

## (S1-06) 米国（EPA）における汚染土壌の処理方法の適用性の確認方法・手順

○岡田雄臣<sup>1</sup>・山崎将義<sup>1</sup>・森岡錦也<sup>1</sup>・佐藤 毅<sup>1</sup>・西田憲司<sup>1</sup>・  
 土壌汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>土壌環境センター

## 1. はじめに

土壌汚染対策法（平成29年改正）では、土壌汚染の除去等の措置を適用しようとする場合、汚染除去等計画を作成するが、予め計画対象とした汚染の除去等の処理方法について適用性の確認を行うことが規定されている<sup>1</sup>。しかし、措置の原理あるいは土質の種類、土壌の汚染状態等に応じて試験仕様や処理に要する時間が異なったり、特許工法にあつては判断方法の公開が困難であったりする場合も想定されることから、適用性の確認方法を省令で一律に定めなくてもよいと考えるのが適当であるとされており<sup>2</sup>、土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン<sup>2</sup>（以下「ガイドライン」という）に適用性の確認方法に関する具体的な手順等が示されていない。また、関連して、区域内措置優良化ガイドブック<sup>3</sup>（以下「ガイドブック」という）においては、適用可能性試験が「措置技術又は処理技術の適用性を検討する上で、事前に基準不適合土壌等を用いて処理技術の適用性及び適用条件を決定するために、室内等で実施する試験」と定義され、適用性の確認方法の一つに挙げられているが、その具体的な手順等は示されていない。

このような背景から、適用可能性試験は現状、各社の裁量や工夫により実施されていると考えられる。このため、適用可能性試験の妥当性や「適用可能性あり」とする根拠が示せず、対策の着手に遅延が生じる懸念がある。そこで、適用可能性試験の具体的な方法や手順等を提案することを目的として、（一社）土壌環境センターに設置した土壌汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（以下「適用性試験部会」という）にて、オンサイト浄化と原位置浄化を対象に調査・検討を行っている。

米国においては、土壌汚染対策に係る法規制である包括的環境対策・補償・責任法（Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act、別名「スーパーファンド法」、以下「CERCLA」という）に基づいて汚染土壌の処理を実施する際、事前に処理の適用性を確認するトリータビリティ調査が行われる。トリータビリティ調査は処理方法の決定や措置の実施をサポートすることを目的としており、米国環境保護庁（Environmental Protection Agency、以下「EPA」という）は当該調査が効率的に進められるようガイド<sup>4</sup>（以下「EPAガイド」という）を公開している。EPAガイドにはトリータビリティ調査の進め方や適用性の確認方法・手順等が具体的に示されており、その内容は適用可能性試験（室内試験）の具体的な方法を検討する上で有用な情報であると考えられる。

本稿では、EPAガイド<sup>4</sup>のほか国内外の文献<sup>2,3</sup>等を参考に、トリータビリティ調査・適用可能性試験の概要および試験・評価方法を確認し、日米における汚染土壌の処理方法の適用性の考え方について整理した。

## 2. 米国における汚染サイトの修復プロセスの概要とトリータビリティ調査の位置づけ

CERCLAは、1978年のラブ・カナル事件を契機に、1980年に制定された。EPAは、本法に基づき、有害物質の漏洩等によるリスクから人の健康と生活環境を保護することを目的とし、州および部族政府と協力しながら汚染サイトの管理・調査・修復を進めている。

CERCLAの修復プロセス<sup>5,6</sup>およびトリータビリティ調査の検討範囲を図-1に示す。CERCLAの修復プロセスは、企業や住民、州からの通報によって、EPAが有害物質の放出が懸念されるサイトを発見することから始まる。次のステップとして、EPAは当該土地について資料調査や現地調査、周辺住民へのヒアリングを行うとともに、土壌、水、大気における有害物質の存在状態を把握し、有害物質の人への健康や環境へのリスクを評価する。次に、リスク評価の結果に応じて危険度を数値化、順位付けをし、特に修復の優先度が高いと判断されたサイトは全国優先地域一覧表に登録され、修復措置の対象となる。措置を行う前には、トリータビリティ調査が実施される。本調査は、机上調査や室内試験、現地試験、試験施工を行い、適切な処理方法を決定し、

---

Methods and procedures for investigating applicability of contaminated soil treatment by the U.S. EPA  
 Takaomi Okada<sup>1</sup>, Masayoshi Yamazaki<sup>1</sup>, Kinya Morioka<sup>1</sup>, Takeshi Sato<sup>1</sup>, Kenji Nishida<sup>1</sup> and Study Group on  
 Applicability test of measures such as removal of soil contamination<sup>1</sup> (<sup>1</sup>GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町4-5 KSビル3F （一社）土壌環境センター

TEL03-5215-5955 FAX03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

処理の設計および修復措置の実施までを検討するものである。修復措置が完了すると、維持管理の段階に移り、実施した措置が適切に機能していることの確認や、5年ごとのレビュー、住民との話し合い等、長期にわたって維持管理および必要な対応が行われる。さらなる対応が必要ないと判断されると、当該サイトは全国優先地域一覧表から削除され、対応終了となる。

CERCLAの仕組みでは、浄化対象となるサイトは、比較的深刻な汚染を呈するものから優先的に選ばれることとなる。また、トリータビリティ調査と措置の費用負担者は、原則、潜在的責任当事者（現在または当時の施設管理者、所有者等）であるが、責任者が不明または無資力である場合には基金から費用が捻出される<sup>7)</sup>。このように、修復措置は深刻な汚染サイトに対して、場合によっては税金である基金を用いて行われることから、浄化プロセスの中核を担うトリータビリティ調査は定量的かつ効率的に検討を進めることが求められる。

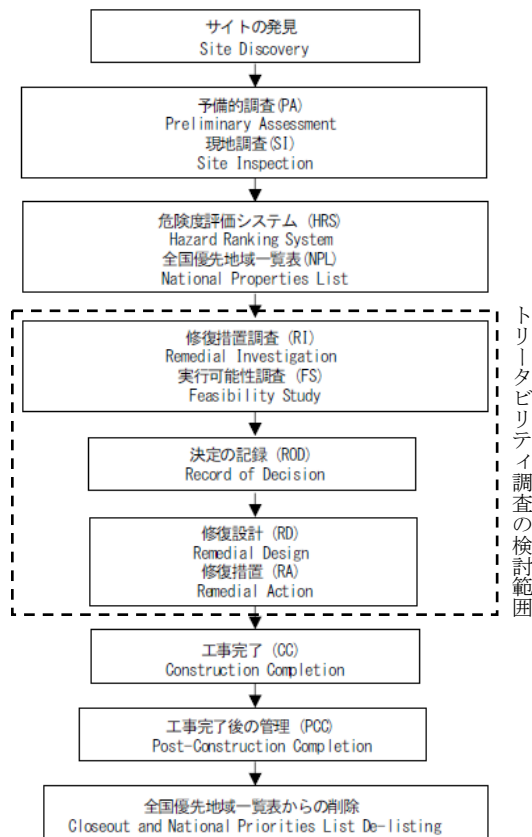
### 3. 米国（EPA）のトリータビリティ調査の方法

#### 3.1 トリータビリティ調査の基本的進め方

EPAが発行したトリータビリティ調査のガイド<sup>4)</sup>によると、基本的には4つのステップで段階的に進めることが示されており、図-2に示すように①Technology Prescreening and Treatability Study Scoping（プレスクリーニング）、②Remedy Screening Treatability（スクリーニング）、③Remedy Selection Treatability（セレクション）、④RD/RA(Remedial Design/Remedial Action) Treatability（修復設計・修復措置）の順で検討される。以下に各段階の概要を示す。

①では、はじめに資料等調査を行い、浄化対象物質の物性をふまえ、有効な処理方法を複数抽出する。②では、抽出した処理方法の浄化効果を室内試験により確認する。この段階での浄化効果の判断は、修復対象のサイトにおいて法的な基準を満たすか否かではなく、潜在的に浄化のポテンシャルを有するか否かによって行われる。③では浄化のポテンシャルが確認された処理方法について、室内または現地にて、ベンチスケール、パイロットスケールでの試験または本格的な装置を用いた試験を行い、コストや修復期間も加味したうえで最終的に一つの処理方法を決定する。④では、決定された処理方法について、試験施工を行い、処理の設計および費用の算出など詳細を確認し最適化を図り、措置を実施する。

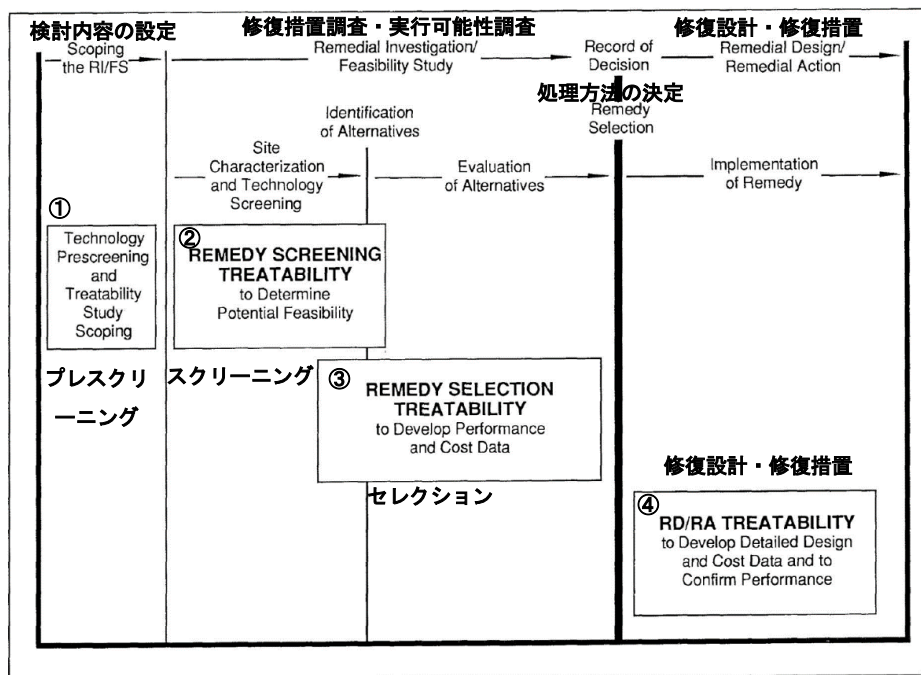
ただし、上記のように必ずしも段階的に調査を進める必要はなく、①の資料等調査で評価に十分なデータが得られた場合は、②および③のいずれかまたは両方を省略し、④に進むことも可能である。



トリータビリティ調査の検討範囲

川瀬ら(2021)<sup>9)</sup>に筆者らが加筆

図-1 CERCLAの修復プロセス<sup>5),6)</sup>



U.S. EPA(1992)<sup>4)</sup>に筆者らが加筆

図-2 CERCLAに基づくトリータビリティ調査のフロー

### 3.2 トリータビリティ調査における試験方法と評価方法の例

EPA ガイドには、全ての処理方法に共通する事項をとりまとめたもの<sup>4)</sup>と、各処理方法について内容を掘り下げたもの<sup>8),9),10)</sup>がある。後者には、処理方法ごとに、トリータビリティ調査で行われる試験の方法や評価の方法、留意事項等がケーススタディと共に示されており、我が国の適用可能性試験の具体的な方法を検討するうえで有用な情報であると考えられる。

本稿では、適用性試験部会にて検討対象としているオンサイト洗浄処理と原位置生物処理について、EPA ガイド<sup>8),9),10)</sup>を参考に、トリータビリティ調査で行われる試験方法と評価方法を紹介する。EPA ガイドでは特に図-2における②Remedy Screening（以下、「スクリーニング段階」という）と③Remedy Selection（以下、「セレクション段階」という）が具体的に示されている。

なお、適用性試験部会では、表-1 および表-2 の内容を踏まえて、適用可能性試験の具体例を作成しており、詳細については適用性試験部会の報文を参照されたい<sup>11),12),13)</sup>。

#### 3.2.1 オンサイト洗浄処理

洗浄処理のトリータビリティ調査の方法例を表-1 に示す。主な処理の対象物質は重金属である。

スクリーニング段階の評価基準について、汚染物質の除去率や洗浄の分級点とする粒径は例として示されており、サイト毎に評価基準の設定が求められる。一方、セレクション段階では処理方法を決定する段階のため、浄化目標の達成が評価基準となる。なお、スクリーニング段階で例示されている洗浄の分級点 2 mm は、日本の粒径区分では礫と砂の境界に相当するが、当該段階の目的は浄化の潜在的なポテンシャルを確認することであり、ここでは洗浄効果が発揮されやすい粗い粒径を分級点としている。次のセレクション段階において、分級点をより小さくした場合等の洗浄効果を検証し、適切な洗浄条件を確認する。

試験方法については、スクリーニング、セレクションともに室内での試験方法が示されており、液固比や容器容量、洗浄時間といった試験条件がケーススタディ形式で例示されている。なお、汚染物質の分析にあたっては含有量を測定する。

#### 3.2.2 原位置生物処理

原位置生物処理におけるトリータビリティ調査の方法例を表-2 に示す。主な処理の対象物質は、揮発性有機化合物である。

スクリーニング段階の評価基準は、微生物分解によって汚染物質の濃度が減少傾向を示すことであり、濃度減少が光分解や揮発などによるものでないことを示すためにコントロール試験との結果の比較が重要となる。セレクション段階の評価基準は洗浄処理の場合と同様に、浄化目標の達成となる。

試験方法については、スクリーニング段階ではバッチ式の試験を行うが、セレクション段階では土壌カラムや現地試験といった実際の措置を想定した試験が示されている。

表-1 EPAによるオンサイト洗浄処理のトリータビリティ調査の方法例<sup>8)</sup>

調査段階	調査・試験方法
スクリーニング	<p>【評価基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>洗浄液で十分な割合（例えば 50%）の汚染物質含有量を除去できること</li> <li>あるいは、分級によって粒径 2 mm 等を超える画分の汚染物質含有量を少なくとも 50%除去できること 等</li> </ul> <p>【試験方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>室内試験</li> <li>同重量の土と洗浄水を容器（容量 10L）に投入し、所定の時間振混ぜる</li> <li>試験前の土壌と試験後の粒径 &gt;2 mm の汚染物質含有量を測定</li> </ul>
セレクション	<p>【評価基準】</p> <p>汚染サイトのリスク評価等に基づいて設定された浄化目標の達成</p> <p>【試験方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>室内試験</li> <li>土壌と洗浄水の比率（液固比）、洗浄時間、洗浄水の温度、添加剤の種類、分級点を変数として適当な洗浄条件を確認</li> </ul>

表-2 EPAによる原位置生物処理のトリータビリティ調査の方法例<sup>9),10)</sup>

調査段階	調査方法
スクリーニング	<p>【評価基準】 微生物分解によって汚染物質濃度が減少することを確認し、かつその減少が光分解、揮発、吸着などの非生物学的プロセスによるものではないこと。例えば、コントロール試験と比較し、6～8週間の試験中に汚染物質濃度が少なくとも20%減少すること。</p> <p>【試験方法】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 室内試験</li> <li>・ 容器サイズは40 mL～1 L、あるいは1検体で行う場合は1～10 L</li> <li>・ 微生物が存在する土壌と対象汚染物質を含む水を容器に投入し、濃度変化を確認</li> <li>・ 土壌を投入しない検体も作製し、微生物分解以外による濃度変化を確認</li> <li>・ 分析頻度は、基本的に試験期間を通して3～4つの時点</li> </ul>
セレクション	<p>【評価基準】 汚染サイトのリスク評価等に基づいて設定された浄化目標の達成</p> <p>【試験方法】</p> <p>■ 土壌カラム試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 室内試験または現地試験</li> <li>・ カラムサイズは通常約3,000 cm<sup>3</sup>～90 m<sup>3</sup>の範囲（例えば、直径約20 cm、長さ約20 cm）</li> <li>・ 試験期間の目安は1週間～6ヶ月</li> <li>・ 水の供給方法は、スプリンクラーシステムおよび上向流浸透システム</li> <li>・ 試験中は、pH、含水量、栄養素、酸素（好気分解の場合）、温度をモニタリング</li> </ul> <p>■ 現地試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験の実施範囲は通常約1～1000 m<sup>2</sup></li> <li>・ 試験期間は2ヶ月～2年間</li> <li>・ 水の供給方法は、浸透システムおよび灌漑システム</li> <li>・ 栄養素や酸素（好気分解の場合）等を与えない条件での結果と比較し、処理効果を確認</li> </ul>

#### 4. 日米における処理方法の適用性の基本的考え方等の整理

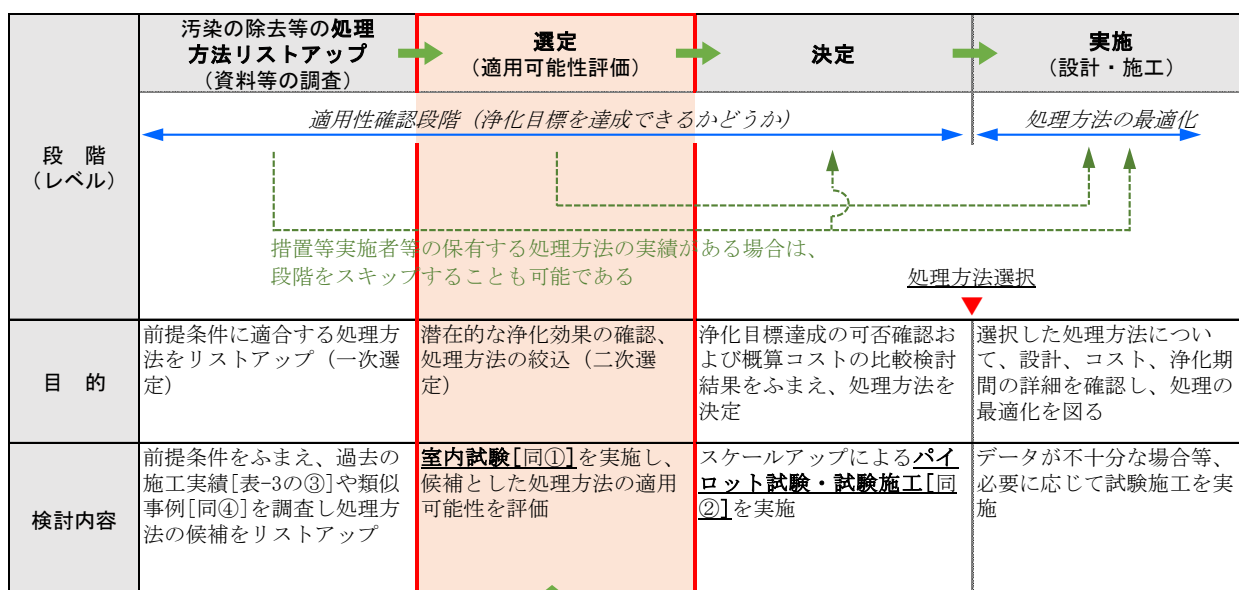
汚染土壌の処理方法の適用性の基本的考え方、および適用性の確認方法等を日米で比較整理した結果の要点を表-3に示す。また、米国のCERCLAにおける修復プロセス（図-1）およびトリータビリティ調査のフロー（図-2）を参考に、図-3に示すように、日本の土壌汚染対策法に準拠した汚染の除去等の処理方法の検討プロセスフローを提案する。

日米の適用性を確認する方法・手順のあり方について、米国においては、基本は段階的な調査を経て適用性を確認することがEPAガイドに示されているが、過去の実績をもとに一部の段階をスキップすることもできるとされている。日本では、ガイドラインに一般的な方法として4つの例が示され、既往の措置結果を活用する方法と、現地試料を用いた試験により評価する方法がある。それらの進め方に関しては段階的に検討を行い確認する場合もあれば、段階を経ずに実績と室内試験の組み合わせで確認する場合もありうる。

これらの比較結果をふまえると、適用性に関する基本的な考え方については両国に相違はないものの、異なる点として、米国では適用性の判断は基本的に3つの段階（資料等調査、スクリーニング、セレクション）を経て行われており、費用や工期といった経済性が適用性の判断に不可欠となっている点が挙げられる。

表-3 日米における処理方法の適用性の考え方等の比較整理

比較整理項目	日本	米国
適用性の確認に係る指針・文献等	環境省：土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン <sup>2)</sup> 環境省：区域内措置優良化ガイドブック <sup>3)</sup> 等	EPA：Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA, Final <sup>4)</sup> EPA：Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA, Soil Washing, Interim Guidance <sup>8)</sup> EPA：Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA, Aerobic Biodegradation Remedy Screening, Interim Guidance <sup>9)</sup> 等
適用性の判断の仕方	目標土壌溶出量等（法的基準あるいは個別に設けられる浄化目標等）を超えない状態にできる場合に適用性有と判断する。	浄化目標を達成できることに加え、浄化費用や浄化期間等を勘案し、合理的な処理方法であると認められる場合、適用性有と判断する。
適用性を確認する方法	一般的に以下のとおり。 ① 現地採取試料を用いた室内試験結果 ② 現地で行ったパイロット試験や試験施工の結果 ③ 同一事業所において、過去に適用性を確認した結果あるいは汚染の除去等の工事の結果 ④ 措置対象地と同様な地盤環境（同様な地質構造や同程度の地下水環境、かつ同程度の汚染状態）を有する土地において、過去に適用性を確認した結果あるいは汚染の除去等の工事の結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本的に3つのステップ（資料等調査、スクリーニング、セレクション）を経て調査を進める中で、机上調査や室内試験、現地試験によって適用性を確認する（図-2 参照）</li> <li>ただし、十分なデータ（判断根拠）が揃っている場合は、一部のステップのみで適用性があると判断してもよい</li> </ul>
適用可能性試験の具体的な方法	ガイドラインやガイドブック等に示されていない。	EPA ガイドに示されている（表-1 および表-2 参照）。



適用性試験部会が提示する室内試験案の一例<sup>11), 12), 13)</sup>は表-3の①の試験に該当

図-3 汚染の除去等の処理方法の検討プロセスフロー案（土壌汚染対策法準拠）

## 5. おわりに

米国（EPA）のトリータビリティ調査に関するガイドをはじめとする国内外の文献・資料をもとに、日米における汚染の除去等の処理方法の適用性を確認する方法について比較整理を行った。その結果、適用性に関する基本的な考え方に相違はないものの、適用性の判断の仕方が異なることを認識した。また、米国（EPA）では適用可能性試験のスケール（規模）、試験方法・手順および評価方法について具体例がEPAガイドに示されているのに対し、我が国では適用可能性試験の方法・手順についての具体例がガイドラインやガイドブック等に記載がなく、自治体や事業者からのニーズ（適用可能性試験の具体例）を耳にする中で、適用可能性試験の具体化をあらためて課題と認識した。

適用性試験部会では、適用可能性試験（室内試験）の具体的な方法・手順の案として、2つの処理方法（オンサイト洗浄処理、原位置生物処理）を昨年度第28回の発表<sup>14),15)</sup>より引き続き検討対象としており、今回、見直し更新した結果を別途3題<sup>11),12),13)</sup>にて発表する。適用可能性試験（室内試験）は、ガイドラインに記載の適用性の確認方法のうち、従来実施され、最も一般的な方法の一つと考えられることから、その具体例を示すことは有意義であり、上記ニーズに応えるものと考えている。ぜひ参考にしていただくとともに、より良い案に改善できるよう忌憚のないご意見・ご忠言を頂ければ幸いである。

## 参考文献

- 1) 環境省（2007）：土壤汚染対策法施行規則，別表第7の5の項中欄1のト、別表第7の5の項中欄2のホ。
- 2) 環境省（2022）：土壤汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第3.1版），5.4 措置の実施，Appendix22\_4.5.
- 3) 環境省（2020）：区域内措置優良化ガイドブック（改訂版）—土壤汚染対策法に基づくオンサイト措置及び原位置措置を適切に実施するために—，pp.55.
- 4) U.S. Environmental Protection Agency (1992) : Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA, Final, EPA/540/R-92/071a.
- 5) 川瀬晃弘・高浜伸昭人(2021)：土壤汚染対策に関する法制度の日米比較研究—制度的管理を中心に—，東洋大学経済論文集、46巻、2号、pp.45-79.
- 6) U.S. Environmental Protection Agency (2020) : Superfund Cleanup Process, <https://www.epa.gov/superfund/superfund-cleanup-process>（アクセス日：2023年12月26日）。
- 7) 環境省（2016）：諸外国における土壤汚染対策制度の比較調査結果、第1回土壤制度小委員会（平成28年3月28日）資料7
- 8) U.S. Environmental Protection Agency (1991) : Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA, Soil Washing, Interim Guidance, EPA/540/2-91/020A.
- 9) U.S. Environmental Protection Agency (1991) : Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA, Aerobic Biodegradation Remedy Screening, Interim Guidance, EPA/540/2-91/013a.
- 10) U.S. Environmental Protection Agency (1993) : Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA, Biodegradation Remedy Selection, Interim Guidance, EPA/540/R-93/519a.
- 11) 山崎将義・森岡錦也・佐藤 毅・岡田雄臣・田村和広・土壤汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（2024）：重金属汚染土壤のオンサイト処理に関する適用可能性試験の検討—第2報—，第29回地下水土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，投稿中。
- 12) 羽瀧博臣・藤井雄太・山野辺純一・伊藤雅子・西田憲司・土壤汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（2024）：塩素化エチレン類による土壤・地下水汚染の原位置生物処理に関する適用可能性試験の検討—地下水を用いる場合—第2報—，第29回地下水土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，投稿中。
- 13) 山野辺純一・羽瀧博臣・藤井雄太・伊藤雅子・西田憲司・土壤汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（2024）：塩素化エチレン類による土壤・地下水汚染の原位置生物処理に関する適用可能性試験の検討—土壤を用いる場合—，第29回地下水土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，投稿中。
- 14) 森岡錦也・佐藤 毅・山崎将義・田村和広・西田憲司・土壤汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（2023）：重金属汚染土壤のオンサイト処理に関する適用可能性試験の検討，第28回地下水土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，pp.242-246.
- 15) 羽瀧博臣・伊藤雅子・金井良太・西田憲司・土壤汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（2023）：塩素化エチレン類による土壤・地下水汚染の原位置生物処理に関する適用可能性試験の検討，第28回地下水土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，pp.476-480.