

土壌汚染対策のための技術開発 事後評価の概要

平成28年1月26日
商務情報政策局 生物化学産業課
産業技術環境局 環境指導室

目次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 成果、目標の達成度
4. 事業化、波及効果
5. 研究開発マネジメント・体制等
6. 費用対効果
7. 中間評価結果
8. 評価
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

概要

工場・事業場の操業中からの自主的な土壌汚染対策を促進するため、原位置で行う重金属、VOC(揮発性有機化合物)等回収・浄化機能等を有する低コストの土壌汚染対策技術を開発する。また、バイオレメディエーションに利用する微生物の安全性を評価する手法や環境中に存在する微生物群を包括的にモニタリングするための手法を開発し、低コストかつ環境負荷の低いバイオレメディエーションの利用促進を図る。

実施期間

平成22～26年度(5年間)(平成22年度はNEDOで実施)

{ 平成22～24年度:要素技術の開発
平成25～26年度:実証実験

予算総額 (執行ベース)

7.7億円(委託または補助(補助率:2/3))

(平成22年度:1.7億円、平成23年度:1.2億円、平成24年度:1.8億円、平成25年度:1.6億円、平成26年度:1.4億円)

実施者

新日鉄住金エンジニアリング(株)、大阪ガス(株)、(株)不動テトラ、土壌修復ラジアルウェル技術研究組合、(株)島津製作所、長岡技術科学大学、東京大学、岐阜大学

プロジェクトリーダー

個別要素技術開発テーマ毎にそれぞれリーダーを設定

<原位置処理重金属等土壤汚染対策技術開発>

①シアン汚染土壤の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発

予算執行額 平成22年度:99百万円, 平成23年度:74百万円, 平成24年度:87百万円, 平成25年度:85百万円, 平成26年度:63百万円

産業技術環境局 環境指導室

事業の内容

事業の概要・目的

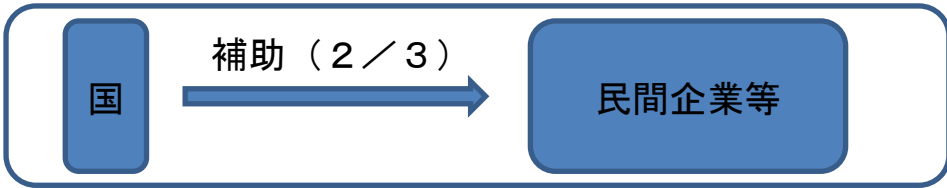
- 事業者等が所有する工場・事業場の敷地は、その土壤が汚染されている場合があります。
- 一方で、費用面が原因となり、土壤汚染対策が進まないことが散見されるため、安価な処理手法が求められています。
- 本事業は、我が国の土壤汚染の7割以上を占める重金属等を対象に、汚染土壤の搬出を伴わずに、その場で安価に浄化できる技術の開発を支援することにより、事業者等による土壤汚染対策の促進を図ります。

原位置処理重金属等土壤汚染対策技術開発

生物的处理対策技術の開発(①)

物理化学的处理対策技術の開発(②、③)

条件(対象者、対象行為、補助率等)



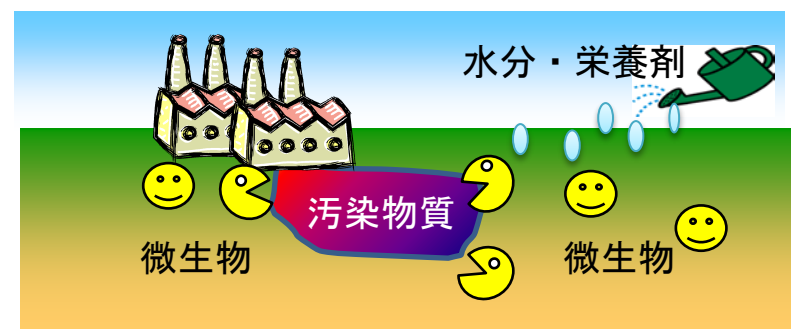
事業イメージ

原位置処理重金属等土壤汚染対策技術開発

生物的处理対策技術の開発(①)

①シアン汚染土壤の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発

- シアン汚染サイトのあらゆる土地・地層に適したバイオ技術による浄化工法を開発する。
- 具体的には、土壤中の全シアン含有量分析方法、バイオスティミュレーション・バイオオーグメンテーション技術、混練・注入工法を開発する。



<原位置処理重金属等土壤汚染対策技術開発>

- ②ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壤修復技術の研究開発
- ③低コスト原位置電気修復技術の研究開発

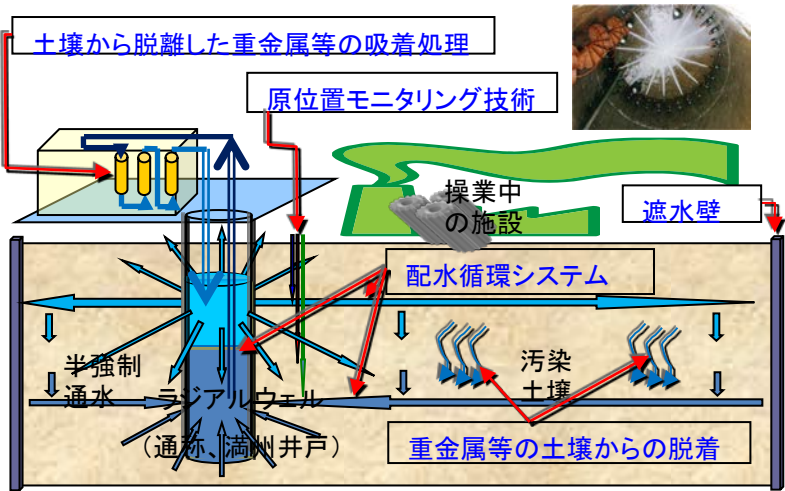
事業イメージ

原位置処理重金属等土壤汚染対策技術開発

物理化学的処理対策技術の開発(②、③)

②ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壤修復技術の研究開発

- 重金属汚染サイトを対象に、ラジアルウェル※を用いた重金属等の回収・浄化技術を開発する。
- 具体的には、配水循環システムや重金属等の脱着・吸着等の各要素技術、全体を統合した基盤技術を開発する。
※放射状集水井（通称、満州井戸）と呼ばれる浅井戸。

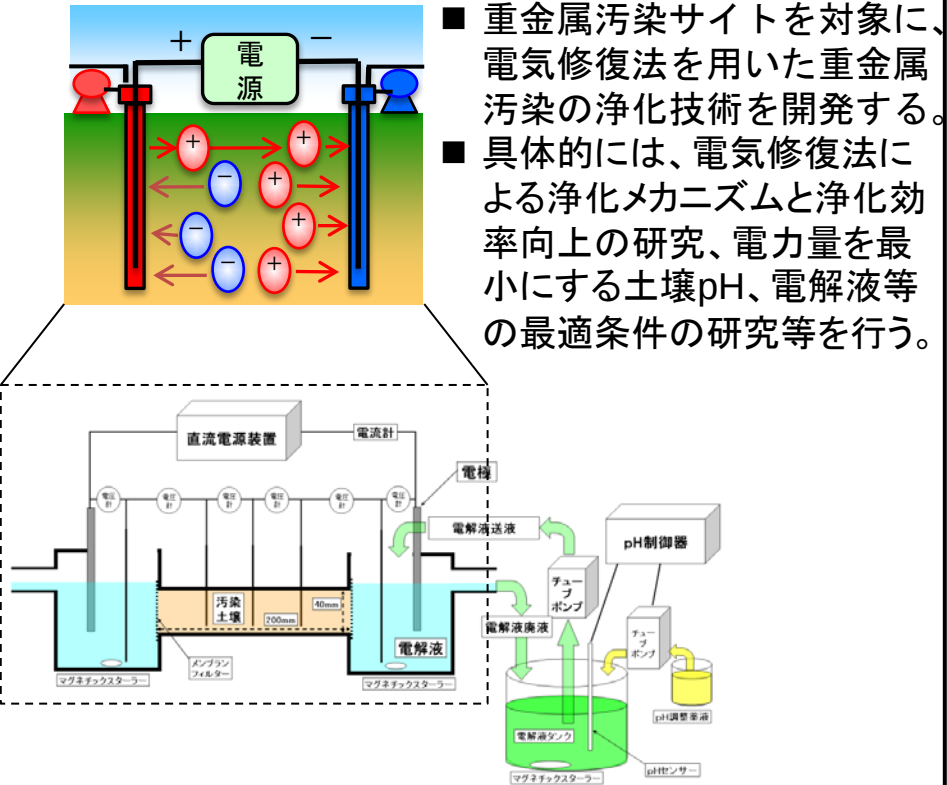


事業イメージ

原位置処理重金属等土壤汚染対策技術開発

物理化学的処理対策技術の開発(②、③)

③低コスト原位置電気修復技術の研究開発



- 重金属汚染サイトを対象に、電気修復法を用いた重金属汚染の浄化技術を開発する。
- 具体的には、電気修復法による浄化メカニズムと浄化効率向上の研究、電力量を最小にする土壌pH、電解液等の最適条件の研究等を行う。

<VOCの微生物等を利用した環境汚染物質浄化技術開発>

④次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発

予算執行額 平成22年度:75百万円, 平成23年度:46百万円, 平成24年度:90百万円, 平成25年度:79百万円, 平成26年度:72百万円

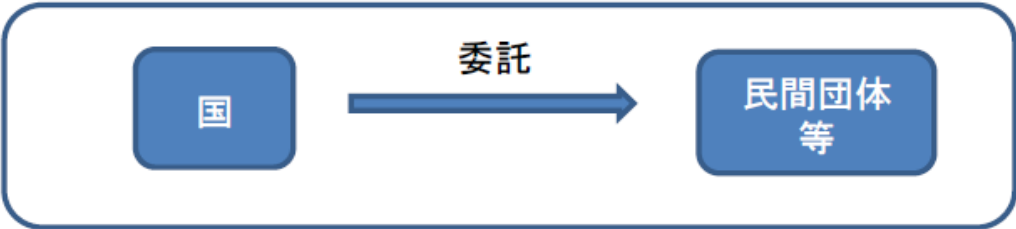
商務情報政策局
生物化学産業課

事業の内容

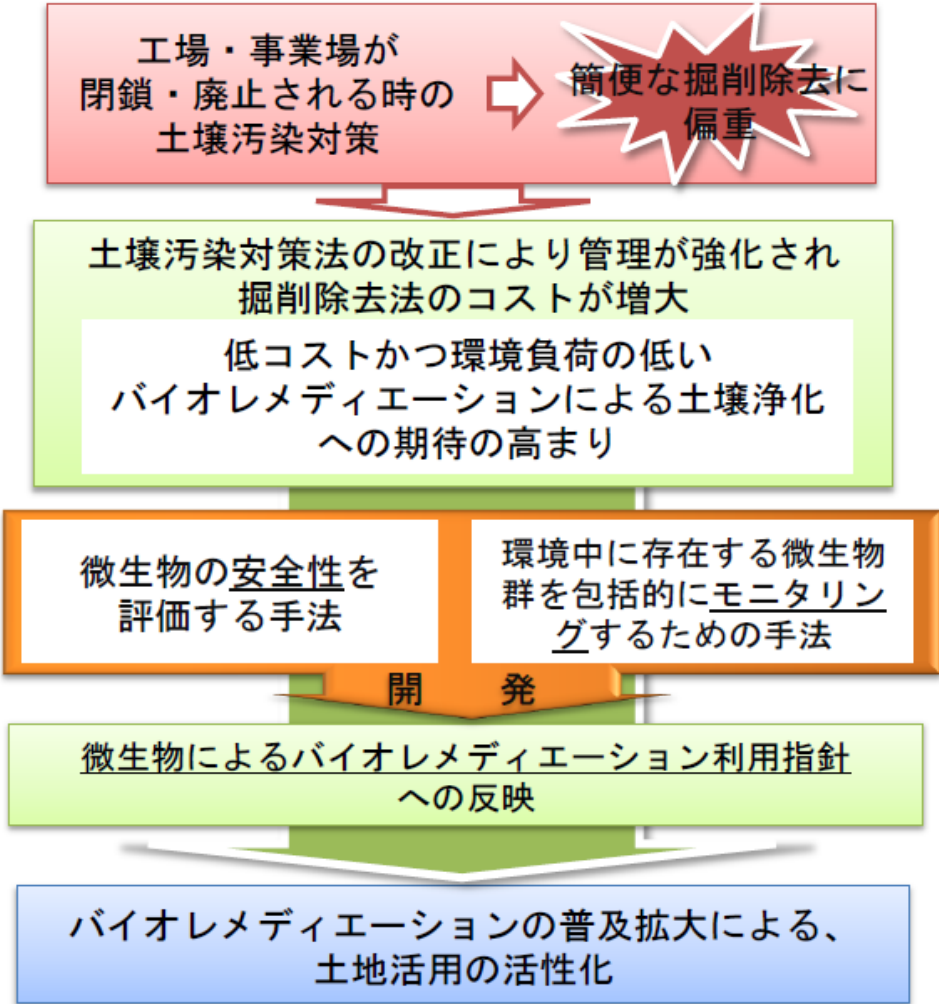
事業の概要・目的

- 微生物を利用して汚染した土壌の浄化を行うバイオレメディエーションは、低コストかつ環境負荷が低い処理技術として今後の利用拡大が期待されています。
- 当省では微生物の安全性等確認すべき事項を定めた「微生物によるバイオレメディエーション利用指針」を策定していますが、今後バイオレメディエーションの普及を拡大していくためには、より具体的かつ定量的な評価手法等を規定していく必要があります。このため、本事業では、生態系に対する標準的な安全性評価手法等の開発・実証を行い、その成果を指針に反映させます。
- 具体的には、バイオレメディエーションに利用する微生物の安全性を評価する手法や環境中に存在する微生物群を包括的にモニタリングするための手法を、大学・研究機関、企業、関係省庁連携の下開発します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ



2. 目的・政策的位置付け

本事業の目的は重金属、VOC等の化学物質によるリスクの削減に資するプロセス、手法の開発、更にはバイオレメディエーションの普及に資する安全性評価システムの構築に関する技術開発である。

技術戦略マップ(2010)上は、化学物質総合評価管理分野の技術マップ(リスク削減)において「環境汚染の修復・無害化処理のための基盤技術の確立」等、生物機能活用技術分野の「生物機能を活用した環境維持・修復技術」として位置付けられている。

本研究開発は、土壤汚染対策法の一部を改正する法律に対する附帯決議(平成21年4月16日参議院環境委員会)において「土壤汚染対策の現状にかんがみ、未然防止措置について早急に検討を進めるとともに、工場等の操業中の段階から計画的に土壤汚染対策に取り組むための措置を検討すること」旨の決議を踏まえて実施している。

3. 成果、目標の達成度(1)

代表的な目標・指標の達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
①シアン汚染土壌の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発	シアン汚染サイトのあらゆる土質・地層に適したバイオ技術による浄化工法の開発 (テーマ全体の目標・指標) 1)現状対策費の1/2のコスト達成 2)あらゆる地盤・地層に対応した技術開発	1)実証試験において土質に応じた工法適用により、掘削除去のコスト1/2を達成 ・砂質土：注入工法 ・粘性土：混練工法 2)実証試験において土質に応じた工法適用により浄化を確認 ・砂質土：注入工法 ・シルト・粘土：混練工法 ・砂質・シルト・粘土の互層：混練・注入工法	達成
②ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壌修復技術の研究開発	従来の掘削除去方式の約半分のコストで、水溶性かつ移動性の有害重金属等を3年以内に原位置で回収・浄化する。また、狭隘な場所にも適用可能とする。	実証試験に用いた高濃度鉛汚染土壌に関しては、従来方式の半分以下のコストで処理できることを確認・実証できた。また、3種類の室内カラム試験結果から、洗浄プロセス(工程)全体をシミュレートする手法を開発した。	達成

3. 成果、目標の達成度(2)

代表的な目標・指標の達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
③低コスト原位置電気修復技術の研究開発	研究成果をもとに浄化コストを算出し、実際の汚染サイトでの実証試験によって検証する。対象土壌1m ³ あたり1,500kWhの電力を使用して、対象重金属について土対法における含有量基準値の3倍濃度の汚染土壌、また溶出量基準値の10倍程度の汚染土壌について、それぞれを基準値以下に浄化する。処理コストは掘削除去による平均的な処理コスト(50,000円／m ³)の半額程度とする。	実証試験の結果、鉛汚染について、目標値の1,500kWh/m ³ での浄化を達成できた。これをもとに、単位電力料金を引用した浄化総コストは1m ³ あたり25,165円と換算され、当初目標の掘削除去コスト50,000円の半額に近い数値となることが示された。	達成
④次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発	バイレメに関連する属種の細菌50株以上について、指標遺伝子を用いた判別手法を開発する。 指標候補微生物群の検出PCRプライマーの開発と指標微生物候補に対する定量的モニタリング技術の確立。	バイレメに関連する7属群について、指標遺伝子を新たに特定した51株と多数の既往ゲノム解析株をMLSA法で解析する判別手法を開発した。 細菌、古細菌それぞれに特異的なPCRプライマー設計し、内部標準を用いた定量性測定技術を確立した。	達成

3. 成果、目標の達成度(3)

要素技術	論文数	論文の被引用数	講演・発表数	特許等件数 (出願を含む)
①シアン汚染土壌の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発	6	1	0	13 (うち3件は 2015年度 出願)
②ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壌修復技術の研究開発	0	0	12	0
③低コスト原位置電気修復技術の研究開発	3	0	11	0
④次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発	8	12	90	1
計	17	13	113	14

4. 事業化、波及効果(1)

◆事業化の見通し

①「シアン汚染土壌の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発」

- ・本成果の利用主体は、シアンを取り扱うメッキ工場、選鉱精錬所、石炭ガス精製工場。
- ・メッキ工場では、シアンが金属イオンと容易に化合物を形成する性質を利用し、シアンを銅、亜鉛、ニッケル、金等の建浴として使用。今後の設備老朽化に伴う建て直しや工場移転・廃止時の調査で、シアンの土壌汚染が判明した際、浄化対策として本技術を提案。
- ・昔、都市ガスは、石炭をコークス炉で乾留して石炭ガスを製造・供給。その石炭ガスの製造時の副生成物にシアン等が含有。石炭ガスの工場跡地には、シアン等の汚染が多く、また、大規模な工場が都市近郊の湾岸部に立地。その跡地利用が活発化することが考えられることから、跡地開発の際の汚染対策に本技術を提案。

②「ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壌修復技術の研究開発」

- ・本成果の利用主体は、当技術研究組合を構成している各組合員企業、もしくはそれらのJV。
- ・主な事業化の対象は、低コストで原位置浄化を希望する、重金属等の汚染サイト。
- ・開発した技術の実用化は、経済性の観点も含め、ほぼ目処が立っている状況。即実施し、従来の掘削除去方式より安価に成果を上げることが可能。
- ・各要素技術は、それぞれ単独で、各分野に利用可能。

③「低コスト原位置電気修復技術の研究開発」

- ・本成果の利用主体は、当事業の実施者、子会社。
- ・主な事業化の対象は、低コストで原位置浄化を希望する、重金属等の汚染サイト。但し、火山灰のある土質や電解液を保持できない土質を除く。

4. 事業化、波及効果(2)

◆事業化の見通し

④「次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発」

- ・本事業により、バイレメ指針を適合させるための標準的な安全性評価手法の確立、指針に適合した分解菌の整備等のバイオレメディエーションに係る一連の基盤が整備されつつある。これにより、バイレメ事業者がバイオレメディエーションを実施する上で大きな障害となっている「バイレメ指針」の適合審査の費用・労力が軽減される。
- ・本研究で開発された先進的な遺伝子技術を利用したモニタリングにより、正確にバイレメ実施時の微生物生態系影響評価を行うことが可能になり、バイレメの有効性や安全性に係わる科学的な知見が蓄積された。これらの成果はHPで公表している(<http://www.nite.go.jp/nbrc/industry/bioreme2014/index.html>)。
- ・バイオレメディエーションの本格的な実施に際して大きな障害となっている社会的受容性の向上・確保が進み、バイオレメディエーションの普及が進むと期待。
- ・汚染地域(150兆円、44万ha規模 出典:「土壌汚染をめぐるブラウンフィールド問題等について(中間とりまとめ)」環境省)の新たな有効活用や資産価値の上昇による間接的な経済効果が期待。

◆波及効果

①「シアン汚染土壌の飽和・不飽和原位置バイオレメディエーションの研究開発」

- ・シアン以外に、油、VOCによる汚染への応用が可能。

②「ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壌修復技術の研究開発」

- ・重金属の吸着・凝集沈殿処理技術は、土壌汚染の浄化以外に、産業用の排水処理技術への応用が可能。

③「低コスト原位置電気修復技術の研究開発」

- ・工場・事業場の土壌汚染の浄化以外に、廃鉱山や圃場の土壌汚染への応用が可能。

④「次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発」

- ・廃水・廃棄物処理や資源の回収や再利用などでの微生物の環境利用促進、および微生物の評価・検出技術への適用が可能、その他の食品衛生・臨床微生物検査・環境微生物分野における有害菌の検出等への活用が可能。

5. 研究開発マネジメント・体制等(1)

土壌汚染対策のための技術開発

原位置重金属等土壌汚染対策技術開発(2/3補助)

担当: 環境指導室

生物的处理対策技術の開発

①シアン汚染土壌の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発(新日鉄住金エンジニアリング、大阪ガス、不動テトラ)

物理化学的处理対策技術の開発

②ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壌修復技術の研究開発(土壌修復ラジアルウェル技術研究組合)

③低コスト原位置電気修復技術の研究開発(島津製作所)

VOCの微生物等を利用した環境汚染物質浄化技術開発(委託)

担当: 生物化学産業課

④次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発(長岡技術科学大学、東京大学、岐阜大学)

研究開発計画
技術開発状況
等を報告

指導
技術的助言

【技術検討委員会】

- 産・学・官の外部有識者から構成
- 2回/年 程度開催
- 成果目標に向けた研究計画の妥当性や研究開発計画や研究開発状況についての適切な指導及び技術的助言を得る機会を設置

5. 研究開発マネジメント・体制等(2)

本技術開発は平成22年度から平成26年度までの5年間の委託・補助事業である(平成22年度においてはNEDO委託・共同研究事業として実施)。平成22年度から平成26年度までの技術開発資金度配分表(予算執行額)を下表に示す。資金配分については各個別要素技術開発を遂行するのに必要な資金をそれぞれ配分している。

表 土壌汚染対策のための技術開発資金年度配分 (単位:百万円)

年度 平成	22	23	24	25	26	合計
①シアン汚染土壌の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発	33	34	40	42	40	189
②ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壌修復技術の研究開発	27	25	28	43	23	146
③低コスト原位置電気修復技術の研究開発	39	15	19	—	—	73
④次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発	75	46	90	79	74	364
合計	174	120	177	164	137	772

6. 費用対効果

①「シアン汚染土壌の飽和・不飽和層原位置バイオレメディエーションの研究開発」

資金配分額は189百万円

国内の石炭ガス工場跡地(800万m³)が豊洲並みに汚染されていると仮に仮定すると、市場規模はすくなくとも4,000億円程度と見積もられる。仮にその全てに本技術を適用して対策費用が1/2になると、本事業に投下された費用の1,058倍の効果が期待される。

②「ラジアルウェルを活用したパッシブな新規土壌修復技術の研究開発」

資金配分額は146百万円

日本国内の重金属汚染による土壌汚染対策の市場規模はすくなくとも228億円と見積もられる。仮にその全てに本技術を適用して対策費用が1/2になると、本事業に投下された費用の78倍の効果が期待される。

③「低コスト原位置電気修復技術の研究開発」

資金配分額は73百万円

日本国内の重金属汚染による土壌汚染対策の市場規模はすくなくとも228億円と見積もられる。仮にその全てに本技術を適用して対策費用が1/2になると、本事業に投下された費用の156倍の効果が期待される。

④「次世代バイオレメディエーション普及のためのセーフバイオシステムの研究開発」

資金配分額は364百万円

VOCの浄化におけるバイオレメディエーションの市場規模は少なくとも4千億円超と見積もられる(一般社団法人土壌環境センター調べ「土壌汚染状況調査・対策」に関する実態調査結果(平成26年度))ことから、本事業に投下される費用に対し、本事業の波及効果が期待される市場は少なくとも1100倍の価値創造が見込まれ、費用対効果は十分に大きい。

7. 中間評価の結果

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 本研究開発をより推進して、研究開発した技術や指標を現場に適用して実用化することにより、わが国の環境リスク管理に貢献できることを期待する。また、それぞれの個別要素技術については、それらを社会に普及させて事業化を目指すことも、新たな環境ビジネスを創出するために重要な事業である。
- テーマごとに興味深い技術の開発を手掛けており、将来、新たな土壌浄化技術の飛躍的な発展に資するものとなっているものと評価できる。その事業化のためには、実際の現場への適用性を、幾つかの特徴的な現場を想定し、場合(シナリオ)ごとに評価することが重要であると考え。評価の手法は、技術の特性を考慮したある種のシミュレーションによってであっても、現場実証実験によってであっても構わない。
- 技術の適用性をより明確化して事業化を実現するために、関連する市場と競合技術の調査についても、技術開発と併せて行われることを期待する。
- 各実施者においては、研究実施体制・運営について、経営、技術、生産活動等のノウハウ等知識連携を共有・向上させるための視点及び内部組織の運営ルールの明確化を求めたい。
- 情勢の変化を勘案しつつ設定した最終目標を適宜見直し、社会情勢に対応した技術開発を推進して欲しい。設定する最終目標について、どのような条件のもとで達成されるのか、目標達成条件をより明確にすることが望まれる。また、開発された手法が科学的に妥当なものであるかどうかを示すため、浄化が可能であるという事実や社内にとどまるノウハウだけでなく、なぜそのような手法で浄化が可能なのかが説明できるように開発の成果を残していただきたい。
- いくつかの個別要素技術開発については建設機械を用いた土木的な工法を用いており、操業中の工場において適用する場合には制約が生じることが想定される。今後はボーリング類似技術の活用等、土壌の掘削が最小限となる工法についても併せて検討されることを望む。

提言に対する対処方針

- わが国の土壌汚染対策及び環境リスク管理に貢献できるよう、これからも研究を推進していく。また、それぞれの個別要素技術については当初の予定通り、平成25年度から実証研究を重点的に進めていく。
- 開発した技術の事業化においては、幾つかの特徴的な現場での実証試験もしくは技術の特性を考慮した上でのシミュレーションを通して、実際の現場への適用性を評価していく。得られた適用性に関する情報をもとに、最適な事業化シナリオを構築する。
- 技術開発と併行して関連する市場の調査及び競合技術の動向調査も行うこととする。また、得られた調査結果をもとに開発した技術がより適用する現場等を考慮する。
- 事業実施者においては研究実施体制・運営について、共同研究契約の締結等を適宜進め、経営・技術・知的財産・ノウハウ等の知識連携を向上させることを目指す。
- 最終目標については電力コスト等の変動しうる社会情勢をにらみつつ適宜、見直した上で技術開発を推進することとする。また、設定する最終目標については目標を達成する上での条件を明確にする。開発された手法の浄化能力等に対する妥当性については、経験則に基づいたノウハウだけでなく、科学的な根拠を明確に示すことができるように実証研究開発を進め、成果として社会に還元することを目指す。
- ボーリング類似技術の活用等を通して土壌の掘削を最小限としつつ、開発した技術を操業中の工場等の現場に適用する工法についても、実証研究開発の一環として検討を進める。

8. 評価(1)

評価検討会

評価検討会名称	土壌汚染対策のための技術開発プロジェクト事後評価検討会	
評価検討会委員	座長	池 道彦 国立大学法人大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授
	委員	井上 千弘 国立大学法人東北大学大学院 環境科学研究科環境修復生態学分野 教授 及川 勝 全国中小企業団体中央会 政策推進部長 駒井 武 国立大学法人東北大学大学院 環境科学研究科 教授 宮 晶子 水ing株式会社 技術・開発本部執行役員技術・開発統括

8. 評価(2)

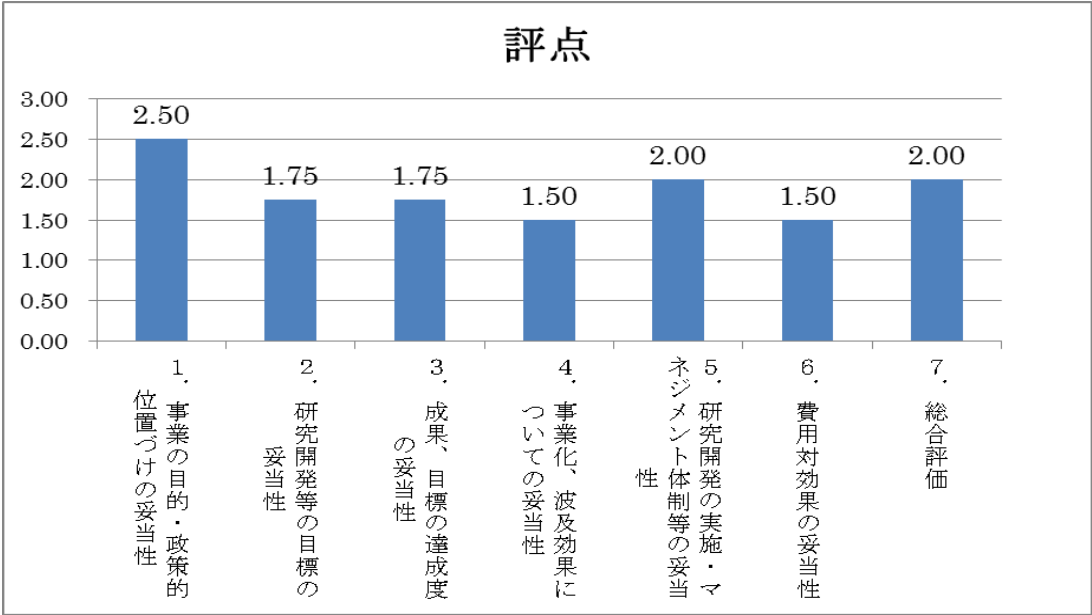
総合評価(コメント)

- 現在の我が国における土壌汚染対策の抱える問題点を解決するためには、バイオレメディエーション等の低コスト・低環境負荷技術の開発は必要不可欠であり、国が積極的に支援することは極めて妥当であった。
- 事業化については、全体として受注には至っていないものの複数の引き合いがあり、実施が期待できる。
- バイオレメディエーション微生物評価技術については、環境中に存在する有害菌解析手法を開発したほか、好気性塩素化エチレン分解菌1株についてバイレメ指針適合が確認されたことは評価できる。
- 原位置土壌浄化の幾つかの有望な新技術やその支援基盤が確立されており、今後の実用化への展開が期待できる成果が得られたことは高く評価できる。
- 各開発技術について、詳細な解析による市場の見積が十分になされているとはいえず、事業の産業上の価値を定量的に評価することを望む。
- バイオレメディエーションの普及においては、実施する事業者の裾野を拡大することも重要であるが、今後、市民の理解を得る配慮や工夫も必要である。

8. 評価(3)

評点結果 「経済産業省技術評価指針」に基づき、評点法による 評価を実施

	評点	A委員	B委員	C委員	D委員
1. 事業の目的・政策的位置づけの妥当性	2.50	3	2	3	2
2. 研究開発等の目標の妥当性	1.75	2	2	2	1
3. 成果、目標の達成度の妥当性	1.75	3	1	2	1
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.50	2	1	2	1
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.00	3	1	2	2
6. 費用対効果の妥当性	1.50	2	1	2	1
7. 総合評価	2.00	2	2	2	2



【評価項目の判定基準】

評価項目 1.～5.

3点: 非常に重要又は非常によい

2点: 重要又はよい

1点: 概ね妥当

0点: 妥当でない

6. 総合評価

3点: 実施された事業は、優れていた。

2点: 実施された事業は、良かった。

1点: 実施された事業は、成果等が今一步のところがあった。

0点: 実施された事業は、成果等が極めて不十分であった。

9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- バイレメ等の浄化技術の本格的な事業化に向けては、実証試験を積み重ねてデータを蓄積していくことが必要である。実証試験の実施を企業のみで担うのは容易ではなく、国の継続的な支援が望まれる。実証試験は、小規模の現場試験と、その結果に基づいたシミュレーションでも構わない。
- 各要素技術の組み合わせを行うことにより、新たな展開も生まれると考えられる。担当者間でとりあえず机上検討だけでも行うことが望まれる。
- バイレメの普及に資する安全評価手法と、生態系影響評価手法については、本研究開発で確立された手法を安価で提供できる事業者の育成が望まれる。
- 掘削除去に対する優位性を考えると、コスト並びに修復期間の削減が必要となり、今後は、バイオと物理・化学処理との組み合わせについての検討が望まれる。

提言に対する対処方針

- 実証試験の実施によるデータの蓄積については、バイレメ等の浄化技術の普及を進める上で、どのような部分を民間企業が担い、それに対して国としてどのような支援の在り方が考えられるのか、ご指摘を踏まえ整理する。
- 本事業で得られた成果については、関係者間で幅広く共有し、ご指摘の各要素技術の組み合わせも含め、新たな展開や他分野への波及効果についても検討する。
- バイレメの普及に資する安全評価手法と、生態系影響評価手法について、本研究開発で確立された手法を安価で提供できる事業者の育成について、今後、国としてどのようなことが考えられるか検討する。
- 本技術（原位置浄化、バイレメ）の掘削除去に対する優位性は、本事業の成果により、コスト面の優位性を示すことができた。よって、今後は、コスト面での優位性を示しながら、掘削除去とのすみ分けを行い、本技術の普及に努める。