

## 環境放射能除染学会連携シンポジウム「除去土壤等の県外最終処分の実現に向けた技術開発と研究の方向性」講演再録 除去土壤等の再生利用技術開発成果

日置潤一\*1

除去土壤等の再生利用技術開発成果として、その枠組みである、環境省の中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会の概要について説明し、その戦略に沿って実施される直轄型システム実証事業と公募型技術実証を紹介した。直轄型システム技術開発には、除去土壤を再生資材化し、造成を行い、資源作物等の試験栽培を行う再生利用実証事業や、分級処理システムの実証事業などがあり、今後は飛灰洗浄処理技術実証事業などの実施が予定されている。公募型技術実証についても、除去土壤等の減容等技術実証事業として実施されており、これら技術開発を加速するため、中間貯蔵施設区域内に整備された技術実証フィールドを紹介するとともに、環境省の減容・再生利用技術実証の今後の予定等について説明した。

**Keywords:** 除去土壤等、減容・再生利用技術、技術開発戦略、技術実証フィールド、JESCO

### 1 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略

#### 1.1 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会

東日本大震災時の東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、放射性物質による環境汚染が生じ、その除染によって、福島県内で発生した大量の除去土壤等は、福島県外での最終処分までの間、安全かつ集中的に中間貯蔵施設において、貯蔵されることになる。

ここで、県外最終処分量を低減するためには、除去土壤等の減容・再生利用への取組が必要となり、環境省では、中間貯蔵開始後、30年以内に福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講ずることを踏まえ、中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会（以下、「戦略検討会」という。）を設置し、除去土壤等の減容・再生利用に係る技術開発戦略、再生利用の促進に係る事項等について検討がなされているところである。[1]

#### 1.2 戦略検討会の開催経緯等

戦略検討会は2015年7月に第1回が開催され、2016年3月の戦略検討会（第3回）の後、同年4月に「中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略」（以下「技術開発戦略」という。）及び工程表がとりまとめられた。

さらに2019年3月の戦略検討会（第10回）の後に、技術開発戦略について、中間年度（2018年度）における戦略目標の達成に向けた見直しがなされたところである。[2]

#### 1.3 技術開発戦略の工程表

技術開発戦略の工程表はFig.1のとおりであり、「1. 減容・再生利用技術の開発」、「2. 再生利用の推進」、「3. 最終処分の方向性の検討」、「4. 全国民的な理解の醸成等」の4つの事項について、進行管理の工程表が示されている。

また工程表では、これら事項に関し、「3. 最終処分の方向性の検討」に向けて、「1. 減容・再生利用技術の開発」、「2. 再生利用の推進」、「4. 全国民的な理解の醸成等」が

関与し、「2. 再生利用の推進」には「1. 減容・再生利用技術の開発」や「4. 全国民的な理解の醸成等」が関与するという関係性も示されている。

#### 1.4 減容・再生利用技術の開発

「1. 減容・再生利用技術の開発」には大きく二つの流れがあり、一つ目が直轄型システム技術実証、二つ目が公募型技術実証である。減容・再生利用技術の開発については、2024年度末までに基盤技術開発を一通り完了するとされている。

減容・再生利用技術の要素としては、分級処理、化学処理、熱処理、洗浄処理等があり、Fig.2は最終処分の方向性の検討における減容処理ケースの整理において、これら技術要素を最も多く組み合わせて物質収支量を試算し、最終処分量が最も少なくなるとされたケースの物質収支である。

### 2 直轄型システム技術実証と公募型技術実証

#### 2.1 直轄型システム技術実証と公募型技術実証の概要

減容・再生利用技術の開発は、大きく二つの流れの技術実証によって取り組まれている。

その一つである国直轄型は、減容・再生利用の実施に不可欠であり、早急にその確立を図る必要性が高い技術を特定し、ベンチスケール規模（研究室規模と実用規模の間の規模）による全体システムの実証・評価を実施するものとされている。

他方、公募型は、実験室レベルで有効性・原理が確認された技術を広く公募で選定し、将来の活用可能性を検証するため、小規模な実証・評価を実施するものとされているところである。[5]

#### 2.2 直轄型システム技術実証

直轄型システム技術実証としては、再生利用実証事業としての「南相馬市東部仮置場における再生利用実証事業」や「飯館村における除去土壤再生利用実証事業」のほか、分級技術に関する「中間貯蔵施設内における除去土壤の分級処理システム実証事業」や土壤及び焼却灰の熱処理技術の実証調査が行われている。

##### 2.2.1 南相馬市東部仮置場における再生利用実証事業

本事業は、南相馬市において、2016年より実施され、再

Achievements of technology development for volume reduction & recycling of the soil from off site decontamination work by Junichi HIOKI (hioki@jesconet.co.jp)

\*1 中間貯蔵・環境安全事業株式会社 (JESCO)

Japan Environmental Storage & Safety Corporation

〒105-0014 東京都港区芝1-7-17

本稿は日本原子力学会バックエンド部会第37回バックエンド夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

## ○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

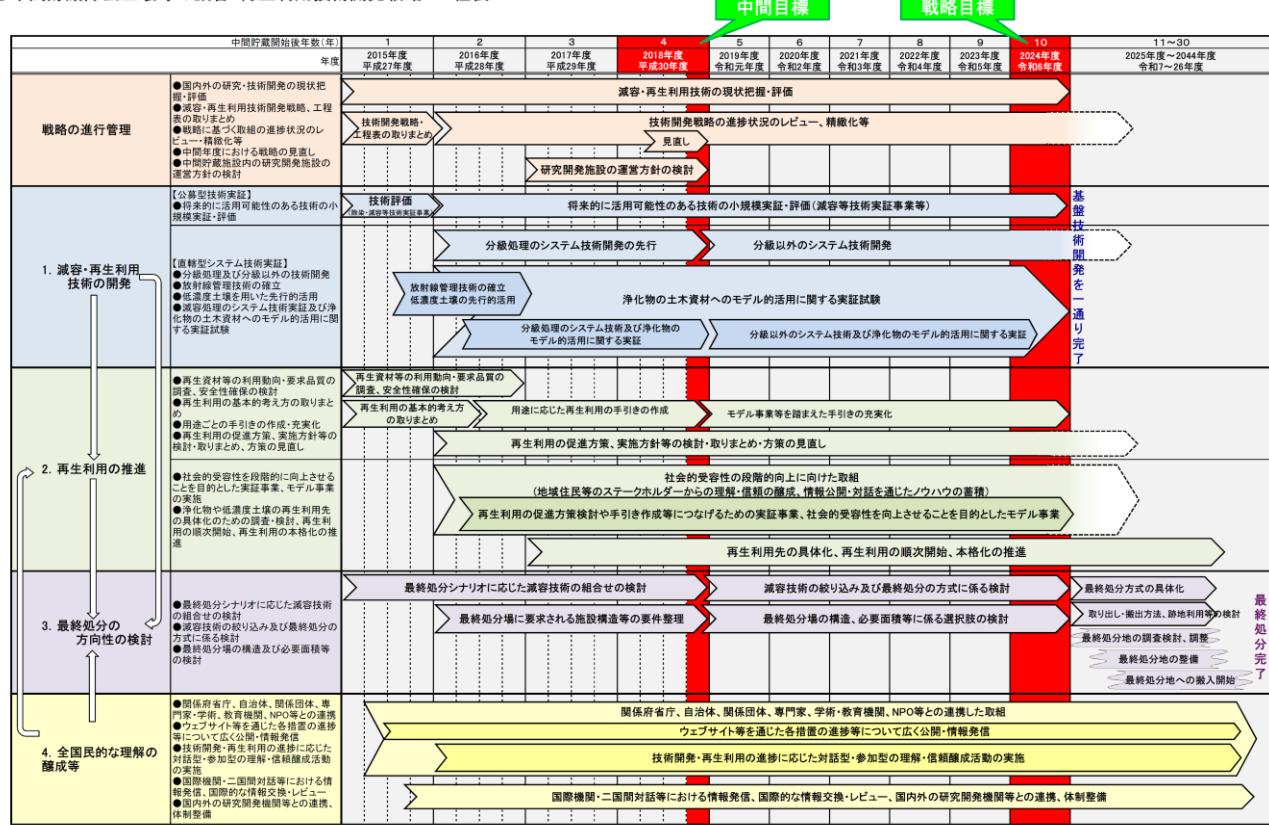


Fig.1 技術開発戦略の工程表[3]

## ケースIVの物質収支の詳細

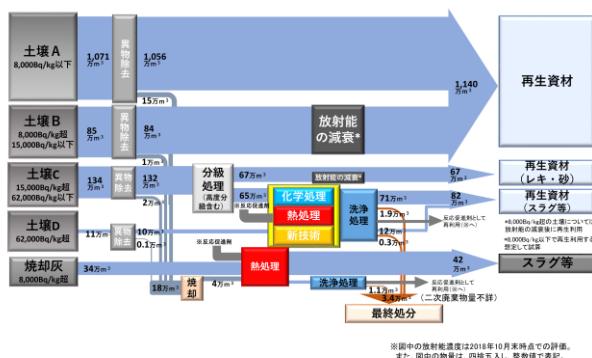


Fig.2 最終処分の方向性の検討における減容処理ケースの一例[4]

再生資材化の方法や、再生資材を用いて施工した盛土の安全性等を確認するため、東部仮置場内で実施された。市内小高区東部の除染で発生した土壌を用いて、再生資材化実証試験及び試験盛土を施工したものである。

再生資材化の実証では、除去土壌の土嚢袋を開封、大小の異物を除去、土壌の分別、放射能濃度の測定、盛土に利用する土壌の品質の調整が順に行われ、盛土の実証では、試験盛土を施工し、空間線量率などの測定が行われた。

本事業の結果について、盛土の施工前後で空間線量率等の大きな変動は見られず、盛土の浸透水の放射性セシウムは検出下限値未満であり、安全性が確認されている。[6]

## 2.2.2 飯館村における除去土壌再生利用実証事業

本事業は 2018 年より実施され、村内仮置場等に保管されている除去土壌を再生資材化し、造成を行い、資源作物等の試験栽培を行うもので、Fig.3 にそのイメージ図を示す。

本事業では、再生資材化エリアと造成エリアが設けられ、再生資材化エリアに運搬された除去土壌は、再生資材化施設で、破袋、異物除去、濃度分別、品質調整が行われ、再生資材として、造成エリアに運搬される。造成エリアでは、運搬された再生資材で造成された造成地において露地栽培が実施された。

露地栽培における作物への放射性物質セシウムの移行係数の評価・確認では、ジャイアントミスカンサスの移行係数は、0.0030～0.0031 であり、除去土壌の再生利用の手引き（案）に示されている再生利用可能な最大放射能濃度 8,000 Bq/kg 及び今回得られた移行係数 0.0031 を用いて農地作業者の外部被ばく線量を評価すると 0.02  $\mu$  Sv/y となった。[8]

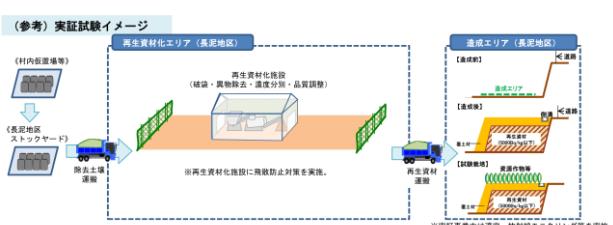


Fig.3 飯館村における除去土壌再生利用実証事業イメージ[7]

## 2.2.3 中間貯蔵施設内における除去土壤の分級処理システム実証事業

本事業は、分級処理の各工程において安全性（特に放射線に関する安全性）を確保しつつ、安定的かつ低コストで大量の除去土壤の減容処理を行うことのできる分級処理システム技術を確立することを目的に、2018年～2019年度に中間貯蔵施設内において実施されたものである。

受入分別施設で分別された土壤は通常分級処理で礫、砂、シルトに分級され、このうち  $75 \mu\text{m} \sim 2\text{ mm}$  の砂について、高度分級処理を行い、細粒分が回収された。

分級による砂・礫の平均除染率は、通常分級では 71.5% であり、高度分級では 77.9% に向上し、元の土壤と比べて約 25% 程度まで放射能濃度が低下した結果が得られている。[9]

## 2.2.4 土壤及び焼却灰の熱処理技術の実証調査

本実証調査は 2016 年から 2017 年にかけて、飯館村で実施され、焼却灰、除去土壤を対象とした熱処理システムを構築し、処理対象物から放射性セシウムを分離させ、再生利用可能なレベルまで、濃度を低減させるための熱処理技術を実証調査するものである。

具体的には、処理対象物を乾燥・粉碎し  $1,350^{\circ}\text{C}$  以上で加熱し放射性セシウムを気化させ、放射性セシウムを気化させた後の処理対象物は、再生利用可能な生成物として、資材化炉から排出される。

一方、気化した放射性セシウムは、冷却してバグフィルターで捕集し、圧縮して固めたうえで、コンクリート容器内で厳重に保管されるものである。

実証結果について、 $100\text{ Bq/kg}$  以下の生成物が安定的に得られ、コンクリートブロックや肥料として再生利用可能なことが確認されたとともに、実証事業の実施において、周辺への放射性物質の影響も無いことが確認された。[10]

## 2.2.5 今後の取組

戦略目標の達成に向けた見直し後の戦略目標では、2019年度以降は、仮設灰処理施設で生成する飛灰を対象とした灰洗浄処理技術などを注力すべき技術分野としてシステム技術開発を検討するとされ、飛灰洗浄処理技術実証事業が今後、行われる予定となっている。[11]

飛灰洗浄処理技術実証事業のイメージは、Fig.4 に示すとおりであり、飛灰を洗浄、脱水することで、飛灰中の放射性セシウムの低減を図る一方、洗浄水には放射性セシウムが移行しているため、これを吸着材で回収し、当該吸着剤を安定化する技術開発を行うものである。

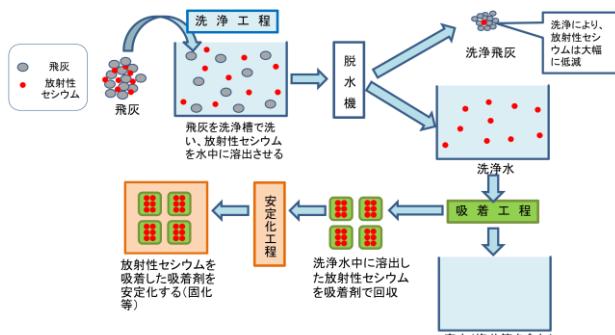


Fig.4 飛灰洗浄処理技術実証事業のイメージ[12]

## 2.3 公募型技術実証

Table 1 に公募型技術実証の受付件数と採択件数の推移を示す。公募型技術実証は 2014 年度までは除染技術実証事業として、2015 年度以降は除去土壤等の減容等実証事業として実施されている。

なお、JESCO はこの事業について、2016 年度から環境省から受託をし、マネジメントを行っており、近年は、5 件から 10 件の採択件数となっている。

ここで公募型技術実証の対象事業分野について、2012 年度の除染技術実証事業のものと 2016 年度の除去土壤等の減容等実証事業のものを、Table 2 に対比の一例として示す。

Table 2 に示すとおり、公募型技術実証の対象事業分野は、その時点の状況に応じて求められる技術分野が対象となっていることが分かる。

Table 1 公募型技術実証の受付件数と採択件数

	2011 内閣府等	2011 環境省	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
受付 件数	305	295	173	136	64	37	23	19	15	18	19	17
採択 件数	25	22	15	11	10	9	9	9	5	7	10	9

Table 2 公募型技術実証の対象分野の対比[13, 14]

除染技術実証事業（2012年度）	除去土壤等の減容等実証事業（2016年度）
(1) 除染作業効率化技術	(1) 除染土壤等の減容・再生利用等技術 ① 減容技術
(2) 土壤等除染除去物減容化技術	② 再生利用等技術
(3) 放射性物質に汚染された廃棄物の処理技術	③ 減容処理後の濃縮物等の放射線管理に資する技術
(4) 排水の回収及び処理関連技術	(2) 除染土壤等の輸送や中間貯蔵等の関連技術 ① 除染土壤等の輸送技術
(5) 除去物体の運搬や一時保管、中間貯蔵等関連技術	② 中間貯蔵・除染・廃棄物処理技術
(6) 除染支援等関連技術	

## 3 減容・再生利用技術の現状と今後の予定

### 3.1 減容・再生利用技術の現状把握・評価

減容・再生利用技術の開発は、直轄型システム技術実証や公募型技術実証によって進められおり、2019 年 12 月に開催された戦略検討会（第 11 回）において、除去土壤と焼却灰に関して、次のとおり、現状把握・評価が行われている。[15]

#### 3.1.1 除去土壤

除去土壤に関しては、技術区分として、分級処理、化学処理、熱処理が挙げられ、それぞれにメリットとデメリット、適用性評価等がまとめられている。

分級処理については、メリットとして、重金属除去で実績があり、実用化段階の技術が多く、大量かつ比較的安価に処理が可能とされる一方、デメリットとして粘土分の割合が高い土壤は濃縮物量が多くなるため、効果的な分級が難しいとされている。

適用性評価としては、土壤 D (Fig.2 に示すものと同じ.) への適用は困難であるが、土壤 C (Fig.2 に示すものと同じ.) の再生資材化（除染率 40～74% 必要）について、安価で十分な除染効果が発揮されるとされている。

化学処理については、メリットとして、砂質土にも適用できるほか、粘性土にも効果があるとされる一方、デメリットとして、セシウムの吸着剤が必要で、再生資材の中に

残留する溶媒等の処理や排水処理が必要であり、土壤の性状や組成が変化するため、再生利用先の用途開拓が必要とされている。

適用性評価としては、土壤 D への適用は困難であるが、土壤 C の分級脱水ケーキ (64.5 万 m<sup>3</sup>, 5.63 万 Bq/kg) の再生資材化 (除染率 71~88% 必要) への適用は除染率にばらつきがあるものの可能とされている。また、大量の廃液の処理が必要とされ、大量の除去土壤の処理には適さないとされている。

熱処理については、メリットとして、粘性土や砂質土などの性状にかかわらず適用でき、除染率も高いことがあげられ、デメリットとしては、相当量の反応促進剤 (CaCl<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> 等) が必要なため、再生資材もその分増加し、処理コストも高くなることが挙げられる。また排気処理が必要で、土壤の性状や組成が変化するため、再生利用先の開拓が必要とされている。

適用性評価としては、反応促進剤が必要であるが、除染容効果が非常に大きく、土壤 C の分級脱水ケーキ、土壤 D、焼却灰の確実な除染が可能とされている。

### 3.1.2 焼却灰

焼却灰に関しては、技術区分として、洗浄処理及び熱処理が挙げられ、それぞれにメリットとデメリット、適用性評価等がまとめられている。

洗浄処理については、メリットとして、飛灰に付着しているセシウムは水に溶けやすく、高い除染率が得られる一方、デメリットとしてセシウムの吸着剤や排水処理が必要とされている。適用性評価については、今後、溶融飛灰の実証試験が必要とされている。

熱処理については、メリットとして、除染率が高く、安定した溶融スラグ等が得られるとされ、デメリットとしては、反応促進剤が必要で、処理コストが高く、排気処理等が必要とされている。適用性評価としては、実証事業において、土壤、焼却灰、土壤と焼却灰の混合物に対して、高い除染減容効果が実証されたとされている。

## 3.2 技術実証フィールドとその活用

### 3.2.1 技術実証フィールドについて

技術実証フィールドは、減容・再生利用の技術開発を加速するため、大熊町に整備され、2020 年 1 月から運用が開始されている。

技術実証フィールドでは、中間貯蔵施設エリア内に位置する立地環境を活かし、中間貯蔵施設に運び込まれた除去土壤等の実物を用いて調査研究を行うことが可能になった。



Fig.5 技術実証フィールドの施設の全体配置

技術実証フィールドの施設としては、約 40 m 四方の実証ヤードが 4 面整備され、他に、資材置場が 2 棟、分析室棟、管理棟が整備されており、Fig.5 にこれらの全体配置を示す。なお、同フィールドの運営管理は JESCO が環境省より委託を受けて実施している。

### 3.2.2 技術実証フィールドの活用

技術実証フィールドでは様々な実証事業が行われており、Table 3 に 2020 年度に技術実証フィールドで行われた事業を示す。技術実証フィールドでは、公募型技術実証事業の他、JESCO と国立環境研究所との共同研究も実施しており、分析室棟では、上記事業者等の検体分析を行うほか、JESCO・国立環境研究所の共同研究である飛灰洗浄ラボ試験、溶融スラグの溶出試験も実施している。

Table 3 2020 年度の技術実証フィールドでの実施事業

実証事業者等	令和 2 年度の実証テーマ
九州大学	溶融スラグ及び洗浄飛灰を用いた高圧脱水ブロック制作による再生利用
(株)大林組	溶融スラグの再生利用等技術の実証
JESCO・国立環境研究所	除去土壤の再生利用時の安全性や安定性に関する実証実験（共同研究）
(株)奥村組	膨潤抑制剤添加により除去土壤の再利用を効率化する技術
大成建設(株)	微粉碎土壤をジオポリマーの固化材料として利用する技術

### 3.2.3 今後の方向性

2019 年 12 月に開催された戦略検討会（第 11 回）において、減容・再生利用の今後の予定が示されており、引き続き、小規模実証事業を行い、コスト削減や実用化のデータの蓄積を図るとともに、洗浄処理技術、安定化処理技術について、国直轄の実証事業を行うほか、再生資材の土木資材へのモデル的活用に関する実証試験も行うとされている。  
[16]

JESCO としても、環境省の示す方向性に沿って、国直轄の実証事業の支援、技術実証フィールドも活用した公募型技術実証事業のマネジメント、国立環境研究所との共同研究等を通じ、減容・再生利用の技術開発に貢献していきたい。

## 参考文献

- [1] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会設置要綱.  
[http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative\\_commission/pdf/investigative\\_commission\\_01.pdf](http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/pdf/investigative_commission_01.pdf) (accessed 2021-11-09).
- [2] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会.  
[http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative\\_commission/](http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/) (accessed 2021-11-09).
- [3] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略 工程表.  
[http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative\\_commission/pdf/investigative\\_commission\\_process\\_2003.pdf](http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/pdf/investigative_commission_process_2003.pdf) (accessed 2021-11-09).
- [4] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第 9 回), 資料 4, 2018 年 12 月 17 日, p.52 (2018).

- [5] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第1回), 資料 5-3, 2015 年 7 月 21 日, p.1 (2015).
- [6] 環境省: 南相馬市東部仮置場における再生利用実証事業.  
[http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/recycling/project\\_minamisoma/](http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/recycling/project_minamisoma/) (accessed 2021-11-09).
- [7] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第 11 回), 資料 2-1, 2019 年 12 月 19 日, p.2 (2019).
- [8] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第 11 回), 資料 2-1, 2019 年 12 月 19 日, p.18 (2019).
- [9] 環境省: 中間貯蔵施設内における除去土壤の分級処理システム実証事業.  
<http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/> (accessed 2021-11-09).
- [10] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第 11 回), 資料 3-1, 2019 年 12 月 19 日, p.4 (2019).
- [11] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略 戰略目標の達成に向けた見直し. 平成 31 年(2019 年)3 月, P.8 (2019).  
[http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative\\_commission/pdf/investigative\\_commission\\_review\\_1903.pdf?1904](http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/pdf/investigative_commission_review_1903.pdf?1904) (accessed 2021-11-09).
- [12] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第 12 回), 資料 2-1, 2021 年 3 月 26 日, p.25 (2021).
- [13] 環境省: 「平成 24 年度除染技術実証事業」に係る実証試験対象技術の募集について(お知らせ).  
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15268> (accessed 2021-11-09).
- [14] JESCO: 平成 28 年度 除染土壤等の減容等技術実証事業公募要領.  
<https://www.jesconet.co.jp/content/900005830.pdf> (accessed 2021-11-09).
- [15] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第 11 回), 資料 3-1, 2019 年 12 月 19 日, pp.2-3 (2019).
- [16] 環境省: 中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第 11 回), 資料 3-1, 2019 年 12 月 19 日, p.6 (2019).