

使用済燃料等の輸送・貯蔵の分野における 最新解析手法に係る評価手法の研究

事前評価 説明資料

令和元年10月
原子力規制庁長官官房技術基盤グループ
核燃料廃棄物研究部門

1

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(行程表)

1. 背景①

許認可における遮蔽解析技術は、我が国の原子力黎明期に機器と共に米国より入手した解析コード及び断面積ライブラリが現在でも主に使用されており、最新知見を反映させた新規技術の導入は進んでおらず、安全文化の観点からも健全な状況とは言い難い。

その要因の1つとして、新規技術導入の際に要求される精度検証等に係る審査プロセスが明示されておらず、申請側における審査への対応準備及び審査期間の予測が困難であることが挙げられる。

規制側においても、最新解析手法に係る評価手法に関する知見の拡充を実施し、同手法を使用した申請に対する適切かつ迅速な審査を実施するための明確な審査プロセスを確立させる必要がある。

● 我が国の許認可における遮蔽解析コード使用の現状(輸送・貯蔵の分野)

- 従来：数十年前に開発された離散座標Snコード及び断面積ライブラリを主に使用
- 近年：申請内容の妥当性説明等のために最新知見に基づく遮蔽解析コードであるモンテカルロコードが補助的に使用されるケースが増加
- 今後：許認可コードとしてもモンテカルロコードの使用頻度の増加を予測

1. 背景②

● 許認可における遮蔽解析コードの諸外国の状況

- 各国ともに自国開発のモンテカルロコードが主体
- 各国で上記解析コードに対する検証等も精力的に実施

諸外国に対する調査結果

	主に使用されている モンテカルロコード※	検証事例
米国	MCNP(米), SCALE-MAVRIC(米)	両コードの開発元(LANL, ORNL)が検証を実施
英国	McBend(英), MCNP(米), MORSE(米), TRIPOLI(仏)	McBendに対し、広範囲な妥当性確認事例が存在
仏国	TRIPOLI(仏)	TRIPOLIIIに対し、ベンチマーク解析及びコード間比較事例が存在
独国	MCNP(米), SCALE-MAVRIC(米)	MCNPIに対し、国家機関によるベンチマーク解析レポートが存在

※括弧内は開発国

1. 背景③

・ 米国におけるコード検証の詳細

- 開発元におけるコード検証
 - ◆ IEEEやISOの国際規格等に基づくコード検証プランを策定している。
 - ◆ 「ソフトウェア開発における検証」として、5つのサブプロセスごとの検証活動を定めて実施している。
 - ◆ 「コードにおける検証」として、リリースまでの各ステップで解析解との比較、ベンチマーク、他コードの結果との比較を実施している。
- コード検証に係る規制対応
 - ◆ NUREG-1536, 1567では、以下の項目をSARに記載することが求められている。
 - ・ 検証されたバージョンであること。
 - ・ 適用範囲内であること。
 - ・ テスト問題の解と解析解、実験値等との比較によって類似性を示すこと。
 - ◆ NUREG-1536, 1567では、実物または類似の使用済燃料貯蔵システムにおいて測定された線量率で検証することを推奨している。
- 事業者におけるコード検証
 - ◆ 独自の品質保証プログラムを策定し、NRCの承認を得ている。
 - ◆ 初めてMCNPを用いて乾式貯蔵システムの許認可を申請した際、収納物を装荷したキャスクの線量率データによるコードのテスト結果及び実験的な分析結果をNRCから要求され、対応している。

1. 背景④

・ 新規技術導入に対して規制側が準備すべき知見等

新規、あるいは使用実績の少ない解析コードが使用された際の審査を適切かつ迅速に実施するには、下記の知見拡充が必要

- 解析コード自体の解析精度や信頼性等を確認するための検証(Verification)と妥当性確認(Validation)(以下「V&V」という。)に係る知見
- 評価結果の妥当性確認手法に係る知見

・ 事業者による新規技術導入の動向

- Snコードにおいては専用の断面積ライブラリに考慮すべき特性※があることを確認
- 解析結果の妥当性確認のためモンテカルロコード等による比較解析を実施
- 新規技術が徐々に活用されている傾向

※断面積ライブラリの影響による線量当量率評価結果の比較
(第29回技術情報検討会、平成29年12月18日)

遮蔽物質	DLC-23/CASK			MATXSLLIB-J33			線量当量率の比 (MATXSLLIB-J33)/(DLC-23/CASK)		
	中性子 線量当量率	二次ガンマ線 線量当量率	合計 線量当量率	中性子 線量当量率	二次ガンマ線 線量当量率	合計 線量当量率	中性子 線量当量率	二次ガンマ線 線量当量率	合計 線量当量率
	($\mu\text{Sv/h}$)	($\mu\text{Sv/h}$)	($\mu\text{Sv/h}$)	($\mu\text{Sv/h}$)	($\mu\text{Sv/h}$)	($\mu\text{Sv/h}$)			
鉄	1.61E-05	4.36E-08	1.61E-05	3.00E-05	1.46E-08	3.00E-05	1.87	0.33	1.86
アルミ	2.22E-05	5.99E-08	2.22E-05	2.85E-05	1.97E-08	2.85E-05	1.29	0.33	1.28
鉛	4.42E-05	2.73E-09	4.42E-05	4.54E-05	2.80E-09	4.54E-05	1.03	1.03	1.03
炭素鋼	1.69E-05	4.94E-08	1.70E-05	2.85E-05	1.97E-08	2.85E-05	1.69	0.40	1.68
ステンレス	1.61E-05	4.89E-08	1.61E-05	1.99E-05	4.19E-08	1.99E-05	1.24	0.86	1.24
レジン	1.02E-07	2.84E-07	3.86E-07	1.21E-07	3.02E-07	4.23E-07	1.19	1.06	1.10
水	9.96E-08	3.35E-07	4.34E-07	1.08E-07	3.48E-07	4.57E-07	1.09	1.04	1.05

評価条件

解析コード: ANISN

線源: Pu-239自発核分裂

計算体系: 半径50cmの球

2. 目的

許認可審査において、事業者が実施した最新知見に基づく遮蔽解析コードであるモンテカルロコード及び専用の連続エネルギー断面積ライブラリを用いた遮蔽評価結果に対する妥当性確認を適切に実施するため、当該コードのV&V手法及び評価結果の妥当性確認手法の知見拡充を実施する。

V&V: Verification and Validation

Verification

解析コードの基礎となる物理モデル、方程式等が妥当であることを確認し、それらの数値解をデジタル計算機が許容範囲内で導出できることを確認する実施プロセス。

Validation

対象とする実現象を満足できる範囲内で予測できることを確認する実施プロセス。
(ベンチマーク解析により実験データの再現性を確認する。)

7

3. 研究の概要①

- **V&V手法に係る知見拡充**
 - 諸外国の動向や国内有識者の意見等を聴取し、許認可の場面での使用を想定したV&V実施手順案を作成。
 - 手順案の適用性を確認するため、対象解析コードを選定し(国産モンテカルロコードPHITSを想定。)、手順案に沿ってコードの検証(Verification)作業及び妥当性確認(Validation)作業を実施。
 - 一連の作業結果を基に手順案の検証・考察を実施し、国内有識者の意見等を聴取しながら、V&V実施手順として確立。
- **評価結果の妥当性確認手法に係る知見拡充**
 - 既存研究結果や国内有識者の意見等を考慮し、妥当性確認手法を立案。
 - 上記のコードの妥当性確認作業等を利用して、手法案の適用性を確認。
 - 一連の作業結果を基に手法案の検証・考察を実施し、国内有識者の意見等を聴取しながら、評価結果の妥当性確認手法として確立。
- **研究成果のまとめ及び技術文書の公表**
 - 上2者から得られた知見を基に、審査における規制側の確認ポイントを整理し、研究成果としてまとめる。
 - 研究成果の性質、審査におけるニーズ等を考慮し、技術文書(研究論文、NRA技術報告、審査ガイド等)として整備。

8

3. 研究の概要② V&V実施手順の確立

概念モデルの開発

1. 対象とする実現象の同定
2. 注目システム応答変量の指定
3. 要求すべきモデルの予測性能の指定
4. システムの分析
5. 概念モデルの開発

数学的モデル化

1. 数値モデルへの変換
2. 数値モデルへの実装
3. コード検証
4. 解検証
5. 不確かさの定量化

物理的モデル化

1. 不確かさ評価済みの実験
データベースの調査
2. 実験構想の立案
3. 実験計画の作成
4. 実験データの取得
5. 妥当性確認用データベース
への追加
6. 実験の不確かさの定量化
7. 物理的モデルの検証

学会標準※における、「シミュレーションの信頼性確保のための基本的な考え方」を基礎に、以下の項目等について検討し、技術的知見を取得する。

- ・ 遮蔽解析コード(主にモンテカルロコードを想定)に特化した具体的作業内容
- ・ 適用範囲の考え方
- ・ バグ修正、バージョンアップの際の対応

シミュレーションモデルの予測性能の判断

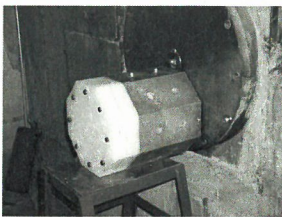
1. 妥当性確認実験に対する不確かさの定量化及び統合
2. 予測による不確かさ拡大の定量化
3. モデルの予測性能の定量化
4. 要求に対するモデル予測性能の判断
5. モデル予測性能に対する判断の検証

※日本原子力学会標準

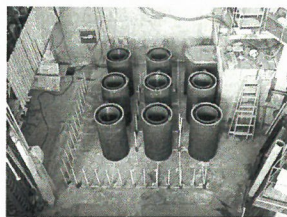
シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン:2015

3. 研究の概要③ コードの妥当性確認(Validation)

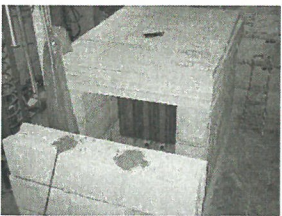
既存のベンチマーク実験の例



(a) ビーム散乱体



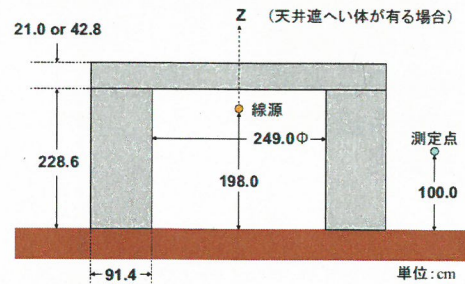
(b) キャスク相互遮へい



(c) ダクトストリーミング



(d) コンクリート深層透過



日本原子力学会和文論文誌, Vol. 6, No. 2, p. 225-238 (2007)
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

小佐古 敏荘(東京大学)、他

(財)原子力安全研究協会、原子力施設散乱放射線
挙動専門委員会、「スカイシャイン線量評価法確立
のための調査研究報告書」、昭和53年3月

3. 研究の概要④ 評価結果の妥当性確認手法

確認フローのイメージ

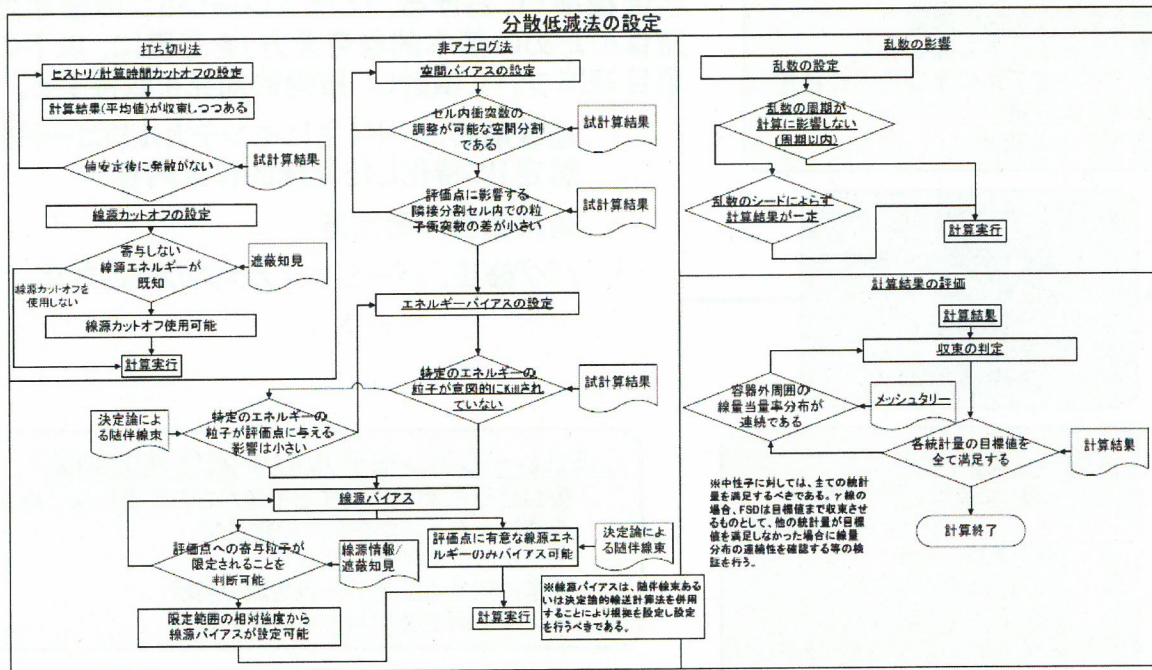


図 5.2-1 モンテカルロ法を用いた放射性物質輸送容器の遮蔽計算フロー
(遮蔽に適用する分散低減法の設定方法)

4. 研究計画(行程表)

