

福島第一原子力発電所事故後の
放射線モニタリング、除染、廃棄物管理の
分野における
福島県と IAEA との協力
(福島県提案プロジェクト)

中間報告書
(2013 年－2015 年)

2016 年
福島県

はじめに

2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震及びこれに伴う東京電力(株)福島第一原子力発電所事故により福島県は甚大な被害を受け、この前例のない原子力災害からの環境の回復と県民が将来にわたり安心して暮らせる環境を創造することが喫緊の課題となった。

この課題を克服するためには、世界の英知を結集して取り組むことが重要であることから、原子力に関する分野において高度な知見を有する国際原子力機関（以下「IAEA」という。）と連携することとし、2012年12月に福島県とIAEAとの間の協力に関する覚書に署名がなされた。

この覚書に基づき、福島県とIAEAの間で「除染」及び「放射線モニタリング」分野における実施取り決めに同日付けで署名した（この取り決めに基づくプロジェクトを「FCP」という。）。

その後、福島県が実施するプロジェクトに対し、IAEAから支援をいただく新たな枠組みとして、2013年4月及び10月に福島県提案のプロジェクト（以下「FIP」という。）5件について追加して実施取り決めに署名した。

5件のFIPは次のとおりである。

- ① 河川・湖沼における放射性核種の動態調査
- ② 野生動物における放射性核種の動態調査
- ③ 河川・湖沼等の除染技術検討事業
- ④ GPS歩行サーベイによる環境マッピング技術の開発
- ⑤ 一般廃棄物焼却施設における放射性物質を含む廃棄物の適正処理推進検討事業

IAEAとの協力プロジェクト（FIP）は、実施取り決めに署名した2013年から開始されているが、今回、3年が経過したことから、中間報告書を作成することとした。

3年にわたりIAEAから様々な支援を受けてきたが、その主な内容については次のとおりである。

【IAEAから受けた主な支援の内容】

- ① 河川・湖沼における放射性核種の動態調査
 - ・河川に堆積する放射性核種の定量的な予測のためTODAMモデルの提供。
 - ・チェルノブイリやマヤック等での先行研究をもとに、観測地点の選定や観測項目等に関する技術指導や各観測地点でのモニタリング継続の重要性等を指摘。
 - ・県が得た観測データについて、TODAMなど数値モデル運用のためには観測地点ごとにKd値や河川水中のイオン濃度（特にK⁺とNH₄⁺）の測定などが重要であること等の助言。
 - ・今後の河川における放射性物質の動態に関する研究を進めるうえで、モニタリングとモデルを組み合わせる有効性や小さな湖沼を研究対象に加える重要性等の助言。

② 野生動物における放射性核種の動態調査

- ・チェルノブイリ原発事故によるヨーロッパ各地域のイノシシ、シカ等の野生動物筋肉中における放射性セシウムの状況、サバンナリバー生態学研究所におけるアメリカバン、アメリカオシなどの鳥類の体内中の放射性セシウムの変化など、野生動物と放射性核種の関係について記載された海外文献の提供。
- ・野生動物と放射性物質の関係を調べている専門家から、放射性セシウムの生体濃縮に関する最新の研究成果についての知見の提供。
- ・ヨーロッパのイノシシの筋肉に含まれる放射性セシウム濃度が高い原因はキノコ（Deer Truffle）とされていることから、福島県のイノシシについてのキノコが原因である可能性など、調査結果の考察、データ解析の方法等についての助言。

③ 河川・湖沼等の除染技術検討事業

- ・諸外国における河川・湖沼等中の放射性物質の環境動態に関する知見の提供。
- ・プリピチャ川における高濃度の放射性物質の流入対策や、キエフ貯水池への放射性物質の流入抑制対策など、諸外国における河川・湖沼等中の放射性物質の除去等、環境修復措置事例の提供。
- ・河川敷を対象とした実証試験について、空間線量率の低減効果等を確認するため必要な調査項目や調査地点、事前シミュレーションの必要性、再汚染等を評価する上で必要な調査項目（懸濁態の粒度分布）及び試験実施場所の除草の実施の必要性など、効果的な実施についての助言。
- ・河川公園を対象とした効果的な放射性物質対策の検討について、調査場所等を選定する上で過去の出水履歴を参考にすること、再汚染が懸念される場所では、浚渫や堤防の造成、上流域への沈砂池が有効との助言。

④ GPS 歩行サーベイによる環境マッピング技術の開発

- ・局所での放射線量マッピングについて、アメリカ合衆国環境保護庁や同国のローレンス・バークレー国立研究所などの機関で行われている取り組みについての知見の提供。
- ・GIS を用いた歩行サーベイの内挿補間の手法としては KRIGING より IDW の方が適切であること、建築物などの遮蔽の効果も考慮に入れる必要があること等の助言。
- ・歩行サーベイの測定条件は測定地点の状況により判断し、必ずしも画一的な測定条件を設定する必要はないこと等の助言。

⑤ 一般廃棄物焼却施設における放射性物質を含む廃棄物の適正処理推進検討事業

- ・海外での飛灰の処理方法（超圧縮、固形化等）、海外での低レベル放射性廃棄物の処理方法（焼却、金属の熔融処理、プラズマ熔融）及びごみ中の放射性物質濃度測定器についての知見の提供。
- ・一般廃棄物の焼却について、Cs 収支の観点からの検討の必要性、実証試験の実データとモデル解析の結果との比較解析の重要性及び試験条件の同一化、ごみ質把握の必要性な

ど、技術的な助言。

- ・バグフィルター（テフロン製）を混焼する際に発生するフッ化水素対策の重要性についての助言。
- ・施設労働者に対する安全性（被ばく防護、管理等）の確認の必要性についての助言。

このように本県では、IAEA から様々な支援を受けながら FIP を実施してきた。その成果も含む中間報告書は、次ページから記載のとおりである。

<この報告書は福島県の権限と責任において発行されたものである。>

1. F I P 1 河川・湖沼における放射性核種の動態調査

1. 1. 目的

2011年の福島第一原子力発電所の事故により、県土は広く放射性物質により汚染された。河川水は水道や農業用水などに広く利用されているため、河川における放射性物質の動態を解明し、河川水を安全に利用するために必要な情報提供を行うことは重要である。また、放射性セシウムは、河川を懸濁態として流下する場合は、出水時等の再堆積による空間線量への影響が懸念されるが、溶存態として流下する場合は生態系を通じた移行も考慮する必要がある。このように形態ごとの放射性セシウムの動態を把握することも必要である。そこで、福島県内を流れる河川を研究対象とし、河川を通じての放射性物質の動態を解明するとともに、得られた観測データをもとにモデルによる検証を目指すことを目的とする。

1. 2. 実施内容

広瀬川流域（図1(a)）における調査では、2013年度から広瀬川とその支流に観測点を設け調査を行った。広域を対象とした調査は、阿武隈川水系及び浜通りの8水系を対象に、多地点で調査を行った（図1(b)）。各観測点では、濁度、水位の連続観測及び浮遊砂サンプラーによる浮遊砂試料の採取を行った。

1. 3. 結果

放射性核種動態予測を実施するために必要なTODAMモデルの提供をIAEAから受け、データの収集のための観測網を広瀬川流域に整備した。また、図1(b)のNo.1～6における懸濁態セシウム137濃度は事故後5年間で約1桁減少した（図2）。減少速度は、セシウム137の半減期に比べ非常に大きい。

1. 4. まとめ

これまでに、TODAMモデルの適用に必要なデータを収集し、動態予測の検証に必要な観測網を広瀬川流域に整備した。今後は継続的に観測を実施し、その結果を用いて広瀬川流域における放射性核種の動態についてモデル計算を行う。また、阿武隈川水系及び浜通りの主要な河川を対象に広域多地点調査を実施し、微小粒子に吸着されて流下する懸濁態放射性セシウムについて、濃度の減少傾向がみられることなどが分かった。今後もデータの蓄積を進め、広域での放射性物質の動態を継続的に把握することが重要である。

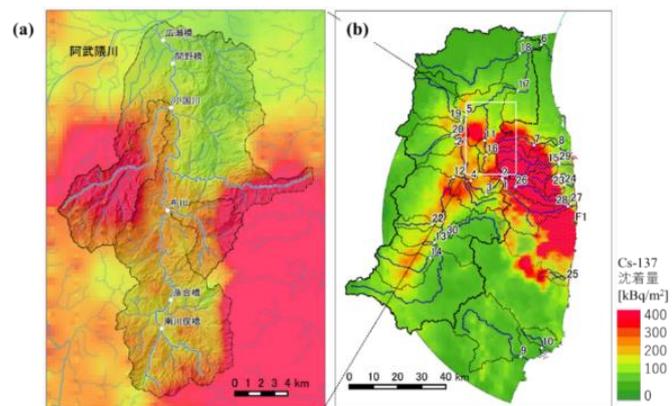


図1 調査地点の位置と放射性セシウムの地表面への沈着量(2011/7/2時点)(a)広瀬川流域、(b)多地点調査
出典：文部科学省による第3次航空機モニタリングの測定結果について、文部科学省(2011)。

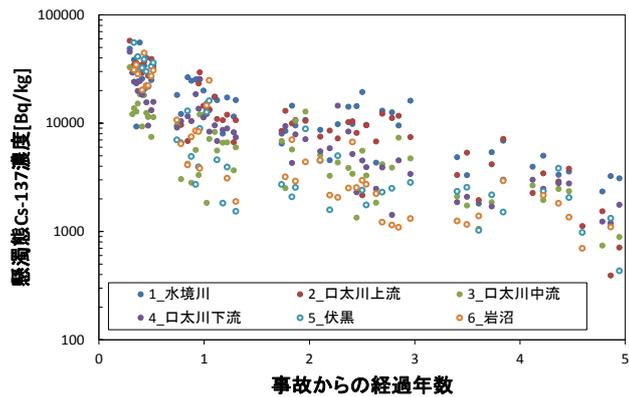


図2 長期観測の実施点における懸濁態セシウム137濃度の推移

2. F I P 2 野生動物における放射性核種の動態調査

2. 1. 目的

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、自然環境に生息する多くの野生動物において放射性セシウムなどの放射性核種が検出されている。環境中から野生動物への放射性セシウムの移行に関する知見が不足していることから、生態系における放射性セシウムの動態を解明するための調査・研究を開始した。

2. 2. 実施内容

(1) 野生動物における放射性核種の動態

イノシシ、ツキノワグマ等の野生動物の筋肉に含まれるセシウム 137 濃度測定や、イノシシを対象に胃内容物組成分析や高セシウム源となる食物の調査等を行った。

(2) 野生動物の行動圏

GPS 首輪を用いてイノシシの行動圏調査を行った。

2. 3. 結果

(1) 野生動物における放射性核種の動態

① 野生動物体内における放射核種濃度の測定

イノシシ、ツキノワグマの筋肉に含まれるセシウム 137 濃度を比較したところ、イノシシでは個体間のばらつきが大きかったが、ツキノワグマでは減少傾向が認められるなど、野生動物の種により異なる傾向を示した (図 1)。

② 環境中から野生動物体内への放射性核種の移行

季節変化に伴いイノシシの胃内容物の組成が変化していることが確認された。なお、ヨーロッパの研究において、イノシシの筋肉中に含まれる放射性セシウム濃度が高いのはキノコ類の摂食が原因と考えられているが、本研究ではイノシシの胃内容物からキノコ片を確認することができなかった。

③ 胃内容物に含まれる放射性セシウムの存在形態

イノシシ体内への放射性セシウムの移行に関し、胃内容物に含まれる放射性セシウムの存在形態及び土壌摂取の影響を明らかにするための調査を進めている。

(2) 野生動物の行動圏

GPS 首輪を用いてイノシシの行動圏調査を行ったところ、避難指示区域外のイノシシに比べて、避難指示区域内に生息するイノシシの行動圏が拡大する傾向が認められた。避難指示区域内における行動圏の拡大には、避難指示区域内における住民の避難や狩猟圧の低下と

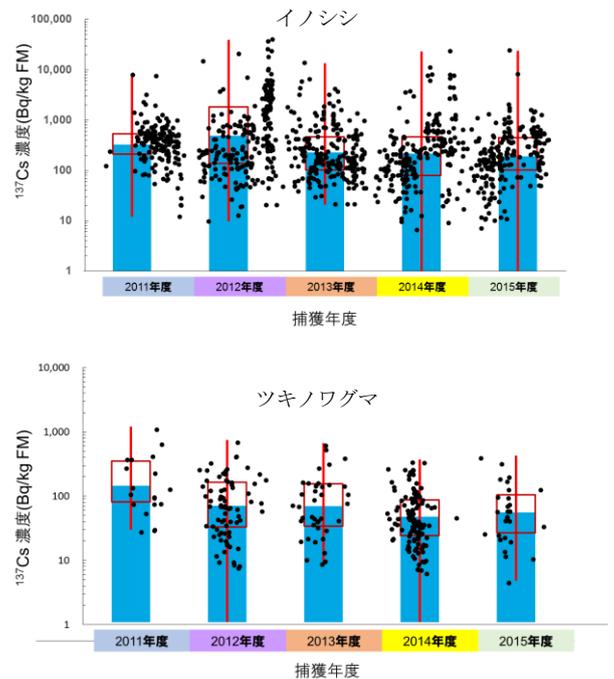


図 1 イノシシ及びツキノワグマにおける
筋肉中のセシウム 137 濃度
(年次変化: 2011 年 5 月-2015 年 12 月)

いった人為的な圧力の低下が影響していると考えられる。

2. 4. まとめ

- (1) 野生動物の筋肉に含まれるセシウム 137 の濃度は、種により異なる傾向を示した。
- (2) 季節によりイノシシの胃内容物組成が変化していることが確認された。
- (3) 避難指示区域外のイノシシに比べて、避難指示区域内に生息するイノシシの行動圏が拡大する傾向が認められた。

3. F I P 3 河川・湖沼等の除染技術検討事業

3. 1. 目的

福島第一原発事故による放射性セシウムの拡散によって、河川・湖沼等の利用や管理に障害および不安が生じているため、その対策を既往の知見と実地調査により考察した。

3. 2. 実施内容

- ① 既往の知見から本県に適用可能な対策を抽出
- ② 事例が限られている河畔の除染を試験
- ③ 公共利用地である河川公園の汚染状況を調査

3. 3. 結果

(1) 本県に適用可能と考えられる放射性セシウム対策

課題	媒体および対策
飲用による内部被ばく	河川、湖沼：水源の切り替え
灌漑水からの農作物への移行と農作業時の外部被ばく	河川、湖沼：汚濁流出防止膜、ダムによる堆砂機能の活用 ため池：汚濁流出防止膜、底質除染 全体：農地へのカリウム施肥
水産物摂取による内部被ばく	河川、湖沼：出荷規制、カリウムの投入（閉鎖性湖沼に限る）
水辺利用による外部被ばく（公園、道路、居住など）	河川、湖沼、ため池（水抜時）：利用の制限、露出土の除染 河川：河床掘削、堤防の設置 ため池：底質除染や覆土
全課題に共通	発生源からの土砂流出防止や除染、リスクコミュニケーション

(2) 河畔の除染試験

住宅地や農地と異なり、放射性セシウムを含む土砂が部分的に厚く堆積している河畔では、その分布に応じた表土除去が有効であることが示された。除染後、洪水によって再汚染される可能性はあるが、除染半年後の時点で目立った土砂堆積はなく、空間線量率に変化は生じていない。

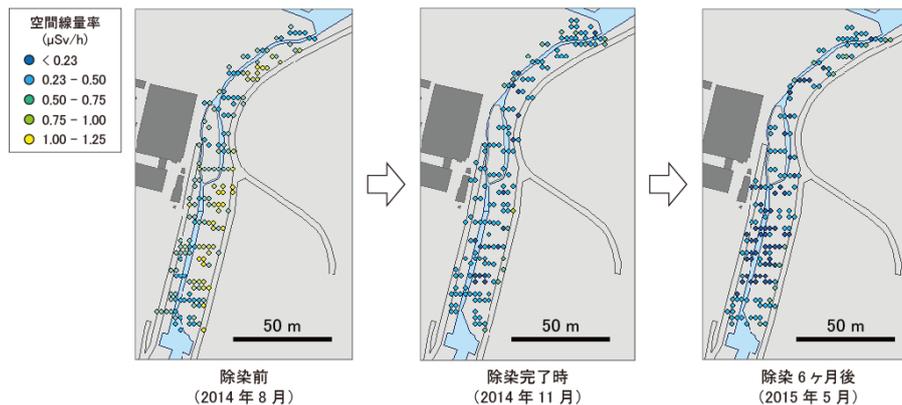


図1 除染前後の地表1mの空間線量率分布（阿武隈川水系上小国川）

(3) 河川公園の汚染状況調査

上流域の汚染が著しい浜通り地方の主要河川の1つ、新田川の河川公園を調査した結果、河畔において周囲より2~3倍高い空間線量率が示された。しかし、2015年9月の豪雨によって、浸食と放射性セシウム濃度の低い土砂の堆積が生じ、空間線量率は周囲より1.5倍程度に減少した。追加外部被ばく線量は年間0.1mSv未満と見積もられたことから、現状のままでも利用に問題はないと考えられた。

3. 4. まとめ

水利用に関わる放射性セシウム対策を目的別に整理し、実施例の少ない河川について外部被ばくを目的とした除染試験を行った。公園の汚染状況と併せて考えると、対策方針は放射性セシウムの空間分布と時間変化、被ばく線量などを総合的に検証した上で判断することが望ましい。

4. FIP4 GPS歩行サーベイによる環境マッピング技術の開発

4. 1. 目的

福島県では、福島第一原子力発電所事故後の県内の空間放射線量率（以下「線量率」という。）の把握のため、様々な手法で線量率測定を実施し、ホームページなどで情報提供を行っている。

しかし、住宅地周辺の路地、公園、森林等では定点測定や走行サーベイの実施が難しいため、これらのモニタリングを補完する目的で GPS 歩行サーベイ（以下「歩行サーベイ」という。）による環境マッピング技術の開発を行った。

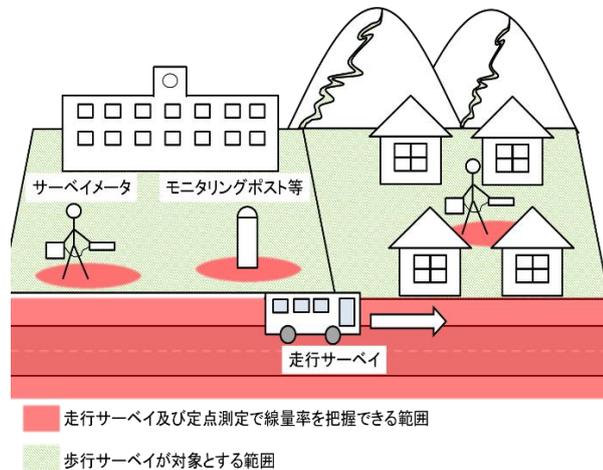


図1 歩行サーベイの測定範囲

4. 2. 実施内容

(1) 機器等の整備

歩行サーベイには京都大学が開発した KURAMA-II を利用した。KURAMA-II は放射線の検出器及び GPS から得られたデータを組み合わせ、線量率のマッピングを行えるシステムである。ここでは高精度の GPS を搭載し、機材をバックパックに収納するなど、より歩行サーベイに適した構成とした。

(2) 歩行サーベイに必要なパラメータの収集

歩行サーベイは、測定者自身による遮へい等のため、方向によって放射線源からの寄与が異なるため、方向特性の確認を行った。

また、サーベイメータとの比較試験による補正係数の決定のため、トレーサビリティのある校正を実施した NaI (Tl) サーベイメータによる 1m 高さでの線量率を最も確からしい値として、歩行サーベイの測定値と比較した。



写真1 歩行サーベイ風景

4. 3. 結果

方向特性の確認の結果、方向特性による歩行サーベイの測定値への影響は小さいと考えられた。また、NaI (Tl) サーベイメータとの比較では毎時 1 μ Sv を境として検出器を低線量率用と高線量率用で使い分ける必要があることが分かった。このことを踏まえ、補正係数については低線量率用検出器を用いる場合は 1.3、高線量率用検出器を用いる場合は 1.1 とした。

4. 4. まとめ

平成 27 年度までに歩行サーベイの開発は一定の成果が得られ、歩行サーベイでの線量率測定が可能となった。

5. F I P 5 一般廃棄物焼却施設における放射性物質を含む廃棄物の適正処理推進事業

5. 1. 目的

主灰・飛灰への放射性セシウムの移行挙動を把握し、これを制御する方法及び焼却灰中の放射性セシウムを除去又は難溶化する技術の有効性を、稼働中の焼却施設における実証試験等により確認し、焼却灰（主灰、飛灰）の安全かつ適正な処分をはかる。

また、一般廃棄物焼却施設から発生するバグフィルター廃ろ布と一般廃棄物との混焼を行った際の放射性セシウムの主灰/飛灰間の分配挙動や焼却設備・環境への影響を、実証試験により確認する。

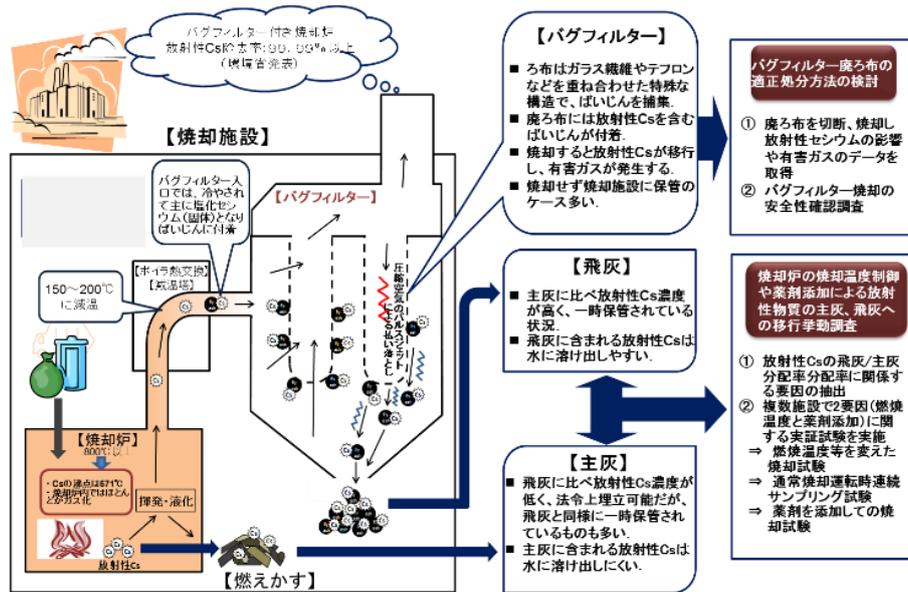


図1 廃棄物焼却過程と試験研究の課題

5. 2. 実施内容

(1) 放射性セシウムの主灰/飛灰間の分配

- ・ 燃焼温度を変えた試験

燃焼室出口温度を50℃程度上下させたときの主灰、飛灰への放射性セシウムの分配を通常時と比較し、温度変化が移行挙動に与える影響を調査した。

- ・ 連続サンプリング試験

通常運転時主灰、飛灰を継続的に採取し、燃焼温度と放射性セシウムの主灰、飛灰への移行挙動を調査した。

- ・ セシウム揮発促進剤・抑制剤の効果確認試験

セシウム揮発促進剤(消石灰)、抑制剤(ベントナイト)をごみ投入時に添加し、その効果について調査した。

(2) 放射性セシウムを含む飛灰が付着した廃ろ布の適正処理

- ・ 一般廃棄物焼却施設におけるバグフィルター廃ろ布混焼試験

ろ布の素材が異なる2施設において、廃ろ布の投入割合、投入時間間隔を変えた混焼試験を実施し、燃焼状況への影響等を調査した。

(3) 主灰、飛灰からの放射性セシウムの溶出特性の把握

- ・ 主灰・飛灰の溶出試験

県内の6つの一般廃棄物焼却施設から採取した主灰、飛灰について、溶出試験を実施し、放射性セシウムの溶出特性を調査した。

5. 3. 結果

(1) 放射性セシウムの主灰/飛灰間の分配

揮発促進剤の添加によって、放射性セシウムの飛灰への移行がみられたが、再現性は確認できなかった。燃焼温度と放射性セシウムの挙動については、明瞭な関係を確認できなかった。

(2) 放射性セシウムを含む飛灰が付着した廃ろ布の適正処理

混焼割合を適切に設定すれば、一般廃棄物焼却施設においてバグフィルター廃ろ布を混焼しても、排ガスや施設、ごみの燃焼状況への影響がないことを確認した。

(3) 主灰、飛灰からの放射性セシウムの溶出特性の把握

飛灰からの放射性セシウム溶出率は高く、主灰の放射性セシウム溶出率は低い傾向にあることを確認した。

5. 4. まとめ

混焼割合を適切に設定することで、一般廃棄物焼却施設において、バグフィルター廃ろ布を混焼しても燃焼状況等への影響がないことを確認した。

燃焼温度の変化や薬剤の添加と、放射性セシウムの飛灰への移行挙動との関係性については、その再現性が確認できないなどの課題が明らかになった。