



Title	原子力政策文書を読み解くためのリテラシーを身につけるための科学コミュニケーションツールの開発 : 原子力技術トレーニングカード
Author(s)	深谷, 裕司; ヤン, ジングロン; 松尾, 雄司 他
Citation	科学技術コミュニケーション, 36, 45-56
Issue Date	2025-03
DOI	https://doi.org/10.14943/112887
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94468
Type	departmental bulletin paper
File Information	JJSC36_05_fukaya.pdf



報告

原子力政策文書を読み解くためのリテラシーを 身につけるための科学コミュニケーションツールの開発 ～原子力技術トレーディングカード～

深谷 裕司¹, ヤン ジングロン², 松尾 雄司³, 林 嶺那⁴

Trading Cards of Nuclear Technology: A Science Communication Tool Developed for Gaining Literacy to Read Nuclear Policy Documents

FUKAYA Yuji¹, YAN Xing², MATSUO Yuji³, HAYASHI Reona⁴

要旨

1956年に始まる原子力長期計画から現在のエネルギー基本計画まで、関連する委員会やこれらの原子力政策に関する文書が蓄積され、その多くがインターネットを通じて閲覧することが可能である。また、これらの政策文書に基づく、多くの解説や意見、それらを反映した研究開発に関する論文等も多数存在する。一方で、1956年は日本では戦後復興から高度経済成長へ移行し、冷戦という形で戦争の可能性も明確に意識された時代であり、選択された技術もその時代背景が色濃く反映され、目指すべき原子力像も現在とは異なっているおそれがある。

このような状況においては、特定の政策文書において主張される特定の技術の利点が、どういう背景において、どのような主体から発信されているかをある程度想像できるリテラシーを身につけなければ、その技術を社会実装する際に、現実には即した効果が予想できなくなる。このことは、一般市民に対しても誤解を与えることになり、新たな政策に民意を反映することは難しくなる。そこで、特定の原子力技術を推進する立場から、技術選定、現状把握、政策決定、その政策方針下における選定技術の正当化の4フェーズから構成されるロールプレイングを通して体験し、情報発信者の意図を推測できるトレーディングカードゲームの開発を行った。

キーワード：原子力政策，市民参加，科学技術コミュニケーション，カードゲーム

ABSTRACT

From the 1956 “Long-Term Program on the Development and Utilization of Atomic Energy” to the present-day “Strategic Energy Plan”, documents related to relevant committees and nuclear power policies have been accumulated, and many of them may be read on the Internet. Moreover, there are diverse explanations and opinions based on these policy documents, as well as many papers on research and development that reflect them. On the other hand, 1956 was a time when Japan was

2024年5月21日受付 2024年10月24日受理

所 属：1. 日本原子力研究開発機構 エネルギー開発領域 高温ガス炉プロジェクト推進室

2. 日本原子力研究開発機構 大洗研究所 プラント技術イノベーション推進室

3. 立命館アジア太平洋大学 サステナビリティ観光学部

4. 法政大学 法学部政治学科

連絡先：fukaya.yuji@jaea.go.jp

transitioning from post-war reconstruction to high economic growth and was clearly aware of the possibility of war in the form of the Cold War.

Under such circumstances, unless one is knowledgeable to appreciate, to some extent, the context and the source from which the benefits of a particular technology claimed in a particular policy document originate, it would be difficult to predict the actual effects of the technology when it is implemented in society. This might also mislead the general public, making it difficult to reflect the public opinion correctly in new policies. To address these dilemmas, a trading card game has been developed in which the players participate in the role-playing process as a proponent of a particular nuclear technology. The process consists of four phases, namely technology selection, understanding the current situation, policy making, and justification of the selected technology under the policy direction. The game could allow the players to predict the intent of the technology and policy communicator.

Keywords: nuclear power generation, public engagement, science communication, trading card game

1. はじめに

1.1 問題意識

1956年に始まる原子力長期計画（原子力委員会 1956）では、初回から計画として「将来わが国の実情に応じた燃料サイクルを確立するため、増殖炉、燃料要素再処理等の技術の向上を図る。」との記載がある。このことは、国産資源かつ、未来永劫の無尽蔵のエネルギーが得られなければならないとする信念を持つものについては、揺るぎようがない真理に近いものであると思われる。一方で、「コップの水理論」（Drucker 1985）にみられるように、コップに半分入った水を見て、「まだ、半分残っている。」と考えれば、それに対する危機を感じないし、改善の必要性も感じないことも事実である。また、「半分しかない。」と判断した際も、当時、非現実的と考えられていた技術も選択肢に入ってくると思われる。

当初、可採埋蔵年数 60 年程度といわれていたウラン資源は、現在は 130 年程度（日本原子力文化財団 2024）存在する。エネルギー密度が化石燃料に比べ高く、ウラン 235 は 1 g で石炭 3 t 石油 2000 l に相当するエネルギーを生み出す（電気事業連合会 2024）。このことから、国内備蓄でも十分にエネルギー安全保障を保つことができる。海水ウラン技術（杉山大志 2022）が開発されれば、ウラン資源においても無尽蔵の国産資源を得ることができる状況にある。さらに、核融合技術や、再生可能エネルギーとの併用等も考えあわせれば、現時点においては、その選択肢は多い。

実際に、1980 年代から 1990 年代は、世界的にウラン資源の意外な多さが再認識された時代である。そのため、アメリカ、ドイツ等が、高速増殖炉開発から撤退を始めた経緯（久保木 2018）がある。日本では、もんじゅのナトリウム漏れ事故も関連し、増殖そのものに疑問が持たれた経緯（高速増殖炉懇談会 1997）もある。2004 年は新計画策定会議の中で直接処分と再処理との経済性評価（新計画策定会議 2004）がなされ、政策変更費を加算することが要因で、再処理の方が安価であるとの結論が出された。一方で、2012 年の原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会では、政策変更費の加算を不適当であるとして、直接処分の方が安価であると結論が覆った（原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会 b 2012）。また、2011 年においては、民主党政権下において内閣府に設置されたエネルギー・環境会議の中でエネルギーベストミックス（エネルギー・環境会議 2011）が提唱され、原子力としては直接処分併用も候補として考えられた。一時的ではあるが、原

原子力撤廃が決定されるに至っている。現時点においては、グリーン成長戦略（経済産業省 2021）、GX 政策（経済産業省 2023）の下、多様な革新炉の研究開発が推進され、原子力長期計画の原子力像から逸脱した新たな路線も派生している。今日では、エネルギー基本計画にも示されるように、原子力エネルギーは、同じく CO₂ を排出せず無尽蔵の国産エネルギーである再生可能エネルギーと調和を図る路線が主流であり、増殖炉を中心に原子力単独でエネルギー問題を解決するという風潮は弱まりつつある。

このような状況下において、今後、多様な技術から、社会実装を目指すべき特定の技術を選定しなければならない局面が来ることは否定できない。一方で、これらの技術を組み合わせて完成される原子燃料サイクルの優劣はその需要者である電気事業者ひいては一般市民により判断されるべきではある。しかし、その元となる情報は、特定の原子燃料サイクルを推進する、研究機関、関連企業、関係省庁などから構成されるコンソーシアムから発信される。その情報には、必ず、何らかのバイアスが含まれることを疑わなければ、正しい理解や判断は生み出されないと危惧する。少なくとも、コップの水の量を判断するのは、情報の受け取り手であるべきである。

なお、本トレーディングカードでは、特定の原子燃料サイクルの優位性を主張することは目的ではない。むしろ、純粋な科学技術の性能評価の大部分が人間の価値観に支配されていることを再確認するための教材として位置付ける。

1.2 サイエンス・コミュニケーションツールとしてのトレーディングカード

上記の状況、動機付けにもとづき、本研究では、「情報発信者の意図を理解するために情報発信者になりきるロールプレイング」としての位置づけで、科学技術に関する情報を正しく理解するための情報リテラシー醸成のためのサイエンス・コミュニケーションツールとして開発することとした。

このようなツールとしては、細胞育成ゲーム「幹細胞研究やってみよう！」（水町 他 2016）のような、実施する主体になりきり、専門知識を得つつ専門家の日常を体験するものや、災害対応カードゲーム 教材「クロスロード」（矢守 他 2005）のように、対象とする課題に対して自ら最適解を模索し対戦者と議論を行い、理解を深める方法をとるものもある。また、原子力を対象としたものとしては、「高レベル放射性廃棄物地層処分問題を考える！」（萱野 2019）がある。もともとは、スイスの ITC School of Underground Waste Storage and Disposal の地層処分に関する専門的な議論をロールプレイングゲームに作り替えたものを、タブレット端末向けに簡略化したゲームとして取り込んだものである。地層処分サイトの選定と住民への説明を体験するとともに、実際に、グループディスカッションを行い、議論のスキルを育成することを目的としている。

これらのツールの特徴として、教材として、以下の要素が含まれると分析する。

- ロールプレイングによる、専門分野の知識、世界観の体験
- 特定の問題解決に対する最適化検討、議論

本ツールでは、それに加え、1.1 節のように、原子力政策の議論が純粋に技術だけでは完結せず、当時の情勢や直接処分路線や再処理路線の評価の逆転に現れたような評価者の選好に依存する要素を付け加えることとした。具体的には、

- 最適化後の情勢の変化
- 政策決定による評価者選好の決定と最終評価

である。前者に関しては、他のツールと同様、プレイヤーは研究開発主体になりきり、特定の性能を発揮するような、原子燃料サイクルの最適化を模索する。ただし、その後発生する情勢の変化に対しても、自身の構築した原子燃料サイクルは最適解である保証はない。その状況で、後者に示す、政策を他のプレイヤーと競い決定する。当然、自身の原子燃料サイクルが高く評価される評価者選

好を誘導するための政策の決定を目指す。ここでいう、政策決定とは、エネルギー基本計画などの政策文書に特定の用途に対する技術の研究開発が推奨される状況を想定している。政策決定においては、前者の情勢の変化つまり、現状に則した政策の方が通りやすくあるべきである。

また、専門技術に精通していないプレイヤーに向けて、タブレット端末による補助ツールも整備することとした。

2. 原子力技術トレーディングカードの開発

2.1 開発方針

本カードゲームでは、特定原子燃料サイクルの推進側の各プロセスと情報発信を体験するロールプレイングを行うことで、原子力技術の社会実装までのプロセスの中で、特定原子燃料サイクルを推進するコンソーシアムから発信される情報を正確に読み解くためのリテラシーを身につけることを目的とする。

一般的に技術開発は原理の証明、実験室実証、工業実証を経て社会実装へ到達する。原子炉では、設計研究、原型炉、実証炉を経て商用炉の建設へ至る。特に、実証段階移行は巨額の予算を必要とするため、政策による支援が必須となり、政策への働きかけも同時に行われる。一方で、技術は特定の目的のために開発されるが、その達成すべき目的は代替技術によっても達成可能である。常に政策の支援を受け続けるためには、代替技術よりも優れていることを主張し続ける必要がある。そのため、原子力政策文書へ特定の技術を記載する場合は、関連する委員会等で比較検討が行われ、該当する技術の正当化が行われる。しかし、世論、社会情勢の変化、自然災害の影響等を受けて、政策自体が変化してしまうことがある。このような状況では、技術の再選択がありうる。

このような背景を受けて、技術選定、現状把握、政策方針の決定、その方針下における選定技術の正当化の4ステップから構成されるゲーム構成を想定した。技術分野における黎明期においては、技術の選定は政策方針の決定の後になるが、ある程度成熟した技術分野においては、すでに、技術の選定は終わっており、それぞれの技術に、研究機関、関連企業、関係省庁などから構成されるコンソーシアムが存在する。ここでは、原子力技術に焦点を合わせているため、そのような状況を想定し、技術の選定を最初に設定した。次に、現状の把握の段階において、社会情勢や自然災害などのイベントを決定する。このイベントは無作為に決定される。次に政策方針の決定が行われるが、当然、現状の把握で確定されたイベントに適合する政策方針が有利となる。なお、このゲームは2人以上での実施を想定しており、会議において政策方針の決定を行う。ゲームのプレイヤーは、それぞれ、自分の決めた選定技術を推進しており、自分の選択した選定技術に有利な政策を決定する。最後に決定された政策における、自分の選定技術の正当化をプレイヤー同士で行う。

2.2 トレーディングカードの概要

上記の通り、カードゲームは、技術選定、現状把握、政策決定、選定技術の正当化の4つのフェーズで構成される。以下では、各フェーズに対して、使用するカード、タブレット端末による補助などを含めたゲームの進め方を述べる。

(1) 技術選定フェーズ

当該フェーズでは、プレイヤーが自分の好む原子燃料サイクルを、各要素技術カードから選定して最適化する。選択可能なカードの要素技術の種類としては、原子燃料、燃料集合体、原子炉、エネルギー変換、再処理・分離変換、地層処分であり、それぞれの要素技術に対応して、複数のカー

ドが存在する。

ただし、無作為の選定では、要素技術間の整合性が取れず、ある程度の知見がないと、原子燃料サイクルとして成立しない組み合わせを選定するおそれがある。そのため、図1に示すようにタブレット端末による補助ツールを作成した。図1の左図のように、各要素技術の選択が求められるが、その選択の結果により、次の要素技術の選択肢が限定されていく。これにより、図1の右図に示すような原子燃料サイクルが構築できる。

タブレット補助がある場合、右図に示すように、後続の選定技術の正当化の要素を一部含む。そのため、次のフェーズに移行する前に、自分の原子燃料サイクルが、どのような情勢下において、どのような政策下において有効であるかが定量的に評価される。ただし、その想定した情勢及び政策はあくまでも、現時点における想定である。そのため、この時点では、自分の原子燃料サイクルを正当化するためには、どのような政策を誘導すべきかという方針しか得られない。

(2) 現状把握フェーズ

当該フェーズでは、無作為にイベントカードを選定する。イベントカードはプレイヤー全体に対する共通のカードであり、これにより、プレイヤー共通の情勢が決定される。イベントカードには、東日本大震災等を想定した「自然災害」のようなカードから、「経済性の要求」などの政治的な要求、「地層処分に対する認知」、「地層処分に対する不安」等、市民感情に関するカードまで、その時々の情勢を特徴づけるカードが準備されている。

(3) 政策決定フェーズ

政策のカードは、正当化フェーズの説明にあるように、各プレイヤーの原子燃料サイクルの優劣を決定する要因となる。一方で、現状把握で設定したイベントカードに整合する政策カードを選定した場合、発言力は増加する。一方で、逆行する政策カードを選定した場合は、発言力は減少する。また、原子燃料サイクル構築の観点からは、高性能なサイクルを構築するために、要素技術カードを多用すればよいことは自明である。しかし、このことは、技術開発に係る開発費用を増大させることにつながるため、ペナルティーを与える意味でも、原子燃料サイクルの要素技術のカードの枚数により発言力が減少するものとしている。図1の右図に示すように、この発言力もタブレット補助の場合は自動計算される。この発言力の決定プロセスの一例を図2に示す。

当該フェーズでは、各プレイヤーが提案する政策の中から、代表となる政策を会議で決定する。政策カードとしては、「持続性追求・資源的独立」、「早期・段階的導入」、「経済性追求」等が準備さ

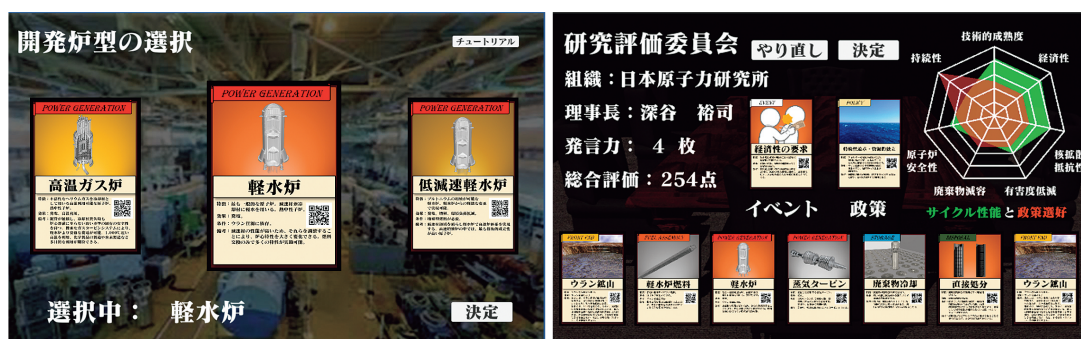


図1 タブレット補助による原子燃料サイクルの構築

政策決定フェーズの例

【発言力決定】



【政策決定会議】



図2 政策決定フェーズの例

れている。これらは、次の選定技術の正当化フェーズで原子燃料サイクルの評価に対する選好を与える上での特徴的なものである。

政策決定会議は、会議カードを使って行われる。会議カードとしては、自分の政策を提案する「提案」、自分の政策で相手の意見を上書きする「直談判」、相手の政策の上書きを拒否する「拒否」、他のプレイヤーに番を譲る「振り」、時間を浪費し会議日数を減少させる「牛歩」、会議日数を増加させる「延長」のカードからなる。これらのカードは手持ちカードと山に伏せておくカードに分かれ、手持ちカードが随時使用可能となる。そのため、手持ちカードの数が会議を有利に運ぶ上で重要となり、手持ちカードの数は発言力と一致するものとする。この会議の過程を図2に示す。最終的には、各プレイヤー間で提案されている政策の中で代表となる唯一の政策を多数決で決める。設定された会議日数は、プレイヤーの順番が経過する過程で減少していく。その中で、自分の政策を他のプレイヤーの政策に上書きし、会議終了時に多数決によって、自分の政策が採用されるように会議を誘導する。

(4) 選定技術の正当化フェーズ

政策フェーズで、最終的に決定された共通の政策の下に、どのプレイヤーの提案する原子燃料サイクルが最も優れているかを決定する。タブレット端末で補助する場合は、サイクル性能としては、「技術的成熟度」、「経済性」、「核拡散抵抗性」、「有害度低減」、「廃棄物減容」、「原子炉安全性」、「持続性」の7つの評価項目によって評価される。一方で、図1の右図に示すように、政策ごとに設定された政策選好として与えられた重みによって、どの項目がどの程度評価されるのが定量的に与えられ、総合評価として原子燃料サイクルの価値が定量的に評価される。例えば、フロントエンドの資源開発もしくは増殖性能の高い原子燃料サイクルを構築した際、その確保できる資源量に応じて「持続性」に点数が割り振られる。選択された政策が「持続性追求・資源的独立」の場合、「持続

性」に対する評価が高いため、そのまま総合評価に直結する点数がつけられるが、選択された政策が「早期・段階的導入」、「経済性追求」の場合、「持続性」に対する評価が低いため、総合評価に反映される点数が半減する。また、本フェーズでは、(1) 技術選定フェーズで構築した各プレイヤーの原子燃料サイクルの情報をサーバープログラムに集約し、(3) 政策決定フェーズで決定された政策で総合評価が再計算され、最終的な原子燃料サイクルの優劣が決定される。

タブレット端末を用いない場合は、原子燃料サイクルの性能及び政策選好に対する定性的な各自の評価をもとに、各ユーザー間でどの原子燃料サイクルが最も優れているか議論し決定する。

このフェーズによって最適と決定された原子燃料サイクルとその評価につながった性能が、委員会の説明資料や議事録等の政策文書として発信されることになる。その議論の経緯や他の原子燃料サイクルの評価に関しては、十分に情報発信がなされていないのが現状である。

これらのフェーズによるゲーム進行に関し、1.2 節で整理した要素への対応は以下のようになっている。

既存のゲームツールの持つ機能：

- ロールプレイングによる、専門分野の知識、世界観の体験
「技術選定フェーズ」、「現状把握フェーズ」、「政策決定フェーズ」、「選定技術の正当化フェーズ」の全体のゲーム進行を通して、専門分野の知識の獲得と世界観を体験。
- 特定の問題解決に対する最適化検討、議論
「技術選定フェーズ」における原子燃料サイクルの構築。ただし、プレイヤーの選好に従った最適化であり、プレイヤーが望まない政策が選定されるときの評価も、調査研究の結果として閲覧可能。

本ツールの持つ機能：

- 最適化後の情勢の変化
「現状把握フェーズ」による発生イベントにより、選択されやすい政策を推定。
- 政策決定による評価者選好の決定と最終評価
「政策決定フェーズ」により、他のプレイヤーと競い、自分の構築した原子燃料サイクルの評価に有利な政策の決定に誘導する。「選定技術の正当化フェーズ」において、決定された政策のもとで、自分の構築した原子燃料サイクルがどういう観点で優位性があるのかを確認（これが最終的な情報発信となる）、総合評価で他のプレイヤーと勝敗を決める。タブレット端末を用いない場合は、各プレイヤーでお互いの優位性（最終的な情報発信）を議論、勝敗を決定する。

3. ワークショップ実践

本カードゲームの効果を確認するため、日本原子力研究開発機構の夏期休暇実習制度を用いて7名の学生を招聘し、令和5年9月19日、20日の2日間、日本原子力研究開発機構の大洗研究所にてワークショップを実施した。5名が原子力専攻、2名が環境専攻の学生であるが、原子力専攻の5名は学部1年、環境専攻の学生2名は学部3年であるものの原子力は専門外ということで、現行原子力発電所に採用されている軽水炉の知見は教養程度にあり、その原子燃料サイクルを構成する要素技術や、新型炉などの知見は持ち合わせていなかった。そこで、最低限の知識の学習及び本カードゲームの実習を行った。

3.1 カードゲーム実習の概要

表1に実習の日程を示す。まず、最低限の基礎知識を得るために、原子燃料サイクル概論の講義を行った。その後、意識調査を行った。原子燃料サイクル概論の講義では、なるべく、意識調査やカードゲーム実習の受け取り方に対して影響を与えないように配慮した。1.2節で示した通り、「特定原子燃料サイクルの推進側の各プロセスと情報発信を体験するロールプレイング」である。そのため、2.2節の「(1)技術選定フェーズ」に関する知識自体を与えることは問題とならず、他の3フェーズの情報を極力与えないようにした。また、今回招いた学生は、特定原子燃料サイクルの推進側には分類されず、この線引きにおいては、一般市民とみなせるものと判断する。なお、夏期休暇実習は学生に向けてインターンシップとしての職場体験を目的としているため、高速炉の試験研究炉である常陽、高温ガス炉の試験研究炉である HTTR の見学も行っている。また、カードゲームの後に意識調査を行った。

カードゲーム実習は2日間にわたり実施し、初日は、図1で示すようにタブレット端末により、各自で原子燃料サイクルの構築を行った。原子炉だけでも5炉型あり、他の要素技術の組み合わせも加えると無数の組み合わせが存在する。それらの組み合わせを試用し、政策選好との相性を確認した。

2日目の実習では、引率教員を含め8名で、タブレット端末補助の下、4フェーズすべてを対象として実施した。ただし、知名度の高い炉型が集中的に選択され、それに伴い、提案政策も特定のものに集中するおそれがあったため、表2に示すように、各学生に対して、提案政策を指定し、そのための最適解を実現するための炉型も指定した。タブレット端末のプログラムにより、選択できる原子燃料サイクルが制限されている条件下では、指定炉型は指定提案政策以外では勝利すること

表1 カードゲーム実習の日程

9月19日		9月20日	
9:00-9:30	受け入れ手続き	10:00-10:40	原子燃料サイクル概論
9:30-11:30	原子燃料サイクル概論	10:40-11:40	カードゲーム実習
11:30-12:00	休憩	11:40-12:00	意識調査
12:00-13:00	昼食	12:00-13:00	昼食
13:00-15:00	高速炉常陽見学	13:00-14:00	高温ガス炉 HTTR 見学
15:00-17:30	カードゲーム実習	14:00-15:00	意識調査の目的の説明

表2 提案政策と炉型の指定

参加者	指定提案政策	指定炉型
学生1	有害度低減	高速炉
学生2	有害度低減	加速器駆動型原子炉
学生3	持続性追求・資源的独立	高速炉
学生4	持続性追求・資源的独立	低減速軽水炉
学生5	原子炉安全性追求	軽水炉
学生6	原子炉安全性追求	高温ガス炉
学生7	早期・段階的導入	なし
引率教員	早期・段階的導入	なし

ができない採点となっている。結果として、現状把握フェーズにおいて「自然災害」が選ばれ、その情勢と相性が良い「原子炉安全性追求」を選んだプレイヤーの発言力（「政策決定フェーズにおける会議用の手持ちカードの枚数」）が高くなり、最終的に「原子炉安全性追求」が代表政策として決定され、その指定炉型である軽水炉と高温ガス炉の中で、固有の安全性の高い高温ガス炉を指定された学生6が勝利するに至った。偶然ではあるが、東日本大震災に起因してその安全性が注目され、日本の原子力史上初めて、主要な新型炉として開発すべき炉型であると記載されるに至った経緯を再現したこととなる。

3.2 意識調査結果

本実験では、カードゲームの効果の調査を目的に、カードゲームを実施するために必要な、原子燃料サイクルの技術に関する情報以外を極力与えなかった。また、カードゲーム後の意識調査に関しては、選択式の設問により、本ゲームで考慮すべき項目に関する重要性の選択、及び理想の原子燃料サイクルと本実験を通して考えが変わった点に関する記述式のアンケート調査を行った。

選択式の設問としては、「技術開発」、「開発資金」、「メーカーの理解」、「電気事業者の理解」、「関係省庁の理解」に関し、「まったく不要」、「やや不要」、「どちらでもない」、「やや必要」、「絶対に必要」の5段階の選択を要求した。最後に、上記の評価5項目に対し、考えが変わったと思う項目の選択を要求した。結果を表3に示す。なお、評価項目としては、「技術開発」に関しては、多様な要素技術があり、多様な原子燃料サイクルの構築が可能であること、「開発資金」は、技術開発に資金が必要となる一方で、本ゲームにおいては、開発資金が膨大となる原子燃料サイクルはペナルティーとして発言力が低下することを考慮したものである。「メーカーの理解」、「電気事業者の理解」、「関係省庁の理解」に関しては、本ゲームでは明示的に区別がされていないものの、政策決定プロセスに係る項目である。革新炉が社会実装されるプロセスでは、技術の民間移転が必要となり、特定の炉型を中核となって開発する企業が必要であり、その革新炉の導入を支援する電気事業者があると計画がスムーズに進み、最終的にそれらの方針はその革新炉の開発を主導する監督省庁の命令が必要となる。

記述式の設問に関しては、理想の原子燃料サイクルと本実験を通して考えが変わった点に関し、実験者で要約し、表4にまとめた。

学生1に関しては、考え方が変わった評価項目は無し。この実験を通して、再処理が無くても原子燃料サイクルオプションとして成立させることも可能と知り、その必要性につき疑問を持つようになったとしている。

学生2に関しては、「メーカーの理解」に対して考え方が変わったとし、その必要性をやや必要と

表3 評価項目の重要性に関する調査結果

評価項目	学生1	学生2	学生3	学生4	学生5	学生6	学生7
A：技術開発	2	2	1	0	2	1	2
B：開発資金	2	1	1	1	2	1	2
C：メーカーの理解	1	1	1	1	2	1	2
D：電気事業者の理解	1	2	1	2	2	2	2
E：関係省庁の理解	1	1	2	1	2	1	2
考え方が変わった項目	－	C	A	A	C, D, E	B, E	A

*－2：まったく不要，－1：やや不要，0：どちらでもない，1：やや必要，2：絶対必要

表4 理想の原子燃料サイクルと実験を通して考えが変わったこと

	理想の原子燃料サイクル	実験を通して考えが変わったこと
学生1	軽水炉再処理及びプルサーマル	再処理の必要性
学生2	高速増殖炉（持続性）	高速増殖炉から他の多様なサイクルも選択肢に考えるようになった。
学生3	高速増殖炉（持続性、廃棄物減容）、社会受容性が高いサイクル	経済性優先から社会受容優先に変化
学生4	高温ガス炉再処理	多様な核燃料サイクルの構築が可能
学生5	－	社会科学的アプローチの重要性
学生6	海水ウラン及び高温ガス炉直接処分	実習を受けて初めて原子燃料サイクルを考えた。
学生7	－	－

している。この実験を通して、高速増殖炉の他に多様な原子燃料サイクルが選択肢に入るようになったとしている。

学生3に関しては、「技術開発」に対して考え方が変わったとしながら、その必要性はやや必要とし、必要性としては、「関係省庁の理解」を絶対に必要としている。この実験を通して、経済性優先から社会受容優先に変わったとしている。

学生4に関しては、「技術開発」に対して考え方が変わったとしながら、その必要性はどちらでもないとし、必要性としては、「関係省庁の理解」を絶対に必要としている。この実験を通して、多様な原子燃料サイクルの構築が可能という点としている。本実験を通じて、技術の多様性を感じながらも、最終的な価値判断をするのは、関係省庁であるとの考えが推測できる。

学生5に関しては、「メーカーの理解」、「電気事業者の理解」、「関係省庁の理解」に対して考え方が変わったとし、その必要性は絶対に必要としている。この実験を通して、社会科学的アプローチの重要性を理解したとしている。

学生6に関しては、「開発資金」、「関係省庁の理解」に対して考え方が変わったとしながら、その必要性はやや必要とし、必要性としては、「電気事業者の理解」を絶対に必要としている。この実験を通して、初めて原子燃料サイクルについて考えたとしている。

学生7に関しては、「技術開発」に対して考え方が変わったとし、その必要性は絶対に必要としている。

理想の原子燃料サイクルに関しては、現行の路線である軽水炉再処理及びプルサーマルが1件、従来から計画されていた革新炉である高速炉が2件、GX政策で実証炉計画が始まった高温ガス炉が2件となり、ほぼ、原子燃料サイクル開発の現状を反映する結果となっている。

全体として、多彩な原子燃料サイクルを自身で構築できることに驚きの声が多いことのほかに、一意的に決まると思われがちな科学技術の評価が政策選択で大きく変わることに驚きの声が聞かれた。

また、実験中の声としては、原子燃料の要素技術として「海水ウラン」のカードが強すぎるのではないかと意見が聞かれた。1.1節で述べたように、海水ウランを用いれば、資源量は無尽蔵となる。第六回核燃料サイクル技術等検討小委員会では、安価に海水ウランが回収されれば、高速増殖炉は要らない（原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会 a 2012）とも議論されている。一方、その経済性についても、もともと、原子力の発電原価の中のウラン購入費の占める割合が4%程度であることから、ウラン購入費が海水ウランにより倍程度となっても、発電原価全体では、3%程度の増加（Fukaya 2018）にすぎず十分に経済性として成立する（夏期休暇実習の最後の意識調

査の目的の説明時に議論)。意図せず、実際の委員会で行われた重要な議論の再現も、カードゲームを通じて行われる結果となった。

このように、本カードゲームで期待した効果が、アンケートからも確認できた。今回は、純粋に本カードゲームの効果を確認するため、事前の講義での情報を制限したが、原子力政策史を通しての各ステークホルダーの利害関係等も説明に加えることに、原子力技術を通じ、一般的な巨大科学技術の研究開発における情報発信に関しての理解が深まると思われる。

4. まとめ

本研究では、原子燃料サイクルを対象に発信された情報に含まれるバイアスを見抜くためのリテラシーを身につけるためのカード型サイエンス・コミュニケーションツールとして、トレーディングカードゲームを完成させた。ワークショップを実施し、その効果をアンケート調査により確認した。今後は、原子力政策史等を講義内容に含め、より効果的なサイエンス・コミュニケーションの在り方を模索したいと思う。

謝辞

本研究では、社会技術研究開発センター「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における採択課題「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」の一環として実施しました。社会技術研究開発センターの皆様、及び本プロジェクトにご参加の皆様にはこの場をもって、厚く御礼申し上げます。

文献

- エネルギー・環境会議, 2011: 「革新的エネルギー・環境戦略のこれまでの議論及び今後の進め方について」, 第3回 参考資料1, 内閣府 国家戦略室 1-22.
- Drucker P.F., 1985: 「Innovation and Entrepreneurship: Practice and principles」 HarperCollins Publishers, Inc.
- 電気事業連合会, 2024: 「核分裂のエネルギー」 URL: <https://www.fepc.or.jp/enterprise/hatsuden/nuclear/energy/index.html>.
- 原子力委員会, 1956: 「原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画」 1-12.
- 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会, a 2012: 「核燃料サイクルの選択肢及び評価軸について」, 第6回議事録, 原子力委員会.
- 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会 b, 2012: 「核燃料サイクルの政策選択肢の定量的評価について」, 第11回議事録, 原子力委員会.
- 経済産業省, 2021: 「グリーン成長戦略」 URL: https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_koho_r2.pdf (accessed 31st March, 2024).
- 経済産業省, 2023: 「GX 実現に向けた基本方針～今後10年を見据えたロードマップ～」, URL: https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf (accessed 31th March, 2024).
- 萱野 貴広 2019: 「Argument による合意形成プロセスモデルのデザインと実践」『平成30年度・31年度地層処分に係る社会的側面に関する研究支援事業』原子力発電環境整備機構.
- 高速増殖炉懇談会, 1997: 「高速増殖炉開発に対する主な批判的意見」, 資料第1-8号, 原子力委員会.
- 久保木太一, 2018: 「プルトニウム削減に向けた実現可能性のある選択肢を、一日本のプルトニウム政策の変遷」, ND Policy Brief, 3.
- 水町衣里・川上雅弘・加納圭・和田濱裕之・遠山真理 2016: 「ボードゲーム 風幹細胞教育教材『幹細胞研究

- やってみよう!』の開発」『日本科学教育学会第40回年会論文集』, 59-60.
- 日本原子力文化財団, 2024: 「【1-1-06】世界のエネルギー資源確認埋蔵量」原子力・エネルギー図面集 URL: <https://www.ene100.jp/zumen/1-1-6> (accessed 31st March, 2024).
- 杉山大志, 2022: 「海水ウラン技術開発推進の提言」, CIGS Working Paper Series No. 22-001J.
- 新計画策定会議, 2004: 「核燃料サイクル政策についての中間とりまとめ」, 第13回参考資料1, 原子力委員会.
- 矢守克也・吉川肇子・網代剛 2005: 『防災ゲームで学ぶリスク・コミュニケーション: クロスロードへの招待』ナカニシヤ出版.
- Fukaya Y., 2018: 「Safety and economics of uranium utilization for nuclear power generation」, Uranium; Safety, Resources, Separation and Thermodynamic Calculation, pp. 22-48, IntechOpen.