

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
令和4年度研究開発実施報告書

科学技術イノベーション政策のための科学
研究開発プログラム

「原子燃料サイクル政策の受容に対する熟議的アプローチ
チ：感情と技術の作用機序に着目して」

林 嶺那
法政大学 教授

目次

1. 研究開発プロジェクト名.....	2
2. 研究開発実施の具体的内容.....	2
2 - 1. 研究開発目標.....	2
2 - 2. 実施内容・結果.....	3
2 - 3. 会議等の活動.....	41
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況.....	42
4. 研究開発実施体制.....	42
5. 研究開発実施者.....	44
6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など.....	46
6 - 1. シンポジウム等.....	46
6 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など.....	46
6 - 3. 論文発表.....	46
6 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）.....	46
6 - 5. 新聞／TV報道・投稿、受賞等.....	46
6 - 6. 知財出願（出願件数のみ公開）.....	46

1. 研究開発プロジェクト名

原子燃料サイクル政策の受容に対する熟議的アプローチ：感情と技術の作用機序に着目して

2. 研究開発実施の具体的内容

2 - 1. 研究開発目標

本プロジェクトの達成目標は以下の6つである。

- ① 従来、政策的には十分検討されてこなかった原子燃料サイクルに関わる多様なシナリオを設計・評価すること。
- ② それらのシナリオに対する市民の選好を今回初めて客観的に把握し、そうした選好の背景にある感情や技術的要因の作用の仕組み、上位政策および政治的立場等の影響を解明すること。
- ③ 民主的政策過程において重要な役割を果たすアクター間の双方向的な議論、すなわち熟議が、原子燃料サイクル政策において機能する条件を明らかにすること。
- ④ 原子燃料サイクル政策に関する過去の議論と現状の解明を目指すこと。
- ⑤ 原子燃料サイクル政策を原子力政策、エネルギー政策、安全保障政策等の上位政策の体系の中に位置づけること。
- ⑥ 以上の知見を社会に向けて発信し、また、それらの知見を組み込んだ政策提言を行うことで、原子燃料サイクル政策への実装を図ること。

2 - 2. 実施内容・結果

(1) スケジュール

研究開発の実施項目	2022年度 (6カ月)	2023年度 (12カ月)	2024年度 (12カ月)	2025年度 (12カ月)
社会科学グループ				
(a-1)海外事例の調査	事例の特定	事例分析 イギリス フランス等	追加分析 評価オプション の提供	追加分析 評価オプション の提供
(a-2)政策体系の整理				
(a-3)コンジョイント実験を用いた選好 解明	プレ実験	選好分析	市民の選好 データ提供	
(a-4)ミニパブリックスを用いた熟議の 影響分析			熟議の影響分析 オプション 評価項目 への要望	
自然科学グループ				
(b-1)原子燃料サイクルオプションの 整理・性能評価	オプション例 評価項目例 性能例 オプション抽出	オプション 評価項目 性能例 代表オプション 選定、要素技術 の特定	オプション 評価項目 性能例 社会受容評価 項目の決定	オプション 評価項目 性能 オプション とりまとめ
(b-2)技術・経済性の評価 ロードマップ作成	経済性評価手法 の整備	要素技術 技術評価データ ベースの整備	技術評価 技術評価 ロードマップ作成	経済性評価 経済性評価
(b-3)高レベル廃棄物を発生させない 原子燃料サイクルオプションの検討			要素技術 性能 技術検討	概念変更 (必要に依り) 法的検討
政策実装グループ				
(c-1)実務家とのネットワーク強化、対外 発信、政策ニーズの吸い上げ	エビデンス提供 ニーズ吸い上げ フィードバック ネットワーク構築 意見交換	エビデンス提供 ニーズ吸い上げ フィードバック ネットワーク構築 ワークショップ	エビデンス提供 ニーズ吸い上げ フィードバック ネットワーク構築 ワークショップ	エビデンス提供 ニーズ吸い上げ フィードバック ネットワーク構築 公開シンポジウム
(c-2)日本における経緯と現状	政策文書 聞き取り準備	政策文書 聞き取り	政策文書 聞き取り	政策文書 聞き取り
(c-3)ライフサイクルモデルの構築		各オプションの社会・経済的評価 モデル構築		
(c-4)政策提言				政策提言

(2) 各実施内容

当該年度の到達点①：原子燃料サイクル政策に関する海外事例をリストアップし、次年度以降、より詳細に検討すべき事例としてイギリスのCommittee on Radioactive Waste Management (CoRWM) やSite Stakeholder Group (SSG)、フランスの議会科学技術選択評価局 (OPECST) や地域情報委員会 (CLI) などを特定した。

実施項目①-1：海外事例のリストアップと詳細に検討すべき事例の特定

実施内容：

日本に導入可能な政策案に関する示唆を得るために検討すべき海外事例をリストアップし、次年度以降、より詳細に検討すべき事例の候補を特定した。

期間：令和4年10月～令和5年3月

実施者：林嶺那（法政大学法学部・准教授）、小松崎俊作（東京大学大学院工学系研究科・准教授）、森川想（東京大学大学院工学系研究科・講師）、木村謙仁（日本エネルギー経済研究所戦略研究ユニット原子力グループ・主任研究員）

対象：

- a) イギリス
 - ・放射性廃棄物管理委員会（Committee on Radioactive Waste Management, CoRWM）
 - ・サイト・ステークホルダー・グループ（Site Stakeholder Group, SSG）
- b) フランス
 - ・地域情報委員会（Commission locale d'information, CLI）
 - ・議会科学技術選択評価局（Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, OPECST）
 - ・国家評価委員会（Commission nationale d'évaluation, CNE2）

当該年度の到達点②：コンジョイント実験に関するプレ実験を実施した。

実施項目②-1：コンジョイント実験のプレ実験の実施

実施内容：

次年度に本格的に実施するコンジョイント実験においてより高い成果を挙げるために、暫定的な項目を利用したプレ実験を実施し、どういった属性に市民は反応するのか、それが党派性や原発に関する知識といった市民の特徴によってどう異なるかについての予備的知見を得るためのプレ実験を実施した。

コンジョイント実験とは、各属性の水準を無作為に組み合わせることで表形式にした情報を回答者に見せて質問に答えてもらうというタスクを繰り返すことにより、情報が質問への回答に与える因果効果を推定する手法である。「属性」とは、実験において回答者に表形式で与える情報の項目（過酷事故の発生確率、電気料金など）であり、「水準」とは、各属性について示される情報の候補（例えば、過酷事故の発生確率の属性の場合、0.1%、1%、10%の3つ）を指す。本研究では、12個の属性の水準を組み合わせる架空の原子燃料サイクル政策2つをペアにして、それぞれの好ましさを「全く支持しない」を1、「完全に支持する」を6とする6点尺度で尋ねるというタスクを、1人の回答者につき5回繰り返した。水準の設定の際には、各属性について現実に考える原子燃料サイクルオプションがとりうる値を検討した上で参考にした。回答者に見せた調査画面の例を次に示す（図1）。

図1 コンジョイント実験の表示例

仮に日本が原子燃料サイクルAとBを国全体の方針として採用することを検討するとして、あなたはどの程度支持しますか。一方の端を「全く支持しない」、他方の端を「完全に支持する」とするものさしで評価するとき、あなたのお気持ちに近いものを選んでください。（5回中1回目）

	原子燃料サイクルA	原子燃料サイクルB
過酷事故の発生確率 ^{*1}	0.1%	10%
実現までにかかる期間	10～30年	10～30年
1世帯の1ヶ月あたりの平均的な電気料金	15,000円	7,500円
原子力施設運転の撤回	方針決定後は中止できない	方針決定後は中止できない
資源の可採年数	300年	100年
1つの処分場の使用可能年数 ^{*2}	50年	50年
国が負担する開発費用	1000億円未満	1～10兆円
処分場からの放射性廃棄物の回収	埋設を終えるまでは可能 (50年)	埋設を終えるまでは可能 (50年)
原子力施設の方針決定において最優先された意見	国会	電力会社
高レベル放射性廃棄物の体積 ^{*3}	1,000m ³	なし
処分場周辺の将来世代に及ぼす見込みが高い年間被ばく量 ^{*4}	1mSv	1mSv
原子力施設の緊急時区域の住人 ^{*5}	10万人	1万人

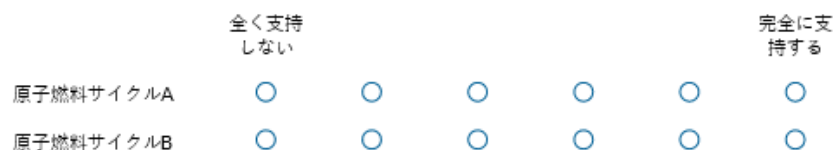
^{*1} 原子炉30基を100年動かした場合。過酷事故－福島原発事故相当。

^{*2} 処分場の広さは2km²。

^{*3} 原子炉30基を100年動かした場合。高レベル放射性廃棄物－高い放射能を持ち長期間隔離する必要があるもの。

^{*4} 自然放射能は2.1mSv/年。

^{*5} 緊急時区域－過酷事故が発生したした場合に避難・屋内退避する区域。



2月にまず小規模サンプルでプレ実験のプレテストを行い、属性の選定や数に大きな問題がないことを確認した。しかし、属性や水準の表現に改善すべき点があったため、文言の微調整を施した上で、3月にサンプルサイズ約4,000でプレ実験を実施した。

次年度の本実験では、情報提供の仕方によって市民の原子燃料サイクル政策に対する選好が変化するのかを調べる予定であるため、当初は情報提供の仕方についても試行的に検討する予定であったが、準備期間が不足したため次年度に回すことにした。

期間：2022年10月～2023年3月

実施者：林嶺那（法政大学法学部・准教授）、三輪洋文（学習院大学法学部・准教

授)、深谷裕司(日本原子力研究開発機構高速炉・新型炉研究開発部門・研究主幹)、西原健司(東京工業大学科学技術創成研究院ゼロカーボンエネルギー研究所・特定教授)

対象:調査実施者と調査会社をつなぐプラットフォームであるPureSpectrumと契約している調査会社に登録している日本在住の18~69歳のモニター604人(プレ実験のプレテスト)と2,704人(プレ実験)。性別、年齢(5グループ)、学歴(3グループ)、地域(7グループ)の周辺分布を可能な限り国勢調査に合わせて収集した。

当該年度の到達点③:原子燃料サイクルオプションの検討を一部開始し、当該オプションに対する評価およびロードマップの作成を実施した。

実施項目③-1:原子燃料サイクルオプションの検討

実施内容:選択し得る原子燃料サイクルオプションの検討を進めた。検討結果は、今後関係者とのクローズドな意見交換の場で参加者と共有し、議論のベースとして利用する予定である。具体的には、原子燃料サイクルのオプション及びそれを構成する要素技術に対する文献調査及び、それらの原子燃料サイクルの意義及び社会科学、政策実装の観点からそれらを議論する際の留意点をまとめた。

期間:2022年10月~2023年3月

実施者:ヤンジングロン(日本原子力研究開発機構高速炉新型炉研究開発部門・室長)、松村達郎(日本原子力研究開発機構原子科学研究部門・副ディビジョン長)、深谷裕司(日本原子力研究開発機構高速炉新型炉研究開発部門・研究主幹)、西原健司(東京工業大学科学技術創成研究院ゼロカーボンエネルギー研究所・特任教授)

実施項目③-2:技術・経済性の評価、ロードマップの作成

実施内容:技術・経済性評価手法の整備を行った。特に、主要な原子炉、核変換に必要な加速器施設、多様な分離に必要な化学プロセスなど、経済性評価における単価を評価する際に必要な、建設費や運転費などの過去の評価結果や、推定可能な類似の施設に対する評価結果などについて、文献調査レベルでデータベース化を行った。また、それぞれの単価の評価手法、スケール補正、エスカレーション補正に関する評価法及び、データベースの整備を行った。具体的には、メーカーの立場から原子力産業に広い関わりを持つ、(株)日揮グローバル社へ調査役務を外注、議論を交えながら、経済性単価データベースを完成させた。

期間:2022年10月~2023年3月

実施者:ヤンジングロン(日本原子力研究開発機構高速炉新型炉研究開発部門・室長)、松村達郎(日本原子力研究開発機構原子科学研究部門・副ディビジョン長)、深谷裕司(日本原子力研究開発機構高速炉新型炉研究開発部門・研究主幹)、西原健司(東京工業大学科学技術創成研究院ゼロカーボンエネルギー研究所・特任教授)

当該年度の到達点④：日本における原子燃料サイクル政策に関する議論の経緯と現状の
解明を進めるための調査を開始した。

実施項目④-1：政策文書に基づく原子燃料サイクル政策に関する歴史的経緯の分析

実施内容：

原子燃料サイクル政策に関するこれまでの経緯について、政策文書等から体系的に情報収集・整理を行い、原子燃料サイクル政策の成立過程や変遷、及びそのドライバーとなり得た要因等としてどんなことが考えられるか、等の考察を行った。

期間：令和4年10月～令和5年3月

実施者：村上朋子（日本エネルギー経済研究所戦力研究ユニット原子力グループ・グループマネージャーおよび研究主幹研究主幹）、松尾雄司（立命館アジア太平洋大学アジア太平洋学科・准教授、日本エネルギー経済研究所兼任）、木村謙仁（日本エネルギー経済研究所戦略研究ユニット原子力グループ・主任研究員）

対象：

本項で調査対象としたのは、1950年代から現在に至るまでの、原子燃料サイクル政策の議論及びその決定の経緯、背景等が読み取れる、以下の文書である。

a) 原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（原子力長計）

「原子力長計」は国家行政組織法に基づき1956年、総理府（当時）に設置された原子力委員会において、「原子力開発計画を定めることが重要な使命である」として、「原子力開発利用基本計画策定要領」に基づき、同委員会において公表された政策文書である。1956年より2000年まで計9回にわたって検討・策定が行われた。

b) 新計画策定会議・技術検討小委員会（技術検討小委）議事録

再処理をオプションの一つとして扱うことについて、初めて公開の議論が行われた場が2000年代の「新計画策定会議」であった。同会議は2004年6月から2005年9月まで計33回開催されているが、その途上で「使用済み燃料を再処理せず、直接処分する方法と比較検討してはどうか」という問題が投げかけられたことを踏まえ、同会議の下部に「技術検討小委」が設置され、技術仕様や経済性等、様々な特性から総合的な比較検討が行われた。

c) 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会（サイクル小委）議事録

「サイクル小委」は2011年から12年にかけて開催されたもので、東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、福島事故）を受け、それまでより根源的なエネルギー政策見直しの潮流が強まるなかで進められた。開発史上初めて、日本の原子力発電規模が縮小、ないしは将来的にゼロとなる可能性も皆無ではないとされ、その上で再処理と直接処分の双方を入れたシナリオが検討された。

d) エネルギー基本計画

エネルギー基本計画は2002年に公布されたエネルギー政策基本法に基づき策定されるものであり、少なくとも3年ごとに検討を加え、必要と認められるときには変更することが義務付けられているものである。エネルギー政策の基本方針を幅広くまとめたものであり、そのなかには原子力政策および原子燃料サイクル政策に関する記述も含まれる。

実施項目④-2：関係者に対する聞き取りの準備

実施内容：

政策文書に必ずしも記されていない、原子燃料サイクル政策に関するこれまでの経緯や現状に関する理解を深めるために、関係者や有識者に対して聞き取り調査を行うため、その対象者や聞き取り項目の整理を行ったほか、来年度以降の本格的な聞き取り調査実施に先駆けて、2名の有識者を対象に予備的な聞き取り調査を行った。

期間：令和5年1月～令和5年3月

実施者：村上朋子（日本エネルギー経済研究所戦力研究ユニット原子力グループ・グループマネージャーおよび研究主幹研究主幹）、松尾雄司（立命館アジア太平洋大学アジア太平洋学科・准教授、日本エネルギー経済研究所兼任）、木村謙仁（日本エネルギー経済研究所戦略研究ユニット原子力グループ・主任研究員）

対象：寿楽浩太（東京電機大学工学部人間科学系列・教授）、菅原慎悦（関西大学社会安全学部・准教授）

当該年度の到達点⑤：関係者との意見交換の場を設定することで、ネットワークの強化、本プロジェクトの成果に対するフィードバックの獲得、そして政策ニーズの吸い上げを実施した。

実施項目⑤-1：関係者とのクローズドな意見交換の場の設定

実施内容：

本プロジェクト代表者と、経済産業省資源エネルギー庁原子力立地・核燃料サイクル産業課との間でクローズドな意見交換会を実施した。意見交換会本プロジェクトについて説明を行うとともに、先方のニーズを聴取し、今後本プロジェクトの成果が実際の政策形成の場に取り上げられるようにするための素地を整えた。

期間：2023年3月

実施者：林嶺那（法政大学法学部・准教授）、森川想（東京大学大学院工学系研究科・講師）、三輪洋文（学習院大学法学部・准教授）、松村達郎（日本原子力研究開発機構原子科学研究開発部門・副ディビジョン長）、深谷裕司（日本原子力研究開発機構高速炉・新型炉研究開発部門・研究主幹）、西原健司（東京工業大学科学技術創成研究院ゼロカーボンエネルギー研究所・特定教授）、松尾雄司（立命館アジア太平洋大学アジア太平洋学科・准教授、日本エネルギー経済研究所兼任）、木村謙仁（日本エネルギー経済研究所戦略研究ユニット原子力グループ・主任研究員）

対象：経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部原子力立地・核燃料サイクル産業課の実務担当者（2名）

(3) 成果

当該年度の到達点①：原子燃料サイクル政策に関する海外事例をリストアップし、次年度以降、より詳細に検討すべき事例としてイギリスのCommittee on Radioactive Waste Management (CoRWM) やSite Stakeholder Group (SSG)、フランスの議会科学技術選択評価局 (OPECST) や地域情報委員会 (CLI) などを特定した。

実施項目①-1：海外事例のリストアップと詳細に検討すべき事例の特定

成果：

本事業では計画段階より、海外事例の調査対象候補としてフランスの地域情報委員会 (CLI) とイギリスの放射性廃棄物管理委員会 (CoRWM) が言及されており、事業開始後も同様の方向で調査対象や方法の検討を進めてきた。ただし、CLIについては菅原 (2010)¹⁾が詳細に調査・分析を行っており、さらにその成果を生かして菅原 (2014)²⁾では英仏の比較や日本への提言を既に行っている。菅原 (2014)がイギリスの事例として取り上げたのは、Site Stakeholder Group (SSG) およびLocal Community Liaison Council (LCLC) である。SSGは事業者などと利益相反のない議長が中心となり立地地域側がアジェンダ構築を行うなど、立地地域主導の運営となっているのに対して、LCLCでは事業者が議長を務め、活動費用も事業者が負担するといった相違点もあるが、立地地域の主要なステークホルダーが参加して議論を行う枠組みであるという点では共通している。したがって、菅原 (2014)は立地地域の住民参加や意見収集に焦点を当てた比較を行ったといえる。これに対して、本事業でイギリスの事例として候補にあげていたCoRWMは基本的に英国政府の政策決定を助けるための諮問機関と位置付けられ、CLIとは原子力利用のあり方について議論を行うための枠組みという点では共通するものの、その主眼や性質が異なり、比較対象として適切か否かという点が課題となった。そこで、海外事例の調査にあたっては単純に英仏の二組織を比較するのではなく、「政策決定者側」と「立地地域側」という性質の異なる枠組みを包括するように調査対象とし、一案としてこれら二者がどのような関係性を持っているのかを英仏間で比較するという方針が提起された。この観点からイギリスにおける「立地地域側」をSSG、「政策決定者側」をCoRWMとし、フランスにおける「立地地域側」をCLIとした場合、フランスにおける「政策決定者側」の性質を持つ調査対象として適切な組織は何か、という点が次なる課題となる。その候補としては以下の三つがあげられる：

a) 議会科学技術選択評価局 (OPECST)

フランス議会内に設置される調査組織で、議員からの関心の高い科学技術政策について、社会の中にどのような意見があるのか、公聴会なども通じて調査し、提言を行う。扱うトピックは原子力や放射性廃棄物に限られない。幅広い立場の意見を政策決定プロセスに反映させるための仕組みとして注目に値する。ただし、OPECSTはあくまでも議会内の組織であり、政府に対して提言を行うCoRWMとは報告義務を負う対象が異なる点には注意が必要である。

b) 国家評価委員会 (CNE2)

元々のCNEは1992年の放射性廃棄物管理研究法で設置されたものだが、2006年の放射性廃棄物等管理計画法で職務内容を改定する形で改めて設置された。この2006年以降のCNEを、活動第二期としてCNE2と呼んでいる。CNE2は廃棄物管理

に関する取組や研究開発の状況を毎年評価し、年次報告書を作成する。この評価結果は議会のOPECSTや、地域情報フォローアップ委員会（Commission locale d'information et de surveillance, CLIS）に提出することとされている。CLISはCLIの一種で、放射性廃棄物の地層処分に係る研究施設立地地域に設置されるもの。

c) 原子力安全情報・透明性高等委員会（HCTISN）

原子力利用に伴うリスクなどについて情報提供や討論を行うための組織。国の関係機関、国会議員、各地のCLI代表、原子力事業者、労働組合、専門家などが委員として参加しており、透明性向上のための勧告を担当大臣（環境、産業、保健）に対して行う。CLIからの要請にも応じなければならないとされており、CLIで出された意見を国レベルの会合において伝えていく仕組みともいえる。

以上の通り、当該年度の本事業では海外事例調査の方針や対象についての検討を進めた。実施担当者間の協議により、次年度も各調査対象候補の情報収集を継続しつつ、最終的な提言の方針などを具体化していくこととなった。それにあたっては各組織の機能を明確にしつつ、比較が可能となるよう、以下の表1のような形式で情報を整理することが有効と考えられる。今後の検討結果に応じて、調査対象（列）および調査項目（行）は増減していくことになる。

表1 諸外国事例調査 調査項目イメージ

	CLI	CoRWM	SSG	対象4
設立経緯	<ul style="list-style-type: none"> 1981年、Mauroy通達で設置を推奨 2006年、TSN法で設置を義務化 2008年、メンバー比率などの具体的な規定 			
位置付け	<ul style="list-style-type: none"> 原子力施設単位で設置 事務局は県議会議長官房 			
目的	<ul style="list-style-type: none"> 施設の安全と放射線防護に関する追跡調査、情報提供及び協議、ならびに当該原子力活動が人間や環境に及ぼす影響の評価 			
人員構成	<ul style="list-style-type: none"> 責任者：県議会議長 地方議員：50%以上 環境保護団体：10%以上 労働組合：10%以上 有識者：10%以上（地方議員等が個人の人脈で探し、CLI総会で決定） 			
予算・財源	<ul style="list-style-type: none"> ASN 50%、関係自治体50% 事業者の出資は原則禁止 			
主要業務	<ul style="list-style-type: none"> 定例会合、年次総会の開催 住民との意見交換会の開催 広報誌やインターネットによる住民への情報発信 			

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 専門機関等への委託・協働による環境モニタリングの実施 ・ 原子力防災訓練への参加など 			
権限	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業者、ASN、関係省庁はCLIの職務遂行に必要なあらゆる情報をCLIに提供しなければならない ・ CLIは原子力施設の立地・増設・変更に対して諮問を行える（同意権限はない） ・ トラブル後の運転再開にあたり、ASNに意見や質問を述べることができる（最終決定権はASNに） 			
ステークホルダーの組み込み方	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境団体（原子力に対して批判的）をメンバーに加え、立場の異なる人々を同じ議論の場に集める ・ 最終的な意思決定まで行わないことで、多様なステークホルダー間の議論を促進 			
議論の方向性をめぐる意思決定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 議長および事務局（つまり立地地域側）がアジェンダ構築や会議の進行に中心的役割 ・ 環境団体や有識者の人選、独自調査の内容や委託先を自ら決定 			

出典：菅原（2010）を参考に作成

[参考文献]

- 1) 菅原慎悦, 城山英明 「フランス地域情報委員会の原子力規制ガバナンス上の役割」 『日本原子力学会和文論文誌』 Vol.9, No.4, p.368-383 (2010).
- 2) 菅原慎悦 「原子力事業と立地地域との関係再構築に向けた提案—英国事例からの示唆—」 電力中央研究所報告, Y13025 (2014).

当該年度の到達点②：コンジョイント実験に関するプレ実験を実施した。

実施項目②-1：コンジョイント実験のプレ実験の実施

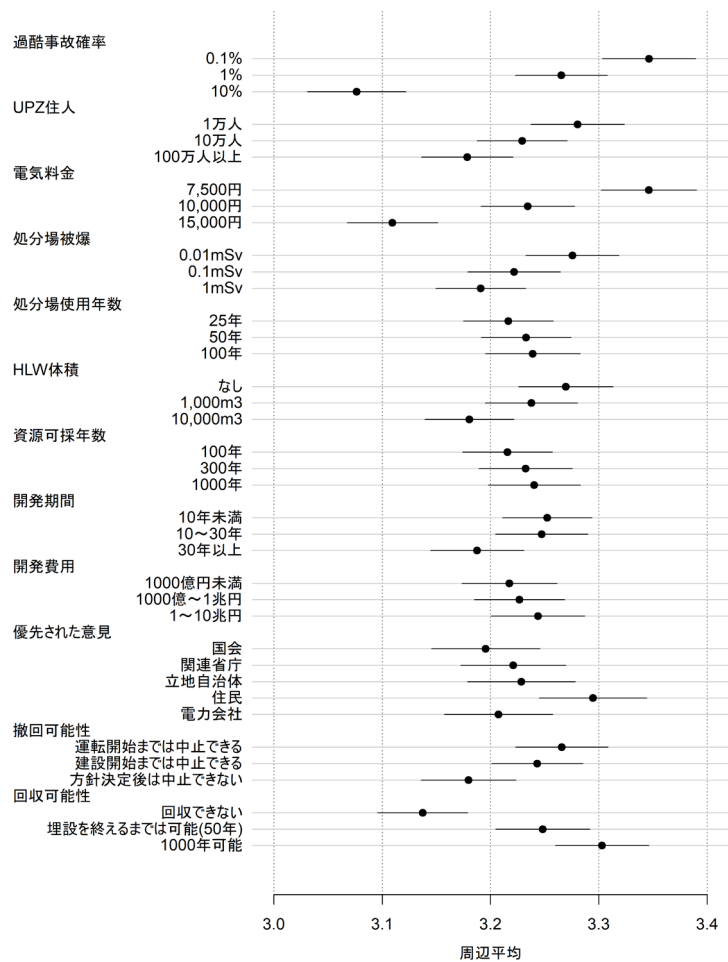
成果：

プレテストの結果は省略し、プレ実験の結果のみ報告する。プレ実験では、2,704人の回答者のうち、約7割の1,904人には全12個の属性の情報を与え、残りの3割には、頑健性の確認のため、属性を3つ減らした情報を与えた。属性を減らした場合でも結果は大きくは違わなかったため、ここでは全ての属性の情報を与えた場合の結果のみ報告する。

下の図2は、各水準の周辺平均の推定値（点）とその95%信頼区間（線分）を示

したものである。周辺平均とは、他の属性を無視した当該水準が表示された場合の結果変数の平均である。この値が大きい（小さい）ことは、その水準をもつ原子燃料サイクルは回答者に支持されやすかった（支持されにくかった）ことを意味する。2つの水準の周辺平均の差は、他の属性を周辺化した上で、一方の水準から他方の水準に変化したときの結果変数に対する情報の因果効果であると解釈できる。なお、図の属性のラベルは簡略化されており、正確な表記は上に示した調査画面のスクリーンショット（図1）のとおりである。

図2 コンジョイント実験の分析結果



属性の影響力の大きさの目安だと解釈できる各属性中の周辺平均のレンジをみると、大きい順に過酷事故確率(0.270)、電気料金(0.237)、回収可能性(0.166)、UPZ住人(0.102)、優先された意見(0.099)、HLW体積(0.089)、撤回可能性(0.086)、処分場被爆(0.085)、開発期間(0.065)であった。処分場使用年数、資源可採年数、開発費用は、F検定の結果、水準間に有意差がなかった。

回答者レベルの変数と周辺平均の間にはいくつかの組み合わせで統計的に有意な交互作用がみられた。主なものだけ紹介すると、野党支持者は与党支持者や無党派よりも過酷事故確率に強く反応することから、野党支持者は福島第一原発事故の影響を強く受けていることが示唆される。一般的に原発廃止に反対する人は、そうでない人よりも電気料金に反応していた。2022年以降の世論調査で原発

推進派の割合が増えたことが知られているが、本実験の結果は、それが電気料金の高騰に起因するという見方と整合的である。

本実験では、 $3^{11} \times 5 = 885,735$ 通りの組み合わせの架空の原子燃料サイクル政策が考えられる。その全てに関して結果の予測値を算出した。予測モデルとして正規化を伴う回帰ベースの手法をいくつか試し、10分割交差検証による平均2乗誤差が最も小さくなった3次交差項ありで単独項に罰則を付けないRidge回帰を採用した。

全885,735通りのシナリオのうち、予測値が中間点である3.5を超えたのは7.3%にすぎなかった。つまり、少なくとも今回設定した属性と水準に基づくと、日本の有権者は基本的に原子燃料サイクル政策を積極的には支持していない。しかしながら、このことは逆に、水準の組み合わせによっては、回答の予測値が支持側に振れるような原子燃料サイクル政策もありうるということを示唆している。

この手法は、現実によりうる原子燃料サイクルオプションに対する支持の予測にも使うことができる。下の表は、その暫定的にいくつかのオプションに当てはまる水準を仮定した上で、予測を行った例である。

表2 原子燃料サイクルオプションに対する支持の予測の例

	サイクル 1	サイクル 2	サイクル 3	サイクル 4	サイクル 5	サイクル 6	サイクル 7
過酷事故確率	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
UPZ 住人 (万人)	10	1	10	10	10	10	10
電気料金	7,500	10,000	7,500	7,500	7,500	7,500	10,000
処分場被曝 (mSv)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
処分場使用年数	25	25	50	50	100	100	100
HLW 体積 (m ³)	10,000	10,000	10,000	10,000	1,000	10,000	なし
資源可採年数	100	100	100	1,000	1,000	1,000	1,000
開発期間	< 10	< 10	< 10	10~30	> 30	> 30	> 30
開発費用 (兆円)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1~1	1~10	1~10	1~10
優先された意見	関連省庁	関連省庁	関連省庁	関連省庁	関連省庁	関連省庁	関連省庁
撤回可能性	建設開始	建設開始	建設開始	建設開始	建設開始	建設開始	建設開始
回収可能性	50年	50年	50年	50年	50年	50年	50年
予測値	3.418	3.352	3.454	3.458	3.487	3.438	3.420
パーセンタイル	83.5	73.1	88.2	88.6	91.6	86.1	83.7

実施項目③-1：原子燃料サイクルオプションの検討

成果：選択し得る原子燃料サイクルオプションの検討を行い、以下に示す成果を得た。

1 原子燃料サイクルオプションの検討

選択し得る原子燃料サイクルオプションの検討を進めた。検討結果は、今後、関係者とのクローズドな意見交換の場で参加者と共有し、議論のベースとして利用する予定である。具体的には、以下のようなものである。

1.1 本検討に対する自然科学グループの方針

本検討は、明示的な目的としては、政策実装グループが行うクローズドな意見交換の議論に資するものとしているが、社会科学グループが行うコンジョイント実験のインプットともなる検討であり、本研究の表題にも含まれる「原子燃料サイクル政策」に対する技術的な判断材料を提供するための重要な議論である。また、未確立の技術も含めて幅広いオプションに対する市民の選好を調べるのが本研究の主題の一つであるから、「自然科学の観点から非効率」、「政策決定で過去に否定された」、「事業者のモチベーションが低い」などの理由で、特定のサイクルオプションを排除することはしてはならない。

市民との対話、「サイエンスコミュニケーション」や「リスクコミュニケーション」の

発端は1980年代、英国を中心に発展した「科学技術の公衆理解」(PUS: Public Understanding of Science) [1]に始まる。一方で、1990年代には、このような活動に対し、一般市民を学的知識の欠如した存在として認識した一方的な情報伝達とあるとして「欠如モデル」(Deficit model)としてBrain Wynneらにより批判されることとなり[2,3,4]、サイエンスコミュニケーションやリスクコミュニケーションが一方的な教育や宣伝であってはならないとする現在の流れを作ることとなった。また、2000年に行われた、OECDの化学物質管理のリスクコミュニケーションに関するワークショップでは、リスクコミュニケーションの最終目標は、専門知識、合理的マネジメント戦略、「公衆の好み(Preference)」の一致であると結論づけられた[5]。このことは、自然科学的に非効率と考えられるオプションでも公衆が求める以上考慮すべきであるとの事実を示している。原子燃料サイクルオプションの選定は、まさにトランスサイエンス問題といえる。本検討において自然科学グループでは、問題が本質的に、専門家の間ですら議論が発生するトランスサイエンス問題を扱うことを前提とし、専門知識とそれに対する一般市民の認識、特定の政策推進の中で発信される情報に含まれるバイアスの3点に配慮しつつ、対立オプションについても公平性の観点から積極的に取り入れていく方針とする。

1.1.1 専門知識と一般市民による認識

後述するように、地層処分と分離・変換に対する安全性の考え方の違いは最適化の範疇を超えた、全く異なる安全思想に基づくものであり、市民の興味も相俟って積極的に議論されるべき問題である。原子燃料サイクルの抱える問題でかつ、社会受容が重要となる問題としては、高レベル廃棄物処分に関する問題がある。NIMBY(Not In My Back Yard)問題として有名であり、処分場サイトの候補地すら決定できない現状にある。また、一般市民の高レベル廃棄物処分に関する興味・認知度を理解するのに、渡辺、寿楽ら[6]による市民調査の先行研究は参考になる。本調査研究では、市民に高レベル廃棄物処分の要望を聞き、その解決法を専門家にインタビューするものであり、本研究がトップダウンの性質を持つのに対し、ボトムアップのアプローチであり、方法論は異なるが本研究にも参考になる興味深い結果を示している。

無作為に一般市民にインタビューをした結果、専門用語は用いないまでも、廃棄物減容、有害度低減、回収可能性・可逆性など、現在の地層処分の専門的な議論の論点とも言える主要な概念が回答の中に現れた。もし、専門用語やその定義を以て知識の確認とすれば、知識の欠如とされてしまうかもしれないが、その概念やそれに対する要望は明確に示されており、知識の有無に依存して市民の選好を判断する方法では、重要な市民の意見を封殺してしまう危険性を孕んでいることがわかる。また、技術的内容についての理解が正確ではない場合があるが、それは、単に、一般市民の無知からくるものとは言い切れない側面がある。例えば、分離の効果が大きい廃棄物減容に関しては、一般市民は再利用できるものを再利用するから結果として廃棄物減容につながると考えている。しかし、専門家の意見からするとガラス固化体製造の妨げとなる崩壊熱の高い元素を分離し、結果としてガラス固化体の数が少なくなっていると説明する。核変換の効果による有害度低減に関しては、一般市民は有害なものを完全に無害化することにより安全となると考えている。一方で、専門家は一部の核種しか変換できないと説明する。このような状況に対し、市民の理解が不足しているとする欠如モデルで問題を片づけてしまうことは非常に危険である。

1.1.2 政策推進に伴い発信される情報に含まれるバイアス

原子力に限らず、技術開発においてはステークホルダー間の共同体であるコンソーシアムの構築を行い、自分たちの研究開発に対する予算の確保、開発した技術の社会実装を促進させるよう政策に反映させようと働きかける。この動きが顕著に確認できるのが、1995年12月の「もんじゅ」のナトリウム漏洩事故を契機に、原子力委員会の下に設置された「高速増殖炉懇談会」の議論であり、それを受けての政策の策定の一連の動きである[7]。結果として、高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究を経て、2006年の高速増殖炉サイクルの実用化を目指すことを目標とする原子力立国計画の策定及び、高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)の開始に至る[7]。当時は、1960年代の原子力利用当初の予測に反し、1980年代から90年代にかけてウラン資源の埋蔵量が十分に存在することが確認され、増殖に対する緊急性が失われた。それを受けて、アメリカ、ドイツが高速増殖炉開発から撤退する状況にあった[8]。一方で、第2回高速増殖炉懇談会では、1956年に初めて策定された「原子力開発利用長期計画」において、「我が国における将来の原子力の研究、開発および利用については、主として原子燃料資源の有効活用の面から見て、増殖型動力炉が我が国の国情に最も適合すると考えられるので、その国産に目標を置くものとする」との方針が再度示され、日本の原子力政策は当初から高速増殖炉開発を目指していたことが改めて確認された[9]。さらに、最近の議論でプルトニウムを積極的に燃焼させる議論があるものの、エネルギーセキュリティ、長期計画の位置づけ上、増殖は重要であることと廃棄物消滅が重要であること、が確認された[9]。最終的にプルトニウム増殖の他に、核変換(MA変換)という新たな目標が追加され、原型炉もんじゅの失敗やプルトニウム増殖の緊急性の喪失がありながらも高速炉増殖炉路線を続けていく方針が示されたこととなる。その後、高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究[7]を経て、2006年の原子力立国計画まで、高速増殖炉のコンソーシアムにより高速増殖炉サイクルの有用性が主張され続けることとなった。詳細は政策実装グループの調査に示されるが2004年の新計画策定会議において、直接処分路線よりも全量再処理路線の方が経済的に安価であるとの結論が出されたのも、2006年の原子力立国計画への布石であることは、想像に難くない。このように、技術の評価についても、その政治的な背景に大きく影響されるため、関連する最低限の政策による影響については、政策実装グループだけではなく、自然科学グループにおいても議論を行うものとする。

1.2 原子燃料サイクルオプションの検討

原子燃料サイクルオプション自体は、構成する要素技術の組み合わせ次第で無数に存在する。そのため、まずは、要素技術間の比較を行う、ここでは、大きく分けて、フロントエンド、原子炉、再処理(分離・変換含む)、および、廃棄物処分・保管の4つの区分で議論を行う。

1.2.1 フロントエンド

フロントエンドには、核燃料物質の調達と燃料の製造が含まれる。核燃料物質の調達に関しては、ウラン資源の他に、使用済燃料から回収したプルトニウムからの調達が考えられる。トリウムもウラン資源以上の資源量があり、ウラン程資源が偏在しないことから、核燃料物質として有望視されることがある。しかし、日本で採掘されないことと、核分裂を殆ど起こさない親物質のみから構成されるため増殖技術を確立して初めて利用できることなどから、日本においてトリウム燃料サイクルを導入する意義は小さいと思われる

ため、本検討ではトリウムサイクルを候補から外す。

ウラン資源としては、ウラン鉱山から採掘できる資源を在来型資源と呼び、リン鉱石等に付随して微量に採掘できる資源を非在来型資源と呼ぶ。在来型資源に関しては、その存在が確認されているものを既知資源、地質的にその存在を推定できるものを未発見資源と呼ぶ。ここでは、可採埋蔵量を2019年の世界のウラン需要の59,200tU/yを基準として表す[10]ものとする。いわゆる資源量と呼ばれているものは、在来型既知資源の資源量を指し、136年分となる。在来型未発見資源は124年分存在する。非在来型資源については、735年分存在する。また、正確には非在来型資源に含まれるが原子力機構が捕集技術を確立したウラン資源に、海水ウランがある。海水中に微量に溶けだしたウランを回収する[11]もので、7,200,000年分存在する。また、温かい海流である黒潮の流域が採取に適しており、漁業権との衝突などを考慮しつつ、最大の捕集を考えると世界のウランの需要の87%[12]を、日本国内で採集することが可能である。

プルトニウムの利用としては、原子炉の特性に依存することになるが、大きく分けて、熱中性子炉でのプルトニウム燃焼、高転換型炉でのプルトニウムの有効利用、増殖炉におけるプルトニウムの増殖の3つに分けられる。プルトニウムは資源となる一方で、兵器転用が懸念される資源であり、使用用途が限定されないプルトニウムは余剰プルトニウムと呼ばれ、できるだけ発生させてはならない。プルトニウムの受け皿がなければ、使用済燃料の再処理ができないため、現在の技術では、熱中性子炉でプルトニウムを燃焼させるオプションが考えられる。代表的な候補としては、通常の軽水炉でMOX燃料と呼ばれるプルトニウム燃焼を製造し燃焼させるプルサーマルが挙げられる。一方で、プルトニウムをできるだけ多く温存させながら燃焼させ、より効率的な資源利用、もしくは、将来的に実現される高速増殖炉サイクルで用いるためのプルトニウム燃料を確保する目的で、転換比が高い高転換型炉での利用が考えられる。最終的には、プルトニウム増殖炉によるプルトニウムの増殖が考えられる。主に軽水炉からのリプレースを前提とするシナリオの中で導入が想定されることが多いが、増殖炉を導入する際には、その増殖炉で用いるプルトニウムを調達する必要があるため、高い増殖比の原子炉が必要となる。一方で、十分なプルトニウム増殖炉の導入を終えた際には、それ以上のプルトニウムの増殖は余剰プルトニウムの発生をもたらすため、自身の燃料としてのプルトニウムを消費した分だけ増殖を行い自己充足の状態を保つ。一方で、軽水炉と共存する場合、軽水炉で発生するプルトニウムを消費する必要があるため、増殖は行わないこととなる。いずれにせよ、理論的には、ウラン資源をプルトニウムへの転換・増殖を通じて完全に利用することが可能である。ウランの組成が核分裂性のU-235が約0.7%で残りがU-238であることを考えると、原理的には、プルトニウム利用を行わない場合に比べてウラン資源量の約100倍以上使えることとなる。一方で、軽水炉でのプルトニウム利用でも転換比0.6程度を想定すると、ウラン資源量を2.5倍利用できることとなり、高速増殖炉自体の持続目標が500年[13]であることを考えると、資源論による議論は、まず、原子力利用にどの程度の持続性を持たせるのかという問題に帰結すると考えられる。

1.2.2 原子炉

次に、原子炉であるが、日本では、初めにコールドターホール型と呼ばれるガス冷却炉を導入したのが商用原子炉の1基目であるが、それ以降は、商用原子炉のデファクトスタンダードとなっている軽水炉が導入されることとなった。軽水炉は二酸化ウラン燃料ペレットを燃料とする炉心が主流であるが、燃料集合体の変更だけで実現できるもの、原子炉

自体に変更が必要なものも含め多くのバリエーションが存在する。軽水炉の有名な炉型としては、前述の MOX 燃料を用いるプルサーマル炉心があげられる。原子炉の1/3を MOX 燃料、残りを二酸化ウラン燃料とする部分 MOX 炉心は、現在稼働中の一般的な軽水炉でも実施可能である。一方で、炉心のすべてを MOX 燃料とするフル MOX 炉心は軽微なプラント設計の変更が必要である[14]。例えば、吸収断面積の大きなプルトニウムにより中性子スペクトルが硬化するため、制御棒に用いるホウ素に含まれる B-10の濃縮度を上げる設計変更などがされている。同様に、軽微な設計変更が求められる可能性はあるが、燃料のみを交換することにより実現可能なものとして、同じ MOX 燃料を用いる高減速炉心があげられる。これは、燃料集合体の燃料棒を細くし減速材領域を増やしスペクトルを軟化させる設計の変更である。これにより、5回程度までのマルチサイクルが可能となり、プルトニウム効率的に燃焼させることができる。また、核燃料物質を不活性母材燃料に閉じ込めた岩石型燃料[15]が挙げられる。これに関してもプルトニウムの燃焼を目的とした燃料であるが、バリエーションとして高濃縮ウランを用いたものもある。組成が天然の岩石に似ていることから岩石燃料と呼ばれるが、その特徴は、燃料の化学的安定性が高く再処理が困難で核拡散抵抗性が高い点である。また、プルトニウム利用において、スペクトルを積極的に硬化させ、プルトニウムへの転換を促進する低減速軽水炉[16]も存在する。この炉心では、稠密燃料体系を実現するため、燃料棒を三角格子配列とするため、燃料集合体は六角形となり、その支持格子及び制御棒配置が通常の軽水炉と大きく異なるため、圧力容器の設計も専用のもとなる。低減速軽水炉には高転換型炉の他に、増殖炉も存在し、現行軽水炉の延長で高速増殖炉の実現も可能である。

高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究[17]における評価においても、開発項目が燃料に集中しており、技術的成立性が最も高い高速炉という評価がなされている。一方で、高速増殖炉の代表炉型はナトリウム冷却高速炉であり、増殖比の高さが特徴である。高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究で最も経済性の高い高速炉と評価されているが、開発目標として高い経済性を設定したためである。経済性自体は原子炉自体、もしくは蒸気発生器などの機器を大型化することによるスケール効果によりどの炉型でも改善することが可能である。

また、その他として高温ガス炉が存在する。福島第一原発事故のような、水素爆発や炉心溶融が発生しない固有の安全性の実現が可能である。また、高温ガス炉燃料は被覆燃料粒子と呼ばれる、直径 1 mm 程度の粒子として UO_2 を3層の TRISO という構造層により閉じ込めた安全性の高い燃料として知られる。

原子炉の安全性に関しては、動的な安全機器等により安全を担保する能動安全、受動的な機構により安全を担保する受動安全、安全機構を必要としない固有安全が存在する。例えば、高速炉の特性として正のナトリウムボイド係数が挙げられるが、大型炉の場合には、炉心流量喪失事故 (ULOF) 時には、制御棒によるスクラムが必要であり、このような構成により達成される安全性を能動的安全性と呼ぶ。もし、スクラムによる原子炉停止に失敗した場合には、ナトリウムが沸騰し、正のナトリウム反応度により、さらに出力が上昇し出力バーストが起こり、炉心溶融へ至る。統合型高速炉[18]という小型の高速炉では、小型炉による中性子の漏洩量の増加による負のナトリウム反応度の達成もしくは、ナトリウム沸騰までの熱的余裕の大きな設計により、出力バーストが起こらない固有の安全性を実現することが可能である。

1.2.3 再処理、分離・変換

次に、再処理、分離・変換について述べる。再処理に関しては、六ヶ所再処理施設に採用されている PUREX 法による再処理が代表的である。核分裂生成物を徹底的に除染する高除染再処理で、製造された MOX 粉末を用いた燃料製造はグループボックスによる操作で実現できる。問題点として、プルトニウムが単離される工程が発生する点である。日本では、核兵器製造を防ぐ目的で、分離したプルトニウムと同量の分離したウランを混合することにより MOX 粉末を製造する。一方で、熔融塩を用いた再処理法である乾式再処理[19]も開発されている。分離性能の低さからプルトニウム単体の分離が行えないため核拡散抵抗性が高いとされている。

また、高速炉サイクルの再処理法として開発された先進湿式法では、ウラン、ネプツニウム、プルトニウムを同時に抽出する共抽出により核拡散抵抗性が高いとされる。廃液に残ったアメリシウム、キュリウムも回収する分離プロセスも備えている。

また、階層型核変換システムでは、群分離と呼ばれる分離プロセスを用いる。これは、高レベル廃液からマイナーアクチノイド(MA)を回収するとともに、ガラス固化体の製造のネックとなる発熱性元素である Sr-Cs、電気抵抗で加熱するタイプのガラスメルトをショートさせる原因となる白金族を回収するプロセスも備えており、さらに、核分裂生成物を3倍程度格納できる高充填ガラス固化体を用いることにより、ガラス固化体の発生量を1/3程度に抑える分離技術となる。また、回収された MA は加速器駆動原子炉 (ADS) による核変換を行う。この際、ADS で一度に燃焼できる量は限られているため、ADS によるマルチサイクルを構成する。この MA の核変換は主に、経口摂取時の放射性毒性である潜在的有害度低減に有効とされている。また、その時の再処理法としては乾式再処理が想定される。このように、再処理法によっては、プルトニウム単離が行われるため核拡散抵抗性が問題視されることがあるが、再処理法の中でその問題を解決することも可能である。また、再処理しない直接処分も考えられるが、その場合、将来的に地中に兵器転用が可能なプルトニウムが残る、プルトニウム鉱山問題[20]も発生する。

さらに、高レベル廃棄物を発生させない核変換システムの概念を本提案の中で行っている。概念の詳細については、1.3.2章で述べる。本来は、日本学術会議の提案した総量管理の概念を潜在的有害度低減に当てはめた概念であり、遠い将来ではなく、現時点における潜在的有害度の総量を規制するためには、Sr-90,Cs-137を制限すべきとするものである。一方で、この両核種の原子炉での核変換は不可能となり、効率的な核変換には、この二核種を分離するレーザー同位体分離技術と加速器核変換が必要となる。

1.2.4 廃棄物処分・保管

最後に廃棄物処分・保管が挙げられる。現在における代表ケース[21]としては、再処理時に発生したガラス固化体を地中に埋める地層処分が挙げられる。地層処分に関しては、地中300m より深くに廃棄物を処分することで概念としては隔離にあたり、それより浅く埋めた場合は地層処分とは呼ばず、管理の概念である管理処分に該当し、低レベル廃棄物の処分法である[22]。管理処分では処分場の再利用を考え、掘り起こした際の安全性も担保する必要があるが、地層処分では、モニタリング自体も次の処分場建設のための知見収集の目的が強く[23]、管理を目的としていない[22]ことに留意すべきである。ガラス固化体の選定は DOE による広範囲の検討[24]により決定づけられた経緯があり、経済性を無視してよいのであれば、地下水環境の安定性も高いとされる高温ガス炉の被覆燃料粒子の中に廃棄物を閉じ込める案なども候補に挙げられた経緯がある[24]。廃棄物処分の技術だけで見れば費用の大小はあっても、発電原価全体から見ると廃棄物にかかる費用はそれ

ほど顕著ではないため、廃棄物処分に対する市民の不安から処分事業が進まない今では、廃棄体としてのガラス固化体を再選定するのも選択肢の一つである。このガラス固化体はさらにオーバーパックとよばれるキャニスターに格納され地層処分される。このようなガラス固化体およびオーバーパックを人工バリア、処分場の岩盤自体を天然バリアと考え多重障壁と考える KBS-3概念[25]が世界的な標準となっている。廃棄体の外側ではなく、処分場の外側に漏洩した放射性物質による被ばくが問題となるが、有害度の大半を占めるプルトニウム(MAの比ではない)を地中に処分する直接処分(使用済燃料をオーバーパックと同等のキャニスターに格納)ですら、その公衆被ばくは安全基準と比較して十分に低い[26]。また、廃棄物を保管することも考えられる。日本学術会議が処分法に関する市民合意を形成するまでの暫定保管を提案したこともあるが、長期的な廃棄物の保管が検討された例もある。これは、カナダの CANDU 炉の使用済燃料の長期貯蔵の例であるが、保管中の廃棄体に劣化を修復するためのリパッケージと呼ばれる作業を100年毎に想定している[27]。なお、ガラス固化体換算で一人の人間が使用する電気に相当する廃棄物の体積はゴルフボール3個分といわれ、もし、地上で保管し続けるオプションが選好された場合、実現は技術的には不可能ではない。

また、各オプションに対する技術構成を表3に示す。

表3 各原子燃料サイクルオプションに対する技術構成

炉型	フロントエンド	原子炉	再処理 分離・変換	廃棄物保管・ 処分
軽水炉	在来型ウラン 非在来型 海水ウラン プルトニウム利用	ウラン炉心 岩石型燃料炉心 (U/Pu) プルサーマル炉心 高減速炉心 低減速軽水炉 (高転換型・増殖型)	PUREX 法 乾式再処理	地層処分 (ガラス固化体、使用済燃料) 地上保管 (ガラス固化体、使用済燃料)
高速炉	プルトニウム利用	ナトリウム冷却炉	先進湿式法	地層処分 (ガラス固化体) 地上保管 (ガラス固化体)
高温ガス炉	在来型ウラン 非在来型 海水ウラン	高温ガス炉		地層処分 (ガラス固化体、使用済燃料) 地上保管 (ガラス固化体、使用済燃料)
共通			階層型核変換システム(群)	

			分離・ADS)	
			高レベル廃棄物を発生させない核変換システム	

1.3 地層処分と分離・変換について

市民調査において[6]、地層処分された廃棄物の状態に不安を感じる意見が見られるが、基本的に、地層処分は隔離の概念[22]であり、初めから廃棄物の腐食及び放射性物質の漏洩を想定し、処分場自身にも閉じ込め機能を考え[25]その安全性を担保している。それに反し、分離・変換は廃棄物そのものを短寿命化することを目指しており、地層処分の閉じ込め機能による安全性の考え方と対立しているように見える。

1.3.1 分離・変換の意義と地層処分の役割

2008年に原子力委員会に設置された分離変換技術検討会の最終報告書[28]の記載を確認すると、「3.1章 分離変換の導入効果」には、4つの項目が記載されており、(1)潜在的な有害度、(2)地下水シナリオに基づく被ばく線量（実効線量率）(3)処分場に対する要求への影響、(4)処分場に対する要求に影響を与えるパラメーター、が挙げられる。一般的に、分離・変換の利点としては、有害度低減及び廃棄物減容とされる。(3)、(4)については、廃棄体発生量、処分場専有面積低減に関する記載がなされ、廃棄物減容に対する記載であり、この効果に関しては、分離・変換の効果は絶大なものである。一方で、有害度低減に該当する(1)、(2)については、分離・変換の効果に否定的な見解が示されている。

「(1)潜在的な有害度」に関しては、分離・変換の代表的な利点であり、高速炉開発の意義としても示されてきたものである。その有害度の低減効果については、「HLW の潜在的有害度が軽水炉燃料の原料である天然ウランとその娘核種のそれを下回るまでには約1万年を要するが、MA の分離変換を導入し、廃棄体へのアクチノイド元素の移行率を十分小さくできれば、この期間が数百年にまで短縮される。」と説明され、よく、高速炉開発の意義として用いられる文章が示される。一方で、その冒頭において、「潜在的有害度は、HLW の放射能について経口摂取による各核種からの実効線量に換算した指標である。処分された放射性核種が直接人体に摂取されることは現実にはほとんど考えられないが、処分される廃棄物の特性を相対的に比較することが可能なことから、これを潜在的有害度の指標として用いる。これは、処分される放射性核種の量だけに依存し、廃棄体の性能や処分場の閉じ込め機能の条件に依存しない量である。」との主張がなされている。結局のところ、潜在的と言いながらもその毒性が顕在化することは、まず無く、人工バリア、天然バリアの閉じ込め機能を考慮すれば安全性について問題はないことを示唆している。「(2)地下水シナリオに基づく被ばく線量（実効線量率）」の記載は直接的であり、「処分場周辺住民の年間被ばく線量は、地下水シナリオに基づく標準的な核種移行モデルによって評価される。MA の分離変換を燃料サイクルに取り入れなくても取り入れた場合でも、この線量は100万年経過後に 10^{-5}mSv/y でピークとなる。このピークは ^{135}Cs によってもたらされる。この値は諸外国で提案されている安全基準（ $0.1\sim 0.3\text{mSv/y}$ ）に比べて4桁程度小さい。MA 分離変換を取り入れた場合を取り入れない場合と比べてみると、1000万年以降の被ばく線量が1桁程度下がっている。以上から、MA

の分離変換は地下水シナリオに基づく実効線量率に対しては 実質的な影響を与えないと言える。」と断言している。実は、分離・変換の立場からも、地層処分の安全性を否定するものではなく、MA の分離・変換が地層処分の安全性に寄与すらしめないことは理解されている。その一方で、廃棄物減容を含む、廃棄体、処分場の最適化が可能であることが、専門的な立場からの分離・変換の利点と結論付けられる。なお、米国 NRC の議論においても、分離・変換を用いても地層処分は必要であると結論付けている[29]。また、Piet は潜在的な有害度に関し、安全・規制上の要求ではないことを強調するとともに、天然ウランとの比較に対し「自然の鉱石災害から十分に保護されるのであれば、廃棄物に対しても同等の保護が可能という感覚がある」とその起源を推測しているが[30]、天然ウラン鉱石は一定の密度も持って有害度を含有しているのに対し、指標としての潜在的な有害度は密度の概念を持たず、廃棄物自体は放射性物質を高濃度で含むため、少なくとも安全性の指標として用いるにしても、密度の概念を補完すべきであることは自明である。最終的に、米国の日本学会会議に類似した横断的な学術委員会が本研究と同様の目的で、革新炉を含む多様な原子燃料サイクルオプションによる廃棄物処分に対する効果を検討した結果によると、分離・変換を用いても、地層処分は無くならないし、廃棄物の最適化に貢献するのみと結論付けている[31]。

1.3.2 地層処分における回収可能性と可逆性

これまで、地層処分は隔離の概念で管理の概念ではないとする議論を進めてきたが、最近の議論を考慮すると、必ずしもそうは言いきれない現状がある。2011年に日本学会会議の回答書「高レベル放射性廃棄物の処分について」[32]が注目を浴びることとなる。その中で、回収可能性、可逆性という概念が注目され、今では、原子力発電環境整備機構(NUMO)でも考慮しなければならない課題として対応を求められている[33]。回収可能性は物理的に一度処分した廃棄物を掘り起こす行為の成立性を言い、可逆性とは政治的な方針の変更をいう。具体的には、直接処分後に再処理路線に変更する際、直接処分キャニスターを掘り起こせるかという問題が回収可能性であり、回収後、再処理できるかという問題が可逆性といえる。これにより、将来的な危険性が判明したとしても、将来の技術革新により問題解決に取り組むことができるという保証が生まれ、現時点による安心が得られる。現行処分計画におけるキャニスター [21]は、1000年間の地下水による腐食から廃棄体を保護するように設計されており、1000年程度の猶予はあることとなる。この回収可能性、可逆性の担保は、現行処分計画を促進する効果が期待できる。そこで、本研究では可逆性の進む先の路線として、「高レベル廃棄物そのものを発生させない原子燃料サイクル」をオプションに追加する。このオプションでは新たな核変換により、高レベル廃棄物をすべて低レベル廃棄物へ変換する。技術的な困難さや経済性の悪化などから、自然科学の観点で合理性が小さくても、この概念が市民の趣向に合致している場合は大きく地層処分計画を促進させることが期待できる。

参考文献：

- [1] Council of the Royal Society, “The Public Understanding of Science,” The Royal Society, (1985).
- [2] Wynne, B., “Knowledge in Context,” Science, Technology & Human Values, 16 (1) : 111-21, (1991).
- [3] Wynne, B., “Public uptake of science: A case for institutional reflexivity,” Public

- Understanding of Science, 2 (4) : 321-337,(1993).
- [4] Wynne, B., “Misunderstood misunderstandings: social identities and public uptake of science,” Alan Irwin & Brian Wynne eds , Misunderstanding science? The public reconstruction of science and technology: Cambridge University Press, 19-46, (1996).
- [5] OECD-Workshop, “Risk Communication for Chemical Risk Management,” Berlin, Germany, 18-20 September 2000, (2000).
- [6] 渡辺、寿楽、“どのような高レベル放射性廃棄物の”処分”が望ましいか、—市民と専門家の対話協働手法の開発—,東海村助成事業、(2016).
- [7] 宇都成昭、“もんじゅの今後—高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)、フェーズ I からフェーズ II へ”、原子力 eye, 57[4],34-39, (2011).
- [8] 久保木太一、“プルトニウム削減に向けた実現可能性のある選択肢を、-日本のプルトニウム政策の変遷-”,ND Policy Brief, 3 (2018) .
- [9] 村田 浩、“これまでの高速増殖炉開発政策の変遷とその際の主な議論”、第2回 高速増殖炉懇談会 資料2-2 (1997).
- [10]IAEA,OECD/NEA,”Uranium 2020: Resources, Production and Demand”,OECD, (2020).
- [11]玉田 正雄、瀬古 典明、笠井 昇、“モール状捕集システムによる海水ウラン捕集のコスト試算”、日本原子力学会和文論文誌、5[4]、358-362、(2006).
- [12]Y. Fukaya, “Safety and Economic of Uranium Utilization for Nuclear Power Generation”、Capter2 of Uranium-Safety, Resources, Separation and Thermodynamic Calculation, Intech Open, (2017).
- [13]日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門 FBR サイクル統括ユニット エネルギー評価グループ、“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズ II 技術検討書”, JAEA-Research 2006-044, (2006).
- [14]小林哲郎,”ABWR における MOX 燃料の全炉心利用技術 フル MOX の技術的バックグラウンドは何か?”,日本原子力学会誌, 56[6], (2014).
- [15] K. Nishihara, H. Akie, N. Shirasu, et al. “Utilization of rock-like oxide fuel in the phase-out scenario”, J. Nucl. Sci. Technol., 51[2], 150-165, (2014).
- [16] T. Iwamura, S. Uchikawa, T. Okubo, et al. “Concept of innovative water reactor for flexible fuel cycle (FLWR),” Nucl. Eng. Des., 236, 1599-1605, (2006).
- [17] FBR システムユニット, FBR 信頼性技術ユニット, FBR 安全・先進技術ユニット, FBR サイクル統括ユニット, 革新的水冷却炉設計グループ, 原子力基礎工学研究部門, “高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズ II 技術検討書,1; 原子炉プラントシステム”, JAEA-Research 2006-042, (2006).
- [18] C. E. Till, Y.I. Chang, W. H. Hannum, “The Integral Fast Reactor – An Overview,” Progress in Nuclear Energy, 31[1-2],3-11, (1997).
- [19]藤田玲子、“原子炉の使用済み核燃料の乾式再処理技術、熔融塩電解精製法を用いた核分裂生成物の分離”、表面技術、49[4]、356-360、(1998).
- [20]R. L. Murray, K.E. Holbert, “Nuclear Weapons,” Chapter 27 of Nuclear Energy: An Introduction to the Concepts, Systems, and Applications of Nuclear Progress, Butterworth-Heinemann, (2020).
- [21]核燃料サイクル開発機構、“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—, 総合レポート”, JNC TN1400 99-020,

(1999).

[22]原子力委員会、“原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画”、(2000).

[23] IAEA, “Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste,” IAEA-TECDOC-1208,(2001).

[24]U.S. DOE,“Environmental Assessment Waste Form Selection for SRP High-Level Waste,” DOE/EA-0179, (1982).

[25]SKBF/KBS, “Final Storage of Spent Nuclear Fuel-KBS-3,” SKBF/KBS, (1983).

[26]日本原子力学会「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」研究専門委員会、“「使用済燃料直接処分に関わる社会環境等」研究専門委員会 最終報告書”、(2017).

[27]NWMO, “Choosing a Way Forward, The Future Management of Canada’s Used Nuclear Fuel, Final Study,” (2005).

[28]原子力委員会 研究開発専門部会 分離変換技術検討会、“分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方”、原子力委員会、(2009).

[29] National Research Council, “Nuclear Wastes: Technologies for Separations and Transmutation,”Washington, DC: The National Academies Press, (1996).

[30] S. J. Piet, “When Is the Simple Radiotoxicity Approach Useful for Advanced Fuel Cycle System Assessments Given the Existence of Complex Performance Dose Assessments?” Nuclear Science and Engineering 173,58-81, (2013).

[31]National Academies, “Merits and Viability of Different Nuclear Fuel Cycles and Technology Options and the Waste Aspects of Advanced Nuclear Reactors,” National Academies Press (2022).

[32]日本学術会議、“回答：高レベル放射性廃棄物の処分について”、日本学術会議(2012)

[33]資源エネルギー庁、“可逆性・回収可能性の担保、NUMO や経済産業省等の活動に対する評価について”、総合資源エネルギー調査会 放射性廃棄物ワーキンググループ第16回会合 資料1、(2015).

実施項目③-2：技術・経済性の評価、ロードマップの作成

成果：技術・経済性評価手法の整備を行い、以下に示す成果を得た。

2 技術・経済性の評価、ロードマップの作成

技術・経済性評価手法の整備を行った。特に、主要な原子炉、核変換に必要な加速器施設、多様な分離に必要な化学プロセスなど、経済性評価における単価を評価する際に必要な、建設費や運転費などの過去の評価結果や、推定可能な類似の施設に対する評価結果などについて、文献調査レベルでデータベース化を行った。また、それぞれの単価の評価手法、スケール補正、エスカレーション補正に関する評価法及び、データベースの整備を行った。具体的には、以下のようなものである。

コスト評価に関しては、参考文献[1]から[20]の20件に対し、情報を整理しデータベースを作成した。データベース作成に当たり、評価された年代の違いによる物価変動の影響を補正し同一の条件とする必要があるため、エスカレーション補正を行った。エスカレーション補正に関しての補正率を決定するため、表4に示すように、データベース作成のために参照した文献に記載されていたエスカレーション率をまとめた。エスカレーション率の記載がないものについては、現在価値換算に用いる割引率を引用している。割引率は、投資の機会費用及びRamseyモデルによる社会的時間選好率[21]があるが、

1995年に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)を契機に、社会的時間選好率を用いる国が多くなった経緯がある[22]。社会的時間選好率については、社会の人間の性質として表される純時間選好率と社会の経済成長率に関する項の和であらわされ、前者は比較的小さな値として与えられるため、社会的時間選好率は経済成長率と同義といえるものとなる。表4から分かるようにエスカレーション率としては、3%を代表値とすることが妥当である。そこで、すべての単価は2022年時点にエスカレーション率3%で補正した。

各要素技術の単価を表5に示す。資源として、従来ウラン、海水ウラン、劣化ウラン、回収ウラン、回収MOX、精錬、転換、濃縮、再転換、成形加工としてU燃料、金属燃料、MOX燃料、MA燃料(ADS用)、Sr-Csターゲット、発電として、軽水炉(U燃料、MOX燃料)、高温ガス炉(U燃料、MOX燃料)、高速炉(金属燃料、MOX燃料)、低減速軽水炉、中間貯蔵、再処理として、PUREX法、金属燃料再処理、先進湿式再処理、MA燃料再処理、Sr-Csターゲット再処理、処分・保管として、地層処分(再処理後、直接処分)、長期保管、加速器核変換として、階層型核変換システム、Sr-Cs核変換システムと原子燃料サイクルを構成する要素について、包括的な単価データベースを整備した。

各単価については、補正前・補正後とあるように、エスカレーション補正を行っている一方で、1.1.2章で示しように、これらの評価には評価者のバイアスが含まれている。特に、一例として、高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究[20]におけるナトリウム冷却高速炉の発電原価は2.2円/kWh(最新の軽水炉の評価では、11.7円/kWh)としている。OECD加盟国の高速炉及びADSに関するワークショップの検討結果[3]では、高速炉の発電原価は軽水炉のもの3割程度高額になるとの評価がなされており、その、主な原因が、MAリサイクルにより必要となる革新的な燃料製造法及び、再処理法となっている。なお、高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究は、ナトリウム冷却高速炉、低減速軽水炉、鉛ビスマス高速炉、ガス冷却高速炉の4炉型から選択すべき高速炉を選定する意味合いもあったが、ナトリウム冷却高速炉のみは他の炉型に競合できる性能を設定したうえで、技術開発項目を決定するという方式で研究開発がすすめられたため、本調査研究で、ナトリウム冷却高速炉が代表炉型になったのは自明の理である。その過程で上記の2.2円/kWhも開発目標として示された値である。来年度以降は、具体的な技術検討を各要素技術に対して行い、これらのバイアスを取り除き、公正な評価が可能となるデータベースの完成を目指し更新を行っていく予定である。

また、今後、地方分権、電力自由化などのメンテナンス性の低い小規模発電への需要に対し、近年、小型モジュール型原子炉であるSMRの導入が期待され、ニーズとシーズの一致を図っていく必要がある。また、立地対策を関連産業の誘致として行う場合、需要地・供給地の不平等を解消しようとした場合、SMRの高い安全性を重視し、原子炉を含むフロントエンドからバックエンドまでのすべてのインフラを都市近郊に配置することも考えられる。その際、フロントエンド及びバックエンドに関しは、地域分散によるスケールの縮小によるコスト増も考慮する必要がある。当面は、一般産業に適用できるとされる0.6乗則を用いるが、原子力プラントの場合、建屋構造に関しては、0.2乗となる一方、タービンシステムは0.75乗となる[23]など、一概に0.6乗であるとは言えないところがあり、来年度以降の技術検討でより妥当な値へ更新していく予定である。

表4 対象文献におけるエスカレーション補正

文献	発行年	補正方法	評価年
[1]	2020	記載なし	2000
[2]	2002	エスカレーション率3%	2000
[3]	2004	(参考値のみのため不要)	—
[4]	2011	割引率0、1、3、5%	2011
[5]	2021	割引率0、1、3、5%	2020
[6]	2021	割引率3%	2021
[8]	2014	記載なし	2014
[15]	2017	エスカレーション率0 (不変米ドル)	2017
[16]	2019	記載なし	2019
[17]	2014	割引率3% (2006年評価)	2011
[19]	2022	(補正不要)	2022
[20]	2006	割引率2% 建設単価低減、設備利用率及び燃焼度 向上による発電原価低減を考慮	2050

表5 技術要素ごとの単価

	要素技術	文献 番号	単価		備考
			補正前	補正後	
資源	従来ウラン	[1]	6,500	12,455	p.239、公称値 (¥/kgU)
		[2]	3,900	7,473	p.211、「採鉱・粉砕」の公称値 (¥/kgU)
		[15]	18,070	20,948	p.x、「採鉱・粉砕」の平均値 (¥/kgU)。製錬を含む。
	海水ウラン	[16]	25,000	27,318	到達の可能性の高いコスト (¥/kg-U)
	劣化ウラン (貯蔵)	[1]	468	897	p.243、「長期貯蔵>劣化ウラン」の公称値 (¥/kgU)
		[2]	468	897	p.211、「劣化ウランの長期貯蔵」の公称値 (¥/kgU)
	回収ウラン (貯蔵)	[1]	468	897	p.243、「長期貯蔵>再処理ウラン」の公称値 (¥/kgU)

	要素技術	文献 番号	単価		備考
			補正前	補正後	
	回収MOX (貯蔵)	[1]	5,460,000	10,461,925	p.243、「長期貯蔵>Am」の公称値 (¥/kgHM)
製錬	従来型製錬	[15]	18,070	20,948	p.x、「採鉱・粉砕」の平均値(¥/kgU)。採鉱から製錬までを含む。
転換	従来型転換	[1]	650	1,245	p.239、公称値(¥/kgU)
		[2]	650	1,245	p.211、公称値(¥/kgU)
		[15]	1,690	1,959	p.x、平均値(¥/kgU)
濃縮	従来型濃縮	[1]	13,000	24,909	p.239、公称値 (¥/SWU)
		[2]	10,400	19,927	p.211、公称値 (¥/SWU)
		[15]	16,250	18,838	p.x、平均値(¥/SWU)
再転換	従来型再転換	[15]	(>6,500)	—	p.D1-20、劣化Uの再転換 (\$5+/kgU)より最低1オーダー上(¥/kgU)
			(52,130)	—	p.x、平均値。燃料製造を含む(¥/kgU)
成形加工	U燃料	[1]	32,500	62,273	p.239、公称値 (¥/kgHM)
		[4]	271,000	375,127	p.10、電力各社の調達実績(¥/kgU)
		[2]	32,500	62,273	p.211、公称値 (¥/kgHM)
		[15]	52,130	60,433	p.x、平均値。再転換を含む(¥/kgU)
		[5]	315,000	334,184	p.123、電力各社の調達実績(¥/kgU)
	金属燃料	[1]	338,000	647,643	p.239、「FR 金属」の公称値(¥/kgHM)
	MOX燃料	[1]	162,500	311,367	p.239、公称値 (¥/kgHM)
		[4]	415,000	574,457	p.10、総事業費 (¥/kgHM)
	MOX燃料	[8]	162,500	205,850	p.10、公称値(\$/kg)
			195,000	247,020	

	要素技術		文献 番号	単価		備考
				補正前	補正後	
			[15]	147,290	170,749	p.x、平均値 (¥/kgHM)
	MA燃料		[1]	1,430,000	2,740,028	p.239、「ADS燃料」の公称値 (¥/kgHM)
			[2]	1,430,000	2,740,028	p.216、公称値 (¥/kgHM)
			[8]	1,430,000	1,811,481	p.10、公称値 (\$/kg)
	Sr-Cs ターゲット			(1,430,000)	—	暫定的にMA燃料の成形加工費用と同様と想定
発電	軽水炉	U燃料	[3]	(7.5、8.2)	—	p.11、ワンスルーシナリオ及び再処理シナリオ (¥/kWh)
			[2]	4.9	9.4	p.219、ワンスルー(スキーム1)の「Cost of Energy」 (¥/kWh)
			[5]	11.5	12	p.95、燃料はMOXを含む、政策経費を含む (¥/kWh)
		MOX 燃料	[3]	(8.2)	—	p.11、プルサーマルシナリオ (¥/kWh)
			[5]	11.5	12.2	p.95、燃料はUOXを含む、政策経費を含む (¥/kWh)
		HTGR	U燃料	[17]	5.8	8.0
				6.4	8.9	
	[19]		7.9	7.9	p.124、評価ではMOXを含むが、殆ど影響ないためU燃料の値とする (3/13 JAEA殿コメント)	
		MOX 燃料	[19]	(7.9)	—	p.124、評価ではMOXを含むが、殆ど影響ないため参考値とする (3/13 JAEA殿コメント)
	FBR	金属燃料	[20]	2.5	2.5	p.175、図3.3.7からの読み取り値 (¥/kWh)
			2.6	2.6		
	MOX 燃料	[3]	(5.1~5.3)	—	p.11、直接処分 (ワンスルー) (¥/kWh)	

	要素技術	文献 番号	単価		備考
			補正前	補正後	
		[8]	4.9	6.2	p.25、単価の違いは燃料組成の違いによる。 (¥/kWh)
			5.0	6.3	
		[20]	2.2	2.2	p.175、図3.3.7からの読み取り値 (¥/kWh)。FBRサイクルシステムの導入時期(2050年ごろ)の評価であるため評価時期の補正をしない。
2.7	2.7				
	低減速軽水炉	[20]	3.4	3.4	p.171、図3.3.2(水冷却炉)からの読み取り値 (¥/kWh)。
中間貯蔵	集中中間貯蔵(乾式)	[1]	ウラン燃料		p.241、「中間貯蔵」の公称値。固定費と年間費用に分かれている。 (¥/kgHM)
			(固定)		
			6,500	12,455	
			(年間)		
			650	1,245	
			MOX燃料		
		(固定)			
		11,700	22,418		
		(年間)			
		975	1,868		
		[2]	7,800	14,946	p.211、「使用済ウラン燃料の中間貯蔵(標準2年間)」の公称値 (¥/kgHM)
		[4]	52,000	71,980	p.10、「中間貯蔵」 (¥/kgU)
		[8]	MOX燃料		p.10、「MOXSF」「ADSDF」の公称値、 (¥/kgHM) 又は (¥/kgHM/y)
			(固定)		
11,700	14,821				
(年間)					
975	1,235				
ADS (MA/AmCm)					
(固定)					

	要素技術	文献 番号	単価		備考	
			補正前	補正後		
			117,000 (年間) 9,750	148,212 12,351		
		[5]	123,000	130,491	p.124、(¥/kgU)	
再 処 理	PUREX法	[1]	104,000	199,275	p.242、公称値 (¥/kgHM)	
		[2]	104,000	199,275	p.211、公称値 (¥/kgHM)	
		[4]	411,000	568,920	p.10、「再処理等」 (¥/kgU)	
	金属燃料 再処理	[1]	260,000	498,187	p.242、「FR金属PYRO」 の公称値 (¥/kgHM)	
	先進湿式 再処理	[1]	130,000	249,093	p.242、「先進PUREX」 の公称値 (¥/kgHM)	
		[8]	286,000	362,296	p.10、「FR MOX ad. PUREX」の公称値 (¥/kgHM)	
	MA燃料 再処理	[1]	910,000	1,743,654	p.242、「ADS-fuel PYRO」の公称値 (¥/kgHM)	
		[2]	910,000	1,743,654	p.216、公称値 (¥/kgHM)	
		[8]	910,000	1,152,761	p.10、「ADS PYRO」の 公称値 (p.10)	
	Sr-Cs ターゲット 再処理		(910,000)	—	暫定的にMA燃料の再処理 費用と同様と想定	
処 分 ・ 保 管	地 層 処 分	再処理	[4]	110,000	152,266	p.10、「高レベル放射性 廃棄物処分」(¥/kgU)
			[15]	650,000	753,528	p.xii、平均値 (¥/kgFP)
			[5]	129,000	136,856	p.129、(¥/kgU)
	直接 処分	[4]	174,000	240,857	p.10、「直接処分(最小 値)」(¥/kgU)	
			201,000	278,231	同上(最大値)	
		[15]	76,310	88,464	p.xii、平均値 (¥/kgHM)	

	要素技術	文献 番号	単価		備考
			補正前	補正後	
	長期保管	[1]	ウラン燃料		p.243、「乾式貯蔵（100年）」の公称値（\$/kgHM）
			19,500	37,364	
			MOX燃料		
				[4]	(52,000)
加速器核変換	階層型核変換システム	[2]	(273,000)	—	p.216、ADS-MA燃焼施設の資本コスト。ターゲット及び加速器を除く、（公称値）（¥/kWe）
			(1,950)	—	p.216、加速器コスト（ターゲット含む）、（公称値）（¥/Wbeam）
		[8]	0.29	0.36	p.25、単価の違いは燃料組成の違いによる（¥/kWh）
	0.33		0.42		
	Sr-Cs核変換システム	[6]	Sr-90: 299	308	p.342、核種ごとの変換コスト（電力料金を除く：100万円/kg）。 <電力料金試算結果> Sr-90：690（100万円/kg） Cs-137：450（100万円/kg）（p.38）
			Cs-137: 196	202	

※ () の値は参考値

参考文献：

- [1] IEA, “Projected Costs of Generating Electricity 2020, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY,” (2020).
- [2] NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Advanced Nuclear Fuel Cycles and Radioactive Waste Management,” OECD NEA, (2006).
- [3] NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles - A Comparative Study,” NUCLEAR ENERGY AGENCY, (2002).
- [4] 内閣府原子力委員会技術検討小委員会, “内閣府 原子力委員会 技術検討小委員会資料集“, 内閣府原子力委員会技術検討小委員会, (2004).
- [5] 内閣府原子力政策担当室, “核燃料サイクルコストの試算,” (2011).

- [6] 経済産業省 発電コスト検証ワーキンググループ, “基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告”, 経済産業省, (2021).
- [7] JAEA, “Toxicity Reduction with Total Volume Control in Nuclear Waste,” American Nuclear Society, (2021).
- [8] 西原健司, “幅広い原子力発電利用シナリオの諸量評価,” JAEA, (2020).
- [9] 西原健司, “核変換を導入した燃料サイクルの多面的評価,” JAEA, (2015).
- [10] NWMO, “Choosing a Way Forward,” NWMO, (2005).
- [11] V. Shiltsev, “A phenomenological cost model for high energy particle accelerators,” Fermi National Accelerator Laboratory, (2014).
- [12] RIKEN, “Proposal of a 1-ampere-class deuteron single-cell linac for nuclear transmutation,” June 2019, (2019).
- [13] T. A. Todd, “Cesium and Strontium Separation Technologies Literature Review,” Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, USA, March 2004, (2004).
- [14] C. Xu, “Solvent Extraction of Strontium and Cesium: A Review of Recent Progress,” Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing, CHINA, October 2012, (2012).
- [15] U.S. Department of Energy, “Advanced Fuel Cycle Cost Basis – 2017 Edition,” U.S. Department of Energy, (2017).
- [16] QST, 海水からのウラン採取技術の現状と展望, 日本原子力学会誌, Vol.61, No.1 (2019).
- [17] JAEA, “第2回及び第3回作業部会における指摘事項への回答,” JAEA, 2014.
- [18] JAEA, “高温ガス炉タービン発電システム(GTHTR300)の経済性評価,” 日本原子力学会和文論文誌, Vol.5, No.2, (2006).
- [19] 深谷裕司, “商用高温ガス炉発電原価の再評価,” 日本原子力学会和文論文誌, (2022).
- [20] JAEA, “高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズII技術検討書 フェーズII技術検討書 (3)総合評価,” (2006).
- [21] F.P. Ramsey, “A Mathematical Theory of Saving,” The Economic Journal, Vol.38, No.152, (1928).
- [22] 大谷 悟、佐登周子、今野水己、他、”主要先進国等の公共事業評価に適用される社会的割引率”、土木学会論文集D3、Vol.69、No.5、pp.163-171、(2013).
- [23] OECD/NEA, “Reduction of Capital Cost of Nuclear Power Plants,” OECD/NEA, (2000).

当該年度の到達点④：日本における原子燃料サイクル政策に関する議論の経緯と現状の解明を進めるための調査を開始した。

実施項目④-1：政策文書に基づく原子燃料サイクル政策に関する歴史的経緯の分析

成果：

本項目で調査対象とした四つの政策文書（「（2）各実施内容」の実施項目④-1を参照）を分析し抽出した結果について、各々以下に記す。

a) 原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（原子力長計）

「長計」における核燃料サイクル政策においては、核燃料サイクルのフロントエ

ンドからバックエンドまで、特に重要なステップであるウラン濃縮（フロントエンド）及び使用済燃料の再処理（バックエンド）を国内で事業化する方向性が一貫して明記されている。全9回のうち、少なくとも第4回まではこの政策方針の是非を問うような記述は見られず、決定した政策をいかにして国民に理解させるか、に焦点が当てられている。第5回から第6回にかけて「国民と地域住民の声を政策に反映させる」という考え方が見られるようになり、第7回以降で安全性やリスクに関する説明の必要性が認められるようになったが、正しく説明すれば政策の正しさも理解されるとの前提に立った記述が見られることから、依然として政策の見直しは視野になかったものと考えられる。

「長計」における、ステークホルダー関与の姿勢をより詳細に時系列で把握できるよう、文書内に登場する関連キーワードを集計した結果、表6の通りとなった。

表6 「長計」各回におけるキーワード登場回数集計

回	年	キーワード						
		国民	理解 (促進)	知識(の) 普及	支持	受容	安心	コミュニケーション
1	1956	1	0	0	0	0	0	0
2	1961	5	2	5	0	0	0	0
3	1967	18	2	3	0	0	0	0
4	1972	44	7	3	2	0	0	0
5	1978	22	6	0	4	1	0	0
6	1982	21	11	0	1	1	0	0
7	1987	16	18	2	0	0	1	0
8	1994	55	38	0	2	0	7	0
9	2000	97	50	0	1	4	0	5

登場回数の推移を見ると、1972年頃までは「知識(の)普及」という言葉が多い。つまり原子力政策推進には、国民が正確な知識を得ることが最重要と考えられていたことが分かる。この段階では国民に正確な知識を伝える手法等について何の方向性も示されていない。1970年代後半からは「知識普及」に代わって「理解」「支持」といった言葉が増え、1987年以降に「理解」が急増した。1987年には「安心」が登場し、これは1994年から急増する。「理解促進」も1994年に初めて登場した。そして、2000年には「コミュニケーション」という言葉が登場した。こうした推移から、「理解促進」のためには、安全だけでなく「安心」が肝要であり、そのためには「コミュニケーション」が必要であることが、この頃になってようやく明記されたものと考えられる。

b) 新計画策定会議・技術検討小委員会（技術検討小委）議事録

技術検討小委は2004年8月から10月にかけて、計6回開催された。これら6回の会合における議論の動向や、そのなかでの中心的な関心事項を把握するため、出席者らによる発言をトピック単位で分け、各トピックが当該会合内で合計何回言及されたかを集計した。各回における集計結果の上位をまとめた結果を表7に示す。

表7 技術検討小委議事録集計結果

第1回(2004.8.10)		第2回(2004.8.24)		第3回(2004.8.31)	
トピック	回数	トピック	回数	トピック	回数
1 方法論	8	安全の考え方	7	計算方法	12
2 縦置き・横置き	7	処分体の挙動	6	再処理シナリオ	3
3 設備	5	キャニスタ収納数	3	政策変更	3
4 キャニスタ素材	4	不確実な部分の扱い	3	費用内訳	3
5 取り出し後時間	4	サイト選定	2	核不拡散	2
6 溶出	4	サンクコスト	2	情報開示	2
第4回(2004.9.10)		第5回(2004.9.24)		第6回(2004.10.7)	
トピック	回数	トピック	回数	トピック	回数
1 時間差(割引率)	5	稼働率	4	成果のまとめ方	10
2 政策変更	4	計算方法	4	安全性	3
3 縦置き・横置き	4	不確実な部分の扱い	4	政策変更コスト	3
4 不確実な部分の扱い	4	回収ウラン	3	不確実な部分の扱い	3
5 シナリオ想定	2	使用済燃料の不均質性	2	計算方法	2
6 処分単価	2	処分体仕様	2	時間差(割引率)	2

最終的な結果をどのような形で取りまとめるかについての議論が中心となった第6回を除くと、「縦置き・横置き」や「処分体の挙動(仕様)」など、トピックこそ多様であったものの、総じて方法論や計算条件に関する発言が多かった。また、コスト算出の前提となる想定を整えるなかで、「不確実な部分の扱い」をどうするのかという指摘も第2回以降の多くの会合において頻出している。第2回で首位となった「安全の考え方」も、主に直接処分の方に不明点が多いことを踏まえ、安全を確保するための裕度をどう取るかについて指摘しているため、趣旨としては類似している。当時は知見に乏しかった直接処分のコスト試算において、そうした不確実要素をどのように想定するのかは結果を大きく左右するため、この結果はきわめて妥当といえる。ただし、この事実は逆にいうと、それまでの日本で行われてきた燃料サイクル政策の議論においては、再処理とガラス固化体による処分が既定路線とされ、様々な観点からの指摘に基づいて複数のシナリオを検討するという取り組みが行われてこなかったことを示唆している。

c) 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(サイクル小委)議事録

サイクル小委は2011年3月の福島事故を受け、原子燃料サイクルについて改めて議論を行うため、原子力委員会の下に設置されたもので、2012年10月に廃止されるまで、計15回の会合が開催された。

第1回から第4回にかけては原子燃料サイクルコストと事故リスク対応コストについて、方法論の見直しを含めた議論が行われた。直接処分と比べて再処理の方がコストは高くなると評価されたが、直接処分モデルと現状モデル(直ちに50%再処理を行い、残りの50%は中間貯蔵後に再処理を行う)との差は0.4円/kWh程度であり、8.9円/kWh以上とされる原子力発電単価に占める比率はさほど大きくないことから、このコスト差のみを理由として再処理計画を廃止するという判断には至っていない。

2012年1月に開催された第5回では以降の進め方に関する論点整理が改めて行われ、その後第15回まで原子燃料サイクルの選択肢について議論が行われた。このなかでは、まず技術選択肢(「LWR(軽水炉)ワンスルー」、「LWR-MOX(ウラン・プルトニウム酸化混合物燃料)限定サイクル」、「LWR-MOX多重サイクル」、「LWR-FR(高速炉:アクチニド専焼)」、「FBR(高速増殖炉)」)についての評価・検討が行われ、結果的にはLWRワンスルーとLWR-MOX限定・多重サイク

ルのみが実用化し得る選択肢であり、経済性・核不拡散性及び核セキュリティリスクの面では前者が、資源節約の面では後者が有利であると結論付けられた。なお、海水からのウラン捕集などの技術については原子燃料サイクルに係る技術開発ではなく、フロントエンドの技術であるとされ、検討の対象外とされた。次いで政策選択肢（「全量再処理」、「再処理と直接処分の並存」、「全量直接処分」）については、経済産業大臣の諮問機関である総合資源エネルギー調査会（基本問題委員会）で議論されたエネルギーミックスに応じた原子力比率を想定し、その原子力比率の大小に応じて最適となる選択肢を選定した。その結果は以下の3通りである。

- 選択肢①： 新增設を行わず、できるだけ早く原子力発電比率をゼロとする。（2030年原子力0%など）
 - 全量直接処分が適切
- 選択肢②： 原子力依存度低減を基本とし、2030年時点で原子力発電の比率を概ね15%程度まで下げる。
 - 再処理／直接処分並存が適切
- 選択肢③： 震災前よりも原子力依存度を低減させるが一定程度維持し、2030年時点の原子力発電比率を20-25%程度とする。
 - 再処理／直接処分並存を有力とするシナリオと、全量再処理を有力とするシナリオがあり得る

このように、2011-2012年のサイクル小委では福島事故を受け、政策変更の可能性も十分に含めた上で議論が行われた。ただし、議論の結果として政策変更を決定することはなく、別途議論されるエネルギーミックス（2030年の原子力比率）次第で望ましい原子燃料サイクルの選択肢は決まるという、自然ではあるが自立性のない結論になった。

d) エネルギー基本計画

エネルギー基本計画は2002年に公布されたエネルギー政策基本法に基づき、2003年、2007年および2010年にそれぞれ第1次、第2次及び第3次エネルギー基本計画が策定され、2011年の福島事故の後、2014年に第4次、2018年に第5次、2021年に第6次エネルギー基本計画が策定されている。原子力政策に関する記述は福島事故前後で大きな変化が見られ、またもんじゅの廃止決定など高速炉開発にも変化が見られたものの、原子燃料サイクルは再処理・プルサーマルを基本とする路線を大きくは変更していない。例えば福島事故後初となる第4次エネルギー基本計画では、「これまでの経緯等も十分に考慮し」、「再処理やプルサーマル等を推進する」とこととしているが、同時にこれに関する諸問題は中長期的な対応を必要とすることから、状況の進展に応じて戦略的柔軟性を持たせながら対応を進めることとした。第4次エネルギー基本計画策定の翌年示された2015年の「長期エネルギー需給見通し」では2030年の電源に占める原子力の比率は20-22%程度とされており、この目標に対して再処理・プルサーマル路線を継続することは、2011年のサイクル小委における検討結果（上記c）内で言及した選択肢③）と明示的に矛盾はしない。エネルギー基本計画策定のなかでは原子燃料サイクルについて、サイクル小委のような形での議論は以後行われていない一方で、福島事故を踏まえた広聴・広報や立地自治体等と

の信頼関係の構築を行う方針は繰り返し表明されている。

e) 分析・仮説・課題

以上の調査結果a)-d)を踏まえると、日本では複数のシナリオを対象に、様々な観点から政策を検証・比較するという経験が浅いまま、2011年の福島第一原子力発電所事故を迎えたといえる。その後、2011年から12年にかけて開催されたサイクル技術小委では、日本の原子力開発史上初とあって良いほどの「政策変更」議論が行われたが、結論としては核燃料サイクル政策の方向性を原子力政策自体の方向性に委ねることとされた。逆に言えば、仮に日本が早い段階から、様々な観点やシナリオに基づいてバックエンド政策を中立的にゼロベースから検討し、議論を重ねていけば、2000年代や2010年代の議論において、様々なオプションを具体的な根拠に基づいて比較し、包括的かつ建設的な議論が出来ていたかもしれない、という仮説が成り立つ。様々な立場や見解からの批判を想定し、それらに耐えうる論証を行うという経験が2000年代までに相当程度蓄積できていれば、福島事故後のエネルギー政策史上初とあっていい大混乱の中で進められた、シナリオ自体をめぐる議論にも影響を与えていた可能性があるのではないだろうか。

実施項目④-2：関係者に対する聞き取りの準備

成果：

a) 聞き取り調査の対象者および内容の検討

上記の実施項目④-1によって導出された分析や仮説の妥当性について検討するとともに、政策文書に必ずしも記されていない、原子燃料サイクル政策に関するこれまでの経緯や現状に関する理解を深めるため、2023年度以降の調査においては原子力（とりわけバックエンド政策）をめぐる議論の当事者や有識者らへの聞き取り調査を行い、こうした分析や仮説の妥当性について検討するとともに、文献調査では明らかにできなかった点について理解を深める。2022年度にはこうした聞き取り調査の対象者や聞き取り項目の整理を行った。その案は以下の通り。

聞き取り対象（案）

電気事業者：電気事業連合会、東京電力・関西電力・中部電力・日本原子力発電、日本原燃等のうち2-3社程度、原子力発電環境整備機構など
研究機関：（株）原子力安全システム研究所 社会意識・エネルギー問題研究プロジェクトスタッフ、（一財）電力中央研究所 社会経済研究所など
地方自治体：青森県六ヶ所村、茨城県東海村、茨城県大洗町、福井県敦賀市、北海道寿都町・神恵内村など（うち2-3自治体程度）
学識経験者：東京電機大学工学部 人間科学系列 寿楽浩太 教授、関西大学社会安全学部 社会安全研究科 菅原慎悦 准教授など

聞き取り項目（案）

全対象者共通：

- ・原子力開発の初期に、多様なステークホルダーによるゼロベースの議論が行われてこなかったことが2000年代以降の政策議論に影響を与えた、という仮説をどう考えるか。

電気事業者：

- ・原子力開発の初期から新設の最盛期（1980年代）までは、政策決定プロセスに多様なステークホルダーが公開の場に関わるということはなかったと認識している。その時代と、多様なステークホルダーに関わるようになった2000年代以降とで、事業運営がやりやすくなった点や、逆にやりにくくなった点はあるか。
- ・日本の2030年の原子力比率は20-22%を目標としているが、実現性は不透明である。仮に20%が達成困難となった場合、核燃料サイクル政策も連動して見直すべきと考えるか。

原子力発電環境整備機構（NUMO）：

- ・貴機構では高レベル放射性廃棄物の最終処分場をめぐる、対話型全国説明会を実施中であるが、仮にこのような説明会を原子力開発の初期段階から数十年かけて行っていたら、今の状況は違っていたと思うか。
- ・対話型全国説明会ではその都度、結論をまとめるようなことはしていないと認識している。不特定多数の方々から多様なご意見・ご指摘・ご質問をいただくという進め方は、今後の政策決定にどのように役に立つのか。

地方自治体：

- ・NUMOが国の支援を受けつつ実施中の「対話型全国説明会」は、自治体にとって有益な面があると考えるか。
- ・仮に核燃料サイクル政策（再処理もしくは直接処分）について、対話型全国説明会が開催されたら、これを歓迎するか。

学識経験者：

- ・日本の原子燃料サイクル政策をいかにして実効的・効果的に受容性を高めつつ実践していくか。

b) 予備的な聞き取り調査の実施

上記の検討を行うと同時に、2022年度には次年度以降の本格的な聞き取り調査実施に先駆けて、2名の有識者を対象に予備的な聞き取り調査を行った。その結果は以下の通り。

聞き取り調査①

対象：寿楽浩太（東京電機大学工学部人間科学系列・教授）

実施日：2023年3月27日

概要：

- 1) 日本と欧米における意思決定メカニズムの差異
 - ・かつては日本でも欧米でも、「科学的に考えればこういう風にしかなりようがない」という帰結は、ステークホルダーの考えとは独立に決まる、という前提のもとで政策が決められていた。
 - ・欧米では日本より少し早く、70-80年代から市民参加の取り組みが始まった。この複雑化したテクノロジーの時代には、様々な声を反映しなければ意思決定ができない、また多様な意見を入れた方が意思決定の質が上がるという認識に基づくものだ。
 - ・日本では依然として「政府や専門家が責任を持って決めて欲しい」声が根強い。

関わるということは責任が生じるので、後で何か不味いことが起こると、（原子力にしてもコロナにしても）「一緒に決めたよね。あなたの責任でもあるよ」という言い方で逃げられてしまうのではないか、という不信感が根底にある。

2) 意思決定プロセス・経緯のトレーサビリティ

- ・現在の政策決定プロセスの問題は、決めた結果にどういう責任があるのか、権限の仕組みをはっきりさせずに進めるところや、懸念や課題に対して「どんな根拠で誰が何を言ったのか」が全くトレーサブル（追確認可能）でない点。
- ・細かい部分ばかりいくら公開されても、一番肝心なところが「阿吽の呼吸」で決まってしまうといて、審議会など公開の議論の場に出たときには既に決定事項となっている。「熟議」と言った場合、欧米では「皆の議論で結論が変わり得る」ということが意味に含まれて進められてきたが、日本ではそれが無い。
- ・却って「熟議」が後付け（正当化）に使われる恐れさえある。批判的な意見を持って議論に関わろうとしてきた人たちもいたが、アリバイ的な使われ方ばかりするので、「これは茶番だ」という不信感を抱いて離れていく人たちが出てきた。
- ・議論の過程で出た様々な指摘や、それらをどう取り込んでいったのか、肝心の決定プロセスがどうだったのかを記録に残し、その結果上手く行った成功事例（原子力以外も含めて）の経験値が蓄積すれば、日本においても熟議は不可能ではないのではないかと。

3) 「政策の批判的評価」の意義

- ・この10年ぐらいで意思決定や政官関係が「政治主導」という名目で変わってきている。昔は推進派が話し合っただけで決めた計画を反対派が批判する、という構図だったが、今はPDCAのどの段階でも誰からも批判を受けて軌道修正する機会がなく、結果として誰も得しない質の悪い政策がどんどん決まってしまう恐れがある。
- ・つまり、欧米諸国の「多様な意見を取り入れて意思決定の質を向上させるための」中身を詰めていこうという「熟議」とは全く反対になってしまっている。
- ・自分はそれに危機感を覚えているため、PDCAでいうところのPDは政策決定者に任せた上で、せめて多様な分野の専門家をチェックに集中させてはどうかと提言した（が、あまり受け入れられていない）。
- ・重要なのは政策変更があったとき、どういう経緯でそれが起こったのか誰にでも分かるようにすることだ。

聞き取り調査②

対象：菅原慎悦（関西大学社会安全学部・准教授）

実施日：2023年3月30日

概要：

1) 原子力政策とステークホルダー参加

- ・20年ほど実際に（原子力を）使ってみて、やっぱり「これはみんなで考えなければ」という意識が広がっていったという流れは、おかしいことではない。

- ・（日本において、）ステークホルダー（例えば立地地域住民）の意見を聞くことによる制約は、原子力をしっかり進めていかなければというドライバーにもなるが、ゼロベースでの話をしづらい状況にしてしまったともいえる。

2) 熟議の方法としてのテクノロジーアセスメント (TA)

- ・アメリカでは政策が皆にとって妥当かどうか、テクノロジーアセスメント(TA)のようなことを行うようになった。評価した結果、「いいですね」となれば予算が付くという形。
- ・欧州だと、議会セクターに評価組織があることが多い。色々な人を巻き込んで（技術を）評価して、そういった情報を議会上げ、それをもとに地に足の着いた議論ができていくことが多い。
- ・（日本で）TAをやったことなかったことは問題だが、TAをオープンに実施していたとしても、サイクルが確立できていたかという点、それも微妙だと思う。

3) 日本における熟議の姿

- ・日本ではどこがアセスメントをすれば、ちゃんと議論したことになるのかという問題があり、そこがかなり曖昧になっている。そういう仕組みが日本にもあればと思う。
- ・ここで議論して決定すれば皆が納得するという機関は日本にないので、学会や複数の機関で議論して、その集合体として組み合わせるしかないのでは。
- ・原子力は長いスパンで維持しなければならない政策。しかし、評価型社会になると、（ガス価格などの）状況が変わればすぐに見直しとなりかねない。理想的なのは、熟議を通じて「エネルギー政策とはそんなコロコロ変えるものではないので、もっとどっしり行きましょう」となれば良いのではと思うが、現状はその真逆だろう。

当該年度の到達点⑤：関係者との意見交換の場を設定することで、ネットワークの強化、本プロジェクトの成果に対するフィードバックの獲得、そして政策ニーズの吸い上げを実施した。

実施項目⑤-1：関係者とのクローズドな意見交換の場の設定

成果：

本プロジェクト成果が実際の政策形成に活用されるようになる素地を整えるため、経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部原子力立地・核燃料サイクル産業課の実務担当者（2名）との間でクローズドな意見交換会を実施した。最初に代表者である林より、本プロジェクトの概要及び実施体制について説明し、その後意見交換を行った。先方からの主な意見は以下の通り。

- ・人々が何に魅力を感じ、どういう要素を重視しているのかという優先度は気になっているところだった。そういった情報は我々の広報のやり方にも関わってくる。
- ・こちらの意見を調査（特にコンジョイント実験）に反映していただけるのであれば、是非相談させてほしい。特に地域による受け取り方の差は気になって

いる。地域差に科学的なデータがあれば、それを政策の裏付けにしたい。

上記の通り、基本的に先方の関心は本プロジェクトのテーマに重なる部分が多く、本プロジェクトの成果を実際の政策形成に役立てる余地が十分にあることが確認された。先方としては、特にコンジョイント実験によって得られると期待される科学的データに関心を抱いていると考えられる。

(4) 当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

当該年度の到達点①：原子燃料サイクル政策に関する海外事例をリストアップし、次年度以降、より詳細に検討するべき事例としてイギリスのCommittee on Radioactive Waste Management (CoRWM) やSite Stakeholder Group (SSG)、フランスの議会科学技術選評評価局(OPECST)や地域情報委員会(CLI)などを特定した。

- ・ 当初の計画通り諸外国事例調査を進め、単純な英仏比較ではなく会議体としての性質の違いを検討の俎上に載せることになったが、最終的な方針の確定には至らなかった。本事業で扱う「議論」や「熟議」が、どういった層を対象とするものを想定しているのか明確でないことも一因と考えられる。
- ・ 今後、本事業従事者全体で議論を重ねるとともに、アドバイザーの意見も踏まえ、方針や対象の明確化を進める必要があるだろう。

実施項目②：コンジョイント実験に関するプレ実験を実施した。

- ・ 来年度に実施するコンジョイント実験のプレ実験の目的はほぼ達成できたが、情報提供の仕方に関する予備調査は実施できなかった。本調査では感情を喚起する処置が市民の原子燃料サイクル政策に対する選好に与える影響も調査する予定であり、その手法の検討も含めて、本調査前にもう1回プレ実験を実施する予定である。
- ・ 属性の数や選定は妥当であることが確認できた。水準の選択については、表示候補の範囲をどう設定するかについて、引き続き検討する必要がある。また、ありうる原子燃料サイクルオプションに関する予測をするとき、オプションの値と実験での水準が対応しない場合に、水準の範囲外の値について外挿するのが不適切なのはもちろんのこと、現在採用している予測手法では水準をダミー変数化することを要求されるため、内挿も困難である。そのため、本調査の水準の選択の際は、自然科学グループと社会科学グループが密に連携して、検討するオプションが具体的に取る値を水準の表示候補とする必要がある。
- ・ プレ調査では、処分場からの放射性廃棄物の回収可能性が最も重視される属性の一つであるという、自然科学グループの研究者が予想していなかった結果が得られた。市民と専門家の考え方に乖離がみられる興味深い事例であり、この点を掘り下げるべく、同じコンジョイント実験を原子力工学の研究者にも実施できるように検討を進める予定である。

実施項目③-1：原子燃料サイクルオプションの検討

- ・ 表題につき当初の目的である選択しうる原子燃料サイクルオプションの提示について完了し、インタビューの素材として政策実装グループへ提供し、当初の目標を達成した。
- ・ 原子燃料サイクルの要素技術及びそれから構成されるオプションの技術的に純粋な効用の他に、政策上の議論に特定の方向性を持たせるための意義づけがなされていることが分かった。特に、MA変換については、専門委員会で地層処分の安全性に寄与しないと明言されている状況で進められている一方で、市民は地層処分の閉じ込め機能よりも毒性の消滅を望む傾向があり、政策の意思決定の方向性に関しては混沌とした状態にある。どの程度、市民の理解に期待するのか、革新技術に期待するのかは、社会科学グループ、政策実装グループが各要素技術の効用について熟知したうえで議論を進めていく必要がある。

実施項目③-2：技術・経済性の評価、ロードマップの作成

- ・ 本年度は経済性単価データベースの構築を文献調査ベースで行い、当初の目標を達成した一方で、完成したデータベースには、政策上の議論を特定の方向に進めるための推進派のバイアスが調査文献を通して含まれてしまっている状態にある。最終的な目標である各原子燃料サイクルオプションの効用を要素技術単位から公正に評価できるデータベースとするためには、来年度以降に予定されている技術検討の中で、データベースの更新を行っていく必要がある。

実施項目④-1：政策文書に基づく原子燃料サイクル政策に関する歴史的経緯の分析

- ・ 政策文書の調査は予定通り実施し、一定の仮説を構築するに至った。
- ・ 「多様な立場の人々を交えての熟議」が重要なトピックとなった。しかしながら、ここでいう「多様な立場の人々」をどのように理解するか（多様な立場の専門家なのか、原子力施設立地地域住民を指すのか、あるいはそれよりも広範な一般市民を含むのか、など）は場面によってまちまちであった。この点は社会科学グループの調査にも関係し得るため、改めて本PJ内で認識の擦り合わせが必要であろう。

実施項目④-2：関係者に対する聞き取りの準備

- ・ ④-1 の成果を踏まえ質問事項を吟味していた関係上、実際の調査開始が遅くなったものの、当該年度内に有識者を対象とした調査を実施し始めている。次年度以降は事業実施者や地方自治体など、対象を広げる必要がある。
- ・ ④-1 における政策文書の分析同様、「多様な立場の人々」の範囲を明確化する必要がある。今後の本PJにおいて議論を継続する必要がある。

実施項目⑤-1：関係者とのクローズドな意見交換の場の設定

- ・ 当該年度内に1度目の会合を実施でき、好感触を得た。今後も定期的な実施が必要だと考える。は前述の通り、先方としては特にコンジョイント実験に強い関心を抱いているが、指摘のあった「地域差」の要素をどのように実験に取り込むかは検討を要する課題となった。

2 - 3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
2022年11月2日	キックオフ全体ミーティング	オンライン	プロジェクトの目標を整理し、今年度の実施項目について議論した。
2022年11月30日	11月定例ミーティング	オンライン	プロジェクトの進捗を確認するとともに、および今後の研究開発に向けた議論を行った。
2022年12月26日	12月定例ミーティング	オンライン	プロジェクトの進捗を確認するとともに、および今後の研究開発に向けた議論を行った。
2023年1月27日	1月定例ミーティング	オンライン	プロジェクトの進捗を確認するとともに、および今後の研究開発に向けた議論を行った。
2023年3月8日	3月定例ミーティング	オンライン	プロジェクトの進捗を確認するとともに、および今後の研究開発に向けた議論を行った。
2023年3月29日	2023年度末ミーティング	オンライン	プロジェクトの進捗を確認するとともに、および今後の研究開発に向けた議論を行った。

3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

特になし。

4. 研究開発実施体制

(1) 社会科学グループ (林 嶺那)

法政大学大学院公共政策研究科・法学部政治学科

実施項目①：海外事例の分析

グループの役割の説明：本グループにおいては、日本に導入可能な政策案に関する示唆を得るために、海外を中心とした原子燃料サイクル政策の検討を進める。1年目は、日本に導入可能な政策案に関する示唆を得るために検討すべき海外事例をリストアップするとともに、次年度以降、より詳細に検討すべき事例を特定する。

実施項目②：政策体系の整理

グループの役割の説明：当該年度における本項目の実施項目はない。

実施項目③：コンジョイント実験を用いた選好解明

グループの役割の説明：次年度に本格的に実施するコンジョイント実験においてより高い成果を挙げるために、暫定的な項目を利用したプレ実験を実施する。複数の調査票を準備し、どういった情報提供の仕方が望ましいのか、を検討するとともに、どういった項目に市民は反応するのか或いは反応しないのか、などについての予備的知見を得る。

実施項目④：ミニパブリックスを用いた熟議の影響分析

グループの役割の説明：当該年度における本項目の実施項目はない。

(2) 自然科学グループ (ヤン ジングロン)

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門

実施項目①：原子燃料サイクルオプションの検討

グループの役割の説明：本グループにおいては、選択しうる原子燃料サイクルオプションの選定を行う。現行の軽水炉の他、分離・変換技術を併用するオプションも加える。次年度においては、代表的なオプションを絞り込むが、当該年度では、考えうるだけの原子燃料サイクルオプションを整理する。

実施項目②：技術・経済性の評価、ロードマップ作成

グループの役割の説明：技術・経済性評価手法の整備を行う。特に、主要な原子炉、核変換に必要な加速器施設、多様な分離に必要な化学プロセスなど、経済性評価における単価を評価する際に必要な、建設費や運転費などの過去の評価結果や、推定可能な類似の施設

に対する評価結果などについて、文献調査レベルでデータベース化を行う。また、それぞれの単価の評価手法、スケール補正、エスカレーション補正に関する評価法及び、データベースの整備を行う。

実施項目③：高レベル廃棄物を無くするための検討
グループの役割の説明：当該年度における本項目の実施項目はない。

(3) 政策実装グループ（村上 朋子）

日本エネルギー経済研究所戦略研究ユニット原子力グループ

実施項目①：実務家とのネットワーク強化構築や対外的発信
グループの役割の説明：当該年度に本プロジェクトを通じて生み出された成果に対するフィードバックを得るとともに、政策ニーズを吸い上げるため、関係者との意見交換の場を設定する。こうした意見交換を元に、さらなるエビデンスの構築を進める。

実施項目②：日本における原子燃料サイクル政策に関する議論の経緯と現状の解明
グループの役割の説明：政策の実装に際しては、過去の沿革や現状に関する適確な理解が不可欠である。そこで、政策文書に基づき、原子燃料サイクル政策に関する歴史的経緯を分析するとともに、関係者に対して聞き取りを行い、文書化されてこなかった定性的データも並行して収集・整理し分析を加える。

実施項目③：ライフサイクルモデルの構築
グループの役割の説明：当該年度における本項目の実施項目はない。

実施項目④：政策提案の取りまとめ
グループの役割の説明：当該年度における本項目の実施項目はない。

5. 研究開発実施者

社会科学グループ（リーダー氏名：林 嶺那）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
林 嶺那	ハヤシ レ オナ	法政大学	法学部	准教授
小松崎 俊作	コマツザキ シュンサク	東京大学	大学院工学系 研究科	准教授
森川 想	モリカワ ソウ	東京大学	大学院工学系 研究科	講師
三輪 洋文	ミワ ヒロ フミ	学習院大学	法学部	准教授
横山 智哉	ヨコヤマ トモヤ	金沢大学	人間社会研究 域法学類	講師

自然科学グループ（リーダー氏名：ヤン ジングロン）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
ヤン ジングロン	ヤン ジン グロン	日本原子力研究 開発機構	高速炉・新型 炉研究開発部 門	室長
松村 達郎	マツムラ タツロウ	日本原子力研究 開発機構	原子科学研究 開発部門	副ディビジョ ン長
深谷 裕司	フカヤ ユ ウジ	日本原子力研究 開発機構	高速炉・新型 炉研究開発部 門	研究主幹
西原 健司	ニシハラ ケンジ	東京工業大学	科学技術創成 研究院 ゼロカーボン エネルギー研 究所	特定教授

政策実装グループ（リーダー氏名：村上 朋子）

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
村上 朋子	ムラカミ トモコ	日本エネルギー 経済研究所	戦略研究ユニ ット 原子力 グループ	グループマネ ージャー・研 究主幹
木村 謙仁	キムラ ケ ンジ	日本エネルギー 経済研究所	戦略研究ユニ ット 原子力 グループ	主任研究員
松尾 雄司	マツオ ユ ウジ	日本エネルギー 経済研究所	計量分析ユニ ット	客員研究員

6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

6-1. シンポジウム等

特になし。

6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

特になし。

6-3. 論文発表

(1) 査読付き (0件)

(2) 査読なし (0件)

6-4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

(1) 招待講演 (国内会議0件、国際会議0件)

(2) 口頭発表 (国内会議0件、国際会議0件)

(3) ポスター発表 (国内会議0件、国際会議0件)

6-5. 新聞/TV報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道・投稿 (0件)

(2) 受賞 (0件)

(3) その他 (0件)

6-6. 知財出願 (出願件数のみ公開)

(1) 国内出願 (0件)

(2) 海外出願 (0件)