

(S2-33) サステイナブル・レメディエーション（SR）の取り組みと豪州での事例紹介

○水澤克哉¹・加藤明¹・佐藤徹朗¹・高畑陽¹・サステイナブル・アプローチ部会¹¹土壌環境センター

1. はじめに

土壌汚染対策の新しい取り組みとして、環境面・社会面・経済面の3要素を評価し、最適な措置を選択する「サステイナブル・レメディエーション（SR）」が提唱され、各国の状況に応じた定義や評価方法の検討が進められている。今後我が国でも、環境・社会・経済の多面的な判断基準により合理的な対策方法を選定し、広く利害関係者間での合意形成を達成するアプローチ方法の実現が望まれている。

土壌環境センターでは、平成26年度より開始した「サステイナブル・アプローチ部会」の中で「SR手法調査ワーキンググループ」として2年間活動を行い、米国¹⁾および英国²⁾のSR事例について文献調査を行うと共に、日本版SRのフレームワーク案を整備していく最初の取り組みとして浄化工法の選定を目的としたSR評価項目を作成した²⁾。平成28年度からは、「SR活用ワーキンググループ（以後、SR活用WG）」として、引き続き海外での実施例について文献調査を継続すると共に、過去の2年間で整備した評価項目を具体的な浄化事例に適用するケーススタディを開始した。本報では、オーストラリアでのSR事例について紹介すると共に、2年間で整備したSR評価項目を浄化事例に適用した結果について概説する。

2. オーストラリアにおけるサステイナブル・レメディエーションのケーススタディ

オーストラリアにおけるSRの取り組みについて調査するため、オーストラリア政府国防省から公表されている「Guidelines for Consideration of Sustainability in Remediation of Contaminated Sites」³⁾を和訳し、内容を確認した。ここでは、本文献で記載されているSR評価手法の概要とその評価事例について述べる。

2.1 オーストラリア国防省によるSR評価の概要

オーストラリア国防省では、①ヒトの健康・環境の保全、②作業の安全性の確保、③環境・社会・経済面のバランスの確保、④修復方法の決定プロセスの文書化、⑤ステークホルダー間の良好な利害関係の構築、⑥浄化メカニズムが明確である浄化手法の適用、を基本方針として汚染土壌や汚染地下水に対する持続可能性の高い措置を選択している。本評価の特徴として、土地の汚染状況を考慮し、汚染対策や浄化後の管理等を最小限にできる土地利用方法をリスクアセスメントや持続可能性の評価検討を行う前の最初のプロセスで決定する点が挙げられる（図-1）。汚染状況に応じた土地利用や開発方法を絞り込むことにより、SR評価を行う前に持続性が低くて環境負荷やコストが大きくなる修復措置を事前に排除することができる。

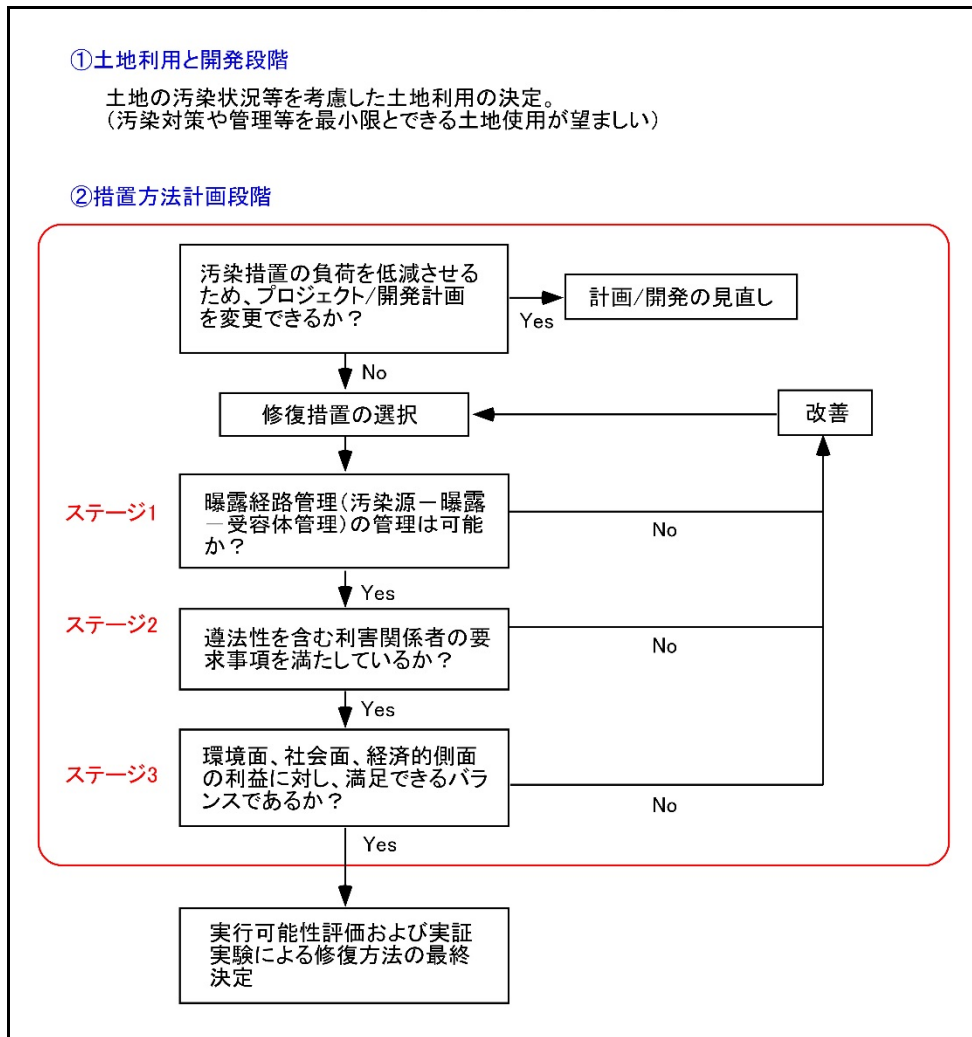
修復措置による負荷低減のため、プロジェクト・開発計画の変更についての幅広い議論を計画段階の前に再度行う。プロジェクト・開発計画を確定した後、実際に汚染土壌の措置に関する検討段階に入る。汚染土壌に対する措置は曝露経路管理（汚染源除去-曝露経路管理-受容体管理）を基本とする。具体的な措置案を選定した後、個々の案が図-1に示すステージ1～ステージ3の評価内容を満たしているかの確認を行う。ステージ1では、汚染物質の挙動を示すサイト概念モデル等により、選定した措置案によって効果的なリスク管理ができるかどうかを確認する。ステージ2では、国防省が定めている Contamination Risk Assessment Tool (CRAT) を用いて、遵法性を含む利害関係者の要求事項を満たすかどうか確認を行う。ステージ3では、個々の措置案に対する環境面・社会面・経済面のそれぞれのプラス側面（肯定的要素）およびマイナス側面（否定的要素）について、持続性評価指標（表-1）を参考にして重要性が高い項目を抽出し評価する。選定した修復措置により社会、環境および経済的な影響が大きく異なる結果となる可能性があり、それぞれのプラス側面およびマイナス側面を考慮して条件を満たす措置案を選定する必要がある。各ステージにおいて条件を満たさない措置案については見直しを行い、再び検討を行う。全てのステージの条件を満たした措置案は、実際の浄化効果等の詳細評価を行う実行可能性評価または実証段階に移行し、最終的な修復措置を決定する。

The approach to sustainable remediation (SR) and case studies of SR in Australia

Katsuya Mizusawa¹, Akira Kato¹, Tetsuro Sato¹, Yoh Takahata¹ and Study Group for Sustainable Approach¹ (¹GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町4-5 KSビル3F 一般社団法人 土壌環境センター

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



図－1 オーストラリア国防省による土壌汚染措置に対するSR評価手順

表－1 持続可能性評価の指標

環境面	社会面	経済面
大気への影響	ヒトの健康と安全への影響	直接的なコストおよび利益
土壌への影響	公平性に対する考慮	間接的なコストおよび利益
水への影響	近隣や地域への影響	雇用および資産益
生態系への影響	地域社会の関与および満足度	資金調達力
天然資源の使用 廃棄物の発生	政策に伴う法令遵守	存続期間 プロジェクトリスク
対象サイトの攪乱	不確実性と証拠の記録	プロジェクトの適応性

2.2 SR評価事例（住宅開発予定地での重金属汚染）

本文献では3件の評価事例を挙げており、このうちの1件（ケーススタディ1）の事例について概説する。

2.2.1 サイト概要

本サイトは芝生と庭園を保有する居住施設の建設予定地であり、防衛職員とその家族が使用する予定であった。この土地では過去にサンドブラストや金属洗浄などの金属加工作業が行われており、過去の事業によって生じるおそれがある健康被害リスクについて検討する必要があるがあった。

環境影響評価の結果、住宅用途としての全国ガイドライン値を超える重金属汚染が地盤の浅い部分に存在することが明らかになった。汚染土量は約2,000 m³と推定され、原位置または現場内での処理はいずれも適用困難であった。現実的な処理方法は掘削除去・場外搬出と判断されたが、その場合、搬出土の処分先となる埋立地はサイトから約100 km離れており、輸送コストが増加することによる開発への影響が懸念された。また、

本サイトは既存の勤務先や文化施設と近いため開発に最適な場所であり、これら既存施設から遠く離れている工場等の使用履歴のない他の候補地ではサイト居住者の利便性を損なう可能性があった。

このような状況の中でステークホルダーに許容される開発計画を行うため、オーストラリア国防省では SR 評価を実施した。

表-2 ケーススタディ 1 における SR 評価の考慮事項

オプション	SR 評価考慮事項			
		環境面	社会面	経済面
オプション 1 汚染土壌の掘削および場外埋立地での処分 (汚染源除去)	肯定的要素	<ul style="list-style-type: none"> 汚染の拡散や生態系への影響が確実に低下 法規制への適合や監査役承認が容易 	<ul style="list-style-type: none"> サイト利用者が土壌汚染に触れない確実性 将来にわたって土壌汚染に係る管理不要 	<ul style="list-style-type: none"> 開発計画の変更に伴う費用の回避 継続的な管理に係る費用が不要
	否定的要素	<ul style="list-style-type: none"> 土壌の掘削および輸送に伴うエネルギー使用や CO₂ 排出量の増加 土木工事や汚染土壌の運搬に係る環境リスク 	<ul style="list-style-type: none"> 作業員（直接接）やサイト利用者（粉塵吸入）の健康リスク 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染土壌の場外処分および清浄土の埋戻し費用が高い
オプション 2 舗装と盛土による汚染の封じ込め (曝露経路管理)	肯定的要素	<ul style="list-style-type: none"> 資源の節約と CO₂ 排出量の抑制 汚染の移動による環境影響は限定的 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染土壌の掘削をしないため、作業員の曝露リスクが軽減 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染土壌の掘削、搬出、処分を行わないため、開発計画段階でのコストを大幅削減
	否定的要素	<ul style="list-style-type: none"> 地下水や雨水により土壌からの重金属浸出が生じる不確実性 	<ul style="list-style-type: none"> 将来的な保守や工事における作業員の土壌汚染に接触するリスク 将来的な盛土の決壊 被覆層の不確実性 継続的な保守および汚染管理の責任 	<ul style="list-style-type: none"> 土壌汚染残存による保守管理の継続的責任 被覆層の継続的な保守管理費用の発生
オプション 3 住宅開発を「緑地」に実施 (受容体管理)	肯定的要素	<ul style="list-style-type: none"> 建設における資源節約と CO₂ 排出の抑制 汚染土の攪乱や移動の可能性は低い 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染土壌の掘削をしないため、作業員の曝露リスクを軽減 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染土壌の掘削、搬出、処分を行わないため、開発計画段階でのコストを大幅削減
	否定的要素	<ul style="list-style-type: none"> 地下水や雨水による土壌からの重金属浸出が生じる可能性 代替となる「緑地」サイト開発により、資源消費や CO₂ 排出が増加 	<ul style="list-style-type: none"> 代替となる「緑地」が施設と離れることによる利便性の低下 汚染箇所での将来的な土地利用が制限され、周囲の土地利用に影響 将来的に土壌汚染に接触するリスクが増加 	<ul style="list-style-type: none"> 土壌汚染残存による保守管理の継続的責任

2.2.2 許容されたオプションと SR 評価

本サイトにおけるリスクアセスメントを図-1 のフローにしたがって進めた結果、ステージ 3 には以下に示す 3 つの措置案（オプション）が考えられ、個々のオプションについて SR 評価を行った結果（表-2）、全てのオプションがステークホルダーの理解を得られた。

オプション 1：汚染土壌の掘削および場外埋立地での処分（汚染源除去）

オプション 2：汚染土壌とサイトでの居住者との接触の可能性を制限するために、表面の舗装とその下にバリア層の設置（曝露経路管理）

オプション 3：住宅の建設場所を「緑地」部分へ配置変更し、旧工業用地には将来的にリスクの少ない用途に使用（受容体管理）

2.2.3 評価方法のまとめ

オーストラリア国防省が実施している SR 評価手法では、リスクアセスメントによる評価とステークホルダーの要求事項を満たす 3 つの措置案、1) 汚染源除去、2) 曝露経路管理、3) 受容体管理、を複数提案して、それらの環境面、社会面、経済面についてプラス側面とマイナス側面を抽出して定性的な評価を行っており、昨年度までに紹介した米英の事例（評価項目を採点して総得点化して比較する方法）とは異なる評価方法であった。3 つのケーススタディでは、図-1 に示すステージ 3 の段階で候補となった措置案については、すべての措置案がステークホルダーの理解が得られたと記載されていたが、実際にどの措置案が採用されたかや、個々の措置が承認された理由についての詳細な説明は記載されていなかった。そのため、本 SR 評価は浄化工法を厳格に比較して決定するために用いることを目的としているのではなく、概ね承認された幾つかの措置案に対して問題点が存在しないか、その中で最も適切なものはどれか、といった選択を補助するために使用されていると推測された。

3. 新たに改訂した SR 評価項目を用いたケーススタディ

昨年の報告²⁾において、11 の大項目からなる「浄化工法選択のための SR 評価項目」を提案した。平成 28 年度に新たに立ち上げた SR 活用 WG では、これらの評価項目のブラッシュアップを行うため、実際の土壤汚染に対する措置事例について SR 評価項目を適用するケーススタディを複数件実施して SR 評価項目を改訂した。本章では、SR 評価項目の改訂内容と SR 評価項目を用いた評価事例の中から 1 件を紹介する。

3.1 昨年度からの評価項目の改訂

工法選定のために改訂した新たな SR 評価項目を表-3 に示す。まず、汚染物質の摂取経路となる「L: 地下水利用」を大項目に追加して、「周囲に地下水を飲用水としているところはあるか」、「非常災害用の井戸が周辺にあるか」、「将来的な地下水の飲用可能性があるか」の 3 つの従属項目を加えた。また、「F: 生活環境影響」には「工事および浄化運転に伴う地盤沈下等の発生」、「H: 土地利用への影響」には「土地の利用用途（居住区域・工業区域・商業区域・その他）」、「不特定多数の入場の可能性」、「周辺の土地の利用状況」の 3 項目、そして「J: 地域振興」には「治安の維持」を加え、各々の大項目に対する従属項目を充実させた。なお、「C: 生態系への影響」の従属項目の中で、次の 2 つの項目、「薬剤注入等による土壤・地下水環境への影響を微生物叢の変化で評価する方法」や「排水に伴う水生生物の影響をミジンコや藻類を用いて評価する方法」3 つの項目についての検討は、現時点では測定方法の標準化や測定結果の評価手法が十分確立されていないため、評価項目から除外した。

3.2 SR 評価項目を用いた評価事例（操業中の工場におけるバリア揚水対策継続に対する SR 評価）

3.2.1 評価対象サイトの概要

評価対象サイトは沖積平野に位置し、戦前から工場として利用され、工場敷地面積は約 20 万 m² である。近年は都市部の拡大に伴い住宅地が近接しているが、今後も工場として操業を継続する予定である。対象工場では、昭和 30 年代より大量のトリクロロエチレン等の有害化学物質が使用され、その結果、高濃度の土壤汚染と地下水汚染が発生していた。このため、汚染源の土壤を除去後、敷地外への地下水汚染の拡散防止の観点から継続的なバリア揚水対策が講じられてきたが、ランニングコストの増大から汚染源の対策（化学分解やバイオレメディエーション等の原位置浄化対策）を実施し、5 年程度でバリア揚水対策を停止する計画（以下、汚染源対策プラン）の検討を行った。

3.2.2 SR 評価の目的

対象サイトでは、主に表-4 に示す観点から定性的な評価を行い、継続的な揚水から汚染源対策プランに措置を変更した。今回は、改訂した SR 評価項目（表-3）を用いて、「揚水を継続した場合」、「汚染対策プランを実施した場合」の 2 ケースの措置選択を検討する中で、SR 評価の課題を抽出することを目的とした。

表一 3 改訂した評価項目と評価事例に対する SR 評価結果

大項目	SR評価項目			揚水継続			汚染源対策プラン			
	従属項目	経済	社会	環境	経済	社会	環境	経済	社会	環境
対策コスト	0 短期的な対策コスト	○			3			2		
	0 長期的な対策コスト	○			3			5		
対策工期	0	○			3			5		
A:省エネルギー	1 浄化工事（掘削、燃料、水処理等）に伴う二酸化炭素発生量			○			3			2
	2 浄化材料（鉄粉、矢板等）生産に伴う二酸化炭素発生量			○			3			3
	3 浄化反応（加熱、化学反応、微生物反応等）に伴う二酸化炭素発生量			○			3			3
	4 省エネルギー機器の使用	○		○						
	5 機器・重機の使用の効率化	○		○						
	6 （汚染土壌等含む）人や物の移動方法の効率化	○		○						
	7 再生エネルギー（太陽光、風力、小水力、地熱、バイオディーゼル等）の利用	○		○						
B:材料の使用量・排出量	1 工事に用いる資材使用量および再利用率			○			3			2
	2 浄化に伴う水の使用量および再利用率			○			3			5
	3 工事に伴う廃棄物等（コンガラ、アスガラ等）の発生量及び再利用率			○			3			3
	4 浄化材（鉄粉、酸化剤、栄養剤、活性炭）の使用量	○		○			3			2
	5 汚染土壌の搬出処理量	○			3			5		
	6 埋め戻し材料への浄化済土壌等の利用率			○						
C:生態系への影響	1 浄化工事実施に伴う緑比率の変化			○			3			3
	2 浄化工事実施に伴う指標生物（希少種・注目種等）の影響			○			3			3
	3 薬剤注入等による土壌・地下水環境への影響（pH変動）			○			3			2
	4 排水に伴う水生生物（魚類等）への影響			○			3			4
	5 二酸化炭素以外（メタン、一酸化二窒素）の温室効果ガスの発生量			○			3			3
D:作業員の安全性	1 工事による作業員への有害物質の曝露量	○			3					2
	2 工事の種類・量に伴う作業員の労働安全リスク	○			3					2
E:汚染物質による住民の健康リスク	1 工事に伴う浄化対象となる有害物質の大気や水域への拡散と摂取リスク	○	○		3	3		3	4	
	2 工事に伴う大気汚染規制物質（NOx、SOx、PM2.5等）の排出量	○	○		3	3		3	3	
	3 工事に伴う排水（二次的な環境汚染物質等）の排出量	○	○		3	3		4	4	
F:生活環境影響	1 工事および浄化運転に伴う騒音の発生			○			3			3
	2 工事および浄化運転に伴う振動の発生			○			3			3
	3 工事および浄化運転に伴う臭気の発生			○			3			2
	4 工事および浄化運転に伴う日照障害や光害の発生			○						
	5 工事および浄化運転に伴う地盤沈下等の発生			○			3			4
G:交通渋滞・事故	1 工事用車両による渋滞発生率	○			3					3
	2 工事による車両を含む事故発生率	○			3					2
	3 地域特性を踏まえた工事計画（作業日、作業時間帯等）	○			3					3
H:土地利用への影響	1 浄化期間中の土地利用の制限内容とその期間	○	○		3	3		2	2	
	2 浄化活動が及ぼす面積		○	○		3	3		2	2
	3 土地の利用用途（居住区域・工業区域・商業区域・その他）				3			4		
	4 不特定多数の入場の可能性									
	5 周辺の土地の利用状況									
I:情報公開	1 住民に対する工法の理解のしやすさ、リスクコミュニケーションの推進	○			3					4
	2 必要となる住民説明会の開催回数、参加してもらおうべき人数	○								
	3 関係者（ステークホルダー）の参加	○								
	4 浄化状況に関する（定期的な）情報発信方法	○			3					3
	5 情報共有の促進、情報格差による是正	○								
	6 第三者からの意見聴取	○			3					4
	7 情報公開を通じた環境教育の実施	○								
J:地域振興	1 地産地消の推進（地域雇用、地域の生産品、地域エネルギーの利用）	○								
	2 浄化工事に伴う地域の史跡・文化財・地下水源・公園等への影響	○	○							
	3 地域振興・交流の場の創出	○	○	○						
	4 治安の維持	○								
K:想定外の事象の発生	1 対策が工期内に完了しない可能性の大小	○	○	○		3				2
	2 浄化目標が達成できない可能性の大小	○	○	○		3				2
	3 天災による浄化対策工事への影響の大小	○	○	○		3				3
L:地下水利用	1 周囲に地下水を飲用水としているところはあるか	○								
	2 非常災害用の井戸が周辺にあるか	○								
	3 将来的な地下水の飲用可能性があるか	○								
				合計	18	48	60	23	44	60

※1 SR 評価項目の○印は当該従属項目がどの評価対象となるかを示す。

※2 表中従属項目橙色は評価対象項目を示す。

※3 点数付けは揚水継続を基準の「3」とし、代替案を「優（5）⇔劣（1）」として評価した。

表一 4 評価対象サイトの措置変更時に考慮した主な検討事項

環境面	<ul style="list-style-type: none"> 敷地内土壌汚染の拡大 バリア揚水対策の最適化 継続的な揚水による環境負荷
経済面	<ul style="list-style-type: none"> 継続的なランニングコスト 新たな地下水汚染の顕在化 揚水設備・処理設備の老朽化
社会面	<ul style="list-style-type: none"> バリア揚水対策に対する企業の社会的使命の達成度 周辺環境を踏まえたバリア揚水対策の停止条件

3.2.3 SR 評価の方法

SR 評価項目のうち、2 ケースの比較が可能である項目を任意に選定し、点数付けを行った。汚染源対策プランの点数を、揚水を継続した場合を「3」として、相対的に5段階で評価した。(5段階の評価は、優れる場合を「5」、比較的優れる場合を「4」、同等程度の場合を「3」、比較的劣る場合を「2」、劣る場合を「1」とした。)

3.2.4 SR 評価の結果

評価対象サイトの浄化対策方針選定を行うために実施した SR 評価の結果を表-3に示す。今回の評価においては、経済的側面として、「短期的な対策コスト」、「長期的な対策コスト」、「対策工期」についても評価項目とした。その結果、汚染源対策プランは揚水を継続した場合と比較して経済面の得点は高かったが、環境面では同点、社会面（作業員の安全性や土地利用への影響等）では低くなる結果となった。

3.2.5 結論と課題

汚染源対策プランは、汚染源対策を行うことにより土壌汚染量が低減するため、将来の土地利用時における汚染土壌の処理量が少なくなる（すなわち、将来の資産価値が改善する）ことから、短期的なコストが増えても長期的な経済的効果は高くなる。一方で、本評価対象サイトでは揚水した汚染地下水の全量を処理して下水道に放流していたため、長期的なコストと比較した場合は汚染対策プランの点数が高くなるが、公共用水域に排出する場合には下水道放流費用が無くなるため、この点数の差は小さくなることが予想される。

社会面で汚染源対策プランの点数が低くなった要因は、対策工事に従事する作業員への安全性や工事用車両による交通渋滞など浄化工事自体の影響に主眼が置かれているためであり、実際には操業中の工場で汚染源対策を実施することで、工場労働者への健康リスク等は低減する。このように浄化後の跡地利用等に関する観点を「H：土地利用への影響」の従属項目に追加することを検討すべきと考えている。

環境面では、汚染源対策プランは工事実施に伴い一時的に環境負荷が発生する一方で、揚水の停止により環境負荷が低減される。なお、揚水を継続する場合には、環境負荷低減のために再生エネルギーの利用や揚水した地下水から熱回収する手段が考えられる。一方、「K：想定外の事象の発生」として、「停電や故障・メンテナンス時に汚染地下水が敷地外に拡散するリスク」の従属項目への追加を検討している。

4. おわりに

オーストラリア国防省における SR 評価は、細分化された評価項目毎に評価して点数を付けて、項目毎の重み付けにより総得点を算出して個々の措置を比較する米国および英国のケーススタディとは大きく異なる内容であったが、選択された措置が適切な手段であるかを確認する方法としては十分機能していると考えられる。本 SR 活用 WG で作成している SR 評価項目を用いれば、今回のオーストラリアのケースのように SR 評価を行う場合でも評価すべき項目を技術者が自ら列挙する手間が省けるため、定性的な評価を行う上でも役立つツールになりうる。今後も SR 評価項目を用いた定量的もしくは定性的な評価を幾つかの事例で検討していき、最終的な SR 評価結果を各ステークホルダーができるだけ納得できる評価方法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 高畑陽・佐藤徹朗・大村啓介・日野成雄 (2015) : サステイナブル・レメディエーション (SR) の取り組みと米国での事例紹介, 第 21 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.99-104.
- 2) 高畑陽・緒方浩基・大村啓介・日野成雄・舟川将史(2016) : サステイナブル・レメディエーション (SR) の取り組みと英国での事例紹介, 第 22 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.101-106.
- 3) Australian Government, Defence Support Group (2010) : Guidelines for Consideration of Sustainability in Remediation of Contaminated Sites . (<http://www.defence.gov.au/estatemangement/governance/Policy/Environment/Contamination/Docs/Toolbox/SustainabilityRemediationGuidelines.pdf>).

[最終確認日：平成 29 年 6 月 9 日]