

補足説明資料 16-3

16 条

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

遮蔽機能に関する説明資料

目 次

1. 要求事項	1
2. 要求事項への適合性	4
3. 使用する解析コード	51
4. 遮蔽機能データ	72
5. 参考文献	81

別紙 1 遮蔽解析条件

別紙 2 中性子実効増倍率の設定について

別紙 3 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の妥当性

別紙 4 遮蔽解析結果の詳細 (DOT3.5 コード)

別紙 5 遮蔽解析結果の詳細 (MCNP5 コード)

別紙 6 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

別紙 7 遮蔽機能データの適用確認方法

別紙 8 設置方法による線量当量率評価結果の違いについて

1. 要求事項

特定機器の設計の型式証明申請において、特定兼用キャスクの遮蔽機能に関する要求事項は、以下のとおりである。

(1) 設置許可基準規則要求事項

a. 設置許可基準規則第16条第4項一号

- ・使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

b. 設置許可基準規則解釈別記4第16条2項

第16条第4項第1号に規定する「適切な遮蔽能力を有する」とは、第5項に規定するもののほか、以下をいう。

- ・貯蔵事業許可基準規則解釈第4条第1項第3号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすこと。

➤ 貯蔵事業許可基準規則解釈第4条第1項第3号

三 使用済燃料を金属キャスクに収納するに当たっては、遮蔽機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた当該使用済燃料の配置の条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること。

- ・兼用キャスク表面の線量当量率が1時間当たり2ミリシーベルト以下であり、かつ、兼用キャスク表面から1メートル離れた位置における線量当量率が1時間当たり100マイクロシーベルト以下であること。
- ・貯蔵建屋（工場等内において兼用キャスクを収納する建物をいう。以下この条において同じ。）を設置する場合には、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下したときにおいても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。

なお、当該貯蔵建屋が損傷したときからその遮蔽機能の応急の復旧が完了するまでの間は、第29条に規定する「通常運転時」には当たらない。

c. 設置許可基準規則解釈別記4第16条5項

第16条第2項第1号ハ及び同条第4項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。

- ・設計貯蔵期間を明確にしていること。

- ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

(2) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「2.安全機能の確保 2.2 遮蔽機能」には、以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

『

- 1) 設計上想定される状態において、使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽機能を有すること。
- 2) 通常貯蔵時の兼用キャスク表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率を100 μ Sv/h以下とすること。
- 3) 通常貯蔵時の直接線及びスカイシャイン線について、原子力発電所敷地内の他の施設からのガンマ線と兼用キャスクからの中性子及びガンマ線とを合算し、ALARAの考え方の下、敷地境界において実効線量で50 μ Sv/y以下となることを目標に、線量限度(1mSv/y)を十分下回る水準とすること。
- 4) 貯蔵建屋等の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量が線量限度(1mSv/y)を超えないこと。

』

【確認内容】

『

以下を踏まえ遮蔽設計が妥当であること。

1) 使用済燃料の放射線源強度評価

使用済燃料の放射線源強度は、検証され適用性が確認された燃焼計算コードを使用して求めること。また、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件とし、核種の生成及び崩壊を計算して求めること。

2) 兼用キャスクの遮蔽機能評価

- a. 兼用キャスクからの線量当量率は、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化し、及び1)で求めた放射線源強度に基づき、検証され適用性が確認された遮蔽解析コード及び断面積ライブラリ(以下「遮蔽解析コード等」と総称する。)を使用して求めること。その際、設計貯蔵期間中の兼用キャスクのガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材の熱劣化による遮蔽機能の低下を考慮すること。

- b. 兼用キャスク表面の線量当量率を 2mSv/h 以下とし、かつ、兼用キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率を $100\mu\text{Sv/h}$ 以下とすること。

3) 敷地境界における実効線量評価

① 直接線及びスカイシャイン線の評価

兼用キャスクが敷地境界に近い場所に設置される場合等に、使用済燃料から放出される中性子の敷地境界線量への寄与が大きくなる可能性があることを適切に考慮した上で、通常貯蔵時の直接線及びスカイシャイン線（ガンマ線及び中性子）による実効線量について評価すること。

② ソースターム

兼用キャスクの遮蔽機能データ又は兼用キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率が $100\mu\text{Sv/h}$ となるよう放射線源強度を規格化したものを用いること。ここで、放射線源強度を規格化して用いる場合は、中性子 100%又はガンマ線 100%のいずれか保守的な線量評価とすること。また、中性子及びガンマ線の表面エネルギースペクトルは、保守的な線量評価となるものを使用すること。

③ 遮蔽解析コード等

検証され適用性が確認された遮蔽解析コード等を使用すること。なお、モンテカルロコードを用いる場合は、相互遮蔽効果、ストリーミング及びコンクリート深層透過の観点から検証され適用性が確認されたものであること。

④ 通常貯蔵時の線量

通常貯蔵時の直接線及びスカイシャイン線について、原子力発電所敷地内の他の施設からのガンマ線と兼用キャスクからの中性子及びガンマ線とを合算し、ALARA の考え方の下、敷地境界において実効線量で $50\mu\text{Sv/y}$ 以下となることを目標に、線量限度 (1mSv/y) を十分下回る水準とすること。

なお、兼用キャスク以外の施設の線量は、既評価の空気カーマ (Gy/y) を実効線量 (Sv/y) へ換算し、又は新たに実効線量 (Sv/y) を評価するものとする。換算に当たっては、係数を 1 とすること。

4) 応急復旧

貯蔵建屋等を設置する場合は、貯蔵建屋等の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、必要に応じて土嚢による遮蔽の追加等の適切な手段による応急復旧を行うことにより、工場等周辺の実効線量が敷地全体で線量限度 (1mSv/y) を超えないこと。この場合において、応急復旧による遮蔽機能の回復を期待する場合には、その実施に係る体制を適切に整備すること。

』

2. 要求事項への適合性

(1) 設置許可基準規則への適合性

MSF-24P(S)型の遮蔽機能については、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。

a. 設置許可基準規則第16条第4項一号

- ・使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

b. 設置許可基準規則解釈別記4第16条2項

第16条第4項第1号に規定する「適切な遮蔽能力を有する」とは、第5項に規定するもののほか、以下をいう。

- ・貯蔵事業許可基準規則解釈第4条第1項第3号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすこと。

➤ 貯蔵事業許可基準規則解釈第4条第1項第3号

三 使用済燃料を金属キャスクに収納するに当たっては、遮蔽機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた当該使用済燃料の配置の条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること。

- ・兼用キャスク表面の線量当量率が1時間当たり2ミリシーベルト以下であり、かつ、兼用キャスク表面から1メートル離れた位置における線量当量率が1時間当たり100マイクロシーベルト以下であること。
- ・貯蔵建屋（工場等内において兼用キャスクを収納する建物をいう。以下この条において同じ。）を設置する場合には、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下したときにおいても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。

なお、当該貯蔵建屋が損傷したときからその遮蔽機能の応急の復旧が完了するまでの間は、第29条に規定する「通常運転時」には当たらない。

MSF-24P(S)型は、使用済燃料集合体からの放射線を特定兼用キャスクの本体及び蓋部のガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とし、設計貯蔵期間中におけるMSF-24P(S)型の中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても特定兼用キャスク表面の線量当量率を2mSv/h以下、かつ、特定兼用キャスク表面から1メートル離れた位置における線量当量率を100μSv/h以下となる設計とする。ガンマ線遮蔽材には、鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には、水素を多く含有するレジンを用いる。

2. (2) 審査ガイドへの適合性 [確認内容]1) から 2) への説明に示すとおり、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク型表面から1メートル離れた位置における線量当量率は、特定兼用キャスクの実形状を適切にモデル化し、使用済燃料の放射線源強度を条件として二次元輸送計算コード

DOT3.5 (断面積ライブラリ: MATXS LIB-J33) 又は三次元モンテカルロコード MCNP5 (断面積ライブラリ: MCPLIB84/FSX LIB-J33) を使用して求める。線量当量率評価に用いる放射線源強度は、使用済燃料の型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して求める。

放射線源強度計算に当たっては、中性子について実効増倍率を考慮するとともに、使用済燃料の軸方向の燃焼度分布を考慮する。また、線量当量率の評価に当たっては、使用済燃料集合体の燃焼度に応じた収納位置を考慮するとともに、設計貯蔵期間中における中性子遮蔽材の熱による遮蔽性能の低下を考慮する。上記条件に基づく解析の結果、特定兼用キャスク表面及び特定兼用キャスク表面から1メートル離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ2mSv/h以下及び100 μ Sv/h以下を満足することを確認した。

また、設置許可基準規則解釈別記4第16条2項に示される貯蔵建屋を設置する場合において、当該貯蔵建屋の損傷による工場等周辺の実効線量への影響、及び貯蔵事業許可基準規則解釈第4条第1項第3号に示される使用済燃料の配置の条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置を講じることについては、型式証明申請の範囲外(設置(変更)許可時の別途確認事項)である。

c. 設置許可基準規則解釈別記4第16条5項

- ・第16条第2項第1号ハ及び同条第4項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。
 - ・設計貯蔵期間を明確にしていること。
 - ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

MSF-24P(S)型の設計貯蔵期間は60年である。また、補足説明資料16-6「材料・構造健全性(長期健全性)に関する説明資料(L5-95JV215)」に示すとおり、MSF-24P(S)型は、安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計である。

(2) 審査ガイドへの適合性

審査ガイドでは、兼用キャスクの有する安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）に係る設計の基本方針の妥当性を確認することが定められており、MSF-24P(S)型の遮蔽機能については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

〔確認内容〕

1) 使用済燃料の放射線源強度評価

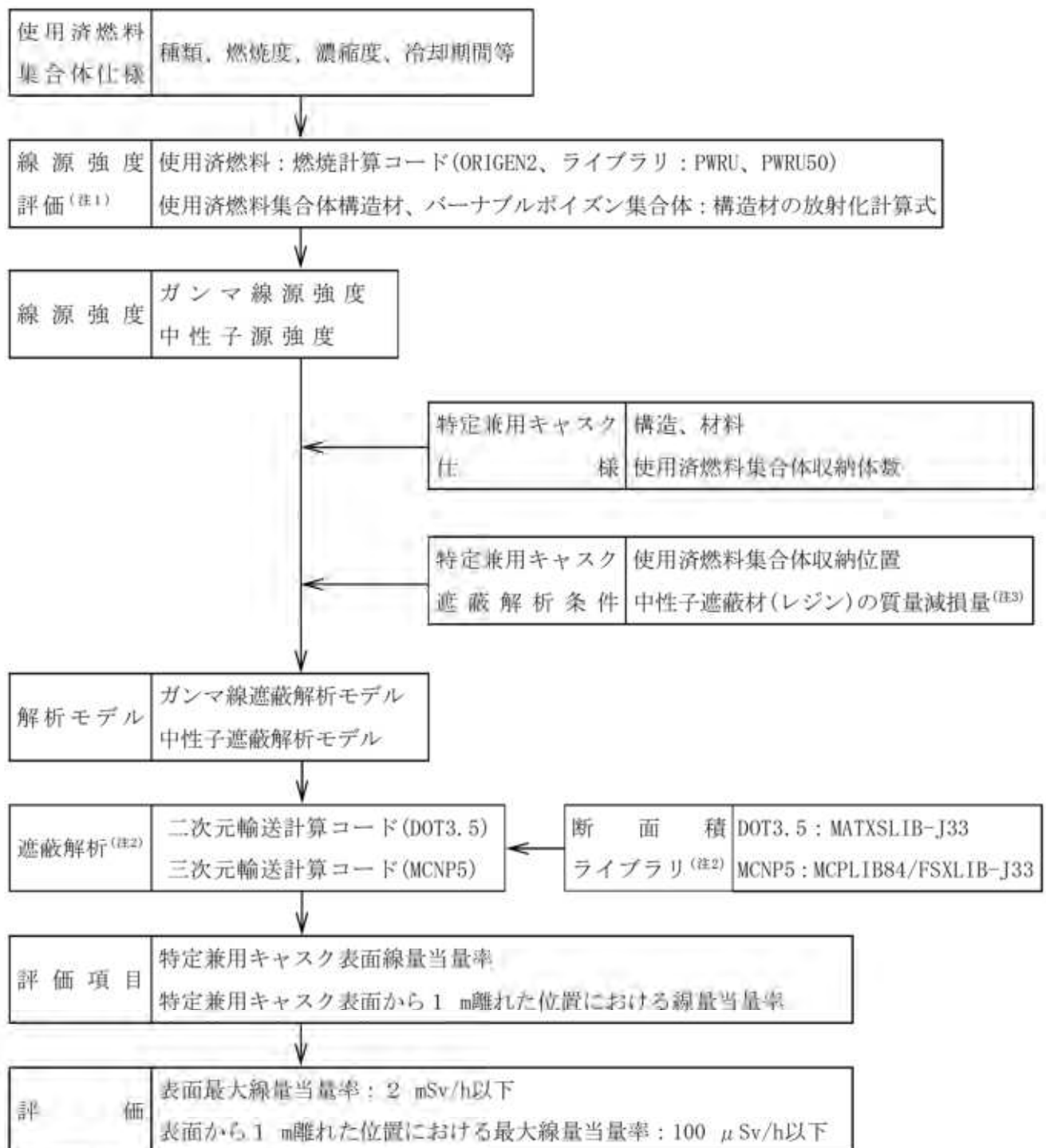
使用済燃料の放射線源強度は、検証され適用性が確認された燃焼計算コードを使用して求めること。また、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件とし、核種の生成及び崩壊を計算して求めること。

2) 兼用キャスクの遮蔽機能評価

a. 兼用キャスクからの線量当量率は、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化し、及び1)で求めた放射線源強度に基づき、検証され適用性が確認された遮蔽解析コード及び断面積ライブラリ（以下「遮蔽解析コード等」と総称する。）を使用して求めること。その際、設計貯蔵期間中の兼用キャスクのガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材の熱劣化による遮蔽機能の低下を考慮すること。

b. 兼用キャスク表面の線量当量率を 2mSv/h 以下とし、かつ、兼用キャスク表面から 1m離れた位置における線量当量率を 100 μ Sv/h 以下とすること。

MSF-24P(S)型の遮蔽解析フローを第1図に示す。遮蔽解析に用いる解析コードは、3. に示すとおり検証され、適用性が確認されている。



(注1) 線源強度評価は型式証明及び型式指定においてORIGEN2コードを用いる。

(注2) 遮蔽解析は型式証明においてはDOT3.5コード(断面積ライブラリ：MATXSLIB-J33)及びMCNP5コード(断面積ライブラリ：MCPLIB84/FSXLIB-J33)を用い、型式指定においては型式証明で用いたコードのうちどちらかのコードを選択する。

(注3) 特定兼用キャスクの主要な構成部材のうち、中性子遮蔽材は、補足説明資料16-6「材料・構造健全性に関する説明資料(L5-95JV215)」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する。

第1図 遮蔽解析フロー図

(3) 使用済燃料の線源強度評価方法

使用済燃料の型式、燃焼度（集合体平均）、濃縮度及び冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を使用して核種の生成、崩壊及びそれに基づく放射線源強度（以下「線源強度」という。）を計算する。線源評価の具体的な条件は別紙1に示す。使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、軸方向燃焼度分布を第2図のとおりとし、線源強度を計算している。

(4) 特定兼用キャスクの線量当量率評価方法

特定兼用キャスクの線量当量率は、特定兼用キャスクの実形状を適切にモデル化し、使用済燃料の線源強度を条件として、遮蔽解析コードを使用して求める。線量当量率の算定に当たっては、設計貯蔵期間（60年）中における熱による中性子遮蔽材の遮蔽性能の低下を考慮する。線量当量率評価の具体的な条件は別紙1に示す。

型式証明において、線量当量率評価は、二次元輸送計算コード DOT3.5 及び三次元モンテカルロコード MCNP5 を用いる。遮蔽解析における収納物条件の概要を第1表に示す。遮蔽解析に用いる燃料タイプについては第1表に示す、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。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は線量当量率最大値が基準を満足することを確認するため DOT3.5 コード評価結果のみ記載する。

(5) 遮蔽解析モデル

遮蔽解析モデル化の概要を第3図、解析モデル図を第4図に示す。遮蔽解析モデルの入力条件への不確かさの考慮は、二次元遮蔽解析モデル及び三次元遮蔽解析モデル共通で以下のとおりである。

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) 二次元遮蔽解析モデル

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。二次元モデルの均質化は以下のとおりである。

a. 燃料領域

第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。

b. バスケット外周部

第5図に示すとおり、燃料領域より外側から胴内面までの領域を均質化した円筒としてモデル化している。実形状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、バスケット外周部の密度を密度係数で調整している。密度係数は、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。設定方法の詳細は別紙1に示す。

c. 胴、側部中性子遮蔽材及び外筒

第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。

d. トラニオン部

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。

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。設定方法の詳細は別紙1に示す。

2) 三次元遮蔽解析モデル

特定兼用キャスクの実形状を基に、ガンマ線遮蔽材である鋼材の欠損となるトラニオン、

バルブ及びモニタリングポート、並びに中性子遮蔽材であるレジンの欠損となる伝熱フィン、トラニオン、バルブ及び支柱を考慮したモデルにより評価している。使用済燃料集合体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部に均質化している。

(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。

・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

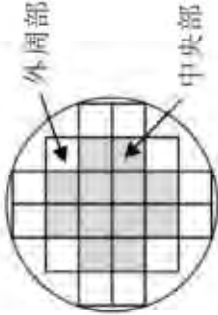
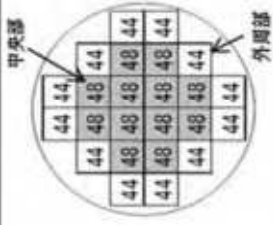
－中性子遮蔽材は、評価期間中の熱的影響により質量減損（2.0 %程度）が発生するため、遮蔽評価上、保守的に2.5 %の質量減損を考慮（原子個数密度で考慮）する。

－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。

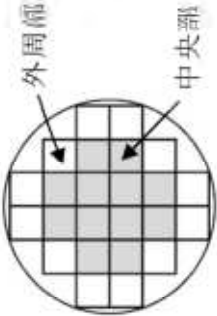
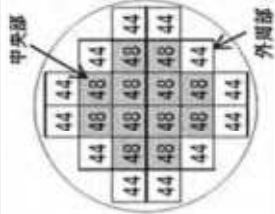
第1表 (1/2) 遮蔽解析における収納物条件の概要

項目		17×17 燃料		解析条件	
		キヤスク収納位置制限	中央部	外周部	中央部
燃料集合体 1体の仕様	種類	48,000MWd/t型 (A型・B型)	48,000MWd/t型 (A型・B型)	48,000MWd/t型 (A型・B型)	48,000MWd/t型 (A型・B型)
	初期濃縮度 (wt%)	≦4.2			
	ウラン重量 (kg)	[]			
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≦48	≦44	48	44
	冷却期間 (年)	A型：≧15 B型：≧17		A型：15 B型：17	
バーナブル ポイズン集合体 の仕様	最高燃焼度 (GWd/t)	[]			
	冷却期間 (年)	[]			
	平均燃焼度 (GWd/t)	≦44	46		
配置 (注1) (注2)	[]				
	[]				

(注1) 数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

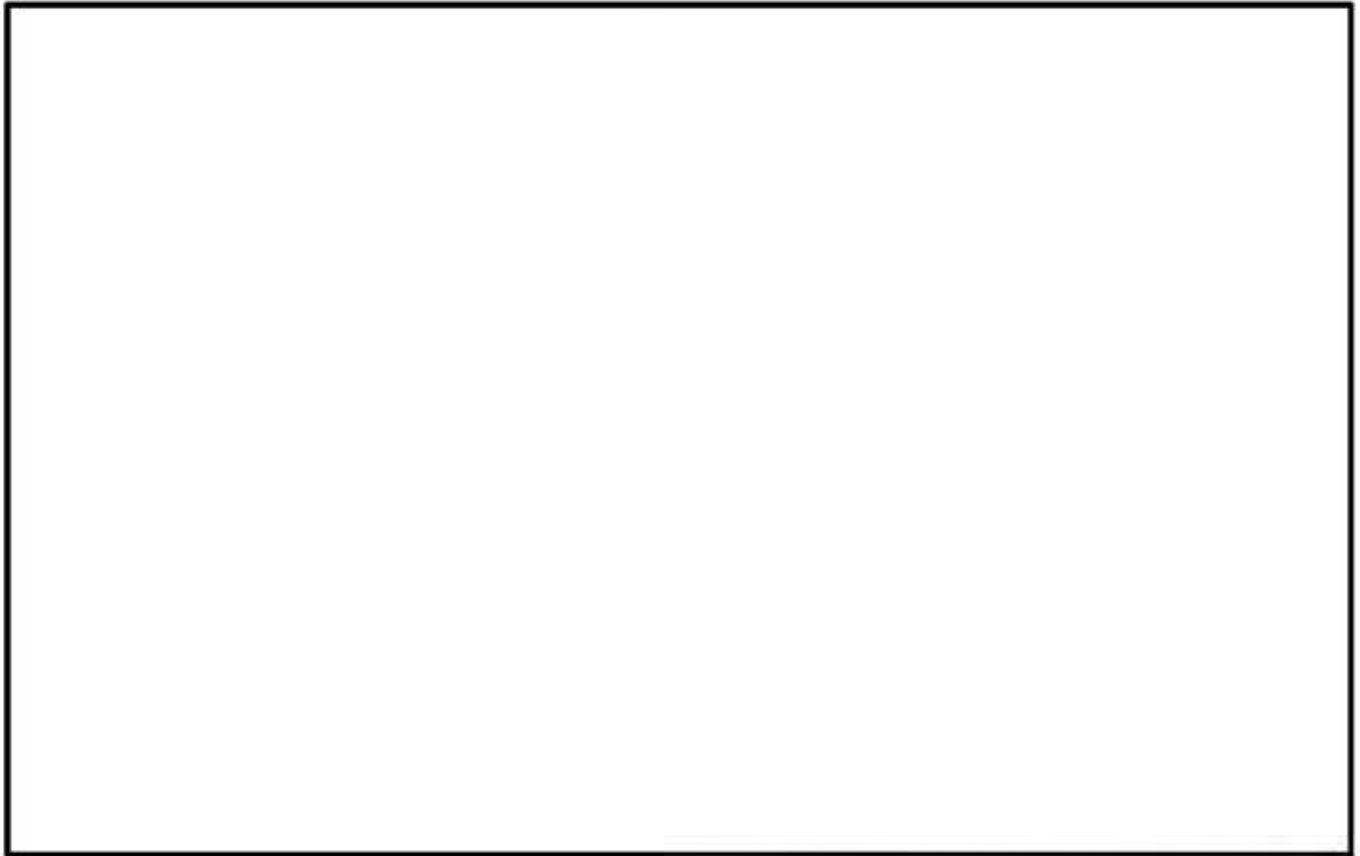
(注2) 中央部の最高燃焼度は48GWd/t、外周部の最高燃焼度は44GWd/tであり、遮蔽解析においては、最高燃焼度の燃料集合体が収納されている条件とした。なお、17×17燃料と15×15燃料はMSF-24P(S)型に混載しないが、48,000MWd/tと39,000MWd/t、及びA型とB型は区別なく同一キヤスクへ混載可能である。

第1表 (2/2) 遮蔽解析における収納物条件の概要

項目		15×15燃料		解析条件	
		キヤスタク収納位置制限		中央部	外周部
収納物仕様	種類	中央部	外周部	中央部	外周部
		48,000MWd/t型 (A型・B型)	48,000MWd/t型 (A型・B型)	48,000MWd/t型 (A型, B型)	48,000MWd/t型 (A型, B型)
	初期濃縮度 (wt%)	≤4.1			
	ウラン重量 (kg)	[]			
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48	≤44	48	44
	冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥17			
	最高燃焼度 (GWd/t)	[]			
	冷却期間 (年)	[]			
	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		46	
	配置 (注1) (注2)				

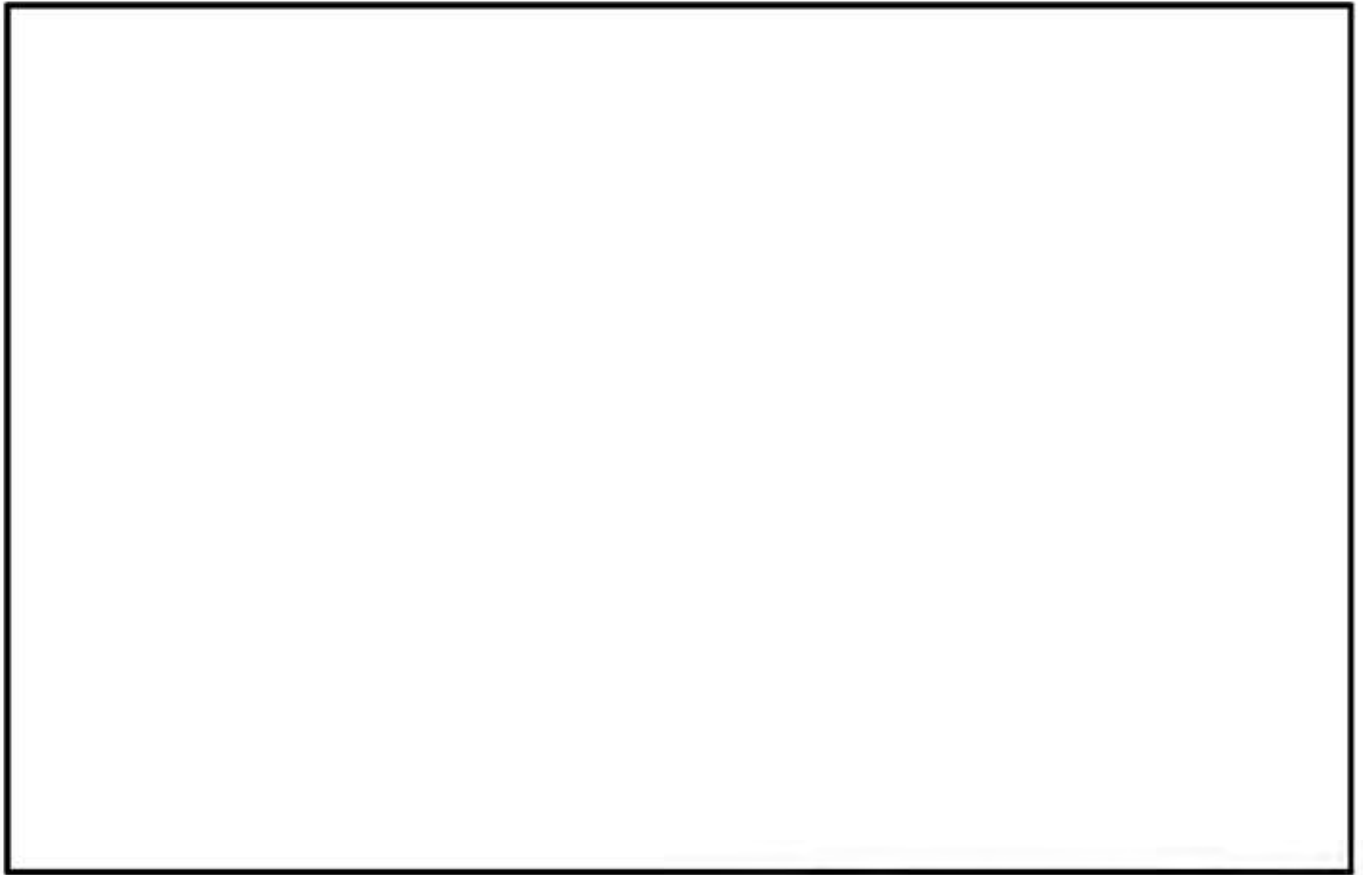
(注1) 数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

(注2) 中央部の最高燃焼度は48GWd/t、外周部の最高燃焼度は44GWd/tであり、遮蔽解析においては、最高燃焼度の燃料集合体が収納されている条件とした。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ヤスタクへ混載可能である。



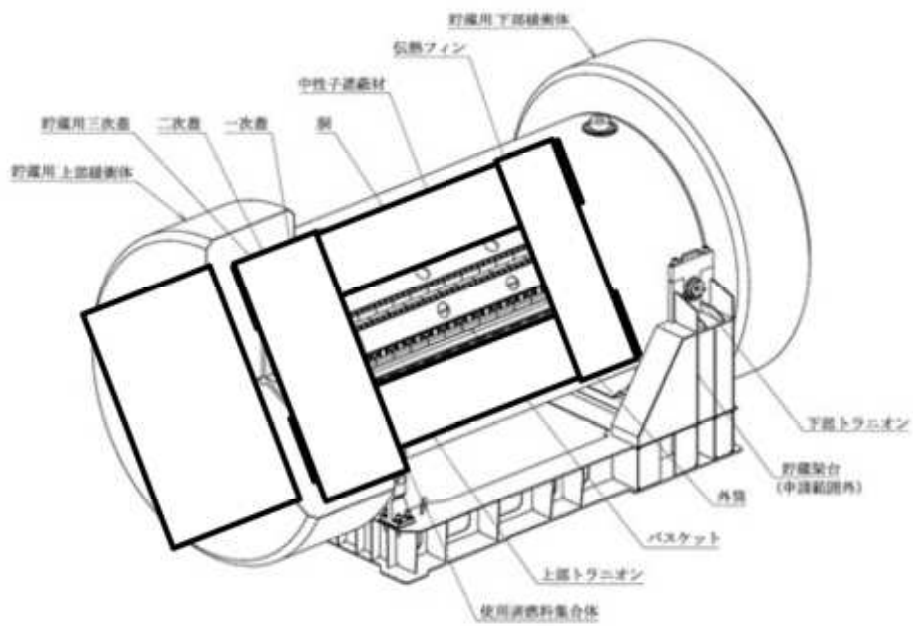
--- 相対燃焼度分布設定値

第2図 (1/2) 軸方向燃焼度分布の設定 (17×17 燃料)



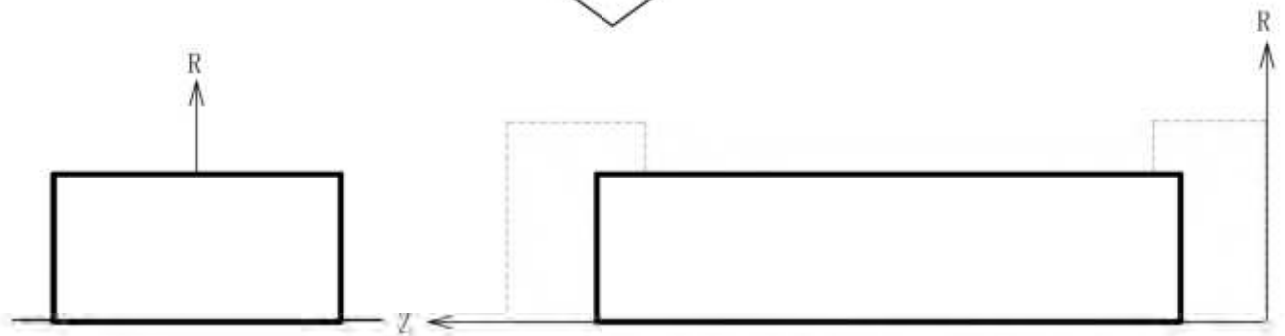
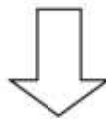
----- 相対燃焼度分布設定値

第2図 (2/2) 軸方向燃焼度分布の設定 (15×15 燃料)



[実形状]

二次元モデル化

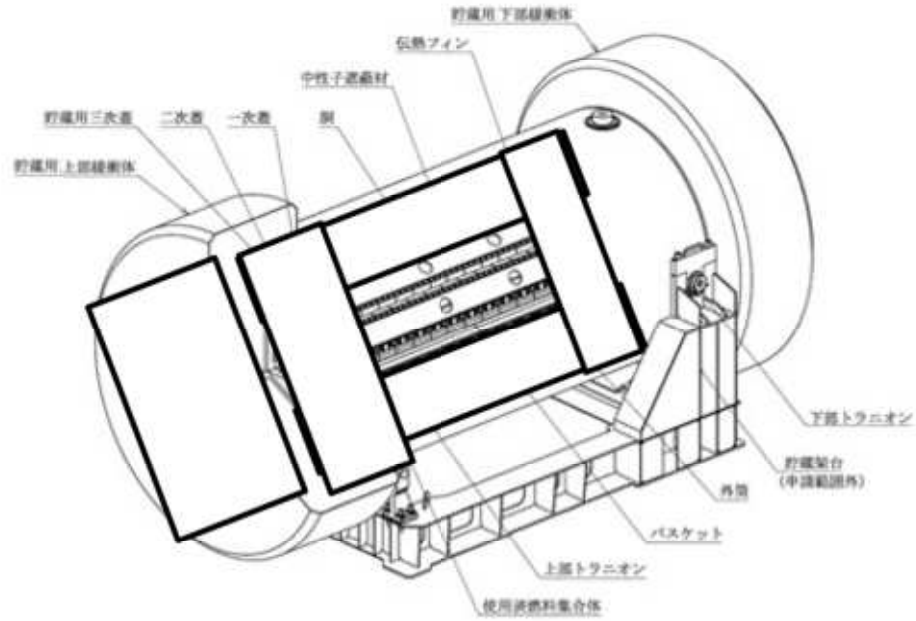


[遮蔽解析モデル化 (二次元体系 (R-Z 体系))]

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)

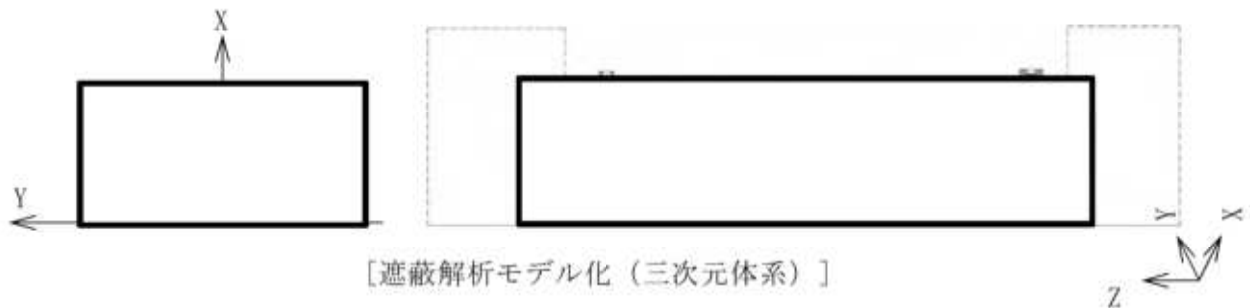
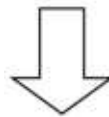
第3図 (1/2) 遮蔽解析モデル化概要 (二次元モデル)

(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



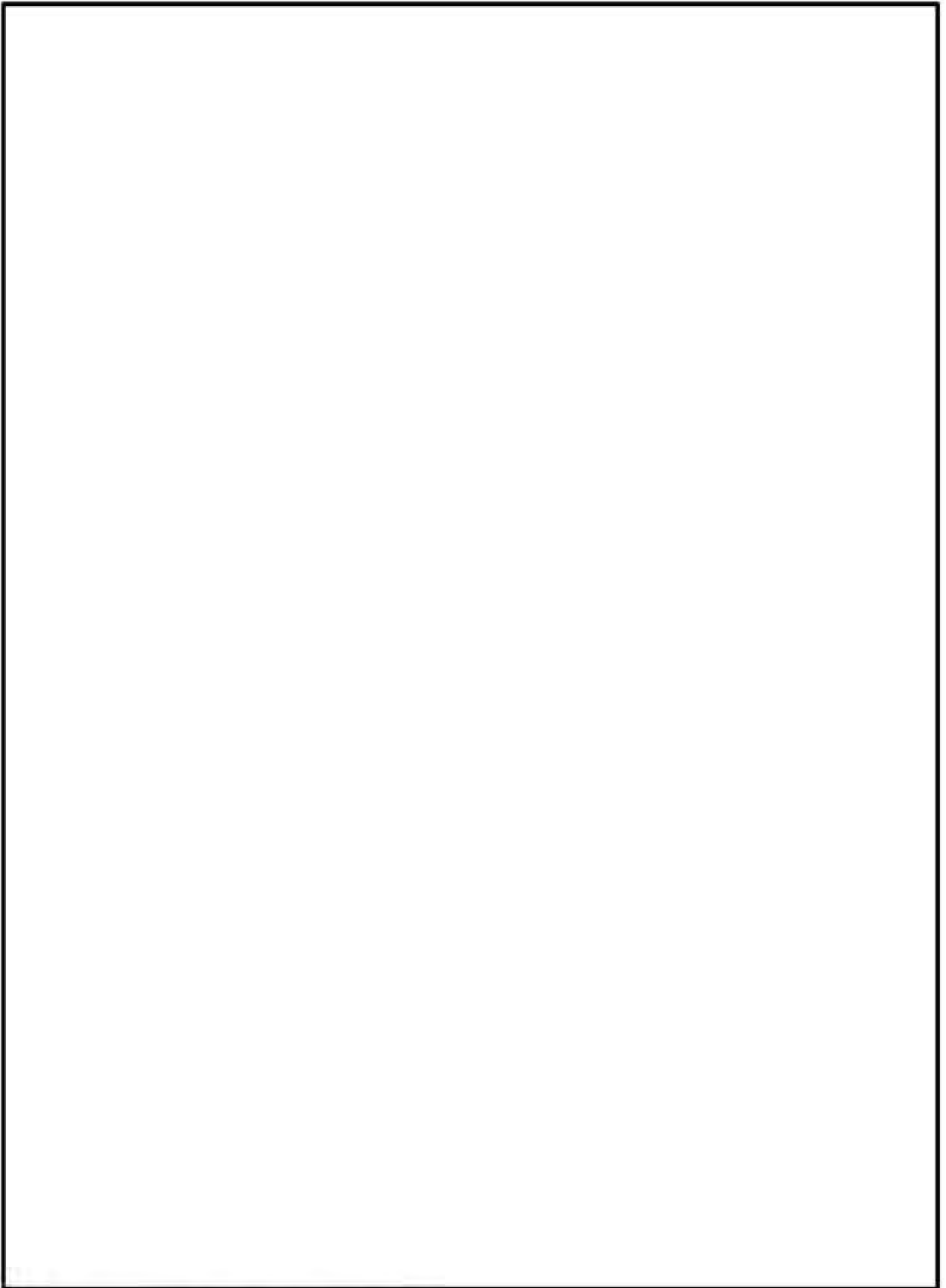
[遮蔽解析モデル化 (三次元体系)]

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。

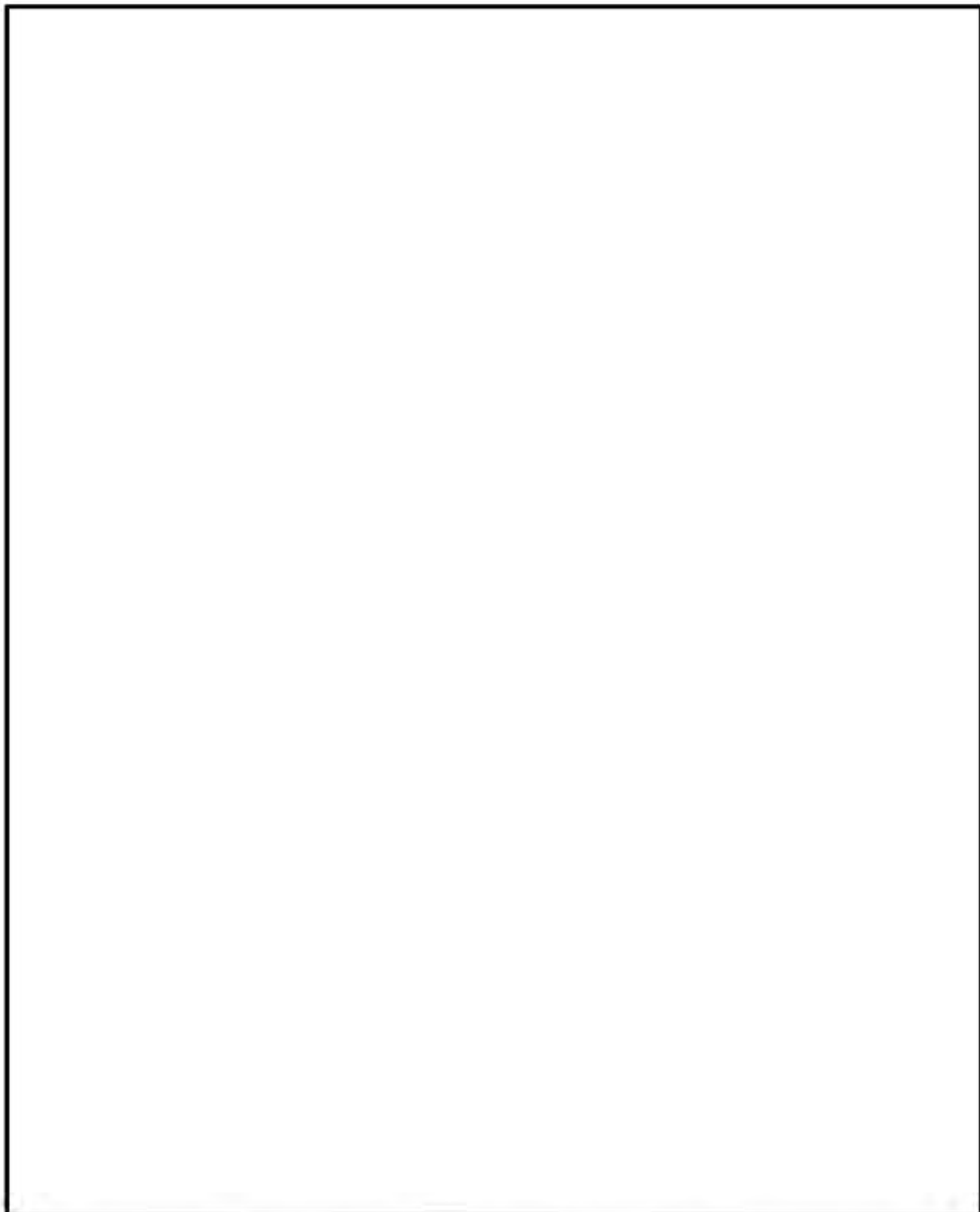
燃料有効部中央	燃料有効部外周
燃料上部構造材中央	燃料上部構造材外周
燃料上部構造材中央	燃料上部構造材外周
燃料下部構造材中央	燃料下部構造材外周
バスケット領域	胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋部中性子遮蔽材カバー
中性子遮蔽材	トランニオン
伝熱フィン	貯蔵用三次蓋、底部中性子遮蔽材カバー、下部端板、バルブ部カバープレート、モニタリングポート部
真空	貯蔵用緩衝体 (空気)

第3図 (2/2) 遮蔽解析モデル化概要 (三次元モデル)

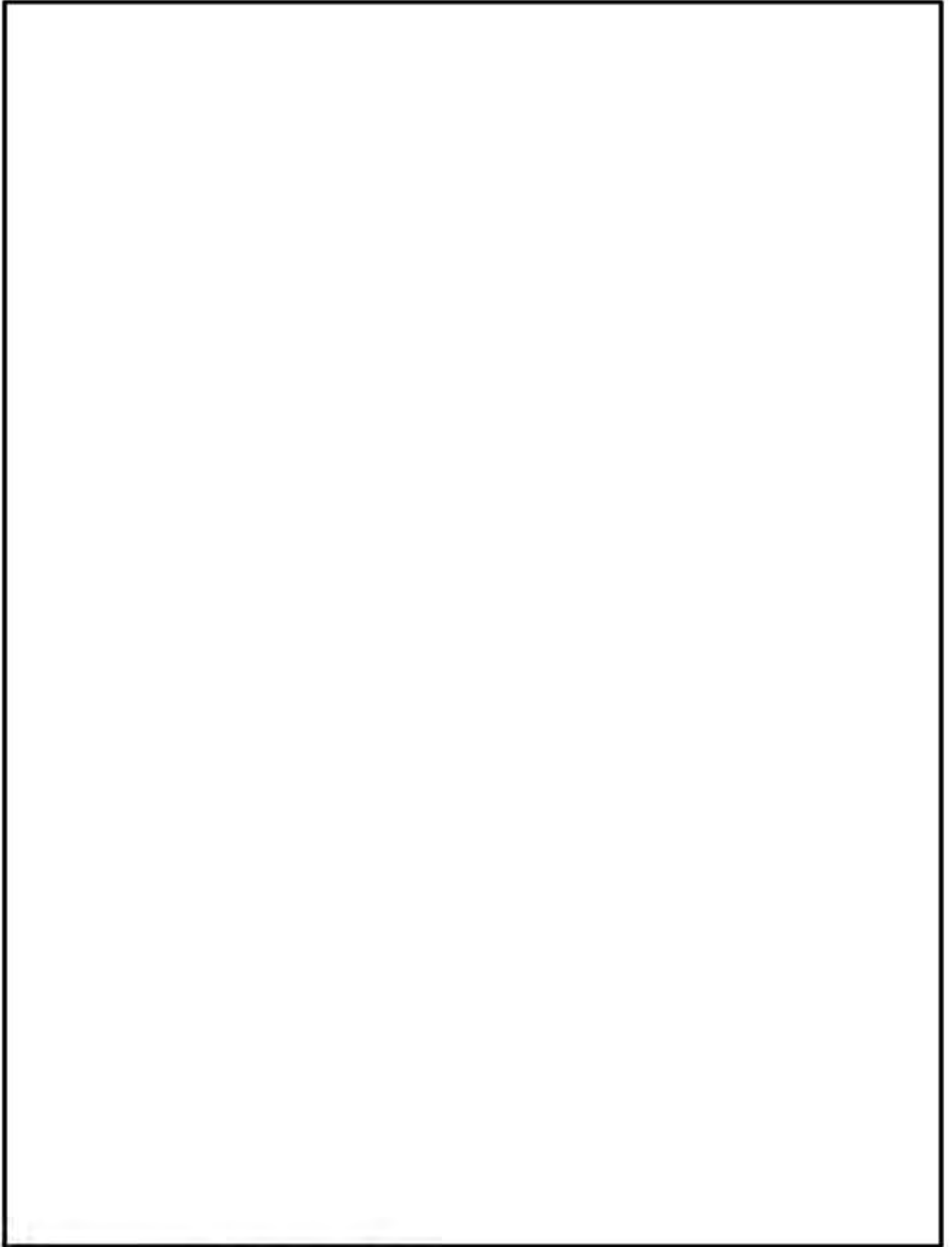
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の例)



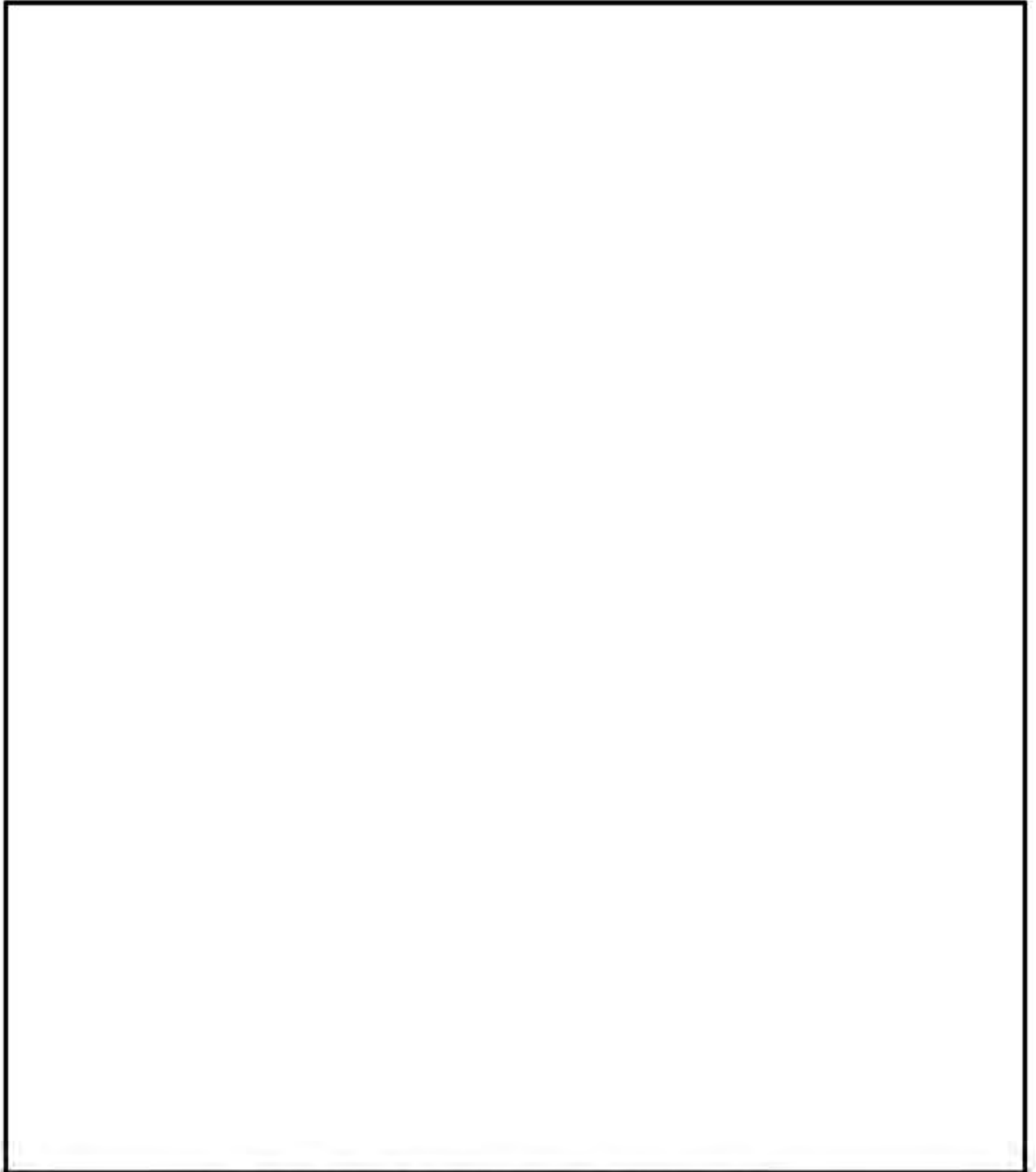
第4図 (1/7) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、頭部)
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



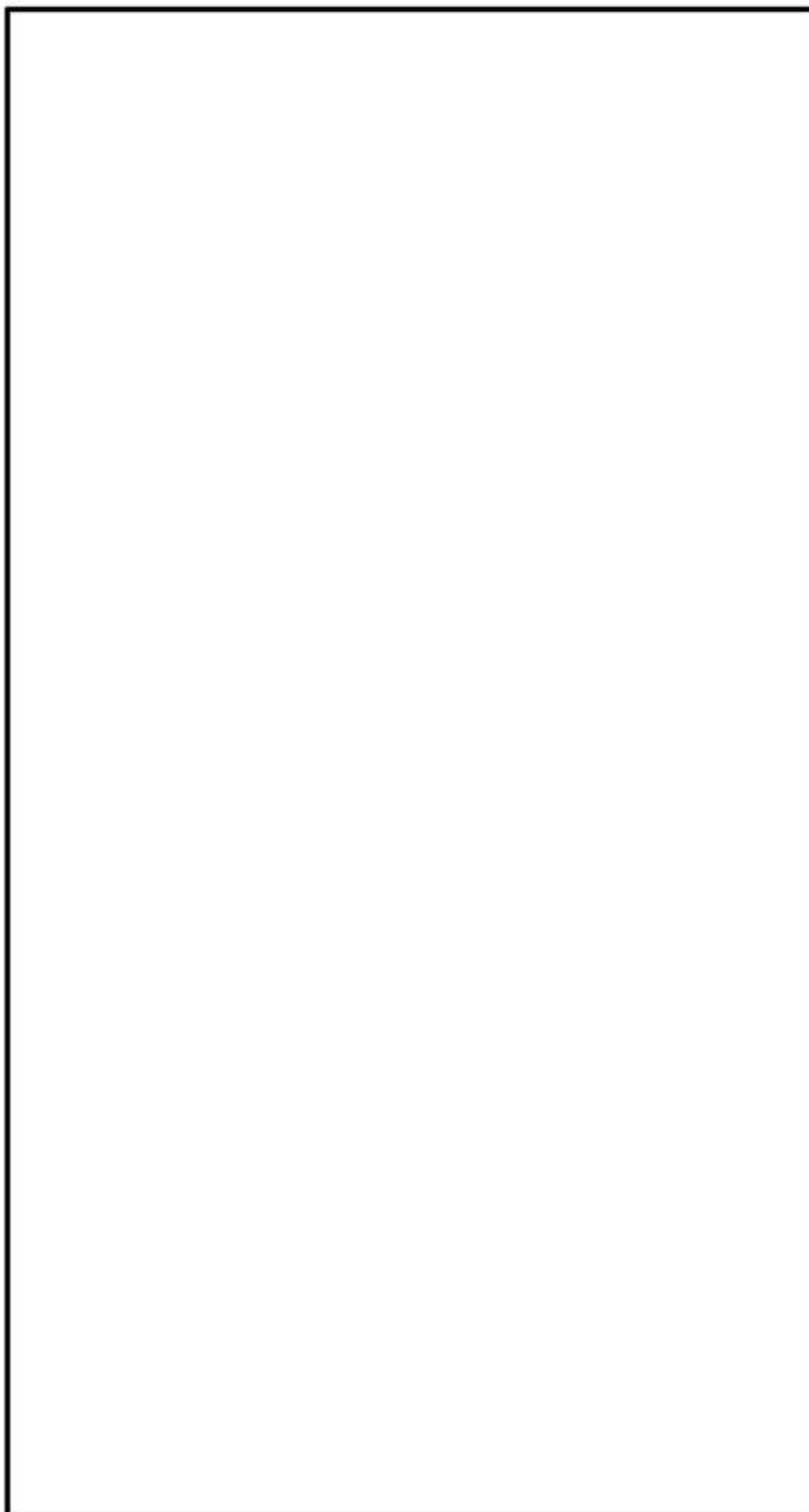
第4図 (2/7) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、頭部)
(基礎等に固定する設置方法)



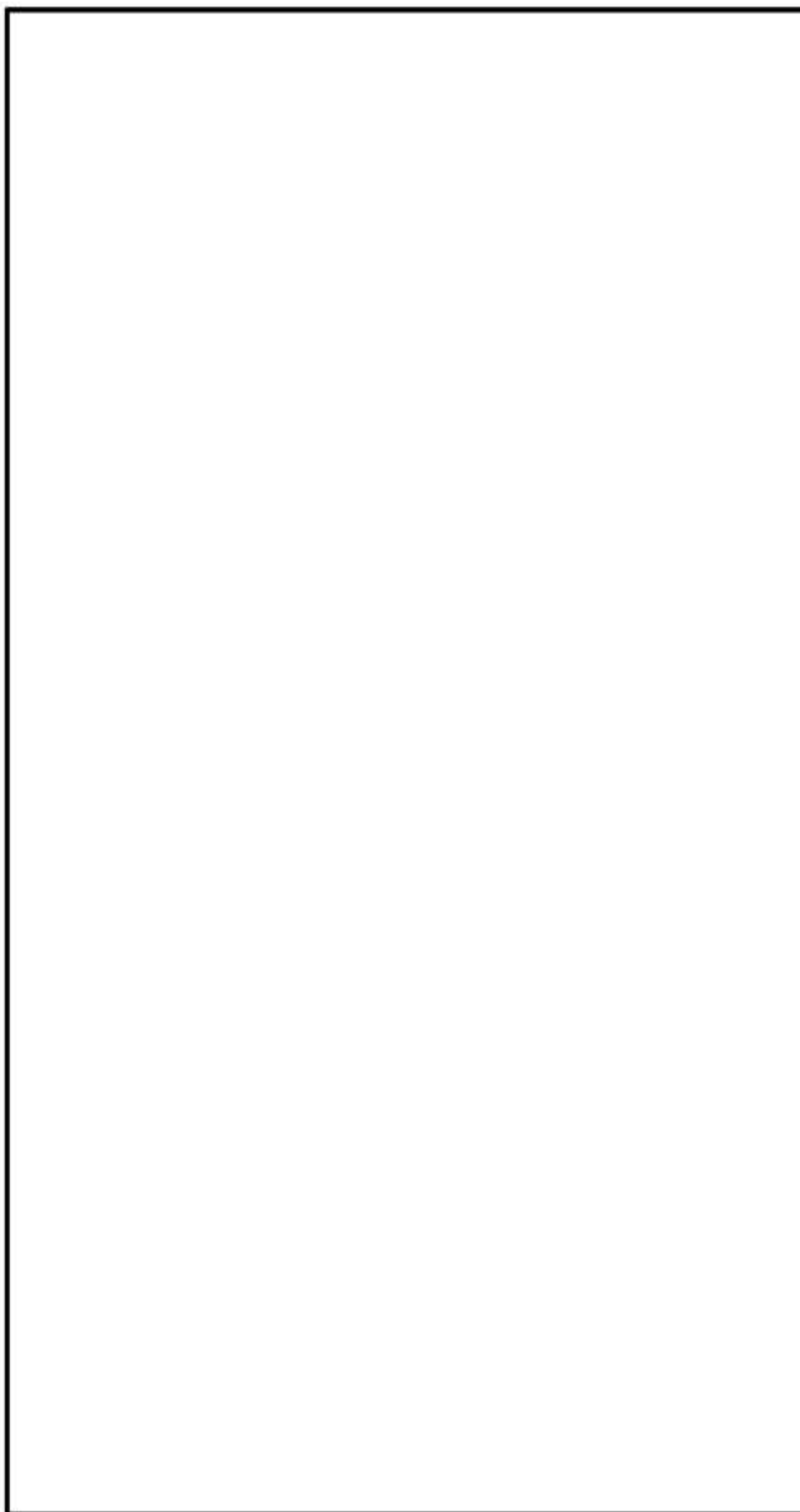
第4図 (3/7) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、底部)
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



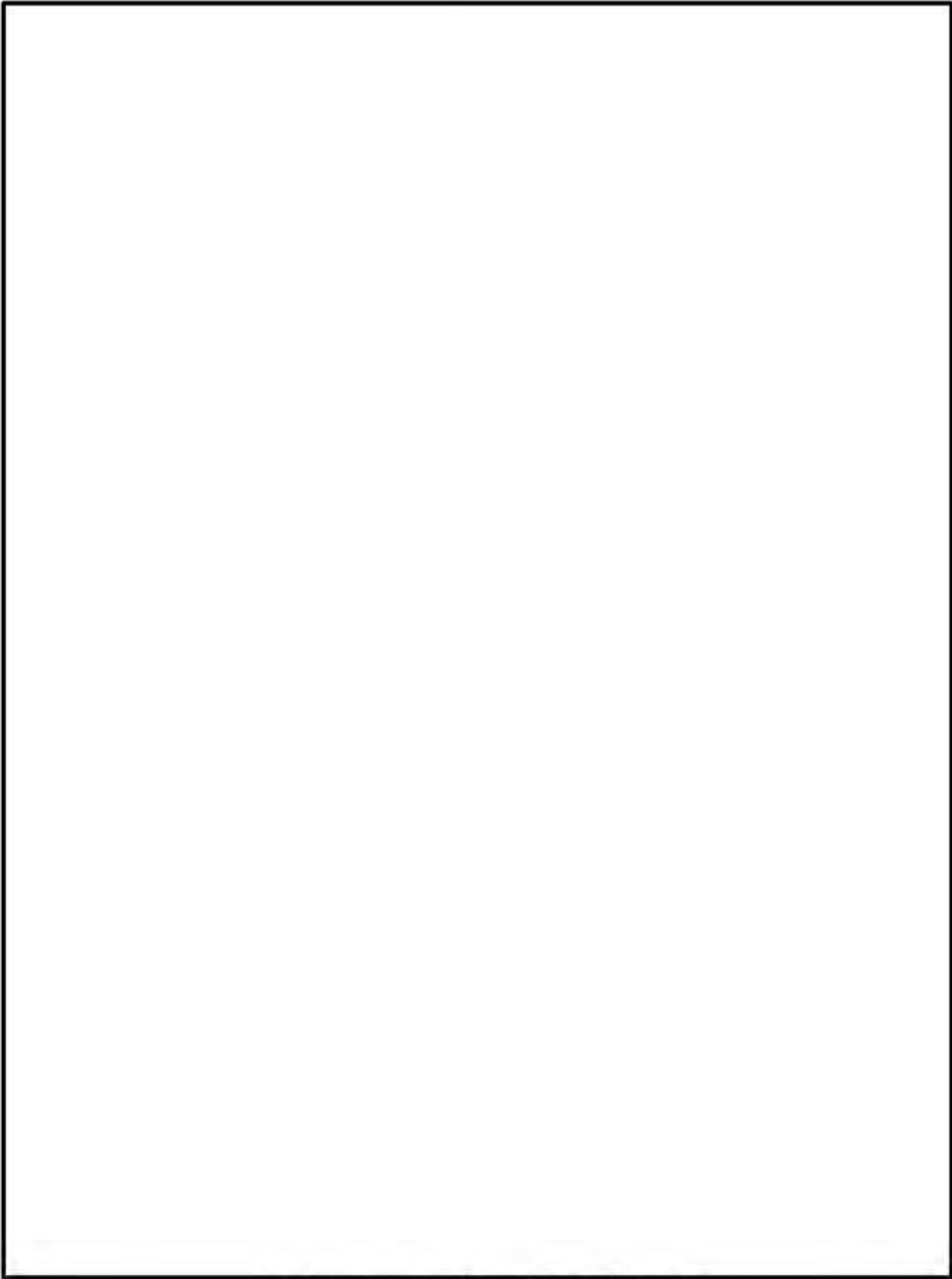
第4図（4/7） 遮蔽解析モデル（二次元モデル、底部）
（基礎等に固定する設置方法）



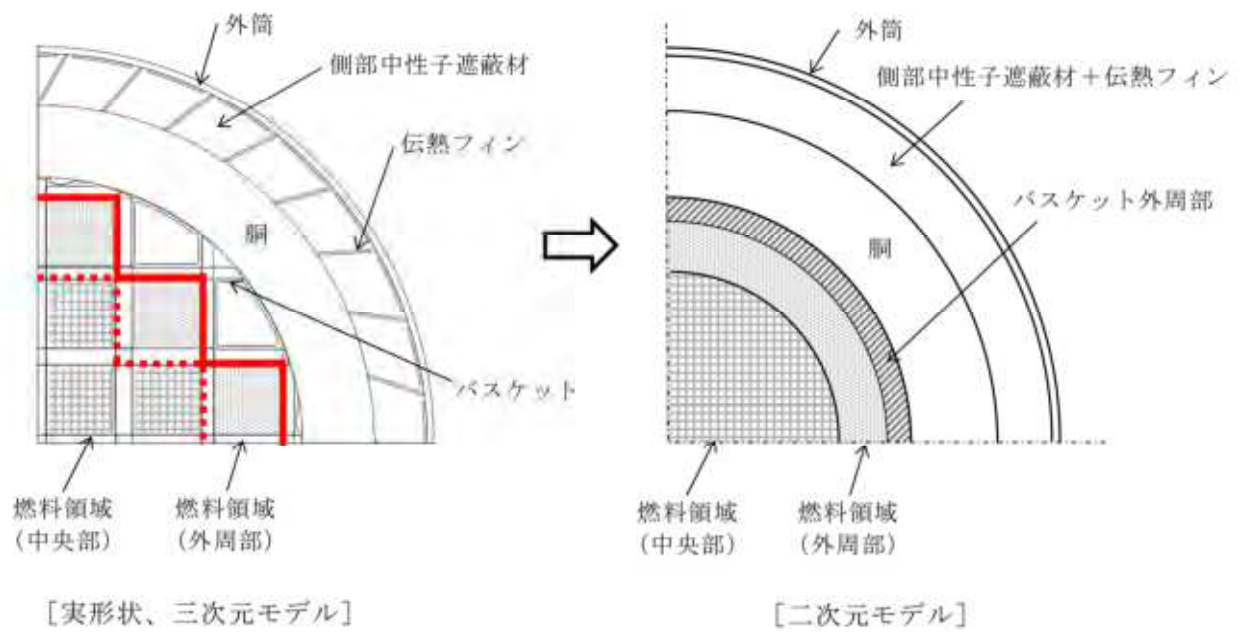
第4図 (5/7) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、上部トラフニオン部)



第4図 (6/7) 遮蔽解析モデル (二次元モデル、下部トラフニオン部)



第4図 (7/7) 遮蔽解析モデル (三次元モデル)
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



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。

第5図 キャスク中央断面の実形状と解析モデル

(7) 評価結果

MSF-24P(S)型の遮蔽評価結果を第2表に示す。

特定兼用キャスクの表面及び表面から1 m離れた位置における線量当量率は、評価基準を満たしている。

第2表(1/2) 線量当量率評価結果(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)

コード	項目	評価結果				評価基準	備考
		17×17燃料 収納時		15×15燃料 収納時			
		A型	B型	A型	B型		
DOT3.5	表面 線量当量率	1.14 mSv/h	1.06 mSv/h	1.18 mSv/h	1.12 mSv/h	2 mSv/h 以下	線量当量率の詳細は、 第3表(1/12)から 第3表(4/12)に示す。 線量当量率の出力位置は、 第6図(1/12)から 第6図(4/12)に示す。
	表面から 1 m離れた 位置における 線量当量率	87 μSv/h	87 μSv/h	84 μSv/h	83 μSv/h	100 μSv/h 以下	
MCNP5	表面 線量当量率	0.789 mSv/h	0.580 mSv/h	0.805 mSv/h	0.560 mSv/h	2 mSv/h 以下	線量当量率の詳細は、 第3表(5/12)から 第3表(8/12)に示す。 線量当量率の出力位置は、 第6図(5/12)から 第6図(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	85 μSv/h	83 μSv/h	83 μSv/h	79 μSv/h	100 μSv/h 以下	

第2表(2/2) 線量当量率評価結果(基礎等に固定する設置方法)

コード	項目	評価結果				評価基準	備考
		17×17燃料 収納時		15×15燃料 収納時			
		A型	B型	A型	B型		
DOT3.5	表面 線量当量率	1.83 mSv/h	1.72 mSv/h	1.92 mSv/h	1.83 mSv/h	2 mSv/h 以下	線量当量率の詳細は、 第3表(9/12)から 第3表(12/12)に示す。 線量当量率の出力位置は、 第6図(9/12)から 第6図(12/12)に示す。
	表面から 1 m離れた 位置における 線量当量率	86 μSv/h	86 μSv/h	85 μSv/h	82 μSv/h	100 μSv/h 以下	

(注) 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法結果より DOT3.5 コードによる評価を実施。

第3表 (1/12) 線量当量率評価結果 (17×17燃料 (A型) 収納時 D03.5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 (トランニオン部)		側部	径方向	径方向 (トランニオン部)	軸方向	
	①	③a	③b	⑤		⑦a	⑦b	⑨	
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	100.7	5.9	5.4	6.0	
		構造材放射化	0.2	0.6	25.9	15.0	13.4	35.9	
	二次ガンマ線	0.2	1.1	25.7	4.4	4.8	4.6		
	中性子	41.7	389.3	753.8	45.1	258.6	1108.3	25.2	
合計	42.2 (注2)	391.1 (注2)	870.5	197.4	283.9	<u>1131.9</u> [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	12.5	14.6	12.8	14.8
	二次ガンマ線	<0.1	5.4	5.4	10.4	5.8	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	<u>86.1</u> [87] (注1)	61.4	69.9	34.9		

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。

第3表 (2/12) 線量当量率評価結果 (17×17燃料 (B型) 収納時 003.5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 (トランニオン部)	径方向		径方向 (トランニオン部)	軸方向	
	①	③a	③b	⑦a		⑦b	⑨	
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	6.3	84.8	5.0	4.7	5.2
		構造材放射化	0.3	1.1	183.8	25.2	22.1	59.9
	二次ガンマ線	0.2	1.0	5.2	4.1	4.5	4.3	
	中性子	38.0	354.1	666.5	243.1	1021.8	23.7	
合計	38.6 (注2)	356.3 (注2)	861.8	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	24.8
	二次ガンマ線	<0.1	5.1	5.0	5.3	5.4	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。

第3表 (3/12) 線量当量率評価結果 (15×15燃料 (A型) 収納時 D03.5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 (トランニオン部)		側部	径方向		軸方向
	①	③a	③b	③a	⑤	⑦a	⑦b	⑨		
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	8.0	100.2	5.8	5.3	0.9	
		構造材放射化	0.2	0.5	75.3	18.8	8.8	7.9	1.8	
	二次ガンマ線	0.2	1.2	6.0	26.9	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	<u>1172.9</u> [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	22.5	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	<u>83.9</u> [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。

第3表 (4/12) 線量当量率評価結果 (15×15燃料 (B型) 収納時 D03.5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 (トランニオン部)	径方向	径方向	径方向 (トランニオン部)	径方向	径方向	径方向 (トランニオン部)
	①	③a	③b	⑤	⑦a	⑦b	⑨	⑩	⑩
表面	ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	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	25.1	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	13.7
	二次ガンマ線	<0.1	5.3	5.3	10.2	5.7	4.2	1.7	
	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。

第3表 (5/12) 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	⑤		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)	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2)	665.5	205.5	<u>789.7</u> (0.789) ^(注1)	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 ^(注2)	83.5	<u>84.3</u> (85) ^(注1)	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: 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。

第3表(6/12) 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		
表面	ガンマ線	燃料有効部	0.1 (2.5)	31.1 (1.6)	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)	85.9 (0.3)	31.1 (3.8)	63.3 (0.3)
	二次ガンマ線	0.2 (2.5)	8.4 (2.8)	10.7 (0.9)	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> <u>[0.580] (0.0)</u>	166.8	483.3	94.0		
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩		
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	0.1 (1.6)	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	19.7 (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> <u>[83] (0.1)</u>	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: mSv/h 、表面から1mでの単位: $\mu\text{Sv/h}$)。

第3表 (7/12) 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	軸方向	径方向	軸方向	径方向	
	①	③	⑤	⑦	⑨	⑩	
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)	0.9 (1.2)
		構造材放射化	0.1 (2.1)	114.3 (1.2)	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)	25.5 (1.0)	12.8 (2.0)	1.3 (3.0)	
	中性子	45.3 (1.7)	464.4 (0.7)	43.4 (0.5)	655.2 (0.9)	56.3 (1.8)	
	合計	45.8	650.6	196.3	<u>804.4</u> <u>[0.305] (注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	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	<u>82.9</u> <u>[83] (注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: mSv/h , 表面から1mでの単位: $\mu\text{Sv/h}$)。

第3表(8/12) 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 表面	燃料有効部	0.1 (2.9)	30.6 (1.5)	85.7 (0.5)	37.6 (3.6)
	構造材放射化	0.2 (0.9)	164.5 (0.7)	14.9 (0.5)	21.8 (3.6)
	二次ガンマ線	0.2 (1.6)	8.5 (0.7)	23.1 (0.5)	9.9 (2.9)
	中性子	40.5 (0.7)	355.7 (0.6)	40.6 (0.4)	435.6 (1.9)
合計	41.0	<u>559.3</u> [0.560] (注1)	164.3	504.9	66.6
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)	20.4 (0.3)	21.3 (0.6)
	構造材放射化	0.2 (0.9)	25.5 (0.7)	23.3 (0.6)	9.2 (0.9)
	二次ガンマ線	0.2 (2.1)	4.8 (0.3)	5.3 (0.3)	5.2 (0.4)
	中性子	20.1 (0.5)	29.8 (0.6)	27.0 (0.5)	27.2 (0.8)
合計	20.6	<u>78.2</u> [79] (注1)	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: $\mu\text{Sv/h}$)。

第3表 (9/12) 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	径方向 (トランニオン部)		径方向	径方向 (トランニオン部)	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	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	<u>1825.3</u> [1.83] (注1)	1131.9	1131.9	223.9 (注2)	
表面から1m	ガンマ線	燃料有効部	0.3	22.5	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	<u>86.0</u> [86] (注1)	76.0	83.1	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。

第3表(10/12) 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 (トランニオン部)	径方向		径方向 (トランニオン部)	軸方向	
	①	③a	③b	⑦a		⑦b	⑨	
表面 ガンマ線	燃料有効部	<0.1	<0.1	6.3	84.8	4.7	<0.1	
	構造材放射化	1.0	1.9	183.8	17.2	22.1	0.5	
	二次ガンマ線	0.8	2.1	5.2	23.8	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	19.2	20.4	7.6	4.3	
	構造材放射化	5.7	30.6	32.0	29.6	9.7	48.2	
	二次ガンマ線	0.4	5.1	5.0	5.3	2.7	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。

第3表 (111/12) 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 (トランニオン部)	径方向		径方向 (トランニオン部)	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	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	<u>1911.2</u> [<u>1.92</u>] (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	<u>85.0</u> [<u>85</u>] (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。

第3表(12/12) 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)

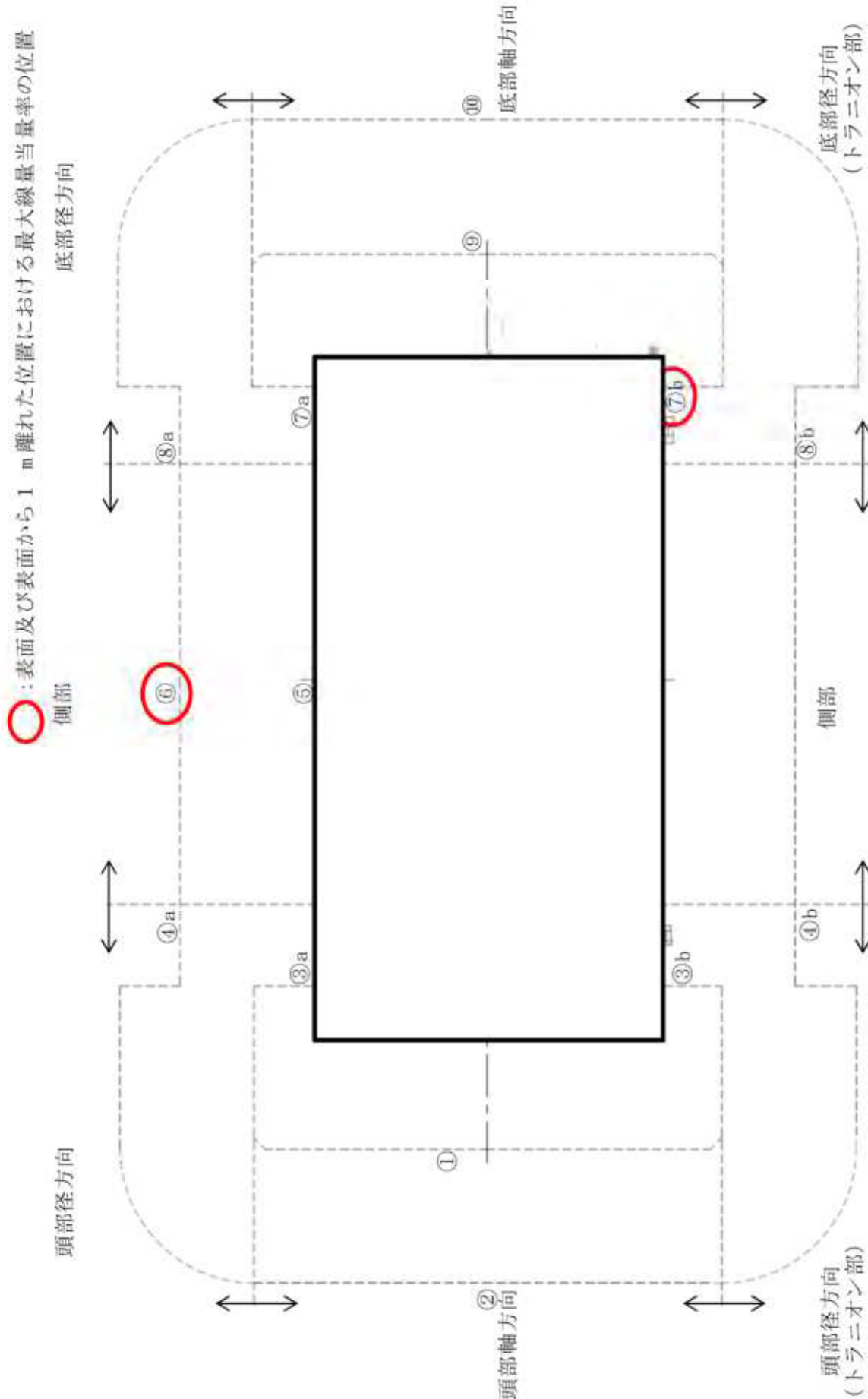
(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

評価点	頭部			側部	底部		
	軸方向	径方向	径方向 (トランニオン部)		径方向	径方向 (トランニオン部)	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	4.7	<0.1
		構造材放射化	0.4	142.9	16.2	13.0	0.3
	二次ガンマ線	0.8	2.2	5.5	7.3	4.8	0.9
	中性子	322.0	770.8	689.2	44.2	1096.3	222.2
合計	323.3 (注2)	774.5 (注2)	843.7	170.7	<u>1828.3</u> [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	ガンマ線	燃料有効部	0.2	19.1	37.8	7.6	4.3
		構造材放射化	4.4	24.8	26.0	8.5	5.0
	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
合計	67.0	71.3	<u>81.7</u> [82] (注1)	74.4	74.3	<u>81.7</u> [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: $\mu\text{Sv/h}$)。

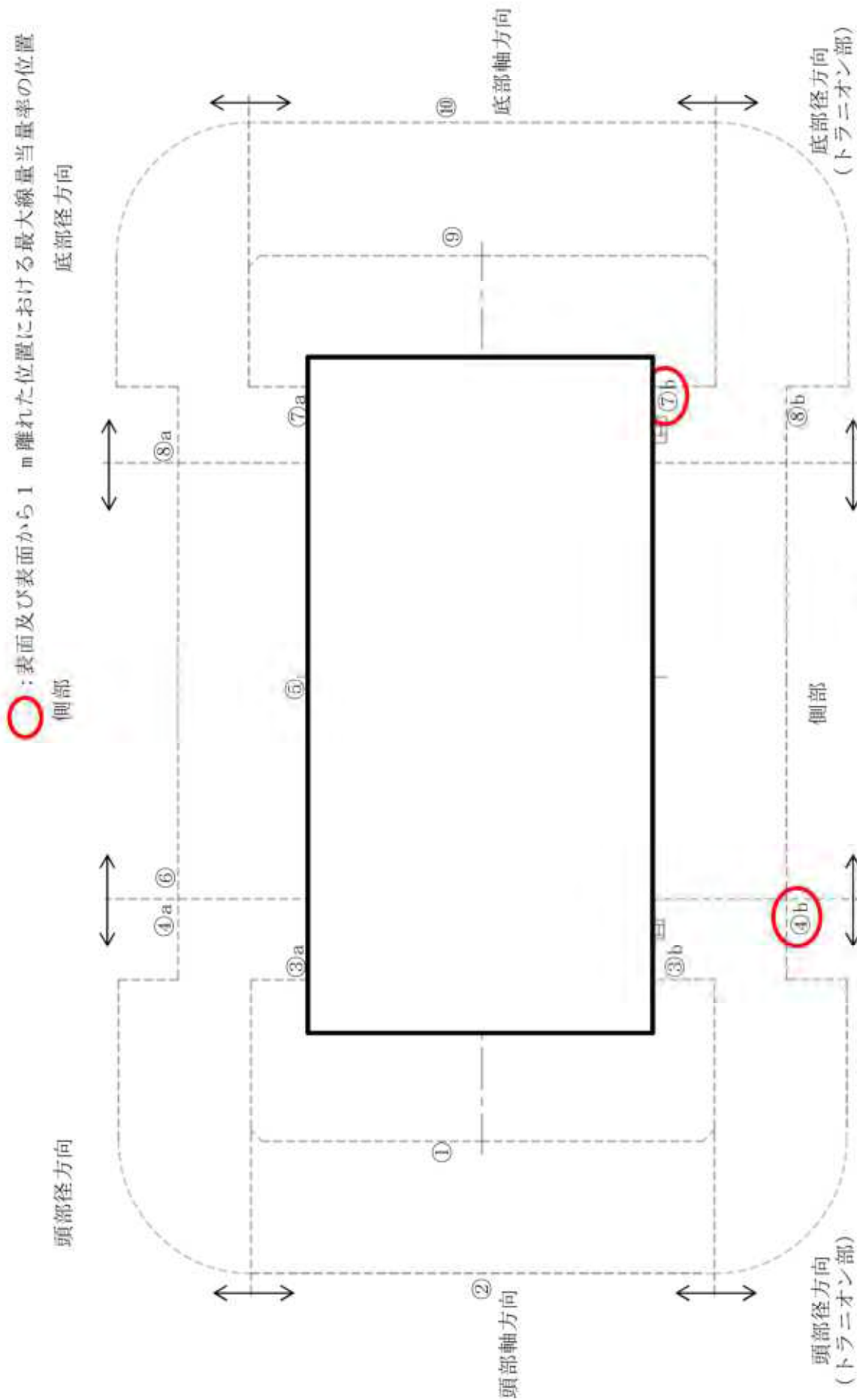
(注2) 0.1未満の値は0.1として合計に考慮した。



(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。

第6図 (1/12) 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

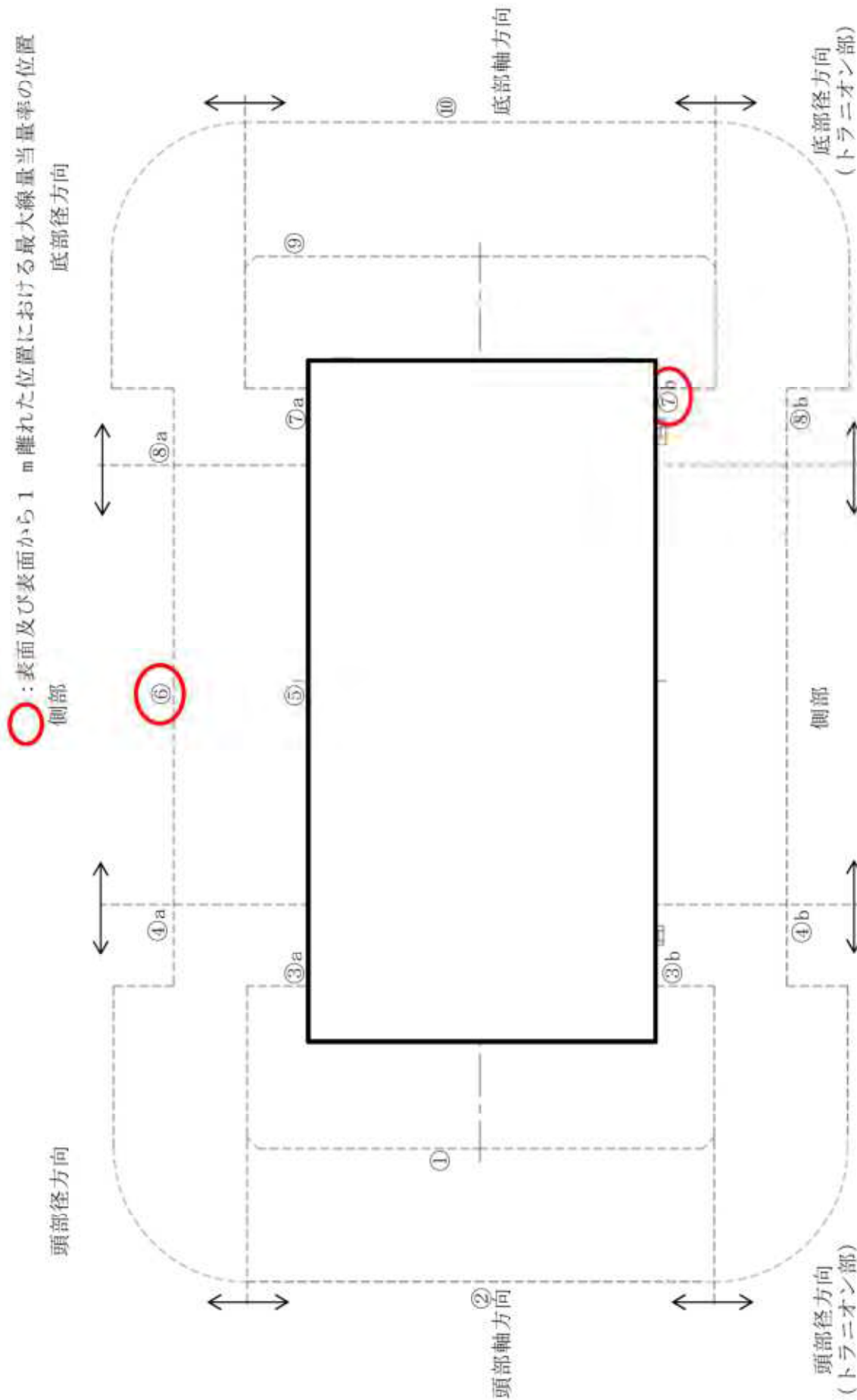
(17×17 燃料 (A 型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



(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。

第6図 (2/12) 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

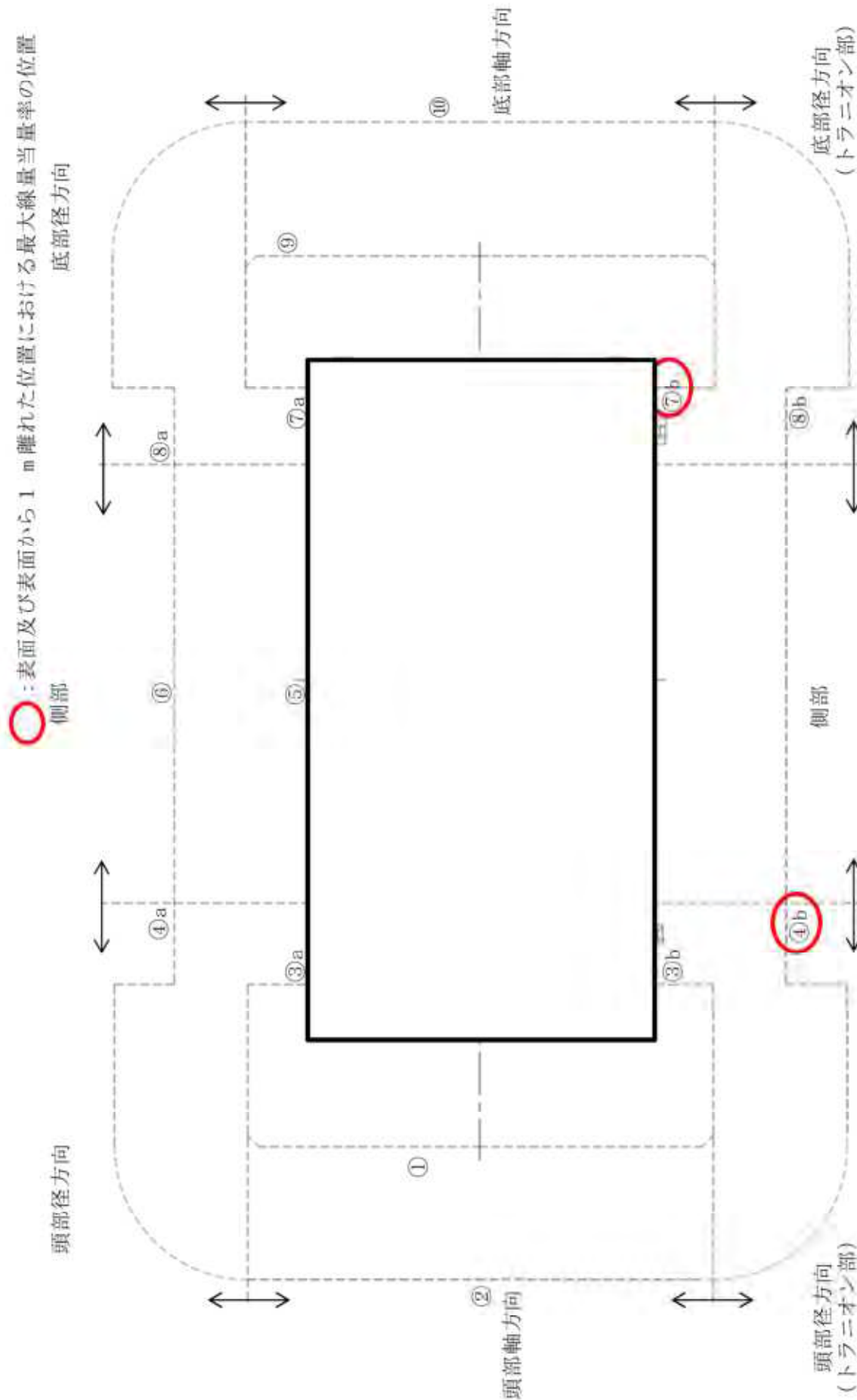
(17×17 燃料 (B型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



(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。

第6図 (3/12) 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

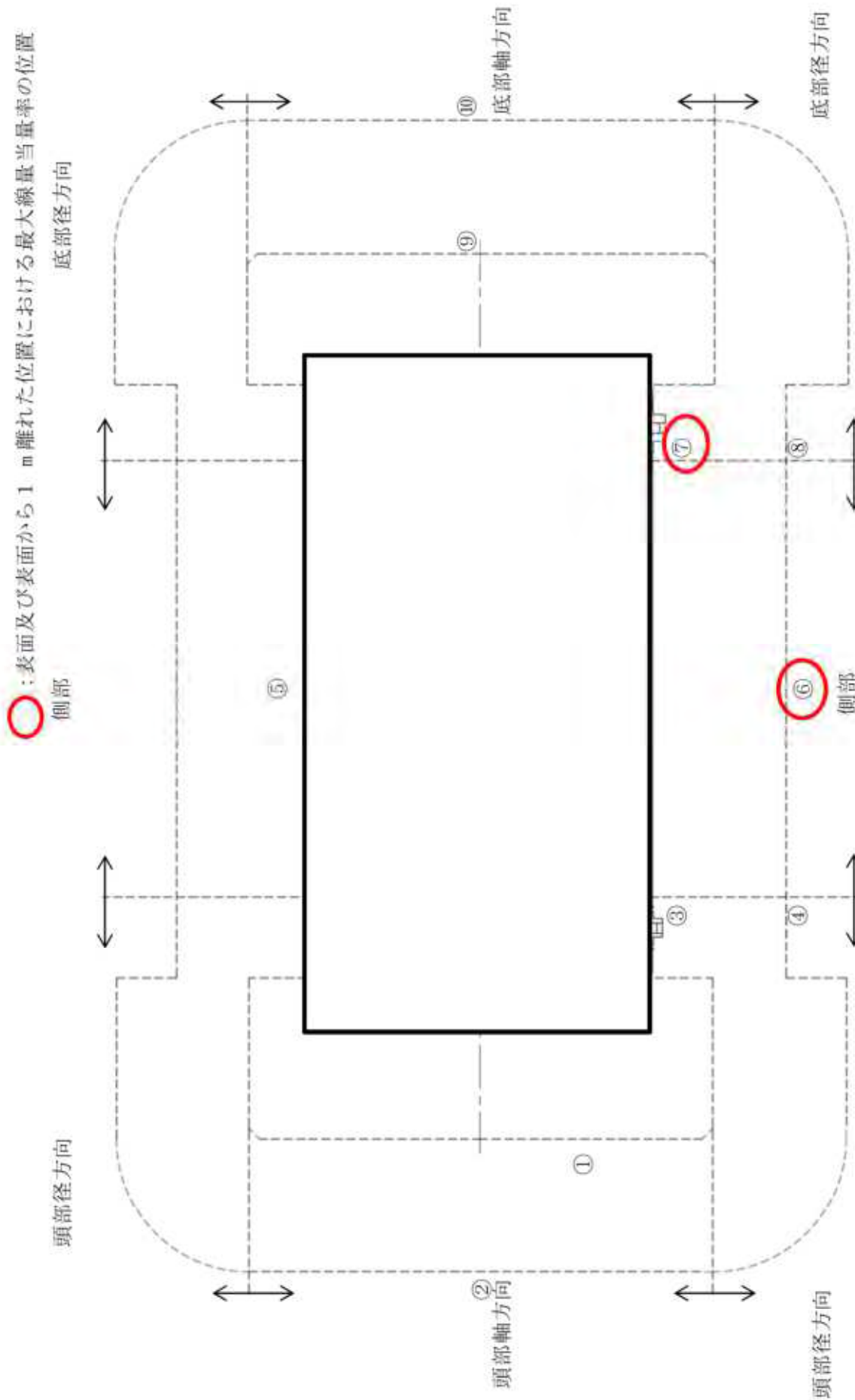
(15×15燃料 (A型) 収納時 DOT3.5コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



(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。

第6図 (4/12) 線量当量率評価点及び最大線量当量率位置

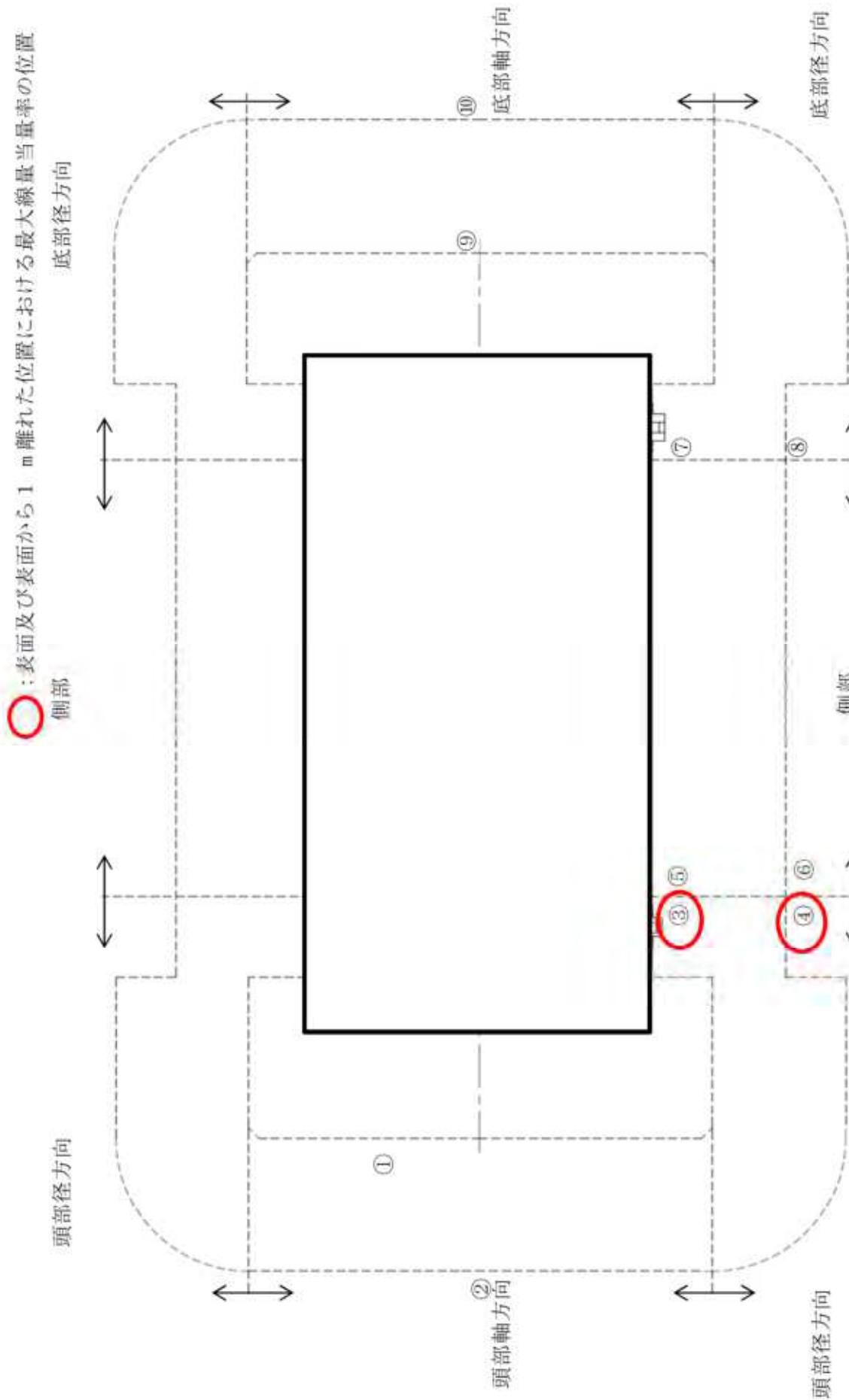
(15×15 燃料 (B型) 収納時 DOT3.5 コード、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法)



(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。

第6図 (5/12) 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)

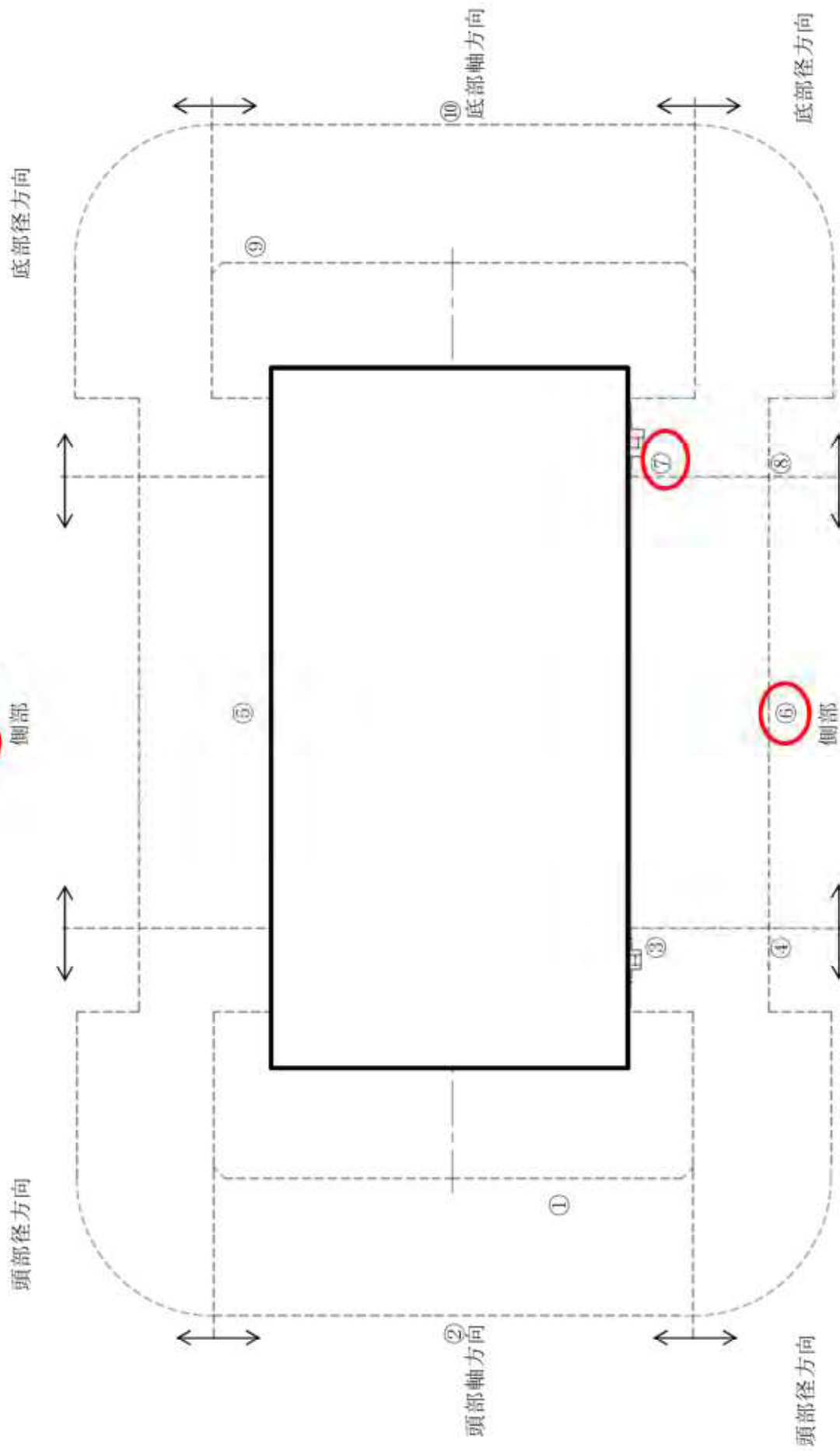


(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

第6図 (6/1.2) 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)

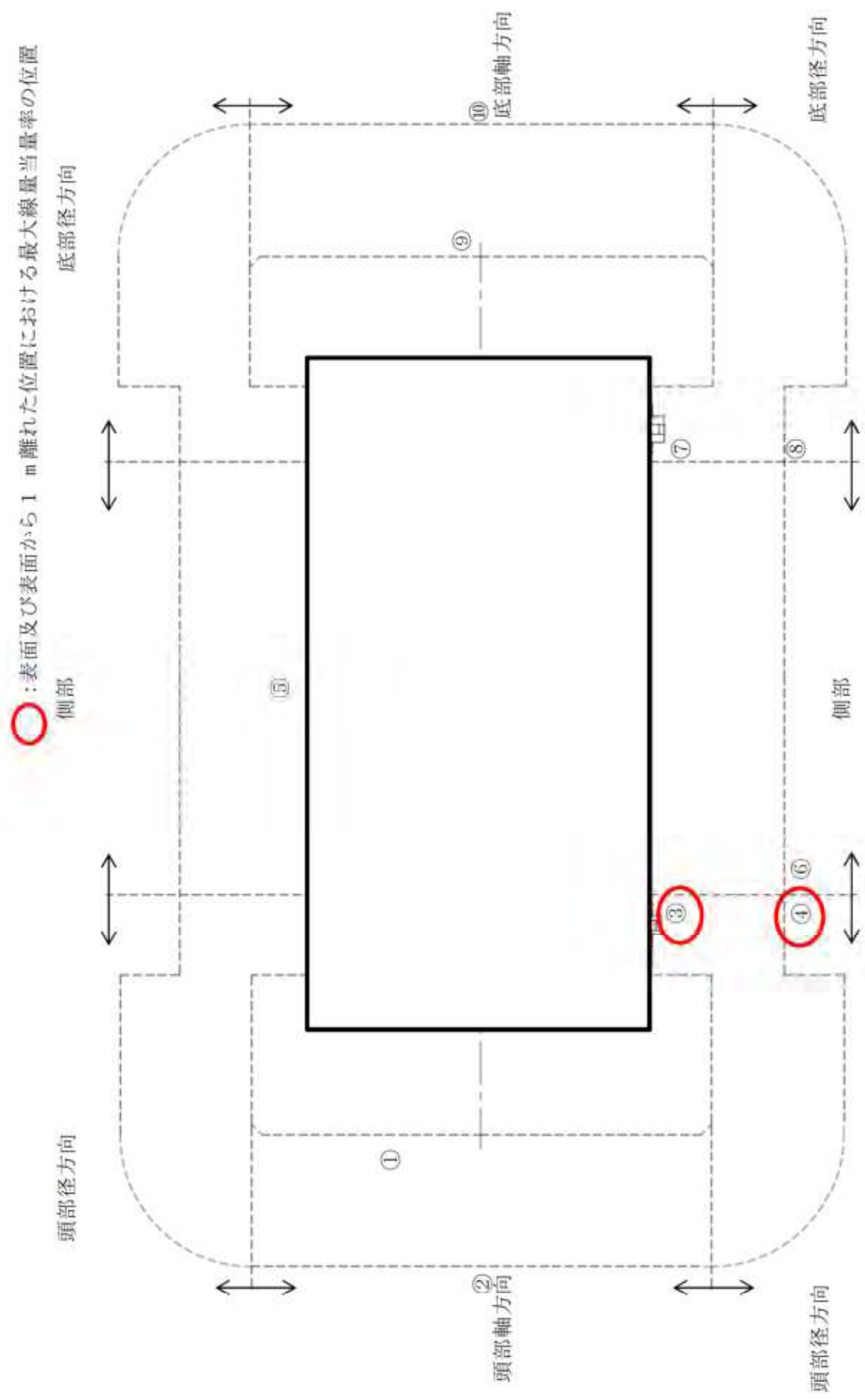
○ ; 表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率の位置
側部



(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。

第 6 図 (7 / 1 2) 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)

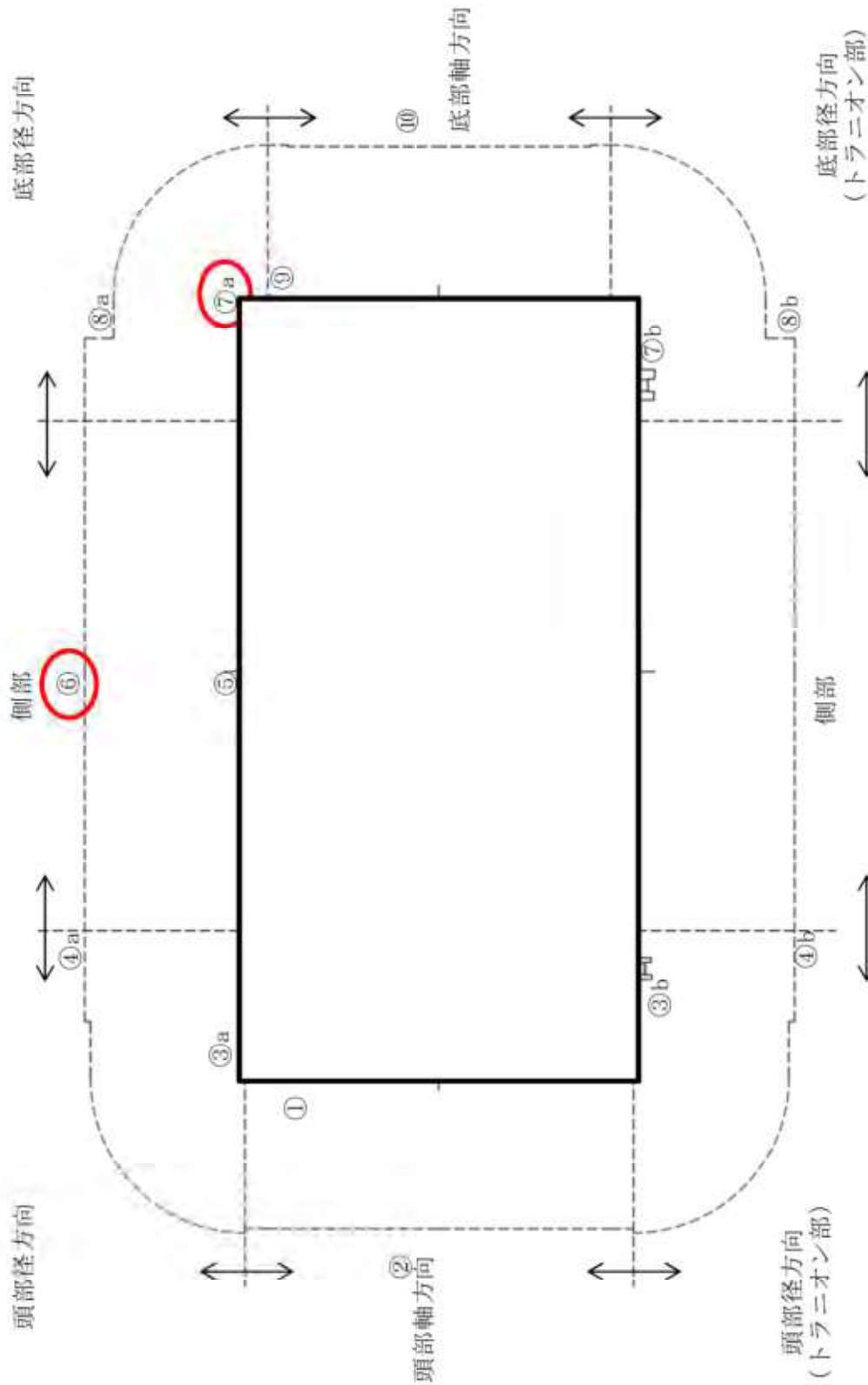


(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

第6図 (8/1.2) 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

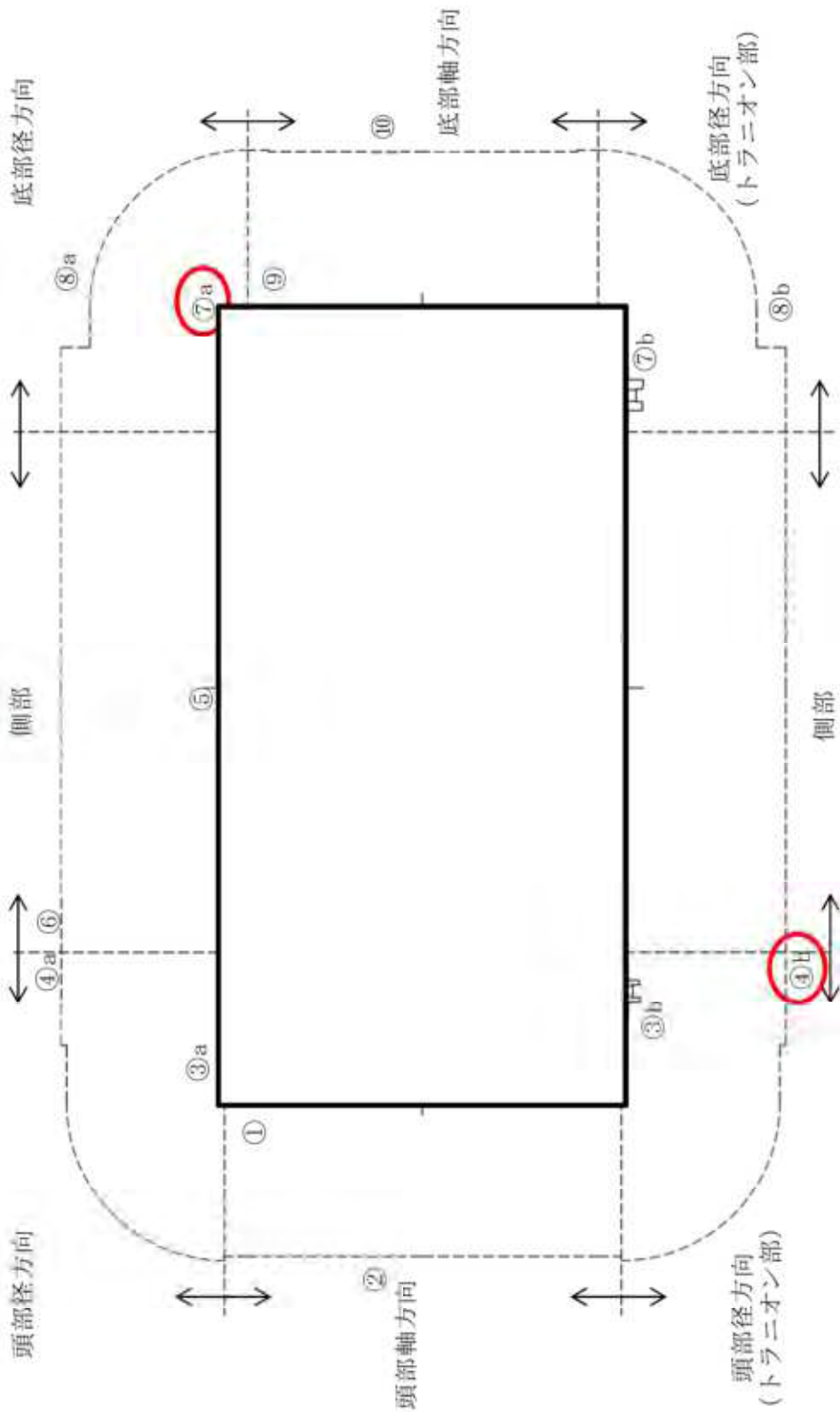


(注) ①~⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

第6図 (9/12) 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

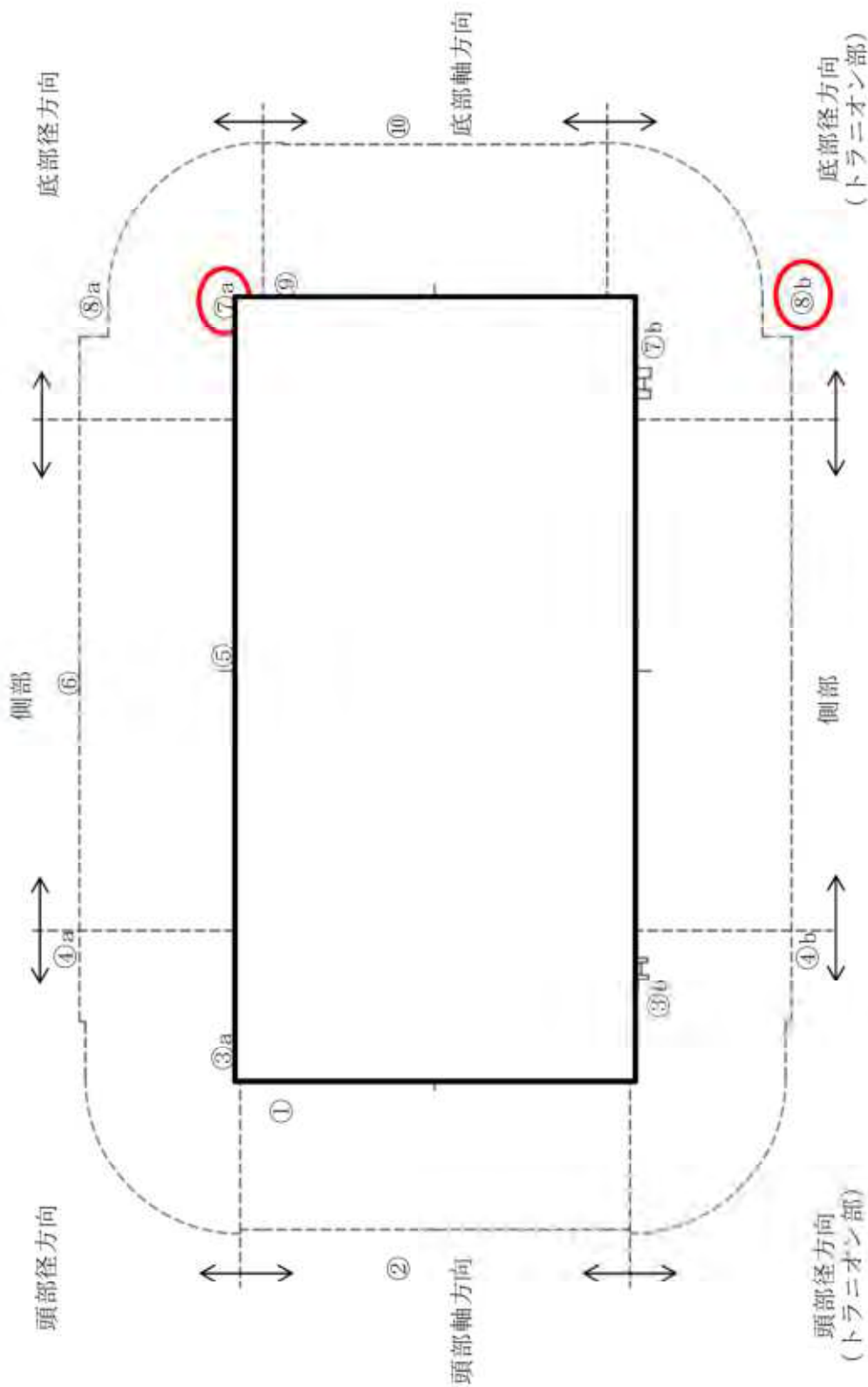


(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

第6図 (1.0/1.2) 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

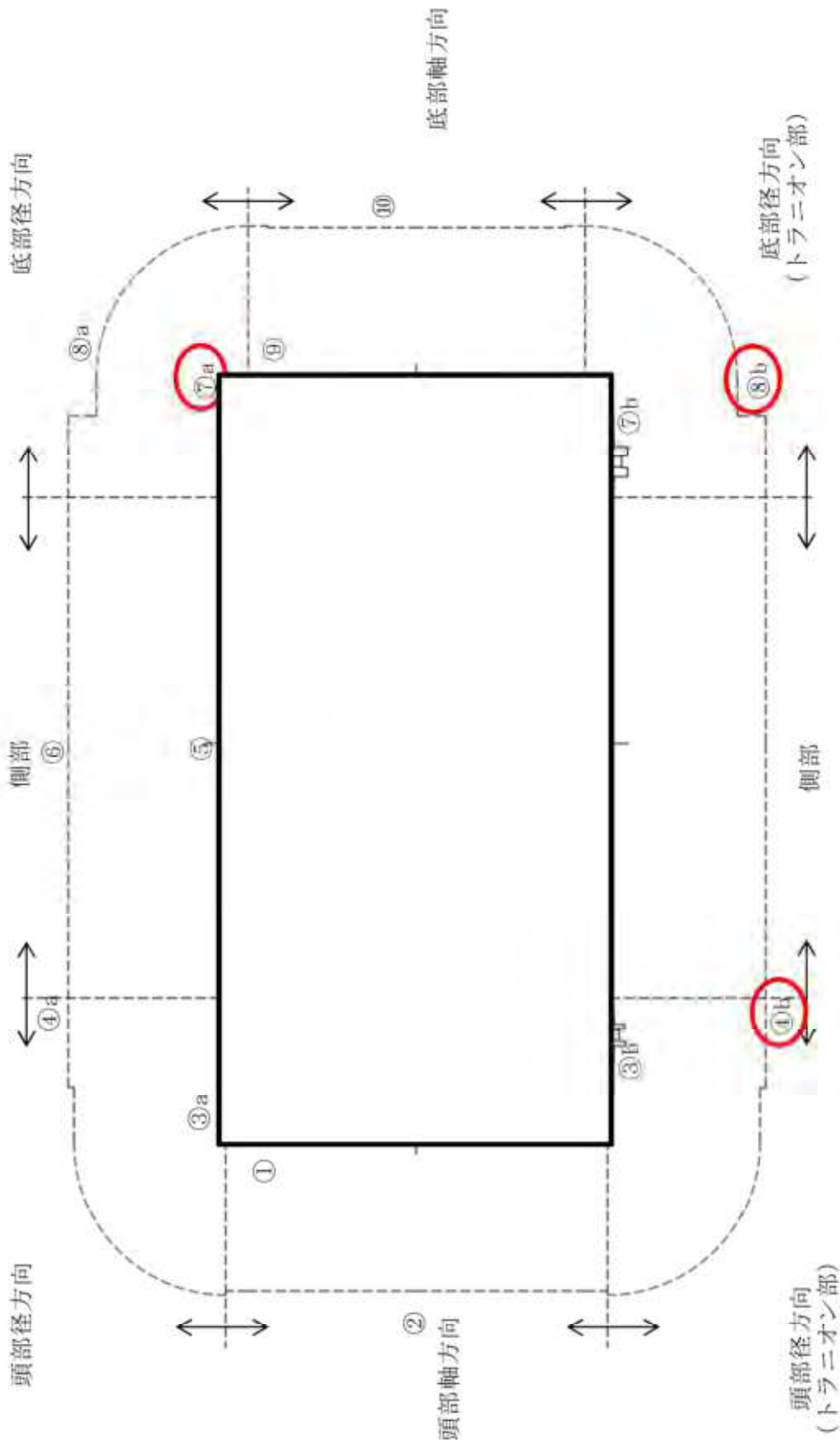


(注) ①～⑩の評価点位置は各方向での最大線量当量率となる位置を示している。

第6図 (11/12) 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。

第6図 (12/12) 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)

[確認内容]

3) 敷地境界における実効線量評価

① 直接線及びスカイシャイン線の評価

兼用キャスクが敷地境界に近い場所に設置される場合等に、使用済燃料から放出される中性子の敷地境界線量への寄与が大きくなる可能性があることを適切に考慮した上で、通常貯蔵時の直接線及びスカイシャイン線（ガンマ線及び中性子）による実効線量について評価すること。

② ソースターム

兼用キャスクの遮蔽機能データ又は兼用キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるよう放射線源強度を規格化したものを用いること。ここで、放射線源強度を規格化して用いる場合は、中性子 100%又はガンマ線 100%のいずれか保守的な線量評価とすること。また、中性子及びガンマ線の表面エネルギースペクトルは、保守的な線量評価となるものを使用すること。

③ 遮蔽解析コード等

検証され適用性が確認された遮蔽解析コード等を使用すること。なお、モンテカルロコードを用いる場合は、相互遮蔽効果、ストリーミング及びコンクリート深層透過の観点から検証され適用性が確認されたものであること。

④ 通常貯蔵時の線量

通常貯蔵時の直接線及びスカイシャイン線について、原子力発電所敷地内の他の施設からのガンマ線と兼用キャスクからの中性子及びガンマ線とを合算し、ALARA の考え方の下、敷地境界において実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となることを目標に、線量限度 (1mSv/y) を十分下回る水準とすること。

なお、兼用キャスク以外の施設の線量は、既評価の空気カーマ (Gy/y) を実効線量 (Sv/y) へ換算し、又は新たに実効線量 (Sv/y) を評価するものとする。換算に当たっては、係数を 1 とすること。

4) 応急復旧

貯蔵建屋等を設置する場合は、貯蔵建屋等の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、必要に応じて土嚢による遮蔽の追加等の適切な手段による応急復旧を行うことにより、工場等周辺の実効線量が敷地全体で線量限度 (1mSv/y) を超えないこと。この場合において、応急復旧による遮蔽機能の回復を期待する場合には、その実施に係る体制を適切に整備すること。

敷地境界における実効線量評価及び応急復旧は型式証明申請の範囲外（設置（変更）許可時の別途確認事項）である。

3. 使用する解析コード

MSF-24P(S)型の遮蔽設計に用いられる解析コードについて、その機能、計算方法、使用実績及び検証結果について説明する。

(1) ORIGEN2 コード

1) 概要

ORIGEN2 コード⁽¹⁾は、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された燃焼計算コードである。ORIGEN2 コードは公開コードであり、輸送容器の崩壊熱計算等に広く用いられている。

2) 機能

ORIGEN2 コードは、燃焼計算に際して以下の機能を有している。

- ① 燃料の炉内での燃焼計算、炉取出後の減衰計算により、冷却期間に対応した崩壊熱、放射線の強度、各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ② 原子炉の炉型と燃料の組合せに対し、中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリデータが内蔵されており、任意に選択できる。
- ③ 計算結果は、放射化生成物、アクチニド、核分裂生成物に分類して出力される。
- ④ 燃焼計算に必要な放射性核種のデータ(崩壊熱、ガンマ線のエネルギー分布、自発核分裂と (α, n) 反応により発生する中性子源強度等)は、ライブラリデータとしてコードに内蔵されている。

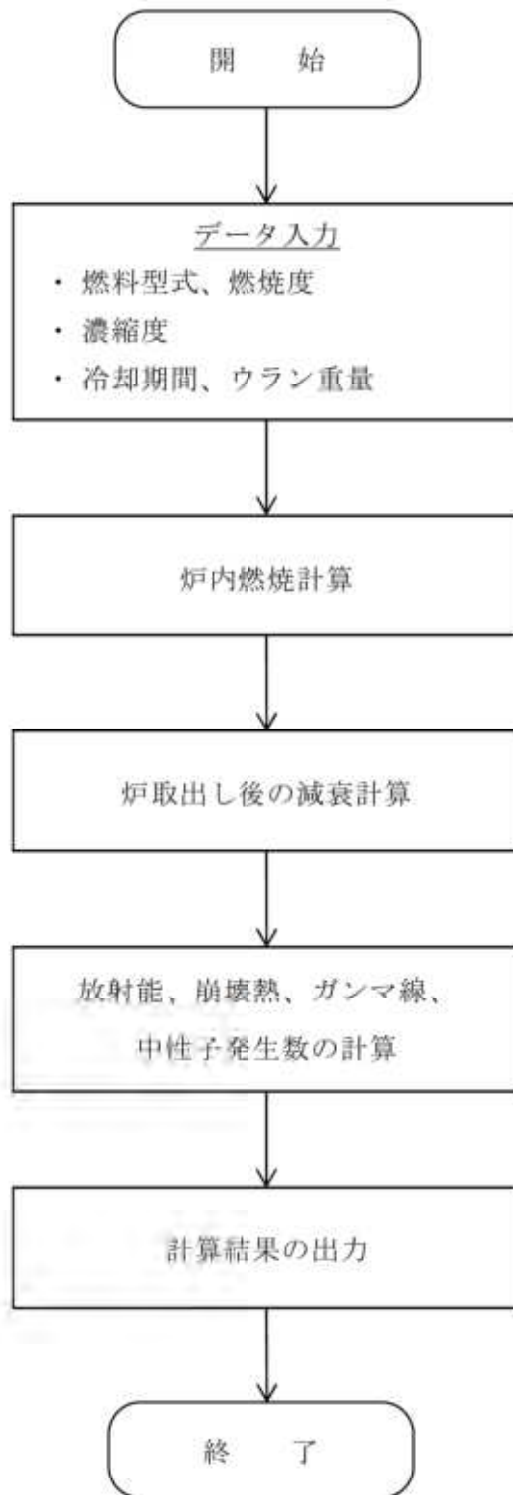
3) 計算フロー

ORIGEN2 コードの計算フローを第7図に示す。

4) 使用実績及び検証

ORIGEN2 コードは、輸送キャスク、原子燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている。また、ORNL では ORIGEN2 コードの崩壊熱計算結果を ANS 標準崩壊熱の値と比較し、ORIGEN2 コードの妥当性を検証している⁽²⁾。

ORIGEN2 コードの検証例を第8図に示す。



第7図 ORIGEN2 コード計算フロー図

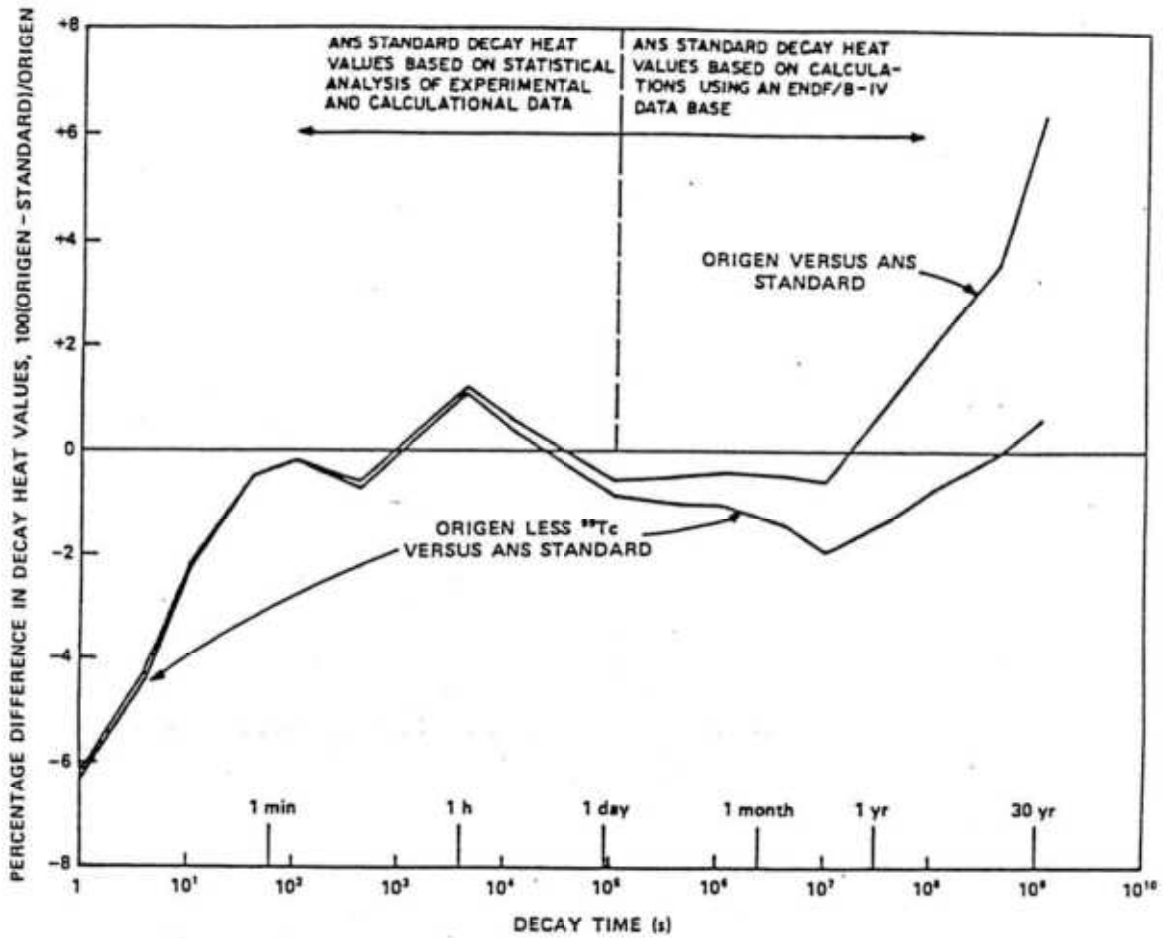


Fig. 3. Differences between ORIGEN2 and ANS Standard 5.1 decay heat values for 10^{13} -s irradiation of ^{235}U .

(注) ORIGEN2 コードの崩壊熱は、ANS 標準崩壊熱と比較して、15 年以上 (MSF-24P(S)型に収納される燃料の冷却期間) の年数に対して高めの値となっている。この理由は、ANS 標準崩壊熱は ^{99}Tc を考慮していないためである。ORIGEN2 コードの解析結果より ^{99}Tc を除いた崩壊熱を比較するとよい一致を示している。

第 8 図 ORIGEN2 コード検証例 (2)

(2) DOT3.5 コード

1) 概要

二次元輸送計算コード DOT3.5 コード⁽³⁾ (以下「DOT3.5 コード」という。)は、米国のオークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された二次元輸送コードである。

2) 機能

DOT3.5 コードは、遮蔽解析に関して以下の機能を有する。

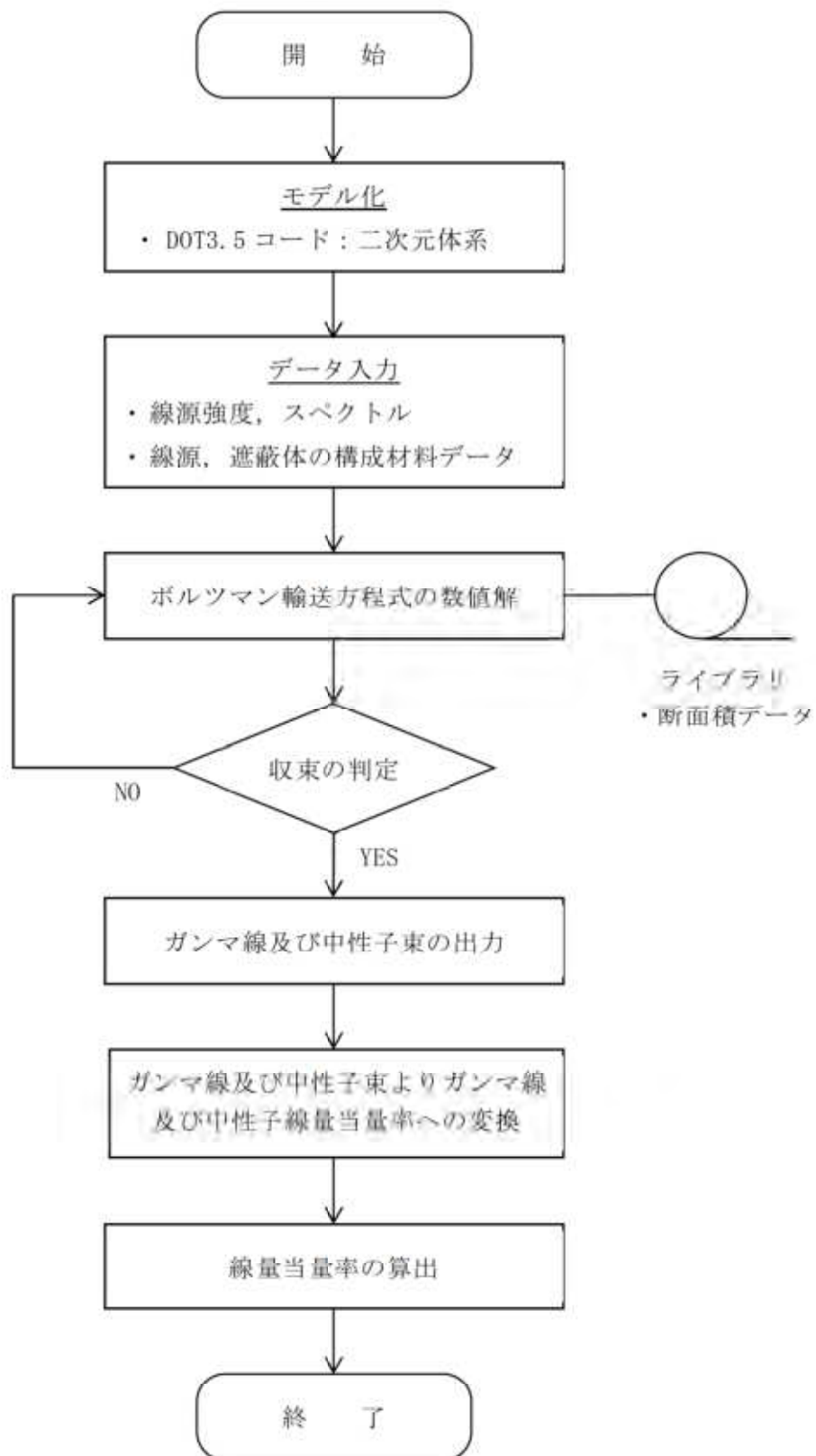
- ① ガンマ線や中性子に対するボルツマン輸送方程式を Sn 法により解く解析コードであり、放射線の挙動を追跡するのに重要な非等方性が表現できる。
- ② DOT3.5 コードは、二次元の体系を扱うことができる。

3) 解析フロー

DOT3.5 コードの解析フローを第9図に示す。

4) 使用実績及び検証

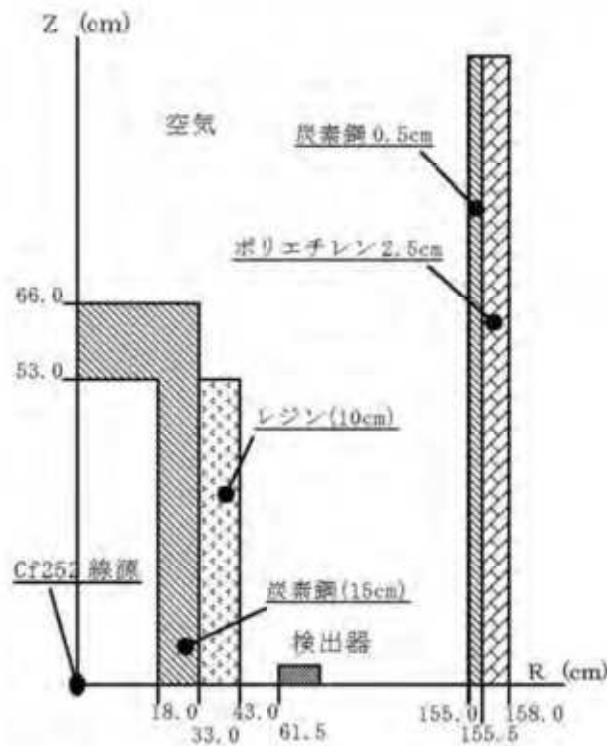
DOT3.5 コードは、原子力施設の遮蔽計算に広く用いられており、輸送キャスクの遮蔽解析の豊富な実績がある。使用済燃料輸送容器の解析事例と測定値⁽⁴⁾を第10図に示す。使用済燃料輸送容器体系での放射線透過試験での測定値に対して、DOT3.5 コードによる JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリ MATXS-LIB-J33 を用いた計算値は中性子、ガンマ線共によく一致しており、輸送容器体系での線量当量率評価に使用することの妥当性を確認した。



第9図 DOT3.5 コード解析フロー図

輸送容器体系ベンチマーク計算結果

項目	線量当量率 (μ Sv/h)			
	中性子	ガンマ線		
		2次 ガンマ	^{252}Cf ガンマ	合計
測定値	28.4	-	-	2.52
計算値 (DOT3.5+MATXSLIB- J33)	29.0	2.04	0.200	2.24



(注) 使用済燃料輸送容器において、 ^{252}Cf 線源を設置した放射線透過試験での線量当量率測定値と、DOT3.5コードによる JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリ MATXSLIB-J33 を用いたベンチマーク計算値を比較すると、良い一致を示している。

第10図 DOT3.5コード解析例(計算モデル⁽⁴⁾及びベンチマーク計算結果)

5) 断面積ライブラリ MATXSLIB-J33

MATXSLIB-J33⁽⁵⁾ は、DOT3.5 等の輸送計算コード用に、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリとして、日本原子力研究所にて整備されたものである。MATXSLIB-J33 を用いた断面積ライブラリの作成条件は第4表に示すとおりであり、多群ライブラリ処理コード TRANSX-2.15⁽⁶⁾ を用いて、輸送計算コード用に中性子 175 群、ガンマ線 42 群のエネルギー群構造に変換し作成した。

なお、TRANSX-2.15 については公開されている修正パッチ⁽⁷⁾ を適用したものをしている。

JENDL-3.3 の信頼性は 4) に示すベンチマーク解析 (第 10 図参照) で確認されている。

第4表 MATXSLIB-J33 を用いた断面積ライブラリの作成条件

多群ライブラリ 処理コード	TRANSX-2.15
エネルギー群数	中性子 175 群、ガンマ線 42 群
自己遮蔽因子	考慮 heterogeneity option: constant escape cross section mean chord length: 1000000cm (体系からの漏れなしを想定)
輸送近似	diagonal (コードマニュアルで推奨されている近似オプション)
ルジャンドル 展開次数	P-5 (P-6 まで整備済みの MATXSLIB-J33 を用いて、P-5 断面積を作成)

(3) MCNP5 コード

1) 概要

三次元モンテカルロコード MCNP5⁽⁸⁾（以下「MCNP5 コード」という。）は、米国のロスアラモス国立研究所（LANL）で開発された、中性子、光子及び電子輸送問題を解くための汎用モンテカルロコードである。

2) 機能

MCNP5 コードは、遮蔽解析に関して以下の機能を有する。

- ① 放射線の衝突、散乱などの物理現象の忠実な模擬ができる。
- ② 二次曲面の論理演算によって表現された任意の三次元領域を取扱うことができ、形状モデルや断面積データを正確に取り扱うことができる。
- ③ 幾何形状の設定の自由度が大きいことや、断面積の取り扱いに連続エネルギーを採用していること等の利点がある。

3) 解析フロー

MCNP5 コードの解析フローを第 11 図に示す。

4) 使用実績及び検証

MCNP5 コードは、国内では「原子力発電所放射線遮蔽設計規程」JEAC4615⁽⁹⁾において原子力発電所附属施設遮蔽のための輸送計算コードとしてモンテカルロ法を用いた計算手法の適用が可能とされ、放射性物質輸送・貯蔵容器などの遮蔽計算に用いられている。米国では乾式キャスク貯蔵システムの審査指針 NUREG-1536⁽¹⁰⁾及び乾式キャスク貯蔵施設の審査指針 NUREG-1567⁽¹¹⁾において遮蔽計算ツールとして MCNP コードが記載され、また安全評価で使用⁽¹²⁾されている。使用済燃料乾式貯蔵容器での国内の許認可実績がないため、以下のとおり適用性を検証した。

① 既認可値との比較（DOT3.5 コードとの比較）

許認可実績の豊富な二次元輸送計算コード DOT3.5 との比較を実施し、使用済燃料乾式貯蔵容器体系において妥当な解が得られることを確認した。比較対象は同じ MSF-24P(S) 型での既認可の設計承認申請⁽¹³⁾とした。また、比較対象ケースは、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 コードによる遮蔽評価値と DOT3.5 コードによる評価値の比較を別紙 6 に示す。

別紙 6 に示すとおり DOT3.5 コードの特性上の要因により一部部位では線量当量率評価値に差異が生じるものの、大部分は同様の傾向である。

② MCNP5 コードの許認可実績

MCNP5 コードは使用済燃料乾式貯蔵容器ではないものの、核燃料物質の輸送容器での使用実績がある⁽¹⁴⁾。先行輸送容器許認可実績と今回の解析における解析条件の比較結果を第5表にまとめる。今回の解析対象の線源条件及び遮蔽構造は同等であり、新規性はない。また、先行輸送容器以外ではMCNP5コードの旧バージョンであるMCNP4Cコード⁽¹⁵⁾による使用済燃料乾式貯蔵建屋の許認可での使用実績もあり⁽¹⁶⁾、MCNPコードは輸送容器の遮蔽解析に限らず、広く遮蔽解析に使用できる汎用計算コードである。

(注) 主な変更点はプログラム言語の変更であり、物理・数学モデルは同じ

③ MCNP5 コードの妥当性検証

MCNP5 コードは、放射性物質輸送・貯蔵容器体系において、実験値とMCNP5コードによる解析値との比較が行われており、以下に説明するとおりMCNP5コードの妥当性を検証している。

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⁽¹⁶⁾を参考に、MCNP5コードをMSF-24P(S)型の遮蔽解析に適用することの妥当性確認を以下により実施した。

モデル検証及び妥当性確認として(1)概念モデルの開発、(2)数学的モデル化、(3)物理的モデル化及び(4)シミュレーションモデルの予測性能判断の4要素の確認を行う必要があるが、(1)及び(2)についてはLANLにて実施済み⁽¹⁷⁾であるため対象外とする。(3)物理的モデル化については検証が必要となる。(4)シミュレーションモデルの予測性能の判断については、(3)物理的モデル化において実験結果を用いた検証を実施するため対象外とする。

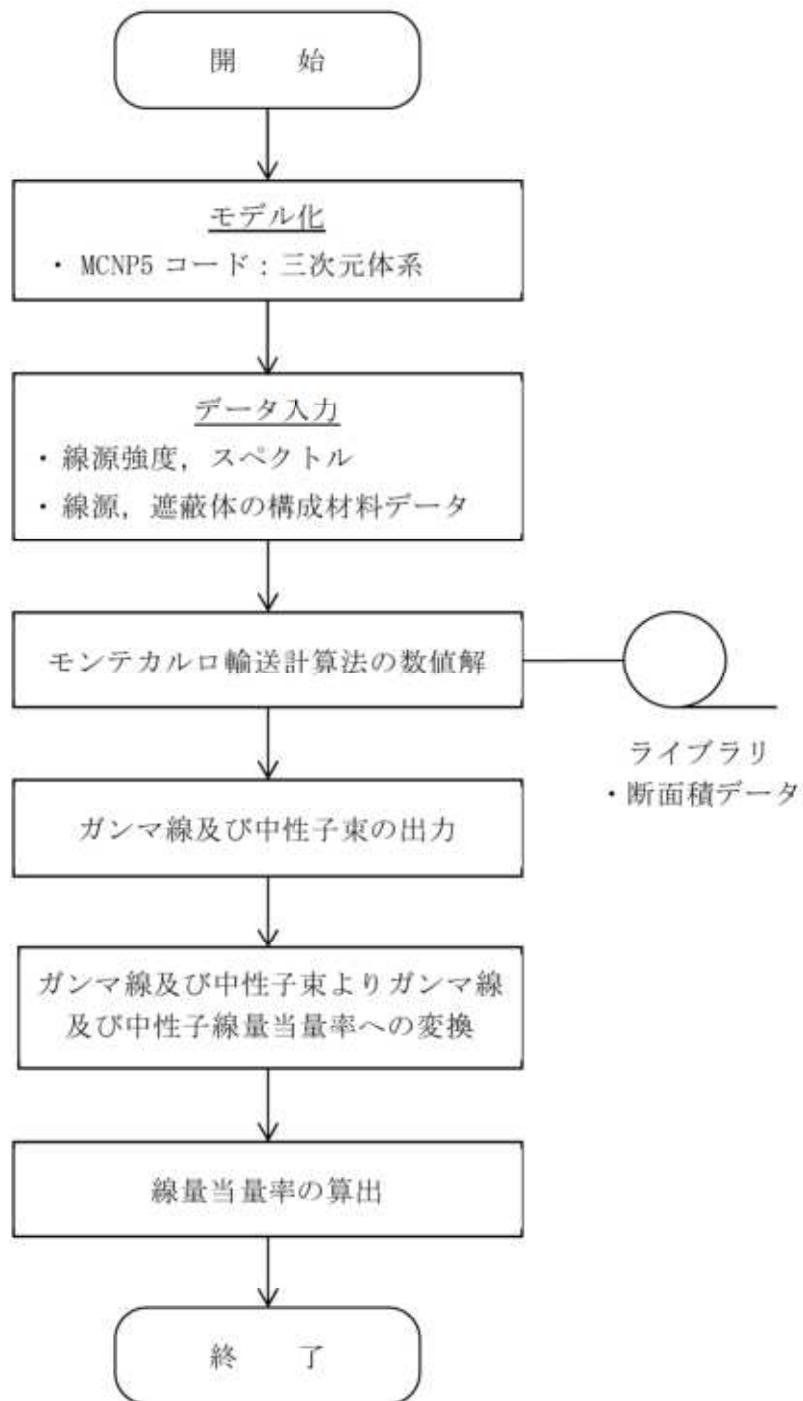
MSF-24P(S)型において(3)物理的モデル化の検証は、第12図及び第13図に示すベンチマーク文献⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾の確認により実施する。

第12図(1/3)から第12図(3/3)に示すとおり、使用済燃料輸送容器体系での放射線透過試験での測定値に対して、JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリFSXLIB-J33並びにENDF/B-IV及びEPDL89に基づく断面積ライブラリMCPLIB02を用いてベンチマーク解析を実施しており、妥当性が検証されている⁽¹⁸⁾。ベンチマーク解析結果は、測定値と同様の傾向を示している。なお、第12図に示す内容及び結果は、文部科学省原子力試験研究費で実施された研究成果であり、その内容や適用範囲等については研究機関、規制当局及びメーカー等により構成された委員会を日本原子力学会に設立し、議論され取り纏められたものである。

また、第13図(1/2)及び第13図(2/2)に示すとおり、乾式貯蔵容器体系での放射線透過試験での測定値に対して、JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリ FSXLIB-J33 並びに ENDF/B-VI及び EPDL97 に基づく断面積ライブラリ MCPLIB84 を用いてベンチマーク解析を実施しており、妥当性が検証されている⁽¹⁹⁾。ベンチマーク解析結果は、表面において測定値と計算値を比較するとよい一致を示している。

妥当性を検証した文献での解析条件と MSF-24P(S)型遮蔽評価での条件の比較を第6表に示す。妥当性を検証した文献の評価体系は、本型式証明申請と同じ乾式貯蔵容器体系であり、線量当量率評価手法についても、線源設定(ORIGEN2コードでの解析)、線量当量率評価方法(MCNP5コードでのモデル化、使用する断面積ライブラリ(中性子:FSXLIB-J33、ガンマ線:MCPLIB84))が文献とMSF-24P(S)型で同様の設定である。ここで、検証文献のC/Eは良い一致を示していることから、ORIGEN2コードにより設定した線源強度及びMCNP5コードを用いた線量当量率評価(断面積ライブラリ(中性子:FSXLIB-J33、ガンマ線:MCPLIB84))を組み合わせた手法について、MSF-24P(S)型評価の遮蔽解析手法として適用することは問題ない。

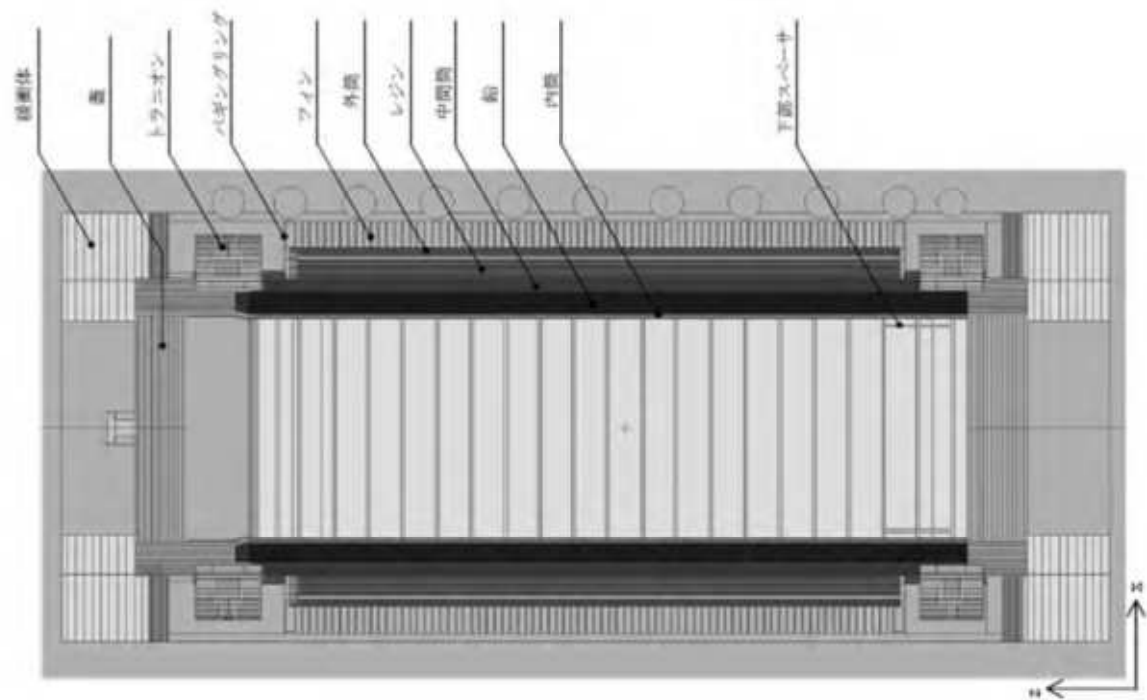
第6表に示す測定値と評価値の比C/Eに対して、別紙1-8表に示す解析条件の保守性が線量当量率に与える影響が包絡されることから、遮蔽解析の不確かさを考慮してもMSF-24P(S)型運用時の線量当量率測定値は基準値を上回ることが無い。



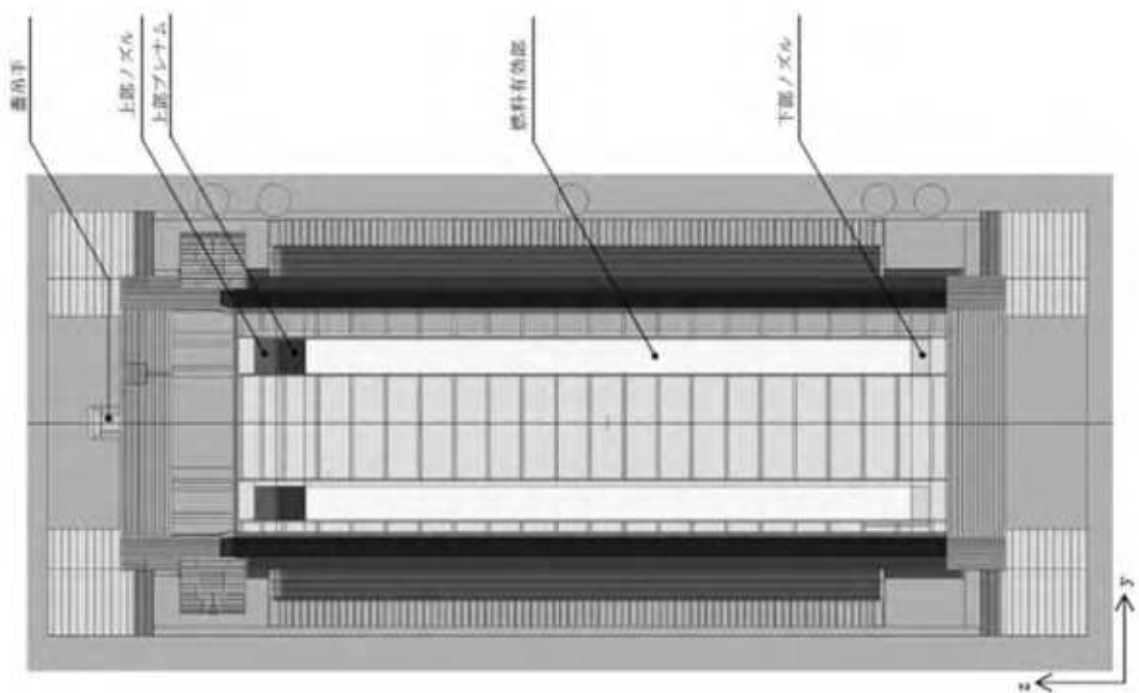
第 11 図 MCNP5 コード解析フロー

第5表 先行輸送容器許認可実績と MSF-24P(S)型型式証明の解析条件の比較

項目	核燃料物質輸送容器 (1)	MSF-24P(S)型型式証明 (使用済燃料キヤスク)	備考
解析コード	MCNP5	MCNP5	解析コードは同一
線源条件	収納物からの ガンマ線、中性子	使用済燃料からの ガンマ線、中性子	線源条件は同等
遮蔽構造	輸送容器体系 ガンマ線遮蔽材： 炭素鋼、ステンレス鋼 中性子遮蔽材：ポリエチレン	輸送容器体系 ガンマ線遮蔽材： 炭素鋼、ステンレス鋼 中性子遮蔽材：レジン	遮蔽厚や材質は異なるものの、ガンマ線遮蔽材＋中性子遮蔽材の複合遮蔽構造であり遮蔽構造は同等
判断基準	表面：2mSv/h 表面から1 m離れた位置： 100 μ Sv/h	同 左	基準は同一

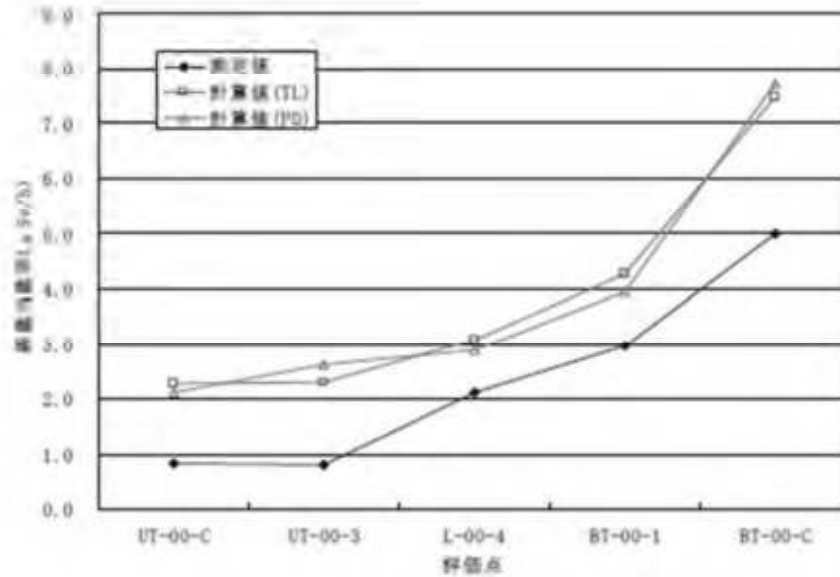


(x-z 断面)

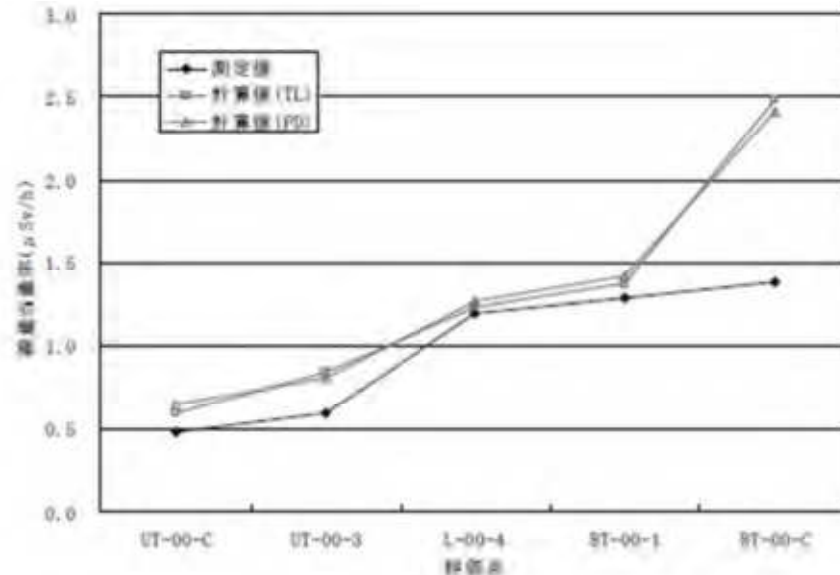


(y-z 断面)

第 12 図 (1/3) NFT-14P 型輸送容器による MCNP5 コードの検証⁽¹⁸⁾ (解析モデル)



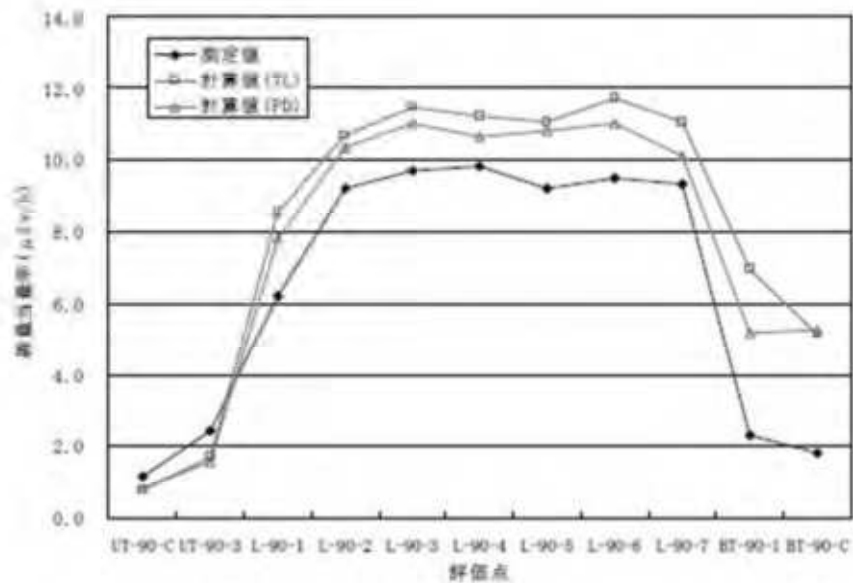
(中性子線量当量率、表面位置 0° 方向)



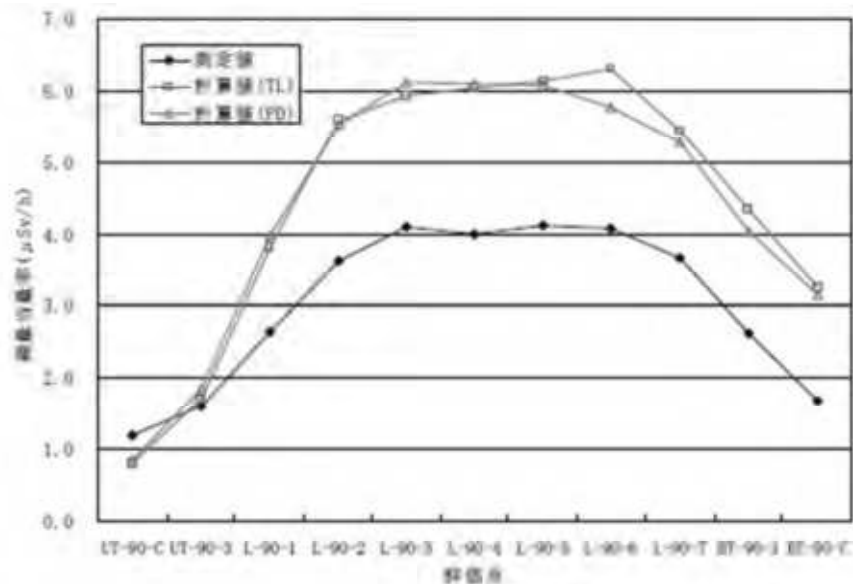
(中性子線量当量率、表面から 1 m 離れた位置 0° 方向)

(注) NFT-14P 型について、バスケットやトランニオン部を実寸形状に合わせて三次元モデル化し、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリ FSXLIB-J33 並びに ENDF/B-IV 及び EPDL89 に基づく断面積ライブラリ MCPLIB02 を用いたベンチマーク解析が実施された。中性子線量当量率について、表面では計算値が測定値を大きく上回っているが軸方向の傾向は一致しており、表面から 1 m 離れた位置においては計算値が測定値をやや上回っている。

第 12 図 (2/3) NFT-14P 型輸送容器による MCNP5 コードの検証¹¹⁶⁾ (評価結果)



(ガンマ線線量当量率、表面位置 90° 方向)



(ガンマ線線量当量率、表面から 1 m 離れた位置 90° 方向)

(注) NFT-14P 型について、バスケットやトラニオン部を実寸形状に合わせて三次元モデル化し、JENDL-3.3 に基づく断面積ライブラリ FSXLIB-J33 並びに ENDF/B-IV 及び EPDL89 に基づく断面積ライブラリ MCPLIB02 を用いたベンチマーク解析が実施された。ガンマ線線量当量率について、表面においては、中央部では計算値が測定値を 2 割程度上回っている。軸方向上部では計算値が測定値を下回っているが、計算値には端部構造材の放射化ガンマ線による影響が含まれていないためである。表面から 1 m 離れた位置においては、中央部では計算値が測定値を 5 割程度上回っているが傾向は一致している。

第 12 図 (3/3) NFT-14P 型輸送容器による MCNP5 コードの検証⁽⁴⁸⁾ (評価結果)

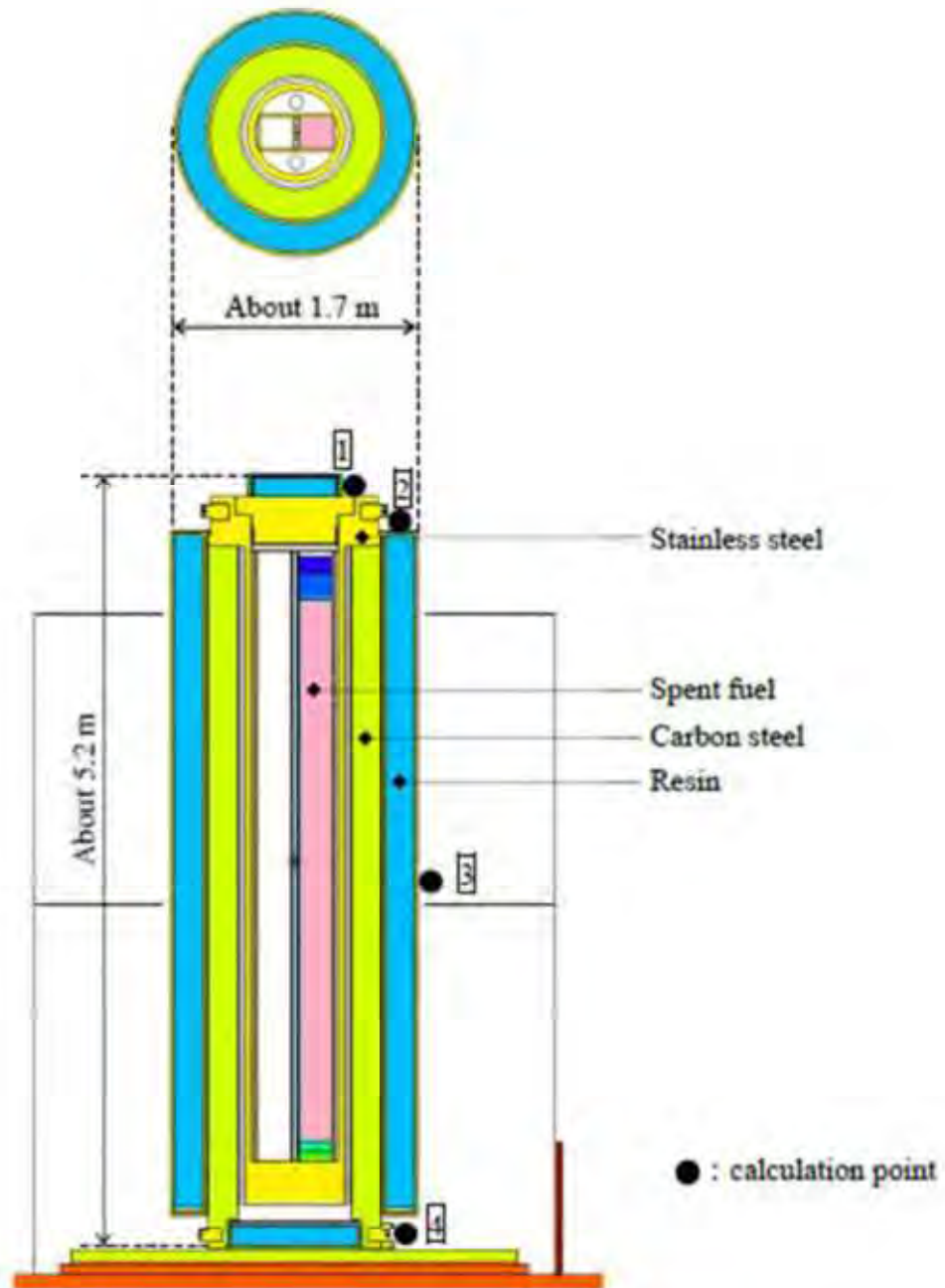


Figure 2. MCNP calculation model for the experiment

第13図 (1/2) 乾式貯蔵容器によるMCNP5コードの検証⁽¹⁹⁾ (解析モデル)

	Condition
Code version	MCNP5 ver.1.60
Calculation model	Based on Figure 2.
Cross section library	FSXLIB-J33 [5] MCPLIB84

Table 3. Experimental and calculated results (neutron dose equivalent rate)

Measurement point	Experimental value ($\mu\text{Sv/h}$)	Calculated value ($\mu\text{Sv/h}$)	Calculated / Experimental
1	9.93 ± 0.17	$10.20 \pm 1.8\text{E-}02$	1.03 ± 0.02
2	9.71 ± 0.13	$9.01 \pm 3.2\text{E-}02$	0.93 ± 0.01
3	0.47 ± 0.02	$0.52 \pm 9.8\text{E-}03$	1.11 ± 0.04
4	9.66 ± 0.18	$11.33 \pm 3.7\text{E-}02$	1.17 ± 0.02

Table 4. Experimental and calculated results (gamma-ray dose equivalent rate)

Measurement point	Experimental value ($\mu\text{Sv/h}$)	Calculated value ($\mu\text{Sv/h}$)	Calculated / Experimental
1	N/D*	-	-
2	N/D*	-	-
3	2.5 ± 0	2.25 ± 0.04	0.90 ± 0.02
4	N/D*	-	-

*below the detection limit $0.5 \mu\text{Sv/h}$

(注) 乾式貯蔵容器について、バスケットやトランニオン部を実寸形状に合わせて三次元モデル化し、JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリ FSXLIB-J33 並びに ENDF/B-VI及び EPDL97 に基づく断面積ライブラリ MCPLIB84 を用いたベンチマーク解析が実施された。表面において、測定値と計算値を比較するとよい一致を示している。なお、 $C/E < 1$ の評価点については、モデル化していない周囲構造物による中性子及びガンマ線の散乱が考慮できていないため評価値が低くなっていると考えられる。

第 13 図 (2/2) 乾式貯蔵容器による MCNP5 コードの検証⁽¹⁹⁾ (評価結果)

第6表 (1/3) MCNP5 コードの検証で用いた評価と MSF-24P(S) 型遮蔽評価の条件比較

項目	評価ケース			備考
	ベンチマーク (18) (第12図)	ベンチマーク (18) (第13図)	今回の型式証明の 遮蔽解析	
コード	MCNP5	MCNP5 ver.1.60	MCNP5 ver.1.60	
ライブラリ	中性子	FSXLIB-J33	FSXLIB-J33	FSXLIB-J33 : JENDL-3.3 を基にしたライブラリ
	ガンマ線	MCPLIB02	MCPLIB84	MCPLIB02 : EPDL89 を基にしたライブラリ MCPLIB84 : EPDL97 を基にした断面積 MCPLIB04 の Doppler broadening data 修正版
線源強度	中性子	ORIGEN2 出力	ORIGEN2 出力	
	燃料有効部 ガンマ線	ORIGEN2 出力	ORIGEN2 出力	
	放射化 ガンマ線	評価していない	⁵⁹ Co 含有量からの 計算値	⁵⁹ Co 含有量からの 計算値
線源 スペクトル	中性子	Watt 型 ²³⁹ Pu 核分裂スペクトル	Watt 型 ²³⁹ Pu 核分裂スペクトル	
	燃料有効部 ガンマ線	ORIGEN2 出力	ORIGEN2 出力	
	放射化 ガンマ線	評価していない	1.17MeV:50% 1.33MeV:50%	1.17MeV:50% 1.33MeV:50%

第6表 (2/3) MCNP5 コードの検証で用いた評価と MSF-24P(S) 型遮蔽評価の条件比較

項目	評価ケース			備考
	ベンチマーク (18) (第12図)	ベンチマーク (19) (第13図)	今回の型式証明の 遮蔽解析	
燃焼度	<ul style="list-style-type: none"> 軸方向分布考慮 実績燃焼度 	<ul style="list-style-type: none"> 軸方向分布考慮 実績燃焼度 	<ul style="list-style-type: none"> 軸方向分布考慮 燃焼度最大値 	
	燃料集合体	<ul style="list-style-type: none"> 使用済 PWR 燃料 1 体ごとに均質化 上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部ノズル部に分割 下側/中央側に寄付き 	<ul style="list-style-type: none"> 使用済 PWR 燃料 1 体ごとに均質化 上部ノズル部、上部プレナム部、燃料有効部、下部ノズル部、下部プレナム部に分割 バスケット内均質化 	
評価 モデル	キヤスク	<ul style="list-style-type: none"> 湿式キヤスク 実形状 	<ul style="list-style-type: none"> 乾式キヤスク 実形状 	<ul style="list-style-type: none"> 乾式キヤスク 実形状
	緩衝体	木材としてモデル化	なし	キヤスクからの距離のみ考慮
組成・密度	<ul style="list-style-type: none"> 最小密度 レジン組成カログ[®] 値 水組成: 発熱量より概算 	<ul style="list-style-type: none"> 最小密度 レジン組成カログ[®] 値 	<ul style="list-style-type: none"> 最小密度 レジン組成カログ[®] 値 設計貯蔵期間のレジン質量減損考慮 	
	寸法公差	考慮しない	考慮しない	

第6表 (3/3) MCNP5 コードの検証で用いた評価と MSF-24P(S) 型遮蔽評価の条件比較

項目	評価ケース		今回の型式証明の 遮蔽解析	備考
	ベンチマーク ⁽¹⁸⁾ (第12図)	ベンチマーク ⁽¹⁹⁾ (第13図)		
タリー	トラックリング エステイマータ (F4 Tally)	トラックリング エステイマータ (F4 Tally)	トラックリング エステイマータ (F4 Tally) サーフェイコウジツク エステイマータ (F2 Tally)	ベンチマーク (第12図) は、トラックリング エステイマータ (F5 Tally) についても評価。 型式証明の表面については F2 Tally にて評価しているが、評価手法は F4 と同じである。
分散低減法	ウエイト ウィンドウ	ウエイト ウィンドウ	線源カットオフ エネルギー・カットオフ ウエイト ウィンドウ	<ul style="list-style-type: none"> 線源カットオフの設定値 燃料有効部ガンマ線：<input type="text"/> (注1) エネルギー・カットオフの設定値 ガンマ線：<input type="text"/> (注1) 中性子線：<input type="text"/> (注2)
評価結果 (計算値/ 測定値)	中性子	0.9~2.89 (第12図参照)	—	<ul style="list-style-type: none"> C/E < 1 のものについては、モデル化していない周囲構造物による中性子反射が考慮できていないため評価値が低くなっている影響。
	ガンマ	0.71~3.10 (第12図参照)	—	<ul style="list-style-type: none"> C/E < 1 のものについては、端部構造材の放射化ガンマ線について評価していないこと、ガンマ線の散乱が一部考慮できていないことで評価値が低くなっている影響。

(注1)：線量当量率への寄与割合が極めて小さい範囲で設定。

(注2)：線量当量率評価結果に対して影響ない。

5) 断面積ライブラリ MCPLIB84 及び FSXLIB-J33

ガンマ線量当量率評価で用いている MCPLIB84⁽²⁰⁾ は、MCNP5 等の三次元モンテカルロコード用に、核データ ENDF/B-VI 及び EPDL97 に基づく光子断面積ライブラリとして、米国ロスアラモス国立研究所 (LANL) にて整備されたものである。

中性子線量当量率評価で用いている FSXLIB-J33⁽⁶⁾ は、MCNP5 等の三次元モンテカルロコード用に、JENDL-3.3 に基づく中性子断面積ライブラリとして、日本原子力研究所にて整備されたものである。

MCPLIB84 及び FSXLIB-J33 の信頼性は 4) に示すベンチマーク解析で確認されている。

4. 遮蔽機能データ

MSF-24P(S)型を貯蔵あるいは保管する施設（以下「貯蔵等施設」という。）の設置に当たっては、設置許可基準規則第29条及び第30条に適合する必要があるとあり、適合性評価として実施する線量評価におけるソースターム条件として、遮蔽機能データ^(注)を使用できることが「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」に規定されている。

(注) MSF-24P(S)型に収納する燃料について、型式証明で示す収納物仕様と実際の燃料仕様の差に応じた適度な保守性を有することとなり、型式証明の遮蔽機能データを用いて第29条及び第30条の適合性を説明することは合理的である。

MSF-24P(S)型の遮蔽機能データを用いる場合は、型式証明申請における設置許可基準規則第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）。

「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」より抜粋

2.2 遮蔽機能

[確認内容]

3) 敷地境界における実効線量評価

② ソースターム

兼用キャスクの遮蔽機能データ又は兼用キャスク表面から1 m離れた位置における線量当量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ となるよう放射線源強度を規格化したものを用いること。ここで、放射線源強度を規格化して用いる場合は、中性子100%又はガンマ線100%のいずれか保守的な線量評価とすること。また、中性子及びガンマ線の表面エネルギースペクトルは、保守的な線量評価となるものを使用すること。

(参考)

貯蔵等施設の設置（変更）許可申請においては、MSF-24P(S)型の遮蔽機能データの適用が適切であることを次の方法で確認することができる。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。

- ・ MSF-24P(S)型をソースターム条件とする設置許可基準規則第29条及び第30条の遮蔽評価において、MSF-24P(S)型の遮蔽機能データを用いて評価した特定兼用キャスク型表面から1 m離れた位置の第14図に示す代表評価点5点における線量当量率を評価する。
- ・ その評価結果が、MSF-24P(S)型の遮蔽適合性として評価した第7表に示す結果と同等*になることの確認をもって、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。

遮蔽機能データの適用確認方法の概要を別紙7に示す。

*：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。

第7表 (1/4) 特定兼用キャスタクの表面から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 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	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

第7表 (2/4) 特定兼用キヤスタ型の表面から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 表面から1 m	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)	12.5 (0.5)
合計	19.6	82.6	79.5	65.2	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