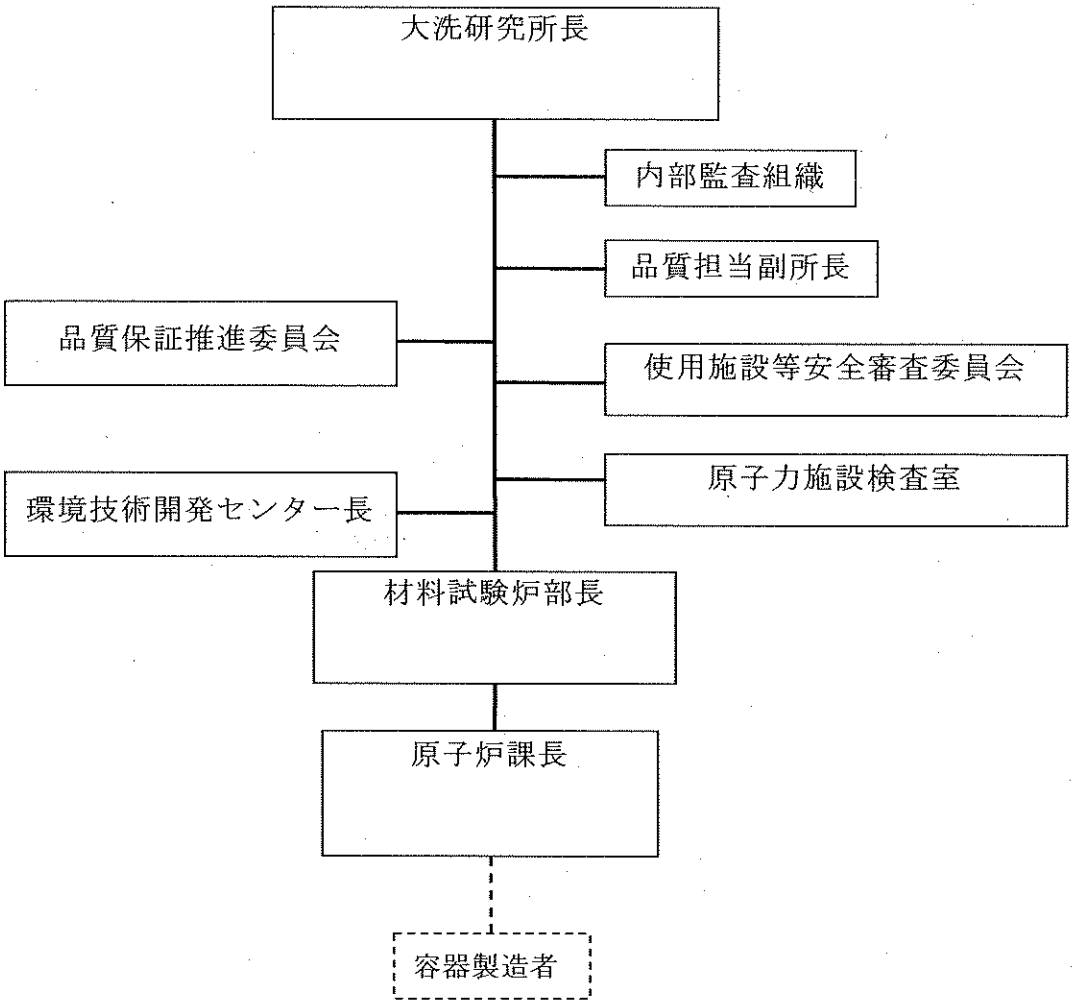
(3)　所長は、マネジメントレビューの結果から、次の事項に関する決定及び処置を行う。

①　本基本方針、規程等の有効性の改善

②　業務の計画及び実施に関連する保安活動の改善

③　資源の必要性

(4)　所長は、品質担当副所長を通じて、上記（3）の処置について部長へ改善を指示し、その結果を確認する。



（別記－２）－第B.1図　輸送容器及び輸送に係る品質マネジメント活動組織

C.　教育・訓練

C.1　資源の運用管理

C.1.1　資源の提供

所長及び部長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に必要な資機材、要員、費用等の対策を講ずる。

C.1.2 力量、認識及び教育・訓練

(1) 部長又は課長は、業務に従事する要員に必要な力量を明確にする。

(2) 部長又は課長は、必要な教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠として当該業務を実施できる力量を有する者を充てる。

(3) 部長及び課長は、必要な力量がもてるように、従業員等への教育・訓練、ＯＪＴ等を行う。

(4) 部長及び課長は、実施した教育・訓練等の有効性を評価する。

(5) 教育・訓練実績や技能及び経験に係る記録は維持する。

D.　設計管理

D.1　業務の計画

(1) 部長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に係る業務を的確に行うために、品質要求事項の分類、重要性を明確にした輸送方法、輸送容器の設計・製作・取扱い・保守方法、工程表、検査基準等から成る業務の計画を定める。

(2) 部長は、業務の計画を定めるに当たって、次の事項を考慮する。

① 輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に関し、要求される品質を満足するために必要な管理手段、工程、運搬機器、検査装置、備品、資源及び力量を明確にし、確保すること。

② 輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に関し、検査手順及び適用文書の相互の整合を図ること。

③ 品質管理、検査の技法は、新しい測定方法の開発も含めて、必要に応じて更新すること。

④ 現在の技術水準を超えた能力の測定を必要とする場合、その測定に関する要求事項及び開発計画を明確にすること。

⑤ 実現化の適当な段階における検証及び妥当性確認の方法を明確にすること。

⑥ 外観検査等における主観的な要素を含めて、全ての特徴及び要求事項に対する合否判定基準を明確にすること。

⑦ 記録を明確にし、作成すること。

(3) 所長、部長及び課長は、官庁検査、許認可申請、ヒアリング・打合せ時に監督官庁とのコミュニケーションを図る。また、安全協定に基づく地元自治体とのコミュニケーションを図る。

D.2　設計・開発

部長は、輸送容器の設計・開発の管理の手順を定める。

D.2.1　設計・開発の計画

課長は、設計・開発業務の実施に当たり、次に掲げる事項を含む設計・開発の計画を策定し、設計・開発を行う者（従業員等及び受注者）に対して明確に

示す。

① 適用される法令、規格・基準等、設計・開発条件等の設計・開発の要求事項及びその審査、承認等の責任者並びに必要な設計解析、設計・開発の検証等を設計・開発文書として明確化すること。

② 輸送容器の機能上重要な構成品及びそれらに適用される工法の選定、妥当性等に関する評価の手順を定め、評価を行うこと。

③ 法令で定める許可、認可申請等を要する事項及びその他輸送容器の安全性を確保する上で重要な事項については、必要に応じ、大洗研究所が定める委員会等において、評価の方法、安全性等について審査を受けること。

④ 設計・開発の要求事項からの変更（逸脱を含む）が生じた場合、適切な処置方法を選定し、文書化し、承認するための手順を定めること。

⑤ 設計・開発業務に従事する者は、適切な経験や知識を有する者を割り当てるとともに、必要な情報と手段が入手できるようにすること。

⑥ 設計・開発文書は、原設計者以外の者が評価できるようにすること。

D.2.2　設計・開発の取合い

課長は、組織間又は大洗研究所外の組織（あるいは外部の機関）との間の設計・開発の取合い及び連絡について、次に掲げる事項を明確にし、部長の承認を得るとともに、適切に管理する。

(1) 組織間又は大洗研究所外の組織(あるいは外部の機関)との間の取合い

① 設計・開発を実施する組織間又は大洗研究所外の組織(あるいは外部の機関)との間の設計・開発の取合いに関する責任の明確化

② 設計・開発の取合いに関する設計・開発文書の作成、審査、承認、発行、配付及び改定の方法並びに責任組織の明確化

(2) 組織間又は大洗研究所外の組織(あるいは外部の機関)との間の連絡

① 設計・開発情報の連絡について、情報の位置付け、検討、承認等の方法の明確化

② 設計・開発を行う組織と、調達、製作、使用、保守それぞれの段階に関係する組織（あるいは外部の機関)との間の設計・開発の取合いの明確化

D.2.3　設計・開発へのインプット

(1) 課長は、適用される法令、規格、基準等による要求事項、許認可申請書等の基本的設計・開発条件及び許認可での審議事項の反映、品質マネジメント計画上の要求事項等、設計・開発を進める上での要求事項を明確にする。

また、課長は、設計・開発を行う者(従業員等及び受注者）に対して、これらの設計・開発の要求事項を明確に示し、設計・開発に反映させる。

(2) 課長は、設計・開発の要求事項が適切であることを確認する。適用すべき規格等、確立されたものがない場合には、課長が立案し、部長の承認を得る。

(3) 課長は、設計・開発の要求事項の明確化に際し、不適切なデータの使用を防止するため、審査及び承認の方法を文書で明らかにし、実行する。

D.2.4　設計・開発からのアウトプット

課長は、設計・開発のアウトプットについて次に掲げる事項を必要条件とし、それを図面、仕様書、報告書、チェックシート等で明確にする。

① 適用される法令等を含む設計・開発の要求事項に適合していること。

② 合格基準が明確であり、かつ、それに基づいて判断されていること。

③ 輸送容器の安全性、信頼性及び適切に機能するために重要な設計・開発上の特性を明確にしておくこと。

D.2.5　設計・開発の審査

(1) 部長は、設計・開発の適切な段階において、設計・開発の要求事項が確実に反映されていることを使用施設等安全審査委員会で確認を受ける。

(2) 設計・開発の審査は、関係する部署の代表者だけでなく、他部署の専門家等、審査能力を有する者により行い、審査結果を記録する。

D.2.6　設計・開発の検証及び妥当性確認

課長は、設計・開発の適切な段階において、設計・開発の要求事項が満たされていることを確認するため、次に掲げる事項を考慮して管理の方法を文書

に定め、これに従って、部長又は課長は、設計・開発の検証及び妥当性確認を行うとともに、それを記録する。

(1) 設計・開発の検証の方法

① 設計・開発審査、代替計算、実証試験、過去の類似設計との比較等一つ以上の設計・開発の検証を適宜、実施すること。

② 設計・開発の検証は原設計者以外の者が実施すること。

(2) 代替計算

原設計と同様に設計･開発の要求事項及び計算コードの適切さ等を確認すること。

(3) 実証試験

検証試験、性能の試験等は、輸送容器の構造材料及び構造体系、環境条件等を考慮して実施すること。

(4) 過去の類似設計･開発との比較

比較対象物の設計･開発の要求事項、構造体系や計算コード等の適切さを確認し、比較の妥当性を証明すること。

D.2.7　設計・開発の管理

課長は、設計・開発の変更を行う場合、変更理由、変更箇所、変更内容、変更による影響の有無、変更経緯等を文書化するとともに、次に掲げる事項を考慮する。

(1) 設計・開発の変更の実施

① 設計・開発の変更は、原設計に適用された方法と同じ設計・開発の管理の方法で実施する。

② 設計・開発の変更による影響とその妥当性を評価する。

(2) 設計・開発の変更の伝達

設計・開発の変更に係る情報は、「D.2.2 設計・開発の取合い」の定めるところに従い、関係する組織へ文書により伝達する。

E.　輸送容器の製造発注

E.1　調達管理

E.1.1　調達プロセス

(1) 所長は、適切な製品及び役務（以下「製品等」という。）を調達するため、大洗研究所における調達管理の手順を定める。

なお、市場で規格化されている汎用品及び消耗品（以下「汎用品」という。）のうち、事務用品、事務用パソコン等の原子力の安全に影響を及ぼさないものの調達については適用除外とする。

(2) 供給者及び調達製品に対する管理の方式と程度は、調達製品が輸送容器並びに輸送の安全性及び機能に及ぼす影響に応じて定める。

(3) 所長は、供給者が課長の要求事項に従って調達する製品等の供給能力を有することを判断する根拠として、供給者を評価及び再評価する基準を定める。課長は、これに基づき供給者を評価する。

(4) 課長は、評価の結果の記録及び必要な処置があれば、それを記録として維持する。

E.1.2　調達要求事項

(1) 課長は、調達する製品等に関する要求事項を引合仕様書で明確にし、必要な場合には、次の事項のうち該当するものを含める。

① 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する要求事項

② 要員の適格性確認に関する要求事項

③ 品質マネジメント計画に関する要求事項(輸送容器の製作に係る品質マネジメント指針について（平成20・06・10原院第１号 平成２０年６月２０日） Ⅲ 容器製造者による品質マネジメントの内容)

(2) 課長は、引合仕様書を発行する前に、調達要求事項が妥当であることを確認する。

E.1.3　調達製品の検証

課長は、調達する製品等が、規定した調達要求事項を満たしていることを

確実にするために、必要な検査又はその他の活動の方法を引合仕様書に定め、検証を実施する。

なお、調達先で検証を実施する場合には、その検証の要領及びリリース（出荷許可）の方法を引合仕様書で明確にする。

E.2　製作管理

E.2.1　一般

課長は、輸送容器の製作に当たり、安全性及び信頼性を確保するため、要求事項を明確にし、適切に管理する。

(1) 適用される法令、規格、基準等の要求事項を明確にする。

(2) 製作の管理に係る職務分担を決め、担当者を指名するなど製作管理組織を明確にする。

(3) 受注者に製作管理要領書を提出させ、必要に応じて部長の承認を得た上管理する。また、必要に応じて関係者、関係部署に周知し、製作に係る適合品質の確認に努める。

(4) 受注者からの製作管理要領書について次に掲げる事項を明確にする。

① 法令等の要求事項の明確化

② 管理に必要な規程類、要領書、指示書等の承認、審査、作業指示等責任者の明確化

③ 要求される品質に直接影響を及ぼす工程及びその工程での管理項目並びに作業員の技量、資格等の明確化

E.2.2　工程管理

課長は、輸送容器の製作に関する基本工程を作成し、受注者に対してその工程を明確に示すとともに、実施工程を提出させる。受注者から提出された製作・検査に係る工程を確認し、実施状況を把握するとともに、必要に応じて基本工程の見直し又は契約変更を検討する。

E.2.3　特殊工程の認定

課長は、事後の輸送容器の検査では所定の品質が十分検証できないような工程を特殊工程と認定し、受注者に特殊工程に係る作業員の能力、作業方法等を含む要領書を提出させ確認することにより、適切に管理する。

E.2.4　新工法の管理

課長は、輸送容器の製作を新工法により実施する場合は、あらかじめその工法の妥当性を適切な方法により確認する。

E.2.5　製作検証

課長は、輸送容器が法令、規格・基準、設計文書等の要求事項に適合していることを確認するために、次の事項を実施する。

(1) 受注者に対し必要に応じて監査を実施する。また、受注者による下請負契約者への監査状況を把握し、必要に応じて受注者及び下請負契約者の合意を得て、下請負契約者に対して直接監査を行う。

(2) 輸送容器、構成品の検査に当たって、安全上の重要性などを考慮し、立会確認及び記録確認を行う。

なお、輸送容器、構成品の検査に係る事項については「G.6.2.3　検査及び試験」による。

E.3　識別及びトレーサビリティ

E.3.1　輸送容器及び運搬機器の識別及びトレーサビリティ

課長は、適正な輸送容器及び運搬機器を使用するため、また、輸送容器及び運搬機器が不適合であった場合には、必要に応じてその履歴を追跡可能とするため、輸送における識別に関して、次に掲げる事項を含む管理を行う。

なお、課長は、受注者がこれらの管理を行う場合は、受注者に管理の要領を提出させ、必要に応じ部長の承認を得た上で管理を行う。

(1) 輸送容器及び運搬機器に固有の識別をし、記録と照合できること。

(2) 識別は、適切な番号又は記号を可能な限り輸送容器、運搬機器上に表示すること。

(3) 識別表示に当たっては、以下の事項を満足させること。

① 明確で他と区別しやすいこと。

② 消えにくいこと。

③ 品質に影響を及ぼさないこと。

(4) 輸送容器、運搬機器を輸送許認可、輸送物の作製、輸送物の荷役、輸送前の検査及び輸送の各プロセスにおいて一時的に保管する場合は、次に掲げる事項に留意すること。

① 輸送容器、運搬機器の識別の維持

② 関係者以外の立入制限

E.3.2 輸送容器の設計、製作、取扱い、保管に係る計算コード、構成品の識別及びトレーサビリティ

課長は、適正な計算コード、構成品を使用するため、また、計算コード又は構成品が不適合であった場合には、必要に応じてその履歴を追跡可能とするため、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守の各段階における識別に関して、次に掲げる事項を含む管理を行う。

なお、課長は、受注者がこれらの管理を行う場合は、受注者に管理の要領を提出させ、必要に応じ部長の承認を得た上で管理を行う。

(1) 計算コード、個々の構成品又はロットに固有の識別をし、記録と照合できること

(2) 識別は、適切な番号又は記号を可能な限り構成品上に表示すること

(3) 識別表示に当たっては、以下の事項を満足させること

① 明確で他と区別しやすいこと。

② 消えにくいこと。

③ 品質に影響を及ぼさないこと。

(4) 構成品を輸送容器の製作、取扱い及び保守の間保管する場合は、識別の維持に留意すること。

(5) 構成品上の識別が困難な場合、又はそれのみでは誤用のおそれがある場合は、受払いや置き場所を区分する等により確実に識別できるようにす

ること。

E.4　調達製品の保存

課長は、調達製品の検収後、受入から据付け、使用までの間、製品を適合した状態のまま保存する。この保存には、必要に応じて識別、取扱い、包装、保管及び保護を含める。保存は、取替品、予備品にも適用する。

E.5　監視機器及び測定機器の管理

(1) 部長は、試験及び検査に使用する監視機器及び測定機器の精度を確保するため管理の手順を定める。

(2) 課長は、前項の管理手順に基づき点検・校正、保守を行う。また、測定値の正当性を保証しなければならない測定機器は、次の事項を満たすようにする。

① 定められた間隔又は使用前に、国際又は国家計量標準にトレース可能な計量標準に照らして校正又は検証する。そのような標準が存在しない場合には、校正又は検証に用いた基準を記録する。

② 機器の調整をする、又は必要に応じて再調整する。

③ 校正の状態が明確にできる識別をする。

④ 測定した結果が無効になるような操作ができないようにする。

⑤ 取扱い、保守及び保管において、損傷及び劣化しないように保護する。

(3) 測定機器が要求事項に適合していないことが判明した場合は、それまでに測定した結果の妥当性を評価し、記録する。また、測定機器及び影響を受けた業務に対して、適切な処置を行う。

(4) 測定機器の校正及び検証の結果（トレーサビリティの証明書を含む。）については、記録の管理の手順に従い、記録として維持する。

F.　取扱い及び保守

F.1　取扱管理

部長は、取扱時の輸送容器の誤操作及び損傷を防止するために、次に掲げる事項を含む取扱管理の方法を文書に定め、適切に管理する。

また、課長は、取扱いを行う者（従業員等又は受注者）に対して、取扱いを行う上での要求事項を明確に示し、輸送容器の誤操作及び損傷防止に反映させる。

(1) 取扱装置の点検並びに取扱時の誤操作及び損傷防止対策

(2) 輸送容器の取扱条件

(3) 保管施設からの輸送容器の搬出入条件及び方法

(4) 設備管理責任者

F.2　保守及び保管管理

(1) 部長は、輸送容器の要求事項への適合性を維持するために、保守管理の方法を文書に定め、適切に管理する。

(2) 部長は、輸送容器の要求事項への適合性を維持するために、次に掲げる事項を含む保管管理の方法を文書に定め、適切に管理する。

① 保管中の損傷防止対策

② 環境条件等を考慮した保管方法及び保管区域の設定

③ 保管中の点検

④ 設備管理責任者

G.　測定、分析及び改善

G.1　一般

所長、部長及び課長は、次の事項のために必要となる監視、測定及び改善のプロセスを計画し、実施する。

(1) 業務に対する要求事項の適合性を実証する。

(2) 品質マネジメント計画の適合性を確実にする。

(3) 品質マネジメント計画の有効性を継続的に改善する。

これには、統計的手法を含め、適用可能な方法及びその使用の程度を考慮する。

G.2　監視及び測定

G.2.1　内部監査

(1) 所長は、品質マネジメント活動の次の事項が満たされているか否かを確認するため、当該年度における輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送に関して内部監査を実施する。

① 品質マネジメント計画が、「D.1 業務の計画」に適合しているか、本基本方針の要求事項に適合しているか。

② 品質マネジメント計画が効果的に運用・維持されているか。

(2) 所長は、監査の対象となるプロセス、重要性及びこれまでの監査結果を考慮して次の事項を規定した内部プログラムを策定する。

① 監査の基準、範囲及び方法

② 監査員の選定及び監査の実施においては客観性及び公平性を確保する。また、監査員は自らの業務は監査しない。

(3) 所長は、監査の計画及び実施、結果の報告、記録の維持に関する責任並びに要求事項を規定した手順を作成する。

(4) 所長は、発見された不適合及びその原因を除去するために、監査を受けた部長に文書をもって是正を指示し、とられた処置の検証及び検証結果の報告を求める。フォローアップには、とられた処置の検証及び検証結果の報告を含める。

G.2.2　プロセスの監視及び測定

(1) 所長、部長及び課長は、品質マネジメント計画のプロセスを適切な方法で監視し、適宜、測定する。

(2) 計画どおりの結果が達成できない場合には、その影響の程度に応じて適宜、修正及び是正処置をとる。

G.2.3　検査及び試験

所長は、原子炉等規制法に基づき事業者が行う事業者検査を行う場合の検査体制（独立検査組織）を整備し、事業者検査責任者を指名する。また、所長又は自主検査及び試験を行う部長は、輸送容器の製作、保守及び調達製品の要求事項が満たされていることを検証するための検査及び試験の管理要領を定め、次の事項を管理する。

(1) 事業者検査責任者、部長及び課長は、輸送容器の製作、保守及び調達製品の要求事項が満たされていることを検証するために、個別業務の計画(D.1参照)に従って、適切な段階で事業者検査、自主検査等を実施する。

(2) 検査及び試験の合否判定基準への適合の証拠となる事業者検査、自主検査等の結果に係る記録を作成し、管理する（A.3参照)。

(3) 記録には、リリース（次工程への引渡し）を正式に許可した人を明記する。

(4) 個別業務の計画で決めた検査及び試験が支障なく完了するまでは、当該輸送容器を使用しない。ただし、当該の権限を持つ者が、個別業務の計画に定める手順により承認する場合は、この限りではない。

(5) 事業者検査責任者は、保安活動の重要度に応じて、事業者検査の中立性及び信頼性が損なわれないよう検査する要員の独立性を確保する。また、部長及び課長は、自主検査等の検査及び試験要員の独立性について、これを準用する。

G.3　不適合管理

(1) 所長は、次の事項を含む不適合管理の手順を定める。

① 輸送容器及び輸送の安全性及び信頼性を確保するための要求事項に適合しない状況が放置されることを防ぐために、それらを識別すること。

② 不適合の処理に関する管理及びそれに関する責任と権限

(2) 部長及び課長は、次のいずれかの方法で不適合を処置する。

① 発見された不適合を除去するための処置をとる。

② 不適合事項又は不適合物品を本来の意図された使用又は適用ができないような処置（識別表示、隔離、廃棄）をとる。

(3) 部長は、不適合の性質の記録及び処置の記録を維持する。

(4) 部長は、不適合に修正を施した場合の要求事項への適合性実証のための再検証・再検査を行う。

(5) 部長及び課長は、製品等あるいは業務のプロセスで外部への引渡し後又は業務の実施後に不適合が検出された場合、その不適合による影響又は起こり得る影響に対して、適切な処置を講ずる。

G.4　是正処置等

(1) 所長は、次に掲げる事項について、是正処置の管理の手順を定める。

① 不適合等のレビュー及び分析

② 不適合等の原因（関連する要因を含む。）の特定

③ 類似の不適合等の有無又は当該不適合等が発生する可能性の明確化

④ 必要な処置の決定及び実施

⑤ 処置の結果の記録

⑥ 是正処置の有効性のレビュー

(2) 部長及び課長は、不適合が発見された場合、速やかに不適合の原因を究明し、再発を防止するための是正処置を行う。

(3) 部長及び課長は、是正処置を行う場合は是正処置の管理の手順に従って、適切に行う。その際、発見された不適合のもつ影響に見合った是正処置とする。

(4) 是正処置の状況は、マネジメントレビューのインプット情報とする。

(5) 所長は、他部署の参考になると思われる不適合については、品質担当副所長に当該の不適合に関する情報（是正処置情報を含む。）を整理させ、核不拡散・核セキュリティ総合支援センター長及び安全・核セキュリティ統括部長へ提出する。

G.5 未然防止処置

(1) 所長は、次に掲げる事項について、未然防止処置の管理の手順を定める。

① 起こり得る不適合及びその原因の特定

② 不適合の発生を未然に防止するための処置の必要性の評価

③ 必要な処置の決定及び実施

④ 処置の結果の記録

⑤ 未然防止処置の有効性のレビュー

(2) 部長及び課長は、輸送容器の設計、製作、取扱い、保守及び輸送の実施によって得られた知見及び他から得られた知見（トラブル事例）の活用を含め、起こり得る不適合が発生することを未然に防止する。

(3) 部長及び課長は、未然防止処置の管理の手順に従って、適切な未然防止処置を行う。

(4) 未然防止処置の結果は、マネジメントレビューのインプット情報とする。

なお、「品質マネジメントシステム」を見直した場合は、見直し後の内容に従う。

品質マネジメントの基本方針（原子力科学研究所）

本品質マネジメントシステムは、「原子力発電所における安全のための品質保証規程（JEAC4111-2009）」を参考に品質保証活動の要求事項を定めたものである。

A. 品質マネジメントシステム

A.1　一般要求事項

(1)　組織は、運搬等に係る品質マネジメントシステムを確立し、文書化し、実施し、かつ、維持する。また、この品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。

(2)　組織は、次の事項を実施する。

a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセス及びそれらの組織への適用を明確にする。

b) これらのプロセスの順序及び相互関係を明確にする。

c) これらのプロセスの運用及び管理のいずれもが効果的であることを確実にするために、必要な判断基準及び方法を定める。

d) これらのプロセスの運用及び監視のために必要な資源及び情報が利用できることを確実にする。

e) これらのプロセスを監視、測定及び分析する。ただし、測定することが困難な場合は、測定を省略できる。

f) これらのプロセスについて、計画どおりの結果が得られるように、かつ、継続的改善のための必要な処置をする。

g) これらのプロセス及び組織を品質マネジメントシステムとの整合をとれたものにする。

h) 社会科学及び行動科学の知見を踏まえて、業務を促進する。

A.2　文書化に関する要求事項

A.2.1　一　般

品質マネジメントシステムの文書は、次の各項とする。

(1) 品質方針及び品質目標

(2) 一次文書（品質保証計画）

(3) 二次文書（一次文書が要求する文書及び組織が必要と判断した規則等の文書）

(4) 三次文書（一次文書及び二次文書以外の組織が必要と判断した手順書や手引等の文書）

(5) (1)から(4)の文書が要求する記録

A.2.2 品質保証計画書

所長は、次の事項を含む品質保証計画書を策定し、必要に応じて見直し、維持すること。

(1) 品質マネジメントシステムの計画、実施、評価、改善に関する事項

(2) 品質マネジメントシステムの適用範囲

(3) 品質マネジメントシステムについて確立された“文書化された手順”又はそれらを参照できる情報

(4) 品質マネジメントシステムのプロセス間の相互関係に関する記述

A.2.3 文書管理

所長及び部長（研究炉加速器技術部長。以下同じ。）は、次の事項を確実に実施するため文書及び記録の管理に関する要領を定める。

(1) 品質マネジメントシステムで必要とされる文書を管理する。ただし、記録は文書の一種ではあるがA.3品質記録の管理に規定する要求事項に従って管理する。

(2) 次の活動に必要な管理を規定する。

a) 発行前に適切かどうかの観点から承認する。

b) 文書は、レビューし、必要に応じて更新し、再承認する。

c) 文書の変更の識別及び現在有効な版の識別状態を管理台帳等によって明確にする。

d) 該当する文書の適切な版が、必要な時に、必要なところで使用可能な状態にあることを管理台帳等によって確実にする。

e) 文書が読みやすく、容易に識別可能な状態であることを確実にする。

f) 品質マネジメントシステムの計画及び運用のために必要と判断した外部文書を明確にし、その配付が管理されていることを管理台帳等によって確実にする。

g) 廃止文書が誤って使用されないようにする。また、何らかの目的で保持する場合

には、適切な識別をする。

A.3　品質記録の管理

所長及び部長は、次の事項を確実に実施するため文書及び記録の管理に関する要領を定める。

(1) 記録は、要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの効果的運用の証拠を示すために、作成する対象を明確にし、維持する。

(2) 記録は、読みやすく、容易に識別可能で、検索可能とする。

(3) 記録の識別、保管、保護、検索、保管期間及び廃棄に関して必要な管理を規定する。

B. 申請者の責任

B.1　経営者のコミットメント

所長は、品質マネジメントシステムの構築及び実施、並びにその有効性を継続的に改善することに対するトップのコミットメントとして次の事項を行う。

(1) 法令・規制要求事項を遵守することを組織内に周知する。

(2) 品質方針を設定する。

(3) 原子力安全文化及び核セキュリティ文化を醸成するための活動を促進する。

(4) 品質目標が設定されていることを確実にする。

(5) マネジメントレビューを実施する。

(6) 資源が使用できることを確実にする。

B.2　原子力安全及び核セキュリティの重視

所長は、原子力安全及び核セキュリティの確保を最優先に位置付け、業務に対する要求事項を決定し、満たされていることを確実にすること。

B.3　品質方針及び品質目標

B.3.1　品質方針

所長は、運搬等に係る品質方針について次の事項を確実に実施する。

(1) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構法第４条(機構の目的)に対して適切である。

(2) 理事長の定める原子力安全に係る品質方針に対して適切である。

(3) 要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの有効性の継続的な改善に対するコミットメントを含む。

(4) 品質目標の設定及びレビューのための枠組みを与える。

(5) 組織全体に伝達され、理解される。

(6) 適切性の持続のためにレビューする。

B.3.2　品質目標

所長は、次の事項を確実に実施するため品質目標管理に関する要領を定める。

(1) 所長は、部長に品質目標を設定させる。その品質目標には、業務に対する要求事項を満たすために必要なものがあれば含めること。

(2) 品質目標は、その達成度が判定可能で、品質方針との整合性がとれていること。

B.4 責任及び権限

B.4.1 体 制

輸送容器等に係る業務の品質保証組織を（ハ）－第B.2図に示す。

B.4.2 責任及び権限

次に掲げる者は、それぞれに記載する事項に責任と権限を有する。

(1) 所長

研究所において実施される運搬等に係る品質保証活動を統括し、推進する。

(2) 品質保証管理責任者

次に示す責任及び権限を持つ。

a) 品質マネジメントシステムに必要なプロセスの確立、実施及び維持を確実にする。

b) 品質マネジメントシステムの実施状況及び改善の必要性の有無について所長に報告する。

c) 組織全体にわたって、関係法令の遵守及び原子力安全についての意識を高めることを確実にする。

(3) 部長

所掌する部署における運搬等に係る品質保証活動を統括し、推進する。

(4) 課長

所掌する課における運搬等に係る品質保証活動を行う。

(5) 品質保証推進委員会

研究所における品質保証活動の推進及び品質保証上重要な事項並びに所長からの諮問事項について審議を行う。

(6) 原子炉施設等安全審査委員会及び使用施設等安全審査委員会

研究所における保安活動の推進及び保安活動上重要な事項並びに所長からの

諮問事項について審議を行う。

B.4.3 内部コミュニケーション

組織は、内部コミュニケーションを図るため、会議、業務連絡書等を利用して情報交換を確実に行う。また、品質マネジメントシステムの有効性に関しての情報交換が行われることを確実にする。

B.5 マネジメントレビュー

所長は、次の事項を確実に実施するため、マネジメントレビューに関する要領を定める。

B.5.1 一般

(1) 所長は、運搬等に係る業務に関して、品質マネジメントシステムが、引き続き適切で、妥当で、かつ有効に機能していることを確認するため、年１回以上、マネジメントレビューを実施すること。

(2) このレビューでは、品質マネジメントシステムの改善の機会の評価及び品質方針を含む品質マネジメントシステムの変更の必要性の評価も行うこと。

(3) マネジメントレビューの結果の記録は維持すること。

B.5.2 マネジメントレビューへのインプット

品質保証管理責任者は、マネジメントレビューへのインプットに、次の事項を含めること。

a) 監査の結果

b) 原子力安全の達成に関する外部の受け止め方

c) プロセスの実施状況(品質目標の達成状況を含む。)並びに検査及び試験の結果

d) 原子力安全文化を醸成するための活動の実施状況

e) 関係法令の遵守状況

f) 未然防止処置及び是正処置の状況

g) 前回までのマネジメントレビューの結果に対するフォローアップ

h) 品質マネジメントシステムに影響を及ぼす可能性のある変更

i）改善のための提案

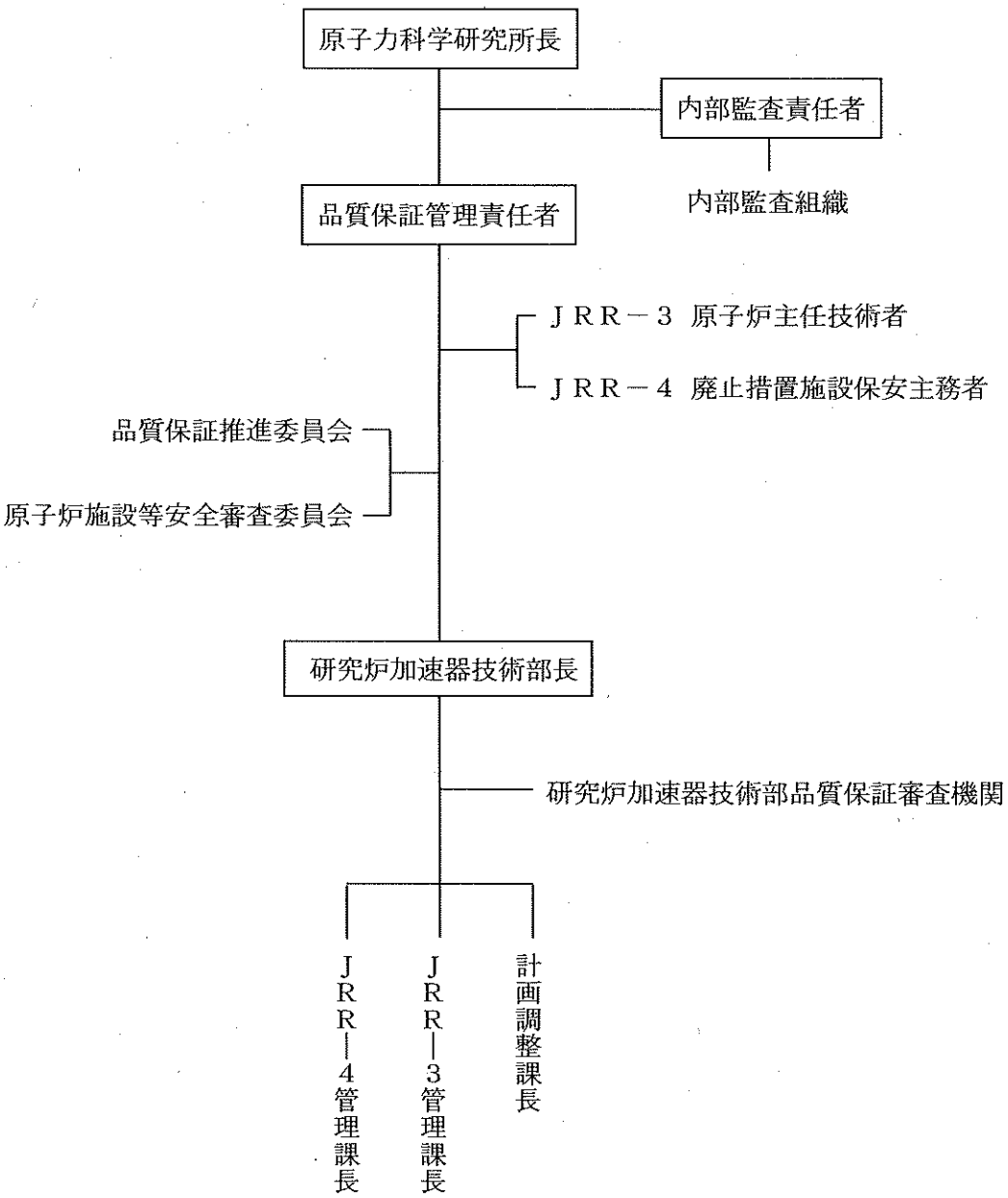
B.5.3　マネジメントレビューからのアウトプット

所長は、マネジメントレビューからのアウトプットに、次の事項に関する決定及び処置を含めること。

a）品質マネジメントシステム及びそのプロセスの有効性の改善

b）業務の計画及び実施に必要な改善

c）資源の必要性



（ハ）－第B.2図　核燃料輸送物に係る業務に係る品質保証組織

C. 教育・訓練

部長は、次の事項を確実にするため教育･訓練管理に関する要領を定める。

(1) 業務に従事する要員に必要な力量を明確にする。

(2) 必要な教育、訓練、技能及び経験を判断の根拠として当該業務を実施できる力量を有する者をあてる。

(3) 必要な力量がもてるように、教育・訓練又はＯＪＴ等を行う。

(4) 実施した教育･訓練等の有効性を評価する。

(5) 自らの活動のもつ意味と重要性の認識及び品質目標の達成に向けて自らどのように貢献できるかの認識を持たせる。

(6) 教育･訓練実績や技能及び経験に係る記録は維持する。

D. 設計管理

D.1 設計･開発の計画

(1) 部長は、輸送容器(原型容器を含む。)の設計・開発に必要なプロセスを明確にするため、設計･開発管理に関する要領を定める。

(2) 課長は、設計･開発管理に関する要領に従って、設計・開発の計画を策定し、管理する。

(3) 課長は、設計・開発の計画において、次の事項を明確にする。

a) 設計・開発の段階

b) 設計・開発の各段階に適したレビュー、検証及び妥当性確認

c) 設計・開発に関する責任及び権限

(4) 設計・開発の計画には、次に掲げる事項を含むものとし、設計・開発を行う者（従事者等及び受注者）に対して明確に示す。

a) 適用される法令・規制、基準等、設計・開発条件等の設計・開発の要求事項及びその審査、承認等の責任者並びに必要な設計解析、設計検証等を設計文書として明確化する。

b) 輸送容器の機能上重要な構成品並びにそれらに適用される工法の選定、妥当性等に関する評価の手順を定め、評価を行う。

c) 設計・開発の要求事項からの変更(逸脱を含む。)が生じた場合、適切な処置方法を選定し、文書化し、承認するための手順を定める。

d) 設計・開発業務に従事する者は、適切な経験や知識を有する者を割り当てるとともに、必要な情報と手段が入手できるようにする。

e) 設計・開発文書は、原設計者以外の者が評価できるようにする。

(5) 課長は、効果的なコミュニケーション及び責任の明確な割り当てを確実にするため、次に掲げる事項を明確にし、設計・開発に関与する組織間のインターフェースを運営管理する。これには、輸送容器の製作担当課、保守担当課との設計取合いを含める。また、必要に応じて受注者とインターフェースを図る。

a) 組織間又は受注者との間の取合い

(ｱ) 設計・開発の取合いに関する責任の明確化

(イ) 設計・開発の取合いに関する設計文書の作成、審査、承認、発行、配布及び改訂の方法並びに責任組織の明確化

b) 組織間又は受注者との間の連絡

(ア) 設計・開発情報の連絡について、情報の位置付け、検討、承認等の方法の明確化

(イ) 設計・開発を行う組織と、調達、製作及び保守それぞれの段階に関係する組織（あるいは外部の機関）との間の取合いの明確化

(6) 課長は、設計・開発の進捗に応じて、策定した計画を適宜更新する。

D.2 設計・開発へのインプット

(1) 課長は、要求事項に関連するインプットを明確にし、設計・開発に反映させ、その記録を維持管理する。インプットには、次の事項を含める。

a) 輸送容器（原型容器を含む。）の機能及び性能に関する要求事項

b) 適用される法令・規制等要求事項

c) 品質保証計画上の要求事項

d) 適用可能な場合は、以前の類似した設計から得られた情報

e) 設計・開発に不可欠なその他の要求事項

(2) 課長は、設計・開発の要求事項の明確化に際し、不適切なデータの使用を防止するため、審査及び承認の方法を文書で明らかにし、実行する。

(3) 課長は、インプットの適切性をレビューする。要求事項には、漏れなく、曖昧でなく、かつ、相反することがないように留意する。

D.3 設計・開発からのアウトプット

(1) 課長は、設計・開発からのアウトプットを、設計・開発へのインプットと対比した検証ができるよう、図面、仕様書、報告書、チェックシート等で提示する。その際、設計・開発からのアウトプットが次の状態であることを確実にする。

a) 設計・開発へのインプットで与えられた要求事項を満たす。

b) 調達、業務の実施に対して適切な情報を提供する。

c) 安全な使用及び適正な使用に不可欠な輸送容器の特性を明確にする。

d) 設計・開発の妥当性確認のために実証試験及び原型容器の製作をアウトソースすることとした場合、関係する検査及び試験の合否判定を含むか又はそれを参照している。

(2) 課長は、設計・開発からのアウトプットを次の段階に進める前に承認する。

D.4 設計・開発のレビュー

(1) 課長は、設計・開発の適切な段階において、次の事項を目的として、計画されたとおりに体系的なレビューを行う。このレビューには、必要に応じて、他部署の専門家等、審査能力を有する者を含める。

a) 設計・開発の結果が、要求事項を満たせるかどうかを評価する。

b) 問題を明確にし、必要な措置を提案する。

(2) 課長は、レビューの結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持管理する。

D.5 設計・開発の検証

(1) 課長は、設計・開発からのアウトプットが、設計・開発へのインプットで与えられる要求事項を満たしていることを確実にするため、次に掲げる事項を考慮して、設計・開発の適切な段階において、計画されたとおりに検証を行う。

a) 設計・開発の検証の方法

(ア) 設計・開発の審査、代替計算、実証試験、過去の類似設計との比較等一つ以上の設計・開発の検証を適宜、実施する。

(イ) 設計・開発の検証は原設計者以外の者が実施する。

b) 代替計算

原設計と同様に設計・開発の要求事項及び計算コードの適切さ等を確認する。

c) 実証試験

検証試験、性能の試験等は、輸送容器の構造材料及び構造体系、環境条件等を考慮して実施する。

d) 過去の類似設計・開発との比較

比較対象物の設計・開発の要求事項、構造体系や計算コード等との比較を行い、設計・開発の妥当性を確認する。

(2) 課長は、検証の結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持する。

D.6 設計・開発の妥当性確認

(1) 課長は、設計・開発の適切な段階において、設計・開発の結果としての設計図書(安全解析書を含む。)が、指定された用途又は意図された用途に応じた要求事項を満たしていることを確実にするため、計画されたとおりに妥当性確認を行うこと。実施可能な場合にはいつでも、設計図書(安全解析書を含む。)の引渡し又は提供に先立って妥当性確認を完了する。

(2) 課長は、妥当性確認の結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持する。

D.7 設計・開発の変更管理

(1) 組織は、設計・開発の変更がある場合は、設計・開発管理に関する要領に従い、変更を実施する前に、変更理由、変更箇所、変更内容、変更による影響の有無、変更経緯等を明確にし、レビュー、検証及び妥当性確認を適切に行い、その変更を実施する前に承認する。

a) 設計・開発の変更の実施

(ア) 設計・開発の変更は、原設計に適用された方法と同じ設計・開発の管理の方法で実施する。

(イ) 設計・開発の変更による輸送容器の安全性（構成している部品等を含む。）及び設計図書（安全解析書を含む。）に及ぼす影響とその妥当性を評価する。

b) 設計・開発の変更の伝達

設計変更に係る情報は、設計・開発の計画の定めるところに従い、関係する組織に文書により伝達する。

(2) 組織は、変更のレビューの結果の記録及び必要な処置があればその記録を維持する。

E. 輸送容器の製造発注

E.1　調達管理

所長は、次の事項を確実にするため調達管理に関する要領を定める。

E.1.1　調達プロセス

(1) 組織は、規定された調達要求事項に、調達製品等が適合することを確実にする。

(2) 供給者及び調達製品等に対する管理の方式と程度は、調達製品等が原子力安全及び核セキュリティに及ぼす影響に応じて定める。

(3) 組織は、調達管理に関する要領に定める選定、評価及び再評価の基準に基づき、供給者が組織の要求事項に従って調達製品等を供給する能力を判断の根拠として、供給者を評価し、選定する。

(4) 組織は、評価の結果の記録及び評価によって必要とされた処置があればその記録を維持する。

(5) 組織は、調達製品等の調達後における、維持又は運用に必要な原子力安全及び核セキュリティに係る技術情報を取得するための方法及びそれらを他の部署と共有する場合に必要な処置に関する方法を定める。

E.1.2　調達要求事項

(1) 課長は、調達製品等に関する要求事項を明確にし、必要な場合には、次の事項のうち該当するものを含める。

a) 製品、手順、プロセス及び設備の承認に関する要求事項

b) 要員の適格性確認に関する要求事項

c) 品質マネジメントシステムに関する要求事項

d) 不適合の報告及び不適合の処理に関する要求事項

e) 原子力安全文化及び核セキュリティ文化を醸成するための活動に関する必要な事項

f) 情報管理に関する事項

g) その他調達製品等に関し必要な事項

(2) 組織は、供給者に伝達する前に、規定した調達要求事項が妥当であることを確実にする。

E.1.3　調達製品の検証

(1) 課長は、調達製品が、規定した調達要求事項を満たしていることを確実にするために、必要な検査又はその他の活動を定めて、実施する。

(2) 供給者先で検証を実施することにした場合には、課長は、その検証の要領及び調達製品のリリース(出荷許可)の方法を調達要求事項の中に明確にする。

(3) 組織は、調達製品を受領する場合には、調達製品の供給者に対し、調達要求事項への適合状況を記録した文書を提出させる。

F. 取扱い及び保守

組織は、輸送容器の取扱い及び保守管理に関し、以下に従い、計画及び実施する。

(1) 部長は、所掌する輸送容器の取扱時の誤操作及び輸送容器の損傷を防止するため、次に掲げる事項を考慮して、輸送容器の取扱いに関する要領を定める。

a) 取扱装置の点検並びに取扱時の誤操作及び輸送容器の損傷防止対策

b) 輸送容器の取扱条件

c) 保管施設からの輸送容器の搬出入条件及び方法

d) 取扱責任者

(2) 課長は、輸送容器の取扱いに関する要領に従って、輸送容器を取り扱う上での要求事項を明確に示し、輸送容器の誤操作及び損傷防止に反映させる。

(3) 部長は、所掌する輸送容器の設計上の性能を維持するため、次に掲げる事項を考慮して輸送容器の保守管理に関する要領を定める。

a) 法令・規制、設計図書、許可又は認可された事項等の要求事項

b) 輸送容器の点検方法及び手順

c) 保管中の損傷防止対策

d) 環境条件等を考慮した保管方法、保管区域の設定

e) 保守・保管責任者

(4) 課長は、輸送容器の保守管理に関する要領に従って、適用される法令・規制及び設計図書、許可又は認可された事項等の要求事項を明確にし、輸送容器の保守管理に反映させる。

(5) 課長は、保守又は保管を行う者（従業員等又は受注者）に対して、作業責任者を明確にし、管理する。

(6) 課長は、輸送容器の保守業務をアウトソースする場合は、受注者に対して、次に掲げる事項を明確にした管理要領書を提出させ、必要に応じ部長の承認を得た上で管理する。

a) 法令・規制等の要求事項

b) 管理に必要な規程類、要領書、指示書等の承認、審査、作業指示等責任者

(7) 課長は輸送容器（構成品を含む。）の保守検査にあたって、安全上の重要性などを考

慮し、立会い確認、記録確認を行う。

G. 測定、分析及び改善

G.1　一般

(1) 組織は、次の事項のために必要となる監視、測定、分析及び改善のプロセスを計画し、実施する。

a) 業務に対する要求事項の適合性を実証する。

b) 品質マネジメントシステムの適合性を確実にする。

c) 品質マネジメントシステムの有効性を継続的に改善する。

(2) これには、統計的手法を含め、適用可能な方法、及びその使用の程度を決定することを含める。

G.2　内部監査

所長は、次の事項を確実に実施するため内部監査に関する要領を定める。

(1) 所長は、品質マネジメントシステムの次の事項が満たされているか否かを確認するため、当該年度における運搬等に関して年１回以上内部監査を実施すること。

a) 品質マネジメントシステムが、業務の計画に適合しているか、品質保証計画書の要求事項に適合しているか、及び組織が決めた品質マネジメントシステム要求事項に適合しているか。

b) 品質マネジメントシステムが効果的に運用・維持されているか。

(2) 所長は、監査の対象となるプロセス、重要性及びこれまでの監査結果を考慮して、次の事項を規定した内部監査プログラムを策定すること。

a) 監査の基準、範囲及び方法

b) 監査員の選定及び監査の実施においては客観性及び公平性を確保する。また、監査員は自らの業務は監査しない。

(3) 内部監査に関する要領には、監査の計画及び実施、結果の報告、記録の管理に関する責任及び権限（特別内部監査実施の発令権）並びに要求事項を定めること。

(4) 監査及びその結果の記録は、保存すること。

(5) 監査された領域に責任をもつ責任者は、発見された不適合及びその原因を除去するために遅滞なく、必要な修正及び是正処置並びに未然防止処置がとられることを確

実にすること。フォローアップには、とられた処置の検証及び検証結果の報告を含めること。

G.3　不適合管理

所長は、次の事項を確実にするため不適合管理及び是正処置並びに未然防止処置に関する要領を定める。

(1) 組織は、業務に関する要求事項に適合しない状況が放置されることを防ぐために、それらを識別し、管理することを確実にすること。不適合及び是正処置並びに未然防止処置に関する要領には、不適合の処理に関する管理及びそれに関する責任と権限を定めること。内部監査に関する要領には、内部監査で抽出された品質保証活動上の不適合の処理に関する管理及びそれに関する責任と権限を定めること。

(2) 組織は、次のいずれかの方法で不適合を処理すること。

a) 発見された不適合を除去するための処置をとる。

b) 権限をもつ者が、特別採用によって、その使用、リリース、又は合格と判定することができる。

c) 本来の意図された使用又は使用ができないような処置をとる。

d) 引渡し後に不適合が検出された場合には、組織は、その不適合による影響又は起こり得る影響に対して適切な処置をとること。

(3) 組織は、不適合の性質の記録を維持すること。

(4) 組織は、不適合に修正を施した場合には、要求事項への適合性を実証するための再検証を行うこと。

(5) 引渡し後に不適合が検出された場合には、組織は、その不適合による影響又は起こり得る影響に対して適切な処置をとること。

G.4　是正処置

所長は、次の事項を確実にするため不適合管理及び是正処置並びに未然防止処置に関する要領及び内部監査に関する要領を定める。

(1) 組織は、再発防止のため、不適合の原因を除去する処置をとること。

(2) 是正処置は、発見された不適合のもつ影響に見合うものであること。

(3) 不適合管理及び是正処置並びに未然防止処置に関する要領には、次の要求事項を規定すること。

a) 不適合の内容確認

b) 不適合の原因と特定

c) 不適合の再発防止を確実に実施するための処置の必要性の評価

d) 必要な処置の決定及び実施

e) 是正処置に関し調査を行った場合においては、その結果及び当該結果に基づき講じた是正処置の結果の記録

f) 是正処置において実施した活動のレビュー

(4) 内部監査に関する要領には、次の要求事項を定めること。

a) 不適合の内容確認

b) 不適合の原因と特定

c) 必要な処置の決定及び実施

d) とった処置の結果の記録

G.5 未然防止処置

所長は、次の事項を確実にするため不適合管理及び是正処置並びに未然防止処置に関する要領及び水平展開に関する要領を定める。

(1) 組織は、起こり得る不適合が発生することを防止するために、保安活動の実施によって得られた知見及び研究所内外から得られた技術情報の取得・活用を含め、その原因を除去する処置を決めること。この活用には、原子力安全及び核セキュリティに係る業務の実施によって得られた知見を他の組織と共有することも含まれる。

(2) 未然防止処置は、起こり得る問題の影響に見合ったものであること。

(3) 組織は、次の事項に関する要求事項を規定すること。

a) 起こり得る不適合及びその原因の特定

b) 不適合の発生を未然防止するための処置の必要性の評価

c) 必要な処置の決定及び実施

d) 未然防止処置に関し調査を行った場合においては、その結果及び当該結果に基づき講じた未然防止処置の結果の記録

e) 未然防止処置において実施した活動のレビュー