

一般社団法人日本原子力学会

2020 年度

「放射性廃棄物の処理・処分と分離・変換技術」

研究専門委員会

成果報告書

2021 年 3 月

目次

はじめに	1
1. 研究専門委員会について	1
2. 2020 年度活動概要	1
2.1. 核燃料サイクルの性能評価の考え方	1
2.2. 現行軽水炉サイクルを対象とした検討	4
2.3. MOX プルサーマルサイクルを対象とした検討	6
2.4. 高速炉サイクルを対象とした検討	9
3. 2021 年度の計画	11

付録

付録 1	委員会委員
付録 2	委員会開催記録
付録 3	研究専門委員会における活動概要
付録 4	核燃料サイクルの性能評価の考え方
付録 5	現行軽水炉サイクルを対象とした検討
付録 6	MOX プルサーマルサイクルを対象とした検討
付録 7	高速炉サイクルを対象とした検討

はじめに

2019 年 6 月 1 日～2022 年 3 月 31 日で実施している「放射性廃棄物の処理・処分と分離・変換技術」研究専門委員会の 2020 年度活動について報告する。本報告は 2020 年度の活動の概要および 2021 年度の計画から成る。

1. 研究専門委員会について

本研究専門委員会は、分離・変換技術を含む先進的な核燃料サイクルについて調査し、二次廃棄物も含めた各種廃棄物の処理・処分に及ぼす影響を定量的、総合的に検討・整理することによって、処分場の長期の放射線安全や処分場閉鎖後の人間侵入事象における安全性向上などに寄与する実現可能な技術オプションとなり得るための分離・変換技術への提言を行う。そのために再処理、処分、核変換などの広範囲の専門家（付録 1）を委員とした。

研究専門委員会では、2019 年度に現状技術の把握と、分離・変換が処理・処分に及ぼす効果についての既往研究の調査を実施した。2020 年度は分離・変換を含む核燃料サイクルの総合評価を行い、分離・変換技術への提言を実施する計画であったが、コロナウィルスの影響により 2020 年度の上期の活動をほとんど行うことができなかった。そこで、委員会の期限を 2021 年 3 月 31 日から 2022 年 3 月 31 に延長し、2020 年度は核燃料サイクルの性能評価を実施した。ここで、評価対象として 3 種類のサイクルを設定し、各サイクルにワーキンググループ（WG）を編成して個別グループによる評価を開始した。2020 年度の開催記録を付録 2 に添付する。2020 年度の各 WG の成果を日本原子力学会春の年会で報告した。

最終年度に当たる 2021 年度は評価の取りまとめ、および、それに基づいた処理・処分および分離・変換技術への提言の検討を実施する計画である。

2. 2020 年度活動概要

2.1. 核燃料サイクルの性能評価の考え方

現在の核燃料サイクルは、燃料となるウランの採鉱に始まり、精錬、転換、濃縮、再転換、燃料ペレット製造、原子炉での燃焼と発電を経て、使用済燃料の再処理、さらには各工程で排出される放射性廃棄物の処理と最終処分（バックエンド）に至る複数の工程（要素プロセス）がつながる複合システムである。この核燃料サイクルをより優れたもの（安全性、経済性、持続性、環境負荷低減性、等の向上）に進展させることは、各要素プロセスの性能向上にとどまらず、プロセス間の整合をはかり、サイクル全体としての総合的な性能を向上させることに他ならない。例えば、仮に安全性や経済性に優れた新たな原子炉が開発されたとしても、それに使用する燃料の製造プロセスや発生する廃棄物の処理・処分プロセスに過大な負担が掛かるとすれば、サイクル全体性能の観点からは必ずしもサイクルを進展させることにはならない。すなわち、部分最適化の段階から一歩進めて、サイクル全体を俯瞰した全体最適化を進めることが必要不可欠である。

近年、放射性核種の分離・変換に関する研究が進み、この技術を核燃料サイクルから発生する高レベル放射性廃棄物（HLW）に適用することで、その処理・処分にかかる負担を低減できる可能性が議論されている。しかしながら、分離・変換技術の適用がサイクル全体としての総合性能に及ぼす効果については、その利点・欠点を含めて十分に評価されているとは言えず、全体最適化の観点からの具体的・定量的な評価が強く望まれる。

そこで、本委員会では、技術・特性マトリクスを用いた評価の方法を考案した。技術・特性マトリクスとは、図 1 に示すように、技術の行と特性の列から成るマトリクスである。技術の各行には、ある特定の核燃料サイクルの各工程がフロントエンドからバックエンドまで、漏れなく・ダブリなく含まれる。特性の各列には、経済性などの定量化が可能な、あるいは、技術実現性などの科学的な見積もりが可能な指標が並べられている。したがって、それぞれのマスには一つの工程の一つの特性が評価されることとなる。このようなマトリクスを用いることにより、漏れの無い総合的な評価が可能となる。

その一方で、網羅的であるために全てのマス进行评估することには膨大な作業量が必要となる。そこで、今回の委員会で意図している分離・変換技術の影響をみるために、分離・変換を導入することによるそれぞれのマスの変化分进行评估することから着手することとした。それにより多くのマスは評価不要となる。変化があるマスについて、既往の評価を流用するなどして評価を行う。それが難しい場合には、各分野の専門家が影響の大小と、不確実性（評価の現状）を判断し、影響が大きく不確実性が大きいマスを特定することで、将来の課題抽出を行う方針とした。

本委員会では表 1 に示す 3 つの観点で評価対象とする核燃料サイクルを選定し、各々にワーキンググループ（WG）を編成した。WG-A では、現行軽水炉サイクルを対象とした検討、WG-B では MOX プルサーマルサイクルを対象とした検討、そして WG-C では高速炉サイクルを対象とした検討を実施した。WG-A および WG-C では各々の核燃料サイクルに対して分離・変換技術を導入した場合の得失を検討する。一方 WG-B では MOX プルサーマルの使用済燃料からの HLW に（従来の意味での）分離・変換技術を適用するより前に、まず、プルサーマル使用済燃料自体をどのように管理するかが喫緊の課題であるため、そこに着目した検討を実施することとした。

		特性									
											
技術 		1. 経済性	2. 資源	3. 安定性	4. 環境影響	5. 安全性	6. セキュリティ	7. 核不拡散性	8. 技術成立性・実現性	9. 柔軟性	総合
	1.U採掘										
	2. 転換/ 濃縮										
	3. 燃料製造										
	4. 原子炉										
	5. SF貯蔵・輸送										
	6. 再処理・廃棄体化										
	7.HLW 貯蔵・輸送										
	8. 処分										
	総合										

図 1 技術-特性マトリクス

表 1 WG の編成

WG	A	B	C
目的	軽水炉 HLW に対する分離・変換の適用	軽水炉プルサーマル使用済燃料の管理	高速炉 HLW に対する分離・変換の適用
委員	◎中瀬、○西原 鷹尾、長谷川、山下	◎牧野、○朝野 宇佐見、兼平	◎渡部、○佐々 大和田、斎藤、石尾
オブザーバー	田辺、近藤、森田	川合、池田	島田、村上
観点	現行の核燃料サイクル（軽水炉使用済燃料再処理＋プルサーマル）で発生する HLW に対して、FP 分離・MA 変換を適用した場合の得失を見る。	現行の核燃料サイクルから発生するプルサーマル使用済燃料の直接処分、再処理、Pu マルチリサイクル、Pu 燃焼、(HLW 分離・変換) の得失を見る。	高速炉から発生する HLW に対して、FP 分離・MA リサイクルを適用した場合、また、ADS で MA 核変換した場合、更に、LLFP 分離変換を適用した場合の得失を見る。

◎ WG リーダー ○WG サブリーダー

2.2. 現行軽水炉サイクルを対象とした検討

WG-A では、現行の核燃料サイクル（軽水炉使用済燃料再処理＋プルサーマル）で発生する HLW に対して FP 分離・MA 変換等を適用した場合の得失を明らかにするため、技術特性マトリクスの検討を開始した。

図 2 に WG-A で想定するシナリオを示す。比較の基準となるリファレンスシナリオとして軽水炉を用いた Pu 1 回りサイクルを設定した。左から二番目の再処理後に Sr、Cs、PGM(+Mo)分離を実施したシナリオ（評価対象 1: FP 分離）、MA を分離したのち一時貯蔵するシナリオ（評価対象 2: MA 分離貯蔵）、および、加速器駆動システムなどの核変換炉により分離した MA を核変換するシナリオ（評価対象 3: MA 分離変換）が考えられる。本年度は、評価対象 1: FP 分離の内、PGM、Mo を分離した場合の得失を検討することとした。PGM、Mo はガラス固化体製造時の妨害元素であり、同位体によっては長半減期であり核変換による短半減期化が望まれるもの、また資源としての有効利用が期待されるものが存在するため多数の研究が展開されてきた。こういった知見を整理することで、シナリオの得失の検討のみならず、特性マトリクスの表現の検討にも適すると考えた。

WG-A においては、WG-B、C よりも比較的近い将来をスコープとした検討を行う。ここでは、10~20 年後の六ヶ所再処理工場を想定し、可能な限り具体的なエビデンスと紐づけることを心掛けた。

表 2 に PGM・Mo 分離の導入による得失をまとめる。リファレンス（Pu 1 回りサイクル）に対して再処理までの工程（技術の 1~5）は変化しないものと考えられ、得失の差がない。再処理以後の得失について、向上をプラス(+)、悪化をマイナス(-)を用いて簡易に表現している。「8.1 技術成熟度」の項目においては 1=基礎段階、2=実証段階、3=実用化段階、とし、「8.2 技術的実現性」については R&D 費用：1=1000 億円以下、2=1 兆円以下、3=1 兆円以上、R&D 期間：a=10 年以下、b=20 年以下、c=50 年以下と設定し概略評価した。本技術特性マトリクスの目的は分離核変換導入の効果を見える化することが可能となっている。

今後、WG-A では、技術特性マトリクスの詳細化、エビデンスの取りまとめ、更に Cs、Sr 分離と MA 分離についてもその得失を評価する。将来炉との関連が強い項目も見いだされ、WG-B や WG-C の検討結果と併せて検討をまとめる。

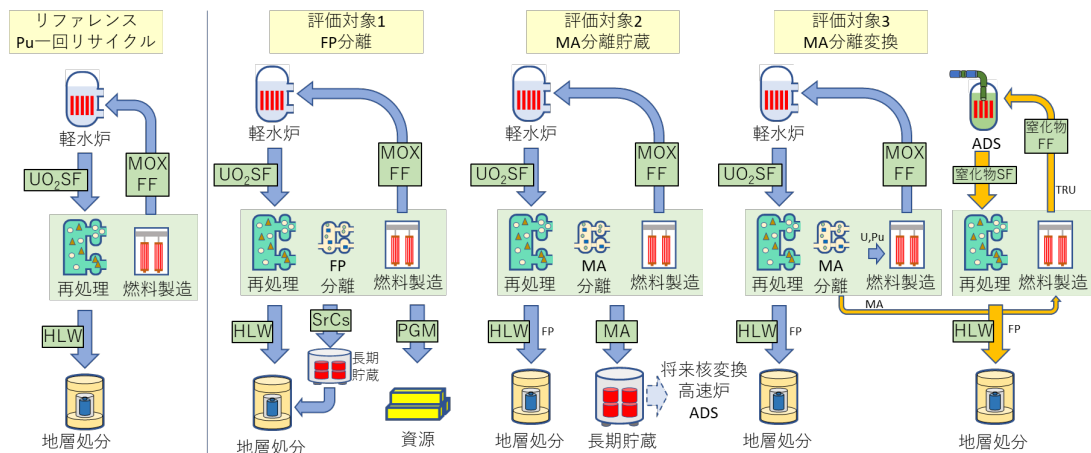


図 2 WG-A（現行軽水炉サイクルを対象とした検討）で想定するシナリオ

(MOX: Pu 混合酸化物, FF: 新燃料, SF: 使用済燃料, FP: 核分裂生成物, MA: マイナーアクチノイド, SrCs: ストロンチウム・セシウム, PGM: 白金族元素, ADS: 加速器駆動システム, HLW: 高レベル廃棄物)

表 2 現行軽水炉 HLW からの PGM/Mo 分離の得失検討の試行結果

	1. 経済性	2. 安定性	3. 資源	4. 環境影響	5. 安全性	6. セキュリティ	7. 核不拡散性	8.1 技術成熟度	8.2. 技術実現性	9. 柔軟性
1~5. フロントエンド	-	-	-	-	-	-	-	-		
6.1 再処理	[-]* *	[-]*	-	[-]*	[+]?	[-]*	-	(C)	(A)* * *	-
6.2 ガラス廃棄体化	[+]*	-	-	-	[+]?	-	-	-	-	-
7.1 HLW貯蔵	[+]*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2 HLW輸送	[+]*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 処分	[?]	-	-	-	[+]*	-	-	(C)	(A)* * *	-
9.1. PGM資源化	[?]	-	[+]?	[-]?	[-]?	-	-	(C)	(A)* * *	-
9.2. Mo資源化	[?]	-	[+]?	[-]?	[-]?	-	-	(C)	(B)* *	-

性能変化 [+] 性能向上 [-] 性能低下 [?] 不明(以降の性能変化の程度は評価しない) 性能変化の程度 * * 変化大 * 変化小 ? 不明	8.1技術成熟度 (A) 実用化段階 (B) 実証段階 (C) 基礎段階 (?) 不明	8.2技術的実現性 ・R&D期間 (A) 10年以下 (B) 10-30年 (C) R&D期間30年以上 (?) 不明(以降のR&D費用は評価しない) ・R&D費用 * * * 1000億円以下 * * 1000億-1兆円 * 1兆円以上 ? 不明
---	--	---

2.3. MOX プルサーマルサイクルを対象とした検討

WG-B では、MOX プルサーマルでの使用済燃料再処理への分離・変換技術の適用を検討に着手する前に、まず、プルサーマル使用済燃料自体をどのようにマネジメントするかに着目した検討を行うこととし、検討対象とするプルサーマルのシナリオ（Pu マルチサイクル）、及び比較対象とするレファレンスシナリオ（Pu 1 回リサイクル：UO₂ 使用済燃料の 1 回再処理）を設定した。図 3 に WG-B で想定するシナリオを示す。なお、本年度の検討では、Pu マルチサイクルとして「MOX 使用済燃料の 1 回再処理」に着目することとした。

技術－特性マトリクス評価の手順としては、「Step1：各シナリオの特徴と主な違いの「技術」ごとでの洗い出し」と「Step2：主な違い⇒「特性」への影響（「利点」か「技術的課題」かの推定等）」の 2 段階を設定した。また、このような評価では多種多様な情報が重要になる可能性があることから、多量の情報の管理と検討結果の見易さの両立に向けて、情報の整理も工夫することとした。具体的には、情報の整理を、「詳細レベル（利点や技術的課題等についての背景、考え方、根拠等の情報を提供）」と「俯瞰レベル（利点や技術的課題等の有無、それらの基本的内容と技術－特性マトリクス中での該当箇所等を提示）」の 2 段階で、相互に関連付けながら行うこととした。

このような手順での技術－特性マトリクスの評価例として、表 3 に「俯瞰レベル」の全体像の例を、表 4 に「俯瞰レベル」の一部抜粋の例を示す。この表では、レファレンスシナリオ（Pu 1 回リサイクル）に対して検討対象シナリオとした Pu マルチサイクル（MOX 使用済燃料の 1 回再処理）が、「着目すべき利点」を有する場合は「+」（緑）で、「技術的課題」を有する場合は「-」（ピンク）で示している。この試行結果から、着目すべき利点や技術的課題は、「技術」と「特性」のすべての組み合わせで抽出されるわけではなく、特定の組み合わせにおいて特徴的に抽出される可能性が示唆された。また、このような利点や技術的課題としては、例えば、Pu マルチサイクルでの採掘量の減による、「1.U 採掘」での「経済性」の利点（調達コスト減）、また、発熱量増に起因する面積増による「8.3 処分」での経済性や技術的成立性・実現性の観点での課題などが挙げられた。さらに、ある「技術」についての利点や技術的課題が、他の「技術」での仕様・条件の設定の影響を受ける可能性があるなどの、燃料サイクルを構成する「技術」が横断的で重要な関連性を有する場合があることが見出された（例えば、再処理や廃棄体化の条件の違い（核種回収率、廃棄物含有率等）に起因する廃棄物の仕様の違い（インベントリ、発熱量等）の貯蔵や処分における経済性や技術的成立性・実現性等への影響）。

このような試行から、本年度試みた技術－特性マトリクス評価の方法論や実施手順の妥当性を確認できたとともに、このような評価により、着目すべき利点や現段階での技術的課題を解きほぐして見える化できること、その作業を複数の専門家の協働として効率的・効果的に実施できること、などの観点での有効性も確認できた。

今後、WG-B では、着目すべき利点や技術的課題に係る検討を深化・拡充させていくために、技術・特性マトリクス評価を、分離・変換技術を導入した場合や MOX プルサーマルサイクルで考えられる他のシナリオやオプションを想定した場合などを対象とした評価を進めていく予定である。その際には、2020 年度の試行を通じて示唆された、特定の「技術」や「特性」への着目、個々の「技術」の横断的な影響への着目、個々の「技術」におけるオプションの影響への着目などに留意していく。また、WG-A や WG-C での分離・変換技術の導入の影響に関する検討内容を参考にするとともに、MOX プルサーマルを対象にする場合と現行軽水炉サイクルや高速炉サイクルを対象とする場合での共通点、相違点、関連性などにも留意していく。

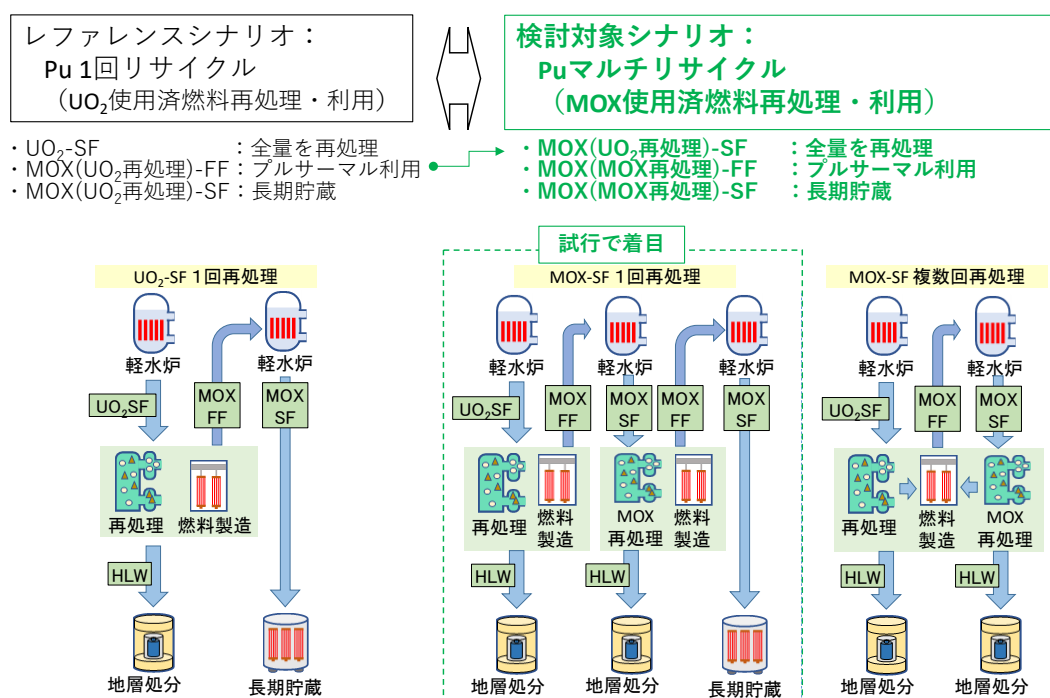


図 3 WG-B (MOX プルサーマルサイクルを対象とした検討) で想定するシナリオ

表 3 MOX プルサーマルサイクルを対象とした技術-特性マトリクスの評価の試行例（俯瞰レベル：全体像）

シナリオ			特性								
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	1. 燃焼性	2. 安定性	3. 燃費	4. 燃焼制御	5. 安定性	6. セミ工法	7. 燃費特性	8. 燃焼の安定性 燃費特性	9. 燃費特性
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ	シナリオ間で各技術の主な違い	+	+	+	+					
	シナリオ シナリオ シナリオ										

表 4 MOX プルサーマルサイクルを対象とした技術-特性マトリクスの評価の試行例（俯瞰レベル：一部抜粋）

		特性			
		1. 経済性	5. 安全性	7. 核不拡散性	8. 技術的成立性・実現性
技術	1.U採掘	+			
	3. 燃料製造		-		
	6.1. 再処理	-		+	
	8.3 処分 (HLW)	-			-

2.4. 高速炉サイクルを対象とした検討

WG-C では「高速炉サイクル」を対象とした検討を実施した。既存技術として未だ研究開発途上である高速炉サイクルについて、WG-A、B と同様に技術-特性マトリクスの評価を行うためには、これまでに公開されている研究開発に関する報告書をベースとした調査が第一ステップとなる。また、技術-特性マトリクスの全項目を埋めることが困難となることも予想される。そこで、調査を行うにあたり、技術-特性マトリクスの特性項目の中の「1. 経済性」の評価が可能なシナリオの選定を行い、当該シナリオに基づいた調査に着手した。

評価すべきシナリオの数を限定するため、各シナリオに用いられる技術を限定する必要がある。シナリオを構成する要素としては(1)炉及び核変換のタイプ、(2)燃料サイクル(再処理+燃料製造)がある。(1)については高速炉による核変換と ADS(加速器駆動核変換システム)の付加がオプションとなり、(2)には MA(マイナーアクチノイド)分離及び LLFP(長半減期核分裂生成物)分離の有無がオプションとなる。これらのオプションの組み合わせによって評価を行うシナリオを構築する。下記に核変換技術及び燃料サイクル技術に関するオプションについて、シナリオ数を限定するための前提条件及び調査にあたっての情報源を記す。

(1) 高速炉

高速炉システムに関しては高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究(FS)¹⁾、高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT プロジェクト)²⁾において技術の概要、コストについて記載されており、これらを基に経済性評価の試算結果も示されている³⁾。これらの文献を基に調査を行っていく。ナトリウム冷却酸化物燃料炉及び金属燃料炉をターゲットとする。

(2) ADS

ADS の導入オプションは複数考えられるが、現在原子力機構を中心に検討を進めている、階層型での利用を前提とする。ADS 技術については、コストの試算が行われている JAEA のレポート⁴⁾や OECD/NEA から出されている報告書⁵⁾等に加えて、各種 ADS 設計論文を基に調査を行う。

(3) 再処理

FS/FaCT で検討した先進湿式再処理法を採用する。高速炉サイクルの再処理技術である当該プロセスでは、六ヶ所再処理工場における PUREX プロセスと異なり、U, Pu だけでなく Np も回収することを基本としている。したがって本検討においては、Np の分離はオプションとはしない。ADS 階層型における核変換サイクル及び金属燃料炉に適合する再処理技術としては、乾式再処理を組み合わせる。これらの情報は FS 及び FaCT の報告書から収集可能である。

(4) MA 分離

MA 分離のオプションにおいては、Np の分離を含まず、3 価の MA (Am, Cm) の分離をターゲットとする。本評価では、プラントでの運転実績のある溶媒抽出法を基に調査を進め、最終的に抽出クロマト法についての評価も加える。

(5) LLFP 分離

^{99}Tc (溶媒抽出)、 ^{129}I (吸着) の分離、及び ImPACT で開発された ^{107}Pd (電解)、 ^{79}Se (電解+揮発)、 ^{135}Cs (吸着)、 ^{93}Zr (溶媒抽出) 分離を対象とする。ImPACT の報告書等を中心に分離技術について調査を進める。

上記の要素技術の組み合わせとして、下記の通り 4 つのシナリオについて評価を行うこととした (図 4)。

- シナリオ 1 : U, Pu リサイクル (Na 冷却酸化物燃料高速炉+先進湿式再処理(Np 分離まで))
- シナリオ 2 : FR 分離変換 (Na 冷却酸化物燃料高速炉+先進湿式再処理(MA 分離含)), (金属燃料 FR+乾式再処理)
- シナリオ 3 : ADS 分離変換 (ADS 核変換サイクル+FR 発電サイクル)
- シナリオ 4 : LLFP 分離変換 (シナリオ 2 または 3 に LLFP 分離核変換を追加する)

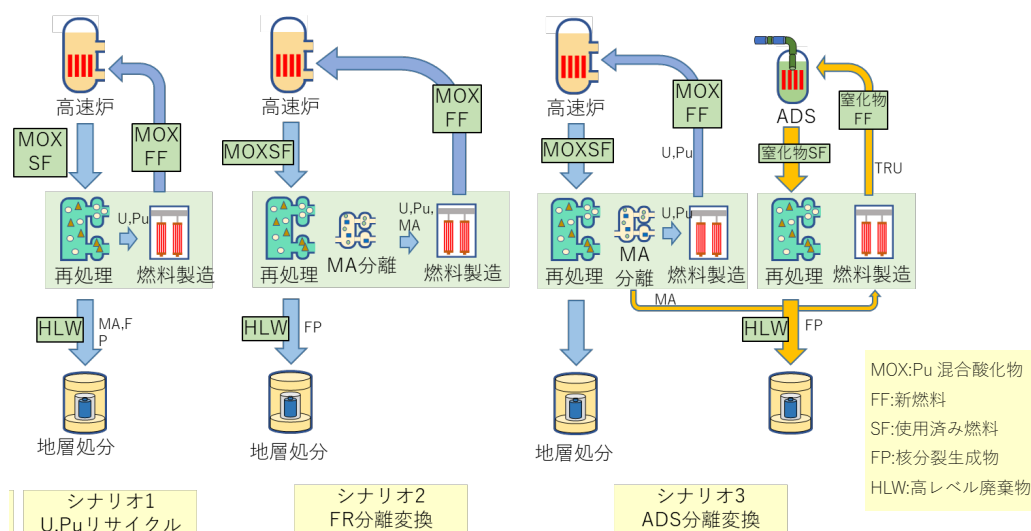


図 4 WG-C (高速炉サイクルを対象とした検討) で想定するシナリオ

上記のシナリオに沿って、高速炉システム、ADS システムに対し、炉システム、燃料再処理、燃料製造の 3 項目に分類し、安全性、経済性、環境影響、資源の利用効率、核拡散抵抗性、廃棄物管理性等について、調査を開始した。どの対象についても運転条件等の前提条件は付くものの、建設費、運転保守費用等が算出されており、経済性について比較評価が可能となる見込みである。一方、廃棄物について、発生源や物量や発熱量等の具体的な内訳が、マトリックス評価に必要となり、これらの情報収集が課題であることが明らかとなった。今後さらに文献調査に加えて、有識者や調査対象報告書の執筆者等に聞き取り調査、最新の研究開発の結果等について調査を進めていく。

2.4 節の参考文献

- 1) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究-フェーズⅡ最終報告書, JAEA-Evaluation 2006-002(2018).
- 2) 日本原子力研究開発機構、高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT プロジェクト)-フェーズⅠ報告書-, JAEA Evaluation, 2011-003 (2011).
- 3) 向井田恭子 他, 高速炉サイクルの経済性評価-炉の建設コストと燃料サイクルコスト-, 日本原子力学会誌, 61, 1, 40 (2019).
- 4) 大井川宏之 他, 原研における長寿命核種の分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方, JAERI-Review 2005-043 (2005).
- 5) OECD/NEA, Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles, (2002).

3. 2021 年度の計画

2 章で見てきたように、2020 年度は特性-技術マトリクスを用いて、核燃料サイクルの総合評価に着手した。委員およびオブザーバーを 3 つの WG に配分し、それぞれ、軽水炉、プルサーマル、高速炉の評価を開始し、得られた成果について日本原子力学会春の年会で報告した。

最終年度に当たる 2021 年度は各 WG の評価を引き続き行う。並行して、各 WG 間の大まかな整合性確認や、関係性の整理を行う。例えば、WG-A の MA 分離・貯蔵シナリオでは将来的に WG-C で取り扱う高速炉や ADS での核変換の検討が影響する。また、WG-B で扱うプルサーマル使用済燃料は、どこかのタイミングで WG-C が取り扱う高速炉燃料サイクルに引き継がれることが想定される。このように、各 WG で対象としている時間軸を長期シナリオとして統合・整理する必要がある。

これら各 WG の評価の取りまとめと WG 間の整理結果に基づき、処理・処分および分離・変換技術への提言を作成する。また、今回の評価自体の課題、評価の発展、社会への発信方法、および、政策への反映方法などについて議論し、報告書として取りまとめる計画である。