

分置

本資料は2001年11月12日付で  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

# HZ-75T-ATR型輸送物設計承認申請書変更分

## - 3.4号機のしゃへい改造に係る変更 -

この資料は動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。したがって、その取扱いには充分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

## 目 次

1. 概 要 .....	1
2. 改造に係るしゃへい解析 .....	2
2.1 解析条件 .....	2
2.1.1 線源仕様 .....	2
2.1.2 解析モデル .....	3
2.1.3 解析モデル各領域の個数密度 .....	3
2.2 しゃへい解析の結果と評価 .....	12
3. ま と め .....	18

## 添 付 資 料

- I HZ-75T型輸送物のトラニオン付近のしゃへい解析における  
中性子線量率について
- II トラニオン周辺空隙部への鋼球充填実績の評価
- III トラニオン周辺空隙部への鋼球充填重量の判定基準
- IV 官庁提出資料(案)
  - I 変更申請届
  - II 新旧対照表(別添1)
  - III 技術検討書(別添2)
  - IV 設計承認申請書差換部(別添3)

## 1. 概 要

HZ-75T型使用済燃料輸送容器(3、4号機)の上部トランニオン周辺部のガンマ線線量率が基準を満たしているものの他の部分に比較して高くなる傾向があることが過去の輸送実績から明らかになったので、被ばく低減の観点からこの部分に鋼球を充填することにより改造が行われた。

このためすでに認可されている(S56.2.23付)ATR用設計承認申請書(HZ-75T-ATR型輸送物設計承認申請書)の変更が必要となったのでこれに伴うしゃへい解析および図面の変更等を実施した。

しゃへい解析は、燃料有効部からの線源と燃料集合体構造材の放射化線源を考慮し、上記鋼球充填部を加えたモデルを用いて点減衰核積分法にもとづく3次元計算コード“QAD”により行なった。

解析結果は鋼球充填によりしゃへい効果を増しているトランニオン方向の線量率が他方向の線量率に比較して低い値を得た。この結果、現行解析書は他方向の線量率を記載しているので線量率に関する解析値を変える必要はない。

なお、参考のためにしゃへい改造工事に係るこれまでの資料を添付資料Ⅰ～Ⅲに示し、最後に今回の設計承認申請書の変更届等を官庁提出資料としてまとめ別添資料Ⅳに示した。

## 2. 改造に係るしゃへい解析

HZ-75T型輸送容器(3、4号機)上部トランニオン周辺部のしゃへい構造の改造による今回のしゃへい解析は、以下に示す条件によりガンマ線線量率を求めた。なお中性子しゃへいに関しては、本改造により中性子しゃへい効果が増すので現行解析書の解析値より低くなり解析の必要はない。

(添付資料I参照)

### 2.1 解析条件

今回のしゃへい解析は現行の安全解析書に基き以下に示す条件で行った。

#### 2.1.1 線源仕様

燃料有効部のガンマ線強度は表-1に示すATR燃料集合体の概略仕様と表-2に示す燃焼条件に従いORIGENコードを用いて求めた。計算の結果得られた、燃料有効部の各エネルギー毎のガンマ線強度を表-3に示す。

また、燃料集合体端部構造材の放射化によるガンマ線強度は、構造材中のCo<sup>59</sup>の含有量、放射化断面積、炉内照射熱中性子束より次式を用いて計算した。計算結果を表-4に示す。

$$N = N_0 \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \phi \cdot (1 - e^{-\lambda T_1}) \cdot e^{-\lambda T_2}$$

ここで、N：放射化核種(Co<sup>60</sup>)の線源強度(decay/sec)

N<sub>0</sub>：ターゲット核種(Co<sup>59</sup>)の個数(atoms)

σ：2200m/sの熱中性子によるCo<sup>59</sup>の(n, r)反応断面積；37.2 barn

α：炉内温度(T・K)における反応断面積の補正係数

$$\left( \alpha = \sqrt{\frac{\pi T_0}{4T}}, \quad T_0 = 293 \text{°K} \right)$$

φ：炉内照射熱中性子束(n/sec・cm<sup>2</sup>)

λ：コバルト-60の崩壊定数(3.61×10<sup>-4</sup> day<sup>-1</sup>)

t<sub>1</sub>：照射期間(day)      t<sub>2</sub>：冷却期間(day)

### 2.1.2 解析モデル

図-1に示すHZ-75T型輸送物の組立図にもとづいて解析モデル(図-2参照)を作成した。線源である燃料領域は、燃料バスケットで包囲、分割された複雑な断面形状となっているが、解析モデルではこれを断面積の等しい円柱形状の燃料領域として近似し、燃料棒、水およびバスケット構造物が均一に混合されているとした。また、鋼球充填部も均質化領域として扱った。

本解析の目的は、上部トラニオン付近の線量率の評価が目的であるので、基本的な解析モデルは現行の安全解析に準じ、トラニオン付近及び鋼球充填部のみについてモデルの作成を行った。

トラニオン部は現行解析では同心の円筒で外筒部をモデル化していたが、今回は、トラニオン及びトラニオン取付のための切欠部を新たにモデルに追加し、また鋼球充填部についても、改造時のモックアップテストの解析に準じモデルの詳細化を行った。輸送物頭部のモデル領域及び寸法は図-2の入力図に示すとおりであり、頭部の対応する断面は図-3に示すとおりである。

### 2.1.3 解析モデル各領域の個数密度

ガンマ線しゃへい計算に用いた均質化領域の構成物質体積比を表-5に、各物質の密度を表-6に示す。

ここで均質化された鋼球充填部の密度には、モックアップテストの等価板厚しゃへいテストの結果から得られている鋼球充填状態での等価板厚換算係数である0.4を、鋼球の密度 $7.85 \text{ g/cm}^3$ に乗じた値 $3.14 \text{ g/cm}^3$ を用いた。

なお、鋼球の材質は高炭素クロム軸受鋼(JIS G 4805 SUJ 2)である。

表-1 装荷燃料集合体の概略仕様

	標準燃料
材 質	
燃 料	UO <sub>2</sub> + PuO <sub>2</sub>
被 覆 管	ジルカロイ-2
燃料理論密度(%)	9.5
核分裂性物質質量(%)	2.02
形 状	
全 長(mm)	4388
外 径 (巾)(mm)	114
有 効 長 さ(mm)	3700
燃料棒配列(本)	28本クラスタ
被覆管外径(mm)	164.6
重 量	
集合体全重量(Kg)	222
(UO <sub>2</sub> +PuO <sub>2</sub> )重量(Kg)	174

表-2 収納物の燃焼条件

	標準燃料
燃焼度(最高)(MWD/MT)	20,000以下
比出力(最高)(MW /MT)	25.7以下
冷却期間 (日)	180以上

表-3 燃料有効部のガンマ線源強度

(輸送容器あたり)

エネルギー 群 数	平均 エネルギー (MeV)	エネルギー 範 囲 (MeV)	線 源 強 度	
			A T R 燃 料	
			Photons/sec	MeV/sec
1	0.30	0.1 - 0.4	$1.73 \times 10^{16}$	$5.20 \times 10^{15}$
2	0.63	0.4 - 0.9	$1.00 \times 10^{17}$	$6.31 \times 10^{16}$
3	1.10	0.9 - 1.35	$1.07 \times 10^{16}$	$1.12 \times 10^{16}$
4	1.55	1.35 - 1.8	$8.43 \times 10^{14}$	$1.31 \times 10^{15}$
5	1.99	1.8 - 2.2	$4.96 \times 10^{14}$	$9.88 \times 10^{14}$
6	2.38	2.2 - 2.6	$8.60 \times 10^{13}$	$2.05 \times 10^{14}$
7	2.75	2.6 - 3.0	$6.63 \times 10^{12}$	$1.82 \times 10^{13}$
8	3.20	3.0 - 3.5	$2.09 \times 10^{11}$	$6.69 \times 10^{11}$
9	3.70	3.5 - 4.0	$1.03 \times 10^8$	$3.79 \times 10^8$
合 計		0.1 - 4.0*	$1.29 \times 10^{17}$	$8.20 \times 10^{16}$

注) \*印はすべての組のエネルギー範囲を示す。



表-4 燃料集合体端部構造材の放射化によるガンマ線強度

	上部タイプレート	上部プレナム	下部タイプレート	合計
Co <sup>59</sup> 含有量(g)	72.05	92.55	162.01	326.61
線源強度 (ci)	28.26	36.31	635.5	700.1

ATR燃料 17体

表-5 ガンマ線しゃへい計算に用いた

均質化領域の構成物質体積比

領域 構成物質	上部タイプ プレート部	上部プレナ ム部	燃料領域	下部タイプ プレート部	鋼球 充填部
UO <sub>2</sub> + PuO <sub>2</sub>			0.154		
ジルカロイ		0.061	0.047	0.028	
ステンレス鋼	0.205	0.128	0.091	0.181	
ボラル板	0.008	0.008	0.008	0.008	
天然ウラン ペレット		0.005			
断熱ペレット		0.001		0.001	
水	0.787 (0.0)	0.650 (0.0)	0.679 (0.0)	0.766 (0.0)	
ボイド		0.147	0.021	0.016	0.6
鉄					0.4

表-6 ガンマ線しゃへい計算に用いた構成物質元素密度

(単位:  $g/cm^3$ )

領域 構成 物質元素	上部タイ プレート	上部 プレナム	燃料領域	下部タイ プレート	ステンレス 鋼	鉛	鋼 球 充填部	内筒内水	エチレン グリコール水
水	$8.220 \times 10^{-2}$ (0.0)	$6.789 \times 10^{-2}$ (0.0)	$7.092 \times 10^{-2}$ (0.0)	$8.000 \times 10^{-2}$ (0.0)				$1.044 \times 10^{-1}$	$1.189 \times 10^{-1}$
酸	$6.576 \times 10^{-1}$ (0.0)	$5.595 \times 10^{-1}$ ( $1.642 \times 10^{-2}$ )	$7.565 \times 10^{-1}$ ( $1.892 \times 10^{-1}$ )	$6.503 \times 10^{-1}$ ( $1.026 \times 10^{-2}$ )				$8.356 \times 10^{-1}$	$9.491 \times 10^{-1}$
アルミニウム	$1.626 \times 10^{-2}$	$2.777 \times 10^{-2}$	$1.626 \times 10^{-2}$	$2.777 \times 10^{-2}$					
クロム	$2.962 \times 10^{-1}$	$1.827 \times 10^{-1}$	$1.299 \times 10^{-1}$	$2.584 \times 10^{-1}$	1.427				
鉄	1.203	$7.511 \times 10^{-1}$	$5.340 \times 10^{-1}$	1.062	5.869		3.14		
ニッケル	$1.301 \times 10^{-1}$	$8.120 \times 10^{-2}$	$5.773 \times 10^{-2}$	$1.148 \times 10^{-1}$	0.634				
ジルコニウム		$4.814 \times 10^{-1}$	$3.017 \times 10^{-1}$	$1.797 \times 10^{-1}$		11.3			
鉛									
ウラン		$4.584 \times 10^{-2}$	1.377						

(注) 1. 内筒内水温は  $124^\circ\text{C}$ 、エチレングリコール水温は  $85^\circ\text{C}$  で計算した。

2. ボイドは真空とした。

3. しゃへい体としての Pu、C、B の効果は無視した。

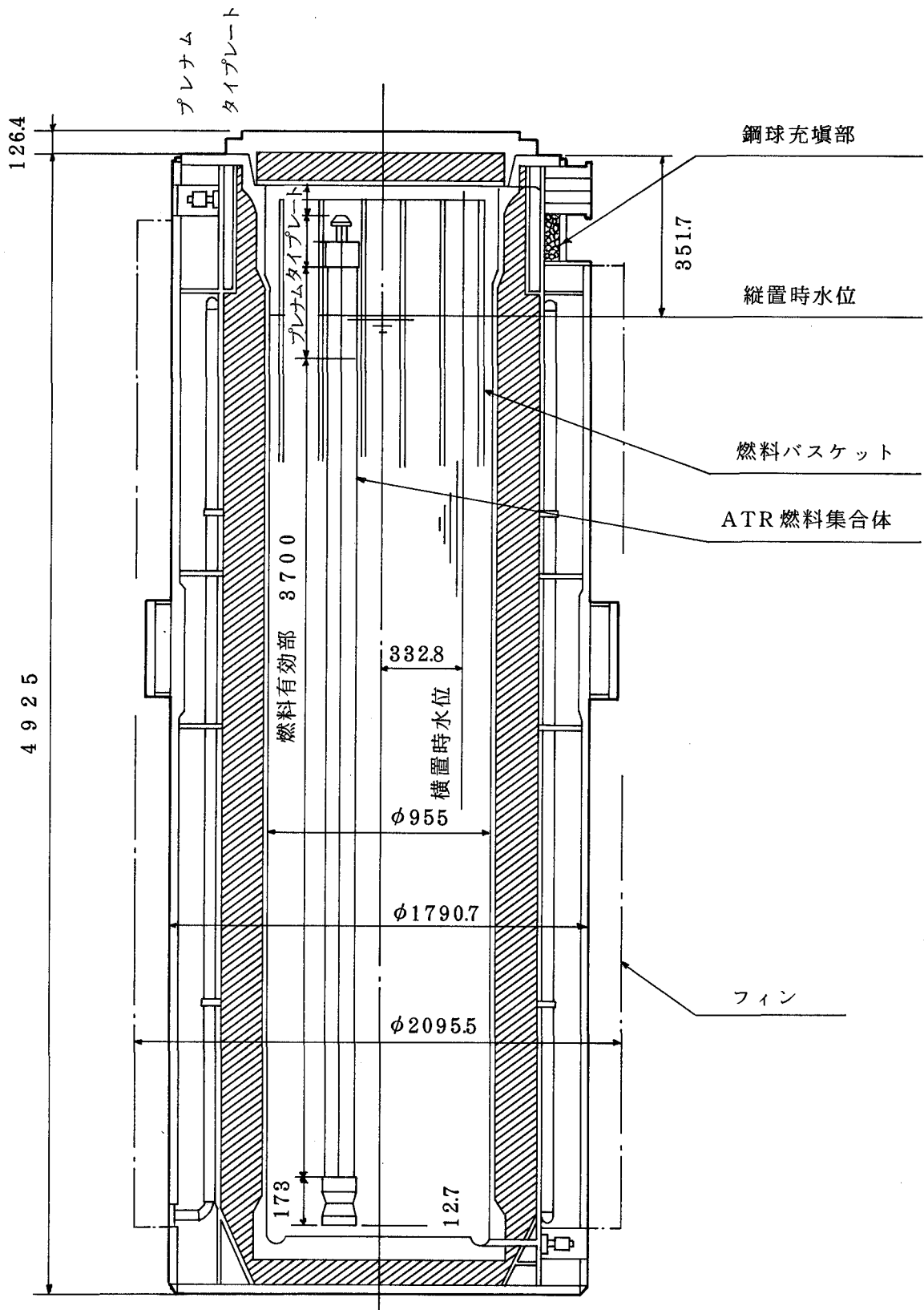


図-1 HZ-75Tキャスク組立図(ATR燃料) (単位:mm)

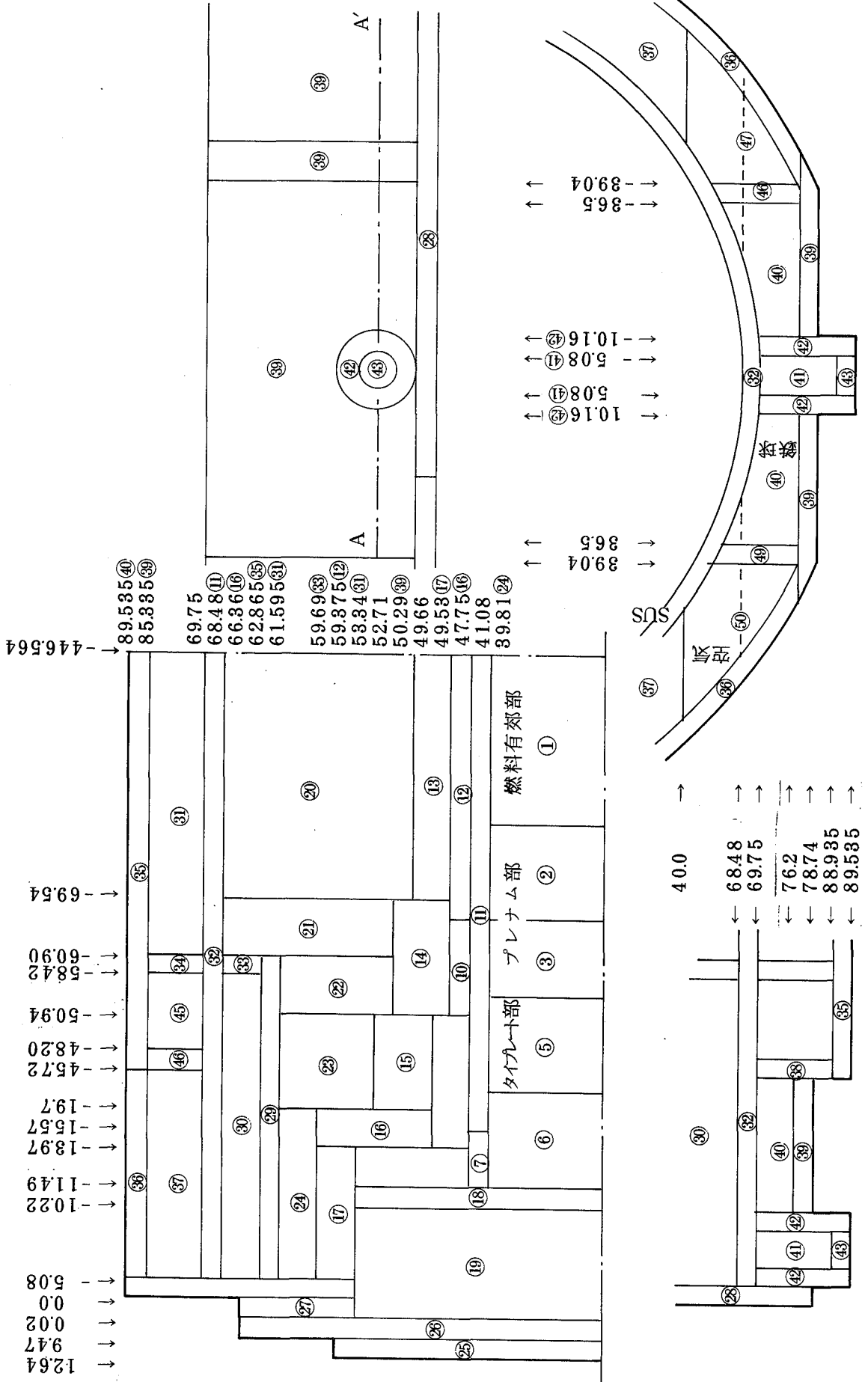


図-2 QAD入力モデル図 (単位=cm)

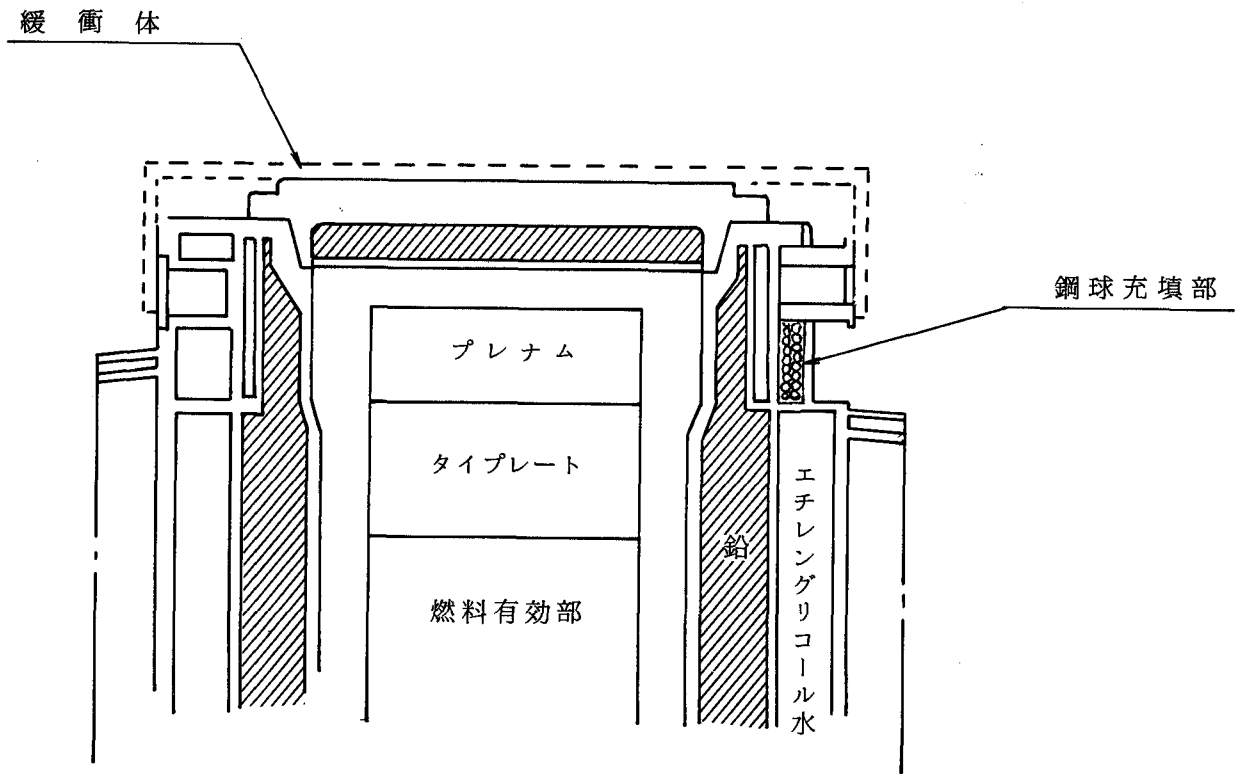


図-3 輸送物頭部断面図

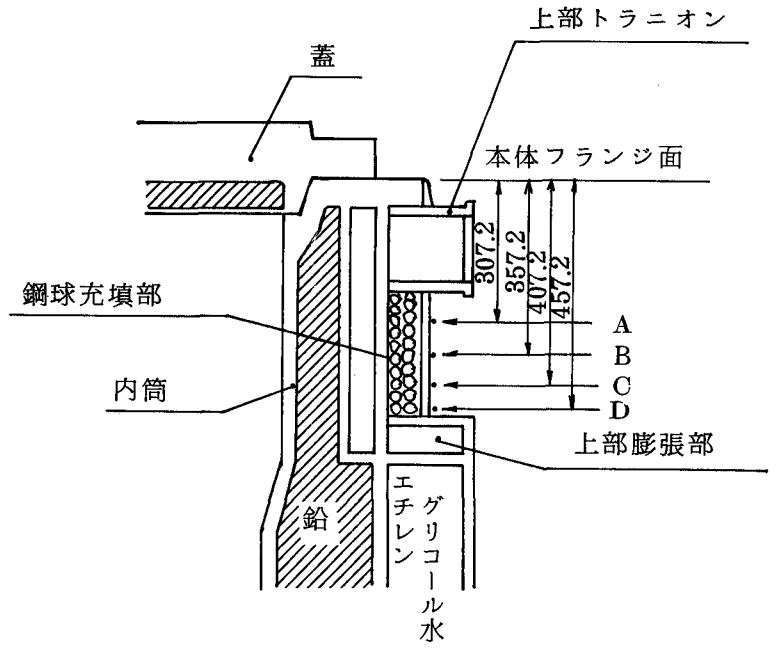
## 2.2 シャヘい解析の結果と評価

2.1 に述べた条件に従って、まず鋼球充填の効果を調べるために、荷姿で鋼球充填のある場合とない場合の線量率を計算した結果を図-4に示す。ここで横軸は上部フランジ上端からの距離を表わしている。この結果、鋼球充填前の $\text{Co}^{60}$ による線量率のピークは、鋼球充填により消えF・Pによる寄与がトランニオン切欠部下端に行くほど大きくなり、線量率のピーク値は約1/2に減衰することがわかる。次にトランニオン付近の周方向の線量率分布を求めた。

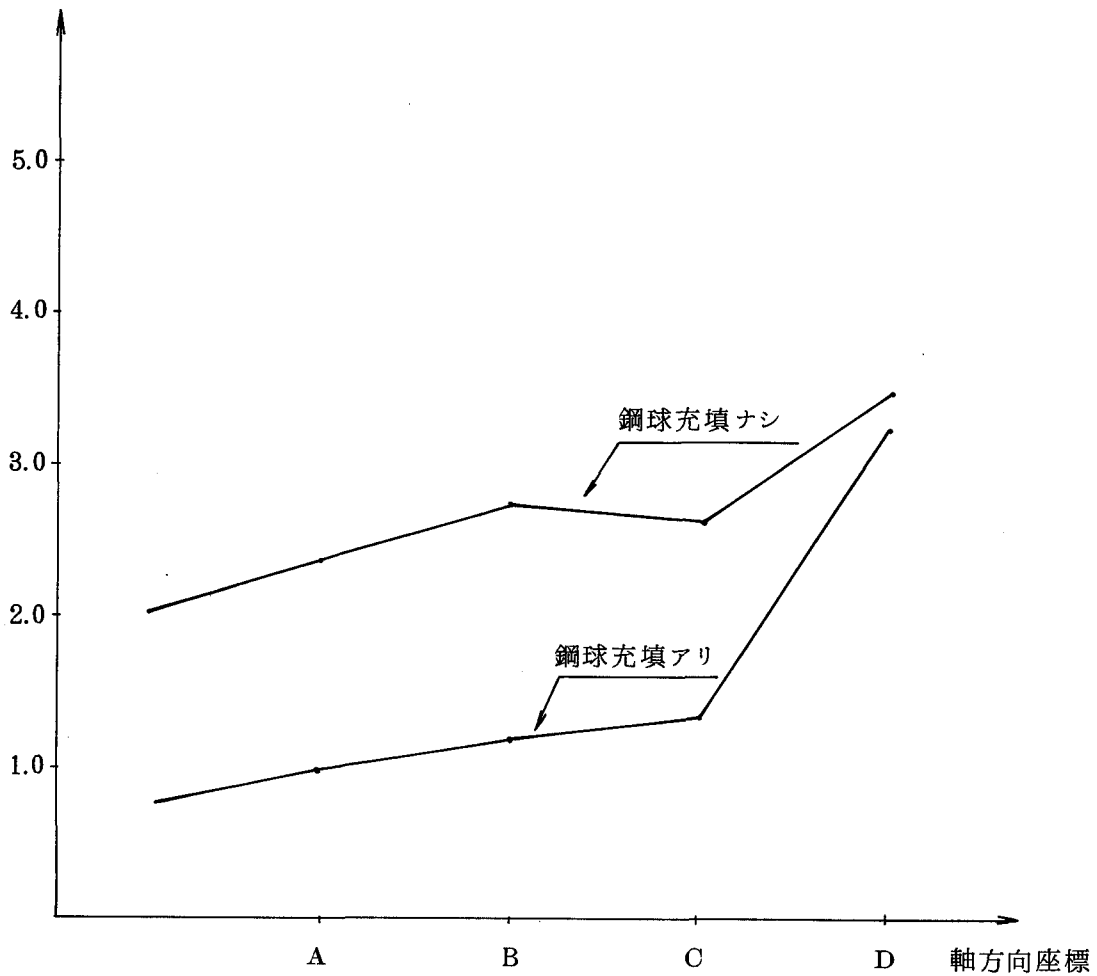
図-5は上部トランニオン部の横断面を拡大したもので各々の角度方向を示している。非トランニオン部である $90^\circ$ 方向について、通常輸送時のトランニオン付近での軸方向ガンマ線線量率分布を求め、その結果を図-6に示す。図-6の結果より上部フランジ面からの距離40cmの点でもっとも線量率は高くなり、その値は3.8 mrem/hrとなる。

図-7、表-8は図-6の結果に従って、外筒半径に等しい仮想面で上部フランジ面からの距離40cmでの線量率の角度分布を求めたものである。鋼球を充填することによりトランニオン周辺 $0^\circ$ 方向の線量率は $90^\circ$ 方向に比べて低く、逆に非トランニオン部の線量率の方が高くなり、3.80 mrem/hrとなった。この値は現行の設計承認申請書に記載されている3.85 mrem/hrにほぼ近い値である。 $0^\circ$ 方向に表れた線量率の小さなピークは、鋼球充填部の下にあるボイド部(上部膨張部)及び鋼球充填部の形状によると考えられる。図-4と図-6を比較すると、鋼球充填後のトランニオン付近最高線量率は、 $90^\circ$ 方向に現れ、その値は3.8 mrem/hrであり、現行解析で最高線量率が評価されたことがわかる。また、 $0^\circ$ 方向の線量率が鋼球充填前においても $90^\circ$ 方向の最高線量率を下廻っている。

以上のようにシャヘい解析の結果、ATR燃料収納時には、シャヘい改造後においてもトランニオン方向の線量率よりも $90^\circ$ 方向の線量率の方が高く、この $90^\circ$ 方向の線量率が現行設計承認申請書に記載されているので解析値そのものの変更は必要ない。



線量率 (mrem/hr)



A~Dは上図に対応する

図-4 上部トラニオン部線量率分布



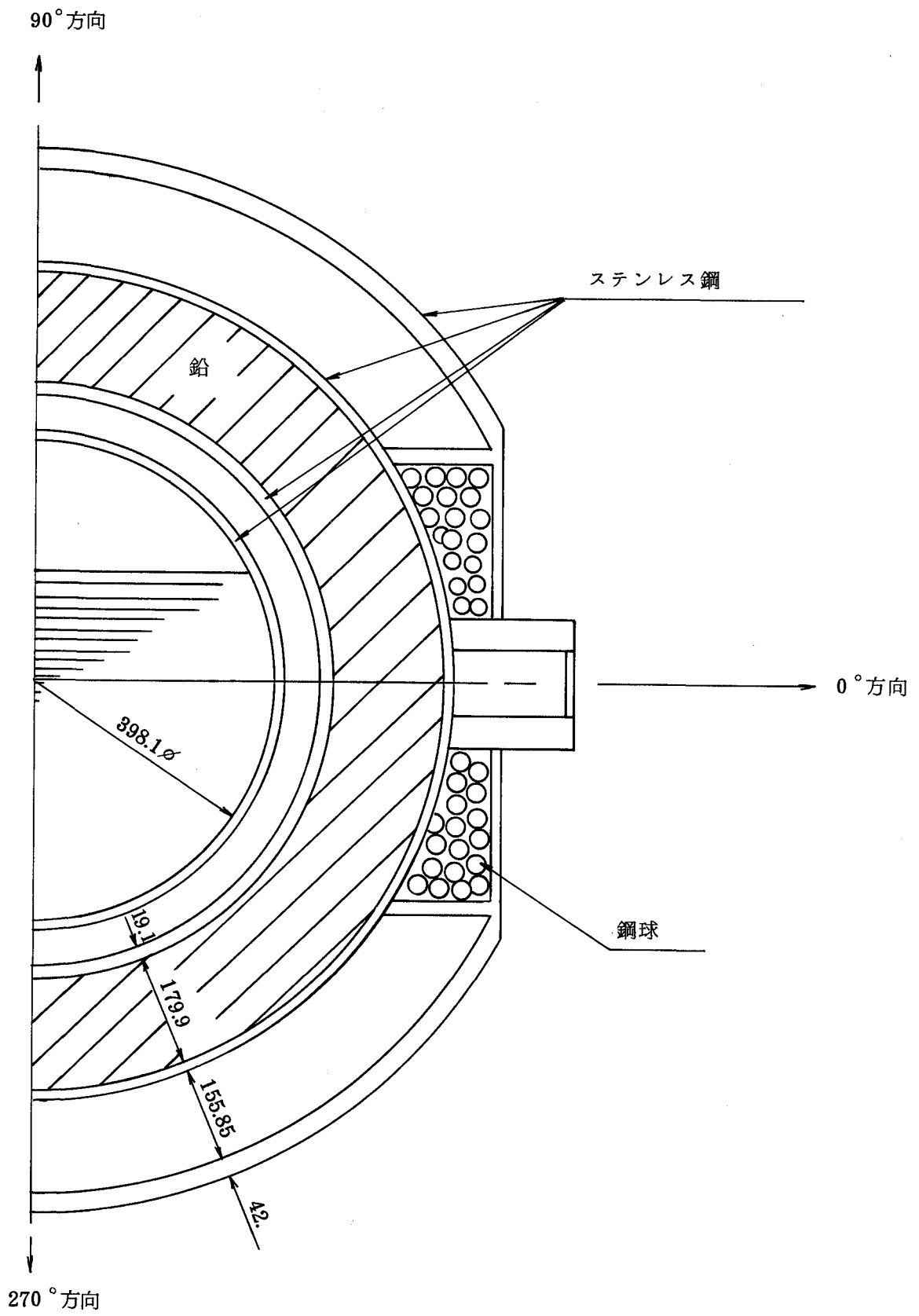
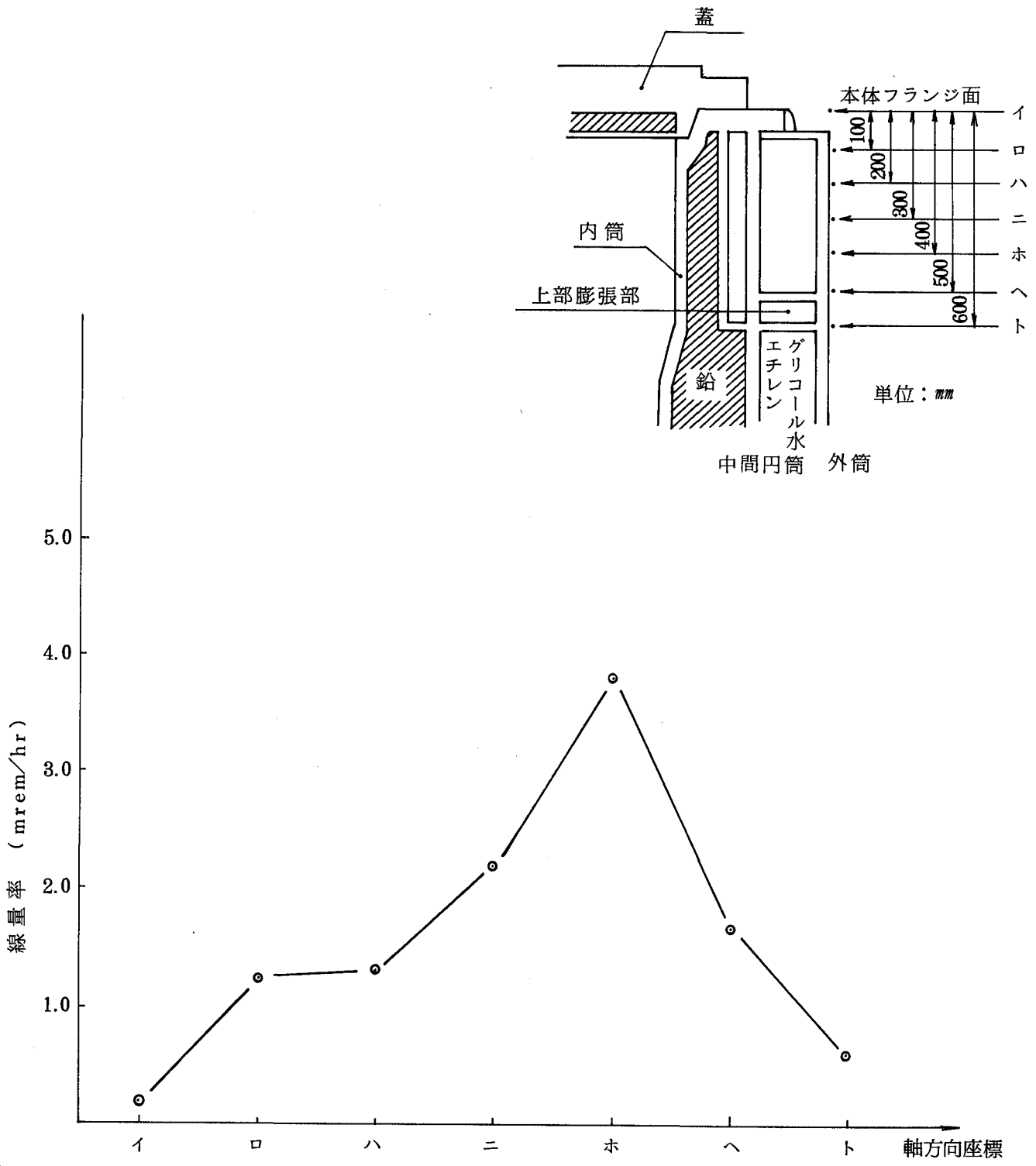


図-5 上部トリオン部横断面図



イ〜トは上図に対応する

図-6 軸方向線量率分布 (90°, 方向)

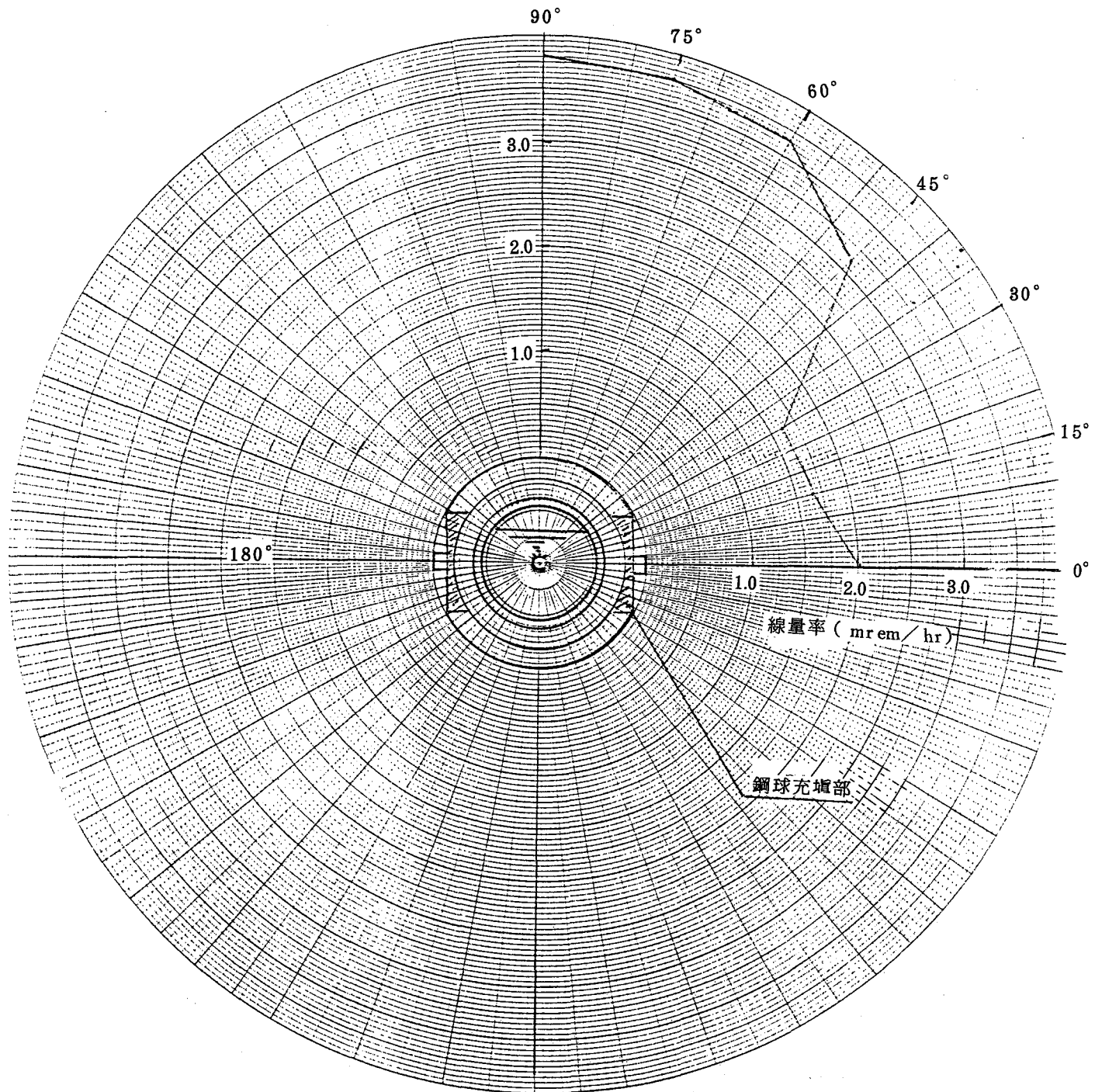


図-7 線量率の角度分布 (上部ワランジ面より40 cm)

表-7 周方向線量率分布 ( 上部フランジ面より 40cm )

位 置	線 量 率 (mrem/hr)
0°	2.06
15°	1.66
30°	1.67
45°	3.12
60°	3.66
75°	3.77
90°	3.80

#### 4. ま と め

今回のしゃへい解析の結果から、上部トラニオン周辺部の線量率分布は、鋼球充填後においてトラニオン部である0°方向、180°方向に相対的に低く90°方向、270°方向の値の方が高くなっている。さらに90°方向の値は現行の設計承認申請書の解析値に一致した値であり、鋼球充填を施した上部トラニオン周辺部の線量率はそれよりも低い値となった。このことは、これまでの実測線量率によっても確認されている。

従って今回のHZ-75T-ATR型輸送物設計承認申請書の上部トラニオン周辺部のしゃへい改造に係る変更届の内容で、しゃへい解析の解析値は変更の必要がなく、今回の解析に用いたモデル図、製作図及びそれらに関する文章の記述に限られ、輸送物の最高線量率の要約は表-8に示すとおりである。

表-8 最高線量率の要約

(単位: mrem/hr)

		輸送物表面			表面より1mの点		
		側部	上部	下部	側部	上部	下部
通常輸送時	ガンマ線	2.5 (3.85) *3.25	2.45	0.80	1.02 (1.20) *0.83	1.00	0.30
	中性子	10.5	5.94	0.34	3.0	4.23	0.20
	合計	13.0 (14.35) *13.75	8.39	1.14	4.02 (4.20) *3.83	5.23	0.50
	基準	200			10		
一般の試験条件下	ガンマ線	5.71 (7.06) *6.16	4.06	8.8			
	中性子	10.5	5.94	22.2			
	合計	16.21 (17.56) *16.66	10.0	31.0			
	基準	200					
特別の試験条件下	ガンマ線				2.32 (2.50) *1.90	1.45	3.45
	中性子				238.4	6.72	15.0
	合計				240.7 (240.9) *240.3	8.17	18.45
	基準				1000		

注) ( )内は非トラニオン方向の値である(現行解析値と一致)。

\*を付けた値は鋼球充填後のトラニオン方向の値である。

## 添 付 資 料

- I HZ-75T型輸送物のトランニオン付近のしゃへい解析における中性子線量率について
- II トランニオン周辺空隙部への鋼球充填実績の評価
- III トランニオン周辺空隙部への鋼球充填重量の判定基準
- IV 科学技術庁提出資料(案)

添付資料 〔I〕

HZ-75T型輸送物のトランニオン付近のしゃへい解析における中性子  
線量率について



## H Z - 7 5 T 遮蔽改造に係る遮蔽解析での中性子線量率の取扱いについて

次頁図-1に示すように、通常輸送時には上部トランニオン周辺部方向に対しては、燃料有効部は殆んど冠水しておりこの部分の中性子線量率が高くなることはないと考えられる。

軸方向に対しては、燃料の燃焼度を考慮すると、図-2に示すように、燃料有効部の端部は中央部に比べて燃焼度が下がっており線源強度も弱くなる。従って側部においては胴部中央部が最も高線量率となり、現行解析書で半径方向に対して胴部中央部での線量率を評価しているのは妥当であると考えられる。

実測においても遮蔽改造工事以前の発送前検査で中性子に関しては上部トランニオン周辺の線量率は検出限界（0.1 mrem/hr）以下で何ら問題となることはなかった。

今回の遮蔽の追加により線量率はさらに減少するので現行SARの中性子に関する解析値を変更する必要はないと考えられる。

上記の理由により、遮蔽改造工事に係る遮蔽解析で中性子に関する新たな解析は行なう必要がないと考えられ、これまでの変更申請時の顧問会においても軽微な変更であるとされ中性子に関して問題とされることはなかった。

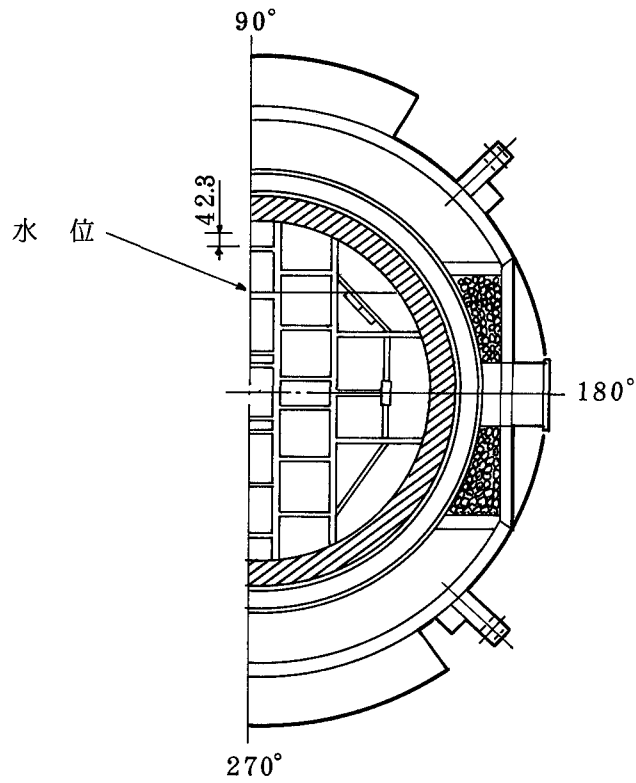


図-1 通常輸送時水位  
(上部トラニオン部)

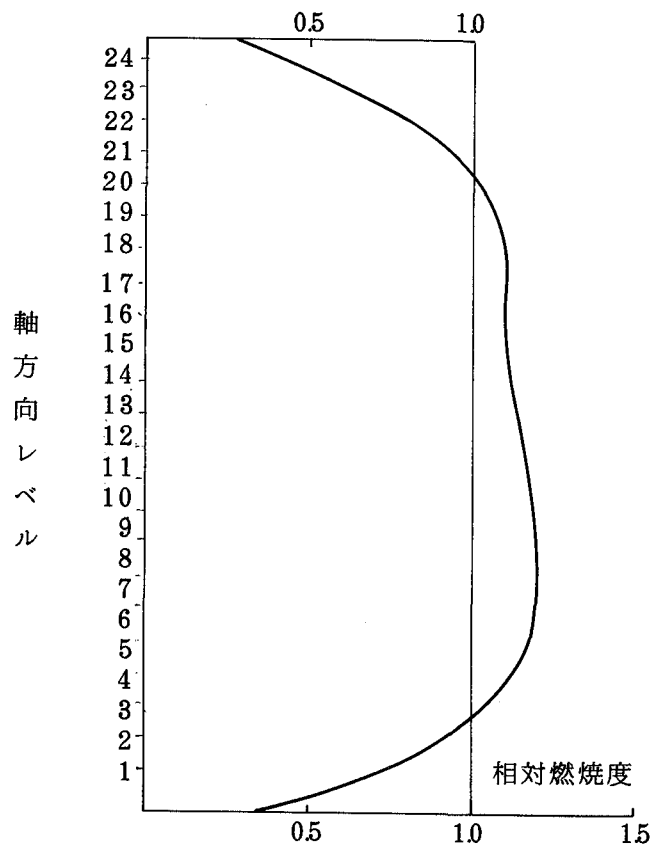


図-2 軸方向燃焼度分布

27

添付資料 〔Ⅱ〕

トラニオン周辺空隙部への鋼球充填実績の評価

トラニオン周辺空隙部への鋼球充填実績の評価

鋼球充填実績重量は鋼球充填部の製缶公差を考慮した範囲内であること、および輸送物設計承認申請書のしゃへい解析条件を満足していることを以下に述べる。

1. 鋼球充填実績と許容充填重量

鋼球充填部の製缶公差を考慮した最大容積と最小容積を公称寸法にもとづく公称容積に対する許容範囲とした。

許容範囲重量は、この容積に鋼球密度  $7.85 \text{ g/cm}^3$  とモックアップテストの充填率  $0.613$  を乗じて求めた。

下表に充填実績と許容充填重量を示す。

		充填実績重量	許容重量 (判定基準)	備 考
3号機 (No.B-95)	0°側充填部	115.0 kg	$125\text{kg} \begin{matrix} + 8\text{kg} \\ - 11\text{kg} \end{matrix}$	輸送物設計重量82トンから製作後の輸送物最大重量81.45トンを差引いた0.55トンも充填重量は下廻っている。
	180° "	117.9 "		
4号機 (No.B-106)	0° "	116.1 "		
	180° "	115.8 "		

上表の許容重量の算出は、別添「鋼球充填重量の許容範囲」に示す。

29

## 2. 充填実績にもとづくしゃへい解析との比較

トラニオン周辺空隙部に鋼球を充填した場合のしゃへい性能は次式で評価することができる。

$$D = B \cdot K \cdot S \cdot \exp(-\mu t)$$

ただし、 $D$  : 線量率 (mrem/h)

$K$  : 線量率変換係数 (mrem/h/photon/s)

$S$  : 線源強度 (photon/s)

$\mu$  : 線吸収係数 ( $cm^{-1}$ )

$t$  : しゃへい厚さ (cm)

ここで、 $\mu = \mu g \times \rho$

$\mu g$  : 質量吸収係数 ( $cm^2/g$ )

$\rho$  : しゃへい体密度 ( $g/cm^3$ )

鋼球充填部については、充填率によりしゃへい体密度  $\rho$  を均質化密度として求め、これを用いて評価する。

設計承認申請書のしゃへい解析においては、

$$\rho = 3.14 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{添付別表参照})$$

$$\mu g = 0.0541 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (\text{鉄の } 1.25 \text{ Mev に対する値})$$

$$\mu = 0.0541 \times 3.14$$

$$= 0.170 \text{ cm}^{-1}$$

$$t = 5.815 \text{ cm}$$

として評価しており、この場合の線量率は次のようになる。

$$D_1 = B \cdot K \cdot S \cdot \exp(-0.170 \times 5.815)$$

$$= 3.72 \times 10^{-1} B \cdot K \cdot S \text{ (mrem/h)}$$

一方、充填実績にもとづく充填部の均質化密度は、添付別表に示すとおりである。しゃへい性能が最も低下すると考えられる場合は、均質化密度及びしゃへい厚さが最小となる場合であり、

$$\rho = 4.18 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu g = 0.0541 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu = 0.0541 \times 4.18$$

$$= 0.226 \text{ cm}^{-1}$$

$$t = 5.637 \text{ cm}$$

である。この場合の線量率は次のようになる。

$$D_2 = B \cdot K \cdot S \cdot \exp(-0.226 \times 5.637)$$

$$= 2.80 \times 10^{-1} B \cdot K \cdot S \text{ (mrem/h)}$$

したがって  $D_1 > D_2$  であり、しゃへい解析は充填実績より安全側の評価となっている。

別表

トラニオン周辺鋼球充填部の均質化密度について

均質化密度について、しゃへい解析値と充填実績値を下表に示す。

記号	項目		充填重量 (解析重量)	充填容積 (解析容積)	充填率 (均質化係数)	充填部の 均質化密度
A	3号機	0°側	115.0 kg	公称 26.0 ℓ 最大 27.5 ℓ 最小 23.7 ℓ	注1 0.533	kg/ℓ 4.18
		180°側	117.9 kg			
B	4号機	0°側	116.1 kg		注2 0.634	kg/ℓ 4.98
		180°側	115.8 kg			
C	モックアップテスト		124.6 kg	25.9 ℓ	0.613	4.81 kg/ℓ
D	設計承認申請書 しゃへい解析		(81.6 kg)	(26.0 ℓ)	(0.4)	3.14 kg/ℓ
判定			充填部の均質化密度は D < A, B, C であり、安全側のしゃへい解析となっている。			

充填部の均質化密度 = 鋼球の密度 × 充填率 (又は均質化係数)  
(7.85 kg/ℓ)

注1 ; 
$$\frac{\text{最小充填重量} / \text{鋼球の密度}}{\text{最大充填容積}} = \frac{115.0 / 7.85}{27.5} = 0.533$$

注2 ; 
$$\frac{\text{最大充填重量} / \text{鋼球の密度}}{\text{最小充填容積}} = \frac{117.9 / 7.85}{23.7} = 0.634$$

32

別添

鋼球充填重量の許容公差

(HZ-75T型キャスク3,4号機上部しゃへい改造)

33



## 鋼球充填重量の許容公差

### 1. 公称寸法による充填重量 $W_n$

充填部空間容積  $V = 26.0 \ell$  (添付 1 参照)

充填率 (モックアップテスト結果)  $\alpha = 0.613$

鋼球密度  $\rho = 7.85 \text{ kg}/\ell$

$$\begin{aligned} W_n &= V \times \alpha \times \rho \\ &= 26.0 \times 0.613 \times 7.85 = 125.1 \text{ kg} \end{aligned}$$

### 2. 最大空間容積充填重量 $W_{max}$

充填部が最大となるのは、外筒が最大、中間円筒が最小で、支持板巾が最大の場合である。なお、板厚公差については  $-0$  として評価する。

充填部空間容積  $V_{max} = 27.5 \ell$  (添付 2 参照)

充填率 (モックアップテスト結果)  $\alpha = 0.613$

鋼球密度  $\rho = 7.85 \text{ kg}/\ell$

$$\begin{aligned} W_{max} &= V_{max} \times \alpha \times \rho \\ &= 27.5 \times 0.613 \times 7.85 = 132.3 \text{ kg} \end{aligned}$$

### 3. 最小空間容積充填重量 $W_{min}$

充填部が最小となるのは、外筒が最小、中間円筒が最大で、支持板間隔が最小の場合である。なお、板厚公差については、外筒が外径基準、中間円筒が内径基準で製作されているため、容積を減少する方向に働くので  $+1 \text{ mm}$  として評価する。(規格では  $1.5 \text{ mm}$  である)

充填部空間容積  $V_{min} = 23.7 \ell$  (添付 3 参照)

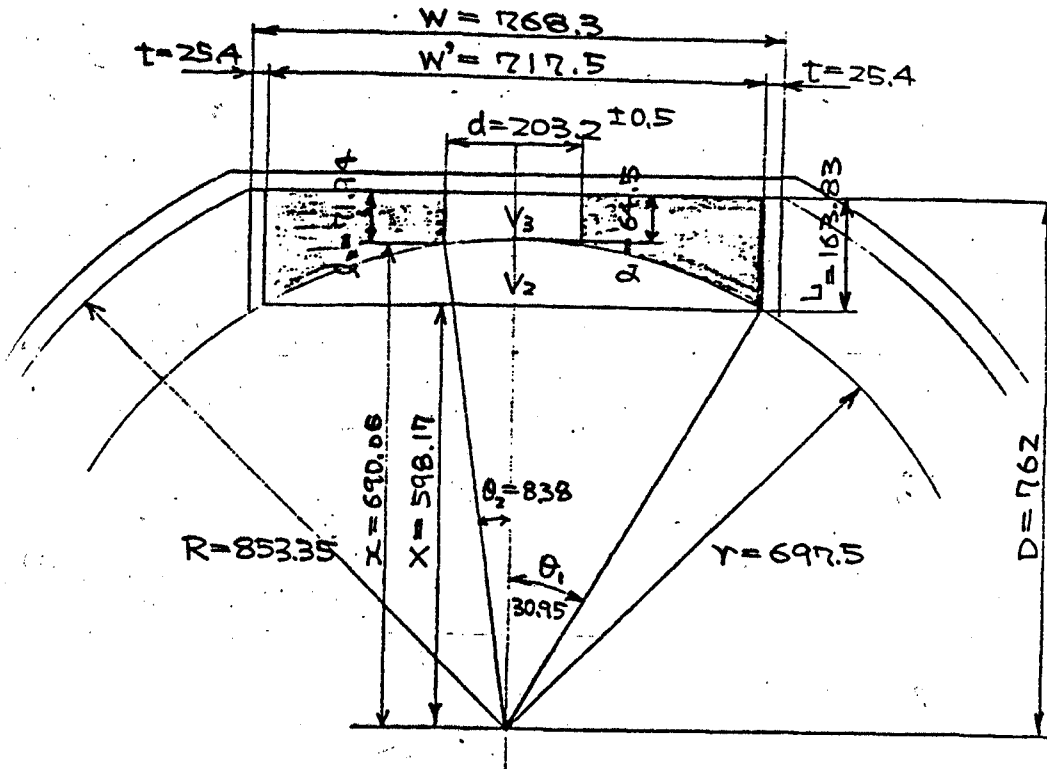
充填率 (モックアップテスト結果)  $\alpha = 0.613$

鋼球密度  $\rho = 7.85$

$$\begin{aligned} W_{min} &= V_{min} \times \alpha \times \rho \\ &= 23.7 \times 0.613 \times 7.85 = 114.0 \text{ kg} \end{aligned}$$

(添付1)

公称寸法	外筒内半径	$R = 853.35 \pm 4.7/2$
	中間円筒外半径	$r = 697.5 \pm 4.7/2$
	支持板巾	$W = 768.3 \pm 4$
	支持板間隔	$D = 762 \pm 4$
	空間高さ	$H = 406.4 \pm 3$



$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{W_1/2}{r} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{717.5/2}{697.5} \right) = 30.95$$

$$X = r \cos \theta_1 = 697.5 \times \cos 30.95 = 598.17$$

$$L = D - X = 762 - 598.17 = 163.83$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{d/2}{r} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{203.2/2}{697.5} \right) = 8.38$$

$$x = r \cos \theta_2 = 697.5 \times \cos 8.38 = 690.06$$

$$l_2 = D - x = 762 - 690.06 = 71.94$$

$$l_1 = D - r = 762 - 697.5 = 64.5$$

公称寸法容積

$$\begin{aligned} \text{容 積} \quad V_1 &= W' \times L \times H \\ &= 717.5 \times 163.83 \times 406.4 \\ &= 47.8 \ell \end{aligned}$$

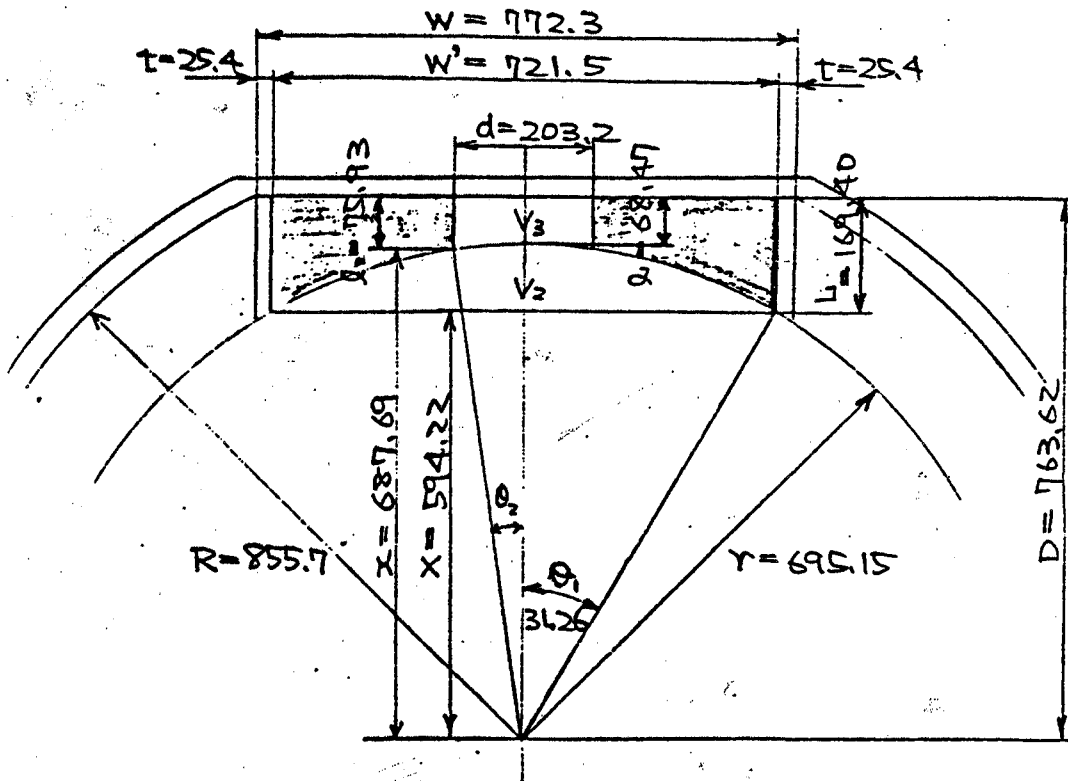
$$\begin{aligned} \text{容 積} \quad V_2 &= \left( \pi r^2 \times \frac{2\theta_1}{360} - \frac{1}{2} W' X \right) H \\ &= \left( \pi \times 697.5^2 \times \frac{2 \times 30.95}{360} - \frac{1}{2} \right. \\ &\quad \left. \times 717.5 \times 598.17 \right) 406.4 \\ &= 19.6 \ell \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{容 積} \quad V_3 &= \frac{\pi}{4} d^2 \times \frac{\ell_1 + \ell_2}{2} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 203.2^2 \times \frac{64.5 \times 71.94}{2} \\ &= 2.2 \ell \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{充填部容積} \quad V &= V_1 - V_2 - V_3 \\ &= 47.8 - 19.6 - 2.2 \\ &= 26.0 \ell \end{aligned}$$

(添付2)

最大容積	外筒内半径	R = 855.7 (最大)
(板厚公差なし)	中間円筒外半径	r = 695.15 (最小)
	支持板巾	W = 772.3 (最大)
	支持板間隔	D = 763.62 (最大、766mm)
	空間高さ	H = 409.4 (最大)



$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{W'/2}{r} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{721.5/2}{695.15} \right) = 31.26$$

$$X = r \cos \theta_1 = 695.15 \times \cos 31.26 = 594.22$$

$$L = D - X = 763.62 - 594.22 = 169.40$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{d/2}{r} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{203.2/2}{695.15} \right) = 8.40$$

$$x = r \cos \theta_2 = 695.15 \times \cos 8.40 = 687.69$$

$$l_2 = D - x = 763.62 - 687.69 = 75.93$$

$$l_1 = D - r = 763.62 - 695.15 = 68.47$$

最大容積

容 積

$$\begin{aligned}V_1 &= W' \times L \times H \\ &= 721.5 \times 169.40 \times 409.4 \\ &= 50.0 \ell\end{aligned}$$

容 積

$$\begin{aligned}V_2 &= \left( \pi r^2 \times \frac{2\theta_1}{360} - \frac{1}{2} W'X \right) H \\ &= \left( \pi \times 695.15^2 \times \frac{2 \times 31.26}{360} - \frac{1}{2} \right. \\ &\quad \left. \times 721.5 \times 594.22 \right) 409.4 \\ &= 20.2 \ell\end{aligned}$$

容 積

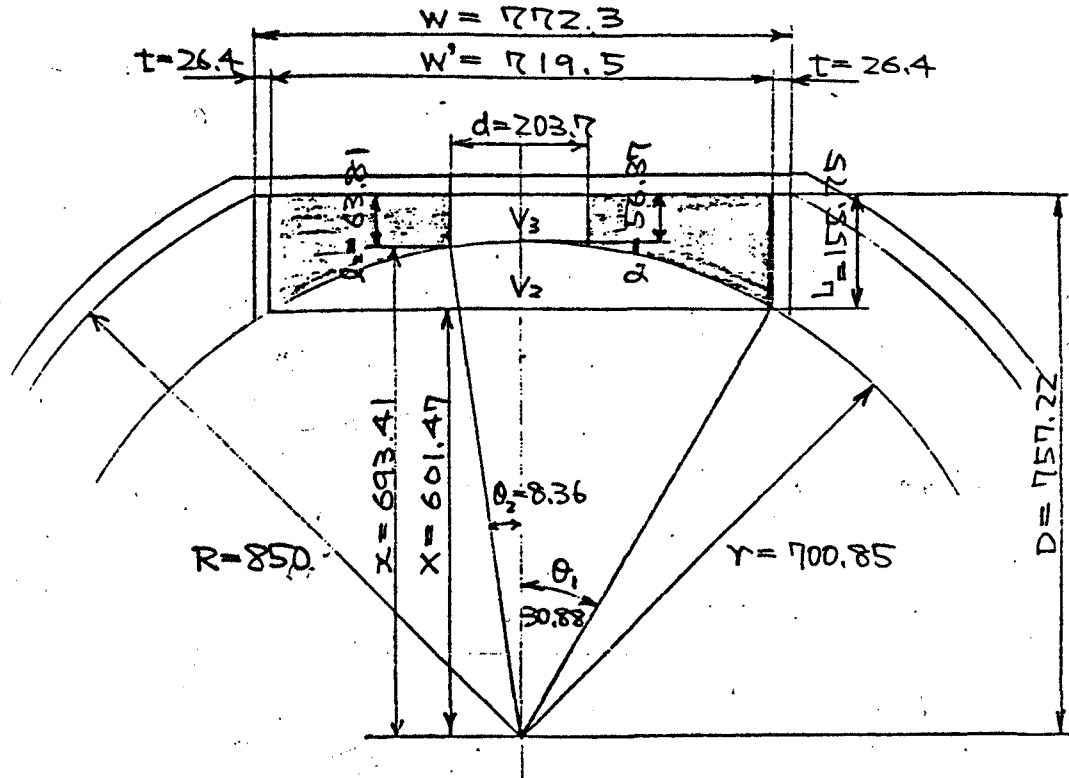
$$\begin{aligned}V_3 &= \frac{\pi}{4} d^2 \times \frac{\ell_1 + \ell_2}{2} \\ &= \frac{\pi}{4} 203.2^2 \times \frac{68.47 + 75.93}{2} \\ &= 2.3 \ell\end{aligned}$$

充填部容積

$$\begin{aligned}V &= V_1 - V_2 - V_3 \\ &= 50.0 - 20.2 - 2.3 \\ &= 27.5 \ell\end{aligned}$$

(添付 3)

最小容積	外筒内半径	R = 850	(最小)
(板厚公差を含む)	中間円筒外半径	r = 700.85	(最大)
	支持板巾	W = 772.3	(最大)
	支持板間隔	D = 757.22	(最小、757mm)
	空間高さ	H = 403.4	(最小)



$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{W'/2}{r} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{719.5/2}{700.85} \right) = 30.88$$

$$X = r \cos \theta_1 = 700.85 \times \cos 30.88 = 601.47$$

$$L = D - X = 757.22 - 601.47 = 155.75$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{d/2}{r} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{203.7/2}{700.85} \right) = 8.36$$

$$x = r \cos \theta_2 = 700.85 \times \cos 8.36 = 693.41$$

$$l_2 = D - x = 757.22 - 693.41 = 63.81$$

$$l_1 = D - r = 757.22 - 700.85 = 56.37$$

最小容積

容 積

$$\begin{aligned}V_1 &= W' \times L \times H \\ &= 719.5 \times 155.75 \times 403.4 \\ &= 45.2 \ell\end{aligned}$$

容 積

$$\begin{aligned}V_2 &= \left( \pi r^2 \times \frac{2\theta_1}{360} - \frac{1}{2} W' X \right) H \\ &= \left( \pi \times 700.85^2 \times \frac{2 \times 30.88}{360} - \frac{1}{2} \right. \\ &\quad \left. \times 719.5 \times 601.49 \right) \times 403.4 \\ &= 19.5 \ell\end{aligned}$$

容 積

$$\begin{aligned}V_3 &= \frac{\pi}{4} d^2 \times \frac{\ell_1 + \ell_2}{2} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 203.7^2 \times \frac{56.37 + 63.81}{2} \\ &= 2.0 \ell\end{aligned}$$

充填部容積

$$\begin{aligned}V &= V_1 - V_2 - V_3 \\ &= 45.2 - 19.5 - 2.0 \\ &= 23.7 \ell\end{aligned}$$

添付資料 〔Ⅲ〕

トラニオン周辺空隙部への鋼球充填重量の判定基準

カ



(参考資料)

トラニオン周辺空隙部への鋼球充填重量の判定基準

鋼球充填重量の判定基準は、鋼球充填部の製缶公差を考慮した最大容積と最小容積を公称寸法にもとづく公称容積に対する許容範囲として設定し、この容積にモックアップテストの充填率 0.613 と鋼球密度  $7.85 \text{ g/cm}^3$  を乗じて求めた。その結果は、次のとおりである。

$$125 \text{ kg} \quad \begin{array}{l} + 8 \text{ kg} \\ - 11 \text{ kg} \end{array}$$

本判定基準の算出は、別添「鋼球充填重量の許容範囲」に示す。

本判定基準を算出した際の鋼球充填部最小厚さは  $56.37 \text{ mm}$  であり、この値はしゃへい解析で用いている最小厚さ  $58.15 \text{ mm}$  を下廻っている。このしゃへい厚さの差違がしゃへい性能に及ぼす影響は、

$$1 - \exp\left(-\frac{58.15 - 56.37}{56.37}\right) = 0.03$$

であり、しゃへい解析の結果に影響を与えるものではない。

従って、トラニオン周辺空隙部への鋼球充填重量の判定基準は、次のとおりとする。

判定基準	$125 \text{ kg}$	$\begin{array}{l} + 8 \text{ kg} \\ - 11 \text{ kg} \end{array}$
------	------------------	--

(注1) しゃへい解析で用いたしゃへい厚さ  $58.15 \text{ mm}$  は中間円筒の外径が最大となる公差とし、また、外筒の内径が最小となる公差から求めている。

(注2) 充填部のしゃへい厚さ  $56.37 \text{ mm}$  は、トラニオン支持板の公差を考慮し、充填部が最小容積となる場合のものである。

27

添付資料 〔Ⅳ〕

科学技術庁提出資料（案）

43

申請書変更届

44

発第 号  
昭和57年 月 日

科学技術庁原子力安全局

核燃料規制課長

奥 井 幸 信 殿

核燃料輸送物設計承認申請書の記載内容の変更について

昭和56年2月23日付 安(核規)第 号をもって、設計承認を受けた、核燃料輸送物〔設計承認番号J/81/BMF〕について、その設計承認申請書の記載内容を下記のとおり変更したく、お届けいたします。

## 記

### 1. 変更の内容

輸送容器本体上部トランニオン周辺の空隙部に鋼球を充填した構造とし、これに合わせてHZ-75T型輸送物のしゃへい性能に関し、燃料集合体構造材の放射化による影響を考慮に入れ再評価を行った。従来のしゃへい構造と改造後のしゃへい構造の比較は、別添1「HZ-75T型輸送物新旧対照表」に示すとおりである。

### 2. 変更の理由

使用済燃料輸送作業における被ばく低減のため、上部トランニオン周辺の空隙部に鋼球を充填し、しゃへい能力の増加を行なう。

変更に伴う技術検討結果は別添2「HZ-75T型輸送物変更に伴う技術検討結果」に示すとおりであり、変更後の輸送物の安全性について確認を行っている。

### 3. その他

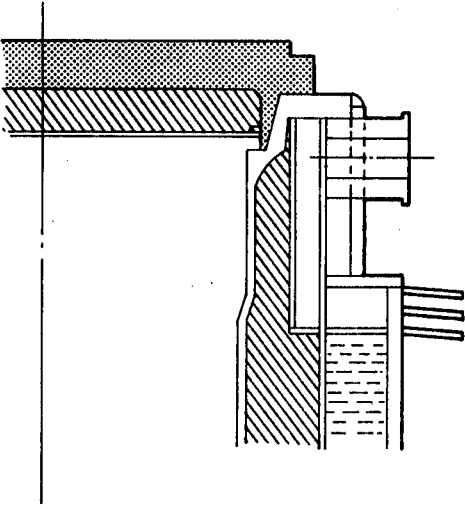
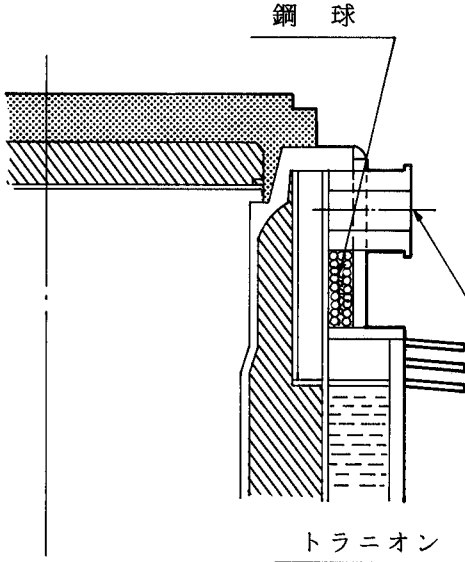
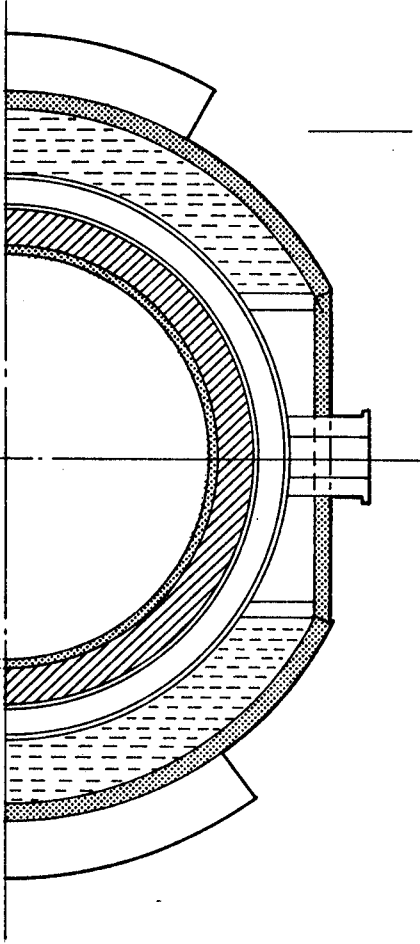
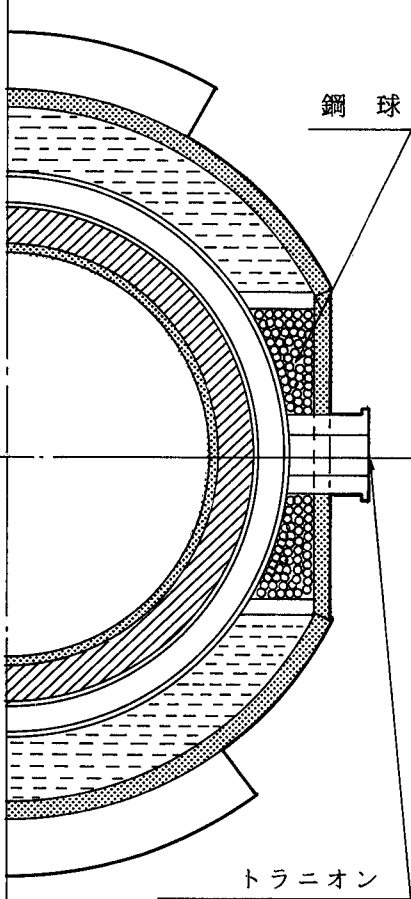
核燃料輸送物設計承認申請書の変更該当ページ一覧表と差し換え分を別添3に示す。

別添 1

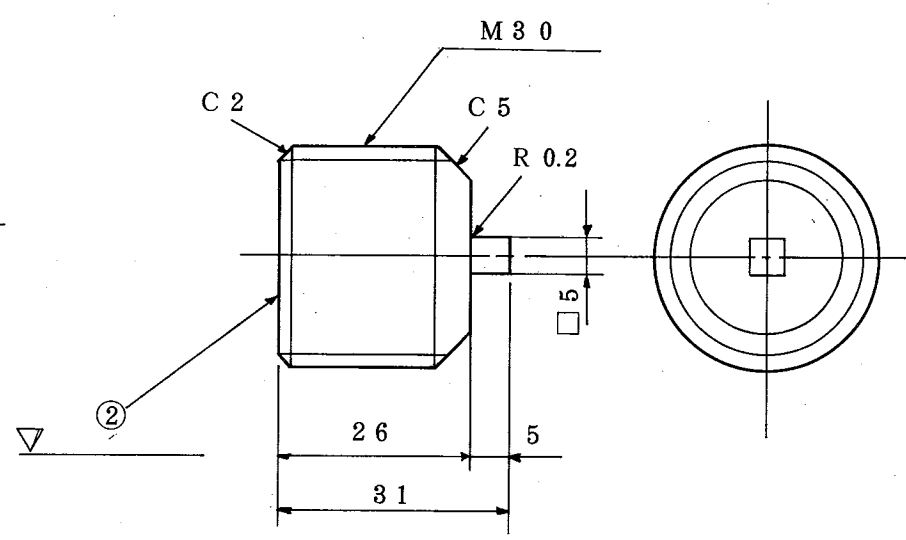
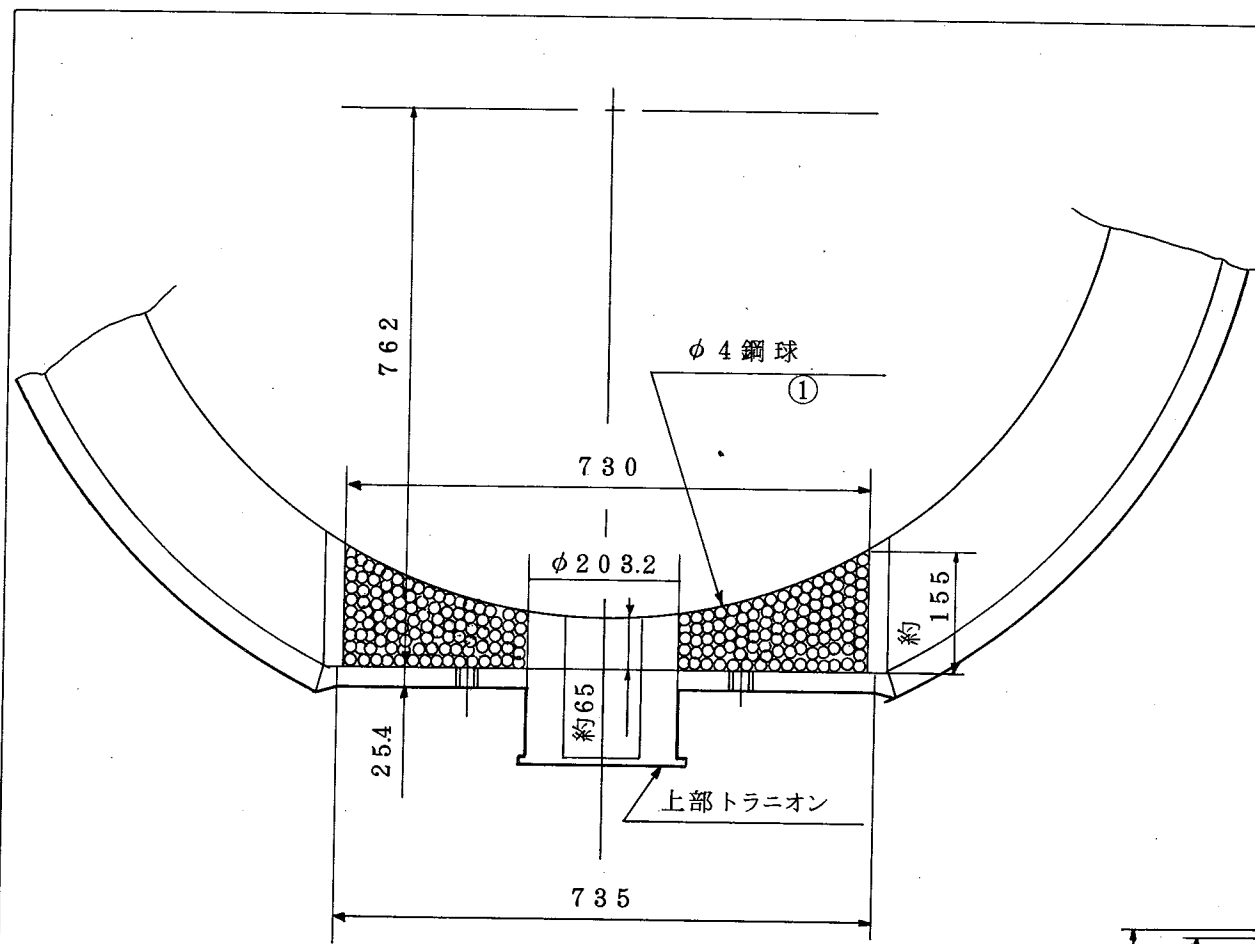
HZ-75T型輸送物 新旧对照表

47

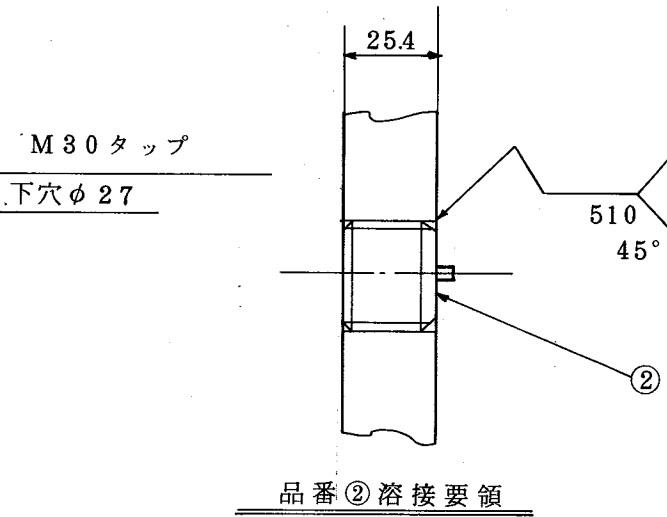
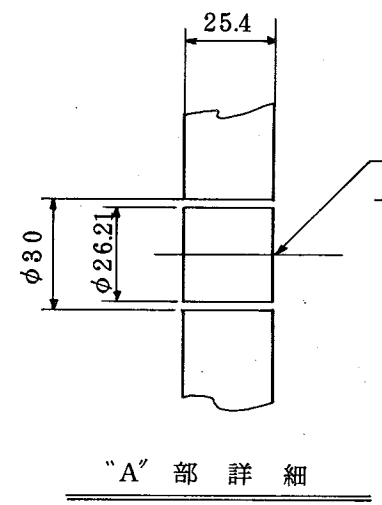
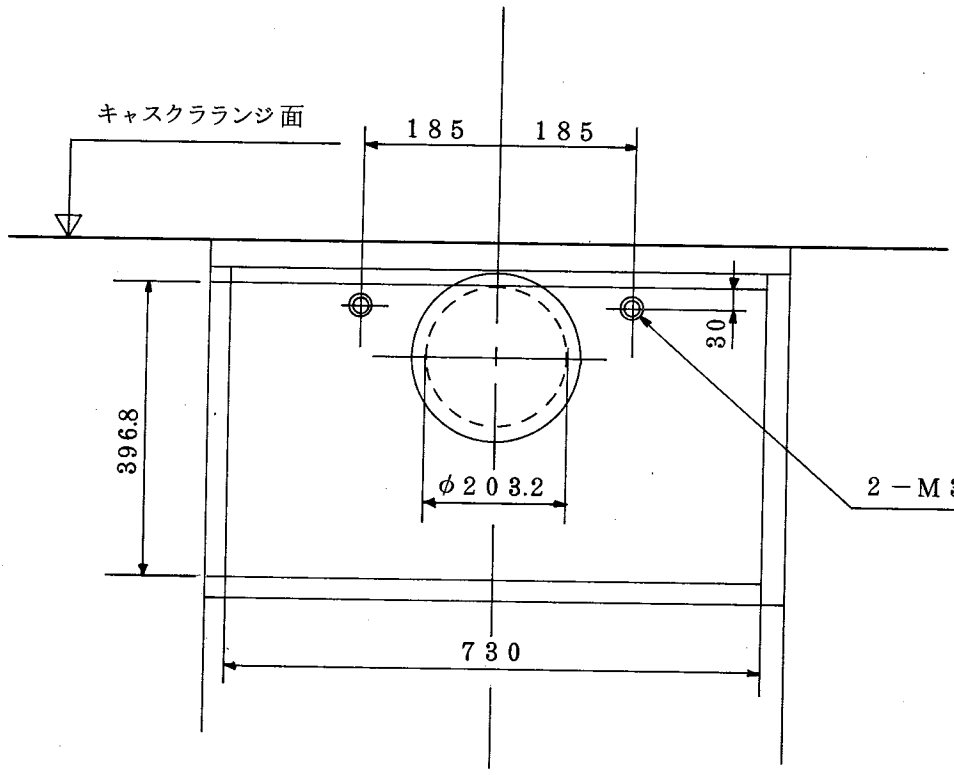
H Z - 7 5 T 型輸送物 新旧対照表

項 目	変 更 前	変 更 後
1. 本体上部シャ へい構造の変 更		 <p>鋼球</p> <p>トラニオン</p>
		 <p>鋼球</p> <p>トラニオン</p>

87



図面来歴			
使用番号	製造数	使用年月	注文主その他



製造数 4 A + 2 B 作業

125kg

1	2	②	プラグ	M30×26	SUS304	—	—
250	125	(1)	鋼球	φ4 (34ニッケルメッキ)	SUJ2	125	5YM-2688
B	A	部品番号	名称	呼び方 (寸法)	材料	単重量 kg	摘要
基本個数							
製造番号				コード番号			

HZ-75トンキャスク  
3 & 4号機  
上部遮蔽改造詳細図  
1/10 1/2 1/1  
(尺度)



別添 2

HZ-75T型輸送物変更に伴う技術検討結果

50

## 別添 2. HZ-75T 型輸送物変更に伴う技術検討結果

当しゃへい構造の変更に伴う HZ-75T 型輸送物設計承認申請書の「輸送物の安全設計」の検討結果について以下に述べる。

### (1) 構造解析

鋼球充填による輸送容器重量の増加は最大 0.25 トンである。鋼球充填前の輸送容器製作後の輸送物最大総重量は 79.08 トンであり、これを加算しても輸送物総重量は設計総重量の 80 トンをこえることはない。

また、鋼球充填部は非耐圧部であり、鋼球充填による容器内圧の変更はなく耐圧強度におよぼす影響はない。

従って、構造解析の変更はない。

なお、鋼球充填のための注入口穴あけおよびプラグ溶接施工による容器の強度の低下はなく、構造解析の変更はない。（添付資料-1 参照）

### (2) 熱解析

本体上部トラニオン周辺部は温度分布解析上放熱部として無視している部分であり、その空隙部に鋼球を充填しても解析上考慮している放熱体であるフィンおよび冷却管には変更がないので温度分布解析に変更はない。

また、鋼球充填部は内筒内部およびエチレングリコール水溶液部とは独立した非耐圧部であり、容器内圧の変更はない。

従って熱解析の変更はない。

### (3) 密封解析

本体上部トラニオン周辺空隙部は密封境界ではない。また、この部分に鋼球を充填しても構造解析および熱解析の項で説明したとおり、内筒内の温度、圧力の変更はない。

従って、密封解析の変更はない。

#### (4) シャへの解析

本体上部トランニオン周辺空隙部に鋼球を充填した場合、本体上部のトランニオン方向のシャへの厚さは増加し、この部分の容器外部線量率は低減するものの、非トランニオン方向の最高線量率は変わらない。(添付資料-2参照) この結果に基き最高線量率の要約は修正せず、変更後のトランニオン付近のシャへの解析モデルを追記しそれに伴う文章および図表を修正する。

#### (5) 臨界解析

本体上部トランニオン周辺空隙部は燃料有効部の上部に位置しており、臨界解析においては安全側に水層と仮定している部分である。この部分に鋼球を充填しても、この仮定を変更する必要はなく臨界解析モデルを変更する必要はない。

従って、臨界解析の変更はない。

#### ま と め

以上のように、輸送容器上部トランニオン周辺空隙部に鋼球を充填するシャへの改良にともなう安全解析の変更は、シャへの解析のみであり変更後においても基準を満足している。

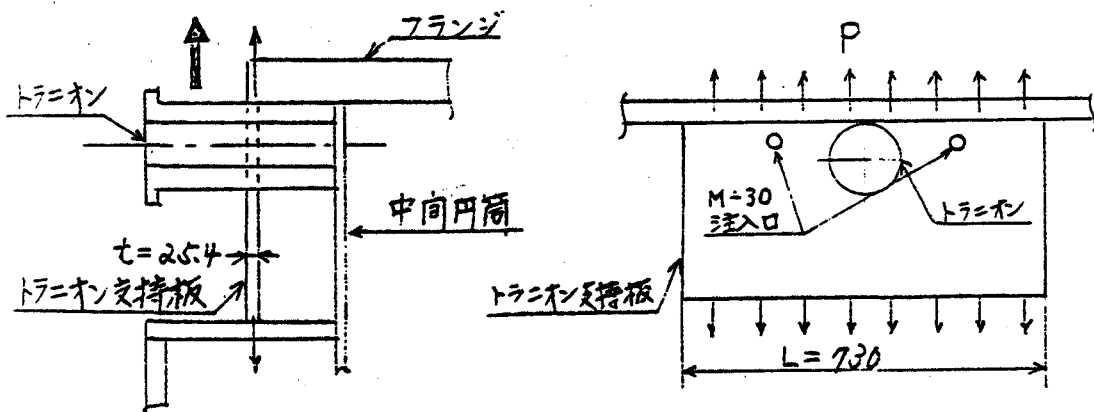
その他の解析については変更はない。

改良工事施工が容器の機械強度に及ぼす影響

1. トラニオン支持板の穴あけが吊り上げ強度に及ぼす影響

容器吊り上げ時の耐荷重部材としては、下図のフランジ、中間円筒及びトラニオン支持板がある。ここでは安全側の仮定として、上部トラニオン1個が受け持つ荷重のすべてがトラニオン支持板に引張荷重として作用するものとする。

トラニオン支持板計算モデル



トラニオン支持板に加わる荷重 P

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

$$= \frac{3}{2} \times 80,000 \text{ kg} = 120,000 \text{ kg}$$

ここで、W ; 作用荷重 ( 容器重量 77,100 kg ÷ 80,000 kg )

トラニオン支持板に生じる平均応力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{1.2 \times 10^5}{730 \times 25.4} = 6.5 \text{ kg/mm}^2$$

ここで、A ; トラニオン支持板断面積

鋼球注入口の円孔のまわりの応力集中係数は、機械工学便覧 (P 4-10) より 3 であり (注1) これを考慮した最高応力  $\sigma_{\max}$  ( $kg/mm^2$ ) は

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 3\sigma \\ &= 3 \times 6.5 = 19.5 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

トラニオン支持板 (304 ステンレス鋼) の降伏応力は  $\sigma_y = 20.4 \text{ kg/mm}^2$  (103°C のとき) であり、余裕率 MS は

$$\begin{aligned}MS &= \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} - 1 \\ &= \frac{20.4}{19.5} - 1 = 0.05\end{aligned}$$

したがって、トラニオン支持板は穴あけを行った場合においても十分な強度を有するものである。

また、繰り返し応力強さ  $S_{alt}$  ( $kg/mm^2$ ) は

$$\begin{aligned}S_{alt} &= \frac{1}{2} \sigma_{\max} \\ &= \frac{1}{2} \times 19.5 = 9.8 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

オーステナイト系ステンレス鋼の疲労曲線より (注2) 許容繰り返し数  $N$  は

$$N > 10^6 \text{ サイクル}$$

トラニオン使用による繰り返し荷重のサイクル数  $N_0$  は

$$\begin{aligned}N_0 &= 20 \text{ サイクル/輸送} \times 20 \text{ 輸送/年} \times 30 \text{ 年} \\ &= 1.2 \times 10^4 \text{ サイクル} < N\end{aligned}$$

したがって、トラニオン支持板の穴あけは、疲労強度上問題にならず、吊り上げ強度を低下させることはない。

## 2. 充填後の注入口プラグ溶接が及ぼす影響

注入口プラグ溶接は、設計承認申請書記載の溶接施工法にもとづき施工するため、熱影響による部材の劣化はなく、溶接部も母材と同等の強度を確保できる。したがって、容器の機械的強度を低下させることはない。

である。境界条件が応力のみで与えられている単連結領域の平面応力問題と平面ひずみ問題は共通の方程式系 E に帰着し、弾性体内の応力分布 ( $\sigma_x$  を除く) は両者に共通で、しかも弾性係数に関係しない。多連結領域の問題では、方程式系 E だけでは弾性体内の応力分布を決定することはできず、D, B を用いて変位まで決定し、変位の多価性<sup>(2)</sup> (食違い)を除いておかなければならない。ただし多連結領域の問題でも、穴へりに働く外力が個々の穴でつりあっている場合は、弾性体内の応力分布 ( $\sigma_x$  を除く) が、平面応力問題、平面ひずみ問題に共通で、かつ弾性係数に関係しないことが知られている<sup>(2)</sup>。

ある平面応力問題に対する解が求められている場合、対応する平面ひずみ問題の解は、第4表に示されているように、C ( $\sigma_x, \sigma_y, w$ ) を除いて、弾性係数を含む方程式系は D だけであるから、平面応力問題に対する解の弾性係数を E, G,  $\nu \rightarrow E/(1-\nu^2), G, \nu/(1-\nu)$  と書きかえることによって得られる。同様に平面ひずみ問題の解は、

$$E, G, \nu \rightarrow \frac{1+2\nu}{(1+\nu)^2} E, G, \frac{\nu}{1+\nu}$$

の書きかえによって平面応力問題の解に移る。

## 2.2 応力集中

両側に切欠きのある帯板をその軸の方向に引張ると、みぞ底 AB を結ぶ断面に、第13図のように応力が分布し、みぞの底 A および B において、主応力  $\sigma_1$  が特に大きくなる。このように応力が局部的に大きくなることを応力集中という。機械の部分に切欠きや穴などがあると、そこに必ず応力集中を生じている。応力集中は光弾性実験、ひずみの測定その他の実験的方法、あるいは弾性計算によって評価することができる。ただし、切欠きみぞ底における曲率半径の絶対寸法が著しく小さくなると、ここでは、材料を等方体とみなすことができなくなるから、計算結果の適用には注意が必要である。

弾性限度内における局部的な最大応力  $\sigma_{max}$  と、切欠きみぞの最小断面積で引張力を割って得られる平均応力  $\sigma_a$ <sup>(3)</sup> の比を形状係数または応力集中係数といい、 $\alpha$  で表わす。ある切欠きをもつ板の形状係数と、軸線をもつ断面の形がそれと同一の切欠き九棒の形状係数を比較すると、前者のほうが大である。また、切欠きの形を同一とすれば、引張りに比べて曲げの形状係数のほうが小さく、ねじりのそれは最も小さい。

**2.2.1 円孔および球かのまわりの応力集中** 直径  $2a$  の円孔を持つ無限板に穴から十分離れたところで一様な引張力  $\sigma$  が一方に作用する場合、穴の中心を通り引張力の方向に直交な断面上の垂直応力  $\sigma_x$  と、穴に沿う円周方向の垂直応力  $\sigma_\theta$  は、それぞれ次式のようになる。

(2) S. Timoshenko & Goodier, *Theory of Elasticity*, (1951), 120, McGraw-Hill.  
 (3) 曲げの場合は  $\sigma_a = (\text{曲げモーメント})/(\text{断面係数})$ 、棒のねじりの場合は  $\sigma_a = \tau_{max}/r_n$ ,  $r_n = (\text{ねじりモーメント})/(\text{断面係数})$ 。

$$\sigma_x = \frac{1}{2}(2 + a^2/r^2 + 3a^4/r^4)\sigma,$$

$$\sigma_\theta = (1 - 2 \cos 2\theta)\sigma.$$

ここで  $\sigma$ : 平均引張応力,  $r$ : 穴の中心からの距離,  $\theta$ : 穴の中心を原点とし、引張力の方向から反時計まわりに測った角度。第14図の実線はこの応力分布を示す。最大応力 ( $3\sigma$ ) は A 点に生じ、形状係数は3である<sup>(4)</sup>。

円孔を持つ無限板が2軸応力をうける場合(第15図)、円周上の  $\sigma_\theta$  は

$$\sigma_\theta = [(1+k) - 2(1-k) \cos 2\theta]\sigma$$

となる。最大と最小の応力 (A 点および B 点に生じる) は、 $-1 \leq k \leq 1$  として

$$[\sigma_\theta]_A = 3 - k, \quad [\sigma_\theta]_B = -1 + 3k$$

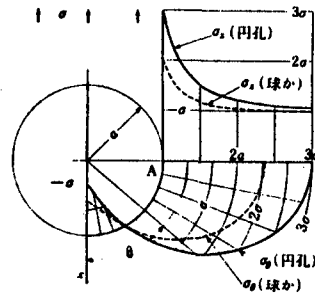
穴の形が  $(x^2/a^2) + (y^2/b^2) = 1$  で与えられる円孔を持つ無限板が、 $y$  軸に平行に一様な引張りをうける場合、 $x$  軸と円孔との交点における形状係数は

$$\alpha = 1 + 2a/b = 1 + 2\sqrt{a/\rho}$$

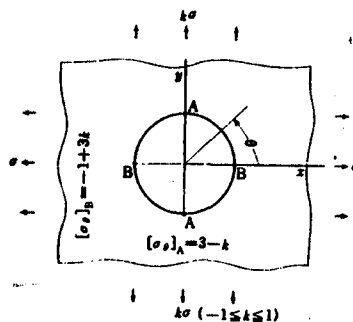
ただし  $\rho = b^2/a$  は  $x$  軸と穴の交点における曲率半径。

直径  $2a$  の球かを持つ無限体 (三次元) に一様な引張力  $\sigma$  が球かの南極と北極とを結ぶ方向に作用する場合、最大引張応力は球かの赤道に生じ、形状係数は

$$\alpha = \frac{3(9-5\nu)}{2(7-5\nu)} = 2.04 (\nu=0.3 \text{ のとき})$$



第14図 円孔、球かのまわりの応力集中

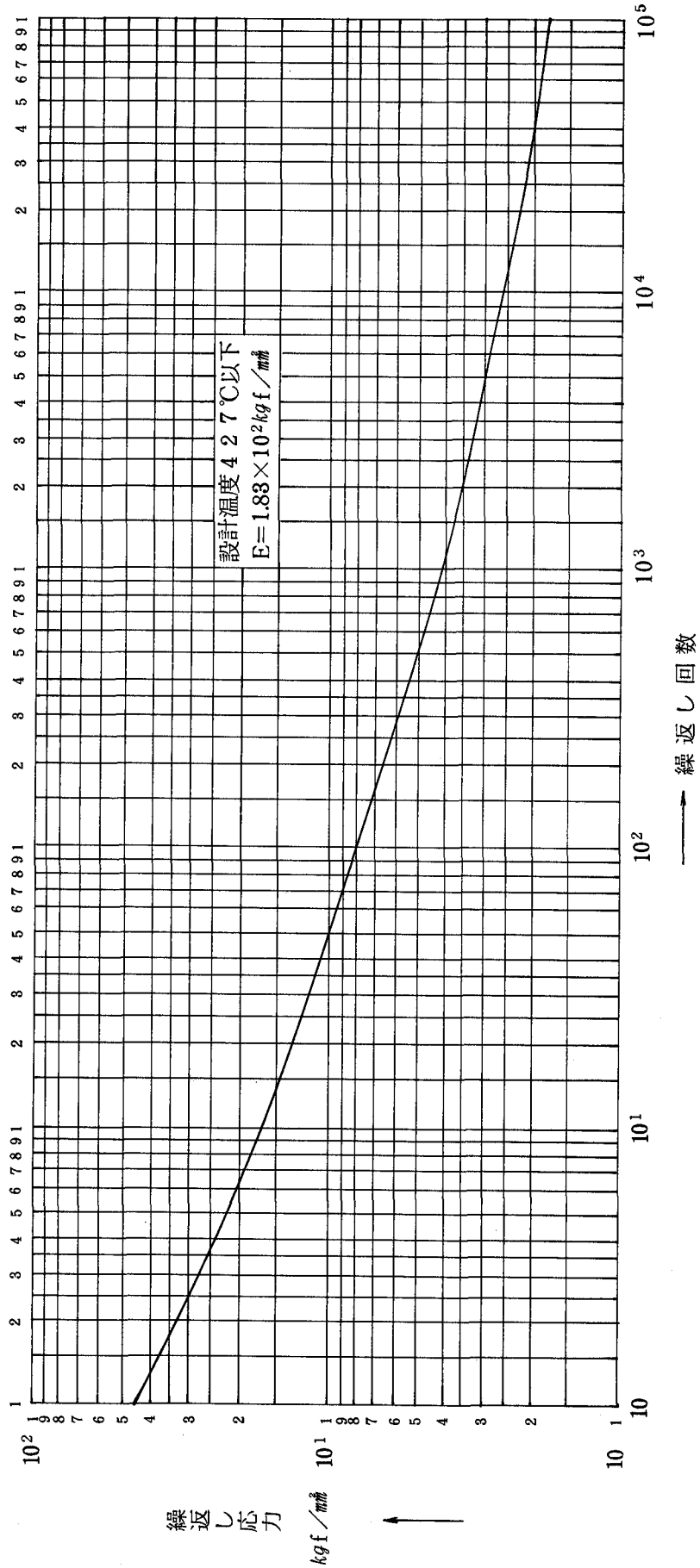


第15図 円孔のまわりの応力集中

(4) 形状係数に及ぼす板厚の影響はあまり大きくない。たとえば (円孔の直径)/(板厚) = 0.954 + 1.  $\nu=0.3$  のとき、板の中央面および表面における形状係数はそれぞれ 3.13, 2.63 である。中根一郎・小泉 隆、機械学会論文集, 25-151 (昭 34-3), 181。

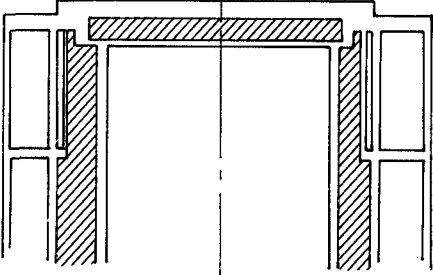
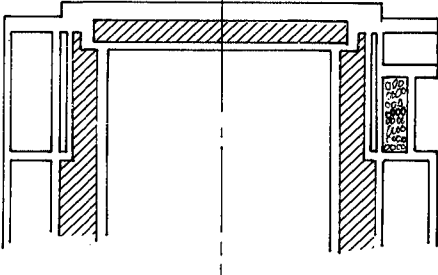
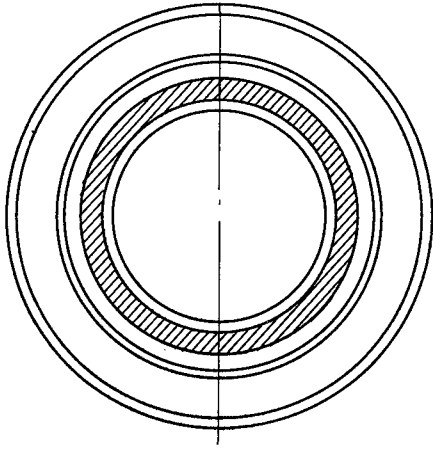
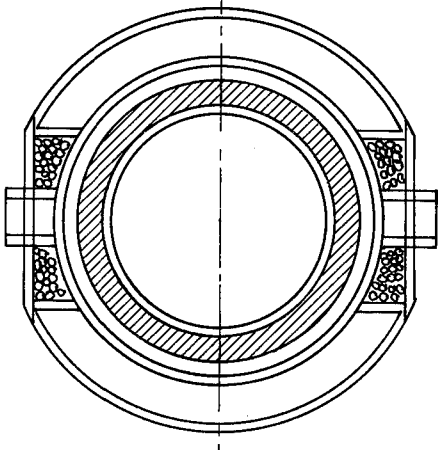
(注2) オーステナイト系ステンレス鋼の疲労曲線

(b) オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケルクロム鉄合金



出典 : J I S B 8 2 4 3 - 1 9 8 1 「圧力容器の構造」

添付資料-2

項目		変更前						変更後					
		輸送物表面			表面から1mの点			輸送物表面			表面から1mの点		
		側部	上部	下部	側部	上部	下部	側部	上部	下部	側部	上部	下部
しゃへい解析 の変更 (1)輸送物 頭部解析 モデル													
													
		二次元円柱モデル						三次元モデル					
(2)最高線量率 の要約													
通常輸送時	ガンマ線	2.5 (3.85)	2.45	0.80	1.02 (1.20)	1.00	0.80	2.5 (3.85) *3.85	2.45	0.80	1.02 (1.20) *0.80	1.00	0.80
	中性子	10.5	5.94	0.34	3.0	4.23	0.20	10.5	5.94	0.34	3.0	4.23	0.20
	合計	13.0 (14.35)	8.39	1.14	4.02 (4.20)	5.23	0.50	13.0 (14.35) *13.85	8.39	1.14	4.02 (4.20) *3.80	5.23	0.50
一般の試験条件	ガンマ線	5.71 (7.06)	4.06	8.8				5.71 (7.06) *6.16	4.06	8.8			
	中性子	10.5	5.94	22.2				10.5	5.94	22.2			
	合計	16.21 (17.56)	10.0	31.0				16.21 (17.56) *16.66	10.0	31.0			
特別の試験条件	ガンマ線				2.32 (2.50)	1.45	3.45				2.32 (2.50) *1.80	1.45	3.45
	中性子				238.4	6.72	15.0				238.4	6.72	15.0
	合計				240.7 (240.9)	8.17	18.45				240.7 (240.9) *240.8	8.17	18.45

( )内は上部トランニオン周辺の値である。

( )内は、側部上端周辺の値であり

\* は上部トランニオン部の鋼球充填後の値である。(注1)



(注1) 最高線量率の要約

変更前のモデルは二次元円柱モデルであり、特にトラニオン部を模擬していないため、周方向の線量率分布は一定であった。今回モデルにトラニオン部を追加し三次元モデルとして解析を行ったところ鋼球充填部方向の線量率は低下したが、非トラニオン方向に対してはモデルの記述が二次元円柱モデルと同じであるために、線量率は変更前の最高線量率と同じであった。従って輸送物側部上端周辺の最高線量率は変わらない。

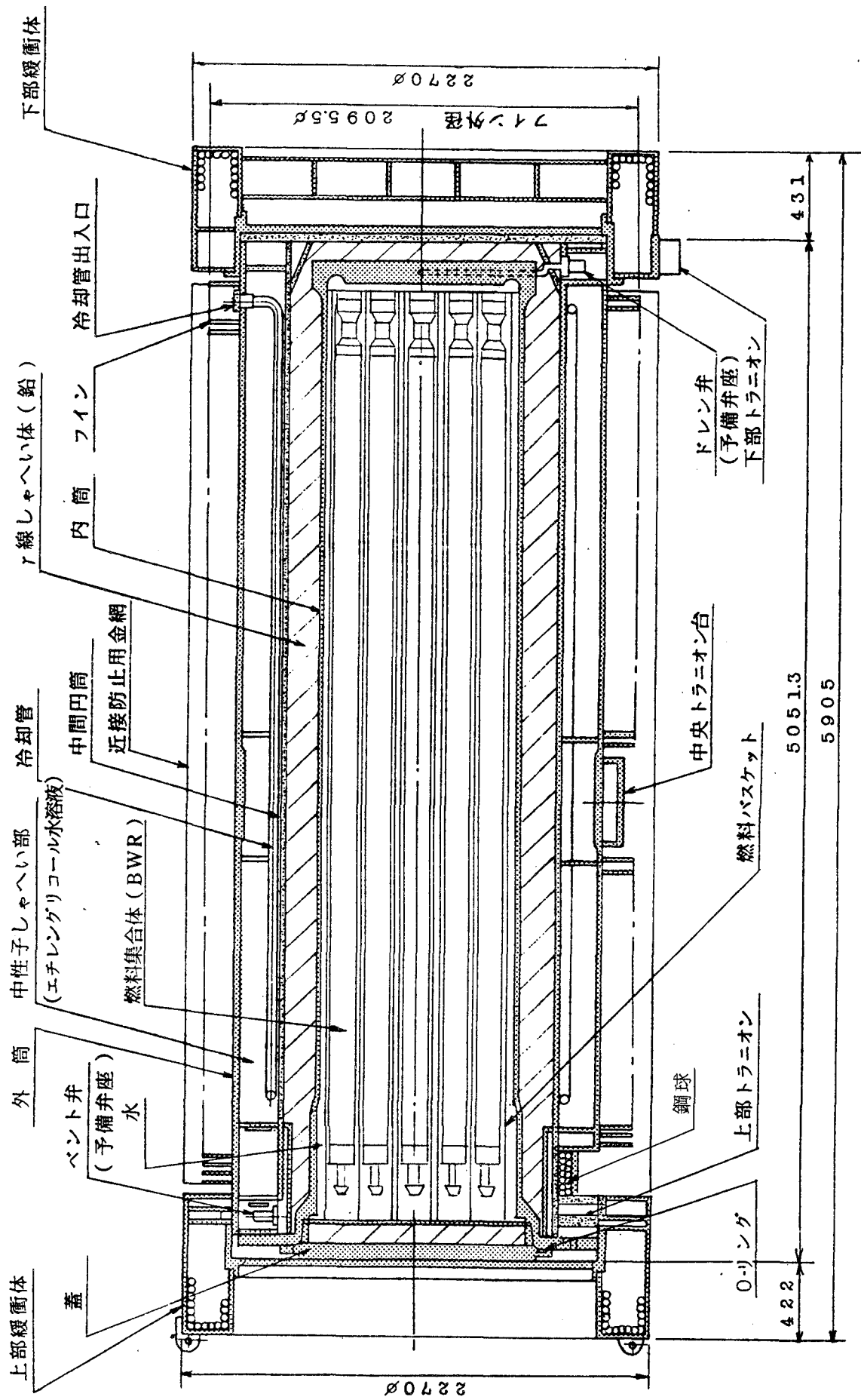
別添 3

HZ-75T型輸送物設計承認申請書差し換え分

59

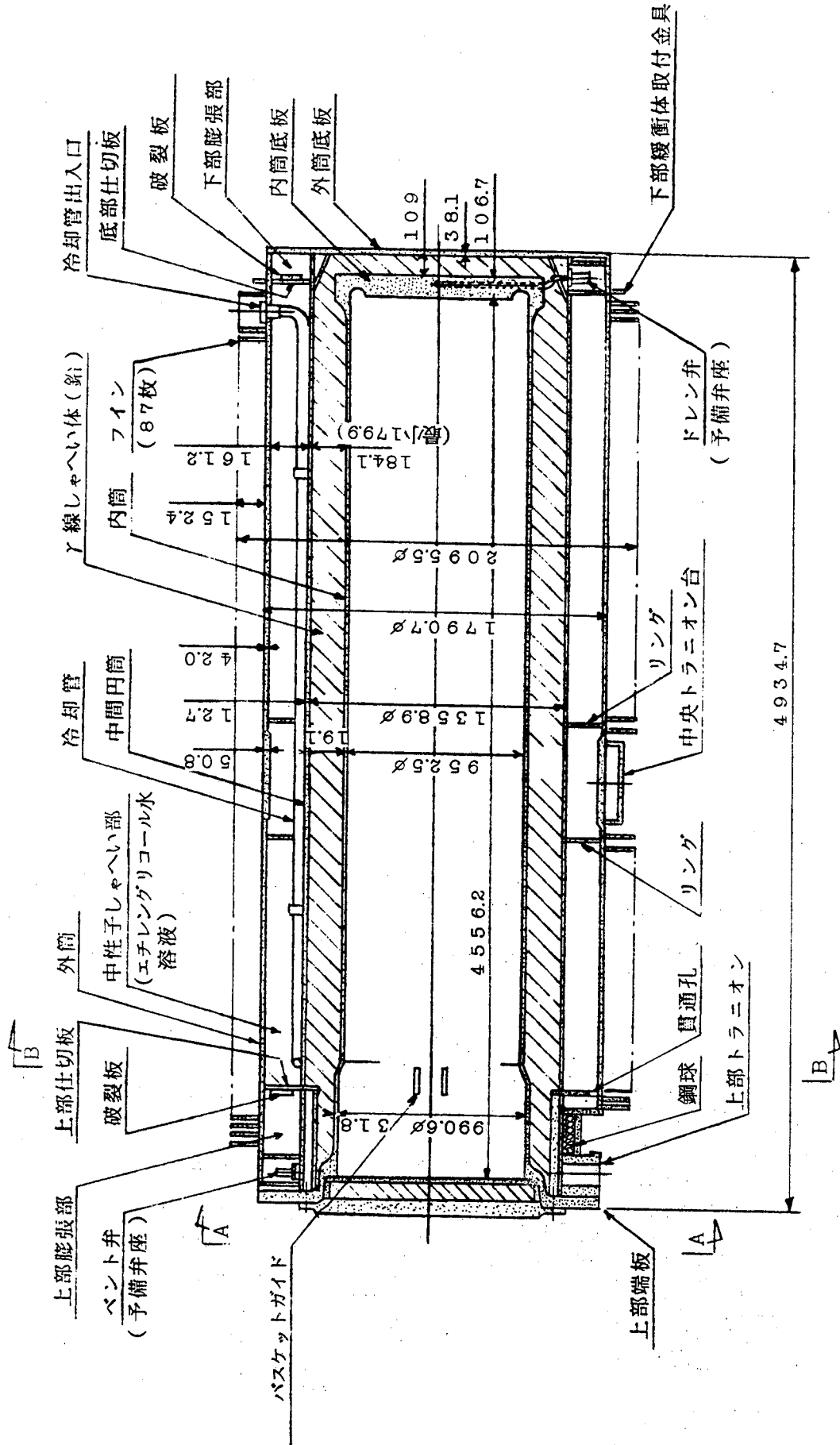
変更内容	詳細説明	輸送物設計承認申請書		
		記載項目	変更箇所	
本体上部しゃへい構造の変更	使用済燃料輸送作業における被ばく低減の観点から本体上部トラニオン周辺のしゃへい効果を増すため、本体上部トラニオン周辺の空隙部に鋼球を充填する。	イ章 輸送物の説明	イ-23, イ-30 イ-31	
		ロ章 輸送物の安全設計	A 構造解析	変更なし
			B 熱解析	変更なし
			C 密封解析	変更なし
			D しゃへい解析	ロ-D-1~ロ-D-26
			E 臨界解析	変更なし
			F 府令及び告示に対する適合性の評価	変更なし
		ハ章 輸送容器の製作	ハ-A-42, ハ-A-48	
		ニ章 輸送物の取扱い方法及び保守条件	変更なし	
		ホ章 安全輸送・安全設計に関する特記事項	変更なし	

09

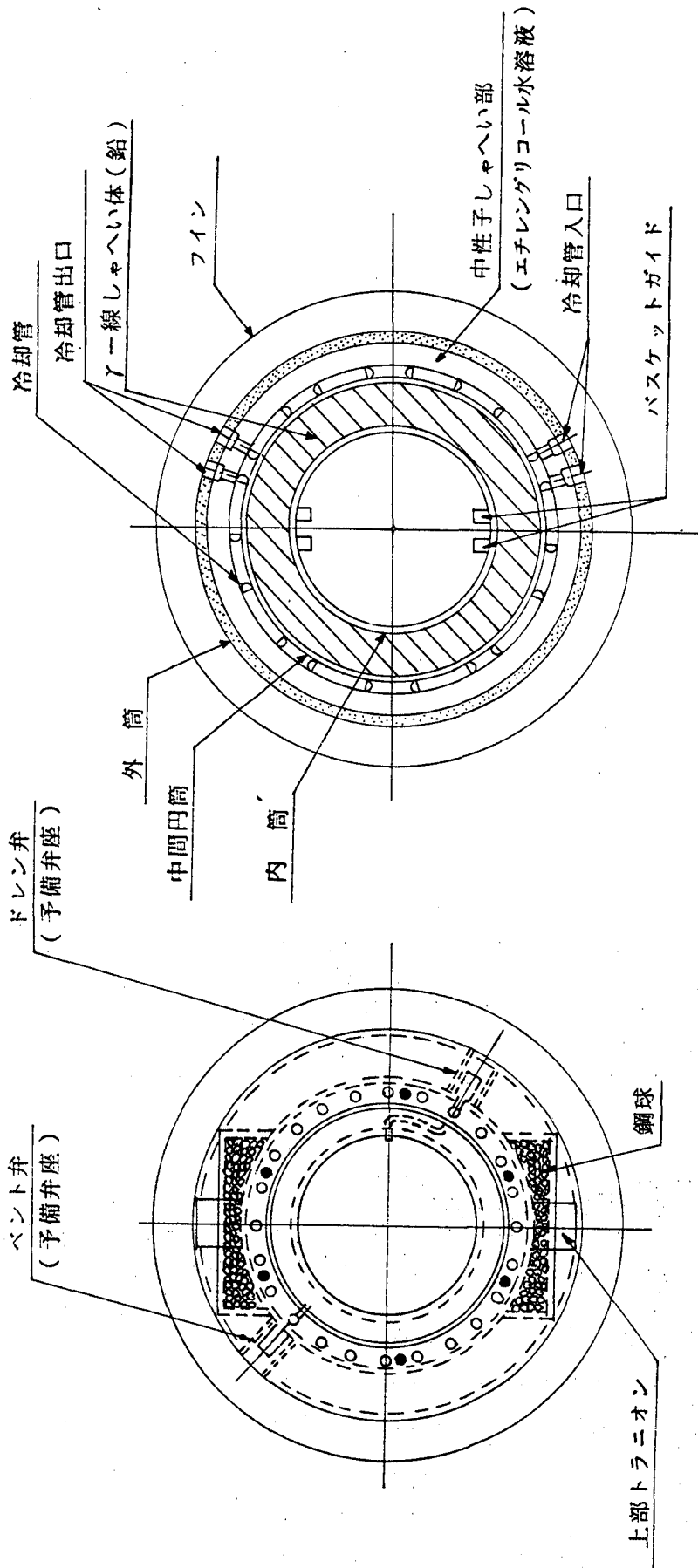


(イ) 第 2 図 HZ-75 T 型使用済燃料輸送容器、全体図 (縦断面図)

**This is a blank page.**



(1) 第9図 HZ-75 T型使用済燃料輸送容器、本体図 (縦断面図)



B - B 視 図

A - A 視 図

(イ) 第 10 図 HZ-75T 型使用済燃料輸送容器、本体図 (横断面図)

口章D シャへの解析



## ロ章D シャヘい解析

### D.1 検討と結果

#### (1) 概要

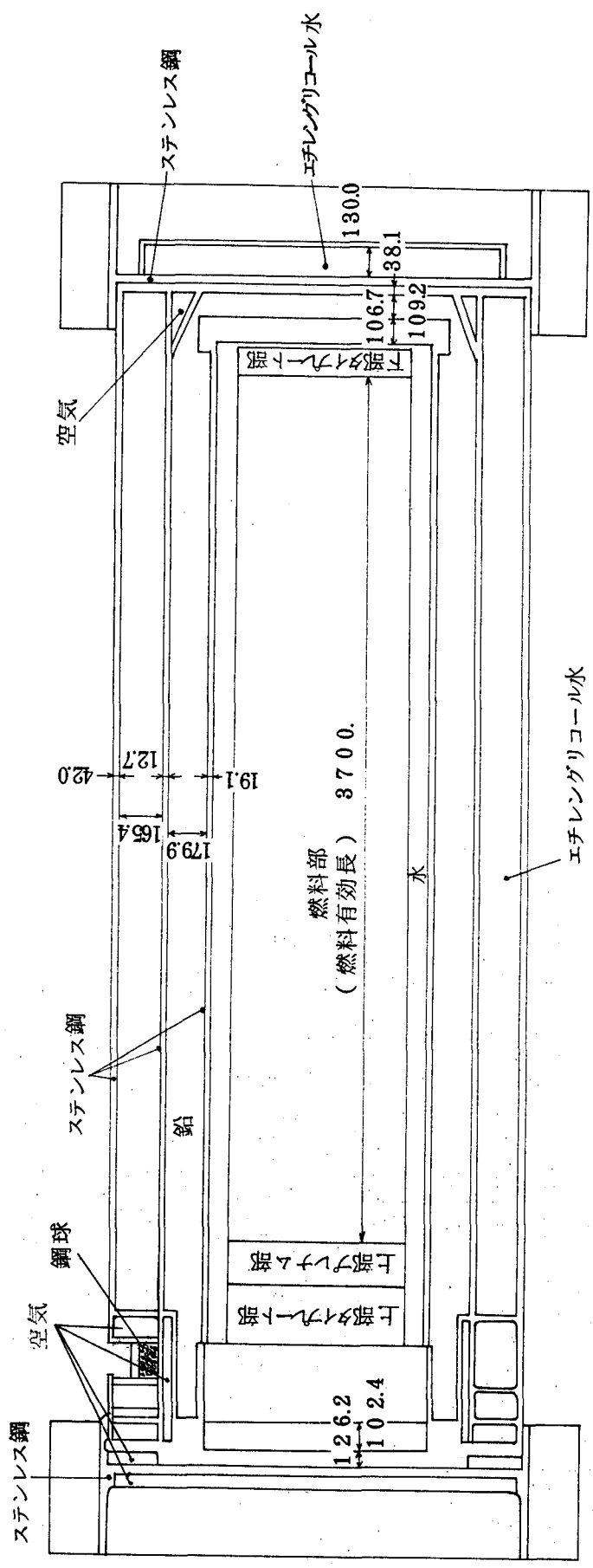
本輸送容器の主要ガンマ線シャヘい材は、(イ)-第9図及び(イ)-第10図に示すとおり、半径方向には内筒と中間円筒の間の鉛、上部方向には蓋部の鉛、下部方向には内筒底板と外筒底板の間の鉛である。主要な中性子シャヘい材は、半径方向には中間円筒と外筒の間のエチレングリコール水、上部方向には内筒内の冷却水、下部方向には内筒内の冷却水及び緩衝体に設けられた容器中のエチレングリコール水である。容器重量を軽減するため密度の大きいガンマ線シャヘい用の鉛を内側に、密度の小さい中性子シャヘい用のエチレングリコール水を外側に配置している。

本解析の基礎としたシャヘい体の概略形状・主要部寸法及び材料を(ロ)-第D.1図に示す。

シャヘい解析は、本輸送容器が「府令及び告示」に規定された次の条件を満たすことを示すために行った。

- (1) 放射性物質等を輸送する場合は、1輸送物あたりの放射線量率は輸送物の表面で200ミリレム毎時、輸送物表面から1m離れた位置で10ミリレム毎時をこえないこと。

( 単位 mm )



(ロ) 第D.1 図H Z - 7 5 T 使用済核燃料輸送容器のしゃへい構造

- (2) 一般の試験条件下におかれた輸送物の表面の放射線量率は200ミリレム毎時をこえないこと。
- (3) 特別の試験条件下におかれた輸送物の表面から1 m離れた位置における放射線量率が1000ミリレム毎時をこえないこと。

上記の条件の適用にあたり、輸送時では容器の輸送荷姿を考え、輸送物の表面として上部トラニオン部表面、フィン先端及び緩衝体表面をとった。

一般及び特別の試験条件下では輸送荷姿の他に容器の縦置横置状態も考慮し輸送物表面として本体外筒表面、底板表面及び蓋表面をとった。

(イ)章A構造解析、A.6特別の試験条件で示したように本容器は一般の試験条件下はもちろんのこと、特別の試験条件下においても、しゃへい性能が劣化しないよう十分に堅固に設計、製作されている。両試験条件下においてしゃへい体としてその効果を失うのは、落下試験時に変形する緩衝体（下部緩衝体中のエチレングリコール水を含む）及び貫通試験時に中性子しゃへい部と膨張部の仕切板に設けられている破裂板が破れることにより移動するエチレングリコール水である。破裂板が破れた状態で本容器を横置きにした場合、中性子しゃへい部上方向に膨張部容積分のポイドが発生し、エチレングリコール水の厚さが減少して線量率が増加する。なお、垂直方向落下では破裂板が破れることはなく、縦置き状態ではエチレングリコール水のしゃへい効果の減少はない。

線源計算にはORIGENコード<sup>(3)</sup>を用いた。ガンマ線しゃへい計算には点減衰核積分法にもとづくQADコード<sup>(1)</sup>を用い、中性子しゃへい計算には1次元輸送コードANISN<sup>(2)</sup>を用いた。

## (2) 線源条件

本容器に収納する燃料は「(イ)章D. 収納物の説明」で示したとおり、微濃縮ウラン型燃料、ウラン・プルトニウム富化型燃料及び特殊燃料があり、線源条件はこれにもとづいて線源強度計算を行った。輸送物のしゃへい性能に関して輸送物周辺の線量率は、全集合体の平均線源強度だ

けでなく、集合体の燃焼度や冷却期間の違いによる線源強度の違いにより依存し、線源強度の高い集合体が外側に収納された場合、それが外部線量率に影響するため、線源計算の燃焼条件としては平均値の代わりに(イ)章Dで示した最高の値を採用した。放射線源強度計算に用いた燃焼度・比出力・照射期間及び冷却期間を(ロ)表D.1に示す。

なお、放射線源としては核分裂生成物による線源とともに集合体の構造材及び構造材中の不純物の放射化による線源も考慮した。

(ロ)表D.1 線源条件

燃焼及び冷却条件	ATR燃料
燃 焼 度 (MWD/MT.)	20000.
比 出 力 (MW/MT.)	25.7
照射期間 (日)	780.
冷却期間 (日)	180.

### (3) 結果と評価

本容器のしゃへい解析の結果を(ロ)表D.2に示す。

この結果、輸送物周辺の放射線量率はすべて「府令及び告示」で定められた基準を満足している。

なお、解析に用いた計算方法は、線源条件、線源分布、しゃへいモデルなどに十分安全上の余裕を含んでおり、計算結果は実際より安全側の値となっている。

(ロ) - 表D.2 最高線量率の要約

(単位 : mrem/hr)

		輸送物表面			表面より1mの点		
		側部	上部	下部	側部	上部	下部
通常輸送時	ガンマ線	2.5 (3.85)	2.45	0.80	1.02 (1.20)	1.00	0.30
	中性子	10.5	5.94	0.34	3.0	4.23	0.20
	合計	13.0 (14.35)	8.39	1.14	4.02 (4.20)	5.23	0.50
	基準	200			10		
一般の試験条件下	ガンマ線	5.71 (7.06)	4.06	8.8			
	中性子	10.5	5.94	22.2			
	合計	16.21 (17.56)	10.0	31.0			
	基準	200					
特別の試験条件下	ガンマ線				2.32 (2.50)	1.45	3.45
	中性子				238.4	6.72	15.0
	合計				240.7 (240.9)	8.17	18.45
	基準				1000		

注) ( )内は上部トラニオン周辺の値である。

## D.2 線源仕様

D.1. (2) 線源条件で示した条件にもとづいてA T R燃料を容器に収納した場合のガンマ線源強度及び中性子源強度を求めた。線源強度の計算は、原子炉の実際の運転履歴にもとづくのではなく、より安全側に(ロ)表D.1に記載した比出力で連続運転した場合について行った。

### D.2.1 ガンマ線源

#### (1) 燃料有効部のガンマ線源

使用済燃料中の核分裂生成物によるガンマ線源強度の計算はA T R炉内の中性子スペクトルを考慮してORIGENコード<sup>(3)</sup>を用いて行った。ORIGENコードは線源となる個々の同位元素の生成量と壊変量を1階の微分方程式を解くことにより求めるプログラムである(付属書類D.5.3参照)。

計算の結果得られた燃料有効部の各エネルギー毎のガンマ線強度を(ロ)表D.3に示す。

#### (2) 燃料集合体端部構造材の放射化によるガンマ線源

燃料集合体端部構造材の放射化によるガンマ線源のうち容器外部の線量として寄与するものは、構造材中に含まれるコバルト-59の(n,  $\gamma$ )反応により生ずるコバルト-60が大部分である。コバルト-60の放射化線源強度の計算はA T R炉内の中性子スペクトルを考慮して次式を用いて行った。

(ロ) - 表D.3 燃料有効部のガンマ線源強度

(輸送容器あたり)

エネルギー 群 数	平均 エネルギー (MeV)	エネルギー 範囲 (MeV)	線 源 強 度	
			A T R 燃 料	
			Photons / sec	MeV / sec
1	0.30	0.1 - 0.4	$1.73 \times 10^{16}$	$5.20 \times 10^{15}$
2	0.63	0.4 - 0.9	$1.00 \times 10^{17}$	$6.31 \times 10^{16}$
3	1.10	0.9 - 1.35	$1.07 \times 10^{16}$	$1.12 \times 10^{16}$
4	1.55	1.35 - 1.8	$8.43 \times 10^{14}$	$1.31 \times 10^{15}$
5	1.99	1.8 - 2.2	$4.96 \times 10^{14}$	$9.88 \times 10^{14}$
6	2.38	2.2 - 2.6	$8.60 \times 10^{13}$	$2.05 \times 10^{14}$
7	2.75	2.6 - 3.0	$6.63 \times 10^{12}$	$1.82 \times 10^{13}$
8	3.20	3.0 - 3.5	$2.09 \times 10^{11}$	$6.69 \times 10^{11}$
9	3.70	3.5 - 4.0	$1.03 \times 10^8$	$3.79 \times 10^8$
合 計		0.1 - 4.0*	$1.29 \times 10^{17}$	$8.20 \times 10^{16}$

注) \*印はすべての組のエネルギー範囲を示す。

$$N = N_0 \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \phi_{th} \cdot (1 - e^{-\lambda t_1}) \cdot e^{-\lambda t_2} \quad (D \cdot 1)$$

ここで

$N$  : 放射化核種 (コバルト - 60) の線源強度 (decay/sec)

$N_0$  : ターゲット核種 (コバルト - 59) の個数 (atoms)

$\sigma$  : 反応断面積 ( $cm^2$ )

$$\left( \begin{array}{l} 2200 \text{ m/s の熱中性子によるコバルト - 59 の } (n, \gamma) \\ \text{反応断面積 : } 37.2 \text{ barn} \end{array} \right)$$

$\alpha$  : 炉内温度 ( $T^\circ K$ ) における反応断面積の補正係数

$$\left( \alpha = \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{T_0}{T}}, \quad T_0 = 293^\circ K \right)$$

$\phi_{th}$  : 炉内照射熱中性子束 ( $n/sec \cdot cm^2$ )

$\lambda$  : コバルト - 60 の崩壊定数 ( $3.61 \times 10^{-4} \text{ day}^{-1}$ )

$t_1$  : 照射期間 (day)

$t_2$  : 冷却期間 (day)

コバルト - 60 ガンマ線源強度計算に用いた計算条件とその計算結果を (ロ) - 表 D.4 に示す。

なお、コバルト - 60 は 1 崩壊あたり、1.173 MeV と 1.332 MeV の各 1 個のガンマ線を放出する。



(ロ) - 表D.4 燃料集合体端部構造材の放射化によるガンマ線強度

A T R 標準燃料 (17体)				
領域	上部 タイプレート	上部 プレナム	下部 タイプレート	合計
コバルト-59含有量(g)	72.05	92.55	162.01	326.61
照射熱中性子束 ( $n/cm^2 \text{ sec}$ )	$2.0 \times 10^{11}$		$2.0 \times 10^{12}$	—
照射期間 (日)	780.			—
冷却期間 (日)	180.			—
線源強度(C <sub>T</sub> )	28.26	36.31	635.5	700.1

注) ステンレス鋼中のコバルト-59の含有率は分析値にもとづき、最大値として0.2 wt %を採用した。

### D.2.2 中性子源

高い燃焼度の使用済燃料中には中性子源となる超プルトニウム核種が生成される。これらの核種から中性子が発生する反応は自発核分裂及び( $\alpha, n$ )反応である。

1次中性子源強度は(ロ) - 表D.1の線源条件にもとづきATR炉内の中性子スペクトルを考慮しORIGENコード<sup>(3)</sup>を用いて計算した。その結果、輸送容器あたり $7.803 \times 10^9$  n/secであった。

容器内は未臨界増倍系であり、この系の実効増倍係数 $K_{eff}$ による中性子源強度の増倍率は、 $1 / (1 - K_{eff})$ である。未照射の燃料を本容器に収納した場合、(ロ)章E. 臨界解析 示すように $K_{eff} = 0.67$ となる。その結果、増倍効果を考慮した中性子源強度は次のようになる。

$$S_n = \frac{1}{1 - 0.67} \times 7.803 \times 10^9 = 2.365 \times 10^{10} \text{ (n/sec)}$$

この中性子源強度のうち大部分は、U-235の核分裂とCm-244の自発核分裂である。Cm-244の核分裂スペクトルはU-235の核分裂スペクトルとほぼ等しい。したがって、中性子源のエネルギースペクトルはU-235の核分裂スペクトルと仮定しCRANBERGの式で計算した値を用いた。

エネルギー群別の中性子源強度を(ロ)表D.5に示す。

(ロ)表D.5 中性子源スペクトルと強度

(輸送容器あたり)

エネルギー 群 数	上限エネルギー (eV)	スペクトル	中性子源強度 (n/sec)
			A T R 燃 料
1	$15.0 \times 10^6$	$2.49 \times 10^{-4}$	$5.886 \times 10^6$
2	$12.2 \times 10^6$	$1.15 \times 10^{-3}$	$2.715 \times 10^7$
3	$10.0 \times 10^6$	$3.94 \times 10^{-3}$	$9.330 \times 10^7$
4	$8.18 \times 10^6$	$1.44 \times 10^{-2}$	$3.409 \times 10^8$
5	$6.36 \times 10^6$	$3.31 \times 10^{-2}$	$7.825 \times 10^8$
6	$4.96 \times 10^6$	$4.53 \times 10^{-2}$	$1.070 \times 10^9$
7	$4.06 \times 10^6$	$9.58 \times 10^{-2}$	$2.359 \times 10^9$
8	$3.01 \times 10^6$	$8.44 \times 10^{-2}$	$1.996 \times 10^9$
9	$2.46 \times 10^6$	$2.04 \times 10^{-2}$	$4.818 \times 10^8$
10	$2.35 \times 10^6$	$1.15 \times 10^{-1}$	$2.715 \times 10^9$
11	$1.83 \times 10^6$	$2.15 \times 10^{-1}$	$5.080 \times 10^9$
12	$1.11 \times 10^6$	$2.05 \times 10^{-1}$	$4.846 \times 10^9$
13	$5.50 \times 10^5$	$1.45 \times 10^{-1}$	$3.432 \times 10^9$
14	$1.11 \times 10^5$	$1.79 \times 10^{-2}$	$4.243 \times 10^8$
15	$3.35 \times 10^3$	$9.22 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^6$
16	$5.83 \times 10^2$	$6.70 \times 10^{-6}$	$1.585 \times 10^5$
17	$1.01 \times 10^2$	$4.11 \times 10^{-7}$	$1.042 \times 10^4$
18	$2.90 \times 10^1$	$6.22 \times 10^{-8}$	$1.471 \times 10^3$
19	$1.07 \times 10^1$	$1.52 \times 10^{-8}$	$3.600 \times 10^2$
20	$3.06 \times 10^0$	$2.14 \times 10^{-9}$	$5.062 \times 10^1$
21	$1.12 \times 10^0$	$4.72 \times 10^{-10}$	$1.116 \times 10^1$
22	$4.14 \times 10^1$	$1.37 \times 10^{-10}$	3.235
合 計			$2.365 \times 10^{10}$

## D.3 モデル仕様

### D.3.1 解析モデル

(ロ) - 第D.1 図のしゃへい構成にもとづいて輸送物周辺の線量率分布を求めた。

線源である燃料領域は、燃料バスケットで包囲、分割された複雑な断面形状となっているが、解析モデルではこれを断面積の等しい円柱形状の燃料領域として近似し、燃料有効部では、燃料棒・水及びバスケット構造物が均一に混合されているとした。ただし、容器の姿勢により内筒内の空気層が移動する。

しゃへい解析は、通常輸送時は輸送荷姿（5°傾斜）状態一般及び特別の試験条件下は縦置状態も含め線量率が最も高くなる状態について行った。

エチレングリコール水はしゃへい特性が水とほとんど同じであるので純水として扱った。（ガンマ線しゃへいに影響する密度は、20℃で水が0.998 g/cm<sup>3</sup>に対して、エチレングリコール水は1.0629 g/cm<sup>3</sup>である。また、中性子しゃへいに影響のある水素原子密度は、水とエチレングリコール水で1%程度の差しかない。）

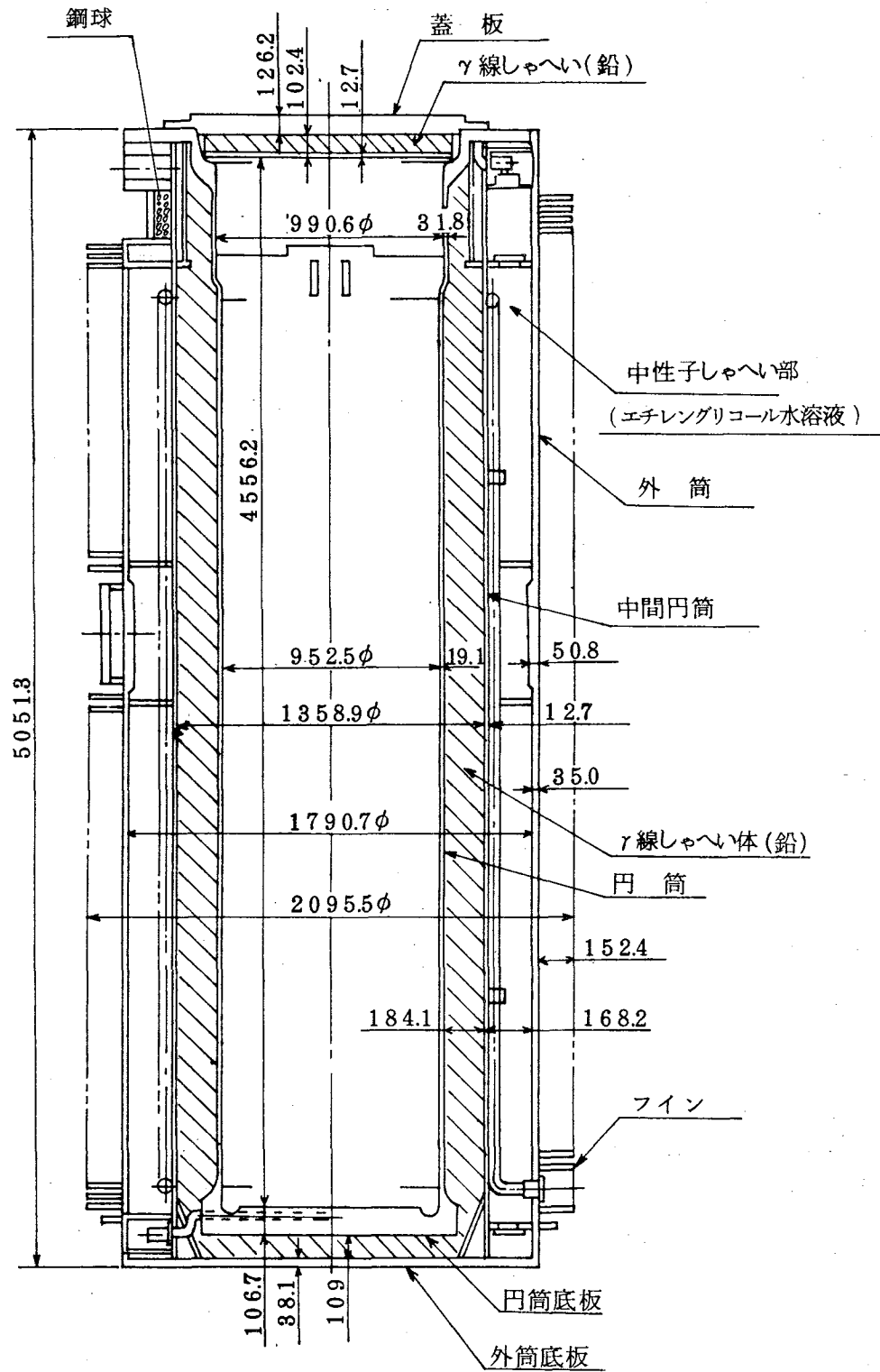
ステンレス鋼被覆銅製のフィンは、解析モデルでは無視した。


緩衝体は通常輸送時の解析モデルでは、ステンレス鋼製被覆板のみしゃへい体として考慮し、一般及び特別の試験条件下の解析モデルでは無視した。





#### (1) ガンマ線しゃへい計算モデル

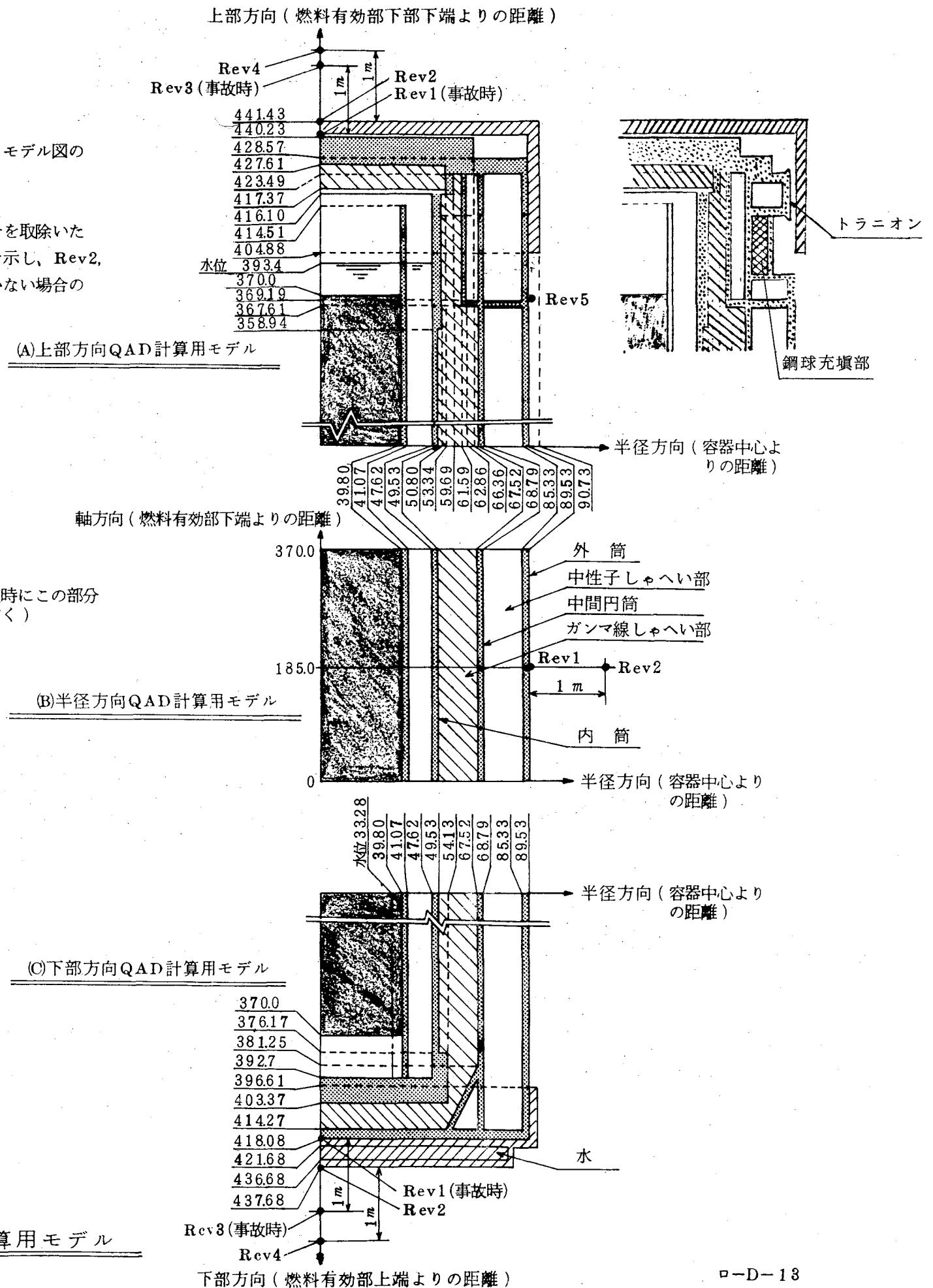
ガンマ線しゃへい計算は、QADコード<sup>(1)</sup>を用いて行った。QAD計算モデルを(ロ) - 第D.2 図に示す。

容器の姿勢により水面が移動する。通常輸送時の水面は、輸送荷姿状態とし、一般及び特別の試験条件下の水面は、上部方向の計算は縦置、半径方向・下部方向の計算は横置とした。空気層は構造材（タイプレート・プレナム）との均質化領域として扱った。鋼球充填部も均質化領域として扱った。



注. 1. 全体図の単位はmmとし、モデル図の単位はcmとする。  
 2. Rev1及び3は  部分を取除いた場合(事故時)の計算を示し、Rev2, 4及び5は該部を取除かない場合の計算を示す。

3.  燃料領域  
 SUS 304  
 鉛  
 SUS 304 (事故時にこの部分を省く)



(ロ)-第D.2図 ガンマ線しゃへい計算用モデル

なお、特別の試験条件下においては、エチレングリコール水がないものとして計算を行った。

## (2) 中性子しゃへい計算モデル

中性子しゃへい計算は、ANISNコード<sup>(2)</sup>を用いて行った。

ANISN計算モデルを(ロ)-第D.3図に示す。

通常輸送時・蓋部軸方向計算は、輸送荷姿状態で冠水する部分と水面上に露出する部分にわけて1次元平板モデルで計算し、その結果を加えた。

一般及び特別の試験条件下・蓋部軸方向計算は、縦置状態の方が中性子線量率が大きくなるので、縦置状態で解析を行った。

中央部半径方向は、通常輸送時・一般及び特別の試験条件下ともに横置状態として1次元円筒モデルで計算した。<sup>注1)</sup>中間円筒のステンレス鋼は、外筒のステンレス鋼と一体としてモデル化した。

特別の試験条件下においては中性子しゃへい部のエチレングリコール水が移動するため、エチレングリコール水部を空気層におきかえたモデルを用いた。

底部軸方向は1次元平板モデルとして計算した。

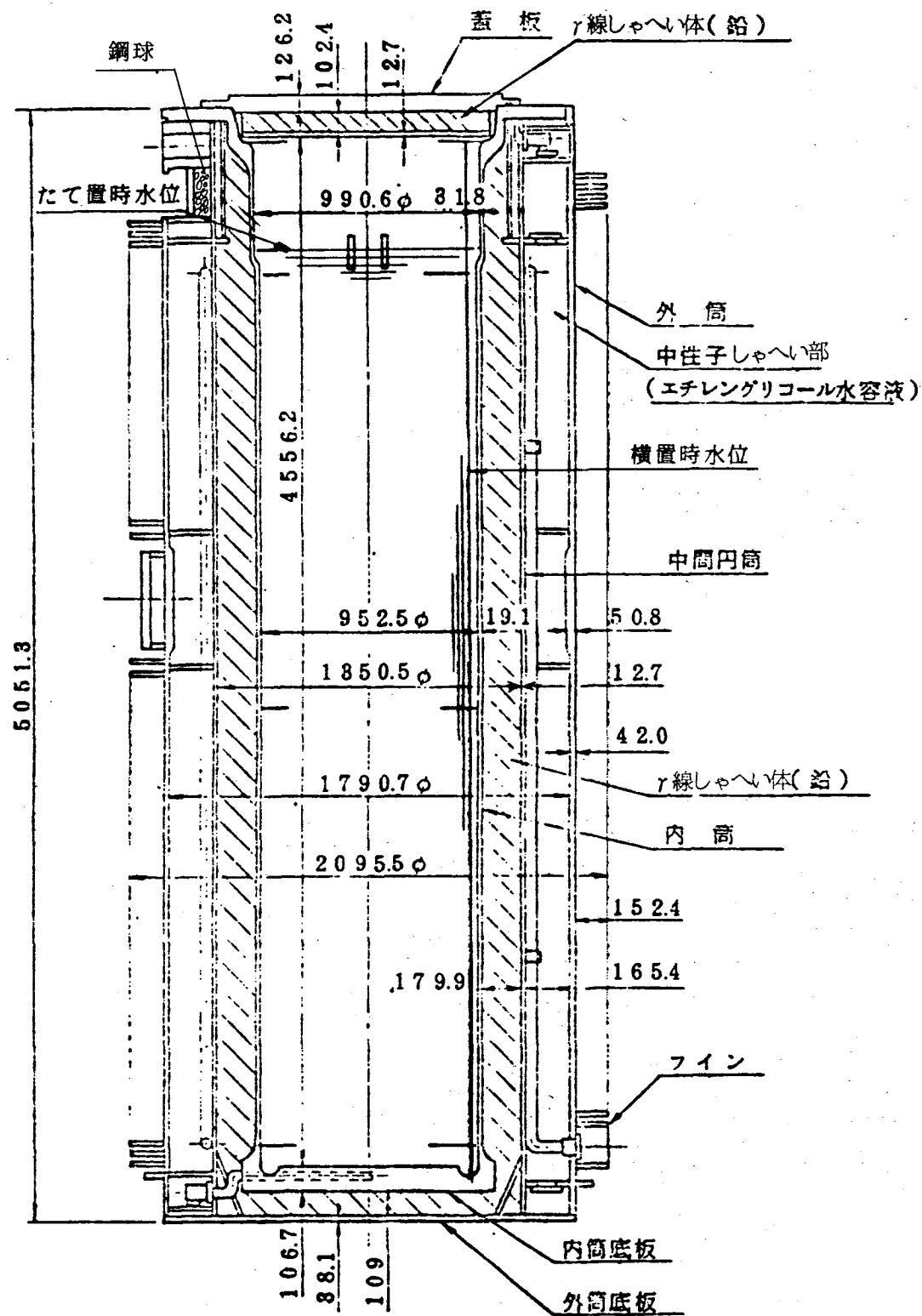
通常輸送時は底部方向の燃料集合体は冠水するとした。

一般及び特別の試験条件下では横置状態を考え、内筒内半径方向に形成される空気層を考慮し、冠水した燃料領域に関するモデルと露出した燃料領域に関するモデルについて計算を行い、その結果を加えた。

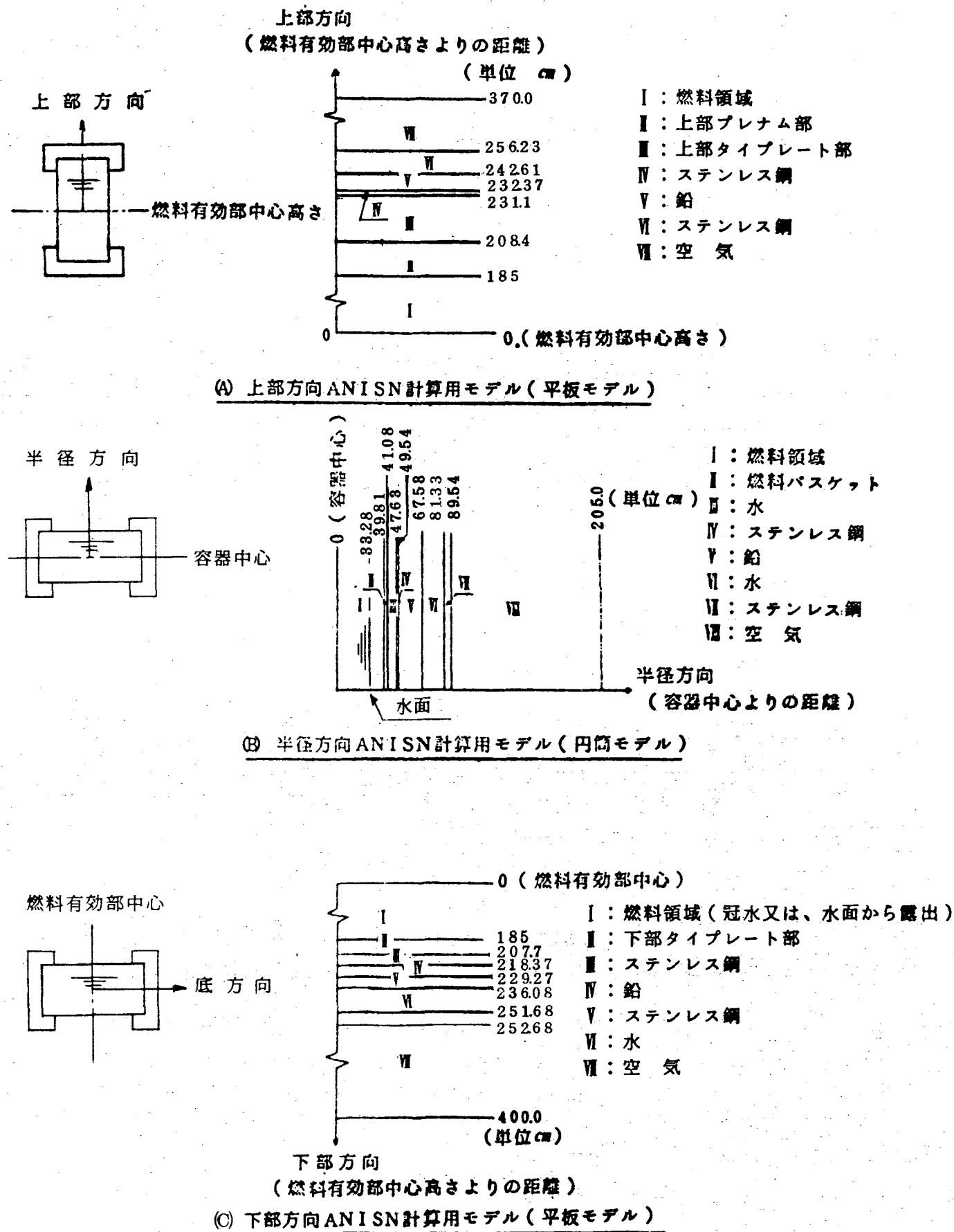
トラニオン部周辺及びコーナ方向については、半径方向や軸方向と比較して同程度あるいはそれ以上の厚さの水がしゃへい体として存在するので計算を行わなかった。

---

注1) 燃料有効部中央部において、輸送荷姿の水位の方が横置モデルの水位より高く、空気層を大きく見積るので、横置モデルで計算した方が安全側である。



(ロ) - 第D.3図 中性子しゃへい計算用モデル



### D.3.2 シャヘい解析モデル各領域の組成

ガンマ線シャヘい計算に用いた均質化領域の構成物質体積比をロ-表D.6に、各物質構成元素の密度をロ-表D.7に示す。

中性子シャヘい計算に用いた均質化領域の構成物質体積比をロ-表D.8に、各物質構成元素の原子数密度をロ-表D.9に示す。

本輸送容器は、一般及び特別の試験条件下において、緩衝体が変形・破損し、エチレングリコール水の移動が生ずるが、それ以外のシャヘい体の形状変化は微少であり、シャヘい物質の密度変化はない。



(ロ)表D.6 ガンマ線しゃへい計算に用いた

## 均質化領域の構成物質体積比

領域 構成物質	上部タイプ ペレット部	上部プレナ ム部	燃料領域	下部タイプ ペレット部	鋼球 充填部
UO <sub>2</sub> + PuO <sub>2</sub>			0.154		
ジルカロイ		0.061	0.047	0.028	
ステンレス鋼	0.205	0.128	0.091	0.181	
ボラル板	0.008	0.008	0.008	0.008	
天然ウラン ペレット		0.005			
断熱ペレット		0.001		0.001	
水	0.787 (0.0)	0.650 (0.0)	0.679 (0.0)	0.766 (0.0)	
ボイド		0.147	0.021	0.016	0.6
鉄					0.4

注 ( )内は非冠水部の値

(ロ)表D.7 ガンマ線しゃへい計算に用いた構成物質元素密度

(単位:  $g/cm^3$ )

領域 構成 物質元素	上部タイ プレート	上部 プレナム	燃料領域	下部タイ プレート	ステンレス 鋼	鉛	鋼 球 充填部	内筒内水	エチレン グリコール水
水	$8.220 \times 10^{-2}$ (0.0)	$6.789 \times 10^{-2}$ (0.0)	$7.092 \times 10^{-2}$ (0.0)	$8.000 \times 10^{-2}$ (0.0)				$1.044 \times 10^{-1}$	$1.189 \times 10^{-1}$
酸	$6.576 \times 10^{-1}$ (0.0)	$5.595 \times 10^{-1}$ ( $1.642 \times 10^{-2}$ )	$7.565 \times 10^{-1}$ ( $1.892 \times 10^{-1}$ )	$6.503 \times 10^{-1}$ ( $1.026 \times 10^{-2}$ )				$8.356 \times 10^{-1}$	$9.491 \times 10^{-1}$
アルミニウム	$1.626 \times 10^{-2}$	$2.777 \times 10^{-2}$	$1.626 \times 10^{-2}$	$2.777 \times 10^{-2}$					
クロム	$2.962 \times 10^{-1}$	$1.827 \times 10^{-1}$	$1.299 \times 10^{-1}$	$2.584 \times 10^{-1}$	1.427				
鉄	1.203	$7.511 \times 10^{-1}$	$5.340 \times 10^{-1}$	1.062	5.869		3.14		
ニッケル	$1.301 \times 10^{-1}$	$8.120 \times 10^{-2}$	$5.773 \times 10^{-2}$	$1.148 \times 10^{-1}$	0.634				
ジコニウム		$4.814 \times 10^{-1}$	$3.017 \times 10^{-1}$	$1.797 \times 10^{-1}$					
鉛						11.3			
ウラン		$4.584 \times 10^{-2}$	1.377						

(注) 1. 内筒内水温は  $124^\circ\text{C}$ 、エチレングリコール水温は  $85^\circ\text{C}$  で計算した。

2. ボイドは真空とした。

3. しゃへい体としてのPu、C、Bの効果は無視した。

(ロ)表D.8 中性子しゃへい計算に用いた

## 均質化領域の構成物質体積比

領域 構成物質	上部タイプ ペレット部	上部プレナ ム部	燃料領域	下部タイプ ペレット部
UO <sub>2</sub> + PuO <sub>2</sub>			0.154	
ジルカロイ		0.061	0.047	0.028
ステンレス鋼	0.205	0.128	0.091	0.181
ボラル板	0.008	0.008	0.008	0.008
天然ウラン ペレット		0.005		
断熱ペレット		0.001		0.001
水	0.787 (0.0)	0.650 (0.0)	0.679 (0.0)	0.766 (0.0)
ボイド		0.147	0.021	0.016

注 ( )内は非冠水部の値

(ロ) 表D.9 中性子しゃへい計算で用いた構成物質元素密度

(単位:  $10^{24}$  atoms/cm<sup>3</sup>)

領域 構成元素	上部タイ プレート部	燃料領域	下部タイ プレート部	エチレン アルコール水	空 気	内筒内水	ステンレス 鋼	鉛
水 素	4.951-2 (0.0)	4.272-2 (0.0)	4.818-2 (0.0)	7.161-2		6.288-2		
ボロン10	3.969-5	3.969-5	3.969-5					
炭 素	5.315-5	5.315-5	5.315-5					
窒 素					3.902-5			
酸 素	2.476-2 (0.0)	2.848-2 (7.122-3)	2.448-2 (3.862-4)	3.573-2	9.754-6	3.146-2		
アルミニウム	3.630-4	3.630-4	6.199-4					
硅 素								
ク ロ ム	3.389-3	1.505-3	2.116-3				1.653-2	
マンガン								
鉄	1.298-2	5.760-3	8.102-3				6.335-2	
ニッケル	1.335-3	5.924-4	8.332-4				6.509-3	
ジルコニウム		1.992-3	3.179-3					
鉛								3.296-2
ウラン-235		6.978-6	8.413-7					
ウラン-238		3.477-3	1.154-4					
プルトニウム-239		6.458-5						
プルトニウム-240		2.532-5						

(注) 1. 内筒内水温は124℃、エチレンアルコール水温は85℃で計算した。  
2. 1.23-2は、 $1.23 \times 10^{-2}$ を表す。

## D.4 シャへの評価

### D.4.1 ガンマ線シャへの計算

ガンマ線シャへの計算は点減衰核積分法にもとづくQADコード<sup>(1)</sup>を用いて行った。QADコードは点状核からのガンマ線の減衰を多項式表示のビルド・アップ係数を用いて計算するものであり、ガンマ線減衰計算に対して十分な精度を持つものとして一般に用いられており、使用済核燃料輸送容器のシャへの計算にも多くの実績を持っている。(付属書類D.5.1参照)

ガンマ線シャへの計算におけるエネルギー区分はガンマ線源強度計算結果に合わせて8群とした。

質量吸収係数はNBS-CIRCULAR<sup>(4)</sup>の値を用いた。

各群の平均エネルギーに対応した各物質の質量吸収係数を図-表D.10に示す。

鉛に対するビルドアップ係数は鉛に対する値を用いており、鉄及び水に対するビルドアップ係数も鉛に対する値を用いた。なお、シャへの性能の評価についてはそれぞれの部材の物性値を使用している。多項式表示のビルドアップ係数のデータはCAPOの値<sup>(5)</sup>を用いた。これを図-表D.11に示す。

線量変換係数は、ICRP勧告値を用いた。これを図-表D.12に示す。

燃料集合体内の軸方向線源強度分布は、軸方向シャへの計算、半径方向シャへの計算とも最高値をとって平坦一様分布として扱った。

(D) 表 D.10 質量吸收係數

Energy group	MEAN ENERGY	H	O	CR	FE	NI	ZR
1	0.3	2.1200E-01	1.0700E-01	1.0300E-01	1.0600E-01	1.1080E-01	1.2390E-01
2	0.68	1.5700E-01	7.9180E-02	7.3690E-02	7.4730E-02	7.6785E-02	7.3580E-02
3	1.1	1.2140E-01	6.1240E-02	5.6760E-02	5.7300E-02	5.8860E-02	5.5160E-02
4	1.55	1.0146E-01	5.1070E-02	4.7570E-02	4.7890E-02	4.9280E-02	4.6060E-02
5	1.99	8.7908E-02	4.4646E-02	4.2026E-02	4.2522E-02	4.3824E-02	4.1308E-02
6	2.38	8.0570E-02	4.1232E-02	3.9430E-02	3.9968E-02	4.1230E-02	3.9338E-02
7	2.75	7.3725E-02	3.8050E-02	3.7025E-02	3.7600E-02	3.8825E-02	3.7525E-02
8	3.25	6.6300E-02	3.4050E-02	3.4600E-02	3.5250E-02	3.6475E-02	3.5850E-02
9	3.70	6.1200E-02	3.2400E-02	3.3160E-02	3.3900E-02	3.5170E-02	3.5040E-02

Energy group	MEAN ENERGY	PB	U	AI
1	0.3	3.5600E-01	4.5200E-01	1.0300E-01
2	0.68	1.0944E-01	1.2988E-01	7.3940E-02
3	1.1	6.4960E-02	7.1520E-02	5.9120E-02
4	1.55	5.0650E-02	5.4160E-02	4.320E-02
5	1.99	4.5810E-02	4.8528E-02	4.3340E-02
6	2.38	4.432E-02	4.6918E-02	4.0240E-02
7	2.75	4.3000E-02	4.5475E-02	3.7350E-02
8	3.25	4.2075E-02	4.4375E-02	3.4330E-02
9	3.70	4.2030E-02	4.4150E-02	3.2390E-02

(四) 一表 D. 1 1 ガンマ線ビルドアップ係数

多項式表示のビルドアップ係数

$$B \langle x_{jr} \rangle = B_0 j + B_1 j x_{jr} + B_2 j x_{jr}^2 + B_3 j x_{jr}^3$$

ただし  $j$  : エネルギー組数

$r$  : 線源-測定法をあらわす

$x_{jr}$  : 平均自由行程

を計算する際に用いた  $B_{ij} (i=0,1,2,3)$  の値を示す。

$j$	$B_0 j$	$B_1 j$	$B_2 j$	$B_3 j$
1	9.9993E-01	2.4413E-01	-1.7836E-02	5.9319E-04
2	1.0060E+00	2.7584E-01	-1.6323E-02	5.5169E-04
3	1.0170E+00	3.5220E-01	-1.0428E-02	3.5658E-04
4	1.0167E+00	3.8151E-01	-4.6882E-03	1.6523E-04
5	1.0111E+00	3.8177E-01	4.9015E-04	3.1201E-05
6	1.0046E+00	3.5678E-01	4.4185E-03	-1.4059E-05
7	9.9875E-01	3.4475E-01	7.3978E-03	2.0869E-05
8	9.9297E-01	3.0967E-01	1.0098E-02	1.9652E-04
9	9.9063E-01	2.7804E-01	1.1151E-02	4.7617E-04

(ロ) 表D.12 ガンマ線量変換係数

エネルギー-組数	線量変換係数 (mrem/hr/ガンマ線束)
1	$5.56 \times 10^{-4}$
2	$1.18 \times 10^{-3}$
3	$1.92 \times 10^{-3}$
4	$2.50 \times 10^{-3}$
5	$3.03 \times 10^{-3}$
6	$3.45 \times 10^{-3}$
7	$3.77 \times 10^{-3}$
8	$4.22 \times 10^{-3}$

データ出典 : ICRP 勧告



#### D.4.2 中性子しゃへい計算

中性子しゃへい計算は1次元輸送コードANISN<sup>(2)</sup>を用いて行った。ANISNコードは、中性子の方向依存性をSn近似及び散乱の角度依存性をP<sub>ℓ</sub>近似によりそれぞれ扱っているものである。(付属書類D.5.2参照)

本解析では、中性子しゃへい計算において十分精度が得られるP<sub>3</sub>S<sub>12</sub>近似を用いた。

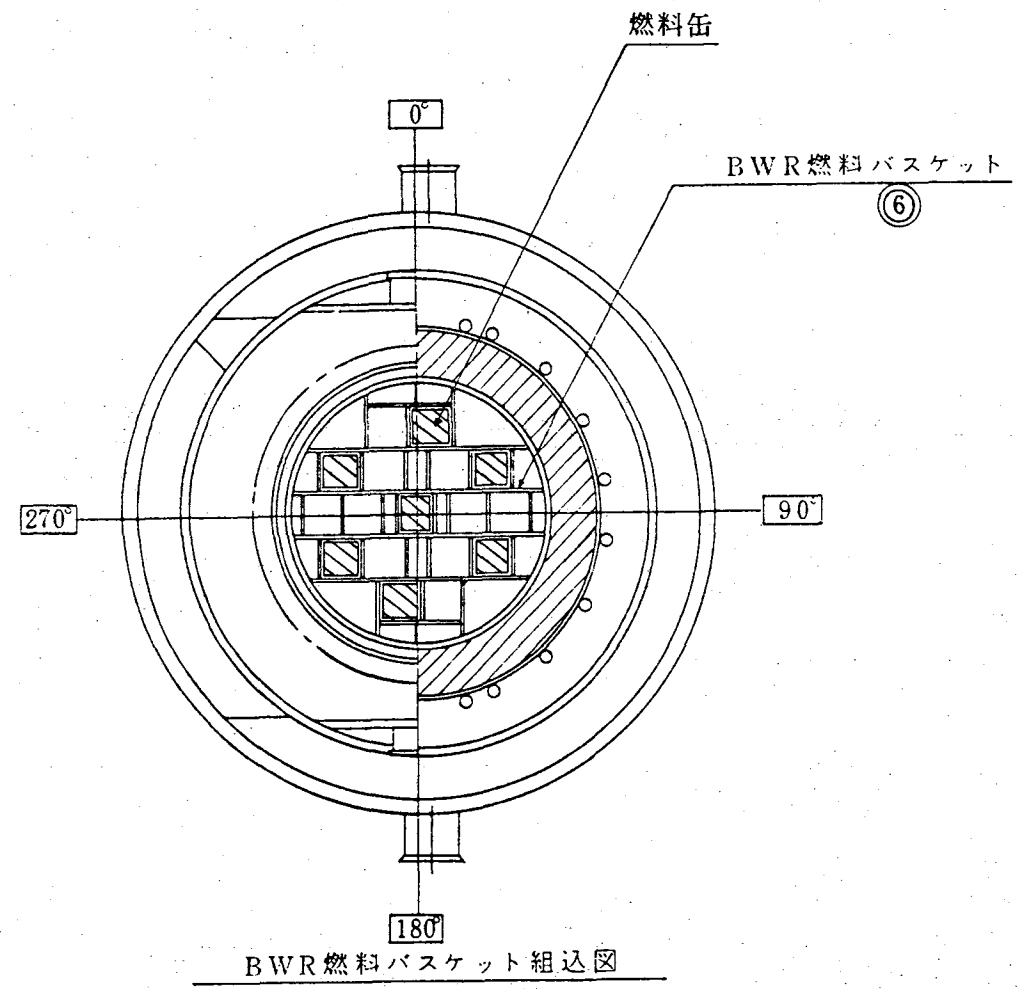
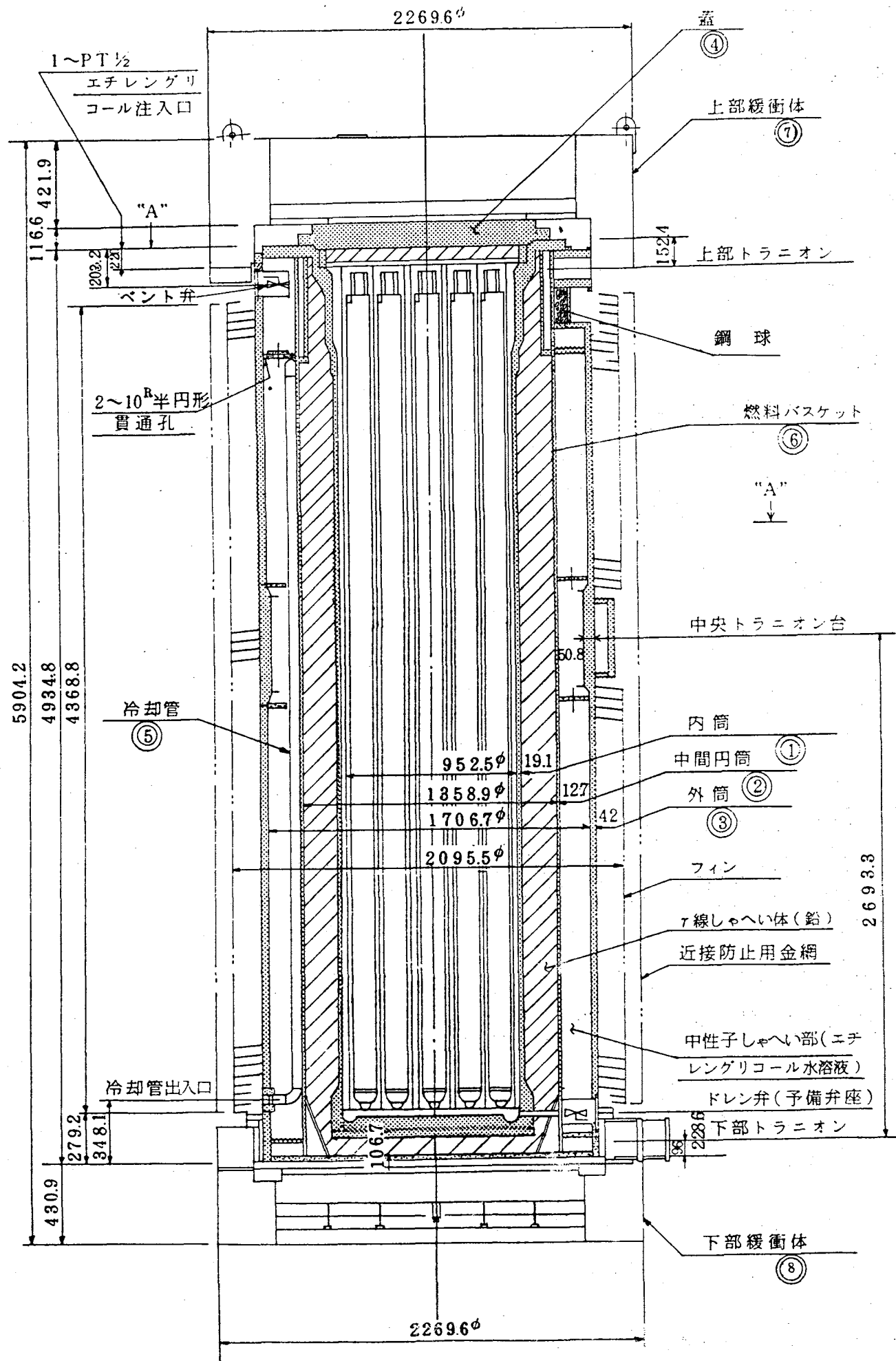
中性子の断面積及び線量変換係数は、ORNLにおいてENDF/B核データファイルを用いて使用済燃料輸送容器のしゃへい計算用に作成され、すでに多くの使用実績を持つDLC-23キャスクライブラリデータ<sup>(7)</sup>を使用した。このライブラリデータの中性子エネルギー群数は22群であり、線量変換係数はICRPの勧告値を使用している。これを(ロ)表D.13に示す。

ANISNコードによる計算では、有限の体係を1次元近似で扱うため、線源領域は無限の拡がりをもつが、これは安全側のモデルである。

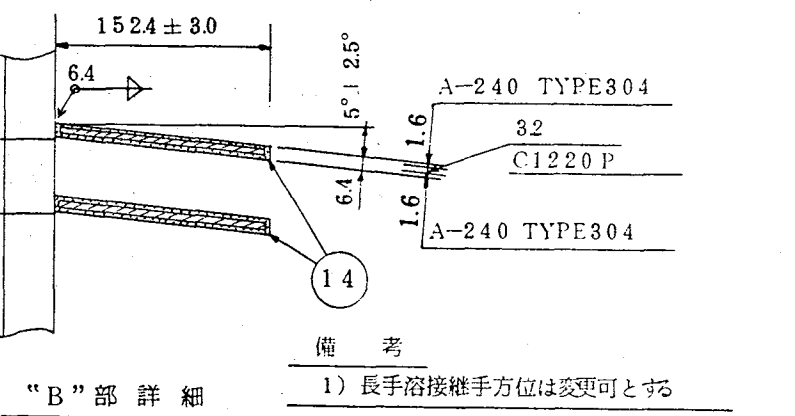
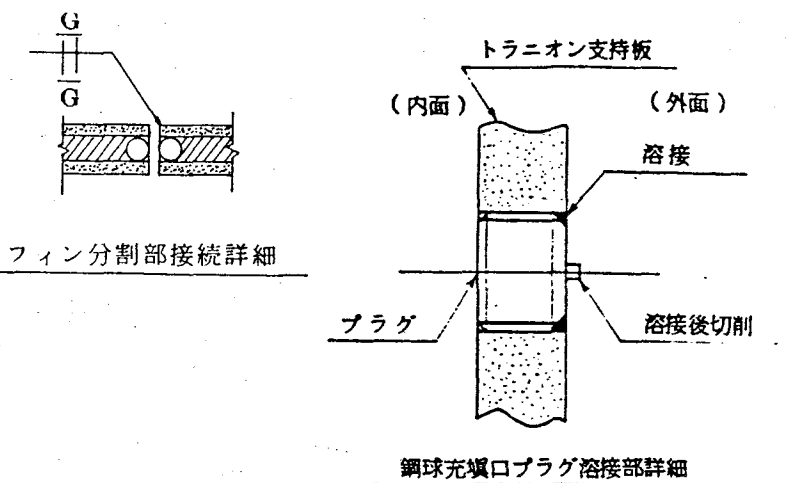
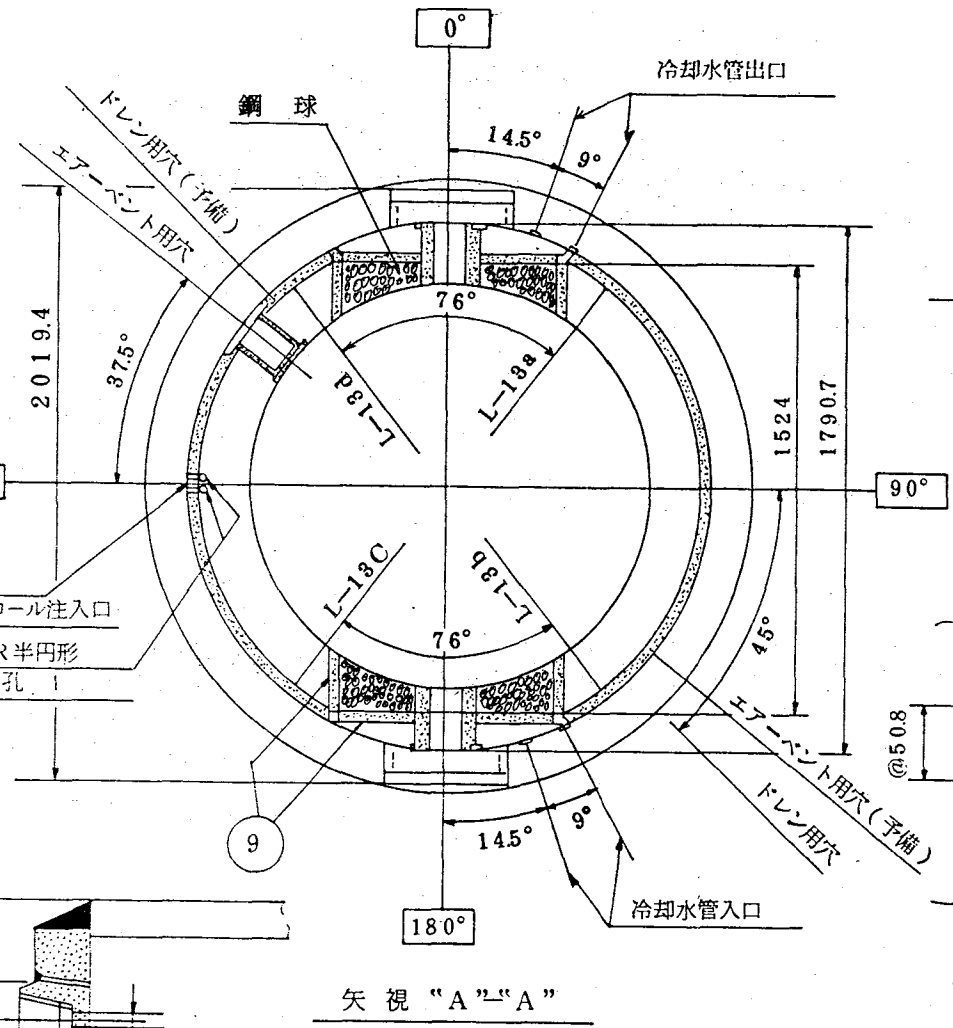
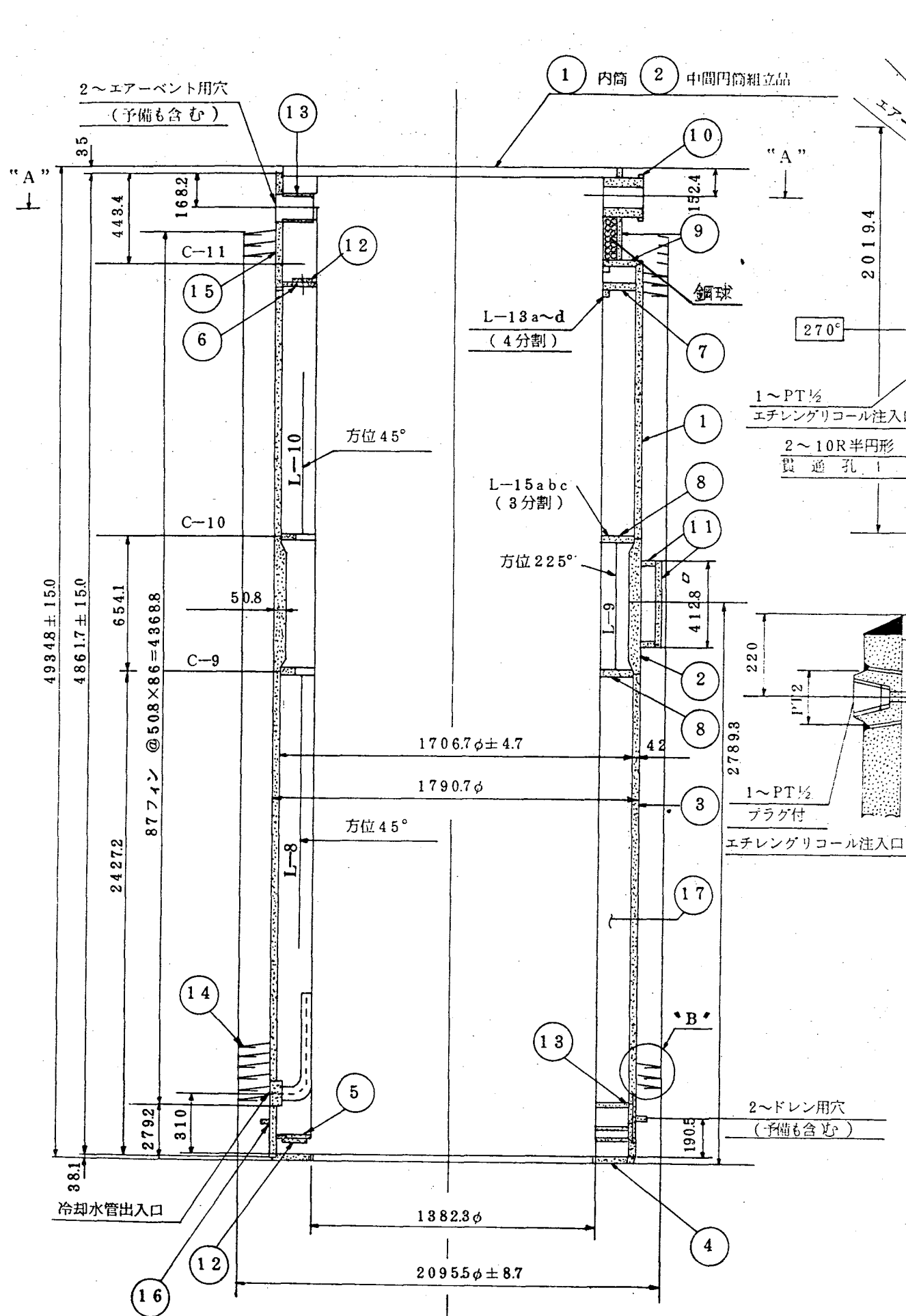
(a) 表 D. 13 中性子線量変換係数

エネルギー-組数	線量変換係数 (mrem/hr/中性子束)
1	$2.088 \times 10^{-1}$
2	$1.656 \times 10^{-1}$
3	$1.476 \times 10^{-1}$
4	$1.476 \times 10^{-1}$
5	$1.404 \times 10^{-1}$
6	$1.332 \times 10^{-1}$
7	$1.296 \times 10^{-1}$
8	$1.260 \times 10^{-1}$
9	$1.260 \times 10^{-1}$
10	$1.296 \times 10^{-1}$
11	$1.332 \times 10^{-1}$
12	$1.188 \times 10^{-1}$
13	$5.400 \times 10^{-2}$
14	$6.480 \times 10^{-3}$
15	$4.320 \times 10^{-3}$
16	$4.680 \times 10^{-3}$
17	$4.680 \times 10^{-3}$
18	$4.500 \times 10^{-3}$
19	$4.320 \times 10^{-3}$
20	$4.140 \times 10^{-3}$
21	$3.960 \times 10^{-3}$
22	$3.780 \times 10^{-3}$

**This is a blank page.**



(A)-第A.2図 輸送容器本体組立図



1式	17	エチレングリコール水溶液				
1式	16	下部緩衝体取付金具	30 t	A-240 TYPE304		
2	15	上部外筒胴板	42 t	A-240 TYPE304		
1式	14	フィン	6.4 t	SEE DWG		
4	13	弁保護箱	5" SCH40	SUS304TP-S-C		
2	12	破裂板	12.7 t	A-240 TYPE304		
2式	11	中央トランニオン台	38.1 t 19.1 t	A-240 TYPE304		
2	10	上部トランニオン		A-336 TYPE F8		
2式	9	上部トランニオン受板	25.4 t	A-240 TYPE304		
2	8	リング	19.1 t			
2	7	上部仕切板	25.4 t			
2	6	上部仕切板	12.7 t			
1	5	底部仕切板	12.7 t			
1	4	底板リング	38.1 t			
1	3	胴板	42 t			
1	2	中央胴板	50.8 t			
1	1	胴板	42 t	A-240 TYPE304		
B	A	部品名	呼び方 (寸法)	材料	単重量 kg	摘要
基本個数	番号					
製造番号				コード番号		

(イ)-第A.7図 外筒詳細図 (③)