

**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
設置許可基準規則への適合性について
(第十六条関連 遮蔽)
2023.10.11 書面審査指摘事項への回答**

GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH

2024年2月2日

1. 設置許可基準規則への適合性の概要
2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条のうち、遮蔽機能)

1. 設置許可基準規則への適合性の概要

設置許可基準規則適合性説明対象

設置許可基準規則	安全機能					構造健全性	設計条件	貯蔵施設に関する要件
	臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め	長期健全性			
第四条:地震による損傷の防止	-	-	-	-	-	○	-	○
第五条:津波による損傷の防止	-	-	-	-	-	○	-	○
第六条:外部からの衝撃による損傷の防止	-	-	-	-	-	○	-	○
第十六条:燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○	○	○	○	○	-	-	○

「第十六条:燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設」の遮蔽機能について、本資料で説明する。(青枠部分)

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(遮蔽機能)

設置許可基準規則第十六条の内、遮蔽機能に係る要求事項に対するCASTOR® geo26JP型の設計方針を下表に示す。

規則等	要求事項	設計方針	先行例との比較
設置許可基準規則(注1) 第十六条第4項 第一号	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。	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、設計貯蔵期間における中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力への影響はなく、特定兼用キャスク表面の最大線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、特定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100μSv/h以下とする設計とする。	基本的考え方については先行例と同様。 先行例と異なり、中性子遮蔽材の熱による遮蔽能力への影響はない設計となっている。
設置許可基準規則解釈(注2) 別記4第十六条第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(注3) 第4条第1項第3号	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。	型式証明申請の範囲外とする。	

(注1)「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」

(注2)「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の解釈」

(注3)「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(遮蔽機能)

設置許可基準規則第十六条の内、遮蔽機能に係る要求事項に対するCASTOR® geo26JP型の設計方針を下表に示す。

規則等	要求事項	設計方針	先行例との比較
設置許可基準規則解釈別記4第十六条第2項(続き)	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。	特定兼用キャスク表面の最大線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、特定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100μSv/h以下とする設計とする。	先行例と同様
	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。	型式証明申請の範囲外とする。	
設置許可基準規則解釈別記4第16条第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。	設計貯蔵期間は60年間とする。	先行例と同様
	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。	構成部材は、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および構造とする。	先行例と同様 なお、構成部材は異なる。 (例:中性子遮蔽材)

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(遮蔽機能)

審査ガイド(注1)の確認内容に対するCASTOR® geo26JP型の遮蔽機能に係る設計方針を下表に示す。

確認内容	遮蔽機能に関する設計方針	先行例との比較
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、冷却期間等を条件とし、核種の生成及び崩壊を計算して求めること。	使用済燃料の放射線源強度は、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等から燃焼計算コードORIGEN-2.2(ライブラリ:PWR U50)を使用して求める。	先行例と同様
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。	CASTOR® geo26JP型における遮蔽機能の評価では、遮蔽解析はMCNP6コードと適切な断面積ライブラリ(ENDF/B-VII.0)を用い、キャスク形状を詳細にモデル化して実施する。 なお、設計貯蔵期間中の遮蔽材の劣化による遮蔽機能の低下はない。	遮蔽解析コードにはMCNP6コードを使用。 中性子遮蔽材は、設計貯蔵期間中に熱影響による中性子遮蔽能力の低下(例:質量減損)はない。
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100μSv/h以下とすること。	CASTOR® geo26JP型は、特定兼用キャスク表面の最大線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、特定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100μSv/h以下とする設計とする。	先行例と同様
3) 敷地境界における実効線量評価(以下略)	型式証明申請の範囲外とする。	
4) 応急復旧(以下略)	型式証明申請の範囲外とする。	

2023.10.11 指摘事項

1. キャスクの収納条件(15X15燃料と17X17燃料の混載の可否)

補足説明資料1-2P11, 申請書P8

遮蔽解析については、保守的に17X17燃料で代表して評価することから、CASTOR®geo26JP型では15X15燃料と17X17燃料は任意の位置で混合して収納可能であるとしている。一方、申請書P8では、17X17燃料と15X15燃料は混載されないとの記載があり、当該キャスクの収納条件として15X15燃料と17X17燃料の混載の可否を明確にし、必要な収納条件を明確にすること。

2. 遮蔽解析の保守性

遮蔽概要資料P28,25,21、申請書P1-59

収納物制限に対する解析条件の保守性と遮蔽解析のモデル化の保守性について、それぞれ整理し、具体的に説明すること。また、中性子遮蔽材は、設計貯蔵期間中に熱影響による中性子遮蔽能力の低下(例:質量減損)はないとしているが、その妥当性を具体的に説明すること。

3. MCNP6解析コードの適用妥当性

①線量当量率測定データを得たCASTOR®V/19型とCASTOR®geo26JP型は類似した設計であり、解析モデルも非常に類似したものの記載があるが、両型式の一致点及び相違点並びに相違点による遮蔽計算への影響(CASTOR®V/19型で検証されたMCNPコードへの適用範囲への影響)について具体的に説明すること。

②測定値と計算値との比較により、計算値は統計的に保守性があると記載されている。しかし、前述は平均値における議論であり、一部のデータ点では保守性を示していない(測定値>計算値)ため、データ点のばらつきに対する分析が不足している。また、測定値及び計算値に対する誤差や不確かさが考慮されていない。以上を踏まえて、計算値が保守性を持つことを論理的に説明すること。

③測定器の不確かさの出典を記載すること。また、今回の測定条件に対して適用範囲内にあるのかについて説明すること。(測定器校正条件とキャスク測定条件との違いから不確かさが有意に拡大することはないか。)

④MCNPコードの検証作業としていくつかの個別条件に対する結果が示されているが、これらを総合的に評価した時に、MCNPコードの適用妥当性としてどのように結論付けられるのかを(解析結果絶対値の信頼性が高いこと、又は確実に保守的な解析結果が得られることを)、論理的に説明すること。

4. MCNP6解析コードによる遮蔽機能評価

遮蔽概要資料P25-27、補足説明資料1-2 P14-16

- ①ジオメトリ分割法とロシアンルーレットの組み合わせによる分散低減法であるImportance法の重要度パラメータを試行錯誤的繰り返し計算により手動設定したことについて、パラメータの妥当性をどのように確認したのか説明すること。特に胴部の中性子遮蔽棒近辺では中性子遮蔽能力が異なる部材が混在しているためにパラメータ設定が難しいことが予想されるため、具体的に説明すること。
- ②計算結果の統計的信頼性の確認方法について具体的に説明すること。

2023.10.11 指摘事項への回答

1. キャスクの収納条件(15X15燃料と17X17燃料の混載の可否)

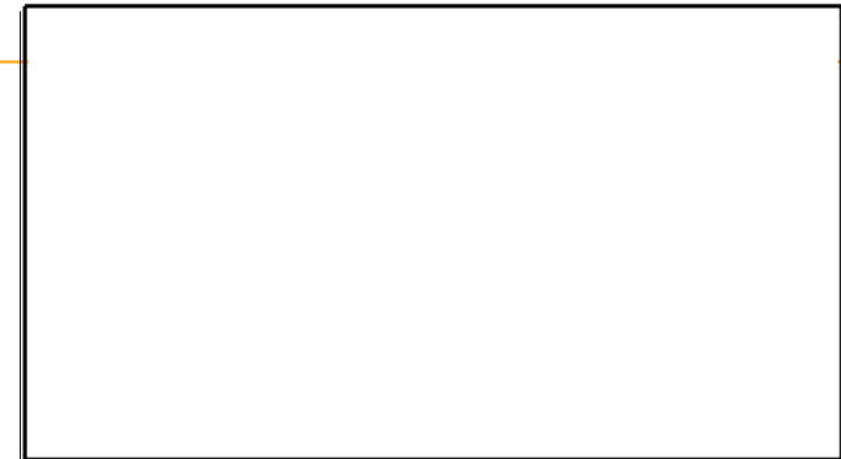
補足説明資料1-2P11, 申請書P8

遮蔽解析については、保守的に17X17燃料で代表して評価することから、CASTOR®geo26JP型では15X15燃料と17X17燃料は任意の位置で混合して収納可能であるとしている。一方、補正申請書P8では、17X17燃料と15X15燃料は混載されないとの記載があり、当該キャスクの収納条件として15X15燃料と17X17燃料の混載の可否を明確にし、必要な収納条件を明確にすること。

回答

補足説明資料の当該内容については、補正申請書の記載に合わせ、17×17燃料と15×15燃料は混載されないが、48,000MWd/t型及び44,000MWd/t型、並びにA型及びB型は混載可能である旨、記述した。

収納位置条件については、補正申請書の記載の通り配置(i)及び(ii)を設定するとともに、その燃料配置について、仕様別に5つのグループ分けを行っている(右図参照)。



	配置(i)		配置(ii)	
	17×17燃料 15×15燃料		17×17燃料 15×15燃料	
	燃焼度 (MWd/t以下)	冷却期間 (年以上)	燃焼度 (MWd/t以下)	冷却期間 (年以上)
A	48,000	16	48,000	16
B	39,000/44,000	22	48,000	30
C	39,000/44,000	39	48,000	30
D	39,000/44,000	12	48,000	24
E	39,000/44,000	16	48,000	29

※ 赤枠内の格子には、バーナブルポイズン集合体を挿入した燃料集合体を収納できる。

2023.10.11 指摘事項への回答

2. 遮蔽解析の保守性

遮蔽概要資料P28,25,21、申請書P1-59

収納物制限に対する解析条件の保守性と遮蔽解析のモデル化の保守性について、それぞれ整理し、具体的に説明すること。また、中性子遮蔽材は、設計貯蔵期間中に熱影響による中性子遮蔽能力の低下(例:質量減損)はないとしているが、その妥当性を具体的に説明すること。

回答

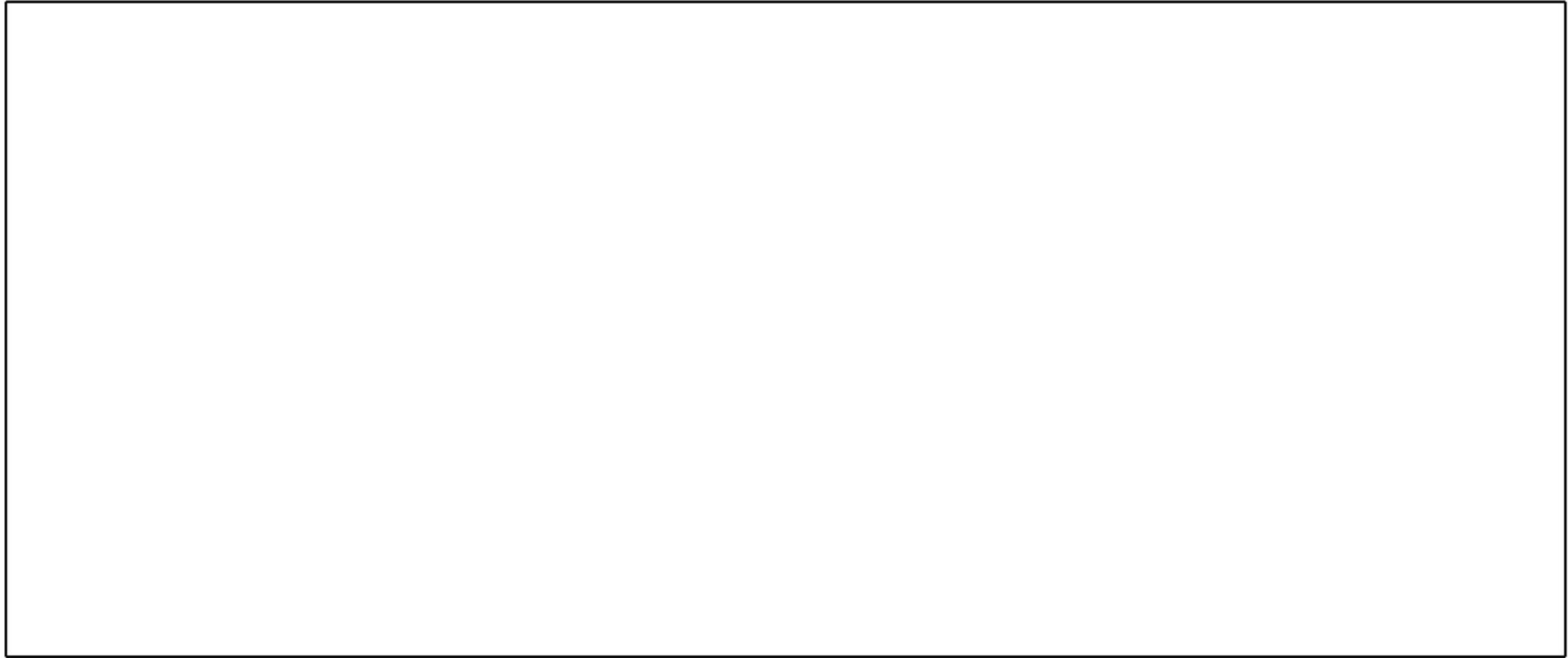
解析に当たっては、設計上の公差は遮蔽能力が最小化されるように考慮し、材料密度には製造時の最低保証密度を用いる。また、貯蔵架台と固定装置を無視するなど解析条件の保守性と遮蔽解析のモデル化の保守性を有している。中性子遮蔽材の、設計貯蔵期間中の熱影響による中性子遮蔽能力の低下については長期健全性に関する説明資料(1024-TR-00011)で説明する。

3. MCNP6解析コードの適用妥当性

- ①線量当量率測定データを得たCASTOR®V/19型とCASTOR®geo26JP型は類似した設計であり、解析モデルも非常に類似したものの記載があるが、両型式の一致点及び相違点並びに相違点による遮蔽計算への影響(CASTOR®V/19型で検証されたMCNPコードへの適用範囲への影響)について具体的に説明すること。
- ②測定値と計算値との比較により、計算値は統計的に保守性があると記載されている。しかし、前述は平均値における議論であり、一部のデータ点では保守性を示していない(測定値>計算値)ため、データ点のばらつきに対する分析が不足している。また、測定値及び計算値に対する誤差や不確かさが考慮されていない。以上を踏まえて、計算値が保守性を持つことを論理的に説明すること。
- ③測定器の不確かさの出典を記載すること。また、今回の測定条件に対して適用範囲内にあるのかについて説明すること。(測定器校正条件とキャスク測定条件との違いから不確かさが有意に拡大することはないか。)
- ④MCNPコードの検証作業としていくつかの個別条件に対する結果が示されているが、これらを総合的に評価した時に、MCNPコードの適用妥当性としてどのように結論付けられるのかを(解析結果絶対値の信頼性が高いこと、又は確実に保守的な解析結果が得られることを)、論理的に説明すること。

回答

2023.10.11 指摘事項への回答



4. MCNP6解析コードによる遮蔽機能評価

遮蔽概要資料P25-27、補足説明資料1-2 P14-16

①ジオメトリ分割法とロシアンルーレットの組み合わせによる分散低減法であるImportance法の重要度パラメータを試行錯誤的繰り返し計算により手動設定したことについて、パラメータの妥当性をどのように確認したのか説明すること。特に胴部の中性子遮蔽棒近辺では中性子遮蔽能力が異なる部材が混在しているためにパラメータ設定が難しいことが予想されるため、具体的に説明すること。

②計算結果の統計的信頼性の確認方法について具体的に説明すること。

回答

①補足説明資料に重要度の設定方法を追記するとともに、図4「中性子遮蔽体(棒状)付近の中性子束分布と統計誤差分布」を追加し、中性子遮蔽棒付近の中性子束分布が適切に計算できていることを追記した。

②体積検出器は、例えば、燃料ペレットの中央、トラニオンの周り、蓋の上などの、キャスク周りの重要な位置で、線量当量率分布の特殊性が予想される場所に配置され、結果の統計的挙動を確認するため、不確実性など10個の統計的チェックなどの高度な統計的手段に利用している。補足説明資料の別紙3に「統計指標による高度な統計的手段」を追加し、10個の統計指標の結果例を記載した。

2023.10.11 指摘事項への回答

回答つづき: 10個の統計指標の結果例

表 A3-1 統計指標の概要

番号	分類	統計指標の内容	統計指標の例 (表面から1mにおける 最大線量当量率位置)	
			ガンマ線	中性子
1	平均値	計算収束判定段階において、発生粒子数 N の増加に伴い、平均値が単調増加したり減少したりしないこと (random であること)		
2	相対誤差 (R)	0.1 より小さいこと(<0.10)		
3		計算収束判定段階において、発生粒子数 N の増加に伴い、 R が単調に減少すること		
4		計算収束判定段階において、 R が $1/\sqrt{N}$ で減少すること		
5	VOV (分散 の分散)	0.1 より小さいこと(<0.10)		
6		計算収束判定段階において、VOV が単調に減少すること		
7		計算収束判定段階において、VOV が $1/N$ で減少すること		
8	FOM (タリー の性能 指数)	計算収束判定段階において、FOM が一定 (constant) であること		
9		計算収束判定段階において、FOM が N の関数として単調増加あるいは単調減少しないこと(random であること)		
10	PDF (確率 分布関数)	タリーに記録された検出量の確率分布関数 $f(x)$ の最終的スロープが 3 より大きいこと(>3.00)		

ご清聴ありがとうございました！

