

第7表 (3/4) 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
(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 表面から 1 m	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

第7表 (4/4) 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

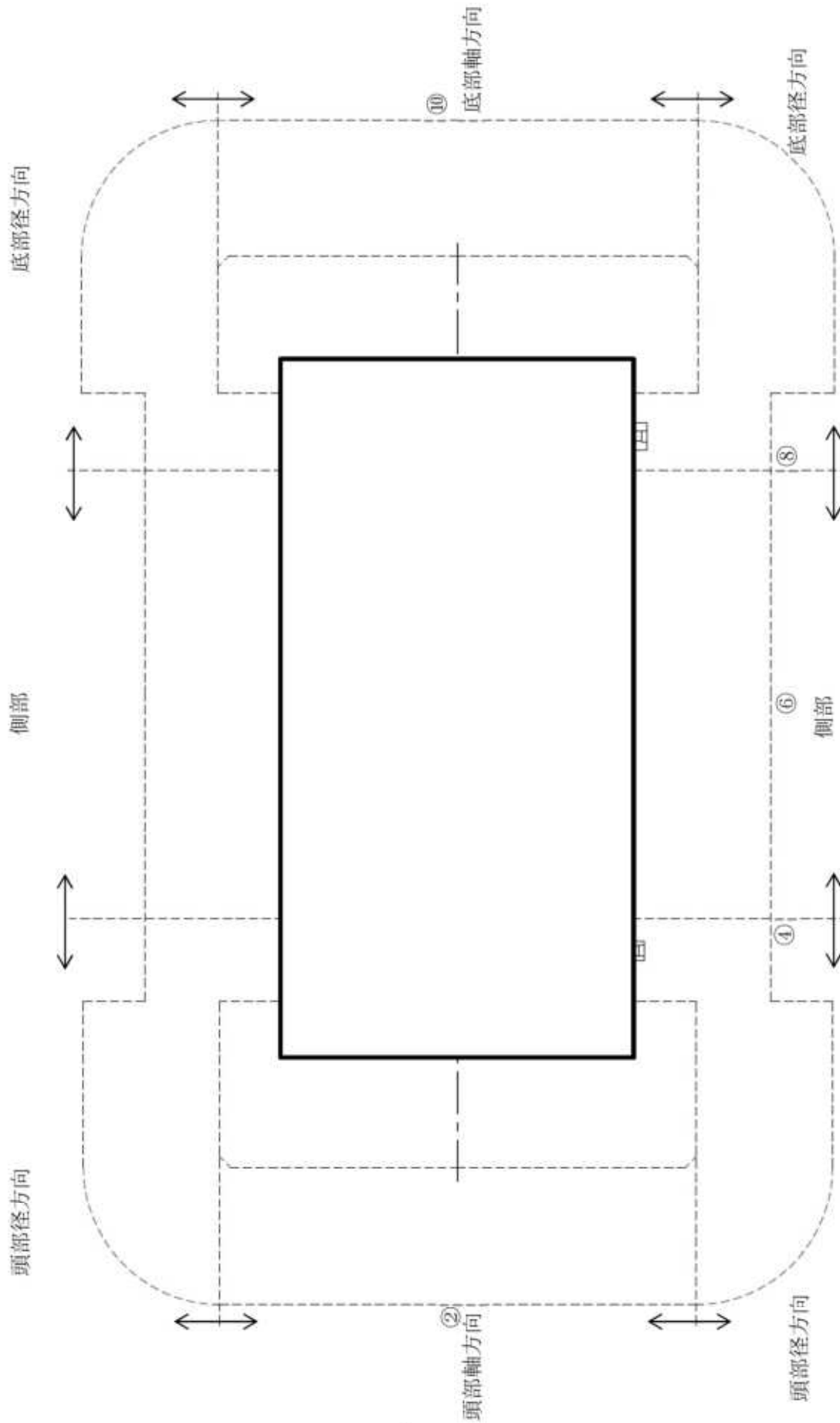
(15×15 燃料 (B型) 収納時、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

(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	

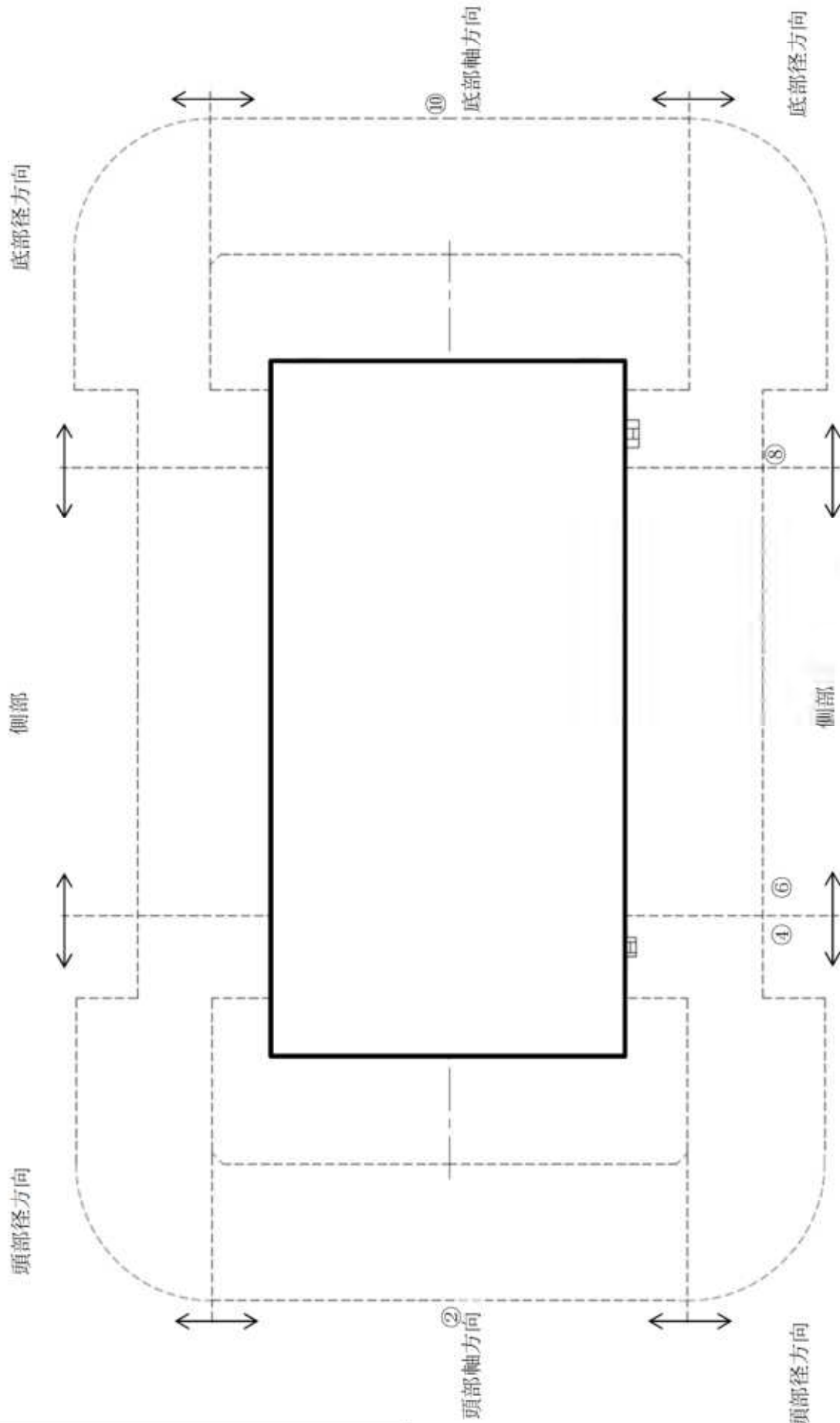
※ () 内は統計誤差 (単位: %) を示す。

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



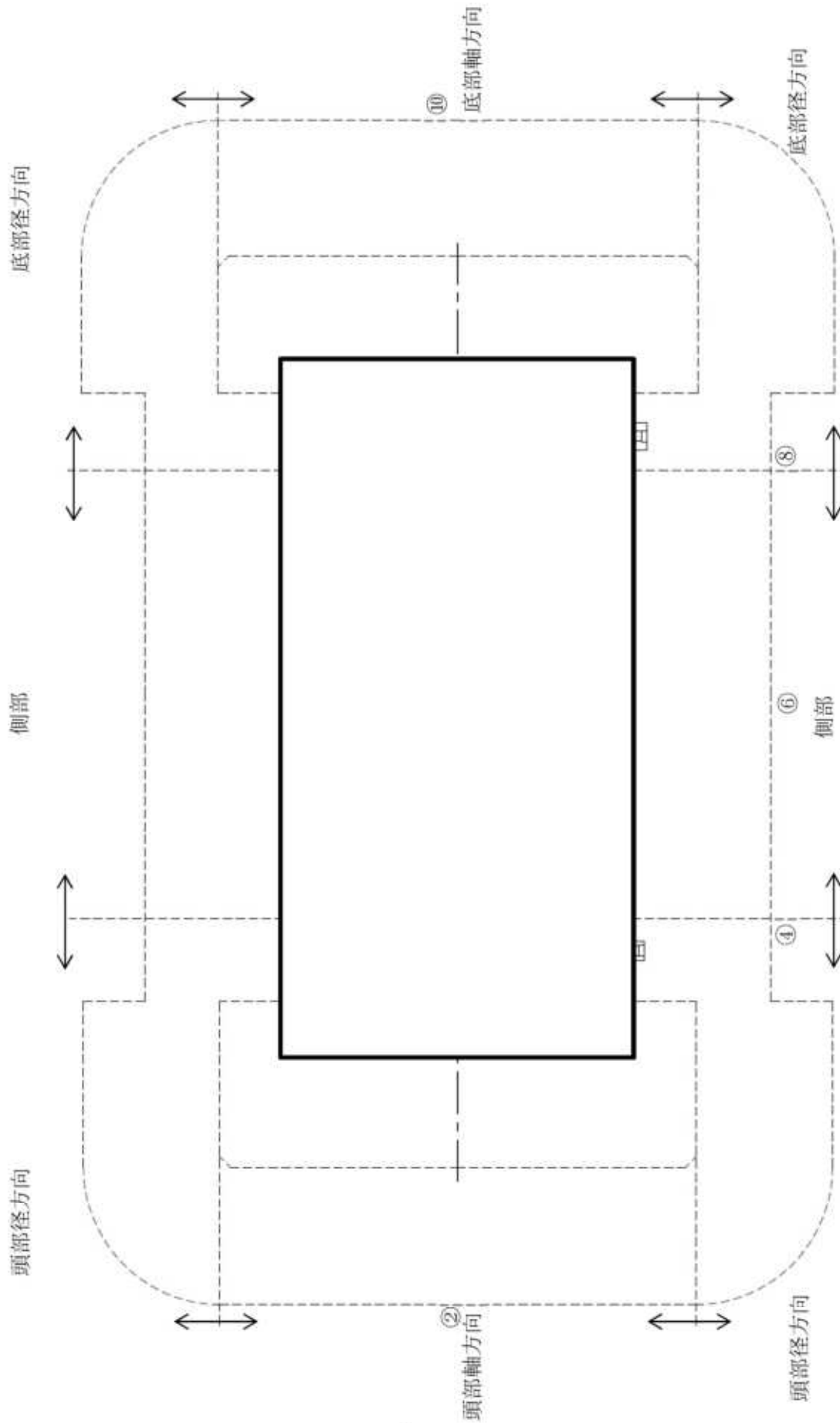
(注) ②, ④, ⑥, ⑧, ⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。
モニタリングポート、バルブ、トラニオンを同一断面に図示している。

第14図 (1/4) 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
(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)



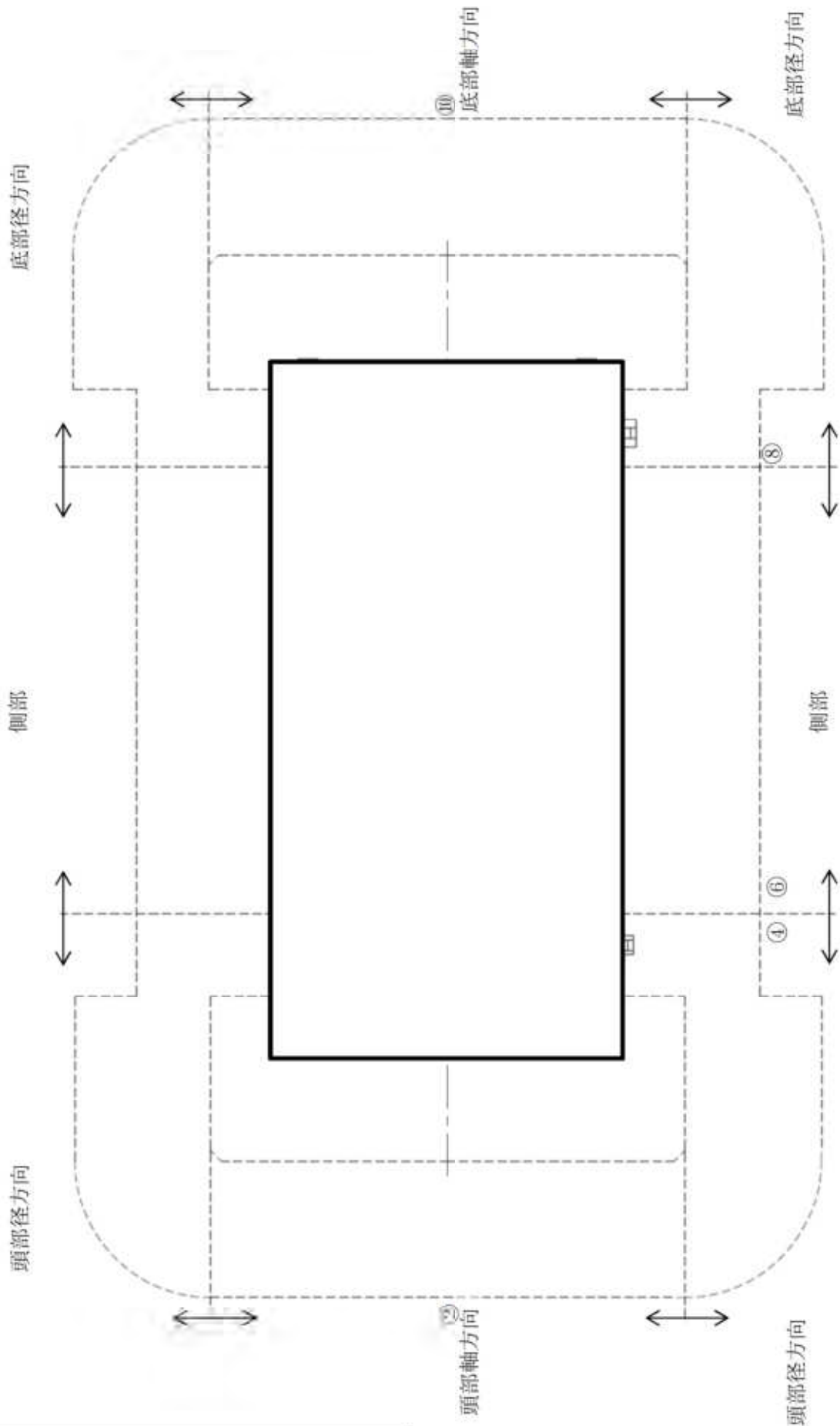
(注) ②, ④, ⑥, ⑧, ⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。
 モニタリングポート、バルブ、トラニオンを同一断面に図示している。

第14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。

第14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。

第14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)

5. 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”, Computer Programs NEA-1642, OECD/NEA Databank, (2006).
- (2) A. G. Croff, “ORIGEN2: A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristics of Nuclear Materials”, Nuclear Technology, Vol. 62, (1983).
- (3) Oak Ridge National Laboratory, “DOT3.5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code”, CCC-276, (1977).
- (4) 大西世紀 ほか, 「 ^{252}Cf 核分裂中性子源を用いた遮へい透過実験及び二次元離散座標計算コードによる輸送容器評価用断面積セット SFCX-J33 の適用性に関する研究」, 海上技術安全研究所報告 第7巻 第3号 研究報告, (2007).
- (5) K. Kosako, et al., “The Libraries FSXLIB and MATXSLIB Based on JENDL-3.3”, JAERI-Data/Code 2003-011, (2003).
- (6) R. E. MacFarlane, “TRANSX2: A Code for Interfacing MATXS Cross-Section Libraries to Nuclear Transport Codes”, LA-12312-MS, (1992).
- (7) International Atomic Energy Agency Nuclear Data Services, “TRANSX patches”, <https://www-nds.iaea.org/fendl20/transx-patches.htm>.
- (8) X-5 Monte Carlo Team, “MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume 1: Overview and Theory”, LA-UR-03-1987, (2003).
- (9) 一般社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会, 「原子力発電所放射線遮蔽設計規程」, JEAC 4615-2020, (2020).
- (10) U. S. Nuclear Regulatory Commission, “Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Systems at a General License Facility”, NUREG-1536 Revision 1, (2010).
- (11) U. S. Nuclear Regulatory Commission, “Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities”, NUREG-1567, (2000).
- (12) U. S. Nuclear Regulatory Commission, “Final Safety Evaluation Report”, <https://www.nrc.gov/docs/ML2030/ML20307A119.pdf>, (2020).
- (13) 四国電力株式会社, 「核燃料輸送物設計承認申請」, 原燃発 18-78 号, (2018).
- (14) 国立大学法人東京工業大学, 「核燃料輸送物設計承認申請」, 東工大研 第4-3号, (2016).
- (15) リサイクル燃料貯蔵株式会社, 「リサイクル燃料備蓄センターの使用済燃料貯蔵事業変更許可申請」, RFS 発官 25 第 11 号, (2014).
- (16) 一般社団法人 日本原子力学会, 「日本原子力学会標準 シミュレーションの信頼性確

保に関するガイドライン：2015」, AESJ-SC-A008:2015, (2016).

- (17) Forrest Brown, Brian Kiedrowski, Jeffrey Bull, Matthew Gonzales, Nathan Gibson, "Verification of MCNP5-1.60", LA-UR-10-05611, (2010).
- (18) 一般社団法人日本原子力学会, 「モンテカルロ法による放射性物質輸送容器の遮蔽安全評価手法の高度化 平成 23 年度報告書」, (2012).
- (19) Masahiko Ueyama, Masashi Osaki, "Dose Equivalent Rate Benchmark Calculations of a Dry Storage Cask for Spent Fuel by 3D Monte Carlo Code", PATRAM 2019, (2019).
- (20) 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).

遮蔽解析条件

1. 使用済燃料集合体の線源強度について

使用済燃料集合体の放射線源強度（以下「線源強度」という。）は、「燃料有効部からのガンマ線及び中性子」、「使用済燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体からの放射化ガンマ線」に分けて計算する。

使用済燃料集合体の線源強度計算方法及び条件を別紙 1-1 表及び別紙 1-2 表に示す。また、別紙 1-3 表に燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度、別紙 1-4 表に燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体からの放射化によるガンマ線源強度、別紙 1-5 表に中性子源強度、別紙 1-6 表に燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度並びに別紙 1-7 表に中性子のエネルギーごとの中性子スペクトルを示す。

別紙 1-3 表に示すとおり、17×17 燃料及び 15×15 燃料の 48,000MWd/t 型はそれぞれ 39,000MWd/t 型に比べて線源強度が高いため、遮蔽解析に用いる燃料タイプは 17×17 燃料 48,000MWd/t 型（A 型、B 型）及び 15×15 燃料 48,000MWd/t 型（A 型、B 型）とする。

燃料有効部のエネルギーごとの中性子線強度は、MCNP5 内で Watt 型 ^{239}Pu 核分裂スペクトルに処理される。また、使用済燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体からの放射化ガンマ線のエネルギーごとの粒子放出割合は 1.17 MeV 及び 1.33 MeV がそれぞれ 50 %である。

別紙1-1表 使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の線源強度計算方法及び条件

項目	計算方法	計算条件
燃料有効部からのガンマ線及び中性子	<p>燃焼計算コード ORIGEN2 を用い、ガンマ線及び中性子源強度を計算。使用済燃料集合体の軸方向燃焼度分布を考慮。また、中性子については実効増倍率を考慮。</p>	<p>燃料条件：別紙1-2表参照 解析コード：ORIGEN2.2UPJ ライブラリ：PWRU50 ライブラリ (48,000MWd/t 型) PWRU ライブラリ (39,000MWd/t 型) 軸方向燃焼度分布：別紙1-1図参照 実効増倍率：0.30 (別紙2参照)</p>
使用済燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体からの放射化ガンマ線	<p>使用済燃料集合体構造材及びバーナブルポイズン集合体の⁵⁹Co含有量に従い、放射化計算式に基づき⁵⁹Coから⁶⁰Coへの放射化量を計算。</p>	<p>放射化計算式 $\Lambda = N_0 \sigma \phi [1 - \exp(-\lambda T_1)] \times \exp(-\lambda T_2)$ Λ：放射化核種 (⁶⁰Co) の放射能 (Bq) N_0：ターゲット核種 (⁵⁹Co) の個数 (atoms) σ：2200m/s の中性子による ⁵⁹Co の (n, γ) 反応断面積 (cm²) ϕ：炉内照射熱中性子束 (n/(cm²·s)) λ：⁶⁰Co の崩壊定数 (3.6001×10⁻⁴/日) T_1：照射日数 (日) (別紙1-2表参照) T_2：冷却日数 (日) (別紙1-2表参照)</p>
中性子源スペクトル	—	<p>DOT3.5：²³⁹Pu の核分裂スペクトル (別紙1-7表参照^(注)) MCNP5：コード内で以下の条件を基に処理する。 Watt 型²³⁹Pu 核分裂スペクトル⁽¹⁾ Watt 型連続分布スペクトル $P(E) = C \exp(-E/a) \times \sinh(bE)^{1/2}$ ²³⁹Pu 中性子スペクトル定数 $a = 0.966$ (MeV)、$b = 2.842$ (MeV⁻¹)</p>

(注) 中性子スペクトルを²³⁹Puの核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性については、別紙3に示す。

別紙1-2表(1/2) 使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の
線源強度計算条件(17×17燃料)

項 目			17×17 燃料 48,000MWd/t 型		17×17 燃料 39,000MWd/t 型	
			A 型	B 型	A 型	B 型
燃焼度 (MWd/t)	中央部		48,000		39,000	
	外周部		44,000			
平均比出力 (MW/t) (注1)						
照射 日数 (日)	使用済燃料 集合体	中央部				
		外周部				
バーナブルポイズン 集合体						
初期濃縮度 (wt%) (注2)						
冷却期間 (年)			15	17	15	17
ウラン重量 (kg/体)						
(上部)						
軸方向燃焼度分布 (注3)						
(下部)						

(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。

(注3) ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。

別紙1-2表(2/2) 使用済燃料集合体及びバーナブルポイズン集合体の
線源強度計算条件(15×15燃料)

項 目			15×15 燃料 48,000MWd/t 型		15×15 燃料 39,000MWd/t 型				
			A 型	B 型	A 型	B 型			
燃焼度 (MWd/t)	中央部	48,000		39,000					
	外周部	44,000							
平均比出力 (MW/t) (注1)									
照射 日数 (日)	使用済燃料 集合体	中央部							
		外周部							
バーナブルポイズン 集合体									
初期濃縮度 (wt%) (注2)									
冷却期間 (年)			15	17	15	17			
ウラン重量 (kg/体)									
(上部)									
軸方向燃焼度分布 (注3)									
(下部)									

(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。

(注3)ノードは燃料有効部を軸方向に したものである。

別紙1-3表(1/2) 燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度(17×17燃料)

(MSF-24P(S)型1基当たり)

項目	17×17燃料 48,000MWd/t型 ^(注1)		17×17燃料 39,000MWd/t型 ^(注2)	
	A型	B型	A型	B型
燃料有効部ガンマ線 (photons/s)	1.073×10^{17}	1.007×10^{17}	9.067×10^{16}	8.518×10^{16}
構造材放射化ガンマ線 ^(注3) (⁶⁰ Co TBq)	5.922×10^2	6.024×10^2	5.801×10^2	5.736×10^2
燃料有効部中性子 ^(注4) (n/s)	1.205×10^{10}	1.120×10^{10}	8.408×10^9	7.811×10^9

(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MSF-24P(S)型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MSF-24P(S)型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である。

別紙1-3表(2/2) 燃料集合体の種類と型式ごとの線源強度(15×15燃料)

(MSF-24P(S)型1基当たり)

項目	15×15燃料 48,000MWd/t型 ^(注1)		15×15燃料 39,000MWd/t型 ^(注2)	
	A型	B型	A型	B型
燃料有効部ガンマ線 (photons/s)	1.062×10^{17}	9.967×10^{16}	9.018×10^{16}	8.474×10^{16}
構造材放射化ガンマ線 ^(注3) (⁶⁰ Co TBq)	4.438×10^2	4.984×10^2	4.919×10^2	4.880×10^2
燃料有効部中性子 ^(注4) (n/s)	1.266×10^{10}	1.175×10^{10}	8.380×10^9	7.787×10^9

(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MSF-24P(S)型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MSF-24P(S)型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である。

別紙1-4表(1/4) 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度
(17×17燃料(A型))

(MSF-24P(S)型1基当たり)

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

別紙1-4表(2/4) 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度
(17×17燃料(B型))

(MSF-24P(S)型1基当たり)

モデル化領域	燃料集合体構造材の線源強度 (⁶⁰ Co TBq)		
	中央部 ^(注)	外周部	合計
上部ノズル部	1.672×10 ¹ (5.339×10 ⁰)	1.062×10 ¹	2.734×10 ¹ (5.339×10 ⁰)
上部プレナム部	7.269×10 ¹ (6.583×10 ⁰)	6.167×10 ¹	1.344×10 ² (6.583×10 ⁰)
燃料有効部	2.866×10 ² (1.939×10 ²)	8.649×10 ¹	3.731×10 ² (1.939×10 ²)
下部プレナム部	1.570×10 ¹	1.465×10 ¹	3.035×10 ¹
下部ノズル部	1.928×10 ¹	1.799×10 ¹	3.727×10 ¹

別紙1-7

別紙1-4表(3/4) 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度
(15×15燃料(A型))

(MSF-24P(S)型1基当たり)

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

別紙1-4表(4/4) 燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度
(15×15燃料(B型))

(MSF-24P(S)型1基当たり)

モデル化領域	燃料集合体構造材の線源強度 (⁶⁰ Co TBq)		
	中央部 (注)	外周部	合計
上部ノズル部	8.770×10 ⁰ (4.265×10 ⁰)	4.211×10 ⁰	1.298×10 ¹ (4.265×10 ⁰)
上部プレナム部	6.378×10 ¹ (5.398×10 ⁰)	5.457×10 ¹	1.183×10 ² (5.398×10 ⁰)
燃料有効部	2.484×10 ² (1.617×10 ²)	8.105×10 ¹	3.295×10 ² (1.617×10 ²)
下部プレナム部	1.009×10 ¹	9.428×10 ⁰	1.952×10 ¹
下部ノズル部	9.368×10 ⁰	8.757×10 ⁰	1.813×10 ¹

別紙1-8

別紙1-5表(1/4) 中性子源強度(17×17燃料(A型))

(MSF-24P(S)型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)	(α, n) 反応	9.369×10^7	7.472×10^7	1.684×10^8
	自発核分裂	4.909×10^9	3.360×10^9	8.269×10^9
	合計	5.003×10^9	3.435×10^9	8.437×10^9
輸送物の実効増倍率 keff ^(注)		0.30		
全中性子源強度 Ns (n/s)		7.147×10^9	4.907×10^9	1.205×10^{10}

(注)ORIGEN2 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。

別紙1-5表(2/4) 中性子源強度(17×17燃料(B型))

(MSF-24P(S)型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)	(α, n) 反応	9.170×10^7	7.367×10^7	1.654×10^8
	自発核分裂	4.555×10^9	3.117×10^9	7.672×10^9
	合計	4.647×10^9	3.191×10^9	7.837×10^9
輸送物の実効増倍率 keff ^(注)		0.30		
全中性子源強度 Ns (n/s)		6.638×10^9	4.558×10^9	1.120×10^{10}

(注)ORIGEN2 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。

別紙1-5表(3/4) 中性子源強度(15×15燃料(A型))

(MSF-24P(S)型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)	(α, n) 反応	9.669×10^7	7.716×10^7	1.739×10^8
	自発核分裂	5.148×10^9	3.537×10^9	8.685×10^9
	合計	5.245×10^9	3.614×10^9	8.859×10^9
輸送物の実効増倍率 keff ^(注)		0.30		
全中性子源強度 Ns (n/s)		7.492×10^9	5.163×10^9	1.266×10^{10}

(注)ORIGEN2 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。

別紙1-5表(4/4) 中性子源強度(15×15燃料(B型))

(MSF-24P(S)型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)	(α, n) 反応	9.454×10^7	7.600×10^7	1.705×10^8
	自発核分裂	4.776×10^9	3.281×10^9	8.057×10^9
	合計	4.871×10^9	3.357×10^9	8.228×10^9
輸送物の実効増倍率 keff ^(注)		0.30		
全中性子源強度 Ns (n/s)		6.958×10^9	4.796×10^9	1.175×10^{10}

(注)ORIGEN2 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。

別紙1-6表(1/4) 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度
(17×17燃料(A型))

(MSF-24P(S)型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) (注)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	1.433×10^{16}	1.337×10^{16}	2.770×10^{16}
2	0.025	2.888×10^{15}	2.710×10^{15}	5.599×10^{15}
3	0.0375	3.729×10^{15}	3.445×10^{15}	7.174×10^{15}
4	0.0575	2.903×10^{15}	2.725×10^{15}	5.628×10^{15}
5	0.085	1.636×10^{15}	1.528×10^{15}	3.165×10^{15}
6	0.125	1.581×10^{15}	1.445×10^{15}	3.027×10^{15}
7	0.225	1.363×10^{15}	1.275×10^{15}	2.637×10^{15}
8	0.375	5.802×10^{14}	5.452×10^{14}	1.125×10^{15}
9	0.575	2.481×10^{16}	2.278×10^{16}	4.759×10^{16}
10	0.85	1.142×10^{15}	1.003×10^{15}	2.145×10^{15}
11	1.25	7.743×10^{14}	6.784×10^{14}	1.453×10^{15}
12	1.75	2.373×10^{13}	2.089×10^{13}	4.463×10^{13}
13	2.25	1.395×10^{10}	1.289×10^{10}	2.684×10^{10}
14	2.75	6.962×10^9	5.818×10^9	1.278×10^{10}
15	3.5	6.777×10^8	5.046×10^8	1.182×10^9
16	5.0	2.157×10^8	1.477×10^8	3.634×10^8
17	7.0	2.487×10^7	1.703×10^7	4.190×10^7
18	9.5	2.857×10^6	1.957×10^6	4.814×10^6
合計		5.576×10^{16}	5.152×10^{16}	1.073×10^{17}

(注)MCNP5コードによる評価の[]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(A型)、側部方向表面評価点で代表して、[]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[]であることを確認)

別紙1-6表(2/4) 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度
(17×17燃料(B型))

(MSF-24P(S)型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) (注)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	1.361×10^{16}	1.270×10^{16}	2.632×10^{16}
2	0.025	2.719×10^{15}	2.553×10^{15}	5.272×10^{15}
3	0.0375	3.495×10^{15}	3.232×10^{15}	6.728×10^{15}
4	0.0575	2.781×10^{15}	2.612×10^{15}	5.393×10^{15}
5	0.085	1.533×10^{15}	1.433×10^{15}	2.966×10^{15}
6	0.125	1.437×10^{15}	1.316×10^{15}	2.753×10^{15}
7	0.225	1.284×10^{15}	1.202×10^{15}	2.485×10^{15}
8	0.375	5.372×10^{14}	5.051×10^{14}	1.042×10^{15}
9	0.575	2.339×10^{16}	2.149×10^{16}	4.489×10^{16}
10	0.85	8.416×10^{14}	7.403×10^{14}	1.582×10^{15}
11	1.25	6.525×10^{14}	5.720×10^{14}	1.225×10^{15}
12	1.75	2.040×10^{13}	1.797×10^{13}	3.837×10^{13}
13	2.25	4.034×10^9	3.551×10^9	7.584×10^9
14	2.75	5.961×10^9	4.907×10^9	1.087×10^{10}
15	3.5	5.116×10^8	3.607×10^8	8.723×10^8
16	5.0	2.001×10^8	1.371×10^8	3.371×10^8
17	7.0	2.307×10^7	1.580×10^7	3.888×10^7
18	9.5	2.650×10^6	1.815×10^6	4.466×10^6
合計		5.231×10^{16}	4.838×10^{16}	1.007×10^{17}

(注)MCNP5コードによる評価の[]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(A型)、側部方向表面評価点で代表して、[]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[]であることを確認)

別紙1-6表(3/4) 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度
(15×15燃料(A型))

(MSF-24P(S)型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) (注)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	1.414×10^{16}	1.320×10^{16}	2.734×10^{16}
2	0.025	2.843×10^{15}	2.670×10^{15}	5.512×10^{15}
3	0.0375	3.689×10^{15}	3.411×10^{15}	7.100×10^{15}
4	0.0575	2.866×10^{15}	2.692×10^{15}	5.558×10^{15}
5	0.085	1.612×10^{15}	1.507×10^{15}	3.119×10^{15}
6	0.125	1.566×10^{15}	1.432×10^{15}	2.998×10^{15}
7	0.225	1.342×10^{15}	1.256×10^{15}	2.598×10^{15}
8	0.375	5.700×10^{14}	5.360×10^{14}	1.106×10^{15}
9	0.575	2.462×10^{16}	2.262×10^{16}	4.724×10^{16}
10	0.85	1.128×10^{15}	9.922×10^{14}	2.120×10^{15}
11	1.25	7.723×10^{14}	6.781×10^{14}	1.450×10^{15}
12	1.75	2.368×10^{13}	2.088×10^{13}	4.456×10^{13}
13	2.25	1.295×10^{10}	1.198×10^{10}	2.493×10^{10}
14	2.75	6.936×10^9	5.801×10^9	1.274×10^{10}
15	3.5	6.904×10^8	5.128×10^8	1.203×10^9
16	5.0	2.261×10^8	1.555×10^8	3.816×10^8
17	7.0	2.607×10^7	1.793×10^7	4.400×10^7
18	9.5	2.995×10^6	2.059×10^6	5.054×10^6
合計		5.517×10^{16}	5.101×10^{16}	1.062×10^{17}

(注)MCNP5コードによる評価の[]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(A型)、側部方向表面評価点で代表して、[]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[]であることを確認)

別紙1-6表(4/4) 燃料有効部のエネルギーごとのガンマ線源強度
(15×15燃料(B型))

(MSF-24P(S)型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) (注)		
		中央部	外周部	合計
1	0.01	1.343×10^{16}	1.254×10^{16}	2.597×10^{16}
2	0.025	2.677×10^{15}	2.515×10^{15}	5.192×10^{15}
3	0.0375	3.458×10^{15}	3.200×10^{15}	6.658×10^{15}
4	0.0575	2.746×10^{15}	2.581×10^{15}	5.327×10^{15}
5	0.085	1.511×10^{15}	1.413×10^{15}	2.924×10^{15}
6	0.125	1.422×10^{15}	1.304×10^{15}	2.726×10^{15}
7	0.225	1.264×10^{15}	1.184×10^{15}	2.448×10^{15}
8	0.375	5.279×10^{14}	4.968×10^{14}	1.025×10^{15}
9	0.575	2.322×10^{16}	2.134×10^{16}	4.457×10^{16}
10	0.85	8.333×10^{14}	7.345×10^{14}	1.568×10^{15}
11	1.25	6.511×10^{14}	5.719×10^{14}	1.223×10^{15}
12	1.75	2.035×10^{13}	1.796×10^{13}	3.831×10^{13}
13	2.25	3.847×10^9	3.378×10^9	7.224×10^9
14	2.75	5.998×10^9	4.944×10^9	1.094×10^{10}
15	3.5	5.313×10^8	3.750×10^8	9.063×10^8
16	5.0	2.098×10^8	1.442×10^8	3.540×10^8
17	7.0	2.419×10^7	1.663×10^7	4.082×10^7
18	9.5	2.779×10^6	1.911×10^6	4.689×10^6
合計		5.177×10^{16}	4.790×10^{16}	9.967×10^{16}

(注)MCNP5コードによる評価の[]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(A型)、側部方向表面評価点で代表して、[]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[]であることを確認)

別紙1-7表 (1/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル (注1)
1	1.964×10^7	0.0
2	1.733×10^7	7.107×10^{-6}
3	1.691×10^7	7.117×10^{-6}
4	1.649×10^7	2.368×10^{-6}
5	1.568×10^7	3.835×10^{-6}
6	1.492×10^7	2.686×10^{-6}
7	1.455×10^7	3.351×10^{-6}
8	1.419×10^7	4.165×10^{-6}
9	1.384×10^7	5.111×10^{-6}
10	1.350×10^7	1.392×10^{-4}
11	1.284×10^7	1.018×10^{-4}
12	1.252×10^7	1.017×10^{-4}
13	1.221×10^7	2.917×10^{-4}
14	1.162×10^7	4.082×10^{-4}
15	1.105×10^7	5.613×10^{-4}
16	1.051×10^7	7.571×10^{-4}
17	1.000×10^7	1.002×10^{-3}
18	9.512×10^6	1.303×10^{-3}
19	9.048×10^6	1.668×10^{-3}
20	8.607×10^6	2.101×10^{-3}
21	8.187×10^6	2.608×10^{-3}
22	7.788×10^6	3.191×10^{-3}
23	7.408×10^6	3.853×10^{-3}
24	7.047×10^6	4.592×10^{-3}
25	6.703×10^6	1.708×10^{-1}
26	6.592×10^6	3.698×10^{-1}
27	6.376×10^6	6.293×10^{-1}
28	6.065×10^6	7.243×10^{-1}
29	5.770×10^6	8.251×10^{-1}
30	5.488×10^6	9.302×10^{-1}
31	5.221×10^6	1.039×10^{-2}
32	4.966×10^6	1.151×10^{-2}
33	4.724×10^6	1.263×10^{-2}
34	4.493×10^6	2.859×10^{-2}
35	4.066×10^6	3.286×10^{-2}

(注1) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(注2) MCNP5 コードでは Watt 型 ^{239}Pu 核分裂スペクトルを使用する。

別紙1-7表 (2/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル (注1)
36	3.679×10^6	3.674×10^{-2}
37	3.329×10^6	1.965×10^{-2}
38	3.166×10^6	2.042×10^{-2}
39	3.012×10^6	2.408×10^{-2}
40	2.865×10^6	2.165×10^{-2}
41	2.725×10^6	2.214×10^{-2}
42	2.592×10^6	2.252×10^{-2}
43	2.466×10^6	1.517×10^{-2}
44	2.385×10^6	3.833×10^{-3}
45	2.365×10^6	3.812×10^{-3}
46	2.346×10^6	7.657×10^{-3}
47	2.307×10^6	1.535×10^{-2}
48	2.231×10^6	2.310×10^{-2}
49	2.123×10^6	2.312×10^{-2}
50	2.019×10^6	2.305×10^{-2}
51	1.921×10^6	2.290×10^{-2}
52	1.827×10^6	2.267×10^{-2}
53	1.738×10^6	2.236×10^{-2}
54	1.653×10^6	2.200×10^{-2}
55	1.572×10^6	2.160×10^{-2}
56	1.496×10^6	2.115×10^{-2}
57	1.423×10^6	2.059×10^{-2}
58	1.353×10^6	2.010×10^{-2}
59	1.287×10^6	1.947×10^{-2}
60	1.225×10^6	1.892×10^{-2}
61	1.165×10^6	1.827×10^{-2}
62	1.108×10^6	3.460×10^{-2}
63	1.003×10^6	1.367×10^{-2}
64	9.616×10^5	1.834×10^{-2}
65	9.072×10^5	1.502×10^{-2}
66	8.629×10^5	1.437×10^{-2}
67	8.209×10^5	1.372×10^{-2}
68	7.808×10^5	1.309×10^{-2}
69	7.427×10^5	1.247×10^{-2}
70	7.065×10^5	1.186×10^{-2}

(注1) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(注2) MCNP5 コードでは Watt 型 ^{239}Pu 核分裂スペクトルを使用する。

別紙1-7表 (3/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル (注1)
71	6.721×10^5	1.127×10^{-2}
72	6.393×10^5	1.070×10^{-2}
73	6.081×10^5	1.014×10^{-2}
74	5.784×10^5	9.605×10^{-3}
75	5.502×10^5	9.086×10^{-3}
76	5.234×10^5	8.591×10^{-3}
77	4.979×10^5	1.576×10^{-2}
78	4.505×10^5	1.401×10^{-2}
79	4.076×10^5	6.397×10^{-3}
80	3.877×10^5	6.017×10^{-3}
81	3.688×10^5	1.097×10^{-2}
82	3.337×10^5	9.670×10^{-3}
83	3.020×10^5	1.040×10^{-3}
84	2.985×10^5	3.887×10^{-4}
85	2.972×10^5	7.998×10^{-4}
86	2.945×10^5	2.159×10^{-3}
87	2.873×10^5	4.115×10^{-3}
88	2.732×10^5	7.463×10^{-3}
89	2.472×10^5	3.378×10^{-3}
90	2.352×10^5	3.160×10^{-3}
91	2.237×10^5	2.955×10^{-3}
92	2.128×10^5	2.763×10^{-3}
93	2.024×10^5	2.581×10^{-3}
94	1.926×10^5	2.411×10^{-3}
95	1.832×10^5	2.254×10^{-3}
96	1.742×10^5	2.100×10^{-3}
97	1.657×10^5	1.964×10^{-3}
98	1.576×10^5	1.828×10^{-3}
99	1.500×10^5	1.709×10^{-3}
100	1.426×10^5	1.590×10^{-3}
101	1.357×10^5	1.485×10^{-3}
102	1.291×10^5	1.384×10^{-3}
103	1.228×10^5	1.287×10^{-3}
104	1.168×10^5	1.202×10^{-3}
105	1.111×10^5	2.653×10^{-3}

(注1) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(注2) MCNP5 コードでは Watt 型 ^{239}Pu 核分裂スペクトルを使用する。

別紙1-7表 (4/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル (注1)
106	9.804×10^4	2.219×10^{-3}
107	8.652×10^4	7.446×10^{-4}
108	8.250×10^4	5.458×10^{-4}
109	7.950×10^4	1.324×10^{-3}
110	7.200×10^4	7.861×10^{-4}
111	6.738×10^4	1.744×10^{-3}
112	5.656×10^4	6.216×10^{-4}
113	5.248×10^4	8.958×10^{-4}
114	4.631×10^4	7.457×10^{-4}
115	4.087×10^4	8.384×10^{-4}
116	3.431×10^4	2.982×10^{-4}
117	3.183×10^4	3.831×10^{-4}
118	2.850×10^4	1.659×10^{-4}
119	2.700×10^4	1.020×10^{-4}
120	2.606×10^4	1.347×10^{-4}
121	2.479×10^4	6.373×10^{-5}
122	2.418×10^4	6.142×10^{-5}
123	2.358×10^4	1.712×10^{-4}
124	2.188×10^4	2.461×10^{-4}
125	1.931×10^4	3.741×10^{-4}
126	1.503×10^4	2.577×10^{-4}
127	1.171×10^4	7.100×10^{-5}
128	1.060×10^4	1.066×10^{-4}
129	9.119×10^3	1.222×10^{-4}
130	7.102×10^3	8.411×10^{-5}
131	5.531×10^3	5.787×10^{-5}
132	4.307×10^3	2.564×10^{-5}
133	3.707×10^3	1.416×10^{-5}
134	3.355×10^3	1.219×10^{-5}
135	3.035×10^3	1.050×10^{-5}
136	2.747×10^3	4.685×10^{-6}
137	2.613×10^3	4.348×10^{-6}
138	2.485×10^3	7.778×10^{-6}
139	2.249×10^3	6.696×10^{-6}
140	2.035×10^3	1.294×10^{-5}

(注1) ^{236}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

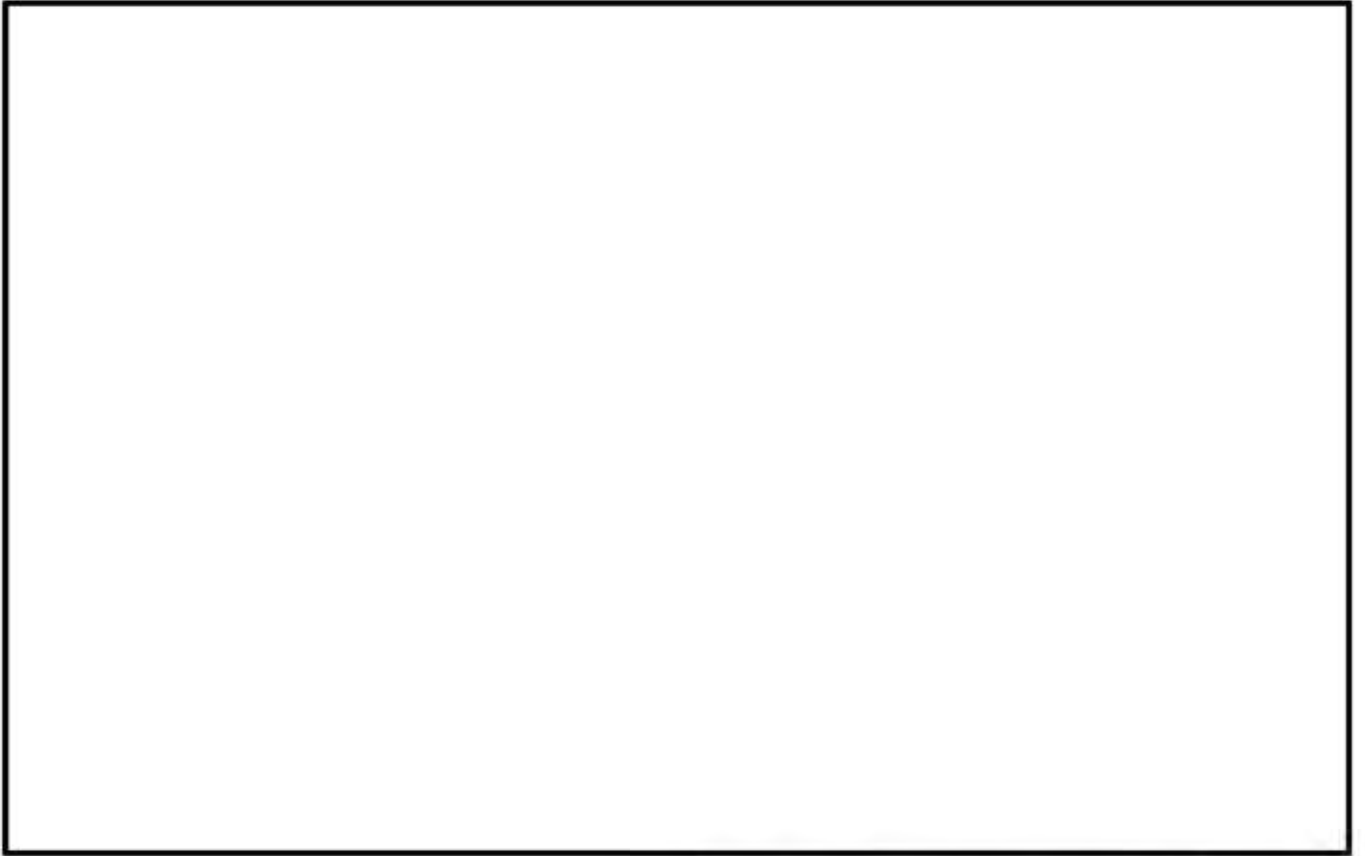
(注2) MCNP5 コードでは Watt 型 ^{239}Pu 核分裂スペクトルを使用する。

別紙1-7表 (5/5) 中性子源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー (eV)	スペクトル (注1)
141	1.585×10^3	8.896×10^{-6}
142	1.234×10^3	6.116×10^{-6}
143	9.611×10^2	4.204×10^{-6}
144	7.485×10^2	2.890×10^{-6}
145	5.830×10^2	1.986×10^{-6}
146	4.540×10^2	1.365×10^{-6}
147	3.536×10^2	9.385×10^{-7}
148	2.754×10^2	6.450×10^{-7}
149	2.145×10^2	4.433×10^{-7}
150	1.670×10^2	3.047×10^{-7}
151	1.301×10^2	2.094×10^{-7}
152	1.013×10^2	1.439×10^{-7}
153	7.889×10^1	9.893×10^{-8}
154	6.144×10^1	6.799×10^{-8}
155	4.785×10^1	4.673×10^{-8}
156	3.727×10^1	3.201×10^{-8}
157	2.902×10^1	2.218×10^{-8}
158	2.260×10^1	1.517×10^{-8}
159	1.760×10^1	1.043×10^{-8}
160	1.371×10^1	7.168×10^{-9}
161	1.068×10^1	4.925×10^{-9}
162	8.315×10^0	3.385×10^{-9}
163	6.476×10^0	2.327×10^{-9}
164	5.044×10^0	1.599×10^{-9}
165	3.928×10^0	1.099×10^{-9}
166	3.059×10^0	7.657×10^{-10}
167	2.382×10^0	5.087×10^{-10}
168	1.855×10^0	3.568×10^{-10}
169	1.445×10^0	2.452×10^{-10}
170	1.125×10^0	1.686×10^{-10}
171	8.764×10^{-1}	1.158×10^{-10}
172	6.826×10^{-1}	7.961×10^{-11}
173	5.316×10^{-1}	5.472×10^{-11}
174	4.140×10^{-1}	1.060×10^{-10}
175	1.000×10^{-1}	1.427×10^{-11}

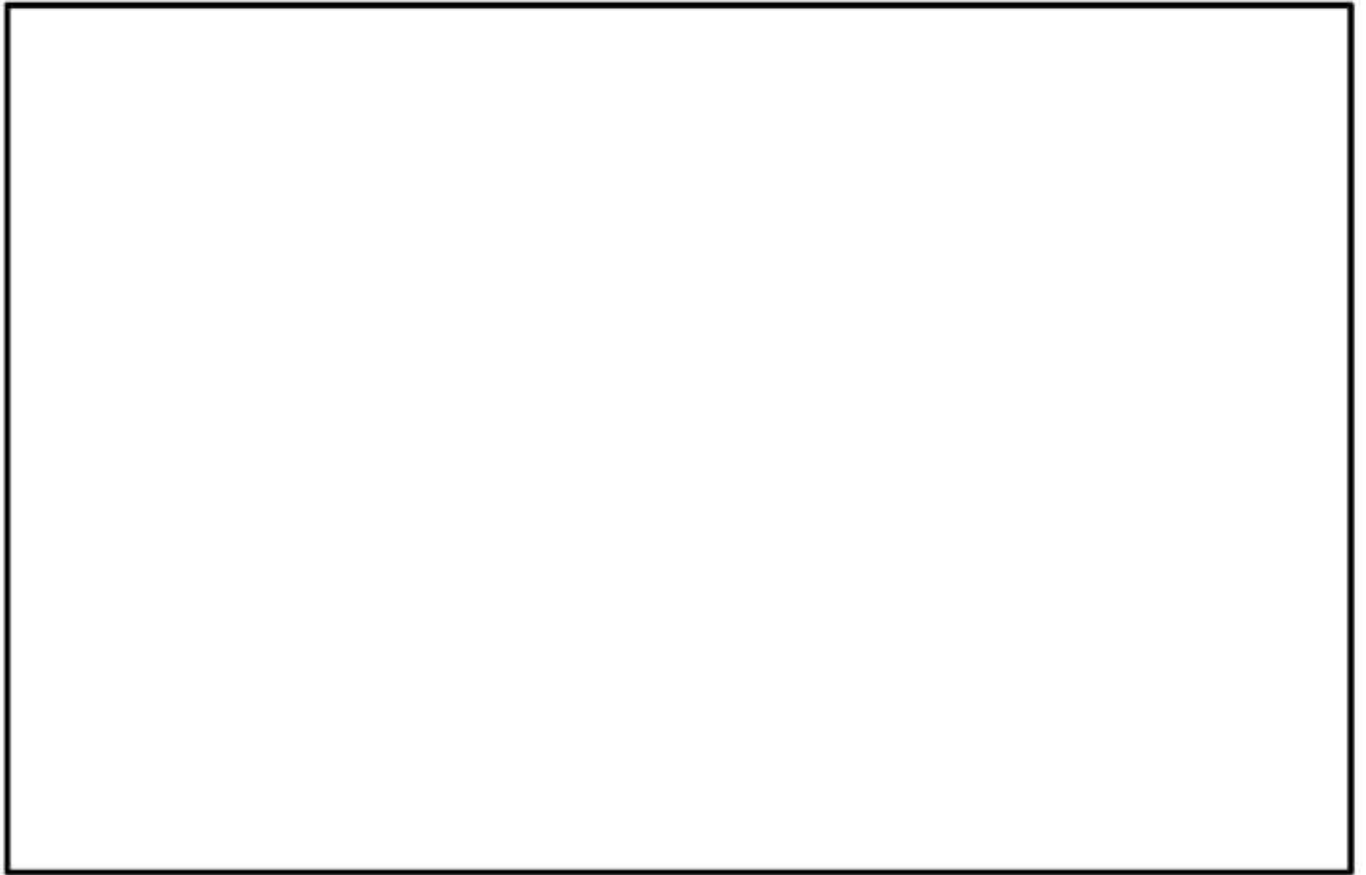
(注1) ^{236}Pu の核分裂スペクトルを MATXS-LIB-J33 の中性子 175 群構造に振り分けたものである。

(注2) MCNP5 コードでは Watt 型 ^{239}Pu 核分裂スペクトルを使用する。



--- 実燃料相対燃焼度分布包絡線

別紙 1-1 図 (1/2) 軸方向燃焼度分布の設定 (17×17 燃料)



---- 実燃料相対燃焼度分布包絡線

別紙 1-1 図 (2 / 2) 軸方向燃焼度分布の設定 (15×15 燃料)

別紙 1-21

2. 遮蔽解析のモデル化について

遮蔽解析モデル化の概要を別紙1-2図、解析モデル図を別紙1-3図及び別紙1-4図に示す。遮蔽解析のモデル化方針は以下のとおりである。

二次元輸送計算コードDOT3.5では、特定兼用キャスクをR-Z体系の有限円筒モデル（以下「二次元モデル」という。）でモデル化している。ただし、有限円筒モデルで直接モデル化できない使用済燃料集合体、バスケット、トラニオン等は、構造上の特徴を考慮して、均質化あるいは線束接続によって評価している。なお、二次元モデルは、キャスク中央付近で二分割しており、頭部評価モデルは、使用済燃料集合体が一次蓋に接した状態とし、底部評価モデルは、使用済燃料集合体が胴（底板）に接した状態として、線源である使用済燃料集合体から評価点までの距離が短い保守的なモデルとしている。

三次元モンテカルロコードMCNP5では、特定兼用キャスクをその実形状に基づき三次元体系のモデル（以下「三次元モデル」という。）でモデル化している。なお、三次元モデルについても二次元モデルと同様に使用済燃料集合体が一次蓋及び胴（底板）に接した状態として、線源である使用済燃料から評価点までの距離が短い保守的なモデルとしている。

二次元モデル設定の妥当性は、別紙6に示すとおり、DOT3.5コード評価結果とMCNP5コード評価結果がおおむね一致していることにより確認している。

(1) 燃料領域

二次元モデルの燃料領域については、別紙1-5図に示すとおり、使用済燃料集合体とバスケットを均質化してモデル化している。中央部及び外周部燃料領域について、それぞれの燃料領域の実形状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。

三次元モデルの燃料領域については、別紙1-5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。また、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。

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) バスケット外周部

二次元モデルの燃料領域より外側のバスケット部は、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、バスケット外周部（燃料領域より外側から胴内面までの領域）の密度を

密度係数で調整している。別紙1-6図に示すとおり、キャスク水平断面 X-Y 体系のモデルにて、円周方向のキャスク表面から1m離れた位置の最大線量当量率を算出し、この値と同等となるようなバスケット外周部の密度係数を無限円筒モデルより求め、本体モデルに反映している。したがって、本体モデルにおける線量当量率は、実形状における最大線量当量率を包絡する設定となる。

三次元モデルについては、別紙1-5図に示すとおり、実形状に基づきモデル化している。

(3) 胴、側部中性子遮蔽材及び外筒

二次元モデルの胴、側部中性子遮蔽材及び外筒については、別紙1-5図に示すとおり、円筒としてモデル化している。

なお、側部中性子遮蔽材に伝熱フィンがある領域では、伝熱フィンは均質化している。

三次元モデルについては、別紙1-5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

二次元モデルのトラニオン部については、実形状を模擬して別途モデル化し、評価している。

別紙1-7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。トラニオン部は、トラニオン中心を通る断面でトラニオン底面及びキャスク本体の一部を含めモデル化している。

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值として求め、本体モデルの線量当量率にその補正值を乗じて評価している。

三次元モデルについては、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。

(6) 遮蔽解析の保守性

本評価においては、以下の点について保守性を有している。解析条件の保守性が線量当量率

に与える影響を別紙1-8表に示す。

・収納制限に対する解析条件の保守性

－ウラン濃縮度 $4.1 \pm \square$ wt% 及び $4.0 \pm \square$ wt% を保守的に \square wt% 及び \square wt% とする。

－遮蔽評価においては、局所的な表面線量を評価する必要があるため、使用済燃料の燃焼度（集合体平均）は中央部、外周部共に当該配置の収納制限の最高燃焼度を設定している。

・モデル化の保守性

－中性子遮蔽材は、評価期間中の熱的影響により質量減損（2.0 %程度）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。

－使用済燃料について胴内での軸方向の移動を考慮し、安全側に蓋方向、底部方向に移動したモデルとしており、線源である使用済燃料が評価点により近くなる設定としている。

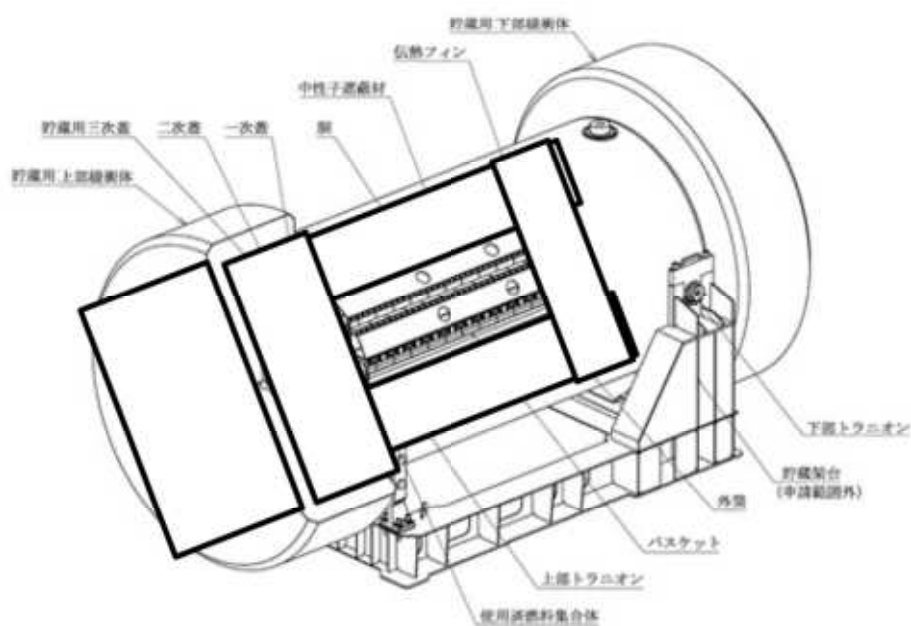
－蓋部が金属部へ衝突しない設置方法で設置する緩衝体は、安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮する。

－バーナブルポイズン集合体は、放射化による線源強度については考慮するが、構造材としての遮蔽効果は無視する。

別紙 1-8 表 解析条件の保守性による線量当量率への影響

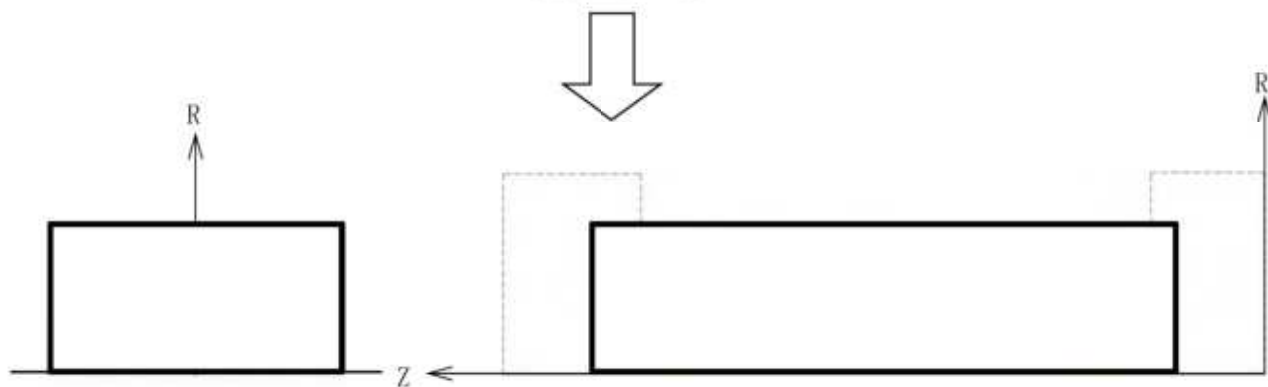
項目	詳細条件	遮蔽解析条件	線量当量率 (E) への影響 (保守性)
ウラン初期濃縮度	4.1 ± <input type="checkbox"/> wt% (ノミナル値、公差)	<input type="checkbox"/> wt%	約 0.5% 程度
燃料集合体燃焼度	キヤスク平均 44GWd/t	中央部全て 48GWd/t 外周部全て 44GWd/t (キヤスク平均 46GWd/t)	約 10% 程度
中性子遮蔽材質量減損	質量減損 2.0%	質量減損 2.5%	約 10% 程度
燃料集合体の軸方向移動	燃料集合体と一次蓋間に約 8 cm の隙間	胴 (底板) 及び一次蓋に接した状態	約 7% 程度 (頭部軸方向のみ)
バーナブルポイズン集合体	中央部領域全ての燃料集合体と共に収納可能	構造材としての遮蔽効果は無視	約 1% 程度

(注) 基準に対して裕度の少ない特定兼用キヤスク表面から 1 m 離れた位置における線量当量率



[実形状]

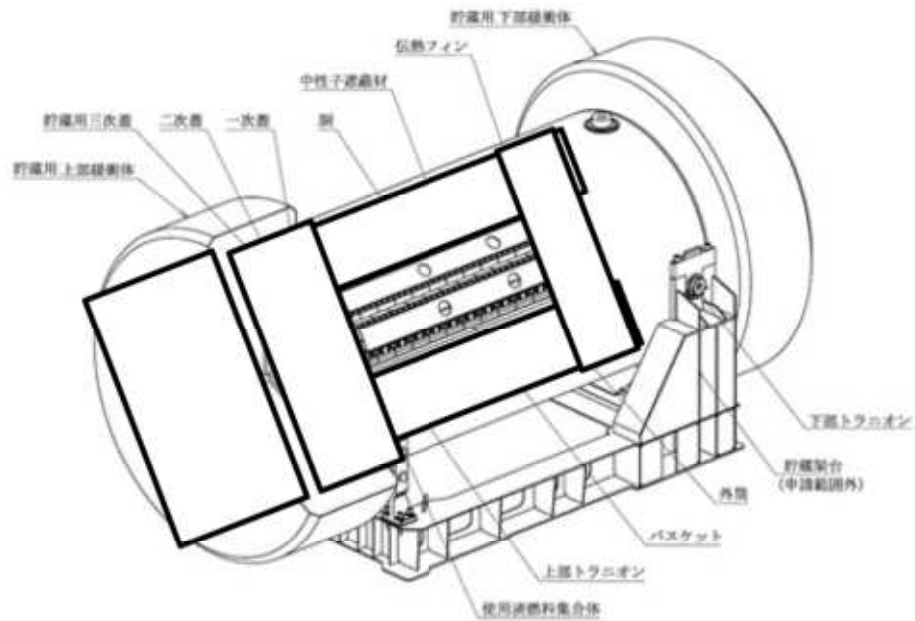
二次元モデル化



[遮蔽解析モデル化 (二次元体系 (R-Z 体系))]

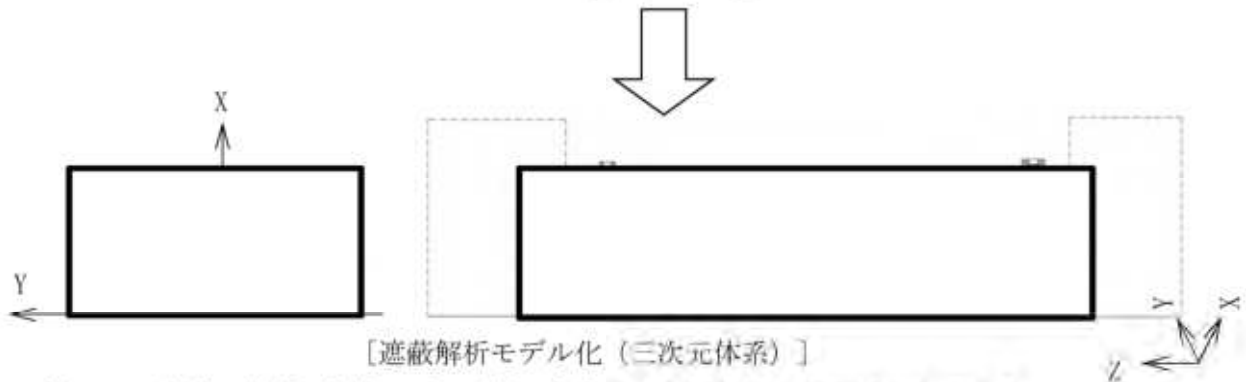
燃料有効部中央+バスケット均質化領域	燃料有効部外周+バスケット均質化領域
燃料上部構造材中央+バスケット均質化領域	燃料上部構造材外周+バスケット均質化領域
燃料上部構造材中央	燃料上部構造材外周
燃料下部構造材中央+バスケット均質化領域	燃料下部構造材外周+バスケット均質化領域
バスケット外周部	胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋部中性子遮蔽材カバー
中性子遮蔽材	貯蔵用三次蓋、底部中性子遮蔽材カバー、下部端板
中性子遮蔽材+伝熱フィン均質化領域	真空
	貯蔵用緩衝体 (空気)

別紙1-2図 (1/2) 遮蔽解析モデル化概要 (二次元モデル)
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の例)



[実形状]

三次元モデル化

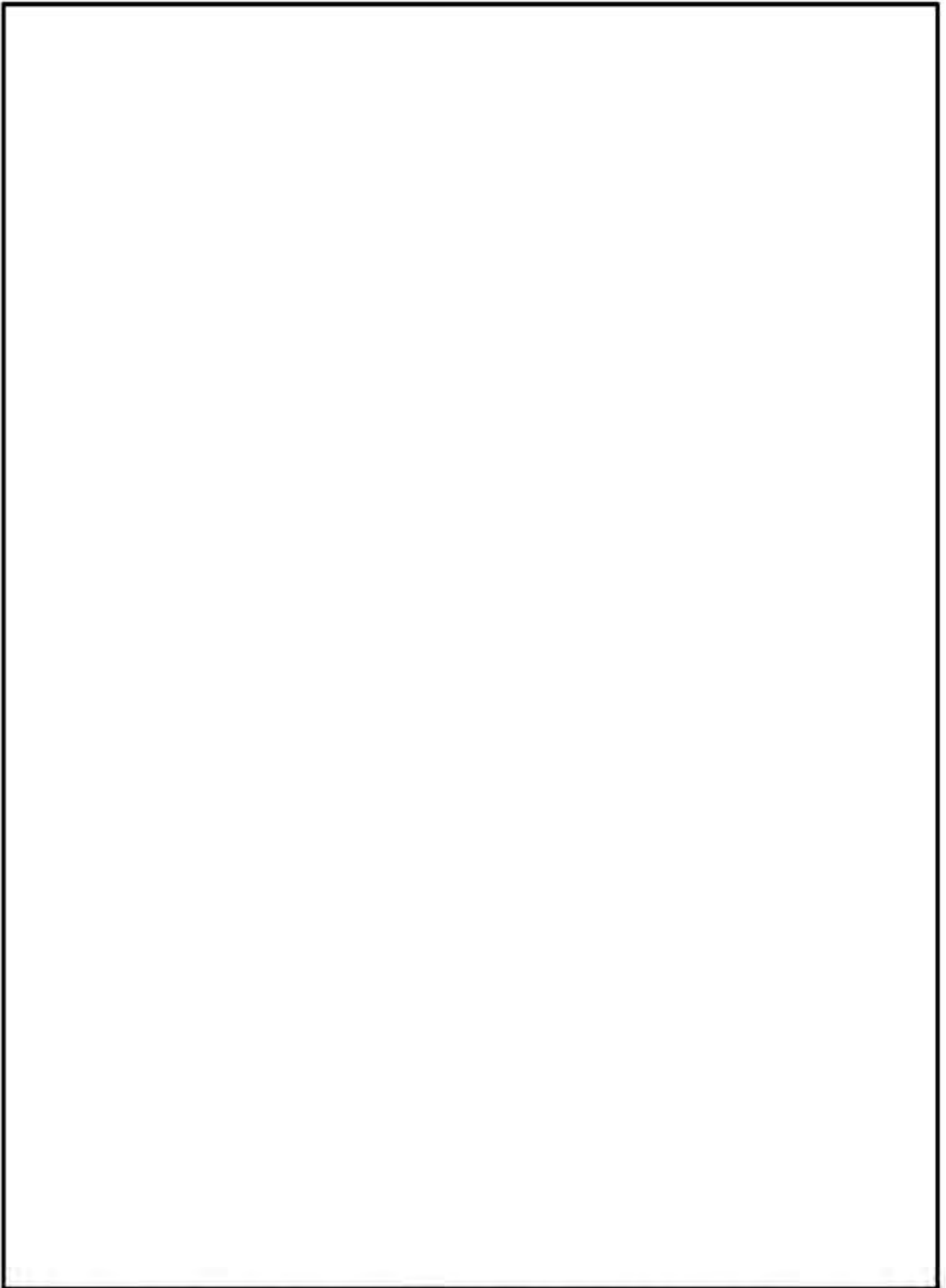


注：モニタリングポート部、バルブ部、トランニオン等を同一平面に示している。

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	トランニオン
伝熱フィン	貯蔵用三次蓋、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、モニタリングポート部
真空	貯蔵用緩衝体 (空気)

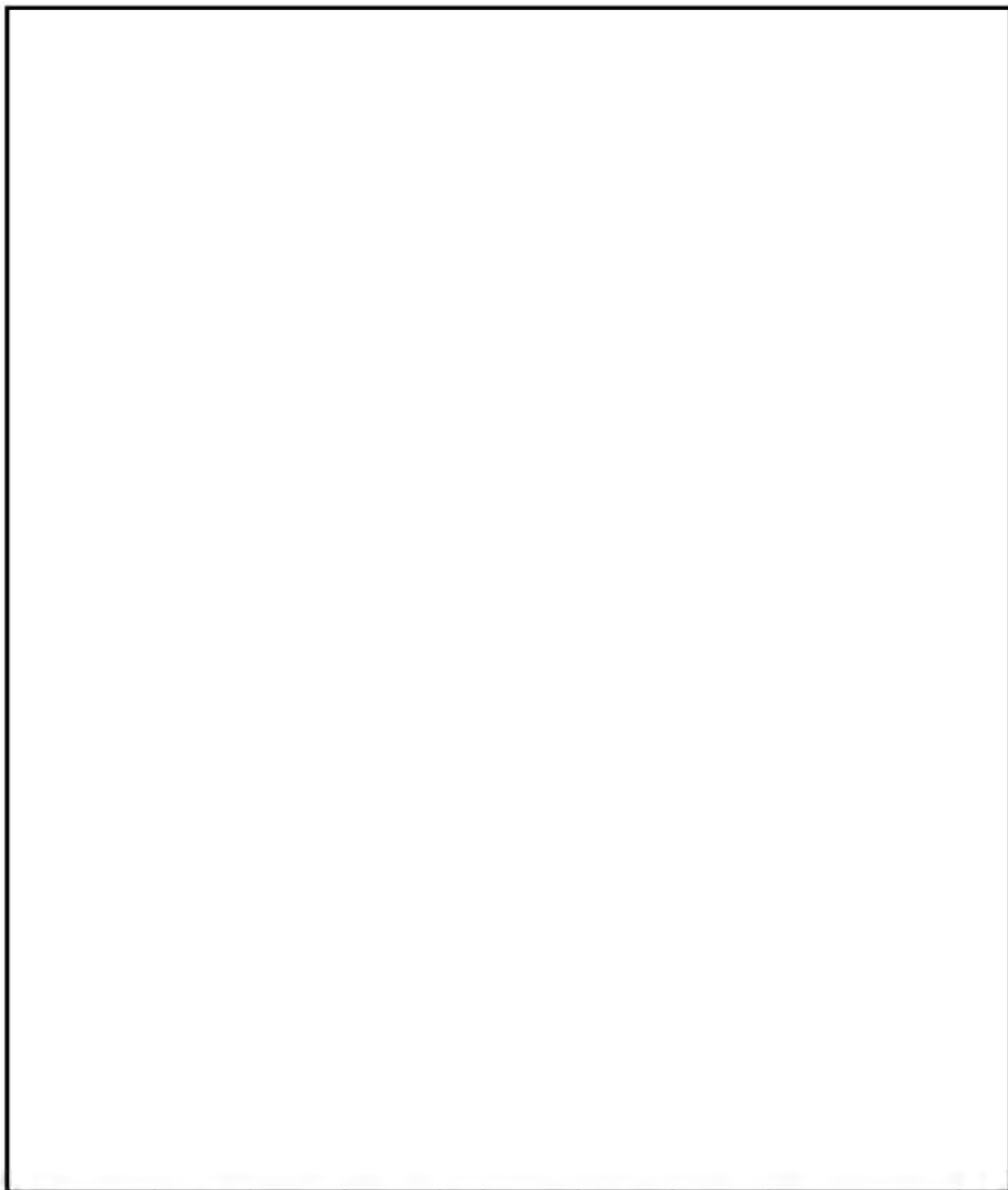
別紙 1-2 図 (2/2) 遮蔽解析モデル化概要 (三次元モデル)

(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の例)



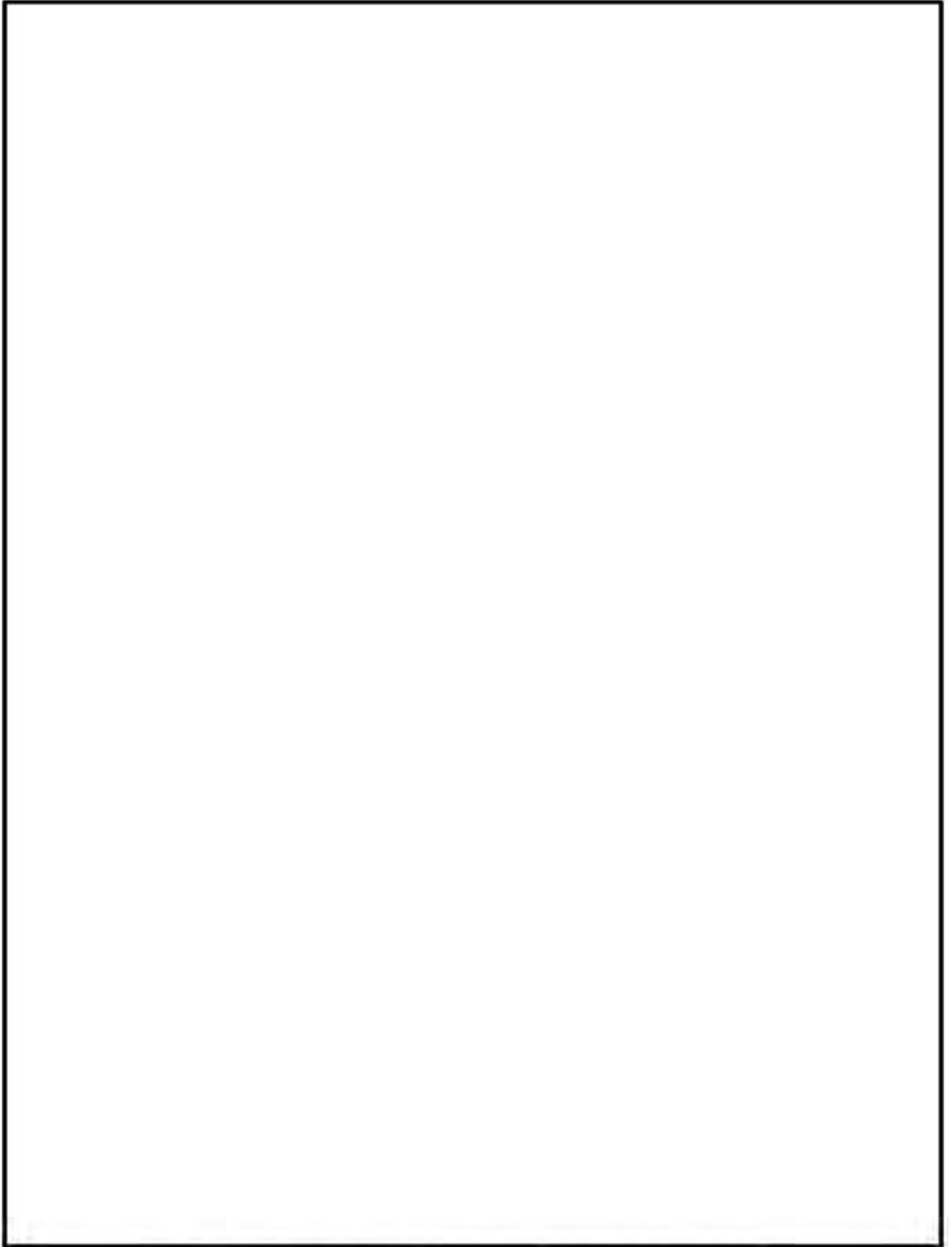
別紙1-3図(1/6) 遮蔽解析モデル(二次元モデル、頭部)
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

別紙1-28



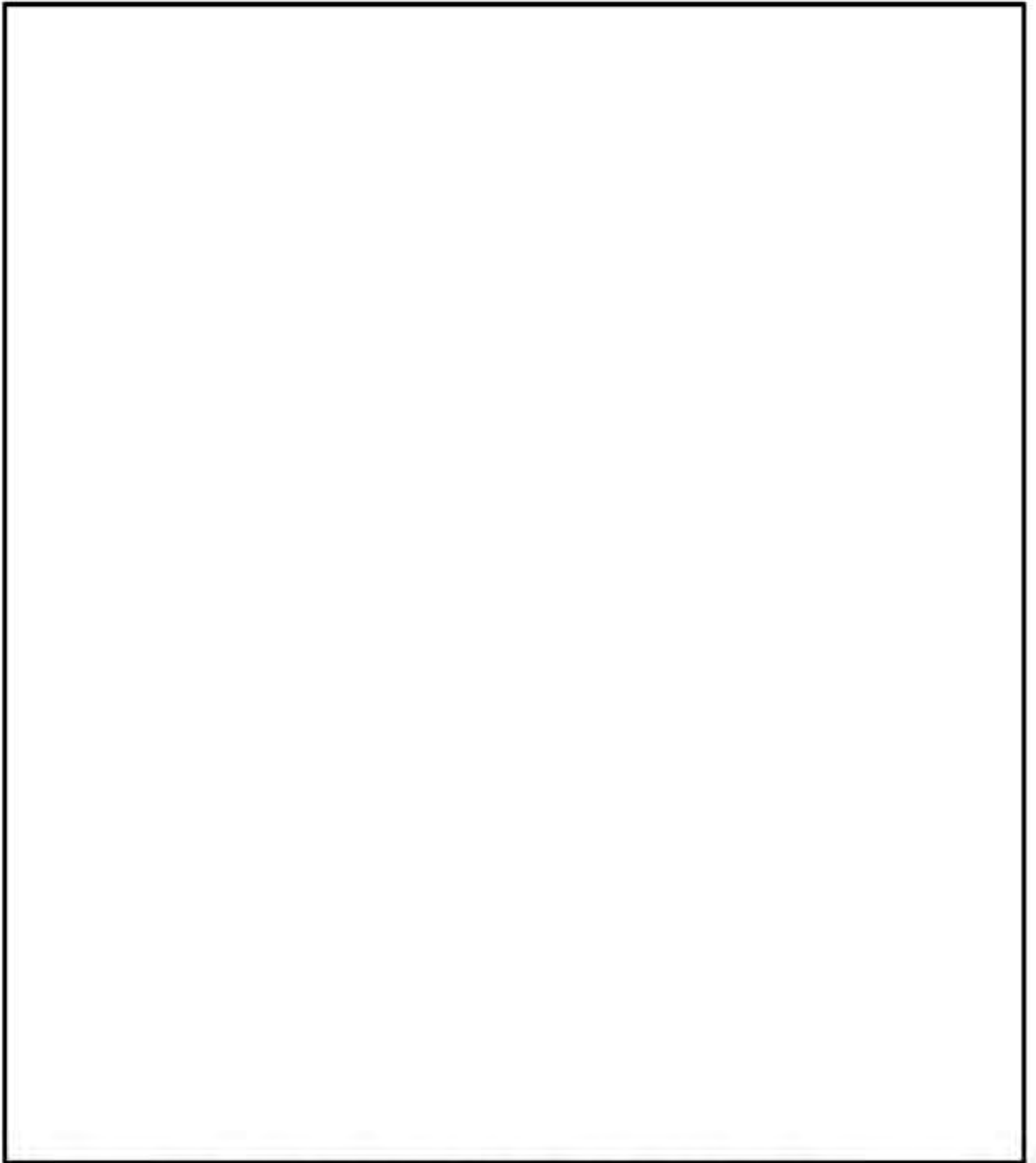
別紙1-3図(2/6) 遮蔽解析モデル(二次元モデル、頭部)
(基礎等に固定する設置方法)

別紙1-29



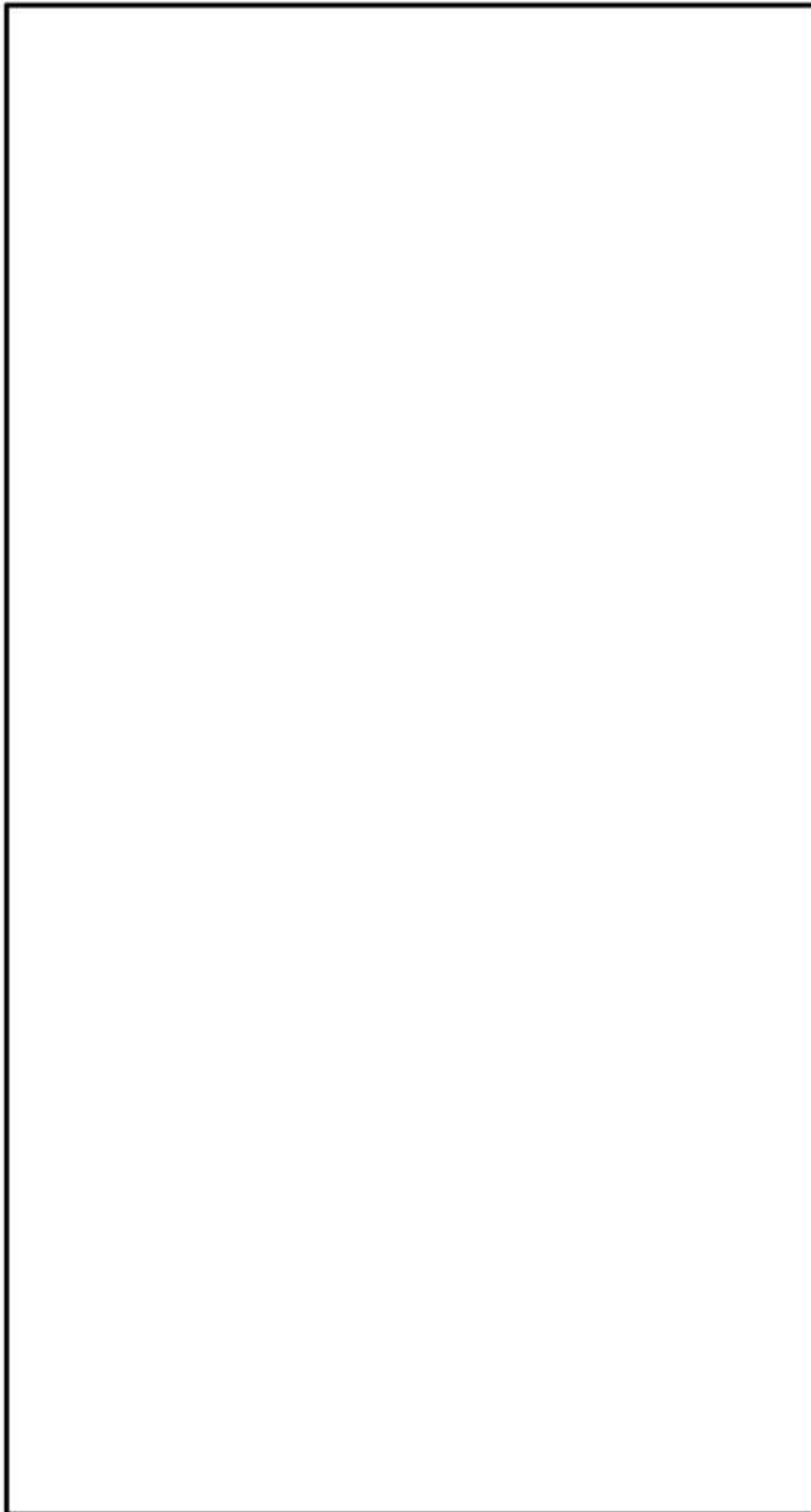
別紙1-3図 (3/6) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、底部)
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

別紙1-30

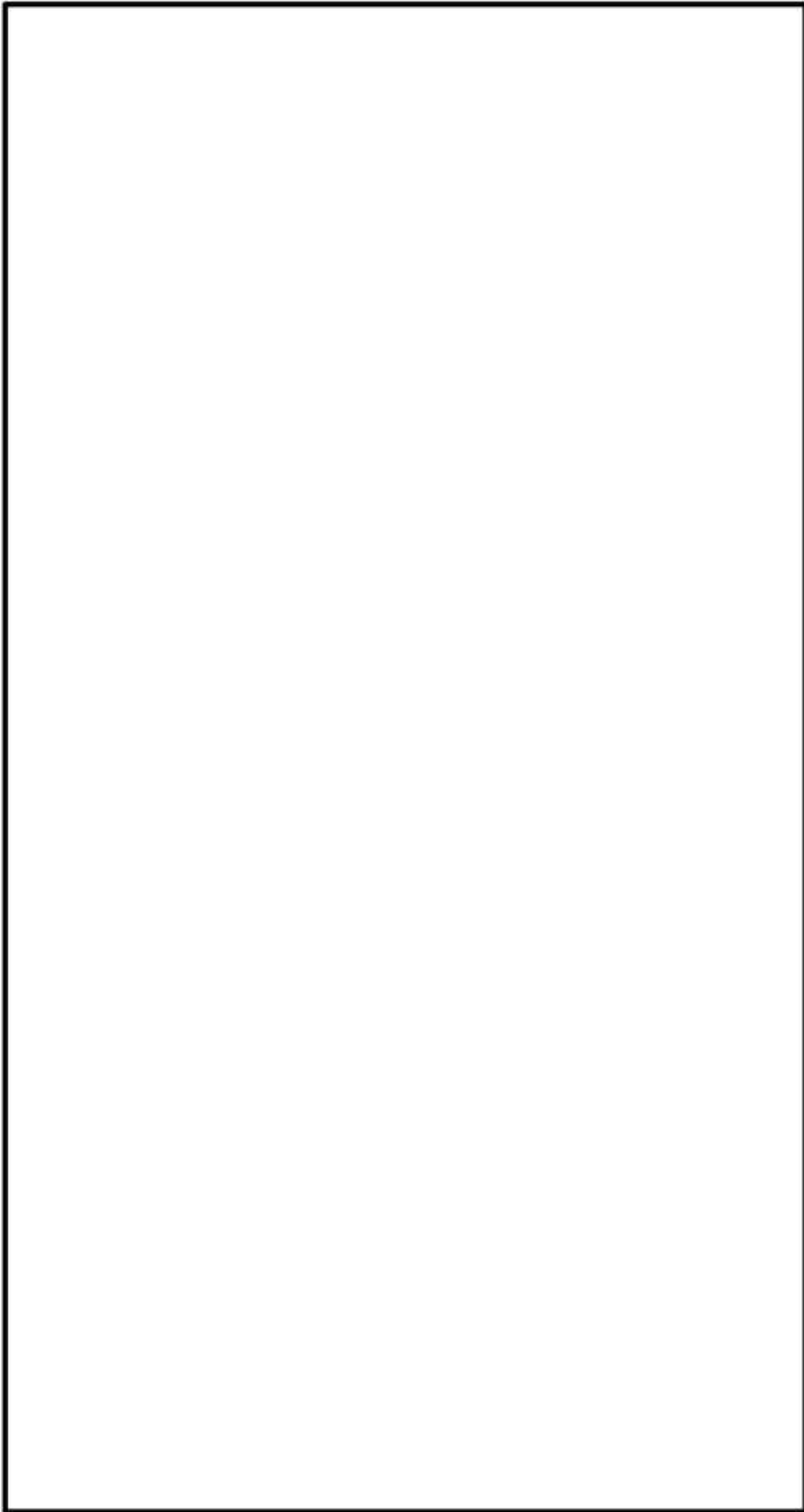


別紙1-3図 (4/6) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、底部)
(基礎等に固定する設置方法)

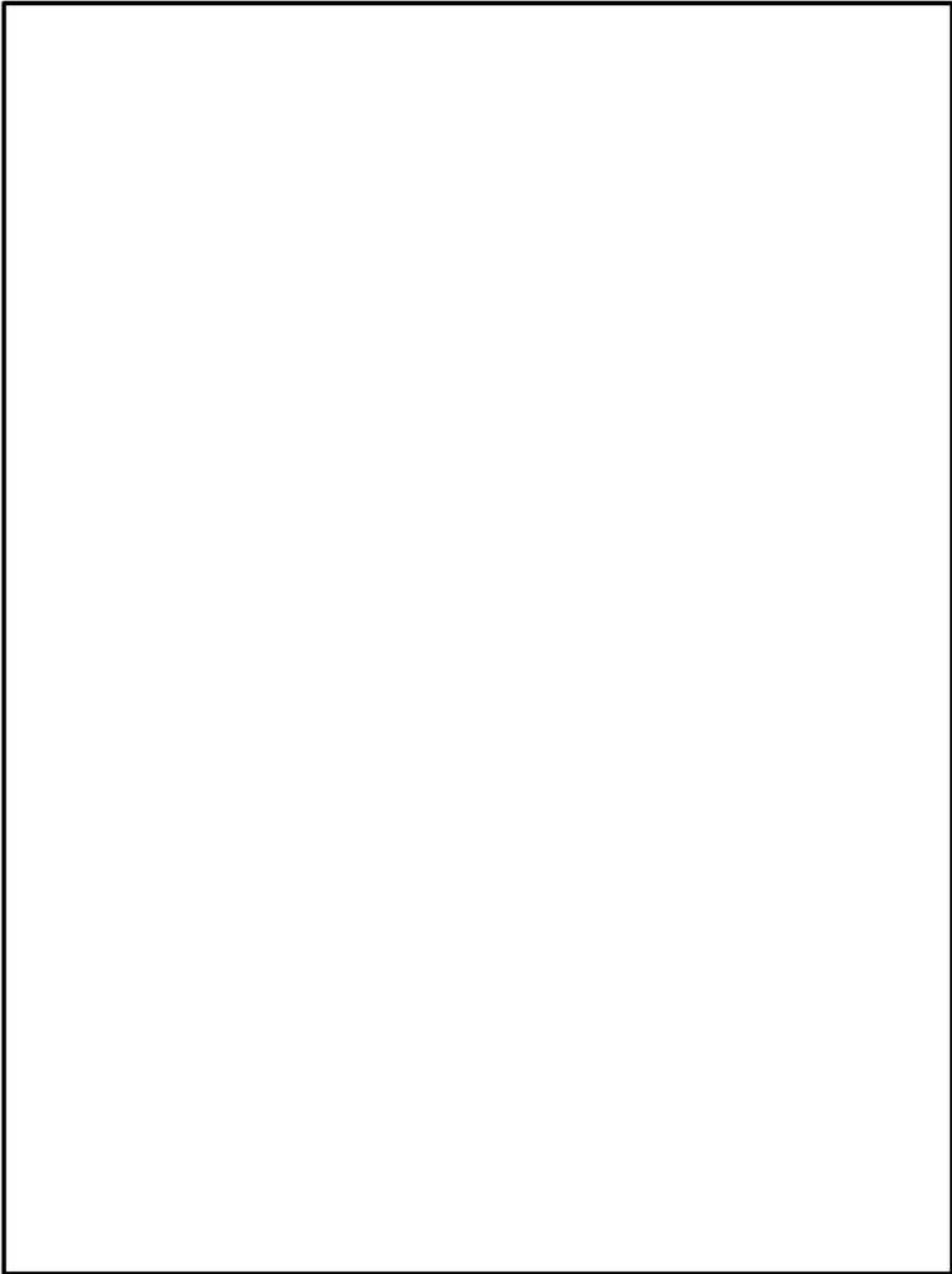
別紙1-31



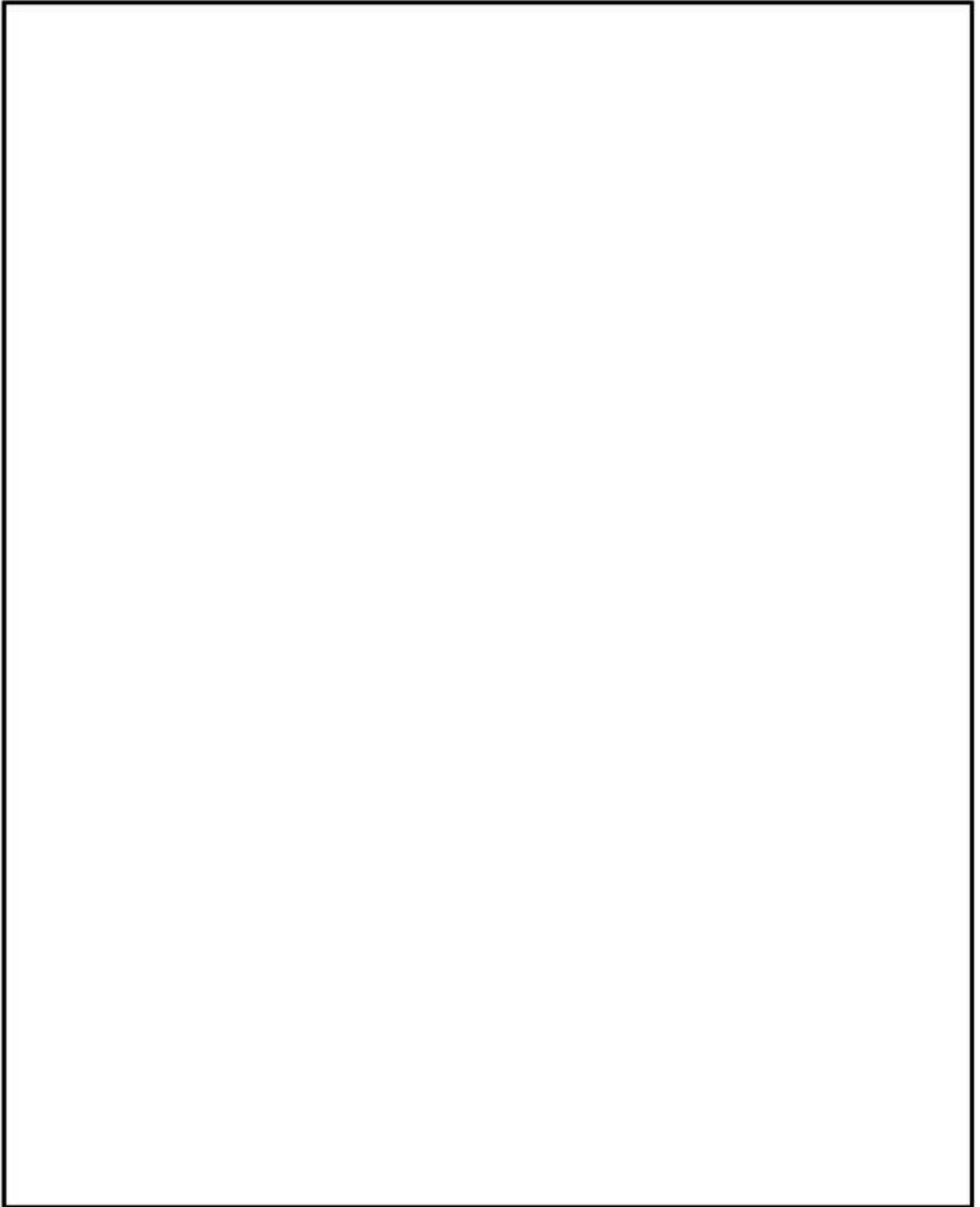
別紙 1-3 図 (5 / 6) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、上部トラニオン部)



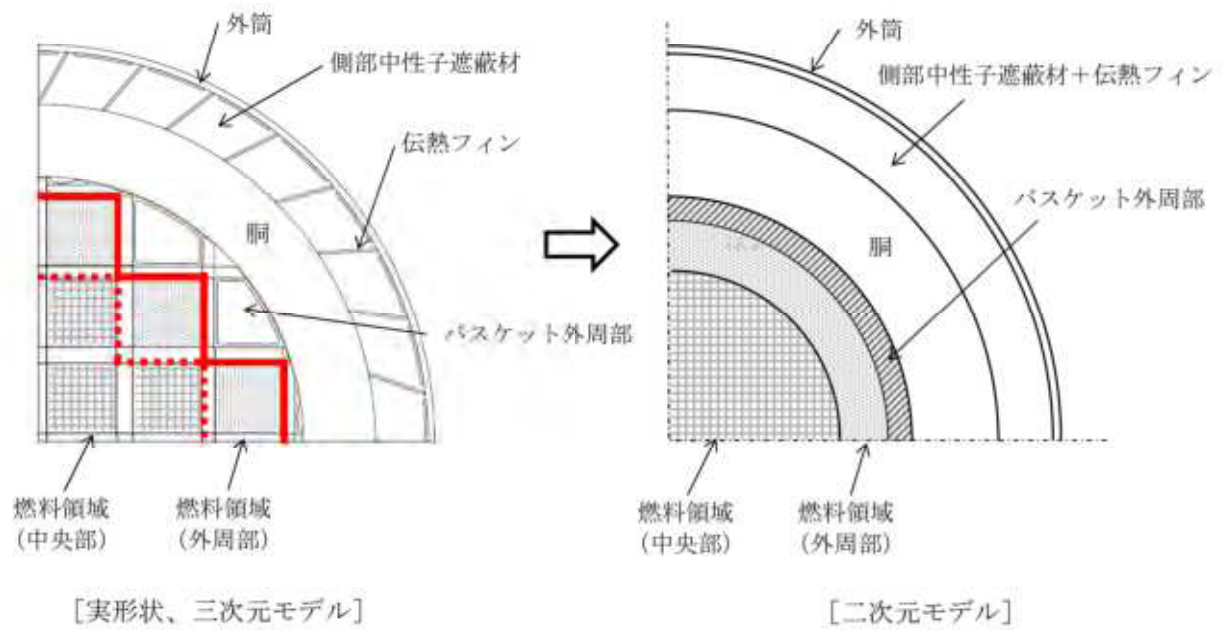
別紙 1-3 図 (6/6) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、下部トラニオン部)



別紙 1-4 図 (1 / 2) 遮蔽解析モデル (二次元モデル)
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

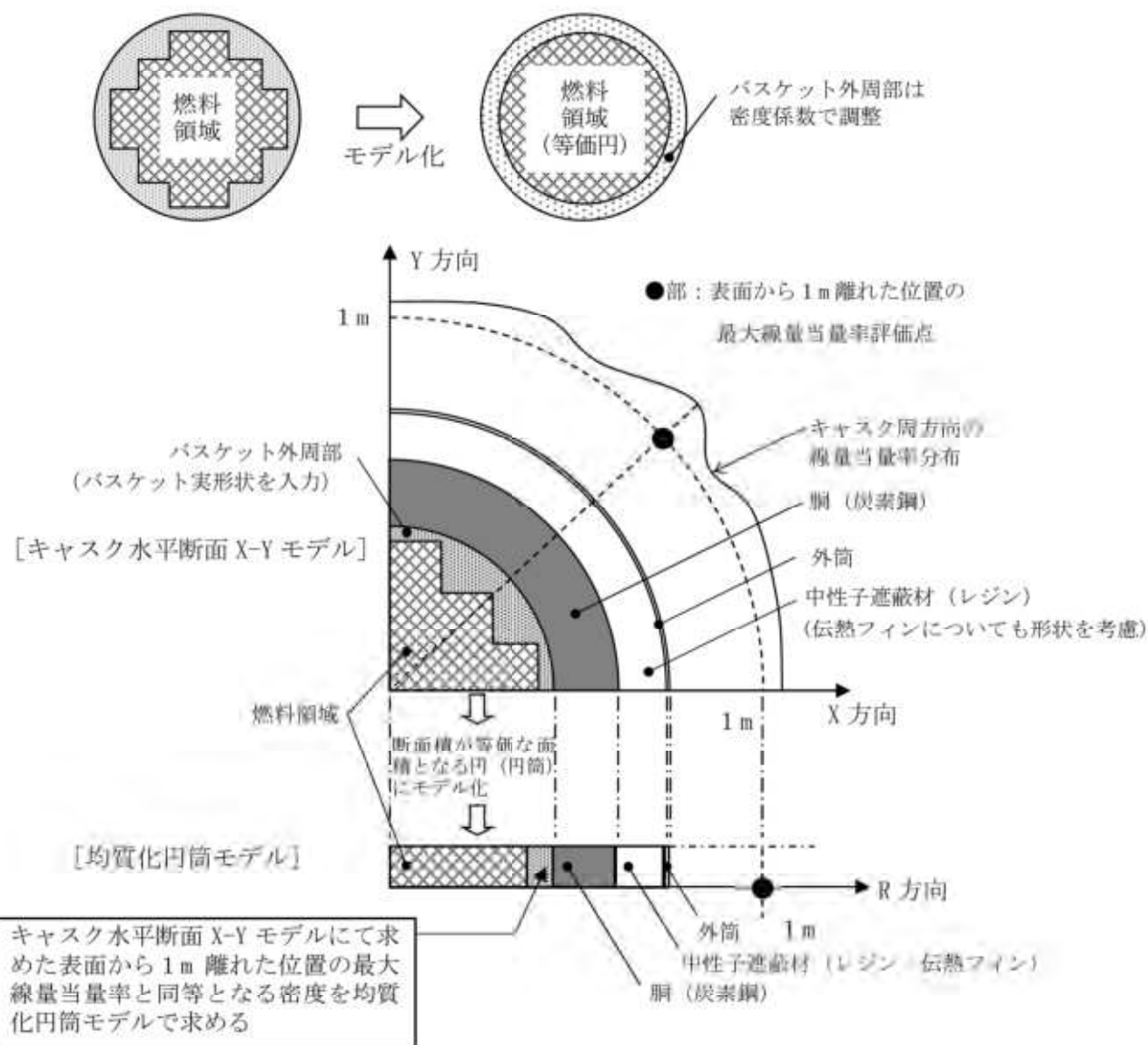


別紙 1-4 図 (2 / 2) 遮蔽解析モデル (三次元モデル)
(基礎等に固定する設置方法)



遮蔽解析モデルへの入力
 二次元モデルの解析では、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。
 三次元モデルでの解析では、実形状に基づきモデル化している。

別紙 1-5 図 キャスク中央断面の実形状と解析モデル



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、二次元モデルでは以下に示す手法により、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。

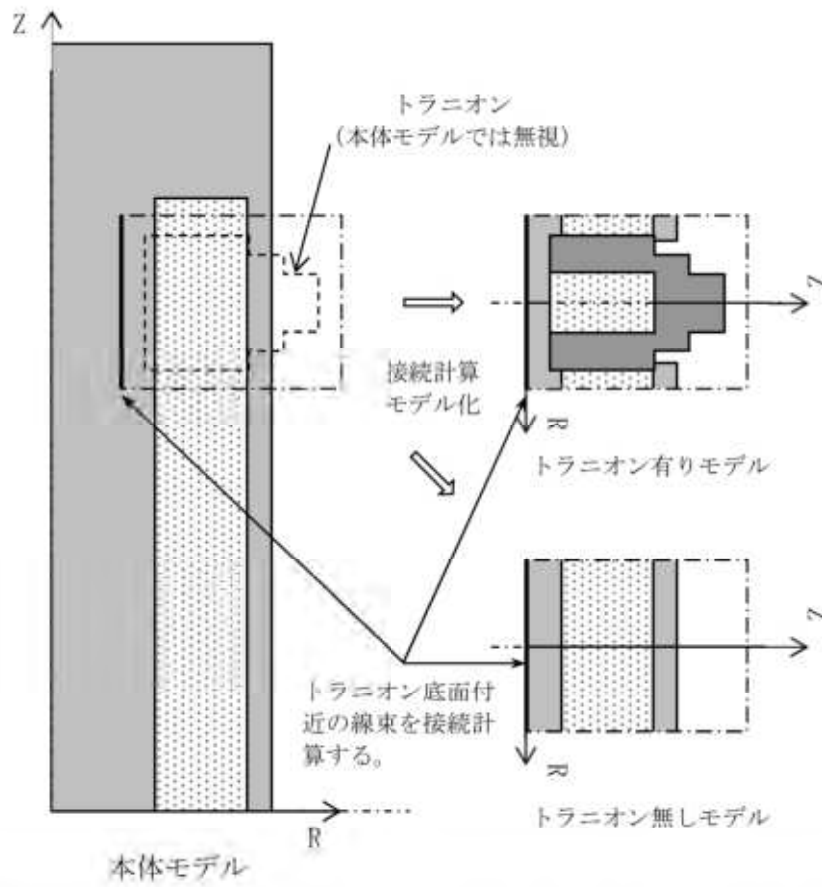
※算出位置を表面から1m離れた位置としているのは、表面位置に比べ、要求事項である基準線量当量率に対する裕度が少ないためである。

(ii) キャスク均質化円筒モデル遮蔽解析

別紙1-5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1-6図 二次元モデルのバスケット外周部のモデル化について



$$\text{トランニオン部の線量当量率} = (\text{本体モデル}) \times (\text{トランニオン有りモデル}) / (\text{トランニオン無しモデル})$$

別紙1-7図 二次元モデルのトランニオン部の線束接続計算の概略図

3. 中性子遮蔽材の質量減損について

中性子遮蔽材(レジン)は、補足説明資料 16-6「材料・構造健全性に関する説明資料(L5-95JY215)」に示すとおり、熱による質量減損が生じる。遮蔽解析では、設計貯蔵期間(60年)経過後の中性子遮蔽材の質量減損を考慮した原子個数密度を用いている。

中性子遮蔽材の質量減損は、劣化パラメータにより次式で表される。

$$\Delta w = 5.69 \times 10^{-4} \times E_p - 19.2 \quad (2)$$

ここで、

- Δw : 中性子遮蔽材の質量減損率 (%)
- E_p : 劣化パラメータ = $T \times (77.6 + \ln(t))$
- T : 中性子遮蔽材温度 (K)
- t : 中性子遮蔽材加熱時間 (h)

貯蔵中は、使用済燃料の崩壊熱量の低下に伴い、中性子遮蔽材の温度も低下するが、設計貯蔵期間中の温度を保守的に貯蔵開始直後の中性子遮蔽材の最高温度が設計貯蔵期間にわたり一定として考慮すると、設計貯蔵期間経過時までの中性子遮蔽材の質量減損率はMSF-24P(S)型は約2.0%となる。これを保守的に2.5%の質量減損があるとして評価した。

4. 三次元モンテカルロコード MCNP5 による詳細評価条件

三次元モンテカルロコード MCNP5 による解析（以下「MCNP5 解析」という。）の主要な評価条件は別紙1-9表に示すとおりである。解析コード、断面積ライブラリ及び線源強度設定については前述のとおりであり、ここでは分散低減、タリーの設定及び統計指標に係る事項について説明する。

なお、17×17 燃料と 15×15 燃料は MSF-24P(S)型に混載しないが、48,000MWd/t と 39,000MWd/t、及びA型とB型は区別なく同一キャスクへ混載可能である。遮蔽解析条件は収納燃料を全てA型の 48,000MWd/t 型燃料又は全てB型の 48,000MWd/t 型燃料としている。

別紙1-9表 MCNP5 解析の主要な評価条件

項目		解析条件
解析コード		MCNP5 ver. 1.60
断面積ライブラリ		FSXLIB-J33 (中性子) MCPLIB84 (ガンマ線)
燃料有効部 ガンマ線源強度	群構造	ORIGEN2 群構造 (18 群)
	スペクトル	ORIGEN2 評価値
構造材放射化 ガンマ線源強度	群構造	1.17MeV 1.33MeV
	スペクトル	1.17MeV : 50% 1.33MeV : 50%
中性子源強度	群構造	連続エネルギー
	スペクトル	Watt 型 ²³⁹ Pu 核分裂スペクトル
分散低減法		線源カットオフ エネルギー・カットオフ ウェイト・ウィンドウ
タリー		表面 : F2 タリー (半径 2.5cm の面 若しくは 5 cm × 5 cm の曲面) 表面から 1 m 位置 : F4 タリー (半径 10cm の球形状)
統計指標		統計誤差 10% 以下 (マニュアル推奨値)

(1)分散低減法

三次元モンテカルロコード MCNP5 では線源で発生する放射線粒子1つ1つについて計算を実施している。評価点に到達する粒子が多いほど結果の統計誤差が小さくなり、計算精度が良くなる。評価点により多くの粒子を到達させ、効率的に統計誤差を小さくする方法を分散低減法と言う。

本評価は、線源形状が比較的大きく、かつ遮蔽体が厚く複雑な評価体系であるため、粒子が評価点に到達しづらく、統計誤差が小さくなりづらい評価体系である。よって、本評価では、統計誤差を低下させるための分散低減法として、燃料有効部ガンマ線の線源放出粒子を入力からあらかじめ外しておく線源カットオフ法、打ち切り法のうちエネルギースペクトル計算において指定したエネルギー以下の計算を打ち切るエネルギー・カットオフ、及び非アナログモンテカルロ法のうち、空間及びエネルギーごとに分散低減のパラメータを設定するウエイト・ウィンドウ法を使用した。

線源カットオフ設定値は、
とした。エネルギー・カットオフ設定値は、

とした。

ウエイト・ウィンドウ法では粒子を分割・結合させ、計算結果への影響が大きい領域でより多くの粒子の計算を行い、計算精度の向上を図る手法である。ウエイト・ウィンドウ法では粒子のウエイト（計算結果への影響度を示す値）が過大な状態で評価点に到達した際に発生する大きな変動や、粒子のウエイトが過小になり寄与の小さい粒子について計算時間を費やすことによる計算効率の低下を防止するため、領域ごとにウエイト・ウィンドウと呼ばれるウエイト制限範囲を設定し粒子のウエイトをこの範囲に収めてばらつきを小さくし、計算精度の向上を図っている。

本評価でのウエイト・ウィンドウパラメータは、Superimposed Importance Mesh を用いて基本的に空気、鉄、レジンなどの物質ごとに分割し、隣り合う分割領域での粒子ウエイトが大きく変わらない分割厚さを設定、補助ツールである ADVANTG ver. 3.0.3 の
により算出した。ウエイト・ウィンドウパラメータの設定が妥当であることは、評価結果の連続性により確認した。

(2)タリーの設定

容器表面評価では、線源から方位性を持つ表面直近の中性子及びガンマ線の線量当量率を評価することを目的に、サーフェイクロッシングエスティメータ（面タリー）を設定した。また、トランシオン近傍等は中性子ストリーミングの発生により比較的線量当量率の変化が大きいことを考慮し、遮蔽欠損部の大きさや線量当量率分布を基にストリーミングの最大線量当量率を適切に計算できる位置及び遮蔽欠損部程度の大きさとした。

容器表面から 1 m 離れた位置評価では、評価位置に対して全方位からの中性子及びガンマ線の線量当量率を評価することを目的に、球形状のトラックレングスエスティメータ（体積タリー）

を用いた。表面から 1 m 離れた位置の線量当量率分布より十分に計算精度が得られる大きさとした。

(3) 統計指標

三次元モンテカルロコード MCNP5 では、解析値に統計誤差を持つことから、解析値が解析精度として十分に信頼できるものとなっているか確認するため、統計誤差が MCNP コードマニュアル推奨値である 10 % 以下となることを目標として計算を実施する。

5. 参考文献

- (1) X-5 Monte Carlo Team, “MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5”, LA-UR-03-1987, (2003).
- (2) (財) 原子力発電技術機構, 「平成 14 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (2003).

中性子実効増倍率の設定について

中性子源強度は、体系の増倍効果を考慮して次式により、乾燥状態において使用済燃料集合体を収納した場合のキャスクの実効増倍率を求め、中性子源強度に考慮した。

$$N_s = N_0 / (1 - keff)$$

ここで、

N_0 : MSF-24P(S)型1基当たりの一次中性子源強度

$keff$: 使用済燃料集合体を収納した場合のMSF-24P(S)型の実効増倍率

実効増倍率の評価に用いた使用済燃料集合体の条件、評価結果及び線源強度設定に用いた実効増倍率を別紙2-1表に示す。実効増倍率評価は、冷却期間の短い条件による評価結果が保守的となるため、B型燃料に比べて冷却日数が短いA型燃料を評価対象とした。

なお、実効増倍率は、ORIGEN2コードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及び中性子の吸収に対して寄与が大きな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、臨界解析で用いるKENO-VIコードにより求めた。なお、考慮している核種⁽¹⁾は以下のとおりである。

アクチニド：²³⁵U, ²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴²Pu

核分裂生成物：⁹⁹Tc, ¹⁰³Rh, ¹³¹Xe, ¹³³Cs, ¹⁴⁰Nd, ¹⁴⁵Nd, ¹⁴⁷Pm, ¹⁴⁷Sm, ¹⁴⁹Sm, ¹⁵¹Sm, ¹⁵²Sm, ¹⁵³Eu, ¹⁵⁵Gd

別紙2-1表 実効増倍率評価条件及び評価結果

項目	17×17燃料 (A型) 収納時		15×15燃料 (A型) 収納時	
ウラン重量 (kg/体)				
初期濃縮度 (wt%)				
燃焼度 (MWd/t)	44,000		44,000	
比出力 (MW/t)				
冷却日数 (日)	5,479		5,479	
実効増倍率 ^(注)				
遮蔽解析用実効増倍率	0.30		0.30	

(注) 実効増倍率評価結果に統計誤差の3倍を加えた値。

- (1) (一社) 日本原子力学会, 「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準 (AESJ-SC-F006:2013)」, (2014).

中性子源スペクトルを²³⁹Puの核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性

中性子源スペクトルを²³⁹Puの核分裂スペクトルで代表させる設定の妥当性について下記に示す。

使用済燃料からの主要な中性子源としては、以下の3つが挙げられる。

1. 一次中性子源である Cm の自発核分裂による中性子
2. 一次中性子源である (α, n) 反応による中性子
3. 二次中性子源である核分裂反応により増倍される中性子

このうち、一次中性子源においては、別紙3-1図に示すとおり使用済燃料の場合、冷却期間が数十年までの間は自発核分裂による中性子が支配的である。MSF-24P(S)型に収納する使用済燃料集合体の中性子源強度は、別紙3-1表及び別紙3-2表に示すとおり自発核分裂による中性子が支配的である。なお、それぞれ中性子源強度の高いA型燃料について記載している。

別紙3-1表 中性子源強度 (17×17 燃料 (A型) 収納時)

(MSF-24P(S)型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)	(α, n) 反応	9.369×10 ⁷	7.472×10 ⁷	1.684×10 ⁸
	自発核分裂	4.909×10 ⁹	3.360×10 ⁹	8.269×10 ⁹
	合計	5.003×10 ⁹	3.435×10 ⁹	8.437×10 ⁹

別紙3-2表 中性子源強度 (15×15 燃料 (A型) 収納時)

(MSF-24P(S)型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)	(α, n) 反応	9.669×10^7	7.716×10^7	1.739×10^8
	自発核分裂	5.148×10^9	3.537×10^9	8.685×10^9
	合計	5.245×10^9	3.614×10^9	8.859×10^9

上記より、中性子源スペクトルの候補 (主要な核分裂核種) は以下の3つとなる。

- ① Cmの自発核分裂反応
- ② ^{239}Pu の核分裂反応
- ③ ^{235}U の核分裂反応

ここで、Cmの自発核分裂及び ^{239}Pu 及び ^{235}U の核分裂による中性子源スペクトルの比較を別紙3-2図及び別紙3-3図に示す。

別紙3-2図に示すとおり、 ^{242}Cm 、 ^{244}Cm の自発核分裂による中性子源スペクトルに対して ^{239}Pu の核分裂による中性子源スペクトルの方がより高エネルギー成分が多い。

また、別紙3-3図に示すとおり、 ^{235}U の核分裂による中性子源スペクトルに対しても ^{239}Pu の核分裂による中性子源スペクトルの高エネルギー成分が多い。

したがって、中性子源スペクトルを ^{239}Pu の核分裂スペクトルで代表させる設定は保守側の設定であり妥当である。

(出典)

- (1) L. B. Shappert, et al., "The Radioactive Materials Packaging Handbook", ORNL/M-5003, Oak Ridge National Laboratory, 9-9, (1998).
- (2) H. S. Bailey, R. N. Evatt, G. L. Gyorey, et al., "Neutron Shielding Problems in the Shielding of High Burnup Thermal Reactor Fuel", Nuclear Technology, ANS, 17, 222, (1973).
- (3) E. D. Arnold, R. G. Jaeger, et al., "Engineering Compendium on Radiation Shielding", Volume I Shielding Fundamentals and Methods, Springer-Verlag, Germany, 69 (1968).

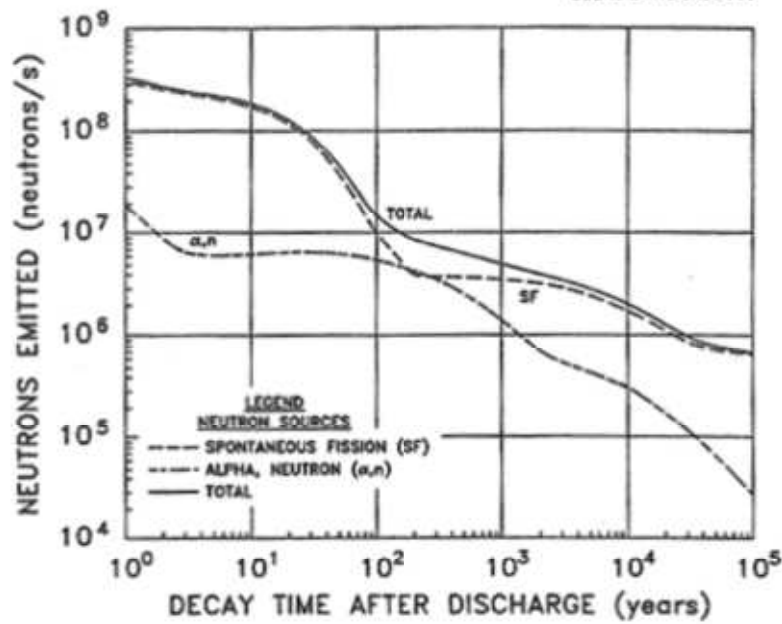


Fig. 9.2. Neutrons emitted by 1 metric ton of initial heavy metal (MTHM): PWR/33,000 MWd/MTU. Source: ref. 24.

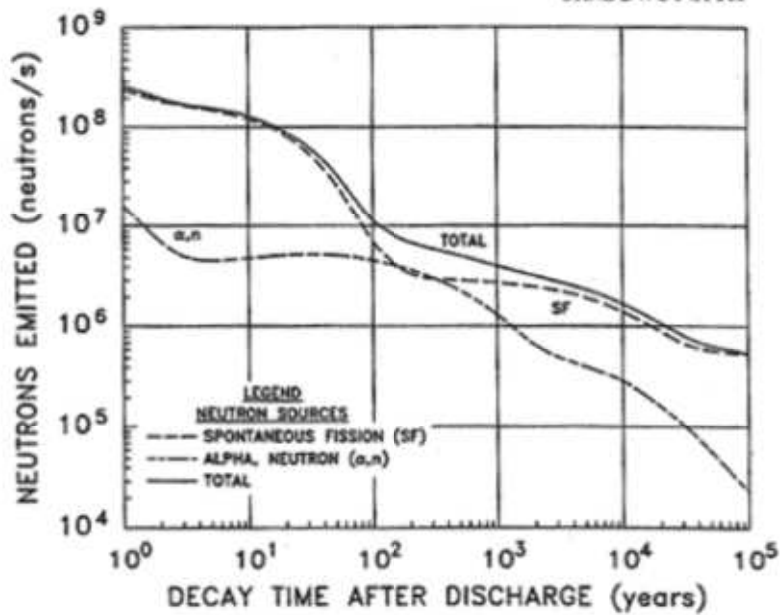
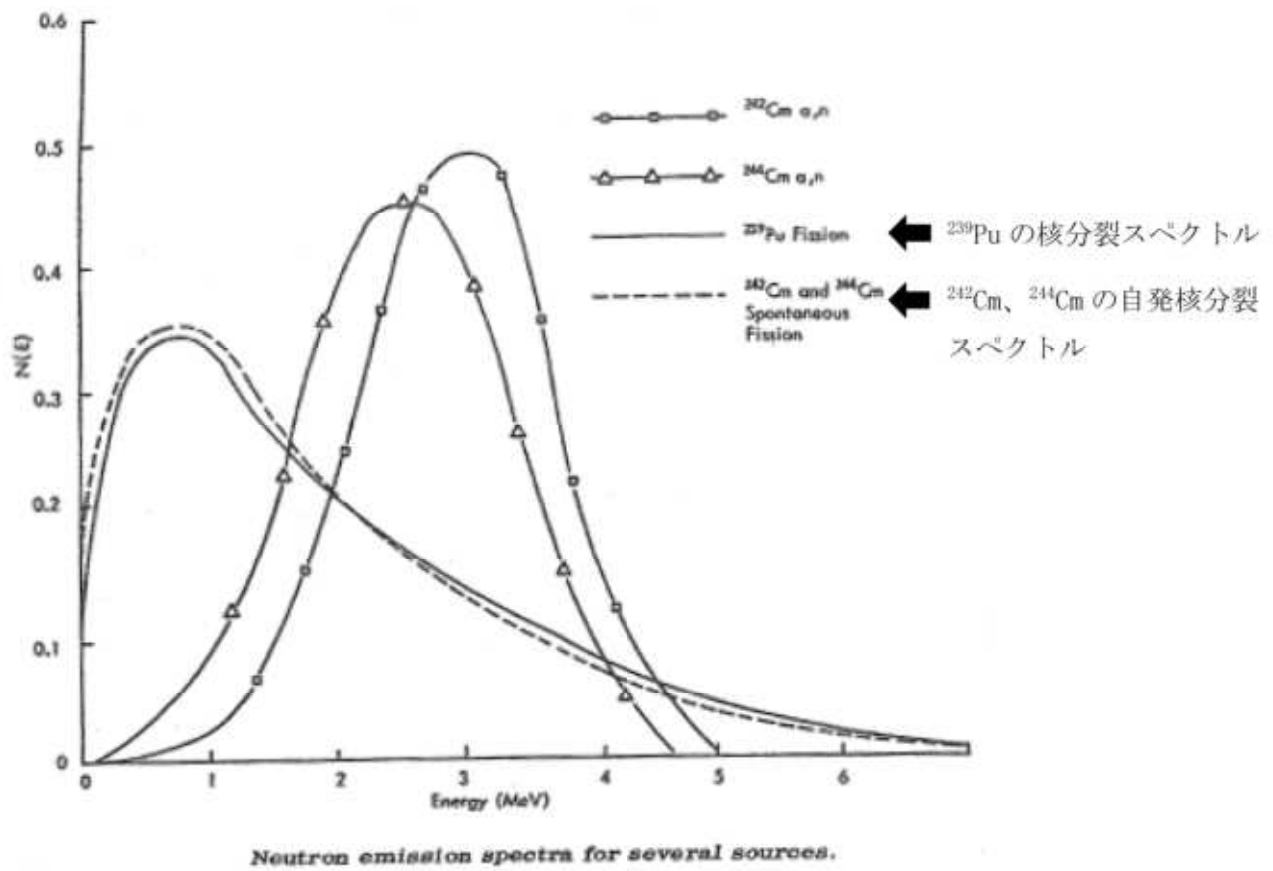


Fig. 9.3. Neutrons emitted by 1 metric ton of initial heavy metal (MTHM): BWR/27,500 MWd/MTU. Source: ref. 24.

別紙3-1図 自発核分裂及び(α, n)反応に伴う中性子源強度と冷却期間との関係⁽¹⁾



別紙 3-2 図 ^{239}Pu の核分裂、 Cm の自発核分裂中性子源スペクトルの比較⁽²⁾

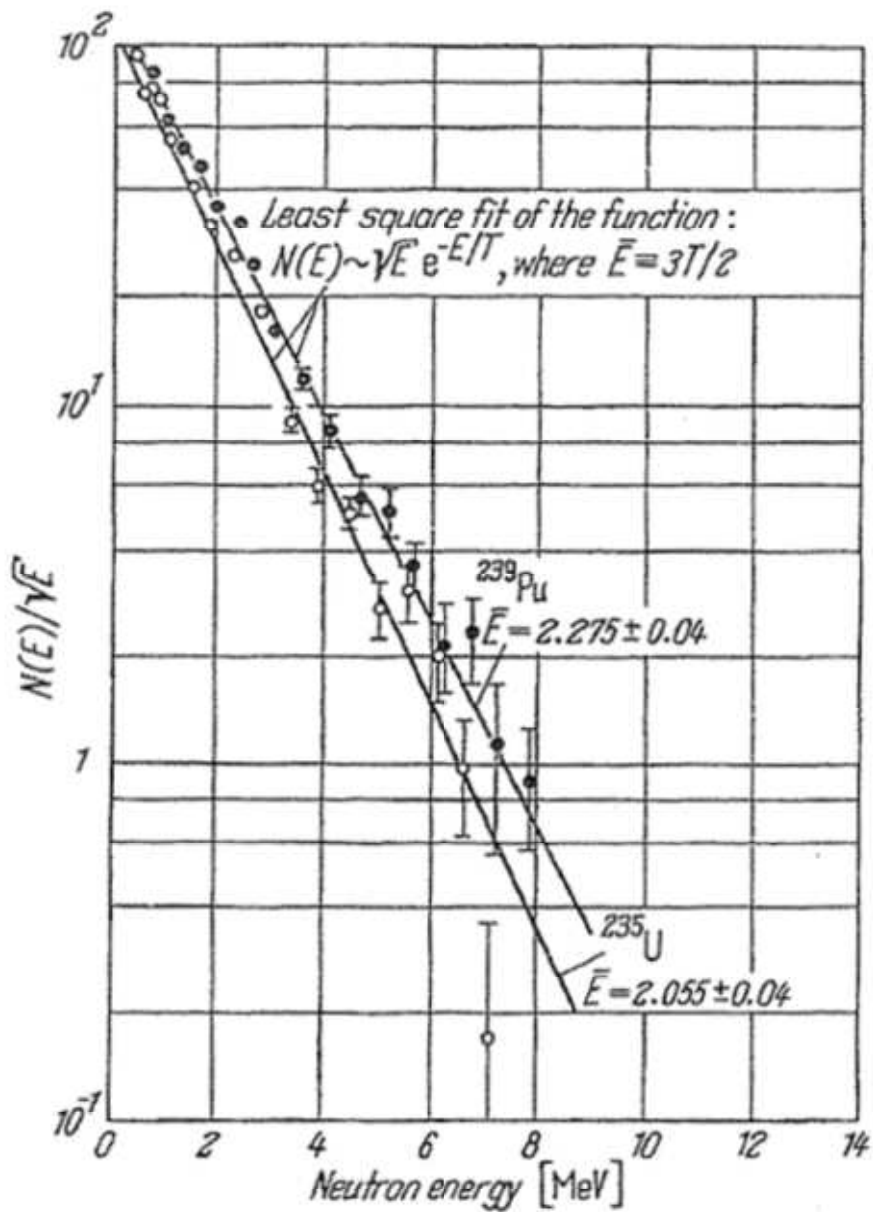


Fig. 2.3.-2. Typical measured fission neutron spectra of $^{235}\text{U} + n_{th}$ and $^{239}\text{Pu} + n_{th}$.

別紙 3-3 図 ^{239}Pu 及び ^{235}U の核分裂中性子源スペクトルの比較⁽³⁾

遮蔽解析結果の詳細 (DOT3.5 コード)

1. 線量当量率評価結果

二次元輸送計算コード DOT3.5 による遮蔽解析（以下「DOT3.5 解析」という。）における解析結果詳細を示す。

DOT3.5 解析の線量当量率結果を別紙4-1表から別紙4-8表に、最大線量当量率となる評価点位置を別紙4-1図から別紙4-8図に示す。また、別紙5に示す MCNP5 解析と同様に蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の17×17燃料48,000MWd/t型（A型）収納時について、別紙4-1表に示す各評価点方向における線量当量率の分布図を別紙4-9図に示す。

なお、二次元モデル設定の妥当性は、別紙6に示すとおり DOT3.5 コード評価結果と MCNP5 コード評価結果がおおむね一致していることにより確認している。

別紙4-1表 線量当量率評価結果 (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)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部		
	軸方向	径方向	径方向 (トラネオン部)		径方向	径方向 (トラネオン部)	軸方向
	①	③a	③b		⑦a	⑦b	⑨
表面 ガンマ線	燃料有効部	<0.1	8.0	100.7	5.9	5.4	6.0
	構造材放射化	0.2	0.6	103.0	15.0	13.4	35.9
	二次ガンマ線	0.2	1.1	5.7	25.7	4.8	4.6
中性子	41.7	389.3	753.8	45.1	1108.3	25.2	
合計	42.2 (注2)	391.1 (注2)	870.5	197.4	1131.9 [1.14] (注1)	71.7	
評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
表面から1m ガンマ線	燃料有効部	<0.1	22.5	44.8	25.8	25.1	2.6
	構造材放射化	<0.1	20.1	20.9	14.6	12.8	14.8
	二次ガンマ線	<0.1	5.4	5.4	10.4	5.7	1.7
中性子	20.9	24.5	34.0	18.4	15.2	26.3	15.8
合計	21.2 (注2)	72.5	82.9	86.1 [87] (注1)	61.4	69.9	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。

(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: mSv/h , 表面から1 m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4-2表 線量当量率評価結果 (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)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部				
	軸方向	径方向	径方向 (トラネオン部)		径方向	径方向 (トラネオン部)	軸方向		
	①	③a	③b		⑤	⑦a	⑦b	⑨	
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	6.3	84.8	5.0	4.7	5.2	
		構造材放射化	0.3	1.1	183.8	17.2	25.2	22.1	59.9
		二次ガンマ線	0.2	1.0	5.2	23.8	4.1	4.5	4.3
	中性子	38.0	354.1	666.5	41.9	243.1	1021.8	23.7	
	合計	38.6 (注2)	356.3 (注2)	861.8	167.7	277.4	<u>1053.1</u> [1.06] (注1)	93.1	
	評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩	
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	19.0	20.4	21.8	13.8	2.3	
		構造材放射化	0.2	30.6	32.0	29.6	17.3	11.9	24.8
		二次ガンマ線	<0.1	5.1	5.0	5.3	5.4	3.9	1.6
	中性子	19.1	22.2	30.7	21.5	14.3	36.5	14.9	
	合計	19.5 (注2)	76.9	<u>86.9</u> [87] (注1)	76.8	58.8	66.1	43.6	

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: 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4-3表 線量当量率評価結果 (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)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部				
	軸方向	径方向	径方向 (トラネオン部)		径方向	径方向 (トラネオン部)	軸方向		
	①	③a	③b		⑦a	⑦b	⑨		
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	8.0	100.2	5.8	5.3	0.9	
		構造材放射化	0.2	0.5	75.3	8.8	7.9	1.8	
		二次ガンマ線	0.2	1.2	6.0	4.6	5.1	1.3	
	中性子	44.3	421.0	773.1	47.4	271.8	1154.6	66.3	
	合計	44.8 (注2)	422.8 (注2)	862.4	193.3	291.0	1172.9 [1.18] (注1)	70.3	
	評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩	
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	22.4	44.5	25.7	16.0	2.7	
		構造材放射化	<0.1	14.7	15.2	9.1	9.7	6.4	9.5
		二次ガンマ線	<0.1	5.7	5.6	10.9	6.1	4.4	1.8
	中性子	22.2	25.9	35.8	19.4	16.0	40.9	16.6	
	合計	22.5 (注2)	68.7	79.1	83.9 [84] (注1)	57.5	67.7	30.6	

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: 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4-4表 線量当量率評価結果 (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)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部			
	軸方向	径方向	径方向 (トラネオン部)		径方向	径方向 (トラネオン部)	軸方向	
	①	③a	③b		⑦a	⑦b	⑨	
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	6.1	85.2	5.1	4.7	0.8
		構造材放射化	0.2	0.9	142.9	15.0	13.0	2.6
		二次ガンマ線	0.2	1.1	5.5	4.4	4.8	1.2
	中性子	39.9	377.7	700.8	44.2	259.3	1096.3	63.4
	合計	40.4 (注2)	379.8 (注2)	855.3	170.7	283.8	<u>1118.8</u> [1.12] (注1)	68.0
	評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	19.1	37.8	21.8	13.8	2.3
		構造材放射化	<0.1	24.8	26.0	8.5	11.6	7.9
		二次ガンマ線	<0.1	5.3	5.3	10.2	5.7	4.2
	中性子	20.0	23.3	32.5	18.0	15.2	39.5	15.9
	合計	20.3 (注2)	72.5	<u>83.0</u> [83] (注1)	74.5	54.3	65.4	33.6

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: 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4-5表 線量当量率評価結果 (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)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部				
	軸方向	径方向 (トラニオン部)	径方向 (トラニオン部)		径方向	径方向 (トラニオン部)	軸方向		
								①	③a
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	8.0	100.7	4.0	5.4	<0.1
		構造材放射化	0.4	1.1	103.0	25.9	6.6	13.4	0.3
		二次ガンマ線	0.8	2.3	5.7	25.7	7.4	4.8	0.9
	中性子	333.7	804.2	741.4	45.1	1807.3	1108.3	222.6	
	合計	335.0 ^(注2)	807.7 ^(注2)	858.1	197.4	1825.3 [1.83] _(MLD)	1131.9	223.9 ^(注2)	
	評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩	
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	0.3	22.5	22.6	44.8	9.0	7.9	4.9
		構造材放射化	3.5	20.1	20.9	12.5	7.4	6.1	28.8
		二次ガンマ線	0.4	5.4	5.4	10.4	3.0	2.8	3.6
	中性子	64.8	23.2	32.7	18.3	56.6	66.3	23.1	
	合計	69.0	71.2	81.6	86.0 [86] _(MLD)	76.0	83.1	60.4	

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: 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4-6表 線量当量率評価結果 (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)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部				
	軸方向	径方向	径方向 (トラネオン部)		径方向	径方向 (トラネオン部)	軸方向		
	①	③a	③b		⑤	⑦a	⑦b	⑨	
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	6.3	84.8	3.4	4.7	<0.1	
		構造材放射化	1.0	183.8	17.2	10.7	22.1	0.5	
		二次ガンマ線	0.8	2.1	23.8	5.9	4.5	0.8	
	中性子	303.6	731.3	655.5	41.9	1698.9	1021.8	208.5	
	合計	305.5 ^(注2)	735.4 ^(注2)	850.8	167.7	<u>1719.9</u> [1.72] ^(注1)	1053.1	209.9 ^(注2)	
	評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩	
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	0.2	19.0	20.4	7.6	6.6	4.3	
		構造材放射化	5.7	30.6	32.0	29.6	9.7	7.8	48.2
		二次ガンマ線	0.4	5.1	5.0	5.3	2.7	2.6	3.3
	中性子	59.1	21.0	29.5	20.3	54.1	63.3	21.7	
	合計	65.4	75.7	<u>85.7</u> [86] ^(注1)	75.6	74.1	80.3	77.5	

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: 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4-7表 線量当量率評価結果 (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)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部				側部	底部			
	軸方向	径方向	径方向 (トラネオン部)	径方向 (トラネオン部)		径方向	径方向 (トラネオン部)	軸方向	
									①
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	8.0	100.2	3.9	5.3	<0.1
		構造材放射化	0.2	0.9	75.3	18.8	3.8	7.9	0.2
		二次ガンマ線	0.8	2.4	6.0	26.9	7.7	5.1	0.9
	中性子	356.5	858.0	760.5	47.4	1895.8	1154.6	231.6	
	合計	357.6 ^(注2)	861.4 ^(注2)	849.8	193.3	1911.2 [1.92] ^(注1)	1172.9	232.8 ^(注2)	
	評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩	
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	0.3	22.4	22.5	44.5	8.0	7.0	5.1
		構造材放射化	2.8	14.7	15.2	9.1	4.4	3.6	18.5
		二次ガンマ線	0.4	5.7	5.6	10.9	2.9	2.8	3.8
	中性子	68.9	24.5	34.4	19.2	62.0	71.6	24.3	
	合計	72.4	67.3	77.7	83.7	77.3	85.0 [85] ^(注1)	51.7	

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: 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4-8表 線量当量率評価結果 (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)

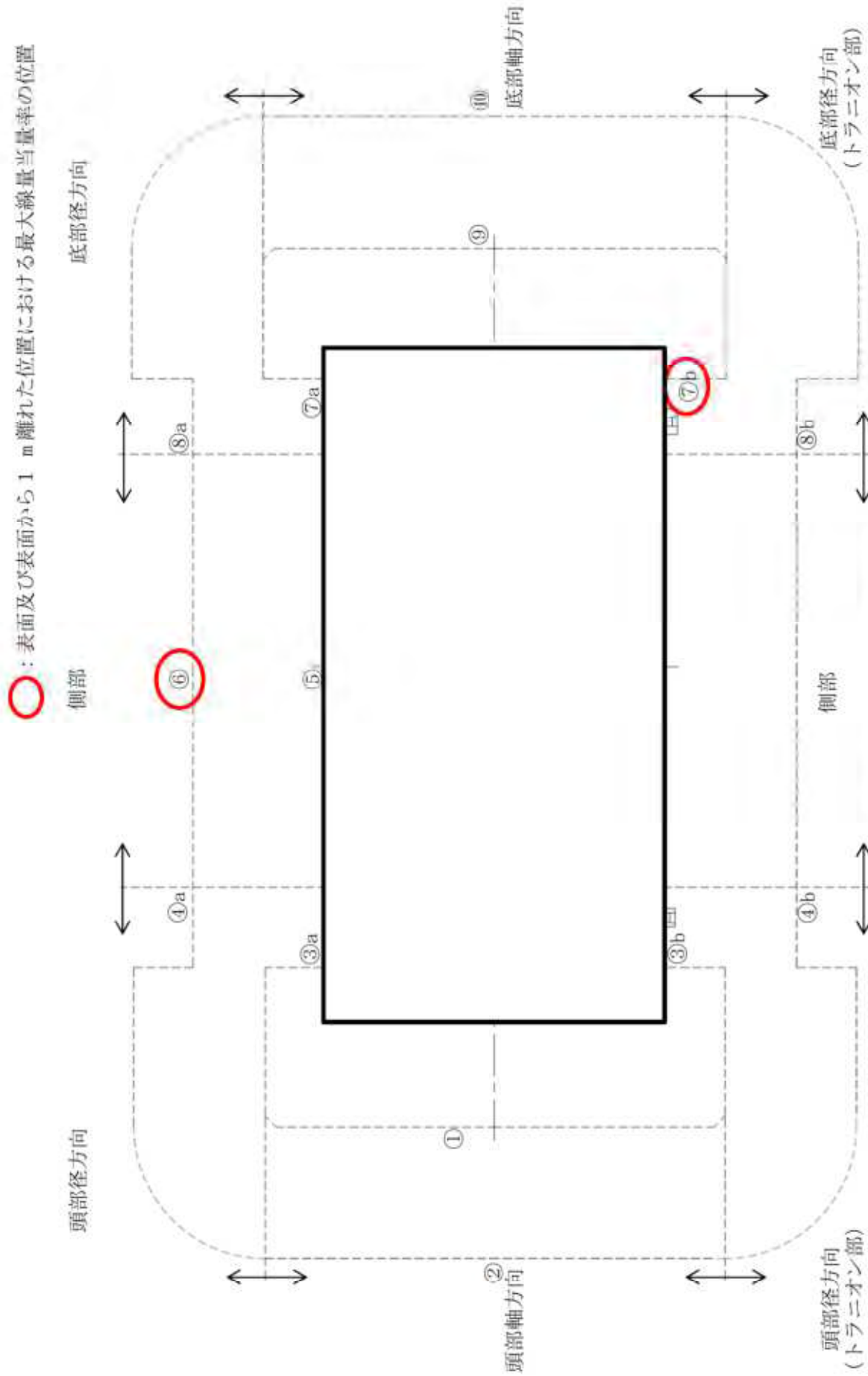
(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部			
	軸方向	径方向	径方向 (トラネオン部)		径方向	径方向 (トラネオン部)	軸方向	
	①	③a	③b		⑤	⑦a	⑦b	
表面	燃料有効部	<0.1	6.1	85.2	3.5	4.7	<0.1	
	ガンマ線	構造材放射化	1.4	142.9	6.6	13.0	0.3	
		二次ガンマ線	0.8	2.2	25.1	7.3	4.8	0.9
中性子	322.0	770.8	689.2	44.2	1810.9	1096.3	222.2	
合計	323.3 ^(注2)	774.5 ^(注2)	843.7	170.7	1828.3 [1.83] ^(注1)	1118.8	223.5 ^(注2)	
評価点	②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩	
表面から1m	燃料有効部	0.2	19.1	37.8	7.6	6.5	4.3	
	ガンマ線	構造材放射化	4.4	24.8	8.5	6.2	5.0	26.5
		二次ガンマ線	0.4	5.3	5.3	10.2	2.9	3.6
中性子	62.0	22.1	31.2	17.9	57.6	67.5	23.1	
合計	67.0	71.3	81.7 [82] ^(注1)	74.4	74.3	81.7 [82] ^(注1)	57.5	

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: 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。



(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 4-1 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 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)