

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密
あるいは防護上の観点から公開できません。

核燃料輸送物設計変更承認申請書の一部補正について

原発本第198号
令和5年12月22日

原子力規制委員会 殿

住 所 福岡市中央区渡辺通二丁目1番82号
氏 名 九州電力株式会社
代表取締役 社長執行役員
池 辺 和 弘

令和5年8月31日付け原発本第90号をもって申請しました核燃料輸送物設計変更承認申請書について、下記のとおり一部補正します。

記

1 核燃料輸送物の名称

MSF-24P型

2 核燃料輸送物設計承認番号

J/2035/B(M)F-96

3 変更内容

- 原規規発第 20122314 号（令和 2 年 12 月 23 日付）により承認を受けた核燃料輸送物設計承認申請書（平成 31 年 1 月 22 日付原発本第 270 号（令和 2 年 12 月 15 日付原発本第 272 号をもって一部補正））（以下「既承認申請書」という。）記載事項について別記のとおり変更する。
- 既承認申請書別紙 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について以下の変更を行う。
 - ・ (イ) 章「核燃料輸送物の説明」において使用予定年数、輸送容器の使用予定回数及び貯蔵予定期間について追記する。
 - ・ 核燃料輸送物の経年変化に関しては、(ホ) 章「安全設計及び安全輸送に関する特記事項」に自主的に記載していたが、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（以下「外運搬規則」という。）及び核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（以下「外運搬告示」という。）の改正を踏まえ、改めて使用予定期間中の経年変化の評価を行った。その結果を(ロ) 章 F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」（追加）及び(ロ) 章 G「外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性評価」（従前の(ロ) 章 F）に記載する。なお、(ホ) 章に記載していた経年変化に係る説明は削除する。
 - ・ (ハ) 章「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」において貯蔵期間中検査の実施頻度を明確化する。
 - ・ (ハ) 章「品質マネジメントの基本方針」を削除し、「輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法」を(ハ) 章に、「安全設計及び安全輸送に関する特記事項」を(ニ) 章に変更する。
- 「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」を追加する。
- その他記載の見直しを行う。

4 変更理由

- 外運搬規則及び外運搬告示が改正されたため。
- 輸送物の取扱い方法を明確化するため。
- 記載を適正化するため。

[別紙]

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
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

[添付]

補正内容一覧

以 上

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

-20℃ ～ 38℃

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

アルミニウム合金製のバスケットプレートから構成された格子構造状のバスケットにより、個々の燃料集合体を輸送容器の所定の位置に収納するとともに、バスケット内に中性子吸収材を配置することで臨界を防止する構造としている。

8 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

輸送容器は浸水及び漏水を防止する特別な措置として、二次蓋及び三次蓋による多重の防水機能を有しているため、臨界安全評価においては微量の浸水のみを考慮して評価している。

なお、防水機能を有する部位の水密性に留意した品質管理を実施する。

9 収納物の密封性に関する事項

輸送容器の密封境界は胴、三次蓋及びリリーフバルブカバープレートから構成されており、三次蓋と胴の上部フランジとの接合面及びリリーフバルブカバープレートと三次蓋との接合面にはゴムOリングが設けられている。

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

-40℃の周囲の温度において、き裂、破損等の生じるおそれがないことが確認されていない。

11 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

本輸送容器は兼用キャスクであり、貯蔵予定期間における経年変化を考慮した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、申請書に係る別紙1のとおり。

また、本核燃料輸送物の運搬は、周囲の温度-20℃以上で専用積載にて実施する。

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、申請書に係る別紙2のとおり。

13 その他特記事項

本輸送容器は兼用キャスクであり、輸送容器の使用予定年数を 60 年、貯蔵予定期間を 60 年としている。

外運搬規則等の改正に伴い本輸送物に係る技術上の基準が変更となった場合及び新たな技術的知見が得られた場合は、設計への影響を評価し、必要に応じて設計変更承認申請等の手続きを行う。

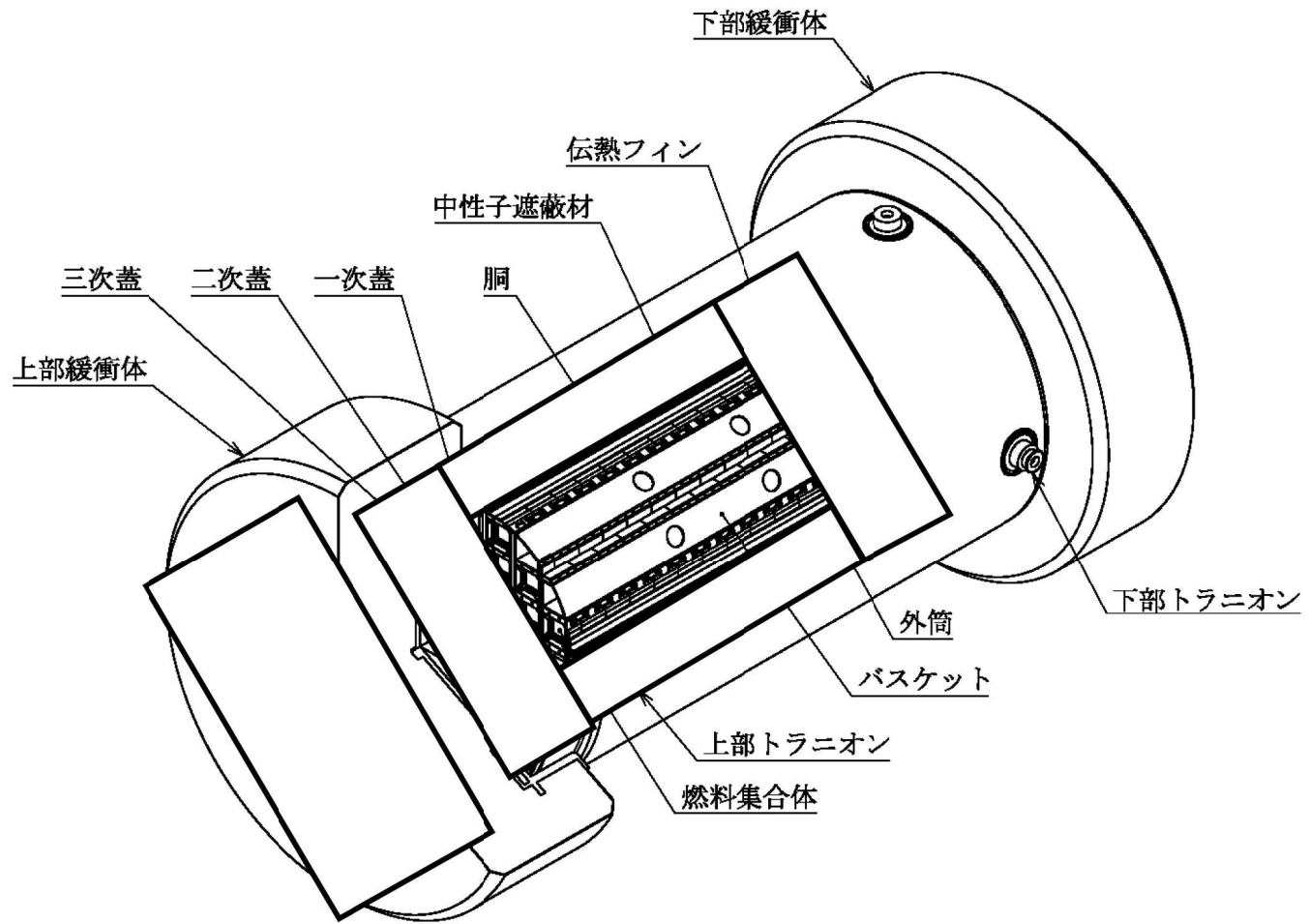
詳細については、申請書に係る別紙 1 のとおり。

(別紙記載事項)

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

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

別紙 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



添付図-1 輸送物全体図（鳥瞰図）

添付表-1 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

項目		燃料集合体の種類と形式		中央部 ^(注1)				外周部 ^(注1)			
		17×17 燃料									
		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型			
		A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型		
種類		軽水炉 (PWR) 使用済燃料 ^(注2)									
性状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)									
燃料集合体1体の仕様	集合体重量 (kg 以下)	680									
	ウラン重量 (kg 以下)	<input type="text"/>									
	放射能の量 (収納物平均) (PBq 以下)	<input type="text"/>									
	初期濃縮度 (wt%以下)	4.2		3.7		4.2		3.7			
	最高燃焼度 (MWd/t 以下)	<input type="text"/>									
	冷却日数 (日以上)										
輸送容器1基当たりの仕様	収納体数 ^(注1) (体以下)	12				12					
		24									
	平均燃焼度 (MWd/t 以下)	<input type="text"/>									
	放射能の量 ^(注3) (PBq 以下)	<input type="text"/>									
	最大崩壊熱量 (kW 以下)	15.8									
収納物重量 (トン以下)	16.7 ^(注4)										

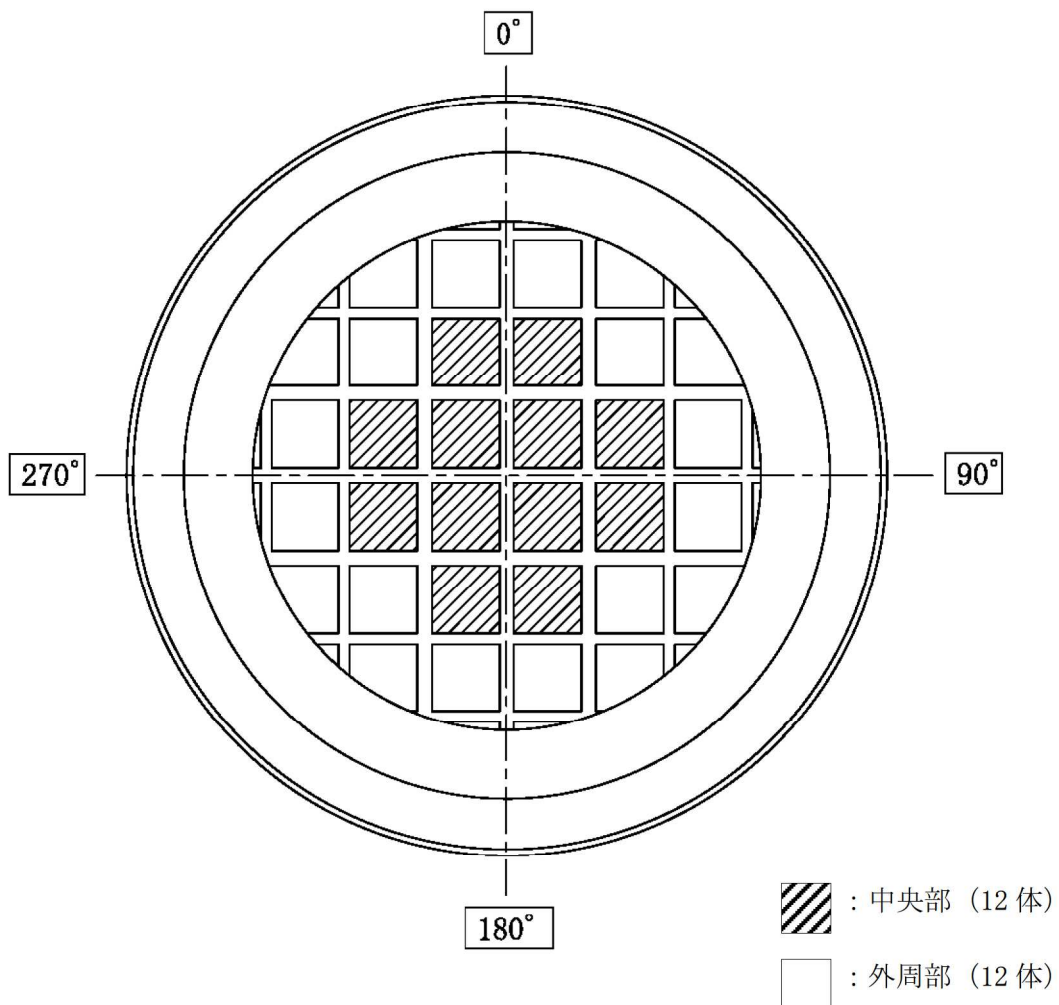
(注 1) 燃料集合体は添付図-2 に示すとおり収納位置が制限される。また、バーナブルポイズン集合体を挿入した燃料集合体を収納する場合の収納位置は中央部に制限される。

(注 2) 表面から 1 メートルの距離における空気吸収線量率は 1 グレイを超える。

(注 3) 主要な核種は次のとおりである。

主要な核種	放射能強度 (PBq)
Cs-137	
Ba-137m	
Sr-90	
Y-90	
Eu-154	

(注 4) 収納物重量は、燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体 (12 体 : 約 kg) の合計値である。(バーナブルポイズン集合体 : 約 kg/体)



添付図-2 燃料集合体の収納位置

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

(記載事項)

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

参考 輸送容器の製作の方法の概要に関する説明

注) 本資料における「輸送物」は「核燃料輸送物」を指すものとする。

目 次

(イ)章 核燃料輸送物の説明	(イ)-1
A. 目的及び条件	(イ)-1
B. 核燃料輸送物の種類	(イ)-4
C. 輸送容器	(イ)-4
D. 輸送容器の収納物	(イ)-27
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ)-1
A. 構造解析	(ロ)-A-1
A.1 構造設計	(ロ)-A-1
A.1.1 概要	(ロ)-A-1
A.1.2 設計基準	(ロ)-A-2
A.2 重量及び重心	(ロ)-A-23
A.3 材料の機械的性質	(ロ)-A-24
A.4 輸送物の要件	(ロ)-A-40
A.4.1 化学的及び電気的反応	(ロ)-A-40
A.4.2 低温強度	(ロ)-A-42
A.4.3 密封装置	(ロ)-A-44
A.4.4 吊上装置	(ロ)-A-44
A.4.4.1 応力評価	(ロ)-A-44
A.4.4.2 上部トラニオンの疲労評価	(ロ)-A-51
A.4.5 固縛装置	(ロ)-A-53
A.4.6 圧力	(ロ)-A-59
A.4.7 振動	(ロ)-A-59
A.4.8 輸送物の要件に対する評価結果の要約	(ロ)-A-61
A.5 一般の試験条件	(ロ)-A-62
A.5.1 熱的試験	(ロ)-A-62
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ)-A-62
A.5.1.2 熱膨張	(ロ)-A-64

A. 5. 1. 3	応力計算	(p)	-A-64
A. 5. 1. 4	許容応力との比較	(p)	-A-73
A. 5. 2	水噴霧	(p)	-A-73
A. 5. 3	自由落下	(p)	-A-74
A. 5. 3. 1	落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度	(p)	-A-74
A. 5. 3. 2	落下時の応力計算	(p)	-A-83
A. 5. 4	積み重ね試験	(p)	-A-116
A. 5. 5	貫通	(p)	-A-119
A. 5. 6	角又は縁落下	(p)	-A-120
A. 5. 7	結果の要約及びその評価	(p)	-A-120
A. 6	特別の試験条件	(p)	-A-128
A. 6. 1	強度試験・落下試験 I (9 m 落下時)	(p)	-A-128
A. 6. 1. 1	垂直落下	(p)	-A-131
A. 6. 1. 2	水平落下	(p)	-A-140
A. 6. 1. 3	コーナー落下	(p)	-A-147
A. 6. 1. 4	傾斜落下	(p)	-A-149
A. 6. 1. 5	結果の要約	(p)	-A-150
A. 6. 2	強度試験・落下試験 II (1 m 落下時)	(p)	-A-150
A. 6. 2. 1	結果の要約	(p)	-A-153
A. 6. 3	熱的試験	(p)	-A-154
A. 6. 3. 1	温度及び圧力の要約	(p)	-A-154
A. 6. 3. 2	熱膨張	(p)	-A-156
A. 6. 3. 3	許容応力との比較	(p)	-A-158
A. 6. 4	浸漬	(p)	-A-161
A. 6. 5	結果の要約及びその評価	(p)	-A-162
A. 7	強化浸漬試験	(p)	-A-167
A. 8	放射性収納物	(p)	-A-170
A. 9	核分裂性輸送物	(p)	-A-171
A. 9. 1	核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(p)	-A-171
A. 9. 2	核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(p)	-A-173
A. 10	付属書類	(p)	-A-178
B.	熱解析	(p)	-B-1
B. 1	概要	(p)	-B-1
B. 2	材料の熱的性質	(p)	-B-3
B. 3	構成要素の仕様	(p)	-B-7
B. 4	一般の試験条件	(p)	-B-8

B. 4. 1	熱解析モデル	(p) -B-8
B. 4. 1. 1	解析モデル	(p) -B-8
B. 4. 1. 2	試験モデル	(p) -B-19
B. 4. 2	最高温度	(p) -B-19
B. 4. 3	最低温度	(p) -B-24
B. 4. 4	最大内圧	(p) -B-24
B. 4. 5	最大熱応力	(p) -B-28
B. 4. 6	結果の要約及びその評価	(p) -B-29
B. 5	特別の試験条件	(p) -B-32
B. 5. 1	熱解析モデル	(p) -B-32
B. 5. 1. 1	解析モデル	(p) -B-32
B. 5. 1. 2	試験モデル	(p) -B-38
B. 5. 2	輸送物の評価条件	(p) -B-38
B. 5. 3	輸送物温度	(p) -B-39
B. 5. 4	最大内圧	(p) -B-45
B. 5. 5	最大熱応力	(p) -B-49
B. 5. 6	結果の要約及びその評価	(p) -B-50
B. 6	付属書類	(p) -B-53
C.	密封解析	(p) -C-1
C. 1	概要	(p) -C-1
C. 2	密封装置	(p) -C-1
C. 2. 1	密封装置	(p) -C-1
C. 2. 2	密封装置の貫通部	(p) -C-1
C. 2. 3	密封装置のガスケット及び溶接部	(p) -C-1
C. 2. 4	蓋	(p) -C-2
C. 3	一般の試験条件	(p) -C-2
C. 3. 1	放射性物質の漏えい	(p) -C-2
C. 3. 2	密封装置の加圧	(p) -C-6
C. 3. 3	冷却材汚染	(p) -C-6
C. 3. 4	冷却材損失	(p) -C-6
C. 4	特別の試験条件	(p) -C-6
C. 4. 1	核分裂生成ガス	(p) -C-6
C. 4. 2	放射性物質の漏えい	(p) -C-6
C. 5	結果の要約及びその評価	(p) -C-8
C. 6	付属書類	(p) -C-9

D.	遮蔽解析	(p) -D-1
D.1	概要	(p) -D-1
D.2	線源仕様	(p) -D-1
D.2.1	ガンマ線源	(p) -D-4
D.2.2	中性子源	(p) -D-8
D.3	モデル仕様	(p) -D-14
D.3.1	解析モデル	(p) -D-14
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(p) -D-22
D.4	遮蔽評価	(p) -D-28
D.5	結果の要約及びその評価	(p) -D-34
D.6	付属書類	(p) -D-36
E.	臨界解析	(p) -E-1
E.1	概要	(p) -E-1
E.2	解析対象	(p) -E-1
E.2.1	収納物	(p) -E-1
E.2.2	輸送容器	(p) -E-3
E.2.3	中性子吸収材	(p) -E-3
E.3	モデル仕様	(p) -E-4
E.3.1	解析モデル	(p) -E-4
E.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(p) -E-12
E.4	未臨界評価	(p) -E-13
E.4.1	計算条件	(p) -E-13
E.4.2	核燃料輸送物への水の浸入等	(p) -E-13
E.4.3	計算方法	(p) -E-14
E.4.4	計算結果	(p) -E-14
E.5	ベンチマーク試験	(p) -E-16
E.6	結果の要約及びその評価	(p) -E-24
E.7	付属書類	(p) -E-25
F.	核燃料輸送物の経年変化の考慮	(p) -F-1
F.1	考慮すべき経年変化要因	(p) -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	(p) -F-1
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	(p) -F-20
F.4	付属書類	(p) -F-27
G.	外運搬規則及び外運搬告示に対する適合性の評価	(p) -G-1

(ハ)章	輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
A.	核燃料輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
A.1	装荷方法	(ハ)-1
A.2	貯蔵方法	(ハ)-3
A.3	取出し方法	(ハ)-3
A.4	空容器の準備	(ハ)-5
A.5	核燃料輸送物の発送前検査	(ハ)-7
A.6	使用済燃料の長期健全性に関する状況調査	(ハ)-17
B.	保守条件	(ハ)-19
B.1	外観検査	(ハ)-19
B.2	耐圧検査	(ハ)-19
B.3	気密漏えい検査	(ハ)-19
B.4	遮蔽検査	(ハ)-19
B.5	未臨界検査	(ハ)-19
B.6	熱検査	(ハ)-19
B.7	吊上検査	(ハ)-19
B.8	作動確認検査	(ハ)-20
B.9	補助系の保守	(ハ)-20
B.10	密封装置の弁、ガスケット等の保守（定期保守）	(ハ)-20
B.11	輸送容器の保管	(ハ)-20
B.12	記録の保管	(ハ)-20
B.13	その他	(ハ)-20
(ニ)章	安全設計及び安全輸送に関する特記事項	(ニ)-1
参考	輸送容器の製作の方法の概要に関する説明	(参)-A-1

(イ)章 核燃料輸送物の説明

(イ)章 核燃料輸送物の説明

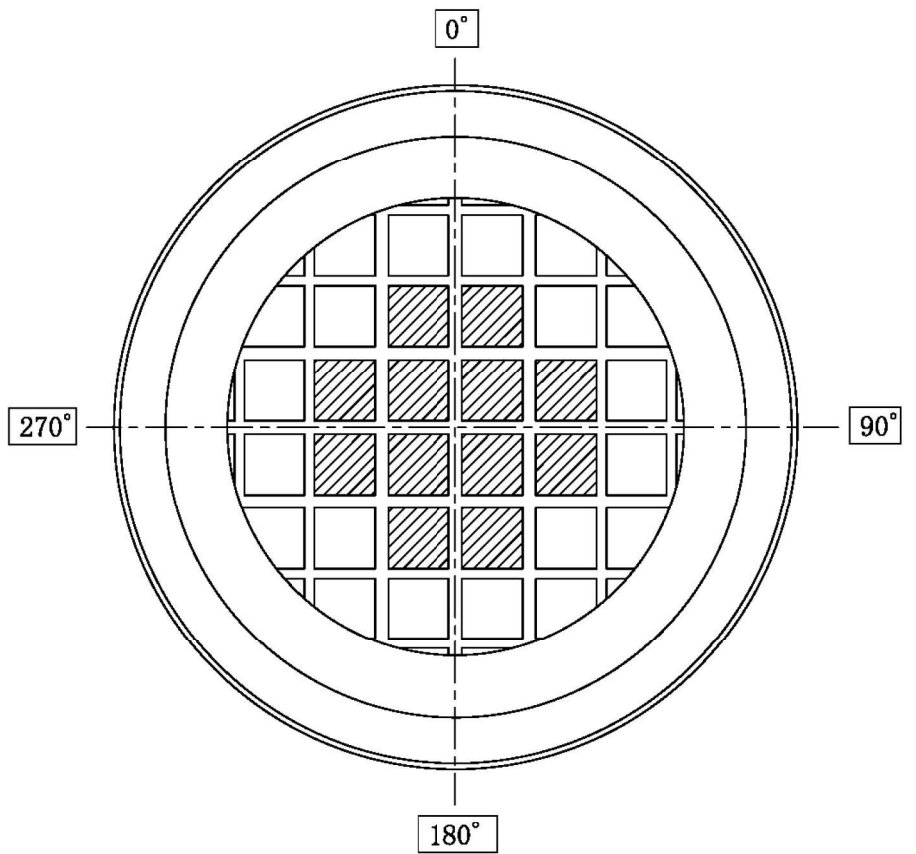
A. 目的及び条件



- | | |
|-----------------------|---|
| 1. 使用目的 | 軽水炉型原子力発電所（PWR）の使用済燃料を、原子力発電所から再処理工場に輸送するため。 |
| 2. 輸送容器の型名 | MSF-24P 型 |
| 3. 輸送物の種類 | BM 型核分裂性輸送物 |
| 4. 輸送制限個数 | なし |
| 5. 輸送指数 | 10 以下 |
| 6. 臨界安全指数 | 0 |
| 7. 輸送物の総重量 | 134.4 トン以下（輸送架台は含まず） |
| 8. 輸送容器の外形寸法 | 外径約 3.6 m、長さ約 6.8 m（上・下部緩衝体を含む） |
| 9. 輸送容器の重量 | 117.7 トン以下（輸送架台は含まず） |
| 10. 輸送容器の材質 | 胴—炭素鋼
外筒—炭素鋼
一次蓋—炭素鋼
二次蓋—炭素鋼
三次蓋—ステンレス鋼
中性子遮蔽材—レジン
伝熱フィン—銅
バスケット—ほう素添加アルミニウム合金
及びアルミニウム合金
緩衝体—ステンレス鋼及び木材 |
| 11. 輸送容器に収納する核燃料物質の仕様 | 核燃料物質の仕様を <u>(イ)-第 A. 1 表</u> に示す。 |
| 12. 輸送形態 | 車両による陸上輸送あるいは船による海上輸送
いずれの場合も専用積載として輸送 |
| 13. 冷却方法 | 自然空気冷却 |
| 14. 使用予定年数 | 60 年（設計評価期間） |
| 15. 輸送容器の使用予定回数 | 10 回 |
| 16. 貯蔵予定期間 | 60 年（設計貯蔵期間） |

(イ)-第 A.1 表 輸送容器 1 基に収納する核燃料物質の仕様

燃料集合体の種類と型式		中央部 ^(注1)				外周部 ^(注1)			
		17×17 燃料							
		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型		48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
		A 型	B 型	A 型	B 型	A 型	B 型	A 型	B 型
種 類		軽水炉 (PWR) 使用済燃料							
性 状		固体 (二酸化ウラン粉末焼結体)							
燃料集合体 1 体の仕様	ウラン重量 (kg 以下)	□							
	放射能の量 (収納物平均) (PBq 以下)	□							
	初期濃縮度 (wt% 以下)	4.2		3.7		4.2		3.7	
	最高燃焼度 (MWd/t 以下)	□							
	冷却日数 (日以上)	□							
輸送容器 1 基当たりの仕様	収納体数 ^(注1) (体以下)	12				12			
		24							
	平均燃焼度 (MWd/t 以下)	□							
	放射能の量 (PBq 以下)	□							
	発熱量 (kW 以下)	15.8							

(注1) 燃料集合体は(イ)-第 A.1 図に示すとおり収納位置が制限される。



 : 中央部 (12 体)
 : 外周部 (12 体)

(イ)-第 A.1 図 燃料集合体の収納位置

B. 核燃料輸送物の種類

BM 型核分裂性輸送物

C. 輸送容器

1. 設計の概要

輸送物の全体図を(イ)-第 C. 1 図に、断面図を(イ)-第 C. 2 図に示す。

輸送容器外形は円筒形状である。輸送容器は輸送中には、(イ)-第 C. 3 図に示すように輸送架台によこ置き状態に保持され、固縛装置で固定される。落下衝撃を緩和するため、容器の上部及び下部に緩衝体に取り付けられている。

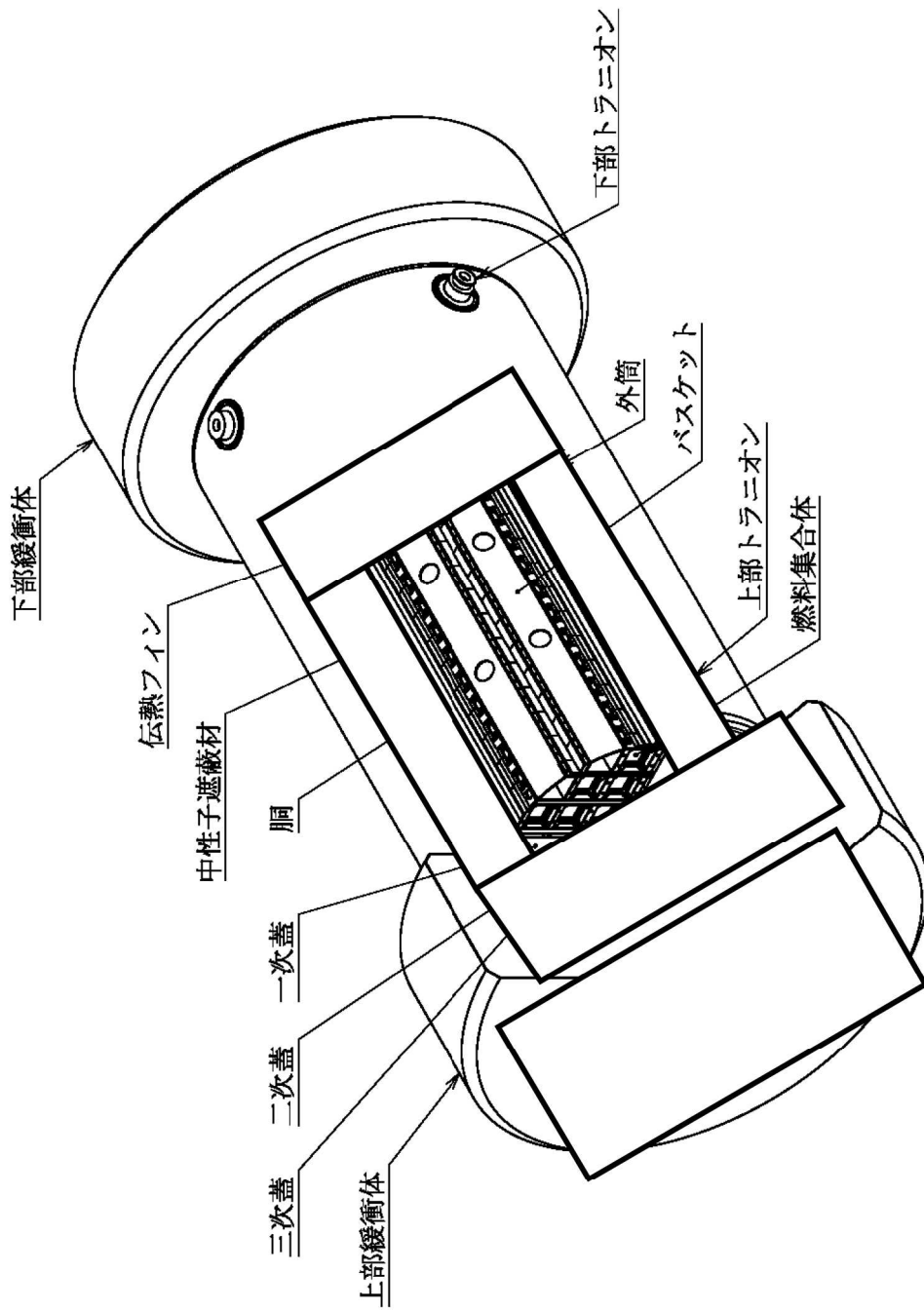
輸送容器は原子力発電所での取り扱い時にはよこ置き又はたて置き状態に保持される。燃料集合体の出し入れは、原子力発電所内の所定場所においてたて置き状態に保持された容器の上部から行われる。輸送容器の取り扱いは容器に設けられたトランシオンを使用して行われる。

輸送容器は、一次蓋、二次蓋及び三次蓋を有し、三重の密封構造となっている。輸送容器における密封装置は胴、三次蓋及びリリーフバルブカバープレートで構成され、密封境界は(イ)-第 C. 4 図に示すとおりである。

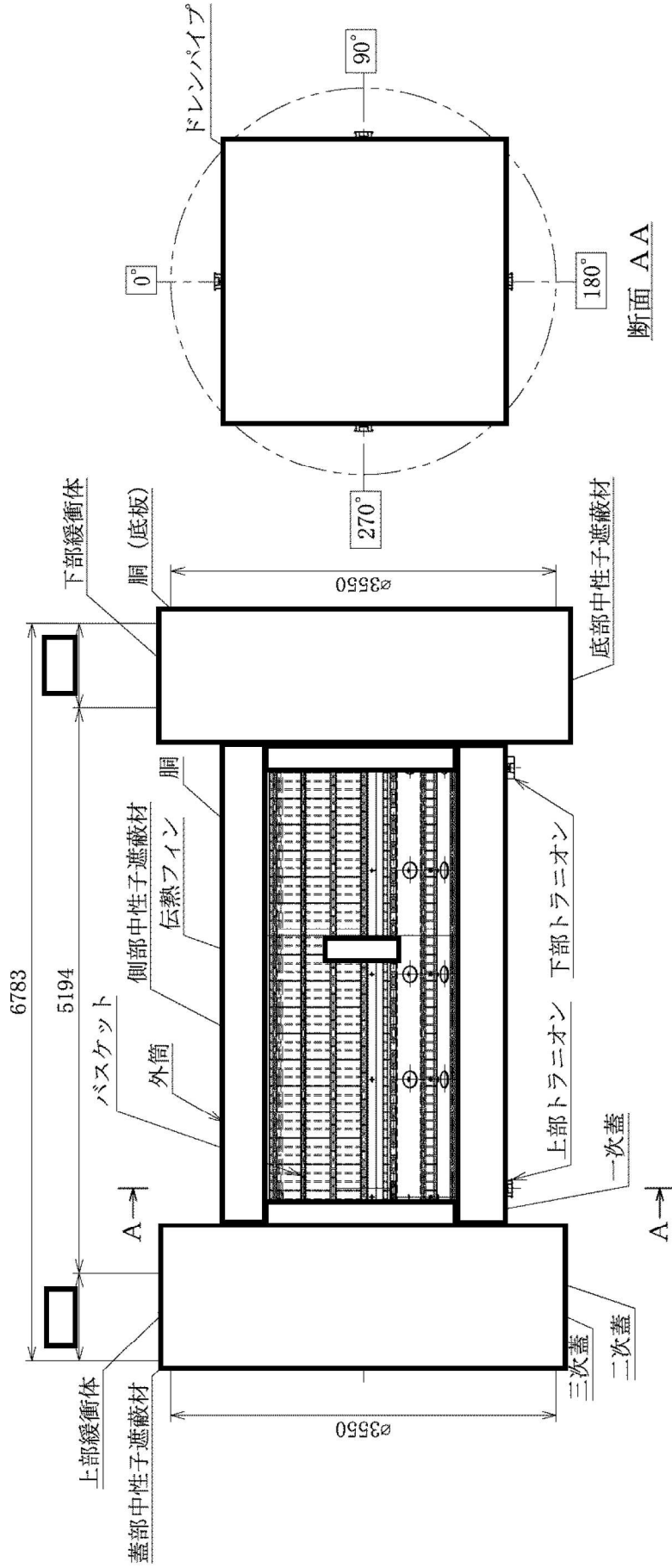
輸送容器の主な遮蔽材は、炭素鋼及びレジンである。炭素鋼は主にガンマ線遮蔽材、レジン中性子遮蔽材として用いられている。胴と外筒の間に中性子遮蔽材であるレジンが充填されている。また、レジンがキャスク本体下部及び一次蓋部にも充填されている。

一次蓋と胴に囲まれる空間（以下「胴内」という。）には、燃料集合体より発生する崩壊熱の除去を容易にするため、ヘリウムが約 0.05 MPa 充填される。また、燃料集合体を輸送中に保持するために胴内にバスケットが収納されている。

バスケットは、断面形状が中空状のアルミニウム合金製のバスケットプレートから構成された格子構造であり、個々の使用済燃料集合体がキャスク本体内部に配置されたバスケットの所定の格子内に収納される。また、使用済燃料の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置している。



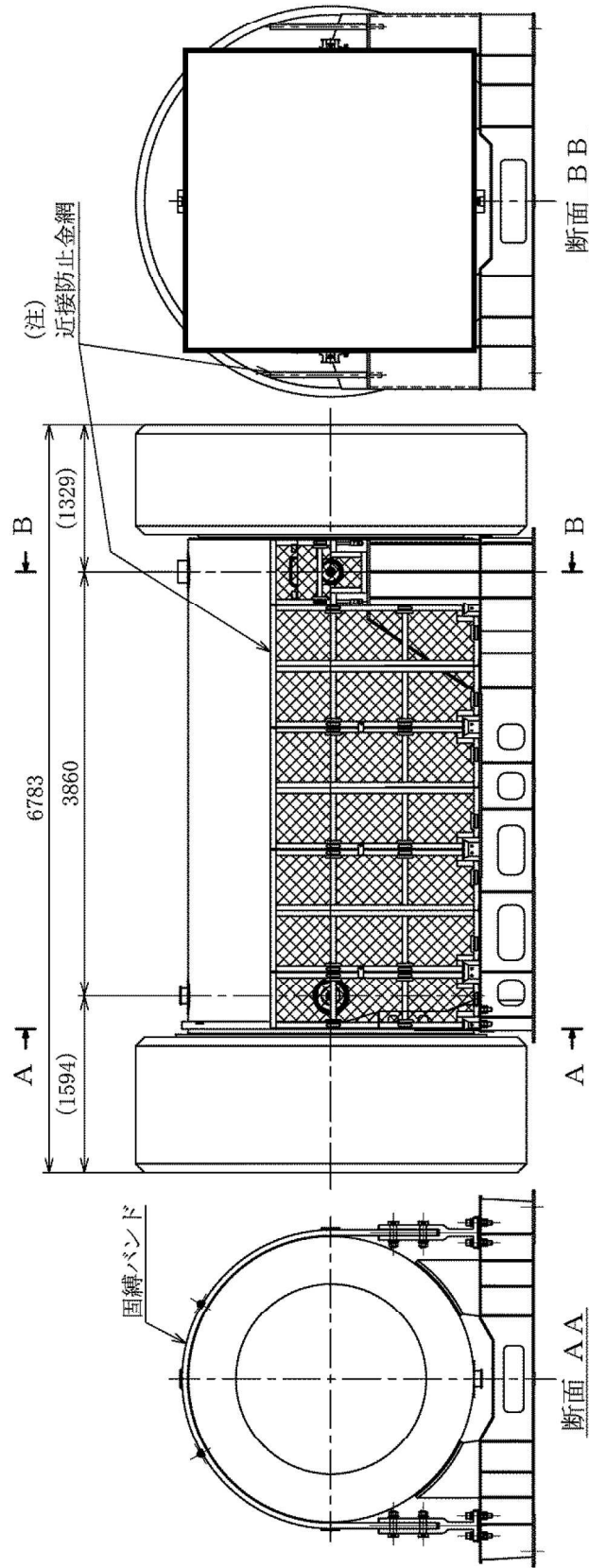
(イ)-第 C.1 図 輸送物全体図 (鳥瞰図)



(単位：mm)

(注)各部品を一断面に集約したものであり、実際の断面形状とは異なる。

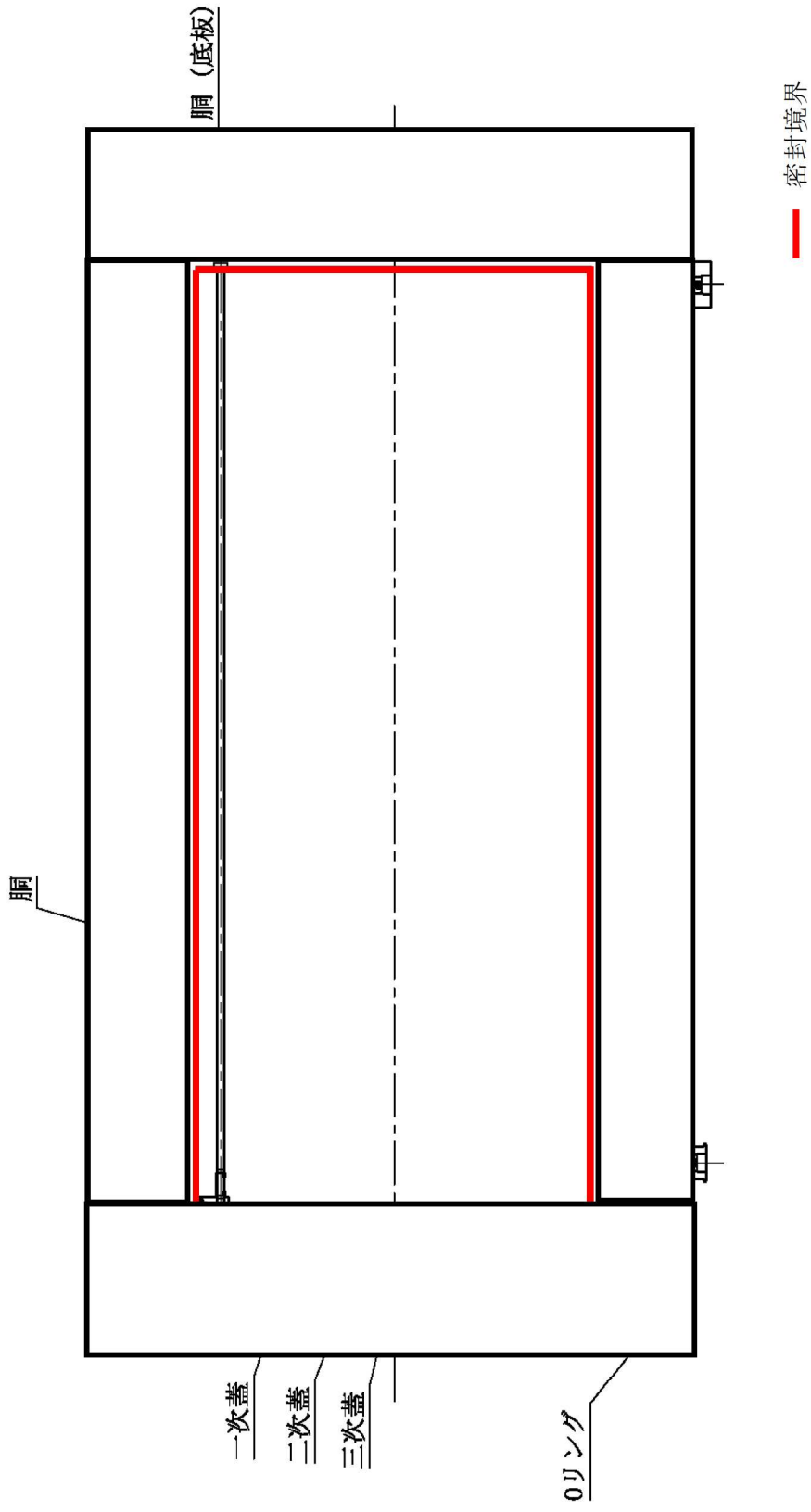
(1)-第 C.2 図 輸送容器断面図



(単位：mm)

(注) 取り付けない場合がある。

(イ)-第 C.3 図 輸送荷姿



(注)各部品を一断面に集約したものであり、実際の断面形状とは異なる。

(イ)-第 C.4 図 密封境界

2. 構造

輸送容器は(イ)-第 C. 1 図及び(イ)-第 C. 2 図に示すようにキャスク本体、一次蓋、二次蓋、三次蓋、バスケット及び緩衝体により構成される。

付属機器として、輸送架台がある。また、輸送架台には近接防止金網を取り付ける場合がある。

(1) キャスク本体

本体縦断面図を(イ)-第 C. 5 図に、横断面図を(イ)-第 C. 6 図に示す。

キャスク本体の主要部は胴、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。

輸送容器の密封境界を形成する胴は炭素鋼製の単層構造であり、胴の炭素鋼は主要なガンマ線遮蔽材である。胴内面には []、胴の表面のうち、一次蓋、二次蓋及び三次蓋との接触面には []、胴外面のうち、外気接触面には塗装が施されている。

外筒は、上部が胴に溶接され、下部は下部端板に溶接されている。外筒は炭素鋼製であり、外表面には塗装が施されている。

下部端板はステンレス鋼製であり、胴の下部に溶接され、外筒及び胴とともに中性子遮蔽材（レジン）を保持している。胴と外筒の間には除熱を促進するための伝熱フィンを設けている。

胴（底板）と底部中性子遮蔽材カバーで形成されている空間には中性子遮蔽材（レジン）が充填されている。

また、胴内には、一次蓋に設けられた貫通孔を介して胴内の加圧並びに水抜きが可能なようにドレンパイプが設けられている。ドレンパイプの上端部は、ゴムパッキンを介して一次蓋に設けられた貫通孔へ接続されている。

キャスク本体上部には、垂直吊りに使用する上部トラニオンが二対設けられている。上部トラニオンの構造は(イ)-第 C. 7 図に示すとおりである。

キャスク本体下部には、下部トラニオンが取り付けられている。下部トラニオンは、水平吊り及び輸送架台への積載に使用する吊上、固縛兼用のトラニオン並びにたて置き時の固縛に使用可能な固縛専用のトラニオンがあり、これらのトラニオンが各一對ずつ設けられている。下部トラニオンの構造は(イ)-第 C. 7 図に示すとおりである。

輸送容器又は輸送物は原子力発電所において、垂直吊り又は水平吊りで取り扱われる。輸送船及びトレーラへの積み降ろしでは輸送架台の付いた状態で水平吊りされる。輸送時には輸送架台に固縛され、輸送架台は船倉やトレーラ荷台に固定される。

輸送容器を単体で垂直吊りする場合には、一對の上部トラニオンの外径 ϕ 140 mm の部分が使用される。

輸送容器又は輸送物を単体で水平吊りする場合には、上・下部トラニオンの 90° 、

270 ° 方向の二対の外径φ 140 mm の部分が使用される。

輸送架台に固縛した輸送容器又は輸送物を水平吊りする場合には、単体の水平吊りと同様に上・下部トラニオンの 90 °、270 ° 方向の二対の外径φ 140 mm の部分が使用される。

輸送架台への固縛は、輸送容器のキャスク本体上部、並びに下部トラニオンの 90 °、270 ° 方向の一对の外径φ 200 mm の部分が使用される。

(2) 一次蓋

一次蓋の構造を (イ)-第 C. 8 図に示す。一次蓋は炭素鋼製であり、本の一次蓋ボルトでキャスク本体上面に取り付けられる。一次蓋の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

また、一次蓋には、頭部側の中性子遮蔽のために、中性子遮蔽材（レジン）が充填されており、炭素鋼製の蓋部中性子遮蔽材カバーで覆われている。

一次蓋のシール部には金属ガスケットが取り付けられている。

胴との接触面及びシール部には、また、その他の表面及び蓋部中性子遮蔽材カバーの外表面にはが施されている。

一次蓋には内水の排水、真空乾燥及びヘリウム充填のために貫通孔が 2 ヶ所設けられており、それぞれの貫通孔にはベントバルブ及びドレンバルブが設置されている。ベントバルブ及びドレンバルブの構造を (イ)-第 C. 9 図に示す。これらの貫通孔上にはステンレス鋼製のカバープレートが取り付けられる。カバープレートのシール部には金属ガスケットが取り付けられている。

なお、一次蓋は外側を二次蓋に覆われており、不用意に一次蓋ボルトが外されないようになっている。

(3) 二次蓋

二次蓋の構造を (イ)-第 C. 10 図に示す。二次蓋は炭素鋼製であり、本の二次蓋ボルトでキャスク本体上面に取り付けられる。二次蓋の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

二次蓋のシール部には金属ガスケットが取り付けられている。

胴との接触面及びシール部には、その他の表面にはが施されている。

二次蓋には、一次蓋と二次蓋で形成される空間にヘリウムを充填するための貫通孔と、この空間の圧力を検出するための貫通孔が設けられており、それぞれの貫通孔にはモニタリングポートバルブが設置されている。モニタリングポートバルブの構造を (イ)-第 C. 11 図に示す。輸送中はその外側にモニタリングポートカバープレートが取

り付けられる。モニタリングポートカバープレートのシール部には O リングが設けられている。

なお、二次蓋は外側を三次蓋に覆われており、不用意に二次蓋ボルトが外されないようになっている。

(4) 三次蓋

三次蓋の構造を (イ)-第 C. 12 図に示す。三次蓋はステンレス鋼製であり、本の三次蓋ボルトでキャスク本体上面に取り付けられる。三次蓋のステンレス鋼は、主要なガンマ線遮蔽材である。

三次蓋には、二次蓋と三次蓋で形成される空間の圧力を開放するための貫通孔が設けられており、貫通孔にはリリーフバルブが設置されている。リリーフバルブの構造を (イ)-第 C. 13 図に示す。輸送中はその外側にリリーフバルブカバープレートが取り付けられる。

三次蓋及びリリーフバルブカバープレートのシール部には二重の O リングが設けられており、この二重の O リングの内側 O リングにより輸送中の密封境界を形成する。

なお、三次蓋は外側を緩衝体に覆われており、不用意に三次蓋ボルトが外されないようになっている。

(5) バスケット

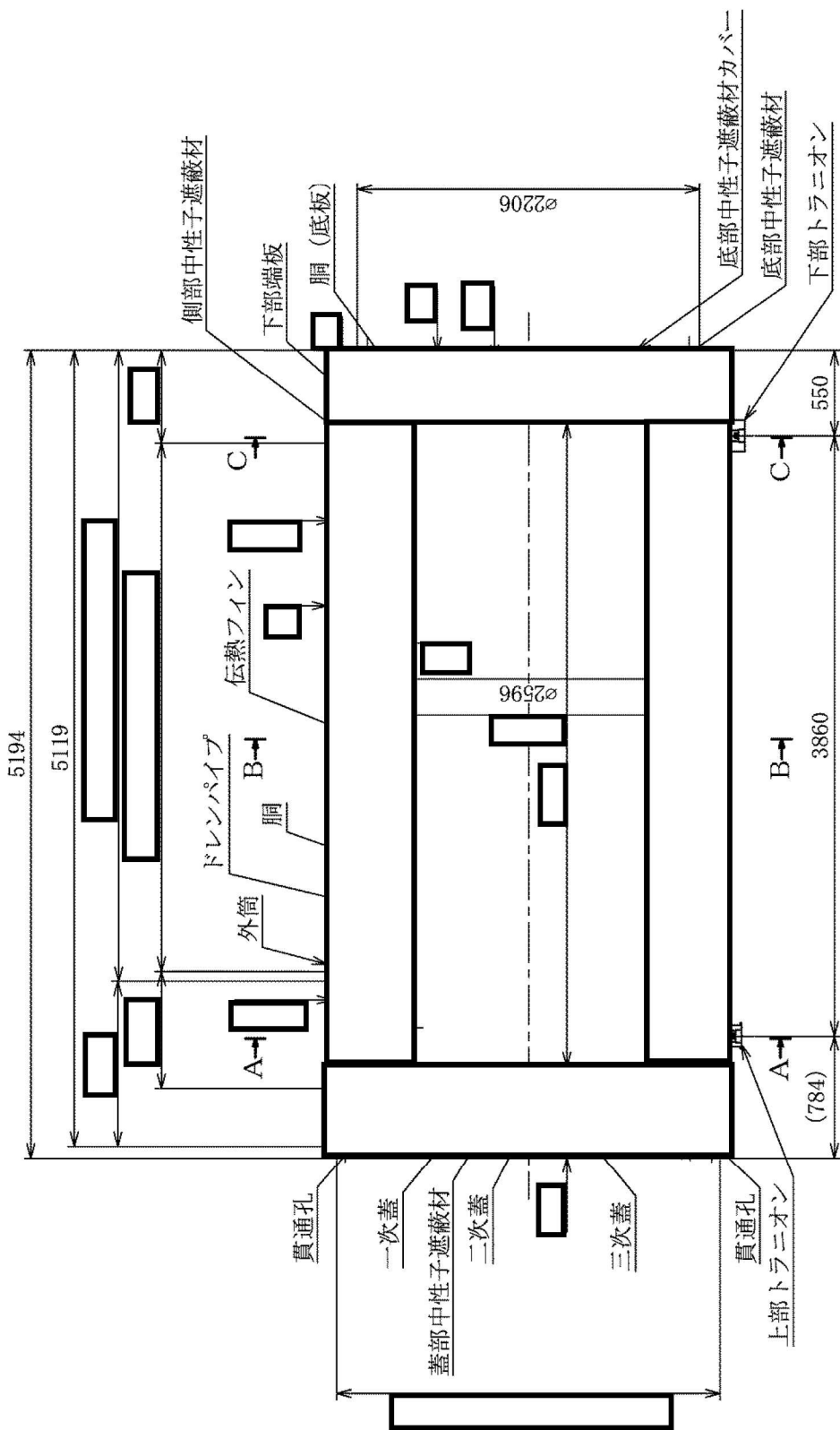
バスケットは、個々の燃料集合体がキャスク本体内部の所定の格子内に収納できるよう設けられる。バスケットの構造を (イ)-第 C. 14 図に示す。バスケットは、断面形状が中空状のアルミニウム合金製のバスケットプレートで構成されたバスケットと、アルミニウム合金製のバスケットサポートにより構成される。また、燃料集合体の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置している。

(6) 緩衝体

上部緩衝体はキャスク本体上部に、下部緩衝体はキャスク本体下部に各々本のボルトで取り付けられ、落下等により輸送容器に加わる衝撃を吸収して輸送容器を保護する。

上部緩衝体を (イ)-第 C. 15 図に、下部緩衝体を (イ)-第 C. 16 図に示す。

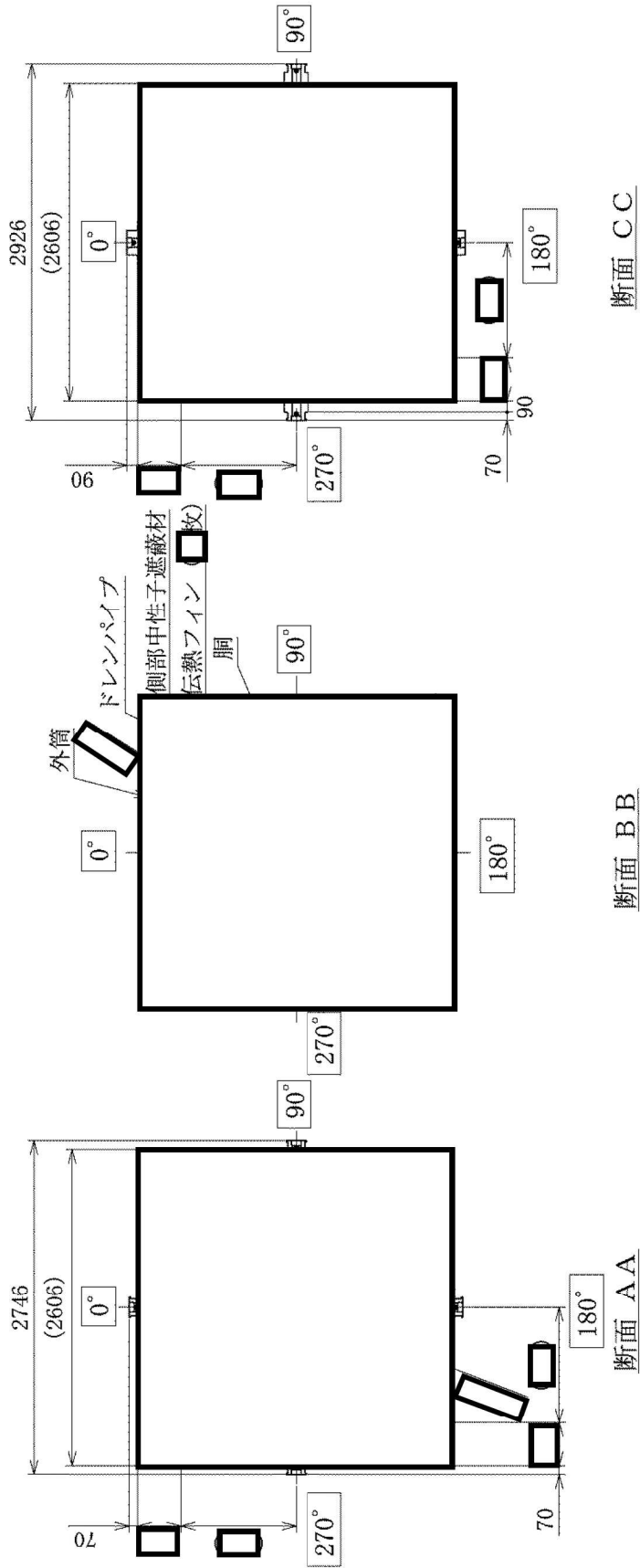
上部及び下部緩衝体は、ステンレス鋼のカバープレートとリブから構成される溶接構造物の内部に、緩衝材である木材 を充填したものである。



(単位：mm)

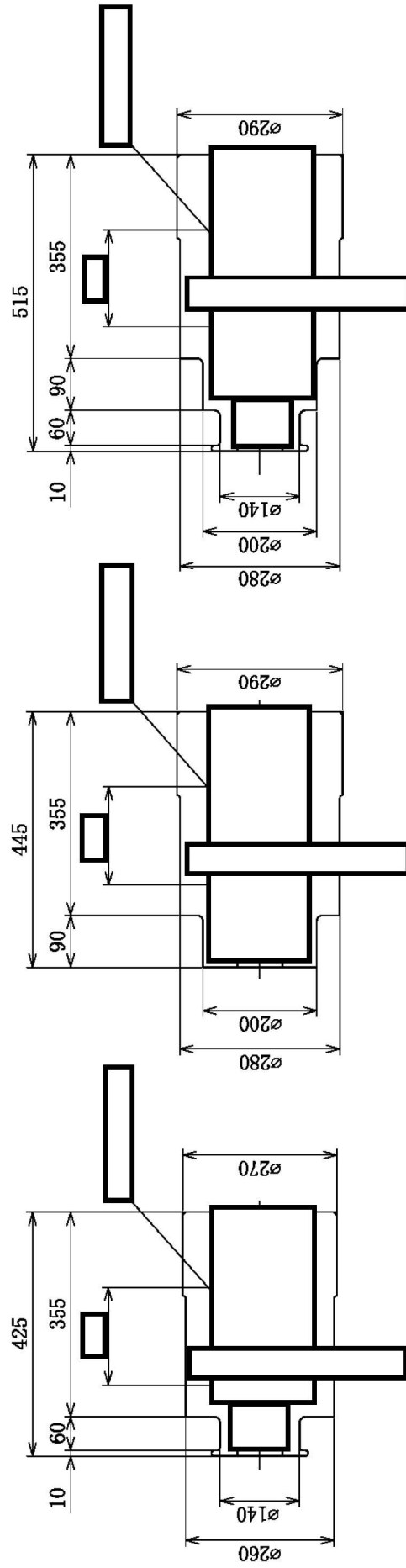
(注)各部品を一断面に集約したものであり、実際の断面形状とは異なる。

(イ)-第C.5図 本体縦断面図



(単位：mm)

(1)-第C.6図 本体横断面図

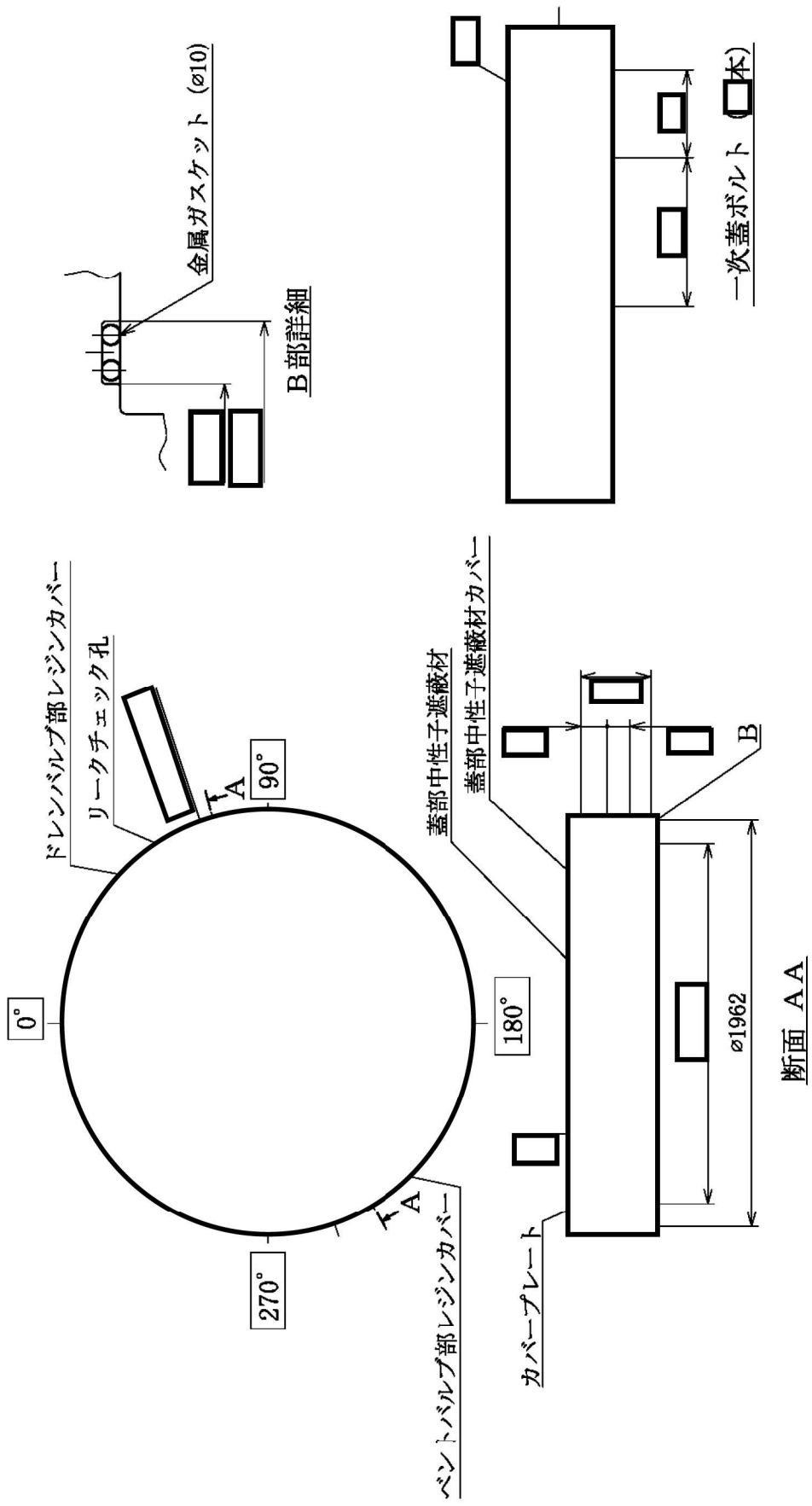


上部トラニオン (吊上専用)
(0°, 90°, 180°, 270°)

下部トラニオン (固縛専用)
(0°, 180°)

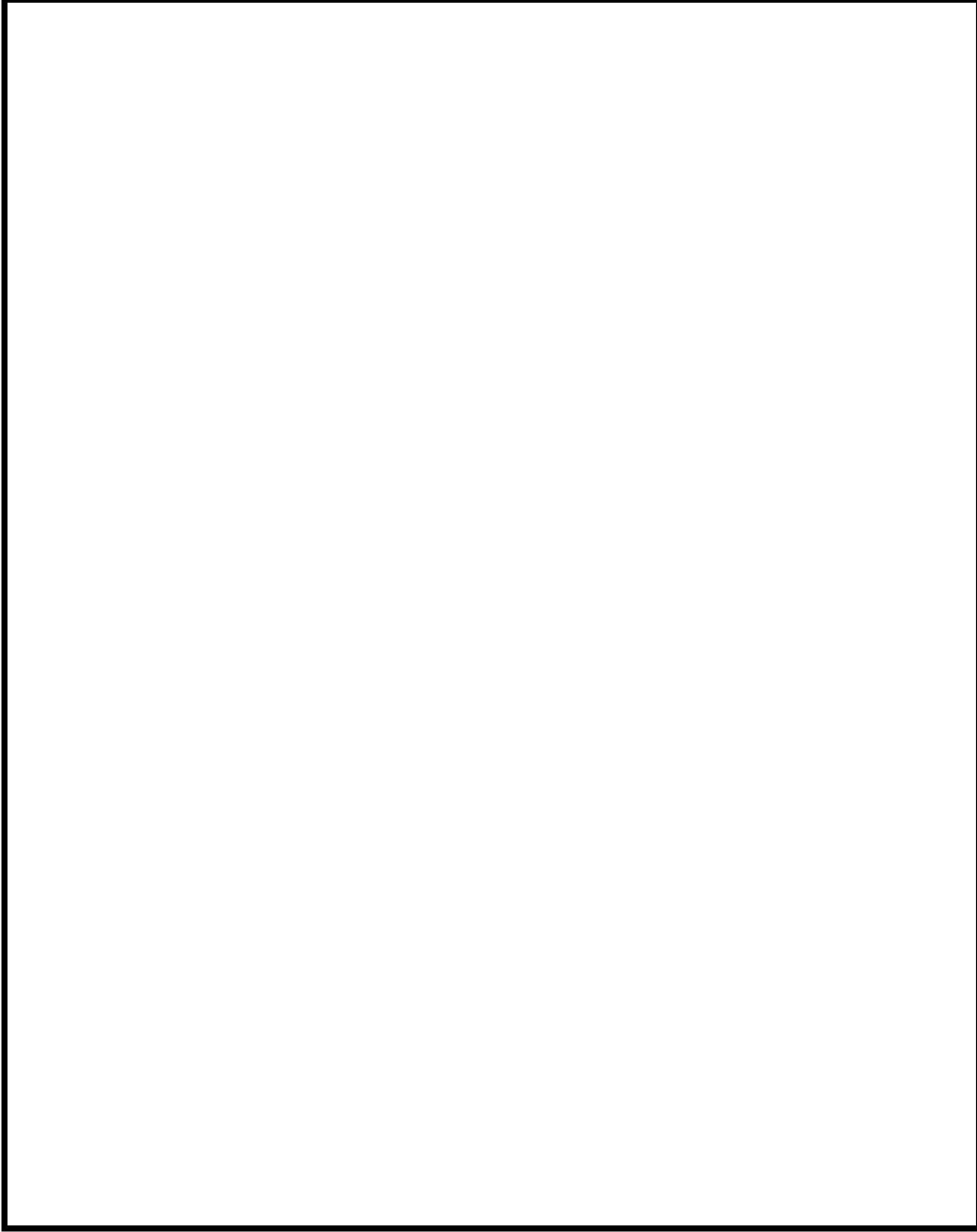
下部トラニオン (吊上・固縛兼用)
(90°, 270°)

(単位 : mm)



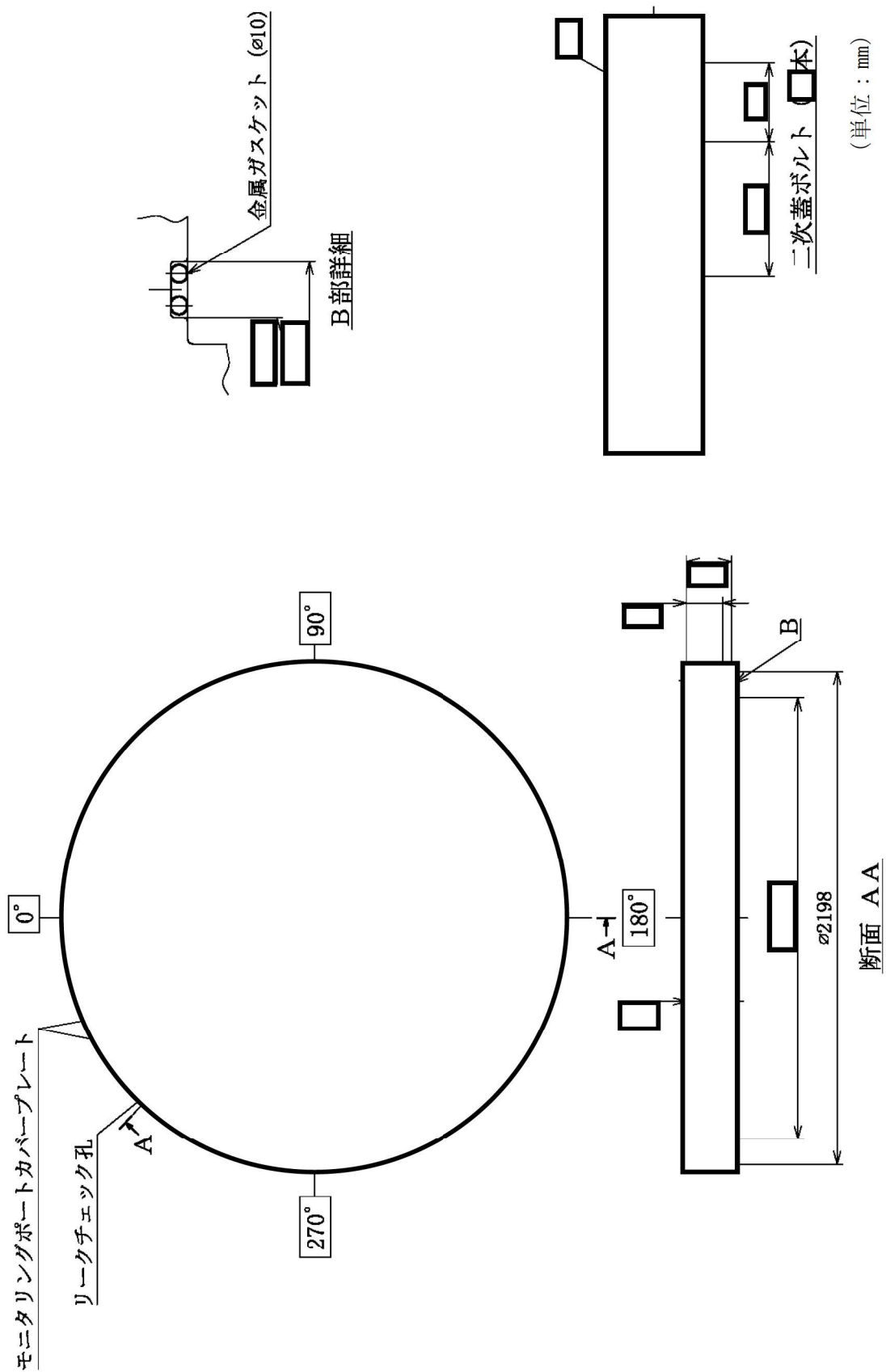
(単位：mm)

(イ)-第 C.8 図 一次蓋

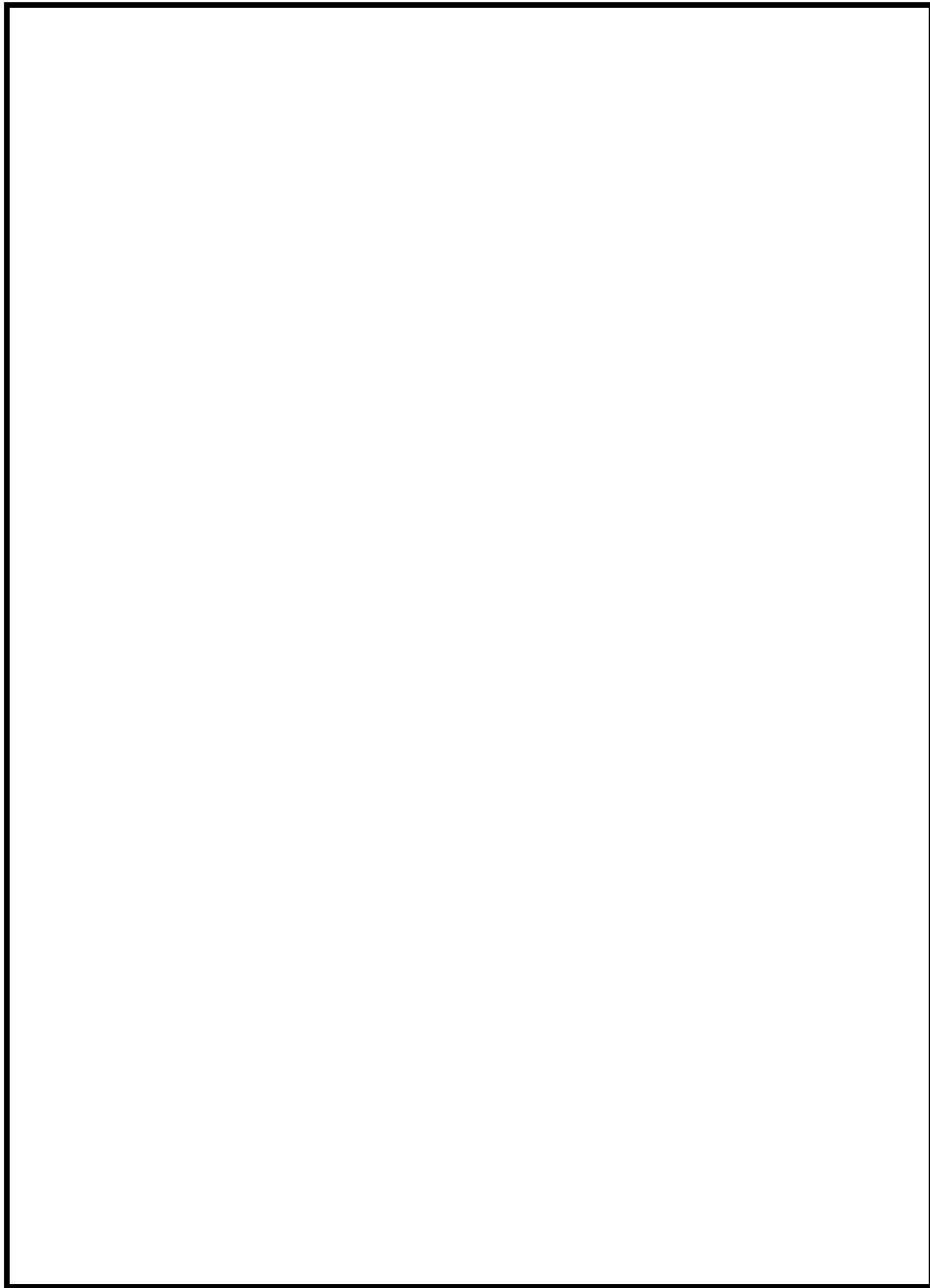


(单位：mm)

(1)-第 C.9 图 一次盖贯通孔

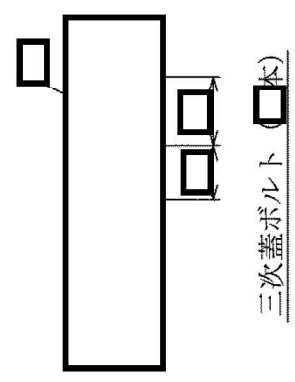
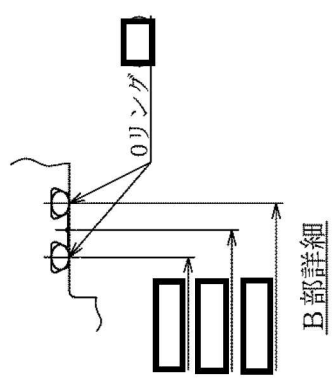
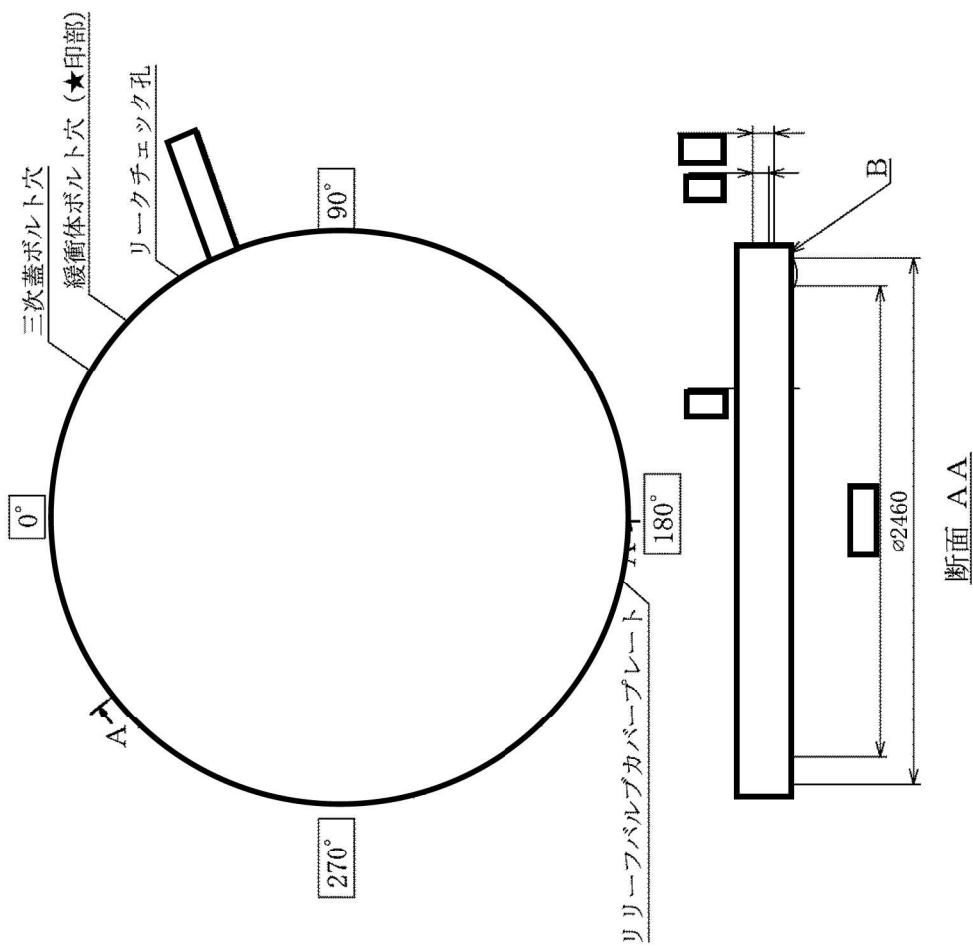


(イ)-第 C.10 図 二次蓋



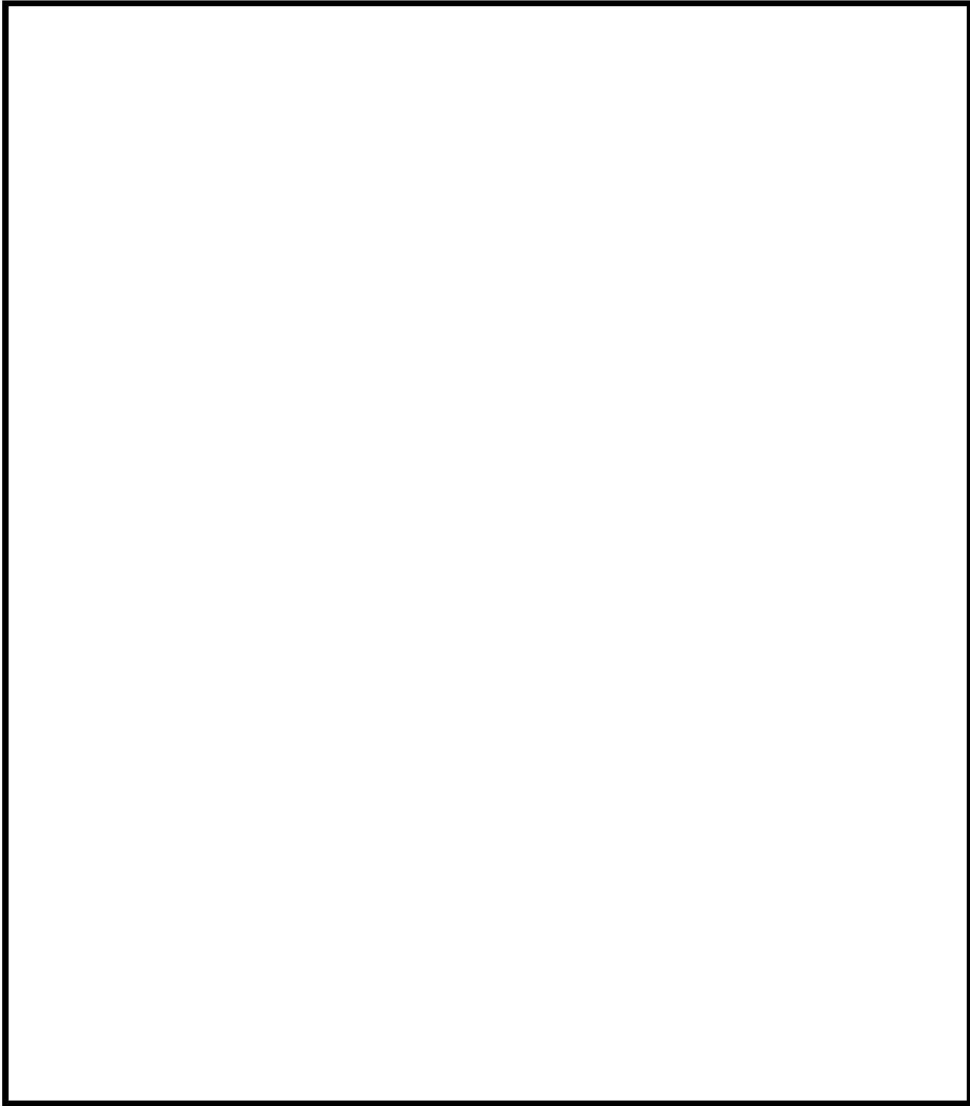
(单位：mm)

(i)-第 C.11 图 二次蓋貫通孔



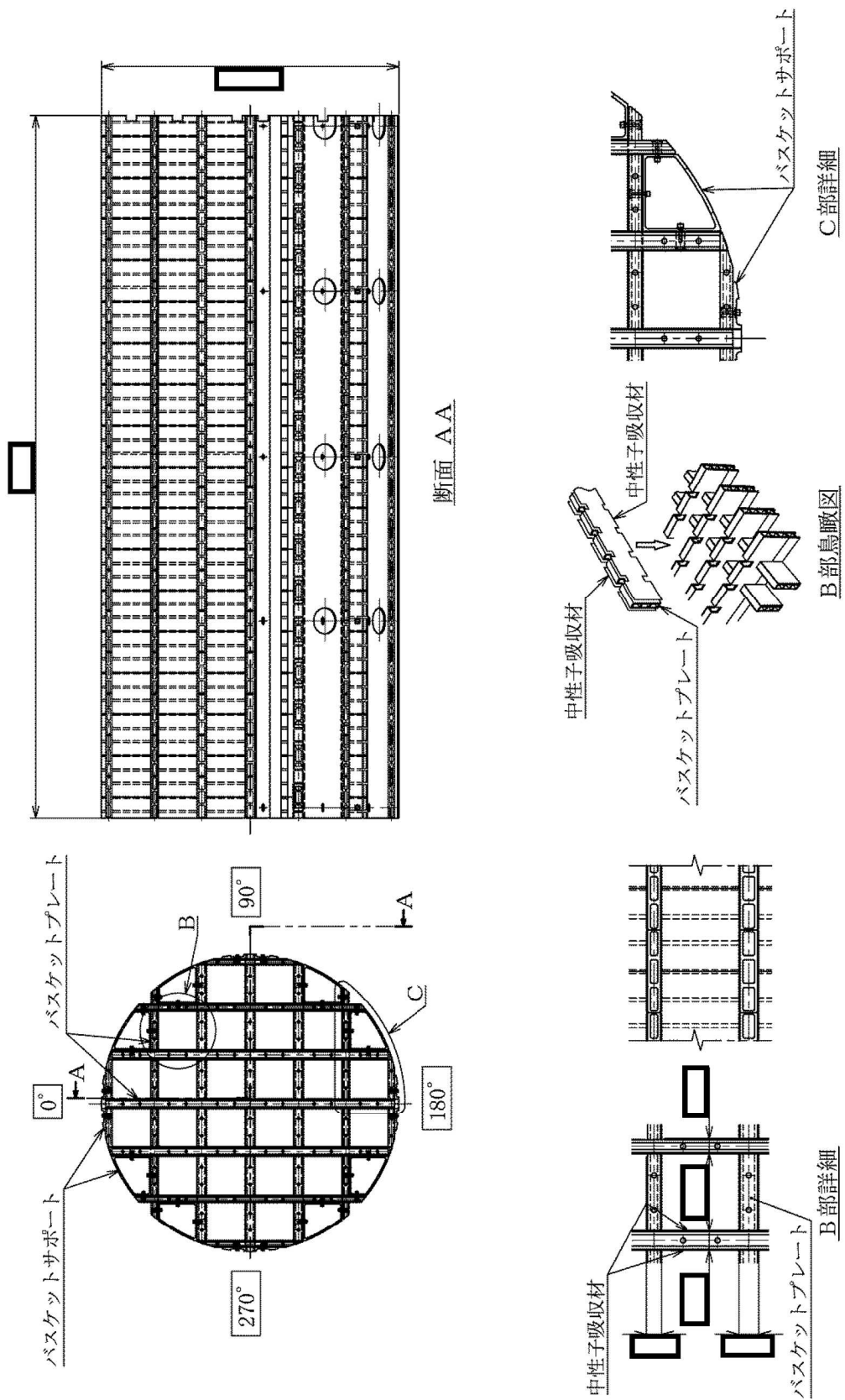
(単位：mm)

(4)-第 C.12 図 三次蓋



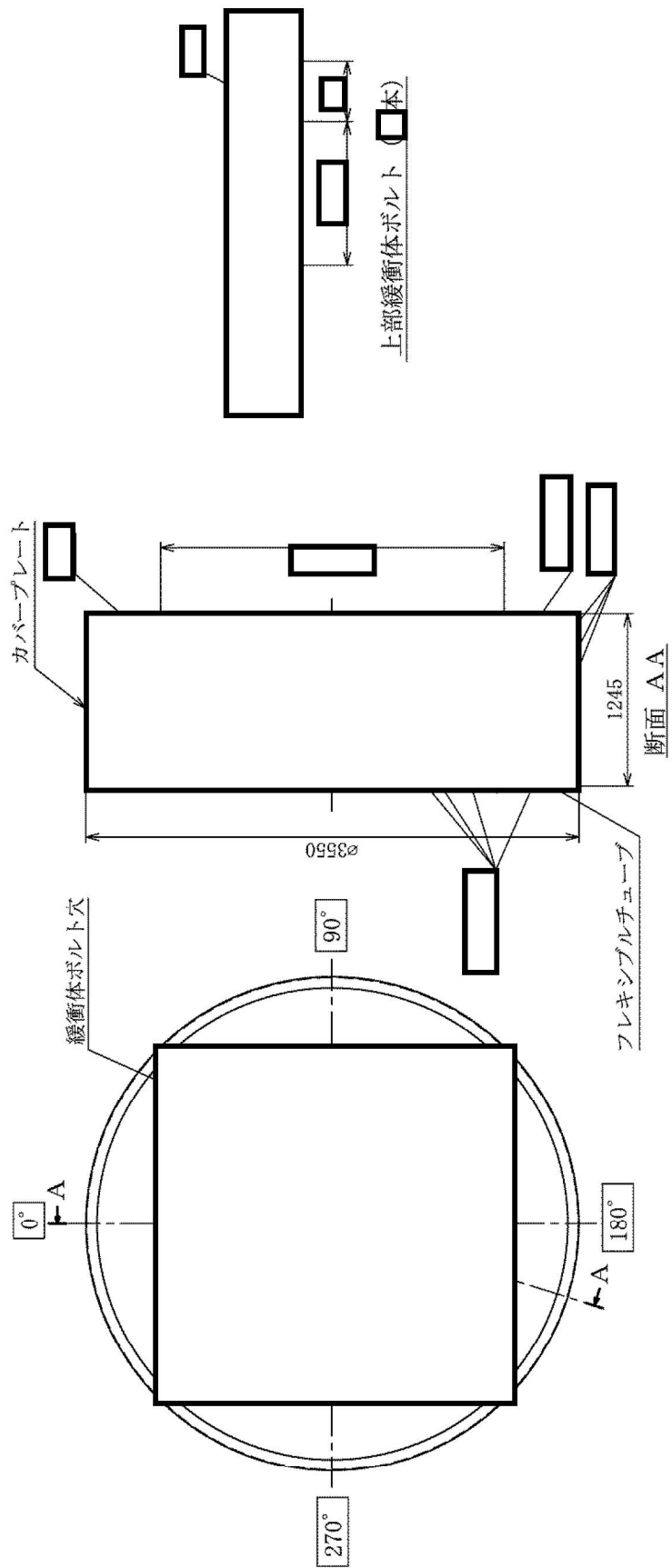
(单位：mm)

(1)-第 C.13 图 三次盖贯穿孔



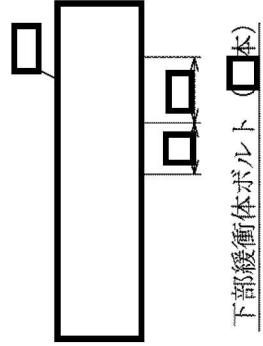
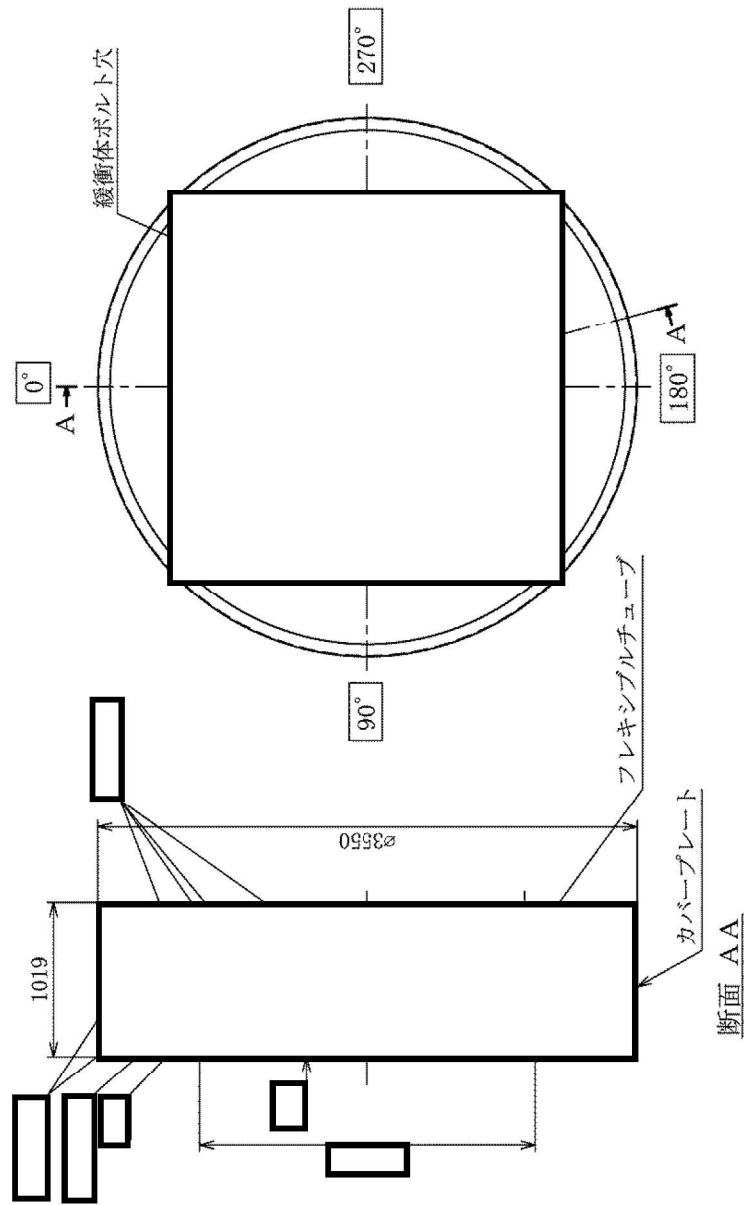
(単位：mm)

(イ)-第 C.14 図 バスケット



(単位 : mm)

(イ)-第C.15 図 上部緩衝体



(単位：mm)

(イ)-第 C.16 図 下部緩衝体

3. 材質

下記(イ)-第C.1表のとおりである。

(イ)-第C.1表 材質

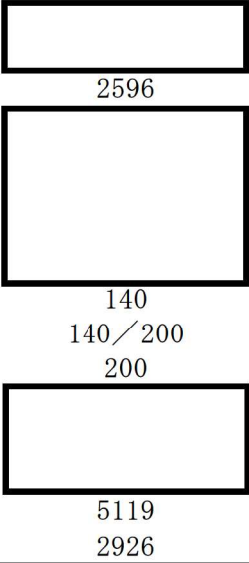
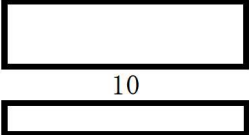
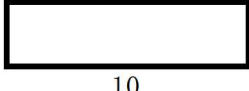



部位	部品	材料	規格 (注)
キャスク 本体	胴	炭素鋼	[] — — JIS H 3100 C1020P [] 又は JIS H 3140 C1020BB [] JIS G 4303 SUS630-H1150 — — — — — —
	外筒	炭素鋼	
	下部端板	ステンレス鋼	
	側部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
	底部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
	伝熱フィン	銅	
	トラニオン	析出硬化系ステンレス鋼	
	トラニオンボルト	炭素鋼	
	底部中性子遮蔽材カバー	ステンレス鋼	
	膨張吸収材	[]	
ドレンパイプ	ステンレス鋼		
シールパッキン	ゴム		
一次蓋	蓋板	炭素鋼	[] — — —
	蓋部中性子遮蔽材カバー	炭素鋼	
	カバープレート	ステンレス鋼	
	蓋部中性子遮蔽材	レジン (エポキシ系樹脂)	
蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼		
金属ガスケット	アルミニウム/ニッケル基合金		
二次蓋	蓋板	炭素鋼	[] — — —
	モニタリングポートカバープレート	ステンレス鋼	
	Oリング	EPDM	
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
金属ガスケット	アルミニウム/ニッケル基合金		
三次蓋	蓋板	ステンレス鋼	[] — —
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	リリースバルブカバープレート	ステンレス鋼	
Oリング	EPDM		
バスケット	中性子吸収材	ほう素添加アルミニウム合金	— MB-A3004-H112 MB-A3004-H112
	バスケットプレート	アルミニウム合金	
	バスケットサポート	アルミニウム合金	
緩衝体	緩衝材	木材 [] 木材 [] 木材 []	— — — [] []
	上部緩衝体ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	下部緩衝体ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼	
	カバープレート	ステンレス鋼	
	リブ	ステンレス鋼	

(注) 記載の規格材料又は相当品を使用する。

4. 寸法（公称）

下記(イ)-第 C. 2 表に各部品の代表寸法を示す。

(イ)-第 C. 2 表 輸送容器各部の寸法

部品名	寸法 (mm)	参照図
<u>キャスク本体</u> 胴内径 板厚 外筒外径 板厚 下部端板厚さ 側部中性子遮蔽材厚さ 伝熱フィン板厚 枚数 上部トラニオン外径 下部トラニオン外径 (90° , 270°) 下部トラニオン外径 (0° , 180°) 底部中性子遮蔽材厚さ 底部中性子遮蔽材カバー厚さ 底板厚さ 全長 全幅	 2596 140 140/200 200 5119 2926	(イ)-第 C. 5 図 (イ)-第 C. 6 図 (イ)-第 C. 7 図
<u>一次蓋</u> 蓋外径 厚さ 蓋ボルト径 金属ガスケット断面径 蓋部中性子遮蔽材厚さ	 1962 10	(イ)-第 C. 8 図 (イ)-第 C. 9 図
<u>二次蓋</u> 蓋外径 厚さ 蓋ボルト径 金属ガスケット断面径	 2198 10	(イ)-第 C. 10 図 (イ)-第 C. 11 図
<u>三次蓋</u> 蓋外径 厚さ 蓋ボルト径 Oリング断面径 蓋板用 カバープレート用	 2460	(イ)-第 C. 12 図 (イ)-第 C. 13 図
<u>バスケット</u> 外径 長さ 格子数 格子内幅	 24 個	(イ)-第 C. 14 図
<u>緩衝体</u> 外径 上部緩衝体ボルト径 下部緩衝体ボルト径 上部緩衝体長さ 下部緩衝体長さ	 3550 1245 1019	(イ)-第 C. 15 図 (イ)-第 C. 16 図

5. 重量

本輸送物の総重量は 134.4 トン以下であり、その詳細を (イ)-第 C.3 表に示す。

(イ)-第 C.3 表 輸送物重量

輸送容器各部及び収納物	重量 (トン)
A. キャスク本体	83.7 以下
B. 一次蓋	5.6 以下
C. 二次蓋	4.5 以下
D. 三次蓋	3.3 以下
E. バスケット	5.6 以下
F. 緩衝体	
① 上部緩衝体	8.72 以下
② 下部緩衝体	6.24 以下
G. 燃料集合体	16.7 以下
H. 輸送容器総重量 A+B+C+D+E+F	117.7 以下
I. 輸送物総重量 A+B+C+D+E+F+G	134.4 以下

D. 輸送容器の収納物

輸送容器の収納物は、使用済燃料集合体である。

輸送容器に収納可能な PWR 燃料集合体の仕様を (イ)-第 D. 1 表 に示す。

(イ)-第 D. 1 図 は本輸送容器に収納する燃料集合体（17×17 燃料）の代表的な全体図である。17×17 燃料（A 型）及び 17×17 燃料（B 型）の断面図を (イ)-第 D. 2 図 及び (イ)-第 D. 3 図 に示す。これらの図及び表に示されているように、燃料集合体は正方配列された燃料棒で構成され、両端及び中間部数箇所が支持格子により保持されている。燃料は低濃縮の UO_2 ペレットでジルカロイ製の被覆管の中に充填され、両端に端栓を溶接して密封されている。また、燃料には、可燃性毒物である Gd_2O_3 を含むものがある。

燃料集合体は燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体（容器当たり最大 12 体）を挿入した状態で本輸送容器に収納することができる。バーナブルポイズン集合体を挿入した燃料集合体は、(イ)-第 A. 1 図 に示す中央部に収納する。バーナブルポイズン集合体の仕様例を (イ)-第 D. 2 表 に示す。

(イ)-第 D. 4 図 は、バーナブルポイズン集合体（17×17 燃料用）の断面図であり、(イ)-第 D. 5 図 は、燃料集合体へのバーナブルポイズン集合体の代表的な挿入図である。

収納物の燃焼条件及び冷却日数は、(イ)-第 D. 3 表 に示すとおりである。燃料集合体は上述のようにジルカロイ製の被覆管とセラミック状の UO_2 ペレットが主であり、照射に伴って発生する核分裂生成ガスが被覆管内の空隙に蓄積されている。

収納物の主要な放射性核種と放射能の量（放射能強度）は (イ)-第 D. 4 表 に示すとおりである。

また、輸送容器 1 基あたりの最大崩壊熱量は (イ)-第 A. 1 表 に示すとおり 15.8 kW に制限される。

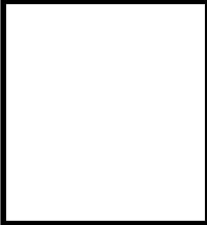
燃料集合体は (イ)-第 C. 14 図 に示したバスケットに格納して胴内に収納され、胴内は水抜き、乾燥された上、不活性ガスのヘリウムが充填される。

(イ)-第 D.1 表 燃料集合体の型式及び仕様

燃料集合体の 種類と型式	17×17 燃料			
	48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
	A 型	B 型	A 型	B 型
主要な燃料諸元				
材質				
燃料	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)	UO ₂ (注)
被覆管	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4	ジルカロイ-4
燃料密度 (理論密度比 %)	約 95	約 95	約 95	約 95
初期濃縮度 (U-235 wt%)	4.2 以下 (集合体平均)	4.2 以下 (集合体平均)	3.7 以下 (集合体平均)	3.7 以下 (集合体平均)
形状				
集合体長さ (mm)	約 4100	約 4100	約 4100	約 4100
燃料有効長 (mm)	3648	3648	3648	3648
燃料棒直径 (mm)	9.5	9.5	9.5	9.5
燃料棒ピッチ (mm)	12.6	12.6	12.6	12.6
集合体幅 (mm)	214	214	214	214
重量				
集合体重量 (kg)	680 以下	680 以下	680 以下	680 以下
UO ₂ 重量 (kg)				
ウラン重量 (kg)				

(注) 可燃性毒物として Gd₂O₃ を含むものがある。

(イ)-第D.2表 バーナブルポイズン集合体の仕様例

諸 元	型 式
<p>①形状、全長等 バーナブルポイズン集合体 外形 (mm) 全長 (mm) バーナブルポイズン棒 吸収材有効長 (mm) 外径 (mm) 内径 (mm)</p> <p>②重 量 総重量 (kg)</p> <p>③材 料 吸収材 被覆管 シンブルプラグ ホールドダウンアセンブリ</p>	<p>17×17 燃料用</p> <p>161×161 3961</p>  <p>ホウケイ酸ガラス ステンレス鋼 ステンレス鋼 ステンレス鋼 インコネル</p>

(イ)-第D.3表 収納物の燃焼条件

燃焼条件		燃料集合体の種類と型式		17×17 燃料			
				48,000MWd/t 型		39,000MWd/t 型	
				A型	B型	A型	B型
燃料集合体	最高燃焼度 ^(注1) (MWd/t)	中央部					
		外周部					
	平均燃焼度 ^(注2) (MWd/t)						
	平均比出力 (MW/t)						
バーナブル ポイズン 集合体	冷却日数						
	照射日数						
	冷却日数						

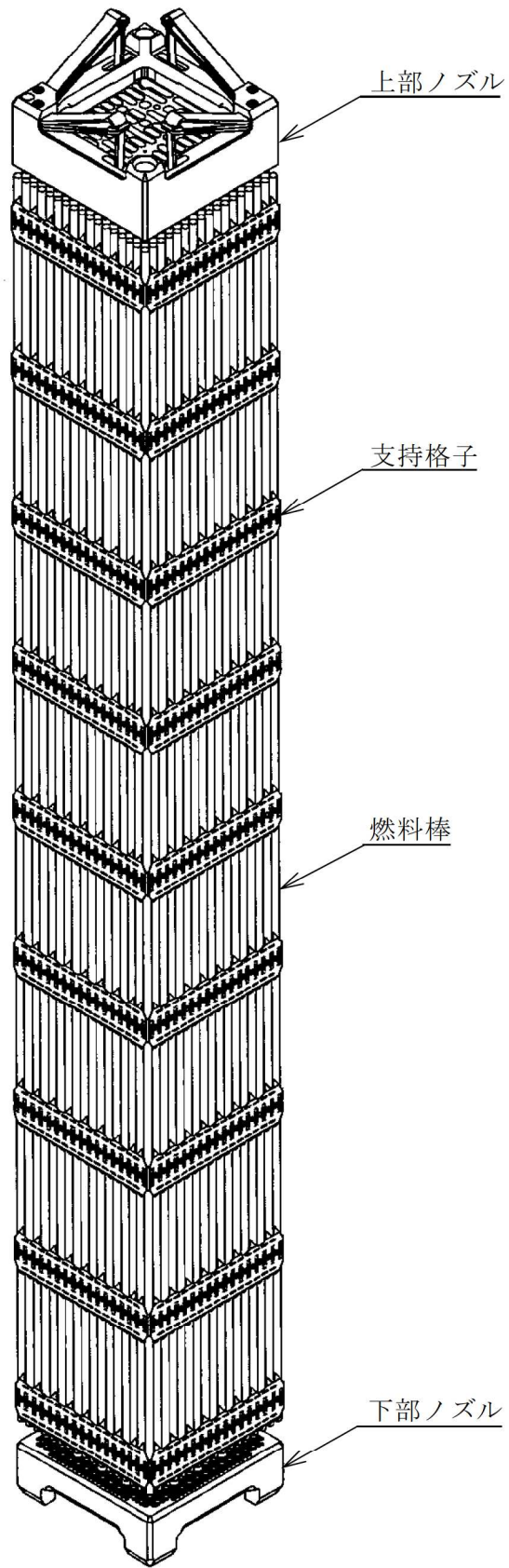
(注1) 最高燃焼度は燃料集合体1体の燃焼度の最大値を示す。

(注2) 平均燃焼度は収納する全燃料集合体の燃焼度の平均値を示す。

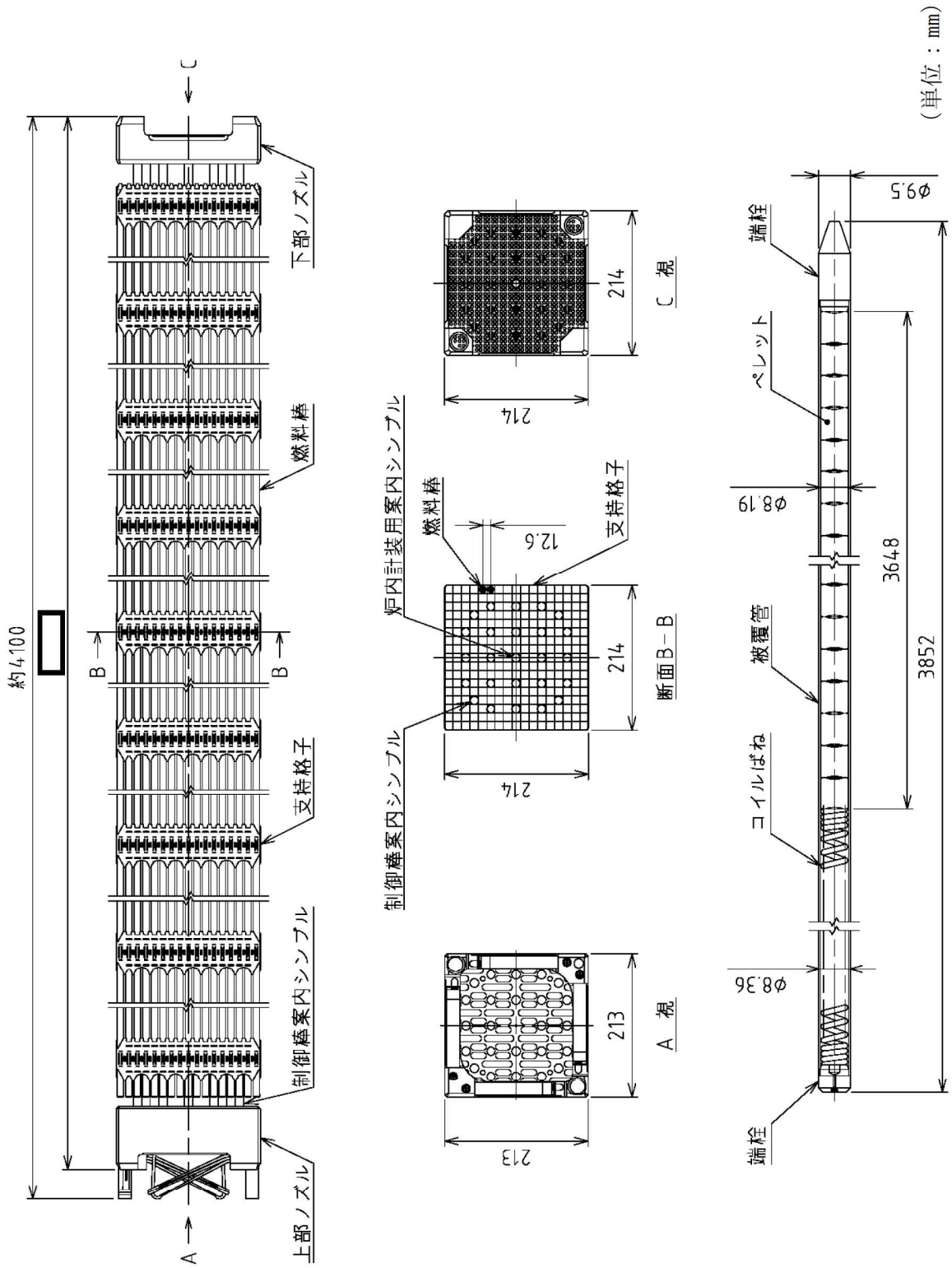
(イ)-第D.4表 主要核種の種類及び量 (注)

項目	燃料集合体の種類と型式 17×17 燃料 (A型)
① 燃料集合体収納体数 (体)	24
② 最大放射能強度 (PBq) (輸送容器 1 基当たり)	
③ 主要核種の放射能強度 (PBq) (②を主要核種ごとに分類)	
[核種]	
79Se	
90Sr	
90Y	
93Zr	
93mNb	
99Tc	
106Ru	
106Rh	
107Pd	
113mCd	
121mSn	
125Sb	
125mTe	
126Sn	
126Sb	
126mSb	
134Cs	
135Cs	
137Cs	
137mBa	
144Ce	
144Pr	
146Pm	
147Pm	
151Sm	
152Eu	
154Eu	
155Eu	
3H	
85Kr	
その他	
合計	

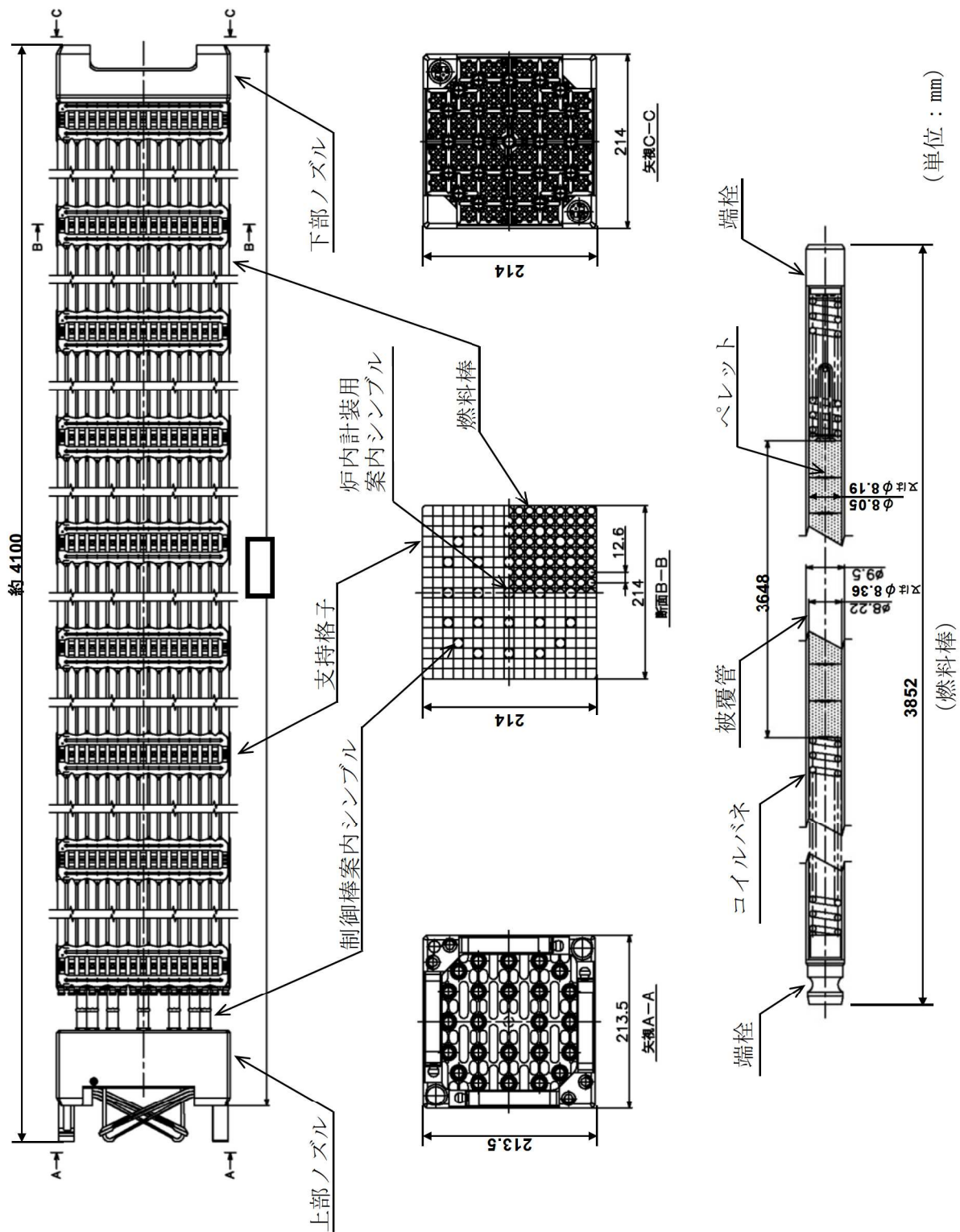
(注)放射能強度は平均燃焼度に対する ORIGEN2 コードによる計算値である。



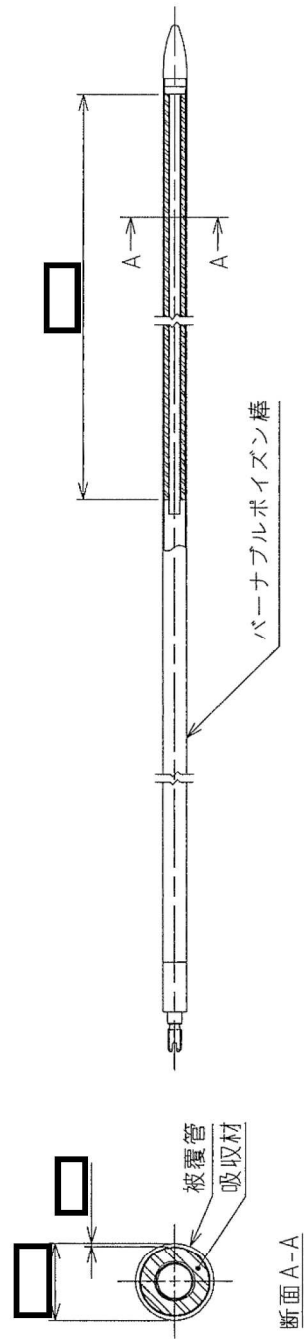
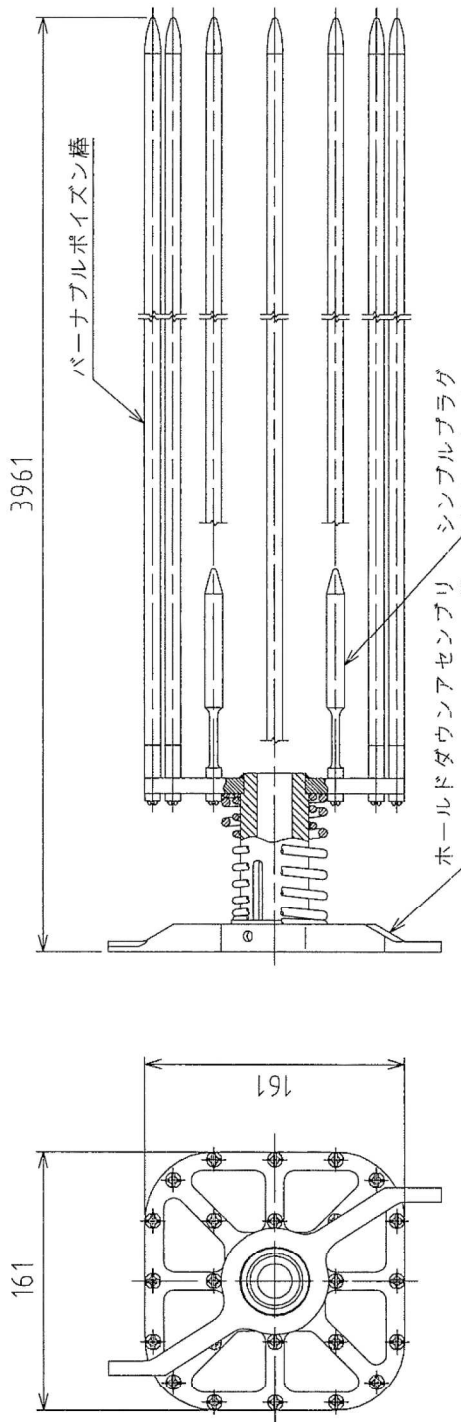
(イ)-第 D. 1 図 PWR 燃料集合体全体図 (17×17 燃料 代表例)



(イ)-第D.2 図 PWR 燃料集合体 (17×17 燃料 (A型) 代表例)

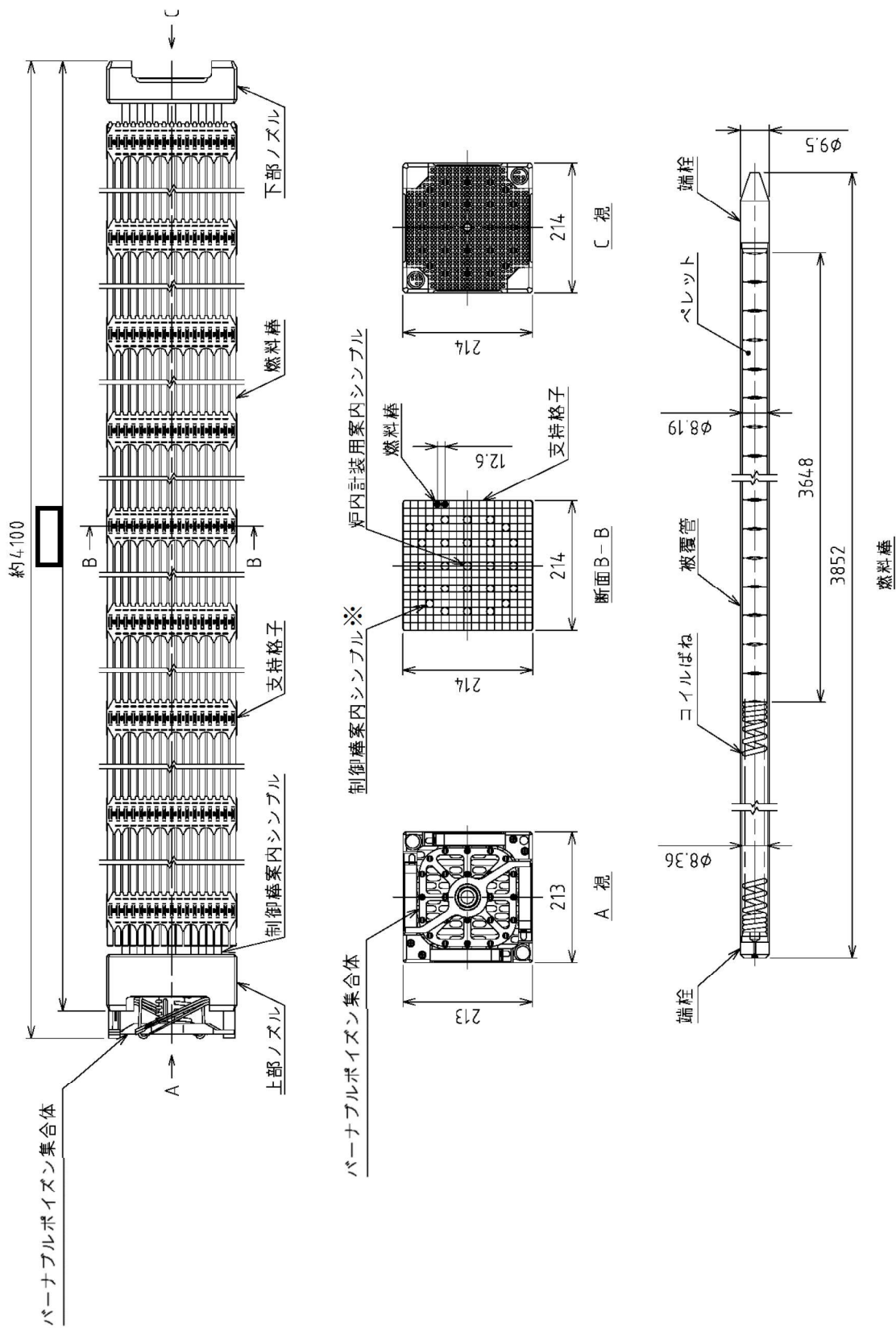


(イ)-第D.3 図 PWR 燃料集合体 (17×17 燃料 (B型) 代表例)



(単位：mm)

(イ)-第D.4 図 バーナブルポイズン集合体 (17×17 燃料用 代表例)



※バーナブルボイズン棒は、制御棒案内シンブル内に挿入される。

(イ)-第D.5図 バーナブルボイズン集合体挿入図 (17×17燃料 (A型) 代表例)

(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（昭和五十三年十二月二十八日付、総理府令第五十七号）」（以下「規則」という。）及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成2年11月28日付、科学技術庁告示第5号）」（以下「告示」という。）に基づいて、経年変化を考慮した上でBM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った。

本解析の概要は以下のとおりである。

A. 構造解析

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

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

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

B. 熱解析

熱解析では、構造解析の評価結果に基づいて、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。

C. 密封解析

密封解析では、構造及び熱解析の評価結果並びに発送前検査における気密漏えい検査合格基準に基づいて、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。

D. 遮蔽解析

遮蔽解析では、構造及び熱解析の評価結果に基づいて、通常輸送時並びに一般及び特別の試験条件における輸送物表面あるいは表面から 1 m 離れた位置の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。

E. 臨界解析

臨界解析では、構造解析の評価結果に基づいて、通常輸送時並び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孤立系及び配列系の各状態のいずれの場合にも未臨界であることを示している。

F. 核燃料輸送物の経年変化の考慮

本輸送容器は、使用済燃料乾式貯蔵施設における貯蔵後の輸送にも用いられるため、設計評価期間（60 年）中の輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化について考慮する事項を示している。

G. 外運搬規則及び外運搬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。

(四)章 A 構造解析

A. 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

輸送容器は、(イ)-第 C.1 図及び(イ)-第 C.2 図に示すようにキャスク本体、バスケット、一次蓋、二次蓋及び三次蓋等により構成される。胴は、(イ)-第 C.4 図に示すように三次蓋とともに密封境界を構成しており、胴内の圧力に耐えられる構造になっている。外筒は中性子遮蔽材を保持する構造になっている。輸送容器は、熱応力及び振動に対しても耐えられる構造になっている。

一次蓋は、(イ)-第 C.8 図に示すように一次蓋ボルトによってキャスク本体に固定される。キャスク本体との密封は金属ガスケットを用いて行い、通常の輸送時における圧力等の負荷に耐え密封性能を維持できる構造になっている。

二次蓋は、(イ)-第 C.10 図に示すように二次蓋ボルトによってキャスク本体に固定される。キャスク本体との密封は金属ガスケットを用いて行い、圧力等の負荷に耐え密封性能を維持できる構造になっている。

三次蓋は、(イ)-第 C.12 図に示すように三次蓋ボルトによってキャスク本体に固定される。キャスク本体との密封は O リングを用いて行い、密封境界として圧力等の負荷に耐えられる構造になっている。三次蓋は、(イ)-第 C.2 図に示すように上部緩衝体によって覆われている。

(イ)-第 C.14 図に示すバスケットは、胴内において燃料集合体を分散・集合させないように支持する構造になっている。

(イ)-第 C.15 図及び(イ)-第 C.16 図に示す上部及び下部緩衝体は、キャスク本体の上部及び下部にそれぞれボルトによって取り付けられる構造になっており、落下等による機械的衝撃を吸収する。

(イ)-第 C.7 図に示す上部トラニオンは、輸送容器の吊上げ荷重に耐えられる構造になっている。下部トラニオンは、輸送容器のたて起し及びよこ倒し時にかかる荷重に耐えられる構造になっている。また輸送容器は(イ)-第 C.3 図に示すように、胴上部及び下部トラニオンにより輸送架台に固定され、輸送中の加速度に耐えられる。

A.1.2 設計基準

1. 設計で考慮する条件

本輸送容器の構造設計では「規則」及び「告示」に基づいて以下の条件等を考慮した。

(1) 通常の輸送条件

- a. 輸送容器の材質間又は輸送容器の材質と放射性収納物間において危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれのないこと。
- b. 密封装置は不用意に開かれないこと。
- c. 輸送容器の吊上装置としてのトラニオンは吊上荷重の3倍に耐えること。
- d. 固縛装置は輸送中発生する上下及び輸送方向加速度2g及び左右方向1gの加速度に耐えること。
- e. 輸送容器の構成部品は、運搬中に予想される周囲温度 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- f. 輸送容器の振動について考慮すること。

(2) 一般の試験条件

- a. $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ の環境に1週間放置の熱的試験に耐えること。
- b. 水噴霧試験に耐えること。
- c. 0.3 m自由落下試験に耐えること。
- d. 自重の5倍の荷重による積み重ね試験に耐えること。
- e. 6 kg棒貫通試験に耐えること。

(3) 特別の試験条件

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

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

(4) 原子力規制委員会の定める量を超える放射能を有する核燃料物質等を収納した核燃料輸送物に係る追加条件

- a. 200 mの水中浸漬(2 MPa Gの水圧)試験(強化浸漬試験)に耐えること。

(5) 核分裂性輸送物に係る試験条件

- a. 次の核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下に置いた後の輸送物の損傷状態を評価すること。
 - (a) 以下の連続試験
 - i. 水噴霧試験
 - ii. 0.3 m 自由落下試験
 - (b) 積み重ね試験
 - (c) 6 kg 棒貫通試験
- b. 次の核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下に順次置いた後の輸送物の損傷状態を評価すること。
 - (a) 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件
 - (b) 9 m 落下試験
 - (c) 1 m 貫通試験
 - (d) 火災試験
 - (e) 0.9 m の水中浸漬試験

なお、核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件の中で機械的（強度）試験においては、本輸送物が使用される-20℃～38℃の周囲温度範囲を考慮する。

2. 設計基準

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

この中で、輸送容器の胴、一次蓋、二次蓋、三次蓋、蓋ボルト、蓋密封シール部及びトラニオンに発生する応力の設計基準値は、金属キャスク構造規格¹⁾を適用した。

金属キャスク構造規格に設計基準値の記載がない、外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーは、中性子遮蔽材を保持する構造物であることを考慮し、設計・建設規格²⁾〈第I編 軽水炉規格〉のクラス1支持構造物の規定を適用した。アルミニウム合金製のバスケットについては、金属キャスク構造規格のバスケットの考え方を基本として設計基準値を設定した。また、燃料被覆管については、一般の試験条件における荷重負荷時の変形を防止するため、設計基準値を降伏応力以下とした。

三次蓋とキャスク本体の0リング取付位置の相対口開き変形量については、0リングが閉じ込め機能を維持できる設計基準値とした。

各試験条件に対しての応力及び変形量の設計基準値を以下に示す。また、設計条件及び解析方法の要約を(□)-第A.1表に示す。

(1) 通常の輸送条件（吊上装置及び固縛装置）

- a. トラニオン本体は応力強さが設計降伏点以下であること。ここで、応力強さとは主応力の差の絶対値をいう。
- b. トラニオン接続部は以下に示す一次支圧応力 f_p' を超えないこと。一次+二次支圧応力については f_p' の1.5倍を超えないこと。

$$f_p' = 1.25S_y$$

ここで、

S_y : 金属キャスク構造規格¹⁾別表第5-8に示される設計降伏点

- c. 吊上装置については疲労評価を行うこと。

(2) 一般の試験条件（熱的試験及び自由落下試験）

- a. 蓋ボルト以外の輸送容器の胴、一次蓋、二次蓋、三次蓋は発生応力を分類し、各応力が以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_m$$

$$P_L \leq 1.5S_m$$

$$P_L + P_b \leq 1.5S_m$$

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

ここで、

P_m : 一次一般膜応力

P_L : 一次局部膜応力

P_b : 一次曲げ応力

Q : 二次応力

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

b. 蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq 2S_m$$

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

ここで、

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

c. 一次蓋密封シール部及び二次蓋密封シール部は発生応力を分類し、各応力が以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_y$$

$$P_L \leq S_y$$

$$P_L + P_b \leq S_y$$

$$P_L + P_b + Q \leq S_y$$

ここで、

S_y : 金属キャスク構造規格¹⁾ 別表第 5-8 に示される設計降伏点

d. 三次蓋とキャスク本体の O リング取付位置での相対口開き変形量が、O リングの初期締め付け代より小さいこと。

e. 外筒、下部端板、蓋部中性子遮蔽材カバー、底部中性子遮蔽材カバーにおいては以下の基準を適用する。ただし、各溶接部については、各構成部材と同じ基準を適用する。

(a) 各部位の一次引張応力は以下に示す f_t を超えないこと。一次＋二次応力については、(b) の圧縮応力との差が f_t の 3 倍を超えないこと。

$$f_t = \frac{F}{1.5}$$

ここで、

$$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y] \text{ (オーステナイト系ステンレス鋼以外)}$$

$$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})] \text{ (オーステナイト系ステンレス鋼)}$$

S_u : 金属キャスク構造規格¹⁾ 別表 5-9 に示される設計引張強さ

$S_y(\text{RT})$: 金属キャスク構造規格¹⁾ 別表 5-8 に示される 40 °C における設計降伏点

(b) 各部位の一次圧縮応力は以下に示す f_c を超えないこと。

$$f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu}$$

ここで、

λ : 有効細長比

Λ : 限界細長比

$$\nu : \nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

- (c) 各部位の一次せん断応力は以下に示す f_s を超えないこと。一次＋二次応力については f_s の 3 倍を超えないこと。

$$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$$

- (d) 各部位の一次曲げ応力は以下に示す f_b を超えないこと。一次＋二次応力については f_b の 3 倍を超えないこと。

$$f_b = \frac{F}{1.5}$$

- f. バスケットにおいては、以下の基準を適用する。

- (a) 各部位の応力が以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_m$$

$$P_m + P_b \leq \alpha S_m$$

$$\tau \leq 0.6S_m$$

$$(\text{一次圧縮応力}) \leq f_c$$

$$f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu}$$

ここで、

S_m : 付属書類 A. 10.5 (v)-第 A. 94 表に示される設計応力強さ

P_m : 一次一般膜応力

P_b : 一次曲げ応力

α : 純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれかの小さい方の値

τ : 平均せん断応力

λ : 有効細長比

Λ : 限界細長比

$$\nu : \nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

- g. 燃料被覆管については応力強さが降伏応力以下であること。

(3) 一般の試験条件（積み重ね試験及び6 kg 棒貫通試験）

- a. 積み重ね試験に対しては胴に発生する応力強さが設計降伏点を超えないこと。
- b. 6 kg 棒貫通試験に対しては、せん断で破壊しないこと。

(4) 特別の試験条件

- a. 蓋ボルト以外の輸送容器の胴、二次蓋及び三次蓋は以下の基準を適用する。
(a) 各部位について発生応力を分類し、各応力が以下に示す基準値以下であること。

i) オーステナイト系ステンレス鋼以外

$$P_m \leq 2/3S_u$$

$$P_L \leq S_u$$

$$P_L + P_b \leq S_u$$

ii) オーステナイト系ステンレス鋼

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

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

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

- b. 二次蓋ボルト及び三次蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq S_y$$

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

- c. 二次蓋密封シール部に対しては各部位について発生応力を分類し、各応力が以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_y$$

$$P_L \leq S_y$$

$$P_L + P_b \leq S_y$$

$$P_L + P_b + Q \leq S_y$$

- d. 三次蓋とキャスク本体のOリング取付位置の相対口開き変形量が、Oリングの初期締め付け代より小さいこと。
- e. 外筒、下部端板及び底部中性子遮蔽材カバーにおいては以下の基準を適用する。ただし、各溶接部については、各構成部材と同じ基準を適用する。
(a) 各部位の一次引張応力は以下に示す f_t の1.5倍を超えないこと。

$$f_t = \frac{F}{1.5}$$

ここで、

$$F = \text{MIN}[0.7S_u, 1.2S_y] \quad (\text{オーステナイト系ステンレス鋼以外})$$

$$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, 1.2S_y(\text{RT})] \quad (\text{オーステナイト系ステンレス鋼})$$

(b) 各部位の一次圧縮応力は以下に示す f_c の 1.5 倍を超えないこと。

$$f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{v}$$

ここで、

$$F = \text{MIN}[0.7S_u, 1.2S_y] \text{ (オーステナイト系ステンレス鋼以外)}$$

$$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, 1.2S_y(\text{RT})] \text{ (オーステナイト系ステンレス鋼)}$$

(c) 各部位の一次せん断応力は以下に示す f_s の 1.5 倍を超えないこと。

$$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$$

(d) 各部位の一次曲げ応力は以下に示す f_b の 1.5 倍を超えないこと。

$$f_b = \frac{F}{1.5}$$

f. バスケットにおいては、以下の基準を適用する。

(a) 各部位の応力が以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq 2/3S_u$$

$$P_m + P_b \leq 2/3 \alpha S_u$$

$$\tau \leq 1.2S_m$$

ここで、

$$S_u : \text{付属書類 A. 10.5 (v)-第 A. 97 表に示される設計引張強さ}$$

(b) 各部位の一次圧縮応力は f_c^* の 1.5 倍を超えないこととする。 f_c^* の値は、以下に示す f_c の値を算出する際に S_y とあるのを $1.2S_y$ と読み替えて算出した値。

$$f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{v}$$

ここで、

$$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$$

g. 1 m 貫通試験に対しては、せん断で破断しないこと。

(5) 強化浸漬試験

a. 輸送容器の胴（底板）及び蓋部は以下の基準を適用する。

$$P_L + P_b \leq S_u \text{ (オーステナイト系ステンレス鋼以外)}$$

$$P_L + P_b \leq \text{MIN}[3.6S_m, S_u] \text{ (オーステナイト系ステンレス鋼)}$$

- b. 外圧を受ける胴にあつては、外面に受ける圧力が金属キャスク構造規格¹⁾に示される胴の厚さ等によって定まる許容外圧 P_a の 1.5 倍以下であること。

3. 余裕率

適用数式及び要素による結果のうち、定量的な基準のあるものについては次に示す余裕率 MS を用いて評価する。

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

したがって、余裕率は 0 以上あれば良いとする。

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

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

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (1/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
通常の輸送条件	<u>化学的及び電氣的反応</u>									
	1) 化学的反應	(ロ)-第 A.3 表	表による	—	腐食	—	活性	活性の有無	無	
	2) 電氣的反應	(ロ)-第 A.3 表	表による	—	腐食	—	電位差	反応の有無	無	
	<u>低温強度</u>									
	1) 構成部品	(ロ)-第 A.4 表	表による	—	材質	—	き裂・破損	-20 °Cでのき裂・破損の有無	無	
	2) 低温時の強度	(ロ)-第 A.4 表	表による	—	材質	—	脆性破壊	-20 °Cでの脆化の有無	無	
	<u>密封装置</u>									
三次蓋	(イ)-第 C.2 図	—	—	誤操作による開放	—	誤操作の可否	緩衝体等に覆われての誤操作の可否	否		

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (2/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
通常 の 輸 送 条 件	吊上装置									
	トランオン本体	(ロ)-第 A.10 図	SUS630		吊上荷重	3 1.3	曲げとせん断 疲労評価	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$ Nc	Sy Na	(注 1)
	トランオン接続部 (トランオン側)	(ロ)-第 A.10 図	SUS630		吊上荷重	3 1.3	支圧 疲労評価	$\sigma_p = \text{MAX}[\sigma_{P11}, \sigma_{P12}]$ $\sigma_p = \text{MAX}[\sigma_{P11}, \sigma_{P12}] + \sigma_{P2}$ Nc	1.25Sy 1.5×1.25Sy Na	(注 2)
	トランオン接続部 (胴側)	(ロ)-第 A.10 図			同上	同上	同上	同上	同上	
	固縛装置									
	トランオン本体	(ロ)-第 A.14 図	SUS630		上下、前後 2g (下方向は自重を 考慮し、3g)	1	曲げとせん断	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	Sy	
	トランオン接続部 (トランオン側)	(ロ)-第 A.14 図	SUS630		上下、前後 2g (下方向は自重を 考慮し、3g)	1	支圧	$\sigma_p = \text{MAX}[\sigma_{P11}, \sigma_{P12}]$ $\sigma_p = \text{MAX}[\sigma_{P11}, \sigma_{P12}] + \sigma_{P2}$	1.25Sy 1.5×1.25Sy	
	トランオン接続部 (胴側)	(ロ)-第 A.14 図			同上	同上	同上	同上	同上	
圧力	—	—	周囲圧力の降下	—	内圧	密封性	良			
振動	(ロ)-第 A.15 図		振動による力	—	振動	固有振動数	加振源の 振動数	(注 3)		

(注 1) S : 応力強さ、 σ_b : 曲げ応力、 τ : せん断応力、 S_y : 設計降伏点、 N_c : 使用計画回数、 N_a : 許容繰返し回数(注 2) σ_p : 支圧応力、 σ_{P11} 、 σ_{P12} : 吊上げ荷重による支圧応力 (一次応力)、 σ_{P2} : しまり嵌め荷重による支圧応力 (二次応力)(注 3) 輸送容器の胴、一次蓋及び二次蓋の材質は、である。

(ロ)-第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (3/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考		
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準	
					種類	負荷係数	要素				
一般の試験条件	熱的試験										
	1) 応力計算										
	胴	(ロ)-第A.17図			内圧、熱膨張及び初期締付トルク	1	応力強さ	P_m P_L P_L+P_b P_L+P_b+Q	S_m $1.5S_m$ $1.5S_m$ $3S_m$	(注4)	
	胴(底板)	—			同上	1	同上	同上	同上		
	一次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	二次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	三次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	外筒	—			同上	1	応力	引張応力 圧縮応力 せん断応力 曲げ応力	f_t f_c f_s f_b	(注5)	
	下部端板	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	蓋部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	底部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	一次蓋シール部(蓋)	—			同上	1	応力強さ	P_L P_L+P_b+Q	S_y S_y		
	一次蓋シール部(胴)	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部(蓋)	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部(胴)	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	一次蓋ボルト	—			同上	1	引張 引張と曲げ	σ_m $\sigma_m+\sigma_b$	$2S_m$ $3S_m$	(注6)	
	二次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	三次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
ガスケットの密封性	—	EPDM			—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期締付け代	

(注4) P_m : 一次一般膜応力、 P_L : 一次局部応力、 P_b : 一次曲げ応力、 Q : 二次応力、 S_m : 設計応力強さ(注5) f_t : 許容引張応力、 f_c : 許容圧縮応力、 f_s : 許容せん断応力、 f_b : 許容曲げ応力(注6) σ_m : 平均引張応力、 σ_b : 曲げ応力

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (4/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
一般の試験条件	水噴霧	—		—	水噴霧	—	吸水による脆化、水溜	吸水性 水切	無良	
	自由落下									
	1) 緩衝体の変形量と衝撃加速度									
	垂直落下	(ロ)-第 A. 23 図 (ロ)-第 A. 24 図		—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \sum \sigma_c V$	$E_k = mgH$	(注 7)
	水平落下	(ロ)-第 A. 25 図		—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \sum \sigma_c V$	$E_k = mgH$	
	コーナー落下	(ロ)-第 A. 26 図 (ロ)-第 A. 27 図		—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \sum \sigma_c V$	$E_k = mgH$	
	2) 垂直落下									
	胴	(ロ)-第 A. 28 図 (ロ)-第 A. 29 図			内圧、慣性力 熱膨張及び 初期締付トルク	1	応力強さ	P_m P_L $P_L + P_b$ $P_L + P_b + Q$	S_m $1.5S_m$ $1.5S_m$ $3S_m$	
	胴 (底板)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	一次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上	
	三次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上	
	外筒	—			同上	1	応力	引張応力 圧縮応力 せん断応力 曲げ応力	f_t f_c f_s f_b	
	下部端板	—			同上	1	同上	同上	同上	
	蓋部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上	
底部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上		

(注 7) E_a : 吸収エネルギー、 σ_c : 圧縮応力、 V : 変形量、 E_k : 輸送物の落下エネルギー、 m : 輸送物最大総質量、 g : 重力加速度、 H : 落下高さ

(ロ)-第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (5/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
一般の試験条件	2) 垂直落下 (続き)									
	一次蓋シール部 (蓋)	—			同上	1	応力強さ	P_L P_L+P_b+Q	S_y S_y	
	一次蓋シール部 (胴)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部 (蓋)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部 (胴)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	一次蓋ボルト	—			同上	1	引張 引張と曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	$2S_m$ $3S_m$	
	二次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上	
	三次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上	
	ガスケットの密封性	—	EPDM	—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期締付け代	
	バスケット	(ロ)-第A.31図	アルミニウム合金		慣性力	1	圧縮	$\sigma_c = \frac{W_b \cdot G_v}{A}$	S_m f_c	(注8)
	燃料被覆管	—	ジルカロイ		内圧及び慣性力	1	応力強さ	S	σ_y	(注9)
	3) 水平落下									
	胴	(ロ)-第A.32図			内圧、慣性力 熱膨張及び 初期締付トルク	1	応力強さ	P_m P_L P_L+P_b P_L+P_b+Q	S_m $1.5S_m$ $1.5S_m$ $3S_m$	
	胴 (底板)	—			同上	1	同上	同上	同上	
一次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上		
二次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上		
三次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上		
外筒	—			同上	1	応力	引張応力 圧縮応力 せん断応力 曲げ応力	f_t f_c f_s f_b		

(注8) W_b : バスケット合計質量、 G_v : 垂直落下時の衝撃加速度、 A : バスケットプレートと胴の接触面積(注9) σ_y : 設計降伏点

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (6/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
一般の試験条件	3) 水平落下 (続き)									
	下部端板	—			同上	1	同上	同上	同上	
	蓋部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上	
	底部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上	
	一次蓋シール部 (蓋)	—			同上	1	応力強さ	P_L P_L+P_b+Q	S_y S_y	
	一次蓋シール部 (胴)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部 (蓋)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部 (胴)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	一次蓋ボルト	—			同上	1	引張 引張と曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	$2S_m$ $3S_m$	
	二次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上	
	三次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上	
	ガスケットの密封性	—	EPDM	—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期締付け代	
	バスケット	(ロ)-第 A. 33 図 (ロ)-第 A. 34 図 (ロ)-第 A. 35 図 (ロ)-第 A. 36 図	アルミニウム合金		慣性力	1	圧縮 曲げ せん断	$\sigma_c = (W_I + W_{II}) \cdot \frac{G_H}{A \cdot N}$ $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ $\tau = \frac{F}{A}$	S_m αS_m $0.6S_m$	(注 10)
燃料被覆管	—	ジルカロイ		内圧及び慣性力	1	応力強さ	S	σ_y		
4) コーナー落下	— 垂直及び水平落下の結果並びに特別の試験条件の結果を引用して評価 —									

(注 10) W_I, W_{II} : バスケットプレート、中性子吸収材、バスケットサポート及び燃料集合体の質量、 G_H : 水平落下時の衝撃加速度、 A : 断面積、 N : バスケットプレートの数、 M : 曲げモーメント、 Z : 断面係数、 F : せん断力、 α : 純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さい方の値

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (7/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
一般の試験条件	積み重ね 1) 軸に直角方向 2) 軸方向	(ロ)-第 A. 37 図 (ロ)-第 A. 38 図			輸送物質量の 5 倍	1	曲げ	$\sigma_b = \frac{M_{\max} d_o}{2I}$ $\sigma_c = \frac{W}{A}$	S _y S _y	(注 11)
	貫通	(ロ)-第 A. 39 図			落下エネルギー	1	せん断			

(注 11) M_{max} : 最大曲げモーメント、d_o : 円筒外径、I : 断面二次モーメント、W : 荷重(注 12) E_s : せん断エネルギー、d : 直径、t : 板厚、S : せん断強さ

(ロ)-第A.1表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (8/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考		
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準	
					種類	負荷係数	要素				
特別の試験条件	9 m 落下試験										
	1) エネルギー吸収と衝撃力										
	垂直落下	(ロ)-第 A. 23 図 (ロ)-第 A. 24 図		—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \sum \sigma_c V$	$E_k = mgH$		
	水平落下	(ロ)-第 A. 25 図		—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \sum \sigma_c V$	$E_k = mgH$		
	コーナー落下	(ロ)-第 A. 26 図 (ロ)-第 A. 27 図		—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \sum \sigma_c V$	$E_k = mgH$		
	2) 垂直落下										
	胴	(ロ)-第 A. 40 図 (ロ)-第 A. 41 図			内圧、慣性力及び初期締付トルク	1	応力強さ	P_m P_L P_L+P_b	$2/3S_u$ S_u S_u	(注 13)	
	胴 (底板)	—			同上	1	同上	同上	同上		
	二次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上		
	三次蓋	—			同上	1	同上	同上	P_m P_L P_L+P_b	$\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$ $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$	
	外筒	—			同上	1	応力	引張応力 圧縮応力 せん断応力 曲げ応力	$1.5f_t$ $1.5f_c$ $1.5f_s$ $1.5f_b$		
	下部端板	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	底部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部 (蓋)	—			同上	1	応力強さ	P_L P_L+P_b+Q	S_y S_y		
二次蓋シール部 (胴)	—	同上			1	同上	同上	同上	同上		

(注 13) S_u : 設計引張強さ

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (9/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
特別の試験条件	2) 垂直落下 (続き)									
	二次蓋ボルト	—			同上	1	引張 引張と曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	S_y S_y	
	三次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上	
	ガスケットの密封性	—	EPDM	—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期締付け代	
	バスケット	—	アルミニウム合金		慣性力	2.6	圧縮	$\sigma_c = \frac{W_b \cdot G_y}{A}$	$2/3S_u$ $1.5f_c^*$	(注 14)
	3) 水平落下									
	胴	(ロ)-第 A.42 図			内圧、慣性力及び初期締付トルク	1	応力強さ	P_m P_L $P_L + P_b$	$2/3S_u$ S_u S_u	
	胴 (底板)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋	—			同上	1	同上	同上	同上	
	三次蓋	—			同上	1	同上	P_m P_L $P_L + P_b$	$\text{MIN}[2.4S_m, 2/3S_u]$ $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$ $\text{MIN}[3.6S_m, S_u]$	
	外筒	—			同上	1	応力	引張応力 圧縮応力 せん断応力 曲げ応力	$1.5f_t$ $1.5f_c$ $1.5f_s$ $1.5f_b$	
	下部端板	—			同上	1	同上	同上	同上	
	底部中性子遮蔽材カバー	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋シール部 (蓋)	—			同上	1	応力強さ	P_L $P_L + P_b + Q$	S_y S_y	
	二次蓋シール部 (胴)	—			同上	1	同上	同上	同上	
	二次蓋ボルト	—			同上	1	引張 引張と曲げ	σ_m $\sigma_m + \sigma_b$	S_y S_y	
三次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上		

(注 14) f_c^* : f_c の値を算出する際に S_y とあるのを $1.2S_y$ と読み替えて算出した値

(ロ)-第 A.1 表 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法 (10/13)

条件	解析項目及びその評価	設計条件					解析方法			備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準		
					種類	負荷係数	要素				
特別の試験条件	3) 水平落下 (続き)										
	ガスケットの密封性	—	EPDM	—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期締付け代		
	バスケット	—	アルミニウム合金		慣性力	1.2	圧縮 曲げ せん断	$\sigma_c = (W_I + W_{II}) \cdot \frac{G_H}{A \cdot N}$ $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ $\tau = \frac{F}{A}$	$2/3 S_u$ $2/3 \alpha S_u$ $1.2 S_m$		
	4) コーナー落下	— 垂直及び水平落下の結果を引用して評価 —									
	二次蓋ボルト	—			内圧、慣性力及び初期締付トルク	1	引張	$\sigma_t = \sigma_{t1} + \phi \sigma_{t2}$	S_y	(注 15)	
	三次蓋ボルト	—			同上	1	同上	同上	同上		
	5) 傾斜落下	— 垂直及び水平落下の結果及び 10.3 項を引用して評価 —									
	1 m 貫通試験										
	1) 垂直落下										
	三次蓋	—			軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F_{bar} = \sigma_u \cdot A$ $F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F	(注 16)	
底部中性子遮蔽材カバー	—			軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F_{bar} = \sigma_u \cdot A$ $F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F			
2) 水平落下											
胴	—			軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F_{bar} = \sigma_u \cdot A$ $F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F			

(注 15) σ_t : 各荷重によりボルトに生じる引張応力、 σ_{t1} : 初期締付力、熱応力、胴内圧及び蓋間圧力により生じる引張応力、 ϕ : ボルト内力係数、 σ_{t2} : 慣性力により生じる引張応力

(注 16) F_{bar} : 最大荷重、 σ_u : SS400 の設計引張強さ、F: 貫通荷重