

補足説明資料

MCNP5 コードによる輸送時遮蔽評価結果

## 目 次

1. 概要	1
2. 評価内容の比較	1

別紙1 MCNP5 輸送時遮蔽解析詳細

## 1. 概要

本書は、型式指定申請書の添付書類 13「外運搬規則第六条若しくは第七条及び第十一条に定める技術上の基準（容器に係るものに限る。）への適合性に関する説明書」の記載事項のうち、(ロ)章の遮蔽解析（DOT3.5 コード）に対して行った MCNP5 コードによる輸送時遮蔽評価についてまとめたものである。

## 2. 評価内容の比較

燃料有効部ガンマ線源強度及び燃料有効部中性子源強度が高い、17×17 燃料 48,000Mwd/t 型（A型）及び 15×15 燃料 48,000Mwd/t 型（A型）をそれぞれ収納した場合を対象として遮蔽解析を実施した。評価条件は解析コードの特性に係る設定以外は同じである。

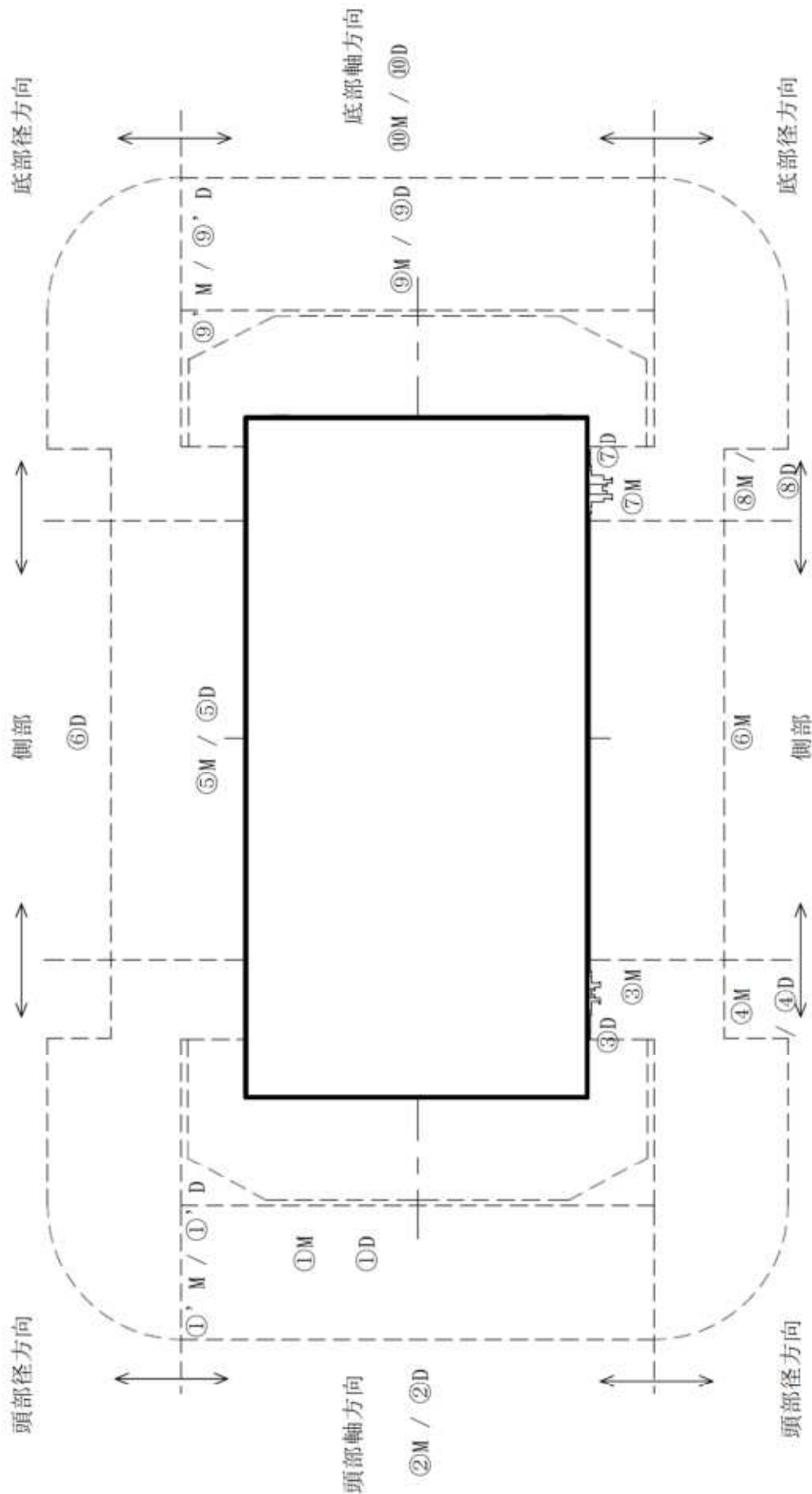
MCNP5 コードによる輸送時遮蔽評価と型式指定申請書添付書類 13 記載の評価との条件比較を第 1 表に、評価結果比較を第 2 表、第 3 表及び第 1 図、第 2 図に示す。また、許認可実績が豊富な DOT3.5 コードによる評価結果との分布比較を第 3 図に示すが、通常輸送時の分布比較は補足説明資料 26-2「遮蔽機能に関する説明資料（L5-95KV262）」の別紙 5 と同じであり、一般の試験条件下は条件が通常輸送時と評価点位置が若干異なるだけであり同様の結果であるため、ここでは通常輸送時とモデル条件が異なる特別の試験条件下の側部方向について 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型（A型）を代表として示す。

通常輸送/一般の試験条件下の評価結果は、解析コード制約上保守的評価となっている DOT3.5 コードによる頭部径方向及び底部径方向の評価結果に対して、MCNP5 コードによる評価結果は低い値となっているが、その他の評価点については同等の結果となっている。特別の試験条件下の評価結果は、DOT3.5 コードによる評価結果に線量当量率が大きい領域が一部あるが、評価に用いる角度分点の影響が貫通部位置に対して表れているためである。以上より、MCNP5 コードによる評価結果は妥当であると判断した。

貯蔵時遮蔽評価に用いた MCNP5 コードによる輸送時遮蔽評価について、詳細を別紙 1 にまとめる。

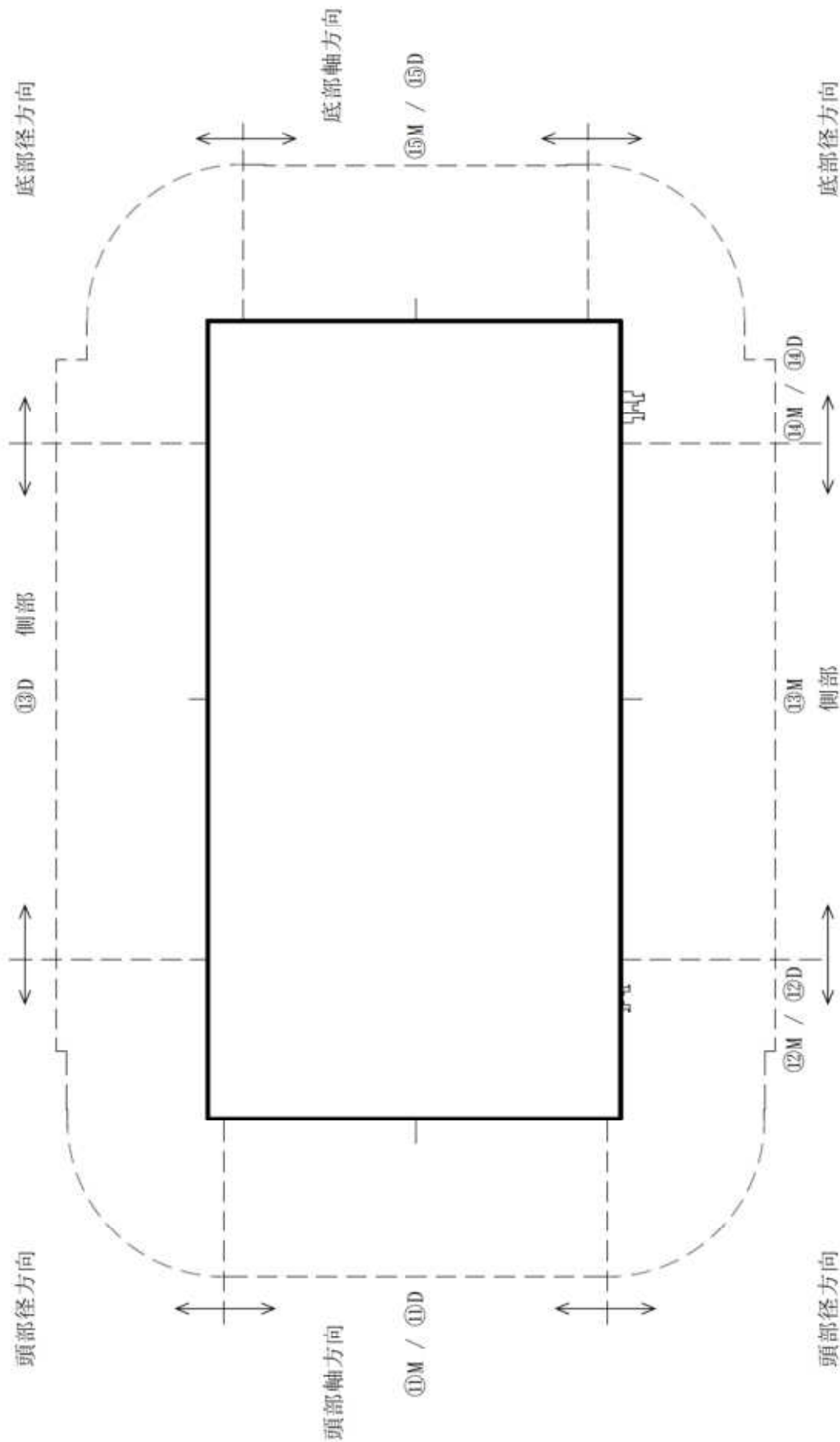
第1表 評価条件比較

項目	(ロ) 章遮蔽評価	MCNP5 による評価	備考
解析コード	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOT3.5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MCNP5</li> </ul>	-
計算方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ガンマ線や中性子に対するボルツマン輸送方程式を Sn 法により解く。放射線の挙動を追跡するのに重要な非等方性を表現。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 放射線の衝突や散乱等を再現。評価位置に対する放射線情報を統計的に処理するため、計算値に対して統計誤差を持つ。</li> </ul>	-
ライブラリ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 型式証明時と同じ (MATXSLIB-J33)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 型式指定貯蔵時と同じ (FSXLIB-J33 及び MCPLIB84)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MATXSLIB-J33/FSXLIB-J33 ;</li> <li>JENDL-3.3 に基づくライブラリ</li> <li>• MCPLIB84 ;</li> <li>ENDF/B-VI 及び EPDL97 に基づくライブラリ</li> </ul>
線源強度	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 型式指定貯蔵時と同じ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同左</li> </ul>	-
収納物条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 型式指定貯蔵時と同じ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同左</li> </ul>	-
評価モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 二次元円筒形状でモデル 本体部は有限円筒形状 (燃料部は均質化)</li> <li>• 伝熱フィン側部は側部中性子遮蔽材と均質化、トランニオン部は本体胴と別でモデル化</li> <li>• バスケット外周部は燃料領域とキャビティ内面の領域に均質化し、実形状モデルと線量当量率最大値が同等になるよう密度に対して補正係数を設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 三次元モデル</li> <li>• 伝熱フィンやトランニオン部は実形状に基づきモデル化</li> <li>• バスケットプレートは中性子吸収材及びボイド層を含めた格子形状を均質化</li> </ul>	<p>○両評価共通の実形状から変更した設定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 燃料集合体の高さ寸法は固定し、一次蓋及び胴 (底板) に接した状態になるよう設定。</li> <li>• 緩衝体は空気として距離を考慮。</li> <li>• 中性子遮蔽材は、通常輸送時及び一般の試験条件下は質量減損 2.5 % を考慮、特別の試験条件下はさらに密度が 50 % になると設定。</li> <li>• パーナブルポイズン集合体の物性値は考慮しない。</li> </ul>



(注)①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を第2表に示す。  
「D」はDOT3.5コード、「M」はMCNP5コード結果。

第1図 (1/2) 線量当量率評価位置 (通常輸送時及び一般の試験条件下、17×17燃料A型収納時)



(注)①～⑤の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を第2表に示す。  
「D」はDOT3.5コード、「M」はMCNP5コード結果。

第1図 (2/2) 線量当量率評価位置 (特別の試験条件下、17×17燃料A型収納時)

第2表 (1/2) 評価結果比較 (通常輸送時、17×17燃料A型収納時)

評価点	頭部				側部				底部			
	軸方向		径方向		軸方向		径方向		軸方向		径方向	
	①		③		⑤		⑦		⑨		⑪	
表面から1m	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	<0.1	<0.1	60.6	8.0	113.6	100.7	91.3	5.4	6.5	6.0		
	0.2	0.2	161.7	103.0	26.8	25.9	69.1	13.4	37.9	35.9		
	0.3	0.2	9.6	5.7	25.4	25.7	12.1	4.8	4.8	4.6		
	41.3	41.7	433.6	753.8	40.7	45.1	616.2	1108.3	21.8	25.2		
合計	41.9	42.2	665.5	870.5	206.5	197.4	<u>788.7</u>	<u>1131.9</u>	71.0	71.7		
表面から1m	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	<0.1	<0.1	23.4	22.6	45.0	44.8	27.1	25.1	2.9	2.6		
	0.2	<0.1	22.7	20.9	11.5	12.5	13.0	12.8	16.8	14.8		
	0.2	<0.1	5.1	5.4	10.0	10.4	5.5	5.7	1.8	1.7		
	20.3	20.9	32.3	34.0	17.7	18.4	29.1	26.3	12.9	15.8		
合計	20.8	21.2	83.5	82.9	<u>84.2</u>	<u>86.1</u>	74.7	69.9	34.4	34.9		

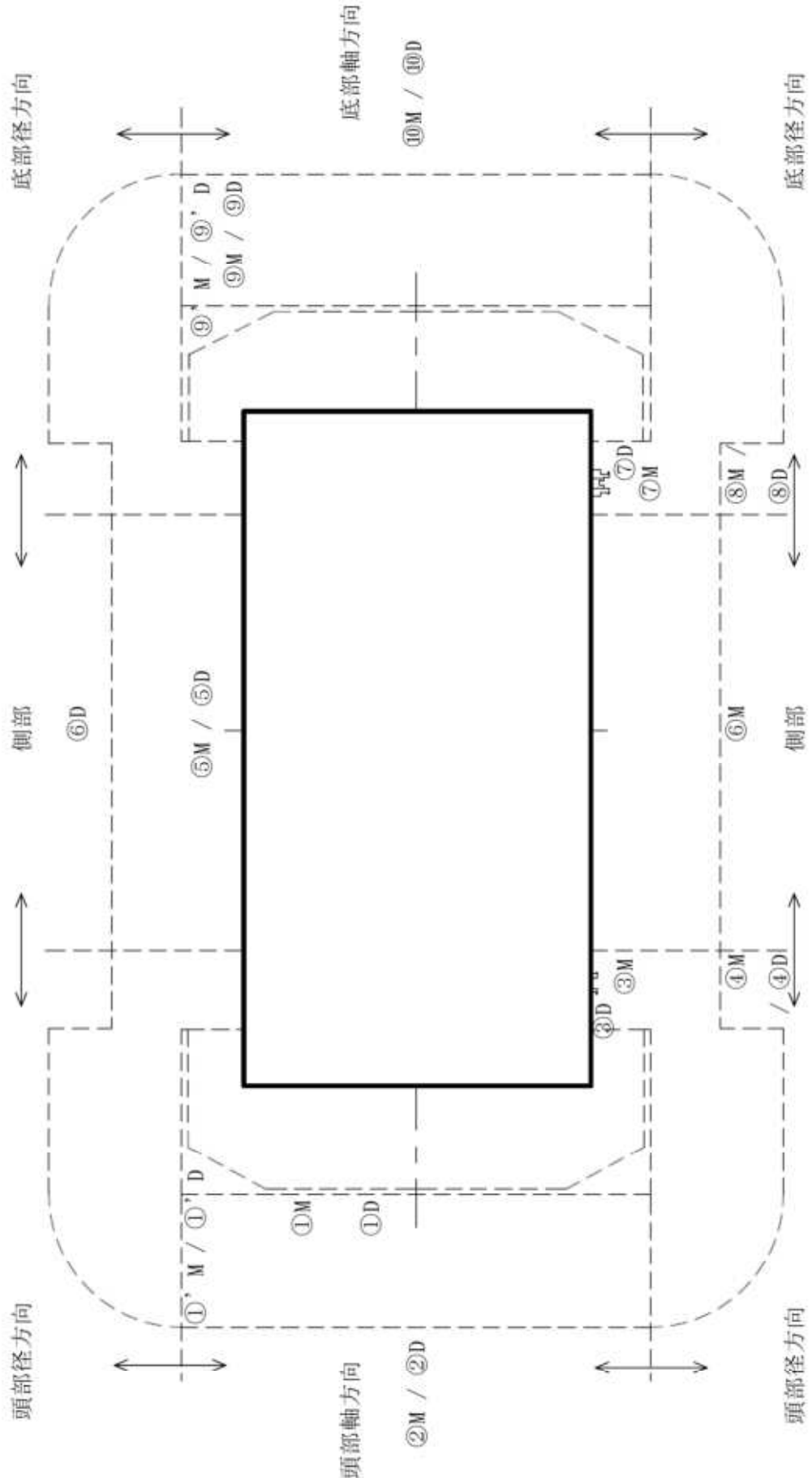
下線で示す値は、表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率の最大値である。

第2表 (2/2) 評価結果比較 (一般及び特別の試験条件下、17×17 燃料A型収納時)

評価点	頭部				側部				底部	
	軸方向		径方向		軸方向		径方向		軸方向	
	①'		③		⑤		⑦		⑨'	
表面 (一般の試験条件下)	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	0.4	0.5	60.6	8.0	113.6	100.7	91.3	5.4	1.1	1.5
	0.5	0.6	161.7	103.0	26.8	25.9	69.1	13.4	1.7	2.2
	0.3	0.4	9.6	5.7	25.4	25.7	12.1	4.8	1.1	1.2
	44.0	43.3	433.6	753.8	40.7	45.1	616.2	1108.3	85.4	93.9
合計	45.2	44.8	665.5	870.5	206.5	197.4	<b>788.7</b>	<b>1131.9</b>	89.3	98.8
表面から1m (特別の試験条件下)	⑪		⑫		⑬		⑭		⑮	
	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	0.1	<0.1	44.6	44.3	136.0	137.1	52.3	48.8	9.2	8.3
	0.3	0.3	36.3	38.2	34.2	36.5	22.4	24.1	54.8	50.1
	0.5	0.5	11.0	11.9	19.9	21.7	11.9	12.9	7.1	6.9
合計	70.5	77.2	128.0	143.9	575.7	681.3	132.9	142.1	103.3	116.9
合計	71.4	78.1	219.9	238.3	<b>765.8</b>	<b>876.6</b>	219.5	227.9	174.4	182.2

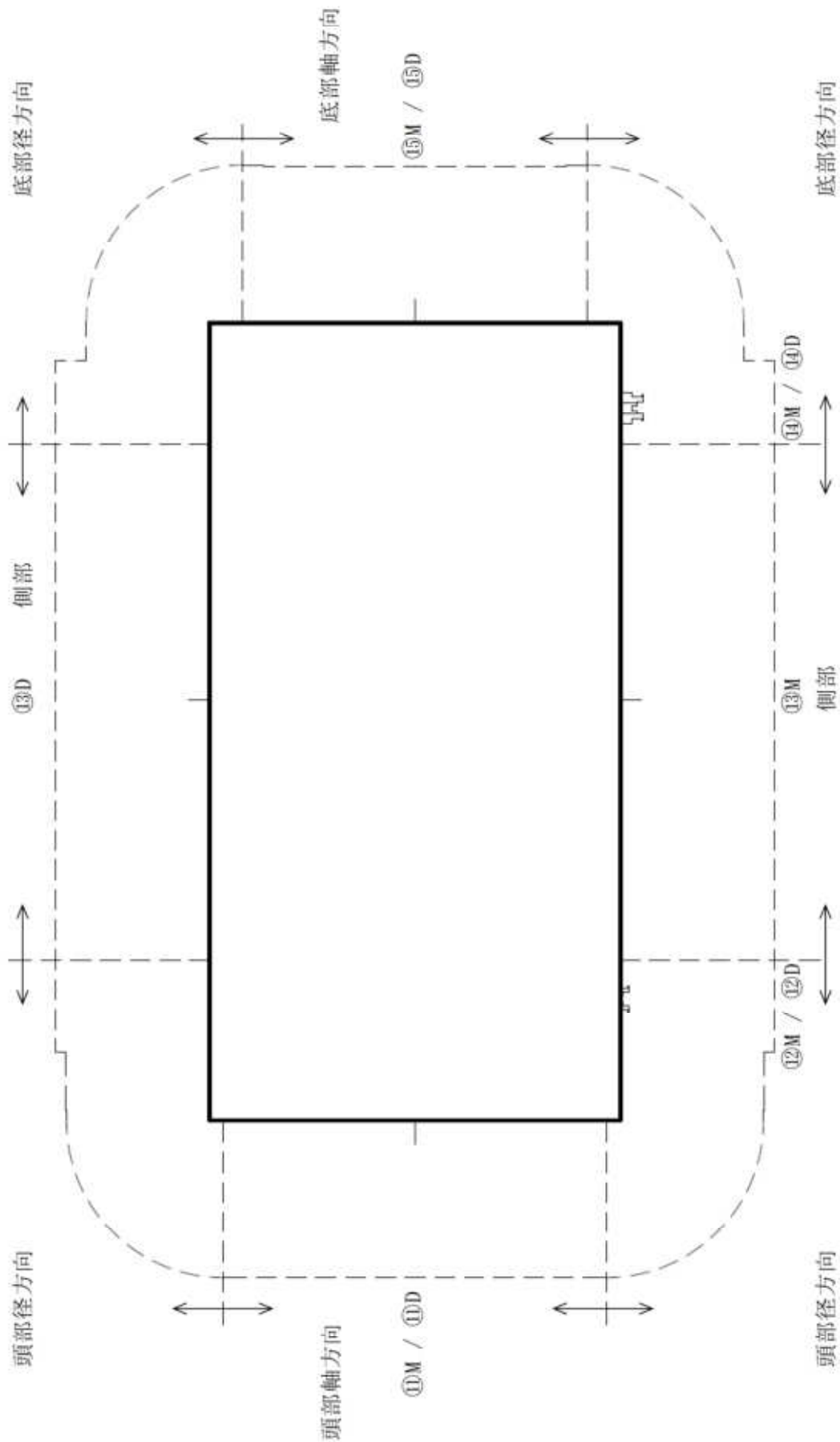
下線で示す値は、表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率の最大値である。





(注)①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を第3表に示す。  
「D」はDOT3.5コード、「M」はMCNP5コード結果。

第2図 (1/2) 線量当量率評価位置 (通常輸送時及び一般の試験条件下、15×15燃料A型収納時)



(注)⑩~⑮の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を第3表に示す。  
「D」はDOT3.5コード、「M」はMCNP5コード結果。

第2図 (2/2) 線量当量率評価位置 (特別の試験条件下、15×15 燃料A型収納時)

第3表 (1/2) 評価結果比較 (通常輸送時、15×15 燃料 A 型収納時)

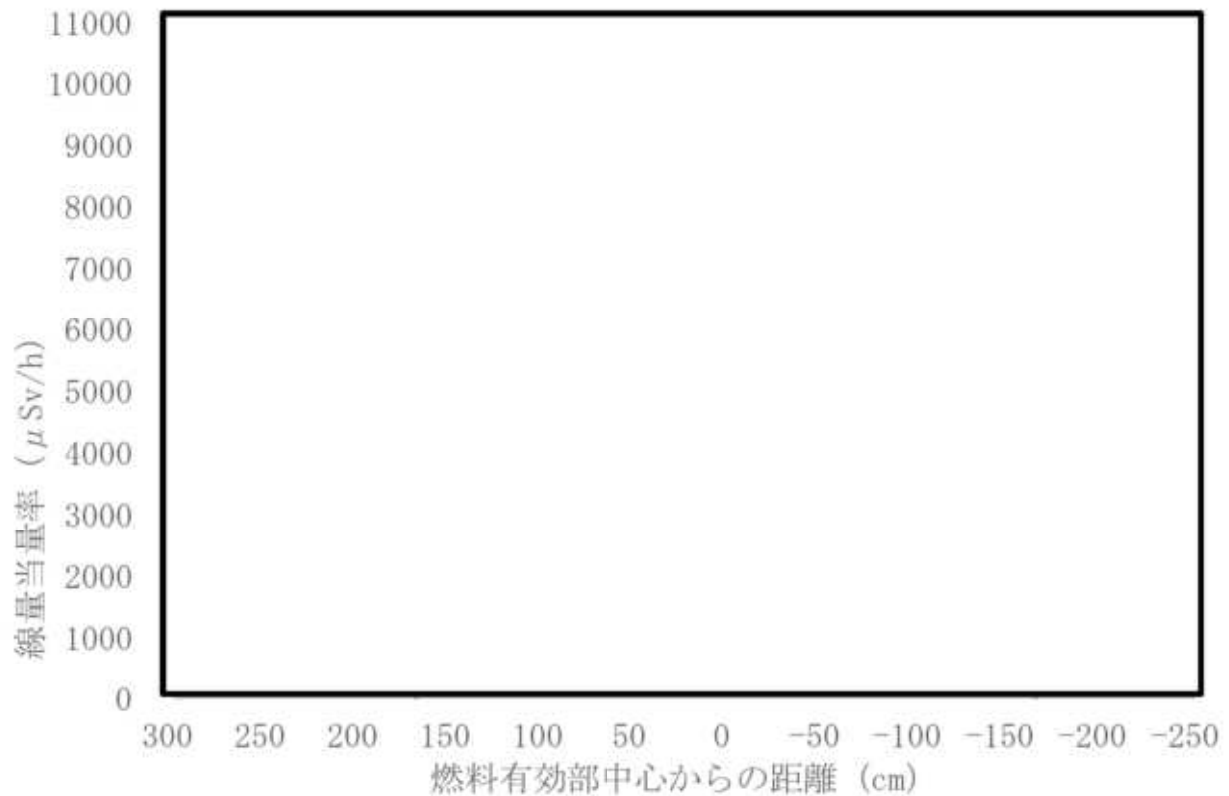
評価点	頭部				側部				底部			
	軸方向		径方向		軸方向		径方向		軸方向		径方向	
	①		③		⑤		⑦		⑨		⑪	
ガンマ線 表面から1m	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	0.1	<0.1	61.6	8.0	108.1	100.2	93.1	5.3	0.9	0.9	0.9	0.9
	0.1	0.2	114.3	75.3	19.3	18.8	43.3	7.9	1.7	1.8	1.7	1.8
	0.3	0.2	10.3	6.0	25.5	26.9	12.8	5.1	1.3	1.3	1.3	1.3
	45.3	44.3	464.4	773.1	43.4	47.4	655.2	1154.6	56.3	66.3	56.3	66.3
合計	45.8	44.8	650.6	862.4	196.3	193.3	<u>804.4</u>	<u>1172.9</u>	60.2	70.3	60.2	70.3
ガンマ線 表面から1m	②		④		⑥		⑧		⑩		⑫	
	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	0.1	<0.1	22.4	22.5	44.9	44.5	25.4	16.0	3.1	2.7	3.1	2.7
	0.1	<0.1	16.2	15.2	8.5	9.1	8.3	6.4	10.6	9.5	10.6	9.5
	0.2	<0.1	5.3	5.6	10.5	10.9	5.5	4.4	1.9	1.8	1.9	1.8
合計	22.2	22.2	35.9	35.8	19.0	19.4	32.0	40.9	14.0	16.6	14.0	16.6
合計	22.6	22.5	79.8	79.1	<u>82.9</u>	<u>83.9</u>	71.2	67.7	29.6	30.6	29.6	30.6

下線で示す値は、表面及び表面から1 m 離れた位置における線量当量率の最大値である。

第3表(2/2) 評価結果比較(一般、特別の試験条件下、15×15燃料A型収納時)

評価点	頭部				側部				底部		
	軸方向		径方向		軸方向		径方向		軸方向		
	①'		③		⑤		⑦		⑨'		
(一般の試験条件下) 表面	ガンマ線	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	燃料有効部	0.5	0.5	61.6	8.0	108.1	100.2	93.1	5.3	0.9	1.1
	構造材放射化	0.4	0.5	114.3	75.3	19.3	18.8	43.3	7.9	1.3	1.4
	二次ガンマ線	0.4	0.4	10.3	6.0	25.5	26.9	12.8	5.1	1.2	1.2
	中性子	48.2	45.8	464.4	773.1	43.4	47.4	655.2	1154.6	88.4	98.8
合計	49.5	47.2	650.6	862.4	196.3	193.3	<u>804.4</u>	<u>1172.9</u>	91.8	102.5	
(特別の試験条件下) 表面から1m	ガンマ線	⑪		⑫		⑬		⑭		⑮	
	燃料有効部	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	構造材放射化	0.2	<0.1	45.1	44.0	135.2	136.1	52.6	48.6	9.6	8.6
	二次ガンマ線	0.3	0.2	26.6	27.8	25.1	26.4	15.5	16.2	35.0	32.2
	中性子	0.6	0.5	11.5	12.5	20.9	22.7	12.6	13.5	7.5	7.3
合計	77.8	82.3	137.1	150.7	609.8	710.7	141.1	149.0	111.1	123.5	
	78.9	83.1	220.3	235.0	<u>791.0</u>	<u>895.9</u>	221.8	227.3	163.2	171.6	

下線で示す値は、表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率の最大値である。



(差分要因)

- ①DOT3.5 コードでは、角度分点に対して中性子束を計算し、換算係数を乗じることで線量当量率を算出する。局所的に線量当量率が高い場所については、角度分点が貫通部の影響で大きく表れているものと考えられる。

第3図 線量当量率評価結果比較 (特別の試験条件下 側部方向、17×17 燃料A型収納時)

MCNP5 輸送時遮蔽解析詳細

## D. 遮蔽解析

### D.1 概要

本輸送容器の主要なガンマ線遮蔽材は、(イ)-第C.5図及び(イ)-第C.6図に示すとおり、側部方向には胴及び外筒の炭素鋼であり、軸方向には胴（底部）及び蓋の炭素鋼等である。主要な中性子遮蔽材は、側部方向の胴と外筒間のレジンであり、軸方向の底部及び蓋部のレジンである。また、側部方向の胴及び外筒の炭素鋼、軸方向の胴（底部）及び蓋の炭素鋼等もその役目をする。

線源としては核分裂生成物、アクチノイドによる線源及び構造材の放射化による線源を考えた。線源強度は、ORIGEN2.2UPJ コード<sup>1)</sup>及び放射化計算式により連続照射を仮定して求めた。また、ORIGEN2.2UPJ コードによる線源強度計算で用いるライブラリは、ORIGEN2.2UPJ コード内蔵のPWRU50及びPWRUのデータを使用した。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下においては、想定される輸送容器及び収納物の状態を考慮して線量当量率を評価した。

線量当量率の計算には、MCNP5 コード<sup>2)</sup>を用いた。また、線量当量率評価で用いる断面積ライブラリは、中性子について JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリ FSXLIB-J33（以下、「FSXLIB-J33」という。）のデータ<sup>3)</sup>、ガンマ線について ENDF/B-VI 及び EPDL97 に基づく断面積ライブラリ MCPLIB84（以下、「MCPLIB84」という。）のデータ<sup>4)</sup>を使用した。

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

### D.2 線源仕様

線源強度の計算に用いる燃焼度、照射日数、初期濃縮度及び冷却日数を(ロ)-第D.1表に示す。

線源強度の計算は(ロ)-第D.1表に示した平均比出力で連続照射したものとして行った。なお、バーナブルポイズン集合体は中央部12体に挿入されているものとした。

(ロ)-第D.2表に燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度を示す。(ロ)-第D.2表より、燃料有効部ガンマ線源強度及び燃料有効部中性子源強度が高い、17×17 燃料 48,000MWd/t 型（A型）及び15×15 燃料 48,000MWd/t 型（A型）をそれぞれ収納した場合を対象として遮蔽解析を実施した。

(ロ)-第D.1表 収納物の線源計算条件(1/2)

燃料集合体の種類と型式		中央部				外周部			
		17×17 燃料							
条件	燃焼度 (MWd/t)	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
		48,000		39,000		44,000		39,000	
照射日数 (日)	使用済燃料集合体 バーナブルポイズン 集合体								
	平均比出力 (注1) (MW/t)								
	初期濃縮度 (注2) (wt%)								
冷却日数 (日)	使用済燃料集合体	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209
	バーナブルポイズン 集合体								
	ウラン重量 (kg/体)								

(注1)比出力は定格出力に相当する炉平均値を用いた。

(注2)初期濃縮度は最低濃縮度とした。



(ロ)-第D.1表 収納物の線源計算条件(2/2)

燃料集合体の種類と型式		中央部				外周部			
		15×15 燃料							
条件	燃焼度 (MWd/t)	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
		48,000		39,000		44,000		39,000	
照射日数 (日)	使用済燃料集合体								
	バーナブルポイズン集合体								
平均比出力 (注1) (MW/t)									
初期濃縮度 (注2) (wt%)									
冷却日数 (日)	使用済燃料集合体	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209	5,479	6,209
	バーナブルポイズン集合体								
ウラン重量 (kg/体)									

(注1) 比出力は定格出力に相当する炉平均値を用いた。

(注2) 初期濃縮度は最低濃縮度とした。

(ロ)-第 D.2 表 燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度 (1/2)

(輸送物 1 基当たり)

放射線種類	燃料集合体の種類と型式		17×17 燃料	
	種類と型式		48,000MWd/t 型 <sup>(注1)</sup>	
			17×17 燃料	
			39,000MWd/t 型 <sup>(注2)</sup>	
	A 型	B 型	A 型	B 型
燃料有効部ガンマ線 (photons/s)	$1.073 \times 10^{17}$	$1.007 \times 10^{17}$	$9.067 \times 10^{16}$	$8.518 \times 10^{16}$
構造材放射化ガンマ線 <sup>(注3)</sup> ( <sup>60</sup> Co TBq)	$5.922 \times 10^2$	$6.024 \times 10^2$	$5.801 \times 10^2$	$5.736 \times 10^2$
燃料有効部中性子 <sup>(注4)</sup> (n/s)	$1.205 \times 10^{10}$	$1.120 \times 10^{10}$	$8.408 \times 10^9$	$7.811 \times 10^9$

(注 1) 中央部 12 体の燃焼度を 48,000MWd/t、外周部 12 体の燃焼度を 44,000MWd/t とした輸送物 1 基当たりの線源強度である。

(注 2) 中央部 12 体及び外周部 12 体の燃焼度を全て 39,000MWd/t とした輸送物 1 基当たりの線源強度である。

(注 3) パーナブルポイズン集合体の放射化線源を考慮した値である。

(注 4) 記載値は実効増倍率  $k_{eff}$  を考慮した全中性子源強度とした。

(ロ)-第 D.2 表 燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度 (2/2)

(輸送物 1 基当たり)

放射線種類	燃料集合体の種類と型式		15×15 燃料		
			48,000MWd/t 型 <sup>(注1)</sup>	39,000MWd/t 型 <sup>(注2)</sup>	
		A 型	B 型	A 型	B 型
燃料有効部ガンマ線 (photons/s)		$1.062 \times 10^{17}$	$9.967 \times 10^{16}$	$9.018 \times 10^{16}$	$8.474 \times 10^{16}$
構造材放射化ガンマ線 <sup>(注3)</sup> ( <sup>60</sup> Co TBq)		$4.438 \times 10^2$	$4.984 \times 10^2$	$4.919 \times 10^2$	$4.880 \times 10^2$
燃料有効部中性子 <sup>(注4)</sup> (n/s)		$1.266 \times 10^{10}$	$1.175 \times 10^{10}$	$8.380 \times 10^9$	$7.787 \times 10^9$

(注 1) 中央部 12 体の燃焼度を 48,000MWd/t、外周部 12 体の燃焼度を 44,000MWd/t とした輸送物 1 基当たりの線源強度である。

(注 2) 中央部 12 体及び外周部 12 体の燃焼度を全て 39,000MWd/t とした輸送物 1 基当たりの線源強度である。

(注 3) バーナブルポイズン集合体の放射化線源を考慮した値である。

(注 4) 記載値は実効増倍率  $k_{eff}$  を考慮した全中性子源強度とした。

### D.2.1 ガンマ線源

#### 1. 燃料有効部のガンマ線源

燃料有効部のガンマ線源は、核分裂生成物及びアクチノイドによるものである。ガンマ線源強度の計算は、ORIGEN2.2UPJ コードを用いて行った。計算においては、付属書類 D.6.1 に示す軸方向の燃焼度分布を考慮した。

燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度を (a)-第 D.3 表 に示す。

(ロ)-第D.3表 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度(1/2)

(17×17 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

エネルギー 群数	平均エネルギー (MeV)	燃料有効部 (photons/s)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	$1.433 \times 10^{16}$	$1.337 \times 10^{16}$	$2.770 \times 10^{16}$
2	0.025	$2.888 \times 10^{15}$	$2.710 \times 10^{15}$	$5.599 \times 10^{15}$
3	0.0375	$3.729 \times 10^{15}$	$3.445 \times 10^{15}$	$7.174 \times 10^{15}$
4	0.0575	$2.903 \times 10^{15}$	$2.725 \times 10^{15}$	$5.628 \times 10^{15}$
5	0.085	$1.636 \times 10^{15}$	$1.528 \times 10^{15}$	$3.165 \times 10^{15}$
6	0.125	$1.581 \times 10^{15}$	$1.445 \times 10^{15}$	$3.027 \times 10^{15}$
7	0.225	$1.363 \times 10^{15}$	$1.275 \times 10^{15}$	$2.637 \times 10^{15}$
8	0.375	$5.802 \times 10^{14}$	$5.452 \times 10^{14}$	$1.125 \times 10^{15}$
9	0.575	$2.481 \times 10^{16}$	$2.278 \times 10^{16}$	$4.759 \times 10^{16}$
10	0.85	$1.142 \times 10^{15}$	$1.003 \times 10^{15}$	$2.145 \times 10^{15}$
11	1.25	$7.743 \times 10^{14}$	$6.784 \times 10^{14}$	$1.453 \times 10^{15}$
12	1.75	$2.373 \times 10^{13}$	$2.089 \times 10^{13}$	$4.463 \times 10^{13}$
13	2.25	$1.395 \times 10^{10}$	$1.289 \times 10^{10}$	$2.684 \times 10^{10}$
14	2.75	$6.962 \times 10^9$	$5.818 \times 10^9$	$1.278 \times 10^{10}$
15	3.5	$6.777 \times 10^8$	$5.046 \times 10^8$	$1.182 \times 10^9$
16	5.0	$2.157 \times 10^8$	$1.477 \times 10^8$	$3.634 \times 10^8$
17	7.0	$2.487 \times 10^7$	$1.703 \times 10^7$	$4.190 \times 10^7$
18	9.5	$2.857 \times 10^6$	$1.957 \times 10^6$	$4.814 \times 10^6$
合計		$5.576 \times 10^{16}$	$5.152 \times 10^{16}$	$1.073 \times 10^{17}$

(注)MCNP5 コードによる評価の1～8群については、線量当量率評価への寄与が無視できることを確認の上線源カットオフの対象とした。(17×17 燃料 48,000MWd/t 型 (A型)、側部方向表面評価点で代表して、1～8群のカットオフ有無による線量当量率を評価し、カットオフ有無で差異が1%未満であることを確認)

(ロ)-第D.3表 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度(2/2)

(15×15 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

エネルギー 群数	平均エネルギー (MeV)	燃料有効部 (photons/s)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	$1.414 \times 10^{16}$	$1.320 \times 10^{16}$	$2.734 \times 10^{16}$
2	0.025	$2.843 \times 10^{15}$	$2.670 \times 10^{15}$	$5.512 \times 10^{15}$
3	0.0375	$3.689 \times 10^{15}$	$3.411 \times 10^{15}$	$7.100 \times 10^{15}$
4	0.0575	$2.866 \times 10^{15}$	$2.692 \times 10^{15}$	$5.558 \times 10^{15}$
5	0.085	$1.612 \times 10^{15}$	$1.507 \times 10^{15}$	$3.119 \times 10^{15}$
6	0.125	$1.566 \times 10^{15}$	$1.432 \times 10^{15}$	$2.998 \times 10^{15}$
7	0.225	$1.342 \times 10^{15}$	$1.256 \times 10^{15}$	$2.598 \times 10^{15}$
8	0.375	$5.700 \times 10^{14}$	$5.360 \times 10^{14}$	$1.106 \times 10^{15}$
9	0.575	$2.462 \times 10^{16}$	$2.262 \times 10^{16}$	$4.724 \times 10^{16}$
10	0.85	$1.128 \times 10^{15}$	$9.922 \times 10^{14}$	$2.120 \times 10^{15}$
11	1.25	$7.723 \times 10^{14}$	$6.781 \times 10^{14}$	$1.450 \times 10^{15}$
12	1.75	$2.368 \times 10^{13}$	$2.088 \times 10^{13}$	$4.456 \times 10^{13}$
13	2.25	$1.295 \times 10^{10}$	$1.198 \times 10^{10}$	$2.493 \times 10^{10}$
14	2.75	$6.936 \times 10^9$	$5.801 \times 10^9$	$1.274 \times 10^{10}$
15	3.5	$6.904 \times 10^8$	$5.128 \times 10^8$	$1.203 \times 10^9$
16	5.0	$2.261 \times 10^8$	$1.555 \times 10^8$	$3.816 \times 10^8$
17	7.0	$2.607 \times 10^7$	$1.793 \times 10^7$	$4.400 \times 10^7$
18	9.5	$2.995 \times 10^6$	$2.059 \times 10^6$	$5.054 \times 10^6$
合計		$5.517 \times 10^{16}$	$5.101 \times 10^{16}$	$1.062 \times 10^{17}$

(注)MCNP5 コードによる評価の1～8群については、線量当量率評価への寄与が無視できることを確認の上線源カットオフの対象とした。(17×17 燃料48,000MWd/t 型(A型)、側部方向表面評価点で代表して、1～8群のカットオフ有無による線量当量率を評価し、カットオフ有無で差異が1%未満であることを確認)

## 2. 放射化線源

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

$^{60}\text{Co}$  の放射化線源強度は次式を用いて求めた。

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

ここで、

A : 放射化核種 ( $^{60}\text{Co}$ ) の放射能 (Bq)

$N_0$  : ターゲット核種 ( $^{59}\text{Co}$ ) の個数 (atoms)

$\sigma$  : 2200 m/s の中性子による  $^{59}\text{Co}$  の  $(n, \gamma)$  反応断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$$(37.2 \text{ barn} = 37.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^2) \quad ^{5)}$$

$\phi$  : 炉内照射熱中性子束 ( $\text{n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ) <sup>(注)</sup>

$\lambda$  :  $^{60}\text{Co}$  の崩壊定数 ( $3.6001 \times 10^{-4}/\text{日}$ )

$T_1$  : 照射日数 (日)

$T_2$  : 冷却日数 (日)

線源強度の計算にあたって、燃料集合体構造材のガンマ線源強度は、上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部プレナム部及び下部ノズル部の5領域に分けて求める。

$^{60}\text{Co}$  の放射化線源強度計算結果を (注)-第 D.4 表に示す。

なお、 $^{60}\text{Co}$  は1崩壊で1.17MeVと1.33MeVのガンマ線を1個ずつ放出するものとした。

---

(注) 炉設計コードによる炉心計算で求められた軸方向炉内中性子束分布の典型例により放射化評価部位での熱中性子束を求めた。

(ロ)-第D.4表 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度(1/2)

(17×17 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

モデル化領域	燃料集合体構造材の線源強度 ( <sup>60</sup> Co TBq)		
	中央部 (注)	外周部	合計
上部ノズル部	9.676×10 <sup>0</sup> (5.339×10 <sup>0</sup> )	4.046×10 <sup>0</sup>	1.372×10 <sup>1</sup> (5.339×10 <sup>0</sup> )
上部プレナム部	4.126×10 <sup>1</sup> (6.583×10 <sup>0</sup> )	3.235×10 <sup>1</sup>	7.361×10 <sup>1</sup> (6.583×10 <sup>0</sup> )
燃料有効部	3.356×10 <sup>2</sup> (1.939×10 <sup>2</sup> )	1.322×10 <sup>2</sup>	4.678×10 <sup>2</sup> (1.939×10 <sup>2</sup> )
下部プレナム部	6.278×10 <sup>0</sup>	5.857×10 <sup>0</sup>	1.214×10 <sup>1</sup>
下部ノズル部	1.288×10 <sup>1</sup>	1.201×10 <sup>1</sup>	2.489×10 <sup>1</sup>

(注)燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度の合計値 ( ) 内はバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度)

(ロ)-第D.4表 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度(2/2)

(15×15 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

モデル化領域	燃料集合体構造材の線源強度 ( <sup>60</sup> Co TBq)		
	中央部 (注)	外周部	合計
上部ノズル部	7.199×10 <sup>0</sup> (4.265×10 <sup>0</sup> )	2.742×10 <sup>0</sup>	9.941×10 <sup>0</sup> (4.265×10 <sup>0</sup> )
上部プレナム部	2.995×10 <sup>1</sup> (5.398×10 <sup>0</sup> )	2.295×10 <sup>1</sup>	5.290×10 <sup>1</sup> (5.398×10 <sup>0</sup> )
燃料有効部	2.639×10 <sup>2</sup> (1.617×10 <sup>2</sup> )	9.552×10 <sup>1</sup>	3.594×10 <sup>2</sup> (1.617×10 <sup>2</sup> )
下部プレナム部	2.842×10 <sup>0</sup>	2.657×10 <sup>0</sup>	5.499×10 <sup>0</sup>
下部ノズル部	8.272×10 <sup>0</sup>	7.732×10 <sup>0</sup>	1.600×10 <sup>1</sup>

(注)燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度の合計値 ( ) 内はバーナブルポイズン集合体の放射化によるガンマ線源強度)



### D.2.2 中性子源

燃料中には中性子源となるアクチノイドが生成される。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。一次中性子源強度の計算は、ORIGEN2.2UPJ コードを用いて行った。計算においては、付属書類 D.6.1 に示す軸方向の燃焼度分布を考慮した。

体系の増倍効果を考慮した全中性子源強度 ( $N_s$ ) は次式で求めた。

$$N_s = N_o / (1 - k_{eff})$$

ここで、

$N_o$  : 輸送物 1 基当りの一次中性子源強度

$k_{eff}$  : 使用済燃料を収納した場合の輸送物の実効増倍率

ここでは乾燥状態において使用済燃料を収納した場合の輸送物の  $k_{eff}$  を考慮した。

解析に用いた中性子源強度を (v)-第 D.5 表に示す。

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

そこで、計算に用いる線源のエネルギースペクトルは、線源強度に支配的な核分裂線源のうち最もスペクトルが硬い  $^{239}\text{Pu}$  の核分裂スペクトルとした。計算に使用する核分裂スペクトルは MCNP5 内で Watt 型  $^{239}\text{Pu}$  核分裂スペクトルに処理される。

(v)-第D.5表 中性子源強度(1/2)

(17×17 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

		燃料有効部		
		中央部	外周部	合計
一次中性子源強度 No (n/s)	( $\alpha, n$ ) 反応	$9.369 \times 10^7$	$7.472 \times 10^7$	$1.684 \times 10^8$
	自発核分裂	$4.909 \times 10^9$	$3.360 \times 10^9$	$8.269 \times 10^9$
	合計	$5.003 \times 10^9$	$3.435 \times 10^9$	$8.437 \times 10^9$
輸送物の実効増倍率 keff (注)		0.30		
全中性子源強度 Ns (n/s)		$7.147 \times 10^9$	$4.907 \times 10^9$	$1.205 \times 10^{10}$

(注)ORIGEN2.2UPJコードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及びポイズンとなる核分裂生成物の生成量を求め、これらを考慮した核種組成を用いて臨界解析に示す手法と同一手法(KENO-VIコード)により評価して得られた値である。

(v)-第D.5表 中性子源強度(2/2)

(15×15 燃料A型収納時、輸送物1基当たり)

		燃料有効部		
		中央部	外周部	合計
一次中性子源強度 No (n/s)	( $\alpha, n$ ) 反応	$9.669 \times 10^7$	$7.716 \times 10^7$	$1.739 \times 10^8$
	自発核分裂	$5.148 \times 10^9$	$3.537 \times 10^9$	$8.685 \times 10^9$
	合計	$5.245 \times 10^9$	$3.614 \times 10^9$	$8.859 \times 10^9$
輸送物の実効増倍率 keff (注)		0.30		
全中性子源強度 Ns (n/s)		$7.492 \times 10^9$	$5.163 \times 10^9$	$1.266 \times 10^{10}$

(注)ORIGEN2.2UPJコードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及びポイズンとなる核分裂生成物の生成量を求め、これらを考慮した核種組成を用いて臨界解析に示す手法と同一手法(KENO-VIコード)により評価して得られた値である。

## D.3 モデル仕様

### D.3.1 解析モデル

遮蔽解析モデルは実形状に基づき三次元モデルとした。

各試験条件下におけるモデル化は以下に示す条件を考慮した。

#### ① 燃料領域

(a)-第 D.1 図に示すとおり、使用済燃料集合体とバスケットをそれぞれモデル化している。

バーナブルポイズン集合体は、放射化線源強度のみ考慮し、構造材としての遮蔽効果は無視している。また、使用済燃料集合体の移動を考慮するため、軸方向については燃料各領域の高さ寸法は固定して一次蓋及び胴（底板）に接した状態となるようキャスク全長を短縮し、径方向についてはバスケットセル内に均質化している。

#### ② バスケット

(a)-第 D.1 図に示すとおり、バスケットプレートは中性子吸収材及びボイド層を含めた格子形状を均質化、バスケットサポートは実形状に基づきモデル化している。

バスケットの留め具（ワッシャ、ボルト、ナット）は無視しており、バスケット領域に空孔が存在する場合は空孔の体積も考慮して均質化している。

#### ③ 胴、側部中性子遮蔽材及び外筒

(a)-第 D.1 図に示すとおり、実形状に基づきモデル化している。

#### ④ トラニオン部

実形状に基づきモデル化している。

#### ⑤ 解析モデルの入力条件への不確かさの考慮について

解析モデルの入力条件への不確かさとして以下を考慮している。

##### 1) 構成部材密度

最低保証密度を使用して原子個数密度を設定。

##### 2) 寸法公差

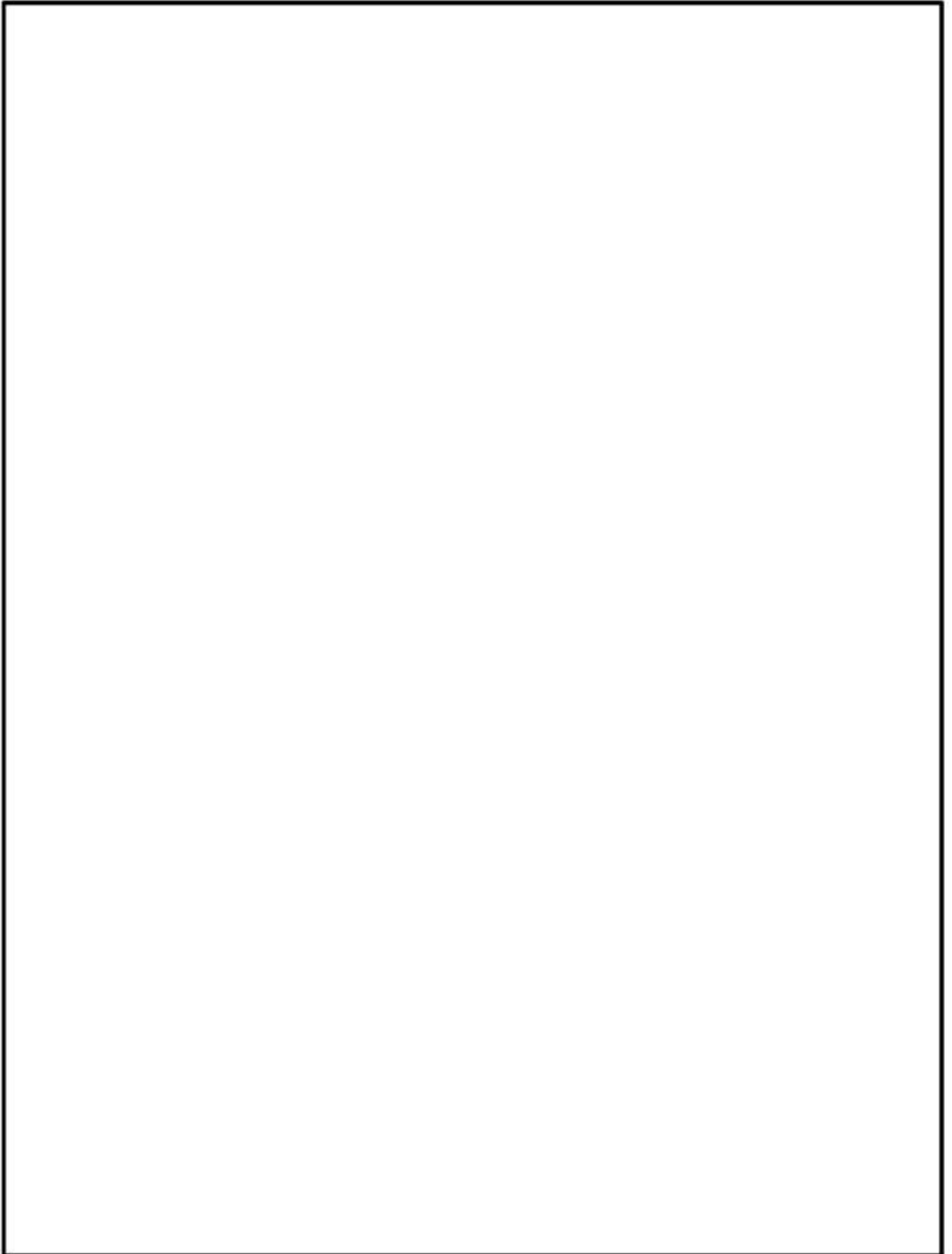
解析モデルの各種寸法は公称寸法でモデル化するが、各構成部材の寸法公差については最小厚さを密度係数（＝最小寸法／公称寸法）で考慮。

### 1. 通常輸送時及び一般の試験条件下

通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下において 0.3 m 落下における緩衝体の変形を考慮すること以外は同一とした。

解析モデルを (a)-第 D.1 図に示す。

なお、緩衝体は安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮した。また、中性子遮蔽材は、評価期間中の熱的影響により質量減損（1.9 %）が発生するため、遮蔽評価上、保守的に 2.5 %の質量減損を考慮（原子個数密度で考慮）する。

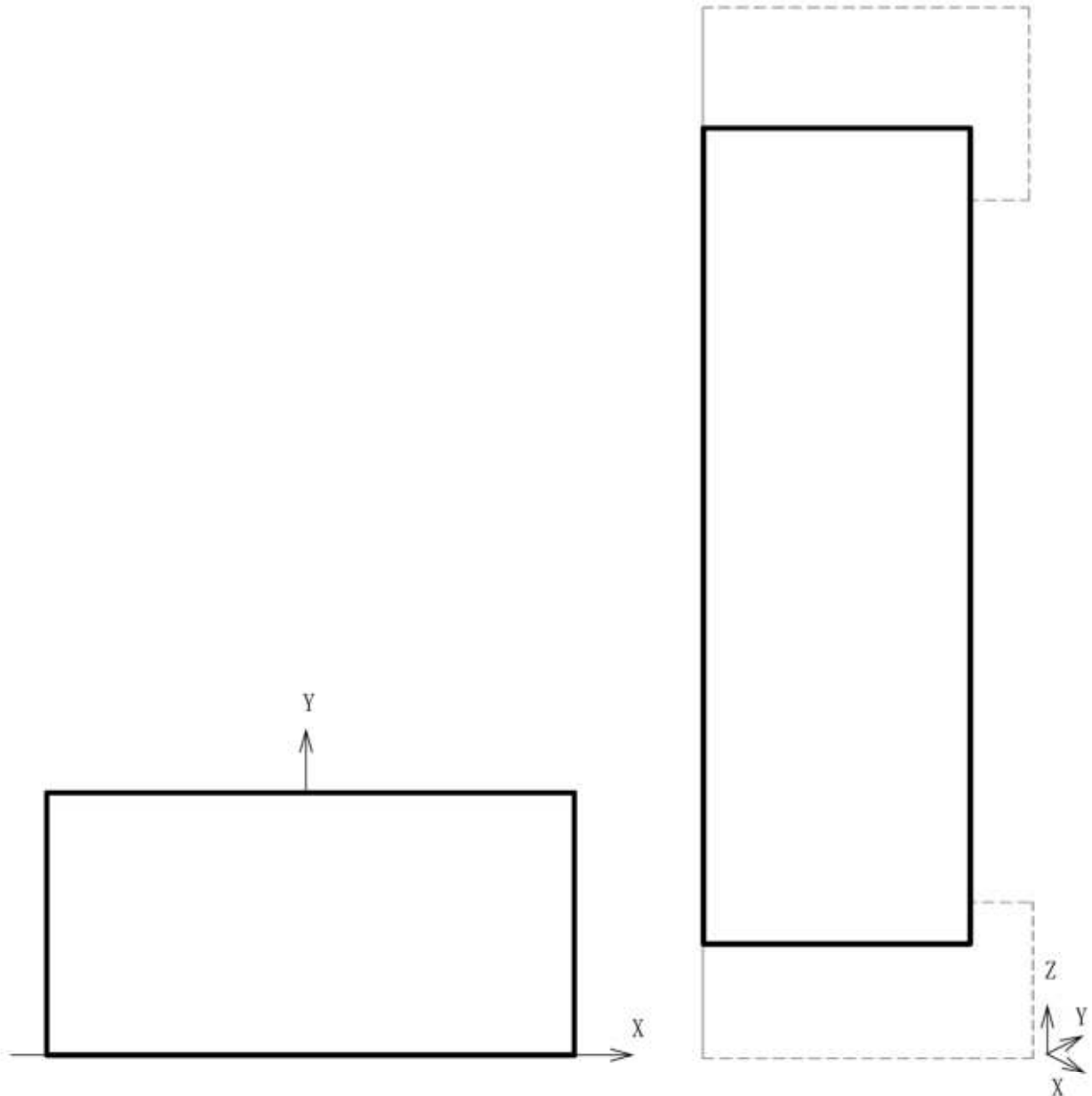


(v)-第 D.1 図 (1/2) 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル

無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

枠囲みの範囲は、商業機密のため、非公開とします。

(v)-D-14



注：モニタリングポート部、バルブ部、トラニオン等を同一平面に示している。

緩衝体は通常輸送時の状態を示している。

 燃料有効部中央	 燃料有効部外周
 燃料上部構造材中央	 燃料上部構造材外周
 燃料上部構造材中央	 燃料上部構造材外周
 燃料下部構造材中央	 燃料下部構造材外周
 バスケット領域	 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋部中性子遮蔽材カバー
 中性子遮蔽材	 トラニオン
 伝熱フィン	 底部中性子遮蔽材カバー、下部端板、 バルブ部カバープレート
 真空	 緩衝体（空気）

(v)-第 D.1 図 (2/2) 通常輸送時及び一般の試験条件下の解析モデル

無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

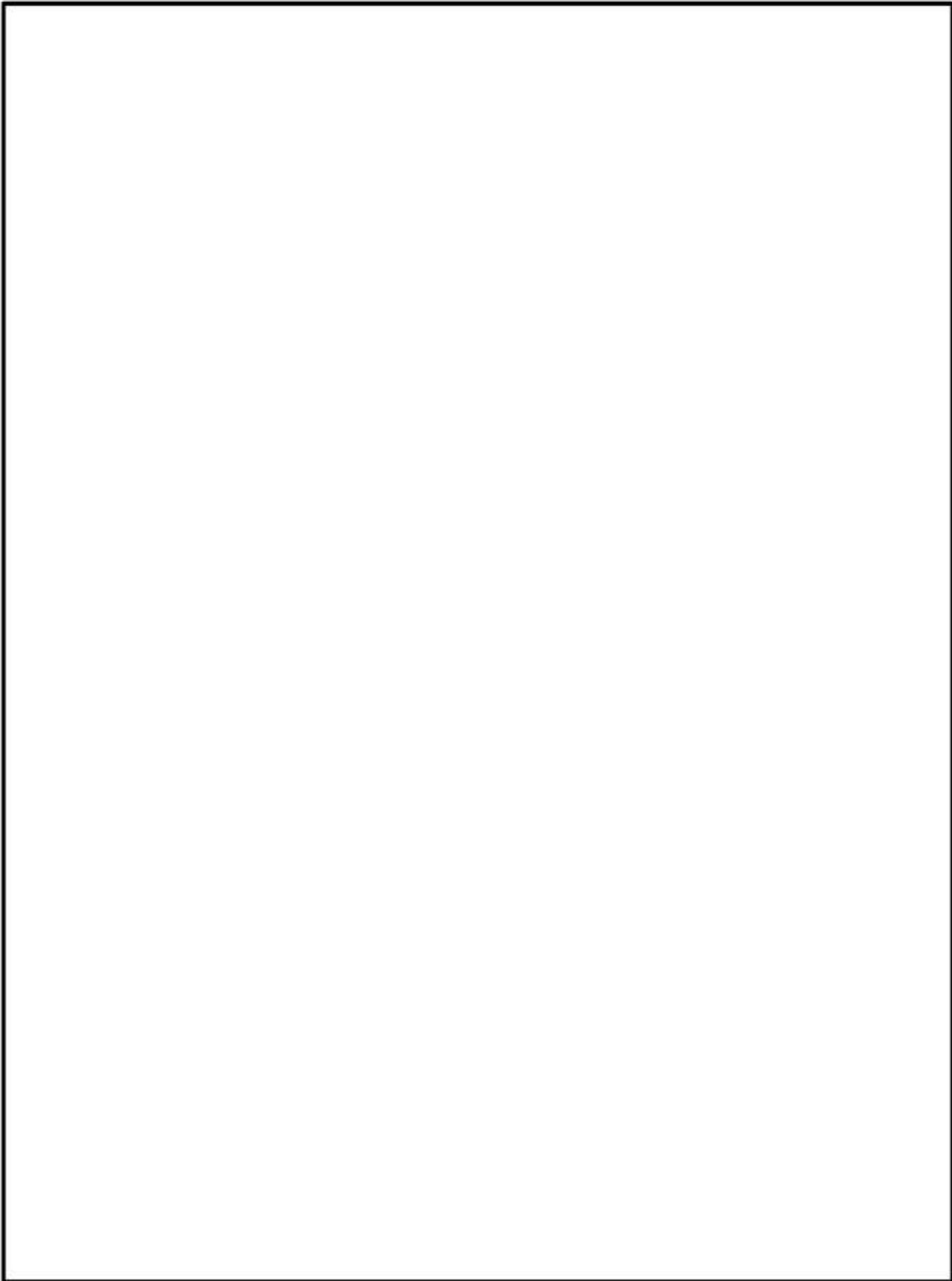
枠囲みの範囲は、商業機密のため、非公開とします。

(v)-D-15

## 2. 特別の試験条件下

特別の試験条件下における解析モデルは一般の試験条件下の場合と次の点で異なる。  
解析モデルを(ロ)-第D.2図に示す。

- ① 熱解析の結果では耐火試験により蓋部中性子遮蔽材、側部中性子遮蔽材、底部中性子遮蔽材及びトラニオン部中性子遮蔽材が著しく焼損することはないが、安全側にその密度が半分に減少するものとした。
- ② 1 m 貫通試験により外筒、側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンが部分的に変形することが考えられるので、安全側に貫通すると仮定して外筒、側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンに貫通孔（全周）を模擬した。
- ③ 落下試験により緩衝体は大幅に変形するので、無視するものとした。



(□)-第 D. 2 図 特別の試験条件下の解析モデル

無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

枠囲みの範囲は、商業機密のため、非公開とします。

### D.3.2 解析モデル各領域における原子個数密度

遮蔽解析に用いた各領域の原子個数密度を (v)-第 D.6 表 に、各部位の材料密度と密度係数を (v)-第 D.7 表 に示す。



(ロ)-第D.6表 解桁に用いた各領域の原子個数密度 (1/4)

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

領域 元素	均質化領域					
	燃料領域(17×17 燃料A型)					
	上部 ノズル部	上部 プレナム部	燃料有効部	下部 プレナム部	下部 ノズル部	
H						
<sup>10</sup> B						
C						
N						
O						
Al						
Cr						
Fe						
Ni						
Cu						
Zr						
<sup>235</sup> U						
<sup>238</sup> U						

(ロ)-第D.6表 解桁に用いた各領域の原子個数密度 (2/4)

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

領域 元素	均質化領域					
	燃料領域(15×15燃料A型)					
	上部 ノズル部	上部 プレナム部	燃料有効部	下部 プレナム部	下部 ノズル部	
H						
<sup>10</sup> B						
C						
N						
O						
Al						
Cr						
Fe						
Ni						
Cu						
Zr						
<sup>235</sup> U						
<sup>238</sup> U						

(a)-第D.6表 解析に用いた各領域の原子個数密度 (3/4)

(単位:  $10^{24}$ atoms/cm<sup>3</sup>)

領域 元素	バスケット		析出硬化系 ステンレス鋼
	プレート +中性子吸収材	サポート	
H			ステンレス鋼
<sup>10</sup> B			
C			
N			
O			
Al			
Cr			
Fe			
Ni			
Cu			

(a)-第D.6表 解析に用いた各領域の原子個数密度 (4/4)

(単位:  $10^{24}$ atoms/cm<sup>3</sup>)

領域 元素	炭素鋼	銅	中性子 遮蔽材	空気
H				
<sup>10</sup> B				
C				
N				
O				
Al				
Cr				
Fe				
Ni				
Cu				

(注) ( ) 内は特別の試験条件下の値である。

(ロ)-第D.7表 各部位の材料密度と密度係数 (1/2)

部位	材質	材料密度 (g/cm <sup>3</sup> )	密度係数
胴	炭素鋼		
胴 (底部)			
外筒			
一次蓋			
蓋部中性子遮蔽材カバー (蓋板)			
蓋部中性子遮蔽材カバー (側板)			
二次蓋			
下部端板	ステンレス鋼		
底部中性子遮蔽材カバー			
三次蓋			
バルブカバープレート			
トラニオン	析出硬化系 ステンレス鋼		
側部中性子遮蔽材	レジン		
底部中性子遮蔽材			
蓋部中性子遮蔽材			
トラニオン部中性子遮蔽材			
バルブ部中性子遮蔽材			
伝熱フィン	銅		
バスケットサポート	アルミニウム合金		

(v)-第D.7表 各部位の材料密度と密度係数 (2/2)

部位	材質	材料密度 (g/cm <sup>3</sup> )	密度係数
燃料領域 (共通)	UO <sub>2</sub>		—
	Zr		—
	ステンレス鋼		—
	インコネル		—
	アルミニウム合金		—
	ほう素添加 アルミニウム合金		—

#### D.4 遮蔽評価

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

##### 1. 基本手法

遮蔽計算はガンマ線、中性子ともに MCNP5 コードを用いて行った。

線束から線量当量率への変換係数は ICRP Pub. 74<sup>6)</sup> の 1 cm 線量当量率変換係数に基づく値を用いた。

##### 2. 計算結果

各モデルにおける主要部位でのガンマ線線量当量率及び中性子線量当量率の計算結果を収納燃料タイプ別に以下に示す。

・ 17×17 燃料 A 型収納時の計算結果：

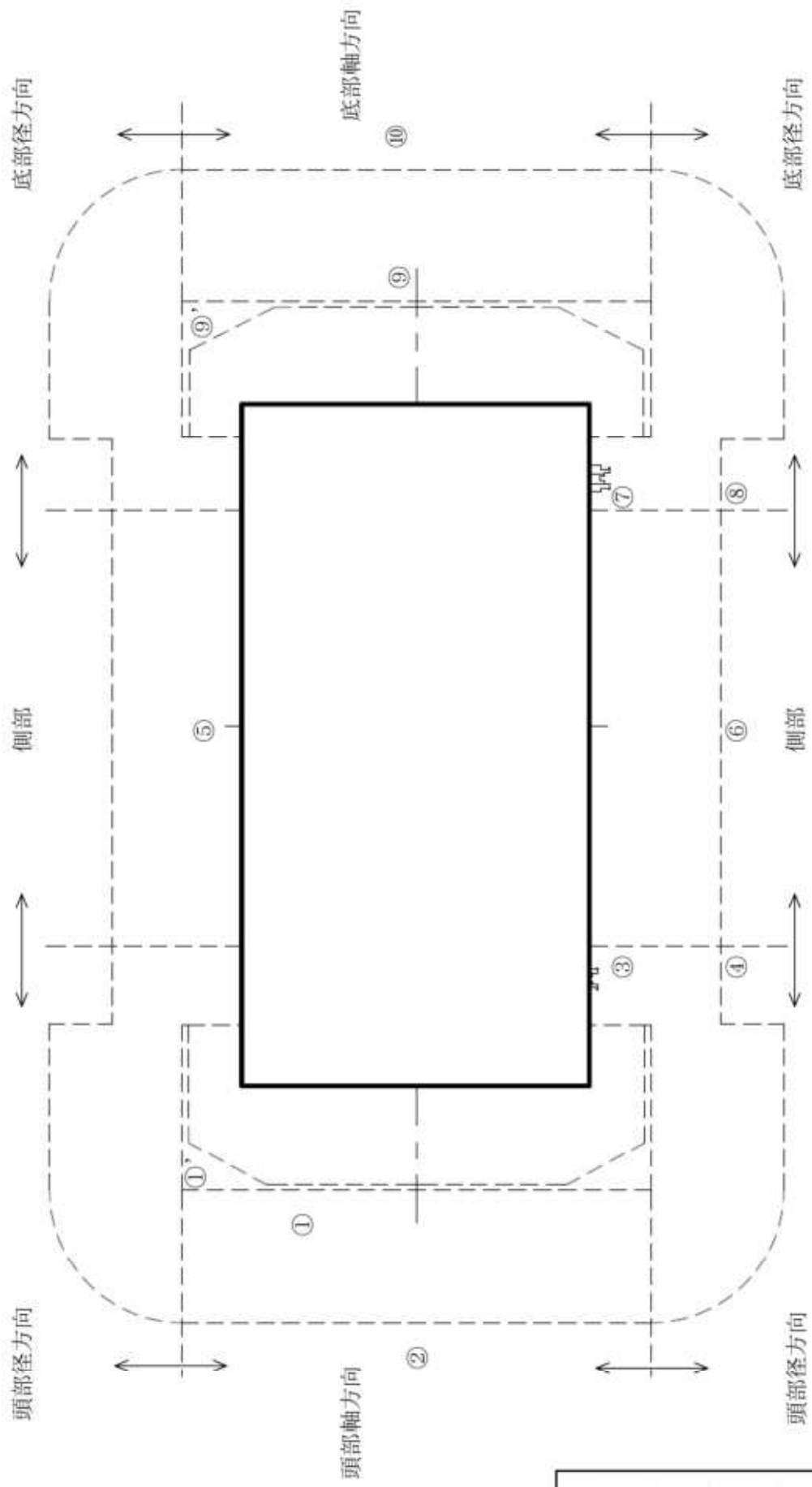
(a)-第 D. 3 図、(a)-第 D. 4 図及び(a)-第 D. 8 表～(a)-第 D. 10 表

・ 15×15 燃料 A 型収納時の計算結果：

(a)-第 D. 5 図、(a)-第 D. 6 図及び(a)-第 D. 11 表～(a)-第 D. 13 表

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

また、(a)-第 D. 8 表、(a)-第 D. 9 表、(a)-第 D. 11 表及び(a)-第 D. 12 表に示すように一般の試験条件下に置かれた輸送物表面の最大線量当量率は、著しく増加することはない。



無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

枠囲みの範囲は、商業機密のため、非公開とします。

(注)①~⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(ρ)-第D.8表及び(ρ)-第D.9表に示す。

(ρ)-第D.3図 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率評価位置 (17×17燃料A型収納時)



(ロ)-第D.8表 通常輸送時の線量当量率 (17×17燃料A型収納時)

(単位：μSv/h)

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	①	③		⑦	⑨	
表面	燃料有効部	<0.1 (6.6)	60.6 (3.5)	113.6 (0.9)	91.3 (3.2)	6.5 (1.0)
	構造材放射化	0.2 (1.8)	161.7 (2.9)	26.8 (0.9)	69.1 (3.8)	37.9 (0.6)
	二次ガンマ線	0.3 (3.4)	9.6 (1.9)	25.4 (1.2)	12.1 (2.7)	4.8 (1.7)
中性子	41.3 (1.0)	433.6 (1.6)	40.7 (0.9)	616.2 (1.2)	21.8 (0.9)	
合計	41.9 (注1)	665.5	206.5	<b>788.7</b>	71.0	
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩	
表面から 1 m	燃料有効部	<0.1 (1.1)	23.4 (0.5)	45.0 (0.3)	27.1 (0.6)	2.9 (0.4)
	構造材放射化	0.2 (0.5)	22.7 (0.9)	11.5 (0.2)	13.0 (1.0)	16.8 (0.3)
	二次ガンマ線	0.2 (1.2)	5.1 (0.5)	10.0 (0.4)	5.5 (0.5)	1.8 (0.7)
中性子	20.3 (0.3)	32.3 (0.9)	17.7 (0.2)	29.1 (1.0)	12.9 (0.3)	
合計	20.8 (注1)	83.5	<b>84.2</b>	74.7	34.4	

※ ( ) 内は統計誤差 (単位：%) を示す。

下線で示す値は、表面及び表面から 1 m 離れた位置における線量当量率の最大値である。

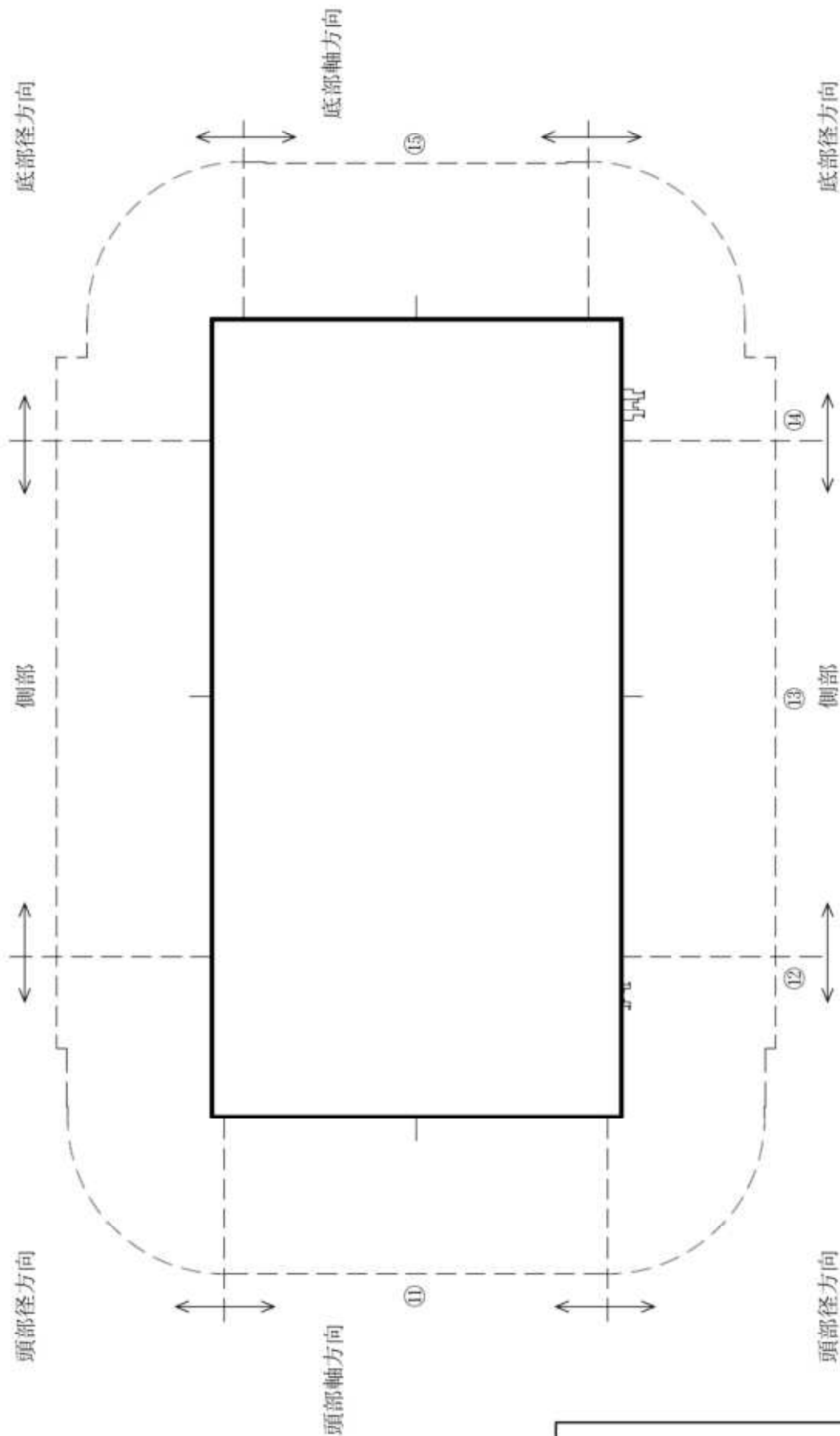
(注1)0.1 未満の値は 0.1 として合計に考慮した。

(ロ)-第D.9表 一般の試験条件下の線量当量率 (17×17燃料A型収納時)

(単位：μSv/h)

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	①'	③		⑦	⑨'	
ガンマ線	燃料有効部	0.4 (2.4)	60.6 (3.5)	113.6 (0.9)	91.3 (3.2)	1.1 (1.6)
	構造材放射化	0.5 (1.5)	161.7 (2.9)	26.8 (0.9)	69.1 (3.8)	1.7 (1.2)
	二次ガンマ線	0.3 (3.1)	9.6 (1.9)	25.4 (1.2)	12.1 (2.7)	1.1 (2.1)
中性子	44.0 (2.8)	433.6 (1.6)	40.7 (0.9)	616.2 (1.2)	85.4 (3.3)	
合計	45.2	665.5	206.5	<u>788.7</u>	89.3	

※ ( ) 内は統計誤差 (単位：%) を示す。下線で示す値は、線量当量率の最大値である。



(注)①～⑤の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(ロ)-第D.10表に示す。

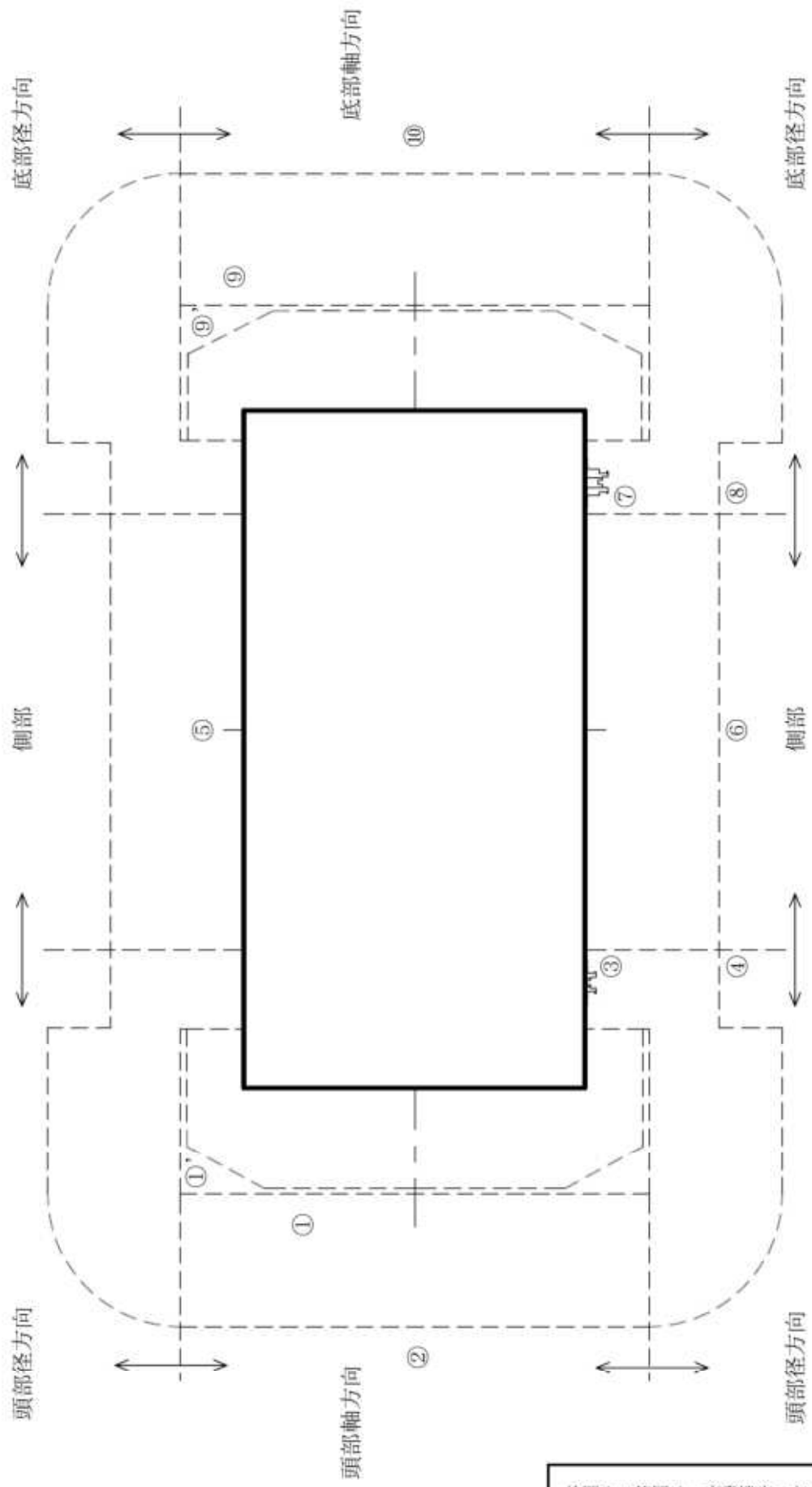
(ロ)-第D.4図 特別の試験条件下の線量当量率評価位置 (17×17 燃料A型収納時)

(ロ)-第D.10表 特別の試験条件下の線量当量率 (17×17燃料A型収納時)

(単位：μSv/h)

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	⑪	⑫		⑬	⑭	
ガンマ線	燃料有効部	0.1 (1.4)	44.6 (0.4)	136.0 (0.4)	52.3 (0.4)	9.2 (0.4)
	構造材放射化	0.3 (0.5)	36.3 (0.6)	34.2 (0.4)	22.4 (0.5)	54.8 (0.2)
	二次ガンマ線	0.5 (0.8)	11.0 (0.3)	19.9 (0.3)	11.9 (0.3)	7.1 (0.3)
中性子	70.5 (0.3)	128.0 (0.4)	575.7 (0.5)	132.9 (0.5)	103.3 (0.3)	
合計	71.4	219.9	<b>765.8</b>	219.5	174.4	

※ ( ) 内は統計誤差 (単位：%) を示す。下線で示す値は、線量当量率の最大値である。



無断複製・転写禁止 三菱重工業株式会社

枠囲みの範囲は、商業機密のため、非公開とします。

(注)①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(ρ)-第D.11表及び(ρ)-第D.12表に示す。

(ρ)-第D.5図 通常輸送時及び一般の試験条件下の線量当量率評価位置 (15×15燃料A型収納時)

(ロ)-第D.11表 通常輸送時の線量当量率 (15×15 燃料A型収納時)

(単位：μSv/h)

評価点	頭部		側部	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
	①	③		⑦	⑨
表面	ガンマ線				
	燃料有効部	0.1 (4.5)	61.6 (2.0)	108.1 (0.6)	93.1 (4.2)
	構造材放射化	0.1 (2.1)	114.3 (1.2)	19.3 (0.6)	43.3 (1.6)
中性子	二次ガンマ線	0.3 (3.5)	10.3 (1.8)	25.5 (1.0)	12.8 (2.0)
	合計	45.3 (1.7)	464.4 (0.7)	43.4 (0.5)	655.2 (0.9)
合計	45.8	650.6	196.3	<u>804.4</u>	60.2
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩
表面から1m	ガンマ線				
	燃料有効部	0.1 (0.5)	22.4 (0.3)	44.9 (0.2)	25.4 (0.3)
	構造材放射化	0.1 (0.3)	16.2 (0.5)	8.5 (0.2)	8.3 (0.5)
中性子	二次ガンマ線	0.2 (1.2)	5.3 (0.4)	10.5 (0.3)	5.5 (0.4)
	合計	22.2 (0.2)	35.9 (0.5)	19.0 (0.1)	32.0 (0.6)
合計	22.6	79.8	<u>82.9</u>	71.2	29.6

※ ( ) 内は統計誤差 (単位：%) を示す。

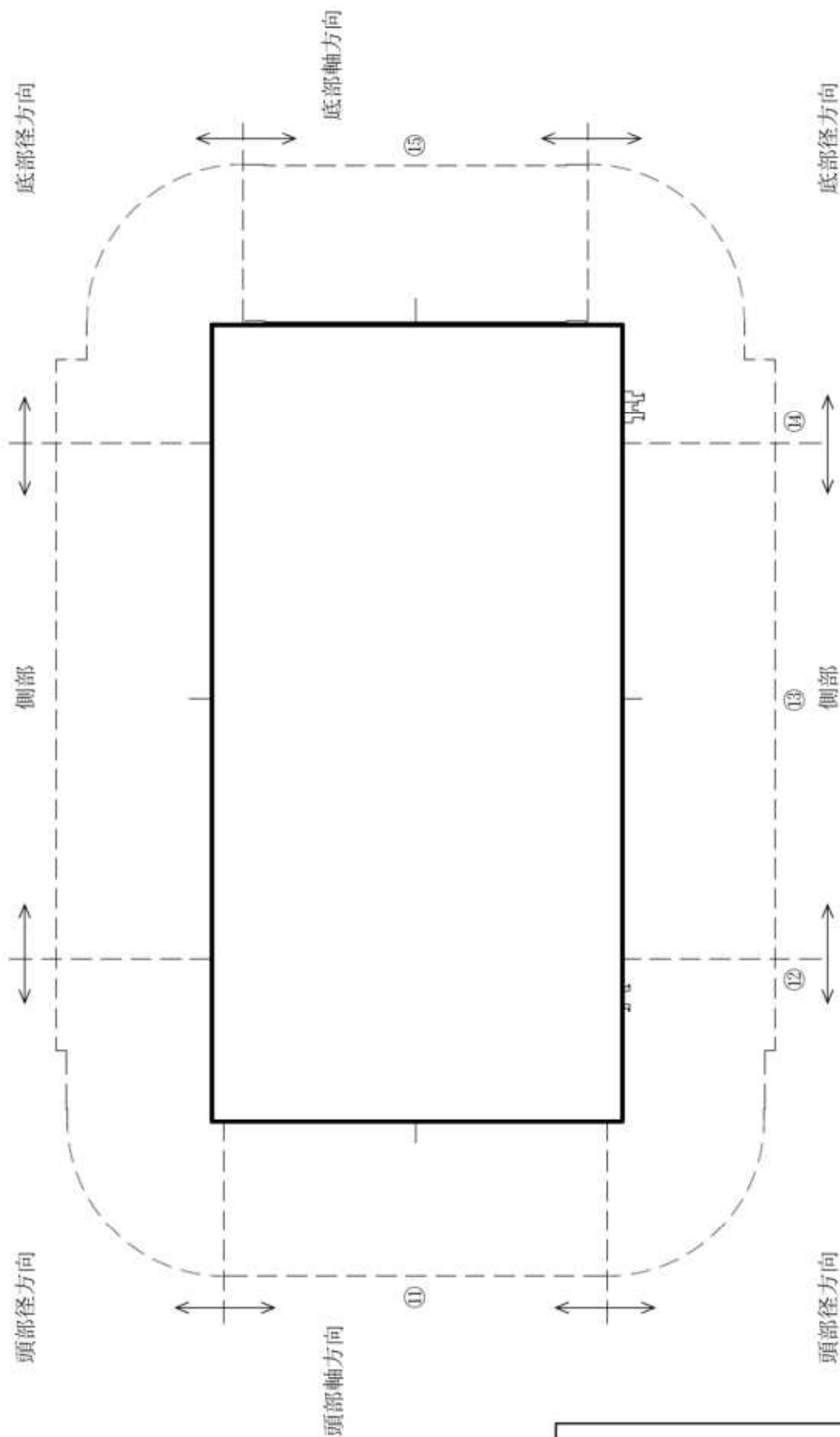
下線で示す値は、表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率の最大値である。

(ロ)第D.12表 一般の試験条件下の線量当量率 (15×15燃料A型収納時)

(単位：μSv/h)

評価点	頭部		側部	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
	①'	③		⑦	⑨'
ガンマ線	燃料有効部	61.6 (2.4)	108.1 (0.6)	93.1 (4.2)	0.9 (1.7)
	構造材放射化	0.4 (1.5)	19.3 (0.6)	43.3 (1.6)	1.3 (1.2)
	二次ガンマ線	0.4 (2.7)	25.5 (1.0)	12.8 (2.0)	1.2 (1.7)
中性子	48.2 (2.6)	464.4 (0.7)	43.4 (0.5)	655.2 (0.9)	88.4 (1.9)
合計	49.5	650.6	196.3	<u>804.4</u>	91.8

※ ( ) 内は統計誤差 (単位：%) を示す。下線で示す値は、線量当量率の最大値である。



(注)①～⑤の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示しており、その結果を(ロ)-第D.13表に示す。

(ロ)-第D.6図 特別の試験条件下の線量当量率評価位置 (15×15 燃料A型収納時)

無断複製・転写禁止 三菱重工株式会社

枠囲みの範囲は、商業機密のため、非公開とします。



(ロ)-第D.13表 特別の試験条件下の線量当量率 (15×15 燃料A型収納時)

(単位：μSv/h)

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	⑪	⑫		⑬	⑭	
ガンマ線 表面から1m	燃料有効部	0.2 (2.2)	45.1 (0.4)	135.2 (0.4)	52.6 (0.4)	9.6 (0.4)
	構造材放射化	0.3 (0.7)	26.6 (0.6)	25.1 (0.4)	15.5 (0.6)	35.0 (0.2)
	二次ガンマ線	0.6 (1.4)	11.5 (0.6)	20.9 (0.5)	12.6 (0.6)	7.5 (0.6)
中性子	77.8 (0.3)	137.1 (0.3)	609.8 (0.5)	141.1 (0.4)	111.1 (0.2)	
合計	78.9	220.3	<b>791.0</b>	221.8	163.2	

※ ( ) 内は統計誤差 (単位：%) を示す。下線で示す値は、線量当量率の最大値である。

#### D.5 結果の要約及びその評価

通常輸送時、一般及び特別の試験条件下の遮蔽解析条件の要約を(□)-第 D.14 表に示す。

また、計算から得られた最大線量当量率の要約は(□)-第 D.15 表及び(□)-第 D.16 表に示すとおりであり、規則及び告示で定められた基準を満足する。

(□)-第 D.14 表 遮蔽解析条件の要約

項目		条件		
		通常輸送時	一般の試験条件下	特別の試験条件下
線源		軸方向の移動を考慮し、頭部方向評価モデルでは蓋方向に、底部方向評価モデルでは底方向に移動した状態を模擬した。		
遮蔽体	本体	胴、蓋、外筒、中性子遮蔽材		同左 ただし、外筒、側部中性子遮蔽材(レジン)の貫通孔を考慮。 また、中性子遮蔽材密度については半分とする。
	緩衝体	空気に置換し、距離のみ考慮	変形を考慮した上で、空気に置換し、距離のみ考慮	無視

(v)-第D.15表 最大線量当量率の要約 (17×17 燃料A型収納時)

項目	部位	輸送物表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )					表面から 1 m ( $\mu\text{Sv/h}$ )				
		頭部		側部	底部		頭部		側部	底部	
		軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
通常輸送時											
ガンマ線		0.6	231.9	165.8	172.5	49.2	0.5	51.2	66.5	45.6	21.5
中性子		41.3	433.6	40.7	616.2	21.8	20.3	32.3	17.7	29.1	12.9
合計		41.9	665.5	206.5	788.7	71.0	20.8	83.5	84.2	74.7	34.4
一般の試験条件下											
ガンマ線		1.2	231.9	165.8	172.5	3.9					
中性子		44.0	433.6	40.7	616.2	85.4					
合計		45.2	665.5	206.5	788.7	89.3					
特別の試験条件下											
ガンマ線							0.9	91.9	190.1	86.6	71.1
中性子							70.5	128.0	575.7	132.9	103.3
合計							71.4	219.9	765.8	219.5	174.4
基準値											
通常輸送時				2000					100		
一般の試験条件下				2000					—		
特別の試験条件下				—					10000		

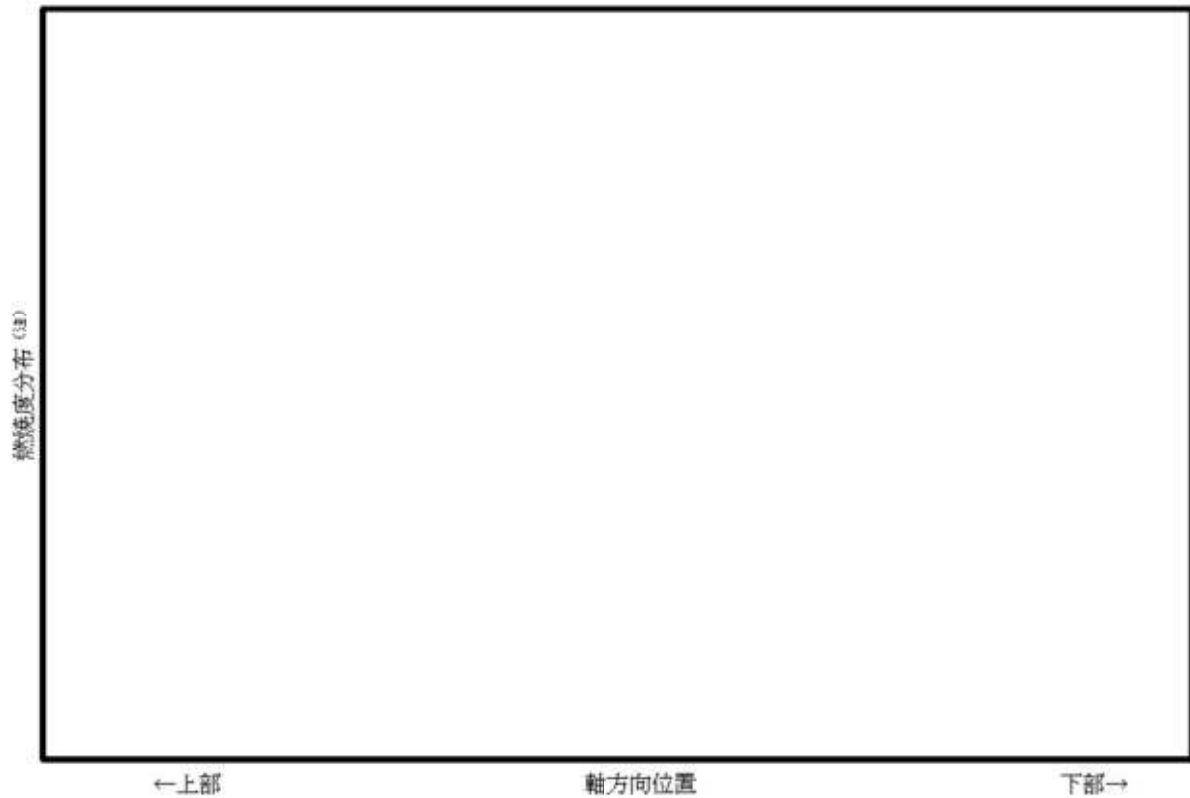
(v)-第D.16表 最大線量当量率の要約 (15×15燃料A型収納時)

項目	部位	輸送物表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )					表面から1 m ( $\mu\text{Sv/h}$ )				
		頭部		側部	底部		頭部		側部	底部	
		軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
通常輸送時											
ガンマ線		0.5	186.2	152.9	149.2	3.9	0.4	43.9	63.9	39.2	15.6
中性子		45.3	464.4	43.4	655.2	56.3	22.2	35.9	19.0	32.0	14.0
合計		45.8	650.6	196.3	804.4	60.2	22.6	79.8	82.9	71.2	29.6
一般の試験条件下							/				
ガンマ線		1.3	186.2	152.9	149.2	3.4					
中性子		48.2	464.4	43.4	655.2	88.4					
合計		49.5	650.6	196.3	804.4	91.8					
特別の試験条件下		/									
ガンマ線							1.1	83.2	181.2	80.7	52.1
中性子							77.8	137.1	609.8	141.1	111.1
合計		78.9	220.3	791.0	221.8	163.2					
基準値											
通常輸送時		2000					100				
一般の試験条件下		2000					—				
特別の試験条件下		—					10000				

D.6 付属書類

D.6.1 線源強度の計算に用いる軸方向燃焼度分布

線源強度の計算に用いる軸方向燃焼度分布を (D)-第 D. 付 1 図に示す。



(注) 各ノードの燃焼度と燃料集合体平均燃焼度との比

(D)-第 D. 付 1 図 軸方向燃焼度分布

#### D.6.2 中性子遮蔽材の構成元素の原子個数密度と製造時の確認

(a)-第 D.6 表に記載の解析に用いる中性子遮蔽材の構成元素の原子個数密度は、中性子遮蔽材の元素組成と、製品仕様としての中性子遮蔽材の密度、水素及び  $B_4C$  含有量の最低値から算出した。

製造時には、中性子遮蔽材の元素組成については、中性子遮蔽材が所定の銘柄又はその相当品であることを確認し、中性子遮蔽材の密度、水素及び  $B_4C$  含有量については、サンプルによる中性子遮蔽材の密度測定記録及び成分分析記録を確認する。

### D.6.3 参考文献

- 1) M. Ishikawa, T. Jin, J. Katakura, M. Kataoka, H. Matsumoto, Y. Ohkawachi, S. Ohki, A. Onoue, A. Sasahara, K. Suyama, H. Yanagisawa, “ZZ-ORIGEN2.2-UPJ, A Complete Package of ORIGEN2 Libraries Based on JENDL-3.2 and JENDL-3.3”, OECD/NEA Databank, (2006).
- 2) X-5 Monte Carlo Team, “MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume I: Overview and Theory”, LA-UR-03-1987, (2003).
- 3) K. Kosako, N. Yamano, T. Fukahori, K. Shibata and A. Hasegawa, “The Libraries FSXLIB and MATXSLIB Based on JENDL-3.3”, JAERI-Data/Code 2003-011, (2003).
- 4) Brian C. Kiedrowski, Forrest B. Brown, Morgan C. White, D. Kent Parsons, “Testing for the Photon Doppler Broadening Data Sampling Bug in MCNP5/X”, LA-UR-12-00121, (2012).
- 5) Brookhaven National Laboratory, “Neutron Cross Sections”, BNL-325 Third Edition, (1973).
- 6) ICRP, “Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation”, ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26(3-4), (1996).