

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

研 究 区 分	： 戦略的研究開発プロジェクト
研 究 実 施 期 間	： 2022（令和4）年度 ～ 2024（令和6）年度
プロジェクト番号	： 【S2-9】
体系的番号	： JPMEERF22S20900
プロジェクト名	： 中間貯蔵施設周辺復興地域の統合的な環境再生・環境創生に向けた研究
Project Title	： Research to Renovate and Recover an Integrated Environment in the Restoration Area Surrounding the Interim Storage Facility
プロジェクトリーダー	： 遠藤 和人
プロジェクト代表機関	： 国立環境研究所
テーマ代表機関	： 農業・食品産業技術総合研究機構、産業技術総合研究所
キーワード	： 県外最終処分、パターン・ランゲージ、地域統合評価モデル、社会受容性、合意形成フレームワーク

注： 研究機関等は研究実施期間中のものです。また、各機関の名称は本報告書作成時点のものです。

令和7（2025）年11月



環境研究総合推進費
Environment Research and Technology Development Fund



独立行政法人
環境再生保全機構
ERCA Environmental Restoration and Conservation Agency

目次

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書	1
研究プロジェクト情報	4
<基本情報>	4
<研究体制>	4
<研究経費の実績>	5
<研究の全体概要図>	6
1. 研究プロジェクトの成果	7
1. 1. 研究背景	7
1. 2. 研究目的	7
1. 3. 研究目標	7
1. 4. 研究内容・研究結果	9
1. 4. 1. 研究内容	9
1. 4. 2. 研究結果及び考察	12
1. 5. 研究成果及び自己評価	51
1. 5. 1. 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献	51
1. 5. 2. 研究成果に基づく研究目標の達成状況及び自己評価	53
1. 6. 研究成果の状況	53
1. 6. 1. 研究成果発表の件数	53
1. 6. 2. 主要な研究成果発表	54
1. 6. 3. 主要な研究成果普及活動	54
1. 7. 国際共同研究等の状況	55
1. 8. 研究者略歴	55
2. 研究テーマの概要	57
2. 1. 【S2-9】「県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究」	57
2. 1. 1. テーマ1 研究目的	57
2. 1. 2. テーマ1 研究目標	57
2. 1. 3. テーマ1 研究内容	58
2. 1. 4. テーマ1 研究結果及び考察	65
2. 1. 5. テーマ1 研究成果の学術的意義や環境政策等への貢献	90
2. 1. 6. テーマ1 研究目標の達成状況	92
2. 2. 【S2-9-2】「地域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究」	94
2. 2. 1. テーマ2 研究目的	94
2. 2. 2. テーマ2 研究目標	94
2. 2. 3. テーマ2 研究内容	94
2. 2. 4. テーマ2 研究結果及び考察	99
2. 2. 5. テーマ2 研究成果の学術的意義や環境政策等への貢献	114
2. 2. 6. テーマ2 研究目標の達成状況	116
2. 3. 【S2-9-3】「県外最終処分・周辺地域の将来デザイン利用に向けた社会受容性評価と合意形成フレームワークに関する研究」	118
2. 3. 1. テーマ3 研究目的	118
2. 3. 2. テーマ3 研究目標	118
2. 3. 3. テーマ3 研究内容	118
2. 3. 4. テーマ3 研究結果及び考察	123
2. 3. 5. テーマ3 研究成果の学術的意義や環境政策等への貢献	148
2. 3. 6. テーマ3 研究目標の達成状況	149
3. 研究成果発表の一覧	152
(1) 産業財産権	152
(2) 論文	152
(3) 著書	155
(4) 口頭発表・ポスター発表	156
(5) 「国民との科学・技術対話」の実施	171
(6) マスメディア等への公表・報道等	178
(7) 研究成果による受賞	179

（８） その他の成果発表	179
権利表示・義務記載	180
Abstract	

研究プロジェクト情報

<基本情報>

研 究 区 分 :	戦略的研究開発プロジェクト
研 究 実 施 期 間 :	2022（令和4）年度 ～ 2024（令和6）年度
課 題 番 号 :	【S2-9】
体 系 的 番 号 :	JPMEERF22S20900
プ ロ ジ ェ ク ト 名 :	中間貯蔵施設周辺復興地域の融合的な環境再生・環境創生に向けた研究
プロジェクトリーダー:	遠藤 和人
プロジェクト代表機関:	国立環境研究所
テ ー マ 代 表 機 関 :	農業・食品産業技術総合研究機構、産業技術総合研究所

<研究体制>

<テーマ1の研究体制>

テーマ体系的番号1:	JPMEERF22S20910
テ ー マ 名 1 :	県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究
テ ー マ 代 表 機 関 1 :	国立環境研究所
テ ー マ リ ー ダ ー 1 :	遠藤 和仁
テ ー マ 分 担 機 関 1 :	名古屋大学、福島工業高等専門学校、北海道大学、東京大学、広島大学、大阪大学、八戸工業高等専門学校

<テーマ2の研究体制>

テーマ体系的番号2:	JPMEERF22S20920
テ ー マ 名 2 :	地域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究
テ ー マ 代 表 機 関 2 :	農業・食品産業技術総合研究機構
テ ー マ リ ー ダ ー 2 :	万福 裕造
テ ー マ 分 担 機 関 2 :	国立環境研究所、福島大学

<テーマ3の研究体制>

テーマ体系的番号3:	JPMEERF22S20930
テ ー マ 名 3 :	県外最終処分・周辺地域の将来デザイン利用に向けた社会受容性評価と合意形成フレームワークに関する研究
テ ー マ 代 表 機 関 3 :	産業技術総合研究所
テ ー マ リ ー ダ ー 3 :	保高 徹生
テ ー マ 分 担 機 関 3 :	大阪大学、神戸大学、京都大学、北海道大学

<研究経費の実績>

年度	直接経費	間接経費	経費合計	備考 (自己充当等)
2022	74,070,002	22,219,698	96,289,700	
2023	75,538,251	22,660,173	98,198,424	
2024	75,428,305	22,627,038	98,055,343	
全期間	225,036,558	67,506,909	292,543,467	

注： 環境研究総合推進費の規定する研究経費の支援規模を超えた額は自己充当等によるものです。

<研究の全体概要図>

SII-9

中間貯蔵施設周辺復興地域の統合的な環境再生・環境創生に向けた研究

研究目的・内容

中間貯蔵施設周辺復興地域の環境回復に向け、除去土壌等の有効利用、県外最終処分を実現するため、効率的かつ低コストな技術の組合せを意識した技術システムのシナリオを提案。復興が進む周辺地域と、中間貯蔵施設の温度差が生じないよう、地域復興の具体的なイメージの参考となりえる将来デザインを提案。除去土壌等の県外最終処分における円滑かつ公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案する。

技術論・環境再生

テーマ1：県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究

ST1：県外最終処分に向けた導入技術システムのシナリオ最適化

ST2：各種安定化体の長期溶出特性の評価

ST3：県外最終処分施設に求められる封じ込め性能に関する研究

除去土壌や
スラグ有効利用
の科学的根拠に
ついて連携

中間貯蔵施設周辺
復興地域に着目
2024年以降の国
の技術戦略を支援

環境創生・生態論

テーマ2：地域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究

ST1：周辺地域の将来イメージと未来技術導入のシナリオ構築および地域統合評価モデルによる定量化

ST2：中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインを見据えた生態系モニタリングとこれを活用した生態系サービスの試算

シナリオの
社会受容性
について連携



テーマ3：県外最終処分・周辺地域の将来デザイン利用に向けた社会受容性評価と合意形成フレームワークに関する研究

ST1：持続可能な環境管理に向けた社会受容性評価と多面的評価法の開発

ST2：県外最終処分等に関わる多面的公正の実験的評価

脱炭素型
将来デザインの
住民参画
について連携



横断的検討・政策支援

- 県外最終処分に向けたシナリオ評価や技術的研究を通して、2024年度以降の国による減容化・県外最終処分の検討に貢献。
- 地元ニーズを大切に、将来デザインを提示、国と県が進めている「福島再生・未来志向プロジェクト」に貢献。
- 福島県外最終処分に係る全国民的な理解醸成に貢献。

1. 研究プロジェクトの成果

1. 1. 研究背景

福島県内の除去土壌等は中間貯蔵施設に運搬・集約され、「中間貯蔵施設への貯蔵開始後、30年以内に福島県外で最終処分するために必要な措置を講ずる」ことが法律で定められており、地元との約束となっている。同時に、県外最終処分に加えて、原発事故による大きな被害を受けた中間貯蔵施設周辺復興地域の将来像について、技術的観点だけでなく社会経済的観点からも明確にし、関連するステークホルダーとともにそれを共有し、社会全体として考えていかなければならない。それは、事故を経験した我が国が、歴史的な災禍を乗り越えて成熟した社会を創り上げていくうえで最も重要な命題であるといえよう。

まず、県外最終処分に向けた技術的観点では、最終処分量を削減するための減容化技術に加え、再生利用に向けた検討が進められている。減容化技術には、除去土壌の高度分級や熱処理、除染廃棄物等の焼却・溶融による熱的減容化、飛灰洗浄による放射性Csの脱離と濃縮などがあり、そして、最終処分に向けた濃縮物の安定化技術開発がある。これら技術開発は2024年度を戦略的目標と定めて着実に進められているが、除去土壌や熱処理飛灰等に対してどのような技術を導入するかという選択肢は多岐にわたっている。2024年度以降、どのような技術の組合せによって処理するか、という導入技術システムのシナリオを決定していかなければならない。さらに、県外に設置される最終処分施設に求められる性能や、処分対象となり得る安定化体の長期安定性についても、減容化処理技術等と一体的に考えた評価が必要となる。

つぎに、中間貯蔵施設周辺復興地域の将来像を描く観点からは、区域内の事業等の進捗と周辺地域の復興の進展のギャップを融合的に調和させていくアプローチが必要になる。区域内には、大型土のうを仮置きする保管場、除去土壌の受入・分別施設、土壌貯蔵施設や（熱的）減容化施設、廃棄物貯蔵施設等が整備されている。今後、処理の進展に伴い、これらの施設の維持管理形態は刻々と変化していくと考えられる。長期にわたって居住のない地域では生物相も大きく変化し、生態系サービス享受した営農活動や里地里山としての利用にも支障が生じる可能性がある。そのため、区域内と周辺地域を調和させながら融合的に環境再生・環境創生を実現させていくための将来デザインを脱炭素、里地里山といった環境指標を導入して定量的に提示する手法を構築することが重要となる。

最後に、県外最終処分と中間貯蔵施設周辺復興地域の将来像に関する議論は国民的理解醸成のもとに一体的に行われる必要があるが、そのプロセスは容易ではない。県外最終処分の合意形成に向けては様々な手法や論法が存在すると考えられるが、福島県を除く国内全てが候補地となり得る県外最終処分のような合意形成における多面的評価の手法は確立されておらず、衡平性や手続き公正性を考慮した合意形成プロセスのフレームワークが求められている。また、導入される減容化技術や安定化技術によって、県外最終処分される廃棄物等の濃度や量は数オーダーの幅を持っており、どのような廃棄物であれば社会受容性があるのか、といった社会受容性の観点も考慮する必要がある。社会受容性によっては、導入すべき減容化技術等にフィードバックすることも必要となる。

1. 2. 研究目的

中間貯蔵施設周辺復興地域の環境回復に向け、除去土壌等の有効利用、県外最終処分を実現するため、効率的かつ低コストな技術の組合せを意識した技術システムのシナリオを提案。復興が進む周辺地域と、中間貯蔵施設の温度差が生じないように、地域復興の具体的なイメージの参考となりえる将来デザインを提案。除去土壌等の県外最終処分における円滑かつ公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案する。

1. 3. 研究目標

<【S2-9】全体の研究目標>

研究課題名	中間貯蔵施設周辺復興地域の融合的な環境再生・環境創生に向けた研究
全体目標	中間貯蔵施設周辺復興地域の環境回復に向け、除去土壌や副産物の有効利用や汚染廃棄物等の県外最終処分を着実に実現するため、効率的かつ低コストな技術の組合せを意識した技術システムのシナリオを提案する。同時に、国の戦略目標の2024年度以降に必要と考えられる安定化体の長期安定性評価手法、ならびに県外最終処分施設に求められる施設構造について技術的知見を提示する。さらに、既存の復興の戦略を踏まえつつ、中間貯蔵施設周辺復興地域環境の課題と未来技術の活用を考慮し、先行して復興が進む周辺地域との温度差が生じないように、地域の復興の具体的なイメージ、施設等整備、交流戦略、産業戦略等の参考となりえる将来デザインを提案する。除去土壌等の県外最終処分および中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインにおける円滑かつ

	公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、本課題特有の次世代の方々の考えを意識しつつ、多元的公正や環境面だけでなく、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案する。
--	---

<【S2-9-1】テーマの研究目標>

テーマ名 1	県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究
テーマ 1 実施機関	国立環境研究所、名古屋大学、福島工業高等専門学校、北海道大学、東京大学、広島大学、大阪大学、八戸工業高等専門学校
テーマ目標 1	中間貯蔵施設内やその周辺地域の環境回復に向け、除去土壌や副産物の有効利用や汚染廃棄物等の県外最終処分を着実に実現するため、効率的かつ低コストな技術の組合せを意識した技術システムのシナリオ最適化の考え方を提案する。同時に、国の戦略目標の2024 年度以降に必要と考えられる安定化体の長期安定性（溶出性等）評価手法、ならびに県外最終処分施設に求められる封じ込め性能について技術的知見を提示する。

<【S2-9-2】テーマの研究目標>

テーマ名 2	地域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究
テーマ 2 実施機関	農業・食品産業技術総合研究機構、国立環境研究所、福島大学
テーマ目標 2	中間貯蔵施設周辺復興地域は事故前には、多様な自然環境を有する地域であった。このような地域は里地里山と呼ばれ、豊かな自然地域と都市地域との中間に位置し、多様な自然条件・社会条件のもとに形成されてきた場所であり地域経済活動とも深く関係している。中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインの検討に当たっては、復興計画等との整合を踏まえつつ、予想される様々な地域課題に対処し、かつ地球規模の課題である気候変動対策のため脱炭素社会としてのコミュニティの再構築が必要となる。一方、現時点においては普及あるいは実用化のされていない技術（以下、未来技術）も利用可能となりえる。同地域の復興を考える際には地域の再生にこうした未来技術を活用することを検討すべきである。そこで、対象地域の地域性を活かしつつ、将来時点での世界最先端の技術を投入した脱炭素型未来コミュニティとしての復興拠点を構想すること、地域全体としての環境を活かしつつ社会的・経済的にも調和した将来像、そしてこれらを達成するための課題を整理し、課題解決のために未来技術の活用を織り込んだ計画策定が有用と考えられる。本テーマでは、中間貯蔵施設区域ならびに施設周辺復興地域の原形復旧と復興計画等との整合を踏まえた将来デザインを創造し、予想される地域課題と気候変動等の地球規模課題に対応するため、世界最先端の技術を投入した地域性を活かした脱炭素型未来コミュニティとしての復興拠点と、周辺環境と調和した地域全体の複数の将来デザインを構築し、これを達成するための課題と技術を提示することを目標とする。

<【S2-9-3】テーマの研究目標>

テーマ名 3	県外最終処分・周辺地域の将来デザイン利用に向けた社会受容性評価と合意形成フレームワークに関する研究
テーマ 3 実施機関	産業技術総合研究所、大阪大学、神戸大学、京都大学、北海道大学

テーマ目標3	<p>除去土壌等の県外最終処分および中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインに応じた土地利用における円滑かつ公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、本課題特有の次世代を意識しつつ、多元的公正や環境面だけでなく、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案する。具体的には、以下の5つを最終目標として設定する。</p> <p>●県外最終処分</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価およびステークホルダーが重要視する重要指標抽出【サブテーマ1】 ・ 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析およびステークホルダーの受容性に内在するメカニズムの質的分析【サブテーマ1】 ・ 県外最終処分等における多元的公正やステークホルダーの多面性を考慮した建設的な対話の場を通じた合意形成フレームワークの提示【サブテーマ2】 <p>●中間貯蔵施設周辺復興地域</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストック（歴史や記憶）のデジタルコンテンツ化および重要項目抽出および方法論の整理【サブテーマ1】 <p>●合意形成フレームワーク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 多元的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案【サブテーマ1, 2】
--------	--

1. 4. 研究内容・研究結果

1. 4. 1. 研究内容

1. 4. 1. 1 テーマ1

テーマ1全体の研究課題は「県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究」であり、県外最終処分に向けた減容化戦略を技術的に裏付ける研究として位置付けている。対象となるのは除染廃棄物（主に可燃物）と除去土壌の2種類であるが、除去土壌は放射性セシウム（以下、Cs）の溶出性が極めて小さく、腐敗や溶解もしないため、既に安定していると考えられ、そのままの状態での最終処分が可能といえる。ただし、物量が多いため減容化が求められているが技術的な課題はそれほど多くなく、課題としては対象物量を処理できるだけの施設整備と処理に要する時間と考えられる。一方、除染廃棄物については、既に双葉町の2ヶ所の仮設灰処理施設で熔融処理が行われており、熔融飛灰、熔融スラグは中間貯蔵施設内に整備された保管施設で貯蔵中である。熔融飛灰は、溶解性、溶出性も高く、物性によっては潮解する可能性も否定できないことから、安定しているとは言いがたい。特措法の基本方針や環境放射能除染学会（2021）から推察される県外最終処分対象の除去土壌等に関する考え方（案）を表1に示す（成果1-107を修正）。

表1 文献情報等から推察される県外最終処分対象の除去土壌等に対する考え方（案）

種 類	濃度 (Bq/kg)	物 量	再 生 利 用	最 終 処 分
除去土壌	8,000以下	955万m ³ 程度	可能	そのまま可能 (再生利用したい)
	8,000超	348万m ³ 程度	熱処理等によって一部が可能 となる可能性あり	そのまま可能 (減容化したい)
熔融飛灰	平均20万程度 (推定)	10万トン (推定)	困難	溶解性、溶出性が大きく 不安定なので安定化処 理が必要 (減容化したい)
熔融スラグ	8,000以下	56万トン (推定)	可能	そのまま可能 (再生利用したい)

今後、最終処分を進めるにあたって必ず安定化もしくは減容化しなければならないのは熔融飛灰であり、減容化技術や安定化方法等、技術導入の種類によって最終処分対象の安定化体（放射性廃棄物分野での最終廃棄体相当）の特性が変化することから、研究対象として熔融飛灰に着目した。

サブテーマ1では、導入技術システムによって変化する安定化体への処理プロセスと最終処分システムに至るまでの道筋をシナリオとして評価した。また、技術的な課題として明らかに残っている熔融飛灰の直接セメント固型化をサブテーマ2で、国が検討を実施していない最大減容化をサブテーマ1で取り扱った。また、平常時には最終処分場の埋立地内で封じ込められている放射性Csであるが、遮水工等の破損等の事故時

には埋立地外へと漏洩する可能性があることから、天然バリアである自然地盤の放射性Cs吸着特性についても評価した。放射性Csを濃縮し、高濃度にしていくと放出されるγ線によって水分子が分解されて水素ガスが発生することから、これら水素ガスの発生可能性について実験的な検討も実施した。

サブテーマ2では、導入技術システムによって変化する各種シナリオで想定される安定化体の溶出特性の網羅的な把握を試みた（図1参照）。また、放射性廃棄物処分の観点では比較的短寿命半減期のCs-137ではあるが、濃度が濃くなると特別な維持管理が不要となる8,000 Bq/kgを下回るまでの維持管理期間が長期にわたる可能性がある。そのため、長期的な挙動を保守的な考え方の下で適正に評価するための実験方法についても検討した。

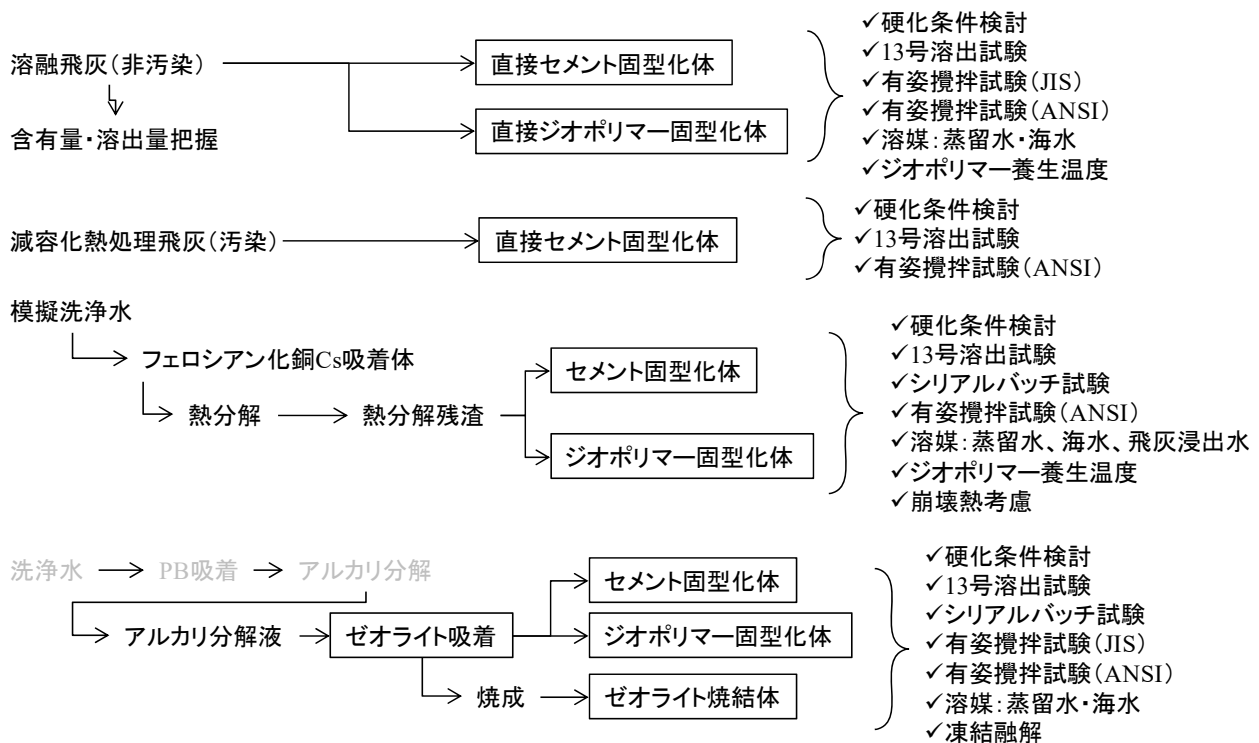


図1 サブテーマ2で対象とした安定化体と検討事項

サブテーマ3では、処分場構造に着目し、「遮蔽機能」、「漏出防止機能」、「移動抑制機能」の内、後者2つに着目した検討を実施した。要求されるこれら機能は、サブテーマ2で検討される（長期的な）溶出特性に依存し、シナリオによっては、塩類濃度が高い場合や、重金属類を含んでいる場合もある。そこで、高塩類環境下やカリウム存在下での「低透水性」、「収着性」に着目して検討を進めた。処分場構造としては、遮断型相当の外周仕切壁（コンクリート構造物）ならびに人工バリア（ベントナイト系遮水層）を対象として検討した。なお、高濃縮された事故由来放射性物質汚染廃棄物（特定廃棄物相当）の埋立処分（遮断型相当）と、放射性廃棄物の埋設処分（低レベル放射性廃棄物処分施設）における考え方の違いについても整理した。

1. 4. 1. 2 テーマ2 域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究

本研究テーマは、東京電力福島第一原子力発電所事故を契機に、福島県内に設置された中間貯蔵施設およびその周辺地域を対象として、地域資源と環境を活用した持続可能な将来デザインの構築を目指したものである。原発事故によって住民は長期にわたる避難と生活環境の劇的な変化を余儀なくされ、地域の社会構造や自然環境にも大きな影響が生じた。このような未曾有の状況を踏まえ、科学的知見と社会的プロセスを融合させた復興支援と地域再生の新たなモデルを提示することを目的とした。本テーマは2つのサブテーマにより構成される。テーマ2は、技術開発・社会プロセス・自然環境の三位一体アプローチにより、復興と持続可能な地域社会の実現に向けた新たな道筋を提示した。今後は、成果を基盤として、全国の他地域、さらに国際的にも適用可能な復興・地域再生モデルの深化と普及が期待される。

サブテーマ1「周辺地域の将来イメージと未来技術導入のシナリオ構築および地域統合評価モデルによる定量化」は、復興過程における除去土壌や副産物の再利用・最終処分を巡る技術開発とその社会実装に焦点を当てた。加えて、地域住民や自治体との協働により、持続可能な将来シナリオの構築手法を体系化する

ことを目指した。本研究の独自性は、「技術的合理性」と「社会的納得性」の両立を図るため、技術開発と合意形成の両プロセスを一体的に扱った点にある。特に、専門知と住民知を橋渡しする知識媒体として「パターン・ランゲージ」を開発・活用し、さらに地域資源・産業・人口動態・エネルギー導入などを数値的に統合評価できる「地域統合評価モデル」と連携させた、ハイブリッド型の復興支援フレームを構築した。

具体的には、復興に関する住民主体の知識・経験を形式知化し、福島県飯舘村長泥地区などを対象に、復興プロセスから得られた暗黙知を「地域づくりパターン」として整理。これらはカード形式で展開され、住民向けワークショップにおける対話促進ツールとして活用された。この知見を基盤に、「共創デザインプラットフォーム」を設計し、大熊町などのフィールドで適用。地域資源の現状把握から将来ビジョンの共有、社会実装に向けた合意形成までを段階的に支援する仕組みを構築した。具体的には、大熊町役場において、ゼロカーボン社会の実現、福祉・教育・エネルギー資源の再編成に関する住民・行政間の議論を支援し、将来像の共通認識形成を後押しした。

さらに、地域統合評価モデルを用いて、将来の産業構造・人口推移・エネルギー需給バランスなどを定量化し、「穏やか」「活発」「豊か」「賑やか」という4つの将来シナリオを設定。これにより、技術・環境・社会要素を総合的に勘案した復興戦略の選択肢を提示した。この過程では、サブテーマ2で得られた生態系サービス指標や住民意識調査結果も反映し、自然資本や観光資源の持つ多面的価値を数値モデルに組み込むことを試みた。

また、地域資本を可視化するリーフレットを作成し、住民への理解促進と参画意欲向上に貢献した。リーフレットは、地域の現状資源と将来に向けた可能性を住民目線で分かりやすくまとめたものであり、地域内外の関係者との対話ツールとしても活用された。

これらの成果は、国際機関であるIAEA（国際原子力機関）やICRP（国際放射線防護委員会）にも報告され、特にパターン・ランゲージによる住民対話支援手法は、放射性廃棄物管理・リスクコミュニケーション分野における革新的な知見として注目を集めた。

総じてサブテーマ1では、形式知と実践知の架橋、定性と定量の接続、計画と対話の往還という復興過程における根本課題に対して、総合的・実践的なアプローチを提示することができた。今後は、プラットフォームのデジタル化（DX化）、他地域展開、関連制度との接続強化、国際比較研究の推進、そして自治体職員や地域支援者向けのマニュアル整備や人材育成プログラムの開発が求められる。

サブテーマ2「中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインを見据えた生態系モニタリングとこれを活用した生態系サービスの試算」は、福島県双葉郡大熊町・双葉町に位置する中間貯蔵施設およびその周辺地域を対象とし、生態系サービスの現状と震災後の変化を科学的に定量把握することを目的とした。事故により長期避難を余儀なくされた結果、里地里山や農地、沿岸域といった多様な生態系は管理が行き届かなくなり、生態系の劣化や外来種拡大などが懸念される状況となった。

本研究では、既存モニタリングサイト約50地点に加え、中間貯蔵施設設置区域内に新たに4地点を設定し、哺乳類、飛翔性昆虫、赤トンボ、鳥類、カエル類を対象とする生物相モニタリングを実施した。また、熊川河口では藻場（アラメ場）の調査を行い、炭素貯留能力（ブルーカーボン機能）についても評価を行った。その結果、在来哺乳類が維持されている一方で、アライグマやイノシシといった外来種・被害獣の生息も確認され、復興に向けた生態系管理の重要性が示された。赤トンボ類は一定の個体数を維持していたが、特にノシメトンボに関しては年度間で個体数に変動があり、長期的視点でのモニタリング継続が必要であることが明らかとなった。また、熊川河口のアラメ場は震災前の約2倍に拡大しており、炭素貯留量は約8.6トンCO₂と試算された。これは地域におけるゼロカーボン施策と連携可能な新たな自然資源の可能性を示唆している。生態系サービスの評価では、供給サービス（農作物生産など）は震災直後に大きく減少し、その後も地域によって回復度合いに差が見られた。調整サービス（災害緩和機能など）については大きな減少は認められなかったが、全国一律の評価係数をそのまま適用することの課題も指摘され、地域特性を考慮した精緻な評価モデルの必要性が明らかとなった。

イノシシやアライグマの拡大による「デイスサービス」も深刻化しており、防除措置や生態系管理ゾーニングの重要性が浮き彫りとなった。さらに、住民および関係人口へのアンケート調査を通じ、生態系サービスに対する価値意識の違いが確認された。すなわち定住者は「コメ生産」や「災害緩和」といった供給・調整サービスを重視する傾向が強く、非定住者・全国民は「景観」や「観光・レクリエーション」など文化的サービスを重視する傾向が明らかになった。これらの成果により、本研究は①人為的管理の途絶下における生態系の自己再生・レジリエンス把握、②人間活動低下による外来種・被害獣増加の科学的根拠、③沿岸域藻場を介したブルーカーボン資源の定量評価に成功し、学術的にも政策的にも高い意義を有する知見を提供した。加えて、復興政策における環境視点の重要性、環境配慮型農業、沿岸資源の利活用による地域ゼロカーボン化推進への実践的示唆を得た。

今後の課題としては、震災前の生態系機能の再構築、文化的サービスの定量化、生態系サービスの将来シナリオ構築などがあり、地元自治体や地域住民との対話と協働を通じた持続可能な地域づくりが一層求められる。

1. 4. 1. 3 テーマ3 県外最終処分・周辺地域の復興に向けた持続可能な環境修復の合意形成に向けた社会受容性の評価およびフレームワーク構築

サブテーマ1では、(1) 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出として、郵送報アンケート、国内オンラインアンケート、市民への半構造化面接、日本・フランス・フィンランドのオンラインアンケート及び結果の解析、そして中間貯蔵施設周辺復興地域を対象とした聞き取り調査に基づく記憶地図・デジタルコンテンツ化を実施した。

また、(2) 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析として、一般市民や地方公務員10名を対象とした県外最終処分に関する施策に対するインタビュー調査結果に関して、多面的評価法（環境・社会・経済的側面）を用いて重要事項の抽出を試みた。さらに、農村地域3地区（合計15名）に対して、自地域に県外最終処分が打診される仮想シナリオを提示したうえで対面式アンケートと半構造化インタビューを実施し、グラウンデッド・セオリー的コーディングにより因子間の関係性を抽出した。さらに、中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックの重要指標抽出と多面的評価法の適用として、中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックに関するワークショップを実施するとともに、残されるべき社会景観を抽出する方法論を整理した。

サブテーマ2では(3) 県外最終処分等に関わる多元的公正の整理および実験的評価を実施した。具体的には、DQIの開発として、多元的公正の基準から3つほど重要な価値の系を絞り込み、その評価のモノサシとして討議の質指標(Discourse Quality Index: DQI)を開発するとともに、集実験社会科学的手法を用いた集団実験、ゲーミング実験、および模擬市民参加ワークショップ型社会実験を行い、効果を測定した。

また、サブテーマ1とサブテーマ2が連携して、(4) 多元的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案の検討及び有識者インタビューを実施した。

1. 4. 2. 研究結果及び考察

1. 4. 2. 1 テーマ1 県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究

1. 4. 2. 1. 1 サブテーマ1

(1) 処理・処分シナリオの構築

溶融飛灰を対象に、減容化するか否か、どのように減容化（濃縮）するか、濃縮した廃棄物をどのように安定化させるか、という点に着目し、国内外の減容化技術情報を調査し、基本的な処理フローを設定した上で、技術導入の組合せを考慮したシナリオを構築した。仮設灰処理施設から将来的に排出される溶融飛灰量についての公表値はないため、文献値（環境放射能除染学会、2021）から数字を丸めて10万トンと設定した。

溶融飛灰シナリオの処理フローとシナリオの概要を図2に示す。非濃縮シナリオ（SF-1）は、減容化しないシナリオであるが、安定化は必要なため安定化処理として溶融飛灰の直接セメント固型化を実施する想定としているが、焼却飛灰と溶融飛灰の化学組成が異なることから、既存の配合等の知見では固型化が困難であり、それについてはサブテーマ2で技術的な検討を行った。バランスシナリオ（SF-2）では、溶融飛灰を水で洗浄し、溶出してきた放射性セシウムを選択性のある吸着材等で吸着するか、液中合成法によって沈殿させ、放射性セシウムを濃縮して減容化する方法であり、国の飛灰洗浄等実証事業による検討結果である。バランスシナリオと最大濃縮シナリオ（SF-3）は、基本的な処理フローは同じであり、液中合成方を二回繰り返す二段階共沈法によって、更に放射性セシウムを濃縮させることを想定した。ただし、本手法はパイロットスケール等での実証は行われておらず、本推進費で研究開発した減容化技術である。

各シナリオにおいて発生する処分対象物の情報を表2にまとめる（成果1-107）。溶融飛灰の発生量は10万トン、濃度を平均20万Bq/kg、かさ密度を0.8 t/m³を仮定して算定した結果である。非濃縮シナリオ（SF-1）は、溶融飛灰にセメントと水を混練した固型化体を考えており、バランスシナリオは、国の実証事業として実施された結果の内、比較的濃縮率の低い数値を参考にした。最大濃縮シナリオについては、妨害イオンである安定セシウムの濃度次第で最大濃縮率が決定することから、比較的安定セシウムが多い場合を想定して試算を行った。減容化処理によって処分対象の物量は減るものの、処理プロセスにおいて発生する二次廃棄物が数十万トン発生することになるため、その特性の把握や、適正処理処分に向けた具体的な検討も必要になる（成果1-29）。

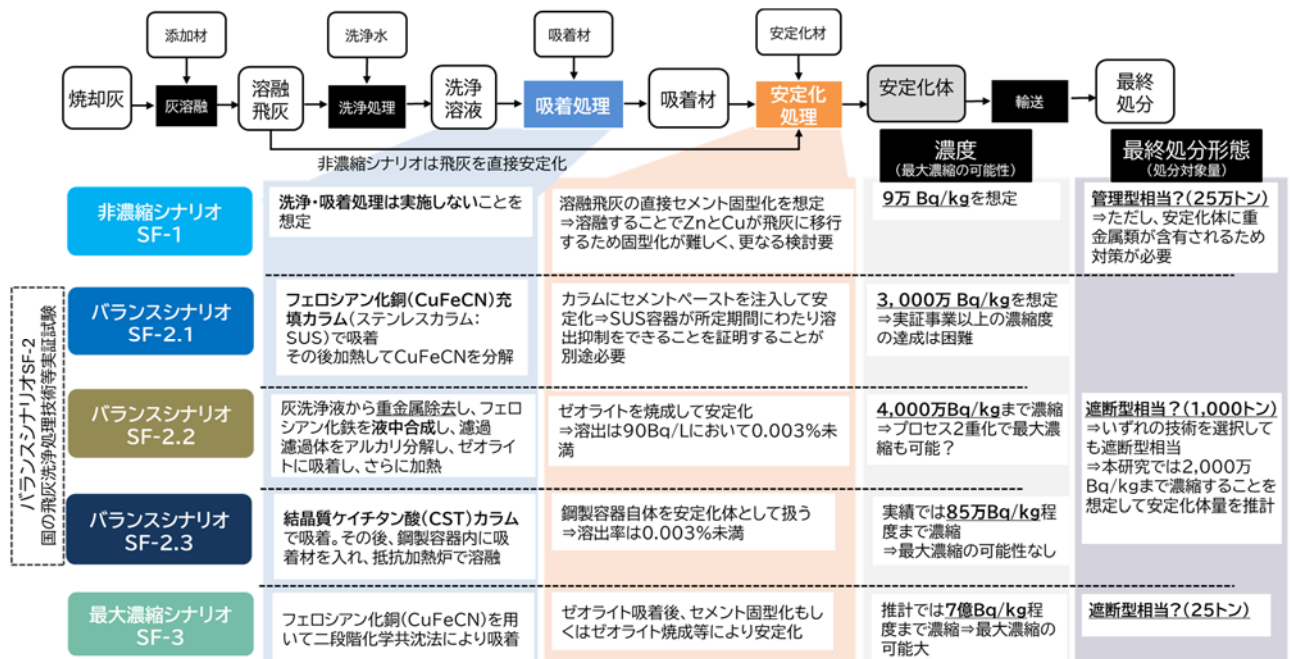


図2 溶融飛灰シナリオの処理フローとシナリオ概要

表2 溶融飛灰シナリオにおける処分対象物量等（推定値を含む）

シナリオ	物量		最終処分 形態	重金属の 有無・水 処理施設	埋立地容 量	放射能 濃度	維持管理 期間
	処分対象	二次廃棄 物					
	トン	トン					
SF-1 非濃縮	25万	—	管理型 相当	あり	12.2万	9万	110
SF-2 バランス	1,000	49万	遮断型 相当	無し	500	2,000万	340
SF-3 最大濃縮	29	49万	遮断型 相当	無し	12	7億	500

※ 維持管理期間は埋立廃棄物の平均値が8,000 Bq/kg以下となるまでの時間を記しており、8,000 Bq/kg以下であれば特定一般廃棄物、特定産業廃棄物の埋立処分と同等として取り扱った。

（2）処分システムの概念設計と放射性Cs挙動評価

設定した3つのシナリオに対し、それぞれの安定化体に対応した処分システム概念を設定し、間詰め材（充填材）には放射性Csの収着性を考慮して分配係数に1,000 mL/gを与え、システム-3では、鉄筋コンクリート（外周仕切壁）の収着性も考慮して分配係数に500 mL/gを与えて、数値解析（COMSOL Multiphysics ver.6.1）を実施した（成果1-54、61）。安定化体からの溶出率はいずれも10%として、瞬時放出の条件で計算した。評価ポイントは、人に被ばく量ではなく、特措法の既存の特定廃棄物最終処分施設にしたがい、埋立地境界における保有水等の濃度の経時変化を計算した。この評価ポイントで濃度限度を満足していれば、平常時のみならず事故時においても追加内部被ばく線量を1 mSv/年以下にできる、との考え方に基いている。各処分システムにおける評価結果を図3に示す。いずれの処分システムにおいても、浸出水もしくは漏洩水の濃度が制限濃度の90 Bq/Lを下回る結果となった。これは、最終処分場における構造基準と維持管理基準の双方に収着性を考慮すると共に、低レベル放射性廃棄物埋設処分では考慮されていない溶出率（溶出抑制効果）を考慮した結果である。

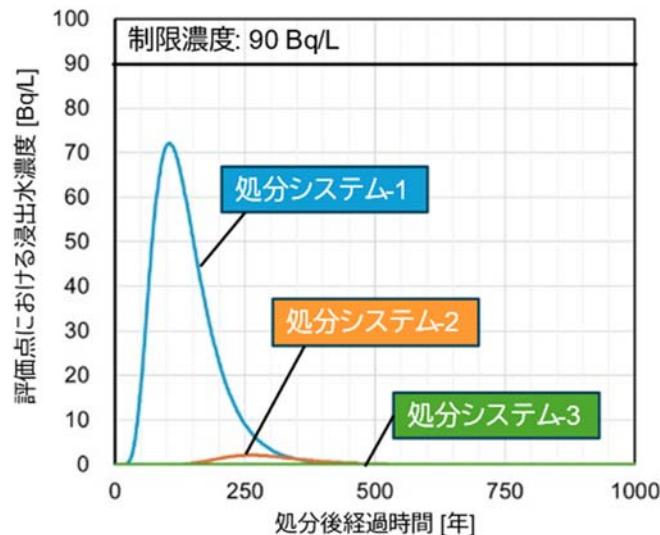


図3 最終処分シナリオ毎の評価ポイントにおける浸出水濃度の経時変化

(2) 熱処理飛灰の洗浄・濃縮処理に用いる吸着材に関する基礎的研究

(2. 1) Cs吸着材のCs吸着挙動のイオン交換理論による記述

仮設灰処理施設から発生する熱処理飛灰（以下、単に飛灰と省略）を水で洗浄し、Csを溶液側に移行させ、Cs選択吸着性を有する吸着材により濃縮する減容化技術が検討されている。シナリオとしてはSF-2、SF-3に相当する。SF-3の最大濃縮シナリオでは、達成可能な濃縮度の情報が必要となる。

イオン交換理論は単一の競合イオン（例えば A^+ ）と対象の Cs^+ イオンのイオン交換反応として記述されるが、飛灰洗浄液にはCsと競合するイオンとしてNa, K, Rbが存在する。 NH_4^+ も競合しえるが、飛灰洗浄液にはほとんど存在しないので無視できる。複数のイオンが任意の濃度で存在する場合において、Cs吸着量を求める方法を説明する。競合する各種イオンを A_i として、それら全てのイオンとCsイオンが固相に吸着した合計量 $[X-A_i]+[X-Cs]$ が、陽イオン交換容量であるCECと等しくなるので、

$$[CEC] = [X - Cs] + \sum_{i=1}^N [X - A_i] \quad (1)$$

となる。ここに[]はモル濃度を表している。上式に選択係数 $K_{Cs/A}$ を導入して固相のCs吸着量 $[X-Cs]$ について整理すると次式となる。

$$[X - Cs] = \frac{[CEC]}{1 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{[A_i^+]_0 / [Cs^+]_0}{K_{Cs/A_i}} \right)} \quad (2)$$

上式から、飛灰洗浄液中のCsイオン濃度に対する A_i イオンの濃度のCs選択係数に対する比がそれぞれのイオンの影響度ということになる。溶融飛灰の化学組成データから求めた各アルカリ金属イオンと Cs^+ イオンのモル濃度比を、それぞれに対応するCs選択係数で除した値、すなわち影響度を表3に示す。実汚染飛灰のデータは、飛灰洗浄等実証事業により測定された44サンプル（JESCOから提供）に基づく平均値を用いた。

表3 Cs吸着に対する各種アルカリ金属の影響度

影響度		Na/K	K/K	Rb/K
フェロシアン化銅	非汚染溶融飛灰	0.293	1.00	0.046
	実汚染飛灰平均	0.078	1.00	0.231
フェロシアン化鉄	非汚染溶融飛灰	0.070	1.00	3.6
	実汚染飛灰平均	0.019	1.00	18
モルデナイト	非汚染溶融飛灰	0.006	1.00	46
	実汚染飛灰平均	0.002	1.00	232

*JESCOから提供されたデータに基づき計算した。

なお、飛灰洗浄液からのCs吸着を考えると、放射性Csの濃縮が目的であるが、その濃縮は圧倒的多数の安定Csの挙動に支配されることになる。飛灰洗浄液において放射能濃度38,000 Bq/Lで、安定Csは数ppm～数10ppmであるので、Cs-137/Cs-133質量比は1/10,000～1/100,000となる（成果1-51）。放射性Cs濃縮は実質的に安定Csを濃縮することに他ならない。言い換えれば、Cs-137のみを濃縮できるわけではなく、質量で考えると、Cs-137と同じ挙動をするCs-133を濃縮していることになる。

吸着材の特性値として、飛灰洗浄等実証事業で使用した吸着材相当の吸着材を想定し、仮に $K_{Cs/K}=4,100$ と $CEC=2.6$ eq/kg、化学共沈法での測定値 $K_{Cs/K}=300,000$ と $CEC=4.6$ eq/kg（成果1-21）を用いて、初期溶液の放射能濃度は3.8万Bq/kg（飛灰では27万Bq/kg）、異なる飛灰洗浄液組成としてK/Csモル比を2,700から130,000とした場合の、吸着材放射能濃度を計算した（成果1-51）。その結果、Cs選択性が比較的小さい吸着材（飛灰洗浄等実証事業相当）の場合、溶液のK/Csモル濃度比の影響は、液固比が1,000を超えてから現れ始め、液固比10万において、1.4億～3.3億Bq/kgと約2倍の差となった。Cs選択性が比較的大きい吸着材（化学共沈によるフェロシアン化銅）の場合、溶液のK/Csモル濃度比の影響は、液固比が10,000を超えてから現れ始め、液固比100万において、4.6億～140億Bq/kgと約30倍の差となった。

（2. 2）吸着材の性能評価方法

Cs吸着の目的が減容化であるため、もしできることならば吸着材の吸着量を最大限に利用することが望ましい。最大吸着は少量の吸着材を多量の溶液に投入した場合であり、溶液のCs濃度変化はほとんどない。多段カラムで考えれば最上流のカラムに相当する。この条件における飽和吸着量を実験により求めようとすると、フェロシアン化物錯体のようにCs選択係数が10,000を超える場合には、前述のように必要な液固比が10万以上ともなり、実験が容易ではない。そこで、イオン交換理論を用い、同条件での吸着量を予測し、Cs吸着材の品質評価フローを提案した。

（2. 3）Csのカラム吸着の特性評価

飛灰洗浄等実証事業では、実際の飛灰洗浄液を用い、パイロットスケールの実験を行ったため、詳細な吸着材の吸着特性は評価されていない。本研究では、前述の同等の吸着材を用い、通液速度の影響を評価した。カラム吸着試験結果を初期Cs濃度に対する流出液中のCs濃度の相対濃度として整理した結果、1.9 cm/h（SV=2.8、1時間当たりカラム体積の2.8倍の溶液が通過）及び19 cm/hの比較的低流速の条件下では、初期の流出液においてCsがほとんど検出されず、吸着剤の能力が最大限発揮されていた。これに対し、190 cm/h以上の流速では、Csの通過が早まり、吸着能が低下し、Csが十分に吸着・除去されない傾向が観察された（成果1-58）。

飛灰洗浄等実証事業では、200 gの吸着材を340 mLのカラムに充填し、S/V=5の条件で通液したため、流速は十分に小さく、飽和吸着が維持されていたと考えられる。ただし、吸着材が有する飽和吸着までの能力の量の1/5程度を発揮するために2か月を要した。このことから、吸着材の性能を十分に発現させた最大濃縮を目指す場合には、カラム吸着法を採用するのは困難と考えられる（バランスシナリオのような濃縮度であれば問題ない）。本研究の範囲では、操業可能な時間的制約を設定し、吸着設備容量と到達可能なCs濃縮度の算定までには至らなかった。カラム設計の専門家の支援も得ながら、現実的な濃縮度の検討が今後は必要である。

（2. 4）最大濃縮の検討

Csの高濃縮を目指すとなると、カラム吸着法の吸着速度と通液すべき液固比を考えると膨大な時間を要することが分かった。一方、フェロシアン化金属塩を溶液中で合成する化学共沈法を用いると、より高いCs選択性が得られ、その吸着処理速度自体は高速であることが一般的に分かっている。本研究では、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律の登録物質であり、比較的高Cs選択性が高いことが分かっているフェロシアン化銅（CFC）を検討対象とした。対比として、前項まで述べてきた飛灰洗浄等実証事業においてその1事業者が使用した吸着材と同等のCFC造粒体も比較した。

化学共沈法によるCFCのCECは4.6 mmol/gとなり、市販品の2.7 mmol/gと比べて、1.7倍であった。吸着率と $K_{Cs/K}$ の関係を調べた結果、市販品では吸着率8%（液固比5,000）で2,186、化学共沈法では吸着率7%（液固比3,769）で340,000であった。市販品の $K_{Cs/K}$ は、濃度依存性は限定的で、1,500～4,000程度であった。一方、化学共沈法では吸着率40%までは $K_{Cs/K}$ は300,000を超えて極めて大きく、吸着率が40%を超えても40,000と市販品よりも大きい値を示した（成果1-21）。

上記の結果を踏まえて、Csを更に高濃縮するため、二段階にわたる化学共沈法に関して検討した。二段階化学共沈法の流れを図4に示す。一段目では、飛灰洗浄液の放射能濃度を排水基準である90 Bq/Lにすることを目的として、フェロシアン化カリウムを模擬飛灰洗浄液に溶解させ、塩化銅水溶液を添加して（排水基準を達成できるレベルに液固値を小さく、吸着材添加量を増やす）CFCを合成し、Csを共沈させる。フェロシアン化物はアルカリで分解する性質を有するため、一段目で合成したCFCを分解することで、その分解液はCFC中のK/Csになるため、飛灰洗浄液と比べて、飛灰洗浄液と比べ極めて低い K^+/Cs^+ モル濃度比の溶液が

得られる。この溶液で再びCFCと共沈させることで、一段回目より、高濃縮Cs吸着が可能と考えられる。

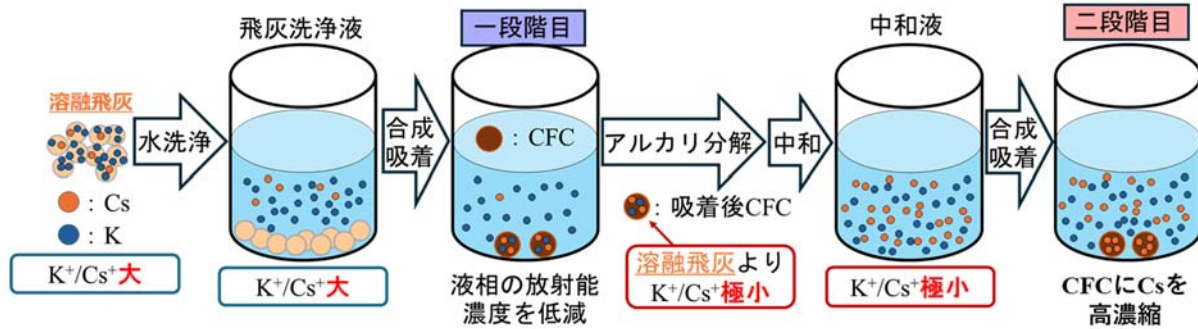


図4 二段階化学共沈法による最大濃縮の流れ

一段回目では、 $[K^+]_0 = 3.0$ 、 $K^+/Cs^+ = 1,000$ の模擬飛灰洗浄液500 mLにCFCの原料である $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ を合成量が液固比3,769~75,389になるように溶解した。液固比の設定は、イオン交換理論による予備計算の上で設定した。 $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ 溶液を等量でモル比 $Fe : Cu = 1 : 1$ になるように加えて合成し、200 rpmで1時間攪拌後ろ過し、ろ液中のCs濃度 $[Cs]$ をICP-MSで測定した。31万Bq/kgの溶融飛灰4.2万tを液固比7で水洗浄した飛灰洗浄液（44,286 Bq/L）を想定し、実験で得られた吸着量から、液相及び固相の放射能濃度を求めた。一段階目では、液固比3,769で放射能濃度が86 Bq/Lに低減し、排水基準90 Bq/Lをクリアした（成果1-52）。

第二段階では吸着率を高めて、更に濃縮することを目的とし、一段階で排水基準をクリアできた液固比3,769で合成したCFCを、アルカリ分解（pH13-NaOH）し、沈殿物をろ過し、溶液をさらにHClでpH7に調整したことを想定した模擬中和液（ $[K^+] = 44.6$ mM, $[Cs^+] = 4.0$ mM, $[Na^+] = 0.1$ M）を用いて、CFCの合成を試みた。液固比は、理論計算を行い188~1,885とし、一段階目と同様の操作を行った。第二段階では、液相の放射能濃度が飛灰洗浄液と同じになる液固比466で、第二段階での特徴を第一段階目と比較する。そのCs吸着率は6.6%から36%まで上昇し、固相の放射能濃度は82.4 MBq/kg（8,200万Bq/kg）から681 MBq/kg（6億8千万Bq/kg）と約8倍に達した。その結果、減容比は一段階目の更に1/8と大幅に増加した（成果1-52）。二段階目のフェロシアン化銅を再びアルカリ分解することで、その分解液の K^+/Cs^+ は更に1:3程度まで低下するため、モルデナイトやCSTのような吸着材でも高吸着率を得ることができ、安定化操作を含めても最大減容化の可能性はある。

（3）自然地層の放射性Cs吸着性能に関する検討

天然バリアに対するCs吸着パラメータについて、漏洩速度が極めて遅い場合には吸着平衡に達するのに十分な時間を要すると想定し平衡条件での評価（バッチ吸着試験）とし、漏洩速度が速い場合には平衡には至らないと想定して非平衡吸着（カラム吸着試験）として取り扱うこととし、通水速度、Cs吸着阻害物質による影響を明らかにするために、実土壌を用いたCs吸着試験を実施した（成果1-23）。バッチ試験でのCs吸着しやすさは分配係数 K_d 、カラム試験では見掛けの分配係数 K'_d で示され、以下の式(4)、(5)より算出した。

$$K_d = \frac{[X-Cs]}{[Cs^+]} \quad (3)$$

$$K'_d = \frac{1}{C_{in}} \cdot \frac{S_{tot}}{\rho_d V} \quad (4)$$

ここに、 $[X-Cs]$: 試料に吸着されたCs (mg/L)、 $[Cs^+]$: 溶液中のCs平衡濃度 (mg/L)、 C_{in} : 流入水のCs濃度 (mg/L)、 S_{tot} : 試料に吸着されたCs総量 (mg)、 ρ_d : 試料の乾燥密度 (g/cm³)、 V : 試料体積 (cm³)

バッチ吸着とカラム吸着試験より求めた分配係数等を表4に示す。掘削土にはCsを強く吸着する層状ケイ酸塩鉱物の白雲母が含まれているためか、 K_d 、 K'_d は共に掘削土が最大であった。また、掘削土は有機物含有量の指標である強熱減量が小さいため、Csの吸着挙動は鉱物主体であると考えられた。本実験では、粒径75 μm未満の割合や有機物量とCsの吸着量に相関性がなかった。Csの吸着は、土壌の性質よりも鉱物種に依存する結果となった。掘削土のカラム K'_d は、バッチ K_d よりも約1/16小さくなった。カラム試験のような非平衡吸着では、土壌と間隙水との接触時間が短いため、吸着に要する時定数の影響を受け、見掛けの分配係数が小さくなったと考えられる。また、Cs非平衡吸着量は土粒子密度（決定係数 $R^2 = 0.94$ ）や間隙率（決定係数 $R^2 =$

0.96)と強い正の相関があった。単位体積あたりの土壌量および液固比(単位体積当たりの固相と液相の比)が影響していると考えられる(成果1-40)。

表4 各土壌の平衡・非平衡吸着挙動

試料	バッチ K_d (mL/g)	カラム K'_d (mL/g)
校庭	61	8
森林	96	15
畑	68	8
水田	60	14
掘削	266	17

(4) Cs-137による水の放射線分解のため安定化体から発生する水素ガスに関する基礎評価

(4. 1) セメントペースト硬化体からの水素ガス発生

セメントペースト硬化体の構成結晶であるC-S-H, Ca(OH)_2 , エトリンガイト, モノサルフェートの各結晶についても, γ 線照射後の G_{H_2} について調べた。セメントペースト硬化体の γ 線照射による水素生成については, 我々以外でも試験されている(Ishikawa, et al., 2019)。その結果は, 自由水がある場合は自由水量に比例して水素ガスが発生し, その G_{H_2} は0.45まで達するが, 自由水を取り除いて結晶水のみが残っている状態にすると, (105℃で24 h加熱乾燥), G_{H_2} は0.03~0.07へと大きく下がるので, 結晶水は水素ガス発生にあまり寄与しないとするものであった。それに対し, 我々のセメント構成結晶での結果はその10倍大きく, 結晶水の分解も水素ガス生成に寄与するという結論に達した。

セメントペースト硬化体B種とジオポリマー, それらに溶融飛灰を混入させた場合の G_{H_2} を調べた。水セメント比 $W/C=0.6$ と0.22の105℃乾燥していない試料(neat)の室温での G_{H_2} を比較すると, $W/C=0.6$ の積算 G_{H_2} ははるかに大きかった。これは, セメントペースト硬化体内の自由水量は $W/C=0.6$ のほうが多いため, その差が現れたものと考えられる。照射・保持温度の上昇とともに G_{H_2} は上昇する傾向があり, 90℃では W/C 値に関係なく照射から28日目で積算 G_{H_2} は液体水のそれと同じ値の約0.45に達していた。いずれの乾燥試料も, 積算 G_{H_2} は照射後の日数の平方根に比例して増加していた。

(4. 2) 溶融飛灰混合硬化体ならびにポリマー含浸セメントペーストからの水素ガス発生

36.6 wt%の溶融飛灰が混入した場合の γ 線照射された高炉セメントペースト硬化体($W/C=0.65$)の積算 G_{H_2} の照射・保持温度依存性を図5に示す。105℃乾燥した場合は, その照射・保持温度の場合でも飛灰を含まない硬化体試料と比較して積算 G_{H_2} 値は大きくなり, 90℃照射・保管の場合は, 28日後に1.55と飛灰を含まないものの4倍弱にも上昇した。ここで重要なことは, 飛灰を単独で照射しても, 水素ガスはまったく発生しなかったことである。飛灰混入による積算 G_{H_2} の増加の原因としては次の2つがあげられる。一つは, 飛灰の混入によってセメント構成結晶の成長が阻害され, 細孔形成が発達せず, 試験体内部で発生した水素ガスが拡散しやすくなったため, 早く外に出やすくなったこと, もう一つは飛灰に吸収された γ 線エネルギーのセメントペースト硬化体結晶の水和水へのエネルギー移動効率が高くなったことが考えられる。

ポリマーをコンクリートに含浸させ, 物質浸透抵抗性を高めるポリマー含浸セメントペースト硬化体についても調べた。ポリマー含浸セメントペースト硬化体は, セメントペーストを硬化後に加熱真空引きにて自由水を取り除いた後, PMMAモノマーとAIBNラジカル重合開始剤を混ぜた溶液を含浸させた後に加熱により重合を開始してポリマー化したものである。Φ6 mm×50 mmのサンプルを用いた測定結果を図6に示す。90℃で保持したポリマー含浸セメントペースト硬化体(赤丸塗りつぶし)は他の試料より遥かに高い G_{H_2} を示すと共に, 照射から240日経過しても水素ガスの発生は止まらず, その積算 G_{H_2} 値は4.8と液体水のそれ(0.45)の10倍以上にまで達した。室温に比べて90℃保持で遥かに G_{H_2} が大きくなる理由は, PMMAのガラス転移温度を超えてポリマーの運動が室温と比べて動的となり G_{H_2} の増加(セメント硬化体細孔内の H_2 の拡散)に寄与しているものと考えられる。

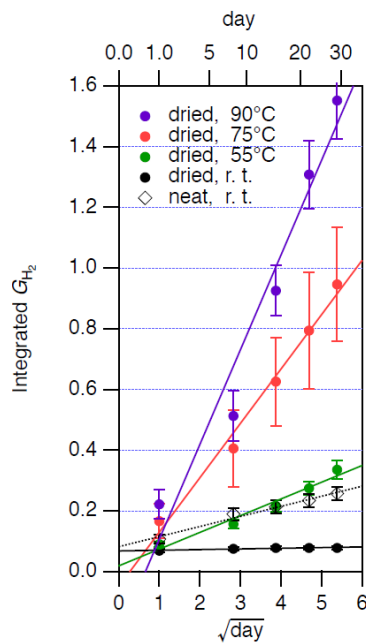


図5 飛灰を36.6 wt%混入した高炉セメントペースト硬化体B種(W/C = 0.65)の積算 G_{H_2} の γ 線照射後日数と保持温度依存性

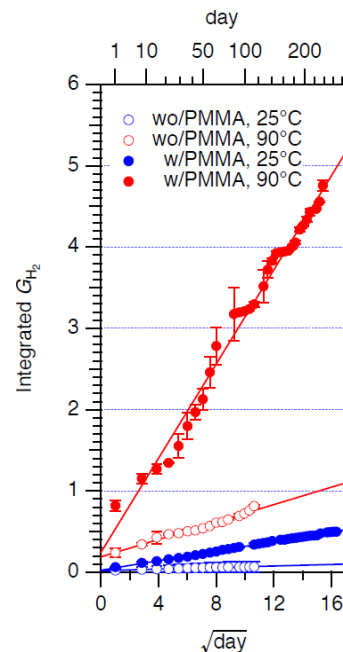


図6 ポリマー含浸高炉セメントペースト硬化体B種の G_{H_2} の照射後日数と保持温度依存性

1. 4. 2. 1. 2 サブテーマ2

1) 飛灰直接固型化体の溶出試験結果

有姿攪拌試験の結果を図7に示す。セメント固型化体は溶媒が蒸留水の場合、試験開始後7日で累積溶出率が90%を超え、試験終了時には99%が溶出した（成果1-63）。セメント固型化体では、海水溶媒でも同様に溶出率は高く、最終的に74%に達するが、蒸留水溶媒よりも溶出は抑制された。固型化体表面に析出物（カルサイト）が確認され、この析出物が溶出を抑制したものと判断された。ジオポリマー固型化体における累積Cs溶出率は、セメント固型化体に比して全体的に低く、早期に溶出の低減がみられ、時間経過に伴って速やかに累積Cs溶出率はほぼ一定になった（成果1-65）。常温で養生した固型化体でも最終的な累積溶出率は35%に留まり、養生温度を上げるほど最終的な溶出率は小さくなった。105°Cの固型化体で急激な溶出の増加が見られるが、これは固型化体が崩壊したためである。

なお実汚染灰を用いたセメント固型化体について実施した有姿攪拌試験でも放射性Csの溶出は早く、後述する拡散係数はほぼ同等であった。

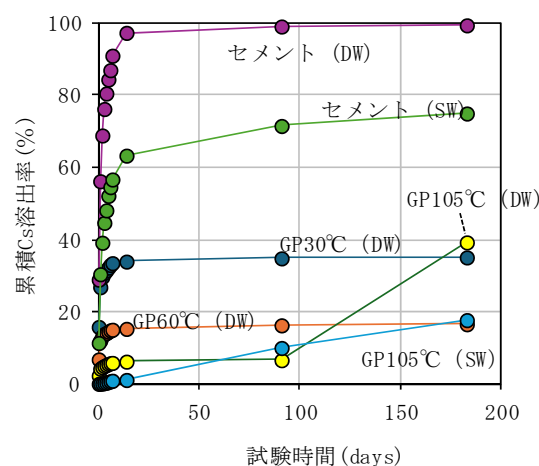


図7 飛灰直接固型化体の有姿攪拌試験の結果

2) フェロシアン化銅Cs吸着を介した固型化体の溶出試験結果

セメント固型化体の有姿攪拌試験の結果を図8に示す。各線は異なる溶媒の結果を示している。セメント固型化体では最初の10日間は、3種類の溶媒による溶出に大きな差は無いが、35日目以降は、各溶媒で溶出

挙動に差が生じた。蒸留水溶媒での累積Cs溶出率は緩やかな上昇傾向を示したのに対し、人工海水では、累積溶出率の増加速度は35日目以降で大幅に低下し、91日後の累積溶出率は39.3%となり蒸留水よりも低くなった。また、模擬飛灰溶出液では、溶出試験中に固型化体の表面に析出（カルサイト）が確認され、この析出により溶出が抑制されると想定されたが、蒸留水溶媒と類似の増加傾向を示した。セメント固型化体では析出が溶出を抑制したが、本固型化体で溶出の抑制が認められなかった理由は不明である。

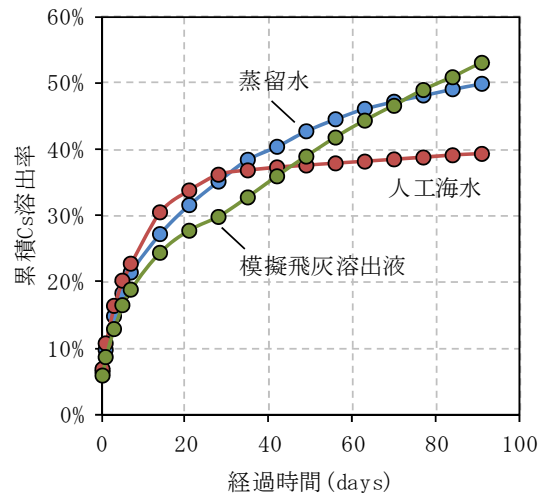


図8 フェロシアン化銅Cs吸着を介して作製したセメント固型化体の有姿攪拌試験結果

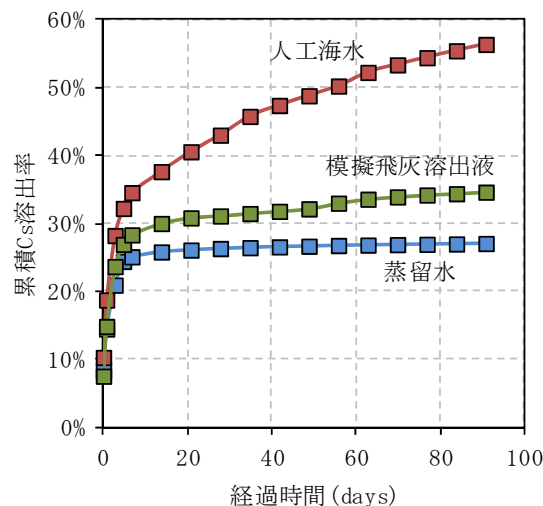


図9 フェロシアン化銅Cs吸着を介して作製したジオポリマー固型化体の有姿攪拌試験結果

ジオポリマー固型化体の有姿攪拌試験の結果を図9に示す。固型化体からのCs溶出は初期（14日迄）に急激に立ち上がり、その後緩やかになる点では3種の溶媒で概ね共通している。蒸留水溶媒では、ジオポリマーの有するイオン交換能により、他の溶媒よりも低い溶出率となっている。一方、人工海水では初期14日以降も緩やかな上昇があり、最終的には最も多くのCsが溶出した。海水を使用した理由は、海水中のNa、Kイオンが固型化体中のCsとイオン交換して溶出を促進すると考えたからであるが、想定していたことが起こったと思われる。模擬飛灰溶出液では、Naは人工海水よりも低いものの、Kは人工海水の10倍程度含まれることから、イオン交換によるCsの放出（KとCsの置換反応）を促すと思われたが、蒸留水と類似の溶出率の増加曲線（初期の急激な溶出以降は僅かな溶出）となった。セメント固型化体と同様に、模擬飛灰溶出液では固型化体表面に析出物が確認され、この表面の析出物が液中のイオンと固型化体内部のCsのイオン交換反応を阻害した可能性が考えられる。

3) ゼオライトCs吸着体を介した固型化体の溶出試験結果

溶媒交換を実施しない方法によって長期有姿攪拌試験（JIS K 0058-1）を実施した。ゼオライトCs吸着体は、初期にCs溶出量が増加し、1日目以降、再吸着が進むことが分かった。今回採用した長期有姿攪拌試験のように溶媒を交換しない試験方法では、Csが溶出するにつれて溶媒中のCs濃度が上昇しゼオライトがCsを

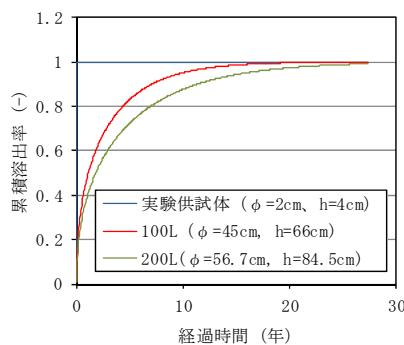
再吸着しやすい環境になるため、埋立時の溶出挙動を十分に評価できない可能性がある。焼結体は、時間経過に伴いCs溶出量が増加した。これは粒子表面の非晶質相が溶解しCs溶出量が増加したためと考えられる。セメント固型化体、ジオポリマー固型化体の溶出量は1週間程度で頭打ちとなり、以降は横ばいとなった（成果1-16）。

溶媒として、蒸留水（DW）、人工海水（SW）を使用し、さらに凍結融解（F-T）のサイクルを繰り返した固型化体の有姿攪拌試験を実施した（成果1-53、60）。本試験は溶媒交換無しのJIS K 0058-1の試験ではなく、ANSI/ANS-16.1に準拠して行った（溶媒交換有）。いずれの固型化体でも蒸留水溶媒では累積溶出率の勾配は初期が最も急で、次第に緩やかになり130日目ではほぼ溶出しなくなった。セメント固型化体とジオポリマー固型化体の累積溶出率の差は僅かで、セメント固型化体からのCs溶出が0.01%程度ジオポリマーを上回った。凍結融解に供した固型化体は、処理を施していない固型化体とほぼ変わらない経過をたどった。凍結融解処理は、間隙水の膨張と収縮により物理的な破壊が進行すると想定したが、固型化体内の間隙水はCaやNaが高濃度であるため凝固点降下が起こり凍結しなかった可能性が考えられる。海水溶媒は蒸留水と大きく異なる結果となった。海水に浸漬することで、Na、Mg、Ca、Kを多量に含む海水が固型化体内部の空隙に浸透し、空隙内部が高塩濃度溶媒で満たされる。これらの陽イオンとゼオライトに吸着したCsとの間でイオン交換が生じ、Csの溶出が促進されたものと思われる。さらに、ジオポリマー固型化体での溶出率がセメント固型化体を上回った。ジオポリマー固型化体内では、ゼオライトと間隙水の間でのイオン交換、ジオポリマーと間隙水のイオン交換の2つの反応がCsの溶出に関与する。海水中の陽イオンは両方のイオン交換に影響したものと思われる。

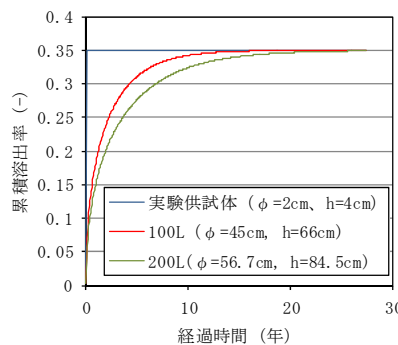
4) 有姿攪拌溶出試験結果に基づく拡散係数の決定と長期溶出予測

各固型化体の有姿攪拌溶出試験における累積Cs溶出率と時間の平方根の関係から決定した拡散係数は、最も溶出の早かった飛灰の直接セメント固型化体で $2.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{day}$ であり、最も溶出の少なかったゼオライトCs吸着体のジオポリマー固型化体で $3.5 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{day}$ で約7桁の差があった。

円柱体における拡散方程式から得た解析解を用いて、固型化体のサイズの影響を計算した結果を図10に示す。図は飛灰の直接固型化体に関する計算結果である。実験供試体の寸法は直径2 cm、高さ4 cmと小さいため、溶出は縦軸に重なるほど早い。セメント固型化体では100Lにすると全溶出まで約20年、200Lとすることで約30年となった。一方、図11は本研究で取り扱った各固型化体からのCsの溶出を100年間計算した結果である（寸法は200Lとした）。フェロシアン化銅Cs吸着体を介した固型化体では100年で約半分程度のCsが溶出する。フェロシアン化銅の固型化体は放射能が極めて高くなるため、処分場の構造は極めて厳重なものとする必要がある。一方で、ゼオライトCs吸着体の各固型化体は拡散係数が極めて小さいため、100年後もほとんど溶出は起こらない。

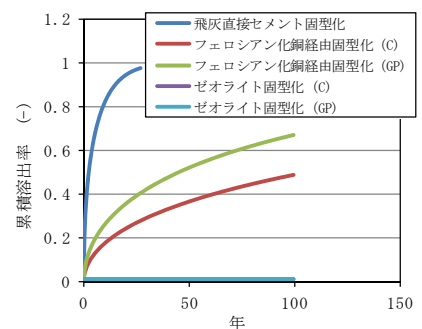


(a)セメント固型化体



(b)ジオポリマー固型化体

図10 Cs溶出予測に寸法の影響（飛灰直接固型化体）



C:セメント、GP:ジオポリマー各固型化体
図11 200Lの大きさの固型化体からのCsの溶出率

5) 安定化体の溶出試験法の提案とCs溶出の長期予測法

本サブテーマでは、安定化体の溶出試験法と長期溶出予測を提案することを一つの目標として設定していた。そのため、以下に本検討から得られた知見を元に試験法と溶出予測手法を提案する。

① 溶出試験法

- ・ 溶出試験は、有姿のシリアルバッチ試験（例えば、ANSI/ANS16.1（米国原子力学会の固化体溶出特性評価法）など）が望ましい。
- ・ 固型化体の場合は円柱が良い。寸法は、直径2 cm、高さ4 cm程度で十分である。供試体が均一に作製できるのであれば、小さな固型化体の方が少量の放射性物質を取り扱う試験となるため望ましい。供試体のサイズが小さければ（表面積÷体積、つまり表面積体積比が大きければ）、早期に物質が枯渇する条件となるため試験期間を短くすることができるが、固型化を構成する粒径を考慮して慎重に決

定する必要がある。

- ・ 溶媒は蒸留水で良い。過酷環境（塩濃度、凍結融解、温度）等は若干の影響があるが、累積溶出率の桁を変えるようなものではないため、特に考慮する必要はないと思われる（本研究で実施した供試体の範囲に限る）。逆に、供試体表面での析出等により溶出が抑制される可能性がある。
- ・ 溶媒交換を行うシリアルバッチ溶出試験が望ましい。これは、再吸着等を回避するためと、新鮮な楊梅を用いることで溶媒と固化化体内部の濃度勾配を高く維持するためであり、より安全側の（保守的な）試験結果を得ることができる。
- ・ 攪拌を行うことで溶出を加速できるため行うべきであると思われるが、必ずしも必要ない。
- ・ 試験期間は、初期の溶出が最も速いため20日程度で構わない。初期溶出挙動から得られる溶出拡散係数を決定し、長期的挙動を計算することで安全側の評価が可能となる。

② 溶出試験の整理

- ・ 累積溶出率を経過時間の平方根に対してプロットし、直線関係にあることを確認する（拡散律速となっていることを確認する）。
- ・ 経過時間の小さい初期時の直線関係にあるデータから傾きを得て、溶出拡散係数を決定する。
- ・ 累積溶出率の傾きは、初期が最大であり次第に増加率が小さくなるので、初期のデータを採用することは安全側となる。

③ 長期挙動予測

- ・ 実寸法に応じて拡散係数を元に長期溶出予測を行う。ただし、本手法によって得る拡散係数は試験初期に最大となるため、それを利用する長期的な予測は、最大の拡散係数が長期的に支配するという最も安全側の予測となる。これは、不確実性の大きな将来予測を比較的短期の試験結果から予測しようとするものであり、そのため、やや過大な保守性が必要と考えているためである。
- ・ また、放射能レベルが異なっても本試験結果を使用できるように、濃度勾配に依存しない溶出フラックスとして整理してもよい。

1. 4. 2. 1. 3 サブテーマ3

（1）既設の処分施設の構造と安全評価（成果1-8）

遮断型最終処分場は有害物質を含む廃棄物を公共の水域及び地下水と完全に遮断するための外周仕切設備を設け、同等の覆いで閉鎖される処分施設である。限定された施設から排出される特定有害産業廃棄物のうち、処理を実施しても規定の26の有害物質に関する判定基準を超過するもの、及び通常の産業廃棄物のうち「金属等を含む産業廃棄物に係る基準」を満たさない「有害な産業廃棄物」が遮断型最終処分場での埋立処分対象となる。

1977年に総理府と厚生省から共同で示された「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の処分場に係る技術の基準を定める命令（以下、共同命令）」において、鉄筋コンクリート構造などによる外周仕切設備等について要点や設計例が示されている。仕切設備等に用いられる鉄筋コンクリートの経年的な劣化に起因する水の浸入や有害物質の漏出を防止することは可能であっても、地震等による突発的な損傷への対応やフェールセーフ機能の確保については課題を有するといえる。ただし、共同命令改正以降、遮断型処分場は整備されていない。

一方、放射性廃棄物は、第一種廃棄物埋設の対象となる高レベル放射性廃棄物（HLW）と第二種廃棄物埋設の対象となる低レベル放射性廃棄物（以下、LLW）に区分されており、放射能レベルに応じて「放射能レベルの比較的高い廃棄物」（L1）、「放射能レベルの比較的低い廃棄物」（L2）及び「放射能レベルの極めて低い廃棄物」（L3）の3つに区分されている。L2に分類されるピット処分は、放射能が減衰して影響が有意なレベルを下回るまでの期間において、放射性物質の「漏出防止機能」、「遮蔽機能」、及び「移動抑制機能」を担保する人工バリアと、周辺の土壌や地盤（天然バリア）が持つ「移動抑制機能」によって安全性を確保する処分方式である。「移動抑制機能」は、「低透水性」による埋設設備に流入する地下水量の抑制、「収着性」による放射性物質の移行遅延、「低透水性及び収着性の組合せ」による廃棄物埋設地外への放射性物質の移動抑制の観点から設計、評価を行い、安全性を確保する。なお、廃棄体の固化化等による溶出性及び拡散性の低下も移動抑制に貢献する可能性が考えられるが、現在の評価においては見込まれていない。

基本的な考え方として、対象廃棄物は「遮蔽」、「漏出防止」及び「移動抑制」に係る設計やその安全評価においてピット処分と同様の考え方を適用すべき廃棄物である。また、遮断型最終処分場の現行設計でも「漏出防止」及び「遮蔽」機能は確保できると考えられる。「移動抑制」については、対象廃棄物が放射能濃度・核種の観点からL2に比べて相対的に放射能レベルが低い廃棄物であり、放射性Cs濃度を管理することで放射線リスクの管理が可能となることが大きな相違点である。よって、基本的にはピット処分施設（六ヶ所サイト）を参考として、低透水性と収着性を機能させることで安全性を確保することが妥当である。特に、L2と比較して半減期の短いCsが主要な核種であることから、平常時・事故時を含めて人工・天然バリアの収着力を最大限利用し、安全な放射能レベルに減衰するまで生活環境への移動を遅延させることが合理的な処分シ

システムの検討に重要な観点と考えられる。

一方で、慎重な安全評価を実施しつつも、国際放射線防護委員会（以下、ICRP）の勧告に従い、経済的及び社会的要因に与える影響の違いを考慮して、過度に保守的であることなく計画する必要がある。ICRPは作製中の浅地中処分を対象とした勧告であるTask Group 97報告書案で、「未来の人々の尊厳を尊重することに努める一方、受益／非受益の観点から、彼らの利益を損なってはならない。そのためには、将来世代に与える影響を考慮し、現在世代とのバランスをとることが必要であり、浅地中処分においては、過度に保守的であることなく、将来世代を保護するような慎重な行動方針と決定が必要である。」としている。特に、対象廃棄物の放射能レベルの低さについて、同報告書案で「低レベル及び極低レベル放射性廃棄物の処分採用される基本戦略は、短寿命放射性核種がもはや有意な被ばくを生じないレベルまで崩壊するまで廃棄物を封じ込め、隔離することであり、処分施設の封じ込め・隔離能力が低下する可能性がある長期においても、線量とリスクが確実に制限されるように、長寿命放射性核種の放射能含有量を制限することである。加えて、非放射性汚染物質から起こりうる影響からの防護も考慮する必要がある。」としている。対象廃棄物の安全評価にあたっては、短寿命放射性核種の濃度が十分に低いことと合わせて、長寿命放射性核種等の放射能含有量の制限が、重要と考えられる。対象廃棄物はL2と比較して、必要となる漏出防止機能（L3は漏出低減機能）が低いレベルで安全性を満足すると想定され、重金属等の非放射性環境影響物質が一定量以上含まれることが予測される場合においては、より一層の配慮が重要になる。

さらに、最終処分場の場所を決定する際には、放射線影響はもとより環境側面や輸送の安全性といった非放射線学的な側面も考慮し、最適化を総合的に検討する必要がある。施設の建設に要する資材の生産に伴う資源やエネルギー消費、建設副産物の発生、建設資材の生産や建設発生土などの輸送ならびに放射性廃棄物の輸送によるCO₂の排出など環境影響が多岐にわたるものと考えられる。発生場所から廃棄物埋設施設までの輸送システムや輸送距離に応じて相当の影響を受けることが想定され、交通への影響なども含めた社会的要因を考慮することが必要である。

（２）バリア材料の基礎物性データの取得とセシウム浸透に関する室内試験

１）コンクリートの基礎物性試験

ゼオライトセメント固化体に対するCsの分配係数(K_d)を図12に示す。予備試験においてCs収着能が高いことを確認できたので、当初液固比100:1で実施予定だったところを500:1についても追加で収着試験を実施した。「収着試験後の収着物質の濃度(C)/初期(ブランク)の収着物質の濃度(C₀)」は、収着試験における収着物質初期濃度や固液比等の条件設定及び試験結果の妥当性を判断する指標であり、C/C₀が0や1に偏ると正確な分配係数が得られないことがある。今回の試験では、C/C₀が0.01から0.02の低い値であったことから、信頼性の高いK_dを得るためには液固比及び収着物質の初期濃度を十分に検討する必要があった。

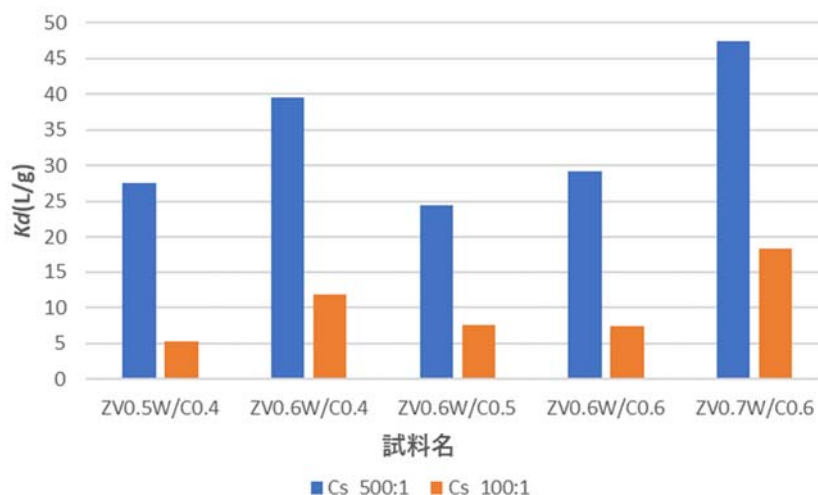


図 12 ゼオライトセメント固化体における分配係数
(ZVはゼオライトの配合率 (0.5は50%を示す)、W/Cは水セメント比)

２）ベントナイト系材料の基礎物性試験

Na型ベントナイトとCa型ベントナイトに対して、各種溶液に対するCs平衡濃度 (mg/L) とCs吸着量 (mg/kg) の関係を示した吸着等温線を実験的に調べ、Henry型吸着等温線でフィッティングすることによって得られる分配係数 K_d (L/kg) を求めた (成果1-41)。Ca²⁺、K⁺イオンが存在しない場合の分配係数 $K_{d,0-0}$ はNa

型ベントナイトが 2.05×10^2 L/kg、Ca型ベントナイトが 2.31×10^2 L/kgと大きな相違はみられなかった。Na型ベントナイト、Ca型ベントナイトともに供与液の Ca^{2+} 、 K^+ イオン濃度の上昇に伴い、Cs吸着性能は低下し、0.50 mol-Ca/L + 1.0 mol-K/L溶液においては、蒸留水と比較して70%程度 K_d が低下した。これは Ca^{2+} 、 K^+ イオンがCsの吸着と競合し、Csの吸着が阻害されるためである。Na型ベントナイトとCa型ベントナイトの分配係数はいずれの溶液に対しても概ね同様の値を示し、 Ca^{2+} および K^+ イオンがCs吸着特性に及ぼす影響に大きな相違はみられなかった。

本実験では、2水準の異なる濃度で Ca^{2+} 、 K^+ イオンが存在する場合のCsに対する分配係数を同定した。しかし、実際の浸出水の Ca^{2+} イオンや K^+ イオン濃度を事前に把握することは難しいため、任意の濃度でこれらのイオンが存在する場合の分配係数を予測できることが望ましい。ここでは、イオン交換理論をNa型ベントナイトのCs吸着試験結果に適用する。本研究で用いた理論の詳細は山田ら（成果1-2）によるCs濃縮するための吸着材を対象とした理論に基づいており、詳細についてはそちらを参照されたい。イオン交換理論では、選択係数 $K_{\text{Cs/A}}$ を把握することが重要であるため、Cs + Ca、Cs + Kの2成分系でのバッチ吸着試験を実施した。バッチ吸着試験の供与液としてはCa：0.25 mol/L、0.5 mol/L、K：0.5 mol/L、1.0 mol/L溶液に所定の初期濃度でCs(CsCl)を溶解させたものを用いた。Cs初期濃度は10 mg/L、100 mg/L、500 mg/L、1000 mg/Lに設定した。その結果、選択係数は平均的に200付近で推移していることが確認された（成果1-70）。今回の実験のようにCs初期濃度が高濃度の範囲にあるとき、選択係数が一定の値付近で推移することは、ゼオライト等の吸着材を対象とした検討結果（成果1-2、28）でも確認されており、ベントナイトを用いた今回の実験においても同様な結果が得られた。これら一連の実験結果を下に、3成分系吸着等温線の予測結果と実験値を比較した結果、イオン交換理論から予測した分配係数は実験で得られた値と近い値となった。このことは、個々のイオンに対するCs選択係数が分かれば、複数種のイオンが共存する場合においてもイオン交換理論を用いることで、およそその分配係数を予測できることを示している。

カラム試験で得られた各条件におけるベントナイト混合土の有効粘土密度と透水係数の関係について評価した。事前水和なしのケースでは、透水試験装置に供試体をセットした後に蒸留水による通水を行わず、高濃度塩水による通水を開始している。ベントナイト混合率の増加に伴い透水係数は低下する結果となった。透水係数の低下度合いはNa型ベントナイトを使用ケースの方がCa型よりも2倍ほど大きく、Na型ベントナイトを20%混合した場合、高濃度塩水に対しても透水係数は 10^{-11} m/sオーダーまで低下した。Na型ベントナイトとCa型ベントナイトで蒸留水を通水した時の透水係数を比較すると、Na型ベントナイトを使用した方が透水係数が低く、遮水性能が高いことが分かった。高濃度塩水を通水した時の透水係数は蒸留水を通水した時の透水係数より増加する結果となり、高濃度の陽イオンがベントナイトの透水係数を上昇させることが分かった。透水係数の上昇度合いは、Na型で約6倍の上昇、Ca型で約2倍の上昇となり、Na型ベントナイトの方がCa型ベントナイトより透水係数の上昇幅が大きくなった。この結果は膨潤試験の結果と整合している。

高濃度塩水が浸透した場合のベントナイト混合土の有効間隙率、実効拡散係数、Cs分配係数等の物質移行パラメータを図13の通りカラム試験の結果から同定した。これらの物性値は、遮断型処分場やプット処分施設相当の最終処分施設構造の封じ込め性能の考察と安全性評価において有用と考えられる。

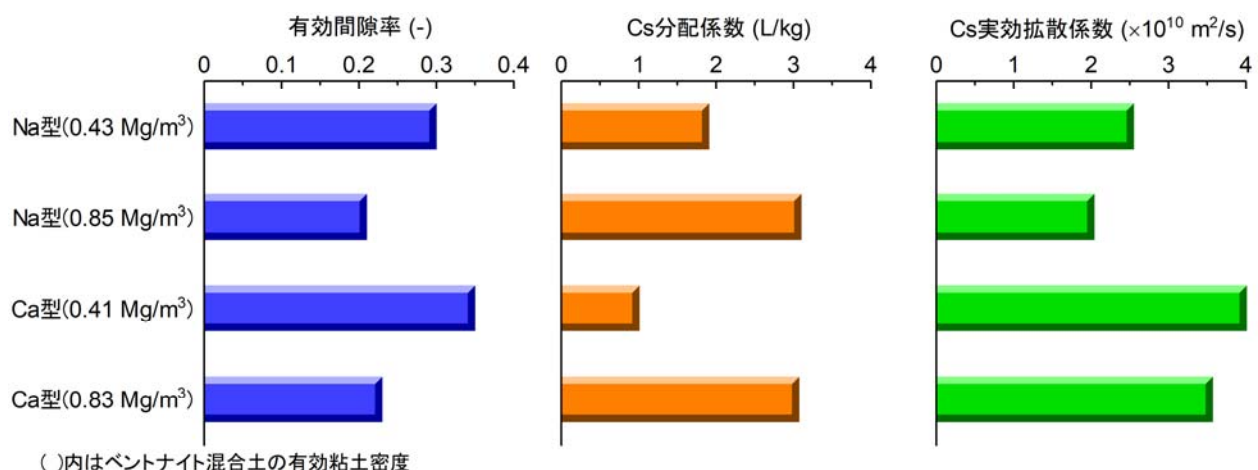


図13 高濃度陽イオンが共存する環境下におけるベントナイト混合土中のCs移行パラメータ

3) セシウムの浸透試験

安定化体を最終処分する施設について、鉄筋コンクリート構造の遮断型処分場のCsの封じ込め性能について検討した。処分対象とする廃棄物にはCs以外に、処分対象物由来の塩類が、熱処理により高濃縮され、溶出しやすい状態で含まれている。処分施設に仮設灰処理施設からの熱処理飛灰がセメント固型化され処分さ

れる可能性は十分にあり、これらの処分対象物から高濃度塩水が発生する可能性は否定できない。数十年～数百年の管理期間中に廃棄物から塩類が溶出することとなれば、塩害やコンクリート自体の化学的劣化が生じる恐れがあることを考えておく必要がある。

コンクリートの CaCl_2 による劣化は、コンクリートを構成するセメントペーストと CaCl_2 との反応によると考えられるため、検討は普通ポルトランドセメント（OPC）及びより耐久性が高いと考えられる高炉スラグ微粉末を50%添加した高炉セメント（B50）によりセメントペーストを作製して行った。試験体寸法は $40 \times 40 \times 80$ mmで、 40×40 mmの一面を暴露面とし、その他の面をエポキシ樹脂塗装した。浸漬溶液は、 CsCl は 0.1 mol/L で共通とし、 CaCl_2 を0、10、20、30 wt%の4水準とした。比較のため、 KCl を20 wt%でも検討した。

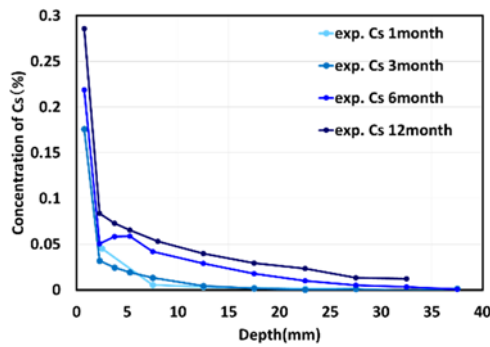
以下に劣化状況をまとめる。

- ・ 浸漬3か月、OPC： CaCl_2 濃度0、10、20%では、変質なし。濃度30%では縁の部分でひび割れ。
- ・ 浸漬3か月、B50：B50では目立った変質なし。
- ・ 浸漬6か月、OPC： CaCl_2 濃度10%では、浸透面全体に一樣に結晶が析出。濃度20%では微細なひび割れが見られ、それに沿うように結晶が析出。濃度30%では劣化進行、縁の部分に層状にひび割れ。
- ・ 浸漬6か月、B50： CaCl_2 濃度10%、20%では、微細なひび割れと共にそれに沿う結晶が析出。濃度30%では一部ひび割れが確認。劣化の程度OPCよりも小。
- ・ 浸漬12か月、OPC： CaCl_2 濃度10%、20%では結晶の析出量が増加。特に20%では浸透面の全面で結晶析出。濃度30%においては劣化が進行し層状のひび割れや浮きによって供試体が破壊。これは CaCl_2 の作用により複塩が生成し、その膨張圧によって供試体側面に塗布していたエポキシ樹脂が壊れ、浸透面以外からも浸漬溶液が作用することで劣化が加速した。浮きや剥離が生じることで CaCl_2 溶液が内部へより作用しやすくなり、劣化の進行が加速すると考えられる。
- ・ 浸漬12か月、B50：OPCと比較すると劣化が抑制。濃度30%では、ひび割れが浸透面中心まで到達。

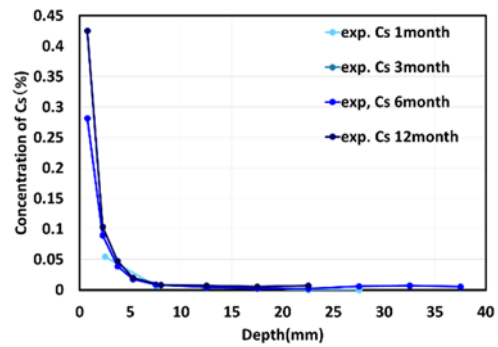
次に、 Cs の浸透状況を図14に示す。いずれも材齢の進行とともに、 Cs は深部へと浸透した。ただし、その進行度合いは、セメント種類と CaCl_2 濃度により大きく変化した。

- ・ OPC 共存塩0%では、材齢の進行とともに、深部へ浸透するだけでなく、表面濃度も増加した。これは Ca 溶脱により、アルカリ金属すべての吸着量が増加した可能性がある。
- ・ CaCl_2 の存在により、 Cs の浸透プロファイルは単純な拡散プロファイルから複雑化した。
 - 最大深度は12か月で比較するとおよそ40 mmであり、 CaCl_2 の影響は小さかった。ただし、浸透先端に至るまでの濃度が大きく増加し、その状況が濃度により変化した。
 - 濃度10%では、材齢1～6か月では拡散プロファイルのような単調減少を示したが、材齢12か月では表層5 mmにおいて極小値を示した。
 - 濃度20%では、極小の位置が3 mmでその材齢が3～6か月となり、12か月では単調減少となった。
 - 濃度30%では、すべての材齢で（12か月は測定できていない）、表層から内部に増加傾向を示し、極大値が材齢とともに奥に移動した。
- ・ B50 共存塩0%では、OPCよりも表面濃度が高くなったが、OPCでは12か月で40 mm浸透したのに対し、材齢が経過しても浸透深さは変わらず、10 mm程度と小さかった。
- ・ CaCl_2 が存在しても、浸透深さは15 mm程度と大きくは増加しなかったのはOPCと同様である。
- ・ OPCで見られたように、B50でも、 CaCl_2 が存在すると、表層付近に極小値が見られた。10%では12か月のみ、20%では3～6か月、30%では極小値はなく3～6か月で極大値のみが認められた。
- ・ OPCとB50で共通することとして、 CaCl_2 の存在により、 Cs の浸透先端に至るまでの経路で Cs 濃度が著しく増加したが、これは、組織が劣化することで、何らかの Cs 吸着機構が発生しているものと推定される。
- ・ さらに、OPCとB50で共通するが、 CaCl_2 が存在すると表面濃度は抑制される。 CsCl 単独では、溶液に Ca 溶出することで、 Cs を含むアルカリ金属がセメントペーストに Ca に変わって吸着されるが、 CaCl_2 が存在すると、 Ca 溶脱が抑制されることがその原因と推定できる。

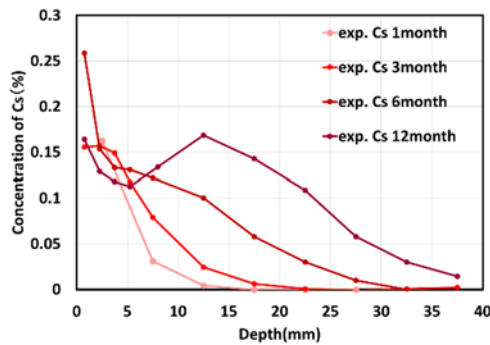
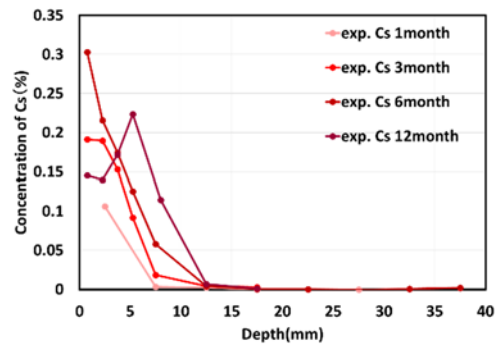
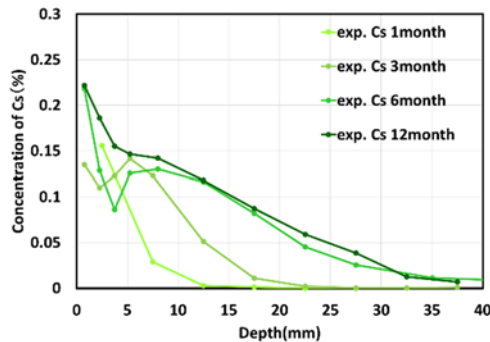
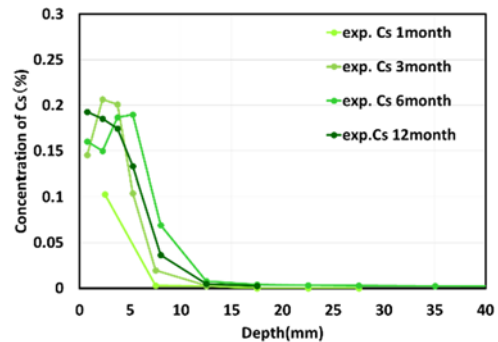
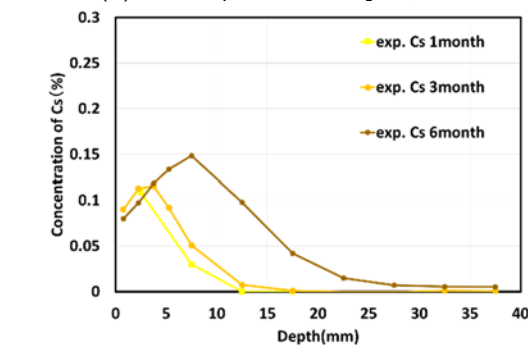
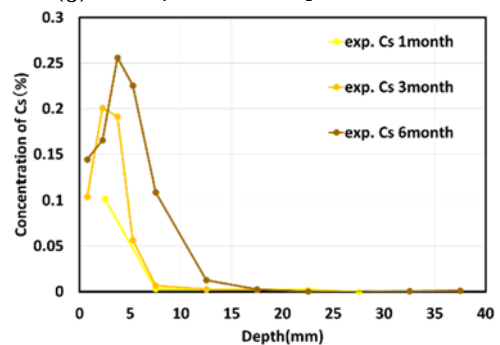
Cs の浸透は拡散による移動が支配的であると考えられているが、以上の結果から、 Cs の表面での吸着や、共存塩類による劣化や変質によってセメント硬化体内部の Cs の濃度分布は影響を受けていることが分かる。B50では、表面 Cs 吸着量がOPCよりも大きくなり、 CaCl_2 が存在しても内部の浸透に関しても浸透深さが大きくなり、 Cs の移動を停滞させる。以上の結果より Cs の浸透抵抗性はB50の方が高い可能性が示唆された。



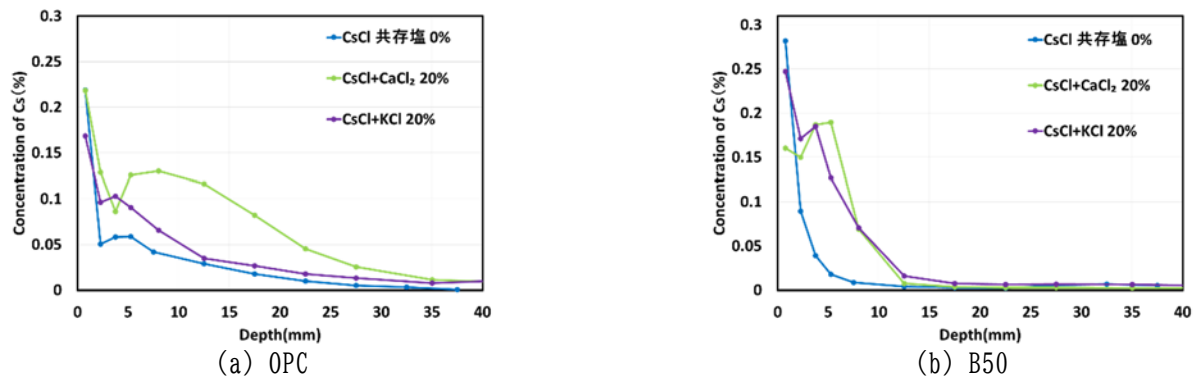
(a) OPC、共存塩 0%



(e) B50、共存塩 0%

(b) OPC、CsCl+CaCl₂ 10%(f) B50、CsCl+CaCl₂ 10%(c) OPC、CsCl+CaCl₂ 20%(g) B50、CsCl+CaCl₂ 20%(d) OPC、CsCl+CaCl₂ 30%(h) B50、CsCl+CaCl₂ 30%図14 異なるCaCl₂含有量の溶液からOPCとB50へのCs浸透プロファイルの材齢依存性

CaCl₂に加え、KClのCs浸透に及ぼす影響を図15に示す。評価材齢は6か月である。OPCとB50、いずれもCsの浸透深さという点では、共存塩が大きな影響を与えなかったが、そこに至るCsプロファイルは大きく異なった。いずれのセメントでも、共存塩により、表面から深部への浸透途中のCs濃度は増加した。OPCでは、CaCl₂の効果が顕著に大きかったが、B50では同等であった。KClは、Cs浸透に影響しないという考えもあったが、本結果によると、CaCl₂に合わせて、熱処理飛灰に多く含まれるKがCs浸透に影響を及ぼす可能性が示された。長期的Cs浸透を考えると、OPCに比較し、高炉スラグを50%添加したB50が浸透抵抗性は大きい、時間の経過とともに組織の劣化が進行することで、Csの浸透も大きくなるものと考えられ、さらに現実の熱処理飛灰の化学組成を考えると、Kが複合的にCs浸透を大きくする可能性がある。

図15 Cs浸透プロファイルに及ぼすCaCl₂とKClの影響(材齢6か月)

参考文献

環境放射能除染学会（一般社団法人環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会）

（2021）：県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会活動報告書Ver.2, p. 42

Ishikawa, S, Maruyama, I, Takizawa, M, et al.(2019): Hydrogen Production and the Stability of Hardened Cement Paste under Gamma Irradiation. J Adv Concr Technol., 17(12), 673-685

1. 4. 2. 2 テーマ2 地域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究

（2. 1）サブテーマ1 研究結果

（2. 1. 1）住民参加型事業の社会実装プロセスをパターンランゲージで解析（成果2-1、2-3、2-5、2-125、2-126）

サブテーマ1では、人口減少や気候変動に直面する地域社会において、政策と地域実践を橋渡しする地域づくり手法を明らかにするため、理論と実践を統合する構成論的アプローチを採用した。まず、全国の先進事例を収集し、多主体協働による展開過程を分析、そこからパターンランゲージの枠組みに沿って、地域独自の知見や課題解決の工夫を抽出した。これにより、現場の暗黙知を他地域へ応用可能な形式知へ汎化し、地域政策形成の共通基盤とすることを目指した。分析では、「生成的デザイン（generative design）」の概念を重視し、地域文脈に即した柔軟なデザインの実現に注目した。また、タクティカル・アーバンイズムやトランジションマネジメント、ブライアン・イーノの「持続的な始まりを育てる」設計観も理論的枠組みとして導入し、試行錯誤を繰り返す地域デザインの動態を捉えた。さらに、多様な主体の協働プロセスを支援する実践的フレームワークとして「共創デザインプラットフォーム」を活用。単なるツール提供にとどまらず、持続的関与を促すデザイン原則を内包し、将来的な脱炭素・地方創生・復興政策への応用も見据えている。これにより、先進事例知見の形式知化と理論実践接続を図り、持続可能な地域づくりの政策・実践デザイン体系の構築を目指した。

（2. 1. 2）研究方法

1) パターン・ランゲージの概念と展開

パターン・ランゲージとは、1970年代にクリストファー・アレグザンダーらが提唱した、住民参加型の空間設計支援手法である。繰り返し現れる課題に対して、実践知を「状況（Context）」「問題（Problem）」「力学（Forces）」「解決方法（Solution）」「結果状況（Resulting Context）」の5要素で構成・記述する。パターン同士は言語のように接続され、複雑な課題群への対応が可能となる。近年では、ソフトウェア設計や社会実践、知識伝達手法にも応用が広がり、暗黙知を形式知化する「知識言語」としての側面が強調されている。本研究ではこの進展を踏まえ、地域づくりの知見を共有可能な形式で記述し、他地域への適用可能性を探った。

2) 共創デザインプラットフォームの構築と適用プロセス

現代の地域づくりは文脈依存性が高く、単純な横展開は困難である。先進事例の知見をパターン化し、中間貯蔵施設周辺地域に応じて柔軟に再構成することを目指した。そのために、科研費（基盤C, 21K12358）で構築した「共創デザインプラットフォーム」を活用し、以下3ステップで展開した。

a) 環境・まちづくり先進都市の調査

国内外における先進的な地域づくりの事例を対象に選定し、文献・資料調査を通じて経緯や関係者の構成、プロジェクトの背景を把握する。その後、関係するステークホルダーへのインタビューを実施し、現場の視点を踏まえた一次資料を作成する。

b) パターン・ランゲージによる生成プロセスの記述

得られた一次資料を分析し、行政・市民・専門家など多様な立場からの視点を整理した上で、空間整備・インフラ整備に関する知見のみならず、政策形成やコミュニケーションの枠組みなども含めた包括的なパターンを記述する。

c) 地域展開に向けたデザイン・ワークショップ

記述されたパターンを、新たに地域づくりに取り組む地域の特性や課題に応じて再構成し、持続可能な地域社会への移行プロセスを試行的に設計するためのワークショップを開発・実施する。この実践を通じて、パターン・ランゲージに基づくデザイン支援の有効性とその限界を検討する。

以上のように、本研究は、地域に内在する多様な知見や経験をパターン化し、それを媒介とした共創型のプラットフォームを通じて、持続可能な地域づくりの実践的支援を目指す。

(2. 1. 3) 先行地区調査結果（飯舘村事例）（成果2-1、2-3、2-5、2-126）

飯舘村は福島第一原発事故後、全村避難を経験しながらも地域維持活動を継続してきた。2017年には「特定復興再生拠点区域」制度により一部帰還を目指した整備が進み、地元の意向を反映した拠点再構成が認められた。パターン抽出にあたっては、ヒアリング議事録から課題解決言及を抽出、既存パターンと新要素を整理し、最終的に14のパターンを作成した（図16、表5参照）。

特徴として、①間接的支援（コミュニティ形成、対話促進）を重視するパターンが多い、②階層的な課題解決構造が明らかになった、③地域特性への適応重視が浮き彫りになったことが挙げられる。これにより、地域づくりの価値創出は「関係者の相互作用プロセス」にあることが示唆された。

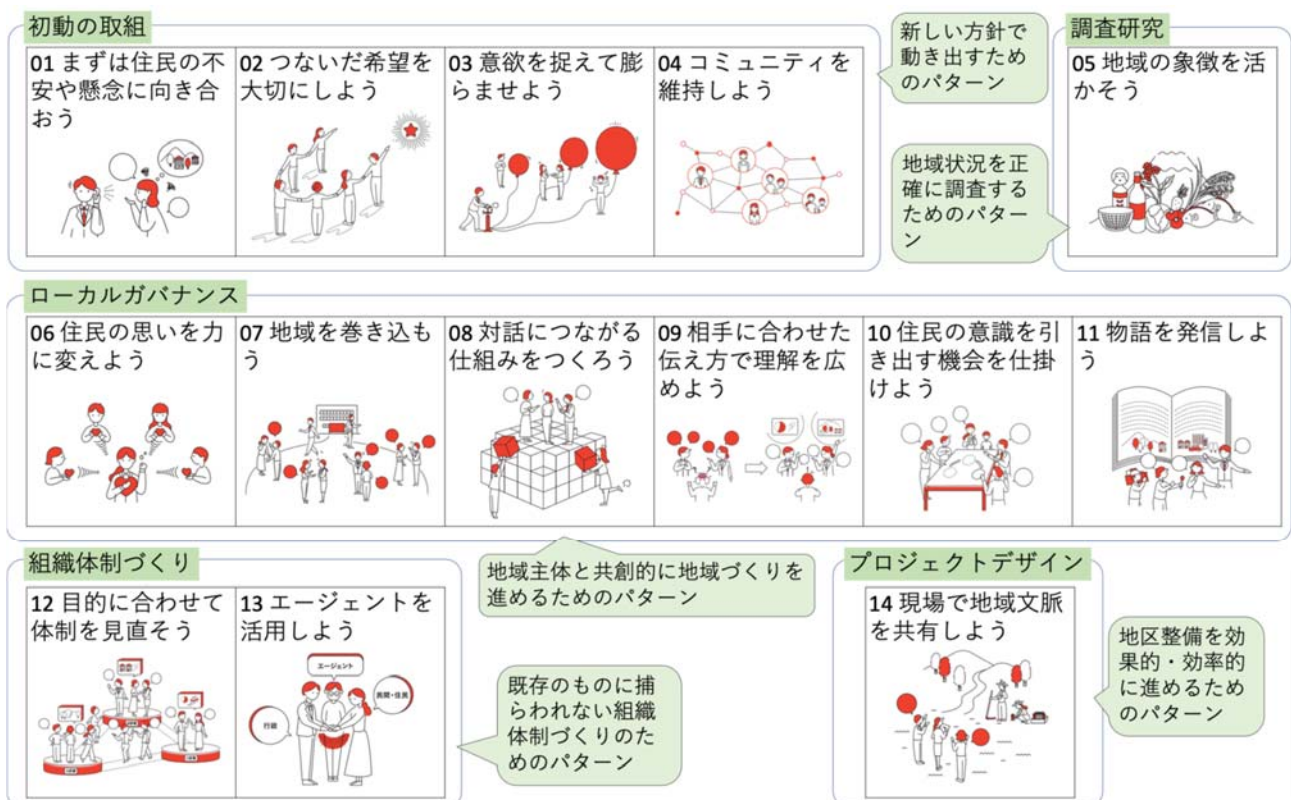


図16 飯舘村の事例より抽出した14のパターンの概要

表5 飯舘村の事例より抽出した14のパターンの記述内容

名前	状況（コンテキスト）	解決方法（ソリューション）
01. まずは住民の不安や懸念に向き合う	住民が不安や懸念を抱えている状況で、トップダウン型の説明・説得にあたって、ネガティブな反応となり、なかなか共感が得られず、施策をすすめることができない。	計画の説明の前に、まずは住民の不安や懸念にしっかり耳を傾ける。住民の思いに寄り合い対話を重ねることで、解決に至らなくとも信頼関係が構築できる。
02. つないだ希望を大切にする	被災直後などの絶望的な状況の中でも、住民により地域に対する思いや誇りに基づいた伝統や文化を継承するための取り組みが試みられている。	住民の地域に対する思いや誇りを確認し合い、希望として大切につなごう。つないだ希望が目に見える形になることや、発展的な取り組みにつながる可能性がある。
03. 意欲を捉えて膨らませる	絶望的な状況の中でも、地域のためにやりたいことを見出し、その実現に意欲を持てる人がいる。しかしながら、具体的な取り組みには至っていない。	人の意欲に価値を見出し、やってみようという気持ちを捉えて膨らませる。状況に応じた支援によって成功モデルができれば、地域に波及する好循環へつながる。
04. コミュニティを維持する	コミュニティは物理的な距離が離れたら、関係性も離れてしまう。コミュニケーションが継続されにくく、地域に対する思いが希薄となり、取り組みは途絶えてしまう。	コミュニティを意識した取り組みを積極的に行う。人々の意識や活動に求心性が生まれ、地域の自立的な活動につながる。
05. 地域の象徴を活かす	社会経済状況の変化や自然災害等により、それまでの住まいや地域の生業が急に奪われてしまい、住民の気力や希望が削がれてしまった。	地域づくりに取り組む際は、地域を象徴するものを活かす。バラバラになった住民たちの心の拠り所となり、地域づくりを進める希望となる。
06. 住民の思いを力に変える	地域づくりの事業を進める上で、計画内容を国や県などの関連するステークホルダーに説明する必要がある。一貫性を持った説明を続けるためには労力がかかる。	住民の思いや考えを聞き取り、計画や取り組みに反映させ力にする。住民の思いや考えには現実感を伴うものが多く、時に強い説得力を持つ。
07. 地域を巻き込む	行政や専門家の議論だけでは、地域の実状に合った提案は難しい。地域住民やステークホルダーが当事者意識を持ってない。	賛同してくれる人を巻き込み、それを継続する枠組みを整えてく。地域にしかない情報や地域の自主性を引き出すことで、地域づくりへの連帯感が生まれる。
08. 対話につながる仕組みをつくる	住民に対して、地域づくりや事業の進捗を一方的に説明するだけでは、積極的な言動が得られず、発展的な動きが生まれない。	建設的な対話につながる仕組みをつくる。共に課題に向き合う場を設けることで、当事者意識を持って参加できる状況が生まれ、発展的・共創的な対話につながる。
09. 相手に合わせた言葉で理解を広める	立場の違う人がそれぞれの常識に基づいて対話しようすると、それぞれになじみのある言葉の違いから、意図が上手く伝わらず、関係構築ができない。	相手が理解し受け止めやすい言葉や伝え方を探す。理解しあえた仲になれば、その人を介して他の住民へも理解が広まる。
10. 住民の意識を引き出す機会を仕掛ける	ある施策に対する住民の意見は、常に白黒はっきりしているわけではなく、それゆえに次のステップに進めないこともある。	日常的な対話・交流を通して住民の思いや考えを汲み取り、意識を引き出す機会をつくる。実際に住民自身が手を動かすことは、課題発見につながる。
11. 物語を発信する	地域づくりを持続的に進めるためには、より広い人々からの協力が必要であるが、取り組みを知る人が一部に限られ、地域内外に認知されていない。	地域づくりの経緯や成果を物語として発信する。地域内での認識が普及すると同時に、対外的・客観的評価を得ることは、地域の自信や誇りの醸成につながっていく。

12. 目的に合わせて体制を見直す	既存の体制を前提に議論を進めていると、地域住民やステークホルダーとの対話において一貫性が生まれず、地域づくりがスムーズに進まない。	今の体制に縛られず、目的を達成するために必要な人材が揃った体制を整える。議論が共有され、相互の事業の整合性、協働による効率性等のメリットが得られる。
13. エージェントを活用する	行政内部で、不得意分野の新しい課題や高度に専門的な事象に対応しようとする、時間がかかりすぎたり、職員にストレスがかかりすぎたりして、成果につなげにくい。	機動力が高く、専門的な知識・経験のあるエージェントを、事業の推進役として外部から取り入れ活用する。取り組みを効率的・持続的に推進できる。
14. 現場で地域の文脈を共有する	現場の状況を共有しないまま、一般論だけで机上の計画をすると、それまでの地域の文脈や住民の思いが捉えきれず、地域住民の合意形成が得づらい。	現場で地域の文脈を共有する。特に、外部から地域づくりに関わる人がいる場合は、住民の暮らしを具体的にイメージしてもらうことで、地域の理解につながる。

これまで環境都市づくりの先進地域である岩手県紫波町・宮城県女川町・宮崎県日南市・岡山県真庭市のケーススタディから、40のパターンを抽出してきた。今回の福島県飯舘村で抽出されたパターンでは、既存のものもあるが、6つの新たなパターンを抽出することになった。飯舘村は、事故後に全村避難になったことから、他地域のように危機感の共有を前提とせず、危機の中での対応がなされた。そのため、初動の取組みにおいて、特に特徴的なパターンが抽出されている。そのうち、#02. つないだ希望を大切にする、#03. 意欲を捉えて膨らませる、#04. コミュニティを維持しよう、#09. 相手に合わせた言葉で理解を広めるについては特徴的な抽出パターンである。

(2. 1. 3) プロセス（パターンランゲージ）の実装展開

地域づくりにおける実践知をパターン・ランゲージとして整理した上で、その知見を実際の地域に適用するためのワークショッププログラムを開発し、福島県大熊町において実施した。本プログラムは、東日本大震災からの復興を進める中で、多様な主体が関与する地域戦略の構築を支援することを目的としている。まず、飯舘村で抽出したパターンをベースに、大熊町における地域課題の把握と将来構想の立案を支援するためのワークショップを設計した。対象は、町の復興に携わる行政職員および関係機関の担当者であり、地域課題に対する実効性の高い施策構築を目指してプログラムを展開した。

ワークショップでは、まず参加者に対して整理されたパターンを提示し、これらを現状の地域課題に応じて6つのカテゴリーに分類する作業（フレームⅠ）を実施した。加えて、各パターンに関連する障壁や課題を抽出し、地域固有の制約条件を可視化した。その後、分類結果をもとに、望ましい将来像に向けた戦略と実行可能なシナリオを構築するプロセス（フレームⅡ）に移行し、グループごとに具体的な行動方針を策定した。

2025年1月27日には、大熊町役場内において10名の職員が参加する庁内研修として本プログラムを実施した（写真1）。参加者は2グループに分かれ、Aグループは「ゼロカーボン産業と生活復興」、Bグループは「Well-being向上施策」をテーマとして議論を深め、3年後および5年後の行動シナリオをそれぞれ策定した。ワークショップ終了後のアンケートでは、多くの参加者から「課題整理と将来像の共有に有効であった」との評価が得られ、パターン・ランゲージを活用した戦略的思考の枠組みとしての有効性が確認された。



写真1 ワークショップの様子

(2. 1. 4) プロセス（パターンランゲージ）の意義（まとめ）

飯館村および大熊町での適用事例を通じて明らかになったのは、地域づくりにおける中核が、計画の実行を一方向的に押しつけるのではなく、地域内外の主体が対話を重ねながら共に未来を構想・実装していく「生成的取り組み」にあるという点である。特に、本研究では、飯館村の復興過程における地域実践知をパターン・ランゲージとして形式知化し、それを基盤に大熊町でのワークショッププログラムに適用することで、地域文脈に即した戦略的デザインの手法を検討した。その結果、文献・ヒアリング調査に基づく先進事例プロセスの体系的整理、14のパターン抽出、そして2つの復興シナリオ設計を通じて、知識の形式化と他地域展開の可能性が実証された。こうした取り組みは、社会構造への高次的な働きかけとしても評価され、安富（2006）が指摘する従来型の「調査→計画→実行→評価」という直線的思考の限界に対し、資源と知恵をつなぐコミュニケーション空間の創出が必要であるという理論にも合致するものである。本研究で開発・実装されたワークショップおよび地域戦略モデルは、生成的デザインの思想を具体的に具現化し、地域政策の柔軟性と持続可能性を高める手法として、理論的にも実践的にもその有効性が確認された。

(2. 2) 地域統合評価モデルによる定量化とシナリオ構築（成果2-11、2-16）

(2. 2. 2) 研究方法

福島県大熊町および双葉町に位置する中間貯蔵施設区域を対象として、「地域統合評価モデル」を用いた将来像の構築手法を提示した。2045年の中間貯蔵終了を見据え、多様な選択肢と将来の不確実性を考慮した複数の復興シナリオを策定し、それぞれについて人口・雇用・経済規模・再生可能エネルギー供給量といった社会経済指標を用いて定量評価を行った。シナリオ設計にあたっては、縦軸に「活用する資本の種類（人口・経済資本 vs 自然・文化資本）」、横軸に「活動の空間的な開放性（地域内集中 vs 地域間交流）」を設定し、この2軸により4つの復興シナリオを導出した（図17）。さらに、それぞれのシナリオは、サブテーマ2における生態系サービス評価の結果や、住民意向調査の知見を反映する形で設計されており、将来的に何の施策も講じない場合（リファレンスシナリオ）との比較を通じて、施策の有効性や地域の将来像に与える影響を把握する。

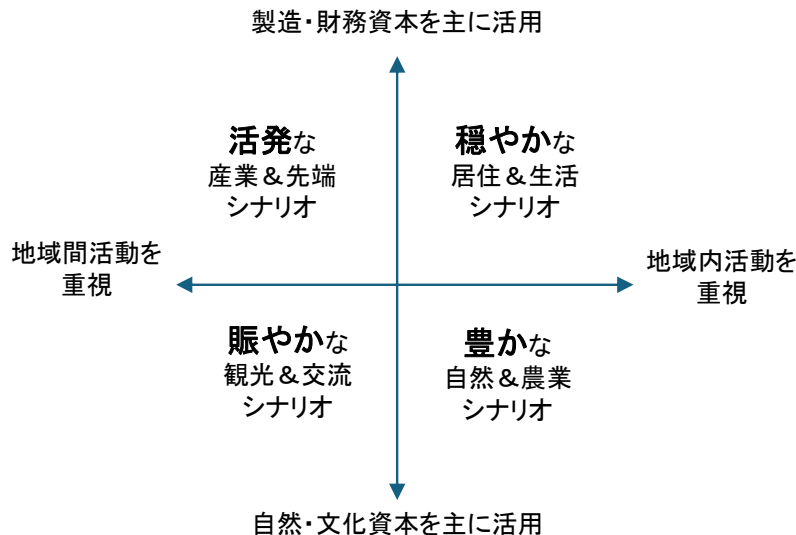


図17 シナリオ・フレームワーク

縦軸：復興において主に活用する資本の種類、横軸：重視する活動の空間的な開放性

（２．２．２）地域統合評価モデルの概要

モデルは、比較的小規模な地域単位（市町村）で産業・雇用・居住・交通・エネルギー需給・土地利用などを統合的に推計できる定量ツール。土地利用構成と活動指標を仮定し、再エネ普及技術や消費構造なども考慮した。設定は、土地利用区分（住宅地、産業用地、農地、観光施設等）、活動水準（人口密度、出荷額、発電容量等）、通勤構造（域内外通勤率）などをシナリオ別に仮定し、モデル推計に反映した。

（２．２．２）地域統合評価モデル結果

策定されたシナリオは、復興において重視すべき価値や活動の方向性を整理し、多様な社会経済的な将来像を可視化するものである。シナリオは、前記のとおり、縦軸に「活用する資本の種類（人口・経済資本 vs 自然・文化資本）」、横軸に「活動の空間的な開放性（地域内集中 vs 地域間交流）」を設定し、4つの復興ビジョンが描かれた。いずれのシナリオも、生態系サービスの評価結果や住民意向調査の知見を踏まえ、地域特性に即した戦略的構想として設計された。

- 「穏やか」は、住環境の整備を重視し、福祉や商業といった生活機能の充実を中心に据えたまちづくりを志向するものである。人口の定着やゆるやかな増加が期待され、社会的安定を基盤とした復興像が描かれている。
- 「活発」シナリオでは、産業誘致や研究開発拠点の整備といった経済活性化を最重要視し、地域の生産性向上と雇用創出を目的としたダイナミックな開発が想定されている。定量評価の結果においても、経済成長の指標が最も顕著に向上するシナリオとして位置づけられている。
- 「豊か」シナリオは、震災前に根付いていた農業や里山環境との共生を重視し、農地の再生と持続可能な生活圏の形成を目指すものである。経済効果は限定的ではあるが、地域資源の保全と活用による中長期的な持続性を確保する姿勢が特徴的である。
- 「賑やか」シナリオは、観光や交流を軸とした地域活性化を掲げ、農業や自然資源と組み合わせた複合型の体験型まちづくりを推進する構想である。外部とのつながりを重視することで、域内外の関係人口拡大が見込まれる。

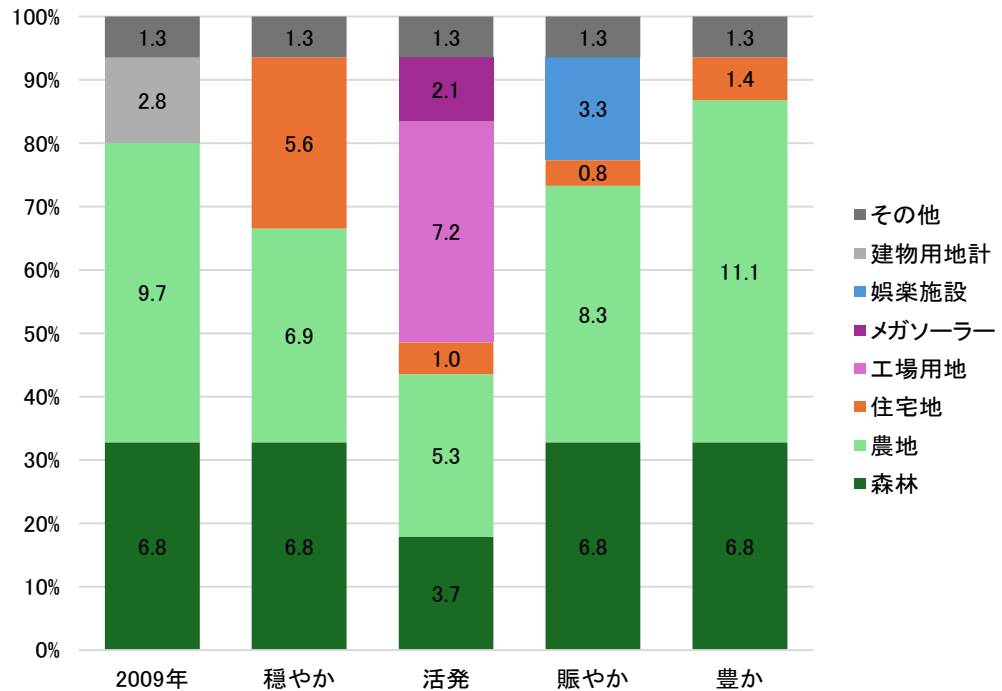


図18 各シナリオにおける2050年の中間貯蔵施設区域の土地利用別土地面積の構成比
(ラベル内の数値は面積(km²))

各シナリオでは、対象地域の土地利用構成についても2050年の将来像が示された。図示された土地利用構成（図18）では、活動内容に応じた土地面積の配分が行われ、震災前の統計や他地域の事例を参考に面積あたりの活動水準が設定されている。例えば、「穏やか」では住環境が広く確保されることで人口の回復が期待され、「活発」では工業・研究施設用地の比率が高く、産業構造への寄与が大きいことが定量的に示された。「豊か」では農地の広範な復旧と維持により、環境調和型の復興が追求されている一方、「賑やか」では観光・レクリエーションの場としての土地利用が拡大され、地域外からの人の流れを創出する構想となっている。

こうしたシナリオに基づき、地域統合評価モデルを用いた定量的分析により、リファレンスシナリオ（すなわち、中間貯蔵終了後も区域で新たな活動が実施されない場合）との比較を通じて、各シナリオがもたらす社会経済的効果が明らかにされた。2050年時点の時間断面における人口、雇用、経済規模、再生可能エネルギー供給量などの指標が示され、2町合計での成果を総合的に把握することができた。これにより、被災地が描くことのできる多様な将来像を具体的に提示するとともに、復興政策における価値の多様性と選択枝の幅広さが強調された。

さらに、産業構造の計算結果（図19）からは、各町における経済活動の特性が浮き彫りとなった。たとえば「活発」シナリオでは、製造業の比重が非常に高く示され、経済的再建における牽引役としての可能性が示唆された。一方で、「賑やか」ではサービス業の比率が大きく、観光や交流を通じた地域活性化の姿が描かれている。同じシナリオであっても、町ごとの震災前の産業構造や土地利用の特性により、モデル結果に差異が見られた点も注目すべきである。

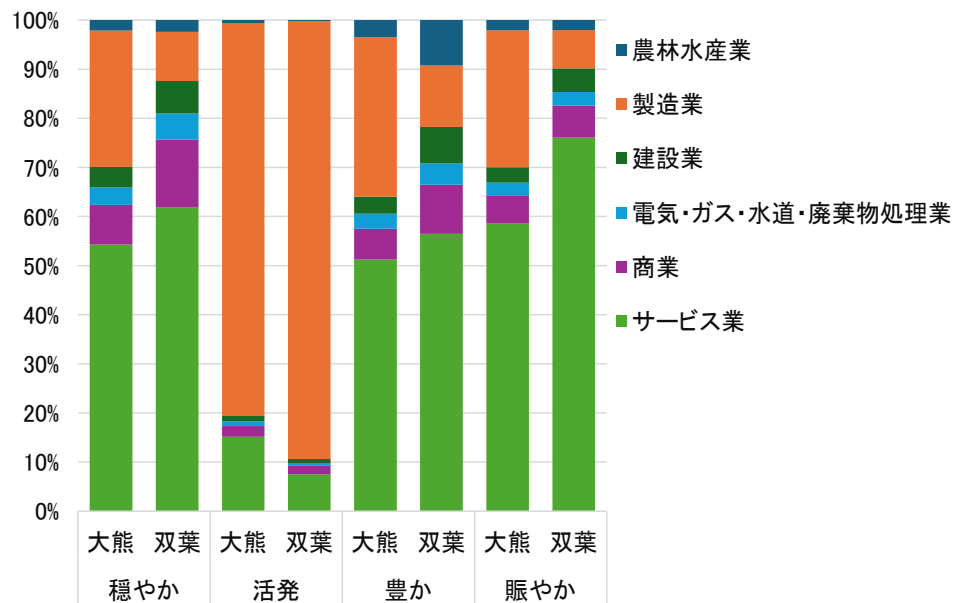


図19 各シナリオにおける産業構造（総生産の構成比）の計算結果

総じて、構築された復興シナリオは、地域固有の自然資本や文化資本をいかに活用するかという観点から、復興戦略の多様性と持続可能性を定量的に評価する新たな枠組みを提示するものであった。住民意向、自然環境の回復状況、社会的・経済的背景といった要素を統合的に考慮した復興のあり方を議論する出発点として、本モデルの果たす意義は大きく、今後の政策立案や合意形成プロセスにおける実用的なツールとしての展開が期待される。

（2. 3）地域資本の可視化と将来展望に向けたリーフレット作成（成果2-2、2-5、2-123）

（2. 3. 1）研究方法

サブテーマ1の成果の一環として、福島県大熊町を対象に、地域資本の現状を整理し、将来に向けた活用の可能性を可視化・共有することを目的としたリーフレットを作成した。本リーフレットは、震災から14年が経過した現在の町の姿を住民や関係者とともに再確認し、今後の地域のあり方を共に考えるための「共通基盤資料」として位置づけられる。大熊町では、インフラ整備や住民の帰還が着実に進んでいる一方で、定住促進や地域経済の再建、さらには地域アイデンティティの再構築といった課題が依然として残されている。これらの課題に対応するためには、震災前から地域に根付いてきた伝統的な資本と、復興過程で新たに形成された資源やネットワークを総合的に把握し、その特性と相互関係を丁寧に捉えることが重要である。

リーフレットでは、地域資本を「自然環境」「文化的資源」「人的ネットワーク」「地域経済」「教育・学びの場」「暮らしの知恵」「行政・制度」「地域の誇り」という8つの視点から体系的に整理し、図表や写真を活用することで視覚的にも分かりやすい構成とした。とりわけ「自然環境」については、サブテーマ2で実施された生態系サービス評価の成果を取り入れ、科学的根拠に基づいた現状分析がなされている。

加えて、地域資本の活用を促すための思考支援の枠組みとして、他地域の先進事例から得られたパターン・ランゲージの手法も導入された。さらに、地域統合評価モデルのシミュレーション結果をもとに、複数の将来イメージを提示し、持続可能な地域の姿に関する対話の出発点として活用できるよう設計されている。なお、本リーフレットは完成版ではなく、今後の地域内外での議論やフィードバックを踏まえて内容を更新していく「暫定的なプロトタイプ」として位置づけられており、継続的な対話を通じて地域の共有知を深化させていくことが期待されている。

（2. 3. 2）結果

リーフレット作成にあたり、町役場職員、災害復興住宅の住民、伝統文化や教育活動に関わる移住者・関係者との意見交換を重ねた（図20）。復興事業が進行する中で、建物やイベントなどを契機に、地域資本に対する多様な視点が浮かび上がった。リーフレットは、表層的な情報にとどまらず、住民同士が地域の「歴史」と「現状」を共有し、「将来像を対話的に描くための道具」として活用されつつある。特に、震災復興後の将来デザインに向けて、時間軸やビジョンのズレを可視化し共通の

話題を作る効果が認められた。今後、中間貯蔵施設周辺地域の議論が進む中で、地域資本を再確認し、合意形成を促すための貴重な材料となることが期待される。



図20 住民向けリーフレットの表紙と8つの地域資本の概説

（2. 4）サブテーマ1 研究結果及び考察

サブテーマ1では、地域に内在する暗黙知や実践知を「パターン・ランゲージ」として形式知化し、それを基盤に「共創デザインプラットフォーム」を構築することで、持続可能な地域づくりを支援する新たな枠組みの確立を目指した。本研究の中心的な課題意識は、行政・住民・民間・専門家など、多様なアクターが協働しながら未来を構想・実装していくための「共通の対話の場」をいかに創出するかという点にあった。パターン・ランゲージは、その共通言語としての役割を果たし、地域実践に根ざした知見を他地域にも展開可能な形式へと変換する実践知の媒体として戦略的に活用された。

第一に、地域づくりにおける暗黙知の構造化と知識の汎化については、飯館村を対象とした実践から、14のパターンが抽出・記述された。これらは「何をするか」ではなく「どのようにあるか」という行為の背景に着目した記述形式を採用し、属人的・場当たりの経験にとどまらない普遍的な知識として整理された。その結果、特定地域の知見を超えて応用可能な汎化知識が構築され、自治体や地域支援団体における政策形成や施策立案の基盤として活用可能な枠組みが提示された。

第二に、大熊町で実施したワークショップでは、抽出されたパターン・ランゲージを用いて、地域資源と課題の可視化を行い、将来像を参加者とともに共創するプロセスが展開された。このワークショップは、単なる意見交換にとどまらず、①現状の整理、②優先課題の特定、③長期的な展望の共有といった段階的な思考を促し、実効性のある戦略的合意形成を実現した点で意義深い。また、行政と民間の役割分担や、復興段階に応じた時間軸に沿った施策設計の必要性が可視化され、地域内での計画形成に向けた議論の土台を形成した。

第三に、パターン・ランゲージによる定性的知見と、地域統合評価モデルによる定量的裏付けを接続した点も特筆すべき成果である。特に双葉町および大熊町を対象として設定された4つの復興シナリオにおいては、人口、経済、雇用、再生可能エネルギー供給量といった複数の社会経済指標を用いることで、構想の実現可能性と社会的効果が具体的に可視化され、復興初期段階における関係者間の合意形成に資する有力な枠組みとなった。

第四に、本研究が提示した「生成的デザイン」の視座は、従来の「あらかじめ定めたゴールに向かって進む」直線的な計画論とは異なり、現場とともに変化し育っていくデザイン観に基づくものである。地域資本を整理したリーフレットや戦略的思考を支援するワークショッププログラムは、制度と現場実践のあいだを媒介するツールとして機能し、政策形成と地域自治の質的転換を促す新たな知識体系を提示した。

今後の発展課題として、以下の点が挙げられる。まず、時系列や関係性の可視化によって、パターン同士の接続性や活用方法を強化する「再構成とネットワーク化」が求められる。次に、DX（デジタルトランスフォーメーション）を活用した情報基盤との連携により、地域データのオンライン展開や可視化の高度化を図る必要がある。さらに、他国の災害被災地域や社会的課題を抱える地域との比較研究や適

用可能性の検討も視野に入れることで、国際的な知識共有の展開が期待される。また、地域に固有の実践知と、制度的な汎用性との橋渡しを行う「翻訳技術」の開発も重要な課題として認識されている。以上、サブテーマ1は、現場知と政策知とを有機的につなぐ橋渡し基盤として、持続可能な地域社会の形成に向けた実践的かつ理論的な貢献を果たしたといえる。

（2. 5）サブテーマ2 研究内容と研究方法

サブテーマ2では、福島第一原子力発電所事故を契機に設置された中間貯蔵施設およびその周辺地域における生態系の現状を把握し、将来の復興に向けた環境的視点を提示することを目的に研究を実施した。中間貯蔵施設は、除染により発生した放射性物質を含む土壌や廃棄物を安全に保管するため、大熊町および双葉町にまたがって設置されており、福島第一原発跡地周辺も含まれる。除去土壌については「30年以内に福島県外で最終処分を行う」と法律で定められ、現在はそのための技術開発や社会的合意形成が進められている。最終処分までの長期にわたる施設管理と並行し、地域の復興を進めるには、脱炭素化、自然環境の再生、地域資源の有効活用といった多面的視点からの取り組みが求められる。

対象地域の大熊町・双葉町は面積の6割が森林で、阿武隈高地と太平洋に囲まれた豊かな自然環境を有している。震災前は、里山、農地、沿岸域を含む多様な生態系サービスを楽しむ生活圏が存在していたが、震災と原発事故により放射性物質が広範囲に堆積し、両町は全域が避難対象となった。現在も「帰還困難区域」が存在しており、長期間の人間活動の制限は、とりわけ里地里山のような二次的自然環境において、生物多様性の劣化を引き起こす要因となっている。具体的には、農地の遷移、外来種の侵入、生物群集の変化など、人の管理を前提としていた生態系に顕著な変容が見られる。こうした状況は「自然に対する働きかけの縮小による危機」として生物多様性国家戦略でも課題視されており、当該地域はその典型例である。このような背景のもと、本研究では、①生物相モニタリングの実施、②生態系サービスの震災前後の変化評価、という二つの柱を中心に調査を展開した。

第一に、生物相モニタリングの実施は、中間貯蔵施設設置地域において、鳥類、昆虫、哺乳類など幅広い分類群を対象にモニタリングを行い、現在の生態系の実態を明らかにした。さらに、2014年以降福島県浜通り地域で実施されてきた他のモニタリングデータと統合的に分析し、避難指示区域内外の生物多様性の分布や変化傾向を比較検討した。

第二に、生態系サービスの震災前後変化に関する評価は、文献調査および公開データを活用し、供給サービス、調整サービス、文化的サービス等について、定性的・定量的な変化を評価した。この作業により、震災および避難指示が地域の自然資本と生態系サービスに与えた影響を把握し、今後の地域復興計画において環境的視点を組み込む重要性を可視化することを目指した。

以上の取り組みにより、本研究は中間貯蔵施設下に置かれた地域において、環境価値を損なうことなく持続可能な地域再生を実現するための指針を提供することを目指した。得られた知見は、今後、自然資本の回復や新たな地域資源の創出、さらには災害からの復興と環境共生社会の構築に向けて、貴重な基盤となることが期待される。

（2. 5. 1）哺乳類のモニタリング結果と考察（成果2-4、2-12、2-15、2-124）

中間貯蔵施設周辺地域（大熊町・双葉町）における哺乳類の生息状況を把握するため、モーションセンサーカメラ（カメラトラップ）を用いたモニタリング調査を2022年9月28日から2024年3月19日まで実施した。調査では、各町に2地点ずつ、計4台のカメラを設置し、動物の出現時に30秒間の動画を撮影。約2か月ごとに録画データを回収し、記録された動物種と撮影頻度を分析した（写真2）。その結果、福島県内の避難指示区域全体では15種の哺乳類が確認されたのに対し、中間貯蔵施設周辺では11種にとどまった。イヌやネコなど人と密接に関係する動物が無居住地で確認されなかったのは自然な結果と考えられる。ニホンカモシカやツキノワグマについては、分布や地形の違いが確認されなかった理由と推定される。

一方、ホンダタヌキ、アライグマ、ホンダギツネ、ニホンノウサギの4種は他地域と比べて観察頻度が高く、特にホンダタヌキやニホンノウサギは、里山環境に適応した在来種であることから、周辺に一定の里地里山環境が維持されていることを示唆している。こうした二次的自然は、生態系サービスを提供する重要な環境であるが、管理不在により劣化しやすいため、今後も継続的なモニタリングと保全対策が求められる。

また、アライグマ、ハクビシン、イノシシといった外来種・被害獣も記録された。特にアライグマは在来種への影響や文化財への被害などが懸念され、福島県では防除計画が進められている。イノシシは2022年度に双葉町で頻繁に観察され、2023年度には他地域でも確認された。この背景には、2020年以降の豚熱（CSF）流行による一時的な個体数減少と、その後の回復があると推定されており、今後さらなる個体数増加への対策が求められる。

加えて、2024年度にはニホンザルが初めて確認された。ニホンザルは福島県北部に分布が偏っており、観察例は稀であるが、2023年秋に発生したブナ類の凶作による食料不足が出没の一因と考えられ

る。このような突発的出現への注意も必要である。

なお、調査で得られたカメラ映像データは、テーマ3「地域ストックのデジタルコンテンツ化」にも活用され、研究間連携に寄与している。



写真2 双葉町の観測地点で撮影されたイノシシの親子（2023年2月20日撮影）

（2. 5. 2）赤トンボの調査結果と考察

赤トンボの生息状況を把握するため、哺乳類調査と同一の地点にトンボ類自動撮影装置を設置し、継続的なモニタリング調査を実施した（写真3）。設置期間は、2022年度が10月7日から11月15日、2023年度が9月28日から11月6日、2024年度が10月15日から11月14日であり、いずれも赤トンボの活動が活発になる秋季に設定された。

調査の結果、中間貯蔵施設区域内での赤トンボの撮影頻度は、2022年度が 15.5 ± 11.2 匹／日、2023年度が 20.2 ± 16.0 匹／日、2024年度が 12.1 ± 8.6 匹／日となった。これらの値は、避難指示解除後1年目の水田における観察頻度（ 20.7 ± 9.0 匹／日）と比較しても有意な差はなく、中間貯蔵施設周辺においても赤トンボの生息が一定程度維持されていることが確認された。赤トンボ類のうち、ナツアカネ、ノシメトンボ、アキアカネなど水田を利用する種は、幼虫期を水田や池などの陸水域で過ごす。本地域では営農が再開されていないものの、防災重点ため池など一定の水域が存在しており、これが赤トンボの生息維持に寄与していると考えられる。

特に注目されたのがノシメトンボの動向である。2022年度の観察頻度は 1.63 ± 2.31 匹／日だったが、2023年度には 8.1 ± 8.7 匹／日へと大幅に増加した。この種は乾燥に強い特性を持つことが知られており、こうした結果はその生態特性とも整合的である。比較対象として設定された飯舘村長泥地区では、営農再開1年目にはノシメトンボがほとんど観察されなかったことから、中間貯蔵施設周辺が相対的に良好な生息環境を提供していることが示唆される。

しかしながら、2024年度にはノシメトンボの観察頻度が 0.59 ± 0.18 匹／日と急激に低下し、前年から大きく減少した。この変化が自然な年変動の範囲内なのか、それとも本格的な減少傾向の兆候なの

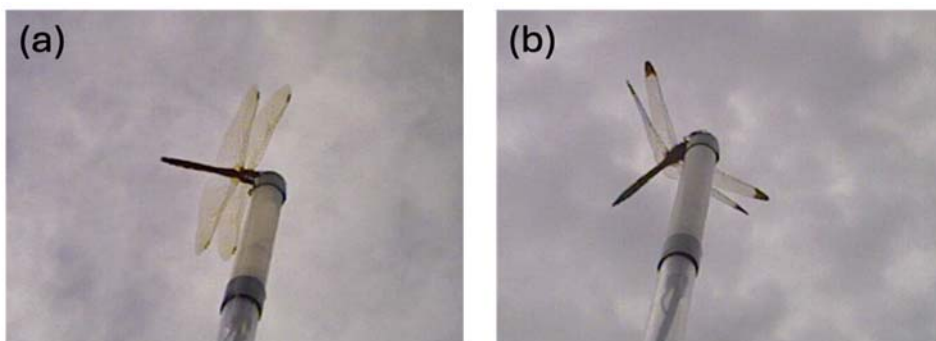


写真3 自動撮影装置で観察された（a）アキアカネと（b）ノシメトンボ

かを判断するには、今後も継続的な観測が必要である。また、今後の営農再開に伴い農薬の使用が再開されることが予想されるため、赤トンボをはじめとする昆虫類への影響に十分配慮する必要がある。環境負荷の少ない農業手法の導入を積極的に推進し、生態系保全と農業生産の両立を図ることが、持続可能な地域再生の観点から重要である。

(2. 5. 3) 熊川河口の藻場に関する調査と考察

熊川河口では、ケーブルカメラによる広域調査と潜水調査を組み合わせ、藻場の構成種・分布・被度を評価した(写真4)。調査により、アラメを構成種とする藻場が確認された。その面積は20,450㎡に達し、これは1998年の調査(10,000㎡)の約2倍に相当する。震災を経てもなお、藻場が拡大している可能性が示唆された。潜水調査では、水深4.7~5.7mでアラメの成体が確認され、被度は最大75%、個体密度は最大6本/㎡に達した。推定されるアラメ成体の総個体数は3,706本である。藻場は近年、ブルーカーボン(沿岸域における炭素吸収源)として注目されている。熊川河口のアラメ場は、約8.6 t CO₂を貯留していると推定された。ただし、現時点の推計には不確実性が伴うため、今後は現地における一次生産速度や変換係数を用いた精緻なデータ収集が必要である。藻場拡大の要因については、津波による地形変化などが考えられるが、現時点では明確な根拠は得られていない。今後は、地形変動や海水温変化を含めた継続的なモニタリングが望まれる。なお、大熊町は「2050年ゼロカーボン宣言」を掲げており、森林吸収に加えて、藻場によるブルーカーボン吸収も地域戦略に取り入れることが期待されている。

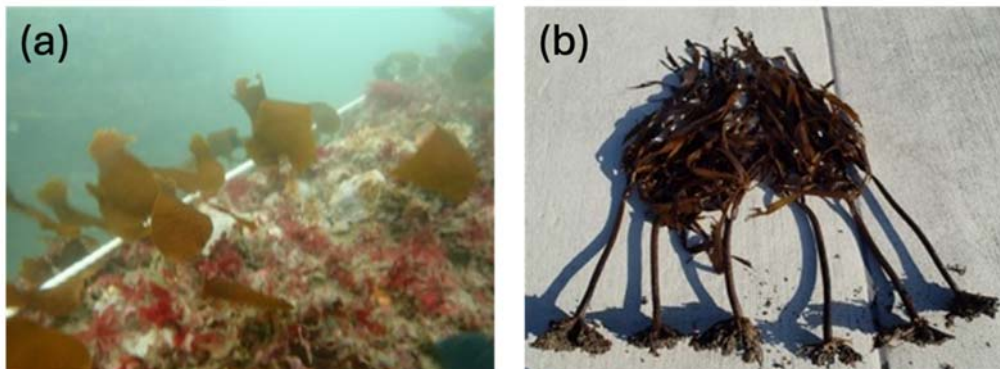


写真4 熊川河口のアラメ (a) 幼体と (b) 成体

(2. 5. 4) 生態系サービスの変化に関する結果

サブテーマ2では、福島第一原子力発電所事故による影響を受けた中間貯蔵施設周辺地域(大熊町・双葉町)において、生態系サービスのうち特に供給サービスと調整サービスに着目し、震災前後の変化をJB03(日本生物多様性観測ネットワーク第3次報告書)に準じた手法により評価を行った(表6)。まず供給サービスに関しては、水稻、大豆、野菜、畜産、シイタケなどの生産額が、震災の影響により2011年に50~86%もの大幅な減少を記録し、避難指示区域内における農業・林業などの供給機能は壊滅的な打撃を受けたことが明らかとなった。近年、避難指示が解除された地域では農業生産活動の一部回復が見られるものの、解除の遅れた大熊町や双葉町では依然として回復が進んでおらず、地域ごとに復興の格差が顕著になっている。このため、今後の復興戦略においては、供給サービスの回復状況に応じた地域別の支援と再建施策が必要である。一方、森林による炭素吸収量や大気中のNO₂・SO₂吸収量といった調整サービスについては、震災前後で明確な変化は観察されなかった。しかしながら、現行の土地利用ベース評価には限界もあり、たとえば農地と耕作放棄地の判別が困難であることや、全国一律の評価係数が用いられていることにより、地域特性に即した精度の高い評価が難しいという課題も浮き彫りとなった。こうした課題を踏まえ、今後の生態系サービス評価にはいくつかの改善が求められる。第一に、地域の実態を反映した評価係数や土地利用データの導入が重要である。第二に、コメや野菜、果樹といった特産品に焦点を当てたより細分化された供給サービスの評価が必要とされる。第三に、単純な傾向分析に代わり、「差分の差分法(Difference in Differences)」などの精緻な分析手法の導入が有効である。実際に、本研究では試行的にコメの生産量に対して差分の差分法を適用した結果、震災の影響を視覚的に明確に把握でき、手法としての有効性が確認された。今後は他のデータにも適用を広げることで、より正確な震災影響の把握が期待される。さらに、サブテーマ2で得られた土地利用区分データ(農地、建物用地、森林、道路、水面、その他)は、サブテーマ1の復興シナリオ分析にも共有され、モデル連携による統合的な分析が進められた。また、カメラトラップによって収集された映像データは、テーマ3の「地域ストックのデジタルコンテンツ化」の課題にも提供した。

表6 避難指示区域内外における生態系サービスの変化の傾向

評価項目		評価結果				
		過去 50 年～震災前		震災～現在		震災のインパクト有無
		避難地域外	避難地域内	避難地域外	避難地域内	
供給サービス	農産物	↘	↘	→	→	域内：有
	特用林産物	↘	↘	→	→	域内外：有
	水産物	↘	↘	→	→	域内：有
	淡水	→	→	↘	↘	域内：有
	木材	→	→	↗	↗	無
	原材料	↓	↓	→	→	無
調整サービス	気候の調節	↘	↘	→	→	無
	大気の調節	↘	↘	→	→	無
	水の調節	→	→	→	→	無
	土壌の調節	→	→	→	→	無
	災害の緩和	→	→	→	→	無

定量評価の結果を以下のように矢印で表現した。

↑：やや増加、→：横ばい、↘：やや減少、↓：減少

定量評価に用いた情報の期間・質が不十分である場合は矢印を破線で囲んだ。

また定量評価の傾向の確からしさを以下のように色分けした。確からしさ高：黒矢印、確からしさ中：灰色矢印

（2. 5. 5）福島県双葉郡の自然環境に対する住民の意向に関する調査結果（成果2-17）

東日本大震災および福島第一原子力発電所事故により、福島県双葉郡一帯は広範囲にわたる放射性物質の汚染を受け、住民は長期にわたる避難を余儀なくされた。その結果、生活基盤の喪失に加えて、地域コミュニティの分断といった深刻な社会的影響が生じた。こうした背景を踏まえ、大熊町および双葉町の住民を対象に、自然環境に対する意識や利用意向を把握し、今後の環境再生方針の策定に資する基礎資料を得ることを目的として実施された。とりわけ、現地に定住している住民と、非定住ながら関係性を持つ「関係人口」との間における意識の差異に着目した。

2024年7月から8月にかけて実施された本調査では（図21）、計92名（定住住民29名、関係住民63名）から回答を得た。その結果、定住住民においては34%が「コメ生産」を望ましい自然環境の利用方法として挙げ、次いで「災害の緩和」が21%で続いた。一方、関係住民では「災害の緩和」が28%で最も多く、次いで「コメ生産」「野菜・果実生産」「観光・レクリエーション」がそれぞれ16%という同率の回答となった。このことから、自然環境の活用に対する優先順位は、地域への居住形態や関与の仕方によって異なることが明らかになった。具体的には、定住住民は生業再建に直結する農業活動を重視する傾向があり、関係人口は災害リスクの軽減や地域の魅力向上に対する関心が高いという特徴が見られた。また、2024年11月に全国の18歳以上の一般市民1,000人（福島県在住者を含む）を対象に実施した別調査では、「自然環境の維持・整備」は復興の最優先課題とは捉えられておらず、「帰還・移住政策」「医療・福祉政策」「産業・雇用政策」など、より直接的に生活基盤の再建に関わる分野への関心が高い傾向が示された。また、自然環境の利用目的に関しては、居住者が「野菜・果実生産」などの実用的側面を重視する一方、関係人口は「景観」や「観光・レクリエーション」といった地域資源としての活用を期待する傾向が確認された。

これらの調査結果は、今後の復興施策や土地利用計画を検討する上で、重要な示唆を与えるものである。すなわち、①住民属性や地域への関わり方に応じた多様なニーズへの対応、②柔軟かつ多面的な自然環境再生戦略の必要性が示された。画一的な整備手法ではなく、地域住民や関係者との対話を重視し、合意形成を通じた多様な価値観の反映が求められる。

なお、結果は、サブテーマ1におけるリーフレットの作成にも活用され、住民間における自然環境への認識や将来像の違いを可視化し、共創的な議論の促進につながった。今後も、継続的な調査と住民へのフィードバックを重ねながら、信頼関係の構築を通じて、地域の復興と持続的発展に寄与する取り組みが期待される。

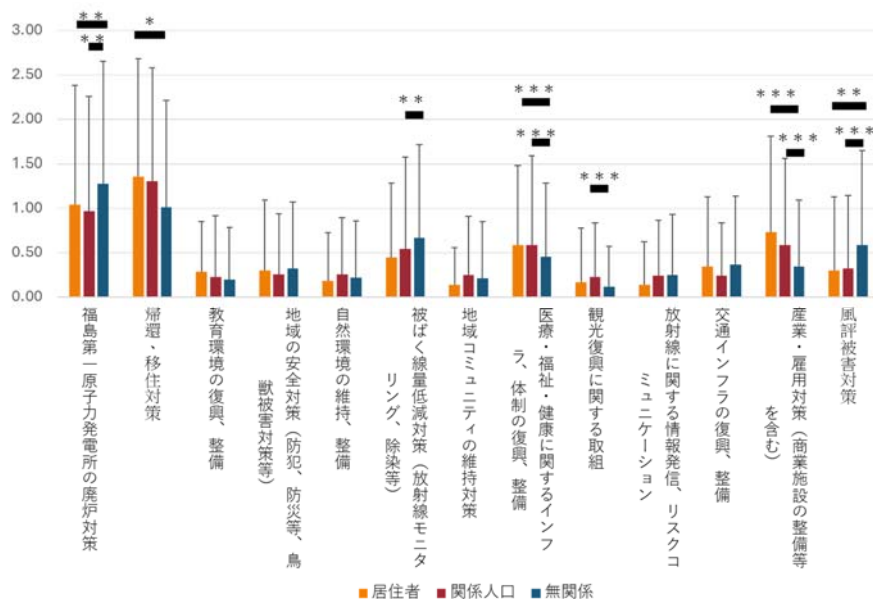


図21 「復興のために重要と思う項目」に関するアンケート調査の結果

各項目について1番目に重要=3点、2番目に重要=2点、3番目に重要=1点として平均値を算出。サンプル数は居住者67、関係人口145、無関係880で、Dunn検定 (Bonferroni補正) を行い、***、**、*はそれぞれ1%、5%、10%で有意であることを表す。

1. 4. 2. 3 テーマ3 県外最終処分・周辺地域の将来デザイン利用に向けた社会受容性評価と合意形成フレームワークに関する研究

テーマ3では、(1) 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出と(2) 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析、(3) 県外最終処分等に関わる多元的公正の整理および実験的評価、(4) 多元的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案に関する研究を実施した。

(3-1) 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出

県外最終処分のシナリオに関しては、シナリオ別、階層別の社会受容性を明らかにした。郵送法アンケート調査、オンラインアンケート調査、国際比較オンラインアンケート調査、半構造化面接を含む計8回と当初の予定を上回る調査を実施し、シナリオごとの受容性の違いや、影響因子を分析した。

郵送報アンケート：3000人中871人から同意のある回答を得た。決定プロセスとしてトップダウン型アプローチ、意見集約アプローチ、意見反映アプローチによる最終処分場の受け入れを5段階のリッカートスケールで尋ねた。トップダウン型で受け入れに同意する割合(4点以上)が23%であったのに対し、意見集約型や意見反映型ではそれぞれ38%、57%であった(成果3-10)。自分の住んでいる都道府県内である場合や、46都道府県で1か所ずつ設置される場合も、それぞれ40%、48%が同意していた(保高ら, 2024; 高田ら, 2025)。意見集約型選好と意見反映型選好の両方において、除去土壌の最終処分に関心を持っていたり、受け入れに関して高い社会的便益認知を持っていると有意な正の関連があった(表7)(成果3-10)。

オンラインアンケート1：県外最終処分への賛否および社会受容性の把握を目的とした都市部市民2000人(関西1000人、関東1000人)を対象としたオンラインアンケートの結果、回答者の6割以上が県外での最終処分に賛成していることが明らかとなった。震災への興味、除染と最終処分の知識、最終処分への賛成度は福島に近い関東のほうが関西より高いが、最終処分のリスク認知、不衡平感、保護価値は、地域による差が

なかった。最終処分への賛成度はリスク認知、不衡平感、保護価値と負の相関があり、震災への興味、除染と最終処分の知識とは正の相関があった。道徳基盤尺度に基づき、回答者を意思決定に道徳的規範を重視するグループとあまり重視しないグループ（重視しないグループ）に分けると、県外最終処分への賛成度とリスク認知、不衡平感、保護価値の影響は、道徳的規範を重視するグループのほうが重視しないグループより大きく、震災への興味、除染や最終処分の知識の影響は、道徳的規範を重視するグループより重視しないグループのほうが大きかった。自由記述から、最終処分への賛成者の回答に特徴的な頻出単語は「日本」「負担」「仕方がない」であり、負担の分かち合いに焦点をあてる傾向があった。反対者の回答に特徴的な頻出単語は「県内」「納得」「知らない」であり、福島県外での処分を正当化する根拠に納得しておらず、また情報開示や意思決定の透明性の欠如に不満を抱いていることが示された（成果3-11）。

表7 因子間の相関係数（成果3-10）

	1	2	3	4	5	6	7
1. 震災への興味	-	0.50**	0.37**	0.27**	0.24**	0.11**	-0.01
2. 除染の知識	0.56**	-	0.51**	0.24**	0.16**	0.07*	-0.07*
3. 最終処分の知識	0.43**	0.57**	-	0.19**	0.06	0.06	0.04
4. 最終処分への賛成度	0.25**	0.27**	0.19**	-	-	-	-
5. リスク認知	0.22**	0.17**	0.01	-0.12**	-	0.68**	0.51**
6. 不衡平感	0.10*	0.08*	-0.03	-0.19**	0.69**	-	0.69**
7. 保護価値	-0.01	-0.04	-0.01	-0.29**	0.53**	0.69**	-

値はスピアマンの順位相関係数。対角線より右上の段が関東エリア、左下が関西エリア

** $p < 0.001$, * $p < 0.05$

オンラインアンケート2：減容化技術適用に関する社会受容性における重要要素の理解を目的とした関東在住の都市部市民約2000人を対象としたオンラインアンケートを実施した。シナリオはテーマ1と連携して作成し、テーマ1で検討した減容化シナリオに基づく処分物の量と放射能濃度を用いた（図22）。コンジョイント分析の結果、処分物の量と放射能濃度は低下するほど回答者の選好が高くなった。処分場の種類は、管理がより厳重な処分場で選好が高かった。性別や年代によって3要素の選好度および相対的重要性は異なった。女性のほうが男性より選好が明確であり、少量、低放射能、管理が厳重な処分施設を好むことから、安全性を重視する傾向が示唆された。年代別では、年代が高くなるほど選好が明確になる傾向がみられた。総合的には、回答者は減容化技術の適用による処分量の低減効果や、より管理が重要な処分場の採用より、放射能濃度が低いことを重要視したため、回答者の選好は減容化の程度を抑えたシナリオほど高かった。この結果は、減容化による放射能濃度の増加に対する人々の抵抗感や忌避感が、処分場低減のメリットで相殺されづらいことを示している（成果3-9）。

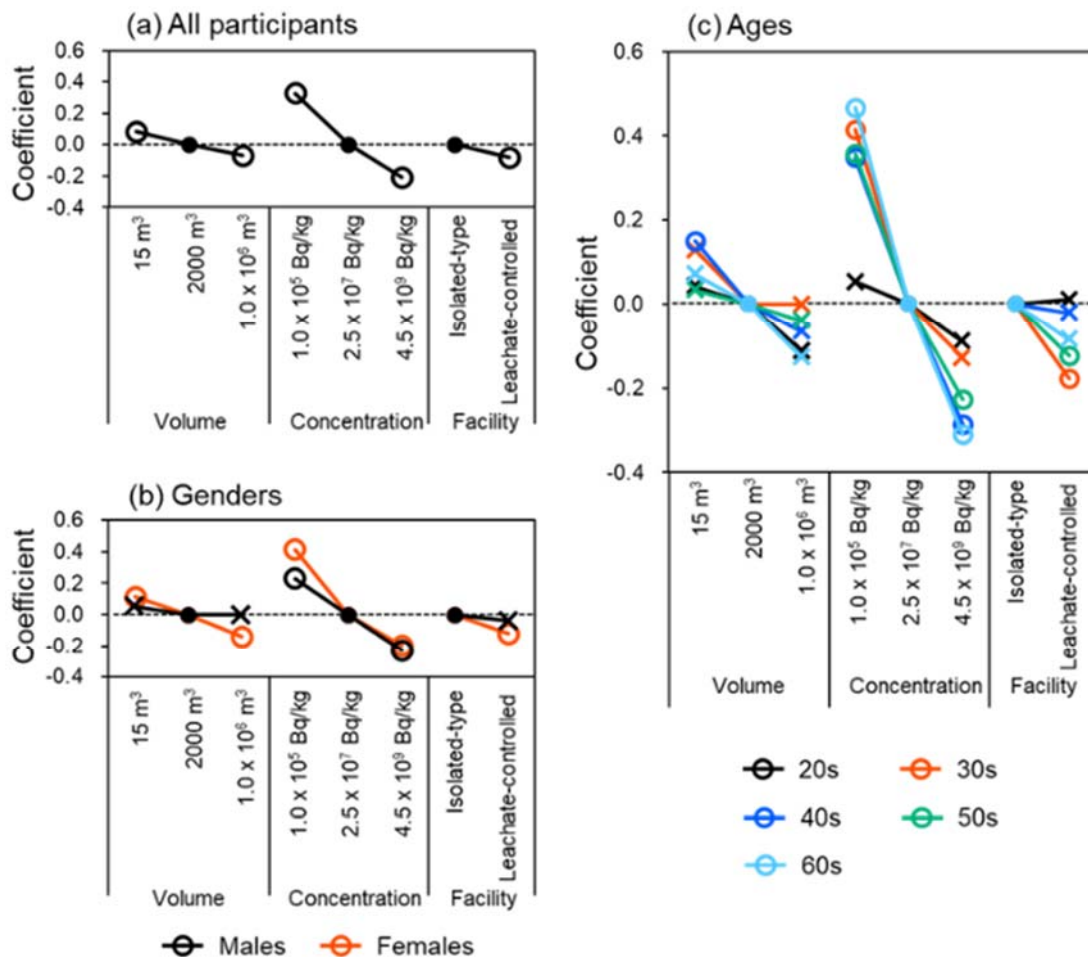


図22 階層別の各要素に対する選好 (a) 全回答者、(b) 性別、(c) 年齢。2000m³、 2.5×10^7 Bq/kg、遮断型相当処分場の選好を基準とし、黒丸で表示。白丸は統計的有意、×印は統計的に有意でないことを示す。(高田ら2024)

半構造化面接：オンラインアンケート（成果3-11、図23）で県外最終処分政策に賛成・反対と回答した各20人（計40人）の市民に対して実施したオンラインインタビュー（半構造化面接）の結果、「福島県外での処分方針に完全に賛成」が11名、「条件付きで賛成」が18名「個人的には反対だが条件付きで受け入れる（部分的反対派）」が6名「完全に反対」が5名であった。条件付きで賛成とは、例えば「絶対に安全であることが証明できれば」「全員が納得するなら」である。「個人的には反対だが条件付きで受け入れる（部分的反対派）」は、「自分は反対だが住民投票で決まれば受け入れて構わない」であった。約4割の回答者は事前アンケートとインタビューを通じて最終処分に対する意見が変化し、インタビューを通じて県外最終処分に肯定的な評価となる傾向が確認された。

回答の話題の多くが、安全性（除去土壌等を県外に持ち出す際の安全性への懸念）、手続き的公正（県外最終処分の手続き的公正）、負担の分かち合い（福島の負担を全国で分かち合うという視点）、政府への不信感、最終処分の経済的合理性に関する話題であった。最終処分政策への賛否に関するトピックは上記の5種に集約されたため、理論的飽和に達したと判断された。これらの言及は、地域、性別、年代による大きな偏りがなかった。県外最終処分に対する賛成者の意見は、福島の負担を皆で分かち合う、最不遇者に配慮するロールズのマキシミン原理を含む視点が特徴的であり、反対者は政府への不信感についての言及が特徴的であった。最終処分の安全性と経済性の最適化に関する功利主義的視点の発言は、政策への賛否に関らず言及された（図2）。本結果は、最終処分に向け行政が特に配慮すべき事項を示している（成果3-13）。

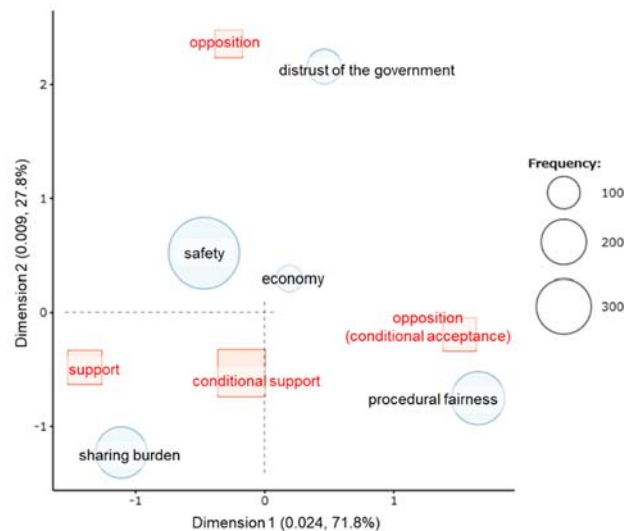


図23 最終処分に対する意見を外部変数とした話題の対応分析

国際オンラインアンケート： 日本・フランス・フィンランドにおいて、仮想的な原子力災害における除去土壌等の最終処分等の社会受容性に関するオンラインアンケートを実施した。県外最終処分の賛否の理由に関する自由記述を対象として、アフターコーディングに基づく分類を実施した。最終的には、①リスク認知（安全・健康・環境影響、不安・嫌悪感）、②個人的便益（経済的便益と悪影響）、③価値観（保護価値や原発反対）、④処分場の立地条件（原発関連地域での処分や過疎地域での処分）、⑤仕方ない（消極的な受容）、⑥公正（負担の分かち合い、手続き的構成）、⑦世代間への期待、⑧（行政や政治家への）信頼、⑨その他、の9分類となった。既往の除去土壌の最終処分に関する既往研究と比較すると、「処分場の立地条件」と「仕方ない」の2つが新たな要素として確認された。アフターコーディングで作成した9つの分類をもとにした最終処分の賛否の理由となる重要要素の国際比較結果を図3に示す。最大の反対の理由は、日本とフランスではリスク認知、フィンランドでは処分場の立地条件だった。一方、賛成の理由としては、フランスとフィンランドはリスク認知、日本は仕方ない（消極的な受容）が最も多かった。日本で賛成の理由として「仕方ない」に関する記述を確認すると、最終処分の必要性や責任に基づく記述が最も多く確認された（成果3-92、3-109）。

県外最終処分シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出のまとめ

研究内容①～④及びサブテーマ2の結果を元に、最終処分場の受容性とリスクやベネフィット認知、信頼、将来世代からの期待などとの関連を評価した結果を表8に示す（成果3-8）。これらの研究成果は「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関専門家会合最終報告書（IAEA報告書）」でも複数引用された。

表8 アンケートや半構造化面接から確認された最終処分場の受容における重要事項

内容		結果	論拠
最終処分のシナリオにおける社会受容性	意思決定プロセス	最終処分受け入れに際し、トップダウン型よりも意見集約型や意見反映型の意思決定のほうが社会受容が高い。このことは手続き的な公正の重要性を示している。	成果3-10
	最終処分場の箇所数	最終処分受け入れに際し、1箇所よりも、8箇所、46箇所のほうが社会受容が高い。このことは分配的な公正が社会受容において重要なことを示している。なお、最終処分場を46箇所作ることは現実的には難しいことは認識しているが、再生利用も含めて複数箇所での取り組みを進めることが重要である。	成果3-10
最終処分の賛否に対する影響因子	リスク認知*	・最終処分に関し、リスク認知が高いほど反対意見を持つ傾向がある。 ・最終処分受け入れに関し、リスク認知が高いほど受容しない傾向がある。	成果3-3、3-11
	ベネフィット認知**	・最終処分受け入れに関し、社会的便益を重視しているほど受容しやすい傾向がある。個人的便益と最終処分受け入れの関連性は低い。	成果3-3
	政府への信頼	・県外での最終処分に関し、政府への不信感は反対意見につながっている。 ・最終処分受け入れに関し、政府（環境省）への信頼が高いほど受容する傾向がある。	成果3-3
	将来世代からの期待***	・最終処分受け入れに関し、将来世代からの期待が高いほど受容する傾向がある。	成果3-3

中間貯蔵施設周辺復興地域のこれまでの地域ストック（歴史や記憶）のデジタルコンテンツ化：中間貯蔵施設内に立地する双葉町細谷地区・郡山地区及び一部が帰還困難区域に位置する双葉町下羽鳥地区の住民・元住民、役場職員、環境省、JESCO等と連携したインタビューや説明、ワークショップ、資料調査、現地踏査を当初の予定以上の20回も実施し、GISと航空写真を用いたWEB-GIS形式のデジタルコンテンツを作成した。また、地域住民や双葉町長の発言から着想を得て、地域の記憶を残す方法として、WEB-GIS形式に加えて、2冊のデジタル/アナログ大字誌（大字誌細谷、大字誌下羽鳥）を出版・配布、3次元プロジェクションマッピングも作成・展示を行った。3次元プロジェクションマッピングは、テーマ2と連携して、テーマ2が撮影をした中間貯蔵施設内の野生生物動画も組み込んだ（図24：右）。大字誌はNHKで紹介され、配布した地域住民から感謝の言葉をいただいた。

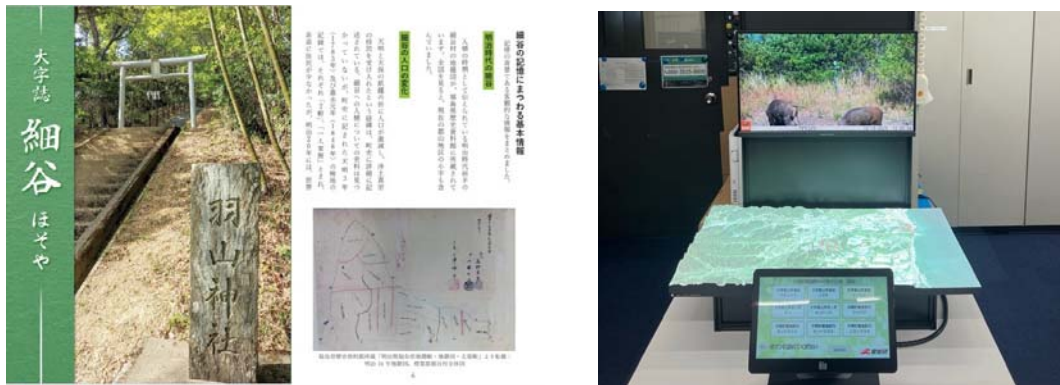


図24 デジタルコンテンツ（左：WEB-3次元地理空間情報ソフトウェア、右：3次元立体模型図・プロジェクションマッピング）

これらの成果は11報の査読付き論文として発表されただけでなく、NHK等での5回の報道、除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA）専門家会合に引用されており、環境省 中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（第18回）の論点整理・論点に対する考え方（案）でも使用された。また、3次元プロジェクションマッピングは2024年2月に東京で開催された第3回IAEA「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関専門家会合」における展示（IAEAの専門家からリスクコミュニケーションの重要なツールとの発言をいただく）や約9万人が参加するNEW環境展で2回の出展等、本問題の理解促進に貢献した。

（3-2）県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析およびステークホルダーの受容性に内在するメカニズムの質的分析

県外最終処分の各シナリオに適用可能な新たな多面的評価方法の開発：

多面的評価法によるシナリオ分析に関しては、県外最終処分の政策に関する都市部市民や専門家10名へのインタビューの結果環境面だけでなく、社会面、経済面を含めた多面的評価を実施し、重要事項・懸念事項の抽出を実施した（図25）。10名の仮想ステークホルダーへのインタビューの回答に対して質的分析を実施し、重要事項をSR指標（環境・社会・経済）を用いて整理した。図7に属性別の整理結果を示す。これらの結果、社会面が特に重要視されており、「人の健康と安全」、「倫理と公正」および「地域社会とコミュニティの参画」はほぼすべての仮想ステークホルダーから重要視することが確認された。また、主なステークホルダーの意見として、「自身の意見よりも共同体内の意見を優先すること（共同体で共有し難い選択肢は好まれないこと）」、「健康リスクがないことは除去土壌を受入れるための必須条件ではあるがそれだけでは十分な理由にはならない」などが挙げられた（成果3-41、53）。

環境	福島県外		福島県内		経済	福島県外		福島県内		社会	福島県外		福島県内	
	行政	市民	行政	市民		行政	市民	行政	市民		行政	市民	行政	市民
大気への放出	×	×	×	×	直接的な 経済的コストと便益	○	○	×	×	人の健康と 安全	○	○	○	○
土壌と土地の状態	×	×	×	×	間接的な 経済的コストと便益	○	×	○	○	倫理と公正	○	○	○	○
地下水と地表水	×	×	×	×	雇用と 雇用資本	×	×	○	×	近隣地域と 地域性	○	○	×	×
生態系	×	×	×	×	誘発される 経済コストと経済効果	○	×	×	○	地域社会と コミュニティの参画	○	○	○	○
資源と廃棄物	○	○	×	○	プロジェクトの寿命と 柔軟性	○	○	○	○	不確実性と 証拠	○	×	○	○

行政＝公務に従事する回答者，市民＝公務に従事していない回答者，
関連する発言があれば○，なければ×

図 25 インタビューの質的解析結果（属性別 SR の各指標の重要事項）

多面的評価の実践とステークホルダーによる受容性メカニズムの質的分析：

農村地域の特徴が異なる3地区（中山間農村集落、過去にNIMBY施設を受け入れた経験がある集落等）の合計15名に対して、自地域で県外最終処分が実施されると仮定したワークショップ及び半構造化インタビューを実施した。

A地区を対象として、アンケートおよび半構造化インタビューの結果を、「政策への賛否（反対・賛成）」軸と「行政への信頼度（不信・信頼）」軸の二軸でプロットし、ステークホルダーごとの意識傾向を四つの象限に分類した（図26）。そのうえで因子別の情報（リスク認知・手続き的公正・信頼・個人的便益、社会的便益）が、どの程度受容意識を動かし得るかを比較分析した。結果を図17に示す。

同一コミュニティかつ同一役割の住民であっても、政策賛否と行政信頼度の組み合わせは均一ではなく、四象限すべてに相当する参加者が存在した。これは「地域内での合意形成」において、同質集団であっても多層的な立場のズレを前提に議論設計する必要を示唆している。また、次に、因子別の情報（リスク認知・手続き的公正・信頼・個人的便益、社会的便益）の受容意識の変化を図17に示した（青は受容意識を高めた項目、赤は受容意識を高めなかった項目である）（成果3-96、3-97）。

リスク認知：もっとも広い層に影響を及ぼし、政策反対かつ行政不信の参加者を含め、全象限で受容意識を高める可能性が示された。

個人的便益：既往研究で限定的効果とされることが多い要因だが、当事者性が喚起された本調査では、安全性に次いで大きな影響を与え、二次的な動機付け手段として有効であることが分かった。

手続き的公正：透明性や参画機会の確保は一定の効果を示すものの、リスク認知や個人的便益と比べると受容意識を高める範囲は限定的だった。特に行政不信層では、手続きの説明だけでは意識変化が乏しく、「形式的公正」に終始する危険性がある。

信頼：行政信頼度の高い参加者には一定の効果を見せたものの、もともと不信感を抱く層ではほとんど受容意識を動かさず、「信頼醸成」施策は前提として一定の信頼基盤がなければ機能しにくいことが示された。

各ファクターの受容意識への効果

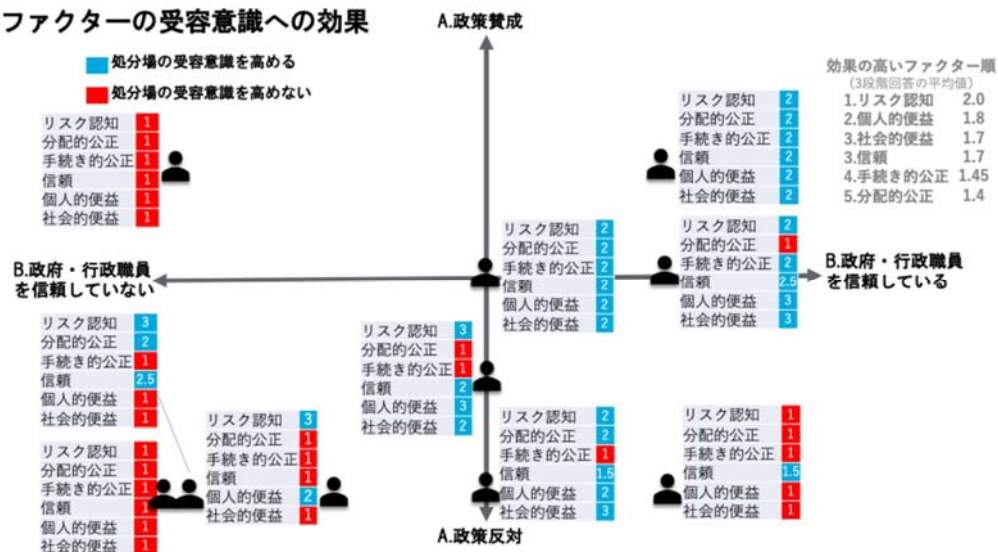


図26 A地区を対象として実施したアンケート・半構造化インタビューの2軸分析結果（成果3-96、97）

中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックの重要指標抽出と多面的評価法の適用：中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックの重要指標抽出と多面的評価法の適用に関しては、中間貯蔵施設内に立地する双葉町細谷地区・郡山地区及び一部が帰還困難区域に位置する双葉町下羽鳥地区の住民・元住民を対象としたアンケート、インタビュー、ワークショップの経験から、（大規模災害の影響を受けた）本地域の残されるべき社会景観を抽出する方法として、従来の一般的な方法に加えて、地図や記憶を用いた方法、祭事・イベント時の実施、手仕事の伝承時の実施、3次元プロジェクションマッピングや大字誌を用いたヒアリングなど、現地で適用した多様な手法を整理・方法論として整理した（図27）。一般的な調査票やインタビューに加えて、地図や記憶、祭事・イベント、現地踏査、手仕事の伝承等の記憶を想起させるトリガーを準備すること、また、地域の代表者の方以外からも率直なご意見を頂ける方法として有効であることが確認された。



図27 残されるべき社会景観を抽出する方法論の一例（左：古い航空写真を用いたワークショップ、右：3次元プロジェクションマッピングを用いたインタビュー）

また、チェルノブイリ事故（欧州）、エデン・プロジェクト（英国）、ハンフォード・サイト（米国）、モエレ沼公園（北海道）等の場所を対象とした比較、IAEA等の国際的な原子力災害からの復興に関するガイドラインの比較評価を実施した（成果3-12）。

（3-3）県外最終処分等に関わる多元的公正の整理および実験的評価（サブテーマ2）

多元的公正の視点から課題整理

従前の討議の質指標(DQI)は複数の要素が一つの項目に含まれていたため、同時に複数の共通善について語られていた場合の評価が困難であった。本研究で開発した DQI は複数の要素ごとに項目を分け、同時に複数の共通善の要素を測定可能とした。これにより、討議の際にどの側面が言及されやすいかなどの評価が可能となった。さらにこれを除去土壌問題に特化して評価できるよう、項目と概念の対応関係を整理した(図 20)。

この指標を用いて 10 グループでの集団討議実験の評価を行った。その結果、福島の人々の気持ちはデフォルトでは言及されにくく、功利主義に対応するリスク・コスト・量が言及されやすいことが示された(図 21)。県外最終処分の理解促進には、負担の分かち合い（平等・衡平）やこれまで負担を引き受けてきた双葉・大熊両町の住民への慮り（マキシミン）も重要な共通善な要素であるが、何もしなければ一般の人々はこれらへの言及はしにくいことを明らかにした。以上の成果は査読付学術誌に掲載された（成果 3-2）。

集団討議実験による建設的で“よい議論”がなされる条件の検討

集団討議実験は、提供される情報を操作した実験と、議論の枠組みを操作した実験の2つからなる。

まず、情報提供の内容が集団意思決定や議論内容に与える影響について実験を行った。実験では、除去土壌問題について経緯と県外最終処分の法律を説明するだけの統制条件（福島情報なし条件）と、これに加えて大熊・双葉町の町長発言を用いて町民の思いを伝える条件（福島情報有条件）を用意した。集団討議の内容と帰結を比較したところ、双葉町・大熊町の声を伝えない「福島情報なし条件」では、16 グループ中 14 組が「福島県を含め」て処分地を選定すると決定し、福島県以外で処分すると決定したのは 2 組だけであった。また、討議前後の意見変化を見ると、福島県外で再生利用することへの態度は、福島情報あり条件では議論後に肯定的な方向に変化したが、福島情報なし条件では変化が見られず、条件間に差が生じた。

さらに、DQI を比較したところ、福島情報なし条件ではリスク・コストに関する言及ばかり多くなるのに対して、福島情報あり条件では負担の分け合いや負担の軽減に関する言及が多くなった。以上の結果をまとめると、“客観的・中立的”情報だけでは福島の人々を慮る結論にならずリスクやコストといった狭義の合理性に重きが置かれた議論になる、これまで負担を負ってきた人々の情報があることによって除去土壌問題は負担配分の不公正の問題であると理解され、県外でも再生利用をすることへの理解が高まることが示唆された。以上の成果は査読付学術誌に掲載された（成果 3-18）。

賛成-反対の二分法ではない議論の枠組みが建設的な発言を促すことの実験では議論フレームを操作した。具体的には、相手を論駁する係争的なフレーム（係争条件）と、異なる意見もふまえ双方納得できるよう議論を進める包摂的なフレーム（包摂条件）である。いずれの条件でも、議論終了後には、再生利用については肯定的な方向に、減容化については否定的な方向に意見が変化することが確認された（図28）。一方、県外最終処分については集団としての結論の報告に個人の意見も変化した。ただし、最終処分をするなら複数箇所を実施すべきという意見が議論後は増えた（図29）。以上の成果は査読付学术论文として掲載された（成果3-18）。

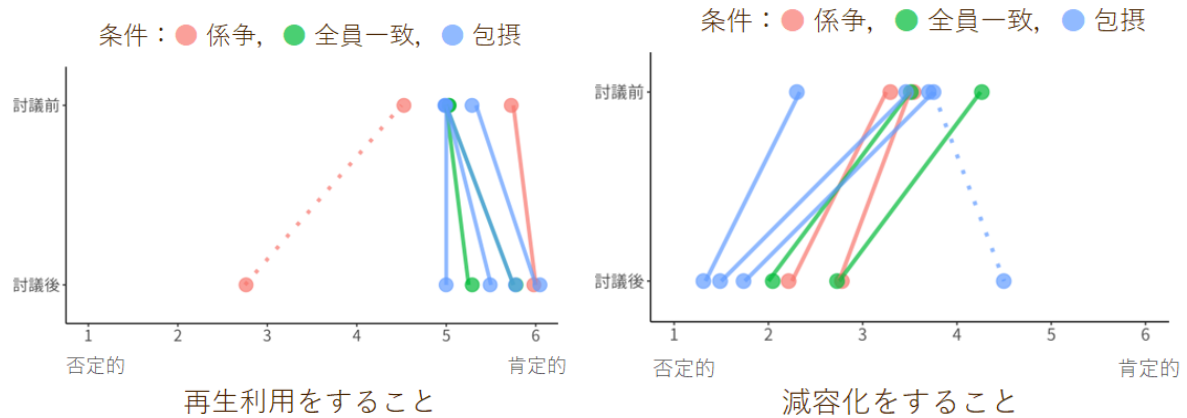


図28 集団決定後の個人意見の変化（左：再生利用、右：減容化）

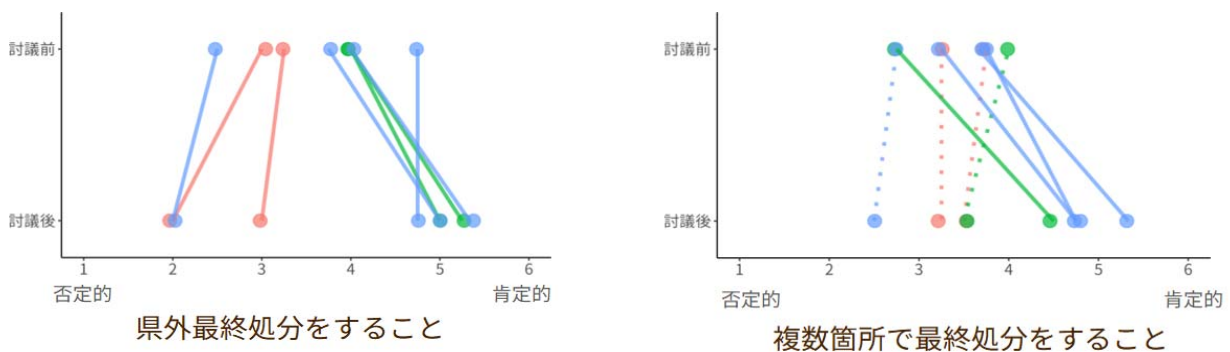


図29 集団討議前後の個人意見変化（左：県外最終処分、右：複数箇所で最終処分をすること）（相馬ら，2024）

模擬市民参加ワークショップの実施

市民参加ワークショップは計4回行われた。第1回から第3回は東京で行われ、第4回は大阪で行われた。第1回は大学生8名が参加した。第2回以降は、いずれもそれまで除去土壌問題について深く関知していなかった20代から70代までの男女個人が募集された。参加者数は、第2回が16名、第3回23名、第4回25名であった（図30）。



図30 市民参加ワークショップの様子

ワークショップはいずれも科学技術コミュニケーションの形式に則って進行した。プロのファシリテーターの司会進行の下、3名の専門家が情報提供し、それに対して参加者と質疑応答を行い、その後、グループに分かれて参加者同士で発言しあった。3名の専門家については、恣意的に都合のいい者だけにならないよう、国の担当者、土壌汚染の専門家、法律に批判的な弁護士から構成されていた。最初の2回は、提供される情報の過不足や偏りや恣意性のなさ、発言の機会が十分にあったかなどを確認した。その結果、いずれも、提供された情報は過不足なく、また偏りや恣意性がないと参加者に評価された。発言の機会も十分であり、ワークショップの場合全体としては参加者の満足度が高いことが確認された。以上より、ワークショップの運用方法に問題がないことが確認された。ただし、時間配分や専門家と参加者の質疑応答、最後に会場全体で意見共有する際のファシリテーションの仕方などについて、回を重ねるたびに微修正をしていた。第1回ワークショップの参加者は大学生であったため。以下の分析では除外し、一般の方々が参加した第2回以降の参加者について分析結果を示す。

まず、どのような発言があったかをKJ法により分類した。いずれのワークショップでも共通して、リスクや安全性に関する発言が多かった。これに付随し、再生利用や最終処分に肯定的または否定的な発言も連動してなされることが多かった。これらのトピックに関しては、全体的には安全性は理解できた、再生利用と最終処分の必要性は理解できたという肯定的な発言が多かったものの、安全性について確信を持っていない、不安が払拭できないという発言も少なからず見られた。次に多く言及されたのは、決定プロセスや情報公開・透明性など手続きの公正に関する発言であった。今回のように一般市民からの声を聞く場を設けたことはよいと肯定的に評価された一方、法律のことを知らなかった、周知徹底が不足している、このようなワークショップがなかったら知らない間に決まっていたのではないかといった、情報公開や発言機会の不足が特に東京の参加者から多く指摘された。一方、コストに関する言及も多くなされ、特に大阪の参加者はわざわざコストを払って福島県外に持ち出すことへの疑問を呈する発言が見られた。

次に、DQIに基づく発言分析を行った。第2回(Study 1 Tokyo)では、福島県の住民やこれから新たに負担を引き受ける方々を慮る発言が比較的多かった。これは、最後に全体で意見共有をする際に専門家と参加者の間でコミュニケーションをする機会が再度あり、このときに専門家から慮るべき主体についての発言があったことが影響したと推察される。第3回(Study 2 Tokyo)と第4回(Study 4 Osaka)では、参加者数が多くその時間がとれなかったため、慮る言及が相対的には多くなかったと考えられる。

また、ワークショップ終了直後に参加者の受容を尋ねたところ、東京の参加者(第2回と3回)では、再生利用、最終処分とも、一般論では「する方がよい」(「どちらかといえばする方がよい」も含む、以下同)という回答が「しない方がよい」(「どちらかといえばしない方がよい」も含む、以下同)よりも上回っていたが、大阪の参加者(第4回)では「しない方がよい」という回答が上回っていた。自分の住む地域で等思うかについて同様に尋ねたときには、「どちらともいえない」が全体的に多数を占めたが、東京では「する方がよい」と「しない方がよい」が拮抗していた。さらに、議論参加前後での質問紙調査により、参加者の態度や意見の変化をより精緻に調べた(第3回と4回のみ)。事前質問紙はワークショップに参加する1~2週間前に、事後質問紙はワークショップ参加後1週間以内に回答した。その結果、関心、当事者性、知識は前後で上昇した。また、再生利用に関するリスク認知と受容は増加したが、最終処分についてのリスク認知と受容は有意な変化が見られなかった(表9)。この結果を含む、参加前後の意見変化については査読付英文誌に掲載された(成果3-21)。

表9 ワークショップの参加前後での意見変化

	Before	After	<i>t</i>	<i>p</i>	
Interest	2.02 (0.77)	3.49 (0.66)	-10.83	<.001	**
Sense of the involved party	3.40 (1.03)	3.86 (1.05)	-3.41	.001	**
Knowledge	2.34 (1.42)	3.83 (1.27)	-6.73	<.001	**
Risk perception regarding recycling	2.67 (0.82)	2.37 (0.86)	2.76	.008	**
Risk perception regarding final disposal	2.69 (0.85)	2.48 (0.88)	1.85	.071	
Trust in government	3.05 (1.01)	3.09 (1.09)	-0.26	.799	
Trust in experts	3.83 (0.85)	3.87 (0.81)	-0.39	.697	
General acceptance of recycling	3.64 (1.05)	3.77 (1.00)	-0.80	.429	
General acceptance of final disposal	3.26 (1.03)	3.11 (1.07)	0.91	.368	
Acceptance of recycling in their residential area	2.87 (1.28)	3.23 (1.09)	-2.46	.018	*
Acceptance of final disposal in their residential area	2.87 (1.28)	2.89 (1.22)	-0.15	.878	

** $p < .01$, * $p < .05$. Values are means and values in parentheses are standard deviations.

仮想ステークホルダーを想定した役割演技型ゲーミングの作成と相互作用過程分析

上述した集団討議実験や市民参加ワークショップでは、いずれも都市部在住者で自分の居住地に本当に除

去土壌が来るというリアリティに乏しい中だからこそ健全に議論できるとも言える。そこで、当事者となったステークホルダーという立場からどのような議論と相互作用過程が生じるのかを検討するためにゲーミングを作成した。

このゲーミングは3段階で構成される。第1段階は地域の利害代弁者が交渉する場面である。当然、自地域の利害を背負っているために容易に除去土壌を引き受けるわけにはいかず、交渉は決裂しがちになる。この場面を、総和として負の財（除去土壌）が福島にあり、そのマイナスが他地域に移動するだけであるというゲーム構造で表現した。第2段階は、仮にある地域で除去土壌を引き受けたとしても、住民がそれに反発するという場面である。住民は説得される役割であり、行政担当者等が説得する役割になるが、一方的な説得はかえって反発を招くという状況を模している。この場面を、説得されれば負け(0点)、説得されなければ勝ち(1点)というゼロサム状況で表現した。第3段階は、地域が引き受けたくない理由を社会全体としてなくしていくという場面である。ここでは全員が共通の立場で議論するという点で市民パネ尔的な役割になる。実験やワークショップと異なる点は、自分の住む地域にも除去土壌が来ること、それは嫌だという感情経験もふまえて議論する点である。この段階3の場面を、社会全体の総和として、存在しているマイナスを減らしていくというゲーム構造で表現した。

役割演技型のゲーミングでは、与え得られたステークホルダーとして役割になりきる中で、利害が対立する相手の価値や視点を見失う経験をする。このことが合意形成の失敗に繋がる。しかし、合意形成の失敗経験を経て、再び利害のない全体的視点に立ったときに、様々なステークホルダーの感情的反応も考慮した上で、より良質な地域に取っても社会全体にとっても納得に繋がる提案を行えるようになる。以上のプロセスをデモンストレーションした。

まず、段階1や段階2で合意の失敗経験をしているほど、段階3で社会全体として達成すべき条件を満たすような、よりよい提案がなされたという結果が得られた。さらに、よい提案を行えるためには、新たに負担を引き受ける地域とこれまで負担を負ってきた地域の両方の視点取得ができている必要があることが示された(図31)。すなわち、段階1と段階2で合意形成の失敗経験がなされることで、様々な立場の視点取得ができるようになり、この視点取得ができることではじめて社会全体として達成すべき条件を満たすよい提案ができることを示唆している。裏を返すと、視点取得ができなければ社会全体としての受容に結びつく建設的な議論がしにくくなるが、その視点取得は単に当事者性の低い客観的視点に立つだけでは得られない可能性を示唆している。以上のゲーミングに関する成果は査読付学術誌に掲載された(成果3-20)。

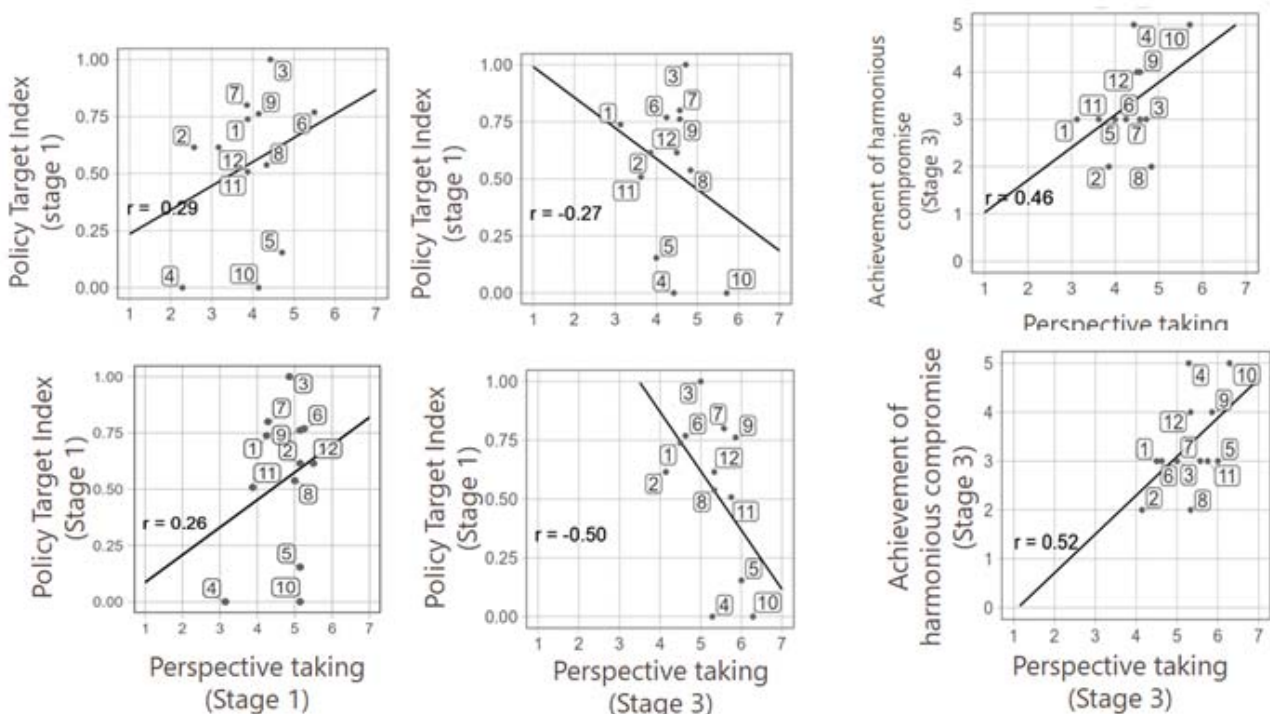


図 31 視点取得と各段階での達成度指標との相関

(3-4) 外最終処分等における多面的公正やステークホルダーの多面性を考慮した建設的な対話の場を通じた合意形成フレームワークの提示

本研究では、サブテーマ1において、県外最終処分シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出、県外最終処分に対する多面的評価法によるシナリオ分析、中間貯蔵施設周辺地域の聞き取り調査等に基づく記憶地

図・デジタルコンテンツ化を、サブテーマ2においては、集団討議実験による建設的で“よい議論”がなされる条件の検討、模擬市民参加ワークショップ、役割演技型ゲーミングに基づく社会受容性向上に向けた必要な要素の評価を実施してきた。

さらに、得られた知見は、日本リスク研究学会年次大会で2022年～2024年までの毎年、合計3回の企画セッションを開催し、様々な視点からの意見の収集、ICRP主委員会メンバーとの意見交換、さらにIAEAの専門家会合での意見交換、さらに有識者（Thierry Schneider氏、CEPN、ICRP 主委員会委員、第4部会議長）によるレビューを実施した。

2025年以降における県外最終処分・再生利用の段階、各段階における想定される主なステークホルダーを示す。2025年以降、県外最終処分場の立地選定方式の検討から実際の立地選定、合意形成に進んでいく。このような中で、関係する受容なステークホルダーも日本国民全体から、県外最終処分場の候補地及びその周辺の地域住民・自治体へと遷移していく。それらを踏まえて、県外最終処分に向けた多元的公正および環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークにおいて重要な事項を、これまでの研究成果から、最終処分のシナリオと社会受容性、最終処分等の受容性向上への必要条件、コミュニケーションのあり方の視点から取りまとめた。

最終処分のシナリオと社会受容性

最終処分のシナリオは、減容化の適用の有無、最終処分場の箇所数、意思決定プロセス、再生利用量や再生利用箇所数等が変数となり、複数のシナリオが考えられる。これらのうち、減容化の適用の有無、最終処分場の箇所数、意思決定プロセスについての本研究の成果から導き出された推奨事項を以下の通り整理した（表10）。

表10 最終処分のシナリオと社会受容性における重要事項と推奨項目

事項	結果	推奨事項
1. 意思決定プロセス	最終処分受け入れに際し、トップダウン型よりも意見集約型や意見反映型の意思決定のほうが社会受容が高い。このことは手続き的な公正の重要性を示している。（成果3-10）	意思決定プロセスにおいては、市民の意見が集約・反映される形の合意形成プロセスを採用することが望ましい。
2. 最終処分場の箇所数	最終処分受け入れに際し、1箇所よりも、8箇所、46箇所のほうが社会受容が高い。このことは分配的な公正が社会受容において重要なことを示している。（成果3-10）	最終処分場を複数箇所設置することは困難を伴うと考えられるが、再生利用等を推進することで、最終処分の社会受容が高まる可能性が示唆された。
3. 減容化	意思決定プロセス、最終処分場の箇所数と比較すると人々の選好に大きな影響を与えないが、減容化の有無及び最終処分場の保管方法についてフォーカスすると、超高濃度（4.5億Bq/kg：超減容化を適用）と比較して低濃度（10万Bq/kg：減容化なし）の方が好ましいと判断する人が多いことが確認された。（成果3-9）	減容化は除去土壌等の分量は削減されるが、濃度は上昇する。濃度の上昇は市民の社会受容を低下させる可能性があること、減容化は不可逆的なプロセスであることに注意が必要である。

最終処分等の受容性向上への必要条件

県外最終処分の社会的受容に向けて、リスク認知、社会的便益、政府への信頼、関心と知識、世代間の期待、手続き的な公正、分配的公正が重要事項であることを示してきた。これらの研究成果は「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関専門家会合最終報告書（IAEA報告書）」でも複数回引用された。

さらに、建設的な合意形成に向けては、最終処分場を複数個所に設置するといった分配的な公平性を高めることや、最終処分場が福島県外でなされることに関して、これまで負担を強いられてきた地域の情報や状況を共有することが重要であることが示された。本研究の成果から導き出された推奨事項を以下の通り整理した（表11）。

表11 最終処分のシナリオと社会受容性における重要事項と推奨項目

事項	結果	推奨事項
4. 関心と知識（リスク認知）	・最終処分に関し、リスク認知が高いほど反対意見を持つ傾向がある。 ・最終処分受け入れに関し、リスク認知が高いほど受容しない傾向がある。（成果3-3、3-11）	・適切な科学的な知見を、適切な方法で提供することが重要である。
5. ベネフィット認知	・最終処分受け入れに関し、社会的便益を重視しているほど受容しやすい傾向がある。（成果3） ・オンラインアンケート結果から、個人的便益と最終処分受け入れの関連性は低い。一方、具体的な立地に関するインタビューにおいては、個人的	・最終処分受け入れに関しては、地域全体の便益、日本全体の便益に関する情報提供が不可欠である。 ・一方、分配的な公正の視点から、最終処分受け入れの負担の応分に応じたインセンティブに

	便益を重要視する人も一定数確認された。(成果3-96)	関する制度設計の確立も必要である。
6. 政府・自治体への信頼	・ 県外での最終処分に関し、政府への不信感は反対意見につながっている(成果3-3、3-96)。 ・ 最終処分受け入れに関し、政府(環境省)への信頼が高いほど受容する傾向がある(成果3-92、3-109)。	・ 政府への信頼確保については極めて重要であるが短期的な達成は難しい。長期的視点から、適切な情報公開・対話を続ける必要がある。 ・ 中間貯蔵施設立地地域、県外最終処分・再生利用の(候補)となる地域においては、政府の信頼を損なわないように、合意形成において手続き的公正を担保する必要がある。
7. 被災地への慮り(負担の分かち合い・当事者性)	・ 県外での最終処分に関し被災地への慮りは賛成意見につながっている(成果3-2)。 ・ サブテーマ2のゲーミングにおいても、福島状況を説明するとよい結果が確認されている(成果3-20)。	・ 県外最終処分・再生利用の国民的理解醸成や候補となりうる地域では、人々との対話の際にこれまで負担を背負ってきた福島状況説明を十分にし、当事者性を上げる必要がある。
8. 将来世代からの期待	・ 最終処分受け入れに関し、将来世代からの期待が高いほど受容する傾向がある(成果3-3)。	・ 県外最終処分が完了するのは2045年であり、管理は長期間継続することから、将来世代への負担を低減する視点を伝える必要がある。
9. 地域固有の事情を鑑みる	地域毎に、産業、歴史や経験に基づく価値観があり、地域内でも人によって価値観・意見は異なる(成果3-96、3-97)。	地域の産業、歴史や経験に基づく重要視する事項や価値観を理解し、地域内・地域間の分断を理解することが必要である。

コミュニケーションのあり方

情報共有や合意形成に関しては、ステークホルダーへの対話による情報の共有の方法、タイミング、内容、すなわち、情報の内容だけではなく、どのタイミングで誰に、どのような方法で情報を共有し、対話をするかという、プロセスの重要性である。本研究では、中間貯蔵施設立地地域の住民との対話、市民参加ワークショップやゲーミングを通じて、方法、タイミング、内容について検討をしてきた。本研究の成果から導き出された。推奨事項を以下の通り整理した(表12)。

自由な意見交換ができ、かつ 少人数で議論・意見交換を実施する場合は、開かれた大人数の説明会や意見公開と同様に、問題を理解し、双方向のコミュニケーションを実施する上で不可欠である。県外最終処分の合意形成においても、様々な形での対話の場を持つことが求められよう。

表12 最終処分のシナリオと社会受容性における重要事項と推奨項目

事項	結果	推奨事項
10. ステークホルダーの多様性	中間貯蔵施設地域の住民や農村地域のステークホルダーとの対話を通じて、地域のステークホルダーの考えやスタンスは多様であり、把握するためには時間と信頼関係が必要なことが明らかになった(成果3-15、3-17)。	中間貯蔵施設地域の将来像、県外最終処分等に関するステークホルダーの対話に関しては、信頼関係を構築した上で時間をかけて実施する必要がある。
11. 幅広い国民・公衆による対話	多くの一般市民は、県外最終処分についてよく知らなかった、周知されていないという点を挙げるが多かった(成果3-21)。	一方向的な大規模な情報発信だけでなく、人口が多い都市部においても双方向的にコミュニケーションできる機会を複数設ける必要がある。
12. 対話や議論の場のつくりかた	ただ県外最終処分の必要性を説明するだけでは建設的な議論にならない。特に、賛否二分法による議論は参加者の評価(満足度)を下げる(成果3-19)。	大所高所からの情報提供だけでなく、それに加えて、負担を負ってきた大熊町双葉町の住民たちの複雑な感情を汲み取りながら的確に伝える機会をつくる。 賛成か反対か(県外最終処分ありき)ではなく、なぜ最終処分が必要かというところの理解と共感を得ながら対話を進めていけるような場のデザインが必要である。
13. 当事者性の濃淡	福島第一原子力発電所の恩恵を受けてきた地域とそうでない地域、あるいは、単純に福島からの距離などにより、除去土壌問題への当事者性にも濃淡が生じる可能性が見出された(成果3-20、3-21)。	当事者性を高める上で、単に問題の所在をご理解いただくだけでなく、国全体で解決に向かうべき問題であること、そのために誰もが当事者となりながら、かつ忌避感を生じさせないように、議論できる枠組みをつくっていく必要がある。
14. 不安への寄り添い	丁寧な説明により、多くの人々は科学的安全性について理解できるが、不安が残る人々が一定割合存在する(成果3-96)。	安全性は当然として、不安に寄り添う双方向的リスク・コミュニケーションのあり方を見直す必要がある。

1. 5. 研究成果及び自己評価

1. 5. 1. 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献

<得られた研究成果の学術的意義>

テーマ1では、県外最終処分に向けた技術的・環境的・社会的課題に対し、複数の観点から統合的な評価を行った点で、学術的に高く評価される成果を示している。減容化処理への技術導入シナリオと、処分対象の安定化体、最終処分システムを一体的に考えたシナリオ評価を実施した。同時に、長期安全性評価や温室効果ガス、コストといった多面的な評価を実施した。これらの検討手法は、既存の研究には見られない視点からの統合的な評価を実現しており、学術的価値が高い。

また、熱処理飛灰の洗浄・濃縮処理に関する研究では、吸着材のCs除去挙動を陽イオン交換容量と選択係数を基に理論的に予測する手法を構築した。これは、従来の経験的な分配係数に依存した手法に代わり、溶液組成の変化を反映する新たな予測モデルとして有効であり、吸着理論の発展に資する重要な成果である。事故時における天然バリア材へのCs吸着挙動に関する検討では、バッチ法の信頼性向上に向けた実験手法の整理と、平衡・非平衡条件を想定した吸着評価の妥当性を示した。これは、吸着試験における基礎的かつ汎用的な知見であり、関連分野への応用可能性も高い。

さらに、各種安定化処理による放射性Csの溶出挙動に関する網羅的検討、およびそれに基づく固型化手法の比較検討は、処分対象物の長期安定性の確保に向けた実用的な指針となる。とりわけ、ジオポリマーのCs保持特性や溶融飛灰の固型化条件、ゼオライト系吸着材の極めて低い拡散係数の提示は、実処分設計に直結する重要な成果といえる。また、有姿シリアルバッチ試験による長期溶出挙動評価法の提案は、試験結果と実挙動の橋渡しを可能にするもので、学術的にも意義深い。

加えて、セメント系およびベントナイト系バリア材料の基本物性と変質挙動に着目し、共存塩類の影響を踏まえた材料設計に関する知見を提示した。これは、人工バリアの長期性能評価に資する新たな視座を提供するものであり、総じて本研究は、県外最終処分に関する学術基盤の強化に大きく貢献するものである。

テーマ2では、東京電力福島第一原子力発電所事故によって甚大な影響を受けた中間貯蔵施設周辺地域において、自然環境および社会構造の再生に資する多面的な評価と共創的な計画手法を導入した点において、学術的に大きな意義を有する。具体的には、地域に内在する暗黙知や実践知をパターン・ランゲージとして形式知化し、住民・行政・民間・専門家など多様な主体が参画する「共創デザインプラットフォーム」を構築したことにより、持続可能な地域づくりの新たな理論的枠組みを提示した。また、地域統合評価モデルの活用を通じて、将来シナリオの定量評価を行い、従来の定性的ビジョンに対して客観的な裏付けを与えた点は、環境計画分野における新たな実証的アプローチとして高く評価される。

さらに、生態系サービスに関する評価では、震災による供給サービスの壊滅的影響とその地域差を明確化し、調整サービスの安定性や評価手法の限界を浮き彫りにした。これにより、地域特性に基づく評価係数の必要性や、新たな分析手法の導入といった課題を提起し、環境影響評価や復興政策研究の進展に資する知見を提供している。

テーマ3では、持続可能な環境管理に向けた社会受容性の評価とシナリオ評価のための多面的評価法を検討してきた。本研究では、一般市民、自治体担当者、特定の地域住民を対象として、郵送・オンラインアンケート、コンジョイント分析、半構造化面接、共分散構造分析、国際比較調査、様々な形式でのワークショップなど、多様な調査・分析手法を相補的に用いることで、社会受容性に関わる意思決定要因や中間貯蔵施設立地地域の地域ストック・重要事項を多角的に抽出し、相互に検証することによって、結果のロバスト性を高めることに成功した。このように、単一手法に依存せず多元的な分析を通じて、心理的要因や価値観との関係を調査した点は、学術的にも新規性が高く、環境政策に関わる受容性研究に貢献したと言える。NIMBY施設としての県外最終処分に関して、特定の層（都市部市民、若年層、道徳的規範の重視傾向を持つ集団、農村地域の特定の集団など）ごとの傾向の違いに着目した分析は多くなく、計画時～立地選定時の異なる段階において、ステークホルダーに応じた合意形成支援に有効な知見を提供するものである。これらの成果は、約20報の学術誌（7本の査読付き国際誌含む）での発表・出版や、国内外で多くの招待講演に招かれるなど（成果36、37、80、120～124）、学術界でも高く評価されている。

また、多元的公正の視座から社会的受容に繋がる建設的議論の場をどのようにデザインすべきかを検討してきた。この際、哲学や倫理学など規範的に議論されてきた内容を実験社会科学の手法を用いて実証的に示してきた。このような研究は希有で、実験やゲーミング手法により実証することは方法論的にも多くの困難を伴うが、それを克服することに成功してきた。これらの革新性、独創性、先導性が学術的に評価されていることは、研究に従事してきた研究者の成果発表が学会賞を受賞したり、招待講演に招かれていることが示している。

＜環境政策等へ既に貢献した研究成果＞

テーマ1では、環境省が10回にわたって開催した「中間貯蔵施設における除去土壌等の減容化技術等検討ワーキンググループ」において、本研究成果の一つであるシナリオ評価や、溶出特性、最終処分施設の在り方について、研究成果に基づいた助言を行った。なお、環境省も最終的にシナリオ評価をとりまとめているが、本研究での仮定条件等を取り除いた現実的な物量が用いられているため、最終的な安定化体の数量等は異なっている。

また、環境省に対して、セメント固型化物からの溶出特性の考え方、最終処分場の放射性Cs挙動の考え方、水処理施設や将来的な維持管理に向けた留意点等について助言を行い、実施設において、本研究成果の一部の知見が実装されている。

テーマ2では、国内外の環境政策・復興政策に対して既に具体的な貢献を果たしている。特に、2023年および2024年に開催された国際原子力機関（IAEA）の専門家会合において、本研究から提供された「パターン・ランゲージを活用した住民コミュニケーション手法」が高く評価され、最終報告書に反映される形で環境省に助言・公表された。これは、除去土壌の再生利用や最終処分に関する社会的合意形成のあり方に対し、実践的な知見をもたらしたものである。また、地域資本の可視化やリーフレットの試作を通じて、大熊町役場との連携のもと地域住民との対話が促進され、自治体の復興施策の検討過程において活用されている。さらに、調整サービス評価に用いた土地利用区分データは、サブテーマ1のシナリオ分析やテーマ3のデジタルコンテンツ化と連携し、学際的な研究連携・政策支援に寄与している。

テーマ3の成果は、除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA） 専門家会合に引用されており、環境省中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（第18回）の論点整理・論点に対する考え方（案）でも使用された。さらに、環境省、中間貯蔵施設における除去土壌等の再生利用及び最終処分に係る地域の社会的受容性の確保方策等検討ワーキンググループやコミュニケーションチームの委員会においても、本研究の成果をベースとした助言をしている。

また、本研究の成果について環境省に合計6回、また、関係自治体（双葉町）や関係機関（JESCO）にも情報提供を継続して実施した。さらに、2023年10月（福島）のICRP主委員会メンバーへの情報提供と意見交換（産総研）、2023年10月（ウィーン）、2024年2月（東京）における除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA） 専門家会合（環境省主催）において、環境省と連携して本研究内容について発表・意見交換を実施し、国際的な理解促進及び「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA） 専門家会合」報告書（2024年10月）の出版を支援した。

＜環境政策等へ貢献することが見込まれる研究成果＞

テーマ1では、「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略 工程表」にしたがって減容化シナリオ評価や、溶融飛灰の直接セメント固型化、最大濃縮の技術的検討、高濃度安定化体からの水素ガス発生挙動、長期的な放射性Cs溶出挙動の評価方法、封じ込め施設に求められる要求性能に関する研究成果を提示した。これら知見は、これまでに検討されていないため、県外最終処分を実現させるために2025年度以降に必要な技術開発項目であり、今後の環境政策に貢献できる知見を含んでいる。

これまで、焼却飛灰の直接セメント固型化は実施されているが、溶融飛灰の直接セメント固型化は実施されておらず、かつ、焼却飛灰に比較して溶融飛灰の固型化が困難であることを理論的に説明しつつ、その解決策についても提示している。また、最大濃縮を目指すのであれば、カラム吸着法では最大吸着までに長い時間を要するため化学共沈法により最大濃縮を行うプロセスを提案し、現在、JESCOと実汚染飛灰を利用し、直接セメント固型化と化学共沈法の有効性を実証する取り組みへと本研究は発展しており、国が実施してきた飛灰洗浄等実証事業を補完する点で、環境行政への貢献も期待できる。

テーマ2では、将来的には、本研究で開発された地域統合評価モデルや共創的ワークショップ手法、パターン・ランゲージの活用などが、他の被災地や地域再生を目指す自治体においても応用され、持続可能な土地利用計画や合意形成プロセスの高度化に寄与することが見込まれる。特に、赤トンボや哺乳類のモニタリングによる生物多様性の変化把握は、営農再開や土地再利用に際し、自然共生型復興を実現するための重要な基礎資料となる。さらに、住民・関係人口の意識調査によって得られた多様な価値観の整理は、今後の復興施策における参加型計画手法の導入を後押しし、画一的でない環境整備と政策形成を可能にする。こうした枠組みは、気候変動適応策や地域のレジリエンス向上にも通じるものであり、長期的な政策的インパクトを持つと期待される。

テーマ3では、県外最終処分等における多元的公正やステークホルダーの多面性を考慮した建設的な対話の場を通じた合意形成フレームワークを提示した。IAEA（2024）の報告書では、国民的コミュニケーションとステークホルダー参加（Public Stakeholder Engagement：PSE）の重要性を指摘され、これらの取り組みいっそう推進するよう勧告されている。ただし、PSEを具体的にどのようにデザインし、どのような対話や議論の場を設けたらよいかについては、従来は経験的な勘に頼るしかなかった。本研究の一連の成果は、実験やゲーミング等の失敗が許される状況での試行ができたからこそ、失敗／成功の要因を実証的に特定することが可能となった。これらの成果は、今後、除去土壌県外最終処分に向けてPSEを推進していく上で、有益な参考となる。また、こうしたPSEのあり方は、除去土壌問題に留まらず、NIMBY問題、PFASによる環境汚染、高レベル放射性廃棄物等だけでなく、サーキュラーエコノミーやネイチャーポジティブ等、国民・公衆やステークホルダーとの対話が求められる環境政策の策定場面にも適用可能である。

1. 5. 2. 研究成果に基づく研究目標の達成状況及び自己評価

- <全体達成状況の自己評価> 2. 目標を上回る成果をあげた
- <テーマ1 達成状況の自己評価> 2. 目標を上回る成果をあげた
- <テーマ2 達成状況の自己評価> 2. 目標を上回る成果をあげた
- <テーマ3 達成状況の自己評価> 1. 目標を大きく上回る成果をあげた

1. 6. 研究成果の状況

1. 6. 1. 研究成果発表の件数

成果発表の種別	テーマ1 件数	テーマ2 件数	テーマ3 件数	合計
産業財産権	0	0	0	0
査読付き論文	4	4	18	26
査読無し論文	4	0	7	11
著書	0	0	1	1
「国民との科学・技術対話」 の実施	15	107	7	129
口頭発表・ポスター発表	68	13	89	170
マスコミ等への公表・報道等	2	0	8	10
成果による受賞	8	1	7	16
その他の成果発表	6	1	3	10

1. 6. 2. 主要な研究成果発表

成果 番号	主要な研究成果発表 (「研究成果発表の一覧」の査読付き論文又は著書から10件まで抜粋)
1-1	乾 徹 (2022) 安定化体を対象とした最終処分施設構造の検討にむけた技術的課題, 廃棄物資源循環学会誌, 33(6), 467-476
1-3	庭瀬 一仁, 赤坂 翼, 今泉 有人 (2023) ゼオライトを混合したセメント系材料の高吸着人工バリアへの適用性に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, 45, 964-969.
1-5	Yamada K., Ichikawa T., Arai H., Yasukochi T., Endo K. (2024) Study on the mechanisms of retardation of cement hydration by zinc and acceleration of hardening by sodium aluminate from crystallographic phase analysis, Journal of Material Cycles and Waste Management, https://doi.org/10.1007/s10163-024-02059-6 .
2-1	Ohnishi, S., Osako, M., Nakamura, S., Togawa, T., Kawai, K., Suzuki, A., Yoshida, K., Gomi, Tsuji, T. (2024). A Framework for Analyzing Co-Creation Value Chain Mechanisms in Community-Based Approaches: A Literature Review. Sustainability, 16(7), 2919.
2-3	戸川卓哉、大西悟、福島秀哉、万福裕造、後藤良子、五味泰子 (2025) パターン・ランゲージによる環境まちづくり先進都市に見られる生成的プロセスの記述と展開、土木学会論文集
3-3	Shirai, K., Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Yamada, K., Osako, M., & Yasutaka, T. (2023). Factors influencing acceptability of final disposal of incinerated ash and decontaminated soil from TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Journal of Environmental Management, 345, 118610. doi:10.1016/j.jenvman.2023.118610
3-10	Murakami, M., Takada, M., Shibata, Y., Shirai, K., Ohnuma, S., & Yasutaka, T. (2024) Exploring the differences and influencing factors between top-down and opinion-reflective approaches regarding public acceptance of final disposal of soils removed after the Fukushima nuclear accident. Radiation Protection Dosimetry, 200(16-18), 1514-1518. doi:10.1093/rpd/nae017
3-13	Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Shibata, Y., & Yasutaka, T. (2025) Public perception and underlying values regarding final disposal of radioactively contaminated soil from a large nuclear accident. Environmental Management, 75, 8
3-15	Fujii, S., Takada, M., & Yasutaka, T. (2025) Post-accident changes in the interests of residents of a municipality near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Text analysis of residents' town meeting minutes. Radioprotection, in press, doi:10.1051/radiopro/2024045
3-21	Shibata, Y., Cui, Q., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ue, H., Kihara, N., Takamoto, M., Yasutaka, T. & Ohnuma, S. (2025) Opinion changes among participants in citizen participation workshops: a case study on the final disposal of removed soil outside Fukushima Prefecture. Frontiers in Environmental Science, 13, 1507210. doi: 10.3389/fenvs.2025.1507210.

注：この欄の成果番号は「研究成果発表の一覧」と共通です。

1. 6. 3. 主要な研究成果普及活動

テーマ1

本研究課題での成果普及活動は、合計で15件（国民との科学・技術対話：15件とマスメディア等への公表：2件）を実施した。NEW環境展・地球温暖化防止展への出展は、環境や温暖化に係わる約9万人の参加者があるため、国民の中でも環境意識の高い、もしくは関連業務を行っている方々との対話を行うことができ、その後も多くの反響があった。福島県環境創造センターでの一般人（子供を含む）向けのセミナー等を実施しており、フェロシアン化物の合成等を体験して頂いている。環境放射能除染学会の講演会は、東京や福島等で一般公開として実施されており、反対派の住民が多く参加する中、本研究成果のパネルディスカッションも実施した。また、その他の成果発表は学会や国際機関での講演会であり、6件を実施している。国民との対話では無いが、原子力分野の方々との対話も重要だと考えている。なぜなら、現状、原子力の埋設処分と特措法の県外最終処分の双方における制度、技術、哲学に精通した技術者が世界に数名しかいないた

めである。今後、圏外最終処分を実現させるためには、異分野同士での積極的かつ柔軟な議論が必要と考えている次第である。

テーマ2

本研究課題（テーマ2）における成果普及活動は、合計で107件（国民との科学・技術対話 102件、その他成果発表・展示 5件）を実施した。そのうち、住民協働で進めたら調査結果から得られたパターンや、環境回復、地域づくり等の理解醸成に関する大学講義を環境省の協力のもと多数進めることができた。特に、中間貯蔵施設周辺地域の環境の再生に関する研究成果を基に、被災地域の資源の現状と将来像を伝えるリーフレットを制作・配布し、役場や地域住民との対話に用いたほか、町外の移住者・行政関係者など幅広い層にも提供され、地域の環境価値に関する共通理解の醸成に資する成果となったことが挙げられる。学会と連携し、2023年、2024年に開催された環境放射能除染学会および環境展等でのパネル展示やプレゼンテーションに活用された。さらに、福島県内外の住民・学生を対象としたワークショップや自然共生型の復興をテーマとした講演会等を通じて、研究成果の社会実装に向けた対話の機会を継続的に設けた。さらに、大学教育にも活用されており、環境省と連携したプログラムを通じて、50校以上・延べ4,500名以上の学生が福島の事例研究を通じた理解促進に参加した（成果19～122）。学生らは中間貯蔵施設や地域復興の現場での課題に対する現実的な問いを立て、IAEA会合でも的確な質問を行ったことで国際専門家からも高評価を受けた。これにより、国内外における知識の社会実装と理解促進の両面で大きな成果が得られている。

テーマ3

本研究課題での成果普及活動は、合計で18件（国民との科学・技術対話 7件、マスメディア等への公表・報道等 8件、その他成果発表 3件）を行った。そのうち、特に重要なものとしては、除去土壌等の圏外最終処分に関する社会受容性の研究成果に関してNHKでの報道・解説が2回、新聞での報道が3回されたこと、中間貯蔵施設立地地域である双葉町細谷地区・下羽鳥地区での地域の記録と記憶を残した大字誌の出版・配布（インターネット上でもダウンロード可能、地域住民、環境省、双葉町長・役場、福島県等）したこと、双葉町・中間貯蔵施設等を対象とした3次元プロジェクションマッピングを作成し、2024年2月に東京で開催された第3回IAEA「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関専門家会合」における展示や約9万人が参加するNEW環境展で2回の出展を実施したことが挙げられる。

1. 7. 国際共同研究等の状況

<国際共同研究の概要>

国際共同研究を実施していない。

1. 8. 研究者略歴

<研究者（プロジェクトリーダー及びテーマリーダー）略歴>

研究者氏名	略歴（学歴、学位、経歴、現職、研究テーマ等）
遠藤 和人	テーマリーダー及びサブテーマ1リーダー 京都大学工学研究科博士後期課程修了 博士（工学） 国立環境研究所資源循環センター研究員を経て、 現在、国立環境研究所福島地域協働研究拠点室長 中環審廃棄物処理基準等専門委員会、汚染水処理対策委員 専門は環境地盤工学、研究テーマは圏外最終処分を含む廃棄物最終処分技術
万福 裕造	北海道大学大学院工学院博士課程修了 博士（工学） 農林水産省技術会議事務局を経て、 現在、農業・食品産業技術総合研究機構農業環境研究部門 上級研究員 環境省 中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会コミュニケーション推進チーム委員 中間貯蔵施設における除去土壌等の再生利用方策検討ワーキンググループ委員他 専門は農業環境リスク、環境回復

保高 徹生	<p>テーマ3リーダー 横浜国立大学環境情報学府博士後期課程修了 博士（環境学） 国際航業（株）を経て、 現在、産業技術総合研究所、ネイチャーポジティブ技術実装研究センター 副センタ ー長、北海道大学客員教授 環境省 中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会 コミュニケーシ ョン推進チーム委員他 専門は環境リスク学等</p>
-------	---

2. 研究テーマの概要

2. 1. 【S2-9-1】「県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究」

2. 1. 1. テーマ1研究目的

県外最終処分に向けた減容化技術は多様である。溶融飛灰を対象とする技術や、除去土壌に対する技術、双方に適用可能なタイプの熱処理技術などがあり、2024年度までに個別技術開発を終了させることが国の戦略目標となっている。それぞれの減容化技術によって発生する濃縮物の特性は、選択する技術によって違いがあり、その特性に合わせた安定化体化、そして、最終処分施設構造への要求性能も異なることになる。したがって、これら個別技術を一体のシステムとして考え、廃棄物や土壌といった対象品目に応じた多岐にわたる導入技術の組合せを比較検証し、導入技術システムを決定することが2024年度以降に必要となる。そこで、種々の減容化技術等による量・質的变化を把握し、(1)技術的確からしさ（技術開発の熟度）、(2)経済性（不確実性を考慮）、(3)受容性（最終処分対象物の放射性セシウム濃度、量、処分地、適合法規等）の観点から相互比較できるようにするための研究を実施する。具体的には、可燃性廃棄物の焼却残さと高濃度土壌を対象とし、熱処理の実施／不実施、洗浄・吸着濃縮の実施（複数の濃縮レベル）／不実施、これらに対応した安定化方法の設定、安定化体の放射性セシウム濃度と量を考慮した処分方法の検討、及び、以上を組み合わせた複数シナリオのマテリアルバランスとコスト評価を実施する。

2024年度以降、中期的に検討が必要と思われる技術として、安定化体の長期安定性が挙げられる。温度や乾湿等の外的環境による劣化もあり得るが、重要視すべきは、水と接触した際の長期的な溶出性にあると考えられる。判定試験としては告示等に示される溶出試験方法があるが、最終処分した場合の長期的な影響や、事故時シナリオ等を検証するためには判定試験以外の試験法が必要と考えられる。そこで、各種安定化体に対して、セシウム捕捉形態、溶出濃度、pH依存性試験、長期溶出試験などの基礎特性を把握する試験を実施する。さらに、過酷環境下曝露試験として、高イオン強度水との接触による溶出、構造的劣化破壊後の溶出、温度影響等の曝露後溶出特性などを把握する。以上の評価研究を通して、最終処分後の長期的な安定性を評価するための試験法について提案する。

次に課題となるのは県外最終処分施設構造であり、安定化体からの溶出特性に応じた施設構造が必要となる。現在の特別措置法は、廃棄物の最終処分を放射性セシウム濃度で分類しているが、最終処分においては従来通りの放射性セシウムの溶出性で分類するべきと考えられ、安全性評価（成定性評価）でも溶出性の情報が必要となっている。また、廃棄物処理法の遮断型最終処分場や炉規法の浅地中ピット処分では、漏洩防止のための遮断の効果としてコンクリート構造が求められているが、粘土系遮水材と鉄筋コンクリート構造による排水監視システムの漏洩防止効果や、機能を阻害する安定化体からの浸出水などの情報は十分に整理されていないのが現状である。そこで、最終処分施設の基本的な機能である封じ込め性能におけるコンクリート構造物の要求性能等の知見を収集する。更に、最終処分施設では、事故対応も考慮しなければならない。フェイルセーフ機能を想定した場合等の、膨潤性粘土（ベントナイト）等を用いた封じ込め性能についても評価し、安定化体の特性を考慮しながら、最終処分施設に求められる要求性能と適用可能技術について取りまとめる。

2. 1. 2. テーマ1研究目標

テーマ1実施機関	国立環境研究所、名古屋大学、福島工業高等専門学校、北海道大学、東京大学、広島大学、大阪大学、八戸工業高等専門学校
テーマ目標1	中間貯蔵施設周辺復興地域の環境回復に向け、除去土壌や副産物の有効利用や汚染廃棄物等の県外最終処分を着実に実現するため、効率的かつ低コストな技術の組合せを意識した技術システムのシナリオを提案する。同時に、国の戦略目標の2024年度以降に必要と考えられる安定化体の長期安定性評価手法、ならびに県外最終処分施設に求められる施設構造について技術的知見を提示する。さらに、既存の復興の戦略を踏まえつつ、中間貯蔵施設周辺復興地域環境の課題と未来技術の活用を考慮し、先行して復興が進む周辺地域との温度差が生じないように、地域の復興の具体的なイメージ、施設等整備、交流戦略、産業戦略等の参考となりえる将来デザインを提案する。除去土壌等の県外最終処分および中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインにおける円滑かつ公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、本課題特有の次世代の方々の考えを意識しつつ、多元的公正や環境面だけでなく、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案する。

2. 1. 3. テーマ1 研究内容

テーマ1全体の研究課題は「県外最終処分を実現させるための技術システムの開発研究」であり、県外最終処分に向けた減容化戦略を技術的に裏付ける研究として位置付けている。対象となるのは除染廃棄物（主に可燃物）と除去土壌の2種類であるが、除去土壌は放射性セシウム（以下、Cs）の溶出性が極めて小さく、腐敗や溶解もしないため、既に安定していると考えられ、そのままの状態が最終処分が可能といえる。ただし、物量が多いため減容化が求められているが技術的な課題はそれほど多くなく、課題としては対象物量を処理できるだけの施設整備と処理に要する時間と考えられる。一方、除染廃棄物については、既に双葉町の2ヶ所の仮設灰処理施設で熔融処理が行われており、熔融飛灰、熔融スラグは中間貯蔵施設内に整備された保管施設で貯蔵中である。熔融飛灰は、溶解性、溶出性も高く、物性によっては潮解する可能性も否定できないことから、安定しているとは言い難い。特措法の基本方針や環境放射能除染学会（2021）から推察される県外最終処分対象の除去土壌等に関する考え方（案）を表1.1に示す（成果1-107を修正）。

表1.1 文献情報等から推察される県外最終処分対象の除去土壌等に対する考え方（案）

種 類	濃度 (Bq/kg)	物 量	再 生 利 用	最 終 処 分
除去土壌	8,000以下	955万m ³ 程度	可能	そのまま可能 (再生利用したい)
	8,000超	348万m ³ 程度	熱処理等によって一部が可能 となる可能性あり	そのまま可能 (減容化したい)
熔融飛灰	平均20万程度 (推定)	10万トン (推定)	困難	溶解性、溶出性が大きく 不安定なので安定化処 理が必要 (減容化したい)
熔融スラグ	8,000以下	56万トン (推定)	可能	そのまま可能 (再生利用したい)

今後、最終処分を進めるにあたって必ず安定化もしくは減容化しなければならないのは熔融飛灰であり、減容化技術や安定化方法等、技術導入の種類によって最終処分対象の安定化体（放射性廃棄物分野での最終廃棄体相当）の特性が変化することから、研究対象として熔融飛灰に着目した。

サブテーマ1では、導入技術システムによって変化する安定化体への処理プロセスと最終処分システムに至るまでの道筋をシナリオとして評価した。また、技術的な課題として明らかに残っている熔融飛灰の直接セメント固型化をサブテーマ2で、国が検討を実施していない最大減容化をサブテーマ1で取り扱った。また、平常時には最終処分場の埋立地内で封じ込められている放射性Csであるが、遮水工等の破損等の事故時には埋立地外へと漏洩する可能性があることから、天然バリアである自然地盤の放射性Cs吸着特性についても評価した。放射性Csを濃縮し、高濃度にしていくと放出されるγ線によって水分子が分解されて水素ガスが発生することから、これら水素ガスの発生可能性について実験的な検討も実施した。

サブテーマ2では、導入技術システムによって変化する各種シナリオで想定される安定化体の溶出特性の網羅的な把握を試みた。また、放射性廃棄物処分の観点では比較的短寿命半減期のCs-137ではあるが、濃度が濃くなると特別な維持管理が不要となる8,000 Bq/kgを下回るまでの維持管理期間が長期にわたる可能性がある。そのため、長期的な挙動を保守的な考え方の下で適正に評価するための実験方法についても検討した。

サブテーマ3では、処分場構造に着目し、「遮蔽機能」、「漏出防止機能」、「移動抑制機能」の内、後者2つに着目した検討を実施した。要求されるこれら機能は、サブテーマ2で検討される（長期的な）溶出特性に依存し、シナリオによっては、塩類濃度が高い場合や、重金属類を含んでいる場合もある。そこで、高塩類環境下やカリウム存在下での「低透水性」、「収着性」に着目して検討を進めた。なお、高濃縮された事故由来放射性物質汚染廃棄物（特定廃棄物相当）の埋立処分と、放射性廃棄物の埋設処分における考え方の違いについても整理した。

2. 1. 3. 1 サブテーマ1 県外最終処分に向けた導入技術システムのシナリオ最適化

サブテーマ1では、処理・処分シナリオを複数提示し、経済性も含めた総合的評価を行うことで処理から処分までを一体とした導入技術の選定シナリオとその考え方を明らかにすることを目標としているため、以下に示すように、シナリオ評価を行うとともに、そのために必要な個別の要素技術にかかわる情報を明らかにした。（1）網羅的に処理・処分シナリオを調査したうえで、特徴的な3シナリオにまとめ、経済性評価と安全性評価を通して、各シナリオの総合評価を行った。個別の要素技術として、（2）熱処理飛灰の洗浄・濃縮処理に用いる吸着材に関する基礎的研究（すなわち、吸着材のCs吸着挙動のイオン交換理論による記述、吸着材の性能評価方法、カラム濃縮の特性、化学共沈法による最大濃縮の検討からなる）、（3）処

分時の事故時シナリオの評価に必要な土壌へのCs吸着特性の評価、及び（４）Cs-137の放出するγ線による安定化体からの放射線分解水素ガスに関する基礎評価を実施した。

（１）では、文献調査や環境省の環境省の飛灰洗浄・吸着・安定化技術実証事業（以下、飛灰洗浄等実証事業とする）（環境省、2025）で取得した情報を基に、減容化処理プロセスと導入可能技術、マテリアルバランス等のパラメータを調査して、蓋然性のある処理・処分シナリオを複数作成した。なお、作成したシナリオは、洗浄から濃縮、安定化までの工程、および県外最終処分施設の成立性の観点にも留意して構築した。シナリオに対して関係者間で共通の認識やイメージを共有することを重要視するため、IPCC等におけるシナリオの考え方を参考に、将来的に生じるか否かの定性だけでなく、その可能性や、根拠、一貫性といった定量的な視点も重視してシナリオを描いた。具体的には、全体を二つのステップに分けて実施した。ステップ１では、主要なアウトプットである「シナリオ」と「その論拠」を抽出し、当該シナリオの論拠となる国内外の減容化技術情報を調査し、シナリオを構築した。ステップ２では、ステップ１の調査の過程で得られた減容化技術と安定化技術を組合せることでサブシナリオを含めた網羅的なシナリオ構築を行った。具体的には濃縮度を変えた三つのシナリオを構築し、コスト等の経済的な影響と県外最終処分を考えるための安定化体（放射性廃棄物分野における最終廃棄体相当）の長期安全性評価について検討した。安全性評価では、それぞれのシナリオに対応するように処分システムおよびパラメータを設定した上で、処分場内の放射性Csの挙動の試算を行った。様々な環境条件下での安全性を確認するため、解析において用いたパラメータは文献から根拠を参照して設定し、パラメトリックに溶出率や人工バリア素材を変化させて浸出水の濃度の時間変化を評価した。さらに、減容技術の処理・処分プロセスにおけるCO₂排出原単位を調査・整理し、各シナリオにおけるCO₂排出量の試算も行った。排出原単位の調査においては、調査対象技術について、当該技術を保有する事業者に対するヒアリング結果を基に、原料1トンあたりの処理・処分プロセスにおける活動量（プロセスへの投入量及びプロセスからの産出量）を設定した。ヒアリングにより詳細なデータが入手できなかった場合は、文献調査結果を基に、類似した処理・処分プロセスにおける値で代替し、活動量に温室効果ガス排出係数を乗じて足し合わせることで、当該技術の処理・処分プロセスにおけるCO₂排出原単位の算出を行った。

（２）では、シナリオ評価において濃縮度を設定するために、Cs吸着材のCs吸着の度合いを把握するために必要な研究を行った。従来、多く用いられてきたCsの溶液と吸着材の間の分配係数は材料定数ではなく、飛灰洗浄液の化学組成により変化し、吸着材の吸着率が飽和に近づくで使用できないため、イオン交換理論による吸着性能の記載を行う。分配係数では記述できないが、陽イオン交換容量（CEC）とCs選択係数により、共存イオン効果を定量的に説明できることを利用し、吸着に影響する共存イオンの定量的評価と最大濃縮に及ぼす安定Csの影響評価を理論計算により行った。飛灰洗浄液からCsをカラム吸着するが、その目的が減容化、すなわちできるだけ吸着量を増やすことであり、その最大吸着量を評価する方法を提案し、中間貯蔵・環境安全事業株式会社（以下、JESCOとする）の実証事業で用いられた吸着材と同等と考えられる材料でその性能を評価した。評価は、吸着材の基礎物性評価を行い、理論計算で最大吸着量を予測し、実験によりその予測を検証した。この過程で、使用した吸着材の吸着速度が遅く、カラム吸着には多大な時間を要することが分かった。この点を改善し、最大濃縮するため、フェロシアン化遷移金属塩を飛灰洗浄液中で合成することで高度にCs選択性を発現できることを認識したので、この化学共沈法を2回繰り返すことで、短時間に吸着材のCECの半分以上までにCsを高濃縮できる可能性について検討した。飛灰洗浄・吸着濃縮に関する基礎研究の結果、飛灰洗浄液の化学組成により濃縮度が大きく変化することが判明したが、仮設灰処理施設から発生する溶融飛灰の化学組成や溶出特性は公開されていない。環境省とJESCOの協力を得て、環境省の飛灰洗浄等実証事業（環境省、2025）で取得された多数の飛灰洗浄液の化学組成に関するデータを閲覧する機会を得、その情報を本研究の一部に活用した。飛灰洗浄等実証事業では、1年以上にわたる多数のロットの溶融飛灰の化学組成と溶出特性を調査し、飛灰洗浄液を3種類のパイロットスケールの洗浄・濃縮と安定化の工程が検討された。本研究では、この情報を参照しつつ、この実証事業で使用された吸着材の同等品も使用し、吸着工程をも参照した。

（３）では、県外最終処分場を設置する自然地層（天然バリア）をフェイルセーフの一部として機能させることを想定し、そのCsの移行抑制性能を評価することを目的としている。Cs吸着定数の文献値はJAEA-SDB Systemを用いて整理し、実土壌のCs吸脱着挙動の把握は室内試験より検討した。土壌は、入手が容易な、いわき市の非汚染土5種（畑・森林・校庭・水田・掘削）を使用した。本研究の土壌は、有機物量の含有量が異なること、成因が異なる土質であることを基準に選定した。なお、各土壌は地表面から1 m深さまでの範囲から採取し、四分法による均質化、2 mm以下の粒度調整後に実験試料として使用した。土壌に対するCs吸着速度≒Cs脱離速度の場合を平衡吸着（事故時の漏洩水の速度が小さい）、等しくならない場合を非平衡吸着（事故時の漏洩水の速度が大きい）として、バッチおよびカラム吸着試験にて評価した。バッチ吸着試験では、PP容器に0.1M CsCl溶液100 mLと炉乾燥させた試料1 gを入れ、24時間水平振とうした。0.45 μmメンブレンフィルターにてろ過後、MP-AESを用いてろ液のCs濃度を測定し、Cs分配係数を算出した。カラム試験では、内径5 cm、高さ1.02 cm、体積20 cm³のアクリル製カラムに乾燥試料を厚さ1.02 cmになるように締固めて充填した。カラム内を純水で満たして24時間静置後、飽和条件下で試験を開始した。送液ポンプにてカ

ラム下端より0.1M CsCl溶液を7.48 mL/min (ダルシー流速 6.4×10^{-3} cm/s、SV=22) または30 mL/min (2.5×10^{-2} cm/s、SV=90) で通水させ、カラム上部から流出水を経時的に採取した。以降の操作はバッチ吸着試験と同様である。また、カリウム (K) によるCs吸着阻害を確認するために、Cs : Kの濃度比1:1, 1:10溶液 ($C_s = 0.1$ M) を7.48 mL/minで通水させた。

(4) では、Cs-137の放出する γ 線による安定化体からの放射線分解水素ガス生成収率(G_{H_2} : 吸収エネルギー100 eVあたりの生成 H_2 分子数)を見積もり、最終処分場における水素ガス爆発を回避する方策を見出すことを目標に行うものである。液体水や水蒸気の放射線分解については数多くの研究例がある一方で、氷を含めて固体の水(氷和水)のそれについてはあまり研究例がないため、純無機氷和水物の放射線分解水素発生挙動を調べることから研究を開始した。測定は、Co-60からの γ 線を試料に照射し、試験体外に放出される H_2 の積算収率をmicroGC(Varian CP-4900)により分析した。放射線照射による水素ガス発生は G_{H_2} で評価されるが、一般に、セメント硬化体からの、硬化体内の自由水量に依存し、化学結合水はほとんど寄与しないと報告されてきた。本研究では、溶融飛灰などを高炉セメントやジオポリマーで固型化することも想定しているため、これらの材料条件に加え、放射線照射による温度上昇も考慮し、25℃から90℃において実験を行った。硬化体内の自由水の影響を除くため、試料は封緘養生し自由水が含まれるものと、あらかじめ105℃で24時間乾燥し、自由水を除去したものを準備した。評価は標準的には4週間まで、最大240日まで継続した。研究計画に従い、第一段階として、結晶水の数異なる石膏ほかの含水結晶、混晶であるセメントペースト硬化体を構成する4つの結晶、特にセメントペースト硬化体の約60 wt%強を占めるC-S-H(カルシウムケイ酸氷和水物)の評価を行った。次に、高炉セメントペースト硬化体、ジオポリマー、それらに溶融飛灰を混入させて評価した。最後に、ポリマーをコンクリートに含侵させ、物質浸透抵抗性を高めるポリマー含侵コンクリートを想定し、高炉セメントペースト硬化体にポリマーを含侵させた試料を評価した。

2. 1. 3. 2 サブテーマ2 各種安定化体の長期溶出特性の評価

本サブテーマでは、中間貯蔵施設で行われている減容化熱処理から発生する飛灰の最終処分に向けて様々な技術開発が進められている安定化体(固型化体)からのCsの長期溶出特性を検討対象とした。検討事項を図1.1に示す。固型化体は、飛灰を直接セメントもしくはジオポリマーで固型化する飛灰直接固型化体、飛灰洗浄を行った洗浄液からCsをフェロシアン化銅を用いて吸着回収し、その吸着体を熱分解した残渣を固型化する固型化体、そして、同様に飛灰を洗浄して一旦プルシアンブルーでCsを吸着し、そのプルシアンブルーCs吸着体のアルカリ分解液からゼオライトによってCsを再度吸着したCs吸着体から作製される固型化体や焼結体である。図中右欄に各固型化体に対して実施した溶出試験等の検討事項を示す。

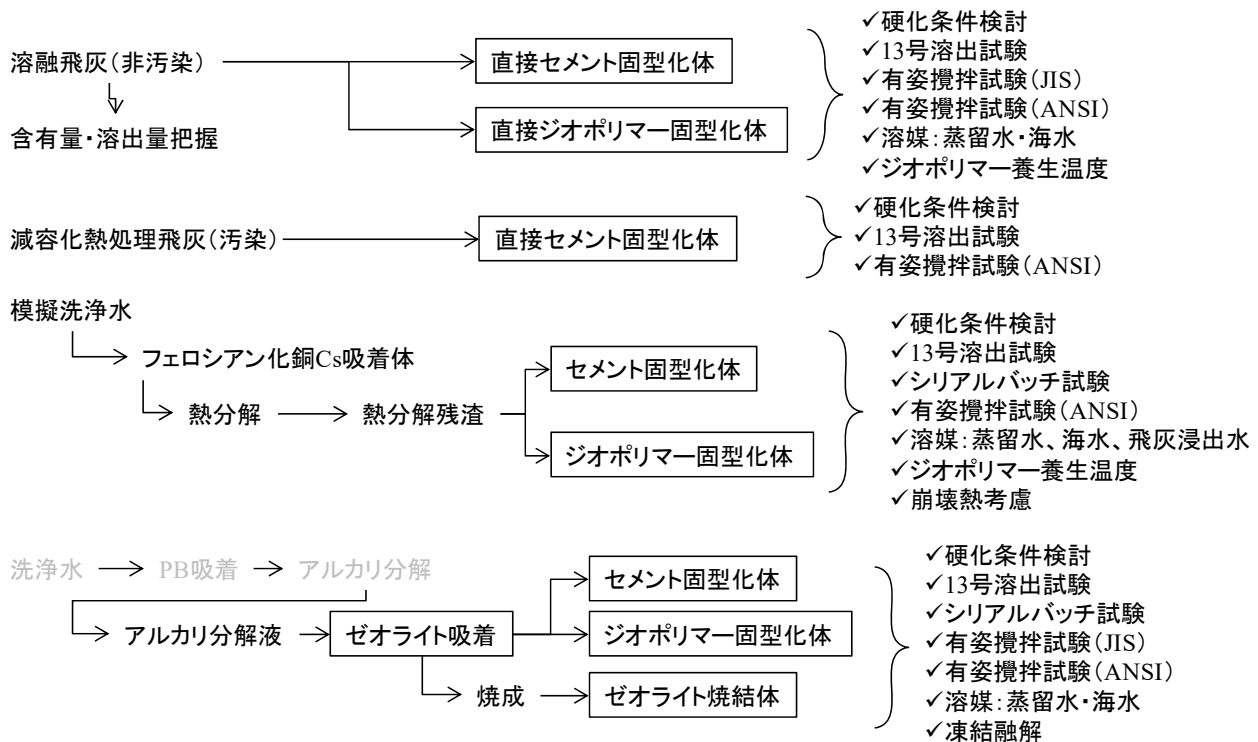


図1.1 サブテーマ2で対象とした安定化体と検討事項

以降では、各固型化体に対して実施した検討をそれぞれ記述する。

1) 飛灰直接固型化体の作製と溶出試験

中間貯蔵施設で保管される実汚染飛灰は入手が困難であることから、一般廃棄物溶融施設の溶融飛灰を利用した。本溶融飛灰はセメントの硬化阻害成分であるZn、Pb、Pを含んでいたことから、通常の配合では硬化しなかった。そのため、硬化阻害回避の方策をはじめに検討した。水セメント比を0.6として、減水剤や硬化促進剤、さらに飛灰添加率を様々に変化させて、硬化する条件を探った。さらに固型化体には打設時に十分な流動性があること、一軸圧縮強度が0.98MPa以上であることが要求されることから、この要件を充足する配合を検討した。その結果、セメント固型化体の配合として、水セメント比0.6、飛灰セメント比1.0、硬化促進剤添加率0.05（対セメント比）、減水剤0.002（対セメント比）により、十分な硬化が可能であり、上記した要件も充足することを確認した。なお硬化促進剤にはアルミン酸Naを使用した。本配合で各材料を混練し、内径2cm、高さ4cmのPTFEチューブに打設し、セメント固型化体を得た。

ジオポリマー固型化体も打設時の流動性と一軸圧縮強度を充足する配合を様々に検討した結果、アルカリ溶液：メタカオリン：飛灰＝1：0.5：0.6の条件で固型化体の要件を満たすことを確認し、セメント固型化体と同サイズのPTFEチューブに打設してジオポリマー固型化体を複数作製した。なお、ジオポリマーからのCs溶出は養生温度の影響を受けることから、養生温度を30℃、60℃、105℃とした。

各固型化体は図1.2に示す装置に浸漬して有姿攪拌試験を行った。試験はANSI/ANS-16.1に準拠した方法とし、溶媒交換型で行った。溶媒交換時に検液を採取し、0.45μmメンブレンフィルターでろ過後、グラフアイト原子吸光分析装置(Hitachi ZA3700)でCs濃度を測定した。なお溶媒には蒸留水の他に海水溶媒（人工海水）も使用した。海水の高いイオン強度がジオポリマー固型化体からのCs溶出に影響すると考えたからである。なお、本検討では非汚染の溶融飛灰を用いたが、環境省・JESCOの協力を得ることができたので、中間貯蔵施設で保管される実汚染灰（約50万 Bq/kg）についても同施設内で固型化体を作製し、有姿攪拌試験を行った。

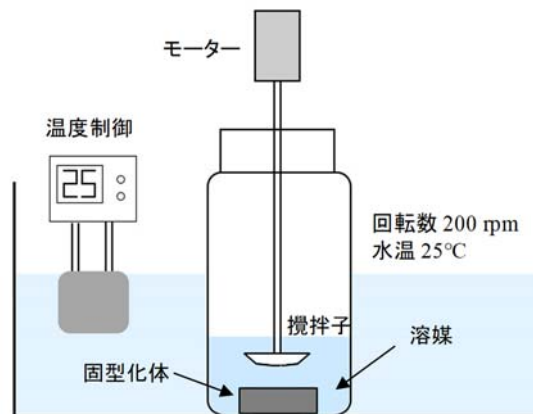


図1.2 有姿攪拌溶出試験に用いた実験系

2) フェロシアン化銅Cs吸着を介した固型化体の作製と溶出試験

フェロシアン化銅（CuFeCN）によるCs吸着体の作製は、既報（市川ら、2020）を参考に模擬飛灰洗浄液を使用した。濃度はNa-3 mol/L、K-0.9 mol/L、Cs-0.02 mol/Lとなるように塩化物を用いて調整した。この模擬飛灰洗浄液にフェロシアン化銅（CuFeCN）を投入してCsを吸着させた。約4時間でCsの吸着量は飽和に達し、平均の吸着量は71.9 g-Cs/kg-CuFeCNとなった。次に、このCsを吸着したフェロシアン化銅を熱分解処理した。フェロシアン化銅のままで強アルカリのセメントやジオポリマーに接触させると分解してしまうからである。フェロシアン化銅Cs吸着体を燃焼ボートに入れ、電気炉内の燃焼管に挿入して、送気しながら380℃で2時間加熱して熱分解残渣を得た。

次に本熱分解残渣のセメントもしくはジオポリマー固型化体を作製した。配合の検討は、セメント固型化体と同様に、流動性と一軸圧縮強度の要件の点から行い、セメント固型化体は、水セメント比0.6で作製したセメントペーストに30%の割合で熱分解残渣を混合して作製し、ジオポリマー固型化体は、水ガラスとメタカオリンを6:4で混合したペーストに65%の割合で熱分解残渣を添加して作製した。各混練物は、内径2cm、高さ4cmのPTFEチューブに打設した。

作製した固型化体を対象に、告示13号溶出試験、シリアルバッチ試験、ANSI/ANS-16.1に準拠した有姿攪拌試験を行った。有姿攪拌試験は、図1.2の実験系で行った。また、溶媒には、蒸留水、人工海水、模擬飛灰溶出液の3種を使用した。また、フェロシアン化銅を介して作製される固型化体は放射能が数億Bq/kgになると報告されていることから、崩壊熱を考慮した検討も行った。崩壊熱を再現するために固型化体内部にヒーターを埋め込み、90℃に加熱した状態で有姿攪拌試験を実施した。

3) ゼオライトCs吸着体を介した固型化体の作製と溶出試験

ゼオライトCs吸着体を介した固型化体については実証事業で検討が行われている。図1.1に示した通り、灰洗浄水中のCsをプルシアンブルーにより吸着回収し、そのプルシアンブルーをアルカリ分解、アルカリ分解液中のCsをゼオライトで吸着回収するという流れである。本研究では、実証事業の報告書から、中和後アルカリ分解液のイオン濃度は、Cs=5.1 mg/L、Na=10.58 mg/L、K=100 mg/Lと算出されたが、効率化のために濃度は30倍濃縮した。このアルカリ分解液にゼオライト（モルデナイト）を投入し、Csを吸着させた。ゼオライトCs吸着体のCs含有量は760 mg/kgとなった。このゼオライトCs吸着体を1000℃で30分間加熱することで焼結体を作製した。また、ゼオライトCs吸着体からセメント固型化体、ジオポリマー固型化体を作製した。本固型化体も流動性と一軸圧縮強度の点から配合を検討した。結果的にセメント固型化体の配合は、水セメント比0.6、Cs吸着ゼオライト添加率40%とし、ジオポリマー固型化体は、水ガラス、メタカオリン、Cs吸着ゼオライトの比を1:0.6:0.7として作製した。いずれも内径2 cm、高さ4 cmのPTFEチューブに打設した。

これらの固型化体と粒状のCs吸着ゼオライトと焼結体に対して、告示13号溶出試験、シリアルバッチ試験、ANSI/ANS-16.1に準拠した有姿攪拌試験を行った。有姿攪拌試験に関しては過酷環境として溶媒を2種（蒸留水、人工海水）使用したほか、固型化体の物理的崩壊を想定して凍結融解のサイクルを70回固型化体に与えたものも実験の対象とした。

4) 有姿攪拌溶出試験結果に基づく拡散係数の決定と長期溶出予測

固型化体からの溶出は拡散律速であるとされ、累積溶出率は、 $\sum A_n/A_0 = 2(S/V)\sqrt{D_a/\pi}\sqrt{t}$ と表現される。

ここで、 A_n : n回目の溶出量 (mg/kg)、 A_0 : 試料中含有量 (mg/kg)、 S : 試料表面積 (m²)、 V : 試料体積 (m³)、 D_a : 見かけの拡散係数 (m²/d) である。すなわち、累積溶出率は時間 (t(day)) の平方根に比例する。この関係から各固型化体の有姿攪拌試験の累積溶出率を時間の平方根に対してプロットし、拡散係数を決定した。また、円柱体に対する拡散方程式を解析的に解き、得られた累積溶出率の関数から、固型化体からのCs溶出を予測する数値計算を行った。

2. 1. 3. 3 サブテーマ3 県外最終処分施設に求められる封じ込め性能に関する研究

(1) 既存の処分施設の構造と封じ込め機能に関する調査

既存の処分施設（遮断型処分場と低レベル放射性廃棄物処分施設）において求められる封じ込め機能およびそれを実現するための施設構造を整理し、県外最終処分施設の構造検討に資する情報を明らかにするため、既存の文献調査および関係者へのヒアリングを行った。

(2) バリア材料の基礎物性データの取得とセシウム浸透に関する室内試験

県外最終処分施設における封じ込め性能の評価を行うため、処分施設に用いるセメント系材料およびベントナイト系遮水材の基本物性データを取得した。また、人工バリアの封じ込め性能を明らかにするため、セメント系材料の浸漬試験を実施し、セシウムなどの浸透状況を実測した。具体的には、1) セメント系材料の基礎物性試験、2) ベントナイト系材料の基礎物性試験、3) セシウムの浸透試験を行った。それぞれの試験概要について、以下にて説明する。

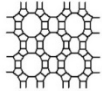
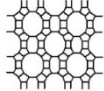

1) コンクリートの基礎物性試験

本試験では、高吸着性をバリア性能に積極的に活用するセメント系材料の実現性を検討するために、以下に着目して材料を設計した。

- ① セメント固化における各種ゼオライトの混合率とフレッシュ性状及び力学特性の関係
- ② 吸着性の高いゼオライトのセメント固化に係る配合設計
- ③ 人工バリア材として適用性を確認したセメント系材料固化試料の分配係数

本試験で使用した各種ゼオライトの物性を表 1.2 に示す。ゼオライトは固有の構造により 0.2~1.0nm に相当する分子径よりも小さな細孔を有している。また、イオン交換及び化学反応による細孔制御により、細孔内に入った分子を細孔によるふるいの作用及びイオン交換性により、吸着することが可能である。

表 1.2 各種ゼオライトの諸物性(高坂、1974、堀岡、1968)

	MM	MF	CY
産地	宮城	福島	山形
材料種	モルデナイト	モルデナイト	クリノプチロライト
粒径(mm)	0.5以下	0.8以下	0.5以下
乾燥密度(g/cm ³)	0.649	0.677	0.638
吸水率(%)	37.9	40.0	39.0
陽イオン交換容量 (meq/100g)	120~150	160~190	178
構造			

各種ゼオライトを使用し、作製したモルタルのセシウムに関する吸着特性は、MFを使用した配合が優れていることから、MFを使用した配合についての検討を進めた。ここで、MFの配合は流動性が良好ではないことから水セメント比を上げた配合や、ゼオライト混合率を増やした場合について配合を設計した。MF混合の配合表を表1.3に示す。これらの配合について、水中養生にて養生期間7日、28日の供試体について各試験を行った。

表 1.3 MF 混合の配合表

	ZV (%)	W/C (%)	Unit Contents (kg/m ³)				
			W	C	Z	SP	WZ
ZV50_W/C40	50	40	279	698	339	7.0	136
ZV50_W/C50	50	50	306	612	339	6.1	136
ZV50_W/C60	50	60	327	546	339	5.5	136
ZV60_W/C40	60	40	223	558	406	5.6	163
ZV60_W/C50	60	50	245	490	406	4.9	163
ZV60_W/C60	60	60	262	436	406	4.4	163
ZV70_W/C40	70	40	167	419	474	4.2	190
ZV70_W/C50	70	50	184	367	474	3.7	190
ZV70_W/C60	70	60	196	327	474	3.3	190

ZV:ゼオライト混合率, W/C:水セメント比, W:水, C:普通ポルトランドセメント, Z:ゼオライト, WZ:ゼオライトの吸水率, SP:高性能AE減水剤

2) ベントナイト系材料の基礎物性試験

熱処理飛灰安定化体の最終処分施設においては、設備内への水の浸入を抑制する機能、および低透水性や放射性物質の収着性による移行抑制機能を期待して、覆土や充填材等の人工バリアとしてベントナイト混合土の適用が見込まれる。廃棄体から生じる浸出水には放射性Csの他にも陽イオンや安定Csが非常に高濃度で含まれる可能性が指摘されており(成果1-1)、これらのイオンはベントナイト混合土の遮水性やCsの吸着性に悪影響を及ぼすことが知られている(Inui, 2016)。本研究ではCa²⁺イオンやK⁺イオンの影響を考慮したベントナイトのCs吸着性能を把握することを目的として、高濃度でCa²⁺イオンとK⁺イオンが共存する条件下でNa型ベントナイト、Ca型ベントナイトを対象にバッチ吸着試験を実施し、Cs吸着性能への影響を評価した。さらには、ベントナイトによるCs吸着がイオン交換反応による吸着が支配的であると仮定し、イオン交換理論を適用することによって、Ca²⁺イオンとK⁺イオンがある濃度で共存する条件下でのCs分配係数の予測可能性を、バッチ吸着試験で得られた分配係数の実測値と比較、検討した。

高濃度カチオンによるCs吸着性能の影響を調べるため、バッチ吸着試験の供与液として、純水、Ca: 0.25 mol/L + K: 0.5 mol/L溶液、Ca: 0.5 mol/L + K: 1.0 mol/L溶液に所定の初期濃度でCs (CsCl) を溶解させたものを用い、3成分系でのバッチ吸着試験を実施した。液固比は250ないし500で実施し、Cs初期濃度は、液固比250の場合が1 mg/L、10 mg/L、100 mg/L、500 mg/L、液固比500の場合は1,250 mg/L、1,500 mg/L、1,750 mg/L、2,000 mg/Lに設定した。所定量のベントナイトと供与液を容器に入れ、24時間に渡って200 回/分の

速度で水平振とうした後15分間5,000 rpmの速度での遠心分離による固液分離および孔径0.20 μm のシリンジフィルタを用いたろ過処理を行い検液とした。検液中のCs濃度は電気加熱式原子吸光分光光度計を用いて測定した。

本実験において、ベントナイトはバッチ吸着試験で用いたベントナイトと同様のNa型ベントナイト及びCa型ベントナイトを用いた。ベントナイト混合土の母材となる土質材料としては6号珪砂を用いた。供試体の配合、作製方法は既往研究（原子力発電環境整備機構、2022）を参照し、表1.4に示す仕様で供試体を作製した。

表1.4 ベントナイト混合土の供試体の仕様

ベントナイト	ベントナイト混合率 $C_B(\%)$	最適含水比(%)	最大乾燥密度(Mg/m^3)
Na型	10	14.0	1.75
	20	12.5	1.85
Ca型	10	14.0	1.71
	20	13.0	1.84

次にカラム試験の流入液の組成を述べる。高濃度塩水の影響によるCs吸着性能及びベントナイト混合土の遮水性能を調べるため、カラム試験の流入液としては、①蒸留水、②Ca:0.25 mol/L、K:0.5 mol/L溶解させた溶液の2種類を用いた(表1.5)。これらは比較評価が容易になるよう、2.1に示したバッチ吸着試験の供与液と同様の条件としている。Csの初期濃度は1 mg/Lに設定した。

表1.5 カラム試験に用いた流入液の組成

流入液	化学物質濃度		
	Ca濃度 (mol/L)	K濃度 (mol/L)	Cs濃度 (mg/L)
蒸留水	0	0	0
高濃度塩水	0.25	0.5	1

3) セシウムの浸透試験（成果1-71）

本試験では分析精度向上のため、骨材を用いずにセメントペーストのみを用いて試験を実施した。表1.6に使用材料を示す。セメント種類がCsの浸透に及ぼす影響を調査するため、普通ポルトランドセメントのみを用いた供試体(OPC)と普通ポルトランドセメントの50wt%を高炉スラグ微粉末で置換した混合セメント（高炉セメントB種相当）を用いた供試体(B50)の2種類を用意した。さらに、セメントペーストに混合する粉体そのもののCsの吸着性能が、ペースト中のCsの移動に与える影響を評価するため、Csの吸着性能が高いとされる岩石（福島県阿武隈川砂利）を粉末化した石粉をOPCに10%置換（内割）した供試体も作製した。水結合材比は実務で一般的であるとされるW/B=0.50とし、水は水道水を使用した。

表1.6 使用材料の化学成分

	化 学 成 分 (%)												
	ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ti ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	Cl ⁻
普通ポルトランドセメント (太平洋セメント株式会社製)	2.39	20	5.1	3.01	65.08	1.48	2.07	0.18	0.34	0	0	0	0.008
高炉スラグ微粉末 (セッコウあり)	0.32	32.27	13.95	0.43	42.81	6.12	2.01	0.11	0.29	0.59	0.01	0.20	0

放射性物質汚染廃棄物中のCsは外部に溶出しないよう封じ込められるため、実際の処分施設から万が一溶出しても、その濃度は極めて低いと考えられる。特措法においては事業所及び最終処分場の周辺の公共の水域の水中の濃度限度は90 Bq/kg (2.0×10^{-12} mol/L) 以下に抑えることが適当とされている。一方で、極めて低い濃度では使用する原子吸光光度計の測定精度が十分ではないため、本研究では、測定可能な範囲で既往の研究で使用された濃度の溶液を参考に試験を行う。既往の研究ではCsは放射性Cs-137と安定同位体Cs-133が使用され、研究によって異なるが、安定同位体と放射性同位体は含まれる中性子の数が異なり、質量が異なるものの、化学的性質は同様であることから、本試験では安全上の観点から放射性Csの安定同位体であるCs-133を使用することとした。既往の研究での検討を踏まえ、本研究では比較的高い濃度としてCsCl (Cs-133) 濃度0.1mol/Lとして浸漬試験を行うこととした。このCs濃度に対して、数千、数万倍のKCl溶液は飽和により溶解しないため作製できない。そのため、KClが飽和しない範囲で高い濃度、かつ、共存塩類の種類による比較のためCaCl₂と比較することができる濃度とするため20wt%に設定した。CaCl₂濃度については、0、10、20、30%と4種類用意し、劣化や物質移動抵抗性の変化がCsの浸透挙動へ与える影響を評価することとした。以上を踏まえ、浸漬試験に使用した溶液種類とその濃度を表1.7に示す。

表1.7 浸漬試験に使用した溶液種類とその濃度

浸漬溶液		濃度		
		CsCl	CaCl ₂	KCl
		mol/L	wt%	
溶液1	CsCl 共存塩 0%	0.1	0	0
溶液2	CsCl+CaCl ₂ 10%		10	0
溶液3	CsCl+CaCl ₂ 20%		20	0
溶液4	CsCl+CaCl ₂ 30%		30	0
溶液5	CsCl+KCl 20%		0	20

濃度プロファイルの測定は、粉末試料から準備した溶液の濃度を原子吸光分光光度計により測定する方法と固体試料の切断面の元素濃度を電子線マイクロアナライザーによって測定する方法の2種類を用いた。

粉末試料は、卓上フライス盤によって供試体を切削して採取した。切削する間隔は、表層における浸透挙動を細かく分析するため、浸透面から0～6 mmでは1.5 mm間隔、それより内部では5 mm間隔とした（ただし、一部試料では浸透面からすべて5 mm間隔で採取した）。その後、開き150 μmのふるいを通過させ、浸漬試験用粉末試料とした。作製した粉末試料からJIS A 1154（硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法）を参考にして、以下の手順にて粉末試料内のCs全量を抽出した。まず、ビーカーに粉末試料1 gを入れ、2 mol/L硝酸を20 ml加える。激しい反応が終わったらビーカーを時計皿で覆い、ビーカーを95℃に熱して5分間煮沸する。その後、煮沸した後常温まで冷まし、0.5 μmメンブレンフィルターを用いて吸引ろ過を行い、最後に、ろ液に対して純水を加え、100 mlに定量する。このようにして準備した溶液について、原子吸光分光光度計を用いてCs濃度測定を行った。測定条件は、電流16 mA、波長852.1 nm、スリット幅1.0 nm、点灯モードBGC-D2、バーナ高さ7 mm、バーナ角度0°、燃焼ガス種類Air-C₂H₂（アセチレンガス）、燃焼ガス流量1.8 L/min、助燃ガス種類Air（空気）とした。

2. 1. 4. テーマ1 研究結果及び考察

2. 1. 4. 1 サブテーマ1

（1）処理・処分シナリオの構築

溶融飛灰を対象に、減容化するか否か、どのように減容化（濃縮）するか、濃縮した廃棄物をどのように安定化させるか、という点に着目し、国内外の減容化技術情報を調査し、基本的な処理フローを設定した上で、技術導入の組合せを考慮したシナリオを構築した。仮設灰処理施設から将来的に排出される溶融飛灰量についての公表値はないため、文献値（環境放射能除染学会、2021）から数字を丸めて10万トンと設定した。

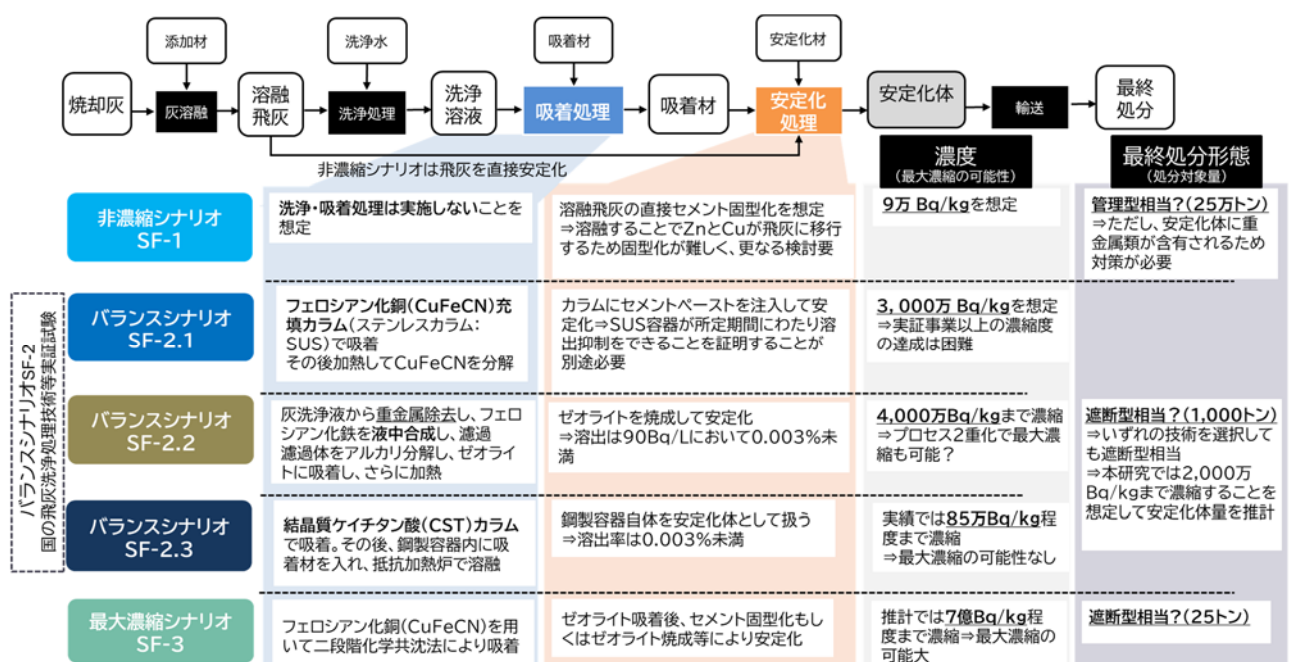


図1.3 溶融飛灰シナリオの処理フローとシナリオ概要

溶融飛灰シナリオの処理フローとシナリオの概要を図1.3に示す。非濃縮シナリオ（SF-1）は、減容化しないシナリオであるが、安定化は必要のため安定化処理として溶融飛灰の直接セメント固型化を実施する想定としている。焼却飛灰（溶融飛灰ではなく焼却炉から排出される飛灰）のセメント固型化は既存技術として確立している（大山、2020；環境省、2024b；杉橋ら、2015）とした上で設定したシナリオである。ただし、焼却飛灰と溶融飛灰の化学組成が異なることから、これまでと同様の配合等では固型化が困難であるところは技術的な課題であり、それについてはサブテーマ2で技術的な検討を行った。バランスシナリオ（SF-2）では、溶融飛灰を水で洗浄し、溶出してきた放射性セシウムを選択性のある吸着材等（高橋ら、2016；前原ら、2017）で吸着するか、液中合成法（西崎ら、2020）によって沈殿させ、放射性セシウムを濃縮して減容化する方法である。吸着材となるフェロシアン化物等は安定物質ではないため、いったん加熱などにより分解してから、更にセメント固型化やガラス固化、もしくはゼオライトへの吸着・焼成を行って安定化体を作製する処理フローを想定している。バランスシナリオと最大濃縮シナリオ（SF-3）は、基本的な処理フローは同じであり、バランスシナリオの液中合成方を二回繰り返す二段階共沈法によって、更に放射性セシウムを濃縮させることを想定した。ただし、本手法はパイロットスケール等での実証は行われておらず、本推進費で研究開発した減容化技術である。

各シナリオにおいて発生する処分対象物の情報を表1.8にまとめる（成果1-107）。溶融飛灰の発生量は10万トン、濃度を平均20万Bq/kg、かさ密度を0.8 t/m³を仮定して算定した結果である。非濃縮シナリオ（SF-1）は、溶融飛灰にセメントと水を混練した固型化体を考えており、これまでの種々の経験から固型化体のかさ比重は約2.0になると想定して計算した結果である。バランスシナリオは、国の実証事業として実施された結果の内、比較的濃縮率の低い数値を参考にしており、本計算では、濃縮後の濃度を先に2,000万Bq/kg（つまり100倍濃縮）と決め、その値を元にして重量等のマスバランスを計算している。洗浄や濃縮の方法、時間等を調整することで数千万～1億Bq/kg程度まで濃度を調整することが可能であるため、本表に示した数字はバランスシナリオの一例である。最大濃縮シナリオについては、妨害イオンである安定セシウムの濃度次第で最大濃縮率が決定することから、比較的安定セシウムが多い場合を想定して試算を行った。非濃縮シナリオ（SF-1）では、処分対象物の発生量は25万トンとなり、バランスシナリオ（SF-2）では処分対象物は1000トンに減少し、最大濃縮シナリオ（SF-3）では29トンと顕著に減少した。一方で、SF-2、SF-3については処理プロセスにおいて発生する二次廃棄物が数十万トン発生することになるため、その特性の把握や、適正処理処分に向けた具体的な検討も必要になる（成果1-29）。

表1.8 溶融飛灰シナリオにおける処分対象物量等（推定値を含む）

シナリオ	物量		最終処分 形態	重金属の 有無・水 処理施設	埋立地容 量	放射能 濃度	維持管理 期間
	処分対象	二次廃棄 物					
	トン	トン					
SF-1 非濃縮	25万	—	管理型 相当	あり	12.2万	9万	110
SF-2 バランス	1,000	49万	遮断型 相当	無し	500	2,000万	340
SF-3 最大濃縮	29	49万	遮断型 相当	無し	12	7億	500

※ 維持管理期間は埋立廃棄物の平均値が8,000 Bq/kg以下となるまでの時間を記しており、8,000 Bq/kg以下であれば特定一般廃棄物、特定産業廃棄物の埋立処分と同等として取り扱った。

（2）処分システムの概念設計と放射性Cs挙動評価

設定した3つのシナリオに対し、図1.4のとおり処分システム概念を設定し、表1.9に示す代表的なパラメーターを用いて埋立地内で数値解析を実施した（成果1-54、61）。放射性廃棄物の埋設処分の場合、事故由来の放射性物質汚染廃棄物とは異なり、C-14等の長半減期核種を含む多核種を対象として数千年オーダーでの評価を行うことが一般的である。具体的には、自然バリアも含んだ放射性物質の動態評価を実施し、人による摂取経路を設定し、評価としては人の被ばく量（内部被ばく、ならびに外部被ばく）を行う。一方で、廃掃法の最終処分場の場合、自然バリアである基盤層や地下水移動を含んだ評価をすることはなく、常に埋立地境界（遮水構造の内側）が評価地点となっており、物質の濃度で評価を行う。本検討では半減期が比較的短い放射性Csのみを対象としていることから、廃掃法の評価方法に基づき、システム-1は維持管理基準（放流水基準）、システム-2、3は遮水工破損による事故時を想定し、図1.5の評価ポイント、つまり埋立地境界における浸出水の濃度の経時変化を計算した。なお、解析にはComsol Multiphysics® v. 6.1.1を用いた。いずれの場合においても、放流水基準の濃度限度＝1（Cs-137 = 90 Bq/L）を満足していることを目標とした。

SF-1の場合には既設の特定廃棄物最終処分施設が存在するため、平常時の維持管理基準として同等の目標となっている。SF-2、SF-3では、遮断型相当であり浸出水が発生しない処分システムであるため、遮水工の破損等の事故時を想定している。つまり、事故時であっても埋立地境界において濃度限度を満足していれば、環境保全上の支障は生じないであろう、という考え方に基づいている。

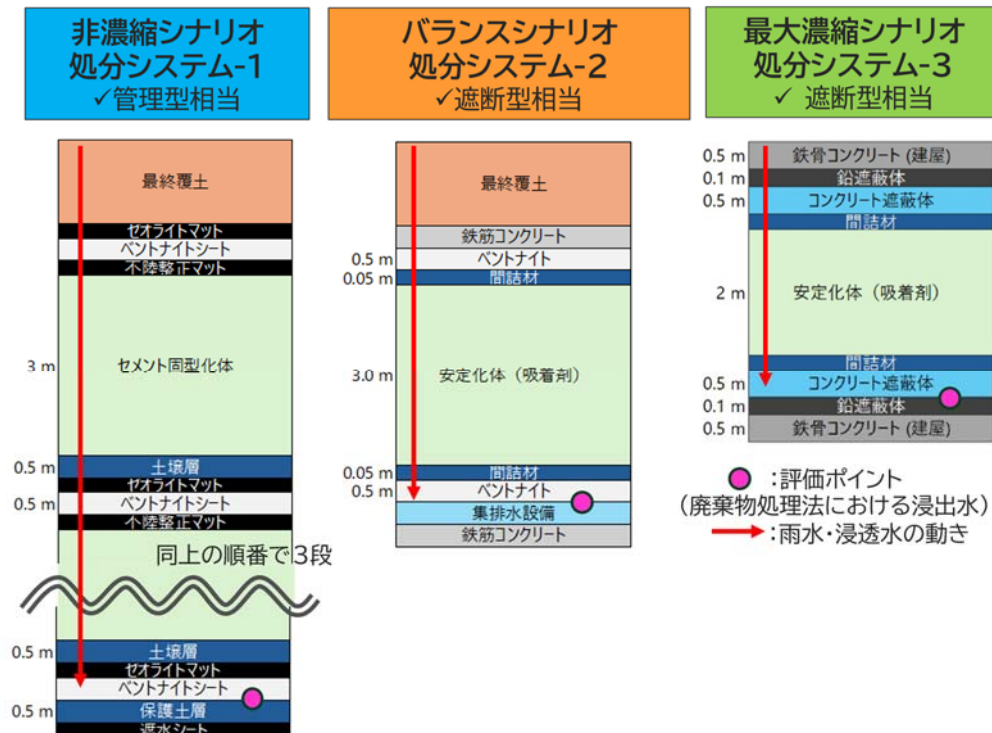


図1.4 溶融飛灰シナリオの最終処分システム

表1.9 評価において用いた主要なパラメーター一覧

項目		単位	システム-1	システム-2	システム-3
放射性Cs濃度	—	Bq/kg	9万	2,000万	7億
分配係数	固型化体	ml/g	0	—	—
	安定化体	ml/g	—	0	0
	土壌	ml/g	4	100	—
	間詰材	ml/g	—	1,000	1,000
	コンクリート遮蔽体	ml/g	—	—	500
降雨浸透量	1～49 年	mm/年	3	3	3
	50年～		15	15	15
溶出率	—	%	10	10	10

各処分システムにおける評価結果を図1.5に示す。いずれの処分システムにおいても、浸出水もしくは漏洩水の濃度が制限濃度の90 Bq/Lを下回る結果となった。本検討により、県外最終処分の実現に向けて具体的な処分システムを提案し、その安全性を評価する手法を示すことができた。また、システムとして安全確保は当然ながら、安定化体からの溶出特性、間詰材や鉄筋コンクリートといった構造体などのCs収着性も考慮し、柔軟かつ合理的なフェイルセーフ機能を有するシステムとすることが重要である。処分システムの安全性として、少なくとも処分場内で濃度限度を満足していることと設定し、そのための処分システムを提案した。本提案には、最終処分場における構造基準と維持管理基準の双方を含んでおり、今後の具体的な施設設計に有効であると考えられる。

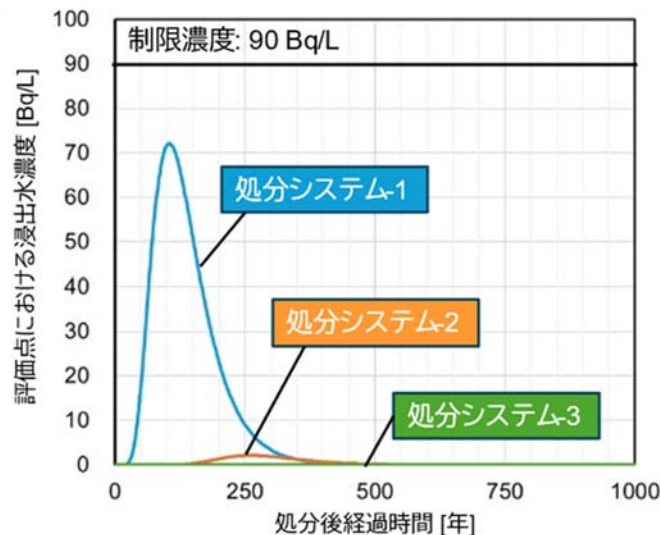


図1.5 最終処分シナリオ毎の評価ポイントにおける浸出水濃度の経時変化

(2) 熱処理飛灰の洗浄・濃縮処理に用いる吸着材に関する基礎的研究

(2.1) Cs吸着材のCs吸着挙動のイオン交換理論による記述

仮設灰処理施設から発生する熱処理飛灰（以下、単に飛灰と省略）を水で洗浄し、Csを溶液側に移行させ、Cs選択吸着性を有する吸着材により濃縮する減容化技術が検討されている。シナリオとしてはSF-2、SF-3に相当する。SF-3の最大濃縮シナリオでは、達成可能な濃縮度の情報が必要となる。任意の化学組成の飛灰洗浄水を任意の液固比で処理した際、どの程度のCs吸着量、すなわち減容化が達成できるのかを理論的に求めた。市川ら（2021）に基づき検討した。

イオン交換理論は単一の競合イオン（例えば A^+ ）と対象の Cs^+ イオンのイオン交換反応として記述されるが、飛灰洗浄液にはCsと競合するイオンとしてNa, K, Rbが存在する。 NH_4^+ も競合しえるが、飛灰洗浄液にはほとんど存在しないので無視できる。複数のイオンが任意の濃度で存在する場合において、Cs吸着量を求める方法を説明する。競合する各種イオンを A_i として、それら全てのイオンとCsイオンが固相に吸着した合計量 $[X-A_i]+[X-Cs]$ が、陽イオン交換容量であるCECと等しくなるので、

$$[CEC] = [X - Cs] + \sum_{i=1}^N [X - A_i] \quad (1)$$

となる。ここに $[]$ はモル濃度を表している。上式に選択係数 $K_{Cs/A}$ を導入して固相のCs吸着量 $[X-Cs]$ について整理すると次式となる。

$$[X - Cs] = \frac{[CEC]}{1 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{[A_i^+]_0 / [Cs^+]_0}{K_{Cs/Ai}} \right)} \quad (2)$$

上式から、飛灰洗浄液中のCsイオン濃度に対する A_i イオンの濃度のCs選択係数に対する比がそれぞれのイオンの影響度ということになる。溶融飛灰の化学組成データから求めた各アルカリ金属イオンの Cs^+ イオンに対するモル濃度比を表1.10に、各アルカリ金属イオンと Cs^+ イオンのモル濃度比を対応するCs選択係数で除した値、すなわち影響度を表1.11に示す。実汚染飛灰のデータは、飛灰洗浄等実証事業により測定された44サンプル（JESCOから提供）に基づく平均値と標準偏差 σ を用いた。

非汚染溶融飛灰のモル濃度比とCs選択係数の比は、フェロシアン化銅では、Naで0.65、Kで2.2、Rbで0.10となり、Kの影響度に対して、Naは0.3、Rbは0.05となり、Cs吸着には実質的にKのみが競合することになる。各種競合イオンの影響度は、飛灰の化学組成にも影響され、2種類の実汚染飛灰の化学組成から求めた影響度は、フェロシアン化銅においては、Kに対してNaは0.1未満であるが、Rbは0.2～0.3となり、Kの影響が最大ではあるが、NaとRbの影響度合いの序列は非汚染溶融飛灰とは変わった。また、ゼオライト（モルデナイト）では（成果1-28）、Kに比べ、Naの影響度合いは0.01未満であるが、Rbの影響度合いは数10～数100倍、つまりモルデナイトでは飛灰洗浄液からCsの選択濃縮は難しい結果となった。

表1.10 飛灰の化学組成から求めたCsに対するアルカリ金属のモル濃度比

モル濃度比	Na/Cs	K/Cs	Rb/Cs	出典
非汚染溶融飛灰	98,120	31,203	18	(市川ら、2021)
実汚染飛灰	2,750	4,500	19	(有馬ら、2022)
実汚染飛灰平均	4,888	5,861	17	飛灰洗浄実証事業*
実汚染飛灰平均+ σ	5,961	7,510	26	同上
実汚染飛灰平均- σ	2,667	2,599	8	同上

*JESCOから提供されたデータに基づき計算した。

表1.11 Cs吸着に対する各種アルカリ金属の影響度

影響度		Na	K	Rb	Na/K	K/K	Rb/K
フェロシアン化銅	非汚染溶融飛灰	0.65	2.23	0.10	0.293	1.00	0.046
	実汚染飛灰	0.02	0.32	0.11	0.057	1.00	0.336
	実汚染飛灰平均	0.03	0.42	0.10	0.078	1.00	0.231
	実汚染飛灰平均+ σ	0.04	0.54	0.15	0.074	1.00	0.271
	実汚染飛灰平均- σ	0.02	0.19	0.05	0.096	1.00	0.247
フェロシアン化鉄	非汚染溶融飛灰	2.5E-04	3.6E-03	1.3E-02	0.070	1.00	3.6
	実汚染飛灰	7.1E-06	5.2E-04	1.3E-02	0.014	1.00	26
	実汚染飛灰平均	1.3E-05	6.8E-04	1.2E-02	0.019	1.00	18
	実汚染飛灰平均+ σ	1.5E-05	8.7E-04	1.8E-02	0.018	1.00	21
	実汚染飛灰平均- σ	6.8E-06	3.0E-04	5.7E-03	0.023	1.00	19
モルタナイト	非汚染溶融飛灰	9.0E-07	1.4E-04	6.4E-03	0.006	1.00	46
	実汚染飛灰	2.5E-08	2.0E-05	6.7E-03	0.001	1.00	338
	実汚染飛灰平均	4.5E-08	2.6E-05	6.0E-03	0.002	1.00	232
	実汚染飛灰平均+ σ	5.5E-08	3.3E-05	9.1E-03	0.002	1.00	274
	実汚染飛灰平均- σ	2.4E-08	1.2E-05	2.9E-03	0.002	1.00	249

飛灰洗浄液からのCs吸着を考えると、放射性Csの濃縮が目的であるが、その濃縮は圧倒的多数の安定Csの挙動に支配されることになる。飛灰洗浄液において放射能濃度38,000 Bq/Lで、安定Csは数ppm～数10ppmであるので、Cs-137/Cs-133質量比は1/10,000～1/100,000となる（成果1-51）。放射性Cs濃縮は実質的に安定Csを濃縮することに他ならない。言い換えれば、Cs-137のみを濃縮できるわけではなく、質量で考えると、Cs-137と同じ挙動をするCs-133を濃縮していることになる。前述のように、洗浄液中のCs-133が数ppm～数10ppm(mg/L)であり、液固比7で洗浄しているとすれば、飛灰中のCs-133は少なくとも10～100ppm(mg/kg)である。Cs選択性が大きい吸着材のCECを2 mol/kgであるとして、十分に吸着させ、吸着量がCECの50%、すなわち1 mol/kg = 133 g/kgまで吸着したとする。飛灰中の初期濃度が1 kgあたり10～100 mgであるので、それぞれ約10,000倍～約1,000倍までの濃縮が上限値となる。飛灰の放射能濃度が30万Bq/kgであれば、30億～3億Bq/kgまでの濃縮に対応する。この値は、吸着手法により数倍の増減はある可能性はあるが、安定Cs濃度に依存して濃縮には上限があることが分かる。

図1.6に、吸着材の特性値として、飛灰洗浄等実証事業で使用した吸着材相当の吸着材を想定し、仮に $K_{Cs/K}=4,100$ とCEC=2.6 eq/kg、化学共沈法での測定値 $K_{Cs/K}=300,000$ とCEC=4.6 eq/kg（成果1-21）を用いて、異なる飛灰洗浄液組成としてK/Csモル比を2,700から130,000とした場合の、吸着材放射能濃度を示す（成果1-51）。初期溶液の放射能濃度は3.8万Bq/kg（飛灰では27万Bq/kg）である。

Cs選択性が比較的小さい吸着材（飛灰洗浄等実証事業相当）の場合、溶液のK/Csモル濃度比の影響は、液固比が1,000を超えてから現れ始め、液固比10万において、1.4億～3.3億Bq/kgと約2倍の差となった。Cs選択性が比較的大きい吸着材（化学共沈によるフェロシアン化銅）の場合、溶液のK/Csモル濃度比の影響は、

液固比が10,000を超えてから現れ始め、液固比100万において、4.6億～140億Bq/kgと約30倍の差となった。

このように、吸着材の性能差は、飽和吸着付近でのみ発現し、溶液組成の差も液固比が十分大きい条件でのみ影響してくる。液固比1万～100万の実験とは、吸着材1 gに対して、溶液を10～1,000 L使用するというものであり、現実的には多数の実験を実施することは難しい。実際の飛灰洗浄・吸着・安定化技術実証事業においては、通液速度1.5 L/hrで約2,000 L通液したので、1,300時間、約2か月の事例が報告されている。吸着材は0.2 kgと報告されているので（環境省、2025）、液固比は10,000となる。通液量と吸着量の関係は依然として増加傾向にあり飽和に達していない可能性もある。理論計算は、このように実験で直接的に実施することができない条件であっても予測することができる点で、検討する価値が改めて確認できた。

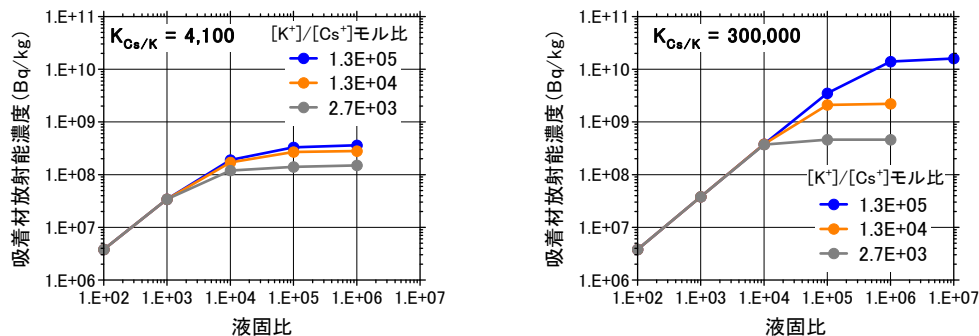


図1.6 異なるCs吸着性能の吸着材を種々のK/Csモル比の溶液に種々の液固比で作用させた場合の吸着材の放射能濃度（飛灰洗浄液の放射能濃度は3.8万Bq/kg）（成果1-51）

（2. 2）吸着材の性能評価方法

Cs吸着の目的が減容化であるため、もしできることならば吸着材の吸着量を最大限に利用することが望ましい。最大吸着は少量の吸着材を多量の溶液に投入した場合であり、溶液のCs濃度変化はほとんどない。多段カラムで考えれば最上流のカラムに相当する。この条件における飽和吸着量を実験により求めようとすると、フェロシアン化物錯体のようにCs選択係数が10,000を超える場合には、前述のように必要な液固比が10万以上ともなり、実験が容易ではない。そこで、イオン交換理論を用い、同条件での吸着量を予測した。Cs吸着材の品質評価フローを図1.7（成果1-2、9、30）に注意点と併に示す。

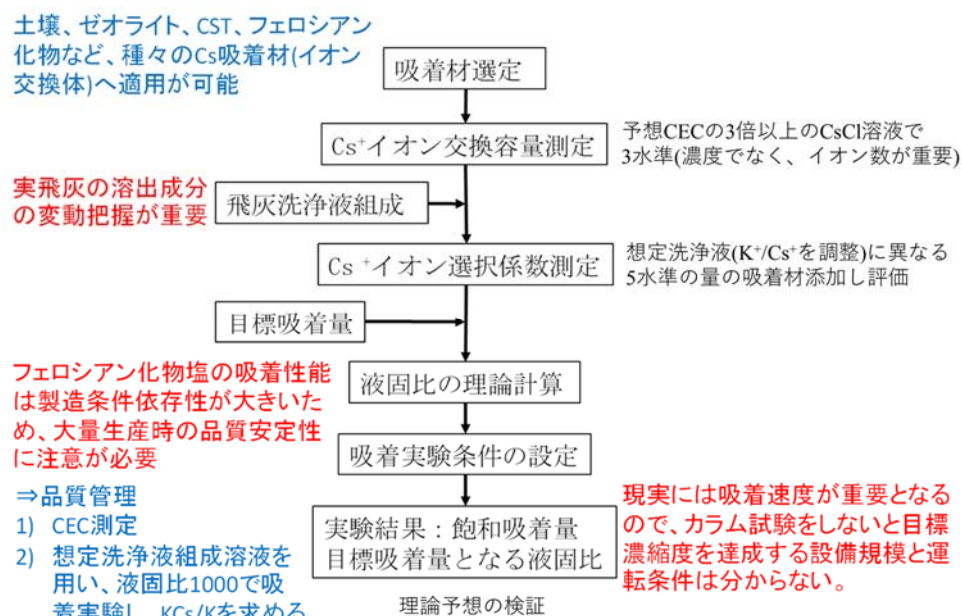


図1.7 イオン交換理論によるCs吸着材の品質評価フローと注意点（成果1-2、9、30）

（2. 3）Csのカラム吸着の特性評価

飛灰洗浄等実証事業では、実際の飛灰洗浄液を用い、パイロットスケールの実験を行ったため、詳細な吸着材の吸着特性は評価されていない。本研究では、前述の同等の吸着材を用い、通液速度の影響を評価した。まず、異なるK/Csモル濃度比、異なるK濃度の溶液を用い、吸着速度を調べた。吸着速度を調べた結

果、Cs吸着速度はCs濃度と正の相関を有することがわかった。このことから、効率的にカラム吸着を行うには、飛灰洗浄液のCs濃度が高い、つまり飛灰洗浄時の水量が少ない方が適している。もちろん、飛灰洗浄等実証事業では、残渣側の放射性Cs濃度を下げるために可溶性成分を十分に取り出す条件が検討されているが、効率的減容化の観点からは可能な限り高濃度の洗浄液を取り出し、残渣の洗浄は別に取り扱う方法も検討の余地があると考えられた。

その後、最もCs吸着速度が速くなる溶液条件において、カラム吸着試験を行った。カラム吸着試験結果を初期Cs濃度に対する流出液中のCs濃度の相対濃度として、図1.8に示す。1.9 cm/h (SV=2.8、1時間当たりカラム体積の2.8倍の溶液が通過) 及び19 cm/hの比較的低流速の条件下では、初期の流出液においてCsがほとんど検出されず、吸着剤の能力が最大限発揮されていた。これに対し、190 cm/h以上の流速では、Csの通過が早まり、吸着能が低下し、Csが十分に吸着・除去されない傾向が観察された(成果1-58)。

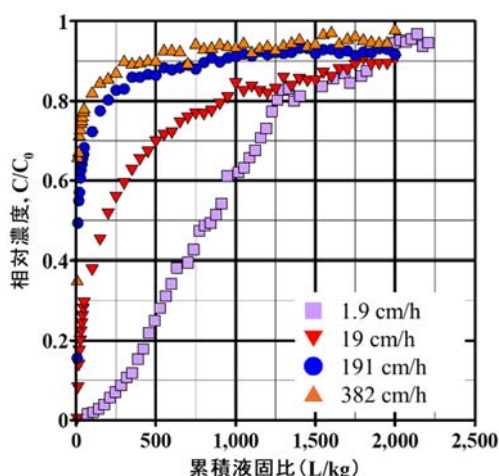


図1.8 カラム吸着における溶液中のCs残存率に及ぼす通液速度の影響
(溶液は、K/Cs=1,000、K濃度3.0M)

飛灰洗浄等実証事業では、200 gの吸着材を340 mLのカラムに充填し、S/V=5の条件で通液したため、流速は十分に小さく、飽和吸着が維持されていたと考えられる。ただし、吸着材が有する飽和吸着までの能力の量の1/5程度を発揮するために2か月を要した。このことから、吸着材の性能を十分に発現させた最大濃縮を目指す場合には、カラム吸着法を採用するのは困難と考えられる(バランスシナリオのような濃縮度であれば問題ない)。本研究の範囲では、操業可能な時間的制約を設定し、吸着設備容量と到達可能なCs濃縮度の算定までには至らなかった。カラム設計の専門家の支援も得ながら、現実的な濃縮度の検討が今後は必要である。

(2.4) 最大濃縮の検討

Csの高濃縮を目指すとなると、カラム吸着法の吸着速度と通液すべき液固比を考えると膨大な時間を要することが分かった。一方、フェロシアン化金属塩を溶液中で合成する化学共沈法を用いると、より高いCs選択性が得られ、その吸着処理速度自体は高速であることが一般的に分かっている。本研究では、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律の登録物質であり、比較的Cs選択性が高いことが分かっているフェロシアン化銅(CFC)を検討対象とした。対比として、前項まで述べてきた飛灰洗浄等実証事業においてその1事業者が使用した吸着材と同等のCFC造粒体も比較した。

化学共沈法によるCFCのCECは4.6 mmol/gとなり、市販品の2.7 mmol/gと比べて、1.7倍であった。図1.9に吸着率と $K_{Cs/K}$ の関係を示す。市販品では吸着率8% (液固比5,000) で2,186、化学共沈法では吸着率7% (液固比3,769) で340,000であった。市販品の $K_{Cs/K}$ は、濃度依存性は限定的で、1,500~4,000程度であった。一方、化学共沈法では吸着率40%までは $K_{Cs/K}$ は300,000を超えて極めて大きく、吸着率が40%を超えても40,000と市販品よりも大きい値を示した(成果1-21)。

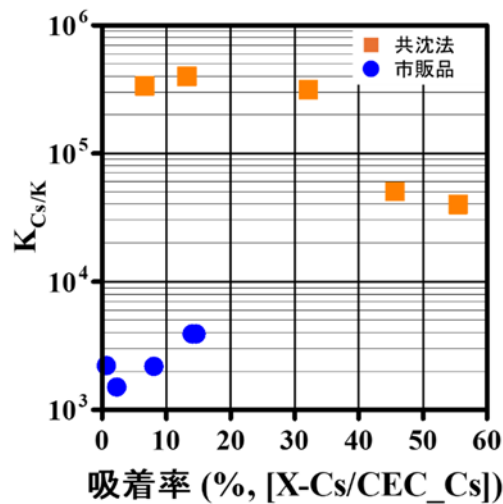
図1.9 化学共沈法と市販のCFCのCs吸着率と $K_{Cs/K}$

図1.6に示したが、飽和吸着の実験を再現するCs選択係数は実測値の2,500よりも大きい10,000が適切であった。これは、実験による吸着時間が短くCs吸着量が飽和に達していなかったことによると推定できる。この造粒体の吸着材によるカラム吸着では吸着に時間を要する可能性があるという結果を踏まえて、Csを更に高濃縮するため、二段階にわたる化学共沈法に関して検討した。二段階化学共沈法の流れを図1.10に示す。一段回目では、飛灰洗浄液の放射能濃度を排水基準である90 Bq/Lにすることを目的として、フェロシアン化カリウムを模擬飛灰洗浄液に溶解させ、塩化銅水溶液を添加して（排水基準を達成できるレベルに液固値を小さく、吸着材添加量を増やす）CFCを合成し、Csを共沈させる。フェロシアン化物はアルカリで分解する性質を有するため、一段回目で合成したCFCを分解することで、その分解液はCFC中のK/Csになるため、飛灰洗浄液と比べて、飛灰洗浄液と比べ極めて低い K^+/Cs^+ モル濃度比の溶液が得られる。この溶液で再びCFCと共沈させることで、一段回目より、高濃縮Cs吸着が可能と考えられる。

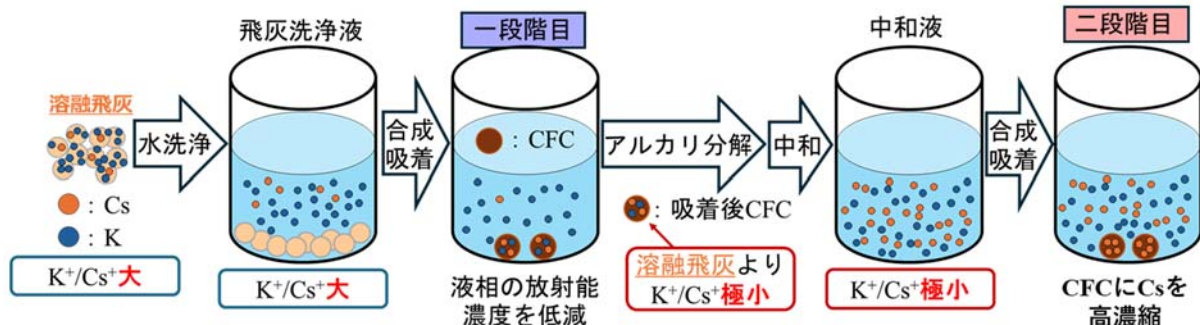


図1.10 二段階化学共沈法による最大濃縮の流れ

一段回目では、 $[K^+]_0 = 3.0$ 、 $K^+/Cs^+ = 1,000$ の模擬飛灰洗浄液500 mLにCFCの原料である $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ を合成量が液固比3,769～75,389になるように溶解した。液固比の設定は、イオン交換理論による予備計算の上で設定した。 $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ 溶液を等量でモル比 $Fe : Cu = 1 : 1$ になるように加えて合成し、200 rpmで1時間攪拌後ろ過し、ろ液中のCs濃度 $[Cs]$ をICP-MSで測定した。31万Bq/kgの熔融飛灰4.2万tを液固比7で水洗浄した飛灰洗浄液（44,286 Bq/L）を想定し、実験で得られた吸着量から、液相及び固相の放射能濃度を求めた。一段階目では、液固比3,769で放射能濃度が86 Bq/Lに低減し、排水基準90 Bq/Lをクリアした（成果1-52）。

第二段階では吸着率を高めて、更に濃縮することを目的とし、一段階で排水基準をクリアできた液固比3,769で合成したCFCを、アルカリ分解（pH13-NaOH）し、沈殿物をろ過し、溶液をさらにHClでpH7に調整したことを想定した模擬中和液（ $[K^+] = 44.6$ mM, $[Cs^+] = 4.0$ mM, $[Na^+] = 0.1$ M）を用いて、CFCの合成を試みた。液固比は、理論計算を行い188～1,885とし、一段階目と同様の操作を行った。第二段階では、液相の放射能濃度が飛灰洗浄液と同じになる液固比466で、第二段階での特徴を第一段階目と比較する。そのCs吸着率は6.6%から36%まで上昇し、固相の放射能濃度は82.4 MBq/kg（8,200万Bq/kg）から681 MBq/kg（6億8千万Bq/kg）と約8倍に達した。その結果、減容比は一段階目の更に1/8と大幅に増加した（成果1-52）。二段階目のフェロシアン化銅を再びアルカリ分解することで、その分解液の K^+/Cs^+ は更に1：3程度まで低下するため、モルデナイトやCSTのような吸着材でも高吸着率を得ることができ、安定化操作を含めても最大減

容化の可能性がある。

(3) 自然地層の放射性Cs吸着性能に関する検討

Cs濃度が 10^{-3} mol/L未満など、低濃度態で自然地盤へ吸着する際のCs分配係数の調査にはJAEA-SDB systemを用いた。登録されている約46000件の吸着データより、Csの地盤に関する吸着定数を抽出し、初期濃度、液固比等を踏まえたデータ整理をおこなった。共存イオンが含まれる海水条件でのCs分配係数は、純水使用時よりも小さくなることが確認された。また、花崗岩では、文献値（実験者）によって初期濃度と液固比の実験条件に約588億倍および1500倍の大きな差があり、最終的なCs分配係数は最大119万倍異なっていた。自然地層を天然バリアとして機能させる場合には、既存データをどのように選定して使用するのかが重要であるといえる。最終処分場から高濃度のCsが漏洩した場合（安全側の考え）として、文献値からCs吸着率が極端に大きい、または小さい場合の吸着試験結果を除外して整理した。Cs吸着率が10～90%のデータを「○」、10%未満および90%超のデータを「×」とした（表1.12）。天然パーミキュライトを除き、得られる分配係数は著しく大きくなった。これは、試料の分配係数を過大評価しており、バリア機能としては「危険側の考え」に該当する。以上のように、既存データを使用する際は吸着試験が適正な液固比条件にて実施されたものなのかを「文献値を利用する側」が判断する必要がある。

表1.12 Cs吸着率と分配係数の関係

試料	データ数	○	×	分配係数 K_d (mL/g) ○データの平均	分配係数 K_d (mL/g) ×データの平均	試料	データ数	○	×	分配係数 K_d (mL/g) ○データの平均	分配係数 K_d (mL/g) ×データの平均
玄武岩	107	11	96	388	< 2300	砂質土	27	17	10	89	< 1119
泥岩	169	121	48	246	< 1511	イライト	28	4	24	569	< 12216
緑泥岩	37	28	9	100	< 472	白雲母	16	13	3	552	< 769
花崗岩	1061	583	478	84	< 5618	黒雲母	105	50	55	206	< 801
砂岩	114	46	68	74	< 1960	カオリナイト	198	173	25	197	< 922
土壌	80	47	33	150	< 5059	天然パーミキュライト	8	3	5	177	> 11

天然バリアに対するCs吸着パラメータについて、漏洩速度が極めて遅い場合には吸着平衡に達するのに十分な時間を要すると想定し平衡条件での評価（バッチ吸着試験）とし、漏洩速度が速い場合には平衡には至らないと想定して非平衡吸着（カラム吸着試験）として取り扱うこととし、通水速度、Cs吸着阻害物質による影響を明らかにするために、実土壌を用いたCs吸着試験を実施した（成果1-23）。カラム試験の充填条件等を表1.13に示す。バッチ試験でのCs吸着しやすさは分配係数 K_d 、カラム試験では見掛けの分配係数 K'_d で示され、以下の式(4)、(5)より算出した。

表1.13 各土壌のカラム試験条件

	校庭	森林	畑	水田	掘削
カラム充填量(g)	25.2	21.5	26.2	24.1	22.6
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.24	1.90	2.28	1.99	2.12
充填密度 ρ_d (g/cm ³)	1.26	1.08	1.31	1.21	1.13
間隙体積 V_v (cm ³)	8.76	8.71	8.54	7.89	9.37
間隙率 n	0.44	0.43	0.43	0.39	0.47
液固比 (mL/g)	22	26	21	23	24

$$K_d = \frac{[X-Cs]}{[Cs^+]} \quad (3)$$

$$K'_d = \frac{1}{C_{in}} \cdot \frac{S_{tot}}{\rho_d V} \quad (4)$$

ここに、 $[X-Cs]$ ：試料に吸着されたCs (mg/L)、 $[Cs^+]$ ：溶液中のCs平衡濃度 (mg/L)、 C_{in} ：流入水のCs濃度 (mg/L)、 S_{tot} ：試料に吸着されたCs総量 (mg)、 ρ_d ：試料の乾燥密度 (g/cm³)、 V ：試料体積 (cm³)

バッチ吸着とカラム吸着試験より求めた分配係数等を表1.14に示す。掘削土にはCsを強く吸着する層状ケイ酸塩鉱物の白雲母が含まれているためか、 K_d 、 K'_d は共に掘削土が最大であった。また、掘削土は有機物含

有量の指標である強熱減量が小さいため、Csの吸着挙動は鉱物主体であると考えられた。本実験では、粒径75 μm 未満の割合や有機物量とCsの吸着量に相関性がなかった。Csの吸着は、土壌の性質よりも鉱物種に依存する結果となった。掘削土のカラム K'_d は、バッチ K_d よりも約1/16小さくなった。カラム試験のような非平衡吸着では、土壌と間隙水との接触時間が短いため、吸着に要する時定数の影響を受け、見掛けの分配係数が小さくなったと考えられる。また、Cs非平衡吸着量は土粒子密度（決定係数 $R^2 = 0.94$ ）や間隙率（決定係数 $R^2 = 0.96$ ）と強い正の相関があった。単位体積あたりの土壌量および液固比（単位体積当たりの固相と液相の比）が影響していると考えられる（成果1-40）。

カラム通水速度によるCs吸着量の変化を確認するために、通水速度7.48 mL/min（ダルシー流速 6.4×10^{-3} cm/s）と30 mL/min（ 2.5×10^{-2} cm/s）の比較を行った。なお、一般的な帯水層における地下水の流速は $10^{-1} \sim 10^{-2}$ cm/sである。115より、カラム流速が小さい場合のCs総吸着量は大きく、流速によってCs吸着量が変化することが明らかとなった。

表1.14 各土壌の平衡・非平衡吸着挙動

試料	バッチ K_d (mL/g)	カラム K'_d (mL/g)
校庭	61	8
森林	96	15
畑	68	8
水田	60	14
掘削	266	17

表 1.15 流速によるカラム吸着試験結果の比較

試料	流速 (mL/min)	Cs総吸着量 q (mg)	遅延係数 R	カラム K_d (mL/g)
校庭	7.5	3535	24	8
	30	915	7	2
森林	7.5	5654	38	15
	30	4146	28	11
畑	7.5	3819	27	8
	30	2980	21	7
掘削	7.5	6795	43	17
	30	4809	48	19
水田	7.5	5735	43	14
	30	1956	15	5

表 1.16 吸着阻害物質の影響

試料	流速 (mL/min)	Cs : K	Cs総吸着量 (mg)	遅延係数 R	カラム K_d (mL/g)
掘削	7.5	Csのみ	6795	43	17
		1:1	2647	27	11
		1:10	1748	18	7
校庭	7.5	Csのみ	3535	24	8
		1:1	937	11	3
		1:10	782	9	3

Cs吸着量は流速に依存しており、吸着に要する時定数が影響していることが確認された。カラム吸着試験は実地盤条件に近い場合、Csは流速が早い場合は自然地層を移行しやすい可能性があった。掘削土の遅延係数は流速と反比例せず、含まれる白雲母のCs吸着速度が大きいことが影響したと考えられる。

表1.16に、カリウム（K）を共存させた場合のカラム試験結果を示した。吸着阻害物質としてKを選択した理由は、汚染焼却灰等（一般的にKを多く含む：少なくとも数百mg/L以上）が直接セメント固型化等された場合を想定したものである。0.1 mol/LのCs : K濃度比=1:1、1:10溶液を調製し、7.48 mL/minで通水させた。K濃度が大きくなるほど、 K'_d が減少し、Cs総吸着量は最大80%低下した。Kは価数および水和エネルギー等の化

学的性質がCsと類似しているため、Csの吸着を阻害した。土壌はKよりもCsを優先的に吸着する（選択係数が高い）が、K濃度がCs濃度よりも大きい場合はCsの吸着を阻害し、かつ、Cs脱離を促進させた。処分場の天然バリアを想定した場合、間隙内のK/Cs比がCs溶脱に影響するため、漏洩水や自然地下水中のKイオン量が、Csの移行抑制を把握する上で重要である。

（４）Cs-137による水の放射線分解のため安定化体から発生する水素ガスに関する基礎評価

（４．１）純無機水和物からの水素ガス発生

γ線照射した硫酸カルシウム2水和物（セッコウ）、0.5水和物（焼セッコウ）、0.625水和物からの H_2 発生挙動を調べたところ、照射温度にかかわらず、水和水数の一番多いセッコウにおいて、その H_2 発生収率（ G_{H_2} ）が一番低かった（図1.11）。これ以外でも、硫酸マンガン5水和物と1水和物、硫酸マグネシウム7水和物と1水和物、水酸化バリウム8水和物と1水和物においても、水和水の多い方の G_{H_2} が小さくなった。唯一このルールから外れるのは硫酸鉄7水和物と1水和物で、7水和物の G_{H_2} は0.653と純無機水和物の中では最大の値を示した。

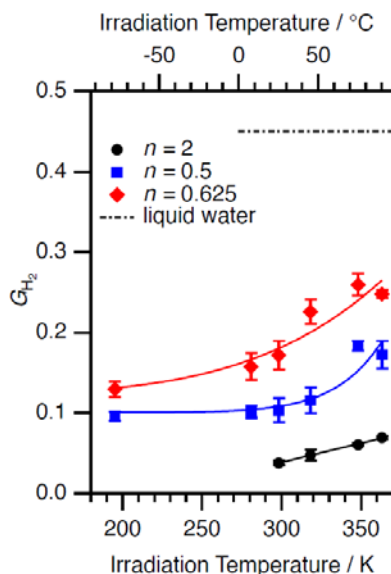


図1.11 $CaSO_4 \cdot nH_2O$ 結晶の G_{H_2} の照射温度依存性

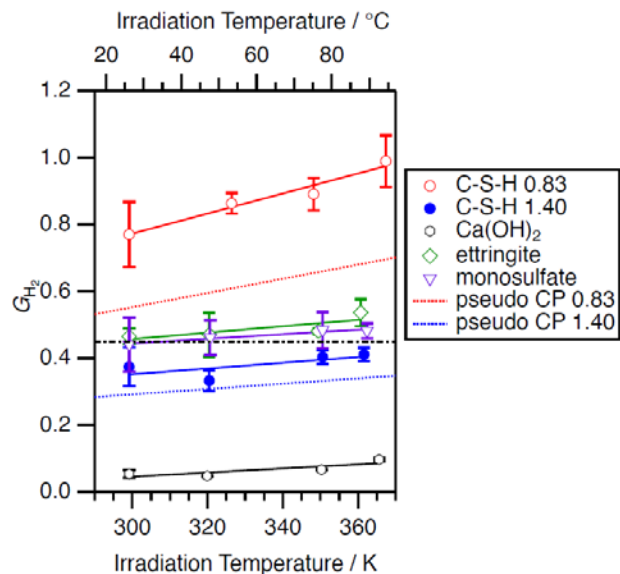


図1.12 セメントペースト硬化体構成結晶の G_{H_2} の照射温度依存性。点線は、構成結晶の重量比から予想されるセメントペースト硬化体の G_{H_2} を示す

セメントペースト硬化体の構成結晶であるC-S-H, $Ca(OH)_2$, エトリンガイト, モノサルフェートの各結晶についても、γ線照射後の G_{H_2} について調べた（図1.12）。セメントペースト硬化体のγ線照射による水素生成については、我々以外でも試験されている（Ishikawa, et al., 2019）。その結果は、自由水がある場合は自由水量に比例して水素ガスが発生し、その G_{H_2} は0.45まで達するが、自由水を取り除いて結晶水のみが残っている状態にすると、（105℃で24 h加熱乾燥）、 G_{H_2} は0.03～0.07へと大きく下がるので、結晶水は水素ガス発生にあまり寄与しないとするものであった。それに対し、我々のセメント構成結晶での結果はその10倍大きく、結晶水の分解も水素ガス生成に寄与するという結論に達した（成果1-14, 15, 24, 25）。

（４．２）セメントペースト硬化体並びに溶融飛灰混合硬化体からの水素ガス発生

炉セメントペースト硬化体B種とジオポリマー、それらに溶融飛灰を混入させた場合の G_{H_2} を調べた。図1.13にγ線照射した高炉セメントペースト硬化体の4週間の積算 G_{H_2} を照射後の日数の平方根に対してプロットしたものを示す。水セメント比W/C=0.6（図1.13左）と0.22（図1.13右）の105℃乾燥していない試料（neat）の室温での G_{H_2} と比較すると、W/C=0.6の積算 G_{H_2} はるかに大きかった。これは、セメントペースト硬化体内の自由水量はW/C=0.6のほうが多いため、その差が現れたものと考えられる。照射・保持温度の上昇とともに G_{H_2} は上昇する傾向があり、90℃ではW/C値に関係なく照射から28日目まで積算 G_{H_2} は液体水のそれと同じ値の約0.45に達していた。いずれの乾燥試料も、積算 G_{H_2} は照射後の日数の平方根に比例して増加していた。これは、セメントペースト硬化体内でγ線照射によって生成した水素ガスが、硬化体内の拡散律速で拡散しつつ硬化体外に達した様子を観測したことを示している。室温での照射・保管の結果をみると（黒丸）、われわれの実験結果でもその程度の積算 G_{H_2} 値となっている。しかし、保管温度が上がれば、試験体内における水素ガスの拡散速度が上昇し、その結果として積算 G_{H_2} 値は液体水のそれと同等の値に達し、そ

の後さらに上昇することは確実である。したがって、われわれの実験結果は、セメントペースト硬化体の構成結晶の化学結合水も放射線分解による水素ガスの発生源となることを示している。

36.6 wt% の溶融飛灰が混入した場合の γ 線照射された高炉セメントペースト硬化体 ($W/C=0.65$) の積算 G_{H_2} の照射・保持温度依存性を図1.14に示す。105℃乾燥した場合は、その照射・保持温度の場合でも飛灰を含まない硬化体試料と比較して積算 G_{H_2} 値は大きくなり、90℃照射・保管の場合は、28日後に1.55と飛灰を含まないものの4倍弱にも上昇した。ここで重要なことは、飛灰を単独で照射しても、水素ガスはまったく発生しなかったことである。飛灰混入による積算 G_{H_2} の増加の原因としては次の2つがあげられる。一つは、飛灰の混入によってセメント構成結晶の成長が阻害され、細孔形成が発達せず、試験体内部で発生した水素ガスが拡散しやすくなったため、早く外に出やすくなったこと、もう一つは飛灰に吸収された γ 線エネルギーのセメントペースト硬化体結晶の水和水へのエネルギー移動効率が高くなったことが考えられる（成果1-7, 55, 56）。

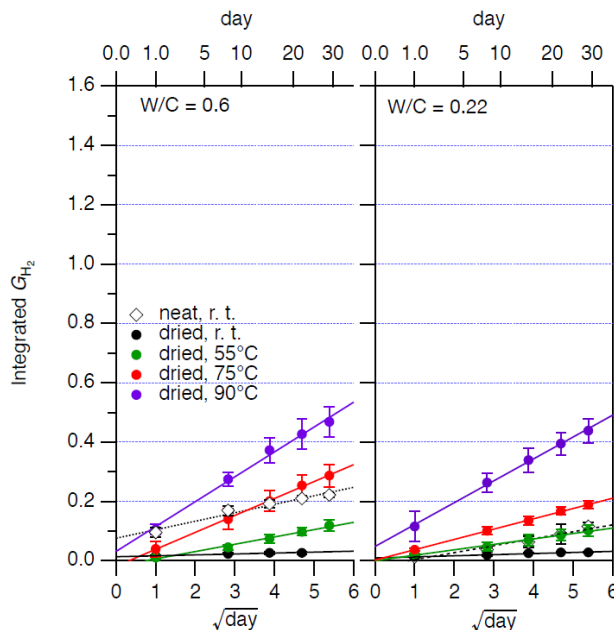


図1.13 水セメント比の異なる高炉セメントペースト硬化体B種の G_{H_2} の照射後日数と保持温度依存性
 G_{H_2} の γ 線照射後日数と保持温度依存性

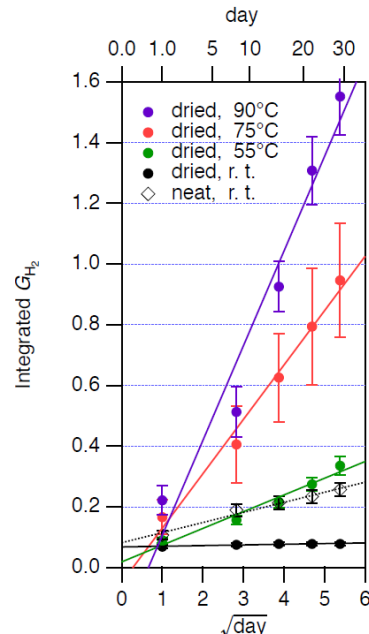


図1.14 飛灰を36.6 wt%混入した高炉セメントペースト硬化体B種($W/C = 0.65$)の積算

(4. 3) ポリマー含浸セメントペーストからの水素ガス発生

ポリマーをコンクリートに含浸させ、物質浸透抵抗性を高めるポリマー含浸セメントペースト硬化体についても調べた。ポリマー含浸セメントペースト硬化体は、セメントペーストを硬化後に加熱真空引きにて自由水を取り除いた後、PMMAモノマーとAIBNラジカル重合開始剤を混ぜた溶液を含浸させた後に加熱により重合を開始してポリマー化したものである。Φ6 mm×50 mmのサンプルを用いた測定結果を図1.15に示す。90℃で保持したポリマー含浸セメントペースト硬化体（赤丸塗りつぶし）は他の試料より遥かに高い G_{H_2} を示すと共に、照射から240日経過しても水素ガスの発生は止まらず、その積算 G_{H_2} 値は4.8と液体水のそれ（0.45）の10倍以上にまで達した。室温に比べて90℃保持で遥かに G_{H_2} が大きくなる理由は、PMMAのガラス転移温度を超えてポリマーの運動が室温と比べて動的となり G_{H_2} の増加（セメント硬化体細孔内の H_2 の拡散）に寄与しているものと考えられる。

Φ50 mm × 100 mmのポリマー含浸セメントペースト硬化体の90℃で保持した照射後の積算 G_{H_2} を図1.16に示した。ここで◇塗りつぶしのものについては、照射後20日程度の頃に試料の入ったガラス容器を落下させてしまい、容器は壊れて試験体にクラックが入ってしまった。その試験体を再び別のガラス容器に入れ替えて積算 G_{H_2} の測定を続けたものになるが、クラックの入っていないもの（赤丸塗りつぶし）と比較して、20～40日の間で大幅な G_{H_2} の上昇が観測され、その値は4.5程度にまで達した。この結果は、 γ 線照射されたセメントペースト硬化体内に生成した水素ガスが試験体外まで拡散できず残存していたものが、クラックが入ったことによってクラック近傍の水素ガスが試験体外に急激に出てきたものと解釈される。

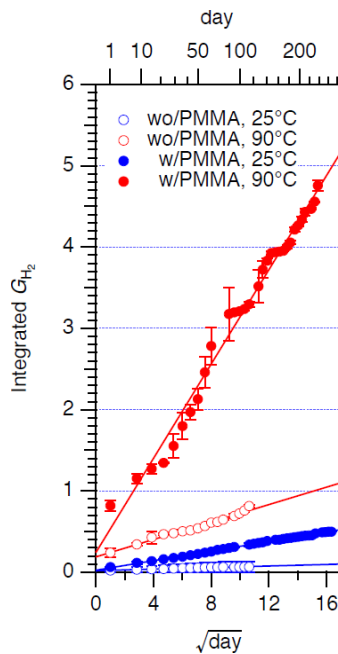


図1.15 ポリマー含浸高炉セメントペースト
硬化体B種の G_{H_2} の照射後日数と保
持温度依存性

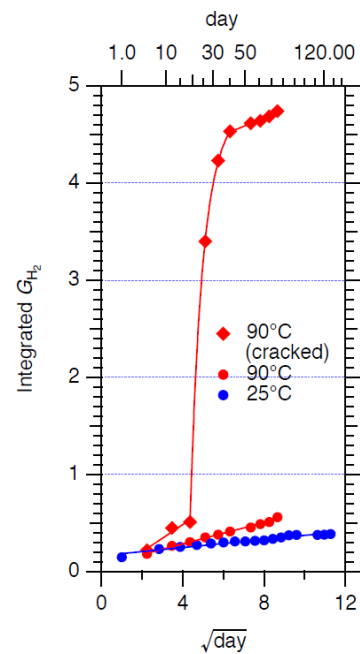


図1.16 ポリマー含浸高炉セメントペースト
硬化体B種の G_{H_2} の照射後日数と保持
温度依存性におけるクラックの影響

2. 1. 4. 2 サブテーマ2

1) 飛灰直接固型化体の溶出試験結果

有姿攪拌試験の結果を図1.17に示す。セメント固型化体は溶媒が蒸留水の場合、試験開始後7日で累積溶出率が90%を超え、試験終了時には99%が溶出した（成果1-63）。セメント固型化体では、海水溶媒でも同様に溶出率は高く、最終的に74%に達するが、蒸留水溶媒よりも溶出は抑制された。固型化体表面に析出物（カルサイト）が確認され、この析出物が溶出を抑制したもの判断された。ジオポリマー固型化体における累積Cs溶出率は、セメント固型化体に比して全体的に低く、早期に溶出の低減がみられ、時間経過に伴って速やかに累積Cs溶出率はほぼ一定になった（成果1-65）。常温で養生した固型化体でも最終的な累積溶出率は35%に留まり、養生温度を上げるほど最終的な溶出率は小さくなった。105°Cの固型化体で急激な溶出の増加が見られるが、これは固型化体が崩壊したためである。

なお実汚染灰を用いたセメント固型化体について実施した有姿攪拌試験でも放射性Csの溶出は早く、後述する拡散係数はほぼ同等であった。

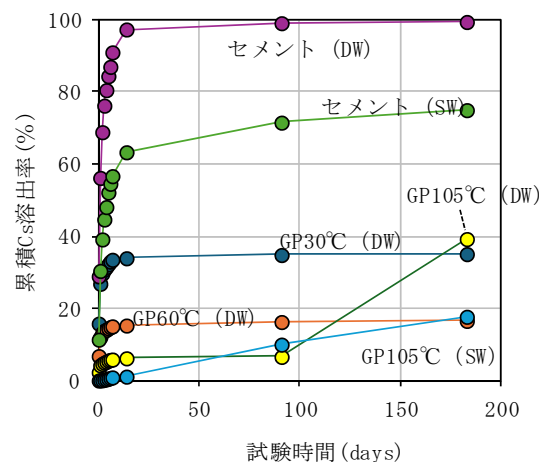


図1.17 飛灰直接固型化体の有姿攪拌試験の結果

2) フェロシアン化銅Cs吸着を介した固型化体の溶出試験結果

セメント固型化体の有姿攪拌試験の結果を図1.18に示す。各線は異なる溶媒の結果を示している。セメント固型化体では最初の10日間は、3種類の溶媒による溶出に大きな差は無いが、35日目以降は、各溶媒で溶

出挙動に差が生じた。蒸留水溶媒での累積Cs溶出率は緩やかな上昇傾向を示したのに対し、人工海水では、累積溶出率の増加速度は35日目以降で大幅に低下し、91日後の累積溶出率は39.3%となり蒸留水よりも低くなった。また、模擬飛灰溶出液では、溶出試験中に固型化体の表面に析出（カルサイト）が確認され、この析出により溶出が抑制されると想定されたが、蒸留水溶媒と類似の増加傾向を示した。セメント固型化体では析出が溶出を抑制したが、本固型化体で溶出の抑制が認められなかった理由は不明である。

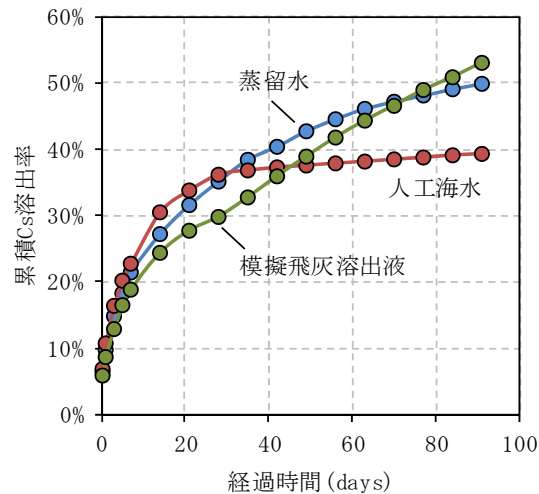


図1.18 フェロシアン化銅Cs吸着を介して作製したセメント固型化体の有姿攪拌試験結果

ジオポリマー固型化体の有姿攪拌試験の結果を図1.19に示す。固型化体からのCs溶出は初期（14日迄）に急激に立ち上がり、その後緩やかになる点では3種の溶媒で概ね共通している。蒸留水溶媒では、ジオポリマーの有するイオン交換能により、他の溶媒よりも低い溶出率となっている。一方、人工海水では初期14日以降も緩やかな上昇があり、最終的には最も多くのCsが溶出した。海水を使用した理由は、海水中のNa、Kイオンが固型化体中のCsとイオン交換して溶出を促進すると考えたからであるが、想定していたことが起こったと思われる。模擬飛灰溶出液では、Naは人工海水よりも低いものの、Kは人工海水の10倍程度含まれることから、イオン交換によるCsの放出（KとCsの置換反応）を促すと思われたが、蒸留水と類似の溶出率の増加曲線（初期の急激な溶出以降は僅かな溶出）となった。セメント固型化体と同様に、模擬飛灰溶出液では固型化体表面に析出物が確認され、この表面の析出物が液中のイオンと固型化体内部のCsのイオン交換反応を阻害した可能性が考えられる。

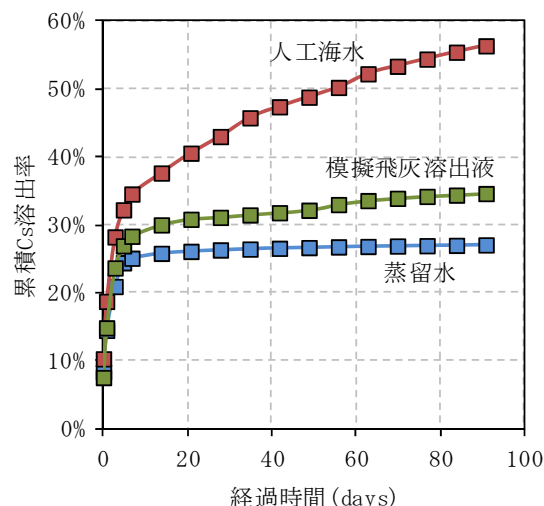


図1.19 フェロシアン化銅Cs吸着を介して作製したジオポリマー固型化体の有姿攪拌試験結果

3) ゼオライトCs吸着体を介した固型化体の溶出試験結果

長期有姿攪拌試験（JIS K 0058-1）の結果を図1.20に示す。本試験は溶媒交換を行っていないことに注意が必要である。ゼオライトCs吸着体は、初期にCs溶出量が増加し、1日目以降、再吸着が進むことが分かった。今回採用した長期有姿攪拌試験のように溶媒を交換しない試験方法では、Csが溶出するにつれて溶媒中のCs濃度が上昇しゼオライトがCsを再吸着しやすい環境になるため、埋立時の溶出挙動を十分に評価できな

い可能性がある。焼結体は、時間経過に伴いCs溶出量が増加した。これは粒子表面の非晶質相が溶解しCs溶出量が増加したためと考えられる。セメント固型化体、ジオポリマー固型化体の溶出量は1週間程度で頭打ちとなり、以降は横ばいとなった（成果1-16）。

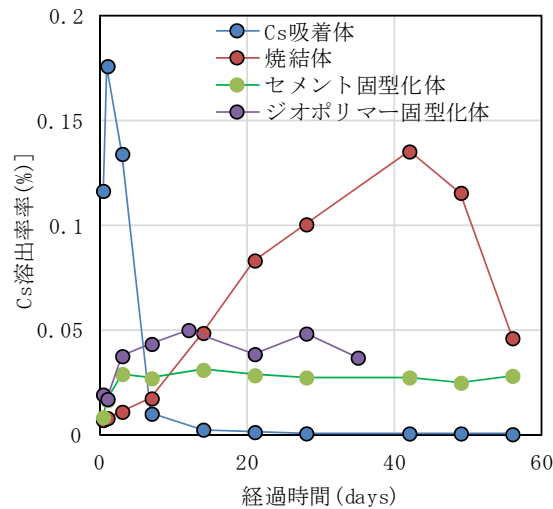


図1.20 ゼオライトCs吸着体、焼結体、各固型化体の有姿攪拌試験（JIS K 0058-1）の結果

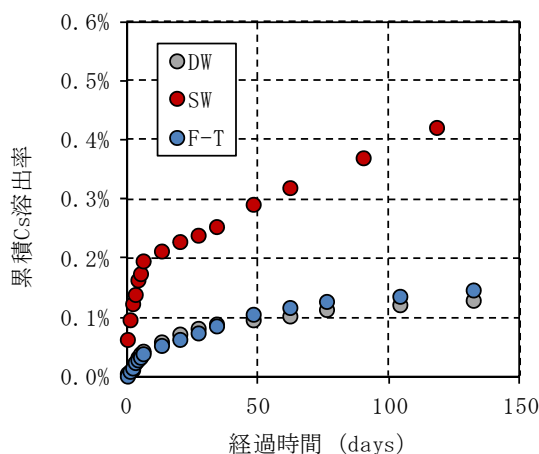


図1.21 ゼオライトCs吸着体を介して作製したセメント固型化体の有姿攪拌試験結果

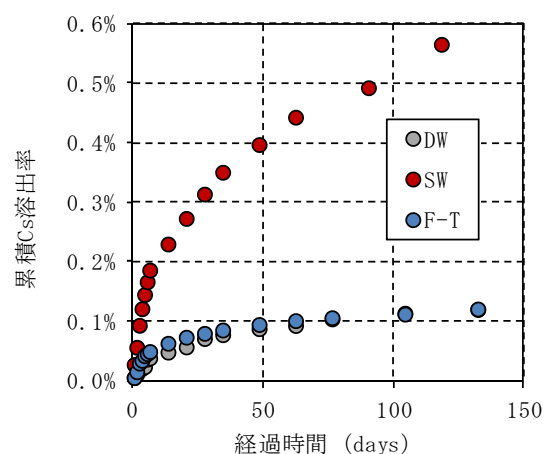


図1.22 ゼオライトCs吸着体を介して作製したジオポリマー固型化体の有姿攪拌試験結果

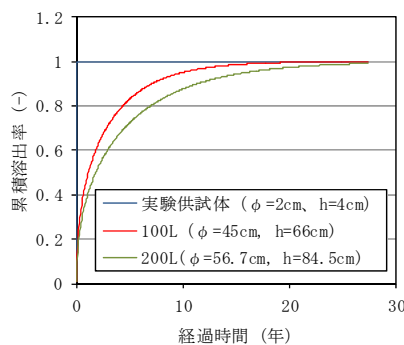
溶媒として、蒸留水（DW）、人工海水（SW）を使用し、さらに凍結融解（F-T）のサイクルを繰り返した固型化体の有姿攪拌試験の結果を図1.21、22に示す（成果1-53、60）。ここでの試験は溶媒交換無しのJIS K 0058-1の試験ではなく、ANSI/ANS-16.1に準拠して行っている（溶媒交換有）。いずれの固型化体でも蒸留水溶媒では累積溶出率の勾配は初期が最も急で、次第に緩やかになり130日目ではほぼ溶出しなくなった。セメント固型化体とジオポリマー固型化体の累積溶出率の差は僅かで、セメント固型化体からのCs溶出が0.01%程度ジオポリマーを上回った。凍結融解に供した固型化体は、処理を施していない固型化体とほぼ変わらない経過をたどった。凍結融解処理は、間隙水の膨張と収縮により物理的な破壊が進行すると想定したが、固型化体内の間隙水はCaやNaが高濃度であるため凝固点降下が起こり凍結しなかった可能性が考えられる。海水溶媒は蒸留水と大きく異なる結果となった。海水に浸漬することで、Na、Mg、Ca、Kを多量に含む海水が固型化体内部の空隙に浸透し、空隙内部が高塩濃度溶媒で満たされる。これらの陽イオンとゼオライトに吸着したCsとの間でイオン交換が生じ、Csの溶出が促進されたものと思われる。さらに、ジオポリマー固型化体での溶出率がセメント固型化体を上回った。ジオポリマー固型化体内では、ゼオライトと間隙水の間のイオン交換、ジオポリマーと間隙水のイオン交換の2つの反応がCsの溶出に関与する。海水中の陽イオンは両方のイオン交換に影響したものと思われる。セメント固型化体では、7日目付近で溶出率の増加傾向が変化している。これは溶媒交換間隔を1日から7日に変化させた影響であると考えられる。溶媒交換間隔を長くすることで、液相のCs濃度が平衡に達して溶出を抑制した可能性がある。そのため、有姿攪拌試験にお

いて溶媒交換を行う場合は、交換間隔は可能な限り一定とすべきである

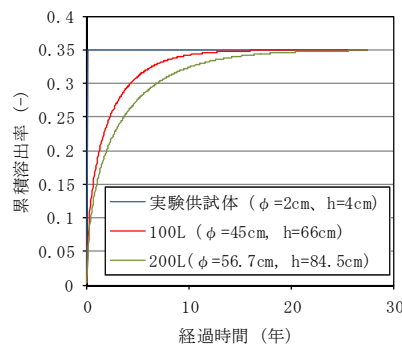
4) 有姿攪拌溶出試験結果に基づく拡散係数の決定と長期溶出予測

各固型化体の有姿攪拌溶出試験における累積Cs溶出率と時間の平方根の関係から決定した拡散係数は、最も溶出の早かった飛灰の直接セメント固型化体で $2.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{day}$ であり、最も溶出の少なかったゼオライトCs吸着体のジオポリマー固型化体で $3.5 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{day}$ で約7桁の差があった。実験から決定した拡散係数であるため当然であるが、実験における累積Cs溶出率の変化は良好に再現された。

円柱体における拡散方程式から得た解析解を用いて、固型化体のサイズの影響を計算した結果を図1.23に示す。図は飛灰の直接固型化体に関する計算結果である。実験供試体の寸法は直径2cm、高さ4cmと小さいため、溶出は縦軸に重なるほど早い。セメント固型化体では100Lにすると全溶出まで約20年、200Lとすることで約30年となった。一方、図1.24は本研究で取り扱った各固型化体からのCsの溶出を100年間計算した結果である（寸法は200Lとした）。フェロシアン化銅Cs吸着体を介した固型化体では100年で約半分程度のCsが溶出する。フェロシアン化銅の固型化体は放射能が極めて高くなるため、処分場の構造は極めて厳重なものとする必要がある。一方で、ゼオライトCs吸着体の各固型化体は拡散係数が極めて小さいため、100年後もほとんど溶出は起こらない。

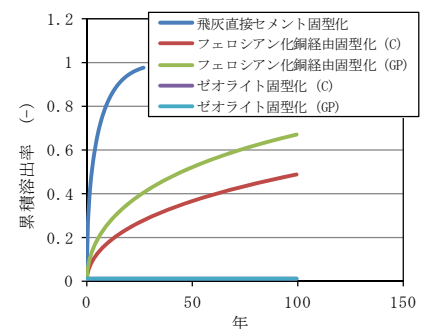


(a)セメント固型化体



(b)ジオポリマー固型化体

図1.23 Cs溶出予測に寸法の影響（飛灰直接固型化体）



C:セメント、GP:ジオポリマー各固型化体
図1.24 200Lの大きさの固型化体からのCsの溶出率

5) 安定化体の溶出試験法の提案とCs溶出の長期予測法

本サブテーマでは、安定化体の溶出試験法と長期溶出予測を提案することを一つの目標として設定していた。そのため、以下に本検討から得られた知見を元に試験法と溶出予測手法を提案する。

④ 溶出試験法

- 溶出試験は、有姿のシリアルバッチ試験（例えば、ANSI/ANS16.1（米国原子力学会の固化体溶出特性評価法）など）が望ましい。
- 固型化体の場合は円柱が良い。寸法は、直径2 cm、高さ4 cm程度で十分である。供試体が均一に作製できるのであれば、小さな固型化体の方が少量の放射性物質を取り扱う試験となるため望ましい。供試体のサイズが小さければ（表面積÷体積、つまり表面積体積比が大きければ）、早期に物質が枯渇する条件となるため試験期間を短くすることができるが、固型化を構成する粒径を考慮して慎重に決定する必要がある。
- 溶媒は蒸留水で良い。過酷環境（塩濃度、凍結融解、温度）等は若干の影響があるが、累積溶出率の桁を変えるようなものではないため、特に考慮する必要はないと思われる（本研究で実施した供試体の範囲に限る）。逆に、供試体表面での析出等により溶出が抑制される可能性がある。
- 溶媒交換を行うシリアルバッチ溶出試験が望ましい。これは、再吸着等を回避するためと、新鮮な楊梅を用いることで溶媒と固型化体内部の濃度勾配を高く維持するためであり、より安全側の（保守的な）試験結果を得ることができる。
- 攪拌を行うことで溶出を加速できるため行うべきであると思われるが、必ずしも必要ない。
- 試験期間は、初期の溶出が最も速いため20日程度で構わない。初期溶出挙動から得られる溶出拡散係数を決定し、長期的挙動を計算することで安全側の評価が可能となる。

⑤ 溶出試験の整理

- 累積溶出率を経過時間の平方根に対してプロットし、直線関係にあることを確認する（拡散律速となっていることを確認する）。
- 経過時間の小さい初期時の直線関係にあるデータから傾きを得て、溶出拡散係数を決定する。
- 累積溶出率の傾きは、初期が最大であり次第に増加率が小さくなるので、初期のデータを採用することは安全側となる。

⑥ 長期挙動予測

- ・ 実寸法に応じて拡散係数を元に長期溶出予測を行う。ただし、本手法によって得る拡散係数は試験初期に最大となるため、それを利用する長期的な予測は、最大の拡散係数が長期的に支配するという最も安全側の予測となる。これは、不確実性の大きな将来予測を比較的短期の試験結果から予測しようとするものであり、そのため、やや過大な保守性が必要と考えているためである。
- ・ また、放射能レベルが異なっても本試験結果を使用できるように、濃度勾配に依存しない溶出フラックスとして整理してもよい。

2. 1. 4. 3 サブテーマ3

(1) 既設の処分施設の構造と安全評価 (成果1-8)

遮断型最終処分場は有害物質を含む廃棄物を公共の水域及び地下水と完全に遮断するための外周仕切設備を設け、同等の覆いで閉鎖される処分施設である。限定された施設から排出される特定有害産業廃棄物のうち、処理を実施しても規定の26の有害物質に関する判定基準を超過するもの、及び通常の産業廃棄物のうち「金属等を含む産業廃棄物に係る基準」を満たさない「有害な産業廃棄物」が遮断型最終処分場での埋立処分対象となる。

1977年に総理府と厚生省から共同で示された「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の処分場に係る技術の基準を定める命令（以下、共同命令）」において、鉄筋コンクリート構造などによる外周仕切設備等について要点や設計例が示されている。1998年の共同命令の改正において、面積50 m²超又は容量250 m³超の埋立地は、内部仕切設備により、一区画の面積が概ね50 m²超又は一区画の容量が250 m³超とならないように区画することが定められた。さらに、外周仕切設備、内部仕切設備は以下の要件を満たすことが求められている。

- ① 一軸圧縮強度が25 N/mm²以上の水密性を有する鉄筋コンクリートで造られ、かつ、その厚さが35 cm以上であること又はこれと同等以上の遮断の効力を有すること。
- ② 自重、土圧、波力、地震力等に対して構造耐力上安全な要件を備えていること。
- ③ 埋め立てた廃棄物と接する面が遮水の効力、腐食防止の効力を有する材料で十分に覆われていること。
- ④ 地表水、地下水及び土壌の性状に応じた有効な腐食防止のための措置が講じられていること。
- ⑤ 目視等により点検できる構造であること。

遮断型処分場は、外周仕切設備等の機能を定期的な点検とメンテナンスにより適切に維持することにより、有害な化学物質の処分場外への漏出を未然に防止する。すなわち、半永久的な処分場の管理が前提となっており、有害物質の環境への漏出をそもそも許さない設計思想である。そのため、長期の安全性評価自体は実施されない。また、廃止基準に明記されている「外周仕切設備について、環境大臣の定める措置が講じられていること。」の措置内容が示されていないために、処分場を廃止することは事実上不可能である。このため、実質的に遮断型最終処分場は廃棄物を長期的な管理の下で保管する施設と位置付けられる（山田・遠藤、2012）。以上より、仕切設備等に用いられる鉄筋コンクリートの経年的な劣化に起因する水の浸入や有害物質の漏出を防止することは可能であっても、地震等による突発的な損傷への対応やフェールセーフ機能の確保については課題を有するといえる。ただし、共同命令改正以降、遮断型処分場は整備されていない。

一方、放射性廃棄物は、第一種廃棄物埋設の対象となる高レベル放射性廃棄物（HLW）と第二種廃棄物埋設の対象となる低レベル放射性廃棄物（以下、LLW）に区分されており、LLWについては発生者責任の原則の下、原子力事業者等が処分場所の確保などの取り組みを進めることを基本としている。LLWは、放射能レベルに応じて「放射能レベルの比較的高い廃棄物」（L1）、「放射能レベルの比較的低い廃棄物」（L2）及び「放射能レベルの極めて低い廃棄物」（L3）の3つに区分されている。LLWの処分方法は、深さの違いにより、中深度処分（地表から70 m以深）及び浅地中処分（地表から70 m以浅）に大別されており、浅地中処分は、さらに処分方式によってピット処分とトレンチ処分に区分されている。ピット処分の埋設設備の構造及び設備は許可基準規則によって定められ、原子力規制委員会による許可基準規則の解釈が示されている。基本的な考え方として、廃棄物の受入開始から埋設終了までの期間においては雨水や地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域から放射性物質の工学的に有意な漏えいがないこと、埋設終了から廃止措置の開始（300～400年以内）までの期間においては、放射性物質の漏出を低減することが求められる。そのため、外周仕切設備の設置、その表面の土砂等による覆土、およびその他の人工バリアの設置が必要とされる。また、これらの構造には劣化・損傷に対する抵抗性を有すること、劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持・修復できること、地下水の浸入を抑制する機能・放射性物質を収着する機能等の機能のうち一つのものに過度に依存しないことが求められる。ピット処分は、放射能が減衰して影響が有意なレベルを下回るまでの期間において、放射性物質の「漏出防止機能」、「遮蔽機能」、及び「移動抑制機能」を担保する人工バリアと、周辺の土壌や地盤（天然バリア）が持つ「移動抑制機能」によって安全性を確保する処分方式である。

「遮蔽機能」は、廃棄体の定置から覆土完了までの期間は埋設設備自体が、覆土完了後は覆土が遮蔽材とし

て機能することにより、平常時における直接ガンマ線、及びスカイシャインガンマ線により、公衆が受ける事業所周辺の線量を十分に低減する。

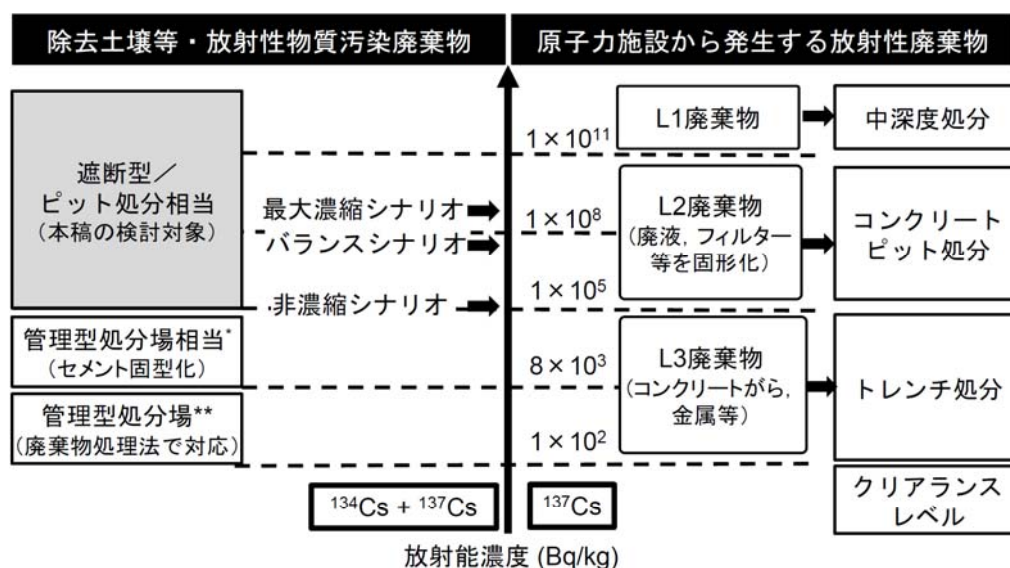
「移動抑制機能」は、「低透水性」による埋設設備に流入する地下水量の抑制、「収着性」による放射性物質の移行遅延、「低透水性及び収着性の組合せ」による廃棄物埋設地外への放射性物質の移動抑制の観点から設計、評価を行い、安全性を確保する。なお、廃棄体の固型化等による溶出性及び拡散性の低下も移動抑制に貢献する可能性が考えられるが、現在の評価においては見込まれていない。

県外最終処分対象の放射能濃度は放射性Cs（Cs-134およびCs-137）で管理をされているが、処分時の主要核種であるCs-137と、法令に定められたLLWの処分方式毎のCs-137濃度上限値を比較する。サブテーマ1を中心に検討されている処理・最終処分シナリオを考慮すると、減容化・処分シナリオ毎の想定放射能濃度は以下のとおりである。

- ・非濃縮シナリオ：9万～20万Bq/kg → $9.0 \times 10^7 \sim 2.0 \times 10^8$ Bq/t
- ・バランスシナリオ：2000万Bq/kg → 2.0×10^{10} Bq/t
- ・最大濃縮シナリオ：7億Bq/kg → 7.0×10^{11} Bq/t

よって、非濃縮シナリオがトレンチ処分相当からやや超える程度、バランスシナリオと最大濃縮シナリオがともにピット処分相当となる。これらの対応関係を図1.25にまとめる。一方、現実的な最大放射能濃度として六ヶ所サイトの最大放射能濃度と比較すると、最大濃縮シナリオは中深度処分相当に整理され、これ以外のシナリオはピット処分相当となる。

一方で、LLW処分を対象とした評価における主要核種は、L2が ^{14}C （半減期5,730年）、L3が ^{36}Cl （半減期308,000年）であり、いずれも長寿命核種であるとともに、地盤等への収着が小さい核種である。一方、県外最終処分安定化体の主要核種はCs-137（半減期30.2年）であり、長寿命核種ではないことと合わせて土壌等への収着が大きい核種であることが知られている。このようなLLW処分の安全評価の背景との相違を考慮すると、県外最終処分における処分方法と安定化体の放射能（Cs-137）濃度上限値の対応については改めて検討する必要があるといえる。



* 福島県内廃棄物は特定廃棄物埋立処分施設で処分。ただし、対策地域内廃棄物の可燃物を焼却する際に発生する焼却残渣のうち ^{137}Cs の溶出量が150 Bq/L以上のものを埋立処分する場合、および放射性Cs濃度が10万 Bq/kg以下の指定廃棄物を管理型相当の処分場に埋立処分する場合にセメント固型化が必要となる

** 特定一般廃棄物・産業廃棄物の埋立処分では上乗せ基準がある

図1.25 放射性物質汚染廃棄物の放射能濃度に応じた処分方法と放射性廃棄物処分の区分との比較
(成果1-1を加筆修正)

基本的な考え方として、対象廃棄物は「遮蔽」、「漏出防止」及び「移動抑制」に係る設計やその安全評価においてピット処分と同様の考え方を適用すべき廃棄物である。また、遮断型最終処分場の現行設計でも「漏出防止」及び「遮蔽」機能は確保できると考えられる。「移動抑制」については、対象廃棄物が放射能濃度・核種の観点からL2に比べて相対的に放射能レベルが低い廃棄物であり、放射性Cs濃度を管理することで放射線リスクの管理が可能となることが大きな相違点である。よって、基本的にはピット処分施設（六ヶ所サイト）を参考として、低透水性と収着性を機能させることで安全性を確保することが妥当である。特に、L2と比較して半減期の短いCsが主要な核種であることから、平常時・事故時を含めて人工・天然バリアの収着力

を最大限利用し、安全な放射能レベルに減衰するまで生活環境への移動を遅延させることが合理的な処分システムの検討に重要な観点と考えられる。

一方で、慎重な安全評価を実施しつつも、国際放射線防護委員会（以下、ICRP）の勧告に従い、経済的及び社会的要因に与える影響の違いを考慮して、過度に保守的であることなく計画する必要がある。ICRPは作製中の浅地中処分を対象とした勧告であるTask Group 97報告書案で、「未来の人々の尊厳を尊重することに努める一方、受益／非受益の観点から、彼らの利益を損なってはならない。そのためには、将来世代に与える影響を考慮し、現在世代とのバランスをとることが必要であり、浅地中処分においては、過度に保守的であることなく、将来世代を保護するような慎重な行動方針と決定が必要である。」としている。特に、対象廃棄物の放射能レベルの低さについて、同報告書案で「低レベル及び極低レベル放射性廃棄物の処分で採用される基本戦略は、短寿命放射性核種がもはや有意な被ばくを生じないレベルまで崩壊するまで廃棄物を封じ込め、隔離することであり、処分施設の封じ込め・隔離能力が低下する可能性がある長期においても、線量とリスクが確実に制限されるように、長寿命放射性核種の放射能含有量を制限することである。加えて、非放射性汚染物質から起こりうる影響からの防護も考慮する必要がある。」としている。対象廃棄物の安全評価にあたっては、短寿命放射性核種の濃度が十分に低いことと合わせて、長寿命放射性核種等の放射能含有量の制限が、重要と考えられる。対象廃棄物はL2と比較して、必要となる漏出防止機能（L3は漏出低減機能）が低いレベルで安全性を満足すると想定され、重金属等の非放射性環境影響物質が一定量以上含まれることが予測される場合においては、より一層の配慮が必要になる。

さらに、最終処分場の場所を決定する際には、放射線影響はもとより環境側面や輸送の安全性といった非放射線学的な側面も考慮し、最適化を総合的に検討する必要がある。施設の建設に要する資材の生産に伴う資源やエネルギー消費、建設副産物の発生、建設資材の生産や建設発生土などの輸送ならびに放射性廃棄物の輸送によるCO₂の排出など環境影響が多岐にわたるものと考えられる。発生場所から廃棄物埋設施設までの輸送システムや輸送距離に応じて相当の影響を受けることが想定され、交通への影響なども含めた社会的要因を考慮することが必要である。

（２）バリア材料の基礎物性データの取得とセシウム浸透に関する室内試験

１）コンクリートの基礎物性試験

各配合における時間経過ごとのモルタルフローの結果を図1.26に示す。ここで、ZV50_W/C50及びZV50_W/C_60については材料分離の傾向が非常に高かったため、供試体作製及び各試験の実施が不可能であった。また、ZV70_W/C40及びZV70_W/C50については、単位水量が少なく、練り混ぜが不可能だったため、他の5つの配合について試験を行った。

ZV70_W/C60は、30分後で、測定不可となった。また、ZV60_W/C40は、60分後で、測定不可となった。その他の3配合は練り混ぜ直後は300mm以上のフロー値が得られ、ZV60_W/C50及びZV50_W/C40は120分後で150mm程度となり、ZV60_W/C60は120分後で200mm程度となった。

図1.27に圧縮強度試験の結果を示す。結果として、ゼオライト混合率及び水セメント比が高くなるほど強度が低下する傾向が確認された。これは、ゼオライト自体は強度が低く、圧縮強度の結果はほとんどセメントマトリクスの強度に依存していると想定されることから、セメント量が多くW/Cが小さい配合であるZV50_W/C40が高い圧縮強度となったと考えられる。一方で、7日から28日にかけての強度増進については、ゼオライト混合率が高い配合のほうが大きくなった。この理由としては、ゼオライトのポゾラン反応によるものと考えられる。ゼオライトのポゾラン反応については、力学性能や長期の化学安定性などにおいて人工バリア性能を高めることが期待されるが、一方で収着性能を阻害することも懸念されることから、ゼオライトの活性についての長期影響評価が必要である。

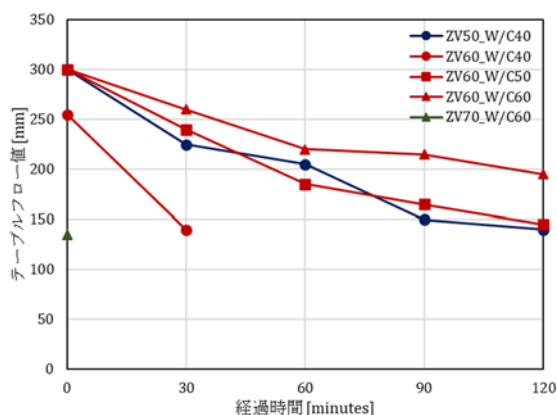


図 1.26 テーブルフロー試験

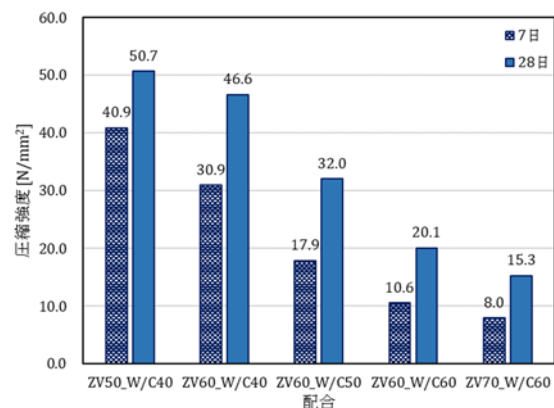


図 1.27 圧縮強度試験

ゼオライトセメント固化体に対するCsの分配係数(K_d)を図1.28に示す。予備試験においてCs収着能が高いことを確認できたので、当初液固比100:1で実施予定だったところを500:1についても追加で収着試験を実施した。「収着試験後の収着物質の濃度(C)/初期(ブランク)の収着物質の濃度(C_0)」は、収着試験における収着物質初期濃度や固液比等の条件設定及び試験結果の妥当性を判断する指標であり、 C/C_0 が0や1に偏ると正確な分配係数が得られないことがある。今回の試験では、 C/C_0 が0.01から0.02の低い値であったことから、信頼性の高い K_d を得るためには液固比及び収着物質の初期濃度を十分に検討する必要がある。

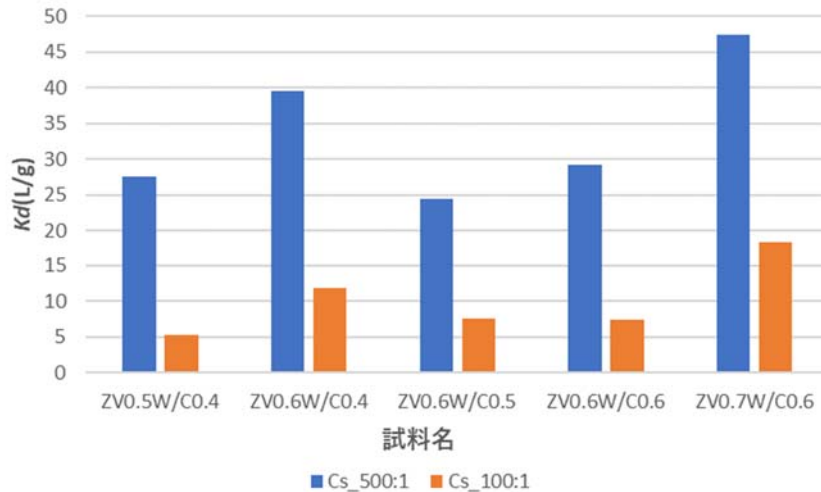


図 1.28 ゼオライトセメント固化体における分配係数

(2) ベントナイト系材料の基礎物性試験

各種溶液に対するCs平衡濃度 (mg/L) とCs吸着量 (mg/kg) の関係を示した吸着等温線を図1.29に示す(成果1-41)。実験結果をHenry型吸着等温線でフィッティングすることによって得られる分配係数 K_d (L/kg) とその決定係数 R^2 を図中に併せて示す。 Ca^{2+} 、 K^+ イオンが存在しない場合の分配係数 $K_{d,0-0}$ はNa型ベントナイトが 2.05×10^2 L/kg、Ca型ベントナイトが 2.31×10^2 L/kgと大きな相違はみられなかった。Na型ベントナイト、Ca型ベントナイトともに供与液の Ca^{2+} 、 K^+ イオン濃度の上昇に伴い、Cs吸着性能は低下し、0.50 mol-Ca/L + 1.0 mol-K/L溶液においては、蒸留水と比較して70%程度 K_d が低下した。これは Ca^{2+} 、 K^+ イオンがCsの吸着と競合し、Csの吸着が阻害されるためである。Na型ベントナイトとCa型ベントナイトの分配係数はいずれの溶液に対しても概ね同様の値を示し、 Ca^{2+} および K^+ イオンがCs吸着特性に及ぼす影響に大きな相違はみられなかった。

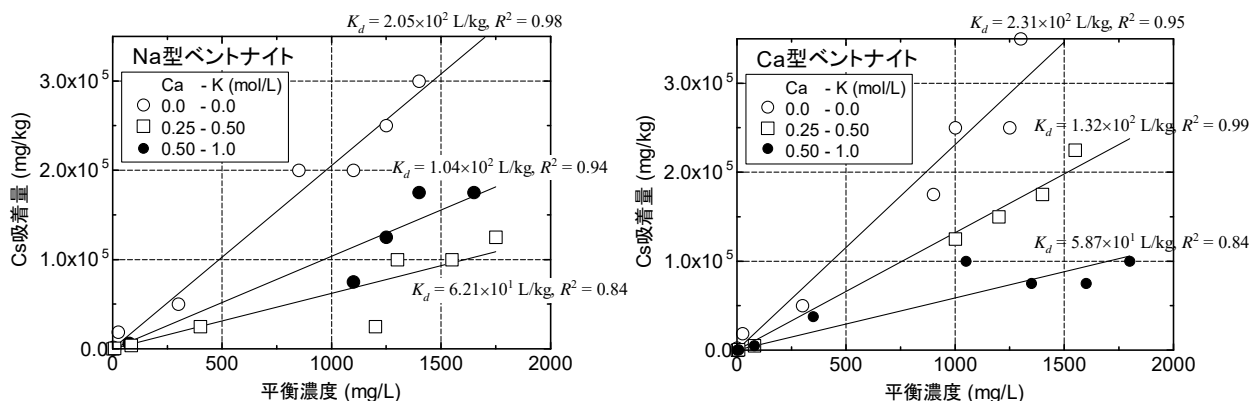


図1.29 バッチ吸着試験結果と得られた分配係数 (左: Na型ベントナイト、右: Ca型ベントナイト)

本実験では、2水準の異なる濃度で Ca^{2+} 、 K^+ イオンが存在する場合のCsに対する分配係数を同定した。しかし、実際の浸出水の Ca^{2+} イオンや K^+ イオン濃度を事前に把握することは難しいため、任意の濃度でこれらのイオンが存在する場合の分配係数を予測することが望ましい。ここでは、イオン交換理論をNa型ベントナイトのCs吸着試験結果に適用する。本研究で用いた理論の詳細は山田ら(成果1-2)によるCs濃縮するための吸着材を対象とした理論に基づいており、詳細についてはそちらを参照されたい。イオン交換理論では、選択係数 $K_{Cs/A}$ を把握することが重要であるため、Cs + Ca、Cs + Kの2成分系でのバッチ吸着試験を実施した。

バッチ吸着試験の供与液としてはCa: 0.25 mol/L、0.5 mol/L、K: 0.5 mol/L、1.0 mol/L溶液に所定の初期濃度でCs(CsCl)を溶解させたものを用いた。Cs初期濃度は10 mg/L、100 mg/L、500 mg/L、1000 mg/Lに設定した。その結果、選択係数は平均的に200付近で推移していることが確認された(成果1-70)。今回の実験のようにCs初期濃度が高濃度の範囲にあるとき、選択係数が一定の値付近で推移することは、ゼオライト等の吸着材を対象とした検討結果(成果1-2、28)でも確認されており、ベントナイトを用いた今回の実験においても同様な結果が得られた。これら一連の実験結果を下に、3成分系吸着等温線の予測結果と実験値を比較し図1.30に示す。イオン交換理論から予測した分配係数は実験で得られた値と近い値となった。このことは、個々のイオンに対するCs選択係数が分かれば、複数種のイオンが共存する場合においてもイオン交換理論を用いることで、およそその分配係数を予測できることを示している。しかし、イオン交換理論に基づいて予測した分配係数は実験で得られた分配係数と比較すると約20%程度の相違が生じる結果となった。イオン交換理論の適用可能性をより詳細に検証するためには、様々な共存イオン濃度での再現性の確認が必要である。

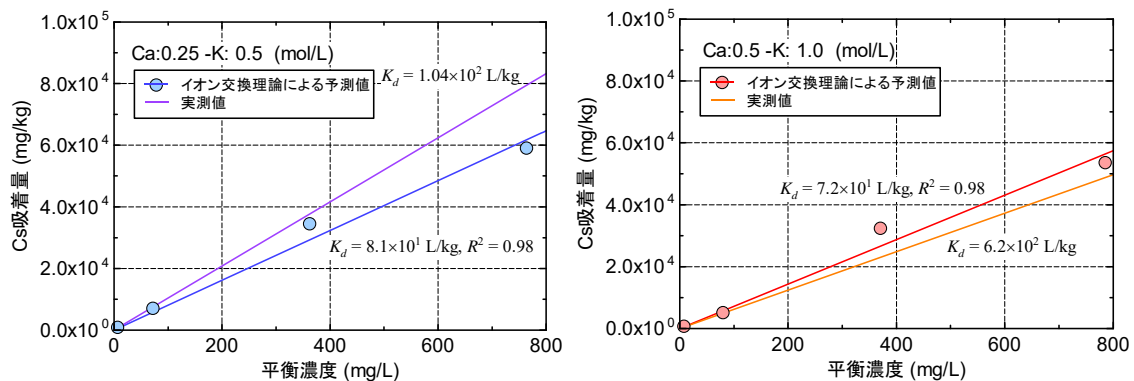


図1.30 3成分系吸着等温線の予測結果と実験値の比較
(左: Ca: 0.25 mol/L + K: 0.5 mol/L溶液、右: Ca: 0.5 mol/L + K: 1.0 mol/L)

カラム試験で得られた各条件におけるベントナイト混合土の有効粘土密度と透水係数の関係について表1.16にまとめる。ここで事前水和なしのケースでは、透水試験装置に供試体をセットした後に蒸留水による通水を行わず、高濃度塩水による通水を開始している。

ベントナイト混合率の増加に伴い透水係数は低下する結果となった。透水係数の低下度合いはNa型ベントナイトを使用ケースの方がCa型よりも2倍ほど大きく、Na型ベントナイトを20%混合した場合、高濃度塩水に対しても透水係数は 10^{-11} m/sオーダーまで低下した。Na型ベントナイトとCa型ベントナイトで蒸留水を通水した時の透水係数を比較すると、Na型ベントナイトを使用した方が透水係数が低く、遮水性能が高いことが分かった。高濃度塩水を通水した時の透水係数は蒸留水を通水した時の透水係数より増加する結果となり、高濃度の陽イオンがベントナイトの透水係数を上昇させることが分かった。透水係数の上昇度合いは、Na型で約6倍の上昇、Ca型で約2倍の上昇となり、Na型ベントナイトの方がCa型ベントナイトより透水係数の上昇幅が大きくなった。この結果は膨潤試験の結果と整合している。膨潤性能においてもNa型ベントナイトは高濃度塩水の影響を強く受け、大幅にその性能が悪化することが分かった。その影響が遮水性能の低下にも繋がっていると考えられる。対してCa型ベントナイトは高濃度塩水の影響によって膨潤性能は多少悪化するものの、その影響はNa型ベントナイトと比較して小さく、高濃度塩水条件下においても安定した性能を有していた。

表 1.16 ベントナイト混合土の透水係数

試料の種類	ベントナイト 混合率(%)	有効粘土密度 (g/cm ³)	事前水和	透水係数(m/s)	
				純水	高濃度塩水
Na型	10	0.43	あり	8.6×10^{-11}	3.1×10^{-10}
	20	0.85	あり	1.5×10^{-11}	8.4×10^{-11}
			なし	—	3.3×10^{-10}
Ca型	10	0.41	あり	1.4×10^{-10}	3.6×10^{-10}
	20	0.83	あり	5.6×10^{-11}	1.2×10^{-10}
			なし	—	1.5×10^{-9}

高濃度塩水が流下した場合のベントナイト混合土の有効間隙率、実効拡散係数、Cs分配係数等の物質移行パラメータを図1.31の通りカラム試験の結果から同定した。これらの物性値は、遮断型処分場やプット処分施設相当の最終処分施設構造の封じ込め性能の考察と安全性評価において有用と考えられる。

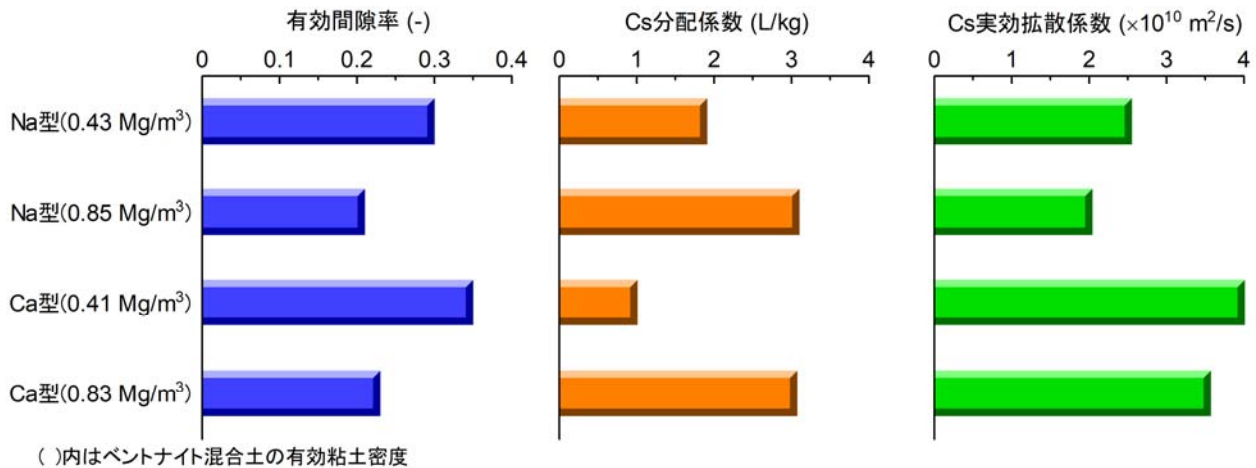


図1.31 高濃度陽イオンが共存する環境下におけるベントナイト混合土中のCs移行パラメータ

(3) セシウムの浸透試験

安定化体を最終処分する施設について、鉄筋コンクリート構造の遮断型処分場のCsの封じ込み性能について検討した。処分対象とする廃棄物にはCs以外に、津波や処分対象物由来の塩類が、熱処理により高濃縮され、溶出しやすい状態で含まれている。Csほかの成分の溶出抑制された安定化体が処分施設に処分される可能性を考えれば、処分施設からのCs溶出の可能性も小さくなるはずである。しかし、処分施設に仮設灰処理施設からの熱処理飛灰がセメント固型化され処分される場合や一般廃棄物の焼却残渣が近傍に処分される場合等も可能性としては存在し、これらの処分対象物から高濃度塩水が発生する可能性は否定できない。一般に、可燃性廃棄物の焼却・溶融時に発生する排気ガスの無害化のために、石灰が使用され、結果としてCaCl₂もしくはCaClOHが発生し、これらの塩は大気中の水分の吸水による潮解を起こし、飽和塩水を自然に発生する可能性もある。よって、もしも最終処分場における数十年～数百年の管理期間中に廃棄物から塩類が溶出することとなれば、塩害やコンクリート自体の化学的劣化が生じる恐れがあることを考えておく必要がある。先行研究においては、塩化カルシウムによるコンクリートの劣化では複塩の3CaO・CaCl₂・15H₂O (3-1-15と略記)が生成し、膨張圧によって浮きや剥離が生じることが報告されている。鉄筋コンクリートの塩害による鋼材腐食については多くの研究があるが、焼却残渣を処分するという特異な条件でのコンクリートの耐久性として、CaCl₂による化学的劣化に着目して検討した。

コンクリートのCaCl₂による劣化は、コンクリートを構成するセメントペーストとCaCl₂との反応によると考えられるため、検討は普通ポルトランドセメント (OPC) 及びより耐久性が高いと考えられる高炉スラグ微粉末を50%添加した高炉セメント (B50) によりセメントペーストを作製して行った。試験体寸法は40×40×80 mmで、40×40 mmの一面を暴露面とし、その他の面をエポキシ樹脂塗装した。浸漬溶液は、CsClは0.1 mol/Lで共通とし、CaCl₂を0、10、20、30 wt%の4水準とした。比較のため、KClを20 wt%でも検討した。

浸漬試験後の試験体暴露面の表面状態を図1.32に示す。以下に劣化状況をまとめる。

- ・ 浸漬3か月、OPC：CaCl₂濃度0、10、20%では、変質なし。濃度30%では縁の部分でひび割れ。
- ・ 浸漬3か月、B50：B50では目立った変質なし（写真非表示）。
- ・ 浸漬6か月、OPC：CaCl₂濃度10%では、浸透面全体に一樣に結晶が析出。濃度20%では微細なひび割れが見られ、それに沿うように結晶が析出。濃度30%では劣化進行、縁の部分に層状にひび割れ。
- ・ 浸漬6か月、B50：CaCl₂濃度10%、20%では、微細なひび割れと共にそれに沿う結晶が析出。濃度30%では一部ひび割れが確認。劣化の程度OPCよりも小。
- ・ 浸漬12か月、OPC：CaCl₂濃度10%、20%では結晶の析出量が増加。特に20%では浸透面の全面で結晶析出。濃度30%においては劣化が進行し層状のひび割れや浮きによって供試体が破壊。これはCaCl₂の作用により複塩が生成し、その膨張圧によって供試体側面に塗布していたエポキシ樹脂が壊れ、浸透面以外からも浸漬溶液が作用することで劣化が加速し、図のような状態になったと推定。OPCのCaCl₂濃度30%の溶液に7か月浸漬した時点のOPCの浸透面を写真1.1に示す。この時点で表面のセメントペーストの軟化や浮きは進行しており、さらに、エポキシ樹脂の一部が割れていることが確認できた。浮きや剥離が生じることでCaCl₂溶液が内部へより作用しやすくなり、劣化の進行が加速することが考えられる。
- ・ 浸漬12か月、B50：OPCと比較すると劣化が抑制。濃度30%では、ひび割れが浸透面中心まで到達。
















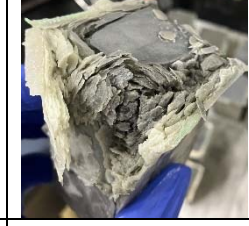




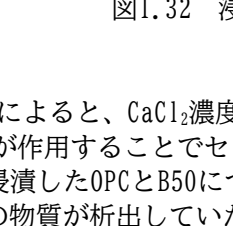
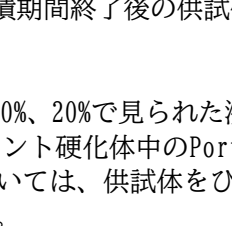
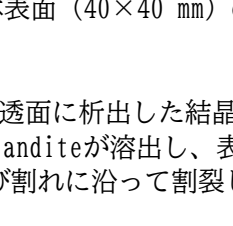
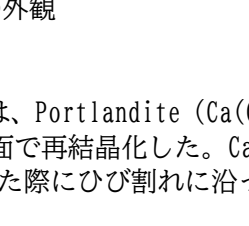
3カ月				
	CsCl 共存塩 0%	CsCl+CaCl ₂ 10%	CsCl+CaCl ₂ 20%	CsCl+CaCl ₂ 30%
	OPC			
				
	CsCl 共存塩 0%	CsCl+CaCl ₂ 10%	CsCl+CaCl ₂ 20%	CsCl+CaCl ₂ 30%
6カ月				
	CsCl 共存塩 0%	CsCl+CaCl ₂ 10%	CsCl+CaCl ₂ 20%	CsCl+CaCl ₂ 30%
	OPC			
				
	CsCl 共存塩 0%	CsCl+CaCl ₂ 10%	CsCl+CaCl ₂ 20%	CsCl+CaCl ₂ 30%
12カ月				
	CsCl 共存塩 0%	CsCl+CaCl ₂ 10%	CsCl+CaCl ₂ 20%	CsCl+CaCl ₂ 30%
	OPC			
				
	CsCl 共存塩 0%	CsCl+CaCl ₂ 10%	CsCl+CaCl ₂ 20%	CsCl+CaCl ₂ 30%
	B50			

図1.32 浸漬期間終了後の供試体表面 (40×40 mm) の外観

X線回折分析によると、CaCl₂濃度10%、20%で見られた浸透面に析出した結晶は、Portlandite (Ca(OH)₂) であった。CaCl₂が作用することでセメント硬化体中のPortlanditeが溶出し、表面で再結晶化した。CaCl₂ 30%溶液に12カ月浸漬したOPCとB50については、供試体をひび割れに沿って割裂した際にひび割れに沿った形で白色の粉末状の物質が析出していた。

OPCの劣化部の主な鉱物はCalcite、フリーデル氏塩、3-1-15相であった。CaCl₂の作用と塩化物イオンの作用により複塩であるフリーデル氏塩や3-1-15相が生成し、その膨張圧によって劣化が進行していた。また、浸漬終了後からXRDの分析までの期間が約2カ月であったため、炭酸化が進行した。

B50のひび割れに析出した塩類からは3-1-15相のみのピークが得られ、セメント硬化体中の空隙に生成した3-1-15相がその生成に伴う膨張圧によって空隙を広げ、ひび割れを発生させたと考えられる。

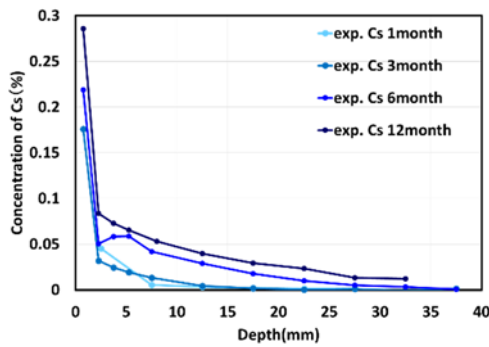


写真1.1 CsCl+CaCl₂ 30%の浸漬溶液に7カ月浸漬した時点のOPCの浸透面の劣化

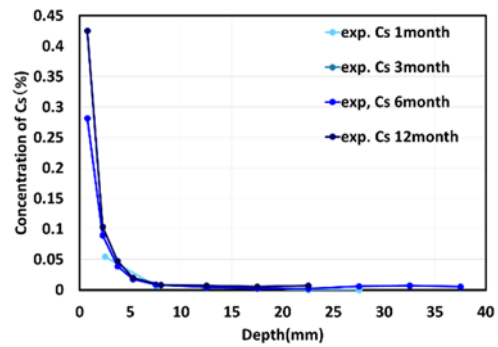
次に、Csの浸透状況を図1.33に示す。いずれも材齢の進行とともに、Csは深部へと浸透した。ただし、その進行度合いは、セメント種類とCaCl₂濃度により大きく変化した。

- ・ OPC 共存塩 0%では、材齢の進行とともに、深部へ浸透するだけでなく、表面濃度も増加した。これはCa溶脱により、アルカリ金属すべての吸着量が増加した可能性がある。
- ・ CaCl₂の存在により、Csの浸透プロファイルは単純な拡散プロファイルから複雑化した。
 - 最大深度は12か月で比較するとおよそ40 mmであり、CaCl₂の影響は小さかった。ただし、浸透先端に至るまでの濃度が大きく増加し、その状況が濃度により変化した。
 - 濃度10%では、材齢1～6か月では拡散プロファイルのような単調減少を示したが、材齢12か月では表層5 mmにおいて極小値を示した。
 - 濃度20%では、極小の位置が3 mmでその材齢が3～6か月となり、12か月では単調減少となった。
 - 濃度30%では、すべての材齢で（12か月は測定できていない）、表層から内部に増加傾向を示し、極大値が材齢とともに奥に移動した。
- ・ B50 共存塩 0%では、OPCよりも表面濃度が高くなったが、OPCでは12か月で40 mm浸透したのに対し、材齢が経過しても浸透深さは変わらず、10 mm程度と小さかった。
- ・ CaCl₂が存在しても、浸透深さは15 mm程度と大きくは増加しなかったのはOPCと同様である。
- ・ OPCで見られたように、B50でも、CaCl₂が存在すると、表層付近に極小値が見られた。10%では12か月のみ、20%では3～6か月、30%では極小値はなく3～6か月で極大値のみが認められた。
- ・ OPCとB50で共通することとして、CaCl₂の存在により、Csの浸透先端に至るまでの経路でCs濃度が著しく増加したが、これは、組織が劣化することで、何らかのCs吸着機構が発生しているものと推定される。
- ・ さらに、OPCとB50で共通するが、CaCl₂が存在すると表面濃度は抑制される。CsCl単独では、溶液にCa溶出することで、Csを含むアルカリ金属がセメントペーストにCaになって吸着されるが、CaCl₂が存在すると、Ca溶脱が抑制されることがその原因と推定できる。

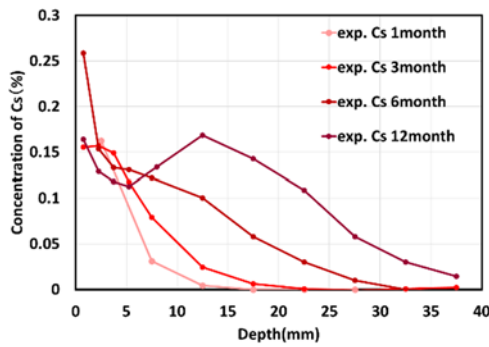
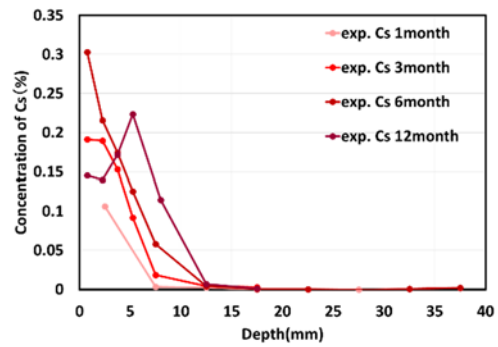
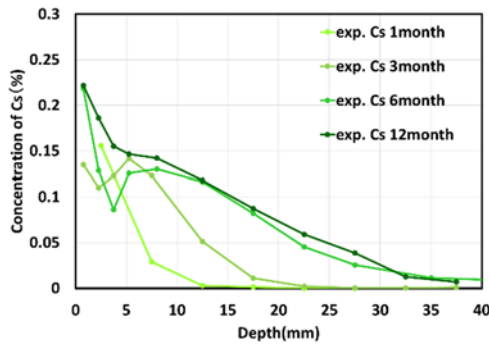
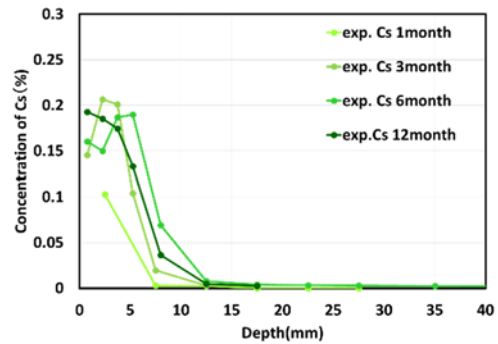
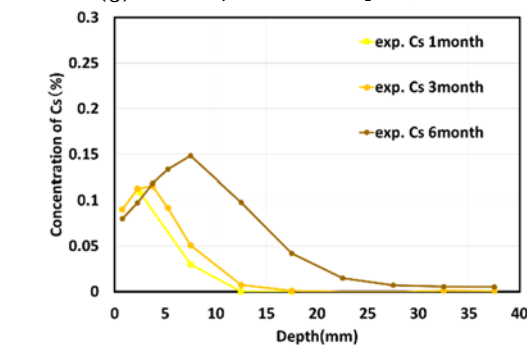
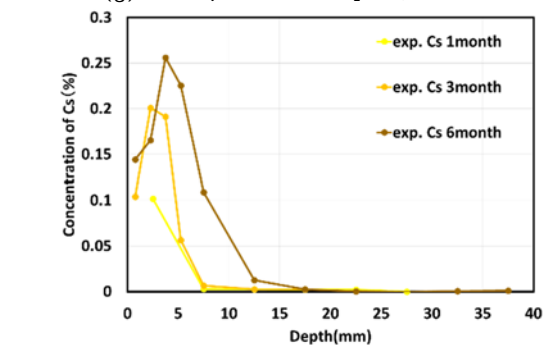
Csの浸透は拡散による移動が支配的であると考えられているが、以上の結果から、Csの表面での吸着や、共存塩類による劣化や変質によってセメント硬化体内部のCsの濃度分布は影響を受けていることが分かる。B50では、表面Cs吸着量がOPCよりも大きくなり、CaCl₂が存在しても内部の浸透に関しても浸透深さが大きくなり、Csの移動を停滞させる。以上の結果よりCsの浸透抵抗性はB50の方が高い可能性が示唆された。



(e) OPC、共存塩 0%

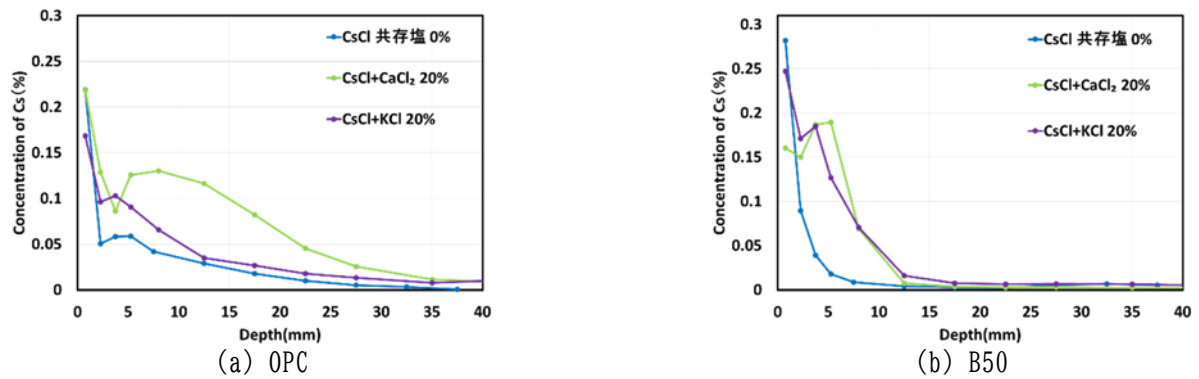


(e) B50、共存塩 0%

(f) OPC、CsCl+CaCl₂ 10%(f) B50、CsCl+CaCl₂ 10%(g) OPC、CsCl+CaCl₂ 20%(g) B50、CsCl+CaCl₂ 20%(h) OPC、CsCl+CaCl₂ 30%(h) B50、CsCl+CaCl₂ 30%図1.33 異なるCaCl₂含有量の溶液からOPCとB50へのCs浸透プロファイルの材齢依存性

CaCl₂に加え、KClのCs浸透に及ぼす影響を図1.34に示す。評価材齢は6か月である。OPCとB50、いずれもCsの浸透深さという点では、共存塩が大きな影響を与えなかったが、そこに至るCsプロファイルは大きく異なった。いずれのセメントでも、共存塩により、表面から深部への浸透途中のCs濃度は増加した。OPCでは、CaCl₂の効果が顕著に大きかったが、B50では同等であった。KClは、Cs浸透に影響しないという考えもあったが、本結果によると、CaCl₂に合わせて、熱処理飛灰に多く含まれるKがCs浸透に影響を及ぼす可能性が示された。

長期的Cs浸透を考えると、OPCに比較し、高炉スラグを50%添加したB50が浸透抵抗性は大きい、時間の経過とともに組織の劣化が進行することで、Csの浸透も大きくなるものと考えられ、さらに現実の熱処理飛灰の化学組成を考えると、Kが複合的にCs浸透を大きくする可能性がある。

図1.34 Cs浸透プロファイルに及ぼすCaCl₂とKClの影響（材齢6か月）

参考文献

- 市川恒樹、山田一夫、芳賀和子(2022)：セシウム吸着剤を用いた放射性セシウム汚染廃棄物の超減容化処理－イオン交換体とイオン交換反応、環境放射能除染学会誌、10(2)、77-96
- 大山 将・中島卓夫・遠藤和人(2020)：特定廃棄物セメント固化処理における配合設計について、第31回廃棄物資源循環学会研究発表会、pp. 435-536
- 環境省(2024)：クリーンセンターふたば埋立処分実施要綱(案)、令和6年1月
- 環境省環境再生・資源循環局(2025)：第10回中間貯蔵施設における除去土壌等の再生利用方策検討ワーキンググループ、参考資料4、飛灰洗浄・吸着・安定化技術実証事業の実施状況について、2025年2月7日
- 環境放射能除染学会(一般社団法人環境放射能とその除染・中間貯蔵および環境再生のための学会)(2021)：県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会活動報告書Ver.2、p. 42
- 原子力発電環境整備機構：国内産ベントナイトおよびベントナイト混合土の基本特性データ、2022, https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/TR-21-02.pdf (2024年10月1日参照)
- 杉橋直行・馬場勇介・遠藤和人(2015)：放射性セシウムを含む一般廃棄物焼却飛灰のセメント固化処理に関する研究、土木学会論文集E2、71(1)、pp. 14-28
- 高崎幹大・木戸玄徳・南 公隆・川本 徹・吉野和典(2016)：フェロシアン化銅粉末の粒径とセシウム吸着特性、第5回環境放射線除染研究発表会要旨集、p. 83
- 西崎吉彦・市川誠吾・寺崎淳一・平前太基・有馬謙一・倉持秀敏・大迫政浩(2020)：ばいじん等からのCs分離回収とその安定化技術の検証、第31回廃棄物資源循環学会研究発表会、pp. 422-426
- 前原裕治・佐野良和・永山貴志・釜田陽介・上林史郎(2017)：溶融飛灰中放射性セシウムの水溶解－吸着による再減容化に関する基礎的検討、第28回廃棄物資源循環学会研究発表会、pp. 365-366
- Inui, T. et al.: Cesium sorption/desorption characteristics of sodium bentonite affected by major cations in leachate from MSW incinerator ash, Japanese Geotechnical Society Special Publication, Vol.2, No.53, pp.1841-1844, 2016
- Ishikawa, S, Maruyama, I, Takizawa, M, et al.(2019): Hydrogen Production and the Stability of Hardened Cement Paste under Gamma Irradiation. J Adv Concr Technol., 17(12), 673-685

2. 1. 5. テーマ1研究成果の学術的意義や環境政策等への貢献

＜得られた研究成果の学術的意義＞

サブテーマ1では、県外最終処分を実現する上でリスクやベネフィットの洗い出しを行った。リスクとしては、多量の温室効果ガス排出につながる処理プロセスや輸送プロセス、処分システムにおける長期安全性評価である。一方、ベネフィットとしては、技術への需要増加等があり、そうしたリスクや機会が県外最終処分実現の社会受容性にどのように影響するかについてサブテーマ3と共に評価を行い、減容化技術の選択と最終処分場の施設成立性の関係を整理した。このように、定性的な傾向や定量的な予測を含むシナリオを含め、人－環境システムの将来可能性について、統合された評価がなされたことはなく、学術的にも意義が大きいと考える。

熱処理飛灰の洗浄・濃縮処理に用いる吸着材に関する基礎的研究では、汚染飛灰の減容化という観点から、灰洗浄液から最大濃縮することを念頭に、理論的、及び実験的検討を行った。最大濃縮を行うには、カラム濃縮では吸着材に膨大な量の溶液を作用させる必要があり、多数の実験は現実的ではないことが理論的にも実験的にも分かった。これまでは吸着材のCs吸着特性は固液間のCsの分配比である分配係数を用いて表

現されてきた。しかし、溶液組成が変化すると分配比は変化し、最大吸着量がどうなるかの予測には使えなかった。そこで、陽イオン交換容量とCs選択係数という吸着材の特性値をもとに、イオン交換理論により、任意の飛灰洗浄液の化学組成と液固比でのCs吸着挙動を計算できるようにした。このような理論的取り組みに前例はなく、学術的意義が大きい。

事故時の天然バリアへのCs吸着の評価に関して、バッチ吸着試験法の留意点等を明らかにし、カラム吸着試験との比較を行い、平衡状態と非平衡状態に着目して、前者を事故時漏洩水の流量が少ないとき、後者を多いときと仮定して評価した。バッチ吸着試験は、1点法で求める場合もあるが、確実に実施するためには少なくとも3点以上の多点法で実施するべきと考えられる。単純な試験系であるにもかかわらず、多点法で得られた実験値がバラツキ、近似曲線の相関係数が大きくなることも多い。そこで、過去の検討を元にして、特に初期濃度と液固比の調整を適切に行うことで、確実に多点法で、適正な分配係数を得ることができると明らかにした。本試験方法の考え方は、吸着試験における基本的な留意事項に近く、広範な学術領域へと展開可能と思われる。

水の γ 線照射による G_{H_2} は0.45であり、 G_{H_2} が5近くになる材料は、有機物を含めて殆ど知られていない。セメントペースト硬化体にさらにポリマー含浸して水素ガスを放出しやすくすることにより、水素の供給源として安定化体を使う道もあるのではないかと、この知見を得た。本研究成果は、これまで報告されていない水素ガス発生挙動であり、学術的な意義は大きいと考えられる。

サブテーマ2では、各種安定化体の溶出試験を実施することで、県外最終処分対象物の溶出特性を網羅的に把握することができた。このような安定化体からのCsの溶出挙動に関する網羅的な検討についての報告はこれまでない。

特定廃棄物で10万Bq/kg以下の焼却残渣については、セメント固型化による処分が行われているが、溶融飛灰のセメント固型化は行われていない。溶融飛灰にはセメントの硬化阻害成分であるZnやPbが多量に含まれる。今回の検討からアルミン酸Naの添加により、溶融飛灰の固型化が可能で、また具体的な配合を示した学術的意義は大きい。

各固型化体に関して得た学術的知見を以下に列挙する。

溶融飛灰の直接セメント固型化は、Csを物理的に捕捉しているため、Csの溶出は避けられないが、より高い強度とすることで拡散係数を低下させ（実飛灰で検討）、固型化体のサイズを大きくすること（予測計算で検討）で、全溶出までの時間を稼ぐことができることを示した。ジオポリマーによる飛灰直接固型化体は、アルミノケイ酸塩の構造からCsを捕捉する能力を有するためにCsの全溶出が起こらないことを示した。また、養生温度を上昇させることでCsの溶出率を下げることも示した。

フェロシアン化銅Cs吸着体を介した固型化体は、熱分解処理を行うことでCsが易溶性となるため、セメントもしくはジオポリマーで固型化しても比較的高い溶出が起こることを示した。本固型化手法は多量のCsを含み、放射能が極めて高いために厳重な構造を有する処分施設が必要となることを示した。

ゼオライトCs吸着体を介した固型化体からCsの溶出はほとんど起こらない。固型化される対象自体がCsを保持する能力（吸着能）を有しているからである。ゼオライトCs吸着体からのCsの見かけの拡散係数は10-13m²/dayと極めて低くなることも示した。

そして、長期的な溶出挙動を評価するための試験法の開発は、長年の課題であるが、本研究では有姿シリアルバッチ試験によって体系的に整理する方法について、実験的かつ理論的に説明することで、溶出試験結果と実挙動を繋げる研究の一端を担うことができたと考えており、学術的な意義は大きい。

サブテーマ3では、封じ込め性能を担うセメント系材料およびベントナイト系遮水材の人工バリアとしての基本物性データを取得した。特に、共存塩類として高濃度のCaCl₂やKClが作用する場合の影響を分析し、材料の変質による封じ込め性能の変化、そのメカニズム、さらには材料設計による影響軽減についての知見を提示できたことは、学術的にも意義のある成果が得られたといえる。具体的には、以下の知見を得た。

Cs収着能が高いゼオライトを混合したセメント系材料においては、既往のセメント系材料（現在操業中の低レベル放射性廃棄物処分の廃棄体周辺に配置されているセメント系材料）のCs-137の分配係数である0.03 g/Lと比べ、10.9 g/Lの分配係数となった。K共存下でのCs分配係数は、1~2桁小さくなった。また、長期強度増進が大きく、これはゼオライトのボゾラン反応によるものだと考えられた。ベントナイト系材料においては、Ca²⁺、K⁺イオン濃度の上昇に伴い、Cs吸着性能は低下するが、Na型ベントナイトとCa型ベントナイトの分配係数は概ね同様の値を示し、分配係数はイオン交換理論によって説明できた。また、ベントナイト系材料の透水係数は、高濃度塩水を通水することで蒸留水を通水した時の透水係数より増加する結果となり、高濃度の陽イオンがベントナイトの透水係数を上昇させることが分かった。この透水係数の上昇度合いは、Na型で約6倍の上昇、Ca型で約2倍の上昇となり、Ca型ベントナイトを用いることで透水係数の上昇幅を抑制することが示された。さらに、セメント系材料へのCs浸透については、高濃度塩が共存することで表層が変質し、Csの浸透も増加することが分かった。一方、結合材に普通ポルトランドセメントではなく高炉セメントを使用することで共存する高濃度塩による化学的な変質を大幅に抑制でき、Csの浸透も小さくなることを示された。

<環境政策等へ既に貢献した研究成果>

環境省が10回にわたって開催した「中間貯蔵施設における除去土壌等の減容化技術等検討ワーキンググループ」において、本研究成果の一つであるシナリオ評価や、溶出特性、最終処分施設の在り方について、研究成果に基づいた助言を行った。なお、環境省も最終的にシナリオ評価をとりまとめているが、本研究での仮定条件等を取り除いた現実的な物量が用いられているため、最終的な安定化体の数量等は異なっている。

また、環境省に対して、セメント固型化物からの溶出特性の考え方、最終処分場の放射性Cs挙動の考え方、水処理施設や将来的な維持管理に向けた留意点等について助言を行い、実施設において、本研究成果の一部の知見が実装されている。

<環境政策等へ貢献することが見込まれる研究成果>

環境省は、「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略 工程表」にしたがって2024年度に基本的な考え方や、最終処分の方向性の検討について書かれた資料を発出した。本研究で実施した、シナリオ評価や、溶融飛灰の直接セメント固型化、最大濃縮の技術的検討、高濃度安定化体からの水素ガス発生挙動、長期的な放射性Cs溶出挙動の評価方法、封じ込め施設に求められる要求性能に関する知見は、これまでに検討されていないため、県外最終処分を実現させるために2025年度以降に必要な技術開発項目であり、今後の環境政策に貢献できる知見を含んでいる。

これまで、焼却飛灰の直接セメント固型化は実施されているが、溶融飛灰の直接セメント固型化は実施されておらず、かつ、焼却飛灰に比較して溶融飛灰の固型化が困難であることを理論的に説明しつつ、その解決策についても提示している。また、最大濃縮を目指すのであれば、カラム吸着法では最大吸着までに長い時間を要するため化学共沈法により最大濃縮を行うプロセスを提案し、現在、JESCOと実汚染飛灰を利用し、直接セメント固型化と化学共沈法の有効性を実証する取り組みへと本研究は発展しており、国が実施してきた飛灰洗浄等実証事業を補完する点で、環境行政への貢献も期待できる。

安定化体を最大濃縮シナリオ(SF-3、7億 Bq/kg)、バランスシナリオ(SF-2、2000万 Bq/kg)で作製した場合の、水素ガス発生の見積りを粒子・重イオン輸送計算コードPHITSを用いて計算し、安全を見て G_{H_2} を10とした場合、処分場での水素ガスの爆発限界(4%)を超えるまでの時間は、SF-3の場合は190日、SF-2.1では33年となったことから、最終処分場において水素ガス発生リスクを考慮すべきとの結論を得ている。このことは、最終処分の方向性の検討に貢献できる知見であり、強制換気もしくは自然換気レベルの検討に役立つといえる。

今後、最終処分を進めていくにあたり、安定化体は現場でロット毎に溶出特性を評価することになると推定されるが、試験条件(供する試料のサイズ、用いる溶媒、試験法(振盪/拡散)、試験時間)、評価指標(濃度、フラックス、拡散係数等)の情報について本研究で示すことができた。また、安定化体の具体的な溶出試験法とその結果を用いたCs溶出の長期予測法も具体的に示したことから、今後の環境政策(最終処分の方向性の検討)において一助になると考えている。

既存の低レベル放射性廃棄物処分施設や遮断型最終処分場の設計思想や安全性評価手法を比較検証することで、熱処理飛灰を洗浄・吸着処理した場合の安定化体の最終処分施設の設計や安全性評価には、放射性処分施設の中のL2が参考となるものの、低レベル放射性廃棄物とは異なり、事故由来放射性物質は半減期の短いCs-137が主要な核種であることから、平常時・事故時を含めて人工・天然バリアの収着力を最大限利用しつつ、構造基準や維持管理基準を考えていくことが重要であることを示した。この基本的な考え方は、今後の最終処分場の方向性の検討において重要と考えられる。

2. 1. 6. テーマ1 研究目標の達成状況

全体目標	全体達成状況
中間貯蔵施設内やその周辺地域の環境回復に向け、除去土壌や副産物の有効利用や汚染廃棄物等の県外最終処分を着実に実現するため、効率的かつ低コストな技術の組合せを意識した技術システムのシナリオ最適化の考え方を提案する。同時に、国の戦略目標の2024年度以降に必要と考えられる安定化体の長期安定性(溶出性等)評価手法、ならびに県外最終処分施設に求められる封じ込め性能について技術的知見を提示する。	(1) 県外最終処分に向けた減容化技術導入と安定化方法の組合せに関するシナリオを提示することができた。また、シナリオに応じた最終処分システムも提案し、それぞれのシステムにおける放射性Csの挙動、ならびに、施設設計の在り方について提案した。国が実施していない減容化技術として、溶融飛灰の直接セメント固型化と最大減容化についての実験的検討も実施して研究成果を公表できた。また、国で具体的に検討が進められていない水素ガス発生挙動について、室内試験から将

	<p>来的な検討の必要性を示すデータを得ている。</p> <p>(2) シナリオ毎の減容化技術と安定化方法を再現し、各種の安定化体を作製して、それぞれの溶出挙動を示す国内初のデータを得た。また、長期的な溶出挙動を室内実験から予測するための一連の考え方を整理し、保守的な考え方に則りつつ、試験労力を最小限にする手法を提案することができた。</p> <p>(3) シナリオに応じた安定化体は、それぞれ溶出する塩濃度や放射性Csの溶出挙動が異なる。異なる溶出挙動に応じた封じ込め施設である最終処分場の構造に係る留意点や挙動解明について実験的に明らかにした。全ての挙動を説明できてはいないが、低レベル放射性廃棄物処分施設（炉規法）と遮断型最終処分場（廃掃法）における安全設計の考え方を整理することで、過剰にならず、工学的に確からしい方法によって検討するための基本的な考え方について取り纏めており、どのような挙動であっても考え方を統一するための基本方針を提示するに至っている。</p>
--	---

2. 2. 【S2-9-2】「地域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究」

2. 2. 1. テーマ2研究目的

テーマ2は、東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて設置された中間貯蔵施設およびその周辺地域の復興に資するため、除去土壌や副産物の有効利用ならびに汚染廃棄物の県外最終処分を着実かつ効率的に進めることを基盤としつつ、個別技術の多様性とその選択による処分量・濃度・経済性への影響を踏まえて、低コストかつ合理的な技術組合せによる処分技術システムのシナリオを構築するとともに、国の戦略目標に沿って2024年度以降に必要となる安定化体の長期安定性評価手法および県外最終処分施設に求められる施設構造に関する技術的知見を提示し、さらに、同地域がもともと有していた多様な自然環境や社会的・経済的背景に鑑みて、先行的に復興が進む地域との温度差を生じさせないように、交流・産業戦略等を含む具体的な将来像の提示を通じて、環境・社会・経済の各側面におけるバランスのとれた地域再生の道筋を明らかにし、これにより、県外最終処分および地域復興に向けた合意形成においては、社会受容性評価とともに次世代の視点をも重視した多元的かつ公正な合意形成フレームワークを構築し、脱炭素社会への移行と地球規模の気候変動への対応という課題をも視野に入れつつ、地域性を活かした未来技術の活用による復興拠点の構想を提示することを目的とする。

2. 2. 2. テーマ2研究目標

テーマ2実施機関	農業・食品産業技術総合研究機構、国立環境研究所、福島大学
テーマ目標2	<p>中間貯蔵施設周辺復興地域は事故前には、多様な自然環境を有する地域であった。このような地域は里地里山と呼ばれ、豊かな自然地域と都市地域との中間に位置し、多様な自然条件・社会条件のもとに形成されてきた場所であり地域経済活動とも深く関係している。中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインの検討に当たっては、復興計画等との整合を踏まえつつ、予想される様々な地域課題に対処し、かつ地球規模の課題である気候変動対策のため脱炭素社会としてのコミュニティの再構築が必要となる。一方、現時点においては普及あるいは実用化のされていない技術（以下、未来技術）も利用可能となりえる。同地域の復興を考える際には地域の再生にこうした未来技術を活用することを検討すべきである。そこで、対象地域の地域性を活かしつつ、将来時点での世界最先端の技術を投入した脱炭素型未来コミュニティとしての復興拠点を構想すること、地域全体としての環境を活かしつつ社会的・経済的にも調和した将来像、そしてこれらを達成するための課題を整理し、課題解決のために未来技術の活用を織り込んだ計画策定が有用と考えられる。本テーマでは、中間貯蔵施設区域ならびに施設周辺復興地域の原形復旧と復興計画等との整合を踏まえた将来デザインを創造し、予想される地域課題と気候変動等の地球規模課題に対応するため、世界最先端の技術を投入した地域性を活かした脱炭素型未来コミュニティとしての復興拠点と、周辺環境と調和した地域全体の複数の将来デザインを構築し、これを達成するための課題と技術を提示することを目標とする。</p>

2. 2. 3. テーマ2研究内容

本研究テーマは、東京電力福島第一原子力発電所事故を契機に、福島県内に設置された中間貯蔵施設およびその周辺地域を対象として、地域資源と環境を活用した持続可能な将来デザインの構築を目指したものである。原発事故によって住民は長期にわたる避難と生活環境の劇的な変化を余儀なくされ、地域の社会構造や自然環境にも大きな影響が生じた。このような未曾有の状況を踏まえ、科学的知見と社会的プロセスを融合させた復興支援と地域再生の新たなモデルを提示することを目的とした。

本テーマは2つのサブテーマにより構成される。テーマ2は、技術開発・社会プロセス・自然環境の三位一体アプローチにより、復興と持続可能な地域社会の実現に向けた新たな道筋を提示した。今後は、成果を基盤として、全国その他地域、さらに国際的にも適用可能な復興・地域再生モデルの深化と普及が期待される。

(1) サブテーマ1

サブテーマ1では、復興過程における除去土壌や副産物の再利用・最終処分を巡る技術開発とその社会実装に焦点を当てた。加えて、地域住民や自治体との協働により、持続可能な将来シナリオの構築手法を体系化することを目指した。本研究の独自性は、「技術的合理性」と「社会的納得性」の両立を図るため、技術

開発と合意形成の両プロセスを一体的に扱った点にある。特に、専門知と住民知を橋渡しする知識媒体として「パターン・ランゲージ」を開発・活用し、さらに地域資源・産業・人口動態・エネルギー導入などを数値的に統合評価できる「地域統合評価モデル」と連携させた、ハイブリッド型の復興支援フレームを構築した。

具体的には、復興に関する住民主体の知識・経験を形式知化し、福島県飯館村長泥地区などを対象に、復興プロセスから得られた暗黙知を「地域づくりパターン」として整理。これらはカード形式で展開され、住民向けワークショップにおける対話促進ツールとして活用された。この知見を基盤に、「共創デザインプラットフォーム」を設計し、大熊町などのフィールドで適用。地域資源の現状把握から将来ビジョンの共有、社会実装に向けた合意形成までを段階的に支援する仕組みを構築した。具体的には、大熊町役場において、ゼロカーボン社会の実現、福祉・教育・エネルギー資源の再編成に関する住民・行政間の議論を支援し、将来像の共通認識形成を後押しした。

さらに、地域統合評価モデルを用いて、将来の産業構造・人口推移・エネルギー需給バランスなどを定量化し、「穏やか」「活発」「豊か」「賑やか」という4つの将来シナリオを設定。これにより、技術・環境・社会要素を総合的に勘案した復興戦略の選択肢を提示した。この過程では、サブテーマ2で得られた生態系サービス指標や住民意識調査結果も反映し、自然資本や観光資源の持つ多面的価値を数値モデルに組み込むことを試みた。

また、地域資本を可視化するリーフレットを作成し、住民への理解促進と参画意欲向上に貢献した。リーフレットは、地域の現状資源と将来に向けた可能性を住民目線で分かりやすくまとめたものであり、地域内外の関係者との対話ツールとしても活用された。

これらの成果は、国際機関であるIAEA（国際原子力機関）やICRP（国際放射線防護委員会）にも報告され、特にパターン・ランゲージによる住民対話支援手法は、放射性廃棄物管理・リスクコミュニケーション分野における革新的な知見として注目を集めた。

総じてサブテーマ1では、形式知と実践知の架橋、定性と定量の接続、計画と対話の往還という復興過程における根本課題に対して、総合的・実践的なアプローチを提示することができた。今後は、プラットフォームのデジタル化（DX化）、他地域展開、関連制度との接続強化、国際比較研究の推進、そして自治体職員や地域支援者向けのマニュアル整備や人材育成プログラムの開発が求められる。

（1-1）パターン・ランゲージ

本研究では、人口減少や気候変動に直面する地域社会において、政策と地域実践を橋渡しする地域づくり手法を明らかにするため、理論と実践を統合する構成論的アプローチを採用した。まず、全国の先進事例を収集し、多主体協働による展開過程を分析、そこからパターン・ランゲージの枠組みに沿って、地域独自の知見や課題解決の工夫を抽出した。これにより、現場の暗黙知を他地域へ応用可能な形式知へ汎化し、地域政策形成の共通基盤とすることを目指した。

分析では、「生成的デザイン（generative design）」の概念を重視し、地域文脈に即した柔軟なデザインの実現に注目した。また、タクティカル・アーバンイズムやトランジションマネジメント、プライアン・イーノの「持続的な始まりを育てる」設計観も理論的枠組みとして導入し、試行錯誤を繰り返す地域デザインの動態を捉えた。

さらに、多様な主体の協働プロセスを支援する実践的フレームワークとして「共創デザインプラットフォーム」を活用。単なるツール提供にとどまらず、持続的関与を促すデザイン原則を内包し、将来的な脱炭素・地方創生・復興政策への応用も見据えている。これにより、先進事例知見の形式知化と理論実践接続を図り、持続可能な地域づくりの政策・実践デザイン体系の構築を目指した。

パターン・ランゲージとは、1970年代にクリストファー・アレグザンダーらが提唱した、住民参加型の空間設計支援手法である。繰り返し現れる課題に対して、実践知を「状況（Context）」「問題（Problem）」「力学（Forces）」「解決方法（Solution）」「結果状況（Resulting Context）」の5要素で構成・記述する。パターン同士は言語のように接続され、複雑な課題群への対応が可能となる。近年では、ソフトウェア設計や社会実践、知識伝達手法にも応用が広がり、暗黙知を形式知化する「知識言語」としての側面が強調されている。本研究ではこの進展を踏まえ、地域づくりの知見を共有可能な形式で記述し、他地域への適用可能性を探った。

共創デザインプラットフォームの構築と適用プロセスは、現代の地域づくりは文脈依存性が高く、単純な横展開は困難である。先進事例の知見をパターン化し、中間貯蔵施設周辺地域に応じて柔軟に再構成することを目指した。そのために、科研費（基盤C, 21K12358）で構築した「共創デザインプラットフォーム」を活用し、以下3ステップで展開した。

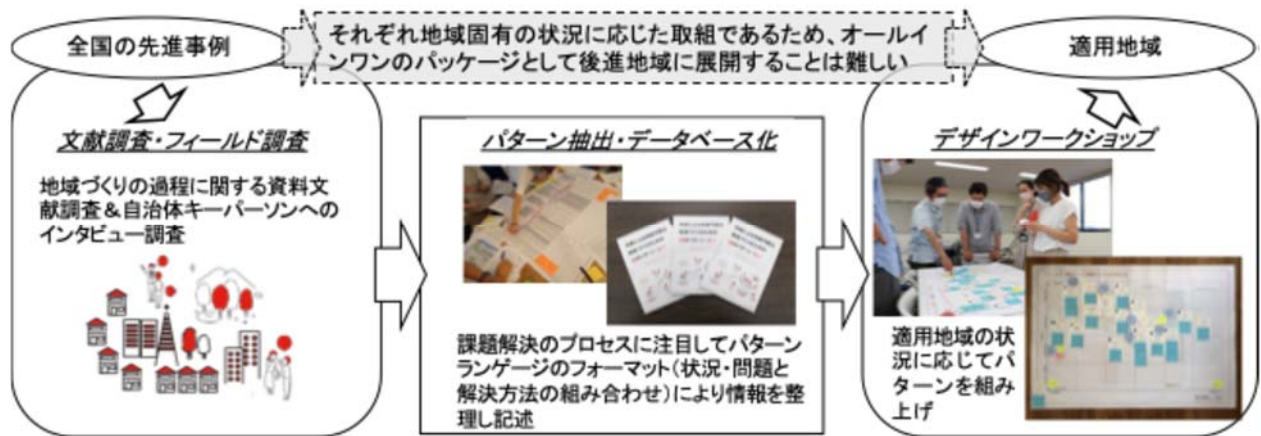


図2.1 共創デザインプラットフォームの構成図

a) 環境・まちづくり先進都市の調査

国内外における先進的な地域づくりの事例を対象に選定し、文献・資料調査を通じて経緯や関係者の構成、プロジェクトの背景を把握する。その後、関係するステークホルダーへのインタビューを実施し、現場の視点を踏まえた一次資料を作成する。

b) パターン・ランゲージによる生成プロセスの記述

得られた一次資料を分析し、行政・市民・専門家など多様な立場からの視点を整理した上で、空間整備・インフラ整備に関する知見のみならず、政策形成やコミュニケーションの枠組みなども含めた包括的なパターンを記述する。

c) 地域展開に向けたデザイン・ワークショップ

記述されたパターンを、新たに地域づくりに取り組む地域の特性や課題に応じて再構成し、持続可能な地域社会への移行プロセスを試行的に設計するためのワークショップを開発・実施する。この実践を通じて、パターン・ランゲージに基づくデザイン支援の有効性とその限界を検討する。

以上のように、本研究は、地域に内在する多様な知見や経験をパターン化し、それを媒介とした共創型のプラットフォームを通じて、持続可能な地域づくりの実践的支援を目指す。

(1-2) 地域統合評価モデルによる定量化とシナリオ構築

研究は、福島県大熊町および双葉町に位置する中間貯蔵施設区域を対象に、「地域統合評価モデル」を用いた将来像の構築手法を提示した（図2.2）。中間貯蔵終了（2045年）を見据え、多様な選択肢と不確実性を踏まえた「復興シナリオ」を複数策定し、各シナリオの社会経済指標（人口・雇用・経済規模・再エネ供給量）を定量評価した。

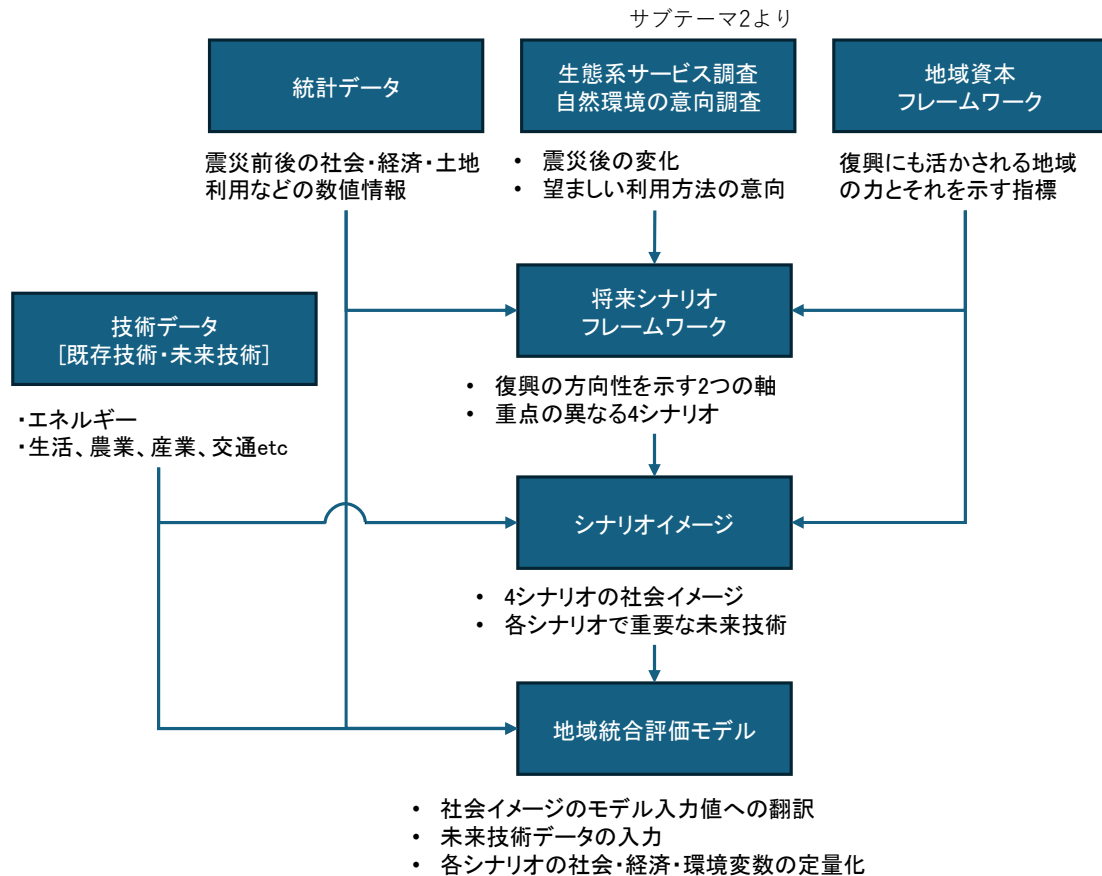


図2.2 地域統合評価モデルによる構築手法の全体像

ここでは、重要な不確実性要素を軸とし、4つの復興シナリオを導出。将来活動がない場合（リファレンスシナリオ）と比較し、施策効果を把握することを目指した。

シナリオ設計軸

- ・ 縦軸：活用資本の種類（人口・経済資本 vs 自然・文化資本）
- ・ 横軸：活動の空間的開放性（地域内集中 vs 地域間交流）

これにより次の4類型が設定された。

各シナリオは、生態系サービス評価（サブテーマ2）および住民意向調査結果も反映して設計された。

（1－3）地域資本の可視化と将来展望に向けたリーフレット作成

サブテーマ1の成果の一環として、大熊町を対象に、地域資本の現状整理と将来活用に向けた可能性を可視化・共有するためのリーフレットを作成した。本リーフレットは、町の現状を再確認し、未来像を地域住民や関係者と共に考えるための「共通基盤資料」として位置づけられる。震災から14年を経た現在、大熊町ではインフラ整備や帰還が進む一方で、定住促進、経済再建、地域アイデンティティ再構築といった課題がなお残っている。これに対応するため、震災前からの伝統的な地域資本と、復興過程で新たに形成された資源・ネットワークを総合的に整理することが重要とされた。

リーフレットでは、地域資本を以下8視点から体系的に整理し、図表や写真も活用して視覚的に表現した（図2.3）。

- ・ 自然資本（自然の力）
- ・ 財務資本（地域を動かす力）
- ・ 製造資本（暮らしを支える基盤）
- ・ 文化資本（地域の心）
- ・ 社会関係資本（つながりの力）
- ・ 人的資本（人々の力）

- 政治資本（みんなで考える力）
- デジタル資本（未来をつなぐ技術）



図2.3 住民向けリーフレットの表紙と8つの地域資本の概説

とくに「自然資本」については、サブテーマ2の生態系サービス評価の成果を活用し、科学的な裏付けに基づく現状分析も盛り込んだ。また、地域資本活用に向けた思考を支援する枠組みとして、他地域の先進事例から得られたパターン・ランゲージ手法も導入。さらに、地域統合評価モデルを用いたシミュレーション結果を基に、複数の「将来イメージ」を提示し、持続可能性に関する議論の起点とした。なお、本リーフレットは完成版ではなく「暫定的なプロトタイプ」と位置づけ、今後の対話やフィードバックを通じた継続的更新を前提とした。

（2）サブテーマ2

サブテーマ2は、福島第一原子力発電所事故を契機に設置された中間貯蔵施設およびその周辺地域における生態系の現状を把握し、将来の復興に向けた環境的視座を提供することを目的として実施するものである。中間貯蔵施設は、福島県内の除染活動に伴って発生した放射性物質を含む土壌や廃棄物を、最終処分が実現されるまでの間、安全かつ安定的に保管・管理するための施設である。施設は福島県双葉郡の大熊町および双葉町にまたがって設置されており、福島第一原発の跡地周辺を含む地域が対象となっている。

この中間貯蔵施設に搬入された除去土壌については、法的に「貯蔵開始後30年以内に福島県外での最終処分を実施するために必要な措置を講ずる」ことが明記されており、現在はその技術的・制度的準備が進められている段階にある。最終処分の実現に向けては、除去土壌の減容化や再生利用といった技術開発が不可欠であると同時に、最終処分地の選定に関する住民・関係者との合意形成といった社会的側面からのアプローチも重要な課題となっている。さらに、中間貯蔵施設が立地する大熊町・双葉町の地域では、最終処分が完了するまでの長期にわたり施設の管理・運営が続けられることが見込まれる。その間、地域住民の帰還やまちづくり、地域経済の再建といった復興プロセスと並行して、施設の存在と調和を図りながら、地域価値を高めるための施策が求められる。具体的には、脱炭素化の推進、自然環境の再生、地域資源の活用といった多面的な視点から、より付加価値の高い地域づくりの方向性を模索していく必要がある。

対象地域である大熊町および双葉町は、面積の約60%が森林で構成されており、西に阿武隈高地、東に太平洋を臨むという豊かな自然環境を有している。震災以前は、里山・農地・海洋といった複数の生態系サービスを受けながら、自然と人間の共生による生活空間が形成されていた。しかしながら、2011年の東日本大震災および原発事故の影響により、広範囲にわたる地域で放射性物質の土壌への堆積が発生し、町全体が避難対象となった。その後、空間線量率が高い区域については「帰還困難区域」に指定され、現在に至るまで避難指示が継続している地域も少なくない。

人の活動が長期間にわたって制限されることにより、特に里地里山のような人間の手によって維持されてきた二次的自然環境では、管理の不在による生物多様性の劣化が懸念されている。農地や草地の遷移、外来種の侵入、生物群集の構成変化など、人の関与を前提として成立していた生態系が変容する可能性がある。

生物多様性国家戦略（2012-2020）においても、こうした「自然に対する働きかけの縮小による危機」が4つの主要な危機のひとつとして指摘されており、対象地域もその典型といえる。

サブテーマ2では、これらの状況を踏まえ、第一に中間貯蔵施設が設置された地域において生物相のモニタリングを実施し（図2.4）、現在の生態系の実態を明らかにする。調査対象には、主要な生物分類群（植物、鳥類、昆虫、哺乳類等）を含め、可能な限り広範な範囲を網羅する。調査結果は、2014年以降、福島県浜通りの他地域で継続的に行われてきた生物相モニタリングの成果と統合的に分析し、避難指示区域内外での生物多様性の分布傾向や変化を比較検討する。

第二に、文献調査や公開データを用いて、震災前後における生態系サービス（供給サービス、調整サービス、文化的サービス等）の変化を定性的・定量的に評価する。この評価により、震災および避難指示が地域の自然資本および生態系サービスに与えた影響を明らかにし、今後の地域復興計画における環境的観点の重要性を可視化することを目指す。

これらの研究成果は、中間貯蔵施設の長期管理下にある地域において、環境価値を損なうことなく持続可能な地域再生を実現するための指針を提供するものである。将来的には、得られた知見を活用して自然資本の回復や新たな地域資源の創出につなげ、災害からの復興と環境との共生を両立する社会像の構築に貢献することが期待される。

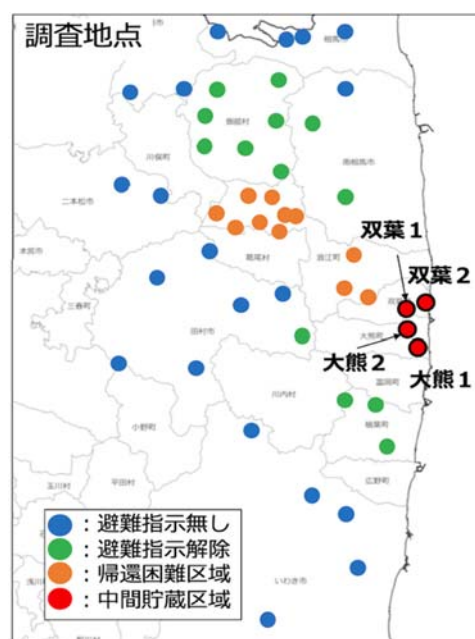


図2.4 中間貯蔵施設内の調査地点

2. 2. 4. テーマ2 研究結果及び考察

(1) サブテーマ1

(1-1) パターン・ランゲージ 先行地区調査結果（飯舘村事例）（成果2-1、3、5、125、126）

飯舘村は福島第一原発事故後、全村避難を経験しながらも地域維持活動を継続してきた。2017年には「特定復興再生拠点区域」制度により一部帰還を目指した整備が進み、地元の意向を反映した拠点再構成が認められた。パターン抽出にあたっては、ヒアリング議事録から課題解決言及を抽出、既存パターンと新要素を整理し、最終的に14のパターンを作成した（図2.5、表2.1 参照）。

特徴として、

- ・ 間接的支援（コミュニティ形成、対話促進）を重視するパターンが多い
- ・ 階層的な課題解決構造が明らかになった
- ・ 地域特性への適応重視が浮き彫りになったことが挙げられる。

これにより、地域づくりの価値創出は「関係者の相互作用プロセス」にあることが示唆された。

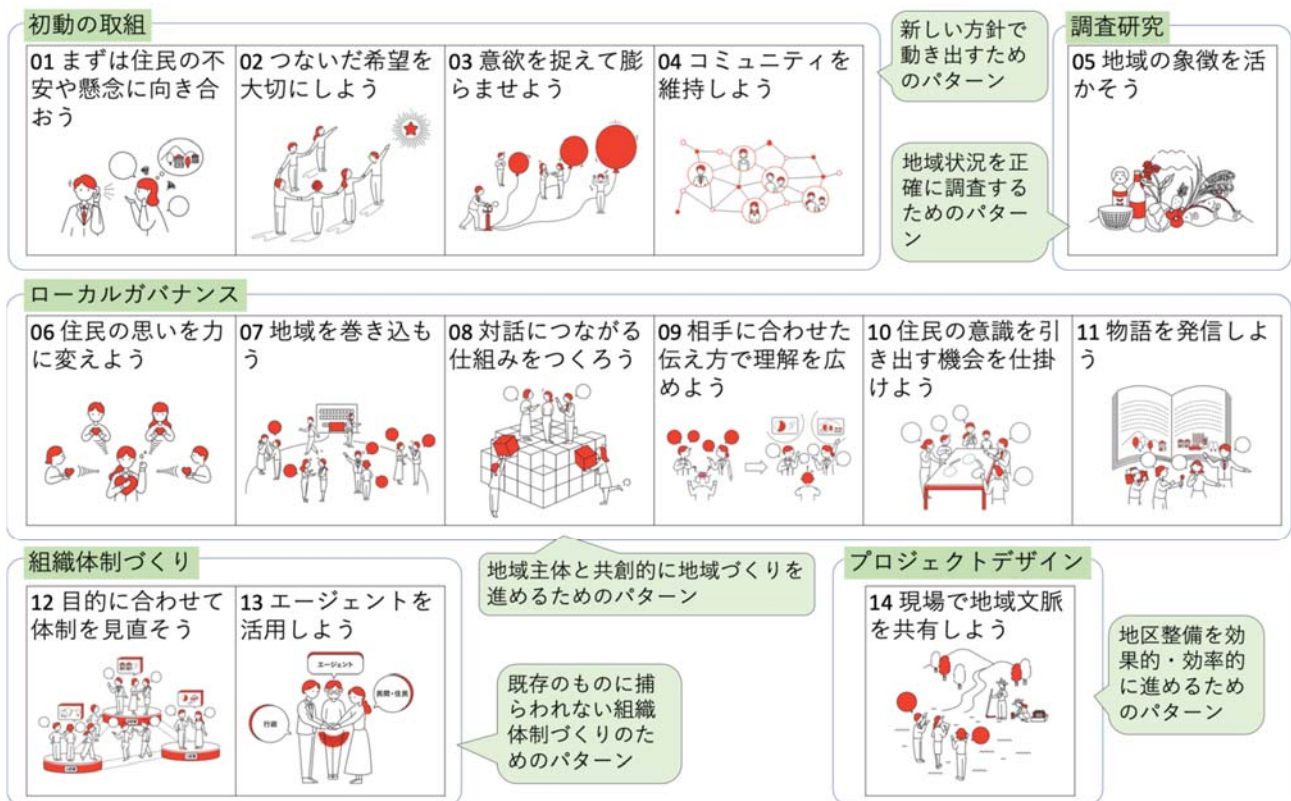


図2.5 飯舘村の事例より抽出した14のパターンの概要

表2.1 飯舘村の事例より抽出した14のパターンの記述内容

名前	状況（コンテキスト）	解決方法（ソリューション）
01.まずは住民の不安や懸念に向き合う	住民が不安や懸念を抱えている状況で、トップダウン型の説明・説得にあたって、ネガティブな反応となり、なかなか共感が得られず、施策をすすめることができない。	計画の説明の前に、まずは住民の不安や懸念にしっかり耳を傾ける。住民の思いに寄り沿い対話を重ねることで、解決に至らなくとも信頼関係が構築できる。
02.つないだ希望を大切にする	被災直後などの絶望的な状況の中でも、住民により地域に対する思いや誇りに基づいた伝統や文化を継承するための取り組みが試みられている。	住民の地域に対する思いや誇りを確認し合い、希望として大切につなごう。つないだ希望が目に見える形になることや、発展的な取り組みにつながる可能性がある。
03.意欲を捉えて膨らませる	絶望的な状況の中でも、地域のためにやりたいことを見出し、その実現に意欲を持てる人がいる。しかしながら、具体的な取り組みには至っていない。	人の意欲に価値を見出し、やってみようという気持ちを捉えて膨らませる。状況に応じた支援によって成功モデルができれば、地域に波及する好循環へつなげる。
04.コミュニティを維持する	コミュニティは物理的な距離が離れたら、関係性も離れてしまう。コミュニケーションが継続されにくく、地域に対する思いが希薄となり、取り組みは途絶えてしまう。	コミュニティを意識した取り組みを積極的に行う。人々の意識や活動に求心性が生まれ、地域の自立的な活動につながる。

05.地域の象徴を活かす	社会経済状況の変化や自然災害等により、それまでの住まいや地域の生業が急に奪われてしまい、住民の気力や希望が削がれてしまった。	地域づくりに取り組む際は、地域を象徴するものを活かす。バラバラになった住民たちの心の拠り所となり、地域づくりを進める希望となる。
06.住民の思いを力に変える	地域づくりの事業を進める上で、計画内容を国や県などの関連するステークホルダーに説明する必要がある。一貫性を持った説明を続けるためには労力がかかる。	住民の思いや考えを聞き取り、計画や取り組みに反映させ力にする。住民の思いや考えには現実感を伴うものが多く、時に強い説得力を持つ。
07.地域を巻き込む	行政や専門家の議論だけでは、地域の実状に合った提案は難しい。地域住民やステークホルダーが当事者意識を持てない。	賛同してくれる人を巻き込み、それを持続する枠組みを整えてく。地域にしかない情報や地域の自主性を引き出すことで、地域づくりへの連帯感が生まれる。
08.対話につながる仕組みをつくる	住民に対して、地域づくりや事業の進捗を一方的に説明するだけでは、積極的な言動が得られず、発展的な動きが生まれない。	建設的な対話につながる仕組みをつくる。共に課題に向き合う場を設けることで、当事者意識を持って参加できる状況が生まれ、発展的・共創的な対話につながる。
09.相手に合わせた言葉で理解を広める	立場の違う人がそれぞれの常識に基づいて対話しようすると、それぞれになじみのある言葉の違いから、意図が上手く伝わらず、関係構築ができない。	相手が理解し受け止めやすい言葉や伝え方を探す。理解しあえた仲になれば、その人を介して他の住民へも理解が広まる。
10.住民の意識を引き出す機会を仕掛ける	ある施策に対する住民の意見は、常に白黒はっきりしているわけではなく、それゆえに次のステップに進めないこともある。	日常的な対話・交流を通して住民の思いや考えを汲み取り、意識を引き出す機会をつくる。実際に住民自身が手を動かすことは、課題発見につながる。
11.物語を発信する	地域づくりを持続的に進めるためには、より広い人々からの協力が必要であるが、取り組みを知る人が一部に限られ、地域内外に認知されていない。	地域づくりの経緯や成果を物語として発信する。地域内での認識が普及すると同時に、対外的・客観的評価を得ることは、地域の自信や誇りの醸成につながっていく。
12.目的に合わせて体制を見直す	既存の体制を前提に議論を進めていると、地域住民やステークホルダーとの対話において一貫性が生まれず、地域づくりがスムーズに進まない。	今の体制に縛られず、目的を達成するために必要な人材が揃った体制を整える。議論が共有され、相互の事業の整合性、協働による効率性等のメリットが得られる。
13.エージェントを活用する	行政内部で、不得意分野の新しい課題や高度に専門的な事象に対応しようとすると、時間がかかりすぎたり、職員にストレスがかかりすぎたりして、成果につながりにくい。	機動力が高く、専門的な知識・経験のあるエージェントを、事業の推進役として外部から取り入れ活用する。取り組みを効率的・持続的に推進できる。
14.現場で地域の文脈を共有する	現場の状況を共有しないまま、一般論だけで机上の計画をすると、それまでの地域の文脈や住民の思いが捉えきれず、地域住民の合意形成が得づらい。	現場で地域の文脈を共有する。特に、外部から地域づくりに関わる人がいる場合は、住民の暮らしを具体的にイメージしてもらうことで、地域の理解につながる。

これまで環境都市づくりの先進地域である岩手県紫波町・宮城県女川町・宮崎県日南市・岡山県真庭市のケーススタディから、40のパターンを抽出してきた。今回の福島県飯舘村で抽出されたパターンでは、既存のものもあるが、**6つの新たなパターンを抽出**することになった。飯舘村は、事故後に全村避難になったことから、他地域のように危機感の共有を前提とせず、危機の中での対応がなされた。そのため、初動の取組みにおいて、特に特徴的なパターンが抽出されている。そのうち、**#02. つないだ希望を大切に**する、**#03. 意欲を捉えて膨らませる**、**#04. コミュニティを維持しよう**、**#09. 相手に合わせた言葉で理解を広める**については特徴的な抽出パターンである。（（成果2-1、3、5、126）

（1-1-1）プロセス（パターン・ランゲージ）の実装展開

整理した地域づくりのパターンを活用し、地域特性に応じた戦略デザインを行うためのワークショップを実施した。本プログラムは、東日本大震災からの復興まちづくりに取り組む福島県大熊町における2つの実践事例に適用し、その有効性を検証した。

1. ワークショッププログラムの開発と適用

抽出パターンを活用し、福島県大熊町で復興支援ワークショップを開発・実施。対象は地域課題に取り組む行政職員や地域関係者。

2. ワークショップの概要

フレームⅠ：パターンを現状に応じ6分類し、課題・障壁も記入
フレームⅡ：分類結果をもとに戦略・シナリオを構築

3. 実施例（大熊町役場庁内研修 写真2.1）

2025年1月27日、役場職員10名が2グループに分かれ、

Aグループ：「ゼロカーボン産業と生活復興」

Bグループ：「Well-being向上施策」をテーマに議論を進めた。

各グループで3年・5年後を見据えた行動シナリオが策定され、事後アンケートでも一定の成果が確認された。



写真2.1 ワークショップの様子

（1-1-2）プロセス（パターン・ランゲージ）の意義

飯舘村・大熊町の適用事例を通じて明らかになったのは、地域づくりにおける中核が「生成的取り組み」にあるという点である。直接的に行動を強制するのではなく、**間接的な関与と自発的参加を促す姿勢**が重要視された。これは、タクティカル・アーバンズ的な「対象デザインによる社会変化」だけでなく、**社会構造そのものへの働きかけ**を意図する、より高次の戦略に位置づけられる。また、安富（2006）による従来型計画モデルの限界指摘——「事前調査→計画→実行→評価」の直線的思考——に対し、資源と知恵をつなぐコミュニケーション空間の創出が必要であるという考え方にも符合する。本研究で開発したワークショッププログラムや地域戦略モデルは、まさにこの「生成的デザインアプローチ」の有効性を理論・実践の両面で裏付けるものである。

（1-1-3）プロセス（パターン・ランゲージ）まとめ

本研究では、飯舘村の復興過程を分析対象とし、パターン・ランゲージにより地域実践知を形式知化したうえで、生成的デザイン手法を検討した。得られた成果は次の通りである。

- ・先進事例プロセスの包括的整理
文献・ヒアリング調査を通じて、地域価値創出の生成プロセスを時系列で把握。
- ・14のパターン抽出
地域づくりにおける多様な実践知の形式化に成功。
- ・福島県大熊町での適用検証
パターンを活用した2つの戦略シナリオを設計し、地域実践への有効性を実証。
- ・知識伝達ツールとしてのパターン・ランゲージ活用可能性
先進知見の他地域展開に資する方法論としての有効性を確認。

（1-2）地域統合評価モデル（成果2-11、16）

（1-2-1）地域統合評価モデルの概要

モデルは、比較的小規模な地域単位（市町村）で産業・雇用・居住・交通・エネルギー需給・土地利用などを統合的に推計できる定量ツール。土地利用構成と活動指標を仮定し、再エネ普及技術や消費構造なども考慮した。設定は、土地利用区分（住宅地、産業用地、農地、観光施設等）、活動水準（人口密度、出荷額、発電容量等）、通勤構造（域内外通勤率）などをシナリオ別に仮定し、モデル推計に反映した。

（1-2-2）地域統合評価モデル結果

1. 各シナリオの概要

- ・穏やか：住環境重視、福祉・商業機能整備
- ・活発：産業誘致・研究開発拠点整備
- ・豊か：農地再生・里山共生型地域
- ・賑やか：観光交流型地域

図2.6にシナリオ・フレームワークとして、縦軸に復興において主に活用する資本の種類、横軸に重視する活動の空間的な開放性を示す。

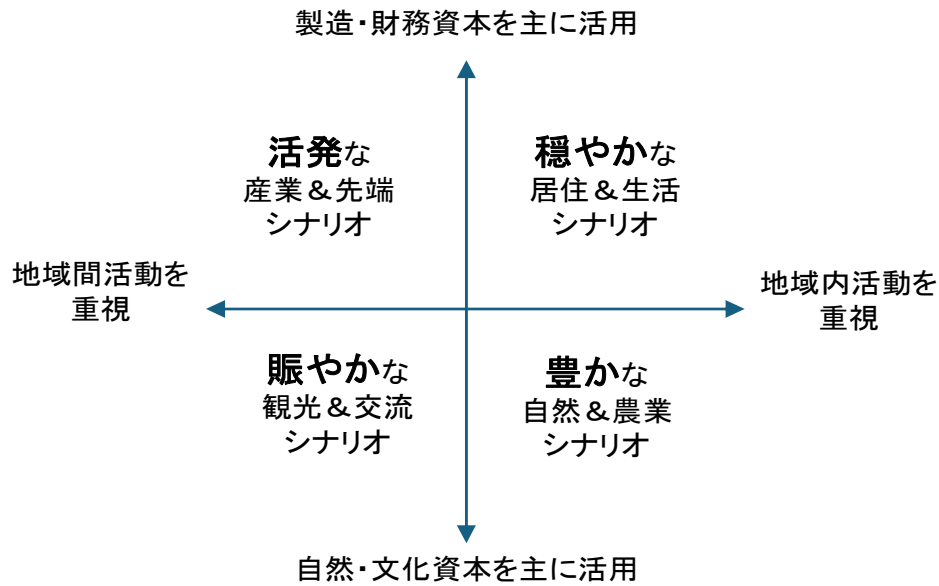
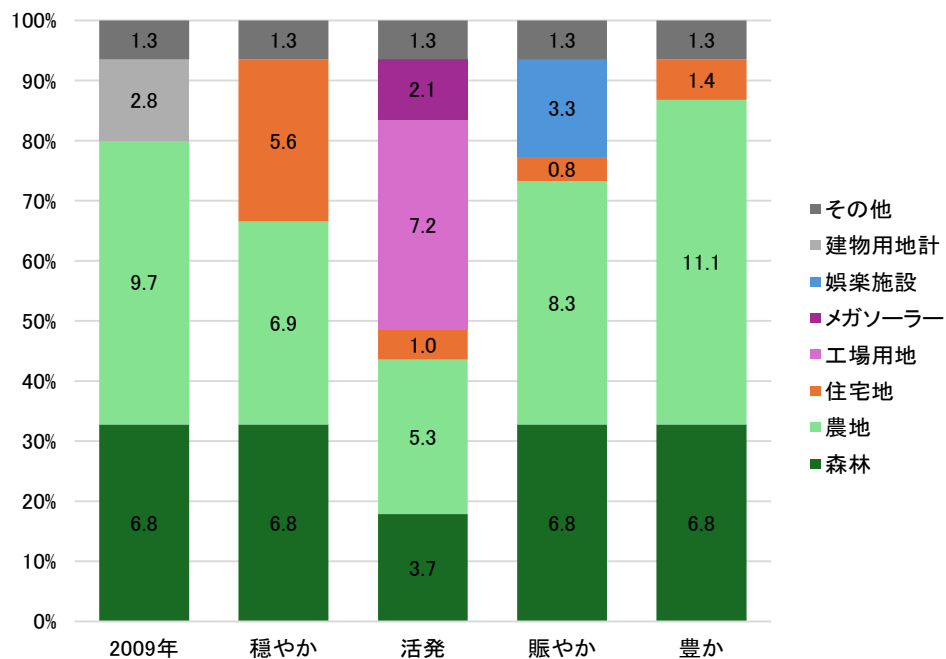


図2.6 シナリオ・フレームワーク

縦軸：復興において主に活用する資本の種類、横軸：重視する活動の空間的な開放性

2. 指標別推計結果（2050年）

各シナリオにおける土地利用構成と特徴として、図2.7は、各復興シナリオにおける中間貯蔵施設区域の想定土地利用構成を視覚的に示したものである。各シナリオでは、重視された活動内容に応じて土地面積が割り当てられており、震災以前の地域統計や他地域における先行事例を参考に、面積あたりの活動水準が設定されている。

図2.7 各シナリオにおける2050年の中間貯蔵施設区域の土地利用別土地面積の構成比（ラベル内の数値は面積(km²)）

- ・ 穏やか : 人口増に寄与、「活発」：経済成長が顕著
- ・ 豊か : 農業主体のため経済効果小だが持続性重視
- ・ 賑やか : 観光と農業の融合による交流促進が期待

3. 構築された復興シナリオ

シナリオについて、地域統合評価モデルを用いて定量化を行い、リファレンスシナリオ（中間貯蔵終了後も対象区域で活動がない仮定）との差分として2050年の時間断面における将来的な社会経済効果を評価した。以下に、2町合計の主な成果指標を示す。各町の評価結果を図2.8に示す。

被災地の多様な将来像を可視化するとともに、それぞれの価値観に基づく戦略的な地域設計の手がかりを提示するものである。特に、自然資本・文化資本を活用した持続的な復興に向けては、住民の意向、自然環境の回復状況、社会的・経済的背景の統合的理解が不可欠であり、本報告で示したシナリオと土地利用構成は、今後の政策設計や地域合意形成の基盤となることが期待される。

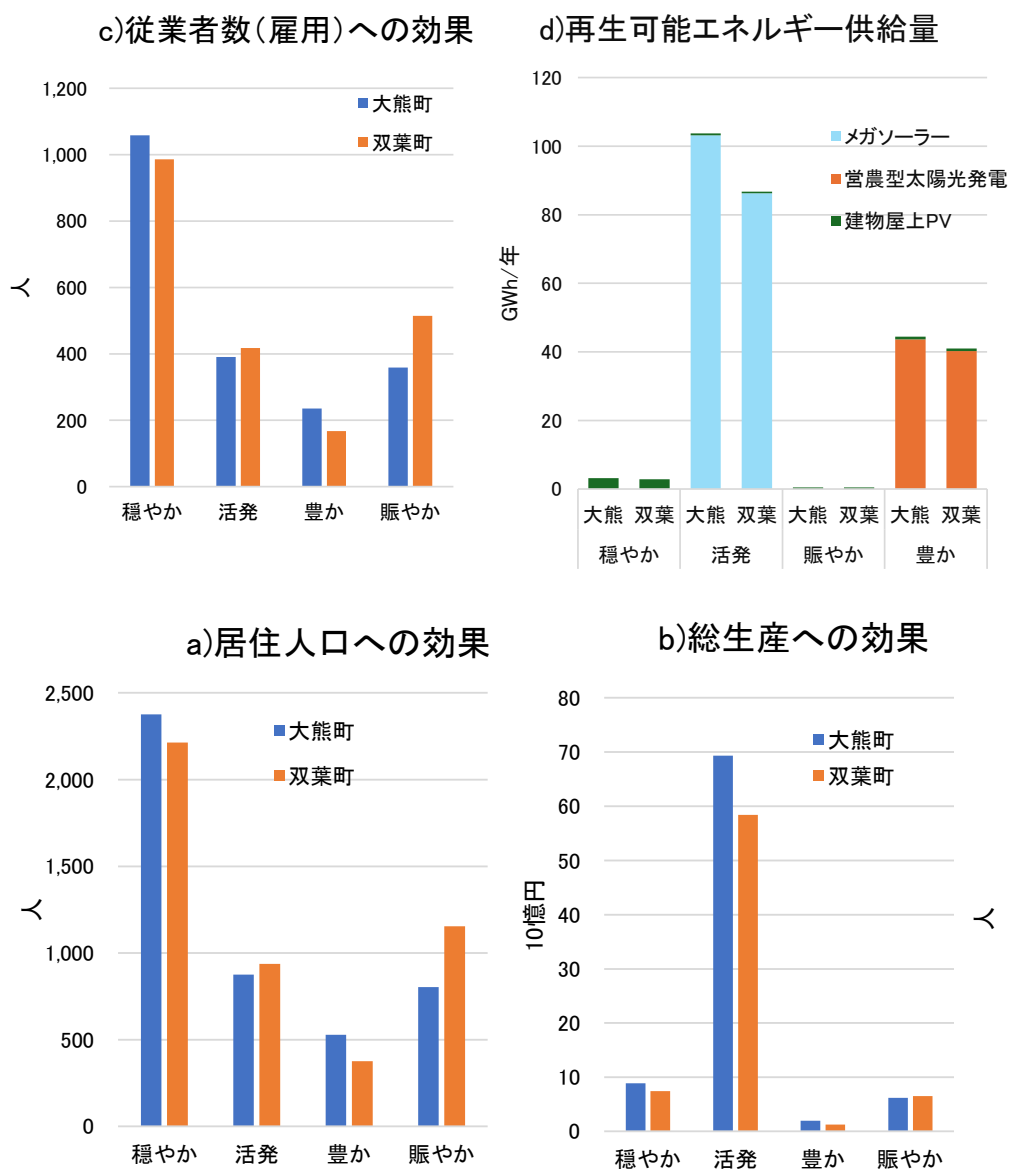


図2.8 地域統合評価モデルによる定量化の結果

4. まとめ

図2.9に各町における町全体の産業構造の計算結果を示す。各シナリオの設定が反映され、特に「活発」シナリオでは製造業の生産額が占める割合が非常に大きい。これに対し「賑やか」ではサービス業が大きい。両町の震災以前の産業構造や面積、加えて活動分布に対する中間貯蔵施設区域の占める割合の違いによって同じシナリオでも産業構造の計算結果は異なる。

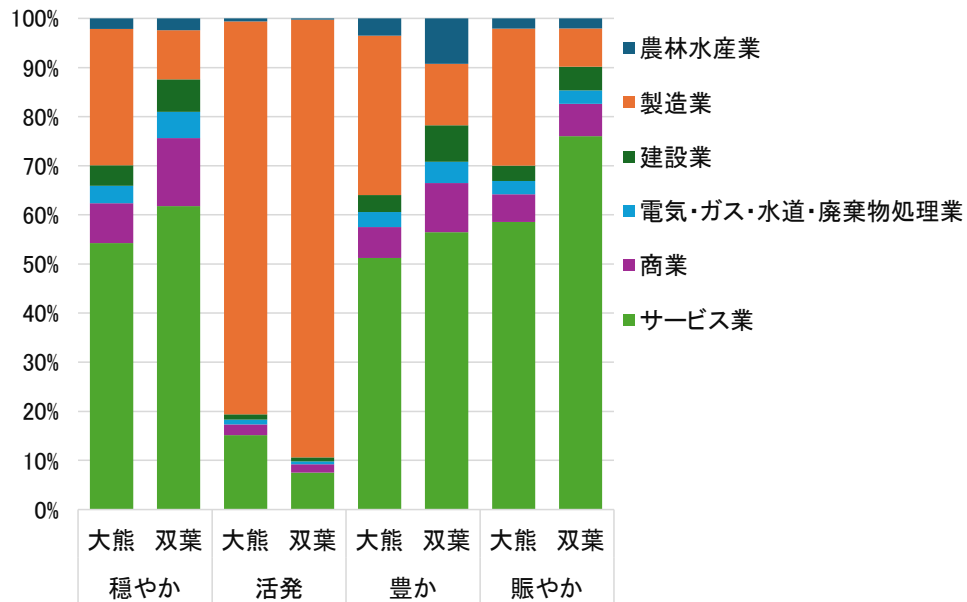


図2.9 各シナリオにおける産業構造（総生産の構成比）の計算結果

地域統合評価モデルを用いたことで、復興に向けた異なる社会像を具体化・可視化することが可能となった。特に、自然資本や文化資本を活かす方向性において、住民意向・自然環境状況・経済効果を総合的に考慮した議論の出発点を提供できた意義は大きい。

（1－3）地域資本の可視化と将来展望に向けたリーフレット作成（成果2-2、5、123）

リーフレット作成にあたり、町役場職員、災害復興住宅の住民、伝統文化や教育活動に関わる移住者・関係者との意見交換を重ねた。復興事業が進行する中で、建物やイベントなどを契機に、地域資本に対する多様な視点が浮かび上がった。リーフレットは、表層的な情報にとどまらず、住民同士が地域の「歴史」と「現状」を共有し、「将来像を対話的に描くための道具」として活用されつつある。

特に、震災復興後の将来デザインに向けて、時間軸やビジョンのズレを可視化し共通の話題を作る効果が認められた。今後、中間貯蔵施設周辺地域の議論が進む中で、地域資本を再確認し、合意形成を促すための貴重な材料となることが期待される。

3. 地域の力を活かすための「型」

パターン・ランゲージ

地域の力を活かすための「型」の考え方

「地域の力」を活かすためには、町の持つたくさんの要素を結びつけることが大切です。大熊町には、豊かな自然、人とのつながり、長年培われた文化や技術、そして新しい挑戦を支える仕組みがあります。これらの力をどの

ように組み合わせ、未来に向けて活かしていくか。そのヒントとなるのが「パターン・ランゲージ」です。地域の実践の中から生まれた知恵を共有し、より良いまちづくりへつなげていくための「型」として活用されます。

パターン・ランゲージとは

パターン・ランゲージとは、問題に対する効果的な解決策を「パターン」として体系的にまとめたものです。急速な高齢化・人口減少が進む中、日本各地で持続可能な地域づくりに向けたさまざまな取り組みが進められています。なかには先進事例として注目を集めている市町村もあり、そうした地域に学び、視察などさまざまなアプローチが試みられています。しかし、地域づくりには、その土地の歴史や自然など、固有の特性や状況に応じた取り組みが必要となるため、視察で得た知識を自らの地域に還元するのは容易ではありません。私たちはこのギャップを埋めるための方法について研究しています。

具体的には、問題を明確化し、問題の背景や解決方法、そしてその解決方法が適用できる状況などについての知見を文書化し、蓄積していくことで、それぞれの状況にあった事物のデザインを考えていきます。私たちは、有用な「パターン」を抽出することで、他の地域にも活用できる特長を提案したいと考え、成果をパンフレットやカードという形にまとめ、ワークショップなどで活用しています。



パターンワークショップ

地域づくりの支援ツールとして、パターンカードを活用したワークショッププログラムを開発しました。参加者はカードを分類し、既に実践している内容や課題、新たに取入れたい要素を整理します。ワークシート上で時間軸と共創の視点を基にパターンの相互関係を整理し、優先すべき取組みを検討。最終的に、地域のビジョンと重点課題を共有し、持続可能な発展に向けた具体的な方向性を導きます。

このプログラムは、大熊町の役場職員研修でも用いられました(P36-37)。



パターン集

私たちはこれまでに、福島県飯館村に岩手県紫波町、宮城県女川町、宮城県日南市、岡山県真庭市を加えた5つの市町村で見つけたパターンとその元になった具体的な事例を地域ごとの「パターン集」としてまとめました。



パターン・ランゲージ・サイト

取り組みを広く発信するため、専用のWebサイトを立ち上げました。このサイトでは、ワークショッププログラムの詳細や地域別のパターン集を公開しています。さらに、今後も定期的に更新していく予定です。地域づくりの知見共有の取り組みについて、多くの方々に知っていただける場となることを目指しています。



図2.10 パターン・ランゲージの紹介

4つの未来イメージ

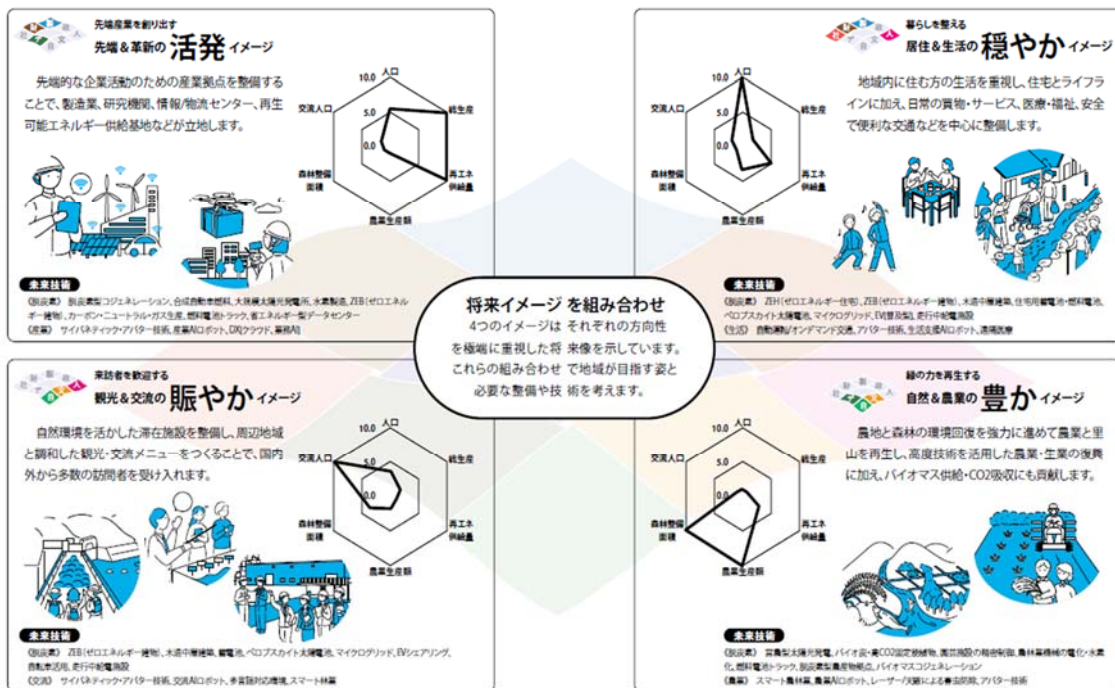


図2.11 住民向けリーフレットでの地域統合評価モデルの結果の可視化

(2) サブテーマ2

(2-1) 哺乳類のモニタリング結果と考察(成果2-4、12、15、124)

モーションセンサーカメラ(カメラトラップ)を用いて、中間貯蔵施設周辺地域(大熊町・双葉町)における哺乳類の生息状況モニタリングを実施した。カメラは大熊町に2地点(大熊1:N 37.3936, E 141.0338、および大熊2:N 37.4317, E 141.0139)、双葉町に2地点(双葉1:N 37.4447, E 141.0284、および双葉2:N 37.4543, E 141.0600)の計4台を設置した。設置期間は2022年9月28日から2024年3月19日まで。モーションセンサーカメラ(Bushnell社製 トロフィーカム16MP トレイルE3 ローグロウ)は樹木地上約1mに取り付け、動物の検知時に30秒間の動画を撮影する設定とした。録画データは約2か月ごとに回収し、動物種を記録、カメラ設置日数で割った撮影頻度を算出した。

1. 哺乳類の出現傾向

調査の結果、福島県内避難指示区域全体では15種の哺乳類が確認されたが、中間貯蔵施設周辺地域では11種にとどまった。確認されなかった種はイヌ、ネコ、ニホンカモシカ、ツキノワグマの4種である。イヌ・ネコについては、人間との関わりが深い動物であり、無居住地で観察されなかったことは自然な結果と考えられる。

ニホンカモシカは福島県北部に分布が偏っており、過去の調査でも浪江町以南での観察例が少ない。また本種は山間部を好む一方、今回の調査地点はいずれも平地であったため、地理的・地形的な要因が観察されなかった理由と推定された。

2. 特に多く観察された種

一方、ホンダタヌキ、アライグマ、ホンダギツネ、ニホンノウサギの4種は、他地域と比較して中間貯蔵施設周辺での観察頻度が有意に高かった。

ホンダタヌキ、ニホンノウサギは、里地里山環境に広く適応する在来種であり、里山環境の一部が残存していることを示唆している。

里地里山は多様な生態系サービスを提供する一方、管理不在により劣化しやすいため、今後も継続的なモニタリングと保全措置が必要である。

3. 外来種・被害獣の動向

また、外来種や被害獣として、アライグマ、ハクビシン、イノシシも確認された(写真2.2、写真2.3)。

アライグマは農作物被害や文化財損傷、在来種への影響が問題となっており、福島県では防除計画が策定されている。

イノシシは、2022年度に双葉町で高頻度に観察された後、2023年度には他地点にも拡大。この背景には、2020年以降の福島県内での豚熱(CSF)流行による一時的な個体数減少と、その後の回復があると推測される。特に大熊町・双葉町で2022年に初めて豚熱感染が確認されており、今後さらなる個体数増加が懸念されるため、ゾーニングや管理対策の強化が求められる。

4. ニホンザルの出没

ニホンザルは、2024年度のみに観察された。ニホンザルも福島県北部に分布が偏っており、浪江町以南での定常的な観察は少ない。

過去にも、楡葉町において2015年にのみ確認された事例がある。

こうした単年度のみの観察については、前年のブナ類の凶作などによる食料不足が影響している可能性が高い。実際、2023年度秋にはブナ類の記録的な凶作が発生し、ドングリなどの餌資源が枯渇した結果、山地に生息していたニホンザルが食料を求めて中間貯蔵施設周辺に出没したと考えられる。

なお、本研究で得られたカメラトラップによる動画データは、テーマ3「地域ストックのデジタルコンテンツ化」にも提供し、活用されている。



写真2.2 双葉町の観測地点で撮影されたイノシシの親子（2023年2月20日撮影）



写真2.3 大熊町の観測地点で撮影されたホンダタヌキ（2022年10月24日撮

（2－2）赤トンボの調査結果と考察

赤トンボの生息状況を把握するため、哺乳類調査と同じ地点にトンボ類自動撮影装置を設置し、調査を行った。設置期間は、2022年は10月7日～11月15日、2023年は9月28日～11月6日、2024年は10月15日～11月14日である。

撮影頻度の推移、中間貯蔵区域内における赤トンボの撮影頻度は次の通りだった。

- ・2022年度：15.5±11.2匹/日
- ・2023年度：20.2±16.0匹/日
- ・2024年度：12.1±8.6匹/日

これらの値は、避難指示解除後1年目の水田での観察頻度（ 20.7 ± 9.0 匹/日）と比較しても有意な差は見られなかった。つまり、中間貯蔵施設周辺でも赤トンボの生息が一定程度維持されていることが示された。

生息環境と種別動向として赤トンボ類のうち、水田を利用する種（ナツアカネ、ノシメトンボ、アキアカネなど7種）は、幼虫期を水田等の陸水域で過ごす。営農が再開されていない中間貯蔵施設周辺でも、一定の水域（防災重点ため池等）が存在しているため、これが生息維持に寄与していると考えられる。特にノシメトンボは、2022年度には 1.63 ± 2.31 匹/日だったのに対し、2023年度には 8.1 ± 8.7 匹/日と大幅な増加が見られた。本種は乾燥耐性が高いことでも知られており、この結果を裏付ける。比較対象である飯館村長泥地区では、営農再開1年目にはノシメトンボがほぼ観察されなかったことから、中間貯蔵施設周辺が良好な環境であることが示唆される（写真2.4）。しかし、2024年度にはノシメトンボの観察数が 0.59 ± 0.18 匹/日と前年度に比べて激減した。この変化が年変動の範囲内なのか、それとも本格的な減少傾向を示しているのかは、今後も継続的な観測による確認が必要であり、営農再開に伴い農業使用の再開が見込まれるため、これらの赤トンボをはじめとする昆虫類への影響に十分配慮する必要がある。環境負荷の少ない農業手法の導入を推進し、生態系と農業の両立を図るべきである。

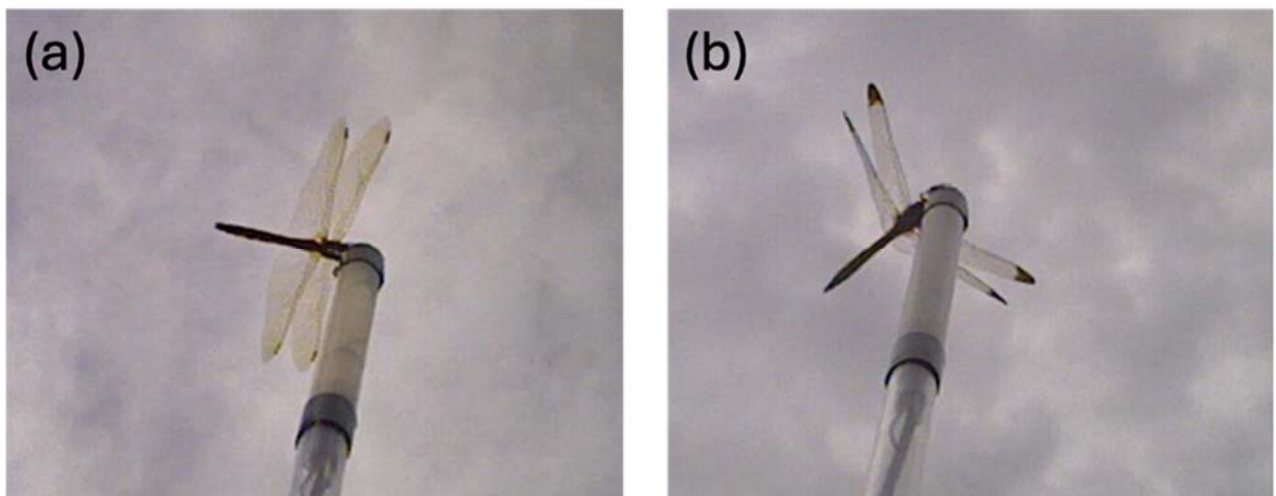


写真2.4 自動撮影装置で観察された (a) アキアカネと (b) ノシメトンボ

（2－3）熊川河口の藻場に関する調査と考察

熊川河口では、ケーブルカメラによる広域調査と潜水調査を組み合わせ、藻場の構成種・分布・被度を評価した。調査により、アラメを構成種とする藻場が確認された。その面積は $20,450\text{m}^2$ に達し、これは1998年の調査（ $10,000\text{m}^2$ ）の約2倍に相当する。震災を経てもなお、藻場が拡大している可能性が示唆された。潜水調査では、水深4.7～5.7mでアラメの成体が確認され、被度は最大75%、個体密度は最大6本/ m^2 に達した。推定されるアラメ成体の総個体数は3,706本である。

藻場は近年、ブルーカーボン（沿岸域における炭素吸収源）として注目されている。熊川河口のアラメ場は、約 8.6 t CO_2 を貯留していると推定された。ただし、現時点の推計には不確実性が伴うため、今後は現地における一次生産速度や変換係数を用いた精緻なデータ収集が必要である。藻場拡大の要因については、津波による地形変化などが考えられるが、現時点では明確な根拠は得られていない。今後は、地形変動や海水温変化を含めた継続的なモニタリングが望まれる。なお、大熊町は「2050年ゼロカーボン宣言」を掲げており、森林吸収に加えて、藻場によるブルーカーボン吸収も地域戦略に取り入れることが期待されている。

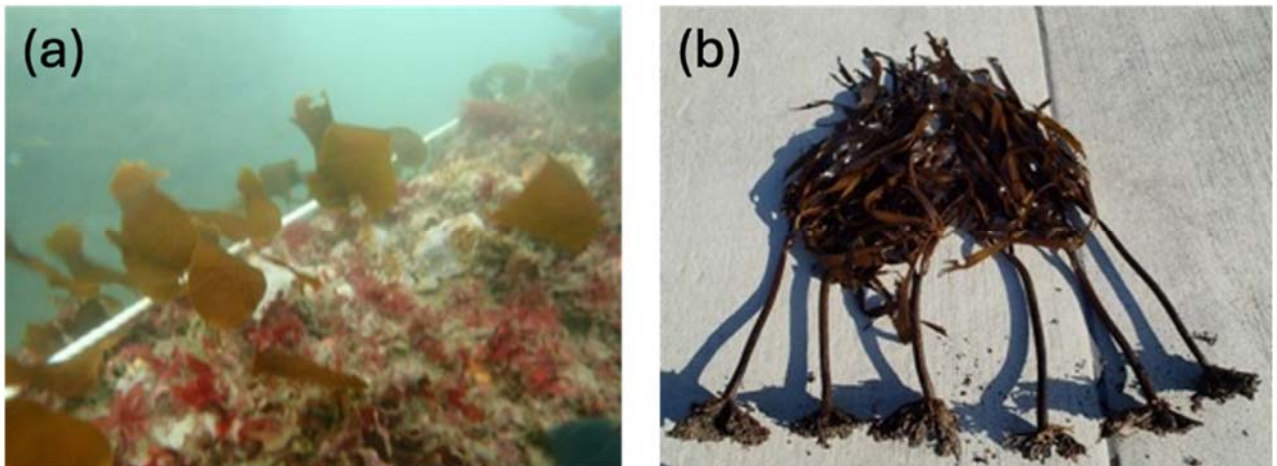


写真2.5 熊川河口のアラメ (a) 幼体と (b) 成体

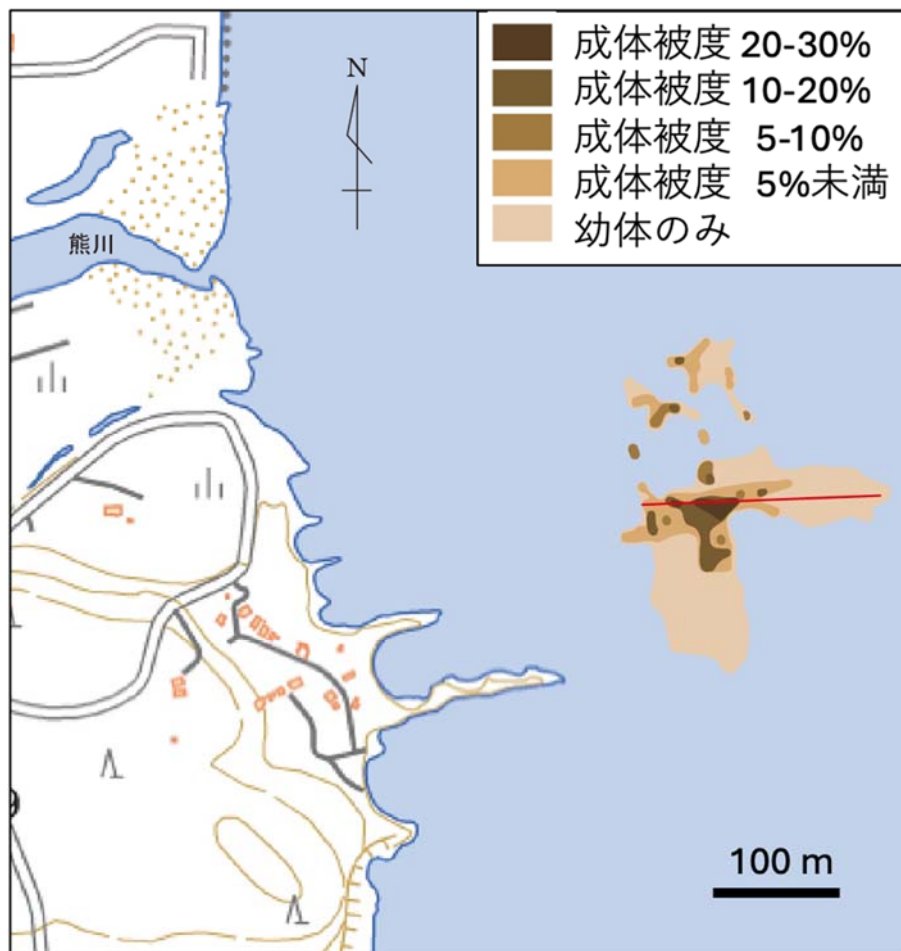


図2.12 熊川河口のアラメの分布

(2-4) 生態系サービスの変化に関する評価と考察

サブテーマ2では、生態系サービスのうち供給サービスと調整サービスに着目し、震災前後の変化をJB03に準じた手法で評価した(表2.2)。

表2.2 避難指示区域内外における生態系サービスの変化の傾向

評価項目		評価結果				震災のインパクト有無
		過去 50 年～震災前		震災～現在		
		避難地域外	避難地域内	避難地域外	避難地域内	
供給サービス	農産物					域内：有
	特用林産物					域内外：有
	水産物					域内：有
	淡水					域内：有
	木材					無
	原材料					無
調整サービス	気候の調節					無
	大気の調節					無
	水の調節					無
	土壌の調節					無
	災害の緩和					無

定量評価の結果を以下のように矢印で表現した。

↑：やや増加、→：横ばい、↓：やや減少、↓：減少

定量評価に用いた情報の期間・質が不十分である場合は矢印を破線で囲んだ。

また定量評価の傾向の確からしさを以下のように色分けした。

確からしさ高：黒矢印、確からしさ中：灰色矢印

1. 供給サービスの変化と復興戦略への示唆

震災により、供給サービスでは水稻・大豆・野菜・畜産・シイタケなどの生産額が、2011年に軒並み50～86%減少するなど、大きな打撃を受けた。これにより、避難指示区域内の供給サービスは壊滅的な影響を受けたことが明らかになった。近年、避難指示が解除された地域では生産活動の徐々な回復が見られるが、解除時期が遅れた大熊町や双葉町では依然として回復が進んでいない。このため、今後の復興戦略においては、供給サービスの回復遅れを見越した地域別対応が求められる。

2. 調整サービスの変化と課題

一方、森林の炭素吸収量やNO₂・SO₂吸収量といった調整サービスでは、震災前後で顕著な変化は確認されなかった。ただし、農地と耕作放棄地の区別がつかないなど、土地利用ベース評価の課題が残っている。また、全国一律の評価係数を用いているため、地域特性に即した正確な評価が難しい点も課題である。

3. 評価手法の改善提案

今後の生態系サービス評価においては、次の点が求められる。①地域特性に即したデータと係数の導入、②特産品等に着眼した細分化された供給サービスの評価、③単純トレンド分析に代わる精緻な手法（例：差分の差分法）実際に試行的にコメ生産量について差分の差分法による解析を行った結果、震災の影響を視覚的に分かりやすく表現できた。今後、他のデータにもこの手法を適用することで、震災インパクトのより正確な評価が期待される。

4. データ共有によるテーマ間連携

調整サービス評価で用いた大熊町・双葉町の土地利用区分データ（農地、建物用地、森林、道路、水面、その他）は、サブテーマ1におけるシナリオ分析にも共用し、またカメラトラップにより得られた

動画データについてはテーマ3の「地域ストックのデジタルコンテンツ化」の課題に提供し、連携を図った。

(2-5) 福島県双葉郡の自然環境に対する住民の意向に関する調査結果(成果2-17)

2011年3月に発生した東日本大震災と福島第一原発事故により、福島県双葉郡一帯は広範囲で放射性物質による汚染を受けた。これにより、住民は長期避難を余儀なくされ、生活基盤の喪失や地域コミュニティの分断といった深刻な影響が生じた。

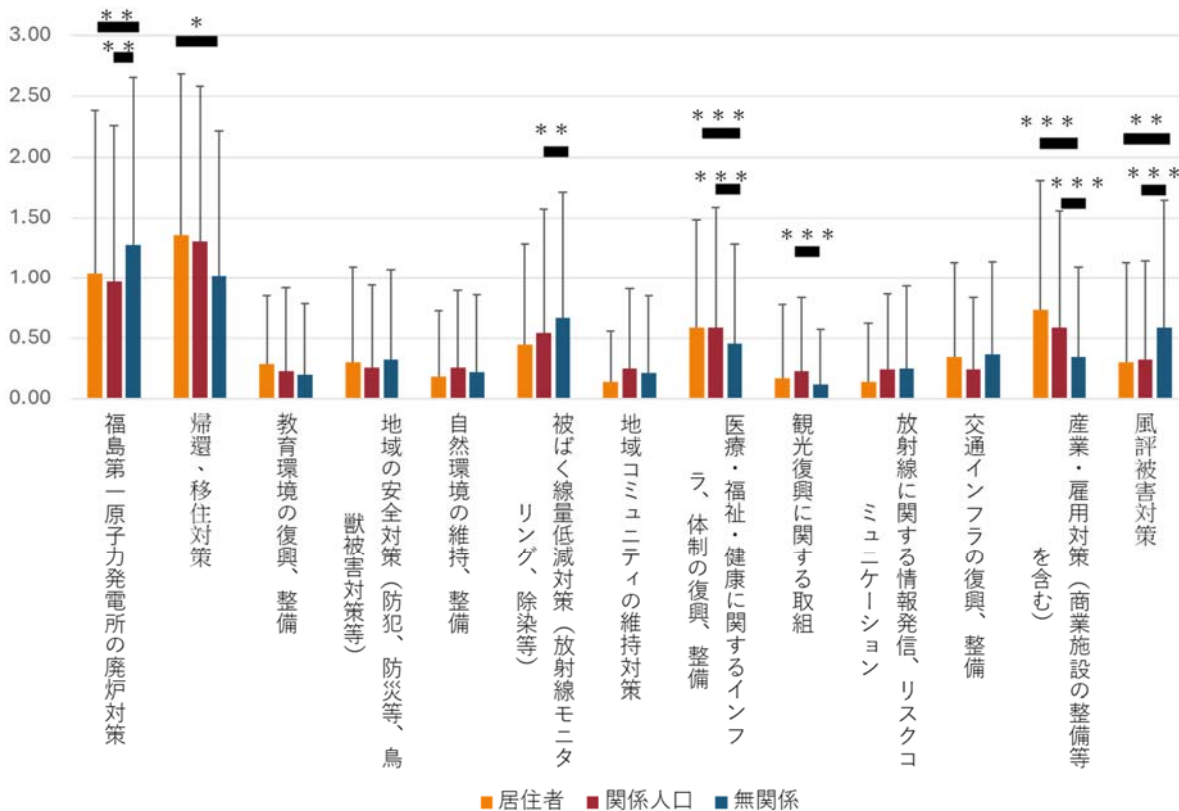


図13 「復興のために重要と思う項目」に関するアンケート調査の結果
各項目について1番目に重要＝3点、2番目に重要＝2点、3番目に重要＝1点として平均値を算出。サンプル数は居住者67、関係人口145、無関係880で、Dunn検定（Bonferroni補正）を行い、***、**、*はそれぞれ1%、5%、10%で有意であることを表す。

1. 調査の目的と方法

本調査では、大熊町・双葉町の住民を対象に、自然環境に対する意識や意向を把握し、今後の環境再生方針の基礎資料とすることを目的とした。特に、「定住住民」と「関係人口（非定住者）」の意識の違いに着目した。

実施期間：2024年7～8月

回答者数：92名（定住住民29名、関係住民63名）

主な調査結果として、定住住民では、34%が「コメ生産」を望ましい自然環境の利用方法に挙げ、次いで「災害の緩和」（21%）が続いた。関係住民では、「災害の緩和」（28%）が最多であり、次いで「コメ生産」「野菜・果実生産」「観光・レクリエーション」（各16%）が同率だった。これにより、地域に居住するか否かで、自然環境の利用に対する優先順位が異なることが示された。定住住民は生業再建に直結する農業活動を重視し、関係人口は災害リスク軽減や地域の魅力向上に関心を寄せる傾向があった。

2. 全国調査結果との比較

さらに、2024年11月に全国18歳以上の一般市民1,000人（福島県在住者含む）を対象に実施した調査で

は、「自然環境の維持・整備」は復興の最優先事項とみなされていない傾向が確認された。代わりに、「帰還・移住政策」「医療・福祉政策」「産業・雇用政策」など、生活基盤の再建に直結する分野への関心が高かった。また、自然環境の利用目的については、居住者が「野菜・果実生産」を重視したのに対し、関係人口は「景観」や「観光・レクリエーション」に重点を置く傾向が見られた。

3. 調査結果の意義と今後の方向性

この結果は、今後の復興施策や土地利用計画において、①住民属性や関わり方の違いを踏まえた多様なニーズへの対応、②柔軟で多面的な自然環境再生戦略の必要性、を示唆している。画一的な整備ではなく、対話と合意形成を重視し、多様な意見を反映するプロセス設計が求められる。

なお、本調査結果はサブテーマ1でのリーフレット作成にも活用され、住民間の認識や希望を可視化し、共創的な議論を促進する基盤となった。今後も継続的な調査とフィードバックを通じて、地域住民との信頼関係を築きながら、より良い復興のあり方を模索していくことが期待される。

2. 2. 5. テーマ2研究成果の学術的意義や環境政策等への貢献

テーマ2は、福島第一原子力発電所事故の影響を受けた中間貯蔵施設周辺地域において、地域社会の復興と持続可能な未来像の構築を支援することを目的とし、理論的手法と実践的アプローチの両面から体系的な研究を行った。特に、環境回復、住民参画、地域資本の可視化といった複合的なテーマを横断的に結びつける研究デザインは、既存の災害復興研究や地域づくり研究に対して、複線的かつ先進的な知見を提供するものとなっている。

<得られた研究成果の学術的意義>

(1-1) 地域実践知の構造化と知識の汎用化に向けた「パターン・ランゲージ」の適用

本研究では、福島県飯舘村における復興活動の事例を分析し、14の地域実践パターンを抽出・記述することで、地域に蓄積された「暗黙知（実践知）」を言語化・形式知化する試みを行った。この際、主語を用いず述語を中心とする「どのように行うか」に焦点を当てた表現形式を採用し、行動原理や実践の構造を他地域でも再現可能な知識資源として整理した。従来、地域づくりは個別性の強い取り組みとされ、横展開が難しいとされてきたが、パターン・ランゲージはこの課題を乗り越える有効な形式として機能しており、地域間連携・知識循環の可能性を開いた点で学術的意義は大きい。

(1-2) 統合的評価モデルを活用した復興シナリオの定量化と社会実装への展望

本研究で構築された「地域統合評価モデル」は、復興地域の将来像を「穏やか」「活発」「豊か」「賑やか」という4つの類型に分類し、それぞれについて人口動態、経済指標、雇用状況、再生可能エネルギーの供給量などの複数指標を用いた定量評価を行った点に新規性がある。これにより、従来は概念的・定性的に語られがちであった復興ビジョンを、客観的な数値データと結びつけることで、行政計画や政策立案の基盤とすることが可能となった。さらに、この定量モデルに生態系サービス評価（供給・調整機能等）を加えることで、社会・経済・自然環境を統合的に扱う復興評価フレームワークが完成し、合意形成に資する実践知の裏付けともなった点に学術的価値がある。

(1-3) 住民参加型デザイン支援の理論化と協働的実践の手法化

大熊町において試作されたリーフレットは、単なる情報提供ツールにとどまらず、住民が自らの地域資本（自然・文化・人的資源など）を再発見し、それを起点に将来像を共有するための思考補助ツールとして機能した。図表・写真・シナリオといった複数の要素を組み合わせ、視覚的かつ感覚的に理解できる構成としたことで、世代や立場を超えた対話の基盤が構築され、住民間の価値観の差異や時間認識のずれを乗り越える新たなコミュニケーション手法を提示した。このような「共創デザイン支援手法」は、既存の参加型アプローチに生成的な視点を加えたものであり、公共デザイン論や参加型社会設計論に対して実証的知見を加えることとなった。

(1-4) レジリエンス科学への貢献：生態系の自己回復力の定量的実証

サブテーマ2では、長期にわたって人の不在が続いた大熊町・双葉町の生態系に焦点を当て、ホンダシキヤノシメトンボといった在来種の生息状況、さらには熊川河口におけるアラメ藻場の拡大といった自然回復の現象をモニタリング調査によって確認した。これにより、災害後の自然環境が持つレジリエンス（自己再生力）を定量的に把握し得たことは、生態学・環境修復学における貴重なデータであり、将来の復興科学研究における参照モデルとして高い学術的意義を持つ。

＜環境政策等へ既に貢献した研究成果＞

テーマ2は、地域の復興支援にとどまらず、環境政策、国際的ガバナンス、住民参画型の合意形成など、多層的な政策課題に対して直接的かつ間接的に貢献する実践知を提供した点で高く評価される。特に、住民対話の促進や科学的根拠に基づく政策支援、地域資源の活用などを通じて、複数の行政主体・国際機関・教育機関等との協働に資する成果を上げている。

（2－1）国内政策形成支援への具体的貢献

大熊町における住民向けリーフレットの作成やワークショップ実施は、地域住民と行政が対等な関係で将来像を共有・検討できる場を構築するモデルケースとなり、福島県を中心とした復興政策の実践的指針となった。リーフレットでは、町の歴史的経緯や震災後の変化を踏まえ、現在の資本構造と未来の可能性を「見える化」し、政策形成において住民の視点を取り込む手段として活用された。この成果は、環境省が推進する除染・再生利用政策や地方自治体の地域ビジョン計画において、合意形成支援の新たなツールとして評価されている。

（2－2）国際原子力機関（IAEA）への知見提供と政策助言への反映

2023年10月、ウィーン本部にて開催されたIAEA専門家会合において、本研究の住民対話手法（パターン・ランゲージに基づく共創型コミュニケーション）が紹介され、福島県内の除去土壌再利用や最終処分に関する議論に貢献した。この知見は、2024年のIAEA最終報告書にも反映され、環境省への政策助言資料として公表されている。また、本研究の手法は、国際的なリスク・コミュニケーションの先進事例として、原子力リスクを抱える他国への波及的活用も期待されている。

（2－3）国際放射線防護委員会（ICRP）との連携による信頼醸成

2023年11月には、ICRP主委員および委員ら9名が中間貯蔵施設や長泥地区を視察し、住民参加型の環境再生事例として本研究の成果を直接確認した。この活動は、国際社会に対する透明性の確保、放射線防護と地域復興の統合的理解の促進という観点から極めて意義深く、国際的信頼性の確立にも貢献している。

（2－4）気候変動政策への実証的支援と自治体への資源提供

熊川河口のアラメ藻場において算出された炭素貯留量（約8.6t-CO₂）は、ゼロカーボン宣言を掲げる大熊町にとって、地域レベルでの脱炭素政策の根拠データとなり得る。これにより、ブルーカーボン資源の新たな評価指標と政策的活用の道筋が開かれ、沿岸地域における炭素吸収源の管理・利用に関する先進的提言となった。今後、環境省が主導する脱炭素プラットフォーム等において、本研究の知見が参照される可能性が高く、地方自治体による地域資源活用政策への転用も見込まれる。

（2－5）教育・啓発への展開と国民的理解の深化

本研究の成果は大学教育にも活用されており、環境省と連携したプログラムを通じて、50校以上・延べ4,500名以上の学生が福島の事例研究を通じた理解促進に参加した。学生らは中間貯蔵施設や地域復興の現場での課題に対する現実的な問いを立て、IAEA会合でも的確な質問を行ったことで国際専門家からも高評価を受けた。これにより、国内外における知識の社会実装と理解促進の両面で大きな成果が得られている。

＜環境政策等へ貢献することが見込まれる研究成果＞

研究で得られた成果は、環境政策や地域復興施策の高度化に資する多面的な知見として、今後以下のような形で社会への還元と政策展開に貢献していくことが見込まれる。

第一に、震災被災地における環境モニタリングと生態系サービス評価に関する本研究の知見は、国内外の学会・国際会議において発表され、環境・生態系・復興計画分野における新たな評価枠組みとして位置づけられる。これにより、学術的な理論構築と実務的応用の橋渡しを可能にし、政策担当者や実務者にも理解しやすい形での知見整理を進める予定である。また、総合的な研究叢書等を通じて、環境政策形成に関する実務的なリファレンスとして活用されることが期待される。

第二に、本研究で蓄積されたモニタリングデータや生態系サービスの評価手法は、国および地方自治体における復興計画や土地利用政策の策定において、環境的視点の導入を具体的に支援するものである。特に、ブルーカーボン吸収量の推定や供給・調整サービスの定量評価は、ゼロカーボン施策や自然共生型の土地利用の推進における科学的根拠として活用可能である。今後は、環境省・農林水産省・地方自治体等との連携を強化し、政策形成プロセスにおけるエビデンスベースの知見提供を制度的に組み込んでいくことを目指す。

第三に、社会実装の観点からは、本研究で構築した地域統合評価モデルやパターン・ランゲージ等を活用した共創的手法を、他の被災地や環境課題を抱える地域における応用に展開することが可能である。行政・

住民・企業・教育機関が協働する「地域共創プラットフォーム」の整備を進めることで、地域における環境価値の可視化と共有、持続可能な農林漁業の振興、地域内資源循環の再構築を支援する。また、復興と再生のシナリオを定量モデルと統合した「復興計画支援ツール」の開発などを通じて、自治体職員の政策立案支援、学校教育への導入、さらには国際協力における技術移転への応用も見据えている。このように、本研究は単なる学術的調査にとどまらず、環境政策・地域づくり・教育・国際協力に資する「知の社会実装モデル」として、持続可能でレジリエントな地域社会の構築に向けた政策形成の基盤を提供するものである。

2. 2. 6. テーマ2研究目標の達成状況

全体目標	全体達成状況
<p>中間貯蔵施設周辺復興地域は事故前には、多様な自然環境を有する地域であった。このような地域は里地里山と呼ばれ、豊かな自然地域と都市地域との中間に位置し、多様な自然条件・社会条件のもとに形成されてきた場所であり地域経済活動とも深く関係している。中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインの検討に当たっては、復興計画等との整合を踏まえつつ、予想される様々な地域課題に対処し、かつ地球規模の課題である気候変動対策のため脱炭素社会としてのコミュニティの再構築が必要となる。一方、現時点においては普及あるいは実用化のされていない技術（以下、未来技術）も利用可能となりえる。同地域の復興を考える際には地域の再生にこうした未来技術を活用することを検討すべきである。そこで、対象地域の地域性を活かしつつ、将来時点での世界最先端の技術を投入した脱炭素型未来コミュニティとしての復興拠点を構想すること、地域全体としての環境を活かしつつ社会的・経済的にも調和した将来像、そしてこれらを達成するための課題を整理し、課題解決のために未来技術の活用を織り込んだ計画策定が有用と考えられる。</p> <p>本テーマでは、中間貯蔵施設区域ならびに施設周辺復興地域の原形復旧と復興計画等との整合を踏まえた将来デザインを創造し、予想される地域課題と気候変動等の地球規模課題に対応するため、世界最先端の技術を投入した地域性を活かした脱炭素型未来コミュニティとしての復興拠点と、周辺環境と調和した地域全体の複数の将来デザインを構築し、これを達成するための課題と技術を提示することを目標とする。</p>	<p>東京電力福島第一原子力発電所事故によって大きな被害を受けた中間貯蔵施設周辺地域（大熊町・双葉町等）を対象に、脱炭素型未来コミュニティの構想を中心とした将来デザインの検討とその具体的方策の構築を目的として進めた。以下に、各視点毎に研究目標の達成状況を整理する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 地域性を活かした脱炭素型未来コミュニティ構想の具体化 事故前からこの地域は、里地里山としての多様な自然環境と人間活動が調和した地域であり、環境資源・社会構造・地域経済が一体となった複合的な価値を有していた。テーマ2では、この地域特性を再評価し、将来の復興ビジョンとして脱炭素社会への移行を見据えた未来コミュニティの構想を提示した。特に、サブテーマ1においては、住民・自治体との協働により地域に根ざした将来シナリオを4類型（「穏やか」「活発」「豊か」「賑やか」）として構築し、再生可能エネルギーの導入、人の居住・交流、雇用創出などの多角的な要素を盛り込んだ復興モデルが形成された。これにより、世界最先端技術を想定した地域再構築の方向性が明確化された。 2. 未来技術の活用と社会実装への展望 テーマの大きな柱として、まだ普及・実装されていない未来技術の利活用が掲げられていた。本プロジェクトでは、パターン・ランゲージによる知識の構造化や共創デザインプラットフォーム、地域統合評価モデルの開発など、社会技術を含む未来技術を地域づくりに応用する実践的手法を提示した。特に、パターン・ランゲージは飯館村や大熊町でのワークショップを通じて住民の暗黙知を形式知化し、将来構想を共有するツールとして有効性が確認された。また、地域統合評価モデルによる定量評価は、行政や民間を含む複数ステークホルダーの意思決定支援に資するものである。 3. 自然環境と生態系サービスの変化の把握と活用 サブテーマ2では、生態系の変化とその地域差を定量的に捉えるモニタリングと評価が行われた。調査は50地点以上にわたり、赤トンボ、哺乳類、藻場などを対象とし、地域の自然回復力（レジリエンス）の可視化に成功した。また、熊川河口におけるアラメ藻場の炭素貯留量（約8.6t-CO₂）の算定は、脱炭

	<p>素政策に資するブルーカーボン資源として注目され、大熊町のゼロカーボン構想と連携した知見として提示した。こうした環境面からの復興戦略においても、政策的示唆に富む成果が得られている。</p> <p>4. 合意形成と住民参画を重視した社会的枠組みの構築</p> <p>研究目標では、単なる技術導入ではなく、社会的受容性・地域の納得性を重視した復興デザインが求められており、そのため、住民との対話の場の創出と、共有可能な地域将来像の構築が重要視した。具体的には、パターン・ランゲージに基づく住民対話手法がIAEAやICRPといった国際的機関に高く評価され、透明性のある合意形成支援ツールとして国際社会にも知見提供された。加えて、リーフレットの作成など可視化資料を活用し、住民の主体的な参加を促す取組も進展した。</p> <p>5. 定量・定性知の融合によるシナリオ設計と政策的応用</p> <p>テーマ2は、地域づくりにおける「語り」と「数値」の両面を統合する新たな支援枠組みを提示し、「構想→共有→実装→評価」という反復のプロセスによって、地域固有の課題に柔軟に対応する“生成的デザイン”の理論実装へと応用が期待でき、こうしたアプローチは、地域政策形成における民主的意思決定の基盤として、将来的には環境行政・脱炭素政策・復興施策への応用可能性を有しており、持続可能な地域デザインの礎を築いたといえる。</p> <p>6. 国際連携と知識の汎用化への貢献</p> <p>サブテーマ1の成果は、IAEAやICRPといった国際機関への知見提供を通じて、福島における先進的復興支援の事例として国際的にも認知された。また、共創型の手法やデジタル化された可視化資料は、他地域への横展開や制度設計への活用にも適応可能であり、今後の社会実装の加速に大きく貢献することが期待される。</p> <p>テーマ2が目標とした「環境を活かし、社会的・経済的にも調和した脱炭素型未来コミュニティの構想とその実現に向けた課題整理」に対して、科学的知見と社会的アプローチを融合させ、実践的かつ理論的な成果を複合的に積み上げた。未来技術の導入、地域特性の定量化、社会受容性の確保、政策連携と国際波及といった各側面で、目標の大部分を達成したと評価できる。</p>
--	---

2. 3. 【S2-9-3】「県外最終処分・周辺地域の将来デザイン利用に向けた社会受容性評価と合意形成フレームワークに関する研究」

2. 3. 1. テーマ3 研究目的

本研究では、除去土壌等の県外最終処分および中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインに応じた土地利用における円滑かつ公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、本課題特有の次世代を意識しつつ、多元的公正や環境面だけでなく、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案することを目的とした。

2. 3. 2. テーマ3 研究目標

テーマ3 実施機関	産業技術総合研究所、大阪大学、神戸大学、京都大学、北海道大学
テーマ目標3	<p>除去土壌等の県外最終処分および中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインに応じた土地利用における円滑かつ公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、本課題特有の次世代を意識しつつ、多元的公正や環境面だけでなく、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案する。具体的には、以下の5つを最終目標として設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●県外最終処分 <ul style="list-style-type: none"> ・ 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価およびステークホルダーが重要視する重要指標抽出【サブテーマ1】 ・ 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析およびステークホルダーの受容性に内在するメカニズムの質的分析【サブテーマ1】 ・ 県外最終処分等における多元的公正やステークホルダーの多面性を考慮した建設的な対話の場を通じた合意形成フレームワークの提示【サブテーマ2】 ●中間貯蔵施設周辺復興地域 <ul style="list-style-type: none"> ・ 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストック（歴史や記憶）のデジタルコンテンツ化および重要項目抽出および方法論の整理【サブテーマ1】 ●合意形成フレームワーク <ul style="list-style-type: none"> ・ 多元的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案【サブテーマ1, 2】

2. 3. 3. テーマ3 研究内容

本研究では県外最終処分・周辺地域の復興に向けた持続可能な環境修復の合意形成に向けた社会受容性の評価およびフレームワーク構築に関して、以下の研究を実施した。全体の研究開発計画を図3.1に示す。

サブテーマ1では、(1) 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出と(2) 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析を実施した。サブテーマ2では(3) 県外最終処分等に関する多元的公正の整理および実験的評価を実施した。

また、サブテーマ1とサブテーマ2が連携して、(4) 多元的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案に関する研究を実施した。

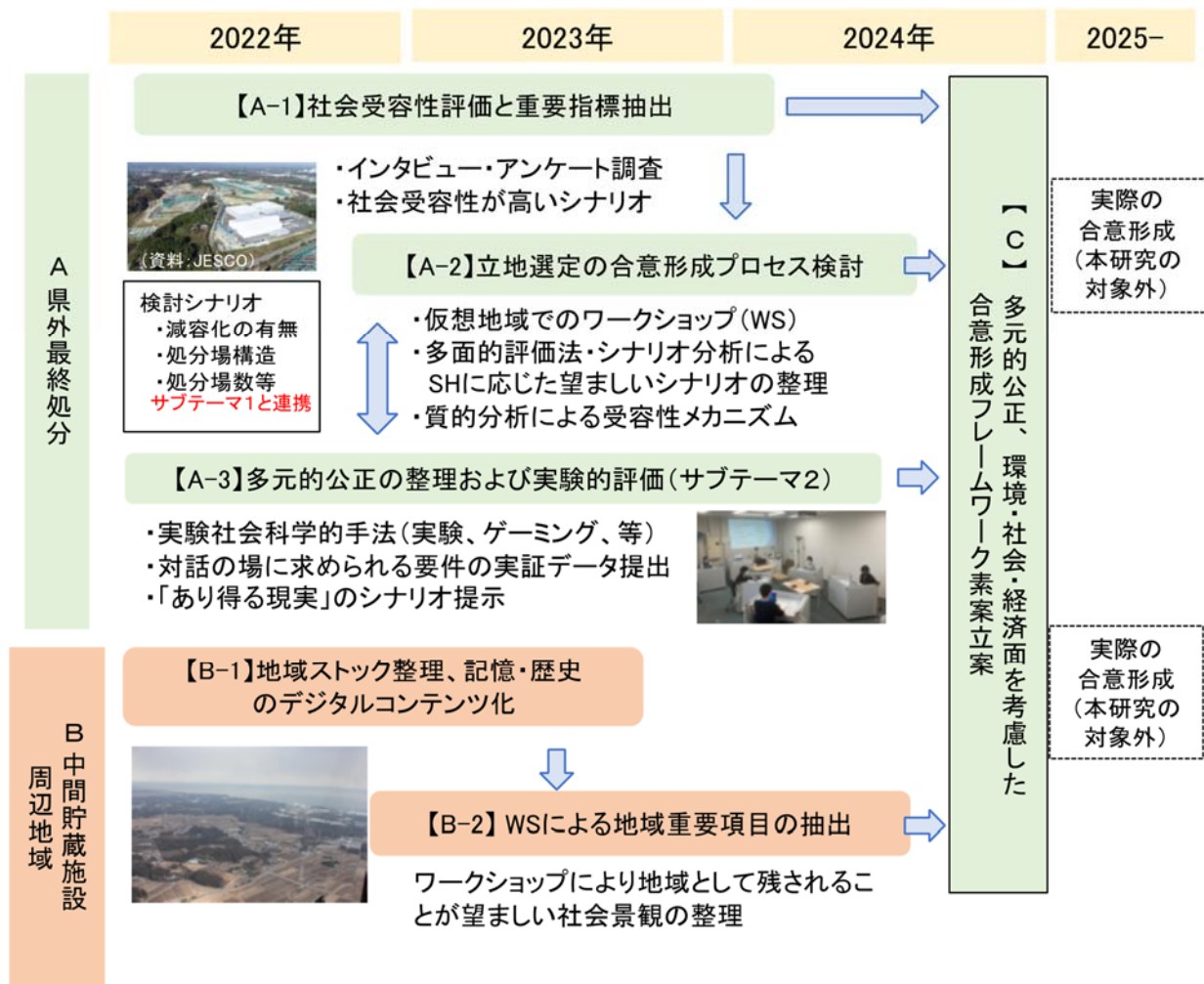


図3.1 全体の研究計画図（SH:ステークホルダー）

（1）県外最終処分等シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出

県外最終処分に関する社会受容性および合意形成プロセスでの重要指標を、市民・自治体等のステークホルダーに対する半構造化面接、郵送法・国際オンラインアンケート調査、ワークショップ等により、ステークホルダー毎に評価した。また、中間貯蔵施設周辺復興地域のこれまでの地域ストック（歴史や記憶）に対して、インタビュー、資料調査、現地踏査に基づき地域に関する文化的・景観的価値を整理し、記憶地図としてデジタルコンテンツ化をした。

（1-A）県外最終処分シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出

（1-A-1）郵送法による県外最終処分の社会受容性に関するアンケート調査

県外最終処分の受け入れに関して、福島県外に住む、46都道府県の20歳以上80歳未満の3000人を対象に、住民基本台帳を用いた層化二段無作為抽出法（150地点）を用いて2022年に郵送法アンケート調査を実施した。決定プロセスとしてトップダウン型アプローチ、意見集約アプローチ、意見反映アプローチによる最終処分場の受け入れを8段階のリッカートスケールで尋ね、回答者の属性等との関連性を分析した。

（1-A-2）県外最終処分に関するオンラインアンケート

オンラインアンケート1：都市部市民への県外最終処分への賛否および社会受容性の把握

県外最終処分への賛否および社会受容性の把握を目的として都市部市民2000人（関西1000人、関東1000人）を対象としたオンラインアンケート調査を2022年に行った。アンケートの項目は、福島事故への興味、除染と最終処分の基礎的知識、最終処分への賛否に加え、リスク認知、不均衡感、保護価値、道徳基盤尺度、および任意の自由記述とした。因子の地域による差を調べるためにMann-Whitney U検定、因子間の関係を調べるためにスピアマンの順位相関検定を適用した。自由記述の分析には、テキストデータ分析ツールKH Coderを用いて計量テキスト解析を行った。

オンラインアンケート2：最終処分の受容と情報提供の関係性評価

最終処分の受容と情報提供の関係性を評価するために、2024年に福島県以外の46都道府県在住の20～69歳の4000人に対し、オンラインアンケート調査を行った。対象者は無作為に4グループに分け、福島県外での最終処分に関する基本情報、福島県民が既に過重な負担を負っている情報（マキシミン原則情報）、住民の意見を反映した場合は、6割の人が受け入れるという情報（社会比較情報）、最終処分を受け入れることは日本社会への貢献につながるという情報（社会便益情報）、のいずれかを受け取り、情報提示による受け入れの差異を見た。

オンラインアンケート3：減容化シナリオの社会受容性評価

テーマ1と連携し、最終処分における減容化技術適用シナリオを設定し、減容化技術適用シナリオに関する社会受容性における重要要素を評価するため、関東在住の都市部市民約2000人に対するオンラインアンケートを2023年に実施した。調査では、処分物の量、処分物の放射能濃度、処分場の種類の3要素を選択型コンジョイント分析対象とし、減容化技術適用に関する3シナリオ（現在の処理技術開発動向に準拠したシナリオ、処理費用の最小化を目指し、減容化の程度を抑えた、量の最小化を目指し、放射性物質を最大限分離・回収したシナリオ）の相対的な選好度を調べた。

（1-A-3）県外最終処分に関する都市部における市民、学生への半構造化面接・分析

県外最終処分政策に対する意見形成に影響する要因を明らかにするために、（1-A-2）のオンラインアンケート1で県外最終処分政策に賛成・反対と回答した各20人（計40人）の市民に対し、2023年に半構造化面接を一人当たり約1時間実施した。質問の内容は、県外最終処分に対する印象、オンラインアンケートにおける賛否の理由、「除去土壌」に対する印象とした。

（1-A-4）共分散構造解析による自身の近隣での最終処分場立地への賛否への影響因子の評価

本研究開始前に実施した「福島県外最終処分場の立地受容性に対する影響因子の評価を行うためのオンラインアンケート調査（4000名）」の結果を再解析し、「自身の近隣での最終処分場立地への賛否」への影響因子として、「リスク認知」、「行政（環境省、自治体）への信頼」、「将来世代等からの期待」等を設定した仮説モデルを想定し、共分散構造解析および層別解析を実施した。

（1-A-5）最終処分等の社会受容性に関する国際オンラインアンケートの実施・分析

仮想的な原子力災害における除去土壌等の最終処分等の社会受容性に関する国際比較を実施するため、国際オンラインアンケート実施国として、高レベル放射性廃棄物処分場を建設しているフィンランド、原子力発電所に関する社会受容性の研究が進んでいるフランスを選定した。オンラインアンケートは2024年2月に実施された。回答者数は日本・フランス・フィンランド1000名ずつ、合計3000名である。アンケートでは、仮想的な原子力災害の発生、300万m³の放射性セシウム含有土壌が環境回復プロセスで発生、放射性セシウム含有土壌の最終処分をする必要があることを説明した。

得られたアンケート結果から、県外最終処分の賛否の理由に関する自由記述を対象としてアフターコーディングによる解析を、また、環境・社会・経済の各側面5項目の指標を準備し、全15項目から回答者が重要と思う3つを選択してもらう質問への回答を対象とした階層クラスター分析に基づく重要事項の抽出と分類を実施した。

（1-B-1）中間貯蔵施設周辺復興地域を対象とした聞き取り調査に基づく記憶地図・デジタルコンテンツ化

中間貯蔵施設周辺復興地域として、福島第一原子力発電所に隣接し、地区の大部分が中間貯蔵施設内に立地する双葉町細谷地区を対象として、元住民延べ20名への聞き取り調査に基づく社会景観の抽出及び可視化と大字誌や3次元プロジェクションマッピング等のデジタルコンテンツ化を実施した。

（2）県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析

環境・社会・経済の側面を包括して評価する多面的評価を発展させ、アンケート調査で得られた県外最終処分等に向けた重要指標の導入、倫理、手続き的公正性および本課題特有の特徴を組み込んだ多面的評価法を構築した。本手法を用いて仮想的なステークホルダーを招聘したワークショップ等を実施し、県外最終処分の各種シナリオに対する多面的指標に基づく詳細分析、望ましいシナリオの整理、質的分析によるステークホルダーの受容性に内在するメカニズムの検討を実施した。また、中間貯蔵施設周辺復興地域を対象として、ステークホルダーとのワークショップを実施し、多面的評価に基づくシナリオ分析および当該地域における重要指標の抽出を行った。

(2-A) 県外最終処分に対する多面的評価法によるシナリオ分析**(2-A-1) 県外最終処分の各シナリオに適用可能な新たな多面的評価方法の開発**

除去土壌の県外最終処分における倫理的側面・手続きの公正性を組み込んだ多面的評価法を開発するため、仮想的なステークホルダーへのインタビュー調査の回答の質的分析により、検討すべき重要事項を多面的評価の視点から整理した。2019年に環境放射能除染学会が地方公務員や一般市民10名に実施したインタビューの書き起こしたデータを倫理委員会の承認を経た上で使用した。分析は、まず、Steps for Coding and Theorizationという方法により回答を概念化し、Sustainable Remediation（以下、SR：持続可能な環境回復）で用いられる環境・経済・社会の各5指標との関連を評価した。

(2-A-2) 多面的評価の実践とステークホルダーによる受容性メカニズムの質的分析

県外最終処分のステークホルダーによる受容性メカニズムについてのモデル化として、放射性廃棄物の社会的課題の文献レビュー、ステークホルダーによる受容性メカニズムの質的分析のためのメンタルモデルの構築を進めた。受容性メカニズムの分析のためのメンタルモデルの構築では、放射性廃棄物処分を含む社会的課題に関する国内外の文献をレビューし、受容性メカニズムの要素を抽出した上で、ステークホルダー間のメンタルモデルを仮説的に整理した。

また、関西地方A地区（調査I：2024年3月、参加者10名）と関西地方B地区（調査II：2025年2月、参加者3名）、関西地方C地区（調査III：2025年2月、参加者2名）の農村地域において、自地域に県外最終処分が打診される仮想シナリオを提示したうえで対面式アンケートと半構造化インタビューを実施した。録音データのテキスト化・感情分析、およびMAXQDAを用いたグラウンデッド・セオリーのコーディングにより因子間の関係性を抽出した。

(2-B) 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックの重要指標抽出と多面的評価法の適用**(2-B-1) 大規模環境問題における合意形成や土地利用・ランドスケープの国際事例調査**

中間貯蔵施設周辺地域の残されるべき社会景観を検討するため、チョルノービリ事故をはじめとした国内外の大規模環境汚染等で影響を受けた後の土地利用・ランドスケープについて6事例の調査を実施した。また、原子力災害からの復興プロセスにおける合意形成等に関する重要事項を抽出するため、関連する4つの国際ガイドライン（ICRP、OECD/NEA、IAEA、IFRC）及び6カ国のガイドラインを対象に、テキストマイニングを実施した。

(2-B-2) 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックに関するワークショップ

中間貯蔵施設立地地域を対象とし、多様なステークホルダーの意見の明らかにした上で、当該地域の将来像を描くための知見を得ることを目的として、当該地域の現状と将来について、中間貯蔵施設立地地域の元住民（双葉町細谷地区、郡山地区）、事業者（JESCO）、国、自治体の4者を主なステークホルダーとして、自由な発話を行うワークショップによる情報収集やヒアリング調査を行い、地域の現状・今後に関する意識をテキスト分析（KH Coderによる分析）により評価した。

(2-B-3) 残されるべき社会景観を抽出する方法論の整理

中間貯蔵施設周辺の復興地域を対象とした社会景観の保全に関する研究では、公衆、特に地域住民からの意見収集が極めて重要である。本研究では、残されるべき社会景観を抽出する方法論の整理として、公衆の協力を必要とする調査手法として調査票（アンケート）、インタビュー手法の整理をするとともに、中間貯蔵施設周辺の復興地域を対象として（1-B-1）中間貯蔵施設周辺復興地域を対象とした聞き取り調査（合計20回）で用いた複数の手法を網羅的に整理した。

(3) 県外最終処分等に関わる多元的公正の整理および実験的評価（サブテーマ2）

多元的公正の整理及び実験的評価では、実験社会科学的手法を用いた集団実験、ゲーミング実験、および模擬市民参加ワークショップ型社会実験を行った。研究計画は図3.2の通りである。

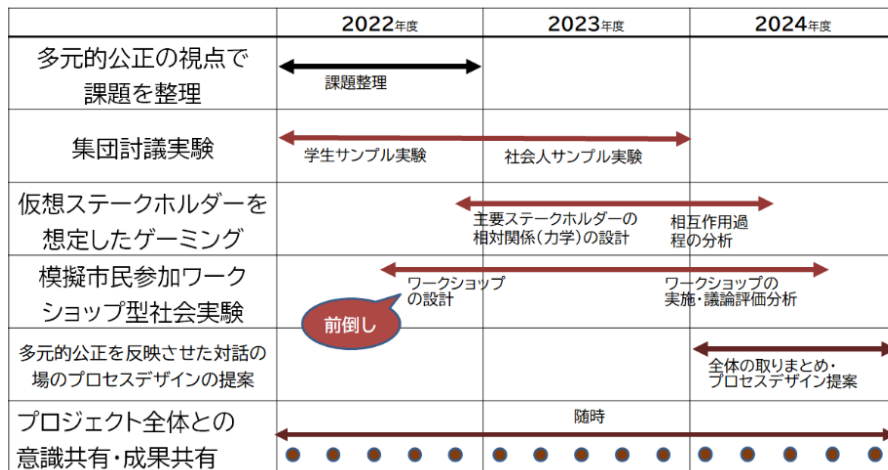


図3.2 サブテーマ2の研究計画

(3-1) DQIの開発と集団討議実験

多角的公正の基準から3つほど重要な価値の系を絞り込み、その評価のモノサシとして討議の質指標(Discourse Quality Index: DQI)を開発した。このDQIを用いて集団討議実験を行い、議論内容の評価を行った。例えば、中間貯蔵施設建設に際して土地を提供した住民の気持ちを想起させた場合、すなわち、他者視点を取得し共感できる状況をつくったときに、どの程度負担の分かち合いやこれまで負担をしてきた地域への慮りに関する発言が増えるか、これらを重視した決定になるのかを明らかにした。また、議論枠組みを操作し係争的な討議場面と包摂的な討議場面で発言内容や集団意思決定の違いを分析した。

(3-2) 市民参加ワークショップ

次に、実際に一般の市民を集めた市民参加ワークショップを実施した。ワークショップは4回に渡り、東京で3回、大阪で1回、実施した。最初は大学生で予備的に実施し、次に社会人など一般の方々を対象に少人数で実施した。以上を踏まえて、人数を増やして市民参加ワークショップの本番を実施し、発言データや事前事後質問紙などのデータを収集、分析した。なお、市民参加ワークショップについては、当初計画では2年度目後半に企画を開始し最終年度に実施する予定だったが、当初計画を変更して前倒しで実施することとし、初年度から企画をはじめ、2年度目に開催した。

(3-3) 仮想ステークホルダーを想定したゲーミングの作成・実施

さらに、仮想ステークホルダーを想定したゲーミングを作成・実施した。集団討議実験や市民参加ワークショップでは、同じ立場の市民がフラットに議論に参加するが、現実には立場の異なるステークホルダーが相互作用する。ゲーミングでは、利害対立関係にある役割(例：説得する立場の行政担当者と受け入れに懸念を抱く地元住民、受け入れを打診する国と拒否する地方自治体など)が付与され、役割ごとに異なる目標が設定される。このような中、合意形成が実現される場合とそうでない場合について、ゲーム展開の違いを分析した。



図3.3 市民参加ワークショップの様子



図3.4 ゲーミングを実施している様子

県外最終処分等に関わる多元的公正の整理および実験的評価(北海道大学)

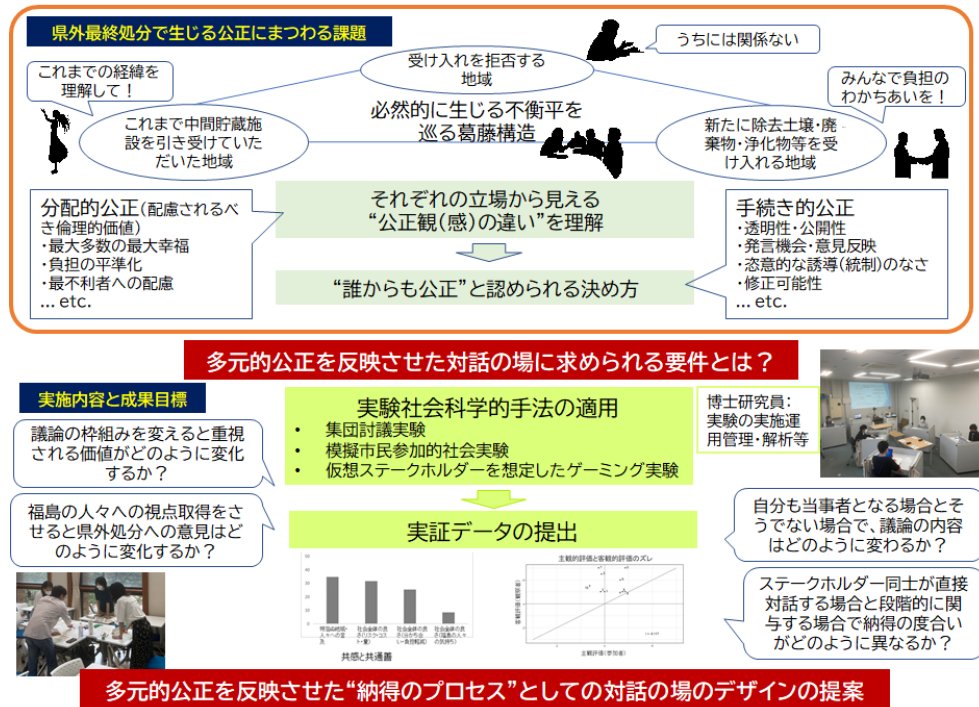


図3.5 サブテーマ2の全体像

(4) 多元的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案

サブテーマ1およびサブテーマ2の研究成果及合意形成フレームワークに関して、日本リスク研究学会年次大会で2022年～2024年までの毎年、合計3回の企画セッションを開催し、様々な視点からの意見を収集した。また、国際的には、2023年にはICRP主委員会メンバーとの意見交換、およびIAEAの専門家会合での意見交換、さらに有識者（Thierry Schneider氏、CEPN、ICRP主委員会委員、第4部会議長）によるレビューを実施し、多元的公正、環境・社会・経済面を考慮し合意形成フレームワークの検討を実施した。

2. 3. 4. テーマ3 研究結果及び考察

(1) 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出（サブテーマ1）

(1-A) 県外最終処分シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出

(1-A-1) 郵送法による県外最終処分の社会受容性に関するアンケート調査

郵送法アンケートでは、3000人中871人から同意のある回答を得た。決定プロセスとしてトップダウン型アプローチ、意見集約アプローチ、意見反映アプローチによる最終処分場の受け入れを5段階のリッカートスケールで尋ねた。また、居住地との距離や設置箇所数での受け入れについても尋ねた。意見集約アプローチあるいは意見反映アプローチとトップダウン型のアプローチの差（それぞれ、意見集約型選好、意見反映型選好とする）を目的変数とし、除去土壌の最終処分に関する主観的知識、関心、除去土壌への恐ろしさリスク認知、未知性リスク認知、受け入れに関する個人的便益認知、社会的便益認知、環境省や実施事業体への信頼、受け入れに関する将来世代からの期待（将来世代期待）、不均衡感、保護価値、年齢、性別、婚姻状況、子供の有無、職業を説明変数とし、関連を解析した。まず、単変量解析で有意だった項目を、重回帰分析の説明変数として投入した。同様に、最終処分場を8か所あるいは46か所に設置した場合と1か所での受け入れの差（それぞれ、8地方選好、46都道府県選好とする）を目的変数とした解析も行った。また、自分の住んでいるところの近くでの最終処分の受け入れについて尋ねたベース設問の他、意見反映アプローチでの設問（手続き的公正設問）、46か所に設置した場合での設問（分配的公正設問）において、決定木を用いて受け入れに関わる因子を探索的に解析した。

トップダウン型で受け入れに同意する割合（4点以上）が23%であったのに対し、意見集約型や意見反映型ではそれぞれ38%、57%であった（成果3-10）。自分の住んでいる都道府県内である場合や、46都道府県で1か所ずつ設置される場合も、それぞれ40%、48%が同意していた（成果3-8、14）。

意見集約型選好と意見反映型選好の両方において、除去土壌の最終処分に関心を持っていたり、受け入れに関して高い社会的便益認知を持っていると有意な正の関連があった（表3.1）（成果3-10）。個人的便益認知が高く、年齢が高い場合には、有意に受け入れが低かった。一方、8地方選好、46都道府県選好のいずれ

れも、社会的便益と正の、保護価値と負の有意な関連がみられた（成果3-8）。

決定木による解析では、設問によらず保護価値が第一階層、ベース設問では恐ろしさリスク認知、将来世代期待、社会的便益認知、手続き的公正設問では社会的便益認知と信頼、分配的公正設問では不衡平感、関心、社会的便益認知が第二階層に抽出された（成果3-8）。

表3.1 意見集約型選好と意見反映型選好と各因子の関連（標準化偏回帰係数；95%信頼区間）
（成果3-10）

	意見集約型選好	意見反映型選好
知識	-0.06 (-0.13-0.01)	-0.02 (-0.09-0.04)
関心	0.10 (0.03-0.17)	0.18 (0.11-0.25)
個人的便益認知	-0.07 (-0.15-0.01)	-0.15 (-0.23--0.07)
社会的便益認知	0.14 (0.05-0.22)	0.14 (0.05-0.23)
将来世代期待	-0.08 (-0.15-0.00)	-0.09 (-0.17--0.02)
保護価値	-0.02 (-0.11-0.06)	-0.09 (-0.17--0.01)
年齢	-0.15 (-0.23--0.06)	-0.13 (-0.21--0.04)
女性（参照：男性）	-0.06 (-0.14-0.01)	-0.04 (-0.11-0.03)
その他（参照：男性）	-0.08 (-0.15--0.02)	-0.04 (-0.11-0.02)
既婚（参照：未婚）	0.00 (-0.12-0.12)	-0.02 (-0.14-0.10)
離婚・死別（参照：未婚）	0.02 (-0.09-0.12)	-0.01 (-0.11-0.09)
子供あり（参照：なし）	-0.04 (-0.15-0.06)	-0.01 (-0.12-0.09)
自営業（参照：会社員等）	-0.03 (-0.10-0.04)	-0.01 (-0.08-0.07)
その他（参照：会社員など）	-0.05 (-0.12-0.03)	-0.06 (-0.14-0.02)

本研究により、手続き的公正や分配的公正を担保したうえで最終処分場の受け入れ先を決定することの重要性が示された。手続き的公正、分配的公正設問のいずれにおいても、社会的便益認知との強い関連が共通的に見られた。したがって、最終処分受け入れを進める際に、社会的便益に関して議論することが重要であると考えられた。一方、手続き的公正を担保した際には、受け入れの高まりは若者で顕著であったが、分配的公正設問では強い関連性は見られなかった。これに対し、保護価値との関連は手続き的公正を担保した際には見られず、分配的公正を担保する際において関連があったことから、保護価値を緩和することは、特に分配的公正を担保するうえで重要だと考えられた。

また、受け入れの決定プロセスは、保護価値が上位項目として抽出され、その後、手続き的公正や分配的公正を担保した状況に応じて、受け入れに影響を及ぼす因子が異なることが示唆された。これらの結果は、グループに応じたコミュニケーションの意義を示している。

（1-A-2）県外最終処分に関するオンラインアンケート

オンラインアンケート1：都市部市民への県外最終処分への賛否および社会受容性の把握

県外最終処分への賛否および社会受容性の把握を目的とした都市部市民2000人（関西1000人、関東1000人）を対象としたオンラインアンケートの結果、回答者の6割以上が県外での最終処分に賛成していることが明らかとなった。震災への興味、除染と最終処分の知識、最終処分への賛成度は福島に近い関東のほうが関西より高いが、最終処分のリスク認知、不衡平感、保護価値は、地域による差がなかった。最終処分への賛成度はリスク認知、不衡平感、保護価値と負の相関があり、震災への興味、除染と最終処分の知識とは正の相関があった（表3.2）。道徳基盤尺度に基づき、回答者を意思決定に道徳的規範を重視するグループとあまり重視しないグループ（重視しないグループ）に分けると、県外最終処分への賛成度とリスク認知、不衡平感、保護価値の影響は、道徳的規範を重視するグループのほうが重視しないグループより大きく、震災への興味、除染や最終処分の知識の影響は、道徳的規範を重視するグループより重視しないグループのほうが大きかった。自由記述から、最終処分への賛成者の回答に特徴的な頻出単語は「日本」「負担」「仕方がない」であり、負担の分かち合いに焦点をあてる傾向があった。反対者の回答に特徴的な頻出単語は「県内」「納得」「知らない」であり、福島県外での処分を正当化する根拠に納得しておらず、また情報開示や意思決定の透明性の欠如に不満を抱いていることが示された（成果3-11）。

表3.2 因子間の相関係数（成果3-11）

関東 関西	1. 震災 への興味	1. 震災 への興味	3. 最終 処分の知 識	4. 最終 処分への 賛成度	5. リス ク認知	6. 不衡 平感	7. 保護 価値
1. 震災への興味	-	0.50**	0.37**	0.27**	0.24**	0.11**	-0.01
2. 除染の知識	0.56**	-	0.51**	0.24**	0.16**	0.07*	-0.07*
3. 最終処分の知識	0.43**	0.57**	-	0.19**	0.06	0.06	0.04
4. 最終処分への賛成度	0.25**	0.27**	0.19**	-	-0.17**	-0.25**	-0.35**
5. リスク認知	0.22**	0.17**	0.01	-0.12**	-	0.68**	0.51**
6. 不衡平感	0.10*	0.08*	-0.03	-0.19**	0.69**	-	0.69**
7. 保護価値	-0.01	-0.04	-0.01	-0.29**	0.53**	0.69**	-

値はスピアマンの順位相関係数。対角線より右上の段が関東エリア、左下が関西エリア

** $p < 0.001$, * $p < 0.05$

オンラインアンケート2：減容化シナリオの社会受容性評価

減容化技術適用に関する社会受容性における重要要素の理解を目的とした関東在住の都市部市民約2000人を対象としたオンラインアンケートを実施した。シナリオはテーマ1と連携し、テーマ1で検討した減容化シナリオに基づく処分物の量と放射能濃度を用いた。コンジョイント分析の結果、処分物の量と放射能濃度は低下するほど回答者の選好が高くなった（図3.6）。処分場の種類は、管理がより厳重な処分場で選好が高かった。性別や年代によって3要素の選好度および相対的重要性は異なった。女性のほうが男性より選好が明確であり、少量、低放射能、管理が厳重な処分施設を好むことから、安全性を重視する傾向が示唆された。年代別では、年代が高くなるほど選好が明確になる傾向がみられた。総合的には、回答者は減容化技術の適用による処分量の低減効果や、より管理が重要な処分場の採用より、放射能濃度が低いことを重要視したため、回答者の選好は減容化の程度を抑えたシナリオほど高かった。この結果は、減容化による放射能濃度の増加に対する人々の抵抗感や忌避感が、処分場低減のメリットで相殺されづらいことを示している（成果3-9）。

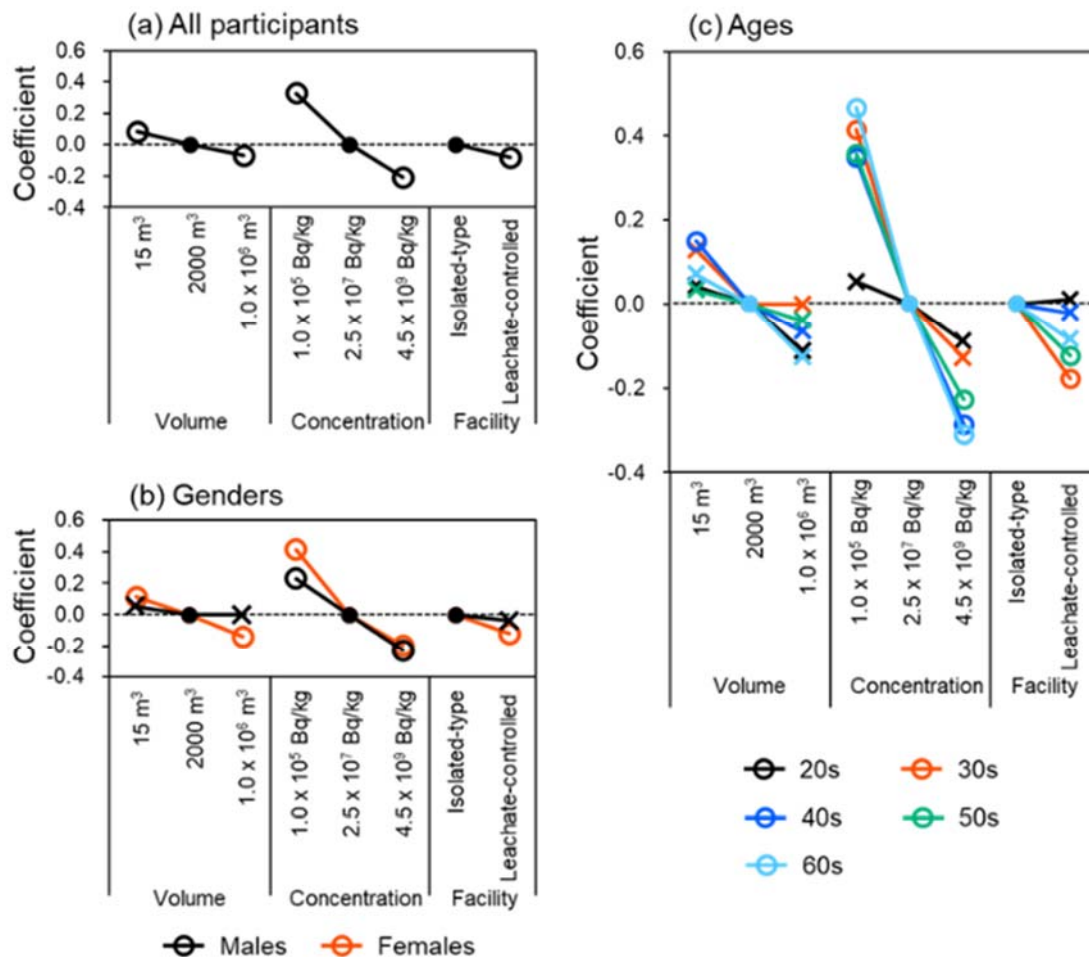


図3.6 階層別の各要素に対する選好

(a) 全回答者、(b) 性別、(c) 年齢。処分量 2000m^3 、処分物の放射能濃度 $2.5 \times 10^7 \text{ Bq/kg}$ 、遮断型相当処分場の選好を基準とし、黒丸で表示した。白丸は基準から統計的に有意な差がある、×印は統計的に有意な差がないことを示す。(成果3-9)

(1-A-3) 県外最終処分に関する都市部における市民、学生への半構造化面接・分析

オンラインアンケート(成果3-11)で県外最終処分政策に賛成・反対と回答した各20人(計40人)の市民に対して実施したオンラインインタビュー(半構造化面接)の結果、「福島県外での処分方針に完全に賛成」が11名、「条件付きで賛成」が18名「個人的には反対だが条件付きで受け入れる(部分的反対派)」が6名「完全に反対」が5名であった。条件付きで賛成とは、例えば「絶対に安全であることが証明できれば」「全員が納得するなら」である。「個人的には反対だが条件付きで受け入れる(部分的反対派)」は、「自分は反対だが住民投票で決まれば受け入れて構わない」であった。約4割の回答者は事前アンケートとインタビューを通じて最終処分に対する意見が変化し、インタビューを通じて県外最終処分に肯定的な評価となる傾向が確認された。

回答の話題の多くが、安全性(除去土壌等を県外に持ち出す際の安全性への懸念)、手続き的公正(県外最終処分の手続き的公正)、負担の分かち合い(福島の負担を全国で分かち合うという視点)、政府への不信感、最終処分の経済的合理性に関する話題であった。最終処分政策への賛否に関係するトピックは上記の5種に集約されたため、理論的飽和に達したと判断された。これらの言及は、地域、性別、年代による大きな偏りがなかった(表3.3)。県外最終処分に対する賛成者の意見は、福島の負担を皆で分かち合う、最不遇者に配慮するロールズ的なマキシミン原理を含む視点が特徴的であり、反対者は政府への不信感についての言及が特徴的であった。最終処分の安全性と経済性の最適化に関する功利主義的視点の発言は、政策への賛否に関らず言及された(図3.7)。本結果は、最終処分に向け行政が特に配慮すべき事項を示している(成果3-13)。

表3.3 意見、居住地域、性別、年齢ごとのトピックの出現ケース*数と発言者数（成果3-13）

		安全性	手続き的公正	負担の分かち合い	政府への不信感	経済性
関東	ケース数 (%)	174 (24.9%)	96 (13.7%)	88 (12.6%)	31 (4.4%)	15 (2.2%)
	発言者数 (%)	20 (100.0%)	20 (100.0%)	20 (100.0%)	13 (65.0%)	7 (35.5%)
関西	ケース数 (%)	164 (22.2%)	110 (14.9%)	103 (13.9%)	66 (8.9%)	34 (4.6%)
	発言者数 (%)	20 (100.0%)	19 (93.3%)	20 (100.0%)	17 (85.0%)	14 (70.0%)
男	ケース数 (%)	218 (23.3%)	151 (16.2%)	127 (13.6%)	72 (7.7%)	29 (3.1%)
	発言者数 (%)	25 (100.0%)	25 (100.0%)	25 (100%)	19 (76.0%)	14 (56.0%)
女	ケース数 (%)	120 (23.9%)	55 (10.9%)	64 (12.7%)	25 (5.0%)	20 (4.0%)
	発言者数 (%)	15 (100.0%)	14 (93.3%)	15 (100%)	11 (73.3%)	7 (46.7%)
20代	ケース数 (%)	51 (20.1%)	26 (10.2%)	25 (9.8%)	6 (2.4%)	5 (2.0%)
	発言者数 (%)	6 (100.0%)	6 (100.0%)	6 (100.0%)	3 (50.0%)	2 (33.3%)
30代	ケース数 (%)	83 (22.9%)	62 (17.1%)	56 (15.4%)	39 (10.7%)	6 (1.7%)
	発言者数 (%)	9 (100.0%)	9 (100.0%)	9 (100.0%)	8 (88.9%)	5 (55.6%)
40代	ケース数 (%)	51 (18.5%)	28 (10.1%)	31 (11.2%)	8 (2.9%)	7 (2.5%)
	発言者数 (%)	7 (100.0%)	6 (85.7%)	7 (100.0%)	5 (71.4%)	3 (42.9%)
50代	ケース数 (%)	76 (25.7%)	54 (18.2%)	50 (16.9%)	30 (10.1%)	25 (8.5%)
	発言者数 (%)	10 (100.0%)	10 (100.0%)	10 (100.0%)	9 (90.0%)	8 (80.0%)
60代	ケース数 (%)	77 (30.9%)	36 (14.5%)	29 (11.7%)	14 (5.6%)	6 (2.4%)
	発言者数 (%)	8 (100.0%)	8 (100.0%)	8 (100.0%)	5 (62.5%)	3 (37.5%)
計	ケース数 (%)	338 (23.5%)	206 (14.3%)	191 (13.3%)	97 (6.8%)	49 (3.4%)
	発言者数 (%)	40 (100.0%)	39 (97.5%)	40 (100.0%)	30 (75.0%)	21 (52.5%)

*内容にまとまりがある文章の塊で、話の内容が大きく変わる時およびインタビュアーの返事で区切られる。

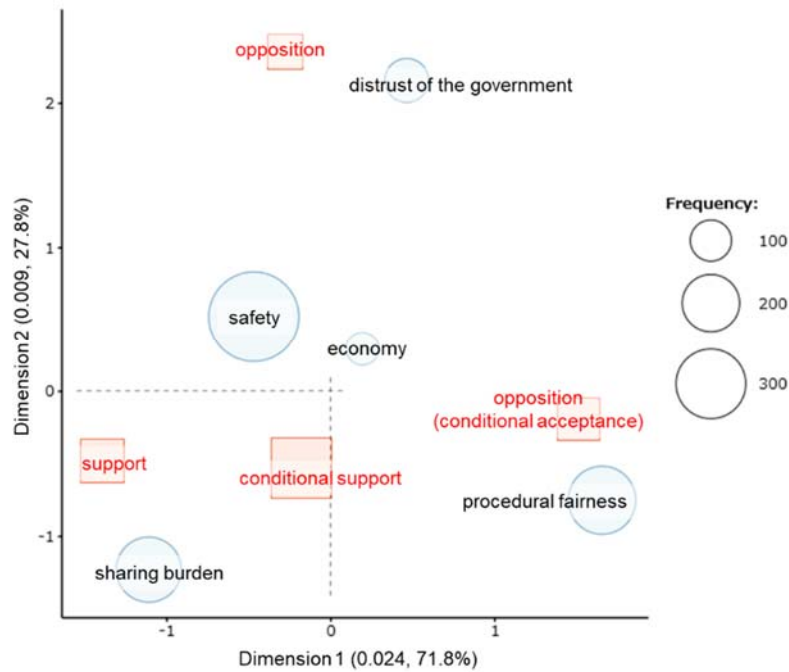


図3.7 最終処分に対する意見を外部変数とした話題の対応分析（成果3-13）

（1-A-4）共分散構造解析による自身の近隣での最終処分場立地への賛否への影響因子の評価

本研究開始前に実施した「福島県外最終処分場の立地受容性に対する影響因子の評価を行うためのオンラインアンケート調査」の結果に対して共分散構造解析および層別解析を実施した結果を図3.8に示す。「近隣での最終処分に対する賛否」に対しては「将来世代等からの期待」、「環境省、自治体への信頼」、「社会的便益」で正の影響を与え、「恐ろしさ」が負の影響を与えていた。また「環境省、自治体への信頼」は直接的に「近隣での最終処分に対する賛否」へ影響を与えるのみでなく、「個人的便益」、「社会的便益」、「将来世代等からの期待」を高め、「恐ろしさ」を低める影響を与えており、間接的にも「近隣での最終処分に対する賛否」を高めていることが示唆された。最終処分対象物が除去土壌の場合は特に「社会的便益」による正の影響が大きく、焼却灰の場合は「環境省、自治体への信頼」、「社会的便益」による正の影響が同程度であった（成果3-3）。

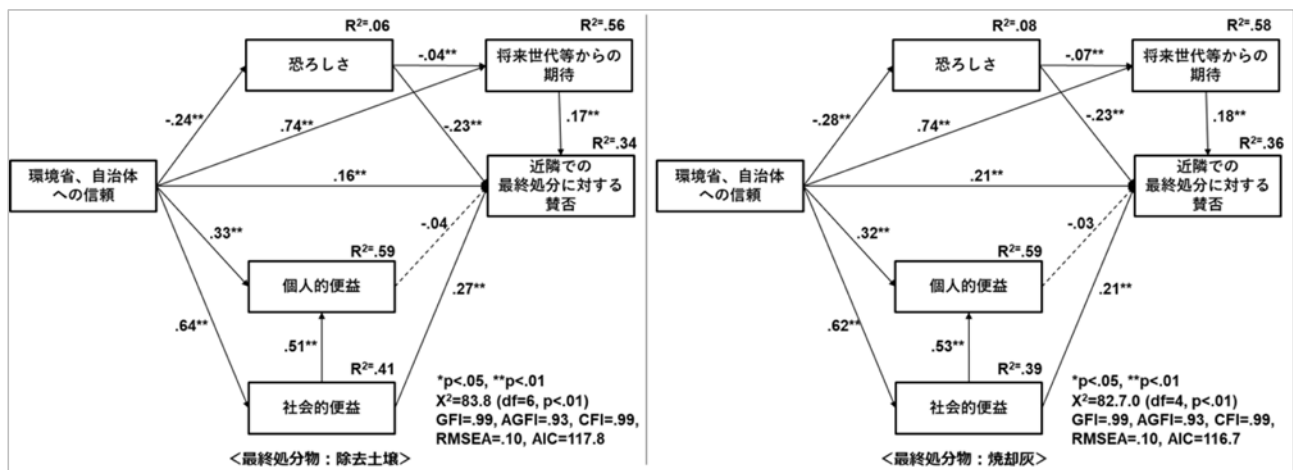


図3.8 除去土壌（左）および焼却灰（右）の最終処分に対する賛否への影響因子（成果3-3）

（1-A-5）最終処分等の社会受容性に関する国際オンラインアンケートの実施・分析

日本・フランス・フィンランドで実施した、仮想的な原子力災害における除去土壌等の最終処分等の社会受容性に関するオンラインアンケートの結果について、（1）基本情報、（2）アフターコーディングによる自由記述の解析、（3）階層クラスター分析に基づく環境・社会・経済的な視点からの重要事項の抽出と分類の結果を示す。

まず、居住地付近での除去土壌等の最終処分の賛否を問うたところ、「反対である」、「どちらかといえば反対である」の合計が、フランスは80%以上であり、フィンランド・日本の70%を上回った（図3.9）。また、最終処分の実施主体としての政府への信頼度合いに関しては、「信頼する」、「どちらかといえば信頼する」の割合は、フィンランドが最も高く（40%）、フランス（約25%）、日本（約20%）は低かった（図3.10、成果92）。

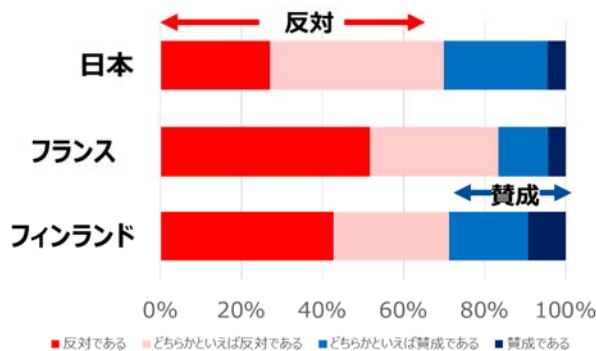


図3.9 居住地付近での最終処分の賛否

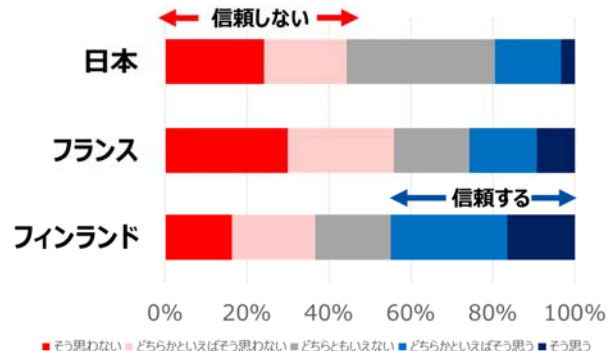


図3.10 最終処分実施主体としての政府への信頼

次に、県外最終処分の賛否の理由に関する自由記述を対象として、アフターコーディングに基づく分類を実施した。最終的には、①リスク認知（安全・健康・環境影響、不安・嫌悪感）、②個人的便益（経済的便益と悪影響）、③価値観（保護価値や原発反対）、④処分場の立地条件（原発関連地域での処分や過疎地域での処分）、⑤仕方ない（消極的な受容）、⑥公正（負担の分かち合い、手続き的構成）、⑦世代間への期待、⑧（行政や政治家への）信頼、⑨その他、の9分類となった。既往の除去土壌の最終処分に関する既往研究と比較すると、「処分場の立地条件」と「仕方ない」の2つが新たな要素として確認された。

アフターコーディングで作成した9つの分類をもとにした最終処分の賛否の理由となる重要要素の国際比較結果を図3.11に示す。最大の反対の理由は、日本とフランスではリスク認知、フィンランドでは処分場の立地条件だった。一方、賛成の理由としては、フランスとフィンランドはリスク認知、日本は仕方ない（消極的な受容）が最も多かった。日本で賛成の理由として「仕方ない」に関する記述を確認すると、最終処分の必要性や責任に基づく記述が最も多く確認された（成果3-92、109）。

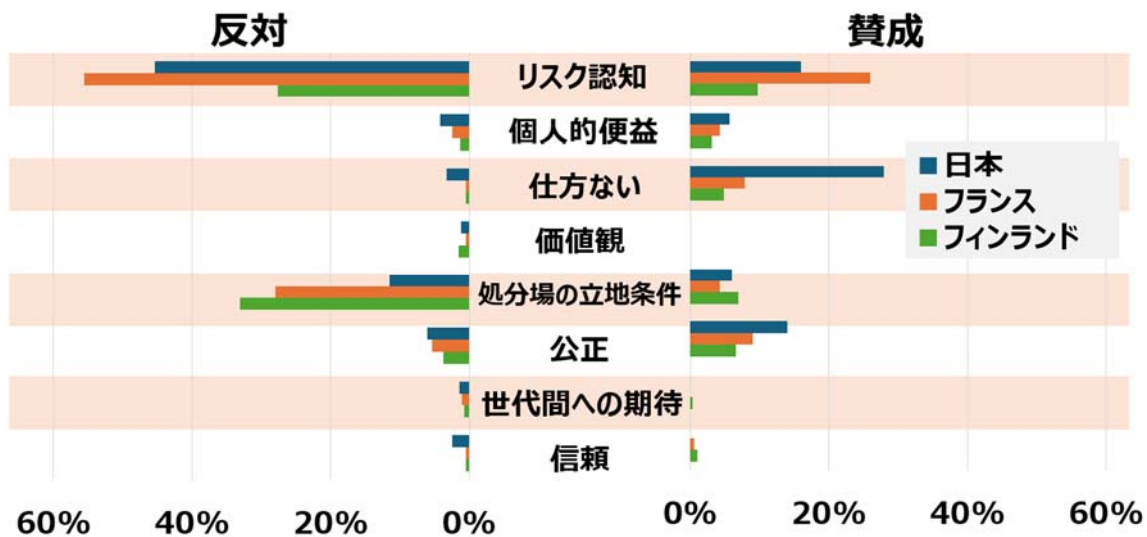


図3.11 賛否の理由となる重要要素の国際比較

続いて、異なる質問項目（環境・社会・経済の各側面5項目の指標を準備し、全15項目から回答者が重要と思う3つを選択してもらう）の回答結果を用いて階層クラスター分析を実施した。選択肢は選んだ場合を1、選ばなかった場合を0とし、得点変換した。クラスター分析は、Ward法、ユークリッド平方距離を用いた。クラスター数は2～8で検討し、解釈性からクラスター数は6つとなった。6つのクラスターとは、手続き的公正、環境影響、廃棄物・風評被害、期間、分配的公正、経済的利益である。最も人数の多かったのはクラスター2（環境影響）であった（成果3-103）。

次に、国と6つのクラスターの関連の結果を図3.12に示す。フィンランドは、クラスター1（手続き的公正）やクラスター6（経済的利益）が多く、クラスター2（環境影響）が少ないのが特徴であった。フランス

はクラスター3（廃棄物・風評）が多く、クラスター1（手続き的公正）やクラスター5（分配的公正）が少ないのが特徴であった。日本は比較的3国の中で中庸であった（成果3-103）。

Cluster	1 Procedural Fairness	2 Environme ntal impact	3 Waste and rumor	4 Period	5 Distributive Fairness	6 Benefit
Japan	73 (7.3%) ^a	439 (43.9%) ^a	323 (32.3%) ^a	44 (4.4%) ^a	79 (7.9%) ^a	42 (4.2%) ^a
Finland	114 (11.4%) ^b	362 (36.2%) ^b	310 (31.0%) ^a	60 (6.0%) ^a	84 (8.4%) ^a	70 (7.0%) ^b
France	32 (3.2%) ^c	446 (44.6%) ^a	393 (39.3%) ^b	38 (3.8%) ^a	46 (4.6%) ^b	45 (4.5%) ^a
Total	219 (7.3%)	1247 (41.6%)	1026 (34.2%)	142 (4.7%)	209 (7.0%)	157 (5.2%)

Different alphabets represent P<0.05.

図3.12 クラスター分析結果と各国の特徴

（1-A-6）県外最終処分シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出のまとめ

研究内容①～④及びサブテーマ2の結果を元に、最終処分場の受容性とリスクやベネフィット認知、信頼、将来世代からの期待などとの関連を評価した結果を表3.4に示す（成果3-8）。

表3.4 アンケートや半構造化面接から確認された最終処分場の受容における重要事項

内容		結果	論拠
最終処分のシナリオにおける社会受容性	意思決定プロセス	最終処分受け入れに際し、トップダウン型よりも意見集約型や意見反映型の意思決定のほうが社会受容が高い。このことは手続き的な公正の重要性を示している。	成果10
	最終処分場の箇所数	最終処分受け入れに際し、1箇所よりも、8箇所、46箇所のほうが社会受容が高い。このことは分配的な公正が社会受容において重要なことを示している。なお、最終処分場を46箇所作することは現実的には難しいことは認識しているが、再生利用も含めて複数箇所での取り組みを進めることが重要である。	成果10
最終処分の賛否に対する影響因子	リスク認知*	・最終処分に関し、リスク認知が高いほど反対意見を持つ傾向がある。 ・最終処分受け入れに関し、リスク認知が高いほど受容しない傾向がある。	成果3、11
	ベネフィット認知**	・最終処分受け入れに関し、社会的便益を重視しているほど受容しやすい傾向がある。個人的便益と最終処分受け入れの関連性は低い。	成果3
	政府への信頼	・県外での最終処分に関し、政府への不信任は反対意見につながっている。 ・最終処分受け入れに関し、政府（環境省）への信頼が高いほど受容する傾向がある。	成果3
	将来世代からの期待***	・最終処分受け入れに関し、将来世代からの期待が高いほど受容する傾向がある。	成果3

*リスク認知が高い人とは、最終処分や放射性物質に対してリスクを感じる傾向が高い人である。質問例：除去土壌等の最終処分を行うことは直感的に恐ろしいと思う

**ベネフィット認知は社会的便益と個人的便益に分けられる。社会的便益（個人的便益）の認知が高い人は、最終処分の実施が社会的（個人的）な便益になると考える傾向にある人である。質問例：処分場の受け入れは日本社会全体にとって便益になる

***将来世代からの期待が高いと感じる人は、将来世代から最終処分を実施するよう期待されていると考える人である。質問例：自分の祖先から処分場を受け入れるよう期待されていると思う

(1-B-1) 中間貯蔵施設周辺復興地域を対象とした聞き取り調査に基づく記憶地図・デジタルコンテンツ化
(3) 聞き取り調査に基づく社会景観の抽出

中間貯蔵施設周辺復興地域として、福島第一原子力発電所に隣接し、地区の大部分が中間貯蔵施設内に立地する双葉町細谷地区（図 3.13）を対象として、現地踏査や地図を用いた聞き取り調査、アンケート調査を実施することで、地域の重要な社会景観の抽出を試みた。

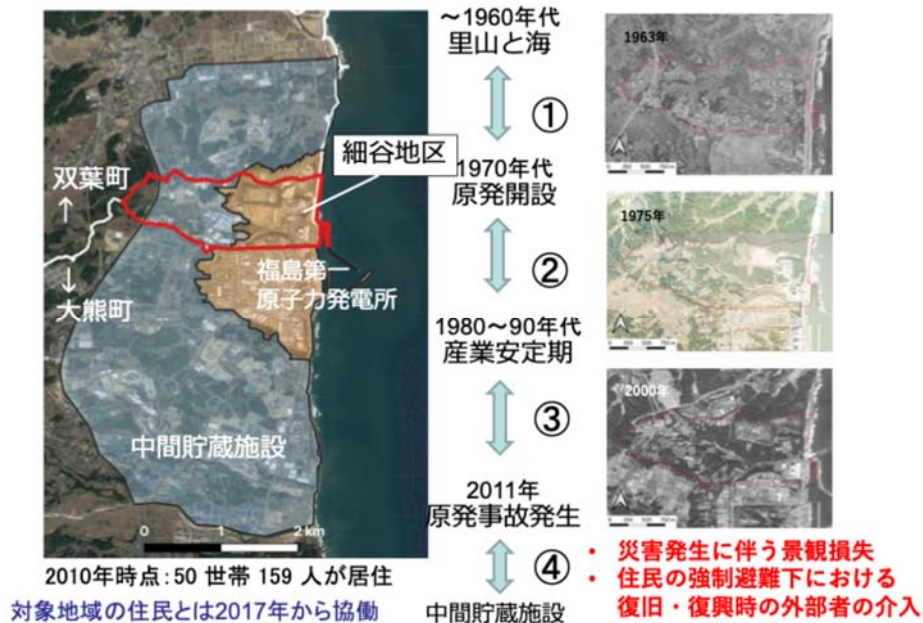


図 3.13 調査対象地（福島県双葉町細谷地区）

KH Coder を用いたテキスト分析および「思い出深い場所」について明示的に質問したアンケートで得られた地域の重要な社会景観を表 3.4 に示す。評価は、語の結節数、記憶の時代の幅、言及人数の 3 つの視点から実施し、25 箇所の場所から重要な社会景観を選定した（表 3.5）。

語の結節数では、田畑や山林・通学路など生活の中で思い出が多い場所が、記憶の時代の幅では、共同育苗所・工場・原発など仕事の場所が、言及人数では、自宅敷地内・山林・細谷地区など生活の中で長い時間を過ごした場所が選ばれた。また、「思い出深い場所」について明示的に質問したアンケートでは、公民館・神社・海・田畑・山林の順で場所が選定され、社会的な節点となる場所が上位となった。

それぞれの調査手法により、地域の生活・生業に密着した社会景観や社会的な節点となる場所を特定できることを明らかにした（成果 31、32）。

表 3.5 双葉町細谷地区住民を対象とした生業・生活調査の聞き取り調査のテキスト分析から得られた社会景観と「思い出深い場所」に関する直接アンケートの結果の比較

テキスト分析			直接アンケート
語の結節数多い順	記憶の時代の幅が長い順	言及した人数が多い順	点数順
通学路	共同育苗所	自宅敷地内	公民館
山林	東北レミコン双葉工場	山林	羽山神社
田畑	原発	細谷地区	細谷の海
自宅敷地内	羽山神社	田畑	田畑
自宅	自宅敷地内	原発構内	山林
パイプハウス	細谷地区	自宅	屯所
原発構内	公民館	ため池	ため池
細谷川	田畑	通学路	共同育苗所
公民館	パイプハウス	屯所	細谷川
細谷地区	細谷川	公民館	飛行場跡地

(2) 可視化とデジタルコンテンツ化

対話をした地域住民から「細谷地区の大部分は中間貯蔵施設になってしまった。景観は変わり、自由に立ち入りできなくなった。故郷は失われた。記憶と記録を残したい。」との要望があり、それぞれの場所につ

いての聞き取り調査の結果を整理し、「大字誌 細谷」として整理した(図 3.14)。「大字誌 細谷」は印刷し、細谷地区住民、双葉町、福島県図書館、JESCO、環境省等へ配布した。

さらに、デジタルコンテンツ化として、WEB-3 次元地理空間情報ソフトウェアを用いた整理(図 3.15 左: 成果 33)、3 次元立体模型図とプロジェクションマッピング(以下、3 次元プロジェクションマッピング、図 3.15 右)、地域住民の要望を踏まえ地域の記録を残した「大字誌 細谷」のデジタル版)の作成(図 3.14)を実施した(成果 69、95)。3 次元プロジェクションマッピングは、テーマ 2 と連携して、テーマ 2 が撮影をした中間貯蔵施設内の野生生物動画も組み込んだ(図 3.15: 右)。



図 3.14 大字誌細谷(約 39 頁: デジタル及びアナログ冊子として掲載)



図 3.15 デジタルコンテンツ(左: WEB-3次元地理空間情報ソフトウェア、右: 3次元立体模型図・プロジェクションマッピング、コンテンツはテーマ2と連携)

(2) 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析(サブテーマ1)

(2-A) 県外最終処分に対する多面的評価法によるシナリオ分析

(2-A-1) 県外最終処分の各シナリオに適用可能な新たな多面的評価方法の開発

除去土壌等の県外最終処分における倫理的側面・手続き的公正性を組み込んだ多面的評価法に向けて、10名の仮想ステークホルダーへのインタビューの回答に対して質的分析を実施した。得られた重要事項は、SR指標(環境・社会・経済)を用いて整理した。図3.16に属性別の整理結果を示す。これらの結果、社会面が特に重要視されており、「人の健康と安全」、「倫理と公正」および「地域社会とコミュニティの参画」はほぼすべての仮想ステークホルダーから重要視することが確認された。また、主なステークホルダーの意見として、「自身の意見よりも共同体内の意見を優先すること(共同体で共有し難い選択肢は好まれないこと)」、「健康リスクがないことは除去土壌を受入れるための必須条件ではあるがそれだけでは十分な理由にはならない」などが挙げられた(成果41、53)。また2023年7月には有識者としてフランスのThierry SCHNEIDER氏(CEPN)によるレビューを受けた。

環境	福島県外		福島県内		経済	福島県外		福島県内		社会	福島県外		福島県内	
	行政	市民	行政	市民		行政	市民	行政	市民		行政	市民	行政	市民
大気への放出	×	×	×	×	直接的な 経済的コストと便益	○	○	×	×	人の健康と 安全	○	○	○	○
土壌と土地の状態	×	×	×	×	間接的な 経済的コストと便益	○	×	○	○	倫理と公正	○	○	○	○
地下水と地表水	×	×	×	×	雇用と 雇用資本	×	×	○	×	近隣地域と 地域性	○	○	×	×
生態系	×	×	×	×	誘発される 経済コストと経済効果	○	×	×	○	地域社会と コミュニティの参画	○	○	○	○
資源と廃棄物	○	○	×	○	プロジェクトの寿命と 柔軟性	○	○	○	○	不確実性 と証拠	○	×	○	○

図 3.16 インタビューの質的解析結果（属性別 SR の各指標の重要事項）（成果 41、53）

また、福島第一原発事故後の双葉町における住民の関心の変化を明らかにすることを目的に、2015年から2022年にかけての住民懇談会議事録（804件の発言）をテキスト分析により定量的に解析した。生活再建に関連する関心が、復興政策の進行や生活の変化に伴いどのように変化したかを、時間軸および区域分類（帰還可能区域、制限区域、中間貯蔵施設区域）ごとに検討した。分析の結果、住民の関心は時間とともに変化し、当初は中間貯蔵施設やインフラに関する関心が高かったが、2021年以降は「文化」、「自然」、「生活の質」など精神的・文化的側面への関心が増加した。これは、自然災害の被災地と同様に、ニーズが物質的支援から精神的充足へと移行する傾向を示しているが、原子力災害においてはその移行がより緩慢で複雑である点が特徴的である。区域別では、帰還可能区域では「文化」や「農業」への関心が高く、制限区域では「帰還」、中間貯蔵施設区域では「安全性」や「施設運用の影響」が重視されていた。また、「インフラ」、「除染」、「補償」に関する懸念は全期間・全地域で一貫して見られ、住民の長期的な関心事項であることが確認された。本研究は、住民の多様に変化する関心を把握し、それに即した復興計画や長期的支援策を立案する上で有益な示唆を提供している（成果3-15）。

（2-A-2）多面的評価の実践とステークホルダーによる受容性メカニズムの質的分析

県外最終処分に関するステークホルダーの受容性メカニズムの質的分析をするために、特徴が異なる3つの農村地区（A地区（10名）、B地区（3名）、C地区（2名））において、半構造化インタビュー、アンケート、ワークショップを実施した。また、A地区においては、アンケートで、リスク認知、分配的公正、手続き的公正、信頼、個人的便益、社会的便益により、県外最終処分の社会受容性がどのように変化をするか確認した。

A地区の10名を対象とした受容性メカニズムの評価結果を図3.17に示す。縦軸に「政策への賛否（反対-賛成）」を、横軸に「行政への信頼度（不信-信頼）」をとり、ステークホルダー（参加者）ごとの意識傾向を四つの象限に分類し、因子別の情報（リスク認知・手続き的公正・信頼・個人的便益、社会的便益）が、どの程度受容意識を動かし得るかを比較分析した。

まず、同一コミュニティかつ同一役割の住民であっても、政策賛否と行政信頼度の組み合わせは均一ではなく、四象限すべてに相当する参加者が存在した。これは「地域内での合意形成」において、同質集団であっても多層的な立場のズレを前提に議論設計する必要を示唆している。

次に、因子別の情報（リスク認知・手続き的公正・信頼・個人的便益、社会的快適便益）の受容意識の変化を図3.17に示した（青は受容意識を高めた項目、赤は受容意識を高めなかった項目である）（成果3-96、97）。以下に簡単に整理する。

- ・ リスク認知：もっとも広い層に影響を及ぼし、政策反対かつ行政不信の参加者を含め、全象限で受容意識を高める可能性が示された。
- ・ 個人的便益：既往研究で限定的効果とされることが多い要因だが、当事者性が喚起された本調査では、安全性に次いで大きな影響を与え、二次的な動機付け手段として有効であることが分かった。
- ・ 手続き的公正：透明性や参画機会の確保は一定の効果を示すものの、リスク認知や個人的便益と比べると受容意識を高める範囲は限定的だった。特に行政不信層では、手続きの説明だけでは意識変化が乏しく、「形式的公正」に終始する危険性がある。
- ・ 信頼：行政信頼度の高い参加者には一定の効果を見せたものの、もともと不信感を抱く層ではほとんど受容意識を動かさず、「信頼醸成」施策は前提として一定の信頼基盤がなければ機能しにくいことが示された。

各ファクターの受容意識への効果

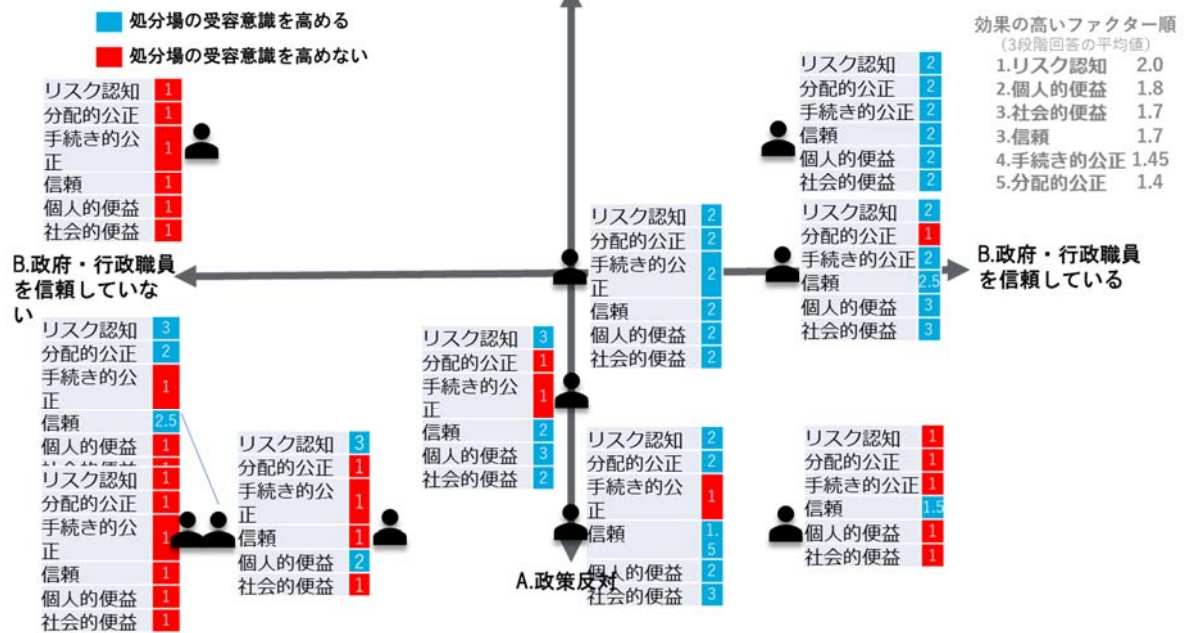


図3.17 A地区を対象として実施したアンケート・半構造化インタビューの2軸分析結果（成果3-96、97）

次に、A地区、B地区、C地区の比較結果を述べる。A地区、B地区では、反対の意見が多かったが、C地区では、「絶対的な安全性が科学的に証明され、情報が透明に公開されるならば、放射性物質の受け入れに受容の余地がある」との発言も確認された。

表3.4で整理されたアンケートや半構造化面接から確認された最終処分場の受容における重要事項との関連を見ると、信頼醸成（行政への不信感）、リスク認知（A地区、B地区では懸念事項として、C地区では科学的な情報に基づく安全性と情報公開）、公平性（C地区では最終処分は全国で公平に負担すべき）等の言及が確認された。一方、経済面については、経済的・地域振興的インセンティブが言及された地区があった一方（A地区）、経済的な補助金は必ずしも受け入れの動機とはならないとの発言（C地区）もあった。

A地区、B地区、C地区の分析結果から、立地条件や過去の経験、原発に対する意識等が異なる3地域で詳細なインタビューを行うことで、一般的に学術的に述べられている受容性はある程度有効ではありつつも、地域によって少なくない差が見られること確認された。

具体的な立地選定の段階においては、これまでの量的調査で得られた因子効果を踏まえつつ、当事者性軸で再評価するプロセスの導入が求められる。最後に、政策的に検討すべきことを以下に整理した。

- ・ 中核施策は「リスク低減・安全性担保」：全地域に共通してもっとも効果が大きい。
- ・ 当事者性を喚起する便益策の併用：地域振興や公平負担の条件付けなど、地域の文脈に応じたインセンティブ提示が二次的動機づけとして有効。
- ・ 信頼醸成策は選択的に：不信層には第三者証明や過去経験へのケアを組み込む必要がある。
- ・ 公正性は補完的役割：手続き的・分配的公正は、リスク・便益・信頼を支える“安全網”として位置づけ、単独施策とはしない。
- ・ 地域コンテキストの反映：地形リスク・過去紛争・インフラ制約・環境意識など、各地区の歴史・地理・社会経験を合意形成設計に組み込むことで、施策の実効性を高める必要がある。

(2-B) 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックの重要指標抽出と多面的評価法の適用

(2-B-1) 大規模環境問題における合意形成や土地利用・ランドスケープの国際事例調査

中間貯蔵施設周辺地域の残されるべき社会景観の基礎的なデータ収集を行うため、チョルノービリ事故（欧州）、エデン・プロジェクト（英国）、ハンフォード・サイト（米国）、モエレ沼公園（北海道）、足尾銅山（関東地方）、大久野島（中国地方）を対象とした文献調査を実施した。大規模環境汚染や開発等の影響を受けた土地のランドスケープやその後と活用方法の事例調査を実施するとともに、福島第一原子力発電所の事故との類似性の観点から各事例を比較した。大規模な環境汚染からの復旧・復興事例を比較したところ、ランドスケープに大きな手が加えられ当時の面影が感じられない観光地や復旧がなされた事例、汚染や当時の様子がそのまま感じられる事例があり、将来デザイン利用を適切に描くことが重要であることが示唆された。

また、原子力災害からの復興プロセスにおける合意形成等に関する重要事項を抽出するため、関連する 5 つの国際ガイドライン（ICRP、OECD/NEA、IAEA、IFRC）及び 6 カ国（7 つ）のガイドラインを対象に、持続可能性の視点（環境（生態系・廃棄物）、生命（土地、健康、食物、精神的な影響）、倫理（ステークホルダーインボルブメント、放射線防護原則）、経済）に関してコーディングを実施し、テキストマイニングを実施した。その結果を図 3.18 に示す。現状のガイドラインは、人健康やステークホルダーインボルブメントに関するものが多く、社会的側面に対しては一定の注意が払われていることが確認された（成果 3-12）。

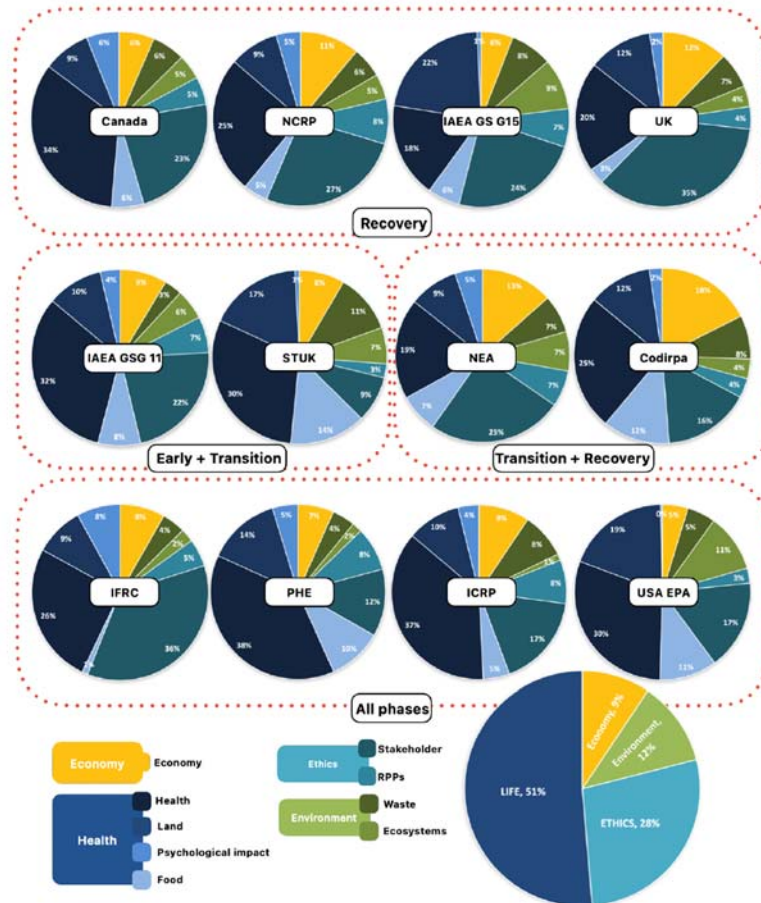


図3.18 原子力災害からの復興プロセスにおける12のガイダンスのテキスト解析結果（成果3-12）

(2-B-2) 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストックに関するワークショップ

中間貯蔵施設立地地域の住民（双葉町細谷地区、郡山地区）、事業者、国、自治体の4者を対象として、現状と将来における地域との関わりについての問いをもとに、自由な発話を行うワークショップによる情報収集やヒアリング調査、文献調査を行った。調査内容を記録し、8つのコーディング（将来への思い、復興に対する言及、地域の文化や記憶、思い出の場所、国、事業者、自治体、住民）に基づくテキスト分析（KH Coderによる分析）することでステークホルダーごとの意見を整理した。

図3.19にステークホルダー別の発言から得られた8つのコードの出現割合を示す。ステークホルダーにより頻出するコードが異なり、郡山地区の住民は「将来への思い」や「思い出の場所」に関する割合が、34.1%、17.6%とそれぞれ高く、インタビュー対象者からはこの地域及び行政区を将来に残していきたいという思いが強く感じられた。一方、細谷地区の住民は「思い出の場所」についての割合が12.7%と高く、そういった場所を大切に考えているが、「将来への思い」が3.8%、「復興に対する言及」が0.9%と低い数値を示している。これは、細谷地区が原発に隣接をしており、かつ空間線量が比較的高いこと、多くの方が国に土地を売却等したことなど、が関連していると考えられる。この傾向は、細谷地区と郡山地区の発言について、共通の単語を示した共起ネットワーク（図3.20）でも確認された。両地区の住民の意見としてともに「残す」という言葉が多く抽出され、住民自身に残したいという思いがある一方で、郡山地区では、「将来」や「造る」といった言葉が確認されたが、細谷地区ではそのような言葉は多く見られなかった。限られたインタビュー人数ではあるが、隣接する地区によって意見の相違が確認され、今後の地区の将来を考える上で重要な要素が抽出された（成果3-17）。

一方、国や事業者からも、住民に関する発言が多く、住民の要望を踏まえた上で将来的な検討を進めることは必須としている。中間貯蔵施設地域の住民の要望先は主に国や事業者であり、地区内の思い出の場所を残してほしい、という共通の思いとともに、地域の将来像に関する具体的な提案を国や事業者に求めている。また、この点において、両者の意識は一定程度一致している可能性がある。現状、地域住民に将来像についてヒアリングを実施するなどの活動はなされていないが、今後、そのような活動が重要になることが示唆された。

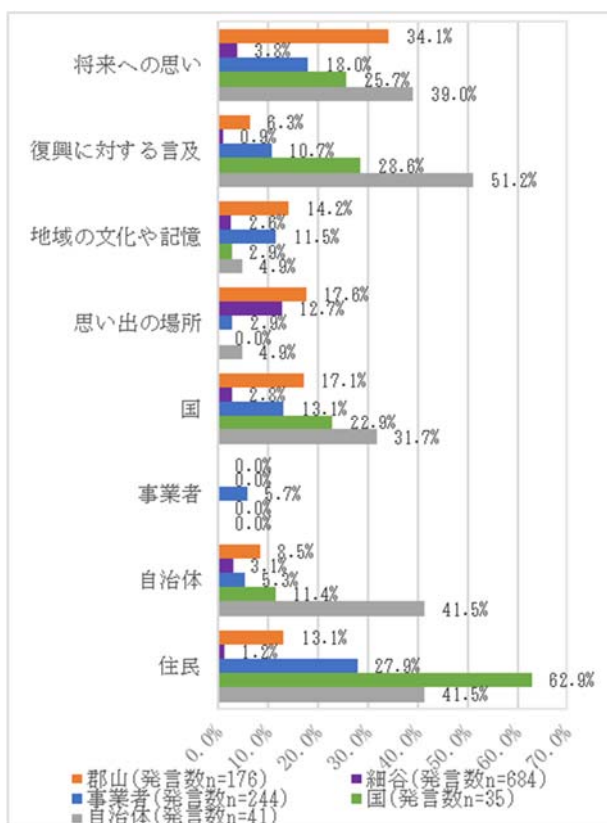


図3.19 発言におけるコードの出現割合

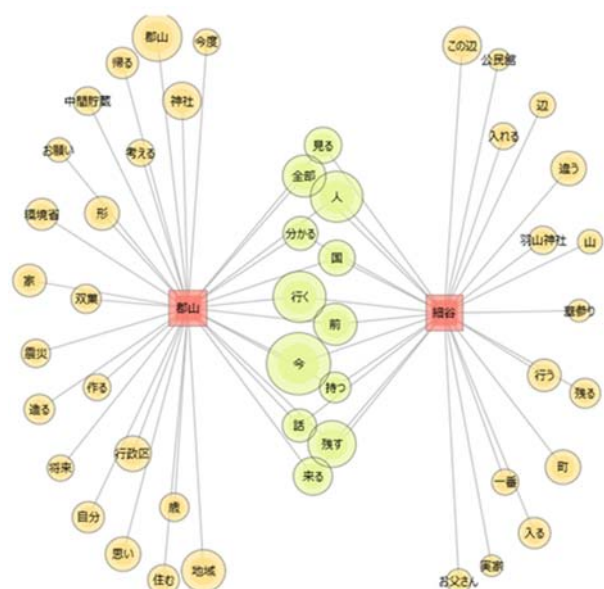


図3.20 住民発言の共起ネットワーク

(2-B-3) 残されるべき社会景観を抽出する方法論の整理

公衆の協力を必要とする調査は、これまで医学、看護学、心理学、経済学、社会学、環境学などの領域で行われてきた。近年では、研究成果の社会実装が求められる中で、その重要性が一層高まっている。一般

に、公衆の協力を必要とする調査手法には、調査票（アンケート）を用いる個別面接法、電話法、留置法、郵送法などがあり、インタビュー手法としては個別インタビュー（個別面接法）、集団面接法、フォーカスグループ（ワークショップ）などが利用される。特に、中間貯蔵施設周辺の復興地域を対象とした社会景観の保全に関する研究では、公衆、特に地域住民からの意見収集が極めて重要である。また、調査の実施自体が対象者との協働を生み出す効果も期待される。

本研究では、まず、一般に、公衆の協力を必要とする調査手法には、調査票（アンケート）を用いる調査、インタビューを用いる手法や調査の実施自体が対象者との協働を生み出す効果を整理した（成果3-5）。

その後、本研究の対象地域である中間貯蔵施設周辺の復興地域（対象地域：双葉町細谷地区（大部分が中間貯蔵施設）、郡山地区（大部分が中間貯蔵施設）、下羽鳥地区（特定復興拠点及び帰還困難区域））において、残されるべき社会景観を抽出する方法として、前述した手法に加えて、地域住民や専門家からのアドバイスのに基づき、地図を用いたワークショップ（図3.21左）、記憶を用いたワークショップ、現地踏査、手仕事の伝承時等、双方向的なコミュニケーションが可能な調査方法を住民と連携して検討し、15回以上実行した。さらに、これらのワークショップやインタビューで得られた情報を整理した結果を整理した地域情報を可視化した「3次元プロジェクションマッピング（図3.21右）」や「大字誌」等を用いたインタビュー・ワークショップも実施し、地域住民や関係者との対話を進めた。

本研究の成果として、残されるべき社会景観を抽出する方法論の整理結果を表3.6に示す。一般的な調査票やインタビューに加えて、地図や記憶、祭事・イベント、現地踏査、手仕事の伝承等の記憶を想起させるトリガーを準備すること、また、地域の代表者の方以外からも率直なご意見を頂ける方法として有効であることが確認された。

表3.6 残されるべき社会景観を抽出する方法論

調査方法	内容
地図を用いたワークショップ	個人の生活史に沿った記憶の収集
記憶を用いたワークショップ	他の聞き取り結果から想起された記憶の収集
祭事・イベントにおけるインタビュー	例大祭、だるま市等の祭事・イベントに参加をさせていただくとともに、イベント終了後にイベントに関連した記憶の収集を行う。
現地踏査	住民複数人と現地を歩きながら記憶を収集
手仕事の伝承	農家の手仕事（ものづくり・お菓子作り）を習いながら記憶を収集 特に女性の方へのインタビューに有効である
3次元プロジェクションマッピングを用いたヒアリング	土地にまつわる記憶の収集：地形から想起される記憶（防空壕、飛行場跡の利用など）
大字誌を用いたヒアリング	他者の記憶から想起される記憶の収集
歌を用いたヒアリング	歌い手によって異なる盆踊り唄の収集



図3.21 残されるべき社会景観を抽出する方法論の一例（左：古い航空写真を用いたワークショップ、右：3次元プロジェクションマッピングを用いたインタビュー）

（3）県外最終処分等に関わる多元的公正の整理および実験的評価（サブテーマ2）

（3-1）多元的公正の視点から課題整理

従前の討議の質指標(DQI)は複数の要素が一つの項目に含まれていたため、同時に複数の共通善について語られていた場合の評価が困難であった。本研究で開発した DQI は複数の要素ごとに項目を分け、同時に複数

の共通善の要素を測定可能とした。これにより、討議の際にどの側面が言及されやすいかなどの評価が可能となった。さらにこれを除去土壌問題に特化して評価できるよう、項目と概念の対応関係を整理した(図 3.22)。

この指標を用いて 10 グループでの集団討議実験の評価を行った。その結果、福島の人々の気持ちはデフォルトでは言及されにくく、功利主義に対応するリスク・コスト・量が言及されやすいことが示された(図 3.23)。県外最終処分場の理解促進には、負担の分かち合い(平等・衡平)や、これまで負担を引き受けてきた双葉・大熊両町の住民への慮り(マキシミン)も重要な共通善な要素であるが、何もしなければ一般の人々はこれらへの言及はしにくいことを明らかにした。以上の成果は査読付学術誌に掲載された(成果 3-2)。

DQI項目の全体	
理性的な発言	発言者の意見
	発言者の理由
他者への尊重・配慮	尊重なし(他の参加者)
	尊重あり(他の参加者)
	慮りなし(福島)
	慮りあり(福島)
社会全体ではなく一部の人の利害	特定の地域・人々への言及
	社会全体の良さ(リスク・コスト・量)
共通善に関する言及	社会全体の良さ(分かち合い・負担軽減)
	社会全体の良さ(福島の人々の気持ち)
	疑問・論点
円滑な議論進行	対案・代替案
	まとめようとする発言
	妥協案・和解案
情動的・物語	発言者自身の体験
	他の人の体験
	当事者性
	発言者の感情
事例固有性の内容	リスク
	コスト・量
	風評被害・スティグマ

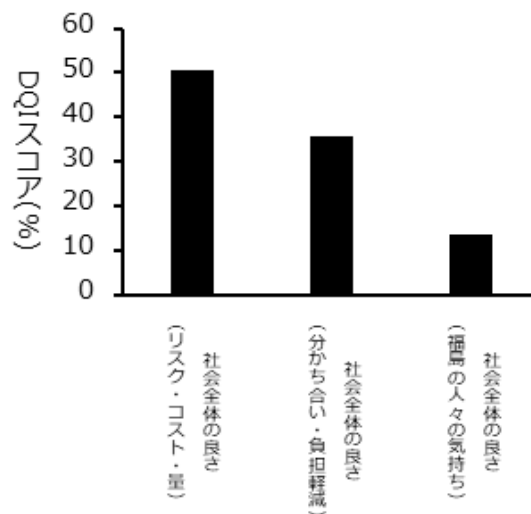


図 3.22 除去土壌問題に特化した共通善に関する DQI 項目

図 3.23 共通善に関する DQI スコア

(3-2) 集団討議実験による建設的で“よい議論”がなされる条件の検討

集団討議実験は、提供される情報を操作した実験と、議論の枠組みを操作した実験の 2 つからなる。

情報提供の効果

情報提供の内容が集団意思決定や議論内容に与える影響について実験を行った。実験では、除去土壌問題についての経緯と県外最終処分の法律を説明するだけの統制条件(福島情報なし条件)と、これに加えて大熊・双葉町の町長発言を用いて町民の思いを伝える条件(福島情報有条件)を用意した。集団討議の内容と帰結を比較したところ、双葉町・大熊町の声을 伝えない「福島情報なし条件」では、16 グループ中 14 組が「福島県を含めて」処分地を選定すると決定し、福島県以外で処分すると決定したのは 2 組だけであった(表 3.7)。また、討議前後の意見変化を見ると、福島県外で再生利用することへの態度は、福島情報あり条件では議論後に肯定的な方向に変化したが、福島情報なし条件では変化が見られず、条件間に差が生じた(図 3.24)。さらに、DQI を比較したところ、福島情報なし条件ではリスク・コストに関する言及ばかり多くなるのに対して、福島情報あり条件では負担の分け合いや負担の軽減に関する言及が多くなった。以上の結果をまとめると、“客観的・中立的”情報だけでは福島の人々を慮る結論にならずリスクやコストといった狭義の合理性に重きが置かれた議論になる、これまで負担を負ってきた人々の情報があることによって除去土壌問題は負担配分の不公正の問題であると理解され、県外でも再生利用をすることへの理解が高まることが示唆された。以上の成果は査読付学術誌に掲載された(成果 3-18)。

表 3.7 集団討議実験での結論

		福島情報 あり条件	福島情報 なし条件
処分方法	再生利用	16	15
	長期保管	0	1
処分地の数	一か所	1	2
	複数か所	15	13
処分の候補地	福島県以外の全国	7	2
	福島県を含めた全国	9	14

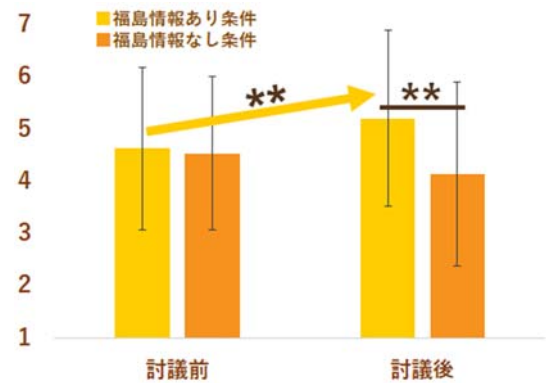


図 3.24 討議前後の意見変化（縦軸は該当回答人数）

賛成-反対の二分法ではない議論の枠組みが建設的な発言を促すことの実験

本実験では議論フレームを操作した。具体的には、相手を論駁する係争的なフレーム（係争条件）と、異なる意見もふまえて双方納得できるよう議論を進める包摂的なフレーム（包摂条件）である。いずれの条件でも、議論終了後には、再生利用については肯定的な方向に、減容化については否定的な方向に意見が変化することが確認された（図 3.25）。一方、県外最終処分については集団としての結論の報告に個人の意見も変化した。ただし、最終処分をするなら複数箇所を実施すべきという意見が議論後は増えた（図 3.26）。以上の成果は査読付学术论文として掲載された（成果 3-19）。

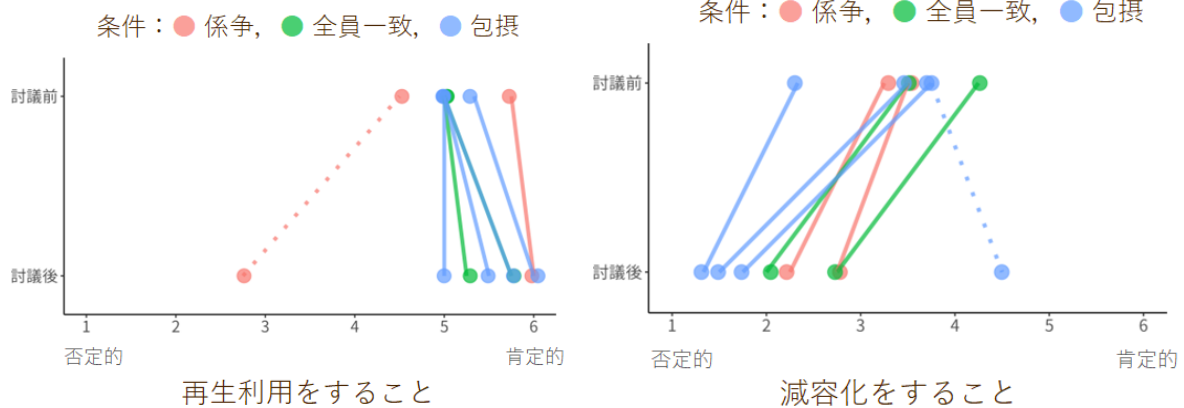


図3.25 集団決定後の個人意見の変化（左：再生利用、右：減容化）

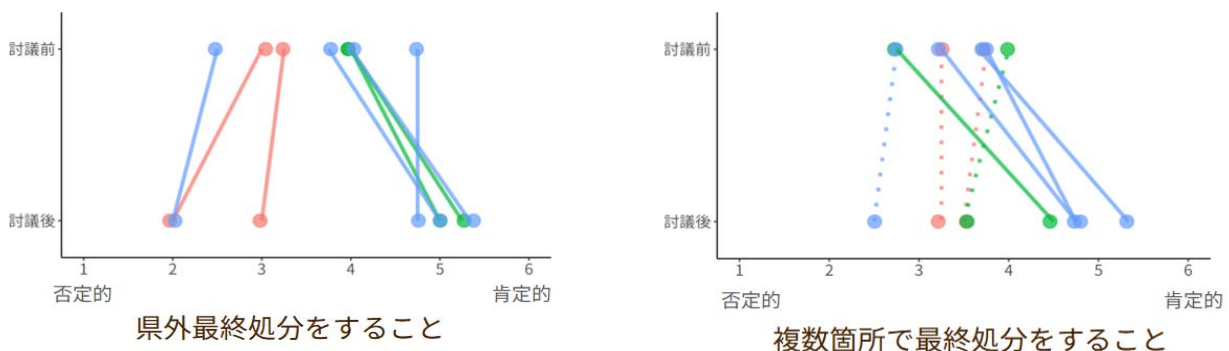


図3.26 集団討議前後の個人意見変化（左：県外最終処分、右：複数箇所最終処分）（成果3-19）

集団の決定だけで見ると結論に議論フレームの違いがないように見えるが、発言内容及び参加者の評価は全く異なるものとなった。DQI を用いた共通善への言及に関する分析の結果、係争条件では個人の初期意見に拘泥された発言しかされなかった。すなわち、初期意見で県外最終処分に反対の個人はリスクやコストの低減ばかり主張し、福島の人びとへの配慮や負担の分け合いへの言及は見られなかった（図 3.27）。さらに決定の良質さについての参加による評価では、包摂条件では初期意見に関わらずどのような決定においてもよい結論だったと肯定的に評価されていたが、係争条件では、自身の初期意見と異なる結論となった場合

や未決定だった場合に評価が低いことが明らかになった(図 3.28)。これらの結果は包摂条件では少数意見も反映されたのに対して、係争条件では少数意見が反映されない形で決定したことによると解釈される。これらの成果は、2 編とも査読付国際学会発表が認められており、とりわけ 1 編は International Social Justice Research Conference という社会的公正(正義)に関するトップカンファレンスでの発表が受理されている(成果 49, 119)。

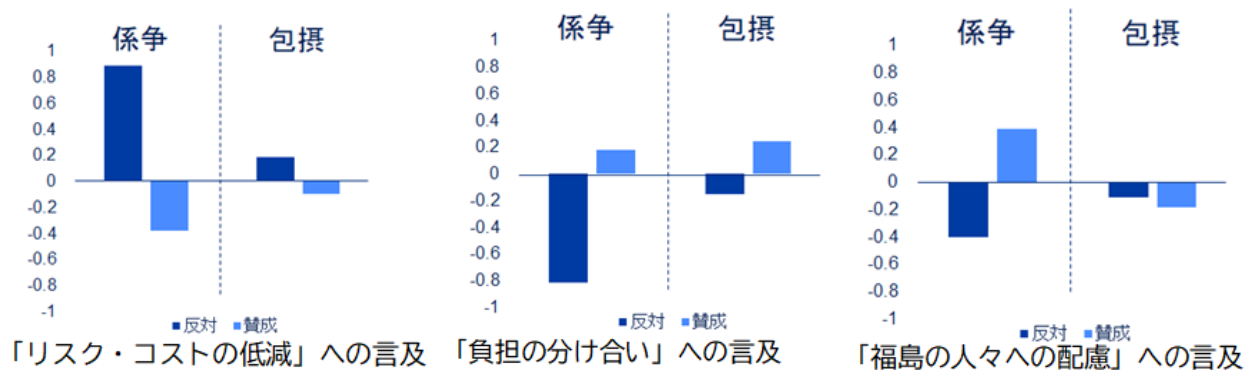


図3.27 条件別・初期意見別の共通善への発言の程度



図3.28 条件別・決定別の参加者による決定の良質に関する評価

(3-3) 模擬市民参加ワークショップの実施

市民参加ワークショップは計4回行われた。第1回から第3回は東京で行われ、第4回は大阪で行われた。第1回は大学生8名が参加した。第2回以降は、いずれもそれまで除去土壌問題について深く関知していなかった20代から70代までの男女個人が募集された。参加者数は、第2回が16名、第3回23名、第4回25名であった。

ワークショップはいずれも科学技術コミュニケーションの形式に則って進行した。プロのファシリテーターの司会進行の下、3名の専門家が情報提供し、それに対して参加者と質疑応答を行い、その後、グループに分かれて参加者同士で発言しあった。3名の専門家については、恣意的に都合のいい者だけにならないよう、国の担当者、土壌汚染の専門家、法律に批判的な弁護士から構成されていた。

最初の2回は、提供される情報の過不足や偏りや恣意性のなさ、発言の機会が十分にあったかなどを確認した。その結果、いずれも、提供された情報は過不足なく、また偏りや恣意性がないと参加者に評価された。発言の機会も十分であり、ワークショップの場全体としては参加者の満足度が高いことが確認された。以上より、ワークショップの運用方法に問題がないことが確認された。ただし、時間配分や専門家と参加者の質疑応答、最後に会場全体で意見共有する際のファシリテーションの仕方などについて、回を重ねるたびに微修正をしていった。

第1回ワークショップの参加者は大学生であったため、以下の分析では除外し、一般の方々が参加した第2回以降の参加者について分析結果を示す。

まず、どのような発言があったかをKJ法により分類した(図3.29)。いずれのワークショップでも共通して、リスクや安全性に関する発言が多かった。これに付随し、再生利用や最終処分に肯定的または否定的な発言も連動してなされることが多かった。これらのトピックに関しては、全体的には安全性は理解できた、再生利用と最終処分の必要性は理解できたという肯定的な発言が多かったものの、安全性について確信を持ってない、不安が払拭できないという発言も少なからず見られた。次に多く言及されたのは、決定プロセスや情報公開・透明性など手続き的公正に関する発言であった。今回のように一般市民からの声を聞く場を設けたことはよいと肯定的に評価された一方、法律のことを知らなかった、周知徹底が不足している、このようなワークショップがなかったら知らない間に決まっていたのではないかといった、情報公開や発言機会の不足が特に東京の参加者から多く指摘された。一方、コストに関する言及も多くなされ、特に大阪の参加者はわざわざコストを払って福島県外に持ち出すことへの疑問を呈する発言が見られた。

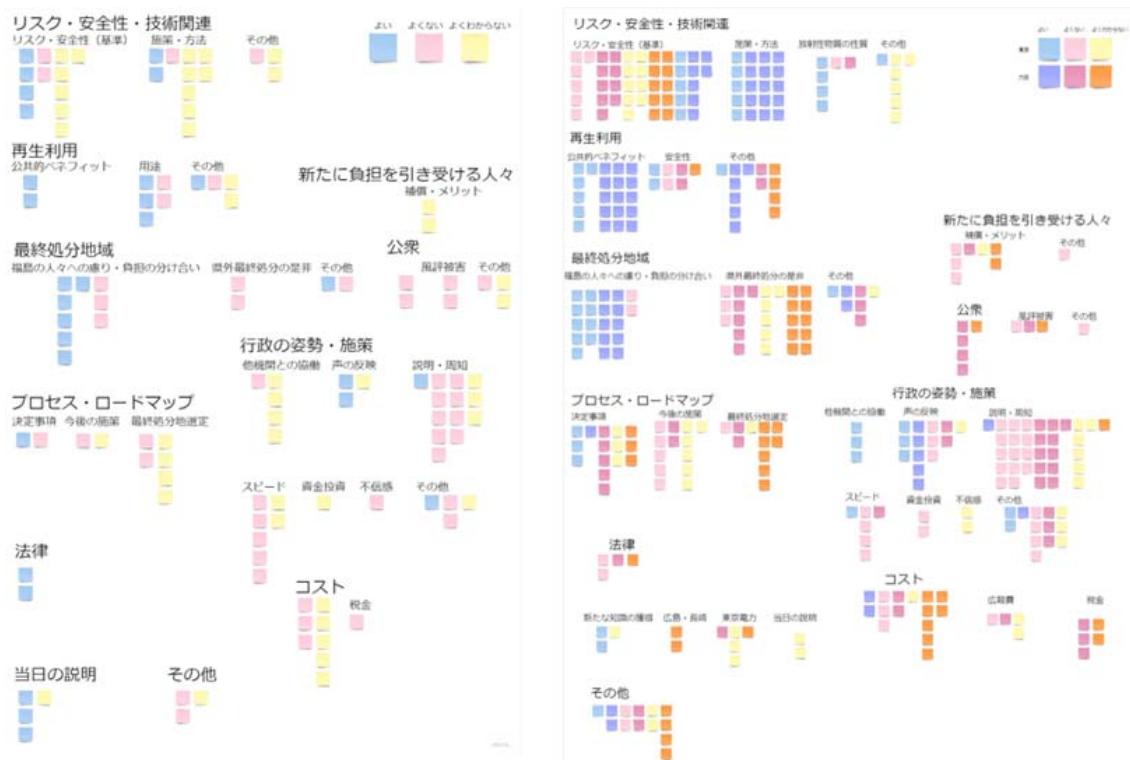


図 3.29 KJ 法による発言分類 (左: 第2回、右: 第3回と4回)

次に、DQIに基づく発言分析を行った。第2回(Study 1 Tokyo)では、福島に住む方やこれから新たに負担を引き受ける方々を慮る発言が比較的多かった(図3.30左)。これは、最後に全体で意見共有をする際に専門家と参加者の間でコミュニケーションをする機会が再度あり、このときに専門家から慮るべき主体についての発言があったことが影響したと推察される。第3回(Study 2 Tokyo)と第4回(Study 4 Osaka)では、参加者数が多くその時間がとれなかったため、慮る言及が相対的には多くなかったと考えられる。

DQIの共通善に関する言及では、全体的にリスク・コストに関することが多かったものの、負担の分け合いや福島の優先といった内容にも一定程度の言及が見られた(図3.30右)。ただし、大阪の参加者は、リスク・コストの占める割合が高く、福島の優先は少なかった。福島から離れており、福島第一原子力発電所の恩恵も受けてこなかった方々には、彼らの視点から考えることが容易ではなかった可能性が示唆された。

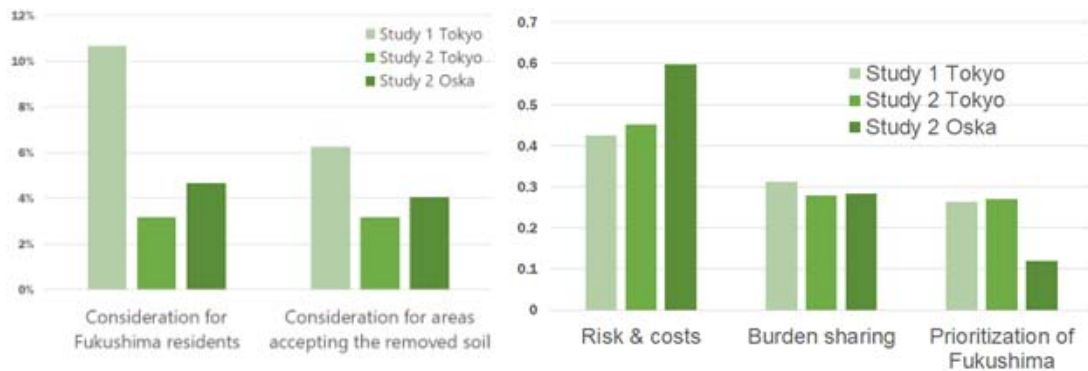


図 3.30 ワークショップにおける DQI スコア (左：尊重、右：共通善)
(Study 1 Tokyo: 第 2 回、Study 2 Tokyo: 第 3 回、Study 3 Ooka: 第 4 回)

また、ワークショップ終了直後に参加者の受容を尋ねたところ、東京の参加者（第2回と3回）では、再生利用、最終処分とも、一般論では「する方がよい」（「どちらかといえばする方がよい」も含む、以下同）という回答が「しない方がよい」（「どちらかといえばしない方がよい」も含む、以下同）よりも上回っていたが、大阪の参加者（第4回）では「しない方がよい」という回答が上回っていた。自分の住む地域で等思ふかについて同様に尋ねたときには、「どちらともいえない」が全体的に多数を占めたが、東京では「する方がよい」と「しない方がよい」が拮抗していた（図3.31）。

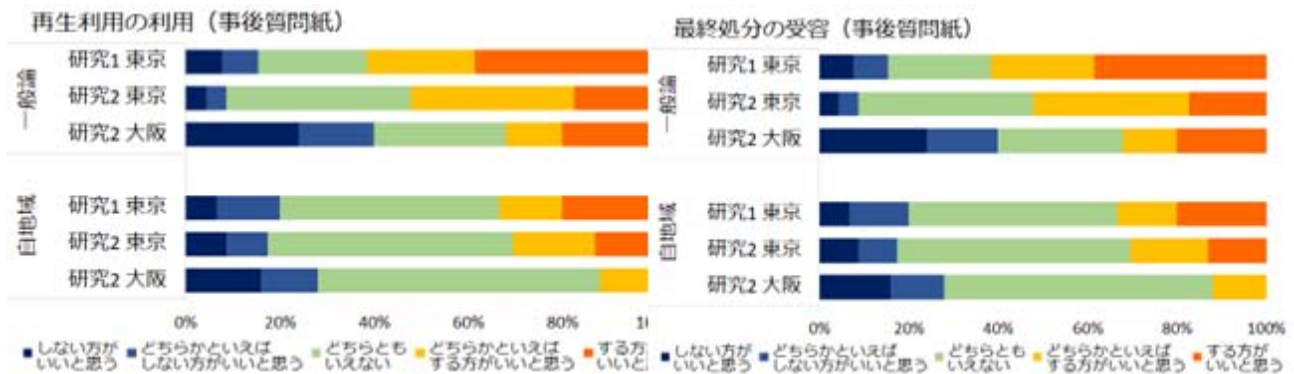


図 3.31 ワークショップにおける DQI スコア (左：尊重、右：共通善)

さらに、議論参加前後での質問紙調査により、参加者の態度や意見の変化をより精緻に調べた（第 3 回と 4 回のみ）。事前質問紙はワークショップに参加する 1~2 週間前に、事後質問紙はワークショップ参加後 1 週間以内に回答した。その結果、関心、当事者性、知識は前後で上昇した。また、再生利用に関するリスク認知と受容は増加したが、最終処分についてのリスク認知と受容は有意な変化が見られなかった（表 3.8）。この結果を含む、参加前後の意見変化については査読付英文誌に掲載された(成果 21)。

表 3.8 ワークショップの参加前後での意見変化

	Before	After	<i>t</i>	<i>p</i>
Interest	2.02 (0.77)	3.49 (0.66)	-10.83	<.001 **
Sense of the involved party	3.40 (1.03)	3.86 (1.05)	-3.41	.001 **
Knowledge	2.34 (1.42)	3.83 (1.27)	-6.73	<.001 **
Risk perception regarding recycling	2.67 (0.82)	2.37 (0.86)	2.76	.008 **
Risk perception regarding final disposal	2.69 (0.85)	2.48 (0.88)	1.85	.071
Trust in government	3.05 (1.01)	3.09 (1.09)	-0.26	.799
Trust in experts	3.83 (0.85)	3.87 (0.81)	-0.39	.697
General acceptance of recycling	3.64 (1.05)	3.77 (1.00)	-0.80	.429
General acceptance of final disposal	3.26 (1.03)	3.11 (1.07)	0.91	.368
Acceptance of recycling in their residential area	2.87 (1.28)	3.23 (1.09)	-2.46	.018 *
Acceptance of final disposal in their residential area	2.87 (1.28)	2.89 (1.22)	-0.15	.878

** $p < .01$, * $p < .05$. Values are means and values in parentheses are standard deviations.

(3-4) 仮想ステークホルダーを想定した役割演技型ゲーミングの作成と相互作用過程分析

上述した集団討議実験や市民参加ワークショップでは、いずれも都市部在住者で自分の居住地に本当に除去土壌が来るというリアリティに乏しい中だからこそ健全に議論できるとも言える。そこで、当事者となったステークホルダーという立場からどのような議論と相互作用過程が生じるのかを検討するためにゲーミングを作成した。

このゲーミングは3段階で構成される。第1段階は地域の利害代弁者が交渉する場面である。当然、自地域の利害を背負っているために容易に除去土壌を引き受けるわけにはいかず、交渉は決裂しがちになる。この場面を、総和として負の財（除去土壌）が福島にあり、そのマイナスが他地域に移動するだけであるというゲーム構造で表現した。第2段階は、仮にある地域で除去土壌を引き受けたとしても、住民がそれに反発するという場面である。住民は説得される役割であり、行政担当者等が説得する役割になるが、一方的な説得はかえって反発を招くという状況を模している。この場面を、説得されれば負け(0点)、説得されなければ勝ち(1点)というゼロサム状況で表現した。第3段階は、地域が引き受けたくない理由を社会全体としてなくしていくという場面である。ここでは全員が共通の立場で議論するという点で市民パネル的な役割になる。

(3-1)の実験や(3-2)ワークショップと異なる点は、自分の住む地域にも除去土壌が来ること、それは嫌だという感情経験もふまえて議論する点である。この段階3の場面を、社会全体の総和として、存在しているマイナスを減らしていくというゲーム構造で表現した。

役割演技型のゲーミングでは、与え得られたステークホルダーとして役割になりきる中で、利害が対立する相手の価値や視点を見失う経験をする。このことが合意形成の失敗に繋がる。しかし、合意形成の失敗経験を経て、再び利害のない全体的視点に立ったときに、様々なステークホルダーの感情的反応も考慮した上で、より良質な地域に取っても社会全体にとっても納得に繋がる提案を行えるようになる。以上のプロセスをデモンストレーションした。

図3.32は段階1や段階2で合意の失敗経験をしているほど、段階3で社会全体として達成すべき条件を満たすようなよりよい提案がなされたという結果を示している。

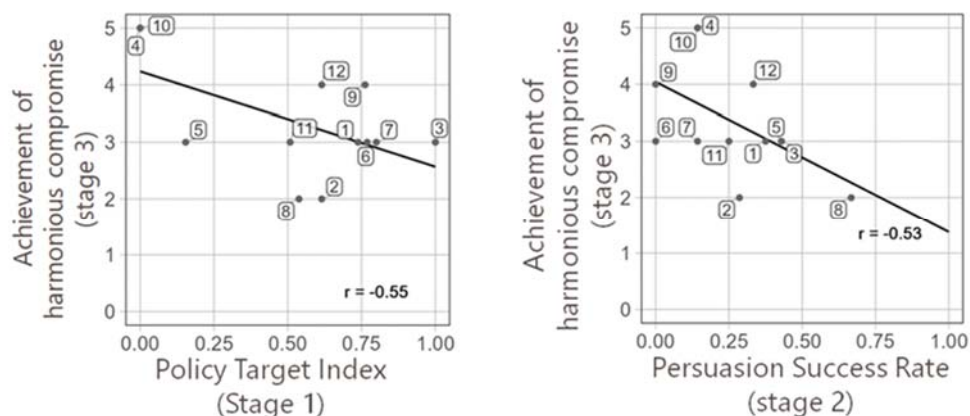


図 3.32 合意の失敗経験と最後の段階でよりよい提案を行い達成されるべき条件が満たされたかの相関

さらに、よい提案を行えるためには、新たに負担を引き受ける地域とこれまで負担を負ってきた地域の両方の視点取得ができている必要があることが示された(図3.33)。すなわち、段階1と段階2で合意形成の失敗経験がなされることで、様々な立場の視点取得ができるようになり、この視点取得ができることではじめて社会全体として達成すべき条件を満たすよい提案ができることを示唆している。裏を返すと、視点取得ができなければ社会全体としての受容に結びつく建設的な議論がしにくくなるが、その視点取得は単に当事者性の低い客観的視点に立つだけでは得られない可能性を示唆している。

以上のゲーミングに関する成果は査読付学術誌に掲載された(成果3-20)。

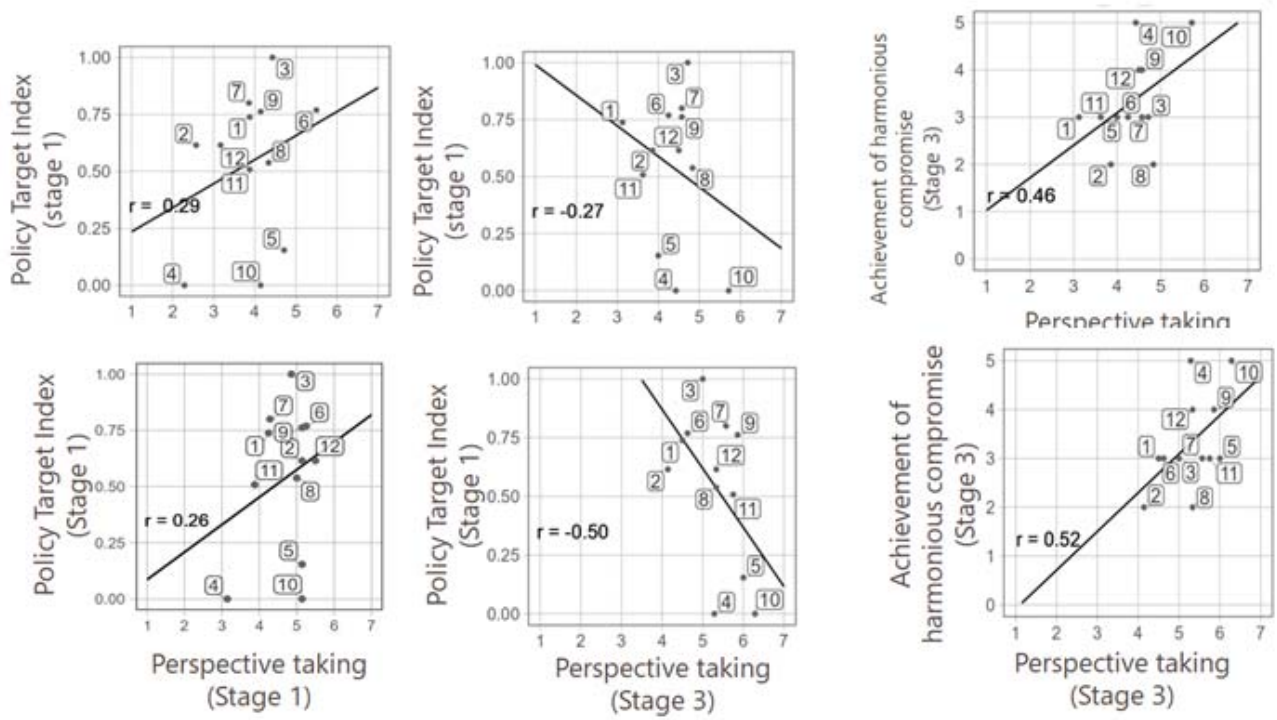


図 3.33 視点取得と各段階での達成度指標との相関

(4) 多元的公正および環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク立案（サブテーマ1&2）

本研究では、サブテーマ1において、県外最終処分シナリオの社会受容性評価および重要指標抽出、県外最終処分に対する多面的評価法によるシナリオ分析、中間貯蔵施設周辺地域の聞き取り調査等に基づく記憶地図・デジタルコンテンツ化を、サブテーマ2においては、集団討議実験による建設的で“よい議論”がなされる条件の検討、模擬市民参加ワークショップ、役割演技型ゲーミングに基づく社会受容性向上に向けた必要な要素の評価を実施してきた。

さらに、得られた知見は、日本リスク研究学会年次大会で2022年～2024年までの毎年、合計3回の企画セッションを開催し、様々な視点からの意見の収集、ICRP主委員会メンバーとの意見交換、IAEAの専門家会合での意見交換、さらに有識者（Thierry Schneider氏、CEPN、ICRP 主委員会委員、第4部会議長）によるレビューを実施した。

2025年以降における県外最終処分・再生利用の段階、各段階における想定される主なステークホルダーを図3.34に示す。2025年以降、県外最終処分場の立地選定方式の検討から実際の立地選定、合意形成に進んでいく。このような中で、関係する受容なステークホルダーも日本国民全体から、県外最終処分場の候補地及びその周辺の地域住民・自治体へと遷移していく。それらを踏まえて、県外最終処分に向けた多元的公正および環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークにおいて重要な事項を、これまでの研究成果から、最終処分のシナリオと社会受容性、最終処分等の受容性向上への必要条件、コミュニケーションのあり方の視点から取りまとめた。

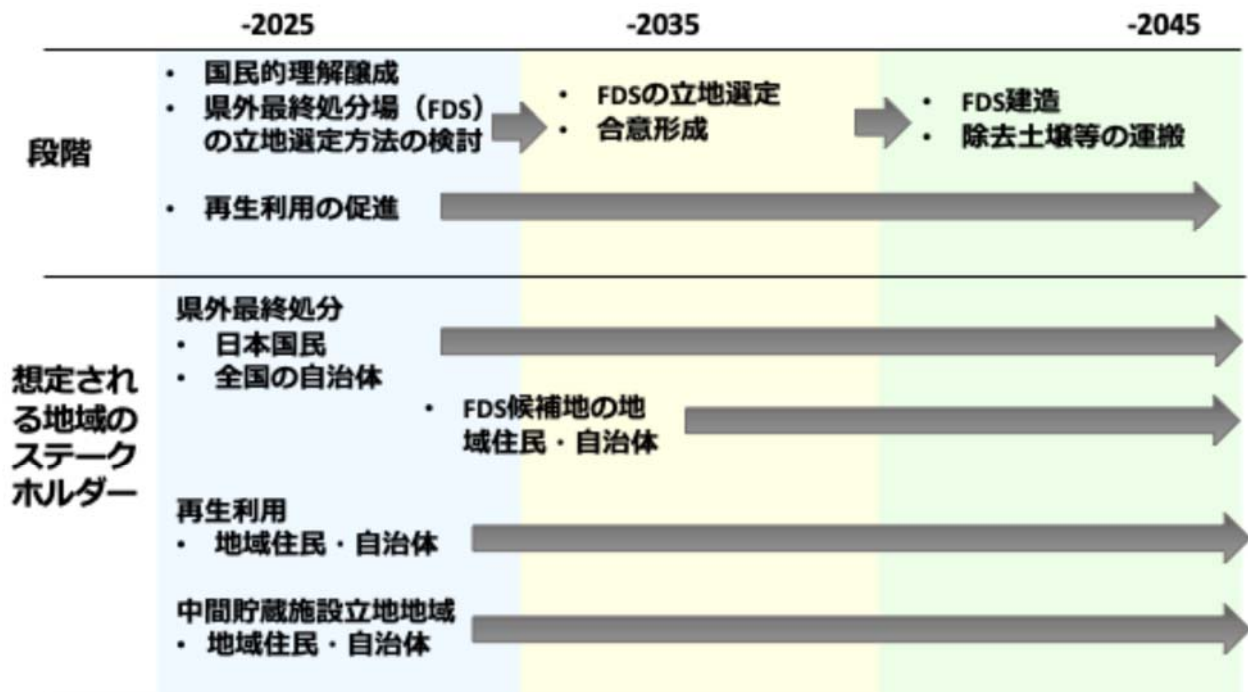


図3.34 県外最終処分・再生利用の段階、各段階における想定される主なステークホルダー

最終処分シナリオと社会受容性

最終処分シナリオは、減容化の適用の有無、最終処分場の箇所数、意思決定プロセス、再生利用量や再生利用箇所数等が変数となり、複数のシナリオが考えられる。これらのうち、減容化の適用の有無、最終処分場の箇所数、意思決定プロセスについての本研究の成果から導き出された推奨事項を以下の通り整理した（表3.9）。

表3.9 最終処分シナリオと社会受容性における重要事項と推奨項目

事項	結果	推奨事項
1. 意思決定プロセス	最終処分受け入れに際し、トップダウン型よりも意見集約型や意見反映型の意思決定のほうが社会受容が高い。このことは手続き的な公正の重要性を示している。（成果3-10）	意思決定プロセスにおいては、市民の意見が集約・反映される形の合意形成プロセスを採用することが望ましい。
2. 最終処分場の箇所数	最終処分受け入れに際し、1箇所よりも、8箇所、46箇所のほうが社会受容が高い。このことは分配的な公正が社会受容において重要なことを示している。（成果3-10）	最終処分場を複数箇所設置することは困難を伴うと考えられるが、再生利用等を推進することで、最終処分の社会受容が高まる可能性が示唆された。 また、「自身の地域で再生利用を受け入れることが、他地域での再生利用を後押しする」といった情報提示の在り方を今後検討する意義がある。
3. 減容化	意思決定プロセス、最終処分場の箇所数と比較すると人々の選好に大きな影響を与えないが、減容化の有無及び最終処分場の保管方法についてフォーカスすると、超高濃度（4.5億Bq/kg：超減容化を適用）と比較して低濃度（10万Bq/kg：減容化なし）の方が好ましいと判断する人が多いことが確認された。（成果3-9）	減容化は除去土壌等の分量は削減されるが、濃度は上昇する。濃度の上昇は市民の社会受容を低下させる可能性があること、減容化は不可逆的なプロセスであることに注意が必要である。

最終処分等の受容性向上への必要条件

県外最終処分の社会的受容に向けて、リスク認知、社会的便益、政府への信頼、関心と知識、世代間の期待、手続き的公正、分配的公正が重要事項であることを示してきた。これらの研究成果は「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関専門家会合最終報告書（IAEA報告書）」でも複数回引用された。

さらに、建設的な合意形成に向けては、最終処分場を複数箇所に設置するといった分配的な公平性を高めることや、最終処分地が福島県外でなされることに関して、これまで負担を強いられてきた地域の情報や状況を共有することが重要であることが示された。本研究の成果から導き出された推奨事項を以下の通り整理した（表3.10）。

表3.10 最終処分のシナリオと社会受容性における重要事項と推奨項目

事項	結果	推奨事項
4. 関心と知識（リスク認知）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最終処分に関し、リスク認知が高いほど反対意見を持つ傾向がある。 ・ 最終処分受け入れに関し、リスク認知が高いほど受容しない傾向がある。（成果3-3、11） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適切な科学的な知見を、適切な方法で提供することが重要である。
5. ベネフィット認知	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最終処分受け入れに関し、社会的便益を重視しているほど受容しやすい傾向がある。（成果3-3） ・ オンラインアンケート結果から、個人的便益と最終処分受け入れの関連性は低い。一方、補償金の提示によって受け入れが高まる他、具体的な立地に関するインタビューにおいては、個人的便益を重要視する人も一定数確認された。（成果3-96） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最終処分受け入れに関しては、地域全体の便益、日本全体の便益に関する情報提供が不可欠である。 ・ 一方、最終処分受け入れの負担の応分に応じたインセンティブに関する制度設計の確立も必要である。
6. 政府・自治体への信頼	<ul style="list-style-type: none"> ・ 県外での最終処分に関し、政府への不信感には反対意見につながっている（成果3-3、96）。 ・ 最終処分受け入れに関し、政府（環境省）への信頼が高いほど受容する傾向がある（成果3-92、109）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 政府への信頼確保については極めて重要であるが短期的な達成は難しい。長期的な視点から、適切な情報公開・対話を続ける必要がある。 ・ 中間貯蔵施設立地地域、県外最終処分・再生利用の候補となる地域においては、政府の信頼を損なわないように、合意形成において公正性を担保する必要がある。
7. 被災地への慮り（負担の分かち合い・当事者性）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 県外での最終処分に関し被災地への慮りは賛成意見につながっている（成果3-2）。 ・ サブテーマ2のゲーミングにおいても、福島状況を説明するとよい結果が確認されている（成果3-20）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 県外最終処分・再生利用の国民的理解醸成や候補となりうる地域では、人々との対話の際にこれまで負担を背負ってきた福島の状況説明を十分にし、当事者性を上げる必要がある。
8. 将来世代からの期待	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最終処分受け入れに関し、将来世代からの期待が高いほど受容する傾向がある（成果3-3）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 県外最終処分が完了するのは2045年であり、管理は長期間継続することから、将来世代への負担を低減する視点を伝える必要がある。
9. 地域固有の事情を鑑みる	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域毎に、産業、歴史や経験に基づく価値観があり、地域内でも人によって価値観・意見は異なる（成果3-96、97）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域の産業、歴史や経験に基づく重要視する事項や価値観を理解し、地域内・地域間の分断を理解することが必要である。

コミュニケーションのあり方

情報共有や合意形成に関しては、ステークホルダーへの対話による情報の共有の方法、タイミング、内容、すなわち、情報の内容だけではなく、どのタイミングで誰に、どのような方法で情報を共有し、対話をするかという、プロセスの重要性である。本研究では、中間貯蔵施設地地域の住民との対話、市民参加ワークショップやゲーミングを通じて、方法、タイミング、内容について検討をしてきた。本研究の成果から導き出された。推奨事項を以下の通り整理した（表3.11）。

自由な意見交換ができ、かつ 少人数で議論・意見交換を実施する場合は、開かれた大人数の説明会や意見公開と同様に、問題を理解し、双方向のコミュニケーションを実施する上で不可欠である。県外最終処分の場合においても、様々な形で対話の場を持つことが求められよう。

表3.11 最終処分のシナリオと社会受容性における重要事項と推奨項目

事項	結果	推奨事項
10. ステークホルダーの多様性	中間貯蔵施設地域の住民や農村地域のステークホルダーとの対話を通じて、地域のステークホルダーの考えやスタンスは多様であり、把握するためには時間と信頼関係が必要なことが明らかになった（成果3-15、17）。	中間貯蔵施設地域の将来像、県外最終処分等に関するステークホルダーの対話に関しては、信頼関係を構築した上で時間をかけて実施する必要がある。
11. 幅広い国民・公衆による対話	多くの一般市民は、県外最終処分についてよく知らなかった、周知されていないという点を挙げるが多かった（成果3-21）。	一方向的な大規模な情報発信だけでなく、人口が多い都市部においても双方向的にコミュニケーションできる機会を複数設ける必要がある。
12. 対話や議論の場のつくりかた	ただ県外最終処分の必要性を説明するだけでは建設的な議論にならない。特に、賛否二分法による議論は参加者の評価（満足度）を下げる（成果3-19）。	大所高所からの情報提供だけでなく、それに加えて、負担を負ってきた大熊町双葉町の住民たちの複雑な感情を汲み取りながら的確に伝える機会をつくる。 賛成か反対か（県外最終処分ありき）ではなく、最終処分の必要性に対する理解と共感を得ながら対話を進めていけるような場のデザインが必要である。
13. 当事者性の濃淡	福島第一原子力発電所の恩恵を受けてきた地域とそうでない地域、あるいは、単純に福島からの距離などにより、除去土壌問題への当事者性にも濃淡が生じる可能性が見出された（成果3-20、21）。	当事者性を高める上で、単に問題の所在をご理解いただくだけでなく、国全体で解決に向かうべき問題であること、そのために誰もが当事者となりながら、かつ忌避感を生じさせないように、議論できる枠組みをつくっていく必要がある。
14. 不安への寄り添い	丁寧な説明により、多くの人々は科学的安全性について理解できるが、不安が残る人々が一定割合存在する（成果3-96）。	安全性は当然として、不安に寄り添う双方向的风险・コミュニケーションのあり方を再考する必要がある。

2. 3. 5. テーマ3 研究成果の学術的意義や環境政策等への貢献

<得られた研究成果の学術的意義>

サブテーマ1では、持続可能な環境管理に向けた社会受容性の評価とシナリオ評価のための多面的評価法を検討してきた。本研究では、一般市民、自治体担当者、特定の地域住民を対象として、郵送・オンラインアンケート、コンジョイント分析、半構造化面接、共分散構造分析、国際比較調査、様々な形式でのワークショップなど、多様な調査・分析手法を相補的に用いることで、社会受容性に関わる意思決定要因や中間貯蔵施設地地域の地域ストック・重要事項を多角的に抽出し、相互に検証することによって、結果のロバスト性を高めることに成功した。このように、単一手法に依存せず多元的な分析を通じて、心理的要因や価値観との関係を調査した点は、学術的にも新規性が高く、環境政策に関わる受容性研究に貢献したと言える。NIMBY施設としての県外最終処分に関して、特定の層（都市部市民、若年層、道徳的規範の重視傾向を持つ集団、農村地域の特定の集団など）ごとの傾向の違いに着目した分析は多くなく、計画時～立地選定時の異なる段階において、ステークホルダーに応じた合意形成支援に有効な知見を提供するものである。これらの成果は、約20報の学術誌（7本の査読付き国際誌含む）での発表・出版や、国内外で多くの招待講演に招か

れるなど（成果3-36、37、80、120～124）、学術界でも高く評価されている。

サブテーマ2では多元的公正の視座から社会的受容に繋がる建設的議論の場をどのようにデザインすべきかを検討してきた。この際、哲学や倫理学など規範的に議論されてきた内容を実験社会科学の手法を用いて実証的に示してきた。このような研究は希有で、実験やゲーミング手法により実証することは方法論的にも多くの困難を伴うが、それを克服することに成功してきた。これらの革新性、独創性、先導性が学術的に評価されていることは、研究に従事してきた研究者の成果発表が学会賞を受賞したり、招待講演に招かれていることが示している。

<環境政策等へ既に貢献した研究成果>

サブテーマ1・2の成果は、除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA）専門家会合に引用されており、環境省中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（第18回）の論点整理・論点に対する考え方（案）でも使用された。さらに、環境省、中間貯蔵施設における除去土壌等の再生利用及び最終処分に係る地域の社会的受容性の確保方策等検討ワーキンググループやコミュニケーションチームの委員会においても、本研究の成果をベースとした助言をしている。

また、本研究の成果について環境省に合計6回、また、関係自治体（双葉町）や関係機関（JESCO）にも情報提供を継続して実施した。さらに、2023年10月（福島）のICRP主委員会メンバーへの情報提供と意見交換（環境省・産総研共催）、2023年10月（ウィーン）、2024年2月（東京）における除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA）専門家会合（環境省主催）において、環境省と連携して本研究内容について発表・意見交換を実施し、国際的な理解促進及び「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA）専門家会合」報告書（2024年10月）の出版を支援した。

<環境政策等へ貢献することが見込まれる研究成果>

本研究では、県外最終処分等における多元的公正やステークホルダーの多面性を考慮した建設的な対話の場を通じた合意形成フレームワークを提示した。IAEA（2024）の報告書では、国民的コミュニケーションとステークホルダー参加（Public Stakeholder Engagement: PSE）の重要性を指摘され、これらの取り組みいっそう推進するよう勧告されている。ただし、PSEを具体的にどのようにデザインし、どのような対話や議論の場を設けたらよいかについては、従来は経験的な勘に頼るしかなかった。本研究の一連の成果は、実験やゲーミング等の失敗が許される状況での試行ができたからこそ、失敗／成功の要因を実証的に特定することが可能となった。これらの成果は、今後、除去土壌県外最終処分に向けてPSEを推進していく上で、有益な参考となる。また、こうしたPSEのあり方は、除去土壌問題に留まらず、NIMBY問題、PFASによる環境汚染、高レベル放射性廃棄物等だけでなく、サーキュラーエコノミーやネイチャーポジティブ等、国民・公衆やステークホルダーとの対話が求められる環境政策の策定場面にも適用可能である。

2. 3. 6. テーマ3研究目標の達成状況

全体目標	全体達成状況
<p>除去土壌等の県外最終処分および中間貯蔵施設周辺復興地域の将来デザインに応じた土地利用における円滑かつ公正な合意形成に向けて、様々なオプションの社会受容性を評価するとともに、本課題特有の次世代を意識しつつ、多元的公正や環境面だけでなく、社会・経済面を考慮した合意形成フレームワークを立案する。具体的には、以下の5つを最終目標として設定する。</p> <p>●県外最終処分</p> <ul style="list-style-type: none"> 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価およびステークホルダーが重要視する重要指標抽出【サ 	<p>下に示す5つを最終目標として設定し、研究成果（査読付き論文18報、査読なし7報、「国民との科学・技術対話」の実施7件、口頭発表・ポスター発表89件、マスコミ等への公表・報道等8件、成果による受賞7報）、研究で得られた当初の予定を上回る調査・知見、環境政策への貢献（除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA）専門家会合、環境省 中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（第18回）の論点整理・論点に対する考え方（案）での引用）などの最終的に目標を上回る成果を上げた、と評価した。</p> <p>●県外最終処分</p> <ul style="list-style-type: none"> 県外最終処分等シナリオの社会受容性評価およびステークホルダーが重要視する重要指標抽出【サブテーマ1】 <p>シナリオ別、階層別の社会受容性を明らかにした。郵送法アンケート調査、オンラインアンケート調査、国際比較オンラインアンケート調査、半構造化面接を含む計8回と当初の予定を上回る調査を実施し、シナリオごとの受容性の違いや、影響因子を分析した。こ</p>

<p>ブテーマ1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析およびステークホルダーの受容性に内在するメカニズムの質的分析【サブテーマ1】 ・ 県外最終処分等における多元的公正やステークホルダーの多面性を考慮した建設的な対話の場を通じた合意形成フレームワークの提示【サブテーマ2】 <p>●中間貯蔵施設周辺復興地域</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストック（歴史や記憶）のデジタルコンテンツ化および重要項目抽出および方法論の整理【サブテーマ1】 	<p>これらの成果は7報の査読付き論文として発表・受理されただけでなく（成果3-3、9、10、11、13、24、25；表1、2、3；図3.6、7、8、9、10、11、12）、NHK等での5回の報道（成果3-127～132）、除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA）専門家会合に引用されている。さらに、環境省中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（第18回）の論点整理・論点に対する考え方（案）でも使用されており、社会受容性評価及び重要事項抽出という当初目標を大きく上回る成果を上げたと評価できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 県外最終処分等に対する多面的評価法によるシナリオ分析およびステークホルダーの受容性に内在するメカニズムの質的分析【サブテーマ1】 <p>多面的評価法によるシナリオ分析に関しては、県外最終処分の政策に関する市民や自治体職員10名へのインタビューの結果（図3.16）及び、3回延べ15名への農村地域における自地域で県外最終処分が実施されると仮定したインタビュー・ワークショップを実施した結果（図3.17、19、20）を用いて、環境面だけでなく、社会面、経済面を含めた多面的評価を実施し、重要事項・懸念事項の抽出を実施した。さらに、開発に伴う大規模環境汚染からの復興プロセスや国際的なガイダンスについて比較評価（図3.18）、被災地住民の重要事項の変遷の評価に関する研究を実施した。これらの成果は、査読付き論文（成果3-12、15）、5回の学会発表（成果3-41、53、96、97、107）により公表した。当初の目標を上回る回数のインタビュー・ワークショップを実施し、学術論文等にも複数本掲載されていることから、目標を上回る成果を上げたと評価できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 県外最終処分等における多元的公正やステークホルダーの多面性を考慮した建設的な対話の場を通じた合意形成フレームワークの提示【サブテーマ2】 <p>市民参加ワークショップ、ゲーミング実験等の社会調査を実施し、建設的な対話の場としての効果の確認および多元的公正を考慮した合意形成プロセスを評価し、6報の査読付き論文として発表・受理された（成果3-2、18、19、20、21、22）。市民参加ワークショップも公募審査時のコメントに従い、前倒し及び回数を増やして合計4回実施した。さらに、多元的公正について規範的な研究に留まらず実証的に裏付けられたデータを提供するという目標に向け、すべての項目について達成しただけでなく、当初計画には想定されていなかった新たな知見として、議論参加者の特定の価値への拘泥、当事者性を高める重要性、他者の視座の獲得の重要性、科学的な安全性に関して繰り返し発信・説明の必要性が得られた。このように、ワークショップ等の実施回数、成果内容、さらに計画以上の知見の獲得の視点から、当初目標を大きく上回る成果を上げたと評価できる。</p> <p>●中間貯蔵施設周辺復興地域</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中間貯蔵施設周辺復興地域の地域ストック（歴史や記憶）のデジタルコンテンツ化および重要項目抽出および方法論の整理【サブテーマ1】 <p>中間貯蔵施設内に立地する双葉町細谷地区・郡山地区及び一部が帰還困難区域に位置する双葉町下羽鳥地区の住民・元住民と連携したインタビューや説明、ワークショップ、資料調査、現地踏査を当初の予定（5回程度）を大きく超える20回実施し、地域ストックや残されるべき社会景観を地域住民と連携して抽出した（成果3-17；表6；図3.19、20、21）。また、GISと航空写真を用いたWEB-GIS形式のデジタルコンテンツを作成（図3.15）した。さらに地域住民との対話に着想を得て当初予定をしていなかった2冊のデジタル/アナログ大字誌（大字誌細谷、大字誌下羽鳥）を出版・配布し（図3.14、</p>
---	--

<p>●合意形成フレームワーク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 多面的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案【サブテーマ1, 2】 	<p>成果142、143）、3次元プロジェクションマッピングも作成・展示を行った（成果3-144；図3.15）。大字誌はNHK（成果3-133）で紹介され、配布した地域住民から感謝の言葉をいただいた。さらに重要項目の抽出の方法論について整理し学術論文として公開した（成果3-5）。3次元プロジェクションマッピングは2024年2月に東京で開催された第3回IAEA「除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関専門家会合」における展示や約9万人が参加するNEW環境展で2回の出展等、本問題の理解促進に貢献した。以上の成果より、目標を大きく上回る成果を上げたと評価できる。</p> <p>●合意形成フレームワーク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 多面的公正、環境・社会・経済面を考慮した合意形成フレームワーク素案立案【サブテーマ1, 2】 <p>サブテーマ2と連携して、合意形成フレームワークの素案を立案し、日本リスク研究学会年次大会で2022年～2024年までの毎年、合計3回の企画セッションで発表（成果3-4、8、14）し、様々な視点からの意見の収集を実施した。さらに環境省との6回にわたる意見交換、さらに環境省と連携してICRP主委員会メンバーやIAEAの専門家会合への本研究成果の説明・意見交換、さらに有識者（Thierry Schneider氏、CEPN、ICRP 主委員会委員、第4部会議長）によるレビューを実施することでブラッシュアップした。最終的には、最終処分のシナリオと社会受容性、最終処分等の受容性向上への必要条件、受容性向上に向けたコミュニケーションのあり方として14の項目・推奨事項を設定・提案した（表9、10、11）。</p> <p>その一部は、除去土壌の再生利用等に関する国際原子力機関（IAEA） 専門家会合に引用されており、環境省 中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（第18回）の論点整理・論点に対する考え方（案）でも使用されており、目標を上回る成果を上げたと評価できる。</p>
--	---

3. 研究成果発表の一覧

(1) 産業財産権

成果 番号	出願 年月日	発明者	出願者	名称	出願以降 の番号
	特に記載する事項はない。				

(2) 論文

<論文>

成果 番号	発表 年度	成果 情報	主たる テーマ	査読 の有無
1-1	2022	乾 徹, 安定化体を対象とした最終処分施設構造の検討にむけた技術的課題, 廃棄物資源循環学会誌, 33(6), 467-476	1	無
1-2	2023	山田 一夫, 市川 恒樹, 遠藤 和人, 三浦 拓也, 大迫 政浩, 放射能汚染した飛灰洗浄液からCs濃縮するための吸着剤の性能評価の事例, 環境放射能除染学会誌, 11(1), 3-13.	1	有
1-3	2023	庭瀬 一仁, 赤坂 翼, 今泉 有人, ゼオライトを混合したセメント系材料の高吸着人工バリアへの適用性に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, 45, 964-969.	1	有
1-4	2024	山田 一夫, 市川 恒樹, 安河内 隆仁, 東條 安匡, 遠藤 和人, 硬化阻害成分であるZnを含有した溶融飛灰のセメント固型化方法の開発, 環境放射能除染学会誌, 12(3), 71-78.	1	有
1-5	2024	Yamada K., Ichikawa T., Arai H., Yasukochi T., Endo K., Study on the mechanisms of retardation of cement hydration by zinc and acceleration of hardening by sodium aluminate from crystallographic phase analysis, Journal of Material Cycles and Waste Management, https://doi.org/10.1007/s10163-024-02059-6 .	1	有
1-6	2025	遠藤 和人, 三成 映理子, 山田 一夫, 田中 悠平 (2025) 県外最終処分に向けた減容化シナリオと技術的課題, 廃棄物資源循環学会誌, 36(2), 129-138.	1	無
1-7	2025	熊谷 純 (2025) γ 線照射セメントペースト硬化体・ジオポリマーからの水素生成挙動: 照射・保持温度, 飛灰混入依存性, 廃棄物資源循環学会誌, 36(2), 139-146.	1	無
1-8	2025	乾 徹, 庭瀬 一仁, 半井 健一郎 (2025) 放射性セシウムを含有する熱処理飛灰安定化体の最終処分施設構造について, 廃棄物資源循環学会誌, 36(2), 147-156.	1	無
2-1	2024	Ohnishi, S., Osako, M., Nakamura, S., Togawa, T., Kawai, K., Suzuki, A., Yoshida, K., Gomi, Tsuji, T. (2024). A Framework for Analyzing Co-Creation Value Chain Mechanisms in Community-Based Approaches: A Literature Review. Sustainability, 16(7), 2919.	2	有
2-2	2025	大西悟、万福裕造 (2025予定) 環境再生事業の分析と中間貯蔵施設周辺地域の復興まちづくりに向けた考察、廃棄物資源循環学会誌	2	有

2-3	2025	戸川卓哉、大西悟、福島秀哉、万福裕造、後藤良子、五味泰子、パターン・ランゲージによる環境まちづくり先進都市に見られる生成的プロセスの記述と展開、土木学会論文集	2	有
2-4	2025	玉置雅紀、石井弓美子、藤野正也、中間貯蔵施設周辺地域における生物相と生態系サービス評価の試み、廃棄物資源循環学会学会誌、投稿中	2	有
3-1	2022	栗谷しのぶ、保高徹生（2022）除去土壌の県外最終処分に係る制度設計とリスク学的考察, リスク学研究, 32(1), 5-10. doi:10.11447/jjra.S-22-003	3	有
3-2	2022	相馬ゆめ、横山実紀、中澤高師、辰巳智行、大沼進（2022）低濃度除去土壌県外処理問題を題材とした集団討議実験—共通善の観点を巡る議論と討議の質を可視化する指標の開発—. リスク学研究, 32(1), 11-23. doi:10.11447/jjra.SRA-0387	3	有
3-3	2023	Shirai, K., Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Yamada, K., Osako, M., & Yasutaka, T. (2023). Factors influencing acceptability of final disposal of incinerated ash and decontaminated soil from TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Journal of Environmental Management, 345, 118610. doi:10.1016/j.jenvman.2023.118610	3	有
3-4	2023	保高徹生、村上道夫、高田モモ、大沼進、柴田侑秀、万福裕造（2023）企画セッション開催報告除去土壌や除染廃棄物の県外最終処分にに向けた課題と新たな取り組み. リスク学研究, 32(3), 215-219. doi:10.11447/jjra.T-22-024	3	無
3-5	2023	村上道夫、大沼進、柴田侑秀、高田モモ、小林智之、後藤あや、保高徹生（2023）対象者の協力を必要とする調査に関する注意事項と対応方法について. リスク学研究, 32(3), 243-249. doi:10.11447/jjra.SRA-L-22-021	3	有
3-6	2023	Takada, M., & Schneider, T. (2023) Radiation doses to non-human species after the Fukushima accident and comparison with ICRP's DCRLs: A systematic qualitative review. Radioprotection, 58, 181-195. doi:10.1051/radiopro/2023017	3	有
3-7	2023	中川達哉、栗山尚子、保高徹生（2023）原発事故後から避難指示解除まで10年以上の区域の建築物の変化—福島県双葉町を対象として—. 日本都市計画学会都市計画報告集, 22(1), 150-156. doi:10.11361/reportscpij.22.1_150	3	無
3-8	2024	保高徹生、村上道夫、高田モモ、大沼進、白井浩介、栗谷しのぶ、安東量子（2024）企画セッション開催報告 除去土壌の県外最終処分にに向けた社会受容性調査—環境総合推進費研究から見てきた重要事項—. リスク学研究, 34(1), 21-26. doi:10.11447/jjra.T-23-020	3	無
3-9	2024	高田モモ、三成映理子、松本親樹、岩崎雄一、鈴木薫、保高徹生（2024）除去土壌等の減容化に関する社会受容における重要要素. 環境放射能除染学会誌, 12(1), 3-13.	3	有
3-10	2024	Murakami, M., Takada, M., Shibata, Y., Shirai,	3	有

		K., Ohnuma, S., & Yasutaka, T. (2024) Exploring the differences and influencing factors between top-down and opinion-reflective approaches regarding public acceptance of final disposal of soils removed after the Fukushima nuclear accident. <i>Radiation Protection Dosimetry</i> , 200(16-18), 1514-1518. doi:10.1093/rpd/nae017		
3-11	2024	Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Shibata, Y., & Yasutaka, T. (2024) Public Attitudes toward the Final Disposal of Radioactively Contaminated Soil Resulting from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. <i>Environmental Management</i> , 73, 962-972. doi:10.1007/s00267-024-01938-w	3	有
3-12	2024	Canet, L., Takada, M., & Yasutaka, T. (2024) Comparative qualitative and quantitative analysis of guidelines for nuclear accident recovery. <i>Radioprotection</i> , 59(2), 69-79. doi:10.1051/radiopro/2023043	3	有
3-13	2024	Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Shibata, Y., & Yasutaka, T. (2025) Public perception and underlying values regarding final disposal of radioactively contaminated soil from a large nuclear accident. <i>Environmental Management</i> , 75, 822-834. doi:10.1007/s00267-025-02124-2	3	有
3-14	2024	高田モモ, 村上道夫, 保高徹生, 大沼進, 鈴木薫, 万福裕造 (2025) 企画セッション開催報告 除去土壌等の県外最終処分に関する社会受容性—2045年までの処分完了に向けて必要なこと—。リスク学研究, 34(4), 169-173. doi:10.11447/jjra.T-24-025	3	無
3-15	2024	Fujii, S., Takada, M., & Yasutaka, T. (2025) Post-accident changes in the interests of residents of a municipality near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Text analysis of residents' town meeting minutes. <i>Radioprotection</i> , in press, doi:10.1051/radiopro/2024045	3	有
3-16	2024	神前由佳, 栗山尚子, 松森梨佳子, 保高徹生 (2025) 原発事故後の避難指示解除後2年の土地と建物の更新—福島県双葉町を対象として—, 日本都市計画学会都市計画報告集, 23(4), 597-602. doi:10.11361/reportscpij.23.4_597	3	無
3-17	2024	中川達哉, 栗山尚子, 保高徹生, 金井裕美子 (2025). 原発事故で長期避難指示を受けた地域の復興に対するステークホルダーの意識に関する研究—福島県双葉町中間貯蔵施設立地地域を対象として—. 環境放射能除染学会誌, 13(1) ページ番号未定【掲載決定】	3	有
3-18	2024	相馬ゆめ, 中澤高師, 辰巳智行, 大沼進 (2024) 最不遇者情報が集団決定に与える効果: 除去土壌福島県外処理問題を題材とした集団討議実験. 心理学研究, 95(2), 77-87. DOI: 10.4992/jjpsy.95.22030	3	有
3-19	2024	相馬ゆめ, 柴田侑秀, 植穂奈美, 中澤高師, 辰巳智行, 有馬淑子, 大沼進 (2024) 除去土壌問題を巡る公共的討議における議論フレームの効果—集団討議実験を用いた検討—. リスク学研究, 34(1), 45-54.	3	有

		doi:10.11447/jjra.S-23-010		
3-20	2024	辻本光英, 鈴木祐人, 大沼進. (2024). 除去土壌福島県外最終処分問題をめぐる公衆-ステークホルダー参加・関与による合意形成ゲームの開発: 公共的視点と視点取得の両立可能な要件の検討. シミュレーション & ゲーミング, 34(2), 87-98. doi: 10.32165/jasag.34.2_87	3	有
3-21	2024	Shibata, Y., Cui, Q., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ue, H., Kihara, N., Takamoto, M., Yasutaka, T. & Ohnuma, S. (2025) Opinion changes among participants in citizen participation workshops: a case study on the final disposal of removed soil outside Fukushima Prefecture. Frontiers in Environmental Science, 13, 1507210. doi: 10.3389/fenvs.2025.1507210.	3	有
3-22	2024	中澤高師, 相馬ゆめ, 辰巳智行, 大沼進 (2025) Discourse Quality Indexを用いた熟議評価の実践と課題—共通善をめぐる概念と事例の架橋—. リスク学研究, 34(4), 193-201. doi:10.11447/jjra.L-24-016	3	有
3-23	2025	大沼進, 柴田侑秀, 相馬ゆめ, 辻本光英. (2025) 除去土壌問題を巡る多元的公正とプロセスデザインの実験的アプローチ. 廃棄物資源循環学会誌 (特集), 36(2), 186-192	3	無
3-24	2025	高田モモ, 三成映理子, 松本親樹, 岩崎雄一, 鈴木薫, 保高徹生 (2025) 除去土壌の再生利用と最終処分: 社会受容への影響の比較. 環境放射能除染学会誌, 13(2), 33-44.	3	有
3-25	2025	村上道夫, 高田モモ, 白井浩介, 武田理熙, 保高徹生 (2025) 除去土壌等の最終処分に関する社会受容性の要因、廃棄物資源循環学会誌 (特集), 36(2), 176-185	3	無
3-26	2025	村上道夫, 高田モモ, 柴田侑秀, 白井浩介, 大沼進, 保高徹生 (2025) 決定木分析による除去土壌等の最終処分場受け入れ要因の解析、リスク学研究, 1-10.	3	有

(3) 著書
<著書>

成果 番号	発表 年度	成果 情報	主たる テーマ
3-30	2025	Q. Cui, Y. Shibata, T. Hara, Y. Souma, M. Tsujimoto, T. Ito, and S. Ohnuma. (2025). Utterance Analysis of Discussions Structure and Discourse Quality: A Case of Removed Soils in Fukushima Prefecture, Japan. In Wenpeng Yin, Jihyun Janice Ahn, Rui Zhang, Lifu Huang, Rafik Hadfi, Takayuki Ito, Susumu Ohnuma, Shun Shiramatsu Eds. Artificial Intelligence for Research and Democracy. Springer, 86-92. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-9536-9 ISBN: 978-981-97-9535-2, 978-981-97-9536-9 (eBook)	3

(4) 口頭発表・ポスター発表

<口頭発表・ポスター発表>

成果 番号	発表 年度	成果 情報	主たる テーマ	査読 の有無
1-9	2022	山田一夫、市川恒樹、三浦拓也、遠藤和人、大迫政浩(2022)灰洗浄・イオンクロマトグラフィ濃縮に用いる吸着材の性能評価の試み、第11回環境放射能除染研究発表会、S1-2	1	無
1-10	2022	三成映理子、山田一夫、市川恒樹、遠藤和人、大迫政浩(2022)放射性セシウムに着目した県外最終処分の施設成立性：システム設計及び数学モデル検討、第11回環境放射能除染研究発表会、P1-9	1	無
1-11	2022	三浦拓也、山田一夫、市川恒樹、遠藤和人、大迫政浩(2022)共存イオン比とイオン選択係数がCs吸着能評価に与える影響、第11回環境放射能除染研究発表会、P1-8	1	無
1-12	2022	市川恒樹、東條安匡、山田一夫(2022)イオン交換クロマトグラフィーによる放射性セシウム除去に用いた使用済みフェロシアン化銅吸着剤の各種固型化処理、第11回環境放射能除染研究発表会、S1-5	1	無
1-13	2022	Yamada, K., End, K., Minari, E., Osako, M. (2023) Review of Activities to Develop a Strategy for the Final Disposal of Contaminated Waste Off-Site Outside Fukushima Prefecture, WM Symposia, 23055	1	有
1-14	2022	熊谷 純, 細見 奎輔, 長谷川 晋也, 根岸 久美, 井田 雅也, セメント構成結晶の放射線分解水素生成収率照射温度の影響, 日本原子力学会2022年秋の大会, 3C10	1	無
1-15	2022	熊谷 純, 細見 奎輔, 長谷川 晋也, 根岸 久美, 井田 雅也, セメント構成結晶の放射線分解水素生成収率照射温度の影響, 第65回放射線化学討論会, 0-02	1	無
1-16	2022	岡田早紀, 東條安匡, 松尾孝之, 黄仁姫(2022)ゼオライトを用いた各種安定化体からのセシウム溶出挙動の把握、令和4年度廃棄物資源循環学会北海道支部研究発表会	1	無
1-17	2023	Yamada, K., Ichikawa, T., Tojo, Y., Endo, K. (2023) Leaching Characteristics of Cs from the Decomposed Cu Ferrocyanide Adsorbent Solidified by Portland Cement and Geopolymer, SynerCrete, 739-748, 2023	1	有
1-18	2023	市川恒樹, 山田一夫, 新井裕之, 東條安匡(2023)亜鉛含有汚染飛灰のセメント固型化に対するアルミン酸ナトリウムの添加効果、第12回環境放射能除染学会研究発表会、S2-5	1	無
1-19	2023	安河内隆仁, 山田一夫, 新井裕之, 東條安匡, 市川恒樹, 遠藤和人(2023)熔融飛灰のセメント固型化手法の検討、第12回環境放射能除染学会研究発表会、S2-2	1	無
1-20	2023	三成映理子, 山田一夫, 遠藤和人, 大迫政浩(2023)県外最終処分に向けた処理・処分シナリオの総合的比較検討の試み、第12回環境放射能除染学会研究発表会、P1-14	1	無

1-21	2023	田中悠平, 山田一夫, 遠藤和人(2023)フェロシアン化銅のCs吸着能に対する製造方法の影響、第12回環境放射能除染学会研究発表会、P1-09	1	無
1-22	2023	市川恒樹, 山田一夫, 東條安匡(2023) 放射性セシウムのイオンクロマトグラフィー除去に用いるフェロシアン化銅造粒体のイオン交換特性、第12回環境放射能除染学会研究発表会、S3-6	1	無
1-23	2023	相澤夏瞳, 我妻佑哉, 遠藤和人, 三浦拓也(2023)福島県内土壌におけるCs平衡・非平衡吸着挙動の一考察、第12回環境放射能除染学会研究発表会、p.24	1	無
1-24	2023	熊谷 純・根岸久美・井田雅也, セメント硬化体構成結晶の放射線分解水素生成収率と照射温度依存性、第12回環境放射能除染学会研究発表会、S6-3	1	無
1-25	2023	熊谷 純・根岸久美・井田雅也, セメント硬化体構成結晶の放射線分解水素生成収率と照射温度依存性、第66回放射線化学討論会、0-20	1	無
1-26	2023	三成映理子, 山田一夫, 遠藤和人, 大迫政浩(2023)県外最終処分の実現に向けた放射性物質汚染廃棄物の処理・処分シナリオ分析, 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集A1-5-0	1	無
1-27	2023	田中 悠平, 山田 一夫, 遠藤 和人(2023)高濃縮を目的とした放射性 Cs 吸着材におけるイオン交換理論の有用性, 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, F3-2-0	1	無
1-28	2023	Tanaka, Y., Yamada, K., Endo, K. (2023) Evaluation of Cs adsorption performance of certain natural mordenite type zeolite with ion exchange theory, 15th Symposium of Japanese Environmental Geotechnology	1	有
1-29	2023	Minari, E., Yamada, K., Endo, K., Osako, M. (2023) Preliminary Study on Treatment/Disposal Scenario Building and Comprehensive Evaluation Toward the Final Disposal of the Radioactively Contaminated Waste Outside Fukushima Prefecture, 15th Symposium of Japanese Environmental Geotechnology	1	有
1-30	2023	Yamada, K., Tanaka, Y., Ichikawa, T., Miura, T., Minari, E., Endo, K. (2024) Application of Ion-exchange Theory to the Performance Assessment of Cs Adsorbents and Estimation of Conditions for Maximum Concentration, Proceedings of WM2024 Conference, 24169	1	有
1-31	2023	Hu, Y., Tojo, Y., Matsuo, T., Hwang, I-H. (2023) Preparation of stabilized bodies by using copper ferrocyanide and evaluation of cesium leaching characteristics, The 12th China-Japan Joint Conference on Material Recycling and Waste Management.	1	無
1-32	2023	Hu, Y., Tojo, Y., Matsuo, T., Hwang, I-H. (2023) Preparation of stabilized bodies by using copper ferrocyanide and evaluation of cesium leaching characteristics, 第30回衛生工学シンポジウム.	1	無

1-33	2023	小島脩平, 安河内隆仁, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之(2023) セシウム濃縮飛灰のセメント・ジオポリマー固化体, 令和5年度廃棄物資源循環学会北海道支部研究ポスター発表会.	1	無
1-34	2023	西村 拓己, Hu Yuke, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之(2023) フェロシアン化銅経由Cs安定化体のCs溶出に及ぼす温度の影響, 令和5年度廃棄物資源循環学会北海道支部研究ポスター発表会.	1	無
1-35	2023	Hu Yuke, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之(2023) Preparation of stabilized bodies by using Copper ferrocyanide and evaluation of Cesium leaching characteristics, 令和5年度廃棄物資源循環学会北海道支部研究ポスター発表会.	1	無
1-36	2023	安河内隆仁, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之(2023) ゼオライトを用いた除染廃棄物安定化体からのCs溶出特性評価, 令和5年度廃棄物資源循環学会北海道支部研究ポスター発表会	1	無
1-37	2023	Lang, L., Toda, K., Saito. T., (2023) Leaching behavior of Cs from cement and geopolymer solidified forms of Cs adsorbent and fly ash, 日本原子力学会2023年度春の大会.	1	無
1-38	2023	三浦 拓也, 遠藤 和人(2023)イオン選択係数とCECがCs分配係数の導出に与える影響, 第36回日本イオン交換研究発表会, 01-09	1	無
1-39	2023	今井 大智, 遠藤 和人, 三浦 拓也(2023)福島県内土壌に対するCs吸着形態と共存イオンがCs吸着能に与える影響, 第36回日本イオン交換研究発表会, PI-03	1	無
1-40	2023	相澤 夏瞳, 遠藤 和人, 三浦 拓也(2023)カラム吸着試験による福島県内土壌のCs吸着パラメータ評価, 第36回日本イオン交換研究発表会, PI-08	1	無
1-41	2023	三橋知矢, 乾徹, 緒方奨: カチオンを高濃度で含有する浸出水に対するベントナイトのCs吸着特性の評価, 第28回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, No. S1-15	1	無
1-42	2023	三橋知矢, 乾徹, 緒方奨: 放射性物質汚染廃棄物等を対象とした最終処分施設構造の検討と陽イオンを高濃度で含む浸出水に対するベントナイトのCs吸着特性の評価, 第58回地盤工学研究発表会, No. 11-2-5-08	1	無
1-43	2023	今泉有人・庭瀬一仁・山本武志・佐藤宏: 高吸着人工バリアの開発に資する高CECモルデナイト型ゼオライトを混合したセメント系材料の諸特性, 第77回セメント技術大会, 令和5年5月17日	1	無
1-44	2023	庭瀬一仁・今泉有人: 各種ゼオライトを混入したセメント系材料の分配係数, 2023年原子力学会秋の年会, 令和5年9月8日	1	無
1-45	2023	Yuto Imaizumi, Kazuhito Niwase, Takeshi Yamamoto, Hiroshi Sato: Basic Study on Applicability to Artificial Barriers for Radioactive Waste Disposal Facility for Various Zeolites, The 7th International Conference on Structural and Civil Engineering	1	有
1-46	2023	Yuto Imaizumi, Kazuhito Niwase: Conventional technology and future development of	1	有

		artificial barriers for disposal of low-level radioactive waste in Japan, Materials In Nuclear Energy Systems		
1-47	2024	相澤 夏瞳, 遠藤 和人, 三浦 拓也(2024) 地盤および溶液条件が各種土壌のCs吸着定数に与える影響, 第59回地盤工学研究発表会, 23-8-1-06	1	無
1-48	2024	田中悠平, 山田一夫, 遠藤和人(2024)可燃性除染廃棄物等の高度減容化に向けたCs吸着材評価, 廃棄物資源循環学会 令和5年度関東支部主催講演会、研究発表会(ポスター)	1	無
1-49	2024	Tanaka, Y., Yamada, K., Endo, K. (2024) Development of Evaluation Method for Cs Adsorbent for Advanced Volume Reduction of Decontamination Waste in Fukushima, 2024 Spring Scientific Conference by Korea Society of Waste Management	1	無
1-50	2024	Yamada, K. (2024) Ion exchange theory and its application for the interaction of alkali metal ions with cation exchangers such as Cs adsorbent and geopolymer -numerical simulation and experiments, Intl Conf Atomistic Simulation of Cementitious Materials	1	無
1-51	2024	山田一夫, 田中悠平, 小田俊司, 遠藤和人(2024)飛灰中のK/Csモル濃度比が飛灰洗浄・吸着濃縮に与える影響の試算、第13回環境放射能除染学会発表会、同要旨集、19	1	無
1-52	2024	田中悠平, 山田一夫, 遠藤和人(2024) フェロシアン化銅の二段階化学共沈法による最大減容化に向けた検討、第13回環境放射能除染学会発表会、同要旨集、22	1	無
1-53	2024	安河内隆仁, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之, 戸田賀奈子, 山田一夫, 遠藤和人(2024)Cs吸着ゼオライト固型化体の凍結融解、海水浸漬によるCs 溶出特性の変化、第13回環境放射能除染学会発表会、同要旨集、23	1	無
1-54	2024	三成映理子, 山田一夫, 遠藤和人(2024)複数の減容化技術シナリオにおける処分システムの安全性の検討、第13回環境放射能除染学会発表会、同要旨集、26	1	無
1-55	2024	熊谷純, 山田一夫, 遠藤和人(2024)飛灰を導入したγ線照射高炉セメント硬化体とジオポリマーの放射線分解水素発生挙動、第13回環境放射能除染学会発表会、同要旨集、20	1	無
1-56	2024	熊谷純, 山田一夫, 遠藤和人(2024)γ線照射された高炉セメントペースト硬化体のGH ₂ 照射・保持温度と飛灰導入の影響、日本原子力学会 2024年秋の大会、同予稿集、3M10ka	1	無
1-57	2024	三成映理子, 山田一夫, 遠藤和人(2024)複数の処理・処分シナリオによるオフサイト廃棄物の県外最終処分： 処分モデルに関する検討、日本原子力学会 2024年秋の大会、同予稿集、1C08	1	無
1-58	2024	田中悠平, 新井裕之, 山田一夫, 遠藤和人(2024)除染廃棄物等の飛灰洗浄液に着目した高度減容化に関する検討～フェロシアン化銅を対象としたカラムとバッチ試験の比較～、第35回 廃棄物資源循環学	1	無

		会研究発表会、同講演要旨集、479-480		
1-59	2024	山田 一夫, 市川 恒樹, 新井 裕之, 安河内 隆仁, 遠藤 和人(2024)亜鉛によるセメントの水和阻害とアルミ酸ナトリウムによる硬化促進の機構のXRDによる解析, 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 F1-2-0	1	無
1-60	2024	安河内 隆仁, 東條 安匡, 黄 仁姫, 松尾 孝之, 戸田 賀奈子, 山田 一夫, 遠藤 和人(2024)Cs吸着ゼオライト(天然モルデナイト)のセメント、GP固型化体からのCs溶出特性評価, 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, F1-6-0	1	無
1-61	2024	Minari E., Yamada K., Endo K. (2024) Study on the construction of disposal scenarios and a tentative migration modeling of cesium for the final disposal of radioactively contaminated waste outside of Fukushima Prefecture, 9th Clay Conference	1	無
1-62	2024	Yamada, K., Endo, K. (2025) Cement solidification of incineration fly ash containing heavy metals with sodium aluminate, Proc. Waste Management Symposium, 25160.	1	有
1-63	2024	小島脩平, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之, 戸田賀奈子(2024)Cs濃縮飛灰のセメント/ジオポリマー直接固型化体におけるCs溶出特性, 第13回環境放射能除染研究発表会	1	無
1-64	2024	西村拓己, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之, 戸田賀奈子(2024)フェロシアン化銅吸着経由安定化体からのCs溶出に及ぼす温度の影響, 第13回環境放射能除染研究発表会	1	無
1-65	2024	小島脩平, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之, 戸田賀奈子(2024)Cs濃縮飛灰のセメント/ジオポリマー直接固型化体におけるCs溶出特性, 第31回衛生工学シンポジウム	1	無
1-66	2024	西村拓己, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之, 戸田賀奈子(2024) フェロシアン化銅吸着経由安定化体からのCs溶出に及ぼす温度の影響, 第31回衛生工学シンポジウム	1	無
1-67	2024	安河内隆仁, 東條安匡, 黄仁姫, 松尾孝之, 戸田賀奈子(2024) Cs 吸着ゼオライト固型化体からのCs溶出メカニズムと凍結融解, 海水浸漬の影響, 第31回衛生工学シンポジウム	1	無
1-68	2024	戸田賀奈子, 郎朗, 齊藤拓巳, 東條安匡(2024) Cs encapsulation by calcined copper ferrocyanide solidified with cement and geopolymer, 日本原子力学会2024年度春の大会	1	無
1-69	2024	Toda, K., Saito, T., Tojo, Y. (2024) Interfaces of solidified Cs adsorbents arising in volume reduction of fly-ash in the interim storage facility, Fukushima prefecture, Interfaces Against Pollution.	1	無
1-70	2024	三橋知矢, 乾徹, 緒方奨: 陽イオン交換理論に基づいた高濃度陽イオンを含む浸出水に対するベントナイトのCs吸着予測, 第29回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, No. S2-18	1	無

1-71	2024	三輪将人, 半井健一郎:セメント硬化体中へのCs浸透におけるCaCl ₂ の影響, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会, No.CS12-04	1	無
1-72	2024	今泉有人, 古川雄, 庭瀬一仁:高CECゼオライトを混合したセメント系材料の県外最終処分施設バリア材料への適用性に関する研究, 第13回環境放射能除染研究発表会, p.24	1	無
1-73	2025	Yamada, K., Endo, K., Sugihashi, N. (2025) Non-toxicification of incinerated ash by cement solidification for landfill disposal, 8th Recycling Conference 2025, Rome, Italy	1	無
1-74	2025	Yamada, K., Yasukochi, T., Tojo, Y., Endo, K. (2025) Cement solidification of MSW incineration fly ash containing cement hydration inhibitors and dissolution characteristics of Pb, 20 th Int. Symp. On Waste Management, Resource Recovery and Sustainable Landfilling, Sardinia, Italy	1	無
1-75	2025	Viaud, M., Toda, K., Saito, T., (2025) Immobilization of radionuclides in fly-ash/slag-based geopolymer matrices, 日本原子力学会2025年度春の大会	1	無
1-76	2025	麻生蓮太, 乾徹, 緒方奨:放射性セシウムを含有する熱処理飛灰セメント固型化体の最終処分施設構造に関する一考察, 第60回地盤工学研究発表会	1	無
2-5	2022	大西 悟, 辻 岳史, 中村 省吾, 大場 真, 平野 勇二郎, 浅原 みゆき, 土井 麻記子, 塚本 祐樹 (国内2022) 浜通りにおける産業政策・拠点整備データベースの設計と現況分析. 第11回環境放射能除染研究発表会	2	無
2-6	2023	Takuya Togawa, Sastoshi Ohnishi, Hideya Fukushima, Ryoko Gotoh, Yasuko Gomi (国際2023) Development of co-creative processes found in environmentally or developmentally advanced cities using pattern language, PATTERN LANGUAGES OF PROGRAMS CONFERENCE 2023, Monticello, Illinois	2	無
2-7	2023	Yuzo Manpuku, Satoshi Ohnishi, Shogo Nakamura, Takuya Togawa, Kei Gomi (国際2023) Reconstruction Process in Iitate Village, Fukushima Prefecture Using Pattern Language. Abstract Submission #153915 - ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting	2	無
2-8	2023	万福裕造, 戸川卓哉, 大西悟, 五味馨, 山口紀子 (国内2023) 地域資源・環境を活用した周辺地域の将来デザイン構築に関する研究. 第12回環境放射能除染研究発表会	2	無
2-9	2023	大西 悟, 戸川 卓哉, 万福 裕造, 辻 岳史, 五味 馨, 五味 泰子, 後藤 良子 (国内2023) パターン・ランゲージによる福島県飯館村での復興まちづくり過程の記述-その1-. 第12回環境放射能除染研究発表会	2	無
2-10	2023	戸川 卓哉, 大西 悟, 万福 裕造, 辻 岳史, 五味 馨, 五味 泰子, 後藤 良子: (国内2023) パターン・ランゲージによる福島県飯館村での復興ま	2	無

		ちづくり過程の記述-その2-. 第12回環境放射能除染研究発表会		
2-11	2023	五味馨(国内2023) 原子力災害による避難指示の発出された被災地における人口動態. 第12回環境放射能除染研究発表会	2	無
2-12	2023	玉置雅紀, 菊地心, 吉田拓矢, 西浩司, 藤野正也, 石井弓美子(国内2023) 中間貯蔵施設周辺地域における生物相モニタリングと生態系サービス評価, 第12回環境放射能除染研究発表会	2	無
2-13	2024	大西悟, 戸川卓哉, 万福裕造, 中村省吾, 倉持秀敏, 小林拓朗, 辻岳史(国内2024) 浜通り地域の産業振興と脱炭素化および地域共生の統合的研究, 第13回環境放射能除染研究発表会	2	無
2-14	2024	大西悟(国内2024) 浜通りの復興まちづくりにおける産業形成と脱炭素化に関する研究. 令和6年度 環境創造センター成果報告会	2	無
2-15	2024	石井弓美子, 菊地心, 吉田拓矢, 藤野正也, 玉置雅紀(国内2024) 中間貯蔵施設周辺地域における生態系モニタリングと生態系サービス評価. 応用生態工学会第27回さいたま大会	2	無
2-16	2024	五味馨, 大西悟, 戸川卓哉, 万福裕造(国内2024) 中間貯蔵終了後の地域復興の方向性に係るシナリオ・アプローチの提案. 第13回環境放射能除染研究発表会.	2	無
2-17	2025	藤野正也, 玉置雅紀, 石井弓美子(国内2025) 福島県双葉郡の自然環境に対する住民の意向, 第136回日本森林学会大会	2	無
3-31	2022	相馬ゆめ, 中澤高師, 辰巳智行, 大沼進(2022年6月) 公共的討議における多元的共通善の複眼的評価比較: 福島県低濃度除去土壌県外処理問題を題材とした集団討議実験[口頭発表]. 2022年度人工知能学会全国大会(第36回), 京都.	3	無
3-32	2022	坂原桜子, 長野宇規, 保高徹生, 高田モモ, 金井裕美子(2022年8月) 中間貯蔵施設立地地域における社会的景観の可視化の試み[ポスター発表]. 環境放射能除染学会第11回研究発表会, 郡山市, 福島県.	3	無
3-33	2022	保高徹生, リヒンキ, 高田モモ, 藤田司, 金井裕美子, 坂原桜子, 長野宇規, 北尾馨(2022年8月) 原子力災害被災地域の環境記憶デジタルアーカイブ構築への取り組み. 環境放射能除染学会第11回研究発表会[ポスター発表], 郡山市, 福島県.	3	無
3-34	2022	保高徹生, 高田モモ, 大沼進, 村上道夫(2022年8月) 県外最終処分に関する社会受容性と取り組むべき課題に関する一考察[ポスター発表]. 環境放射能除染学会第11回研究発表会, 郡山市, 福島県.	3	無
3-35	2022	相馬ゆめ, 中澤高師, 辰巳智行, 大沼進(2022年9月) 公共的討議における最不遇者情報が議論評価に与える効果: 低濃度除去土壌県外処理問題を題材とした集団討議実験 [口頭発表]. 日本社会心理学会第63回大会, 京都.	3	無
3-36	2022	Yasutaka, T (2022, October) <i>Current Status and Challenges of and Preparedness for Environmental Remediation from Nuclear Disaster</i> [Keynote speech]. The 7th East Asia	3	無

		Forum on Radwaste Management (EAFORM 2022) , Jeju Island, Republic of Korea.		
3-37	2022	Yasutaka, T (2022, October) <i>Sustainable remediation of Off-Site Areas Affected by the Fukushima Daiichi NPP</i> [Conference presentation]. Biannual Meeting of the Network of Environmental Remediation and NORM Management (ENVIRONET), IAEA. Vienna, Austria	3	無
3-38	2022	Ohnuma, S. (2022, October) <i>Experimental democracy: consensus process towards diverse common goods</i> [Keynote speech]. 3rd Joint ERCIM-JST Workshop, Rocquencourt, France.	3	無
3-39	2022	坂原桜子, 長野宇規, 保高徹生, 高田モモ, 金井裕美子(2022年11月) テキスト分析を用いて場所の記憶から社会的景観を抽出する試み[口頭発表]. 第79回農業農村工学会京都支部研究発表会, 神戸市, 兵庫県.	3	無
3-40	2022	Takada, M., Kuroda, Y., Kanai Y., Yasutaka T. (2022, November) <i>Impacts of decontamination in farmlands and forests on rebuilding of returnees' lives after the Fukushima accident</i> [conference presentation]. The 6th International Symposium on the System of Radiological Protection (ICRP 2021+1) Vancouver, Canada.	3	無
3-41	2022	金井裕美子, 高田モモ, 大沼進, 保高徹生, (2022年11月) 除去土壌等の県外最終処分における市民からみた重要事項の抽出-仮想ステークホルダーへのインタビュー結果に基づく検討[ハイブリッド発表]. 日本リスク学会第35回年次大会, 京都.	3	無
3-42	2022	藤井新子, 金井裕美子, 高田モモ, 保高徹生, (2022年11月) 町政懇談会議事録のテキスト解析に基づく避難区域の住民の関心の変遷[ハイブリッド発表]. 日本リスク学会第35回年次大会, 京都.	3	無
3-43	2022	柴田侑秀, 相馬ゆめ, 辻本光英, 大沼進, 保高徹生 (2022年11月) 除去土壌県外処分をめぐる模擬市民参加ワークショップの試み[口頭発表]. 日本リスク学会第35回年次大会, 京都.	3	無
3-44	2022	大沼進, 柴田侑秀, 相馬ゆめ (2022年11月) 多元的公正からみた除去土壌問題 [口頭発表]. 日本リスク学会第35回年次大会, 京都.	3	無
3-45	2022	相馬ゆめ, 中澤高師, 辰巳智行, 大沼進 (2022年11月) 福島県低濃度除去土壌県外処理問題における最不遇者情報が集団議論にもたらす効果: 多元的共通善に関する討議の質の比較 [口頭発表]. 日本リスク学会第35回年次大会, 京都.	3	無
3-46	2022	大沼進, 相馬ゆめ, 中澤高師, 辰巳智行 (2023年3月) 多元的公正が勘考される合意プロセス: 討議の質を共通善の観点から測る[口頭発表]. 第1回合意と共創研究会 電子情報通信学会特別研究専門委員会「合意と共創」(Consensus), 京都.	3	無
3-47	2023	柴田侑秀, 相馬ゆめ, 辻本光英, 植穂奈美, 木原なな, 保高徹生, 大沼進 (2023年6月) <i>Discourse Quality Index</i> を用いた討議の質の可視化: 除去土壌をめぐる模擬市民参加ワークショップを題材と	3	無

		して[口頭発表]. 2023年度人工知能学会全国大会(第37回), 熊本.		
3-48	2023	保高徹生, 高田モモ, 大沼進, 村上道夫(2023年6月) 県外最終処分に関する社会受容性と合意形成プロセスに関する課題と研究 [口頭発表]. 第27回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 神奈川.	3	無
3-49	2023	Souma, Y., Nakazawa, T., Tatsumi, T., & Ohnuma, S. (2023, July) <i>The effect of the least advantaged people's information on the discourse in a group discussion</i> . International Society for Justice Research, Munich, Germany.	3	有
3-50	2023	高田モモ, 保高徹生, 村上道夫, 大沼進, 柴田侑秀(2023年8月) 県外最終処分政策への賛否(1) アンケート調査[ポスター発表]. 環境放射能除染学会第12回研究発表会, 福島.	3	無
3-51	2023	高田モモ, 保高徹生, 村上道夫, 大沼進, 柴田侑秀(2023年8月) 県外最終処分政策への賛否(2) インタビュー調査[ポスター発表]. 環境放射能除染学会第12回研究発表会, 福島.	3	無
3-52	2023	高田モモ, 保高徹生(2023年8月) 除去土壌等の減容化が社会受容に与える影響[口頭発表]. 環境放射能除染学会第12回研究発表会, 福島.	3	無
3-53	2023	金井裕美子, 高田モモ, 大沼進, 保高徹生(2023年8月) 県外最終処分の検討における市民・行政から見た重要事項の整理[口頭発表]. 環境放射能除染学会第12回研究発表会, 福島.	3	無
3-54	2023	藤井新子, 金井裕美子, 高田モモ, 保高徹生(2023年, 8月) 福島県双葉町における住民の関心事項の変遷に関する一考察—町政懇談会議事録を用いたテキスト解析— [ポスター発表], 環境放射能除染学会第12回研究発表会, 福島.	3	無
3-55	2023	鈴木薫, 保高徹生, 大迫政浩(2023年, 8月) 廃棄物処理・処分施設が地域社会に創出する価値に関する一考察—サステナビリティの視点から—[口頭発表], 環境放射能除染学会第12回研究発表会,	3	無
3-56	2023	大澤遼, 長野宇規, 保高徹生(2023年8月) 原子力災害旧避難地区における森林内空間線量率の減衰に地理条件が及ぼす影響の解析 [ポスター発表]. 第12回環境放射能除染学会回研究発表会, 福島.	3	無
3-57	2023	柴田侑秀, 相馬ゆめ, 辻本光英, 植穂奈美, 木原なな, 大沼進, 保高徹生(2023年9月) 模擬市民参加ワークショップ参加者の態度変容の検討: 除去土壌 県外最終処分を題材として[ポスター発表]. 日本社会心理学会第64回大会, 東京.	3	無
3-58	2023	柴田侑秀, 相馬ゆめ, 辻本光英, 大沼進(2023年9月) 低濃度除去土壌の再生利用に対する反応の検討 所沢市と新宿御苑での実証試験に対する Twitter 投稿内容の計量テキスト分析に基づいて [口頭発表]. 日本心理学会第87回大会, 神戸.	3	無
3-59	2023	相馬ゆめ, 辻本光英, 柴田侑秀, 中澤高師, 辰巳智行, 大沼進(2023年9月) 集団意思決定における公正さと“討議の質指標”の対応関係の検討—低濃度除去土壌福島県外処理問題を題材とした集団	3	無

		討議実験— [ポスター発表]. 日本社会心理学会第64回大会, 東京.		
3-60	2023	Murakami, M., Takada, M., Shibata, Y., Shirai, K., Ohnuma, S., & Yasutaka, T. (2023, September) <i>Exploring the differences and factors between top-down and opinion-reflective approaches regarding public acceptance for final disposal of soils removed after the Fukushima nuclear accident</i> [Oral presentation], International Symposium on Natural and Artificial Radiation Exposures and Radiological Protection Studies (NARE2023), Aomori.	3	有
3-61	2023	Yasutaka, T. (2023, September) <i>Current Status and Challenges of, and Preparedness for Sustainable Remediation from Nuclear Disaster</i> [Oral presentation]. AquaConSoil 2023, Prague, Czech Republic.	3	無
3-62	2023	Yasutaka, T., Takada, M., Murakami, M., Shibata, Y., Shirai, K., Ohnuma, S. (2023, November) <i>Challenge for Sustainable remediation of large-scale terrestrial contamination by the Fukushima Daiichi NPP accident</i> [Oral presentation] RemPlex Summit 2023, Washington, USA.	3	有
3-63	2023	Takada, M. & Schneider, T. (2023, November) <i>A systematic review of environmental effects after the Fukushima accident: Comparison with the ICRP DCRL</i> [Poster Presentation]. 7th International Symposium on the System of Radiological Protection, Tokyo.	3	無
3-64	2023	藤井新子, 高田モモ, 保高徹生 (2023年11月) 飯館村長泥地区環境再生事業における住民の関心事の変遷—議事録のテキスト分析の結果より— [ポスター発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-65	2023	高田モモ, 保高徹生, 村上道夫, 大沼進, 柴田侑秀 (2023年11月) 福島県外での最終処分に対する関東・関西地域の市民の意識: オンラインインタビューから見たこと [口頭発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-66	2023	村上道夫, 高田モモ, 柴田侑秀, 白井浩介, 大沼進, 保高徹生 (2023年11月) 決定木分析による最終処分場受け入れ要因の解析: 郵送法アンケート [口頭発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-67	2023	白井浩介, 高田モモ, 村上道夫, 大沼進, 山田一夫, 大迫政浩, 保高徹生 (2023年11月) 共分散構造分析による最終処分受入への影響因子の評価: オンラインアンケート [口頭発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-68	2023	保高徹生, 高田モモ, 村上道夫, 白井浩介, 大沼進, 柴田侑秀 (2023年11月) 社会受容性からみた除去土壌の県外最終処分に向けた重要事項の整理 [口頭発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無

3-69	2023	Yasutaka, T., Sakahara, S., Nagano, T., Kanai, Y., Takada, M., Fujii, S., Igarashi, Y., Nakagawa, T., Kuriyama, N., Ohashi, Y. & Tanaka, S. (2023, November) <i>Towards Digital and Analogue Archiving of History and Memory in Nuclear Disaster-affected Areas where Return is Difficult</i> [Poster presentation]. The 7th International Symp. on the System of Radiological Protection (ICRP 2023), Tokyo.	3	無
3-70	2023	Shibata, Y., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ue, H., Kihara, N., Ohnuma, S., & Yasutaka, T (2023, November) <i>Evaluations of the citizen participation workshop on the final disposal of the removed soil outside Fukushima Prefecture: The effect of dialogue on fostering trust and positive attitude</i> [Poster presentation]. The 7th International Symposium on the System of Radiological Protection, Tokyo, Japan.	3	無
3-71	2023	辻本光英, 柴田侑秀, 中川達哉, 大沼進, 栗山尚子 (2023年11月) 福島県大熊町への帰還者と帰還切望者の活動とその思いに関する語りの収集 [ハイブリッド発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-72	2023	相馬ゆめ, 柴田侑秀, 植穂奈美, 中澤高師, 辰巳智行, 有馬淑子, 大沼進 (2023年11月) 除去土壌問題を巡る公共的討議における議論フレームの効果: 集団討議実験を用いた検討 [口頭発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-73	2023	柴田侑秀, 崔青林, 相馬ゆめ, 辻本光英, 植穂奈美, 木原なな, 高本真依子, 保高徹生, 大沼進 (2023年11月) 除去土壌問題をめぐる市民参加ワークショップ参加者の態度変容 [口頭発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-74	2023	大沼進, 柴田侑秀, 木原なな, 相馬ゆめ, 辻本光英, 植穂奈美, 保高徹生 (2023年11月) 除去土壌問題の国民的議論に向けた市民参加ワークショップと討議の質評価 [口頭発表]. 第36回日本リスク学会年次大会, 北海道.	3	無
3-75	2023	辻本光英, 鈴木祐人, 大沼進 (2023年11月) 除去土壌の福島県外最終処分をめぐる合意形成過程—段階的な公衆-ステークホルダー参加・関与による意思決定プロセスを模したゲームの開発— [口頭発表]. 日本シミュレーション&ゲーミング学会2023年秋期全国大会, 千葉.	3	無
3-76	2023	柴田侑秀, 崔青林, 相馬ゆめ, 辻本光英, 植穂奈美, 木原なな, 高本真依子, 保高徹生, 大沼進 (2024年2月) 除去土壌県外最終処分における信頼と社会的受容: 市民参加ワークショップ参加者に対する質問紙調査に基づいて [口頭発表]. 第4回合意と共創研究会合意と共創特別研究専門委員会, 北海道.	3	無
3-77	2023	崔青林, 柴田侑秀, 原大拓, 相馬ゆめ, 辻本光英, 大沼進 (2024年2月) 異なる方法を組み合わせた討論データの複眼的な分析: 福島県除去土壌問題を題	3	無

		材としたオンライン・ディスカッションの分析事例 [口頭発表]. 第4回合意と共創研究会合意と共創特別研究専門委員会, 北海道.		
3-78	2023	相馬ゆめ, 植穂奈美, 柴田侑秀, 辻本光英, 崔青林, 中澤高師, 辰巳智行, 有馬淑子, 大沼進 (2024年2月) 議論フレームと少数意見の反映における関連の検討: 意見の違いを乗り越える集団討議のあり方とその帰結 [口頭発表]. 第4回合意と共創研究会合意と共創特別研究専門委員会, 北海道.	3	無
3-79	2024	崔青林, 柴田侑秀, 原大拓, 相馬ゆめ, 辻本光英, 大沼進 (2024年5月) 人工知能に求められるデモクラシーの支援技術に関する社会的期待の発見研究: 福島県除去土壌問題を題材としたオンライン・ディスカッションの分析を踏まえて [口頭発表]. 第38回人工知能学会全国大会2024, 静岡.	3	無
3-80	2024	Yasutaka, T. & Takada, M. (2024, May) <i>Sustainability, Standardization and Social Acceptability Assessment —Looking at Geo-Environmental Issues from a Slightly Different Perspective—</i> [Keynote speech], GEO-ENVIRONMENTAL ENGINEERING 2024, Kyoto.	3	無
3-81	2024	相馬ゆめ, 植穂奈美, 柴田侑秀, 辻本光英, 崔青林, 中澤高師, 辰巳智行, 有馬淑子, 大沼進 (2024年5月) 公共的討議の議論内容に対する議論フレームの影響に関する集団討議実験を用いた検討: 討議の質指標 (DQI) を用いた多面的共通善および影響を受ける主体への配慮に関する比較 [口頭発表]. 第38回人工知能学会全国大会2024, 静岡.	3	無
3-82	2024	中川達哉, 栗山尚子, 保高徹生, 金井裕美子 (2024年6月) 原発事故で長期避難指示を受けた地域の復興に対するステークホルダーの意識に関する研究—福島県双葉町中間貯蔵施設立地地域を対象として— [口頭発表]. 令和6年度日本建築学会近畿支部研究報告会, 大阪	3	無
3-83	2024	Ohnuma, S., Kihara, N., Shibata, Y., Souma, Y., Tsujimoto, M., Cui, Q. & Yasutaka, T. (2024, July) <i>Evaluation of discourse quality in citizen participation workshops: A case study of decontaminated soil generated in Fukushima, Japan</i> [Oral presentation]. 28th International Conference Association People-Environment Studies, Barcelona, Spain.	3	有
3-84	2024	Tsujimoto, M., Suzuki, Y., & Ohnuma, S. (2024, July) <i>Consensus process for final disposal of removed soil outside Fukushima Prefecture: Development of the “Removed soil game” incorporating the stepwise public-stakeholders engagement process</i> [Oral presentation]. 28th International Conference Association People-Environment Studies, Barcelona, Spain.	3	有
3-85	2024	Shibata, Y., Cui, Q., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ue, H., Kihara, N., Takamoto, M., Yasutaka, T. & Ohnuma, S (2024, July) <i>Examination of attitude change among participants in citizen participation workshop on final disposal of</i>	3	有

		<i>removed soil</i> [Oral presentation]. 28th International Conference Association People-Environment Studies, Barcelona, Spain.		
3-86	2024	Souma, Y., Ue, H., Shibata, Y., Tsujimoto, M., Cui, Q., Nakazawa, T., Tatsumi, T., Arima, Y. & Ohnuma, S. (2024, July) <i>Effect of Discussion Frame on the Reflection of Minorities' Opinions and the Evaluation of the Group Decision</i> [Oral presentation]. 28th International Conference Association People-Environment Studies, Barcelona, Spain.	3	有
3-87	2024	相馬ゆめ, 柴田侑秀, 中澤高師, 辰巳智行, 大沼進 (2024年8月) 討議の質に対する定量的評価指標の提案と実用例の報告 [口頭発表]. 第5回合意と共創研究会, 京都.	3	無
3-88	2024	Cui, Q., Shibata, Y., Hara, T., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ito, T. & Ohnuma, S. (2024, August) <i>Utterance Analysis of Discussions Structure and Discourse Quality: A Case of Removed Soils in Fukushima Prefecture, Japan</i> [Oral presentation]. The 4th International Workshop on Democracy and AI in conjunction with the 33rd International Joint Conference on Artificial Intelligence, Jeju Island, South Korea.	3	有
3-89	2024	柴田侑秀, 崔青林, 相馬ゆめ, 辻本光英, 植穂奈美, 木原なな, 高本真依子, 保高徹生, 大沼進 (2024年8月) 討議の質指標を用いた市民参加 ワークショップの議論内容の評価: 除去土壌の福島県外最終処分を題材とした共通善の検討 [口頭発表]. 日本社会心理学会第65回大会, 東京.	3	無
3-90	2024	相馬ゆめ, 植穂奈美, 柴田侑秀, 辻本光英, 崔青林, 中澤高師, 辰巳智行, 有馬淑子, 大沼進 (2024年8月) 議論フレームが共通善への言及に与える影響についての検討 [口頭発表]. 日本社会心理学会第65回大会, 東京.	3	無
3-91	2024	高田モモ, 保高徹生, 鈴木薫 (2024年9月) 除去土壌等の最終処分の社会受容性への影響因子: 高レベル放射性廃棄物と産業廃棄物との比較 [ポスター発表]. 第13回環境放射能除染研究発表会, 福島.	3	無
3-92	2024	武田理熙, 高田モモ, 村上道夫, 大沼進, 柴田侑秀, Thierry Schneider, 保高徹生 (2024年9月) 仮想的な原子力災害に起因する除去土壌の最終処分に関する社会的受容性の国際比較: 日本・フランス・フィンランドにおけるオンラインアンケートの自由記述回答分析 [口頭発表]. 第13回環境放射能除染研究発表会, 福島.	3	無
3-93	2024	高田モモ, 保高徹生, 鈴木薫, 三成映理子, 岩崎雄一, 松本親樹 (2024年9月) 除去土壌の再生利用における多面的価値と社会受容の関係 [口頭発表]. 第13回環境放射能除染研究発表会, 福島.	3	無
3-94	2024	藤井新子, 高田モモ, 保高徹生 (2024年9月) 飯館村長泥地区環境再生事業に伴う住民の関心とその変遷の背景に関する考察—議事録のテキスト分析の結果より— [ポスター発表]. 第13回環境放射能	3	無

		除染研究発表会，福島。		
3-95	2024	金井裕美子，高田モモ，大橋庸一，田中信一，坂原桜子，保高徹生（2024年9月）『大字誌細谷』の作成-地域住民との協働活動-[ポスター発表]．第13回環境放射能除染研究発表会，福島	3	無
3-96	2024	鈴木薫，保高徹生，高田モモ，鬼塚健一郎（2024年9月）除去土壌の受容性に影響を与える要因に関する質的研究（2）2軸による被験者のグルーピングを通じた意識傾向の把握[口頭発表]．第13回環境放射能除染研究発表会，福島。	3	無
3-97	2024	鬼塚健一郎，鈴木薫，保高徹生，高田モモ（2024年9月）除去土壌の受容性に影響を与える要因に関する質的研究（1）中山間農村集落における半構造化インタビュー調査を通じて [口頭発表]．第13回環境放射能除染研究発表会，福島。	3	無
3-98	2024	成田彩乃，大澤遼，長野宇規，保高徹生（2024年9月）原子力災害被災自治体の復興過程と住民の認識[ポスター発表]．第13回環境放射能除染研究発表会，福島。	3	無
3-99	2024	柴田侑秀，崔青林，相馬ゆめ，辻本光英，植穂奈美，木原なな，高本真依子，保高徹生，大沼進（2024年9月）市民参加ワークショップ参加者の意見変化と地域差の検討：除去土壌問題を題材として [ポスター発表]．第13回環境放射能除染研究発表会，福島。	3	無
3-100	2024	Tsujimoto, M., Suzuki, Y. & Ohnuma, S. (2024, October) <i>How can citizens take perspectives of the involved party?: Study using the removed soil game</i> [Oral presentation]. Social Sciences and Humanities in the Management of the Recovery Process after the Fukushima Accident Workshop Program, Osaka, Japan.	3	無
3-101	2024	Shibata, Y., Cui, Q., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ue, H., Kihara, N., Takamoto, M., Yasutaka, T. & Ohnuma, S. (2024, October) <i>Conducting citizen participation workshops on the final disposal of removed soil: Evaluation of discourse quality</i> [Oral presentation]. Social Sciences and Humanities in the Management of the Recovery Process after the Fukushima Accident Workshop Program, Osaka, Japan.	3	無
3-102	2024	Souma, Y., Nakazawa, T., Tatsumi, T. & Ohnuma, S. (2024 October) <i>The Role of Fukushima Residents' Information on the Public Discourse about the Final Disposal of Removed Soil</i> [Oral presentation]. Social Sciences and Humanities in the Management of the Recovery Process after the Fukushima Accident Workshop Program, Osaka, Japan.	3	無
3-103	2024	Yasutaka, T., Takada, M., Ohnuma, S., Murakami M., Onitsuka K, & Kanai, Y. (2024, October) <i>Social Acceptance Assessment and Stakeholder Involvement: Recent Research of Final Disposal of decontaminated soil and Areas Affected by Nuclear Disasters</i> [Oral presentation]. Social	3	無

		Sciences and Humanities in the Management of the Recovery Process after the Fukushima Accident Workshop, Osaka, Japan.		
3-104	2024	武田理熙, 高田モモ, 藤井新子, 村上道夫, 白井浩介, 大沼進, 柴田侑秀, Thierry Schneider, 保高徹生 (2024年11月) 仮想的な原子力災害に起因する除去土壌等の最終処分の社会受容性の国際比較: オンラインアンケートの自由記述のテキスト解析による受容・非受容の要因評価[ハイブリッド発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.	3	無
3-105	2024	村上道夫, 高田モモ, 柴田侑秀, 白井浩介, 大沼進, 保高徹生 (2024年11月) 除去土壌等の最終処分受け入れにおける手続き的公正及び分配的公正への選好の特性: 全国郵送法調査[口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.	3	無
3-106	2024	高田モモ, 村上道夫, 大沼進, 柴田侑秀, 保高徹生 (2024年11月) 県外最終処分政策に対する国民の認識: オンラインアンケートとインタビュー調査で見えてきたこと[口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.	3	無
3-107	2024	鈴木薫, 鬼塚健一郎, 保高徹生, 高田モモ (2024年11月) 立地選定プロセスを想定した除去土壌の受容性の影響因子に関する質的研究[口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.	3	無
3-108	2024	保高徹生, 村上道夫, 高田モモ, 柴田侑秀, 白井浩介, 大沼進 (2024年11月) 県外最終処分に向けて、わかってきたこと、これから必要なこと[口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.	3	無
3-109	2024	Takeda, M., Takada, M. Murakami, M., Ohnuma, S., Schneider, T. & Yasutaka, T. (2024, November) <i>Analyzing Free-Text Responses in Online Surveys on Social Acceptance of Final Disposal of Radioactive Soil: An International Comparison between Japan, France, and Finland</i> [Poster presentation]. 6th International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity, Marseille, France.	3	有
3-110	2024	Yasutaka, T., Murakami, M., Takeda, M., Ohnuma, S., Shibata, Y., Schneider, T. & Takada, M. (2024, November) <i>International comparison of key indicators for final disposal of radioactive contaminated soil. Online questionnaire in Japan, France and Finland</i> [Oral presentation]. 6th International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity, Marseille, France.	3	有
3-111	2024	柴田侑秀, 崔青林, 相馬ゆめ, 辻本光英, 植穂奈美, 木原なな, 高本真依子, 保高徹生, 大沼進 (2024年11月) 除去土壌県外最終処分を題材とした市民参加ワークショップ議論内容の分類と地域差の検討 [口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.	3	無
3-112	2024	相馬ゆめ, 植穂奈美, 柴田侑秀, 辻本光英, 崔青林, 中澤高師, 辰巳智行, 有馬淑子, 大沼進 (2024年11月) 除去土壌問題を巡る公共的討議における意見	3	無

		変化：議論フレームに着目した集団討議実験による検討 [口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.		
3-113	2024	辻本光英, 鈴木祐人, 大沼進 (2024年11月) 除去土壌ゲームを用いた除去土壌福島県外最終処分に向けた合意形成過程の研究 [口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡	3	無
3-114	2024	大沼進, 柴田侑秀, 相馬ゆめ, 辻本光英, 保高徹生 (2024年11月) 除去土壌問題をめぐる多元的公正をふまえた対話の場のプロセスデザインに向けた課題 [口頭発表]. 第37回日本リスク学会年次大会, 静岡.	3	無
3-115	2024	Cui, Q., Shibata, Y., Hara, T., Soma, Y., Tsujimoto, M., Ito, T. & Ohnuma, S. (2024 November). <i>An Analysis of Online Discussion Statements on the Issue of Removed Soils in Fukushima Prefecture, Japan</i> [Oral presentation]. The 21st Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, Kyoto, Japan.	3	有
3-116	2024	辻本光英, 鈴木祐人, 大沼進 (2024年11月) 除去土壌ゲーミングの社会実装に向けた実践例の報告 [口頭発表]. 日本シミュレーション&ゲーミング学会2024年秋期全国大会, 香川.	3	無
3-117	2024	柴田侑秀, 崔青林, 相馬ゆめ, 辻元光英, 植穂奈美, 木原なな, 高本真依子, 保高徹生, 大沼進 (2025年3月) 市民参加ワークショップにおける議論内容の討議の質指標を用いた検討: 除去土壌県外最終処分を題材として [口頭発表]. 第8回合意と共創研究会, 北海道.	3	無
3-118	2024	相馬ゆめ, 近田祐亮, 高本真依子, 大沼進 (2025年3月) 討議の質指標 (DQI) を用いた市民参加ワークショップの評価: プラスチック消費のあり方を題材とした事例への適用 [口頭発表]. 第8回合意と共創研究会, 北海道.	3	無
3-119	2025	Souma, Y., Shibata, Y., Tsujimoto, M., Cui, Q., Nakazawa, T., Tatsumi, T., Arima, Y., & Ohnuma, S. (2025 July). <i>The effect of discussion frame on the utterances' content: Analysis from the perspective of multiple common goods.</i> [Oral presentation] The 20th biennial meeting of the International Society for Justice Research, Seattle, WA, USA	3	有

(5) 「国民との科学・技術対話」の実施

成果番号	発表年度	成果情報	主たるテーマ
1-77	2022	山田一夫、遠藤和人：県外最終処分に向けた包括的な処理・処分シナリオ検討の重要性、環境創造センター成果報告会，福島，9月29日	1
1-78	2022	遠藤和人：中間貯蔵施設周辺復興地域の融合的な環境再生・環境創生に向けて，第11回環境放射能除染学会企画セッション2（一般公開），郡山，8月25日	1、2、3
1-79	2023	NEW環境展・地球温暖化防止展2023，5月24～26日，東京ビッグサイト	1、2、3

1-80	2023	三成映理子, 山田一夫, 遠藤和人, 大迫政浩: 県外最終処分に向けた導入技術システムのシナリオ分析、令和5年度環境創造センター成果報告会、口頭発表要旨・ポスター集、31, 福島, 10月3日	1
1-81	2023	田中悠平, 山田一夫, 遠藤和人, 高濃縮減容化を目的としたCs吸着材の性能評価, 令和5年度環境創造センター公開成果報告会, 10月3日	1
1-82	2023	コミュタニアルラボのブース出展, 福島県環境創造センター コミュタニアルラボ11月4日	1
1-83	2024	三成映理子: 県外最終処分に向けた技術シナリオ, 環境放射能除染学会第20回講演会, 東京, 1月19日	1
1-84	2024	遠藤和人: 中間貯蔵施設周辺復興地域の融合的な環境再生・環境創生に向けた研究, 第13回原子力政策・福島復興シンポジウム, オンライン, 3月9日	1、2、3
1-85	2024	NEW環境展・地球温暖化防止展2024, 5月22～24日, 東京ビッグサイト	1、2、3
1-86	2024	三成映理子, 山田一夫, 遠藤和人: 県外最終処分に向けた導入技術システムシナリオ、令和6年度環境創造センター成果報告会、要旨集、17, 福島, 6月25日	1
1-87	2024	田中 悠平, 山田 一夫, 遠藤 和人, 特定廃棄物（飛灰）の最大減容化に向けた二段階化学共沈法, 令和6年度環境創造センター公開成果報告会, 6月25日	1
1-88	2024	コミュタニ福島・国環研 福島拠点 見学バスツアー, 8月24日	1
1-89	2024	国環研一般公開2024でのブース出展, 国立環境研究所 国環研一般公開2024, 10月19日	1
1-90	2025	遠藤和人: 中間貯蔵施設周辺復興地域の環境創生に向けた研究～推進費SII-9, 環境放射能除染学会第21回講演会, 東京, 1月31日	1、2、3
1-91	2025	三成映理子: 東京電力福島第一原子力発電所事故で生じた除去土壌等の県外最終処分実現に向けて～減容化への取り組みと処分後の放射性セシウムの挙動～, 国環研 View Deep, https://www.nies.go.jp/kokkanken_view/deep/#gsc.tab=0 , (公開予定)	1
2-18	2024	戸川卓哉、大西悟 (国内2024) 環境まちづくり先進都市の生成プロセスの記述と展開、令和6年度 環境創造センター成果報告会	2
2-19	2022	長崎大学医学部での講義（オンライン 4講義） 学生参加人数：10名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-20	2022	九州大学農学部での集中講義（対面 6講義） 学生参加人数：25名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義、ワークショップを実施	2
2-21	2022	宮崎大学での講義（オンライン 1講義） 学生参加人数：1名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-22	2022	北海道大学農学部・工学部での講義（対面・オンライン 4講義） 学生参加人数：24名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義、ワークショップを実施	2
2-23	2022	茨城大学工学部での講義（オンライン 1講義） 学生参加人数：4名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-24	2022	慶應義塾大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：20名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義、対話形式のQ&Aを実施	2
2-25	2022	明治大学農学部での講義（オンライン 1講義） 学生参加人数：15名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2

2-26	2022	農工大工学部での講義（対面 1講義） 学生参加人数：52名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-27	2022	京都大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：14名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-28	2022	京都府立大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：6名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-29	2022	大阪大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：4名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-30	2022	法政大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：30名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連しゼミ形式で実施	2
2-31	2022	東京大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：24名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-32	2022	神戸大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：75名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成を講義、環境省の取り組み別途紹介	2
2-33	2022	環境省との共同開催現地ワークショップ（第1回） 学生参加人数：25名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-34	2022	環境省との共同開催現地ワークショップ（第2回） 学生参加人数：24名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-35	2022	環境省との共同開催現地ワークショップ（第3回） 学生参加人数：26名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-36	2022	東日本国際大学での講義（対面 1講義） 長崎大学連携して開催し学生参加人数：70名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-37	2022	名古屋大学工学部での講義（対面 1講義） 学生参加人数：10名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-38	2022	横浜国立大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：52名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-39	2022	芝浦工業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：10名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連しゼミ形式にて実施	2
2-40	2022	早稲田大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：10名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連しゼミ形式にて実施	2
2-41	2022	琉球大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：45名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-42	2022	千葉工業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：35名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-43	2022	北里大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：34名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2

2-44	2022	静岡大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：60名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-45	2022	島根大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：45名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義、災害対応Q&Aを実施	2
2-46	2022	三重大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：24名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-47	2022	福島県楢葉町サステナmeeting（今更聞けない脱炭素と町づくり） 参加者数約200名	2
2-48	2023	NEW環境展出展（2023年5月24日～5月26日、参加者約9万人）	2
2-49	2023	長崎大学医学部での講義（オンライン 4講義） 学生参加人数：10名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-50	2023	九州大学農学部での集中講義（対面 6講義） 学生参加人数：18名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-51	2023	熊本高専での講義（対面 1講義） 学生参加人数：36名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-52	2023	北海道大学農学部・工学部での講義（対面4講義） 学生参加人数：25名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-53	2023	慶應義塾大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：25名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-54	2023	愛媛大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：8名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-55	2023	明治大学農学部での講義（対面 1講義） 学生参加人数：90名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-56	2023	弘前大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：56名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-57	2023	東京農業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：16名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-58	2023	広島大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：16名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-59	2023	岡山大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：16名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連しゼミ形式にて実施	2
2-60	2023	東海大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-61	2023	明星大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：30名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-62	2023	長岡科学技術大学での講義（オンライン 1講義） 学生参加人数：22名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2

2-63	2023	新潟大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：36名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-64	2023	東京工業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-65	2023	和歌山大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：6名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連しゼミ形式にて実施	2
2-66	2023	農工大工学部での講義（対面 1講義） 学生参加人数：50名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-67	2023	京都大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-68	2023	京都府立大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-69	2023	大阪大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：2名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-70	2023	法政大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：10名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-71	2023	東京大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：20名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-72	2023	神戸大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：88名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-73	2023	環境省との共同開催現地ワークショップ（第1回） 学生参加人数：23名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-74	2023	環境省との共同開催現地ワークショップ（第2回） 学生参加人数：26名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-75	2023	環境省との共同開催現地ワークショップ（第3回） 学生参加人数：26名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-76	2023	環境省との共同開催現地ワークショップ（第4回） 学生参加人数：24名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-77	2023	東日本国際大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：70名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-78	2023	名古屋大学工学部での講義（対面 1講義） 学生参加人数：16名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-79	2023	横浜国立大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：56名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-80	2023	芝浦工業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：8名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連しゼミ形式にて実施	2

2-81	2023	千葉工業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：57名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-82	2023	北里大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：42名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-83	2023	静岡大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：45名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-84	2023	島根大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：57名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-85	2023	三重大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：24名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-86	2023	第12回 環境放射能除染学会企画セッション「浜通り地域の復興へ向けた脱炭素まちづくりの取り組みと今後の展開」	2
2-87	2024	NEW環境展出展（2024年5月22日～5月24日、参加者約9万人）	2
2-88	2024	長崎大学医学部での講義（オンライン 4講義） 学生参加人数：10名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-89	2024	九州大学農学部での集中講義（対面 6講義） 学生参加人数：5名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-90	2024	熊本高専での講義（対面 1講義） 学生参加人数：45名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-91	2024	北海道大学農学部・工学部での講義（対面4講義） 学生参加人数：22名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-92	2024	慶應義塾大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：26名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-93	2024	愛媛大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：8名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-94	2024	弘前大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：64名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-95	2024	東京農業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：22名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-96	2024	広島大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：92名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-97	2024	東海大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：19名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施、地域づくりWSの実施	2
2-98	2024	明星大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：33名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-99	2024	新潟大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：53名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施、震災等のQ&A。	2

2-100	2024	東京科学大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-101	2024	和歌山大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：8名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連しゼミ形式にて実施	2
2-102	2024	農工大工学部での講義（対面 1講義） 学生参加人数：52名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-103	2024	京都大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-104	2024	大阪大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：2名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-105	2024	法政大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：45名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-106	2024	東京大学での講義（対面 2講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-107	2024	神戸大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：13名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-108	2024	環境省との共同開催現地ワークショップ（第1回） 学生参加人数：25名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-109	2024	環境省との共同開催現地ワークショップ（第2回） 学生参加人数：22名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-110	2024	環境省との共同開催現地ワークショップ（第3回） 学生参加人数：23名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-111	2024	環境省との共同開催現地ワークショップ（第4回） 学生参加人数：25名、中間貯蔵施設、廃炉資料館、伝承館、環境再生事業を視察し、理解醸成・地域づくり等のワークショップを開催	2
2-112	2024	東日本国際大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：24名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義、模擬懇談会、ワークショップを実施	2
2-113	2024	名古屋大学工学部での講義（対面 1講義） 学生参加人数：8名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-114	2024	福島高専での講義（対面 1講義） 学生参加人数：36名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義、模擬懇談会を実施	2
2-115	2024	横浜国立大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：56名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-116	2024	芝浦工業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：6名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-117	2024	千葉工業大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：12名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2

2-118	2024	北里大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：54名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-119	2024	静岡大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：109名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-120	2024	島根大学での講義（対面 3講義） 学生参加人数：52名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義、模擬懇談会を実施	2
2-121	2024	三重大学での講義（対面 1講義） 学生参加人数：16名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-122	2024	室蘭工業大学での講義（対面 4講義） 学生参加人数：36名、内容：震災後の経過、地域づくり、環境回復など理解醸成に関連し講義を実施	2
2-123	2024	第13回 環境放射能除染学会企画セッション「中間貯蔵施設周辺復興地域の融合的な環境再生・環境創生対話セッション」	2
2-124	2024	中間貯蔵施設周辺地域における生物相及び生態系サービス評価の取り組み、令和5年度野生動植物への放射線影響に関する意見交換会（環境省）	2
3-120	2023	第19回 環境放射能除染学会 講演会、中間貯蔵施設周辺復興地域の融合的な環境再生・環境創生に向けた研究の紹介、保高徹生、(2023年1月20日)	3
3-121	2023	NEW環境展 展覧（2023年5月24日～5月26日、参加者約9万人）	3
3-122	2023	2023年度第36回日本リスク学会春季シンポジウム、保高徹生、除去土壌等のサステナブルな管理・処分に向けた取り組み～環境、経済、社会の視点から～（2023年6月9日）	3
3-123	2024	第20回 環境放射能除染学会 講演会、県外最終処分に向けた社会合意形成、高田モモ、（2024年1月19日）	3
3-124	2024	NEW環境展 展覧（2024年5月22日～5月24日、参加者約9万人）	3
3-125	2024	キャノングローバル戦略研究所・フューチャー・デザイン・ワークショップ70.（オンライン）、共通善を巡る公共的討議に向けた討議の質指標の改善と展開：除去土壌福島県外最終処分問題を題材とした社会科学実験、大沼進[招待講演]（2024年12月3日）	3
3-126	2024	長崎大学（長崎市）除去土壌問題を巡る社会科学的課題：多元的公正からの実証的アプローチ、長崎大学グローバルリスク研究センターセミナー、大沼進[招待講演]（2025年1月15日）、	3

(6) マスメディア等への公表・報道等

成果番号	発表年度	成果情報	主たるテーマ
1-92	2024	日本経済新聞，第33面，7月18日朝刊	1
1-93	2025	福島民友，第1面，1月11日朝刊	1
3-127	2022	NHK（2022年9月17日、解説「除染廃棄物の課題」）	3
3-128	2022	NHK（2023年2月25日、おはよう日本、保高のインタビューが放映）	3
3-129	2022	福島民報（2023年2月26日 朝刊 4面、保高のコメントが掲載）	3
3-130	2022	河北新報（2023年2月27日 朝刊 3面、保高のコメントが掲載）	3
3-131	2022	茨城新聞（2023年2月28日 朝刊 3面、保高のコメントが掲載）	3
3-132	2023	毎日新聞（2023年4月21日 全国版朝刊 3面、保高のコメントが掲載）	3

3-133	2023	福島民友（2023年7月5日 電子版、大字誌が紹介）	3
3-134	2024	読売新聞（2025年3月16日、福島版、31面）「除染土見えぬ県外処分」	3

(7) 研究成果による受賞

成果 番号	発表 年度	成果 情報	主たる テーマ
1-94	2023	環境放射能除染学会 優秀口頭発表賞、安河内 隆仁他、溶融飛灰のセメント固型化手法の検討	1
1-95	2023	環境放射能除染学会 最優秀ポスター発表賞、相澤 夏瞳他、福島県内土壌におけるCs平衡・非平衡吸着挙動の一考察	1
1-96	2023	環境放射能除染学会 優秀ポスター発表賞、三成映理子他、県外最終処分に向けた処理・処分シナリオの総合的比較検討の試み	1
1-97	2023	The 12th China-Japan Joint Conference on Material Recycling and Waste Management, Student Presentation Award, Hu Yuke, Preparation of stabilized bodies by using copper ferrocyanide and evaluation of cesium leaching characteristics	1
1-98	2023	廃棄物資源循環学会北海道支部ポスター発表会、優秀ポスター発表賞、安河内隆仁、Cs吸着ゼオライト固型化体からのCs溶出メカニズムと凍結融解、海水浸漬の影響	1
1-99	2024	環境放射能除染学会 最優秀口頭発表賞、三成映理子他、複数の減容化技術シナリオにおける処分システムの安全性の検討	1
1-100	2024	環境放射能除染学会 優秀口頭発表賞、田中 悠平他、フェロシアン化銅の二段階化学共沈法による最大減容化に向けた検討	1
1-101	2024	9th Clay Conference, Poster Prize, Eriko Minari, etc. Study on the construction of disposal scenarios and a tentative migration modeling of cesium for the final disposal of radioactively contaminated waste outside of Fukushima Prefecture.	1
2-125	2022	福島県相馬郡飯館村感謝状（地域の環境回復、産業振興、地域コミュニティ再生の貢献等）	2
3-135	2023	環境放射能除染学会第12回研究発表会 優秀ポスター発表、大澤 遼、長野 宇規、保高 徹生(2023年8月)。	3
3-136	2023	環境放射能除染学会第12回研究発表会 優秀ポスター発表賞、高田 モモ、保高徹生、村上道夫、大沼進、柴田侑秀(2023年8月)。	3
3-137	2023	第36回日本リスク学会大会優秀発表賞（口頭部門） 相馬ゆめ(2023年12月)	3
3-138	2023	第4回合意と共創研究会 学生優秀発表賞 相馬ゆめ(2024年2月21日)	3
3-139	2024	第13回環境放射能除染研究発表会 優秀口頭発表賞、武田 理熙、高田 モモ、村上 道夫、大沼 進、白井 浩介、柴田 侑秀、Thierry SCHNEIDER、保高 徹生(2024年9月)	3
3-140	2024	第13回環境放射能除染研究発表会 優秀ポスター発表賞、高田モモ、保高徹生、鈴木薫。(2024年9月)。	3
3-141	2024	Best Paper Award: The 5th International Workshop on Democracy and AI (the 21st Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence) 2024年11月19日 Qinglin Cui, Yukihide Shibata, Tomohiro Hara, Yume Souma, Mie Tsujimoto, Takayuki Ito, Susumu Ohnuma	3

(8) その他の成果発表

成果 番号	発表 年度	成果 情報	主たる テーマ
----------	----------	----------	------------

1-102	2022	熊谷 純：放射線と物質との相互作用の基礎，日本放射線影響学会第66回大会招待講演，大阪，9月17日	1
1-103	2023	遠藤和人：1F事故廃棄物とオフサイトの除去土壌等の処理技術における関連性・共通的な話題について，土木学会エネルギー委員会研究討論会，オンライン，9月12日	1
1-104	2023	遠藤和人：中間貯蔵施設周辺復興地域の融合的な環境再生・環境創生に向けた研究，第80回環境システムシンポジウム（第51回環境システム研究論文発表会），郡山，10月21日	1
1-105	2023	三成 映理子：Research on Environmental Restoration and Ecosystem Development in the Reconstruction Zone Surrounding the Interim Storage Facility 1. Scenario optimization of installed technology system for final disposal outside Fukushima Pref., ICRP主委員会メンバー福島視察会，福島，11月1日	1
1-106	2023	遠藤和人：県外最終処分に向けた状況と今後の技術開発に向けて，早稲田大学循環型環境技術研究会講演会，東京，12月4日	1
1-107	2024	遠藤和人：県外最終処分を実現させるための技術的な検討について，令和6年度土木学会全国大会研究討論会（21），仙台，9月4日	1
2-126	2024	国立環境研究所 パターン・ランゲージサイト https://pattern-language.nies.go.jp/index.html	2
3-142	2024	大字誌細谷	3
3-143	2024	大字誌下羽鳥	3
3-144	2024	双葉3次元プロジェクションマッピング	3

権利表示・義務記載

この研究成果報告書の文責は、研究プロジェクトに参画した研究者にあります。
この研究成果報告書の著作権は、引用部分及び独立行政法人環境再生保全機構（ERCA）のロゴマークを除いて、原則的に著作者に属します。
ERCAは、この文書の複製及び公衆送信について許諾されています。

Abstract**[Project Information]**

Project Title : Research to Renovate and Recover an Integrated Environment in the Restoration Area Surrounding the Interim Storage Facility

Project Number : JPMEERF22S20900

Project Period (FY) : 2022-2024

Principal Investigator : Endo Kazuto

(PI ORCID) : ORCID 0000-0003-2575-7678

Principal Institution : National Institute for Environmental Studies
10-2 Fukasaku, Miharu Town, Fukushima, JAPAN
Tel: +81 247 61 6569
E-mail: k-endo@nies.go.jp

Cooperated by : Nagoya University, National Institute of Technology: Fukushima College, Hokkaido University, University of Tokyo, Hiroshima University, Osaka University, JGC JAPAN CORPORATION, National Agriculture and Food Research Organization, Fukushima University, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Kobe University, Kyoto University

Keywords : Final disposal outside of Fukushima, utilizing pattern language, regional integrated assessment models, public acceptance, consensus-building framework

[Abstract]

This study consists of the following three research tasks for the out-of-prefecture final disposal of removed soil and waste. and the environmental restoration of the recovery area around the interim storage facility. (1) Propose a scenario for a technological system that combines efficient and low-cost technologies to achieve effective utilization and out-of-prefecture final disposal of removed soil and other materials. (2) To propose a future design that can serve as a reference for a concrete image of the reconstruction of the interim storage facilities and the surrounding area. (3) Assess the social acceptability of various options for smooth and fair consensus building for the out-of-county final disposal of removed soil and other materials, and establish a consensus building framework that takes into account social and economic aspects.

(1) Three volume reduction scenarios for removed soil and waste were considered. A final disposal system based on these scenarios was also proposed. In order to realize the volume reduction scenarios considered, two technical issues were investigated: direct cement solidification and maximum enrichment of molten fly ash containing radioactive Cs. The hydrogen gas generation behavior resulting from the enrichment of radioactive Cs was evaluated and it was suggested that the amount of hydrogen gas generated could be higher than previously assumed. Stabilized bodies

(final waste bodies) resulting from volume reduction have been extensively studied and their respective safety assessments have been reviewed. In addition, the durability of the engineered barriers to the respective stabilized bodies was experimentally clarified.

(2) A future vision was developed for the realization of a decarbonized future community in the area surrounding the interim storage facility, based on local resources and cooperation with local residents. Four regeneration scenarios (Quiet, Active, Prosperous and Vibrant) were proposed based on the premise of maximizing the use of local capital. In addition, a framework that reconciles scientific evidence and social consensus building was presented through dialogue with residents using pattern language and the construction of a regional integrated assessment model. In ecosystem monitoring, one of the regional capitals, we visualized natural resilience through quantitative assessment of biodiversity and carbon sequestration.

(3) Through national and international online questionnaires, postal report questionnaires, semi-structured interviews and citizens' workshops, a detailed analysis was carried out of the key issues of importance to stakeholders, social acceptability and characteristics of the decision-making process. The project also focused on the preservation and visualization of the historical and cultural heritage of the area surrounding the interim storage facility, contributing to the transmission of memories and records through large print journals, digital content and projection mapping produced in collaboration with local residents. In addition, by synthesizing the knowledge gained and organizing and presenting a set of 14 policy proposals, the project provided knowledge to inform policy decisions on the reuse and final disposal of the removed soil.

[References]

- Canet, L., Takada, M., & Yasutaka, T. (2024) Comparative qualitative and quantitative analysis of guidelines for nuclear accident recovery. *Radioprotection*, 59(2), 69-79. doi: 10.1051/radiopro/2023043
- Fujii, S., Takada, M., & Yasutaka, T. (2025) Post-accident changes in the interests of residents of a municipality near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Text analysis of residents' town meeting minutes. *Radioprotection*, in press, doi:10.1051/radiopro/2024045
- Murakami, M., Takada, M., Shibata, Y., Shirai, K., Ohnuma, S., & Yasutaka, T. (2024) Exploring the differences and influencing factors between top-down and opinion-reflective approaches regarding public acceptance of final disposal of soils removed after the Fukushima nuclear accident. *Radiation Protection Dosimetry*, 200(16-18), 1514-1518. doi:10.1093/rpd/ncae017
- Ohnishi, S., Osako, M., Nakamura, S., Togawa, T., Kawai, K., Suzuki, A., Yoshida, K., Gomi, Tsuji, T. (2024). A Framework for Analyzing Co-Creation Value Chain Mechanisms in Community-Based Approaches: A Literature Review. *Sustainability*, 16(7), 2919.
- Shibata, Y., Cui, Q., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ue, H., Kihara, N., Takamoto, M., Yasutaka, T. & Ohnuma, S. (2025) Opinion changes among participants in citizen participation workshops: a case study on the final disposal of removed soil outside Fukushima Prefecture. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1507210. doi: 10.3389/fenvs.2025.1507210.
- Shirai, K., Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Yamada, K., Osako, M., & Yasutaka, T. (2023). Factors influencing acceptability of final disposal of incinerated ash and decontaminated soil from TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Journal of Environmental Management*, 345, 118610. doi:10.1016/j.jenvman.2023.118610
- Takada, M., & Schneider, T. (2023) Radiation doses to non-human species after the Fukushima accident and comparison with ICRP's DCRLs: A systematic qualitative review. *Radioprotection*, 58, 181-195. doi:10.1051/radiopro/2023017
- Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Shibata, Y., & Yasutaka, T. (2024) Public Attitudes toward the Final Disposal of Radioactively Contaminated Soil Resulting from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *Environmental Management*, 73, 962-972. doi:10.1007/s00267-

024-01938-w

Takada, M., Murakami, M., Ohnuma, S., Shibata, Y., & Yasutaka, T. (2025) Public perception and underlying values regarding final disposal of radioactively contaminated soil from a large nuclear accident. *Environmental Management*, 75, 822–834. doi:10.1007/s00267-025-02124-2

Yamada K., Ichikawa T., Arai H., Yasukochi T., Endo K. (2024), Study on the mechanisms of retardation of cement hydration by zinc and acceleration of hardening by sodium aluminate from crystallographic phase analysis, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02059-6>.

Shibata, Y., Cui, Q., Souma, Y., Tsujimoto, M., Ue, H., Kihara, N., Yasutaka, T., & Ohnuma, S. (under review) Evaluating discourse quality in citizen participation workshops with a focus on the diverse common

goods: A case of the final disposal of the removed soil from Fukushima Prefecture.

Souma, Y., Shibata, Y., Tsujimoto, M., Cui, Q., Nakazawa, T., Tatsumi, T., Arima, Y. & Ohnuma S. (under review) Effect of the discussion frame on finding a compromise: A group decision experiment on the final disposal of removed soil outside Fukushima.

Souma, Y., Shibata, Y., Tsujimoto, M., Cui, Q., Nakazawa, T., Tatsumi, T., Arima, Y. & Ohnuma, S. (under review) The effect of discussion frames on discourse quality: A group decision experiment about the removed soil issue in Japan.

This study was supported by the Environment Research and Technology Development Fund of the ERCA (JPMEERF22S20900) funded by the Ministry of the Environment.