

玄海原子力発電所 審査資料	
資料番号	D R Y - 1 - 1 1
提出年月日	2021年1月27日

# 玄海原子力発電所

## 設置許可基準規則への適合性について (使用済燃料乾式貯蔵施設)

### < 補足説明資料 >

2021年1月

九州電力株式会社

枠囲みの範囲は、防護上の観点又は商業機密に係る事項のため、公開できません。

本資料においては、使用済燃料乾式貯蔵施設について、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）への適合方針を説明する。

< 目 次 >

3 条 設計基準対象施設の地盤

4 条 地震による損傷の防止

5 条 津波による損傷の防止

6 条 外部からの衝撃による損傷の防止

7 条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止

8 条 火災による損傷の防止

9 条 溢水による損傷の防止等

11 条 安全避難通路等

12 条 安全施設

16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

29 条 工場等周辺における直接線等からの防護

30 条 放射線からの放射線業務従事者の防護

- ・ 添付資料 1  
使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う条文の整理表
- ・ 添付資料 2  
使用済燃料貯蔵量の推移
- ・ 添付資料 3  
先行電力との乾式貯蔵施設に関する差異

## 29 条

工場等周辺における直接線等からの防護

## 4. ストリーミングの影響について

### 4.1 概要

使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に伴う、玄海原子力発電所敷地等境界外における通常貯蔵時の線量については、「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」（以下「審査ガイド」という。）に基づき評価を行っている。

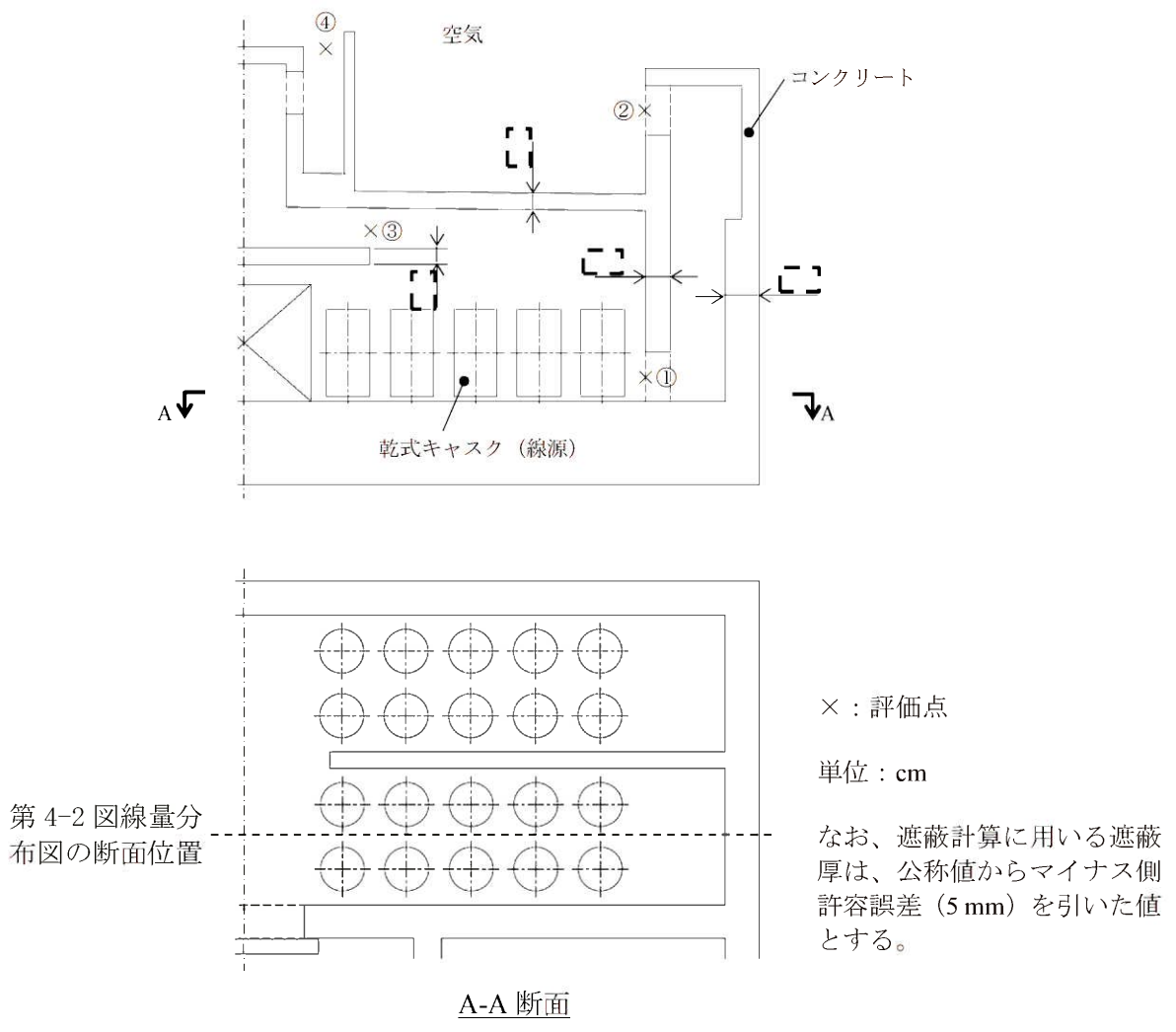
使用済燃料乾式貯蔵建屋については、給排気口からのストリーミングを低減する設計とし、建屋による遮へいにより玄海原子力発電所の敷地等境界外における線量が年間  $50 \mu\text{Sv}$  以下を満足しているが、ここでは使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口からのストリーミングによる影響について説明する。

なお、給排気口は線源の上方に設置されているため、天井方向の計算と同列であるものとして、ストリーミングによる減衰率と天井による遮へいの減衰率を比較した。また、迷路構造を含めてモデル化した場合と申請書評価の敷地等境界の年間線量について比較した。

### 4.2 評価方法

使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口の部分をピックアップし、ストリーミングの影響評価を行った。

具体的には、第 4-1 図に示す評価モデルにて、評価点①～④における線量率を計算し、その割合から迷路構造によるストリーミングの低減効果を評価する。評価は MCNP5 コードを用い、断面積ライブラリはガンマ線評価では MCPLIB84、中性子評価では FSXLIB-J33 をそれぞれ用いた。主な評価条件及び評価コードの概要をそれぞれ第 4-1 表及び第 4-2 表に示す。



第 4-1 図 給排気口からのストリーミングの影響評価モデル

[- - -]：防護上の観点から公開できません。

第 4-1 表 主な評価条件

項 目	評価条件	備 考
計算コード	MCNP5 コード	—
断面積ライブラリ	ガンマ線：MCPLIB84 中性子：FSXLIB-J33	—
線源強度	ガンマ線、中性子それぞれ キャスク表面から 1 m 点で 100 $\mu$ Sv/h となるように規 格化	—
線源スペクトル	包絡スペクトル	—
線源形状	$\phi$ 260 cm $\times$ H520 cm	等方線源 キャスク同士の相互遮 へいは無視する
評価モデル	図 4-1 参照	影響評価として使用済 燃料乾式貯蔵建屋の給 排気口の部分をピック アップして解析
評価点 (タリー)	Mesh Tally (トラック・レ ングス・エスティメータ) 約 15cm 幅	Mesh Tally の計算結果 より、開口部分の平均線 量率を概略評価
分散低減	ウェイト・ウィンドウ	—

第 4-2 表 MCNP5 コードの概要 (1 / 2)

コード名 項目	MCNP5
開発機関	米国ロスアラモス国立研究所 (LANL)
開発時期	2010 年 (初版開発時期 2003 年)
使用した バージョン	1.60
使用目的	遮蔽計算 (使用済燃料乾式貯蔵建屋内のキャスクからのガンマ線及び中性子 線量計算)
コードの概要	<p>三次元連続エネルギーモンテカルロコード MCNP5 コードは、米国ロスアラモス国立研究所で開発された、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。</p> <p>このコードは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。</p> <p>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。</p> <p>今回の評価では、ガンマ線評価では EPDL97 をもとに作成された断面積ライブラリ MCPLIB84 (ロスアラモス国立研究所にて整備されたもの) を、中性子評価では JENDL-3.3 をもとに作成された断面積ライブラリ FSX LIB-J33 (日本原子力研究所にて整備されたもの) を用いている。</p>



第 4-2 表 MCNP5 コードの概要 (2 / 2)

コード名 項目	MCNP5
検証(Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>使用済燃料乾式貯蔵施設内のキャスクからのガンマ線及び中性子線量計算について、MCNPコードを使用して実施している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b>                      本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・ 本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・ MCNP コードは、ガンマ線及び中性子の放射線束分布解析を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら解析条件が与えられればガンマ線及び中性子の放射線束分布解析は可能であり、線量換算係数を乗じることで MCNP コードはガンマ線及び中性子線量計算に適用可能である。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b>                      本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 米国カンザス州立大学ガンマ線スカイシャインベンチマーク実験の実測値 (MCNP-ラインビームレスポンス接続による BWR タービンスカイシャイン線量評価手法の適用、日本原子力学会和文論文誌 Vol.4 No. 2 (2005)) 及び露国モスクワ物理工科大学 研究用原子炉 IRT 炉実験の実測値 (MCNP コードの金属キャスク貯蔵方式中間貯蔵施設線量評価への適用、日本原子力学会和文論文誌 Vol.6 No.3 (2007)) と計算値を比較した。</li> <li>・ 実験値と計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。</li> <li>・ 上記妥当性確認では、コンクリートを通過あるいは散乱によりストリーミングしたガンマ線あるいは中性子の線量率の実測値と MCNP コードによる計算値を比較している。</li> <li>・ 今回の使用済燃料乾式貯蔵施設内のキャスクからのガンマ線及び中性子線量計算では、上記妥当性確認における実験体系と同様に、コンクリートの深層透過あるいはストリーミングによる放射線束分布を解析し、線量率を計算する。</li> <li>・ 今回のガンマ線及び中性子線量計算は、上記妥当性確認内容と合致している。</li> <li>・ また、原子力発電所放射線遮へい設計規程 (JEAC4615-2008) では、キャスク保管建屋等の補助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ており、さらに米国では使用済燃料乾式貯蔵施設の審査指針である「Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities」(NUREG-1567) においては遮蔽解析ツールとして MCNP コードが記載されており、遮蔽設計、線量評価等で使用されている。</li> <li>・ 断面積ライブラリ MCPLIB84 及び FSXLIB-J33 については、海上技術安全研究所による実験値 (大西世紀 ほか, 「<sup>252</sup>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)) と MCPLIB84 及び FSXLIB-J33 による計算値を比較した結果、概ね一致していることを確認している。</li> <li>・ 上記妥当性確認では、放射線のエネルギーがキャスクのエネルギースペクトルと同等となっており、今回の使用目的と合致している。</li> </ul>

### 4.3 評価結果

4.2 の評価条件をもとに影響評価を行った結果を第 4-3 表に示す。

第 4-3 表のとおり、給気口迷路構造による減衰率 (②/①) 及び排気口迷路構造による減衰率 (④/③) は、天井スラブによる減衰率<sup>(注)</sup> (第 2-1 図及び第 2-2 図) と比較して同程度以下であることを確認している。なお、参考として、MCNP コードを用いて迷路構造を含めてモデル化した場合の敷地等境界の評価地点 A の年間線量は、申請書評価に対してガンマ線は約 0.02 倍、中性子は約 0.6 倍程度であり、申請書評価と比較して小さいことを確認している。したがって、申請書評価の保守性にストリーミングの影響が包含されていることを確認している。

また、建屋内の線量率分布を第 4-2 図に示す。線量率が連続的に変化していることが確認でき、ウェイト・ウィンドウの設定が妥当であると判断できる。また、第 4-2 図がどの断面位置の線量分布を示しているかを、第 4-1 図に破線で示す。

(注) 天井スラブによる減衰率について

給排気口は線源の上方に設置されているため、両者とも天井方向の計算と同列であるものとして、天井スラブの減衰率と比較した。

天井スラブの減衰率として、斜め透過のない減衰率を評価している ANISN 評価値を第 4-3 表に示している。

第4-3表 給排気口からのストリーミングの影響評価結果（中性子）（1 / 2）

評価点	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) ( ) 内は統計誤差 <sup>(注)</sup>	減衰率
①	$3.7 \times 10^2$ (0.22 %)	$9.0 \times 10^{-4}$
②	$3.3 \times 10^{-1}$ (0.83 %)	
③	$1.9 \times 10^2$ (0.37 %)	$5.3 \times 10^{-4}$
④	$1.0 \times 10^{-1}$ (8.1 %)	
(参考) 深層透過の減衰率 遮蔽厚さ [ ]		$1.7 \times 10^{-3}$

(注) 開口部の最大線量率となるメッシュの値

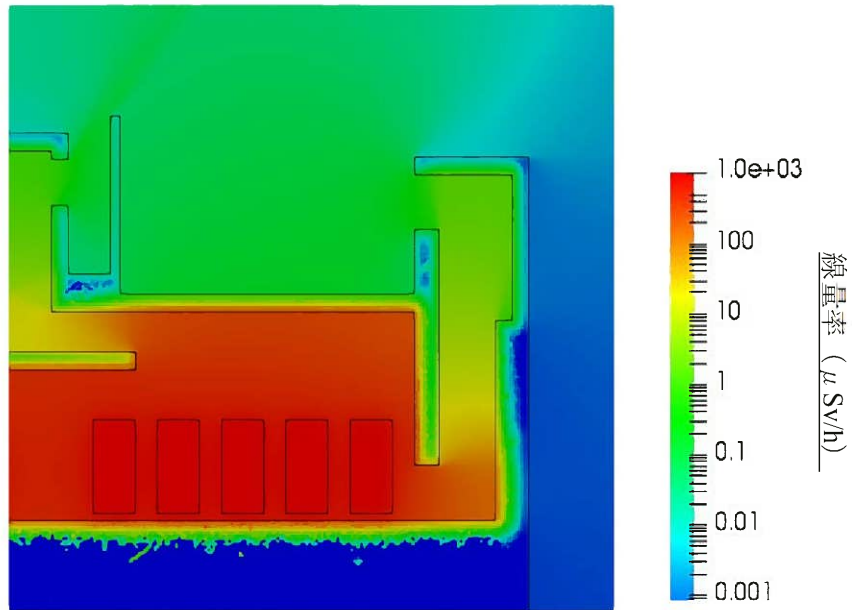
第4-3表 給排気口からのストリーミングの影響評価結果（ガンマ線）（2 / 2）

評価点	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) ( ) 内は統計誤差 <sup>(注1)</sup>	減衰率
①	$2.1 \times 10^2$ (0.39 %)	$2.7 \times 10^{-4}$
②	$5.5 \times 10^{-2}$ (1.3 %)	
③	$7.4 \times 10^1$ (0.96 %)	(参考) $6.4 \times 10^{-5}$
④	(参考) $4.7 \times 10^{-3}$ (12 %) <sup>(注2)</sup>	
(参考) 深層透過の減衰率 遮蔽厚さ [ ]		$3.8 \times 10^{-3}$

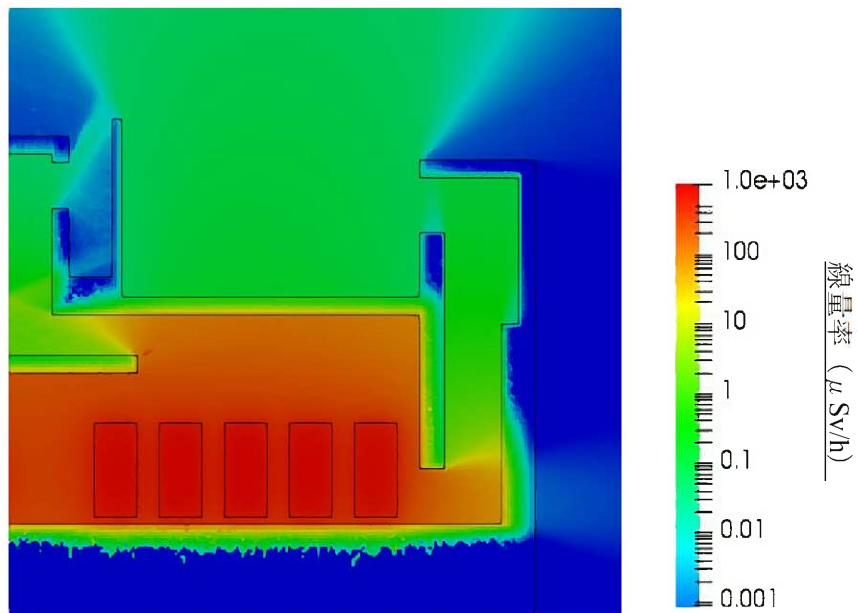
(注1) 開口部の最大線量率となるメッシュの値

(注2) 統計誤差が大きいため、参考値とする。ただし、放射線が十分減衰されているため、ストリーミングを低減できる設計であることは確認できる。

[ ] : 防護上の観点から公開できません。



第 4-2 図 建屋内の線量率分布（中性子）（1 / 2）



第 4-2 図 建屋内の線量率分布（ガンマ線）（2 / 2）

#### 4.4 まとめ

給排気口からのストリーミングによる影響は天井による遮蔽効果と同等であることを確認した。

また、MCNP コードを用いて迷路構造を含めてモデル化した場合の敷地等境界の評価地点Aの年間線量は、申請書評価と比較して小さいことから、申請書評価の保守性にストリーミングの影響が包含されている。