

# 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

0.5億円（令和2年度新規）

課室：核燃料廃棄物研究部門

## <事業の背景・内容>

放射性物質の輸送、使用済燃料の貯蔵の許認可申請において、諸外国では従来手法よりも精緻な評価結果を得ることが可能な最新知見に基づく解析手法（モンテカルロ法）による放射線遮蔽解析が主流となっています。我が国においても、モンテカルロ法に基づいた申請がなされることを想定し、審査の留意点を整理することにより、効率的な審査が可能となります。また、審査の留意点を明確にすることで、申請者による最新知見の導入の促進が期待されます。そのため、遮蔽解析コード※1のV&V※2手法等に係る安全研究を実施します。

具体的には、解析コードのV&V手法等の研究として、最新解析手法に基づく新規の遮蔽解析コード（活用実績の少ないコードを含む。）を用いた許認可申請が提出された際に、的確かつ迅速な基準適合性審査を実施するために、遮蔽解析コードのV&V手法や解析結果の評価手法等の確立に向けた研究を行います。

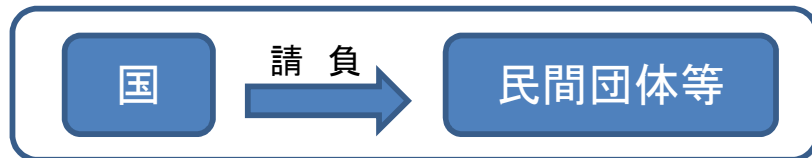
### ※1 解析コード

数値計算により物理現象等の解析を行うために用いるコンピュータプログラムをいいます。

### ※2 V&V: Verification and Validation

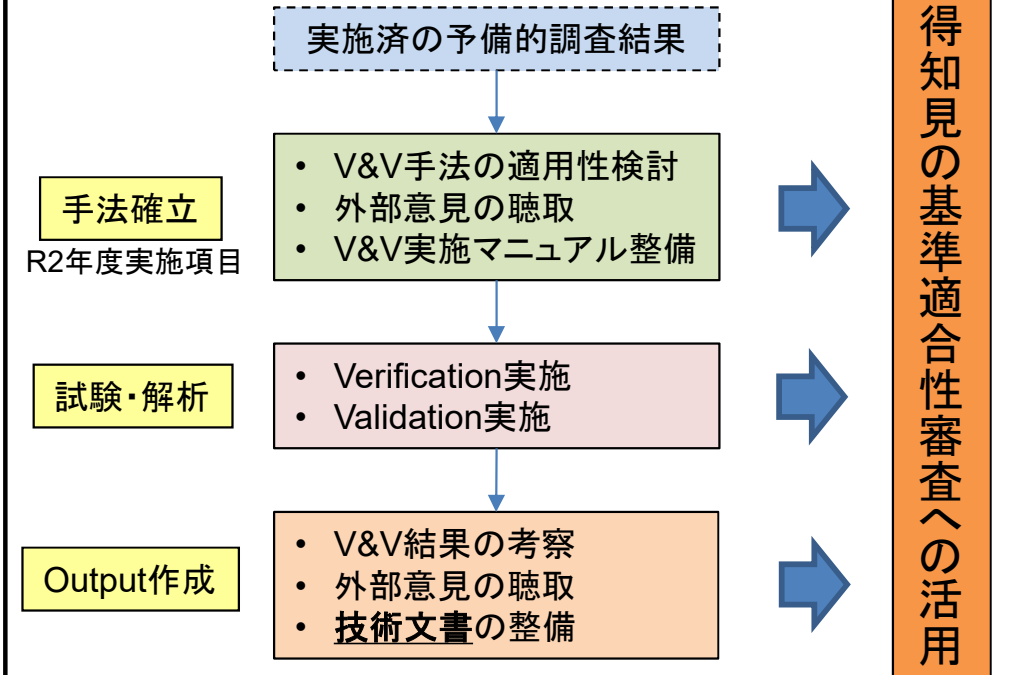
解析コードの品質保証のために、検証及び妥当性確認の2つの視点から評価を実施する一連の作業をいいます。

## <条件（対象者、対象行為、補助率等）>



## <事業のスキーム、具体的な成果イメージ>

### 解析コードのV&V手法等の研究（V&V手法の確立）

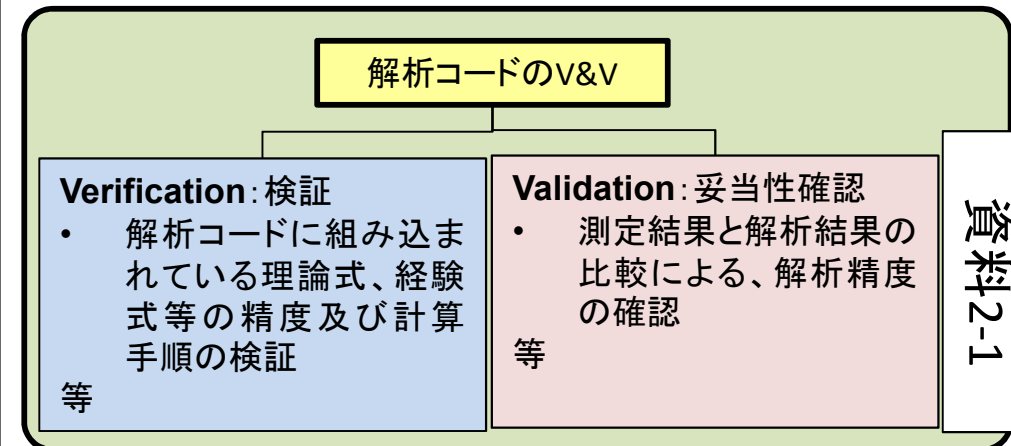


手法確立  
R2年度実施項目

試験・解析

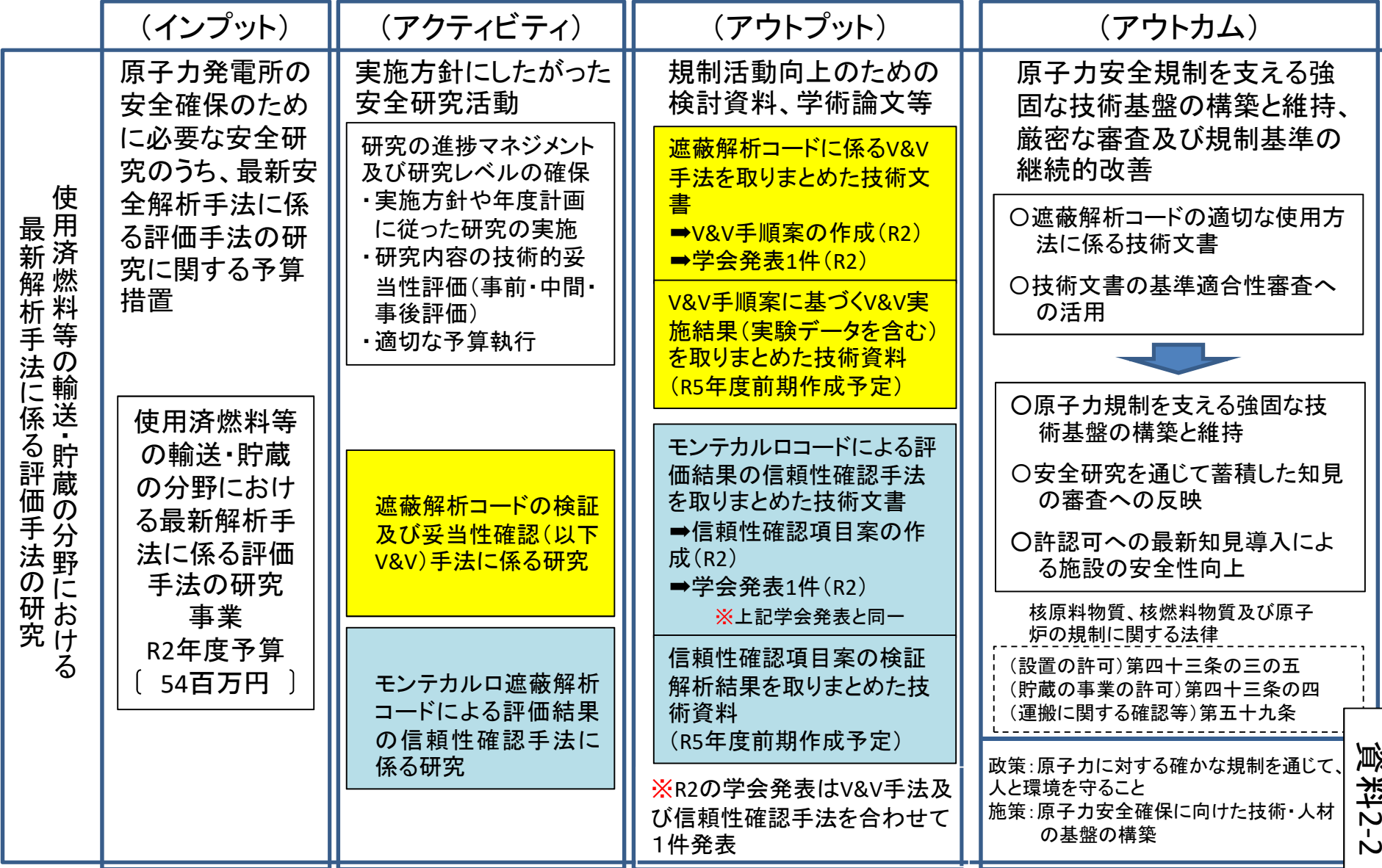
Output作成

取得知見の基準適合性審査への活用



資料2-1

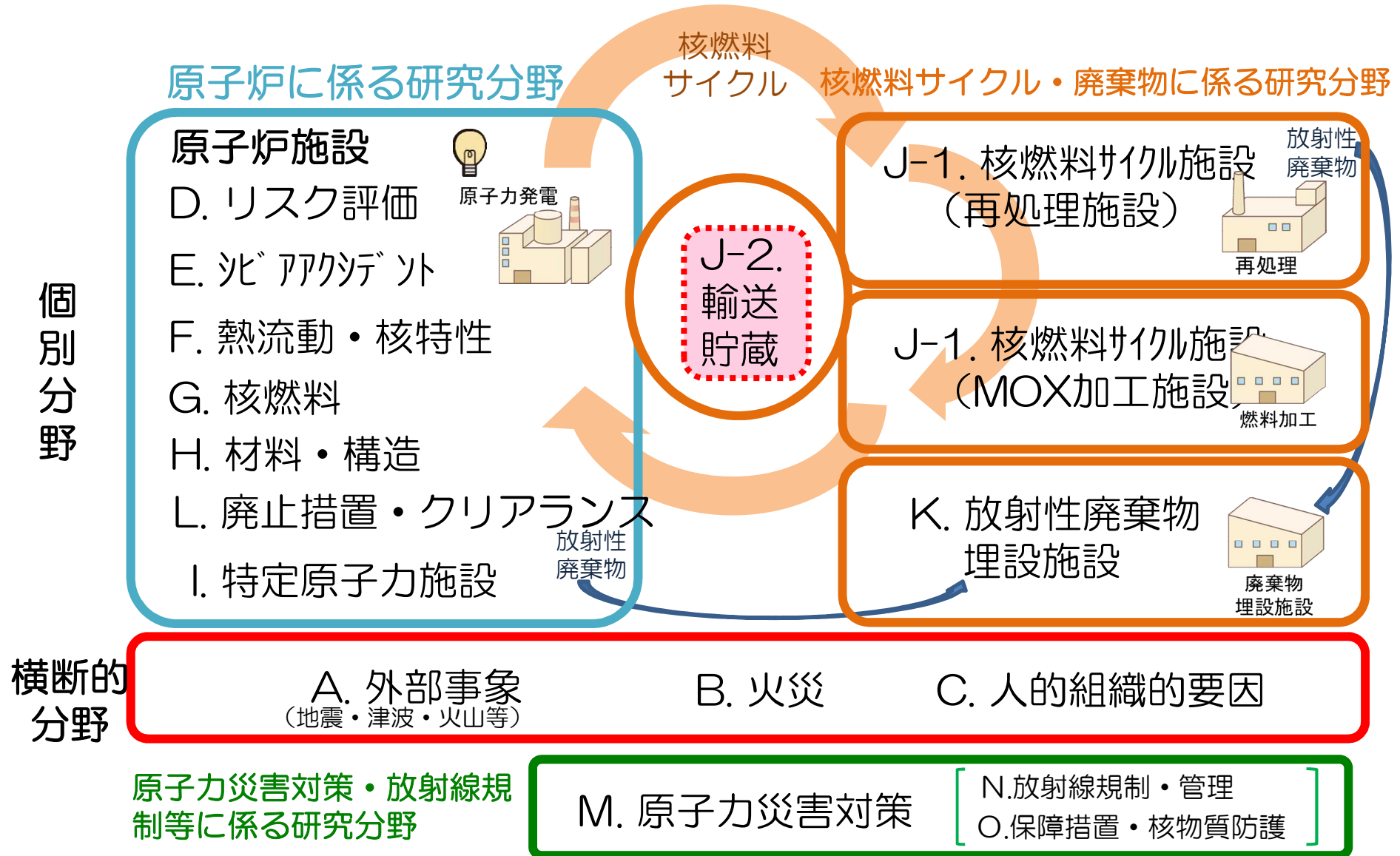
# ロジックモデル



# 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

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

# 原子力規制委員会が実施する安全研究の分野



※上記分類は、「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針について」(原子力規制委員会)による。<sup>2</sup>

# 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核反応等のデータベース(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

※離散座標Snコードとモンテカルロコードの主な違いについてはP10を参照

# 1. 背景②

- 許認可における遮蔽解析コードにおける諸外国の状況
  - 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※1	検証事例※2
米国	MCNP(米), SCALE-MAVRIC(米)	両コードの開発元(Los Alamos研究所, Oak Ridge研究所)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)	TRIPOLI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)	MCNP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

※1 括弧内は開発国

※2 諸外国の詳細な検証結果は非公開のため、本事業での活用ができない

# 1. 背景③

## 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

※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

□部のように、DLC23/CASKは主に鉄に対して中性子線量を過小評価する。

- 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

モンテカルロコードが使用されている現在審査中の許認可案件(本事業の知見を活用中)

- TK-26型金属キャスクの型式証明申請
- MSF-24P型特定兼用キャスクの型式証明申請
- 四国電力伊方発電所乾式貯蔵施設の設工認申請(補助的に使用)

## 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、以下に係る知見拡充を実施する。

- **V & V手法**
- **評価結果の信頼性確認手法**

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。)



## 3. 研究の概要

- 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、対象解析コードとして国産モンテカルロコードPHITSを選定し、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。

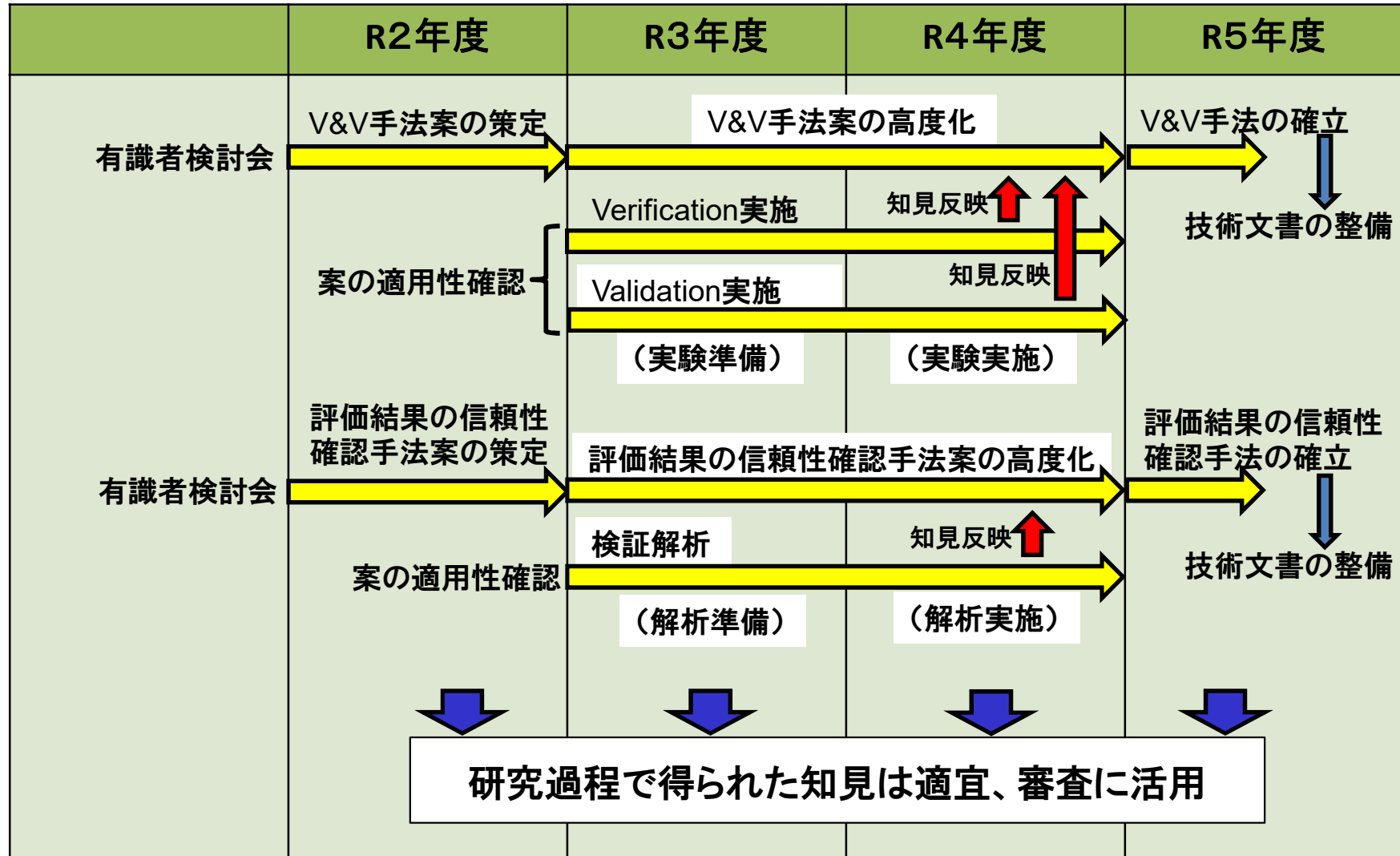
- 評価結果の信頼性確認手法に係る知見拡充

- 既存研究結果や国内有識者の意見等を考慮し、信頼性確認手法を立案。
- 解析コードによる検証解析等をとおして、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、評価結果の信頼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(アウトプット)

- 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。

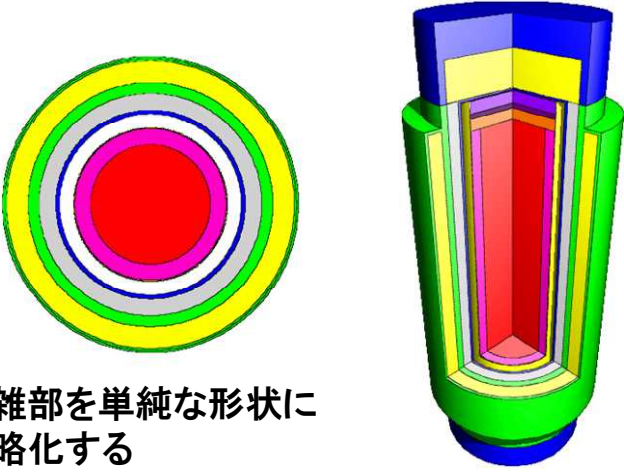
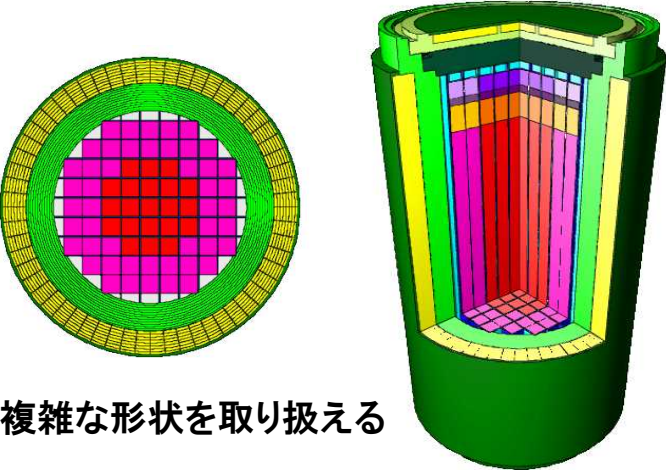
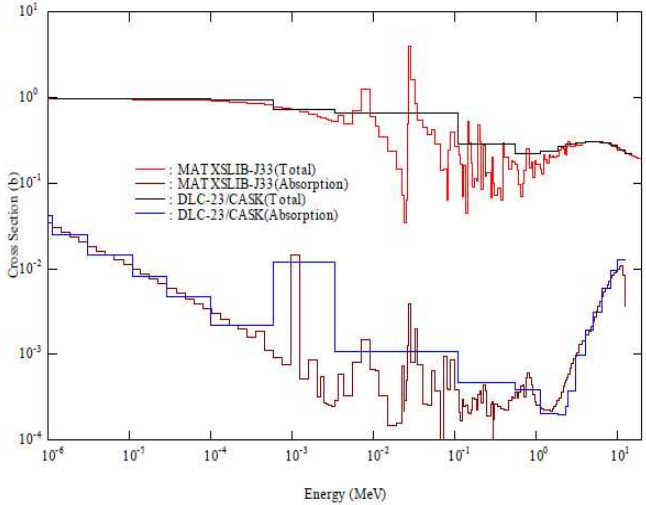
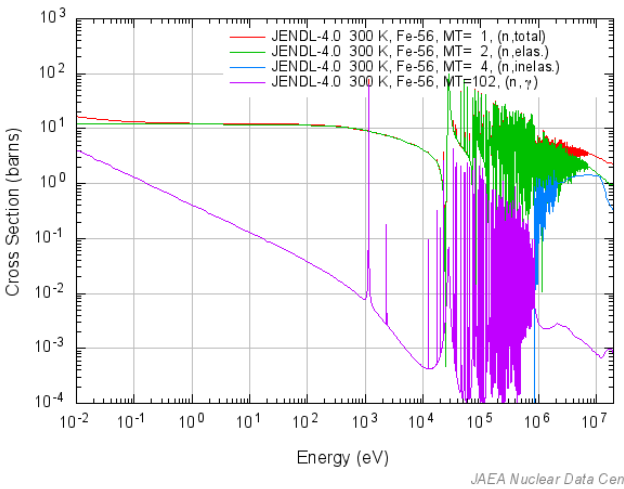
## 4. 研究計画(行程表)



## 5. 事業のアウトカム

モンテカルロ法を使った遮蔽解析コードに対するV&V手法及び評価結果の信頼性確認手法について整備した技術文書を活用し、また、研究事業の過程で得られた知見を許認可審査に活用することにより、事業者の評価結果に対する妥当性確認を適切に実施する。

# 添付資料： 遮蔽計算法の新旧による主な違い

	従来の計算法(離散座標Sn法)	新規の計算法(モンテカルロ法)
<p>形状</p>	 <p>複雑部を単純な形状に簡略化する</p>	 <p>複雑な形状を取り扱える</p>
<p>エネルギー</p> <p>(右図は各計算法で使用する断面積ライブラリ)</p>	 <p>区間を区切って平均化する</p>	 <p>データを連続的に取り扱える</p>
<p>計算条件</p>	<p>部分的に誤差が大きくなりやすいため、計算条件で大きな保守性を考慮する</p>	<p>全体的に誤差を小さく抑えやすいため、計算条件で過剰な保守性を排除できる</p>

事業番号 2021 - 原規 - 20 - 0029

## 令和3年度行政事業レビューシート ( 原子力規制委員会 )

事業名	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			担当部局庁	原子力規制庁			作成責任者			
事業開始年度	令和2年度	事業終了(予定)年度	令和5年度	担当課室	長官官房技術基盤グループ 核燃料廃棄物研究部門			安全技術管理官(核燃料廃棄物担当) 迎 隆			
会計区分	エネルギー対策特別会計電源開発促進勘定										
根拠法令 (具体的な条項も記載)	特別会計に関する法律第85条第6項 特別会計に関する法律施行令第51条第7項第4号、第18号			関係する計画、通知等							
主要政策・施策	科学技術・イノベーション			主要経費	エネルギー対策						
事業の目的 (目指す姿を簡潔に。3行程度以内)	許認可審査において、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に、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。										
事業概要 (5行程度以内。別添可)	最新知見に基づく遮蔽解析コードによる評価結果を用いた許認可申請が提出された際に、的確かつ迅速な基準適合性審査を実施するために、遮蔽解析コードの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。遮蔽解析コードのV&V手法の知見拡充については、諸外国の動向や国内有識者の意見等を考慮し、許認可の場面で使用を想定したV&V実施手順案を作成する。手順案の適用性を確認するために、対象解析コードを選定し、手順案に沿ってコードの検証(Verification)作業を行い、その進捗も考慮しながらコードの妥当性確認(Validation)作業を行う。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考慮しながら、V&V実施手順として確定させる。また、評価結果の妥当性確認手法の知見拡充については、前者でのコードの妥当性確認作業等を利用して検討を進め、V&V手法と併せて審査に活用するための技術文書として整備する。										
実施方法	直接実施、委託・請負										
予算額・執行額 (単位:百万円)			平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度要求				
	予算 の 状 況	当初予算				54	120				
		補正予算				-					
		前年度から繰越し				-	-				
		翌年度へ繰越し				-					
		予備費等				-					
	計		0	0	54	120	0				
	執行額				50						
	執行率(%)		-	-	93%						
	当初予算+補正予算に対する執行額の割合(%)		-	-	93%						
令和3・4年度 予算内訳 (単位:百万円)	歳出予算目	令和3年度当初予算	令和4年度要求	主な増減理由							
	原子力安全業務庁費	90									
	職員旅費	0									
	委員等旅費	0									
	委託費	30									
	その他	0	0								
	計	120	0								
成果目標及び 成果実績 (アウトカム)	定量的な成果目標	成果指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	中間目標 年度	目標最終年度 5年度		
	安全研究を通じて蓄積した知見を個々の審査等に活用する。	安全研究を通じて蓄積した知見を個々の審査等に活用した件数	成果実績	件	-	-	1	-			
			目標値	件	-	-	1	-	3		
			達成度	%	-	-	100	-			
根拠として用いた統計・データ名 (出典)	新規制基準適合性審査に関する事業者ヒアリング(玄海3・4号機 乾式燃料貯蔵施設)令和2年12月9日										
成果目標及び成果実績(アウトカム)欄についてさらに記載が必要な場合はチェックの上【別紙1】に記載								チェック			

活動指標及び活動実績 (アウトプット)	活動指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	3年度 活動見込	4年度 活動見込	
	規制に活用する観点から安全研究等を通じて蓄積された技術的知見をNRA技術報告並びに査読のある論文誌及び国際会議のプロシーディングスで公表した件数	活動実績	件	-	-	0	0	0	
	当初見込み	件	-	-	0	0	0		
活動指標及び活動実績 (アウトプット)	活動指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	3年度 活動見込	4年度 活動見込	
	【参考指標1】 規制に活用する観点から安全研究等を通じて蓄積された技術的知見を学会で発表した件数 【内訳】 規制庁： 1件(令和2年度) 日本原子力学会2021年春の年会委託先： 0件(令和2年度)	活動実績	件	-	-	1			
	当初見込み	件	-	-	1	1	1		
活動指標及び活動実績 (アウトプット)	活動指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	3年度 活動見込	4年度 活動見込	
	【参考指標2】 規制に活用する観点から安全研究等を通じて蓄積された技術的知見を専門家が出席する技術会合(研究会、IAEA技術会合等)で発表した件数	活動実績	件	-	-	0			
	当初見込み	件	-	-	0	1	1		
活動指標及び活動実績 (アウトプット)	活動指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	3年度 活動見込	4年度 活動見込	
	最新解析コードのV&V及び評価結果の信頼性確認手法に係る解析及び調査の作業件数	活動実績	件	-	-	1			
	当初見込み	件	-	-	1	3	3		
単位当たりコスト	算出根拠		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	3年度活動見込		
	【参考指標】 執行額 / 活動実績(アウトプットの活動実績件数)	単位当たりコスト	百万円	-	-	25	24		
		計算式	百万円/件	-	-	50/2	120/5		
単位当たりコスト	算出根拠		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	3年度活動見込		
	【参考指標】 執行額 / 解析および調査の作業件数	単位当たりコスト	百万円	-	-	50	40		
		計算式	百万円/件	-	-	50/1	120/3		
政策評価、新経済・財政再生計画との関係	政策	原子力に対する確かな規制を通じて、人と環境を守ること							
	施策	原子力の安全確保に向けた技術・人材の基盤の構築							
	測定指標	定量的指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	中間目標 年度	目標年度 5年度
		安全研究の成果を含めた規制基準等の策定、見直しを図った件数 【本事業の実績】 R2年度:0件	実績値	件	-	-	1	-	
			目標値	件	-	-	6	-	6
		定量的指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	中間目標 年度	目標年度 5年度
		規制に活用する観点から安全研究等を通じて蓄積された技術的知見をNRA技術報告並びに査読のある論文誌及び国際会議のプロシーディングス公表した件数 ※規制庁が発表したものに限る 【本事業の実績】 R2年度:0件	実績値	件	-	-	28	-	
			目標値	件	-	-	20	-	20
		定量的指標		単位	平成30年度	令和元年度	令和2年度	中間目標 年度	目標年度 5年度
		安全研究等を通じて蓄積した知見を個々の審査等に活用した件数 【本事業の実績】 R2年度:1件	実績値	件	-	-	10	-	
目標値	件		-	-	5	-	5		
本事業の成果と上位施策・測定指標との関係									
本事業は上位施策である「原子力の安全確保に向けた技術・人材の基盤の構築」における「安全研究の実施等による最新の科学的・技術的知見の蓄積」の一部として実施するものである。 本事業を通じて得られた技術的知見を順次公表することで、測定指標「規制に活用する観点から安全研究等を通じて蓄積された技術的知見をNRA技術報告・論文誌等で公表した件数」に寄与するものである。また、それらの技術的知見を個々の審査等に活用することで、測定指標「安全研究を通じて蓄積した知見を個々の審査等に活用した件数」に寄与するものである。									

事業所管部局による点検・改善

項目		評価	評価に関する説明
国費投入の必要性	事業の目的は国民や社会のニーズを的確に反映しているか。	○	原子炉等規制法に基づく審査のための評価手法の整備を目的としており、国民や社会のニーズを的確に反映している。
	地方自治体、民間等に委ねることができない事業なのか。	○	本事業は、原子炉等規制法に基づく審査に資する技術的知見の整備を目的としており、地方自治体、民間等に委ねることはできない。
	政策目的の達成手段として必要かつ適切な事業か。政策体系の中で優先度の高い事業か。	○	令和2年6月24日原子力規制委員会が示した「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」における令和3年度以降の安全研究の実施方針のうち、「核燃料サイクル施設」に対する安全研究に該当するものであり、優先度は高い。
事業の効率性	競争性が確保されているなど支出先の選定は妥当か。	△	業務内容の専門性が高く、一般競争契約(総合評価)で一者応札となったが、提出された業務内容の提案書から支出先の選定は妥当である。
	一般競争契約、指名競争契約又は随意契約(企画競争)による支出のうち、一者応札又は一者応募となったものはないか。	有	
	競争性のない随意契約となったものはないか。	無	
	受益者との負担関係は妥当であるか。	○	本事業は、原子炉等規制法に基づく規制基準の整備、審査等に資する技術的知見の整備を目的としており、国が負担することは妥当である。
	単位当たりコスト等の水準は妥当か。	○	本事業の実施に当たっては、事業目的に必要な成果を得るために必要な活動に限っており、これに基づく経費であることから、単位当たりコストの水準は妥当である。
	資金の流れの中間段階での支出は合理的なものとなっているか。	-	
	費目・使途が事業目的に即し真に必要なものに限定されているか。	○	外注役務等の実施に当たっては本事業目的のために真に必要な業務であることを確認している。
	不用率が大きい場合、その理由は妥当か。(理由を右に記載)	-	
繰越額が大きい場合、その理由は妥当か。(理由を右に記載)	-		
その他コスト削減や効率化に向けた工夫は行われているか。	○	外注等の際に公告期間の確保や業者への声かけ等による対策を図ったほか、受注業者と定期的な打合せによって、事業の進捗状況及び環境の変化に即した対応を適切に行うことで、効率的に事業を実施することに努めている。	
事業の有効性	成果実績は成果目標に見合ったものとなっているか。	○	令和2年度事業における成果実績は成果目標を達成しており、事業の有効性が認められる。
	事業実施に当たって他の手段・方法等が考えられる場合、それと比較してより効果的あるいは低コストで実施できているか。	○	本事業は、原子炉等規制法に基づく規制基準の整備、審査等に資する技術的知見の整備を目的とし、国として実施すべきものであり、委託・請負によって実施することが適切である。
	活動実績は見込みに見合ったものであるか。	○	令和2年度事業における活動実績は当初見込み通りとなり、事業の有効性が認められる。
	整備された施設や成果物は十分に活用されているか。	○	本事業の成果は使用済燃料の貯蔵及び輸送に係る許認可審査に有効に活用されている。
関連事業	関連する事業がある場合、他部局・他府省等と適切な役割分担を行っているか。(役割分担の具体的な内容を各事業の右に記載)	-	
	所管府省名	事業番号	事業名
点検・改善結果	点検結果	これまでに培った知見を活用することにより、コストの低減及び予算の重点化を図る等、事業における支出は合理的な内容となっている。また、競争性の確保については研究対象の専門性が高く、一部に特殊な分野も含まれており、応札者が限定されるが、総合評価方式の一般競争入札とすることで応札希望者の技術的知見を確認しつつ、競争性が確保されるよう取り組んでいる。事業の実施に当たっては、受託事業者が適宜、発注者に計画・進捗状況及び事業結果を確認しつつ事業を進めており、計画的かつ効率的に事業を実施してきた。本事業は初年度ではあるが、その成果は輸送・貯蔵の分野における許認可審査において科学的・技術的知見として既に有効に活用されており、今後も継続的に活用が見込まれている。	
	改善の方向性	競争性の確保に当たり、一般競争入札(総合評価方式)にて結果として一者応札となったため、積極的な成果公表による事業内容の周知、総合評価方式における提案書作成期間の十分な確保等に留意することで効率的な執行に努める。	
外部有識者の所見			

行政事業レビュー推進チームの所見

所見を踏まえた改善点/概算要求における反映状況

備考

関連する過去のレビューシートの事業番号

令和2年度 原子力規制委員会 - 新02 - 0002

※令和2年度実績を記入。執行実績がない新規事業、新規要求事業については現時点で予定やイメージを記入。

資金の流れ  
(資金の受け取り先が何を行っているかについて補足する)  
(単位: 百万円)

原子力規制委員会  
50百万円

・最新遮蔽解析コードのV&V手法及び評価結果の妥当性確認手法の知見拡充



【一般競争契約(総合評価)】

A: 民間企業

・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案の策定

費目・使途  
(「資金の流れ」においてブロックごとに最大の金額が支出されている者について記載する。費目と使途の双方で実情が分かるように記載)

A.民間企業(1者)			B.		
費目	使途	金額 (百万円)	費目	使途	金額 (百万円)
請負費	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案の策定	50			
計		50	計		0

費目・使途欄についてさらに記載が必要な場合はチェックの上【別紙2】に記載

チェック



