

第27回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合(2023年8月24日)

資料1-3-1

Doc. No. L5-95LC204 R3

発電用原子炉施設に係る特定機器の 設計の型式証明申請 [MSF-28P型・MSF-76B型]

指摘事項への回答

2023.8.24

三菱重工業株式会社

枠囲いの内容は商業機密のため、非公開とします。

1. 指摘事項リスト	…2
2. 指摘事項への回答	…4

1. 指摘事項リスト

No.	受領日	コメント内容	区分	コメント回答	対応状況
1	2023/2/7 審査会合	[MSF-28P型及びMSF-76B型] 使用済燃料の収納領域、燃焼度、冷却期間に条件があるが、遮蔽評価や除熱評価の解析条件への考慮方法(評価の代表性)について説明すること。	16条 (遮蔽・除熱)	安全機能評価では、各評価における解析結果が最も厳しくなるよう代表燃料を選定し、解析条件として考慮している。	2023/6/22 審査会合で 回答済。
2	2023/2/7 審査会合	[MSF-28P型] MSF-28P型のバスケット構造が非対称であることについて、強度評価及び安全機能評価での考慮方法を説明すること。	4条 5条 6条 16条	強度評価(4条、5条、6条)において、バスケットプレートに生じる応力が最大となる加速度作用方向及びバスケットプレート評価位置を選定し強度評価を行っている。【P. 4~9参照】 安全機能評価(16条)において、MSF-28P型の実形状を三次元でモデル化(バスケットの非対称性を解析モデルとして考慮)したモデルにより解析を行っている。	4条、5条、6 条関連は本 審査会合で 説明。 16条関連は、 2023/6/22 審査会合で 回答済。
3	2023/2/7 審査会合	[MSF-28P型及びMSF-76B型] 中性子遮蔽材(レジン)温度の評価基準値根拠及び評価保守性について説明すること。	16条 (除熱)	16条4項二号(除熱)への適合性説明で示した中性子遮蔽材(レジン)の温度に対し、型式証明申請書では、8°C(MSF-28P型)及び7°C(MSF-76B型)切り上げた温度を記載している。 また、中性子遮蔽材の評価基準値は中性子遮蔽材(エポキシ系レジン)の使用可能温度の上限とし、除熱評価では、崩壊熱量や除熱解析モデルにおける使用済燃料集合体の配置等について保守的な設定を適用している。	2023/6/22 審査会合で 回答済。
4	2023/2/7 審査会合	[MSF-28P型及びMSF-76B型] 遮蔽評価におけるMCNPコードの適用性について、「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」に則して説明すること。	16条 (遮蔽)	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」のモデル検証及び妥当性確認方法を参考に以下確認を行い、特定兼用キャスクの遮蔽解析にMCNP5コードを適用することは妥当と判断している。 (1)遮蔽解析での確認範囲の整理 (2)数値的解法が検証されていることの確認 (3)MCNP5コードを用いた線量当量率評価値と測定値の比較による評価傾向の確認 (4)既認可で認められたDOT3.5コードを用いた保守的な評価手法に基づく特定兼用キャスク(MSF-24P(S)型)での線量当量率評価値との比較による同等性の確認	2023/6/22 審査会合で 回答済。

1. 指摘事項リスト

No.	受領日	コメント内容	区分	コメント回答	対応状況
5	2023/6/22 審査会合	[MSF-28P型及びMSF-76B型] 型式証明申請書 添付書類一 第1-6表 安全機能評価結果に 記載されている評価結果の数 値処理の考え方について説明 すること。	16条 (臨界・遮蔽・ 除熱・閉じ込 め)	型式証明申請書 添付書類一 第1-6表 安全機能評価結果に記載 の評価結果は、各安全機能の解析結果詳細値を切り上げた値とし ている。【P.10～11参照】	本審査会合 で説明。
6	2023/6/22 審査会合	[MSF-28P型及びMSF-76B型] MCNP5コードによる線量当量 率の計算が適切に行われたと 判断する過程について、10個 の統計指標を満足しない場合 を含めより詳細に説明すること。	16条 (遮蔽)	「放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法 ガイドライン原案の策定」を参考にMSF-28P型及びMSF-76B型の 線量当量率計算が適切に行われたことを確認している。【P.12～13 参照】	本審査会合 で説明。

2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.2)

[MSF-28P型] MSF-28P型のバスケット構造が非対称であることについて、強度評価及び安全機能評価での考慮方法を説明すること。

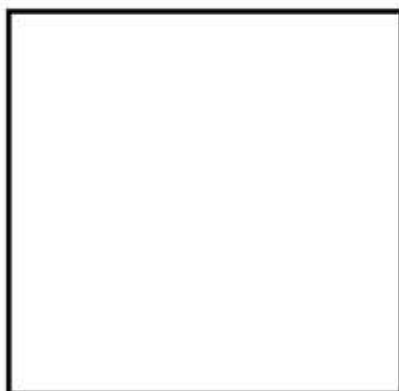
(回答)

下表に示すとおり、強度評価及び安全機能評価において、バスケット構造の非対称性を考慮している。

評価項目	考慮方法
4条 地震 5条 津波 6条 竜巻 ^(注1)	バスケットプレートに生じる応力が最大となる加速度作用方向及びバスケットプレート評価位置を、バスケット構造の非対称性を考慮しつつ選定し強度評価を実施。
16条 臨界防止	MSF-28P型の実形状を三次元でモデル化(バスケットの非対称性を解析モデルとして考慮 ^(注2))したモデルにより解析を実施しており、解析結果は非対称性の影響が反映されている。
16条 遮蔽	
16条 除熱	
16条 閉じ込め	基準漏えい率を算出するために用いる特定兼用キャスク本体内部の空間体積は、MSF-28P型の実形状(バスケットの非対称性を考慮)に基づき設定。

(注1) 竜巻荷重作用時の強度評価は、津波荷重作用時の強度評価に包絡される。

(注2) 臨界解析、遮蔽解析及び除熱解析に用いる解析コードは、評価対象の形状を三次元でモデル化できるため、バスケット構造等の対称/非対称性を問わず、実形状を忠実にモデル化できる。



[臨界解析モデル]



[除熱解析モデル(180° 対称モデル)]



[遮蔽解析モデル]

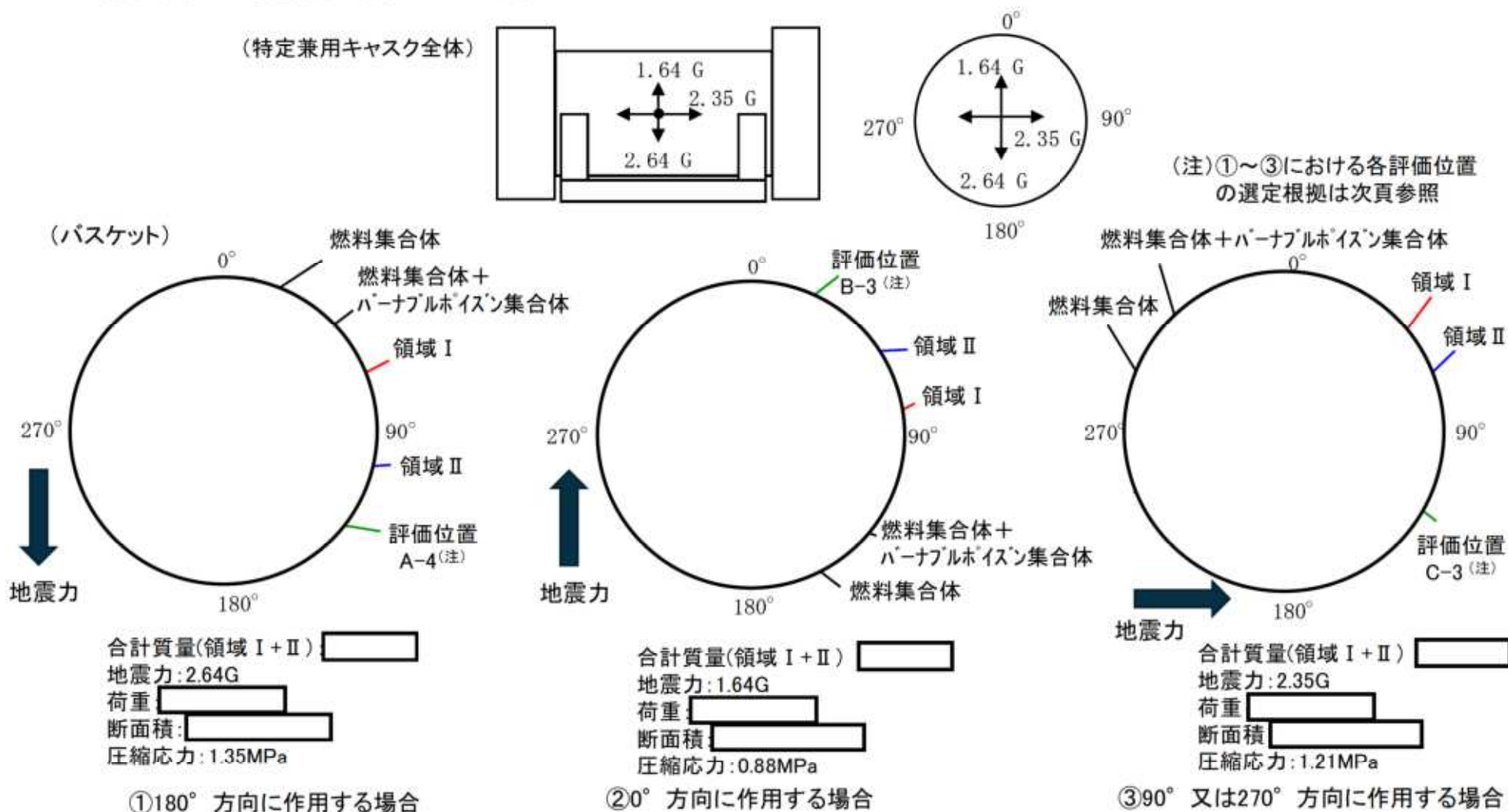
2. 指摘事項への回答

4条:地震

地震力の作用方向とバスケットプレート(縦板)の評価位置の関係について

(1)蓋部が金属部へ衝突しない設置方法(横置き)

- バスケットの径方向に作用する地震力を基に、バスケットプレートに生じる応力が最大となる「①180° 方向に作用する場合の評価位置A-4」を評価対象としている。



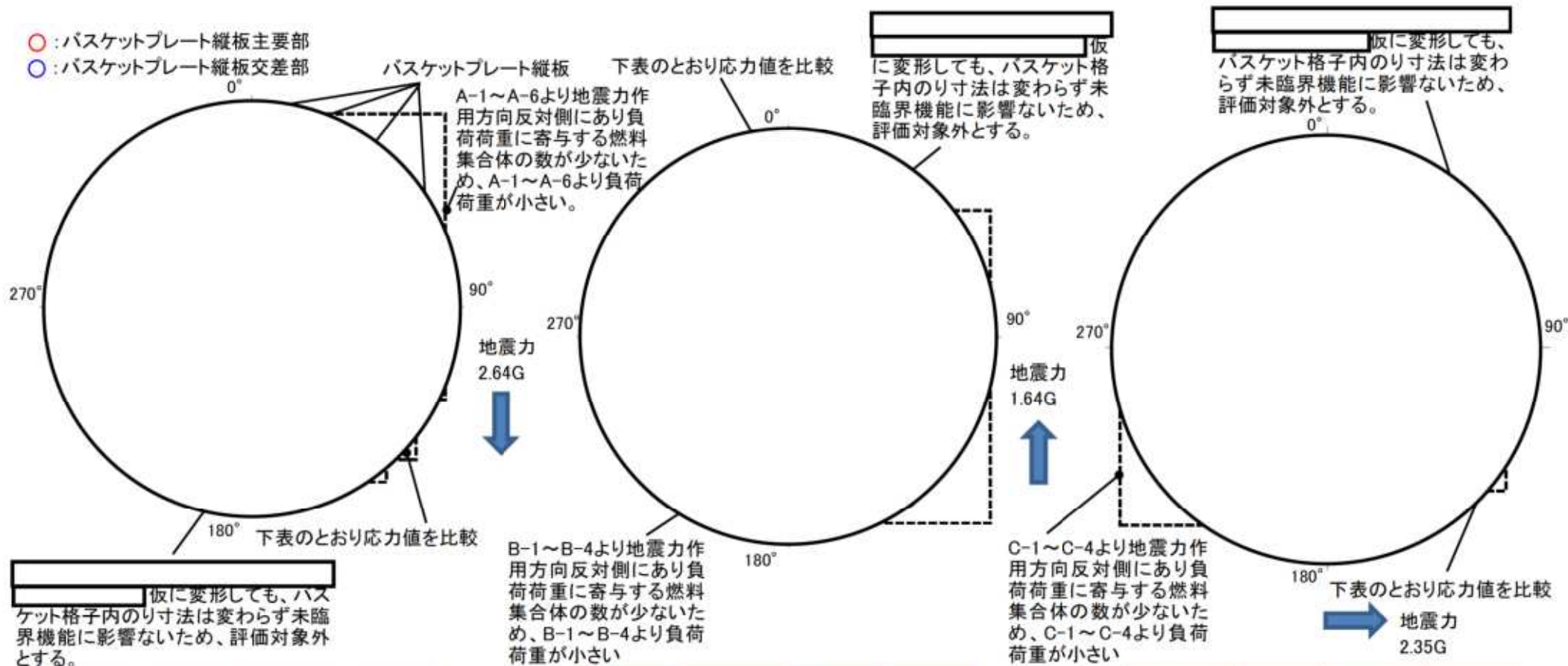
地震力作用方向と評価位置の関係:横置き

2. 指摘事項への回答

(1) 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法(横置き)

➤ ①～③の場合における各評価位置の選定根拠を以下に示す。

- : バスケットプレート縦板主要部
- : バスケットプレート縦板交差部



評価位置	応力 (MPa)	評価位置	応力 (MPa)
A-1	1.33	A-4	1.35
A-2	1.22	A-5	1.22
A-3	1.05	A-6	1.22

① 180° 方向に作用する場合

評価位置	応力 (MPa)	評価位置	応力 (MPa)
B-1	0.85	B-3	0.88
B-2	0.84	B-4	0.87

② 0° 方向に作用する場合

評価位置	応力 (MPa)	評価位置	応力 (MPa)
C-1	1.18	C-3	1.21
C-2	1.13	C-4	1.18

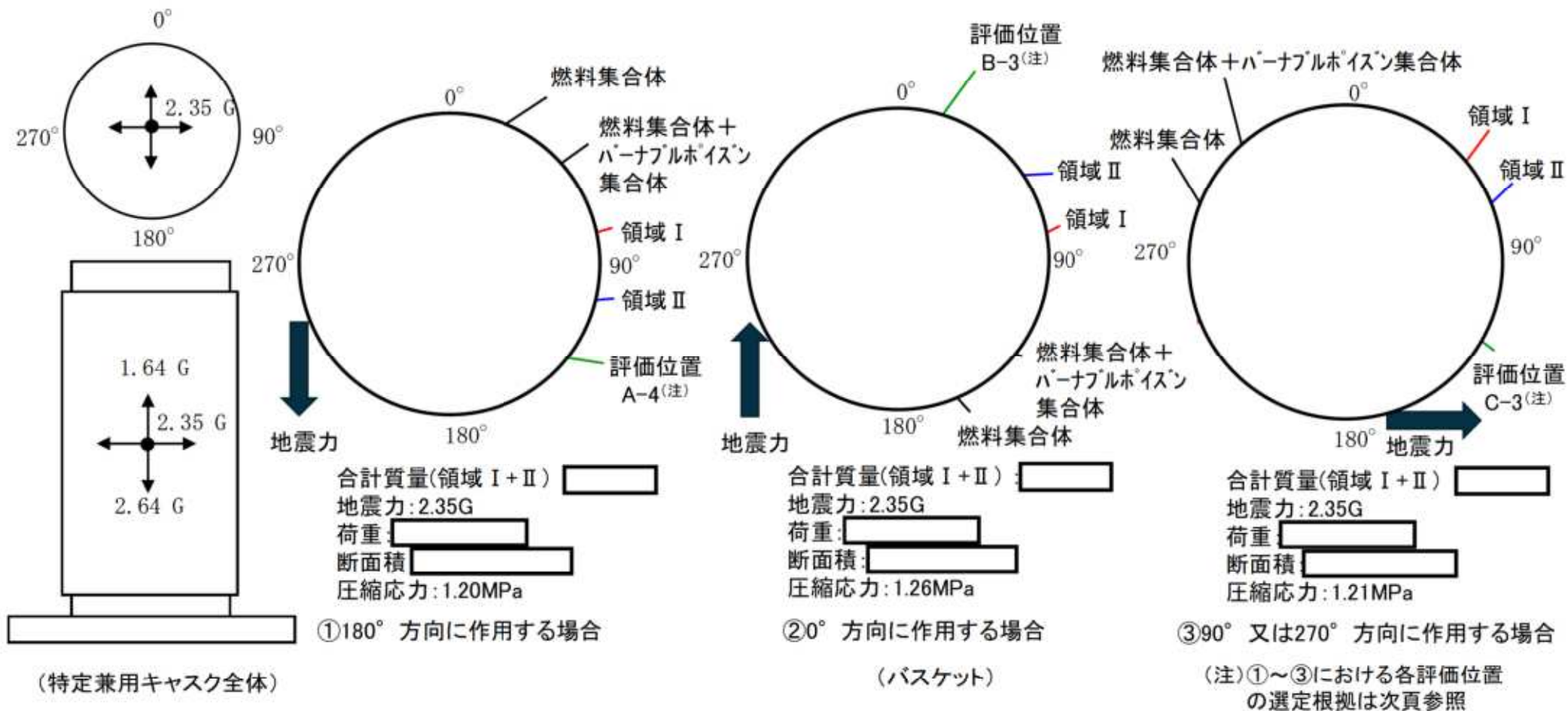
③ 90° 又は270° 方向に作用する場合

2. 指摘事項への回答

地震力の作用方向とバスケットプレート(縦板)の評価位置の関係について

(2)基礎等に固定する設置方法(たて置き)

- バスケットの径方向に作用する地震力を基に、バスケットプレートに生じる応力が最大となる「②0° 方向に作用する場合の評価位置B-3」を評価対象としている。



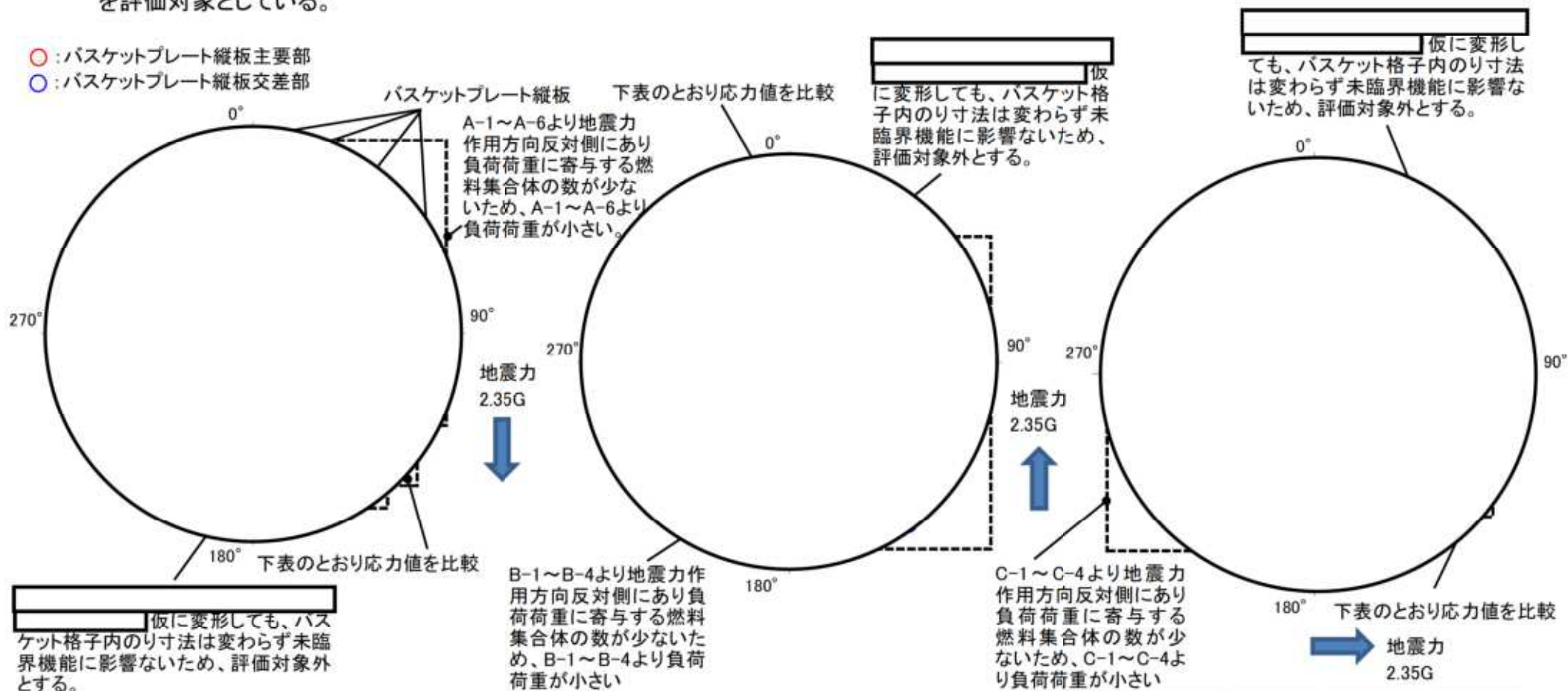
地震力作用方向と評価位置の関係:たて置き

2. 指摘事項への回答

(2)基礎等に固定する設置方法(たて置き)

➤ バスケットの径方向に作用する地震力を基に、バスケットプレートに生じる応力が最大となる「②0° 方向に作用する場合の評価位置B-3」を評価対象としている。

- : バスケットプレート縦板主要部
- : バスケットプレート縦板交差部



評価位置	応力 (MPa)	評価位置	応力 (MPa)
A-1	1.18	A-4	1.20
A-2	1.09	A-5	1.09
A-3	0.94	A-6	1.08

評価位置	応力 (MPa)	評価位置	応力 (MPa)
B-1	1.22	B-3	1.26
B-2	1.20	B-4	1.24

評価位置	応力 (MPa)	評価位置	応力 (MPa)
C-1	1.18	C-3	1.21
C-2	1.13	C-4	1.18

①180° 方向に作用する場合

②0° 方向に作用する場合

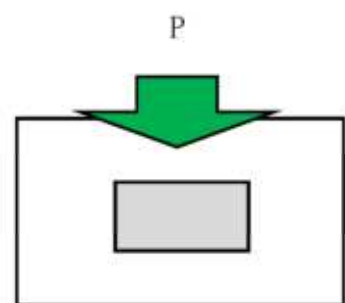
③90° 又は270° 方向に作用する場合

2. 指摘事項への回答

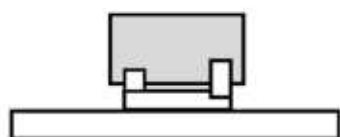
● 5条: 津波

津波荷重の作用方向とバスケットプレートの評価位置の関係について

- たて置き時に比べ津波荷重が大きい横置き時を対象として評価を行う。
- 津波荷重が作用する方向(90°又は270°方向)に慣性力が作用する場合において、バスケットプレートに生じる応力が最大となる評価位置C-3を評価対象としている。
- バスケットサポートCには、燃料集合体による荷重は作用しないため、生じる応力は無視できるほど小さい。
- バスケットプレート横板に作用する荷重は燃料集合体1体の慣性力による荷重であり、評価位置はバスケットプレート横板の断面積が最も小さい位置とする。



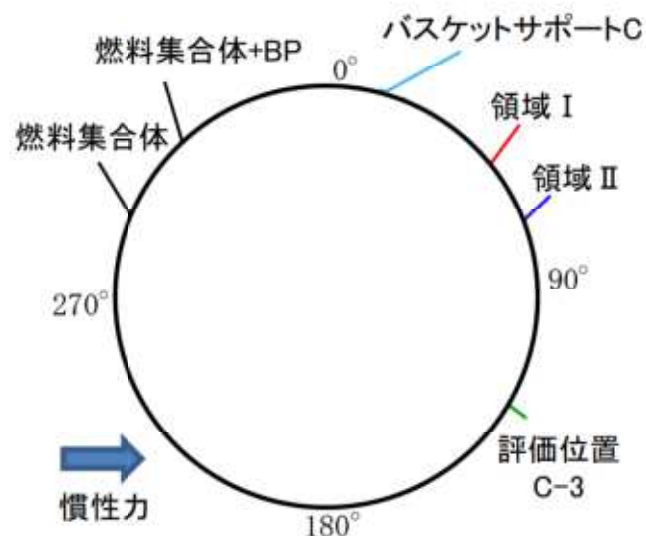
(上面図)



(正面図)

径方向衝突

(特定兼用キャスク全体)



合計質量(領域 I + II)
 加速度: 67m/s²
 荷重:
 断面積:
 圧縮応力: 3.51MPa

仮に変形しても、バスケット格子内のり寸法は変わらず未臨界機能に影響ないため、評価対象外とする。



C-1~C-4より地震力作用方向反対側にあり負荷荷重に寄与する燃料集合体の数が少ないため、C-1~C-4より負荷荷重が小さい

下表のとおり応力値を比較
 慣性力

評価位置	応力 (MPa)	評価位置	応力 (MPa)
C-1	3.43	C-3	3.51
C-2	3.27	C-4	3.43

津波荷重作用方向とバスケットプレート縦板の評価位置の関係

2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.5)

[MSF-28P型及びMSF-76B型] 型式証明申請書 添付書類一 第1-6表 安全機能評価結果に記載されている評価結果の数値処理の考え方について説明すること。

(回答)

型式証明申請では設計方針の妥当性見通しを示す位置づけであることを踏まえ、型式証明申請書 添付書類一 第1-6表 安全機能評価結果へは評価結果詳細値(16条 補足説明資料に示す値)を数値処理した値を記載している。数値処理の考え方を下表(MSF-28P型)及び次頁の表(MSF-76B型)に示す。

[MSF-28P型]

項目		設計基準値	安全機能評価結果 (型式証明申請書 添付書類一 第1-6表)	評価結果詳細値 (16条 補足説明資料)	数値処理の考え方	
臨界防止	中性子 実効増倍率	乾燥状態	0.95	0.41	0.403	
		冠水状態		0.94		0.931
遮蔽	表面最大線量当量率		2 mSv/h	1.6 mSv/h	1524.4 μ Sv/h	0.2 mSv/h(200 μ Sv/h) 刻みで切上げ
	表面から1m離れた位置 における最大線量当量率		100 μ Sv/h	90 μ Sv/h	86.1 μ Sv/h	10 μ Sv/h刻みで 切上げ
除熱	燃料被覆管最高温度		275 $^{\circ}$ C	220 $^{\circ}$ C	212 $^{\circ}$ C	除熱解析で得られた温 度に対して5 $^{\circ}$ C加算し、 5 $^{\circ}$ C刻みで切上げ
	特定兼用 キャスク 構成部材 最高温度	胴、外筒、蓋部	350 $^{\circ}$ C	145 $^{\circ}$ C	140 $^{\circ}$ C	
		中性子遮蔽材 (レジン)	149 $^{\circ}$ C	145 $^{\circ}$ C	137 $^{\circ}$ C	
		金属ガスケット	130 $^{\circ}$ C	115 $^{\circ}$ C	107 $^{\circ}$ C	
	バスケット	250 $^{\circ}$ C	195 $^{\circ}$ C	187 $^{\circ}$ C		
閉じ込め	金属ガスケットの漏えい率		2.87×10^{-6} Pa \cdot m 3 /s	1.90×10^{-6} Pa \cdot m 3 /s	1.90×10^{-6} Pa \cdot m 3 /s	—

2. 指摘事項への回答

[MSF-76B型]

項目		設計基準値	安全機能評価結果 (型式証明申請書 添付書類一 第1-6表)	評価結果詳細値 (16条 補足説明資料)	数値処理の考え方	
臨界防止	中性子 実効増倍率	乾燥状態	0.95	0.38	0.372	
		冠水状態		0.82		0.816
遮蔽	表面最大線量当量率		2 mSv/h	1.4 mSv/h	1230.8 μ Sv/h	0.2 mSv/h(200 μ Sv/h) 刻みで切上げ
	表面から1m離れた位置 における最大線量当量率		100 μ Sv/h	90 μ Sv/h	86.2 μ Sv/h	10 μ Sv/h刻みで 切上げ
除熱	燃料被覆管 最高温度	8×8燃料 新型8×8燃料	200 °C	185 °C	177 °C	除熱解析で得られた温 度に対して5°C加算し、 5°C刻みで切上げ
		新型8×8 ジルコニウムライナ燃料 高燃焼度8×8燃料	300 °C	255 °C	249 °C	
	特定兼用 キャスク 構成部材 最高温度	胴、外筒、蓋部	350 °C	145 °C	137 °C	
		中性子遮蔽材 (レジン)	149 °C	140 °C	133 °C	
		金属ガスケット	130 °C	115 °C	108 °C	
		バスケット	350 °C	245 °C	240 °C	
閉じ込め	金属ガスケットの漏えい率		2.61×10^{-6} Pa・m ³ /s	1.86×10^{-6} Pa・m ³ /s	1.86×10^{-6} Pa・m ³ /s	—

2. 指摘事項への回答

指摘事項(No.6)

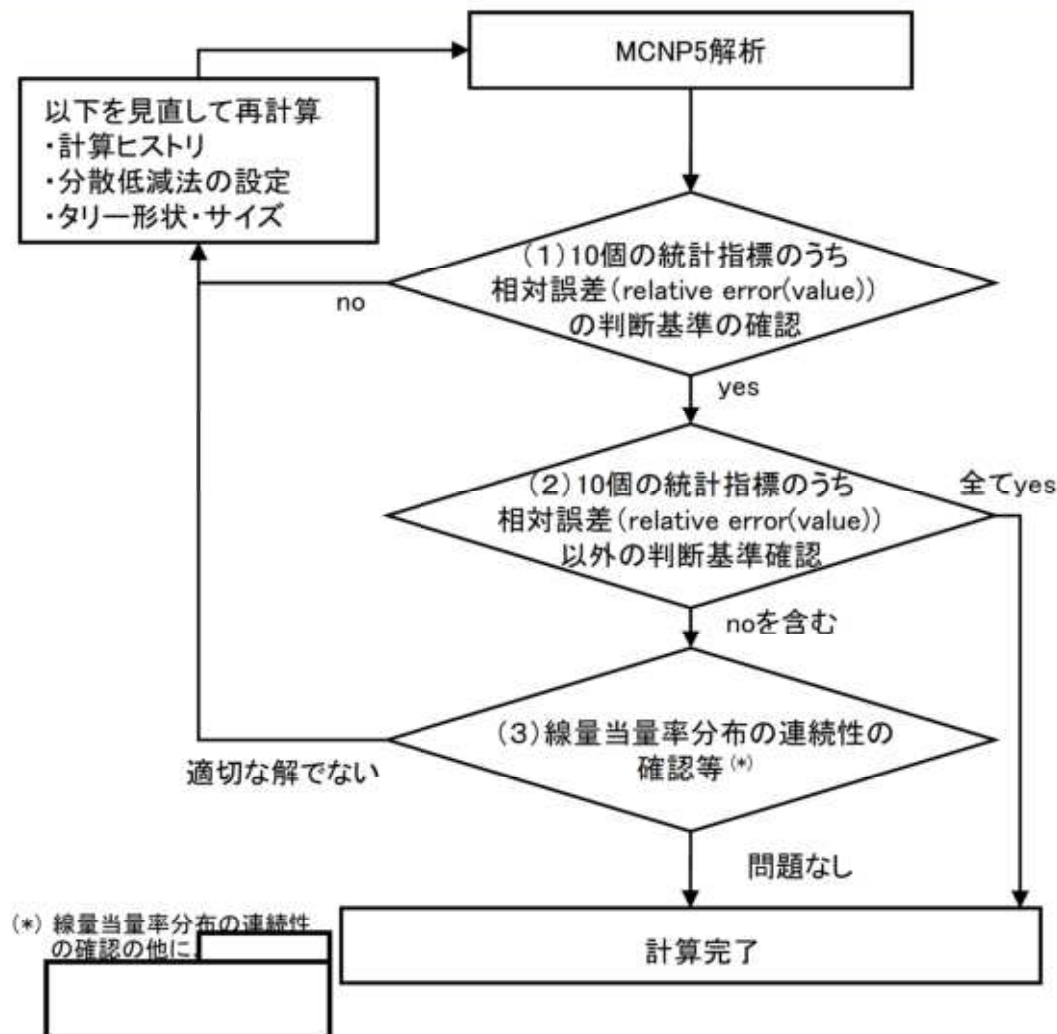
[MSF-28P型及びMSF-76B型] MCNP5コードによる線量当量率の計算が適切に行われたと判断する過程について、10個の統計指標を満足しない場合を含めより詳細に説明すること。

(回答)

「放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法ガイドライン原案の策定」^(注1)を参考に以下の手順でMSF-28P型及びMSF-76B型の線量当量率計算が適切に行われたことを確認している。

- (1) 10個の統計指標のうち、相対誤差(relative error(value))を確認し、「no」がある場合は計算条件を再検討する。
- (2) その他の9個の統計指標の確認を行う。満足していない項目がある場合、線量当量率分布の確認等を行う。
- (3) 線量当量率分布が連続であることの確認等により計算が適切に行われていることを確認する。

統計指標の項目		統計指標の確認目的
mean		適切にモンテカルロ法で計算ができていないことの確認。
relative error	value	統計的な精度を表わす指標。
	decrease	
	decrease rate	
variance of the variance	value	相対誤差の確度を表わす指標。
	decrease	
	decrease rate	
figure of merit	value	タリーの信頼性を表す指標。
	behavior	
pdf		適切にサンプリングされていることの確認。



(*) 線量当量率分布の連続性の確認の他に、

(注1) 浅見光史, 平尾好弘, 澤田健一, 大西世紀, 近内亜紀子, 小田野直光, 「放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法ガイドライン原案の策定」, 海上技術安全研究所報告 第13巻 第1号(平成25年度) 研究調査資料, (2013).

2. 指摘事項への回答

(統計指標の確認(MSF-28P型の例))

- (1) 10個の統計指標のうち、全ての評価点及び全ての線種において相対誤差 (relative error(value))は「yes」である。
- (2) その他の9個の統計指標において一部「no」があるため、線量当量率分布の確認を行う。
- (3) 線量当量率分布は連続であり、計算は適切に行われていることが確認できる。

(1)相対誤差は全て「yes」

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

(2) 相対誤差以外で「no」の項目がある

(3)線量当量率分布は連続である

MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社