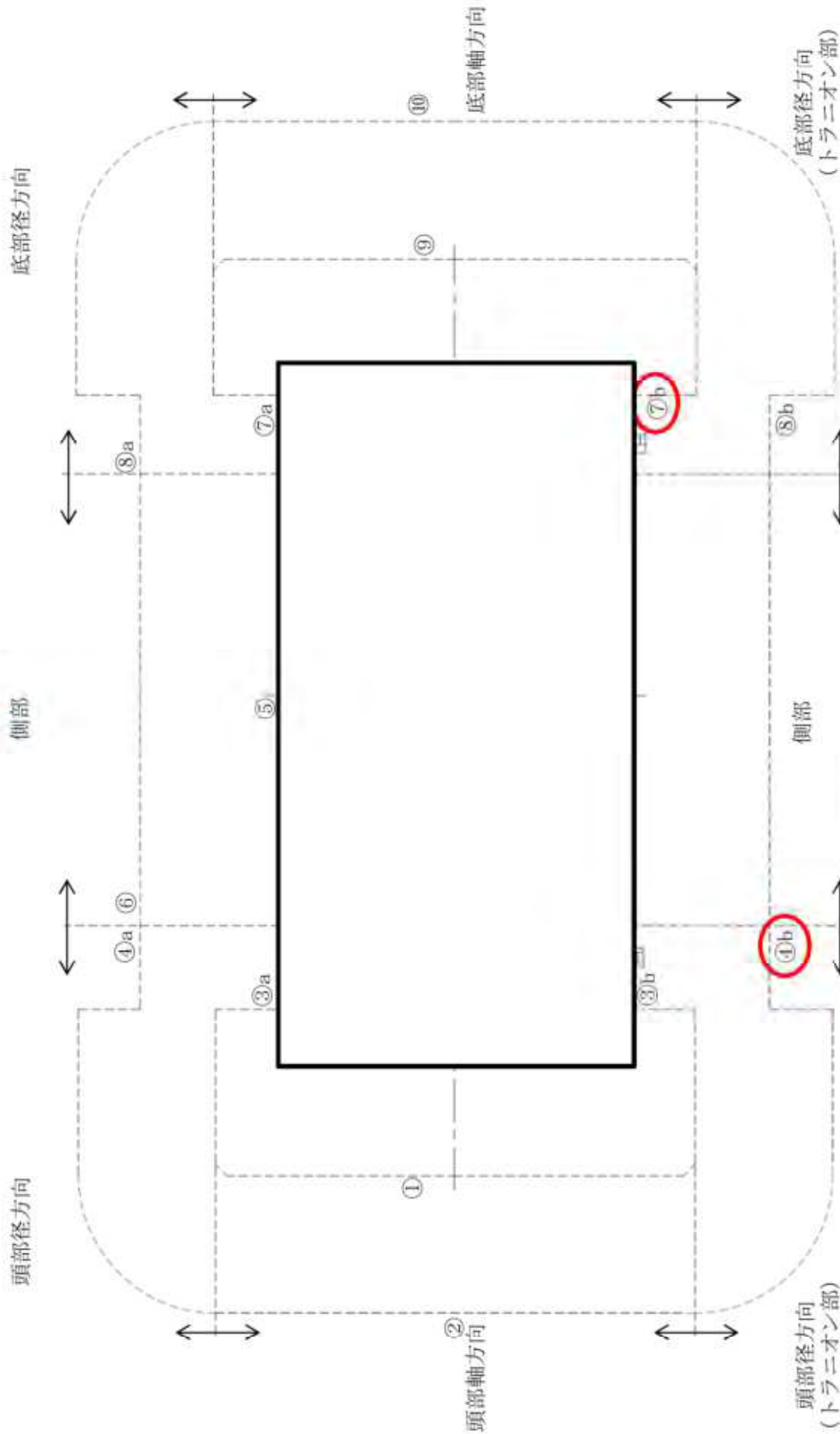


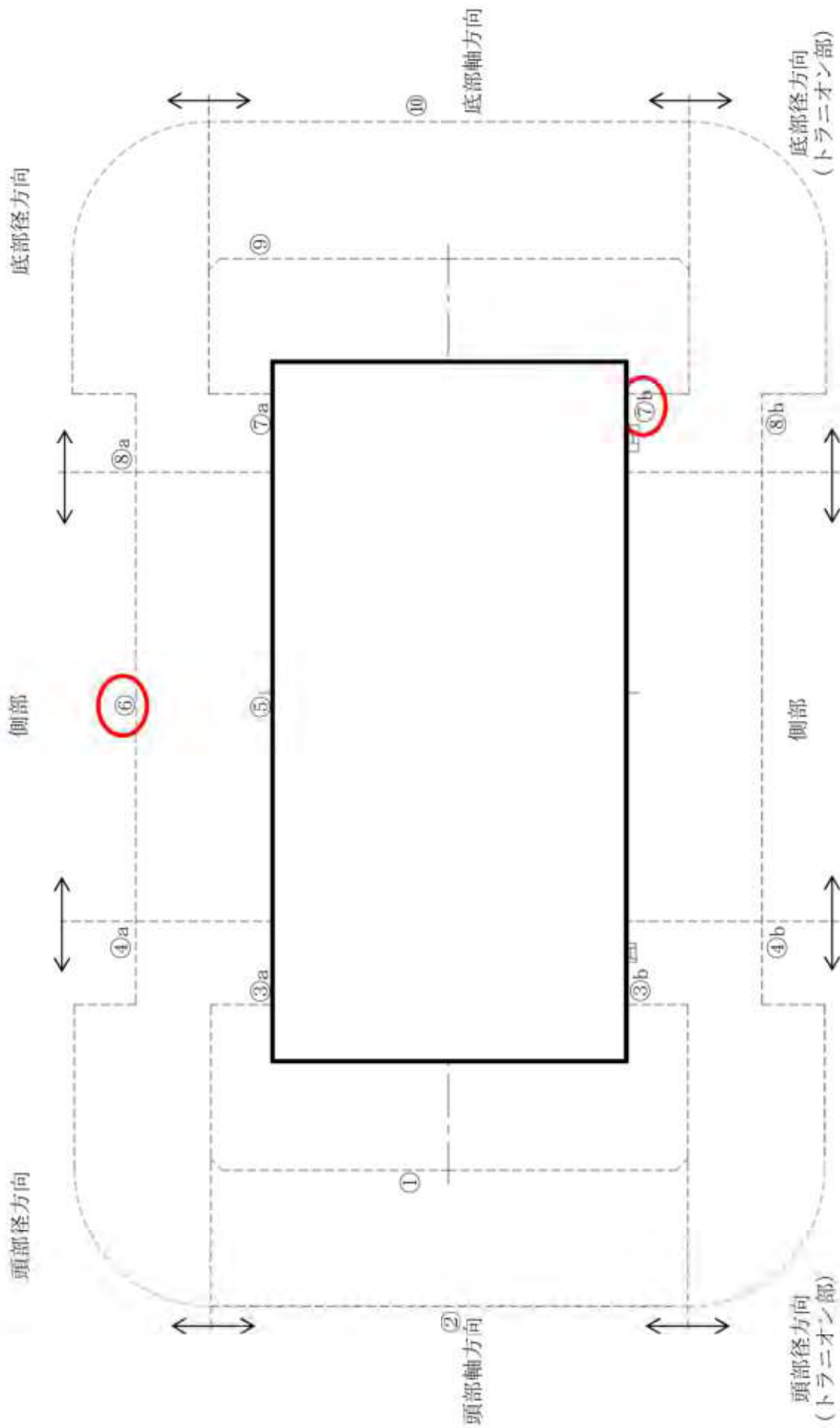
○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置



(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いる。

別紙 4-2 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置  
 (17×17 燃料 (B 型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置

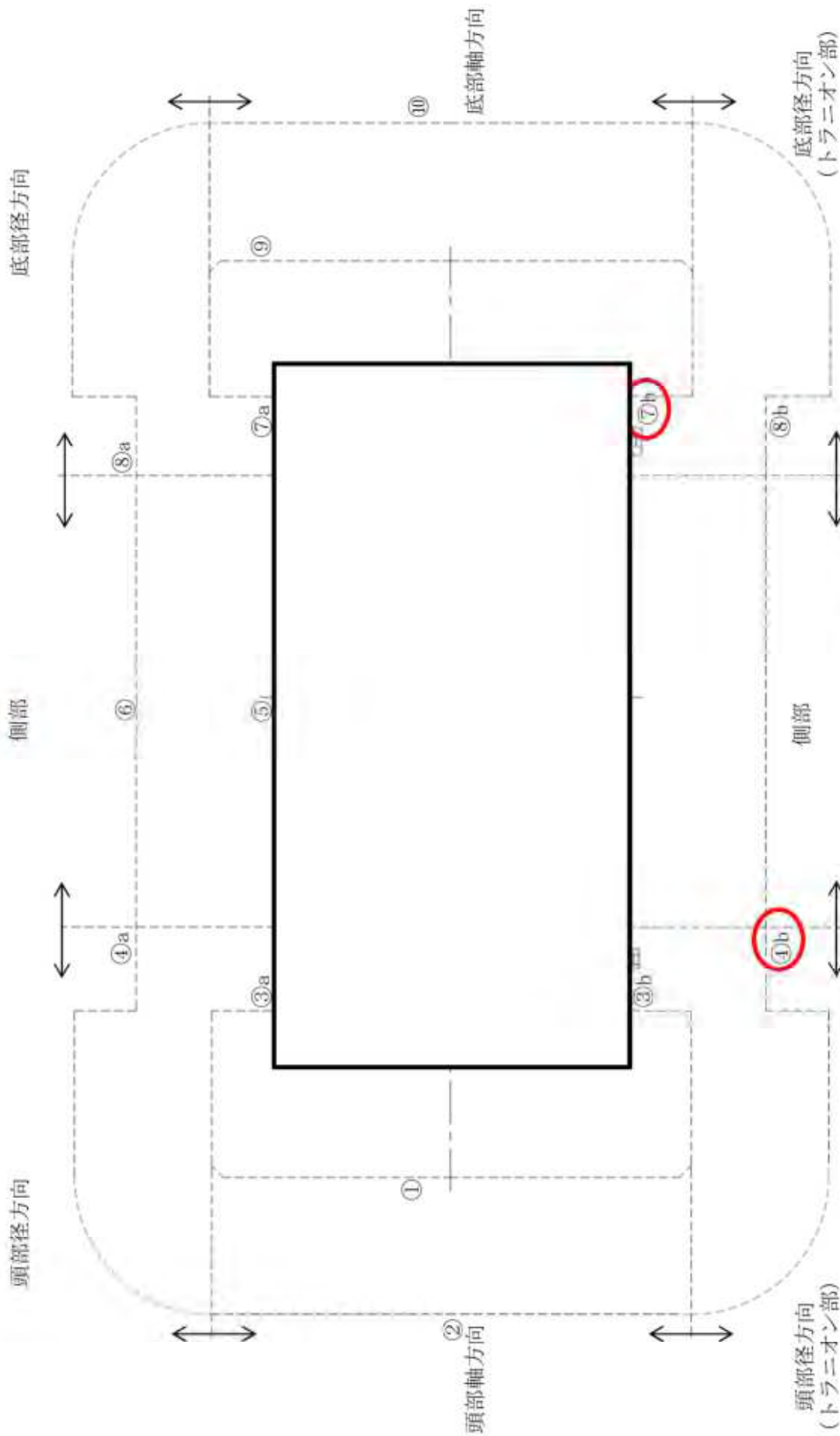


(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

別紙 4-3 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

(15×15 燃料 (A 型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置

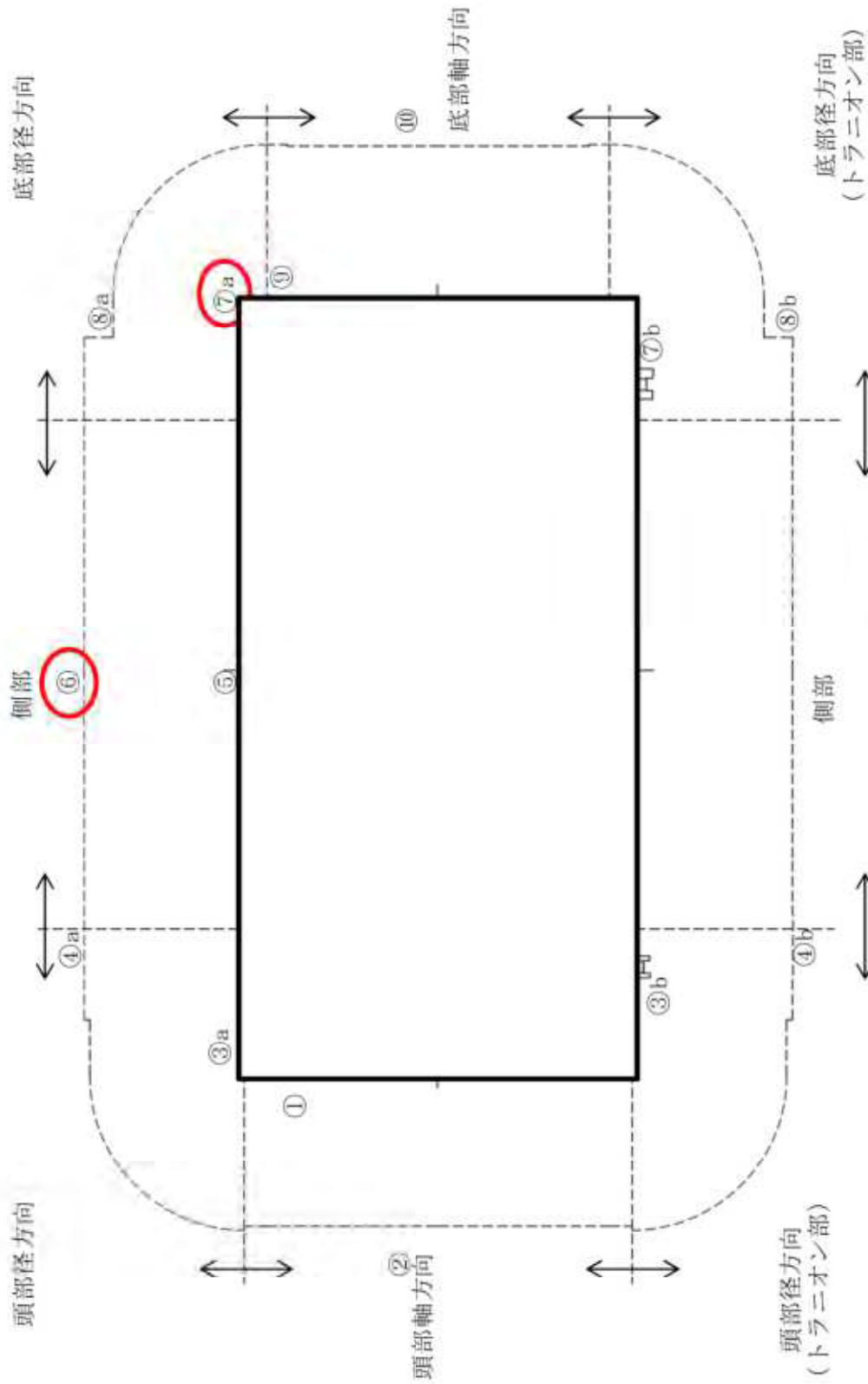


(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

別紙 4-4 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

(15×15 燃料 (B 型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

○ : 表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置

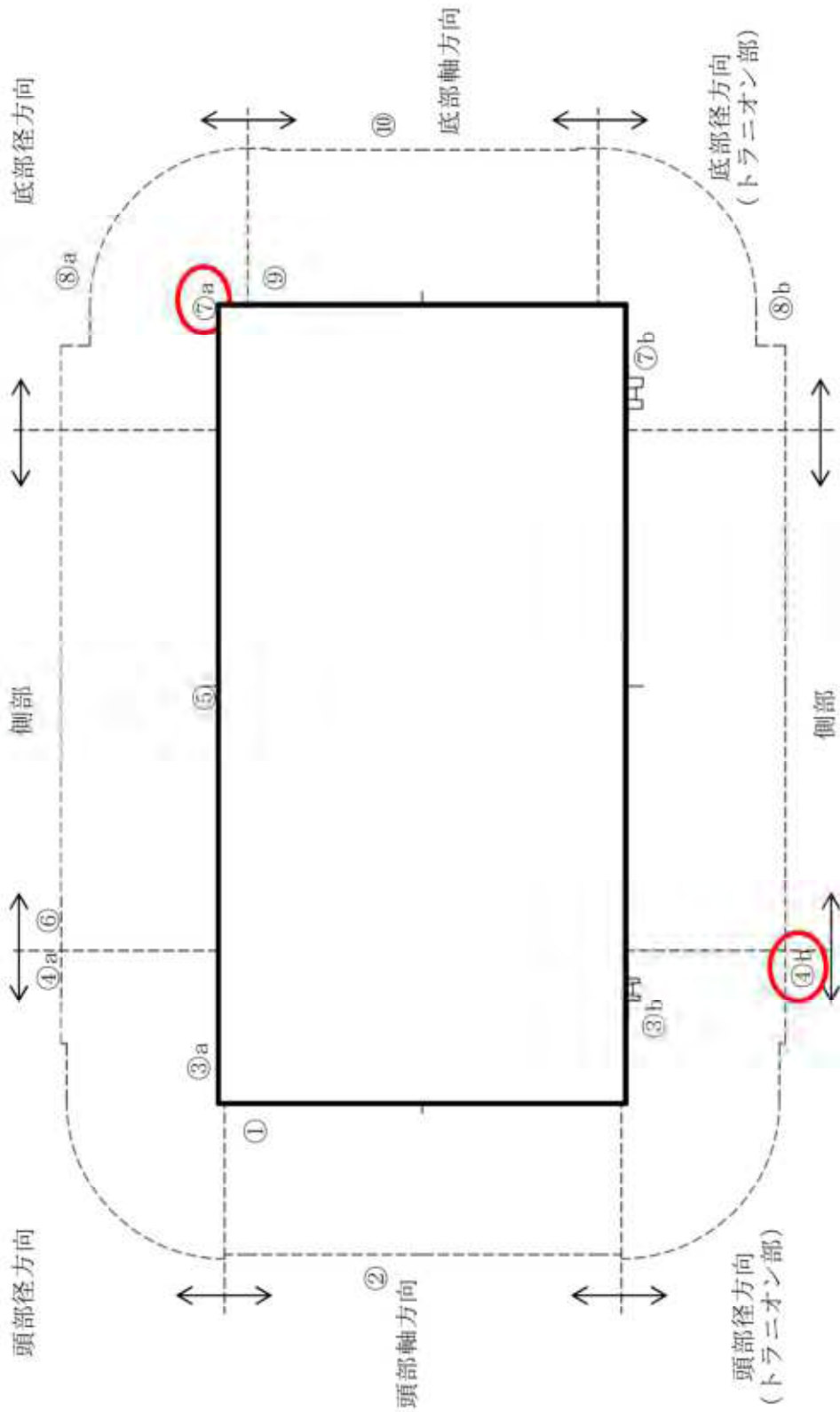


(注) ①~⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

別紙 4-5 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

(17×17 燃料 (A型) 収納時 DOT3.5 コード、基礎等に固定する設置方法)

○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置

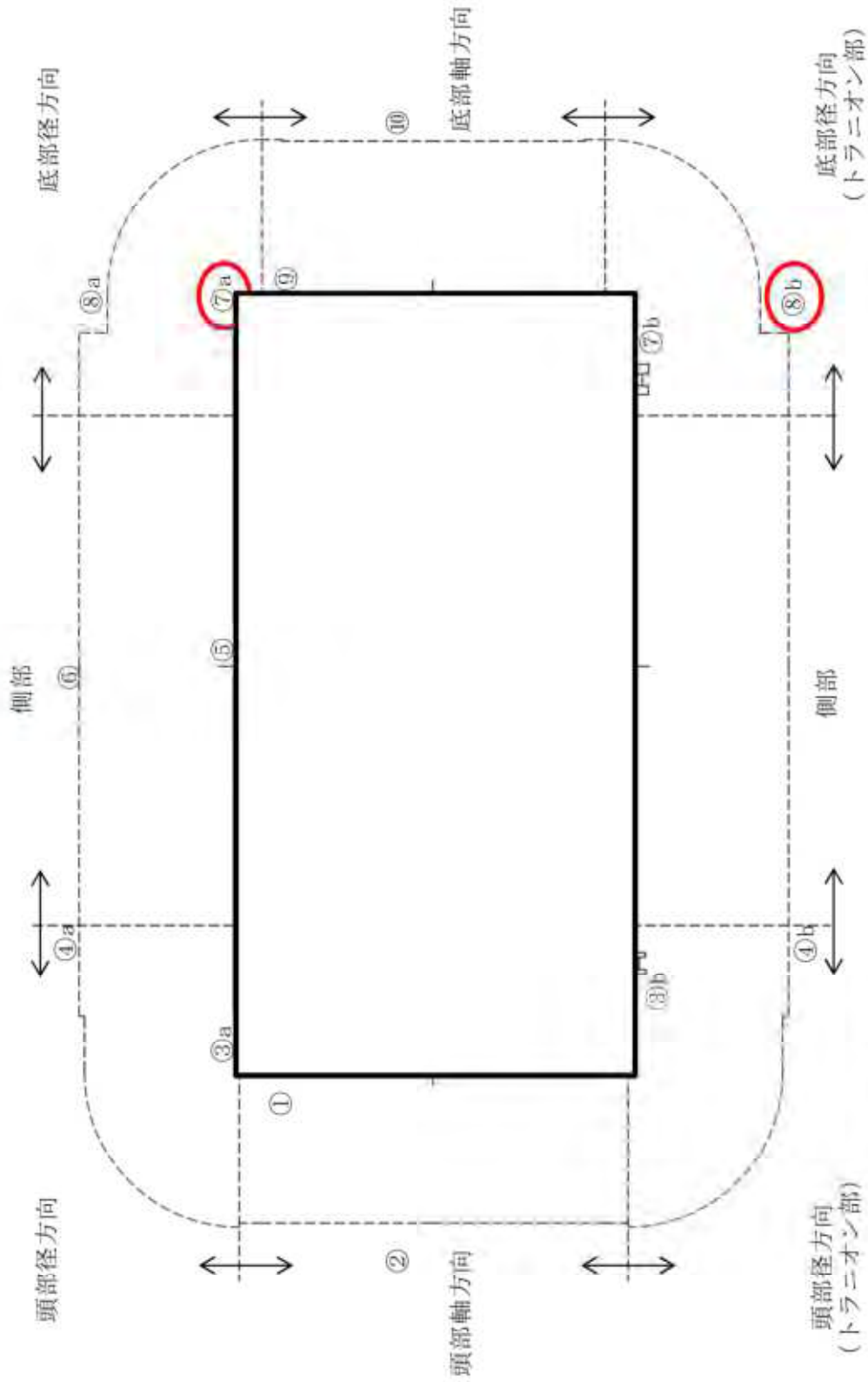


(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

別紙 4-6 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

(17×17 燃料 (B型) 収納時 DOT3.5 コード、基礎等に固定する設置方法)

○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置



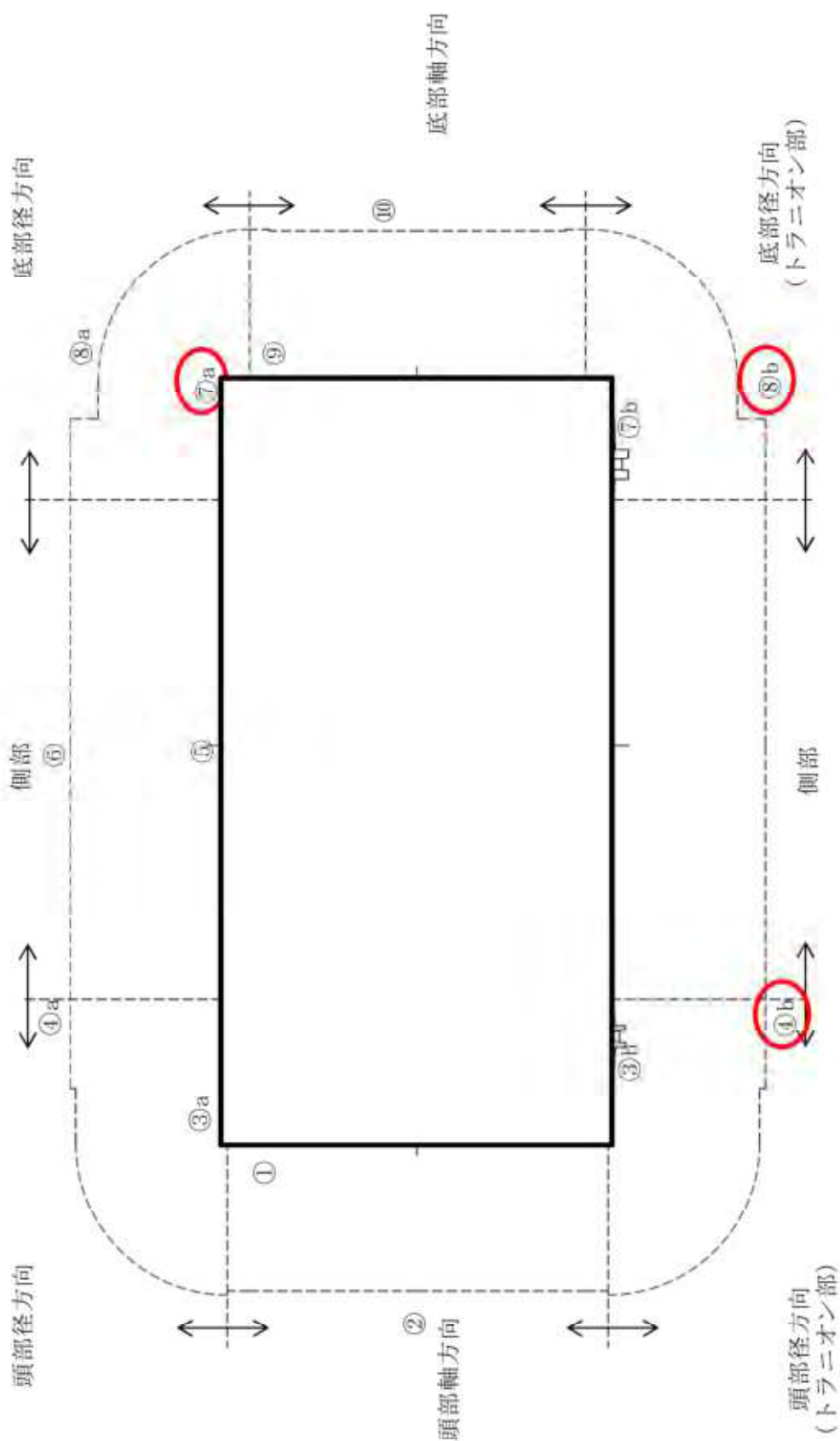
(注) ①~⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

別紙 4-7 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

(15×15 燃料 (A 型) 収納時 DOT3.5 コード、基礎等に固定する設置方法)



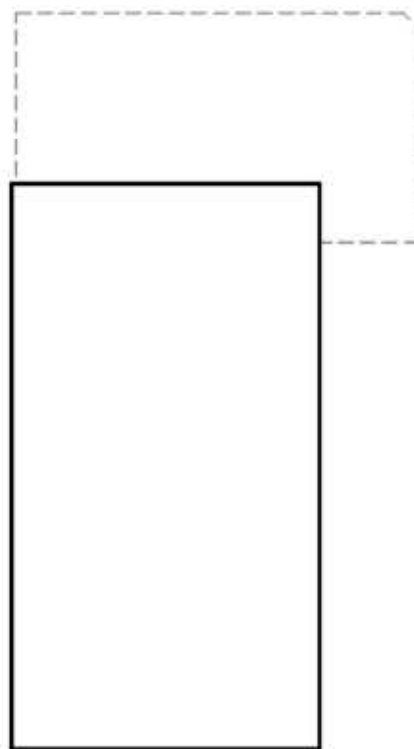
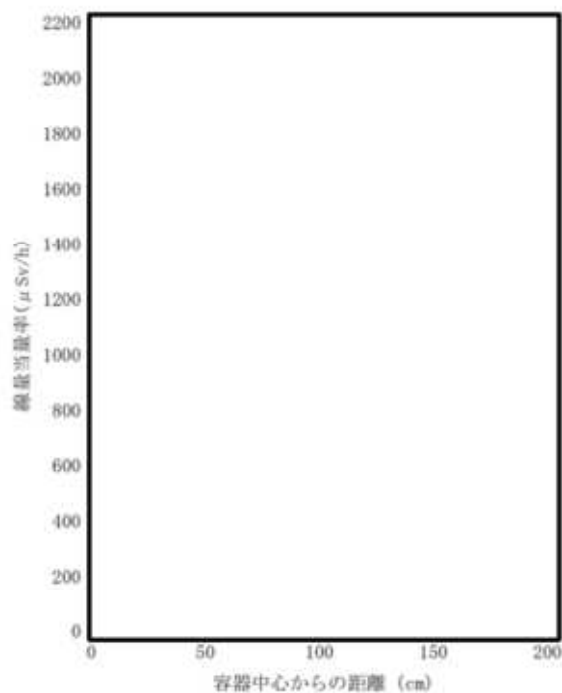
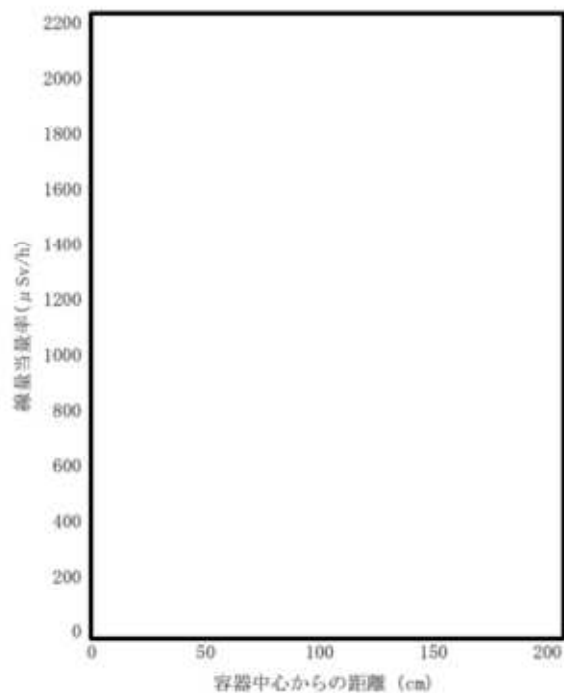
○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置



(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いる。

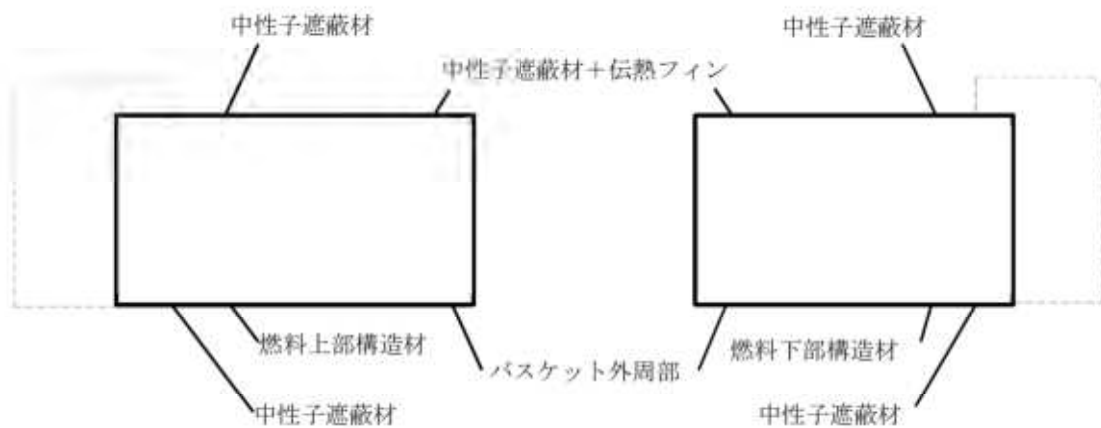
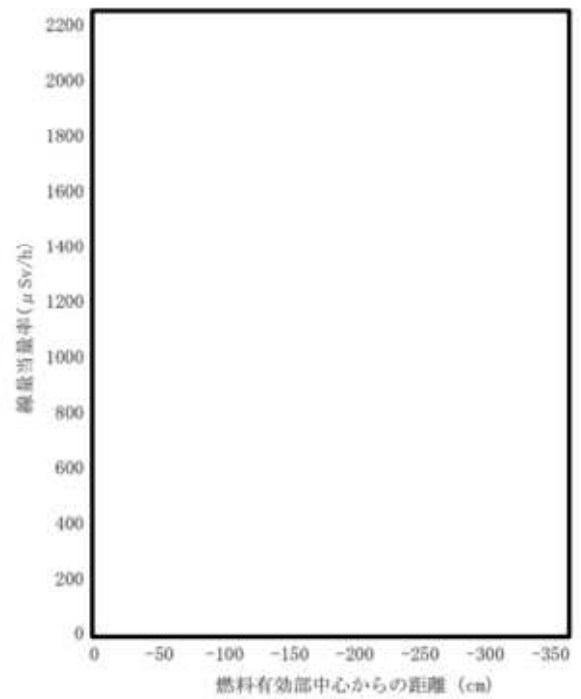
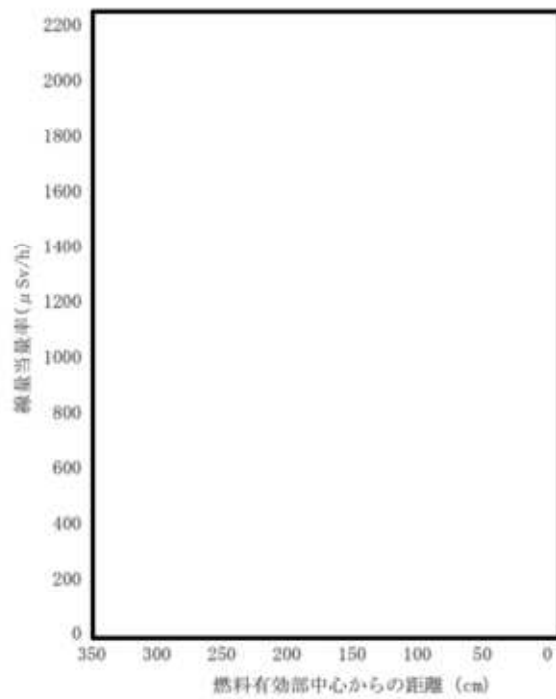
別紙 4-8 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

(15×15 燃料 (B 型) 収納時 DOT3.5 コード、基礎等に固定する設置方法)

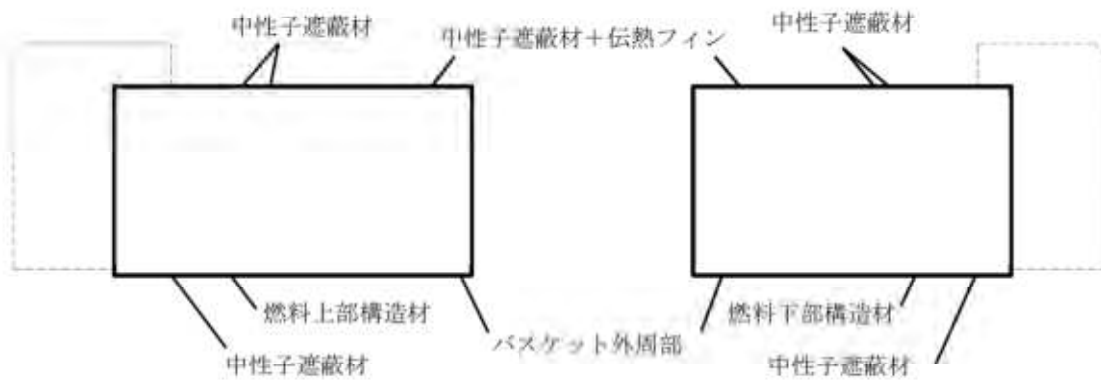
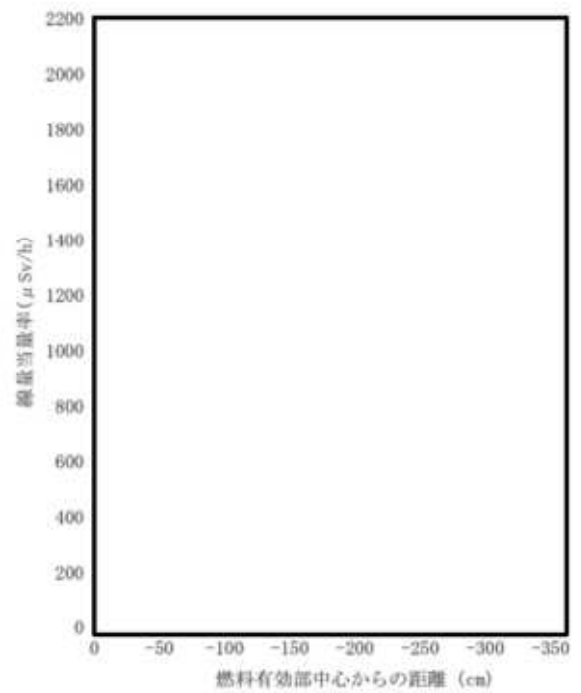
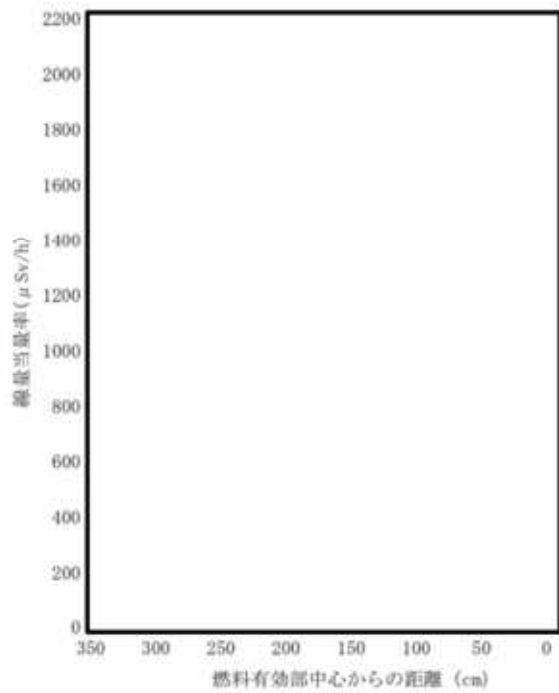


別紙4-9図(1/6) 線量当量率分布(頭部軸方向・底部軸方向表面)  
 (17×17燃料(A型)収納時 DOT3.5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

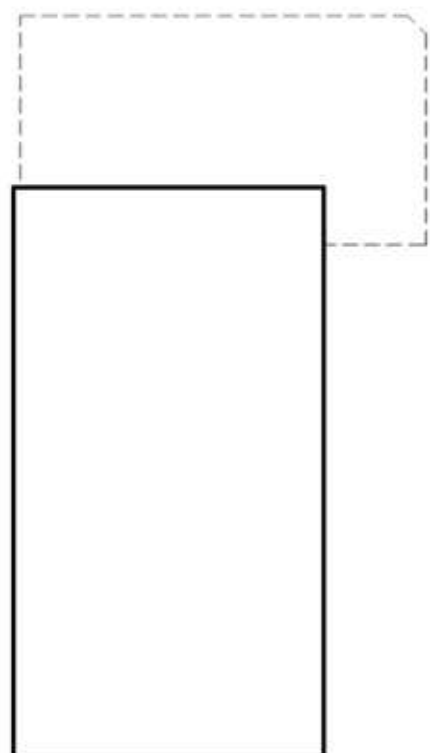
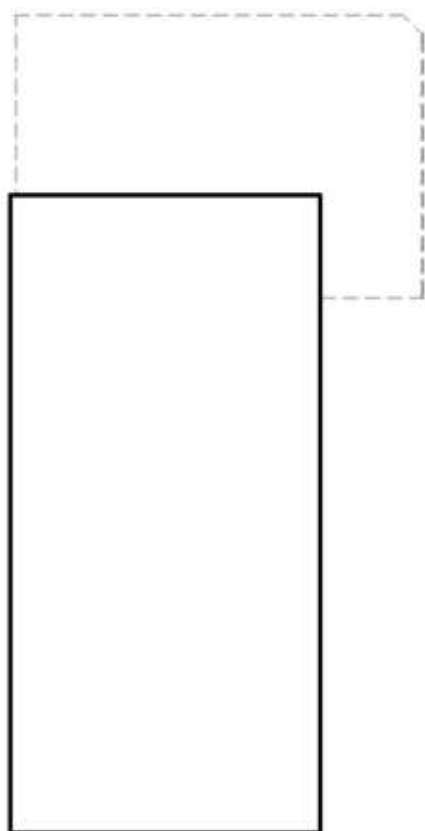
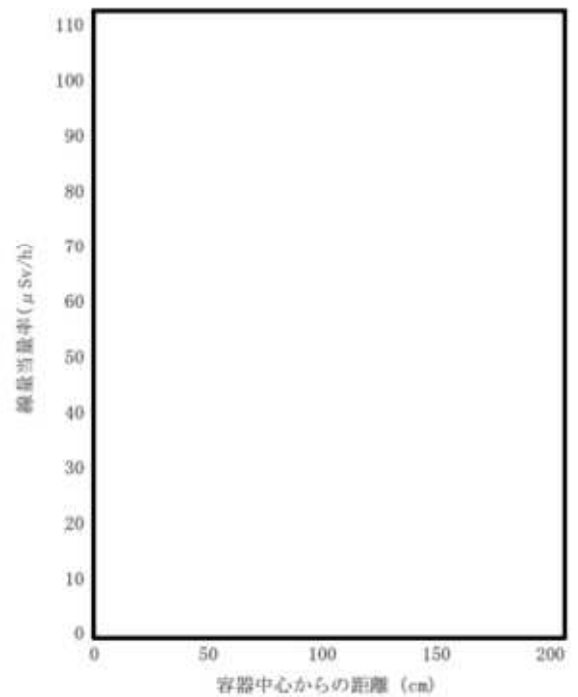
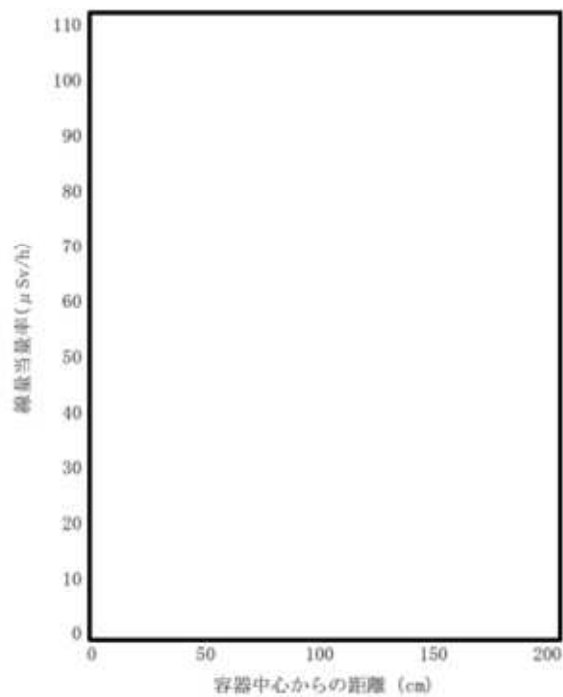




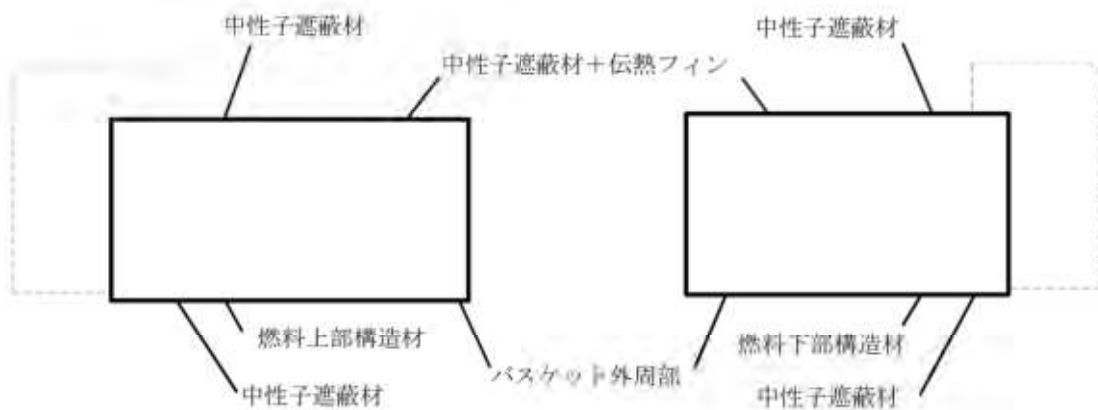
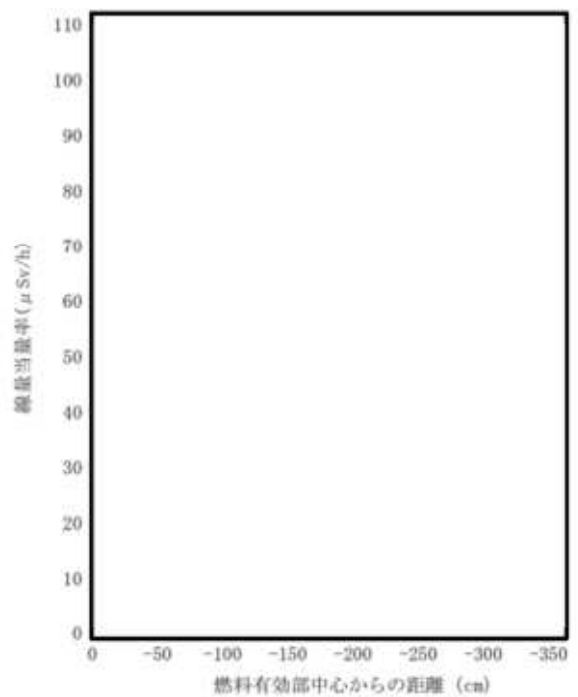
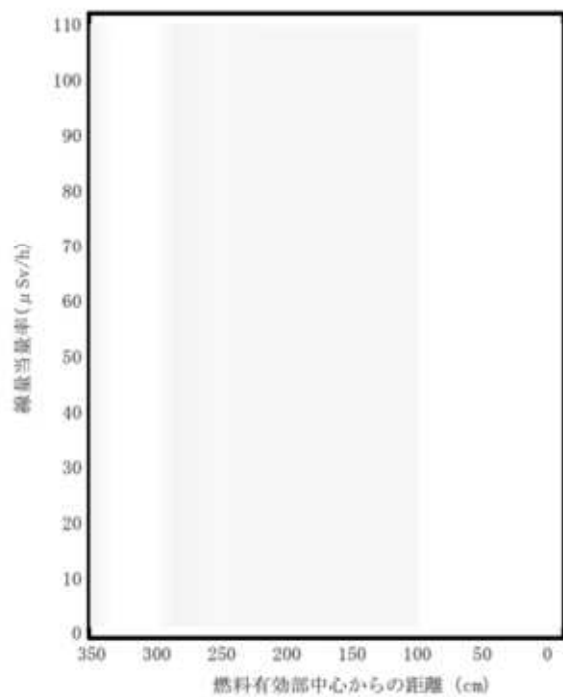
別紙4-9図(2/6) 線量当量率分布(頭部径方向・側部・底部径方向表面)  
 (17×17燃料(A型)収納時 DOT3.5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



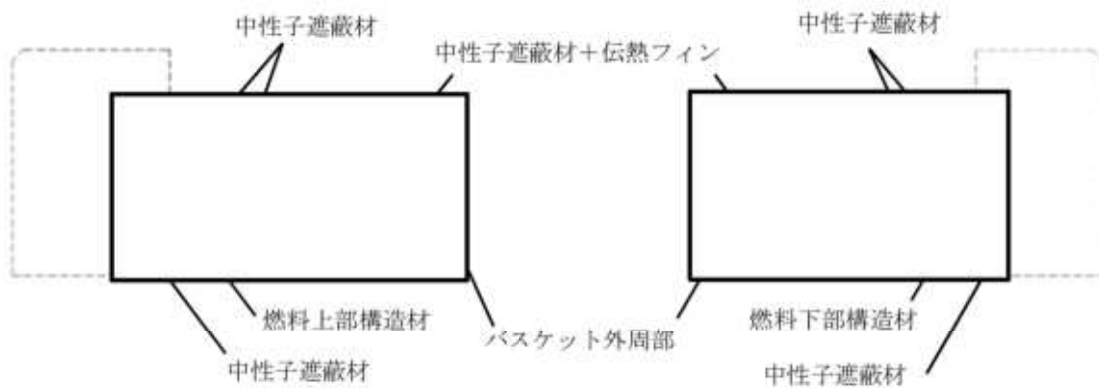
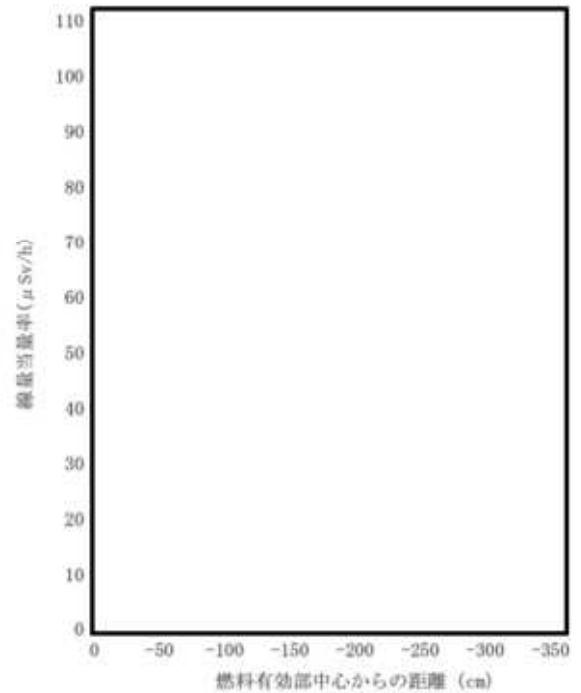
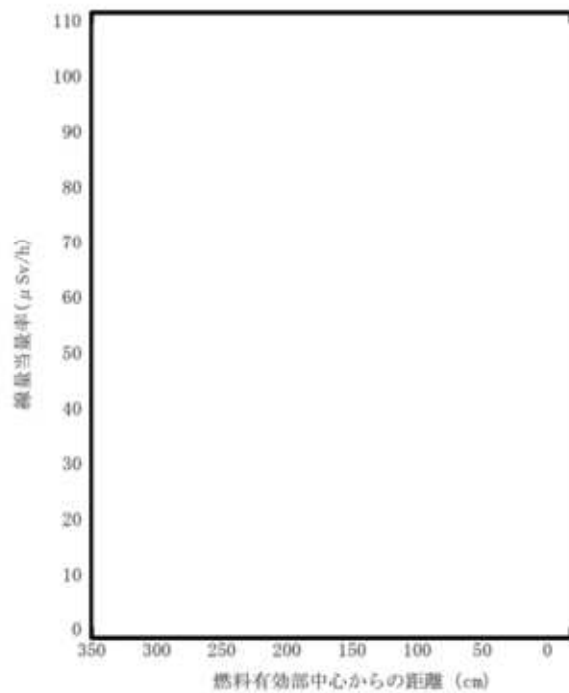
別紙4-9図 (3/6) 線量当量率分布 (トランニオン方向表面)  
 (17×17 燃料 (A型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



別紙4-9図(4/6) 線量当量率分布(頭部軸方向・底部軸方向表面から1m離れた位置)  
 (17×17燃料(A型)収納時 DOT3.5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



別紙4-9図 (5/6) 線量当量率分布 (頭部径方向・側部・底部径方向表面から1m離れた位置)  
 (17×17燃料 (A型) 収納時 DOT3.5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



別紙4-9図 (6/6) 線量当量率分布 (トランニオン方向表面から1m離れた位置)  
 (17×17燃料 (A型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

遮蔽解析結果の詳細 (MCNP5 コード)

## 1. 線量当量率評価結果

三次元モンテカルロコード MCNP5 による遮蔽解析（以下「MCNP5 解析」という。）における結果詳細を示す。

MCNP5 解析の線量当量率結果を別紙5-1表から別紙5-5表に、最大線量当量率となる評価点位置を別紙5-1図から別紙5-5図に示す。なお、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法において MCNP5 コードに比べて DOT3.5 コード評価での線量当量率最大値が高いことが確認できるため、基礎等に固定する設置方法の最大線量当量について DOT3.5 コード評価に比べて MCNP5 コード評価が低い傾向を確認するため 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型 (A型) 収納時の線量当量率結果を示す。

また、MCNP5 コードによる計算結果の信頼性を確認するため、最も線量当量率基準値に対して裕度の小さい 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型 (A型) 収納時について、表面及び表面から 1 m 離れた位置において線量当量率が最大となる評価点の MCNP5 コードでアウトプットされる解析結果の信頼性を示す 10 個の統計指標結果を別紙5-6表に、統計指標項目の内容について別紙5-7表に示す。別紙5-6図から別紙5-11図に示す線量当量率分布図の連続性と合わせて MCNP5 コードによる計算が適切に行われていることが確認できる。なお、線量当量率分布図は線量当量率の連続性を確認するものであり、参考結果である。

別紙5-1表 線量当量率評価結果 (17×17燃料 (A型) 収納時 MCNP5コード, 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)  
(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

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 (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)	35.4 (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 <sup>(注2)</sup>	665.5	206.5	<u>788.7</u> [0.789] <sup>(注1)</sup>	71.0	
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩	
表面から1m ガンマ線	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 <sup>(注2)</sup>	83.5	<u>84.2</u> [85] <sup>(注1)</sup>	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1m離れた位置における線量当量率の最大値である。

(注1) [ ]内は型式証明申請書に記載する有効けたでの値 (表面の単位:  $\text{mSv/h}$ , 表面から1mでの単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )。

(注2) 0.1未満の値は0.1として合計に考慮した。



別紙5-2表 線量当量率評価結果 (17×17燃料 (B型) 収納時 MCNP5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)  
(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

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 表面	燃料有効部	31.1 (2.5)	46.1 (0.6)	37.3 (3.8)	5.5 (0.4)	
	構造材放射化	0.2 (0.9)	197.1 (0.6)	31.1 (3.8)	63.3 (0.3)	
	二次ガンマ線	0.2 (2.5)	8.4 (2.8)	9.5 (4.6)	4.6 (1.0)	
中性子	38.2 (0.7)	342.6 (0.7)	24.1 (0.5)	405.4 (1.7)	20.6 (0.4)	
合計	38.7	<u>579.2</u> [0.580] (注1)	166.8	483.3	94.0	
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩	
ガンマ線 表面から1m	燃料有効部	0.1 (1.6)	18.1 (0.4)	20.3 (0.3)	22.3 (0.5)	2.5 (0.6)
	構造材放射化	0.2 (0.9)	31.7 (0.7)	28.6 (0.5)	13.3 (0.6)	28.2 (0.4)
	二次ガンマ線	0.2 (3.3)	4.6 (0.7)	5.0 (0.6)	5.1 (0.7)	1.6 (1.6)
中性子	19.1 (0.7)	28.2 (0.6)	25.6 (0.5)	24.5 (0.8)	12.5 (0.5)	
合計	19.6	<u>82.6</u> [83] (注1)	79.5	65.2	44.8	

※ ( ) 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1m離れた位置における線量当量率の最大値である。

(注1) [ ]内は型式証明申請書に記載する有効けたでの値 (表面の単位:  $\text{mSv/h}$ 。表面から1mでの単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )。

別紙5-3表 線量当量率評価結果 (15×15燃料 (A型) 収納時 MCNP5コード, 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)  
(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

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	108.1 (0.6)	93.1 (4.2)	0.9 (1.2)
		構造材放射化	19.3 (0.6)	43.3 (1.6)	1.7 (1.1)
	二次ガンマ線	0.3 (3.5)	10.3 (1.8)	12.8 (2.0)	1.3 (3.0)
	中性子	45.3 (1.7)	464.4 (0.7)	655.2 (0.9)	56.3 (1.8)
合計	45.8	650.6	196.3	<u>801.4</u> <u>[0.805] (0.1)</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	44.9 (0.2)	25.4 (0.3)	3.1 (0.3)
		構造材放射化	8.5 (0.2)	8.3 (0.5)	10.6 (0.2)
	二次ガンマ線	0.2 (1.2)	5.3 (0.4)	5.5 (0.4)	1.9 (0.6)
	中性子	22.2 (0.2)	35.9 (0.5)	19.0 (0.1)	14.0 (0.2)
合計	22.6	79.8	<u>82.9</u> <u>[83] (0.1)</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1m離れた位置における線量当量率の最大値である。

(注1) [ ]内は型式証明申請書に記載する有効けたでの値 (表面の単位:  $\text{mSv/h}$ , 表面から1mでの単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )。

別紙5-4表 線量当量率評価結果 (15×15燃料 (B型) 収納時 MCNP5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)  
(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

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	0.1 (2.9)	30.6 (1.5)	85.7 (0.5)	5.5 (0.4)	
	構造材放射化	0.2 (0.9)	164.5 (0.7)	14.9 (0.5)	34.4 (0.2)	
	二次ガンマ線	0.2 (1.6)	8.5 (0.7)	23.1 (0.5)	4.8 (0.7)	
中性子	40.5 (0.7)	355.7 (0.6)	40.6 (0.4)	435.6 (1.9)	21.9 (0.3)	
合計	41.0	<u>559.3</u> <u>[0.560] (注1)</u>	164.3	504.9	66.6	
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩	
ガンマ線	燃料有効部	0.1 (1.6)	18.1 (0.4)	20.4 (0.3)	21.3 (0.6)	2.5 (0.6)
	構造材放射化	0.2 (0.9)	25.5 (0.7)	23.3 (0.6)	9.2 (0.9)	15.4 (0.4)
	二次ガンマ線	0.2 (2.1)	4.8 (0.3)	5.3 (0.3)	5.2 (0.4)	1.8 (1.1)
中性子	20.1 (0.5)	29.8 (0.6)	27.0 (0.5)	27.2 (0.8)	13.3 (0.5)	
合計	20.6	<u>78.2</u> <u>[79] (注1)</u>	76.0	62.9	33.0	

※ ( ) 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) [ ]内は型式証明申請書に記載する有効けたでの値 (表面の単位:  $\text{mSv/h}$ 。表面から1 mでの単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )。

別紙5-5表 線量当量率評価結果 (17×17燃料 (A型) 収納時 MCNP5コード、基礎等に固定する設置方法)

(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

評価点	頭部		側部		底部	
	軸方向	径方向	径方向	軸方向	径方向	軸方向
	①	③	⑤	⑦	⑨	
表面	ガンマ線					
	燃料有効部	0.4 (1.6)	0.1 (3.3)	109.7 (0.4)	2.2 (1.4)	0.3 (1.8)
	構造材放射化	1.1 (0.9)	0.7 (1.3)	26.2 (0.3)	2.2 (1.2)	0.5 (1.4)
中性子	二次ガンマ線	1.2 (3.2)	2.2 (2.6)	35.2 (1.2)	7.5 (2.4)	1.0 (4.0)
	合計	347.2 (0.6)	684.8 (0.4)	40.3 (0.3)	1602.0 (0.4)	213.7 (0.7)
合計	349.9	687.8	201.4	<u>1613.9</u> [1.62] (0.6)	215.6	
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩	
表面から1m	ガンマ線					
	燃料有効部	0.7 (1.1)	22.6 (0.4)	45.1 (0.2)	26.0 (0.5)	5.4 (0.5)
	構造材放射化	6.9 (0.6)	23.1 (0.6)	11.7 (0.2)	12.8 (0.6)	31.3 (0.2)
中性子	二次ガンマ線	0.4 (5.0)	5.0 (1.3)	10.0 (1.1)	5.3 (1.3)	3.9 (2.4)
	合計	56.2 (0.9)	32.9 (0.8)	17.8 (0.2)	31.2 (1.1)	19.3 (0.4)
合計	64.2	83.6	<u>84.6</u> [85] (0.1)	75.3	59.9	

※ ( ) 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1m離れた位置における線量当量率の最大値である。

(注1) [ ] 内は型式証明申請書に記載する有効けたでの値 (表面の単位:  $\text{mSv/h}$ 、表面から1mでの単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )。

別紙5-6表 解析結果の信頼性を示す10個の統計指標結果（17×17燃料（A型）収納時。蓋部が金属部へ衝突しない設置方法）

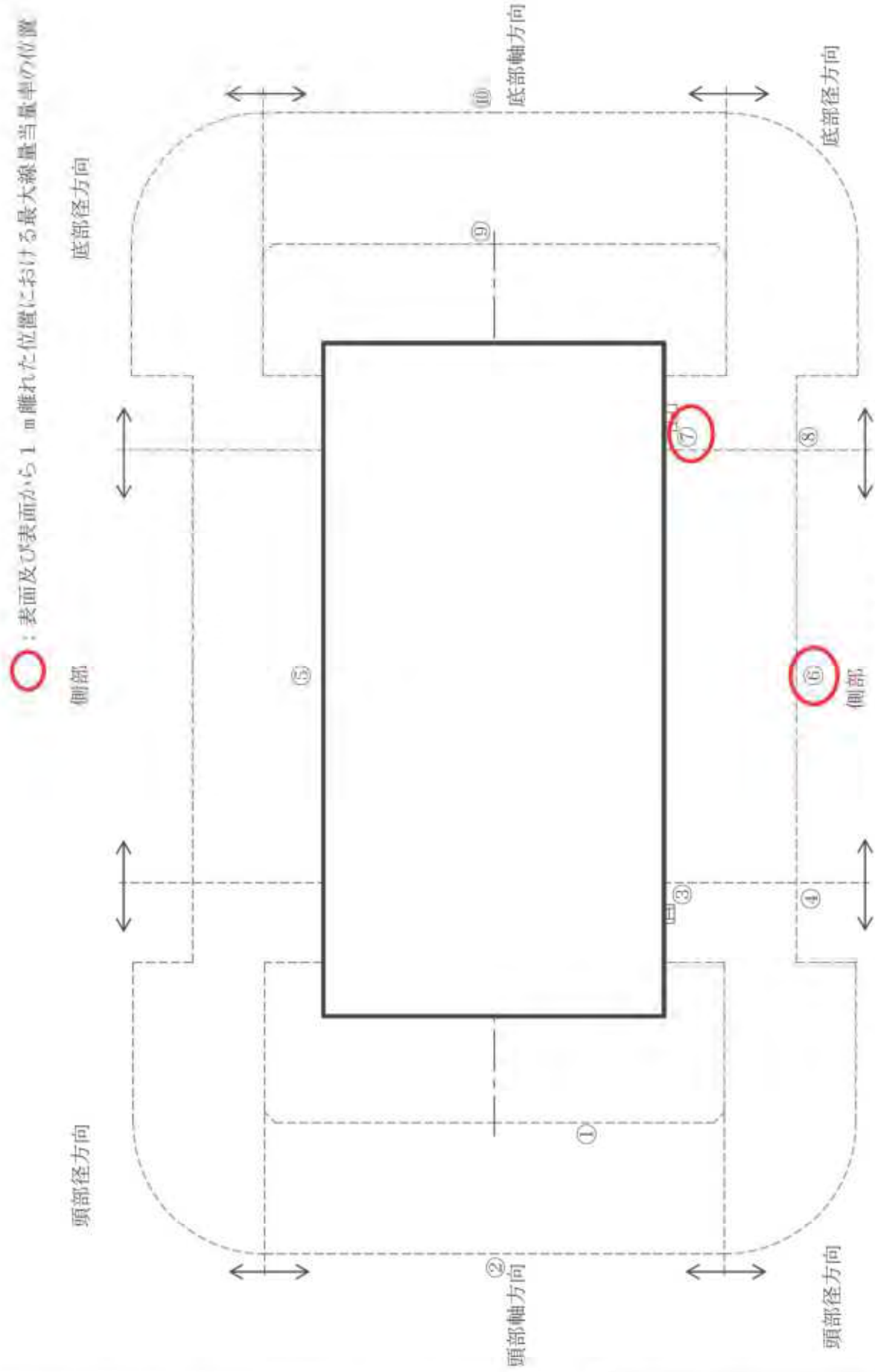
指標の項目	表面で最大となる評価点⑦				表面から1m離れた位置で最大となる評価点⑧				desired								
	燃料 有効部 ガンマ線	構造材 放射化 ガンマ線	二次 ガンマ線	中性子	燃料 有効部 ガンマ線	構造材 放射化 ガンマ線	二次 ガンマ線	中性子									
mean									random								
value																	< 0.10
relative error																	yes
decrease																	1/sqrt(nps)
decrease rate																	< 0.10
value																	yes
of the																	1/nps
variance																	constant
figure of merit																	random
behavior																	> 3.00
pdf																	



別紙5-7表 統計指標項目

指標の項目		統計指標 <sup>(1)</sup>
mean		計算収束判定段階において、発生粒子数 $N$ の増加に伴い、平均値が単調増加したり減少したりしないこと。(random)
relative error	value	0.1 より小さいこと。( < 0.10 )
	decrease	計算収束判定段階において、発生粒子数 $N$ の増加に伴い、value が単調に減少すること。(yes)
	decrease rate	計算収束判定段階において、value が $1/\sqrt{N}$ で減少すること。( $1/\sqrt{\text{mps}}$ )
variance of the variance	value	0.1 より小さいこと。( < 0.10 )
	decrease	計算収束判定段階において、value が単調に減少すること。(yes)
figure of merit	decrease rate	計算収束判定段階において、value が $1/N$ で減少すること。( $1/\text{mps}$ )
	value	計算収束判定段階において、発生粒子数 $N$ に関係なく value が一定であること。(constant)
	behavior	計算収束判定段階において、発生粒子数 $N$ の関数として value が単調増加あるいは単調減少しないこと。(random)
	pdf	タリーに記録された量の確率分布関数 $f(x)$ の最終的スロープが 3 より大きいこと。( > 3.00 )

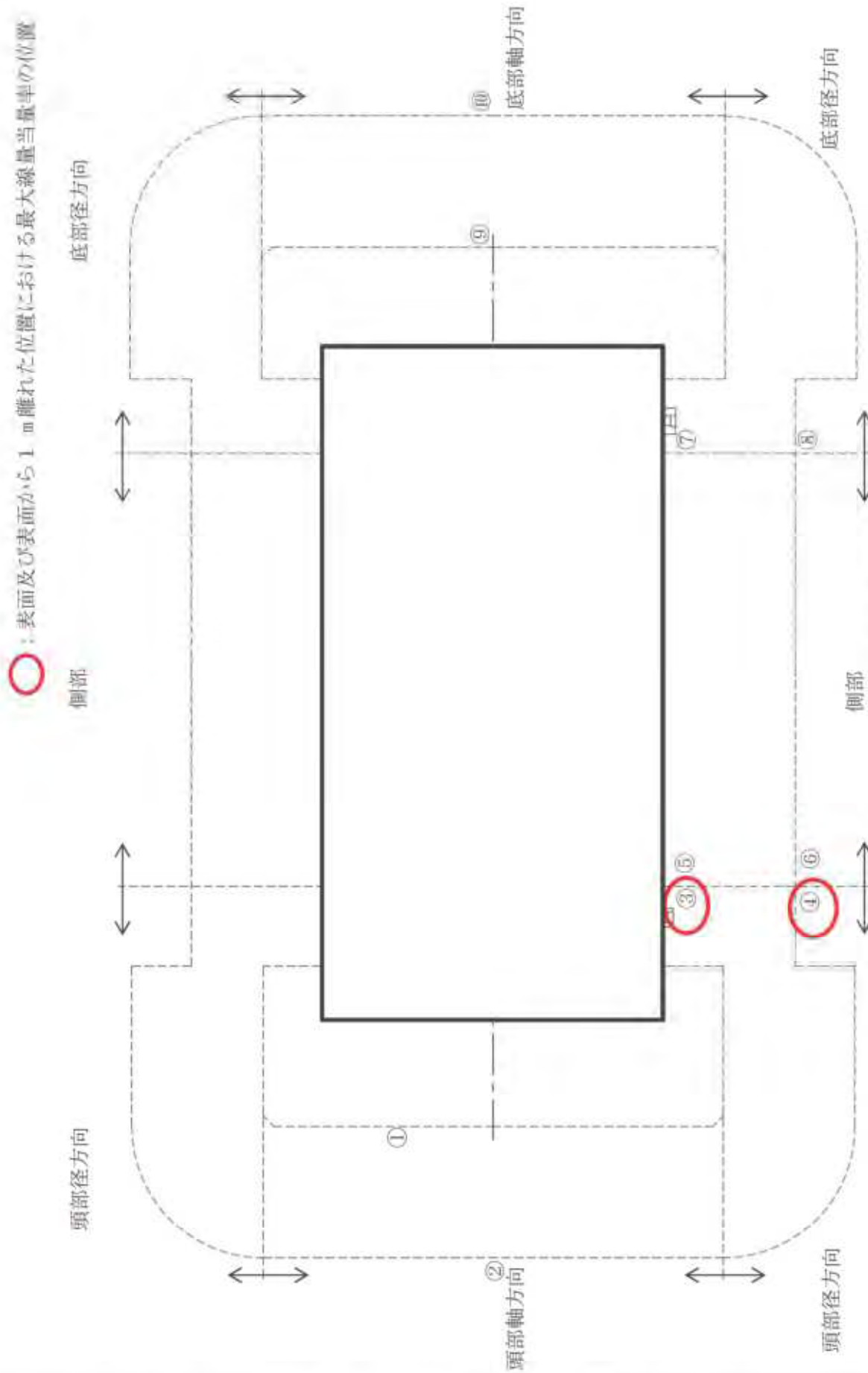
(1) 浅見光史 ほか、「放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法ガイドライン原案の策定」, 海上技術安全研究所報告 第13巻 第1号 (平成25年度) 研究調査資料, (2013).



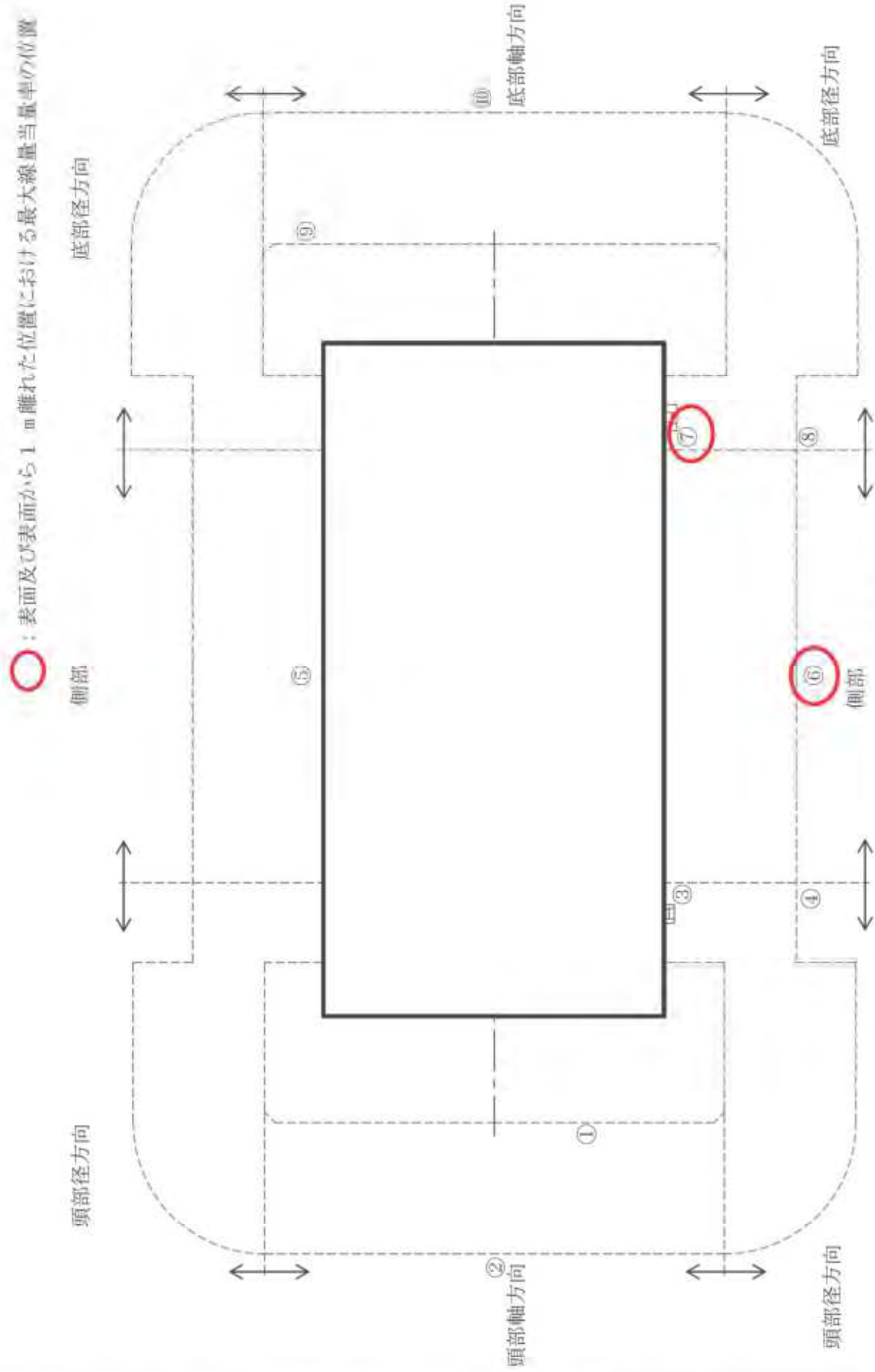
(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

別紙5-1図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置  
(17×17燃料 (A型) 収納時 MCNP5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)





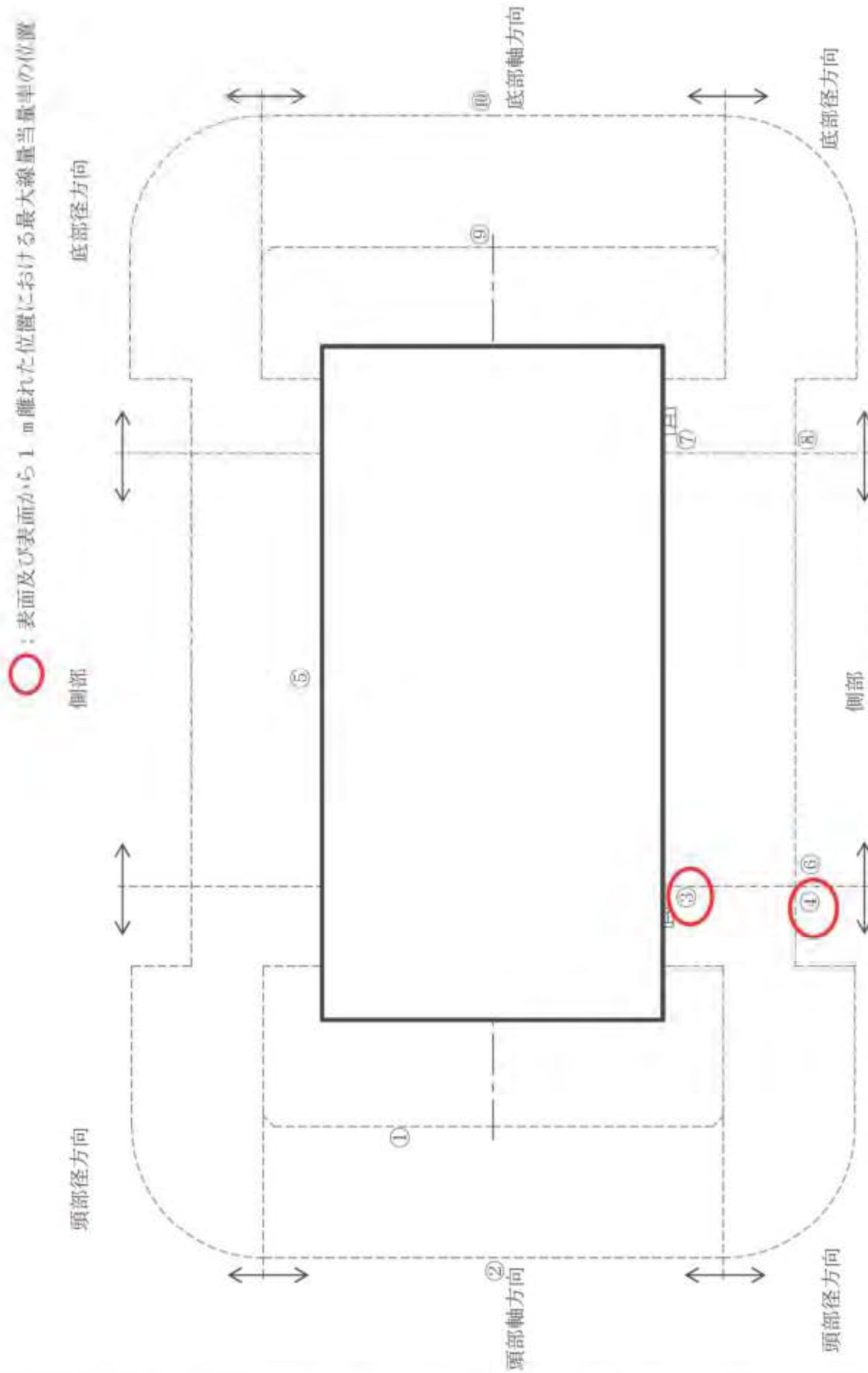
(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。  
別紙 5-2 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置  
(17×17 燃料 (B 型) 収納時 MCNP5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置

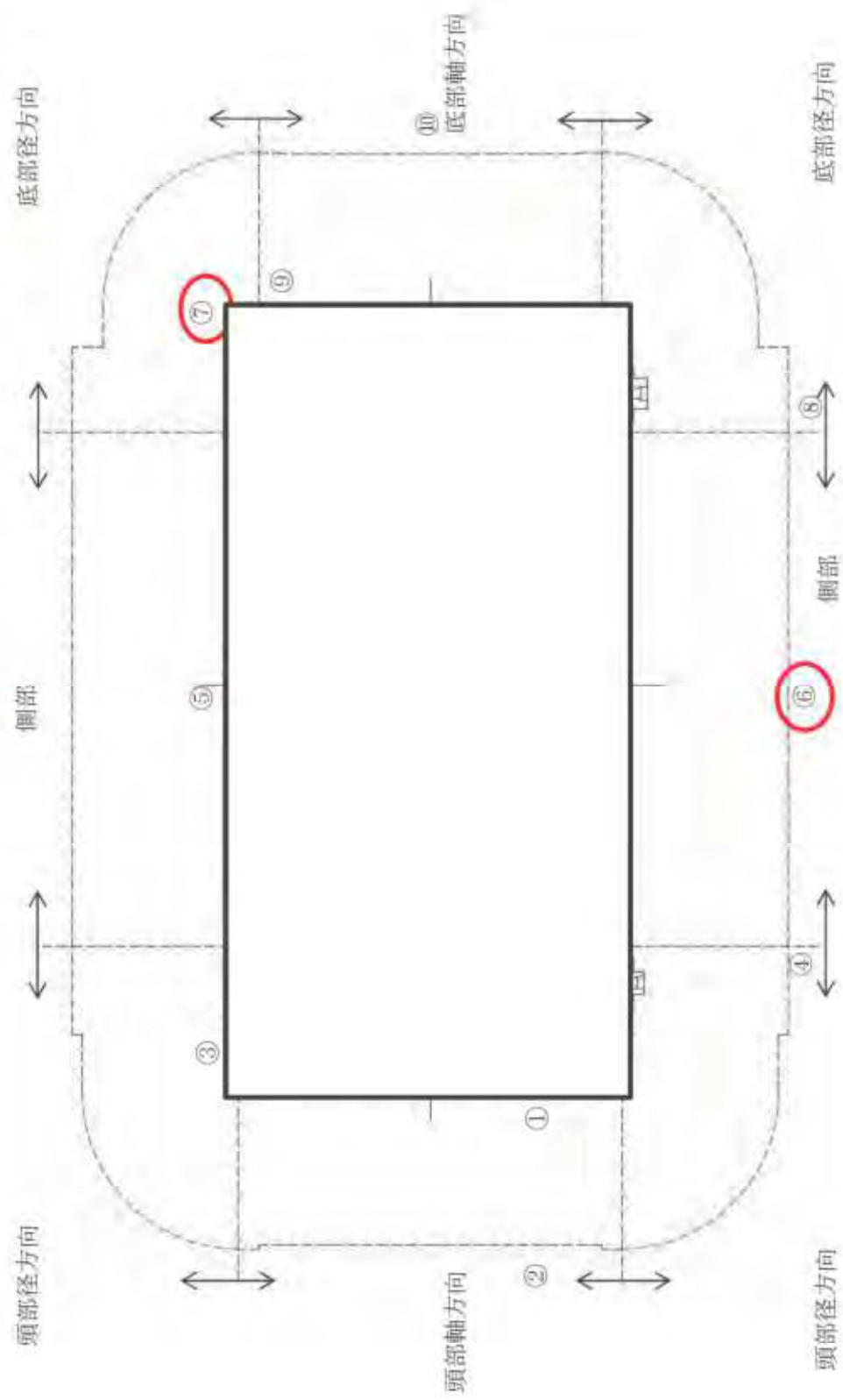
(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

別紙 5-3 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置  
(15×15 燃料 (A 型) 収納時 MCNP5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



(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いる。  
 別紙 5-4 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置  
 (15×15 燃料 (B 型) 収納時 MCNP5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

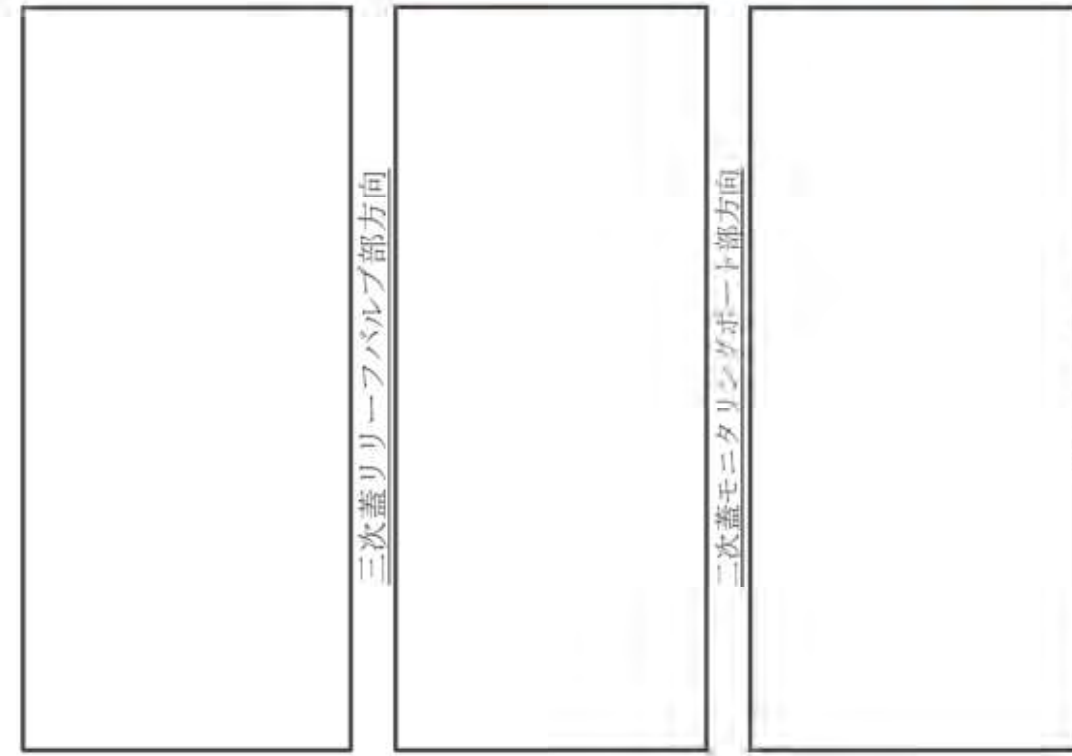
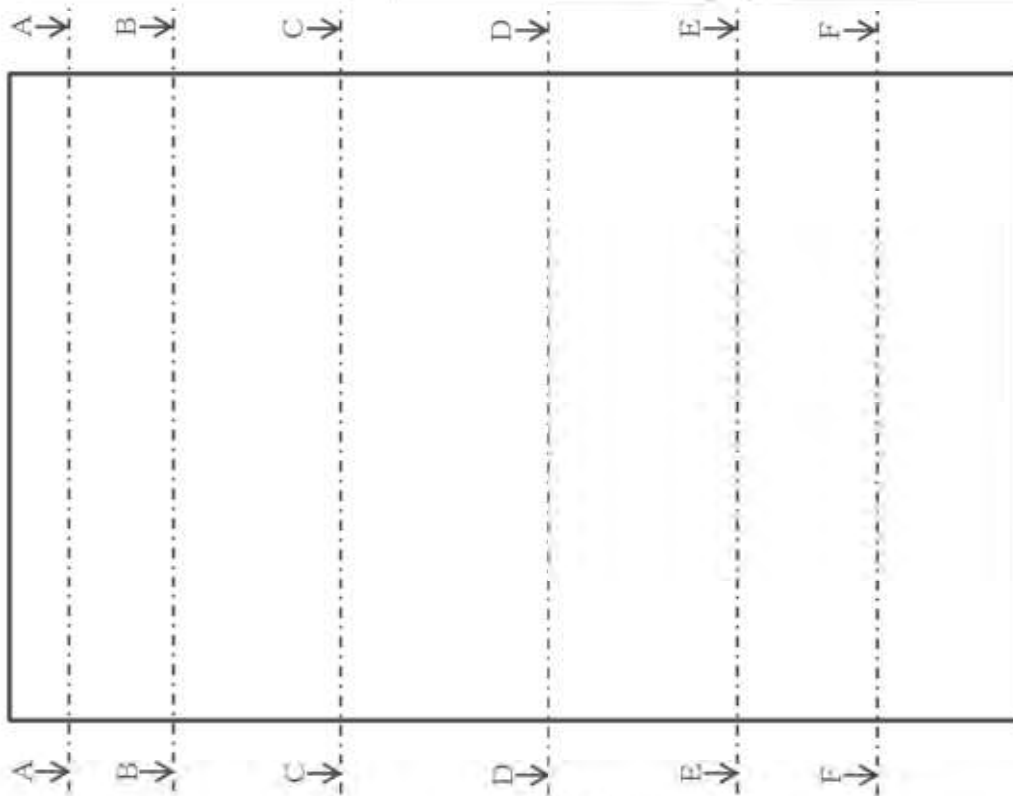
○：表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置



(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いる。

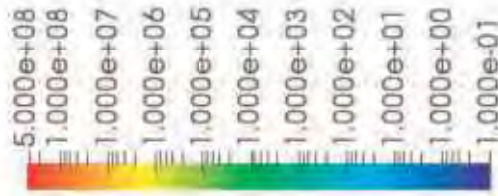
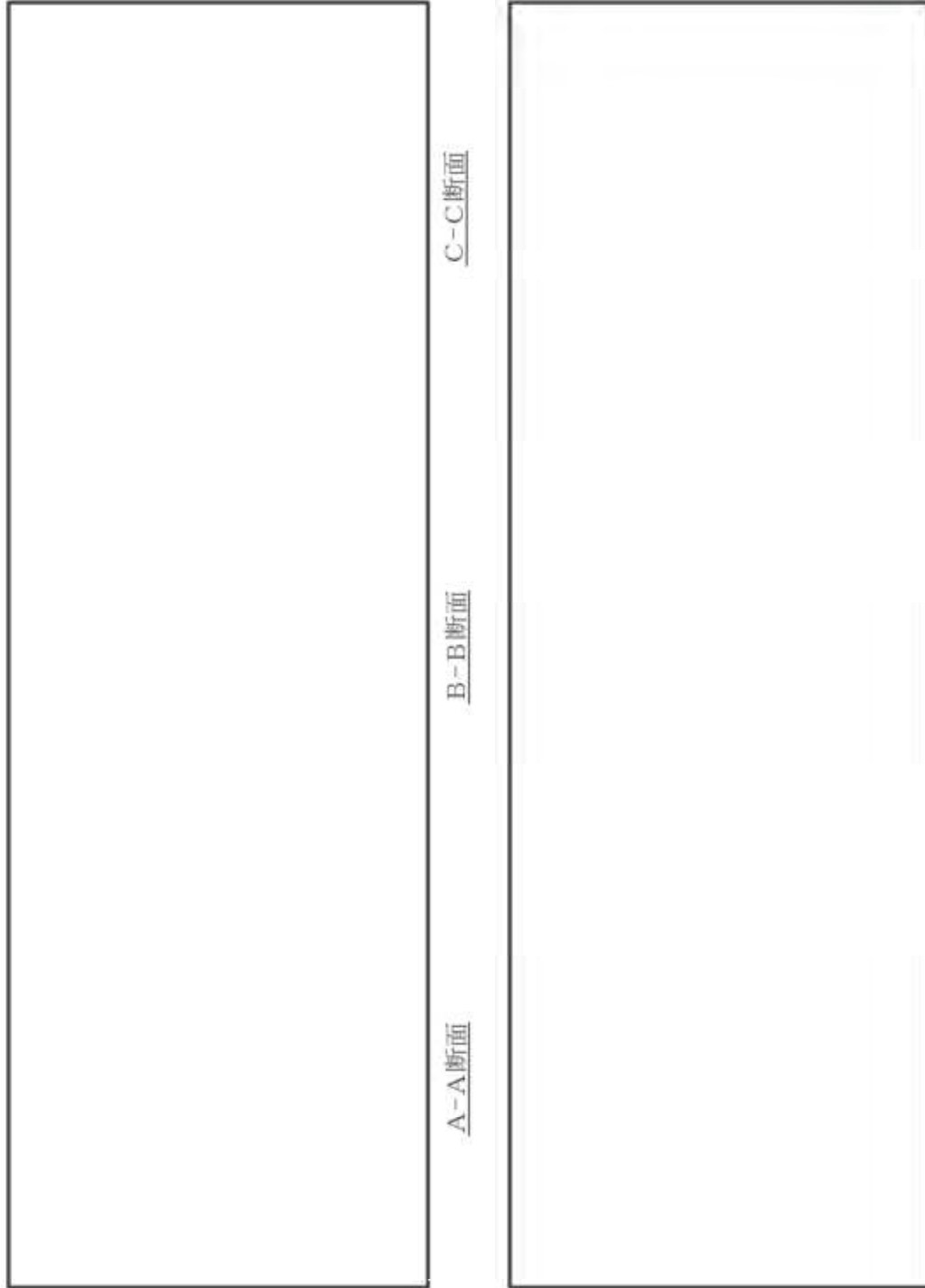
別紙 5-5 図 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

(17×17 燃料 (A 型) 収納時 MCNP5 コード、基礎等に固定する設置方法)



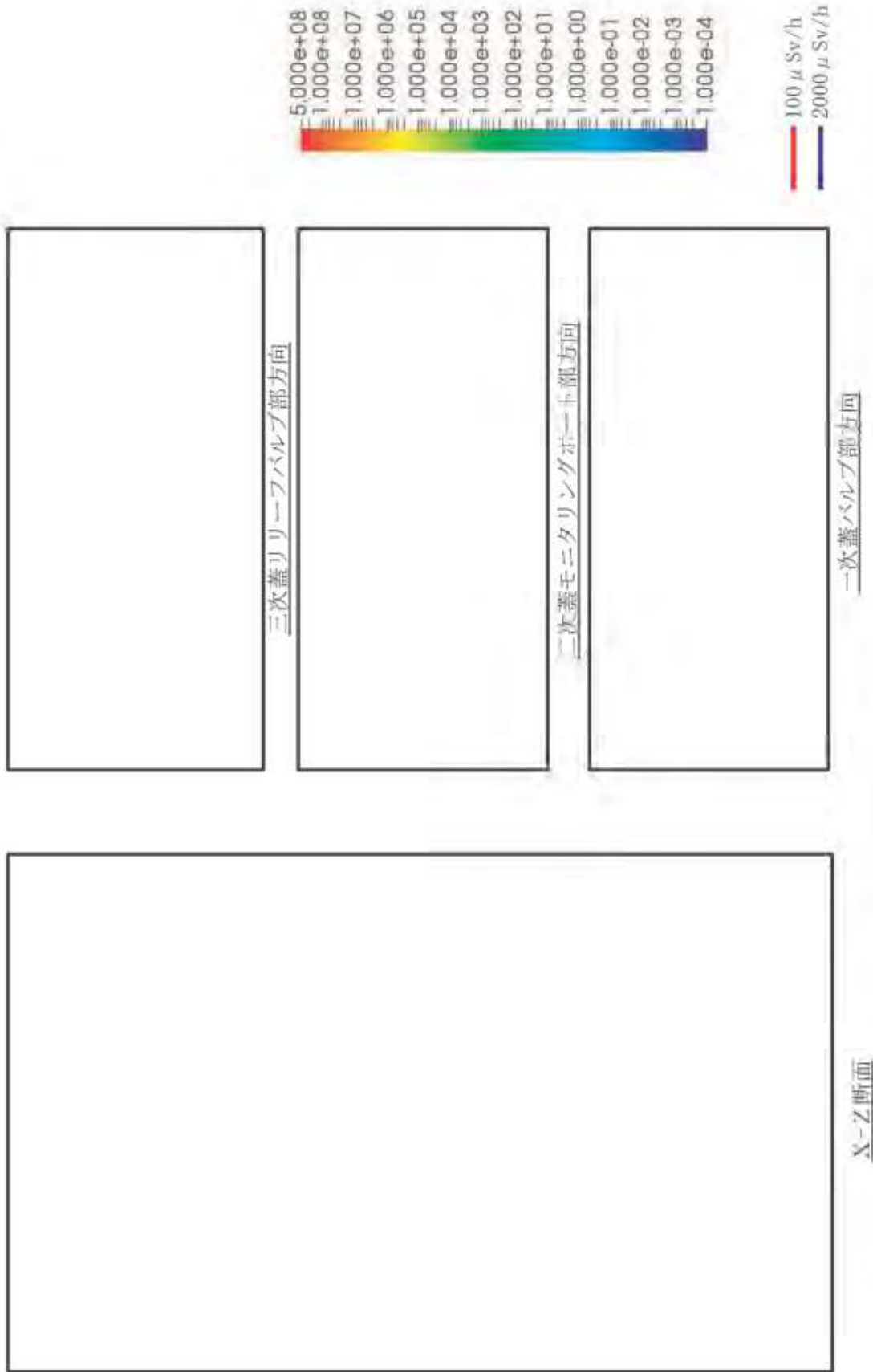
X-Z断面

別紙5-6図 線量当量率分布(全線源)(17×17燃料(A型)収納時 MCNP5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



(注) 断面位置は別紙5-6図参照  
別紙5-7図 線量当量率分布 (全線源) (17×17燃料 (A型) 収納時 MCNP5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

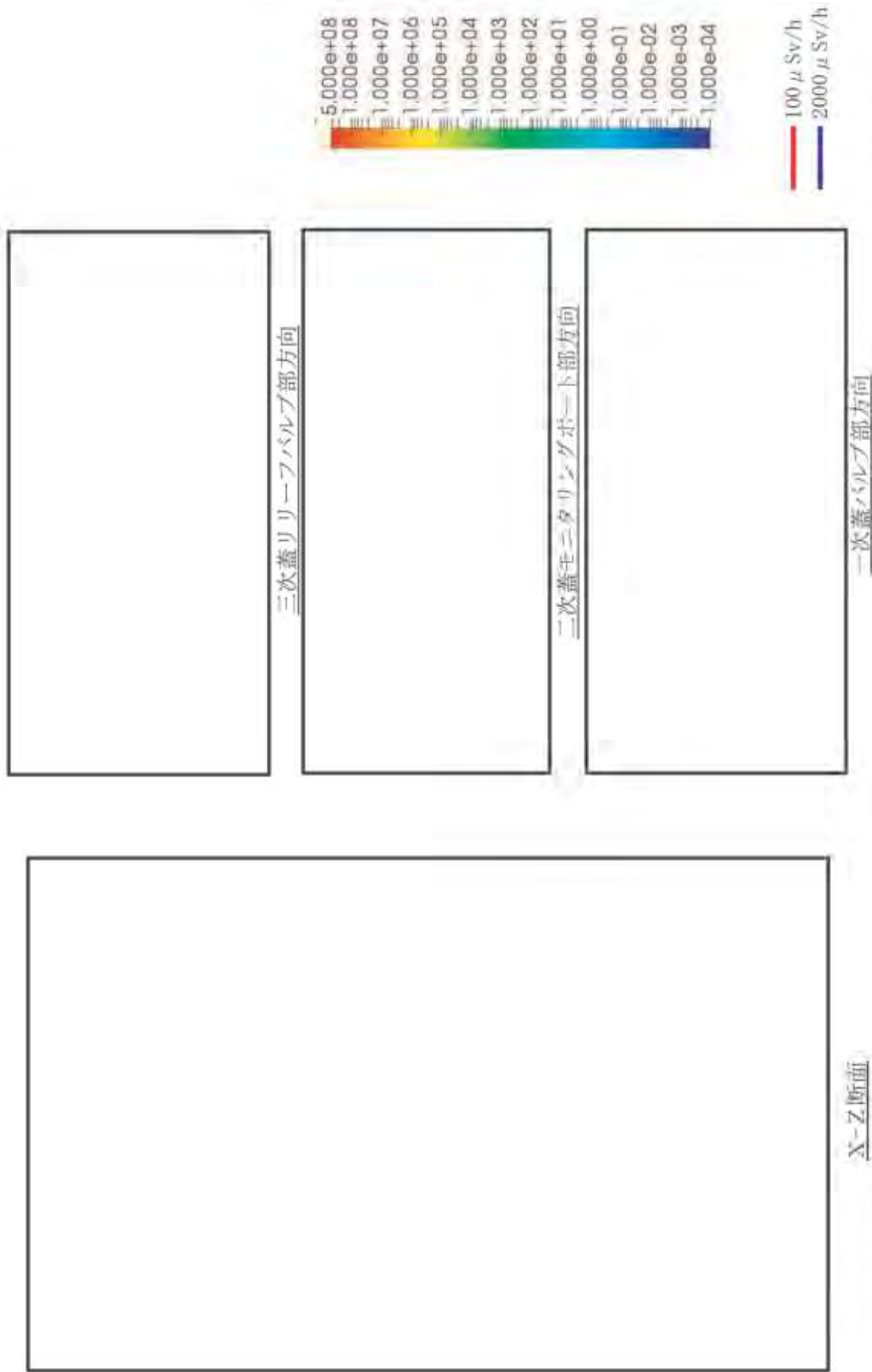
□内は商業機密のため、非公開とします。



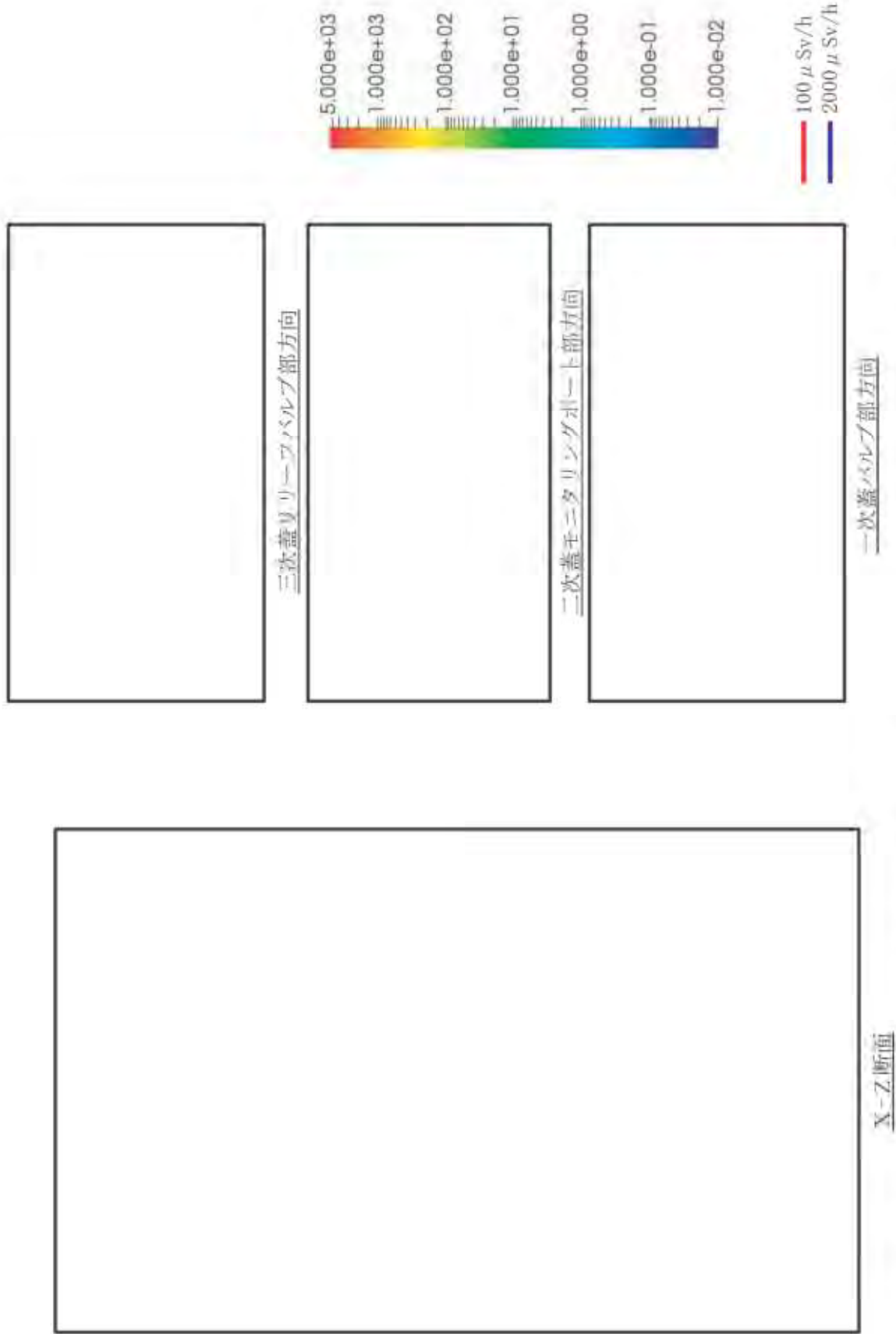
別紙 5-8 図 線量当量率分布 (燃料有効部ガンマ線) (17×17燃料 (A型) 取納時 MCNP5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



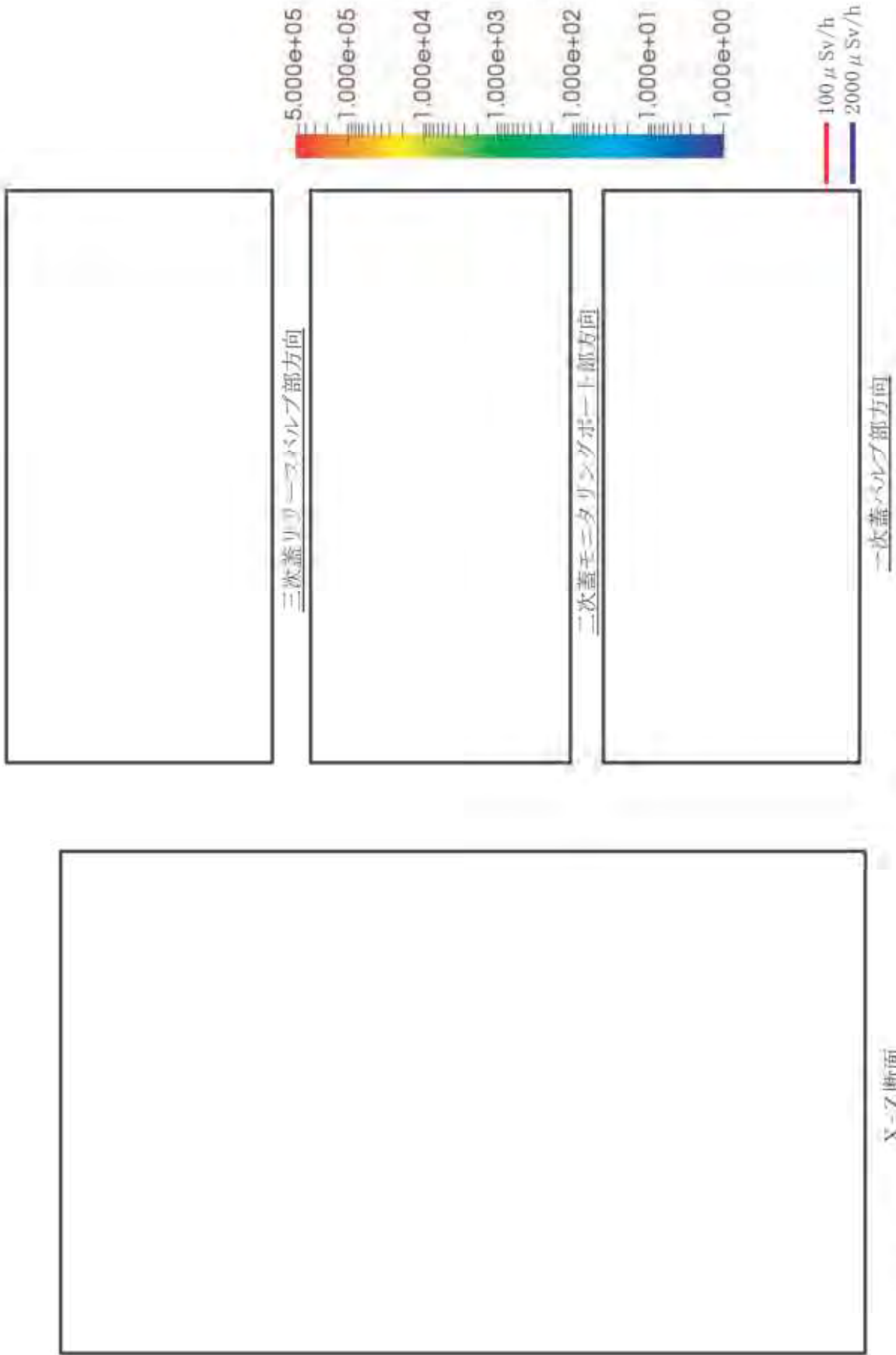
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 5-9 図 線量当量率分布 (構造材放射化ガンマ線) (17×17燃料 (A型) 収納時 MCNP5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



別紙 5-10 図 線量当量率分布 (二次ガンマ線) (17×17 燃料 (A 型) 収納時 MCNP5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



別紙 5-11 図 線量当量率分布 (中性子) (17×17 燃料 (人型) 収納時 MCNP5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

MCNP5 コードによる評価値と DOT3.5 コードによる既認可結果の比較

本型式証明における蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の MCNP5 コードによる評価値と、許認可実績が豊富な二次元輸送計算コード DOT3.5 による既認可評価値の比較を実施した。比較対象となる DOT3.5 コードによる評価値は、本型式証明申請と同じ MSF-24P 型での DOT3.5 コードによる許認可；設計承認申請（四国電力株式会社、核燃料輸送物設計承認申請）とした。

また、比較対象ケースは、許認可；設計承認申請ケースと同様の 17×17 燃料 48,000Mwd/t 型（A型）収納時とした。

MCNP5 コード及び DOT3.5 コードの特徴を別紙6-1表に示す。別紙6-1表に示すとおり評価条件の差異は、評価に用いた解析コードの特性による評価モデル設定によるものであり、線源強度や物性値等の評価条件は同じである。

MCNP5 コード及び DOT3.5 コードによる各評価点の最大線量当量率を別紙6-2表に、最大線量当量率となる評価点位置を別紙6-1図に示す。

また、MCNP5 コード及び DOT3.5 コードによる各部位の線量当量率分布の比較を別紙6-2図から別紙6-5図に示す。併せて、各部位で MCNP5 コードと DOT3.5 コードによる評価結果の差異が生じた要因を別紙6-3表に示す。

以上より、MCNP5 コードと DOT3.5 コードの評価値は、一部の評価点位置によっては差異が生じる<sup>(注)</sup>ものの要因は解析コードの特性による評価モデル設定であり、その他の評価点位置はほぼ同様の線量当量率結果傾向である。なお、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法と基礎等に固定する設置方法については、三次蓋及び緩衝体の有無が異なるが、評価結果の傾向は同様となる。

(注) 頭部径方向、底部径方向について、表面評価点は DOT3.5 コード結果が MCNP5 コード結果より 30 %～40 %程度高いが、表面から 1 m 離れた位置においては概ね同等となっている。要因は別紙6-3表に示すとおり、DOT3.5 コードによる線量当量率評価値がコード制約上保守的（高い）な結果となっているためである。

別紙6-1表 MCNP5 コード及びDOT3.5 コードの特徴

項目	MCNP5 コード	DOT3.5 コード	備考
計算	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。	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。	
線源強度	ORIGEN2 コードにより評価した線源強度。	+	両者で基本的には差異は無い。
モデル化	MSF-24P 型全体を三次元でモデル化。	二次元円筒体系でモデル化。本体部は有限円筒形状（燃料部等は均質化）でモデル化。トラニオン部は本体モデルと別にモデル化。	両者で解析コードの特性上モデル化方法が異なる。 DOT3.5 コードでの均質化方法については添付1参照。 DOT3.5 コードでのトラニオン部評価は線束引継ぎ計算を実施。（添付2参照）

別紙6-2表 MCNP5コード及びDOT3.5コードによる線量当量率評価結果

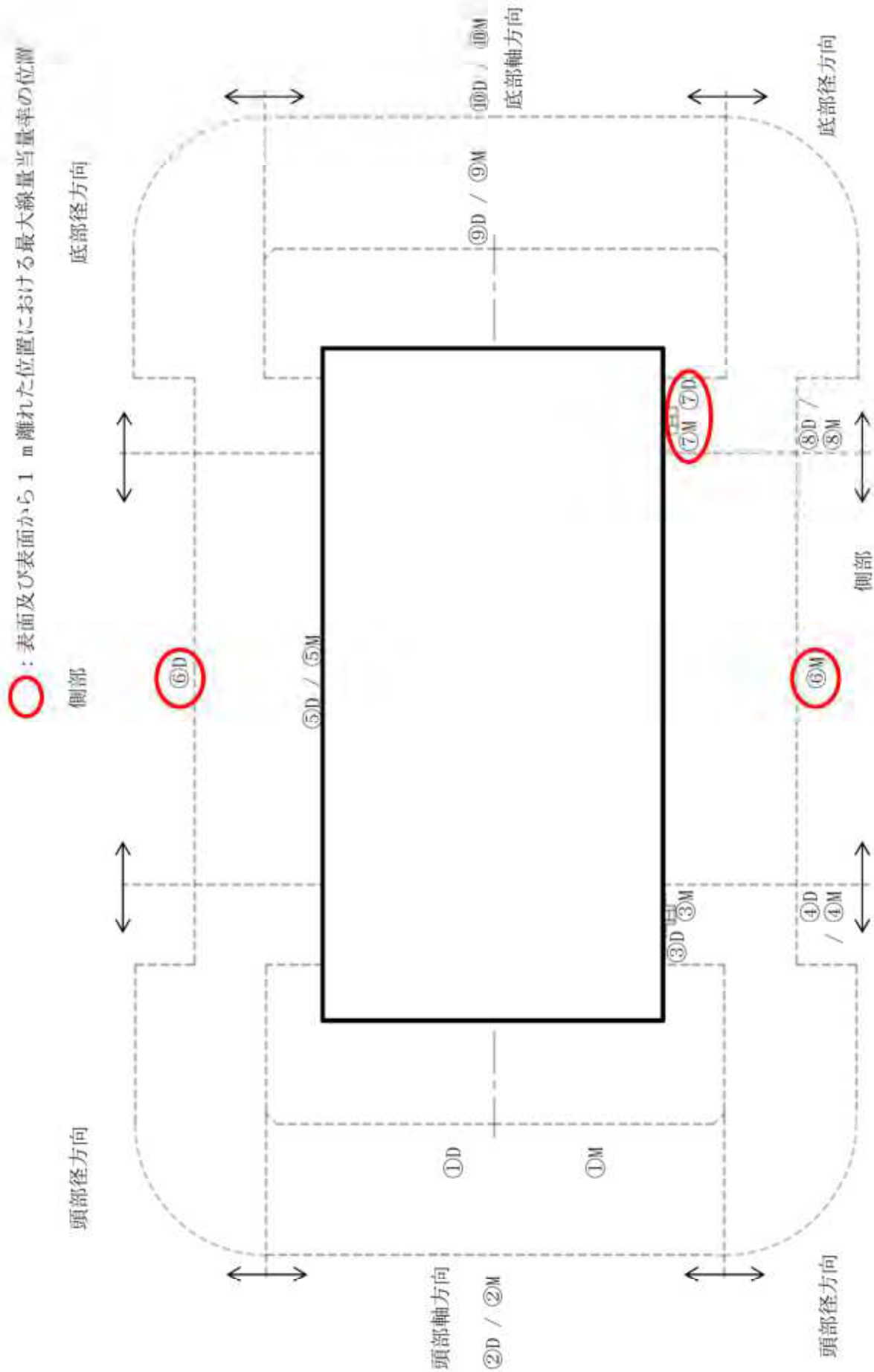
(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

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		⑩		
表面から1m	ガンマ線	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	燃料有効部	<0.1	<0.1	60.6	8.0	113.6	100.7	91.3	5.4	6.5	6.0	6.5	6.0
	構造材放射化	0.2	0.2	161.7	103.0	26.8	25.9	69.1	13.4	37.9	35.9	37.9	35.9
	二次ガンマ線	0.3	0.2	9.6	5.7	25.4	25.7	12.1	4.8	4.8	4.6	4.8	4.6
	中性子	41.3	41.7	433.6	753.8	40.7	45.1	616.2	1108.3	21.8	25.2	21.8	25.2
合計	41.9	42.2	665.5	870.5	206.5	197.4	788.7	1131.9	71.0	71.7	71.0	71.7	
表面から1m	ガンマ線	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5	MCNP5	DOT3.5
	燃料有効部	<0.1	<0.1	23.4	22.6	45.0	44.8	27.1	25.1	2.9	2.6	2.9	2.6
	構造材放射化	0.2	<0.1	22.7	20.9	11.5	12.5	13.0	12.8	16.8	14.8	16.8	14.8
	二次ガンマ線	0.2	<0.1	5.1	5.4	10.0	10.4	5.5	5.7	1.8	1.7	1.8	1.7
	中性子	20.3	20.9	32.3	34.0	17.7	18.4	29.1	26.3	12.9	15.8	12.9	15.8
合計	20.8	21.2	83.5	82.9	84.2	86.1	74.7	69.9	34.4	34.9	34.4	34.9	

(注1)0.1未満の値は0.1として合計に考慮した。

(注2)DOT3.5コードによる評価の頭部径方向及び底部径方向はそれぞれトロニオン方向を含めた結果である。

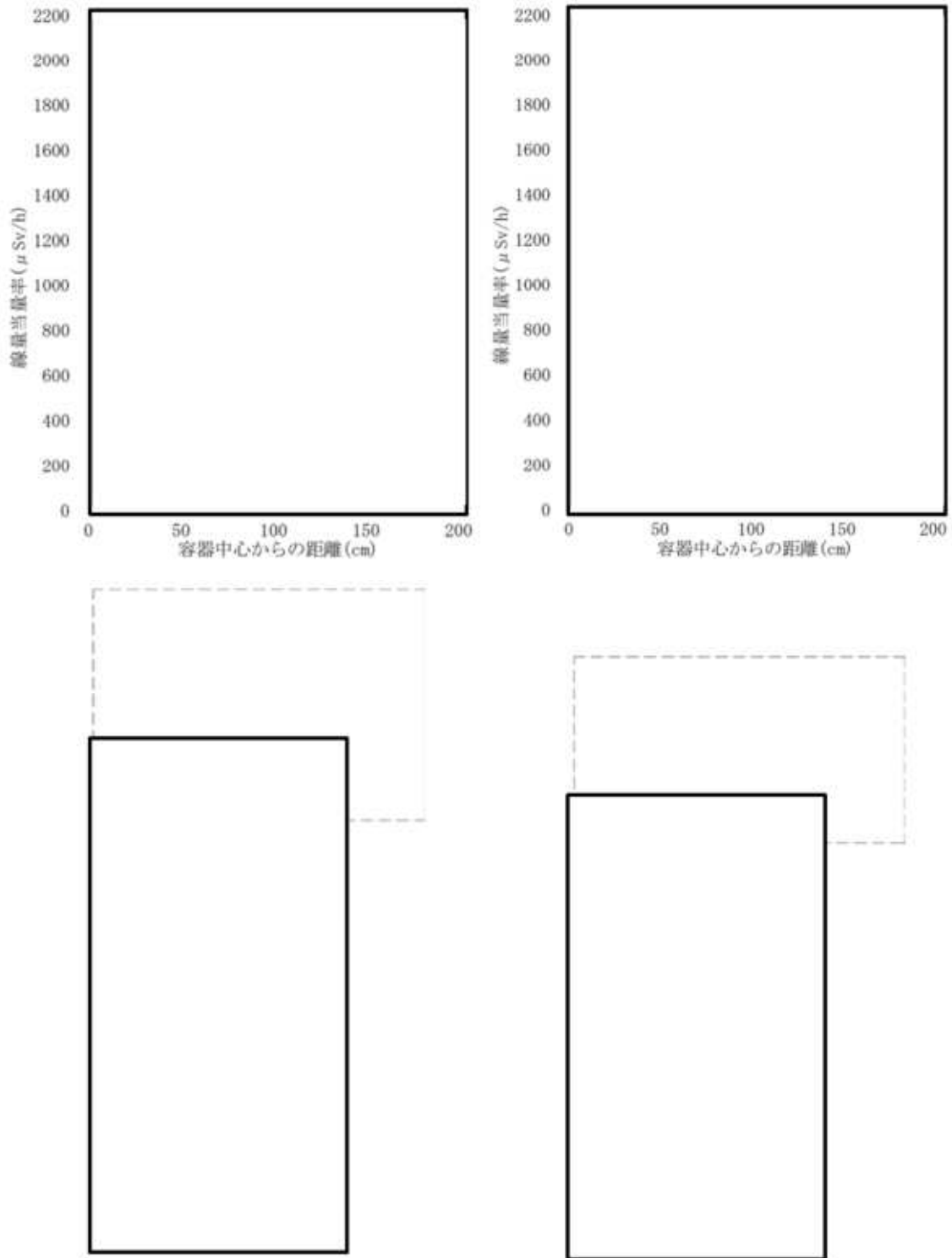
※下線で示す値は、表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率の最大値である。



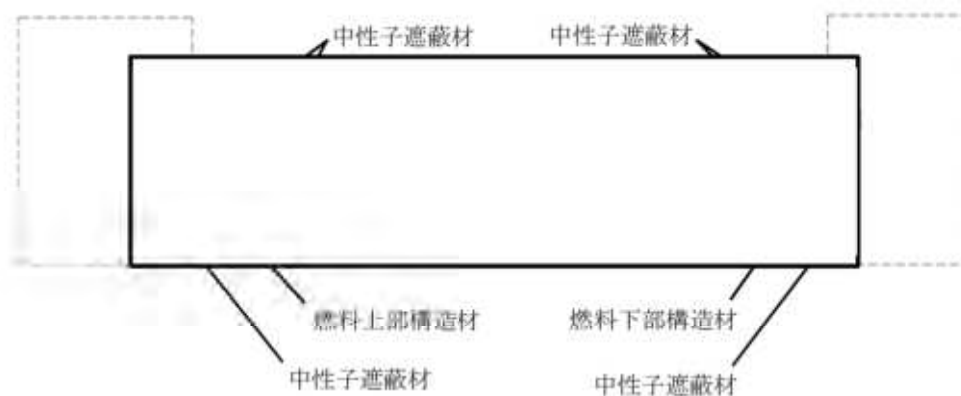
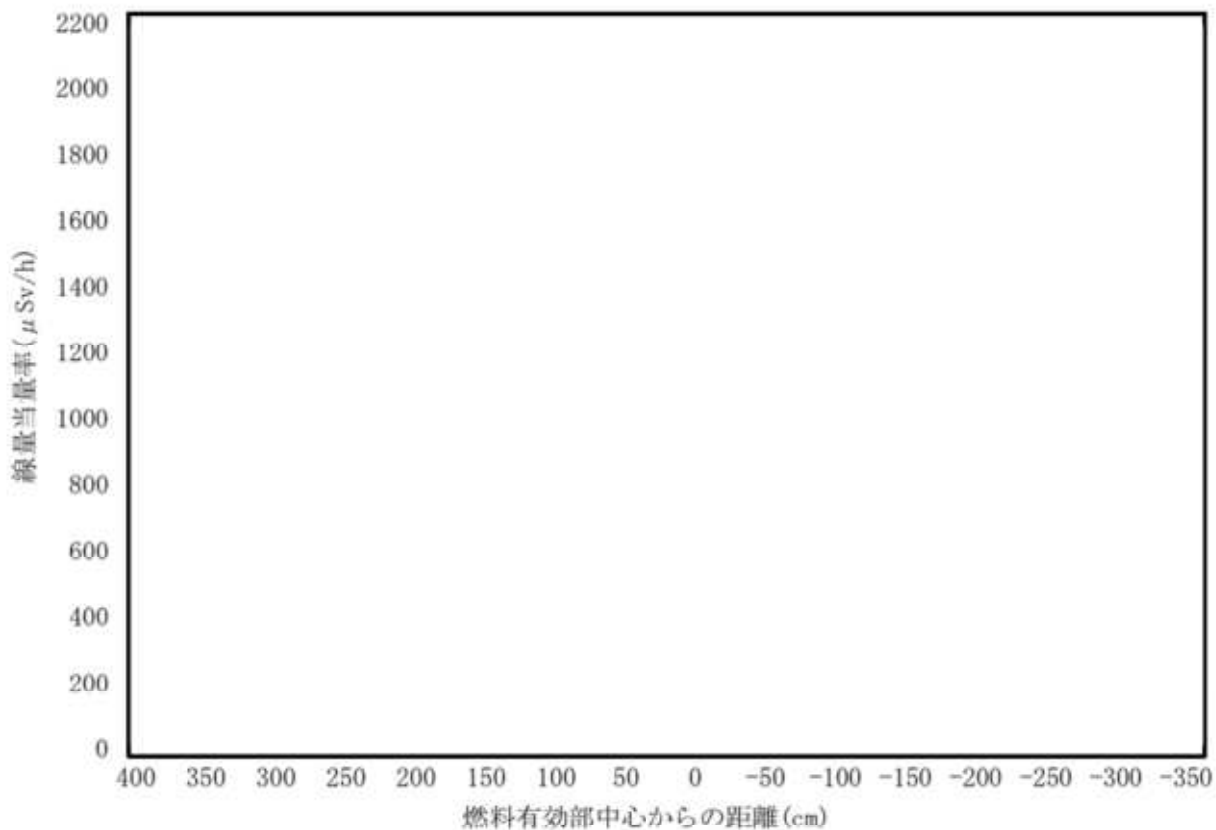
(注1) ①~⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。「D」はDOT3.5コード、「M」はMCNP5コード結果。  
 (注2) MCNP5解析の実形状を考慮したモデルイメージを図示している。

別紙 6-1 図 最大線量当量率位置



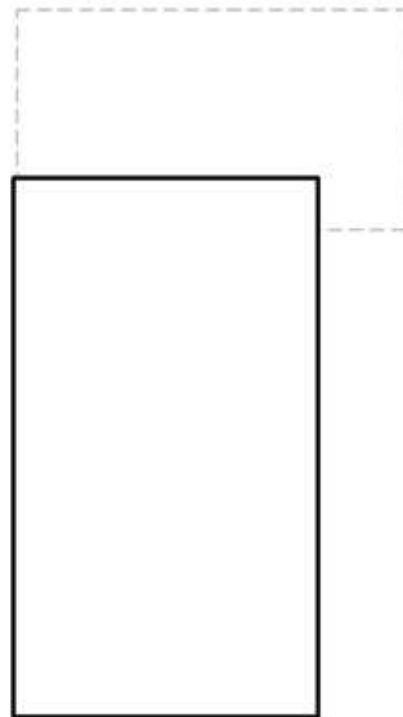
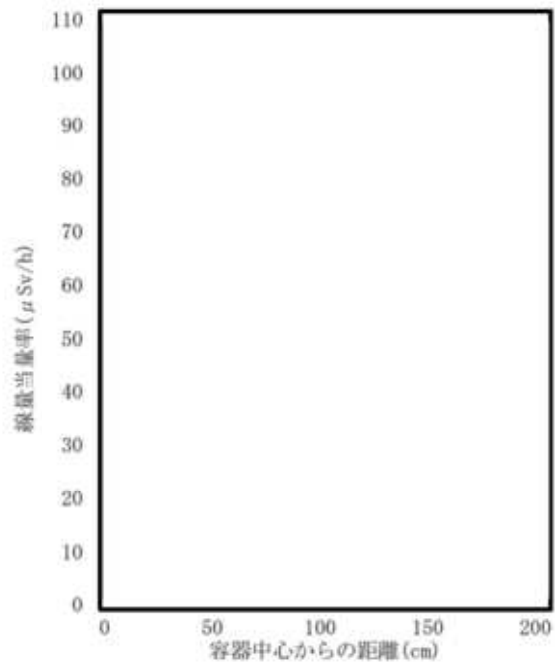
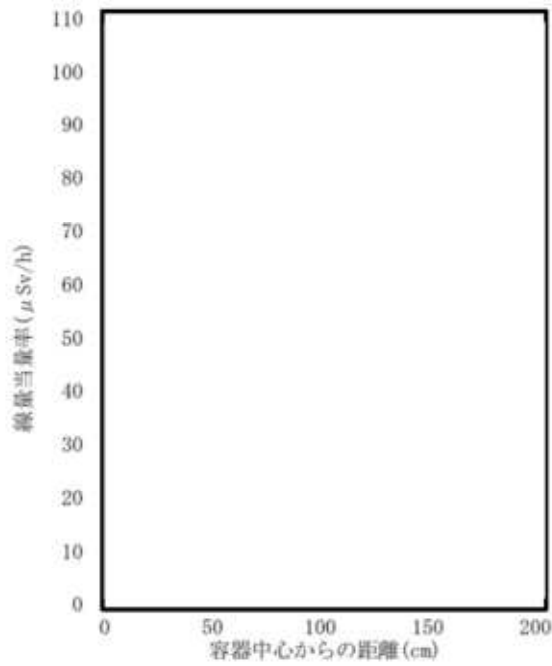


別紙6-2図 表面の線量当量率分布の比較  
(頭部軸方向・底部軸方向)



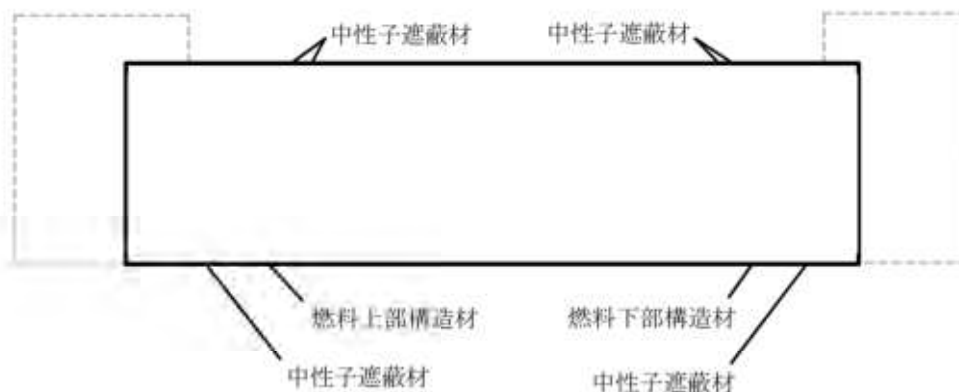
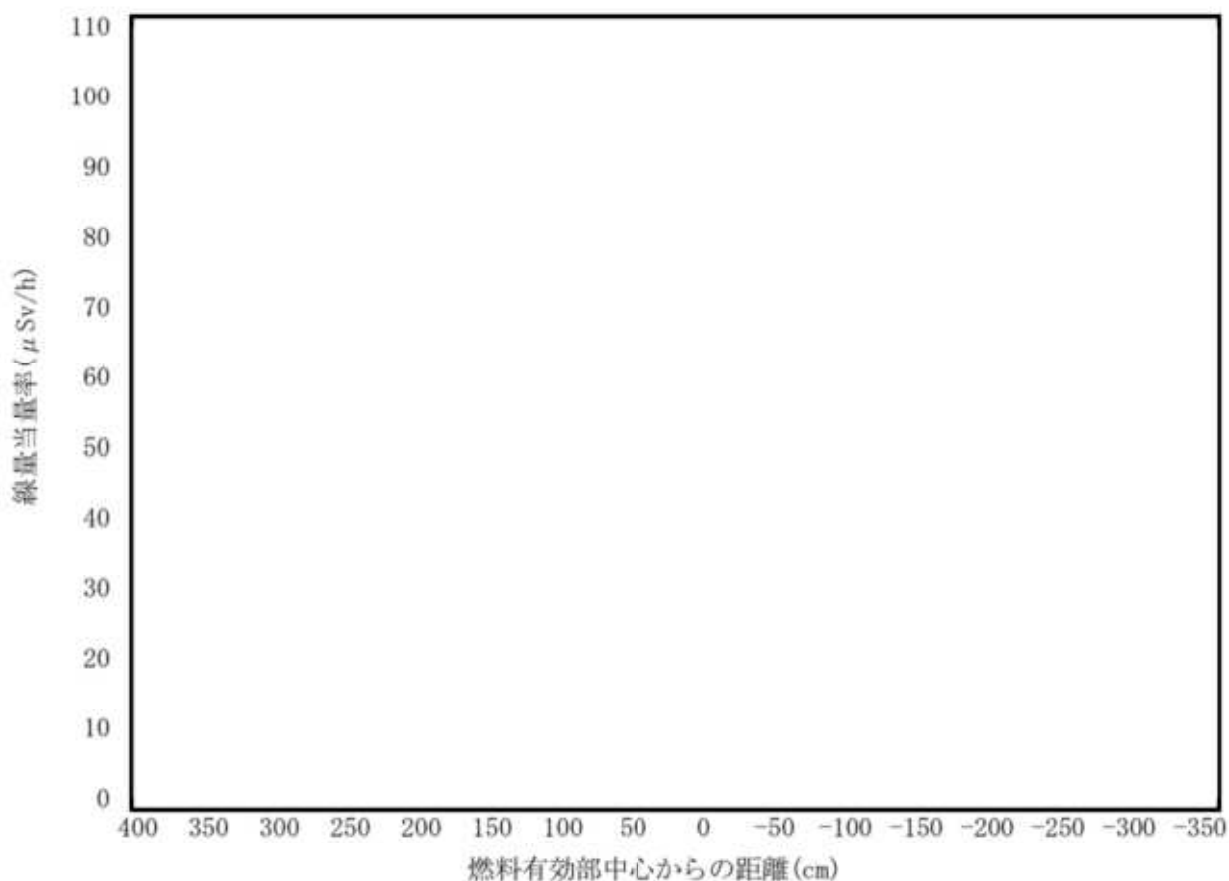
- (注 1) MCNP5 解析の線量当量率は、周方向の最大となる方向の MCNP5 解析値である（トラニオン方向も含まれる）。
- (注 2) DOT3.5 解析の線量当量率は、頭部径方向・側部・底部径方向の線量当量率分布にトラニオン方向の分布を重ねて示した。
- (注 3) 図中の数字部の線量当量率評価結果の差異要因について別紙 6-3 表に示す。

別紙 6-3 図 表面の線量当量率分布の比較  
(頭部径方向・側部・底部径方向 (トラニオン方向含む))



(注1) 図中の数字部の線量当量率評価結果の差異要因について別紙6-3表に示す。

別紙6-4図 表面から1 m離れた位置の線量当量率分布の比較  
(頭部軸方向・底部軸方向)



- (注1) MCNP5 解析の線量当量率は、周方向の最大となる方向の MCNP5 解析値である（トランニオン方向も含まれる）。
- (注2) DOT3.5 解析の線量当量率は、頭部径方向・側部・底部径方向の線量当量率分布にトランニオン方向の分布を重ねて示した。
- (注3) 図中の数字部の線量当量率評価結果の差異要因について別紙6-3表に示す。

別紙6-5図 表面から1 m離れた位置の線量当量率分布の比較  
(頭部径方向・側部・底部径方向 (トランニオン方向含む))

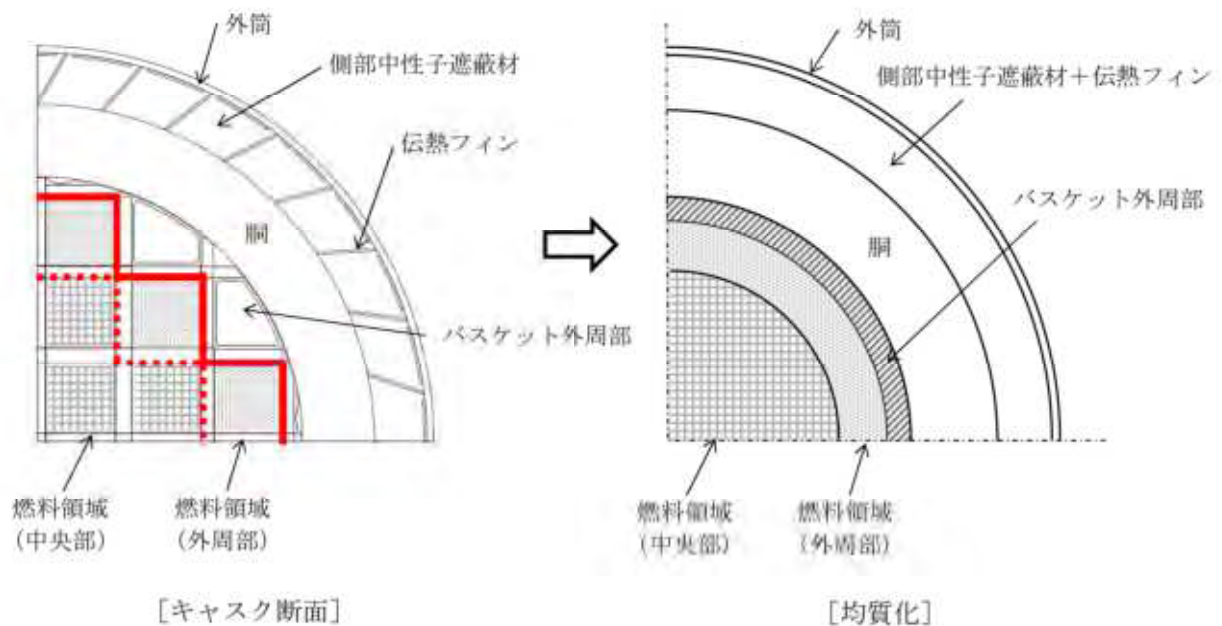
別紙6-3表 評価結果の傾向まとめ

項目	場所	傾向の差分要因	影響
1			
2			
3			
4			
5			

(添付1) DOT3.5 コード解析におけるキャビティ内均質化について

DOT3.5 コードを用いた遮蔽解析において、キャビティ内の燃料、バスケット、伝熱フィン、コードの制約上、均質化した円筒形状としてモデル化している。均質化方法を別紙6-6図及び別紙6-7図に示す。

DOT3.5 コードは、実形状（評価点に対して線源となる燃料領域の位置が非均等な形状）のキャスク断面の燃料領域と解析モデル断面の燃料領域が同じ面積となるように均質円筒モデル化し、均質化モデルのキャスク表面から1 m離れた位置における線量当量率が実形状でのキャスク表面から1 m離れた位置における局所的に最大となる線量当量率と同等となるよう、バスケット外周部の密度補正係数を設定する。全周囲に対して局所的な線量当量率と同等となるよう設定しているため、保守的な評価となる。



DOT3.5 コードによる遮蔽解析モデルへの入力

本体モデルの解析では、円筒形状での入力となるため、燃料領域の断面積と等価な面積となる円（円筒）にモデル化している。その際、燃料領域は使用済燃料集合体とバスケットを均質化した物性値を設定した。

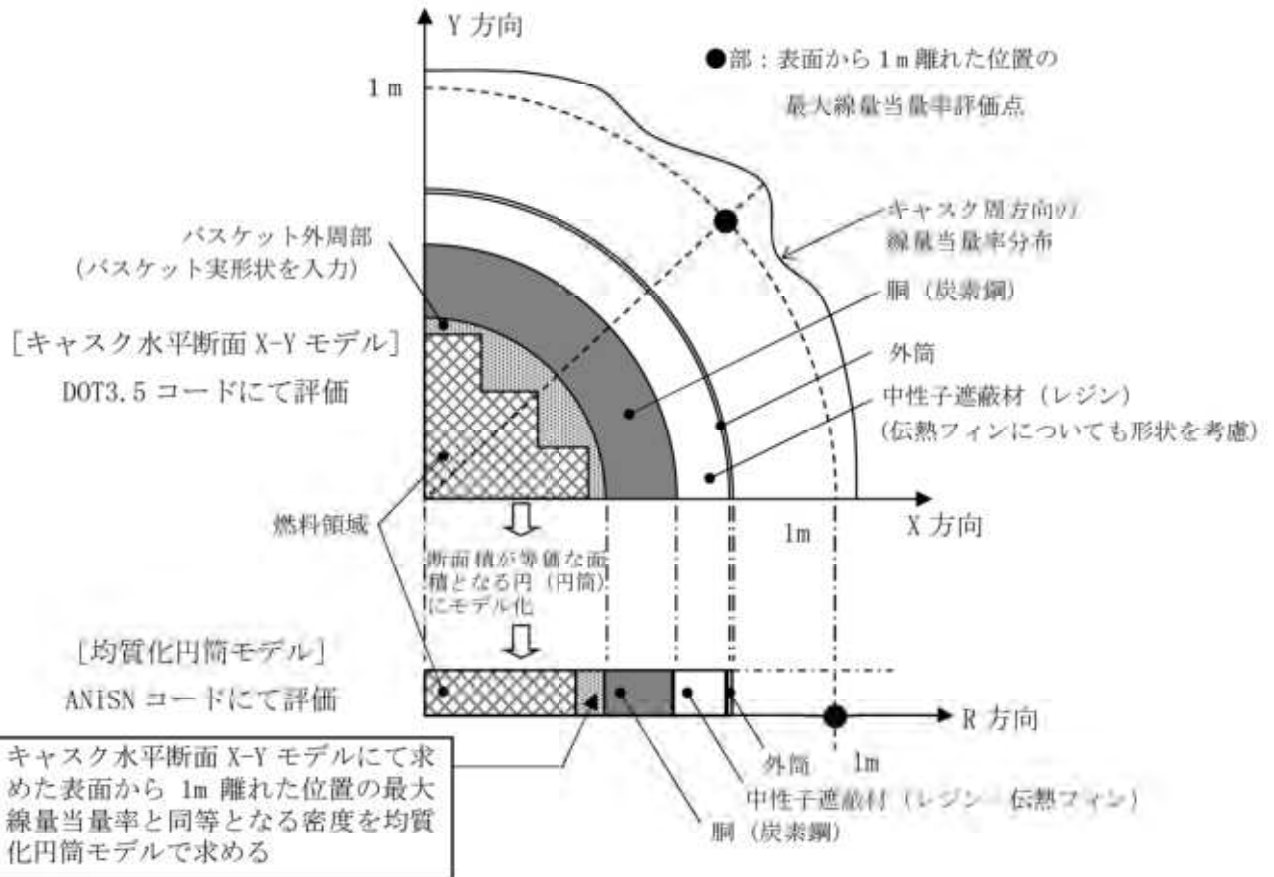
別紙6-6図 キャスク中央断面の実形状と解析モデル



モデル化



バスケット外周部は密度係数で調整



#### バスケット外周部の均質化

バスケット外周部は円周方向に不均一な厚さとなっている構造であることから、本体モデルでは下記に示す手法により、バスケット外周部の密度を設定している。

##### (i) キャスク水平断面 X-Y モデル遮蔽解析

キャスク水平断面 X-Y モデルによる表面から 1m 離れた位置での最大線量当量率を算出する。

※算出位置を表面から 1m 離れた位置としているのは、表面位置に比べ、基準線量当量率に対する裕度が少ないためである。

##### (ii) キャスク均質化円筒モデル遮蔽解析

別紙 6-6 図により設定した均質化モデルにて、表面から 1m 離れた位置での線量当量率が (i) で算出した最大線量当量率と同等となるバスケット外周部の密度係数を算出する。

(ii) にて算出したバスケット外周部の密度係数を用いることで、実形状の最大線量当量率を包絡する結果を得ることができる。

別紙 6-7 図 燃料領域及び側部中性子遮蔽材と伝熱フィン領域のモデル化の詳細

(添付2) DOT3.5コード解析におけるトラニオン部評価について

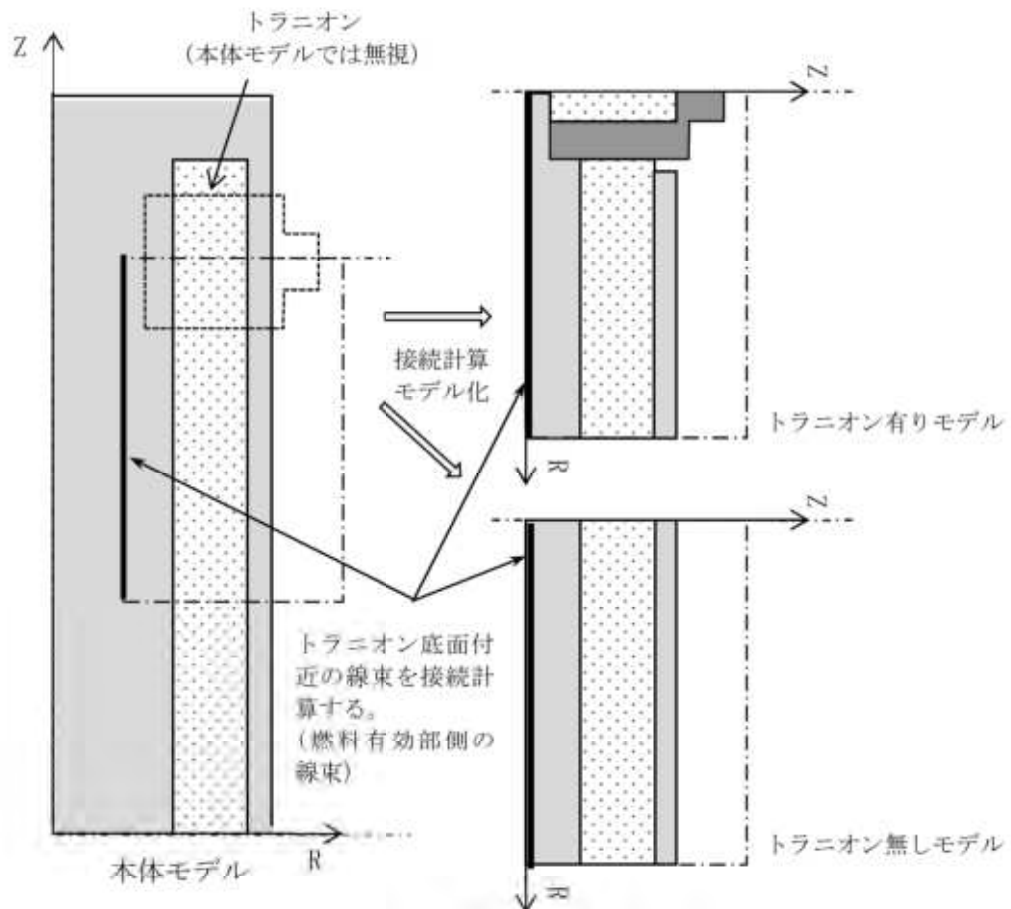
DOT3.5コードを用いた遮蔽解析において、トラニオン部はDOT3.5コードを用いて実形状を模擬して別途モデル化し、評価している。

別紙6-8図に示すとおり、トラニオンを無視した本体モデルにて得られたトラニオン底面付近の線束を、別途モデル化したR-Z体系のトラニオンモデルに接続している。

トラニオン部の線量当量率は、トラニオン有りモデルとトラニオン無しモデルの線量当量率結果より、線種ごとの線量当量率結果の比を補正値として求め、本体モデルの線量当量率にその補正値を乗じて評価している。次頁以降に詳細方法を示す。

本手法では、接続計算で引き継ぐ線束は円筒モデルの制約上トラニオン中心を対称として線量当量率の高い燃料有効部側（キャスク中央側）の値を線量当量率の低いキャスク端部側に対しても適用することとなるため、トラニオン部はキャスク端部側において保守的な評価となる。

なお、本保守的な評価傾向は、キャスク表面評価点においては特に顕著であるが、表面から1 m離れた位置における線量当量率算出は、キャスク全体からの線量当量率の寄与が支配的でありトラニオン部からの局所的な線量当量率寄与の影響は表面に比べて小さいことから当該影響は小さい。



別紙6-8図 トラニオン部の線束接続計算の概略図



## トランニオン部の接続計算の詳細

トランニオン部の線量当量率は、本体モデルにおけるトランニオン部の線量当量率に、別途トランニオン有りモデル/無しモデルで算出した線量当量率補正値を乗じて評価している。

補正値は以下の手順で算出している。

### ステップ1

トランニオン有りモデルとトランニオン無しモデルを用いた線束接続計算より、表面及び表面から1 m離れた位置の線量当量率を算出する。

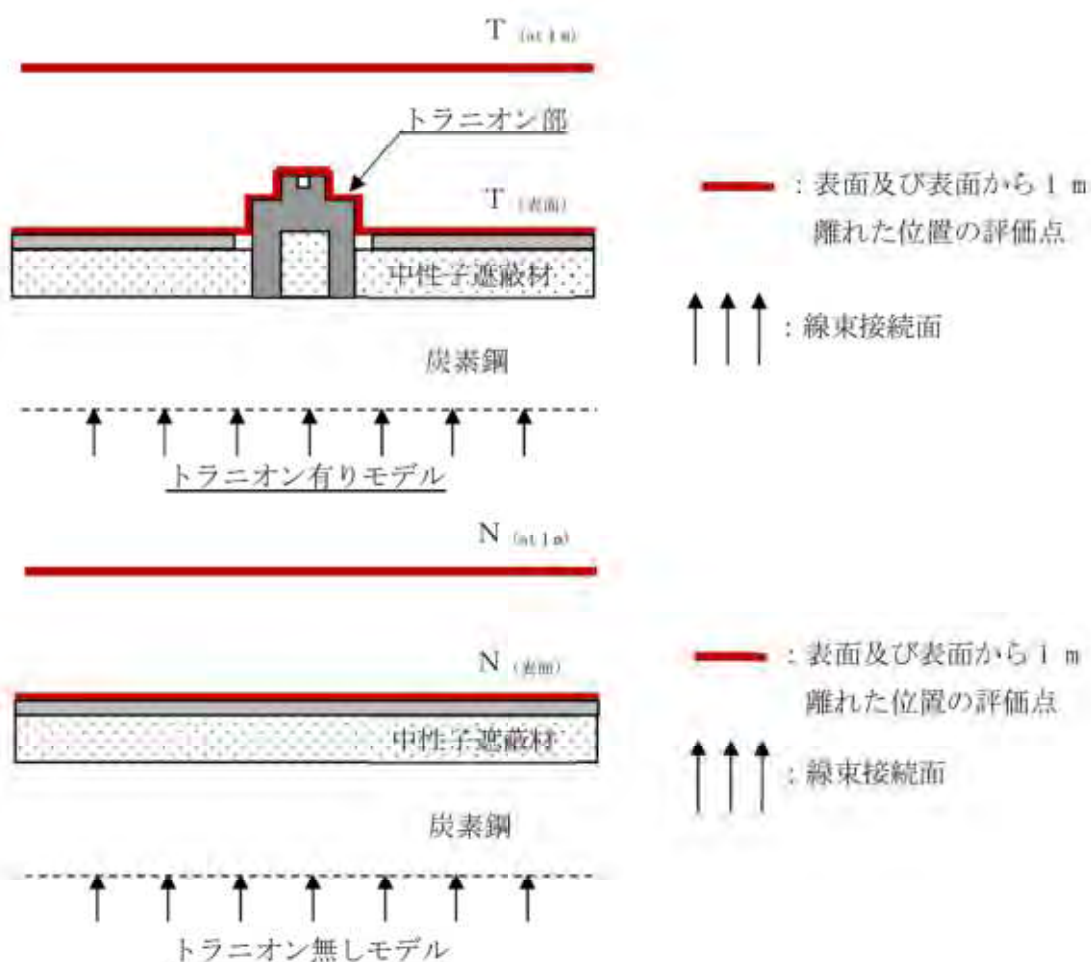
各モデル及び位置の線量当量率を別紙6-9図に示すとおり定義する。

トランニオン有りモデル：表面の線量当量率を $T_{(表面)}$

表面から1 m離れた位置の線量当量率を $T_{(at 1m)}$

トランニオン無しモデル：表面の線量当量率を $N_{(表面)}$

表面から1 m離れた位置の線量当量率を $N_{(at 1m)}$



別紙6-9図 トランニオン部の線量当量率の定義

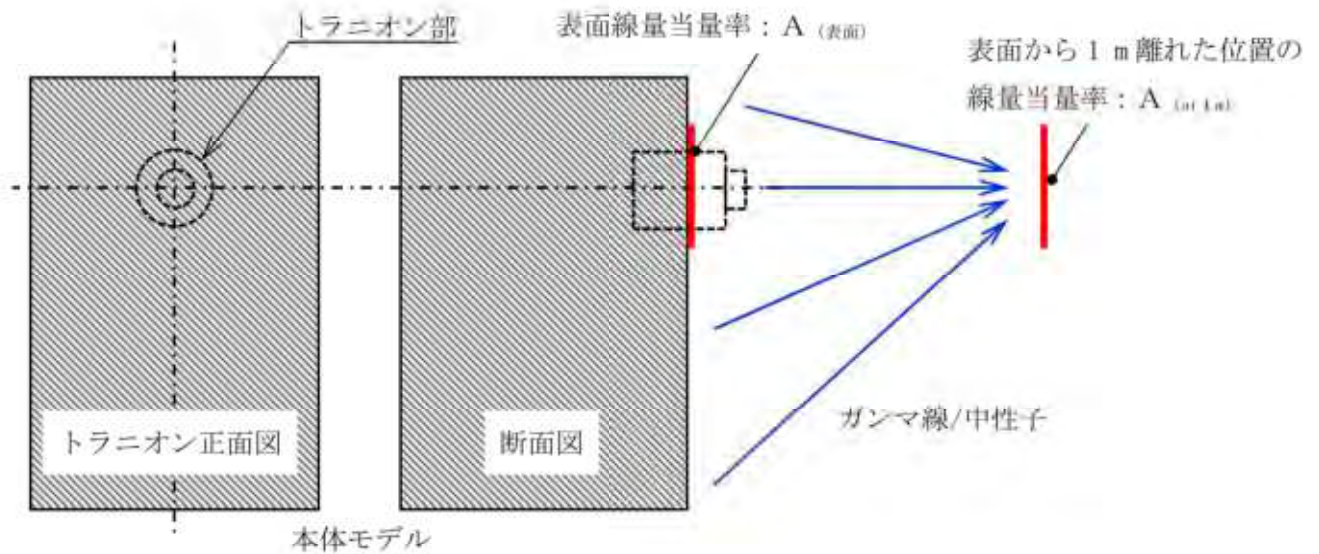
ステップ-2

本体モデルからトランニオン部の線量当量率に寄与する範囲を別紙6-10図に示すとおり定義する。

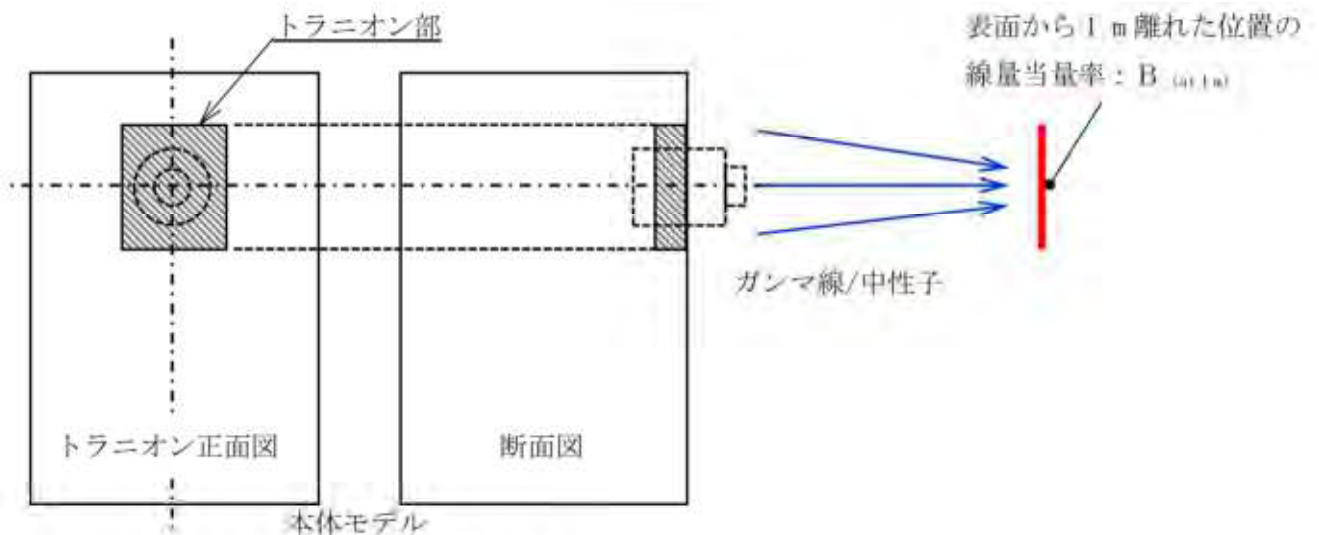
本体モデルの表面の線量当量率： $A_{(表面)}$

本体モデルの表面から1 m離れた位置の線量当量率： $A_{(at 1m)}$

本体モデルのトランニオン範囲より寄与する表面から1 m離れた位置の線量当量率： $B_{(at 1m)}$



キャスク全体からの線量当量率寄与A



トランニオン部の線量当量率寄与B

別紙6-10図 トランニオン部の線量当量率に寄与する範囲の定義

### ステップ-3

ステップ-1, 2の結果から下式により頭部径方向（トランニオン部）及び底部径方向（トランニオン部）の線量当量率を算出する。

表面線量当量率は評価点近傍からの寄与で決まるため、以下のとおり線量当量率補正值を考慮する。

トランニオン部表面の線量当量率： $A_{(表面)} \times (T_{(表面)} / N_{(表面)})$

表面から 1 m 離れた位置の線量当量率はキャスク全体からの寄与で決まるため、以下のとおり線量当量率補正值を考慮する。

トランニオン部表面から 1 m 離れた位置の線量当量率：

$$A_{(at 1m)} - B_{(at 1m)} + (B_{(at 1m)} \times (T_{(at 1m)} / N_{(at 1m)}))$$

なお、ステップ-1の計算に用いる線束接続面の線束については、保守的に燃料有効部に近い側の線束を、トランニオン底面に接続する。

### 遮蔽機能データの適用確認方法

設置許可基準規則第 29 条及び第 30 条の遮蔽評価に用いるソースターム条件として、MSF-24P(S) 型の遮蔽機能データを用いる場合は、型式証明申請第 16 条の適合性評価と同じ手法で求めた線束を用いるものとする（※ MSF-24P(S) 型の遮蔽機能データの作成方法については、本型式証明申請第 16 条で妥当性確認済）。

設置（変更）許可申請時に実施する第 29 条及び第 30 条の遮蔽評価では、別紙 7-1 図に示す特定兼用キャスク表面から 1 m 離れた位置の代表評価点（5 点）における遮蔽機能データを用いて計算した線量当量率が、第 16 条の遮蔽評価結果（別紙 7-1 表）と同等\*となることをもって、遮蔽機能データが適切に使用されていることを確認することができる。別紙 7-2 図に遮蔽機能データの確認のイメージを示す。ここでは、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法について代表例として記載する。

\*：MCNP5 コードを用いた評価につき同一の値にならない場合がある。この場合、遮蔽機能データとの差異（線量当量率比）を設置（変更）許可申請における線量解析値に加味する（解析値に線量当量率比を考慮する）等で妥当な引き継ぎとする。

別紙7-1表(1/4) 特定兼用キヤスタクの表面から1 m離れた位置における代表評価点の線量当量率  
(17×17燃料(A型)収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

評価点	頭部		側部	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
	②	④		⑧	⑩
ガンマ線	燃料有効部	<0.1 (1.1)	23.4 (0.5)	45.0 (0.3)	27.1 (0.6)
	構造材放射化	0.2 (0.5)	22.7 (0.9)	11.5 (0.2)	13.0 (1.0)
	二次ガンマ線	0.2 (1.2)	5.1 (0.5)	10.0 (0.4)	5.5 (0.5)
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	83.5	84.2	74.7	34.4

※ ( ) 内は統計誤差(単位: %)を示す。

第3表(5/12)に示す表面から1 m離れた位置における線量当量率の評価結果と同じ

別紙7-1表(2/4) 特定兼用キャプタの表面から1 m離れた位置における代表評価点の線量当量率

(17×17燃料(B型)収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

評価点	頭部		側部	底部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向
	②	④		⑧	⑩
ガンマ線	燃料有効部	0.1 (1.6)	18.1 (0.4)	20.3 (0.3)	22.3 (0.5)
	構造材放射化	0.2 (0.9)	31.7 (0.7)	28.6 (0.5)	13.3 (0.6)
	二次ガンマ線	0.2 (3.3)	4.6 (0.7)	5.0 (0.6)	5.1 (0.7)
中性子		19.1 (0.7)	28.2 (0.6)	25.6 (0.5)	24.5 (0.8)
合計		19.6	82.6	79.5	65.2
表面から1 m					44.8

※ ( ) 内は統計誤差(単位: %)を示す。

第3表(6/12)に示す表面から1 m離れた位置における線量当量率の評価結果と同じ

別紙7-1表(3/4) 特定兼用キヤムタの表面から1 m離れた位置における代表評価点の線量当量率  
(15×15燃料(A型)収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	②	④		⑧	⑩	
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)	3.1 (0.3)
	構造材放射化	0.1 (0.3)	16.2 (0.5)	8.5 (0.2)	8.3 (0.5)	10.6 (0.2)
	二次ガンマ線	0.2 (1.2)	5.3 (0.4)	10.5 (0.3)	5.5 (0.4)	1.9 (0.6)
中性子	22.2 (0.2)	35.9 (0.5)	19.0 (0.1)	32.0 (0.6)	14.0 (0.2)	
合計	22.6	79.8	82.9	71.2	29.6	

※ ( ) 内は統計誤差(単位: %)を示す。

第3表(7/12)に示す表面から1 m離れた位置における線量当量率の評価結果と同じ



別紙7-1表(4/4) 特定兼用キャスクの表面から1 m離れた位置における代表評価点の線量当量率  
(15×15燃料(B型)収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

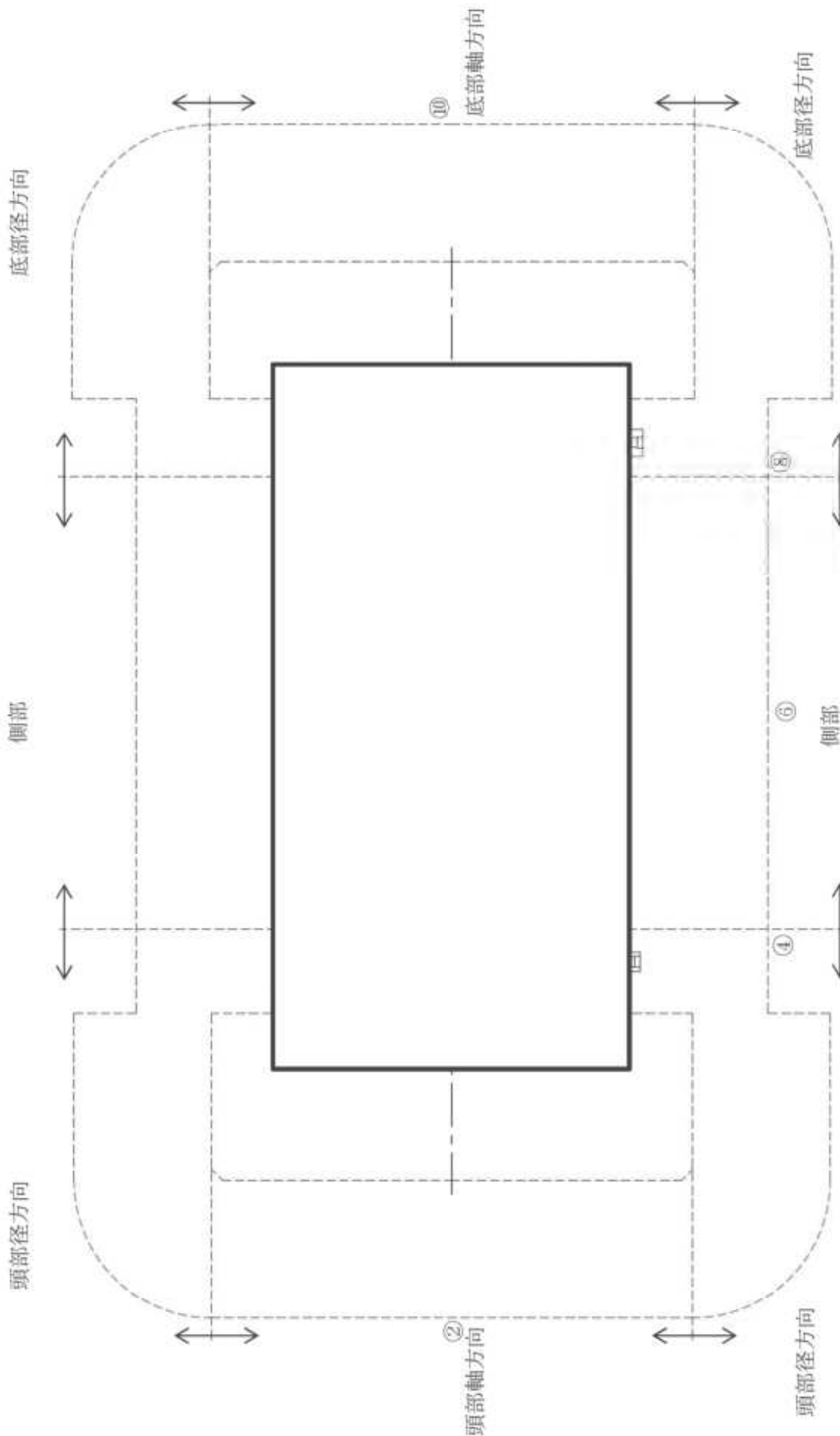
(単位:  $\mu\text{Sv/h}$ )

評価点	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	
	②	④		⑧	⑩	
ガンマ線 表面から1 m	燃料有効部	0.1 (1.6)	18.1 (0.4)	20.4 (0.3)	21.3 (0.6)	2.5 (0.6)
	構造材放射化	0.2 (0.9)	25.5 (0.7)	23.3 (0.6)	9.2 (0.9)	15.4 (0.4)
	二次ガンマ線	0.2 (2.1)	4.8 (0.3)	5.3 (0.3)	5.2 (0.4)	1.8 (1.1)
中性子	20.1 (0.5)	29.8 (0.6)	27.0 (0.5)	27.2 (0.8)	13.3 (0.5)	
合計	20.6	78.2	76.0	62.9	33.0	

※ ( ) 内は統計誤差(単位: %)を示す。

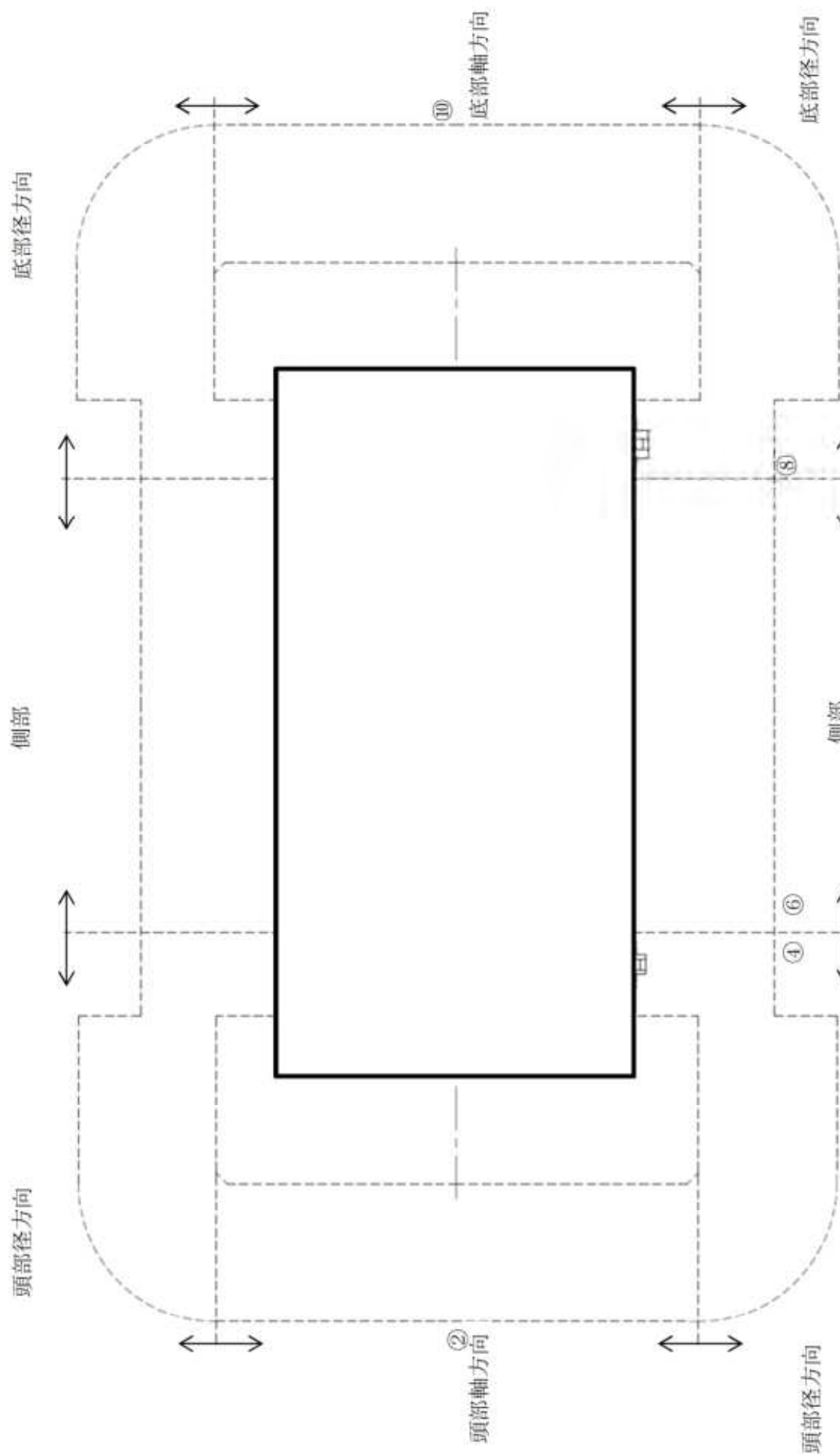
第3表(8/12)に示す表面から1 m離れた位置における線量当量率の評価結果と同じ





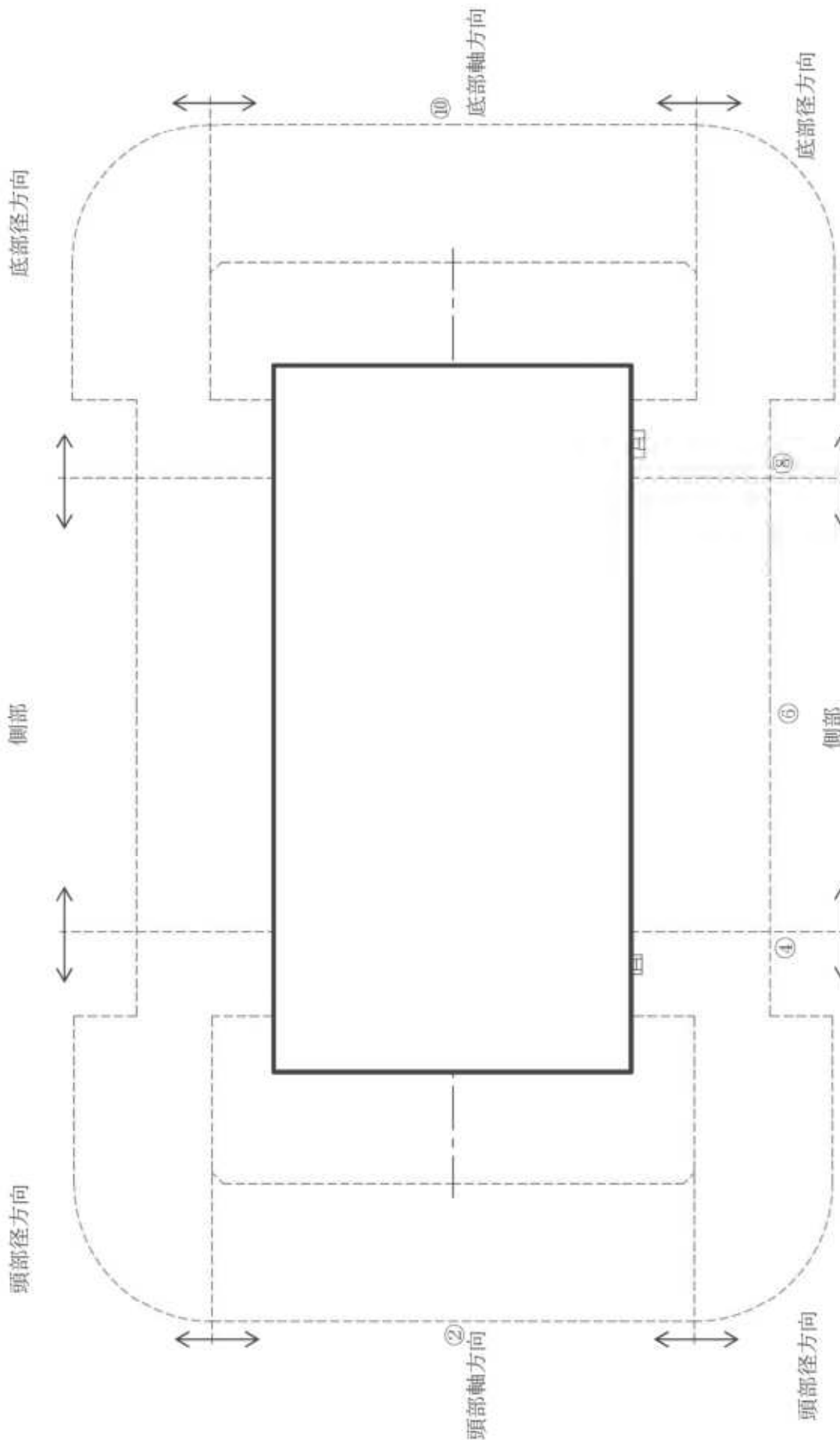
(注) ②, ④, ⑥, ⑧, ⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。  
モニタリングポート、バルブ、トラニオンを同一断面に図示している。

別紙 7-1 図 (1/4) 特定兼用キャスクの表面から 1 m 離れた位置における代表評価点  
(17×17 燃料 (A型) 収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



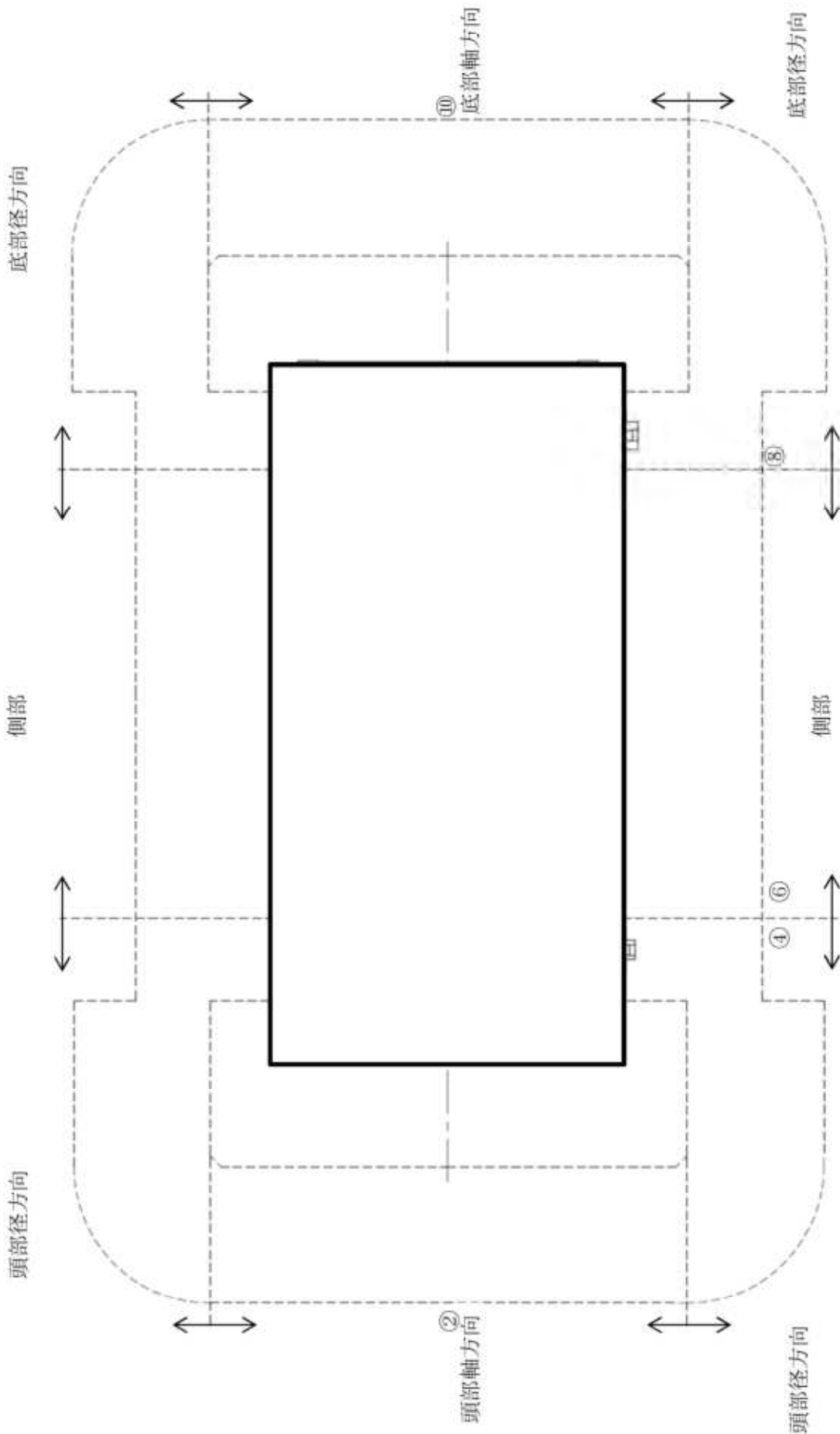
(注) ②, ④, ⑥, ⑧, ⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。  
モニタリングポート、バルブ、トラニオンを同一断面に図示している。

別紙 7-1 図 (2/4) 特定兼用キャスクの表面から 1 m 離れた位置における代表評価点  
(17×17 燃料 (B 型) 収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



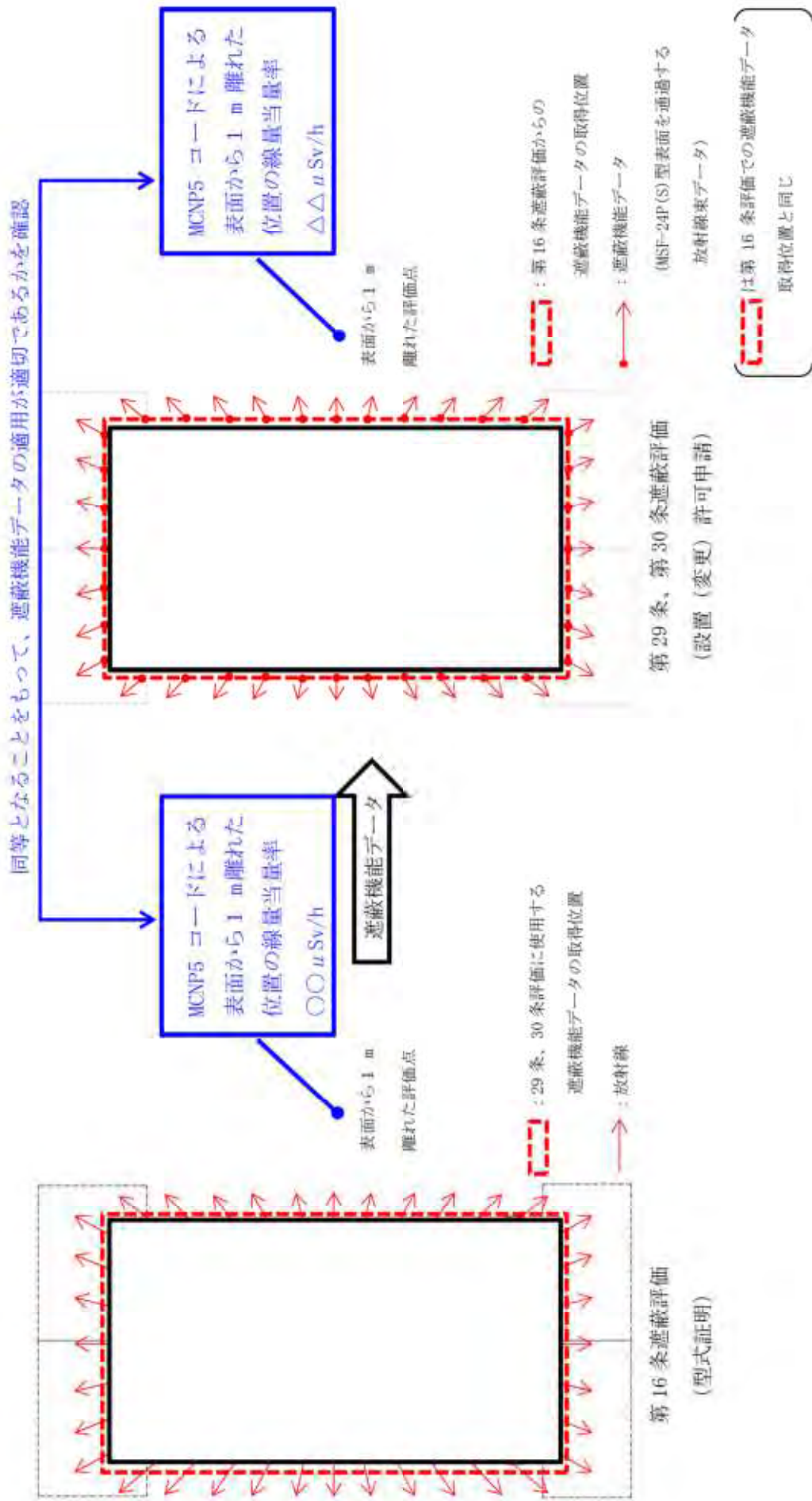
(注) ②, ④, ⑥, ⑧, ⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。  
モニタリングポート、バルブ、トラニオンを同一断面に図示している。

別紙 7-1 図 (3/4) 特定兼用キヤスクの表面から 1 m 離れた位置における代表評価点  
(15×15 燃料 (A型) 収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



(注) ②, ④, ⑥, ⑧, 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いる。  
モニタリングポート、バルブ、トラニオンを同一断面に図示している。

別紙 7-1 図 (4/4) 特定兼用キヤスクの表面から 1 m 離れた位置における代表評価点  
(15×15 燃料 (B 型) 収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



別紙 7-2 図 遮蔽機能データ確認イメージ

設置方法による線量当量率評価結果の違いについて

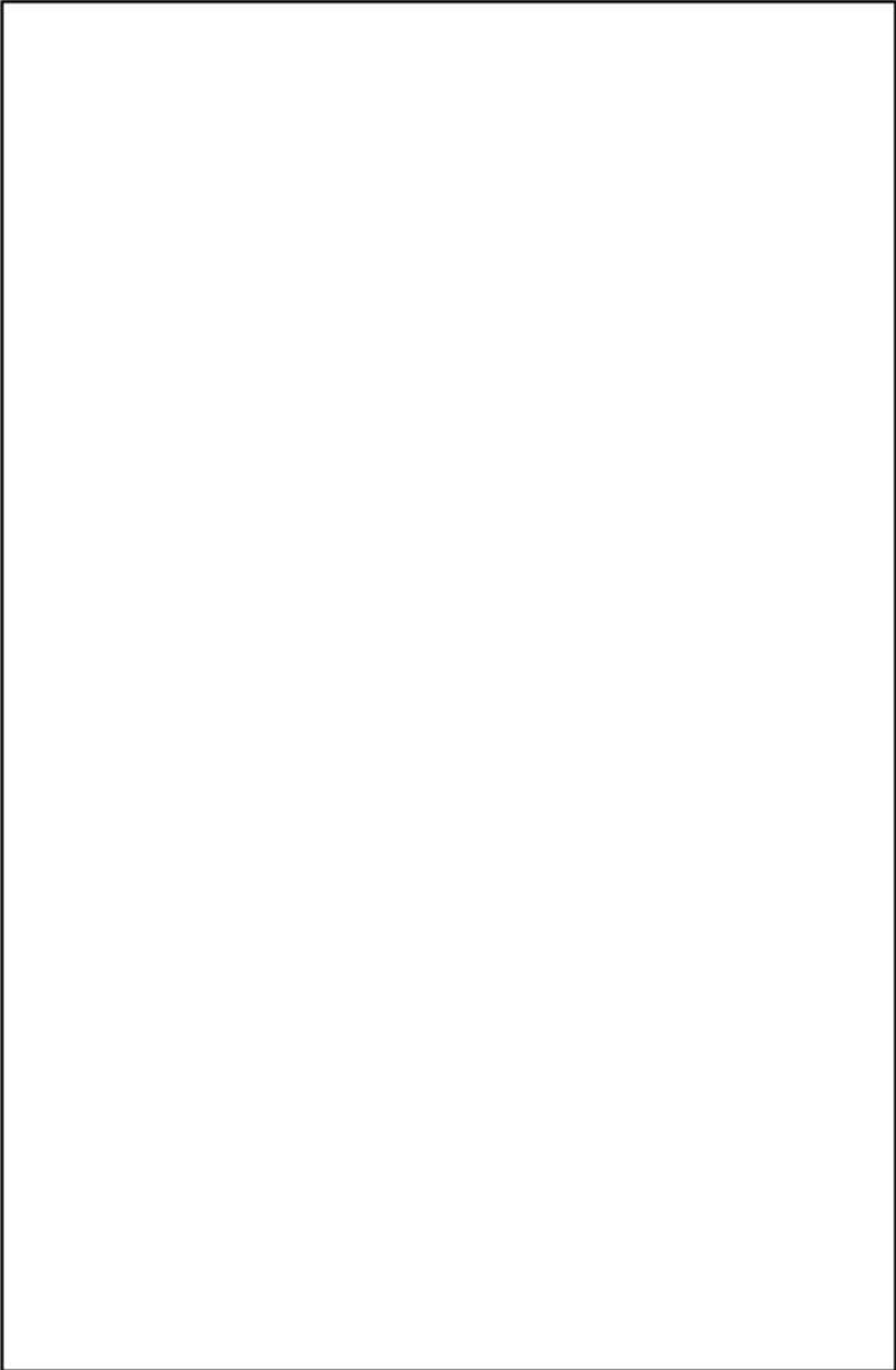
設置方法が横置きとたて置きで異なる場合、キャスク表面及び表面から1 m離れた位置（以下、「1 m位置」という。）における線量当量率の評価位置及び評価値は一部異なる結果となる。評価位置における結果の違いを別紙8-1表に示す。

別紙8-1表 横置きとたて置きの設置方法の違いによる評価結果の差異について

評価位置	評価点*2	差異	差異要因及び影響
キャスク 表面 (頭部)	①		
キャスク 表面 (側部) *1	③		
	⑤		
	⑦		
キャスク 表面 (底部)	⑨		
1 m位置 (頭部)	②		
1 m位置 (側部) *1	④		
	⑥		
	⑧		
1 m位置 (底部)	⑩		

\*1：側部方向が表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率最大値となる。

\*2：別紙8-1図の番号に対応。各領域における評価点概略位置。



別紙 8-1 図 設置方法の違いによる評価結果差異の要因